Design Standards of Korean Railroad

Vol I: Civil Works

2017

Korea Railroad Research Institute

This English translation of the Design Standards of Korean Railroad has been prepared based on the Korean Railroad Design Standard (Civil Works) (in Korean) (2016 edition).

These are the unofficial translations. Only the original Korean texts of the design standards have legal effect, and these translated version should be used solely as the reference materials for better understanding of the Korean Railroad Design Standard (Civil Works) (in Korean)

Korea Railroad Research Institute will not be responsible for the accuracy, reliability or prevalence of the legislative materials provided in this book. For all purposes of interpreting and applying the design standards to any legal issue or dispute, users should consult the original Korean texts published by Korean Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

Contents

Chapter 1 General Provisions ····· 1

1.1 Scope of application ····· 1

1.2 Applicable laws and regulations ····· 1

1.3 Definitions of terms ····· 3

Chapter 2 Railway Plan ····· 6

2.1 Railway construction and improvement plan ····· 6

2.2 Feasibility study (Academic field) ····· 13

2.3 Civil works plan ····· 15

2.4 Design general ····· 19

2.5 Environmental investigation for project implementation ····· 31

2.6 Work by design stage ····· 36

Chapter 3 Survey and Geotechnical Investigation ····· 39

3.1 General ····· 39

3.2 Railway survey ····· 43

3.3 Geotechnical investigation ····· 53

Chapter 4 Earth Structure ····· 63

4.1 General ····· 63

4.2 Design general ····· 64

4.3 Fill ····· 68

4.4 Cutting ····· 87

4.5 Soft ground ····· 96

4.6 Mainline appurtenances ····· 100

Chapter 5 Culvert and Drainage ····· 104

5.1 Culvert ····· 104

5.2 Drainage ····· 121

Chapter 6 Earth Retaining Structure ····· 138
6.1 General ····· 138
6.2 Investigation ····· 139
6.3 Planning ····· 139
6.4 Design general ····· 141
6.5 Retaining wall, sheathing wall and slope protection wall ····· 143
6.6 Reinforced earth wall ····· 161
6.7 Design of temporary structures ····· 172

Chapter 7 Underground Structure ····· 187
7.1 General ····· 187
7.2 Design principle ····· 189
7.3 Structural design ····· 190
7.4 Seismic design ····· 205

Chapter 8 Bridge General ····· 210
8.1 General ····· 210
8.2 Load ····· 221
8.3 Design method and load combination ····· 253
8.4 Material ····· 260
8.5 Serviceability and durability ····· 266
8.6 Design requirements for train operation ····· 279
8.7 Bearing shoe and ancillary facilities ····· 286
8.8 Seismic design ····· 297

Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge ····· 338
9.1 General ····· 338
9.2 Material ····· 339
9.3 Design general ····· 349
9.4 Allowable stress ····· 353
9.5 Member general ····· 377

9.6 Width-thickness ratio of plate element and stiffener ····· 384
9.7 Deck floor system and deck ····· 397
9.8 Connection ····· 404
9.9 Bracing and diaphragm ····· 418
9.10 Plate girder ····· 420
9.11 Composite girder bridge ····· 427
9.12 Truss ····· 439
9.13 Arch ····· 444
9.14 Rahmen structure ····· 451
9.15 Toughness requirements ····· 462

Chapter 10 Concrete Bridge ····· 465
10.1 General ····· 465
10.2 Material ····· 471
10.3 Design general ····· 479
10.4 Reinforcement details ····· 483
10.5 Reinforcement anchoring and connection ····· 493
10.6 Ultimate strength design method ····· 508
10.7 Prestressed concrete ····· 546
10.8 Slab ····· 590
10.9 Walls ····· 606
10.10 Deck plate ····· 613
10.11 Slab bridge ····· 626
10.12 T-Girder bridge ····· 635
10.13 Multi-Span beam bridge ····· 638
10.14 Rahmen bridge ····· 643
10.15 Box girder bridge ····· 650
10.16 Arch bridge ····· 655
10.17 Allowable stress design method ····· 658

Chapter 11 Bridge Substructure and Foundation ····· 668
11.1 General ····· 668
11.2 Investigation and plan ····· 671
11.3 Member design general ····· 673

11.4 Design of abutment, pier and spread footing ····· 681
11.5 Basic requirements of foundation design ····· 691
11.6 Geotechnical design of shallow foundation ····· 696
11.7 Geotechnical design of deep foundation ····· 700
11.8 Structural engineering design of deep foundation ····· 705

Chapter 12 Tunnel ····· 713
12.1 General ····· 713
12.2 Plan ····· 720
12.3 Design general ····· 724
12.4 Investigation ····· 726
12.5 Tunnel support ····· 737
12.6 Concrete lining ····· 744
12.7 Tunnel stability analysis ····· 746
12.8 Drainage and waterproof ····· 750
12.9 Excavation and measurement ····· 752
12.10 Portal ····· 760
12.11 Transition section and joint section ····· 763
12.12 Vertical shaft and inclined shaft ····· 764
12.13 TBM tunnel ····· 769
12.14 Ventilation and lighting ····· 789
12.15 Disaster prevention facilities ····· 792
12.16 Seismic design ····· 793
12.17 Open-cut tunnel ····· 796

Chapter 13 Station ····· 800
13.1 General ····· 800
13.2 Station plan ····· 803
13.3 Station layout ····· 811
13.4 Passenger service facilities ····· 818
13.5 Freight facilities ····· 820
13.6 Rolling stock depot ····· 823

Chapter 1 General Provisions

1.1 Scope of application

(1) This design standard shall be applied to trackbed for Railroad construction as defined in Article 2 of the Railroad Construction Act (at-grade, bridge, tunnel, underground structure, mainline structure, station). However, this Standard may not be applied to particular investigations, studies or designs and in such a case, a basic design standard shall be specified.

(2) This design standard shall comprise:

Chapter 1 General Provisions

Chapter 2 Railway Plan

Chapter 3 Survey and Geotechnical Investigation

Chapter 4 Earth Structure

Chapter 5 Culvert and Drainage

Chapter 6 Earth Retaining Structure

Chapter 7 Underground Structure

Chapter 8 Bridge General

Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge

Chapter 10 Concrete Bridge

Chapter 11 Bridge Substructure and Foundation

Chapter 12 Tunnel

Chapter 13 Station

1.2 Applicable laws and regulations

1.2.1 Laws and regulations

The applicable laws & regulations in applying this standard are as follows.

(1) Railroad Construction Act, Enforcement Decree and Enforcement Ordinance (MOLTM)

(2) Railroad Construction Rule and Regulations for Construction Standard (MOLTM)

(3) Railroad Safety Act, Enforcement Decree and Enforcement Ordinance (MOLTM)

(4) Construction Technology Management Act, Enforcement Decree and Enforcement Ordinance (MOLTM)

(5) Construction Design Criteria (MOLTM)

제 1 장 총칙

1.1 적용범위

(1) 이 설계기준은 철도건설법 제2조에서 정의한 철도건설사업 시행에 따른 철도노반(토공, 교량, 터널, 지하구조물, 본선부속, 정거장 등)을 설계 하는데 적용한다. 다만, 특별한 조사, 연구설계에 대하여는 이 기준을 적용하지 않을 수 있다. 이 경우에는 설계기준에 대한 근거를 명시해야 한다.

(2) 이 설계기준은 다음 각 장으로 구성한다.

제 1 장 총칙
제 2 장 철도계획
제 3 장 측량 및 지반조사
제 4 장 흙구조물
제 5 장 구교 및 배수시설
제 6 장 흙막이 구조물
제 7 장 지하구조물
제 8 장 교량 일반사항
제 9 장 강교 및 강합성교
제 10 장 콘크리트교
제 11 장 교량하부 및 기초
제 12 장 터널
제 13 장 정거장

1.2 관계 법령 및 기준

1.2.1 법령과 기준

이 설계기준을 적용하는데 있어 관련되는 법령과 기준은 다음과 같다.

(1) 철도건설법과 그의 시행령, 시행규칙(국토교통부)
(2) 철도건설규칙과 철도의 건설기준에 관한 규정(국토교통부)
(3) 철도 안전법과 그의 시행령, 시행규칙(국토교통부)
(4) 건설기술진흥법과 그의 시행령, 시행규칙(국토교통부)
(5) 건설공사 설계도서작성기준(국토교통부)

(6) Detail Implementation Standard for Basic Design (MOLTM)
(7) Concrete Standard Specification (MOLTM)
(8) Concrete Structure Design Criteria (MOLTM)
(9) Structure Foundation Design Criteria (MOLTM)
(10) Civil work Standard Specification (MOLTM)
(11) Tunnel Design Criteria (MOLTM)
(12) River Design Criteria (MOLTM)
(13) Road Design Criteria (MOLTM)
(14) Guidelines for Road Pavement Design and Construction (MOLTM)
(15) Guidelines for Rock Subbase Pavement Design(MOLTM)
(16) Road Bridge Design Criteria (MOLTM)
(17) Road Construction Standard Specification (MOLTM)
(18) Road Bridge Standard Specification (MOLTM)
(19) Guidelines for Road Bridge Safety Facility Installation and Maintenance (MOLTM)
(20) Blasting Design and Construction Guidelines for Road Construction (MOLTM)
(21) Guideline for Environment-friendly Railroad Construction (Ministry of Environment, MOLTM)
(22) Framework Act on Low-carbon, Green Growth (Prime Minister's Office)
(23) Natural Environment Conservation Act (Ministry of Environment)
(24) Environmental Impact Assessment Act (Ministry of Environment)
(25) Noise & Vibration Control Act (Ministry of Environment)
(26) Countermeasures against Natural Disasters Act (National Emergency Management Agency)
(27) Railroad Infrastructure Regulation (MOLTM)

1.2.2 References

Unless otherwise specified herein, or if it is necessary to apply foreign standards or standards other than this standard, technical applicability shall be evaluated and the base for application shall be specified.

(1) Study on seismic design criteria (Part I, II) (MOLTM)
(2) UIC (International Union of Railways), CEN (Comité Européen de Normalisation) and other Euro Codes
(3) Railroad structure design criteria and explanation (Japanese Railroad Technology Institute)
(4) Manual for Railroad Engineering (AREMA : American Railroad Engineering and Maintenance-of-Way Association)
(5) Standard Specifications for Highway Bridges (AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Officials)

(6) 기본설계 등에 관한 세부시행기준(국토교통부)
(7) 콘크리트 표준시방서(국토교통부)
(8) 콘크리트 구조기준(국토교통부)
(9) 구조물 기초 설계기준(국토교통부)
(10) 토목공사표준시방서(국토교통부)
(11) 터널 설계기준(국토교통부)
(12) 하천 설계기준(국토교통부)
(13) 도로 설계기준(국토교통부)
(14) 도로포장설계・시공지침(국토교통부)
(15) 암반구간 포장설계 지침(국토교통부)
(16) 도로교 설계기준(국토교통부)
(17) 도로공사 표준시방서(국토교통부)
(18) 도로교 표준시방서(국토교통부)
(19) 도로교 안전시설 설치 및 관리지침(국토교통부)
(20) 도로공사 노천 발파설계 시공지침(국토교통부)
(21) 환경친화적 철도건설지침(환경부, 국토교통부)
(22) 저탄소 녹색성장 기본법(국무총리실)
(23) 자연환경보전법(환경부)
(24) 환경영향평가법(환경부)
(25) 소음・진동관리법(환경부)
(26) 자연재해대책법(소방방재청)
(27) 철도시설의 기술기준(국토교통부)

1.2.2 참고 기준

이 설계기준을 적용하는데 있어 이 기준에 정하여 있지 않거나 특별하게 외국 등의 기준을 적용할 필요가 있을 경우는 적용상 기술성을 충분히 검토하고, 적용기준에 대한 근거를 명시 해야 한다.

(1) 내진설계기준 연구(Ⅰ,Ⅱ편) (국토해양부)
(2) UIC(International Union of Railways), CEN(Comité Européen de Normalisation) 등 Euro Code
(3) 鐵道構造物等 設計標準・同解說 (日本鐵道總合技術硏究所,)
(4) Manual for Railway Engineering, (AREMA : American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association)
(5) Standard Specifications for Highway Bridges, (AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Officials)

1.3 Definitions of terms

The terms used in this design standard shall have the following meanings, and other terms will be defined separately on a chapter basis.

(1) Construction gauge: a certain space set on track for a rolling stock to run safely.

(2) High speed railway: a railway on which a train runs at a speed of 200km/hr or higher, and the route is designated by the Minister of Land, Infrastructure and Transport.

(3) Building limit: extra space between the structure and construction gauge on an exclusive line for EMU to accommodate electricity, signaling, communication, walkway, evacuation and other facilities.

(4) Track: rail, sleeper, ballast and their accessories.

(5) Basic plan: investigating a feasible railway route and station location based on a preliminary feasibility study, as well as reviewing technical and economic feasibility.

(6) Basic design: determining the optimal plan after reviewing facility scale, layout, type, construction method, schedule and cost based on preliminary feasibility study, basic plan and feasibility study, and technical data including design criteria and conditions necessary for detail design shall be drafted.

(7) Basic design drawing

① refers to basic drawing of building, structure and facilities.

② refers to the deliverable as part of basic design after the feasibility study which is required for basic direction and guideline for detail design.

(8) Survey of reference point: a survey to set a supplementary control point or benchmark which serves as the reference of survey for construction.

(9) Trackbed: earth structure or civil structure necessary for track installation.

(10) Route determination: the determination of the most reasonable route based on stability, technical feasibility, constructability and cost efficiency considering the effect of railway route on regional condition, cultural properties and environmental impact.

(11) Site investigation: an investigation to obtain and check whether alternative routes will be applicable to the site, and collected data will be compatible with site conditions.

(12) Ballast: ballasted or concrete part that distributes the load from rail and sleeper to subbase, as well as fastens the sleeper in position.

(13) Study on map: approximate review of the railway routes to select many candidate routes on map using maps (1/50,000, 1/25,000, 1/5,000, etc.) produced by the National Geographic Information Institute.

(14) Mainline: railways installed for train operation; “siding” refers to lines other than mainline.

1.3 용어의 정의

이 설계기준에서 사용하는 용어의 의미는 다음과 같으며 각 장 별로 관련용어를 별도로 정의 한다.

(1) 건축한계 : 차량이 안전하게 운행될 수 있도록 궤도상에 설정한 일정한 공간을 말한다.

(2) 고속철도 : 열차가 주요구간을 매시 200㎞ 이상의 속도로 주행하는 철도로서 국토해양부 장관이 그 노선을 지정·고시하는 철도를 말한다.

(3) 구축한계 : 전기동차전용선에서 전기·신호·통신·통로·대피장소 및 기타 시설의 설치를 위하여 구조물과 건축한계와의 사이에 설치하는 여유공간을 말한다.

(4) 궤도 : 레일·침목 및 도상(道床)과 이들의 부속품으로 구성된 시설을 말한다.

(5) 기본계획 : 예비타당성조사 자료를 토대로 실현 가능한 철도노선 및 역입지를 조사하여 기술성과 경제성을 검토하고 계획의 기본을 수립하는 것을 말한다.

(6) 기본설계 : 예비타당성조사, 기본계획·타당성조사를 감안하여 시설물의 규모, 배치, 형태, 공사방법 및 기간, 공사비 등에 관한 조사·분석, 비교·검토를 거쳐 최적 안을 선정하고, 설계기준·설계조건 등 실시설계용역에 필요한 기술자료를 작성하는 것을 말한다.

(7) 기본설계도(basic design drawing)

① 건축물, 시설물 또는 각종 사물의 기본적인 계획도면을 말한다.

② 건설사업을 실시하기 위해 타당성 조사 후 시행하는 기본설계 과업에서 요구되는 성과 도면으로서 실시설계의 기본방향과 지침 등 실시설계를 준비하기 위한 설계도면을 말한다.

(8) 기준점 측량 : 건설사업을 위하여 측량의 기준이 되는 도근점 및 수준점 등을 설치하기 위하여 실시하는 측량을 말한다.

(9) 노반(路盤 : road bed) : 궤도를 부설하기 위한 흙구조물 및 토목구조물을 말한다.

(10) 노선선정 : 철도노선이 지역여건, 문화재, 환경 등에 미치는 영향을 최대로 고려하고 안정성, 기술성, 시공성, 경제성 등을 감안하여 가장 합리적인 노선을 선정하는 것을 말한다.

(11) 답사 : 도상계획에서 선정된 여러 비교노선이 현지에 적용될 수 있는지, 수집된 자료가 현지에 잘 부합되고 있는지 등 노선을 비교 검토할 자료를 얻기 위하여 현지를 조사하는 것을 말한다.

(12) 도상(道床) : 레일 및 침목으로부터 전달되는 차량하중을 노반에 넓게 분산시키고 침목을 일정한 위치에 고정시키는 기능을 하는 자갈 또는 콘크리트 등의 재료로 구성된 구조부분을 말한다.

(13) 도상(圖上)선정 : 국토지리정보원에서 발행하는 지도(1/50,000, 1/25,000, 1/5,000 등)를 이용하여 철도노선을 개략적으로 검토하고 여러 개의 대안노선을 지도상에 선정하는 것을 말한다.

(14) 본선 : 열차운전에 상용할 목적으로 설치한 선로를 말하며, “측선”이란 본선이 아닌 선로를 말한다.

(15) Railroad (Railway): a passage for train or vehicle operation, including track, trackbed and electrical facilities.

(16) Track capacity: a maximum daily train operation frequency on a certain route.

(17) Design supervision: the management of construction plan, investigation or design in accordance with applicable laws, design and construction criteria to ensure the quality and safety will be secured.

(18) Chief design supervision engineer: an engineer fully responsible for design supervision services.

(19) Design documents: design drawing, breakdown, construction specification, other related drawings and documents developed by the design contractor for the construction ordered by the client in accordance with Article 32 of the Enforcement Ordinance, Construction Technology Management Act.

(20) Chief design engineer: an engineer fully responsible for design services including preliminary feasibility study, basic design and detail design.

(21) Design speed: upper limit speed in designing the route.

(22) Ride quality: a passenger's ride comfort, which is evaluated based on vibration acceleration inside a train when the train is running.

(23) Formation level (FL): a base level indicating the elevation at the survey center line of the subbase.

(24) Shop drawing

① refers to work sequence or shop drawing at the site which is based on design drawing.

② refers to drawing and data including instructions during construction to ensure the technicians and engineers working at the site can easily understand unclear parts of the design drawing and specification.

③ refers to detailed drawings of the parts which are expected to be difficult in construction because of unclear dimension and size, etc.

④ refers to drawings prepared according to Article 34 of the Construction Technology Management Act (Preparation of shop drawing)

(25) Construction survey: all surveys for construction; divided into design confirmation survey and construction management survey.

(26) Construction specification: a document in which minimum requirements for design, manufacturing and construction are defined.

(27) Detail design: selecting an optimal alternative after investigating, analyzing, comparing and evaluating the scale, layout and type of facilities, construction method & duration, construction cost and maintenance as well as developing design document, drawing, specification, breakdown and structural calculation.

(15) 선로 : 열차 또는 차량을 운행하기 위한 통로로서 궤도와 이것을 지지하기 위한 노반 및 전기시설을 총칭한다.

(16) 선로용량 : 일정구간의 선로상에서 운행할 수 있는 1일 최대 열차 횟수를 말한다.

(17) 설계감리 : 건설공사의 계획·조사 또는 설계가 관계법령 및 건설공사 설계기준, 건설공사 시공기준 등에 따라 품질 및 안전을 확보하여 시행될 수 있도록 관리하는 것을 말한다.

(18) 설계감리 책임기술자 : 설계감리용역을 총괄하는 책임기술자를 말한다.

(19) 설계도서 : 건설기술관리법 시행규칙 제32조에 따른 발주자가 발주 한 건설공사의 설계용역업체가 작성한 설계도면, 설계내역서, 공사시방서, 부대도면 및 기타 관련서류를 말한다.

(20) 설계책임기술자 : 예비타당성조사, 기본계획수립, 기본설계, 실시설계 등 설계용역 과업수행을 총괄하는 책임기술자를 말한다.

(21) 설계속도 : 해당선로를 설계할 때 기준이 되는 상한속도를 말한다.

(22) 승차감 : 차량 이용 승객의 안락감을 말하며 열차 주행 시 열차 내부의 진동가속도를 기준으로 평가한다.

(23) 시공기면(FL) : 토공노반의 측량 중심선에서 높이를 표시하는 기준면을 말한다.

(24) 시공상세도 또는 시공도(shop drawing)

① 설계도를 기준하여 실제 현장 작업순서에 따른 시공순서도 또는 제작도를 말한다.

② 현장에 종사하는 기능공 및 기술직원들이 설계도면 및 시방서 등의 불명확 부분을 쉽게 이해할 수 있고 시공시의 유의사항 등을 포함하여 작성한 도면 및 자료를 말한다.

③ 기타 규격, 치수 등이 불명확하여 시공상 어려움이 예상되는 부분의 상세도 등을 말한다.

④ 건설기술관리법 시행규칙 제34조의(시공상세도면의 작성) 규정에 따라 작성한 도면을 말한다.

(25) 시공측량 : 설계확인측량 및 시공관리측량으로 구분하며 건설사업을 추진하기 위한 시공에 관계되는 모든 측량을 말한다.

(26) 시방서(specification) : 설계, 제작, 시공 등에 대하여 기준이 되는 최소요구사항을 규정한 문서를 말한다.

(27) 실시설계 : 기본설계의 결과를 토대로 시설물의 규모, 배치, 형태, 공사방법과 기간, 공사비, 유지관리 등에 관하여 세부조사 및 분석, 비교·검토를 통하여 최적안을 선정하고 시공 및 유지관리에 필요한 설계서, 도면, 시방서, 내역서, 구조 및 수리계산서 등을 작성하는 것을 말한다.

(28) Measurement: a survey to set a track center line on the ground along the selected route and to obtain correct data for design, construction cost and work volume.

(29) Detail design drawing

① refers to the deliverable required at the detail design stage for construction.

② refers to design drawing which serves as the base of the design document prepared for construction.

(30) Prediction: a survey to set center lines along optimal route and 2 ~ 3 alternative routes selected based on the investigation results, and estimate approximate construction cost before determining the route.

(31) Rolling stock: power car, passenger car, freight car and special car; “Train” refers to a set of cars formed to run on mainline, except when at a station.

(32) Rolling stock gauge: the length, width and height of a rolling stock measured when stopped on track for the safety of rolling stock.

(28) 실측 : 예측결과로 선정된 노선을 따라 선로중심선을 지상에 설치하고 설계에 필요한 자료와 정확한 공사비 및 공사량 등을 얻기 위한 측량을 말한다.

(29) 실시설계도면(detail design drawing)

① 건설사업을 실시하기 위하여 실시설계 과업에서 요구되는 성과도면을 말한다.

② 공사를 시행하기 위하여 작성하는 설계서의 기본이 되는 설계도면을 말한다.

(30) 예측 : 답사한 결과를 토대로 선정된 최적노선과 2~3개의 비교노선을 따라 중심선을 설정하고 개략공사비를 산출하여 노선을 선정하기 위하여 실시하는 측량을 말한다.

(31) 차량 : 선로를 운행할 목적으로 제작된 동력차·객차·화차 및 특수차를 말하며 “열차”란 정거장 외 본선을 운전할 목적으로 조성한 차량을 말한다.

(32) 차량한계 : 철도차량의 안전을 확보하기 위하여 궤도위에 정지된 상태에서 측정한 철도차량의 길이와 너비 및 높이의 한계를 말한다.

Chapter 2 Railway Plan

2.1 Railway construction and improvement plan

2.1.1 General

(1) Construction project plan

① The railway construction and improvement project (hereinafter referred to as "Construction Project") shall be effectively implemented through a number of phases including construction plan, preliminary feasibility study, basic plan, basic design, detailed design, construction and implementation, completion and T&C and revenue operation.

② Construction plan shall be based on the project objectives and needs, railway system, alignment and route, station location, construction duration and cost, and shall be developed in stages including through the preliminary feasibility study, basic plan, basic design, detailed design, construction and implementation, completion and T&C and revenue operation.

③ Preliminary feasibility study shall be performed in accordance with the guideline for feasibility studies for road and railway (Korea Development Institute)

④ The basic plan shall cover technical and economic feasibility with regard to project system, scale, route, station site based on the preliminary feasibility study and ridership based on traffic impact assessment in order to develop a route and facility plan, investment plan, financing plan and year-on-year implementation plan.

⑤ The basic design shall be carried out based on the basic plan in accordance with "Detailed Implementation Standard for Basic Design" (Notice of the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, No 2008 - 74) and shall include the technical data necessary for design criteria and detailed design.

⑥ Detailed design shall be carried out based on basic design in accordance with "Chapter 3 (Detailed design), Detail Implementation Standard for Basic Design" and shall include the technical data necessary for construction and maintenance.

⑦ Design management shall be in accordance with "Detail Implementation Standard for Basic Design".

⑧ Design supervision shall be in accordance with "Article 22 of the Construction Technology Management Act"

(2) Implementation of railway construction project

① The implementation of the railway construction project shall be carried out in accordance with the "Guideline for Implementation of Railroad Construction Projects" (Notice of the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, No 2009-218) unless otherwise specified in other regulations.

제 2 장 철도계획

2.1 철도건설 및 개량계획

2.1.1 계획의 일반

(1) 건설사업계획

① 철도건설 및 개량사업(이하 “건설사업”이라 한다.)은 건설계획, 예비타당성조사, 기본계획수립, 기본설계, 실시설계, 공사 집행·시공, 준공·시운전, 개통·영업개시 등 단계별로 구분하여 효율적으로 추진한다.

② 건설계획은 건설사업의 목적과 필요성, 철도시스템, 선로구간 및 연장, 정거장입지, 건설기간 및 건설비추정 등을 구상하여 예비타당성조사, 기본계획수립, 기본설계, 실시설계, 공사 집행·시공, 준공·시운전, 개통·영업개시 등 단계별 시행계획을 수립하여 추진한다.

③ 예비타당성조사는 도로·철도부분의 예비타당성조사 표준지침(한국개발연구원)에 따라 타당성조사 업무를 시행한다.

④ 기본계획 수립은 예비타당성조사를 토대로 건설사업의 시스템 및 사업규모검토, 노선 및 정거장입지 선정, 교통영향 분석에 따른 수송수요 등 기술성과 경제성을 평가하여 노선 및 시설계획, 투자계획, 재원조달계획, 연차별 시행계획 등 건설사업계획을 수립할 수 있도록 시행한다.

⑤ 기본설계는 기본계획을 토대로 “기본설계 등에 관한 세부시행기준”(국토해양부고시 제2008-74호)에 의하여 시행하며 설계기준 및 실시설계에 필요한 기술자료를 작성한다.

⑥ 실시설계는 기본설계를 토대로 “기본설계 등에 관한 세부시행기준”제3장(실시설계)의 기준에 의하여 시행하며 시공 및 유지관리 등의 필요한 기술자료를 작성한다.

⑦ 설계관리는 “기본설계 등에 관한 세부시행기준”에 의하여 시행한다.

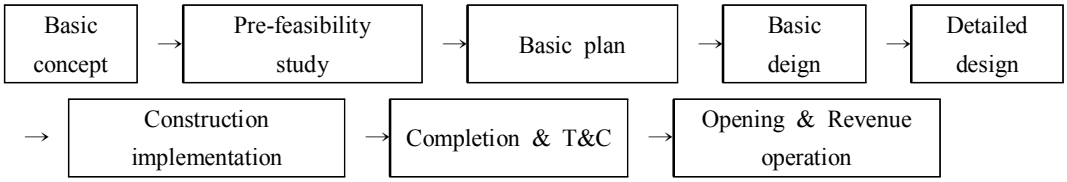
⑧ 설계감리는 “건설기술관리법 제22조”에 의하여 시행한다.

(2) 철도건설사업 시행

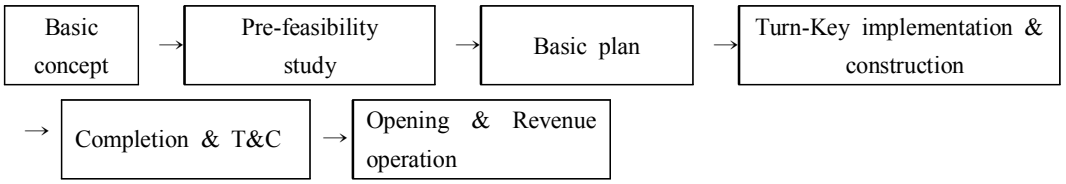
① 철도건설사업의 시행은 “철도건설사업 시행지침”(국토해양부고시 제2009-218호)에 의하여 시행하며 필요할 경우 다른 지침 등에서 특별히 규정하고 있는 바에 따를 수 있다.

② Construction procedure shall be determined, after a basic plan for railway construction is established, through deliberation by the central construction deliberation committee in accordance with the "Standard for Deliberation of Bid Procedure (Notice of the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, No 2008-868)

A. Other construction procedures



B. Turn-Key base



(3) Basic plan and investigation (general)

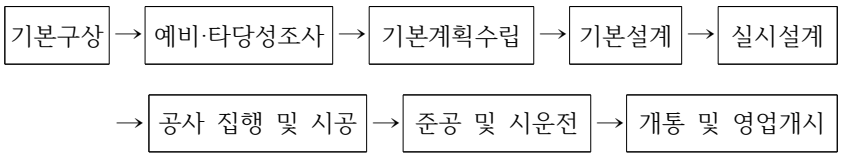
① The basic plan and investigation shall evaluate the railway system, route, station site, railway facilities, land acquisition and construction cost and economic feasibility based on the preliminary feasibility study in order to determine the project implementation.

② The project's basic plan shall be established after a technical and scientific evaluation of the project including the selected optimal route and station plan, project cost estimation, traffic demand forecast and analysis of economic feasibility.

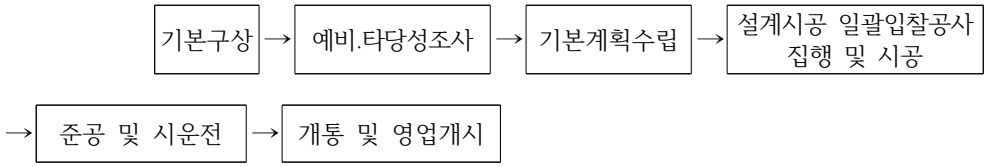
③ Basic plan & investigation shall be carried out as shown in <Fig. 2.1.1>.

② 공사방식 결정은 철도건설사업 기본계획이 수립되면 “대형공사 등의 입찰방법심의기준”(국토해양부 고시 제2008-868호)에 따른 중앙건설심의위원회 심의 등을 거쳐 결정한다.

가. 기타공사방식



나. 설계시공 일괄입찰공사방식



(3) 기본계획수립 조사 일반

① 기본계획수립 조사는 당해 사업의 수행을 결정하기 위하여 예비타당성조사 결과를 토대로 기본계획을 수립하기 위해 철도시스템 및 노선선정과 정거장입지선정, 선로시설물과 지장물 보상, 건설비의 적정성과 경제적 타당성을 검토한다.

② 최적대안으로 선정된 노선 및 정거장계획과 사업비산정, 수송수요예측 및 경제적 타당성분석 등 대상 사업에 대한 기술 및 학술적 검토분석을 거쳐 사업의 기본계획을 수립한다.

③ 기본계획수립조사는 <그림 2.1.1>의 흐름도와 같은 내용으로 실시한다.

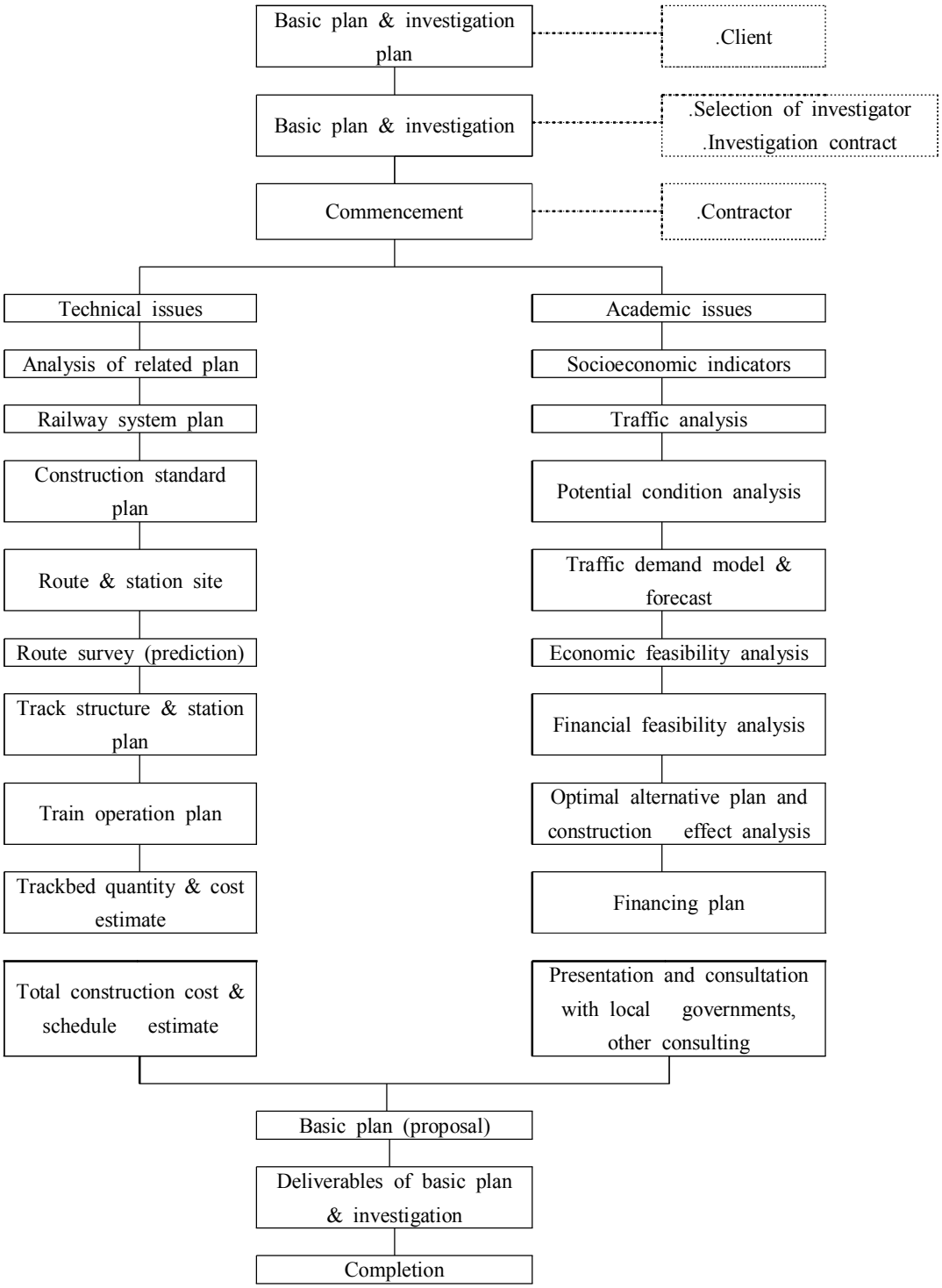


Fig. 2.1.1 Workflow of basic plan & investigation

2.1.2 Analysis of related plans

(1) Upper level plan and related plans shall be investigated and analyzed.

(2) The existing railway facilities and facility plan shall be investigated and analyzed.

(3) Site conditions including site investigation shall be investigated and analyzed.

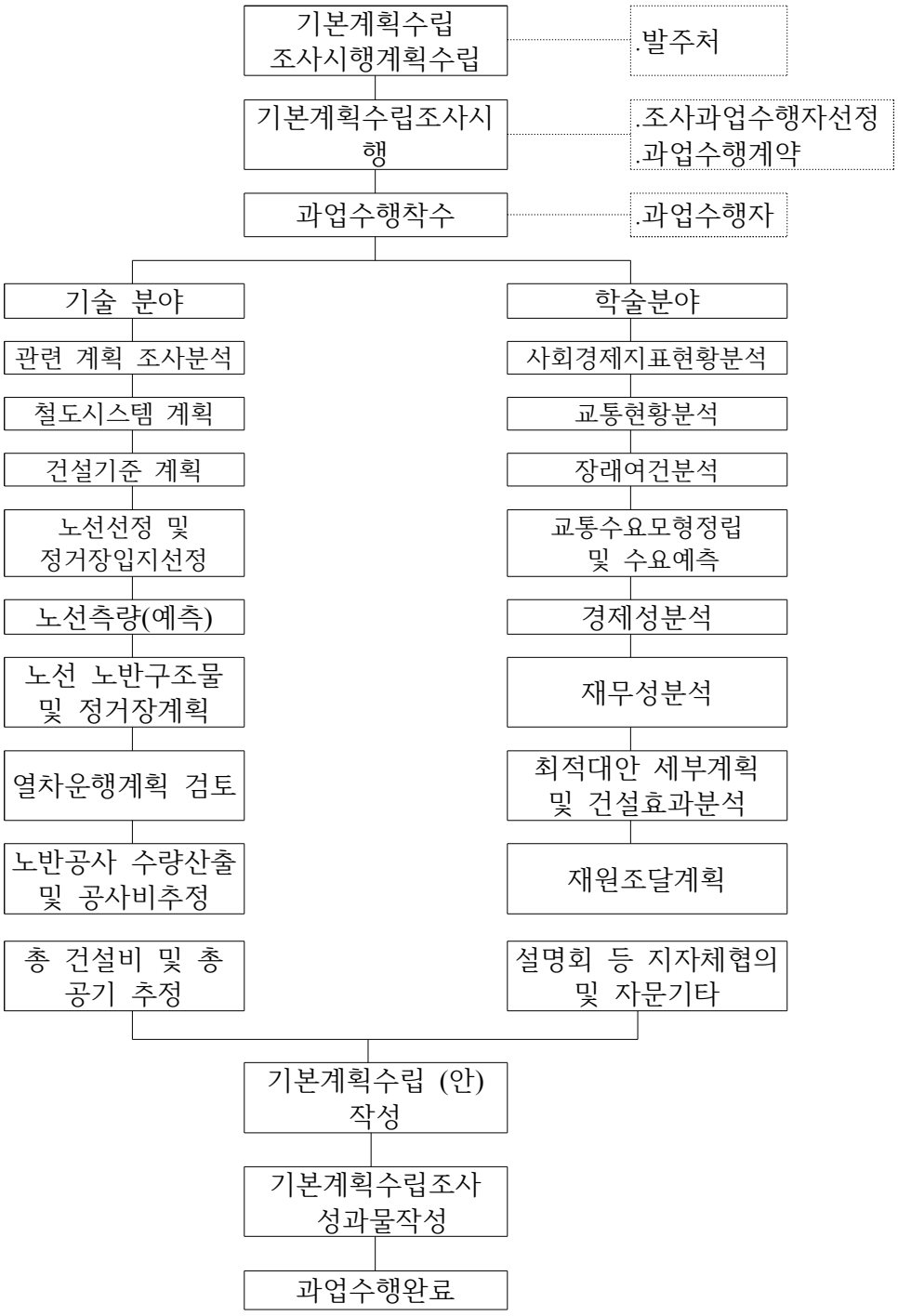


그림 2.1.1 기본계획수립조사 흐름도

2.1.2 관련 계획 조사분석

(1) 상위계획 및 관련 계획을 조사 분석한다.

(2) 기존철도 시설현황 및 시설계획을 조사하여 분석한다.

(3) 현지답사 등 현장조건을 조사하여 분석한다.

(4) Reference and data including hydraulic and hydrologic, river, weather and marine data shall be investigated.
(5) Geotechnical investigation including investigation of soft soil shall be conducted, if necessary.
(6) A fact-finding survey covering obstacles, civil complaints and land shall be conducted.
(7) Natural environment in the vicinity of the site shall be investigated, if necessary.

2.1.3 Analysis of human-social status

(1) Traffic data including socioeconomic indicators shall be analyzed, and main socioeconomic data including population, employment, industry and education in the region that would possibly have an effect on transport demand shall be collected and analyzed.
(2) Any land use plan, urban plan, regional development plan and industrial complex or recreational facility plan that could possibly cause transport demand shall be analyzed, and a long-term railway improvement plan and traffic facility development plan including construction and expansion of neighboring road network shall be analyzed as well.
(3) Station area development plan and potential ridership with regard to new stations shall be analyzed.
(4) Investigation and analysis of traffic status
① Current facilities, operation system, transport capacity, time to reach marginal capacity and intermodal transport system by transportation modes such as railway, road and aviation shall be investigated and analyzed to determine the standard for future facility, potential difficulties and facility capacity.
② Traffic based on regional statistical data and investigation reports shall be considered in defining the characteristics and roles for each transportation mode, and the traffic by transportation mode and direction shall be investigated and analyzed.
③ Traffic by transportation mode, passenger or freight, interregional start and end points shall be investigated to establish a future transport system considering the status of the existing passenger use and freight distribution system.
④ Mean ridership by vehicle type, traffic by transportation mode and rate of conversion to new transportation modes based on an investigation of user's pattern to new or improved transport system and use shall be analyzed; for freight, mean shipping tons by type of vehicle and product and loading rate shall be analyzed.
⑤ Transport cost and logistics time value by railway, road and aviation shall be analyzed.

(4) 수리, 수문 및 하천, 기상, 해양 등 참고문헌 및 자료를 조사한다.
(5) 필요한 경우 연약지반 등 지반조사를 한다.
(6) 지장물보상, 민원 및 용지 등의 실태조사를 한다.
(7) 필요한 경우 당해 사업과 관계된 지역의 자연환경을 조사한다.

2.1.3 인문사회 현황조사 분석

(1) 사회·경제지표 등 교통 관련 자료 분석, 직접 및 간접 대상지역의 인구·고용·산업·교육 등 수송수요에 영향을 미칠 수 있는 주요 사회·경제적 자료를 수집 분석한다.
(2) 대상지역의 토지이용계획, 도시기본계획, 지역개발계획, 교통수요를 유발시키는 산업단지 개발계획, 대규모 위락시설계획 등 관련 계획의 개발방향을 분석하고, 장기 철도망 정비계획과 주변 도로망의 신설 및 확장 등 교통시설 개발계획을 분석한다.
(3) 신설역에 대한 역세권, 향후 발전계획, 수요유발 등을 분석한다.
(4) 교통 현황조사 및 분석
① 장래의 시설기준, 애로구간 판단 및 시설용량 등의 설정을 위해 철도·도로·항공 등 수송수단별로 현재의 시설상태, 운영체계, 수송능력, 한계용량 도달시기 및 연계 교통체계 등을 조사 분석한다.
② 교통수단별 특성과 역할을 정립하기 위하여 교통량은 당해 지역 내의 수단별 통계자료 및 기존 관련조사 보고서를 활용하고 차종별, 방향별 통과량에 대한 교통량을 조사 분석한다.
③ 기존의 여객 이용실태 및 화물 유통체계를 감안한 장래 수송체계를 수립하기 위하여 수단별, 여객·화물별 지역 간 시·종점을 조사한다.
④ 새로운 교통체계의 도입 및 개선에 따른 여객 성향조사, 이용실태 조사를 통하여 차종별 평균 승차인원, 수단별 통행량 및 새로운 수단에 대한 전환율을 분석하고 화물은 차종별·품목별 평균적재톤수, 차종별 공차율 등의 실태를 분석한다.
⑤ 철도, 공로, 항공 등 수단별 운행비용 및 물류 시간가치를 분석한다.

2.1.4 Natural environment investigation

(1) Natural environment investigation shall be classified into wide-area environment investigation which is implemented at the stage of basic plan and route determination and railway site environmental investigation at the stage of detailed design and construction.

(2) Natural environment investigation shall be carried out to predict environmental changes related to construction activities, develop environment conservation measures and confirm the effect of countermeasures, and shall be in accordance with 「2.5 Environment investigation for project implementation」

2.1.5 Surface survey of cultural properties

(1) Cultural heritages along the route shall be investigated to incorporate into a route plan.

(2) Alternative routes which have no significant changes expected in the future shall be investigated for reference in the following stage.

2.1.6 Incorporation of other impact assessment results

(1) The results of Pre-environmental review in accordance with “Framework Act on Environmental Policy” and Pre-disaster impact review in accordance with the “Countermeasures against Natural Disasters Act” shall be incorporated at the stage of establishing an administrative plan for the railway construction project.

(2) Environmental impact assessment in accordance with “Environmental Impact Assessment Act” and the analysis of traffic impact and establishment of improvement countermeasures in accordance with “Urban Traffic Improvement Promotion Act” shall be incorporated at the design stage of the railway construction project.

2.1.7 Railway system plan

(1) Maximum train speed, combination of passenger and freight demand, express and commuter train and trainset formation shall be determined considering transport demand.

(2) Improvement of the existing railway, upgrading to double track, new railway construction, electrification and upgrading to CWR (Continuous welded rails) shall be determined depending on the condition of the railway structure.

(3) Station layout shall be planned considering relief track and effective length depending on the function of start/terminal station, intermediate station and branch station.

(4) Railway structure and track structure shall be planned considering track gauge, rail sleeper, fastener and maintenance of ballasted or non-ballasted track.

2.1.4 자연환경 현황조사

(1) 자연환경 현황조사는 기본계획 및 노선선정 단계에서 실시하는 광역 환경조사와 실시설계 및 시공 단계에서 실시하는 철도입지 주변 환경조사로 구분하여 실시한다.

(2) 자연환경 현황조사는 시공에 의하여 발생되는 시설물 주변환경 변화의 예측, 환경보전 대책의 입안, 대책의 효과확인 등을 위하여 실시하며 「2.5 사업시행 환경조사」를 따른다.

2.1.5 문화재 지표조사

(1) 노선구간의 문화유적을 조사하여 노선계획에 반영한다.

(2) 향후 설계노선의 급격한 변동이 없는 대안노선의 범위까지 조사하여 후속 단계에서도 활용한다.

2.1.6 각종 영향조사 결과 반영

(1) 철도건설사업의 행정계획수립 단계에서는 “환경정책기본법”에 의한 사전환경성 검토 및 “자연재해대책법”에 의한 사전재해영향성 검토 결과를 반영한다.

(2) 철도건설사업의 설계단계에서는 “환경영향평가법”에 의한 환경영향평가 및 “도시교통정비촉진법”에 의한 교통영향분석・개선대책 수립 결과를 반영한다.

2.1.7 철도 시스템 계획

(1) 열차운행 최고속도, 여객 및 화물 혼용, 급행 및 완행, 열차 편성 등 열차운행 능력은 수송수요를 고려하여 수립한다.

(2) 기존철도의 개량 및 복선화, 신선건설, 전철화, 장대레일화 등은 선로 구조물의 상태를 검토하여 계획한다.

(3) 정거장배선은 시・종점 정거장, 중간정거장, 중간분기 정거장 등의 기능에 따라 통과대피선 및 유효장을 고려하여 계획한다.

(4) 선로구축물 및 궤도구조는 궤간, 레일, 침목, 체결구, 유・무도상의 유지보수 관리를 고려하여 계획한다.

(5) Structure shall be planned considering the speed of passenger or freight train and services (safety, comfort and convenience).
(6) A signaling system including track block system and train control system shall be planned considering operation performance and speed optimization of express or commuter trains.
(7) Electric system shall be planned considering non-electrification or electrification, train operation, railway system and track structure.
(8) Telecommunications system shall be planned considering train radio system, driver's cab, train operation plan at a station and integrated railway information processing system.
(9) Station facility shall be designed as an integrated traffic terminal for easy and convenient transfer to other transportation modes, considering passenger service, freight service and railway service.
(10) Depot, maintenance depot and site office and other subsidiary facilities shall be planned considering railway operation and maintenance.

2.1.8 Construction standard plan

(1) Design speed shall be determined based on route function and performance.
(2) Railway system shall be determined according to design speed and train operation plan.
(3) Application standard for establishing a facility plan including trackbed, track, signaling, electricity and telecommunications system shall be determined depending on the design speed and performance characteristics of rolling stock.
(4) Construction standard including standard live load, radius of curvature, track gradient and construction gauge to design trackbed and track structure shall be determined.
(5) Layout plan including effective length of start/terminal station and intermediate station shall be determined according to functional characteristics.

2.1.9 Determination of the route and station site

(1) Local conditions shall be investigated in advance with 1/25,000 map based on the pre-feasibility study in order to design a route and station site.
(2) Feasible alternative route and station site shall be designed based on the result of related plan analysis and site condition.
① A station shall be located to be linked to other transportation modes for easy passenger and freight transport, and passenger-only or freight-only station shall be planned separately at a region where the demand is high.
(3) Alternative route and station site shall meet the requirements of applicable regulations, such as Railroad Construction Rule.

(5) 구조물은 여객열차와 화물열차의 속도향상과 서비스(안전성, 쾌적성, 안락성 등)를 고려하여 계획한다.

(6) 열차폐색장치, 열차제어 장치 등 신호체계는 급행 또는 완행열차의 운행성능 및 열차운행속도 향상을 고려하여 계획한다.

(7) 전기체계는 비전철 또는 전철화, 열차운행 및 선로 시스템, 궤도구조 시스템 등을 고려하여 계획한다.

(8) 통신체계는 열차무선, 열차운전실 내부, 정거장 열차운용계획과 철도종합정보처리 설비 기능을 고려하여 계획한다.

(9) 정거장시설은 여객취급, 화물취급, 철도서비스 향상 등을 고려하여 타 교통수단과 쉽고 편리하게 환승 연계할 수 있는 종합교통터미널 기능을 검토하여 계획한다.

(10) 차량기지, 보수기지, 현장사무소 등 기타 부대시설은 철도운용 및 유지보수 등을 고려하여 계획한다.

2.1.8 건설기준 계획

(1) 노선의 기능과 성능수준을 토대로 하여 설계속도를 정한다.

(2) 설계속도와 열차운행계획에 따라 철도시스템을 선정한다.

(3) 설계속도와 운행할 차량의 성능 특성에 따라 노반, 궤도, 신호, 전기, 통신 등 시설계획을 수립하기 위한 적용기준을 선정한다.

(4) 노반과 궤도의 선로구축물을 설계하기 위한 표준활하중, 곡선반경, 선로기울기, 건축한계 등의 건설기준을 선정한다.

(5) 시·종점 및 중간 분기정거장 등 그 기능적 특성에 따라 정거장 유효장 등 배선계획기준을 선정한다.

2.1.9 노선선정 및 정거장 입지 선정

(1) 예비타당성 노선을 토대로 1/25,000지도로 현지 상황을 사전 조사하여 노선 및 정거장입지를 계획한다.

(2) 관련 계획 조사분석 결과와 현지조건을 고려하여 실제 실현 가능한 대안노선 및 정거장입지를 계획한다.

① 정거장은 여객 및 화물의 집산이 쉽게 이루어지도록 다른 교통수단과 연결되는 곳에 계획하되, 여객수와 화물수송량이 많은 지역에는 여객전용역과 화물전용역을 구분한다.

(3) 대안노선 및 정거장입지는 철도건설규칙 등 관계규정에 적합하도록 한다.

(4) Plan will be determined by comparing horizontal & vertical alignment and track structure according to the alternatives.
(5) Plan will be determined by comparing a train operation plan depending on transport demand forecast according to the alternatives.
(6) Plan will be determined by estimating and comparing track structure cost according to the alternatives.
(7) An optimal alternative shall be determined through consultation with the authority concerned after comparing alternative routes and station sites comprehensively.
(8) Optimal alternative planned using the 1/25,000 map shall be reviewed with the 1/50,000 map, and the route shall be determined after conducting site investigation.
(9) Optimal route shall be determined after reviewing the impact on the surrounding natural ecosystem.

2.1.10 Track structure and station plan

(1) After planning horizontal and vertical alignment based on the survey result and conducting site investigation, track structures including at-grade, bridge, tunnel and station site shall be planned, thereby finalizing the track plan, elevation view and station plan.
(2) Geotechnical investigation into soft ground segment and other special geographic features shall be additionally carried out based on track plan, elevation view and track structure plan, and the track structure standard shall be developed after conducting a site investigation, including an investigation of hydraulic & hydrologic and obstacles.
(3) For track structure standard, a standard construction method necessary for estimating the trackbed construction cost shall be established based on the standard and regular drawings of the existing railway and Railroad Construction Rule, and a standard section, profile and plan for at-grade, tunnel and bridge and station shall be developed.
(4) Station facility and layout plan shall be developed considering factors such as passing, waiting and stopping at the station, passenger platform, freight loading deck, operation and commercial facilities and underground plaza
(5) Station facilities shall be developed on the 1/1,000 plan and a station track plan shall also be developed.

2.1.11 Review of train operation plan

(1) Train operation capacity shall be evaluated based on the train operation mode, number of cars required, trainset, track capacity, maximum train speed and scheduled speed depending on transport demand.

(4) 대안별 평면선형과 종단선형, 선로구조물을 선정하여 비교 계획한다.
(5) 대안별 수송수요 예측에 따른 열차운영 계획을 비교 계획한다.
(6) 대안별 선로구조물 등에 대한 노반공사비를 개략 산출하고 비교 계획한다.
(7) 대안별 노선 및 정거장입지를 종합 비교 계획하여 관계기관 협의 후 최적대안을 선정한다.
(8) 1/25,000지도로 계획한 최적대안을 1/5,000지도로 재검토하고 현지를 조사하여 측량노선을 결정한다.
(9) 대안별 노선의 입지는 주변 자연 생태계에 미치는 영향을 검토하여 최적노선을 선정한다.

2.1.10 노반구조물 및 정거장 계획

(1) 측량성과물을 토대로 선로평면선형과 선로종단선형을 계획한 후 현장을 답사하여 토공, 교량, 터널, 정거장 위치 등 선로구조물을 계획하고 선로평면도와 선로종단면도, 정거장 평면도를 작성한다.
(2) 선로평면 및 종단면도, 선로구조물 계획을 기준하여 연약지반 등 특수한 지역은 추가로 지반조사를 하고 수리, 수문, 지장물 등 현지조건을 조사하여 선로구조물 표준을 계획한다.
(3) 선로구조물 표준은 기존철도의 표준도와 정규도, 철도건설규칙 등을 참고하여 노반공사비를 추정하는데 필요한 표준공법을 설정하고 토공, 교량, 터널, 정거장 등 표준단면도와 일반측면도, 평면도를 작성할 수 있도록 계획한다.
(4) 정거장은 열차운행계획에 따른 통과, 대피, 정차, 여객승강장, 화물적하장, 운전취급 및 영업시설, 지하도 광장 등을 고려하여 정거장 배선과 시설을 계획 한다.
(5) 정거장시설은 1/1,000 평면도로 계획하여 정거장 선로평면도를 작성한다.

2.1.11 열차 운행계획 검토

(1) 수송수요에 따른 열차운행방식 및 소요 차량수, 1개열차 차량편성수, 선로용량, 열차운행 최고속도, 표정속도 등에 따른 열차운행능력을 검토한다.

(2) Train operation capacity for the optimal route shall be evaluated before developing a train operation plan, including determination of the cars required.

2.1.12 Estimation of civil work volume and cost

(1) Civil work volume shall be estimated after determining the standard construction method for at-grade, tunnel and bridge section and station, and soil quantity to soil bank and from borrow pit, land area and obstacle relocation shall be estimated as well.

(2) Construction cost shall be estimated based on standard unit cost.

2.1.13 Estimation of total construction cost and schedule

(1) Construction cost shall be estimated in detail by activity such as land acquisition, civil works, track, building, signaling, electricity, telecommunications system and other works.

(2) An overall construction schedule shall be planned, and a year-on-year investment plan shall be estimated based on the detailed project schedule.

2.2 Feasibility study (Academic field)

2.2.1 General

(1) The standard based on 「2.2.2 ~ 2.2.10」 shall be applied separately to the scientific area.

2.2.2 Analysis of socioeconomic indicators

(1) Analyze the urbanization and land use status

(2) Analyze total population, regional population distribution and population of the site area

(3) Analyze the transition of economic growth and car ownership

2.2.3 Analysis of traffic status

(1) Analyze the traffic status including road, railway and aviation

(2) Analyze the passenger / freight transportation result and share by transportation mode.

(3) Analyze traffic status and transportation result

2.2.4 Analysis of potential conditions

(1) Investigate and analyze the effect of the general land development plan, the national traffic network plan and the regional development plan on potential conditions.

(2) Forecast and analyze future socioeconomic indicators for site and surrounding areas

(2) 최적노선으로 선정한 선형에 대한 열차운행능력을 검토하고 이에 따른 차량 소요판단 등 열차 운행계획을 수립한다.

2.1.12 노반공사 수량산출 및 공사비 추정

(1) 토공, 교량, 터널, 정거장 등 표준공법을 선정하여 노반공사 수량을 산출하고 사토량, 토취량 등 토공배분, 용지면적, 지장물 이설 등의 수량을 산출한다.

(2) 노반공사 수량에 대한 표준단가를 추정하여 노반공사비를 산출한다.

2.1.13 총 건설비 및 총 공사기간 추정

(1) 건설사업에 따른 용지 및 지장물 보상비 추정, 노반, 궤도, 건물, 신호, 전기, 통신, 부대시설 등 세부사업별 건설비를 추정한다.

(2) 세부사업별 공정을 검토하여 건설사업 총공정을 계획하고 연차별 투자계획을 추정한다.

2.2 타당성조사(학술분야)

2.2.1 일반사항

(1) 학술분야는 「2.2.2~2.2.10」**을** 기준으로 하여 별도의 기준을 정하여 적용한다.

2.2.2 사회경제지표 현황 분석

(1) 도시화 현황 및 토지이용 현황 분석

(2) 총인구현황, 지역별 인구분포, 해당권역 인구현황 분석

(3) 경제성장 및 자동차 보유대수 추이분석

2.2.3 교통현황 분석

(1) 도로, 철도, 항공, 항만 등 교통현황 분석

(2) 여객 및 화물 수송 실적과 수송수단별 분담구조 분석

(3) 해당권역의 교통현황과 수송실적 분석

2.2.4 장래 여건 분석

(1) 국토종합개발계획, 국가기간 교통망 계획, 지역사회 개발계획 등을 검토하여 장래 여건에 미치는 영향을 조사분석

(2) 대상지역 및 주변지역에 대해 장래 사회경제지표를 전망하고 분석

2.2.5 Forecast of future traffic demand

(1) The traffic demand model shall be developed and future traffic demand shall be forecast based on trip generation, trip distribution, modal split and route arrangement.
(2) Forecast traffic demand by alternative route, station site and speed level.
(3) Forecast modal split and year-on-year demand

2.2.6 Analysis of economic feasibility

(1) Determine the basic indicators including evaluation period, base year, social discount rate, cost and benefit.
(2) Evaluate the reduction benefit of vehicle operation cost, travel time, traffic accident and environmental cost.
(3) Evaluate the analysis method and determination standard of economic feasibility such as benefit/cost ratio (B/C Ratio), Net present value (NPV), Internal return rate (IRR)
(4) Estimate and evaluate direct construction cost including land acquisition and facility operation costs, such as maintenance, vehicle demand and operation cost
(5) Analyze and evaluate sensitivity and risk
(6) Analyze the optimal investment time based on a variation analysis of economic feasibility by investment time
(7) Determine an optimal alternative after comparing and analyzing the economic feasibility of the alternative routes and station locations

2.2.7 Analysis of financial feasibility

(1) Review cost benefit analysis and financial status based on total transport revenue.
(2) Analyze earning rate by reviewing short-term surplus year, accumulated surplus year, replacement cost and residual value
(3) Determine the optimal alternative by reviewing and comparing the financial feasibility of alternative routes and station sites

2.2.8 Analysis of optimal alternative and construction effect

(1) Establish functionality of optimal alternative route and analyze cost and performance of the alternative according to speed level
(2) An optimal alternative route and station site depending on economic and financial feasibility and the effect of each alternative route and station site shall be determined, and a year-on-year investment and financing plan for total project cost and schedule shall be developed.

2.2.5 장래 교통수요 예측

(1) 교통수요 모형을 정립하고 통행발생, 통행분포, 수단분담 및 노선배정 등을 통해 장래 교통수요예측

(2) 대안노선 및 정거장 입지별, 속도수준별, 교통수요예측

(3) 교통수요분담 및 연도별 수요예측

2.2.6 경제성 분석

(1) 경제성 평가기간, 기준연도, 사회적 할인율, 비용 및 편익 항목 등 기초지표의 결정

(2) 차량운행비용 절감편익, 통행시간 절감편익, 교통사고 절감편익, 환경비용 절감편익 등을 검토

(3) 편익/비용 비율(B/C Ratio), 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR) 등 경제적 타당성 분석기법과 판단기준 등을 검토

(4) 건설비, 보상비 등 직접 건설비용과 개량 후 유지관리 등 시설운영에 따른 비용, 차량소요량과 차량운행비용 등을 추정하여 검토

(5) 민감도 분석과 위험도를 분석하여 검토

(6) 투자시기에 따른 경제성 변화를 분석하여 최적투자시기 분석

(7) 대안노선 및 정거장 입지별 경제성을 비교 분석하여 최적대안을 선정

2.2.7 재무성 분석

(1) 수송수입을 추정하여 손익분석과 재무상태 변동분석 등을 검토

(2) 단기흑자연도, 누적흑자연도, 대체비용, 잔존가치 등을 검토하여 수익률을 분석

(3) 대안노선 및 정거장 입지별 재무성 분석을 비교 검토하여 최적대안을 선정

2.2.8 최적대안노선 세부분석 및 건설효과 분석

(1) 최적대안노선의 기능성 정립과 대안노선의 속도수준별 비용 및 성능 분석

(2) 대안노선 및 정거장 입지별, 경제성, 재무성 및 기타 효과분석에 따라 최적 대안노선 및 정거장 입지를 선정하고 총사업비 및 공사기간에 대한 연차별 투자계획 및 재원대책 방안을 계획

(3) Analyze the land use plan and regional development effects depending on regional development effects, tourist development effect, environmental impact and the change to traffic accessibility, in addition to economic and financial feasibility.
(4) Analyze energy-saving, related business development and technical development effect.

2.2.9 Review of financing method
(1) Financing plan must be developed, including available equity capital plan and borrowed capital plan
(2) Analyze the appropriateness of the financing plan
(3) Financing plan according to year-on-year investment plan

2.2.10 Consultation with local governments including presentation meeting
(1) If necessary, a presentation meeting shall be held for consultation with local governments or public hearing to deal with civil complaints, and if not, a plan for listening to local government's opinions and solving civil complaints shall be established.
(2) Plan coordination through consultation with the experts and client

2.3 Civil works plan

2.3.1 General
(1) Route and station site shall be in accordance with the applicable regulations, including 「Railroad Construction Rule」
(2) Route and station site for each alternative shall be planned considering related investigation results and local conditions.
(3) Horizontal and vertical alignment shall be planned considering the interface between the track structure plan and other related plans.
(4) Comparison according to alternatives shall be planned after estimating the approximate trackbed cost.
(5) Optimal route shall be determined after reviewing the impact on the surrounding landscape and ecosystem.
(6) Geotechnical investigation for station shall be carried out that incorporates railway structure plan including at-grade, tunnel and bridge section, and an in-depth investigation of the section which may have an effect on cost including soft ground shall be performed to finalize a railway structure plan by incorporating site conditions, including hydraulic & hydrologic and obstacles.

(3) 경제성, 재무성 세부검토 외 지역개발효과, 관광개발효과, 환경영향효과, 교통 접근성 변화에 따른 토지이용계획 및 지역개발효과 등을 분석
(4) 에너지 절감, 관련 사업발전, 기술발전 등 효과 분석

2.2.9 재원조달방안 검토
(1) 투입가능 자기자본 계획, 금융기관 등 타인자본 조달계획 등 투자재원 구성계획 수립
(2) 재원조달의 적정성 분석
(3) 연차별 투자계획에 따른 재원대책을 계획

2.2.10 설명회 등 지자체 협의 및 자문 기타
(1) 설명회를 개최할 필요성이 있는 경우에는 지자체의 의견 청취와 민원해소 검토를 위한 설명회를 개최하며, 그러하지 않을 경우는 자자체의 의견청취와 민원해소방안을 계획
(2) 전문가의 자문과 발주자의 의견을 수렴하여 계획을 조정

2.3 노반계획 일반사항

2.3.1 일반사항
(1) 노선 및 정거장입지는「철도건설규칙」등 관계규정에 적합해야 한다.
(2) 관련 계획 조사분석 결과와 현지조건을 고려하여 노선 및 정거장입지를 대안별로 계획해야 한다.
(3) 평면선형과 종단선형은 선로구조물 계획과 관련 분야 간 인터페이스를 고려하여 계획해야 한다.
(4) 대안별 비교는 선로구조물 등에 대한 노반공사비를 개략 산출하고 비교, 계획해야 한다.
(5) 노선의 입지는 주변 경관 및 자연생태계에 미치는 영향을 검토하여 최적노선을 선정해야 한다.
(6) 토공, 교량, 터널, 정거장위치 등 선로구조물 계획을 반영한 지반조사를 시행하고, 특히 연약지반 등 특수한 지역의 지반조건 변화에 의한 사업비 변동이 예상되는 구간은 세부지반조사를 시행하여 수리, 수문, 지장물 등 현지조건의 조사결과와 지반조사 결과를 반영한 선로구조물 계획을 수립해야 한다.

(7) Station layout and facility plan shall be developed considering train operation plan, operation and commercial facilities, building plan, system plan, traffic impact assessment and environmental impact assessment.
(8) The route shall be determined considering both regional benefit and project benefit; therefore, it is necessary to review multiple alternatives to select an optimal route.
(9) The route shall be determined considering construction and operation cost, ridership and train operation plan.

2.3.2 Determination of environment-friendly railway route

(1) Environmental impact shall be assessed from the feasibility study and basic plan stage in order to ensure an eco-friendly railway will be built.
(2) The experts in the areas of railway, structure, soil, traffic, environment and cultural assets shall take part in reviewing the plan and conducting site investigation to establish a railway route plan and determine an optimal route.
(3) The experts or the authorities concerned in the areas of railway, structure, soil, traffic, water resource, construction & safety, environment and cultural asset shall take part in design consultation at an early stage.
(4) A presentation meeting shall be held to hear comments on the environmental impact reduction measures from the residents and authorities concerned.

2.3.3 Alignment plan

(1) Horizontal alignment
① Horizontal alignment shall be planned based on technical and economical feasibility including train operation efficiency considering the function of the route and design speed and feedback from the authorities concerned.
② Radius of curvature of horizontal alignment shall be at least the minimum radius of curvature based on design speed according to the related regulations including the Railroad Construction Rule.
③ Horizontal alignment shall conform to the function of the route and the design speed, and shall maintain balance with the horizontal and vertical alignment over the entire route, considering the need for speed improvements in the future.
④ To the extent that it is possible, the route shall be planned to avoid the areas prone to frequent flooding, large-scale soft ground and extended cut slope.
⑤ To the extent that it is possible, the route shall be planned to avoid steep slopes prone to landslide, avalanche or wet area including water.

(7) 정거장은 열차운행계획, 운전취급 및 영업시설, 건축시설계획, 각종시스템 시설계획, 교통영향평가 및 환경영향평가 결과 등을 고려하여 배선과 시설을 계획해야 한다.

(8) 노선은 지역사회의 편익이 크고 사업주체의 이익 또한 고려해야 하므로 많은 비교안을 검토하여 최적의 노선으로 계획해야 한다.

(9) 노선선정 시 경합관계에 있는 건설비와 운영비는 수송수요 및 열차운행계획을 고려한 노선을 선정해야 한다.

2.3.2 친환경적 철도노선선정

(1) 환경친화적인 철도건설을 할 수 있게 철도노선선정은 타당성조사 및 기본계획단계에서부터 환경영향성을 검토해야 한다.

(2) 철도노선계획수립을 위한 관련 계획 검토와 현장조사에는 철도, 구조, 토질, 교통, 환경, 문화재 등 관련 분야 전문가가 참여하여 의견수렴을 거쳐 노선대안을 선정한다.

(3) 초기단계 설계자문에서는 철도, 구조, 토질, 교통, 수자원, 시공 및 안전, 문화재, 환경분야 전문가 또는 관계기관이 참여하여 주요사항을 검토한다.

(4) 노선설명회 등을 통해 주민 및 관계기관의 의견을 수렴하여 환경영향 저감대책 등을 수립한다.

2.3.3 선형계획

(1) 평면선형

① 평면선형은 노선의 기능과 설계속도에 따라 가능한 대안노선에 대하여 열차운행성 등 기술성과 경제성 검토 결과를 토대로 하여 관계기관 등의 의견을 수렴하여 최적노선으로 계획해야 한다.

② 평면선형의 곡선반경은 설계속도에 따라 철도건설규칙 등 관계규정에서 정한 최소곡선반경 이상이어야 한다.

③ 평면선형은 노선의 기능과 설계속도에 적합해야 하고, 노선 전구간의 평면 및 종단선형 상 균형성을 유지하며 장래 속도향상을 고려해야 한다.

④ 지형 상 상습 홍수범람 지역이나 대규모의 연약지반, 비탈길이가 긴 깎기 지형 등의 취약지형은 가급적 피해야 한다.

⑤ 급경사의 비탈지형으로 토사붕괴나 눈사태지역, 용수 등의 상시 습한 지역은 피하고, 가급적 양지지형으로 계획한다.

⑥ To the extent that it is possible, the route shall be planned to avoid crossing the road at grade, populated or congested urban areas, cultural asset areas or large cemetery areas.

(2) Vertical alignment

① Vertical alignment shall be determined to improve scheduled speed considering design speed and vehicle performance of the route.

② Vertical alignment shall be planned to maintain a balance between the horizontal alignment and the vertical alignment over the entire route, as well as to avoid excessive maximum slope or horizontal slope.

③ Formation level of railway shall be neither too high nor low considering natural ground slope.

④ Formation level of railway shall be determined to accommodate the highest flood water level of a river and the clearance under the bridge of multi-level crossing facilities, including roads.

⑤ Vertical alignment shall be planned to avoid setting an upward slope change point on the downward maximum slope, and where differences in slope on both sides are inevitable they shall be minimized.

⑥ Slope change point shall be provided on a straight section of horizontal alignment or a circular curve.

2.3.4 Structure plan

(1) Bridge plan

① For the bridge over a river or a stream, span length shall be determined according to the River Design Criteria.

② The height of span and bridge shall be determined considering the river improvement plan and the result of a hydraulic and hydrological investigation, and if a river improvement plan has not yet been established, a hydraulic and hydrological investigation shall be carried out.

③ When a river improvement plan has been established but river improvement has not yet been carried out, a bridge plan shall be developed to secure the freeboard of an embankment based on the river improvement plan.

④ A bridge shall be planned perpendicular to flow direction in order to minimize the disruption to water flow in the event of flooding.

⑤ The length of span and bridge shall be determined to avoid installing a small bridge or culvert in a row before or after the bridge.

⑥ Installing an abutment or other river structures on an embankment should be avoided, but when this is inevitably necessary, measures to secure the safety of the embankment shall be taken.

⑥ 주요 도로의 평면교차, 밀집시가지지역, 문화유적보전지역 및 대규모의 묘지지역은 최대한 피해야 한다.

(2) 종단선형

① 종단선형은 해당 노선의 설계속도 수준과 차량성능을 감안하여 표정속도를 향상시킬 수 있게 선정해야 한다.

② 종단선형은 전 구간에 걸쳐 평면 및 종단선형의 균형성을 확보할 수 있게 긴 구간의 최급기울기나 수평기울기를 무리하게 설정하지 않도록 한다.

③ 선로의 시공기면은 가급적 자연지반 경사도를 감하여 지나치게 높거나, 얕지 않게 정해야 한다.

④ 선로의 시공기면은 하천의 최대홍수위와 도로 등 입체교차시설의 다리밑 공간높이를 확보할 수 있게 정해야 한다.

⑤ 하향최급기울기에서 상향기울기 변경점설정은 가급적 피하고, 부득이한 경우에는 양쪽 기울기 차이가 최소화되도록 설정해야 한다.

⑥ 기울기의 변경점은 평면선형의 직선 또는 원곡선 구간에 설치한다.

2.3.4 구조물 계획

(1) 교량 계획

① 하천지역에 설치되는 교량은 하천설계기준에 따라 경간장 등을 정해야 한다.

② 교량은 해당 하천의 하천정비계획 등 수리·수문 조사결과에 따라 경간장과 교량의 높이와 길이를 정해야 하며, 하천정비계획이 수립되지 않은 하천은 수리·수문조사를 시행해야 한다.

③ 하천정비계획은 수립되었으나, 하천정비사업이 시행되지 않은 하천은 하천정비계획을 토대로 하여 제방의 여유고 등을 확보할 수 있게 교량을 계획해야 한다.

④ 교량은 가급적 하천의 유수방향에 직각되게 계획하여 홍수 시 등에 유수 상 지장을 최소화하게 해야 한다.

⑤ 교량 전후에 작은 교량이나 구교를 연속해서 설치하는 것을 피할 수 있게 경간길이나 교량길이를 정해야 한다.

⑥ 교대 등 하천공작물을 제방에 설치하는 것은 피해야 한다. 부득이한 경우 제방의 안정이 확보 될 수 있는 조치를 해야 한다.

⑦ When installing a bridge in the longitudinal direction of a river, piers shall not be planned to extend over the entire width of the river.

⑧ Clearance under the bridge over a river shall be in accordance with the “River Design Criteria” and over a road shall be in accordance with “Road Structure and Facility Criteria,” and bridges under which a vessel passes shall be planned considering the clearance, if applicable.

⑨ For a bridge that is installed over a farm road or the road between the towns, span and overhead clearance of the bridge shall be determined to allow the agricultural vehicle or equipment or the cargo truck to pass under the bridge easily.

⑩ The bridges near the residential area shall be planned based on the environmental impact assessment result to optimize the landscape and environmental effect.

(2) Tunnel plan

① A tunnel shall be planned along the route to avoid fault, fractured zone, deposit soil or uneven pressure topography as well as the valley, but along the ridge.

② Tunnel length shall be determined considering horizontal curve, vertical slope, declining pressure or cutting volume at portal, train operation safety and maintenance.

③ Track slope in the tunnel section shall be in a single direction for drainage and natural ventilation, but when a bidirectional slope is inevitably necessary, the need for easy drainage and ventilation shall be taken into account.

④ Tunnel portal shall be planned to avoid waterway in the valley and make the slope behind the portal as short as possible, and a tunnel will be extended in the potential falling-rock section or a falling-rock facility installed to protect a train from falling-rock.

⑤ Tunnel drainage shall be lower than the formation level to enable natural drainage.

⑥ For a tunnel that passes under the urban area or residential area, a tunnel structure and tunneling method shall be selected that prevents any effect on the living environment or tunnel safety during construction or train operation.

⑦ A 1km-long or longer tunnel shall be determined through the tunnel safety analysis to have a life safety system.

⑧ Tunnel section shall be designed considering the effect of air pressure generated by a train running at a high speed, the track center distance on a curved section and the construction gauge.

(3) Station plan

① Station shall be located at a straight alignment section within the range specified in the applicable laws including the Railroad Construction Rule, considering the need for expansion in the future, and shall be able to accommodate the facilities required depending on route and station function and scale.

⑦ 하천의 종방향을 따라 설치되는 교량의 경우, 교각이 하천의 전체 폭에 걸쳐서 배치되지 않게 계획해야 한다.

⑧ 다리밑 공간높이는 하천의 경우 “하천설계기준”을, 도로의 경우는 “도로의 구조·시설기준”에 따라야 하며, 해상 등 선박이 통행하는 교량은 이를 고려하여 교량을 계획해야 한다.

⑨ 농경지의 농로와 마을간 도로에 설치되는 교량은 농경용 차량·장비와 농산품 운반차량이 원활하게 통행할 수 있게 교량의 경간과 다리밑 공간높이를 정해야 한다.

⑩ 주거지역에 근접한 교량은 환경영향 평가결과 등을 토대로 하여 경관성 및 환경성을 최적화할 수 있게 해야 한다.

(2) 터널 계획

① 터널은 단층, 파쇄대, 퇴적토, 편압 등 취약한 지형이나, 계곡을 피하여 가급적 능선을 따라 그 위치를 정해야 한다.

② 터널의 길이는 평면곡선과 종단기울기, 갱구부의 편압이나 깎기 토량, 열차운행상 안정성과 유지보수성을 검토하여 정해야 한다.

③ 터널구간의 선로기울기는 배수 및 자연환기를 위해 가급적 한 방향 기울기로 해야 하며 부득이 양방향기울기로 할 경우 배수와 환기가 원활하게 해야 한다.

④ 터널의 갱구는 계곡부의 수로 등을 피하고, 갱문 뒤의 비탈길이를 가급적 짧게 해야 하며, 지형상 낙석 등이 예상되는 구간은 터널길이를 길게 하거나 낙석방지시설을 설치하여 열차안전운행에 지장이 없도록 해야 한다.

⑤ 터널내의 배수시설은 배수로 수위를 시공기면보다 낮게 하여 터널내배수가 용이하게 해야 한다.

⑥ 시가지나 집단마을 등의 하부를 통과하는 터널은 공사 중이나 열차운행 중에 생활환경 또는 터널의 안전성에 지장이 없도록 터널의 구조와 시공법 등을 정해야 한다.

⑦ 1km 이상의 터널은 안전성 분석결과에 따라 방재시설에 대한 검토를 해야 한다.

⑧ 터널단면은 열차고속주행에 따른 공기압 영향과, 곡선구간에서 선로중심간격 및 건축한계의 변화를 고려하여 정해야 한다.

(3) 정거장 계획

① 정거장위치는 선형 상 철도건설규칙 등 관계규정에서 정한 범위내에서 가급적 수평의 직선구간으로서 장래 확장 개량이 가능하고, 노선 및 정거장의 기능과 규모에 따라 필요한 시설을 배치할 수 있게 선정해야 한다.

② Stations shall be classified as start/terminal stations, intermediate stations or branch stations depending on the route function and train operation plan, and shall have combined passenger – freight or passenger-only facilities.

③ The size of station sites shall be planned based on the final target year considering the need for future expansion, and station facilities shall be categorized as long-term or short-term, on a step-by-step basis.

④ Station facilities shall be planned depending on the function and traffic impact assessment, and the type and the scale shall be determined considering the need for passenger accessibility, convenience facilities, operation and train control system, transfer and intermodal transport system and compatibility with the station area development plan.

⑤ The type and scale of start/terminal station facilities shall be planned considering the accessibility of railway vehicles from/to the depot.

⑥ Station layout shall be designed to enable smooth train operation according to the train operation plan.

⑦ Type and scale of rolling stock depot and maintenance depot shall be designed depending on the function and scale in order to optimize the train operation.

2.3.5 Selection of materials

All construction materials shall be Korea Standard-marked products (hereinafter referred to as “KS Products”) in accordance with the “Industrial Standardization Act” or be equivalent to or higher than these in performance. In addition, Green products as per the “Act on Encouragement of Purchase of Green Products” and products developed in accordance with the “Act on Promotion of Small and Medium Enterprises and Encouragement of Purchase of their Products” shall be reviewed for their potential incorporation into the design.

2.4 Design general

2.4.1 General

(1) Principle

① Railway infrastructure shall meet the requirements of stability, technology, constructability and economic feasibility at design speed, and shall conform to the function and performance of the route.

② To ensure that a train within the rolling stock gauge will run safely, trackbed structure shall not be in conflict with the construction gauge.

③ Trackbed structure shall be designed to be eco-friendly.

② 정거장은 노선의 기능과 열차운행계획 등에 따라 시·종착정거장, 중간 또는 분기정거장으로 구분하여 여객과 화물혼용이나 여객전용설비를 해야 한다.

③ 정거장 부지규모는 최종 목표연도를 기준으로 하여 계획하되 장래 확장 가능성을 감안해야 하며, 정거장설비는 장·단기로 구분하여 단계별 건설계획을 검토해야 한다.

④ 정거장시설은 기능과 교통영향평가에 따라 계획하며 여객접근과 편의시설, 운전취급과 열차제어설비, 환승 및 연계 교통시설, 역세권 개발 등을 감안하여 시설종류와 규모를 검토해야 한다.

⑤ 시·종점에 위치하는 정거장은 차량의 차량기지 진출입을 고려하여 시설의 종류와 규모를 검토해야 한다.

⑥ 정거장의 배선은 열차운행계획에 따라 열차운행이 원활하도록 계획해야 한다.

⑦ 차량기지와 보수기지 등은 그 기능과 취급규모에 따라 시설의 종류와 규모를 계획하여, 철도운영성을 최적화해야 한다.

2.3.5 자재선정

모든 공사용 자재는 “산업표준화법”에 의한 한국산업규격 표시품(이하 “KS 표시품”이라 한다) 또는 이와 동등 이상의 성능을 지닌 자재이어야 하며, “녹색제품 구매촉진에 관한 법률”에 의한 녹색제품 또는 “중소기업진흥 및 제품구매촉진에 관한 법률”에 따른 우선구매대상 기술개발제품이 설계에 반영될 수 있는지 검토해야 한다.

2.4 설계일반사항

2.4.1 일반사항

(1) 기본 원칙

① 노반시설은 설계속도에 대하여 안정성, 기술성, 시공성, 경제성이 확보되고, 노선의 기능과 성능이 적합해야 한다.

② 노반시설은 차량한계내의 차량이 안전하게 운행될 수 있도록 건축한계를 저촉하지 않아야 한다.

③ 노반시설은 환경친화적으로 설계해야 한다.

④ Trackbed structure shall be chemical-resistant and physically durable over the entire service life.

(2) Load

① Trackbed shall be designed considering the full range of load types acting on the structures during and after construction.

A. Permanent load including material load and natural environmental load

B. Variable load, irrespective of frequency

C. Semi-permanent load such as vehicle or pedestrian

D. Accidental load such as traffic or natural disaster

② Train load shall be based on standard live load and be in accordance with the related regulations including design standard and fatigue effect by train operation, together with impact.

③ Temperature variation shall be considered in the structure on a CWR.

2.4.2 Plan

(1) General

① Railway facilities shall be designed to ensure that the function, performance, safety and ride quality of the route will be provided.

② The type of facility shall be designed to be a simple structure type, for ease of quality control during construction and ease of maintenance after construction.

③ The plan shall be eco-friendly and in harmony with the surroundings, and in particular, noise and vibration reduction measures shall be taken.

④ When it is expected that train operation would have an effect on neighboring structures, measures to reduce such effects shall be taken.

⑤ In addition to the regulations relating to structure deformation and stability, a plan shall be made to satisfy the structure and train operation conditions, including material behavior and resonance by HSR (High speed railway) train.

⑥ Interface for effective operation of railway system shall be considered.

⑦ When crossing a road, river or existing structures, the railway shall be designed considering intersection requirements and site conditions.

⑧ The following shall be taken into account, particularly when planning an HSR.

A. Effect by train draft

B. Effect by resonance

C. Effect by air pressure in tunnel

(2) Interface

① Trackbed structure shall be planned after considering track structure.

④ 노반시설은 사용기간 중 화학적, 물리적 작용에 대하여 충분한 내구성을 확보해야 한다.

(2) 하중

① 노반시설의 설계는 시공 중, 완성 후 구조물에 작용하는 모든 종류의 하중에 의한 영향을 고려해야 한다.

가. 재료, 자연환경의 하중과 같은 영구하중.

나. 빈도에 관계없이 변동성 있는 하중.

다. 차량과 보행자 같은 준영구적인 하중.

라. 교통 또는 자연 환경 재해상 우발적인 하중.

② 열차하중은 표준활하중을 기준으로 하며, 충격과 함께 열차운행에 의한 피로의 영향과 따로 정한 설계기준 등 관계 규정을 따른다.

③ 장대레일 적용구간의 구조물은 온도변화에 대한 고려를 해야 한다.

2.4.2 계획

(1) 일반사항

① 철도시설의 계획은 해당 노선의 기능과 성능, 안전성과 승차감을 확보할 수 있도록 계획해야 한다.

② 시설물형식은 시공 시 품질관리가 용이하고, 완공 후 유지관리가 용이한 단순한 구조형식을 적용할 수 있도록 계획해야 한다.

③ 주위의 자연환경과 어울리는 환경친화적인 계획을 하고, 특히 소음・진동이 적거나 또는 소음・진동 저감방안을 검토해야 한다.

④ 철도운행으로 인하여 인접구조물에 미치는 영향이 예상될 경우 최소화 시킬 수 있는 대책을 강구하는 계획을 해야 한다.

⑤ 구조물의 변형 및 안정성과 관계되는 규정 외에 재료의 거동, 고속차량운행에 따른 공진 등 구조물과 차량의 운행조건이 만족되는 계획을 해야 한다.

⑥ 원활한 철도시스템 운영을 위한 인터페이스를 고려하여 계획해야 한다.

⑦ 도로, 하천, 기타 기존시설물과 교차 되는 경우에는 교차조건에 대하여 면밀히 검토 후 입지여건을 고려하여 계획해야 한다.

⑧ 고속철도 계획 시 운행에 따른 다음 사항을 특별히 고려하여 계획해야 한다.

가. 열차풍의 영향

나. 공진발생의 영향

다. 터널구간의 공기압 영향

(2) 인터페이스

① 노반구조물은 궤도구조를 고려하여 계획해야 한다.

② The type of rolling stock and structure shall be planned after considering the need for sustainability of train speed, passenger comfort and convenience.
③ Electrified track, catenary and power system shall be incorporated into the plan.
④ Signaling system such as train block system and control system shall be planned after considering train speed.
⑤ Electric system shall be planned after considering train operation system, railway system and track structure.
⑥ Tele-communications system shall be planned after considering train operation plan and the function of an integrated railway information processing system.
⑦ Station facility shall be planned after considering the function of transfer and connection with other transportation modes.
⑧ Supplementary facilities shall be planned after considering railway operation and maintenance.
⑨ Disaster-prevention facilities of trackbed shall be planned after considering rolling stock and train operation condition.

(3) Maintenance

① Minimal requirements for maintenance shall be presented at the detailed design stage, if necessary.
② Disaster-prevention standard shall be determined depending on rolling stock and train operation plan, and the facilities for trackbed shall be planned after comprehensively considering the need for stability and economic feasibility.
③ Access road and fence for maintenance purpose

A. Access road for maintenance

An access road for vehicles to at-grade, bridge or tunnel structure shall be provided, while making the most of the existing road to the greatest extent possible, and when building a new access road, a plan to reduce land area and construction cost shall be developed.

B. Car parking

Car parking space shall be provided at the end of the access road for maintenance vehicles and material yard, and its location shall be determined in consideration of ease of use.

C. Fence

(a) Safety fence shall be installed to prevent a safety accident at any location where there is the potential for interference with train safety.
(b) Cutting, banking and bridge section shall be installed in line with the right of way boundary, and tunnel portal shall be in line with the slope. However, the section linking to other structures shall be continued considering pedestrian traffic and site condition.

② 차량형식과 구조물은 열차 속도유지, 승객의 쾌적성 및 안락성 등을 고려하여 계획해야 한다.
③ 전기철도, 전차선로, 전력설비시스템 등을 고려하여 계획해야 한다.
④ 열차폐색장치, 열차제어장치 등 신호체계는 열차운행속도를 고려하여 계획해야 한다.
⑤ 전기체계는 열차운행 및 선로시스템, 궤도구조시스템 등을 고려하여 계획해야 한다.
⑥ 통신체계는 열차운용계획과 철도종합 정보처리 설비기능을 고려하여 계획해야 한다.
⑦ 정거장시설은 타 교통수단과 환승, 연계할 수 있는 기능을 검토하여 계획해야 한다.
⑧ 부대시설은 철도운용 및 유지보수 등을 고려하여 계획해야 한다.
⑨ 노반시설의 방재설비는 차량 및 열차운행조건을 감안하여 계획해야 한다.

(3) 유지관리
① 세부적인 설계과정에서 필요할 경우 유지관리에 필요한 최소기준을 제시해야 한다.
② 방재설비는 차량 및 열차운행조건에 따라 방재기준을 정하고, 안정성과 경제성을 종합적으로 분석 검토하여 노반구조물의 방재설비를 계획해야 한다.
③ 유지관리용 접근로 및 방호울타리
가. 유지관리용 접근로
토공, 교량, 터널 등의 구조물에 차량이 접근할 수 있는 진입로 설치는 가급적 기존도로를 최대한 활용하고, 신설할 경우는 용지 및 공사비를 최대한 절감할 수 있도록 계획해야 한다.
나. 주차장
접근로 종점부에는 점검차량과 유지보수용 자재를 적치할 수 있는 주차장을 설치하되 대상구조물에서 이용이 편리한 위치를 선정해야 한다.
다. 방호울타리
㉮ 열차안전에 지장을 초래할 우려가 있는 장소에는 안전사고를 사전예방하기 위한 방호울타리를 설치해야 한다.
㉯ 깎기나 쌓기부, 교량구간은 용지경계선에, 터널갱구부 주위는 비탈면에 맞추어 설치해야 한다. 다만, 다른 구조물과 접속개소는 연속설치하고 인근 주민의 통행 등 현지여건을 고려하여 설치해야 한다.

(c) Fence shall be installed at the bottom of the bridge to protect the bridge from hazardous materials including dumped waste.

2.4.3 Permissible limits

(1) Construction gauge general

① Buildings or other structures shall not be built within the construction gauge, with the exception of temporary facilities including overhead catenary or its suspension or others necessary for work, if not placed in the way of car or train operation.

② Construction gauge on a straight track alignment shall be in accordance with <Fig 2.4.1>

③ The exclusive line for EMU shall be in accordance with <Table 2.4.1>. However, connectivity shall be taken into account when it links to an urban railway.

Table 2.4.1 Construction gauge and construction gauge of exclusive line for EMU (mm)

Item	Section		Width	Height	Remarks
Construction gauge	Above ground & elevated		3,600	5,300	Height: based on RL
	Underground		3,600	4,800	
Construction limit	Above ground & elevated		3,600	5,800	
	U/ ground	Single track	4,700	4,850	
		Double track	4,100	4,850	Width: except center column

④ Construction gauge on a curved section

A. Construction gauge on a curved section shall be more than the value of a straight section calculated according to <Eq. 2.4.1>. However, with the exception of overhead catenary and suspension, it shall not be applied to the clearance at the upper structure.

$$W = \frac{50,000}{R} \text{ (in case of the exclusive line for EMU, } W = \frac{24,000}{R}) \quad (2.4.1)$$

Where, W: Value expanded to each side of track center (mm)

R : Track radius of curvature (m)

㉰ 교량하부에 쓰레기 등 유해적치물 등을 방치할 수 있는 장소에는 교량 방호울타리를 설치해야 한다.

2.4.3 허용한계

(1) 철도의 건축한계 일반

① 건축한계 내에서는 건물, 기타 건조물을 설치하지 못한다. 다만, 가공전차선 및 그 현수장치와 작업상 필요한 일시적 시설로서 열차 및 차량운전에 지장이 없는 경우에는 그러하지 않는다.

② 직선 선로구간 건축한계는 <그림 2.4.1>에 따른다.

③ 전기동차 전용선인 경우에는 <표 2.4.1>을 따른다. 다만, 도시철도와 연결 되는 경우에는 연계성을 고려하여 이에 맞도록 해야 한다.

표 2.4.1 전기동차 전용선의 건축한계 및 구축한계 (단위 : mm)

항목	구간별		폭	높이	비 고
건축한계	지상 · 고가		3,600	5,300	높이 : RL기준
	지하		3,600	4,800	
구축한계	지상 · 고가		3,600	5,800	
	지하	단선	4,700	4,850	
		복선	4,100	4,850	폭 :중앙기둥제외

④ 곡선구간 건축한계

가. 곡선 선로구간 건축한계의 폭은 직선구간 건축한계에서 <식 2.4.1>에 의하여 산출한 치수 이상을 확보해야 한다. 다만 가공전차선과 그 현수장치를 제외한 상부의 한계는 그러하지 않는다.

$$W = \frac{50,000}{R} \text{ (전기동차 전용선인 경우 } \frac{24,000}{R}\text{)} \qquad (2.4.1)$$

여기서, W : 궤도중심의 각 측으로 확대할 치수(mm)

R : 선로 곡선반경(m)

B. Expanded value according to the above equation shall be reduced on a transition curve. In cases where there is no transition curve, it shall be reduced on a 26 m or longer straight alignment at start/end point of a circular curve.

C. Construction gauge on a curved section shall be based on cant.

D. The height of construction gauge at a railway-crossing structure shall be 7,010 mm or more from RL for a conventional railway and 8,050 mm or more for an HSR to ensure that it will not interfere with the height of catenary. However, when inevitably necessary for upgrading or other reasons, it may be reduced provided that it does not interfere with the catenary installation.

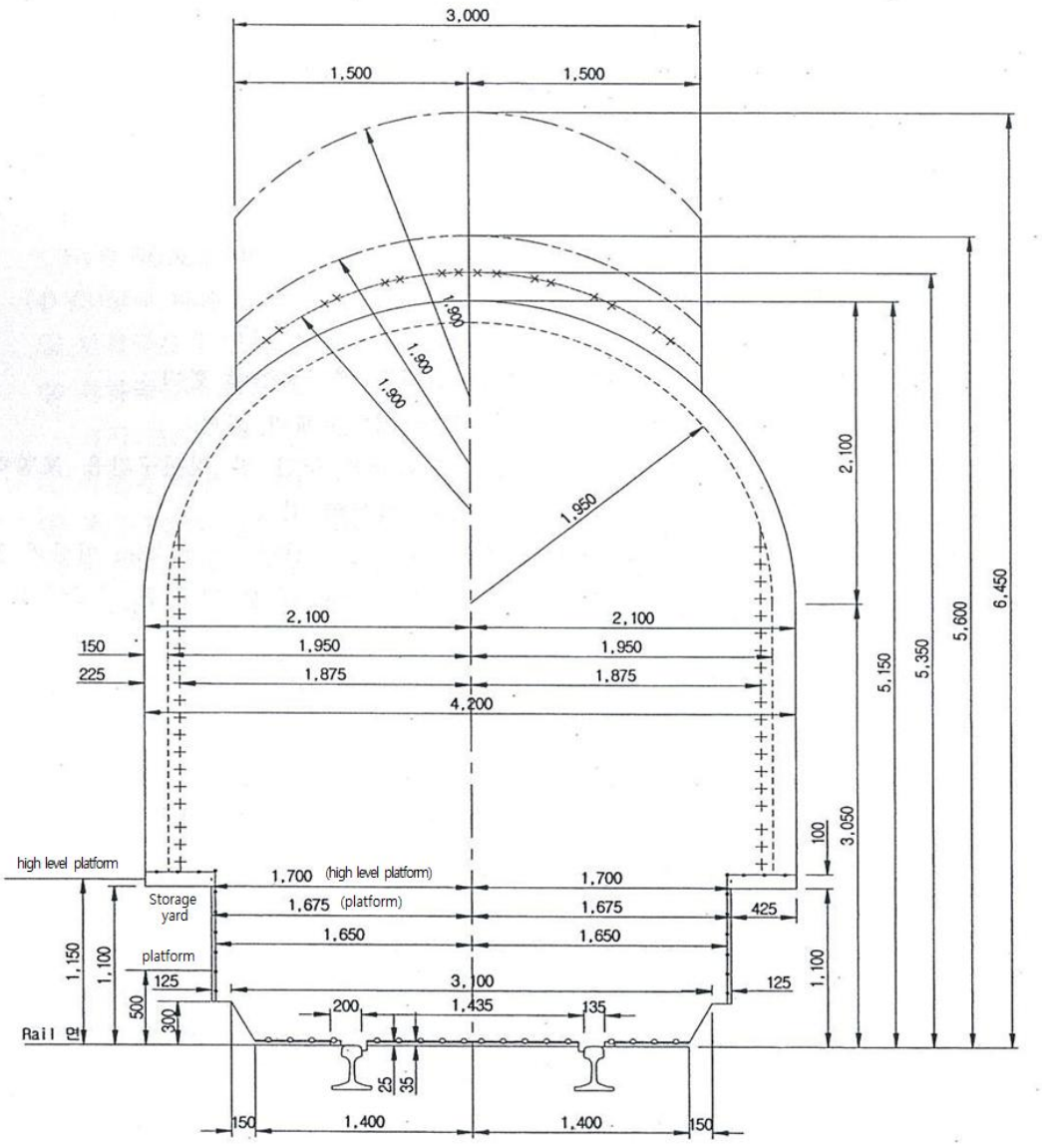


Fig. 2.4.1 Construction gauge

나. 위의 규정에 의한 확대치수는 완화곡선구간에서 이를 체감해야 한다. 완화곡선이 없는 경우에는 원곡선 시·종점에 접속한 직선구간 26m 이상의 길이에서 이를 체감해야 한다.

다. 곡선구간 건축한계는 캔트에 따라 경사된 건축한계로 해야 한다.

라. 철도를 횡단하는 시설물이 설치되는 구간의 건축한계의 높이는 전차선 가설높이에 지장이 없도록 건축한계의 높이를 일반철도는 RL에서 7,010mm 이상, 고속철도는 RL에서 8,050mm 이상 확보해야 한다. 다만, 기존선 개량 등 부득이한 경우에는 승인을 받아 전차선 가설에 지장이 없는 범위로 축소할 수 있다.

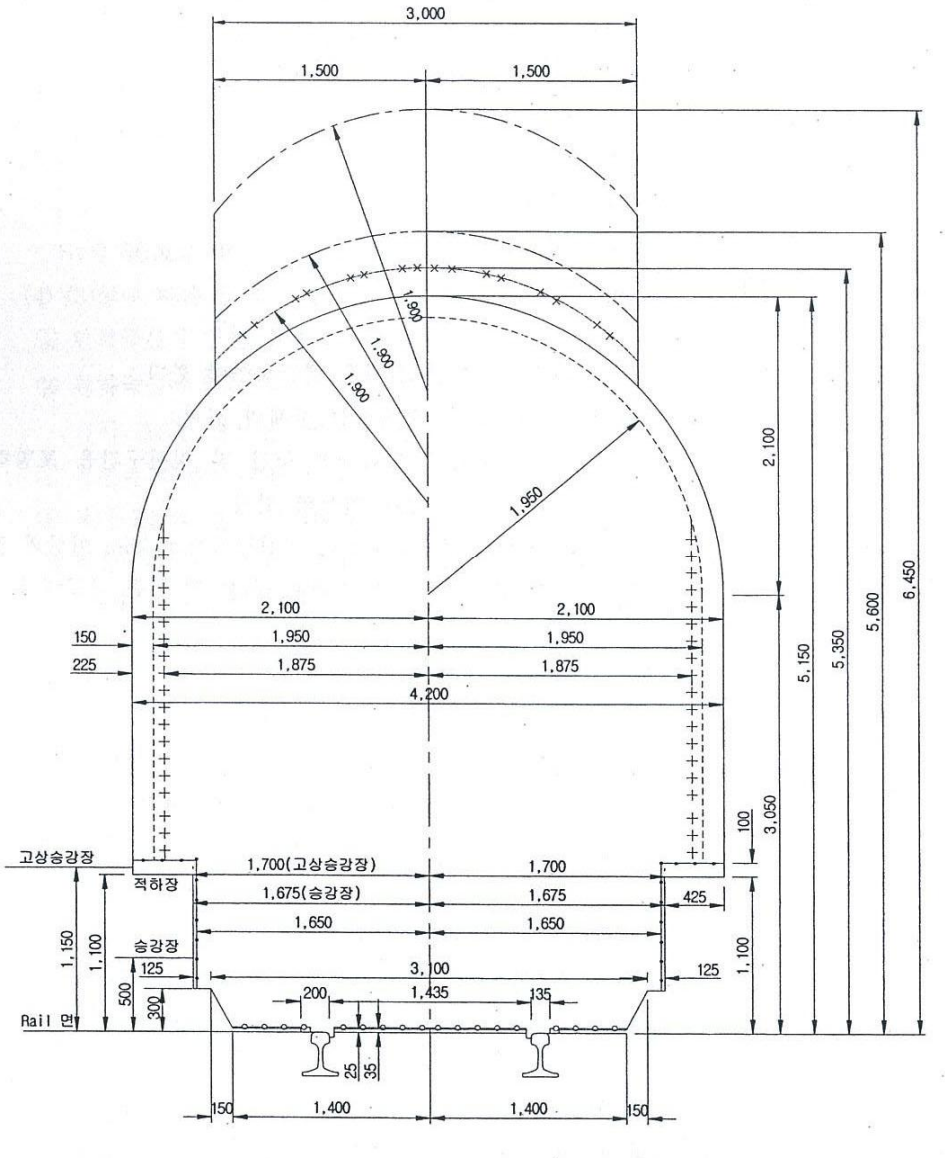


그림 2.4.1 건축한계

(2) Clearance for road-crossing facilities

① Overhead clearance of a road-crossing structure (Article 18 of the Rules on the Road Structure and Facilities Standard) shall be 4.5 m. However, at least 5.0m is recommended considering snowfall on the road or overlaying of road pavement. When inevitably necessary, this may be reduced according to the Rules on the Road Structure and Facilities Standard.

② Even if a road-crossing railway structure has sufficient overhead clearance, a car gauge frame shall be installed at a location where the structure could potentially be damaged by overloaded vehicles.

③ A car gauge frame and a vehicle height limit sign shall be installed under a structure with overhead clearance less than 4.7 m (5.0 m for HSR), but this shall be determined considering the site conditions, including the overpass or pedestrian bridge.

A. Location of car gauge frame

(a) Bridge: 20 ~ 50 m ahead of the bridge considering geographical conditions

(b) Passage box: 5 ~ 15 m ahead of the structure considering geographical conditions

B. Car gauge frame shall be 0.1 m lower than the actual structure height.

C. Car height limit sign shall be 0.2 m lower than the actual structure height.

D. Car height limit sign shall be in accordance with related rules of the Road Traffic Act.

(3) Overhead clearance of the river bridge

① This refers to the space required to pass under the bridge or the height from water level to the bottom of the bridge, and overhead clearance from waterway for a vessel to pass shall be as follows.

A. Sailboat or small steamboat …30m from maximum surface of water

B. Large vessel or warship…45～60m from maximum surface of water

C. Small steamboat…4.5m from maximum surface of water

D. Pontoon or barge…3.0m from maximum water level

② Design flood level investigated in the bridge plan shall be below main girder. For a river where no vessels sail, it shall be based on <Table 2.4.2> according to design flood of River Design Criteria, but it shall be more than the levee freeboard, considering water level rise due to variation of riverbed or water level rise at a curved part or an error in hydrological calculation.

(2) 도로횡단 시설한계

① 도로횡단 시설한계(도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 제18조.)의 통과높이 H는 4.5m로 한다. 동계 적설에 의한 한계높이의 감소 또는 포장 덧씌우기 등이 예상되는 경우를 고려하여 5.0m 이상으로 하는 것이 바람직하다. 다만, 부득이한 경우에는 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙에 따라 축소할 수 있다.

② 도로횡단 철도구조물이 규정된 다리밑 공간을 확보한 경우에도 적재높이 제한 위반차량으로 인한 충격이나 파손이 우려되는 개소는 차량통과한계틀을 설치해야 한다.

③ 도로횡단 구조물의 다리밑 공간이 4.7m(고속철도 5.0m) 미만의 개소에는 차량통과한계틀 및 차높이 제한표지를 설치하되 전후 고가도로 또는 보도육교 등 현지여건을 감안하여 설치여부 결정해야 한다.

가. 차량통과한계틀 설치위치

㉮ 교량 : 전방 20~50m 부근에 지형여건 감안 설치

㉯ 통로박스 : 전방 5~15m 부근에 지형여건 감안 설치

나. 차량통과한계틀 설치높이는 구조물의 실제 통과높이보다 0.1m 낮게 설치한다.

다. 차높이 제한표지에는 구조물의 실제 통과높이보다 0.2m 낮게 표기한다.

라. 차높이 제한표지는 도로교통법의 관계 규정을 따른다.

(3) 하천 등의 다리밑 공간

① 교량 밑의 통행에 사용되는 공간 또는 교량 밑에서 수위(水位)까지의 공간높이를 말하며, 배가 지나다니는 수로 위의 공간높이는 다음과 같다.

가. 범선 또는 소기선 통과 ……최고수면에서 30m

나. 대기선 군함 ……최고수면에서 45~60m

다. 소증기선 …… 최고수면에서 4.5m

라. 폰툰(pontoon), 바지선(barge) ……최고수면에서 3.0m

② 교량 계획 시 조사한 계획 홍수위가 주거더 밑에 있도록 계획해야 한다. 선박의 운항이 없는 하천의 경우에는 하천설계 기준의 계획홍수량에 따라 <표 2.4.2> 의 값을 표준으로 하되, 하상변동에 의한 수위상승과 만곡부의 수위상승, 수리계산 오차 등을 고려하여 제방여유고 이상을 확보해야 한다.

Table 2.4.2 Bridge overhead clearance depending on design flood

③ Design flood (m^3/sec)	Overhead clearance (m)
200 or less	0.6 or more
200 ~ 500	0.8 or more
500 ~ 2,000	1.0 or more
2,000 ~ 5,000	1.2 or more
5,000 ~ 10,000	1.5 or more
10,000 or more	2.0 or more

※ 1) Overhead clearance of the river bridge refers to the height from flood level to the lowest bearing shoe on pier or abutment, and for Rahmen bridge, it refers to the height to the bottom of haunch.
2) However, when design flood is 50 m^3/sec or less and levee height is 1.0 m or less, overhead clearance shall be 0.3 m or more.

(4) Minimum soil depth of underground structure

① Minimum soil depth from the top of a railway-related underground structure to the road surface, ground surface or riverbed height shall be planned and designed to ensure that underground structures will not interfere with railway operation and to protect the railway facilities.

② Minimum soil depth of road and ground shall be planned considering the safety of underground facilities under the existing road. For other sections, a certain soil depth shall be maintained from the road surface or ground surface to the top of the underground structure. However, when inevitably necessary due to site conditions or special topographic features including road opening, the minimum soil depth may be adjusted within the range that it will not deteriorate the performance of railway facilities, through consultation with the authorities concerned.

③ A minimum soil depth to the top of an underground railway structure that runs across the river shall be planned to maintain riverbed height (based on low water channel) and a certain depth, considering future plans and scour in the event of flooding.

④ Design criteria for minimum soil depth shall be in accordance with the standards specified in the applicable laws and Design Criteria.

2.4.4 Seismic design

(1) Principle

① Damage to the public shall be minimized.

② Partial damage to structure members by earthquake may be allowed, but not a total collapse.

표 2.4.2 계획홍수량에 따른 다리밑 공간

계획홍수량(m^3/sec)	다리밑 공간(m)
200 미만	0.6 이상
200 이상~500 미만	0.8 이상
500 이상~2,000 미만	1.0 이상
2,000 이상~5,000 미만	1.2 이상
5,000 이상~10,000 미만	1.5 이상
10,000 이상	2.0 이상

※ 1) 하천에서의 다리밑 공간은 홍수위로부터 교각이나 교대 중 가장 낮은 위치의 받침하면까지의 높이를 말하며, 라멘교의 경우에는 헌치 하단까지의 높이를 말한다.
2) 다만, 계획홍수량이 50m^3/sec 이하이고 제방고가1.0m이하 이고 다리밑 공간은 0.3m이상을 확보해야 한다.

(4) 지하 구조물의 최소토피

① 철도 관련 지하시설물의 윗면에서부터 도로면, 지상면, 하천 하상고까지의 최소토피는 다른 지하매설물의 영향이 철도 운행에 미치지 않고, 철도시설물의 보호 및 안전이 확보되어 일정 이상의 토피를 유지 할 수 있도록 계획·설계해야 한다.

② 도로 및 지상부 최소토피는 기존도로 지하에 기 매설되어있는 시설물의 안전을 고려하고, 그 이외의 구간은 장래시설물의 설치 필요 공간을 확보하기 위하여, 도로면 또는 지면으로부터 지하구조물 윗면까지 일정 이상의 토피를 유지 할 수 있도록 계획해야 한다. 다만 현지여건상 부득이한 사유가 있거나 도로개구부 등 지형 상 특별한 경우에는 철도 시설물의 성능을 저하시키지 않는 범위에서 관리청과 협의하여 최소토피를 조정할 수 있다.

③ 하천을 횡단하는 철도 지하구조물 윗면까지 최소토피는 하천의 장래 계획 및 홍수 시 세굴 등을 고려하여 하상고(저수로 기준)와 일정한 깊이를 유지 할 수 있도록 계획해야 한다.

④ 최소 토피에 관한 설계기준은 관계 법령 및 설계기준의 각 장에서 정한 기준을 따른다.

2.4.4 내진설계

(1) 기본방침

① 인명피해를 최소화 한다.

② 지진 시 시설물 부재들의 부분적인 피해는 허용하나 전체적인 붕괴는 방지해야 한다.

③ Basic functions of the facilities shall be maintained during an earthquake, to the greatest possible extent.
④ Possibility of design seismic force during normal life cycle is very low.
⑤ Design criteria may be applied across the South Korean territory.
⑥ A more innovative and enhanced design that goes beyond this design criteria may be accepted.

(2) Design general

① Seismic category – Considering the importance of the structure, the seismic category of a railway structure shall be as shown in <Table 2.4.3>.

Table 2.4.3 Seismic category of railway

Category	Description	Mean recurrence cycle of design earthquake
Category 1	Important facility to maintain transport means even after design earthquake	1000 years (100 years for train operation safety)
Category 2	Railway structures other than Category 1	500 years

② Considerations for seismic design of railway

A. Basic considerations

(a) Seismic category
(b) Regional and ground classification
(c) Earthquake factor
(d) Determination of earthquake risk factor by recurrence cycle
(e) Determination of response spectrum of design earthquake

B. General considerations

(a) Review of train operation stability

ⓐ The aim is to grant the operational stability of a train in operation at a reduced speed during a design earthquake, and train safety shall not be affected by deformation, stress, vibration or track irregularity, and behavior of elastic region shall be dominant. Permanent settlement and liquefaction of foundation ground shall be also reviewed to ensure the stability of train operation.

ⓑ Shall satisfy allowable settlement limits according to train speed to prevent derailment due to structure vibration, and elastic design shall be applied to maintain sufficient stiffness in the direction perpendicular to the axle.

③ 지진 시 가능한 한 시설물의 기본적인 기능은 발휘할 수 있게 해야 한다.

④ 시설물의 정상수명 기간내에 설계지진력이 발생할 가능성은 희박하다.

⑤ 설계기준은 남한 전역에 적용될 수 있다.

⑥ 이 설계기준을 따르지 않더라도 창의력을 발휘하여 보다 발전된 설계를 할 경우에는 이를 인정한다.

(2) 설계일반

① 내진등급 - 철도 구조물은 구조물의 중요도를 고려하여 〈표 2.4.3〉과 같이 내진등급을 분류한다.

표 2.4.3 철도의 내진등급

내진등급	구분 내용	설계지진의 평균재현주기
내진 1등급	설계지진 발생 후에도 교통수단을 유지하기 위한 중요시설물	1000년 (단 열차주행안전성 검토는 100년)
내진 2등급	내진1등급에 속하지 않는 철도구조물	500년

② 철도의 내진설계 시 검토해야 할 사항

가. 기본적인 검토사항

㉮ 내진등급 여부

㉯ 철도가 있는 지역 및 지반의 분류

㉰ 지진계수 결정

㉱ 재현주기별 지진 위험도계수결정

㉲ 설계지진의 응답스펙트럼 결정

나. 전반적인 검토 사항

㉮ 열차 주행안전성 검토

㉠ 설계지진 발생 시 감속된 상태로 운행하는 열차의 주행안전성을 보장하는 것으로 철도 구조물의 변형, 응력, 진동 및 궤도 틀림 등이 열차의 안전성을 위협해서는 안 되며, 탄성영역의 거동이 지배적이어야 함. 또한 기초지반의 영구적인 침하나, 액상화를 검토하여 열차주행안전성을 확보해야 한다.

㉡ 구조물 진동에 의한 열차의 탈선을 방지하기 위하여 열차 속도별 허용침하량을 만족해야 하며 교축 직각 방향에 대한 충분한 강성을 확보토록 탄성설계를 해야 한다.

ⓒ Recurrence cycle shall be 100 years.

ⓓ Load combination U = 1.0(D+L+E+Q+H) and live load in such a case shall be based on a single track, but load symbol shall be in accordance with 「Chapter 8 Bridge General」

(b) Structure design

ⓐ Damage after earthquake shall be minimized, and while partial damage to the structural members may be allowed, total collapse shall be prevented.

ⓑ Ultimate bearing capacity of foundation ground and pile as well as design seismic force of foundation and structure shall be applied.

ⓒ The structure shall be designed according to the seismic category in <Table 2.4.3>, and when inelastic deformation is allowed, ductile behavior of the structure shall be secured.

ⓓ Load combination U=1.0(D+L/2+E+Q+H) shall be used; here, L/2 refers to train live load on a single track.

ⓔ Plastic hinge may be formed on a pier to secure ductility in the seismic design of a bridge, and a feasible and reasonable seismic isolator may be used if necessary. Location of plastic hinge shall be determined considering the need for ease of maintenance and repair.

(c) Considerations according to railway structure

ⓐ This shall be reviewed according to seismic design criteria for the structure.

ⓑ Seismic load shall not be considered unless otherwise specified in seismic criteria.

C. Considerations regarding track, station, signaling and telecommunications system

(a) Track – All track components (rail, fastener, sleeper, ballast, etc.) are considered to be able to bear all kinds of seismic load; therefore, separate seismic design of track structure is not necessary.

(b) Pole and catenary – Catenary pole built on a viaduct shall be subject to seismic design considering dynamic interaction with a supporting structure.

(c) Signaling and telecommunications system – The same seismic design criteria and principle as for pole and catenary shall be applied to the signaling and telecommunications system, but seismic design may not be applied to the signaling and telecommunications system installed under the ground or on a track.

③ Design ground movement

A. Classification of the level

(a) Design ground motion shall be classified as follows.

ⓐ Seismic ground motion with 100 years of mean recurrence interval (probability of exceedance within 10 years, 10%)

㉣ 재현주기는 100년을 기준으로 한다.

㉤ 하중조합 U = 1.0(D+L+E+Q+H)이며 이 경우 활하중은 단선을 기 준으로 한다. 다만, 하중기호는 「제8장 교량 일반사항」에 따른다.

㉯ 구조물 설계

㉠ 설계지진 발생 후의 피해 정도를 최소화하고 구조물을 구성하는 부재들의 부분적인 피해는 허용하나 구조물의 전체적인 붕괴는 방지해야 한다.

㉡ 기초지반 및 말뚝의 극한지지력, 기초 및 구조물의 설계지진력으로 적용해야 한다.

㉢ 구조물은 〈표 2.4.3〉 내진등급에 따라 설계하며 비탄성 변형을 허용하는 경우에는 구조물의 연성거동을 확보해야 한다.

㉤ 하중조합 U=1.0(D+L/2+E+Q+H)을 사용하며 이 경우 L/2은 단선의 열차 활하중이다.

㉥ 교량의 내진설계에서는 연성 확보를 위해서 교각에 소성힌지를 형성시키거나, 필요한 경우 합리적이고 타당성 있는 지진격리장치를 사용할 수 있다. 소성힌지의 형성 위치는 유지관리와 보수, 보강이 가능한 곳을 선택하는 것으로 한다.

㉰ 철도구조물별 검토사항

㉠ 구조물별 내진설계기준에 따라 검토한다.

㉡ 별도의 내진 기준이 언급되지 않은 경우 지진하중을 고려하지 않는다.

다. 궤도, 정거장, 신호 및 통신체계 관련 고려사항

㉮ 궤도 - 모든 유형의 궤도에 있어서 각 궤도구성품(레일, 체결장치, 침목, 도상 등)은 모든 수준의 지진하중에 견딜 수 있다고 인식되고 있기 때문에 궤도 구조 자체에 대해서는 별도의 내진설계를 수행할 필요는 없다.

㉯ 전차선주 및 전차선 - 고가교 상에 건설되는 전차선주의 경우에는, 지지되는 구조물과의 동적 상호작용을 고려한 내진설계법을 적용해야 한다.

㉰ 신호 및 통신설비 - 신호 및 통신설비가 설치된 기준에 대한 내진설계의 기본 방침과 그 설계 방법은 전차선주 및 전차선의 경우와 동일하며, 지중 또는 궤도상에 설치된 신호 및 통신설비는 별도의 내진설계를 수행하지 않는다.

③ 설계지반운동

가. 수준분류

㉮ 설계지반운동의 수준은 다음과 같이 분류해야 한다.

㉠ 평균재현주기 100년 지진지반운동(10년 내 초과확률 10%)

ⓑ Seismic ground motion with 500 years of mean recurrence interval (probability of exceedance within 50 years, 10%)

ⓒ Seismic ground motion with 1,000 years of mean recurrence interval (probability of exceedance within 100 years, 10%)

B. Expression method

Design ground motion shall be expressed as a standard design response spectrum with 5% damping ratio applied, considering regional ground conditions. However, a response spectrum with a rational basis indicating regional characteristics may be available.

④ Seismic zone

A. The South Korean territory is divided into two seismic zones according to seismic hazard analysis, and zone factor (Z) is shown in <Table 2.4.4>.

B. Zone factor is calculated through dividing maximum ground acceleration corresponding to mean recurrence interval of 500 years of each seismic zone through gravity acceleration (g) and is indicated in dimensionless quantity.

C. However, for the facilities passing the boundary of the administrative district classified in <Table 2.4.4>, seismic zone factor at higher grade shall be applied.

Table 2.4.4 Classification of seismic zone

Seismic zone	Administrative district		Zone factor, Z
I	City	Seoul, Incheon, Daejeon, Busan, Daegu, Ulsan, Gwangju	0.11
	Province	Gyeonggi, Gangwon (southern), Chungbuk, Gyeongbuk, Gyeongnam, Jeonbuk, Jeonnam (northeastern)	
Ⅱ	Province	Gangwon (northern), Jeonnam (southwestern) Jeju	0.07

Note) ① Gangwon (northern): Chuncheon, Sokcho, Hongcheon, Cheolwon, Hwacheon, Hoengseong, Pyeongchang, Inje, Goseong, Yangyang, Yanggu

② Gangwon (southern): Samcheok, Gangneung, Donghae, Wonju, Taebaek, Yeongwol, Jeongseon

③ Jeonnam (northeastern): Gwangyang, Naju, Yeosu, Suncheon, Jangseong, Damyang, Gokseong, Gurye, Jangheung, Boseong, Hwasun

④ Jeonnam (southwestern): Mokpo, Muan, Shinan, Wando, Yeonggwang, Haenam, Yeongam, Gangjin, Goheung, Hampeong

㉡ 평균재현주기 500년 지진지반운동(50년 내 초과확률 10%)

㉢ 평균재현주기 1,000년 지진지반운동(100년 내 초과확률 10%)

나. 표현방법

설계지반운동은 그 지역의 지반조건을 고려한 5% 감쇠비를 적용한 표준설계응답스펙트럼으로 표현해야 한다. 그러나 지역특성을 잘 나타내는 합리적인 근거가 있는 응답스펙트럼의 사용도 가능하다.

④ 지진구역

가. 지진재해도 해석결과에 근거하여 남한 전지역을 2개의 지진구역으로 설정 하며, 각 지진구역별 구역계수(Z)는 <표 2.4.4>에 표시된 값과 같다.

나. 구역계수는 각 지진구역에서의 평균재현주기 500년에 해당하는 지진지반운동의 최대지반가속도 값을 중력가속도(g)로 나눈 값으로 무차원량으로 표시된다.

다. 다만, <표 2.4.4>의 지진구역에서 구분된 행정구역의 경계를 통과하는 시설물에는 상위 지진구역계수를 적용해야 한다.

표 2.4.4 지진구역구분

지진구역	행정구역		구역계수, Z
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	경기도, 강원도 남부, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부	
Ⅱ	도	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.07

주) ① 강원도 북부(시, 군) : 춘천시, 속초시, 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 인제, 고성, 양양, 양구

② 강원도 남부(시, 군) : 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시, 영월, 정선

③ 전라남도 북동부(시, 군) : 광양시, 나주시, 여수시, 순천시, 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 화순

④ 전라남도 남서부(시, 군) : 목포시, 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평

⑤ Acceleration coefficient

A. Seismic risk coefficient (I) refers to the ratio of peak seismic ground acceleration to 500-year mean recurrence interval by mean recurrence interval depending on seismic category, and it is shown in <Table 2.4.5>

Table 2.4.5 Seismic risk coefficient,

Recurrence interval (year)	100	500	1,000
Seismic risk coefficient	0.57	1.0	1.4

B. Acceleration coefficient (A) refers to the scale of peak seismic ground acceleration depending on seismic category by seismic zone, which is calculated by multiplying zone factor (Z) by seismic risk coefficient (I) and is indicated in dimensionless value.

$$A = Z \cdot I \qquad (2.4.2)$$

C. Thus, the scale of peak seismic ground acceleration depending on seismic category by seismic zone is calculated by multiplying acceleration coefficient (A) by gravity acceleration (g).

⑥ To take the effect of ground into account, it shall be classified according to the characteristics of ground, and then ground coefficient shall be determined in order to incorporate it into the design response spectrum.

A. Classification of ground

(a) To take the effect of soil conditions, geological features and surface or underground behavior on the ground motion into account, ground shall be classified into 5 categories such as, I, II, III, IV, V as shown in <Table 2.4.6>.

(b) Category V refers to any of the following cases that require separate investigation, using a site-dependent design response spectrum developed by an expert.

ⓐ Ground with high potential of liquefaction, very sensitive clay layer, soft layer with high risk of collapse, ground vulnerable to failure or collapse, clay layer with peat or high organic component.

ⓑ Clay layer with high plasticity

ⓒ Thick and soft clay layer or clay layer which has average hardness.

⑤ 가속도계수

가. 지진위험도계수(I)는 각 내진등급에 따른 평균재현주기별로, 500년 평균재현주기에 대한 최대지진지반가속도의 비를 나타내며 <표 2.4.5>과 같다.

표 2.4.5 지진위험도계수, I

재현주기(년)	100	500	1,000
지진위험도계수	0.57	1.0	1.4

나. 가속도계수(A)는 지진구역별로 내진등급에 따른 최대지진지반가속도의 크기를 나타내기 위한 계수로서 구역계수(Z)에 지진위험도계수(I)를 곱함으로써 구할 수 있으며, 무차원으로 표시된다.

$$A = Z \cdot I \quad (2.4.2)$$

다. 따라서 내진등급과 지진구역에 따른 최대지진지반가속도의 크기는 가속도계수(A)에 중력가속도(g)를 곱한 값과 같다.

⑥ 지반의 영향을 고려하기 위하여 지반의 특성에 따라 지반을 분류하고 이에 따른 지반계수를 설정하여 설계응답스펙트럼에 반영해야 한다.

가. 지반의 분류

㉮ 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 <표 2.4.6>와 같이 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ의 5종류로 분류한다.

㉯ 지반종류 Ⅴ는 별도로 부지에 대한 특성조사를 할 필요가 있는 지반으로서 다음의 경우에 속하는 지반으로서 전문가가 작성한 부지종속 설계응답스펙트럼을 사용해야 한다.

㉠ 액상화가 일어날 수 있는 지반, 매우 민감한 점토지반, 붕괴될 정 도로 결합력이 약한 지반과 같이 지진하중 작용 시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반, 이탄이나 유기성이 매우 높은 점토지반.

㉡ 매우 높은 소성을 가진 점토지반

㉢ 층이 매우 두꺼우며 연약하거나 중간정도로 단단한 점토

(c) When the ground properties are too uncertain to determine the type of ground, Category III shall be used. Unless the client classifies the ground as IV or V, it is not necessary to assume it is IV or V, except when it is determined to be IV or V according to geological data.

Table 2.4.6 Classification of the ground

Type	Title	Mean value for a 30.0 m-thick soil layer		
		Shear wave velocity $\overline{V_s}$ (m/s)	Standard penetration test, ($\overline{N_{CH}}$, cohesionless) (striking time/0.3 m)	Undrained shear strength ($\overline{S_u}$, kN/m^2)
I	Hard rock	> 760	-	-
II	Very dense soil or soft rock	360 ~ 760	> 50	> 100
III	Solid soil layer	180 ~ 360	15 ~ 50	50 ~ 100
IV	Soft soil layer	< 180	< 15	< 50
V	Ground requiring property investigation			

B. Ground coefficient

Ground coefficient in accordance with 「2.4.4 (2) ⑥ A. (a)」 ground category is shown in <Table 2.4.7>

Table 2.4.7 Ground coefficient

Coefficient \ Category	I	II	III	IV
S	1.0	1.2	1.5	2.0

⑦ Elastic seismic response coefficient

A. Elastic seismic response coefficient (C_s) used for determining design load shall be determined in dimensionless value as shown in <Eq. 2.4.3>.

㈐ 지반종류를 결정할 만큼 지반의 물성치를 충분히 알 수 없는 경우에는 Ⅲ종류가 사용된다. 발주자가 해당 지역의 지반종류를 Ⅳ 혹은 Ⅴ로 판정하거나, 지질학적 자료에 의해 Ⅳ나 Ⅴ로 판정되는 경우를 제외하고는 Ⅳ나 Ⅴ로 가정할 필요가 없다.

표 2.4.6 지반의 분류

지반종류	지반종류의 호칭	지표면 아래 30.0m 두께 토층에 대한 평균값		
		전단파속도 $\overline{V_s}$(m/s)	표준관입시험, $\overline{N}$ ($\overline{N_{CH}}$, 비점착성 점토) (타격횟수/0.3m)	비배수전단강도, $\overline{S_u}$ (kN/m^2)
Ⅰ	경암지반 보통암지반	> 760	-	-
Ⅱ	매우 조밀한 토사, 또는 연암지반	360 ~ 760	> 50	> 100
Ⅲ	견고한 토사지반	180 ~ 360	15 ~ 50	50 ~ 100
Ⅳ	연약한 토사지반	< 180	< 15	< 50
Ⅴ	부지 고유의 특성 평가가 요구되는 지반			

나. 지반계수

「2.4.4 (2) ⑥ 가 ㈐」지반의 분류의 지반종류에 따른 지반계수는 <표 2.4.7>과 같다.

표 2.4.7 지반계수

지반종류 / 지반계수	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
S	1.0	1.2	1.5	2.0

⑦ 탄성지진 응답계수

가. 설계하중의 결정에 쓰이는 탄성지진응답계수(C_s)는 <식 2.4.3> 같은 무차원의 식으로 구해야 한다.

$$C_s = \frac{1.2AS}{T^{2/3}} \leq 2.5A \qquad (2.4.3)$$

where, A : acceleration coefficient defined by 「2.4.4 (2) ⑤」
S : dimensionless ground coefficient defined by 「2.4.4 (2) ⑥」
T : Cycle of the facilities

B. When using a multi-mode spectrum analysis method, elastic seismic response coefficient(C_{sm}) of the m-th vibration mode shall be calculated according to <Eq. 2.4.4>.

$$C_s = \frac{1.2AS}{T_m^{2/3}} \leq 2.5A \qquad (2.4.4)$$

where, T_m: Cycle of m-th vibration mode.

C. For the structure with T_m more than 4.0 sec, for m-th vibration mode may be determined according to <Eq. 2.4.5>

$$C_{sm} = \frac{3AS}{T_m^{4/3}} \qquad (2.4.5)$$

(3) Quality assurance requirements

① To ensure seismic facilities will meet the quality assurance requirements, quality test shall be carried out in phases such as design and construction stage and during service life.

② Design shall present the characteristics of facility material, specification and dimension, including the characteristics of a special device, if any.

③ Members of important facilities that require special examination during construction shall be checked on the design drawing, and a review method shall be presented.

2.5 Environment investigation for project implementation

2.5.1 General

(1) Project implementation environment investigation is an investigation of the area surrounding the railway at the detailed design and construction stage, in addition to environmental impact assessment, traffic impact assessment, hydrologic & hydraulic investigation.

$$C_s = \frac{1.2\,AS}{T^{2/3}} \le 2.5\,A \qquad (2.4.3)$$

여기서, A : 「2.4.4 (2) ⑤」에서 규정된 가속도계수

S : 「2.4.4 (2) ⑥」에서 규정된 지반 특성에 대한 무차원의 지반계수

T: 대상시설물의 주기

나. 다중모드 스펙트럼해석법을 사용할 경우, m번째 진동모드에 대한 탄성지진응답계수 (C_{sm})는 <식 2.4.4>에 따라 구해야 한다.

$$C_{sm} = \frac{1.2\,AS}{T_m^{2/3}} \le 2.5\,A \qquad (2.4.4)$$

여기서, T_m : m번째 진동 모드의 주기

다. T_m값이 4.0초를 넘는 구조물에 대해서 m번째 진동모드에 대한 C_{sm}값은 <식 2.4.5>에 따라 결정할 수 있다.

$$C_{sm} = \frac{3AS}{T_m^{4/3}} \qquad (2.4.5)$$

(3) 품질보증 요구사항

① 내진시설물의 적절한 품질보증요건을 만족시키기 위하여 설계, 시공, 완공 후 공용기간의 단계별로 이루어져야 한다.

② 설계는 시설물 부재 재료의 특성과 세부사항 및 치수를 제시해야 하며, 특별한 장치가 도입될 경우에는 이에 대한 특성도 포함해야 한다.

③ 시공중에 특별한 검토를 요구하는 중요한 시설물의 부재는 설계도면에서 확인이 되어야 하고, 이에 대한 검토방법이 제시되어야 한다.

2.5 사업시행 환경조사

2.5.1 일반사항

(1) 사업시행 환경조사는 환경영향평가, 교통영향평가, 수리·수문조사 외 실시설계 및 시공단계에서 철도입지주변을 조사하는 것이다.

(2) The project implementation environment investigation intends to investigate the factors that would possibly influence the construction of a target structure, as well as the potential influences, and includes obstacle investigation, surface hydraulic facility and groundwater investigation, construction equipment, land acquisition and applicable laws, topographic survey, environmental investigation and spoil bank and borrow pit.

2.5.2 Investigation of topographic and development status

(1) Topographic features that may have an effect on railway construction or may be affected by railway construction shall be analyzed using a topographic map or aerial photographs, together with a site investigation.

(2) For unstable topographic features or areas where there is a potential risk of natural disaster such as talus, collapse, previous waterway buried by landslide or flood shall be investigated through data survey, aerial photographs, surface investigation or case study of similar projects.

(3) Data survey shall include a topographic map (1/5,000 ~ 1/50,000), geologic map, engineering geologic map, landslide risk map, hydrological weather data, boring data in the vicinity and cases of similar projects.

(4) Facilities including railway, road, river and the existing towns via the route and development plans shall be investigated.

2.5.3 Survey and geotechnical investigation

(1) Survey and geotechnical investigation shall be in accordance with 「Chapter 3 Survey and Geotechnical Investigation」 or other standards, which can be defined in a separate document, if applicable.

2.5.4 Eco-system and environment investigation

(1) Eco-system and environment investigation shall be divided into the broad environment investigation, which is carried out at the stage of basic plan and route selection, and site environment investigation, which is carried out at the stage of design and construction after establishing a basic plan.

(2) Environment investigation shall include a review of the urban plan and other upper-level plans.

(3) A broad environment investigation shall be carried out comprehensively to minimize negative impacts on the natural and social environment due to the construction and the use of structures, including:

① Hydrological & hydraulic features: Features of topography and valley, river flow, groundwater level, water use and other works having an effect on groundwater, existence of aquifer.

(2) 사업시행 환경조사는 목적물의 건설에 영향을 미치거나 이로 인해 영향을 받을 수 있는 사항에 대한 조사로서 지장물 조사, 지표수리시설과 지하수 부존 특성조사, 공사용 설비조사, 보상 및 관계 법령, 지형조사, 환경조사, 사토장 및 토취장 조사 등으로 구분하여 시행한다.

2.5.2 지형 및 개발현황조사

(1) 철도건설에 영향을 미치거나 공사로 영향을 받을 수 있는 지형을 지형도나 항공사진 등을 이용하여 분석하고 현장답사를 통하여 조사한다.

(2) 불안정 지형이나 재해가 예측되는 지형 즉, 애추(talus), 붕괴지, 산사태로 매몰된 과거의 수로, 홍수 등으로 발생한 장소나 이러한 우려가 있는 지형은 자료조사, 항공사진 판독, 지표지질조사 및 유사공사 시공사례 조사 등을 시행한다.

(3) 자료조사는 지형도(1/5,000~1/50,000), 지질도, 응용지질도, 산사태위험도, 수문기상자료, 인접지역 시추자료, 유사공사의 시공사례 등을 조사한다.

(4) 노선경유지의 철도, 도로, 하천 기존 도시 등의 시설현황과 각종 개발계획현황을 조사한다.

2.5.3 측량과 지반조사

(1) 측량과 지반조사는 「제3장 측량 및 지반조사」기준을 적용하며 필요한 경우에는 별도로 정할 수 있다.

2.5.4 생태 및 환경현황조사

(1) 생태 및 환경현황조사는 기본계획 및 노선선정 단계에서 실시하는 광역 환경조사와 기본계획수립 후 설계 및 시공 단계에서 철도입지 주변 환경현황조사로 구분하여 실시한다.

(2) 환경현황조사에서는 해당 지역의 도시계획, 각종상위 계획에 대한 조사를 해야 한다.

(3) 광역 환경현황조사는 구조물시공 및 사용에 의한 자연환경 및 사회환경에 대한 악영향을 최소로 줄이기 위하여 광범위하게 실시해야 하며, 다음 사항을 포함해야 한다.

① 수리수문 : 지형 및 하곡의 성상, 하천유량, 지하수위, 물이용 현황, 지하수에 영향을 미치는 타 공사의 유무, 대수층의 존재 여부

② Weather: Effect of temperature, rainfall, snow, and wind and frequency of gust and snowstorm.
③ Disaster: Areas and frequency of landslide, avalanche, collapse, earthquake and flood.
④ Land: Land use, major structures, scope of use under the law
⑤ Transport: Existing railway, road and traffic facilities
⑥ Public facilities: Location and scale of public facilities, including schools, hospitals, nursing homes and natural parks
⑦ Cultural assets: Location, scale and designation under the law of historical and cultural assets and natural monuments
⑧ Natural resources: Rights settlement, mine status and existence of minerals
⑨ Mine development: Location and scale of mines, tunnel and underground cavities
⑩ Other: Flora and fauna distribution, landscape and regional development plan, etc.

(4) The natural environment investigation aims to forecast the changes in the surrounding environment due to construction, develop an environmental conservation countermeasure and identify the effect of countermeasures, including:

① Water use:
A. Quality and water resources of surface water and groundwater, adjacent construction with the possibility of muddy water, the potential for changes in waterway and water level.
B. Forecast the effect of construction activities on the neighboring surface water and groundwater
C. For a well, a reservoir, a spring water and a stream with a possibility of water droughts due to construction activities, the distribution, seasonal change of water flow and the use status shall be investigated to use as data for developing countermeasures against drought

② Noise & vibration: Surrounding environment that may be affected by noise or vibration
③ Deformation of ground and structure: Building, structure, topographic and geological features, land use status and neighboring works that may cause structure deformation
④ Water pollution: Status of river, drainage, waterway, wastewater and waste oil due to construction, and applicable laws & regulations.
⑤ Air pollution: Pollutants in the air and weather conditions
⑥ Traffic congestion: Structure, traffic congestion, road manager and surrounding environment along the road

2.5.5 Investigation of obstacles

(1) Prior to starting construction, the status of water & sewage pipeline, oil pipeline, communication & power cable, gas line or tunnel shall be investigated to identify their type, depth and size to ensure safe construction.

② 기상 : 기온, 강우, 강설, 바람 등의 영향, 눈보라와 돌풍의 발생빈도 및 현황
③ 재해 : 산사태, 눈사태, 붕괴, 지진, 홍수 등의 발생지 및 피해 정도
④ 토지 : 토지이용 현황, 주요 구조물, 법에 의한 용도구분의 범위
⑤ 교통 : 기존철도, 도로 규격 등의 교통시설현황
⑥ 공공 시설물 : 학교, 병원, 요양소, 자연공원 등 공공시설물의 위치 및 규모
⑦ 문화재 : 사적, 문화재, 천연기념물 등의 위치, 규모 및 법 지정 현황
⑧ 지하자원 : 권리설정 현황, 광산현황 및 광물의 부존상태 등
⑨ 광산개발 ; 광산의 갱도나 폐갱도와 지하공동의 위치 및 규모
⑩ 기타 : 동식물의 분포상태 및 경관, 지역 개발계획 등

(4) 자연환경현황조사는 시공에 의하여 발생되는 시설물 주변환경 변화의 예측, 환경보전 대책의 입안, 대책의 효과확인 등을 위하여 실시하며 다음 사항을 포함한다.

① 물이용 현황 :
가. 지표수 및 지하수의 수질, 수원 현황, 탁수발생 가능성이 있는 인접공사, 유로 및 수위변화 가능성
나. 시공 중 발생하는 용수나 건설공사가 주변의 지표수 및 지하수에 미치는 영향 예측
다. 건설공사로 인하여 갈수가 예상되는 우물, 저수지, 용천, 하천 등은 그 분포, 수량의 계절적 변화, 이용상황 등을 조사하여 갈수대책의 자료로 이용
② 소음 및 진동 : 소음 및 진동의 영향을 받을 수 있는 주변현황
③ 지반과 구조물의 변형 : 건물, 구조물 상태, 지형 및 지질, 토지이용 현황, 구조물의 변형발생 가능성이 있는 인접공사
④ 수질오염 : 하천의 상태, 배수 상태, 수로의 상태, 공사로 인한 폐수 및 폐유 발생 상태, 법규제 상태
⑤ 대기오염 : 대기중의 유해물, 기상현황
⑥ 교통장애 : 구조, 교통량 혼잡상태, 도로관리자, 도로주변의 환경 등

2.5.5 지장물 조사

(1) 건설공사 전에 지역내에 이미 설치되어 있는 상수도 및 하수도관, 송유관, 통신 및 전력 케이블, 도시가스관, 지하통로 등의 지하지장물의 종류, 심도 및 크기를 파악하여 안전한 시공을 할 수 있도록 한다.

(2) Boring investigation shall be carried out referring to the underground structure map obtained from the authorities concerned, and underground structures shall be identified through excavation or geophysical survey in cooperation with the authorities concerned.

(3) Detailed investigation shall be carried out in order to relocate the obstacles on and under the ground through consultation with the authorities concerned.

① Obstacles on the ground: Oil pipeline, optical cable, tower, communication and electric facilities, public utilities and graves

② Underground obstacles: Electricity, communication, oil pipeline, waterworks and gas, etc.

(4) Obstacles identified shall be filed according to the relevant structure management agency in order to consult with them, if applicable.

2.5.6 Investigation of aggregate source

(1) Investigation shall include reserves by type, potential changes in productivity and availability of supply in the future during a certain period of the construction.

(2) Aggregate source shall conform to the quality requirements, and hauling distance and transportation method shall be investigated.

(3) Crushed rock resulting from tunneling or cutting, if any exists, shall be considered to use as coarse aggregate or mixed aggregate for concrete.

(4) Regarding the procurement of ready-mixed concrete mixer trucks and concrete production at site, quality, constructability and economic feasibility shall be evaluated.

2.5.7 Spoil bank and borrow pit

(1) Spoil bank and borrow pit shall be determined considering constructability and cost efficiency, and to this end, the surrounding site conditions, hauling method & distance, road conditions, traffic regulation, traffic safety, environmental conditions, dumping and borrowing processing and applicable laws shall be investigated in advance.

(2) A certain amount of excavated soil shall be dumped during construction, and to this end, soil & rock information from the Ministry of Land, Infrastructure & Transport shall be used, while regional soil & rock data shall also be investigated.

(3) Quality requirements shall be checked through boring investigation before determining a borrow pit, and the need for approval or consent by the authorities concerned and land owner or residents shall be checked.

(4) For spoil bank, ground stability, soil loss and environmental damage shall be investigated.

(2) 시추조사 시는 관계 기관으로부터 지장물 매설도를 구하여 참조하고 반드시 터파기나 지구물리탐사를 이용하여 지하 지장물의 유무를 확인하고 유관기관과 협의하여 시행한다.

(3) 사업노선에 저촉되는 지상지장물 및 지하매설 지장물을 관계기관과 협의, 이설 및 보상이 가능토록 상세히 조사해야 한다.

① 지상지장물 : 송유관, 광케이블, 철탑, 통신시설, 전기시설, 공공시설물, 분묘 등

② 지하매설 지장물 : 전기, 통신, 송유관, 상하수도, 가스 등

(4) 조사된 지장물은 시설물 관리기관별로 정리하여 필요한 협의를 할 수 있게 자료를 작성해야 한다.

2.5.6 골재원 조사

(1) 골재원 조사는 사용할 골재종류별로 매장량, 생산가능성 향후 여건변화 등 소정공사기간중 소정량의 공급이 가능한지를 검토해야 한다.

(2) 골재원은 품질기준에 적합해야 하고, 운반거리와 운반방법을 조사 해야 한다.

(3) 터널이나 흙깎기에서 발파암 등이 발생될 경우, 콘크리트 굵은 골재나 혼합골재, 쇄석골재 등으로 발생되는 암석류의 사용을 검토해야 한다.

(4) 콘크리트는 레미콘의 구입과 현장생산에 대하여 품질확보와 시공성, 경제성을 검토해야 한다.

2.5.7 토취장 및 사토장 조사

(1) 공사시행성과 경제성을 감안하여 토취 및 사토장을 선정해야 하며 주변의 지형, 운반방법과 거리, 운반도로상태, 교통규제와 교통안전상의 특성, 환경적인 조건, 토취 및 사토 후 처리방안, 법령에 의한 규제 등을 사전에 조사해야 한다.

(2) 공사기간 중 소정량의 토사를 처리할 수 있어야 하며, 국토교통부의 토석정보시스템의 활용과 지역 내 공사현장의 토석정보도 조사해야 한다.

(3) 토취장은 시추조사 등으로 품질기준에 적합여부를 확인해야 하고, 인허가 기관의 인허가와 토지소유자 및 지역주민의 동의 가능여부를 조사해야 한다.

(4) 사토장은 지반의 안전성, 토사유출, 환경 상 피해 발생여부를 조사해야 한다.

(5) Landscaping or eco-system conservation process after using a spoil bank or borrow pit shall be checked.

2.5.8 Construction facilities and equipment

(1) Construction facilities and equipment include tunnel portal facilities, ventilator and dust-collector, hauling device, aggregate and concrete plant, power distribution equipment, water & drainage and temporary buildings. Investigation of the following is required to obtain the data on the construction facility plan.

① Topographic & geological features and weather: those which are vulnerable or have a high risk of deteriorating the performance of the facilities

② Surrounding environment: Noise, vibration, drainage and traffic that may have an impact on surrounding environment

③ Use of electric power: Capacity of the existing power transmission & distribution line, frequency, voltage, difficulty with power substation, power reception time, approximate cost, power source for generation equipment, power consumption required for construction equipment.

④ Powder magazine: According to applicable laws or local government's regulations

⑤ Water & drainage: Water for concrete mixing, potable water, intake of other non-potable water, disposal of groundwater exposed during tunnel construction, and requirements for discharging used water

⑥ Construction road for material transport and muck hauling, track specifications, traffic volume, safety, traffic regulation and the neighboring road use.

⑦ Labor & materials: Aggregate for tunnel exterior concrete, fresh concrete, material delivery route, supply status & management method and labor status

⑧ Laws and other regulations: Works in the vicinity of the site and restrictions

2.5.9 Investigation of land acquisition and compensation

(1) Compensation followed by construction shall include acquisition or relocation of land, building and plants, infringement on various rights (surface right, subsurface right, water right, hot spring right, fishing right, mining right and quarrying right), the decrease of profit from farming and fishing, and business loss. Investigation shall be carried out before starting construction to obtain the data on such compensation.

2.5.10 Examination of applicable laws for project implementation

(1) When the construction project is governed by laws, applicable laws including the scope and level of regulation, the process and countermeasures shall be identified.

(5) 토취장과 사토장은 토취 및 사토 완료 후 경관 및 환경생태 보존방안에 대하여 조사해야 한다.

2.5.8 공사용 시설 및 설비조사

(1) 공사용 시설 및 설비로는 터널입구 설비, 환기 및 집진설비, 운반설비, 골재 및 콘크리트 플랜트 설비, 수배전 설비, 용배수 설비, 임시건물 설비 등이 있으며, 공사용 설비계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 다음의 사항을 조사한다.

① 지형과 지질 및 기상 : 설비기능 저해 혹은 위험 가능성이 있는 지형, 지질 및 기상

② 주변환경 : 주변환경에 영향을 미치는 공사용 설비의 소음, 진동, 배수 및 교통

③ 전력의 사용 : 기가설 송배전선의 용량, 주파수, 전압, 수변전의 난이, 수전소요시간, 개략산출비용, 발전설비 등의 동력원, 공사용 장비운용시의 소요 전력량

④ 화약고 설치계획 : 화약취급에 관한 법률이나 지방자치단체 조례 등

⑤ 용배수 : 콘크리트 혼합용수, 음용수, 기타 잡용수의 취수조건, 터널시공에 수반한 용출수의 처리, 세척수의 방류조건

⑥ 자재 및 버력 운반 등에 필요한 공사용 도로, 궤도 등의 규격, 교통량, 안전, 교통규제의 현황 및 주변도로 이용현황

⑦ 노무자재 : 터널 외부 설비에 관계되는 콘크리트용 골재, 굳지 않은 콘크리트, 기타 자재의 공급경로, 공급사정의 현황 및 관리방법, 노무사정의 현황

⑧ 법령, 기타에 의한 규제 : 인접 지역의 공사 유무, 규제사항

2.5.9 토지 등 보상권 조사

(1) 건설공사에 있어서의 보상대상 사항은 용지취득에 수반되는 토지, 건물, 수목 등의 매수 및 이전, 각종 권리(지상권, 지하권, 수리권, 온천권, 어업권, 광업권, 채석권 등)의 침해, 농림 및 어업 수익의 감소, 영업손실 등이 있고, 이들의 보상을 위한 자료를 얻기 위하여 착공 전의 제반사항에 대하여 충분한 조사를 한다.

2.5.10 사업시행 관계 법령 조사

(1) 건설공사에 있어서 법령에 의한 규제를 받는 경우에는 공사에 미치는 영향의 범위, 이에 대한 규제의 정도, 수속, 대책 등에 관한 관계법을 조사해야 한다.

(2) The latest version as of the date of the contract of all standards and criteria including domestic law and international agreement shall be applied, and when a revision is made during construction, applicability shall be determined after consultation.

2.5.11 Environmental impact investigation after project implementation (follow-up)

(1) In the event that a railway or an HSR is 4km or longer, or the area of railway facilities is at least 100,000 m^2 in accordance with Article 2.1 or 2.2 of the Railroad Construction Act, or Article 2.6 of the Acton the Planning and Use of National Territory, the environmental impact shall be investigated and the results of said investigation shall be reported to the head of the approval authority and the Minister of Environment.

(2) In the event that measures to prevent an impact on the surrounding environment are found to be necessary through a follow-up environmental impact investigation, it shall be immediately reported to the head of the approval authority and the Environment Minister so that proper action can be taken.

(3) Scope, method, frequency and details of the follow-up environmental impact investigation shall be in accordance with the notice defined by the Environment Minister.

(4) The period of follow-up environmental impact investigation shall be three (3) years after project completion from the date of the project kick-off.

2.6 Work by design stage

2.6.1 General

(1) Civil works design shall be standardized on a step-by-step basis according to the project purpose and characteristics, ensuring the improvement of design quality, design efficiency and substantiality.

(2) Investigation shall include site investigation, all kinds of natural environment investigation and data collection defined at the design stage, and the investigation results shall be filed.

(3) Planning shall include developing, comparing and analyzing feasible plans based on the investigation results in order to determine an optimal alternative.

(4) Design shall be based on the optimal alternative selected according to the results of investigation and planning, and shall technically specify the structures and appurtenant facilities for the project purpose.

(5) Design drawing refers to a document drawn by a designer to describe the shape and dimension of the facilities presented in the project plan, and shall serve as the basis of quantity estimate and breakdown, and shall describe all instructions for a construction contractor to develop a shop drawing, and shall include detailed drawings and structural calculation to clarify the complex details.

(2) 현재 유효한 최신본을 적용해야 하며, 공사시행 중 개정되는 경우 개정본 적용여부는 협의 후 결정해야 한다.

2.5.11 사업시행(사후) 환경영향 조사

(1) 철도건설법 제2조 제1항 및 제2항 또는 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제2조 제6항에 따른 철도 또는 고속철도의 건설사업 중 4킬로미터 이상이거나 철도시설의 면적이 10만m^2 이상의 경우에는 환경영향을 조사 하고 그 결과를 승인기관의 장과 환경부장관에게 통보해야 한다.사후환경영향조사 결과 해당 사업으로 인한 주변 환경의 피해를 방지하기 위하여 조치가 필요한 경우에는 지체 없이 이를 승인기관의 장과 환경부장관에게 통보하고 필요한 조치를 해야 한다.

(2) 사후환경영향조사의 조사내용, 조사방법, 조사주기, 그 밖에 필요한 사항은 환경부장관이 정한 고시 내용으로 한다.

(3) 철도건설 사업의 사후환경영향조사 기간은 사업 착수 시부터 사업 준공 후 3년까지로 한다.

2.6 설계의 단계별 업무구분

2.6.1 일반사항

(1) 철도노반공사의 설계업무는 사업추진단계별로 과업목적과 특성에 맞게 표준화하여 설계성과의 품질향상과 설계업무의 효율화 및 내실화 할 수 있게 해야 한다.

(2) 조사업무는 현지답사 각종 자연환경조사, 자료수집 등 각 설계용역단계에서 명시한 내용들을 조사・검토 분석하고, 그 결과를 종합해야 한다.

(3) 계획업무는 조사업무를 토대로 하여, 실행 가능한 여러 대안을 계획하고, 비교・분석하여 과업목적에 적합한 최적안을 선정할 수 있게 해야 한다.

(4) 설계업무는 조사와 계획업무의 결과에 따라 선정된 최적안을 바탕으로 하여 과업목적에 적합한 시설물과 부대사항 등을 기술적으로 구체화 해야 한다.

(5) 설계도면은 과업계획에서 제시된 목적물의 형상과 규격 등을 표현하기 위해 설계자가 작성한 도면으로서 물량산출과 내역산출의 기초가 되고, 시공자가 시공상세도를 작성할 수 있는 모든 지침이 표현되어야 하며, 복잡한 부분을 판독할 수 있는 상세설계도와 구조계산을 포함해야 한다.

(6) Shop drawing shall describe the construction method and sequence on a step-by-step basis, based on the design drawing, to ensure that the construction contractor can secure the safety and quality of facilities, and shall be subject to approval by the supervision engineer.

2.6.2 Scope of design by stage

(1) General

① Design shall be carried out in order of feasibility study (including basic plan), basic design and detailed design according to the project stage. However, feasibility study and basic design or detailed design may be carried out at the same time depending on the scale and characteristics of a project.

② When carrying out a feasibility study and basic design or basic design and detailed design at the same time, an integrated work instruction shall be developed to fully incorporate the individual work instructions.

③ The design of railway civil work shall be carried out together with technical parts including track, building, electricity, telecommunications and signaling in order to optimize technical connectivity.

(2) Classification of the design scope

① Feasibility study (including basic plan)

With the project goal based on the basic concept of a target project, technical, social and environmental feasibility shall be evaluated comprehensively and project implementation approaches shall be compared and evaluated before determining an optimal solution to establish a basic plan and develop the principle of the basic design and technical data.

② Basic design

Based on the feasibility study, the investigation, analysis, comparison and review of scale, layout and shape of facilities, construction method, schedule and cost shall be carried out to determine an optimal solution, and preliminary design of major facilities shall be carried out and technical data such as design criteria and requirements necessary for detailed design shall be developed.

③ Detailed design

Based on the basic design, detailed investigation, analysis, comparison and review of scale, layout and shape of facilities, construction method, schedule, cost and maintenance shall be carried out to determine an optimal solution, detailed design shall be carried out, and technical data necessary for construction and maintenance shall be developed.

(6) 시공상세도면은 시공자가 목적물의 품질확보와 안전시공을 할 수 있게 공사진행 단계별로 요구되는 시공방법과 순서 등을 설계도면을 근거로 하여 작성해야 하며 감리자의 승인을 받아야 한다.

2.6.2 설계의 단계별 업무내용

(1) 일반사항

① 설계는 사업추진단계에 따라 타당성조사(기본계획 포함), 기본설계, 실시설계를 순차적으로 시행하는 것으로 하며 다만, 공사의 규모와 특성에 따라 타당성조사와 기본설계 또는 실시설계를 함께 시행할 수 있다.

② 타당성조사와 기본설계 또는 기본설계와 실시설계를 함께 시행할 경우 통합 과업지시서는 개별 과업지시서의 내용을 충분히 반영하도록 작성해야 한다.

③ 철도토목분야의 설계는 설계상 연계성이 많은 궤도, 건축, 전기, 통신, 신호 등 관계 기술분야의 설계를 동시에 시행하여 기술적 연계성을 최적화할 수 있게 해야 한다.

(2) 설계업무의 구분

① 타당성조사(기본계획 포함)

대상사업의 기본구상을 토대로 하여 사업목표와 이를 위한 수단을 설정하여 경제적 및 기술적, 사회적, 환경적 타당성을 종합적으로 검토하여 사업시행의 타당성을 판단하며, 목적 시설물의 실현방법에 대한 여러 대안을 비교・검토하여 최적대안을 선정한 후 이에 대한 기본계획을 수립하고, 기본설계에 대한 기본방침과 기술자료를 작성하는 단계

② 기본설계

타당성조사를 토대로 하여 목적 시설물의 규모, 배치, 형태, 공사방법, 공사기간, 공사비 등에 대한 일반적인 조사 및 분석, 비교・검토를 거쳐 최적안을 선정하고, 주요시설에 대해서만 예비설계를 수행하며, 설계기준과 설계조건 등 실시설계에 필요한 기술자료를 작성하는 단계

③ 실시설계

기본설계를 토대로 하여 목적 시설물의 규모, 배치, 형태, 공사방법, 공사기간, 공사비, 유지관리 등에 대한 세부조사 및 분석, 비교・검토를 거쳐 최적안을 선정하고, 상세 설계를 수행하며, 시공 및 유지관리에 필요한 기술자료를 작성하는 단계

④ Design scope by stage shall include investigation, planning and design as described in <Table 2.6.1>, and the economic feasibility of the design shall be assessed according to Article 64 of the Enforcement Decree of the Construction Technology Management Act.

④ 설계용역수행을 위한 각 단계별 업무는 조사업무와 계획업무, 설계업무로 <표 2.6.1>와 같으며, 건설기술관리법시행령 제64조에 의한 설계의 경제성 등 검토를 시행해야 한다.

Chapter 3 Survey and Geotechnical Investigation

3.1 General

3.1.1 Scope of application

(1) This design criteria shall be applied to a basic plan for a variety of structures to be built on the ground including trackbed, building and equipment, as well as to the investigation to obtain related data for designing a structure for temporary retaining wall, retaining wall, underground structure or tunnel.

(2) Unless otherwise specified herein, other national criteria or internationally acceptable standards shall be applied with the approval of the client.

(3) Specific criteria or particular conditions may be used with the client's approval, if necessary.

(4) This Standard includes a basic investigation for design, and unless otherwise specified in this Standard, other standards agreed upon with the client may be used.

3.1.2 Definition of terms related to survey

(1) Reference point survey: a survey to set up a reference point that provides a reference point of location for design, construction and maintenance.

(2) Field survey: a site investigation along the route selected on the map to check whether the route and station plan is feasible and conforms to the project goal.

(3) Actual survey: a survey to set up a track centerline determined by prediction and to conduct profile leveling and cross-sectional leveling in order to estimate the geographical space information, construction cost and work volume necessary for railway design.

(4) Prediction: a survey to set up a centerline with a temporary nodal line along 2 or 3 alternative routes determined based on the field survey, and to calculate construction cost based on survey, profile leveling and cross-sectional crossing in order to compare the alternative routes.

(5) Land survey: a survey to define the boundary of land necessary for the railway site based on the cadastra map.

(6) Profile leveling: a survey to measure the elevation of the center point along the centerline based on the reference point of which elevation is determined.

(7) Turning point (TP): a point installed between railway reference points to enable a quick and convenient survey, which may be used as a reference point depending on the purpose of the survey.

제3장 측량 및 지반조사

3.1 일반사항

3.1.1 적용범위

(1) 이 설계기준은 노반, 건축물, 기계 등 지반에 축조되는 각종 구조물의 기초계획과 가설 흙막이구조물, 옹벽, 지하구조물, 터널 등 설계를 위한 관련 자료를 얻기 위하여 실시하는 조사에 적용한다.

(2) 이 기준에 기술되지 않은 사항에 대해서는 국가 기준으로 제정된 타 기준을 적용할 수 있으며 국제적으로 검증되어 통용되는 기준도 발주자의 승인을 얻어 적용할 수 있다.

(3) 특수여건에 대하여 별도의 기준을 정해야 할 경우에는 발주자의 승인을 얻어 별도의 기준을 정하여 사용할 수 있다.

(4) 이 기준에는 설계를 수행하기 위해 실시하는 기본적인 조사 관련사항을 포함하고 있으며 여기에서 기술하지 않는 사항에 대해서는 발주자와 협의된 별도의 기준을 사용할 수 있다.

3.1.2 측량 용어의 정의

(1) 기준점측량 : 설계, 시공, 유지관리 등에 위치의 기준을 제공하는 기준점을 현지에 설치하기 위하여 실시하는 측량

(2) 답사 : 도상계획에서 선정된 비교노선을 따라 노선 및 정거장입지 등이 실현가능하고 철도건설목적에 부합되는지에 대한 현장상황을 확인하는 작업

(3) 실측 : 예측으로 확정된 노선의 중심선을 현장에 설치하고, 종·횡단측량 등을 실시하여 철도설계에 필요한 지형공간정보, 공사비, 공사량을 산출하는 측량

(4) 예측 : 답사결과를 토대로 결정된 2~3개 유력 노선을 따라 임시절선으로 중심선을 설정하고 현황측량, 종단측량, 횡단측량결과로부터 건설비를 계산하여 비교노선의 우열을 판정하는 작업

(5) 용지측량 : 지적공부상의 자료를 기초로 하여 철도건설을 위하여 필요한 토지 등의 경계를 구분하고자 실시하는 측량

(6) 종단측량 : 표고가 결정된 기준점 등을 기준으로 노선의 중심선을 따라 설치된 중심점의 표고를 측정하는 작업

(7) 중간점(TP) : 측량작업의 신속성 및 편의성을 제공하기 위하여 철도기준점사이 구간에 설치하는 측량지점으로 측량의 목적에 따라 기준점으로 활용가능

(8) Centering: a survey to set up the centerline of the route determined based on the plan, field survey, prediction and design.

(9) Obstacle survey: a survey to check the location, size, quantity and characteristics of the obstacles including buildings, structures, plants, crops and other obstacles on surface, under the ground or in the air, standing in the way of the railway site or in the vicinity.

(10) Railway reference point: a survey reference point indicating the plane position and elevation reference in railway design, construction and maintenance.

(11) Aerial laser scanning: a survey to obtain 3D location and attributes of a station through an approach of receiving and processing the laser reflected wave from the laser scanning system on an airplane.

(12) Aerial photographic survey: a survey to produce a photographic map by analyzing and drawing a stereo photograph taken by the surveying camera on an airplane.

(13) Cross-sectional leveling: a survey to measure the difference in elevation within the range horizontally in the right angle to centerline from the profile leveling point of the centerline.

(14) GNSS (global navigation satellite system) survey: a survey to determine a geodetic point (3D rectangular coordinates, longitude & latitude coordinates, plane rectangular coordinates and elevation) by receiving a GNSS satellite signal from the GNSS receiver installed at a measuring point.

(15) Network RTK survey: a real-time kinematic positioning GNSS survey based on the National Geographic Information Institute's satellite reference point network.

(16) Session: A simultaneous survey at regular intervals using multiple GNSS receivers.

3.1.3 Definitions of the terms related to geotechnical investigation

(1) Penetration resistance measurement test (sounding): a test that includes standard penetration test and cone penetration test in a bid to identify the ground characteristics such as soil strength and deformation by penetrating a resistor into the ground.

(2) Foundation: the subgrade below the ground surface, required to maintain the stability and function of a built structure.

(3) Degree of compaction: ratio of field dry density to maximum dry density, determined through indoor compaction test.

(4) Dilatometer test: a test to measure engineering characteristics of the ground through an approach of inserting a flat plate-type test device into the ground and applying pressure to expand the steel membrane in order to determine the shear strength and deformation characteristics of ground.

(8) 중심선측량 : 계획, 답사, 예측, 설계 등의 과정에서 결정된 노선의 중심선을 현지에 설치하는 측량

(9) 지장물측량 : 철도용지 및 인접용지의 지하, 지표, 공중에 있는 건물, 공작물, 시설, 죽목, 농작물, 기타 물건 중 철도건설사업에 지장이 되는 물건의 위치, 크기, 수량 및 속성을 조사하는 측량

(10) 철도기준점 : 철도의 설계, 시공, 유지관리 등에 있어 평면위치 및 표고의 기준을 제공하는 측량기준점

(11) 항공레이저측량 : 항공기 탑재 레이저측량시스템에서 주사한 레이저의 반사파를 수신, 처리하여 측점의 3차원 위치와 속성을 취득하는 측량

(12) 항공사진측량 : 항공기 탑재 사진측량카메라로 촬영한 입체사진을 해석, 도화하여 지형도를 제작하는 측량

(13) 횡단측량 : 중심선의 종단측량점을 기준으로 하여 중심선의 직각방향 좌·우로 정해진 범위내에서 지형의 고·저차를 측정하는 작업

(14) GNSS(global navigation satellite system)측량 : 측점에 설치한 GNSS수신기로 GNSS위성신호를 수신하여 측점의 측지학적 위치(지구중심 3차원 직각좌표, 경위도좌표, 평면직각좌표 및 표고)를 결정하는 측량

(15) 네트워크 RTK측량 : 국토지리정보원의 위성기준점 네트워크에 기반한 실시간 이동측위방식의 GNSS 측량

(16) 세션(session) : 복수의 GNSS수신기를 이용하여 일정한 관측 간격을 두고 동시에 측량을 실시하는 단위작업

3.1.3 지반조사 용어의 정의

(1) 관입저항측정시험(sounding) : 표준관입시험, 콘관입시험 등 지중에 저항체를 관입시키면서 흙의 강도, 변형 등의 지반 특성을 판별하는 시험

(2) 기초지반 : 구조물이 축조되고 그 안정성과 기능을 유지하는데 필요한 지표면 아래의 지반

(3) 다짐도 : 실내다짐시험으로 얻은 최대 건조밀도에 대한 현장 건조밀도의 비

(4) 딜라토미터(dilatometer)시험 : 지반의 전단강도와 변형특성 등을 파악하기 위해 납작한 판형 시험 기구를 지중에 삽입하고 시험기구 속으로 압력을 가하여 강막(steel membrane)을 팽창시켜 지반의 공학적 특성을 측정하는 시험

(5) Drainage strength parameter: strength parameter obtained when compressing, tensing or shearing the soil or specimen while maintaining excess pore water pressure at 0.

(6) Drainage condition: the status of groundwater depending on permeability of the ground and stress variation pace when ground stress is changed. It is categorized into non-drainage condition when excess pore water pressure occurs and drainage condition when it does not occur.

(7) Main investigation: a series of geotechnical investigations to be carried out following the preliminary investigation to identify the ground characteristics at the site where the structure is located.

(8) Discontinuity: a surface structure with specific geometric characteristics including joint, cleavage, foliation, bedding, fault and fracture zone

(9) Non-drainage shear strength: the shear strength of the ground when loading on ground with low permeability while excess pore water pressure is not reduced due to drainage.

(10) Relative density: the value indicating the compaction degree of sandy soil.

(11) Slime: excavation residue floated in the water of borehole or deposited at the excavated bottom after boring and installing cast-in situ piles or diaphragm wall.

(12) Slaking-durability index: resistance index of rock against repeated drying and submersion.

(13) Lab test: a series of tests at the laboratory with disturbed or undisturbed samples taken from the foundation.

(14) Atterberg limits: values based on water content to define different soil characteristics according to water content, which are usually classified into liquid limit, plastic limit and shrinkage limit.

(15) Slurry: sludge used to prevent the collapse of a hollow wall during excavation for diaphragm wall or cast-in situ pile; generally, sodium montmorillonite is used.

(16) Bedrocks: rock including solid rock without crack and rock body with discontinuity.

(17) Rock: a solid mineral compound and that is usually classified into igneous rock, sedimentary rock and metamorphic rock.

(18) Consolidation: the compression to gradual volume change while pore water in clay layer is drained over an extended period of time.

(19) Consolidation parameter: a parameter relating to compression pace and volume in line with excess pore water pressure dispersed over time when load is imposed on the saturated clay layer. It includes compressibility index, re-compressibility index, pre-consolidation stress, coefficient of volume compressibility and coefficient of consolidation.

(20) Liquefaction: a phenomenon in which saturated loosened sand or silt layer behaves like liquid when losing shear strength by excess pore water pressure that occurs instantaneously due to impact or vibration.

(5) 배수강도정수 : 과잉간극수압이 영인 상태를 유지하며 지반이나 시험편을 압축, 인장 및 전단하였을 때 얻어지는 강도정수

(6) 배수조건 : 지반의 응력이 변화할 때 지반의 투수성과 응력변화 속도에 따라 발생하는 지반 내부의 지하수 상태를 나타내는 것으로 과잉간극수압이 발생하면 비배수조건, 과잉간극수압이 발생하지 않으면 배수조건으로 구분

(7) 본조사 : 예비조사 후 구조물이 위치하는 지점의 지반특성을 파악하기 위해 해당 지점에서 수행하는 일련의 지반조사

(8) 불연속면 : 절리(joint), 벽개(cleavage), 엽리(foliation), 층리(bedding), 단층(fault), 파쇄대(fracture zone) 등 암반 내에 특정한 기하학적 특징을 갖고 발달한 면구조(surface structure)

(9) 비배수전단강도 : 투수성이 낮은 지반에 재하 하였을 경우, 발생하는 과잉간극수압을 배수를 통하여 저감시키지 않는 상태에서의 지반의 전단강도

(10) 상대밀도 : 사질토의 다짐 정도를 나타내는 값

(11) 슬라임 : 시추, 현장타설말뚝, 지중연속벽 등의 시공을 위한 지반굴착 시 지상으로 배출되지 않고 공내수에 부유해 있거나 굴착저면에 침전된 굴착 찌꺼기

(12) 슬레이킹-내구성 지수(slaking-durability index) : 반복적인 건조와 침수 상태에 대한 암석의 저항 척도를 나타내는 지수

(13) 실내시험 : 원지반에서 채취한 불교란 혹은 교란시료에 대해 실험실에서 수행하는 일련의 시험

(14) 아터버그 한계 : 함수비에 따라 다르게 나타나는 흙의 특성을 구분하기 위하여 적용되는 함수비를 기준으로 한 값들로 일반적으로 액성한계, 소성한계, 수축한계로 구분됨

(15) 안정액(slurry): 지중연속벽이나 현장타설말뚝 시공 등을 위한 지반굴착 시 공벽의 붕괴방지를 목적으로 사용하는 현탁액으로 주로 소듐몬모릴로나이트(sodium montmorillonite)가 사용됨

(16) 암반 : 균열 없는 견고한 암석과 불연속면을 포함한 암체

(17) 암석 : 광물의 단단한 결합체를 의미하며 생성요인에 따라 화성암, 퇴적암, 변성암으로 구분됨

(18) 압밀 : 점성토 지반의 간극수가 장기간에 걸쳐 배수되면서 점진적인 체적변화로 압축되는 현상

(19) 압밀정수 : 포화된 점성토 지반에 하중이 재하될 때 시간에 따른 과잉간극수압 소산에 따라 나타나는 압축속도와 압축량에 관련되는 정수로 압축지수, 재압축지수, 선행압밀응력, 체적압축계수 및 압밀계수 등이 있음

(20) 액상화 : 포화된 느슨한 모래나 실트층이 충격이나 진동을 받아 순간적으로 발생한 과잉간극수압에 의해 전단강도를 잃고 액체처럼 거동하는 현상

(21) Preliminary investigation: a geotechnical investigation to identify the topographic and geologic characteristics of the railway site and surrounding area prior to main investigation.

(22) Auger boring: boring at soil layer using an auger.

(23) Spring out: groundwater flowing out of surface or groundwater flowing from the excavation surface during tunneling or tunnel excavation.

(24) Organic content: the organic content in soil, and the ratio of organic mass to oven dry condition of soil is expressed as percentage (%); measured by ignition loss test for high organic content soil and by organic content test for other soils.

(25) Stress relief: a phenomenon in which sample is released from the stress in ground after sampling.

(26) Unconfined compression strength: maximum compressive resistance of the sample measured through the unconfined compression test, which is double the non-drainage shear strength in saturated clay.

(27) Data survey: the activity of collecting a topographic map, geologic map, existing construction reports, data on neighboring structures and regional data which are required for basic design.

(28) Joint: discontinuity in the rock which is caused by heat, external force and other factors, but unlike a fault no relative displacement has occurred.

(29) Geophysical survey (physical prospecting): seismic survey, electrical prospecting, gravity prospecting, magnetic prospecting, radioactive prospecting for measuring physical properties of the ground in order to identify the bed structure of the ground and the engineering characteristics of each stratum.

(30) Ground change: a rapid change in the ground characteristics at an adjacent point.

(31) Geotechnical investigation: a series of surface investigation, boring, penetration resistance test, sampling, in-situ test, lab test and physical prospecting to obtain ground data required for designing a structure to be built on the ground.

(32) Additional investigation: additional geotechnical investigation to be carried out, if necessary, for design after main investigation.

(33) Bedding: a kind of discontinuity developed in sedimentary rock, which is formed in the course of sedimentation, which is also called stratification.

(34) Cone index: the values measured by static cone penetration such as penetration resistance of toe (q_c), unit frictional force between cone sleeve and ground (f_s) and pore water pressure measured by piezo cone (u).

(35) Coefficient of permeability (hydraulic conductivity): the value indicating the permeability characteristics of soil, rock or other porous media in velocity unit.

(21) 예비조사 : 본조사 수행 전 철도가 계획된 지역을 포함하여 광역적으로 지형, 지질 특성 등을 파악하는 지반조사

(22) 오거보링 : 주로 토사 지반에서 오거를 이용하여 시추하는 방법

(23) 용출수 : 지표면으로 솟아오르는 지하수 또는 터널이나 터파기 공사 등을 할 때 굴착면에서 솟아나는 지하수

(24) 유기물 함량 : 흙에 들어있는 유기물의 양으로 통상 유기물의 질량과 흙의 노건조 질량의 비를 백분율로 나타내며, 고 유기질토에서는 강열감량시험으로, 그 밖의 흙에서는 유기물 함유량 시험으로 측정

(25) 응력해방 : 시료 채취 후 시료가 원위치인 지중에서 받던 응력이 해방되는 현상

(26) 일축압축강도 : 일축압축시험에서 구한 공시체의 최대 압축저항력을 말하며 포화점토에서는 비배수전단강도의 2배가 됨

(27) 자료조사 : 기초 설계에 필요한 지형도, 지질도, 기존 공사보고서, 인접 구조물 관련 자료, 지역 관련 자료를 비롯한 각종 자료와 정보를 수집하는 행위

(28) 절리 : 열, 외력 등 여러 가지 요인에 의해 암반 내 발생하는 불연속면으로 단층과 달리 그 면을 기준으로 상대적인 변위가 없음

(29) 지구물리탐사(물리탐사) : 탄성파 탐사, 전기 탐사, 중력 탐사, 자기 탐사, 방사능 탐사 등 지반의 물리적 특성을 측정함으로써 지반의 층상 구조 및 각 지층의 공학적 특성을 조사하는 방법

(30) 지반변화 : 인접 지점에서 지반특성이 급격히 달라지는 현상

(31) 지반조사 : 지반상에 건설되는 구조물 설계에 필요한 지반정보를 획득하기 위하여 수행하는 일련의 지표조사, 시추, 관입저항측정시험, 시료채취, 원위치시험, 실내시험, 물리탐사 등을 총칭

(32) 추가조사 : 본조사 이후 설계 필요상 추가적으로 시행하는 지반조사

(33) 층리 : 퇴적암에서 발달하는 불연속면의 일종으로 퇴적물의 퇴적과정에서 형성되는 지질구조로 성층(成層)이라고도 함

(34) 콘지수 : 선단의 관입저항치(q_c), 콘 슬리브와 지반과의 단위마찰력(f_s) 및 피에조콘에서 측정되는 간극수압(u) 등 정적콘관입으로 측정되는 값

(35) 투수계수(수리전도도) : 흙, 암반 또는 기타의 다공성 매체에 대한 물의 투과 특성을 속도의 단위로 표시한 값

(36) Expansion (swelling): an increase in the volume of clay mineral due to water penetrated into the crystal layer.

(37) Standard penetration test (SPT): a test for calculating the number of hits (N value) required to penetrate 300mm by hitting a separate-type sample, 51 mm in outer diameter, 35 mm in inner diameter and 810 mm in length with a hammer of 623 N (63.5 kgf) in weight at the height of 760 mm of free fall.

(38) Pressure meter test: a test for calculating the ground deformation patterns around the borehole after inserting a cylindrical expandable measuring device into the borehole and applying pressure in a radial direction.

(39) Confined water (confined groundwater): aquifer water existing between the discontinuities exposed to more than atmospheric pressure without groundwater table.

(40) Field test: a geotechnical investigation to be carried out at the site to identify the engineering characteristics of the site ground.

3.2 Railway survey

3.2.1 Railway survey general

(1) Application of the standard

① The survey for the investigation, design, construction and maintenance of railway construction and improvement shall be in accordance with this Standard, and unless otherwise specified in this Standard, the 「Act on Land Survey, Waterway Survey and Cadastral Records 」and 「Work Provision for Public Survey」 shall prevail.

② When obtaining the survey result required by this Standard using technologies and equipment other than those specified in this Standard and the applicable laws, it shall be subject to the supervising engineer's approval.

(2) Survey standard and marking

① The location shall be indicated in geodetic longitude and latitude and height based on the world geodetic system. However, if necessary for cartography, it may be indicated in plane rectangular coordinates and elevation, polar coordinates and elevation and geocentric rectangular coordinates.

② World geodetic system, survey origin and numerical value and plane rectangular coordinates shall be in accordance with 「Article 27 of the Enforcement Decree of Act on Land Survey, Waterway Survey and Cadastral Records 」. However, reference elevation shall be 100m higher than the elevation announced by the National Geographic Information Institute.

③ Curve of railway shall be indicated in radius, and gradient shall be in .

(3) Measure unit and marking

(36) 팽창(팽윤) : 점토광물의 결정 층 사이로 물이 침투되어 체적이 증가하는 현상

(37) 표준관입시험(SPT) : 무게 623N(63.5kgf) 해머로 자유낙하고 760mm에서 외경 51mm, 내경 35mm, 길이 810mm의 분리형 샘플러를 타격하여 300mm 관입하는데 소요되는 타격횟수(N값)를 구하는 시험

(38) 프레셔미터시험 : 시추공 내에 원주형의 팽창성 측정장비를 삽입한 후, 방사방향으로 압력을 가하여 시추공주변 지반의 변형특성을 구하는 시험

(39) 피압수(피압 지하수) : 지하수면 없이 대기압 이상의 압력을 받고 있는 불투수층 사이에 존재하는 대수층의 물

(40) 현장시험 : 현장지반의 공학적 특성을 파악하기 위하여 현장에서 대상 지반을 상대로 시행하는 시험

3.2 선로측량

3.2.1 선로측량 일반

(1) 기준의 적용

① 철도건설 및 개량사업의 조사, 설계, 시공, 유지관리 등을 위한 측량은 이 기준에 따라야 하며, 이 기준에 규정되지 않은 사항은「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」과「공공측량 작업규정」을 적용한다.

② 이 기준 및 관련법규에 규정하지 않은 기술과 장비를 이용하여 이 기준에 규정된 품질의 측량성과를 얻고자 할 때에는 감독자의 승인을 받아야 한다.

(2) 측량기준 및 표시

① 위치는 세계측지계에 기준한 측지학적 경위도 및 높이로 표시한다. 다만, 지도제작 등 필요한 경우는 감독자의 승인을 얻어 평면직각좌표와 높이, 극좌표와 높이, 지구중심직각좌표로 표시할 수 있다.

② 세계측지계, 측량의 원점과 수치, 평면직각좌표의 기준은「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 시행령 제7조」에 따른다. 다만, 표고는 국토지리정보원이 고시한 표고에 100m를 더하여 기준표고로 한다.

③ 선로의 곡선은 반지름으로 표시하며, 기울기는 ‰로 표시한다.

(3) 측량단위 및 표지

① Distance and height shall be calculated down to the 3rd decimal place (0.001) in meters, and angle shall be calculated down to 0.1 sec in DMS unit, except when the calculation digit is separately specified for survey purposes.

② Survey indicators shall be classified into permanent indicators and temporary indicators, and indicator installation and management shall be in accordance with「Article 8 of the Act on Land Survey, Waterway Survey and Cadastral Records」and「Article 65 of the Work Provision for Public Survey」, except when the shape, size and material of a survey indicator are separately specified depending on the survey purpose and ground condition.

(4) Consultation and deliberation on public survey

① When railway survey corresponds to a public survey as defined in Article 2.3 of the「Act on Land Survey, Waterway Survey and Cadastral Records」, it shall be in compliance with the「Article 17」of the same Act.

② Those seeking to carry out a public survey shall submit a public survey plan for the approval of the Minister of Land, Infrastructure and Transport before starting the survey, and shall report the details including survey area, period and other necessary information to the mayor of the city and the governor of the province.

③ Those who will conduct a public survey shall carry out a railway reference point survey prior to starting design, and deliverables shall be subject to deliberation by the authority concerned according to Article 18 of the「Act on Land Survey, Waterway Survey and Cadastral Records」.

(5) Survey plan and schedule management

① The surveyor (hereinafter referred to as “Contractor”) shall submit to the supervising engineer a survey plan including the project title by activity, objective, location, quantity, period, manpower and equipment to be mobilized, the type and contents of surveying point records to be used and other information defined by the supervising engineer for approval.

② The contractor shall carry out schedule management according to the survey plan and report the progress to the supervising engineer.

(6) Survey equipment

① The contractor shall use survey equipment that has been certified according to Article 92.1 of the「Act on Land Survey, Waterway Survey and Cadastral Records」.

② The supervising engineer is entitled to ask the contractor for the equipment performance test if necessary, and the contractor shall comply with such request.

3.2.2 Reference point survey

(1) Reference point survey shall be carried out as follows.

① 거리 및 높이는 미터단위로 0.001자리까지, 각은 도분초단위로 0.1초까지 산출한다. 다만, 선로측량 목적상 산출 자리수를 따로 정한 경우는 이에 따른다.

② 측량표지는 영구표지와 임시표지로 구분하며, 표지의 설치 및 관리는「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 제8조」및「공공측량 작업규정 제65조」를 따른다. 다만, 선로측량의 목적과 지반상태에 따라 측량표지의 형상, 규격 및 재질을 따로 정한 경우는 이에 따른다.

(4) 공공측량 협의 및 심사

① 선로측량이「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」제2조 제3항의 공공측량에 해당될 때에는 같은 법률「제17조」를 준수해야 한다.

② 공공측량 시행자는 측량 착수 전에 공공측량작업계획서를 작성하여 국토교통부장관의 승인을 받아야 하며, 시·도지사에게 측량지역, 측량기간, 그밖에 필요한 사항을 통지해야 한다.

③ 공공측량 시행자는 철도기준점측량을 설계에 앞서 시행하고 그 성과품은「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 제18조」에 따라 관계심사기관의 심사를 받아야 한다.

(5) 측량작업 계획 및 공정관리

① 측량작업자(이하 “수급인”이라 한다)는 작업착수 전 공종별로 과업명, 목적, 위치 및 수량, 소요기간, 투입 인원 및 장비, 사용할 측량성과의 종류 및 내용, 기타 감독자가 정한 사항이 포함된 측량작업계획서를 감독자에게 제출하여 승인을 받아야한다.

② 수급인은 측량작업계획서에 따라 공정관리를 해야 하고, 그 진행상황을 감독자에게 보고해야 한다.

(6) 측량기기

① 수급인은「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 제92조 제1항」에 따라 성능검사를 필한 측량기기를 사용해야 한다.

② 감독자는 수급인에게 필요시 측량기기 성능검사를 요구할 수 있으며, 수급인은 이에 응해야 한다.

3.2.2 기준점측량

(1) 기준점측량은 다음 각 호와 같이 실시한다.

① GNSS survey and leveling shall be carried out based on the national reference point and the existing railway reference point. However, unless otherwise specified in this Standard, it shall be in accordance with 「Part II Public Reference Point Survey, Work Provision for Pubic Survey (Class 1, Public Triangulation Point Survey and Class 2, Public Benchmark Survey).

② Survey equipment shall be GNSS receiver, transit, distance meter, total station, level and other accessories in accordance with 「Article 102 of the Enforcement Decree of the Act on Land Survey, Waterway Survey and Cadastral Records」.

③ Railway reference point shall be set as follows.

A. Railway reference point shall be set at a point where there is no possibility of ground displacement, where there is good visibility and no GNSS wave receive failure.

B. Railway reference point shall be set at intervals of 500 m along the route, and the interval may be adjusted through consultation with the supervising engineer if it cannot be set at regular intervals in a mountainous area or an urban area.

(2) Plane position survey of railway reference point

① An observation plan shall be made as follows considering GNSS observation.

A. It shall consist of satellite reference point, integrated reference point, triangulation point, and benchmark among the national reference points, and railway reference point.

B. An observation network shall be in a triangular, rectangular or combined shape.

C. GNSS observation network shall be configured to have 2 or more points between the sessions.

D. There shall be at least one railway reference point to be used as an elevation base every 2 km, and the elevation shall be determined before GNSS observation according to this Standard, 「3.2.2 (3) Elevation Survey of Railway Reference Point」.

② GNSS observation shall comply with the following.

A. GNSS observation shall be performed in accordance with the static positioning (static survey) method.

B. GNSS observation shall receive at least 4 GNSS satellite signals in normal operation and at an altitude angle of 15° or more.

C. GNSS observation shall continue for over 2 hours per session, and the data acquisition interval shall be 30 sec. However, when observation distance (between given point and new point) is longer than 10 km, 2 sessions or more shall be observed.

③ After observation, check calculation and average calculation shall be carried out to determine the outcome of railway survey (longitude and latitude, plane rectangular coordinate).

① 국가기준점 및 기존 철도기준점을 기준하여 GNSS측량 및 수준측량을 실시한다. 다만, 이 기준에 규정되지 않은 사항은 「공공측량 작업규정 제2편 공공기준점측량(1급 공공삼각점측량 및 2급 공공수준점측량)」에 따른다.

② 측량장비는 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 시행규칙 제102조」의 1급 이상 성능을 가진 GNSS수신기, 트랜싯, 거리측정기, 토털스테이션,_레벨 및 이에 상당한 부속장비를 사용해야 한다.

③ 철도기준점은 다음 각 호의 사항과 같이 설치해야 한다.

가. 철도기준점은 지반변위의 우려가 없고 시계가 양호하며 GNSS전파수신장애가 없는 지점에 선점해야 한다.

나. 철도기준점은 예정노선을 따라 약 500m 간격으로 설치하며, 산악지, 도심지 등에서 일정간격으로 설치할 수 없는 경우 감독자와 협의하여 기준점 설치간격을 조정할 수 있다.

(2) 철도기준점 평면위치측량

① GNSS관측을 고려하여 다음 각 호와 같이 관측계획도를 작성해야 한다.

가. 국가기준점 중 위성기준점, 통합기준점, 삼각점, 수준점과 철도기준점으로 구성한다.

나. 관측망은 삼각형, 사각형 또는 이를 혼합하여 구성한다.

다. 세션간 중복점이 2점 이상 되도록 GNSS관측망을 구성해야 한다.

라. 표고기준으로 사용될 철도기준점은 약 2km에 1점 이상으로 배치되어야 하며, 그 표고를 GNSS관측 이전에 본 기준 「3.2.2(3) 철도기준점 표고측량」에 따라 결정해야 한다.

② GNSS관측은 다음 각 호의 사항을 준수하여 실시해야 한다.

가. GNSS관측은 세션 모두 정적간섭측위(정지측위) 방법으로 실시한다.

나. GNSS관측은 정상운영중이며 고도각 15° 이상인 GNSS위성신호를 동시에 4개 이상 수신해야 한다.

다. GNSS관측은 세션당 2시간 이상 연속되어야 하며, 데이터 취득간격은 30초로 한다. 다만, 관측거리(기지점과 신점간 거리)가 10km를 초과할 경우는 2세션 이상 관측해야 한다.

③ 관측종료 후에 다음 각 호와 같이 점검계산 및 평균계산을 실시하여 철도기준점의 성과(경위도, 평면직각좌표 등)를 결정한다.

A. Baseline analysis shall calculate all baseline vectors indicated on an observation map using the FIX method that fixes the national reference points.

B. To check the calculation, loop closure error of unit triangular net and the cross of the double-observed baseline vector shall be calculated, and when the tolerance in <Table 3.2.1> is exceeded, it shall be resurveyed.

Table 3.2.1 Tolerance in surveying plane position of railway reference point

Object	Checkpoint	Tolerance	Remarks
Unit triangular net	Closure error in each component of △X, △Y, △Z by baseline analysis	2PPM× ∑D	D : distance (km)
Overlapped observation side	Cross of each component of △X, △Y, △Z by baseline analysis	20 mm	

C. Average calculation shall be carried out while fixing the satellite reference point, integrated reference point, plane position of triangular point, and benchmark, as well as the elevation of the railway reference point.

④ The result of the survey of plane position of railway reference point shall include observation data file, observation record, calculation log, result table, survey result, accuracy management table, reference point network, reports and other deliverables defined by the supervising engineer.

(3) Leveling of railway reference point

① Elevation of railway reference point shall be determined by the direct leveling after setting a leveling route that makes a connection between the first and second class benchmark and the railway reference point. But when connecting to the existing railway, the relationship with the existing formation level shall be clarified.

② Leveling shall be carried out by round trip observation, and the sight length shall be less than 60m and level staff less than 1mm.

③ An over-river (sea) leveling shall be applied to the leveling of a river or sea for which a direct leveling is unavailable.

④ Closure error from the leveling calculation, loop closure error or closure error from one given point to another point given point shall be obtained, and when the tolerance in <Table 3.2.2> is exceeded, it shall be resurveyed.

가. 기선해석은 국가기준점을 고정한 고정(FIX)해법으로 관측도에 표시된 모든 기선벡터를 산출한다.

나. 점검계산은 단위 삼각망의 환폐합차 및 중복 관측된 기선벡터의 교차를 구하며, 〈표 3.2.1〉의 허용범위를 초과할 경우 재측해야 한다.

표 3.2.1 철도기준점 평면위치측량의 허용범위

대상	점검사항	허용범위	비고
단위삼각망	기선해석에 의한 △X, △Y, △Z, 각 성분의 폐합차	2PPM× ∑D	D : 사거리(km)
중복 관측변	기선해석에 의한△X, △Y, △Z, 각 성분의 교차	20mm	

다. 평균계산은 위성기준점, 통합기준점, 삼각점의 평면위치와 수준점과 철도기준점의 표고를 고정하여 실시한다.

④ 철도기준점 평면위치측량 성과품은 관측데이터 파일, 관측기록부, 각종 계산부, 성과표, 점의조서, 정확도관리표, 기준점망도, 보고서와 기타 감독자가 정한 성과품을 포함해야 한다.

(3) 철도기준점 표고측량

① 철도기준점 표고는 1등·2등 수준점과 철도기준점을 연결하는 수준노선을 선정하여 직접수준측량을 실시하여 결정한다. 다만, 기존선로와 연결할 때에는 기존선로 시공기면과의 관계를 명확히 해야 한다.

② 수준측량은 왕복관측을 해야 하며, 시준거리는 60m 이내, 표척은 1mm 단위 이하까지 읽어야 한다.

③ 직접수준측량이 불가능한 하천, 바다 등의 수준노선은 도하(해)수준측량으로 연결해야 한다.

④ 수준측량계산부로부터 노선왕복차, 환폐합차 또는 기지점에서 다른 기지점까지의 폐합차를 구하고, 〈표 3.2.2〉의 허용범위를 초과할 경우 재측해야 한다.

Table 3.2.2 Tolerance of railway reference point leveling

Object	Checkpoint	Tolerance	Remarks
Leveling route	Closure error	5 mm	S : one-way distance(km)
	Joint error between given points	15 mm	
Leveling circuit	Loop closure error	5 mm	

⑤ Elevation of a railway reference point shall be determined by the leveling net adjustment that fixes the first and second class benchmark. At this moment, gravity percentage of elevation difference shall be the inverse of the route distance.

⑥ Leveling deliverables of a railway reference point shall include observation network map (1/50,000 ~ 1/25,000), observation record, leveling calculation log, survey result and report.

3.2.3 Field survey and prediction

(1) Field survey

① A railway plan and an elevation view shall be prepared according to 「Korea Standard of CAD Drawing in Railway 」 through comparing the site conditions with the start/end point, route, distance, maximum gradient, minimum radius of curvature and the location of major structures on the national base map or the topographic map issued by local governments or public agencies.

② A tape measure, portable laser distance meter, hand level, tiltmeter, compass and other necessary equipment may be used for a simple topographic survey.

③ The route map, approximate budget, and expected traffic, industrial & economic effects shall be included in the report.

(2) Prediction

① Prediction shall be carried out at the stage of basic plan or basic design, and plane survey, leveling and field survey shall be carried out along the route selected through the field survey prior to planning a railway centerline, formation level, station and signal station and other necessary facilities, and the ground data to determine an optimal route to meet the functional and performance requirements (quantity and construction cost) shall be prepared.

표 3.2.2 철도기준점 표고측량의 허용범위

대상	점검 사항	허용 범위	비고
수준노선	왕복차	$5mm\sqrt{S}$	S : 편도거리(km)
	기지점간 결합오차	$15mm\sqrt{S}$	
수준환	환폐합차	$5mm\sqrt{S}$	

⑤ 철도기준점의 표고는 1등·2등 수준점을 고정한 수준망조정에 의하여 결정한다. 이때 관측값(표고차)의 경중률은 노선거리의 역수로 한다.

⑥ 철도기준점 표고측량 성과품은 관측망도(1/50,000~1/25,000), 관측기록부, 수준측량 계산부, 점의조서, 보고서를 포함해야 한다.

3.2.3 답사 및 예측

(1) 답사

① 국가기본도 또는 지방자치단체·공공기관 등이 제작한 지형도상에 계획(예정)한 선로의 시·종점, 통과지, 거리 및 최급 기울기, 곡선최소반경, 주요 구조물 위치를 비롯한 제반 조건을 현장과 대조하여 「철도분야 전자도면작성표준」에 따라 선로평면도 및 선로종단면도를 작성한다.

② 간단한 지형측량이 필요할 때는 줄자, 휴대용 레이저 거리측량기, 핸드레벨, 경사계, 나침반, 기타 필요장비를 사용할 수 있다.

③ 노선도, 개략예산 및 교통, 산업, 경제적 영향 등을 검토하여 보고서에 수록한다.

(2) 예측

① 기본계획 또는 기본설계 때에 시행하며, 답사에서 선정한 노선을 따라 평면측량, 수준측량, 현황측량 등을 실시하여 선로중심선, 시공기면, 정거장, 신호소 및 기타 필요시설을 개략적으로 계획하고, 계획선로의 기능과 성능에 적합한 최적노선을 선정하는 근거자료(수량 및 건설비)를 작성한다.

② Plane position survey shall be carried out based on the national reference point, railway reference point and public triangular point which were previously set near the candidate route, as follows.

A. Interval of a measuring point of a centerline shall be 40m or less, but at a mountainous area, slope or curve, it shall be 20m or less.

B. A predicted point shall be marked with a pile or paint, and the pile shall be used if necessary for a continuous survey, or at an intersection point (IP) or other necessary points.

③ Elevation of a centerline and major points shall be measured through direct leveling, based on the first and second class benchmark, railway reference point and public benchmark. However, an indirect leveling using total station or GNSS may be applied at a location such as a steep slope or mountainous area where it is impossible to perform direct leveling.

④ To use as basic data to predict and determine the location of bridge, tunnel and other major facilities, survey of topographical features and ground & underground utilities within 600m from the centerline shall be carried out.

⑤ Survey equipment shall include a Grade 2 or higher GNSS receiver in accordance with Article 102 of the 「Enforcement Ordinance of the Act on Land Survey, Waterway Survey and Cadastral Records」, transit, distance meter, total station, level and other accessories.

⑥ After field survey and prediction, a railway plan (1/5,000) and elevation view (width 1/5,000, length 1/1,000), railway diagram and report shall be prepared according to 「 Korea Standard of CAD Drawing in Railway 」. However, any change in scale shall be subject to the approval of the supervising engineer.

3.2.4 Actual Survey

(1) Prior to starting a detailed design, survey shall be performed in the form of field survey, centerline survey, profile leveling, cross-sectional leveling and other surveys.

(2) An intermediate point may be set between the railway reference points for efficient survey. The intermediate point shall be based on the railway reference point, and its method and accuracy shall be as follows.

① Plane position of an intermediate point shall be determined by the combined traverse survey or GNSS survey, while elevation shall be determined by leveling survey.

② Traverse surveying

A. Survey shall follow the combined traverse surveying that starts from the base line including one given point (fixed) to combine the base line including another given point (minimum given points on one traverse network is three).

② 평면위치측량은 예비선로 주위에 매설된 국가기준점, 철도기준점, 공공삼각점을 기준으로 다음 각 호와 같이 수행해야 한다.

가. 중심선의 측점간격은 40m 이하로 한다. 다만, 산지 등의 경사지역 또는 곡선부 기타 예측에 필요한 지점은 20m 이하로 한다.

나. 예측지점은 말뚝, 페인트 등으로 표시하며, 계속조사를 요하는 장소, 교점(IP) 및 기타 필요하다고 인정되는 지점에는 본 말뚝을 사용한다.

③ 중심선 및 주요 지점의 표고는 1등·2등 수준점, 철도기준점, 공공수준점을 기준으로 직접수준측량으로 측정한다. 다만, 급경사지역, 산악지역과 같이 직접수준측량이 난해한 지역에서는 토털스테이션, GNSS 등에 의한 간접수준측량을 할 수 있다.

④ 교량, 터널 등의 주요 시설물 설치위치를 예측·결정하는 기초자료로 활용하기 위하여 중심선에서 좌우 약 600m 범위의 지형 및 지하·지상물 조사 측량을 실시해야 한다.

⑤ 측량장비는 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 시행규칙 제102조」의 2급 이상 성능을 가진 GNSS수신기, 트랜싯, 거리측정기, 토털스테이션, 레벨 및 이에 상당한 부속장비를 사용해야 한다.

⑥ 현장조사, 예측 등의 작업이 완료되면 「철도분야 전자도면 작성표준」에 따라 선로평면도(1/5,000), 선로종단면도(가로 1/5,000, 세로 1/1,000), 선로일람도, 보고서를 작성한다. 다만, 축척을 변경할 때에는 감독자의 승인을 받아야 한다.

3.2.4 실측

(1) 실시설계를 위한 현황측량, 중심선측량, 종단측량, 횡단측량, 기타측량으로 구분하여 시행한다.

(2) 실측을 원활히 수행하기 위하여 철도기준점 사이에 중간점을 설치할 수 있다. 중간점 측량은 철도기준점을 기준하며, 그 방법 및 정확도는 다음과 같다.

① 중간점의 평면위치는 결합트래버스측량 또는 GNSS측량에 의해 결정하고, 표고는 수준측량에 결정한다.

② 트래버스측량(traverse surveying)

가. 측량은 한 점의 기지점(고정점)이 포함된 기선을 출발하여 다른 기지점이 포함된 기선 결합하는 결합트래버스 방법에 따른다(1개의 트래버스망에서 최소기지점은 3점 이상).

B. Interval between measuring points shall be 100 to 300 m.

C. Observed variables on a single traverse network shall be within 8 sides, except in tunnel section.

D. Horizontal angle shall be measured (at every second) at a single measuring point with 2-cycle observation (0 and 90° horizontal scale) according to the direction method, and the cross limit shall be less than 5 sec.

E. Vertical angle shall be measured (at every second) at a single measuring point with 2-cycle observation based on 1 cycle of telescope diameter (D) and radius (R), and the cross limit shall be less than 5 sec.

F. Vertical angle shall be measured in both directions.

G. Distance measuring (in mm) shall be based on one (1) unit comprising one (1) collimation and three (3) reads. After 1-unit observation is completed, 2-unit observation shall be carried out at intervals of 10 minutes or more.

H. Temperature and air pressure shall be measured for meteorological correction before/after distance measurement, and standard atmospheric pressure may be used.

I. The distance measured with a distance meter shall be used as a final distance for coordinate calculation after meteorological correction, spherical correction and plane distance correction by the coordinate system.

J. When calculating the coordinates by the combined traverse adjustment net, the joint error (direction angle) in the baseline direction shall be distributed equally to each measuring point, and the joint error of the coordinates between given points (latitude and departure error) shall be distributed according to the ratio of observed distance to the sum of lateral line distance.

K. When calculating the combined traverse net, the joint error in the direction angle shall be less than 5" + 7" (n: the number of observation angles) and the joint ratio (accuracy) of plane location shall be 1/50,000 or less.

③ GNSS surveying

A. Observation network shall be a traverse network making a connection between the railway reference point and the intermediate point.

B. Observations per session shall be carried out continuously for over an hour, and data acquisition interval shall be 30 seconds.

C. Average calculation shall be carried out with a railway reference point as a fixed point.

④ Leveling

A. Reciprocal observation shall be necessary and the maximum sight length shall be 70m or less, and the reading of the level staff shall be in 1mm units.

B. Tolerance of closure error, joint error between given points, and loop closure error shall be shown in <Table 3.2.3>, and when the tolerance is exceeded, it shall be measured again.

나. 측점간 거리는 100m 이상 300m 이내로 한다.

다. 1개의 트래버스망에서 관측변수는 8변 이내로 한다. 다만, 터널구간은 예외로 한다.

라. 수평각 관측(1초단위관측)시 1개 측점에서 방향관측법에 의한 2대회(수평눈금 위치 0도, 90도) 관측을 하고 대회교차 제한은 5초 이내로 한다.

마. 연직각 관측(1초단위관측)시 1개의 측점에서 망원경 정(D)·반(R)을 1대회로 한 2대회관측으로 하고 교차의 제한은 5초 이내로 한다.

바. 연직각은 양방향 관측을 한다.

사. 거리관측(밀리미터 단위관측)은 1시준 3읽음을 1단위로 하고 1단위 관측 후 10분 이상의 간격으로 2단위 관측을 해야 한다.

아. 거리관측 전후에 기상보정을 위한 온도와 기압을 측정해야 하며, 기압의 경우 표준대기압을 이용할 수 있다.

자. 거리측량기 등으로 관측된 거리는 기상보정, 구면보정 및 좌표계에 의한 평면거리보정을 한 후 좌표계산을 위한 최종거리로 사용해야 한다.

차. 결합트래버스 조정망에 의한 좌표계산시 기선방향에 대한 결합오차(방향각 오차)는 각 측점에 등분하여 배분하며, 기지점간 좌표의 결합오차(위거 및 경거차)는 각 측선의 거리합에 대한 각 측선의 관측거리 크기에 따라 배분한다.

카. 결합트래버스망 계산시 방향각의 결합차는 $5'' + 7''\sqrt{n}$ (n: 측각수) 이내로 하며, 평면위치의 결합비(정확도)는 1/50,000 이하이어야 한다.

③ GNSS측량

가. 관측망은 철도기준점과 중간점을 연결하는 다각망을 구성한다.

나. 세션당, 1시간 이상 연속관측해야 하며, 데이터취득간격은 30초로 한다.

다. 철도기준점을 고정점으로 하여 평균계산을 한다.

④ 수준측량

가. 왕·복 관측을 해야 하고 최대시준거리는 70m 이내로 하며, 표척의 읽음은 1mm단위로 한다.

나. 왕복차, 기지점간 결합오차, 환폐합차의 허용범위는 〈 표 3.2.3〉와 같으며, 허용범위를 초과하는 경우 재측해야 한다.

Table 3.2.3 Tolerance of leveling

Object	Items	Tolerance	Remarks
Leveling route	Closure error	10 mm	S : one-way distance (km)
	Joint error between given points	15 mm	
Leveling circuit	Loop closure error	10 mm	

⑤ Survey equipment shall be the same as the equipment used for measuring a railway reference point.

⑥ Standard plastic pile, wooden pile or metallic sign shall be set at an intermediate point, and records of surveying point shall be produced accordingly.

(3) Field survey shall be in accordance with the following.

① Topography and obstacles within 200 m along the railway centerline based on the reference point and contour at intervals of 1m shall be measured to produce a digital map. However, when a temporary line is required, the survey range shall be expanded accordingly.

② When aerial survey is conducted, it shall be done in accordance with the 「Work Provision for Aerial Survey」.

③ When a field survey is carried out using a total station at a small area or at a location where aerial photography is difficult, it shall be ensured that a topographic map can be produced through aerial photographs, and a level of accuracy equivalent to aerial photography or higher shall also be secured.

④ When producing a status map or a digital elevation model using laser survey, it shall be in accordance with the 「Work Provision for Aerial Laser Survey」.

⑤ When conducting a field survey using the network RTL, it shall be in accordance with 「Part 6 of Network RTK Surveying, Work Provision for Public Survey」.

(4) Centerline survey shall be in accordance with the following.

① A railway reference point or an intermediate point shall be the reference point. An intersection point, start & end point of an intersection point, start & end point of a curve and a transition curve, and structure installation point, and a reference point shall be provided in preparation for possible loss, damage and displacement.

② Interval between center points shall be 20 m. However, an intermediate point shall be provided at a location where horizontal or vertical variation is significant or at other important locations, and the interval between center points may be extended to more than 20m with the approval of the supervising engineer when there are many obstacles, including river, seaside or urban area.

표 3.2.3 수준측량의 허용범위

대상	점검 사항	허용 범위	비고
수준노선	왕복차	$10mm\sqrt{S}$	S : 편도거리(km)
	기지점간 결합오차	$15mm\sqrt{S}$	
수준환	환폐합차	$10mm\sqrt{S}$	

⑤ 측량장비는 철도기준점측량에 사용하는 측량장비에 준한다.

⑥ 중간점에는 규격품의 플라스틱 말뚝, 목재말뚝 또는 금속제 표지를 견고하게 설치하고, 점의조서를 작성해야 한다.

(3) 현황측량은 다음 각 호의 사항을 준수하여 실시한다.

① 철도기준점을 기준으로 선로중심선 좌우 200m 폭 내부의 지형 및 지장물과 1m 간격의 등고선을 측정하여 수치현황도를 작성한다. 다만, 임시선 시설을 필요로 하는 장소에는 측정범위를 확대해야 한다.

② 현황측량을 항공사진측량에 의해 수행할 때에는「항공사진측량 작업규정」에 따라야 한다.

③ 소규모지역 또는 항공사진측량이 불가능한 지역에서 토털스테이션 등에 의한 현황측량을 실시할 경우에는 항공사진측량에 의한 지형도제작과 동등 또는 그 이상의 정확도가 확보되어야 한다.

④ 현황도 또는 수치표고모델을 레이저측량에 의해 작성할 때에는「항공레이저측량 작업규정」에 따라야 한다.

⑤ 현황측량을 네트워크 RTK측량으로 수행할 경우에는「공공측량 작업규정, 제6편 네트워크 RTK측량」에 따라야 한다.

(4) 중심선측량은 다음 각 호의 사항을 준수하여 실시한다.

① 철도기준점 또는 중간점을 기준점으로 한다.

② 선로의 교점, 곡선 시·종점, 완화곡선 시·종점, 구조물 설치지점의 표지는 견고하게 설치해야 하며, 망실·훼손·변위를 대비하여 인조점을 설치한다.

③ When centerline surveying is carried out by RTK-GNSS survey, distance between the reference station and the mobile station shall be within 500 m, and the accuracy of the location shall be checked by measuring a railway reference point or an intermediate point around the site before and after survey.

④ Checking survey shall check the discrepancy between the value on the design document and the measured value, and if the distance between intermediate points on the design document is s, the tolerance shall be s/3,000 at a flatland and s/2,000 in a mountainous area.

(5) Profile leveling shall comply with the following.

① It shall be carried out in a closure or combined leveling method from the railway reference point or intermediate point, and the sight length of direct leveling shall be within 70 m and a level staff shall be read in 1mm units.

② When direct leveling is difficult due to topographic or surrounding conditions at a mountainous area or an urban area, an indirect leveling using total station may be allowed with the approval of the supervising engineer.

③ When a railway centerline passes the river, reservoir or flooded region, ordinary water level, maximum flood level in past and date of occurrence shall be checked, and when it passes near the seaside, approximate highest high water level and mean sea level shall be examined.

④ Tolerance of profile leveling shall be in accordance with 「3.2.4 Survey, (2) ④ leveling」

(6) Cross-sectional leveling shall comply with the following.

① Elevation difference and distance shall be measured for the point with variable ground height at both sides (cross section) at a right angle to the center point. Elevation difference shall be measured through direct leveling or indirect leveling using total station, while the distance is measured using a distance meter or tape measure. When cross-sectional leveling is needed at a river or seaside, an appropriate method shall be determined and approved by the supervising engineer.

② The width (range) of a cross-sectional leveling shall be horizontally at least 50m from the center point; which, however, shall be determined by the supervising engineer based on design condition and site conditions.

③ When conducting a cross-sectional leveling, the material, shape, name and use of ground & underground structures as well as the depth and location of underground structures measured by the underground structure survey equipment shall be recorded.

③ 중심점 설치간격은 20m로 한다. 단, 지형상 종·횡단 변화가 심한 지점, 기타 주요 지점에는 중간점을 설치해야 하며, 하천, 해안, 도심지 등과 같은 장애물이 많은 지역에서는 사전 감독자의 승인을 얻어 중심점 설치간격을 20m 이상으로 할 수 있다.

④ 중심선측량을 RTK-GNSS측량으로 수행할 때에는 기준국과 이동국간의 거리를 500m 이내로 하며, 측량 착수 전과 종료 후에 현장주변의 철도기준점 또는 중간점을 검측하여 그 위치정확도를 확인해야 한다.

⑤ 점검측량은 인접하는 중심점간의 설계도서상 거리와 현장 측정값과의 교차를 구하며, 교차의 허용범위는 중심점간의 설계도서상 거리를 s라 할 때, 평지에서 s/3,000, 산지에서 s/2,000이다.

(5) 종단측량은 다음 각 호의 사항을 준수하여 실시한다.

① 철도기준점 또는 중간점으로부터 폐합 또는 결합수준측량 방식으로 실시해야 하며, 직접수준측량 시준거리는 70m 이내로 하고 표척은 1mm 단위까지 읽는다.

② 지형 및 기타 주변여건 상 직접수준측량이 불가능한 산림지, 도심지 등에서는 사전 감독자의 승인을 얻어 토털스테이션 등에 의한 간접수준측량을 할 수 있다.

③ 선로중심선이 하천, 저수지 및 홍수 시 범람지구를 경유할 경우에는 평수위와 과거 최대홍수위 및 발생연월일을 조사해야 하고, 해안에 근접할 경우에는 약 최고고조면 및 평균해면을 조사해야 한다.

④ 종단측량의 허용오차는 「3.2.4 실측, (2) ④ 수준측량」에 준한다.

(6) 횡단측량은 다음 각 호의 사항을 준수하여 실시한다.

① 중심점을 기준으로 중심선의 직각방향 좌·우 단면(횡단면)에서 지반고가 변하는 지점의 표고차와 거리를 측정한다. 표고차는 직접수준측량 또는 토털스테이션에 의한 간접수준측량으로 측정하며, 거리는 거리측량기 또는 줄자 등을 사용한다. 또한 하천 및 해안에서의 횡단측량이 필요한 경우에는 적합한 방법을 선택하여 감독의 승인을 받아야 한다.

② 횡단측량의 폭(범위) 등은 중심점으로부터 좌우 50m 이상으로 하나, 설계조건과 작업지역의 지형여건에 따라 감독자가 결정한다.

③ 횡단측량 시 지하시설물을 포함한 지상구조물은 재질, 형태, 명칭, 용도와 지하시설물의 경우 지하시설물탐사장비 등에 의해 측정된 지하심도, 위치를 별도로 기록해야 한다.

(7) Upon finishing the survey, a railway plan (1/1,000), elevation view (row 1/1,000, column 1/400), cross section (1/100), and station plan (1/1,000) shall be prepared according to the 「Korea Standard of CAD Drawing in Railway」. However, any change in scale shall be subject to the approval of the supervising engineer.

(8) The supervising engineer shall check and compare the reference point, centerline and longitudinal and cross-section with the map developed by aerial survey, and if the accuracy fails to meet the requirement, they shall be supplemented or resurveyed by the contractor.

3.2.5 Land survey

(1) This includes the survey to set the right of way boundary marker at the point from the railway centerline to the boundary at a right angle based on the detailed design, the survey to prepare a drawing and details for the land acquisition process to apply for a project implementation plan for approval according to 「Articles 9 and 12 of Railroad Construction Law」 and the survey to prepare a drawing and item protocol in order to compensate for loss due to incorporating into public land according to 「 Article 7 of the Enforcement Decree of the Act on Acquisition of And Compensation for Land, etc. for Public Works Projects」.

(2) Right of way boundary marker shall be in accordance with the following.

① Right of way boundary shall be measured based on a railway reference point and track centerline using total station or GNSS.

② Boundary marker (excluding the segment of sectional superficies) shall be installed at intervals of 200 m on a straight section at a flatland and at intervals of 40m on a curved section, and at change points at a mountain area or an area where the change is significant to clarify the boundary, irrespective of the distance.

③ Right of way boundary marker shall be installed at the points specified in 「Article 60.2 of the Enforcement Ordinance of the Act on Land Survey, Waterway Survey and Cadastral Records (wooden or steel)

④ The aforementioned steel nail (#3), instead of a boundary marker, shall be installed at a structure or obstacle on the boundary line according to the boundary survey.

(3) Land survey shall be in accordance with the following.

① Drawing of land shall be prepared based on a serial cadastral map provided by local governments.

② Drawing of land shall be prepared in 1/1,000 scale. Permanent acquisition, land for sectional superficies and rent shall also be investigated in detail, and incorporated in the project implementation plan for approval.

(7) 실측이 완료되면 「철도분야 전자도면작성표준」에 따라 선로평면도(1/1,000), 선로종단면도(가로 1/1,000, 세로 1/400), 선로횡단면도(1/100), 정거장 평면도(1/1,000)를 작성한다. 다만, 축척을 변경할 때에는 감독자의 승인을 얻어야 한다.

(8) 감독자는 기준점, 중심선 및 종·횡단측량 결과를 항공사진측량 등에 따라 작성된 현황도에 투영하여 성과품을 상호 비교·검수해야 하며, 허용정확도에 미치지 못하는 성과품에 대하여는 수급인으로 하여금 보완 또는 재측량을 하도록 한다.

3.2.5 용지측량

(1) 실시설계에 근거하여 선로중심선 등에서 선로직각방향의 용지경계지점에 용지경계표지를 설치하는 측량과 실시설계의 과업지역에 편입되어 손실보상의 대상이 되는 토지에 대해 「철도건설법 제9조 및 제12조」에 의한 사업실시계획승인 신청, 「공익사업을 위한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률시행령 제7조」에 의한 공공용지편입에 따른 손실보상을 위한 도면 및 세목조서 작성을 위한 측량을 수행한다.

(2) 용지경계표지는 다음 사항을 준수하여 설치한다.

① 용지경계지점은 철도기준점과 선로중심선을 기준으로 하여 토털스테이션 또는 GNSS를 사용하여 측량한다.

② 용지경계표지(구분지상권 설정구간을 제외)는 평지의 직선구간에서는 200m 이내, 곡선구간에서는 40m 이내에 설치하고 산지부 및 경계변화가 심한 곳에서는 거리와 관계없이 변경점에 설치하여 경계가 명확하도록 한다.

③ 용지경계표지는 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 시행규칙 제60조 제2항」의 경계점표지(목재 또는 철못)를 설치한다.

④ 경계표지를 설치할 수 없는 용지경계선상에 있는 구조물 및 지장물은 경계측량에 따라 전항의 철못3호를 설치한다 .

(3) 용지측량은 다음 각 항을 준수하여 실시한다.

① 용지도는 해당지자체의 협조를 받아 취득한 연속지적도를 기반으로 작성한다.

② 용지도는 1/1,000로 작성한다. 또한, 세목조서상 영구편입, 구분지상권 해당필지 및 임대사용 대상의 토지도 상세히 조사하여 사업실시계획 승인시 반영해야 한다.

③ A certified copy of the real estate register and land register shall be issued by the competent court and local governments (City, Gun, Gu) referring to the cadastral map and drawing of land in order to carry out cadastral record survey, based on which the general information on land (area, land category) and the ownership (owner and person concerned) shall be confirmed.

3.2.6 Obstacle survey

(1) Any obstacles for loss compensation within the project area shall be investigated at the detailed design stage, and a status report necessary for loss compensation shall be prepared according to 「Act on Special Cases concerning the Acquisition of Lands for Public Use and the Compensation for their Loss」 and 「Land Expropriation Act」.

(2) Survey and investigation of topography (hill, bank), boundary, change of land form, building, grave, well or pole and any other structures in the vicinity of the railway construction site shall be carried out.

(3) Unless otherwise specified in this Standard, it shall be investigated and prepared in accordance with the 「Act on Public Notice of Value and Appraisal of Lands, etc」, 「Act on Special Cases concerning the Acquisition of Lands for Public Use and the Compensation for their Loss」, 「Land Expropriation Act」 and other applicable laws and regulations.

(4) As deliverables, land and obstacle investigation report, source data and photos of obstacle shall be submitted to the supervising engineer.

3.3 Geotechnical investigation

3.3.1 Summary

(1) Geotechnical investigation shall be classified into preliminary investigation, main investigation, supplementary investigation and the investigation during construction.

(2) The purpose of the preliminary investigation is to determine the location of the site, route or structure, and determine the location and the quantity of main investigation at the construction plan stage in order to obtain the data necessary for the design plan, and it is designed to identify the ground characteristics approximately based on the previous data survey, field survey and case study, and if necessary, site investigation (boring, hand auger boring, test excavation) shall be carried out.

(3) Main investigation shall be classified into wide investigation and precise investigation to obtain the data necessary for detailed design or construction, and this investigation shall include surface geological survey, physical prospecting, boring investigation, geophysical logging, field test, rock test, loading test, lab test, sampling, surface water and groundwater test, environmental investigation (harmful gas, shortage of oxygen) and geotechnical investigation under particular condition to identify the stratigraphic distribution, geological structure and engineering characteristics. Investigation and test method and procedure may vary depending on the purpose of construction and the type of structure.

③ 지적도와 용지도를 참조하여 등기부등본 및 토지대장(임야대장)을 해당 법원 및 시, 군, 구에서 발부받아 지적공부조사를 실시하고, 이를 기초로 토지에 대한 일반사항(면적, 지목 등)과 권리관계(소유자 및 관계인)를 조사한다.

3.2.6 지장물측량

(1) 실시설계 시 과업지역에 편입되어 손실보상의 대상이 되는 지장물건 및 기타사항을 정확히 조사하여「공공용지의 취득 및 손실보상에 관한 특례법」및「토지수용법」등에 따른 손실보상에 필요한 현황조서를 작성한다.

(2) 철도건설용지 좌・우 경계선으로부터 충분한 범위 내의 지형(언덕, 제방 등), 경계, 형질변경상태, 건물, 분묘, 관정, 전주를 비롯한 제반 물건을 실측, 조사해야 한다.

(3) 본 기준에 명시되지 않는 사항은「지가공시 및 토지 등의 평가에 관한 법률」・「공공용지의 취득 및 손실보상에 관한 특례법」・「토지수용법」및 기타 관계법령과 규정에 따라 조사・작성해야 한다.

(4) 지장물측량 성과품으로 용지 및 지장물현황조서, 성과품작성 근거자료, 지장물 사진첩을 감독자에게 제출해야 한다.

3.3 지반조사

3.3.1 지반조사 개요

(1) 지반조사는 예비조사, 본조사, 보완조사 및 시공중 조사의 단계로 구분하여 시행한다.

(2) 예비조사는 본 설계의 계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 공사계획 단계에서 부지나 노선 또는 구조물의 위치선정 및 본조사 위치 및 수량 등의 결정을 위하여 실시하는 조사로서 예비설계, 본 설계의 계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 하는 것으로 넓은 범위를 대상으로 시행하며 기존자료조사, 현장답사, 사례분석을 실시하여 개략적인 지반특성을 파악할 수 있도록 시행하며 필요할 경우 현장조사(시추조사, 핸드오거보링, 시험굴조사 등)를 시행한다.

(3) 본조사는 광역조사와 정밀조사로 구분하며, 실시설계나 시공에 필요한 지반의 상세한 정보를 얻기 위하여 시행하는 것으로서 지층의 분포, 지질구조, 공학적인 특성 등 설계정수를 파악하기 위하여 지표지질조사, 물리탐사, 시추조사, 물리검층, 현장시험, 암석시험, 재하시험, 실내시험, 시료채취, 지표수 및 지하수조사, 환경조사(유해가스, 산소결핍 등의 조사), 특수한 조건에서의 지반조사 등을 포함해야 하며, 공사의 목적이나 구조물의 종류에 따라 조사 및 시험의 진행방법이나 중점 조사사항을 다르게 할 수 있다.

(4) Supplementary investigation can be carried out for design change or to identify the ground characteristics after main investigation.

(5) Investigation during construction shall be carried out if investigation was not performed at the design stage or if a change in ground condition is expected during construction.

(6) For small-scale work, part of the investigation may be skipped by using the previous data, but for a long tunnel, an urban tunnel and large-scale work, a more detailed geotechnical investigation plan shall be established and carried out.

(7) Investigation items and criteria by activity shall be in accordance with the Ministry of Land, Transport and Maritime Affair's Notice 「Detailed Implementation Guideline for Basic Design, etc.」, and in the event that there are any discrepancies with the government's design criteria, they shall be handled in accordance with the design criteria for the discipline. However, geotechnical investigation items and criteria shall be determined separately, if necessary.

3.3.2 Preliminary investigation

(1) Examination of the existing data

① This examination shall include the examination of satellite data, aerial photograph, previous geotechnical investigation data, topographic map, geologic map, underground utility map, existing structure drawings, groundwater, closed mine, ground cavities or other data.

② Data collection, recording and analysis of ground shall be carried out carefully, and the data shall include geological structures, topographic structures, seismic behavior, hydrological information and other important past data. Potential change in ground condition, if any exists, shall be recorded and reported.

③ Data on the ground condition and groundwater around the construction site shall be obtained from the geotechnical investigation.

④ Examination of the existing data shall be carried out before field survey.

(2) Field survey

① The purpose of the field survey is to identify the geological, topographic or ground condition through field investigation, or to obtain the data on the previous change of geographic features through an interview with the residents in order to check the site conditions and establish a main investigation plan.

② The results of the field survey shall be incorporated into the plan and design, and any problems with the existing plan shall be corrected, changed or supplemented.

③ Items to be investigated in the site survey include topographic change, large-scale geological structure, surface water and groundwater, the status of neighboring structures, underground utilities, transport route and others.

(4) 보완조사는 본조사 이후 설계변경이나 지반특성의 추가확인을 목적으로 실시할 수 있다.

(5) 시공중 조사는 설계단계에서 조사가 시행되지 못한 경우 또는 시공 중 지반변화가 예상되어 추가 조사가 필요할 경우에 실시한다.

(6) 소규모 공사의 경우에는 기존 조사자료를 활용하여 조사단계의 일부를 생략할 수 있으며 장대터널, 도심지터널 공사 및 기타 대규모 공사에서는 보다 자세한 지반조사 계획을 수립하여 실시하여야 한다.

(7) 각 공종별 지반조사항목 및 기준은 국토해양부고시「기본설계 등에 관한 세부시행기준」으로 하되, 해당 내용이 정부제정 전문분야별 설계기준과 상이할 경우 전문분야별 설계기준을 준용한다. 단, 필요할 경우 지반조사항목 및 기준을 별도로 정하여 실시한다.

3.3.2 예비조사

(1) 기존자료조사

① 기존자료 조사는 대상이 되는 지역의 지반 개략상황을 인공위성 및 항공사진, 기존의 지반조사 자료와 지형도, 지질도, 지하매설물도, 기존구조물 도면, 지하수현황, 폐광 및 지반공동현황, 기타 자료를 이용하여 파악한다.

② 지반의 자료수집, 기록, 분석은 주의 깊게 수행하며, 지질구조, 지형구조, 지진활동, 수문학적 정보, 대상지역의 과거기록, 기타 주요 사항을 포함해야 한다. 지반의 변화가 심할 것으로 판단되면 이를 반드시 기록, 보고해야 한다.

③ 지반조사로부터 시공현장과 그 주변의 지반 및 지하수 상태와 관련된 자료를 얻을 수 있어야 한다.

④ 기존자료 조사는 현장답사에 우선하여 시행한다.

(2) 현장답사

① 현장답사는 야외조사를 통하여 지형이나 지질 및 지반상태를 확인하거나 지역 주민들의 청문을 통하여 과거의 지형변화 등에 대한 정보를 입수하여 조사자료에서 나타난 사항을 확인하고 도상계획에 참고할 수 있도록 하며, 조사수행에 영향을 줄 수 있는 제반 현장여건을 확인하여 원활한 본조사계획을 수립할 수 있도록 한다.

② 현장답사의 결과는 정리하여 계획 및 설계에 반영할 수 있도록 하며 이미 계획된 사항에 대해서는 문제점을 파악하여 변경하거나 보완할 수 있도록 한다.

③ 현장답사에서 조사해야 할 주요 내용은 지형변화, 대규모 지질구조, 지표수 및 지하수, 인근구조물 유지상태, 지하 매설물, 수송통로 및 기타사항이 있다.

④ Structures within the investigation site, if any exist, shall be investigated in order to identify the type, scale, settlement or slope of the structure.

(3) Site investigation

① Upon field survey, approximate site investigation (hand auger boring or test excavation) shall be carried out across the site using a shovel or hand auger, if necessary, and a small boring test shall also be carried out and the result shall be incorporated into the boring test plan of the main investigation.

② Boring test shall investigate the bedding state, groundwater state and ground condition, and a standard penetration test or an in-situ test shall be carried out to determine the bearing layer.

③ Various tests of the samples shall be carried out to estimate the consolidated layer or permeability and other engineering characteristics.

3.3.3 Main investigation

(1) This investigation is divided into wide investigation and precise investigation. For a more effective investigation, the location and the quantity of the precise investigation shall be determined to establish a precise investigation plan, based on the wide investigation result, and wide investigation may additionally be carried out at the precise investigation stage, if necessary.

(2) Wide investigation includes aerial (satellite) photograph analysis, surface & geological investigation and physical prospecting, and precise investigation includes boring test, geophysical logging, field test, sampling, surface water and groundwater investigation, environmental investigation and lab test.

(3) For effective geotechnical investigation, investigation items and quantity shall be determined by comprehensively considering ground condition, topographic features and the scale of the design structure.

(4) Aerial (satellite) photograph analysis

① The purpose of the aerial (satellite) photograph analysis is to investigate and analyze the topography status and identify the geologic boundary, line structure, failed topography, vegetation and water system to use for boring test, aggregate source, borrow pit and quarry, as well as to determine the boring location, the equipment accessibility and water availability.

② Scale of aerial (satellite) photograph shall be determined considering the analysis objective and the characteristics of the project site.

④ 조사구역 인근에 구조물이 있을 때에는 그 기초의 형식, 규모, 그 구조물의 침하나 경사 등의 유무와 그 정도를 조사한다.

(3) 현장조사

① 현장답사 시 필요할 경우 삽 또는 핸드오거 등의 간단한 조사장비를 이용하여 지역 전반에 대한 개략적인 현장조사(핸드오거보링, 시험굴조사 등)를 실시하며, 경우에 따라 소규모의 시추조사도 시행하여 본조사의 시추조사계획에 반영한다.

② 시추조사는 지반의 성층상태, 지하수의 유무 및 기타 지반상태와 관련된 사항을 살핌과 동시에 표준관입시험이나 기타 원위치시험을 병용해서 지지층을 선정한다.

③ 얻어진 시료로써 각종시험을 하여 압밀층의 유무나 지층의 투수성을 비롯한 지반의 공학적 특성을 추정한다.

3.3.3 본조사

(1) 본조사는 광역조사와 정밀조사로 구분하여 수행하며, 조사결과의 활용도를 높이기 위하여 광역조사 결과를 근거로 정밀조사의 위치, 수량 등을 결정하여 정밀조사 계획을 수립한 후 시행하며 필요한 경우 정밀조사 단계에서도 광역조사를 추가로 시행할 수 있다.

(2) 광역조사는 항공(위성)사진 분석, 지표지질조사, 물리탐사 등이 있으며 정밀조사는 시추조사, 물리검층, 현장시험, 시료채취, 지표수 및 지하수조사, 환경조사, 실내시험 등이 있다.

(3) 효율적인 지반조사를 위하여 본조사 항목 및 수량 등은 대상 지역의 지반 상태, 지형 조건, 설계 구조물의 규모 등을 종합적으로 고려하여 결정하여야 한다.

(4) 항공(위성)사진 분석

① 항공(위성)사진 분석은 지형상태를 조사, 분석하고 지질경계, 선구조, 파괴지형, 식생, 수계 등의 분포상태를 파악하여 시추, 골재원, 토취장, 채석장 등의 조사에 활용하고 시추위치, 시추장비의 진입가능성 및 시추용수의 취득 가능성 등을 파악하기 위하여 실시한다.

② 항공(위성)사진은 분석 목적, 사업대상지역의 특성 등에 맞도록 축척을 결정하여 사용한다.

(5) Surface and geological investigation

① Surface and geological investigation shall be carried out to identify the topography, soil, geological structure, the type and distribution of rock floor, bedding and groundwater and other geological conditions prior to precise investigation in order to use this as basic data for the precise investigation as well as for economic and time efficiency.

② A geological structure map indicating the fault, folding and joint, and a geologic map indicating rock mass shall be prepared, and the potential for geological disaster shall be reviewed.

③ Surface layer, rock quality, geological structure, underground cavities, rock behavior, surface water and groundwater shall be investigated, and the result shall be indicated on the engineering geologic map.

(6) Physical prospecting

① Physical prospecting shall be in accordance with the government's design criteria, but the items and quantity may be adjusted, if needed.

② The values measured by physical prospecting shall represent overall ground condition, rather than dynamic or engineering characteristics of the ground.

③ Other investigations shall be carried out to make sure that the analysis result is correct.

④ Physical prospecting in the tunnel geotechnical investigation shall consider the following.

A. If seismic survey is carried out, data on the thickness & type of stratum, ground stiffness, weak zone and fractured zone shall be obtained from propagation velocity.

B. Electrical exploration shall be analyzed considering stratum characteristics and groundwater effect.

C. Physical prospecting through boring may be possible by inserting a transmitting or receiving device into a borehole when the depth of investigation is deeper than surface survey, or when it is considered necessary for tunnel design for analysis improvement.

D. Electrical resistivity survey and seismic survey shall be carried out for mountain tunnels considering site conditions, and electromagnetic survey may be used considering the depth of investigation when soil depth is greater.

E. When the depth is within 50m at a portal, shallow soil depth and valley, refraction survey may be conducted in parallel with a boring test.

(5) 지표지질조사

① 지표지질조사는 현장 정밀조사 이전에 지형, 토질, 지질구조, 암상과 지층, 지하수 등의 종류, 분포, 상태 및 기타 주요 지질조건을 개괄적으로 파악하여 정밀조사를 실시할 때에 기본 자료로 활용하고 정밀조사의 경제적 및 시간적 효율을 높이기 위하여 실시한다.

② 지표지질조사를 통하여 단층, 습곡, 절리 등이 표시된 지질구조도 및 암종이 표시된 지질도를 작성하고 지질재해의 가능성 등을 검토해야 한다.

③ 지표지질조사 시에는 표층지반, 암질, 지질구조, 지하공동, 암반거동, 지표수 및 지하수를 조사하여 그 결과를 응용지질도(engineering geologic map)로 표시한다.

(6) 물리탐사

① 정부 제정 전문분야별 설계기준을 준용하되, 필요시 항목 및 수량을 증감할 수 있다.

② 물리탐사로 측정되는 각종 측정값은 지반의 역학적, 공학적 성질을 그대로 나타낸 것이 아니고 전체의 지반상태를 나타내는 것이다.

③ 다른 조사를 병용해서 그 해석에 틀림이 없도록 한다.

④ 터널지반조사에서의 물리탐사는 다음 사항을 고려한다.

가. 탄성파 탐사를 수행할 경우에는 전파속도로부터 지층의 두께, 종류, 상대적인 지반강도, 연약대 및 파쇄대 등에 관한 정보를 얻을 수 있도록 한다.

나. 전기탐사를 수행할 경우에는 지층의 특성 및 지하수의 영향 등을 고려하여 해석한다.

다. 지표 탐사에 비해 조사 심도가 깊고 분해능력을 높이기 위해서 터널설계에 필요하다고 판단되는 경우 시추공 내에 송신원 또는 수신기를 삽입하여 실시하는 시추공 물리탐사 기법을 적용한다.

라. 산악터널의 경우에는 제반여건을 감안하여 전기비저항 탐사와 탄성파탐사를 시행해야 하며 토피고가 클 경우 가탐심도를 고려하여 전자탐사를 수행할 수 있다.

마. 갱구부, 저토피 계곡부와 같이 심도가 50m 이내인 구간에는 굴절법 탄성파탐사를 시추조사와 병행실시 할 수 있다.

(7) Boring test

① The purpose of the boring test is to identify the stratum structure and groundwater level and take disturbed or undisturbed samples in order to conduct a field test using a borehole. Interval and depth of the boring test for each structure shall be in accordance with <Table 3.3.1>, and may vary depending on soil depth and topographic conditions.

② Boring shall be conducted using NX dual core barrel, and a triple-core barrel or D-3 sampler may be used to increase the recovery rate of core at a weathering zone or fractured zone and other weak zones and to take the undisturbed sample of original state. NQ size may be used for deep boring in the tunnel section.

③ In addition to vertical drilling, inclined drilling may be used considering the objective and site condition.

④ Boring interval shall be reduced and adjusted at a section such as fault zone or fractured zone, or if the layer is irregular or it is necessary to check the ground condition because of particular surrounding conditions.

⑤ Groundwater level in a borehole shall be measured at 24, 48 and 72 hours after boring.

⑥ Boreholes shall be closed according to the Groundwater Act.

⑦ Physical prospecting shall be carried out at a tunnel portal or shallow soil depth section according to the tunnel design criteria to determine the change of the ground layer in detail before boring.

⑧ Boring test shall be carried out at a fault zone, fractured zone, soft ground or valley or other locations where ground characteristics are expected to be unstable.

⑨ Boring test interval may be adjusted at the discretion of a geotechnical investigation engineer based on the result of a wide survey if the boring test is difficult at locations with certain topographic features, including depth or long tunnel. However, surface geological survey and physical prospecting shall be carried out in detail instead.

⑩ Test tunnel investigation shall consider the following.

A. Test tunnel investigation shall be conducted, if necessary, to directly check particular ground conditions or to conduct a specific in-site test.

B. When a variety of in-site tests or measurements are carried out in a test tunnel, or during the sampling, ground disturbance shall be avoided or minimized.

C. A geologic map shall be developed during the test tunnel investigation for reference in general analysis.

(7) 시추조사

① 공사 구간내의 지반에 대한 지층의 구성과 지하수위를 파악하고 교란시료 또는 비교란 시료를 채취하며, 시추공을 이용한 현장시험을 수행하기 위하여 실시하는데, 구조물별 시추조사의 간격 및 심도는 <표 3.3.1>에 의하는 것을 최소로 하며 토피, 지형조건에 따라 변경할 수 있다.

② 시추는 NX규격의 이중 코어배럴을 사용하여 실시하며, 풍화대나 파쇄대, 기타 연약대에서는 코어의 회수율을 높이고 원상태의 시료를 채취하기 위하여 삼중 코어배럴이나 D-3 샘플러 등을 사용할 수 있다. 특히 터널구간에 대심도 시추 시에는 NQ 규격도 사용할 수 있다.

③ 시추는 수직시추 뿐만 아니라 조사목적과 현장조건을 고려하여 경사시추를 할 수 있다.

④ 단층이나 파쇄대와 같이 공사에 장애가 되는 구간이나 지층이 불규칙할 경우 또는 특수한 주변여건 때문에 지반상태를 확인할 필요가 있는 경우에는 시추간격을 축소 조정해야 한다.

⑤ 시추공의 지하수위 측정은 시추종료 후 24, 48, 72시간 경과 시 마다 지하수위를 측정해야 한다.

⑥ 시추공은 지하수법에 의거하여 폐공처리 해야 한다.

⑦ 터널 입출구부 및 저토피 터널구간에서는 적어도 터널설계기준을 준용한 물리탐사를 시행하여 지층변화를 상세히 파악한 후 시추조사 위치를 선정하고 시행해야 한다.

⑧ 시추조사는 단층파쇄대, 기붕괴지역, 연약지반, 계곡부 등과 같이 불안정한 지반특성을 보이는 지점에서 필히 수행하여야 한다.

⑨ 대심도, 장대터널 등 시추조사가 원활히 이뤄지기 어려운 지형의 경우, 광역조사결과를 바탕으로 지반분야 책임기술자의 판단에 의해 시추조사 간격을 조정할 수 있다. 단, 시추조사를 수행하지 못한 구간은 지표지질조사 및 물리탐사 등의 조사를 상세히 수행하여 보완하도록 하여야 한다.

⑩ 터널에 있어서 시험터널 조사에는 다음 사항을 고려한다.

가. 특수한 지반상태를 직접 확인할 필요가 있거나 특정의 원위치시험을 실시할 필요가 있을 때에는 시험터널을 굴착하여 조사할 수 있다.

나. 시험터널 내에서 각종 원위치시험이나 계측을 실시할 경우 및 시료를 채취할 경우에는 원지반의 교란을 최소화해야 한다.

다. 시험터널 조사에는 터널의 지질도를 작성하여 종합분석에 참고한다.

Table 3.3.1 Interval and depth of boreholes[1)]

Category	Borehole arrangement		Depth	Note
Cutting section (NX)	Basic plan	1 at least per 20 m or larger cut	2.0 m below design level	Field test: 1 per location
	Basic design	1 at least per 20 m or larger cut		
	Detailed design	1 at least per location		
Banking section (NX)	Basic plan	Not required	Until the stratum is identifiable (N value 50/30 or more over 3 times)	Priority to station, sewage box, hume pipe or structure
	Basic design	500 m		
	Detailed design			
Bridge (NX)	Basic plan	1 per bridge	Soft rock 2 m, hard rock 1m or weathered rock 10m	
	Basic design	3 at least per 100 m-long bridge 100 m or less bridge: at abutment		
	Detailed design	Per abutment and pier		
Soft ground (NX)	Basic plan	1 per location	Until the depth of soft rock is identified	Sampling per hole 1/50 cm
	Basic design	100 m		
	Detailed design	50 m ~ 100 m		
BOX (NX)	Basic plan	1 per box as needed	AT weathered rock, N value 50/30 or more over 3 times	Engineer may extend when a cross is long
	Basic design	1 per location		
	D/design			
Tunnel2) (NX)	Basic plan	1 per portal	D/2 below FL (D : Max tunnel diameter)	Depends on soil, topography, mountainous tunnel, fault or fractured zone
	Basic design	3 at least (including portals)		
	Detailed design	50 m ~ 100 m (including portal)		
Borrow pit (NX)	Basic plan	Not required	Hard rock until 5 m	Test tunnel : 5 or more
	Basic design	2 per location		
	Detailed design			

Note 1) This is a general guideline, and geotechnical investigation shall be performed to obtain geotechnical investigation data for optimal design at the investigating engineer's discretion.

Note 2) For a single tunnel in parallel, if the distance between the centers of two tunnels is 5D (tunnel width) or more, geotechnical investigation shall be carried out separately.

표 3.3.1 시추공의 간격 및 심도[1)]

구분	시추공의 배치		시추심도기준	비고
땅깎기 구간 (NX)	기본계획	20m 이상 대절토부는 개소당 1공	계획고 하 2.0m	현장시험 : 1회/개소
	기본설계	20m 이상 대절토부는 개소당 1공 이상		
	실시설계	개소당 1공 이상		
흙쌓기 구간 (NX)	기본계획	불필요	지층의 종류를 판단할 수 있는 깊이까지 (N값 50/30 이상 3회 확인)	역사위치, 하수박스, 흄관 등 구조물 설치 개소는 우선 시행
	기본설계	500m 간격		
	실시설계			
교량 구간 (NX)	기본계획	교량당 1공 이상	연암 2m 또는 경암 1m 암이 출현하지 않을 때는 풍화암 10m까지	
	기본설계	100m 이상 교량 : 3공 이상 100m 이하 교량 : 최소한 교대위치		
	실시설계	교대 및 교각 위치마다 시행		
연약지반 구간 (NX)	기본계획	연약지반 개소당 1공 이상	연약지반 심도를 결정할 수 있을 정도	공당자연시료채취는 최소 1회/50cm
	기본설계	100m 간격		
	실시설계	50m~100m 간격		
BOX 구간 (NX)	기본계획	필요시 박스 개소당 1공	풍화대에서 N값 50/30 이상 3회 확인	횡단연장이 길 경우는 현장여건에 따라 책임기술자가 증가시킴
	기본설계	1공/개소		
	실시설계			
터널[2)] 구간 (NX)	기본계획	터널 입출구부에 각 1공	FL 하 D/2 (D : 터널최대직경)	토질, 지형조건, 산악터널 등과 단층, 파쇄대 등 지층이 불규칙한 경우는 증감
	기본설계	3공 이상(터널 입출구부 포함)		
	실시설계	50m ~ 100m 간격(터널 입출구부 포함)		
토취장 구간 (NX)	기본계획	불필요	경암 5m까지	시험굴조사 : 5개소 이상
	기본설계	2공/개소		
	실시설계			

주1) 이 기준은 일반적인 사항이므로 최적설계를 위한 지반조사 자료를 도출하기 위한 조사가 시행되어야 하며 이는 지반분야 책임기술자의 판단에 의한다.

주2) 단선병렬 터널의 경우, 두 터널 중심간의 거리가 5D(터널 폭) 이상 이격되었을 경우, 각각의 터널로 고려하여 지반조사를 수행한다.

(8) Physical prospecting

① Physical prospecting shall be carried out to obtain all ground information including rocks, fracturing, groundwater and physical & chemical properties in relation with geological, hydrologic and geotechnical characteristics.

② For effective analysis, the physical prospecting data must be measured accurately.

③ A stable measurement system shall be used to maintain the quality of the measured data.

(9) Field test

① Type and frequency of field test shall be determined based on the related design criteria, and other field tests may be added and test frequency may be increased when necessary for the design purpose.

(10) Laboratory test

① Lab test shall be determined considering ground condition, structure scale, topographic change and geological structure.

② Soil test shall be in accordance with the test method specified in KS F. However, unless otherwise specified in KS F, it may be in accordance with American Society of Testing Materials (ASTM) or American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

③ Rock test shall be conducted to determine the engineering characteristics and design parameters of a specimen and sampling, and test method shall be in accordance with the 「Korean Industrial Standard (KS F)」, 「International Society for Rock Mechanics (ISRM) and American Society of Testing Materials (ASTM)」 and other internationally certified methods

(11) Geotechnical investigation under particular conditions

① Tomography or gravity exploration may be applied to the sites where artificial underground cavities including mine and goaf, or natural cavities including limestone cave or lava cave are expected to exist.

② Analysis of the effects of radon gas shall be carried out at a location including underground station in an urban tunnel where people are expected to stay for a certain period of time.

③ Where unstable ground condition is expected, investigation method and scope shall be determined depending on such unstable factors.

④ Where soil or water contamination is concerned, investigation method and scope shall be determined depending on pollutants and pollution level.

(8) 물리검층

① 물리 검층 시에는 지질학적, 수문지질학적, 지반공학적 특성과 연계하여 구성암석, 균열상태(fracturing), 지하수 유용과 물리·화학적 성질을 비롯한 제반 지반정보를 얻을 수 있도록 한다.

② 물리 검층 자료는 해석을 용이하게 할 수 있도록 조밀하게 측정한다.

③ 물리 검층 시에는 측정 자료의 질을 유지할 수 있도록 안정적인 측정시스템을 적용한다.

(9) 현장시험

① 일반적인 현장시험의 종류와 시험회수는 전문분야별 설계기준을 준용하되, 설계목적 상 그 외의 현장시험을 추가할 수 있으며 시험회수도 증가시킬 수 있다.

(10) 실내시험

① 실내시험은 지반조건, 구조물의 규모, 지형의 변화, 지질구조 등을 감안하여 시험방법을 선정해야한다.

② 토질시험은 한국산업규격(KS F)에 제시된 시험방법에 따라서 수행한다. 다만, KS F에 명시되지 않은 시험은 국제적으로 인정되는 「미국재료시험협회(American Society of Testing Materials : ASTM)」, 「미국도로교통공무원협회(American Association of State Highway and Transportation Officials : AASHTO)」시험방법 등을 준용할 수 있다.

③ 암석시험은 채취된 암석시료의 공학적 특성과 설계정수를 결정하기 위하여 수행하며 시료의 제작 및 시험방법은 「한국산업규격(KS F)」, 「국제 암반역학회(International Society for Rock Mechanics : ISRM)」, 「미국재료시험협회(American Society of Testing Materials : ASTM)」등 국제적으로 공인된 방법을 적용한다.

(11) 특수한 조건에서의 지반조사

① 갱도나 채굴적과 같은 인공적인 지하공동이나 석회암동굴, 용암동굴을 비롯한 자연적 지하공동이 분포할 것으로 예상되는 지역의 경우에는 필요시 토모그래피탐사나 중력탐사 등을 시행할 수 있다.

② 도심지 터널의 지하정거장과 같이 사람이 일정시간 이상 머무는 구간에 대해서는 라돈가스에 대한 영향분석을 실시해야 한다.

③ 불안정한 지반조건을 갖는 지역에 대해서는 각각의 불안정 요인에 따라 조사방법과 수량을 계획하여 시행해야 한다.

④ 토양오염이나 수질오염이 우려되는 지역일 경우 관련 오염항목, 수준 등을 고려하여 조사항목과 수량을 계획해야 한다.

3.3.4 Supplementary investigation

(1) Supplementary investigation shall be carried out when the site condition or design is changed after the main investigation.

(2) Supplementary investigation items and scope shall be determined after comprehensively considering the result of main investigation and site conditions.

3.3.5 Investigation during construction

(1) Investigation during construction shall be carried out when the investigation was not carried out at the stage of preliminary and main investigation due to civil complaint, permit or technical reasons or other inevitable reasons, or because a ground change during construction is expected. Investigation items and scope shall be determined to make sure the necessary ground information can be obtained, considering site conditions.

(2) Investigation during construction has the purpose of identifying the depth of the bearing layer of bridge foundation, the ground condition of cut slope and the soil condition ahead of or around the tunnel excavation. If unexpected ground changes or abnormal results are monitored after analyzing the exposed ground condition during construction, a supplementary investigation or test shall be conducted.

(3) For a cut slope or tunnel, geological face mapping for an excavated and cutting face shall be carried out for every tunnel face by an engineer qualified in mapping and analysis. If necessary, geological characteristics of the ground ahead of the face shall be assessed through feeler hole, horizontal drilling or physical prospecting in the tunnel. Change of support pattern including rock bolt shall be based on the result of a supplementary investigation during construction including geologic mapping. If applicable, a supplementary method shall be determined through the investigation of the ground ahead of the tunnel face, and the data in preparation for construction shall be provided in advance.

(4) Face mapping data shall be updated continuously, and the final analysis result including rock classification data shall be submitted during construction.

(5) For soft ground, boring investigation and field test shall be carried out to identify the effect of soil improvement.

3.3.6 Summary of geotechnical investigation performance

(1) Performance analysis

① Data collection, recording and analysis of geotechnical investigation shall be carefully carried out at the discretion of an investigation engineer, and performance analysis data shall include stratum profile, geologic profile and plane, boring log, topographic structure, seismic activity, hydraulic data, collapse records of a target area and design parameters. Any significant change in layer or poor ground condition shall be recorded for the report, and investigation during construction shall be planned if necessary.

3.3.4 보완조사

(1) 보완조사는 본조사 실시 후, 현장여건의 변화, 설계변경 등 부득이한 사유가 발생하였을 경우 실시한다.

(2) 보완조사 항목 및 수량은 본조사 결과와 현장여건을 종합적으로 고려하여 결정하여야 한다.

3.3.5 시공중 조사

(1) 시공중 조사는 예비조사와 본조사 단계에서 민원, 인허가, 기타 부득이한 사유나 기술적 한계로 인하여 조사가 시행되지 못한 경우 또는 시공 중 지반 변화가 예상되어 보완조사가 필요한 경우에 실시해야 하며, 현장 여건을 고려하여 필요한 지반정보가 얻어질 수 있도록 조사항목과 조사수량을 계획해야 한다.

(2) 시공중 조사의 목적은 교량기초 지지층의 출현심도 재확인, 깎기 비탈면 구간 지반상태 파악, 터널 굴진면 전방과 주변 지반상태 파악 등이며, 시공 중 관찰되는 노출된 지반상태를 분석하여 예기치 않았던 지반 변화나 시공중의 계측결과가 이상치를 보일 경우 반드시 필요한 추가 조사 및 시험을 실시해야 한다.

(3) 깎기비탈면과 터널의 경우 시공 중 굴착면과 굴진면에 대한 불연속면조사(geological face mapping)는 맵핑(mapping)과 분석 능력을 갖춘 자가 매굴착면마다 수행하여야 하며, 필요한 경우 감지공 천공(feeler hole), 수평시추 및 터널 내 물리탐사 등을 통하여 막장면 전방에 대한 지질특성을 조사할 수 있다. 터널의 록볼트를 포함한 지보패턴 변경은 지질매핑 등 시공 중 보완조사결과에 근거해야 하며, 필요시 굴진면 전방조사를 통하여 보조공법 적용 여부를 판단하는 등 사전에 공사를 준비하는데 필요한 자료를 제공해야 한다.

(4) Face mapping 자료는 지속적인 관리가 이뤄져야하며 시공중 암판정의 근거 자료 등 최종적인 분석 결과가 제시되어야 한다.

(5) 연약지반의 경우 개량효과를 확인하기 위한 시추조사 및 현장시험을 실시해야 한다.

3.3.6 지반조사 성과의 정리

(1) 성과분석사항

① 지반조사 특성 자료의 획득, 기록, 분석은 지반분야 책임기술자의 판단에 의해 주의 깊게 수행해야 하며, 성과분석 자료에는 지층단면, 지질평면 및 단면, 시추주상도, 지형구조, 지진활동, 수문학적 정보, 대상지역의 과거 붕괴이력, 설계정수 등을 포함해야 한다. 지층변화가 심하거나 지반상태가 불량할 것으로 판단되면 이를 반드시 기록, 보고해야 하며 필요한 경우, 시공중 조사 계획을 수립하여야 한다.

② Sampling, transport and storage shall be in accordance with the relevant domestic or international standards, and shall be monitored after geotechnical investigation is completed.

③ Design parameters shall be evaluated after carefully reviewing the test values from similar ground conditions, application cases, research theses, technical reports or related literature as well as the test value.

④ Soil layer such as deposit soil and weathered soil shall be subdivided according to the Unified Soil Classification System (USCS).

⑤ Rock classification shall be applied to boring test data to obtain RMR and Q value, and the correlations between the values shall be applied. However, when the data is insufficient, 「RMR = $9\mathrm{Ln}Q$ + 44」 presented by Bieniawski in 1976 and 「RMR = 15logQ + 50」 presented by Barton in 1995 may be used for mutual supplementation.

⑥ The data collected from the investigation and test shall be comprehensively analyzed to classify the layer for design and construction purposes.

⑦ For rock classification, necessary items may be selected from the following.

A. Compressive strength
B. Elastic wave velocity
C. Modulus of deformation
D. RQD (rock quality designation)
E. Interval or frequency of discontinuity
F. Status of discontinuity (Roughness, weathering degree, continuity, gap, thickness and properties of filler)
G. Strike and slope of discontinuity surface
H. Groundwater status
I. Initial stress
J. Ground characteristics having an effect on the behavioral characteristics of rock including rock classification, weathering degree, and properties when soaking

(2) Considerations when analyzing the performance

① The results of the surface geological survey shall be summarized in the engineering geologic map, which can be classified into wide geologic map (1/25,000) including tunnel, and precision engineering geologic map (1/5,000). Engineering geologic map shall include not only the result of the surface geological survey but also the result of the boring investigation, physical prospecting and other test results so that the rock classification, cavities, rock boundary and groundwater characteristics could be reflected in tunnel design.

② 시료 채취, 운반 그리고 보관은 국내 또는 국제적인 공인 절차에 따라 수행하여 지반조사가 완료된 이후에도 관찰할 수 있도록 해야 한다.

③ 설계정수는 시험값 뿐만 아니라 유사 지반조건에서 실시한 시험값, 적용사례, 연구논문 및 기술보고 등의 문헌자료를 면밀히 검토하여 평가해야 한다.

④ 퇴적토층, 풍화토층을 비롯한 토사층은 「흙의 통일분류법(USCS : Unified Soil Classification System)」에 따라 세분해야 한다.

⑤ 가능한 현장 시추자료에 대해 각각 암반분류를 수행하여 RMR과 Q값을 산정한 후 그 값들의 상관관계를 적용해야 한다. 다만 자료가 부족할 경우를 대비하여 Bieniawski가 1976년 제시한 「RMR=9Ln Q + 44」와 Barton이 1995년에 제시한 「RMR=15log Q + 50」을 활용하여 상호 보완할 수 있다.

⑥ 조사와 시험으로부터 수집된 제반정보를 종합적으로 분석하여 설계 및 공사목적에 부합하게 지층을 분류한다.

⑦ 암반 분류는 다음 중 필요한 사항을 선정하여 분류한다.

가. 압축강도

나. 탄성파 속도

다. 변형계수

라. RQD(rock quality designation)

마. 불연속면의 간격 또는 빈도

바. 불연속면의 상태(거칠기, 풍화도, 연속성, 틈새, 충전물의 두께와 특성 등)

사. 불연속면의 주향 및 경사

아. 지하수 상태

자. 초기응력 상태

차. 암석종류, 풍화도, 수침시의 특성 등 암반의 거동특성에 영향을 주는 지반특성

(2) 성과분석 시 고려사항

① 지표지질조사 결과는 응용지질도로 정리해야 하며 응용지질도는 터널구간을 포함하는 광역지질도(축척 1/25,000)와 정밀응용지질도(축척 1/5,000)로 구분하여 작성한다. 응용지질도 작성 시에는 지표지질조사 결과뿐만 아니라 시추조사, 물리탐사, 각종 시험결과와 비교분석하여 암질, 지하공동, 암종경계, 지하수 특성의 사항이 터널설계에 반영될 수 있도록 고려해야 한다.

② The result of boring test shall be summarized in the form of the boring log, and layer explanation shall include color, N value, strength, weathering degree fracturing, rock classification, TCR (total core recovery) and RQD, and the geological section of the tunnel shall be developed considering boring log, geophysical survey data and other data.

③ Specimen shall be kept in a sample bottle or box.

④ Boring cores in a sample box shall be photographed in natural color from the top to show the color, status and joint of rock and shall be filed up in an album. Representative samples shall be recorded in the geotechnical investigation report.

⑤ The results of field tests such as borehole loading test, water pressure test, permeability test and initial stress test as well as the results of a geophysical survey shall be compiled in a certain form in order to record data for each purpose.

② 시추조사 결과는 일정한 양식의 시추 주상도에 정리해야 하며, 지층설명은 색조, N값, 강도, 풍화도, 균열상태, 암석명, TCR(total core recovery), RQD 등을 포함하여 상세하게 기록하고 시추 주상도와 지구물리탐사 등 기타 자료를 참고하여 터널구간의 지층단면도를 작성한다.

③ 채취된 시료는 일정한 규격의 시료병이나 시료상자에 정리해야 한다.

④ 시료상자에 정리된 시추코어는 암석의 색조, 상태, 절리 등의 관찰이 용이하도록 직상부에서 천연색으로 촬영하여 사진첩에 정리해야 하며 대표적인 것은 지반조사 보고서에도 수록한다.

⑤ 공내재하시험, 수압시험, 투수시험, 초기응력 측정시험 등 현장시험이나 지구물리탐사의 결과는 각각 그 목적에 적합한 정보가 자세히 기록될 수 있는 일정한 양식에 정리한다.

Chapter 4 Earth Structure

4.1 General

4.1.1 Scope of application

(1) This Chapter shall be utilized in the design of cut slopes, embankments, soft ground and branch lines when earth structures are constructed as track structure of an High Speed Railway (HSR) or a conventional railway.

(2) This Chapter describes the provisions on design method, construction method and other issues applicable to general situations with typical site conditions (e.g., soil, topography, materials and etc.).

(3) Unless otherwise specified in this standard, its design method may be performed according to the separately specified standard.

4.1.2 Terms and Definitions

(1) Reinforced trackbed: a part of trackbed which is built using graded crushed aggregate or slag.

(2) Cutting: formation built by cutting the ground.

(3) Original Base: base ground surface when it serves as upper trackbed without cutting or fill.

(4) Slope toe: the lower end of a slope surface.

(5) Slope surface: an inclined ground surface, which includes a man-made slope and a natural slope. A man-made slope is constructed by cutting or fill.

(6) Slope top: the upper end of a slope surface.

(7) Spoil: the soil, dirt and rubble that result from an excavation, and discarded off site on soil heaps (extracted from wikipedia.org).

(8) Upper trackbed: soil mass within a certain depth beneath the formation level (3.0 m for a HSR and 1.5 m for a conventional railway).

(9) Track center: the center of railway as well as the center of the formation level.

(10) Berm: a horizontal bench at the slope surface installed with an interval in the vertical direction for inspection and maintenance purposes.

(11) Formation level: a prepared ground on which a subbase layer is laid. It is the level at which excavation ceases and construction starts. It works as elevation datum in the design drawing.

(12) Original ground: a natural undisturbed ground.

(13) Lower trackbed: soil mass below the formation level, excluding the upper trackbed.

제 4 장 흙구조물

4.1 일반사항

4.1.1 적용범위

(1) 이 장은 고속철도 및 일반철도의 선로건조물로서 흙구조물을 신설하는 경우 깎기, 쌓기, 연약지반, 본선부속의 설계에 적용한다.

(2) 이 장은 설계, 시공방법 및 현장조건(토질, 지형, 재료 등)이 일반적이고 보편적인 경우로써 공통적으로 적용할 수 있는 사항에 대하여 규정한 것이다.

(3) 이 기준에 기재되지 않은 사항은 별도로 정하여 설계할 수 있다.

4.1.2 용어의 정의

(1) 강화노반 : 상부노반의 일부를 입도 조정 부순 골재, 슬래그 등의 재료로 조성한 것을 말한다.

(2) 깎기 : 원지반을 깎아 시공기면을 형성하는 작업을 말한다.

(3) 본바닥 : 쌓기 및 깎기를 하지 않고 원지반이 그대로 상부노반이 되는 상태를 말한다.

(4) 비탈끝 : 비탈면의 아래 쪽 끝부분을 말한다.

(5) 비탈면 : 지반의 경사진 면을 말하며 형성 기원에 따라 쌓기 또는 깎기로 만들어진 인공비탈면과 원래 지형이 경사진 자연비탈면으로 구분된다.

(6) 비탈어깨 : 비탈면의 최상부를 말한다.

(7) 사토 : 깎기 작업에서 발생한 지반 재료 중 쌓기에 부적합한 재료이거나 유용하고 남은 재료를 말한다.

(8) 상부노반 : 시공기면으로부터 일정한 깊이(고속철도 3.0m, 일반철도 1.5m)까지를 말한다.

(9) 선로중심 : 임의의 위치에서 철도노선의 중심위치이며 시공기면폭의 중심위치를 말한다.

(10) 소단 : 비탈면의 점검 및 유지관리를 위하여 비탈면 가운데 일정한 높이 간격으로 설치하는 수평단을 말한다.

(11) 시공기면 : 철도노반 마무리면상 철도중심선의 연직방향 위치로, 일반적으로 설계도면에서 높이 기준면을 말한다.

(12) 원지반 : 원래의 흐트러지지 않은 자연지반을 말한다.

(13) 하부노반 : 시공기면으로부터 상부노반을 제외한 아래 부분을 말한다.

4.2 Design general

4.2.1 General

(1) Function of earth structures

① Earth structures shall support the track to ensure that a train can safely run on the track.

② Earth structures shall support the track with appropriate elasticity.

③ Earth structures shall prevent the orignal ground from being softened.

④ Earth structures shall uniformly distribute the railway load to the ground.

⑤ Earth structures shall be inclined to enable natural drainage of rainwater during rainy season, and the drainage design for earth structures shall be in accordance with 「Chapter 7 Culvert and Drainage」.

(2) Formation width and transverse grade for earth structures

① Formation width shall be determined considering distribution of train load, water tightness of trackbed, drainage of formation level and constructability.

② Formation width shall be determined, depending on the section type: a straight section or a curved section, based on the Railroad Construction Rule.

③ Formation at a cutting section shall be extended to a side gutter at the main line or the connection to a side gutter. When an accessory structure such as a retaining wall or a concrete box of side gutter is installed, the formation should be extended to the auxiliary structure.

④ Transverse grade of formation level shall be 3% from the center of formation to the side gutter for drainage of rainwater.

⑤ Formation at a fill section shall be extended to an accessory structure of the main line, if ever installed.

⑥ In case of an electric railway, formation width shall be more than 4.0 m from the center of a track, based on the applicable regulations including the Railroad Construction Rule.

⑦ For a double-track electric railway, formation width shall be determined in accordance with the Railroad Construction Rule.

⑧ Formation width at a fill section shall be determined, considering allowance for settlement.

4.2.2 Design load of earth structures

(1) Design load shall be in accordance with “Chapter 8, Bridge General”. However, on the track where a specific train runs, live load may be determined considering weight of trains and frequency of passage.

(2) Weight of materials for estimation of fixed load are shown in <Table 4.2.1> ~ <Table 4.2.3>, and the measured weight, if available, shall be used.

4.2 설계일반

4.2.1 일반사항

(1) 흙구조물의 기능

① 흙구조물은 열차가 안전하게 주행하기 위해 궤도를 견고하게 지지해야 한다.

② 흙구조물은 적당한 탄성을 가지고 궤도를 지지해야 한다.

③ 흙구조물은 원지반의 연약화를 방지해야 한다.

④ 흙구조물은 철도하중을 원지반으로 분산전달 해야 한다.

⑤ 흙구조물은 배수기울기를 두어 우기 시 신속하게 자연배수 되도록 해야 하며, 흙구조물의 배수와 관련한 설계는 「제7장 구교 및 배수시설」의 관련 내용에 따라야 한다.

(2) 흙구조물의 시공기면 폭 및 횡단기울기

① 흙구조물의 시공기면 폭은 열차하중의 분산범위, 노반의 차수성, 시공기면의 배수성, 시공성 등을 고려하여 설계한다.

② 흙구조물의 시공기면 폭은 철도건설규칙에 따라 직선구간과 곡선구간으로 구분한다.

③ 깎기 구간의 시공기면 폭은 본선수로 또는 측구에 접속하는 위치까지로 하고 옹벽이나 본선수로 콘크리트 등 본선부속구조물을 설치할 때에는 구축물이 접속하는 위치까지로 한다.

④ 시공기면의 횡단기울기는 우기 시 배수를 위해 시공기면 폭 중심에서 선로횡단 측구방향으로 3%의 기울기로 한다.

⑤ 쌓기 구간의 시공기면 폭은 본선부속구조물을 설치할 때에 구조물이 접속하는 위치까지로 한다.

⑥ 전철일 경우 선로중심에서 시공기면 폭은 철도건설규칙 등 관계규정에 의하여 4.0m 이상으로 한다.

⑦ 복선전철인 경우는 흙구조물 시공기면의 폭은 철도건설규칙에 의하여 설계해야 한다.

⑧ 쌓기 구간의 시공기면 폭은 침하에 대한 여유폭 등을 고려해야 한다.

4.2.2 흙구조물의 설계하중

(1) 설계하중의 크기는 「제8장 교량 일반사항」의 하중을 적용한다. 다만 특정차량을 운전하는 선로에서는 그 차량의 중량 및 통과빈도 등을 고려하여 활하중을 정할 수 있다.

(2) 고정하중의 산출에 사용되는 재료의 중량은 <표 4.2.1>~<표 4.2.3>의 값으로 하며, 실제중량을 측정한 것은 그 값을 사용해야 한다.

Table 4.2.1 Unit weight of the materials (kN/m^3)

Material	Unit weight	Material	Unit weight	Material	Unit weight
Steel	77	Wood	8	Bitumen pavement	23
Cast iron	71	Stone	26	Stone pavement	26
Rebar, PS concrete	24.5	Gravel	19	Brick	20
Concrete	23	Furnace slag	15	Sewage	10.5
Cement, Mortar	21	Bitumen for waterproof	11	Sea water	10.3

Table 4.2.2 Unit weight of sandy soils (kN/m^3)

Consistency	Very soft	Soft	Medium stiff	Stiff	Very stiff
N value	4 or less	4 ~ 10	10 ~ 30	30 ~ 50	50 or more
Unit weight	11 ~ 16	14 ~ 18	17 ~ 20	17 ~ 22	20 ~ 23

Note) For unit weight of sandy soil, the lab test result shall preferably be used, and the values in this table shall be used when no such test results are available. N value in this table is for reference only, and shall not be used for design.

Table 4.2.3 Unit weight of clay soils (kN/m^3)

Consistency	Very soft	Soft	Medium stiffness	Stiff	Very stiff	Hard
N value	2 or less	2 ~ 4	4 ~ 8	8 ~ 15	15 ~ 30	30 or more
Unconfined compressive strength (qu, kN/m^2)	25 or less	25 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 400	400 or more
Unit weight	11 ~ 19		17 ~ 20	17 ~ 22		

Note) For unit weight of clay soil, the lab test result shall preferably be used, and the values in this table shall be used when no such test results are available .N value and unconfined compressive strength in this table are for reference only, and shall not be used for design

표 4.2.1 재료 단위체적중량(단위 : kN/m^3)

재료	단위체적중량	재료	단위체적중량	재료	단위체적중량
강재	77	목재	8	역청포장	23
주철	71	석재	26	석괴포장	26
철근, PS콘크리트	24.5	도상자갈	19	보통벽돌 쌓기	20
콘크리트	23	고로슬래그 부순돌	15	하수	10.5
시멘트, 모르타르	21	방수용역청재	11	해수	10.3

표 4.2.2 사질토의 단위체적중량(단위 : kN/m^3)

밀도상태	매우 느슨함	느슨함	중간상태	조밀함	매우 조밀함
N값	4 이하	4~10	10~30	30~50	50 이상
단위체적중량	11~16	14~18	17~20	17~22	20~23

주) 사질토의 단위체적중량은 실내시험 결과를 우선으로 하며, 그 결과가 없을 경우 사용한다. 또한 이 표에서 N값은 참고용이므로 설계값으로 사용해서는 안 된다.

표 4.2.3 점성토의 단위체적중량(단위 : kN/m^3)

컨시스턴시	매우 연약함 (very soft)	연약함 (soft)	중간 상태 (medium stiff)	견고함 (stiff)	매우 견고함 (very stiff)	고결 (hard)
N값	2 이하	2~4	4~8	8~15	15~30	30 이상
일축압축강도 (q_u, kN/㎡)	25 이하	25~50	50~100	100~200	200~400	400 이상
단위체적중량	11~19		17~20	17~22		

주) 점성토의 단위체적중량은 실내시험 결과를 우선으로 하며, 그 결과가 없을 경우 사용한다. 또한 이 표에서 N값과 일축압축강도값은 참고용이므로 설계값으로 사용해서는 안 된다.

4.2.3 Earth structures on bedrock

(1) Reinforced trackbed is required when a soft rock or a weak rock contains moisture. It is because the repeated load cycles or dry/wet cycles weaken the trackbed.

(2) A soft rock or weak rock becomes extremely soft due to slaking or swelling. As a protection, a 0.5 m-thick cover shall be provided. The cover layer is to prevent water penetration, to minimize dry/wet cycles and to reduce variation of rock temperature.

(3) At the design stage, the level of trackbed is determined based on the quality of intact bedrock. However, a long-term exposure of the bedrock to air after cutting deteriorates quality of the bedrock due to weathering. Therefore, removal of the rock weathered due to repeated cycles of slaking and swelling shall precede any construction activities at trackbed. Also an appropriate drainage shall be carefully provided to minimize weathering of bedrock during construction stage

4.2.4 Anti-frost measures for earth structures

(1) In case the trackbed contains soil mass or natural ground susceptible to frost heaving, the frost-susceptible material in the trackbed should be replaced with anti-frost materials to the frost penetration depth. Also the trackbed sitting on an underpass shall be equipped with appropriate measures to keep it from frost heaving due to freezing air passing through the underpass.

(2) Frost penetration depth can be estimated using <Eq. (4.2.1)>. If necessary, the frost penetration depth may be determined using real measurements from an inspection hole or data from KMA (Korea Meteorological Administration).

$$Z = 10 \times C \times \sqrt{F} \qquad (4.2.1)$$

Where, Z: Frost penetration depth (mm)

C: Parameter (3 ~ 5)

F: Freezing index (℃·days), See <Table 4.2.4>

4.2.3 암반상의 흙구조물

(1) 연암 및 취약암에 물이 있을 경우 반복 하중을 받거나 또는 건습의 반복으로 노반이 매우 약해지기 때문에 강화노반 구조로 설계한다.

(2) 연암과 취약암이 극도로 약해지는 원인은 비화(slaking) 및 팽윤(swelling) 작용 등이며 이러한 작용을 방지하기 위해 물의 침입 방지와 건습의 반복을 받지 않도록 하고 암반의 온도 변화가 적게 0.5m 정도의 피복을 설치해야 한다.

(3) 암반상의 노반면은 암반이 비화, 팽윤작용 등을 받기 전의 양호한 상태를 기준하고 있으므로 절취 후, 장기간 경과된 후에 노반공을 시공하는 경우는 비화 및 팽윤작용을 받은 부분을 제거하도록 하며 시공 중에도 배수에 충분히 주의하여 설계한다.

4.2.4 흙구조물 동상대책

(1) 원지반 또는 동상이 발생할 수 있는 토질로 구성된 노반의 경우에는 동결깊이까지 동상이 발생하지 않는 재료로 치환해야 하며 횡단구조물 상부에 위치한 노반의 경우 구조물 내부로 통과한 냉기류로 인한 동상에 대하여 대책을 마련해야 한다.

(2) 동결깊이는 <식 (4.2.1)>에 의해 추정할 수 있으나 필요한 경우에는 조사공을 설치하여 실측자료로 설계하거나 해당 지역의 최신 기상청 자료를 인용하여 적용한다.

$$Z = C \cdot \sqrt{F} \qquad (4.2.1)$$

여기에서, Z : 최대동결깊이(mm)

C : 동결지수에 따른 보정상수

F : 설계동결지수(℃・일), <표 4.2.4> 참조

Table 4.2.4 Weather station ground height, freezing index and period

Region	Ground height (m)	Index (℃.day)	Period (day)	Region	Elevation (m)	Index (℃.day)	Period (day)
Sokcho	17.6	181.6	66	Hapcheon	32.1	193.0	62
Daegwalryeong	842.0	873.8	127	Geochang	224.9	278.2	74
Chuncheon	74.0	539.0	92	Yeongcheon	91.3	237.8	64
Gangneung	26.0	167.2	57	Kumi	45.5	278.1	76
Seoul	85.5	380.9	80	Uiseong	73.0	425.2	78
Incheon	68.9	354.7	78	Yeongdeok	40.5	138.8	57
Wonju	149.8	613.0	94	Munkyeong	172.1	279.4	55
Ulneung	221.1	129.3	32	Youngju	208.0	417.8	77
Suwon	36.9	468.4	79	Seongsanpo	17.5	-	-
Chungju	69.4	528.4	89	Goheung	60.0	83.5	49
Seosan	26.4	313.2	76	Haenam	22.1	102.6	49
Uljin	49.5	121.6	57	Jangheung	43.0	130.1	52
Cheongju	59.0	411.6	78	Suncheon	74.0	179.9	64
Daejeon	67.2	317.7	68	Namwon	89.6	272.4	67
Chupungryeong	245.9	303.9	78	Jeongeup	40.5	223.9	61
Pohang	2.5	98.5	52	Imsil	244.0	420.3	86
Gunsan	26.3	194.9	61	Busan	7.0	244.7	61
Daegu	57.8	160.9	54	Geumsan	170.7	372.5	77
Jeonju	51.2	233.5	61	Buyeo	16.0	330.0	74
Ulsan	31.5	83.6	46	Boryong	15.1	254.8	76
Gwangju	73.9	141.4	55	Asan	24.5	405.4	78
Busan	69.2	49.6	27	Boeun	170.0	461.7	76
Tongyeong	25.0	37.4	27	Jecheon	264.4	610.2	91
Mokpo	36.5	75.6	33	Hongcheon	141.0	635.4	98
Yeosu	67.0	62.2	31	Inje	199.7	614.5	91
Wando	37.5	38.1	26	Yicheon	68.5	511.0	89
Jeju	22.0	4.1	3	Yangpyeong	49.0	619.7	91
Namhae	49.8	74.3	38	Ganghwa	46.4	486.2	89
Geoje	41.5	52.1	39	Jinju	21.5	132.8	51
Sancheong	141.8	141.8	49	Seoguipo	51.9	-	-
Miryang	12.5	180.2	62	Cheolwon	154.9	685.0	109

지 역	측후소 지반고(m)	동결지수 (℃.일)	동결기간 (일)	지 역	측후소 지반고(m)	동결지수 (℃.일)	동결기간 (일)
속초	17.6	102.1	46.5	합천	32.1	109.8	49.0
대관령	842.0	697.0	121.5	거창	224.9	188.7	67.5
춘천	74.0	418.0	73.5	영천	91.3	127.3	39.0
강릉	26.0	85.2	31.0	구미	45.5	132.0	57.5
서울	85.5	278.9	68.0	의성	73.0	331.0	87.5
인천	68.9	203.4	55.5	영덕	40.5	72.6	29.5
원주	149.8	340.9	84.5	문경	172.1	212.5	69.0
울릉도	221.1	117.1	23.0	영주	208.0	246.8	79.5
수원	36.9	272.4	66.0	성산	17.5	0	0
충주	69.4	350.4	88.5	고흥	60.0	49.1	25.5
서산	26.4	195.7	55.0	해남	22.1	58.8	31.0
울진	49.5	65.3	28.5	장흥	43.0	63.6	33.5
청주	59.0	201.6	62.5	순천	74.0	117.4	40.5
대전	67.2	184.2	54.0	남원	89.6	224.7	66.0
추풍령	245.9	210.5	69.0	정읍	40.5	138.7	61.0
포항	2.5	57.6	27.0	임실	244.0	318.4	75.0
군산	26.3	139.0	61.0	부안	7.0	142.6	61.5
대구	57.8	72.0	30.5	금산	170.7	283.7	74.5
전주	51.2	95.8	46.0	부여	16.0	204.0	66.0
울산	31.5	59.5	27.0	보령	15.1	141.6	61.5
광주	73.9	82.5	38.0	아산	24.5	248.1	66.5
부산	69.2	53.2	5.0	보은	170.0	366.0	87.5
통영	25.0	43.2	19.0	제천	264.4	489.9	89.5
목포	36.5	51.6	20.0	홍천	141.0	464.3	89.0
여수	67.0	52.5	4.0	인제	199.7	475.3	96.5
완도	37.5	42.2	26.0	이천	68.5	356.7	69.5
제주	22.0	0	0	양평	49.0	381.5	87.0
남해	49.8	45.3	20.0	강화	46.4	355.2	68.0
거제	41.5	39.3	4.0	진주	21.5	83.2	39.0
산청	141.8	72.3	31.5	서귀포	51.9	0	0
밀양	12.5	93.2	38.5	철원	154.9	522.6	81.0
동해	40.0	67.8	42.0	봉화	320.0	401.9	91.0
안동	140.0	203.4	60.5	장수	406.0	337.4	87.0
태백	713.0	501.5	111.0				

(3) Frost penetration depth at a ballast track shall be measured from the top surface of an upper trackbed, and thickness of a reinforced trackbed shall be included in frost penetration depth.

(4) Frost penetration depth at a concrete track shall be measured from the top surface of soil or ballast, if soil or ballast is laid at both sides of hydraulically stabilized base. Frost penetration depth shall be measured from the top surface of an upper trackbed, if hydraulically stabilized base is on the top of the upper trackbed.

(5) An anti-freezing layer may not be provided when ground water table is not located within the fill. Also when the fill is higher than 2.0 m and the fill material is not frost-susceptible material, an anti-freezing layer may be not required.

4.2.5 Auxiliary facilities

(1) A cover with sufficient strength shall be provided to a side gutter or a cable trough. And, the cover shall be installed at the same level as trackbed surface, or adjacent to the trackbed.

(2) A cover shall be adjacent to the trackbed surface to ensure that water on the trackbed surface shall be drained directly to the side gutter.

(3) When a side gutter and a cable trough are installed in parallel, water flowing into the cable trough shall be immediately drained into the side gutter.

4.3 Fill

4.3.1 General

(1) Fill Thickness

① Thickness per lift in a fill section shall not exceed 0.3 m, which is one of compaction requirements.

② Lift thickness to meet compaction requirements is dependent on the types of material, compaction equipment and number of passes. Therefore, it is necessary to check the appropriate lift thickness by test compaction.

③ The maximum height of fill shall be determined, considering a supporting soil, geological and geographical features, material for fill, environmental conditions, construction cost and maintenance cost.

(2) Fill Material

① Material for backfill and fill shall be inorganic soil with low compressibility and low activity. The soil shall be easy to compact and stable under external forces. And the soil shall not have excessive settlement.

② Fill material for conventional and high-speed railways shall satisfy the requirements in <Table 4.3.1>, <Table 4.3.2> and <Table 4.3.3>.

(3) 자갈궤도에서의 동결깊이는 상부노반 상면으로 부터의 깊이이며 강화노반은 동결깊이에 포함한다.

(4) 콘크리트궤도에서의 동결깊이는 보조도상콘크리트층(Hydraulically Stabilized Base)의 양쪽 측면에 토사 또는 자갈을 포설할 경우에는 그 상면으로 부터의 깊이로 하고, 보조도상콘크리트층이 상부노반 상면 위에 있을 경우는 상부노반 상면으로 부터의 깊이로 한다.

(5) 성토구간에서 지하수위대가 쌓기 두께 내에 존재하지 않고, 쌓기용 재료가 양호할 경우 동상이 발생되지 않으므로 쌓기 높이가 2.0m 이상인 성토구간에서는 동상방지층을 생략할 수 있다.

4.2.5 부대설비

(1) 측구 및 케이블 트러프 등의 연속하는 부대설비에는 충분한 강도를 가진 덮개를 설치하고, 그 설치 위치는 노반면과 동일 평면에 또는 노반에 접하는 위치로 한다.

(2) 덮개는 노반면에 접하여 설치하고 노반표면에서의 배수가 직접 측구에 유입하도록 한다.

(3) 측구와 케이블 트러프를 병설하는 경우, 케이블 트러프로 유입된 물이 측구로 신속히 배수되도록 한다.

4.3 쌓기

4.3.1 일반사항

(1) 쌓기 두께

① 쌓기 시 한 층의 마무리 두께는 다짐규정을 만족하는 두께로 0.3m를 넘지 않도록 한다.

② 소요 다짐도를 만족하기 위한 적당한 한층 두께는 쌓기 재료, 다짐기계, 다짐회수 등에 따라 다르므로 실제 시공 전에 시험다짐시공에 의해 반드시 확인할 필요가 있다.

③ 쌓기 높이의 적용한계는 지지지반, 지형 및 지반지질, 지반모양, 쌓기 재료, 주변 환경조건, 건설비 및 보수비 등을 고려해서 설계해야 한다.

(2) 쌓기 재료

① 쌓기, 되메우기 및 뒤채우기에 사용할 재료는 압축성이 작고 활성도가 작은 무기질 흙이어야 하며 다짐이 쉽고 외력에 안정성을 확보해야 한다. 또한 유해한 변형이 발생하지 않는 재료를 사용한다.

② 일반철도와 고속철도 쌓기 재료는 <표 4.3.1>, <표 4.3.2>, <표 4.3.3>에 적합해야 한다.

Table 4.3.1 Fill material for conventional and high-speed railway

	Material suitable for fill			Material unsuitable for fill
	Ballasted track		Concrete track	
	Conventional railway	HSR		
Upper trackbed	[A] group, [B] group, stabilized [C] group	[A] group, stabilized [B] group, stabilized [C] group]	[A] group, stabilized [B] group	[D2] group and Soils in Note1)
Lower trackbed	[A], [B], [C], stabilized [D1] group	[A], [B], [C] group	[A] group stabilized [B] group	

Note[1)]: a) Expansible soil or rock such as bentonite, acid clay, sulfuric clay
b) Weathered rock by absorption & expansion such as serpentine or mudstone
c) High compressible soil such as high organic soil
d) Frozen soil

Table 4.3.2 Material properties of fill

Soil type (Unified soil classification)	Material condition	Dry unit weight (kN/m^3)	Internal friction angle(°)	Cohesion (kN/m^2)
GW, GP	Compacted	20	40	0
SW, SP	Good grain-size distribution	20	35	0
	Poor grain-size distribution	19	30	0
SM, SC	Compacted	19	25	30 or less
ML, MH, CL, CH	Compacted	18	15	50 or less

표 4.3.1 일반철도, 고속철도 쌓기 재료의 구분

구분	쌓기 재료로 사용가능한 재료			쌓기 재료로 사용할 수 없는 재료
	자갈궤도		콘크리트궤도	
	일반철도	고속철도		
상부 노반	[A군], [B군], 안정처리된[C군]	[A군], 안정처리된[B군], 안정처리된[C군]	[A군], 안정처리된 [B군]	[D2군] 및 주1)의 흙
하부 노반	[A군], [B군], [C]군, 안정처리된 [D1군]	[A군], [B군], [C군]	[A군] 안정처리된 [B군]	

주1): a) 벤토나이트, 산성백토, 온천여토 등의 팽창성 흙, 암
b) 사문암, 이암 등으로서 흡수 팽창에 의해 풍화가 현저한 암
c) 고유기질토 등의 압축성이 높은 흙
d) 동토

표 4.3.2 쌓기 재료의 강도정수 기준값

흙의 종류 (통일 분류법)	재료의 상태	건조단위체적중량 (kN/m^3)	내부 마찰각 (도)	점착력 (kN/m^2)
GW, GP	다진 것	20	40	0
SW, SP	입도분포가 좋은 것	20	35	0
	입도분포가 나쁜 것	19	30	0
SM, SC	다진 것	19	25	30 이하
ML, MH, CL, CH	다진 것	18	15	50 이하

Table 4.3.3 Group classification of fill material

Symbol	Soil and rock
[A]	GW, GP, GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, GM, SW, SW-SM, SP-SM, SW-SC, SP-SC, hard rock muck (except those highly segregative)
[B]	GC, SP, SM, SC, hard rock muck, (segregative) soft rock muck, Weak rock muck(excluding those in [D2])
[C]	ML, CL, organic matter, coarse grained soil containing fine grained soil
[D1]	MH, CH, weak rock muck (transforming into clayey soil, progressively weathering and changing into mud by pressure after construction)
[D2]	OL, OH, Pt

Note) Maximum grain size of rock muck and rock shall be 300 mm.

③ Material for a structure-to-soil connection section shall satisfy requirements for the related materials specified in the structure-to-soil connection part.

④ Fill material may include furnace slag, residual material from mining or fly ash or other industrial by-products. But its suitability as a fill material shall be evaluated along with the check for environmental impact.

⑤ Details on the material for rock fill shall be as follows.

A. Material source: rock excavated from mainline

B. Rock: soft or hard rock

C. Maximum grain size: 300 mm (to be determined after test application, considering cost efficiency and constructability)

(3) Classification of fill material

① Fill material shall be classified according to <Table 4.3.3> and <Table 4.3.4>.

② Material requirements for upper and lower trackbeds of a ballast track and a concrete track are shown in <Table 4.3.5>.

③ The percentage of granular powder may be adjusted by test application. The following material shall not be used for fill.

A. Compressible and absorptive soil or rock such as bentonite, acid clay, sulfuric clay and organic soil.

B. Frozen soil or snow, soil containing humic substances such as plants and stump.

C. Material too wet to be compacted to meet requirements for compaction. Also material too wet to dry in situ before compaction work.

D. Material with a liquid limit of 50 % or more, or dry weight of unit volume 15 kN/m^3 or less, or porosity 42 % or more, or plastic limit of 25 % or more.

E. Other inappropriate materials.

표 4.3.3 쌓기 재료의 군분류

군기호	토질 및 암질
[A군]	GW, GP, GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, GM, SW, SW-SM, SP-SM, SW-SC, SP-SC, 경암버력(박리성이 높은 것은 제외)
[B군]	GC, SP, SM, SC, 경암버력(박리성이 높은 것), 연암버력, 취약암버력([D2]군에 포함한 것은 제외)
[C군]	ML, CL, 유기질, 세립토를 함유한 조립토
[D1군]	MH, CH, 취약암버력(점토화하고 있는 것, 시공 후 풍화가 진행하고 또는 전압에 의해 이토화한 것)
[D2군]	OL, OH, Pt

주) 암석버력 및 암석질 재료의 최대입경은 300mm로 한다.

③ 쌓기와 구조물의 접속부 재료는 구조물 접속부에 규정된 재료의 기준을 만족해야 한다.

④ 쌓기 재료로서 고로슬래그, 탄광 또는 선광 작업 후 잔류분, 석탄회 및 기타 산업부산물 등이 사용될 수 있다. 이때 쌓기 재료로서의 적합성과 환경에 미치는 영향 등에 대한 검토가 반드시 이루어져야 한다.

⑤ 암석 쌓기를 위한 쌓기 시험시 재료에 대한 일반사항은 다음과 같다.

가. 재료원: 본선암 유용

나. 암질 : 연암 및 경암 사용

다. 최대입경: 300mm 이하(시험시공 후 시공성 및 경제성을 고려하여 최종적으로 결정해야 한다)

(3) 쌓기 재료의 군분류

① 쌓기의 재료는 <표 4.3.3>, <표 4.3.4>과 같이 분류한다.

② 자갈궤도와 콘크리트궤도에 대한 흙쌓기 상부노반과 하부노반의 재료 요건은 <표 4.3.5>와 같다.

③ 세립분의 함량은 시험시공을 통하여 조정할 수 있으며, 쌓기에는 다음과 같은 재료를 사용해서는 안 된다.

가. 벤토나이트, 온천여토, 산성백토, 유기질토 등 흡수성이 크며 압축성이 큰 흙

나. 빙토, 빙설, 초목, 나무둥걸 및 다량의 부식물을 함유한 흙

다. 소요의 다짐도로 다져질 수 없을 만큼 너무 젖어 있고, 공사에 사용하기 전에 원위치에서 건조시킬 수 없는 재료

라. 액성한계 50% 이상 되는 재료, 건조단위체적중량 15kN/m^3 이하인 재료, 간극률이 42% 이상, 소성한계가 25% 이상인 흙

마. 기타 사용에 부적합한 재료

Table 4.3.4 Requirements for fill material

Classification	Ballasted track		Concrete track	
	Upper trackbed	Lower trackbed	Upper trackbed	Lower trackbed
Maximum grain size	100 mm or less	300 mm or less	100 mm or less	300 mm or less
Modified CBR	10 or more	2.5 or more	10 or more	2.5 or more
5mm (#4 sieve)	25 ~ 100 %	-	25 ~ 100 %	25 ~ 100 %
0.08mm(#200 sieve)	0 ~ 25 %	-	0 ~ 25 %	0 ~ 25 %
Plasticity index	10 or less	-	10 or less	10 or less

(4) Classification of fill

① Filling is divided into upper part and lower part, as shown in <Fig. 4.3.1>.

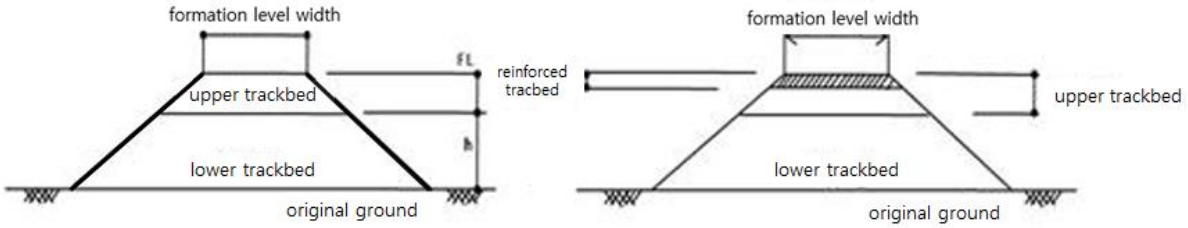


Fig. 4.3.1 Filling

② Upper trackbed shall be 3.0-m thick from the formation level for an HSR and 1.5-m thick from the formation level for a conventional railway.

③ Lower trackbed shall be from original ground to the bottom of upper trackbed.

(5) Fill slope and slope stability

① Fill slope shall be determined, based on the values in <Table 4.3.5> as a standard.

표 4.3.4 흙쌓기 재료 요건

구분	자갈궤도		콘크리트궤도	
	상부노반	하부노반	상부노반	하부노반
최대입경	100mm 이하	300mm 이하	100mm 이하	300mm 이하
수정CBR	10 이상	2.5 이상	10 이상	2.5 이상
5mm체(4번체) 통과율	25~100%	_	25~100%	25~100%
0.08mm체(200번체) 통과율	0~25%	_	0~25%	0~25%
소성지수	10 이하	_	10 이하	10 이하

(4) 쌓기 구분

① 쌓기 형상은 <그림 4.3.1>과 같으며 상부노반과 하부노반으로 구분된다.

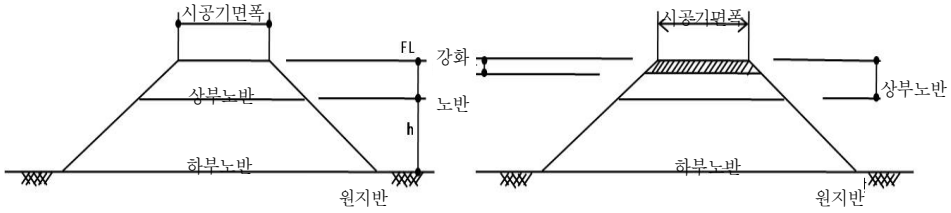


그림 4.3.1 쌓기 형상

② 쌓기의 상부노반은 시공기면으로부터 고속철도는 3.0m, 일반철도는 1.5m로 한다.

③ 하부노반은 상부노반 아래 부분부터 원지반까지의 쌓기 노반이다.

(5) 쌓기 비탈면 및 사면안정

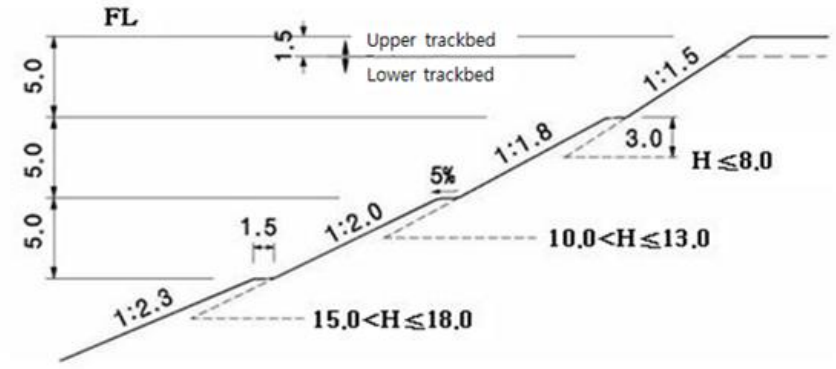
① 쌓기 비탈면의 기울기는 <표 4.3.5>의 값을 표준으로 설계해야 한다.

Table 4.3.5 Standard gradient of fill slope

Height to formation level (H)		Conventional	HSR
Conventional	HSR		
H < 5.0 m	H < 3.0 m	1:1.5	1:1.8
5.0 m ≤ H < 10.0 m	3.0 m ≤ H < 9.0 m	1:1.8	1:1.8
10.0 m ≤ H < 15.0 m	9.0 m ≤ H < 15.0 m	1:2.0	1:2.0
H ≥ 15.0 m	H ≥ 15.0 m	1:2.3	1:2.3

② Gradient of finished fill slope shall be determined based on the slope stability analysis considering geometric features and shear strength of a supporting ground. And the fill shall be redesigned if there are any changes during construction.

③ For a conventional railway the berm shall be provided at every 5-m interval. And for HSR, the first berm shall be provided at the boundary between the upper part and the lower part and at intervals of 6.0m. The width of the berm for both conventional railway and HSR shall be 1.5m, with 5% cross grade outward. When the berm is located less than 3.0m from the supporting ground for filling as shown in <Fig 4.3.2>, the berm may not be provided.



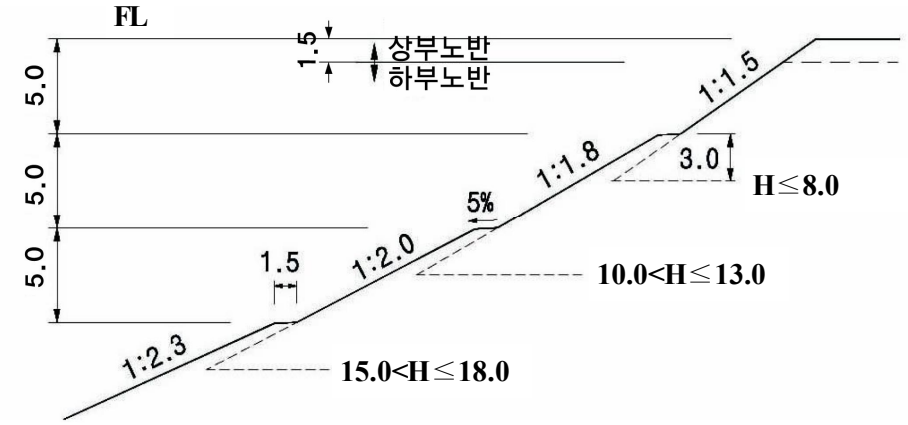
(a) Conventional railway

표 4.3.5 쌓기 비탈면의 표준기울기

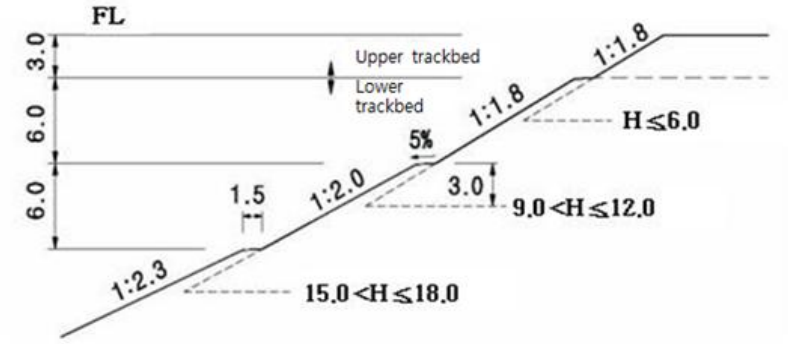
시공기면까지의 높이(H)		일반철도	고속철도
일반철도	고속철도		
H<5.0m	H<3.0m	1 : 1.5	1 : 1.8
5.0m≤H<10.0m	3.0m≤H<9.0m	1 : 1.8	1 : 1.8
10.0m≤H<15.0m	9.0m≤H<15.0m	1 : 2.0	1 : 2.0
H≥15.0m	H≥15.0m	1 : 2.3	1 : 2.3

② 쌓기 비탈면의 최종 기울기는 쌓기 지지지반의 형상 및 강도 등을 고려한 사면 안정을 해석하여 결정해야 하며 실제 시공시 변경된 사항이 있을 경우에는 반드시 재설계를 해야 한다.

③ 소단은 일반철도의 경우 시공기면에서 매 5m마다 설치하고, 고속철도는 상부노반 쌓기와 하부노반 쌓기의 경계에 설치하고 다음 6.0m 높이마다 설치한다. 이때 일반철도와 고속철도의 소단 폭은 1.5m로 하고 외측으로 향하는 5%의 횡단기울기를 둔다. 소단의 위치가 <그림 4.3.2>와 같이 쌓기 지지 지반면에서 3.0m 이하인 경우에는 그 소단을 생략한다.



(a) 일반철도



(b) HSR

Fig. 4.3.2 Standard gradient of filling slope

④ In case of a large fill, a seismic analysis for slope stability shall be performed, when collapse of the slope, if any, would cause a significant amount of difficulty and time in restoring the slope.

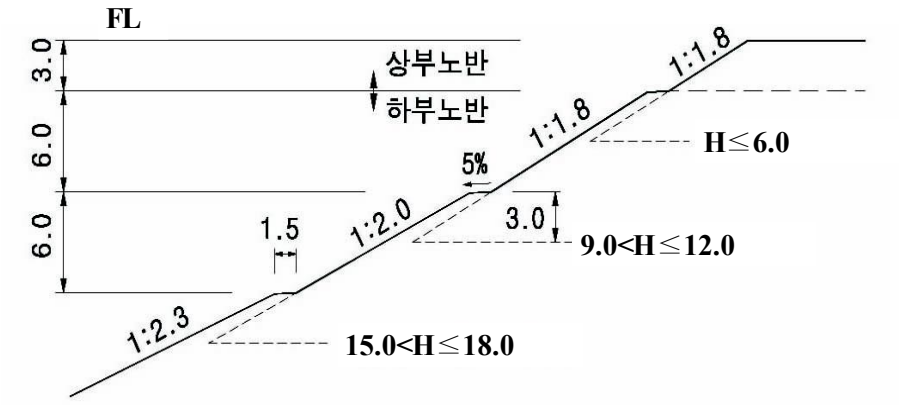
⑤ Standard factor of safety of a fill slope shall be in accordance with the 「Soil Slopes, Design and Construction Guidelines (MOLTMA, 2011)」 and <Table 4.3.6>.

Table 4.3.6 Standard safety factor

Category		Safety factor	Reference
Long term	Dry season	FS > 1.5	·Considered to be no groundwater in a filling structure
	Wet season	FS > 1.3	·For groundwater condition, the worst-case scenario for stability based on geotechnical invvestigation was applied considering topographic and drainage condition. ·For cutting or filling on a single side, analysis was made using groundwater level obtained based on the above condition, or penetration analysis. ·When there was rainwater penetration into the filling surface, analysis was carried out considering rainfall intensity and duration time according to design frequency.
	Seismic	FS > 1.1	·Seismic momentum force is assumed to act horizontally on the center of broken soil ·The same groundwater level as in wet season is applied
Short-term		FS > 1.1	·Stability for a short term less than 1 year (including construction duration) ·Same groundwater condition as wet season was applied for long-term stability

• When foundation of Class 1 # 2 structure exists within the failed range on the top of slope: To be reviewed separately

* Standard safety factor for filling slope on soft ground shall be in accordance with 「Soil Slopes, Design and Construction Guidelines (MOLTMA, 2011)」 and <Table 4.3>



(b) 고속철도

그림 4.3.2 쌓기 비탈면의 표준기울기

④ 쌓기 비탈면 붕괴 시 복구가 어렵거나 시간이 많이 소요되는 대규모 쌓기 비탈면의 경우에는 내진안정해석을 해야 한다.

⑤ 쌓기 비탈면에 대한 기준안전율은 「건설공사 비탈면 설계기준(국토교통부, 2011)」에 따르며 <표 4.3.6>과 같이 적용해야 한다.

표 4.3.6 쌓기 비탈면 안전율 기준

구분		기준 안전율	참조
장기	건기	FS>1.5	· 쌓기체 내에 지하수가 없는 것으로 해석
	우기	FS>1.3	· 지하수 조건은 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 판단하여 안정성에 가장 불리한 상태가 발생하는 조건을 적용 한쪽 쌓기 한쪽 깎기 비탈면에서는 상기조건에 따라 지하수위 또는 침투해석을 통한 지하수위를 이용하여 해석 · 쌓기 표면에 강우침투가 발생하는 경우에는 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우 지속시간 등을 고려하여 강우침투를 고려한 해석 실시
	지진시	FS>1.1	· 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용 · 지하수위는 우기시 조건과 동일하게 적용
단기		FS>1.1	· 기간 1년 미만의 단기간의 안정성 (시공중 포함) · 지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용
• 비탈면 상부 파괴범위 내에 1, 2종 시설물의 기초가 있는 경우 : 별도 검토			

* 연약지반 쌓기 비탈면 안정해석시 적용하는 기준안전율은 「건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2011)」의 <표 4.3> 을 따른다.

(6) Compaction

① General

A. Compaction of upper and lower trackbeds shall be designed to meet material specification and compaction requirements.

B. Formation located at an original ground or a cut surface shall be removed at least 150 mm in depth. And compaction for the formation shall be designed using the criteria for an upper trackbed.

C. Fill compaction shall be designed to ensure that both formation and fill slope are uniformly compacted.

D. Soils at the connection between cut and fill sections shall be uniformly compacted in both lateral and longitudinal directions.

E. In case that the degree of relative compaction is defined using dry unit weight, the design of compaction should employ the results of field and lab tests. Type of materials and degree of compaction shall conform to conditions of filling.

F. To set up a manual for filling at the field, a test compaction shall be performed, preceding the main compaction work.

② Quality criteria and test frequency for compaction

A. Compaction of upper and lower trackbeds shall meet the requirements in <Table 4.3.7>.

Table 4.3.7 Compaction quality requirement

Test item	Test method	Ballasted & concrete track	
		Upper	Lower
Cyclic plate loading	DIN 18 134	$E_{v2} \geq 80$ MN/㎡ $E_{v2}/E_{v1} < 2.3$	$E_{v2} \geq 60$ MN/㎡ $E_{v2}/E_{v1} < 2.7$
Compaction	KS F 2312 - D	95% of max. dry density	90% of max. dry density

B. Lift in compaction shall be 300 mm thick. This thickness may be adjusted by test compaction.

C. Quality control items and test frequency for field compaction of upper and lower trackbeds are listed in <Table 4.3.8>.

(6) 다짐

① 일반사항

가. 상부노반 및 하부노반 다짐은 각각 규정된 다짐 재료 및 다짐 요구조건에 만족하도록 설계해야 한다.

나. 원지반이거나 깎기한 시공기면은 최소 150mm 깊이로 표면을 긁고 상부노반의 다짐기준으로 설계한다.

다. 쌓기 다짐은 시공기면과 쌓기 비탈면을 고르게 다짐이 되도록 설계해야 한다.

라. 종방향 및 횡방향의 깎기와 쌓기 접속부 등도 고르게 다짐하도록 설계해야 한다.

마. 건조단위체적중량을 기준으로 상대다짐도를 규정할 경우에는 반드시 현장 및 실내 다짐시험을 시행하도록 설계하고 사용재료와 다짐도는 쌓기 조건에 따라 적합하게 해야 한다.

바. 현장에서 적절한 쌓기 시공에 필요한 작업기준을 결정하기 위해서는 시공에 앞서 시험다짐 시공을 수행하도록 설계해야 한다.

② 다짐도 품질기준 및 시험빈도

가. 상・하부노반의 다짐은 <표 4.3.7>에 적합해야 한다.

표 4.3.7 상・하부노반의 다짐도 품질기준

시험항목	시험방법	자갈・콘크리트궤도	
		상부노반	하부노반
반복평판재하	DIN 18 134	$E_{v2} \geq 80MN/m^2$ $E_{v2}/E_{v1} < 2.3$	$E_{v2} \geq 60MN/m^2$ $E_{v2}/E_{v1} < 2.7$
다짐	KS F 2312의 D방법	최대건조밀도의 95% 이상	최대건조밀도의 90% 이상

나. 다짐 시 한 층의 마무리 두께는 300mm이며 시험시공을 통해 조정할 수 있다.

다. 상・하부노반의 현장 품질관리 항목 및 시험빈도는 <표 4.3.8>과 같다.

Table 4.3.8 Quality requirements and test frequency

Test item	Ballasted & concrete track	
	Test method	Test frequency
Cyclic plate loading	DIN 18 134	·per 3 layers of compaction, every 50m of track center line
Field density	KS F 2311	·per one layer of compaction, every 50m of track center line
Compaction	KS F 2312 - D	·each time soil is changed
Thickness		·at least once a day

(7) Reinforcing net for a fill

① Reinforcing net may be installed on every lift, except when fill material is hard crushed rock or gravel.

② For the design of a reinforcing net, material strength, tensile deformation and weathering of the reinforcing net shall be checked to confirm if the requirements are met.

(8) Approach block between a fill section and a structure

① When a fill section adjoins an abutment, a tunnel or a bridge, an approach block shall be provided.

② An approach block shall be designed to use the same material as the one for a reinforced trackbed.

③ When installing a turnout at the approach block between a fill section and a structure, the approach block shall be extended to the turnout. Track stiffness at both sides on a square shape structure shall be maintained to be uniform.

(9) Fill on a slope surface base ground

① When a fill is made on a slope surface with a grade steeper than 1:4, the fill layer shall tightly adhere to the original ground. And a bench cut shall be provided to the original ground to prevent deformation and sliding of a slope.

② Standard dimension of bench cut, when its foundation is consist of soil, shall be at least 0.6 m high and 1.0 m wide (3.0 m for a mechanical earthwork). When the foundation is bedrock, a bench cut shall be at least 0.4 m perpendicular to the rock surface.

③ When water is seeping from the foundation, permeable material shall be used at the fill layer adjoining the original ground and a drainage layer shall be provided. Also the end of a slope shall be protected using a pile of stones to prevent the slope from being collapsed.

표 4.3.8 상・하부노반의 현장 품질관리 항목 및 시험빈도

시험항목	자갈・콘크리트궤도	
	시험방법	시험빈도
반복평판재하	DIN 18 134	· 다짐 3층당, 궤도중심의 종단 50m 마다
현장밀도	KS F 2311	· 다짐 1층당, 궤도중심의 종단 50m 마다
다짐	KS F 2312의 D 방법	・토질변화 시 마다
두께 측정		・1일 1회 이상

(7) 쌓기 층두께 관리재

① 쌓기 층마다 마무리 면에 층두께 관리재를 부설할 수 있다. 그러나 쌓기 재료가 경암버력 또는 자갈인 경우에는 부설하지 않는다.

② 층두께 관리재는 요구되는 재질, 강도, 인장 변형율, 내후성 등을 만족하는지 반드시 확인하여 설계해야 한다.

(8) 쌓기와 구조물 접속부

① 쌓기가 교대나 터널, 횡단구조물에 접하는 경우에는 반드시 접속부를 설치하도록 설계해야 한다.

② 접속부는 강화노반 재료와 동등한 재료를 사용하여 설계해야 한다.

③ 쌓기와 구조물이 접하는 부분에 분기기 설치시는 접속부를 분기기까지 연장하고 사각구조물에서는 좌우 궤도강성의 균일성을 유지하도록 설계해야 한다.

(9) 경사지 쌓기

① 원지반의 기울기가 1:4보다 급한 기울기를 가진 지반 위에 쌓기를 하는 경우에는 쌓기 지반과 원지반면이 밀착되도록 시공하고 지반변형과 활동을 방지하기 위하여 원지반면을 층따기해야 한다.

② 층따기의 표준치수는, 기초지반이 토사인 경우에는 최소높이 0.6m 이상, 최소폭 1.0m(기계 토공사 시에는 3.0m 이상)으로 하고, 암반인 경우에는 층따기 깊이를 암표면으로부터 연직으로 최소 0.4m로 해야 한다.

③ 기초지반에 침출수가 있는 경우에는 원지반에 접한 쌓기 부분에 투수성 재료를 사용하거나 배수층을 설치하고 비탈끝에는 쌓기가 붕괴되지 않도록 돌쌓기 등으로 설계해야 한다.

(10) Fill on soft ground

① When the supporting foundation fails to meet the requirements for a fill, replacement of soil at the supporting ground shall be provided to a certain depth. Or an improvement of soft ground shall be provided instead of soil replacement.

② An improvement of soft ground shall be designed, considering characteristics of the soft ground, conditions for the soft ground improvement and features of the railway route.

③ An improvement of soft ground shall be designed to provide the most reasonable and economic method based on purpose of ground improvement, characteristics of construction technique and conditions of the site.

④ Failure of a fill on soft ground is attributed to slope instability or excessive settlement (or deformation). The fill on soft ground shall be designed, based on these failure causes and impact on the adjacent ground. The allowable residual settlement after improvement of the soft ground shall be 100 mm in general, which may be adjusted appropriately considering importance and maintenance cost of the structure.

⑤ In case of a fill on soft ground, it is not easy to estimate parameters on geotechnical design and drainage conditions in the design stage. Instrumentations for settlement and stability shall be made during construction stage and the management plan for the instrumentations shall be established.

(11) Fill for expanding an existing fill trackbed

① When expanding the existing fill trackbed, soil at the track-wide region of a new track shall be replaced with an upper trackbed material, at least 1.0 m from the formation level.

② When a temporary bracing is employed to cut the ground for replacement, stability shall be checked for earth pressure and a train load.

③ When it is difficult to cut an existing fill slope, a protection facility shall be provided for a safe operation of trains.

④ The existing fill shall have a bench cut at the location as high as twice the thickness of the last lift in filling (0.6 m).

(12) Rock filling

① The material for rock fill shall be either soft rock or hard rock, and the grain size shall be adjusted to fill the gap between the upper trackbed and the lower trackbed.

② Rock type and compaction method for rock filling shall be determined based on the results of test compaction with constructability and economic feasibility in consideration.

③ Material for the depth down to 0.6 m from the formation level shall not be crushed rocks.

(10) 연약지반 위에 쌓기

① 쌓기 시 지지지반이 쌓기 지지지반으로서의 조건을 만족시키지 못하는 경우에는 원지반 조건이 만족하는 깊이까지 치환하거나 연약지반 처리대책으로 설계해야 한다.

② 연약지반 처리대책으로 설계할 때에는 지반특성, 시공조건, 노선 특성 등을 고려해야 한다.

③ 연약지반 처리대책으로 설계할 때에는 지반개량 목적, 공법의 특성, 지반 조건 등을 고려하여 가장 합리적이고 경제적인 방법으로 해야 한다.

④ 연약지반 위에 쌓기는 파괴에 대한 안정성과 과다한 침하 또는 변형으로 파괴요인이 구분되며, 이를 고려하고 주변 지반에 미치는 영향에도 유의하여 설계해야 한다. 또한, 연약지반 처리에 따른 허용잔류 침하량의 크기는 일반적으로 100mm를 기준으로 하며 해당구조물의 중요도 유지보수 비용 등을 감안하여 적용해야 한다.

⑤ 연약지반 위에 쌓기의 설계 당시에는 주어진 지반조건 및 배수조건과 관련된 설계정수들을 정확히 추정하는 것이 어려우므로 실제 시공 시 반드시 침하 및 안정성을 확인하도록 계측기 설치 및 관리 방안을 강구해야 한다.

(11) 흙쌓아넓히기

① 기존 쌓기 노반을 쌓기로 넓히는 경우 신설할 궤도의 넓이(또는 폭) 범위는 시공기면부터 최소 1.0m 이상을 상부 노반재료로 치환해야 한다.

② 가설 토류벽을 이용하여 치환부를 깎기하는 경우에는 토압이나 열차하중을 고려하여 안정검토를 해야 한다.

③ 기존 쌓기 비탈면을 깎기가 어려운 경우는 기존선 열차운행에 안전한 방토설비를 해야 한다.

④ 기존 쌓기면은 신설 쌓기 마무리 두께의 2배(0.6m) 높이로 층따기를 해야 한다.

(12) 암석 쌓기

① 암석 쌓기를 위한 재료는 연암 또는 경암이어야 하며 상부노반과 하부노반에 암반의 간극이 충분히 메워질 수 있도록 입도를 조정하여 설계해야 한다.

② 암석 쌓기를 위한 재료 및 다짐방법은 반드시 시험시공을 한 후 시공성 및 경제성을 고려하여 최종 결정해야 한다.

③ 시공기면에서 0.6m 깊이까지는 암버력으로 하여서는 안 된다.

④ When a fine-grained material is adopted for an upper trackbed on a crushed rock, a granular material shall be employed to make a filter in the rock fill. The grain sizes of granular material and crushed rock in the filter layer shall be adjusted to provide the layer with a proper functionality as a filter.

(13) Duration of sustained loading

To stabilize the settlement of a reinforced trackbed or a track induced by fill, the load of fill shall be sustained for a certain period. The suggested duration is summarized in <Table 4.3.9> and <Fig. 4.3.3>. In case that the expected settlement evaluated from instrumentation exceeds the estimated settlement, supplemental measures shall be taken to compensate for the difference in settlement.

Table 4.3.9 Sustained loading period in filling

filling material / filling ground	[A] material for upper and lower filling	Others
Fine-grained ground	3 months or more	6 months or more
Other ground	1 month or more	3 months or more

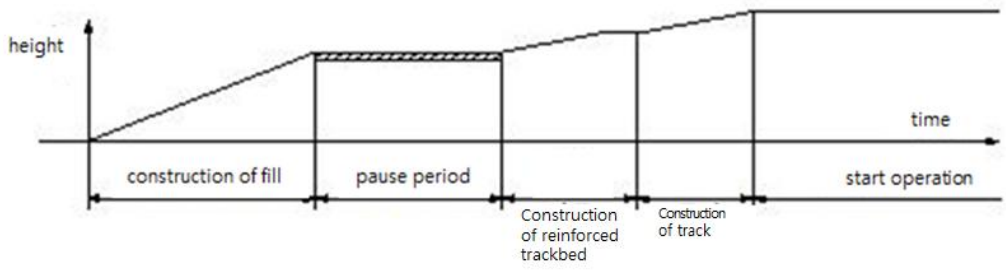


Fig 4.3.3 Duration of sustained loading

4.3.2 Foundation treatment for approach block

(1) Approach block at a cutting section or a fill section

① To avoid a extreme change in a ground supporting trackbed and track, an approach block shall have a buffer zone between a cutting and a fill sections, a bridge and a trackbed on soil embankment, and a tunnel and a trackbed on soil embankment.

② Cutting of the base ground shall be made to have the longitudinal grade smaller than 1:1.5. Also a bench cut shall be provided at the base ground after cut.

③ When site conditions do not allow cutting of the base, an approach block shall be installed on the fill section.

④ 암석 쌓기 위에 상부노반을 세립재료로 쌓는 경우에는 휠터의 역할을 충분히 할 수 있는 입상재료를 사용하여 암석쌓기 재료의 입도를 조정하여 성능을 확보할 수 있도록 설계해야 한다.

(13) 방치기간

강화노반이나 궤도가 쌓기 침하에 의하여 받는 영향을 줄이기 위하여 <표 4.3.9>에 표시한 방치기간을 설정해야 한다.(<그림 4.3.3> 참조) 또한, 침하계측 자료로부터 예측된 침하량이 허용값을 만족하지 못할 경우 대책 공법을 실시해야 한다.

표 4.3.9 쌓기의 방치기간

쌓기 재료 / 쌓기 지반	상, 하부 쌓기에서 [A군]재료의 경우	기타의 경우
세 립 토	3개월 이상	6개월 이상
상기 이외의 지반	1개월 이상	3개월 이상

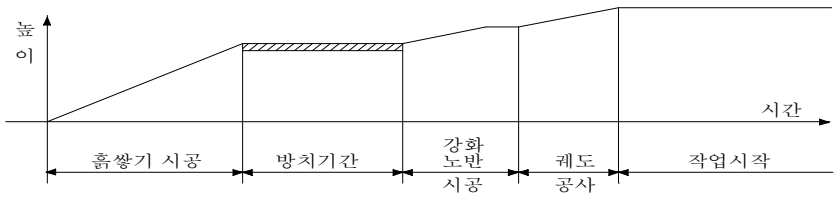


그림 4.3.3 방치기간

4.3.2 접속부 지반 처리

(1) 깎기와 쌓기의 접속부

① 노반과 궤도를 지지하는 조건이 급격하게 변화는 것을 피할 수 있게 깎기와 쌓기 접속부, 교량과 토공노반 및 터널과 토공노반 접속구간은 완충구간을 설치하도록 설계해야 한다.

② 원지반면의 종단방향 경사가 1:1.5보다 완만하도록 원지반을 깎기해야 하며 깎기한 원지반면은 층따기를 해야 한다.

③ 현장여건상 깎기가 곤란한 경우는 쌓기부에 어프로치 블록(Approach block)을 설치하도록 설계해야 한다.

④ Drainage if necessary, shall be provided at an approach block between a cutting and a fill section.

⑤ Specially at the inflection point where a longitudinal grade is changed, a transverse drainage shall be provided to prevent the ground from getting soft.

(2) Cutting at one side and filling at another side

① When the formation has both cutting and filling on each side, at least 1.0-m deep material from the base-ground surface shall be cut and replaced with a fill material.

② If the side for filling is inclined, a 0.6-m high bench cut shall be provided.

③ Drainage shall be provided at the situations where required.

4.3.3 Reinforced trackbed

(1) Functional and design requirements

① Reinforced trackbed shall be designed to be stiff enough in supporting a track, to provide a track with elasticity and to prevent the bottom of reinforced trackbed from weakening.

② Reinforced trackbed shall be designed to distribute train load for upper trackbed to support the load and to prevent rainwater from penetrating into the trackbed.

③ Reinforced trackbed shall be designed to be sufficiently compacted to prevent the ballast from penetrating into the trackbed.

④ Porewater pressure shall not rise, even though rainwater penetrates into the trackbed.

(2) Structure

① Reinforced trackbed shall be provided at the top of upper trackbed to increase the bearing capacity of the trackbed.

② Reinforced trackbed directly supports the track. It shall be designed to secure bearing capacity and to provide a good drainage. For anti-frost purpose, the thickness of reinforced trackbed shall be determined, considering the frost penetration depth by region.

③ Where necessary, a drainage layer shall be provided at the bottom of reinforced trackbed on a flat or a cutting section.

(3) Width of reinforced trackbed

① The width of reinforced trackbed shall be measured from the center of track to the end of formation level, after drainage slope on the reinforced trackbed is constructed.

② Curved section shall be designed with consideration of ballast bottom widened due to cant.

③ Gutter, noise barrier and fence shall be designed to adjoin the reinforced trackbed.

④ Besides the basic requirements, width and sides shall be designed for stability.

④ 깎기와 쌓기의 접속부에는 필요시 배수공을 설치해야 한다.

⑤ 특히 종단 기울기가 변화하는 변곡점부에는 노반의 연약화를 방지하기 위한 횡단배수 유도관을 설치하여 배수처리를 해야 한다.

(2) 한쪽 깎기 및 한쪽 쌓기

① 시공기면이 깎기와 쌓기에 모두 해당되는 경우에는 궤도 아래의 침목 끝 양측에 도상 두께를 더한 범위가 쌓기와 깎기의 양쪽에 모두 걸친 경우는 그 범위에 대하여 시공기면으로부터 최소 1.0m의 깊이까지 원지반을 깎기하여 쌓기 재료로 치환해야 한다.

② 쌓기 지반이 경사져 있는 부분에는 0.6m 높이로 층따기를 한다.

③ 상황에 따라 필요시 배수공을 설치해야 한다.

4.3.3 강화노반

(1) 기능 및 설계요구 조건

① 강화노반은 궤도를 충분히 견고하게 지지하는 것과 함께 궤도에 대하여 적당한 탄성을 부여하고, 강화노반 하부의 노반 연약화를 방지하도록 설계해야 한다.

② 강화노반은 상부노반이 견딜 수 있는 정도로 하중을 분산시킴과 함께 상부노반에 대한 우수의 침입을 방지하기 위해 차수의 기능을 갖도록 해야 한다.

③ 강화노반이 충분히 다짐되어 도상자갈의 관입이 발생하지 않도록 설계해야 한다.

④ 우수가 강화노반에 침투하여도 간극수압의 상승을 일으키지 않아야 한다.

(2) 구조

① 강화노반은 노반의 지지력을 확보하기 위해 상부노반내의 윗부분에 설치된다.

② 강화노반은 궤도를 직접 지지하는 층으로 노반의 지지력을 확보하며 배수가 원활히 되도록 설치해야 하며, 동상방지의 목적으로 지역별 동결심도를 고려하여 동상영향을 평가하여 적절한 두께가 되도록 설계해야 한다.

③ 강화노반은 평지 및 깎기 구간에 필요에 따라서 강화노반 하부에 배수층을 설치한다.

(3) 강화노반 폭

① 강화노반 폭은 강화노반 표면에 배수경사를 설치한 상태에서 궤도중심으로부터 시공기면 끝단까지 설계해야 한다.

② 곡선구간은 캔트에 의해 도상하단이 넓어지므로 이를 고려하여 설계해야 한다.

③ 측구, 방음벽, 안전울타리 등은 강화노반에 접하여 설치하도록 설계해야 한다.

④ 기본사항 이외의 폭과 곁붙이기에 대한 사항은 별도의 안정성을 검토하여 설계해야 한다.

(4) Thickness of reinforced trackbed

① Thickness of reinforced trackbed shall be designed to be stable for track structure, train speed and ground characteristics of an upper trackbed or original ground and frost penetration depth.

② Thickness of reinforced trackbed shall be designed considering the design speed of train and ballast conditions as shown in <Table 4.3.10>.

Table 4.3.10 Thickness of reinforced trackbed depending on train speed (mm)

Track condition / Trackbed shape	Ballasted & concrete track (upper trackbed $E_{v2} \geq 80$ MN/㎡, $E_{v2}/E_{v1} < 2.3$)		
	V ≤ 200 ㎞/h	200 ㎞/h < V ≤ 300 ㎞/h	300 ㎞/h < V ≤ 400 ㎞/h
Banking/cutting/flat level/rock (rock & hard)	200	300	400
Drainage layer on filling & cutting section	According to 5.2.3 Drainage on filling & cutting section		

③ When a bedrock is distributed 100 mm or more on a cutting section, in principle no reinforced trackbed is provided. However, <Table 4.3.10> may be applied depending on the cracks, weathering or rock conditions. Also, settlement resulting from different stiffness shall be minimized with a transition section, as shown in <Fig. 4.3.4>.

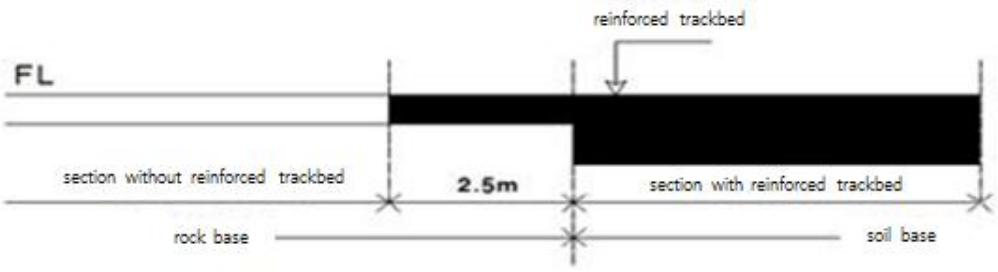


Fig. 4.3.4 Transition section

④ In case of special trackbed conditions, thickness of the trackbed shall be determined based on the analytical or empirical design.

⑤ Where the thickness of reinforced trackbed is changed, a transition section shall be provided as long as inter-bogie distance.

(4) 강화노반 두께

① 강화노반 두께는 궤도구조, 열차속도, 상부노반 또는 원지반의 지반 특성 및 동결심도에 대해 안정하도록 설계해야 한다.

② 강화노반 두께는 <표 4.3.10>과 같이 열차설계속도, 도상조건 등을 고려하여 설계해야 한다.

표 4.3.10 열차속도에 따른 강화노반 두께(mm)

궤도조건 / 노반형상	자갈 · 콘크리트 궤도 (E_{v2}≥80MN/㎡, E_{v2}/E_{v1}<2.3)		
	V ≤ 200㎞/h	200㎞/h < V ≤ 300㎞/h	300㎞/h < V ≤ 400㎞/h
쌓기/깍기/평지/암반구간 (보통암 및 경암)	200	300	400
쌓기 및 깍기 구간에서의 배수층	5.2.3 쌓기부 및 깍기부 배수시설을 따름		

③ 암반상의 강화노반은 깎기 구간 중 암반이 100m 이상 나타날 경우 강화노반은 원칙적으로 설치하지 않는 것으로 하되, 균열 상태, 풍화 및 암반의 특성에 따라 <표 4.3.10>을 적용할 수 있다. 또한, <그림 4.3.4>와 같이 변화구간을 두어 강성 차이에 따른 침하량을 최소화해야 한다.

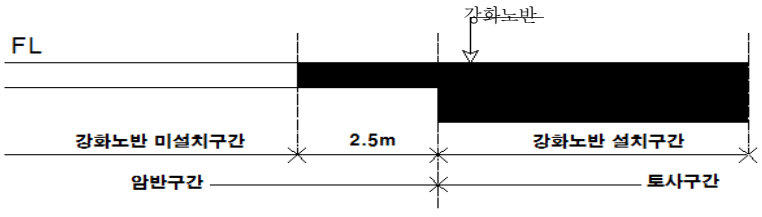


그림 4.3.4 변화구간

④ 특수한 노반조건인 경우는 역학적 및 경험적 설계를 통해 별도의 두께로 설계해야 한다.

⑤ 강화노반 두께가 변화하는 개소에는 열차의 인접 대차 사이의 거리만큼의 완화구간을 설정하여 두께를 변화시켜 설계해야 한다.

(5) Materials

① Materials of reinforced trackbed shall have small compressibility with a good grain size distribution. Also durability of the materials should be in compliance with requirements that have been approved by a supervising engineer.

② When materials other than the above are used, bearing capacity and durability of new materials shall be equivalent or superior to the one of track materials above.

③ Rocks with a significantly low strength or a remarkable delamination such as shale, slate, mudstone or sandstone shall not be used.

④ Materials of reinforced trackbed layer

A. Reinforced trackbed shall use the graded crushed aggregate (M-40, M-30, M-25) according to KS F 2525(crushed aggregate for road construction)

B. Density, absorption and abrasion loss shall be in accordance with KS F 2503 (density and absorption rate of coarse aggregate test method), KS F 2508 (Coarse aggregate Los Angeles abrasion test method), KS F 2340 (Sandy soil sand equivalent test method) and KS F 2575 (Test to identify the contents of flat and elongated particle in coarse aggregate), and shall conform to <Table 4.3.11>.

Table 4.3.11 Quality of reinforced trackbed material

Density	Absorption (%)	Abrasion loss (%)	Sand equivalent (%)	Content of flat and elongated particles (%)
2.45 or more	3.0 or less	35 or less	25 or more	25 or less

Note: Absorption rate of furnace slag and fine aggregate shall be based on 3.5% or less.

C. Plastic index shall be tested according to KS F 2303 (Soil liquid limit and plastic limit test) and shall be non-plastic (NP).

D. Water content shall be within the range to obtain required density during compaction.

E. Grain size shall be tested according to KS F 2502 (Sieve analysis test), KS F 2511 (Aggregate fine particle test) and shall conform to the requirements specified in <Table 4.3.12>.

(5) 재료

① 강화노반 재료는 압축성이 작고 입도 분포가 양호한 재료를 사용하며, 견고하고 내구성을 가진 재료 및 공사 감독자가 승인한 규정에 적합한 재료로 한다.

② 위의 재료와 다른 종류의 재료를 이용하는 경우는 지지력, 내구성 등을 검토하여 상기의 노반재료와 동등 이상의 성능을 가지는 것으로 해야 한다.

③ 혈암, 점판암, 이암, 사암 등과 같은 강도가 현저히 낮거나 박리현상이 뚜렷한 암은 사용해서는 안 된다.

④ 강화노반층 재료

가. 강화노반층은 KS F 2525(도로용 부순 골재)의 입도 조정 부순 골재(M-40, M-30, M-25)의 규정에 적합한 재료로 한다.

나. 비중, 흡수량 및 마모감량은 KS F 2503(굵은 골재의 비중 및 흡수율 시험방법), KS F 2508(로스엔젤레스 시험기에 의한 굵은 골재의 마모 시험 방법), KS F 2340(사질토의 모래 당량 시험방법), KS F 2575(굵은 골재 중 편장석 함유량 시험방법)에 의해서 시험하고 <표 4.3.11>에 적합한 것으로 한다.

표 4.3.11 강화노반층 재료의 품질

비중	흡수량(%)	마모감량(%)	모래당량(%)	편평 세장편 함유량(%)
2.45 이상	3.0 이하	35 이하	25 이상	25 이하

단, 고로슬래그 잔골재의 흡수율은 3.5% 이하의 값을 표준으로 한다.

다. 소성지수는 KS F 2303(흙의 액성한계, 소성한계 시험)에 의해서 시험하고 비소성(NP: Non Plastic)이어야 한다.

라. 함수량은 다짐할 때에 소요 밀도가 확실히 얻어지는 범위의 것이어야 한다.

마. 입도는 KS F 2502(골재의 체가름 시험), KS F 2511(골재에 포함된 잔 입자 시험)에 의해 시험하고, <표 4.3.12>에 적합한 것으로 한다.

Table 4.3.12 Grain size of reinforced trackbed material

Category			Mass percentage of substance passing the sieve (%)									
Type	Name	Size (mm)	Standard sieve (mm)									
			53	37.5	31.5	26.5	19.0	13.2	4.74	2.36	0.425	0.075
Graded crushed aggregate	M-40	40 ~ 0	100	95 ~ 100	-	-	60 ~ 90	-	30 ~ 65	20 ~ 50	10 ~ 30	2 ~ 10
	M-30	30 ~ 0		100	95 ~ 100	-	60 ~ 90	-	30 ~ 65	20 ~ 50	10 ~ 30	2 ~ 10
	M-25	25 ~ 0		-	100	95 ~ 100	-	55 ~ 85	30 ~ 65	20 ~ 50	10 ~ 30	2 ~ 10

F. Furnace slag used for reinforced trackbed material for a train speed of 200㎞/h or less shall be Hydraulically and Mechanically Stabilized Slag-25 (HMS-25) and Mechanically Stabilized Slag-25 (MS-25, MS-40) according to KS F 2535 (slag for road construction). Quality and grain size distribution for the material is shown in <Table 4.3.13> and <Table 4.3.14>.

Table 4.3.13 Furnace slag for reinforced trackbed

Type	Modified CBR*1 (%)	Unconfined comp strength*2 (kN/m^2)	Unit volume weight*3 (kN/m^3)	Abrasion loss	Absorption rate (%)
Hydraulically & Mechanically Stabilized Slag (HMS-25)	80 or more	2-week strength: 1,200 or more	15 or more	35% or less	-
Mechanically Stabilized Slag (MS-40, MS-25)	80 or more	-	15 or more	35% or less	3.5 or less

Note) Grain size shall be in accordance with KS F 2502 「Sieve Analysis Test」

*1 Modified CBR test shall be in accordance with KS F 2320

*2. Unconfined compressive strength test shall be in accordance with KS F 2535 B

*3. Weight of unit volume test shall be in accordance with KS F 2505

표 4.3.12 강화노반층 재료의 입도

구분			체를 통과하는 물질의 질량 백분율(%)									
종류	호칭명	입도 범위 (mm)	표준망체(mm)									
			53	37.5	31.5	26.5	19.0	13.2	4.74	2.36	0.425	0.075
입도 조정 부순 골재	M-40	40 ~ 0	100	95 ~ 100	-	-	60 ~ 90	-	30 ~ 65	20 ~ 50	10 ~ 30	2 ~ 10
	M-30	30 ~ 0		100	95 ~ 100	-	60 ~ 90	-	30 ~ 65	20 ~ 50	10 ~ 30	2 ~ 10
	M-25	25 ~ 0		-	100	95 ~ 100	-	55 ~ 85	30 ~ 65	20 ~ 50	10 ~ 30	2 ~ 10

바. 열차속도 200㎞/h 이하인 강화노반층 재료로 사용되는 철강 슬래그는 KS F 2535(도로용 철강 슬래그)에 의한 수경성 입도 조정 고로 슬래그(Hydraulically and Mechanically Stabilized Slag-25: HMS-25)와 입도 조정 철강 슬래그(Mechanically Stabilized Slag-25: MS-25, MS-40)를 사용하고 품질 및 입도분포는 <표 4.3.13>, <표 4.3.14>와 같다.

표 4.3.13 강화노반층용 고로 슬래그의 품질

종류	수정 CBR[*1](%)	일축압축강도[*2] (kN/m^2)	단위체적중량[*3] (kN/m^3)	마모감량	흡수율 (%)
수경성 입도 조정 고로 슬래그(HMS-25)	80 이상	2주 강도에서 1,200 이상	15 이상	35% 이하	-
입도 조정 철강 슬래그 (MS-40, MS-25)	80 이상	-	15 이상	35% 이하	3.5 이하

주) 입도는 KS F 2502 「골재의 체가름 분석 시험」에 의한다.

*1 수정 CBR 시험은 KS F 2320에 의한다.

*2 일축 압축 강도 시험은 KS F 2535의 부속서 B에 의한다.

*3 단위체적중량 시험은 KS F 2505에 의한다.

Table 4.3.14 Grain size of furnace slag for reinforced trackbed

Type	Name	Size (mm)	Mass percentage of substance passing the sieve (%)									
			Grain size (mm)									
			50	40	30	25	20	13	5	2.5	0.4	0.08
Hydraulically & Mechanically Stabilized Slag	HMS-25	25 ~ 0	-	-	100	95 ~ 100	-	60 ~ 80	35 ~ 60	25 ~ 45	10 ~ 25	3 ~ 10
Mechanically Stabilized Slag	MS-40	40 ~ 0	100	95 ~ 100	-	-	60 ~ 90	-	30 ~ 65	20 ~ 50	10 ~ 30	2 ~ 10
	MS-25	25 ~ 0	-	-	100	95 ~ 100	-	55 ~ 85	30 ~ 65	20 ~ 50	10 ~ 30	2 ~ 10

(6) Shape

① A 3% drainage slope shall be provided on the formation level and the upper trackbed surface to the transverse direction of track.

② Maintenance access on the formation level shall be simply paved or RC paved.

(7) Quality control

① General

A. A test section shall be provided at intervals of 50 m to check flatness and thickness of a reinforced trackbed. For a single track, it shall be carried out at a track center and also at the locations 2.0-m away from the track center to both sides. For a double track or more, tests shall be conducted at multiple locations: the center of a multi-track, the center of each track, the locations 2.0-m away from the outer track center to both sides.

B. Degree of compaction of a reinforced trackbed shall be tested at an every 50-m interval over the entire trackbed. For a single track, the test shall be conducted at both ends of the sleeper, and for a double track, it shall be conducted at multiple locations: the center of each track, and the outer end of a sleeper in case of ballasted track or at the outer end of a slab in case of concrete track.

C. When a structure is placed within 50 m from a trackbed, a test section shall be designated. A test hole made for quality control tests shall be filled with the same material and compacted after the test.

표 4.3.14 고로 슬래그 강화노반층 재료의 입도규정

종류	호칭	입도 범위 (mm)	체를 통과하는 물질의 질량 백분율(%) 입도(mm)									
			50	40	30	25	20	13	5	2.5	0.4	0.08
수경성 입도 조정 고로 슬래그	HMS-25	25 ~ 0	-	-	100	95 ~ 100	-	60 ~ 80	35 ~ 60	25 ~ 45	10 ~ 25	3 ~ 10
입도 조정 철강 슬래그	MS-40	40 ~ 0	100	95 ~ 100	-	-	60 ~ 90	-	30 ~ 65	20 ~ 50	10 ~ 30	2 ~ 10
	MS-25	25 ~ 0	-	-	100	95 ~ 100	-	55 ~ 85	30 ~ 65	20 ~ 50	10 ~ 30	2 ~ 10

(6) 형상

① 시공기면 및 상부노반면에는 선로횡단방향에 3%의 배수기울기를 설치해야 한다.

② 시공기면 내의 보수통로 부분에는 필요에 따라서 간이 포장 또는 RC판 포장을 할 수 있다.

(7) 품질관리

① 일반사항

가. 강화노반의 평탄성 및 두께 검사는 노반 연장 약 50m마다 시험단면을 설치하되 단선의 경우 궤도중심 및 궤도중심으로부터 양측으로 2.0m 떨어진 위치에서 시행한다. 복선 이상이 되는 경우에는 선로중심, 각 궤도중심 및 가장 외측 궤도중심으로부터 양 외측으로 2.0m 떨어진 위치에서 시행한다.

나. 강화노반의 다짐도 시험은 노반 연장 약 50m마다 시험단면을 설정하여 단선의 경우 침목 양 끝, 복선 이상의 경우에는 선로중심 및 자갈궤도의 외측 침목 단부 또는 각 슬래브의 외측단부에서 실시해야 한다.

다. 또한, 노반에 구조물 등이 50m 이내에 있는 경우에는 그 구간에 1개소의 시험단면을 설정하도록 한다. 현장 품질관리시험 종료 시 생긴 측정공은 즉시 동일한 재료를 사용하여 충분히 다짐하여 복원한다.

② Quality control standards and test frequency of compaction

A. Quality control of a reinforced trackbed material shall be in accordance with <Table 4.3.15>

B. Quality control standards of compaction for the reinforced trackbed shall be in accordance with <Table 4.3.16>.

C. Thickness of a reinforcement trackbed per finished layer shall be uniform to be 200 mm or less after compaction.

D. Field compaction method shall be in accordance with <Table 4.3.17>.

Table 4.3.15 Quality control of reinforced trackbed material

Category	Test method	Test frequency
Grain size	KS F 2302	Vertical at track center every 50m
wear rate	KS F 2508	
Content of flat & elongated particles	KS F 2575	
Sand equivalent	KS F 2340	

Table 4.3.16 Compaction standard of reinforced trackbed

Test item	Test method	Ballast/Concrete track	
		V < 200 ㎞/h	200 ㎞/h ≤ V < 400 ㎞/h
Cyclic plate load test	DIN 18 134	$E_{v2} \geq 80$ MN/m^2 $E_{v2}/E_{v1} < 2.3$	$E_{v2} \geq 120$ MN/m^2 $E_{v2}/E_{v1} < 2.2$
Compaction	KS F 2311	at least 95% of max dry density	at least 100% of max dry density

Table 4.3.17 Quality control items and test frequency of reinforced trackbed

Test item	Test method	Test frequency
Cyclic plate load test	DIN 18 134	· Vertical at the track center every 50m
Field density	KS F 2311	· Per layer, vertical at the track center every 50m
Thickness	-	· At least once per day

② 다짐관리기준 및 시험빈도

가. 강화노반 재료의 품질관리 방법은 <표 4.3.15>를 따른다.

나. 강화노반의 다짐관리 기준은 <표 4.3.16>을 적용하여 관리해야 한다.

다. 강화노반의 포설은 1층 다짐 완료 후 두께는 200mm 이하가 되도록 균일하게 포설한다.

라. 강화노반에 대한 현장 다짐관리 방법은 <표 4.3.17>을 따른다.

표 4.3.15 강화노반 재료의 품질관리 방법

구분	시험방법	시험빈도
입도	KS F 2302	궤도중심의 종단 50m마다
마모율	KS F 2508	
편평 세장편 함유량	KS F 2575	
모래당량	KS F 2340	

표 4.3.16 강화노반의 다짐관리 기준

시험 항목	시험방법	자갈・콘크리트궤도	
		V<200㎞/h	200㎞/h≤V<400㎞/h
반복평판재하	DIN 18 134	E_{v2}≥80MN/m^2 E_{v2}/E_{v1}<2.3	E_{v2}≥120MN/m^2 E_{v2}/E_{v1}<2.2
다짐	KS F 2311	최대건조밀도의 95% 이상	최대건조밀도의 100% 이상

표 4.3.17 강화노반 현장 품질관리 항목 및 시험빈도

시험 항목	시험방법	시험빈도
반복평판재하	DIN 18 134	・최상부층 궤도중심의 종단 50m마다
현장밀도	KS F 2311	・다짐 1층당, 궤도중심의 종단 50m마다
두께 측정	-	・1일 1회 이상

4.3.4 Original ground of a fill section

(1) Original ground of a fill section shall be designed to support the fill material in stability and not be settled.

(2) No liquefaction by earthquake shall occur to the depth of twice the fill width (up to 25 m) from the surface of original ground.

(3) Original ground shall satisfy the upper and lower trackbed design criteria.

(4) Total allowable residual settlement for the fill on a concrete track

① Allowable residual settlement on a concrete track shall be 30 mm or less.

A. The 30 mm settlement shall include the settlement of original ground after hand over of a trackbed, settlement of a fill structure and settlement on track structure (altogether a total of 25 mm) and the settlement by train load (5 mm).

B. When residual settlement occurs at the shape of a basin as shown in <Fig. 4.3.5>, it may be corrected to the radius of a large vertical curve. Thus, if ra (corrected radius of vertical curve, m) is greater than 0.4 $\times V^2$ (V is design speed, km/h), the residual settlement as much as 60 mm may be allowed.

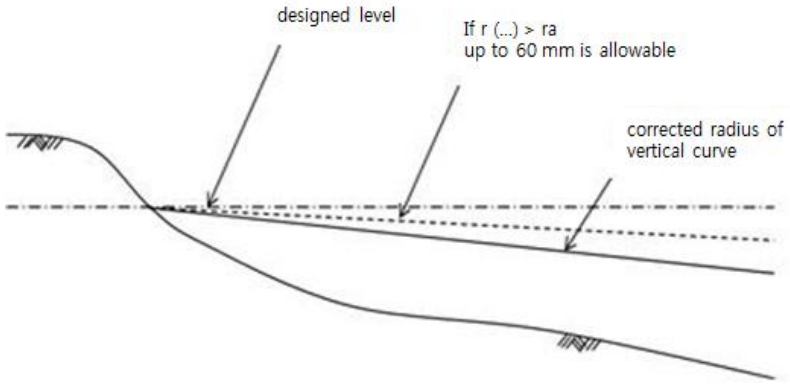


Fig. 4.3.5 Residual settlement in a basin

4.3.5 Slope protection

(1) General

① Slope protection shall be provided to a fill slope to prevent surface erosion and reinforce the top soil.

② Slope protection method shall be selected considering fill material, slope size and other conditions.

4.3.4 쌓기 구간의 원지반

(1) 쌓기 구간의 원지반은 쌓기를 안전하게 지지하며 침하가 되지 않도록 해야 한다.

(2) 쌓기 구간의 원지반의 지표에서 쌓기 폭의 약 2배(25m한도)의 깊이까지 지진 시 액상화 위험이 없도록 설계한다.

(3) 원지반은 상부노반 및 하부노반의 설계기준을 만족해야 한다.

(4) 콘크리트궤도에서의 쌓기 총 허용잔류침하량

① 콘크리트궤도에서의 허용잔류침하량은 30mm 이하로 한다.

가. 허용잔류침하량 30mm는 노반 인수인계 후 예상되는 원지반 침하량과 성토체 침하량 및 궤도구조에서의 침하량(총합 25mm), 그리고 열차하중에 의한 침하량(5mm로 가정)을 모두 포함한다.

나. <그림 4.3.5>와 같이 분지모양으로 잔류침하가 발생할 경우 큰 종곡선 반경으로 보정되는 것이 허용될 수 있으므로 경사부를 r_a(보정된 종곡선 반경, m)가 $0.4\times V^2$(V는 설계속도, km/h)보다 클 경우, 추가검토를 통해 잔류침하량을 60mm까지 허용할 수 있다.

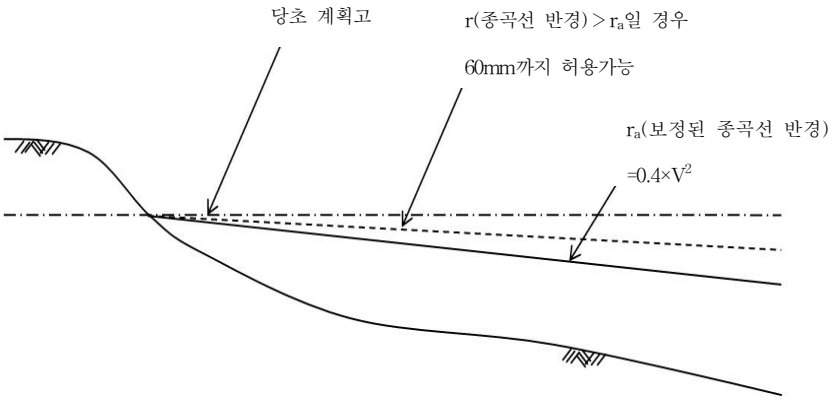


그림 4.3.5 분지모양 잔류침하

4.3.5 비탈면 보호공법

(1) 일반내용

① 쌓기 비탈면에는 표면의 침식 방지와 표토 강화를 위해 비탈면 보호공법을 설치해야 한다.

② 비탈면 보호공법의 선정은 쌓기 재료, 비탈의 규모, 기타의 조건을 고려하여 최적의 공법을 선정해야 한다.

(2) Vegetation

① Vegetation shall be provided to prevent the slope erosion and reinforce the top soil, and shall be stable in terms of growth.

② Vegetation method shall be determined considering fill material, climatic condition, planting season and the type of vegetation.

③ Vegetation methods include seed spraying, mat laying, sod pitching and vegetation belt method.

(3) Hard rock shall be used for masonry work.

(4) Block-pitching, stone-pitching technique

① On a fill slope where the stone-pitched laying technique or the vegetation technique is inappropriate, it shall be designed with the block-pitching or stone-pitching technique.

② When the height is 3.0 m or more, it shall be designed with a combination of precast lattice-pitching and stone-pitching.

③ Stone-pitching shall be designed with a dry-pitching method, which is used for new fill.

(5) Precast grating crib work and other methods

① Grating crib work used on a fill slope shall be usually designed with a precast grating crib work.

② Grating crib work shall be applied to the slope which is affected by runoff and pore water pressure.

③ To prevent erosion of the slope surface, the combination of vegetation, stone-pitching and rubble techniques shall be considered to determine an optimal method.

④ Other slope protection methods include gabion and wicker method.

(6) Protection of slope around catenary pole foundation

① When runoff is concentrated at the slope surface due to the water flowing along a catenary pole, slope protection shall be provided to prevent erosion or collapse.

A. When a pole is installed on the formation level, a trench shall be provided to drain rainwater, and pavement or concrete facing at edge shall be provided where necessary.

B. When a pole is installed on a slope, the ground level around the pole shall be the same as the formation level and slope protection measures shall be provided in order to guide rainwater into a drainage trench and to protect stone pitching near the catenary pole.

(2) 식생공법

① 식생공법은 비탈면의 침식방지와 표면붕괴 방지를 위해 설치하며 생육기반의 안정을 확보하는 것으로 선정해야 한다.

② 식생공법은 쌓기 재료, 기상조건, 시공시기, 식생종류 등을 고려하여 선정해야 한다.

③ 식생공법은 씨앗뿜어붙이기공법, 식생매트공법, 떼붙임공법, 식생대공법 등이 있다.

(3) 돌붙여깔기공법에 사용하는 암은 경암으로 한다.

(4) 블록붙임공법, 돌붙임공법

① 돌붙여깔기공법 및 식생공법이 적당하지 않은 쌓기 재료를 사용한 비탈면에는 블럭붙임공법 또는 돌붙임공법으로 설계한다.

② 높이가 3.0m 이상인 경우 프리캐스트 격자틀공법과 돌붙임공법을 조합하는 등의 공법을 설계한다.

③ 신설 쌓기면에 이용하는 돌붙임공법은 메붙임으로 설계한다.

(5) 프리캐스트 격자틀공법 및 기타

① 쌓기 비탈면에 사용하는 격자틀공법은 일반적으로 프리캐스트 격자틀공법으로 설계한다.

② 격자틀공법은 비탈면에 유수 및 간극수압의 영향이 있을 경우에 설계한다.

③ 비탈표면의 침식 방지를 위해서는 식생공법, 돌붙임공법, 막돌공법 등과의 조합을 검토하고 가장 유효한 공법을 사용해야 한다.

④ 기타의 비탈면 보호공법은 돌망태공법, 편책공법 등으로 설계할 수 있다.

(6) 전철주 기초 주변의 비탈보호

① 쌓기 비탈면 부근에 호우 시 전주 등을 따라 우수가 비탈면에 집중되어 흘러내릴 우려가 있는 경우에는 침식 및 붕괴 등을 방지하기 위해 비탈면 방호를 설계해야 한다.

가. 전주가 시공기면에 설치될 경우에는 우수가 배수로로 흐르게 하고 필요한 포장 및 테두리 콘크리트 등을 설치하여 한다.

나. 전주가 쌓기 비탈면에 설치된 경우는 전주 주변을 시공기면과 같은 높이 쌓기를 하고, 우수가 배수로로 흐르게 하거나 전주 주변에 돌붙임공 등 쌓기 비탈이 훼손되지 않게 비탈면 보호공을 설치해야 한다.

4.4 Cutting

4.4.1 General

(1) Gradient of a cutting slope

① Gradient of a cutting slope shall be determined with results of stability analysis for an individual section, based on site investigation, test results, total core recovery (TCR), rock quality designation (RQD), features of discontinuity and degree of weathering.

② Gradient of a cutting slope may be changed by stability analysis based on <Table 4.4.1> and <Table 4.4.2>.

(2) Berm

① For a slope of a ripping rock or soil, the width of berm shall be 1.5 m, and shall be provided at a vertical interval of 5.0 m when the slope height is 10 m or higher. As well, berms shall be provided, if necessary, at the boundary between soil and rock or a permeable layer and an impermeable layer, regardless of the slope height.

② For blasted rock slope, a 1.5 m-wide berm shall be provided at a vertical interval of 10 m or 20 m, and also at the boundary between the blasted rock and the ripping rock or at a location where the rock property is changed drastically.

③ The longitudinal grade of a berm shall be 5% toward the outside.

(3) Classification of cutting ground

① Cutting ground shall be classified according to the criteria specified in Table 「4.4.1」.

② In a special case, its classification may be made separately.

(4) Original ground of cutting section

① Original ground of a cutting section shall conform to the design criteria of an upper and a lower trackbed, and original ground shall be stabilized when the original ground is considered inappropriate for trackbed.

② Original ground of a cutting section shall conform to the criteria for bearing capacity and allowable residual settlement.

③ A drainage facility shall be provided to original ground in order to prevent surface water and groundwater from being trapped.

④ Original ground shall be graded by 5% toward the side ditch.

⑤ When groundwater exists all the time in the original ground, possibility of shear strength decrease induced by capillary rise should be investigated.

4.4 깎기

4.4.1 일반사항

(1) 깎기 비탈면 기울기

① 깎기 비탈면 기울기는 지반조사 및 시험성과, 시추조사 시 코아회수율(TCR) 및 암질지수(RQD), 불연속면의 특성, 풍화 정도 등을 고려하여 구간별로 안정성 해석을 실시하여 결정해야 한다.

② 깎기 비탈면 기울기는 <표 4.4.1>과 <표 4.4.2>의 값을 기준으로 하여 안정성 해석을 실시하여 변경할 수 있다.

(2) 소단설치

① 리핑암 및 흙 비탈면의 경우 소단 폭은 1.5m로 하고 비탈면 높이가 10m 이상일 경우에는 매 5.0m마다 설치하도록 한다. 또한 비탈면 높이에 관계없이 흙과 암과의 경계나 투수층과 불투수층과의 경계에는 필요에 따라 소단을 설치한다.

② 발파암 비탈면의 경우에는 10m 또는 20m마다 1.5m 폭의 소단을 설치하도록 한다. 그리고 리핑암과 발파암의 경계와 암반의 특성이 급격히 변화하는 곳에도 1.5m 폭의 소단을 설치한다.

③ 소단은 외측으로 향하여 5%의 횡단 기울기로 한다.

(3) 깎기 지반분류

① 깎기 지반분류는 「4.4.1」에서 정한 기준에 따라 분류한다.

② 특수한 경우는 별도로 분류할 수 있다.

(4) 깎기 구간의 원지반

① 깎기 구간의 원지반은 상부노반 및 하부노반의 설계기준을 만족해야 하며 노반 조건에 부적절하다고 판단되는 경우에는 원지반 안정처리를 해야 한다.

② 깎기 구간의 원지반은 지지력과 허용잔류침하 기준을 만족해야 한다.

③ 깎기 구간의 원지반에는 유입 또는 침출하는 지표수와 지하수가 고이지 않도록 배수시설을 설치해야 한다.

④ 원지반면은 노반의 측구를 향하여 5%의 횡단 기울기를 두어야 한다.

⑤ 원지반에 상시 지하수위가 있을 경우에는 모세관 현상으로 유발되는 지하수위 상승에 의한 강도저하 가능성을 사전에 검토해야 한다.

Table 4.4.1 Standard gradient of cutting slope

Soil		Cut height	Gradient		Remarks
			Joint direction	Joint orthogonal direction	
Rock block, cohesive soil containing boulder		5 m or less	1:1.0 ~ 1.2		GM, GC
		5~10 m	1:1.2 ~ 1.5		
Cohesive soil		0~5m	1:1.0 ~ 1.5		ML, MH, CL, OL, CH
Gravel	Dense, good grain size	10 m or less	1:1.0		GW, GM, GC, GP
		10~15 m	1:1.0 ~ 1.2		
	Not dense, poor grain size	10 m or less	1:1.0 ~ 1.2		
		10~15 m	1:1.2 ~ 1.5		
Sand containing granular powder	Dense	5 m or less	1:1.0		SM, SC
		5~10 m	1:1.0 ~ 1.2		
	Not dense	5 m or less	1:1.0 ~ 1.2		
		5~10 m	1:1.2 ~ 1.5		
Sand			1:1.5 or more		SW, SP
Weathered rock			1:1.2 or more		No specimen
Soft rock			1:1.2	1:0.5 ~ 0.7	
Hard rock			1:0.8	1:0.3 ~ 0.5	

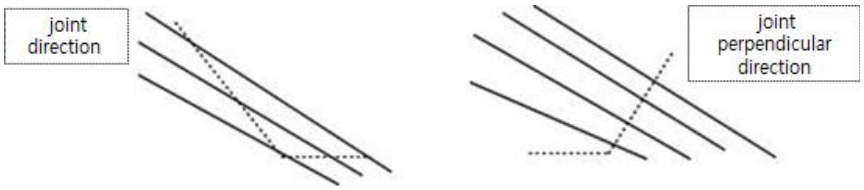
표 4.4.1 깎기 비탈면 기울기 표준

토질		깎기 높이	기울기		비고
			절리방향	절리직각방향	
암괴, 호박돌을 함유한 점성토		5m 이하	1:1.0~1.2		GM, GC
		5~10m	1:1.2~1.5		
점성토		0~5m	1:1.0~1.5		ML, MH, CL, OL, CH
자갈	조밀하고 입도가 양호한 경우	10m 이하	1:1.0		GW, GM, GC, GP
		10~15m	1:1.0~1.2		
	조밀하지 못하고 입도가 불량한 경우	10m 이하	1:1.0~1.2		
		10~15m	1:1.2~1.5		
세립분이 함유된 모래	조밀한 경우	5m 이하	1:1.0		SM, SC
		5~10m	1:1.0~1.2		
	조밀하지 않은 경우	5m 이하	1:1.0~1.2		
		5~10m	1:1.2~1.5		
모 래			1:1.5 이상		SW, SP
풍화암			1:1.0~1.2		시편 미형성 암
연 암			1:1.2	1:0.5~0.7	
경 암			1:0.8	1:0.3~0.5	

Table 4.4.2 Slope gradient according to rock characteristics

Rock classification (Excavation difficulty)	Rock crushed		Gradient		Remarks
	TCR	RQD	Joint direction	Joint orthogonal direction	
Ripping rock	20% or less	0%	1:1.2	1:1.0	* NX boring
Blasted rock	20 ~ 40%	0 ~ 25%	1:1.0	1:0.8	
	40 ~ 60%	25 ~ 50%	1:0.7	1:0.5	
	60% or more	50% or more	1:0.5	1:0.3	

Note) Gradient of cutting slope of hard and soft rock shall be adjusted according to the joint direction of the existing rock.



(5) Stability check for a cutting slope

① Natural ground is complicated and inhomogeneous. A cutting slope becomes unstable over time, and its stability is affected by the surrounding environment like rainfall. Therefore, stability check for the cut slopes shall be made and protection measures shall be provided based on the stability.

② In case of a rock slope including quick-weathering rock, cracked rock, grid-shape cracked rock and geologic structures that are vulnerable to collapse, the slope stability considering these factors shall be checked.

③ For an important cutting slope, slope stability analysis shall be carried out , based on 「2.4.4 Classification of Seismic Design, Chapter 2 Railway Plan」.

(6) Disposal of discarded soil

① Excavated soil shall be used as much as possible, depending on results of the soil tests to determine if the soil can be used again.

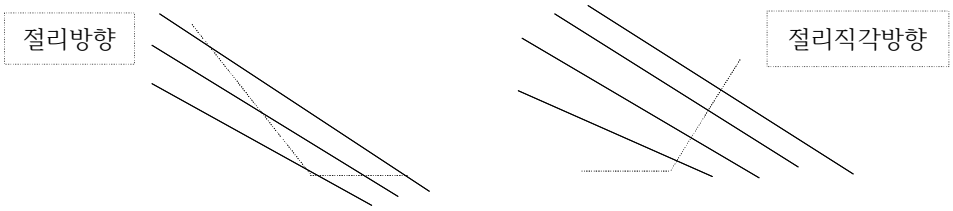
② Excavated soil left over and discarded shall be appropriately disposed. The slope gradient of disposal dump shall be less than 1 : 2.

③ Disposal dump shall be stabilized to prevent soil erosion or collapse due to rainwater by considering drainage at the slope, measures against the existing waterway, protections including retaining wall and environmental impact.

표 4.4.2 암반의 특성에 따른 비탈면 기울기

암반 구분 (굴착 난이도)	암반 파쇄 상태		기울기		비고
	TCR	RQD	절리방향	절리직각방향	
리핑암	20% 이하	0%	1:1.2	1:1.0	* NX 시추 기준
발파암	20~40%	0~25%	1:1.0	1:0.8	
	40~60%	25~50%	1:0.7	1:0.5	
	60% 이상	50% 이상	1:0.5	1:0.3	

주) 연암과 경암의 깎기 비탈면 기울기는 기존 암의 절리방향을 검토하여 조정한다.



(5) 깎기 비탈면 안정검토

① 자연지반은 매우 복잡하고 불균질하며, 깎기 비탈면은 시간에 따라 점차로 불안정하게 되고 강우 등의 주변 환경 변화에 따라 안정성이 영향을 받으므로 이들을 고려한 안정성 검토 및 보호대책이 이루어져야 한다.

② 풍화가 빠른 암반, 균열이 많은 암반, 바둑판 모양의 균열이 있는 암반, 구조선이 있는 지질 등의 붕괴성 요인을 갖는 암반 비탈면의 경우에는 반드시 이를 고려한 비탈면 안정성을 검토해야 한다.

③ 중요한 깎기 비탈면의 경우에는 제2장 철도계획 2.4.4 내진설계의 등급을 고려한 비탈면 안정해석을 수행해야 한다.

(6) 사토처리

① 깎기에서 발생한 재료는 그 재료의 사용 가능성 여부를 판단하기 위한 토질시험을 수행한 후 최대한 활용하도록 한다.

② 깎기에서 발생하는 사토 및 잔토는 적절히 처리될 수 있도록 해야 하며 사토 작업이 완료된 구간의 사토 비탈면은 1:2보다 완만한 기울기로 한다.

③ 사토장은 우수로 인한 토사유출 및 붕괴 위험 방지를 위해 비탈면 배수, 기존 수로에 대한 대책, 옹벽 등의 보호공사 및 환경영향을 고려한 방재대책을 검토하여 사토장이 안정하도록 해야 한다.

4.4.2 Cutting and original ground

(1) Cutting

① Shape of cutting slope

A. The shape of a cutting slope including slope gradient or berm shall be determined considering topographic and geologic characteristics (soil, rock) and drainage to stabilize the slope.

B. <Table 4.4.1> and <Table 4.4.2> shows the standard of slope gradient. Additional stabilization measures shall be provided to the site where vertical or horizontal change is significant or the collapse of a cutting slope has occurred in the past around the site.

C. In the event of any potential collapse as shown in <Table 4.4.3>, geotechnical investigation shall be thoroughly carried out to review the slope gradient, and slope protection measures shall be provided.

D. Shoulder and edges on a cutting slope shall be trimmed in a smooth round shape.

Table 4.4.3 Soil vulnerable to collapse

Soil vulnerable to collapse	Typical soil
Quick-weathering rock	Mudstone, tuff, shale, slate stone, serpentina, schist
Rock with cracks	Schist, shale, serpentine, granite, andesite
Rock with grid-shaped cracks	Schist and slate stone with bedding and joint in direction similar to slope direction
Geological features with structural weak lines	Fractured zone of fault, ground activity zone or collapse

② Stability check for a cutting slope

A. Gradient and berm of a cutting slope shall be designed considering ground condition, stability and drainage.

B. Standard gradient would be acceptable under general ground conditions, but the slope stability shall be evaluated at the design stage.

C. If ground condition is likely to collapse or if slope stability may be changed due to surrounding conditions, the need for additional slope stabilization shall be reviewed.

D. Colluvial soil with low density may cause ongoing problems as it serves as the passage of groundwater, and thus the empirical gradient in <Table 4.4.4> may be applied.

4.4.2 깎기 및 본바닥

(1) 깎기

① 깎기 비탈면의 형상

가. 비탈면 기울기, 소단 등 깎기 비탈면의 형상은 지형, 지질(흙, 암반)의 특성을 검토한 후 깎기 비탈면이 안정될 수 있도록 배수공법을 고려하여 결정해야 한다.

나. <표 4.4.1>과 <표 4.4.2>는 비탈면 기울기의 기준이며, 연직 및 수평 방향으로 변화가 크거나 주변에 기존 깎기 비탈면의 붕괴가 발생한 흔적이 있는 곳에서는 별도의 적절한 비탈면 안정조치가 필요하다.

다. <표 4.4.3>과 같이 붕괴성 요인을 갖는 경우는 반드시 지반조사를 철저히 수행하여 비탈면 기울기에 대하여 면밀히 검토하고 필요한 경우 비탈면 안정대책을 마련해야 한다.

라. 깎기 비탈면의 어깨 및 양단부는 모서리 정리를 하고 그 형상은 매끄러운 원형(라운딩)으로 한다.

표 4.4.3 붕괴성 요인을 갖는 지질

붕괴성 요인을 갖는 지질	대표 지질
풍화가 빠른 암석	이암, 응회암, 셰일, 점판암, 사문암, 편암류 등
균열이 많은 암석	편암류, 셰일, 사문암, 화강암, 챠트, 안산암 등
바둑판 모양의 균열이 있는 암석	층리, 절리가 경사면의 경사방향과 비슷한 편암류, 점판암 등
구조적 약선이 있는 지질	단층 파쇄대, 지반활동지역, 붕괴지 등

② 깎기 비탈면 안정검토

가. 깎기 비탈면의 기울기, 소단 등은 주어진 지반의 조건을 면밀히 검토하고 안정성과 배수성 등을 고려하여 설계해야 한다.

나. 비탈면 기울기를 결정하는 경우 일반적인 지반조건이라면 기준 비탈면 기울기의 범위로서 거의 문제가 없지만 그렇다 하더라도 설계 시 반드시 주어진 비탈면에 대한 안정성을 검토해야 한다.

다. 붕괴성 요인을 갖는 지반조건이거나 주변 환경변화로 인한 비탈면의 안정성이 공사 후 변화될 여지가 있는 경우에는 반드시 이를 고려하여 비탈면 안정성을 별도로 검토해야 한다.

라. 붕적토 지반은 지반이 치밀하지 못하고, 지하수의 통로역할을 하는 경우가 많아 지속적인 문제가 발생하므로, <표 4.4.4>와 같은 경험적 기울기를 적용할 수 있다.

Table 4.4.4 Slope gradient on colluvial soil

Ground condition	Gradient
When groundwater level during rainfall is lower than design level	1 : 1.2
When groundwater level during rainfall is higher than design level	1 : 1.5
When ordinary groundwater level is higher than design level	1 : 1.8 ~ 1 : 2.0

E. To ensure the stability and economic feasibility, design shall be based not only on standard slope gradient but also on constructability, cost efficiency and maintenance, considering the earthwork distribution plan, land limit and the characteristics of cold climate region.

F. Final gradient of a cutting slope shall be determined after stability analysis considering the given ground strength, and it shall be redesigned when any discrepancies in ground condition or strength are found.

G. Standard safety factor for a cutting slope shall be based on <Table 4.4.5> in accordance with 「Design Standard for Slope in Construction (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011)」

H. For a critical cutting slope, slope stability analysis shall be carried out considering Seismic Classification for Seismic Design 「2.4.4」.

(2) Original ground

① Requirements and design

A. Original ground shall satisfy the requirements for original ground on a cutting slope in the table 「4.4.1」

B. A 5% lateral slope toward the side ditch shall be provided and finished smoothly. Also, original ground shall be compacted using a tamping machine after cutting in order to prevent it from being disturbed or loosened.

C. The shape of the original ground shall be determined according to the drainage to be provided on or at the sides of original ground.

표 4.4.4 붕적토 지반에서의 비탈면 기울기

지하수 조건	기울기
강우 시 지하수위가 설계에서 고려한 높이보다 낮은 경우	1:1.2
강우 시 지하수위가 설계에서 고려한 높이보다 높아질 경우	1:1.5
평상 시 지하수위가 설계에서 고려한 높이보다 높은 경우	1:1.8～1:2.0

마. 각 현장의 토량 배분계획이나 용지의 제약조건 및 적설 한랭지 특유의 제반조건 등을 고려하여, 기준의 비탈면 기울기만으로 설계하지 말고 시공성, 경제성 및 유지관리도 포함해서 충분히 안정성 및 경제성을 확보할 수 있도록 비교, 검토해야 한다.

바. 깎기 비탈면의 최종 기울기는 주어진 지반의 강도 등을 고려하여 안정성 해석을 수행한 후 결정해야 하며, 시공 시 설계와 변경된 지반조건 및 강도 등이 발견되었을 경우에는 반드시 재설계를 수행해야 한다.

사. 깎기 비탈면에 대한 기준안전율은 「건설공사 비탈면 설계기준(국토교통부, 2011)」에 준하여 <표 4.4.5>와 같이 적용해야 한다.

아. 특별히 중요한 깎기 비탈면의 경우 그 중요도에 따라 「2.4.4」의 내진설계의 내진등급을 고려한 비탈면 안정해석을 수행해야 한다.

(2) 본바닥

① 요구조건 및 설계

가. 본바닥은 「4.4.1」에 기술한 깎기 구간의 원지반 조건을 만족해야 한다.

나. 원지반면에는 노반 측구를 향하여 5%의 횡단배수 기울기를 설치하고, 평탄하게 마무리해야 한다. 또한 원지반면은 굴착이나 정지작업에 의해 교란되거나, 느슨해지기도 하므로 깎기 시공의 종료 시에 다짐장비로 마무리해야 한다.

다. 일반적인 경우 원지반 위 또는 원지반 측방에 배수공이 설치되므로 배수공 설계에 따라서 원지반의 형상을 결정해야 한다.

Table 4.4.5 Safety factor of cutting slope

		Standard safety factor	Reference
Dry season		FS > 1.5	.Assumed to have no groundwater.
Long-term	Wet season	FS > 1.2 or FS > 1.3	· For soft and hard rock slope, analysis is carried out assuming that the groundwater level is located at the height of groundwater saturated in tensile crack or at 1/2 of slope height saturated by groundwater and in this case, FS = 1.2 is applied · For slope stability analysis of soil or weathered rock, the method to determine the groundwater level or the method considering rainwater penetration may be used. · As the method to determine the groundwater level, the geotechnical investigation result, topographic features and drainage shall be considered comprehensively to carry out stability analysis, and the basis for determining the groundwater level shall be clearly described (FS = 1.2) · For stability analysis considering rainwater penetration, geotechnical investigation result, topographic features, drainage, rainfall intensity and duration shall be considered, and the design parameters and analysis method used for analysis shall be clearly described (FS=1.3)
	Seismic	FS > 1.1	· Seismic momentum force is assumed to act horizontally on the center of failed soil · .Same groundwater level as wet season is applied
Short term		FS > 1.0	· Stability for a short term of less than a year (including construction duration) · Same groundwater condition as wet season for long-term stability was applied
• When the foundation of a class 1 or 2 structure exists within the broken range on the top of slope: to be reviewed separately			

② Checkpoints

A. Inspection of a flat finished-original ground shall be carried out according to the plate load test method, and when using a 300mm-diameter load plate, it shall be measured as follows, and the measurement method shall be the same as the one used for a fill slope.

표 4.4.5 깎기 비탈면 안전율 기준

구분		기준안전율	참조
건기		FS>1.5	· 지하수가 없는 것으로 해석
장기	우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	· 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 1/2 심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 · 토층 및 풍화암으로 구성된 비탈면의 안정해석은 지하수를 결정하여 해석하는 방법 또는 강우의 침투를 고려한 방법 사용 가능 · 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) · 강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술 (FS=1.3적용)
	지진시	FS>1.1	· 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 · 지하수위는 우기시 조건과 동일하게 적용
단기		FS>1.1	· 1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성 (시공중 포함) .지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용
• 비탈면 상부 파괴범위 내에 1, 2종 시설물의 기초가 있는 경우 : 별도 검토			

② 검사사항

가. 평탄하게 마무리된 원지반면의 검사는 평판재하시험법에 의하며, 직경 300mm의 재하판을 이용, 필요한 값 이상이 되도록 다음 각 위치에서 확인해야 한다. 측정 요령은 쌓기의 경우와 같다.

(a) Inspection section shall be set at intervals of 50 m.
(b) Measurements shall be made at one or two points per track to identify uniformity of the original ground strength.
(c) When geological conditions within a range of 50 m are different, it shall be measured at a representative point.
(d) For a single track, test shall be carried out at both ends of a sleeper, and for a double track, at the center of each track and the outer end of the outermost sleeper (<see Fig. 4.4.1>)

4.4.3 Protection of cutting slope

(1) General

① Slope protection shall be made at a cutting slope to prevent erosion, reinforce top soil, prevent rock weathering and protect soil and rock slopes.

② Slope protection refers to protecting the slope surface with vegetation or structures to prevent it from being deteriorated due to rainwater and erosion, or to prevent soil loss even in the event of partial deterioration. The protection method shall be determined considering the soil of original ground, the site conditions of construction and the season in construction.

(2) Slope protection method

① Slope protection methods include vegetation, concrete pitching, block pitching, stone pitching, latticed frame, gunite and shotcrete. The optimal method shall be determined considering the geological conditions of original ground, and the size and gradient of slope.

② Soil slope protection methods include vegetation, concrete pitching, block pitching, stone pitching and latticed frame.

③ The purpose of rock slope protection is to prevent rock weathering and rock-falling due to expansion of cracks. The methods effective for rock slopes include concrete pitching, gunite, shotcrete and in-situ latticed frame.

④ To identify the slope surface behavior after construction or to investigate joint direction when collapsed, a wire mesh or ivy-covering may be considered.

㉮ 검사단면은 시공연장 약 50m마다 한다.

㉯ 검사단면에서의 측정위치는 원지반면 강도의 균질성을 조사할 수 있도록 선로당 1~2개소를 고려한다.

㉰ 50m 이내에서 지질조건이 다른 경우는 그 때마다 대표 장소에서 검사를 한다.

㉱ 각 검사단면에서 단선일 때는 침목 양 끝부분, 복선 이상일 때는 각 선로 간 중심 및 가장 바깥 측의 침목 바깥 끝에서 시험을 실시해야 한다.(<그림 4.4.1> 참조)

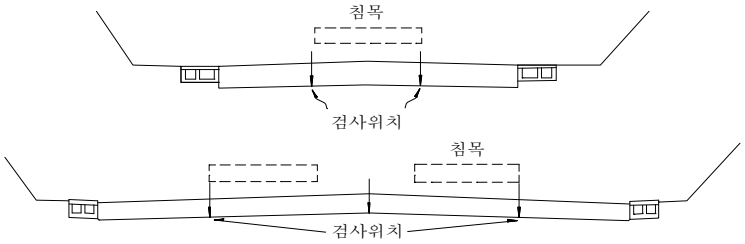


그림 4.4.1 깎기 원지반면의 검사위치

4.4.3 깎기 비탈면 보호공법

(1) 일반사항

① 깎기 비탈면에는 표면의 침식방지, 표층토의 강화, 암석의 풍화방지, 토사 및 암반비탈면의 보호 등을 위하여 비탈면 보호공법을 실시해야 한다.

② 비탈면 보호공법은 비탈면이 우수나 침식 등에 의해 지표가 열화 되는 것을 방지하거나 부분 열화되어도 표면유실이 발생하는 것을 방지하기 위해 식생이나 구조물로 보호하는 공법이며 원지반의 토질, 시공지, 시공시기 등을 고려하여 선정해야 한다.

(2) 비탈면 보호공법

① 비탈면 보호공법에는 식생공법, 콘크리트붙임공법, 블록붙임공법, 돌붙임공법, 격자틀공법, 건나이트(Gunite)공법, 숏크리트(Shotcrete)공법 등이 있다. 비탈면 보호공법의 선택에 있어서는 본바닥의 지질, 비탈면의 규모, 기울기 등을 고려하여 가장 적절한 것을 선정해야 한다.

② 흙 비탈면에 사용하는 비탈면 보호공법의 종류에는 식생공법, 콘크리트붙임공법, 블록붙임공법, 돌붙임공법, 격자틀공법 등이 있다.

③ 암반 비탈면의 비탈면 보호공법은 암석의 풍화방지와 균열의 확대 등에 의한 암석의 붕락방지를 목적으로 설치한다. 암반 비탈면에 유효한 비탈면 보호공법의 종류에는 콘크리트붙임공법, 건나이트공법, 숏크리트공법 및 현장타설 격자틀공법이 있다.

④ 시공 후 암반 비탈면 거동, 붕괴 시 절리방향성 파악 등을 위한 경우는 비탈면이 보이게 철망 또는 담쟁이넝쿨 등을 고려 할 수 있다.

(3) Selection of slope protection method

① Selection of slope protection method shall be usually reviewed at stages of the basic design, final working design and construction.

② Even in the same slope, soil may not be homogeneous and ground water condition may not be uniform, either. Therefore, a different slope protection method should be adopted for an independent slope. However, The selected slope protection methods are recommended to be similar, if possible.

③ In determining an optimal slope protection method, a variety of protection methods shall be applied, in advance, to the slope with the same geologic features. Test applications and the results shall be used to determine the optimal method for a given slope.

4.4.4 Slope reinforcement method

(1) Gabion method

① Gabion is recommended when there is a risk of soil eroded by water, or a failed slope is restored, slope failure is expected due to frost action, or a slope is adjacent to the waterway.

② When a significant load is required to stabilize the slope, a wire cylinder is recommended (see <Fig. 4.4.2>)

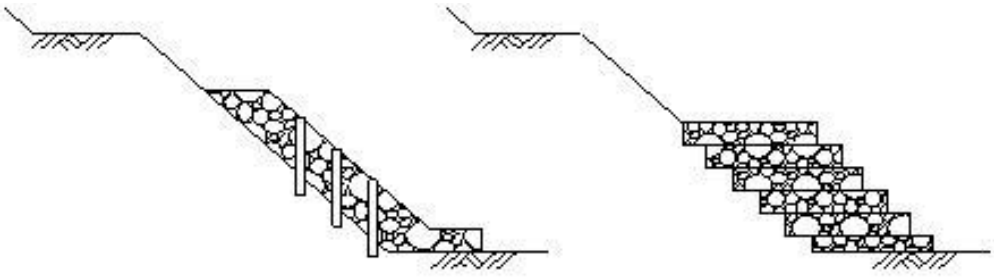


Fig. 4.4.2 Examples of gabion and wire cylinder

(2) Reinforcement of rock slope

① Where rock-falling, toppling or sliding due to bedding plane, joint and foliation is expected, a reinforcement method shall be provided to enhance the slope stability. Reinforcement methods include rock bolt and rock anchor methods.

② Rock anchor method

A. It is recommended to use the anchor method together with cast-in-place concrete latticed frame, retaining wall or pile method, rather than the anchor method alone.

(3) 비탈면 보호공법의 선정

① 비탈면 보호공법의 선정은 통상 기본설계, 실시설계, 시공 등 각 시점에서 검토해야 한다.

② 동일 비탈면 내에도 토질이나 용수의 상태가 반드시 일정치 않은 경우가 많아서 각각의 조건에 적합한 공종을 선택해야 하지만 가능한 한 유사한 공종을 선정해야 한다.

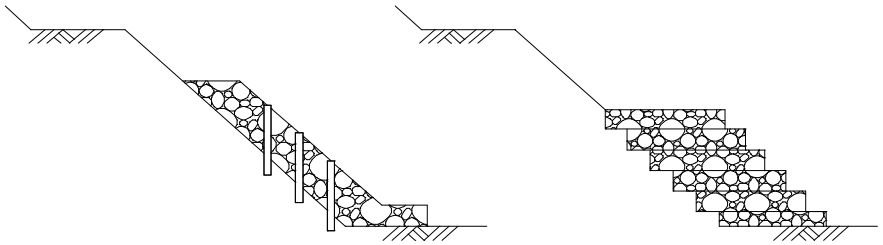
③ 비탈면 보호공법의 공종을 결정함에 있어서 시험시공으로 사전에 동일 지질의 비탈에 여러 가지 보호공법을 실시하여 그 결과를 가지고 보호공법을 선정해야 한다.

4.4.4 비탈면 보강공법

(1) 비탈면 돌망태공법(Gabion)

① 비탈면 돌망태공법은 비탈면에 용수가 있어서 토사가 유출할 위험성이 있는 경우, 또는 붕괴한 곳을 복구할 경우, 동상으로 비탈면이 붕괴할 위험이 있는 경우, 비탈면이 수로와 접하는 경우에 사용한다.

② 안정상 상당한 중량을 필요로 하는 경우는 방석망태가 좋다.(<그림 4.4.2> 참조)



(a) 돌망태 (b) 방석망태

그림 4.4.2 비탈면 돌망태 및 방석망태의 예

(2) 암반 비탈면 보강공법

① 암반 비탈면에서 암반의 층리(Bedding Plane), 절리(Joint) 및 엽리(Foliation) 등으로 탈락(Rock Fall), 전도(Toppling) 및 활동(Sliding) 등이 유발될 수 있는 곳에는 암반 비탈면의 안정성을 높이기 위하여 보강공법을 실시한다. 보강공법의 종류에는 록볼트(Rock Bolt)공법, 록앵커(Rock Anchor)공법 등이 있다.

② 록앵커공법

가. 앵커공법은 단독으로 사용하는 것보다 현장타설 콘크리트 격자틀공법, 옹벽, 말뚝공법 등과 병용하는 것이 바람직하다.

B. Design for the anchor method shall conform to the following conditions.

(a) Design force of an anchor shall be smaller than the ultimate force divided by the following factor of safety.

ⓐ Removable anchor used for less than two years: 1.5

ⓑ Permanent anchor used for two years or longer (normal): 2.5

ⓒ Permanent anchor used for two years or longer (in earthquake): 1.5 ~ 2.0

(b) Ultimate pull-out capacity is mostly dependent on ground conditions, and refers to the force causing failure.

(c) Factor of safety shall be determined after reviewing geological conditions when the method is applied to ground under creep deformation or cyclic load.

(d) Bonding stress of a tension member and cement grout shall be more than the allowable bonding stress. Allowable bonding stress shall follow the method considering bonding strength of a rebar concrete, and in such a case, PS steel wire shall be deformed bar and PS steel bar shall be equivalent to round steel.

(e) Tensile stress of a tension member shall be less than the allowable tensile stress (σ_{ap}) estimated by <Eq. (4.4.1)> and <Eq. (4.4.2)>.

$$\sigma_{ap} \leq 0.6\sigma_{up} \quad (4.4.1)$$

$$\sigma_{ap} \leq 0.75\sigma_{yp} \quad (4.4.2)$$

where, σ_{up} : Tensile stress of tension member

σ_{yp}: yield stress of tension member

(f) Total length of an anchor shall be design length (free length + anchoring length) plus extra length (1m) for tension and anchoring.

C. When an anchor is installed permanently, anticorrosive measures against tensile member and anchor head shall be taken.

D. After anchor grout reaches a certain strength level, tensile tests shall be carried out for at least 5% of total anchors or 3 anchors, and a confirmation test will be performed for all the remaining anchors. In a tensile test, the load 1.2 ~ 1.3 times larger than the design anchor force shall be the maximum load, and in a confirmation test, the load 1.0 ~ 1.2 times larger shall be the maximum load.

③ Rock bolt method

A. Rock bolt is used to integrate rock with bedrock or integrate to reinforce multiple rock formations with a discontinuous surface.

B. Rock bolt shall not be used at corrosive or strongly acid soil or near an electric power substation where the electric current may flow under the ground.

C. A solid bedrock shall exist at a shallow depth in order to use a rock bolt at a slope surface.

나. 앵커공법의 설계에서는 다음 조건을 만족해야 한다.

㉮ 설계 앵커력은 극한 인발력을 다음에 표시한 안전율로 제한한 값 이하이어야 한다.

㉠ 2년 미만의 일시앵커 : 1.5

㉡ 2년 이상의 영구앵커(평상시) : 2.5

㉢ 2년 이상의 영구앵커(지진시) : 1.5~2.0

㉯ 극한 인발력은 주로 지반 조건에 좌우되며 파괴가 유발되는 힘을 말한다.

㉰ 안전율은 크리프 변형이 문제가 되는 지반이나, 반복하중을 받는 경우에는 지질조건을 충분히 검토하여 결정해야 한다.

㉱ 인장재와 주입재와의 부착응력이 허용부착응력 이상이어야 한다. 허용부착응력은 철근 콘크리트의 부착강도를 고려하는 방법을 따르고, 이 경우 PS강선 등은 이형철근으로, 보통의 PS강봉 등은 환강에 준하는 것으로 해야 한다.

㉲ 인장재의 인장응력은 <식 (4.4.1)>, <식 (4.4.2)>로 구해지는 허용인장응력(σ_{ap}) 이하이어야 한다.

$$\sigma_{ap} \leq 0.6\sigma_{up} \qquad (4.4.1)$$

$$\sigma_{ap} \leq 0.75\sigma_{yp} \qquad (4.4.2)$$

여기서, σ_{up} : 인장재의 인장강도

σ_{yp} : 인장재의 항복응력

㉳ 앵커의 총 길이는 설계 길이(자유 길이+정착 길이)에 긴장 및 정착을 위한 여유장(1m)을 고려해야 한다.

다. 앵커가 영구적으로 설치되는 경우에는 인장강재 및 앵커머리에 방청 대책을 고려해야 한다.

라. 앵커체의 그라우트가 소정의 강도에 달한 후에 앵커 총 개수의 5% 이상, 또는 3개 이상에 대하여 인장시험을, 또 잔여 전 개수에 대해서 확인시험을 해야 한다. 인장시험은 설계 앵커력의 1.2~1.3배의 하중을, 또 확인시험에서는 1.0~1.2배의 하중을 최대하중으로 해야 한다.

③ 록볼트공법

가. 록볼트는 암반과 기반암의 일체화, 혹은 불연속면을 갖는 여러 암반층을 일체화하여 보강하는 것을 목적으로 사용해야 한다.

나. 록볼트는 부식하기 쉽고, 강산성 토양 지반이나 변전소 부근 등 지중으로 흐르는 전류가 발생하기 쉬운 곳에서의 사용은 피해야 한다.

다. 록볼트를 사용하는 경우에는 비탈면 표면의 얕은 위치에 견고한 암반이 존재해야 한다.

D. It is usually difficult to estimate the anchoring force of a rock bolt. Therefore, the range of anchoring force shall be checked through pull-out tests at the construction stage.

E. Unless otherwise specified in this Standard, it shall be accordance with 「Design Standard for Slope in Construction (MOLTMA)」.

4.4.5 Instrumentation

(1) Instrumentation for stability of slopes

① Instrumentation to monitor the stability of a slope shall be planned at the required number of locations.

② Instrumentation methods to monitor the displacement of rock slope are shown in <Table 4.4.6>.

Table 4.4.6 Monitoring the displacement of rock slope

Instrumentation	Description
- A simple mechanical measurement of displacement - Optical measuring - Geodetic survey - Extensometer - Deflectometer - Gradient	- Mechanical measurement of rock displacement on surface (Precision: 0.01 mm): Dial Gage, Crack Gage - Photograph recording in diary form: Optical measurement - Original line, distance survey, trigonometry and photographic survey - Measuring ground displacement by measuring the variation in distance between 2 points (precision: 10-6mm):mechanical,electrical,electricresistance,acoustic,lasere xtensometer - Bending deflection of a borehole during test - Gradient variation: Tiltmeter

4.5 Soft ground

4.5.1 General

Soft ground is defined in a relative sense, depending on the scale of a fill or the purpose of a structure. When original ground is not stable for the structure to be built, it shall be considered as soft ground that requires soil improvement or ground modifications.

라. 록볼트의 정착력을 정확히 추정하는 것은 곤란한 경우가 많기 때문에 시공 시 인발시험을 실시하여 정착범위를 확인해야 한다.

마. 본 기준에 명시하지 않은 사항은「건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부)」에 따른다.

4.4.5 계측관리

(1) 비탈면 안정성 계측

① 비탈면의 안정성을 주의 깊게 관찰하기 위해 필요한 개소에 계측을 수행하도록 설계해야 한다.

② 암반 비탈면 변위에 대한 계측방법은 <표 4.4.6>과 같은 방법들이 있다.

표 4.4.6 암반 비탈면의 변위에 대한 계측방법

계측방법	비고
- 단순한 기계적 변위측정	- 지표의 암반변위를 기계적으로 직접계측(정밀도 : 0.01mm) : 다이알 게이지(Dial Gage), 크랙 게이지(Crack Gage) 등
- 광학적 측정	- 사진 촬영한 것을 일지형식으로 기록 : 광학사진 측정기
- 측지학적 측정	- 기준선, 거리측량, 삼각법과 사진측량의 방식
- 익스텐소미터(Extensometer)	- 2점 사이의 길이 변화를 측정하여 지중변위 측정(정밀도 : 10^{-6}mm) : 기계식, 전기계측식, 전기저항식, 음향식, 레이져 익스텐소미터 등
- 디플렉토미터(Deflectometer)	- 시험중 시추공의 휨 변형량을 측정
- 기울기 측정	- 기울기 변화의 측정 : 경사계(Tiltmeter) 등

4.5 연약지반

4.5.1 일반사항

연약지반은 성토규모나 구조물 목적에 따라 상대적인 의미로 평가되며, 원지반이 건설되는 구조물에 대해 안정성을 만족하지 못할 경우 연약지반으로 취급하여 지반보강이나 대책을 강구해야 한다.

4.5.2 Judgment on soft ground

(1) Preliminary judgment on whether a soft soil is embedded at the site shall be made using the results of a standard penetration test, performed along with a boring test. Then a final judgment will be made using the results of a cone penetration test.

(2) Judgment on a potential soft ground shall be separated into two categories, depending on soil types: clayey soil and sandy soil.

(3) Judgment criteria

① Even though absolute criteria for the judgment are difficult to set up, any kind of judgment criteria are required from a practical perspective. For clayey soil, $N \leqq 4 \sim 6$ is a general criterion and $N \leqq 10$ is an alternative criterion used in some design cases. For sandy soil, $N \leqq 10$ is a typical criterion.

② Judgment on soft ground is shown in 〈Table 4.5.1〉. But judgment of soft ground using N value shall be carefully applied to clay soil or peaty soil.

Table 4.5.1 Judgment of soft ground

Category	Clay soil / peaty soil		Sandy soil
Thickness	Below 10 m	10 m or more	-
N value	4 or less	6 or less	10 or less
q_u (kN/m^2)	60 or less	100 or less	-

4.5.3 Site investigation and tests for soft ground

(1) Specific site investigation and tests shall be performed for the evaluation of the characteristics of soft ground. To obtain stress history and shear strength distribution at different depths, it is necessary to secure a number of specimens required for a regression analysis for a soil parameter. The results can be used to perform a cost efficient and safe design.

(2) Site investigation of soft ground for a concrete track

① As shown in <Table 4.5.2>, a detailed site investigation shall be carried out because allowable residual settlement is strictly controlled.

② In most of cases, settlement of a concrete track occurs at locations that are not identified by the in situ tests, the site at the entire route shall be explored to find a localized soft ground. Seismic tests can be adopted to explore the potential area with a soft ground.

4.5.2 연약지반의 판정

(1) 연약지반 유무판단은 시추조사와 병행하여 실시하는 원위치 조사인 표준관입시험 등으로부터 개략적인 판단을 실시한 후 콘관입시험 등을 통해 판단해야 한다.

(2) 연약지반의 잠재성을 내포하고 있는 지반의 판정기준은 점성토 지반과 사질토 지반으로 나누어 판단한다.

(3) 판정기준

① 절대적 판정기준은 곤란하나 실무적 견지에서 판정기준은 필요하다. 점성토인 경우 N≦4~6의 기준이 일반적이며 설계사례 등에 의하면 N≦10으로 한 경우도 있다. 또한, 사질토는 일반적으로 N≦10으로 적용되고 있다.

② 연약지반의 판정은 〈표 4.5.1〉 을 이용할 수 있다. 그러나 점성토 및 이탄질 지반에서의 N값을 이용한 연약지반 판정은 신중하게 적용해야 한다.

표 4.5.1 연약지반 판정기준

구분	점성토 및 이탄질 지반		사질토 지반
층두께	10m 미만	10m 이상	-
N치	4 이하	6 이하	10 이하
$q_u(kN/m^2)$	60 이하	100 이하	-

4.5.3 연약지반의 조사 및 시험

(1) 연약지반의 특성을 평가하기 위해서는 일정한 조사항목과 시험이 요구되며, 시험종목에 대해 심도별 응력이력과 전단강도 분포의 추이를 구하기 위해서는 동일 지반정수에 대해 최소한 회귀분석이 가능한 시험 수량을 확보해야 하며, 이를 토대로 안정적이고 경제적인 설계를 해야 한다.

(2) 콘크리트 궤도 적용시 연약지반의 조사

① 허용잔류침하량이 엄격히 제한되므로 〈표 4.5.2〉 와 같은 상세한 지반조사를 해야 한다.

② 콘크리트 궤도의 노반침하 문제는 원위치조사에서 확인되지 않는 지형에서 주로 발생할 가능성이 있으므로, 전체노선에 대한 국부적인 연약지반대 평가가 필요하므로 필요구간에 대해 탄성파 탐사를 적용할 수 있다.

Table 4.5.2 Investigation items for soft ground

Items	Test purpose
Hand auger	Identify the soft ground
Boring investigation	Identify the layer
Piezo cone penetration	Soft ground and design parameter
Pore water pressure dissipation	Consolidation coefficient
Vane test	Undrained shear strength
Seismic exploration	Weakness zone
Lab test (water content, gravity, sieve analysis, grain size, liquidity, plasticity, shear, triaxial / uniaxial compression, consolidation, other)	Ground parameters

4.5.4 Design for soil improvement technique

(1) General

To identify the settlement pattern of cohesive soil, pre-consolidation load (P_c), compression and recompression index (C_c, C_r), initial void ratio (e_o) and consolidation coefficient (C_v, C_h) shall be analyzed through soil property tests and consolidation tests.

(2) Calculation of settlement

① Generally, immediate settlement of clayey soil is neglected because it is quite small compared with consolidation settlement. Consolidation settlement is divided into two kinds of settlements: primary settlement by dissipation of pore water pressure and secondary settlement by rearrangement of soil particles for calculation.

② Calculated settlement may are different from the one measured at a field, and thus consolidation settlement shall be checked through instrumentation during construction.

③ Allowable residual settlement shall be determined considering soil properties and usage of the site, degree of significance, construction schedule and economics. It is because the amount of residual settlement influences range of soil improvement technique, duration of soil stabilization and time to the completion of construction.

(3) Time for consolidation

Construction duration is an important factor for soil improvement. To predict the duration, the degree of consolidation shall be figured out over the time.

(4) Consolidation theory for the vertical drain

① The theory for the vertical drain shall be based on Barron's consolidation theory with support of Hansbo, Youshikuni, Onoue'ansbo, Youshikuni, Ono.

표 4.5.2 연약지반 조사항목

조사항목	시험목적
핸드오거	연약지반 확인
시추조사	지층 확인
피에조콘 관입시험	연약지반 파악 및 설계정수 획득
간극수압 소산시험	압밀계수 산정
베인시험	비배수 전단강도 산정
탄성파 탐사	연약대 파악
실내시험 (함수비, 비중, 체분석, 입도, 액성, 소성, 전단, 삼축 압축, 일축 압축, 압밀, 기타시험 등)	지반정수 산정

4.5.4 연약지반의 설계

(1) 일반사항

점성토층의 침하특성 파악을 위해 토성시험 및 압밀시험 결과로부터 선행압밀하중(P_c), 압축 및 재압축지수(C_c, C_r), 초기간극비(e_o), 압밀계수(C_v, C_h) 등을 분석해야 한다.

(2) 침하량 계산

① 일반적으로 점토지반의 즉시침하는 매우 작아서 무시하고 압밀침하는 간극수압의 소산으로 발생하는 1차 압밀침하량과 토립자의 재배치에 의한 2차 압밀침하량으로 구분하여 계산한다.

② 침하량 계산방법은 현장 계측치와는 다소의 차이가 있을 수 있으므로 시공시 계측관리를 통하여 압밀침하를 검토해야 한다.

③ 허용 잔류침하량은 공사목적물에 따라 지반처리공법의 수량 및 지반의 안정, 공사기간에 큰 영향을 미치므로 지반의 특성 및 사용목적, 중요도, 공사기간, 경제성 등을 고려하여 결정해야 한다.

(3) 압밀시간

지반개량공사에는 공사기간이 중요한 요소로 작용하며 이를 예측하기 위해서는 시간에 따른 압밀도를 파악해야 한다.

(4) 연직배수공법의 압밀이론

① 연직배수공법의 적용은 Barron의 압밀이론식과 Hansbo, Youshikuni, Onoue의 압밀이론식을 상호 보완하여 적용한다.

② Appropriate interval of drain materials shall be selected to achieve the required degree of consolidation within a given period.

(5) Analysis of shear-strength characteristics

① Analysis of shear-strength characteristics is classified into total stress analysis and effective stress analysis. For total stress analysis the undrained shear strength shall be used, and for effective stress analysis the drained shear strength shall be used based on estimated pore water pressure.

② Soft ground is the most vulnerable right after completion of filling. Therefore, the stability check shall be carried out for the time of completion of filling.

(6) Calculation of strength increase after consolidation

Calculation of strength increase after consolidation shall be carried out considering following methods altogether: 1. a linear regression analysis based on results of UU (unconsolidated undrained triaxial compression tests) and unconfined compression tests, 2. the method based on the results of CU (consolidated undrained triaxial compression tests), and 3. the empirical method.

4.5.5 Soil improvement method for soft ground

A soil improvement method shall be determined considering the purpose of soil improvement, soil properties, construction schedule and surrounding environment. An optimal method shall be finalized from an economic perspective after comparing and reviewing methods to achieve the goal.

4.5.6 Instrumentation

(1) Design for soil improvement method shall be managed and reviewed based on field instrumentation, considering simplification of complicated soil layers and soil characteristics, the estimated value, lack and uncertainties of geotechnical investigation data in design.

(2) Soil behavior that may occur at the following stage shall be identified in advance through instrumentation. Based on the expected soil behavior, appropriateness of the design shall be determined, and countermeasures established.

(3) Sufficient number of accurate instruments shall be installed for intensive monitoring when the soil condition is complicated and construction of major structures is completed. If it is the time for a fill load to be applied, the monitored soil behavior shall be taken into account.

(4) Measuring instruments appropriate for the monitoring purpose shall be selected and deployed. Location for the instruments shall be selected considering the scale of an instrumented structure and the effect on surrounding structures. And topographic features, geological and soil characteristics shall be considered as well.

② 주어진 기간 내에 소요의 압밀도를 달성할 수 있도록 배수재 간격을 적정하게 설계해야 한다.

(5) 전단강도 특성 분석

① 전단강도 특성 분석은 전응력 해석과 유효응력 해석으로 구분될 수 있으며, 전응력 해석시에는 비배수 전단강도를 이용하고, 유효응력해석시에는 간극수압을 추정하여 해석해야 한다.

② 연약지반에서는 성토 직후가 가장 위험한 경우이므로 이때를 대상으로 안정성 검토를 수행해야 한다.

(6) 압밀에 의한 강도증가율 산정방법

강도증가율의 산정은 비배수비압밀 삼축압축시험(UU) 및 일축압축시험(q_u) 결과의 선형회귀분석에 의한 방법, 압밀비배수 삼축압축시험(CU), 경험식을 이용하는 방법 등을 종합하여 사용한다.

4.5.5 연약지반개량공법

연약지반 처리공법의 선정은 처리공법의 목적, 대상지반의 성질, 공기, 주변의 영향 등을 고려한 공법을 선정하여 소기의 목적을 달성할 수 있는지 비교・검토한 후에 최종적으로 경제적인 관점에서 최적공법을 선택해야 한다.

4.5.6 계측관리

(1) 연약지반 처리공법 설계는 복잡한 토층 및 토질특성을 단순화, 설계 시 추정치와 지반조사 자료의 부족 및 불확실성을 감안하여 시공 중 현장관리 과정에서 계측을 통하여 관리・검토되어야 한다.

(2) 계측관리를 통하여 다음 단계에서 발생할 수 있는 지반거동을 사전에 파악해야 하며 이를 토대로 당초 설계의 적합성 파악 및 대책이 강구되어야 한다.

(3) 지반이 복잡하고 주요 구조물이 축조된 경우 집중관리의 대상으로서 보다 철저하고 많은 계측기를 설치해야 하며, 이때 연약지반의 쌓기 재하시 지반거동을 고려해야 한다.

(4) 목적에 맞는 계측기를 선정하여 배치해야 하고, 위치 선정은 측정 대상물의 규모나 주변 구조물의 영향 정도를 고려하여 결정해야 하며, 측정 개소의 지형, 지질, 토질 특성 등을 검토하여 판단해야 한다.

4.6 Mainline appurtenances

4.6.1 Access road

(1) General

An access road shall be designed when crossing existing roads like farm roads, or when relocating an existing road or constructing a new road because of railway construction.

(2) Design

① A multi-level crossing shall be applied when the railway crosses the road. But a level-crossing may be allowed through consultation with the authority concerned.

② Intersection between railway and road shall be made at a right angle in principle, but this may be adjusted when necessary.

③ When a railway is designed as an elevated or underground route, gradient of the road crossing the railway shall be as horizontal as possible and other sections shall be in accordance with the Road Design Standard (Road Structure Standard, Rural & Urban Road Structure Standard), and the gradient of the underground passage shall be designed to allow special vehicles (oil tank or container) to pass safely.

④ Overhead clearance of underground passage shall be in accordance with (2) Clearance for Road-crossing Facilities in Chapter 2 Railway Plan.

⑤ Farm roads and access roads shall have a space for waiting for passing by as well as sidewalk.

⑥ Protection facilities including retaining wall shall be provided on locations where roads including over-bridge or start/end point of a tunnel adjoin the railway, with a risk of car falling.

4.6.2 Open ditch re-routing

(1) General

① When crossing the existing waterway, relocating it or constructing a new one because of railway construction, a re-routing shall be provided.

② Re-routing design shall be carried out through consultation with the authorities concerned or local governments, and according to the River Design Criteria and related facility standards.

(2) Design

① Re-routing shall be designed based on a hydraulic and hydrologic review.

② The effective width and height of re-routing shall be determined to prevent flooding.

③ Re-routing section crossing the farmland shall be smoothly connected to the agricultural drainage canal.

4.6 본선부속

4.6.1 길내기

(1) 길내기 일반

농로 등 기존도로를 횡단하거나 철도건설로 인해 기존도로를 이설 또는 신설해야 할 경우는 길내기를 설계해야 한다.

(2) 설계

① 도로와 철도가 교차하는 경우에는 입체 교차되도록 설계해야 한다. 다만, 관계기관과 협의한 경우 평면교차로 설계할 수 있다.

② 철도와 도로의 교차개소는 기존위치에서 직각횡단할 수 있게 하며 부득이한 경우 위치를 조정해야 한다.

③ 철도를 고가 혹은 지하로 입체화 하는 경우, 철도를 횡단하는 구간의 도로 기울기는 가능한 한 수평으로 하고, 그 외 구간은 도로설계기준(도로의 구조·시설기준에 관한 규칙, 농어촌 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 등)에 따르며, 지하 횡단시설의 기울기는 특수차량(유류차, 콘테이너차)이 안전하게 통과할 수 있게 해야 한다.

④ 지하 횡단시설의 통과높이는 제2장 철도계획의 (2)도로횡단시설한계 기준에 따른다.

⑤ 자동차가 통행하는 농로와 마을진입도로에는 교행대피와 보도를 두어야 한다.

⑥ 도로가 철도를 횡단하는 과선교 및 터널의 시종점 구간 등 도로가 철도에 근접되어 자동차 추락이 우려되는 구간에는 추락방지용 옹벽등 방호설비를 설치해야 한다.

4.6.2 개천내기

(1) 개천내기 일반

① 기존 개천을 횡단하거나 철도건설로 인해 이설 또는 신설해야 할 경우는 개천내기를 해야 한다.

② 개천내기 설계는 관할하천 관리청, 지방자치단체와 협의하고 하천설계기준 등 그의 시설기준에 따라 설계해야 한다.

(2) 설계

① 개천내기는 수리 및 수문학적으로 검토하여 설계해야 한다.

② 개천내기 폭, 유효높이 등은 최대 홍수 시 범람 등을 고려하여 안전하도록 설계해야 한다.

③ 농경지를 횡단하는 구간은 설계된 개천내기로부터 농수로에 원활하게 유입 및 유출될 수 있도록 해야 한다.

4.6.3 Sound barrier

(1) General

① Design load shall include fixed load and wind load, but generally, collision load shall not be considered.

② Unit weight in estimating fixed load shall be based on <Table 4.6.1>, but actual load, if any, shall be applied. Unit weight not included in <Table 4.6.1> shall be based on the actual load.

③ Wind load shall be applied perpendicular to a sound barrier, as shown in <Table 4.6.2>

Table 4.6.1 Unit weight of the material (kN/m^3)

Material	Unit weight	Material	Unit weight
Steel	77.0	Concrete panel	2.25
RC	24.5	Aluminum panel	0.30

Table 4.6.2 Standard design wind load for sound barrier foundation and pole (in kN/m^2)

Wind velocity (m/s)	Region	Standard design wind load (kN/m^2)			Bridge
		At-grade			
		H ≤ 4.5m	4.5 m < H ≤ 9.0m	H > 9.0m	
30	Seoul, Incheon, Daegu, Daejeon, Gwangju, Chuncheon, Cheonngju, Suwon, Chupungnyeong, Jeonju, Iksan, Jinju, Seosan	0.7	0.9	1.0	1.1
35	Busan, Ulsan, Gangneung, Pohang, Gunsan, Mokpo, Chungngmu	0.9	1.2	1.3	1.5
40	Yeosu, Sokcho	1.2	1.5	1.5	2.0
45	-	1.5	1.5	1.5	2.5

④ Sound barrier design shall include the lock nut loose stopper of a support plate, considering the effect of train wind pressure, vibration and wind load.

4.6.3 방음벽

(1) 방음벽 일반

① 설계하중은 고정하중, 풍하중을 적용하며 일반적으로 충돌하중은 고려하지 않는다.

② 고정하중 산출시 단위중량은 <표 4.6.1>을 기준으로 하고 실하중이 명백한 것은 그 값을 적용해야 한다. <표 4.6.1>에 제시하지 않은 재료의 단위중량은 실하중을 적용한다.

③ 풍하중은 방음벽에 수직으로 적용하며 <표 4.6.2>와 같다.

표 4.6.1 재료의 단위중량(kN/m^3)

재료	단위중량	재료	단위중량
강재	77.0	콘크리트방음판넬	2.25
철근콘크리트	24.5	알루미늄방음판넬	0.30

표 4.6.2 방음벽 기초 및 지주의 지역별 표준 설계 풍하중(단위 : kN/m^2)

기본풍속 (m/s)	지명	표준 설계 풍하중(kN/m^2)			교량부
		토공부			
		H≤4.5m	4.5m<H≤9.0m	H>9.0m	
30	서울, 인천, 대구, 대전, 광주, 춘천, 청주, 수원, 추풍령, 전주, 익산, 진주, 서산	0.7	0.9	1.0	1.1
35	부산, 울산, 강릉, 포항, 군산, 목포, 충무	0.9	1.2	1.3	1.5
40	여수, 속초	1.2	1.5	1.5	2.0
45	-	1.5	1.5	1.5	2.5

④ 방음벽의 설계는 열차 통과 전후의 열차풍압, 진동 및 풍하중 등의 영향을 고려하여 방음벽 지주판인 플레이트의 고정너트 풀림방지장치를 설계해야 한다.

(2) Interval between the poles

① Interval between the poles at at-grade section shall be 4.0 m, and shall be designed considering the barrier height and site conditions.

② The poles shall be designed to be structurally stable.

(3) Foundation of sound barrier

① Design load shall be designed considering fixed load, wind load, earth pressure and live load.

A. Fixed load and wind load shall be based on sound barrier design load and earth pressure according to 「6.5 Retaining Wall, Sheathing Wall and Slope Protection Wall」.

B. Live load shall be based on train live load.

② Design load coefficient and combination, structural analysis and structure details shall be in accordance with 「6.5 Retaining Wall, Sheathing Wall and Slope Protection Wall」.

(4) Other

① The protruded height of a foundation retaining wall shall be 0.5m from the formation level.

② Drainage shall be provided to the sound barrier site on a fill section in order to protect the trackbed from torrential rain, considering surrounding conditions.

4.6.4 Protection from falling stones

(1) General

① A means of protection from falling stones or rocks shall be provided on a rock slope to protect the slope.

② A means of protection shall be provided at the bottom or in the middle of slope or at the top of retaining wall according to the site condition.

(2) Design of protection from falling stones

① Fences shall be able to withstand impact load of 25 kN/m and shall consist of pole, wall, steel fixture and foundation, and corrosive materials shall not be used.

② Fences to protect against falling stone shall be installed when the height of a cutting slope is 10m or higher, and the priority shall be given when the slope mixed with soft rock, hard rock and boulder stone is 5 m or higher. A certain length of the top of the pole shall be bent toward the trackbed, and the gap between the top surface (ground) of the pole and the bottom of wire mesh shall be 0.3 m at least considering maintenance.

(2) 지주의 간격

① 토공부에 설치하는 방음벽 지주의 간격은 4.0m로 하되 방음벽 높이 및 지역조건을 고려하여 지주의 간격을 설계한다.

② 지주는 구조적으로 안정성을 확보하도록 설계해야 한다.

(3) 방음벽 기초

① 설계하중은 고정하중, 풍하중, 토압, 활하중을 고려하여 설계해야 한다.

가. 고정하중 및 풍하중은 방음벽지주 설계하중을 적용하며 토압은 「6.5 옹벽, 흙막이벽 및 비탈면보호벽」을 따른다.

나. 활하중은 열차 활하중을 적용해야 한다.

② 설계하중계수 및 조합, 구조해석, 구조 상세는 「6.5 옹벽, 흙막이벽 및 비탈면보호벽」을 따른다.

(4) 기타

① 기초옹벽의 돌출높이 및 구조 등은 현장여건에 따라 변경할 수 있다.

② 쌓기 구간의 방음벽 설치개소에는 주변여건을 감안한 배수공을 설치하여 집중호우 시 노반에 피해가 없도록 설계해야 한다.

4.6.4 낙석방지공

(1) 낙석방지공 일반

① 암반비탈면에서 낙석이나 낙반의 위험이 있는 개소는 비탈면을 보호하기 위해 낙석방지공을 설계해야 한다.

② 낙석방지공은 비탈면의 하단부나 중간부 또는 옹벽 등의 구조물 상부에 설치하는 등 현장조건에 적합한 방법으로 설계해야 한다.

(2) 낙석방지공 설계

① 낙석방지울타리는 충격하중 25kN/m에 견딜 수 있게 설계하며 낙석방지울타리는 지주, 벽체, 조립용 철물, 기초로 구성되며 어떠한 재료라도 장래 녹이 발생되는 재료는 사용할 수 없다.

② 낙석방지울타리는 깎기 비탈면 높이가 10m 이상인 구간에 설치하며 경암, 연암 및 전석이 섞인 혼합암 층의 높이가 5m 이상인 구간에 우선 설치한다. 지주 상단부는 일정한 길이가 노반 쪽으로 휘도록 제작하고 지주의 기초 상면(지면)과 철망하단부 사이는 유지보수를 감안하여 일정한 간격(0.3m)을 띄어 설치한다.

③ Fences shall be installed when the cutting slope is gentle and the bounce height of falling stones is not higher than that of the fence. For a steep slope where falling stones may fall on a track, a falling-stone net shall be installed together, and retaining wall shall be installed at a location where soil erosion is expected. (「see Guideline for Road Safety Facilities Installation and Management In Protection from Falling Stone)).

④ The height of a falling-stone protection fence shall be 2.5 m as a rule, and shall be 1 or 2 m away from the slope considering the slope and surrounding condition (「see Guideline for Road Safety Facilities Installation and Management In Protection from Falling Stone)).

⑤ Falling-stone (or snow ice) protection fences shall be provided to farm roads, provincial roads (Gun or Myeon), national roads and highways (intersections).

③ 낙석방지울타리는 깎기 비탈면 경사가 완만하여 낙석의 튀는 높이가 낙석방지울타리 높이보다 높지 않은 경우 설치하고 깎기 비탈면 경사가 급하여 낙석이 선로에 떨어질 우려가 경우에는 낙석방지망과 함께 설치하며, 토사가 혼합되어 낙하될 것으로 예상되는 경우에는 옹벽과 함께 설치한다.(「도로안전시설설치 및 관리지침-낙석방지시설편」참조)

④ 낙석방지 울타리의 높이는 2.5m를 표준으로 한다. 이격거리는 비탈면으로부터 1~2m 이내에서 비탈면과 주변의 여건에 따라 결정해야 한다.(「도로안전시설설치 및 관리지침-낙석방지시설편」참조)

⑤ 농로, 지방도(군도, 면도), 국도, 고속국도 통과(교차)구간에는 낙석(설빙)방지 울타리를 설치해야 한다.

Chapter 5 Culvert and Drainage

5.1 Culvert

5.1.1 Scope of application

(1) This chapter provides the standard specifications for design and construction of culvert (span less than 5.0 m) and drainage. However, this standard may also cover culvert-like structures with a span of more than 5.0 m.

(2) This shall also cover a railway culvert which combines girder, slab and column in a single structure.

(3) Unless otherwise specified in the chapter, this shall be in accordance with the requirements of 「Chapter 8 Bridge General」 and 「Chapter 10 Concrete Bridge」.

5.1.2 Terms and Definitions

(1) Hook: a bent end of a rebar for anchorage or lap splice.

(2) Factored load: the load used for member design by the strength design method, multiplied the service load by load factors.

(3) Nominal strength: the strength of a member or cross section calculated according to the strength design provisions and assumptions before applying any strength reduction coefficients.

(4) Culvert: a box-type, gate-type Rahmen or arch-type structure strongly combined with girder, slab and column with a span of 1 m to 5 m in general.

(5) Section force: a bending moment, shear force, axial force and torsional moment occurring on a cross section due to loading.

(6) Ready mixed concrete: fresh concrete produced from a concrete manufacturer.

(7) Mole drainage: an underground drain duct formed in a regular or an irregular cross section burying perforated pipe, fiber bundle, aggregate or gravel.

(8) Drain: a main channel, branch channel, feed channel, collecting well, drainage pipe, drainage culvert and related accessories.

(9) Drainage: all drainage facilities designed to secure a trackbed from mud-pumping, strength deterioration, or slope sliding of cut and fill during rainy season, or provide a railway cross-drains.

(10) Mixing strength: target compressive strength in concrete mixing design.

(11) Buoyancy: uplift force acting on the base of a structure by hydrostatic pressure of pore water in the ground or free water existing between the ground and the structure.

제 5 장 구교 및 배수시설

5.1 구교

5.1.1 적용범위

(1) 이 장은 구교(경간 5.0m 미만) 및 배수시설에 대한 설계기준을 정한 것이다. 그러나 설계자의 판단에 따라 구교의 조건에 부합되는 경간 5.0m 이상의 구조물에도 적용할 수 있다.

(2) 거더 및 슬래브와 기둥이 일체로 강결된 철도구교에 적용한다.

(3) 이 장에서 언급하지 않은 사항은「제8장 교량 일반사항 및 제10장 콘크리트교」의 해당요건에 따른다.

5.1.2 용어의 정의

(1) 갈고리 : 철근의 정착 또는 겹침이음을 위하여 철근 끝의 구부린 부분

(2) 계수하중(factored load) : 강도설계법에 의해 부재를 설계할 때 사용되는 하중으로서, 사용하중에 하중계수를 곱한 하중

(3) 공칭강도(nominal strength) : 강도설계법의 규정과 가정에 따라 계산된 부재 또는 단면의 강도를 말하며 강도감소계수를 적용하기 이전의 강도

(4) 구교(溝橋) : 일반적으로 경간이 1m 이상이고 5m 미만이며 거더 및 슬래브와 기둥이 일체로 강결된 박스형, 문형라멘 및 아치형 등의 구조

(5) 단면력 : 하중작용에 의해 부재단면에 생기는 휨모멘트, 전단력, 축방향력(또는 축력) 및 비틀림모멘트

(6) 레디믹스트 콘크리트(ready mixed concrete) : 콘크리트 제조설비를 갖춘 공장으로부터 수시로 구입할 수 있는 굳지 않은 콘크리트

(7) 맹 암거(mole drainage) : 흙 속에 배수가 가능하도록 유공관, 섬유다발, 다발관, 막돌, 자갈 등을 매설하여 정형 또는 비정형의 단면을 가진 지하수로를 형성시키는 것

(8) 배수공 : 본선수로, 지축수로, 도수로, 집수정, 배수관 및 배수암거와 그 부속물

(9) 배수시설 : 노반의 분니를 방지하고, 노반강도를 확보함과 동시에 열화방지 및 호우시 쌓기부의 붕괴방지, 깎기 비탈면의 붕괴방지, 철도횡단 수로의 확보 등을 위한 모든 배수공

(10) 배합강도 : 콘크리트의 배합을 정하는 경우에 목표로 하는 압축강도

(11) 부력 : 지반 중 또는 지반과 구조물 사이에 간극수가 존재하는 구조물의 저면에 작용하는 상향의 정수압에 의해 생기는 힘

(12) Negative bending moment: bending moment causing tensile stress on upper portion of a ground slab or a structural member.
(13) Negative reinforcement: a reinforcement placed to resist tensile stress caused by negative bending moment.
(14) Service load: dead load or standard train load without multiplying load factors, and also referred to as working load.
(15) Diagonal tension reinforcement: reinforcement placed to restrain diagonal tension cracks caused by the combination of bending stress and shear stress and also referred to as shear reinforcement.
(16) Design strength: nominal strength multiplied by a strength reduction coefficient (ø).
(17) Specific compressive strength: compressive strength of concrete at 28 days specified on construction drawings and used in the design calculations.
(18) Design load: all loads included for member design; the summation of factored or service loads, in the strength or the allowable-stress design method, respectively.
(19) Required strength: the strength of a member or a section to bear the factored load combinations or related internal bending moment, shear force, axial force and torsional moment.
(20) Uplift pressure: upward pressure by temporary water rise due to the difference in water level or wave in the front and rear of a structure.
(21) Effective depth: distance from the compressed concrete surface to the centroid of longitudinal tensile rebars of a member subjected to bending moment.
(22) Positive bending moment: bending moment causing tensile stress on the lower portion of a ground slab or a structural member.
(23) Positive reinforcement: reinforcement placed to resist tensile stress caused by positive bending moment.
(24) Main reinforcement: a reinforcement whose sectional area required is obtained for the sectional force of a reinforced member subjected to design load.
(25) Axial reinforcement: a reinforcement placed parallel to the longitudinal axis of a member.
(26) Concrete creep: the phenomenon of deformation increasingly growing over time under the constant stress kept.
(27) Cover thickness: the thickness between the nearest concrete surface and the outmost rebar surface.
(28) Lateral reinforcement: reinforcement placed at a right angle to the longitudinal axis of a member.
(29) B (box) : a box girder below a trackbed with a span of 5 m or longer.

(12) 부의 휨모멘트 : 바닥판 및 부재상측에 인장응력을 생기게 하는 휨모멘트
(13) 부철근 : 부의 휨모멘트에 의하여 생긴 인장응력에 저항하도록 배치하는 철근
(14) 사용하중(service load) : 고정하중 및 표준열차하중으로서 하중계수를 곱하지 않은 것이며, 작용하중이라고도 함
(15) 사인장 철근 : 휨응력과 전단응력과의 합성에 의해 부재축에 경사지게 생긴 인장응력에 저항하도록 배치하는 철근으로 전단철근이라고도 함
(16) 설계강도 : 공칭강도에 강도감소계수(ø)를 곱한 강도
(17) 설계기준강도(specific compressive strength) : 콘크리트부재의 설계에 있어 기준으로 한 압축강도. 일반적으로 재령 28일의 압축강도를 기준으로 함
(18) 설계하중 : 부재를 설계할 때 사용되는 적용 가능한 모든 하중으로서, 강도설계법에 의한 설계에서는 하중계수를 곱한 하중(계수하중)이고 허용응력설계법에 의한 설계에서는 하중계수를 곱하지 않은 하중(사용하중)이 설계하중이 됨
(19) 소요강도 : 하중조합에 따른 계수하중을 지탱하는데 필요한 부재 또는 단면의 강도, 또는 이와 관련된 휨모멘트, 전단력, 축방향력 및 비틀림 모멘트 등으로 나타낸 설계단면력
(20) 양압력 : 구조물 전후의 수위차 또는 파랑 등에 의한 구조물 위치에서 일시적인 수위상승에 의해 생기는 상향의 힘
(21) 유효깊이 : 휨모멘트가 작용하는 부재 단면에서 콘크리트의 압축면으로부터 인장강재의 도심까지 거리
(22) 정의 휨모멘트 : 바닥판 및 부재하측에 인장응력을 생기게 하는 휨모멘트
(23) 정철근 : 정의 휨모멘트에 의하여 생긴 인장응력에 저항하도록 배치하는 철근
(24) 주철근 : 철근콘크리트 부재의 설계에서 하중작용에 의해 생긴 단면력에 대하여 소요 단면적을 산출한 철근
(25) 축방향철근 : 부재축방향으로 배치하는 철근
(26) 콘크리트의 크리프 : 콘크리트에 일정한 응력이 작용한 상태에서 시간의 경과에 따라 변형이 계속 증가하는 현상
(27) 피복두께 : 콘크리트 표면과 그에 가장 가까이 배치된 철근표면 사이의 콘크리트 두께
(28) 횡방향철근 : 부재축에 직각방향으로 배치하는 철근
(29) B(함) : 철도노반하부에 설치되는 경간장 5.0m 이상의 박스형 암거

5.1.3 Design of culvert

(1) General

① Culvert is classified into box-type, gate-type Rahmen, and arch-type with fixed supports in particular.

② Culvert type selection shall be based on a number of factors including: the use, site conditions, the size of the inner section, foundation ground, constructability, economic feasibility and maintainability.

③ As a culvert uses the inner space while bearing the earth pressure and surface load, its location and structure type shall be dependent on the use, and unless the mechanical characteristics (allowable bearing capacity and allowable settlement) of the foundation ground are unacceptable, piling shall be prohibitive.

④ Culverts shall cross railway tracks at a right angles; obliquely, when inevitable, so as to be best located for the use and site conditions; however, when train load acts askew on the shallow top soil layer (1.5 m or less) overlying box type culvert, barriers at both ends shall be considered to isolate train-induced vibration.

⑤ Culvert shall be installed as shown in <Fig. 5.1.1>, <Fig. 5.1.2> and <Table 5.1.1> with the expansion joint intervals (L1 and L2) of 10 to 15 meters.

⑥ When installing a culvert on soft or settlement susceptible ground, expansion joints shall be avoided, if possible, considering the mechanical characteristics of the ground, and when expansion joints are indispensable for construction management purposes, a measure appropriate to the structural type shall be provided to prevent bumps caused by level difference at joints and in turn not to harm the performance of the culvert.

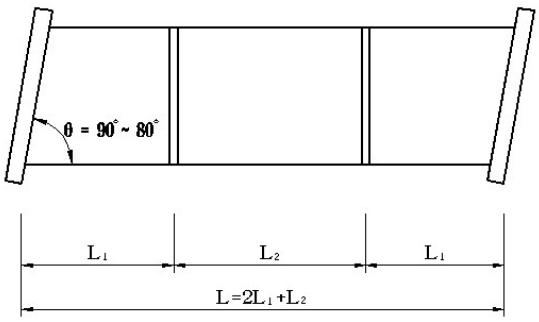


Fig 5.1.1 Proportion of expansion joints when θ = 80° ~ 90°

5.1.3 구교의 설계

(1) 구교설계 일반

① 구교의 형식은 박스형, 문형라멘, 아치형으로 구분하며, 아치의 경우 이 장에서는 고정아치를 기준으로 한다.

② 구교의 형식은 사용목적과 현장조건, 내공단면의 크기, 기초지반의 상태, 시공성, 경제성, 유지관리성 등을 고려하여 선정해야 한다.

③ 구교는 상재하중 및 토압에 저항하면서 내부공간을 이용하는 것이기 때문에 그 목적에 따라 위치와 구조를 선택해야 하며, 지지지반의 역학적 특성(허용지지력, 허용침하량) 상에 큰 문제가 없는 한 불필요하게 말뚝기초 등을 사용하지 말아야 한다.

④ 구교의 입지는 본선과 직각방향으로 교차되도록 선정해야 하며, 부득이한 경우에는 사용목적과 현장조건에 부합되도록 사각으로 설치할 수 있으나, 토피가 낮은(1.5m 이하) 박스형 구교의 상부에 사방향으로 열차가 재하될 경우에는 좌우진동 방지턱의 설치를 고려해야 한다.

⑤ 구교의 설치는 <그림 5.1.1>, <그림 5.1.2>와 <표 5.1.1>에 따르며 신축이음매 간격 L_1, L_2는 10m～15m를 기준으로 한다.

⑥ 연약지반 통과구간이나 장기침하량 발생이 예상되는 구간에 구교를설치할 경우에는 지지지반의 역학적 특성을 고려하여 신축이음설치를 가급적 피하고, 시공관리상 신축이음매를 계획할 경우에는 구조물 형식을 고려한 단차방지공을 설계에 반영하여 유지관리상, 사용성에 문제가 없도록 조치해야 한다.

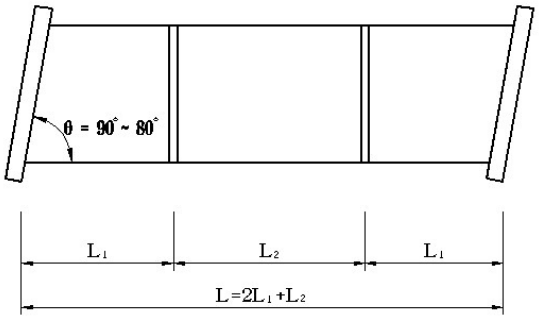


그림 5.1.1 Θ = 80° ～ 90°

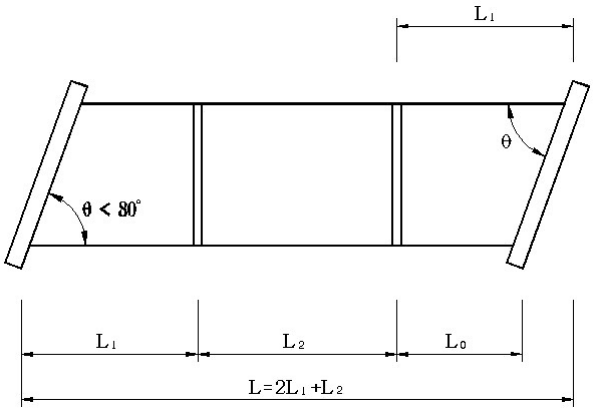


Fig 5.1.2 Proportion of expansion joints when θ < 80°

Table. 5.1.1 Culvert plan standard

Ground condition	L_0/L_1	θ
Soft ground	0.5 or more	70° or more
Normal ground	0.5 or more	60° or more

⑦ The culvert type and size selection shall be based on site-condition-related factors and others including:

A. Drainage basin
B. Factors related to surface water
C. Flood level or other restrictions
D. Minimum height from formation level to top of the culvert
E. Slope gradient and trackbed width
F. Number of rails and spacing
G. Gradient and stream line of a flat section
H. Oblique angle between railway track and a culvert
I. Maintenance

⑧ The culvert for water passage shall have a section opening to allow design flow quantity, and the inner height shall have enough clearance above HWL (high water level).

⑨ The culvert for passenger or vehicle traffic shall be located out of clearance limit and have a enough space to accommodate roadway, sidewalk, buried pipe and lighting.

⑩ Culvert shall be designed within the allowable settlement and a straight joint shall have no harmful gap or dislocation and the members shall have the required strength at a minimum.

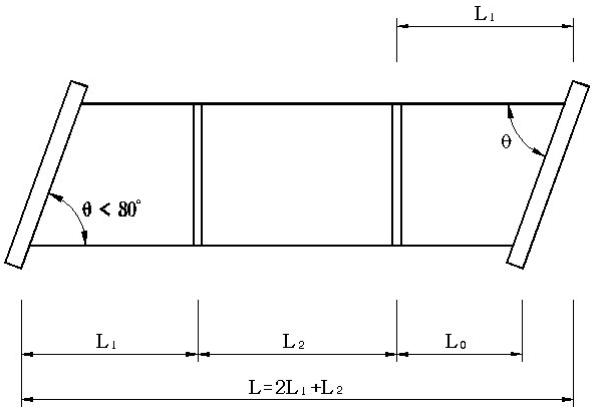


그림 5.1.2 Θ < 80°

표 5.1.1 구교평면계획기준

지반조건	L_0/L_1	Θ
연약지반	0.5 이상	70° 이상
보통지반	0.5 이상	60° 이상

⑦ 구교의 유형과 크기는 다음 조건 및 현장여건 등을 고려하여 선정한다.

가. 배수유역

나. 지표수 인자

다. 홍수위 또는 다른 제한 요소

라. 시공기면으로부터 암거 상부까지의 최소높이

마. 비탈면 경사와 노반의 폭

바. 선로의 수와 간격

사. 평탄부의 경사도와 유선

아. 철도선로와 암거의 사각

자. 유지관리

⑧ 수로용 구교는 계획유량을 통과시킬 수 있는 단면이고, 내공높이는 고수위(HWL)+여유고를 합한 높이 이상으로 한다.

⑨ 도로용 구교는 도로 건축한계 이상이고 차도, 보도, 매설관, 조명 등 기타 필요한 시설을 설치할 수 있는 공간을 확보해야 한다.

⑩ 구교설계는 일반적으로 사용목적에서 정한 허용침하량 이하로 하고, 이음부는 유해한 틈과 어긋남이 발생하지 않도록 하여 각 부재가 소요강도 이상이 되도록 설계해야 한다.

⑪ Structural calculation shall be carried out to secure the required safety considering the stress of the structure caused by fixed load and live load in the worst case scenario, as well as deformation, stability and fatigue.

⑫ The member shall be designed to be useful and durable against deflection and cracking caused by working load, and stability such as the strength of the member when factored load works as design load shall be reviewed.

⑬ Section force shall be calculated based on elastic analysis, and the flexural and torsional rigidity of the member shall be calculated using the entire area of cross section.

⑭ Haunch shall be considered when determining bending moment or designing the member.

(2) Load

① Type of load

A. Design load of a culvert is classified into primary load (P), particular load corresponding to primary load (PP) and particular load corresponding to auxiliary load (PA) in the allowable design method, and it shall be designed by selecting the loads and load combinations appropriate to the site conditions of the location and its structural type.

B. Primary load (P)

(a) Dead load (D)

(b) Live load (L)

(c) Impact effect (I)

(d) Longitudinal load of CWR (continuously-welded-rail) (LR)

(e) Load effect produced by creep (CR)

(f) Load effect produced by shrinkage (SH)

(g) Load from earth pressure (H)

(h) Load from water pressure, buoyancy or uplift force (Q)

C. Particular load corresponding to primary load (PP)

(a) Load effect produced by ground displacement (GD)

(b) Load effect produced by support displacement (SD)

D. Particular load corresponding to auxiliary load (PA)

(a) Load effect produced by temperature variation (T)

(b) Load effect produced by earthquake (E)

(c) Erection load (ER)

(d) Other loads

② Dead load shall be estimated in accordance with「Article 8.2 Bridge General」.

⑪ 구조계산은 가장 불리하게 재하된 고정하중 및 활하중에 의한 구조물의 응력, 변형, 안정, 피로 등의 구조거동을 검토하여 소요 안전도를 확보해야 한다.

⑫ 부재의 설계는 사용하중이 설계하중으로 작용할 때 부재단면의 처짐 및 균열 등을 고려하여 사용성 및 내구성이 있어야 하고, 계수하중이 설계하중으로 작용할 때 부재단면의 강도 등 안정성을 검토 해야 한다.

⑬ 부재 설계시 단면력은 탄성해석으로 계산하며 부재의 휨강성 및 비틀림 강성은 콘크리트의 전단면을 유효로 하여 계산한다.

⑭ 휨모멘트를 결정하거나 부재를 설계할 때는 헌치를 고려해야 한다.

(2) 하중

① 하중의 종류

가. 구교의 설계하중은 허용응력설계법을 적용시 주하중(P), 주하중에 상당하는 특수하중(PP), 부하중에 상당하는 특수하중(PA)으로 구분하며, 가설지점의 조건과 구조에 따른 하중 및 하중조합을 선정하여 설계해야 한다.

나. 주하중(P)

㉮ 고정하중(D)

㉯ 활하중(L)

㉰ 충격(I)

㉱ 장대레일 종하중(LR)

㉲ 콘크리트 크리프의 영향(CR)

㉳ 콘크리트 건조수축의 영향(SH)

㉴ 토압(H)

㉵ 수압. 부력 또는 양압력(Q)

다. 주하중에 상당하는 특수하중(PP)

㉮ 지반변동의 영향(GD)

㉯ 지점이동의 영향(SD)

라. 부하중에 상당하는 특수하중(PA)

㉮ 온도변화의 영향(T)

㉯ 지진의 영향(E)

㉰ 가설시 하중(ER)

㉱ 기타하중

② 고정하중을 산출할 때는「제8장 교량 일반사항 8.2항」을 따른다.

③ Live load

A. Live load shall be in accordance with 「Article 8.2 Bridge General」 .

B. Vertical and lateral earth pressure acting on the top and the side of a culvert, respectively, caused by live load, shall be determined by taking into account the thickness of the overlying soil.

C. Vertical pressure increased by live load shall be calculated according to the thickness of overlying soil from either <Eq. (5.1.1)> or <Eq. (5.1.2).> Lateral pressure increased by live load on the side of the culvert, may be calculated by applying a virtual earth pressure coefficient of 0.4.

(a) H_e < 0.5 m

$$W_L = \frac{P}{a(b+d)} \qquad (5.1.1)$$

(b) H_e ≥ 0.5 m

$$W_L = \frac{2P}{a\{c+b+(d+H_e)\}} \qquad (5.1.2)$$

Where, H_e: Soil depth from FL (m)

WL: Live load working on the top of box (kN/m^2)

P: Axial load

a: Wheelbase of a driving wheel (m)

b: Sleeper length (m)

c: Double track spacing (m)

d: Ballast thickness below sleeper (m)

④ Impact load

Impact load acting on a culvert is the train load multiplied by the following impact coefficient.

A. Impact coefficient for a culvert underlying a single track is as shown in <Table 5.1.2>.

Table 5.1.2 Impact coefficient of the culvert supporting a single track with standard train load

Span L(m)	0	5	10	20
Impact efficient (i)	0.6	0.48	0.43	0.37

When the shortest span is more than 70% of the longest one of a non-uniform continuous-span culvert, the average span length is used to get the coefficient from <Table 5.12> and otherwise, the coefficient is corresponding to the shortest span. When a span is between the listed values in the table, the coefficient can be obtained by the interpolation.

③ 활하중

가. 활하중은「제8장 교량 일반사항 8.2항」을 따른다.

나. 활하중에 의해 구교 상면에 작용하는 연직토압 및 측면에 작용하는 수평토압은 복토두께를 고려하여 결정해야 한다.

다. 활하중은 토피에 따라 <식 (5.1.1)> 및 <식 (5.1.2)>에 의해 계산하며 또한, 활하중에 의해 증가되는 구교측면의 측압을 고려하고 구교 측면의 측압을 구할 때는 0.4의 가상토압계수를 적용할 수 있다.

㉮ H_e<0.5m일 때

$$W_L = \frac{P}{a(b+d)} \qquad (5.1.1)$$

㉯ $H_e \geq 0.5$m일 때

$$W_L = \frac{2P}{a\{c+b+(d+H_e)\}} \qquad (5.1.2)$$

여기서, H_e : FL에서의 토피고(m)

W_L : 박스상부에 작용하는 활하중(kN/m^2)

P : 축중

a : 동륜의 축간거리(m)

b : 침목길이(m)

c : 복선 선로중심간격(m)

d : 침목하면의 도상두께(m)

④ 충격하중

구교에 작용하는 충격하중의 크기는 열차하중에 다음의 충격계수를 곱한 값으로 한다.

가. 단선을 지지하는 구교의 충격계수는 <표 5.1.2>의 값을 이용한다.

표 5.1.2 표준열차하중이 작용하는 단선 지지 구교의 충격계수

지간 L(m)	0	5	10	20
충격계수(i)	0.6	0.48	0.43	0.37

연속 경간을 갖는 구교 등에서 각 지간이 같지 않고 최소지간이 최대지간의 70% 이상인 경우에는 그 평균 지간으로 <표 5.1.2>의 계수를 사용하고, 70% 미만인 경우에는 최소지간에 해당하는 충격계수를 사용한다. <표 5.1.2>에 없는 지간의 충격계수는 보간법으로 구한다.

B. The impact on the member underlying a double track shall be the total impact by two tracks.

C. When the overlying soil more than 1.0m in thickness, impact shall be reduced according to <Eq. (5.1.3)>.

$$i = i_o(\frac{2.5 - H}{1.5}) \qquad (5.1.3)$$

But in the case of H $\leq$ 1.0 m, $i = i_o$

H $\geq$ 2.5 m, $i = 0$

Where, i: Impact on top slab

i_o: Basic impact coefficient determined according to span

H: Soil depth below sleeper (m)

D. Impact load effect on lateral pressure acting on the side of a structure is disregarded.

⑤ Longitudinal load of CWR

Longitudinal load of CWR shall be taken into account, if necessary, and it amounts to 10 kN/m per track acting along the axis of upper slab, but it may be disregarded when soil depth is 1.0 m or more.

⑥ Load effect of creep and shrinkage of concrete

For underground culvert, the effect of temperature variation may be usually neglected, but that of dry shrinkage must not.

⑦ Earth pressure

A. Vertical earth pressure

(a) Vertical earth pressure, when top soil exists, shall be in accordance with <Eq. (5.1.4)>.

$$P_v = \gamma \cdot H \qquad (5.1.4)$$

Where, P_v: Earth pressure working on top slab (kN/m^2)

γ: Weight of unit volume of top soil (kN/m^3)

H: Top soil height (m)

(b) When filling on the top of a culvert on the existing ground or the top of a culvert on soft ground supported by the pile foundation causes the settlement of the surrounding ground, or relative displacement is expected due to an increase of ground load, vertical load of top soil shall be additionally considered. However, when an approach block is designed on both sides, extra load in addition to vertical load may not usually be taken into account.

나. 복선을 지지하는 부재의 충격은 두 궤도의 전 충격으로 한다.

다. 구교 상면에 흙이 1.0m 이상 덮어져 있는 경우의 값은 <식 (5.1.3)>에 의하여 감소시켜 적용한다.

$$i = i_o(\frac{2.5 - H}{1.5}) \qquad (5.1.3)$$

단, H≤1.0m 에서는 $i = i_o$

H≥2.5m 에서는 $i = 0$

여기서 i : 상부슬래브에 작용하는 충격계수

i_o : 지간에 따라 정해진 기본 충격계수

H : 침목하면에서의 토피고(m)

라. 구조물 측면의 측압에 가중되는 충격력은 없는 것으로 한다.

⑤ 장대레일 종하중

장대레일 종하중은 필요시에 고려해야 하며, 1궤도당 10kN/m로 하고 작용위치는 상부슬래브 축선으로 한다. 단, 토피가 1.0m 이상인 경우는 이를 무시한다.

⑥ 콘크리트의 크리프와 건조수축의 영향

지하에 설치되는 구교를 설계할 때는 일반적으로 온도변화는 고려하지 않고 건조수축의 영향은 고려해야 한다.

⑦ 토압

가. 연직토압

㉮ 토피가 있는 경우 연직토압은 <식 (5.1.4)>로 구한다.

$$P_v = \gamma \cdot H \qquad (5.1.4)$$

여기서 P_v : 상부슬래브에 작용하는 토압(kN/m^2)

γ : 토피의 단위체적중량(kN/m^3)

H : 토피높이(m)

㉯ 기존지반면에 설치된 구교 상부 또는, 말뚝기초를 통해 견고한 지반에 지지되는 연약지반상의 구교 상부에 신규로 쌓기를 함으로써 지반하중 증가로 구교 주변지반이 침하하는 경우 등 주변 지반과의 상대변위가 고려되는 경우에는 토피의 연직하중을 할증해야 한다. 다만, 좌우에 어프로치블록을 설계하는 경우에는 일반적으로 연직하중에 대한 할증을 하지 않는다.

$$P_v = (1+\lambda)\gamma \cdot H \qquad (5.1.5)$$

Where, : λ: Extra coefficient ($\lambda = 0.25\frac{H}{B}$)

B: Box width (m)

B. Ordinary horizontal earth pressure

Ordinary horizontal earth pressure shall be estimated according to 「Article 8 Bridge, General 8.2.2.(4)」

⑧ Water pressure

A. Hydrostatic pressure shall be estimated according to <Eq. (5.1.6)> and when ground water pressure acting on a structure is evidently less than theoretical value, it may be reduced to that certain value.

$$P_h = \gamma_w \cdot h \qquad (5.1.6)$$

Where, P_h: Hydrostatic pressure at a location as deep as h from the water's surface (kN/m^2)

h: Depth from water's surface (m)

γ_w: Weight of unit volume of water (kN/m^3)

⑨ Buoyancy or uplift force

A. Buoyancy or uplift force is assumed to act on a culvert vertically and most unfavorably.

B. The factor of safety against buoyancy or uplift force shall be 1.2 or higher.

⑩ Load effect of ground and support displacement

A. When the following ground movements are anticipated due to consolidation settlement of foundation ground after a substructure is completed, the effect shall be properly considered.

(a) Consolidated settlement around the foundation ground

(b) Lateral movement of soft ground due to backfilling

(c) Scouring and riverbed lowering by water flow or wave

B. As the culvert is a statically indeterminate structure and the stress of a member is increased by the settlement of a foundation structure, horizontal movement and rotation due to differential settlement of the ground, section force shall be calculated with the anticipated final movement.

⑪ Seismic effect

As the weight of a culvert is less than that of soil volume replaced and seismic impact is insignificant in general ground conditions, seismic effect is not taken into account. But for a span more than 5.0 m, the effect may be considered at the designer's discretion.

$$P_v = (1+\lambda)\gamma H \qquad (5.1.5)$$

여기서, λ : 할증계수($\lambda = 0.25\frac{H}{B}$)

B : 박스의 폭(m)

나. 평상시의 수평토압

평상시의 수평토압은「제8장 교량 일반사항 8.2.2.(4)항」을 따라 산출한다.

⑧ 수압

가. 정수압은 <식 (5.1.6)>에 의해 산출하고, 구조물의 지반 속에 작용하는 수압이 이론수압의 값까지 작용하지 않는 것이 확실한 때에는 그 확실한 값까지 감소할 수 있다.

$$P_h = \gamma_w \cdot h \qquad (5.1.6)$$

여기서, P_h : 수면에서 h만큼 깊은 곳의 정수압(kN/m^2)

h : 수면에서의 깊이(m)

γ_w : 물의 단위체적중량(kN/m^3)

⑨ 부력 또는 양압력

가. 부력 및 양압력은 연직방향으로 작용하는 것으로 하고 구조물에 가장 불리하도록 재하한다.

나. 부력 및 양압력의 작용을 받는 구교의 안전율은 1.2 이상이어야 한다.

⑩ 지반변동 및 지점이동의 영향

가. 하부구조 완성 후 기초지반의 압밀침하 등에 의해 다음과 같은 지반변동이 예상되는 경우에는 그 영향을 고려해야 한다.

㉮ 기초 주변지반의 압밀침하

㉯ 배면 쌓기에 의한 연약지반의 측방유동

㉰ 하천의 흐름, 파랑에 의한 세굴, 하상저하

나. 구교는 부정정 구조물로 지반의 부등침하 등으로 인하여 생기는 기초구조물의 침하, 수평이동, 회전 등에 의하여 부재응력이 증가되므로 최종 이동량을 추정하여 단면력을 산정해야 한다.

⑪ 지진의 영향

구교는 일반적으로 배제된 흙의 중량보다 가볍기 때문에 보통지반의 일반적인 구교에서는 지진에 의한 영향이 작으므로 지진의 영향을 고려하지 않는다. 단, 경간이 5.0m이상인 경우에는 설계자가 판단하여 필요시 그 영향을 고려하여야 한다.

⑫ Erection load

This is the load occurring at each stage of the construction. The stress caused by the erection load may be greater than the stress at the completion of construction. Thus, the safety under various loading conditions including self-weight, installation equipment, material and equipment, and wind effect shall be evaluated considering the installation method by stage and the structure during installation.

5.1.4 Design method

(1) Design method and symbols

① The structural design of concrete culvert is usually based onuses the strength design method, but for the evaluation of bearing capacity of ground, usability or steel structure, the allowable stress design method shall be adopted.

② Symbols

A_b: Bearing load area

A_c: Total area of supporting concrete

D: Fixed load or resulting section force

G: Stress or section force caused by expansion or shrinkage resulting from differential settlement, creep, dry shrinkage, size error during fabrication or installation, humidity or temperature variation.

H: Earth pressure or resulting section force

I: Impact or resulting section force

L: Live load or resulting section force

L_R: Vertical load of CWR or resulting section force

Q: Buoyancy, uplift, water or wave pressure or resulting section force

U: Required strength

(2) Strength design method

① Members or sections of a concrete structure shall be designed to have design strengths that exceed the design section forces analyzed by the design load combinations and strength reduction factors.

② Members shall meet all other requirements to insure adequate performance and function under working loads.

③ Design load combination

A. Required strength

(a) Required strength of a member or section shall be based on design section force against bending, axial force, shear and torsional force calculated according to the load factor and load combination in「B.」.

⑫ 가설시 하중

가설시 하중이란 시공단계에 따라 작용하는 하중이다. 가설시 하중 으로 인한 응력은 가설방법에 따라서는 가설 후의 응력보다 큰 값을 나타낼 경우가 있다.

따라서 시공 중에는 가설에 따른 단계별 가설방법과 가설 중의 구조를 고려하여 자중, 가설장비, 기자재, 바람의 영향 등 모든 재하조건에 대한 안전도 검토를 해야 한다.

5.1.4 설계방법

(1) 설계방법 및 기호

① 콘크리트 구교는 일반적으로 강도설계법을 기준으로 하나 지반지지력 검토, 사용성 검토 및 강구조일 경우는 허용응력설계법을 적용한다.

② 기호

A_b : 지압을 받는 재하면적

Ac : 지지하는 콘크리트의 전면적

D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력

G : 부등침하, 크리프, 건조수축, 제작 또는 시공시 치수의 착오, 습도변화 또는 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력

H : 토압 또는 이에 따른 단면력

I : 충격 또는 이에 따른 단면력

L : 활하중 또는 이에 따른 단면력

L_R : 장대레일 종하중 또는 이에 따른 단면력

Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력

U : 소요강도

(2) 강도설계법

① 강도설계법에서 콘크리트 구조물의 부재나 단면은 설계하중조합과 강도감소계수에 의해 해석한 설계단면력 이상의 설계강도가 되도록 설계해야 한다.

② 부재는 사용하중 하에서도 필요한 성능과 기능을 확보해야 한다.

③ 설계하중조합

가. 소요강도

㉮ 부재나 단면의 소요강도는「나.항」의 기준에 의한 하중계수 및 하중조합에 따라 계산한 휨, 축방향력, 전단 및 비틀림 등의 극한외력에 대한 설계단면력을 기초로 한다.

(b) Structure or structure member shall be designed against the extreme external force calculated under the most unfavorable loading condition.

(c) Most unfavorable loading condition refers to the case in which a part of the load is not working due to offset in the analysis process, which shall be cautious in design.

(d) In the strength design method applied to a concrete structure, design strength shall be greater than the required strength.

ⓐ Required strength shall be calculated by multiplying load factor considering external force generated from various factors including overload or simplified assumption in structural analysis in addition to service load.

ⓑ If using the strength design method for a concrete structure, design strength of a structural element shall be calculated by multiplying nominal strength by a strength reduction coefficient (ø) which is less than 1.

(e) Required strength shall be calculated by using the combination that brings about the most unfavorable external force among the load combinations according to 「B.」. Then when the characteristics of a structure, snowfall or rainfall or special surcharge load are applied, loading effect of such special load shall be included in the load combination.

B. Load factor of major load combination

(a) Dead load + live load + earth pressure + groundwater pressure

$$U = 1.4D+2.0(L+I)+1.7H+1.4Q \qquad (5.1.7)$$

$$U = 1.7\{D+(L+I)+H+Q\} \qquad (5.1.8)$$

Fixed load + live load + earth pressure + groundwater pressure + creep, dry shrinkage or temperature variation + vertical load of CWR.

$$U=1.4D + 1.4(L+I) + 1.7H + 1.4Q + 1.4G + 1.4LR \qquad (5.1.9)$$

For asymmetric earth pressure or live load acting on the half of the span, it shall be based on the above combination.

C. When designing by changing dead load and earth load factors in all load combinations of 「B.」, the values listed in <Table 5.1.3> shall be adopted. <Table 5.1.3> shows the dead load and earth load factors used for special load combinations. Dead load factor used in 「②」 is applicable when evaluating columns under the maximum axial load and minimum moment or members subject to bending moment and tensile force, and when designing according to <Table 5.1.3>, fixed load coefficient and earth load coefficient shall be replaced with the values in <Table 5.1.3>.

㈏ 구조물이나 구조부재는 가장 불리한 재하조건으로 계산한 극한외력에 대하여 설계해야 한다.

㈐ 가장 불리한 재하조건이란 해석과정에서 상쇄작용으로 인하여 각종 하중 가운데 일부가 작용하지 않는 경우의 재하조건을 말하는 것으로 유의하여 설계해야 한다.

㈑ 콘크리트 구조물에 적용한 강도설계법에서는 설계강도가 소요강도보다 커야 한다.

㉠ 소요강도는 사용하중 뿐만 아니라 초과하중이나 구조해석상의 단순화 가정 등과 같이 가능한 여러 요인들로부터 발생하는 초과작용 외력을 고려한 하중계수를 곱하여 구한다.

㉡ 구조요소의 설계강도는 콘크리트 구조물의 강도설계법일 경우는 공칭강도에다 1보다 작은 값인 강도감소계수(ø)를 곱하여 계산한다.

㈒ 「나.항」의 기준에 의한 하중조합 중에 가장 불리한 외력을 일으키는 조합을 사용하여 소요강도를 계산해야 한다. 이때 구조물의 특성, 강설, 강우 또는 특수 상재하중 등이 재하되는 경우에는 이와 같은 특수하중의 재하효과도 하중조합에 포함시켜야 한다.

나. 주요 하중조합의 하중계수

㉮ 고정하중+활하중+토압+지하수압

$$U = 1.35D+1.85(L+I)+1.6H+1.4Q \quad (5.1.7)$$

$$U = 1.6\{D+(L+I)+H+Q\} \quad (5.1.8)$$

㉯ 고정하중+활하중+토압+지하수압+크리프, 건조수축 또는 온도변화+장대레일 종하중

$$U = 1.35D+1.4(L+I)+1.6H+1.4Q+1.35G+1.4L_R \quad (5.1.9)$$

편토압의 작용시 또는 1/2경간에 작용하는 활하중에 대하여도 위 조합을 기준으로 한다.

다. 「나.항」의 모든 하중조합에서 고정하중계수와 토압하중계수를 바꾸어 설계하는 경우에는 <표 5.1.3>에서 기준한 값을 적용해야 한다. <표 5.1.3>에는 각각의 특수하중조합에서 사용되는 고정하중 및 토압하중계수를 나타냈다. 「②항」에서 사용된 고정하중계수는 휨과 인장력을 받는 부재의 경우나 기둥에서 최대축하중과 최소모멘트에 대하여 검토할 경우에 해당되는 것으로서 <표 5.1.3>의 각 경우에 대하여 설계할 때는 고정하중계수와 토압하중계수를 <표 5.1.3>에 제시한 값으로 대치하여 설계해야 한다.

Table 5.1.3 When designing by replacing fixed load coefficient and earth load coefficient in load combination

Equation	Fixed load coefficient	Earth load coefficient	
	When designing min axial force and max. moment or max. eccentricity for a column	When reviewing static moment of the deck by lateral earth pressure in a Rahmen structure	When designing vertical earth pressure
(5.1.7) ~ (5.1.9)	0.8	0.6	1.4

④ Design strength

A. Nominal strength and design strength

Nominal strength and design strength shall be in accordance with 「10.6.2, Chapter 10 Concrete Bridge」.

B. Strength reduction factor (ø)

Strength reduction factor shall be in accordance with 「10.6.2, Chapter 10 Concrete Bridge」.

C. Design strength of member connections

(a) Design strength of the connection between the precast members or the precast member and cast-in-place concrete member is taken as nominal strength against external force multiplied by the modified strength reduction factor.

(b) Modified strength reduction factor is taken as the value ø stipulated in 「Article 10.6.2 of Chapter 10 Concrete bridge」, multiplied by 0.85 of the additional strength reduction factor for the connection.

D. Criteria of anchorage length It is not necessary to apply ø value when estimating the anchorage length of reinforcement.

5.1.5 Materials

(1) Symbols

E_c: Elastic modulus of concrete (MPa)

f_{ck}: Design standard strength of concrete (MPa)

G_c: Shear elastic modulus of concrete (MPa)

(2) Steel member used for a culvert shall be in accordance with 「Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge」.

표 5.1.3 주요하중조합에서 고정하중계수와 토압하중계수를 바꾸어 설계하는 경우

식	고정하중계수	토압하중계수	
	① 가둥설계시 최소 축하중 및 최대 모멘트 또는 최대 편심에 대하여 설계할 경우	② 라멘구조에서 횡토압에 의해 상판의 정모멘트를 검토하는 경우	연직토압에 대하여 설계할 경우
(5.1.7) ~ (5.1.9)	0.8	0.6	1.4

① 설계강도

가. 공칭강도 및 설계강도

공칭강도 및 설계강도는 「제10장 콘크리트교 10.6.2항」을 따른다.

나. 강도감소계수(ø)

강도감소계수는 「제10장 콘크리트교 10.6.2항」을 따른다.

다. 연결부의 설계강도

㉮ 프리캐스트 부재 사이 또는 프리캐스트 부재와 현장타설 콘크리트 부재사이 연결부의 설계강도는 작용하는 외력에 대한 공칭강도에 수정한 강도감소계수를 곱하여 구한 값으로 설계해야 한다.

㉯ 수정한 강도감소계수는 「나.항」의 해당 ø값에 연결부에 대한 추가 강도감소계수인 0.85를 곱하여 구한 값으로 설계해야 한다.

라. 정착길이의 기준

철근의 정착길이 산정시는 ø계수를 적용할 필요가 없다.

5.1.5 사용재료

(1) 기호

E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa)

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도(MPa)

G_c : 콘크리트의 전단탄성계수(MPa)

(2) 구교에 사용되는 강재는 「제9장 강교 및 강합성교」의 해당요건에 따른다.

(3) Concrete

① Specified compressive strength of concrete

A. Specified compressive strength of concrete for a culvert shall be at least equivalent

Table 5.1.4 Minimum design standard strength of concrete

Type of members	Minimum design standard strength (MPa)
Plain concrete	18
Reinforced concrete	21

B. For lean concrete casted under the base of a spread footing to provide stable platform, plain concrete whose is less than the minimum value may be used.

C. Design standard strength of reinforced concrete for substructures shall be 21 MPa or higher.

② Concrete materials shall be in accordance with 「8.4.2, Chapter 8 Bridge General」.

(4) Design constants used for design calculation

① Secant modulus of elasticity of concrete shall be as follows.

For concrete with unit mass m_c is 1,450 ~ 2,500 kg/m^3

$$E_c = 0.077 m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} \ \text{(MPa)} \qquad (5.1.10)$$

For concrete mixed with average aggregate (m_c=2,300 kg/m^3)

$$E_c = 8{,}500 \sqrt[3]{f_{cu}} \ \text{(MPa)} \qquad (5.1.11)$$

$$\text{Where, } f_{cu} = f_{ck} + 8 \ \text{(MPa)} \qquad (5.1.12)$$

② Shear modulus of concrete shall be calculated according to <Eq. (5.1.13)>

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\nu)} \ \text{(MPa)} \qquad (5.1.13)$$

where, G_c: Shear elastic modulus of concrete (MPa)

E_c: Elastic modulus of concrete (MPa)

ν: Poisson's ratio of concrete

Poisson's ratio of concrete is usually assumed to be 1/6, unless determined otherwise through the test.

(3) 콘크리트

① 콘크리트의 설계기준강도

가. 구교에 사용하는 콘크리트의 설계기준강도는 <표 5.1.4>에 나타낸 값 이상이어야 한다.

표 5.1.4 콘크리트의 최저 설계기준강도

부재의 종류	최저 설계기준강도(MPa)
무근콘크리트부재	18
철근콘크리트부재	21

나. 확대기초 하면에 타설하는 기초바닥정리 콘크리트 등은 무근콘크리트의 최저 설계기준강도 이하의 콘크리트를 사용할 수 있다.

다. 하부구조에 이용하는 철근콘크리트 부재의 설계기준강도는 21MPa 이상으로 한다.

② 콘크리트의 재료는 「제8장 교량 일반사항 8.4.2항」의 해당요건에 따른다.

(4) 설계계산에 사용하는 설계상수

① 콘크리트의 할선탄성계수는 다음 규정에 따른다.

단위질량m_c의 값이 1,450~2,500kg/m^{3}인 콘크리트

$$E_c = 0.077 m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} \quad (\text{MPa}) \qquad (5.1.10)$$

보통 골재를 사용한 콘크리트(m_c=2,300 kg/m^3)에서는 <식 (5.1.11)>을 사용한다.

$$E_c = 8,500 \sqrt[3]{f_{cu}} \quad (\text{MPa}) \qquad (5.1.11)$$

여기서, $f_{cu} = f_{ck} + 8$ (MPa) (5.1.12)

② 콘크리트의 전단탄성계수는 <식 (5.1.13)>에 따라 계산한다.

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\nu)} \quad (\text{MPa}) \qquad (5.1.13)$$

여기서, G_c : 콘크리트의 전단탄성계수(MPa)

E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa)

ν : 콘크리트의 포아송비

콘크리트의 포아송비는 실험에 의하여 결정되지 않는 경우에는 일반적으로 1/6으로 가정한다.

5.1.6 Structural design

(1) Structural analysis

① Structural analysis shall be in accordance with provisions for Rahmen structures, and elastic analysis shall be used to obtain statically indeterminate forces.

② For section design of vertical members, axial force shall be taken into account in addition to bending moment. For horizontal members, axial force shall also be included at the designer's discretion considering geometric shape and loading condition.

(2) Box type culvert

① Box type culvert, on whose slab and wall positive and negative bending moment act, shall be analyzed as a continuous structure.

② Design load shall include dead load, live load, impact load, earth pressure and water pressure, and effect due to dry shrinkage. But longitudinal load on track generated due to train start and stop may not be considered.

③ Members shall safely resist vertical and horizontal load caused by train. Vertical loading on a multi-span culvert shall be in accordance with provisions for Rahmen structures.

④ If differential settlement of foundation ground is expected, a structural analysis of the culvert in longitudinal direction shall be carried out and incorporated into design.

⑤ Subgrade reaction coefficient

A. In analyzing a box type culvert, supporting ground at the base boundary shall be modeled with springs whose stiffness is converted from subgrade reaction coefficient and their spacing, regardless of the type of foundation ground. The springs under tension due to buoyancy, if any, shall be excluded and in turn compressional springs are only regarded in the computation.

B. Subgrade reaction coefficient used in design shall be computed considering ground strength and the size of culvert.

C. Ground reaction coefficient ($K_V K_h K_s$) used for a box-type culvert design shall be ($K_V K_h K_s$) in accordance with 「7.3.4, (3) ③, Chapter 7 Underground Structure」. Conversion width, B, used to estimate the ground reaction coefficient shall be calculated from all base and side areas of the culvert cross-section. However the behavior of the long culvert is not anticipated to be tolerable in longitudinal direction, the stability shall be insured through analysis.

D. When resting on ground varying locally with a big difference in the ground reaction coefficient, conversion width shall be obtained considering the effect, and the differential settlement and the consequential stress shall be computed using the conversion width of the corresponding area.

5.1.6 구조설계

(1) 구조계산

① 구조해석은 라멘으로 해석하고 부정정력은 탄성이론으로 구해야 한다.

② 단면설계시 연직부재는 모멘트 외에 축력을 고려해야 한다. 수평 부재도 구조물의 기하학적 형상 및 하중조건 등을 감안하여 설계자가 필요하다고 판단하는 경우는 축력을 고려하여 설계해야 한다.

(2) 박스형 구교

① 박스형 구교는 정, 부 휨모멘트가 슬래브와 벽체에 작용하는 연속구조로 해석한다.

② 설계하중은 고정하중, 활하중, 충격하중, 토압 및 수압, 건조수축 등을 적용하며 열차의 출발과 정지 시 발생하는 선로 종방향하중은 고려하지 않아도 된다.

③ 열차하중으로 인한 연직하중 및 수평하중은 각각 부재에 대해서 안전하도록 재하되어야 한다. 물론 다경간의 구교에 작용하는 연직하중의 재하방법은 라멘교에 준하도록 한다.

④ 박스형 구교를 설치하는 기초지반이 부등침하가 예상되는 경우는 구교의 종방향에 대한 구조해석을 실시하여 설계에 반영해야 한다.

⑤ 지반반력 계수

가. 박스형 구교 해석시 지점의 경계조건은 기초지반의 종류에 관계없이 저판의 모든 부위에 지반반력계수와 설치간격으로 환산된 스프링을 설치한 모델로 계산하고 부력 등에 의하여 스프링에 인장이 발생할 경우 인장을 받는 스프링은 차례로 제외시켜 최종적으로 압축만 받는 스프링만 남겨둔 상태의 모델해석결과를 취한다.

나. 박스형 구교의 설계에 사용하는 지반반력계수는 지반강도 및 구교의 크기를 고려하여 산출해야 한다.

다. 박스형 구교의 설계에 사용하는 지반반력계수(K_V, K_h, K_s)의 산정은 「제7장 지하구조물 7.3.4(3)③항」의 지반반력계수를 따른다. 지반반력계수의 산출시 이용되는 환산폭 B의 산정은 암거의 모든 저면적 및 측면적으로부터 산출해야 한다. 그러나 암거의 길이가 길어 종방향 거동상 문제가 발생할 수 있는 경우에는 수치해석에 의한 방법으로 안정성을 확인해야 한다.

라. 박스형 구교가 위치에 따라 지반반력계수의 차이가 큰 지반에 접하는 경우는 그 영향을 고려해서 환산폭을 구하고, 또한 부등침하 및 그것에 반하는 응력의 산정은 해당면적으로부터 환산폭을 산출 해야 한다.

⑥ Stability evaluation

A. For a box-type culvert, safety against settlement shall be evaluated. For high groundwater level in particular, buoyancy on the culvert shall be checked.

B. Generally, the stability evaluation against horizontal sliding and overturning may be omitted, but the stability evaluation on bearing capacity and settlement shall be carried out. For a box-type culvert supporting the pier, the foundation stability shall be checked out.

C. Stability against buoyancy in non-seismic design, being varied with the groundwater level and frictional resistance between culvert wall and adjacent soil, is usually computed from <Eq. (5.1.14)>. Uplift, being determined considering site conditions including topographical and geological features, and construction method, shall be in general calculated from the pressure head occurring during high water level at the bottom of the base resting on both sandy and clayey soil.

$$\frac{surcharged load + covered soil weight + larteral frictional force +}{uplift} > F_s \qquad (5.1.14)$$

where, F_S: Safety factor against buoyancy

⑦ Evaluation of sectional force in longitudinal direction

A. Sectional force of a culvert in the longitudinal direction shall be computed based on the theory of beams resting on an elastic body.

B. When foundation ground is varying or large loading is added due to filling on soft ground, sectional force evaluation in the longitudinal direction is required. Sectional force in the longitudinal direction shall generally be in accordance with <Fig. 5.1.3>, and it is required to reevaluate the cross-section design based on the distribution of vertical ground reaction.

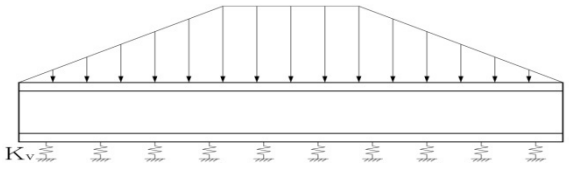


Fig. 5.1.3 Model for review in vertical direction

(a) The culvert shall be analyzed based on the theory of beams resting on an elastic body supported by ground reaction.

(b) Sectional force shall be calculated using effective shearing cross section.

⑥ 안정 검토

가. 박스형 구교는 일반적으로 침하에 대한 안정성을 검토해야 한다. 특히, 지하수위가 높은 경우에는 구교의 부상(浮上)에 대하여 검토해야 한다.

나. 일반적으로 박스형 구교의 안정(수평지지 및 전도)에 관한 검토는 생략하나, 연직지지력 및 침하에 대한 안정성 검토는 수행해야 한다. 또한, 교각 등을 지지하는 박스형 구교에서는 기초로서의 안정검토는 반드시 수행해야 한다.

다. 평상시 부상에 대한 안정은 지하수위의 상태 및 구교 자체와 흙과의 마찰력 등에 따라서 달라지지만 보통 <식 (5.1.14)>에 의하여 검토해야 한다. 양압력은 지형, 지질, 시공방법 등 현장의 실제상태를 고려하여 결정하지만, 일반적으로는 사질토, 점성토 모두 구교저면에 작용하는 높은 수위 때의 수두에 의한 압력으로부터 산정해야 한다.

$$\frac{\text{상재하중} + \text{복토중량} + \text{암거중량} + \text{측면마찰력}}{\text{양압력}} > F_s \qquad (5.1.14)$$

여기서, F_S : 부상에 대한 안전율

⑦ 종단방향의 단면력 검토

가. 구교의 종방향 단면력 검토는 구교를 탄성체 위에 놓인 보로서 작용하는 것으로 가정해야 한다.

나. 지지지반이 변하는 경우와 연약지반 상에서 쌓기 등으로 인한 큰 하중이 실리는 경우 등에서는 종방향의 검토가 필요하다. 종방향 단면력의 산정은 일반적으로 <그림 5.1.3>를 따른다. 또한, 연직지반반력의 분포에 의해서 횡단면 설계를 재검토하는 것이 필요하다.

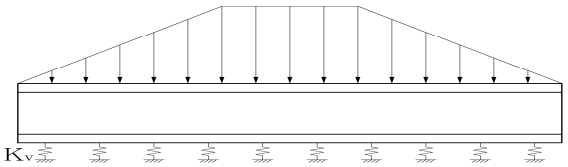


그림 5.1.3 종단방향의 검토 모델

㉮ 구교를 지반반력으로 지지되는 탄성체 위에 놓인 보로 가정해야 한다.

㉯ 단면력의 산정은 유효 전단면으로부터 산출해야 한다.

Longitudinal sectional force may be reduced through locating proper expansion joints. However, the decision shall be made weighing the gains and losses involving with the surrounding environment and the use of the culvert, as the occurrence of differential settlement is highly probable.

⑧ Structure details

A. Haunch and reinforcement shall be provided at the corners of a culvert.

B. When the upper slabs are subjected to cyclic train loading, fatigue of reinforcement shall be evaluated at the center and corners of the slab (see <Fig. 5.1.4>). The thicker the overlying soil, the less the effect of live load on the culvert. As overlying soil (including ballast) is 2.5 m or thicker, amplitude of live load is getting smaller and in turn fatigue will not be a problem. For live load directly acting on the bottom slab, fatigue is generally not taken into account because the effect is insignificant.

C. For a culvert resting on foundation soil and affected longitudinally, the minimum longitudinal reinforcement of the upper slab, the bottom slab and the walls shall be 0.4% of concrete sectional area when overlying soil is 3.0 m in thickness or less and otherwise increases linearly from 0.4 up to 1.0% as the thickness rises from 3.0 to 30 m. However, the reinforcement shall be less than the main reinforcement.

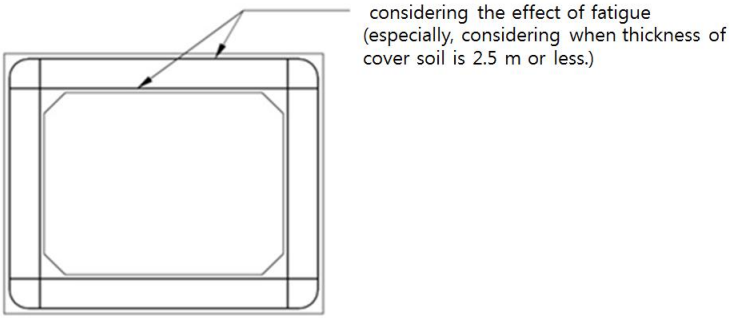


Fig 5.1.4 Reinforcement considering the cyclic effect

D. For a culvert resting on firm foundation ground or supported by piles, the criteria prescribed in 「C」 is not adopted when vertical differential settlement is unlikely to occur. When a culvert, resting on relatively firm foundation soil and provided expansion joints, is not necessarily analyzed in longitudinal direction, longitudinal reinforcement shall be 0.25 and 0.3% of concrete sectional area for slab and wall, respectively.

또한, 신축이음매 위치선정을 통하여 종단방향 단면력을 줄일 수 있다. 그러나, 부등침하가 발생되기 쉽기 때문에 암거의 주변 환경 및 사용목적 등에 의해서 이해득실을 검토해야 한다.

⑧ 구조상세

가. 구교 모서리부에는 헌치를 설치하고 보강철근을 배치해야 한다.

나. 열차하중이 상부슬래브에 작용하는 경우 철근의 피로에 대한 검토는 상부슬래브의 중앙부 및 모서리부에 대해서 수행해야 한다.(<그림 5.1.4> 참조) 복토가 있는 구교에 작용하는 활하중의 영향은 복토 두께가 클수록 작아진다. 일반적으로 복토두께(도상두께 포함)가 2.5m 이상이 되면 활하중에 의한 진폭이 작아지기 때문에 철근의 피로에 대한 검토를 하지 않아도 좋다. 또한 하부슬래브에 직접 활하중이 재하되는 경우에 있어서도 그 영향은 작기 때문에 일반적으로 피로를 고려하지 않는다.

다. 기초지반이 흙인 경우로써 종방향으로 영향을 받는 구교에서 상부슬래브, 하부슬래브와 벽체에 있어서 종방향 최소철근량은 복토의 깊이가 3.0m 이하인 경우는 콘크리트 단면적의 0.4%, 복토가 3.0m 이상인 경우는 복토 깊이가 30m인 경우의 사용량인 1.0%를 기준으로 선형변화량을 사용하되 이때 종방향 철근량은 주철근량 미만이어야 한다.

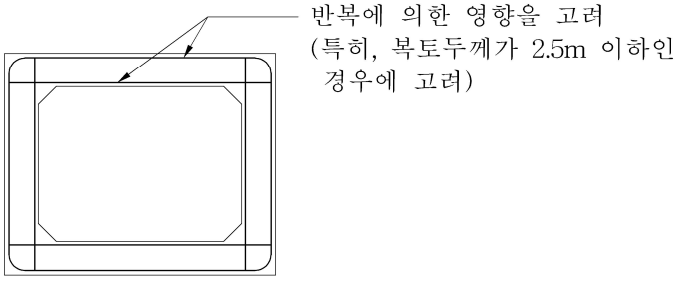


그림 5.1.4 반복에 의한 영향을 고려한 철근

라. 단단한 지반 위에 놓인 경우와 말뚝기초로 지지되는 경우로써 종방향 부등침하가 우려되지 않는 경우에는「다.항」의 기준을 적용하지 않는다. 따라서 어느 정도 견고한 지반에 놓이는 일반적인 구교로써 신축이음매가 설치되어 상세한 종방향 해석이 필요하지 않다고 판단되는 경우 종방향 철근량은 슬래브의 경우 콘크리트 단면적의 0.25%, 벽체의 경우 0.3%를 적용한다.

E. Longitudinal reinforcement of a culvert shall be more than 1/5 of tensile main reinforcement per unit width considering the odds to occur extra stress in the longitudinal direction.

F. Expansion joint spacing shall be generally 10 to 15 m, or it shall be located for the longitudinal sectional force to be minimal when local load is applied or the ground is not uniform.

G. No lap-splice shall be provided on main reinforcement at a joint and its vicinity.

H. Wing wall shall be designed to have a grade and length that will go well with the surrounding topographic features and conditions in order to protect the embankment and maintain the inlets of the culvert.

(3) Gate-type Rahmen culvert

① A gate-type Rahmen culvert with overlying soil shall be analyzed based on a box-type culvert, but earth pressure and water pressure acting on a column or wall, and support settlement shall be analyzed in addition.

② When calculating the sectional force, the axial line of a member shall be coincided with the centroid axial line. When the ratio of horizontal member to vertical member is 4 or more, sectional force shall be calculated considering the effect of the variation of axial line of the horizontal member.

③ When the size of a haunch is relatively small compared to the member section and in turn may contribute little to the sectional stress, the change of bending rigidity may be neglected.

④ The effect of rigid joint may be ignored in analyzing Rahmen with a relatively longer span. But when a large haunch is at a joint between the column and the girder, or the member thickness of a column or a girder is quite thick, the effect of rigid joint shall be considered.

⑤ Structural details

A. Main reinforcement of girder, slab and column shall be designed in a way that transmits the sectional force, considering their mutual their placement at the joint.

B. Tie bar of Rahmen column and stirrup at a beam-column joint shall be generally placed as follows.

(a) 0.2% (of gross area of the girder section) or more tie bar shall be provided at the girder to the length of 1.5 times the girder height from the face of the column.

(b) 0.2% (of gross area of the column section) or more tie bar shall be provided at the bottom of the column to the same length as the column width.

(c) 0.25% or more tie bar shall be provided at the top of the column to the length of double the column width.

(d) 0.15% or more tie bar shall be provided at other locations of the column.

마. 또한 구교의 종방향 철근량은 단위폭주변의 인장 주철근량의 1/5 이상으로 하여 구교 종방향으로 계산외의 응력이 발생하는 것을 고려해야 한다.

바. 신축이음매의 간격은 일반적으로 10~15m이며 국부적인 하중이 재하되는 경우나 지반이 불균일한 경우에는 종방향 단면력을 최소로 하는 위치에 두어야 한다.

사. 부재의 접합부 및 그 부근의 주철근은 이음을 두지 않아야 한다.

아. 날개벽은 제방을 보존하고 구교 개구부를 유지하기 위하여 주변지형 및 현황에 부합되는 경사와 길이를 갖도록 설계해야 한다.

(3) 문형라멘 구교

① 토피가 있는 문형라멘 구교는 박스형 구교를 기준으로 해석하되 기둥 및 벽에 대한 토압, 수압 및 지점침하 등은 별도로 검토해야 한다.

② 단면력을 계산할 때의 부재축선은 부재단면의 도심축선에 일치시킨다. 그러나 수직부재와 수평부재의 비가 4 이상인 경우에는 수평부재의 축선변화 영향을 고려하여 단면력을 계산해야 한다.

③ 헌치의 크기가 부재단면에 비해 작고, 단면의 응력계산에서 무시될 수 있는 정도의 크기를 가지는 헌치인 경우에는 휨강성의 변화를 무시해도 좋다.

④ 지간이 비교적 긴 라멘교에서는 강역의 영향을 무시하여 해석해도 좋다. 그러나 기둥과 보의 절점부에 특히 큰 헌치가 있는 경우나 보 또는 기둥의 부재 두께가 매우 큰 경우에는 강역의 영향을 고려하여 해석한다.

⑤ 구조상세

가. 거더 및 슬래브와 기둥의 주철근은 절점부에서 서로 간의 배치를 고려하여 단면력이 확실히 전달되도록 설계해야 한다.

나. 라멘교 기둥의 띠철근 및 중간절점부의 스터럽은 일반적으로 다음과 같이 배치한다.

㉮ 거더에는 기둥전면으로부터 거더높이의 1.5배되는 구간까지 0.2% 이상의 띠철근을 배치해야 한다.

㉯ 기둥하부에는 기둥의 가로치수와 동일한 길이의 구간까지 0.2% 이상의 띠철근을 배치해야 한다.

㉰ 기둥상부에는 기둥의 가로치수와 2배되는 길이의 구간까지 0.25% 이상의 띠철근을 배치해야 한다.

㉱ 기둥의 그 밖의 위치에는 0.15% 이상의 띠철근을 배치해야 한다.

C. At least the half of main reinforcement of the member joined shall be placed outside at a knee joint.

D. When the bottom of the column is fixed, main reinforcement of the column shall extend to the half of footing height from the top of foundation and be anchored with required anchorage length. When construction-wise inevitable, main reinforcement may be extended to the bottom of a footing and anchored with a right-angle hook.

E. Reinforcement shall be placed on the haunch section in addition even though no reinforcement is required in rational analysis.

F. No lap-splice shall be provided on and in the vicinity of a joint.

(4) Arch culvert

① An axial line of arch shall be coincided with the pressure line caused by load, if possible.

② As the axial line of arch is curved, it is necessary to carry out an evaluation of safety against flexural buckling and buckling due to bending and torsion occurring simultaneously in the case of a long-span arch.

③ The axial line of arch shall be the line that connects the sectional centroid of arch rib.

④ Sectional change of arch rib shall be considered in calculating the statically indeterminate force.

⑤ Arch foundation shall be able to resist the horizontal thrust generated from the arch.

⑥ Statically indeterminate force in arch shall be calculated according to the elastic theory.

⑦ Vertical and horizontal load and dry shrinkage shall be taken into account in designing the arch.

⑧ Arch shall be designed considering the shape of arch axial line and the effect of the change in the geometrical moment of inertia on the statically indeterminate force.

⑨ Structural details

A. Reinforced concrete arch shall have reinforcement symmetrical to the top and bottom of the section. Reinforcement shall be at least 600 mm^2 per 1 m of the arch rib width and at least 0.15% of the section area.

B. In reinforced concrete arch, the diameter of stirrups or tie bars, which wrap the longitudinal reinforcement on the top and bottom of the section, shall be at least 6mm, or at least 1/4 of the diameter of longitudinal reinforcement, and the spacing shall be 15 times the diameter of longitudinal reinforcement or less, or below the minimum dimension of arch section.

다. 단절점부에서는 절점부에서 결합하는 부재의 주철근량의 1/2 이상을 외측에 연해서 배치해야 한다.

라. 기둥의 하단이 고정된 경우, 기둥의 주철근은 기초의 상단부터 기초높이의 1/2 되는 곳을 지나 소정의 정착길이로 정착해야 한다. 시공상 부득이한 경우에는 축방향철근을 확대기초 하단까지 연장하여 직각갈고리로 정착시켜야 한다.

마. 헌치에는 계산상 철근이 필요 없는 경우에도 별도로 헌치 단면에 연하여 철근을 배치해야 한다.

바. 부재절점부 및 그 부근에는 주철근의 이음을 두지 않는다.

(4) 아치형 구교

① 아치축선은 가능한 한 하중에 의한 압력선과 일치하도록 한다.

② 아치의 축선은 곡선으로 되어 있기 때문에 경간이 긴 아치의 경우 휨좌굴, 휨 및 비틀림을 동시에 받아 일어나는 좌굴 등에 대한 안전도 검사를 반드시 수행해야 한다.

③ 아치의 축선은 아치리브의 단면도심을 연결하는 선으로 한다.

④ 부정정력을 계산하는데 있어 아치리브의 단면변화를 고려해야 한다.

⑤ 아치의 기초는 아치에서 발생하는 수평력에 저항할 수 있어야 한다.

⑥ 아치에 있어서 부정정력은 탄성이론에 의해 산출해야 한다.

⑦ 아치를 설계하는 경우 연직 및 수평하중과 건조수축 등을 고려해야 한다.

⑧ 아치는 아치축선 형상 및 각 단면의 단면2차모멘트의 변화 등이 부정정력에 미치는 영향을 고려하여 설계해야 한다.

⑨ 구조상세

가. 철근 콘크리트 아치는 아치의 상·하면에 따라서 대칭인 축방향철근을 배치해야 한다. 철근량은 각각 아치리브폭 1m당 600mm^2 이상, 상하면의 철근을 합하여 콘크리트 단면의 0.15% 이상으로 해야 한다.

나. 철근콘크리트 아치에서는 아치 상하면의 축방향철근을 감는 스트럽 또는 띠철근의 지름은 6mm 이상, 또 축방향철근 지름의 1/4 이상으로 하고, 그 간격은 축방향철근 지름의 15배 이하, 아치단면의 최소치수 이하로 배치해야 한다.

5.2 Drainage

The purpose of drainage is to drain water away a trackbed quickly to secure the stability of the trackbed. An analysis of the river basin shall be carried out, and a flood-prevention plan and a drainage plan shall be established, which shall be considered in route location of a railway.

5.2.1 General

Railway drainage is classified into surface drainage, underground drainage and cross drainage, as described in <Fig. 5.2.1> below.

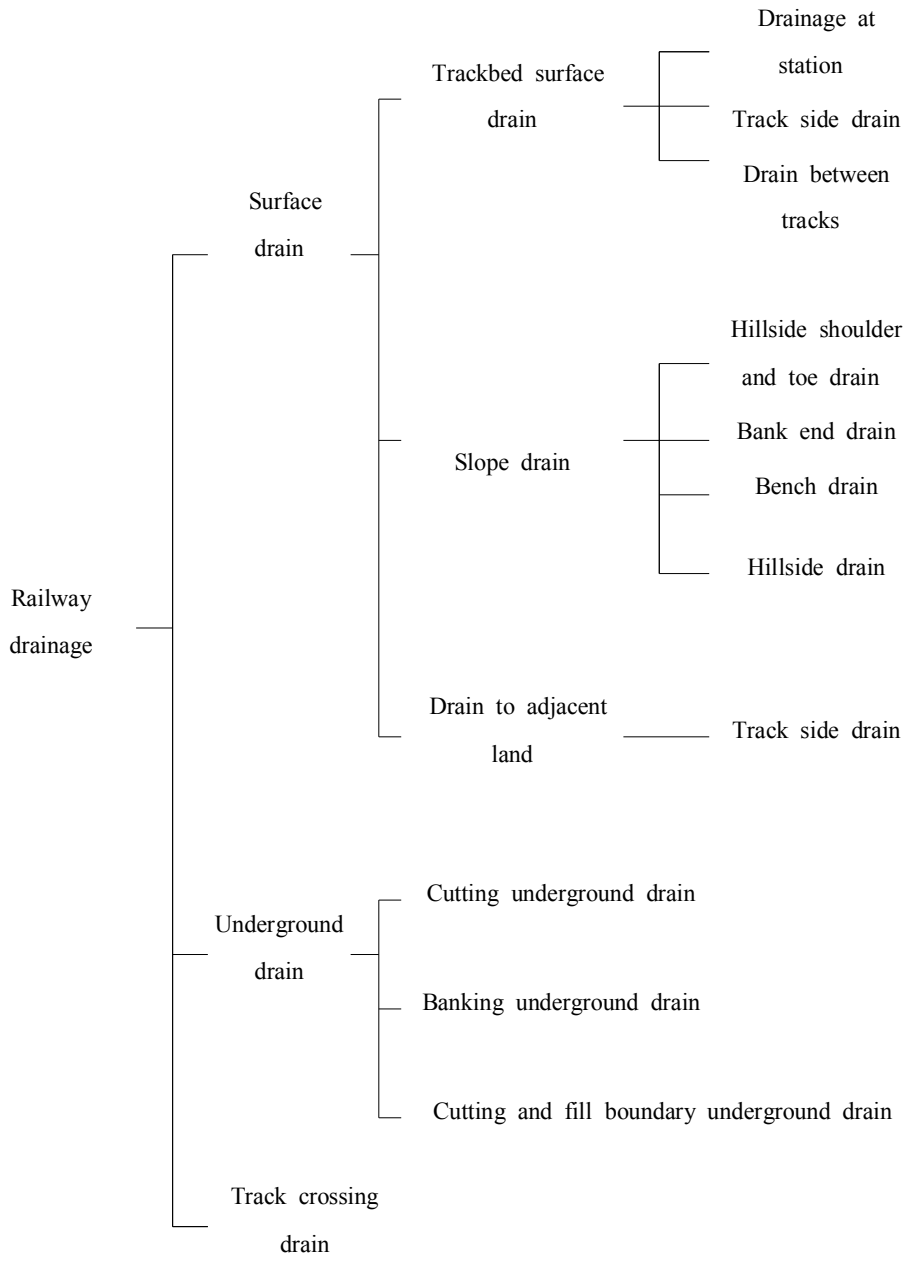


Fig 5.2.1 Classification of railway drainage

5.2 배수시설

배수시설의 계획은 노반과 주변의 물을 신속히 배제하여 철도노반의 안정성을 보장하기 위한 것이다. 하천유역의 종합적인 분석과 홍수로 인한 재해방지대책 및 배수시설계획을 수립해야 하며 철도노선 선정에도 이를 감안해야 한다.

5.2.1 일반사항

철도의 배수시설은 일반적으로 표면배수, 지하배수, 선로횡단배수로 구분하며, 배수시설의 구분 및 명칭은 <그림 5.2.1>과 같다.

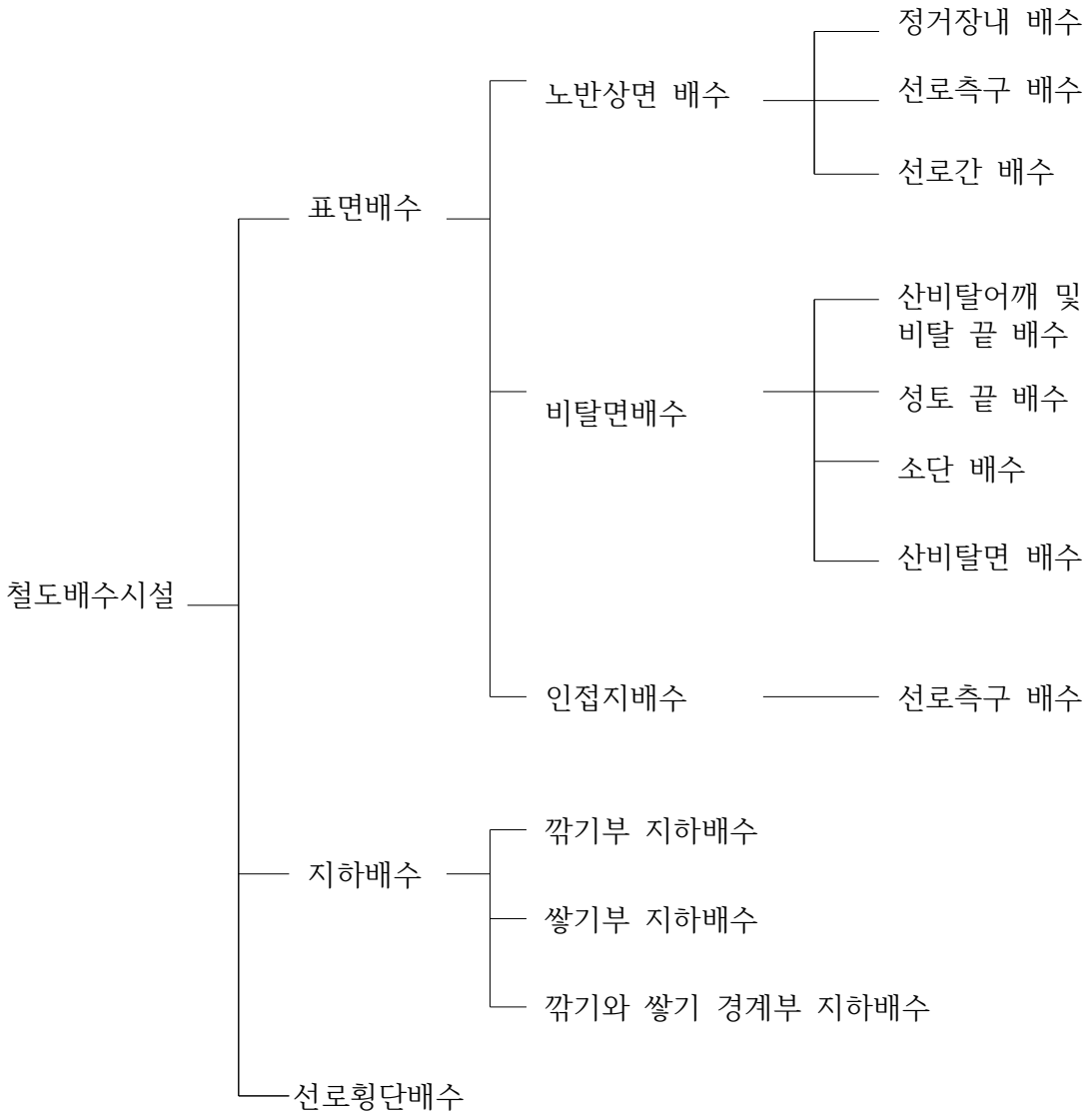


그림 5.2.1 철도배수시설의 구분

(1) Capacity of drainage

① Capacity of a drainage facility shall be varying on its intended function, and for surface drainage, it shall be the sum of runoff by rainfall, snow melting and other sources.

② Taking into account time lags among runoffs from various sources, the peak summation of probable overlapping runoffs shall be adopted as drainage capacity.

(2) Determination of design frequency

① Hydrologic design capacity shall be preferably determined based on the expertise of a hydrologic designer. In particular, to determine the threshold of an extreme hydrologic event or design frequency of various hydraulic structures, it is required to use such an engineering expertise and evaluate potential risk during design period within the service life, and design frequency shall be determined based on economic feasibility analysis and the designer's design and field experience, considering the type of a structure, its importance, and the development level of a flood region. In general, design frequency of a hydraulic structure shall be based on the following.

A. Drainage and discharge channel: 20 years or more

B. Drainage levee and gate (drainage pump): 20 years or more

C. Detention/retention reservoir: 20 years or more

② Hydrologic factors including the importance of structure or urbanization are important in determining the design frequency of a hydraulic structure, but design criteria may be dependent on social and economic factors, and as such it is not desirable to determine the design frequency uniformly, such as 100 years or 200 years.

(3) Design frequency depending on the importance of the river

Table 5.2.1 Design frequency depending on the importance of the river

Importance	Application	Design frequency	Management by	Note
A	Critical section of nation's river	200 years or more	MOLTMA	
B	Nation's river	100 ~ 200 years	MOLTMA	
C	Provincial river	50 ~ 200 years	Metropolitan	
D	Small stream	30 ~ 100 years	Local	

Note) 1. Small rivers according to the Small River Maintenance Act

2. Source: River design criteria (Korea Water Resource Association, 2009)

(1) 배수시설의 용량

① 배수시설의 용량은 배수시설의 기능에 따라 다르며 표면배수의 경우 강우에 의한 유출량, 동절기에 눈 녹은 물로 인한 유량 및 기타의 공급원에 대한 유량의 합계로 한다.

② 유량의 발생 시차가 있는 경우는 중복될 가능성이 있는 유량의 합계 중에서 최대치를 배수용량으로 한다.

(2) 설계빈도의 결정

① 수문학적 설계규모는 수문설계자의 공학적 판단과 경험을 바탕으로 결정하는 것이 바람직하다. 특히 극한 수문사상에 대한 추정 한계치나 대소 수공구조물의 설계빈도를 결정하기 위해서는 이러한 공학적 판단과 함께 내용년한을 초과하지 않는 설계기간에 닥칠 위험도를 평가하고, 치수경제성분석과 설계기술자의 설계 경험이나 현장 경험을 바탕으로 구조물의 종류, 중요도, 홍수지역의 개발정도 등을 감안하여 설계빈도를 결정한다. 일반적으로 주요 수공구조물의 설계빈도는 다음과 같이 기준을 정한다.

가. 배수로 및 방수로 : 20년 이상

나. 배수제 및 배수문(배수펌프): 20년 이상

다. 유수지 및 저류지 : 20년 이상

② 수공구조물의 설계빈도 결정시 구조물의 중요도, 도시화 등 수문학적인 요소가 가장 중요하나, 사회적, 경제적인 요소에 따라 설계기준이 달라질 수 있다. 따라서 특정 수공구조물의 설계빈도를 일률적으로 100년 또는 200년으로 결정하는 것은 바람직하지 못하다.

(3) 하천중요도에 따른 설계빈도

표 5.2.1 하천중요도에 따른 설계빈도

하천중요도	적용하천범위	설계빈도	관리자	비고
A	국가하천의 주요구간	200년 이상	국토해양부	
B	국가하천	100 ~ 200년	국토해양부	
C	지방하천	50 ~ 200년	광역단체	
D	소하천	30 ~ 100년	기초단체	

주) 1. 소하천은 행정자치부의 소하천정비법의 적용을 받는 하천

2. 출처 : 하천설계기준・해설(한국수자원학회, 2009)

(4) Outflow discharge

① Outflow discharge (design flow) or design flood discharge that determines the section of a drainage structure shall be directly calculated based on the frequency analysis when observed outflow data are available; if not, Rational formula shall be used when basin area is less than $4km^2$ or its retention effect is not expected, and a design flood discharge method proposed in the river design standard shall be applied when the area is $4km^2$ or larger.

② Basin area is the sum of trackbed catchment area and rainwater inflow region around the railway, and the area of the rainwater inflow region shall be estimated by finding a watershed on 1/5,000 or 1/25,000 map.

A. Estimate of outflow discharge at a med/large basin (unit hydrograph method)

Estimate of outflow discharge (design flood) at a med/large basin shall be carried out according to the procedure 「(a) ~ (e)」.

(a) Design scale or design frequency is determined as a specific return period or a probable maximum flood, and probable rainfall or probable maximum precipitation for a specific return period is determined as design rainfall. Design rainfall shall be calculated while changing rainfall duration to take the critical duration into account.

(b) After developing a rainfall hyetograph in the form of a time-distribution of design rainfall by duration, loss rainfall shall be separated from the rainfall hyetograph to produce a design rainfall hyetograph.

(c) A flood hydrograph by small basin shall be calculated by applying the design rainfall hyetograph by duration to the unit graph (Snyder, SCS, Nakayasu, Nash, Clark method), considering base-flow.

(d) After estimating flood hydrograph by duration, a flood hydrograph of the entire basin shall be produced by combining channel tracking, reservoir tracking and flood hydrograph.

(e) Final design flood shall be determined by flood hydrograph during critical duration adopted for each flood estimate point. Here, critical duration shall be determined on the condition that the peak flood is maximized for a non-reservoir structure and that required reservoir is maximized for a reservoir structure.

B. Estimate of outflow discharge at small basin area (Rational formula)

For a small basin where no storage effect is expected, a rational equation may be used to estimate the outflow discharge (design flood)

(4) 유출량

① 배수구조물의 단면을 결정하는 유출량(설계유량) 산출, 즉 계획홍수량을 추정하는 방법은 관측유출량 자료가 있는 경우에는 빈도해석을 이용하여 직접 산정하며, 이외의 경우에는 유역면적이 4km^2 미만 이거나 유역 또는 하도의 저류효과를 기대할 수 없는 소규모인 경우 합리식을 적용하고, 4km^2 이상인 중규모인 경우에는 하천설계기준에서 제시한 설계홍수량 산정방법을 사용하여 계획홍수량을 산정한다.

② 유역면적은 노반 집수면적과 철도 인근지대에서 우수가 유입하는 지역의 면적을 합한 것으로 하며 인접지역에서 우수가 유입하는 지역의 면적은 1/5,000 또는 1/25,000 축척의 지형도에서 분수령을 찾아서 구해야 한다.

가. 중・대규모 유역의 유출량 산정(단위도법)

중・대규모 유역의 유출량(설계홍수량) 산정은「㉮~�best」절차로 수행한다.

㉮ 설계대상 규모 또는 계획빈도를 특정 재현기간 또는 최대가능홍수량(Probable Maximum Flood)으로 결정하고, 특정 재현기간의 확률강우량 또는 최대가능강우량(Probable Maximum Precipitation)을 설계강우량으로 결정하게 된다. 설계강우량은 임계지속기간을 고려하기 위하여 강우지속기간을 변화시켜가며 산정해야 한다.

㉯ 강우지속기간별 설계강우량을 시간분포시켜 설계 우량주상도를 작성한 다음, 설계 우량주상도에서 손실우량을 분리하여 설계 우량주상도를 작성한다.

㉰ 강우지속기간별 설계 유효우량주상도를 단위도(Snyder, SCS, Nakayasu, Nash, Clark 방법 등)에 적용하고 여기에 기저유량을 고려하여 소유역별 홍수수문곡선을 산정한다.

㉱ 강우지속기간별로 소유역별 홍수수문곡선이 산정되면 하도추적 및 저수지추적, 홍수수문곡선 합성 등을 통하여 전체 유역의 홍수수문곡선을 산정한다.

㉲ 최종 설계홍수량은 홍수량 산정지점별로 채택된 임계지속기간의 홍수수문곡선으로 결정된다. 여기서, 임계지속기간은 비저류용 구조물에는 첨두홍수량이 최대로 산정되는 조건, 저류용 구조물에는 필요저류량이 최대가 되는 조건으로 결정한다.

나. 소규모 유역의 유출량 산정(합리식)

저류효과를 기대할 수 없는 소유역의 경우 합리식을 적용하여 유출량(계획홍수량)을 산정할 수 있다.

$$Q_d = 0.278 \cdot C \cdot I \cdot A \qquad (5.2.1)$$

Where, Q_d: Outflow discharge(rational), (m^3/sec)

C: Runoff coefficient determined depending on characteristics of basin to rainfall

I: Design rainfall intensity for rainfall duration t (mm/hr)

A: Basin area (km^2)

(a) Rational formula is directly related to rainfall runoff and is applicable to basin areas less than 4.0 km². As it has the deviation of 0.8%, it shall be used as a simple analysis for hydraulic calculation.

(b) A runoff coefficient shall be determined depending on the shape of the basin, surface condition, vegetation, development and rainfall duration, and the values of runoff coefficient (C) considering natural river basin and land use shall be shown in <Table 5.2.2>.

(c) As runoff coefficient is greatly affected by development activities in the basin area, any future development plans shall be taken into account when using it as a design value.

(d) Rainfall intensity I shall be obtained from the rainfall intensity table or the probable rainfall intensity equation, and a rational equation shall be based on the assumption that uniform rainfall occurs throughout the territory.

(e) Basin area A shall be directly calculated by topographic survey, and after obtaining rainfall duration, rainfall intensity shall be calculated using rainfall intensity – duration – frequency curve.

(5) Surface drainage

① Surface drainage shall be designed to quickly drain rainwater, snow or ice melting water on or around the trackbed to maintain the stability of the trackbed.

② Surface drainage shall be determined considering the safety of the trackbed and structure, and the importance and cost-efficiency of drainage.

(6) Underground drainage

① Underground drainage is greatly dependent on climatic, topographic and soil condition, groundwater level and slope, and thus shall be designed considering these factors.

② Permeability coefficient of a drainage layer shall be determined through the field permeability test, but when use of the test is impossible, the values in <Table 5.2.3> shall be referred to.

$$Q_d = 0.278 \cdot C \cdot I \cdot A \qquad (5.2.1)$$

여기서, Q_d : 유출량(합리식), (m^3/sec)

C : 강우에 대하여 배수유역의 특성에 따라 결정되는 유출계수

I : 강우지속시간이 t인 설계강우강도(mm/hr)

A : 유역면적(km^2)

㉮ 합리식은 강우유출과 직접 연관을 가지며, 유역면적이 4.0km^2 이내일 때 적용하며 해석적인 면에서 0.8% 이내의 오차가 있으므로 모든 수문계산시 간이해석으로 사용해야 한다.

㉯ 유출계수는 유역의 형상, 지표면 피복상태, 식생 피복상태 및 개발상황, 강우지속시간 등을 감안하여 결정하나, 자연하천 유역 및 토지이용에 따른 유출계수(C)에 대한 값은 <표 5.2.2>와 같다.

㉰ 유출계수는 유역의 개발로 인하여 큰 변화를 받는 일이 많으므로 계획치로 적용하는 유출계수는 장래 예상되는 개발계획 등을 고려해야 한다.

㉱ 강우강도 I는 강우강도표 또는 확률 강우강도식으로 부터 구하고, 합리식에서는 전 지역에 균일한 우수가 발생하는 것으로 해야 한다.

㉲ 유역면적 A는 지형작업을 통해 직접 산출하며 우수가 발생하는 지역에서 강우지속시간이 구해지면 강우강도-지속시간-빈도곡선을 이용하여 강우강도를 구해야 한다.

(5) 표면배수량

① 표면배수는 노반의 안정을 위하여 노반이나 부근에 내린 우수나 눈 또는 얼음의 녹은 물을 신속히 배수해야 한다.

② 표면배수량은 노반기능의 안전성과 구조물의 안전성, 배수시설의 중요성 및 경제성에 의해 결정되어야 한다.

(6) 지하배수량

① 지하배수량은 기상, 지형, 토질, 지하수위와 경사 등에 따라 크게 달라지므로 이들의 조건을 고려하여 설계해야 한다.

② 배수층의 투수계수는 현장 투수시험을 실시하여 결정해야 하나 시험을 할 수 없을 때는 <표 5.2.3>의 값을 참고하여 적용할 수 있다.

Table 5.2.2 Range of runoff coefficient in rational equation depending on land use[*1] (Ponce, 1989)

Land use		Basic runoff coefficient C	Land use				Basic runoff coefficient C
Commercial	downtown	0.70-0.95	Road and sidewalk				0.75-0.85
	neighborhood	0.50-0.70	roof				0.75-0.95
Residential	Single house[*2]	0.30-0.50	Grass	Sandy soil	flatland		0.05-0.10
	House compound	0.40-0.60			average slope		0.10-0.15
	Row house compound	0.60-0.75					0.15-0.20
	Suburban	0.25-0.40		Heavy earth	flatland		0.13-0.17
	apartment	0.50-0.70			average slope		0.18-0.22
							0.25-0.35
Industrial	Scattered	0.50-0.80	Farm land	Bare ground	flatland rough land		0.30-0.60
	concentrated	0.60-0.90					0.20-0.50
Park, graveyard		0.10-0.25		Farm land	Sandy soil	crop	0.30-0.60
Playground		0.20-0.35				No crop	0.20-0.50
Railway		0.20-0.40			Clay soil	crop	0.20-0.40
Undeveloped		0.10-0.30				No crop	0.10-0.25
Road	asphalt	0.70-0.95			Irrigated		0.70-0.80
	concrete	0.80-0.95		Grass land	Sandy soil		0.15-0.45
	brick	0.70-0.85			Clay soil		0.05-0.25
			Mountain[*3]	Steep slope			0.40-0.80
				Gentle slope			0.30-0.70

*1 Runoff coefficient is applied to return periods of 5-10 years, and thus for a longer return period, correction graphs including Ponce (1989, Engineering Hydrology) shall be used.

*2 For a single-family house, the conditions between USA and Korea are different, so runoff coefficient shall be determined considering the difference.

*3 Runoff coefficient in a mountainous area shall be determined considering site conditions, with a larger runoff coefficient used in the area with a small basin area and a smaller runoff coefficient in the area with a large basin area in order to prevent underestimation or overestimation of flooding.

표 5.2.2 토지이용도에 따른 합리식의 유출계수 범위*1(Ponce, 1989)

<table>
<tr><th colspan="2">토지이용</th><th>기본유출계수
C</th><th colspan="4">토지이용</th><th>기본유출계수
C</th></tr>
<tr><td rowspan="2">상업지역</td><td>도심지역</td><td>0.70-0.95</td><td colspan="4">차도 및 보도</td><td>0.75-0.85</td></tr>
<tr><td>근린지역</td><td>0.50-0.70</td><td colspan="4">지붕</td><td>0.75-0.95</td></tr>
<tr><td rowspan="2">주거지역</td><td rowspan="2">단독주택*2
독립주택단지
연립주택단지
교외지역
아파트</td><td rowspan="2">0.30-0.50
0.40-0.60
0.60-0.75
0.25-0.40
0.50-0.70</td><td rowspan="2">잔디</td><td rowspan="2">사질토</td><td>평탄지
평균
경사지</td><td>0.05-0.10
0.10-0.15
0.15-0.20</td></tr>
<tr><td>평탄지
평균
경사지</td><td>0.13-0.17
0.18-0.22
0.25-0.35</td></tr>
<tr><td>산업지역</td><td>산재지역
밀집지역</td><td>0.50-0.80
0.60-0.90</td><td rowspan="8">농경지</td><td>나지</td><td>평탄한 곳
거친곳</td><td>0.30-0.60
0.20-0.50</td></tr>
<tr><td colspan="2">공원, 묘역</td><td>0.10-0.25</td><td rowspan="5">경작지</td><td rowspan="2">사질토</td><td>작물 있음</td><td>0.30-0.60</td></tr>
<tr><td colspan="2">운동장</td><td>0.20-0.35</td><td>작물 없음</td><td>0.20-0.50</td></tr>
<tr><td colspan="2">철로</td><td>0.20-0.40</td><td rowspan="2">점토</td><td>작물 있음</td><td>0.20-0.40</td></tr>
<tr><td colspan="2">미개발지역</td><td>0.10-0.30</td><td>작물 없음</td><td>0.10-0.25</td></tr>
<tr><td rowspan="3">도로</td><td rowspan="3">아스팔트
콘크리트
벽돌</td><td rowspan="3">0.70-0.95
0.80-0.95
0.70-0.85</td><td colspan="2">관개 중인 답</td><td>0.70-0.80</td></tr>
<tr><td rowspan="2">초지</td><td colspan="2">사질토</td><td>0.15-0.45</td></tr>
<tr><td rowspan="2">산지*3</td><td colspan="2">점토</td><td>0.05-0.25</td></tr>
<tr><td colspan="3">급경사 산지</td><td>0.40-0.80</td></tr>
<tr><td colspan="3">완경사 산지</td><td>0.30-0.70</td></tr>
</table>

*1 유출계수는 재현기간 5-10년에 적용되므로 재현기간이 이보다 길 경우
Ponce(1989, Engineering Hydrology) 등의 보정그래프를 활용토록 한다.

*2 단독주택인 경우 미국의 주거사항과 한국의 주거사항이 같지 않으므로 유출 계수 추정시 주의를 요한다.

*3 산지의 경우 유출계수 추정시 현장조건을 감안한 판단이 필요하며, 유역면 적이 작은 지역에서는 비교적 큰 유출계수를 사용하고 유역면적이 큰 지역에서는 비교적 적은 유출계수를 사용하여 홍수량이 과소 또는 과다 추정되지 않도록 유의한다.

Table 5.2.3 Permeability coefficient of typical soil (Terzaghi & Peck)

Typical soil	Permeability coefficient (mm/sec)	Permeability
Soil mixed with gravel,	1 or more	High permeability average
sand, fine sand,	1×10-2	permeability
sandy loam,	1×10-2 ~ 1×10-4	Low permeability
silt	1×10-4 ~ 1×10-6	Very low permeability
clay soil	1×10-6 or less	Impermeability

(7) Location and direction of drainage culvert

① Location and direction of a culvert shall be designed for smooth flow without interrupting the flow.

② When a large cut slope or fill slope occurs due to geographic conditions, a railway drainage in a mountainous area shall be designed to prevent soil/rock debris and buoyant objects from flowing into the drainage during rainfall, considering the surrounding geographic condition and soil.

③ Installing at a right angle to the river bank or railway may reduce cost but can cause scouring, flow detention or sedimentation due to the change of flow, and thus shall be avoided if possible.

(8) Hydraulic design of drainage culvert

① The section and slope of a track-crossing drainage shall be designed to safely drain water while the design flow does not exceed the upstream level of the facilities, considering economic feasibility.

② Hydraulic design of drainage shall consider design drainage discharge, allowable upstream depth and downstream depth of culvert.

③ The capacity of a track-crossing drainage in a mountain area shall be determined considering the inflow of soil debris or buoyant objects.

④ Considerations in design shall include optimal size of a culvert section, slope of a culvert, shape of inlet and energy dissipator of outlet.

⑤ Flow condition inside the culvert that meets the design requirements shall be optimized repeating trial calculations in an economic consideration.

5.2.2 Hydraulic and hydrologic investigation and analysis

Precipitation includes rainfall and snowfall, and for Korea, maximum runoff discharge is mostly dependent on rainfall, and thus the railway drainage-based discharge is based on rainfall.

표 5.2.3 대표적인 흙의 투수계수의 값(Terzaghi & Peck)

대표적인 흙	투수계수(mm/sec)	투수성
자갈이 섞인 흙	1 이상	투수성이 상당히 큼
모래, 세립모래	1×10^{-2}	투수성이 중간
모래질 롬(Loam)	$1\times10^{-2} \sim 1\times10^{-4}$	투수성이 작음
실트	$1\times10^{-4} \sim 1\times10^{-6}$	투수성이 상당히 낮음
점토	1×10^{-6} 이하	불투수성

(7) 배수구교의 위치 및 방향

① 구교의 위치 및 방향은 통수의 원활을 기하고 물흐름의 장해가 되지 않도록 해야 한다.

② 산악지 철도 배수시설 계획은 지형적인 여건으로 인하여, 대규모 깎기 비탈면이나 대규모 쌓기 비탈면 등이 발생되므로, 주변의 지형적인 요소와 토질상태 등을 고려하여 강우시 배수시설물로 유입되는 토석류 및 유송잡물 등이 배수시설물에 영향을 미치지 않도록 계획한다.

③ 하천 제방과 철도 등에 직각방향으로 설치하면 공사비는 적게 들지만 흐름이 변경되어 세굴, 체수, 침전을 일으키는 원인이 되므로 피하도록 한다.

(8) 배수구교의 수리설계

① 선로횡단 배수시설은 수문분석에 의한 계획홍수량을 시설물 상류부의 수위 보다 과다하게 상승시키지 않은 상태에서 안전하게 하류로 소통시킬 수 있는 가장 경제적인 단면과 매설경사를 결정한다.

② 배수시설의 수리설계는 수문분석으로 결정되는 계획배수량과 허용 상류수심, 암거하류부의 수심 값이다.

③ 산악지에 설치되는 횡단배수시설은 토석류 또는 유송잡물의 유입을 고려하여 그 용량을 결정한다.

④ 설계에서 결정해야 할 사항은 구교단면의 최적 크기, 암거의 경사, 유입부의 모양 선택 및 암거 출구부 감쇄공 등이다.

⑤ 설계조건을 만족시키는 구교 내의 흐름조건은 경제적인 조건에 맞도록 시산법에 의해서 설계해야 한다.

5.2.2 수리·수문조사 및 분석

강수는 강우와 강설을 포함하고 있으며, 우리나라의 경우 최고 유출량에 영향을 주는 것은 강우가 지배적이므로 철도배수시설 기준의 유출량은 강우를 대상으로 한다.

(1) Investigation and analysis

In the drainage plan, drainage basin, characteristics of river, floodplain and hydraulic data are important data in determining the drainage.

① Drainage basin

As the size of the basin area is in proportion to the runoff discharge, catchment area is an important factor in determining the capacity of the drainage. Catchment area is determined using the topographic map issued by National Geographic Information Institute as well as site survey. The slope and section of a channel in the drainage basin are the data used to establish a drainage plan. Data on land use could be obtained from the site survey and the development plan of the local and central government, while geological and soil data could be obtained from the geological map, surface investigation and boring.

② Characteristics of the river

Surface water and underground water flow through the river. As changes in the natural river and channel have an effect on runoff discharge and rate, they shall be reviewed when planning a railway and drainage.

③ Floodplain

A floodplain is an area where a channel is not maintained, and it may have more effect on the railway drainage plan, rather than the river or channel. In Korea, where land is mostly mountainous, ravines along a ridge or farmland in the valley are major flood plains. The possibility of flooding can be estimated using the ratio of floodplain depth to width. Generally, the larger the ratio of depth to width the greater the flow variation, and the higher the roughness coefficient and the effect on vegetation that result in a larger change in runoff discharge. It is necessary to identify the flow direction in the floodplain and analyze runoff discharge before establishing a railway drainage plan.

④ Hydraulic data

Floods before records on flooding were kept are called historic floods, and data on these are obtained through accounts in old newspapers or interviews with the residents, or the high-level trace inlaid on the wall or tree. The records on floods could be obtained from the management data on the existing railway, road and public facilities, and the following data is directly helpful in developing a drainage plan.

A. Highest flood water level
B. Drainage structure and difference in water level at upstream and downstream
C. Records of past floods
D. Flood duration and scale
E. Scouring, erosion and sedimentation at a flooded area

(1) 조사 및 분석

배수계획에서 배수유역, 하천의 특성, 범람원, 수문자료 등은 배수시설을 결정하는 데 중요한 자료가 된다.

① 배수유역

지리적 특성이 같은 지역에서 유역의 규모는 유출량에 비례하므로 유역의 규모를 결정하는 것은 배수시설의 규모를 결정하는 주요 요인이다. 유역의 규모는 국토정보지리원에서 발간되는 지형도와 현장조사를 통해 결정한다. 배수유역 내 수로의 경사와 단면은 배수계획을 수립하는 자료가 된다. 토지이용에 대한 조사는 현장조사를 통한 현재시점의 조사와 해당 지자체와 중앙정부의 지역개발계획 등을 수집, 조사하고 유출량에 영향을 주는 지질과 토질에 대한 자료는 지질도, 현장 지표조사 및 시추조사 등을 통하여 얻을 수 있다.

② 하천의 특성

지표수와 지하수의 유출은 하천을 통해 흘러 나간다. 자연하천과 수로의 변동사항은 유출량과 유출률에 영향을 미치므로 철도계획 및 배수계획시 검토해야 한다.

③ 범람원

범람원은 수로가 정비되어 있지 않은 지역으로 철도의 배수계획 시 하천이나 수로보다 더 많은 영향을 줄 수 있다. 산지가 많은 우리나라의 경우, 능선부에 위치한 작은 골이나 계곡부의 농경지는 중요한 범람원이다. 범람유출의 발생가능성은 범람원의 폭에 대한 깊이의 비로부터 예측할 수 있다. 일반적으로 폭/깊이의 비가 클수록 유속의 변화가 크고, 조도계수 및 식생변화에 영향이 커져 유출량의 변화가 크게 된다. 현장조사를 통해 범람원의 유로방향을 찾고 유출량을 분석하여 철도 배수계획을 수립한다.

④ 수문자료

기록 이전의 홍수발생을 역사적 홍수라 하는데 이러한 과거의 자료는 오래된 신문, 지역주민의 증언을 통해 얻거나 또는 담벽이나 나무에 새겨진 고수위 흔적조사를 통해 얻을 수 있다. 기존 철도, 도로 및 기타 공공시설물의 관리자료에서 홍수에 대한 기록을 찾을 수 있으며 다음 사항에 대한 자료는 배수계획에 직접적인 도움이 된다.

가. 홍수의 최고 수위
나. 배수구조물 및 하천 상·하류의 수위차
다. 과거 홍수발생기록
라. 홍수발생의 지속기간 및 발생규모
마. 침수지역의 세굴, 침식 및 침전 정도

F. Head of the culvert

G. Information on freeboard

H. Bridge span

I. Minimum working space

J. Other data having an effect on floods

(2) Considerations in drainage plan

Drainage plan shall take into account the site condition, topographic features, erosion and sedimentation, channel change and effect by water on slope.

① Basin and topography

It is important to consider the basin status and topographic features in railway construction. When the trackbed is located at a place with the possibility of flooding, a measure to prevent disaster and drainage plan shall be established. For lowland, the effect of water damage shall be considered to prevent the trackbed from being flooded. For a mountainous area, water flow function of drainage facilities shall be maintained to secure the trackbed safely.

② Erosion and sedimentation

Railway construction may lead to land disturbance and rapid erosion, resulting in the increase of erosion. Loose soil particles resulting from erosion are transported by water and settle when the flow velocity is reduced in a channel. Sedimentation in the channel may cause a reduction in the flow capacity and increased maintenance cost for removing the sedimentation; thus, it is required to establish a plan for erosion and sedimentation.

A. Prevention of erosion and sedimentation in railway plan

A route location shall be established to minimize environmental and economic loss due to erosion and sedimentation.

(a) River-crossing shall avoid the curved section, but be at a right angle to the flow direction.

(b) River-crossing shall be minimized, and when changing a channel, a measure against erosion and sedimentation shall be developed.

(c) Highly erosive, clayey or alluvial ground shall be avoided.

(d) A surface water collection system in preparation for sedimentation shall be planned for ease of maintenance.

B. Prevention of erosion and sedimentation in detailed design

Detailed design shall be made to minimize erosion and sedimentation.

(a) A minimum longitudinal slope shall be determined in the route plan to prevent sedimentation.

(b) Cut and fill height shall be minimized, and vegetation cover and ditch on bench shall be provided at the slope.

바. 암거의 수두

사. 여유고에 대한 정보

아. 교량의 경간장

자. 최소한의 공사공간 확보

차. 기타 홍수에 영향을 주는 자료

(2) 배수시설 계획시 고려사항

배수시설 계획시에는 현장상황 및 지형, 침식과 침전, 수로변경, 비탈면에 미치는 물의 영향 등을 고려해야 한다.

① 유역현황 및 지형

철도건설공사에서 유역의 현황과 지형의 특성을 고려한 배수계획은 매우 중요하다. 철도노반의 침수가능성이 있는 지역에 위치하는 경우 침수로 인한 재해방지대책 및 배수시설계획을 수립해야하며, 저지대의 경우 내수피해에 대한 영향을 고려하고 노반이 침수되지 않도록 별도의 검토가 이루어져야한다. 또한, 산지에서는 배수시설의 통수능을 확보하여 노반이 유실되지 않도록 계획되어야 한다.

② 침식과 침전

철도건설공사에 따라 토지가 교란되고 침식이 가속화되어 침식량이 증가할 수 있다. 침식으로 토립자가 물에 의해 운반되며, 수로에서 유속이 감소되면 운반능력이 감소하여 토립자가 침전된다. 수로에서 침전이 발생하면 배수용량이 줄어 배수에 문제가 발생하고 침전물 제거를 위한 유지관리비용이 증가하므로 침식과 침전에 대한 대책 수립이 필요하다.

가. 철도계획 단계시 침식과 침전방지

철도의 노선선정 단계에서 침식과 침전으로 인한 환경적, 경제적 손실이 최소화 할 수 있도록 계획한다.

㉮ 하천횡단시 곡류부를 피하고 유수방향과 직각으로 횡단하도록 한다.

㉯ 하천횡단을 최소화하고 수로변경시 침식과 침전에 대한 대책을 수립한다.

㉰ 침식성이 강한 지반활동지역, 황토, 충적토 지역은 피한다.

㉱ 침전에 대비하여 표면수의 집수시설은 유지관리가 용이하도록 계획한다.

나. 세부설계시 침식과 침전방지

세부설계에서는 침식과 침전발생이 최소화되도록 해야 한다.

㉮ 선형결정시 침전이 발생하지 않도록 최소종단경사를 결정한다.

㉯ 깎기, 쌓기부의 높이를 최소화하고 경사면에는 식생피복과 소단배수로를 설치한다.

(c) It shall be designed with a cover or a concrete channel at a high flow velocity or a sharp curve.
(d) Drainage shall be arranged to avoid the concentrated runoff.
(e) Speed reducing facilities, riprap or scouring prevention shall be provided at the pipe outlet, and be designed to enable the easy removal of settled soil.
(f) A pipe raceway shall be provided at a slope with erosive soil condition.
(g) The raceway on a slope equipped with bench shall have a water flow-prevention cover.

C. Erosion and sedimentation prevention during construction

Erosion and sedimentation during construction may cause environmental damage or civil complaints, and have an impact on construction safety, schedule and earthwork balance, thus requiring careful attention.

(a) Work schedule shall be planned considering the potential for rainfall during construction.
(b) Drainage shall be carried out in parallel with earthwork.
(c) Clearing and gruffing area shall be minimized and a temporary measure against erosion due to rainfall shall be taken.
(d) Fill and cut slope shall be protected with a non-woven fabric or chaff
(e) A floodway or sedimentation basin shall be provided to prevent the slope from being washed out.
(f) Waste material shall not be abandoned on the riverbed when excavating the riverbed for a river-crossing structure.

D. Change of channel

The functions of a natural channel are very diverse, and its environmental and ecological functions shall be protected. Then, when changing the channel due to conflict between the channel shape and the railway alignment, 「(a), (b), (c)」 shall be taken into account on the condition that the natural channel and the railway are compatible.

(a) It is not effective to change a channel for a short distance to increase the capacity. When there is a possibility of water level and flow change, flow control at downstream shall be carried out to increase the channel capacity.
(b) For a bridge that crosses the unmanaged river channel, an open channel (discharge area) may be expanded; this, however, has no effect on the water level and flow of the river. However, the backflow of flood water level can be reduced by expanding or increasing the channel opening under the bridge. In this case, it may return to a natural channel because of sedimentation, if maintenance is not provided on a regular basis.

㉰ 유속이 빠르거나 급변하는 수로는 피복을 하거나 콘크리트 수로를 계획한다.
㉱ 유수의 집중을 피할 수 있도록 배수시설을 배치한다.
㉲ 관로의 유출부는 유속을 검토하여 감속시설, 잡석깔기 및 세굴방지시설을 계획하고 침전토사의 청소가 용이한 형태로 계획한다.
㉳ 침식성의 토질조건의 경사면에는 파이프 도수로를 계획한다.
㉴ 소단이 설치된 경사면의 도수로는 도수방지용 덮개를 설치한다.

다. 공사중 침식과 침전방지

공사중 발생하는 침식과 침전은 자연환경훼손, 민원 등의 문제를 야기시킬 수 있으며 공사안전, 공사기간, 토공의 균형에 영향을 미치므로 세심한 대책이 필요하다.

㉮ 공사기간동안의 강우 발생을 고려하여 공사일정을 계획한다.
㉯ 토공작업과 병행하여 배수시설물 공사를 시행한다.
㉰ 벌개제근 지역을 최소화하고, 강우시를 대비한 일시적 침식방지 작업을 수행한다.
㉱ 쌓기부 및 깎기부의 비탈은 식생이 정착될 때까지 부직포, 볏짚 등으로 보호한다.
㉲ 공사장에서 발생하는 토사의 유출을 방지하기 위하여 방수로와 침사수조를 설치한다.
㉳ 하천횡단 구조물로 인한 하상 굴착시 폐자재가 하상에 버려지지 않도록 한다.

라. 수로의 변경

자연수로에 대한 순기능은 매우 다양하며 특히, 환경적, 생태학적 측면의 기능은 보호되어야 한다. 그러나 수로의 형상과 철도 선형조건의 상충으로 수로변경을 고려하는 경우에는 자연수로와 철도의 양립성이 전제되어야 하며「㉮, ㉯, ㉰항」을 고려한다.

㉮ 수로용량을 증가시키기 위한 짧은 구간의 수로변경은 효과적이지 못하다. 수위와 유량 변화의 가능성이 있는 경우에 수로용량을 증가시키기 위해서는 하류의 유량조절 작업을 시행해야 한다.
㉯ 정비되지 않은 하천수로를 횡단하는 교량은 수로개구부(수로의 통수단면)를 확폭시킬 수 있으나, 이는 하천의 수위-유량 관계에 영향을 미치지 못한다. 그러나 교량하부의 수로개구부를 확폭 또는 증가시켜 홍수수위의 역류발생을 감소시킬 수 있다. 이 경우 정기적인 유지관리가 없으면 퇴적현상으로 인해 자연수로의 형태로 되돌아간다.

(c) It is possible to make an effective channel alignment by changing the alignment at a certain environment condition. It is difficult to standardize general criteria for changing the channel alignment, but it is necessary to review the radius of a curved section, degree of curvature and channel slope.

E. Natural flow

Water discharge shall not be interrupted by trackbed, sediment, channel changing or other railway structures. Drainage for trackbed surface, slope and neighboring lands shall be designed so as not to reduce its function due to sediment or trees. The culvert shall be distanced from the ground surface to avoid the pressure created by the roots of trees.

F. Water guided to the drain

Railway drainage shall be designed to only dispose of rainwater including surface water and non-absorption water in soil, and sewage such as commercial or industrial wastewater shall not pass through the drainage. The water discharged from the railway drainage shall return to natural flow. Infiltrated water near the drainage shall be priorly considered, rather than water collected in the drain.

G. Determination of drainage system

When it is inevitably necessary to change the channel due to railway facilities, alignment shall be determined to maintain natural flow and shall be designed to avoid erosion or sediment in the channel at upstream and downstream.

(a) Longitudinal gradient of channel ≥ 0.3%

(b) Lateral gradient of earthen trackbed = 3%

(c) At a flatland, formation level shall be at least 0.5 m higher than the surrounding level.

(3) Design rainfall intensity

Rainfall intensity refers to the maximum rainfall intensity that may occur at a certain probability during the same rainfall period as the time of rainfall concentration in the basin, and is determined according to the frequency analysis of annual maximum or annual exceedance series by return period and expressed in various forms of rainfall intensity equations. Relations between rainfall intensity, duration, and return period shall be based on probable point rainfall and probable rainfall presented in 「1999 Report on Water Resource Management Technology Development Research (2000. 6., MOLTMA) Book 1, Probable Rainfall in Korea」, or the probable rainfall intensity equation used for the recent regional river improvement plan.

(4) Design discharge area

Drainage shall be designed to have a discharge area to pass the design flood.

㉰ 일부 환경조건에서 수로선형을 변경하여 개수로 형태의 효율적인 유로선형을 만들 수 있다. 수로선형 변경을 위한 일반기준을 공식화하기는 어렵지만 만곡부의 반경, 만곡 정도, 수로경사 등에 대한 검토가 필요하다.

마. 자유로운 물의 흐름

물의 유출은 철도노반, 퇴적물, 수로의 변형 또는 기타 철도시설물에 의해 방해되어서는 안 된다. 노반배수시설인 노반상면, 비탈면, 인접지 등의 배수시설은 퇴적물, 수목 등에 의해 기능이 저하되지 않도록 한다. 암거는 수목의 뿌리에 의해 추가로 압박을 받지 않도록 지면으로부터 거리를 두고 설치한다.

바. 배수로에 유도되는 물

철도선로의 배수시설은 표면수 및 흙속의 비흡착수 등의 우수만 처리하고 가정이나 영업 및 산업폐수와 같은 오수를 유입시켜서는 안 된다. 철도선로의 배수시설로부터 유출되는 물은 자연적인 흐름으로 되돌려 주어야 한다. 집수되어 배수로에 의해 유도되는 물보다 배수시설 인접의 침투수를 우선적으로 고려해야 한다.

사. 배수시설의 설정

철도시설로 수로의 변경이 불가피한 경우 자유로운 물의 흐름이 이루어지도록 선형을 결정하고 상·하류 수로에 침식과 침전이 발생하지 않도록 계획한다.

㉮ 수로의 종단기울기 ≥ 0.3%

㉯ 토공 노반의 횡단기울기 = 3%

㉰ 평평한 지역에서는 시공기면이 주변보다 최소한 0.5m 이상 높게 쌓기를 한다.

(3) 설계강우강도

강우강도는 유역의 강우도달시간과 동일한 강우 지속기간 동안에 특정 발생확률로 내릴 수 있는 최대 강우강도로서 단시간 호우로부터 작성된 지속기간별 연최대치 또는 연초과치 계열의 빈도 해석에 의해 강우 재현기간별로 결정되며 여러 가지 형태의 강우강도식으로 표시될 수 있다. 강우강도-지속기간-재현기간 관계는「1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서(2000. 6., 국토해양부) 제1권 한국확률강우량도의 작성」에서 제시된 지점 확률강우량 및 확률강우량도나 그 지역에서 산정되어 최근 적용된 하천기본계획 등에서 사용되는 확률강우강도식을 참고하여 사용한다.

(4) 설계 통수단면

배수 시설물은 설계 홍수량을 통과시킬 수 있는 통수단면이 확보되도록 설계해야 한다.

① Discharge flow rate

This shall be calculated by multiplying mean flow velocity by discharge area as shown in <Eq. (5.2.2)>.

$$Q = V \cdot A \qquad (5.2.2)$$

where, Q: discharge flow ($m^3/\sec$)

A: discharge area (m^2)

V: mean flow velocity ($m/\sec$)

② Design discharge capacity

Design discharge capacity shall be estimated depending on the installation location and type of culvert considering the reduction in sectional area due to sediment including soil as well as maintenance efficiency.

A. Drain pipe and waterway culvert (box type)

(a) Generally, 80% of maximum capacity

(b) Gradient 0.2% or less or flow velocity 0.6 m/sec or less: 70% of maximum capacity

(c) Farmland, residential area or downtown: 70% of maximum capacity

B. Drain pipe between tracks, track-crossing drain: 70% of maximum capacity

C. Track-side drain of trackbed drainage, toe drain of slope drainage, raceway and other facilities

(a) Generally, 80% of maximum discharge capacity

(b) Gradient 0.2% or less, or flow velocity 0.6 m/sec or less: 70% of maximum capacity

(c) Farmland, residential area or downtown: 70% of maximum capacity

D. Flood water level of drainage shall be designed to drain the flood while the head water level at the upper end of a structure is not raised excessively, and flood water level shall be estimated using a river hydraulic analysis program, if possible.

5.2.3 Drainage on cut and bank section

(1) Drainage system

① Drainage works shall be planned and designed to achieve a balance throughout the entire drainage system considering drainage area on cut and fill section, surface shape, surrounding topography, groundwater and weather condition.

② The aim of drainage is to prevent mud-pumping, deterioration and erosion on the slope surface and slope sliding, and maintain the strength of reinforced trackbed and natural ground. A separate measure shall be taken against ground behavior and collapse of soil and rock.

① 통수유량

통수유량은 평균유속과 통수단면적의 곱으로 <식 (5.2.2)>와 같다.

$$Q = V \cdot A \quad (5.2.2)$$

여기서, Q는 통수유량($m^3/\sec$)

A는 통수단면적(m^2)

V는 평균유속($m/\sec$)이다.

② 설계통수량

토사 등의 퇴적에 의한 단면축소와 유지관리의 효율성을 고려하여 설치 위치 및 종류에 따라 설계통수량을 산정한다.

가. 배수관 및 수로암거(박스형)

㉮ 일반적인 경우 : 최대통수량의 80%

㉯ 현장여건상 경사 0.2% 이하 또는 유속 0.6m/sec 이하 : 최대통수량의 70%

㉰ 경지 정리된 논경작지, 거주지, 도심지 등 : 최대통수량의 70%

나. 선로간 배수관, 선로 횡단배수관 : 최대통수량의 75%

다. 노반상면 배수의 선로 측구, 비탈면 배수의 비탈끝 배수, 도수로 및 기타시설

㉮ 일반적인 경우 : 최대통수량의 80%

㉯ 현장여건상 경사 0.2% 이하 또는 유속 0.6m/sec 이하 : 최대통수량의 70%

㉰ 경지 정리된 논경작지, 거주지, 도심지 등 : 최대통수량의 70%

라. 배수시설의 홍수위는 구조물 상부의 수위를 과다하게 상승시키지 않는 상태에서 홍수량을 하류로 배제할 수 있도록 계획하고 홍수위산정은 가급적 하천수리 분석 프로그램을 사용한다.

5.2.3 쌓기부 및 깎기부 배수시설

(1) 배수계통

① 배수공의 계획 및 설계는 쌓기지역 및 깎기지역 주변의 배수면적, 표면형상, 주위의 지형, 지하수의 상황, 기상조건 등을 감안하여 배수계 전체에 대해서 균형이 이루어질 수 있도록 해야 한다.

② 배수공의 목적은 분니방지, 강화노반과 원지반의 강도확보 및 열화방지, 그리고 비탈면 등 비탈면표층의 침식 및 활동방지 등이다. 이 범위에 들어가지 않는 지반활동, 토석류 등의 대규모 붕괴에 대해서는 별도 대책을 고려해야 한다.

③ Drainage system shall be designed based on the drainage system diagram indicating catchment area, flow direction, runoff coefficient and drainage structure on a topographic map (1/5,000), and probable rainfall, rainfall intensity, concentration time and runoff shall be determined to compare with drainage capacity.

④ Loss of the drainage function causes damage due to trackbed erosion, burial and submersion, and thus measures against soil sedimentation, drainage settlement and erosion on backfill shall be provided in the drainage plan and design.

⑤ Gradient of a drain shall be at least 3/1,000 for smooth flow; however, this shall be adjusted when sedimentation is likely.

⑥ Minimum inner section shall be 300 mm in width and in depth in order to reduce the sedimentation and cleaning effort. The sump shall be provided at the location where flow is crashed or suddenly becomes slow in order to mitigate the effect and facilitate soil sedimentation. The sump shall be at least 200 mm (100 mm each on left and right side) for sectional expansion and at least 150 mm in depth for soil sedimentation in order to ease the flow velocity, and covers shall be provided where necessary.

(2) Drainage method

① Drainage for reinforced trackbed

A. When a cable trough is installed on the reinforced trackbed or slope shoulder, track-side drain and cable trough shall be installed together to remove surface water on the formation level and slope, and underground drains shall be provided to drain groundwater.

B. When the surface of formation level is prone to hold water and track-side drain alone is not providing sufficient drainage, drain between tracks and track-crossing drain shall be provided together. See <Table 5.2.4> for structure and installation location.

③ 배수계통을 계획, 설계할 때는 지형도(축척 1/5,000 정도) 상에 집수역, 유출방향 및 유출계수와 배수구조물을 표시한 배수계통도를 작성하고 확률강우, 강우강도, 유달시간 및 유출량 등을 결정하여 배수공의 배수능력과 비교하도록 해야 한다.

④ 배수공의 기능 상실은 노반의 유실, 매몰, 침수로 인한 피해를 유발하게 되므로 계획 및 설계 시 토사의 침전, 배수구조물의 침하, 배면의 토사 유실 등이 발생치 않도록 해야 한다.

⑤ 배수로의 기울기는 유수의 흐름을 위하여 최소 3/1,000 이상으로 하되 토사의 침전이 우려될 때에는 기울기를 조정해야 한다.

⑥ 토사 등의 침전을 적게 하고 청소가 쉽도록 최소 내공단면은 폭 300mm, 깊이 300mm로 해야 한다. 물의 흐름이 급격하게 충돌하는 개소 및 유속이 급격히 감소하는 개소에는 집수정을 설치하고, 그 영향의 완화 및 토사 등의 침전을 도모해야 한다. 이 경우 집수정의 구조는 유속의 완화를 위해서 단면확폭 200mm(좌우 100mm 정도) 이상, 토사의 침전부분 깊이 150mm 이상으로 하되 필요에 따라서 덮개를 해야 한다.

(2) 배수공법

① 강화노반 배수공

가. 시공기면 및 비탈면의 표면수를 배제하기 위해, 강화노반 및 비탈어깨 부근에 배수를 저해하는 케이블 트러프(Cable Trough) 등이 있는 경우에는 선로측구와 케이블 트러프 등을 병설해야 하며, 지하수를 배수하기 위해 지하배수공 등을 설치해야 한다.

나. 시공기면의 형상에 따라서 물이 고이기 쉽고, 선로측구 만으로는 배수가 곤란할 때는, 선간 배수공과 선로횡단배수공을 동시에 설치해야 한다. 구조 및 설치 위치는 <표 5.2.4>를 고려해야 한다.

Table 5.2.4 Structure and installation locations

Use	Type	Structure	Name	Installation
Draining surface water on formation level and slope	drain	Drain section width: 300 mm or more depth: 300 mm or more	Side drain	Entire alignment
			Drain between tracks	• double track or more • double track with gap in formation level • dented cross fall of formation level
	drain pipe	Inner diameter 300 mm or more	Track- crossing drain	• above the structure on slope • link between drain between tracks and track side drain
Draining ground water		Perforated concrete pipe with inner diameter 300 mm or perforated pipe with filter (fabric) (width 200 mm or more)	Under ground drain	Below side drain and drain between tracks
	layer	thickness 150 mm		Total width below reinforced track

C. Cross fall of drain shall be 3% or more. When the trackbed is on the rock layer, no underground drain (drain pipe + drain layer) is needed, and when the ground is soil including less fine grains (grain size less than is 10% or less) with good permeability or on the reinforced trackbed, only drain pipes shall be installed, without a drain layer.

D. When groundwater level is near the trackbed level on a cut section, underground drains or other facilities shall be provided to block the groundwater infiltration.

② Drain on slope

A. When providing a bench on a high cut section, a drain ditch shall be provided on upper side of the bench. The type, size and location of the drain on soil ground shall be in accordance with <Table 5.2.5> and shall be L-type (1.1 m wide) on rock. The width of bench on a cutting section shall be 1.5m and drain slope shall be 4% on soil and 10% on rock, and a raceway shall be installed at intervals of 50m to drain water to the track-side drain.

표 5.2.4 구조 및 설치개소

목적	형식	구조	명칭	설치개소
시공기면 및 비탈면의 표면수 배수	배수구	배수로단면 폭 : 300mm 이상 깊이 : 300mm 이상	선로측구	전체 구간
			선간배수구	• 복선 이상의 구간 • 복선 이상으로 시공기면에 단차가 있는 구간 • 시공기면의 횡단기울기가 오목부로 되는 구간
	배수관	내경 300mm 이상	선로횡단배수공	• 경사구간에 설치된 구조물의 위쪽의 개소 • 선간배수구와 선로측구 연결 개소
지하수의 배수		내경 300mm 이상의 다공 콘크리트관 또는 필터재(부직포 등) 부착유공관(폭200mm 이상)	지하배수공	선로측구 및 선간배수구 하부
	배수층	두께 150mm		강화노반 아래 전폭

다. 배수의 횡단기울기는 3% 이상으로 해야 한다. 노반이 원지반 암반으로 구성된 경우 지하배수공(배수관+배수층)이 필요하지 않다. 또한 원지반이 세립분이 적은 흙(입도 74㎛ 이하가 10% 이하인 흙)으로 투수성이 좋은 경우와 강화노반에서는 배수층을 생략하고 배수관만 설치한다.

라. 깎기부에서 지하수위가 노반면 부근에 있다면, 지하배수공을 시공하거나, 지하수 공급을 차단할 수 있는 시설을 계획해야 한다.

② 비탈면 배수구

가. 높은 깎기에서 소단을 설치하는 경우에는 소단위에 배수구를 설치해야 한다. 토사구간에서 구조 및 설치개소는 <표 5.2.5>를 표준으로 하고 암반구간은 L형(폭1.1m)로 한다. 깍기 소단폭은 1.5m이고 배수기울기는 토공 4%, 암반 10%이며, 50m에 1개소 정도로 도수로를 설치하여 선로측구로 배수해야 한다.

Table 5.2.5 Structure and location

Use	Name	Type	Structure	Location
Draining surface water on slope	Slope drain	drain	Drain section width: 300 mm or more depth: 300 mm or more	Every bench

B. When fill height is 20 m or higher, a drain shall be provided at every other bench. However, it may not be provided when hard rock muck, GW or GP are used for fill and slope size is small, or less risk of erosion is expected.

C. A ridge ditch shall be provided on the slope shoulder to prevent mass surface water from flowing into the slope, and vegetation or other protection measures shall be provided on slope surfacer as well.

D. Groundwater may spring out or leach at a location where the stratum is changed or the earth surface is dented on slope. If water springing out or leaching is expected according to the season, a drainage structure shall be determined considering the quantity of leachate and the distribution of leaching.

E. Drain layer shall be provided to prevent pore pressure from rising on a fill section. However, a drain layer may not be provided when fill materials are hard rock muck, GW, GP, coarse sand (permeability coefficient k = 1 mm/sec or more) or the ground is permeable (more than fill material), or the groundwater level is 0.5m lower than the natural ground level.

F. A groundwater drain on slope shall be arranged in an arrow shape or a W-type depending on the springwater condition, and a filter mat or a latticed block shall be provided to protect the slope from being eroded due to springwater.

G. Gabion shall be used together with the underground drain on a slope with much springwater, and shall be located at the slope toe in order to drain water and prevent the slope from being eroded. As well, on a small slope, it shall be used instead of an underground drain.

H. A horizontal drain and perforated pipe shall be provided when water flows on a slope. The horizontal drain shall be 2 m in length and PVC pipe, synthetic resin net pipe or porous concrete pipe shall be used as a perforated drainpipe.

I. A toe drain shall be provided to drain rainwater from outside the fill or the fill slope or guide the surface water on trackbed to the stream. The section of a drain shall be determined considering the site conditions.

J. Other

(a) Protection including concrete lattice, stone-pitching or block-pitching shall be provided on the slope with groundwater. Weep holes shall be provided at these structures, or used as underground drain, where necessary.

표 5.2.5 구조 및 설치개소

목적	명칭	형식	구조	설치개소
비탈면의 표면수의 배수	비탈 배수 구	배수구	배수로 단면 폭 : 300mm 이상 깊이 : 300mm 이상	소단 위

나. 쌓기 높이가 20m 이상인 경우 2단마다 1개소씩 소단에 배수구를 설치하기로 해야 한다. 단, 쌓기재료로 경암버력, GW, GP를 사용할 경우 및 비탈면 규모가 작거나 암석 등으로 비탈면 침식의 위험성이 적다고 판단 될 때는 설치하지 않아도 된다.

다. 외부에서 대량의 표면수가 직접 비탈면에 유입하지 않도록 비탈면 어깨부에는 산마루 측구를 설치하는 것과 함께 비탈면에는 식생공 등의 비탈면 보호공을 시공해야 한다.

라. 비탈면에서 지층이 변화하는 부분 및 지표가 오목부로 된 부분 등에는 지하수가 용출하거나 침출할 수도 있으며, 계절에 따라 용출 또는 침출이 예상되는 개소가 발견되면 침출수량, 침출개소의 분포 등을 고려하여 배수공의 구조 등을 결정해야 한다.

마. 쌓기 내에서 간극수압의 상승을 방지하기 위하여 배수층을 설치해야 한다. 쌓기 재료가 GW, GP, 경암버력, 굵은모래(투수계수 k=1mm/sec 이상) 또는 원지반이 투수성 재료(쌓기 재료보다 투수성이 큼)로, 지하수위가 원지반면 보다 0.5m 이하가 되는 경우는 배수층은 설치하지 않아도 된다.

바. 비탈면은 용수상황에 따라 지하배수구를 화살형이나 W형 등으로 배치해야 한다. 그리고 용수에 의한 비탈면의 파괴에 대처하기 위해 여러 가지 필터매트와 비탈격자공 등을 겸용해야 한다.

사. 비탈면 망태공은 용수가 많은 비탈면에서는 지하배수구와 겸용하고 비탈 끝에 설치하여 배수와 비탈면의 붕괴 방지를 목적으로 해야 한다. 또 작은 비탈면 등에서는 지하배수구 대신 사용해야 한다.

아. 비탈면에 용수가 있을 때는 수평방향 배수공을 굴착, 유공관 등을 삽입하여 배수해야 한다. 수평배수공의 길이는 2m 이상이 바람직하며, 유공관으로는 경질염화 비닐관, 합성수지 네트관, 합성수지 해면상관, 다공질 콘크리트관 등이 사용되어야 한다.

자. 쌓기의 바깥쪽 및 쌓기 비탈면으로부터 빗물 등을 배수하거나 노반의 물을 하천 등에 유도 처리하기 위한 수로로서 비탈끝 배수공을 설치해야 한다. 배수공의 단면 구조에 대해서는 현지의 상황을 고려하여 결정해야 한다.

차. 기타의 용수처리

㉮ 비탈면에 용수 등이 있는 곳은 콘크리트 비탈격자, 돌붙임, 블록붙임 등의 구조물에 의한 보호공을 시공해야 한다. 이러한 구조물에는 수발공으로 조치하나 경우에 따라서는 지하배수구 등과 겸하는 것도 고려해야 한다.

③ Ridge ditch

A. Ridge ditch

(a) A drain shall be provided on the slope shoulder to prevent surface water from flowing into the cut section. The section and structure of the drain shall be determined considering site conditions.

(b) A ridge ditch shall be provided when surface water from outside is likely to inflow in the following cases.

ⓐ When a road is on the shoulder of a cut slope

ⓑ When the land is inclined toward the railway

(c) Minimum drainage section shall be 300 mm in width and in depth, and the sump shall be provided considering the gradient of a drain, soil erosion and vegetation inside the drain, and the gradient and size of a drain may be adjusted.

B. Railway crossing protection

(a) In particular, when the road is inclined toward the crossing, in addition to track-side drain, a drain with cover shall be provided in the direction of the railway.

(b) A drain with cover shall be designed to bear the traffic load and water shall be drained outside the railway, not into the track-side drain.

④ Raceway

A. A raceway shall be provided when the surface water collected in a slope drain or a ridge ditch is drained along the slope, and the structure and location of the raceway shall be in accordance with <Table 5.2.6>.

Table 5.2.6 Structure and location

Use	Name	Type	Structure	Location
Draining water collected in slope drain and ridge ditch	Race way	drain	Drain section width 300 mm or more depth 300 mm or more	Every 50 m on slope or as needed

B. A raceway shall have a joint in socket or collar considering the effect of falling stones and U-type with bumps at intervals of 3m, or case-in-place concrete against sliding.

C. At a location where any obstacles exist inside the drain, or where the slope (1:1.0 or more) is steep, a block-pitching shall be provided on both sides 1m away from the raceway, and a cover or a box type drain shall be provided at the slope shoulder or at the toe where gradient changes drastically.

③ 산마루 측구

가. 산마루 측구

㉮ 깎기부에 외부로부터 표면수가 유입되는 것은 방지하기 위해 비탈어깨 부근에 배수구를 설치하는 것으로 해야 한다. 배수구의 단면 등의 구조는 현지의 상황을 고려하여 결정해야 한다.

㉯ 강우시에 외부에서 표면수가 유입하기 쉬운 다음의 경우 산마루 측구가 고려되어야 한다.

㉠ 깎기 비탈면의 어깨에 도로 등이 있는 경우

㉡ 지형이 선로를 향하여 경사져 있는 경우

㉰ 최소 배수단면은 폭 300mm, 깊이 300mm로 해야 한다. 또한 배수기울기의 변화, 토사 등의 유입상황, 배수구내의 식생 가능성 및 현지의 상황 등을 고려하여 편리하게 집수통을 설치하고 배수기울기를 크게 하거나 배수구의 단면을 크게 하는 등의 조치가 필요하다.

나. 건널목 유입방지공

㉮ 건널목에 대해서는 특히 도로가 건널목을 향하여 아래 쪽으로 경사진 경우, 선로측구만이 아니고 건널목 통로면의 선로방향에 덮개 붙은 배수구를 설치해야 한다.

㉯ 이 배수구의 구조는 덮개를 포함하여 그 위를 통과하는 자동차 등의 하중에 견디도록 설계해야 한다. 또한 이들 유입방지공에 의한 배수는 가능한 한 선로 외로 처리하고 선로측구에는 떨어지지 않도록 한다.

④ 도수로

가. 비탈 배수구 및 산마루 측구에 집수된 표면수를 비탈면을 따라서 떨어뜨리는 경우는 도수로를 설치하며, 구조 및 설치개소는 <표 5.2.6>를 고려해야 한다.

표 5.2.6 구조 및 설치개소

목적	명칭	형식	구조	설치개소
비탈 배수구 및 산마루 측구에 집수된 표면수의 배수	도수로	배수구	배수로단면 폭 300mm 이상 깊이 300mm 이상	비탈면 위 간격 50m 정도 및 필요한 개소

나. 도수로는 낙석의 영향을 고려 이음부분을 소켓이나 칼라로 하는 것과 함께 3m 간격 정도에 돌기를 설치한 U형구 또는 미끄러짐에 대한 저항이 큰 현장타설 콘크리트로 한다.

다. 배수구 내에 약간이라도 장애물이 있는 개소나 기울기가 급한 개소(1:1.0 이상)에서는 도수로의 좌우 1m 정도에 블럭붙임공을 설치하고, 또한 기울기가 급격히 변화하는 비탈어깨, 비탈 끝에는 도수로에 덮개를 반드시 설치하던가 또는 상자형 배수구를 설치한다.

D. The cover shall be able to resist the impact of the hydraulic jump and bear the traffic load, including pedestrian.

E. For a box type drain without cover, it shall not continue for 2 m or longer because of the difficulty of maintenance.

F. When a raceway is provided, water from the ridge ditch shall be drained outside the railway, not into the track-side drain.

G. Water collected in the slope drain shall be drained into the track-side drain through the raceway installed every 50m. In this case, the interval of a raceway shall not necessarily be 50m, but shall be determined considering the site conditions. When the bench drain is extended to 100m or longer, the raceway location shall be determined through flow calculation, but the maximum interval shall be limited to 100 m.

⑤ Other drainage

A. Proper measures shall be provided to the boundary between the cut and fill sections, one-side cut or fill section according to the site condition. Underground drain shall be provided to prevent groundwater from penetrating into the banking section from the cutting or banking section, and the impermeable cutoff shall be provided to the banking side of an underground drain when groundwater always flows.

B. A drain layer on the slope of one-side cut or fill section is the same as for the ordinary fill section, but the drain layer shall be extended when springwater flows, always or during rain, in the foundation ground of the fill in order to remove springwater. A drain pipe shall be installed in the drain layer when groundwater is too excessive.

라. 덮개는 도수의 충격에 의하여 탈락되지 않도록 하는 것은 물론, 사람 통행 등의 필요한 하중에 대하여 안전해야 한다.

마. 덮개를 이용할 수 없는 상자형의 배수구는 유지관리가 곤란하므로 2m 이상 연속하여 사용하지 않는다.

바. 도수로를 설치하는 경우에 산마루 측구의 배수는 가능하면 선로 외로 처리하고 선로측구에는 떨어지지 않도록 한다.

사. 비탈 배수구로 집수한 물은 50m에 1개소 정도 도수로를 설치하여 선로측구에 떨어뜨리도록 한다. 이 경우 도수로는 획일적으로 50m에 1개소 정도 설치하는 것은 아니고 주위의 지형 등을 감안하여 결정할 필요가 있으며, 소단배수구 연장이 100m를 넘을 때는 유량계산에 의해 도수로의 위치를 결정하나 최대간격은 100m를 한도로 한다.

⑤ 기타의 배수공

가. 쌓기와 깎기의 경계 및 한쪽흙깎기, 한쪽쌓기 구간 등에는 현지의 상황에 따라 필요한 배수대책을 추가해야 한다. 쌓기와 깎기부로 부터 지하수를 쌓기부에 침투시키지 않기 위하여 지하 배수공을 설치해야 하고, 항상 용수량이 많은 경우는 지하 배수공의 쌓기 측면에 불투수성재 등의 차수시설을 설치해야 한다.

나. 한쪽흙깎기, 한쪽쌓기 구간의 비탈면부에 배수층을 시공하는 것은 일반 쌓기부와 동일하나 배수층을 설치한 이외의 쌓기부 원지반면에 상시 또는 강우시에 용수가 있는 경우 배수층을 그 위치까지 연장하고, 용수의 배제를 도모할 필요가 있다. 용수량이 특히 많은 경우, 배수층 속에 배수관을 설치하는 등의 조치를 해야 한다.

Chapter 6 Earth Retaining Structure

6.1 General

6.1.1 Scope of application

(1) This chapter defines a general guideline for designing earth retaining structures such as retaining wall and braced wall. Earth retaining structure shall be designed and based on this guideline, and considering site conditions.

(2) When a particular review is required, a separate standard or construction method can be viewed and applied.

6.1.2 Terms and definitions

(1) Additional bar: the supplementary reinforcement that accommodates tensile force generated due to the drying shrinkage and temperature variation of concrete, and other causes.

(2) Pore water pressure: the water pressure within soil voids.

(3) Force of inertia: the force acting on a moving object, of which the magnitude is equal to the value obtained by multiplying mass by acceleration, and its direction is opposite to the acceleration.

(4) Short column: a column whose compressive stress exceeded allowable stress before buckling because of a low slenderness ratio (100 or less for steel column).

(5) Boiling: when the excavated ground is sand soil and hydraulic gradient by upward seepage pressure is greater than critical hydraulic gradient of overlain sand, effective stress in sand particles will be lost and the boiling of sand will be caused.

(6) Passive earth pressure: the earth pressure at which the backfilled soil reaches its failure state by compressive pressure when the braced wall moves into the soil mass horizontally.

(7) Slenderness ratio: the value calculated by dividing the length of a compression member by the radius of sectional rotation. When the value is 100 or more, it is classified as a long column and a short column if less than 100.

(8) Soldier pile: the H-section steel or other members at regular intervals that form wall to accommodate the horizontal wooden lagging board when constructing a braced wall.

(9) Retaining wall: the structure that resists lateral earth pressure of soil by self weight, strength and rigidity to maintain the stability during cutting or filling.

제6장 흙막이 구조물

6.1 일반사항

6.1.1 적용범위

(1) 이 장은 흙막이를 위한 구조물 중 옹벽 및 흙막이벽 등의 흙막이 구조물 설계에 대한 일반적인 기준을 나타낸 것으로 흙막이 구조물은 이를 바탕으로 하여 현장의 실정에 맞도록 설계 및 시공을 해야 한다.
(2) 특별한 검토를 해야 하는 경우 별도의 기준이나 공법을 검토하여 적용할 수 있다.

6.1.2 용어의 정의

(1) 가외철근 : 콘크리트의 건조수축, 온도변화, 기타의 원인에 의하여 콘크리트에 발생하는 인장력에 대비하여 가외로 더 넣는 보조적 철근을 말한다.
(2) 간극수압 : 흙의 간극 속에 존재하는 물의 압력을 말한다.
(3) 관성력 : 운동하는 물체에 작용하는 힘으로 크기가 질량에 가속도를 곱한 것과 같고 방향이 가속도와 반대되는 힘을 말한다.
(4) 단주(short column) : 세장비가 작아(강재기둥인 경우 약 100 이하) 좌굴이 발생하기 전에 압축응력이 허용응력을 초과하게 되는 기둥을 말한다.
(5) 보일링(boiling) : 터파기 바닥면의 흙이 모래지반인 경우 상향의 침투수압에 의한 동수경사가 모래지반의 한계동수 경사보다 크게 되면 모래입자 사이의 유효응력이 상실되어 분사현상이 발생하는 것을 말한다.
(6) 수동토압 : 흙막이벽이 횡방향 압력으로 흙을 뒷채움한 흙 쪽으로 밀 때 흙이 압축을 받아 파괴상태에 이를 때의 토압을 말한다.
(7) 세장비 : 압축부재에서 부재의 길이를 단면회전반경으로 나눈 값으로 일반적으로 이 값이 100 이상이면 장주, 그 이하이면 단주로 구분한다.
(8) 엄지말뚝 : 흙막이벽 시공시에 수평나무널을 설치할 수 있도록 일정간격으로 설치하여 벽체를 형성할 수 있게 사용되는 H형강 또는 그와 비슷한 기능을 하는 부재를 말한다.
(9) 옹벽 : 깎기 또는 쌓기시 측방토압에 대하여 구조물의 자중, 강도 및 강성으로 지지하고, 안정을 유지하는 구조물

(10) Critical failure surface: the surface at a failure state due to lateral expansion or compression of the wall.
(11) Critical sliding surface: the failure surface with the minimum factor of safety when sliding failure occurs on a slope.
(12) Uplift pressure: the vertical water pressure against the gravity direction.
(13) Earth pressure at rest: the earth pressure with no movement or very little lateral movement of a wall.
(14) Active earth pressure: the lateral earth pressure at which the soil mass is laterally expanded and reaches the ultimate plastic state when the displacement of braced wall occurs outward by lateral pressure exerted on a wall.
(15) Lateral movement: the lateral displacement of soil mass by surcharge load on soft ground.
(16) Shear key: the projected part of the bottom of base plate increase the lateral resistance.
(17) Earth retaining structure: the general term of structures including braced wall and retaining wall or the equivalent.
(18) Braced wall: the structure supported by cutting or filling to maintain the stability against earth pressure, water pressure, and other external forces.
(19) Heaving: the swelling of the excavated bottom due to soil weight located at outside the excavation in soft clay ground.
(20) Piping: the process that during the excavation of braced wall in sand ground, the uplift seepage flow occurs when the groundwater level at the outside of braced wall rises and its seepage force overpasses the effective weight of the soil mass at inside of excavation. And then boiling occurs and water passage is generated as part of erosion.

6.2 Investigation

6.2.1 General

(1) Investigation shall be in accordance with 「Chapter 3 Survey and Geotechnical Investigation」.

6.3 Planning

6.3.1 General

(1) The planning of an earth retaining structure shall be conducted to be integrated with the design planning of relevant structures, and the type of structure and foundation shall be planned to secure safety and cost efficient during the design and construction stages considering the following each condition.

(10) 임계파괴면 : 벽체가 움직여서 횡방향으로 팽창되거나 압축되어 파괴상태에 이를 때의 파괴면을 말한다.
(11) 임계활동면 : 비탈면에서 활동파괴가 발생할 때에 최소안전율을 가지는 때의 파괴면을 임계활동면이라고도 한다.
(12) 양압력 : 중력방향의 반대방향으로 작용하는 연직성분의 수압을 말한다.
(13) 정지토압 : 벽체의 횡이동이 전혀 없거나 있더라도 극히 적은 상태의 토압을 말한다.
(14) 주동토압 : 흙막이벽이 횡방향 압력에 의해 뒷채움 흙 외측으로 변위가 발생하여 흙이 횡방향으로 팽창되어 소성극한상태에 이를 때의 횡토압을 말한다.
(15) 측방유동 : 연약한 지반에서 쌓기 등의 재하하중에 의해 지반이 측방으로 변위 하는 것을 말한다.
(16) 활동방지 벽(Shear key) : 저판하부에 횡방향 저항력을 높이기 위해 돌출되게 만든 부분.
(17) 흙막이 구조물 : 흙막이벽, 옹벽 등 이에 준하는 구조물의 총칭
(18) 흙막이벽 : 깎기 또는 쌓기에 의해 지지되면서, 토압, 수압 등 외력에 대하여 안정을 유지하는 구조물
(19) 히빙 : 연약한 점성토 지반에서 터파기 외측의 흙의 중량으로 인하여 터파기된 저면이 부풀어 오르는 현상
(20) 파이핑 : 흙막이벽의 모래지반 굴착시 배면의 수위가 높아지면 굴착저면에 상향의 침투류가 발생되고 유효중량보다 커지게 되면 보일링이 일어나 발전되어 물의 통로가 생기면서 세굴되어 가는 과정을 파이핑이라고 한다.

6.2 조사

6.2.1 일반내용

(1) 조사는 「제3장 측량 및 지반조사」에 따른다.

6.3 계획

6.3.1 일반내용

(1) 흙막이 구조물의 설계계획은 관련 구조물 등의 설계계획과 종합하여 검토하고 다음 각 조건에 대하여 설계시공상 안전하고 경제적인 구조형식과 기초 형식을 계획해야 한다.

6.3.2 Basic conditions

(1) Topographical and geological conditions

① The following topographical and geological conditions shall be reviewed.

② Review of topographical features

A. When an earth retaining structure requires banking, partial cutting or banking may cause a stability failure due to the surface water and groundwater penetrating into the banking ground. When the stability of the banking is threatened, it shall be designed with other types such as a bridge.

B. When an earth retaining structure is on a large slope terrain, a comprehensive measure including route change shall be required.

C. When an earth retaining structure such as a bridge abutment or retaining wall is located on a slope, the slope stability due to excavation or banking shall be evaluated.

③ Review of bearing layer and intermediate layer

A. The displacement of retaining wall shall be allowed, and its foundation type and bearding condition shall be based on a bearing layer that conforms to the stability requirements of retaining wall. In case of soft ground is distributed, ground improvement or modification shall be conducted and shallow foundation may be applied economically.

④ Review of groundwater

A. A retaining wall on a cutting natural slope requires drainage because of large pore water pressure acting on the retaining wall.

B. For this reason, groundwater shall be taken into account and the overall slope stability including structures such as retaining wall shall be evaluated.

⑤ Review of ground displacement

A. Earth retaining structure such as retaining wall or bridge abutment on soft ground is subject to ground deformation by banking load behind that might cause deformation to the structure or foundation, which is called lateral movement. This shall be reviewed according to 「Article 6.4.5」

B. In case of lateral movement, a box culvert has fewer disadvantages than a bridge abutment, and is rather favorable for a short span.

⑥ Review of riverbed lowering and erosion

⑦ Review of other particular conditions

(2) Connection treatment requirements

① In general, the banking shall be designed to limit any detrimental differential settlement at connections between the banking and backfill by banking on a stable and firm ground and reducing compression settlement of the banking itself.

6.3.2 기본조건

(1) 지형 및 지질조건

① 지형 및 지질조건에 관해서는 다음 각 항에 대하여 검토해야 한다.

② 지형에 대한 검토

가. 흙막이 구조물에서 쌓기를 동반하는 경우 부분깎기, 부분쌓기의 경우는 지표수와 지하수가 쌓기 내에 유입하여 쌓기 자체의 안정에 문제가 생기기 쉽다. 이 경우 안정에 주어지는 영향이 큰 경우에는 교량 등 다른 형식으로 설계해야 한다.

나. 흙막이 구조물이 대규모 비탈 지형의 경우에는 노선변경을 포함한 종합적인 검토가 필요하다.

다. 비탈면상에 교대 옹벽 등 흙막이 구조물을 설치하는 경우에는 터파기나 쌓기하중에 의한 비탈면의 안정에 대한 검토를 해야 한다.

③ 지지층 및 중간층에 대한 검토

가. 옹벽은 변위량이 허용되어 있는 것으로 옹벽의 기초형식 및 지지조건은 지지층 및 중간층의 조건이 옹벽의 안정조건을 만족하는 지지층을 기준으로 해야 하고 연약층이 분포하는 경우 연약지반처리 등의 지반개량을 시행하고 직접기초로 하는 것이 경제적으로 되는 경우가 있다.

④ 지하수에 대한 검토

가. 깎기 자연비탈면에 있어서 옹벽 등의 경우에는 지하수에 의해 옹벽에 큰 수압이 작용하는 경우가 있으므로 배수대책이 필요하다.

나. 따라서 지하수에 대한 고려를 해야 하고 옹벽 등 구조물을 포함한 전체비탈면의 안정을 검토해야 한다.

⑤ 지반변위에 대한 검토

가. 연약지반에 있어서는 옹벽이나 교대 등의 흙막이 구조물은 배면의 쌓기하중에 의해 지반이 변형하고, 구조체나 기초에 변형이 생기는 것으로 이것을 측방유동이라 하고 「6.4.5항」에 의하여 검토해야 한다.

나. 측방유동 문제의 경우 박스암거는 교대형식과 비교하여 문제가 적고 짧은 지간의 경우 유리하게 되는 것이 많다.

⑥ 하상저하 및 세굴에 대한 검토

⑦ 그 이외의 특수조건에 대한 검토

(2) 접속부 처리조건

① 일반적으로 쌓기는 비교적 양질의 지반에 지지시키고 자체의 압축침하를 극히 작게 함으로써 배면쌓기와의 접속부에 유해한 부등침하가 발생하지 않도록 설계해야 한다.

② In case of any detrimental differential settlement between the bearing layer and backfill due to banking on soft ground shall be occurred, countermeasures shall be reviewed according to 「Article 4.4 Earth retaining structure, Chapter 4 Earth Structure」.

6.4 Design general

6.4.1 General

(1) An earth retaining structure shall be designed to ensure no occurrence of unfavorable displacement as well as the overall stability of structures including banking and base ground, and to satisfy the following conditions.

① The structure shall be stable as a whole.

② Displacement of the structure shall be less than the allowable value.

③ Each member of the structure shall have the required strength.

(2) Classification of design

① Earth retaining structure shall be designed according to its type as follows.

A. Retaining wall and temporary braced wall: according to 「Article 6.5」

② Earth retaining structure shall be designed depending on the design requirements and conditions as follows.

A. General design requirements: Ordinary design

B. Special design requirements: Special design

(3) Classification of seismic design

① Structure design of earth retaining structure shall be as follows.

A. Retaining wall: Equivalent static load in the event of an earthquake can be estimated using Mononobe-Okabe's pseudo-static analysis method, and other seismic designs shall be in accordance with 「Article 2.4.4. Seismic design, Chapter 2 Railway Plan」.

6.4.2 Load and combination of load

(1) Earth retaining structure shall be designed based on the following load conditions.

① Ordinary

② Temporary: Temporary surface load during construction

③ During earthquake

④ During construction

(2) Under each load condition, the load to be considered excluding earth pressure, shall be in accordance with 「Article 2.4, Chapter 2 Railway Plan」.

(3) Earth pressure shall be in accordance with 「Article 6.4.3」.

(4) Other loads shall be considered, if necessary.

② 쌓기를 연약지반에 시공하여 지지지반의 압밀침하로 배면쌓기와의 사이에 유해한 부등침하가 발생한다고 판단될 경우에는 「제4장 흙구조물 4.4항」을 참조하여 대책을 검토해야 한다.

6.4 설계일반

6.4.1 일반내용

(1) 흙막이 구조물은 쌓기 및 원지반을 포함하는 구조물 전체가 안전함과 동시에 유해한 변위가 발생하지 않도록 해야 하며 설계시 아래의 사항을 만족해야 한다.

① 구조물이 전체로서 안정해야 한다.

② 구조물의 변위량이 허용값 이하이어야 한다.

③ 구조물의 각 부재가 소요강도 이상이어야 한다.

(2) 설계구분

① 흙막이 구조물은 그 형식에 따라 다음과 같이 설계한다.

가. 옹벽 및 가설 흙막이벽 : 「6.5항」에 따른다.

② 흙막이 구조물은 설계조건에 따라 다음과 같이 설계한다.

가. 일반적인 설계조건에 대한 것 : 보통설계

나. 특수한 설계조건에 대한 것 : 특수설계

(3) 내진설계법의 구분

① 흙막이 구조물의 구체설계를 할 때는 다음과 같이 한다.

가. 옹벽 : 지진에 의한 등가정적 하중은 Mononobe-Okabe의 의사정적 해석방법으로 산정할 수 있으며, 이외의 내진설계에 대한 기준은 「제2장 철도계획 2.4.4 내진설계」를 따른다.

6.4.2 하중 및 하중의 조합

(1) 흙막이 구조물은 다음 각 하중상태에 대하여 설계해야 한다.

① 상시

② 일시: 공사중 설계에 고려해야 할 일시적인 상재하중

③ 지진시

④ 시공시

(2) 각 하중상태에 있어서 고려하중에 대해서는 토압을 제외하고 「제2장 철도계획 2.4항」을 따른다.

(3) 토압에 대해서는 「6.4.3항」을 따른다.

(4) 필요에 따라 다른 하중에 대해서도 고려해야 한다.

(5) The calculation of load and load combination shall be in accordance with 「Article 8.2 and 8.3, Chapter 8 Bridge General」.

(6) The factor of safety during construction shall be determined depending on load conditions, but is generally the same as in the case of earthquake.

(7) In case of retaining wall or braced wall on soft ground, ground displacement by banking load may occur and a large deformation or stress on foundation may occur. For such cases, lateral movement shall be reviewed.

6.4.3 Earth pressure

(1) For earth pressure, 「①, ②, ③」 shall be considered in normal design, and active earth pressure, passive earth pressure, and earth pressure at rest shall be considered in case of earthquake.

① Active earth pressure (normal, earthquake)

② Passive earth pressure (normal, earthquake)

③ Earth pressure at rest (normal, earthquake)

(2) Soil parameters used to calculate earth pressure for retaining wall shall be determined by soil test result.

(3) Earth pressure on the wall shall be calculated depending on displacement.

(4) When the earth pressure due to backfill banking is calculated, soil parameters such as volumetric unit weight, internal angle of friction, and cohesion of banking material shall be determined.

(5) In general, in-situ soil condition is heterogeneous and an analysis of the test result is not easy. But, filling materials which vary their test results according to compaction shall be classified and the earth pressure shall be determined by soil test.

(6) Earth pressure at rest shall be classified and calculated as follows. The water pressure shall be considered when it is located below the groundwater level.

① Earth pressure at rest working on a vertical plane

② Earth pressure at rest during earthquake working on a vertical plane

6.4.4 Reinforcement and concrete

(1) Material quality

① The quality of reinforcement and concrete used for earth retaining structure shall be in accordance with 「Article 10.2, Chapter 10 Concrete Bridge」.

(2) Criteria of allowable stress

① Allowable stress criteria of reinforcement and concrete used for earth retaining structure shall be in accordance with 「Article 10.17, Chapter 10 Concrete Bridge」.

(5) 하중의 산정 및 조합에 대해서는 「제8장 교량일반 8.2항 및 8.3항」을 따른다.
(6) 시공시의 안정에 대한 안전율 등은 하중의 상태에 따라 정하지만 일반적으로 지진시와 동일하게 한다.
(7) 연약지반상의 옹벽이나 흙막이벽 등의 경우에는 배면쌓기 하중에 의한 지반의 변위가 발생하고 기초에 큰 변형이나 응력이 발생하는 경우가 있으므로 측방유동에 대하여 검토해야 한다.

6.4.3 토압

(1) 토압은 「①, ②, ③항」을 상시설계에 고려하고 지진시에 주동, 수동 및 정지토압을 고려해야 한다.
① 주동토압(상시, 지진시)
② 수동토압(상시, 지진시)
③ 정지토압(상시 지진시)
(2) 옹벽에 작용하는 토압계산에 이용하는 토질정수는 토질시험치를 참고로 하여 정해야 한다.
(3) 벽체에 작용하는 토압은 변위에 따라 토압을 적용하여 설계해야 한다.
(4) 배면쌓기에 의한 토압을 산정할 때에는 쌓기재료의 단위체적중량, 내부마찰각, 점착력 등의 토질정수를 산정해야 한다.
(5) 일반적으로 현장 흙의 상태는 불균질하고 시험결과의 해석이 용이하지 않으나 다짐의 정도에 따른 변동이 큰 것 등은 쌓기재료를 토질분류하고 그것에 따라 토질시험을 통하여 토압을 산정해야 한다.
(6) 정지토압은 다음과 같이 구분하여 산정할 수 있는데 지하수면 이하의 경우에는 수압을 고려해야 한다.
① 연직면에 작용하는 정지토압
② 연직면에 작용하는 지진시 정지토압

6.4.4 철근 및 콘크리트

(1) 재료의 품질
① 흙막이 구조물에 이용하는 철근 및 콘크리트 재료의 품질은 「제10장 콘크리트교 10.2항」에 따른다.
(2) 기준 허용응력
① 흙막이 구조물에 이용하는 철근 및 콘크리트의 기준 허용응력은 「제10장 콘크리트교 10.17항」에 따른다.

② Review of cracks in earth retaining structure shall follow the criteria of the beam defined in 「Concrete Structure Design Standard」.

③ Review of shear in earth retaining structure shall be in accordance with 「Article 10.6.6, Chapter 10 Concrete Bridge」, and the condition of load and member shall be considered as well.

6.4.5 Review of stability of the structure

(1) The following shall be reviewed for the stability of the structure.

① Stability against vertical support

② Stability against horizontal support

③ Stability against overturning

(2) Overall stability including load conditions in addition to structure load

(3) Stability against liquefaction

6.5 Retaining wall, braced wall, and slope protection wall

6.5.1 General

(1) Retaining wall shall be located to minimize earth pressure if possible, and the type and foundation shall be determined and designed suitable for the site conditions, considering construction method and economic feasibility.

(2) Design principle for retaining wall

① Design principle

A. In general, gravity wall, cantilever wall, and counter-fort wall are used as the height of retaining wall increases. However, particular type of retaining wall or structure types can be designed depending on site conditions.

B. Retaining wall shall have a function to resist earth pressure and its location shall be selected carefully to minimize the earth pressure, if possible

C. When the backfill behind the retaining wall is designed, drainage shall be designed to prevent water pressure not to exceed earth pressure as well as the designed earth pressure itself.

② Investigation for retaining wall design and construction

A. Soil investigation to obtain design parameters required for stability calculation including foundation bearing capacity.

(a) For retaining wall under 8 m in height, volumetric unit weight or earth pressure coefficient is determined dependent on the type of backfill material. In this case, backfill material shall be classified as three different types: gravel or mixture of sand and gravel, sandy soil and silt, and clay (WL<50%) according to soil classification method.

② 흙막이 구조물의 균열검토는「콘크리트 구조설계기준」내용 중 보의 경우를 적용해야 한다.
③ 흙막이 구조물의 전단에 대한 검토는「제10장 콘크리트교 10.6.6항」에 의하며 그 외에 하중, 부재 상태를 고려해야 한다.

6.4.5 구조물의 안정검토
(1) 구조물하중에 대한 안정에 관해서는 다음 사항에 대하여 검토해야 한다.
① 연직방향의 지지에 대한 안정
② 수평방향의 지지에 대한 안정
③ 전도에 대한 안정
(2) 구조물하중 이외의 하중 조건을 포함한 전체에 대한 안정
(3) 액상화에 대한 안정

6.5 옹벽, 흙막이벽 및 비탈면보호벽

6.5.1 일반내용
(1) 옹벽은 가능한 한 토압이 작게 발생하는 위치를 정함과 동시에 시공법 및 경제성을 고려하여 현장의 실상에 맞는 형식 및 기초구조를 선정하여 설계해야 한다.
(2) 옹벽의 설계방침
① 설계방침
가. 옹벽은 높이가 커짐에 따라 순차로 중력식옹벽, 캔틸레버식 옹벽, 부벽식 옹벽을 이용 하는 것이 일반적인데 그 외에 현장의 실상에 알맞은 특수한 옹벽이나 구조형식으로 설계할 수 있다.
나. 옹벽은 토압에 저항하는 구조물이므로 가능한 한 토압이 작게 발생하도록 그 위치를 선정해야 한다.
다. 옹벽배면의 뒤채움 설계시 토압은 물론, 토압보다도 큰 수압이 작용하지 않도록 배수기능을 고려해야 한다.
② 옹벽설계 및 시공을 위한 조사
가. 기초지지력 등 안정검토에 필요한 설계정수를 구하기 위한 토질조사
㉮ 높이 8m 이하의 옹벽인 경우 뒷채움재의 종류에 따라 단위체적중량이나 토압계수가 결정되므로 뒷채움재를 흙의 분류방법에 따라 자갈 또는 모래와 자갈의 혼합물, 사질토 및 실트, 점성토(단, WL<50%)의 3종류로 구분하는 것이 좋다.

(b) For retaining wall greater than 8 m in height, design parameters shall be determined based on the mechanical soil test result of the backfill material.

(c) Soil investigation depth for foundation shall be conducted for the area which affects on bearing capacity, sliding, and settlement. In general, the affected area for the sliding failure is within 1.5 times the height of backfill banking, and the affected area of settlement due to the ground contact pressure is within 1.5 to 3 times the height of banking. The depth and area of soil investigation shall be determined considering these factors. Therefore, the area of soil investigation for foundation shall be determined accordingly. However, when there is soft ground where a sliding failure or consolidation settlement beyond the estimated area may occur, it is necessary to investigate engineering characteristics on sliding and settlement throughout the entire layers.

B. Investigation of surrounding conditions

(a) As the majority of retaining wall failures are caused by poor drainage and bearing capacity during torrential rain, the drainage system of the backfill and ground condition for foundation shall be considered and designed.

(b) In case of retaining wall is planned to be constructed on particular ground conditions, the type of retaining wall and foundation structure or support type shall be determined considering the effect of overall stability for retaining wall on a slope and consolidation settlement or lateral displacement, relative displacement with neighboring structures for retaining wall on soft ground.

(c) A particular type of foundation with a narrow width can be utilized in a limited land space. In this case, retaining wall design will be complicated having some vulnerable features, requiring an in-depth review of advantages and disadvantages.

(3) Classification of ordinary design and special design for retaining wall

① The classification of ordinary design and special design of retaining wall shall be determined considering the conditions of backfill soil, ground, and structures, and each condition shall be evaluated when special design is used.

② Ordinary design of retaining wall is the case of using gravity, cantilever, and counter-fort retaining wall on flat and firm ground, and having the normal banking method. For the other cases, special design shall be applied and each applied condition shall be presented.

㈏ 높이 8m초과 옹벽에 대해서는 뒷채움재에 대한 역학시험결과를 판단하여 설계정수를 산정해야 한다.

㈐ 기초지반의 조사깊이는 지지력, 활동, 침하 등에 영향을 미치는 범위에 대해 실시해야 한다. 일반적으로 기초지반이 활동파괴를 일으키는 범위는 배면쌓기 높이의 1.5배 이내의 깊이로 접지압에 의한 침하의 영향범위는 쌓기 높이의 1.5~3배 이내인 것으로 알려져 있으므로 기초지반 조사의 범위를 설정해야 한다. 그러나 산정된 범위를 넘어 활동파괴나 압밀침하가 발생할 수 있는 연약층이 존재하면 그 층 전체에 대해 활동 및 침하에 대한 공학적 성질을 조사할 필요가 있다.

나. 주변 조건의 조사

㈎ 옹벽파괴원인의 대부분은 집중호우 등에 의한 배수불량과 동시에 기초지지의 불량에 의한 것이므로 배면지반의 배수계통과 기초의 지반조건을 검토하여 설계해야 한다.

㈏ 옹벽을 특수한 조건의 지반에 설치해야 하는 경우 예를 들면 비탈면상의 옹벽에는 비탈면 전체로서의 안정을 우선 고려해야 하며 연약지반에서는 압밀침하나 수평변위, 인접구조물과의 상대변위 등의 영향을 고려하여 옹벽의 형식, 기초의 구조나 지지방식을 결정해야 한다.

㈐ 좁은 용지에서는 기초폭을 가능한 한 작게 한 특수한 기초형식을 이용해야 하는 경우가 많다. 이러한 경우에 이용되는 옹벽은 설계가 복잡함과 동시에 다소의 약점을 가지므로 그 적용에 있어서는 신중하게 장·단점을 검토해야 한다.

(3) 옹벽의 보통설계와 특수설계의 구분

① 옹벽의 보통설계와 특수설계의 구분은 뒷채움흙의 조건, 지반조건 및 구조조건 등을 고려하여 정하며 특수설계로 하는 경우는 각각의 조건에 알맞은 검토를 해야 한다.

② 옹벽의 보통설계는 연약하지 않은 평탄한 지반상에 중력식, 캔틸레버식 및 부벽식 옹벽을 이용하고 일반적인 형상의 쌓기를 한 경우이다. 이 이외의 경우에는 특수설계로 적용조항을 표시해야 한다.

(4) Earth pressure on retaining wall.

① Definition of earth pressure and displacement of wall

A. Earth pressure working on retaining wall is classified into earth pressure at rest, active earth pressure, and passive earth pressure, which are completely dependent on the displacement of retaining wall. It is considered that earth pressure at rest if no displacement occurs, active earth pressure if the failure displacement of wall occurs outward from the backfill, and passive earth pressure if the failure displacement of wall occurs into the backfill.

B. The coefficient of earth pressure is defined as the ratio of horizontal effective stress to vertical effective stress (σ_h'/σ_v'), and the displacement at active and passive state depending on the type of soil is as follows:

(a) The displacement that generates passive earth pressure is greater than that of active earth pressure. Many empirical equations relevant to earth pressure at rest (K_o) were presented, but generally $K_o = 1 - \sin\phi'$ shall be applied for normally consolidated clay or sandy soil.

(b) For over-consolidated soil, $K_O = (1 - \sin\phi')\sqrt{OCR}$ shall be applied, in which the greater the over-consolidated ratio (OCR), the higher K_o.

(c) Earth pressure at rest shall be used for retaining wall that allows no displacement.

C. Both the angle of friction (wall friction angle, δ) between retaining wall and the backfill and the vertical displacement of retaining wall have an effect on active earth pressure. The effect of the magnitude of active earth pressure depending on δ value is not significant unless significant vertical settlement of retaining wall occurs, but is significant on passive earth pressure.

② Calculation of earth pressure

A. There are many earth pressure equations such as Coulomb, Rankine, and Terzaghi. Since Coulomb's earth pressure equation was found to be relatively closed to the measured value based on laboratory and field tests, Coulomb's earth pressure equation shall be used. However, this Coulomb's earth pressure equation shall not be used for deformable structures such as steel sheet pile, which show a complicate curved distribution of earth pressure. For cantilever retaining wall or counter-fort wall, which has the earth pressure working on a virtual surface perpendicular to the heel of retaining wall, Rankine's earth pressure equation shall be used.

B. The symbol of wall friction angle shall be positive for active earth pressure, and negative for passive earth pressure. To prevent excessive Coulomb's passive earth pressure due to the effect of the wall friction angle, wall friction angle shall be limited in design.

(4) 옹벽에 적용하는 토압

① 토압의 정의 및 벽체 변위

가. 옹벽에 작용하는 토압은 크게 정지토압, 주동토압 및 수동토압 3가지로 구분되는데 그 구별은 전적으로 옹벽의 변위와 관계된다. 변위가 전혀 없다면 정지토압이 되고 벽체가 뒷채움으로부터 외측 파괴변위를 일으키면 주동토압, 뒷채움쪽으로 파괴변위를 일으키면 수동토압이 된다.

나. 토압계수는 수평유효응력에 대한 연직유효응력의 비(σ_h'/σ_v')로 정의되며 흙의 종류에 따른 주동 및 수동상태에 이르는 변위량은 다음과 같다.

㉮ 수동토압을 발생시키는 변위가 주동토압을 발생시키는 변위보다 크다는 사실을 알 수 있다. 정지토압계수(K_o)와 관련한 많은 경험식들이 제안되어 있으나 일반적으로 정규압밀점토나 모래질 흙인 경우는 $K_o = 1 - \sin\phi'$를 적용한다.

㉯ 과압밀 흙인 경우는 과압밀비(OCR)가 클수록 K_o가 증가되는 $K_o = (1-\sin\phi')\sqrt{\mathrm{OCR}}$을 적용한다.

㉰ 변위를 전혀 허용하지 않는 옹벽의 경우는 정지토압으로 설계되어야 한다.

다. 옹벽과 뒷채움 흙과의 마찰각(벽면마찰각, δ)과 옹벽연직변위도 주동토압에 영향을 끼친다. δ값에 따른 주동토압크기의 영향은 옹벽이 연직으로 많은 침하를 일으키지 않는다면 크지 않으나 수동토압에 미치는 영향은 매우 크다.

② 토압의 계산

가. 토압공식은 Coulomb, Rankine, Terzaghi의 공식 등 여러 가지이지만 실내외 실험결과 Coulomb의 토압공식이 비교적 측정치에 가까운 값을 보이기 때문에 Coulomb의 토압공식을 사용해야 한다. 그러나 강널말뚝 등 변형하기 쉬운 구조물에 작용하는 토압은 복잡한 곡선분포를 보이므로 이 경우에는 Coulomb의 토압을 사용할 수 없다. 그리고 역 T형 옹벽 또는 부벽식 옹벽과 같이 뒷굽에서부터 연직하게 세운 가상면에 토압이 작용할 때에는 Rankine 토압을 사용해야 한다.

나. 벽면 마찰각의 부호는 주동토압의 경우에는 정(正), 수동토압의 경우에는 부(負)를 취해야 한다. Coulomb의 수동토압이 벽면마찰각 등의 영향으로 과대하게 되지 않도록 설계시 벽면마찰각 등을 제한해야 한다.

C. Unit weight of soil for calculating earth pressure shall be based on soil test result, and cohesion shall be taken into account in calculating active and passive earth pressures for cohesive soil.

D. In general, the properties of cohesive soil vary significantly depending on water content, and cohesion obtained from in-site test or laboratory test is only for reference at that testing time. For these reasons, when soil cohesion is not estimated accurately, earth pressure coefficient shall be determined by reducing the angle of shear resistance, ignoring the effect of cohesion.

E. For the load working on the ground surface behind the wall, earth pressure shall be calculated by multiplying the coefficient of earth pressure by surcharge load on the ground.

F. When the terrain of ground surface or surcharge load conditions depending on the location of retaining wall is irregular, diagram method (trial wedge method) based on the theory of Coulomb's soil wedge analysis can be applied.

③ Working surface and direction of active earth pressure on retaining wall

A. Retaining wall other than gravity retaining wall

(a) Stability calculation and design of base plate

ⓐ Earth pressure shall be assumed to be worked on a virtual surface, which is erected vertically from the heel of the base plate.

ⓑ Working direction shall be assumed to be inclined at $\delta = \phi$ to the line of a virtual surface. ϕ is the angle of internal friction of soil.

(b) Design of retaining wall

ⓐ Earth pressure acts on the back face of retaining wall, and the angle of friction between the wall and the backfill shall be applied depending on the type of a wall, calculation method and during normal or earthquake, as shown in <Table 6.5.1>.

Table 6.5.1 Angle of wall friction on the acting surface of earth pressure

Type of Retaining wall	Calculation Method	Wall friction angle, δ	
		During Normal	During Earthquake
Semi-gravity Type Gravity Type	Stability	$\phi/3$	0
	Wall section	$\phi/3$	0
Counter-fort Type Cantilever Type	Stability	β	0
	Wall section	$\phi/3$	0

Note) ϕ: Angle of soil shear resistance (internal friction angle, °)
β: Angle of inclination of the backfill ground surface

다. 토압의 계산에 적용하는 흙의 단위중량은 현장에서 채취한 토질시료에 대한 시험치를 이용하고, 점성토의 경우에는 주동토압과 수동토압 계산시에 점착력의 영향을 고려해야 한다.

라. 일반적으로 점성토는 함수비에 의해 현저하게 그 성질이 변화하며 설계시에 원위치 시험 혹은 채취시료에 의한 실내시험의 결과에서 점착력을 구해도 그 당시의 값을 파악하는 것에 불과하므로 이러한 이유들로 인하여 흙의 점착력을 정확히 추정할 수 없는 경우에는 점착력의 영향을 무시하고 전단저항각을 작게 산정하여 토압계수를 계산해야 한다.

마. 벽체배면의 지표면에 하중이 작용하는 경우의 토압은 재하하중에 토압계수를 곱하여 그 영향을 고려해야 한다.

바. 옹벽의 설치위치에 따라 지표면 형상이나 재하자중이 불규칙한 경우 Coulomb의 흙쐐기론을 기초로 한 토압의 도해법(시행쐐기법)을 적용할 수 있다.

③ 옹벽에 작용하는 주동토압의 작용면 및 작용방향

가. 중력식 옹벽 이외의 경우

㉮ 안정계산 및 저판설계를 하는 경우

㉠ 저판 뒷굽에서부터 연직으로 세운 연직면을 가상배면으로 하고 토압은 가상배면에 작용하는 것으로 한다.

㉡ 작용 방향은 가상배면의 수선에 대해 $\delta = \phi$의 경사를 이루는 것으로 해야 한다. ϕ는 흙의 내부마찰각이다.

㉯ 벽체설계를 하는 경우

㉠ 벽체배면을 토압의 작용면으로 하고, 토압의 작용면의 벽면마찰각은 <표 6.5.1>과 같이 옹벽형식, 계산의 종류 및 상시, 지진시에 따라 적용해야 한다.

표 6.5.1 토압작용면의 벽면마찰각

옹벽형식	계산의 종류	벽면마찰각, δ	
		상시	지진시
중력식 옹벽 반중력식 옹벽	안정 계산	$\phi/3$	0
	벽의 단면계산	$\phi/3$	0
역T형 옹벽 부벽식 옹벽	안정 계산	β	0
	벽의 단면계산	$\phi/3$	0

주) ϕ : 흙의 전단저항각 (내부마찰각, °), β : 옹벽 배면 지표경사각

(c) Selection of virtual back face of retaining wall

ⓐ A virtual back face of retaining wall for calculating earth pressure can be determined either by the line that links the heel of the base plate to the heel of the wall top, or a virtual surface erected vertically from the heel of the base plate. In this standard, the latter shall be used.

B. Gravity retaining wall

(a) Stability calculation and design of base plate

ⓐ Earth pressure shall be assumed to be worked on a virtual surface, which is erected vertically from the heel of the wall top to the heel of the base plate.

ⓑ The direction of earth pressure shall be the same as for retaining wall other than gravity retaining wall.

(b) Design of retaining wall

ⓐ Same as for retaining wall other than gravity retaining wall.

(5) Surface load on retaining wall

① Required surface load shall be considered in designing retaining wall. Surface load of 15 kN/m^2 excluding on the inclined plane shall be considered even though it is not required in the design.

② Track weight or train load is dependent on track specification, but the effect of load difference on retaining wall is insignificant. In general, the surface load shown in <Table 6.5.2> and <Fig. 6.5.1> can be used.

(6) Load combination of retaining wall

① Load combination for retaining wall design shall be in accordance with 「Article 6.4.2 」

② For stability calculation, buoyancy in addition to load combination shall be considered.

③ The effect of water pressure, wind load, snow load, and ground displacement on retaining wall shall be considered, if necessary.

Table 6.5.2 Surface load (kN/m^2)

Classification	Traditional railway	HSR
q_1	15	15
q_2	35	35
q_3	73/B	78/B

㈐ 가상배면 선정

㉠ 토압 산정시 가상배면을 벽체정점의 후단과 뒷굽을 연결한 선으로 하는 방법과 이 항과 같이 뒷굽에서부터 연직으로 세운 연직면으로 하는 방법이 있다. 이 기준에서는 일반적으로 후자에 의한 것으로 해야 한다.

나. 중력식 옹벽의 경우

㉮ 안정계산 및 저판의 설계를 하는 경우

㉠ 벽체정점의 후단과 뒷굽에서부터 세운 연직면을 가상배면으로 하고 토압은 가상배면에 작용하는 것으로 해야 한다.

㉡ 토압의 작용방향은 중력식옹벽 이외의 경우와 동일하게 적용한다.

㉯ 벽체설계를 하는 경우

㉠ 중력식 옹벽이외의 경우와 동일하게 한다.

(5) 옹벽에서의 상재하중

① 옹벽 설계시 필요한 상재하중을 고려해야 한다. 설계상 필요 없다고 생각되는 경우에도 경사면을 제외하고 15kN/m^2의 상재하중을 고려해야 한다.

② 궤도중량이나 열차하중은 선로규격 등에 의하여 달라지지만 그에 따른 하중의 차이가 옹벽에 미치는 영향이 크지 않으므로 일반적으로 <표 6.5.2>과 <그림 6.5.1>에서 나타낸 상재하중으로 하여도 좋다.

(6) 옹벽에서의 하중의 조합

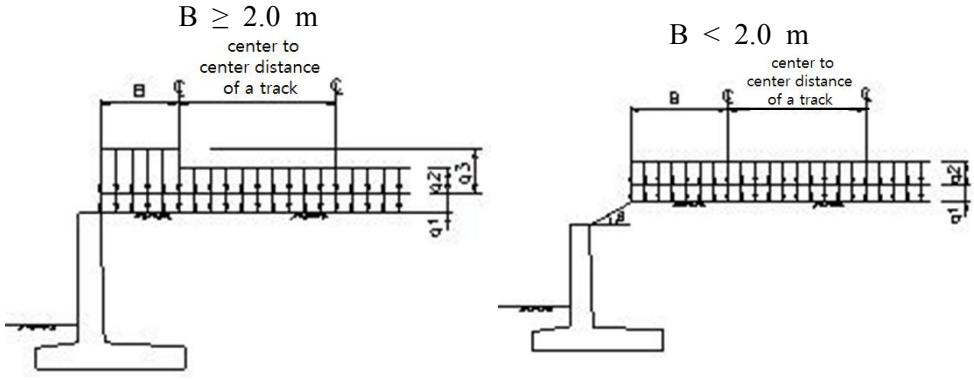
① 옹벽설계에 이용하는 하중의 조합은 「6.4.2항」에 의해야 한다.

② 안정검토시에는 하중의 조합에 부력을 고려해야 한다.

③ 수압, 풍하중, 설하중, 지반변위의 영향 등은 필요에 따라 고려해야 한다.

표 6.5.2 상재하중(kN/m^2)

구분	일반철도	고속철도
q_1	15	15
q_2	35	35
q_3	73/B	78/B



Note) q1 : Surface load due to the weight of ballasted track
q2 : Surface load due to train load (B ≥ 2.0 m)
q3 : Surface load due to train load (B < 2.0 m)

Fig. 6.5.1 Scale and distribution of surface load

(7) Stability conditions of retaining wall

① General

A. The factor of safety for sliding shall be greater than 1.5 during dry season and 1.2 during earthquake. However, the factor of safety shall be 2.0 or more when passive earth pressure on the front face of retaining wall is included in the resistance against the sliding. In case of rainy season which is affected by infiltrated water, a separate review shall be carried out and the factor of safety in this case shall be 1.3 or more.

B. When retaining wall is fulfilled required safety conditions against overturning and bearing capacity, but not satisfied against sliding conditions, a shear key shall be installed to increase the sliding resistance.

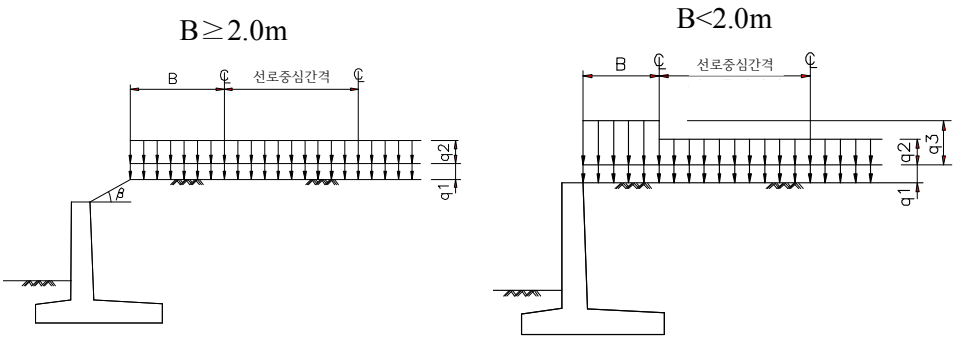
C. Resistance moment against overturning shall be not less than 2.0 times of the overturning moment due to lateral earth pressure. When the resultant force of all forces acting on wall is located within 1/3 of the center of the base plate (2/3 during earthquake), the stability calculation for overturning can be skipped. When the foundation ground for retaining wall is rock, resultant force shall be within 1/2 of the center of the base plate.

D. Maximum compressive stress on the foundation ground shall not exceed the allowable bearing capacity of the foundation ground.

E. The bearing capacity and settlement of foundation ground shall be in accordance with 「Chapter 11 Bridge Substructure and Foundation」

F. For soft ground foundation or soil layers with softened sub-base with depth, a particular review on settlement shall be required.

G. When constructing retaining wall on soft ground or on cutting slope, the slope stability analysis including retaining wall, foundation ground, and wall backfill shall be conducted.



주) q_1 : 자갈궤도중량에 의한 상재하중
q_2 : 열차하중에 의한 상재하중(B≥2.0m)
q_3 : 열차하중에 의한 상재하중(B<2.0m)

그림 6.5.1 상재하중의 크기 및 분포

(7) 옹벽의 안정 조건

① 일반내용

가. 활동에 대한 안전율은 건기시 1.5, 지진시 1.2를 초과해야 한다. 다만 옹벽 전면의 수동토압을 활동 저항력에 포함할 경우의 안전율은 2.0 이상 이어야 한다. 그리고 우기시 침투수의 영향을 받는 특별한 경우에 대해서는 별도의 검토가 필요하며 이 경우 안전율은 1.3 이상이어야 한다.

나. 전도 및 지지력에 대한 안정조건을 만족하며 활동에 대한 안정조건만 만족하지 못할 경우에는 활동방지벽을 설치하여 활동저항력을 증대시킬 수 있다.

다. 전도에 대한 저항 모멘트는 횡토압에 의한 전도모멘트의 2.0배 이상이어야 한다. 모든 힘들의 합력작용위치가 저판 폭의 중앙 1/3(지진시 토압에 대해서는 2/3) 이내에 있다면 전도에 대한 안정성 검토는 생략할 수 있다. 만일 기초지반이 암반인 경우라면 그 합력이 중앙 1/2 이내에 있어도 된다.

라. 기초지반에 작용하는 최대압축응력이 기초지반의 허용지지력을 초과하지 않아야 한다.

마. 기초지반의 지지력 산정과 침하에 대한 검토는「제11장 교량하부 및 기초」를 따른다.

바. 기초지반이 연약하거나 하부로 갈수록 연약해지는 토층구조인 경우에는 침하에 대하여 특별한 검토가 필요하다.

사. 연약지반이나 경사지를 깎기하고 옹벽을 축조하는 경우에는 옹벽과 기초 하부 및 벽체 배면 지반을 포함한 비탈면 안정성 검토를 수행해야 한다.

H. All of retaining walls shall be designed to be structurally safe against earth pressure as well as sliding, overturning, and bearing capacity.

② Stability against sliding

A. Retaining wall has the characteristic to slide horizontally due to the horizontal component of earth pressure. If the foundation of retaining wall is not able to resist the horizontal sliding, sliding failure can be caused. Therefore, the retaining wall shall be safe against such a sliding.

B. The depth of base plate for retaining wall shall be greater than the depth of frost penetration, and the depth shall be 1 meter or more from the ground surface even though the depth of frost penetration is shallow. Furthermore, even though the depth of base plate is sufficiently deep, it will be conservative to ignore the resistance against passive earth pressure as follows.

(a) Considerable amount of wall displacement is required to generate passive earth pressure.

(b) Soil in front toe of retaining wall can be eroded by rain water or run-off.

(c) As the soil in front toe of retaining wall is back filled, it can hardly be expected to have significant initial strength.

C. If the soil thickness on the base plate in front toe of retaining wall is maintained as it is, this passive earth pressure can be considered for the stability analysis, but the minimum factor of safety in this case shall be 2.0 or more.

D. When the stability against sliding cannot be obtained by resistance alone due to frictional force or adhesion between the base plate and soil, resistance against sliding can be increased by providing a shear key or installing pile at the bottom of the base plate.

③ Stability against overturning

A. Retaining wall tends to rotate around the front toe of the base plate by lateral earth pressure, and if it does not resist properly, the retaining wall becomes unstable due to overturning. Thus, the wall shall be stable against overturning and the factor of safety for overturning shall be 2.0 or more.

B. On the other hand, when the resultant force of all forces is located within 1/3 of the center of the base plate, the stability analysis for overturning can be skipped. If the foundation ground of retaining wall is rock, the resultant force can be located within 1/2 of the center of the base plate.

④ Stability against bearing capacity

A. If maximum compressive stress (σ_{max}) on foundation ground exceeds the allowable stress (σ_a), of foundation ground, the stability of foundation ground against bearing capacity is unstable. Therefore, the stability against bearing capacity shall be reviewed.

아. 모든 옹벽은 작용토압에 대해 구조적으로 안전하도록 설계되어야 할 뿐만 아니라 옹벽의 활동, 전도, 지지력에 대한 안정조건이 만족되어야 한다.

② 활동에 대한 안정

가. 옹벽에 작용하는 토압의 수평성분에 의해서 옹벽은 수평방향으로 활동하려는 특성을 지닌다. 옹벽의 수평활동에 대하여 옹벽바닥면이 저항하지 못하면 옹벽이 활동하여 파괴에 이를 수 있다. 따라서 옹벽은 활동에 대해 안전해야 한다.

나. 옹벽 저판의 설치깊이는 동결심도 이상이어야 하며 동결심도가 얕은 지반이라 하더라도 지표면 아래로 최소한 1.0m 이상의 깊이에 설치해야 한다. 그리고 비록 저판이 소요깊이를 확보하더라도 다음과 같은 점에서 수동토압에 의한 저항을 무시하는 것이 안전측이다.

㉮ 수동토압이 발생하기 위해서는 상당한 옹벽의 변위가 필요하다.

㉯ 우수나 유수에 의해 옹벽 앞굽 주변의 흙이 세굴될 수 있다.

㉰ 옹벽 앞굽 주변은 되메움한 흙으로서 초기 강도를 기대하기 곤란하다.

다. 옹벽 앞굽 앞에 있는 저판 바닥 위의 토피 두께가 그대로 유지될 수 있다면 활동에 대한 안정 검토시 본 수동토압을 고려할 수 있으나 이때의 최소 안전율은 2.0 이상이어야 한다.

라. 저판과 흙 사이의 마찰력이나 부착력에 의한 저항만으로 활동에 대한 안정이 제대로 얻어지지 못하는 경우에는 저판 바닥면에 돌출부를 설치하거나 말뚝을 설치하여 활동에 대한 저항력을 증대시킬 수 있다.

③ 전도에 대한 안정

가. 옹벽은 횡방향 토압으로 인해 저판의 앞굽을 중심으로 회전하려는 경향을 갖는데 만약 이에 대해 저항하지 못하면 전도에 의해 옹벽이 불안정해질 수 있다. 따라서 옹벽은 전도에 대해서도 안정해야 하며 전도에 대한 안전율은 2.0 이상이어야 한다.

나. 한편 모든 힘들의 합력작용위치가 저판 폭의 중앙 1/3 내에 있다면 전도에 대한 안정성 검토는 생략해도 좋다. 만일 기초지반이 암반인 경우라면 그 합력이 중앙 1/2 이내에 있어도 된다.

④ 지지력에 대한 안정

가. 기초지반에 작용하는 최대압축응력(σ_{max})이 기초지반의 허용응력(σ_a)을 초과한다면 기초지반의 지지력에 대한 안정을 유지할 수 없다. 즉, 지지력에 대한 안정을 검토해야 한다.

B. In general, the allowable bearing capacity (q_a) of foundation ground, which is the ultimate bearing capacity (q_{ult}) divided by the factor of safety equal to 3.0, shall be used.

⑤ Overall stability of retaining wall

A. Overall stability refers to the stability of retaining wall including the foundation ground and the backfill and ground behind the retaining wall as well as retaining wall structure itself. In particular, overall stability can cause problems when a structure is built on soft ground and in this case stability analysis to assess this problem shall be conducted based on geological exploration in the field, soil investigation and tests. The overall stability analysis can be conducted by using modified Bishop method, Janbu's simplified method, and Spencer method. The following phenomena can be occurred on soft ground where overall stability may be in question.

(a) Consolidation settlement due to the load of retaining wall structure

(b) Creep settlement over extended time

(c) Horizontal movement of structure due to lateral flow of ground

B. When overall factor of safety for a cutting surface including retaining wall is 1.5 or less, any of the measures in 「(a) ~ (b)」 shall be taken.

(a) Increase the depth of shear key under the foundation slab

(b) When foundation ground is soft ground and a bearing layer is located very near from the ground surface, soft ground layer shall be substituted by good quality of soil. Substitution material shall be equal to or superior to backfill materials, and it shall be good quality of materials such as rubble or gravel when the groundwater exists.

(c) In general, when the thickness of soft ground layer is thin, it is economical to replace the soft layer with good quality of materials. However, when substitution material is not easily available or passive earth pressure of retaining wall is expected, it can be more economical to extend the bottom of the foundation slab to the bearing layer. Thus, replacement or substitution of materials shall be determined considering site conditions.

(d) When foundation ground is inclined or a part of ground condition below the foundation slab bottom is weak, it shall be replaced with concrete after excavation. The bottom of the ground for replacement or substitution shall be excavated horizontally, and at least 0.5 m thick support layer or platform can be installed if necessary.

(e) Pile foundation shall be considered.

(f) When the factor of safety cannot be secured despite applying the afore-mentioned methods, it is necessary to change the overall plan for constructing retaining wall.

나. 기초지반의 허용지지력(q_a)은 일반적으로 극한지지력(q_{ult})을 안전율 3.0으로 나눈 값을 사용해야 한다.

⑤ 굴착면 전체의 안정

가. 전체 안정성이란 옹벽구조물 뿐만 아니라 옹벽기초 아래 및 옹벽 벽체 뒤의 지반이 포함된 전체의 안정성을 의미한다. 특히 연약지반상에 구조물이 축조되는 경우 전체 안정성이 문제될 수 있으며 이에 대한 평가를 위해서는 현장에 대한 지질학적 탐사, 토질역학적 조사 및 시험과 이를 바탕으로 한 안정성 해석이 필요하다. 전체안정성 해석에는 수정 Bishop법, Janbu의 간편법, Spencer방법 등이 사용될 수 있다. 전체 안정성이 문제될 수 있는 연약지반의 경우 다음과 같은 현상이 발생할 수 있다.

㉮ 옹벽 구조물 하중으로 인한 압밀침하

㉯ 장기간의 경과에 따른 크리프 침하

㉰ 지반의 측방유동으로 인한 구조물의 수평이동

나. 옹벽을 포함한 굴착면 전체의 안전율이 1.5 이하인 경우 「㉮~㉱항」방법을 취해야 한다.

㉮ 기초 슬래브 하부의 돌출부 깊이를 증가시킨다.

㉯ 기초지반이 연약하고 비교적 얕은 곳에 지지층이 있는 경우, 연약층을 치환해야 한다. 치환재료는 뒷채움재와 동등 이상의 것으로 하고, 지하수가 있는 경우에는 쇄석 등 양질의 것을 사용해야 한다.

㉰ 일반적으로 연약층이 얇은 경우는 양질의 재료로 치환하는 것이 경제적이지만, 치환재료 획득이 곤란하거나 수동토압을 기대할 수 있는 옹벽에서는 기초 슬래브 저면을 지지층까지 내리는 것이 경제적일 수 있으므로 치환여부는 현장조건을 감안하여 결정해야 한다.

㉱ 기초지반이 경사진 경우 또는 기초 슬래브 저면의 일부가 불량한 경우, 그 부분을 굴착하여 콘크리트로 치환해야 한다. 치환하는 위치의 저면은 수평으로 굴착하고 필요에 따라 최소 0.5m 정도의 받침대를 설치하는 것이 좋다.

㉲ 말뚝기초를 검토해야 한다.

㉳ 상기 방법에 의해서도 안전율을 확보할 수 없는 경우, 옹벽설치에 관한 전체계획을 변경해야 한다.

6.5.2 Normal design of retaining wall

(1) Normal design method

① Normal design method shall be applied by using earth pressure in accordance with 「Article 6.4.3 (1)」.

② Design calculation of retaining wall shall be based on the slab and beam defined in 「Chapter 7 Underground Structure」 depending on the structure type and load conditions.

6.5.3 Special design of retaining wall

(1) Special design method

① Special design of retaining wall shall be conducted to secure the required factor of safety against sliding, overturning, bearing capacity, displacement, and strength of members for the following cases.

A. When cohesion of backfill soil is considered in calculating active earth pressure

B. When the terrain of backfilled ground surface is complicate

C. When the rear face of retaining wall is adjacent to the original ground or the structure

D. When affected by local load

E. Retaining wall on soft ground

F. Retaining wall on slope

G. Special type of retaining wall

② In case of a special design condition, only the review of normal design method can cause unstable or uneconomic design, and for such case, careful review is necessary during the survey and design.

③ Since the review of special design conditions for certain items cannot be clearly examined yet, and thus it is required to carefully judge the result of calculation and investigation.

(2) Retaining wall on soft ground

① When retaining wall on soft ground is inevitably necessary, the following shall be considered.

A. Slope stability

Slope stability shall be evaluated according to 「Article 6.5.1 (7) ⑤」

B. Consolidation settlement

(a) In case of shallow foundation, it shall be reviewed according to 「Chapter 11, Bridge Substructure and Foundation」. In this case, consolidation settlement by surcharge load acting on rear face of retaining wall and load on the base of foundation can be occurred, and the settlement type is complicate which requires more careful attention.

6.5.2 옹벽의 보통설계

(1) 옹벽의 보통설계법

① 옹벽의 보통설계는 「6.4.3(1)항」에 표시한 토압을 적용하여 설계해야 한다.

② 옹벽은 구조형식 및 하중상태에 따라 「제7장 지하구조물」에 기술되어 있는 슬래브, 보 등에 준하여 설계계산을 해야 한다.

6.5.3 옹벽의 특수설계

(1) 옹벽의 특수설계법

① 옹벽의 특수설계는 다음에 해당하는 항목에 대한 것으로 각 경우 활동, 전도, 지지력과 변위 및 부재의 강도가 필요한 안전도를 갖도록 설계해야 한다.

가. 주동토압 산정에 배면토의 점착력을 고려하는 경우

나. 배면의 지표면 형상이 복잡한 경우

다. 옹벽배면이 원지반 또는 구조물에 근접한 경우

라. 국부 하중이 작용하는 경우

마. 연약지반상의 옹벽

바. 비탈면상의 옹벽

사. 특수한 구조의 옹벽

② 특수설계 조건인 경우에는 보통설계의 검토만으로는 불안전하거나 비경제적이 될 수 있으므로 조사 설계에 있어서 검토가 필요하다.

③ 특수조건에 대한 검토는 아직 규명되지 않고 있는 사항도 있으므로 조사와 계산결과에 대한 세심한 판단이 필요하다.

(2) 연약지반상의 옹벽

① 연약지반 위에는 옹벽을 설치하면 안되지만 부득이 설치해야 하는 경우에는 다음 각 항에 대하여 주의해야 한다.

가. 비탈면안정

「6.5.1(7)⑤항」에 의해 검토해야 한다.

나. 압밀침하

㉮ 직접기초인 경우에는 「제11장 교량하부 및 기초」에 따라 검토해야 한다. 이 경우 배면의 쌓기하중에 의한 압밀침하와 함께 기초저면에 작용하는 하중에 의해서도 압밀 침하가 생기며 침하형태는 복잡하게 되므로 주의가 필요하다.

(b) Pile foundation shall be reviewed according to 「Chapter 11 Bridge Substructure and Foundation」.

(3) Retaining wall on slope

① Retaining wall on slope shall be designed by reviewing not only the safety of the retaining wall itself but also the overall stability of the slope.

② When retaining wall is built by banking on slope, the stability condition is worse compared to the condition on the natural slope before constructing of retaining wall, and thus the effect of banking on slope shall be reviewed.

(4) U-type retaining wall

① U-type retaining wall shall be designed considering the shape, earth pressure, and subgrade reaction.

② U-type retaining wall that uses the inner space of side wall shall be generally designed as follows.

A. Calculation of earth pressure

(a) When the height of side wall on both sides is similar, earth pressure at rest in the horizontal direction shall be considered in calculating the section of side wall and base plate. Drain is usually not provided to the U-type retaining wall, and thus the effect of groundwater can be taken into account.

(b) When the height of side wall on both sides is different, the variation of earth pressure on both side walls according to the difference in height and ground conditions shall be considered.

B. Review of buoyancy and settlement

Most of U-type retaining walls are usually negative (-) in terms of net load increase, and thus the buoyancy shall be reviewed. Particularly, buoyancy and settlement due to liquefaction in loose sandy soil shall be reviewed.

(5) Soil-filled U-type retaining wall.

① Soil-filled U-type retaining wall shall be designed considering the shape and earth pressure.

② Earth pressure at rest shall be used for member design. Earth pressure on side wall will be affected depending on the properties of filled soil and compaction. The coefficient of earth pressure at rest, $K_o = 0.5$, shall be used.

③ Base plate shall be designed considering bending moment transmitted from the side wall, and axial tensile force. Internal drainage for soil-filled U-type retaining wall shall be considered.

(6) Other special types of braced wall

① Special types of braced wall shall be determined considering site conditions. Potential factors affecting the design for any special types of braced wall shall also be considered.

㈏ 말뚝기초의 경우에는 「제11장 교량하부 및 기초」에 준하여 검토해야 한다.

(3) 비탈면상의 옹벽

① 비탈면상의 옹벽설계는 옹벽의 안정검토를 행함과 동시에 비탈면 전체의 안정검토를 해야 한다.

② 비탈면에 쌓기를 하여 옹벽을 만드는 경우 시공전의 자연비탈면보다 안정이 약화되므로 그 영향에 대하여 검토해야 한다.

(4) U형 옹벽

① U형 옹벽의 설계는 형상, 토압, 지반반력 등을 검토해야 한다.

② 측벽의 내측공간을 사용한 U형 옹벽의 설계는 일반적으로 다음과 같이 해야 한다.

가. 토압의 산정

㉮ 좌, 우측벽의 높이가 유사한 경우 측벽 및 저판의 단면산출에는 정지토압이 수평으로 작용하는 것으로 생각해야 한다. U형 옹벽에는 일반적으로 배수공을 만들지 않기 때문에 지하수의 영향을 고려할 필요가 있다.

㉯ 좌, 우측벽의 높이가 다른 경우에는 그 정도와 지반조건에 따라 좌우의 측벽에 작용하는 토압을 변화시키도록 해야 한다.

나. 부상 및 침하에 대한 검토

U형 옹벽은 증가하중이 적어서 부(-)로 되는 경우가 많으므로 부상의 검토를 수행할 필요가 있다. 특히 느슨한 사질토의 경우에는 액상화에 의한 부상 및 침하에 대하여 검토할 필요가 있다.

(5) 흙채움 U형 옹벽

① 흙채움 U형 옹벽의 설계는 형상, 토압 등을 검토해야 한다.

② 부재설계에 있어서는 일반적으로 정지토압으로 고려한다. 측면에 작용하는 토압은 채워진 흙의 성질과 다짐 정도에 영향을 받는다. 일반적으로 정지토압 계수는 K_o = 0.5로 해야 한다.

③ 저판설계에 있어서는 측벽으로부터 전달된 휨모멘트와 축방향 인장력을 고려해야 한다. 흙채움 U형 옹벽에는 옹벽 내부로부터의 배수에 주의할 필요가 있다.

(6) 기타 특수형식의 흙막이벽

① 특수형식의 흙막이벽을 이용하는 경우에는 그 특성을 고려하여 현장의 조건에 맞는 형식의 것을 선정해야 한다. 어떠한 형식에 있어서도 설계상 여러 가지 문제에 대한 가능성이 있을 때는 그 영향에 대하여 검토해야 한다.

② Tie Bar retaining wall

In tie bar retaining wall, earth pressure is imposed on tie bar (tension steel). Earth pressure on retaining wall and sharing of horizontal force on tie bar are greatly dependent on construction sequences, deformation of retaining wall, and expansion and bending of tie bar. Since excessive stress occurs as tie bar is deformed due to banking settlement, tie bar retaining wall shall not be used in the ground vulnerable to consolidation settlement by banking. Furthermore, corrosion of tie bar shall be considered.

③ Pile type braced wall

Pile type braced wall includes soldier pile (H-section steel, steel pipe, and PHC pile), sheet pile, cast-in-place pile (column-type, SCW, SPW) and diaphragm wall, and is grouped into two types: self-supported type and strut- and anchor-supported type. In general, sheet pile is vulnerable to deformation against earth pressure due to less stiffness, and especially large horizontal displacement at the ground surface level for self-supported type wall can be occurred, expecting great horizontal bearing capacity. Water pressure shall be considered when drain is not provided.

④ Box type braced wall

In general, this type of retaining wall is used at the poor site conditions such as sloped ground or braced wall for banking on soft ground. Box type braced wall has advantages such as superior drainage, easy and fast installation, and flexibility to ground deformation.

6.5.4 Design of retaining wall body

(1) Design of retaining wall body

① Gravity retaining wall

This type of wall supports earth pressure by self-weight, and the wall shall be designed so that resultant force of earth pressure and self-weight inside the wall section shall not generate tensile stress greater than allowable tensile stress of concrete.

② Semi-gravity retaining wall

A. This type of wall supports earth pressure by self-weight as gravity retaining wall, and shall be used when the less thickness of wall compared to the thickness of gravity type retaining wall is required, considering topographic features and other physical limitation.

B. Design method is the same as for gravity type retaining wall, and but required amount of reinforcement shall be placed to support tensile force occurring in a section due to resultant force of earth pressure and self-weight.

② 타이바(Tie Bar)식 옹벽

토압을 타이바(인장강재)에 부담시키는 형식인데 옹벽에 작용하는 토압 및 타이바의 수평력의 분담은 시공순서, 옹벽의 변형, 타이바의 신장이나 휨 등에 의해서도 크게 달라진다. 또 쌓기의 침하에 의해 타이바가 변형하면 과도한 응력이 발생하므로, 쌓기에 의한 압밀침하가 생기는 지반에서는 사용해서는 안 된다. 한편 타이바의 부식에 대해서도 검토가 필요하다.

③ 말뚝식 흙막이벽

말뚝식 흙막이벽에는 엄지말뚝(H 형강, 강관 및 PHC말뚝)과 널말뚝, 현장타설말뚝(주열식, SCW, SPW 등) 및 지하연속벽 등이 있으며 자립식과 버팀대, 앵커 등으로 지지되는 형식이 있다. 널말뚝은 일반적으로 강성이 적으므로 토압에 의해 변형하기 쉽고 특히 자립식은 지표부근의 지반에 큰 수평지지력을 기대하므로 수평변위량이 크게 된다. 배수공을 만들지 않는 경우에는 수압을 고려해야 한다.

④ 박스식 흙막이벽

일반적으로 원지반의 경사지, 연약지반상 쌓기의 흙막이 등 조건이 열악한 위치에 이용되는 예가 많다. 박스식 흙막이벽은 배수, 통수가 매우 좋고 시공이 용이하고 빠르며 지반변형에 대해 유연한 구조적 장점이 있다.

6.5.4 옹벽 본체설계

(1) 옹벽 본체설계

① 중력식 옹벽

자중에 의해 토압을 지지하는 형식으로, 토압과 자중의 합력에 의해 구체단면이 콘크리트 허용인장응력 이상의 인장응력이 발생하지 않도록 설계해야 한다.

② 반중력식 옹벽

가. 중력식 옹벽과 같이 자중에 의해 토압을 지지하는 형식으로 지형 및 기타 물리적 제약에 의해 중력식 옹벽의 경우보다 벽체 두께를 얇게 해야 하는 경우에 적용해야 한다.

나. 설계방법은 중력식 옹벽과 동일하나 토압과 자중의 합력에 의해 단면 내에 생기는 인장력을 담당할 수 있도록 필요한 양의 철근을 배근해야 한다.

C. Design of tensile reinforcement

When the tension zone is generated on semi-gravity retaining wall, reinforcement shall be placed to support this tensile stress.

③ Cantilever retaining wall

A. Wall and foundation of cantilever retaining wall shall be designed as cantilever using the joint as a fixed end.

B. Wall shall be designed considering the horizontal component of earth pressure and ignoring self-weight.

C. The front panel shall be designed considering upward subgrade reaction and downward self-weight of the front plate.

D. The rear panel shall be designed considering soil weight on rear panel, vertical component of earth pressure, ground surface load, self-weight of the rear panel, and subgrade reaction.

E. At least 1/3 of main reinforcement on the opposite side for the upper side of front panel and the lower side of rear panel of foundation slab shall be arranged to prevent cracks.

F. When passive earth pressure is taken into account, soil weight below the virtual ground surface above the front panel shall be considered.

G. In case of the ground surface of wall backfill is sloped, earth pressure at the location used for stability analysis tends to be large in the wall design, and thus earth pressure at the rear surface of wall shall be used.

H. When bending moment of the rear panel (wall connection) exceeds the bending moment of the wall, the bending moment of the wall shall be used in the design of real panel for foundation slab.

④ Counter-fort retaining wall

A. Wall shall be designed so that the continuous slab supported by counter-fort wall shall be able to resist the horizontal component of earth pressure.

B. Counter-fort wall is considered as tapered T-cantilever beam fixed to the base plate, and shall be designed to resist the horizontal component of total earth pressure on wall.

C. Foundation slab, which is a continuous slab supported by counter-fort wall, shall be designed considering soil weight on rear panel, vertical component of earth pressure, ground surface load, self-weight of the panel, and subgrade reaction.

D. The front panel of foundation slab shall be designed in the same way as the cantilever wall.

E. Both ends of the wall and foundation slab shall be designed as cantilever beam supported by counter-fort wall.

다. 반중력식 옹벽의 인장철근 설계

반중력식 옹벽에서 인장영역이 발생되면 인장응력을 철근이 부담하도록 배근해야 한다.

③ 캔틸레버식 옹벽

가. 캔틸레버식 옹벽의 벽체와 기초는 접합부를 고정단으로 하는 캔틸레버로 설계해야 한다.

나. 벽체는 자중을 무시하고 토압의 수평분력을 고려해서 설계해야 한다.

다. 앞판은 상향의 지반반력과 하향의 앞판 자중을 고려하여 설계해야 한다.

라. 뒷판은 뒷판 상부의 흙의 중량, 토압의 연직분력, 지표면의 상재하중, 뒷판 자중 및 지반반력을 고려하여 설계해야 한다.

마. 기초슬래브의 앞판 상측과 뒷판 하측은 균열방지 등을 위해 반대측 주철근량의 1/3 이상을 배근해야 한다.

바. 수동토압을 고려하는 경우에는 앞판위의 가상 지표면 아래 흙의 중량을 고려해야 한다.

사. 벽체설계에 사용하는 토압은 옹벽배면이 경사진 경우 안정계산을 할 때와 같은 위치의 토압을 취하면 매우 크게 되므로 일반적으로 전벽 배면 위치에서의 토압으로 설계해야 한다.

아. 기초 슬래브의 뒷판 설계에 있어서 뒷판(벽체 연결부)의 휨모멘트가 벽체의 휨모멘트를 초과하는 경우 설계계산에 있어 휨모멘트는 벽체의 휨모멘트를 쓰는 것으로 해야 한다.

④ 뒷부벽식 옹벽

가. 벽체는 뒷부벽으로 지지된 연속판이 토압의 수평분력에 저항하도록 설계해야 한다.

나. 뒷부벽은 저판에 고정된 변단면 T형 캔틸레버 보로 간주하여 벽체에 작용하는 전 토압의 수평분력에 저항할 수 있도록 설계해야 한다.

다. 기초 슬래브는 뒷부벽으로 지지된 연속판으로서 저판 위의 흙의 중량, 토압의 연직분력, 지표면의 상재하중, 판의 중량 및 지반반력을 고려하여 설계해야 한다.

라. 기초 슬래브의 앞판 설계는 캔틸레버식 옹벽과 같은 방법으로 설계한다.

마. 벽체 및 기초 슬래브의 양쪽 단부는 부벽에 지지된 캔틸레버 보로 설계해야 한다.

⑤ Buttress retaining wall

A. Buttress of buttress retaining wall shall be designed as rectangular beam supported by the base plate, while the wall and foundation shall be designed as continuous slab supported by buttress.

B. For design of buttress, wall, and foundation, external force shall be considered in the same as counter-fort wall.

(2) Drain of retaining wall

① Drain shall be designed in order to drain water at the rear face of retaining wall. If the drain is not allowed inevitably, the effect of water pressure shall be taken into account.

② Treatment of water infiltrated into the rear face of retaining wall

A. As water infiltrates into the backfill of retaining wall and water content of soil increases, earth pressure increases due to increase of unit weight of soil, decrease of angel of internal friction and cohesion, and expanding of cohesive soil. In addition, as water infiltrates into the void and cracks of the backfill, the poor drainage can be caused and large water pressure acts on the wall, and finally it can lead to the failure of wall. Furthermore, seepage into the bottom of base plate can weaken bearing capacity of the ground.

B. Water infiltrating into the rear face of retaining wall can be classified into direct infiltration of rainwater into the backfill, rainwater gathered into the rear face from a surround area of wall, surface water overflowed from channel, groundwater from cutting at the foot of mountain and gravitational flow, or leakage from water supply or sewage pipe.

C. Water infiltration into the rear face and foundation ground of wall shall be prevented for the design of wall, and drain shall be reviewed to discharge infiltrated water immediately in order to prevent an increase in earth pressure and water pressure.

D. Countermeasures against water infiltration shall be provided considering geological, meteorological, and groundwater conditions at the site.

③ Drainage facilities

A. Drainage hole as a final facility shall be designed to drain water gathered at the rear face of retaining wall. Within the height to make the drain into the front face of wall easily covering the whole wall area, at least one drainage hole for every 2 ~ 4 m^2 shall be installed.

B. Drainage hole shall be arranged and inserted into the wall horizontally or in a gentle slope by using PVC pipe having 60～100 mm of inner diameter. The hole shall not be clogged by concrete debris or dirt. Drainage hole shall be provided to each panel for the buttress retaining wall.

⑤ 앞부벽식 옹벽

가. 앞부벽식 옹벽의 부벽은 저판에 지지된 구형보로 설계하며 벽체 및 기초는 앞부벽으로 지지된 연속판으로 보아 설계해야 한다.

나. 앞부벽, 벽체, 기초의 설계에 있어서 외력의 고려방법은 뒷부벽식 옹벽과 같은 방법으로 설계한다.

(2) 옹벽의 배수공

① 옹벽에는 배면상의 배수를 위하여 배수공을 만들어야 한다. 부득이 배수 설치를 할 수 없는 경우에는 수압의 영향을 고려해야 한다.

② 옹벽 배면에 침투하는 물의 처리

가. 옹벽 배면토에 물이 침투함으로써 함수량이 증가하면 흙의 단위중량의 증가, 내부마찰각 및 점착력의 감소, 점성토의 팽창 등으로 인하여 토압의 증가를 초래하게 된다. 더욱이 배면토 내의 간극, 균열 등에 물이 유입하여 배수가 불량하면 큰 수압이 가해져서 옹벽파괴의 원인이 된다. 또 배면에서 저판 아래에 침투수가 유입되면 지반지지력의 저하를 초래하게 된다.

나. 옹벽 배면에 침투하는 물을 구분하면 배면토 위에 강우의 직접침투에 의한 것, 광범위한 지역으로부터 배면부근에 모여진 우수, 수로로부터 넘쳐 들어온 물 등에 의한 표면수에 의한 것, 산기슭의 깎기부, 지하수위가 높은 장소에 있어서의 지하수나 상하수도로 부터의 누수 등에 의한 것이다.

다. 옹벽의 설계에 있어서 우선 배면 및 기초지반에 침투하는 물을 방지해야 하며 배면에 침투한 물이 토압, 수압의 증대를 초래하지 않도록 신속하게 배제하기 위한 배수공에 관하여 검토해야 한다.

라. 침투수의 방지에 대해서는 현장의 지질, 기상, 지하수 등의 조건에 알맞은 조치를 취해야 한다.

③ 배수설비

가. 배수구멍은 옹벽배면에 모인 물을 배수하기 위한 최종설비로서 만들어지는 것이며 벽체의 전면으로 용이하게 배수할 수 있는 높이의 범위에서 배면 배수공의 면적을 합하여 2~4m^{2}에 1개소를 만들어야 한다.

나. 배수구멍은 내경 60~100mm 정도의 경질염화비닐관 등의 재료를 수평 또는 완만한 구멍배열이 가능하도록 매입하여 만드는데 콘크리트 찌꺼기, 토사 등에 의해 막히지 않도록 주의해야 한다. 부벽식 옹벽에는 각 판넬마다 배수구멍을 만들어야 한다.

C. The material of drainage includes gravel and rubble as conventional material and non-woven geotextile as artificial material which is now commonly used. In addition, gravel, non-woven geotextile, and porous concrete panel shall be used as filter materials for drainage hole.

D. The selection of drain material shall be in accordance with “Guideline for Structure Basic Design (MOLTMA)” when it contains fine-grains in addition to the drainage materials defined in 「C」.

(3) Structure details of retaining wall

Arrangement and joint of reinforcement for reinforced concrete shall be in accordance with 「Chapter 10 Concrete Bridge」 and the following standard.

① Arrangement of bar

A. Covering thickness shall be 50 mm or more for exposed surface of wall and 50 mm or more for the concrete surface contacting soil, and 80 mm or more for the foundation slab to be buried in the ground.

B. Reinforcement with the sectional area of 5 cm^2 or more shall be placed at center-to-center in tervals of 0.3 m per every 1 meter of wall height horizontally closed to the exposed surface, in order to prevent the cracks due to contraction and temperature variation of reinforced concrete. It is recommended to place thinner reinforcement at narrow intervals.

C. For counter-fort wall, reinforcement required to support the stress transferred to the buttress from the front wall and foundation slab shall be arranged at the buttress. Distribution bar more than 20% of tension bar shall be arranged for the front wall and foundation slab.

D. Distribution bar more than 20% of tension bar shall be arranged for the front wall of the buttress retaining wall.

E. The minimum reinforcement ratio on total concrete sectional area of horizontal reinforcement shall be in accordance with 「(a) ~ (d)」.

(a) Deformed bar with design yield strength of 400 MPa or more and a diameter of 16 mm or less: 0.0020

(b) Other deformed bars: 0.0025

(c) Welded steel wire with a diameter of 16 mm or less: 0.0020

(d) Interval of horizontal reinforcement shall be three times or less than the thickness of wall, or 450 mm or less.

다. 배수공의 재료는 종래부터 사용되어 온 자갈, 쇄석 등과 근래 사용되게 된 부직포 등의 인공재료가 있다. 또 배수구멍에 대한 필터재로서는 일반적인 막자갈 외에 부직포, 다공 콘크리트판 등을 사용해야 한다.

라. 배수공의 재료 선택은 「다.항」의 배수공재료 이외의 세립분이 함유되는 경우 「구조물기초설계 기준해설(국토해양부)」를 따른다.

(3) 옹벽의 구조상세

철근콘크리트의 철근배근, 이음 등은 「제10장 콘크리트교」및 다음 기준에 의해야 한다.

① 배근

가. 피복두께는 벽의 노출면에서는 50mm 이상, 콘크리트가 흙에 접하는 면에서는 50mm 이상, 직접 흙 중에 묻히는 기초 슬래브에서는 80mm 이상으로 해야 한다.

나. 철근콘크리트에서는 수축 및 온도변화에 의한 균열을 방지하기 위하여 벽의 노출면에 가깝게 수평방향으로 벽의 높이 1m당 5cm^2 이상의 단면적을 가진 철근을 중심간격 0.3m 이하로 배치해야 한다. 이 철근은 가는 것을 좁은 간격으로 배치하는 것이 좋다.

다. 뒷부벽식 옹벽에서는 전면벽과 기초 슬래브에 의해 부벽에 전달되는 응력을 지지하기 위해 필요한 철근을 부벽에 배근해야 한다. 또 전면벽과 기초 슬래브에는 인장철근의 20% 이상의 배력철근을 두어야 한다.

라. 앞부벽식 옹벽의 전면벽에는 인장철근의 20% 이상의 배력철근을 두어야 한다.

마. 수평철근의 콘크리트 총 단면적에 대한 최소철근비는 「㉮~㉲항」같아야 한다.

㉮ 설계기준항복강도 400MPa 이상으로서 지름이 16mm 이하인 이형철근: 0.0020

㉯ 기타 이형철근 : 0.0025

㉰ 지름이 16mm 이하인 용접강선망 : 0.0020

㉲ 수평철근의 간격은 벽체 두께의 3배 이하 또는 450mm 이하

② Connection

A. Construction joint part shall be provided with construction joint, contraction joint to reduce contraction deformation, and expansion joint over the cross section at regular intervals. However, for retaining wall having short length or conducting a separate structural analysis on volume change including hydration heat, temperature variation, and drying shrinkage of concrete, expansion joint and contraction joint cannot be required by arranging longitudinal reinforcement continuously. Joint shall not be designed on the edge or at the corner where stress is concentrated.

B. Construction joint

(a) Additional bar shall be used to the construction joint of gravity wall. Additional bar shall be arranged to the same extent as to the braced wall, even though not required based on the calculation.

C. Contraction joint

(a) Installing contraction joint on the front surface of wall can reduce the effect of concrete contraction deformation. Usually, a 6 ~ 8 mm wide and 12 ~ 16 mm deep contraction joint groove shall be installed at intervals of 9 m or less and shall be connected from the top of the foundation slab to the top of wall. In this case, the reinforcement shall not be discontinued.

(b) For counter-fort wall or buttress wall, contraction joint cannot be installed due to sufficient amount of horizontal reinforcement.

D. Expansion joint

(a) For long retaining wall, expansion joint with flexible material shall be installed longitudinally to mitigate the effect of temperature variation or differential settlement of the ground on the concrete structure.

(b) Expansion joint shall be installed at intervals of 10 m or less for gravity wall, 15 ~ 20 m or less for cantilever and counter-fort and buttress retaining wall. The reinforcement shall be discontinued on expansion joint.

(c) The wall shall be reinforced by laying steel bar across the wall stem in order to maintain the integration of both expansion joints. Since the effect of expansion joint can be reduced if steel bars are adhered firmly to the concrete, lubricant needs to be applied on the surface of the steel bar.

③ Wall body

A. The front face of the wall along with the route shall be usually inclined 1:0.02 or more for aesthetic and operational purposes.

B. Berm can be installed at the top of the wall. The length (l) of berm is dependent on the location of installation and in general shall be 0.7 m.

② 연결부

가. 시공이음부에는 시공이음, 수축변형의 영향을 줄이기 위한 수축이음, 전단면에 걸쳐 일정간격으로 신축이음을 두어야 한다. 다만 옹벽의 길이가 짧거나 콘크리트의 수화열, 온도변화, 건조수축 등 부피변화에 대한 별도의 구조해석을 수행한 경우에는 종방향 철근을 연속으로 배근하여 신축, 수축이음을 두지 않을 수 있다. 또한 응력집중이 발생하는 모서리에는 이음을 두지 않아야 한다.

나. 시공이음(construction joint)

㉮ 중력식 옹벽의 시공이음에는 가외철근을 사용하고 시공이음은 계산상 요구되지 않더라도 흙막이벽에서 배근된 만큼 가외 철근을 배근해야 한다.

다. 수축이음(contraction joint)

㉮ 벽체의 전면에 수축이음부를 두면 콘크리트의 수축변형에 의한 영향을 줄일 수 있다. 일반적으로 폭 6~8mm, 깊이 12~16mm인 수축이음부의 홈을 9m 이하의 간격으로 만들며 옹벽 기초 슬래브 상부에서 벽체 상단까지 연속시킨다. 이때 철근을 끊지 않아야 한다.

㉯ 부벽식 옹벽의 경우에는 수평방향의 철근량이 많으므로 수축이음을 설치하지 않아도 좋다.

라. 신축이음

㉮ 길이가 긴 옹벽의 경우 온도변화나 지반의 부등침하가 콘크리트 구조물에 미치는 영향에 대비하여 길이방향으로 유연성 재료의 신축이음을 설치해야 한다.

㉯ 신축이음 설치 간격은 중력식 옹벽의 경우는 10m이하, 캔틸레버식 및 부벽식옹벽에서는 15~20m 이하의 간격으로 설치하여야 한다. 신축이음에서는 철근이 끊겨야 한다.

㉰ 신축이음부 양측의 일체성을 유지하기 위하여 강철봉을 사용하여 벽체(stem)를 가로지르는 방향으로 보강을 실시해야 한다. 강철봉이 콘크리트에 강하게 부착되면 신축이음의 효과가 상실될 수 있으므로 강철봉 표면에 윤활유를 바르는 방법 등을 적용해야 한다.

③ 본체

가. 노선에 접해있는 벽체의 전면은 미관 및 주행상 일반적으로 1:0.02 이상의 경사를 설치해야 한다.

나. 옹벽 상단에는 소단을 설치하는 것이 좋다. 소단의 길이(l)는 설치장소에 따라 다르지만 일반적으로 0.7m를 적용해야 한다.

C. When the top end or the height of bottom base for continuous wall varies, the wall shall be connected considering the location of wall and the type of the structure. Generally, the length of a block shall be determined based on the embedment depth depending on the location of wall, and it is recommended to install the base plate horizontally.

D. When effective sectional area is reduced by the installation of drainage or drain pipe at the bottom of retaining wall or U-type side ditch or rainwater box at the front panel of the base plate, the following shall be considered.

(a) Sum of reduction in sectional area between retaining wall blocks for given assumed section shall be 6% or less of one block length (L) and shall be uniformly distributed. By doing this, adjustment of reinforcement interval can be sufficient and no additional reinforcement is needed.

(b) In case of over the limit in 「(a)」, the stress at the location where sectional area is reduced shall be calculated, and the section shall be reinforced with reinforcement, if necessary.

④ Shear key

A. In case of using shear key at the base plate to effectively resist against the sliding, shear key shall be installed to integrate with the base plate.

B. The shape of shear key shall be determined to match the excavation line of structure according to the depth of projecting part and soil conditions.

C. The application of shear key shall be determined based on the detailed review since the shear key can be effective in sandy soil, but can be less effective in cohesive soil in which the resistance against sliding is determined by un-drained shear strength.

6.5.5 Seismic design of retaining wall

During seismic ground motion occurred by earthquake, retaining wall can be failed or displaced. Therefore, the retaining wall shall be design with care and design details shall be considered in the design.

(1) Rule for analysis and design

① This shall be limited only to seismic design of retaining wall among railway facilities. Other facilities shall be considered to be safe against usual vertical and horizontal loads other than seismic load.

② In designing retaining wall, earth pressure shall be the resultant of ordinary earth pressure and additional earth pressure due to the dynamic effect of the earthquake.

③ Equivalent static analysis shall be applied to seismic analysis of the wall.

④ When more precise analysis is needed, an appropriate method can be selected and its analysis can be conducted depending on the designer's decision.

다. 연속된 옹벽에서 옹벽의 상단 또는 저면의 높이가 변하는 경우 설치위치, 구조형식 등을 고려하여 접속시켜야 한다. 일반적으로 설치위치에 의해 정해지는 근입깊이를 기준으로 1블럭의 길이를 결정하며 저판은 수평으로 시공하는 것이 좋다.

라. 옹벽저면에 배수시설, 배수관 등을 설치하거나 저판 앞면에 U형 측구, 우수받이 등을 설치함으로써 유효단면의 감소가 있을 때에는 다음 사항에 주의해야 한다.

㉮ 가정하는 단면에서 옹벽 블록사이의 단면감소의 합계가 1블럭길이 L의 6% 이하로 되게 하고 가능한 한 균등하게 분포시킨다. 이와 같이 하면 철근간격을 조절하는 등의 조치만으로 충분하며 별도로 보강할 필요는 없다.

㉯ 「㉮항」의 제한을 넘을 경우에는 단면 감소가 있는 부분의 응력을 계산하여 필요시 철근으로 보강해야 한다.

④ 활동방지 벽(Shear key)

가. 활동에 대한 효과적인 저항을 위하여 저판에 활동방지벽을 적용하는 경우 저판과 일체로 설치해야 한다.

나. 활동방지 벽의 형상은 돌출부의 깊이, 토질상태 등에 따라 구조물 굴착선에 맞는 형상으로 설치해야 한다.

다. 사질토 지반에서는 유효하나 점성토 지반에서는 점성토의 비배수 전단강도에 의하여 활동에 대한 저항력이 결정되기 때문에 효과가 적을 수 있으므로 세부검토를 통해 적용 여부를 결정해야 한다.

6.5.5 옹벽의 내진설계

지진에 의한 지반운동이 발생하는 동안에는 옹벽의 파괴나 변위로 인한 설계 및 세부사항에 대한 세심한 주의가 요구된다.

(1) 해석 및 설계에 대한 규정

① 철도 시설물 중 옹벽의 내진설계에 관해서만 다룬다. 기타 시설물들은 지진으로 인한 하중 이외의 일반적인 수평 및 수직하중에 대해서 안전한 것으로 간주해야 한다.

② 옹벽의 설계시 토압은 상시토압과 지진에 의해 발생되는 동적영향에 의한 추가적인 토압의 합력으로 설계해야 한다.

③ 옹벽의 내진해석방법은 등가정적해석법을 적용해야 한다.

④ 보다 정밀한 해석이 필요하다고 판단되는 경우 설계자의 판단에 따라 타당한 방법을 선정하여 해석을 수행할 수 있다.

⑤ Input ground motion used for analysis and design shall be ground motion with a mean return period according to seismic classification. The horizontal earthquake coefficient (K_h) and vertical earthquake coefficients (K_v) for an equivalent static analysis shall be applied using coefficient of acceleration (A) as follows.

A. Horizontal earthquake coefficient (K_h)

(a) When permanent displacement of retaining wall is allowed

To make the wall an economical structure, marginal allowable displacement shall be allowed in the design rather than no displacement occurs. In general, when design allowable horizontal displacement of wall is set within 254A (mm), K_h shall be considered as 0.5A and equivalent static load shall be estimated based on Mononobe-Okabe's pseudo-static analysis method.

(b) When permanent displacement of retaining wall is not allowed

For the independent retaining wall with no permanent displacement, the earth pressure shall be calculated by an equivalent static load applying the horizontal earthquake coefficient (K_h) of 1.0A.

B. Determination of vertical earthquake coefficient (K_v)

Vertical earthquake coefficient (K_v) of 0(nil) shall be considered unless otherwise required.

⑥ Foundation of retaining wall shall be designed to prevent bearing capacity failure, overturning, and sliding by considering seismic load component in addition to static load component.

⑦ Combination of design load

A. Retaining wall shall be designed in accordance with the strength design method, but allowable stress design method can be used.

B. Load factor of load combination shall be in accordance with <Eq. (6.5.4)> considering seismic load.

$$U = 1.0(D + H + Q + E) \qquad (6.5.4)$$

where, U: design load or sectional force
D: Fixed load or resulting sectional force
H: Earth pressure or resulting sectional force
Q: Buoyancy or uplift, water pressure or wave pressure or resulting sectional force
E: Seismic effect or resulting sectional force

C. When considering seismic load in the allowable stress design method, load combination and allowable stress increment factor shall be in accordance with <Table 6.5.3>.

⑤ 해석 및 설계에 사용되는 입력지반운동은 내진등급별 평균재현주기를 가진 지반운동을 사용해야 한다. 등가정적해석을 위한 수평지진계수(K_h) 및 수직지진계수(K_v)는 가속도계수(A)를 이용하여 다음과 같이 적용해야 한다.

가. 수평지진계수(K_h)

㉮ 옹벽의 영구변위를 허용하는 경우

경제적인 구조물이 되기 위해서는 변위가 전혀 발생하지 않도록 설계하기보다는 작은 허용변위에 대해 설계하는 것이 좋다. 일반적으로 옹벽의 설계허용수평변위를 254A(mm) 이내로 하는 경우에는 K_h를 0.5A로 보고 등가정적하중은 Mononobe-Okabe의 의사정적해석방법에 따라 토압을 산정해야 한다.

㉯ 옹벽의 영구변위를 허용하지 않는 경우

변위를 구속하는 독립식 옹벽은 수평지진계수(K_h)를 $1.0A$로 적용하여 등가정적하중으로 토압을 계산해야 한다.

나. 수직지진계수(K_v)의 결정

특별한 요구가 없는 한 수직지진계수(K_v)는 0으로 본다.

⑥ 옹벽의 기초는 정적하중 성분에 지진에 의한 하중성분을 추가로 고려하여 지지력 파괴 및 전도 및 활동을 일으키지 않도록 설계되어야 한다.

⑦ 설계하중의 조합

가. 옹벽의 설계는 강도설계법을 따르되 허용응력설계법도 사용할 수 있다.

나. 지진하중 고려시 하중조합의 하중계수는 <식 (6.5.4)>으로 계산한다.

$$U = 1.0(D + H + Q + E) \qquad (6.5.4)$$

여기서, U : 설계하중 또는 이에 따른 단면력

D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력

H : 토압 또는 이에 따른 단면력

Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력

E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력

다. 허용응력설계법에서는 지진하중 고려시 하중조합과 허용응력 증가계수를 <표 6.5.3>의 값으로 해야 한다.

Table 6.5.3 Load combination and allowable stress increment factor

Load combination	Allowable stress increment factor
Main load except live load & impulsive load + seismic load	1.40

(2) Analysis method

① Active and passive earth pressure by earthquake acting on gravity or cantilever wall, which can cause a failure horizontally during earthquake, shall be calculated according to the Mononobe-Okabe method and by using the equivalent static analysis method.

② The height of the resultant force of earth pressure on retaining wall, h_a, shall be calculated based on the assumption that static components of earth pressure acts at H/3 from the bottom of the retaining wall and additional dynamic effects due to earthquake act at 0.6H. However, it is assumed that earth pressure is uniformly distributed and h_a is H/2 in most cases.

(3) Design details

① Seismic design details of retaining wall shall be in accordance with 「Article 6.5.3」 and 「Article 6.5.4」.

6.5.6 Slope protection wall

(1) To protect partially unstable cutting slope, concrete wall can be designed and installed.

(2) Slope protection wall on cutting slope shall be positioned to secure the overall stability of the cutting slope as well as the self-supported cutting face. When the foundation ground or the rear surface of the wall is rock, site conditions shall be taken into account. When the strength of foundation ground fails to satisfy the required standard, the width of the bottom plate of the wall shall be widened or the embedment depth shall be lowered.

① Self weight of slope protection wall shall be calculated based on the unit weight and volume of concrete, acting on the gravity center of the slope protection wall.

② Load of failure wedge shall be at 1/3 of the height of failure wedge parallel to the failure surface.

③ The factor of safety for slope after cutting during ordinary condition shall be 1.5 or more.

④ The embedment depth of slope protection wall shall be greater than 1.0 m considering drain in front of the foundation.

⑤ When the location of drain is deeper than 1.0 meter, deeper embedment depth shall be required. However, when the foundation is hard rock and the groundwater level is deep enough, embedment depth can be 0.5 m without underground drainage.

표 6.5.3 하중조합과 허용응력 증가계수

하중 조합	허용응력 증가계수
활하중 및 충격하중 이외의 주하중 + 지진하중	1.40

(2) 해석방법

① 지진 동안에 수평방향으로 파괴가 유발될 수 있는 중력식 또는 캔틸레버식 옹벽에 작용 하는 지진에 의한 주동 및 수동토압의 계산은 Mononobe-Okabe의 방법으로 산정하여 등가정적해석법을 이용해야 한다.

② 토압의 합력이 옹벽에 작용하는 높이 h_a는 토압의 정적분력이 옹벽밑면으로부터 H/3에 작용하고 지진에 의한 추가적인 동적영향이 $0.6H$의 높이에 작용한다고 가정하여 구할 수 있다. 그러나 대부분의 경우에는 토압이 균등하게 분포되어 있고 h_a를 H/2로 가정한다.

(3) 설계상세

① 옹벽의 내진설계상세는 「6.5.3항」과 「6.5.4항」에 따른다.

6.5.6 비탈면보호벽

(1) 부분적으로 블안정한 깎기비탈면 표면을 보호하기 위한 목적으로 콘크리트 벽체를 설치하여 지지시키는 비탈면보호벽의 설계에 적용한다.

(2) 깎기부의 비탈면보호벽은 깎기면이 자립함과 동시에 비탈면 전체의 안정을 확보할 수 있는 장소에 사용해야 한다. 또 지지지반이나 배면이 암인 경우에는 현장조건에 따른다. 한편 지지지반 강도가 조건에 만족하지 않는 경우에는 저부의 폭을 넓게 하거나 근입깊이를 크게 해야 한다.

① 비탈면보호벽의 자중은 콘크리트의 단위중량과 부피로 계산하며, 옹벽의 무게중심에 작용시킨다.

② 파괴쐐기의 하중은 파괴면과 나란한 방향으로 파괴쐐기의 높이 1/3 높이에 위치시킨다.

③ 평상시 깎기 후 비탈면의 안전율은 1.5 이상으로 해야 한다.

④ 비탈면보호벽의 근입깊이는 기초전면에 배수공을 고려하여 최소 1.0m를 확보해야 한다.

⑤ 배수공의 설치위치가 1.0m보다 깊은 경우 근입을 깊게 할 필요가 있다. 다만 지지지반이 경암인 경우 및 지하수위가 깊은 경우에는 지하배수공을 만들지 않고 근입깊이를 0.5m까지 얕게 하여도 된다.

6.5.7 Measure to prevent rock-fall

(1) Measure to prevent rock-fall shall be designed to protect slope face where the risk of rock-fall or stone-fall for rock slope exists.

(2) The measure to prevent rock-fall shall be designed considering the adaptability of the site conditions by either installing at the bottom or in the middle of the slope independently or installing at the top of structures such as retaining wall.

6.5.8 Cause of rock slope displacement and monitoring

A monitoring plan shall be included in the design to monitor ongoing or potential displacement on a rock slope.

6.6 Reinforced earth wall

6.6.1 General

(1) Reinforced earth wall

① This section shall be applied to the design of reinforced earth wall using reinforced materials such as metal or geosynthetics.

② Reinforced earth wall is a kind of gravity wall that resists against the earth pressure of the wall backfill by the filling (reinforced soil) with improved shear strength. The improvement of shear strength for reinforced earth wall can be reached by the tensile resistance of stiffener (strip, grid or facing) installed inside the banking and the interlocking with surrounding soil.

(2) Components of reinforced earth wall

① Concrete panel or concrete block shall be used as facing of reinforced earth wall. However, for temporary structure of reinforced earth wall with a short service life, wrapped-around facing wall using geosynthetics can be used.

② Stiffener used to reinforce the soil for reinforced earth wall shall have good interlocking with soil and long-term durability in the soil. Acceptable stiffener includes metal or geosynthetics material in the form of strip, grid, or facing.

③ Allowable tensile strength (T_a) of stiffener shall be determined considering the properties of the stiffener.

A. Metallic stiffener shall be galvanized on the surface to prevent corrosion, and minimum content of galvanization zinc shall be 0.61 kg/m^2, or 85 μm or more in thickness. The thickness of galvanized stiffener shall be determined according to the life cycle of the structure, considering a corrosion rate of 15 μm/year for the first 2 years and of 4μm/year thereafter.

6.5.7 낙석방지공

(1) 암반비탈면에서 낙석이나 낙반의 위험이 있는 개소는 비탈면을 보호하기 위해 낙석방지공을 설계해야 한다.

(2) 낙석방지공 방법에는 비탈면의 하단부나 중간부에 단독으로 설치하는 방법과 옹벽 등의 구조물 상부에 설치하는 방법 중 현장조건에 대한 적용성을 고려하여 설계해야 한다.

6.5.8 암반비탈면 변위 원인과 계측

암반비탈면에서 진행 중이거나 예상되는 변위를 주의 깊게 관찰하기 위해 필요한 개소에 계측을 설계해야 한다.

6.6 보강토 옹벽

6.6.1 일반사항

(1) 보강토 옹벽

① 이 절은 금속성 또는 토목섬유 재질의 보강재를 이용하여 시공하는 보강토 옹벽의 설계에 적용한다.

② 보강토 옹벽은 성토체 내부에 설치된 보강재(띠형, 그리드형 또는 전면포설형)의 인장저항력 및 주변 흙과의 결속력에 의하여 전단강도가 향상된 성토체(보강토체)에 의하여 배면토압에 저항하는 일종의 중력식 옹벽이다.

(2) 보강토 옹벽의 구성요소

① 보강토 옹벽의 전면벽체(Facing)로는 콘크리트 패널이나 콘크리트 블록을 사용해야 한다. 다만, 설계수명이 짧은 보강토 임시구조물의 경우에는 토목섬유를 사용한 포장형(Wrapped Around) 전면벽체를 적용할 수도 있다.

② 보강토 옹벽에서 지반을 보강하기 위하여 사용되는 보강재는 흙과의 결속력이 우수해야 하며, 흙 속에서 장기적인 내구성을 확보할 수 있어야 한다. 이러한 보강재는 금속성 또는 토목섬유 재질로 된 띠형, 그리드형 및 전면포설형 등과 같은 형태로 적용된다.

③ 보강재의 허용인장강도(Allowable Tensile Strength, T_a)는 각 보강재의 특성을 고려하여 결정해야 한다.

가. 금속성 보강재는 금속 재료의 부식을 방지하기 위하여 표면에 아연도금 처리해야 하며 최소 아연도금량은 0.61kg/m^2 또는 두께 85μm 이상이라야 한다. 아연도금된 금속성 보강재는 최초 2년 동안은 년간 15μm, 그 이후는 년간 4μm의 부식속도를 고려하여 구조물의 내구년한에 따른 부식두께를 결정한다.

B. Allowable tensile strength (T_a) of the metallic stiffener shall be determined considering yield strength (f_y) and factor of safety (FS) for the remaining sectional area (A_c), excluding the corrosion thickness according the life cycle of the structure, as shown in <Eq. (6.6.1)>, that is:

$$T_a = \frac{T_d}{FS} = \frac{1}{FS}\frac{f_y A_c}{b} \qquad (6.6.1)$$

where, factor of safety (FS) shall be 1.82 (=1/0.55). However, for steel grid stiffener connected to concrete panel or block, 2.08 (=1/0.48) shall be used because of the possibility of excessive local stress.

C. Allowable tensile strength (T_a) for geosynthetics stiffner shall be determined considering long-term design strength (T_d) and factor of safety (FS_{UN}, 1.5 usually) based on a variety of uncertainties, that is:

$$T_a = \frac{T_d}{FS_{UN}} \qquad (6.6.2)$$

D. Long term design strength (T_d) of geosynthetics stiffener shall be determined by applying reduction factor (RF) considering ultimate tensile strength (T_{ult}), durability (RF_D), installation damage (RF_{ID}), long term creep factor (RF_{CR}) of the geosynthetics stiffener, that is:

$$T_d = \frac{T_{ult}}{\sum RF} = \frac{T_{ult}}{RF_D RF_{ID} RF_{CR}} \qquad (6.6.3)$$

Reduction factor of the stiffener for different type of geosynthetics material shall be equal to or greater than the values in <Table 6.6.1>. However, for given test results certified by an authorized agency, the test results can be used in lieu of the values in <Table 6.6.1>.

나. 금속성 보강재의 허용인장강도(T_a)는 <식 (6.6.1)>과 같이 내구연한에 따른 부식두께를 제외한 나머지 단면적(A_c)에 대해서 재료의 항복강도(f_y)에 안전율(FS)을 고려하여 결정해야 한다. 즉,

$$T_a = \frac{T_d}{FS} = \frac{1}{FS}\frac{f_y A_c}{b} \tag{6.6.1}$$

이 때 안전율(FS)은 1.82(=1/0.55)를 사용한다. 다만 콘크리트 패널이나 블록에 연결된 강재 그리드(Steel Grid)형 보강재의 경우에는 국부적으로 과응력이 발생할 가능성이 있기 때문에 2.08(=1/0.48)을 사용해야 한다.

다. 토목섬유 보강재의 허용인장강도(T_a)는 장기설계강도(T_d)에 여러 가지 불확실성을 고려한 안전율(FS_{UN}, 보통 1.5)을 고려하여 결정해야 한다. 즉,

$$T_a = \frac{T_d}{FS_{UN}} \tag{6.6.2}$$

라. 토목섬유 보강재의 장기설계강도(Long Term Design Strength, T_d)는 보강재의 극한인장강도(T_{ult})에 내구성(RF_D), 내시공성(RF_{ID}), 장기적인 크리프 특성(RF_{CR}) 등을 고려한 감소계수(Reduction Factor, RF)를 적용하여 산정해야 한다. 즉,

$$T_d = \frac{T_{ult}}{\Sigma RF} = \frac{T_{ult}}{RF_D\ RF_{ID}\ RF_{CR}} \tag{6.6.3}$$

토목섬유 보강재의 재질별 감소계수는 <표 6.6.1>에 제시된 값 보다 크거나 같은 값을 사용해야 한다. 다만, 공인된 시험기관의 시험결과가 있다면 <표 6.6.1>에 제시된 값 대신 시험결과 값을 사용할 수 있다.

Table 6.6.1 Reduction factor for different geosynthetics materials

Material	RF_D	RF_{ID}	RF_{CR}	$\sum RF$
PET Geogrid	1.10	1.30	1.60	2.29
HDPE Geogrid	1.10	1.20	2.60	3.43
PP Geogrid	1.10	1.20	4.00	5.28
Stripe-type Geotextile Stiffener	1.10	1.10	1.60	1.94

④ Reinforced soil backfill material shall meet the following requirements:

A. Friction effect with stiffener shall be sufficiently large.

B. The material shall has good drainage property and less change in strength by the change of water content.

C. The material shall be good grain size distribution.

D. The material shall has less components that deteriorate the stability of stiffener.

⑤ Backfill material has the great effect on the performance of reinforced earth wall. Therefore, the angle of internal friction, grain size, and compaction standard of backfill material shall be regulated clearly in the design documents.

A. The angle of internal friction for backfill material shall be 30° or more, and plastic index (PI) shall be 6 or less.

B. The standard of grain size distribution of backfill material is as shown in <Table 6.6.2>.

Table 6.6.2 Grain size distribution of backfill material for reinforced earth wall

Particle size (mm)	Passing (%)	Note
53	75 ~ 100	
19	75 ~ 100	
4.75 (No.4)	20 ~ 100	
0.425 (No.40)	0 ~ 60	
0.075 (No.200)	0 ~ 15	

※ The backfill material can be used when the percent passing of 0.015 mm is 10% or less, even though the percent passing of No. 200 sieve is 15% or more, and also can be used if the percent passing of 0.015 mm is 10～20% and the angle of internal friction of soil is 30° or more.

※ Allowable maximum particle size of backfill material is 102 mm, but when using stiffener that can be damaged easily during construction, it shall be limited to 19 mm.

표 6.6.1 토목섬유 보강재의 재질별 감소계수

재질	RF_D	RF_{ID}	RF_{CR}	ΣRF
PET 지오그리드	1.10	1.30	1.60	2.29
HDPE 지오그리드	1.10	1.20	2.60	3.43
PP 지오그리드	1.10	1.20	4.00	5.28
띠형섬유보강재	1.10	1.10	1.60	1.94

④ 보강토 뒤채움 재료는 다음과 같은 특성을 갖추어야 한다.

가. 보강재와의 마찰효과가 커야한다.

나. 배수성이 양호하고 함수비 변화에 따른 강도변화가 적어야 한다.

다. 입도분포가 양호해야 한다.

라. 보강재의 내구성을 저하시키는 성분이 적어야 한다.

⑤ 보강토 뒤채움 재료는 보강토 옹벽의 성능에 큰 영향을 미치므로 설계에 적용된 뒤채움 재료의 내부마찰각, 입도기준, 다짐관리기준 등을 설계도서에 명확하게 규정해야 한다.

가. 보강토 옹벽 뒤채움재료의 내부마찰각은 30도 이상이라야 하며, 소성지수(PI)는 6 이하라야 한다.

나. 보강토 옹벽 뒤채움재료의 입도기준은 <표 6.6.2>와 같다.

표 6.6.2 보강토 옹벽 뒤채움재료의 입도기준

입경(mm)	통과중량백분율(%)	비고
53	75~100	
19	75~100	
4.75(No.4)	20~100	
0.425(No.40)	0~60	
0.075(No.200)	0~15	
※ No.200체 통과량이 15% 이상인 경우라도, 0.015mm 입경통과율이 10% 이하이면 사용가능하고, 0.015mm 입경통과율이 10~20%이고, 흙의 내부마찰각이 30도 이상이면 사용가능 ※ 뒤채움 재료의 최대입경은 102mm까지 사용할 수 있으나, 시공시 손상을 입기 쉬운 보강재를 사용하는 경우에는 최대입경을 19mm로 제한할 수 있다.		

(3) Design general

① Design goal

A. Reinforced earth wall shall be designed to maintain the internal and external stability of reinforced soil as well as the local stability for the service life of design.

B. For the usability of reinforced earth wall, excessive differential settlement or lateral displacement shall not occur. In particular, it shall be reviewed to ensure that it does not affect the stability of train safety.

② The fixed load, surface load (including train live load), earth pressure, seismic load, and wind load, shall be considered in the design of reinforced earth wall, but excitation force due to train shall not be considered.

A. Fixed load: self weight of reinforced soil, surcharge load, etc.

B. Surface load: track load, train live load

C. Earth pressure

D. Seismic load: seismic momentum force for reinforced soil, increment of dynamic earth pressure

E. Wind load: wind load acting on sound barrier wall

③ The internal and external stability of reinforced earth wall shall be conducted separately.

A. External stability of reinforced earth wall against bottom sliding, overturning, and ground bearing capacity shall be evaluated by assuming the reinforced soil body with the stiffener as gravity wall.

B. Stiffener shall not be ruptured or pulled out in order to maintain the wall as an integrated structure, and therefore, the internal stability of reinforced earth wall against rupture and pullout failure of stiffener shall be evaluated.

C. In evaluating internal stability, the sliding zone that tends to be separated from the earth structure and the resisting zone that tends to resist the sliding force shall be considered, based on the virtual failure surface inside the reinforced soil. This virtual failure surface is assumed to be one or two straight lines depending on the properties of the stiffener.

D. In addition to the internal and external stability of the reinforced earth wall, the overall slope stability including reinforced earth wall shall be evaluated, and particular attention shall be paid in the following cases 「(a) ~ (g)」:

(a) When foundation is soft ground

(b) When reinforced earth wall is located on high slope

(c) When high banking slope is planned on the top of the reinforced earth wall.

(d) When a multi-tier reinforced earth wall is constructed

(3) 설계일반사항

① 설계목표

가. 보강토 옹벽은 설계수명 동안 보강토체의 내적 및 외적안정성 뿐만 아니라 국부적인 안정성도 유지되어야 한다.

나. 보강토 옹벽의 사용성을 위해서 과도한 부등침하나 횡방향 변위가 발생하지 않아야 한다. 특히 열차주행 안정성에 영향이 없도록 검토해야 한다.

② 보강토 옹벽의 설계에는 고정하중, 상재하중(열차활하중 포함), 토압, 지진하중, 풍하중 등을 고려해야 하며 열차에 의한 진동하중은 특별히 고려하지 않는다.

가. 고정하중 : 보강토체의 자중, 상재성토 하중 등

나. 상재하중 : 궤도하중, 열차의 활하중

다. 토압

라. 지진하중 : 보강토체의 지진관성력, 동적토압 증가분

마. 풍하중 : 방음벽에 작용하는 풍하중

③ 보강토 옹벽의 안정성 검토는 외적안정성과 내적안정성으로 구분하여 수행한다.

가. 보강재에 의하여 결속된 보강토체를 중력식 옹벽으로 가정하여 저면활동, 전도, 지반지지력 등과 같은 보강토 옹벽의 외적안정성을 검토해야 한다.

나. 보강토체가 일체로 작용하기 위해서는 보강재가 파단 되거나 인발되지 않아야 하므로, 내적안정성 검토에서는 보강재의 파단파괴와 인발파괴에 대한 안정성을 검토해야 한다.

다. 내적안정성 검토 시에는 보강토체 내부의 가상의 파괴면을 기준으로 토체로부터 분리되어 나가려는 활동영역과 그 힘에 저항하려는 저항영역으로 나누어 고려해야 하며 이러한 가상파괴면은 사용하는 보강재의 특성에 따라서 하나 또는 두 개의 직선으로 가정한다.

라. 보강토 옹벽의 내적 및 외적 안정성 외에도 보강토 옹벽을 포함한 전체사면활동에 대한 안정성을 검토해야 하며 「㉮~㉲항」경우에는 특히 주의하여 전체사면활동에 대한 안정성을 검토해야 한다.

㉮ 기초지반이 연약지반인 경우

㉯ 보강토 옹벽이 높은 사면위에 위치하는 경우

㉰ 보강토 옹벽 상부에 성토고가 높은 성토사면이 계획된 경우

㉱ 2단 이상의 다단식 보강토 옹벽이 설치될 경우

(e) When reinforced earth wall is installed at the corner

(f) When reinforced earth wall is installed near waterside or is affected by groundwater

(g) When slope failure is likely to occur

④ Since static load, force of inertia of the reinforced soil, and the increment of dynamic earth pressure act on the reinforced earth wall during earthquake, internal and external stability considering dynamic load shall be evaluated.

⑤ Design factor of safety

Reinforced earth wall shall follow the criteria on the design factor of safety presented in 「Design Criteria for Slope Construction」.

⑥ Application standard of reinforced earth wall

A. Minimum length of stiffener shall be 0.7 times longer than the height of reinforced earth wall, or at least 2.5 m or longer, and shall be determined to satisfy the design factor of safety of the reinforced earth wall. In this case, the height of reinforced earth wall shall be virtual wall height (H_m) represented by the end point at the backfill slope of the wall having a straight line inclined with 1:0.3 slope from the rear end of wall as presented in <Fig. 6.6.1 (a)> and <Fig. 6.6.1 (b)>.

B. The length of stiffener for each reinforced layer, depending on the height of reinforced earth wall, shall be equal over the entire height of the wall. In particular case, however, the length of stiffener for each layer can be shorter or longer. When reinforced earth wall is installed on the foundation after excavating firm layer of ground, the length of stiffener at the bottom layers of the wall can be shorter to decrease the volume of excavation as shown in <Fig 6.6.1(c)>. However, the length of stiffener at the bottom of the wall shall be 0.4 times longer than the height of the wall, and the length of stiffener on the top of the wall shall be 0.7 times or more longer than that of the wall. In case of using shorter stiffener at the bottom of the wall, the length of stiffener shall be determined within a range that ensures internal and external stability, as well as the overall stability of the slope.

C. Vertical interval of stiffener shall not exceed 0.8 m, and for block-type reinforced earth wall, vertical interval at the upper most part of the wall shall be a half of the vertical interval at right lower part of the wall in order to increase the local stability of the wall.

D. Effective length (L_e) of stiffener for each layer within the resistance zone behind the virtual failure surface shall be 1.0 meter or more.

E. Reinforced earth wall shall have an embedment depth of at least 0.5 m or greater than the depth of frost penetration. When the wall is located on slope as shown in <Fig. 6.6.1 (d)>, berm with 1.2 m or more wide shall be installed on the front face of the wall, and minimum embedment depth shall be 0.6 m or more.

㈑ 우각부에 보강토 옹벽이 설치될 경우

㈒ 수변부에 보강토 옹벽이 설치되거나 지하수의 영향을 받는 경우

㈓ 기타 사면활동이 발생할 가능성이 있다고 생각되는 경우

④ 지진 시에는 정적하중과 보강토체의 관성력과 동적토압 증가분이 보강토 옹벽에 작용하므로 동적하중을 고려하여 내적 및 외적안정성을 검토해야 한다.

⑤ 설계기준 안전율

보강토 옹벽은「건설공사비탈면설계기준」에 제시된 설계안전율 기준을 따른다.

⑥ 보강토 옹벽 적용기준

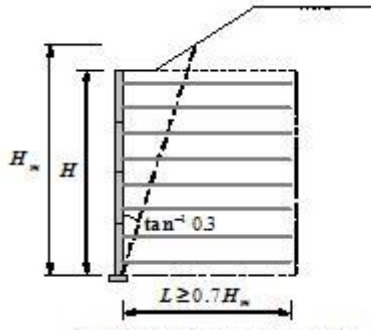
가. 보강재의 최소길이는 보강토 옹벽 높이의 0.7배 또는 최소 2.5m 이상으로 해야 하며 보강토 옹벽의 설계기준 안전율을 만족시킬 수 있도록 결정한다. 이 때 보강토 옹벽의 높이는 <그림 6.6.1(a)>, <그림 6.6.1(b)>에서와 같이 보강토 옹벽의 선단에서 1:0.3의 경사로 그은 선이 옹벽 상부의 사면과 만나는 점까지의 높이인 가상의 옹벽 높이(H_m)으로 해야 한다.

나. 보강토 옹벽 높이에 따른 각 층별 보강재의 길이는 전체 높이에 걸쳐 동일하게 한다. 특별한 경우에는 각 층별로 보강재의 길이를 짧거나 길게 할 수 있으며 견고한 지층을 굴착하고 보강토 옹벽을 설치하는 경우에는 굴착량을 줄이기 위하여 <그림 6.6.1(c)>와 같이 하부의 보강재를 줄일 수 있으나 이 때 하부의 보강재의 길이는 옹벽 높이의 0.4배 이상, 상부의 보강재 길이는 옹벽 높이의 0.7배 이상이라야 한다. 하부의 보강재 길이를 짧게 하는 경우에는 보강토 옹벽의 내적 및 외적안정성은 물론 전체사면활동에 대한 안정성을 확보할 수 있도록 보강재 길이를 결정해야한다.

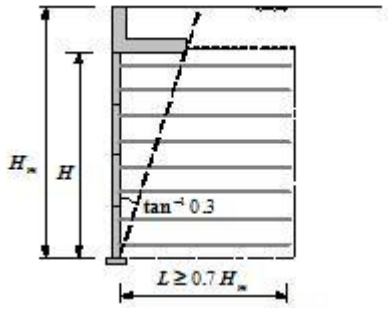
다. 보강재의 수직간격은 0.8m를 초과하지 않도록 배치해야 하며 블록식 보강토 옹벽의 경우 최상단 보강재의 수직간격은 그 아래 보강재 수직간격의 1/2 정도로 배치하여 국부적인 안정성을 보완해 주어야 한다.

라. 가상파괴면 뒤쪽의 저항영역 내의 각 층별 보강재 유효길이(L_e)는 최소한 1.0m 이상이 되도록 해야 한다.

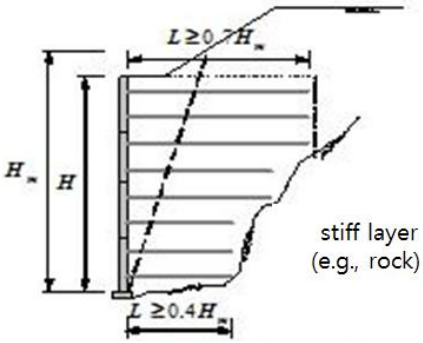
마. 보강토 옹벽은 최소 0.5m 또는 동결심도 이상의 근입깊이를 확보해야 한다. <그림 6.6.1(d)>와 같이 보강토 옹벽이 경사지반에 설치되는 경우에는 벽체 전면에 최소 폭 1.2m 이상의 소단을 설치해야 하며, 최소근입깊이는 0.6m 이상 확보되어야 한다.



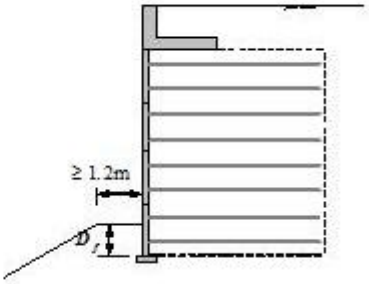
(a) when a slope is located on top of the wall



(b) when the top of the wall is flat



(c) when the wall is located on top of a solid layer



(d) when the wall is located on top of a slope

Fig. 6.6.1 Installation standard of reinforced earth wall

F. When reinforced earth wall is installed at multiple tier, the length of stiffener on the top level of the wall shall be 0.7 times or more longer than the height of the wall, and the length of the stiffener at the lower level of the wall shall be 0.6 times or more longer than the height of the entire reinforced earth wall, including the top level of the wall.

6.6.2 Design of reinforced earth wall

(1) Review of external stability

① External stability shall be evaluated for 「A. ~ D.」 assuming that reinforced soil as gravity wall.

A. Review of stability against sliding at the bottom

B. Review of stability against overturning

C. Review of stability against ground bearing capacity

D. Review of stability against overall slope activity

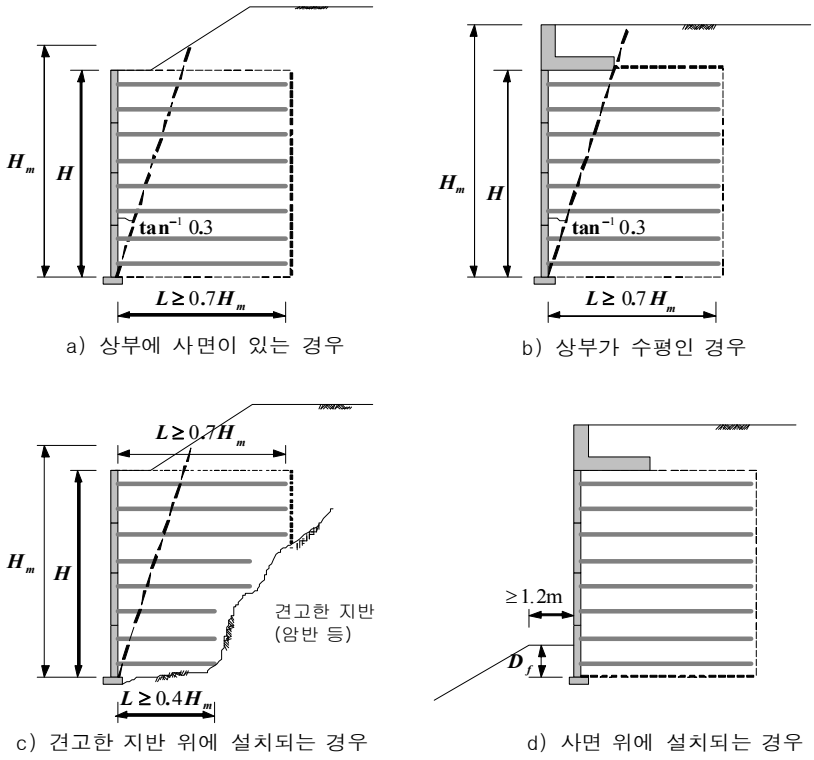


그림 6.6.1 보강토 옹벽 설치기준

바. 보강토 옹벽을 2단 이상으로 설계할 경우, 최상단 보강토 옹벽의 보강재 길이는 그 높이의 0.7배 이상을 확보해야 하며 하단 옹벽은 상부 보강토 옹벽 높이를 포함한 전체 보강토 옹벽 높이의 0.6배 이상의 보강재 길이를 확보해야 한다.

6.6.2 보강토 옹벽의 설계

(1) 외적안정성 검토

① 보강토 옹벽의 외적안정성은 보강토체를 중력식 옹벽으로 가정하여 「가.～라.항」대하여 안정성을 검토해야 한다.

가. 저면활동에 대한 안정성 검토

나. 전도에 대한 안정성 검토

다. 지반지지력에 대한 안정성 검토

라. 전체사면활동에 대한 안정성 검토

(2) Review of internal stability

① Internal stability of reinforced soil shall be evaluated for rupture and pullout failure of stiffener after calculating the maximum working load (T_{max}) of the stiffener for each layer.

② Maximum working load (T_{max}) of stiffener for each layer shall be determined considering the vertical stress (σ_v) acting on the stiffener of each layer, the coefficient of earth pressure (K), and the vertical and horizontal interval of the stiffener.

$$T_{max} = \sigma_h S_v S_h \quad (6.6.4)$$

Where, σ_h: Horizontal stress on stiffener ($\sigma_h = K\sigma_v + \Delta\sigma_h$)

K: Earth pressure coefficient (see <Fig. 6.6.2>)

σ_v: Vertical stress acting on stiffener

$\triangle\sigma_h$: Increment of horizontal load on stiffener due to surface load

$S_v S_h$: Vertical and horizontal interval of stiffener.

The coefficient of earth pressure (K) within reinforced soil shall be calculated by using the coefficient of active earth pressure (K_a). In case of using non-expandable stiffener (metallic strip or grid), the coefficient of earth pressure shall be determined from the ratio of earth pressure coefficient (K/K_a) as shown in <Fig. 6.6.2>, which varies straightly from the top of the wall up to 6 m deep, and is constant for greater than 6 m deep.

③ Factor of safety (FS) against rupture failure of stiffener for each layer shall be greater than the design factor of safety against rupture failure for different types of stiffeners to ensure the stability against rupture failure.

(2) 내적안정성 검토

① 보강토체의 내적안정성은 각 층별 보강재의 최대작용하중(T_{max})을 계산한 후 보강재의 파단 및 인발파괴에 대하여 검토해야 한다.

② 각 층별 보강재의 최대작용하중(T_{max})은 각 층별 보강재 위에 작용하는 수직응력(σ_v)과 토압계수(K) 및 보강재의 수직 및 수평간격을 고려하여 결정해야 한다.

$$T_{max} = \sigma_h S_v S_h \qquad (6.6.4)$$

여기서, σ_h : 보강재 층에서의 수평응력($\sigma_h = K\sigma_v + \Delta\sigma_h$)

K : 토압계수(<그림 6.6.2> 참조)

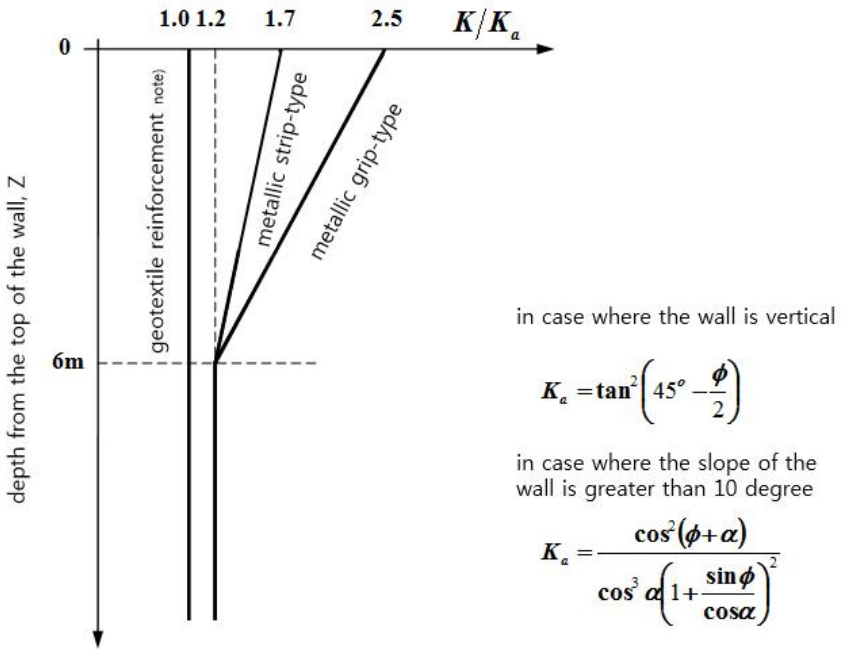
σ_v : 보강재 위에 작용하는 수직응력

$\Delta\sigma_h$: 상재하중에 의해 보강재 층에 유발되는 수평응력 증가분

S_v, S_h : 보강재의 수직 및 수평 간격

이 때 보강토체 내부의 토압계수(K)는 주동토압계수(K_a)를 사용하며, 비신장성 보강재(예, 금속성 띠형, 금속성 그리드형 등)를 사용하는 경우에는 <그림 6.6.2>와 같이 벽체 상단에서 깊이 6m까지 직선적으로 변화하고 6m 이상의 깊이에서는 일정한 값을 가지는 토압계수의 비(K/K_a)로부터 보강토체 내부의 토압계수를 결정해야 한다.

③ 파단파괴에 대한 안정성을 확보하기 위하여 각 층별 보강재의 파단에 대한 안전율($FS_{to} = T_d / T_{max}$)은 각 보강재의 종류별 파단에 대한 설계기준 안전율 보다 커야한다.



note) Strip-type fiber reinforcement is regarded as strip-type metallic reinforcement

Fig. 6.6.2 Earth pressure coefficient of reinforced soil

④ Factor of safety ($FS_{po} = T_{pull}/T_{\max}$) against the pullout failure of stiffener for each layer shall be greater than the design factor of safety against the pullout stiffener to ensure stability against the pullout failure. In this case, pulling resistance shall be considered only for the effective length (L_e) of stiffener within the resistance zone behind the virtual failure surface, and an appropriate pulling resistance coefficient shall be applied depending on the properties of stiffener. When no test data is available, pulling resistance coefficient for different types of stiffener can be determined by referring to <Fig 6.6.3>.

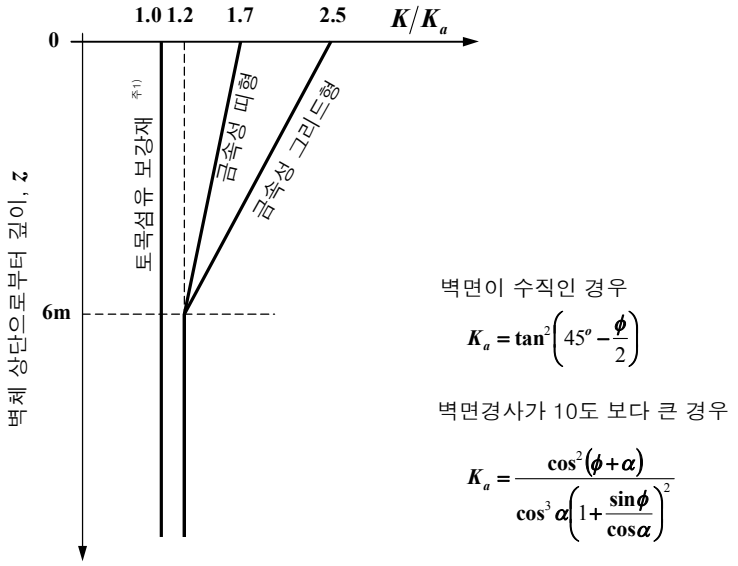
$$T_{pull} = 2L_e b\sigma_v \qquad (6.6.5)$$

where, L_e: Effective length of stiffener within resistance area

b: Width of stiffener

σ_v: Vertical stress acting on stiffener

f^*: Pulling resistance coefficient of soil and stiffener



주1) 띠형 섬유 보강재는 금속성 띠형 보강재와 같이 취급함

그림 6.6.2 보강토체 내부의 토압계수

④ 인발파괴에 대한 안정성을 확보하기 위하여 각 층별 보강재의 인발에 대한 안전율 ($FS_{po} = T_{pull}/T_{\max}$)은 보강재 인발에 대한 설계기준 안전율 보다 커야한다. 이 때 인발저항력은 가상파괴면 뒤쪽의 저항영역 내의 보강재 유효길이(L_e)에 대해서만 고려해야 하며, 보강재의 특성에 따라서 적정한 인발저항계수를 적용해야 한다. 시험결과가 없는 경우에는 <그림 6.6.3>을 참고하여 보강재 종류별 인발저항계수를 결정할 수 있다.

$$T_{pull} = 2L_e b\sigma_v f^* \qquad (6.6.5)$$

여기서, L_e : 저항영역 내의 보강재 유효길이

b : 보강재의 폭

σ_v : 보강재 위에 작용하는 수직응력

f^* : 흙/보강재 인발저항계수

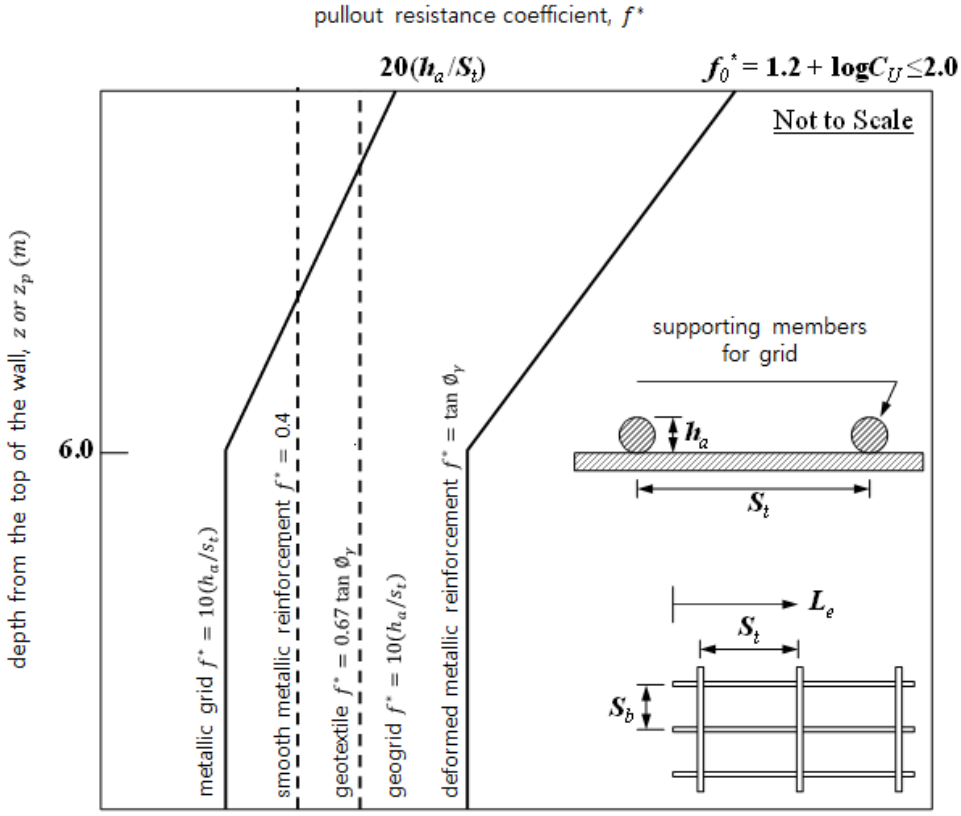


Fig. 6.6.3 Pulling resistance coefficient (f^*) for different types of stiffener

⑤ Virtual failure surface is the line that links the points where the maximum load acts on the stiffener for each layer, and in general the virtual failure surface can be typically expressed in the form of Log-Spiral as shown in <Fig 6.6.4(a)>. However, a straight line when using expandable stiffener or a double-straight line when using non-expandable stiffener shall be assumed for the purpose of calculation convenience.

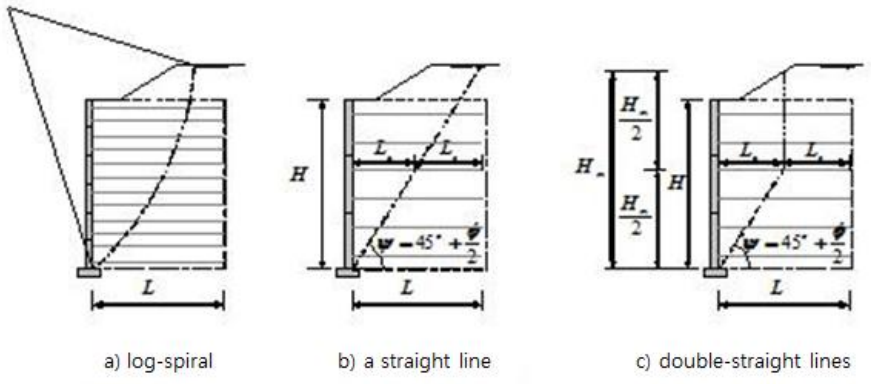


Fig. 6.6.4 Virtual failure surface of reinforced earth wall

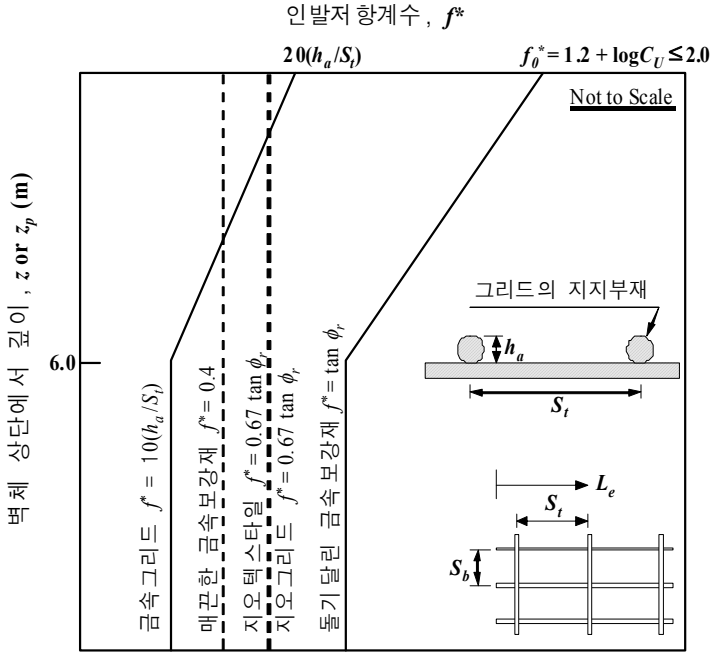
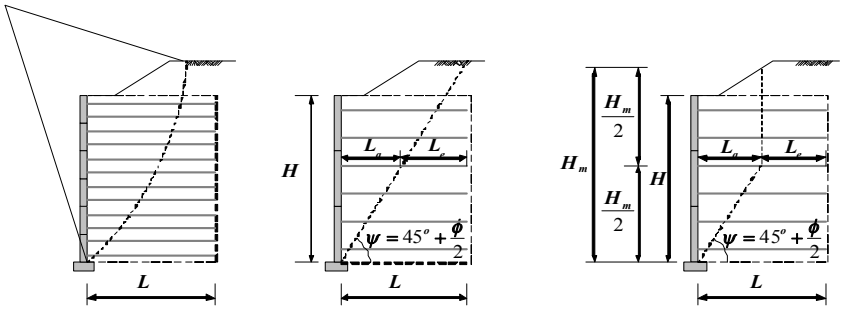


그림 6.6.3 보강재 종류별 인발저항계수(f^*)의 값

⑤ 가상파괴면은 각 층별 보강재의 최대작용하중이 발생하는 위치를 연결한 선이며 <그림 6.6.4(a)>와 같이 대수나선(Log-Spiral)의 형태로 나타난다는 것이 일반적인 견해이지만, 계산상의 편의를 위하여 직선(신장성 보강재를 사용하는 경우) 또는 이중직선(비신장성 보강재를 사용하는 경우)으로 가정한다.



a) 대수나선 b) 하나의 직선 c) 두 개의 직선

그림 6.6.4 보강토 옹벽의 가상파괴면

(3) Review of stability of reinforced earth wall under seismic condition

① External and internal stability of reinforced earth wall shall be reviewed considering the force of inertia of the wall and the increment of dynamic earth pressure in addition to static load, but temporary surface load shall not be considered.

② Review of external stability under seismic condition

A. External stability including sliding at the bottom, overturning, and ground bearing capacity shall be reviewed considering seismic momentum force (P_{IR}) of the reinforced soil and 50% of the increment of dynamic earth pressure ($\triangle P_{ae}$) in addition to static load, as shown in <Fig. 6.6.5>.

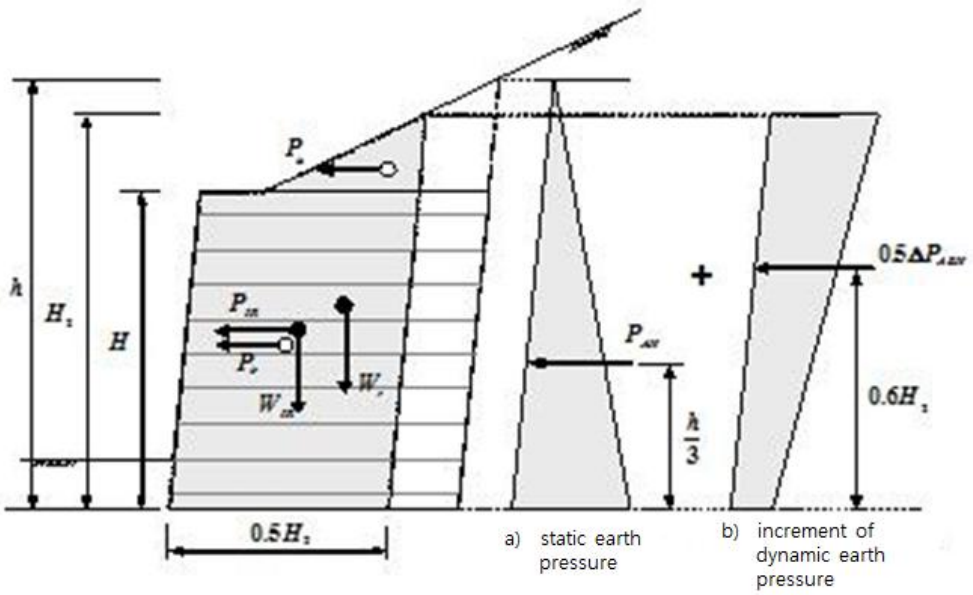


Fig 6.6.5 Load condition for the external stability of reinforced earth wall under seismic condition

B. Seismic momentum force (P_{IR}) of reinforced soil shall be calculated by multiplying self weight (W_{IR}) of reinforced soil subject to seismic momentum force by the earthquake coefficient (A_m) of reinforced soil, and shall be applied horizontally to the centroid of the part subject to the momentum force. Earthquake coefficient of reinforced soil shall be $A_m = (1.45 - A)A$.

C. Increment of dynamic earth pressure ($\triangle P_{ae}$) shall be calculated by deducting earth pressure at rest from the dynamic earth pressure calculated by Mononobe-Okabe's equation, and acts at the location 0.6 times higher than the height subject to dynamic earth pressure.

The coefficient of horizontal seismic acceleration (K_h) of 0.5A shall apply to Mononobe-Okabe's equation.

(3) 지진시 보강토 옹벽의 안정성 검토

① 지진시 보강토 옹벽의 안정성 검토에서는 정적하중에 추가적으로 보강토체의 관성력과 동적토압 증가분을 고려하여 보강토 옹벽의 외적안정성과 내적안정성을 검토해야 하며, 일시적인 상재하중은 고려하지 않는다.

② 지진시 외적안정성 검토

가. 지진시 보강토 옹벽의 외적안정성 검토에서는 <그림 6.6.5>과 같이 정적하중에 보강토체의 지진관성력(P_{IR})과 동적토압 증가분(ΔP_{ae})의 50%를 추가로 고려하여 저면활동, 전도, 지반지지력 등의 외적안정성에 대하여 검토해야 한다.

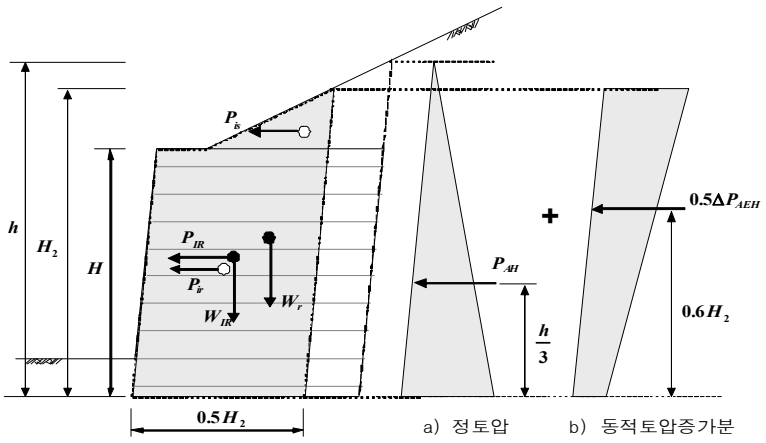


그림 6.6.5 지진시 보강토 옹벽의 외적안정성 검토시 고려하는 하중

나. 보강토체의 지진관성력(P_{IR})은 지진관성력을 받는 보강토체의 자중(W_{IR})과 보강토체의 지진계수(A_m)를 곱하여 산정하고 관성력을 받는 부분의 도심에 수평으로 작용시킨다. 이 때 보강토체의 지진계수는 $A_m = (1.45 - A)A$와 같이 계산한다.

다. 동적토압 증가분(ΔP_{ae})은 Mononobe-Okabe의 동적토압공식을 사용하여 산정한 동적토압에서 정적토압을 차감하여 계산하고, 동적토압을 받는 높이의 0.6배 되는 위치에 작용하는 것으로 가정한다.

이 때 Mononobe-Okabe의 식에 적용되는 수평방향지진가속도계수(k_h)는 $0.5A$를 적용한다.

③ Review of internal stability under seismic condition

A. Rupture failure and pullout failure of stiffener shall be reviewed considering additional loads on stiffener for each layer due to seismic momentum force (P_{IA}) in the sliding zone.

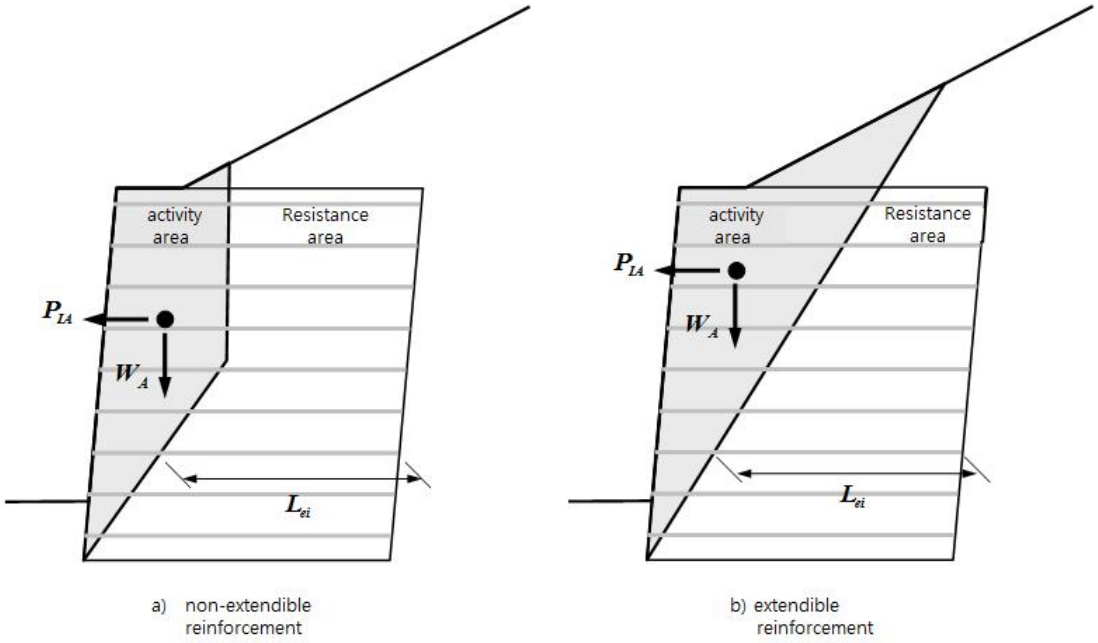


Fig 6.6.6 Load condition for the internal stability of reinforced earth wall under seismic condition

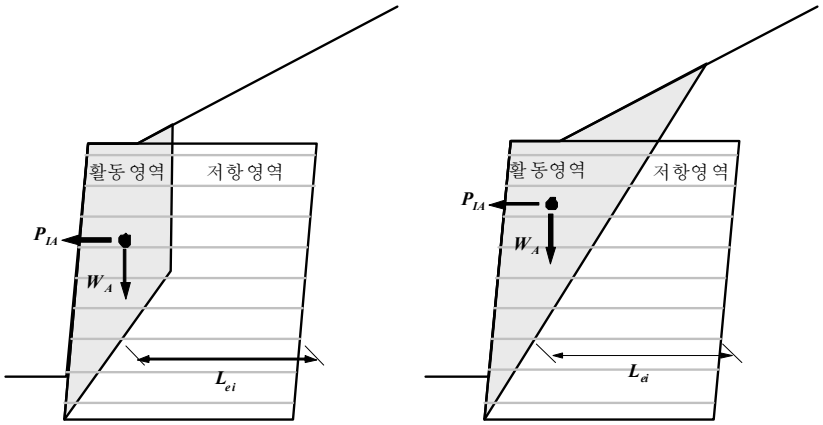
B. Seismic momentum force (P_{IA}) shall be calculated by multiplying self weight (W_A) in the sliding zone by the earthquake coefficient of reinforced soil ($A_m = [1.45 - A]A$), and then this seismic momentum force shall be distributed in proportion to the area ratio of the stiffener for each layer in the resistance zone; that is, $\triangle T_{md} = P_{IA}\left(\frac{L_{ei}}{\sum L_{ei}}\right)$

C. In reviewing the internal stability of reinforced soil under seismic condition, the effect of creep characteristics shall not be considered when calculating the allowable tensile strength of stiffener, and 80% of static pulling resistance shall be used for reviewing pullout stability under seismic condition.

(4) Unless otherwise specified in this design standard, the 「Design Criteria for Slope Construction」 shall prevail.

③ 지진시 내적안정성 검토

가. 지진시의 내적안정해석은 활동영역의 지진관성력(P_{IA})에 의해 각 층별 보강재에 추가되는 하중을 고려하여 보강재 파단파괴와 인발파괴에 대하여 검토해야 한다.



a) 비신장성 보강재 b) 신장성 보강재

그림 6.6.6 지진시 보강토 옹벽의 내적안정성 검토시의 하중

나. 내적안정해석에서 지진관성력(P_{IA})은 활동영역의 자중(W_A)과 보강토체의 지진계수($A_m = [1.45 - A]A$)를 곱하여 계산하고, 이를 저항영역 내에서 차지하는 각 층별 보강재의 면적비에 따라 분담시킨다. 즉, $\Delta T_{md} = P_{IA}\,(L_{ei}/\Sigma L_{ei})$

다. 지진 시 보강토 옹벽의 내적안정성 검토에서 보강재의 허용인장강도 산정에는 크리프 특성의 영향은 고려하지 않으며, 인발저항력은 정적안정성 검토시의 인발저항력의 80%를 적용한다.

(4) 기타 본 설계기준에 언급되지 않은 사항은 「건설공사비탈면설계기준」을 따른다.

6.6.3 Drainage of reinforced earth wall

(1) General

① Good quality of soil with relatively good drainage property shall be used as backfill material. When backfill soil is saturated due to excess of influent water, shear strength of soil decreases, resulting in instability. Therefore, drainage facility shall be installed considering site conditions, including water springing out behind the wall and excessive water.

(2) Drainage of surface water

① Cut-off trench and drain on the top of reinforced earth wall and banking slope shall be installed to prevent surface water infiltrated into the reinforced soil.

② When the reinforced earth wall directly supports the railway track bed, rainwater is likely to flow into the reinforced soil. Therefore, cut-off mat or hydraulic barrier such as geomembrane shall be installed on the top of the reinforced soil.

(3) Drainage of groundwater

① When groundwater in the rear face of reinforced soil is expected, groundwater shall not flow into the reinforced soil by installing drainage layer at the rear face of reinforced soil. For excessive groundwater, good quality of permeable materials shall be used in the reinforced soil to support effective drainage.

(4) Measures against flooding

① When reinforced soil is submerged, permeable backfill materials shall be used to make the water level of inside and outside of the reinforced soil same. In addition, filter shall be provided used to at the front plate or the joint of the front protection material in order to effectively drain water as well as prevent the soil particle from being washed out.

② The design shall also be carried out to resist the erosion and scouring on the front surface of the reinforced earth wall.

6.7 Design of temporary structures

6.7.1 General

(1) Design of temporary works

① This standard shall be applied to the design of temporary sheathing structure and temporary road decking.

② Temporary works shall be designed based on the Allowable Stress Design Method. In special cases, however, a separate design may be used.

6.6.3 보강토 옹벽의 배수

(1) 일반사항

① 보강토 뒤채움 재료로 비교적 배수성이 양호한 양질의 토사를 사용하지만, 다량의 유입수로 인하여 뒤채움 흙이 포화되면 흙의 전단강도가 저하되어 불안정한 상태가 될 수 있으므로 배면용출수의 유무, 수량의 과다 등 현장여건에 따라 배수시설을 설치해야 한다.

(2) 지표수의 배수

① 보강토 옹벽 상단부와 상부 쌓기 비탈면에는 차수공 및 배수공을 설치하여 지표수가 보강토체 내부로 유입되는 것을 차단해야 한다.

② 보강토 옹벽이 철도노반을 직접 지지하는 경우에는 강우 시 우수가 보강토체 내부로 유입될 수 있으므로 보강토체 상부에 차수매트 또는 지오멤브레인과 같은 차수층을 설치하여 지표수가 보강토체 내부로 유입되는 것을 차단해야 한다.

(3) 지하수의 배수

① 보강토체 배면에 지하수의 유출이 예상되는 경우에는 보강토체 배면에 배수층을 설치하여 지하수가 보강토체 내부로 유입되지 않도록 해야 한다. 수량이 많은 경우에는 보강토체 내부에도 투수성이 양호한 재료를 사용하여 배수가 원활히 이루어질 수 있도록 해야 한다.

(4) 침수시의 대책

① 보강토체가 수중에 잠기는 경우, 내외수면이 같아지도록 투수성이 양호한 뒤채움 재료를 사용해야 한다. 또한 전면판 또는 전면보호재의 이음부에도 원활한 배수가 가능하고 토립자의 유실을 방지할 수 있는 필터재를 적용해야 한다.

② 또한 보강토 옹벽 전면의 침식 및 세굴에 대해서도 저항할 수 있도록 설계해야 한다.

6.7 가시설 구조물 설계

6.7.1 일반내용

(1) 가시설 설계일반

① 이 기준은 가시설 흙막이 구조물과 가시설 노면복공의 설계에 적용한다.

② 가시설 구조물의 설계는 허용응력설계법 적용을 기준으로 한다. 다만, 특수한 경우는 별도로 정하여 설계할 수 있다.

③ During the temporary works design, it is necessary to review the stability of a structure according to the construction stage, and to check the impact on underground utilities and neighboring structures in order to take proper measures.

④ A monitoring and analysis plan shall be established during design in order to secure the safety during construction.

(2) Load

① Types of load and combinations

A. Temporary works shall be designed considering fixed load, live load, impact, earth and water pressure and other loads.

B. Design shall be carried out by combining the loads according to the type of temporary works and site conditions.

② Fixed load

The weight used for fixed load shall be in accordance with 「8.2.2 (2) Load, Chapter 8 Bridge General」.

③ Live load

A. Train load

(a) Train load shall be in accordance with 「Chapter 8 Bridge General」.

(b) Surface load shall be in accordance with 「Chapter 6 Earth-Retaining Structure, 6.5.1」, and in the case of the main girder that bears the train load, it shall be in accordance with the girder bridge of 「Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge」.

B. Vehicle load

(a) Vehicle load shall be DB load according to the 「2.1.3 Live Load, Road Bridge Design Criteria」.

(b) Sidewalk shall be in accordance with load of crowd of 5 kN/m^2.

C. Impact load

(a) Impact load due to train load and vehicle load shall be taken into account; impact load due to load of crowd is not considered

(b) Impact coefficient due to train load- 「8.2.3 Operation Load, Chapter 8 Bridge General」

(c) Impact coefficient due to vehicle load 「Road Bridge Design Criteria」

D. Vertical load

(a) For an earth retaining structure, temporary bridge and road decking subject to train load or vehicle load, either braking load or traction load that works horizontally, whichever is greater, shall be assumed to be effective on the temporary bridge of sheathing wall or decking panel support.

③ 가시설 구조물 설계에서는 공사 단계별로 구조물 자체의 안정성을 검토하고 지하매설물과 인접구조물에 미치는 영향을 검토하여 대책을 강구한다.

④ 설계시 계측 및 분석계획을 수립하여 시공 중 안전성을 확보할 수 있는 방안을 강구한다.

(2) 하중

① 하중의 종류 및 조합

가. 가시설 구조물은 고정하중, 활하중, 충격, 토압 및 수압, 기타하중을 고려하여 설계한다.

나. 가시설 구조물의 종류나 시공지점의 모든 조건에 따라서 하중을 조합하여 설계하여야 한다.

② 고정하중

고정하중 산출에 쓰이는 중량은「제8장 교량일반사항 8.2.2(2)항」에 따른다.

③ 활하중

가. 열차하중

㉮ 열차하중은「제8장의 교량 일반사항」의 열차하중을 적용한다.

㉯ 상재하중은「제6장 6.5.1항」의 상재하중을 적용하며 가시설 구조물 중 열차하중을 지지하는 주형의 경우는「제9장 강교 및 강합성교」의 판형교를 따른다.

나. 자동차 하중

㉮ 자동차 하중은「도로교 설계기준 2.1.3 활하중」에서 규정하는 DB하중을 사용한다.

㉯ 보도부분에는 $5kN/m^2$의 군집하중을 사용한다.

다. 충격하중

㉮ 열차하중과 자동차하중에 의한 충격하중을 고려하여야 하며, 군중하중에 의한 충격하중은 고려하지 않는다.

㉯ 열차하중에 대한 충격 계수 -「제8장 교량 일반사항 8.2.3 운행하중」

㉰ 자동차하중에 의한 충격계수 -「도로교 설계기준」

라. 종하중

㉮ 열차하중 또는 자동차하중을 받는 흙막이 구조물, 가교량 및 노면복공에 있어서는 흙막이벽 가교량 및 복공판 지지형에 대해 제동하중 또는 시동하중에서 큰 값을 택하여 수평으로 작용하는 것으로 하여야 한다.

(b) The effect of train traction load or braking load shall be in accordance with 「8.2.3 (8) of Article 7 Bridge General」, and braking load due to vehicle load shall be considered as 10% of DB load, on the condition that it works in the vehicle direction at 1.8 m in height from the bridge deck surface.

④ Surface load on temporary structure

A. Surface load shall be considered in temporary works design, and the effect due to soil covering, train and vehicle load, neighboring heavy equipment and structure shall be taken into account.

B. For a soil covering on a structure, surface load shall be calculated by multiplying soil weight of unit volume by soil thickness.

⑤ Earth pressure, water pressure and other loads

A. Earth pressure on a temporary sheathing wall is dependent on the type of wall, construction method, type of support, installation location and time, and thus earth pressure distribution by construction stage shall be evaluated considering ground conditions, groundwater level and surrounding environment.

B. In designing a sheathing wall, the Rankine or Coulomb's triangular earth pressure distribution shall be applied in reviewing the penetration depth and excavation by stage. After excavation and bracing are complete, empirical earth pressure shall be applied. In reviewing the stability and member section, these two earth pressure distributions shall be used for optimal design. If empirical earth pressure is applied to deep excavation including rock layer, excessive earth pressure could be estimated; therefore, careful attention shall be paid when applying earth pressure.

C. As earth pressure on rock layer is also dependent on the characteristics of discontinuity as well as on the strength of the rock, it may be difficult to apply a general earth pressure theory, unlike with the soil layer. Accordingly, earth pressure investigation and application require a more careful review.

D. As the groundwater level behind the excavation varies depending on rainfall, excavation depth, ground condition and type of sheathing wall, water pressure shall be determined considering these factors. A reduced water pressure based on seepage flow may be applied through the seepage flow analysis.

E. For a bracing subject to temperature variation, axial force due to temperature variation shall be considered.

(3) Allowable stress of material

① Extra coefficient for allowable stress

The following extra coefficients shall be applied to the allowable stress values presented in this section.

A. Temporary structure: 1.5 (when directly supporting railway load)

㉯ 열차의 제동 및 시동하중에 의한 영향은「제8장 교량일반사항의 8.2.3(7)항」에 따르며 자동차하중에 의한 제동하중은 DB 하중의 10%로 하고, 교면상 1.8m의 위치에서 자동차 진행방향으로 작용하는 것으로 하여야 한다.

④ 가설구조물에 작용하는 상재하중

가. 가설구조물의 설계에는 상재하중을 고려하며, 구조물위의 복토, 열차 및 자동차하중, 인접한 중장비 및 인접구조물에 의한 영향을 고려하여야 한다.

나. 구조물위에 복토가 있는 경우에는 흙의 단위체적중량에 흙 두께를 곱한 값을 상재하중으로 하여야 한다.

⑤ 토압, 수압 및 기타하중

가. 가설 흙막이벽에 작용하는 토압은 벽의 종류와 시공방법, 지지구조물의 종류, 설치위치, 설치시기 등에 따라 변화하므로 지반조건, 지하수위, 주변 상황 등을 고려하여 시공 단계별 토압분포를 검토한다.

나. 흙막이벽을 설계함에 있어 굴착단계별 검토시와 근입장 검토에는 Rankine, Coulomb 등의 삼각형 토압분포를 적용하고 굴착 및 버팀구조가 완료된 후에는 경험적인 토압을 적용한다. 안정성과 부재단면 검토 시 두 가지 토압분포를 적용하여 최적의 설계를 수행한다. 암반층을 포함한 대심도 굴착시 경험토압을 적용하면 실제보다 과다한 토압이 산정될 수 있으므로 토압크기 적용 시 신중을 기하여야 한다.

다. 암반에서의 토압은 암반의 강도뿐 아니라 불연속면의 특성에 따라 달라지므로 토사구간과는 달리 일반 토압론의 적용이 곤란할 수 있으므로 조사와 적용 시 유의하여야 한다.

라. 굴착 배면의 지하수위는 강우조건, 굴착심도, 지반의 특성, 흙막이벽의 종류 등에 따라 변하므로 이를 감안하여 벽에 작용하는 수압을 결정한다. 지하수 침투류 해석을 하여 침투류로 인한 감소된 수압을 적용할 수 있다.

마. 온도 변화의 영향을 크게 받는 버팀대는 온도 차이에 의한 축력을 고려한다.

(3) 재료의 허용응력

① 허용응력 할증계수

본 항에서 제시된 허용응력 값들에 다음과 같은 할증계수를 곱하여 적용한다.

가. 가시설구조물의 경우 : 1.5(철도하중을 직접 지지하는 경우 1.3)

B. Permanent structure

(a) During construction: 1.25

(b) After construction: 1.0

C. A structure shall be considered as a temporary structure when construction duration is less than 2 years, and as a permanent structure when construction duration is 2 years or longer.

D. When secondhand material is used: 0.9 or less of new steel material or test value is applied.

② Reinforcement and concrete

A. Allowable stress of concrete

Allowable bending stress	$f_{ca} = 0.40 f_{ck}$	(6.7.1)
Allowable shear stress	$V_a = 0.08 \sqrt{f_{ck}}$	(6.7.2)

B. Allowable stress of reinforcement (compressive & tensile)

Allowable tensile stress	$f_{sa} = 0.5 f_y$	(6.7.3)
Allowable compressive stress	$f_{sa} = 0.4 f_y$	(6.7.4)

③ Allowable stress of steel

A. Structural steel

Allowable stress of rolled steel for a general structure shall be the value defined in <Table 6.7.1> or less.

B. Steel sheet pile (SY 30)

Allowable stress of steel sheet pile is as follows.

Allowable bending tensile stress 180 MPa

Allowable bending compressive stress 180 MPa

Allowable shear stress 100 MPa

C. When it is inevitably necessary to use secondhand materials, in conflict with the design, according to the site material supply plan, allowable stress of material shall be determined based on stress modification factor according to the type and purpose at a responsible engineer's discretion after comprehensively considering the service life, corrosion, deformation and bolt hole.

나. 영구구조물로 사용되는 경우

㉮ 시공도중 : 1.25

㉯ 완료 후 : 1.0

다. 공사기간이 2년 미만인 경우에는 가설구조물로 2년 이상인 경우에는 영구구조물로 간주하여 설계한다.

라. 고재사용시 : 신강재의 0.9 이하로 하되 시험치가 있으면 시험치를 적용한다.

② 철근 및 콘크리트

가. 콘크리트의 허용응력

허용휨압축응력 $f_{ca} = 0.40 f_{ck}$ (6.7.1)

허용전단응력 $v_a = 0.08\sqrt{f_{ck}}$ (6.7.2)

나. 철근의 허용(압축 및 인장) 응력

허용휨인장응력 $f_{sa} = 0.5 f_y$ (6.7.3)

허용압축응력 $f_{sa} = 0.4 f_y$ (6.7.4)

③ 강재의 허용응력

가. 구조용 강재

일반구조용 압연강재의 허용응력은 <표 6.7.1>의 값 이하로 한다.

나. 강널말뚝 (SY 30)

강널말뚝의 허용응력은 다음 값 이하로 한다.

허용 휨 인장응력 180MPa

허용 휨 압축응력 180MPa

허용 전단응력 100MPa

다. 현장의 자재수급계획에 따라 설계와 다르게 재사용 강재를 사용할 경우 재사용 강재의 허용응력은 책임기술자가 반복사용 정도, 부식 정도, 변형상태, 볼트구멍 등을 종합적으로 검토하여 강재종류별, 용도별로 응력보정계수를 설정하여 사용한다.

Table 6.7.1 Allowable stress of steel (brand new) (MPa)

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Type</td><td colspan="2">Rolled steel for general structure - SS400, SM400</td><td rowspan="2">Note</td></tr>
<tr><td>Direct support railway load</td><td>Ordinary case</td></tr>
<tr><td colspan="2">Axial tensile
(net section)</td><td>140</td><td>140</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">Axial compressive
(total section)</td><td>· $0 < \ell / r \leq 9$:
140</td><td>· $0 < \ell / r \leq 18.6$:
140</td><td rowspan="3">ℓ : Effective buckling length
r: Radius of gyration of area</td></tr>
<tr><td>· $9 < \ell / r \leq 130$:
$140 - 0.80 (\ell / r - 9)$</td><td>· $18.6 < \ell / r \leq 92.8$:
$140 - 0.82 (\ell / r - 18.6)$</td></tr>
<tr><td>· $130 < \ell / r$:
$\frac{740,0000}{(\ell / r)^2}$</td><td>· $92.8 \leq \ell / r$:
$\frac{1,200,000}{6,700+(\ell / r)^2}$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Bending compressive stress ⌒ Total section ⌣</td><td>tensile
(net section)</td><td>140</td><td>140</td><td></td></tr>
<tr><td>compressive
(total section)</td><td>· For bending to strong axis, equivalent slenderness ratio $(\ell / r)_e$ instead of above ratio (ℓ / r)
· $(\ell / r)_e = F.\ell / b$
· In case of I section,
$F = \sqrt{12 + 2\beta/\alpha}$</td><td>· Use in case of $Aw/Ac \leq 2$
· $\ell / b \leq 4.5$: 210
· $4.5 < \ell / b \leq 30$
: 210-3.6(ℓ / b-4.5)
where,
A_w = total section area of web plate
A_c = total section area of compressive flange</td><td>ℓ : fixed gage length of flange
b: width of compressive flange
β: ratio (h/b) between web plate height (h) and flange width (b)
α: ratio (t_f/t_w) between flange thickness (t_f) and flange thickness (t_w)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Shear stress
(total section)</td><td>80</td><td>80</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Bearing stress</td><td>210</td><td>210</td><td>Steel pipe & steel plate</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Welding strength</td><td>factory</td><td>100% of base material</td><td>100% of base material</td><td></td></tr>
<tr><td>field</td><td>90% of base material</td><td>90% of base material</td><td></td></tr>
</table>

Note) when railway load is directly supported: 「9.4 Allowable Stress, Railway Design Criteria」
In an ordinary case: 「3.3.2 Allowable Stress of Steel, Road Bridge Design Criteria (2010) 」

④ Allowable stress of wooden material

A. Allowable bending stress, compressive stress and shear stress of wooden material in fiber direction shall be the value defined in <Table 6.7.2 Allowable Stress of Wooden Material> or less.

표 6.7.1 강재의 허용응력(신강재기준) (MPa)

종류		일반구조용 압연강재 - SS400, SM400		비고
		철도하중을 직접 지지하는 경우	일반의 경우	
축방향 인장 (순단면)		140	140	
축방향 압축 (총단면)		.0 < ℓ / r ≤ 9 일 경우 140	.0 < ℓ / r ≤ 18.6 일 경우 140	ℓ : 유효좌굴장 r : 단면회전반지름
		.9 < ℓ / r ≤ 130 일 경우 140 - 0.80 (ℓ / r - 9)	.18.6 < ℓ /r ≤ 92.8 일 경우 140 - 0.82 (ℓ / r - 18.6)	
		.130 < ℓ / r 일 경우 $\frac{740,0000}{(\ell / r)^2}$	.92.8 ≤ ℓ / r 일 경우 $\frac{1,200,000}{6,700+(\ell / r)^2}$	
휨압축응력 (총단면)	인장연 (순단면)	140	140	
	압축연 (총단면)	.강축에 대한 휨은 상기의 세장비(ℓ /r) 대신에 다음 등가세장비 (ℓ / r) $_e$를 사용 .(ℓ / r) $_e$ = F. ℓ / b .I형단면의 경우 $F = \sqrt{12+2\beta/\alpha}$	.$A_w/A_c \leq 2$인 경우에 사용 . ℓ / b ≤ 4.5일 경우 : 210 .4.5 < ℓ / b ≤ 30일 경우 : 210-3.6(ℓ / b-4.5) 여기서, A_w=복부판의 총단면적 A_c=압축 플랜지의 총단면적	ℓ : 플랜지의 고정점간거리 b : 압축 플랜지의 폭 β: 복부판높이(h)와 플랜지폭(b)의 비(h/b) α: 플랜지두께(t_f)와 복부판두께(t_w)의 비(t_f/t_w)
전단 응력 (총단면)		80	80	
지압 응력		210	210	강관과 강판
용접 강도	공장	모재의 100%	모재의 100%	
	현장	모재의 90%	모재의 90%	

주) 철도하중을 직접지지하는 경우 : 「철도설계기준 9.4 허용응력」
일반의 경우 : 「도로교 설계기준 (2010) 3.3.2 강재의 허용응력」

④ 목재의 허용응력

가. 목재의 섬유방향의 허용휨응력, 허용 압축응력 및 허용 전단응력의 값은 <표 6.7.2>의 목재 허용응력 값 이하로 한다.

B. Allowable buckling stress of wooden material in fiber direction shall be the value defined in <Eq. (6.7.5) ~ (6.7.6)> or less.

Table 6.7.2 Allowable stress of wooden material (Ordinary)

Type of wooden material		Allowable stress (MPa)		
		bending	compressive	Shear
Needle leaf	Pine, black pine, larch, old pine, hemlock spruce, Oregon pine	9	8	0.7
	Cedar, spruce, fir	7	6	0.5
Broad leaf	Oak	13	9	1.4
	Chestnut, zelkova serrata, beech	10	7	1.0

$$l_k/r \leq 100, \quad f_k = f_c(1-0.007 l_k/r) \qquad (6.7.5)$$

$$l_k/r > 100, \quad f_k = \frac{0.3 f_c}{(l_k/100r)^2} \qquad (6.7.6)$$

l_k: Length of support(maximum length among the lengths between constraint points) (mm)

r : Minimum radius of gyration of area (mm)

f_c: Allowable compressive stress (MPa)

f_k: Allowable buckling stress (MPa)

⑤ Allowable stress of bolt

Allowable stress of ordinary and high tension bolt shall be the value defined in <Table 6.7.3> or less.

Table 6.7.3 Allowable stress of bolt (ordinary)

Bolt	Stress	Allowable stress (MPa)	Note
Ordinary	shear	90	SS400
	bearing	190	
High tension	shear	150	F8T
	bearing	235	SS400

Note) 「9.4 Allowable Stress, Railway design criteria」

⑥ Effective buckling length of beam

In calculating the allowable stress of structural steel, the length of effective buckling shall be in accordance with 「Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge」.

나. 목재의 섬유방향의 허용 좌굴응력의 값은 <식 (6.7.5)~(6.7.6)>으로 산출한 값 이하로 한다.

표 6.7.2 목재의 허용응력 (일반의 경우)

목재의 종류		허용응력(MPa)		
		휨	압축	전단
침엽수	소나무, 해송, 낙엽송, 노송나무, 솔송나무, 미송	9	8	0.7
	삼나무, 가문비나무, 미삼나무, 전나무	7	6	0.5
활엽수	참나무	13	9	1.4
	밤나무, 느티나무, 졸참나무, 너도밤나무	10	7	1.0

$l_k/r \leq 100$ 인 경우 $\quad f_k = f_c(1-0.007 l_k/r)$ (6.7.5)

$l_k/r > 100$ 인 경우 $\quad f_k = \dfrac{0.3 f_c}{(l_k/100r)^2}$ (6.7.6)

l_k : 지주길이(지주의 구속점 사이의 길이 가운데 최대의 길이) (mm)

r : 지주의 최소단면 2차반지름(mm)

f_c : 허용 압축응력(MPa)

f_k : 허용 좌굴응력(MPa)

⑤ 볼트의 허용응력

보통볼트 및 고장력 볼트의 허용응력은 <표 6.7.3>값 이하로 한다.

표 6.7.3 볼트의 허용응력(일반의 경우)

볼트의 종류	응력의 종류	허용응력(MPa)	비고
보통볼트	전단	90	SS400 기준
	지압	190	
고장력볼트	전단	150	F8T 기준
	지압	235	SS400 기준

주)「철도설계기준 9.4 허용응력」

⑥ 기둥의 유효좌굴 길이

구조용 강재의 허용응력 계산 시 유효좌굴 길이는「제9장 강교 및 강합성교」에 따라 설계한다.

6.7.2 Earth retaining structure

(1) Determination of earth retaining structure

① The wall and support type of a temporary earth retaining structure shall be determined after considering topographic and ground condition, groundwater level and permeability, surrounding structures and underground utilities, traffic, construction cost and schedule, noise, vibration during construction, groundwater variation, and the impact of settlement on the surrounding environment.

② A temporary earth retaining wall shall be determined after considering structural stability, deterioration and importance of neighboring buildings, cutoff, excavation depth, construction schedule, cost, the potential for civil complaints, equipment accessibility, constructability and construction time.

③ The support of a temporary earth retaining wall shall be determined considering stability, constructability, the potential for civil complaints, clearance from neighboring structures, basement depth and foundation type.

④ When cutoff or ground reinforcement is needed, a supplementary method shall be determined considering the use.

(2) Analysis of earth retaining structure

① Analysis of earth retaining wall and support shall be based on the type of wall, support structure, ground condition and clearance.

② Included in the analysis method are the method to consider the wall as a beam, and the method to analyze the wall and the ground simultaneously considering earth-structure interaction, and the designer shall determine these considering site conditions.

③ For an earth retaining wall with a support structure, varying earth pressure depending on excavation and support shall be analyzed on a step-by-step basis, and the analysis method includes the analysis of continuous beam on elastic ground, finite element method and finite difference method.

④ After finishing the excavation and support structure, wall analysis shall apply empirical earth pressure and use simple beam analysis, continuous beam analysis and the analysis of continuous beam on elastic ground. Then, design shall be carried out considering site conditions including water pressure and soil layer distribution and analysis conditions.

(3) Review of stability

① When designing an earth retaining structure, it is necessary to review the stability of the excavated bottom and member section and groundwater disposal.

② Ground parameters shall be determined after comprehensively considering geotechnical investigation data and related documents, and if there is any conflict between them, geotechnical investigation data shall be preferably applied.

6.7.2 흙막이 구조물

(1) 흙막이 구조물의 선정

① 가시설 흙막이 구조물 벽체형식과 지지구조는 지형과 지반조건, 지하수위와 투수성, 주변구조물과 매설물 현황, 교통조건, 공사비, 공기, 시공성을 고려해야하며 공사시의 소음과 진동, 굴착배면의 지하수위저하, 주변지반침하가 미치는 주변 및 환경영향 등을 고려하여 선정한다.

② 가시설 흙막이벽은 구조적 안전성, 인접건물의 노후화 및 중요도, 지하수위, 차수성, 굴착깊이, 공기, 공사비, 민원 발생 가능성, 장비의 진출입 가능성, 시공성, 공사시기 등을 검토하여 가장 유리한 형식을 선정한다.

③ 가시설 흙막이벽의 지지구조는 벽의 안전성, 시공성, 민원발생 가능성, 인접건물의 이격거리 및 지하층 깊이와 기초형태 등을 검토하여 가장 유리한 형식을 선정한다.

④ 차수나 지반보강 등이 필요한 경우에는 적용목적에 부합하는 보조공법을 선정한다.

(2) 흙막이 구조물의 해석방법

① 흙막이벽과 지지구조의 해석은 벽의 종류, 지지구조, 지반조건 및 근접시공여부 등을 고려하여 실시한다.

② 흙막이벽과 지지구조 해석방법으로는 벽을 보로 취급하는 관용적인 방법과 흙-구조물 상호작용을 고려하여 벽과 지반을 동시에 해석하는 방법이 있으며 설계자는 현장조건을 고려한 해석법을 적용하여야 한다.

③ 지지구조를 가지는 버팀 흙막이벽 형식에 대해서는 굴착진행과 버팀보 해체에 따라 변화하는 토압에 대하여 단계별로 해석하며 해석방법은 탄소성 지반상 연속보해석법과 유한요소법 및 유한차분법 등이 있다.

④ 굴착이 끝나고 버팀구조가 완료된 후의 벽체해석에는 경험적인 토압을 적용하며 단순보해석, 연속보해석 및 탄성지반상 연속보 해석법 등을 적용한다. 이때 수압, 토층분포 등의 현장조건과 해석조건을 고려하여 설계한다.

(3) 안정성 검토

① 흙막이 구조물 설계시 굴착저면의 안정성, 부재단면의 안정성과 지하수 처리 등을 검토한다.

② 지반정수는 지반조사 자료와 문헌자료 등을 종합적으로 검토하여 선정하고 지반조사 자료와 문헌자료가 상이할 경우 지반조사 자료를 우선적으로 적용한다.

③ Stability of the excavated bottom shall be based on the minimum penetration depth, heaving, piping, the possibility of ground heaving and stability against buoyancy. However, when the layer at the excavated bottom is harder than weathered rock, stability against heaving and piping may be omitted.

④ When building or underground utilities are near the excavation site, it is necessary to review the stability against the settlement (differential and uniform settlement) of such structures. At this moment, displacement of an earth retaining wall shall be based on the accumulative displacement monitored from excavation stage to the support removal.

(4) Design of member section

① Design of sheathing wall

A. Common

(a) A sheathing wall shall be stable against bending moment and shear force.

(b) If there is any vertical load including normal component of force, lining load or surcharge load of an inclined anchor, it shall also be stable against composite stress.

(c) Vertical load shall be less than the allowable bearing capacity of a pile. When estimating allowable bearing capacity from ultimate bearing capacity according to the static equation, factor of safety shall be 2.0.

(d) Horizontal displacement of a sheathing wall shall be estimated based on review of settlement and differential settlement angle of the ground behind the wall, but the maximum horizontal displacement shall be 0.2% of the final excavation depth (H). When it is necessary to exceed 0.2%, a safety review of surrounding facilities shall be separately carried out.

B. Soldier pile

(a) A soldier pile shall be designed to be safe against axial force and bending moment.

(b) Buckling of the pile shall be reviewed even in the event that lateral force acting on the soldier pile could be neglected on rock layer, and buckling and deformation shall be prevented by using rock bolt and shotcrete. However, when the rock is deep, separate reinforcement shall be provided at regular intervals.

(c) When settlement is likely to occur in the soil behind soldier pile, the resulting negative friction force shall be added to the soldier pile as separate axial load.

C. Diaphragm wall

(a) Diaphragm wall includes cast-in-situ concrete wall and PC wall, which shall be designed to constrain the movement or settlement of the surrounding ground and minimize the impact on the surrounding structures.

③ 굴착저면의 안정성 검토는 최소 근입장의 확보여부와 히빙, 파이핑 및 지반융기의 발생 가능성, 부력에 대한 안전에 대하여 실시한다. 단 굴착저면의 지층이 풍화암 이상의 단단한 지반으로 구성되어 있는 경우에는 히빙과 파이핑에 대한 안정성 검토를 생략할 수 있다.

④ 굴착현장에 인접하여 건물이나 주요 지하지장물이 존재하는 경우 건물이나 지장물의 침하(부등 및 균등침하)에 대한 안정성을 검토한다. 이때 흙막이벽 변위는 단계별 굴착에서 지하구조물 시공을 위한 버팀보 해체완료 시까지 누적 변위를 기준으로 한다.

(4) 부재 단면의 설계

① 흙막이벽의 설계

가. 공통사항

㉮ 흙막이벽은 휨모멘트와 전단력에 대하여 안전하여야 한다.

㉯ 경사앵커의 수직분력, 복공하중, 과재하중 등의 연직하중이 있을 때는 합성응력에 대해서도 안전하여야 한다.

㉰ 연직하중은 말뚝의 허용지지력 보다 작아야 한다. 정역학적 공식에 의한 극한 지지력으로부터 허용지지력 산정시 안전율은 2.0을 적용한다.

㉱ 흙막이벽의 수평변위는 배면지반 침하량 및 부등침하 경사각을 검토하여 판정하되, 최대수평 변위는 최종 굴착깊이(H)의 0.2%로 한다. 0.2%를 초과할 때는 주변 시설물에 대한 별도의 안전검토가 필요하다.

나. 엄지말뚝

㉮ 엄지말뚝은 축방향력과 휨모멘트에 대하여 모두 안전하도록 설계한다.

㉯ 암반구간에서 엄지말뚝에 작용하는 측압을 무시할 수 있는 경우에도 말뚝의 좌굴 영향을 검토하여야 하며 록볼트와 숏크리트 등으로 좌굴 및 변형을 방지하고 안전을 확보하여야 한다. 다만 암반의 심도가 깊을 경우에는 중간 중간에 별도의 방식으로 보강하여야 한다.

㉰ 엄지말뚝 배면흙이 배수 등의 원인에 의해 침하할 우려가 있는 경우에는 이로 인해 발생하는 부마찰력을 별도의 축하중으로 엄지말뚝에 가산하여야 한다.

다. 지하연속벽

㉮ 지하연속벽 공법은 현장타설 콘크리트 지하연속벽과 PC지하연속벽 등이 있으며 대심도 굴착에서 주변지반의 이동이나 침하를 억제하고 인접구조물에 대한 영향을 최소화하도록 설계한다.

(b) Diaphragm wall shall be designed to serve as a load bearing wall and cast-in-situ pile, and shall be in the form of a permanent structure when connected to the underground slab.

(c) The load working on the diaphragm wall is mostly earth pressure and water pressure, and all kinds of structural loads shall be reviewed when it is used as a main structure.

(d) When building a diaphragm wall, stabilizer liquid used for trench shall conform to the stability against the cutting surface in order to minimize settlement and behavior of the surrounding ground and form a stable underground structure as a permanent wall.

(e) Design strength of concrete shall be adjusted depending on the existence and characteristics of groundwater upon concrete casting, as follows.

When there is no groundwater level: $0.875 f_{ck}$

When pouring in static state: $0.800 f_{ck}$

When pouring in foul water: $0.700 f_{ck}$

(f) Thickness of rebar covering shall be 100 mm or more.

(g) When a diaphragm wall is used as a temporary structure, allowable stress shall be increased by 50%; when used as a permanent structure, it shall be increased by 25% during construction and not increased at all after construction.

D. Steel sheet pile

(a) Distribution width of active and passive earth pressure shall be the width of steel sheet pile.

(b) Section modulus used for stress calculation of a steel sheet pile shall be 80% or less by reducing the section modulus of a completely combined joint.

(c) Steel sheet pile shall be designed to be safe against axial force and bending moment.

E. Column type RC wall (CIP)

(a) The type of column can be designed as a single reinforcement beam with the same area as boring hole.

(b) When H-beam is designed to bear the moment and shear force on a sheathing wall, it is possible to skip the review of column type wall.

(c) The thickness of rebar covering shall be 80 mm or more, and the shape of the main reinforcement shall be maintained without change.

(d) Tie bar shall be D13 or more reinforcement, and the interval shall be 12 times less than the boring hole and longitudinal reinforcement, or 300 mm, whichever is smaller.

㈏ 지하연속벽 벽체는 하중지지벽체와 현장타설말뚝 역할을 할 수 있으며 내부의 지하 슬래브 층과 연결 시에는 영구적인 구조체로 설계할 수 있다.

㈐ 지하연속벽 벽체에 작용하는 하중은 주로 토압과 수압이며 본체 구조물로 사용하는 경우에는 각종 구조물하중에 대한 검토가 필요하다.

㈑ 지하연속벽 시공시에 주변지반의 침하 및 거동을 최소화하고 영구벽체로서 안정된 지하구조물을 형성하기 위한 트렌치 내에 사용하는 안정액의 조건은 굴착면의 안정성을 확보할 수 있도록 한다.

㈒ 콘크리트의 설계기준강도는 콘크리트 타설시의 지하수의 유무와 특성에 따라 다음과 같이 감소시켜서 정하여야 한다.

지하수위가 없는 경우 : $0.875f_{ck}$

정수중에 타설하는 경우 : $0.800f_{ck}$

혼탁한 물에 타설하는 경우 : $0.700f_{ck}$

㈓ 철근의 피복은 부식을 고려하여 100mm 이상으로 한다.

㈔ 지중연속벽이 가설구조물로 이용되는 경우는 허용응력을 50% 증가시켜서 사용하며, 지중연속벽이 본 구조물로 이용되는 경우는 콘크리트의 허용응력을 시공 중에는 25% 증가시키고 시공 완료 후에는 증가시키지 않는다.

라. 강널말뚝

㈎ 강널말뚝에 작용하는 주동토압과 수동토압의 분포폭은 강널말뚝 폭 전폭으로 한다.

㈏ 강널말뚝 응력계산에 사용되는 단면계수는 폭 1m당 전체 강성의 60% 적용을 원칙으로 한다. 단, 널말뚝 끝부분을 50cm 이상 용접하거나 콘크리트로 머리부를 연결해서 고정한 것이나 근입이 충분하고 토사의 구속을 기대할 수 있는 경우는 80% 이하로 한다.

㈐ 강널말뚝은 축방향력과 휨모멘트에 대하여 모두 안전하게 설계하여야 한다.

마. 주열식 철근콘크리트 벽(CIP)

㈎ 주열식 벽체는 천공경의 면적과 등가인 등가사각형의 단철근보로 설계할 수 있다.

㈏ 흙막이벽에 작용하는 모멘트와 전단력을 H형강이 모두 부담하는 것으로 하는 경우에는 주열식 벽 검토를 생략할 수 있다.

㈐ 철근 피복은 80mm 이상으로 하고 주철근의 형상이 정확히 유지되도록 하여야 한다.

㈑ 띠철근은 D13 이상의 철근으로 하고 그 간격은 천공경, 축방향철근의 12배 이하, 그리고 300mm 중 작은 값 이하이어야 한다.

F. SCW

(a) Axial force on an SCW wall shall be analyzed with the arch due to uniform load working on arch with H-beam interval as span.

(b) Shear strength shall be calculated with the beam with H-beam interval as span.

(c) Allowable compressive stress shall be 1/2 the unconfined compressive strength of soil cement, and allowable shear stress shall be 1/3 the unconfined compressive strength.

(d) Water-binder (W/B) ratio and design mixing ratio of cement mortar shall be determined after comprehensively considering site conditions such as soil and groundwater.

② Design of intermediate pile

A. Vertical load on an intermediate pile shall include self-load, self-weight of strut, surface load, decking load (including impact load) and utility load.

B. When reinforcing members including diagonal member are placed between the intermediate piles to increase the vertical stiffness, load distribution may be considered. However, an intermediate pile without truss-type reinforcement is assumed to bear the vertical load independently.

C. Vertical load on the intermediate pile shall not exceed the allowable bearing capacity.

③ Design of lagging board

A. Earth pressure acting on a lagging board shall be applied.

B. The span for calculating shear force and bending moment shall be determined considering the flange width of soldier pile.

C. The thickness of a lagging board shall be determined to satisfy both the moment and shear force.

④ Design of wale

A. Wale shall have sufficient stiffness to receive load from the earth retaining wall and uniformly transfer it to the strut.

B. Wale shall be safe against bending moment and shear force due to reaction force of strut or anchor. For a strut with a slanting steel member, axial force due to slanting steel member shall be considered together with the normal component of force of anchor.

C. Bending moment and shear force shall be calculated based on a single beam with the anchor position as a support point, but when it is in good connection, it may be considered as a continuous beam. When a slanting steel member is provided to the strut, span may be reduced in calculation.

D. When using H-beam as wale, stiffener shall be provided at 2 or more locations to protect the flange from being deformed due to excessive compressive force on anchor or wale joint.

바. SCW

㉮ SCW 벽체에 작용하는 축력은 H형강 간격을 지간으로 하는 아치에 작용하는 등분포하중에 의한 아치로 보고 해석한다.

㉯ 전단력은 H형강 순간격을 지간으로 하는 보로 계산한다.

㉰ 허용압축응력은 소일시멘트 일축압축강도의 1/2을 사용하고, 허용전단응력은 일축압축강도의 1/3을 적용한다.

㉱ 시멘트 모르터의 물-결합재비와 설계배합비는 현장의 토질, 지하수의 상황 등 종합적인 조건을 고려하여 결정한다.

② 중간말뚝의 설계

가. 중간말뚝에 작용하는 연직하중은 자중, 버팀보의 자중 및 적재하중, 노면복공으로부터의 하중(충격하중 포함), 매설물로 부터의 하중으로 한다.

나. 중간말뚝의 종방향 강성을 증가시키기 위해 중간말뚝 사이에 사재 등의 보강부재를 조립시킨 경우에는 하중분배를 고려할 수 있다. 다만, 트러스 형태의 보강이 없는 중간말뚝은 단독으로 연직하중을 지지하는 것으로 한다.

다. 중간말뚝에 작용하는 연직하중이 그 허용지지력을 넘지 않도록 하여야 한다.

③ 흙막이판의 설계

가. 토압은 흙막이벽에 작용하는 토압을 적용한다.

나. 전단력과 휨모멘트를 구하는 지간은 엄지말뚝의 플렌지폭을 고려하여 정한다.

다. 흙막이판의 두께는 모멘트와 전단력 모두 만족시킬 수 있도록 정한다.

④ 띠장의 설계

가. 띠장은 흙막이벽에서의 하중을 받아 이것을 버팀보 등에 평균하여 전달시키기 때문에 하중을 전달할 수 있는 강성을 갖는 것이어야 한다.

나. 띠장은 버팀보 또는 엥커의 반력으로 인한 휨모멘트 및 전단력에 대하여 안전하여야 한다. 사보강재가 있는 버팀보의 경우 사보강재로 인한 축방향력을 고려해야 하며 엥커의 수직분력도 고려하여야 한다.

다. 휨모멘트 및 전단력은 버팀보 또는 앵커 위치를 지점으로 하는 단순보로 계산하되 양호한 이음구조일 때는 연속보로 계산하여도 좋다. 버팀보에 사보강재가 있을 때는 지간을 감소하여 계산 할 수 있다.

라. H형강을 띠장으로 사용할 때는 버팀보 또는 앵커와 띠장의 접합부에 압축력이 크게 작용하므로 플랜지가 변형되지 않도록 보강재(stiffener)를 반드시 2개소 이상 설치하여야 한다.

⑤ Design of strut

A. Design general

(a) Strut shall have the section and stiffness to avoid buckling as a compression member, and when the beam is extended, an intermediate pile shall be provided for reinforcement.

(b) No load shall be imposed on the strut. When it is inevitably necessary to impose load, it shall be designed with the member to bear axial force and bending moment.

(c) No joint shall be provided to the strut, but when a joint is inevitably necessary, it shall be reinforced to increase the stiffness.

(d) Joint between the strut and the wale shall not be loosened.

(e) Composite stress of strut due to axial force and bending moment shall be less than the allowable stress considering buckling.

B. Reinforcement of strut

(a) Strut shall be reinforced by the supporting beam and horizontal bracing at regular intervals in order to increase the stiffness of the temporary structure as a whole.

(b) Bracing location and member specification shall be determined based on the buckling analysis.

C. Design of slanting steel member

(a) Slanting steel member is designed to widen the horizontal interval of a strut or reinforce the wale.

(b) Joint of slanting steel member shall be designed to resist the movement.

(c) Slanting steel member shall be installed on the strut symmetrically in order to prevent the strut from bending moment due to eccentric load.

(d) Slanting steel member shall be installed at 45° in the corner.

(e) Slanting steel member shall be designed with a compression member to bear axial force.

(f) Wale on which a slanting steel member is installed shall be reinforced to resist horizontal force.

D. Design of oblique strut (raker)

(a) Joint between the raker and the wale shall be reinforced to resist uplift force.

(b) The block supporting the raker shall be safe against sliding, overturn or bearing force.

⑥ Design of ground anchor

A. Corrosion preventive method shall be reviewed considering the use and duration of anchor and surrounding environment.

B. For a permanent anchor, the long-term stability, corrosion stability and maintenance shall be reviewed.

⑤ 버팀보의 설계

가. 설계일반

㉮ 버팀보는 압축재로서 좌굴하지 않도록 단면과 강성을 가져야 한다. 또, 버팀보가 긴 경우에는 중간말뚝 등을 설치하여 보강하여야 한다.

㉯ 버팀보 위에는 재하해서는 안 된다. 그러나 부득이 재하할 경우에는 축력과 휨이 작용하는 부재로 설계하여야 한다.

㉰ 버팀보에는 이음을 설치하지 않으나 부득이 이음을 설치할 때는 보강을 하여 강도를 확보하여야 한다.

㉱ 버팀보와 띠장의 접합부는 느슨함이 생기지 않는 구조로 하여야 한다.

㉲ 버팀보의 축방향력 및 휨모멘트에 의한 합성응력은 좌굴을 고려한 허용응력보다 작아야 한다.

나. 버팀보의 보강

㉮ 버팀보는 가시설구조물 전체의 강성을 확보할 수 있도록 일정간격으로 인접버팀보와 수평브레이싱을 설치하여 보강하여야 한다.

㉯ 브레이싱의 설치는 좌굴해석에 의해 위치 및 부재규격을 결정하여야 한다.

다. 사보강재의 설계

㉮ 사보강재는 버팀보의 수평간격을 넓게 할 때, 모서리의 띠장하중의 받침 또는 띠장을 보강할 목적으로 설계한다.

㉯ 사보강재의 접합부는 활동에 대하여 내력이 있는 구조로 하여야 한다.

㉰ 사보강재를 버팀보에 설치하는 경우에는 반드시 좌우대칭으로 하여 버팀보에 편심하중에 의한 휨모멘트가 생기지 않도록 하여야 한다.

㉱ 모서리에 사용하는 사보강재는 45°각도로 설치하는 것을 기준으로 한다.

㉲ 사보강재는 축력을 받는 압축재로 설계한다.

㉳ 사보강재를 설치하는 띠장은 수평력에 대하여 밀리지 않도록 보강하여야 한다.

라. 경사 버팀보(레이커)의 설계

㉮ 레이커와 띠장의 연결부에는 상향력이 작용하므로 이에 대하여 보강하여야 한다.

㉯ 레이커를 지지하는 블록은 활동, 전도 및 지지력에 대하여 안전하여야 한다.

⑥ 지반 앵커의 설계

가. 앵커의 사용목적, 사용기간 및 환경조건 등을 고려하여 부식방지에 관해 검토하여야 한다.

나. 영구앵커는 정착지반의 장기적 안정성, 부식에 대한 안정성 및 공사 후 유지관리 방법 등을 검토하여야 한다.

C. The removal method after using anchor shall conform to the requirements, and the performance shall also be stabilized during the service life.

D. Ground anchor shall be determined considering the shape and size of a structure and ground conditions, and shall be designed to have the required pullout resistance.

E. Allowable tensile strength of an anchor shall be determined considering the duration, ultimate strength and yield strength of a steel member.

F. Ground anchor shall be assumed to be installed on good ground, and shall be designed considering the length, soil condition, construction and environment conditions, utilities, stress and displacement of sheathing wall and stability of a structure.

G. Anti-corrosive measures shall be reviewed considering the use, duration and environmental conditions.

H. Initial tension force of a ground anchor shall be designed considering ground conditions, the size of sheathing wall, duration and construction method.

I. Pedestal and bearing plate shall be designed to have the required strength for anchoring force and prevent any negative deformation.

J. Free length of anchor shall be determined by adding extra length to the length of expected failure surface.

K. Anchorage length of anchor shall be determined by comparing the length of frictional resistance between the anchor and the ground, or the length of bond resistance between the anchor steel and the grouting, whichever is greater. Progressive failure shall be considered when determining the anchorage length.

L. Minimum height from anchorage to the ground's surface shall be secured.

M. Stability analysis including analysis of sheathing wall and anchor shall be carried out.

N. Tension force of anchor shall be determined considering both the reduction due to anchorage device and relaxation, respectively.

⑦ Other earth retaining structures

Soil nail, rock bolt, column-type steel pipe wall or steel pipe strut shall be designed using a rational and safe method that meets global standards.

(5) Review of ground settlement behind the wall and impact on surrounding structures

① When installing an earth retaining structure near existing structures or utilities, it is necessary to review the stability of the earth retaining structure, as well as the impact on the neighboring structures.

② For construction in close vicinity, design shall be carried out considering ground characteristics, lateral earth pressure, groundwater variation, ground loss, impact on the surrounding ground due to excavation and the characteristics of the structure.

다. 앵커의 사용기간이 지난 후 제거하는 방법에 관해서도 만족해야 하며, 사용기간 동안에 그 성능이 안정되어야 한다.

라. 지반 앵커는 대상으로 하는 구조물의 규모, 형상, 지반조건을 고려하여 선정하고, 설계하중에 대해서 안전한 인발저항력을 갖도록 설계하여야 한다.

마. 앵커의 허용인장력은 앵커의 사용기간, 강재의 극한강도 및 항복강도를 고려하여 정한다.

바. 지반 앵커는 양호한 지반에 정착하는 것으로 하고, 그 길이 및 배치는 토질 조건, 시공조건, 환경조건, 지하매설물의 유무, 흙막이벽의 응력, 변위 및 구조체의 안정을 고려하여 설계한다.

사. 앵커의 사용목적, 사용기간 및 환경조건 등을 고려하여 부식방지에 관해 검토하여야 한다.

아. 지반 앵커의 초기 긴장력은 지반조건, 흙막이벽의 규모, 설치기간, 시공방법 등을 고려하여 설계하여야 한다.

자. 좌대 및 지압판은 설계 정착력에 대하여 강도를 갖고, 유해한 변형이 발생하지 않도록 설계한다.

차. 앵커의 자유장은 예상 파괴면까지의 길이에 여유길이를 더하여 정한다.

카. 앵커의 정착장은 앵커체와 지반과의 마찰저항장과 앵커강재와 그라우트체와의 부착저항장을 비교하여 큰 값으로 한다. 정착장 결정시에는 진행성 파괴를 고려하여야 한다.

타. 정착부부터 지표면까지의 최소 높이가 확보되어야 한다.

파. 흙막이벽과 앵커 전체를 포함한 안정해석을 한다.

하. 앵커의 긴장력은 정착장치에 의한 감소와 릴렉세이션에 의한 감소를 고려하여 정한다.

⑦ 그 외의 흙막이 구조물

본 기준에 언급되지 않은 소일네일, 락볼트, 주열식 강관벽체, 강관버팀보 등은 국내외에서 널리 쓰이는 설계법 중에서 합리적이고 안전한 설계방법을 사용한다.

(5) 배면 지반침하와 인접구조물에 대한 영향검토

① 주변의 기존 구조물이나 매설물에 근접하여 시공시에는 가시설 흙막이 구조물 자체의 안정뿐 아니라 인접구조물에 미치는 영향을 검토한다.

② 근접시공시에는 지반특성, 횡토압, 지하수위 변화와 지반손실, 굴착이 주변지반에 미치는 영향, 대상구조물의 특성 등을 고려하여 설계한다.

③ When variation in the groundwater level due to construction in close vicinity has a direct effect on surrounding structures, it shall be designed with a cutoff wall, and water pressure behind due to groundwater level shall be considered.

④ Ground settlement prediction includes theoretical method and empirical method, which shall be determined by the designer after comprehensively considering site conditions, ground conditions, excavation method and the type of earth retaining wall and support.

⑤ After estimating the displacement of the ground due to excavation, the damage to the surrounding structures shall be analyzed based on allowable displacement, and measures shall be taken where necessary.

⑥ 3D ground behavior shall be considered in design, where necessary.

6.7.3 Decking

(1) Common

① Vehicle or equipment load, whichever is greater, shall be incorporated as live load.

② Decking plate, main girder and support shall be safe against bending moment and shear force.

③ Allowable deflection of main girder against live load (without impact load) shall be less than 1/400 of the span, or 25 mm or less.

(2) Decking plate

① Decking plate shall be designed to have sufficient stiffness and strength to bear any load during construction.

② It shall be calculated based on a single beam with a span at a distance between the centers of the supports.

③ Impact coefficient for live load (DB load) shall be 0.4.

(3) Main girder

① Application of load

A. Fixed load

Fixed load shall be self-weight of a decking plate and girder.

B. Live load

(a) Roadway: Maximum sectional force shall be generated due to successive movement of standard truck load, except when traffic is limited.

(b) When the maximum stress is generated by applying live load simultaneously, the live load stress shall be reduced to 90% for 3 lanes, and to 75% for 4 lanes or wider.

(c) Impact coefficient $i = \frac{15}{45+L} \leq 0.3$ shall be applied

③ 근접시공으로 인한 지하수위 변화가 인접 시설물에 영향을 미치는 경우에는 차수식 벽체로 설계하며 이때 지하수에 의한 배면수압을 고려한다.

④ 주변 지반침하 예측방법은 이론적 및 경험적 추정방법이 있으며 이 중 설계자가 현장여건, 지층조건, 굴착방법, 흙막이벽과 지지체의 형식을 종합적으로 고려하여 선택한다.

⑤ 굴착에 의한 배면 지반의 변위를 산정한 후, 허용변위량을 기준으로 인접구조물의 손상여부를 분석하고 필요시 대책을 강구한다.

⑥ 필요시 3차원적인 지반거동도 고려하여 설계한다.

6.7.3 노면복공

(1) 공통사항

① 활하중은 실제 작업에 동원되는 차량이나 장비하중을 비교하여 큰 하중으로 한다.

② 복공판, 주형, 주형보 받침은 휨모멘트 및 전단력에 대하여 안전하여야 한다.

③ 활하중(충격을 포함하지 않음)에 의한 주형의 허용처짐량은 지간의 1/400 이하 또는 25mm 이하로 한다.

(2) 복공판

① 복공판은 공사기간 중 재하되는 어떠한 하중에도 강도와 강성을 갖는 구조이어야 한다.

② 노면 복공판은 받침부의 중심간 거리를 지간으로 하는 단순보로 취급하여 계산한다.

③ 복공판 설계시 활하중(DB하중)에 대한 충격계수는 0.4를 적용한다.

(3) 주형

① 하중의 적용

가. 고정하중

고정하중은 복공판의 자중과 보의 자중으로 한다.

나. 활하중

㉮ 차도부 : 표준트럭 하중을 연행 이동하여 최대 단면력이 발생하도록 한다. 다만, 통과차량을 제한할 경우에는 예외로 한다.

㉯ 활하중의 동시재하로 최대응력이 발생되는 경우 그 활하중 응력은 3차선은 90%, 4차선 이상은 75%를 적용하여 감소시킨다.

㉰ 충격계수 $i = \frac{15}{40+L} \leq 0.3$ 을 적용한다.

(d) Sidewalk: 5 kN/m^2 of crowd load in fill.

(e) Other loads: Heavy equipment or large vehicles shall be applied separately.

② Structural calculation and review

A. Interval of main girder supporting decking plate shall be at least 2.0 m.

B. Stress of main girder shall be calculated based on a single beam, with the front surface of a soldier pile as a support point.

C. When the road is sloped, the girder stability against horizontal load shall be reviewed, and at the intersection, stability shall be reviewed for two cases of car direction in parallel and at a right angle.

D. Joint between the girder flange and the decking plate shall be tight and have no gap, and when a hole occurs in the flange due to field joint, the flange section shall be reduced in calculating stress.

E. When there is a failure to meet the safety requirements, reinforcement shall be provided considering site conditions.

(4) Support of main girder

① Application of load

Maximum reaction force of main girder and weight of a support shall be considered as load. When installing a beam to hang the utilities, maximum reaction force shall be considered.

② Structural calculation

The span of the beam supporting the main girder shall be calculated based on a single beam with the distance between the centers of the piles as a support point.

③ Bolting

The bolt connecting the pile and the beam supporting main girder shall be designed based on the maximum reaction force of the support.

6.7.4 Measurement

(1) Purpose and plan

① Purpose

The purpose of measurement is to monitor the behavior of an earth retaining structure, surrounding ground and structure to use for design, construction and maintenance, as well as to secure the stability and economic feasibility and the safety of surrounding ground and structures.

② Plan

A. Measurement shall be planned considering the characteristics of an earth retaining structure, surrounding structures and ground and construction.

㉱ 보도부 : 5 kN/m^2 군집하중을 만재한다.

㉲ 기타하중 : 공사용 중기 및 기타 대형 차량하중 재하시는 별도로 고려한다.

② 구조계산 및 검토

가. 복공판을 지지하는 주형의 간격은 2.0m를 최소간격으로 한다.

나. 주형의 응력계산은 엄지말뚝 전면을 지점으로 하는 단순보로 계산한다.

다. 도로의 기울기가 있는 곳은 수평하중에 의한 보의 안정을 검토하고 교차점 등에 있어서는 자동차 진행방향이 평행 또는 직각의 두 경우에 대하여 검토한다.

라. 보의 플랜지와 복공판의 연결은 틈이 없도록 하여야 하며, 현장이음으로 플랜지에 구멍이 생길 경우에는 인장응력 계산시 플랜지 단면을 감소시켜야 한다.

마. 부득이한 경우에 한하여 구조검토 결과 안전측에 미달될 경우 현지여건에 부합되도록 보강공법을 채택한다.

(4) 주형의 지지보

① 하중의 적용

주형의 최대반력과 지지보의 자중을 하중으로 한다. 지하매설물 매달기 전용빔을 설치할 경우에는 그 최대반력을 고려해야 한다.

② 구조계산

주형을 지지하는 보의 계산지간은 지지보를 지지하고 있는 말뚝의 중심간격을 지점으로 하는 단순보로 계산한다.

③ 볼트 연결

주형을 지지하는 보와 말뚝을 연결하는 볼트는 지지보의 최대반력으로 하여 설계한다.

6.7.4 계측

(1) 계측의 목적 및 계획

① 계측목적

지반을 굴착할 때 발생하는 흙막이 구조물, 주변지반 및 인접구조물의 거동을 파악하여 설계, 시공 및 유지관리에 활용토록하며 흙막이 구조물의 안정성과 경제성을 확보하고, 주변지반 및 인접구조물의 안전을 기한다.

② 계측계획

가. 계측계획은 흙막이 구조물, 인접구조물, 지반, 시공 및 계측기기의 특성 등을 고려하여 계획한다.

B. Potential problems shall be predicted in advance to determine an optimal measuring point in order to place a measurement instrument.

C. The same type of measuring instrument sensors shall be selected to make them compatible.

D. Manual or automatic or mixed type shall be determined according to site scale, the type and quantity of measuring instrument, and the need for real-time monitoring.

③ Selection of measurement items

Items for measurement are dependent on the excavation volume or ground conditions. Therefore, the specific use of the measuring result and evaluation methods shall be clearly defined before selecting the items.

(2) Location and frequency

① It is necessary to select the minimum number of measuring points that represent the behavior of an earth retaining structure and the ground behind in order to maximize the effects, considering work and economic feasibility.

② Frequency shall be determined according to the progress of excavation and the speed of change in values in order to avoid significant changes in values. At the early stage, more frequent monitoring shall be planned in order to check whether the measured value is normal and to set the initial value.

(3) Use of measurement result

① As a reference value for comparing with measured values, the method includes the use of allowable value and the use of estimated value during design, and shall be rationally selected depending on the item.

② By comparing the measured value with reference value, it is categorized into Normal, Cautious or Critical state, and necessary measures shall be taken in cautious and critical case.

③ Even if the measured value is safer than the reference value, it may lead to a risk when there is a significant change in values, and the speed of change may be the criteria of safety management.

④ The measurement result shall be managed using the Absolute value management method or the Prediction management method.

나. 계측계획 시에는 발생 가능성이 있는 문제를 미리 예측하여 합리적인 지점을 선택, 계측기기를 배치한다.

다. 각종 계측기 센서의 작동방식을 가능한 한 같은 형식으로 선정하여 호환성이 양호한 시스템으로 구성한다.

라. 계측하고자 하는 현장의 규모, 계측기의 종류 및 수량, 실시간 모니터링의 필요성 등에 따라 수동, 자동 및 수동자동 혼합 시스템을 선택한다.

③ 계측항목 선정

계측항목의 선정은 터파기 규모 혹은 지반조건 등에 따라서 달라지기 때문에 구체적인 계측결과의 활용목적, 평가수법을 명확하게 수립한 후 필요한 계측항목을 선정하여야 한다.

(2) 계측의 위치선정 및 빈도

① 계측위치 선정은 경제성, 시공성을 고려하여 흙막이 구조물 및 배면지반의 거동을 대표할 수 있는 최소한의 위치를 선정하여 최대효과를 얻도록 해야 한다.

② 계측빈도는 굴착의 진행상태와 계측치의 변화속도에 따라 결정하며, 읽음치 간에 급격한 변화가 없도록 빈도를 정하여야 한다. 계측기 설치초기에는 계측치의 정상작동 여부와 초기치 설정을 위하여 빈도를 늘인다.

(3) 계측의 결과 활용

① 계측 결과치와 비교 대상이 되는 관리기준치로써 허용치를 사용하는 방법과 설계시의 추정치를 사용하는 방법이 있으며 계측 항목에 따라 합리적으로 택한다.

② 계측치와 관리기준치를 비교하여 정상, 주의 및 위험단계로 판정하며, 주의 및 위험단계일 때는 필요한 대책을 수립한다.

③ 계측치는 관리기준치와 비교하여 안전하더라도 값의 변화속도가 클 때는 위험에 다다를 수 있으며 변화속도가 안전관리 기준이 될 때가 있다.

④ 계측결과는 절대치관리법 또는 예측관리법으로 관리한다.

Chapter 7 Underground Structure

7.1 General

7.1.1 Objective

This design standard provides the related criteria required for the construction of an open-cut structure of underground railway, and the purpose of this standard is to maintain design consistency and enhance design quality through safe and economic design that conforms to the design purpose.

7.1.2 Scope of application

This design standard shall be applied to an open-cut structure (plain and reinforced concrete, and steel structure) for building a mainline, stations and auxiliary facilities, temporary works and other railway facilities at an underground level.

7.1.3 Terms and definition

(1) Inertial force: the force working on the object in motion, corresponding to the value calculated by multiplying the mass by acceleration in terms of magnitude, and in opposition to acceleration in direction.

(2) Factored load: the load used for a member design according to the strength design method, which is calculated by multiplying the service load by load factor.

(3) Nominal strength: the strength of the member or the section calculated according to the strength design rules and assumption before applying a strength reduction coefficient.

(4) Sectional force: a bending moment, shear strength, axial force and torsional moment occurring on the member section due to loading.

(5) Rahmen: a structure with several straight members linked with rigid joint.

(6) Service load: dead load or standard train load without multiplying load factor; also called working load.

(7) Design strength: the strength calculated by multiplying nominal strength by strength reduction coefficient (ϕ).

(8) Specified compressive strength: compressive strength of concrete that serves as the basis in designing a concrete structure.

(9) Design load: all loads applicable to the member design. In the strength design method, it refers to the load multiplied by load factor (factored load) and in the allowable stress design method, it refers to the load without multiplying load.

제 7 장 지하구조물

7.1 일반사항

7.1.1 목 적

본 설계기준은 지하철도의 개착식 구조물을 건설하는데 필요한 설계상의 제반기준을 규정한 것으로, 건설목적에 부합하고 안전하며 경제적으로 시행함으로써 설계의 일관성을 기하고 설계품질의 향상을 기하는데 그 목적이 있다.

7.1.2 적용범위

지하철도 본선 및 정거장과 부대시설을 건설하는데 시행되는 개착구조(무근 및 철근콘크리트 구조, 강구조)와 가시설구조 및 기타 지하철도와 관련된 부대시설의 설계에 적용한다.

7.1.3 용어의 정의

(1) 관성력 : 운동하는 물체에 작용하는 힘으로 크기가 질량에 가속도를 곱한 것과 같고 방향이 가속도와 반대되는 힘

(2) 계수하중(factored load) : 강도설계법에 의해 부재를 설계할 때 사용하중에 하중계수를 곱한 하중

(3) 공칭강도 : 강도설계법의 규정과 가정에 따라 계산된 부재 또는 단면의 강도를 말하며, 강도감소계수를 적용하기 전의 강도

(4) 단면력 : 하중작용에 의해 부재단면에 생기는 휨모멘트, 전단력, 축방향력(또는 축력) 및 비틀림모멘트를 말한다.

(5) 라멘 : 여러 개의 직선부재를 강절로 연결한 구조

(6) 사용하중 : 하중계수를 곱하지 않은 하중으로서, 작용하중이라고도 함

(7) 설계강도 : 공칭강도에 강도감소계수 ϕ를 곱한 강도

(8) 설계기준강도 : 콘크리트 구조물의 설계에서 기준이 되는 콘크리트의 압축강도

(9) 설계하중 : 부재 설계시 적용되는 하중으로, 강도설계법에 의한 설계에서는 하중계수를 곱한 하중(계수하중)이고 허용응력설계법에 의한 설계에서는 하중계수를 곱하지 않은 하중(사용하중)이 설계하중이 된다.

(10) Required strength: the sectional force required to satisfy the serviceability and safety requirements of a reinforced concrete member.
(11) Passive earth pressure: lateral earth pressure at the point of soil failure due to compressed earth when a retaining wall pushes soil to the backfilled soil due to lateral force.
(12) Hydration heat: heat generated in the setting and hardening process after water is mixed with cement.
(13) RQD: the value expressed in the form of a% obtained by dividing the sum of core length more than 100 mm by theoretical boring length, which designates the quality of rock.
(14) Liquefaction: the state which loses shear resistance against shear load due to an increase in pore water pressure and a decrease in effective stress by vibration load.
(15) Response modification coefficient: a correction factor to estimate design seismic force from the resistance force of each element calculated through elastic analysis.
(16) Earth pressure at rest: earth pressure with no movement or very little lateral movement of a wall.
(17) Active earth pressure: lateral earth pressure when earth is laterally expanded and reaches the ultimate plastic state due to sliding of a retaining wall toward the opposite direction from the backfill soil by lateral pressure to the retaining wall.
(18) Main reinforcement: reinforcement of which sectional area required is calculated for the sectional force caused by load in rebar concrete member design.
(19) Seismic zone factor: the factor indicating the magnitude of seismic activity of the rock layer that corresponds to a 500-year seismic return period in the seismic zone according to the Seismic Hazard Map.
(20) Dry shrinkage of concrete: the shrinkage of concrete due to drying
(21) Thickness of cover: the thickness of concrete between the concrete surface and the nearest reinforcement.
(22) Load: a series of activities that cause stress and strain in a structure and member.
(23) Load factor: safety factor that converts the inevitable difference between the nominal value and the actual value of the load to external force in order to consider the variation, including uncertainty and environmental activities.
(24) Load combination: the combination of all loads that may work on a structure or member at the same time.
(25) Haunch: a part at which the thickness of the wall-slab joint is locally increased.
(26) Underground railway crossing method: the method used to install a roadway, sidewalk or channel by crossing the railway in operation or under construction under the ground.

(10) 소요강도 : 철근콘크리트 부재가 사용성과 안전성을 만족할 수 있도록 요구되는 단면의 단면력

(11) 수동토압 : 흙막이벽이 횡방향 압력으로 흙을 뒷채움한 흙 쪽으로 밀 때 흙이 압축을 받아 파괴상태에 이를 때의 토압

(12) 수화열 : 시멘트와 물이 혼합하여 응결경화 현상이 생길 때 발생되는 열

(13) RQD : 시추코아 중 100mm 이상 되는 코아편의 길이의 합을 이론상 시추길이로 나누어 백분율로 표시한 값으로서 암질의 상태를 나타내는데 사용한다.

(14) 액상화 : 진동하중에 의해 간극수압 상승과 유효응력 감소로 전단하중에 대한 전단저항을 상실하는 현상

(15) 응답수정계수 : 탄성해석으로 구한 각 요소의 내력으로부터 설계지진력을 산정하기 위한 수정계수

(16) 정지토압 : 벽체의 횡이동이 전혀 없거나 있더라도 극히 적은 상태에 있는 토압

(17) 주동토압 : 흙막이벽이 횡방향 압력으로 뒷채움 흙 쪽으로부터 멀어져 가는 방향으로 움직여서 흙이 횡방향으로 팽창되어 소성극한상태에 이를 때의 횡토압을 말한다.

(18) 주철근 : 철근콘크리트 부재의 설계에서 하중작용에 의해 생긴 단면력에 대하여 소요 단면적을 산출한 철근

(19) 지진구역계수 : 우리나라의 지진재해도 해석 결과에 근거한 지진구역에서의 평균재현주기 500년에 해당되는 암반상 지진지반운동의 세기를 나타내는 계수

(20) 콘크리트의 건조수축 : 건조에 의해 콘크리트가 수축하는 현상

(21) 피복두께 : 콘크리트 표면과 그에 가장 가까이 배치된 철근 표면 사이의 콘크리트 두께

(22) 하중 : 구조물 또는 부재에 응력 및 변형을 발생시키는 일체의 작용

(23) 하중계수 : 하중의 공칭값과 실제 하중 사이의 불가피한 차이 및 하중을 작용외력으로 변환시키는 해석상의 불확실성, 환경작용 등의 변동을 고려하기 위한 안전계수

(24) 하중조합 : 구조물 또는 부재에 동시에 작용할 수 있는 각종 하중의 조합

(25) 헌치 : 벽체와 슬래브 연결부 위치의 두께를 국부적으로 증가시킨 부분

(26) 철도지하횡단공법 : 건설 또는 운행 중인 철도노선을 지하로 횡단하여 차도, 보도 및 수로 등의 시설을 설치하는 공법

7.1.4 Applicable standards

Technologies proven by well-established theories or tests may replace the existing design standard on the approval of the client, and when design change or modification is needed due to any change in the applicable laws or specifications, it shall be carried out according to the revised applicable regulations.

7.2 Design principle

7.2.1 Design

A designer shall produce an optimal design through the process of site inspection, survey, geotechnical investigation, traffic impact assessment, environmental impact assessment, original design, work instruction and data obtained from the agencies concerned.

(1) Design concept and basic direction

As an underground railway often has complex site conditions and structurally specific conditions, a rational design shall be carried out by reviewing structural safety, constructability and maintenance efficiency.

① Design concept

Reinforced concrete members shall be designed to have a level of structural stability as specified in the Strength Design Method. In addition, major structures including mainline and station building shall be designed based on a 100-year service life, and the relevant specifications and maintenance guideline shall be prepared.

② Basic direction

A. Geotechnical investigation, obstacle survey and other investigations for design shall be carried out thoroughly and incorporated into the design.

B. The structure to be designed shall be structurally stable.

C. A rational facility plan shall be established considering construction and maintenance.

D. Structural design shall conform to the site conditions, and take ease of constructability into account.

E. Track material shaft and vent shall be planned considering the characteristics of an underground structure through consultation with experts in the related disciplines.

F. Structural design shall consider a life safety plan including vent, and drainage or water leakage.

G. Vibration occurring during the railway construction or operation shall be reviewed, and a plan to reduce vibration shall be developed.

H. For a railway crossing under the ground, structure and construction method shall be determined considering safety, use conformity, train operation and surrounding effects.

7.1.4 적용기준

널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 발주자의 승인을 얻어 관련 설계기준의 적용을 대체할 수 있으며 관계법규나 기준 및 시방서의 변경 등으로 설계시행에 변경 또는 조정을 수반하는 사유가 있을 때에는 개정된 관계규정에 따라 시행해야 한다.

7.2 설계방향

7.2.1 설계

설계자는 현장답사, 측량, 지반조사, 교통영향평가, 환경영향평가, 원설계성과, 과업지시서, 관계기관에서 수집한 자료 등을 분석, 검토하여 최적의 설계내용이 되도록 설계해야 한다.

(1) 설계개념 및 기본방향

지하철도 구조는 현장여건이 복잡하고 구조적으로 특수한 상황의 출현이 빈번하므로 구조물의 구조적 안전과 시공성 및 유지관리 등에 대한 검토를 통해 합리적인 설계가 되도록 해야 한다.

① 설계개념

철근콘크리트 부재는 강도설계법의 규정에 따라 구조적 안정성을 확보할 수 있도록 설계한다. 또한 본선 및 정거장 본체 등의 중요 구조물들은 최소 100년의 내구연한으로 설계해야 하며 그에 따른 시방규정과 유지관리 지침을 마련해야 한다.

② 기본방향

가. 지반조사와 지장물조사 및 설계와 관련된 제반조사를 정밀도 있게 시행하고 설계에 반영해야 한다.

나. 설계하는 구조물은 구조적으로 안정성을 확보해야 한다.

다. 설계는 시공 및 유지관리 등을 고려하여 합리적인 구조물 시설계획을 수립해야 한다.

라. 구조물 설계는 현장여건에 부합되고 시공성이 용이해야 한다.

마. 지하구조의 특성을 감안하여 궤도 자재투입구, 환기구 설치 등은 해당 분야와 협의 및 의견을 반영하여 시설계획을 수립해야 한다.

바. 구조물 설계시 환기시설과 같은 방재계획과 배수 또는 누수 등을 고려한 유지관리계획을 고려해야 한다.

사. 지하철도 건설 또는 운영시 발생하는 진동에 대하여 검토하고 그에 따른 저감방안을 검토해야 한다.

아. 철도지하횡단공법은 안전성, 용도 적합성, 열차운행 및 주변 영향 등을 고려하여 구조형식과 시공법을 선정해야 한다.

I. The width of a structure depending on alignment shall be taken into account.

J. Structural calculations and drawings shall be in agreement.

(2) Route

① When road traffic is affected by construction, or underground utilities including water works and gas pipeline interfere with towers, poles and houses, appropriate measures shall be taken.

② When there is a conflict with the existing facilities including road, river, waterworks, common duct or gas pipeline, a relocation or expansion plan shall be incorporated into the design.

③ When civil complaints are expected due to alignment passing through the residential district, appropriate measures shall be taken.

(3) Station

① Factors obtained from the traffic impact assessment shall be incorporated into the design.

② Ticket gate, equipment and Electric room and station facilities shall be designed after consultation with experts in the related disciplines.

7.3 Structural design

7.3.1 General

(1) Scope of application

This design standard shall be applied to an open-cut structure of an underground railway.

(2) Member design method

Reinforced concrete structure shall be designed to secure structural stability according to the Strength Design Method, and the review of serviceability including crack and deflection shall be carried out. However, the Allowable Stress Design Method shall be permitted in special cases where necessary.

7.3.2 Design load and strength

(1) Design load

① General

Structural design shall consider all potential loads working on a structure during the construction and operation, and load combination under extreme condition shall be considered as well.

② Loads

A. General

Structural design shall consider the effect of all potential loads working on a structure during the construction and operation.

자. 선형 특성에 따른 구조물의 확폭에 유의한다.

차. 구조계산서와 도면은 일치해야 한다.

(2) 노선

① 공사 시행으로 도로교통에 지장이 되거나 상·하수도 및 가스관등 지하 매설물과 철탑, 전주, 가옥 등에 저촉될 경우 대책방안을 수립해야 한다.

② 도로, 하천, 상·하수도, 공동구, 가스관 등 기존시설에 저촉될 경우 이설 또는 확장계획 등을 설계에 반영해야 한다.

③ 기존 시가지나 주거지역 통과로 민원이 야기될 우려가 있는 경우에는 그 대책을 강구해야 한다.

(3) 정거장

① 교통영향평가시 분석한 제반요소들을 검토하여 설계에 반영하도록 해야 한다.

② 개집표구, 기계전기실, 역무시설 등은 해당분야와 협의를 통하여 설계해야 한다.

7.3 구조물 설계

7.3.1 일반사항

(1) 적용범위

본 설계기준은 지하철도의 개착식 구조물 설계에 적용한다.

(2) 부재설계법

철근콘크리트 구조물은 강도설계법의 규정에 따라 구조적 안정성을 확보할 수 있도록 설계해야 하며 균열 및 처짐 등의 사용성 검토도 수행해야 한다. 다만 특별한 경우에는 허용응력설계법에 따라 설계할 수도 있다.

7.3.2 설계하중 및 설계강도

(1) 설계하중

① 일반사항

구조물의 설계에는 시공 및 구조물 사용 기간 중에 작용이 예측되는 모든 하중을 고려하고 극한상태에 따라 조합을 고려해야 한다.

② 하중의 종류

가. 일반사항

구조물의 설계에는 시공 및 사용 중 구조물에 작용할 것으로 예측되는 모든 종류의 하중에 의한 영향을 고려해야 한다.

B. Dead load

(a) Weight of material

The weight of material used to calculate dead load shall be in accordance with the unit weights listed in <Table 7.3.1>, and when the actual weight is clear, it shall be used.

Table 7.3.1 Unit weight of the material

Material	Unit weight (kN/m^2)	Material	Unit weight (kN/m^2)
Steel, cast steel, forged steel	77.0	Ballast, crushed stone	19.0
Cast iron	71.0	Timber	8.0
Aluminum	27.5	Bitumen (waterproof)	11.0
Reinforced concrete	24.5	Bitumen paving	23.0
Plain concrete	23.0	Stone block paving	26.0
Prestressed concrete	24.5	Brick paving	24.0
Cement mortar	21.0	Brick laying	20.0
Stone	26.0		

(b) Equipment room load

Among the surface loads of a structure, the mechanical load of a pump room, signaling room, electric room and ventilation room shall be in accordance with <Table 7.3.2>. However, considering the change in the technical room layout, equipment room load except substation and water tank may apply 25.0 kN/m^2. Special equipment shall be based on actual weight, and vibration or alternative load, if any, shall be taken into account. Actual load, if validated, may be used.

나. 고정하중

㉮ 재료의 중량

고정하중 산출에 사용되는 재료의 중량은 <표 7.3.1>의 단위체적중량을 사용하고 실중량이 명확한 것은 그 값을 사용한다.

표 7.3.1 재료의 단위중량

재료	단위중량 (kN/m^3)	재료	단위중량 (kN/m^3)
강재, 주강, 단강	77.0	도상자갈, 쇄석	19.0
주철	71.0	목재	8.0
알루미늄	27.5	역청재 (방수용)	11.0
철근콘크리트	24.5	역청포장	23.0
무근 콘크리트	23.0	석괴포장	26.0
프리스트레스트 콘크리트	24.5	벽돌포장	24.0
시멘트 모르타르	21.0	벽돌 쌓음	20.0
석재	26.0		

㉯ 기계실 하중

구조물내 상판하중 가운데 펌프실, 신호실, 전기실, 환기기계실 등의 기계하중은 <표 7.3.2>의 값으로 하되 기능실 배치의 변동 등을 고려하여 변전소 및 물탱크 이외의 기계실 하중은 모두 $25.0kN/m^2$을 적용할 수 있다. 특수기계에 대하여는 실중량에 의하고 진동하중 및 교번하중이 생기는 기계에 대하여는 이를 특별히 고려해야 한다. 실하중이 확인되는 것은 그 값을 사용할 수 있다.

Table 7.3.2 Surface loads

Room	Surface load (kN/m^2)	Room	Surface load (kN/m^2)
Substation	Actual load	Broadcasting room	10.0
Electric room	25.0	Communication room	10.0
Switchgear room	10.0	Exchange room	15.0
Electric power dispatch room	15.0	Battery room	25.0
Signaling station	20.0	Ventilation room	25.0
Signaling room	20.0	Fire pump room	20.0 ~ 25.0
Compressor room	20.0	Sewage pump room	20.0 ~ 25.0
Train dispatch room	20.0	Drainage pump room	20.0 ~ 25.0

Note: 1) Load considering architectural finish (ceiling, vent duct, pipe) load, 5.0 kN/m^2.
2) Water tank design load shall be designed considering the location and height.

(c) Track weight

Minimum weight per track (including fastener) is 1.5 kN/m^2 (excluding sleeper and ballast weight)

C. Live load

(a) Surface live load

Surface load on an underground structure shall be in accordance with <Table 7.3.3>.

Table 7.3.3 Equivalent uniform load of road surface live load (DB-24)

• $D/B_o \geqq 0.5$

Soil depth (D, m)	Surface live load (P_{vl}, kN/m^2)	Remarks
1.0	39	• Higher value of surface live load is used as a median value of soil depth.
1.5	25	
2.0	18	
2.5	14	
3.0	11	
3.5 or more	10	

표 7.3.2 각 실의 상판하중

실명	상판하중 (kN/m^2)	실명	상판하중 (kN/m^2)
변전소	실하중	방송실	10.0
전기실	25.0	통신기기실	10.0
개폐실	10.0	교환기실	15.0
전력지령실	15.0	축전지실	25.0
신호취급소	20.0	환기기계실	25.0
신호기지실	20.0	소화펌프실	20.0 ~ 25.0
콤프레샤실	20.0	오수펌프실	20.0 ~ 25.0
운전지령실	20.0	배수펌프실	20.0 ~ 25.0

주: 1) 건축마감중량(천장, 환기덕트, 배관설비 등) 5.0kN/m^2을 고려한 하중이다.
2) 물탱크실 설계하중은 위치 및 물탱크의 높이를 고려하여 설계해야 한다.

㉰ 궤도중량

1궤도(체결구 포함)의 최소중량은 1.5kN/m로 한다.(침목 및 도상 중량 제외)

다. 활하중

㉮ 노면 활하중

지하구조물에 대한 도로면의 활하중은 <표 7.3.3>의 값을 적용한다.

표 7.3.3 도로면 활하중의 등가 등분포하중(DB-24 기준)

• $D/B_o \geqq 0.5$

토피고 (D, m)	노면활하중 (P_{vl}, kN/m^2)	비고
1.0	39	• 토피의 중간 값은 노면 활하중 상위의 값을 적용
1.5	25	
2.0	18	
2.5	14	
3.0	11	
3.5 이상	10	

• D/B_o < 0.5

D/B_o	($P_{vl} \times D$, kN/m^2)	Note
0.1	17	• Higher value of $P_{vl} \times D$ is used as a median value of D/B_o • D/B_o surface live load (P_{vl}) is calculated by dividing the value in Table by D.
0.2	27	
0.3	33	
0.4 or more	36	

※ D: Soil depth (m)

B_o: The width of culvert (the width of outer 1box in case of multiple boxes, including wall thickness) (m)

(b) Train load

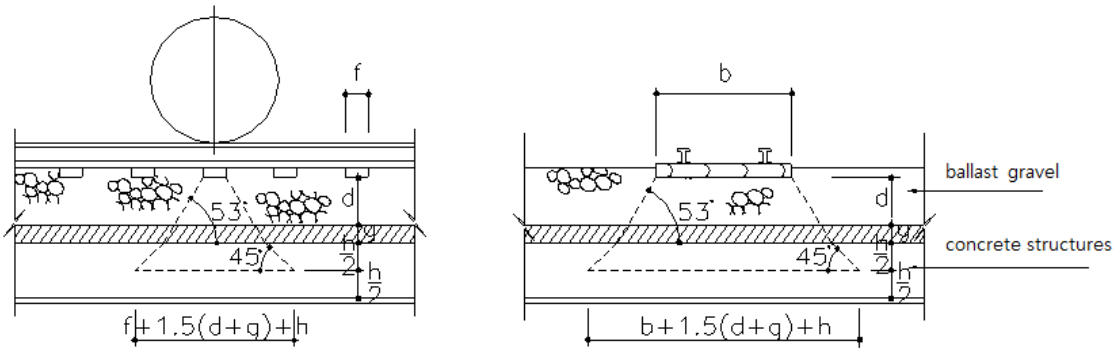
This shall be designed based on train HL, LS and EL load acting on an underground structure. Train standard live load shall be in accordance with 「8.2.3 Operation Load」.

(c) Train load acting on mainline slab

The effect of wheel load distribution shall be usually reviewed based on concentrated load without considering distribution in the direction of track, and <Fig. 7.3.1> shows the distribution width at a right angle to track.

(d) Crowd load

Crowd load shall be 5.0 kN/m^2 of uniform load without considering impact load.



(a) Ballasted track

• D/B_o < 0.5

D/B_o	($P_{vl} \times D$, kN/m^2)	비고
0.1	17	•D/B_o의 중간 값은 $P_{vl} \times D$의 상위 값을 적용 •D/B_o 노면 활하중(P_{vl})은 표의 값을 D로 나누어 구한다.
0.2	27	
0.3	33	
0.4 이상	36	

※ D : 토피고(m)
B_o : 암거폭(다련 박스인 경우 외측 1박스의 폭, 벽체두께포함) (m)

㉯ 열차하중

선로 밑을 통과하는 지하구조물에 작용하는 열차의 HL하중, LS하중 및 EL하중을 기준으로 설계해야 한다. 열차 표준활하중은 「8.2.3 운행하중」에 따른다.

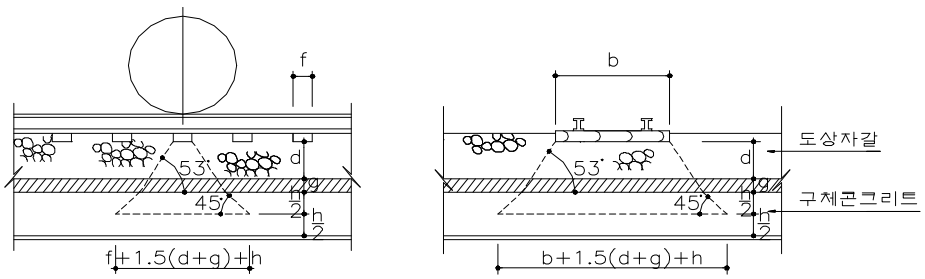
㉰ 본선 하부슬래브에 작용하는 열차하중

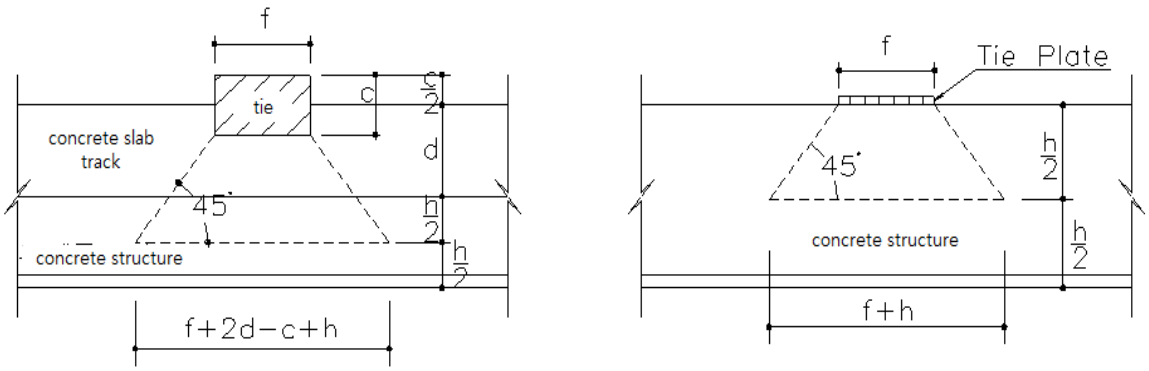
윤하중의 분포영향을 검토할 때 일반적으로 궤도방향 분포는 고려하지 않고 집중하중으로 해도 좋으며, 그 분포폭과 궤도 직각방향의 분포폭은 <그림 7.3.1>과 같다.

㉱ 군집하중

군집하중은 5.0kN/m^{2}의 등분포하중을 재하하며 충격은 고려하지 않는다.

[자갈도상인 경우]





(b) Concrete track

Fig. 7.3.1 Distribution of train load on slab

D. Impact load

This is in accordance with 「8.2.3 Operation load」.

E. Earth pressure

(a) Earth pressure at rest

ⓐ Earth pressure at rest shall be applied to an underground box structure or other reasonable cases.

ⓑ Sectional force shall be designed in the following cases, i) if a full design pressure works on a structure, ii) 1/2 of a full earth pressure works on a structure, and iii) the most unfavorable cases among minimum earth pressure according to active earth pressure or special site conditions.

ⓒ Earth pressure at rest shall be calculated according to <Eq. (7.3.1)>.

$$H = K_o(L + \gamma_t \cdot h_1 + \gamma_{sub} \cdot h_2) \qquad (7.3.1)$$

where, H: Earth pressure (kN/m^2)

K_o: Coefficient of earth pressure at rest ($K_o = 1 - \sin\phi'$)

L: Surface load (kN/m^2)

γ_t: Unit weight of soil above groundwater level (kN/m^3)

γ_{sub}: Unit weight of soil below groundwater level (kN/m^3)

h_1: Depth from ground surface to groundwater level (m)

h_2: Depth from groundwater level to the point of lateral pressure to be obtained (m)

ϕ': Internal frictional angle of soil (rad)

ⓓ For lateral pressure working on a box structure installed on the rock layer including soft rock, a rock slope safety analysis shall be carried out considering the direction and tilt angle of the surface of discontinuity, including joint and fault, according to the boring test and geological survey in order to determine the status of rock and the increase or decrease of earth pressure.

[콘크리트도상인 경우]

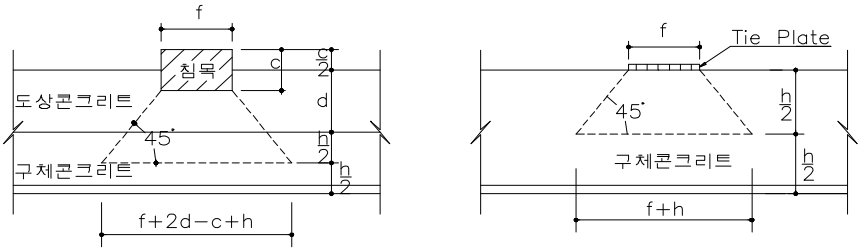


그림 7.3.1 슬래브바닥에 작용하는 열차하중의 분포

라. 충격하중

「8.2.3 운행하중」의 충격하중을 적용한다.

마. 토압

㉮ 정지토압

㉠ 정지토압은 지하박스 구조물과 같이 정지토압을 적용하는 것이 타당한 경우에 적용한다.

㉡ 구조물에 전설계토압이 작용하는 경우와 전설계토압의 1/2이 작용하는 경우, 주동토압 및 특수한 경우 현장조건에 의한 최소토압 중에서 가장 불리한 경우의 단면력에 대하여 설계해야 한다.

㉢ 정지토압의 계산은 <식 (7.3.1)>에 의한다.

$$H = K_o(L + \gamma_t \cdot h_1 + \gamma_{sub} \cdot h_2) \qquad (7.3.1)$$

여기서, H : 토압(kN/m^2)

K_o : 정지토압계수($K_o = 1 - \sin\phi'$)

L : 상재하중(kN/m^2)

γ_t : 지하수면 이상의 흙의 단위체적중량(kN/m^3)

γ_{sub} : 지하수면 이하의 흙의 단위체적중량(kN/m^3)

h_1 : 지표에서 지하수면까지의 깊이(m)

h_2 : 지하수면에서 측압을 구하려는 위치까지의 깊이(m)

ϕ' : 흙의 내부 마찰각(rad)

㉣ 연암층 이상의 암반층에 굴착 시공된 박스 구조물에 작용하는 측압에 대해서는 시추조사 및 지질구조 조사 결과에 나타난 절리 및 단층 등의 불연속면의 방향성 및 경사각을 고려한 암반사면 안전성 분석을 시행하여 암반의 자립여부를 판단, 토압의 증감여부를 고려할 수 있다.

(b) Active earth pressure

ⓐ This shall be applied to a retaining wall or other reasonable cases.

ⓑ Active earth pressure shall be in accordance with <Eq. (7.3.2)>.

$$H = K_a(L + \gamma_t \cdot h_1 + \gamma_{sub} \cdot h_2) \qquad (7.3.2)$$

Here, the equation for coefficient of active earth pressure (K_a) shall use Rankine earth pressure theory for stability analysis and Coulomb earth pressure theory for member calculation.

(c) Unit weight and internal frictional angle of soil

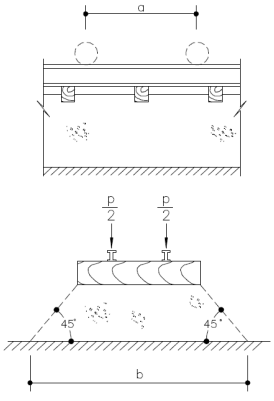
Unit weight and internal frictional angle of soil shall be determined based on the comprehensive analysis of boring test and soil test data and empirical data. However, sandy soil may be based on the civil engineering equation or general test values in <Table 7.3.4>.

Table 7.3.4 Unit weight and internal frictional angle used for earth pressure calculation (for reference)

Soil	Relative density	Unit Weight (kN/m^3)	Internal frictional angle (rad)
Sand, gravel	Dense	20.0	0.576
	Average	19.0	0.524
	Loose	18.0	0.489

(d) Surface load

ⓐ Surface load due to train load shall be calculated according to <Eq. (7.3.3)>.



$$q = p/(a \times b) \qquad (7.3.3)$$

q: Uniform load (kN/m^2)

p: Train axial load (kN)

a: Wheelbase (m)

b: Lateral distribution width of train load (m)

Fig. 7.3.2 Surface load by train load

㈏ 주동토압

㉠ 주동토압은 옹벽 구조물 등 주동토압 적용이 타당한 경우에 적용한다.

㉡ 주동토압 계산은 <식 (7.3.2)>에 의한다.

$$H = K_a(L + \gamma_t \cdot h_1 + \gamma_{sub} \cdot h_2) \qquad (7.3.2)$$

여기서, 주동토압계수(K_a)의 산정식은 안정검토시에는 Rankine토압공식, 부재계산시에는 Coulomb토압공식을 사용한다.

㈐ 흙의 단위체적중량과 내부마찰각

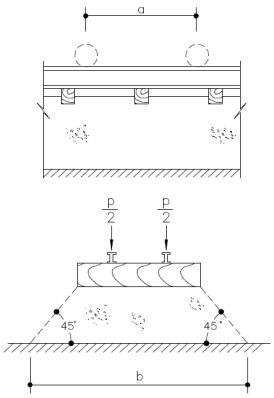
흙의 단위체적중량과 내부마찰각은 시추자료, 토질시험 값 등과 같이 지반조사 자료의 분석과 경험을 종합적으로 고려한 값을 사용한다. 다만, 사질토로서 시험에 의하지 않았을 경우에는 토질공학적 근거에 입각한 관계식이나 <표 7.3.4>의 일반적인 시험값을 참고적으로 사용할 수 있다.

표 7.3.4 토압계산에 사용되는 일반적인 흙의 단위체적중량과 내부마찰각(참고사항)

흙의 종류	상대밀도	단위체적중량 (kN/m^3)	내부마찰각 (rad)
모래, 자갈	조밀	20.0	0.576
	보통	19.0	0.524
	느슨	18.0	0.489

㈑ 상재하중

㉠ 열차하중에 의한 상재하중은 <식 (7.3.3)>으로 계산한다.



$$q = p/(a \times b) \qquad (7.3.3)$$

q : 등분포하중(kN/m^2)

p : 열차하중의 축하중(kN)

a : 축간의 거리(m)

b : 열차하중의 횡방향 분포폭(m)

그림 7.3.2 열차하중에 의한 상재하중

ⓑ The load of a roadside building shall be calculated as W/A. (W: weight of building, A: building area)

ⓒ Other surface loads shall be calculated individually.

F. Water pressure

Water pressure by groundwater shall be calculated according to <Eq. (7.3.4)>.

$$F = \gamma_w \cdot h \qquad (7.3.4)$$

where, F: Static water pressure (kN/m^2)

γ_w: Unit weight of water (kN/m^3)

h: Depth of groundwater (m)

Groundwater level used for calculating static water pressure shall be based on actual depth considering the variable factors.

G. Buoyancy

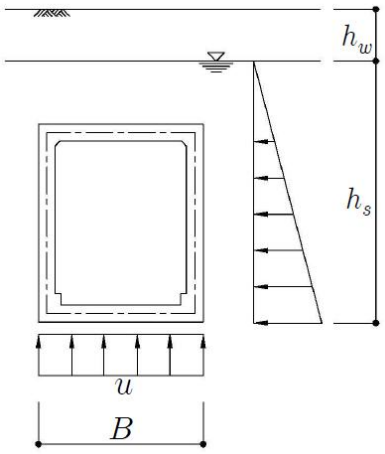
(a) Stability against buoyancy shall be considered in designing an underground box structure.

(b) Safety against buoyancy shall be divided into safety during construction and safety after construction, with the former reviewed based on the worst case scenario, and the latter according to (c).

(c) Details of buoyancy calculation

ⓐ Buoyancy

Buoyancy (U) shall be based on uniform distribution of water pressure (u) at the entire bottom width (B) of a structure.



$$\cdot U = \gamma_w \cdot h_s \cdot B \qquad (7.3.5)$$

$$(u = \gamma_w h_s)$$

· Where,

U: Buoyancy (kN/m)

γ_w: Unit weight of water (kN/m^3)

h_s: Depth of groundwater (m)

B: Width of buoyancy acting on structure (m)

Fig. 7.3.3 Buoyancy

㉡ 연도건물 하중은 W/A로 산정 고려한다. (W : 건물중량, A : 건물면적)

㉢ 기타 상재하중은 각기 그 하중에 대한 산출방법으로 산출한다.

바. 수압

지하수에 의한 수압계산은 <식 (7.3.4)>에 의한다.

$$F = \gamma_w \cdot h \qquad (7.3.4)$$

여기서, F : 정수압(kN/m^2)

γ_w : 물의 단위체적중량(kN/m^3)

h : 지하수의 깊이(m)

정수압 산정에 적용되는 지하수위는 실제 조사수위를 기준으로 지하수 변동 요인을 고려하여 정한다.

사. 부력

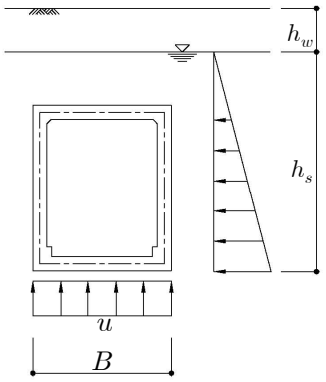
㉮ 지하박스 구조물 설계시 부력에 대한 안정성 여부를 검토해야 한다.

㉯ 부력에 대한 안전여부는 공사중과 완공후로 구분하여 검토해야 하며, 공사중에 공사단계별 조건 중에서 가장 위험한 조건에서 검토해야 하며, 완공후의 안전검토는 「㉰항」의 기준에 의한다.

㉰ 부력 계산의 세부기준

㉠ 부력

부력(U)은 구조물 바닥폭(B) 전면에 수압(u)을 균등하게 작용시킨다.



· $U = \gamma_w \cdot h_s \cdot B$ (7.3.5)

($u = \gamma_w h_s$)

· 여기서,

U : 부력(kN/m)

γ_w : 물의 단위체적중량(kN/m^3)

h_s : 지하수의 심도(m)

B : 구조물에 작용하는 부력의 폭(m)

그림 7.3.3 부력작용도

ⓑ Resistance

-Resistance (R) against buoyancy shall be the total sum of structure weight (dead load), fixed surface load and lateral frictional force (P_s)

-Structure weight (W_1) shall be based on self-weight of a structure alone.

-Fixed surface load (W_2) shall be calculated based on pavement load and the effect of groundwater.

-Soil load below groundwater level shall be based on the unit weight of soil (γ_{sub}) below groundwater level, and vertical water pressure shall additionally be taken into account.

-Resistance $R = W_1 + W_2 + P_s$ (7.3.6)

$$P_s = 2 \cdot C \cdot D + K_u \cdot \gamma \cdot D^2 \cdot \tan\delta$$

where, C: Adhesion (kN/m^2)

D: Depth of working point (m)

K_u: As an earth pressure coefficient, the value between coefficient of earth pressure at rest static K_o and passive earth pressure coefficient K_p or earth pressure coefficient ($K_o = 1 - \sin\phi$) shall be applied considering the safety.

γ: Unit weight in wet state considering uplift force (kN/m^3)

$\tan\delta$: As the failure surface adjoins a structure wall, it is the relative frictional angle between the structure and the ground $\delta = 2/3\phi$ (that is, $\tan\ 2/3\phi$). However, lateral frictional angle between the structure wall and the backfilled soil is disregarded because of the uncertainty between materials.

ⓒ Stability review

-Safety against buoyancy (F_s) shall conform to <Eq. (7.3.7)>.

$$F_s = \frac{R}{U} \qquad (7.3.7)$$

-When applying actual water level measured: $F_s \geq 1.2$

-When applying during construction: $F_s \geq 1.1$

-When applying ground water level GL-1.0 m (extreme): $F_s \geq 1.05$

-When the safety factor of buoyancy is insufficient, an additional measure shall be taken.

ⓓ When installing an anti-buoyancy tension pile at a permanent structure, anchoring tension force of the pile shall be considered in structural calculation.

㉡ 저항력

- 부력에 대한 저항력(R)은 고정하중인 구체자중 및 상재 고정하중과 측면 마찰력(P_s)의 총합으로 한다.
- 구체자중(W_1)은 구조물자중 만을 고려한다.
- 상재고정하중(W_2)은 포장하중과 지하수의 영향을 고려하여 구한다.
- 지하수위 이하의 토피하중은 지하수위 이하 흙의 단위체적중량(γ_{sub})을 기준으로 하고 연직수압은 추가로 고려해야 한다.

- 저항력 $R = W_1 + W_2 + P_s$ (7.3.6)

$$P_s = 2 \cdot C \cdot D + K_u \cdot \gamma \cdot D^2 \cdot \tan\delta$$

여기서, C : 점착력(kN/m^2)

D : 적용점의 심도(m)

K_u : 토압계수로서 흙의 변형상태로부터 발생하는 정지토압계수 K_o에서 수동토압계수 K_p 사이에 있는 값이나 안전을 고려하여 정지토압계수($K_o = 1 - \sin\phi$) 적용

γ : 양압력을 고려하는 습윤상태의 단위체적중량(kN/m^3)

$\tan\delta$: 파괴면이 비교적 구조물 벽면에 인접하여 있으므로 구조물과 지반의 상대마찰각이며 $\delta = 2/3\phi$로 적용($\tan\ 2/3\phi$) 단, 구조물 벽체와 주변 뒷채움 흙과의 측면마찰력은 재질간의 불확실성을 고려하여 무시한다.

㉢ 안정 검토

- 부력에 대한 안전율(F_s)은 <식 (7.3.7)>을 만족해야 한다.

$$F_s = \frac{R}{U} \quad (7.3.7)$$

- 실제조사수위 적용시 : $F_s \geq 1.2$
- 공사중 적용시 : $F_s \geq 1.1$
- 지하수위 GL-1.0m 적용시(극한상황) : $F_s \geq 1.05$
- 부력에 대한 안전율 부족시에는 별도의 필요한 조치를 해야 한다.

㉣ 영구 구조물에서 부력방지용 인장말뚝 설치시에는 인장말뚝의 앵커인장력을 구조 계산시 고려해야 한다.

H. Temperature variation

Temperature variation shall be reviewed during construction and after construction, respectively. When soil depth after soil covering is 1.0 m or more, it may not be considered, but when it is less than 1.0m, it shall be calculated in accordance with <Eq. (7.3.8)>.

$$t = \alpha \times t_o \qquad (7.3.8)$$

t: Variation of temperature acting on top slab of a box structure

α: Reduction factor by soil depth $a = 1 - h_o$ (h_o: soil depth)

t_o: Variation of basic temperature on ground surface

- When top slab is 700 mm or more t_o = ±10℃
- When top slab is less than 700 mm t_o = ±15℃

I. Dry shrinkage of concrete

(a) Dry shrinkage of concrete shall be considered in the structural design.

(b) Dry shrinkage strain applied to a statically intermediate structure shall generally be 0.00015.

(c) The effect of temperature variation and dry shrinkage shall be considered, particularly for cross section of a structure, connection between the station and the mainline, gallery connection or around the vent.

J. Seismic effect

An underground railway structure shall be designed considering seismic impact in accordance with 「7.4 Seismic Design」.

K. Construction load

When there is a more unfavorable load during construction than after construction, the load during construction shall be considered. In particular, an intermediate slab shall be designed to be able to bear the top slab concrete pouring load when designing intermediate slab, including station, vent and sump.

L. Other loads

Other loads shall be determined according to each situation.

③ Load factor and load combination

A. Load factor and load combination for structural design shall be in accordance with 「8.3 Design Method and Load Combination」.

B. Load factor and load combination for seismic design shall be in accordance with 「7.4.5 Seismic Design of Reinforced Concrete Structural Member」.

C. When no train load is applied on the top of an underground structure and surface live load is road load, load factor and load combination shall be in accordance with 「3.3.2 of Structural Concrete Design Code (2012).

아. 온도변화

온도변화는 공사중과 완공후로 분리하여 검토해야 한다. 복토 후 토피가 1.0m 이상일 경우에는 온도변화를 고려치 않으며, 토피가 1.0m 이하일 경우에는 <식 (7.3.8)>에 따른다.

$$t = \alpha \times t_o \qquad (7.3.8)$$

t : 박스 구조물의 상부 슬래브에 작용하는 온도변화

α : 토피 심도에 따른 저감률 $a = 1 - h_o$ (h_o : 토피심도)

t_o : 지표면에서의 기본온도 변화

- 상부 슬래브 700mm 이상인 경우 t_o = ±10℃
- 상부 슬래브 700mm 미만인 경우 t_o = ±15℃

자. 콘크리트의 건조수축

㉮ 구조물의 설계에는 콘크리트 건조수축의 영향을 고려해야 한다.

㉯ 부정정구조물의 설계에 사용하는 건조수축 변형률은 일반적으로 0.00015로 한다.

㉰ 특히 구조물의 횡단면, 정거장과 본선연결부 주위, 갱구접합부분, 환기구 주위 등에서는 온도변화 및 건조수축에 의한 영향을 고려해야 한다.

차. 지진의 영향

지하철도 구조물은 지진의 영향을 고려하여 「7.4 내진설계」에 대하여 설계해야 한다.

카. 가설하중

시공시에 완성시보다 불리한 하중이 작용한다면 시공시 하중을 고려해야 한다. 특히 정거장, 환기구, 집수정 등의 중간슬래브 설계시 중간슬래브가 상부슬래브 콘크리트 타설 하중을 지지할 수 있도록 고려해야 한다.

타. 기타하중

상기하중 이외의 하중을 고려할 필요가 있는 경우에는 그 상황에 따라 정한다.

③ 하중계수 및 하중조합

가. 본 장에 따라 구조물을 설계할 때의 하중계수와 하중조합은 「8.3 설계방법 및 하중조합」에 따른다.

나. 내진설계시의 하중계수 및 하중조합은 「7.4.5 철근콘크리트 구조부재의 내진설계」에 따른다.

다. 지하구조물 설계시 상부에 열차하중이 재하되지 않고 노면 활하중이 도로하중인 경우의 하중계수 및 하중조합은 「콘크리트구조기준(2012) 3.3.2항」에 따른다.

(2) Design strength

① Design strength

Design strength of structure member, inter-member joint, bending moment of member section, axial force, shear force and torsional moment shall be calculated by multiplying nominal strength by the strength reduction coefficient (ϕ).

② Strength reduction coefficient (ϕ)

A. Strength reduction coefficient shall be in accordance with 「Structural Concrete Design Code (2012)」.

B. When no train load is applied on the top of an underground structure and surface live load is road load, strength reduction coefficient shall be in accordance with 「3.3.2 of Structural Concrete Design Code (2012)」.

7.3.3 Properties of material

(1) Concrete strength

Design strength of concrete shall be based on a 28-day cylindrical specimen.

(2) Rebar strength

① This shall be in accordance with KS D 3504 (steel bars for concrete reinforcement).

② Rebar for underground structure shall be SD 400 or below.

(3) Standard strength by structure

① Concrete

This shall be in accordance with <Table 7.3.5>.

② Rebar

Stress according to rebar type at yield point shall be in accordance with 「9.2.2 Structural Steel」.

(4) Elastic coefficient and Poisson's ratio

This shall be in accordance with 「10.2.1 Concrete」.

(2) 설계강도

① 설계강도

구조물의 부재, 부재간의 연결부 및 각 부재 단면의 휨모멘트, 축력, 전단력, 비틀림모멘트에 대한 설계강도는 공칭강도에 강도감소계수(ϕ)를 곱한 값으로 해야 한다.

② 강도감소계수(ϕ)

가. 강도감소계수는「10.6.2 강도」에 따른다.

나. 지하구조물 설계시 상부에 열차하중이 재하되지 않고 노면 활하중이 도로하중인 경우의 강도감소계수는「콘크리트구조기준(2012) 3.3.3항」에 따른다.

7.3.3 재료의 특성

(1) 콘크리트의 강도

콘크리트의 설계기준강도는 재령 28일의 원주형 공시체의 강도로 한다.

(2) 철근의 강도

① 철근의 강도는 KS D 3504(철근큰크리트용 봉강)에 따라야 한다.

② 지하철도 구조물에 사용되는 철근의 종류는 일반적으로 SD 400 이하로 한다.

(3) 구조물별 기준 강도

① 콘크리트

콘크리트 설계기준 강도는 <표 7.3.5>의 값 이상을 적용한다.

② 철근

철근 종류별 항복점 응력은「9.2.2 구조용 강재」에 따른다.

(4) 탄성계수 및 포아송비

콘크리트의 탄성계수 및 포아송비는「10.2.1 콘크리트」에 따른다.

Table 7.3.5 Design strength of concrete by structural type

f_{ck}	Structure
27 or more	· Underground mainline, station, U-wall · Entrance, vent, etc.
24 or more	· Retaining wall (excluding gravity wall)
18 or more	· Gravity retaining wall · Plain concrete structure · Earth retaining wall structure
15 or more	· Lean concrete (Producible design strength)

7.3.4 Structural analysis and section design

(1) General

① For section design, load shall be calculated based on two cases, with and without groundwater, according to 「7.3.2 Design Load and Design Strength」, and the most unfavorable member force shall be applied to the design after applying the load combination required.

② As a support condition for structural analysis, vertical and horizontal spring, hinge or roller may be installed, considering actual ground conditions.

③ The shape and section of a structure shall be designed through an approach of securing inner dimension of the structure and conforming to applicable regulations, considering the safety and serviceability.

④ Structural analysis shall be carried out after selecting a calculation section when the foundation ground or section is changed.

⑤ It is necessary to review the serviceability according to crack, deflection, vibration and fatigue.

(2) Span length

① A span length between simple members which are not integrated into the support shall be determined by adding the thickness of a beam or slab to clear span. However, the value need not exceed the center-to-center distance of the support.

② The span used for calculating bending moment in the framework or continuous structure analysis shall be the center-to-center distance of the support. At this moment, in designing a girder or main beam that is integrated into the support, the value of moment on the entire support surface may be used.

③ For a slab with a clear span 3.0 m or less in length that is integrated into the support, there is no width of the support, so it may be designed as a continuous beam with a clear span.

표 7.3.5 구조물 종류별 콘크리트 설계기준강도

f_{ck}(MPa)	적용대상 구조물
27 이상	· 지하부 본선 구체, 정거장, U형 옹벽 · 출입구, 환기시설등 주요 부대시설
24 이상	· 옹벽 구체 (중력식 옹벽 제외)
18 이상	· 중력식 옹벽 · 무근 콘크리트 구조 · 흙막이벽 콘크리트
15 이상	· 바닥 고르기 콘크리트 (생산 가능한 설계 기준강도 적용)

7.3.4 구조해석 및 단면설계

(1) 일반사항

① 단면의 설계에는 「7.3.2 설계하중 및 설계강도」에 따라 지하수가 있을 때와 없을 때의 2 가지 경우로 하중을 각각 산정하여 필요한 하중조합으로 재하시켜 얻은 부재력 중 가장 불리한 부재력으로 단면을 설계한다.

② 구조해석시 지점조건은 연직, 수평방향 스프링을 설치하거나 힌지, 롤러를 설치하는 방법이 적용될 수 있으며 실제 지반조건을 고려한 방법을 적용토록 한다.

③ 구조형상 및 단면은 구조물의 내공치수를 확보하고, 관련규정에 부합되며 안전도와 사용성을 고려하여 설계해야 한다.

④ 기초지반이나 단면의 변화가 있는 구간에 대하여는 단면별 계산단면을 선정하여 구조검토를 실시해야 한다.

⑤ 구조물 특성에 따른 균열, 처짐, 진동, 피로에 따른 사용성 검토를 해야 한다.

(2) 경간

① 받침부와 일체로 되어 있지 않은 단순부재의 경간은 순경간에 보나 슬래브의 두께를 더한 값을 경간으로 한다. 그러나 그 값은 받침부의 중심간 거리를 넘을 필요는 없다.

② 골조 또는 연속구조물의 해석에서 휨모멘트를 구할 때 사용하는 경간은 받침부의 중심간 거리로 한다. 이때 받침부와 일체로 시공된 보나 주형의 단면설계에서는 받침부 전면에서의 모멘트 값을 사용해도 좋다.

③ 받침부와 일체로 된 3.0m 이하의 순경간을 갖는 슬래브에서는 그 지지보의 폭이 없는 것으로 보아 순경간을 경간으로 하는 연속보로 설계할 수 있다.

(3) Analysis model of underground railway structure

① All structures shall be idealized for analysis, the member shall be coincided with the centroid axis, and the change of centroid due to haunch shall not be taken into account.

② The boundary condition of the support shall be basically calculated by installing the spring converted from the reaction coefficient and installation interval (1.0 m or less) at the entire surface of the bottom plate, regardless of the type of foundation ground. When spring tension occurs due to buoyancy, the spring under tension shall be excluded one by one to obtain the result of model analysis while finally leaving the spring only under compression. On rock layer, however, the boundary condition of a rotation or movement point could be given to the bottom of a wall or beam.

③ Coefficient of subgrade reaction

A. Soil ground

Coefficient of vertical subgrade reaction shall be determined considering strain modulus and the effect of loading width acting on the foundation obtained from a variety of investigations and tests.

$$K_v = K_{vo}(B_v/0.3)^{-3/4} \qquad (7.3.9)$$

Where, K_v: Coefficient of vertical subgrade reaction (k)

K_{vo}: Coefficient of vertical subgrade reaction (kN/m^3) corresponding to the plate bearing test by steel disc with a 300 mm diameter, and it shall be in accordance with the following equation when estimating from the strain modulus obtained according to soil tests and investigation.

$$K_{vo} = \frac{1}{0.3}\alpha E_o$$

B_v: Converted loading width of a foundation (m) by applying the span of structure base plate

E_o: Strain modulus of ground (kN/m^2) at the target location measured or estimated according to <Table 7.3.6>

α: Coefficient used to estimate coefficient of subgrade reaction (see <Table 7.3.6>)

(3) 지하철도 구조물의 해석 모델

① 모든 구조물은 해석 가능한 모델로 이상화 하고 부재는 도심축과 일치하도록 하며 헌치에 의한 도심의 변화는 고려하지 않는 것으로 한다.

② 지점의 경계조건은 기초지반의 종류에 관계없이 저판의 모든 부위에 지반반력계수와 설치 간격으로부터 환산된 스프링을 설치(간격 1.0m 이내)한 모델로 계산하는 것으로 하고 부력에 의하여 스프링에 인장이 발생할 경우 인장을 받는 스프링은 차례로 제외시켜 최종적으로 압축만 받는 스프링만 남겨둔 상태의 모델 해석 결과를 취해야 한다. 다만, 암반지반에서는 벽체 또는 기둥 하단부위에 회전 또는 이동지점의 경계조건을 부여할 수 있다.

③ 지반반력계수

가. 토사지반

연직방향 지반반력계수는 각종 조사 및 시험결과에 의해 얻어진 변형계수 및 기초의 재하폭의 영향을 고려하여 정한다.

$$K_v = K_{vo}(B_v/0.3)^{-3/4} \qquad (7.3.9)$$

여기서, K_v : 연직방향 지반반력계수(kN/m^3)

K_{vo} : 지름 300mm의 강체원판에 의한 평판재하시험의 값에 상당하는 연직방향 지반반력계수(kN/m^3)로서 각종 토질시험·조사에 의해 구한 변형계수로부터 추정하는 경우는 다음 식에 의한다.

$$K_{vo} = \frac{1}{0.3}\alpha E_o$$

B_v : 기초의 환산재하폭(m)으로 구조물 저판의 지간을 적용

E_o : <표 7.3.6>에 표시한 방법으로 측정 또는 추정한 설계의 대상이 되는 위치에서의 지반의 변형계수(kN/m^2)

α : 지반반력계수의 추정에 쓰이는 계수(<표 7.3.6> 참조)

Table 7.3.6 E_o and α

Strain modulus E_o (MPa)	α	
	normal	seismic
1/2 of strain modulus obtained from the curve after repeating plate bearing test by steel disc with a 300 mm diameter	1	2
Strain modulus measured within a boring hole	4	8
Strain modulus obtained from uniaxial or triaxial compression test	4	8
Strain modulus estimated from standard penetration test value N with E_0= 2,800 N	1	2

B. Rock layer

Test value, if available, shall be used as coefficient of subgrade reaction, but ifnot available, the value shall be obtained from the correlation with engineering characteristics value of rock (strain modulus, unconfined compressive strength test, RQD, etc.).

(4) Redistribution of negative moment in continuous flexural member

This must be in accordance with 「3.4.2 Redistribution of Negative Moments in Continuous Flexural Members, Structural Concrete Design Code」.

(5) Review of serviceability

Serviceability and durability of astructure or member under service load shall be evaluated to ensure that the performance and function can be maintained during the design service life. Serviceability review refers to the effect of crack, deflection and fatigue, and shall be in accordance with 「Chapter 4 Serviceability and Durability of Structural Concrete Design Code」.

7.3.5 Structural details

(1) General structural details of reinforcement

① Reinforcement details general

This is applied according to 「10.4.1 General」.

② Reinforcement fabrication

This is applied according to 「10.4.2 Reinforcement Fabrication」.

③ Reinforcement arrangement

This is applied according to 「10.4.3 Reinforcement arrangement」.

표 7.3.6 E_o와 α값

변형계수 E_o(kN)	α	
	평상시	지진시
지름 300mm의 강체원판에 의한 평판재하시험을 반복시킨 곡선에서 구한 변형계수의 1/2	1	2
시추공 내에서 측정한 변형계수	4	8
공시체의 1축 또는 3축 압축시험에서 구한 변형계수	4	8
표준관입시험의 N값에서 $E_o = 2{,}800$N으로 추정한 변형계수	1	2

나. 암반지반

지반반력 계수는 시험성과가 있을 때에는 시험값을 사용하되, 시험값이 없는 경우에는 암반의 공학적 특성값(변형계수, 일축압축강도, RQD 등)과의 상관관계에서 구하여 사용한다.

(4) 연속 휨부재의 부모멘트 재분배

「콘크리트구조설계기준 3.4.2 연속 휨부재의 부모멘트 재분배」에 따른다.

(5) 사용성 검토

구조물 또는 부재가 설계목표 년한중 기능과 성능을 유지하기 위하여, 사용하중하에서의 사용성과 내구성을 검토해야 한다. 사용성 검토는 균열, 처짐, 피로의 영향 등을 말하며「콘크리트구조설계기준 제4장 사용성 및 내구성」에 따른다.

7.3.5 구조상세

(1) 철근에 대한 일반 구조상세

① 철근상세 일반사항

「10.4.1 일반내용」에 따른다.

② 철근의 가공

「10.4.2 철근가공」에 따른다.

③ 철근의 배치

「10.4.3 철근배치」에 따른다.

④ Thickness of cover

This is applied according to 「10.4.4 Minimum Thickness of Cover」.

⑤ Reinforcement around opening

For openings including entrance or vent, a section analysis shall be carried out separately, and the edge shall be reinforced. Slab opening shall be in accordance with 「10.8.7 Opening of Slab System」.

⑥ Vertical reinforcement of structural transition boundary

Vertical reinforcement of the structural transition boundary shall be carried out by providing lateral girder, and a structural analysis is needed for the following specific locations:

A. The boundary between the mainline and the station or the mainline and the storage track, or at a location where column layout ends, or the section is changed in a vertical direction

B. Where soil condition is drastically changed in a vertical direction

C. Where vertical force is expected to increase due to the effect of the existing structure

D. Where upper soil depth is dramatically changed in a vertical direction

E. Soft ground

⑦ Reinforcement against contraction and temperature

When flexural reinforcements are arranged in one single direction, minimum reinforcement shall be provided at a right angle to the flexural reinforcement. At this moment, the reinforcement ratio ρ to total concrete section area shall be $\rho_{min} = 0.0030$ or more for wall and $\rho_{min} = 0.0025$ or more for slab unless structural behavior against temperature is reviewed.

⑧ Reinforcement anchoring

This is applied according to 「10.5.2 Reinforcement Anchoring」.

⑨ Reinforcement splicing

This is applied according to 「10.5.6 Reinforcement Splicing」.

⑩ Shear and torsion

This is applied according to 「10.6.6 Shear Design」and 「10.6.7 Torsion Design」.

(2) Structural details of column

Design details of a compression member shall be in accordance with 「10.4.5 Minimum Reinforcement of Compression Member」 and 「10.4.6 Transverse Reinforcement of the Member」.

(3) Structural details of Rahmen

① General

A. Haunch shall be placed at the joint edge of Rahmen.

④ 철근의 피복두께

「10.4.4 최소피복두께」에 따른다.

⑤ 개구부 주변의 보강

출입구, 환기구 등의 개구부에 대해서는 별도의 단면해석을 하여 배근하고 특히, 끝부분은 별도 보강해야 한다. 슬래브 개구부에 대해서는 「10.8.7 슬래브 시스템의 개구부」에 따른다.

⑥ 구조변화 경계부의 종방향 보강

구조변화 경계부의 종방향 보강은 횡방향 보강보를 설치하여 접속부를 종방향으로 확실하게 보강해야 하며, 특수한 구간에 대해서는 구조해석을 하여 검토해야 한다.

가. 지하철도 구조물중 본선과 정거장 경계부 또는 본선과 유치선 경계부등 기둥 배치가 끝나는 부분이나 종방향으로 단면이 변경되어 접속되는 구조물

나. 종방향으로 토질조건의 급격한 변화부

다. 기존구조물의 영향으로 종방향 힘의 증대가 예상되는 부분

라. 종방향으로 상부토피가 급격하게 변화되는 부분

마. 연약지반 구간

⑦ 수축 및 온도에 대한 철근

휨철근이 1방향으로만 배치되어 있는 경우에는 이 휨철근에 직각방향으로 최소철근을 두어야 한다. 이때 콘크리트 총단면적에 대한 철근비 ρ는 온도에 대한 구조거동을 검토하지 않는 한 벽체 $\rho_{\min} = 0.0030$ 이상, 슬래브 $\rho_{\min} = 0.0025$ 이상 이어야 한다.

⑧ 철근의 정착

「10.5.2 철근의 정착」에 따른다.

⑨ 철근의 이음

「10.5.6 철근의 이음」에 따른다.

⑩ 전단과 비틀림

「10.6.6 전단에 대한 설계」및 「10.6.7 비틀림에 대한 설계」에 따른다.

(2) 기둥의 구조상세

압축부재의 설계 상세는 「10.4.5 압축부재의 최소철근」및 「10.4.6 부재에서 횡철근」에 따른다.

(3) 라멘의 구조상세

① 일반사항

가. 라멘의 접합부 모서리에는 헌치를 두는 것으로 한다.

B. Main reinforcement at the joint of Rahmen shall be arranged considering the layout to ensure sectional force should be transmitted.

C. Outermost joint of a structure shall be arranged according to 「10.14.5 Structural Details」.

D. Horizontal reinforcement shall be placed at the edge of a joint as vertical cracks might occur due to the deformation of a floor post or the vertical reaction force of the beam during construction.

E. Reinforcement shall be additionally placed at a haunch adjoining the slope surface. Reinforcement shall be placed at a haunch, irrespective of calculation.

F. Reinforcement shall be arranged at the joint edge of Rahmen considering concrete construction joint.

G. No main reinforcement joint shall exist on and around the member joint.

② Structural details

According to 「10.14.5 Structural Details」

(4) Expansion joint

① An open-cut box structure of an underground railway shall be generally a continuous structure without an expansion joint, with the exception that differential settlement on soft ground or seismic effect is expected.

② Joint between the underground railway structure and the ancillary facilities (vent, entrance, etc.) shall be designed to absorb the behavior or force that might occur due to different design conditions or the effect of outdoor temperature variation, and expansion joint may be provided to the joint.

③ Construction joint of the structure shall not exceed 18 m longitudinally.

④ Reinforcement shall continue at a construction joint and shear key including groove shall be provided to transmit the force, and material, size and installation method shall be designed to prevent water from penetrating.

7.3.6 Underground railway crossing method

(1) Plan for railway structure crossing under the ground

Railway structure crossing under the ground shall be designed considering track condition, site condition, existing structure, underground utilities, topography, soil, underground water, environment and applicable laws and regulations.

(2) Determination of railway structure crossing under the ground

Consideration shall include the structure type and construction method depending on site condition, cost and schedule, train speed, track blocking and the need for maintenance in the future.

나. 라멘 접합부의 주철근은 서로간의 배치관계를 고려하여 단면력이 확실하게 전달되도록 배치해야 한다.

다. 구조물의 최외측 접합부는 「10.14.5 구조상세」의 조건에 따라 배근한다.

라. 접합부 모서리 측면은 시공 중에 동바리의 변형이나 기둥이 연직방향반력의 영향에 의해 연직방향으로 균열이 발생할 위험이 있으므로 수평방향의 보강철근을 배치해야 한다.

마. 헌치는 경사면에 연하여 보강철근을 추가로 배치해야만 한다. 헌치는 계산상 필요로 하지 않는 경우에도 보강철근을 배치해야 한다.

바. 라멘의 접합부 모서리 부분은 콘크리트의 시공이음을 고려하여 배근해야 한다.

사. 부재 접합부 및 그 부근은 주철근의 이음을 두지 않아야 한다.

② 구조상세

「10.14.5 구조상세」에 따른다.

(4) 신축이음

① 지하철도의 개착식 박스 구조물은 일반적으로 신축이음이 없는 연속한 구조물로 하는 것으로 하고, 연약지반으로 인한 부등침하나 지진의 영향이 크다고 생각되는 경우는 신축이음을 설치할 수 있다.

② 특히 지하철도 본체구조물과 부대시설(환기구, 출입구등)의 접합부는 상이한 설계조건 및 외부온도 변화의 영향 등에 따라 발생할 수 있는 구조적으로 다른 거동과 힘을 흡수 또는 통과시킬 수 있도록 설계되어야 하며 접합부에는 신축이음을 둘 수 있다.

③ 구조물의 시공이음은 길이방향으로 18m를 초과해서는 안 된다.

④ 시공이음의 구조에서는 철근을 연결하고 단면 내에 홈을 두는 등 전단키를 설치하여 힘의 전달이 확실하게 되도록 하며, 물의 침투가 되지 않도록 사용되는 재료의 재질, 규격, 설치방법 등을 검토해야 한다.

7.3.6 철도지하횡단공법

(1) 철도지하횡단 구조물 계획

철도지하횡단 구조물 공사는 선로조건, 입지조건, 기존 구조물, 선로하부 지장물, 지형, 지질, 지하수, 환경, 관련 법규 및 규제 등을 고려하여 계획해야 한다.

(2) 철도지하횡단 구조물 선정

철도지하횡단공법은 현장조건을 고려한 여러 가지 구조형식과 시공법을 대상으로 공사비, 공사기간을 비교 검토하고, 열차서행 유무 및 정도, 선로폐쇄 대상 여부, 향후 선로 유지관리 등을 종합적으로 고려하여 선정해야 한다.

7.4 Seismic design

7.4.1 Principle of seismic design

(1) Concept

The aim of seismic design is to maintain a structure's stability and function during or after an earthquake, considering seismic load additionally in the design. The concept of performance-based seismic design is adopted, and the basic design principle is to prevent the collapse of a structure, in part or in whole, due to ground motion caused by seismic activity of a considerable magnitude. As far as possible, seismic design shall be carried out to ensure that the damage caused by earthquake shall be predictable, in consideration of accessibility to the structure for inspection and repair.

(2) Seismic classification and performance objective

An underground railway structure shall be designed to have Seismic Class I, and design seismic magnitude shall be based on seismic ground motion corresponding to a 1000-year return period.

7.4.2 Determination of design ground motion

(1) General

This section describes the considerations for seismic design of an underground railway structure and the level of design ground motion. The aim of this standard is to specify the minimum design requirements required to secure seismic performance in order to maintain the function of an underground railway during an earthquake to ensure that public transport is not severely affected.

(2) Design seismic response spectrum

① Standard design response spectrum

A. Spatial variation of ground motion

(a) When excitation due to the uniform ground motion is unreasonable at all the locations of a structure, a model shall be used that considers the spatial variation of ground motion.

(b) Further details of spatial variation of ground motion shall be specified in the related technical standard, where necessary.

B. Acceleration time history

(a) Ground motion may be expressed as time history of ground acceleration.

(b) When a spatial model is needed, ground motion shall be comprised of three acceleration components that work at the same time (two horizontal directions and one vertical direction).

(c) Where necessary, the artificial acceleration time history described in「C」may be used.

7.4 내진설계

7.4.1 내진설계의 방침

(1) 내진설계의 개념

내진설계란 지진시나 지진이 발생된 후에도 구조물이 안정성을 유지하고 그 기능을 발휘할 수 있도록 설계시에 지진하중을 추가로 고려하여 설계를 수행하는 것을 의미한다. 지하철도 구조물 내진설계는 성능에 기초한 내진설계개념을 도입하였으며 설계 기본원칙은 비교적 큰 규모의 지진에 의한 지반진동에 의해서도 구조물의 전부 또는 일부가 붕괴되어서는 안 되며 가능하면 지진에 의한 피해의 예측이 가능하고 피해조사와 보수를 위해 현장접근이 가능하도록 설계를 해야 한다.

(2) 내진등급 및 내진성능 목표

내진설계의 대상으로 선정하고 있는 지하철도 구조물은 내진 1등급의 내진성능을 갖도록 하며 등급별 내진성능 목표에서 고려하는 설계지진강도는 평균재현주기 1000년에 해당되는 지진지반운동으로 한다.

7.4.2 설계지반운동의 결정

(1) 일반사항

지하철도 구조물에 대한 내진설계를 위한 설계지반운동 결정시 고려해야 할 사항을 서술하고 설계지반운동의 수준을 정의한다. 본 기준은 지하철도 구조물의 내진성 확보에 필요한 최소 설계요구조건을 규정한 것으로서, 지진시 지하철도의 기능을 유지하여 대중교통에 중대한 지장을 초래하지 않도록 하는 것을 목적으로 한다.

(2) 설계지진 응답스펙트럼의 작성

① 표준 설계응답스펙트럼

가. 지반운동의 공간적 변화 특성 고려 방법

㉮ 구조물의 모든 위치에서 똑같은 지반운동으로 가진되는 것이 비합리적으로 판단되는 구조물에 대해서는 지반운동의 공간적 변화를 고려할 수 있는 모델을 사용해야 한다.

㉯ 지반운동의 공간적 변화에 관한 구체적인 내용은 필요한 경우에는 관련 기술기준에서 규정한다.

나. 가속도시간이력

㉮ 지반운동은 지반가속도의 시간이력으로 표현될 수 있다.

㉯ 공간적인 모델이 필요할 때 지반운동은 동시에 작용하는 3개의 가속도 성분(수평2방향, 수직방향)으로 구성되어야 한다.

㉰ 필요시에는 「다.항」에 기술되어 있는 인공가속도시간이력을 사용할 수 있다.

C. Artificial acceleration time history

(a) This shall be created to be compatible to the response spectrum.

(b) When the effect of long-period motion on a structure's behavior is considered important, time history shall be generated considering earthquake mechanism characteristics of the source and local influence.

(c) Duration of artificial acceleration time history shall be determined by considering seismic magnitude, characteristics of earthquake mechanism, propagation path and the effect of local site conditions.

(d) The statistical independence of artificial acceleration time histories in three directions shall be maintained.

② Design response spectrum

A. This shall be determined from standard design response spectrum considering the correction of performance level, applicable ground location and damping ratio.

(a) Correction of applicable ground location

ⓐ Seismic design of an on-ground structure shall use a design response spectrum at the ground surface considering ground classification. However, seismic design of an underground structure shall use a velocity design response spectrum at bedrock.

ⓑ Velocity design response spectrum at bedrock

Velocity design response spectrum at bedrock shall be used by integrating the acceleration response spectrum of Site Class S_A at the ground surface.

(b) Correction of damping ratio

Damping ratio by performance level shall be applied, and the correction of damping ratio is defined by multiplying the standard design response spectrum by the damping correction factor.

ⓐ Damping ratio by performance level (h): $h = 0.2$

ⓑ Damping correction factor for damping ratio, C_D

$$C_D = \frac{1.5}{(40h+1)} + 0.5 \qquad (7.4.1)$$

However, the value obtained by other rational analysis may be applied.

7.4.3 Rules for seismic analysis and design

(1) General

Seismic design of an underground railway structure shall satisfy the seismic requirements considering the effect of ground displacement during an earthquake.

다. 인공가속도시간이력

㉮ 인공가속도시간이력은 응답스펙트럼과 잘 부합되도록 생성되어야 한다.

㉯ 지반운동의 장주기 성분이 구조물의 거동에 미치는 영향이 중요하다고 판단될 경우에는 지진원의 발진기구 특성과 국지적인 영향을 고려하여 시간이력을 생성해야 한다.

㉰ 인공가속도시간이력의 지속시간은 지진의 규모와 발진기구특성, 전파경로 및 부지의 국지적인 조건이 미치는 영향을 고려하여 합리적으로 결정되어야 한다.

㉱ 3방향성분의 인공가속도시간이력 상호간에는 통계적 독립성이 유지되어야 한다.

② 설계지진 응답스펙트럼

가. 설계지진 응답스펙트럼은 표준 설계응답스펙트럼에 성능수준에 대한 보정, 지반적용 위치에 대한 보정, 감쇠율에 대한 보정 등을 고려하여 결정한다.

㉮ 지반적용위치에 대한 보정

㉠ 지상구조물의 내진설계에는 지반분류를 고려한 지표면의 설계응답스펙트럼을 이용하지만 지하구조물의 내진설계의 경우 응답변위를 산정하기 위하여 기반암면에서의 설계 속도응답스펙트럼을 이용한다.

㉡ 기반면의 설계 속도응답스펙트럼

기반암면에서의 설계 속도응답스펙트럼은 S_A지반의 지표면 가속도 응답스펙트럼을 적분하여 사용한다.

㉯ 감쇠율에 대한 보정

성능수준별 감쇠율을 적용하며 표준 설계응답스펙트럼에 감쇠율에 대한 보정계수를 곱한 값으로 정의된다.

㉠ 성능수준별 감쇠율(h) : $h = 0.2$

㉡ 감쇠율에 대한 보정계수, C_D

$$C_D = \frac{1.5}{(40h+1)} + 0.5 \qquad (7.4.1)$$

단, 별도의 합리적인 해석에 의하여 구한 값을 적용할 수 있다.

7.4.3 내진해석 및 설계에 대한 규정

(1) 일반사항

지하철도 구조물의 내진설계는 지진 발생시 지반 변위의 영향을 고려하여 구조물이 소요의 내진성능을 만족할 수 있도록 하는 것이다.

(2) Seismic analysis method

① "Response displacement" or "time history analysis" method may be used for seismic analysis of an underground structure considering ground and structural conditions.

② The "response displacement" method shall be used as a standard analysis method for seismic analysis of an underground structure, while the "time history analysis" method shall be used for detailed review, or when structure and ground conditions are complex, or when considering the interaction between the ground and the structure.

③ Seismic analysis of an underground structure shall be basically based on a two-dimensional cross-section analysis, but a seismic structure analysis for vertical direction shall also be carried out in the event that the ground condition is rapidly changed.

(3) Response modification coefficient

① Design seismic load shall allow plastic deformation that occurs on a structure.

② Member force becomes less in inelastic behavior of a structure, rather than elastic behavior.

③ For an ordinary structure, design member force against an earthquake shall be the value calculated by dividing elastic member force from elastic analysis by the response modification coefficient (R, ductility coefficient), and the designer shall review the safety by combining this design member force with member force due to other loads. At this moment, the response modification coefficient shall be applied to moment member force only.

Table 7.4.1 Response modification coefficient (R)

Classification	Beam	Girder	Note
Reinforced concrete member	3	3	
Steel or composite member	5	5	

※ Note: Elastic analysis or plasticity analysis may be selected, if necessary.

A. If an elastic analysis is carried out, only the elastic analysis can consider plastic deformation by dividing the calculated value by the response modification coefficient.

B. If a plastic analysis is carried out, the calculated value shall be used as it is without considering the response modification coefficient.

(2) 내진해석 방법

① 지하철도 구조물의 내진해석은 지반 조건, 구조 조건 등을 고려하여 “응답변위법” 혹은 “시간이력해석법”을 사용하여 수행할 수 있다.

② “응답변위법”은 지하철도 구조물의 내진해석을 위한 표준해석법으로 사용하고 “시간이력해석법”은 상세한 검토를 필요로 하는 경우나 구조 조건, 지반 조건이 복잡한 경우, 지반과 구조물의 상호작용을 고려하는 경우에 사용하는 것이 좋다.

③ 지하철도 구조물의 내진해석은 2차원 횡단면해석을 원칙으로 하되 지반상태가 급격히 변화하는 구간 통과 등의 경우에는 종방향에 대한 내진구조해석을 추가로 수행해야 한다.

(3) 응답수정계수

① 설계지진하중은 구조물에서 발생하는 소성변형을 허용한다.

② 구조물이 비탄성 거동을 하게 되면 탄성거동을 하는 경우보다 부재력이 작아진다.

③ 일반 구조물의 경우 이를 고려하기 위하여 부재 설계시 탄성해석으로 구한 탄성 부재력을 응답수정계수(R, 연성계수)로 나눈 값이 지진에 대한 설계부재력이 되며 설계자는 이 설계 부재력을 다른 하중에 의한 부재력과 조합하여 부재의 안전성을 검토해야 한다. 이때 응답수정계수는 모멘트 부재력에 대하여만 적용한다.

표 7.4.1 응답수정계수(R)

구분	기둥	보	비고
철근콘크리트 부재	3	3	
강 부재 또는 합성부재	5	5	

※특기사항 : 내진 성능을 갖도록 탄성해석과 소성해석을 필요에 따라 선택할 수 있다.

가. 탄성해석을 수행하는 경우에는 계산 결과를 응답수정계수로 나눠줌으로써 탄성해석만으로 소성변형까지도 고려할 수 있다.

나. 소성해석을 수행하는 경우에는 계산 결과를 그대로 사용하고 응답수정계수는 고려하지 않아야 한다.

7.4.4 Seismic analysis method

(1) Response displacement method

A response displacement method, the static calculation method, shall be applied by modeling seismic earth pressure due to ground displacement during earthquake and the boundary condition of the correlations between the underground railway structure and the surrounding ground.

(2) Time history analysis method

Time history of design seismic load (acceleration) shall be the ground motion with mean return period corresponding to Seismic Class I.

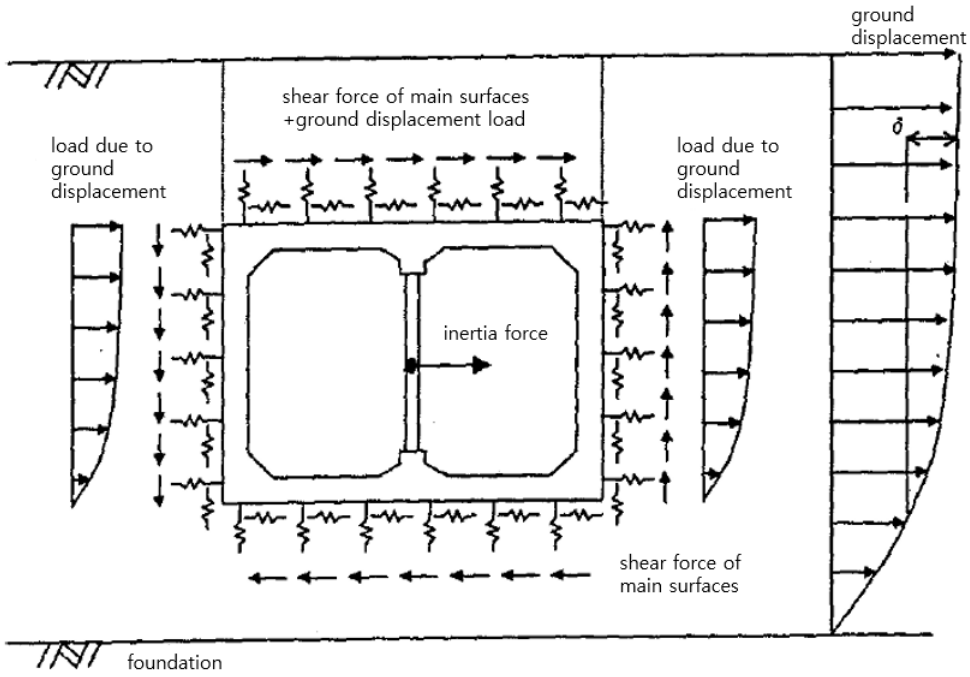


Fig.7.4.1 Concept of response displacement method

7.4.5 Seismic design of reinforced concrete structural member

(1) General

① Seismic design shall be in accordance with the Strength Design Method.

② Seismic design shall be safe against seismic load

7.4.4 내진해석 방법

(1) 응답변위법

지진 발생시에 생기는 지반변위에 의한 지진 토압과 지하철도 구조물과 주변지반 관계에서의 경계조건을 모델링하여 정적으로 계산하는 방법인 응답변위법을 적용한다.

(2) 시간이력해석법

설계지진하중(가속도)의 시간이력은 내진 Ⅰ등급에 해당하는 평균재현주기를 가진 지반운동이 되어야 한다.

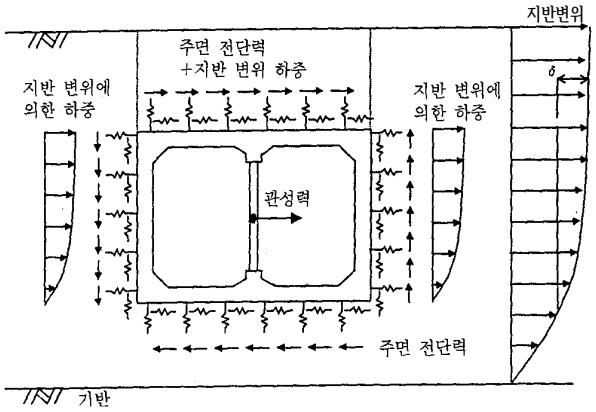


그림 7.4.1 응답변위법의 개념도

7.4.5 철근콘크리트 구조부재의 내진 설계

(1) 일반사항

① 설계 방법은 강도설계법으로 한다.

② 내진설계는 설계 지진하중에 대하여 안전하도록 설계해야 한다.

(2) Load combination

① At normal state

According to 「8.3 Design Method and Load Combination」

② At seismic state

According to <Eq. (7.4.2)>

$$U = 1.0D + 1.0E + 1.0H + 1.0Q$$

Where, D: Dead load

E: Seismic load

H: Earth pressure

Q: Water pressure and buoyancy

(3) Structural details of seismic design

① Scope of application

This shall be applied to major structures among underground railway facilities, including station structure.

② Applicable design standards

Structural details shall be in accordance with 「8.8.8 Concrete Bridge Design」

③ Member joints

The joint between two structures with a different structural function shall be designed as a separate type, except in special cases. Joint shall be reinforced for stability.

(2) 하중조합

① 상시 상태의 설계

상시상태에 대한 설계는 「8.3 설계방법 및 하중조합」에 따른다.

② 지진시 상태의 설계

지진시 상태에 대한 하중조합은 <식 (7.4.2)>으로 구한다.

$$U = 1.0D + 1.0E + 1.0H + 1.0Q \quad (7.4.2)$$

여기서, D : 고정하중

E : 지진하중

H : 토압

Q : 수압 및 부력

(3) 내진설계 구조상세

① 적용범위

지하철도 구조물 중 지하에 건설되는 정거장 구조물 본체 등 주요 구조물에 적용한다.

② 관련 설계기준

지하철도의 내진설계에 있어서 구조상세는 「8.8.8 콘크리트교 설계」에 따른다.

③ 부재 접합부

구조적 성능이 현저하게 다른 두 구조물의 접합부는 특별한 경우를 제외하고 분리구조로 한다. 접합부는 보강하여 안정성을 확보해야 한다.

Chapter 8 Bridge General

8.1 General

8.1.1 Scope of application

(1) This chapter shall apply to bridges with a span of 150 m or less to be built on railway for new construction or rehabilitation.

(2) For bridges with the span longer than 150 m, this Chapter shall be applied, except in cases where rational modification is needed depending on the type of long-span bridge and structure and the condition of the construction site.

(3) When the design is intended for particular research, this chapter may not be applied but the design base shall be clearly stipulated.

8.1.2 Definitions

The terms used in this chapter shall be defined as follows.

(1) Over-road bridge: a bridge built on a road.

(2) Acceleration coefficient: a coefficient used to estimate design seismic force for seismic design; depending on earthquake zone and recurrence period.

(3) Strength reduction factor: an estimation safety factor to account for differences between design and actual results in material strengths and dimensions, and to address inaccuracies in member strengths and analyses.

(4) Natural period: a recurrence time interval (sec.) of a free vibrating structure.

(5) Natural frequency: a frequency (Hz) at free vibration of the structure in the absence of the damping effect.

(6) Nominal strength: the strength of a member or section calculated in accordance with the provisions or assumptions of the strength design method without a strength reduction coefficient.

(7) Overpass: the bridge crossing over the railway.

(8) Span: the space between abutment and pier or pier and pier of the bridge; for a continuous bridge, it is called a side span or center span depending on position and a 3-span or a 5-span continuous bridge depending on the number of spans.

(9) Factored load: load, multiplied by the corresponding load factor, which is used to design members based on the strength design method.

(10) Longitudinal relative displacement of bridge: an item to determine the limit of the axial force of CWR; refers to relative displacement between decks of continuous single span bridges or between deck and the front face of abutment.

제8장 교량 일반사항

8.1 일반사항

8.1.1 적용범위

(1) 이 기준은 철도건설 및 개량에 따라 철도선로 상에 건설하는 경간 150m 이하의 교량에 적용하는 것으로 한다.

(2) 경간이 150m를 넘는 경우에도 장대교량의 종류, 구조형식, 가설지점의 상황 등에 따라 합리적인 보정을 해야 하는 사항을 제외하고는 이 기준을 따른다.

(3) 다만, 특별한 조사연구에 의하여 설계할 때에는 이 기준을 적용하지 않을 수 있는데, 이 경우에는 그 설계근거를 명시해야 한다.

8.1.2 용어의 정의

이 장에서 쓰이는 용어의 의미는 다음과 같다.

(1) 가도교 : 도로위에 가설된 교량

(2) 가속도계수(Acceleration Coefficient) : 내진설계에 있어 설계지진력을 산정하기 위한 계수로서 지진구역과 재현주기에 따라 그 값이 다르다

(3) 강도감소계수(Strength Reduction Factor) : 재료의 공칭강도와 실제강도 간의 불가피한 차이, 제작 또는 시공, 저항의 추정 및 해석 모형 등에 관련된 불확실성 등을 고려하기 위한 안전계수

(4) 고유주기(Natural Period) : 자유진동하는 구조물의 진동이 반복되는 시간 간격(sec)

(5) 고유진동수(Natural Frequency) : 감쇠효과가 무시된 구조물의 자유진동에서 시간 당 발생 진동수(Hz)

(6) 공칭강도(Nominal Strength) : 강도설계법의 규정과 가정에 따라 계산된 부재 또는 단면의 강도를 말하며 강도감소계수를 적용하기 이전의 강도

(7) 과선교 : 철도선로 위에 가설된 교량

(8) 경간(Span) : 교량에서 교대와 교각, 또는 교각과 교각사이 공간을 말함. 연속교인 경우 그 위치에 따라 측경간, 중앙경간 등으로 부르고, 경간 수에 따라 3경간, 5경간 연속교 등으로 부름

(9) 계수하중(Factored Load) : 강도설계법으로 부재를 설계할 때 사용하는 하중으로서, 사용하중에 하중계수를 곱한 하중

(10) 교량 종방향 상대변위 : 장대레일 축력 제한을 위한 검토에서 판단기준의 한 항목. 단위교량이 연속되었을 때 단위교량의 바닥판과 바닥판 사이, 혹은 교대로 연결되는 부위의 교대 전면과 교량의 바닥판의 사이에 발생하는 각각에 대한 상대변위

(11) Overturn of bridge: a bridge overturning phenomenon by derailment or uplift force of wind.

(12) Movable end of structure: the end of superstructure with tracks that meets an abutment or an adjoining structure.

(13) Structure safety design: a design a structural member to have safe capacity against external force or environmental condition, including general requirements for structural safety and deformation.

(14) Thermal expansion of structure: the length between fixed points of thermal movements of a structure; a fixed point of thermal movements refers to the point where no longitudinal displacement with temperature variation occurs, and for a structure installed between both abutments, refers to the distance between the centerline of the bearing on abutment and the fixed point of thermal movement.

(15) Track-Structure longitudinal interaction: the interaction between CWR and bridge, causing CWR rupture or longitudinal force and deformation problems related to rail buckling.

(16) Horizontal displacement of foundation: the displacement caused by horizontal sliding of the bottom of the foundation footing in bridge longitudinal or transverse direction; the longitudinal displacement of the superstructure by the horizontal displacement of foundation is equal for high pier and low pier.

(17) Rotational displacement of foundation: the displacement by rotation of the bottom of the foundation footing in bridge longitudinal or transverse direction, depending on ground conditions; the rotational displacement of foundation significantly affects on the longitudinal deformation of a higher bridge pier compared to the deformation of a lower pier.

(18) Seismic level classifies the importance of the bridge, and is categorized into Seismic Grade I and Seismic Grade II.

(19) Angular displacement of deck end: a relative angular displacement between bridge deck ends or between bridge deck end and abutment in dynamic stability analysis under train loads.

(20) Multimode spectral analysis method: a spectrum analysis method using multiple vibration modes.

(21) Single-Mode spectrum analysis method: a spectrum analysis method using a single vibration mode.

(22) Traction wheel load: the driving wheel load of a train.

(23) Additional track longitudinal stress: an additional stress caused by temperature, traction and braking forces and deck bending of the bridge.

(11) 교량의 전복(뒤집힘) : 차량의 탈선 또는 바람의 상향력으로 교량이 뒤집히는 현상

(12) 구조물 가동 끝단 : 궤도가 실린 구조물에서 교대와 만나거나 인접한 구조물과 만나는 상부구조의 단부 끝단

(13) 구조물 안전성 설계 : 일반적인 구조물 안전조건과 변형조건을 포함하는 의미로 구조물에 작용하는 외력이나 주변 조건에 대하여 구조부재가 안전한 내력을 보유토록 설계를 하는 것

(14) 구조물 온도 신축길이 : 구조물의 온도 고정점 간의 길이. 여기서 온도 고정점이란 온도변화에도 구조물의 종방향 변위가 생기지 않는 점을 말하며, 양쪽 교대 사이에 설치되는 구조물의 경우에는 교대의 받침 중심점으로부터 온도 고정점까지의 거리

(15) 궤도-구조물간 종방향 상호작용 : 장대레일과 교량 구조물과의 결합과 그 상호작용에 의한 장대레일의 파단, 좌굴과 관련된 궤도 종방향력 문제와 변형문제를 야기시키는 작용

(16) 기초 수평변위 : 기초의 지반상태에 따라 교량 축 방향이나 교량 축 직각방향으로 확대기초 저부의 수평이동에 의해 발생하는 변위. 이 이동변위에 의한 상부구조의 종방향 변위량은 높은 교각과 낮은 교각이 같은 양으로 계산됨

(17) 기초 회전각변위 : 기초의 지반상태에 따라 교량 축 방향이나 교량 축 직각방향으로 확대기초 저부의 회전에 의해 발생하는 변위. 이 기초 회전각에 의한 변형은 상대적으로 높은 교각이 낮은 교각에 비해 교량 종방향 변형에 미치는 영향을 크게 함

(18) 내진등급은 중요도에 따라서 교량을 분류하는 범주로서 내진II등급, 내진I등급으로 구분된다.

(19) 단부각변위 : 실제 열차하중에 의한 동적 안정성 검토에서 교량 바닥판의 단부와 단부사이의 상대각변위 또는 교량 바닥판 단부와 교대 사이의 상대각변위

(20) 다중모드스펙트럼해석법(Multimode Spectral Analysis Method) : 여러 개의 진동모드를 사용하는 스펙트럼해석법

(21) 단일모드 스펙트럼 해석법(Single-Mode Spectrum Analysis Method) : 하나의 진동모드만을 사용하는 스펙트럼 해석법

(22) 동륜하중 : 동력차의 구동차륜 하중

(23) 부가 궤도 종방향응력 : 교량의 존재에 의해 부가적으로 발생하는 온도, 시동, 제동하중, 교량 바닥판의 휨 등에 의한 부가적인 응력

(24) Secondary load: the load that occurs from time to time along with other loads, but may have an effect on bearing capacity and has to be considered in load combinations for primary structural member design.
(25) Fracture critical member: the member that when fractured may cause the bridge to collapse or lose its design function.
(26) Service load: various loads defined in this Code, such as dead loads and live loads, to which load factors are not multiplied.
(27) Plate girder bridge: refers to a bridge for which passage is provided on top of a main girder.
(28) Design strength: the strength of a structure or a member obtained by multiplying the nominal strength by the strength reduction factor (ϕ).
(29) Specific compressive strength: a compressive strength that serves as the base in designing concrete members; generally compressive strength in 28-days.
(30) Design service life: the period considered in the design to function intended.
(31) Design load: a factored load used for the design of a member.
(32) Required strength: a design sectional force that represents the strength of the member or section required to resist factored load by load combination, or the related bending moment, shear force, axial force or torsional moment.
(33) Clear span: a distance between the front faces of abutment and pier or the front faces of pier and pier.
(34) Slack: the inner rail that is extended from the outer rail to help smooth the run on a curved line.
(35) Actual train load: the load used in dynamic analysis and derived from the axle load of the actual train.
(36) Secondary member: a member, other than the primary member, which has no effect on train operation even in the event of its failure in part.
(37) Train gust: a change in air current by wind pressure generated while a train is running.
(38) Ductility: the property of a member or a joint that allows an inelastic response.
(39) Response modification factor: a modifying factor to estimate the design seismic force from the internal force of each element by the elastic analysis.
(40) Response spectrum: the maximum response to earthquake in graph depending on the natural period or frequency of the structure with a constant damping ratio.
(41) Regular bridge: a bridge in which the mass, stiffness or geometry along the span has no significant changes.
(42) Primary load: the loads that present always or frequently and are used to determine the bearing capacity of the main structural member of a bridge.

(24) 부하중 : 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 항상 또는 자주 작용하지는 않지만 내하력에 영향을 미칠 수 있고, 통상 다른 하중과 동시에 작용하는 하중으로서 하중의 조합에서 반드시 고려해야 하는 하중의 총칭

(25) 붕괴유발부재(Fracture Critical Member) : 그 부재의 파괴가 교량의 붕괴를 초래하거나 교량의 설계기능을 발휘할 수 없도록 하는 부재

(26) 사용하중(Service Load) : 고정하중 및 표준열차하중으로서 하중계수를 곱하지 않은 것이며, 작용하중이라고도 함

(27) 상로 플레이트거더교 : 통로가 주거더의 상면위치에 배치되는 교량

(28) 설계강도(Design Strength) : 공칭강도에 강도감소계수(ϕ)를 곱한 강도

(29) 설계기준강도(Specific Compressive Strength) : 콘크리트부재의 설계에 있어 기준으로 한 압축강도. 일반적으로 재령 28일의 압축강도를 기준으로 함

(30) 설계사용기간 : 구조물 또는 부재가 그 사용에 있어서 목적하는 기능을 완수하도록 설계상에 고려하는 기간

(31) 설계하중 : 부재를 설계할 때 사용되는 적용 가능한 모든 하중으로서, 강도설계법에 의한 설계에서는 하중계수를 곱한 하중(계수하중)이고 허용응력설계법에 의한 설계에서는 하중계수를 곱하지 않은 하중(사용하중)이 설계하중이 됨

(32) 소요강도(Required Strength) : 하중조합에 따른 계수하중을 저항하는데 필요한 부재나 단면의 강도, 또는 이와 관련된 휨모멘트, 전단력, 축방향력 및 비틀림모멘트 등으로 나타낸 설계단면력

(33) 순경간(Clear Span) : 교대와 교각, 또는 교각과 교각사이 전면간의 거리

(34) 슬랙(Slack) : 곡선선로에서 차량의 원활한 운행을 위하여 외측레일을 기준으로 내측레일을 넓혀준 것

(35) 실제 열차하중 : 동적해석에 사용되는 실제 열차의 차축하중을 모델로 만든 하중

(36) 2차부재 : 주요부재 이외의 2차적인 기능을 갖는 부재로 그 일부가 파괴되어도 열차운행에는 직접 지장이 없는 부재

(37) 열차풍 : 열차의 통과시 발생하는 풍압에 의한 기류의 변화현상

(38) 연성(Ductility) : 비탄성응답을 허용하는 부재나 접합부의 성질

(39) 응답수정계수(Response Modification Factor) : 탄성해석으로 구한 각 요소의 내력으로부터 설계지진력을 산정하기 위한 수정계수

(40) 응답스펙트럼(Response Spectrum) : 일정한 감쇠비를 가진 구조물의 고유주기나 진동수에 따른 지진의 최대응답을 나타낸 그래프

(41) 정규교량(Regular Bridge) : 경간을 따라 질량, 강성이나 기하학적 특성에 특별한 변화가 없는 교량

(42) 주하중 : 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 항상 또는 자주 작용하여 내하력에 결정적인 영향을 미치는 하중의 총칭

(43) Operation safety check: a review of minimum requirements to secure the train safety, including dynamic stability of high-speed train.
(44) Site coefficient: a modification factor to incorporate the effect of ground condition on elastic seismic response coefficient.
(45) Soil profile type: the type of ground; classified by engineering background depending on the response characteristic of the ground to earthquake.
(46) Seismic risk factor: a factor indicating the risk of potential earthquake based on a 500-year return period (dimensionless).
(47) Seismic zone factor: a factor indicating the intensity of seismic ground motion corresponding to the mean return period of 500 years.
(48) Peak seismic ground acceleration: the maximum ground acceleration by earthquake; defined by multiplying acceleration coefficient by gravitational acceleration (m/sec^2)
(49) Axle load: refers to the sum of loads on the left and right wheel.
(50) Impact factor: a coefficient multiplied by standard train load to consider dynamic impact in static design; representing the increment rate of dynamic response to static response of a structure by train operation.
(51) Cant: the elevation difference between the outer and inner rail when the outer rail is set higher than the inner rail to resist the centrifugal force of the train on a curved section.
(52) Special load: a generic term for loads that shall be particularly considered when designing primary member of a bridge, depending on bridge type, structural type and erection site conditions.
(53) Elastic seismic response coefficient: a dimensionless quantity to obtain equivalent static seismic load in the mode spectrum analysis method.
(54) Mean return period: an average time interval of earthquake with a certain intensity or characteristic.
(55) PS steel bar: a PS steel bar according to KS D 3505.
(56) Through plate girder: a bridge with a passage under the main girder.
(57) Load factor: a safety factor to be multiplied by service load to consider the difference between nominal and actual load, the uncertainty in analysis to convert the load to working external force, an unexpected overload and variable environment.
(58) Allowable stress: refers to a value obtained by dividing the reference strength by the safety factor in elastic design.
(59) Composite girder bridge: a bridge resisting loads by composite section of the main girder and cast-in-place deck that are connected by shear connector.
(60) Single span bridge: a bridge with a single span.

(43) 주행안전성 검토 : 고속열차의 동적 안정성 등을 포함하는 열차의 안전확보를 위한 최소 요구조건에 대한 검토

(44) 지반계수(Site Coefficient) : 지반상태가 탄성지진응답계수에 미치는 영향을 반영하기 위한 보정계수

(45) 지반종류(Soil Profile Type) : 지진시에 지반의 응답특성에 따라 공학적으로 분류하는 지반의 종류

(46) 지진위험도 계수(Seismic Risk Factor) : 500년 재현주기를 기준으로 한 지진의 위험도를 나타내는 계수(무차원량)

(47) 지진구역계수 : 우리나라의 지진재해도 해석결과에 근거한 지진구역에서의 평균재현주기 500년에 해당되는 암반상 지진지반운동의 세기를 나타내는 계수

(48) 최대 지진지반가속도(Peak Seismic Ground Acceleration) : 지진에 의해 발생되는 최대의 지반가속도. 가속도계수에 중력가속도를 곱한 값으로 정의(m/sec^2)

(49) 차축하중 : 차량의 좌우측 바퀴의 하중을 합한 하중

(50) 충격계수 : 정적설계시 동적 충격효과를 고려할 수 있도록 표준열차하중에 곱해지는 계수. 열차 또는 차량의 주행에 의해 구조물에 발생되는 정적응답에 대한 동적응답의 증가비율을 나타냄

(51) 캔트 : 곡선 선로에서 열차의 원심력에 대항하여 차량의 안전을 도모하기 위해 내측레일을 기준으로 외측레일을 높게 하는데 이 때의 고저 차

(52) 특수하중 : 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 교량의 종류, 구조형식, 가설지점의 상황 등의 조건에 따라 특별히 고려해야 하는 하중의 총칭

(53) 탄성지진응답계수(Elastic Seismic Response Coefficient) : 모드스펙트럼해석법에서 등가정적지진하중을 구하기 위한 무차원량

(54) 평균재현주기(Mean Return Period) : 어떤 크기나 특성을 가진 지진이 발생하는 평균 시간간격

(55) PS강봉 : KS D 3505의 PS강봉을 말함

(56) 하로 플레이트거더교 : 통로가 주거더의 하면위치에 배치되는 교량

(57) 하중계수(Load Factor) : 하중의 공칭값과 실제 하중 간의 불가피한 차이, 하중을 작용외력으로 변환시키는 해석상의 불확실성, 예기치 않은 초과하중, 환경작용 등의 변동을 고려하기 위하여 사용하중에 곱해주는 안전계수

(58) 허용응력(Allowable Stress) : 탄성설계에서 재료의 기준강도를 안전율로 나눈 것

(59) 합성거더교 : 주거더와 현장치기 바닥판이 전단연결재에 의해 결합되어 주거더와 바닥판이 일체로 된 합성단면으로 하중에 저항하는 교량

(60) 단경간교(Single Span Bridge) : 경간이 하나인 교량

(61) End zone: the bottom of the column that acts as a cantilever and the top and the bottom of the column that acts as a frame.

(62) p-y curve of pile: an interaction curve between the horizontal displacement of pile at an embedded depth and the subgrade reaction per unit length.

(63) Moment-curvature analysis: one of the material nonlinear analyses of an RC structure to relate moment and curvature considering transverse rebar confinement effect and axial force based on the stress-strain curve of reinforcement and concrete.

(64) Design displacement: a horizontal seismic displacement required by the seismic isolation system.

(65) Plastic hinge zone: the end zone of columns and piles where elastic seismic moment that is greater than design bending strength is subjected.

(66) Liquefaction: means that shear resistance to shear load is lost due to pore pressure increase and effective stress decrease.

(67) Offset displacement: a horizontal displacement of seismic isolator, which corresponds to 50% displacement of creep, drying shrinkage and temperature variation.

(68) Effective stiffness: a value obtained by dividing horizontal force by the maximum horizontal displacement when the seismic isolation system reaches at the maximum horizontal displacement.

(69) Risk factor: a seismic zone coefficient ratio by mean return period.

(70) Subgrade response analysis: a dynamic analysis to identify the behavior of the soil layer while incident seismic load progresses from the bottom to the ground surface.

(71) Seismic isolator: a bridge support bearing that is flexible horizontally and stiff vertically to allow horizontal displacements during earthquake.

(72) Seismic isolation system: a set of all elements that provide vertical stiffness, horizontal flexibility and damping from boundary surface to system.

(73) Earthquake-resistant system: all devices used to improve the seismic performance and stability of a bridge structure, and includes seismic isolators, dampers and bridge collapse prevention devices.

(74) Total design displacement: the maximum horizontal seismic displacement of the seismic isolator, which is calculated based ond_i the analysis and displacement needed for seismic isolation systems; includes translational displacement at the center of the stiffness and considered component of torsional displacement.

(75) Maximum plastic hinge force: a lateral force with 95% reliability after converting the exceeding strength of material beyond the material strength of design provisions in the plastic hinge zone of pier and maximum plastic moment (bending over strength) under confinement effect into shear force.

(61) 단부구역 : 캔틸레버로 거동하는 기둥의 하단과 골조로 거동하는 기둥의 하단과 상단

(62) 말뚝의 p-y곡선 : 말뚝의 근입깊이 내에서 발생하는 말뚝의 수평변위 대 단위길이당 지반반력의 상관곡선

(63) 모멘트-곡률 해석 : 철근콘크리트 구조물의 재료비선형 단면해석의 하나로서, 횡방향철근에 의한 횡구속효과와 축력의 영향 등을 고려하고 철근과 콘크리트의 응력-변형률 곡선을 이용하여 모멘트와 곡률의 관계를 구하는 해석

(64) 설계변위 : 지진격리시스템의 설계에서 요구되는 수평방향의 지진변위

(65) 소성힌지구역 : 기둥과 말뚝가구의 단부구역 중 설계휨강도보다 큰 탄성지진모멘트가 작용하는 구역

(66) 액상화 : 진동하중에 의해 간극수압 상승과 유효응력 감소로 전단하중에 대한 전단저항을 상실하는 현상

(67) 옵셋변위 : 크리프, 건조수축 그리고 온도변위의 50%에 해당하는 지진격리받침의 수평변위.

(68) 유효강성 : 지진격리시스템이 최대수평변위를 일으키는 순간의 수평력을 최대수평변위로 나눈 값

(69) 위험도계수 : 평균 재현주기별 지진구역계수의 비

(70) 지반응답해석 : 토층의 저면에 입사되는 지진하중이 지표면으로 진행될 때 토층의 동적거동에 대한 해석

(71) 지진격리받침 : 지진격리교량이 지진 시 수평방향으로 큰 축방향 변형을 허용할 수 있도록 수평방향으로는 유연하고, 수직방향으로는 강성이 높은 교량받침

(72) 지진격리시스템 : 수직강성, 수평유연도, 그리고 감쇠를 경계면으로부터 시스템에 제공하는 모든 요소의 집합

(73) 지진보호장치 : 교량구조물의 내진성능과 내진안정성을 향상시키기 위한 모든 장치들로서, 지진격리받침, 감쇠기, 낙교방지장치 등이 이에 해당된다.

(74) 총설계변위 : 지진격리받침의 최대 수평방향 지진변위로서 해석의 결과와 지진격리시스템의 설계에 필요한 변위로부터 산출되는 값이다. 이것은 강성중심에서의 병진변위 d_i와 비틀림변위의 고려방향 성분을 포함한다.

(75) 최대 소성힌지력 : 교각의 소성힌지구역에서 설계기준 재료강도를 초과하는 재료의 초과강도와 심부구속효과로 인하여 발휘될 수 있는 최대 소성모멘트(휨 초과강도)를 전단력으로 변환한 신뢰도 95%수준의 횡력

(76) Elastomer: a high molecular substance which restore its original size and shape along with the pressure release after significant deformation by pressure; includes rubber products and complex compounds.

(77) Average cyclic shear stress: an equivalent shear stress substituted irregular seismic load with a constant cyclic load.

(78) Yield stiffness: a pier stiffness when axial reinforcement is yielded considering axial force and concrete crack, and is determined by the ratio of yield moment and yield curvature.

(79) Yield effective moment of inertia: the moment of inertia when axial reinforcement is yielded considering axial force and concrete crack; the moment of inertia is calculated using a simplified equation.

8.1.3 Standard train load

(1) Bridge structure shall provide operation safety under standard train load as per <Table 8.1.1>.

Table 8.1.1 Standard train load

Category	Standard train load	Note
Passenger + cargo	KRL-2012	Excludes passenger only and urban railway
Passenger only	0.75KRL-2012	Passenger only line designated by the minister concerned
Motorcar only	EL-18	Railway for urban transit

(2) A new standard train load for a specific-purpose track shall secure safety against both actual operating train load and potential operating train load.

8.1.4 Investigation

(1) Investigation considering the construction site area and structure size shall be carried out to ensure rational and economical railway bridge design and construction.

(2) Investigation scope and method shall be in accordance with 「2.5 Railway plan of Chapter 2」.

8.1.5 Plan

(1) Plan shall be in accordance with 「2.3 and 2.4 of Chapter 2 Railway Plan」.

(2) Determination of bridge location and type.

① Location of railway bridge shall be determined based on linear alignment considering the increase of train speed, and other influential factors shall be considered in advance.

(76) 탄성중합체 : 압력을 가하여 상당한 변형이 있는 후 그 압력을 제거하면 초기의 크기와 형상으로 복원되는 고분자 물질로서 여기에서는 고무부품이나 고무부품의 생상에 사용하는 복합화합물을 말한다.

(77) 평균반복전단응력 : 불규칙한 지진하중을 일정한 반복하중으로 치환할 때, 등가의 전단응력

(78) 항복강성 : 축방향력과 콘크리트의 균열을 고려하여 축방향철근이 항복하는 시점의 강성으로서 항복모멘트와 항복곡률의 비율로 결정되는 교각의 강성

(79) 항복유효 단면2차모멘트 : 축방향력과 콘크리트의 균열을 고려하여 축방향철근이 항복하는 시점의 단면2차모멘트 강성으로서 간편식으로 산정되는 단면2차모멘트

8.1.3 표준열차하중

(1) 교량구조는 해당 노선의 기능 별 <표 8.1.1>의 표준열차하중에 대하여 열차의 주행안전성을 확보할 수 있어야 한다.

표 8.1.1 표준열차하중

구분	표준열차하중	비고
여객화물혼용선	KRL-2012	여객전용선과 도시철도를 제외한 철도노선
여객전용선	0.75KRL-2012	관계장관이 지정, 고시한 여객전용선
전동차 전용선	EL-18	도시철도 운행이 주목적인 철도

(2) 특정 기능 목적의 선로에 대하여 새로운 표준열차하중 적용 시에는 실제 운행될 열차하중 및 향후 운행가능성이 있는 열차하중에 대하여 안전성을 확보할 수 있어야 한다.

8.1.4 조사

(1) 철도교량의 합리적이고 경제적인 설계와 시공을 위해서는 교량가설 예정지점의 상황, 구조물의 규모 등에 따라 필요한 조사를 해야 한다.

(2) 조사내용 및 방법 등 조사에 관한 제반사항은「제2장 철도계획 2.5 항」을 따른다.

8.1.5 계획

(1) 계획에 관한 사항은「제2장 철도계획 2.3, 2.4항」을 따른다.

(2) 가설위치와 형식선정

① 철도교량의 계획에 있어서 가교위치를 선정할 때 열차속도가 향상됨에 따라 선형을 위주로 하여 선정하되 부수되는 문제를 사전에 고려해야 한다.

② In the past, only linear alignment of the route was taken into account, which resulted in planning the bridge with a large skew angle. To prevent it in advance, longitudinal plan alignment, skew angle, abutment and pier location shall be considered with static and dynamic stability of the bridge and constructability.

③ The location and type of bridge shall be determined after considering environmental circumstances such as topographic, geologic, climatic conditions, and crossing as well as train running stability, electric pole installation, constructability, maintenance, cost efficiency and environment.

(3) Relations with crossing requirements

① Bridge location, span division, pier location and shape shall be determined after consultation with the authorities concerned.

② It is necessary to consult with the authorities concerned on bridge location at the planning stage, and the following conditions shall be considered in particular.

A. Bridge over a river

(a) Bridge location, length and abutment location shall be determined considering river shape and maintenance plan.

(b) Design flood water level, flood discharge, sailing condition and neighboring structures shall be considered in determining span length, clearance height below the bridge and pier shape.

(c) Maintenance and scouring shall be considered in determining the height of foundation.

B. Bridge over a strait or canal

(a) Type and size of passing vessels shall be considered in determining the span length and clearance height below the bridge.

C. Bridge over the road or railway

(a) Width of road or railway, track clearance and visibility shall be considered in determining bridge length, span, clearance height below the bridge, pier location and shape.

(b) Underground utilities and structure shall be considered in determining the location and shape of pier, abutment and foundation.

(4) Track clearance and overhead clearance

① Track clearance and overhead clearance (space under girder) in bridge design shall be in accordance with 「2.4.3 of Chapter 2 Railway Plan」.

② In addition to track clearance and overhead clearance in the bridge design code, sidewalk or other constraints shall be considered.

② 종래에는 노선전체의 선형만을 중시한 결과 사각이 매우 큰 교량이 계획되는 경우도 있었는데 이를 미연에 방지하기 위해서는 교량의 정적 및 동적거동의 안정성, 시공성 등의 측면을 고려한 교량의 종평면 선형, 사각, 교대 및 교각 위치 등을 유념하여 계획해야 한다.

③ 교량의 형식을 선정할 때도 지형, 지질, 기상, 교차물 등의 외부적 조건이나, 열차의 주행안전성, 전차선주의 설치, 시공성, 유지관리, 경제성 및 환경과의 미적인 조화를 고려하여 가설위치 및 교량의 형식을 선정해야 한다.

(3) 교차조건과의 관계

① 가교위치, 경간분할, 교각위치, 교각형상 등은 관계기관과 협의하여 정한다.

② 교량의 계획단계에서는 교량가설 예정지점의 관계기관과 협의해야 하고, 특히 다음의 여러 입지조건을 고려해야 한다.

가. 하천에 가교(架橋)하는 경우

㉮ 가교위치, 교량길이와 교대의 위치결정에는 하천의 형상과 개수(改修) 계획 등

㉯ 경간장, 다리밑 공간, 교각형상의 결정에는 계획홍수위, 계획홍수량, 항운조건, 인접구조물 등

㉰ 기초상단의 높이 결정에는 개수계획, 세굴상태 등

나. 해협이나 운하에 가교하는 경우

㉮ 경간장과 다리밑 공간의 결정에는 항로통과 선박의 크기 등

다. 도로나 철도위에 가교하는 경우

㉮ 교량길이, 경간장, 다리밑 공간, 교각의 위치와 형상 등의 결정에는 도로나 철도의 폭원 구성, 건축한계, 시거 등

㉯ 교대, 교각 및 기초의 위치와 형상의 결정에는 지하매설물, 지하구조물 등

(4) 건축한계 및 다리밑 공간

① 교량의 설계에 있어서 건축한계 및 다리밑 공간(거더밑 공간)에 대한 한계 등은 「제2장 철도계획 2.4.3항」에 정한 기준을 따른다.

② 교량설계 시 규정 등에 정한 건축한계 외에 다리밑 공간에 대한 한계, 교측보도 설치 등의 각종 한계를 고려해야 한다.

8.1.6 Design fundamental

(1) Design Principle

① Railway bridges shall be economical and appropriate for the purpose, and thus shall be designed to deal with static and dynamic load, temperature variation, track-bridge interaction, seismic effect, weather and subgrade reaction based on experimental and empirical data, and the type, material, strength and structural details shall be determined considering the importance of the structure, inspection, maintenance and environment and aesthetics.

② The strength of the bridge and material, stability, static and dynamic deformation and durability shall be reviewed in railway bridge design, and buckling and concrete crack shall also be checked as needed.

③ When considering seismic effect, the following shall be reviewed.

A. Excessive deformation, torsion and stress concentration caused by seismic effect shall not occur.

B. Track stability shall be ensured against a 100-year recurrence period earthquake for train operation, and the structure shall be based on elastic design.

C. Minimal damage to the structure and partial failure of the member may be allowed, but collapse of the structure shall be prevented.

D. The part where plastic hinge occurs shall have ductility to avoid sudden collapse in order to prevent a total collapse of the bridge.

E. Seismic calculation is generally calculated in two perpendicular directions independently, but in fact seismic vibration comprises of three components— two horizontal directions and one vertical direction, and thus stiffness center and mass center of the structure shall be coincided as much as possible in order to avoid horizontal torsion.

④ For a large foundation, pier and abutment section, review by hydration heat analysis shall be conducted, and temperature analysis, stress analysis and crack evaluation shall be in accordance with Chapter 18 Mass concrete of Concrete Construction Standard Specification (Korea Concrete Institute, 2009).

(2) Design calculation

① Safety design of bridge shall be in accordance with static analysis but when calculating seismic effect or impact and reviewing running stability, dynamic analysis using actual train load shall be used.

② Steel bridge shall be designed based on the allowable stress method, but concrete deck of steel composite bridge shall be designed in accordance with the strength design method.

8.1.6 설계의 기본

(1) 설계의 원칙

① 철도교량은 안전하고도 경제적이며 목적에 맞는 것이어야 한다. 따라서 실험결과 및 과거의 경험을 바탕으로 하여, 구조물이 받는 정적 및 동적하중, 온도변화, 궤도-교량간 상호작용, 지진의 영향, 기상작용, 지반의 지지력 등에 대응할 수 있도록 하고 구조물의 중요도, 시공검사 및 유지관리, 환경조건, 미관 등을 고려해서 교량의 형식, 사용하는 재료 및 강도, 구조세목 등을 정하여 교량을 설계해야 한다.

② 철도교량의 설계에 있어서는 일반적으로 교량 및 부재의 강도, 안정, 정적 및 동적변형, 내구성 등에 대하여 검토해야 한다. 필요한 경우에는 부재의 좌굴, 콘크리트의 균열에 대해서도 검토해야 한다.

③ 지진의 영향을 고려하는 경우에는 특히 다음 사항에 대하여 검토해야 한다.

가. 지진의 영향으로 과대한 변형, 비틀림, 응력집중 등이 생기지 않는 구조로 한다.

나. 재현주기 100년 지진에서도 열차가 주행기능을 수행할 수 있는 궤도안정성이 확보되도록 구조물에 대한 검토를 해야 한다. 이때 구조물은 탄성설계를 기본으로 해야 한다.

다. 설계지진 발생 후의 피해정도를 최소화하고 구조물을 구성하는 부재들의 부분적인 피해는 허용하나 구조물의 전체적인 붕괴는 방지할 수 있도록 구조물에 대한 검토를 해야 한다.

라. 교량 전체의 붕괴를 방지하기 위해 구조상 소성힌지가 생기는 부분에는 급격한 파괴가 생기지 않도록 연성을 갖게 해야 한다.

마. 일반적인 내진계산은 교량의 직교 2방향에 대하여 각각 독립적으로 지진의 영향을 고려해서 계산하고 있으나 실제의 지진 진동은 수평 2방향과 연직방향의 3개 성분이 합성된 것이므로 구조물에 수평비틀림이 생기지 않도록 구조물의 강성의 중심과 질량의 중심이 가급적 일치되는 구조형식으로 해야 한다.

④ 기초 및 교대, 교각의 단면이 상당히 큰 경우 수화열해석에 의한 검토를 수행해야 하며, 온도해석 및 응력해석, 이들 결과를 사용한 균열발생의 평가방법은 콘크리트표준시방서(2009, 한국콘크리트학회) 제18장 매스 콘크리트에 따른다.

(2) 설계 계산

① 교량 안전성설계는 정적해석에 의하여 수행해야 하며, 지진이나 충격 등의 영향을 계산하는 경우와 주행안전성 검토는 실제 열차하중을 사용한 동적해석에 의한 검토를 해야 한다.

② 강교의 설계는 허용응력설계법으로 하는 것을 원칙으로 하되 강합성교의 콘크리트 바닥판 등의 설계에는 강도설계법을 적용하는 것을 원칙으로 한다.

③ Concrete bridge shall be designed according to the strength design method, but stability review of substructure, foundation structure and serviceability of prestressed member may be in accordance with the allowable stress method.

④ Stability review shall include overturn of bearing surface and foundation bottom and horizontal and vertical bearing force of ground and pile.

⑤ Deformation of the structure shall be within the allowable displacement considering train running stability, ride quality and track-bridge interaction.

⑥ Design service life of railway bridge shall be determined based on the safety requirements and durability under the environmental conditions. Design service life of railway bridge shall be 100 years unless otherwise specified.

(3) Drawing and design calculation

① Drawing

A. When the structure is not built as intended by the design engineer, the safety of the structure cannot be secured and cannot satisfy the requirements. Hence, the drawings shall stipulate the requirements for construction and maintenance.

B. In addition, stress, internal frictional angle of soil, allowable bearing capacity of foundation and foundation pile, geologic map, rebar joint and location shall be stipulated as needed.

C. Drawing shall indicate the shape and dimension of the structure and member and shape, size and layout of rebars.

D. Drawing shall indicate the base of design calculation and construction requirements as follows.

(a) Location and name of structure

(b) Design load

(c) Material type and specific compressive strength (or allowable stress) or degree of safety.

(d) Maximum water-binding material ratio according to durability or water tightness of concrete.

(e) Maximum size of coarse aggregate

(f) Name and position of the person responsible for design

(g) Design date (date/month/year)

(h) Unit of dimension and scale

(i) Related drawing and specification

② Design calculation

A. Design calculation shall clarify the calculation process proving the safety of the structure and the member under certain conditions.

③ 콘크리트교량의 설계는 강도설계법으로 하는 것을 원칙으로 하되 하부구조의 안정성 검토, 기초구조 검토, 프리스트레스가 도입되는 부재의 사용성 검토 등에 대해서는 허용응력으로 적정성을 검토할 수 있다.

④ 구조물의 안정검토에서는 일반적으로 받침면, 기초저면 등에서의 전도, 그리고 지반 및 말뚝 등의 수평 및 연직지지 등에 대한 안전도가 확보되도록 한다.

⑤ 구조물의 변형은 일반적으로 열차의 주행안전성, 승객의 승차감, 궤도-교량간 종방향 상호작용을 고려한 허용변위량 이내라야 한다.

⑥ 철도교의 설계 내용기간(耐用期間)은 요구되는 공용기간과 환경조건에 대한 교량의 안전성과 내구성능을 고려해서 정한다. 특히, 별도로 규정하지 않는 경우 철도교의 설계 내용기간은 100년으로 한다.

(3) 설계도 및 설계 계산서

① 설계도

가. 설계자가 설계한 구조물이 실제로 시공될 경우에 설계자의 의도대로 구조물이 만들어지지 않는다면 구조물의 안전도가 확보될 수 없고 또 구조물이 그 목적에 맞지 않게 된다. 따라서 설계도에는 시공에 필요한 사항, 장래 구조물을 유지 관리하는데 필요한 사항 등을 명시해 둘 필요가 있다.

나. 또 필요한 경우에는 응력, 흙의 내부마찰각, 기초지반의 허용지지력, 기초말뚝의 허용지지력, 지질도, 철근의 이음종류나 이음위치 등도 기재해야 한다.

다. 설계도는 구조물 또는 부재의 형상 치수, 철근의 형상 치수, 배치 등을 도시해야 한다.

라. 설계도에는 기본적으로 다음에서 제시하는 설계계산의 기초적 사항, 시공의 조건 등을 명기해야 한다.

㉮ 구조물의 위치 및 명칭

㉯ 설계하중

㉰ 사용재료의 종류 및 설계기준강도(또는 허용응력) 또는 안전도

㉱ 콘크리트의 내구성 또는 수밀성으로부터 정해지는 물-결합재비의 최대값

㉲ 굵은골재의 최대치수

㉳ 설계 책임자의 소속, 성명

㉴ 설계 년월일

㉵ 치수단위와 축척

㉶ 관련도면 및 시방서

② 설계 계산서

가. 설계 계산서에는 일정한 조건하에서 구조물 및 부재가 안전도를 갖고 있음을 보여주는 계산과정을 명시해야 한다.

B. Generally, the structure and construction method are closely related and shall be coincided in the calculation process. In particular, joint connectivity requirements (fixity, hinge and continuity) and construction sequence shall be matched with the calculation process.

C. When design calculation condition and construction condition do not coincide with each other, it shall be recalculated and the calculation process shall be described.

8.1.7 Requirements of railway bridge

(1) General

① Railway bridge shall meet strict requirements in order to ensure train operation safety, and ridability, and future maintenance.

② Railway bridge shall accommodate a high service load and satisfy many unfavorable conditions as well as particular interfaces with regard to train operation, and thus, very strict and careful design and construction, maintenance and control shall be carried out for the following.

A. Static load condition (dead load, train load, and general environmental load)

B. Dynamic load condition (dynamic structural response, resonance review)

C. Operational load condition (brake/start load, lateral train load)

D. Fatigue condition by repeated train axle load

E. Ride comfort condition

F. Track-bridge interaction effect (deformation limit condition, temperature expansion/ contraction limit)

G. Interface condition between superstructure and substructure

H. Operational continuity during diagnosis and maintenance

I. Particular train operation requirements

③ Design bridge satisfying 「②」 must consider the following.

A. High ride quality and passenger safety shall be granted by securing dynamic stability and small deflection.

B. Structure safety from resonance shall be secured to prevent resonance during train operation or limit the structural deformation under resonance.

C. Superstructure of the bridge shall be designed as a single structure to constrain the potential risk factors, avoiding the following types as possible.

(a) Structure with vulnerable joint

(b) Structure too complex to control quality

(c) Structure too complex to perform inspection

나. 일반적으로 구조물의 구조와 시공방법과는 밀접한 관계가 있으므로 계산과정에서 일치되어야 한다. 특히 부재접합의 조건(고정, 힌지, 연속 등) 및 시공순서는 계산의 과정과 일치해야 한다.

다. 따라서 만일 설계 계산의 조건과 시공의 조건이 일치하지 못하는 경우에는 다시 설계 계산을 하여, 설계 계산서에 그 과정을 명기해야 한다.

8.1.7 철도교의 요구사항

(1) 일반내용

① 철도교는 열차의 운행 안전성, 승차감, 그리고 향후 유지관리를 위하여 관련되는 엄격한 기준을 만족해야 한다.

② 철도교는 작용하중이 매우 크고, 많은 불리한 하중조건을 만족해야 할 뿐만 아니라 차량 운행과 관계된 특별한 인터페이스를 만족해야 하므로 다음에 기술하는 바와 같은 조건들에 대해 특별히 엄격하고 주의 깊은 설계와 시공, 유지관리, 통제관리 등이 수행되어져야 한다.

가. 정적하중 조건(고정하중, 차량하중, 일반 환경적 하중)

나. 동적하중 조건(동적 구조응답, 공진현상 검토)

다. 운행하중 조건(제동하중, 시동하중, 차량횡하중 등)

라. 반복적인 차량 차축하중에 대한 피로 조건

마. 승차감 확보 조건

바. 궤도-교량간 상호작용 효과(변형 한계조건, 온도 신축길이 제한)

사. 상부구조와 하부구조사이의 인터페이스 조건

아. 교량진단과 유지관리 과정에서도 열차의 운행중지를 하지 않을 조건

자. 열차 특수운행 요구사항

③ 「②항」에서 언급한 조건에 맞는 교량의 설계를 위해 다음 특성을 고려해야 한다.

가. 동적안정성의 확보와 작은 처짐을 유도하여 높은 수준의 편안함과 승객의 안전을 보장해야 한다.

나. 차량 운행에 따른 공진을 가능한 한 방지할 수 있도록 하거나 공진 시 구조물 변형 안전성을 확보할 수 있어야 한다.

다. 구조물에 위험 요소가 발생할 수 있는 요인을 제한하기 위하여 교량상부구조의 경우 가급적 단일구조체로 설계하는 것으로 하고 다음 형식을 피해야 한다.

㉮ 연결부위가 취약한 구조체

㉯ 품질관리가 어려운 복잡한 구조체

㉰ 구조물 점검이 어렵고 복잡한 구조체

D. A conceptually simple type shall be applied for enhanced constructability and quality control, and efficient structure and maintenance.

E. The eco-friendly low-noise type shall be applied to minimize noise during operation, or countermeasures for noise reduction shall be sought.

(2) Characteristics of the load

① Characteristics of service load shall be based on statistical values for rational calculation and certification.

② Nominal load may be used when no statistical distribution exists.

③ The loads shall have 3 types, which are as follows.

A. Permanent load (dead load, prestressing, and permanent environmental load)

B. Variable loads regardless of frequency or semi-permanent load by vehicle or pedestrian and other loads (accidental situation except dynamic amplification shall not be included)

C. Accidental load (accidental load during train operation or by environmental factors)

(3) Requirements for operation

① Bridge shall satisfy vibration and deformation limits, in addition to the material characteristics.

② The four independent items below shall be considered.

A. Running safety

B. Passenger's ride comfort

C. Dynamic stability of the bridge

D. Track-bridge interaction

③ The following shall be satisfied when reviewing train operation requirements.

A. Train operation requirements shall be evaluated depending on train speed or wheelbase, vertical load and train characteristics.

B. Number of trains, arrangement of trainset and size shall be considered for reviewing the fatigue, particular in case of steel structure.

C. Operation load on bridge applied to static design shall be the standard train load.

D. When impact factor is included to consider dynamic impact in standard train load, horizontal effect corresponding to operation load on track shall be considered.

E. Actual train load shall be applied for dynamic analysis of the bridge.

라. 시공성과 품질관리의 용이성을 높이고, 보다 고품질의 시공 결과물과 고효율 유지관리를 위해 개념적으로 단순한 형식을 적용하도록 해야 한다.

마. 열차운행 시 소음문제를 최소화할 수 있는 환경친화적 저소음 형식을 적용하거나 그에 대한 대책을 강구해야 한다.

(2) 하중의 특성

① 작용하중의 특성치는 합리적으로 계산되어지고 공인될 수 있는 통계적인 값을 사용해야 한다.

② 통계적인 분포가 없을 경우에는 공칭하중이 사용될 수 있다.

③ 하중들은 다음의 3가지의 형태를 가진다.

가. 영구적인 작용하중(고정하중, 프리스트레싱, 영구적인 주위환경의 하중 등)

나. 빈도에 관계없이 변동성 있는 하중 또는 준영구적인 작용하중으로 차량과 보행자하중, 기타 여러 작용원인에 의한 다양한 하중들(동적인 증폭관련 외의 어떠한 우발적 사고 상황은 포함시키지 않음)

다. 우발적인 하중(열차운행 상의 우발적인 하중 또는 기타 환경적인 우발적 하중)

(3) 운행을 위한 조건

① 교량은 재료의 특성과 관계된 사항 이외에 추가적으로 진동 한계와 엄격한 변형 제한을 만족해야만 한다.

② 다음과 같은 4가지의 독립적인 항목이 반드시 고려되어야 한다.

가. 주행의 안전성

나. 승객의 승차감

다. 교량의 동적 안정성

라. 궤도-교량 간 상호작용

③ 차량 운행 조건 검토 시 다음 사항을 만족해야 한다.

가. 차량 운행에 대한 조건은 열차속도 또는 차축간격, 수직하중, 열차의 특성으로 인해 수반되는 운행 조건에 의해 평가되어야 한다.

나. 운행 조건 중에서 열차의 수, 열차의 구성과 그 크기는 특히 강구조물의 경우 피로검토를 위해서 반드시 고려되어야 한다.

다. 정적설계에 적용되는 교량에 재하되는 운행하중은 표준열차하중을 사용해야 한다.

라. 표준열차하중에 동적 충격효과를 고려하기 위한 충격계수가 포함될 때 선로의 운행하중에 상응하는 수평효과들이 고려되어야 한다.

마. 교량의 동적해석을 수행하기 위해서는 실제 열차하중이 적용되어야 한다.

(4) Track-bridge interaction

① For a simple structure which has a superstructure over two abutments or for one that has a superstructure including a single abutment or a complex continuous structure with or without a rail expansion joint (REJ), longitudinal load from continuous welded rail (CWR) is distributed complexly due to interaction with the structure. Part of such loads are transferred to another track, and bridge structure may be exposed to the following effects and shall be reviewed.

A. Track resistance to longitudinal displacement of bridge

B. Superstructure resistance to longitudinal displacement by specific bearing type that may have longitudinal stiffness, such as elastomeric bearings.

② The effect caused by the following loads causing complex horizontal behavior shall be considered.

A. Effect by different behavior of rail and structure due to temperature variation

B. Effect by horizontal load corresponding to braking and starting.

C. Effect by bridge deflection by vertical load that may cause the following:

(a) Angular displacement of deck end at bearing

(b) Longitudinal displacement of bridge superstructure

(c) Additional bending stress of rail

③ Additional loads on track shall be considered together with the characteristics of track components such as rail and fastener. In particular, stability against uplift and compression of fastener in CWR concrete track due to displacement of bridge shall be reviewed.

(5) Maintenance

① A maintenance plan shall be developed during detailed design so as to propose the minimum maintenance requirements.

② All design documents shall include considerations for maintenance and maintenance facilities.

8.1.8 Records

(1) Bridge log

① A bridge log shall be organized and maintained for the purpose of maintenance, planning and investigations.

② The bridge log shall include bridge length and width, design load (title of specification), design seismic intensity, type and embedment depth of foundation, ground condition, structure drawing of major parts, completion date and requirements for maintenance.

(4) 궤도-교량 간 상호작용

① 교량 등 선로 상부구조물이 두개의 교대에 걸쳐져 있는 단순구조 형식이거나, 또는 하나의 교대를 포함하는 상부구조를 가지거나, 혹은 레일신축이음장치(REJ)를 가지고 있거나 가지지 않는 복잡한 연속구조물인 경우 등의 모든 경우에 있어서, 장대레일에서 기인하는 교축방향 하중은 구조물과의 상호작용으로 복잡하게 분산되어진다. 이러한 하중들의 일부분은 다른 선로에 전달되어지며, 또한 교량 구조물은 다음과 같은 영향을 받을 수 있으므로 검토해야 한다.

가. 교량의 종방향 변위에 대한 궤도의 저항

나. 탄성받침 등 종방향 강성을 고려할 수 있는 특정한 형식의 받침에 의한 종방향 변위에 대한 상부구조의 저항

② 다음의 하중에 의한 영향은 복합적인 수평방향 거동을 유발하여 반드시 고려해야 한다.

가. 온도변화에 따른 레일과 구조물에서의 서로 다른 거동의 영향

나. 제동과 시동에 준용하는 수평하중의 영향

다. 다음 사항을 유도할 수 있는 수직하중에 의한 교량휨에 기인한 영향

㉮ 받침 위의 상부구조 단부각변위

㉯ 교량상부구조의 종방향 변위

㉰ 레일에서의 추가 휨응력

③ 궤도에 추가되는 하중들은 레일, 체결구 등 궤도 구성요소의 특성과 함께 고려되어야 한다. 특히, 장대레일이 부설된 콘크리트궤도에서의 교량 변위발생에 따른 체결구의 압상(Uplift) 및 압축에 대한 안정성을 검토해야 한다.

(5) 유지관리

① 유지관리를 위한 최소치인 유지관리 요구도를 제시하기 위하여 세부적인 설계과정 동안 유지관리에 대한 계획이 수립되어야 한다.

② 설계도서에는 유지관리를 위한 사전 고려사항 및 유지관리 시설이 반영되어야 한다.

8.1.8 기록

(1) 교량대장

① 교량대장은 유지관리, 금후의 계획, 각종 조사를 위하여 필요한 것으로 특별히 유의하여 정비하고 보관해야 한다.

② 교량대장에는 교량의 길이, 교량 폭, 설계하중(시방서명), 설계지진의 크기, 기초의 형식과 근입깊이, 지반조건, 주요부분의 구조도, 준공년월일, 기타 장래의 유지관리에 필요한 기재사항을 기재하여 이것을 보관해야 한다.

(2) Bridge name plate

① A bridge name plate shall be attached to the bridge.

② It shall include bridge name, total length and width, design load, construction period, authority concerned, designer, builder, supervision engineer and inspector. Details of the size and location of the plate shall be determined by the authority concerned.

8.2 Load

8.2.1 Types of loads

The following loads shall be considered in the design.

(1) Permanent load

① Dead load (self-weight)

② Secondary dead load (additional dead load)

③ Environmental load

④ Indirect service load

(2) Operation load

① Standard train load

② Impact

③ Horizontal load: Vehicular lateral load, cant effect, centrifugal load, start and brake load

(3) Other loads

① Wind load

② Temperature variation effect: Temperature variation in designing the bridge and on section, track-structure interaction

③ Longitudinal load of continuous welded rail (CWR)

④ Loads on secondary structures and equipment: maintenance access load, crowd load, platform load, guardrail load, soundproof wall, load at the bottom of support, frictional resistance load, cargo load

⑤ Other loads

(4) Special Load

① Collision load

② Derailment load

③ Erection load

④ Seismic effect

The following is the list of loads to be considered in bridge design. Design load and load combination shall be determined depending on bridge construction site and structure type, but all loads are not necessarily considered.

(2) 교명판

① 교량에는 교명판을 부착시킴을 기본으로 한다.

② 교명판에는 교량 명칭, 총연장, 교량 폭, 설계하중, 공사기간, 시행청, 설계자, 시공자, 책임감리원, 준공검사자 등을 기재해야 하며, 교량종류에 따른 교명판의 구체적인 제작요령과 부착위치는 시행청이 정한 바에 따른다.

8.2 하중

8.2.1 하중의 종류

설계에 있어서는 다음 하중을 고려한다.

(1) 영구하중

① 고정하중(자중)

② 2차 고정하중(부가되는 고정하중)

③ 환경적인 작용하중

④ 간접적인 작용하중

(2) 운행하중

① 표준열차하중

② 충격

③ 수평하중 : 차량횡하중, 캔트효과, 원심하중, 시동하중과 제동하중

(3) 기타하중

① 풍하중

② 온도변화의 영향 : 교량 설계시 온도변화, 단면에서의 온도변화율, 궤도-구조물간의 상호작용

③ 장대레일 종하중

④ 2차 구조부분, 장비, 설비 등에 작용하는 하중 : 유지보수 통로하중, 군중하중, 승강장에 재하되는 하중, 난간하중, 방음벽, 지주 하단에 작용하는 하중, 마찰저항하중, 화물하중

⑤ 기타하중

(4) 특수하중

① 충돌하중

② 탈선하중

③ 가설시의 하중

④ 지진의 영향

교량을 설계할 때 고려해야 할 하중의 종류를 모두 열거한 것인데, 가교지점의 여러 조건과 구조에 따라 하중 및 하중의 조합을 선정해야 하며 모든 하중을 모두 고려할 필요는 없다.

8.2.2 Permanent load

(1) Type of permanent load

① Dead load (self-weight)

② Secondary dead load (additional dead load)

A. Fixed facilities and equipment of superstructure

B. Removable permanent load (including ballast stone)

③ Environmental load: Earth pressure, water pressure, wave pressure and snow load

④ Indirect service load: Prestressing force, concrete creep and shrinkage, support displacement (bearing displacement, ground deformation, support movement, deformation influencing on structure)

(2) Dead load

① Dead loads include vertical load by structure self-weight and permanent members such as wall, column, partition, floor, roof, earthwork, track, ballast, pipes, signal, steel bar and wire (excluding tensile load of steel wire and catenary support) and other fixed facilities.

② Dead load is considered as the weight of the total structure. Unit weight of the materials shall be in accordance with <Table 8.2.1>

Table 8.2.1 Unit weight of the materials

Material	Unit weight (kN/m^3)	Material	Unit weight (kN/m^3)
Steel, cast steel, forged steel	77	Prestressed concrete	24.5
Mild iron	76.5	Lightweight aggregate	15 ~ 17
Cast iron	71	Mortar	21
Wood	8	Waterproof asphalt	11
Ballast (gravel or crushed stone)	19	Stone	26
Plain concrete	23	Sand, gravel, crushed stone, soil	16 ~ 20
Reinforced concrete	24.5	Coal, coal powder	10

Note : (1) Values in the Table are slightly greater than the measured mean values.

(2) Wood weight depends on age and moisture content and 8 kN/m^3 is somewhat excessive compared to usual wood, but was considered to include steel fixtures such as nail or bolt and set as <Table 8.2.1>

(3) See <Table 8.2.2.> for unit weight of soil

8.2.2 영구하중

(1) 영구하중의 종류

① 고정하중(자중)

② 2차고정하중(부가되는 고정하중)

가. 고정된 시설과 상부구조의 설비, 장치 등

나. 제거 가능한 영구하중(자갈도상 등)

③ 환경적인 작용하중 : 토압, 수압, 파압, 설하중

④ 간접적인 작용하중 : 프리스트레힘, 콘크리트 크리프의 영향, 콘크리트 건조수축의 영향, 지점변위(받침의 변위, 지반변동의 영향, 지점이동의 영향, 구조물에 영향을 미치는 변형)의 영향

(2) 고정하중

① 고정하중은 전체구조물의 자중으로 인한 수직방향 하중과 모든 영구적으로 설치되어진 부재들, 예를 들어 벽체, 기둥, 칸막이, 마루, 지붕, 토공, 선로, 도상, 각종 관, 신호기, 강봉, 강선 등(강선에 관련된 인장으로 인한 하중, 전차선로(catenary) 지지등은 제외)과 그 외 다른 고정된 시설장치를 말한다.

② 고정하중은 전체 구조물의 중량으로 다루어진다. 여러 가지 재료의 단위체적중량은 <표 8.2.1>의 값을 사용하는 것으로 한다.

표 8.2.1 재료 단위체적중량

재료	단위체적중량 (kN/m^3)	재료	단위체적중량 (kN/m^3)
강, 주강, 단강	77	프리스트레스트 콘크리트	24.5
연철	76.5	인공경량골재콘크리트	15 ~ 17
주철	71	모르타르	21
목재	8	방수용아스팔트	11
도상(자갈 또는 쇄석)	19	석재	26
무근콘크리트	23	모래, 자갈, 부순돌, 흙	16 ~ 20
철근콘크리트	24.5	석탄, 탄가루	10

주 : (1) 표에 제시된 값은 각종 측정치의 평균치보다 조금 큰 값을 취하였음.

(2) 목재의 중량은 수령과 함수비에 따라 다르고, $8kN/m^3$는 흔히 사용되는 목재에 비해 좀 과대한 편이지만 못, 꺾쇠, 볼트 등의 쇠붙이를 포함하는 것으로 보고 <표 8.2.1>의 값으로 정하였음.

(3) 흙의 단위체적중량에 대해서는 <표 8.2.2>를 참조해야 함.

(3) Secondary dead load (additional dead load)

① This includes track, waterproof, soundproof wall, signal and catenary pole. Removable secondary dead load includes ballast and cable.

② Secondary dead load of ballast and concrete track shall be quantitatively calculated, and the following values may be applied to a single track material.

A. Rail (including fastener)	1.5 kN/m
B. Sleeper: Conventional railway	4.1 kN/m
High speed railway	5.0 kN/m
C. Ballasted trackbed	19 kN/m^3
Subballast	16 kN/m^3
D. Concrete trackbed	24.5 kN/m^3
Subballast	24.5 kN/m^3

③ 30% shall be added to the weight of ballasted trackbed considering maintenance. Additional quantity by cant shall be added to curve.

④ In a steel plate girder bridge, track with sleeper shall be 7.0 kN/m (single track) and directly fastened track shall be 3.0 kN/m (single track).

⑤ The secondary dead load of wire and signal cable shall be 1.0 kN/m and trough load shall be calculated separately.

(4) Earth pressure

① Soil investigation to estimate earth pressure effect shall provide dry density, wet density, cohesion and internal frictional coefficient.

② To simplify the calculation, load effect by abutment and retaining wall in parallel with the track and continuous track behind wall shall be assumed to work uniformly as 30 kN/m^2 at the bottom of 3.5 m-wide sleeper per track, and earth pressure shall consider the unfavorable case for (1 ± 0.05) times increased or decreased earth pressure.

③ Horizontal earth pressure at normal condition

A. Lateral earth pressure on abutment, wing wall and retaining wall depend on the type of structure and soil.

(a) When the structure rigidly rotates or is pushed forward, lateral earth pressure is distributed in a triangular form. Equations that can be used to estimate the earth pressure in such a case include Coulomb's law and Rankine's theory, but as Coulomb's law showed a value similar to the test result, Coulomb's law will be used.

(b) When back plate is relatively longer, like an inverse T or buttressed wall, earth pressure is assumed to work on the virtual plane perpendicular to the back plate and lateral earth pressure in this plane shall be calculated using Rankine's theory.

(3) 2차고정하중(부가되는 고정하중)

① 2차고정하중은 궤도, 방수, 방음벽, 신호기 기둥, 전차선 지주 등을 포함한다. 제거 가능한 2차고정하중은 자갈도상, 케이블 등이 있다.

② 자갈 및 콘크리트 도상 궤도의 2차고정하중은 정량적으로 계산하여 적용하는 것으로 하며, 단선 궤도에 대한 재료의 중량은 다음 값을 사용할 수 있다.

가. 레일(체결구 포함) 1.5kN/m

나. 침목 : 일반철도용 4.1kN/m

고속철도용 5.0kN/m

다. 자갈도상 19kN/m^3

보조도상 16kN/m^3

라. 콘크리트궤도 도상 24.5kN/m^3

콘크리트궤도 보조도상 24.5kN/m^3

③ 자갈도상의 중량은 보선작업과정을 고려하여 30% 할증된 값을 사용한다. 또 곡선부에서는 캔트부설에 따른 증가량을 추가하여 사용한다.

④ 무도상 판형교에서의 경우 교량침목 부설궤도는 7kN/m(단선), 직결궤도는 3kN/m(단선)으로 한다.

⑤ 전선 및 신호케이블 등의 2차고정하중은 1kN/m로 하고 트러프하중은 별도로 계산한다.

(4) 토압

① 토압효과의 산정을 위해, 토질조사는 건조밀도, 습윤밀도, 점착력, 내부마찰계수에 대한 특성치를 제공해야 한다.

② 계산을 쉽게 하기 위해, 궤도에 수평한 교대와 옹벽의 배면의 연속 궤도에 의한 하중효과는 무한길이로 정의될 수 있는 해당 궤도 당 3.5m 폭의 침목 하부에 30kN/m^2이 균등히 작용한다고 가정해야 한다. 이때 토압은 (1±0.05)배 증감치에 대해서도 불리한 경우를 고려하여 검토해야 한다.

③ 평상시 수평토압

가. 교대, 교각, 날개벽 및 옹벽 등에 작용하는 횡방향 토압의 크기는 구조물의 종류나 토질에 따라 다르다.

㉮ 구조물이 강체로서 회전하거나 전면으로 밀려나오는 경우에는 횡방향 토압의 분포는 일반적으로 3각형 분포로 볼 수 있다. 이 경우의 토압을 구하는 공식에는 Coulomb토압공식, Rankine토압공식 등이 있지만 실내외 시험에서 Coulomb토압공식이 비교적 실험결과와 가까운 값을 보이므로 Coulomb토압공식을 사용하는 것으로 한다.

㉯ 역T형 또는 부벽식 옹벽과 같이 뒷굽판이 비교적 긴 경우에는 뒷굽판에서 연직으로 세운 가상면에 토압이 작용하는 것으로 보고 이 면에 작용하는 횡방향 토압은 Rankine토압공식으로 구해야 한다.

(c) As lateral earth pressure on a ductile structure which is vulnerable to deformation, like steel sheet pile is distributed in a complex manner, Coulomb's law shall not be used and an equation considering wall deformation shall be applied.

B. Lateral earth pressure on displaceable wall shall be estimated according to <Eq. (8.2.1)> ~ <(8.2.4)>. For the earth pressure coefficient to obtain Coulomb's earth pressure <Eq. (8.2.5)> and <(8.2.6)> shall be applied, and earth pressure shall be assumed to work in a direction perpendicular to the back face of wall and in a direction inclined as much as the wall frictional angle. Earth pressure coefficient to obtain Rankine's earth pressure shall apply <Eq. (8.2.7)> and <(8.2.8)> and earth pressure direction is assumed to be in parallel with ground surface of backfill.

(a) Active earth pressure and passive earth pressure in sandy soil:

$$p_a = K_a \gamma z + K_a q \tag{8.2.1}$$

$$p_p = K_p \gamma z + K_p q \tag{8.2.2}$$

(b) Active earth pressure and passive earth pressure in cohesive soil:

$$p_a = K_a \gamma z - 2c\sqrt{K_a} + K_a q \ \ (however,\ p_a \geq 0) \tag{8.2.3}$$

$$p_p = K_p \gamma z - 2c\sqrt{K_p} + K_p q \tag{8.2.4}$$

In <Eq. (8.2.1)> ~ < (8.2.4)>, coefficient of earth pressure shall be calculated as follows.36

(c) Coulomb earth pressure case:

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta\cos(\theta + \delta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\sin\ (\phi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta)\cos\ (\theta - \alpha)}}\right]^2} \tag{8.2.5}$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \theta)}{\cos^2\theta\cos(\theta - \delta)\left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\sin\ (\phi + \alpha)}{\cos(\theta - \delta)\cos\ (\theta - \alpha)}}\right]^2} \tag{8.2.6}$$

㈐ 강널말뚝 등과 같이 변형되기 쉬운 연성구조물에 작용하는 횡방향 토압은 복잡한 분포를 보이므로 이 경우에는 Coulomb토압을 사용해서는 안 되며, 벽체의 변형을 고려한 토압공식을 적용해야 한다.

나. 가동벽에 작용하는 횡방향 토압은 <식 (8.2.1)> ~ <식 (8.2.4)>로 구해야 한다. Coulomb토압을 구할 때의 토압계수는 <식 (8.2.5)>과 <식 (8.2.6)>을 적용하며, 토압의 작용방향은 벽배면의 직각방향과 벽면마찰각만큼 기울어진 방향으로 본다. Rankine토압을 구할 때의 토압계수는 <식 (8.2.7)>과 <식 (8.2.8)>을 적용하며, 토압의 작용방향은 뒤채움 지표면과 나란한 방향으로 본다.

㈎ 사질토에서의 주동토압과 수동토압 :

$$p_a = K_a \gamma z + K_a q \qquad (8.2.1)$$

$$p_p = K_p \gamma z + K_p q \qquad (8.2.2)$$

㈏ 점성토에서의 주동토압과 수동토압 :

$$p_a = K_a \gamma z - 2c \sqrt{K_a} + K_a q \text{(다만, } p_a \geq 0) \qquad (8.2.3)$$

$$p_p = K_p \gamma z + 2c \sqrt{K_p} + K_p q \qquad (8.2.4)$$

<식 (8.2.1)> ~ <식 (8.2.4)>에서, 토압계수는 다음과 같이 구해야 한다.

㈐ Coulomb토압의 경우 :

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \cos(\theta+\delta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\alpha)}{\cos(\theta+\delta)\cos(\theta-\alpha)}}\right]^2} \qquad (8.2.5)$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \theta)}{\cos^2\theta \cos(\theta-\delta)\left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi+\alpha)}{\cos(\theta-\delta)\cos(\theta-\alpha)}}\right]^2} \qquad (8.2.6)$$

But, in the case of $\phi \pm \alpha < 0$, $\sin(\phi \pm \alpha) = 0$

Rankine earth pressure case:

$$K_a = \cos\alpha \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}} \quad (8.2.7)$$

$$K_a = \cos\alpha \frac{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}} \quad (8.2.8)$$

where, p_a: Active earth pressure (kN/m^2) at depth z

p_p: Passive earth pressure (kN/m^2) at depth z

K_a: Coefficient of active earth pressure

K_p: Coefficient of passive earth pressure

γ: Unit weight of soil (kN/m^3)

z: Depth (m) to calculate lateral earth pressure

c: Cohesion of soil (kN/m^2)

q: Overburden pressure on ground surface (kN/m^2)

ϕ: Shear resistance angle of soil (°)

α: Ground surface to horizontal surface (°) angle

θ: Angle perpendicular to back face of wall (°)

δ: Wall frictional angle to soil (°)

C. Lateral earth pressure on fixed wall shall be calculated according to <Eq. (8.2.9)>

$$p_o = K_o \gamma z + K_o q \quad (8.2.9)$$

where, p_o : At-rest earth pressure at depth z (kN/m^2)

K_o : Coefficient of earth pressure at rest

Coefficient of earth $K_0 = 1 - \sin\phi$ pressure at rest, and depending on soil condition, rational certified empirical equation or value may be used (ϕ = internal frictional angle of soil).

D. Unit weight of soil used for calculating earth pressure shall be based on soil specimens at the site, and the value in <Table 8.2.2> may be used for approximate design.

다만, $\phi \pm \alpha < 0$ 인 경우에는 $\sin(\phi \pm \alpha) = 0$ 으로 해야 한다.

Rankine토압의 경우 :

$$K_a = \cos\alpha \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}} \qquad (8.2.7)$$

$$K_p = \cos\alpha \frac{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}} \qquad (8.2.8)$$

여기서, p_a : 깊이 z에서의 주동토압(kN/m^2)

p_p : 깊이 z에서의 수동토압(kN/m^2)

K_a : 주동토압계수

K_p : 수동토압계수

γ : 흙의 단위체적중량(kN/m^3)

z : 횡방향 토압을 구하고자 하는 깊이(m)

c : 흙의 점착력(kN/m^2)

q : 지표면 상재하중(kN/m^2)

ϕ : 흙의 전단저항각( )

α : 지표면과 수평면이 이루는 각( )

θ : 벽배면과 연직면이 이루는 각( )

δ : 벽배면과 흙 사이의 벽면마찰각( )

다. 고정벽에 작용하는 횡방향 토압은 <식 (8.2.9)>로 구해야 한다.

$$p_0 = K_0 \gamma z + K_0 q \qquad (8.2.9)$$

여기서, p_0 : 깊이 z에서의 정지토압(kN/m^2)

K_0 : 정지토압계수

정지토압계수는$K_0 = 1 - \sin\phi$ 로 구하는 것으로 하며, 토질조건에 따라 보다 합리적인 공인된 경험공식 또는 경험치를 사용할 수 있다.(ϕ=흙의 배수내부마찰각)

라. 토압의 계산에 적용하는 흙의 단위체적중량은 시공장소에서 채취한 토질시료를 이용하여 구하며, 개략설계의 경우에는 <표 8.2.2>의 값을 이용할 수도 있다.

Table 8.2.2 Unit weight of soil (kN/m³)

Type	Soil	Loose	Dense
Natural soil	Sand & sandy gravel	18	20
	Sandy soil	17	19
	Cohesive soil	14	18
Banked soil	Sand & sandy gravel	20	
	Sandy soil	19	
	Cohesive soil	18	

Note: (1) Unit weight of soil below groundwater level shall be the value in the Table minus 9.
(2) The unit weight of crushed stone shall be the same as gravel. lag and rock block shall be determined considering the type, shape, size and spacing.
(3) Sandy soil or cohesive soil mixed with gravel shall be determined considering mixing ratio and contents.
(4) With regard to surface load, when loading area is large compared to wall size such as abutment, live load q = 35 kN/m² shall be applied regardless of the bridge bearing capacity level. Horizontal earth pressure in the event of an earthquake shall be in accordance with the seismic design standard.

(5) Water pressure

① Hydrostatic pressure

A. Hydrostatic pressure shall be calculated according to <Eq. (8.2.10)>. When it is clear that water pressure in the ground of the structure does not reach the theoretical water pressure, it may be reduced to the value.

$$P_h = w_0 \cdot h \qquad (8.2.10)$$

where, P_h : Hydrostatic pressure (kN/m^2) at depth h from water surface
h : Depth from the water level (m)
w_0 : Unit weight of water (kN/m^3)

B. When abutment is installed at a location where water level is significantly variable, a difference in water level between the front side and inner side may occur. In such a case, residual water pressure caused by the difference in water levels shall be considered.

② Hydraulic force

A. Hydraulic force shall be a horizontal load on the vertical projected area of the pier to the flow direction, and shall be calculated according to <Eq. (8.2.11)>. Location where the hydraulic force is applied shall be 0.6H from riverbed.

표 8.2.2 흙의 단위체적중량(단위 : kN/m^3)

지반	토질	느슨한 경우	촘촘한 경우
자연지반	모래 및 모래질 자갈	18	20
	사질토	17	19
	점성토	14	18
성토	모래 및 모래질 자갈	20	
	사질토	19	
	점성토	18	

주 : (1) 지하수위 아래에 있는 흙의 단위체적중량은 표의 값에서 9를 뺀 값으로 해야 한다.
(2) 부순돌의 단위체적중량은 자갈과 같은 값으로 해야 한다. 또 슬래그, 암괴 등의 경우에는 종류, 형상, 크기 및 간격 등을 고려하여 정해야 한다.
(3) 자갈 섞인 사질토 또는 자갈 섞인 점성토에 있어서는 혼합비율과 상태에 따라 합리적인 값으로 해야 한다.
(4) 지표면 재하하중은 교대와 같이 벽면 치수에 비해 재하면적이 큰 경우에는 일반적으로 교량의 등급에 관계없이 활하중 q=35kN/m^2 로 볼 수 있다. 지진시 수평토압은 별도 내진설계 조항에 따른다.

(5) 수압

① 정수압

가. 정수압은 <식 (8.2.10)>에 의해 산출해야 한다. 구조물의 지반 속에 있는 부분에 작용하는 수압이 이 이론수압의 값까지 작용하지 않는 것이 확실한 경우에는 그 확실한 값까지 감소시킬 수 있다.

$$P_h = \omega_0 \cdot h \qquad (8.2.10)$$

여기서, P_h : 수면에서 h 만큼 깊은 곳의 정수압(kN/m^2)
h : 수면에서의 깊이(m)
ω_0 : 물의 단위체적중량(kN/m^3)

나. 수위의 변동이 현저한 곳에 계획된 교대의 경우, 전면의 수위와 안쪽의 수위 사이에 수위차가 생기는 수가 있다. 이와 같은 경우에는 이 수위차에 따른 잔류수압을 고려해야 한다.

② 유수압

가. 유수압은 유수방향에 대한 교각의 연직투영면적에 작용하는 수평하중으로 하고 <식 (8.2.11)>에 의해 산출해야 한다. 작용위치는 하저(河底)에서 $0.6H$로 해야 한다.

$$P = K \cdot v^2 \cdot A \qquad (8.2.11)$$

where, P : Hydraulic force (kN)

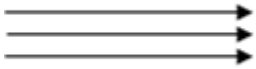
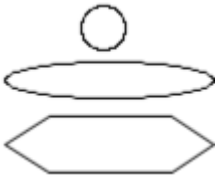
K : Factor depending on pier shape in <table 8.2.3>

v : Maximum flow velocity (m/s)

A : Vertical projected area of pier (m²)

H : water depth (m)

Table 8.2.3 Resistance coefficient depending on pier shape, K

Flow direction	End shape	Coefficient
		0.7
		0.4
		0.2
	Pier with floating debris	0.7

Note: Floating debris includes tree branch, dirt, gravel or other debris carried by water flow in torrential rain.

B. Water depth used to estimate hydraulic force when scouring effect exists shall be calculated by adding scouring depth according to the effect of substructure at normal state and expected riverbed settlement during bridge service life; in a flood, water depth shall be calculated by adding increased water level in flood and scouring depth in flood to design water depth at normal state. That is, water depth around a pier when scouring is expected shows the pattern in <Fig 8.2.1>. In such a case, total hydraulic force could be estimated using <Eq. (8.2.12)> or <Eq. (8.2.13)>.

$$P = K \cdot v^2 \cdot A \qquad (8.2.11)$$

여기서, P : 유수압(kN)

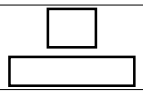
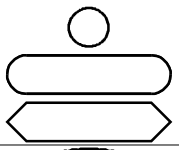
K : <표 8.2.3>에 나타낸 교각의 형상에 따라 정해지는 계수

v : 최대유속(m/s)

A : 교각의 연직투영면적(m^2)

H : 수심(m)

표 8.2.3 교각형상에 따른 저항계수, K

교각의 유수방향	단부의 형상	계수
→		0.7
→		0.4
→		0.2
	유송잡물이 집적되는 교각	0.7

주 : 유송잡물이란 집중호우 시 우수의 흐름에 의해 나뭇가지, 토사, 자갈, 유목 등이 원 지반으로부터 분리되어 이송되는 것을 말한다.

나. 세굴의 영향이 있는 경우의 유수압을 산출할 때 사용하는 수심은 평상시에는 하부구조에 의한 세굴의 영향이 없을 때의 수심에 평상시 하부구조의 영향에 의해 발생하는 세굴의 깊이와 교량의 내용기간 중에 예상되는 전반적인 하상저하량을 더한 깊이로 해야 한다. 홍수시에는 평상시의 설계수심에 홍수시 수위의 증가와 홍수시 세굴깊이를 더한 깊이로 해야 한다. 곧, 교각부근의 수심은 세굴이 있는 경우 일반적으로 <그림 8.2.1>과 같은 양상을 보인다고 생각하면 된다. 이와 같은 경우의 전유수압은 <식 (8.2.12)> 혹은 <식 (8.2.13)>으로 산출하면 된다.

$$P = K \cdot v_n^2 \cdot A = K \cdot v_n^2 \cdot \left(\frac{B_a + B_b}{2} \cdot H_n \right) \text{ (normal state)} \quad (8.2.12)$$

$$P = K \cdot v_f^2 \cdot \left(\frac{B'_a + B'_b}{2} \cdot H_f \right) \text{ or, (flood)} \quad (8.2.13)$$

where, K: resistance coefficient of pier in <Table 8.2.3>

H_n: Design water depth (m) at normal state

H: Flowing water depth at (m) at normal state

$\triangle H_d$: Expected riverbed settlement (m)

$\triangle H_{sn}$: Scouring depth (m) at normal state

H_n: Design water depth (m) in flood

$\triangle H_f$: Increased water level (m) from H in flood

$\triangle H_{sf}$: Scouring depth (m) in flood from scouring line at normal state (this will disappear after flood)

$B_a, B_{a'}$: Width (m) of the structure at a or a'

$B_b, B_{b'}$: Width (m) of the structure at b or b'

v_n : Maximum flow velocity (m/s) at normal state

v_f : Maximum flow velocity(m/s) in flood

Working location is b to $0.6H_n$ at normal state and b' to $0.6H_f$ in flood.

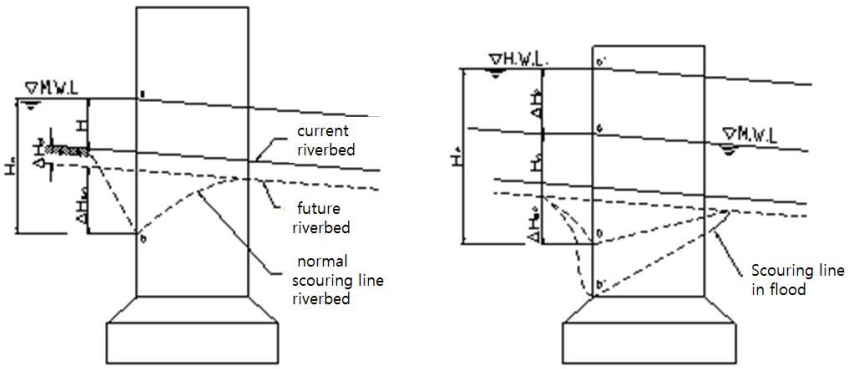


Fig. 8.2.1 Measuring the water depth around pier

C. Buoyancy or uplift pressure

(a) Buoyancy or uplift pressure is considered to be effective in the vertical direction, and the load most unfavorable to the structure shall be applied. Uplift pressure is temporary upward pressure at the structure location caused by a difference in the water level or wave between the front and rear side of the structure.

$$P = K \cdot {v_n}^2 \cdot A = K \cdot {v_n}^2 \cdot \left(\frac{B_a + B_b}{2} \cdot H_n \right) \text{(평상시)} \quad (8.2.12)$$

$$\text{혹은, } P = K \cdot {v_f}^2 \cdot \left(\frac{B_a' + B_b'}{2} \cdot H_f \right) \text{ (홍수시)} \quad (8.2.13)$$

여기서, K: <표 8.2.3>에 주어진 교각의 저항계수

H_n : 평상시의 설계수심(m)

H : 평상시 유수의 수심(m)

ΔH_d : 예상 하상 저하량(m)

ΔH_{sn} : 평상시의 세굴깊이(m)

H_f : 홍수시의 설계수심(m)

ΔH_f : 홍수시의 H에 대한 증가 수심(m)

ΔH_{sf} : 홍수시 평상시 세굴선에서의 세굴깊이(m)

(이 양은 홍수 후에는 없어진다.)

$B_a, B_{a'}$: a 또는 a'에 있어서 구체의 폭(m)

$B_b, B_{b'}$: b 또는 b'에 있어서 구체의 폭(m)

v_n : 평상시의 최대유속(m/s)

v_f : 홍수시의 최대유속(m/s)

한편, 작용위치는 평상시는b 에서 $0.6H_n$까지, 홍수시는b' 에서 $0.6H_f$의 높이가 된다.

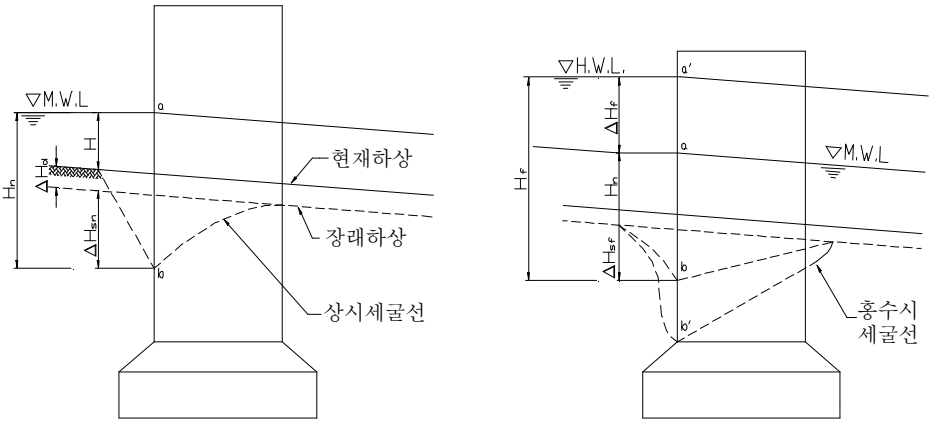


그림 8.2.1 교각부근에서 수심을 취하는 법

다. 부력 또는 양압력

㉮ 부력 또는 양압력은 연직방향으로 작용하는 것으로 하고 구조물에 가장 불리하도록 재하 시킨다. 양압력이란 구조물의 전후의 수위차 또는 파랑 등에 의한 구조물 위치에서의 일시적인 수위의 상승에 의해 생기는 상향의 힘을 말한다.

(b) <Fig. 8.2.2> shows a case with certain buoyancy or uplift and <Fig. 8.2.3> shows a case with uncertain buoyancy or uplift.

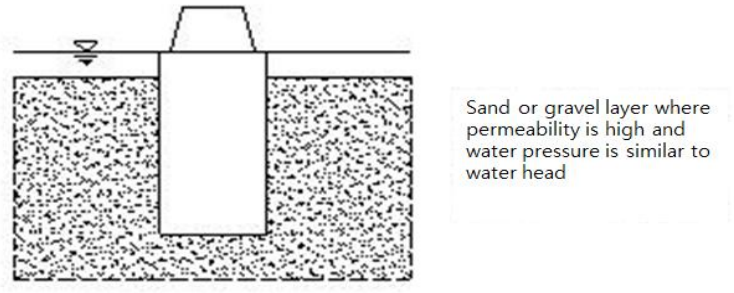


Fig. 8.2.2 When buoyancy or uplift is certain

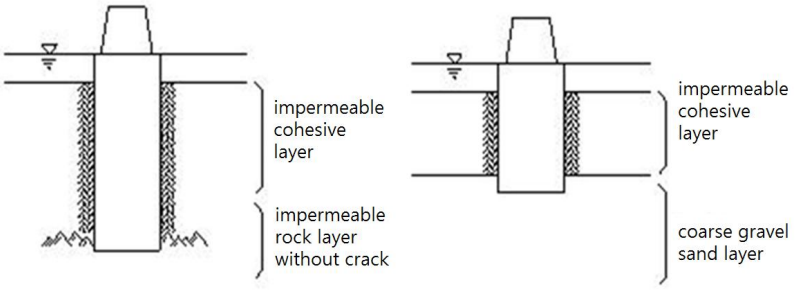


Fig. 8.2.3 When buoyancy or uplift is uncertain

(c) When buoyancy or uplift pressure is obvious, this shall be considered, and even in cases with uncertain effects, the force may be expected considering water penetration over time or structure contact condition. Hence, design shall consider buoyancy or uplift effect so as the structure to be safe. Overturn or sliding for safety check shall be considered while bearing capacity may be disregarded. Safety factor of the structure subjected to buoyancy or uplift pressure shall be at least 1.2.

(6) Wave pressure

① Wave pressure of wave breaker on vertical wall shall be estimated using <Eq. (8.2.14)>. Wave pressure is uniformly distributed from the top of $1.25H_0$ hydrostatic level to the bottom.

$$P = 1.5\omega \cdot H_0 \qquad (8.2.14)$$

where, P : Wave pressure of wave breaker (kN/m^2)

w : Unit weight of seawater (kN/m^3)

H_0 : Wave height of deep water wave (m)

㉯ 부력 또는 양압력의 작용이 확실한 경우의 예를 <그림 8.2.2>에, 확실하지 않은 경우의 예를 <그림 8.2.3>에 나타내었다.

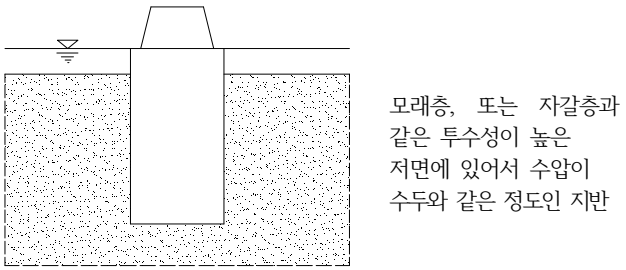


그림 8.2.2 부력 또는 양압력의 작용이 확실한 경우

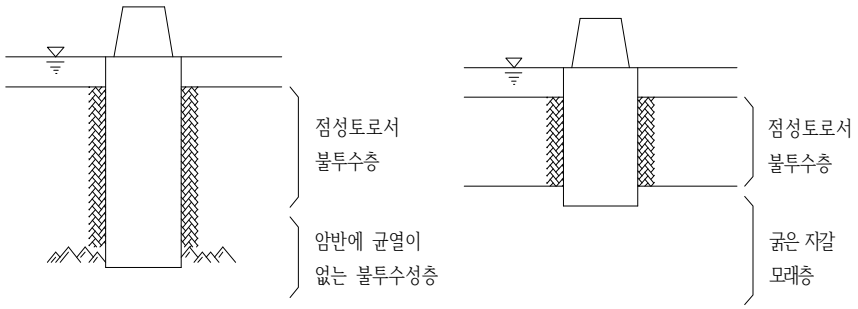


그림 8.2.3 부력 또는 양압력의 작용이 확실하지 않은 경우

㉰ 부력 또는 양압력의 작용이 확실한 경우에는 이것을 고려해야 하며, 그 작용이 확실하지 않더라도 경년적(經年的)인 물의 침투 또는 구조물의 접지상태에 따라 이 힘들의 작용을 예측할 수 있다. 따라서 설계는 안전측이 되도록 그 작용을 고려한다. 즉, 안정 계산 가운데 전도나 활동 등의 경우에는 고려하고, 지지력의 경우에는 무시하여 계산할 수 있다. 부력 또는 양압력의 작용을 받는 구조물의 안정에 대한 안전율은 1.2 이상이 되어야 한다.

(6) 파압

① 연직벽에 작용하는 쇄파의 파력은 <식 (8.2.14)>에 의해 산출한다. 파력은 정수면상 $1.25H_0$의 높이에서 해저까지 균일하게 분포한다.

$$p = 1.5\,w\,H_0 \qquad (8.2.14)$$

여기서, p : 쇄파(碎波)의 압력(kN/m^2)

w : 해수의 단위중량(kN/m^3)

H_0 : 심해파(Deep Water Wave)의 파고(m)

<Eq. (8.2.14)> is for wave pressure of wave breaker, and is applicable when water depth is double the wave height or less. When this limit is exceeded, wave shall be considered a superposed wave.

② In the case of a pier in a stream or lake, wave pressures are insignificant and disregarded, and the wave pressure caused by passing vessels is also disregarded.

(7) Snow load

Snow load shall be considered for a structure in a heavy snow area. In general 1.0 kN/m^2 shall be applied, and the details shall be according to <Eq. (8.2.15)>

$$SW = P \cdot Z_s \qquad (8.2.15)$$

where, SW: Snow load (kN/m^2)

P: Average unit weight of snow (kN/m^3)

Z_s: Design snow depth (m)

(8) Prestress force

Prestress force, when introduced to the structure, shall be considered in the design, and prestress force introduced to prestressed concrete shall be defined as follows. Further details shall be in accordance with the concrete bridge design provisions of this Code.

① Prestress force to be considered in the design is prestress force immediately after prestressing, i.e., at transfer, and effective prestress force after creep, shrinkage and PS steel relaxation. Prestress force between prestress force at transfer and effective prestress force shall also be considered as needed. Statically indeterminate force when generated from statically indeterminate structure due to prestress force shall be considered.

② Decrease in prestress force at transfer shall consider elastic deformation only in the pre-tension method, and shall consider elastic deformation of concrete, friction between PS steel and sheath, friction between anchorage device and tensioning device and slip in anchorage device in the post-tension method.

A. Decrease in tensile force of PS steel by elastic deformation of concrete in the pretension method shall be calculated by multiplying concrete stress at centroid of PS steel by the elastic modulus ratio (n) because the prestressing of all PS steel is carried out simultaneously, but in the post-tension method, prestressing is performed per cable or group by stage and tensile force of embedded PS steel varies in order, and thus the decrease shall be calculated considering the above.

<식 (8.2.14)>는 쇄파의 파력의 식이므로 수심이 파고의 2배 이하일 때에만 적용한다. 이 한계를 넘으면 작용하는 파는 중복파(重複波)로서 고려해야 한다.

② 하천이나 호수 등에 설치된 교각에 대해서는 일반적으로 수심이 얕고 파압의 영향이 작아서 무시하며, 근처를 통과하는 선박에 의한 파력을 받는 경우도 파압의 영향을 무시한다.

(7) 설하중

적설이 많은 지역에 설치하는 구조물에는 필요에 따라 설하중을 고려해야 한다. 일반적인 경우 1kN/m^2로 적용하며 상세한 산식은 <식 (8.2.15)>으로 구할 수 있다.

$$SW = P \cdot Z_s \qquad (8.2.15)$$

여기서, SW : 설하중(kN/m^2),

P : 눈의 평균단위중량(kN/m^3),

Z_s : 설계적설깊이(m)

(8) 프리스트레스 힘

구조물에 프리스트레스 힘을 도입하는 경우에는 설계에 이를 고려해야 하며, 프리스트레스트 콘크리트에 도입하는 프리스트레스 힘에 관해서는 다음과 같이 정하며 구체적인 사항은 별도 콘크리트교 설계조항에서 정하는 바에 따른다.

① 설계시에 고려해야 할 프리스트레스 힘은 프리스트레싱 직후의 프리스트레스 힘과 그 후 콘크리트의 크리프, 건조수축 및 PS강재의 릴랙세이션 등이 끝났을 때의 유효프리스트레스 힘이다. 필요에 따라서는 프리스트레싱 직후의 프리스트레스 힘과 유효프리스트레스 힘 사이의 중간의 프리스트레스 힘에 대해서도 고려해야 한다.

또 부정정구조물에서 프리스트레스 힘에 의해 부정정력이 일어나는 경우에는 이들을 고려해야 한다.

② 프리스트레싱 직후의 프리스트레스 힘의 감소는 프리텐션 방식에서는 콘크리트의 탄성변형만을 고려해야 하고, 포스트텐션 방식에서는 콘크리트의 탄성변형, PS강재와 쉬스의 마찰, 정착장치 및 긴장기구 내부의 마찰, 정착장치에서의 활동을 고려해야 한다.

가. 콘크리트의 탄성변형에 의한 PS강재의 인장력의 감소량은, 프리텐션 방식의 경우에는 배치된 PS강재 모두가 동시에 프리스트레싱되기 때문에 PS강재의 도심 위치에서의 콘크리트 응력에 탄성계수비(n)를 곱하여 산출하지만, 포스트텐션 방식의 경우에는 일반적으로 1케이블 또는 한 그룹마다 단계적으로 프리스트레싱되며 긴장단계마다 이미 정착된 PS강재의 인장력이 순차로 변해가므로 이들을 고려하여 감소량을 계산해야 한다.

B. Decrease in tensile force of PS steel by friction is mostly caused by frictional loss between sheath and PS steel, but depending on the PSC method, anchorage friction and internal friction of tensioning device shall also be considered. Frictional loss of sheath and PS steel varies significantly depending on the type of sheath and PS steel, corrosion and layout. Decreases in the tensile force of PS steel can be divided into variation of angle and effect on length.

C. Decrease in tensile force of PS steel by anchorage slip depends on the PSC method. If the screw or button anchorage are used, it may be negligible, but if the wedge anchorage is used, where the slip is relatively large, decrease in tensile force and influential range shall be checked considering the performance in the past.

③ Effective prestress force shall be calculated by considering the following factor in prestress force at transfer in 「(2)」.

A. Concrete creep Permanent load to be considered is prestress force and dead load.

B. Shrinkage of concrete

C. Relaxation of PS steel

④ Statically indeterminate force generated by effective prestress could be calculated by multiplying the statically indeterminate force at transfer by the effective factor of averaged tensile force of PS steel over the member. Statically indeterminate force immediately after prestessing depends on concrete creep, shrinkage and decrease in the tensile force of PS steel caused by relaxation. Such variation depends on the section, and accurately calculating the final statically indeterminate force requires a complex calculation process, but the result is generally smaller. Through conducting accurate calculation considering the time change only on the assumption of homogenous and isotropic concrete, it was determined that the statically indeterminate force due to variation of tensile force of PS steel was 10% of statically indeterminate force at transfer in a different direction. Assuming the effective tensile force of PS steel P_e and tensile force at transfer P_t, effective factor of each section $\eta(=P_e/P_t)$ is generally 80% ~ 85%, but the average over the member is larger than this value, and thus in general, the value calculated by multiplying statically indeterminate force at transfer by the effective factor of average tensile force of PS steel is considered the statically indeterminate force by effective prestress force, and 0.9 is considered the approximate average over the member.

나. 마찰에 의한 PS강재의 인장력의 감소는 주로 쉬스와 PS강재의 마찰손실에 의해서 생기지만 PSC공법에 따라서는 정착장치의 마찰과 긴장기구 내부의 마찰도 있기 때문에 이들에 의한 영향도 고려해야 한다. 쉬스 및 PS강재의 마찰손실은 쉬스 및 PS강재의 종류나 각각의 녹슨 정도 및 배치상태에 따라 많은 차이가 있다. 일반적으로 마찰에 의한 PS강재의 인장력 감소는 PS강재의 각변화와 길이의 영향으로 나누어 산출할 수 있다.

다. 정착장치의 활동에 의한 PS강재 인장력의 감소는 각종 PSC공법에 따라 다르다. 나사식 및 단추식의 정착방식에서는 활동이 근소하므로 무시할 수 있으나, 쐐기식의 정착방식에서는 비교적 큰 활동이 일어나므로 정착시의 활동을 과거의 실적 등으로부터 미리 가정하여 PS강재 인장력의 감소량과 그 영향범위를 검토해두어야 한다.

③ 유효프리스트레스 힘은 「⑵항」의 규정으로 산출한 프리스트레싱 직후의 프리스트레스 힘에 다음의 영향을 고려하여 산출한다.

가. 콘크리트의 크리프

이 경우에 고려하는 지속하중은 프리스트레스 힘과 고정하중이다.

나. 콘크리트의 건조수축

다. PS강재의 릴랙세이션(Relaxation)

④ 유효프리스트레스 힘에 의한 부정정력은 부재 전체에 걸쳐 평균한 PS강재 인장력의 유효계수값을 프리스트레싱 직후의 부정정력에 곱하여 산출할 수 있다. 프리스트레스 힘을 작용시킨 직후에 발생하는 부정정력은 콘크리트의 크리프, 건조수축 및 PS강재의 릴랙세이션에 의한 PS강재의 인장력의 감소에 따라 변화한다. 이 변화량은 단면에 따라 다른데 최종의 부정정력을 엄밀하게 구하자면 대단히 번잡한 계산이 필요하게 되지만 그 결과는 일반적으로 작다. 콘크리트를 균일하다고 가정하고, PS강재의 인장력의 시간적 변화만을 고려하여 엄밀한 계산을 시행한 결과에서는 PS강재 인장력의 변화에 의한 부정정력은 프리스트레싱 직후의 부정정력의 10%정도이고 방향은 다르게 나타난다. 한편, PS강재의 유효인장력을 P_e, 프리스트레싱 직후의 인장력을 P_t라 할 때, 각 단면의 유효계수$\eta(=P_e/P_t)$의 값은 일반적으로 80%~85% 정도이지만, 부재 전체에 걸친 평균값은 이것보다 큰 값이 되므로 일반적인 경우에는 위에서 기술한 부재 전체에 걸쳐 평균한 PS강재 인장력의 유효계수를 프리스트레싱 직후의 부정정력에 곱하여 유효 프리스트레스 힘에 의한 부정정력으로 본다. 또 근사적으로는 부재 전체에 걸쳐서 평균값을 0.9로 본다.

(9) Effect of concrete creep

Besides concrete members, when steel main girder and concrete deck are combined, such as in a steel composite girder bridge, concrete creep and shrinkage shall be considered.

Concrete creep shall be in accordance with 「Concrete structure design specification」.

① Creep test shall be in accordance with KS F 2453 (Concrete compressive creep test method).

② A final creep coefficient between final creep strain and immediate strain in precast concrete of 2.0 may be assumed.

③ For a cast-in-situ bridge or construction method applying the loading condition immediately after pouring, final creep coefficient may be assumed as 3.0. For instance, the coefficient of 3.0 may be applied to FCM (free cantilever method).

④ Creep in case of exposed bridge deck shall be increased by 30%.

(10) Effect of concrete shrinkage

① When estimating prestress loss, concrete shrinkage strain shall be as described in <Table 8.2.4>. Concrete shrinkage strain is in fact greater than <Table 8.2.4> but the value in this Table was determined considering the effects of axial steel in concrete.

Table 8.2.4 Concrete shrinkage strain (10^{-6})

Concrete age (days) when prestressing	4-5	28	90	365
Shrinkage strain	270	200	140	70

<Table 8.2.4> shows the value in standard outdoor conditions, RH 70 ~ 75%, steam curing, equivalent member thickness of 130 mm. Outdoor means the member is exposed to ambient air and indoor means member is isolated from ambient air.

② When calculating statically indeterminate force, concrete shrinkage strain is 150 × 10-6. But when axial steel is less than 0.5% of the concrete sectional area, it is 200 × 10-6. Since concrete shrinkage strain needs to be applied considering steel area and concrete creep, a value less than concrete shrinkage strain itself is used.

③ Lightweight concrete shrinkage shall be determined considering shrinkage strain of lightweight aggregate.

(9) 콘크리트의 크리프의 영향

콘크리트부재 외에 강합성거더교와 같이 강재 주거더와 콘크리트 바닥판이 합성된 경우에 대해서는 콘크리트의 크리프와 건조수축의 영향을 고려해야 한다.

① 콘크리트 크리프는 「콘크리트 구조설계기준」을 따른다.

② 크리프에 대한 실험은 KS F 2453(콘크리트의 압축 크리프 시험방법)에 따라야 한다.

③ 프리케스트 콘크리트에서는 최종 크리프 변형과 즉시변형 사이의 최종 크리프 계수는 2로 가정할 수 있다.

④ 현장타설 공법을 적용한 교량 또는 타설한 직후 중량의 하중재하조건이 부여되는 시공 방법을 적용한 경우는 최종 크리프 계수는 3으로 가정될 수 있다. 예를 들면 FCM(Free Cantilever Method)공법이 적용되는 경우 이 계수를 3으로 적용할 수 있다.

⑤ 크리프 값은 노출되는 교량상부구조와 같은 조건의 경우 30% 증가된 값을 적용해야 한다.

(10) 콘크리트의 건조수축의 영향

① 프리스트레스 손실량 산정시 콘크리트의 건조수축 변형률은 <표 8.2.4>의 값을 사용하도록 한다. 콘크리트의 건조수축 변형률의 크기는 <표 8.2.4>의 값보다 실제 더 큰 값을 나타내지만 이 표의 값은 콘크리트 내에 배치되어 있는 축방향 강재량에 의한 영향을 어느 정도 고려하여 정한 것이다.

표 8.2.4 콘크리트의 건조수축 변형률(10^{-6})

프리스트레스를 도입할 때 콘크리트의 재령(일)	4-5	28	90	365
건조수축 변형률	270	200	140	70

<표 8.2.4>는 상대습도 70-75%, 증기양생, 등가 부재두께 130mm 등의 표준조건에 해당하는 옥외의 경우에 대해 나타낸 값이다. 옥외의 경우라는 것은 부재가 외기에 접촉하는 상태이고, 옥내의 경우라는 것은 외기와 차단되는 상태를 의미한다.

② 콘크리트의 건조수축에 의한 부정정력을 계산할 때 콘크리트의 건조수축 변형률은 150×10^{-6}으로 한다. 다만, 축방향 강재량이 부재의 콘크리트 단면적의 0.5% 미만인 경우에는 200×10^{-6}으로 한다. 이때 구조물에 배치되어 있는 강재량, 콘크리트의 크리프 등을 고려하여 콘크리트의 건조수축 변형률을 적용하는 것이 바람직하므로 콘크리트 그 자체의 건조수축 변형률보다 작은 값을 사용한다.

③ 경량 콘크리트의 건조수축 변형률은 콘크리트에 배합된 경량골재의 건조수축 변형률을 고려하여 정해야 한다.

④ Shrinkage strain shall be as follows.

A. RC structure 15×10^{-5}

B. Rahmen structure 15×10^{-5}

C. Arch structure 20×10^{-5}

(11) Effect of support displacement

① Support displacement includes bearing displacement, sliding, soil settlement and foundation rotation and horizontal displacement.

② Soil settlement could be estimated by soil investigation, soil parameter or liquefaction risk by earthquake.

③ Superstructure and substructure design shall be carried out in consideration of soil settlement, support displacement and sliding of a specific pier at a time and on variable soil conditions.

④ For homogeneous soil, 5.0 mm settlement shall be applied.

⑤ Varied concrete elastic modulus (long-term elastic modulus) shall be considered in support displacement.

⑥ Effect on substructure by ground deformation

When ground deformation through consolidated settlement of the foundation is expected after the substructure is completed, such effect shall be considered. Ground deformation includes the following cases.

A. Consolidation settlement of the ground around foundation

B. Lateral sliding of soft ground by backfill/filling

C. Stream flow, scouring by wave, decline of riverbed

⑦ Effect of support displacement with respect to superstructure

A. When designing the superstructure, differential settlement of substructures such as adjacent piers and abutments shall be considered, and in the case of a concrete substructure, a long-term elastic modulus considering creep and shrinkage shall be applied.

B. In statically indeterminate structures such as continuous beam or rahmen structure or pier, increase in member stress caused by settlement, horizontal movement or rotation shall be considered by estimating the sectional force based on predicted final movement. Sectional force may be in accordance with elastic calculation.

C. Stress on a concrete bridge becomes very small due to concrete creep. Stress based on creep coefficient $\varphi = 2.0$ will be 50% of the stress determined by elastic calculation. Thus, when calculating without considering creep, the required strength is 50% of the calculation value.

D. When no creep occurs on a steel bridge, sectional force by elastic calculation shall be required strength.

④ 건조수축 변형률은 다음 값을 따른다.

가. 철근콘크리트 구조물 15×10^{-5}

나. 라멘구조물 15×10^{-5}

다. 아치구조물 20×10^{-5}

(11) 지점변위의 영향

① 지점변위는 받침의 변위, 지점이동의 영향, 지반침하와 기초회전 각변위, 수평변위 등으로 발생하는 변위이다.

② 지반침하는 토질조사로부터 토질 정수 등의 특성치 값과 지진으로 인한 액상화의 위험도로부터 추정할 수 있다.

③ 상부구조와 하부구조의 설계는 여러 변화하는 토질조건을 가지는 어느 구역의 정해진 시간에 어느 하나의 교각에 대한 지반침하들과 받침의 전위, 지점이동의 영향 등을 고려하여 수행해야 한다.

④ 균질의 흙의 경우 5mm의 지반침하가 적용되어야 한다.

⑤ 지점변위의 영향에서는 변화된 콘크리트 탄성계수(장기탄성계수)가 고려되어야 한다.

⑥ 하부구조에 대한 지반변동의 영향

하부구조 완성 후 기초지반의 압밀침하 등에 의해 지반 변동이 예상되는 경우에는 그 영향을 고려한다. 지반변동의 예는 다음과 같다.

가. 기초주변지반의 압밀침하

나. 배면성토에 의한 연약지반의 측방유동

다. 하천의 흐름, 파랑에 의한 세굴, 하상저하

⑦ 상부구조에 대한 지점이동의 영향

가. 교각, 교대 등의 모든 하부구조는 인접 교각이나 교대간의 부등침하를 고려하여 상부구조 설계 시 고려해야 하며, 이때 하부구조가 콘크리트구조일 경우 크리프, 건조수축 등을 고려한 장기탄성계수를 적용해야 한다.

나. 연속보나 라멘구조, 교각과 같은 부정정 구조물에서는 지반의 부등침하 등으로 인하여 생기는 기초구조물의 침하, 수평이동, 회전 등에 따라 부재응력이 증가되는 곳이 생기므로 이들 영향을 고려해야 할 경우에는 최종 이동량을 추정하여 단면력을 산정해야 한다. 단면력의 산정은 탄성계산에 따르면 된다.

다. 콘크리트교에서는 콘크리트의 크리프 영향에 따라 그 응력은 상당히 작게 되어 크리프계수 ϕ=2.0의 경우 탄성계산에 의한 값의 50% 정도로 된다. 따라서 크리프의 영향을 고려하지 않고 계산하는 경우에는 계산치의 50%를 소요강도로 보면 된다. 그러나 처음부터 크리프의 영향을 고려하여 엄밀하게 계산할 경우에는 그렇지 않다.

라. 강교에서는 콘크리트교와 같은 크리프현상은 없으므로 탄성계산으로 구한 단면력을 그대로 소요강도로 해야 한다.

E. In a rahmen structure which has short piers compared to the girder length, significant stress may occur due to support movement or rotation, which requires careful consideration. Allowable stress against support movement shall not be increased.

8.2.3 Operation load

(1) Standard train load

① KRL-2012 standard train load diagram

A. Railroad structure for passenger-cargo shall be designed to bear the load in the following KRL-2012 standard train load.

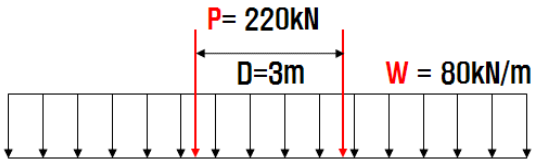


Fig. 8.2.4 KRL-2012 standard train load diagram (passenger-cargo)

B. But for passenger only high speed trains, it shall be designed to bear 75% of KRL-2012 standard train load.

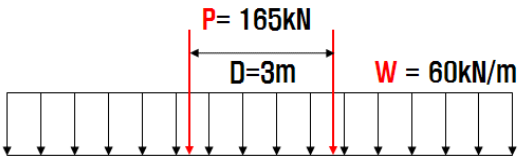


Fig. 8.2.5 KRL-2012 Standard train load for passenger only train

C. KRL-2012 standard train load shall be applied to each track of structures with one or two tracks, but structures with more than two tracks shall apply one of the following, whichever is less favorable.

(a) KRL-2012 standard train load is imposed on two tracks, 50% on third track and no load on other remaining tracks.

(b) 75% of KRL-2012 standard train load on all tracks

② KRL-2012 standard train load eccentricity

Eccentricity of vertical load shall be considered.

마. 교각의 길이가 보의 길이에 비하여 아주 짧은 라멘구조에서는 지점의 이동 및 회전에 따라 큰 응력이 생기는 곳도 있으므로 특히 유의해야 한다. 또 지점 이동의 영향에 대한 허용응력은 증가시키지 않는다.

8.2.3 운행하중

(1) 표준열차하중

① KRL-2012 표준열차하중 재하도

가. 여객, 화물 혼용 구간의 철도 구조물은 다음 KRL-2012 표준열차하중 재하도에 나타낸 하중을 견디도록 설계되어야 한다.

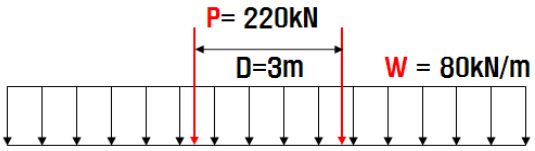


그림 8.2.4 KRL-2012 표준열차하중도 (여객, 화물 혼용선)

나. 단, 고속열차만 운행하는 여객전용선의 경우에는 KRL-2012 표준열차하중의 75%를 적용한 KRL-2012 여객전용 표준열차하중 재하도에 나타낸 하중을 견디도록 설계한다.

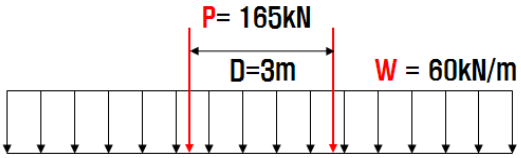


그림 8.2.5 KRL-2012 여객전용 표준열차하중도

다. 하나 혹은 두개의 궤도를 가지는 구조물은 각각의 궤도에 KRL-2012 표준열차하중이 적용되어지며 두 개 이상의 궤도를 가지는 구조물은 다음 두 경우 중 불리한 조건을 적용하여 검토해야 한다.

㉮ 두개의 궤도에는 KRL-2012 표준열차하중을 전부 재하하고 세 번째 궤도에는 KRL-2012 표준열차하중 50%, 나머지 궤도에는 비 재하

㉯ 모든 궤도에 KRL-2012 표준열차하중의 75%를 재하

② KRL-2012 표준열차하중 편심

수직하중의 편심은 고려되어야 한다.

③ Transfer of KRL-2012 standard train load to the structure

KRL-2012 standard train load shall be distributed through the sleeper and rail, both in ballasted and in non-ballasted track.

④ KRL-2012 standard train load when reviewing fatigue effect

When reviewing the effect of fatigue, the member supporting the single track shall be based on stress of single track load, and a double track shall be also reviewed under the single track load. But when simultaneous loading is likely, simultaneous loading shall also be considered in the light of the probability of simultaneous loading.

⑤ KRL-2012 standard train load when reviewing the wind effect

Empty train load when reviewing the bridge overturn by wind shall be based on a uniform load 16 kN/m per track without impact.

$$P = \frac{250}{1.6 \times a1} \text{ (kN)} \qquad P = \frac{250}{1.6 \times 2 \times a2} \text{ (kN)}$$

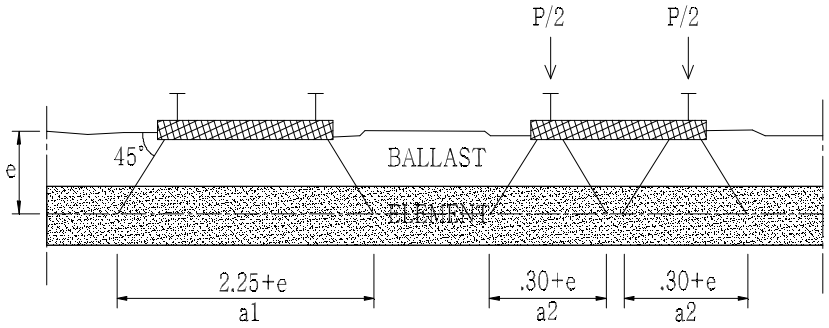


Fig. 8.2.6 Lateral load distribution

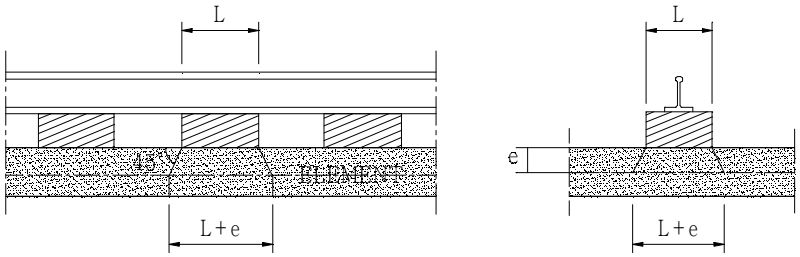


Fig. 8.2.7 Load distribution of concrete track

(2) EL standard train load diagram

For the line of electric rail train only, EL-18 standard train load shall be applied. For the track only for specific vehicles, standard train load may be determined considering the weight and travel frequency of the specific vehicle only.

③ 구조물에 대한 KRL-2012 표준열차하중의 전달

도상구조물이나 비 도상구조물 모두 침목과 레일로 인한 KRL-2012 표준열차하중의 분산이 고려되어야 한다.

④ 피로의 영향을 검토할 때의 KRL-2012 표준열차하중

피로의 영향을 검토할 때는 단선을 지지하는 부재는 단선재하의 응력으로, 복선의 경우에도 단선재하의 상태에서 검토한다. 다만 동시재하 가능성이 높은 경우에는 동시재하 확률을 고려하여 검토한다.

⑤ 바람의 영향을 검토할 때의 KRL-2012 표준열차하중

바람에 의한 교량의 전도에 대한 검토에서 공차하중을 사용할 때는 1궤도당 16kN/m의 등분포하중으로 하고 충격은 가산하지 않는다.

$$P = \frac{250}{1.6 \times a1} \ (\mathrm{kN}) \qquad P = \frac{250}{1.6 \times 2 \times a2} \ (\mathrm{kN})$$

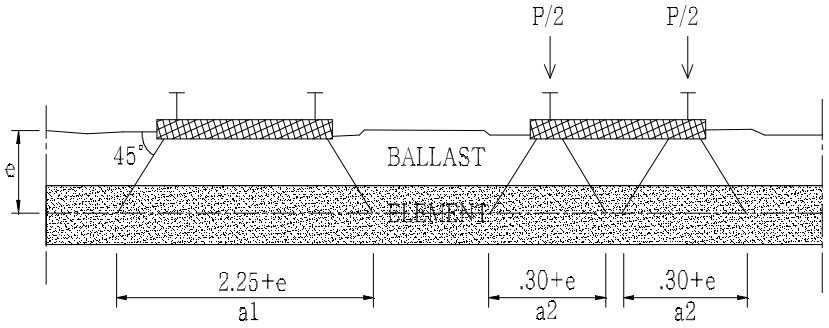


그림 8.2.6 횡방향하중분포도

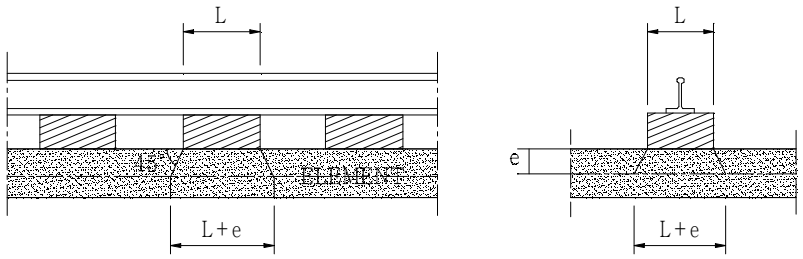


그림 8.2.7 콘크리트 도상 경우의 하중 분포도

(2) EL 표준열차하중 재하도

전동차 전용선인 경우에는 EL-18 표준열차하중을 적용한다. 그러나 특정차량만을 운전하는 선로에서는 그 차량의 중량 및 통과빈도 등을 고려하여 표준열차하중을 정할 수 있다.

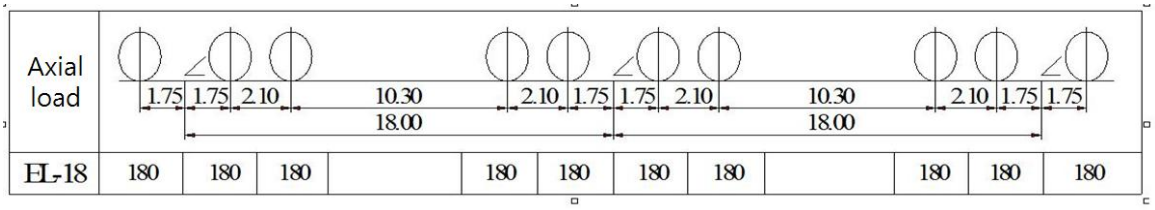


Fig. 8.2.8 EL standard train load (kN/m)

① Loading method

Standard train load on a double track shall be imposed in the same direction. For 3 tracks, standard train load for a double track shall be imposed on two tracks and 1/2 load on the other track. For 4 tracks, standard train load for a double track shall be imposed on two tracks, 1/2 load on another track and 1/4 load for the other track.

② Standard train load when reviewing the fatigue effect

When reviewing the effect of fatigue, the member supporting the single track shall be based on stress of single track load and a double track shall be reviewed under the single track load. But when simultaneous loading is likely, simultaneous loading shall also be considered in the light of the probability of simultaneous loading.

③ Standard train load when reviewing the wind effect

The empty train load when reviewing the bridge overturn by wind shall be based on uniform load 16 kN/m per track without impact.

(3) Dynamic effect for standard train load (impact factor)

① Impact factor

A. HL standard train load shall include dynamic impact which multiplies the load by impact factor.

B. Impact factor is calculated by vibration effect of the structure and dynamic amplification of the stress, but resonance effect and excessive vibration are excluded and the effect shall be reviewed through a separate analysis.

C. Impact factor shall have the same value in RC, prestress concrete, steel structure and composite structure.

D. Impact factor shall be dependent on the characteristic length L_c of the structure (m), which are as described in <Table 8.2.5>.

E. Unless the track condition is very poor, impact factor shall be calculated according to <Eq. (8.2.16)>.

$$I_m = \frac{1.44}{\sqrt{L_c} - 0.2} - 0.18 \qquad (8.2.16)$$

where, $0 < I_m \leq 0.67$

F. The loads to which impact factor is considered shall be applied to the design below.

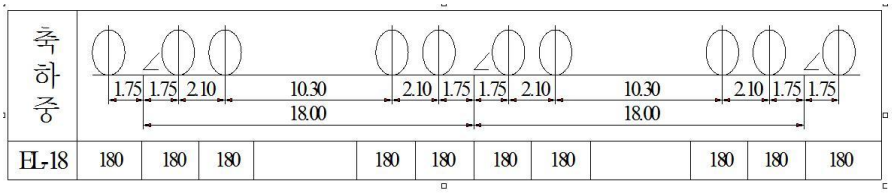


그림 8.2.8 EL표준열차하중(단위:kN/m)

① 하중의 재하방법

복선의 표준열차하중은 복선을 같은 방향으로 재하하고 3선의 경우 복선하중과 나머지 1선은 1/2하중을 재하한다. 4선의 경우에는 복선하중과 1선은 1/2하중으로 나머지 1선은 1/4하중을 재하한다.

② 피로의 영향을 검토할 때의 표준열차하중

피로의 영향을 검토할 때는 단선을 지지하는 부재는 단선재하의 응력으로, 복선의 경우에도 단선재하의 상태에서 검토한다. 다만 동시재하 가능성이 높은 경우에는 동시재하 확률을 고려하여 검토한다.

③ 바람의 영향을 검토할 때의 표준열차하중

바람에 의한 교량의 전도에 대한 검토에서 공차하중을 사용할 때는 1궤도당 16kN/m의 등분포하중으로 하고 충격은 가산하지 않는다.

(3) 표준열차하중에 대한 동적 효과(충격계수)

① 충격계수

가. HL 표준열차하중은 충격계수에 의한 하중이 곱해지는 동적 충격효과를 포함해야 한다.

나. 충격계수는 구조물의 진동효과와 응력의 동적확대로 산정되어진다. 그러나 공명효과와 상부구조에서 초과 진동은 이 값에서 고려되지 않으며 그 효과는 별도 해석으로 검토되어야 한다.

다. 충격계수는 철근콘크리트, 프리스트레스 콘크리트와 강구조 또는 합성구조물에서 동일한 값을 갖는다.

라. 충격계수의 값은 구조물의 길이 특성치L_c(m)에 의존해야 한다. L_c(m)의 크기는 <표 8.2.5>을 따른다.

마. 선로의 유지상태가 매우 불량한 경우를 제외하고는 <식 (8.2.16)>으로 충격계수를 계산하여 적용한다.

$$I_m = \frac{1.44}{\sqrt{L_c} - 0.2} - 0.18 \qquad (8.2.16)$$

여기서, $0 < I_m \leq 0.67$

바. 충격계수가 적용된 하중은 다음과 같은 부분의 설계에 적용해야 한다.

Table 8.2.5 Characteristic length L_c of the structure to estimate the impact factor

No	Bridge or member type	L_c
	Deck slab	
1	Rail Bearer	Transverse spacing +3.0 m
2	Transverse girder loaded by simply supported rail bearer	Twice the transverse girder spacing +3.0 m
3	Transverse girder loaded by continuous deck slab	Main girder span or two times of transverse spacing span, whichever is less
4	End transverse spacing	4.0 m
5	Deck slab	Value corresponding to 1-4 of this table in each main span direction
6	Cantilever transverse spacing	Value corresponding to transverse spacing (No. 2-4 of this table)
7	Cantilever rail bearer	0.50 m
8	Suspension bar or support loaded by transverse spacing only	Value corresponding to transverse spacing (No 2-4)
9	Box Girder Overhang	2 x overhang width
10	Box girder slab	Distance between webs
	Main girder	
11	Girder: On 2 support points	Main girder span
12	Girder: Continuous over n number of spans	Lc: 2 span: 1.2; 3 span: 1.3; 4 span: 1.4; 5 span: 1.5
	$L_m = \frac{1}{n}(L_1 + L_2 \cdots + L_n)$	$\times L_m$ (min L_{max})
13	Cantilever/ Suspended span bridge: Cantilever girder	Girder span
14	Cantilever/ Suspended span bridge: Suspended girder	Span of suspended girder
15	Arch	Half of the span
16	For beam and joint when sleeper is directly on main girder	Main girder's L_c
17	L_c of bridge member is applied to the members including steel column, support frame, transverse girder, connection joint, bearing, anchor and bed stone and between bed stone and brick and bearer.	
18	When total stress of members is the sum of some items, in the equation of the support function such as deck slab or rail bearer, if the section is considered in main girder calculation, each of the items of total stress shall be calculated using span L_c (excluding 4 & 14) and considering dynamic factor of Carrying Function.	

표 8.2.5 충격계수 산정을 위한 구조물 길이 특성치 L_c

<table>
<tr><th>번호</th><th colspan="2">교량 부재, 교량 유형</th><th colspan="6">L_c</th></tr>
<tr><td colspan="9">바닥 부재</td></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">레일베어러(Rail Bearer)</td><td colspan="6">가로거더 간격 + 3.0 m</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">단순 지지된 레일베어러에 의해 재하된 가로거더</td><td colspan="6">가로거더 간격의 2배 + 3.0 m</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">연속 상판 부재에 의해 재하된 가로거더</td><td colspan="6">주거더의 지간 또는 가로거더 지간의 2배 중 작은 값</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="2">단부 가로거더</td><td colspan="6">4.0 m</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="2">상판 슬라브</td><td colspan="6">각각의 주 지간 방향에 대하여 번호 1-4에 해당하는 값</td></tr>
<tr><td>6</td><td colspan="2">캔틸레버로 된 가로거더</td><td colspan="6">가로거더에 해당하는 값 (번호 2-4)</td></tr>
<tr><td>7</td><td colspan="2">캔틸레버로 된 레일베어러</td><td colspan="6">0.50m</td></tr>
<tr><td>8</td><td colspan="2">오직 가로거더에 의해서만 재하된 서스펜션 바(Suspension Bars) 또는 지지(Supports)</td><td colspan="6">가로거더에 해당하는 값 (번호 2-4)</td></tr>
<tr><td>9</td><td colspan="2">박스거더 돌출(Box Girder Overhang)</td><td colspan="6">2 × 돌출 폭</td></tr>
<tr><td>10</td><td colspan="2">박스거더 슬라브</td><td colspan="6">복부 사이 거리</td></tr>
<tr><td colspan="9">주거더</td></tr>
<tr><td>11</td><td rowspan="3">거더</td><td>2개 지지점 위에서</td><td colspan="6">주거더의 지간</td></tr>
<tr><td>12</td><td rowspan="2">n개 지간에 걸쳐서 연속
$L_m = \frac{1}{n}(L_1 + L_2 ... + L_n)$</td><td></td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>지간</td></tr>
<tr><td></td><td>L_c</td><td>1.2</td><td>1.3</td><td>1.4</td><td>1.5</td><td>× L_m
(최소 L_{max})</td></tr>
<tr><td>13</td><td rowspan="2">캔틸레버/ 현수(Suspended) 지간 교량</td><td>캔틸레버 거더</td><td colspan="6">거더의 지간</td></tr>
<tr><td>14</td><td>현수 거더</td><td colspan="6">현수 거더의 지간</td></tr>
<tr><td>15</td><td colspan="2">아 치</td><td colspan="6">지간 절반</td></tr>
<tr><td>16</td><td colspan="2">주거더 위에 침목을 바로 놓는 경우, 보와 이음매에 대하여</td><td colspan="6">주거더의 L_c</td></tr>
<tr><td>17</td><td colspan="8">교량 부재의 L_c는 강기둥, 지지 뼈대(Support Frame), 가로보, 연결 조인트, 받침, 앵커, 주춧돌(Bed Stone) 등과 같은 부재들과 주춧돌과 벽돌 사이 및 받침 아래의 압력의 지지에 적용된다.</td></tr>
<tr><td>18</td><td colspan="8">부재에서의 총 응력이 몇 몇 항들의 합인 경우, 각 상응하는 지지 함수, 즉, 상판 슬라브 또는 레일베어러 경우의 방정식은 만약, 그 단면이 주거더의 계산에 고려된다면, 총 응력의 각 항은 상응하는 특성치 지간 L_c를 사용하여(4, 14번은 제외), 문제에 있어서의 운반 함수(Carrying Function)에 대한 동적 인자를 고려하여 계산되어야 한다.</td></tr>
</table>

(a) This must be applied to the superstructure, steel or concrete column, rahmen structure column and main foundation.

(b) Concrete or steel pile above the ground level, which is directly connected to superstructure or continuous structure.

G. Impact load shall not be applied to the following structures.

(a) Abutment, retaining wall, wall foundation and pile foundation, pile bent

(b) Foundation and ground and foundation slab in tunnel

(c) Sidewalk

② Dynamic analysis under actual train load

A. When design speed is greater than 200 km/h, dynamic analysis under actual train load shall be carried out necessarily.

B. Dynamic amplification factor shall be as described in <Eq. (8.2.17)>.

$$I_r = \max\left[\frac{z_{dn}}{z_{stat}}\right] \quad \text{for} \quad 0 < s \le s_{\max} \tag{8.2.17}$$

where, z_{dyun} : Maximum deflection when dynamically applying actual train load.

z_{stat} : Maximum deflection when statically applying actual train load.

③ When there is 1.0 m-deep or more cover soil on structure in rahmen or arch bridge, the value shall be reduced according to <Eq. (8.2.18)>.

$$i = i_0 - 0.1(H_c - 1.0) \ge 0 \tag{8.2.18}$$

where, i: Impact factor of structure

i_o: Impact factor when no cover soil is considered

H_c: Height of cover soil from the top of structure to the top of sleeper (m)

④ Impact by standard train load may not be considered in the reaction of the superstructure used for substructure design. But impact shall be considered in support, concrete, steel or steel composite column type pier or similar lightweight substructure.

A. When the stress or deformation calculated by actual train load according to <Eq. (8.2.18)> is greater than the value calculated by HL standard train load using impact factor from 「(1)」, the stress or deformation calculated by actual train load according to <Eq. (8.2.18)> shall be applied.

B. Dynamic impact, as same as 20% of dead load shall be applied to overhanging slab that has a bow-shaped convex section.

㉮ 상부구조, 강재 또는 콘크리트로 지지하는 기둥, 라멘구조의 기둥, 그리고 일반적으로 일부 주 기초에 까지 이르는 구조부분도 확장 적용해야 할 필요가 있다.

㉯ 콘크리트 또는 강파일의 지반선위의 부분으로서 상부구조와 직접 연결된 강결형식이나 연속형식의 구조

사. 충격하중은 다음의 구조물에는 적용하지 않는다.

㉮ 교대, 옹벽, 벽식 기초, 그리고 말뚝기초나 가구

㉯ 기초와 지반, 터널안의 기초 바닥 슬래브

㉰ 보도부

② 실제 열차하중 하에서의 동적 해석

가. 설계속도가 200km/h보다 클 경우, 실제 열차하중에 의한 특별한 동적해석이 필수적으로 수행되어야한다.

나. 실제 동적 증폭계수는 <식 (8.2.17)>과 같다.

$$I_r = \max\left[\frac{z_{dyn}}{z_{stat}}\right] \quad \text{for} \quad 0 < s \le s_{\max} \qquad (8.2.17)$$

여기서, z_{dyn} : 실제 열차하중을 동적 재하 해석하였을 때의 최대 처짐량

z_{stat} : 실제 열차하중을 정적하중으로 재하 해석하였을 때의 최대 처짐량

③ 라멘교 및 아치교 등에서 구조물의 상면에 흙이 1m 이상 덮어져 있는 경우의 값은 <식 (8.2.18)>에 따라 저감하여 적용한다.

$$i = i_0 - 0.1\,(H_c - 1.0) \ge 0 \qquad (8.2.18)$$

여기서, i : 구조물의 충격계수

i_o : 구조물에 복토가 없다고 보았을 때의 충격계수

H_c : 구조물 상면에서 침목상단까지의 복토 높이(m)

④ 하부구조의 설계에 사용하는 상부구조 반력에는 표준열차하중에 의한 충격을 고려하지 않아도 된다. 그러나 받침부나 콘크리트, 강재 그리고 강합성으로 된 기둥형의 교각 또는 이와 유사한 경량의 구체로 된 하부구조의 구체부분에는 충격을 고려해야 한다.

가. <식 (8.2.18)>에 의해 실제 열차하중으로 계산된 구조물의 응력이나 변형량이 「(1)항」의 방법으로 계산된 충격계수를 사용하여 HL 표준열차하중에 의해 계산된 값들보다 크게 되는 경우에는 구조물의 응력이나 변형치를 <식 (8.2.18)>로 계산한 실제 열차하중에 의한 값으로 적용해야 한다.

나. 활모양으로 불룩한 단면의 상판 내민 슬래브에서는 고정하중에서 20%의 동적 충격을 적용하여 계산해야 한다.

(4) Lateral vehicular load

① KRL-2012 lateral load of standard train load

A. Lateral vehicular load shall be considered as acting as a concentrated load on rail surface perpendicular to track center, and is applied to both straight and curved tracks.

B. Lateral vehicular load to KRL-2012 standard train load shall be set as Q = 100 kN and shall not be multiplied by impact factor and centrifugal force reduction coefficient. In a structure supporting more than double tracks, lateral vehicular load on a single track only shall be considered.

C. Lateral vehicular load on structural member that directly contacts rail fastener (when non-ballasted track is used) shall be considered, and non-ballasted track on bridge shall not be considered. But slab track (concrete trackbed) shall be considered.

② Lateral vehicular load for EL standard train load

A. Lateral vehicular load for EL standard train load shall be considered as entrained concentrated moving load, and will work horizontally at rail height perpendicular to bridge. The Q shall be 20% of EL axle load.

B. For a structure supporting more than double tracks, lateral vehicular load on a single track only shall be considered.

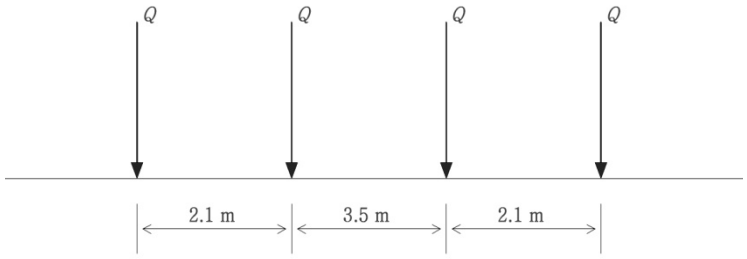


Fig. 8.2.9 Lateral vehicular load of EL standard train load

(5) Cant effect

① Cant effect shall be considered for the structure with a curved track, and such effect shall be considered to move the train center laterally.

② The following two cases shall be considered in applying the cant effect.

A. Train at stop state

B. Train in operation: Centrifugal load shall be considered.

(4) 차량횡하중

① KRL-2012 표준열차하중의 차량횡하중

가. 차량횡하중은 궤도중심선과 직각을 이룬 레일의 윗면에 수평하게 집중하중으로 작용하는 것으로 하며, 직선과 곡선 궤도 모두 적용한다.

나. KRL-2012 표준열차하중에 대한 차량횡하중의 크기는 Q=100kN으로 정하며, 충격계수 및 원심력 감소계수와 곱해서 적용하지 않는다. 복선 이상의 선로를 지지하는 구조물인 경우, 차량횡하중은 1궤도에 대한 것만을 고려하는 것으로 한다.

다. 차량횡하중은 레일체결장치와 직접적으로 접촉하는 구조 부재(콘크리트도상이 사용되어질 때)에 고려하며, 자갈도상을 가지는 교량상부의 설계에는 고려하지 않는다. 그러나 콘크리트도상인 경우에는 고려되어야 한다.

② EL 표준열차하중의 차량횡하중

가. EL 표준열차하중에 대한 차량횡하중은 <그림 8.2.9>와 같이 연행집중이동하중으로 하고, 레일면의 높이에서 교축에 직각이고 수평으로 작용하는 것으로 한다. 그 크기 Q는 EL하중 축중의 20%로 값으로 한다.

나. 복선 이상의 선로를 지지하는 구조물인 경우, 차량횡하중은 1궤도에 대한 것만을 고려하는 것으로 한다.

다. 차량횡하중은 레일체결장치와 직접적으로 접촉하는 구조 부재(콘크리트도상이 사용되어질 때)에 고려하며, 자갈도상을 가지는 교량상부의 설계에는 고려하지 않는다. 그러나 콘크리트도상인 경우에는 고려되어야 한다.

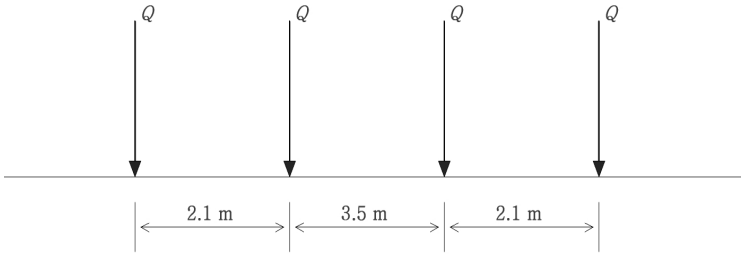


그림 8.2.9 EL 표준열차하중의 차량횡하중

(5) 캔트(cant) 효과

① 곡선궤도를 가지는 구조물에서는 캔트 효과를 고려해야 한다. 이 효과는 횡방향으로 열차의 중심을 이동시키는 것으로 고려해야 한다.

② 캔트 효과를 적용하는 데에 있어 다음의 두 가지 경우가 고려되어야한다.

가. 정지상태 열차

나. 운행 중인 열차 : 이 경우는 원심하중이 고려되어야 한다.

(6) Centrifugal load

① When the track on a bridge is curved, in part or in whole, centrifugal load shall be considered.

② Centrifugal load shall be calculated using the value calculated by multiplying standard train load by the coefficient ‘ α ’ from <Eq. (8.2.19)> as horizontal load.

$$\alpha = \frac{V^2 f}{127R} \tag{8.2.19}$$

where, V: Design speed

f : Reduction coefficient; considered depending on L and V on a curved section track (<Eq. (8.2.20)>)

R: Curvature radius (m)

L: Span (m)

③ <Table 8.2.6> shows the calculated reduction coefficient (f)

$$f = 1 - \left(\frac{V-120}{1000}\right) \times \left(\frac{814}{V} + 1.75\right) \times \left(1 - \sqrt{\frac{2.88}{L}}\right) \tag{8.2.20}$$

④ Centrifugal load shall be considered as working outward horizontally at 1.8 m from rail top for KRL-2012 load and 1.5 m for EL load.

⑤ Impact factor shall not be considered in centrifugal load.

⑥ When the structural member directly contacts rail fastener, such as in a direct fastening track, centrifugal load and lateral vehicular load 100 kN shall be considered as effective simultaneously.

(6) 원심하중

① 교량상의 궤도가 일부 또는 전 구간에 걸쳐 곡선부를 갖는 경우에는 원심력을 고려한다.

② 원심력은 표준열차하중에 <식 (8.2.19)>에서 계산되는 계수 α를 곱한 값을 수평하중으로 계산해야 한다.

$$\alpha = \frac{V^2 f}{127 R} \qquad (8.2.19)$$

여기서, V : 설계속도

f : 곡선 궤도에서의 L과 V에 따라 고려되는 감소계수(<식 (8.2.20)>)

R : 곡률반경(m)

L : 지간(m)

③ <표 8.2.6>는 감소계수(f)를 계산한 결과를 표로 나타낸 값이다.

$$f = 1 - (\frac{V-120}{1000}) \times (\frac{814}{V} + 1.75) \times (1 - \sqrt{\frac{2.88}{L}}) \quad (8.2.20)$$

④ 원심하중은 레일상면에서 KRL-2012하중은 1.8m, EL하중은 1.5m 높이에 수평방향으로 곡선 바깥쪽으로 작용하도록 해야 한다.

⑤ 원심하중에는 충격계수를 고려하지 않는다.

⑥ 자갈도상이 없는 직결식 궤도 등에 있어서와 같은 레일 체결구와 직접적으로 접하는 구조부재에서는 원심하중과 차량횡하중 100kN이 동시에 작용한다고 본다.

Table 8.2.6 Centrifugal force reduction coefficient by design speed

L (m)	Design speed				
	≤ 120	160	200	250	≥ 300
≤ 2.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.0	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98
4.0	1.00	0.96	0.93	0.90	0.88
5.0	1.00	0.93	0.89	0.84	0.81
6.0	1.00	0.92	0.86	0.80	0.75
7.0	1.00	0.90	0.83	0.77	0.71
8.0	1.00	0.89	0.81	0.74	0.68
9.0	1.00	0.88	0.80	0.72	0.65
10	1.00	0.87	0.78	0.70	0.63
12	1.00	0.86	0.76	0.67	0.59
15	1.00	0.85	0.74	0.63	0.55
20	1.00	0.83	0.71	0.60	0.50
30	1.00	0.81	0.68	0.55	0.45
40	1.00	0.80	0.66	0.52	0.41
50	1.00	0.79	0.65	0.50	0.39
60	1.00	0.79	0.64	0.49	0.37
70	1.00	0.78	0.63	0.48	0.36
80	1.00	0.78	0.62	0.47	0.35
90	1.00	0.78	0.62	0.47	0.34
100	1.00	0.77	0.61	0.46	0.33
≥150	1.00	0.76	0.60	0.44	0.31

⑦ When centrifugal load and lateral load work simultaneously, the greater of the two loads shall be assumed to be effective.

⑧ The centrifugal load shall be combined with vertical load. When maximum speed is 120 km/h or higher, the following two shall be considered.

A. Total vertical load + centrifugal load (V = 120 km/h)

B. Reduced vertical load (reduced in the same proportion to *f*) + centrifugal load (V = design speed)

표 8.2.6 설계속도에 따른 원심력 감소계수

$L(m)$	설계속도				
	≤120	160	200	250	≥300
≤2.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.0	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98
4.0	1.00	0.96	0.93	0.90	0.88
5.0	1.00	0.93	0.89	0.84	0.81
6.0	1.00	0.92	0.86	0.80	0.75
7.0	1.00	0.90	0.83	0.77	0.71
8.0	1.00	0.89	0.81	0.74	0.68
9.0	1.00	0.88	0.80	0.72	0.65
10	1.00	0.87	0.78	0.70	0.63
12	1.00	0.86	0.76	0.67	0.59
15	1.00	0.85	0.74	0.63	0.55
20	1.00	0.83	0.71	0.60	0.50
30	1.00	0.81	0.68	0.55	0.45
40	1.00	0.80	0.66	0.52	0.41
50	1.00	0.79	0.65	0.50	0.39
60	1.00	0.79	0.64	0.49	0.37
70	1.00	0.78	0.63	0.48	0.36
80	1.00	0.78	0.62	0.47	0.35
90	1.00	0.78	0.62	0.47	0.34
100	1.00	0.77	0.61	0.46	0.33
≥150	1.00	0.76	0.60	0.44	0.31

⑦ 원심하중과 횡하중이 동시에 작용하는 경우 큰 쪽의 하중이 작용하는 것으로 가정한다.

⑧ 원심하중으로 인해 발생된 하중은 연직하중과 하중조합을 한다. 이때 최고속도가 120km/h 이상인 경우는 다음과 같은 2가지를 고려해야 한다.

가. 총 연직하중+원심하중(V=120km/h)

나. 감소 연직하중(f와 동일비례 감소)+원심하중(V=설계속도)

(7) Start load and brake load

① Effect

A. Start and brake load shall act as vertical load on rail top. KRL-2012 load shall be considered to work longitudinally at 1.8 m and EL load at 1.5 m, and shall be uniformly distributed on length Lf. In the case of more than double tracks, it shall be reviewed based on loading on double tracks, and "start + brake" shall be applied and impact shall not be considered in both cases.

B. Start and brake load on continuous track (CWR) shall be as follows.

(a) For KRL-2012 standard train load (0.75KRL-2012 for passenger-only track)

Start load: 33 kN/m × L (m) ≤ 1000 kN

Brake load: 20 kN/m × L (m) ≤ 6000 kN

where, L (m) is the loaded length as follows.

Superstructure, support: Length of superstructure

Pier, abutment: Part of the superstructure length transferring horizontal loads of the superstructure, where pier or abutment is rigidly connected to the superstructure.

Start and brake load shall apply to total length L within the maximum limit (the length of loaded starting axle is applied for start load, and total train length is applied for brake load).

(b) For EL standard train load

Start load: $(0.27 + 0.95 \times L/L_v) \times T$

Brake load: $(0.27 + 1.00 \times L/L_v) \times T$

where, L_v is the length per a single car, L is loading length that has maximum effect on member and T is axle load of EL standard train load.

C. Start and brake load shall be reviewed in combination with standard train load.

② Resistance to start/brake load by bridge

A. When a track is continuous welded rail in one way or both ways, part of start and brake load is transferred through CWR, while the remaining load is transferred to the support. The part of load transferred through the track shall be resisted by the force behind abutment.

B. The ratio of the load transferred to the support through the superstructure is as described in <Table 8.2.7>, which however shall be applied to the review of track-structure relative displacement.

(7) 시동하중과 제동하중

① 작용

가. 시동 및 제동하중은 레일의 윗면에 레일방향인 교량 종방향 하중으로 작용해야 한다. KRL-2012하중은 1.8m, EL하중은 1.5m 높이에서 교축방향으로 수평으로 작용하는 것으로 하고 구조물에 고려되어진 하중의 작용 영향길이 L_f 위에 일정하게 분포되어야 한다. 복선 이상의 경우에는 복선재하 상태에서 검토하며, "시동+제동"의 경우로 적용한다. 여기에서 충격은 모두 고려하지 않는다.

나. 시동, 제동하중의 값은 연속궤도(장대레일)에 대하여 다음의 값을 취해야 한다.

㉮ KRL-2012 표준열차하중에 대하여 (여객전용선의 경우 0.75KRL-2012)

시동하중 : 33kN/m×L(m)≤1000kN

제동하중 : 20kN/m×L(m)≤6000kN

여기서, L(m)은 하중의 재하된 길이이며 다음과 같다.

상부구조, 받침 : 상부구조물의 길이

교각, 교대 : 상부구조의 길이로서 이들 교각, 교대 부분이 상부와 고정단으로 연결된 부분에 해당하는 부분으로서 그 상부구조의 수평하중이 전달되는 길이

이 때, 시동 및 제동하중은 최대값 제한치 이내에서 해당 하중의 전체길이 L에 적용되어 진다.(시동하중에 대해서는 실제 주행하는 열차에 대해서 열차구동시 차륜의 회전에 의해 레일에 구동마찰력이 작용하는 축하중의 길이만큼, 제동하중에 대해서는 전 열차 길이만큼 적용)

㉯ EL 표준열차하중에 대하여

시동하중 : (0.27+0.95×L/Lv)×T

제동하중 : (0.27+1.00×L/Lv)×T

여기서, Lv는 1차량길이, L은 부재에 최대영향을 주는 하중재하 길이, T는 EL 표준열차하중의 축중을 나타낸다.

다. 시동 및 제동하중은 표준열차하중과 조합하여 검토되어야 한다.

② 교량에 의한 시동/제동하중의 저항

가. 궤도가 교량 구조의 양쪽 또는 한쪽 끝에서 끊어지지 않고 연속으로 이어지는 장대레일이 적용되어 있을 때, 시동하중 또는 제동하중의 그 중 일부는 궤도를 통해 연속된 부분으로 전달되어지고 그 나머지가 상부구조를 통해 받침에 전달되어진다. 궤도를 통해 전달되어지는 그 일부 하중은 교대 뒤에서 저항되는 힘으로 고려해야 한다.

나. 상부구조를 통해 받침에 전달되어지는 하중의 비는 <표 8.2.7>에 주어진다. 단, 이 값은 궤도-구조물 상대변위 검토시의 변위검토에만 적용한다.

Table 8.2.7 Ratio of the load transferred to the support through superstructure

Length of unit bridge	CWR	CWR with REJ at one end
	Single or double track	Single or double track
30	0.50	/
60	0.50	0.60
90	0.60	0.65
120	0.70	0.70
150	0.75	0.75
180	/	0.80
210	/	0.85
≥ 240	/	0.90

Note) Unit bridge refers to one independent bridge superstructure, or one independent structure that constitutes a multiple independent bridge superstructure.

8.2.4 Other loads

(1) Wind load

① Wind load shall be assumed to work in a single direction horizontally or vertically, and the wind pressure shall be in accordance with the following.

A. When no train is on bridge

(a) Vertical projection plane of bridge : 3.0 kN/m²

(b) Vertical projection plane of main truss in the leeward side that is not overlapped with truss deck : 2.0 kN/m²

B. When train is on bridge

(a) Vertical projection plane of bridge : 1.5 kN/m²

(b) Vertical projection plane of main truss in the leeward side that is not overlapped with truss deck : 1.0 kN/m²

(c) Vertical projection plane to passing train : 1.5 kN/m²

Vertical projection plane of the train shall have the width of 4.0 m on rail top and wind load of the beam overlapped with train for both windward and leeward side shall not be considered.

② For a through truss with span length up to 80 m, the sum of windward and leeward side wind pressure shall be the value in <Table 8.2.8>.

표 8.2.7 상부구조를 통해 받침에 전달되어지는 하중의 비

단위교량의 연장	연속 장대레일	한쪽 끝이 REJ가 있는 장대레일
	단선 또는 복선의 경우	단선 또는 복선의 경우
30	0.50	/
60	0.50	0.60
90	0.60	0.65
120	0.70	0.70
150	0.75	0.75
180	/	0.80
210	/	0.85
≥240	/	0.90

주) 여기서 단위교량이란 독립적인 한 개의 교량상부구조 또는 연속된 다수의 독립적인 교량상부구조 형식에서 그것을 구성하는 각각의 독립적인 교량상부구조를 말한다.

8.2.4 기타하중

(1) 풍하중

① 풍하중은 교량에 대하여 1방향으로 수평 및 직각으로 작용하는 것으로 하고, 그 크기는 다음 각 항에 의한다.

가. 교량상에 열차가 없을 때

㉮ 교량의 연직투사면 : 3.0kN/m^2

㉯ 트러스의 바닥틀과 겹쳐지지 않는 바람맞이 반대편 주트러스의 연직투사면 : 2.0kN/m^2

나. 교량상에 열차가 있을 때

㉮ 교량의 연직투사면 : 1.5kN/m^2

㉯ 트러스의 바닥틀과 겹쳐지지 않는 바람맞이 반대편 주트러스의 연직투사면 : 1.0kN/m^2

㉰ 통과열차에 대하여 연직투사면 : 1.5kN/m^2

다만, 열차의 연직투사면은 레일상면으로부터 4.0m높이의 폭으로 하고, 열차와 겹쳐지는 보의 바람맞이 쪽과 바람맞이 반대쪽의 부재에 대하여는 풍하중을 고려하지 않는다.

② 지간 80m까지의 하로트러스에 대하여는 전항의 규정에 관계없이 바람맞이 쪽과 바람맞이 반대쪽을 합계하여 <표 8.2.8>의 값을 사용하도록 한다.

Table 8.2.8 Wind load of through truss with span up to 80 m (kN/m)

Classification	Upper chord	Lower chord
When no train is on bridge	5.0	6.0
When train is on bridge	3.0	8.0 *

Note * : Value including wind load on train.

③ When design wind velocity is determined based on the historic wind data and investigation of surrounding topographic and environmental characteristics, wind load in 「① or ②」 may be increased in proportion to the determined square of design velocity and the square of basic design wind velocity; in such a case, a calculation base shall be presented and the value in 「①」 is the minimum value.

④ For wind load for the member with a circular or similar section, wind load determined by 0.6 times the wind load in 「①」 shall be applied.

(2) Effect of temperature variation

① Range of temperature variation when designing steel bridge

A. Temperature variation on steel bridge shall be calculated based on construction temperature. Temperature variation range shall be -20℃ to +50℃, but at the cold region, it shall be -30℃ to +50℃.

B. When it is difficult to estimate the temperature at installation, temperature variation at average region shall be ±35℃ and at cold region, it shall be ±45℃.

C. In arch, rahmen or steel deck bridge with tied arch or stiffening girder, there may be the part exposed to direct sunlight such as hanger or arch and shaded part such as tie or stiffening girder. Given the significant temperature difference between two parts in summer, stress shall be considered. Temperature difference in such a case that may vary depending on paint color or land shall be considered as 15℃.

② Temperature difference between concrete slab and steel main girder on composite bridge shall be set as 10℃, and investigation shall be carried out for two cases, when slab temperature is higher and when steel main girder is higher. For temperature distribution, (a) in <Fig. 8.2.10> that shows different temperature at the boundary shall be considered.

표 8.2.8 지간 80m까지의 하로트러스의 풍하중 크기(단위 : kN/m)

구분	상현재	하현재
교량상에 열차가 없는 경우	5.0	6.0
교량상에 열차가 있는 경우	3.0	8.0 *

주 * : 열차에 대한 풍하중을 포함한 값이다.

③ 대상지역의 풍속기록과 구조물 주변의 지형 및 환경 등에 대한 특별한 조사연구에 따라 설계풍속을 결정하였을 때에는 「① 또는 ②항」에 제시된 풍하중 값을 결정된 설계풍속의 제곱과 기본설계풍속의 제곱의 비율에 따라 증가시킬 수 있는데, 이 경우 풍하중의 산정근거를 명시해야 한다. 다만, 「①항」의 값은 최소값이다.

④ 원형 또는 이에 준하는 단면을 갖는 부재에 고려하는 풍하중은 「①항」에 규정한 수치의 0.6배로 한다.

(2) 온도변화의 영향

① 강교 설계시 온도변화의 범위

가. 강교에서 온도변화의 승강(昇降)은 가설시 온도를 기준으로 하여 계산해야 한다. 온도변화의 범위는 -20℃에서 +50℃로 하되, 특히 추운 지방에서는 -30℃에서 +50℃까지로 해야 한다.

나. 가설시 온도의 예상이 어려운 경우 온도의 승강은 기후가 보통인 지방에서는 ±35℃, 기후가 특히 한냉한 지반에서는 ±45℃로 해야 한다.

다. 타이드 아치나 보강거더가 있는 아치 및 라멘, 강바닥판교 등에서는 아치부분이나 행거 등과 같이 태양광선의 직사를 받는 부분과 타이(Tie)나 보강거더와 같이 그늘 부분에 있는 것이 있다. 이러한 교량에서는 여름철에 두 부분의 온도차가 크므로 이로 인한 응력을 고려해야 할 경우도 있다. 이 경우의 온도차는 토지의 상황 및 도료의 색에 따라 일정하지 않으나 15℃로 해야 한다.

② 합성보에서 콘크리트슬래브와 강재주거더와 온도차는 10℃로 하고 슬래브쪽이 고온일 때와 강재주거더 쪽이 고온일 때의 각각에 대해 조사한다. 온도의 분포에 대해서는 <그림 8.2.10>에 보인 상태들 중에서 양자의 경계에서의 온도차가 다른 (a)의 상태를 고려한다.

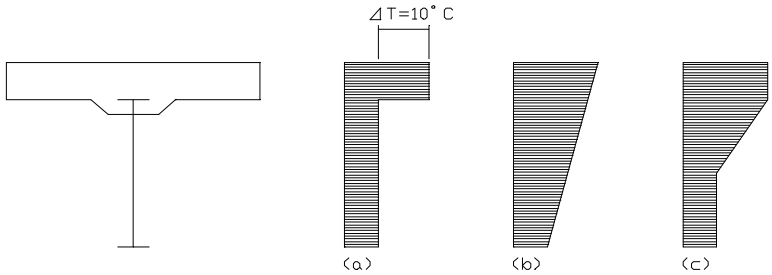


Fig. 8.2.10 Temperature difference distribution

③ Temperature variation range on section when designing concrete bridge

A. Temperature variation range shall be determined considering regional mean temperature. In general, both temperature increase and decrease may be set as 1 5℃. When the minimum size of a section is 700 mm, it may be 10℃.

(a) When estimating the sectional force caused by temperature difference to deck, temperature difference shall be set as 5℃ and each temperature distribution in deck and other members shall be considered to be uniform. Based on actual temperature monitoring data, difference between top and bottom of deck was 5~ 15℃ as in <Fig. 8.2.11(a)> and was almost the same in web. For simplicity of calculation, temperature variation was assumed to be 5℃ as in <Fig. 8.2.11(b)> which was converted to have a stress similar to the stress calculated from the actual temperature distribution.

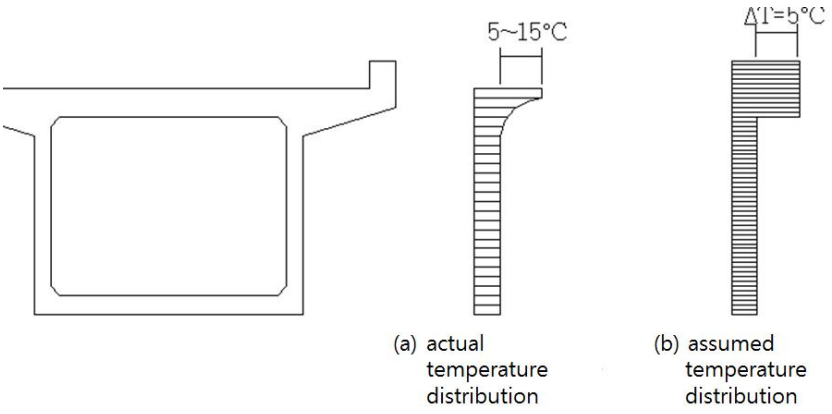


Fig. 8.2.11 Temperature difference between deck and beam

(b) In reviewing vertical temperature variation for member analysis, temperature variation between the top and bottom of the girder shall be applied, and the following value may be applied.

Non-ballast bridge: 10℃

Bridge with ballast floor: 5℃

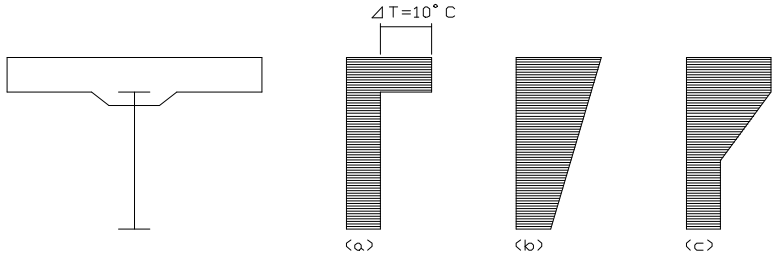
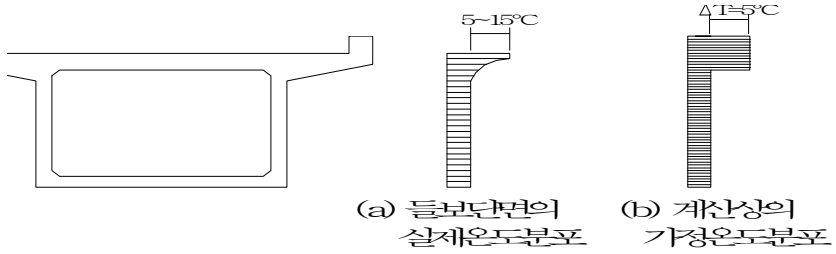


그림 8.2.10 온도차의 분포상태

③ 콘크리트교 설계시 단면에서의 온도변화의 범위

가. 콘크리트교의 온도변화 범위는 지역별 평균기온을 고려하여 정해야 한다. 보통의 경우 온도의 승강은 각각 15℃로 하면 된다. 단면의 최소 치수가 700mm 이상인 경우에는 10℃로 하면 된다.

㉮ 바닥판과 기타 부분의 온도차에 의해 생기는 단면력을 산출하는 경우의 온도차는 5℃로 하고 온도분포는 바닥판과 기타부분에 있어서 균일하다고 본다. 실측에 의하면 바닥판의 상면과 하면에서는 5~15℃의 온도차가 <그림 8.2.11 (a)>에 보인 바와 같이 발생하고, 복부부의 온도분포는 거의 일정하다. 따라서 계산의 편의상 온도분포를 <그림 8.2.11(b)>에 보인대로 온도차를 5℃라고 가정한다. 이 값은 실측된 온도분포에서 산출된 응력과 큰 차이가 없는 응력이 발생하도록 환산한 것이다.



㉯ 부재 해석을 위한 수직방향의 거더의 온도변화에 대한 검토에는 거더의 가장 윗쪽과 가장 아래쪽면 사이의 온도 변화를 적용하며 다음의 값을 적용할 수 있다.

무도상 교량 : 10℃

운행면을 보호하는 도상을 가지는 교량 : 5℃

(c) When the bridge is permanently isolated from direct sunlight, temperature variation may be neglected. Temperature variation shall be assumed linearly through top and bottom of superstructure.

④ Linear expansion coefficient for design

A. Linear expansion coefficient for steel bridge shall be 12×10^{-6} m/m/℃

B. Linear expansion coefficient of rebar and concrete in concrete bridge shall be 12×10^{-6} m/m/℃.

C. Linear expansion coefficient of steel and concrete in composite bridge shall be 12×10^{-6} m/m/℃.

(a) Temperature variation may not be considered for a structure in water or ground.

(b) When determining the displacement of the expansion joint and the support, installation temperature shall be essentially considered and the displacement shall be re-evaluated on the site.

(3) Longitudinal load of CWR

① Longitudinal stress varies depending on the existence of expansion joint on each track or deck slab when applying CWR.

② Such stresses are transferred to the top surface of slab from the track through friction, or interaction.

③ <Eq. (8.2.21)> and <Eq. (8.2.22)> may apply to the superstructure with ballasted track with fixed support at either end.

A. When there is no rail expansion joint

$$f_{v0} = \pm 3L \text{ (kN) (per rail)} \qquad (8.2.21)$$

Where, L = The length by which slab expansion may be considered

B. When the rail expansion joint is at the moving end of the structure

$$f_{v0} = \pm 500 \text{ (kN) (per rail)} \qquad (8.2.22)$$

④ <Eq. (8.2.23)> and <Eq. (8.2.24)> may apply to a structure with a concrete track with fixed support at either end.

A. When there is no rail expansion joint

$$f_{v0} = \pm 6L \text{ (kN) (per rail)} \qquad (8.2.23)$$

where, L = The length by which slab expansion may be considered

㉰ 교량이 영구적으로 직사광선을 차단하는 구조물로 건설되어져 있을 경우에는 온도 변화율이 무시될 수 있다. 온도변화율은 상부구조의 상하면을 통해 선형으로 가정해야 한다.

④ 설계시 선팽창계수

가. 강교에서 강재의 선팽창계수는12×10^{-6} 으로 해야 한다.

나. 콘크리트교에서 철근 및 콘크리트의 선팽창계수는10×10^{-6} 으로 해야 한다.

다. 강재와 콘크리트의 합성거더교에서 강재 및 콘크리트의 선팽창계수는12×10^{-6} 으로 해야 한다.

㉮ 수중 또는 토중에 있는 구조물에 대해서는 온도변화의 영향을 고려하지 않는다.

㉯ 신축이음과 받침의 이동 크기를 정할 때, 반드시 현장에서 이들 장치의 설치시 실재 온도가 고려되어 재산정 되어야 한다.

(3) 장대레일 종하중

① 교량상의 궤도에 장대레일을 적용하는 경우 궤도에 있어서 궤도와 슬래브 각각에서의 신축이음 적용여부에 따라 종방향 응력 결과가 다르다.

② 이러한 응력은 궤도에서부터 슬래브 위쪽 면으로 마찰 등에 의해 전달되거나 상호 작용하게 된다.

③ <식 (8.2.21)>, <식 (8.2.22)>는 한쪽 끝단에 고정받침을 가지는 자갈도상이 있는 상부구조에 사용될 수 있다.

가. 레일신축이음장치가 없을 경우

$$f_{v0} = \pm 3L \ (\mathrm{kN}) \ (1 \text{ 레일 당}) \qquad (8.2.21)$$

여기서, L = 슬래브의 팽창이 고려될 수 있는 길이

나. 구조물의 가동끝단에서 레일 신축이음이 있는 경우

$$f_{v0} = \pm 500 \ (\mathrm{kN}) \ (1 \text{ 레일 당}) \qquad (8.2.22)$$

④ <식 (8.2.23)>, <식 (8.2.24)>는 한쪽 끝단에 고정받침을 가지는 콘크리트도상이 있는 상부구조에 사용될 수 있다.

가. 레일 신축이음장치가 없을 경우

$$f_{v0} = \pm 6L \ (\mathrm{kN}) \ (1 \text{ 레일 당}) \qquad (8.2.23)$$

여기서, L = 슬래브의 팽창이 고려될 수 있는 길이

B. When rail expansion joint is at the moving end of the structure

$$f_{v0} = \pm 1{,}000 \text{ (kN) (per rail)} \quad (8.2.24)$$

⑤ Reasonable and special analysis shall be carried out for other particular cases.

(4) Load applied to secondary structure, equipment and facilities

① Load on maintenance access

A. Vertical load on maintenance access shall not be considered in the design of the main girder.

B. The member supporting the passage such as maintenance access shall be considered to be subjected to 5 kN/m^2 of uniformly distributed vertical load; in designing a special member, if the 2 kN concentrated load produces much unfavorable condition, 2 kN of concentrated load may be applied in the most unfavorable position.

C. Concentrated load in this case shall be assumed to work on 0.2 m × 0.2 m and load relieving effect shall not be considered.

② Crowd load, Load on platforms

A. When a sidewalk is included in the design of the main girder, 2 kN/m^2 load shall be considered in addition to train load.

B. 5 kN/m^2 shall apply to a structural member directly supporting the sidewalk.

C. Unless the public transport vehicle runs on the platform, 5 kN/m^2 of uniformly distributed load may be applied on the platform. An additional 20 kN, concentrated load may be applied to the most unfavorable position while this uniformly distributed load is applied.

D. Crowd load in <Table 8.2.9> may be applied depending on structure.

나. 구조물의 가동끝단에서 레일 신축이음이 있는 경우

$$f_{v0} = \pm 1{,}000 \text{ (kN) (1 레일 당)} \qquad (8.2.24)$$

⑤ 기타 다른 특별한 경우는, 그에 합리적으로 적용될 수 있는 특별한 해석을 수행해야 한다.

(4) 2차 구조부분, 장비, 설비 등에 작용하는 하중

① 유지보수통로 하중

가. 교량의 주거더의 설계에 있어서, 유지보수 등을 위한 보행시설 상에 작용하는 해당 수직하중은 적용하지 않는다.

나. 유지보수 통로 등 보행시설을 지지하는 부재의 설계에는 5kN/m^{2}의 등분포 수직하중이 작용하는 것으로 본다. 단, 특별한 구성 부재의 설계에서 이 보다 더 불리한 값을 나타내는 경우에는 2kN의 집중하중을 가장 불리한 재하위치에 두고 계산할 수 있다.

다. 이때 집중하중은 0.2m x 0.2m 면적에 작용하는 것으로 가정하며 하중 경감효과는 고려하지 않는다.

② 군중하중, 승강장에 재하되는 하중

가. 교량의 주거더 설계에 있어서 만약 일반 보행자용 보도시설이 포함되어 있을 경우에는 보도 위에 2kN/m^{2}의 하중을 철도차량에 따른 하중에 추가하여 고려해야 한다.

나. 일반 보행자용 보도부를 직접 지지하는 구조에 적용되는 설계에서는 5kN/m^{2}이 적용되어야 한다.

다. 승강장에 공공 교통용 차량이 올라타지 않는 이상 승강장 면 위에는 5kN/m^{2}의 등분포 하중을 적용할 수 있다. 또한 이 등분포 하중 재하 상태에서 가장 불리한 구조 위치에 20kN의 집중하중을 추가로 올릴 수 있다.

라. 구조계산의 대상에 따라 <표 8.2.9>의 군중하중을 재하할 수 있다.

Table 8.2.9 Crowd load

Structure	Structure Type	Permanent (kN/m²)
Concrete slab	Transfer platform bridge, platform	5.0
	Interim floor slab of over bridge, Cantilever slab, Bridge sidewalk (bridge girder of ballasted track)	
	Cantilever slab, Bridge sidewalk (slab track or non-ballast bridge)	3.0
Beam, column	Transfer platform bridge, platform	3.5
	Interim floor beam of over bridge	
Bridge inspection facility		4.0

③ Guard rail load

A. Guard rail on sidewalk shall be considered to be subject to 800 N/m horizontal load at the end and 2.5 kN in particular cases, and at 1.5 m height from sidewalk surface and horizontally and vertically on top of guard rail.

B. When there is a hand rail on sidewalk, load shall be considered at hand rail height in the design. In addition, 800 N/m of vertical load at the end of hand rail on sidewalk shall be considered.

C. When guard rail is intended to reduce the noise, the height shall be determined depending on the noise reduction effect.

D. This load shall be combined with wind load.

④ Soundproof wall

A. Soundproof wall including connection anchorage between soundproof wall and the structure shall be designed to resist the wind load as per <Table 4.6.2> of 「Chapter 4 Earth Structure」.

B. The soundproof wall shall be able to resist the back blast by train, and <Eq. (8.2.25)> may be applied depending on the design speed.

표 8.2.9 군중하중

구조계산의 대상	구조종별	상시 (kN/m^2)
콘크리트 슬래브	승환과선교, 승강장	5.0
	역부고가교의 중간층 슬래브 등, 캔틸레버 슬래브, 교측보도(도상궤도의 교량거더)	
	캔틸레버 슬래브, 교측보도 (슬래브궤도 또는 무도상의 교형)	3.0
보, 기둥	승환과선교, 승강장	3.5
	역부고가교의 중간층 보 등	
교량점검 시설		4.0

③ 난간하중

가. 일반보도 위의 난간은 난간의 끝에서 800N/m의 수평하중이 작용하는 것으로 설계되어야 한다. 특별한 경우에는 2.5kN으로 하고, 보도면에서는 1.5m의 높이에 또 난간의 상단에 직각과 수평으로 작용한다.

나. 일반보도 위에 핸드레일이 있는 난간은 핸드레일의 높이에 하중이 작용하는 것으로 설계되어야 한다. 또한, 보도 위 난간의 핸드레일의 끝에서 800N/m의 수직하중이 작용하는 것으로 설계되어야 한다.

다. 난간의 높이는 소음을 경감시키는 형식으로 된 경우라면 난간 높이에 따른 소음 저감효과에 따라 그 높이를 결정해야 한다.

라. 이 하중은 풍하중과 조합해야 한다.

④ 방음벽

가. 구조물과 방음벽의 연결정착부 및 방음벽 자체는 「제4장 흙구조물」의 <표 4.6.2> 지역별 풍하중의 압력에 저항할 수 있어야 한다.

나. 열차 통과로 인한 후폭풍의 압력에도 저항할 수 있도록 비교 검토해야 하며 설계속도에 따라 <식 (8.2.25)>를 적용할 수 있다.

$$P_V = k_v \times \frac{4100}{d} \ (\mathrm{N/m^2}) \qquad (8.2.25)$$

where, P_V : Back blast pressure depending on design speed

k_v : Coefficient depending on design speed ($\left(\frac{V}{350}\right)^2$)

V : Design speed (km/h)

d : Distance from train center to inner face of wall (m)

⑤ Load on bottom of the post

A. In addition to service loads, earthquake and storm loads shall be considered to catenary pole or signal pole installed on flange of bridge deck.

⑥ Frictional resistance load

Frictional resistance load shall be calculated by multiplying vertical load on friction surface by friction coefficient of movable support.

⑦ Cargo load

This shall be in accordance with <Table 8.2.10>.

Table 8.2.10 Cargo load

Cargo	Weight (kN/m)
Parcel	10
General cargo	15
Large cargo	30

8.2.5 Special load

(1) Collision load

① Vehicle collision

Safety protection facilities such as concrete wall shall be provided to the pier in preparation for collision by vehicle. When such protection is not provided, design shall be made on the assumption that collision load acts horizontally at 1.8 m height from the ground.

A. In direction of roadway 1,000 kN

B. Perpendicular to roadway 500 kN

② Collision by floating debris

A. Collision force shall be calculated according to <Eq. (8.2.26)> when collision by floating objects is expected. Effective height shall be water surface level.

$$P_V = k_v \times \frac{4100}{d} \quad (\mathrm{N/m^2}) \qquad (8.2.25)$$

여기서, P_V : 설계속도에 따른 후폭풍의 압력

k_v : 설계속도에 따른 계수 $((\frac{V}{350})^2)$

V : 설계속도(km/h)

d : 열차 중심에서부터 벽의 안쪽 면까지의 거리(m)

⑤ 지주 하단에 작용하는 하중

가. 대부분 교량 상부 플랜지 상단에 설치되는 전차선주나 신호 지주 등의 지주 설계에 적용되는 하중은 일반적인 사용상태의 하중 이외에 지진, 태풍 등의 하중이 고려되어야 한다.

⑥ 마찰저항하중

마찰저항하중은 마찰면에 수직한 하중에 가동받침 마찰계수를 곱하여 얻어진 값으로 한다.

⑦ 화물하중

화물하중은 <표 8.2.10>의 값으로 한다.

표 8.2.10 화물하중

화물의 종류	중량(kN/m)
소화물	10
일반 화물	15
큰 화물	30

8.2.5 특수하중

(1) 충돌하중

① 자동차의 충돌

자동차가 충돌할 염려가 있는 교각 기둥 등에는 콘크리트벽 등으로 안전한 방호시설을 설치해야 한다. 이들 방호시설을 설치하지 않는 경우에는 다음 충돌하중이 노면 위 1.8m에서 수평으로 작용하는 것으로 보고 각주를 설계해야 한다.

가. 차도방향에 대하여 1,000kN

나. 차도직각방향에 대하여 500kN

② 유목(流木) 등의 충돌

가. 유목 및 기타의 유송물(流送物)이 충돌할 우려가 있는 경우에는 <식 (8.2.26)>에 의해 충돌력을 산출한다. 그 작용높이는 수면으로 한다.

$$P = 0.1W \quad (8.2.26)$$

where P: Collision force (kN)

W: Weight of floating objects (kN)

v: Surface flow velocity (m/s)

B. Weight of floating objects shall be estimated based on data from residents, upstream bridge or river structure or topographic features.

③ Collision by vessel

A. When the pier is on a seaway, collision risk shall be considered in the design. When a seaway is at downstream, safety of the bridge is not affected by small vessels, but when the pier is near the port where large vessels sail, potential collision risk shall be considered in the design.

B. Given, however, that accidents most frequently occur due to inclement weather or mechanical failure of a vessel, collision at normal operation speeds occurs rarely, and collision load shall be estimated considering such situation.

(2) Derailment load

① Derailment load of KRL-2012 standard train load

A. Bridges shall be designed to minimize the damage by derailment as well as to avoid overturn or structure failure.

B. The following two derailment loads shall be considered.

(a) Derailment case I : When derailed train is on track structure on bridge

(b) Derailment case II : When derailed train is out of track and on deck end

C. In derailment case I, as in <Fig. 8.2.12>, the load of 1.4 x KRL-2012 (both concentrated load and uniform load are applied, 0.75KRL-2012 for passenger only) is applied to most unfavorable position in parallel with the track within 1.5 times of track gauge.

$$P = 0.1\, W\, v \qquad (8.2.26)$$

여기서 P : 충돌력(kN)

W : 유송물의 중량(kN)

v : 표면유속(m/s)

나. 유송물의 중량을 결정함에 있어서는 가교지점 부근의 주민의 경험담, 상류의 교량 하천구조물, 산지의 상황 등을 조사한 후 합리적인 값을 정한다.

③ 선박의 충돌

가. 항로상 또는 항로근처에 교각을 설치하여 선박과 충돌할 우려가 있는 경우에는 이것을 설계에 고려해야 한다. 즉, 하천의 하류부에서 항해가 행하여지는 경우에, 통상의 하부구조에 대해 소형선박의 충돌은 거의 교량의 안정조건을 좌우하지 않는다. 그러나 하구(河口)에 가까운 항만구역의 일부든지 바다에 건설되는 교각의 경우에는 대형강철선의 충돌이 예상되기 때문에 이때는 선박의 영향을 설계에 고려해야 한다.

나. 그러나 일반적으로 선박이 충돌하는 데는 기상의 악조건에서 방향타를 잘못 잡는 경우, 기관에 고장을 일으켜 표류하는 경우 등이며 순항속도(巡航速度)로 충돌하는 경우는 거의 없기 때문에 이를 고려하여 충돌하중을 정해야 한다.

(2) 탈선하중

① KRL-2012 표준열차하중의 탈선하중

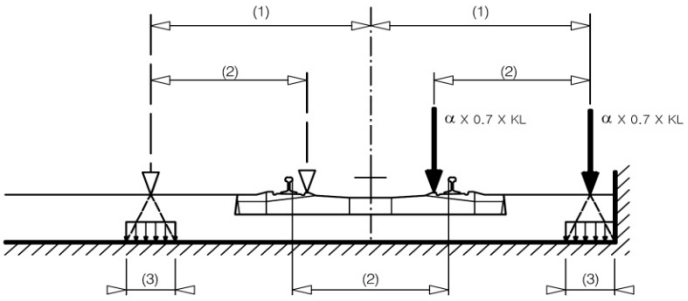
가. 교량은 탈선 사고로 인한 교량 손상이 최소가 되도록 설계해야 하고 특히 교량의 전복이나 구조물의 파괴가 방지되도록 설계해야 한다.

나. 다음과 같은 두 가지 탈선상태의 하중이 고려되어야 한다.

㉮ 탈선상황 I : 탈선된 열차가 교량 상 궤도구조 안에 존재할 때

㉯ 탈선상황 II : 탈선된 열차가 궤도구조를 벗어나 교량 상판 끝 부분에 걸쳐있을 때

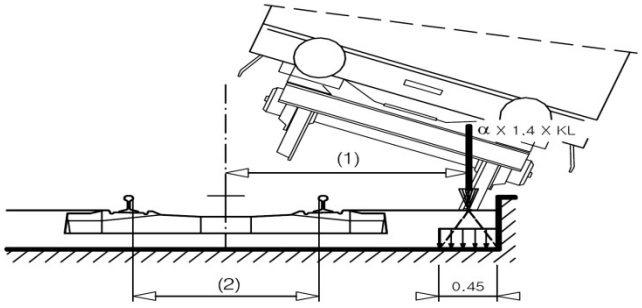
다. 탈선상황 I에서는 <그림 8.2.12>와 같이 $\alpha \times 1.4 \times$KRL-2012(집중하중과 등분포하중 모두 재하, α는 여객·화물혼용선의 경우 1.0, 여객전용선의 경우 0.75)의 하중이 궤도중심으로부터 양쪽 방향으로 궤간의 1.5배 이내에서 궤도와 평행하게 가장 불리한 위치에 재하되도록 한다.



Note (1): 1.5 times of maximum gauge within protection wall
(2): Track gauge
(3): For ballasted track, distributed load up to 450 mm from bridge deck may be applied.

Fig. 8.2.12 Derailment Case I (both concentrated and uniform load of KRL-2012 applied)

D. In derailment case II, as in <Fig. 8.2.13>, the load of 1.4 x KRL-2012 (uniform load only is applied, 0.75KRL-2012 for passenger only) is applied to the end of bridge deck with maximum length of 20 m, excluding non-structural members.



Note (1) : Apply at the end of bridge deck
(2) : Track gauge

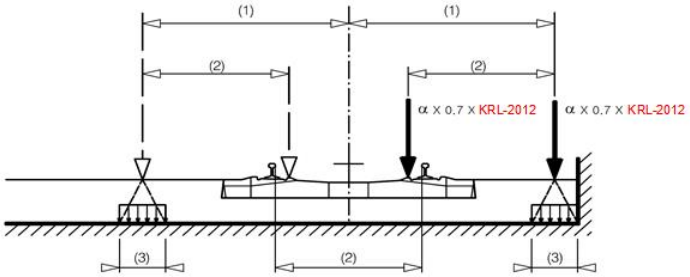
Fig. 8.2.13. Derailment Case II (Uniform load only of KRL-2012 load)

E. Derailment cases I and II shall be calculated separately. The two cases shall not be combined and impact factor shall not be considered.

② Derailment load of EL standard train load

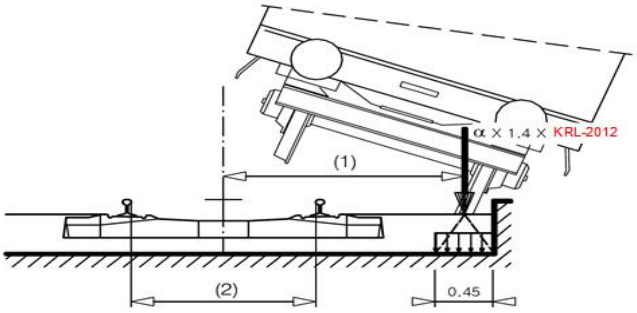
A. Review is performed by setting concentrated load of EL standard train load by 1.5 m from track center.

B. Uniform load of EL standard train load shall be applied in unfavorable conditions on the opposite track.



주 (1) : 탈선 방호벽 안쪽으로 최대 궤간의 1.5배
(2) : 궤간
(3) : 자갈도상의 경우에는 교량상판에 450mm 폭의 정사각형 분포하중으로 재하
그림 8.2.12 탈선상황 I (KRL-2012하중의 집중하중과 등분포하중 모두 재하)

라. 탈선상황 II에서는 <그림 8.2.13>과 같이 $\alpha \times 1.4 \times$KRL-2012(등분포하중만 재하, α는 여객·화물혼용선의 경우 1.0, 여객전용선의 경우 0.75)의 하중을 최대 20m 길이로, 보도 등이 비구조적 부재인 경우에는 이를 제외한 교량 상판 끝에 재하 되도록 한다.



주 (1) : 교량 상판 끝에 작용
(2) : 궤간
그림 8.2.13. 탈선상황 II (KRL-2012하중의 등분포하중만 재하)

마. 탈선상황 I과 II는 각각 따로 계산한다. 두 상황은 조합하지 않으며, 충격계수를 고려하지 않는다.

바. 교축직각방향 탈선 이동을 막아주는 장치적인 역할로서 케이블 홈통(Ditch) 등에 설치하게 되어있는 탈선 방호벽 등의 교량 상부면 돌출구조에는 150kN의 교축직각방향 수평하중을 적용하여 탈선시 열차의 수평 이탈을 제어할 수 있도록 해야 한다.

② EL 표준열차하중의 탈선하중

가. EL 표준열차하중의 집중하중을 선로중심에서 1.5m씩 편기하여 작용시켜 단면검토한다.

나. 상대편 선로에는 EL 표준열차하중을 등분포하중으로 환산하여 불리한 경우로 재하한다.

(3) Erection load

① While building the bridge, safety shall be evaluated under all conditions including self-weight, equipment, material, wind and earthquake considering installation method and structure during installation.

② Erection load is the load applied during bridge construction. Depending on the erection method, the stress caused by the erection load may be greater than the stress after construction, and buckling of main girder or falling may occur. As the pier supporting the superstructure may be extended from caisson foundation or flexible pier fixed by hinge, dimensions of the foundation are often determined through investigation of section. Thus, self-weight, erection equipment, wind, earthquake and temperature variation shall be considered when designing the bridge depending on the construction method and the structure during construction.

(4) Seismic effect

① Seismic effect shall be considered as needed. Further details shall be in accordance with the seismic design criteria.

② Designer shall avoid viaduct over fault-crossing area

③ When viaduct is needed at fault-crossing area, design engineer shall present the analysis details to contractor and owner.

④ More in-depth displacement analysis during and after earthquake is required for high speed railway than for expressway or traditional railway.

⑤ For a high-speed railway at 200 km/h or more, design shall consider the following.

A. Displacement controller may be installed at each pier to maintain the connection between superstructure and substructure, and such controller shall be designed considering creep, shrinkage and thermal movement of the structure.

B. Estimated horizontal relative displacement between superstructure and substructure shall be reviewed before applying displacement controller and minimum support length to prevent falling.

C. Tensile stress of deck on PSC girder bridge shall be limited in load combination considering earthquake.

D. Ground constraint condition from soil condition of foundation shall be determined for various free field curves at variable height using adjusted horizontal subgrade reaction coefficient, as a way of considering free field movement over the entire deep foundation.

(3) 가설시 하중

① 교량 가설시에는 가설단계별 가설방법과 가설중의 구조를 고려하여 자중, 가설장비, 기자재, 바람 지진의 영향 등 모든 재하조건에 대한 안전도 검토를 해야 한다.

② 가설시 하중이란 교량가설시 작용하는 하중이다. 가설시 하중으로 인한 응력은 가설방법에 따라서는 가설 후의 응력보다 큰 값을 나타낼 경우가 있어 때로는 교량주거더의 좌굴, 낙교 등의 사고가 생긴다. 또, 하부구조에서는 케이슨기초 본체 외부에 돌출하여 가설중의 상부구조를 지지하고 있는 교각이나 두부 힌지고정의 유연한 교각 등에 대해서는 시공시의 안정이나 단면조사로부터 구체와 기초의 치수나 제원이 결정되는 경우가 많다. 따라서 교량의 설계시에는 시공방법과 시공중의 구조를 고려하여 자중, 시공기재, 바람, 지진, 온도변화 등에 대해 검토해야 한다.

(4) 지진의 영향

① 지진의 영향은 교량 설계시 필요에 따라 고려해야 한다. 내진 설계에 대한 구체적인 사항은 별도 내진 설계 조항에서 정하는 바에 따른다.

② 설계자는 단층이 횡단하는 선에서 고가교의 사용을 가능한 한 피해야 한다.

③ 단층이 횡단하는 선 지역에 고가교의 적용이 필요한 경우에는 설계자는 발주자에게 해석 결과를 제시해야 한다.

④ 고속철도의 설계에서는 고속도로 교량이나 일반 철도교량에 비해 지진발생 후 그리고 발생하는 동안 보다 주의 깊은 변위해석을 요구해야 한다.

⑤ 시속 200km 이상 고속철도의 경우에는 요구하는 안전도를 제공하기 위하여, 다음 사항을 따른다.

가. 변위 억제장치가 상부구조와 하부구조사이의 연결을 유지하기 위해 각각의 교각위에 설치하는 것이 검토될 수 있다. 이러한 변위 억제장치는 크리프와 건조수축, 온도로 인한 구조물의 선형변화를 고려하여 설계되어야 한다.

나. 두 지지점에서의 변위 억제장치의 적용과 낙교방지를 위한 최소받침 지지길이의 적용에 있어서는 두개의 독립된 상·하부구조 사이의 예상 수평변위가 주의 깊게 검토되어야 한다.

다. 지진을 고려한 하중조합에서 PSC거더의 교량상판에서의 인장응력 발생이 제한되어야 한다.

라. 기초의 지질 상태로부터 얻어지는 지반구속조건은 변화하는 높이에서 다양한 자유장 굴곡에 대하여 조절된 수평 지반반력계수를 사용하여 깊은 기초 전체를 통하여 자유장 운동이 고려되는 방식으로 결정되어야 한다.

8.3 Design method and load combination

8.3.1 General

Steel bridge and steel pier shall be designed in accordance with the allowable stress method, while concrete bridge, pier and abutment shall be designed in accordance with the strength design method in principle, but the allowable stress method shall be used as needed.

Symbols used in the design load combination of railway bridge are as follows.

CP: Centrifugal load or resultant sectional force

CO: Collision load or resultant sectional force

D: Dead load or resultant sectional force

E: Earthquake effect or resultant sectional force

F: Longitudinal load caused by friction with shear resistance on movable support

G: Stress or sectional force, caused by expansion or contraction deformation due to differential settlement, creep, shrinkage, fabrication or construction error, humidity and temperature variation or resultant sectional force

H: Earth pressure or resultant sectional force

I: Impact or resultant sectional force

L: Live load or resultant sectional force

LF: Lateral vehicular load by live load

LR: CWR longitudinal load or resultant sectional force

Q: Buoyancy or uplift, water pressure, wave force or resultant sectional force

SB: Start or brake load or resultant sectional force

W: Wind load or resultant sectional force

WL: Wind load on vehicle load or resultant sectional force

8.3.2 Load combination for reviewing displacement

Displacement of a high-speed railway bridge structure shall be evaluated using the following load combination for safe operation. Allowable maximum deflection shall satisfy「8.5.4」.

Load combination Ⅰ : D + L + [I] + CF + ▣

Where, ▣ : (Q + WL) or E.

[ ] : Load to be considered as needed

Number of tracks for live load (L) shall apply to most unfavorable condition (including double track).

Load combination Ⅱ : (Load Combination Ⅰ) + SB + F + G

8.3 설계방법 및 하중조합

8.3.1 일반사항

강교와 강재교각은 허용응력설계법을 따른다. 그러나 콘크리트교와 콘크리트 교대, 교각 등은 우선적으로 강도설계법을 따르되 허용응력설계법도 사용할 수 있다. 철도 교량의 설계하중조합에 적용되는 하중의 기호는 다음과 같다.

CF : 원심하중 또는 이에 따른 단면력
CO : 충돌하중 또는 이에 따른 단면력
D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력
F : 이동이 허용되는 부분의 받침에서 전단저항과 마찰로 인한 종방향 하중
G : 부등침하, 크리프, 건조수축, 제작 또는 시공시 치수의 착오, 습도 변화 또는 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
H : 토압 또는 이에 따른 단면력
I : 충격 또는 이에 따른 단면력
L : 활하중 또는 이에 따른 단면력
LF : 활하중에 의한 차량횡하중
LR : 장대레일 종하중 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
SB : 시동 또는 제동하중 또는 이에 따른 단면력
W : 풍하중 또는 이에 따른 단면력
WL : 차량하중에 작용하는 풍하중 또는 이에 따른 단면력

8.3.2 변형 검토를 위한 하중조합

고속철도 교량 구조물의 변형은 안전한 운행 조건의 확보를 위하여 아래에서 주어진 하중조합으로 검토해야 한다. 허용되는 최대 처짐은 「8.5.4」을 만족해야 한다.

하중조합Ⅰ : D + L + [I] + CF + ▣

여기서, ▣는 Q + WL 또는 E와 같음.

[ ] : 필요한 경우 고려해야 하는 하중

활하중(L) 재하선로수는 표준활하중이 가장 불리하게 재하되는 상태(복선포함)로 적용해야 한다.

하중조합Ⅱ : 하중조합Ⅰ + SB + F + G

8.3.3 Load combination according to allowable stress method

(1) General

① Allowable stress of primary load and special load corresponding to primary load shall be the value stipulated in the relevant chapter.

② Allowable stress considering secondary load and special load corresponding to secondary load shall be calculated by multiplying allowable stress stipulated in the relevant chapter by the allowable stress increment factor in 「8.3.3 (3)」.

(2) Type of loads

Loads are classified into primary load (P), secondary load (S), special load corresponding to primary load (PP) and special load corresponding to secondary load (PA).

① Primary load (P)

A. Dead load (D)

B. Live load (L)

C. Impact (I)

D. Centrifugal load (CF)

E. CWR vertical load (LR)

F. Concrete creep effect (CR)

G. Concrete shrinkage effect (SH)

H. Earth pressure (H)

I. Water pressure, buoyancy or uplift force (Q)

② Secondary load (S)

A. Lateral vehicular load (LF)

B. Start or brake load (SB)

C. Wind load (W)

③ Special load corresponding to primary load (PP)

A. Snow load (SW)

B. Ground deformation effect (GD)

C. Support displacement effect (SD)

D. Wave pressure (WP)

④ Special load corresponding to secondary load (PA)

A. Temperature variation effect (T)

B. Seismic effect (E)

C. Erection load (ER)

D. Collision load (CO)

E. Derailment load (DR)

F. Other loads

8.3.3 허용응력설계법에 따른 하중조합

(1) 총칙

① 주하중 및 주하중에 해당하는 특수하중에 대한 허용응력은 각 장에 규정한 값으로 한다.

② 부하중 및 부하중에 해당하는 특수하중을 고려하는 경우의 허용응력은 각 장에 규정한 허용응력에 「8.3.3(3)항」에 주어진 허용응력 증가계수를 곱한 값으로 한다.

(2) 하중의 종류

설계조합하중을 위하여 하중의 종류는 주하중(P), 부하중(S), 주하중에 상당하는 특수하중(PP), 부하중에 상당하는 특수하중(PA)으로 구분한다.

① 주하중(P)

가) 고정하중(D)

나) 활하중(L)

다) 충격(I)

라) 원심하중(CF)

마) 장대레일 종하중(LR)

바) 콘크리트 크리프의 영향(CR)

사) 콘크리트 건조수축의 영향(SH)

아) 토압(H)

자) 수압, 부력 또는 양압력(Q)

② 부하중(S)

가) 차량횡하중(LF)

나) 시동하중 또는 제동하중(SB)

다) 풍하중(W)

③ 주하중에 상당하는 특수하중(PP)

가) 설하중(SW)

나) 지반변동의 영향(GD)

다) 지점이동의 영향(SD)

라) 파압(WP)

④ 부하중에 상당하는 특수하중(PA)

가) 온도변화의 영향(T)

나) 지진의 영향(E)

다) 가설시 하중(ER)

라) 충돌하중(CO)

마) 탈선하중(DR)

바) 기타하중

(3) Load combination and allowable stress increment factor

Load combination and allowable stress increment factor for allowable stress method of steel bridge, concrete bridge and substructure are described. Further details are described in the relevant chapters.

① Steel bridge

Table 8.3.1 Load combination and allowable stress increment factor for steel bridge

Load combination			Increment factor
1	FL corresponding to PL+PL +temperature effect	P+PP+T	1.15
2	FL corresponding to PL+PL + VLL FL	P+PP+LF	1.25
3	FL corresponding to PL+PL + SL or BL	P+PP+SB	1.25
4	FL corresponding to PL+PL + WL	P+PP+W	1.25
5	FL corresponding to PL+PL + VLL + WL	P+PP+LF+W	1.35
6	FL corresponding to PL+PL + SL or BL +WL	P+PP+SB+W	1.35
7	FL corresponding to VLL + PL + WL	LF+PP+W	1.25
8	WL + SL or BL (brake load)	W+SB	1.25
9	PL + seismic effect	P*+E	1.55
10	PL + CL (collision load)	P+CO	1.60
11	EL (erection load)	ER	1.25

Note: P* - Primary load includes a single track live load without impact and centrifugal load.
For erection load (ER), allowable stress is not increased when erection period is long or bridge is erected using a new method.

② Concrete bridge

A. Increment factor of allowable stress to erection load is the load during erection, and wind load and seismic effect are not considered. Considering this, allowable stress increment factor shall be determined considering erection location and structure system during erection, regardless of the value in <Table 8.3.1> and <8.3.2>.

(3) 하중조합 및 허용응력 증가계수

여기서는 강교, 콘크리트교, 하부구조의 허용응력설계법을 위한 하중조합 및 허용응력 증가계수를 나타내었다. 세부사항에 대해서는 각 장에 그 내용이 상술되어 있다.

① 강교

표 8.3.1 강교에서의 하중조합 및 허용응력 증가계수

하중 조합			허용응력 증가계수
1	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+온도변화의 영향	P+PP+T	1.15
2	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중	P+PP+LF	1.25
3	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중	P+PP+SB	1.25
4	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	P+PP+W	1.25
5	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중+풍하중	P+PP+LF+W	1.35
6	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중+풍하중	P+PP+SB+W	1.35
7	차량횡하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	LF+PP+W	1.25
8	풍하중+시동하중 또는 제동하중	W+SB	1.25
9	주하중*+지진의 영향	P+E	1.55
10	주하중+충돌하중	P+CO	1.60
11	가설하중	ER	1.25

주 : 주하중* - 이 경우에는 주하중에 충격하중과 원심하중을 포함시키지 않고, 단선 활하중을 포함시킨다. 가설하중의 경우, 특히 가설기간이 길거나 신공법으로 가설되는 교량에 대해서는 허용응력을 증가시키지 않는다.

② 콘크리트교

가. 가설하중에 대한 허용응력 증가계수의 값은 가설시 하중으로서 가설시의 풍하중 및 지진의 영향을 고려하지 않은 경우에 대한 규정이다. 따라서 이를 고려하는 경우에는 허용응력 증가계수를 <표 8.3.1> 및 <표 8.3.2>에 주어진 값과 관계없이 가교지점의 조건, 시공 중의 구조계 등을 고려하여 별도로 정한 값으로 해야 한다.

Table 8.3.2 Load combination and increment factor for concrete bridge

Load combination			Increment factor
1	FL corresponding to PL+PL +temperature effect	P+PP+T	1.15
2	FL corresponding to PL+PL + VLL FL	P+PP+LF	1.25
3	FL corresponding to PL+PL + SL or BL	P+PP+SB	1.25
4	FL corresponding to PL+PL + WL	P+PP+W	1.25
5	FL corresponding to PL+PL + VLL + WL	P+PP+LF+W	1.35
6	FL corresponding to PL+PL + SL or BL +WL	P+PP+SB+W	1.35
7	FL corresponding to VLL + PL + WL	LF+PP+W	1.25
8	WL + SL or BL (brake load)	W+SB	1.25
9	PL + seismic effect	P+E	1.40
10	PL + CL (collision load)	P+CO	1.50
11	EL (erection load)	ER	1.25

Note: P* - Primary load includes a single track live load without impact and centrifugal load.

B. When considering secondary load and special load corresponding to secondary load on concrete bridge, allowable tensile stress of PS member shall be 90% or less of yield point, and allowable stress of concrete and PS steel at transfer shall not be increased.

③ Substructure

A. Reinforced and plain concrete, steel structure

표 8.3.2 콘크리트교에서의 하중조합 및 허용응력 증가계수

하중 조합			허용응력 증가계수
1	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+온도변화의 영향	P+PP+T	1.15
2	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중	P+PP+LF	1.25
3	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중	P+PP+SB	1.25
4	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	P+PP+W	1.25
5	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중+풍하중	P+PP+LF+W	1.35
6	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중+풍하중	P+PP+SB+W	1.35
7	차량횡하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	LF+PP+W	1.25
8	풍하중+시동하중 또는 제동하중	W+SB	1.25
9	주하중*+지진의 영향	P+E	1.40
10	주하중+충돌하중	P+CO	1.50
11	가설하중	ER	1.25

주 : 주하중* - 이 경우에는 주하중에 충격하중과 원심하중을 포함시키지 않고, 단선 활하중을 포함시킨다.

나. 콘크리트교에서 부하중 및 부하중에 해당하는 특수하중을 고려하는 경우에 PS강재의 허용인장응력은 PS강재 항복점의 90% 이하의 값으로 하며, 프리스트레싱 직후의 콘크리트 및 PS강재의 허용응력은 증가시키지 않는다.

③ 하부구조

가. 철근 및 무근 콘크리트, 강구조

Table 8.3.3 Load combination and allowable stress increment factor for substructure

Load combination			increment factor
1	FL corresponding to PL+PL +temperature effect	P+PP+T	1.15
2	FL corresponding to PL+PL + VLL FL	P+PP+LF	1.25
3	FL corresponding to PL+PL + SL or BL	P+PP+SB	1.25
4	FL corresponding to PL+PL + WL	P+PP+W	1.25
5	FL corresponding to PL+PL + VLL + WL	P+PP+LF+W	1.35
6	FL corresponding to PL+PL + SL or BL +WL	P+PP+SB+W	1.35
7	VLL + FL corresponding to PL + WL	LF+PP+W	1.25
8	PL + CL	P+CO	
	For steel structure		1.60
	Plain and reinforced concrete		1.50
9	PL + seismic effect	P+E	
	For steel structure		1.55
	Plain and reinforced concrete		1.40
10	Combination of erection load	ER	
	When stress is significantly decreased thereafter		1.50
	Stress after completion is equal to allowable stress		1.25

Note: P* - Primary load includes a single track live load without impact and centrifugal load.

B. Prestressed concrete pile

Considering the seismic effect, allowable flexural tensile stress of prestressed concrete pile shall be as shown in <Table 8.3.4>.

Table 8.3.4 Allowable flexural tensile stress of prestressed concrete pile, considering the seismic effect

Effective prestress, f_{ce} (MPa)	$4 \leq f_{ce} < 7$	$7 \leq f_{ce}$
Allowable flexural tensile stress (MPa)	3	5

표 8.3.3 하부구조에서의 하중조합 및 허용응력 증가계수

하중 조합			허용응력 증가계수
1	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+온도변화의 영향	P+PP+T	1.15
2	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중	P+PP+LF	1.25
3	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중	P+PP+SB	1.25
4	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	P+PP+W	1.25
5	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중+풍하중	P+PP+LF+W	1.35
6	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중+풍하중	P+PP+SB+W	1.35
7	차량횡하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	LF+PP+W	1.25
8	주하중+충돌하중	P+CO	
	강구조에 대하여		1.60
	무근 및 철근콘크리트 구조에 대하여		1.50
9	주하중*+지진의 영향	P+E	
	강구조에 대하여		1.55
	무근 및 철근콘크리트 구조에 대하여		1.40
10	가설하중의 조합	ER	
	완성 후의 응력이 현저히 저하되는 경우		1.50
	완성 후의 응력이 허용응력과 같은 정도로 되는 경우		1.25

주 : 주하중* - 이 경우에는 주하중에 충격하중과 원심하중을 포함시키지 않고, 단선 활하중을 포함시킨다.

나. 프리스트레스트 콘크리트 말뚝

지진의 영향을 고려할 때, 프리스트레스트 콘크리트 말뚝의 허용휨인장응력은 <표 8.3.4>에 주어진 값을 따른다.

표 8.3.4 지진의 영향을 고려할 때 프리스트레스트 콘크리트 말뚝의 콘크리트 허용휨인장응력

유효프리스트레스 f_{ce} (MPa)	$4 \leqq f_{ce} < 7$	$7 \leqq f_{ce}$
허용휨인장응력(MPa)	3	5

8.3.4 Load combination according to the strength design method

Load combination of bridge according to the strength design method.

(1) Load factor in major load combinations

$$U = 1.35D + 1.85(L + I) + 1.35CF(LF) + 1.6H + 1.4Q \quad (8.3.1)$$

$$U = 1.6(D + L + I + CF(LF) + H + Q) \quad (8.3.2)$$

$$U = 1.35D + 1.4(L + I) + 1.35CF(LF) + 1.6H + 1.35Q + 1.35G \quad (8.3.3)$$

$$U = 1.35D + 1.6H + 1.35Q + 1.35W + 1.35G \quad (8.3.4)$$

$$U = 1.35D + 1.4(L + I) + 1.35CF(LF) + 1.6H + 1.35Q + 1.35(0.5W + WL) + 1.4(SB + LR) + 1.35G \quad (8.3.5)$$

$$U = 1.0D + 1.0\left(\frac{L}{2}\right) + 1.0H + 1.0Q + 1.0E \quad (8.3.6)$$

where, L/2 of <Eq. (8.3.6)> refers to a single track live load

$$U = 1.35D + 1.4(L + I) + 1.6H + 1.35Q + 1.35CO \quad (8.3.7)$$

$$U = 1.2D + 1.5H + 1.2Q + 1.2W + 1.2CO \quad (8.3.8)$$

where, when centrifugal force (CF) and lateral force (LF) are acting simultaneously, only the greater force is assumed to be acting.

(2) In all load combinations in (1), dead load factor and earth pressure factor of each case in <Table 8.3.5> shall be the values in the Table.

8.3.4 강도설계법에 따른 하중조합

강도설계법을 적용하는 교량의 하중조합은 다음을 따른다.

(1) 주요 하중조합의 하중계수

$$U = 1.35D + 1.85(L + I) + 1.35CF(LF) + 1.6H + 1.4Q \quad (8.3.1)$$

$$U = 1.6(D + L + I + CF(LF) + H + Q) \quad (8.3.2)$$

$$U = 1.35D + 1.4(L + I) + 1.35CF(LF) + 1.6H + 1.35Q + 1.35G \quad (8.3.3)$$

$$U = 1.35D + 1.6H + 1.35Q + 1.35W + 1.35G \quad (8.3.4)$$

$$U = 1.35D + 1.4(L + I) + 1.35CF(LF) + 1.6H + 1.35Q + 1.35(0.5W + WL) + 1.4(SB + LR) + 1.35G \quad (8.3.5)$$

$$U = 1.0D + 1.0(L/2) + 1.0H + 1.0Q + 1.0E \quad (8.3.6)$$

여기서, <식 (8.3.6)>의 L/2는 단선 활하중을 의미한다.

$$U = 1.35D + 1.4(L + I) + 1.6H + 1.35Q + 1.35CO \quad (8.3.7)$$

$$U = 1.2D + 1.5H + 1.2Q + 1.2W + 1.2CO \quad (8.3.8)$$

여기서, 원심하중(CF)과 횡하중(LF)이 동시에 작용하는 경우 큰 쪽의 하중이 작용하는 것으로 가정한다.

(2) (1)항의 모든 하중조합에서 <표 8.3.5>의 각 경우에 대한 고정하중계수와 토압하중계수는 각 표에 제시한 값을 사용해야 한다.

Table 8.3.5 When designing by changing dead load factor and earth pressure coefficient in the major load combination.

Equation	Dead load factor	Earth pressure coefficient	
	① When designing the column for min. axial load and max. moment or max. eccentricity	② When reviewing positive moment of the deck for rahmen structure	③ When designing vertical earth pressure
(8.3.1) ~ (8.3.7), (8.3.9)	0.8	0.6	1.4
(8.3.10)	0.9	0.8	1.2

(3) When designing the foundation, load increment according to load factor is not applied to earth pressure or pile load. When reviewing the stability of the foundation structure using safety factor for overturn or sliding, load factor is not used.

8.4 Material

8.4.1 Steel

(1) General

Material used for a steel railway bridge include structural steel, connection steel and bearing steel, and these shall be in accordance with Korea Industrial Standards (KS) unless otherwise specified. When using new material, proper evidence shall be provided. KS shall be as described in <Table 8.4.1>.

(2) Structural steel

Structural steel shall be in accordance with 「Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge」.

(3) Connection material

Welding material and bolts shall be in accordance with 「Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge」.

표 8.3.5 주요하중조합에서 고정하중계수와 토압하중계수를 바꾸어 설계하는 경우

식	고정하중계수	토압하중계수	
	① 기둥설계시 최소축하중 및 최대 모멘트 또는 최대 편심에 대하여 설계할 경우	② 라멘구조에서 횡토압에 의해 상판의 정모멘트를 검토하는 경우	③ 연직토압에 대하여 설계할 경우
(8.3.1) ~ (8.3.7), (8.3.9)	0.8	0.6	1.4
(8.3.10)	0.9	0.8	1.2

(3) 기초를 설계할 경우 토압이나 파일하중 등에는 하중계수에 의한 하중증가를 시키지 않는다. 또한 전도, 활동 등에 대한 안전율을 사용하여 구조물 기초의 안정성을 검토하는 경우에도 하중계수를 사용하지 않는다.

8.4 사용재료

8.4.1 강재

(1) 일반사항

강철도교에 일반적으로 사용되는 재료는 구조용 강재, 연결용 강재, 받침용 재료가 있으며 이들 재료는 특별한 것을 제외하고는 「한국산업규격(KS)」에 규정된 것을 사용해야 한다. 기술의 진보에 따라 새로운 재료를 적용할 때는 타당한 근거를 가지고 사용해야 한다. KS 규격은 <표 8.4.1>과 같다.

(2) 구조용 강재

구조용 강재는 「제9장 강교 및 강합성교」의 규정에 따른다.

(3) 연결용 재료

용접재료 및 볼트재료는 「제9장 강교 및 강합성교」의 규정에 따른다.

Table 8.4.1 KS No. and Description

KS No.	Description	KS No.	Description
KS B 1002	Hexagon bolt	KS F 2453	Concrete compression creep test method
KS B 1010	Frictional high tension hexagon bolt, nut, flat washer set	KS F 2526	Aggregate for concrete
KS B 1012	Hexagon nut	KS F 2527	Crushed aggregate for concrete
KS D 3503	Structural rolled steel	KS F 2544	Furnace slag for concrete
KS D 3504	Steel bar for RC	KS F 2560	Chemical mixture for concrete
KS D 3505	PS steel bar	KS F 4009	Ready mixed concrete
KS D 3509	Piano wire	KS F 4301	Centrifugal RC pile
KS D 3515	Rolled steel for welding structure	KS F 4303	Pretension centrifugal PC pile
KS D 3529	Hot rolled steel for welding	KS F 4306	Pretension centrifugal high-strength concrete pile
KS D 3559	Hard steel wire		
KS D 3566	Carbon steel pipe for structure	KS F 4420	Elastomeric bearing for bridge
KS D 3698	Cold rolled stainless steel	KS F 4424	Pot bearing for bridge
KS D 3710	Carbon steel forged steel	KS F 4602	Steel pipe pile
KS D 3752	Carbon steel for mechanical	KS F 4603	H pile
KS D 4101	Carbon steel cast steel	KS F 4605	Steel pipe sheet pile
KS D 4102	High tension carbon steel & low alloy steel cast steel	KS L 5201	Portland cement
		KS L 5210	Furnace slag cement
KS D 4106	Cast steel for welding structure	KS L 5211	Fly ash cement
KS D 4301	Gray cast iron	KS L 5405	Fly ash
KS D 4302	Ductile cast iron	KS M 6617	Cushion rubber
KS D 7002	PS steel wire & PS strand		
KS D 7004	Mild steel arc welding electrode		
KS D 7006	High tension steel arc welding rod		

(4) Bearing material

① This shall be in accordance with <Table 8.4.2>. As there is no significant difference between GC 250 and GC 150 and high ductility, GC 250 is usually used for cast iron. Given the high welding requirement in steel bearing, category 1 and 2 of KS D 4106 and category 1 and 2 of low manganese cast steel were added. Carbon steel for mechanical use is usually used for machinery, but it is introduced because of its good performance. Special stainless steel for roller and support has yet to be standardized in KS, and the quality review is required. Copper alloy bearing is used with solid lubricant and natural graphite. Copper alloy bearing plate is used to reduce the friction of the bearing, and solid lubricant is injected on the sliding surface.

표 8.4.1 한국산업규격(KS)번호 및 규격명

규격번호	규격명	규격번호	규격명
KS B 1002	6각볼트	KS F 2453	콘크리트의 압축 크리프 시험방법
KS B 1010	마찰접합용 고장력	KS F 2526	콘크리트용 골재
	6각볼트.6각너트.평와셔의 세트	KS F 2527	콘크리트용 부순골재
KS B 1012	6각너트	KS F 2544	콘크리트용 고로슬래그 골재
KS D 3503	일반구조용 압연강재	KS F 2560	콘크리트용 화학혼화제
KS D 3504	철근콘크리트용 봉강	KS F 4009	레디믹스트 콘크리트
KS D 3505	PS강봉	KS F 4301	원심력 철근 콘크리트 말뚝
KS D 3509	피아노 선재	KS F 4303	프리텐션 방식 원심력 PC 말뚝
KS D 3515	용접구조용 압연강재	KS F 4306	프리텐션 방식 원심력 고강도
KS D 3529	용접구조용 내후성 열간 압연강재		콘크리트 말뚝
KS D 3559	경강선재	KS F 4420	교량지지용 탄성받침
KS D 3566	일반구조용 탄소강관	KS F 4424	교량지지용 포트받침
KS D 3698	냉간압연 스테인리스 강판 및 강대	KS F 4602	강관말뚝
KS D 3710	탄소강 단강품	KS F 4603	H 형강 말뚝
KS D 3752	기계구조용 탄소강재	KS F 4605	강관 시트파일
KS D 4101	탄소강 주강품	KS L 5201	포틀랜드 시멘트
KS D 4102	구종요 고장력 탄소강 및 저합금강	KS L 5210	고로 슬래그 시멘트
	주강품	KS L 5211	플라이애쉬 시멘트
KS D 4106	용접구조용 주강품	KS L 5405	플라이애쉬
KS D 4301	회주철품	KS M 6617	방진고무용 고무재료
KS D 4302	구상흑연 주철품		
KS D 7002	PS강선 및 PS강연선		
KS D 7004	연강용 피복 아크 용접봉		
KS D 7006	고장력 강용 피복아크 용접봉		

(4) 받침용 재료

① 받침용 재료는 <표 8.4.2>의 것을 사용한다. 주조기술의 발달에 의해 GC 250은 GC 150과 큰 가격 차이가 없고 인성도 높기 때문에 주철에 관해서는 GC 250을 사용한다. 최근에 주강받침에서 용접성이 요구되는 경우가 많고, 강도가 높은 것을 필요로 하므로 KS D 4106의 1종 및 2종과 KS D 4102중 저망간강주강품 1종 및 2종을 첨가했다. 기계구조용 탄소강 강재는 종래 기계부품으로서 사용되어 온 것이지만 생산량 및 사용실적이 많고 재질면에서도 안정되어 있어 도입되었다. 롤러 및 받침판에 이용하는 특수 스테인레스강에 관해서는 KS화 되어 있지 않으므로 품질 등을 검토해서 이용해야 한다. 동합금 받침판에 관해서는 고체윤활제와 천연흑연과 함께 사용되는데 동합금 받침판이란 받침의 마찰을 줄이기 위해 사용하는 고장력 황동 주물판으로서 그 미끄럼면에 흑연을 주체로 한 고체윤활제를 주입한 것을 말한다.

Table 8.4.2 Bearing Material

Type	Specification	Symbol
Cast steel	KS D 4101 (steel casting carbon steel) category 3 & 4	SC 450 & SC 480
	KS D 4106 (steel casting for welding structure) category 1 & 2	SCW 410 & SCW 480
	KS D 4102 (structural high tension carbon steel and steel casting low alloy steel) low manganese casting steel category 1 & 2	SCMn 1A & SCMn 2A
Cast iron	KS D 4301 (gray cast iron) category 4	GC 250
Alloy steel	KS D 3752 (carbon steel for mechanical structures)	SM 30 CN & SM 35 CN

② Allowable stress of bearing steel

Allowable bending stress and shear stress of steel shall be as described in <Table 8.4.3>. Allowable bearing stress of steel shall be as follows.

Table 8.4.3 Allowable bending stress and shear stress of steel (MPa)

Steel \ Allowable stress		Allowable bending stress			Allowable shear stress	
		tension	compression	pin	general	pin
Rolled steel	SS400	140		200	80	105
	SM400	140		200	80	105
	SM490	190		270	105	145
Cast iron	GC250	60	120	-	45	-
Cast steel	SC450	110	125	-	80	-
	SC480	120	140	-	90	-
	SCW410	130	140	-	80	-
	SCW480	160	170	-	100	-
	LMnSC1A	160	170	-	100	-
	LMnSC2A	180	190	-	110	-
Alloy steel	SM35C	190	190	260	110	140
	SM45C	210	210	290	120	150

표 8.4.2 받침용 재료

종류	규격	기호
주강	KS D 4101(탄소강주강품) 3종 및 4종	SC 450 및 SC 480
	KS D 4106(용접구조용주강품) 1종 및 2종	SCW 410 및 SCW 480
	KS D 4102(구조용고장력탄소강 및 저합금강주강품)저망간주강품 1종 및 2종	SCMn 1A 및 SCMn 2A
주철	KS D 4301(회주철품)4종	GC 250
합금강	KS D 3752(기계구조용탄소강재)	SM 30CN 및 SM 35CN

② 받침에 사용하는 강재의 기준허용응력

강재의 기준허용휨응력 및 허용전단응력은 <표 8.4.3>에 의해야 한다. 강재의 기준허용지압응력은 다음과 같이 정해야 한다.

표 8.4.3 받침에 사용하는 강재의 기준허용휨응력 및 허용전단응력(MPa)

허용응력 / 강재종류		허용휨응력			허용전단응력	
		인장측	압축측	핀	일반	핀
압연강재	SS400	140		200	80	105
	SM400	140		200	80	105
	SM490	190		270	105	145
주철품	GC250	60	120	-	45	-
주강품	SC450	110	125	-	80	-
	SC480	120	140	-	90	-
	SCW410	130	140	-	80	-
	SCW480	160	170	-	100	-
	LMnSC1A	160	170	-	100	-
	LMnSC2A	180	190	-	110	-
구조용 합금강	SM35C	190	190	260	110	140
	SM45C	210	210	290	120	150

A. Line bearing

$$K_1\left(\frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2}\right) \quad \text{(N/mm)} \qquad (8.4.1)$$

B. Roller bearing

$$0.8K_1 r_2 \quad \text{(N/mm)} \qquad (8.4.2)$$

C. Spherical bearing

$$K_2\left(\frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2}\right)^2 \quad \text{(N/mm)} \qquad (8.4.3)$$

D. where, K_1, K_2 shall be in accordance with <Table 8.4.4> and r_1, r_2 (m) in accordance with <Fig. 8.4.1>.

Table 8.4.4 Combination of material (MPa)

Combination / Factor	SS400 & GC250	SS400	SC450 SCW410	SM490	SC480 SCW480 LMnSC1A	SM35C & LMnSC2A
K1	15	10		13		15
K2	-	0.08		0.13		0.16

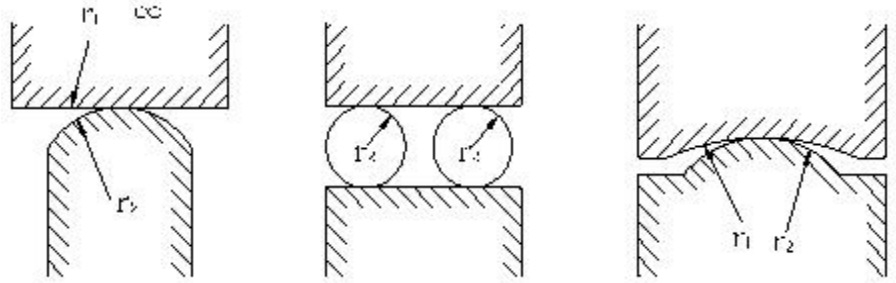


Fig. 8.4.1 Line bearing, roller bearing, spherical bearing

③ Allowable bearing stress of copper alloy bearing shall be 35 MPa.

④ See related item for elastomeric bearing material.

가. 선받침 (Line bearing)

$$K_1\left(\frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2}\right) \quad \text{(N/mm)} \qquad (8.4.1)$$

나. 로울러받침 (Roller bearing)

$$0.8\ K_1 r_2 \quad \text{(N/mm)} \qquad (8.4.2)$$

다. 구면받침 (Spherical bearing)

$$K_2\left(\frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2}\right)^2 \quad \text{(N/mm)} \qquad (8.4.3)$$

라. 여기서, K_1, K_2의 값은 <표 8.4.4>에 따르고 r_1, r_2(m)는 <그림 8.4.1>에 의해야 한다.

표 8.4.4 재료의 조합(MPa)

조합 / 계수	SS400과 GC250	SS400	SC450 SCW410	SM490	SC480 SCW480 LMnSC1A	SM35C과 LMnSC2A
K_1	15	10		13		15
K_2	-	0.08		0.13		0.16

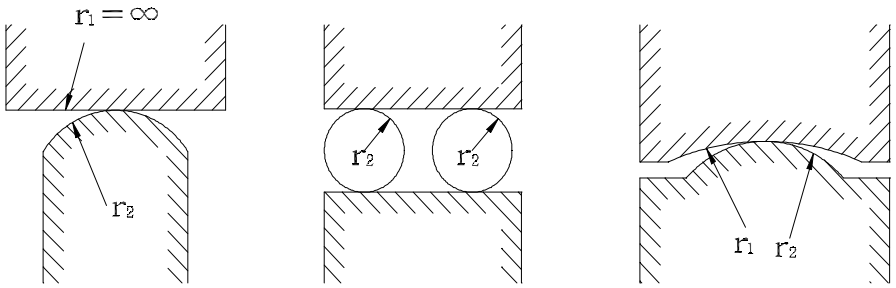


그림 8.4.1 선받침, 로울러받침, 구면받침

③ 동합금 받침판의 기준허용지압응력은 35MPa로 해야 한다.

④ 탄성받침의 재료는 관련항목 참조

⑤ Bearing rubber and steel plate shall be as described in <Table 8.4.5>. There are many types of rubber bearing, but a single rubber or multiple rubber plate with laminated steel plate was adopted. Rubber shall be Chlorophyllin material according to KS M 6617 C 08-b1, which shall meet strength, stiffness and durability requirements. When using other material, performance shall be checked. Stainless steel shall be used, as reinforced plate considering repeated friction though weatherproof steel is partly used.

Table 8.4.5 Bearing rubber and reinforced steel plate

Type	Specification	Symbol
Chlorophyllin rubber	KS M 6617 (material for cushion rubber)	C 08-b1
Steel plate	KS D 3698 (cold rolled stainless steel & steel armour)	STS 304

(5) Material characteristics of steel

These shall be in accordance with 「Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge」.

8.4.2 Concrete

(1) General

This shall apply to concrete material for steel bridge, RC bridge, prestressed concrete bridge and substructure.

(2) Concrete material

Concrete material shall be in accordance with the following.

① Cements shall conform to or have a higher quality than those specified in KS L 5201, KS L 5205, KS L 5210, KS L 5211, KS L 5217, KS L 5401.

② Concrete aggregates shall conform to the following provisions.

A. Concrete aggregates shall conform to or have a higher quality than those specified in KS.

B. Aggregate shall have adequate hardness and grading, and be clean and durable. It shall not contain deleterious substances such as clay lump, organic matter, and pieces of slender stone, and shall conform to KS F 2526, KS F 2527, KS F 2534, KS F 2543, KS F 2544, and KS F 2573

C. If concrete aggregate does not belong the standardized products mentioned above, it shall conform to KS F 2502, KS F 2503, KS F 2504, KS F 2529, KS F 2533, and KS F 2468 or the equivalent or higher product. Exceptionally, when the required quality of concrete using a type of aggregate is guaranteed by verification from testing, the aggregate can be used under the approval by qualified structural engineer.

⑤ 받침용 고무판 및 그 보강 강판에는 <표 8.4.5>의 것을 사용한다. 고무를 이용한 받침에는 여러 가지 구조가 있으나 고무판 1개 또는 여러 개를 강판에 중첩한 것을 대상으로 했다. 고무의 재질은 KS M 6617 C 08-b1에 부합되는 양질의 클롤로필렌계의 것이 일반적으로 자주 이용되고 있으나 강도, 강성, 내구성 등이 확보되어야 한다. 다른 재질을 이용하는 경우에는 성능을 확인할 필요가 있다. 보강판에 관해서는 내후성강판을 이용한 것도 있지만 접촉면이 반복되어 마찰되는 상황을 고려하면 적당하지 않으므로 일단 스테인레스강판을 사용하는 것으로 제한한다.

표 8.4.5 받침용 고무판 및 보강 강판

종별	규격	기호
클로로필렌계 고무	KS M 6617(방진고무용 고무재료)	C 08-b_1
보강 강판	KS D 3698(냉간압연 스테인레스 강판 및 강대)	STS 304

(5) 강재의 재료 특성치

강재의 재료 특성치는 「제9장 강교 및 강합성교」의 규정에 따른다.

8.4.2 콘크리트

(1) 일반사항

이 설계기준을 이용하여 설계하는 강교, 철근콘크리트교, 프리스트레스트 콘크리트교 및 하부구조에 사용하는 콘크리트 재료에 대하여 규정한 것이다.

(2) 콘크리트 재료

콘크리트 재료는 다음 각 항에 나타낸 재료를 사용하는 것으로 한다.

① 시멘트는 한국산업규격(KS L 5201, 5205, 5210, 5211, 5217, 5401)에 규정한 것과 같거나, 또는 이와 동등 이상의 것을 사용해야 한다.

② 골재의 품질과 크기는 다음의 규정에 따라야 한다.

가. 골재는 한국산업규격(KS)에 규정한 것과 같거나, 또는 이와 동등 이상의 것을 사용해야 한다.

나. 골재는 요구되는 경도나 입도를 가지며 깨끗하고 내구성이 있는 것으로, 점토 덩어리, 유기물, 세장석판 등의 해로운 물질을 포함하지 않아야 하며, KS F 2526, KS F 2527, KS F 2543, KS F 2544, KS F 2573에 규정된 품질로 해야 한다.

다. 위 규격품이 아니더라도 KS F 2502, KS F 2503, KS F 2504, KS F 2529, KS F 2533, KS F 2468의 골재와 관련된 한국산업규격(KS)에 규정한 것과 같거나, 또는 이와 동등 이상의 것을 사용해야 한다. 그리고 이외에는 시험에서 요구되는 입도로서 소요 품질의 콘크리트를 만들 수 있다고 입증되는 경우에만 책임기술자의 승인을 얻은 후에 사용할 수 있다.

D. Nominal maximum size of coarse aggregate shall not be greater than the following values. These limitations shall be permitted not to be applied according to the judgment of the qualified structural engineer, if methods of compaction are adequate such that concrete can be placed without voids.
   (a) 1/5 the narrowest distance between two sides of forms
   (b) 1/3 the depth of slabs
   (c) 3/4 the minimum clear spacing between individual reinforcing bars, bundles of bars, tendons, or ducts.

E. Marine sand shall not be used as fine aggregate, and when it is inevitably necessary to use marine sand, the chloride ions contained in marine sand shall be less than 0.022% of the absolute dry weight of fine aggregate (corresponding to 0.04% when converting to sodium chloride).

③ Chemical admixtures shall conform to the following provisions.

A. Chemical admixtures shall conform to or have a higher quality than KS F 2560.

B. Chemical admixtures shall be verified by satisfactory quality inspection and testing and shall be approved by the qualified structural engineer.

C. During construction, chemical admixtures shall maintain the ingredients and performance that are consistent with those used for the determination of the concrete mixture proportions.

D. Calcium chloride or chemical admixtures containing chloride shall not be used in prestressed concrete, in concrete containing aluminum embedments, or in concrete cast using galvanized steel forms.

E. If using an admixture not specified in KS F 2560, applicability shall first be confirmed through the test. If it is inevitably necessary to use plasticizer, it shall first be reviewed for quality control. A careful check shall be performed to determine if admixture contains excessive calcium chloride, particularly the product for acceleration.

④ Water used for manufacturing concrete shall conform to the following provisons.

A. Water used for concrete mixture shall be clean and not contain impurities such as acids, oil, alkalis, chlorides, organic matters and deleterious substances to concrete and steel.

B. Water used for concrete mixture shall conform to KS F 4009, Appendix 2.

C. Water and aggregate surface water used for prestressed concrete or aluminum-containing concrete shall not contain more than a hazardous amount of chlorine ions.

D. Non-portable water, which does not satisfy the following provisions, shall not be used for concrete mixture.

라. 굵은골재의 공칭 최대 치수는 다음 값을 초과하지 않아야 한다. 그러나 이러한 제한은 콘크리트를 공극 없이 칠 수 있는 다짐 방법을 사용할 경우에는 책임기술자의 판단에 따라 적용하지 않을 수 있다.

㉮ 거푸집 양 측면 상의 최소 거리의 1/5

㉯ 슬래브 두께의 1/3

㉰ 개별 철근, 다발철근, 긴장재 또는 덕트 사이 최소 순간격의 3/4

마. 잔골재에는 가능한 한 해사를 사용하지 않는 것이 바람직하다. 부득이 해사를 사용해야 하는 경우에는 해사에 포함된 염화물 이온량은 잔골재의 절대 건조중량에 대해 0.022%(염화나트륨으로 환산하면 약 0.04 %에 상당) 이하로 한다.

③ 화학혼화제의 품질과 사용은 다음 규정에 따라야 한다.

가. 화학혼화제는 한국산업규격 KS F 2560에 규정한 것과 같거나, 또는 이와 동등 이상의 것을 사용해야 한다.

나. 화학혼화제를 사용할 경우에는 품질조사와 시험을 거친 후 책임기술자의 승인을 얻어야 한다.

다. 화학혼화제는 콘크리트 배합을 결정할 때에 사용했던 제품과 동일한 성분 및 성능을 공사 중 일관되게 유지해야 한다.

라. 염화칼슘 또는 염소이온을 포함하는 화학혼화제는 프리스트레스트 콘크리트, 알루미늄 제품을 매입한 콘크리트 또는 아연 도금한 고정형 금속형틀을 사용한 콘크리트의 경우에 사용하지 않아야 한다.

마. KS F 2560에 규정되어 있지 않은 종류의 혼화제를 사용하는 경우에는 적합시험 등에 의해 그 적용성을 확인하여 사용해야 한다. 부득이하게 유동화제를 사용하는 경우에는 사용방법에 대해서 사전에 검토하여 품질관리를 해야 한다. 혼화제 가운데는 다량의 염화물을 포함하고 있는 것이 있으므로 사용할 때 주의를 요하는 것이 있다. 특히 촉진형인 것은 염화칼슘 등이 주성분의 하나로 되는 것이 많으므로 특히 주의를 요한다.

④ 콘크리트를 제조할 때 사용되는 물은 다음 규정에 따라야 한다.

가. 콘크리트 배합에 사용되는 물은 청정한 것으로서 일반적으로 산, 기름, 알칼리, 염분, 유기물 그리고 콘크리트 및 철근에 유해한 물질을 포함하지 않아야 한다.

나. 콘크리트의 배합에 사용되는 물은 KS F 4009 부속서 2에 적합한 것으로 한다.

다. 프리스트레스트 콘크리트 또는 알루미늄 제품을 매입한 콘크리트 배합에 사용하는 물과 골재의 표면수는 유해량의 염소이온을 함유하지 않아야 한다.

라. 식수로 부적당한 물은 다음에 열거한 사항을 만족하지 못하면 콘크리트에 사용될 수 없다.

(a) Concrete mixture proportions shall be established using the water of the same source.

(b) 7-day and 28-day strength of the mortar specimen using non-potable water shall be 90% or more that of the specimen using potable water. Strength test to compare depending on water shall use the same mortar and be prepared and performed in accordance with KS L 5105.

⑤ Mineral admixtures for concrete mixture shall conform to the following provisons.

A. Fly ash as admixture for concrete shall conform to KS L 5405.

B. Concrete expansion agent used as admixture shall be in accordance with KS F 2562.

C. Furnace slag powder used as admixture shall be in accordance with KS F 2563.

D. Silica fume used as admixture shall be in accordance with KS F 2567.

E. In addition to A, B and C above, siliceous powder and high strength admixture are used as admixture, which however are not standardized in quality and size and the quality and use shall be checked by investigation or test to ensure required concrete durability will be secured.

F. Admixture of any kind shall be checked in terms of material and use before using.

(3) Material characteristics of concrete

Material characteristics of concrete used for railway bridge shall be in accordance with 「Chapter 10 Concrete Bridge」.

8.5 Serviceability and durability

8.5.1 General

(1) In order to ensure satisfactory performance of structural system or member, serviceability and durability requirements under service load shall be considered.

(2) For the verification of serviceability requirements, the effects of crack, deflection, and fatigue shall be considered as specified in this Code.

8.5.2 Fatigue

(1) Scope of application

① This is intended to review the safety against fatigue considering the high rate and frequency of fluctuation load.

② Fatigue of steel bridge shall be reviewed in accordance with the provisions in 9.4.3 of 「Chapter 9 Steel Bridge」.

③ Fatigue of concrete bridge shall be reviewed as follows.

A. Flexural and shear strength of beam shall also be reviewed.

B. Column need not be checked for fatigue. When bending moment or axial tensile force is large, column is reviewed as equivalent to beam.

㉮ 동일 수원의 물을 사용하여 이에 배합설계를 해야 한다.

㉯ 식수가 아닌 물로 만들어진 모르타르 시험체의 7일과 28일 강도는 식수로 만들어진 같은 형태의 공시체 강도의 90% 이상의 강도를 각각 가져야 한다. 사용한 물의 차이에 따른 강도비교 시험은 물 이외에는 같은 조건의 모르타르를 사용하여 실시하고, 그 시험을 KS L 5105에 따라 준비, 시험해야 한다.

⑤ 콘크리트를 제조할 때 사용되는 혼화재는 다음 규정에 따라야 한다.

가. 혼화재로 사용할 플라이애쉬는 KS L 5405에 적합한 것이어야 한다.

나. 혼화재로 사용할 콘크리트용 팽창제는 KS F 2562에 적합한 것이어야 한다.

다. 혼화재로 사용할 고로슬래그 미분말은 KS F 2563에 적합한 것이어야 한다.

라. 혼화재로 사용할 실리카퓸은 KS F 2567에 적합한 것이어야 한다.

마. 「가. 나. 및 다.항」이외의 혼화재로서는 규산질 미분말 및 고강도용 혼화재 등이 있다. 이들 혼화재에 대한 것은 아직 품질의 규격이 없고 또 사용방법도 다양하므로 이를 사용할 때는 미리 조사, 시험을 하여 품질을 확인하고 사용방법도 검토하여 제조한 콘크리트의 내구성에 영향이 없도록 해야 한다.

바. 어떠한 혼화재를 사용하는 경우에도 재료 특성뿐만 아니라 시공방법에도 특별한 배려가 필요하기 때문에 사전에 검토해야 한다.

(3) 콘크리트의 재료 특성치

철도교에 사용하는 콘크리트의 재료 특성치는 「제10장 콘크리트교」의 규정에 따른다.

8.5 사용성 및 내구성

8.5.1 일반사항

(1) 구조물 또는 부재가 사용기간 중 기능과 성능을 유지하기 위하여 사용하중을 받을 때의 사용성과 내구성을 검토해야 한다.

(2) 사용성 검토는 피로, 균열 및 처짐의 영향 등을 고려하여 이루어져야 한다.

8.5.2 피로

(1) 적용범위

① 이 규정은 하중 중에서 변동하중이 차지하는 비율이 높거나 작용빈도가 크기 때문에 피로에 대한 안전성 검토를 필요로 하는 경우를 위한 것이다.

② 강교량의 피로검토는 「제9장 강교」 9.4.3을 적용해야 한다.

③ 콘크리트교량의 피로검토는 다음과 같이 해야 한다.

가. 보 및 슬래브는 휨 및 전단에 대하여 검토해야 한다.

나. 기둥은 검토하지 않는다. 다만 휨모멘트나 축방향 인장력의 영향이 큰 경우에는 보에 준하여 검토해야 한다.

(2) Fatigue stress limit

① The range between maximum tensile stress and minimum stress of straight rebar by standard train load and impact under service load condition shall not exceed the value in <Eq. (8.5.1)>.

$$f_f = 165 - 0.33 f_{\min} \quad (8.5.1)$$

where, f_f : range of stress (MPa)

$f_{\min}$: Minimum stress level; tension in positive (+), compression in negative (−) (MPa)

② Bending of main rebar at high stress region shall be avoided.

③ When main rebar designed by an approximate method is perpendicular to train running direction, fatigue stress limit of concrete deck may not be considered.

8.5.3 Crack

(1) Excluding 「8.5.3(2) and (3)」, when design requirements including 「10.6.4 ③」 are met, crack is considered to have been checked.

(2) When the structure requires strict water tightness, crack shall be reviewed and in this case, allowable crack width to meet required water tightness shall be set and reviewed in accordance with 「Appendix V of *Concrete Structure Design Specifications* (2007)」.

(3) When the structure is of aesthetic importance, allowable crack width to meet required aesthetic view shall be set and reviewed in accordance with 「Appendix V of Concrete Structure Design Specifications (2007)」.

(4) Additional rebar to constrain the crack by temperature variation and shrinkage shall be placed in accordance with the provisions in 「10.4.8」, in addition to the rebar to constrain the crack by load. Rebar to constrain the crack shall be distributed around the section and diameter and spacing of rebar shall be reduced to as small and narrow as possible.

8.5.4 Deflection

(1) General

① Flexural member of bridge structure shall have sufficient stiffness to prevent hazardous effects caused by deflection or deformation under service load and impact.

② Load combination and provisions to review deflection shall be in accordance with running safety and ride quality provisions in 「8.6.3」.

③ Load combination when reviewing differential displacement shall be as described in <Table 8.5.1>.

(2) 피로응력한계

① 사용하중하에서 표준열차하중과 충격에 의해 야기되는 직선철근의 최대 인장응력과 최소응력 사이의 범위는 <식 (8.5.1)>의 값을 초과할 수 없다.

$$f_f = 165 - 0.33 f_{\min} \qquad (8.5.1)$$

여기서, f_f : 응력범위(MPa)

$f_{\min}$: 최소응력 수준으로 인장은 정(+), 압축은 부(-)의 값(MPa)

② 높은 응력범위의 구역에서는 주철근을 구부리는 일은 피해야 한다.

③ 근사방법에 따라 설계되는 주철근의 방향이 차량 진행방향에 직각인 콘크리트 바닥판에 대해서는 피로응력한계를 고려할 필요가 없다.

8.5.3 균열

(1) 「8.5.3(2) 및 (3)항」의 경우를 제외하고는 「10.6.4③항」을 포함하여 이 설계기준의 다른 모든 규정을 만족하는 경우 균열에 대한 검토가 이루어진 것으로 간주할 수 있다.

(2) 특별히 수밀성이 요구되는 구조는 균열에 대한 검토를 해야 한다. 이 경우 소요 수밀성을 갖도록 하기 위한 허용균열폭을 설정하여 「콘크리트 구조설계기준(2007)의 부록Ⅴ」에 따라 검토할 수 있다.

(3) 미관이 중요한 구조는 미관상의 허용균열폭을 설정하여 「콘크리트 구조설계기준(2007)의 부록Ⅴ」에 따라 균열을 검토할 수 있다.

(4) 부재는 하중에 의한 균열을 제어하기 위해 필요한 철근 외에도 필요에 따라 온도변화, 건조수축 등에 의한 균열을 제어하기 위한 추가적인 보강철근을 「10.4.8항」에 따라 배치해야 한다. 그리고 균열 제어를 위한 철근은 필요로 하는 부재 단면의 주변에 분산시켜 배치해야 하고, 이 경우 철근의 지름과 간격을 가능한 한 작게 해야 한다.

8.5.4 처짐

(1) 일반사항

① 교량구조물의 휨부재는 강성을 가짐으로써 사용하중과 충격으로 인해 발생한 처짐 또는 변형이 구조물의 강도나 실제사용에 해로운 영향을 주지 않도록 설계해야 한다.

② 처짐 검토를 위한 하중조합 및 기준은 「8.6.3항」주행안전성 및 승차감 검토를 따른다.

③ 부등변위에 대한 검토를 할 때의 하중조합은 <표 8.5.1>에 따른다.

Table 8.5.1 Load combination

Review Item		Load combination
Differential displacement	Ordinary	Dead load + train load + impact
	Seismic	Dead load + seismic impact (single track)

④ Minimum thickness of the member shall be as described in <Table 8.5.2> but when「8.6.3」is satisfied in deflection, minimum thickness described in <Table 8.5.2> may not be applied.

Table 8.5.2 Minimum thickness of member with constant height

Member	Minimum thickness (m)	
	Simple span	Continuous span
Bridge slab with main rebar in parallel with train direction	$\frac{1.2(l+3)}{30}$	$\frac{(l+3)}{30}$
T-girder	0.070 l	0.065 l
Box girder	0.060 l	0.055 l

Note) A. When a tapered member is used, <Table 8.5.2> may be changed to consider variable relative stiffness on positive moment section and negative moment section.

B. l is span (m).

(2) Deflection calculation

① Instantaneous deflection of the structure or member without crack shall be calculated using elastic theory with effective full section. At this time, guard rail, curb and the elements not integrated to superstructure before removing the form shall be excluded.

② Instantaneous deflection of the structure or member with crack shall be calculated considering reduced stiffness by crack.

③ A long-term deflection shall be calculated considering the stress of concrete and reinforcement under continuous load, and the effect of concrete creep and shrinkage.

④ Unless the stiffness of the member is calculated through a precise analysis, instantaneous deflection of the member shall be calculated by concrete elastic modulus in「10.2.1(3)」and moment of inertia of total section or effective moment of inertia represented in <Eq. (8.5.2)>.

표 8.5.1 하중조합

검토 항목		하중조합
부등변위	상시	고정하중 + 열차하중 + 충격
	지진시	고정하중 + 지진의 영향(단선재하)

④ 부재의 최소두께는 <표 8.5.2>에 따라야 한다. 다만, 처짐계산에 의하여 「8.6.3항」을 만족하는 경우에는 <표 8.5.2>의 최소 두께를 적용할 필요가 없다.

표 8.5.2 높이가 일정한 부재의 최소 두께

부재의 종류	최소 두께(m)	
	단순경간	연속경간
주철근이 차량 진행방향에 평행한 교량 슬래브	$\frac{1.2(l+3)}{30}$	$\frac{(l+3)}{30}$
T형 거더	$0.070\ l$	$0.065\ l$
박스 거더	$0.060\ l$	$0.055\ l$

주) 가. 변단면 부재가 사용되는 경우, <표 8.5.2>은 정모멘트 단면과 부모멘트 단면에서의 상대강성의 변화를 고려하기 위해 수정될 수 있다.
나. l 는 지간(m)를 나타낸다.

(2) 처짐의 산정

① 균열이 발생하지 않는 구조물 또는 부재의 순간처짐은 전단면을 유효로 보고 탄성이론으로 구한다. 이때 난간, 연석, 보도 및 거푸집이 제거되기 전에 상부구조 단면과 일체로 치지 않는 요소는 모두 제외해야 한다.

② 균열이 발생하는 구조물 또는 부재의 순간처짐은 균열의 발생에 따른 강성의 저하를 고려하여 구해야 한다.

③ 장기처짐은 지속하중하에서의 콘크리트와 철근의 응력을 고려하고 콘크리트의 크리프 및 건조수축의 영향을 고려하여 구해야 한다.

④ 부재의 강성도를 엄밀한 해석방법으로 구하지 않는 한, 부재의 순간처짐은 「10.2.1(3)항」에 규정된 콘크리트의 탄성계수와 총단면적의 단면 2차모멘트I_g나 <식 (8.5.2)>로 나타낸 유효단면 2차모멘트I_e를 사용하여 구해야 한다.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \quad (8.5.2)$$

where,

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (8.5.3)$$

M_a : Bending moment of the member at the stage when deflection is calculated

I_{cr} : Moment of inertia of cracked section transformed to concrete

y_t : Distance between the neutral axis of vertical section neglecting reinforcement and tension edge

f_r : Flexural tensile strength of concrete $f_r = 0.63\sqrt{f_{ck}}$

But when lightweight concrete is used, f_r shall be revised as follows.

A. When f_{ct} is specified, $\sqrt{f_{ck}}$ shall be replaced by in bel replaced by $1.76 f_{ct}$ in calculating f_r and $1.76 f_{ct}$ shall be $\sqrt{f_{ck}}$ or less.

B. When f_{ct} is not specified, f_r shall be multiplied by 0.75 for all-light weight concrete, and by 0.85 for sand-light weight concrete. When part of sand is replaced with lightweight aggregate, a linear interpolation shall be used.

⑤ For continuous span, averaged moment of inertia, calculated according to <Eq. (8.5.11)>, at critical sections for positive moment and negative moment shall be used. Given the stiffness of mid-span section considering the crack is mostly dependent on deflection, accuracy can be obtained when using the properties of the mid-span section of continuous members.

⑥ However, unless strict analysis is performed, additional long-term deflection by creep and shrinkage of concrete or lightweight concrete flexural members could be calculated by multiplying instantaneous deflection by the coefficient obtained according to <Eq. (8.5.4)>.

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \quad (8.5.4)$$

where, ρ' shall be computed at the midspan of a simple or continuous beams, or at the support of cantilevers. Time-dependent coefficient, ξ, for sustained load at a given loading period is defined as follows.

more than 5 years ····· 2.0
12 months ····· 1.4
6 months ····· 1.2
3 months····· 1.0

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \leqq I_g \qquad (8.5.2)$$

여기서, M_{cr} 은 균열모멘트로서 <식 (8.5.3)>으로 표시된다.

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \qquad (8.5.3)$$

M_a : 처짐이 계산되는 단계에서의 부재의 휨모멘트

I_{cr} : 콘크리트로 환산된 균열단면의 단면 2차모멘트

y_t : 철근을 무시한 종단면의 중심축에서 인장 연단까지의 거리

f_r : 콘크리트의 휨인장강도 $f_r = 0.63\sqrt{f_{ck}}$

다만, 경량콘크리트가 사용된 경우에는 다음과 같이 f_r 의 값을 수정해야 한다.

가. f_{ct} 가 명시된 경우에는 f_r 를 구할 때 $\sqrt{f_{ck}}$ 를 $1.76 f_{ct}$ 로 대치하되, $1.76 f_{ct}$ 의 값은 $\sqrt{f_{ck}}$ 이하라야 한다.

나. f_{ct} 가 명시되지 않은 경우에는 전 경량 콘크리트 (all-light weight concrete)에 대해서는 0.75, 모래경량 콘크리트(sand-light weight concrete)에 대해서는 0.85를 각각 f_r 에 곱한다. 일부의 모래만이 경량골재로 대치된 경우에는 직선보간법을 사용한다.

⑤ 연속지간에 대해서는 정모멘트와 부모멘트에 대한 위험단면의 단면 2차모멘트를 <식 (8.5.11)>에 의해 구하여 그 평균치를 사용해야 한다. 균열의 영향을 고려한 지간 중앙단면의 강성은 주로 처짐에 의해 지배되기 때문에 연속부재에 대한 지간 중앙단면의 성질을 이용하면 이 규정은 만족할 만한 정확도를 얻을 수 있다.

⑥ 엄밀한 해석에 의하지 않는 한, 일반 및 경량콘크리트로 된 휨부재의 크리프 및 건조수축에 의해 생기는 추가적인 장기처짐은 해당 지속하중에 의해 발생한 순간처짐에 <식(8.5.4)>에 의해 구한 계수를 곱하여 구할 수 있다.

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \qquad (8.5.4)$$

여기서 ρ' 은 단순 및 연속지간에서는 지간 중앙단면, 그리고 캔틸레버에서는 지지부에서의 단면의 압축철근비이다. ξ는 지속하중의 재하기간에 따라 달라지는 다음 값의 시간경과계수이다.

5년 이상 …… 2.0

12 개월 ……1.4

6 개월 …… 1.2

3 개월 …… 1.0

(3) Review of differential displacement on rail surface

① In reviewing differential displacement on rail surface, the train load applied shall be the dynamic actual train load or standard train load, whichever causes greater displacement, and shall be based on loading on a single track. Impact may be considered as needed when standard train load is applied.

② Allowable differential displacement by train load shall be the value in <Table 8.5.3> or less when seismic effect is not considered, and the value in <Table 8.5.4> or less when seismic effect is considered.

Table 8.5.3 Allowable differential displacement (ordinary) at rail level as the structure supporting the train

Displacement direction	Train speed (km/h)	Dislocation (mm)	Refraction angle (θ) (1/1000 rad.)			
			Parallel movement angle		Folding angle	
			L_b < 30 m	30 m ≤ L_b	L_b < 30 m	30 m ≤ L_b
Vertical	120	2	7.5	9	9	9
	150		5	6	6.5	7
	200		4.5	4	5.5	4.5
	250		3.5	3	4	3
	300 or more	1.5	3	2.5	3	2
Lateral	120	2	4	5.5	5	6
	150		3	3	3.5	4
	200		2.5	2	3	2.5
	250	1.5	2	1.5	2.5	2
	300 or more	1.0	1.5	1.0	2	1.5

(3) 궤도면에서의 부등변위량 검토

① 궤도면에서의 부등변위량 검토에서 열차하중은 동적 실열차하중 또는 표준열차하중 중 큰 변위를 발생시키는 하중으로 적용하고 이때 열차는 단선재하로 한다. 표준열차하중 재하시 충격은 필요에 따라 고려하여야 한다.

② 열차하중에 의한 궤도면의 허용부등변위량은 지진이 작용하지 않는 경우에는 <표 8.5.3>의 값 이하로 또한 지진이 작용하는 경우에는 <표 8.5.4>의 값 이하로 해야 한다.

표 8.5.3 열차를 지지하는 구조물의 레일수준에서의 허용부등변위량(상시)

변위의 방향	열차속도 (km/h)	평행처짐 (mm)	굴절각(θ) (1/1000 rad.)			
			평행이동각		꺽임각	
			L_b<30m	30m≤L_b	L_b<30m	30m≤L_b
연직	120	2	7.5	9	9	9
	150		5	6	6.5	7
	200		4.5	4	5.5	4.5
	250		3.5	3	4	3
	300 이상	1.5	3	2.5	3	2
수평	120	2	4	5.5	5	6
	150		3	3	3.5	4
	200		2.5	2	3	2.5
	250	1.5	2	1.5	2.5	2
	300 이상	1.0	1.5	1.0	2	1.5

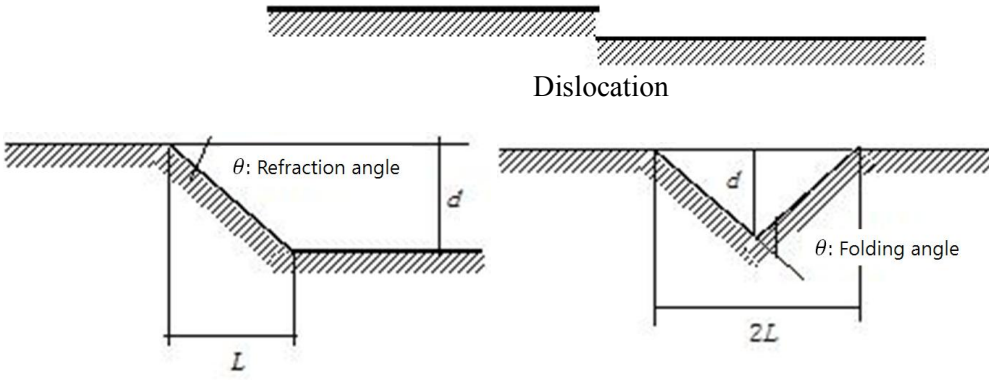
Table 8.5.4 Allowable differential displacement of the structure supporting the train at rail level (in earthquake)

Displacement direction	Train speed (km/h)	Dislocation (mm)	Parallel movement angle		Folding angle	
			L_b < 30 m	30 m ≤ L_b	L_b < 30 m	30 m ≤ L_b
Vertical	120	20	20	20	20	20
	150		18	16	20	18
	200	16	12	10	14	11
	250	11	8.5	7	9.5	7.5
	300 or more	6	5	4	5	4
Lateral	120	10	9	12	11	12
	150		6.5	7.5	8	9.5
	200		5.5	5	6.5	6
	250	6	5.5	4	5.5	4
	300 or more	3.3	2.5	2.2	3	2.2

Note) A. Dislocation is not considered for ballasted track. Actual deflection may be reduced to 5% of minimum aggregate diameter, compared to the analysis considering solid behavior of ballast.

B. Static differential displacement was considered

C. Definition of terms is as shown in <Fig 8.5.1>.



Parallel Movement Folding

Fig. 8.5.1 Dislocation, Parallel Movement, Folding

③ For a bridge structure with concrete track, combined deformation including temperature variation, creep, shrinkage and relaxation shall be reviewed.

표 8.5.4 열차를 지지하는 구조물의 레일수준에서의 허용부등변위량(지진시)

변위의 방향	열차속도 (km/h)	평행처짐 (mm)	굴절각(θ) (1/1000 rad.)			
			평행이동각		꺾임각	
			L_b<30m	30m≤L_b	L_b<30m	30m≤L_b
연직	120	20	20	20	20	20
	150		18	16	20	18
	200	16	12	10	14	11
	250	11	8.5	7	9.5	7.5
	300 이상	6	5	4	5	4
수평	120	10	9	12	11	12
	150		6.5	7.5	8	9.5
	200		5.5	5	6.5	6
	250	6	5.5	4	5.5	4
	300 이상	3.3	2.5	2.2	3	2.2

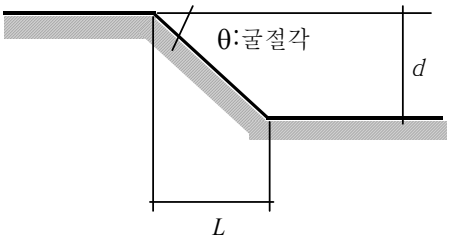
주) 가. 자갈도상궤도의 경우는 평행처짐에 대한 검토를 하지 않는다. 자갈도상궤도의 경우는 실제 발생하는 평행처짐량은 도상이 고체거동을 한다고 보고 해석한 결과보다 그 변형량이 최소 자갈두께의 5%까지 줄어들 수 있다.

나. 정적부등변위량도 고려한 것

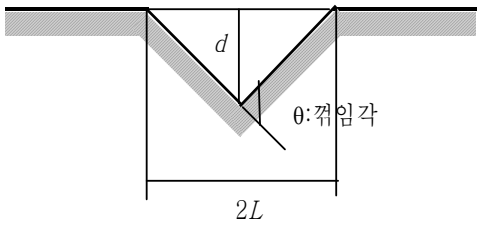
다. 용어의 의미는 <그림 8.5.1>과 같다.



평행처짐(Dislocation)



평행이동(Parallel Movement)



꺾임(Folding)

그림 8.5.1 평행처짐, 평행이동, 꺾임

③ 콘크리트도상을 적용하는 교량 구조물에서는 다음과 같이 구조의 거동형식별로 온도의 영향, 크리프, 건조수축, 릴락세이션 등 시간에 따라 변화하는 변형의 총합에 대해서 반드시 검토하여야 한다.

A. Arch and cable-supported bridge: displacement caused by seasonal temperature variation shall be considered. It shall satisfy displacement requirements considering the difference between regional annual mean temperature and construction temperature.
B. Concrete, PSC concrete structure: total long-term displacement due to temperature, creep, shrinkage and relaxation over the life cycle of the structure shall be reviewed.
C. For a structure including cable supported structure for which long-term displacement such as relaxation is expected, total displacement occurring over a life cycle of the structure shall be reviewed.

④ The bridge with turnout or crossover shall have accumulated deflection by load combination in <Table 8.5.1> more than longitudinal curve 6000 m (convex section) and 10,000 m (concave section).

8.5.5 Durability design

(1) General

① Railway bridge shall be designed, built and maintained considering during target service life safety, serviceability, aesthetic effect and durability in the given environment.
② The bridge owner and the designer shall determine the target service life and environmental condition before starting design inconsideration of environmental conditions, structural behavior, importance and maintenance method.
③ Drainage, joint, expansion joint, bearing, parapet, barrier, connection member, lighting, instrument and other belongings have shorter service life than the structure, and thus durability shall be reviewed in a separate method.

(2) Durability of steel member of steel structure

① An anticorrosive measure shall be provided to steel structure members to prevent performance degradation.
② The anticorrosive measure shall be determined in consideration of installation site conditions, member and size, shape and cost efficiency.
③ The anticorrosive measure shall be determined in consideration of the shape of detail structure and material combination.

가. 아치형식 및 케이블지지형식 교량 : 계절별 온도 변화에 의한 변위 영향을 반드시 고려하여야 한다. 이 때 지역별 년 평균온도와 궤도설치시의 온도차이의 영향을 고려하여 본 항 변위기준을 만족하여야 한다.

나. 콘크리트, PSC콘크리트 구조물 : 온도, 크리프, 건조수축, 릴락세이션 등에 의한 장기적인 변위 거동이 계속되는 구조물의 경우 전 구조물 생애기간동안 발생하는 전 발생 변위를 검토하여야 한다.

다. 케이블지지 구조 등 릴락세이션 등의 장기적인 변위거동이 계속될 것으로 예상되는 구조물의 경우 전 구조물 생애기간동안 발생하는 전 발생변위를 검토하여야 한다.

④ 분기기 및 건넘선이 있는 교량에서는 본 항 하중조합<표 8.5.1>에 의한 처짐 변형의 합이 종곡선 곡률반경 6000m (볼록구간) 이상과 10000m (오목구간) 이상을 확보하여야 한다.

8.5.5 내구성 설계

(1) 일반 사항

① 철도교량은 주어진 주변 환경조건하에서 목표내구수명 동안에 안전성, 사용성, 미관, 내구성을 갖도록 설계, 시공, 유지관리 되어야 한다.

② 설계 착수 전에 발주자와 설계자는 구조물의 목표내구수명과 환경조건을 결정해야 한다. 결정시에는 구조의 환경조건, 구조거동, 중요도, 유지관리방법 등을 고려하여 선정해야 한다.

③ 배수시설, 줄눈, 신축이음장치, 받침부, 난간 및 방호책, 부재연결부, 조명시설, 계측기 및 기타 부속물들은 구조의 수명보다 공용기간이 짧으므로 별도의 방법에 의하여 내구성이 검토되어야 한다.

(2) 강구조물 강재부재의 내구성 설계

① 강구조물의 부재에는 부식에 의한 기능상의 저하를 방지하기 위해 방청, 방식 대책을 세워야 한다.

② 강재의 방청, 방식법을 선정하기 위해서는 구조물 가설 지점의 환경, 부재 및 규모, 부재 형상 및 경제성 등을 종합적으로 고려해야 한다.

③ 강구조물 설계시 방청, 방식법을 선정할 때는 세부구조의 형상 및 재료 조합 등을 고려해야 한다.

Table 8.5.5 Typical anticorrosive measures for steel structure

Category	Main anticorrosive principle	Performance degradation	Repair method
Coating	Protection from environment	Deteriorated coating	Recoating
Weatherproof steel	Corrosion resistance	Delamination and section loss	Coating
Hot dip galvanizing	Protection by zinc compound and galvanizing	Loss of zinc layer	Spraying or coating
Metal spraying	Protection by sprayed metal and galvanizing	Loss of sprayed metal layer	Spraying or coating

(3) Durability design of concrete structure

① General design guideline

A. Concrete structure shall be designed, built and maintained to have safety, serviceability, aesthetic effect and durability under the given environmental conditions.

B. The bridge owner and the design engineer shall consider the importance of the structure, environmental conditions, structural behavior and maintenance method before starting design.

C. When concrete structure is exposed to environmental conditions causing damage to the structure, material and design shall be determined to secure the service life for durability.

D. Durability evaluation shall be carried out to confirm the service life for durability, and in the event that the material and environment are identified at the design stage or durability is important, it shall be reviewed at the design stage.

E. When service life is not accomplished by concrete material and covering depth as a result of durability review, supplementary countermeasures including surface protection or anticorrosive material shall be used to increase the service life.

② Durability design provisions

A. When a concrete structure is exposed to environmental conditions causing damage to the structure, concrete satisfying the requirements of this provisions shall be used.

B. Classification of the environment for durability design

Design engineer shall consider the environment to which the structural member is exposed in the design. The environment to be considered shall be as in <Table 8.5.6>.

표 8.5.5 강구조물의 대표적인 방청방식법

구분	주된 방청방식원리	성능저하 형태	성능 상실시의 보수방법
도장	도막에 의한 대기환경 차단	도막의 열화	재도장
내후성 강재	치밀한 녹발생에 의한 부식억제	층상박리 녹의 발생과 이에 의한 단면 감소	도장
아연용융도금	아연화합물에 의한 보호 피막 및 아연에 의한 희생방식	아연층의 감소	용사 혹은 도장
금속용사	용사금속의 보호피막 및 용사금속에 의한 희생방식	용사금속층의 감소	용사 혹은 도장

(3) 콘크리트 구조물의 내구성 설계

① 설계 일반

가. 콘크리트 구조는 주어진 주변환경 조건에서 설계 공용기간 동안에 안전성, 사용성, 내구성, 미관을 갖도록 설계, 시공, 유지관리해야 한다.

나. 설계착수 전에 구조물 발주자와 설계자는 구조물의 중요도, 환경조건, 구조거동, 유지관리방법 등을 고려해야 한다.

다. 콘크리트 구조물의 손상이 우려되는 노출 환경에 시공될 경우, 내구수명을 확보할 수 있도록, 콘크리트 재료 및 설계기법을 선정해야 한다.

라. 설계사항이 내구수명을 확보하는지의 여부를 내구성 평가를 실시하여 확인해야 한다. 다만, 설계할 때 사용재료, 환경 등이 파악되거나 내구성 문제가 중요한 구조물인 경우 설계단계에서 검토한다.

마. 내구성 검토 시 콘크리트 재료, 피복두께 등으로 내구수명을 만족하지 못할 경우, 표면 보호, 방식 성능을 갖는 재료 등을 비롯한 부가적인 방법으로 내구성능을 증진시키지 않으면 안 된다.

② 내구성 설계기준

가. 콘크리트 구조물의 손상이 우려되는 환경에 시공될 경우, 노출환경을 고려하여 본 항목에서 규정한 요구사항을 만족하는 콘크리트를 사용해야 한다.

나. 내구성을 고려한 설계를 위한 노출 환경의 구분

설계자는 콘크리트 구조물 부재가 건설되는 위치의 노출환경 정도를 고려해 설계해야 한다. 구조물 성능에 영향을 미치는 노출환경의 정도는 <표 8.5.6>을 참조한다.

Table 8.5.6 Classification of environment where structure is exposed

Environment	Level	Symbol	Description	
F (freeze-thaw[1])	Neglected	F0	Not exposed to freeze-thaw cycle	
	Average	F1	Exposed to freeze-thaw cycle, and exposed to moisture from time to time[2]	
	Severe	F2	Exposed to freeze-thaw cycle, and exposed to moisture at all times[2]	
	Very severe	F3	Exposed to freeze-thaw cycle, exposed to moisture from time to time and exposed to deicing materials	
C (steel corrosion)	Neglected	C0	At dry state or isolated from moisture	
	Average	C1	Exposed to moisture but not exposed to chlorides[3]	
	Severe	C2	Exposed to moisture and chlorides Within 250 m from seawater and shoreline	
	Very severe	C3	Exposed to moisture and chlorides At tidal zone, splash	
S (Sulfate)			Concentration of water-soluble sulphate in soil (SO_4) (wt%)	Concentration of sulphate (SO_4) in water (ppm)
	Neglected	S0	$SO_4 < 0.10$	$SO_4 < 150$
	Average	S1	$0.10 \leq SO_4 < 0.20$	$150 \leq SO_4 < 1500$
	Severe	S2	$0.20 \leq SO_4 \leq 2.00$	$1500 \leq SO_4 \leq 10{,}000$
	Very severe	S3	$SO_4 > 2.00$	$SO_4 > 10{,}000$

1) As the temperature in Korea is below 0℃ in winter, it is considered to be exposed to a freeze-thaw cycle.
2) Pier, bearing, retaining wall, abutment and tunnel covering saturated near the water and other structure that may be exposed to snow melting, water flow or rain drop are included.
3) Seawater or chloride deicing materials

C. Requirements for concrete exposed to the environment

When the structure needs to resist the environmental conditions, it shall be designed to meet the requirements in <Table 8.5.7> to <Table 8.5.9>, and when the environment is complex, even stricter requirements shall be satisfied.

표 8.5.6 구조물의 노출 환경 구분

노출환경	정도	구분	설명	
F (동결융해[1])	무시	F0	동결융해 싸이클에 노출되어 있지 않음	
	보통	F1	동결융해 싸이클에 노출되어 있고 때때로 수분에 접촉하고 있음[2]	
	심함	F2	동결융해 싸이클에 노출되어 있고 항상 수분에 접촉하고 있음[2]	
	매우 심함	F3	동결융해 싸이클에 노출되어 있고 항상 수분에 접촉하고 있으며, 동결방지제에 노출되어 있음	
C (강재 부식)	무시	C0	기건 상태에 있거나 수분으로부터 차단되어 있음	
	보통	C1	수분에 노출되어 있으나 염화물[3]에 노출되어 있지 않음	
	심함	C2	수분에 노출되어 있고 염화물에 노출되어 있음 해수중부, 해안선으로부터 250미터 이내 지역	
	매우 심함	C3	수분에 노출되어 있고 염화물에 노출되어 있음 해상의 간만대, 비말대	
S (황산염)			토양 중의 수용성 황산염(SO_4)농도 (wt%)	수중에서의 황산염(SO_4)농도 (ppm)
	무시	S0	$SO_4 < 0.10$	$SO_4 < 150$
	보통	S1	$0.10 \leq SO_4 < 0.20$	$150 \leq SO_4 < 1500$
	심함	S2	$0.20 \leq SO_4 \leq 2.00$	$1500 \leq SO_4 \leq 10,000$
	매우 심함	S3	$SO_4 > 2.00$	$SO_4 > 10,000$

주1) 우리나라는 겨울철 평균기온이 대부분 영하로 내려가므로, 동결융해 싸이클에 노출되어 있다고 볼 수 있다.

주2) 교각 받침대, 교각, 옹벽, 터널 복공 등과 같이 수면 가까이에서 포화된 부분 및 이러한 구조물 외에도 수면에서 떨어져 있지만 융설, 유수, 물방울 등의 영향을 받는 부분 등이 포함된다.

주3) 바닷물, 염화물계 동결방지제 등

다. 노출환경에 대한 콘크리트 요구사항

콘크리트 구조물이 내구성을 필요로 하는 위치에 놓일 경우, <표 8.5.7>~<표 8.5.9>의 노출환경에 따른 요구사항을 만족시켜 설계해야 하고, 노출환경이 복합적일 경우, 안전적인 측면에서 보다 엄격한 기준을 만족시키도록 해야 한다.

Table 8.5.7 Requirements for concrete exposed to a steel corrosion environment

Type	Max. water-binding material ratio	Min. specific compressive strength (MPa)
C0	-	21
C1	-	21
C2	0.40	35

Table 8.5.8 Requirements for concrete exposed to freeze-thaw cycle

<table>
<tr><th>Type</th><th>Max. water-binding material ratio</th><th>Min. specific compressive strength (MPa)</th><th>Air content</th><th>Limits on binding materials</th></tr>
<tr><td>F0</td><td>-</td><td>21</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>F1</td><td>0.45</td><td>30</td><td rowspan="3">
<table>
<tr><th>Max. aggregate size (mm)</th><th>F1</th><th>F2, F3</th></tr>
<tr><td>10</td><td>6</td><td>7.5</td></tr>
<tr><td>15</td><td>5.5</td><td>7</td></tr>
<tr><td>20</td><td>5</td><td>6</td></tr>
<tr><td>25</td><td>4.5</td><td>6</td></tr>
<tr><td>40</td><td>4.5</td><td>5.5</td></tr>
</table>
</td><td>-</td></tr>
<tr><td>F2</td><td>0.45</td><td>30</td><td>-</td></tr>
<tr><td>F3</td><td>0.45</td><td>30</td><td>
<table>
<tr><th>Mineral admixture</th><th>Max. ratio (%)</th></tr>
<tr><td>Fly ash</td><td>25</td></tr>
<tr><td>Furnace slag</td><td>50</td></tr>
<tr><td>Silica fume</td><td>10</td></tr>
<tr><td>Fly ash + furnace slag + silica fume</td><td>50</td></tr>
<tr><td>Fly ash + silica fume</td><td>35</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

표 8.5.7 강재부식 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경구분	최대 물-결합재비	최소 설계기준강도(MPa)
C0	-	18
C1	-	18
C2	0.45	30
C3	0.40	35

표 8.5.8 동결융해 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

<table>
<tr><th>환경
구분</th><th>최대
물-결합재비</th><th>최소설계
기준강도
(MPa)</th><th>공기량(%)</th><th>사용결합재</th></tr>
<tr><td>F0</td><td>-</td><td>18</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>F1</td><td>0.45</td><td>30</td><td rowspan="3">
<table>
<tr><th>최대
골재
치수
(mm)</th><th>F1</th><th>F2, F3</th></tr>
<tr><td>10</td><td>6</td><td>7.5</td></tr>
<tr><td>15</td><td>5.5</td><td>7</td></tr>
<tr><td>20</td><td>5</td><td>6</td></tr>
<tr><td>25</td><td>4.5</td><td>6</td></tr>
<tr><td>40</td><td>4.5</td><td>5.5</td></tr>
</table>
</td><td>-</td></tr>
<tr><td>F2</td><td>0.45</td><td>30</td><td>-</td></tr>
<tr><td>F3</td><td>0.45</td><td>30</td><td>
<table>
<tr><th>광물성
혼화재</th><th>최대
혼합량
(%)</th></tr>
<tr><td>플라이애시</td><td>25</td></tr>
<tr><td>고로슬래그</td><td>50</td></tr>
<tr><td>실리카퓸</td><td>10</td></tr>
<tr><td>플라이애시+
고로슬래그+
실리카퓸
사용시</td><td>50</td></tr>
<tr><td>플라이애시+
실리카퓸
사용시</td><td>35</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

Table 8.5.9 Requirements for concrete exposed to sulfates

Type	Max. water-binding material ratio	Min. specific compressive strength (MPa)	Cement type
S0	-	21	All types
S1	0.50	27	Portland cement (type 1) + Pozzolan[1] or Fly ash cement (KS L 5211) Moderate heat Portland cement(type 2) (KS L 5201) Blast furnace slag cement (KS L 5210)
S2	0.45	30	Sulfate resistant Portland cement (type 5, KS L 5201)
S3	0.45	30	Sulfate resistant Portland cement (type 5, KS L 5201) + Pozzolan[2]

1) Pozzolan or slag proven to improve resistance to sulfate in field application or proven by testing, when used with type 1 Portland cement

2) Pozzolan or slag proven to improve resistance to sulfate in field application or proven by testing, when used with type 5 Portland cement

③ Evaluation of durability

A. General

(a) When a concrete structure requires durability, concrete shall be selected and designed according to 「②」, and a durability evaluation shall be carried out at the construction planning stage to ensure the target durability service life is granted. However, when material and environment are identified or durability is more important, it may be evaluated at the design stage.

(b) The factors causing deterioration include chloride attack, carbonation, freeze-thaw, chemical corrosion and alkali-aggregate reaction, and durability evaluation items among the factors shall be determined through investigation of environmental expose.

(c) When a concrete structure is built in a particular environment with dominant complex deterioration, the evaluation of each deterioration factor shall be carried out, and evaluation based on the most dominant factor shall be applied.

(d) The target durability service life of a concrete structure is set as the period until durability limit status is reached under normal maintenance. The durability level of a concrete structure to be built shall be determined based on target durability service life. Durability level shall be determined according to <Table 8.5.10>.

표 8.5.9 황산염 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경 구분	최대 물-결합재비	최소설계기준강도(MPa)	사용결합재
S0	-	18	
S1	0.50	27	보통포틀랜드시멘트(1종)+포졸란[1)] 플라이애시시멘트(KS L 5211) 중용열포틀랜드시멘트(2종) (KS L 5201) 고로슬래그시멘트(KS L 5210)
S2	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201)
S3	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201)±포졸란[2)]

주1) 1종 시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란

주2) 5종 시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란

③ 내구성 평가

가. 일반사항

㉮ 콘크리트 구조물의 내구성이 요구되는 경우, 「②항」규정에 따라 콘크리트를 선정하여 설계를 실시하고, 시공 착수 전 시공계획 단계에서 목표 내구수명 동안 내구성을 확보하도록 내구성 평가를 실시한다. 다만, 설계할 때 사용재료, 환경 등이 파악되거나 내구성 문제가 중요한 구조물인 경우 설계단계에서 검토한다.

㉯ 내구성 평가는 염해, 탄산화, 동결융해, 황산염 손상을 포함하는 화학적 침식, 알칼리 골재반응 등을 주된 열화원인으로 고려하며, 시공할 구조물이 갖게 될 열화환경을 조사하여 이에 따라 열화원인별 내구성 평가 항목을 선정해야 한다.

㉰ 콘크리트 구조물이 복합열화가 지배적인 특수한 환경에 시공되는 경우는 각각의 열화인자에 대하여 내구성 평가를 수행하여 가장 지배적인 열화인자에 대한 내구성 평가결과를 적용해야 한다.

㉱ 콘크리트 구조물의 목표 내구수명은 구조물을 특별한 유지관리 없이 일상적으로 유지관리할 때 내구적 한계상태에 도달하기까지의 기간으로 정한다. 시공될 콘크리트 구조물의 내구등급 결정은 구조물을 설계할 때 설정된 콘크리트 구조물의 목표 내구수명에 따라 정해야 한다. 구조물의 내구등급은 <표 8.5.10>에 따라 결정한다.

Table 8.5.10 Durability of concrete structure based on target durability service life

Category	Structure	Target durability service life
1	Structure requiring particularly high durability	100 years
2	Structure requiring high durability	65 years
3	Structure requiring relatively low durability	30 years

B. Principle for evaluating the durability

(a) Durability of concrete used in a concrete structure shall be determined by comparing required durability calculated by applying an environment factor to predictive durability, with design durability calculated by applying reduction coefficient to durability characteristic value in accordance with <Eq. (8.5.5)>. Characteristic value and predictive value shall be compared for each deterioration factor, such as chloride ions to chloride attack, carbonation depth to carbonation and relative dynamic elastic modulus to freezing damage.

$$r_P A_P \leq \phi_K A_K \qquad (8.5.5)$$

where, r_P : Environment factor to concrete structure (EF)

ϕ_K : Reduction coefficient to concrete structure (RF)

A_P : Predictive durability of concrete structure (PDS)

A_K : Durability characteristic of concrete structure (DCS)

(b) Durability evaluation of mixed concrete shall be determined by comparing required durability calculated by applying the environment factor to predictive durability with design durability calculated by applying a reduction coefficient to durability characteristic value in accordance with <Eq. (8.5.6)>. Material and mixing ratio shall be determined based on the evaluation result of durability.

$$r_p B_p \leq \phi_k B_k \qquad (8.5.6)$$

Where, r_p : Environment factor of concrete (EF)

ϕ_k : Durability reduction coefficient of concrete (RF)

B_p : Predictive durability of concrete (PDC)

B_k : Durability characteristic of concrete (DCC)

표 8.5.10 콘크리트 구조물의 목표내구수명에 따른 내구등급

구조물 내구등급	구조물의 내용	목표 내구수명
1등급	특별히 높은 내구성이 요구되는 구조물	100년
2등급	높은 내구성이 요구되는 구조물	65년
3등급	비교적 낮은 내구성이 요구되는 구조물	30년

나. 내구성 평가의 원칙

㉮ 시공될 콘크리트 구조물에 사용될 콘크리트에 대한 내구성 평가는 내구성능 예측값에 환경계수를 적용한 소요 내구성값을 내구성능 특성값에 내구성 감소계수를 적용한 설계 내구성값과 비교함으로써 <식 (8.5.5)>에 따라 수행한다. 염해의 경우 염화물 이온농도, 탄산화의 경우 탄산화 깊이, 동해의 경우 상대동탄성계수 등과 같이 각 열화요인에 대해 내구성능 특성값과 내구성능 예측값을 비교하여 수행한다.

$$\gamma_P A_P \leqq \phi_K A_K \qquad \text{(식 8.5.5)}$$

여기서, γ_P : 콘크리트 구조물에 관한 환경계수

ϕ_K : 콘크리트 구조물에 관한 내구성 감소계수

A_P : 콘크리트 구조물의 내구성능 예측값

A_K : 콘크리트 구조물의 내구성능 특성값

㉯ 배합콘크리트의 내구성 평가는 <식 (8.5.6)>과 같이 콘크리트의 내구성능 예측값에 환경계수를 적용한 소요 내구성값을 내구성능 특성값에 내구성 감소계수를 적용한 설계 내구성값과 비교함으로써 수행하고, 내구성 평가결과에 따라 사용재료 및 배합을 선택한다.

$$\gamma_p B_p \leqq \phi_k B_k \qquad \text{(식 8.5.6)}$$

여기서, γ_p : 콘크리트에 관한 환경계수

ϕ_k : 콘크리트에 관한 내구성 감소계수

B_p : 콘크리트의 내구성능 예측값

B_k : 콘크리트의 내구성능 특성값

(c) The environment factor shall be applied as a safety factor for deterioration condition to a concrete structure to be built, and concrete material and durability reduction coefficient shall be applied as a safety factor for accuracy to durability characteristic and predictive durability. The environment factor, durability reduction coefficient and safety factor (SF) for each deterioration factor shall be as described in <Table 8.5.11>.

Table 8.5.11 Environment factor, serviceability reduction coefficient and safety factor for each deterioration factor

Deterioration	Concrete structure			Concrete		
	r_p (EF)	ϕ_K (RF)	α (SF)	r_p (EF)	ϕ_K (RF)	α (SF)
Chloride attack	1.11	0.86	1.3	1.11	0.86	1.3
Carbonation	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2
Freeze- thaw	1.0	1.0 ~ 0.8	1.0 to 1.25	1.0	1.0 to 0.8	1.0 to 1.25
Chemical corrosion	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2
Alkali-aggregate reaction	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2

C. Evaluation of durability

Evaluation of durability shall be conducted with the required factor among environmental factors that may have an effect on the performance of the structure, and the evaluation method shall be in accordance with 「Concrete standard specification, Appendix 2 Evaluation of durability (2009)」, 「Railroad Design Guideline 3.1 Durability design (2011)」.

D. Incorporation of evaluation result

When structure design fails to achieve the target durability service life, design shall be changed to meet the requirement, which shall first focus on concrete material and covering thickness and then surface protection or anticorrosive reinforcement shall follow as needed.

㈐ 환경계수는 시공될 콘크리트 구조물과 콘크리트 재료의 열화 환경조건에 대한 안전율로서 적용하고, 내구성 감소계수는 내구성능 특성값 및 내구성능 예측값의 정밀도에 대한 안전율로서 적용한다. 각 열화별로 설정된 환경계수, 내구성 감소계수, 안전율은 <표 8.5.11>와 같다.

표 8.5.11 각 열화별 환경계수, 내구성 감소계수와 안전율의 설정

열화	콘크리트 구조물			콘크리트		
	γ_P(환경계수)	ϕ_K(내구성 감소계수)	α(안전율)	γ_P(환경계수)	ϕ_K(내구성감소계수)	α(안전율)
염해	1.11	0.86	1.3	1.11	0.86	1.3
탄산화	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2
동결융해	1.0	1.0 ~ 0.8	1.0 ~ 1.25	1.0	1.0 ~ 0.8	1.0 ~ 1.25
화학적침식	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2
알칼리골재반응	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2

다. 내구성 평가의 실시

내구성 평가는 구조물 성능에 영향을 미치는 환경 영향 중 필요한 인자에 대해서 실시하고, 평가 방법은 「콘크리트 표준시방서 부록 2 내구성 평가(2009년)」, 「철도설계지침 3.1 내구성 설계(2011년)」을 참조하도록 한다.

라. 내구성 평가 결과의 반영

콘크리트 구조물의 내구성 평가를 실시한 후, 구조물 설계 내용이 내구수명을 확보하지 못하였을 경우, 설계 내용을 변경해 재검토하여 내구수명을 확보할 수 있도록 한다. 이 때 1차적으로는 콘크리트 재료, 피복두께 등의 변경을 우선적으로 실시하고, 이를 만족하지 못할 경우, 표면 보호, 비부식성 보강재 등의 부가적인 대책의 실시를 검토해야 한다.

8.6 Design requirements for train operation

8.6.1 Running stability and ride quality review

(1) This provision is intended to secure running stability, ride quality and dynamic safety of the bridge for high speed and normal speed railway against dynamic train load.

(2) Given the risk of resonance to a high speed railway bridge on which the train runs at 200 km/h or faster due to entraining load at constant interval, dynamic behavior of all bridges shall be reviewed according to this provision.

(3) For a railway bridge subject to a design speed of 200 km/h or less, dynamic behavior shall be reviewed when the first flexural natural frequency is 3.0 Hz or less, but this shall apply to KTX, Saemaeul, Moogunghwa and tilting train that runs at 200 km/h or less or to a freight train with maximum operation speed of 150 km/h or less. When a train runs faster than the above speed or a train runs with different coach interval, review based on dynamic analysis shall be conducted. First, the critical speed that generates the resonance shall be calculated according to 「8.6.2 (2)」 and if there is any possibility of resonance, a review of dynamic behavior shall be conducted.

(4) In reviewing dynamic behavior by actual train operation load, maximum response for each speed shall be checked and vertical acceleration of the deck, vertical deflection of the bridge and longitudinal rail irregularity shall be subject to review. Review and modeling method shall be in accordance with 「8.6.2」 and the review standard shall be in accordance with 「8.6.3」.

(5) For vertical deflection and longitudinal irregularity, either the response to standard train load on a single track considering impact factor or the dynamic response determined by actual train operation, whichever is less favorable, shall be applied.

8.6.2 Procedure and method for running stability and ride quality

This provision is intended to define the dynamic analysis procedure and method to prevent error or discrepancy depending on the procedure and method used by the design engineer.

(1) In dynamic analysis of railway bridge for train operation load, dynamic analysis shall be based on time-history analysis or mode superposition method. A time interval shall be small enough (load on each element at least three times between nodes) and dynamic analysis shall be carried out based on the determined time interval from the bridge start point until the train passes completely through the bridge.

(2) Dynamic analysis shall be carried out until 1.1 times the design speed is reached, at intervals of 10 km/h. A free vibration analysis shall be conducted before dynamic analysis of train operation load to estimate the critical speed that generates resonance, and the analysis of this critical speed shall also be included. Critical speed shall be in accordance with <Eq. (8.6.1)>.

8.6 운행을 위한 한계조건

8.6.1 주행안전성 및 승차감 검토 일반

(1) 이 규정은 고속·일반 철도 모두를 포함하는 철도교량의 주행열차하중에 대한 주행안전성, 승차감 및 교량의 동적안전성 확보를 위한 것이다.

(2) 설계속도 200km/h 이상인 고속철도 교량은 일정간격의 연행하중 작용에 의한 공진위험 등이 항상 존재하므로 모든 교량에 대하여 이 규정에 의한 동적거동 검토를 필수적으로 수행한다.

(3) 설계속도 200km/h 이하의 일반철도 교량에 대해서는 교량의 첫 번째 휨 고유진동수가 3.0Hz 이하일 경우에는 동적거동에 대한 검토를 수행한다. 단, 이는 KTX, 새마을열차, 무궁화열차, 틸팅열차가 최대운행속도 200km/h 이하로 운행할 경우와 화물열차가 최대운행속도 150km/h 이하로 운행할 경우에 해당된다. 이 이상의 속도로 운행되거나 위에 서술한 열차 외에 상이한 차량 중심간 간격을 갖는 열차가 운행될 경우에는 동적해석에 의한 검토를 수행한다. 우선 「8.6.2(2)항」에 따라 공진이 발생되는 임계속도를 계산하여 설계속도 내에서 해당 노선 운행열차에 대하여 공진발생 가능성이 있으면 이 규정에 의한 동적거동 검토를 수행한다.

(4) 실 운행열차하중에 의한 동적거동은 속도별 최대응답을 검토하며, 검토항목은 상판의 연직가속도, 교량의 연직처짐, 상판의 면틀림이다. 검토 및 모델링 방법은 「8.6.2항」를 따르며, 각 항목의 검토기준은 「8.6.3항」을 따른다.

(5) 연직처짐과 면틀림의 경우엔 충격계수를 고려한 표준열차하중 단선 재하에 의한 응답과 실 운행열차에 의한 동적응답을 비교하여 불리한 측을 설계에 적용한다.

8.6.2 주행안전성 및 승차감 검토를 위한 절차 및 방법

본 기준에서는 설계자의 해석 절차 및 방법에 따른 검토 상의 오류 및 차이를 방지하기 위해 다음과 같이 주행열차하중에 대한 동적해석 절차 및 방법을 정의한다.

(1) 철도 교량의 주행열차하중에 대한 동적해석은 시간이력해석 혹은 모드중첩법에 의한 동적해석을 적용한다. 시간간격은 작아야(절점과 절점사이 3회 이상 각 축이 재하될 수 있도록) 하며, 동적해석은 교량 시점부터 출발하여 열차가 교량을 완전히 통과할 때까지 시간간격별로 수행되어야 한다.

(2) 동적해석은 설계속도의 1.1배까지 10km/h 간격으로 수행한다. 주행열차하중에 대한 동적해석 전에 자유진동해석을 수행하여 공진을 일으킬 수 있는 임계속도를 미리 산정하고 이 속도에 대한 해석도 반드시 포함하여 수행해야 한다. 임계속도 산정은 <식 (8.6.1)>과 같다.

$$V_{cr} = \omega_1 \times S_{eff} \quad (8.6.1)$$

where, ω_1 is the first flexural natural frequency of the bridge and S_{eff} is dominant beating interval of the train (center-to-center distance between coaches), which is as described in <Table 8.6.1>.

Table 8.6.1 Effective beating interval of domestic train

Train Type	Effective beating interval
Saemaul, Moogunghwa, tilting	23.50 m
Freight train (oil tank)	13.95 m
KTX, KTX Sancheon	18.70 m

(3) Train load of interest for the given line shall be based on actual train load and wheelbase.

(4) Train load modeling shall be entraining moving concentrated load. When detailed analysis is needed, a multi-dimensional train numerical model that may consider bridge-train interaction shall be used; in such a case, the reliability of the analysis model shall be verified and shall be compared simultaneously with the analysis according to moving concentrated load.

(5) Modeling shall be carried out over the entire span configuration for a continuous bridge; when simply supported bridges are corded, analysis of a single simply supported bridge shall be carried out. For a simple bridge with a different span, all of them shall be reviewed.

(6) In bridge modeling, modeling element shall be considered more than space frame to obtain the direct response at the location where the accelerated threshold illustrated in <Fig. 8.6.3>. To consider the deformation on a bridge section, material and section characteristic value used in bridge modeling shall use the value applied in static design.

(7) When elastomeric bearing is used as bridge bearing, a point with infinite stiffness shall not be adopted, but the stiffness of the elastomeric bearing shall be applied in analysis using elements such as a spring element.

(8) All masses of members including secondary dead loads such as self-weight and track structure mass shall be considered in dynamic analysis.

$$V_{cr} = \omega_1 \times S_{eff} \qquad (8.6.1)$$

여기서, ω_1은 교량의 첫번째 휨 고유진동수이며, S_{eff}는 열차의 지배적타격간격(객차 간 중심간격)으로 <표 8.6.1>과 같다.

표 8.6.1 국내 운행열차의 유효타격간격

	유효타격간격
새마을호, 무궁화호, 틸팅열차	23.50m
화물열차 (유조차)	13.95m
KTX, KTX 산천	18.70m

(3) 대상열차하중은 해당 노선의 실제 운행열차에 대해 수행하며 하중크기 및 축간격을 실 운행열차와 동일하게 적용한다.

(4) 열차하중의 모델링은 연행이동집중하중으로 적용한다. 정밀해석이 필요한 경우 교량-열차 상호작용 고려가 가능한 다차원 열차 수치모델을 사용할 수 있으며 이 경우 해석 프로그램에 대한 신뢰성이 입증되어야 하며 이동집중하중에 의한 해석과 동시에 수행하여 비교해야 한다.

(5) 교량의 모델링은 연속교의 경우 전체 경간 구성을 모델링하며, 단순교가 병행 구성될 경우 단순교 1개에 대해서만 해석을 수행하며 지간이 상이한 단순교에 대해서는 모두 검토를 수행한다.

(6) 교량의 모델링은 <그림 8.6.3>에서 도시된 가속도 제한값을 검토하는 위치에서 직접적인 응답을 얻을 수 있으며 교량 단면내에서 변형이 고려될 수 있도록 공간 뼈대요소 이상의 모델링 요소를 적용하여야 하며, 교량의 모델링에 사용되는 재료 및 단면특성치는 정적설계에서 적용한 값을 사용한다.

(7) 탄성받침을 교량받침 장치로 사용할 경우 강성이 무한대인 지점처리를 해서는 안되며, 스프링요소 등을 사용하여 해당 탄성받침의 강성을 적용하여 해석해야 한다.

(8) 동적해석 시 자중 및 궤도구조의 질량 등 2차 고정하중을 포함한 모든 부재의 질량이 고려되어야 한다.

(9) In dynamic analysis, loading shall be applied on a single track as shown in <Fig. 8.6.1>, regardless of whether it is a single or a double track, but loading shall be applied considering eccentric effect.

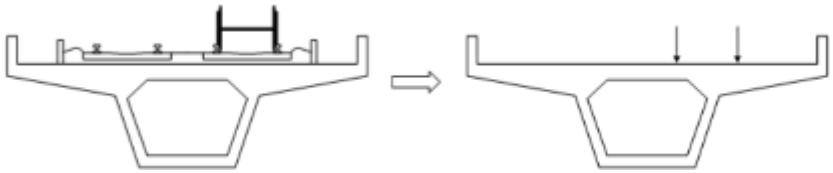


Fig. 8.6.1 Loading point and load modeling

(10) Modeling may be applied as shown in <Fig. 8.6.2> considering the load distribution effect caused by ballast.

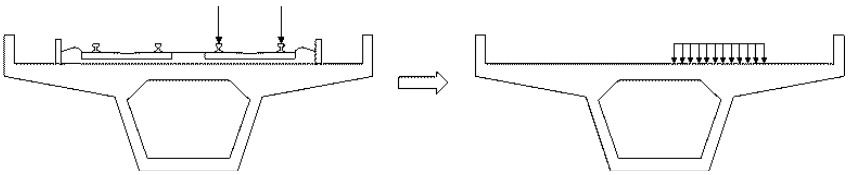


Fig. 8.6.2 Modeling considering load distribution effect by ballast

(11) Damping ratio of each bridge type shall be in accordance with <Table 8.6.2>, which specifies the upper limit value of the damping ratio by type. A value less than this shall be applied. An adjusted damping ratio according to test or detailed analysis may be applied, if necessary.

Table 8.6.2 Damping ratio by structure type

Type of bridge	Damping ratio (%)	
	Span < 20 m	Span ≥ 20 m
Steel structure (steel plate girder bridge)	0.5 + 0.125 (20-L)	0.5
Steel composite, PSC structure	1.0 + 0.07 (20-L)	1.0
RC	1.5 + 0.07 (20-L)	1.5

(9) 동적해석 시 하중재하는 단선, 복선교량에 관계없이 <그림 8.6.1>과 같이 단선 재하로 하되 교량에서의 편심효과가 고려될 수 있도록 재하한다.

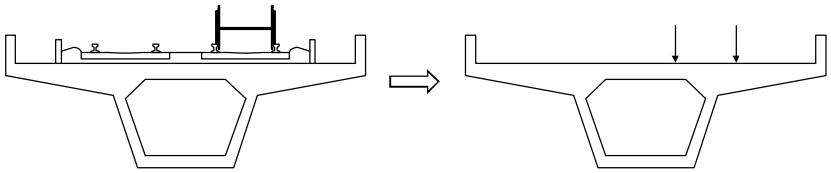


그림 8.6.1 하중재하 위치와 하중 모델링

(10) 도상에 의한 하중의 분포효과를 고려하여 <그림 8.6.2>와 같이 모델링할 수 있다.

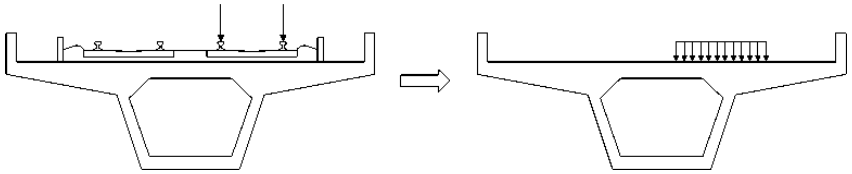


그림 8.6.2 도상의 하중 분포효과를 고려한 모델링

(11) 교량형식 별 감쇠비 적용은 <표 8.6.2>을 따른다. <표 8.6.2>의 감쇠비는 각 형식별 감쇠비의 상한값이며, 이 이하의 값을 적용해야 한다. 단, 실험 등에 의한 정밀 분석 자료가 있을 경우 조정된 감쇠비를 적용할 수 있다.

표 8.6.2 구조형식별 감쇠비

교량형식	감쇠비(%)	
	경간<20m	경간 ≥ 20m
강구조(강판형교)	0.5+0.125(20-L)	0.5
강합성구조, PSC 구조	1.0+0.07(20-L)	1.0
철근콘크리트	1.5+0.07(20-L)	1.5

(12) When modeling by moving load that entrains the train, dynamic response shall be calculated by applying an additional damping ratio by train in <Eq. 8.6.2> to damping ratio by type of bridge in <Table 8.6.2>.

$$\xi_{total} = \xi + \Delta\xi \tag{8.6.2}$$

where,

ξ_{total}: Damping ratio applicable to dynamic analysis

ξ: Damping ratio by bridge type in Table 8.6.2

$\Delta\xi$: Additional damping ratio for KTX (or similar load type) and HEMU shall be in accordance with (8.6.3) and (8.6.4), respectively.

- KTX

$$\Delta\xi = \begin{cases} 0.026L - 0.38, & \text{for } 15 \le L \le 30m \\ -0.024L + 1.12, & \text{for } 30 \le L \le 45m \end{cases} \tag{8.6.3}$$

- HEMU

$$\Delta\xi = \begin{cases} 0.026L - 0.2, & \text{for } 8 \le L \le 25m \\ -0.024L + 1.5, & \text{for } 25 \le L \le 35m \end{cases} \tag{8.6.4}$$

8.6.3 Running stability and ride quality review

Running stability of railway bridge for train operation load shall be determined by reviewing vertical acceleration, vertical deflection and longitudinal irregularity, and ride quality (vibration serviceability) shall be determined based on vertical deflection.

(1) Vertical acceleration of bridge deck

① Maximum vertical acceleration of railway bridge deck by train operation load in dynamic structural analysis and field instrumentation shall be reviewed according to ② and ③, and the calculated maximum vertical acceleration shall not exceed the following values.

A. Ballasted track: 0.35g

B. Concrete track: 0.50g

② Maximum vertical acceleration above shall be applied to design analysis and stability review through field instrumentation, and the upper value of the frequency to be considered shall be one of the following, whichever is greater.

A. 30 Hz

B. 1.5 times the natural frequency

C. 3rd vibration mode

(12) 차량을 연행하는 이동하중으로 모델링하는 경우에는 <표 8.6.2>의 교량 구조형식별 감쇠비에 <식 (8.6.2)>의 열차별 추가감쇠비를 적용하여 동적응답을 산정할 수 있다.

$$\xi_{total} = \xi + \Delta\xi \qquad (8.6.2)$$

여기서,

ξ_{total} : 동적해석에 적용되는 감쇠비

ξ : 표 8.6.2의 교량형식별 감쇠비

$\Delta\xi$: 열차별 추가감쇠비로서 KTX(또는 유사한 하중 형식) 및 HEMU 차량에 대해서는 각각 식 (8.6.3), 식 (8.6.4)로 구한다.

- KTX의 경우

$$\Delta\xi = \begin{cases} 0.026L - 0.38, & \text{for } 15 \le L \le 30m \\ -0.024L + 1.12, & \text{for } 30 \le L \le 45m \end{cases} \qquad (8.6.3)$$

- HEMU의 경우

$$\Delta\xi = \begin{cases} 0.026L - 0.2, & \text{for } 8 \le L \le 25m \\ -0.042L + 1.5, & \text{for } 25 \le L \le 35m \end{cases} \qquad (8.6.4)$$

8.6.3 주행안전성 및 승차감 검토 기준

철도교량의 주행열차하중에 대한 주행안전성은 교량의 연직가속도, 연직처짐 및 면틀림에 대한 검토를 수행하며, 승차감(진동사용성)에 대한 검토로선 연직처짐에 대한 검토를 수행한다.

(1) 교량 상판의 연직가속도

① 동적 구조해석 및 현장계측시 주행열차하중에 의해 발생하는 철도교량 상판의 최대 연직가속도는 ②, ③항에 따라 검토해야 하며, 그 결과 최대 연직가속도는 다음 값을 초과해서는 안 된다.

자 갈 궤 도 : 0.35g

콘크리트궤도 : 0.50g

② 상기의 최대 연직가속도는 설계를 위한 해석 및 현장계측을 통한 안정성 검토에 모두 적용하며, 이때 고려하여야 할 진동수의 상한치는 다음 중 최대값으로 한다.

ⅰ) 30Hz

ⅱ) 고유진동수의 1.5배

ⅲ) 3번째 진동모드

③ Loading method and analysis shall be in accordance with 「8.6.2」, while for ballasted track in <Fig. 8.6.3>, it shall be reviewed within bridge deck and for a concrete track, it shall be reviewed at the point of rails on the bridge deck.

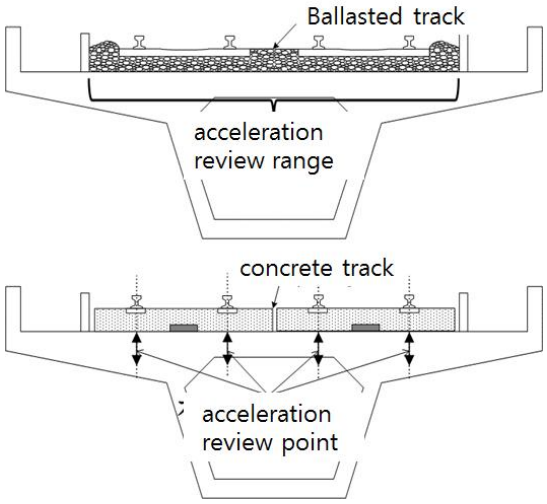


Fig. 8.6.3 Range and location of acceleration review

(2) Vertical deflection of the bridge

① Load combination in reviewing vertical deflection by train load shall be applied as described in <Table 8.6.3> for evaluating running stability and ride quality

Table 8.6.3 Load combination in reviewing vertical deflection

Running stability	Standard train load + impact factor (loading on double track or more)
Ride quality	1. Standard train load + impact factor (loading on single track) 2. Dynamic analysis by actual train load as per each speed (loading on single track) 1 or 2 is applied to vertical displacement to ride quality, whichever is less favorable

② In reviewing vertical deflection to running stability, it shall be limited to the value in <Eq. (8.6.2)> under the most unfavorable condition of standard train load (including the loading on double track) considering impact factor.

$$\frac{f}{L} \leq \frac{1}{600} \qquad (8.6.2)$$

where, f: maximum deflection of bridge deck,

L: span

③ 하중재하 방법 및 해석방법은 「8.6.2항」를 따르며, <그림 8.6.3>과 같이 자갈도상의 경우에는 도상이 설치된 부분에 해당되는 교량상판 범위에, 콘크리트 도상의 경우에는 레일이 위치한 교량의 상판지점에서 검토하여야 한다.

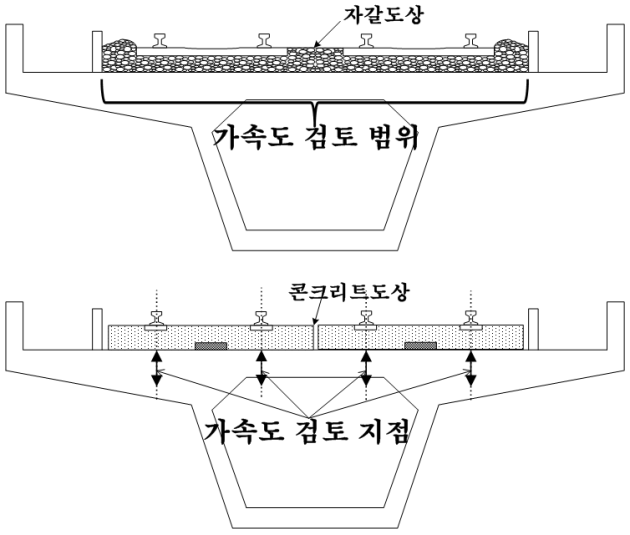


그림 8.6.3 가속도의 검토 범위 및 위치

(2) 교량의 연직처짐

① 열차하중에 의한 연직처짐 검토의 하중조합은 주행안전성 및 승차감 평가에 대해 각각 <표 8.6.3>과 같이 적용한다.

표 8.6.3 연직처짐 검토를 위한 하중조합

주행안전성	표준열차하중+충격계수(복선 이상 재하)
승차감	1. 표준열차하중+충격계수(단선재하) 2. 실 열차하중 속도별 동적해석(단선재하) 승차감에 대한 연직변위는 1과 2중 불리한 값을 적용한다.

② 주행안전성에 대한 연직처짐 검토는 충격계수가 고려된 표준열차하중이 가장 불리하게 재하된 상태(복선재하 포함)에서 <식 (8.6.2)>의 값으로 제한해야 한다.

$$\frac{f}{L} \leq \frac{1}{600} \qquad (8.6.2)$$

여기서, f : 교량 상판의 최대 처짐, L : 지간

Number of tracks for loading in reviewing maximum deflection of deck shall be in accordance with <Table 8.6.4>.

Table 8.6.4 Number of tracks for loading in reviewing maximum deflection of deck

Number of track		
1	2	3 or more
1	1 or 2 (most unfavorable case)	1 or 2 or 3 or more (most unfavorable case)

③ Maximum vertical deflection as determined by a dynamic analysis of actual train operation load to review ride quality shall be limited according to <Table 8.6.5>. Either the maximum value of dynamic analysis corresponding to the speed of actual train load or the maximum value of standard train load on a single track considering impact factor, whichever is less favorable, shall be applied.

Table 8.6.5 Limit of maximum vertical deflection (ride quality='very high')

Design speed (V) (km/h)	Span of the girder or member (m)										
	0~20	25	30	35	40	45	50	55	60~75	80~95	100~120
270 < V ≤ 350	L/1500	L/1500	L/1600	L/1750	L/1900	L/2100	L/2200	L/2350	L/2500	L/2200	L/1900
200 < V ≤ 270	L/1300	L/1400	L/1500	L/1600	L/1700	L/1900	L/2000	L/2100	L/2000	L/1700	L/1400
V ≤ 200	L/1100	L/1200	L/1300	L/1500	L/1500	L/1400	L/1300	L/1200	L/1100	L/800	L/600

④ Loading and analysis method shall be in accordance with 「8.6.2」 and maximum value shall be determined after reviewing the response over the entire bridge. <Table 8.6.5> is effective up to span 120 m, and for longer CWR detailed evaluation such as vertical acceleration evaluation through bridge-train interaction analysis shall be carried out to evaluate running stability against derailment and ride quality.

⑤ Both vertical deflection for running stability and ride quality shall be carried out.

상판의 최대 처짐검토를 위한 재하궤도수는 <표 8.6.4>를 따른다.

표 8.6.4 상판의 최대 처짐검토를 위한 하중 재하궤도수

궤도수		
1	2	3 이상
1	1 또는 2 (가장 불리한 경우를 재하)	1 또는 2 또는 3 이상 (가장 불리한 경우를 재하)

③ 승객의 승차감 만족을 위한 실 운행열차하중 동적해석에 의한 최대 연직처짐은 <표 8.6.5>의 규정을 적용하여 제한한다. 실 열차하중에 의한 속도별 동적해석 응답의 최대값과 충격계수를 고려한 표준열차하중 단선재하에 의한 최대값 중 불리한 값을 적용한다.

표 8.6.5 최대연직처짐 제한(승차감='매우양호')

설계속도 (V)(km/h)	거더 또는 부재의 경간(m)										
	0~20	25	30	35	40	45	50	55	60~75	80~95	100~120
270<V≤350	L/1500	L/1500	L/1600	L/1750	L/1900	L/2100	L/2200	L/2350	L/2500	L/2200	L/1900
200<V≤270	L/1300	L/1400	L/1500	L/1600	L/1700	L/1900	L/2000	L/2100	L/2000	L/1700	L/1400
V≤200	L/1100	L/1200	L/1300	L/1500	L/1500	L/1400	L/1300	L/1200	L/1100	L/800	L/600

④ 하중재하 방법 및 해석방법은 「8.6.2항」를 따르며 계산위치는 교량 전체에 대한 응답을 검토 후 최대값을 결정한다. <표 8.6.5>는 경간 120m까지 유효하며, 이 이상의 장대교량은 탈선에 대한 주행안전성 및 승객 승차감에 대해 교량-열차 상호작용해석을 통한 객차 내 연직가속도 평가 등 세밀한 평가를 수행한다.

⑤ 주행안전성에 대한 연직처짐과 승차감 검토를 위한 연직처짐, 두 가지 모두에 대한 검토를 수행한다.

(3) Longitudinal irregularity

① The aim is to minimize the risk of derailment by securing the contact between wheel and rail, and this provisions relates to the limit in variation of cant (torsion angle) by rotation of bridge perpendicular to axis. The aim is also to prevent four wheels of bogie from sliding out of the plane.

② Longitudinal irregularity refers to variation of cant (mm per 1 m track) to both rails at two points 3 m away, as in <Fig. 8.6.4>.

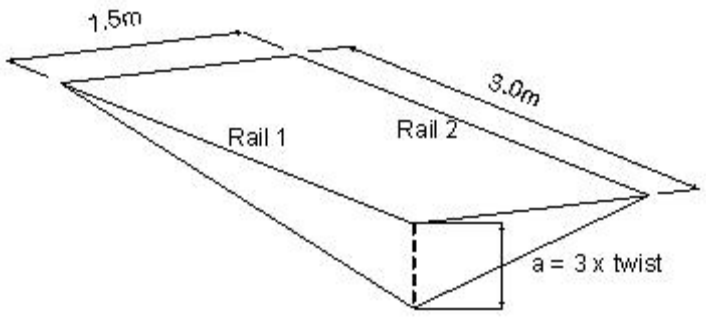


Fig. 8.6.4 Definition of longitudinal irregularity

③ Deck longitudinal irregularity shall be in accordance with <Table 8.6.6>. Standard train load to review longitudinal irregularity shall be applied according to <Table 8.6.3> and <Table 8.6.4>, and dynamic analysis of an actual train in operation shall be performed by applying the load on a single track in accordance with 「8.6.2」 It shall be reviewed along the rail in the longitudinal direction, and after identifying the location of the maximum value at a certain speed, maximum value by speed shall be estimated at that location.

④ Either the dynamic analysis result by standard train load with impact factor or the actual train load, whichever is less favorable, shall be applied.

Table 8.6.6 Longitudinal irregularity

Design speed(V) (km/h)		Irregularity (mm/m)	Irregularity based on 3 m
Standard train load	$V \leq 200$	1.0	3.0 mm/3 m
	$200 < V$	0.5	1.5 mm/3 m
Actual train operation dynamic analysis		0.4	1.2 mm/3 m

(3) 면틀림

① 면틀림은 차륜과 레일의 접촉에 대한 안전을 확보하여 탈선 위험을 최소화하기 위한 것으로 교량의 교축직각방향 회전에 의한 캔트 변화 (비틀림 각변화) 제한규정이다. 면틀림에 대한 규정은 1개 대차에 존재하는 4개 차륜이 같은 평면에서 벗어나지 않도록 제한하기 위한 것이다.

② 면틀림은 <그림 8.6.4>에서와 같이 3m떨어진 두 지점에서의 양쪽레일에 대한 캔트의 변화량(mm/궤도1m)을 의미한다.

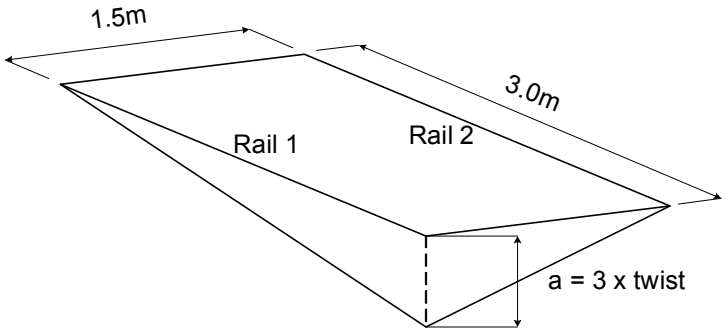


그림 8.6.4 면틀림의 정의

③ 상판 면틀림은 <표 8.6.6> 규정을 따른다. 면틀림 검토를 위해 표준열차하중 재하 시는 <표 8.6.3>, <표 8.6.4>를 따라 재하하며, 실 운행열차 동적해석은 「8.6.2항」의 규정대로 단선재하하여 동적해석을 수행한다. 교량 종방향 레일부를 따라 검토하며, 임의의 속도에서의 최대값 발생위치를 파악한 후 그 위치에서의 각 속도별 최대값을 산출하여 검토한다.

④ 충격계수를 고려한 표준열차하중에 의한 것과 실 열차하중에 의한 동적해석 결과 중 불리한 값을 적용한다.

표 8.6.6 면틀림 기준

설계속도(V) (km/h)		면틀림(mm/m)	3m 기준 면틀림 변화량
표준열차하중재하	$V \leq 200$	1.0	3.0mm/3m
	$200 < V$	0.5	1.5mm/3m
실 운행열차 동적해석		0.4	1.2mm/3m

8.6.4 Review of track-bridge longitudinal interaction force

(1) To prevent excessive compressive stress and tensile stress caused by structure-rail-temperature interaction with regard to structure expansion-rail expansion, stability of CWR shall be proven through a detailed analysis considering axial stiffness and flexural stiffness of track, fastener and superstructure, stiffness of substructure, and rotation and horizontal movement of the foundation.

(2) Stability of CWR shall be reviewed according to 「Railroad Design Guideline, 3.2 Track-Bridge longitudinal interaction analysis (2011)」.

(3) Review of uplift and compression of the fastener depending on displacement of the bridge in concrete track shall be in accordance with 「 Railroad Design Guideline, 3.3 Concrete track bridge end serviceability (2011)」.

8.7 Bearing shoe and ancillary facilities

8.7.1 Bearing shoe

(1) General

① Bearing shoe shall function to safely transfer the vertical force, longitudinal force and lateral force between superstructure and substructure, in part or in whole, depending on the type of bearing shoe.

② Bearing shoe shall be designed in consideration of type of main girder, skew angle, substructure and ground condition. Bearing shoe shall include bearing, stopper, pedestal, girder edge and bridge collapse prevention device.

③ When it is difficult to transfer the horizontal force of the superstructure to the substructure by bearing shoe alone, a displacement constrainer such as stopper or creep coupler may be installed.

④ CWR-structure interaction shall be constrained by stopper or creep coupler in consideration of rail stress, deck-rail fastening force and damping characteristics, and additional devices may be used as needed.

⑤ When designing bearing anchor bolt, frictional force at the contact surface between superstructure and substructure shall be considered.

⑥ Seismic design of bearing shall be in accordance with the provision in 「8.8」.

⑦ Accessibility to bearing shoe shall be provided for maintenance, and a facility to assist internal observation including lighting fixture shall be provided in closed sections such as box.

⑧ Bearing shoe shall not interfere with train operation, and shall be replaceable during the service life of the structure.

8.6.4 궤도/교량 종방향 상호작용력 검토

(1) 구조물 신축-레일신축과 관련한 구조물-레일-온도의 상호작용으로 인한 레일에서의 과도한 압축응력과 인장응력의 발생을 막기 위해서는 궤도, 체결구, 상부구조의 축강성 및 휨강성, 하부구조의 강성, 기초의 회전과 수평이동이 고려되는 상세해석에 의하여 장대레일 안정성이 확인되어야 한다.

(2) 장대레일 안정성은 궤도-교량 종방향 상호작용을 해석하여 상세하게 검토하여야 한다.

(3) 콘크리트궤도에서 교량의 변위발생에 따른 체결구의 압상(Uplift) 및 압축에 대한 안정성은 교량단부 콘크리트궤도 사용성 검토를 하여야 한다.

8.7 받침부 및 부속설비

8.7.1 받침부

(1) 일반사항

① 받침부의 기능은 상부구조와 하부구조의 사이에서 받침의 종류에 따라 수직방향과 교축방향 및 교축직각방향의 힘들 중 일부 또는 전부를 안전하게 전달하는 것이다.

② 받침부는 주거더의 종류, 사각의 정도, 하부구조 및 지반 조건 등을 고려하여 설계해야 한다. 여기서 받침부란 받침, 스토퍼, 받침자리, 거더 단부, 낙교방지공 등을 포함한다.

③ 교량 상부구조에 작용하는 수평력을 받침으로만 하부구조에 전달하지 못하는 불가피한 경우에는 스토퍼 또는 크리프커플러 등의 변위 억제장치를 설치할 수 있다.

④ 장대레일-구조물간 상호작용력은 레일 응력, 상판에 대한 궤도 체결력 그리고 감쇠 특성치들을 고려하여 스토퍼 또는 크리프커플러 등의 변위 억제장치를 사용하여 조정할 수 있다. 부가적인 억제장치들도 필요할 경우 적용할 수 있다.

⑤ 받침의 앵커 볼트를 설계할 때 받침과 상부구조 또는 하부구조의 접합면에서의 마찰력을 고려할 수 있다.

⑥ 받침의 내진설계는 「8.8항」내진설계의 규정에 따른다.

⑦ 받침의 유지 관리를 위해 이들에 대한 접근성을 확보해야 한다. 또한 필요한 경우 조명 시설 등과 같이 내부 관찰을 돕기 위한 시설이 박스 단면의 내부와 같은 폐합단면 내측에 설치해야 한다.

⑧ 받침은 열차운행에 어떠한 방해를 주는 일 없이 구조물의 수명기간 동안 언제든지 교체할 수 있어야 한다.

⑨ When designing the bridge, considering the replacement of bearing shoe, work space shall be secured, and jacking points in the superstructure and substructure should be reinforced, referring to Chapter 3 of "Design and construction guideline considering maintenance (MOCT, 2001)".

(2) Negative reaction on bearing

① Negative reaction on bearing shall be reviewed according to <Eq. (8.7.1)>.

$$R = 1.6(R_l + R_i + R_{d1}) + \frac{R_{d2}}{1.3} \qquad (8.7.1)$$

where, R: Reaction at support (negative value (-) for negative reaction)

R_l, R_i: Reaction at support when train load is applied to the region causing negative reaction including impact

R_{d1}: Reaction at support by dead load at negative reaction region

R_{d2}: Reaction at support by dead load at positive reaction region

② Continuous girder and Gerber's girder shall be designed to prevent negative reaction, but when negative reaction occurs following a review by <Eq. (8.7.1)>, anchorage or heavy weight shall be essentially provided to resist it.

(3) Type of movable bearing

① Type and application of movable bearing shall be as described in <Table 8.7.1>, but the movable bearing in structure shall be distinguishable from other types of bearing.

Table 8.7.1 Type of movable bearing

Bearing type	Bearing combining soul plate and base plate	Cast iron /steel sliding bearing, elastomeric bearing and pot bearing		Copper alloy bearing, roller bearing, elastomeric bearing and pot bearing	
ℓ (m) girder	l < 8	8 ≤ l < 35	35 ≤ l	8 ≤ l < 35	35 ≤ l
Single span	Irrespective of reaction	R ≤ 2000 kN	_	R > 2000 kN	Irrespective of reaction
2 or more span expansion	_	R ≤ 2000 kN	R ≤ 1000 kN	R ≤ 2000 kN	R > 1000 kN

Note: A. l is the length of bridge expansion

B. R is max. reaction and shall be 1.5 times the value in <Table 8.7.1> for double track loading.

⑨ 받침교체를 고려한 교량설계시 “유지관리를 고려한 교량의 설계 및 시공지침(2001, 건설교통부)” 제3장을 참조하여 향후 받침교체를 위한 작업공간을 확보하고 인상 위치에서의 상·하부 구조물을 미리 보강하는 한편, 교체가 가능하도록 하여야 한다.

(2) 받침에 작용하는 부의 반력

① 받침에 작용하는 부의 반력은 <식 (8.7.1)>에 의해 검토한다.

$$R = 1.6(R_l + R_i + R_{d1}) + \frac{R_{d2}}{1.3} \quad (8.7.1)$$

여기서, R : 지점에 생긴 반력(부의 반력이 생긴 경우 부(-) 부호로 해야 한다.)

R_l, R_i : 각 지점에 부의 반력을 생기게 하는 부분에 열차하중을 재하한 경우의 지점반력 및 충격에 의한 지점반력

R_{d1} : 부의 반력을 생기게 하는 부분의 고정하중에 의한 지점반력

R_{d2} : 정의 반력을 생기게 하는 부분의 고정하중에 의한 지점반력

② 연속거더, 게르버거더는 부의 반력이 발생하지 않도록 설계한다. 다만, <식 (8.7.1)>의 검토에 의해 부의 반력이 발생하는 경우에는 반드시 이에 저항할 수 있는 정착장치나 중량물을 설치해야 한다.

(3) 가동받침의 종류

① 가동받침의 종류 및 그의 적용은 <표 8.7.1>에 제시한 것과 같다. 다만 한 구조물에서 가동받침은 다른 종류의 것과 혼동되지 않도록 한다.

표 8.7.1 가동받침의 종류

받침종류	소울판과 받침판을 조합한 받침	주철 또는 주강의 미끄럼 받침, 탄성받침 및 포트받침		동합금 받침, 롤러 받침, 탄성받침 및 포트받침	
거더 \ ℓ (m)	$l < 8$	$8 \le l < 35$	$l \ge 35$	$8 \le l < 35$	$l \ge 35$
단경간	반력과 무관하게 사용	$R \le 2000kN$	–	$R > 2000kN$	반력과 무관하게 사용
신축이 두경간 이상	–	$R \le 2000kN$	$R \le 1000kN$	$R \le 2000kN$	$R > 1000kN$

주 : 가. l 은 교량에서 신축을 고려한 길이

나. R 은 지점에서 최대 반력이고 복선재하인 경우 <표 8.7.1>의 값의 1.5배로 한다.

② Type of bearing shall be defined depending on main girder length considering expansion and bearing reaction. Girder length considering expansion shall be a single span for a simply supported girder as described in <Fig. 8.7.1>, and when continuous girder, cantilever or a simple girder with multiple spans are on rahmen pier, it shall be the length that accommodates the expansion.

③ In plate girder with movable span of 8 m or less or dwarf girder, it shall be the bearing composed of sole plate and base plate; in such a case, plate end of the base plate shall be trimmed as described in <Fig. 8.7.2> considering the bending of the main girder.

④ All bearings shall be designed to resist the horizontal force perpendicular to the bridge longitudinal axis, but when bridge is wide and expansion perpendicular to the bridge longitudinal axis cannot be neglected, bearing layout shall consider the expansion.

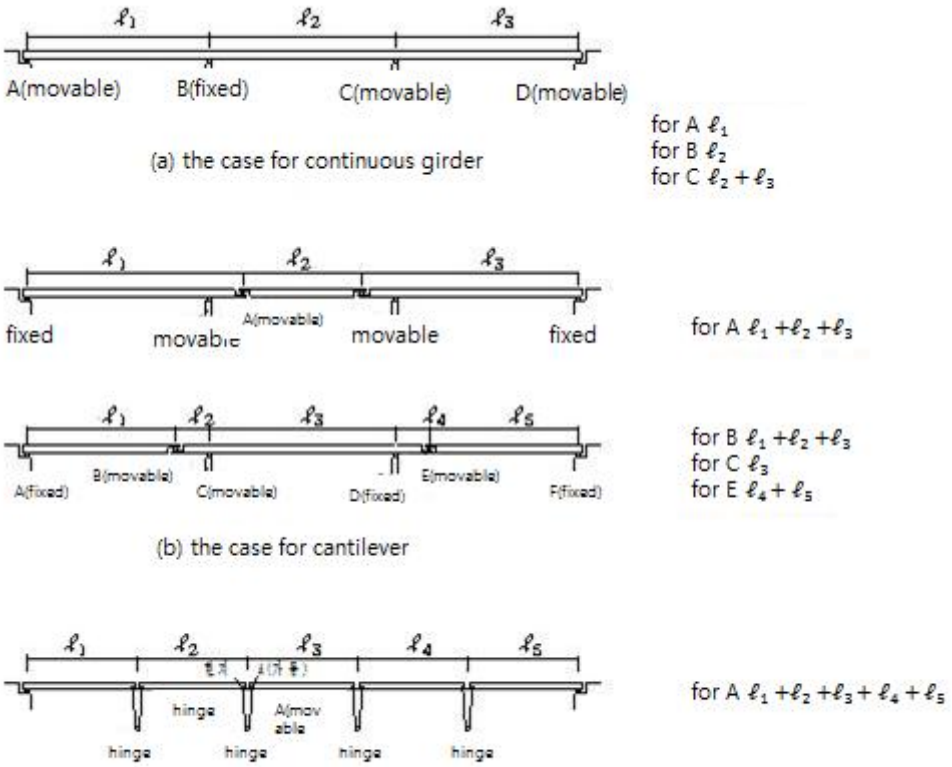


Fig. 8.7.1 Bridge expansion or contraction length (l)

② 신축을 고려하는 주거더의 길이와 받침에 생기는 반력의 크기에 따라 받침의 종류를 명확히 해야 한다. 신축을 고려하는 거더 길이는 <그림 8.7.1>과 같이 단순거더의 경우에는 그 단일지간이며, 연속거더, 캔틸레버 및 여러 경간을 갖는 단순거더가 라멘교각에 실리는 경우 등에서는 신축의 관계를 합계한 길이이다.

③ 가동지간이 8m 이하인 플레이트 거더나 드와프 거더에서는 소울판(sole plate) 및 받침판(base plate)에 의한 받침으로 하며, 이 경우 주거더의 휨을 고려하여 받침판의 단부는 <그림 8.7.2>와 같이 깎는다.

④ 교축직각방향의 수평력에 대하여는 모든 받침이 저항하도록 설계한다. 다만, 교축직각방향의 신축을 무시하지 못할 정도로 교량의 폭이 큰 경우에는 교축직각방향의 신축을 고려하여 받침을 배치해야 한다.

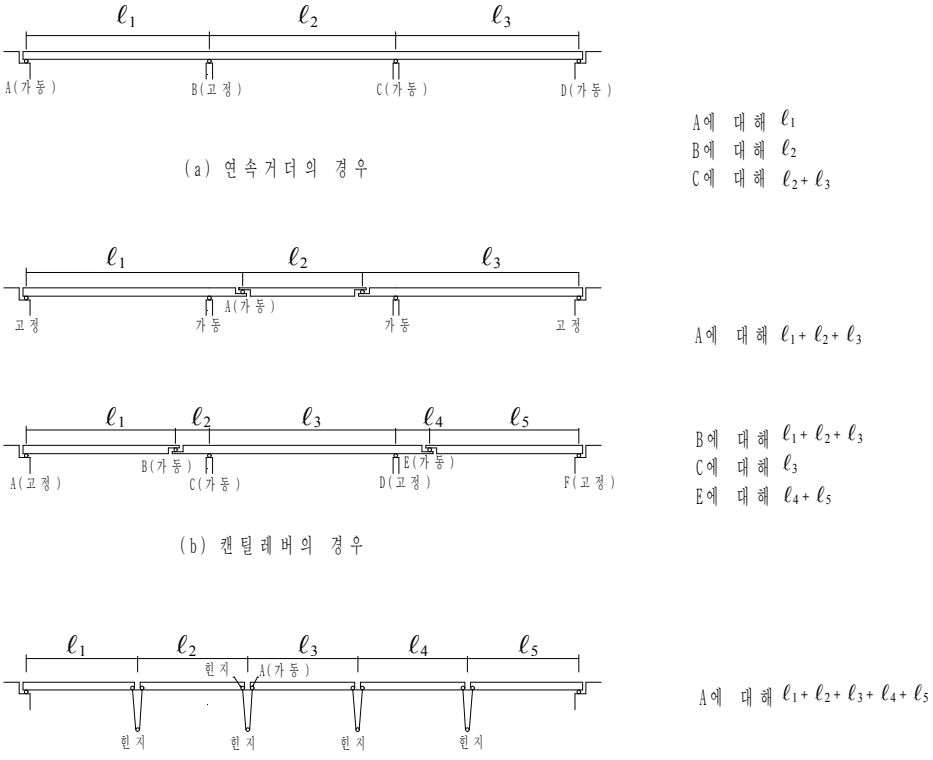


그림 8.7.1 신축을 고려한 전체지간(l)

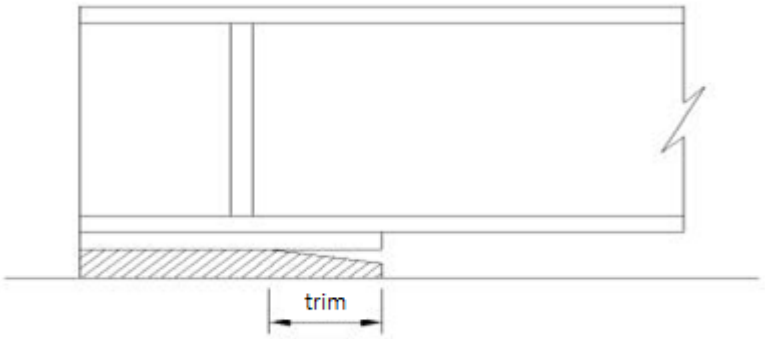


Fig. 8.7.2 End trimming of base plate

(4) Movement of movable bearing

① Movable bearing shall be able to accommodate the displacement caused by superstructure temperature variation and deflection, concrete creep and shrinkage and elastic deformation of the member by prestress. Temperature variation and linear expansion coefficient used to estimate the displacement shall be in accordance with 「8.2.4.1 (2)」.

② Displacement of a concrete bridge caused by shrinkage and creep is generally defined as follows.

$$\triangle l_s = \triangle T \cdot \alpha \cdot l \cdot \beta \tag{8.7.2}$$

$$\triangle l_c = \frac{P_i}{E_c A_c} \cdot \phi \cdot l \cdot \beta \tag{8.7.3}$$

where, $\triangle l_s$: Displacement caused by concrete shrinkage

$\triangle l_c$: Displacement caused by concrete creep

α: Linear expansion coefficient

l: Girder expansion or contraction length

β: Reduction factor of shrinkage and creep (see <Table 8.7.2>)

P_i: PS steel tensile force at transfer

A_c: Sectional area of concrete

E_c: Elastic modulus of concrete

ϕ: Creep coefficient of concrete = 2.0 (see <Table 8.7.3>)

$\triangle T$: Temperature change corresponding to shrinkage

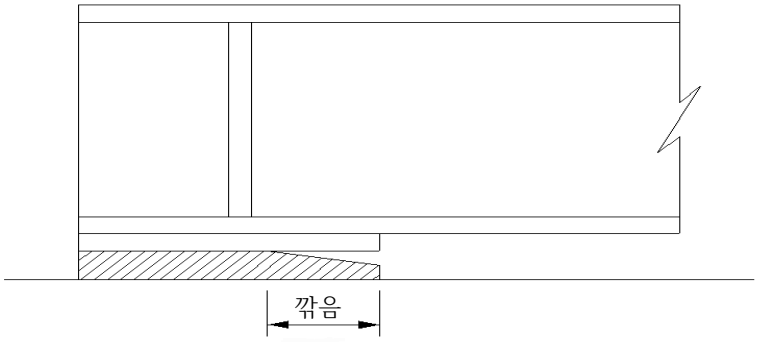


그림 8.7.2 받침판의 단부가공

(4) 가동받침의 이동량

① 가동받침은 상부구조의 온도변화, 처짐, 콘크리트의 크리프 및 건조수축, 프리스트레스에 의한 부재의 탄성변형 등에 의해 생기는 이동량에 대해서 여유있는 구조로 해야 한다. 받침의 이동량 산정에 사용하는 온도변화와 선팽창계수는 「8.2.4.1 (2)항」의 규정에 따른다.

② 콘크리트교의 건조수축과 크리프의 영향에 의한 이동량은 일반적으로 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta l_s = \Delta T \cdot \alpha \cdot l \cdot \beta \quad (8.7.2)$$

$$\Delta l_c = \frac{P_i}{E_c A_c} \cdot \phi \cdot l \cdot \beta \quad (8.7.3)$$

여기서, Δl_s : 콘크리트의 건조수축에 의한 이동량

Δl_c : 콘크리트의 크리프에 의한 이동량

α : 선팽창계수

l : 신축거더 길이

β : 건조수축, 크리프의 저감계수 (<표 8.7.2> 참조)

P_i : 프리스트레싱 직후의 PS강재에 작용하는 인장력

A_c : 콘크리트의 단면적

E_c : 콘크리트의 탄성계수

ϕ : 콘크리트의 크리프계수 2.0 (<표 8.7.3> 참조)

ΔT : 건조수축에 해당하는 온도변화

Table 8.7.2 Reduction factor of shrinkage and βcreep,

Age of concrete (Month)	0.25	0.5	1	3	6	12	24
Reduction factor of shrinkage and creep (β)	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1

Table 8.7.3 Concrete creep coefficient and shrinkage

Creep coefficient	ϕ = 2.0
Shrinkage	20℃ temperature decrease

③ When estimating the displacement of a movable bearing, an extra clearance to accommodate the error and unexpected displacement shall be considered in addition to the above calculation. This extra clearance depends on the bridge size. For typical short-to-medium length bridges, extra clearance of total± 30mm is used, which is an installation clearance of ±10 mm plus additional clearance of ±20 mm.

(5) Friction factor of movable bearing

Friction factor of bearing when estimating the horizontal force shall be based on the manufacturer's recommendation and the minimum value according to <Table 8.7.4>. For elastomeric bearing, horizontal force shall be estimated depending on horizontal displacement of bearing.

Table 8.7.4 Friction factor of movable bearing

Friction device	Friction material	Friction factor
Sliding friction Bearing shoe	Line bearing of steel	0.25
	Line bearing of cast iron	0.20
	High tensile brass casting base plate	0.15
	Fluorine resin base plate	0.05
Rolling friction	Roller and locker shoe	0.05

(6) Bearing structure details

① Thickness of sole plate and base plate shall be at least 22 mm, and sole plate shall be fixed to main girder. Thickness of cast steel plate shall be 25 mm and cast iron plate shall be at least 35 mm.

② Diameter of anchor bolt and embedded depth shall be determined considering horizontal force and adhesive force to fix the plate and resist the axial force and negative reaction caused by vertical and horizontal load and fixed moment.

③ Minimum diameter of anchor bolt shall be 30 mm.

표 8.7.2 건조수축, 크리프의 저감계수, β

콘크리트의 재령(월)	0.25	0.5	1	3	6	12	24
건조수축, 크리프의 저감계수(β)	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1

표 8.7.3 콘크리트의 크리프계수와 건조수축량

콘크리트의 크리프 계수	ϕ = 2.0
콘크리트의 건조 수축	20℃하강상당

③ 가동받침의 이동량 산정에는 상기의 계산이동량 외에 설치할 때의 오차와 하부구조의 예상 밖의 변위 등에 대처할 수 있도록 여유량을 고려해야 한다. 이 여유량은 교량의 규모에 따라서 다른데, 일반 중소지간 교량의 경우에는 설치여유량으로서 ±10mm, 부가여유량으로서 ±20mm, 합계 ±30mm로 보는 것이 보통이다.

(5) 가동받침의 마찰계수

가동받침에 작용하는 수평력을 산정할 때 받침의 마찰계수는 제조자의 공인된 규격에 따르되 최소값은 <표 8.7.4>의 값을 사용하도록 한다. 탄성받침의 경우에는 받침의 수평변위에 따라 수평력을 산정한다.

표 8.7.4 가동받침의 마찰계수

마찰기구	접촉하는 재료	마찰계수
활동마찰 받침판 받침	강재의 선받침	0.25
	주철의 선받침	0.20
	고력황동주물 받침판 받침	0.15
	불소수지 받침판 받침	0.05
회전마찰	롤러 및 로커 받침	0.05

(6) 받침의 구조상세

① 소울판 및 받침판의 두께는 22mm 이상으로 한다. 소울판는 주거더에 확실히 정착시켜야 한다. 주요부의 두께는 주강재 받침에 있어서는 25mm 이상, 주철재 받침에서는 35mm 이상으로 한다.

② 앵커 볼트의 지름과 매입길이는 받침의 위치를 고정하고 종·횡 방향의 하중과 고정모멘트에 의해 생기는 축력, 부반력 등에 저항할 수 있도록 수평력 및 부착력을 고려하여 산정한다.

③ 앵커 볼트의 최소지름은 30mm로 한다.

④ When negative reaction occurs, it is necessary to install anchorage or fix to heavy weight that can bear 1.5 times of negative reaction.

⑤ Non-shrink mortar shall be used to fix the bearing to substructure and embed anchor bolt.

⑥ When bearing is installed in a wet environment, drainage shall be provided to prevent corrosion.

⑦ A device shall be installed to prevent abnormal movement of girder that may be caused by unexpected events, including earthquake.

⑧ A space below girder (between the top of substructure and bottom of superstructure) shall be provided for maintenance and repair.

⑨ Isolator shall be provided to bearing as needed.

(7) Creep coupler and stopper

① Displacement restrainer such as creep coupler or stopper shall be designed so as to ensure the main girder or substructure does not have any negative effects caused by the following factors:

A. Expansion or contraction by temperature variation, shrinkage or creep.

B. Deformation of main girder by vertical and horizontal load (deformation of main girder and rotation at girder end)

C. Earthquake

② When necessary to adjust CWR-structure interaction, displacement restrainer may be installed on bridge. The displacement restrainer may be applied in the following form depending on various conditions, and when stability is verified by analysis, another combination may be used.

A. Deck-deck connection creep coupler (D-D C. C.)

B. Deck-pier connection creep coupler (D-P C. C.)

C. Fixed or movable stopper

D. Damper stopper

E. Semi-fixed stopper

③ Horizontal force in designing the displacement restrainer such as stopper or creep coupler shall be the maximum horizontal force of all possible loading conditions considering the bearing structure and stiffness of substructure.

④ Deck-deck connection creep coupler shall be designed as follows.

A. In calculating creep coupler, it shall be assumed that there is no resistance against permanent load or load over time, but it acts as elastic body against instantaneous impact or sudden load, and transfers the horizontal load.

④ 부반력이 발생하는 경우에는 정착장치를 설치하거나 부반력의 1.5배 이상을 견딜 수 있는 견고한 중량물에 고정시켜야 한다.

⑤ 하부구조와 받침의 고정 및 앵커 볼트의 매입은 무수축성 모르타르를 사용하는 것으로 한다.

⑥ 물기가 있는 곳에 받침을 설치하는 경우에는 받침의 방청을 고려하여 배수가 양호한 구조로 한다.

⑦ 가동받침에는 지진과 같은 예측될 수 없는 사태가 발생했을 때 보의 비정상적인 이동을 방지하기 위한 장치를 설치해야 한다.

⑧ 받침의 유지관리 및 재해시 보수 등을 위해 거더 밑 공간(하부구조물 상단과 상부 구조물 하단 사이의 공간)을 확보해야 한다.

⑨ 받침에는 필요에 따라 방진장치를 설치한다.

(7) 크리프 커플러 및 스토퍼

① 크리프 커플러 또는 스토퍼 등의 변위 억제장치는 일반적으로 다음의 영향으로 인해 서로 연결되는 주거더 및 하부구조에 유해한 영향이 가해지지 않도록 설계해야 한다.

가. 온도변화, 건조수축, 크리프 등에 의한 주거더의 신축

나. 수직, 수평하중에 의한 주거더의 변형 (주거더의 변형 및 단부 각 변화 등)

다. 지진

② 장대레일-구조물간 상호작용력을 조정하기 위해서 필요한 경우 변위 억제장치를 교량에 적용할 수 있다. 이들 변위 억제장치는 경우와 조건에 따라 다음과 같은 형식을 적용하여 사용할 수 있으며, 해석을 통하여 거동의 안정성을 규명할 수 있는 경우에는 이들의 새로운 조합도 사용할 수도 있다.

가. 상판 - 상판 연결 크리프 커플러(D-D C. C.) 형식

나. 상판 - 교각 연결 크리프 커플러(D-P C. C.) 형식

다. 고정, 가동의 구별이 있는 스토퍼

라. 댐퍼식 스토퍼

마. 반 고정 스토퍼

③ 스토퍼나 크리프커플러 등의 변위 억제장치의 설계에 사용하는 수평력은 받침부의 구조, 하부구조의 강성 등을 고려하여 모든 경우의 하중 상태에 대하여 해석 한 후 각각에 작용하는 최대 수평력을 적용해야 한다.

④ 상판 - 상판 연결 크리프 커플러의 설계는 다음과 같이 해야 한다.

가. 크리프 커플러의 계산에서는 지속하중이나 점진적인 하중에 대하여는 어떠한 저항도 하지 않지만, 일시적인 충격이나 돌발하중에 대하여는 탄성체로 작용하여 주어지는 수평하중을 전달시키는 역할을 한다고 가정해야 한다.

B. For a bridge with concrete or prestressed concrete deck, review of surface stress, bursting stress and local stress at disturbed zone of anchor at load-concentrated point on creep coupler connection shall be carried out.

C. When applying to steel superstructure, local stress on bearing and stress-concentrated part shall be reviewed.

D. When a creep coupler resists instantaneous load or sudden load, deformation shall be considered using the apparent elastic modulus of creep coupler that considers both the fluid movement of internal material and elastic movement of the elastic body simultaneously.

E. The design load of all creep couplers shall be selected from the value of the most unfavorable conditions among all creep couplers.

⑤ Deck-pier connection creep coupler shall be designed as follows.

A. Deck-pier connection creep coupler shall be applied to the pier with a movable bearing to distribute the instantaneous horizontal load to the substructure.

B. Deck anchorage design shall be carried out for deck connection because of the force in parallel with the deck plane.

⑥ Stopper design shall be as follows.

A. Bearing stress (f_c) of concrete by horizontal force (H_s) at the embedment part of both $0.8f_{ck}$ substructure and main girder shall not exceed .

B. Stopper shall be designed to be safe from bending moment and shear strength caused by horizontal force (H_s).

C. Structural dimensions of damper-type stopper shall satisfy the prescribed dispersion ratio.

D. A flat spring in fixed stopper of damper-type stopper shall be designed to be safe from horizontal force in bridge longitudinal axis.

(8) Bearing seat and girder end

① Bearing seat and girder end shall have the structure to effectively transfer the load on bearing and stopper.

② The load on bearing and stopper shall apply to bearing seat and girder end.

③ Reinforcement bars of 13 mm diameter or larger shall be placed at the bearing seat and spaced at 200 mm or less along the bridge longitudinal axis and perpendicular axis to the bridge longitudinal axis to bear the horizontal shear strength.

④ Distance between the bearing end and girder end shall be safe from horizontal and vertical force, and shall be as follows depending on the type of the main girder (see <Fig. 8.7.3>)

나. 콘크리트 또는 프리스트레스트 콘크리트 상판을 가지는 교량의 경우 크리프 커플러 연결부위 하중 집중점은 집중하중에 의한 표면응력, 파열응력, 앵커부 교란영역의 국부응력을 동시에 검토해야 한다.

다. 강으로 된 상부구조에 적용하는 경우 받침부 및 응력 집중부의 국부응력을 검토해야 한다.

라. 크리프 커플러가 일시적인 하중이나 돌발하중에 대하여 저항하는 경우에는 내부 물질의 일부 이동에 의한 유동체로서의 이동량과 탄성체로서의 탄성 수축 이동량을 동시에 고려한 크리프 커플러의 겉보기 탄성계수를 사용하여 그 변형을 고려해야 한다.

마. 모든 크리프 커플러의 설계에 사용하는 하중은 그 각각의 장치 위치에 따라 가장 불리한 조건의 것으로 계산해야 한다.

⑤ 상판 - 교각 연결 크리프 커플러의 설계는 다음과 같이 해야 한다.

가. 상판-교각 연결 크리프 커플러는 보통 일시적인 수평하중에 대하여 이들이 설치된 하부구조에서 이들 수평하중을 나누어 받게 하게 위하여 가동받침이 적용된 교각에 적용해야 한다.

나. 상판 연결부의 경우는 상판의 면과 평행한 힘을 받게 되므로 이에 대한 정착 설계를 해야 한다.

⑥ 스토퍼의 설계는 다음에 따라야 한다.

가. 수평력(H_s)에 의하여 발생하는 하부구조 매립부 및 주거더 매립부에서의 콘크리트의 지압응력(f_c)은 $0.8f_{ck}$를 넘어서는 안 된다.

나. 스토퍼는 수평력(H_s)에 의하여 발생하는 휨모멘트 및 전단력에 대하여 안전하도록 설계해야 한다.

다. 댐퍼식 스토퍼는 정한 분산률을 만족하도록 구조치수를 정해야 한다.

라. 댐퍼식 스토퍼의 고정 스토퍼 내 판 스프링은 상시 교축방향 수평력에 대하여 안전하도록 설계해야 한다.

(8) 받침자리 및 거더 단부

① 받침자리 및 거더 단부는 받침 및 스토퍼에 작용하는 하중을 확실하게 하부구조에 전달할 수 있는 구조이어야 한다.

② 받침 및 스토퍼에 작용하는 하중을 받침자리 및 거더 단부의 설계에 적용해야 한다.

③ 받침자리에는 수평 전단력에 대하여 지름 13mm 이상의 철근을 최대 200mm의 간격으로 교축방향과 교축직각방향에 배치해야 한다.

④ 받침의 끝에서 거더 끝단까지의 거리는 받침에 작용하는 수평력 및 연직력에 대하여 안전해야 하며, 주거더의 종류에 따라 다음 값 이상이어야 한다.(<그림 8.7.3> 참조)

A. For RC girder and PSC girder

(a) l < 15 m a = 150 mm, b = 150 mm

(b) 15 m ≤ l < 20 m a = 200 mm, b = 150 mm

(c) 20 m ≤ l < 30 m a = 250 mm, b = 150 mm

(d) 30 m ≤ l < 40 m a = 350 mm, b = 150 mm

(e) 40 m ≤ l a = 400 mm, b = 150 mm

B. For plate girder

(a) l < 25 m a = 200 mm, b = 150 mm

(b) 25 m ≤ l a = 250 mm, b = 150 mm

C. For truss a = 300 mm, b = 150 mm

⑤ Minimum distance, in a skewed girder, between outmost side line of bearing and girder end in the bridge longitudinal direction shall be 150 mm or more in general.

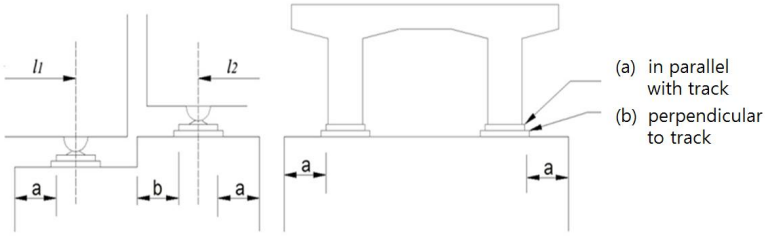


Fig. 8.7.3 Distance between bearing end and girder end (a and b)

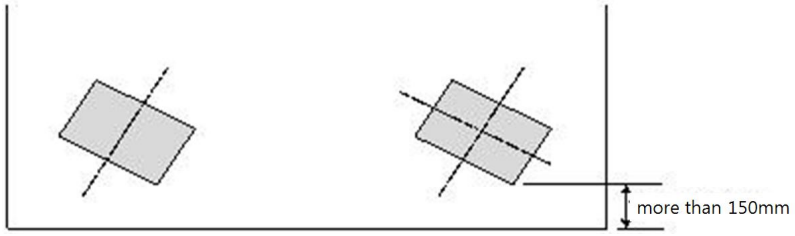


Fig. 8.7.4 Bearing layout in a skewed girder

⑥ Design around the stopper

A. When stopper is installed on a cross beam at the end, it shall be designed as both-end fixed beam with a span of main girder center-to-center spacing.

B. Reinforcement bars provided enough embedment length shall be placed around the stopper to resist horizontal force (H_s) on stopper.

가. 철근콘크리트 거더 및 PSC거더의 경우

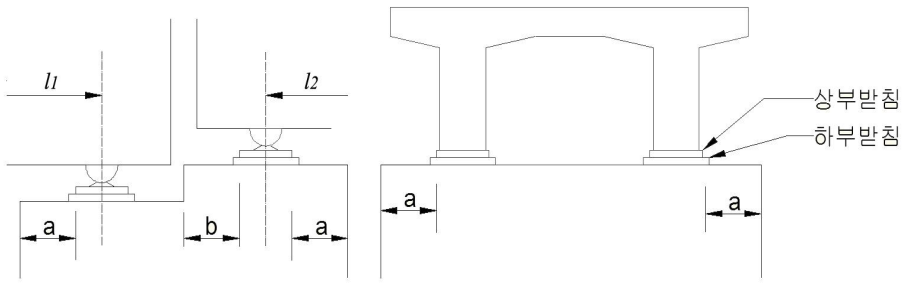
l < 15m	a = 150mm, b = 150mm
15m ≤ l < 20m	a = 200mm, b = 150mm
20m ≤ l < 30m	a = 250mm, b = 150mm
30m ≤ l < 40m	a = 350mm, b = 150mm
40m ≤ l	a = 400mm, b = 150mm

나. 플레이트 거더의 경우

l < 25m	a = 200mm, b = 150mm
25m ≤ l	a = 250mm, b = 150mm

다. 트러스의 경우 a = 300mm, b = 150mm

⑤ 사각을 가진 거더에서 받침 최외측선부터 거더 끝단까지의 교축방향으로의 최소 거리는 일반적으로 150mm 이상으로 해야 한다.



(a) 선로방향 (b) 선로직각방향

그림 8.7.3 받침의 끝에서 거더 끝단까지의 거리(a 및 b)의 값

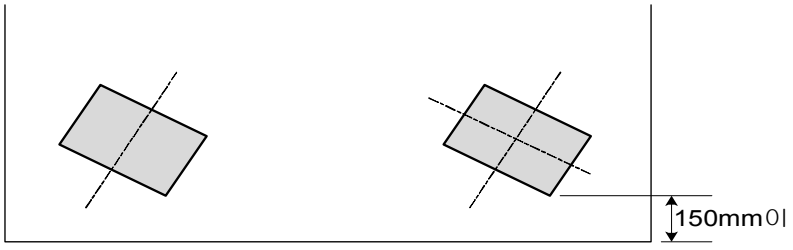


그림 8.7.4 사각을 가진 거더에서 받침의 배치

⑥ 스토퍼 주변의 설계

가. 스토퍼를 단부 가로보에 설치하는 경우 단부가로보는 주거더의 중심 간을 지간으로 하는 양단 고정보로 보고 설계해야 한다.

나. 스토퍼 주변에는 스토퍼에 작용하는 수평력(H_s)에 저항할 수 있는 보강철근을 정착길이를 갖도록 배치해야 한다.

(9) Bridge collapse prevention device

① Bridge collapse shall be prevented at the bridge support during earthquake.

② For a bearing with a nonslip device without stopper, displacement restrainer shall be provided to movable bearing shoe to prevent bearing top from sliding out of the bearing bottom because of unexpected displacement in the event of an earthquake, and the seat needs to be widened. In such a case, the nonslip device shall not interrupt the movement of movable bearing.

③ When substructure is designed as an elastic structure to constrain the deformation of superstructure and the support perpendicular to the bridge longitudinal axis is secured by two or more fixed bearings, bridge collapse prevention device may not be installed additionally.

8.7.2 Ancillary facilities

(1) Facilities to be installed on deck

① The facilities, related to railway operation, to be installed on deck shall include the following.

A. Grounding device (safety requirement for electrical insulation)

B. Catenary post or signal frame support

C. Waterproof material

D. Structure expansion joint

E. Drainage

F. Cable ditches and interface of electrical device

G. Parapet and soundproof barrier

H. Derailment barrier

② The above facilities may have a significant effect on bridge design. In determining the location on deck for such facilities, a careful prior review shall be conducted.

③ Railway includes very long bridge section because of geometric alignment characteristics, and electrical, mechanical and signal facilities that are interfaced earth work or bridge section requires careful review.

④ Grounding

A. A grounding system shall be provided to steel elements of all structures (superstructure and substructure) to protect against corrosion (electrical corrosion) in accordance with 「Railway design specifications (System)」.

B. Detailed design and drawing shall have the corresponding details; in particular, drawing for reinforced steel shall have the grounding system to each element.

(9) 낙교방지공

① 교량의 거더를 지지하는 곳에는 지진 시 낙교가 방지될 수 있어야 한다.

② 미끄럼 방지기구가 있는 받침으로 스토퍼를 사용하지 않는 받침방식의 경우에는 지진시에 예상외의 변위가 생겨도 받침 상부가 하부로부터 이탈하지 않게 가동측 받침부에 이동제한장치를 설치함과 동시에 자리를 넓게 만들 필요가 있다. 이 경우 이동제한장치가 상시 받침의 이동을 구속하지 않도록 해야 한다.

③ 하부구조가 지진 시 상부구조의 변형을 제한할 수 있도록 탄성구조로 설계되고 동일 교축직각방향 단면에 2개 이상의 고정 받침의 설치 등으로 교축직각방향 지지가 확실하게 보장되는 경우에는 낙교방지공을 추가로 설치하지 않아도 된다.

8.7.2 부속설비

(1) 상판에 부설해야 하는 시설물

① 철도 운영과 연관해서 상판에 부설해야 하는 시설물은 다음과 같다.

가. 접지 장치(전기적인 절연체에 대한 안전한 요구도)

나. 전차선로 지주 또는 신호기 프레임을 고정하는 장치

다. 방수재

라. 구조물 신축이음장치

마. 배수로

바. 공동관로(cable ditches, 전기장치의 인터페이스)

사. 난간과 방음벽

아. 탈선 방호벽

② 이러한 시설은 교량설계에서 매우 중요한 영향을 줄 수 있다. 교량 상판에 이들 시설이 놓일 자리와 관련하여 위치를 결정하기 전에 반드시 주의 깊게 검토해야 한다.

③ 철도는 그 기하학적인 노선의 특성상 매우 연장이 긴 교량구간을 포함하므로, 모든 전기적이고 기계적이며 신호와 관련된 시설이 토공구간과 만나는 곳 또는 교량 상에서 만나는 곳들이 있으므로 주의 깊게 확인하고 고려해야 한다.

④ 접지

가. 모든 구조물(상부구조와 하부구조)은 구조물의 수명기간 동안에 부식(전기부식)에 대한 보호를 하기 위하여 그들이 설치되는 강재 요소에 대하여 접지장치를 「철도설계기준(시스템편)」에 따라 설치해야 한다.

나. 세부적인 설계와 도면은 이에 상응하는 상세를 제시하고 도면에 도시해야 한다. 특별히 보강 강재 도면 등은 접지를 가능하게 하기 위해 각각의 요소에 대한 접지용 강재를 포함하는 설치 장치들을 제시해야 한다.

⑤ Catenary post and signal support

A. Catenary cable and signal post support fixing block on bridge deck shall be designed to bear the load and bending force generated at high speed.

B. The same requirements as to the above shall apply to signal frame and post.

C. Installation location and details shall be indicated accurately on the drawing and installed in accordance with 「Railway design specifications (System)」.

⑥ Waterproof

A. Protection measures including bridge deck waterproof to enhance bridge durability by rebar corrosion resistance shall be provided.

B. Protection measures including bridge deck waterproof shall be determined considering bridge type, track, load conditions and environmental conditions, and when determining the construction method, performance, constructability, maintenance, environment-friendliness and cost efficiency shall be evaluated.

⑦ Expansion joint

A. Rail expansion joint (REJ)

(a) REJ shall be applied to accommodate longitudinal displacement and axial force of rail that generates unallowable excessive stress.

(b) When expansion or contraction length is longer than 60 m for steel bridge or 90 m or longer for concrete or steel composite bridge, REJ shall be provided to the points where axial force exceeds the allowance based on axial force analysis according to 「Railway design specifications, 3.2 Track-Bridge longitudinal interaction analysis (2011)」. It may also be provided when necessary due to site conditions. Ordinary fastener shall be used in the preceding case. When terrain is significantly changed and soft ground, axial force analysis shall be carried out separately.

(c) Distance between fixed points on discontinuous track with REJ shall be limited to 400 m.

(d) REJ installation shall be in accordance with 「Railway Design specifications (Track)) (2010)」 7.4 'REJ of CWR'.

B. Expansion joint of bridge structure

(a) Bridge structure expansion joint shall be indicated on the detailed drawing, and complete product test shall be conducted in accordance with railway specifications.

(b) Bridge structure expansion joint shall be installed considering the following.

ⓐ To provide free expansion space for longitudinal movement by shrinkage, temperature variation, start and brake load.

ⓑ To provide space to prevent the collision between two neighboring structures considering different vibration modes between structures during earthquake.

⑤ 전차선로 지주와 신호기 고정장치

가. 교량상판에 설치되는 전차선로와 신호기 지주 고정블록은 특히 고속주행시 발생하는 모든 하중과 휨을 견딜 수 있게 설계해야 한다.

나. 상기와 동일한 요구사항은 신호 프레임과 그 지주에 대해서도 적용해야 한다.

다. 정확한 설치위치와 상세사항은 도면에 제시되어야 하며 상세한 사항은 「철도설계기준(시스템편)」에 따라 설치해야 한다.

⑥ 방수

가. 철근의 부식을 방지하여 교량의 내구성을 향상시키기 위하여 교량 상부 바닥판에 교면방수 등 보호공을 적용해야 한다.

나. 교면방수 등 철도교량의 보호공법은 교량형식, 궤도형식, 하중조건, 환경조건 등을 고려하여 선정해야 하며, 공법 선정시 보호성능, 시공성, 유지관리, 친환경성, 경제성 등을 평가하여 선정해야 한다.

⑦ 신축이음장치

가. 레일신축이음장치

㉮ 레일신축이음장치는 레일에서 허용할 수 없는 초과응력을 발생시키는 교량의 종방향변위와 그 레일의 축력을 해결하기 위해 적용된다.

㉯ 레일신축이음장치의 설치는 신축길이가 강교 60m 이상, 콘크리트 혹은 강합성교 90m 이상일 경우에 대하여는 「철도설계지침 3.2 궤도-교량 종방향 상호작용 해석(2011년)」의 축력해석에 따라 축력이 허용범위를 초과하는 개소에 설치하여야 한다. 다만, 현장여건상 또는 기타의 사유로 필요하다고 판단되는 개소에 설치할 수 있다. 이는 일반체결구를 사용할 경우이며, 지형변화가 심한 경우와 연약지반구간인 경우에는 별도로 축력해석을 수행하도록 한다.

㉰ 교량상에 1개의 레일신축이음장치가 있는 불연속 궤도의 고정점간 거리는 400m로 제한해야 한다.

㉱ 신축이음매의 설치조건은 「철도설계지침(궤도편) (2010)」 7.4 '장대레일 신축이음장치'를 따른다.

나. 교량 구조물신축이음장치

㉮ 교량 구조물신축이음장치는 상세도면에 표현해야 하며 반드시 철도시방에 의하여 완제품 시험을 시행해야 한다.

㉯ 교량 구조물신축이음장치는 다음을 고려하여 설치해야 한다.

㉠ 건조수축, 온도 변화, 시동 및 제동 하중 등에 기인하는 교량 종방향 움직임에 대한 자유 신축공간의 제공

㉡ 지진이 발생하는 동안 구조물들 사이에서 충돌에 의한 충격을 막기 위하여 다른 진동 모드를 고려함으로써 두개의 인접 구조물 사이에서의 공간을 제공

ⓒ To maintain the track at joints

ⓓ To avoid damage to humans at large joint gaps

ⓔ To prevent the ballast aggregate from falling down from pier or abutment

ⓕ To accommodate vertical dimension adjust for lateral track slope

ⓖ Regular insulation

ⓗ Maintenance including replacement and removal

ⓘ To secure horizontal joint gap when significant deformation by creep or shrinkage is expected in the future

(c) Extra clearance to accommodate the error or unexpected displacement of substructure shall be considered, in addition to basic clearance above. Such extra clearance shall be as follows depending on the size of the bridge.

ⓐ Expansion length less than 100 m : (basic expansion × 20%) + 10 mm

ⓑ Expansion length 100 m or more: installation clearance (10 mm) + extra clearance (20 mm)

where, expansion length refers to the length of girder expansion or contraction, which is the distance from fixed for ordinary bearing end or from bridge center for isolation bearing.

(d) It shall be determined whether to install REJ on bridge structure expansion joint depending on relative displacement.

ⓐ Steel plate without REJ shall be applied where minor relative displacement is allowed (relative displacement between two bridge decks without REJ shall be the minimum of 10 mm or more).

ⓑ REJ shall be provided when required displacement up to 400 mm using a thin elastic plate (minimum value shall be 30 mm or more because of rail-structure interaction between two bridge decks with REJ).

⑧ Drainage

A. Drainage shall be indicated in the detailed drawing.

B. For closed floor type, larger drain hole and pipe shall be provided and drainage slope shall be 1/100 or greater.

C. Where the pond is formed for structural reasons, a drain hole shall be provided.

D. Deck drainage of prestressed concrete box girder bridge shall have a 2% slope toward the center of the section. The drain shall be placed at the center of the section. Rainwater shall be drained to the ground at pier through the pipe inside the box.

㉣ 이음의 각 연결부 면에서 도상을 유지하기 위하여
㉤ 특히 넓은 유간이 발생할 수 있을 경우 인적손상의 방지를 위하여
㉥ 교각 또는 교대 상에서의 어떠한 도상 자갈 이탈로 인한 하부로의 자갈낙하 방지
㉦ 횡방향 도상 경사를 준용하는 수직방향 치수의 조절 허용
㉧ 정규적인 절연
㉨ 교체와 제거 등의 유지관리
㉩ 크리프와 건조수축에 기인하는 큰 변형이 예상되는 경우에 장래의 수평 유간 조절에 대한 허용치 확보

㉰ 신축이음장치의 신축량 산정에는 상기의 기본 신축량 외에 설치할 때의 오차와 하부구조의 예상 밖의 변위 등에 대처할 수 있도록 여유량을 고려해야 한다. 이 여유량은 교량의 규모에 따라 다음의 값으로 한다.

- 신축장 100m 미만 : (기본 신축량×20%)+10mm
- 신축장 100m 이상 : 설치 여유량(10mm)+부가 여유량(20mm)

여기서, 신축장은 신축하는 거더의 길이로서 일반받침 및 면진받침에 대하여 각각 고정단으로부터의 거리 및 교량의 중심에서부터의 거리이다.

㉱ 교량 구조물신축이음장치에는 상대변위의 크기에 따라 레일신축이음장치의 설치여부를 결정해야 한다.

㉠ 강재 플레이트 형식은 작은 상대변위를 허용하는 곳에 대하여(레일 신축 이음이 없는 두개로 구성된 교량 상판사이의 상대변위는 레일과 구조물의 상호작용 때문에 최소치로 10mm 이상) 레일 신축 이음 없이 적용해야 한다.
㉡ 탄성계의 얇은 판을 사용하여 400mm까지의 큰 변위를 허용해야 하는 경우(레일 신축 이음이 있는 두개의 교량 상판사이에서의 레일-구조물간의 상호작용 때문에 최소치는 30mm 이상)에는 레일 신축이음을 제공해야 한다.

⑧ 배수시설

가. 배수 장치는 모든 상세도면에 표현해야 한다.
나. 바닥이 폐상식인 경우에는 가능한 한 큰 배수공 및 배수관을 설치하고 배수경사는 1/100 이상으로 해야 한다.
다. 구조상 물이 고이는 부분은 배수공을 뚫거나 배수공을 설치해야 한다.
라. 프리스트레스트 콘크리트 박스거더 교량의 경우 상판배수는 단면의 중심으로 2%의 경사를 가지고 있어야 한다. 배수구는 단면중심에 위치하도록 설계해야 한다. 우수 등의 유입수는 박스의 안쪽에 있는 관으로 집수되어 교각 위치에서 지면으로 배수되도록 하는 것으로 한다.

⑨ Common duct

A. Common duct shall be designed to facilitate the safe protection of electrical devices.

B. Common duct shall be indicated in the detailed drawing.

C. The height shall be determined to prevent ballast from covering the common duct, and in particular on a curved section, the height shall be determined considering cant or a ballast stopper shall be provided.

⑩ Parapet and soundproof barrier

A. These shall be indicated on the detailed drawings.

B. Anchor and fastening device to install the parapet and soundproof barrier shall be indicated on the drawing with the location.

C. Parapet fastening device shall be designed to bear the wind load as well as a horizontal load of 800 N/m at the top of the parapet.

D. Soundproof barrier shall be designed considering wind load on bridge.

⑪ Derailment barrier

A. The facilities to prevent the train running at high speed from being derailed shall be provided.

B. Derailment barrier shall be designed considering derailment load depending on running speed, alignment and facility height and width on a curved section.

(2) Maintenance facilities

① Access for maintenance and inspection, pier inspection stair and deck and lighting facilities (10 Lux or more) in box girders shall be provided.

② Maintenance facilities shall be installed in accordance with the related provisions considering the site conditions.

(3) Safety facilities

① Security fence and warning sign shall be provided at the start and end point of the bridge to prevent unauthorized access or trash dumping.

② Evacuation passage, guard rail and intermediate evacuation passage route shall be provided for safe and timely evacuation in the event of an accident.

③ Life safety facilities shall be installed in accordance with 「Railway safety facility provisions」 considering site conditions.

⑨ 공동관로

가. 공동관로는 전기장치와의 접촉에 원활하도록 설계해야 한다.

나. 공동관로 장치는 상세도면에 표현해야 한다.

다. 도상자갈이 공동관로를 덮지 않도록 설치높이를 설정해야 하며, 특히 곡선부에서는 켄트 영향선을 고려하여 공동관로 높이를 설정하거나 자갈막이벽 등을 설치하여 공동관로에 덮힘이 발생하지 않도록 해야 한다.

⑩ 난간과 방음벽

가. 이들 장치들은 상세도면에 표현해야 한다.

나. 난간과 방음벽은 이들의 설치를 위하여 미리 제공하야야 하는 앵커나 고정장치를 그 정확한 위치와 함께 설계도면에 표현해야 한다.

다. 난간 고정장치는 설계조건에 주어진 풍하중 외에 난간의 꼭대기 부분에 800N/m의 수평하중을 추가로 견딜 수 있도록 설계해야 한다.

라. 방음벽은 교량 부위에 작용하는 풍하중 등의 영향을 고려하여 설계해야 한다.

⑪ 탈선방호벽

가. 고속철도에서 주행 중인 열차가 교량 위에서 탈선하는 것을 방지하는 시설물을 설치해야 한다.

나. 탈선방호벽은 열차의 주행속도에 따른 탈선하중 및 직선구간, 곡선구간 시설물 높이, 폭 등의 설치조건을 고려하여 설계해야 한다.

(2) 유지관리 설비

① 교량의 점검과 유지관리를 위하여 접근로, 점검통로, 교각점검시설 등과 교량의 박스 내부점검을 위한 조명등(조도 10Lux 이상)을 설치해야 한다.

② 각 종 유지관리 설비는 현지여건을 감안하여 관련 기준에 따라 설치해야 한다.

(3) 방재 설비

① 교량 시·종점부 및 하부에는 무단침입 및 무단적치물 등으로 인한 화재예방을 위하여 방호울타리 및 위험표지를 설치해야 한다.

② 교량 위에서 사고 발생 시 안전하고 신속한 대피가 가능하도록 대피로, 안전난간, 중간 대피통로 등을 설치해야 한다.

③ 각 종 방재 설비는 「철도시설안전기준에 관한 규칙」에 따라 설치해야 하며, 현지여건을 감안하여 조정하여 설치해야 한다.

(4) Soundproof facilities

① Soundproof barrier shall be designed considering noise generation and environment, and strength and serviceability shall also be reviewed and the type shall be determined from among the following.

A. Sound insulation using soundproof barrier at the side or bottom of the bridge to deal with the structure-borne sound

B. Vibration controller by applying vibration isolator or concrete on steel plate to deal with the structure-borne sound

C. Sound deadening by laying ballast mat or applying the rubber on track slab to constrain the vibration energy transferred to the main girder member

D. Sound absorption by applying sound absorbing material to track or installation of soundproof barrier

② Sound insulation structure and material shall be determined considering sound insulation effect, strength and maintenance efficiency.

③ Wind load shall be applied perpendicular to soundproof barrier, and wind load intensity shall be based on the design regional wind load in <Table 4.6.2> of 「4.6.3」.

④ Allowable stress of steel and bolt used for sound insulation shall be 1.25 times the ordinary allowable stress but 1.5 times for storm wind load.

⑤ Slenderness ratio of the steel used for sound insulation shall not exceed the value in <Table 8.7.5>.

⑥ Vibration controller shall have the required vibration controlling effect, strength and durability.

⑦ Vibration controller shall not be separated by vibration.

Table 8.7.5 Slenderness ratio of the steel used for sound insulation

Type of member	Slenderness ratio
Compression member	150
Tension member	240

8.8 Seismic design

8.8.1 General

(1) Scope of application

This provision shall apply to the seismic design of the new bridge. The applicable bridge and method shall be stipulated in 「Chapter 2 Railway Plan」, and the particular type of bridges such as arch, cable-stayed and suspension bridges shall comply with this design concept and principle or other rationally modified provisions for seismic design.

(4) 방음설비

① 방음설비의 설계에 있어서는 소음의 발생현황, 환경조건 등을 고려하여 선택해야 하며 강도, 내구성 등에 대하여도 검토하고 그 형식은 다음의 조건 중에서 채택하는 것으로 한다.

가. 상부음 또는 구조음에 대처할 목적으로 교량의 측면 및 하면에 방음벽을 설치하는 차음공

나. 구조음에 대처할 목적으로 강판면에 제진재를 붙이거나 콘크리트로 강부재를 둘러싸는 제진공

다. 주거더 부재에 전해지는 진동에너지를 억제할 목적으로 발라스트 매트를 깔거나 궤도용 슬래브의 보자리에 고무를 붙인 방진 슬래브 등의 방진공

라. 궤도면, 방음벽 등에 흡음재를 부설한 흡음공이 있고 이들을 조합시켜서 사용한다.

② 차음공의 구조 및 재료는 소요되는 차음효과, 강도를 가지는 것 이외에 보수에 대해서도 고려한 것이어야 한다.

③ 풍하중은 방음벽에 수직으로 적용하며 풍하중 강도는 「4.6.3항」의 <표 4.6.2> 지역별 설계풍하중을 적용한다.

④ 차음공에 이용하는 강재 및 볼트의 허용응력은 일반 허용응력의 1.25배로 한다. 다만 폭풍시 풍압에 대해서는 1.5배로 한다.

⑤ 차음공에 이용하는 강재의 세장비는 <표 8.7.5>의 값을 초과하지 않도록 해야 한다.

⑥ 제진공에 이용하는 제진재료는 소요되는 제진효과, 강도 및 내구성을 가진 것으로 해야 한다.

⑦ 제진재료는 진동에 의해 떨어져 나가지 않도록 고정해야 한다.

표 8.7.5 차음공에 사용하는 강재의 세장비

부재의 종류	세장비
압축재	150
인장재	240

8.8 내진설계

8.8.1 일반사항

(1) 적용범위

이 기준은 신설되는 교량의 내진설계에 적용한다. 적용하는 교량 및 준용의 방법은 「제2장 철도계획」에 규정한 바와 같으며, 특수한 형식의 교량(아치교, 사장교, 현수교 등)은 이 설계개념 및 기준을 준수하고 합리적인 보정을 한 내진설계기준을 작성하여 설계할 수 있다.

8.8.2 Principle of seismic design

(1) Objective

This design provision intends to define the minimum design requirements to secure seismic performance to minimize bridge damages during earthquakes.

(2) Concept of seismic design criteria

This design criteria was developed by modifying part of the seismic design performance provisions proposed in 「Study on seismic design criteria (II) (1997. 12)」 and other studies, and thus the current design criteria is based on the following principles.

① Minimize the damage to people.

② Prevent total collapse though partial damage to bridge members is permitted during an earthquake.

③ Maintain the bridge function during earthquake.

④ Ensure very low likelihood of the occurrence of design seismic force during bridge service life.

⑤ Apply design criteria for the entire South Korean area

⑥ A more developed design than this provision, if any exists, shall be acknowledged.

To accomplish such design concept, bridge collapse prevention system shall be secured by inducing a ductile breaking mechanism of piers; if not, bridge collapse prevention system (such as shear key and displacement restraint) shall be proposed. Also, a seismic isolation system may be installed as needed.

(3) Quality assurance (QA) requirements

QA requirements for seismic design shall be in accordance with 「Chapter 2 Railway plan, 2.4.4 (3)」.

(4) Measurement of seismic response

① General

For seismic category I and II bridges, seismometer, and accelerometer shall be set to obtain the data necessary for maintenance, seismic design technology development and improvement.

② Instrumentation and management

Instrumentation location and type and management to monitor the seismic response shall be determined to accomplish the goal of this provision.

8.8.3 Design general

(1) Design ground motion

Design ground motion and acceleration coefficient shall be in accordance with 「③ and ⑤」 of 「2.4.4 (2)」.

8.8.2 내진설계의 기본방침

(1) 목적

이 설계기준의 목적은 지진에 의해 교량이 입는 피해의 정도를 최소화 시킬 수 있는 내진성 확보를 위해 필요한 최소 설계요구조건을 규정하는데 있다.

(2) 내진설계기준의 개념

이 설계기준은 건설교통부의 연구과제 「내진설계기준연구(II)(1997. 12.)」에서 제시된 내진설계성능기준 및 기타 연구결과 중 현재 수준에서 인정할 수 있는 일부 규정을 기존 설계기준의 체계에 맞도록 채택하여 제정되었다. 따라서 현재의 설계기준은 다음의 개념에 기초를 두고 있다.

① 인명피해를 최소화 한다.

② 지진시 교량 부재들의 부분적인 피해는 허용하나 전체적인 붕괴는 방지한다.

③ 지진시 가능한 한 교량의 기능은 발휘할 수 있게 한다.

④ 교량의 정상수명 기간 내에 설계지진력이 발생할 가능성은 희박하다.

⑤ 설계기준은 남한 전역에 적용될 수 있다.

⑥ 이 규정을 따르지 않더라도 창의력을 발휘하여 보다 발전된 설계를 할 경우에는 이를 인정한다.

이러한 개념을 구현하기 위해서는 낙교방지가 확보되어야 하며, 낙교방지는 가능하면 교각의 연성거동에 의한 연성파괴메커니즘을 유도하여 확보하고, 그렇지 않은 경우 낙교방지 대책(전단키, 변위구속장치 등)을 제시하여 확보해야 한다. 또한, 필요한 경우 지진격리시스템을 설치할 수 있다.

(3) 품질보증 요건

내진설계에 관한 품질보증 요건은 「제2장 철도계획 2.4.4(3)항」의 해당규정에 따른다.

(4) 지진응답 계측

① 일반사항

내진Ⅰ등급교와 내진Ⅱ등급교에 대해서는 유지관리, 내진설계기술 개발 및 개선에 필요한 자료 확보를 위하여 관계기관은 지진계와 가속도계를 설치하고 운영하도록 요구할 수 있다.

② 계측기기의 설치와 관리

교량의 지진응답을 계측하기 위한 계측기기의 설치 위치와 종류, 개수와 관리는 이 설계기준의 목적을 달성할 수 있도록 결정되어야 한다.

8.8.3 설계 일반사항

(1) 설계지반운동

설계지반운동 일반사항과 가속도계수는 「2.4.4(2)항」의 「③과 ⑤항」에 따른다.

(2) Seismic classification and design earthquake intensity

This shall be in accordance with 「2.4.4 (2) ①」.

(3) Classification of the ground

This shall be in accordance with 「2.4.4 (2) ⑥」.

(4) Response modification factor

① When satisfying design requirements for seismic design stipulated in 「8.8.6」 and 「8.8.7」 and for plastic hinge region in 「8.8.8」, design seismic force for members and connections in bridges shall be calculated by dividing the elastic seismic force in 「8.8.4 (7)」 by the response modification factor in <Table 8.8.1>. But in the substructure, axial force and shear force shall not be divided by response modification factor.

② When confinement reinforcement stipulated in 「8.8.8 (3) ④」 is not placed in RC column type pier (a single column, multiple bent) and pile bent plastic hinge region, shall be designed according to 「Appendix I Seismic Ductility Design for RC column」, and the response modification factor in <Table 8.8.1> shall not be applied. RC column type pier and pile bent shall satisfy all design requirements except confinement reinforcement stipulated in 「8.8.8 (3) ④」, and foundation and connection shall be in accordance 「8.8.4 (7) ① E.」 and 「8.8.8 (2) ⑤」.

③ Response modification factor R shall apply to both bridge longitudinal and perpendicular directions of substructure.

④ Weak-axis of pier wall shall be designed using 「8.8.8」, and response modification factor R may use a single column value.

(2) 내진등급과 설계지진수준

내진등급과 설계지진수준은 「2.4.4(2)①항」에 따른다.

(3) 지반의 분류

지반의 분류는 「2.4.4(2)⑥항」에 따른다.

(4) 응답수정계수

① 「8.8.6항」과 「8.8.7항」에서 내진설계를 위해 추가로 규정한 설계요건과 「8.8.8항」에서 규정한 소성힌지구역에 관련된 모든 설계요건을 충족시키는 경우, 교량의 각 부재와 연결부분에 대한 설계지진력은 「8.8.4(7)항」에서와 같이 규정된 탄성지진력을 <표 8.8.1>의 응답수정계수로 나눈 값으로 한다. 다만 하부구조의 경우 축방향력과 전단력은 응답수정계수로 나누지 않는다.

② 철근콘크리트 기둥형식의 교각(단일기둥, 다주가구)과 말뚝가구의 소성힌지구역에 「8.8.8.(3)④항」에서 규정한 심부구속철근량을 배근하지 않는 경우에는 「부록 Ⅰ 철근콘크리트 기둥의 연성도 내진설계」에 따라 설계해야 하며, <표 8.8.1>의 하부구조에 대한 응답수정계수는 적용하지 않는다. 이때 철근콘크리트 기둥형식의 교각과 말뚝가구는 「8.8.8.(3)④항」의 심부구속철근량을 제외한 모든 설계요건을 만족시켜야 하며, 기초와 연결부분은 「8.8.4(7)①마.항」과 「8.8.8.(2)⑤항」에 따라 설계해야 한다.

③ 응답수정계수 R은 하부구조의 양 직교축방향에 대해 모두 적용한다.

④ 벽식교각의 약축방향은 「8.8.8항」의 기둥규정을 적용하여 설계할 수 있다. 이때 응답수정계수 R은 단일 기둥의 값을 적용할 수 있다.

Table 8.8.1 response modification factor, R

Substructure	R	(Connection1)	R
Pier wall	2	Superstructure and abutment	0.8
RC pile bent 1. Vertical piles only 2. One or more battered piles	 3 2	Expansion joint within a single span	0.8
Single column	3	Column, pier or pile bent, cap beam or superstructure	1.0
Steel or composite steel and concrete pile bent 1. Vertical piles only 2. One or more battered piles	 5 3	Column or pier and foundation	1.0
Multiple bent	5		

Note: 1) Connection refers to the device that transfers shear force and compressive force between members, including bearing and shear key. Response modification factor shall apply to elastic seismic force in the restraint direction.

8.8.4 Provision for analysis and design

(1) General

① Elastic seismic force shall be as described in 「8.8.5」.

② Material and foundation design shall be as described in 「8.8.6」, 「8.8.7」 and 「8.8.8」.

③ The same seismic design procedure shall be applied to bridges in all seismic classifications , but a single span bridge shall be in accordance with 「8.8.4 (5)」 and 「8.8.4 (8)」 and the bridge classified as seismic level II in seismic zone II shall be in accordance with 「8.8.4 (6)」 and 「8.8.4 (8)」.

(2) Analysis method

① Seismic analysis of the bridge shall be in accordance with the single mode spectrum analysis method specified in 「8.8.5」.

② A multi-mode spectrum method or other proven method approved by the owner may be used for the bridge requiring detailed seismic analysis.

③ A single-span bridge or the bridge classified as seismic level II in seismic zone II requires no detailed seismic analysis.

표 8.8.1 응답수정계수, R

하부구조	R	연결부분[1]	R
벽식 교각	2	상부구조와 교대	0.8
철근콘크리트 말뚝 가구(Bent) 1. 수직말뚝만 사용한 경우 2. 한 개 이상의 경사말뚝을 사용한 경우	3 2	상부구조의 한 지간내의 신축이음부	0.8
단일 기둥	3	기둥, 교각 또는 말뚝 가구와 캡빔 또는 상부구조	1.0
강재 또는 합성강재와 콘크리트 말뚝 가구 1. 수직말뚝만 사용한 경우 2. 한 개 이상의 경사말뚝을 사용한 경우	5 3	기둥 또는 교각과 기초	1.0
다주 가구	5		

주 : 1) 연결부분은 부재간에 전단력과 압축력을 전달하는 기구를 의미하며, 교량받침과 전단키 등이 이에 포함된다. 이 때, 응답수정계수는 구속된 방향으로 작용하는 탄성지진력에 대해서만 적용된다.

8.8.4 해석 및 설계에 대한 규정

(1) 일반사항

① 탄성지진력은 「8.8.5항」에 규정한 값으로 한다.

② 재료 및 기초 설계조건은 「8.8.6항」, 「8.8.7항」, 「8.8.8항」에 따른다.

③ 교량의 내진설계절차는 모든 내진등급의 교량에 대하여 동일하게 적용한다. 다만 단경간교에 대한 내진설계는 「8.8.4(5)항」와 「8.8.4(8)항」에 따른다. 또한 지진구역 II에 위치하는 내진II등급교의 내진설계는 「8.8.4(6)항」과 「8.8.4(8)항」에 의해서 수행될 수 있다.

(2) 해석방법

① 교량의 지진해석방법은 「8.8.5항」에서 규정된 단일모드스펙트럼해석법을 사용하는 것으로 한다.

② 정밀한 해석을 요한다고 판단되는 교량에 대해서는 다중모드스펙트럼해석법 또는 발주자가 인정하는 검증된 정밀 해석법을 사용할 수 있다.

③ 단경간교 및 지진구역 II에 위치하는 내진II등급교는 상세한 지진해석을 할 필요가 없다.

(3) Elastic force and elastic displacement

① Elastic force and displacement shall be analyzed independently in the direction of two orthogonal axes using the method in 「8.8.4 (2)」, and combined by the method in 「8.8.4 (4)」.

② Two orthogonal axes are the longitudinal and transverse directions but the bridge design engineer may determine other two axes. The longitudinal direction in a curved bridge may be a chorded line between both abutments.

(4) Combination of orthogonal seismic force

Design seismic force for each main axis of the member determined by 「8.8.4 (3)」 shall be combined as follows.

① Load 1…elastic seismic force (absolute value) in the longitudinal axis plus 30% of elastic seismic force (absolute value) in the transverse direction

② Load 2…elastic seismic force (absolute value) in the transverse direction plus 30% of elastic seismic force (absolute value) in the longitudinal direction

(5) Design provision of a single span bridge

① The connection between superstructure and abutment shall be designed to be safe longitudinally and transversely against the horizontal seismic force determined by multiplying a dead load reaction by both the acceleration coefficient in 「8.8.3 (1) ②」 and the subgrade reaction modulus in 「8.8.3 (3)」.

② Minimum bearing length for bridge collapse prevention shall be in accordance with 「8.8.4 (8)」.

(6) Design seismic force of the seismic level II bridge in seismic zone II

① Bearing shoe or mechanical device between superstructure and substructure of the bridge in seismic zone II shall be designed to resist the horizontal seismic force corresponding to 20% of dead load in the constraint direction.

② When constrained in the longitudinal direction, the dead load used for horizontal seismic force in the longitudinal direction shall be determined by the self-weight of each superstructure segment.

③ When constrained in the transverse direction, the dead load used for horizontal seismic force in the transverse direction shall be determined by the dead load reaction at the bridge bearing.

(7) Design seismic force

① Design seismic force of structural member and connection

A. Design seismic force in this provision shall apply to the followings.

(a) Superstructure, expansion joint of superstructure and connection between superstructure and substructure.

(b) From the top of the substructure to the bottom of the column or pier (excluding foundation, pile head and pile)

(3) 탄성력 및 탄성변위

① 탄성력과 탄성변위는 「8.8.4(2)항」에 규정한 해석방법을 사용하여 두 개의 직교축에 대하여 독립적으로 해석하고 「8.8.4(4)항」에 규정한 방법으로 조합해야 한다.

② 두 개의 직교축은 교량의 종방향축과 횡방향축으로 하는 것이지만 설계자가 임의로 정할 수 있다. 곡선교는 양측 교대를 연결하는 현을 종방향으로 정할 수 있다.

(4) 직교 지진력의 조합

부재의 각각의 주축에 대한 설계지진력은 「8.8.4(3)항」에 규정한 방법으로 구한 지진력을 다음과 같이 조합하여 사용한다.

하중경우 1…종방향축의 해석으로부터 구한 탄성지진력(절대값)에 횡방향축의 해석으로부터 구한 탄성지진력(절대값)의 30%를 합한 경우.

하중경우 2…횡방향축의 해석으로부터 구한 탄성지진력(절대값)에 종방향축의 해석으로부터 구한 탄성지진력(절대값)의 30%를 합한 경우.

(5) 단경간교의 설계규정

① 상부구조와 교대 사이의 연결부에 대하여 고정하중반력에 「8.8.3.(1)②항」에서 규정된 가속도계수와 「8.8.3(3)항」에서 규정된 지반계수를 곱한 값의 수평지진력이 작용한다고 보고 종방향 및 횡방향에 대하여 안전하도록 설계해야 한다.

② 낙교방지를 위한 최소받침지지길이는 「8.8.4(8)항」에 규정한 값으로 한다.

(6) 지진구역 II에 위치하는 내진II등급교의 설계지진력

① 지진구역 II에 위치하는 내진II등급교에서 상부구조와 하부구조를 연결하는 교량받침이나 기계장치는 고정하중의 20%에 해당되는 수평지진력이 구속방향으로 작용한다고 보고 이에 저항하도록 설계해야 한다.

② 종방향으로 구속되어 있을 경우 종방향의 수평지진력에 사용되는 고정하중은 상부구조의 각 세그멘트의 자중으로 정의된다.

③ 횡방향으로 구속되어 있을 경우 횡방향의 수평지진력에 사용되는 고정하중은 그 교량받침에서의 고정하중 반력으로 정의된다.

(7) 설계지진력

① 구조부재 및 연결부의 설계지진력

가. 이 절에서 구하는 설계지진력은 다음의 각 경우에 대하여 적용한다.

㉮ 상부구조, 상부구조의 신축이음 및 상부구조와 하부구조상단 사이의 연결부

㉯ 하부구조 상단으로부터 기둥이나 교각의 하단까지(단 기초, 말뚝머리 및 말뚝은 포함하지 않는다.)

(c) Connection elements between superstructure and abutment

B. Design seismic force in 「A」 shall be calculated by dividing the elastic seismic force from Load 1 and Load 2 in 「8.8.4 (4)」 by the response modification factor R in 「8.8.3 (4)」. When designing an RC column-type pier (single pile, multiple bent, pile bent) in accordance with 「Appendix I」, design seismic force may not be determined by this provision.

C. Design seismic force in 「B」 shall be incorporated into load combinations with other design forces, and maximum load of each element shall be calculated using <Eq. (8.8.1)>. The sign of design seismic force shall be either (+) or (–), whichever is less favorable.

$$\text{Max load} = 1.0(D + L/2 + H + Q + E) \qquad (8.8.1)$$

where, *D*: Dead load
L/2: Live load on a single track
H: Lateral earth pressure
Q: Fluid pressure and buoyancy
E: Design seismic force in 「(B)」

D. Design strength of the section in the structure shall be greater than the required strength calculated based on the load combination in 「8.3」, and shall satisfy the design requirements in 「8.8.6」, 「8.8.7」 and 「8.8.8」.

E. When not applying the response modification factor in <Table 8.8.1>, design seismic force at the joint between pier and superstructure or connections to the substructure shall be the smaller of maximum plastic hinge force of the pier determined by 「8.8.8 (2) ⑤」 or elastic seismic force without the response modification factor.

F. <Eq. (8.8.1)> shall be used with the load combination specified in 「General, Chapter 8 Bridge」. When using allowable stress design for steel structure design, allowable stress shall be calculated by multiplying allowable stress increment coefficient (= 1.5) by the specified allowable stress.

② Design seismic force of foundation

A. Design seismic force of foundation including spread footing, pile head and pile shall be determined using either of the following methods.

㈐ 상부구조와 교대의 연결요소

나. 「가.항」의 설계지진력은 「8.8.4(4)항」의 하중경우 1과 하중경우 2로부터 구한 탄성지진력을 「8.8.3(4)항」에 규정한 응답수정계수 R로 나눈 값으로 한다. 철근콘크리트 기둥형식의 교각(단일기둥, 다주가구, 말뚝가구)을 「부록 Ⅰ」에 따라 설계하는 경우에는 이 항에 따라 기둥의 설계지진력을 결정할 필요가 없다.

다. 「나.항」의 각 설계지진력은 다른 설계력과 함께 전체 하중조합식에 조합해야 하며 각 요소에 대한 최대하중은 <식 (8.8.1)>로부터 구한다. 이때 설계지진력의 부호는 양 또는 음 중 불리한 경우를 취한다.

$$\text{최대하중}=1.0(D+L/2+H+Q+E) \qquad (8.8.1)$$

여기서, D : 고정하중
L/2 : 단선 활하중
H : 횡토압
Q : 유체압 및 부력
E : 「(나)」항의 설계지진력

라. 구조물의 각 요소에서 단면의 설계강도는 「8.3항」의 하중조합에 따라 구한 소요강도 이상이어야 하며, 「8.8.6항」, 「8.8.7항」, 「8.8.8항」의 설계규정을 만족해야 한다.

마. <표 8.8.1>의 응답수정계수가 적용되지 않은 경우, 교각과 상부구조 또는 하부구조와의 연결부분의 설계지진력은 「8.8.8(2)⑤항」에 따라 결정된 교각의 최대소성힌지력과 응답수정계수를 적용하지 않은 탄성지진력 중 작은 값으로 한다.

바. <식 (8.8.1)>은 「제8장 교량 일반사항」의 하중조합과 함께 사용해야 한다. 강구조물의 설계에 허용응력설계법을 사용할 경우 허용응력은 규정된 허용응력에 허용응력 증가계수(=1.5)를 곱한 값으로 한다.

② 기초의 설계지진력

가. 확대기초, 말뚝머리 및 말뚝을 포함하는 기초의 설계지진력은 다음 중 하나의 방법으로 결정한다.

(a) Design seismic force of the foundation shall be calculated by dividing elastic seismic force from Load 1 and Load 2 in 「8.8.4 (4)」 by 1/2 of response modification factor R applied to substructure (column or pier) as per 「8.8.3 (4)」. However, this provision shall be applied when the flexural design strength of a column or a pier is designed to be similar to plastic seismic moment obtained by dividing elastic seismic moment by response modification factor R in 「8.8.3 (4)」. Design seismic force of pile bent shall be the value obtained by dividing the elastic seismic force by response modification factor R of the structure.

(b) Design seismic force of the foundation shall be the smaller of the maximum plastic hinge force of the pier as per 「8.8.8 (2) ⑤」 or the elastic seismic force without the response modification factor.

B. Design seismic force in 「A」 shall be incorporated into the load combination with other design forces, and the maximum load of each element shall be calculated using <Eq. (8.8.2)>. The sign of design seismic force shall be either (+) or –), whichever is less favorable.

$$\text{Max load} = 1.0(D + L/2 + H + Q + E) \qquad (8.8.2)$$

where, D: Dead load
L/2: Live load on single track
H: Lateral earth pressure
Q: Fluid pressure and buoyancy
E: Design seismic force in 「(A)」

C. Design strength of the section in foundation shall be greater than the required strength calculated by applying the load factor of 1.0 to all loads in load combinations including seismic load in 「General, Chapter 8」, and shall satisfy the design requirements in 「8.8.6」.

③ Abutment and retaining wall

A. Connection between deck and abutment (bearing and shear connector) shall be designed to resist the design seismic force in 「8.8.4 (7) ①」.

B. Abutment shall be designed in accordance with 「8.8.6 (3)」.

(8) Design displacement

① Minimum bearing length determined in this provision shall be applied to all girder ends.

② Displacement constrainer shall be provided when it is difficult to obtain the minimum bearing length or ensure bridge collapse prevention.

㉮ 기초의 설계지진력은 「8.8.4(4)항」의 하중경우 1과 하중경우 2로부터 구한 탄성지진력을 「8.8.3(4)항」에 따라 하부구조(기둥 또는 교각)에 적용한 응답수정계수 R 값의 1/2로 나눈 값으로 한다. 단, 이 규정은 기둥 또는 교각의 휨설계강도가 탄성지진모멘트를 「8.8.3(4)항」의 해당 응답수정계수 R 값으로 나눈 소성설계모멘트와 유사하도록 설계된 경우에 적용해야 한다. 말뚝가구의 설계지진력은 탄성지진력을 해당 구조의 응답수정계수 R로 나눈 값으로 한다.

㉯ 기초의 설계지진력은 「8.8.8.(2)⑤항」에 따라 결정된 교각의 최대 소성힌지력과 응답수정계수를 적용하지 않은 탄성지진력 중 작은 값으로 한다.

나. 「가.항」의 각 설계지진력은 다른 설계력과 함께 전체 하중조합식에 조합해야 하며 각 요소에 대한 최대하중은 <식 (8.8.2)>로부터 구한다. 이때 설계지진력의 부호는 양 또는 음 중 불리한 경우를 취한다.

$$\text{최대하중}=1.0(D+L/2+H+Q+E) \qquad (8.8.2)$$

여기서, D : 고정하중
L/2 : 단선 활하중
H : 횡토압
Q : 유체압 및 부력
E : 「(가)」항의 설계지진력

다. 기초의 각 요소에서 단면의 설계강도는 「제8장 교량 일반사항」의 강도설계법 하중조합에서 지진하중이 포함된 하중조합의 모든 종류의 하중에 하중계수 1.0을 사용하여 구한 소요강도 이상이어야 하며, 「8.8.6항」의 설계규정을 만족해야 한다.

③ 교대 및 옹벽

가. 상부구조와 교대의 연결부(받침, 전단연결재 등)는 「8.8.4(7)①항」의 설계지진력에 저항하도록 설계해야 한다.

나. 교대는 「8.8.6(3)항」의 규정에 따라 설계해야 한다.

(8) 설계변위

① 이 절에서 정한 최소받침지지길이는 모든 거더의 단부에서 확보해야 한다.

② 최소받침지지길이의 확보가 어렵거나 낙교방지를 보장하기 위해서는 변위구속장치를 설치해야 한다.

③ Minimum bearing length (N) of a single span bridge or the seismic level II bridge in seismic zone II shall be greater than the value determined by <Eq. (8.8.3)>.

$$N = (200 + 1.67L + 6.66H)(1 + 0.000125\theta^2) \quad \text{(mm)} \qquad (8.8.3)$$

where,

L: Distance to neighboring expansion joint or bridge end (m)

but, when hinge is available within a span, L shall be the sum of L1 and L2 at both sides (see <Fig. 8.8.1>)

H: Mean height (m) for the followings

Abutment: Mean height of the column supporting the superstructure at neighboring expansion joint; mean height of a single span bridge shall be considered 0.0

Column or pier: Mean height of column or pier

Hinge within a span: Mean height of column or pier at adjoining both sides

θ : Angle between bearing line and the perpendicular line to the bridge longitudinal axis

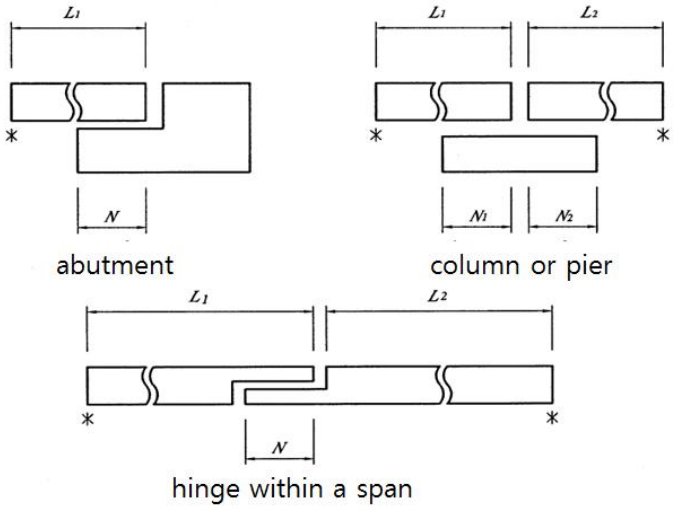


Fig. 8.8.1 Dimensions for minimum bearing length

④ Design seismic displacement of all bridges excluding single span bridges and the seismic level II bridge in seismic zone II shall be the greater of the value in 「8.8.4 (3)」 or in 「8.8.4 (8)」.

(9) Evaluation of ground liquefaction

① The possibility of ground liquefaction shall be evaluated when damage to bridge by liquefaction is expected.

③ 단경간교와 지진구역 II에 위치하는 내진II등급교의 최소받침지지길이(N)는 <식 (8.8.3)>에 규정한 값보다 작아서는 안 된다.

$$N = (200 + 1.67L + 6.66H)(1 + 0.000125\theta^2) \text{ (mm)} \qquad (8.8.3)$$

여기서,

L : 인접 신축이음부까지 또는 교량단부까지의 거리(m).
다만, 지간 내에 힌지가 있는 경우의 L은 힌지 좌·우측방향의 거리인 L_1과 L_2의 합으로 한다(<그림 8.8.1>참조).

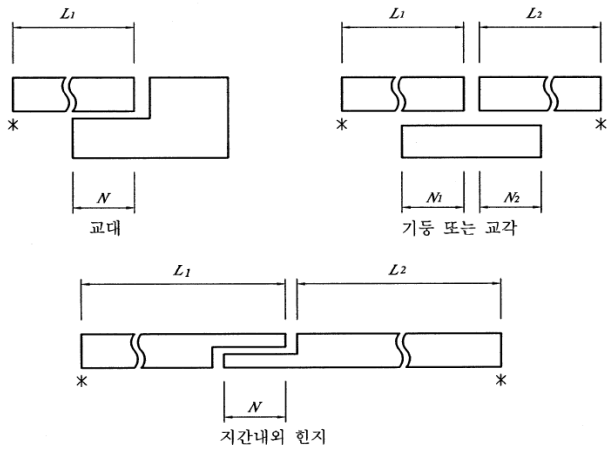
H : 다음 각 경우에 대한 평균 높이(m)

교대 : 인접 신축이음부의 교량상부를 지지하는 기둥의 평균 높이. 단경간교의 평균높이는 0으로 한다.

기둥 또는 교각 : 기둥 또는 교각의 평균높이

지간 내의 힌지 : 인접하는 양측 기둥 또는 교각의 평균높이

Θ : 받침선과 교축직각방향의 사잇각(도)



* 신축이음 또는 교량 상판의 단부

그림 8.8.1 최소 받침지지길이 규정에 관한 치수

④ 단경간교와 지진구역 II에 위치하는 내진II등급교를 제외한 모든 교량의 설계지진변위는 「8.8.4(3)항」에 규정된 값과 「8.8.4(8)항」에 규정된 값 중 큰 값으로 한다.

(9) 지반의 액상화 평가

① 교량의 액상화 피해가 예상되는 경우에는 지반의 액상화 발생 가능성을 검토해야 한다.

② Standard criteria for evaluation of liquefaction

A. Design seismic acceleration in evaluating the liquefaction shall be determined according to seismic classification in 「8.8.3 Design general」

B. Magnitude shall be considered as 6.5 on the Richter scale for both seismic zone I & II.

C. For a seismic level I bridge, seismic response analysis shall be conducted based on the site characteristic evaluation using field and laboratory test results, and shear resistance stress for liquefaction shall be based on repeated laboratory test results.

③ Liquefaction evaluation method

A. Evaluation may be conducted by the simple prediction method based on the field test using N value of standard penetration test, q_c value of cone penetration test and V_c value of shear wave velocity, or the detailed prediction method using repeated laboratory tests.

B. Possibility of liquefaction shall be evaluated by safety factor (FSL), which is defined by dividing the shear resistance stress ratio (CRR) that causes the liquefaction by the repeated shear stress ratio (CSR).

C. When safety factor obtained by a simple prediction method is less than 1.5, the detailed prediction method shall be used. When safety factor obtained by the detailed prediction method is less than 1.0, countermeasures shall be taken, and when it is greater than or equal to 1.0, it shall be considered safe from liquefaction.

8.8.5 Analysis method

(1) General

① This provision is for seismic analysis defined in 「8.8.4 (2)」, and provides two approaches as follows.

A. A single mode spectrum analysis

B. A multi-mode spectrum analysis

② In both of the methods, fixed column and pier or abutment support area are assumed to experience the same ground motion at the same time. On movable support, when the displacement obtained from this provision is greater than the minimum requirement defined in 「8.8.4 (8)」, this greater value shall be used.

(2) Elastic seismic response coefficient

① Elastic seismic response coefficient C_s used to determine the design load in a single mode spectrum shall be obtained from such response spectrum as in <Eq. (8.8.4)>.

② 액상화 평가 기준

가. 액상화 평가시 설계 지진가속도는 「8.8.3 설계 일반사항」의 구조물 내진등급에 따라 결정한다.

나. 설계 지진 규모는 지진구역 I, Ⅱ모두 리히터규모 6.5를 적용한다.

다. 내진 I등급 교량인 경우에는 현장 및 실내시험 결과를 이용한 부지특성 평가 방법을 사용하여 지진응답해석을 수행하고, 액상화 전단저항응력은 실내 반복 시험 결과를 이용한다.

③ 액상화 평가 방법

가. 액상화 평가방법은 교량의 내진등급에 따라 표준관입시험의 N값, 콘관입시험의 q_c값과 전단파 속도 V_s값 등과 같은 현장시험 결과를 이용한 간편예측법 또는 실내 반복시험을 이용한 상세예측법 등을 적용한다.

나. 액상화 발생 가능성은 대상 현장에서 액상화를 유발시키는 전단저항응력비(CRR)를 지진에 의해 발생되는 반복전단응력비(CSR)로 나눈 값으로 정의되는 안전율(FSL)로 평가한다.

다. 간편예측법을 통해 획득한 안전율이 1.5보다 작을 경우에는 상세예측법을 실시한다. 상세예측법을 통해 획득한 안전율이 1.0 미만인 경우에는 대책공법을 마련하며, 1.0 이상인 경우에는 액상화에 대해 안전한 것으로 판정한다.

8.8.5 해석방법

(1) 일반사항

① 이 절의 규정은 「8.8.4(2)항」에서 규정한 교량의 지진해석에 대한 규정이며 다음과 같은 두 가지의 해석방법을 제시한다.

가. 단일모드스펙트럼해석법

나. 다중모드스펙트럼해석법

② 두 가지 방법 모두에 있어서 모든 고정된 기둥과 교각 또는 교대지점들은 동일 시점에 있어서 동일한 지반운동을 한다고 가정한다. 가동지점에서는 이 절에서 기술된 해석으로부터 구한 변위가 「8.8.4(8)항」에서 규정된 최소 요구치보다 큰 경우 이 값을 사용해야 한다.

(2) 탄성지진응답계수

① 단일모드스펙트럼해석 시 설계하중의 결정에 쓰이는 탄성지진응답계수 C_s는 <식(8.8.4)>과 같은 응답스펙트럼으로부터 구한다.

$$C_s = \frac{1.2AS}{T^{\frac{2}{3}}} \quad (8.8.4)$$

where, A: Acceleration coefficient
S: Dimensionless coefficient of ground characteristics
T: Bridge period

However, C_s may be no greater than 2.5A.

② Elastic seismic response coefficient for m^{th} vibration mode C_{sm} in a multi-mode spectrum analysis shall be obtained from the response spectrum in <Eq. (8.8.5)>.

$$C_{sm} = \frac{1.2AS}{T_m^{\frac{2}{3}}} \quad (8.8.5)$$

where, T_m: period of m-th vibration mode
But, C_{sm} may be no greater than 2.5A.

③ For the structure with T_m more than 4.0 sec, C_{sm} for m^{th} vibration mode may be determined as per <Eq. (8.8.6)>.

$$C_{sm} = \frac{3AS}{T_m^{\frac{4}{3}}} \quad (8.8.6)$$

(3) A single mode spectrum analysis

Equivalent static seismic load $p_x(x)$ that calculates the sectional force and deflection of the member by longitudinal and transverse seismic force may be calculated according to <Eq. (8.8.7)>.

$$p_e(\chi x) = \frac{\beta C_s}{\gamma}\omega(x)\upsilon_s(x) \quad (8.8.7)$$

where, $p_e(\chi x)$: Equivalent static seismic load and the load per unit length applied to represent the basic mode of vibration (<Fig. 8.8.2>)
C_s : Elastic seismic response coefficient by <Eq. (8.8.4)>

$$C_s = \frac{1.2AS}{T^{2/3}} \qquad (8.8.4)$$

여기서, A : 가속도계수

S : 지반 특성에 대한 무차원의 계수

T : 교량의 주기

다만, C_s값은 2.5A보다 크게 취할 필요는 없다.

② 다중모드스펙트럼해석 시 m번째 진동모드에 대한 탄성지진응답계수 C_{sm}은 <식 (8.8.5)>과 같은 응답스펙트럼으로부터 구한다.

$$C_{sm} = \frac{1.2AS}{T_m^{2/3}} \qquad (8.8.5)$$

여기서,

T_m : m번째 진동모드의 주기

다만, C_{sm} 값은 2.5A보다 크게 취할 필요는 없다.

③ T_m 값이 4.0초를 넘는 구조물에 대해서 m번째 진동모드에 대한 C_{sm} 값은 <식 (8.8.6)>에 따라 결정할 수 있다.

$$C_{sm} = \frac{3AS}{T_m^{4/3}} \qquad (8.8.6)$$

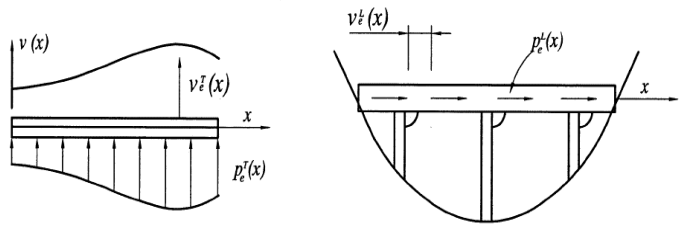
(3) 단일모드스펙트럼해석법

종방향 및 횡방향 지진에 의한 부재의 단면력과 처짐을 계산하는 등가정적 지진하중 $p_e(x)$는 <식 (8.8.7)>으로 산정할 수 있다.

$$p_e(x) = \frac{\beta C_s}{r} w(x) v_s(x) \qquad (8.8.7)$$

여기서, $p_e(x)$: 등가정적 지진하중이며 진동의 기본모드를 대표하기 위해 가하는 단위길이당 하중강도(<그림 8.8.2>)

C_s : <식 (8.8.4)>로 주어지는 탄성지진 응답계수



(a) Plan view (transverse load) (b) Elevation view (longitudinal load)

Fig. 8.8.2 Bridge deck subjected to equivalent static seismic load in transverse and longitudinal direction

where, period of the bridge T is as in <Eq. (8.8.8)>.

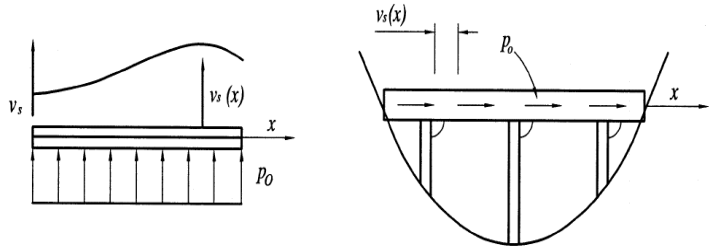
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r}{p_o g\,\alpha}} \tag{8.8.8}$$

g: Acceleration due to gravity, 9.81 m/s^2

w(x): Dead load per unit length of substructure that influences superstructure and its dynamic behavior

v_s(x): Static deflection by uniformly distributed load po (<Fig. 8.8.3>)

$$\alpha = \int \upsilon_s(x)dx \tag{8.8.9}$$

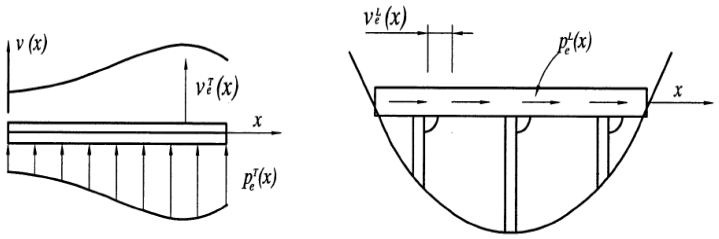


(a) Plan view (transverse load) (b) Elevation view (longitudinal load)

Fig. 8.8.3 Bridge deck subjected to assumed loads in transverse and longitudinal direction

$$\beta = \int \omega(x)\upsilon_s(x)dx \tag{8.8.10}$$

$$\gamma = \int \omega(x)\upsilon_s(x)^2dx \tag{8.8.11}$$



(a) 평면도, 횡방향하중 (b) 입면도, 종방향하중

그림 8.8.2 횡방향 및 종방향으로 등가하중을 받는 교량 상판

여기서 교량의 주기 T는 <식 (8.8.8)>과 같다.

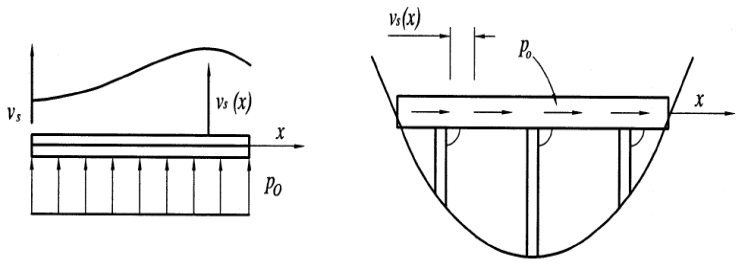
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r}{p_o g\,\alpha}} \qquad (8.8.8)$$

g : 중력가속도, 9.81m/s^2

w(x) : 교량상부구조와 이의 동적거동에 영향을 주는 하부구조의 단위길이당 고정하중

$v_s(x)$: 균일한 등분포하중 p_o에 의한 정적처짐 (<그림 8.8.3>)

$$\alpha = \int v_s(x)dx \qquad (8.8.9)$$



(a) 평면도, 횡방향하중 (b) 입면도, 종방향하중

그림 8.8.3 횡방향 및 종방향으로 가정된 하중을 받는 교량 상판

$$\beta = \int w(x)\,v_s(x)dx \qquad (8.8.10)$$

$$r = \int w(x)\,v_s(x)^2\,dx \qquad (8.8.11)$$

(4) A multi-mode spectrum analysis

① General

This shall be carried out using a space frame linear dynamic analysis program approved to determine the contribution of a multi-mode for a combined three dimensional effect and final response of an atypical bridge.

② Mathematical model

A. The bridge shall be modeled using 3D space frame elements comprising the connections and joints to simulate the stiffness and inertia.

B. Each connection and joint shall have 6 degrees of freedom, which are 3 translations and 3 rotations.

C. Structural mass shall be modeled as lumped mass with at least three movable inertia points, and structural mass shall consider all elements including the substructure.

D. When a significant live load is likely to be on the bridge during an earthquake, the inertia effect of such live load shall be considered. The mass contributing in horizontal inertia force of the train live load shall be calculated by multiplying the train load characteristic value by 0.3.

E. Superstructure shall be modeled as the assembly of space frames, with the joint at every 1/4 span and span ends. Expansion joint and discontinuous parts of the abutment shall also be included in the superstructure, and inertia effect of lumped mass shall be distributed.

F. Intermediate column or pier in substructure requires no intermediate joint for the column with high stiffness shorter than 1/3 of neighboring span, but for a long and flexural column, two intermediate joints at 1/3 points shall be modeled in addition to the column end joints. Modeling of substructure shall consider the column eccentricity to the superstructure. The ground at the bottom of column or pier shall be modeled using equivalent linear spring coefficient.

③ Shape and period of vibration mode

Period and mode shape of the bridge necessary for analysis in the direction considered shall be calculated using a theoretically-proven method considering the mass and stiffness of the total system that resists the earthquake.

④ A multi-mode spectrum analysis

The number of modes to be considered in response analysis shall be more than 3 times the number of spans. The number of modes that do not increase greater than 10% in response if considering all modes shall be considered in the analysis.

(4) 다중모드스펙트럼해석법

① 일반사항

다중모드스펙트럼해석법은 비정형 교량의 3방향 연계효과와 최종응답에 대한 다중모드의 기여 효과를 결정하기 위해 공인된 공간뼈대 선형 동적해석 프로그램을 사용하여 수행해야 한다.

② 수학적 모형

가. 교량은 그 구조물의 강성과 관성효과를 실제에 가깝게 모형화하기 위해 연결부와 절점으로 구성된 3차원 공간 뼈대 구조물로써 모형화해야 한다.

나. 각 연결부와 절점은 6개의 자유도, 즉 3개의 이동 자유도와 3개의 회전 자유도를 가진다.

다. 구조 질량은 최소한 3개의 이동 관성항을 갖는 집중질량으로 모형화해야 하며, 구조 질량은 하부 구조를 포함하여 관련된 모든 요소들을 고려해야 한다.

라. 지진시에도 교량에 큰 활하중이 재하되어 있을 가능성이 많은 경우에는 그 활하중의 관성효과를 고려해야 한다. 열차활하중의 수평방향 관성력에 고려하는 질량은 열차하중 특성값에 0.3을 곱한 값으로 한다.

마. 상부구조는 최소한 각 경간단부의 연결부와 지간의 1/4 지점마다 절점을 가진 공간뼈대부재의 집합체로 모형화해야 한다. 신축이음부와 교대의 불연속 부분도 상부구조에 포함해야 하며, 이 때 집중질량의 관성효과를 분배시켜야 한다.

바. 하부구조에서 중간 기둥 또는 교각들은 일반적으로, 인접 지간의 1/3보다 짧은 길이를 갖는 짧고 강성이 강한 기둥에 대해서는 중간 절점이 불필요하나, 길고 유연한 기둥은 기둥단부의 연결부 외에 2개의 1/3지점을 중간 절점으로 모형화해야 한다. 하부구조의 모형은 상부구조에 대한 기둥의 편심을 고려해야 한다. 기둥 또는 교각하부와 교대에서의 지반은 등가의 선형 스프링계수를 이용하여 모형화할 수 있다.

③ 진동모드의 형상과 주기

고려중인 방향에 대하여 해석에 필요한 교량의 주기와 모드형상은 고정지반 조건에 대해서 지진에 저항하는 전체 시스템의 질량과 강성을 고려하여 이론적으로 확립된 방법에 의해 계산해야 한다.

④ 다중모드스펙트럼 해석

응답해석 시 고려되는 모드의 수는 지간 수의 3배 이상이어야 한다. 이 때, 잔여모드를 모두 포함하여 해석하더라도 응답이 10% 이상 증가하지 않는 개수의 모드를 고려해야 한다.

⑤ Member force and displacement

For sectional force and displacement of member, each response component (for instance, force, displacement and relative displacement) from individual modes shall be combined using Complete Quadratic Combination (CQC).

8.8.6 Seismic design of foundation and abutment

(1) Scope of application

This provision specifies the seismic design of foundation and abutment of the bridge. In addition to seismic load, this design provisions assume the structure is designed to support other vertical and horizontal loads. Such assumption shall include the scope of investigation, banking, slope stability, bearing capacity of foundation and horizontal earth pressure, drainage, settlement, requirement of pile foundation, and bearing capacity.

(2) Foundation

① Investigation

At seismic zone I, in addition to investigation required for normal design, (1) slope instability, (2) liquefaction, (3) settlement of banking and (4) increased horizontal earth pressure during an earthquake and the potential of damage by earthquake. Ground acceleration coefficient A or natural ground response analysis result shall be used for maximum ground acceleration.

② Analysis and review for foundation design

Equivalent static or dynamic analysis shall be conducted in reviewing maximum stress or sectional force of foundation, maximum displacement of superstructure, and overturning, sliding, settlement and bearing capacity of foundation.

A. Equivalent static analysis of shallow foundation

(a) Equivalent static load on shallow foundation shall be determined considering foundation soil and response characteristic of superstructure.

(b) Shallow foundation shall be safe from sliding, bearing capacity and overturning, and settlement shall be within the allowance.

(c) Countermeasures to prevent liquefaction shall be carried out for the foundation ground vulnerable to liquefaction

B. Equivalent static analysis of pile foundation

(a) In an equivalent static analysis of pile foundation, static analysis shall be conducted after converting seismic load to equivalent static load on pile head considering the characteristics of the foundation and superstructure.

(b) The load on each pile shall be calculated by applying equivalent static load to pile head and group pile analysis, and the pile exposed to the highest load shall be selected for seismic performance evaluation before conducting equivalent static analysis.

⑤ 부재력과 변위

부재의 단면력과 변위는 개별 모드들로부터 각각의 응답성분(예를 들면, 힘, 변위 또는 상대변위)은 CQC방법(Complete Quadratic Combination)으로 조합함으로써 계산한다.

8.8.6 기초 및 교대의 내진설계

(1) 적용범위

이 절에서는 교량의 기초 및 교대의 내진설계에 대해 규정한다. 이 설계기준은 지진 하중이외의 수직 및 수평 하중에 대해 지지할 수 있도록 설계된 것을 전제로 한다. 이런 전제 조건은 기초를 위한 조사의 범위, 성토, 사면안정, 기초지반의 지지력 및 수평토압, 배수, 침하, 말뚝기초의 요건 및 지지력 등에 대한 기준을 포함한다.

(2) 기초

① 조사

지진구역 Ⅰ에서는, 평상시 설계에 필요한 조사 이외에 지진에 대한 (1)사면의 불안정, (2)액상화, (3)성토지반의 침하, (4)수평토압 증가와 관련된 지진 피해 가능성 판단과 내진설계에 필요한 조사를 추가해야 한다. 이때 최대 지반가속도는 가속도계수 A 또는 부지고유의 지반응답해석결과를 사용한다.

② 기초설계를 위한 해석과 검토

기초는 등가정적 또는 동적해석을 수행하여 기초 구조체의 최대응력 또는 단면력, 상부 구조의 최대 변위 그리고 기초의 전도, 활동, 침하 및 지지력을 검토한다.

가. 얕은기초에 대한 등가정적해석

㉮ 얕은기초에 작용하는 등가정적하중은 기초 지반과 상부구조물의 응답특성을 고려하여 결정한다.

㉯ 얕은기초는 미끄러짐, 지지력, 전도에 대하여 안전해야 하고, 변형 및 침하량이 허용치를 넘지 않아야 된다.

㉰ 기초지반이 액상화가 발생할 수 있는 지반이라면 액상화 대책공법을 적용해야 한다.

나. 말뚝기초에 대한 등가정적해석

㉮ 말뚝기초 등가정적해석에서는 기초지반과 상부구조물의 특성을 고려하여 지진하중을 말뚝머리에 작용하는 등가정적하중으로 환산한 후 정적해석을 수행한다.

㉯ 등가정적하중을 말뚝머리에 작용시키고 군말뚝 해석을 수행하여 각 말뚝에 작용하는 하중을 산정하고, 가장 큰 하중을 받는 말뚝을 내진성능평가를 위한 말뚝으로 선정하고, 등가정적해석을 수행한다.

(c) Stress or sectional force on pile body and head, displacement and moment of the pile shall be reviewed for seismic performance evaluation.

C. Dynamic analysis

(a) When dynamic analysis of the foundation is needed, a dynamic analysis method that considers interaction between foundation, ground and structure may be used.

(b) After spring modeling of foundation, considering the soil parameters and foundation conditions obtained from field test and laboratory test, response analysis of total structure shall be conducted as design seismic load to determine the load on the foundation, and then stability of the foundation shall be reviewed.

③ Particular requirements in designing the pile

Given the uncertain response characteristics of the ground and bridge, the following requirements in addition to general design conditions shall be satisfied in the seismic design of the pile.

A. The ultimate bearing capacity concept shall be applied to the seismic design of the pile, and the bearing capacity to design seismic load shall be secured.

B. Pile shall be connected to pile cap.

C. When no particular anchorage is provided to concrete-filled pile, reinforcement with the length to transfer the pullout strength to the pile shall be embedded.

D. Empty steel pipe pile, wooden pile and steel pipe shall be anchored to transfer the pullout strength which is more than 10% of the allowable bearing capacity of the pile.

E. Pile and pile cap shall be integrated and reinforcement bar shall be extended to pile cap to transfer the load easily.

F. In the seismic design of the pile, pile shall not be failed below ground surface before the column is yielded by bending moment.

(3) Abutment

① General

As the failure or displacement of an abutment would possibly lead to damage or failure to the bridge, abutment design shall be carried out carefully.

② Independent abutment

A. Horizontal earth pressure and inertia force of abutment shall be considered in designing an independent abutment. When supported by a fixed end bearing that does not allow the sliding of superstructure, seismic force from superstructure shall also be considered.

B. Earth pressure on independent abutment during earthquake could be calculated using the equivalent static load method developed by Mononobe-Okabe, and earth pressure shall be assumed to be uniformly distributed over the rear surface of abutment, and the resultant force shall be assumed to be applied at 1/2 of abutment height.

㈐ 내진성능평가 대상 말뚝에 대해서는 말뚝 본체 및 두부의 응력 또는 단면력, 말뚝의 변위량 및 모멘트를 검토한다.

다. 동적해석

㈎ 기초에 대한 동적해석이 필요한 경우에는 기초와 지반, 구조물의 상호작용을 고려하는 동적해석방법을 사용할 수 있다.

㈏ 현장시험과 실내시험으로부터 얻은 지반의 물성치와 기초의 제반사항을 고려하여 기초를 스프링으로 모델링 한 후, 설계지진하중으로 전체 구조물에 대한 응답해석을 실시하여 기초에 작용하는 하중을 결정하고 이를 사용하여 기초의 안정성을 검토한다.

③ 말뚝설계시 특별히 요구되는 사항

지반과 교량의 불확실한 응답특성들을 고려하여 말뚝의 내진설계에서는 일반 설계에서의 요구조건 이외에 다음의 요구조건을 만족시켜야 한다.

가. 말뚝의 내진설계에서는 극한지지력 개념을 사용하며 설계지진하중에 대하여 지지력을 확보해야 한다.

나. 말뚝은 파일캡에 연결해야 한다.

다. 콘크리트로 채운 말뚝에 특별한 정착장치를 설치하지 않는 경우에는 말뚝으로 인발력이 전달될 수 있는 길이의 철근을 매립하여 정착해야 한다.

라. 속채움이 없는 강관말뚝, 나무말뚝, 강말뚝은 말뚝의 허용지지력의 10% 이상인 인발력이 전달될 수 있도록 정착해야 한다.

마. 보강철근은 말뚝과 파일캡을 일체로 하며 하중전달을 용이하게 하기 위해서 파일캡까지 연장되어야 한다.

바. 말뚝의 내진설계에서는 기둥이 지표면 위에서 휨모멘트에 의하여 항복하기 이전에 말뚝이 지표면 아래에서 파괴되지 않도록 해야 한다.

(3) 교대

① 일반사항

지진 시 교대의 파괴나 변위로 인한 교량의 손상 또는 파괴가 발생할 수 있으므로 교대의 설계는 신중하게 수행해야 한다.

② 독립식 교대

가. 독립식 교대의 설계에서는 지진에 의한 수평토압과 교대의 관성력을 고려한다. 상부구조물이 자유롭게 미끄러질 수 없는 고정단 받침으로 지지되는 경우에는 상부구조물로부터 전달되는 지진력을 함께 고려해야 한다.

나. 지진시에 독립식 교대에 작용하는 토압은 Mononobe-Okabe에 의해 개발된 등가정적하중법으로 계산할 수 있으며 이때 토압은 교대의 배면에 균등하게 분포하고 그 합력은 교대 높이의 1/2에 작용하는 것으로 가정한다.

C. Independent abutment that allows bridge longitudinal displacement for cost efficiency may be adopted. Then, abutment shall allow slip but no overturning during an earthquake, and to minimize the damage to the bearing shoe, it shall be designed to allow longitudinal displacement by slip.

D. On independent abutment restraint to longitudinal displacement, horizontal earth pressure which is greater than earth pressure by the equivalent static load method developed by Mononobe-Okabe may occur, which shall be considered.

③ Integral abutment

A. A significant inertia force of the superstructure of integral bridges is transferred to backfill during an earthquake, and thus it shall be designed to have passive resistance in order to prevent excessive relative displacement.

B. An integral abutment could be designed based on the seismic design process considering abutment-backfill structure and foundation stiffness.

8.8.7 Steel bridge design

(1) General

① Design and installation of a structural steel column and connection shall satisfy the requirements of this provision in addition to the roadway bridge design.

② When applying the allowable stress design method, the allowable stress increment coefficient shall be used according to 「8.8.4 (7) ① F.」.

(2) P-Δ effect

The members subject to axial load may be designed in accordance with 「Chapter 9 Steel bridge and steel composite bridge」 when calculating the axial and bending stress considering the secondary bending caused by the P-Δ effect (eccentricity by seismic displacement and moment by column axial force).

8.8.8 Design of concrete bridge

(1) General

① Seismic design of cast-in-situ pier, spread footing and connection employ the strength design method, and must also satisfy the additional requirements in this provision.

② Pier in this provision refers to column type pier (single column or multiple column bents), pier walls or pile bents.

③ When designing a single column, multiple column bents or pile bents, confinement reinforcement placed in plastic hinge may conform to 「Appendix I Seismic ductility design for RC column 」 instead of the response modification factors in 「8.8.3 (4)」 and the refinement reinforcement in 「8.8.8 (3) ④」.

다. 구조물의 경제성을 도모하기 위해 교축방향 변위를 허용하는 독립식 교대를 설계할 수 있다. 이 때, 교대는 지진시에 미끄러짐만 허용하고 전도가 발생하지 않아야 하며, 교대받침의 손상을 최소로 하기 위하여 미끄러짐에 의한 교축방향 변위를 수용할 수 있도록 설계되어야 한다.

라. 교축방향 변위를 구속하는 독립식 교대에는 Mononobe-Okabe의 등가정적하중법에 의한 토압보다 큰 수평토압이 작용하므로 이를 고려해야 한다.

③ 일체식 교대

가. 일체식 교대는 지진 시 큰 상부관성력이 뒷채움흙에 전달되므로 과다한 상대변위가 발생하지 않도록 하기 위하여 수동저항력을 갖도록 설계되어야 한다.

나. 일체식 교대는 교대-뒷채움흙 구조와 기초의 강성을 계산하여 구조물의 내진설계 과정에 따라 설계할 수 있다.

8.8.7 강교 설계

(1) 일반사항

① 구조용 강재 기둥과 연결부의 설계와 시공은 도로교설계기준과 이 절의 추가 요구조건을 만족시켜야 한다.

② 허용응력설계법의 적용시에는 「8.8.4(7)①바.항」에 따라 허용응력 증가계수를 사용한다.

(2) P-Δ 효과

P-Δ 효과(지진변위로부터 발생하는 편심과 기둥 축력에 의한 모멘트)로 인한 2차 휨을 고려하여 축방향 응력과 휨응력을 계산할 때, 모든 축방향 하중을 받는 부재는 「제9장 강교 및 강합성교」에 따라 설계하여도 된다.

8.8.8 콘크리트교 설계

(1) 일반사항

① 일체로 현장타설 되는 교각, 확대기초, 연결부의 내진설계는 강도설계법을 사용해야 하며, 이 절의 추가 요구조건을 만족시켜야 한다.

② 이 절에서의 교각은 기둥 형식의 교각(단일기둥과 다주가구), 벽식 교각, 말뚝가구를 총칭한다.

③ 단일기둥, 다주가구, 말뚝가구를 설계할 때, 소성힌지구역에 배근되는 심부구속철근은 「8.8.3(4)항」의 응답수정계수와 「8.8.8.(3)④항」의 심부구속철근량에 대한 규정을 적용하는 대신 「부록 Ⅰ 철근콘크리트 기둥의 연성도 내진설계」를 적용하여 설계할 수 있다.

(2) Analysis and design strength of pier

① General

A. The factors influencing structural behaviors such as cracks and axial force shall be considered in structural analysis and sectional strength analysis of RC piers.

B. Axial reinforcement of RC pier shall not exceed 500 MPa in the design yield strength, and tensile strength shall be 1.25 times the yield strength. Design yield strength of transverse reinforcement of RC pier shall not exceed 500 MPa.

② Bending rigidity of pier

A. In elastic analysis for seismic load, sectional force and displacement shall be calculated by using the yield strength determined as in <Eq. (8.8.12)>, when axial reinforcement is expected to yield. However, the gross section moment of inertia and flexural rigidity, which is function of elastic modulus of concrete, can be used instead of yield strength specified in <Eq. (8.8.12)> to calculate section force caused by seismic loads.

$$EI_y = \frac{M_y}{\varphi_y} \tag{8.8.12}$$

where,

EI_y : Yield strength of pier considering axial force (yield of outermost axial reinforcement)

M_y : Yield moment of pier considering axial force (yield of outermost axial reinforcement)

φ_y : Yield curvature of pier considering axial force (yield of outermost axial reinforcement)

B. Unless nonlinear analysis is conducted to calculate the yield strength of pier using <Eq. (8.8.12)>, elastic modulus of concrete and yield effective moment of inertia calculated by <Eq. (8.8.13)> may be used.

$$I_{y,eff} = \left(0.16 + 12\rho_l + 0.3\sqrt{\frac{P_u}{f_{ck}A_g}}\right)I_g \tag{8.8.13}$$

where,

A_g : Total section area of pier

f_{ck} : Design compressive strength of concrete

I_g : Gross moment of inertia about center axis of gross pier section.

P_u : Factored axial load

ρ_l : Axial reinforcement ratio of pier

(2) 교각의 해석 및 설계강도

① 일반사항

가. 철근콘크리트 교각에 대한 구조해석과 단면강도해석에는 균열의 영향과 축방향력의 영향 등 구조적 거동에 영향을 주는 요소를 고려해야 한다.

나. 철근콘크리트 교각의 축방향철근은 설계기준항복강도가 500MPa을 초과하지 않아야 하며, 인장강도가 항복강도의 1.25배 이상이어야 한다. 철근콘크리트 교각의 횡방향철근은 설계기준항복강도가 500 MPa을 초과하지 않아야 한다.

② 교각의 휨강성

가. 지진하중에 대한 구조해석으로 탄성해석을 수행할 때, 교각의 축방향철근이 항복할 것으로 예상되는 경우에는 <식 (8.8.12)>으로 결정되는 항복강성을 적용하여 단면력과 변위를 구해야 한다. 단 지진하중에 의한 단면력을 구하기 위한 구조해석에서는, <식 (8.8.12)>의 항복강성 대신 철근을 무시한 콘크리트 교각 전체 단면의 중심축에 대한 단면2차모멘트와 콘크리트의 탄성계수로 표현되는 휨강성을 적용할 수 있다.

$$EI_y = \frac{M_y}{\varphi_y} \quad (8.8.12)$$

여기서,

EI_y : 축방향력을 고려한 교각의 항복강성(최 외단 축방향철근의 항복)

M_y : 축방향력을 고려한 교각의 항복모멘트(최 외단 축방향철근의 항복)

φ_y : 축방향력을 고려한 교각의 항복곡률(최 외단 축방향철근의 항복)

나. <식 (8.8.12)>로 정의되는 교각의 항복강성을 구하기 위하여 교각단면에 대한 비선형해석을 수행하지 않는 경우에는, 콘크리트의 탄성계수와 <식 (8.8.13)>으로 계산되는 항복유효 단면2차모멘트를 사용할 수 있다.

$$I_{y,eff} = \left(0.16 + 12\,\rho_l + 0.3\sqrt{\frac{P_u}{f_{ck}\,A_g}}\right) I_g \quad (8.8.13)$$

여기서,

A_g : 교각의 총단면적

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준압축강도

I_g : 철근을 무시한 교각 전체 단면의 중심축에 대한 단면2차모멘트

P_u : 계수 축력

ρ_l : 교각의 축방향철근비

C. When axial reinforcement of pier is not expected to yield in elastic analysis for seismic load, bending strength associated with elastic modulus of concrete and gross moment of inertia about the center axis of concrete pier, neglecting the reinforcement, shall be used. However, yield strength of pier shall be used, when axial reinforcement of pier is not expected to yield.

③ P-Δ effect of pier

A. Total moment of RC pier shall be determined by considering P-Δ effect. When using a linear elastic analysis for structural analysis, total moment shall be calculated by adding lateral seismic displacement and secondary moment induced by axial force to the primary moment by seismic analysis.

B. When P-Δ effect is not considered in strict analysis, approximate secondary moment could be obtained using 「C」 and 「D」.

C. When conducting elastic seismic analysis according to bending strength in 「8.8.8 (2) ②」 for the pier which behaves as the cantilever member, the value obtained by multiplying 1.5 times the lateral maximum relative displacement at the top and bottom by the axial force can be used as secondary moment.

D. When conducting elastic seismic analysis according to bending strength in 「8.8.8 (2) ②」, for the pier which behaves as the frame member, the value obtained by multiplying 1.5 times the lateral maximum relative displacement at the top and bottom by the axial force based on location with moment 0 can be used as secondary moment at the top and the bottom.

E. When designing by applying the response modification factor in 「8.8.3 (4)」, response modification factor shall be applied to the primary moment, not the secondary moment.

④ Design flexural strength of pier

A. When analyzing axial force-flexural strength of RC pier to seismic load, design flexural strength shall be determined by applying a strength reduction coefficient of 1.0 to nominal flexural strength.

B. Flexural strength of RC pier shall be determined by a flexural strength analysis using the equivalent rectangular stress distribution of concrete or the moment-curvature analysis using stress-strain curve of concrete and axial reinforcement.

C. Axial force effect shall be considered in flexural strength analysis of RC pier, and at the section where transverse reinforcement is provided in accordance with 「8.8.8 (3) ⑤」, confinement effect by transverse reinforcement may be considered.

다. 지진하중에 대한 구조해석으로 탄성해석을 수행할 때, 교각의 축방향철근이 항복하지 않을 것으로 예상되는 경우에는 철근을 무시한 콘크리트 교각 전체 단면의 중심축에 대한 단면2차모멘트와 콘크리트의 탄성계수로 표현되는 휨강성을 적용해야 한다. 단, 교각의 축방향철근이 항복하지 않을 것으로 예상되는 경우에도 변위를 구할 때에는 교각의 항복강성을 적용해야 한다.

③ 교각의 P-Δ효과

가. 철근콘크리트 교각의 총모멘트는 P-Δ효과를 고려하여 결정해야 한다. 구조해석에 선형탄성해석을 수행하는 경우는, 지진해석에 의한 1차모멘트에 횡방향 지진변위와 축력에 의한 2차모멘트를 추가하여 총모멘트를 결정해야 한다.

나. 엄밀한 해석에 의하여 P-Δ효과를 고려하지 않는다면 「다.항」와 「라.항」에 따라 근사적으로 2차모멘트를 구할 수 있다.

다. 캔틸레버로 거동하는 교각에 대하여 「8.8.8.(2)②항」의 휨강성으로 탄성지진해석을 수행한 경우에는 기둥 상단과 하단의 횡방향 최대상대변위의 1.5배에 축력을 곱한 값을 2차모멘트로 취할 수 있다.

라. 골조로 거동하는 교각에 대하여 「8.8.8.(2)②항」의 휨강성으로 탄성지진해석을 수행한 경우에는 모멘트가 0인 위치를 기준으로 상단과 하단의 횡방향상대변위를 각각 구한 후 1.5배를 취한 각각의 횡방향상대변위에 축력을 곱하여 상단과 하단의 2차모멘트로 취할 수 있다.

마. 「8.8.3(4)항」의 응답수정계수를 적용하여 설계할 때에는 응답수정계수를 1차모멘트에만 적용하며 2차모멘트에는 적용하지 않는다.

④ 교각의 설계휨강도

가. 지진하중에 대한 철근콘크리트 교각의 축력-휨강도를 검토할 때에는, 공칭휨강도에 1.0의 강도감소계수를 적용하여 설계휨강도를 결정한다.

나. 철근콘크리트 교각의 휨강도는 콘크리트의 등가직사각형 응력분포를 이용한 휨강도 해석이나 콘크리트와 축방향철근의 응력-변형도 곡선을 이용한 모멘트-곡률 해석에 의하여 결정되어야 한다.

다. 철근콘크리트 교각의 휨강도 해석에는 축력의 영향이 고려되어야 하며, 「8.8.8.(3)⑤항」의 철근상세를 갖는 횡방향철근이 배근되는 구간에는 횡방향철근에 의한 심부구속효과를 고려할 수 있다.

⑤ Maximum plastic hinge force of pier

A. This provision shall apply to connection between foundation and pier, superstructure integrated with pier, shear design of pier, and connection between pier and superstructure or foundation.

B. Design shear force of column-type pier (single column, multiple column bent), weak axis of pier wall and pile bent shall be either elastic shear force determined with R value of 1.0 or the maximum plastic hinge force of pier defined in this provision, whichever is smaller.

C. Design seismic force of foundation including footing foundation, pile head and pile shall be either 1/2 of correspondence correction factor R in 「8.8.4 (7) ② A.」 or the maximum plastic hinge force in this provision and elastic seismic force without response modification factor, whichever is smaller.

D. Maximum plastic hinge of pier shall be determined by shear force corresponding to bending overstrength. Maximum plastic hinge of pier with cantilever shall be determined by dividing bending overstrength at the bottom of pier by pier length. For the direction moving to the framework in a multi column bent, it shall be determined by dividing the sum of bending overstrength at the top and bottom of beam by pier length. Pier length shall be from the bottom of beam to the point of horizontal load for the direction of cantilever movement and net beam height for the direction of framework movement in multi bent.

E. Bending overstrength of pier shall be determined by applying either of the methods below.

(a) Concrete compressive strength, which is 1.7 times larger than the design compressive strength and axial reinforcement yield strength, which is 1.3 times larger than the design yield strength, shall be applied, and to determine bending strength of the section considering confinement effect of lateral reinforcement in plastic hinge zone and axial load, moment-curvature analysis shall be carried out.

(b) For the pier with concrete design compressive strength of 60 MPa or less and axial load of $0.3f_{ck}A_g$ or less and an axial reinforcement ratio of 0.03 or less, bending overstrength may be determined by multiplying the nominal bending strength by the axial force-bending strength analysis using concrete equivalent rectangular stress distribution by the bending overstrength coefficient λ_o according to <Eq. (8.8.14)>, instead of moment-curvature analysis. Here, R is the response modification factor used in the design.

$$\lambda_o = 1.25 + 0.05R \qquad (8.8.14)$$

⑤ 교각의 최대 소성힌지력

가. 이절의 규정은 교각과 연결된 기초, 교각과 일체로 시공된 상부구조, 교각의 전단설계, 그리고 교각과 상부구조 또는 기초의 연결부분에 적용한다.

나. 기둥 형식의 교각(단일기둥과 다주가구), 벽식 교각의 약축방향, 말뚝가구의 설계전단력은 「8.8.3(4)①항」에 따라 R계수를 1.0으로 하여 결정된 탄성전단력과 이절에 규정된 교각의 최대 소성힌지력 중 작은 값으로 할 수 있다.

다. 확대기초, 말뚝머리 및 말뚝을 포함하는 기초의 설계지진력은 「8.8.4(7)②가.항」에 명시된 바와 같이 교각에 대한 응답수정계수 R의 1/2로 나눈 값으로 하거나, 이절에 규정된 교각의 최대 소성힌지력과 응답수정계수를 적용하지 않은 탄성지진력 중 작은 값으로 할 수 있다.

라. 교각의 최대 소성힌지력은 휨 초과강도에 해당하는 전단력으로 결정해야 한다. 캔틸레버로 거동하는 교각의 최대 소성힌지력은 교각 하단의 휨 초과강도를 교각의 길이로 나누어 결정한다. 다주가구에서 골조로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 상단과 하단의 휨 초과강도 합을 교각의 길이로 나누어 결정한다. 이때 교각의 길이는 캔틸레버로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 하단에서 수평하중이 작용하는 위치까지의 길이로 하며 다주가구에서 골조로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 순높이로 한다.

마. 교각 단면의 휨 초과강도는 다음 두 가지 방법 중 하나를 적용하여 결정해야 한다.

㉮ 설계기준 압축강도의 1.7배인 콘크리트 압축강도와 설계기준 항복강도의 1.3배인 축방향철근 항복강도를 적용하고, 소성힌지구역 횡방향철근의 심부구속효과와 축하중의 영향을 고려한 단면의 휨강도로서, 모멘트-곡률 해석을 수행한다.

㉯ 콘크리트 설계기준압축강도가 60MPa 이하이고, 계수 축하중이 $0.3 f_{ck} A_g$ 이하이며, 축방향철근비가 0.03 이하인 교각의 경우에는, 모멘트-곡률 해석을 수행하는 대신, 콘크리트의 등가직사각형 응력분포를 이용한 축력-휨강도 해석으로 구한 공칭휨강도에 <식 (8.8.14)>로 계산되는 휨 초과강도계수 λ_o를 곱하여 휨 초과강도를 결정할 수 있다. 여기서 R은 설계에 사용한 응답수정계수이다.

$$\lambda_o = 1.25 + 0.05\,R \quad (8.8.14)$$

⑥ Design shear strength of pier

A. When reviewing shear strength of an RC pier to seismic load, design shear strength shall be determined by applying a strength reduction coefficient of 1.0 to nominal shear strength.

B. For the pier to which the <Table 8.8.1> is applied in bending design, nominal shear strength of concrete when reviewing shear strength in plastic hinge shall be determined as follows. When minimum axial force P_u is $0.1f_{ck}A_g$ or less, <Eq. (8.8.15)> shall be applied and when it exceeds $0.1f_{ck}A_g$, <Eq. (8.8.16)> shall be applied. Here, A_e is shear effective section area and $b_w d$ is used for rectangular section and $0.8A_g$ is used for circular section.

$$V_c = \frac{1}{6}\left(\frac{10P_u}{f_{ck}A_g}\right)\left(1+\frac{P_u}{14A_g}\right)\sqrt{f_{ck}}A_e \qquad (8.8.15)$$

$$V_c = \frac{1}{6}\left(1+\frac{P_u}{14A_g}\right)\sqrt{f_{ck}}A_e \qquad (8.8.16)$$

C. When determining nominal shear strength by shear reinforcement, <Eq. (8.8.17)> shall apply to rectangular tie bar and <Eq. (8.8.18)> to spiral or circular hoop. When circular hoop tie is reinforced by tie bar, nominal shear strength by tie bar according to <Eq. (8.8.19)> may be added.

$$V_s = \frac{A_v f_{yh} d}{s} \qquad (8.8.17)$$

$$V_s = \frac{\pi}{2}\frac{A_{sp} f_{yh} D_c}{s} \qquad (8.8.18)$$

$$V_s = \frac{\sum A_{ct} f_{yh} l_{ct}}{s} \qquad (8.8.19)$$

where,

A_v: Section area of hoop tie by shear rebar (mm²)

A_{sp}: Section area of spiral rebar or circular hoop (mm²)

A_{ct}: Section area of hoop placed in circular section (mm²)

d: Effective depth of rectangular section (mm²)

D_c: Diameter of core concrete between circular hoop tie and spiral rebar (mm)

f_{yh}: Yield strength of hoop tie or spiral rebar (MPa)

l_{ct}: Length of hoop tie placed in circular section (mm)

s: Vertical interval of hoop tie or spiral rebar (mm)

⑥ 교각의 설계전단강도

가. 지진하중에 대한 철근콘크리트 교각의 전단강도를 검토할 때에는, 공칭전단강도에 1.0의 강도감소계수를 적용하여 설계전단강도를 결정한다.

나. 휨 설계에서 <표 8.8.1>의 응답수정계수가 적용된 교각에 대하여는, 소성힌지 구역의 전단강도를 검토할 때 콘크리트에 의한 공칭전단강도를 다음 식으로 결정해야 한다. 여기서 최소 계수축력 P_u가 $0.1 f_{ck} A_g$ 이하인 경우에는 <식 (8.8.15)>를, $0.1 f_{ck} A_g$를 초과하는 경우에는 <식 (8.8.16)>을 적용한다. 여기서 A_e는 전단 유효단면적으로 사각형단면은 $b_w d$, 원형단면은 $0.8A_g$를 사용한다.

$$V_c = \frac{1}{6}\left(\frac{10 P_u}{f_{ck} A_g}\right)\left(1 + \frac{P_u}{14 A_g}\right)\sqrt{f_{ck}}\ A_e \qquad (8.8.15)$$

$$V_c = \frac{1}{6}\left(1 + \frac{P_u}{14 A_g}\right)\sqrt{f_{ck}}\ A_e \qquad (8.8.16)$$

다. 전단철근에 의한 공칭전단강도를 결정할 때 사각형 띠철근단면에 대해서는 <식 (8.8.17)>, 원형단면의 나선철근 또는 원형 후프띠철근에 대해서는 <식 (8.8.18)>을 적용한다. 원형 후프띠철근에 보강띠철근이 추가된 경우에는 <식 (8.8.19)>로 계산되는 보강띠철근에 의한 공칭전단강도를 추가할 수 있다.

$$V_s = \frac{A_v f_{yh} d}{s} \qquad (8.8.17)$$

$$V_s = \frac{\pi}{2}\frac{A_{sp} f_{yh} D_c}{s} \qquad (8.8.18)$$

$$V_s = \frac{\Sigma A_{ct} f_{yh} l_{ct}}{s} \qquad (8.8.19)$$

여기서,

A_v : 전단철근으로 작용하는 띠철근의 단면적(mm^2)

A_{sp} : 나선철근 또는 원형 후프띠철근의 단면적(mm^2)

A_{ct} : 원형단면에 배근되는 보강띠철근의 단면적(mm^2)

d : 사각형단면의 유효깊이(mm^2)

D_c : 원형 후프띠철근이나 나선철근 중심 간의 심부콘크리트 지름(mm)

f_{yh} : 띠철근 또는 나선철근의 항복강도(MPa)

l_{ct} : 원형단면에 배근되는 보강띠철근의 길이(mm)

s : 띠철근 또는 나선철근의 수직간격(mm)

(3) Column

① General

A. When the net height to maximum section is 2.5 or more, the pier shall be considered normal beam and response modification factor in 「8.8.3 (4)」 for a single beam and multi bent shall be applied. When the section is enlarged at the top, maximum section shall be determined, irrespective of the enlarged section.

B. When the net height to maximum section is 2.5 or less, the pier shall be considered a short beam, and the response modification factor in 「8.8.3 (4)」 for the pier wall shall be applied.

C. For pier wall, the response modification factor in 「8.8.3 (4)」 for a pier wall shall be applied and shall be designed as the wall according to 「8.8.3(4)」. Weak axis may be designed as normal beam.

D. This provision may apply to pile bent.

② Design of end region and plastic hinge region

A. The bottom of the column moving by cantilever and the top and bottom of the beam by framework shall be considered as the end region. End region at the bottom of beam shall be determined by the length from the top of foundation, and end region at the top of beam by framework shall be determined by the length from the bottom of the member. The length of end region on beam shall be either maximum section, 1/6 of net height of beam or 450mm, whichever is greater.

B. End region at the top of pile bent shall be determined in the same manner as the beam. End region at the bottom of pile bent shall be either the length 3 times the pile diameter from moment fixed point, pile diameter at the ground surface or 450mm, whichever is greater.

C. End region defined in 「A and B」 shall satisfy the requirements in 「8.8.8 (3) ③」 and 「8.8.8 (3) ④」

D. Response modification factor in <Table 8.8.1> shall apply to plastic hinge region where elastic seismic moment is greater than design bending strength among the end region of beam and pile bent, and shall be designed to satisfy the requirements of 「8.8.8 (3) ③」 to 「8.8.8 (3) ⑤」. But ductility seismic design according to 「Appendix Ⅰ」 shall be conducted for the beam, instead of applying the response modification factor in <Table 8.8.1>. When plastic behavior is predicted, it shall be designed as plastic hinge region even in the case of a region other than end region.

(3) 기둥

① 일반사항

가. 최대단면치수에 대한 순높이의 비가 2.5 이상인 교각은 일반 기둥으로 간주하여 단일기둥과 다주가구에 대한 「8.8.3(4)항」의 응답수정계수를 적용한다. 기둥 상단에서 단면이 커지는 기둥의 경우에는 단면이 커진 부분을 무시하고 최대 단면치수를 결정한다.

나. 최대단면치수에 대한 순높이의 비가 2.5 미만인 교각은 짧은 기둥으로 간주하여 벽식 교각에 대한 「8.8.3(4)항」의 응답수정계수를 적용한다.

다. 벽식 교각은 강축방향에 대하여 「8.8.3(4)항」의 벽식 교각에 대한 응답수정계수를 적용하고 「8.8.8(4)항」에 따라 벽체로 설계해야 한다. 벽식 교각의 약축방향은 일반 기둥으로 설계할 수 있다.

라. 이 절의 규정은 말뚝가구에도 적용된다.

② 단부구역과 소성힌지구역의 설계

가. 캔틸레버로 거동하는 기둥의 하단과 골조로 거동하는 기둥의 하단과 상단을 단부구역으로 한다. 기둥 하단의 단부구역은 기초의 상면에서부터의 길이로 결정되며, 골조로 거동하는 기둥의 상단 단부구역은 기둥과 연결된 부재의 하면에서부터의 길이로 결정한다. 기둥에서 단부구역의 길이는 기둥의 최대 단면치수, 기둥 순높이의 1/6, 450mm 중 가장 큰 값으로 해야 한다.

나. 말뚝가구의 상단 단부구역은 기둥의 상단 단부구역과 동일하게 결정해야 한다. 말뚝가구의 하단 단부구역은 모멘트고정점에서 말뚝지름의 3배 길이만큼 내려간 위치로부터 지표에서 말뚝지름과 450mm 중 큰 값 이상의 길이만큼 올라간 위치까지의 구간으로 한다.

다. 「가.와 나.항」에서 정의된 단부구역은 「8.8.8(3)③항」과 「8.8.8(3)④항」의 규정을 만족해야 한다.

라. 기둥과 말뚝가구의 단부구역 중 설계휨강도보다 큰 탄성지진모멘트가 작용하는 소성힌지구역은 <표 8.8.1>의 응답수정계수를 적용하고 「8.8.8(3)③항」에서 「8.8.8.(3)⑤항」까지의 규정을 만족하도록 설계해야 한다. 단 기둥은 <표 8.8.1>의 응답수정계수를 적용하는 대신 「부록 Ⅰ」에 따라 연성도 내진설계를 수행한다. 단부구역이 아닌 구역이라도 소성거동이 예측되는 구역은 소성힌지구역으로 설계해야 한다.

③ Axial steel reinforcement and lateral steel reinforcement

A. Section area of axial reinforcement shall be 0.01 to 0.06 times the total section area of the beam.

B. Lateral reinforcement placed at the end region shall be D13 or more and diameter shall be 2/5 the diameter of axial reinforcement or more.

C. No lap slice of axial reinforcement shall be allowed in the plastic hinge region. A full mechanical splice of axial reinforcement shall be made at the plastic hinge region.

D. Lap splice of axial reinforcement at a region other than the plastic hinge region shall not exceed 1/2 of total axial reinforcement. Distance between lap splices in the vertical direction shall be 600 mm or longer. Distance between lap splices shall be measured vertically from the end of the lap splice to the start of the new lap splice.

E. Confinement lateral reinforcement in the plastic hinge region shall satisfy the reinforcement volume in 「8.8.8 (3) ④」 and the details in 「8.8.8 (3) ⑤」, and maximum interval shall be 1/4 of the minimum section or 6 times the diameter of axial reinforcement, whichever is smaller.

F. Confinement lateral reinforcement and lateral reinforcement in the end region shall be extended from the joint with neighboring member by 0.5 times the beam diameter or 380 mm, whichever is greater.

G. All axial reinforcement in the end region where plastic behavior is not expected may not be continued without lap splice, but lateral reinforcement shall satisfy the details in 「8.8.8 (3) ⑤」 and the interval shall not exceed either 1/4 of minimum section of the member or 6 times the diameter of axial reinforcement, whichever is smaller.

H. Lateral reinforcement placed at other regions than the end region may not satisfy the details in 「8.8.8 (3) ⑤」, but the interval at lap spliced region shall not exceed 100 mm or 1/4 of the minimum section of the member.

I. The rule for spiral reinforcement stipulating that the maximum vertical net interval shall be 75 mm may not be applied.

④ Confinement lateral reinforcement at plastic hinge region

A. Concrete core at plastic hinge region for beam and pile bent shall be confined by confinement lateral reinforcement that satisfies the requirement in this provision and the details in 「8.8.8 (3) ⑤」.

B. Spiral reinforcement ratio ρ_s in circular beam is the volume ratio as defined in <Eq. (8.8.20)>, and shall be either the value in <Eq. (8.8.21)> or <(8.8.22)>, whichever is greater.

③ 축방향철근과 횡방향철근

가. 축방향철근 단면적은 기둥 전체 단면적의 0.01배 이상, 0.06배 이하로 해야 한다.

나. 단부구역에 배근되는 횡방향철근은 D13 이상으로서, 지름이 축방향철근 지름의 2/5 이상이어야 한다.

다. 소성힌지구역에서는 축방향철근을 겹침이음하지 않아야 한다. 소성힌지구역에서 축방향철근의 연결은 완전 기계적이음을 사용할 수 있다.

라. 소성힌지구역 이외의 구역에서 전체 축방향철근 중 1/2을 초과하여 겹침이음하지 않아야 한다. 기둥의 종방향으로 측정한 이웃하는 겹침이음 사이의 거리는 600mm 이상으로 해야 한다. 이때 겹침이음 사이의 거리는 겹침이음의 끝 지점에서부터 기둥의 종방향으로 측정하여, 이웃하는 새로운 겹침이음이 시작되는 지점까지로 한다.

마. 소성힌지구역의 심부구속 횡방향철근은 「8.8.8(3)④항」의 철근량과 「8.8.8(3)⑤항」의 철근상세를 만족해야 하며, 최대 간격은 부재 최소 단면치수의 1/4 또는 축방향철근지름의 6배 중 작은 값을 초과하지 않아야 한다.

바. 심부구속 횡방향철근과 단부구역의 횡방향철근은 인접부재와의 연결면으로부터 기둥 치수의 0.5배와 380mm 중 큰 값 이상까지 연장해서 설치해야 한다.

사. 소성거동이 예측되지 않는 단부구역은 모든 축방향철근이 겹침이음 없이 연속될 필요는 없으나, 횡방향철근은 「8.8.8(3)⑤항」의 철근상세를 만족해야 하며, 간격은 부재 최소 단면치수의 1/4 또는 축방향철근지름의 6배 중 작은 값을 초과하지 않아야 한다.

아. 단부구역 이외의 위치에 배근되는 횡방향철근은 「8.8.8(3)⑤항」의 철근상세를 만족할 필요가 없으나, 축방향철근이 겹침이음된 구간은 횡방향철근의 간격이 100mm, 또는 부재 단면 최소치수의 1/4을 초과하지 않아야 한다.

자. 나선철근에 대하여는 최대 수직 순간격을 75mm로 규정한 나선철근의 일반규정을 적용하지 않는다.

④ 소성힌지구역에서의 심부구속 횡방향철근량

가. 기둥과 말뚝가구에서 소성힌지구역의 콘크리트 심부는 이 절에서 규정하는 철근량과 「8.8.8(3)⑤항」의 철근상세를 만족하는 심부구속 횡방향철근으로 구속해야 한다.

나. 원형기둥의 나선철근비 ρ_s는 <식 (8.8.20)>으로 정의되는 체적비로서, <식 (8.8.21)>과 <식 (8.8.22)>의 값 중 큰 값을 취한다.

$$\rho_s = \frac{4\,A_{sp}}{d_s\,s} \tag{8.8.20}$$

where,

ρ_s: Spiral reinforcement volume ratio for concrete core volume determined based on d_s

A_{sp}: Section area of spiral reinforcement (mm^2)

d_s: Section of concrete core based on outer surface of spiral reinforcement (mm)

s: Vertical interval of spiral reinforcement (mm)

$$\rho_s = 0.45\left(\frac{A_g}{A_c} - 1\right)\frac{f_{ck}}{f_{yh}} \tag{8.8.21}$$

or

$$\rho_s = 0.12\frac{f_{ck}}{f_{yh}} \tag{8.8.22}$$

where,

A_c: Core area of beam based on outer surface of spiral reinforcement (mm^2)

A_g: Total section area of beam (mm^2)

f_{ck}: Design compressive strength of concrete (MPa)

f_{yh}: Design yield strength of lateral reinforcement (MPa)

C. When using circular hoop tie as confinement reinforcement for circular beam, circular hoop tie shall be welded or mechanically connected or reinforced by hoop tie so as to prevent a slip in the fixed end and produce the confinement effect as spiral reinforcement, if possible.

D. Total section area A_{sh} of confinement lateral reinforcement in rectangular beam shall be either the value in <Eq. (8.8.23)> or <(8.8.24)>, whichever is greater.

$$\rho_s = \frac{4 A_{sp}}{d_s s} \qquad (8.8.20)$$

여기서,

ρ_s : d_s를 기준으로 결정된 콘크리트 심부 부피에 대한 나선철근 체적비

A_{sp} : 나선철근의 단면적(mm^2)

d_s : 나선철근 외측표면을 기준으로 한 콘크리트 심부의 단면 치수(mm)

s : 나선철근의 수직간격(mm)

$$\rho_s = 0.45\left(\frac{A_g}{A_c} - 1\right)\frac{f_{ck}}{f_{yh}} \qquad (8.8.21)$$

또는

$$\rho_s = 0.12\frac{f_{ck}}{f_{yh}} \qquad (8.8.22)$$

여기서,

A_c: 나선철근 외측표면을 기준으로 한 기둥 심부의 면적(mm^2)

A_g: 기둥의 총단면적(mm^2)

f_{ck}: 콘크리트의 설계기준 압축강도(MPa)

f_{yh} : 횡방향철근의 설계기준 항복강도(MPa)

다. 원형기둥에서 심부구속철근으로 원형띠철근을 사용하는 경우, 원형 후프띠철근을 용접 또는 기계적 연결장치 등으로 연결하거나, 보강띠철근을 추가하여 정착단에서 슬립이 발생하지 않게 함으로써 나선철근과 동등한 심부구속효과를 발휘할 수 있다면, 완전원형후프로 인정하여 나선철근식을 사용할 수 있다.

라. 사각형기둥에서 심부구속 횡방향철근의 총 단면적 A_{sh}는 <식 (8.8.23)>과 <식 (8.8.24)>값들 중 큰 값을 취한다.

$$A_{sh} = 0.30ah_c\frac{f_{ck}}{f_{yh}}\left(\frac{A_g}{A_c}-1\right) \quad (8.8.23)$$

or

$$A_{sh} = 0.12ah_c\frac{f_{ck}}{f_{yh}} \quad (8.8.24)$$

where,

a: Vertical interval of hoop tie (mm)

A_{sh}: Total section area (mm^2) of lateral reinforcement including hoop tie across the section at vertical interval a and dimension h_c. Calculation of two axes of rectangular beam shall be done separately.

h_c: Section diameter (mm) of the core based on outer surface of hoop tie in the direction considered

⑤ Confinement lateral reinforcement details

A. Spiral reinforcement shall not have a lap splice in plastic hinge region, but a mechanical connection or a complete welding shall be used instead.

B. A single hoop tie or overlapped rectangular closed hoop tie may be used as rectangular confinement lateral reinforcement, and reinforced tie in the same size as hoop ties may be used.

C. Rectangular hoop tie shall be in the same shape as a closed hoop tie enclosing the outer axial reinforcement or a continuous hoop tie enclosed similarly with spiral reinforcement. A rectangular closed hoop tie shall have a 135° hook at both ends with a length of 80 mm or 6 times the diameter of hoop tie, whichever is greater, and the hook shall be fixed to axial reinforcement.

D. Reinforced tie as a continuous reinforcement shall have a 135° hook at one end and a 90° hook at another end. The 135° hook shall have a length of 80 mm or 6 times the diameter of the hoop tie, whichever is greater, and the 90° hook shall have a length more than 6 times the diameter of the hoop tie.

E. The hook of the hoop tie reinforced to rectangular hoop shall be fixed to the outer axial reinforcement, and when the hoop is continuously fixed to the same axial reinforcement, the ends of the continued hoop shall be changed to avoid continuous fixing of 90° hook.

F. In rectangular confinement lateral reinforcement, horizontal interval of hoop tie and reinforced tie shall not exceed 350 mm.

$$A_{sh} = 0.30ah_c\frac{f_{ck}}{f_{yh}}\left(\frac{A_g}{A_c}-1\right) \quad (8.8.23)$$

또는

$$A_{sh} = 0.12ah_c\frac{f_{ck}}{f_{yh}} \quad (8.8.24)$$

여기서,

a : 띠철근의 수직간격(mm)

A_{sh}: 수직간격이 a이고, 심부의 단면치수가 h_c인 단면을 가로지르는 보강띠철근을 포함하는 횡방향철근의 총 단면적(mm^2), 직사각형 기둥의 두 주축 모두에 대하여 별도로 계산해야 한다.

h_c : 띠철근 기둥의 고려하는 방향으로의 띠철근 외측표면을 기준으로 한 심부의 단면 치수(mm)

⑤ 심부구속 횡방향철근상세

가. 나선철근은 소성힌지구간에서 겹침이음 하지 않아야 한다. 소성힌지구간에서 나선철근의 연결은 기계적 연결이나 완전 용접이음으로 해야 한다.

나. 사각형 심부구속 횡방향철근으로는 하나의 사각형 후프띠철근 또는 중복된 사각형 폐합띠철근을 사용할 수 있으며, 후프띠철근과 같은 크기의 보강띠철근을 사용할 수 있다.

다. 사각형 후프띠철근은 외측 축방향철근들을 감싸는 폐합띠철근 형태이거나 또는 나선철근과 유사하게 연속적으로 감은 연속띠철근 형태로 사용할 수 있다. 사각형 폐합띠철근 형태는 양단에 띠철근 지름의 6배와 80mm 중 큰 값 이상의 연장길이를 갖는 135°갈고리를 가져야 한다. 사각형 연속띠철근 형태는 양단에 띠철근 지름의 6배와 80mm 중 큰 값 이상의 연장길이를 갖는 135°갈고리를 가져야 하며 이 갈고리는 축방향철근에 걸리게 해야 한다.

라. 보강띠철근은 하나의 연속된 철근으로 한쪽 단에 135° 이상의 갈고리를 갖고, 다른 쪽 단에 90° 이상의 갈고리를 갖도록 해야 한다. 이 때, 135°갈고리는 띠철근 지름의 6배와 80mm 중 큰 값 이상의 연장길이를 가져야 하며 90°갈고리는 띠철근 지름의 6배 이상의 연장길이를 가져야 한다.

마. 사각형 후프띠철근에 추가되는 보강띠철근의 갈고리는 외측 축방향철근에 걸리게 해야 하며, 보강띠철근을 연속적으로 같은 축방향철근에 걸리게 할 경우 90° 갈고리가 연달아 걸리지 않도록 연속된 보강띠철근의 양단을 바꿔주어야 한다.

바. 사각형 심부구속 횡방향철근은 후프띠철근과 보강띠철근의 수평간격과 보강띠철근 간의 수평간격이 350mm를 초과하지 않도록 해야 한다.

G. When a circular hoop which is lap spliced by 40 times diameter at one or two points with a 90° hook in a circular hoop is enclosed by two reinforced ties, it may be considered a complete circular hoop. In this case, a 90° hook shall be fixed to axial reinforcement and two reinforced ties shall be arranged at both ends of the lap-spliced hoop. Both ends of the hoop shall be changed to avoid continuous fixing of the 90° hook in the vertical and horizontal direction of the pier, and the overlapped part of the circular hoop shall not be continued in the vertical direction of the pier.

⑥ Interlocking spirals

A. Interlocking spiral bars comprising two or more spiral bars as lateral reinforcement for beam may be used.

B. Interlocking spirals shall be calculated independently of individual spiral bar in the plastic hinge region according to 「8.8.8 (3) ④」.

C. Interlocking spirals at plastic hinge may be designed according to 「Appendix I RC beam ductility seismic design」 instead of applying response modification factor in 「8.8.3 (4)」 and confinement reinforcement in 「8.8.8 (3) ④」.

D. Horizontal Center-to-center spacing between axial rebar shall be 200mm or less, and at least 4 axial rebars shall be placed at the joint.

E. Center-to-center spacing (d_{int}) between spiral bars of interlocking spirals shall be 0.75 times the core section diameter (d_s) or less.

F. When the same confinement effect as a spiral bar is expected by welding or mechanically connecting a circular hoop tie or adding a reinforced hoop to avoid the slip at anchorage, it could be considered a complete circular hoop and interlocking circular hoop could be treated equally to interlocking spirals.

G. Further details of interlocking spirals or interlocking circular hoop in this provision shall be in accordance with 「8.8.8」.

H. When it comes to interlocking spirals or interlocking circular hoop, if any proven theory, study, test or analysis is available, this provision may not be applied.

(4) Pier wall

① Weak axis of pier wall may be designed as ordinary beam. Strong axis shall be designed as stipulated in this provision by applying the response modification factor in 「8.8.3 (4)」 for pier wall.

사. 원형 띠철근 중에서 양단에 90°갈고리를 갖고 1개소 또는 2개소에서 철근 지름의 40배 이상으로 겹침이음된 원형 후프띠철근에 2개의 보강띠철근이 후프띠철근의 겹침이음 구간을 감싸는 경우에는 완전원형후프로 간주할 수 있다. 이때 후프띠철근의 90°갈고리는 축방향철근에 걸리게 해야 하며, 2개의 보강띠철근은 후프띠철근의 겹침이음 구간의 양쪽 끝부분에 배치해야 한다. 또 교각의 종방향과 단면 평면방향으로 보강띠철근의 90°갈고리가 연달아 걸리지 않도록 보강띠철근의 양단을 바꿔주어야 하며, 원형 후프띠철근의 겹침이음 부분이 교각의 종방향으로 연달아 위치하지 않도록 배치해야 한다.

⑥ 결합나선철근

가. 기둥의 횡방향철근으로 2개 이상의 나선철근을 결합한 결합나선철근(Interlocking Spirals)을 사용할 수 있다.

나. 소성힌지부에서의 결합나선철근량은 「8.8.8.(3)④항」 규정을 적용하여 각각의 나선철근에 대해 독립적으로 계산해야 한다.

다. 소성힌지부에서의 결합나선철근량은 「8.8.3(4)항」의 응답수정계수와 「8.8.8(3)④항」의 심부구속 철근량에 대한 규정을 적용하는 대신 「부록Ⅰ 철근콘크리트 기둥의 연성도 내진설계」을 적용하여 설계할 수 있다.

라. 축방향철근 중심간 수평간격은 200mm 이하로 해야 하며, 결합부분에는 최소한 4개 이상의 축방향철근을 배근해야 한다.

마. 결합나선철근의 나선철근간의 중심간격(d_{int})은 심부단면치수(d_s)의 0.75배 이하로 해야 한다.

바. 원형 후프띠철근을 용접 또는 기계적 연결장치 등으로 연결하거나, 보강띠철근을 추가하여 정착단에서 슬립이 발생하지 않게 함으로써 나선철근과 동등한 심부구속효과를 발휘할 수 있다면, 완전원형후프로 인정하여 결합원형띠철근을 사용할 수 있으며 결합나선철근과 동등하게 취급할 수 있다.

사. 이 절의 규정에 따라 설계된 결합나선철근 또는 결합원형띠철근의 배근구간과 철근상세는 「8.8.8항」의 해당 규정을 따라야 한다.

아. 결합나선철근 및 결합원형띠철근의 경우, 널리 알려진 이론이나 최신의 연구문헌, 실험 또는 해석적으로 안전성을 검증할 수 있는 경우에는 본 규정을 적용하지 않는다.

(4) 벽식 교각

① 벽식 교각의 약축방향은 일반 기둥으로 설계할 수 있다. 벽식 교각의 강축방향은 「8.8.3(4)항」의 벽식 교각에 대한 응답수정계수를 적용하고 이 절에 따라 벽체로 설계해야 한다.

② Horizontal and vertical reinforcement shall be placed at both sides of wall and horizontal reinforcement shall be arranged to avoid lap splice at the same position.

③ Horizontal and vertical steel ratio of wall ρ_h and ρ_v shall be at least 0.0025 and horizontal and vertical interval shall be 450mm or less.

④ Shear reinforcement of wall shall be continued and uniformly distributed and nominal shear strength V_n shall be either the value in <Eq. (8.8.25)> or <Eq. (8.8.26)>, whichever is less.

$$V_n = 0.66\sqrt{f_{ck}}bd \qquad (8.8.25)$$

$$V_n = \left(0.165\sqrt{f_{ck}} + \rho_h f_y\right)bd \qquad (8.8.26)$$

(5) Hollow circular pier

① General

A. This provision shall apply to hollow circular pier in addition to the requirements for ordinary circular beam.

B. Cavity size ratio shall be defined as the ratio of hollow diameter to maximum section diameter.

C. Axial force ratio shall be defined as the ratio between concrete design compressive strength and concrete section area.

② Classification of the section of hollow circular pier

A. The section is classified into compressive control section and flexural control section depending on position of the neutral axis at ultimate state.

B. When neutral axis is located at a hollow zone under extreme condition and compressive stress works throughout the wall, it is defined as a compressive control section.

C. When neutral axis is inside wall thickness or between outer and inner surface, it is defined as flexural control section.

D. Neutral axis position at ultimate state may be determined by axial force-bending strength or moment-curvature analysis.

E. When classification is not dependent on analysis, it is classified as a flexural control section when axial force ratio is 0.1 or less and cavity size ratio is 0.5 or less.

② 벽체의 양면에는 수평방향 및 수직방향철근을 배치해야 하며, 인접하는 수평방향 철근의 겹침이음이 동일한 위치에 있지 않도록 엇갈리게 배치해야 한다.

③ 벽체의 수평방향 및 수직방향 철근비 ρ_h와 ρ_v는 0.0025 이상으로 해야 하며, 철근의 수평 및 수직 간격은 450mm 이하로 해야 한다.

④ 벽체의 전단철근은 연속되어야 하고 균일하게 배치되어야 하며, 공칭전단강도 V_n은 <식 (8.8.25)>과 <식 (8.8.26)>의 값 중 작은 값을 취한다.

$$V_n = 0.66\sqrt{f_{ck}}\, b\, d \qquad (8.8.25)$$

$$V_n = \left(0.165\sqrt{f_{ck}} + \rho_h f_y\right) b\, d \quad (8.8.26)$$

(5) 중공 원형 교각

① 일반사항

가. 중공원형 교각은 일반적인 원형기둥에 적용하는 규정 이외에, 이 절의 규정을 추가로 적용하여 설계하여야 한다.

나. 중공원형 교각에서 중공치수비는 단면의 최대지름에 대한 중공지름의 비율로 정의한다.

다. 중공원형 교각의 축력비는 콘크리트 설계기준압축강도와 콘크리트 단면적의 곱에 대한 축력의 비율로 정의한다.

② 중공원형 교각의 단면 구분

가. 중공원형 교각의 단면은 극한상태에서의 중립축의 위치에 따라 <그림 8.8.4>와 같이 압축 지배단면과 휨 지배단면으로 구분한다.

나. 극한상태에서 중립축의 위치가 중공단면의 중공부에 존재하여, 벽체두께에 걸쳐 압축응력을 받는 단면을 압축 지배단면으로 정의한다.

다. 극한상태에서 중립축의 위치가 벽체두께의 내부, 즉 단면의 외측 면과 내측 면 사이에 존재하는 단면을 휨 지배단면으로 정의한다.

라. 극한상태에서의 중립축 위치는 일반적인 축력-휨 강도해석이나 모멘트-곡률 해석 등 엄밀한 해석에 의하여 결정할 수 있다.

마. 단면의 분류를 해석에 의하지 않는 경우, 축력비가 0.1 이하이고 중공치수비가 0.5 이하인 경우에는 휨 지배단면으로 분류할 수 있다.



(a) Compressive (b) Flexural

Fig. 8.8.4 Section depending on neutral axis position at ultimate state

③ Arrangement of axial reinforcement and lateral reinforcement

A. In compressive control section of hollow circular pier, axial reinforcement and lateral reinforcement shall be placed near the outer surface and inner surface of the wall section.

B. In flexural control section of hollow circular pier, axial reinforcement and lateral reinforcement shall be placed near the outer surface and inner surface of the wall section, or the outer surface only.

C. Lateral reinforcement of hollow circular pier shall be placed to enclose the concrete core and axial reinforcement.

D. The hoop enclosing outer surface of wall and axial reinforcement inside shall be in accordance with「8.8.8 (5) ④」.

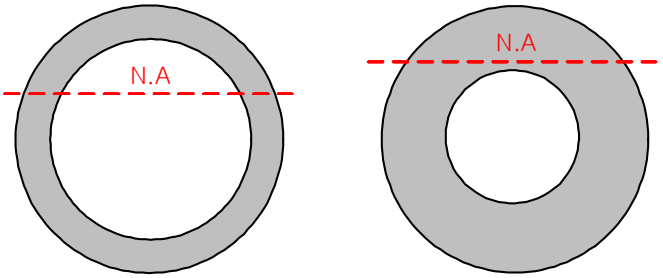
④ Confinement lateral reinforcement and details at plastic hinge

A. Spiral bar or complete circular hoop or tie bar satisfying the requirements in「G., 8.8.8 (3) ⑤」shall be used as confinement hoop bar of hollow circular pier.

B. In a complete ductility design using response modification factor in「8.8.8 (4) ⑤」<Table 8.8.1>, spiral bar ratio shall be calculated according to <Eq. (8.8.22)> so as to arrange the confinement bar to enclose the axial reinforcement.

C. In ductility seismic design using「Appendix I」, spiral bar ratio shall be calculated according to the requirements in「Appendix I.2」and「Appendix I.3」so as to arrange the confinement bar to enclose the axial reinforcement.

D. Diameter and vertical interval of confinement reinforcement enclosing axial reinforcement in outer surface of the wall section shall be determined according to <Eq. (8.8.20)> or <(I.6)>. But in hollow circular pier, d_s in <Eq. (8.8.20)> or <(I.6)> shall be the diameter formed on the outer surface of confinement reinforcement.



(a) 압축 지배단면 (b) 휨 지배단면

그림 8.8.4 극한상태에서의 중립축 위치에 따른 단면 구분

③ 축방향철근과 횡방향철근의 배치

가. 중공원형 교각의 압축 지배단면은 벽체단면의 외측 면과 내측 면에 인접한 위치에 축방향철근과 횡방향철근을 배치하여야 한다.

나. 중공원형 교각의 휨 지배단면은 벽체단면의 외측 면과 내측 면에 인접한 위치에 축방향철근과 횡방향철근을 배치하거나, 벽체단면의 외측 면에 인접한 위치에만 축방향철근과 횡방향철근을 배치할 수 있다.

다. 중공원형 교각의 횡방향철근은 벽체단면에서 콘크리트 단면의 심부와 축방향철근을 감싸도록 배치하여야 한다.

라. 벽체단면 외측과 내측의 축방향철근을 감싸는 보강띠철근의 배치는 「8.8.8(5)④항」에 따른다.

④ 소성힌지구역에서의 심부구속 횡방향철근량 및 철근상세

가. 중공원형 교각의 심부구속 후프철근은 나선철근이나 완전원형후프, 또는 「8.8.8(3)⑤항」의 「사」를 만족하는 띠철근을 사용하여야 한다.

나. 「8.8.8(4)⑤항」 <표 8.8.1>의 응답수정계수를 적용한 완전연성설계에서는 <식 (8.8.22)>에 따라 소요 나선철근비를 계산하여 벽체단면 외측의 축방향철근을 감싸도록 심부구속철근을 배치하여야 한다.

다. 「부록 I」을 적용한 연성도 내진설계에서는 「부록 I.2」와 「부록 I.3」의 규정에 따라 소요 나선철근비를 계산하여 벽체단면 외측의 축방향철근을 감싸도록 심부구속철근을 배치하여야 한다.

라. 벽체단면 외측의 축방향철근을 감싸는 심부구속철근은 <식 (8.8.20)> 또는 <식 (I.6)>에 따라 심부구속철근의 지름과 수직간격을 결정하여야 한다. 단, 중공원형 교각에서는 <식 (8.8.20)> 또는 <식 (I.6)>의 d_s를 외측 심부구속철근의 외측표면을 기준으로 형성되는 원형의 지름으로 하여야 한다.

E. When axial reinforcement is not placed on the inner side of the section in flexural control section, confinement reinforcement enclosing the axial reinforcement may not be placed.

F. When axial reinforcement is placed on the inner side of the section in the flexural control section, lateral confinement reinforcement enclosing the axial reinforcement shall be placed according 「Chapter 10 Concrete Bridge」.

G. In the compressive control section, confinement reinforcement enclosing axial reinforcement inside shall be placed with the same diameter and interval as confinement reinforcement enclosing axial reinforcement outside. But when two times of the vertical interval of outer confinement reinforcement is less than 6 times of the internal diameter of axial reinforcement, vertical interval of inner confinement reinforcement may be twice the interval of outer confinement reinforcement.

H. Confinement lateral reinforcement of hollow circular pier shall be in accordance with 「H. ~ J.」 of this provision in addition to 「A. & G. of 8.8.8 (3) ⑤」.

I. When nominal diameter of confinement reinforcement of hollow circular pier is 1/125 of d_s in 「D.」 or more, reinforced hoop enclosing axial reinforcement outside and inside the wall section is not required.

J. When nominal diameter of confinement reinforcement of hollow circular pier is less than 1/125 of d_s in「D.」, reinforced hoop enclosing axial reinforcement outside and inside the wall section is required. In this case, a reinforcement with the same diameter as confinement reinforcement shall be used as reinforced hoop.

K. Confinement reinforcement shall be in accordance with 「D. of 8.8.8 (3) ⑤」, and in hollow circular pier, and horizontal interval of hoop at outer confinement reinforcement shall not exceed 30 times confinement reinforcement.

L. Confinement reinforcement shall be placed to enclose axial reinforcement and when inner axial reinforcement is not placed, execution bar for hoop shall be placed in the axial direction.

M. When reinforced hoop is continuously fixed to the same axial reinforcement, both ends of the reinforced hoop shall be changed to avoid continuous fixing of the 90° hook in the compressive control section. For flexural control section, it is necessary to apply either the method to fix 90° hook to inner axial reinforcement or the method to change both ends of the reinforced hoop to avoid fixing of 90° hook in a row.

마. 휨 지배단면에서 단면의 내측에 축방향철근이 배치되지 않은 경우에는, 내측의 축방향철근을 감싸는 심부구속철근을 배치할 필요가 없다.

바. 휨 지배단면에서 단면의 내측에도 축방향철근이 배치된 경우에는, 내측의 축방향철근을 감싸는 횡방향구속철근을 「제10장 콘크리트교」의 규정에 따라 배치하여야 한다.

사. 압축 지배단면은 외측의 축방향철근을 감싸는 심부구속철근과 동일한 지름과 간격으로 내측의 축방향철근을 감싸는 심부구속철근을 배치하여야 한다. 단, 외측 심부구속철근 수직간격의 2배가 내측 축방향철근 지름의 6배 이하인 경우에는, 내측 심부구속철근의 수직간격을 외측 심부구속철근 간격의 2배로 배치할 수 있다.

아. 중공원형 교각의 심부구속 횡방향철근상세는 「8.8.8(3)⑤항」의 「가」와 「사」의 규정 외에 이 절의 「자~파」의 규정을 따라야 한다.

자. 중공원형 교각에서 심부구속철근의 호칭지름이 이 절의 「라」에 정의된 d_s의 1/125배 이상인 경우에는 벽체단면 외측과 내측의 축방향철근을 감싸는 보강띠철근을 배치할 필요가 없다.

차. 중공원형 교각에서 심부구속 후프철근의 호칭지름이 이 절의 「라」에 정의된 d_s의 1/125배 미만인 경우에는 벽체단면 외측과 내측의 축방향철근을 감싸는 보강띠철근을 배치하여야 한다. 이때 보강띠철근은 심부구속 후프철근과 동일한 지름의 철근을 사용하여야 한다.

카. 심부구속 보강띠철근 상세는 「8.8.8(3)⑤항」의 「라」에 따르며, 중공원형 교각에서는 보강띠철근 간의 수평간격이 외측 심부구속철근의 위치에서 심부구속 후프철근 호칭지름의 30배를 초과하지 않도록 하여야 한다.

타. 심부구속 보강띠철근은 축방향철근을 감싸도록 배치하여야 하며, 단면 내측에 축방향철근이 배치되지 않은 경우에는 보강띠철근의 배치를 위한 조립용 철근을 축방향으로 배치하여야 한다.

파. 보강띠철근을 연속적으로 같은 축방향철근에 걸리게 할 경우에는 압축지배 단면의 경우에는 90°갈고리가 연달아 걸리지 않도록 연속된 보강띠철근의 양단을 바꿔주어야 하며, 휨지배단면의 경우에는 90°갈고리가 내측축방향철근에만 걸리도록 배치하는 방법과 90°갈고리가 연달아 걸리지 않도록 연속된 보강띠철근의 양단을 바꿔주는 방법 중 하나를 적용하여야 한다

⑤ Design shear strength of hollow circular pier

A. Design shear strength of hollow circular pier shall be in accordance with 「8.8.8 (2) ⑥」, both in a complete ductility design using response modification factor in 「8.8.8 (4) ⑤」 <Table 8.8.1> and in a ductility design using 「Appendix I」.

B. In <Eq. (8.8.15)> and <Eq. (8.8.15)> of 「8.8.8 (2) ⑥ B.」, shear effective section area of hollow circular pier A_e shall be calculated by $(D_o - D_i)D_i$. Where, D_o is maximum diameter of the section or outer diameter and is cavity diameter or inner diameter.

C. In <Eq. (8.8.18)> of 「8.8.8 (2) ⑥ C.」, D_c shall be the diameter of circular form based on outer circular hoop. When inner circular hoop is placed, it shall be in accordance with <Eq. (8.8.27)>. Where, D_{ci} is the diameter of circular form based on inner circular hoop and s_i is the vertical interval of inner circular hoop.

$$V_s = \frac{\pi}{2}\left(\frac{A_{sp}f_{yh}D_c}{s} + \frac{A_{sp}f_{yh}D_{ci}}{s_i}\right) \qquad (8.8.27)$$

8.8.9 Design of seismically-isolated bridge

(1) General

① Scope of application

This provision shall apply to design a new seismically-isolated bridge. The bridge and application shall be in accordance with 「8.1.1」, and special types of bridges (arch, cable-stayed, and suspension bridges) shall be in accordance with the design concepts and standards specified in this provision, as well as the reasonably modified design provisions for seismically-isolated bridges. This section only specifies horizontally seismic isolation, and assumes a rigid body in vertical direction. This provision shall apply to seismic isolation system, which does not utilize external energy.

(2) Design principle for seismic isolation

① Objective

This design provisions is intended for the minimum design requirements for a seismic isolation bearing which secures the seismic capacity to achieve minimal damage to the bridges.

⑤ 중공원형 교각의 설계전단강도

가. 중공원형 교각의 설계전단강도는, 「8.8.8(4)⑤항」 <표 8.8.1>의 응답수정계수를 적용한 완전연성설계나 「부록 I」을 적용한 연성도 내진설계의 구분 없이, 모두 「8.8.8(2)⑥항」의 규정에 따른다.

나. 「8.8.8(2)⑥나」의 <식 (8.8.15)>와 <식 (8.8.15)>에서, 중공원형 교각의 전단유효단면적 A_e는 $(D_o - D_i)D_i$로 계산한다. 여기서, D_o는 단면의 최대지름, 즉 외측지름이고, D_i는 중공지름, 즉 단면의 내측지름이다.

다. 「8.8.8(2)⑥다」의 <식 (8.8.18)>에서, D_c는 외측 원형후프철근의 중심을 기준으로 형성되는 원형의 지름으로 하여야 한다. 단면의 내측에도 원형후프철근이 배치된 경우에는 <식 (8.8.27)>에 따라 계산하여야 한다. 여기서 D_{ci}는 내측 원형후프철근의 중심을 기준으로 형성되는 원형의 지름이고, s_i는 내측 원형후프철근의 수직간격이다.

$$V_s = \frac{\pi}{2}\left(\frac{A_{sp} f_{yh} D_c}{s} + \frac{A_{sp} f_{yh} D_{ci}}{s_i}\right) \qquad (8.8.27)$$

8.8.9 지진격리교량의 설계

(1) 일반사항

① 적용범위

이 절은 신설되는 지진격리교량의 설계에 적용한다. 적용하는 교량 및 준용의 방법은 「8.1.1항」에 규정한 바와 같으며, 특수한 형식의 교량(아치교, 사장교, 현수교 등)은 이 절의 설계개념 및 기준을 준수하고 합리적인 보정을 한 지진격리교량 설계기준을 작성하여 설계할 수 있다. 이 절의 설계 규정들은 수평방향으로 지진 격리시키는 시스템에 대해서만 고려되었으며, 수직방향에 대해서는 강체라고 가정한다. 또한 이 절의 규정들은 외부에너지를 이용하지 않는 지진격리시스템에만 적용된다.

(2) 지진격리설계의 기본방침

① 목적

이 설계기준의 목적은 지진에 의해 교량이 입는 피해의 정도를 최소화 시킬 수 있는 내진성의 확보를 위해 지진격리받침을 적용한 경우에 필요한 최소 설계요구조건을 규정하는데 있다.

② Basic concept

The seismic isolation design is intended to achieve the desired seismic capacity by applying a seismic isolation bearing between the superstructure and the substructure so as to reduce the transverse responses of the bridges for horizontal seismic forces during earthquakes. The purpose of a seismic isolation bearing is to lower the seismic force of the bridge by lengthening the period of the bridge, and this leads to improvements of seismic energy absorption performance. To be applied, the following considerations shall be taken into account.

A. Application of seismic isolation design shall be determined after considering the longer period or seismic energy absorption of a bridge at normal state and during an earthquake. But in the following conditions, seismic isolation design shall not be applied.

(a) Bridge with flexible substructure and a long period

(b) When the seismically-isolated designed foundation is supported by soft soil, which may result in resonance due to longer period of the bridge.

(c) When negative reaction occurs on bearing

B. Displacement of superstructure during an earthquake shall not have negative impact on bridge function.

C. Seismic isolation bearing shall be used within a certain range of dynamic behavior and shall be stable against repeated lateral displacement and vertical vibration during the seismic event.

D. In addition to seismic isolation bearing specified in this provision, it is accepted that when the bridge is designed and advanced by safety proven dampers or bridge collapse prevention device.

(3) Acceleration coefficient for the seismically isolated bridge

Acceleration coefficient defined in 「8.8.3 (1) ②」 applied to bridges may be identically applied to a seismically-isolated bridge.

(4) Seismic classification and design magnitude

Seismic classification and design magnitude shall be the same as for bridges as defined in 「8.8.3 (2)」.

(5) Subgrade reaction modulus for the seismically-isolated bridge

Subgrade reaction modulus for seismically-isolated bridges S_i used to determine the seismic load on the bridges are presented in <Table 8.8.2>, and types of soils shall be the same as a normal bridge in <Table 2.4.6> of 「Chapter 2, 2.4.4 Seismic design」.

② 기본개념

지진격리설계는 수평지진력에 의한 지진시 교량의 응답을 줄일 목적으로, 주로 상부구조와 하부구조 사이에, 지진격리받침을 적용하여 설계기준에서 요구하는 내진성을 확보하는 방법이다. 이때, 지진격리받침은 교량의 고유주기를 길게 함으로써 교량에 작용하는 지진력을 줄여주고, 지진에너지흡수성능 향상을 통하여 지진시 응답을 감소시키는 역할을 한다. 그 적용에 있어서 다음 사항을 검토해야 한다.

가. 지진격리설계의 적용은 교량의 장주기화 혹은 지진에너지흡수성능 향상효과를 상시와 지진시의 양 측면에서 검토한 후에 판단해야 한다. 특히, 다음의 조건에 해당되는 경우에는 지진격리설계를 적용하지 않는 것으로 한다.

㉮ 하부구조가 유연하고 고유주기가 긴 교량

㉯ 기초주변의 지반이 연약하고 지진격리설계의 적용에 따른 교량 고유주기의 증가로 지반과 교량의 공진 가능성이 있는 경우

㉰ 받침에 부반력이 발생하는 경우

나. 교량의 장주기화로 인한 지진시 상부구조의 변위가 교량의 기능에 악영향을 주지 않도록 해야 한다.

다. 지진격리받침은 역학적 거동이 명확한 범위에서 사용해야 한다. 또한 지진시의 반복적인 횡변위와 상하진동에 대하여 안정적으로 거동해야 한다.

라. 이 절에서 규정하고 있는 지진격리받침 이외에도 그 특성의 안정성이 확인된 각종감쇠기, 낙교방지장치, 지진보호장치 등에 의하여 보다 발전된 설계를 할 경우에는 이를 인정한다.

(3) 지진격리교량의 가속도계수

「8.8.3(1)②항」의 일반교량의 내진설계에 사용되는 가속도계수가 지진격리교량의 내진설계에도 동일하게 사용된다.

(4) 지진격리교량의 내진등급과 설계지진수준

지진격리교량의 내진등급과 설계지진수준은 「8.8.3(2)항」에서 규정된 일반교량의 규정과 동일하다.

(5) 지진격리교량의 지반계수

지진격리교량의 지진하중을 결정하는데 사용되는 지진격리교량의 지반계수S_i 는 <표 8.8.2>과 같으며, 지반종류는 「제2장 2.4.4 내진설계」의 <표 2.4.6>에서 정의된 일반교량의 지반종류를 동일하게 사용한다.

Table 8.8.2 Subgrade reaction modulus of seismically-isolated bridges S_i

Subgrade reaction modulus of seismically-isolated bridge	Soils			
	I	II	III	IV
S_i	1.0	1.5	2.0	2.7

(6) Response modification factor for the seismically-isolated bridge

① When the requirements for seismic design added in 「8.8.6」 and 「8.8.7」 and the requirements in plastic hinge region defined in 「8.8.8」 are satisfied, design seismic loads of the bridge members and connections shall be calculated by dividing equivalent seismic loads specified in 「8.8.9 (7)」 by the response modification factors specified in <Table 8.8.3>. Except for a substructure, axial force and shear force shall not be divided by response modification factor.

Table 8.8.3 Response modification factor for the seismically-isolated bridge, R_i

Substructure	R_i	Connection	R_i
Pier wall	1.5	Superstructure & abutment	0.8
RC pile bent 1. Vertical pile only 2. One or more batter piles	 1.5 1.5	Expansion joint within a span of superstructure	0.8
A single column	1.5	Column, pier or pile bent and cap beam or superstructure	1.0
Steel or composite steel and concrete pile bent 1. Vertical pile only 2. One or more batter piles	 2.5 1.5	Column or pier and foundation	1.0
Multiple bents	2.5		

② When the requirements for seismic design specified in 「8.8.6」 and 「8.8.7」 and the requirements for plastic hinge region as in 「8.8.8」 are not satisfied, response modification factor for substructure and connection shall not exceed 1.0. Then, it is confirmed by the seismic analysis that substructure is acting within the elastic range so that axial reinforcement does not yield. Reinforcement details and reinforced concrete piers shall conform the provisions in 「8.8.8 (3)」.

표 8.8.2 지진격리교량의 지반계수 S_i

지진격리교량의 지반계수	지반종류			
	I	II	III	IV
S_i	1.0	1.5	2.0	2.7

(6) 지진격리교량의 응답수정계수

① 「8.8.6항」과 「8.8.7항」에서 내진설계를 위해 추가로 규정한 설계요건과 「8.8.8항」에서 규정한 소성힌지구역에 관련된 모든 설계요건을 충족시키는 경우, 지진격리교량의 각 부재와 연결부분에 대한 설계지진력은 「8.8.9(7)항」에서 규정된 등가지진력을 <표 8.8.3>의 지진격리교량의 응답수정계수로 나눈 값으로 한다. 다만 하부구조의 경우, 축방향력과 전단력은 응답수정계수로 나누지 않는다.

표 8.8.3 지진격리교량의 응답수정계수, R_i

하부구조	R_i	연결부분	R_i
벽식 교각	1.5	상부구조와 교대	0.8
철근콘크리트 말뚝가구(Bent) 1. 수직말뚝만 사용한 경우 2. 한 개 이상의 경사말뚝을 사용한 경우	 1.5 1.5	상부구조의 한 지간 내의 *신축이음부*	0.8
단일 기둥	1.5	기둥, 교각 또는 말뚝가구와 캡빔 또는 상부구조	1.0
강재 또는 합성강재와 콘크리트 말뚝가구 1. 수직말뚝만 사용한 경우 2. 한 개 이상의 경사말뚝을 사용한 경우	2.5 1.5	기둥 또는 교각과 기초	1.0
다주 가구	2.5		

② 「8.8.6항」과 「8.8.7항」에서 내진설계를 위해 추가로 규정한 설계요건과 「8.8.8항」에서 규정한 소성힌지구역에 관련된 모든 설계요건을 충족시키지 못하는 경우, 하부구조와 연결부분에 대한 응답수정계수는 1.0을 넘지 못한다. 이때, 지진응답해석을 통하여 설계지진시에 하부구조가 축방향철근이 항복하지 않는 탄성범위내에서 거동함을 확인해야 하고, 철근콘크리트 기둥 형식의 교각과 말뚝가구의 철근상세는 「8.8.8(3)항」의 해당요건을 만족시켜야 한다.

(7) Analysis method

① General

A. This provision provides the guideline for seismic analysis of a seismically-isolated bridge, and the 4 analysis methods below or other proven methods and accepted by the client could be used.

(a) Equivalent static load method

(b) A single mode spectrum analysis method

(c) A multiple mode spectrum analysis method

(d) Time history analysis method

B. Bridge analysis shall be conducted by considering the characteristics of the seismic isolation bearing. For simplicity, a bilinear model could be used for the nonlinear behavior of the seismic isolation bearing. Effective rigidity of the seismic isolation bearing K_{eff} and equivalent damping ratio β_i shall be estimated in accordance with <Eq. (8.8.28)> and <(8.8.29)>. Effective rigidity of the seismic isolation bearing shall be calculated based on design displacement.

$$K_{eff} = \frac{F_p - F_n}{d_p - d_n} \tag{8.8.28}$$

$$\beta_i = \frac{1}{2\pi} \frac{EDC\text{section}}{\sum\left(K_{eff} d_i^2\right)} \times 100(\%) \tag{8.8.29}$$

where, F_n: In prototype test of seismic isolator, horizontal force at maximum negative displacement over a single cycle

F_p: In prototype test of seismic isolator, horizontal force at maximum positive displacement over a single cycle

d_n: Maximum negative displacement over a single cycle

d_p: Maximum positive displacement over a single cycle

d_i: Design displacement by equivalent seismic force at rigidity center during an earthquake

EDC: Dissipation energy per cycle

For the bridge with an effective period longer than 3.0 seconds or the seismic isolation bearing with equivalent damping ratio exceeding 30%, time-history analysis associated with nonlinear characteristic of seismic isolation bearing shall be conducted.

(7) 해석방법

① 일반사항

가. 이 항의 규정은 지진격리교량의 지진해석에 대한 규정이며 다음과 같은 네 가지 해석법 또는 발주자가 인정하는 검증된 정밀해석법을 사용할 수 있다.

㉮ 등가정적하중법

㉯ 단일모드스펙트럼해석법

㉰ 다중모드스펙트럼해석법

㉱ 시간이력해석법

나. 교량해석은 지진격리받침의 특성을 고려하여 수행한다. 지진격리받침의 비선형거동을 단순화하기 위해서 이중선형모델을 사용할 수 있다. 지진격리받침의 유효강성 k_{eff} 및 지진격리시스템의 등가감쇠비 β_i는 <식 (8.8.28)> 및 <식 (8.8.29)>에 의해 산출한다. 해석에 사용되는 지진격리받침의 유효강성은 설계변위에서 계산되어야 한다.

$$k_{eff} = \frac{F_p - F_n}{d_p - d_n} \qquad (8.8.28)$$

$$\beta_i = \frac{1}{2\pi} \frac{\text{전체}\,EDC\text{면적}}{\sum(k_{eff} d_i^2)} \times 100(\%) \qquad (8.8.29)$$

여기서, F_n : 지진격리장치의 원형시험시, 한 cycle 동안의 최대부변위량 발생시의 수평력

F_p : 지진격리장치의 원형시험시, 한 cycle 동안의 최대양변위량 발생시의 수평력

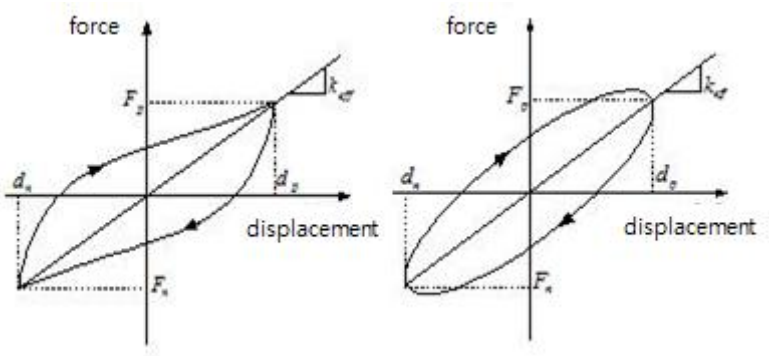
d_n : 지진격리장치의 원형시험시, 한 cycle 동안의 최대부변위

d_p : 지진격리장치의 원형시험시, 한 cycle 동안의 최대양변위

d_i : 고려하고 있는 방향에 대한 강성중심에서의 등가지진력에 의한 지진 시 설계변위

EDC : 한 cycle 당 소산된 에너지이다.

유효주기가 3초보다 긴 교량 또는 등가감쇠비가 30%를 초과하는 지진격리받침을 사용하는 경우에는 지진격리받침의 비선형성을 고려한 시간이력해석을 수행해야 한다.



(1) Hysteric behavior (2) Viscoelastic behavior

Fig. 8.8.5 Effective rigidity of seismic isolation bearing and equivalent damping ratio of seismic isolation system

② Equivalent static load method

Equivalent seismic force is given by <Eq. (8.8.30)>.

$$F_e = C_s W \tag{8.8.30}$$

where, F_e: Equivalent seismic force

W: Total weight of superstructure

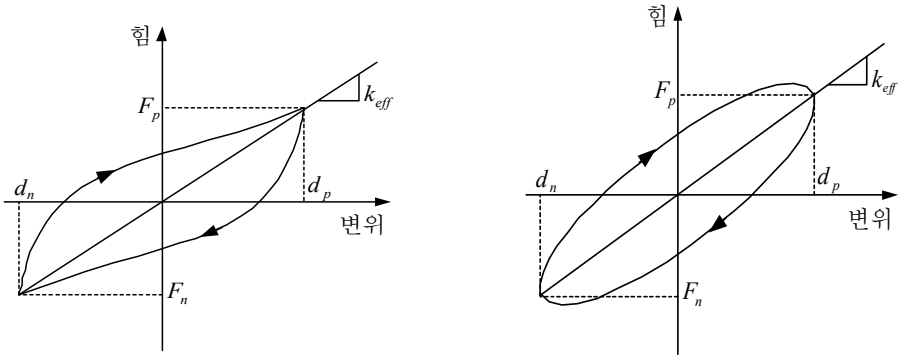
Elastic seismic response factor C_s used to determine the equivalent seismic force could be calculated by the dimensionless equation specified in <Eq. (8.8.31)>. However, C_s should not be greater than 2.5A.

$$C_s = \frac{K_{eff} \times d}{W} = \frac{AS_i}{T_{eff}B} \tag{8.8.31}$$

Total displacement of superstructure, d, with respect to the ground is calculated by <Eq. (8.8.32)>.

$$d = \frac{250AS_iT_{eff}}{B} \text{ (mm)} \tag{8.8.32}$$

where, B shall be obtained from <Table 8.8.4>.



(1) 이력 거동 (2) 점탄성 거동

그림 8.8.5 지진격리받침의 유효강성 및 지진격리시스템의 등가감쇠비 산출

② 등가정적하중법

등가지진력은 <식 (8.8.30)>과 같다.

$$F_e = C_s W \qquad (8.8.30)$$

여기서, F_e : 등가지진력

W : 상부구조물의 총중량이다.

등가지진력을 결정하기 위해서 사용되는 탄성지진응답계수 C_s 는 <식 (8.8.31)>의 무차원식으로 구할 수 있다. 단, C_s값은 $2.5A$보다 크게 취할 필요는 없다.

$$C_s = \frac{K_{eff} \times d}{W} = \frac{AS_i}{T_{eff}B} \qquad (8.8.31)$$

지반에 대한 상부구조의 총변위 d는 <식 (8.8.32)>로 구한다.

$$d = \frac{250AS_iT_{eff}}{B}(\text{mm}) \qquad (8.8.32)$$

여기서, B는 <표 8.8.4>로부터 구한다.

Table 8.8.4 Damping ratio of seismically-isolated bridge, B

Damping ratio	Equivalent damping ratio of seismic isolation system β (%)				
	≤2	5	10	20	30
B	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7

Effective period T_{eff} shall be obtained by <Eq. (8.8.33)>

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff} g}} \qquad (8.8.33)$$

where, K_{eff} is effective rigidity of seismically-isolated bridge.

③ A single mode spectrum analysis method

Equivalent static seismic load $p_e(\chi)$ that calculates sectional force and deflection due to vertical and horizontal seismic force shall be calculated along the horizontal biaxial direction as stipulated in 「8.8.5 (3)」 using the equivalent seismic force determined by the displacement of seismic isolation bearing according to 「8.8.9 (7) ②」, and the value is combined according to 「8.8.4 (4)」 before use.

$$p_e(\chi) = \omega(\chi) C_s \qquad (8.8.34)$$

where,

$p_e(\chi)$: Load intensity of equivalent static seismic load per unit length

$\omega(\chi)$: Dead load of superstructure per unit length

C_s: Elastic seismic response factor determined by <Eq. (8.8.31)>

④ A multiple-mode spectrum analysis method

Reduced value by B shall be applied to elastic seismic response coefficient when period of mode, T_i $0.8 T_{eff}$ exceeds , as presented in <Fig 8.8.6>.

$$C_{si} = \frac{AS_i}{T_i} \quad (T_i \le 0.8 T_{eff}) \qquad (8.8.35)$$

$$C_{si} = \frac{AS_i}{T_i B} \quad (T_i \rangle 0.8 T_{eff}) \qquad (8.8.36)$$

표 8.8.4 지진격리교량의 감쇠계수 B

지진격리교량의 감쇠계수	지진격리시스템의 등가감쇠비 β (%)				
	≤2	5	10	20	30
B	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7

유효주기 T_{eff}는 <식 (8.8.33)>으로 구한다.

$$T_{eff} = 2\pi\sqrt{\frac{W}{K_{eff}\, g}} \qquad (8.8.33)$$

여기서, K_{eff}는 지진격리교량의 유효강성이다.

③ 단일모드스펙트럼해석법

종방향 및 횡방향 지진에 의한 부재의 단면력과 처짐을 계산하는 등가정적 지진하중 $p_e(x)$는, 지진격리받침의 변위에 의하여 「8.8.9(7)②항」에 따라 결정된 등가지진력을 사용하여 「8.8.5(3)항」에 기술된 대로 수평2축 방향을 따라 구하고, 그 값을 「8.8.4(4)항」에 기술된 대로 조합하여 사용한다.

$$p_e(x) = w(x)C_s \qquad (8.8.34)$$

여기서,

$p_e(x)$: 등가정적 지진하중의 단위길이당 하중강도

$w(x)$: 상부구조의 단위길이당 고정하중

C_s : <식 (8.8.31)>에 의하여 계산되는 탄성지진응답계수이다.

④ 다중모드스펙트럼해석법

탄성지진응답계수는 <그림 8.8.6>과 같이 해당모드주기 T_i가 $0.8T_{eff}$를 초과하는 경우에만 B에 의해 감소된 값이 적용된다.

$$C_{si} = \frac{AS_i}{T_i} \quad (T_i \leqq 0.8T_{eff}) \quad (8.8.35)$$

$$C_{si} = \frac{AS_i}{T_iB} \quad (T_i > 0.8T_{eff}) \quad (8.8.36)$$

where,

C_{si}: Elastic seismic response factor of i mode

T_i: Period of i mode

However, C_{si} should not be greater than 2.5A. The combination of orthogonal seismic force shall be in accordance with 「8.8.4 (4)」.

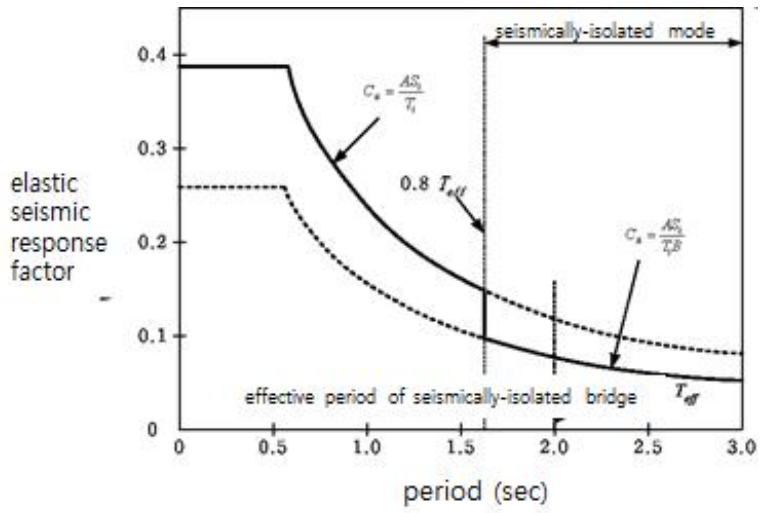


Fig. 8.8.6 Elastic seismic response factor for the seismically-isolated bridge

⑤ Time history analysis method

When time-history analysis method is required for the seismically-isolated bridge, the following conditions shall be taken into consideration.

A. Nonlinear characteristics of seismic isolation bearing

B. Seismic input acceleration for time-history analysis shall use the modified ground motion record or the synthetic ground motion of at least four seismic events sot that it is required to meet the design response spectrum with 5% damping ratio as shown in <Fig. 8.8.6>.

C. Mean response spectrum of time history shall satisfy the following requirements to meet the design ground response spectrum.

(a) Number of periods whose response spectrum value is lower than design ground response spectrum shall be less than or equal to 5, its mean value should be less than 10% that of design ground response spectrum.

(b) For interval of the period to calculate the response spectrum for time-history, when the period is reduced, variation of calculated spectrum shall be less than 10%.

여기서,

C_{si} : i번째 모드의 탄성지진응답계수

T_i : i번째 모드의 주기이다.

다만, C_{si}값은 $2.5A$보다 크게 취할 필요는 없다. 직교하는 지진력의 조합은 「8.8.4(4)항」에 의한다.

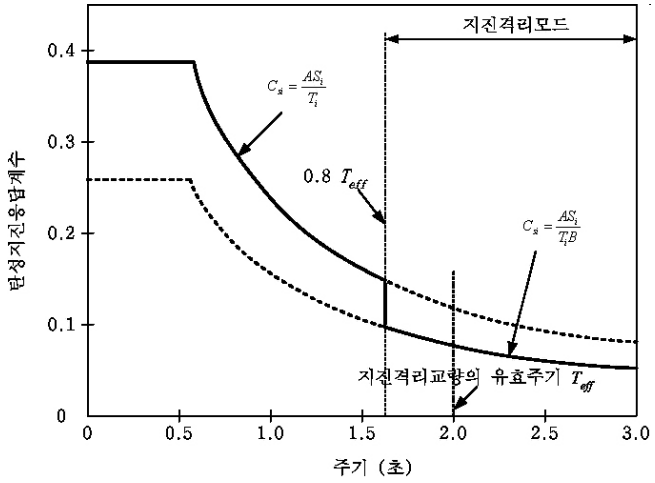


그림 8.8.6 지진격리교량의 탄성지진응답계수

⑤ 시간이력해석법

시간이력해석이 요구되는 지진격리교량의 경우에는 다음 조건들을 적용해야 한다.

가. 지진격리받침의 비선형 특성을 고려해야 한다.

나. 시간이력해석을 위한 지진입력 시간이력은 <그림 8.8.6>에 나타낸 감쇠율 5%에 대한 설계지반응답스펙트럼에 부합되도록 실제 기록된 지진운동을 수정하거나 인공적으로 합성된 최소한 4쌍 이상의 지진운동을 작성하여 사용해야 한다.

다. 작성된 시간이력이 설계지반 응답스펙트럼에 부합되기 위해서는 작성된 시간이력의 평균 응답스펙트럼이 다음 요건을 만족해야 한다.

㉮ 시간이력의 응답스펙트럼 값이 설계지반 응답스펙트럼값보다 낮은 주기의 수는 5쌍 이하이고 낮은 정도는 10% 이내 이어야 한다.

㉯ 시간이력의 응답스펙트럼을 계산하는 주기의 간격은, 주기의 간격을 축소할 경우, 계산된 스펙트럼 값의 변화가 10% 이하가 되도록 작아야 한다.

D. Duration of time-history shall be 10 ~ 25 sec., and in severe earthquake shall be 6 ~ 10 sec.

E. When time history in both directions is considered at once, time-history in perpendicular directions shall be statistically independent. When the maximum value of the function of correlation coefficient calculated by considering the time difference between two time histories is less than 0.3, the two time-histories shall be considered statistically independent.

F. Design value is the maximum response value from the analysis according to ground motion time history with less than 7 time-history data sets or mean value of analysis with more than 7 time-history data sets.

(8) Other requirements

① Stability against horizontal force

A. Seismic isolation bearing shall be designed to respond stably to all combinations of horizontal force, such as wind load, eccentricity, brake force and temperature variation.

B. Maximum shear strain of elastomer of seismic isolation bearing shall be within 70% at usual, and 200% during an earthquake.

② Stability against vertical force

Seismic isolation bearing shall provide a safety factor of at least 3 to vertical load, including dead load and live load without transverse displacement, and shall be designed to respond stably to the combination of 1.2 times dead load, vertical load due to seismic load and overturning load by transverse displacement. Transverse displacement in calculated by the overturn in load shall be equal to 2.0 times the design displacement by offset displacement and design earthquake.

③ Rotation performance

Rotation performance of seismic isolation bearing shall include the effect of dead load, live load, and construction error. Design rotation angle caused by construction error shall be smaller than 0.005 rad.

④ Performance verification of seismic isolation system

The following tests shall be conducted in order to meet the performance and quality requirements of the various seismic protection devices used for the seismic isolation system.

A. Performance test: Temperature dependency, period dependency, compressive fatigue and shear fatigue test to confirm the reliability

B. Prototype test: Performance including period and damping characteristics of seismic isolation system using prototype or model test

라. 시간이력의 지속시간은 10~25초 또 강진구간 지속시간은 6~10초가 되도록 해야 한다.

마. 두 방향 이상의 시간이력을 동시에 고려할 경우, 각 직교방향의 시간이력은 통계학적으로 독립되어야 한다. 여기서, 두 시간이력 사이의 시작시간 차이를 고려하여 계산된 상관계수함수의 최대절대값이 0.3을 넘지 않는다면 두 시간이력은 통계학적으로 독립이라고 간주할 수 있다.

바. 7쌍 미만의 지반운동시간이력에 의한 해석결과로부터 얻어진 응답치의 최대값 혹은 7쌍 이상의 해석결과로부터 얻어진 평균값을 설계값으로 한다.

(8) 기타 요구조건

① 상시 수평력 안정성

가. 지진격리받침은 풍하중, 원심력, 제동력, 온도변위에 의한 하중을 포함하는 모든 상시 수평력 조합에 안정적으로 거동하도록 설계되어야 한다.

나. 지진격리받침 탄성중합체의 최대전단변형률은 상시 70%, 지진시 200% 이내이어야한다.

② 수직력 안정성

지진격리받침은 수평변위가 없는 상태에서 고정하중과 활하중을 더한 수직하중에 대하여 최소한 3 이상의 안전율을 제공해야 한다. 또한 1.2배의 고정하중, 지진하중으로 인한 수직하중, 그리고 횡방향 변위로 인한 전도하중의 합에 대하여 안정적으로 거동하도록 설계해야 한다. 여기서 전도하중을 계산할 때의 횡방향 변위는 옵셋변위와 설계지진에 의한 설계변위의 2.0배와 같다.

③ 회전 성능

지진격리받침의 회전성능은 고정하중, 활하중, 시공오차의 영향을 포함해야 하고, 여기서 고려되는 시공오차의 설계회전각은 0.005rad보다 작아서는 안 된다.

④ 지진격리시스템의 성능확인

지진격리시스템에 사용되는 지진격리받침 및 각종 지진보호장치는 설계시 상정한 성능기준과 품질기준을 확보하고 있는지 다음 각 항의 시험을 행한다.

가. 성능시험 : 온도의존성, 주기의존성, 압축피로, 전단피로 시험 등을 통하여 해당 지진격리시스템이 신뢰할 수 있는 성능을 가지고 있는지 확인한다.

나. 원형시험 : 설계와 해석에 사용되는 지진격리시스템의 주기특성과 감쇠특성 등의 성능은 원형 혹은 축소모형시험에 의해 확인한다.

C. Quality test: Complete inspection to confirm the quality requirements.
Details on model test or inspection shall be in accordance with the acknowledged domestic or international standards.

⑤ Quality standard

Seismic isolation bearing shall be chemically, physically and mechanically stable, and the following requirements shall be satisfied through the complete inspection.

A. Mean effective rigidity of seismic isolation bearing shall be within ±10% of design value and ±20%, individually. In addition, the mean EDC value shall be more than or equal to -15% of design value and more than or equal to –25%, respectively.

B. Effective rigidity and equivalent damping ratio of seismic isolation bearing shall be stable to repeated loading induced by seismic design displacement.

C. No residual displacement that may have a negative effect on performance shall not be allowed after earthquake.

Table 8.8.5 Effective rigidity and EDC quality standard

	K_{eff}	EDC
Individual	±20%	-25%
Mean value	±10%	-15%

D. Effective rigidity and equivalent damping ratio of seismic isolation bearing shall be stable in the temperature range specified in 「2.1.12 of the Road Bridge Design Criteria」.

E. Seismic isolation bearing shall always have positive tangent rigidity within the seismic design displacement range.

다. 품질시험 : 해당 받침 혹은 장치가 품질기준을 만족하고 있는지 전수 시험을 실시한다.

지진격리받침의 축소모형 및 시험에 대한 세부사항은 국내외에서 인정되고 있는 지진격리장치 관련 기준에 따른다.

⑤ 품질 기준

지진격리받침과 그 재료는 화학적, 물리적, 역학적 성질이 안정적이어야 하며, 전수 품질시험을 실시하여 다음의 조건을 만족해야 한다.

가. 다수의 지진격리받침을 대상으로 측정한 평균 유효강성은 설계값의 ±10% 이내이어야 하고, 각각의 유효강성은 설계값의 ±20% 이내이어야 한다. 또한, 평균 EDC값은 설계값의 -15% 이상이어야 하고 각각의 EDC값은 설계값의 -25% 이상이어야 한다.

나. 지진격리받침의 유효강성 및 등가감쇠비는 지진설계변위에 의한 연속반복재하에 대해 안정적이어야 한다.

다. 지진격리받침은 지진 후에 교량의 기능에 악영향을 주는 잔류변위가 발생하지 않도록 설계해야 한다.

표 8.8.5 지진격리받침 유효강성과 EDC의 품질 기준

	k_{eff}	EDC
개체차	±20%	-25%
평균값	±10%	-15%

라. 지진격리받침의 유효강성 및 등가감쇠비는 「도로교설계기준 2.1.12항」의 온도 범위에서 안정적이어야 한다.

마. 지진격리받침은 지진설계변위 범위에서는 항상 양의 접선강성을 가져야 한다.

Appendix Ⅰ Ductility seismic design of RC column

I.1 General

(1) Scope of application

① This Appendix shall be applied for the seismic design of railway bridge.

② This Appendix shall be applied for the seismic design of RC column with compressive strength less than or equal to 50 MPa.

③ This Appendix shall be applied for the design of a column type pier (single column, multiple columns, pile bent) instead of response modification factor in 「8.8.3 (4)」, confinement reinforcement in 「8.8.8 (3) ④」 and plastic hinge shear design in 「8.8.8 (2) ⑤ 「B」 and 「C」.

④ This Appendix may be applied for all columns regardless of the net height of maximum section diameter defined in 「8.8.8 (3) ①」 and in 「8.8.8 (3) ②」.

⑤ The region and details of lateral reinforcement designed according to this Appendix shall be in accordance with 「8.8.8」.

(2) Definitions

① Ductility seismic design: Design method for lateral confinement reinforcement depending on the required ductility of RC column

② Required response modification factor: Ratio between elastic seismic moment of beam and design bending strength, which is used to estimate the required ductility

③ Control period: Maximum period in which elastic seismic response factor equals maximum limitation

④ Required ductility: Curvature ductility and displacement ductility to estimate the required confinement reinforcement at plastic hinge region

⑤ Curvature ductility: Ratio of ultimate curvature to yield curvature

⑥ Displacement ductility: Ratio of ultimate curvature to yield displacement of column

I.2 Required ductility

(1) Required ductility of the column shall be determined as follows.

① Circular section: Use of greater required ductility for two main axes (strong and weak) of cross-section

② Other sections except circular section: Use of required ductility for two main axes (strong and weak) of cross-section, respectively.

(2) Required response modification factor shall be determined according to <Eq. (Ⅰ.1)> Elastic seismic moment for seismic loads shall be determined by elastic analysis using bending strength in 「8.8.8 (2) ②」, and shall be combined according to 「8.8.4 (4)」.

부록 Ⅰ. 철근콘크리트 기둥의 연성도 내진설계

I.1 일반사항

(1) 적용범위

① 이 부록의 규정은 일반 철도교의 내진설계에 적용한다.

② 이 부록의 규정은 콘크리트의 설계기준 압축강도가 50MPa 이하인 철근콘크리트 기둥의 내진설계에 적용한다.

③ 이 부록의 규정은 기둥 형식의 교각(단일기둥, 다주가구, 말뚝가구)에 대한 설계로서 「8.8.3(4)항」의 응답수정계수, 「8.8.8(3)④항」의 심부구속철근량, 「8.8.8(2)⑤나.항」와 「다.항」의 소성힌지구역 전단설계에 대한 규정을 대신하여 적용할 수 있다.

④ 이 부록의 규정은 「8.8.8(3)①항」에서 규정하는 최대단면치수에 대한 순높이의 비 제한값에 무관하게 모든 기둥에 적용할 수 있으며, 「8.8.8(3)②항」에서 규정하는 단부구역에 적용한다.

⑤ 이 부록의 규정에 따라 설계되는 횡방향철근의 배근구간과 철근상세는 「8.8.8항」의 해당 규정에 따른다.

(2) 용어의 정의

① 연성도 내진설계 : 철근콘크리트 기둥의 소요연성도에 따라 횡방향 심부구속철근을 설계하는 설계방법

② 소요 응답수정계수 : 기둥의 탄성지진모멘트와 설계휨강도의 비율로서 소요연성도를 산정하기 위한 계수

③ 통제주기 : 탄성지진응답계수가 최대 제한값과 같은 최대주기

④ 소요연성도 : 기둥의 소성힌지구역의 소요 심부구속철근량을 산정하기 위한 소요곡률연성도와 소요 변위연성도

⑤ 곡률연성도 : 단면의 항복곡률에 대한 극한곡률의 비율

⑥ 변위연성도 : 기둥의 항복변위에 대한 극한변위의 비율

I.2 소요연성도

(1) 기둥의 소요연성도는 다음과 같이 결정해야 한다.

① 원형단면 : 기둥 단면의 두 주축(강축과 약축)에 대한 소요연성도 중 큰 값으로 결정.

② 원형 이외의 단면 : 기둥 단면의 두 주축(강축과 약축)에 대해 각각의 소요연성도를 독립적으로 결정.

(2) 소요 응답수정계수는 <식 (Ⅰ.1)>에 따라 결정한다. 지진하중에 따른 탄성지진모멘트는 「8.8.8(2)②항」의 휨강성을 적용한 탄성해석을 수행하여 결정하며, 「8.8.4(4)항」의 규정에 따라 조합해야 한다.

$$R_{req} = \frac{M_{el}}{\phi M_n} \qquad (\text{Ⅰ}.1)$$

where,

R_{req}: Required response modification factor

M_{el}: Elastic moment of column for load combination including seismic loads

ϕM_n: Design bending strength of column according to 「8.8.8 (2) ④」

(3) At the end region with required response modification factor less than or equal to 1.0 among end regions as defined in 「8.8.8 (3) ②」, shear strength shall be reviewed according to 「8.8.8 (2) ⑤ B」and 「8.8.8 (2) ⑥」 and lateral reinforcement shall satisfy the requirement in 「8.8.8 (3) ③」.

(4) Required displacement ductility $\mu_\triangle$ at plastic hinge region with required response modification factor larger than or equal to 1.0 shall be determined according to <Eq. (Ⅰ.2)>. When the period of axial primary mode T of the bridge is smaller than or equal to 1.25 times the control period T_s, displacement ductility-response modification factor $\nearrow_{DR}$ correlation coefficient shall be determined according to <Eq. (Ⅰ.3)> and others shall be 1.0. Control period T_s is the period C_s when elastic seismic response factor becomes equal to the limit value 2.5A which is calculated according to <Eq. (8.8.4)> of 「8.8.5 (2) ①」 and 0.33, 0.44, 0.61 and 0.94 sec shall apply to ground conditions Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ and Ⅳ, respectively.

$$\mu_\triangle = \nearrow_{DR} R_{req} \qquad (\text{Ⅰ}.2)$$

$$\nearrow_{DR} = \left(1 - \frac{1}{R_{req}}\right)\frac{1.25 T_s}{T} + \frac{1}{R_{req}} \qquad (\text{Ⅰ}.3)$$

(5) Maximum value of required displacement ductility shall be determined using <Eq. (Ⅰ.4)>

$$\mu_{\triangle,\max} = 2\left(\frac{L_s}{h}\right) \leq 5.0 \qquad (\text{Ⅰ}.4)$$

(6) Required curvature ductility μ_ϕ shall be determined using <Eq. (Ⅰ.5)>

$$\mu_\phi = \frac{\mu_\Delta - 0.5\left\{0.7 + 0.75\left(\frac{h}{L_s}\right)\right\}}{0.13\left(1.1 + \frac{h}{L_s}\right)} \qquad (\text{Ⅰ}.5)$$

$$R_{req} = \frac{M_{el}}{\phi M_n} \quad (\text{Ⅰ}.1)$$

여기서,

R_{req} : 소요 응답수정계수

M_{el} : 지진하중을 포함한 하중조합에 따른 기둥의 탄성모멘트

ϕM_n : 「8.8.8(2)④항」의 규정에 따른 기둥의 설계휨강도

(3) 「8.8.8(3)②항」에 규정된 단부구역 중에서 소요 응답수정계수가 1.0 이하인 단부구역은 「8.8.8(2)⑤나.항」와 「8.8.8(2)⑥항」에 따라 전단강도를 검토해야 하며, 횡방향 철근은 「8.8.8(3)③항」의 해당 요구조건을 만족해야 한다.

(4) 소요 응답수정계수가 1.0 이상인 소성힌지구역의 소요 변위연성도 μ_Δ는 <식 (Ⅰ.2)>에 따라 결정한다. 교량의 주축방향 1차 모드 주기 T가 통제주기 T_s의 1.25배보다 작은 경우에는 변위연성도-응답수정계수 상관계수 λ_{DR}을 <식 (Ⅰ.3)>에 따라 결정하며, 그 외에는 1.0으로 한다. 통제주기 T_s는 「8.8.5(2)①항」의 <식 (8.8.4)>로 계산되는 탄성지진응답계수 C_s가 제한값 2.5A와 같아지는 주기로서, 지반조건 Ⅰ,Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ에 대하여 0.33초, 0.44초, 0.61초, 0.94초를 각각 적용한다.

$$\mu_\Delta = \lambda_{DR}\ R_{req} \quad (\text{Ⅰ}.2)$$

$$\lambda_{DR} = \left(1 - \frac{1}{R_{req}}\right)\frac{1.25\,T_s}{T} + \frac{1}{R_{req}} \quad (\text{Ⅰ}.3)$$

(5) 소요 변위연성도의 최대값은 <식 (Ⅰ.4)>에 따라 결정한다.

$$\mu_{\Delta,\max} = 2(L_s/h) \le 5.0 \quad (\text{Ⅰ}.4)$$

(6) 소요 곡률연성도 μ_ϕ는 <식 (Ⅰ.5)>에 따라 결정해야 한다.

$$\mu_\phi = \frac{\mu_\Delta - 0.5\left\{0.7 + 0.75\left(\frac{h}{L_s}\right)\right\}}{0.13\left(1.1 + \frac{h}{L_s}\right)} \quad (\text{Ⅰ}.5)$$

where,

h: Maximum section thickness of section in the direction considered

L_s: Column length which is the base of column shape ratio (distance between the bottom of column and horizontal load level in direction of cantilever, 1/2 of net column height in the direction of framework in a multiple columns)

Ⅰ.3 Transverse reinforcement for confinement

(1) The cores of columns shall be confined by transvers reinforcements as many as specified in this Appendix when required response modification factor is exceeded 1.0 in the plastic hinge regions.

(2) Spiral reinforcement ratio of circular column ρ_s is the volumetric ratio defined in <Eq. (Ⅰ.6)> and required spiral reinforcement ratio shall be determined by <Eq. (Ⅰ.7)> ~ <(Ⅰ.10)>.

$$\rho_s = \frac{4A_{sp}}{d_s s} \qquad (Ⅰ.6)$$

where,

ρ_s: Spiral reinforcement volumetric $d_s d_s$ ratio for concrete core determined by

A_{sp}: Cross-sectional area of spiral reinforcement (mm^2)

d_s: Concrete core section diameter up to the outer surface of spiral reinforcement (mm)

s: Vertical spacing of spiral reinforcement (mm)

$$\rho_s = 0.008\alpha\beta\frac{f_{ck}}{f_{yh}} + \gamma \qquad (Ⅰ.7)$$

$$\alpha = 3(\mu_\phi + 1)\frac{P_u}{f_{ck}A_g} + 0.8\mu_\phi - 3.5 \qquad (Ⅰ.8)$$

$$\beta = \frac{f_y}{350} - 0.12 \qquad (Ⅰ.9)$$

$$\gamma = 0.1(\rho_l - 0.01) \qquad (Ⅰ.10)$$

where,

f_{ck}: Design compressive strength of concrete (MPa)

f_{yh}: Design yield strength of lateral reinforcement (MPa)

f_y : Design yield strength of axial reinforcement (MPa)

A_g: Total section area of beam (mm^2)

P_u: Axial force of beam (N)

μ_ϕ: Required curvature ductility

ρ_l : Axial steel ratio of beam

여기서,

h : 고려하는 방향으로의 단면 최대 두께

L_s: 기둥 형상비의 기준이 되는 기둥 길이(캔틸레버로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 하단에서 수평하중이 작용하는 위치까지의 길이, 다주가구에서 골조로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 순높이의 1/2)

Ⅰ.3 심부구속 횡방향철근량

(1) 기둥에서 소요 응답수정계수가 1.0을 초과하는 소성힌지구역의 콘크리트 심부는 이 절에서 규정하는 소요 철근량 이상의 횡방향철근으로 구속해야 한다.

(2) 원형기둥의 나선철근비 ρ_s는 <식 (Ⅰ.6)>로 정의되는 체적비로서, 소요 나선철근비는 <식 (Ⅰ.7)>에서 <식 (Ⅰ.10)>까지를 적용하여 결정한다.

$$\rho_s = \frac{4\,A_{sp}}{d_s\,s} \qquad (Ⅰ.6)$$

여기서,

ρ_s : d_s를 기준으로 결정된 콘크리트 심부 부피에 대한 나선철근 체적비

A_{sp}: 나선철근의 단면적(mm^2)

d_s : 나선철근 외측표면을 기준으로 한 콘크리트 심부의 단면 치수 (mm)

s : 나선철근의 수직간격(mm)

$$\rho_s = 0.008\,\alpha\,\beta\,\frac{f_{ck}}{f_{yh}} + \gamma \qquad (Ⅰ.7)$$

$$\alpha = 3(\mu_\phi + 1)\frac{P_u}{f_{ck}\,A_g} + 0.8\,\mu_\phi - 3.5 \qquad (Ⅰ.8)$$

$$\beta = \frac{f_y}{350} - 0.12 \qquad (Ⅰ.9)$$

$$\gamma = 0.1(\rho_l - 0.01) \qquad (Ⅰ.10)$$

여기서,

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준 압축강도(MPa)

f_{yh} : 횡방향철근의 설계기준 항복강도(MPa)

f_y : 축방향철근의 설계기준 항복강도(MPa)

A_g : 기둥의 총단면적(mm^2)

P_u : 기둥의 계수축력(N)

μ_ϕ : 소요 곡률연성도

ρ_l : 기둥의 축방향철근비

(3) When using circular hoop for confinement reinforcement for circular column, circular hoop shall be welded or mechanically connected or reinforced by tie bar so as to prevent slip in the anchorage, and if the confinement effect can be equivalently achieved as spiral steel, it could be considered a complete circular hoop and used.

(4) Total section area A_{sh} of transverse confinement reinforcement in rectangular column shall be determined by <Eq. (Ⅰ.11)>

$$A_{sh} = 0.9ah_c\left(0.008\alpha\beta\frac{f_{ck}}{fyh}+\gamma\right) \qquad (Ⅰ.11)$$

where,

α: Vertical spacing of hoop (mm)

A_{sh}: Total cross-section area (mm^2) of transverse reinforcement including hoop with vertical spacing a and section diameter h_c. Two axes of rectangular column shall be calculated separately.

h_c: Core section diameter (mm) up to the outer surface of hoop steel in the direction considered.

Ⅰ.4 Shear design

(1) When reviewing the shear strength of concrete pier considering displacement ductility in this provision, design shear strength shall be determined by applying a strength reduction coefficient of 1.0 to nominal shear strength.

(2) Design shear force shall be a smaller value of either elastic shear force determined with R 1.0 according to 「8.8.3 (4) ①」 or maximum plastic hinge force as defined in 「8.8.8 (2) ⑤」.

(3) Nominal shear strength at the end shall be in accordance with <Eq. (Ⅰ.12)>, and at other regions, it shall be in accordance with 「8.8.8 (2) ⑥」.

$$V_n = V_c + V_s + V_p \qquad (Ⅰ.12)$$

where,

V_c: Nominal shear strength of concrete

V_s: Nominal shear strength of shear reinforcement

V_p: Nominal shear strength of axial force

(3) 원형기둥에서 심부구속철근으로 원형띠철근을 사용하는 경우, 원형 후프띠철근을 용접 또는 기계적 연결장치 등으로 연결하거나, 보강띠철근을 추가하여 정착단에서 슬립이 발생하지 않게 함으로써 나선철근과 동등한 심부구속효과를 발휘할 수 있다면, 완전원형후프로 인정하여 나선철근식을 사용할 수 있다.

(4) 사각형기둥에서 심부구속 횡방향철근의 총 소요 단면적 A_{sh}는 <식 (Ⅰ.11)>로 결정한다.

$$A_{sh} = 0.9\, a\, h_c \left(0.008\, \alpha\, \beta\, \frac{f_{ck}}{f_{yh}} + \gamma \right) \qquad (Ⅰ.11)$$

여기서,

a : 띠철근의 수직간격(mm)

A_{sh} : 수직간격이 a이고, 심부의 단면치수가 h_c인 단면을 가로지르는 보강띠철근을 포함하는 횡방향철근의 총 단면적(mm^2). 직사각형 기둥의 두 주축 모두에 대하여 별도로 계산해야 한다.

h_c : 띠철근 기둥의 고려하는 방향으로의, 띠철근 외측표면을 기준으로 한 심부의 단면 치수(mm)

Ⅰ.4 전단 설계

(1) 이절의 규정에 따라 변위연성도를 고려하여 콘크리트 교각의 전단강도를 검토할 때에는, 공칭전단강도에 1.0의 강도감소계수를 적용하여 설계전단강도를 결정해야 한다.

(2) 설계전단력은 「8.8.3(4)①항」에 따라 R계수를 1.0으로 하여 결정된 탄성전단력과 「8.8.8(2)⑤항」에 규정된 교각의 최대 소성힌지력 중 작은 값으로 한다.

(3) 단부구역의 공칭전단강도는 <식 (Ⅰ.12)>에 따라야 하며, 단부구역을 제외한 구역의 공칭전단강도는 「8.8.8(2)⑥항」의 규정에 따른다.

$$V_n = V_c + V_s + V_p \qquad (Ⅰ.12)$$

여기서,

V_c : 콘크리트에 의한 공칭전단강도

V_s : 전단철근에 의한 공칭전단강도

V_p : 축력 작용에 의한 공칭전단강도

(4) Nominal shear strength of concrete shall be calculated using <Eq. (Ⅰ .13)> considering the required displacement ductility of the main axis of the column. When required displacement ductility is less than or equal to 2.0, a value of 0.3 shall be applied to k. When it is greater than 2.0, the value of k is specified in <Eq. (Ⅰ .14)>. Effective section transverse A_e shall be 0.8 times the total gross area A_g for a circular and rectangular column. When the distinction is made between the web and flange such as I-type cross-section or hollow rectangular cross-section, the product of web width and effective depth ($b_w d$) shall be used.

$$V_c = k\sqrt{f_{ck}}A_e \qquad (\text{Ⅰ .13})$$

$$k = 0.3 - 0.1(\mu_\triangle - 2) \qquad (\text{Ⅰ .14})$$

(5) When determining the nominal shear strength of transverse reinforcement, <Eq. (Ⅰ .15)> shall be applied for rectangular hoops, while <Eq. (Ⅰ .16)> shall be applied for spirals or circular hoops. When a circular hoop is added to transverse reinforcement, nominal shear strength according to <Eq. (Ⅰ .17)> may be used.

$$V_s = \frac{A_v f_{yh} D_c}{s} \qquad (\text{Ⅰ .15})$$

$$V_s = \frac{\pi}{2}\frac{A_{sp} f_{yh} D_c}{s} \qquad (\text{Ⅰ .16})$$

$$V_s = \frac{\sum A_{ct} f_{yh} l_{ct}}{s} \qquad (\text{Ⅰ .17})$$

where,

A_v: Area of transverse reinforcement (mm^2)

A_{sp}: Area of spirals or circular hoops (mm^2)

A_{ct}: Area of transverse reinforcement placed on circular column (mm^2)

D_c: Diameter in the direction considered. This is diameter between circular hoop or spiral bar in circular section and rebar length in the direction of transverse reinforcement in the rectangular section, and core concrete diameter based on reinforcement center (mm)

f_{yh}: Yield strength of hoop or spiral bar (MPa)

l_{ct}: Length excluding hook and extension on hoop placed on circular section (mm)

s: Vertical spacing of hoops or spirals (mm)

(4) 콘크리트에 의한 공칭전단강도는 전단강도를 검토하는 기둥의 주축에 대한 소요 변위연성도 μ_Δ를 고려하여 <식 (I .13)>에 따라 계산해야 한다. 소요 변위연성도가 2.0 이하인 경우에는 계수 k로 0.3을 적용하며, 소요 변위연성도가 2.0을 초과하는 경우에는 <식 (I .14)>에 따른 값을 적용해야 한다. 전단 유효단면적 A_e는 원형단면과 사각형단면에 대하여 기둥 총단면적 A_g의 0.8배를 적용하며, I형 단면이나 사각형 중공단면과 같이 복부가 구분되는 단면은 복부폭과 유효깊이의 곱 ($b_w d$)을 적용한다.

$$V_c = k \sqrt{f_{ck}}\, A_e \qquad (\text{I}.13)$$

$$k = 0.3 - 0.1\,(\mu_\Delta - 2) \qquad (\text{I}.14)$$

(5) 전단철근에 의한 공칭전단강도를 결정할 때 사각형 띠철근단면에 대해서는 <식 (I .15)>, 원형단면의 나선철근 또는 원형 후프띠철근에 대해서는 <식 (I .16)>을 적용한다. 원형 후프띠철근에 보강띠철근이 추가된 경우에는 <식 (I .17)>로 계산되는 보강띠철근에 의한 공칭전단강도를 추가할 수 있다.

$$V_s = \frac{A_v f_{yh} D_c}{s} \qquad (\text{I}.15)$$

$$V_s = \frac{\pi}{2} \frac{A_{sp} f_{yh} D_c}{s} \qquad (\text{I}.16)$$

$$V_s = \frac{\Sigma A_{ct} f_{yh} l_{ct}}{s} \qquad (\text{I}.17)$$

여기서,

A_v : 전단철근으로 작용하는 띠철근의 단면적(mm^2)

A_{sp} : 나선철근 또는 원형 후프띠철근의 단면적(mm^2)

A_{ct} : 원형단면에 배근되는 보강띠철근의 단면적(mm^2)

D_c : 고려하는 방향의 심부콘크리트 단면 치수로서, 원형단면에서는 원형 후프띠철근이나 나선철근 중심 간의 심부콘크리트 지름, 사각형 단면에서는 전단철근으로 작용하는 방향으로의 철근 길이로서 철근 단면의 중심을 기준으로 한 심부콘크리트 치수(mm)

f_{yh} : 띠철근 또는 나선철근의 항복강도(MPa)

l_{ct} : 원형단면에 배근되는 보강띠철근에서 갈고리 부분과 연장길이를 제외한 길이(mm)

s : 띠철근 또는 나선철근의 수직간격(mm)

(6) Nominal shear strength according to axial force shall be in accordance with <Eq. (Ⅰ.18)>.

$$V_p = 0.15\frac{P_u h}{L_s} \qquad (Ⅰ.18)$$

where,

P_u: Minimum factored axial force of pier (N)

h: Maximum thickness of section in direction considered

L_s: Length of column which is the base of column shape ratio (distance between the bottom of column and horizontal load level in direction of cantilever, 1/2 of net column height in the direction of framework in a multiple column bents)

(6) 축력 작용에 의한 공칭전단강도는 <식 (Ⅰ.18)>을 적용한다.

$$V_p = 0.15 \frac{P_u\ h}{L_s} \qquad (Ⅰ.18)$$

여기서,

P_u : 교각의 최소 계수축력(N)

h : 고려하는 방향으로의 단면 최대 두께

L_s : 기둥 형상비의 기준이 되는 기둥 길이(캔틸레버로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 하단에서 수평하중이 작용하는 위치까지의 길이, 다주가구에서 골조로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 순높이의 1/2)

Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge

9.1 General

9.1.1 Scope of application

(1) The intent of this chapter is to define a general standard for steel bridge and steel composite bridge for traditional railway and high speed railway.

9.1.2 Definitions

(1) Strong axis: an axis that can withstand bending on section of the member.
(2) Fixed load composition: a method to receive the weight of cast-in-place slab at the state of composite action.
(3) Bridge girder interval: the distance between main girders.
(4) Groove welding: the welding performed by filling fused metal into the gap between base materials.
(5) Knee brace: a horizontal brace to reinforce the corner made by horizontal and vertical material.
(6) Diaphragm: a plate placed perpendicular to the axis of the member to maintain the shape of closed section, such as box girder section, as well as to prevent buckling of the box girder member receiving bending force and maintain the section shape by resisting torsional force.
(7) Butt joint: the joint of two or more edges of base material at almost the same level.
(8) Base material: the material that serves as the main body of the structure to be processed by cutting or welding.
(9) Throat thickness: an effective section thickness of fillet welding.
(10) Effective width of slab: the width of the slab that can be calculated by composite section.
(11) Bolt spacing: the distance between bolt match lines or between the back surface of section steel and the first bolt center line.
(12) Clear distance of bolt: the distance between the edge of neighboring bolt holes.
(13) Net edge distance of bolt: the distance from bolt end to bolt hole edge.
(14) Edge distance of bolt: the distance from bolt center to the edge of member.
(15) Bolt pitch: the distance between the center of bolt hole measured in the action line.
(16) Collapse-causing member: a tensile member, tensile compressive alternate member or tensile element of steel bridge which may cause the collapse of bridge when it fails.
(17) Bead: a welded metal produced by one-time pass.
(18) Stress category: the category of connection that determines the allowable fatigue stress range in fatigue analysis.

제9장 강교 및 강합성교

9.1 일반사항

9.1.1 적용범위

(1) 이 장은 일반철도와 고속철도의 강교 및 강합성교 교량설계에 대한 일반적인 기준을 규정하는 것이다.

9.1.2 용어의 정의

(1) 강축 : 부재의 단면상에서 휨에 대하여 강한 축
(2) 고정하중 합성 : 현장타설 바닥판의 중량을 합성 작용의 상태에서 받도록 하는 방법
(3) 교량거더 간격 : 주거더 중심 사이의 거리
(4) 그루브용접 : 용접되는 모재사이에 용착금속을 채워 넣는 용접
(5) 니브레이스 : 수평재와 수직재가 만드는 우각부를 보강하기 위해 설치하는 사재. 귀잡이라고도 함
(6) 다이아프램 : 박스거더 단면 등의 폐단면 부재 형상을 유지하기 위하여 내부에 부재축에 직각으로 배치하는 판. 휨을 받는 박스거더 부재의 좌굴현상을 방지하고, 비틀림에 대하여 단면형상을 유지하기 위하여 설치됨
(7) 맞대기 이음 : 둘 이상의 모재의 단과 단을 거의 동일한 평면 내에서 맞붙여서 접합하는 이음
(8) 모재 : 절단, 용접 등에 의해 가공되는 구조의 본체가 되는 재료
(9) 목두께 : 필릿용접의 유효단면두께
(10) 바닥판의 유효폭 : 합성단면으로서 계산할 수 있는 바닥판의 폭
(11) 볼트의 선간거리 : 볼트 인접선간의 거리 또는 L형 등 형강의 배면으로부터 첫 번째 볼트 중심선까지의 거리
(12) 볼트의 순간격 : 인접한 볼트구멍 가장자리 간의 거리
(13) 볼트의 순연단거리 : 부재 끝에서 볼트구멍 가장자리까지의 거리
(14) 볼트의 연단거리 : 볼트의 중심으로부터 부재의 연단까지의 거리
(15) 볼트의 피치 : 힘의 작용선 방향으로 잰 볼트구멍 중심 간의 거리
(16) 붕괴유발부재 : 해당부재의 파괴가 교량의 붕괴를 초래하거나 교량의 설계기능을 발휘할 수 없도록 하는 인장부재, 인장압축 교번부재 또는 강교의 인장요소
(17) 비드 : 1회의 패스에 의해 만들어진 용접금속
(18) 상세범주 : 피로 분석 시 허용피로응력 범위 결정의 기준이 되는 연결부의 등급

(19) Slenderness ratio: the value calculated by dividing buckling length by secondary section radius of the member.
(20) Scallop: a groove provided on either member to avoid the crossing of the welding line.
(21) Stud: a shear connector comprising a head and stem between steel main girder and concrete slab.
(22) Stud welding: the welding by generating arc between bolt, round rod or edge and base material to fuse.
(23) Weak axis: an axis vulnerable to bending force on section of the member.
(24) Continuous structure: a girder or truss of main member where the moment is freely transferred between two adjacent spans.
(25) Welding zone: a zone including deposited metal and heat-affected zone.
(26) Shear connector: a deck and steel girder attached for composite action.
(27) Shear lag: when the member with a wide flange is receiving bending force, vertical stress is enlarged at the joint of web plate, instead of uniformly distributed.
(28) Cantilever structure: a girder or truss of the main member where the moment is freely transferred within a single span and is extended to adjacent span through at least one support, so that the moment is not transferred freely to an adjacent span.
(29) Truss: a framework comprising multiple straight members, and structurally the end of the member is freely rotated at member-member point (panel point).
(30) Plate girder: the I-section girder comprising top and bottom flange; web plate and rolled I-steel and welded I-plate are commonly used and π section and box girder with thin plate may also be included comprehensively.
(31) Fillet welding: a triangular welding for the corner of two members in half lap, T-joint, + joint and corner joint.
(32) Composite girder: a girder with composite structure comprising RC deck and steel girder integrated by shear connector.
(33) Live load composition: a method to receive the self-load of steel girder and deck by steel girder while receiving live load and part of fixed load at composite action state.

9.1.3 Load

Load and load combination shall be in accordance with Bridge General 「8.2」 and 「8.3」.

(19) 세장비 : 부재의 좌굴길이를 부재의 단면이차반경으로 나눈 값
(20) 스캘럽 : 용접선의 교차를 피하기 위하여 한쪽의 부재에 설치한 홈
(21) 스터드 : 강재 주거더와 콘크리트 슬래브와의 전단연결재로서 머리부와 줄기로 이루어짐
(22) 스터드용접 : 볼트, 환봉 등의 선단과 모재사이에 아크를 발생시켜 용융풀에 눌러 붙이는 용접
(23) 약축 : 부재의 단면상에서 휨에 대하여 약한 축.
(24) 연속구조 : 인접한 최소 두 경간에서 모멘트가 자유롭게 전달되는 주부재의 거더 또는 트러스구조.
(25) 용접부 : 용착금속 및 열영향부를 포함한 부분의 총칭
(26) 전단연결재 : 바닥판과 강거더가 합성 작용하도록 강거더에 붙인 것
(27) 전단지연 : 큰 폭의 플랜지를 갖는 부재가 휨을 받을 때, 플랜지의 수직응력이 일정하게 분포되지 않고 복부판의 접합부에서 크게 되는 현상
(28) 캔틸레버구조 : 한 경간 내에서만 모멘트가 자유롭게 전달되는 주부재의 거더 또는 트러스로서 최소 한 지점을 통과하여 인접경간으로 내밀고 있어서 모멘트가 인접경간으로 자유롭게 전달되지 못하는 구조
(29) 트러스 : 여러 개의 직선부재로 구성된 골조구조로서, 구조역학상 부재끼리 결합하는 점(격점)은 부재 양끝이 자유롭게 회전하도록 결합되어 있는 구조
(30) 플레이트거더 : 상.하부플랜지와 복부판으로 구성된 I-단면 형상의 거더로서 압연 I형강과 용접 I형 플레이트거더가 주로 사용되며, 박판으로 이루어진 π형 단면 및 박스형 단면의 거더도 넓은 의미로 이에 포함됨
(31) 필릿용접 : 겹친 이음, T 이음, +자이음, 각이음 등에 있어서 교차하는 두 모재의 우각부를 용접하는 삼각형상의 단면을 갖는 용접
(32) 합성거더 : 철근 콘크리트 바닥판과 강거더가 일체로 되어 작용하도록 이들을 적절한 전단연결재에 의하여 합성한 구조를 가진 거더
(33) 활하중 합성 : 강거더의 자중 및 바닥판의 중량은 강거더가 받고 활하중 및 일부의 고정하중을 합성작용의 상태에서 받도록 하는 방법

9.1.3 하중

하중 및 하중조합은 교량일반 「8.2항」및 「8.3항」을 따른다.

9.2 Material

9.2.1 General

(1) Materials used for a railway bridge include structural steel, connection steel and support material, which shall in principle be in accordance with Korean Industrial Standards (KS).

(2) The use of new material shall require reasonable support. KS is shown in <Table 9.2.1>.

9.2.2 Structural steel

(1) Type of steel depending on plate thickness shall be in accordance with <Table 9.2.2>.

(2) Steel

Steel used for a steel bridge or steel composite bridge according to this design standard shall be in accordance with <Table 9.2.4>.

(3) Steel pipe

Mechanical properties of structural carbon steel pipe, steel pipe pile, steel sheet pile and high tension steel pipe for steel tower which are commonly used as steel pipe structure are listed in <Table 9.2.5>.

(4) Forging – Forged steel, cast steel and cast iron are used for bearing, drainage handrail, expansion system and pin, and their physical properties are shown in <Table 9.2.6>.

9.2 재료

9.2.1 일반내용

(1) 강철도교에 일반적으로 사용되는 재료는 구조용 강재, 연결용 강재, 받침용 재료가 있으며 이들 재료는 특별한 것을 제외하고는 한국산업규격(KS)에 규정된 것을 사용한다.

(2) 기술의 진보에 따라 새로운 재료를 적용할 때는 타당한 근거를 가지고 사용한다. KS 규격은 <표 9.2.1>과 같다.

9.2.2 구조용 강재

(1) 판두께에 따른 강재종류의 선정은 <표 9.2.2>를 따른다.

(2) 강재

이 설계기준을 이용하여 설계하는 강교 및 강합성교에 사용하는 강재는 <표 9.2.4>의 규격에 적합한 것을 표준으로 한다.

(3) 강관

현재 강관구조로서 많이 사용되고 있는 일반 구조용 탄소강관, 강관말뚝, 강관 시트파일과 철탑용 고장력강 강관의 기계적 성질은 <표 9.2.5>와 같다.

(4) 주단조품 - 단강품, 주강품, 주철품 등의 주단조품은 받침, 배수장치 난간, 특수한 신축장치, 핀(pin) 등에 사용되며 주단조품의 기계적 성질은 <표 9.2.6>과 같다.

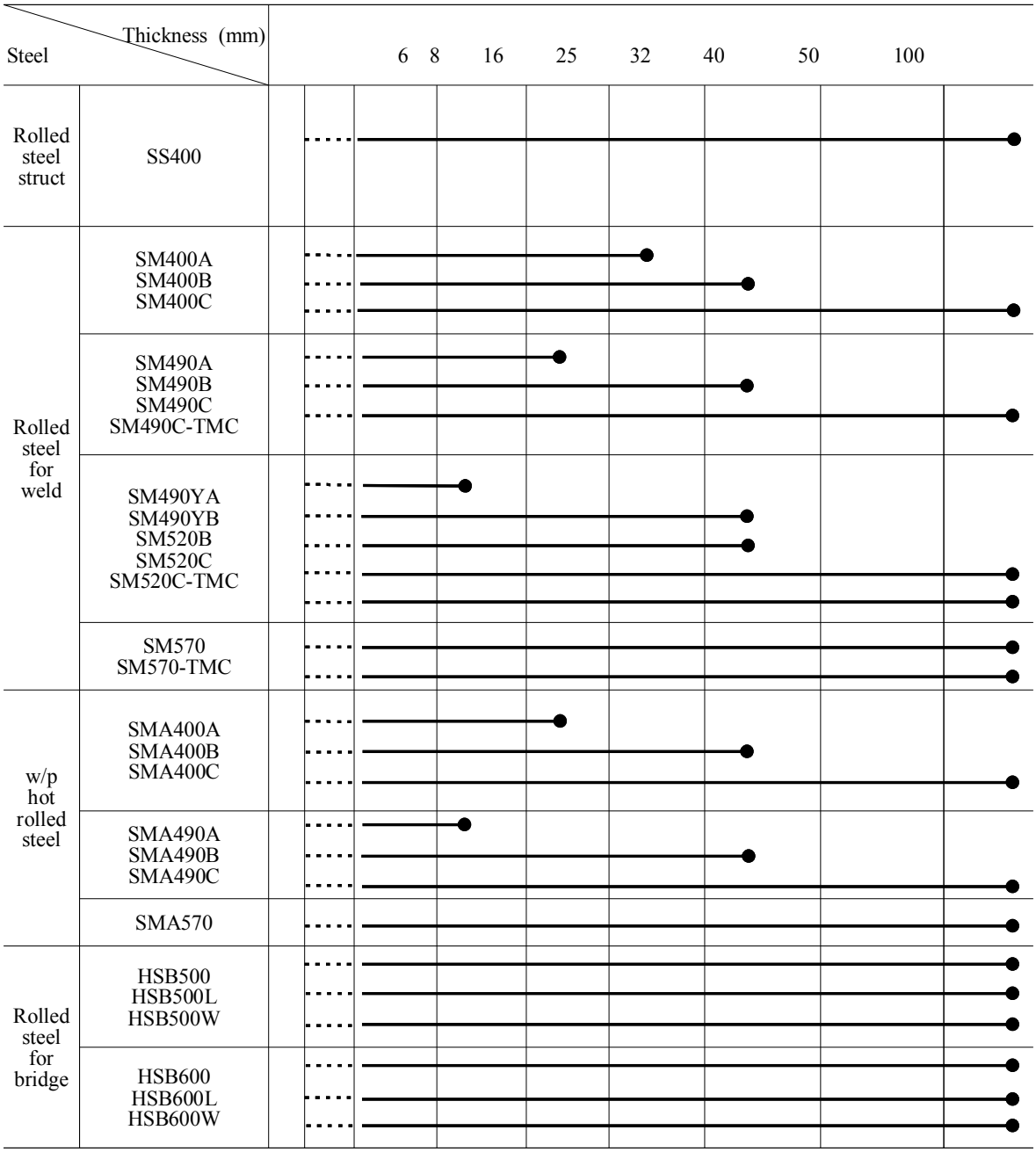
Table 9.2.1 KS and description

KS No	Description	KS No	Description
KS B 1002	Hexagon bolt	KS D 4302	Ductile cast iron
KS B 1010	Frictional adhesive high tension hexagon bolt, nut, flat washer set	KS D 7002	PS steel wire & PS strand
		KS D 7004	Mild steel arc welding electrode
KS B 1012	Hexagon nut	KS D 7006	High tension steel arc welding rod
KS B 2819	Structural torque-shear high tension bolt, hexagon nut, flat washer set	KS D 7101	Covered electrodes for atmospheric corrosion resisting steel
KS D 3503	Structural rolled steel	KS D 7102	Submerged arc welding fluxes for carbon steel and low alloy steel
KS D 3504	Steel bar for RC		
KS D 3505	PS steel bar	KS D 7103	Submerged arc welding wires for carbon steel and low alloy steel
KS D 3509	Piano wire		
KS D 3515	Rolled steel for welding structure	KS D 7106	Solid wires for CO2 gas shielded arc welding for atmospheric corrosion resisting steel
KS D 3529	Hot rolled steel for welding		
KS D 3559	Hard steel wire		
KS D 3566	Carbon steel pipe for structure	KS D 7109	Flux cored wires for CO2 gas shielded arc welding of atmospheric corrosion resisting steel
KS D 3698	Cold rolled stainless steel		
KS D 3710	Carbon steel forged steel		
KS D 3752	Carbon steel for mechanical use	KS F 4420	Elastomeric bearing for bridge
KS D 4101	Carbon steel cast steel	KS F 4424	Pot bearing for bridge
KS D 4102	High tension carbon steel and low alloy steel cast steel	KS F 4602	Steel pipe pile
		KS F 4603	H beam pile
KS D 4106	Cast steel for welding structure	KS F 4605	Steel pipe sheet pile
KS D 4301	Gray cast iron	KS M 6617	Cushion rubber

표 9.2.1 한국산업규격(KS)번호 및 규격명

규격번호	규격명	규격번호	규격명
KS B 1002	6각볼트	KS D 4106	용접구조용 주강품
KS B 1010	마찰접합용 고장력 6각볼트 6각너트평와셔의 세트	KS D 4301	회주철품
		KS D 4302	구상흑연 주철품
KS B 1012	6각너트	KS D 7002	PS강선 및 PS강연선
KS B 2819	구조물용 토크-전단형 고장력볼트, 6각너트, 평와셔의 세트	KS D 7004	연강용 피복 아크 용접봉
		KS D 7006	고장력강용 피복 아크 용접봉
KS D 3503	일반구조용 압연강재	KS D 7101	내후성강용 피복 아크 용접봉
KS D 3504	철근콘크리트용 봉강	KS D 7102	탄소강 및 저합금강용 서브머지드 아크 용접 플럭스
KS D 3505	PS강봉		
KS D 3509	피아노 선재	KS D 7103	탄소강 및 저합금강용 서브머지드 아크 용접 와이어
KS D 3515	용접구조용 압연강재		
KS D 3529	용접구조용 내후성 열간 압연강재	KS D 7106	내후성강용 탄산가스 아크 용접 솔리드 와이어
KS D 3559	경강선재		
KS D 3566	일반구조용 탄소강관	KS D 7109	내후성강용 탄산가스 아크 용접 플럭스 충전 와이어
KS D 3698	냉간압연 스테인리스 강판 및 강대		
KS D 3710	탄소강 단강품	KS F 4420	교량지지용 탄성받침
KS D 3752	기계구조용 탄소강재	KS F 4424	교량지지용 포트받침
KS D 3780	철탑용 고장력강 강관	KS F 4602	강관말뚝
KS D 3858	냉간성형 강널말뚝	KS F 4603	H 형강 말뚝
KS D 3868	교량구조용 압연강재	KS F 4605	강관 시트파일
KS D 4101	탄소강 주강품	KS M 6617	방진고무용 고무재료
KS D 4102	구조용 고장력 탄소강 및 저합금강 주강품		

Table 9.2.2 Type of steel depending on plate thickness



Note) 1) The application of SS400to bridges shall be limited to non-welding members. However, when applying SS400 with a plate thickness of 22 mm or less to the erection member or when it is difficult to use section steel or thin plate SM material, welding shall be checked.

2) For the steel with plate thickness greater than 40mm, allowable stress is reduced as stipulated in 「9.4」<Table 9.4.1>, and allowable stress of welded part and welding preheat temperature shall be determined carefully.

3) SM490YB with plate thickness 25 mm to 32 mm shall be fabricated with killed-steel ingot.

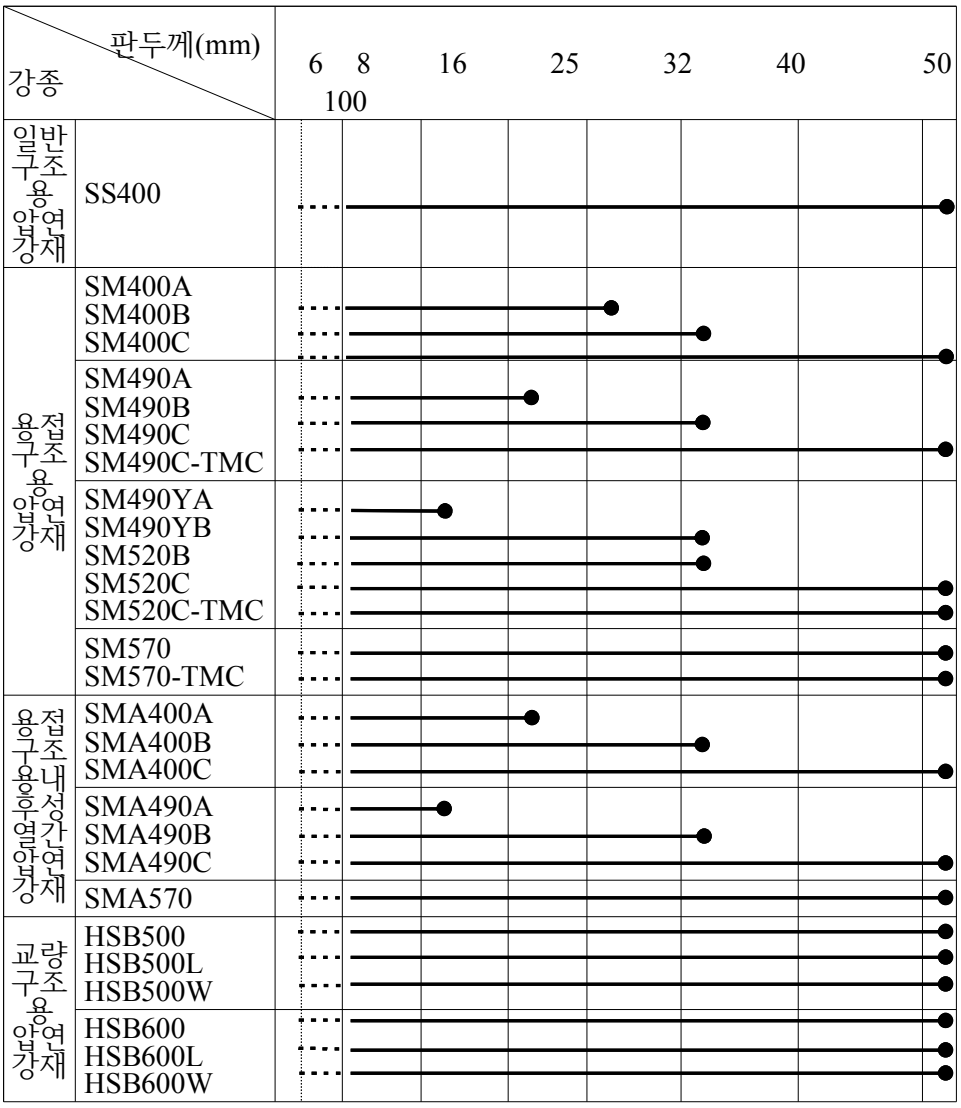


표 9.2.2 판두께에 따른 강재종류 선정

주) 1) SS400의 교량적용은 비용접부재로 한정한다. 단, 판두께 22mm 이하의 SS400을 가설부재에 사용하는 경우 또는 형강이나 박판으로 된 SM재의 사용이 곤란한 경우에는 사전에 용접성 문제가 없는지 확인한 후 사용해야 한다.

2) 판두께가 40mm를 초과하는 강재에 대하여는 「9.4항」<표 9.4.1> 및 용접부의 허용응력에 규정한 바와 같이 허용응력이 감소하며, 용접예열온도의 선정에 주의를 기해야 한다.

3) 판두께 25mm로부터 32mm사이의 SM490YB는 진정강괴로 제조되어야 한다.

Table 9.2.3 Physical properties of structural steel

Steel	Tensile test								Impact test		
	Yield point stress (MPa)				Tensile strength (MPa)	Elongation			Symbol	Test temp (℃)	Charpy impact value (J)
	Steel thickness (mm)					Steel thickness (mm)	Sample	Elongation (%)			
	16≥	16< 40≥	40< 75≥	75< 100≥							
SS400	245 ≤	235 ≤	215 ≤	215 ≤	400 ~ 510	16≤ 16< 50≤ 40<	1A 1A 4	17≤ 21≤ 23≤	-	-	-
SM400	245 ≤	235 ≤	215 ≤	215 ≤	400 ~ 510	16≤ 16< 50≤ 40<	1A 1A 4	18≤ 22≤ 24≤	A B C	- 0 0	- 27≤ 47≤
SMA400	245 ≤	235 ≤	215 ≤	215 ≤	400 ~ 540	16≤ 16< 50≤ 40<	1A 1A 4	17≤ 21≤ 23≤	A B C	- 0 0	- 27≤ 47≤
SM490	325 ≤	315 ≤	295 ≤	295 ≤	490 ~ 610	16≤ 16< 50≤ 40<	1A 1A 4	17≤ 21≤ 23≤	A B C	- 0 0	- 27≤ 47≤
SM490C-TMC	325 ≤	315 ≤	315 ≤	315 ≤	490 ~ 610	16≤ 16< 50≤ 40<	1A 1A 4	17≤ 21≤ 23≤	C	0	47≤
SM490Y	365 ≤	355 ≤	335 ≤	325 ≤	490 ~ 610	16≤ 16< 50≤ 40<	1A 1A 4	15≤ 19≤ 21≤	A B	- 0	- 27≤
SMA490	365 ≤	355 ≤	335 ≤	325 ≤	490 ~ 610	16≤ 16< 50≤ 40<	1A 1A 4	15≤ 19≤ 21≤	A B C	- 0 0	- 27≤ 47≤
SM520	365 ≤	355 ≤	335 ≤	325 ≤	520 ~ 640	16≤ 16< 50≤ 40<	1A 1A 4	15≤ 19≤ 21≤	B C	0 0	27≤ 47≤
SM520C-TMC	365 ≤	355 ≤	355 ≤	355 ≤	520 ~ 640	16≤ 16< 50≤ 40<	1A 1A 4	15≤ 19≤ 21≤	C	0	47≤
SM570	460 ≤	450 ≤	430 ≤	420 ≤	570 ~ 720	16≤ 16< 20<	5 5 4	19≤ 26≤ 20≤	-	- 5	47≤
SM570-TMC	460 ≤	450 ≤	450 ≤	450 ≤	570 ~ 720	16≤ 16< 20<	5 5 4	19≤ 26≤ 20≤	-	-5	47≤
SMA570	460 ≤	450 ≤	430 ≤	420 ≤	570 ~ 720	16≤ 16< 20<	5 5 4	19≤ 26≤ 20≤	-	- 5	47≤
HSB500	380 ≤	380 ≤	380 ≤	380 ≤	500≤	16≤ 16< 40<	1A 1A 4	15≤ 19≤ 21≤	- L	-5 -20	47≤ 47≤
HSB600	450 ≤	450 ≤	450 ≤	450 ≤	600≤	16≤ 16< 20<	5 5 4	19≤ 26≤ 20≤	- L	-5 -20	47≤ 47≤

표 9.2.3 구조용 강재의 기계적 성질

강종	인장시험								충격시험		
	항복점 응력(MPa)				인장강도 (MPa)	연신율			기호	시험온도 (℃)	샤르피 흡수에너지 (J)
	강재의 두께(mm)					강재의 두께 (mm)	시험편	연신율 (%)			
	16이하	16초과 40이하	40초과 75이하	75초과 100이하							
SS400	245 이상	235 이상	215 이상	215 이상	400 ~ 510	16이하 16초과 50이하 40초과	1A호 1A호 4호	17이상 21이상 23이상	-	-	-
SM400	245 이상	235 이상	215 이상	215 이상	400 ~ 510	16이하 16초과 50이하 40초과	1A호 1A호 4호	18이상 22이상 24이상	A B C	- 0 0	- 27이상 47이상
SMA400	245 이상	235 이상	215 이상	215 이상	400 ~ 540	16이하 16초과 50이하 40초과	1A호 1A호 4호	17이상 21이상 23이상	A B C	- 0 0	- 27이상 47이상
SM490	325 이상	315 이상	295 이상	295 이상	490 ~ 610	16이하 16초과 50이하 40초과	1A호 1A호 4호	17이상 21이상 23이상	A B C	- 0 0	- 27이상 47이상
SM490C-TMC	325 이상	315 이상	315 이상	315 이상	490 ~ 610	16이하 16초과 50이하 40초과	1A호 1A호 4호	17이상 21이상 23이상	C	0	47이상
SM490Y	365 이상	355 이상	335 이상	325 이상	490 ~ 610	16이하 16초과 50이하 40초과	1A호 1A호 4호	15이상 19이상 21이상	A B	- 0	- 27이상
SMA490	365 이상	355 이상	335 이상	325 이상	490 ~ 610	16이하 16초과 50이하 40초과	1A호 1A호 4호	15이상 19이상 21이상	A B C	- 0 0	- 27이상 47이상
SM520	365 이상	355 이상	335 이상	325 이상	520 ~ 640	16이하 16초과 50이하 40초과	1A호 1A호 4호	15이상 19이상 21이상	B C	0 0	27이상 47이상
SM520C-TMC	365 이상	355 이상	355 이상	355 이상	520 ~ 640	16이하 16초과 50이하 40초과	1A호 1A호 4호	15이상 19이상 21이상	C	0	47이상
SM570	460 이상	450 이상	430 이상	420 이상	570 ~ 720	16이하 16초과 20초과	5호 5호 4호	19이상 26이상 20이상	-	- 5	47이상
SM570-TMC	460 이상	450 이상	450 이상	450 이상	570 ~ 720	16이하 16초과 20초과	5호 5호 4호	19이상 26이상 20이상	-	-5	47이상
SMA570	460 이상	450 이상	430 이상	420 이상	570 ~ 720	16이하 16초과 20초과	5호 5호 4호	19이상 26이상 20이상	-	- 5	47이상

강종	인장시험								충격시험		
	항복점 응력(MPa)				인장강도 (MPa)	연신율			기호	시험온도 (℃)	샤르피 흡수에너지 (J)
	강재의 두께(mm)					강재의 두께 (mm)	시험편	연신율 (%)			
	16이하	16초과 40이하	40초과 75이하	75초과 100이하							
HSB500	380 이상	380 이상	380 이상	380 이상	500이상	16이하 16초과 40초과	1A호 1A호 4호	15이상 19이상 21이상	- L	-5 -20	47이상 47이상
HSB600	450 이상	450 이상	450 이상	450 이상	600이상	16이하 16초과 20초과	5호 5호 4호	19이상 26이상 20이상	- L	-5 -20	47이상 47이상

Table 9.2.4 Standard steel

Steel	Standard steel		Symbol	
1. Structural steel	KS D 3503	Rolled steel for structure	SS400	
	KS D 3515	Rolled steel for welding	SM400, SM490, SM 490Y, SM520, SM570	
	KS D 3529	Weatherproof hot rolled steel for welding	SMA400, SMA490, SMA570	
	KS D 3868	Rolled steel for bridge	HSB500, HSB600	
2. Steel pipe	KS D 3566	Carbon steel pipe for structure	STK400, STK490	
	KS D 3780	High tension steel pipe for steel tower	STKT590	
	KS F 4602	Steel pipe pile	SKK400, SKK490	
	KS F 4605	Steel pipe sheet pile	SKY400, SKY490	
3. Connection steel	KS B 1010	High tension hexagon bolt, nut, flat washer set for friction joint	F8T, F10T, F13T	
	KS B 2819	Torque-shear high tension bolt, hexagon nut, flat washer set for structure	F10T, F13T	
4. Welding material	KS D 7004	Shielded metal arc welding rod for mild steel		
	KS D 7006	High tension shielded arc welding rod		
	KS D 7101	Weatherproof shielded arc welding rod		
	KS D 7102	Carbon steel and low alloy steel submerged arc welding flux		
	KS D 7103	Carbon steel and low alloy steel submerged arc welding wire		
	KS D 7106	Weatherproof carbon dioxide gas arc welding solid wire		
	KS D 7109	Weatherproof carbon dioxide gas arc welding flux charge wire		
5. Casting, forging	KS D 3710	Carbon steel forging	SF490A, SF540A	
	KS D 4101	Carbon steel casting	SC450, SC480	
	KS D 4106	Welding structure casting	SCW410, SCW480	
	KS D 4102	High tension carbon steel & low alloy steel casting for structure	ScMn1A, ScMn2A	
	KS D 3752	Carbon steel for mechanical structures	SM35C, SM45C	
	KS D 4301	Gray cast iron	GC250	
	KS D 4302	Ductile cast iron	GCD400	
6. Wire, secondary wire products	KS D 3509	Piano wire	SWRS	
	KS D 3559	Hard steel sire	HSWR	
	KS D 7002	PS steel wire and PS strand	Round SWPC1	Deformed SWPD1
			2 wire SWPC2	Deformed 3 SWPD3
			7 wire SWPC7	19wire SWPC19
7. Bar steel	KS D 3504	Bar for RC	SD300, SD350, SD400	
	KS D 3505	PS steel bar	A 2 SBPR 785/1030 B 1 SBPR 930/1080 B 2 SBPR 930/1180	

표 9.2.4 표준으로 하는 강재

강재의 종류	규격 강재기호		강재기호	
1. 구조용 강재	KS D 3503	일반구조용 압연강재	SS400	
	KS D 3515	용접구조용 압연강재	SM400, SM490, SM 490Y, SM520, SM570	
	KS D 3529	용접구조용 내후성 열간 압연강재	SMA400, SMA490, SMA570	
	KS D 3868	교량구조용 압연강재	HSB500, HSB600	
2. 강관	KS D 3566	일반구조용 탄소 강관	STK400, STK490	
	KS D 3780	철탑용 고장력강 강관	STKT590	
	KS F 4602	강관말뚝	SKK400, SKK490	
	KS F 4605	강관시트파일	SKY400, SKY490	
3. 접합용 강재	KS B 1010	마찰접합용 고장력 6각볼트, 6각너트, 평와셔의 세트	F8T, F10T, F13T	
	KS B 2819	구조물용 토크전단형 고장력볼트, 6각너트, 평와셔의 세트	F10T, F13T	
4. 용접재료	KS D 7004	연강용 피복 아크 용접봉		
	KS D 7006	고장력강용 피복 아크 용접봉		
	KS D 7101	내후성강용 피복 아크 용접봉		
	KS D 7102	탄소강 및 저합금강용 서브머지드 아크 용접 플럭스		
	KS D 7103	탄소강 및 저합금강용 서브머지드 아크 용접 와이어		
	KS D 7106	내후성강용 탄산가스 아크 용접 솔리드 와이어		
	KS D 7109	내후성강용 탄산가스 아크 용접 플럭스 충전 와이어		
5. 주단조품	KS D 3710	탄소강 단강품	SF490A, SF540A	
	KS D 4101	탄소강 주강품	SC450, SC480	
	KS D 4106	용접구조용 주강품	SCW410, SCW480	
	KS D 4102	구조용 고장력 탄소강 및 저합금강 주강품	ScMn1A, ScMn2A	
	KS D 3752	기계구조용탄소강재	SM35C, SM45C	
	KS D 4301	회 주철품	GC250	
	KS D 4302	구상 흑연주철품	GCD400	
6. 선재, 선재2차 제품	KS D 3509	피아노 선재	SWRS	
	KS D 3559	경강 선재	HSWR	
	KS D 7002	PS강선 및 PS강연선	원형선SWPC1	이형선SWPD1
			2연선SWPC2	이형3연선SWPD3
			7연선SWPC7	19연선SWPC19
7. 봉강	KS D 3504	철근콘크리트용 봉강	SD300, SD350, SD400	
	KS D 3505	PS강봉	A종 2호 SBPR 785/1030 B종 1호 SBPR 930/1080 B종 2호 SBPR 930/1180	

Table 9.2.5 Physical properties of steel pipe

Symbol	Tensile test				Bending test		Lateral deformation test
	Yield point (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)		Bending angle	Inner dia	Distance between plates
			11 samples 12 samples	5 samples			
			vertical	horizontal			
STK400	235≤	400≤	23≤	18≤	90°	6D	2D/3
STK490	315≤	490≤	23≤	18≤	90°	6D	7D/8
SKK400	235≤	400≤	-	18≤	-	-	2D/3
SKK490	315≤	490≤	-	18≤	-	-	7D/8
SKY400	235≤	400≤	-	18≤	-	-	2D/3
SKY490	315≤	490≤	-	18≤	-	-	7D/8
STKT590	440≤	590~740	20≤	16≤	-	-	3D/4

Table 9.2.6 Physical properties of casting/forging steel

Properties / Material	Symbol	Tensile test (#4, 10, 14)				Impact test (#4)		Hardness $(H_b)^{3)}$	Carbon equivalent (%)
		Yield point (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Elongation at ultimate stress (%)	Test temp (℃)	Charpy impact value (N.m)		
Carbon forged steel	SF490A	245≤	490-590	22≤	40≤	-	-	134≤	-
	SF540A	275≤	540-640	20≤	35≤	-	-	152≤	-
Carbon cast steel	SC450	225≤	450≤	19≤	30≤	-	-	-	-
Cast steel for welding	SCW410	235≤	410≤	21≤	-	0	27≤	-	0.40≤
	SCW480	275≤	480≤	20≤	-	0	27≤	-	0.45≤
High tension carbon steel for structure and low alloy cast steel	SCMn1A	275≤	540≤	17≤	35≤	-	-	143≤	
	SCMn2A	345≤	590≤	16≤	35≤	-	-	163≤	-
Carbon steel for mechanical structure[1)]	SM35C	304≤	510≤	23≤	-	-	-	149 ~ 207	-
	SM45C	343≤	569≤	20≤	-	-	-	167 ~ 229	
Gray cast iron[2)]	GC250	250≤	-	-	-	-	-	241≤	-
Ductile cast iron	FCD400	250≤	400≤	15≤	-	-	-	180≤	-

Note) 1) Reference suggested in KS D 3752 (normalizing heat treatment).
2) for 30 ~ 50 mm
3) Hb refers to Brinell hardness

표 9.2.5 강관의 기계적 성질

종류의 기호	인장시험				굽힘시험		편평시험
	항 복 점 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율(%)		굽힘 각도	안쪽 반지름 (D는 관의 바깥지름)	평판간의 거리 (D는 관의 바깥지름)
			11호시험편 12호시험편	5호시험편			
			세로방향	가로방향			
STK400	235이상	400이상	23이상	18이상	90°	6D	2D/3
STK490	315이상	490이상	23이상	18이상	90°	6D	7D/8
SKK400	235이상	400이상	-	18이상	-	-	2D/3
SKK490	315이상	490이상	-	18이상	-	-	7D/8
SKY400	235이상	400이상	-	18이상	-	-	2D/3
SKY490	315이상	490이상	-	18이상	-	-	7D/8
STKT590	440이상	590~740	20이상	16이상	-	-	3D/4

표 9.2.6 주단조품의 기계적 성질

기계적 성질 / 재료의 종류	기호	인장시험(4호,10호,14호 시험편)				충격시험 (4호시험편)		경도 (H_b)[3]	탄소 당량 (%)
		항복점 (MPa)	인장 강도 (MPa)	연신율 (%)	극한응력 상태에서의 신장율(%)	시험 온도 (℃)	샬피흡수 에너지 (N.m)		
탄소강 단강품	SF490A	245이상	490-590	22이상	40이상	-	-	134이상	-
	SF540A	275이상	540-640	20이상	35이상	-	-	152이상	-
탄소 주강품	SC450	225이상	450이상	19이상	30이상	-	-	-	-
용접 구조용 주강품	SCW410	235이상	410이상	21이상	-	0	27이상	-	0.40이하
	SCW480	275이상	480이상	20이상	-	0	27이상	-	0.45이하
구조용 고장력 탄소강 및 저합금강 주강품	SCMn1A	275이상	540이상	17이상	35이상	-	-	143이상	
	SCMn2A	345이상	590이상	16이상	35이상	-	-	163이상	-
기계 구조용 탄소강재[1]	SM35C	304이상	510이상	23이상	-	-	-	149 ~ 207	-
	SM45C	343이상	569이상	20이상	-	-	-	167 ~ 229	
회 주철품[2]	GC250	250이상	-	-	-	-	-	241이하	-
구상흑연주철품	FCD400	250이상	400이상	15이상	-	-	-	180이하	-

주) 1) KS D 3752에서 참고값으로 제시한 값이다(노멀라이징 열처리를 한 경우).

2) 규격치는 주요두께 30 ~ 50mm인 것에 대한 것이다.

3) H_b는 브리넬경도이다.

(5) Wire, secondary wire products

① Piano wire is defined as a secondary wire product and includes cable or PS steel wire and PS strand, and its physical properties are described in <Table 9.2.7>.

② Surface shape of deformed PS steel wire is not defined in KS D 7002, but fatigue strength is dependent on surface shape and crack stress may occur when using the pretension method, which requires careful attention.

Table 9.2.7 Physical properties, nominal section area and unit weight of PS steel wire and PS strand

Symbol	Size	Tensile test			Relaxation (%)	Nominal section area (mm^2)	Unit weight (N/m)
		Load to 0.2% elongation (N)	Tensile load (N)	Elongation (%)			
SWPC1 & SWPD1	5 mm	27,900≤ (1,420≤)	31,900≤ (1,630≤)	4.0≤	2.5≤	19.64	1.54
	7 mm	51,000≤ (1,330≤)	58,300≤ (1,520≤)	4.5≤	2.5≤	38.48	3.02
	8 mm	64,200≤ (1,280≤)	74,000≤ (1,480≤)	4.5≤	2.5≤	50.27	3.95
	9 mm	78,000≤ (1,230≤)	90,200≤ (1,420≤)	4.5≤	2.5≤	63.62	4.99
SWPC2	2.9 mm 2 lines	22,600≤ (1,710≤	25,500≤ (1,930≤)	3.5≤	2.5≤	13.21	1.04
SWPD3	2.9 mm 3 lines	33,800≤ (1,710≤)	38,200≤ (1,930≤)	3.5≤	2.5≤	19.82	1.56
SWPC 7A	9.3 mm lines	75,500≤ (1,460≤)	88,800≤ (1,720≤)	3.5≤	2.5≤	51.61	4.05
	10.8 mm 7 lines	102,000≤ (1,460≤)	120,000≤ (1,720≤)	3.5≤	2.5≤	69.68	5.46
	12.4 mm 7 lines	136,000≤ (1,460≤)	160,000≤ (1,720≤)	3.5≤	2.5≤	92.90	7.29
	15.2 mm 7 lines	204,000≤ (1,470≤)	240,000≤ (1,730≤)	3.5≤	2.5≤	138.7	11.01
SWPC 7B	9.5 mm 7 lines	86,800≤ (1,580≤)	102,000≤ (1,860≤)	3.5≤	2.5≤	54.84	4.32
	11.1 mm 7 lines	118,000≤ (1,590≤)	138,000≤ (1,860≤)	3.5≤	2.5≤	74.19	5.80
	12.7 mm 7 lines	156,000≤ (1,580≤)	183,000≤ (1,860≤)	3.5≤	2.5≤	98.71	7.74
	15.2 mm 7 lines	222,000≤ (1,600≤)	261,000≤ (1,880≤)	3.5≤	2.5≤	138.7	11.01
SWPC 7C	12.7 mm 7 lines	182,000≤ (1,840≤)	214,000≤ (2,160≤)	3.5≤	2.5≤	98.71	7.74
	15.2 mm 7 lines	255,000≤ (1,840≤)	300,000≤ (2,160≤)	3.5≤	2.5≤	138.7	11.01
SWPC 19	17.8 mm 19 lines	330,000≤ (1,580≤)	387,000≤ (1,860≤)	3.5≤	2.5≤	208.4	16.52
	19.3 mm 19 lines	387,000≤ (1,590≤)	451,000≤ (1,850≤)	3.5≤	2.5≤	243.7	19.31
	21.8 mm 19 lines	495,000≤ (1,580≤)	573,000≤ (1,830≤)	3.5≤	2.5≤	312.9	24.82

Note) *( ) refers to the value standard value / nominal section area (N/mm^2)

(5) 선재, 선재2차 제품

① 피아노선재는 케이블 혹은 PS강선과 PS강연선 등의 선재2차제품 소재에 대한 규정이며, 기계적 성질을 <표 9.2.7>에 나타내었다.

② 이형 PS강선의 표면형상에 대해서는 KS D 7002에 규정되어 있지 않지만 표면형상에 따라서는 강선 자체의 피로강도가 저하되기도 하고, 프리텐션 방식을 사용한 경우에 부재 단부의 정착부에 큰 균열응력을 발생시키기도 하기 때문에 사용시에 주의를 필요로 한다.

표 9.2.7 PS강선과 PS강연선의 기계적 성질, 공칭단면적 및 단위중량

기호	호칭명	인장시험			릴렉세이션 (%)	공칭 단면적 (mm^2)	단위 중량 (N/m)
		0.2%영구 연신율에 대한 하중(N)	인장 하중 (N)	연신율 (%)			
SWPC1 및 SWPD1	5mm	27,900이상 (1,420이상)	31,900이상 (1,630이상)	4.0이상	2.5이하	19.64	1.54
	7mm	51,000이상 (1,330이상)	58,300이상 (1,520이상)	4.5이상	2.5이하	38.48	3.02
	8mm	64,200이상 (1,280이상)	74,000이상 (1,480이상)	4.5이상	2.5이하	50.27	3.95
	9mm	78,000이상 (1,230이상)	90,200이상 (1,420이상)	4.5이상	2.5이하	63.62	4.99
SWPC2	2.9mm 2연선	22,600이상 (1,710이상	25,500이상 (1,930이상)	3.5이상	2.5이하	13.21	1.04
SWPD3	2.9mm 3연선	33,800이상 (1,710이상)	38,200이상 (1,930이상)	3.5이상	2.5이하	19.82	1.56
SWPC 7A	9.3mm 7연선	75,500이상 (1,460이상)	88,800이상 (1,720이상)	3.5이상	2.5이하	51.61	4.05
	10.8mm 7연선	102,000이상 (1,460이상)	120,000이상 (1,720이상)	3.5이상	2.5이하	69.68	5.46
	12.4mm 7연선	136,000이상 (1,460이상)	160,000이상 (1,720이상)	3.5이상	2.5이하	92.90	7.29
	15.2mm 7연선	204,000이상 (1,470이상)	240,000이상 (1,730이상)	3.5이상	2.5이하	138.7	11.01
SWPC 7B	9.5mm 7연선	86,800이상 (1,580이상)	102,000이상 (1,860이상)	3.5이상	2.5이하	54.84	4.32
	11.1mm 7연선	118,000이상 (1,590이상)	138,000이상 (1,860이상)	3.5이상	2.5이하	74.19	5.80
	12.7mm 7연선	156,000이상 (1,580이상)	183,000이상 (1,860이상)	3.5이상	2.5이하	98.71	7.74
	15.2mm 7연선	222,000이상 (1,600이상)	261,000이상 (1,880이상)	3.5이상	2.5이하	138.7	11.01
SWPC 7C	12.7mm 7연선	182,000이상 (1,840이상)	214,000이상 (2,160이상)	3.5이상	2.5이하	98.71	7.74
	15.2mm 7연선	255,000이상 (1,840이상)	300,000이상 (2,160이상)	3.5이상	2.5이하	138.7	11.01
SWPC 19	17.8mm 19연선	330,000이상 (1,580이상)	387,000이상 (1,860이상)	3.5이상	2.5이하	208.4	16.52
	19.3mm 19연선	387,000이상 (1,590이상)	451,000이상 (1,850이상)	3.5이상	2.5이하	243.7	19.31
	21.8mm 19연선	495,000이상 (1,580이상)	573,000이상 (1,830이상)	3.5이상	2.5이하	312.9	24.82

주) 괄호속의 값은 규격치를 공칭단면적으로 나눈 값(단위:N/mm^2)이다.

(6) Steel bar

① For steel bar for RC, the type which is most commonly used in KS D 3504 is described.

② Physical properties of reinforcement, unit weight and standard dimensions of deformed bar stipulated in KS D 3504 are shown in <Table 9.2.8> and <Table 9.2.9>.

Table 9.2.8 Physical properties of steel bar for RC

Symbol	Tensile test				Bending	
	Yield point or 0.2% bearing force (MPa)	Tensile force (MPa)	Specimen	Elongation (%)	Angle	Inner radius
SD300	300≤	440≤	#2	16≤	180°	D16 ≤: 1.5 times the nominal diameter
			#3	18≤		D16 <: 2 times the nominal diameter
SD350	350≤	490≤	#2	18≤	180°	D16 ≤: 1.5 times the nominal diameter
						D16≤ D41≤: 2 times the nominal diameter
			#2	20≤		D51: 2.5 times the nominal diameter
SD400	400≤	560≤	#2	16≤	180°	2.5 times the nominal diameter
			#3	18≤		

Table 9.2.9 Unit weight and standard dimensions of deformed bar

Symbol	Unit weight (N/m)	N diameter (d) (mm)	N. section area (s) (mm^2)	N circumference (l) (mm)
D 6	2.49	6.35	31.67	20
D 10	5.60	9.53	71.33	30
D 13	9.95	12.7	126.7	40
D 16	15.6	15.9	198.6	50
D 19	22.5	19.1	286.5	60
D 22	30.4	22.2	387.1	70
D 25	39.8	25.4	506.7	80
D 29	50.4	28.6	642.4	90
D 32	62.3	31.8	794.2	100
D 35	75.1	34.9	956.6	110
D 38	89.5	38.1	1140	120
D 41	105.0	41.3	1340	130
D 51	159.0	50.8	2027	160

(6) 봉강

① 철근콘크리트용 봉강은 KS D 3504에 규정되어 있는 종류 중 교량에 가장 많이 사용되고 있는 것을 나타내었다.

② KS D 3504에 규정되어 있는 철근의 기계적 성질과 이형봉강의 단위중량, 표준치수는 <표 9.2.8>, <표 9.2.9>와 같다.

표 9.2.8 철근콘크리트용 봉강의 기계적 성질

종류의 기 호	인장시험				굽힘성	
	항복점 혹은 0.2% 내력(MPa)	인장 강도 (MPa)	인장시험편	연신율 (%)	굽힘 각도	안쪽 반지름
SD300	300이상	440이상	2호에 준한 것	16이상	180°	D16 이하: 공칭지름의 1.5배
			3호에 준한 것	18이상		D16을 넘는 것: 공칭지름의 2배
SD350	350이상	490이상	2호에 준한 것	18이상	180°	D16 이하: 공칭지름의 1.5배
			3호에 준한 것	20이상		D16이상 D41이하: 공칭지름의 2배
						D51: 공칭지름의 2.5배
SD400	400이상	560이상	2호에 준한 것	16이상	180°	공칭지름의 2.5배
			3호에 준한 것	18이상		

표 9.2.9 이형 봉강의 단위중량과 표준치수

호칭명	단위중량 (N/m)	공칭지름(d) (mm)	공칭단면적(s) (mm^2)	공칭둘레(l) (mm)
D 6	2.49	6.35	31.67	20
D 10	5.60	9.53	71.33	30
D 13	9.95	12.7	126.7	40
D 16	15.6	15.9	198.6	50
D 19	22.5	19.1	286.5	60
D 22	30.4	22.2	387.1	70
D 25	39.8	25.4	506.7	80
D 29	50.4	28.6	642.4	90
D 32	62.3	31.8	794.2	100
D 35	75.1	34.9	956.6	110
D 38	89.5	38.1	1140	120
D 41	105.0	41.3	1340	130
D 51	159.0	50.8	2027	160

9.2.3 Connection material

(1) Welding material

① The welding rod is important to the quality of work, and thus a review of workability and performance shall be conducted. Welding rod for manual welding shall be selected according to KS in principle, and low hydrogen shall be used for 490 MPa steel as well as for connecting 490 MPa steel and 400 MPa steel. Even when 400 MPa is used, low hydrogen shall be used for thick plate or large constraint. Welding rod shall be in accordance with <Table 9.2.10>.

Table 9.2.10 Welding material

Connection steel	Welding rod	Type
SS400, SM400, SMA400	KS D 7004 (shielded arc welding rod for mild steel)	420 MPa
SM490	KS D 7006 (high tension shielded arc welding rod)	Low hydrogen among 490 MPa
SM490Y, SM520, HSB500		Low hydrogen among 520 MPa
SM570		Low hydrogen among 570 MPa
HSB600		Low hydrogen among 610 MPa
SMA400, SMA490	KS D 7101 (weatherproof shielded arc welding rod)	Low hydrogen or iron low hydrogen among 490 MPa
SMA570		Low hydrogen or iron low hydrogen among 570 MPa

② In submerged arc welding, an appropriate combination of steel wire and material is important. Recently, carbon dioxide arc welding has been commonly used, and appropriate selection is also required.

A. Weatherproof material must be used for weatherproof steel welding.

B. Steel for welding in cold regions shall maintain its toughness, and as toughness could potentially be deteriorated in the performance of submerged arc welding, a review of the welding material and method shall be carried out.

C. Automatic welding includes submerged arc welding, carbon dioxide arc welding and MAG, MIG and electro slag welding, and shall be selected depending on the purpose considering the reliability.

9.2.3 연결용 재료

(1) 용접재료

① 용접봉의 선택은 양호한 용접을 하기 위해 중요하며, 제작에 있어서는 작업성 및 제품의 성능 등에 대해 충분한 검토가 있어야만 한다. 수동용접에 사용되는 용접봉은 각 강종에 대해서 KS의 규격에 적합한 것을 사용하는 것이 원칙이지만 490MPa급 강재 이상에서는 저수소계의 것을 사용한다. 또한 490MPa급 강재와 400MPa급 강재를 연결하는 경우에도 저수소계의 용접봉을 사용하고, 400MPa급 강재에서도 후판이나 구속이 큰 부분을 용접하는 경우에는 저수소계의 용접봉을 사용한다. 용접봉의 규격은 <표 9.2.10>을 따른다.

표 9.2.10 용접재료

이음강재	용접봉 규격	용접봉 종별
SS400, SM400, SMA400	KS D 7004 (연강용 피복 아크용접봉)	420MPa급
SM490	KS D 7006 (고장력강용 피복 아크용접봉)	490MPa급 중에서 저수소계
SM490Y, SM520, HSB500		520MPa급 중에서 저수소계
SM570		570MPa급 중에서 저수소계
HSB600		610MPa급 중에서 저수소계
SMA400, SMA490	KS D 7101 (내후성강용 피복 아크용접봉)	490MPa급 중에서 저수소계 혹은 철분 저수소계
SMA570		570MPa급 중에서 저수소계 혹은 철분 저수소계

② 서브머지드 아크용접에 있어서 목적에 따라 강선이나 용제의 적정한 조합을 택하는 것이 중요하다. 최근 탄산가스 아크용접이 많이 사용되고 있으며, 이 경우에도 용접하는 강재에 따라 알맞은 것을 선택할 필요가 있다.

가. 내후성강재의 용접에서는 내후성이 있는 것을 사용하는 것이 바람직하다.

나. 한랭지용 강재의 용접부는 저온에서 인성이 저하되지 않아야 한다. 서브머지드 아크 용접의 경우 인성저하의 우려가 있으므로 용접재료나 시공방법에 관해서 충분한 검토가 필요하다.

다. 자동용접으로는 서브머지드 아크용접 및 탄산가스 아크용접 외에 MAG용접, MIG용접, 엘랙트로슬래그용접 등 여러 가지 새로운 방법이 개발되어 있지만 목적에 따라 용접방법의 신뢰성 등을 충분히 검토할 필요가 있다.

(2) Bolt

① High tension bolt and normal bolt shall be used according to <Table 9.2.11>.

Table 9.2.11 Bolt materials

Type	Size	Classification
High tension bolt for friction joint	KS B 1010 (high tension hexagon bolt, nut, flat washer set for friction joint)	F8T, F10T, F13T
	KS B 2819 (torque-shear high tension bolt, hexagon nut, flat washer set for structure)	F10T, F13T
Normal bolt	KS B 1002 (hexagon bolt) and KS B 1012 (hexagon nut)	Strength 4.6

9.2.4 Support material

Material shall be in accordance with 「8.4.1 (4), Chapter 8 Bridge General」.

9.2.5 Physical properties of material

(1) Steel

① Physical constant of steel for design calculation is as shown in <Table 9.2.12>.

9.2.12 Physical constant of steel for design calculation

Type	Physical constant
Elastic modulus of steel & cast steel	2.05×10^5MPa
Elastic modulus of reinforcement	2.0×10^5MPa
Elastic modulus of PS steel wire, PS strand, PS steel bar	2.0×10^5MPa
Elastic modulus of cast iron	1.0×10^5MPa
Shear elastic modulus of steel	7.9×10^4MPa
Poisson's ratio of steel and cast steel	0.30
Poisson's ratio of cast iron	0.25

② Elastic modulus of a PS steel cable with several non-KS PS steel wires or strands would possibly be less than 2.0×10^5 MPa, and thus it shall be determined after test.

③ When estimating the reduction in prestress, apparent relaxation rate of PS steel shall be based on <Table 9.2.13>. But when PS steel is exposed to high temperatures, the apparent relaxation rate of PS steel shall in principle be based on <Table 9.2.13>, plus 2%.

(2) 볼트재료

① 고장력볼트 및 일반 볼트는 <표 9.2.11>의 것을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

표 9.2.11 볼트재료

종별	규격	볼트의 등급
마찰이음용 고장력볼트	KS B 1010(마찰접합용 고장력 6각볼트 6각너트, 평와셔 세트)	F8T, F10T, F13T
	KS B 2819(구조물용 토크-전단형 고장력볼트, 6각너트, 평와셔의 세트)	F10T, F13T
일반 볼트	KS B 1002(육각볼트) 및 KS B 1012(육각너트)	강도구분 4.6

9.2.4 받침용 재료

재료는 「제8장 8.4.1(4)항」을 따른다.

9.2.5 재료의 특성치

(1) 강재

① 설계계산에 사용하는 강재의 물리상수 값은 <표 9.2.12>의 값을 사용한다.

표 9.2.12 설계계산에 사용되는 강재의 물리상수

종류	물리상수의 값
강과 주강의 탄성계수	2.05×10^5MPa
철근의 탄성계수	2.0×10^5MPa
PS강선, PS강연선, PS강봉의 탄성계수	2.0×10^5MPa
주철의 탄성계수	1.0×10^5MPa
강의 전단탄성계수	7.9×10^4MPa
강과 주강의 포아송비	0.30
주철의 포아송비	0.25

② KS규격이 아닌 많은 개수의 PS강선을 묶거나, 혹은 연선으로 만든 케이블로 된 PS강재의 탄성계수는 2.0×10^5MPa 이하로 되는 경우가 있기 때문에 시험에 의해 별도로 정해야 한다.

③ 프리스트레스의 감소량을 산출하는 경우에 PS강재의 겉보기 릴렉세이션율은 <표 9.2.13>의 값을 표준으로 한다. 다만, PS강재가 고온의 영향을 받는 경우에는 PS강재의 겉보기 릴렉세이션율은 <표 9.2.13>의 값에 2%를 가산하는 것을 원칙으로 한다.

Table 9.2.13 Apparent relaxation rate of PS steel (%)

PS steel	Apparent relaxation rate
PS wire, PS strand	5
PS steel bar	3

④ When it is difficult to follow 「③」, the apparent relaxation rate of PS steel shall be determined separately based on the relaxation rate measured depending on the tensile stress of PS steel and considering concrete creep and dry shrinkage effect.

(2) Concrete

Elastic modulus, shear elastic modulus, creep coefficient and dry shrinkage rate shall be in accordance with 「Chapter 10 Concrete Bridge」.

9.3 Design general

9.3.1 General

(1) This provision shall define the design limitations of steel bridge and steel composite bridge.

(2) Symbols

l = Buckling length of member (mm)

l/r = Slenderness ratio of member

r = Radius of gyration of section for the axis considered (mm)

9.3.2 Slenderness ratio of member

(1) Slenderness ratio of member l/r shall be equal to or less than the values in <Table 9.3.1>. However, l, r shall be in accordance with 「9.4」.

(2) A primary compression member refers to the member suffering compressive stress by train load, and members not receiving the primary load as in <Fig. 9.3.1> are classified into secondary compression members.

Table 9.3.1 Slenderness ratio of member

Member	Slenderness ratio
Primary compression member	100
Secondary compression member	120
Tension member	200

표 9.2.13 PS강재의 겉보기 릴렉세이션율(%)

PS강재의 종류	겉보기 릴렉세이션율
PS강선, PS강연선 PS강봉	5 3

④ 「③항」을 따르기 힘든 경우에는 PS강재의 인장응력에 따라 측정된 릴렉세이션율에서 콘크리트의 크리프, 건조수축 등의 영향을 고려하여 별도로 PS강재의 겉보기 릴렉세이션율을 정한다.

(2) 콘크리트

콘크리트의 탄성계수, 전단탄성계수, 크리프계수와 건조수축률 등은 「제10장 콘크리트교」를 따른다.

9.3 설계일반

9.3.1 일반내용

(1) 이 절은 강교 및 강합성교의 설계에 관한 설계제한사항을 규정한다.

(2) 기호

l = 부재의 좌굴길이(mm)

l/r = 부재의 세장비

r = 고려하는 축에 대한 단면2차반지름(mm)

9.3.2 부재의 세장비

(1) 부재의 세장비 l/r은 원칙적으로 <표 9.3.1>에 제시한 값 이하로 한다. 다만, l, r의 값은 「9.4항」을 따른다.

(2) 주압축부재는 열차하중에 의해 압축응력이 발생하는 부재를 말하며, 주요하중에 의해 힘을 받지 않는 <그림 9.3.1>에 표시된 것과 같은 부재들은 부압축재로 분류한다.

표 9.3.1 부재의 세장비

부재의 종류	세장비
주압축재	100
부압축재	120
인장재	200

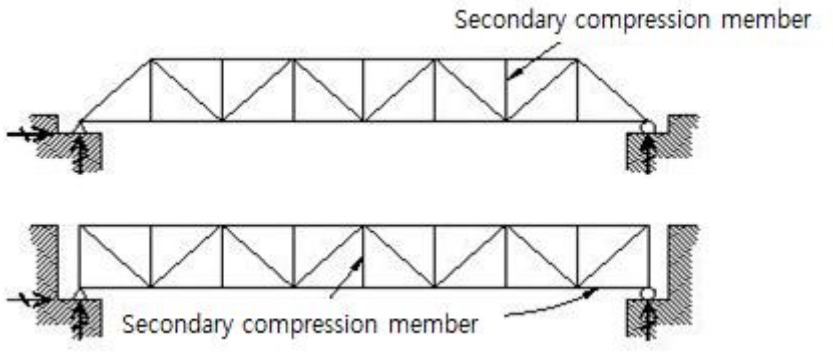


Fig. 9.3.1 Secondary compression member

9.3.3 Secondary stress

(1) Secondary stress due to the reasons described below shall be considered in design.

① Eccentricity of the member

A. Bending stress and twisting stress caused by eccentric combination of the member shall be minimized in the design.

B. Eccentricity may be reduced by connecting compression chord and bracing, but the effect shall be minimized in the design.

② Stiffness of panel point

A. In general truss, axial stress only is considered in the design by considering the panel point as a freely-rotated hinge. But in a combined truss with panel point as hinge, friction is increased due to rust in the pin joint, and considerable secondary stress is generated. Particularly when panel point is fixed by rivet or high tension bolt, significant secondary stress could be generated while in a strong coupling state, which requires careful review.

B. For chord and panel point with high stiffness in truss bridge where main truss chord and deck frame are combined, member shall be designed considering bending effect.

③ Deflection of cross beam – When a cross beam has high stiffness, deflection is lower, and deformation of main girder is also lower. But when deflection of cross beam is large, deformation of the main girder occurs due to the change at both ends and secondary stress is generated at through plate girder because of torsion of the main girder, and at truss because of bending of the vertical member and torsion of the diagonal member. Particularly in the case of half-through truss and through plate girder, deformation may occur due to deflection of the cross beam,and thus cross beam shall be designed to have sufficient stiffness.

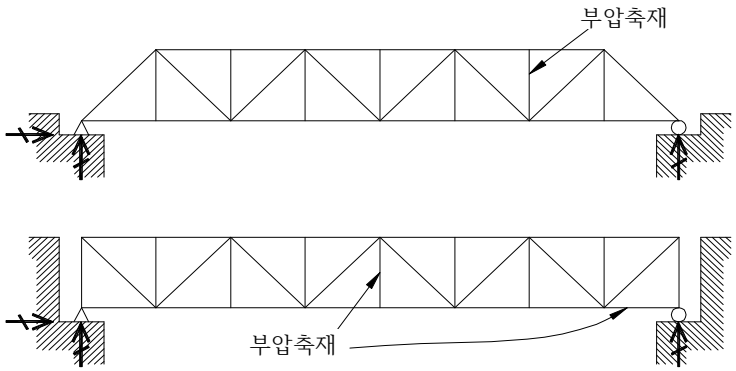


그림 9.3.1 부압축재

9.3.3 2차응력

(1) 구조물의 각 부분에 대하여 다음 각 항의 원인에 의한 2차응력에 주의하여 설계한다.

① 부재의 편심

가. 부재의 설계에 있어서 부재의 편심결합에 의해 생기는 휨응력 및 비틀림응력을 될 수 있으면 적게 되도록 주의한다.

나. 압축현재와 브레이싱의 연결은 다소의 편심은 피할 수 없지만, 이 영향이 될 수 있으면 작게 되도록 설계하는 것이 바람직하다.

② 격점의 강성

가. 일반 트러스에서는 격점을 회전이 자유로운 힌지로 생각해서 축방향응력만으로 설계하는 것이 보통이다. 그러나 격점을 힌지로 본 결합트러스도 핀 결합부분의 녹 등에 의해서 마찰이 증가하고 상당한 2차응력이 발생되며, 특히 격점이 리벳 또는 고장력볼트 결합의 경우는 거의 강결의 상태에 있어 큰 2차응력을 발생시킬 수 있으므로 이에 대한 검토를 해야 한다.

나. 주 트러스현재와 바닥틀을 합성시킨 트러스교 등 현재와 격점이 현저히 강성이 큰 경우에는 휨의 영향을 고려해서 부재를 설계한다.

③ 가로보의 처짐 - 가로보가 충분한 강성을 가진 경우는 그 처짐이 작고, 따라서 주거더의 변형도 적다. 그러나 가로보의 처짐이 큰 경우에는 그 양단의 각 변화에 의해 주거더가 변형하여 하로플레이트거더에서는 주거더의 비틀림, 또 트러스에서는 수직재의 휨과 사재의 비틀림에 의해 2차응력이 증가하므로 주의해야 한다. 특히 포니트러스와 하로플레이트거더의 경우에는 가로보의 처짐에 의한 변형이 발생하기 쉬우므로 가로보는 충분한 강성을 갖도록 설계한다.

④ Deformation of deck floor due to change of chord length

A. Deck floor of truss and through plate girder is usually a lattice structure comprising a string beam and cross beam. When the load is applied on deck floor, bending occurs in a vertical plane while the length of chord on truss is changed by the force, and the effect is transferred to deck floor as well, causing deformation on the horizontal plane. When total girder length is extended, significant stress could potentially occur on cross beam flange, and an expansion joint as stipulated in 「9.7.2 (1)」 shall be provided.

B. When string beam is put on cross beam on deck truss, crossing shall be determined carefully. When the length of chord is changed, stress may occur on horizontal bracing, causing secondary stress, and thus stiffness of the horizontal bracing shall also be considered (see 9.9.2 and 9.9.3).

⑤ Deflection of member by self-load

A. When the slenderness ratio of the member is large, secondary stress caused by self load of the member occurs, and eccentricity of load occurs due to deflection.

B. For a tension member, eccentricity tends to be smaller when tension force is applied and thus it causes no significant problem unless the member is particularly long, but as eccentricity grows the compressive strength is decreased, which is not desirable. And it also may cause vibration while train is passing, as well as a negative effect on fatigue. Thus, a member with an excessively large slenderness ratio shall not be used even when there is sufficient room to accommodate the stress to some extent.

⑥ Friction of movable end of bridge girder – When movable end is not operable, secondary stress occurs at the parts of the structure and unpredictable load occurs on bridge girder and substructure. Thus, movable end shall be designed to cause less friction, as well as to be easy to repair.

⑦ Vibration of member – The impact generated by train operation applied to web plate and diaphragm of a high box girder may cause damage to welded part on reinforcement and web plate. It is necessary to distance the natural frequency from the resonance point by applying a reinforcement method to avoid resonance, even when there is sufficient room to accommodate the stress to some extent. When connecting the member by inserting splice plate, end of the member shall be deeply inserted.

⑧ Stress concentration by point settlement, secondary stress by temperature variation and sudden change to section and corrosion of material shall be considered, and such values shall be minimized. When it is inevitably necessary, design shall be able to deal with them.

④ 현재의 길이 변화에 의한 바닥틀의 변형

가. 트러스 또는 하로플레이트거더의 바닥틀은 일반적으로 세로보와 가로보에 의해 구성된 격자구조가 많다. 이 같은 바닥틀에 하중을 재하하면 각 부재는 수직면 내에 휨이 생기게 하지만 동시에 트러스의 현재가 힘을 받아 그 길이가 변화하고 그 영향이 바닥틀에도 전달되어 수평면 내의 변형을 일으킨다. 거더 전체 길이가 길어지게 되면 가로보 플랜지에는 큰 응력이 발생할 가능성이 있기 때문에 「9.7.2(1)항」에 규정한 바와 같이 세로보에 신축장치를 두도록 하고 있다.

나. 상로트러스에서 가로보 위에 세로보를 놓는 경우에는 그 교차점 구성에 대하여 충분한 주의가 필요하다. 또, 현재의 길이가 변화하면 수평브레이싱에도 응력이 생겨 2차응력을 발생시키므로 수평브레이싱의 강성 등에 관해서도 고려해야 한다.(「9.9.2항 및 9.9.3항」 참조)

⑤ 자중에 의한 부재의 처짐

가. 부재의 세장비가 큰 경우에는 부재의 자중에 의한 2차응력이 커지고, 그 처짐 때문에 하중의 편심이 발생한다.

나. 인장재의 경우 인장력이 작용할 때의 편심은 작게 되는 경향이 있으므로 부재가 특별히 길지 않는 한 그다지 문제되지는 않지만, 압축재에서는 편심이 점점 증가하고 압축강도를 저하시키므로 바람직하지 못하다. 또, 열차통과에 의한 진동이 생기기 쉽고 피로의 측면에서 보아서도 바람직하지 못하다. 따라서 응력에 여유가 있는 경우라도 너무 세장비가 큰 부재를 사용해서는 안 된다.

⑥ 교량거더의 가동단받침의 마찰 - 교량거더의 가동단받침이 가동되지 않는 경우에는 구조물의 각 부분에 2차응력이 생기며, 교량거더뿐만 아니라 하부구조에도 예측하기 힘든 하중을 작용시키게 된다. 따라서 가동단은 마찰이 가능한 한 적게 되도록 하며, 보수도 용이한 구조로 설계해야 한다.

⑦ 부재의 진동 - 거더의 높이가 큰 박스거더의 복부판과 다이아프램이 열차주행에 의하여 가진되고 그로 인하여 보강재와 복부판의 용접부위가 파손되는 경우가 있다. 이들의 부재에 대해서는 공진을 피하기 위해 응력상 여유가 있어도 보강 등의 방법으로 고유진동수를 공진점에서 멀리 할 필요가 있다. 또, 연결판을 끼워서 부재를 연결하는 경우에 있어서도 부재단부를 깊숙이 밀어 넣도록 한다.

⑧ 지점침하와 온도변화의 영향에 의한 2차응력과 단면의 급격한 변화, 재료의 부식 등에 의한 응력집중에 대해서 고려하되, 이 값들은 될 수 있는 한 작게 되도록 하며 어쩔 수 없는 경우에는 그에 대응하는 설계를 해야 한다.

9.3.4 Configuration of member section

(1) The section of bridge girder and welded member shall be arranged such that the welded part is symmetrically placed.

(2) Members and joints shall be designed to allow easy assembly, welding and inspection and welding concentration or stress concentration shall be avoided and contraction stress and deformation shall be considered.

(3) The member shall be designed such that the centroid of the section coincides with the center of the section and frame line.

9.3.5 Minimum thickness of steel

(1) The minimum thickness of main member shall be 9 mm in principle, and steel deck shall be 12 mm.

(2) The minimum thickness shall be 8mm for secondary member, but this shall not be applied when used as bottom plate for filling or handrail.

9.3.6 Minimum L-section steel

(1) The leg length of minimum L-section steel used for horizontal bracing, brake truss and vertical bracing shall be 90 mm.

9.3.7 Camber

(1) Camber shall be provided for bridge girder with a span 30 m or longer to deal with the deflection by fixed load. But for a non-ballast bridge girder, train load below shall also be considered.

① HL and L load: Uniform distribution load, which is 1/3 of uniformly distributed live load following the locomotive

② EL load: Load which is 1/4 of electric car load

(2) Fixed load and train load in 「(1)」 shall be considered in camber on truss and arch bridge, and the camber for train load shall be considered for non-ballast.

(3) No camber shall be provided to rolled steel girder, and camber that is inevitably needed during assembly or installation shall be arranged upward.

9.3.4 부재단면의 구성

(1) 교량거더 및 용접조립 부재의 단면구성은 가능한 한 용접부가 상하 좌우에 대하여 대칭의 위치에 오도록 고려해야 한다.

(2) 부재 및 그 이음은 조립작업, 용접, 검사 등이 용이하도록 하고 가능한 용접의 집중이나 응력의 집중이 일어나지 않도록 설계해야 한다. 또, 용접에 의한 수축응력 및 변형을 고려해야 한다.

(3) 부재는 그 단면의 도심이 가능한 한 단면의 중심과 일치하고 골조선과 일치하도록 설계한다.

9.3.5 강재의 최소두께

(1) 주부재에서는 원칙적으로 최소 9mm로 한다. 다만 강바닥판은 최소 12mm로 한다.

(2) 2차부재에서는 원칙적으로 8mm 이상으로 한다. 다만 채움재 깔판, 난간 등에 사용하는 경우는 이 제한을 적용하지 않는다.

9.3.6 최소 L형강

(1) 수평브레이싱, 제동트러스, 수직브레이싱 등에 사용하는 최소 L형강의 다리길이는 90mm로 한다.

9.3.7 솟음

(1) 지간 30m 이상의 교량거더에 대해서는 주거더의 고정하중에 의한 처짐에 대하여 솟음을 두는 것을 원칙으로 한다. 다만 무도상의 개상식 교량거더의 경우는 다음의 열차하중도 고려한다.

① KRL-2012 하중 : 기관차 뒤에 따르는 등분포 활하중의 1/3 크기의 등분포 하중

② EL 하중 : 전동차 하중의 1/4 크기의 하중

(2) 트러스 및 아치교의 솟음량은 고정하중과 「(1)항」의 열차하중도 고려한다. 단, 열차하중에 대한 솟음은 무도상 개상식일 경우만 고려한다.

(3) 압연강재 거더에서의 솟음은 두지 않으며, 조립 및 시공 중 부득이하게 발생된 솟음은 상향이 되도록 한다.

9.3.8 Continuous structure and cantilever structure

(1) Basic assumptions for design

① Moment, shear force and reaction shall be calculated through a general analysis method. For a statically indeterminate structure, total inertia moment to flexural member and total section area to truss shall be applied in principle, and for the member using a perforated cover plate, effective section area shall be applied.

② In designing a continuous structure, the bearing structure itself shall be assumed not to yield, and support settlement defined in 「Chapter 8 Bridge General」 shall be considered. As bearing structure is designed or installed on the assumption of no yield, support settlement shall be considered based on rational settlement data when the condition and assumptions regarding the actual structure are different.

③ Live load shall be applied in a way that generates the maximum member force to the structure, but in principle, load shall not be applied separately to two or more points.

(2) Impact load – This shall be in accordance with the impact coefficient in 「8.2.3 (3) and 8.2.3 (4), Chapter 8 Bridge General」.

(3) Bracing

① Bracing at continuous span shall be in accordance with 「9.9」.

② Bracing shall be provided to top flange on plate girder at positive moment region, in addition to negative moment region in accordance with 「9.9」, and continuous lateral bracing shall be installed on all bottom flanges, regardless of the length.

(4) Horizontal stiffener

① Horizontal stiffener shall be provide to the top of deep girder as continuous or cantilever structure to prevent buckling of web. Horizontal stiffener at the crossing with vertical stiffener may be removed. Horizontal stiffener is usually installed on either side on web. Stress of stiffener which is considered as part of girder stress shall be less than the basic allowable bending stress of the material.

② Location and design of horizontal stiffener are shown in 「9.6.4 (5)」.

(5) Flexural member joint

① Joint of continuous or cantilever flexural member shall be designed according to shear force at maximum moment state or moment at maximum shear force state.

② Joint in continuous structure shall be placed on inflection point by fixed load, if possible.

③ Strength of flange joint using bolt shall be 75% or more of total strength of flange base material.

9.3.8 연속구조 및 캔틸레버구조

(1) 설계의 기본가정

① 모멘트, 전단력, 그리고 반력은 일반적인 해석법에 따라 계산한다. 부재의 내력계산에서 정역학적 부정정구조물의 경우, 휨부재에 대해서는 전체 단면2차모멘트, 트러스부재에 대해서는 전체 단면적을 원칙으로 하고, 유공 덮개판을 사용하는 부재에 대해서는 유효단면적을 사용한다.

② 연속구조의 설계에서 받침구조 자체는 항복하지 않는 것으로 가정하며, 「제8장」에 규정된 지점침하를 고려해야 한다. 받침구조 자체는 항복하지 않는 것으로 가정하여 설계 및 시공되는 경우가 많으므로 실제 구조물에서의 조건이 가정과 다른 경우, 받침구조의 합리적인 침하량을 근거로 한 지점침하를 고려한 설계를 해야 한다.

③ 활하중의 재하는 구조물에 최대부재력이 발생하도록 해야 한다. 다만 원칙적으로 하중을 끊어서 2개소 이상 재하하지 않는다.

(2) 충격하중 - 충격하중은 「제8장 8.2.3(3) 및 8.2.3(4)항」에 규정한 충격계수를 적용하여 구한다.

(3) 브레이싱

① 연속지간에서의 브레이싱은 「9.9항」의 규정에 따라 설치한다.

② 부모멘트 구역뿐만 아니라 추가로 정모멘트 구역 플레이트거더의 상부플랜지에 대해서도 「9.9항」의 규정에 따라 브레이싱을 설치하고 길이에 관계없이 모든 하부플랜지에는 연속 횡방향 브레이싱을 설치한다.

(4) 수평보강재

① 복부좌굴을 방지하기 위해 부모멘트가 발생하는 연속 또는 캔틸레버구조로서 높이가 큰 거더(deep girder)의 지점 상부에 수평보강재를 설치해야 한다. 수직보강재와 서로 교차하는 곳에서의 수평보강재는 절단해도 무방하다. 수평보강재는 통상 복부판의 한쪽면에만 설치한다. 거더 응력의 일부분으로 고려되는 보강재의 응력값은 사용재료의 기본 허용휨응력 이하로 한다.

② 수평보강재의 설치위치 및 설계는 「9.6.4(5)항」을 따른다.

(5) 휨부재의 이음

① 연속 또는 캔틸레버 휨부재의 이음은 최대모멘트 상태에서의 전단력, 또는 최대전단력상태에서의 모멘트에 대하여 설계한다.

② 이음은 연속구조의 경우 가급적 고정하중에 의한 변곡점 위치에 오도록 한다.

③ 볼트를 이용한 플랜지 이음부 강도는 플랜지 모재 전 강도의 75% 이상 강도를 갖도록 한다.

9.4 Allowable stress

9.4.1 General

(1) Allowable stress of any part of steel bridge and steel composite bridge shall not exceed the value defined in this Chapter.

(2) Fatigue shall be reviewed considering fixed load, live load, impact and centrifugal load according to 「9.4.3」.

(3) The combination of primary load, secondary load and other loads shall be in accordance with 「8.3, Chapter 8 Bridge General」 As such, allowable stress shall be calculated by multiplying the value in 「9.4.2, 9.4.4 and 9.4.5」 by the increment factor in 「Chapter 8 Bridge General」 <Table 8.3.1>.

(4) Symbols

b = Width of flange (mm)

b^* = Center-to-center spacing (mm) of web plate for box type section and U-section and Center-to-center spacing (mm) of main girder for through plate girder

f_R = Stress range (MPa)

f_R^c = Assumed as not penetrated in welding root, allowable stress range (MPa) corresponding to range C of allowable fatigue stress range in <Table 9.4.9>.

f_{Rfat} = Allowable fatigue stress range (MPa)

L = Span of member (m)

l = Buckling length of member, distance between flange supports (mm)

$\left(\frac{l}{r}\right)$ = Slenderness ratio

$\left(\frac{l}{r}\right)_e$ = Equivalent slenderness ratio

N = Stress repeat cycle

R = Radius in welding (mm)

r = Radius of gyration of area of total section to the axis considered (mm)

α = Ratio of flange thickness (t_f) to web (t_w)

β = Ratio of web height (h) to flange width (b)

η = Coefficient to be multiplied to calculate the effective buckling length of beam ($\eta = l / H$)

9.4.2 Allowable stress of structural steel and welded part

(1) Basic allowable stress

① The basic allowable stress of structural steel and welded part shall use the values in <Table 9.4.1>.

9.4 허용응력

9.4.1 일반내용

(1) 강교 및 강합성교에서 부재 각 부분은 이 장에 규정된 허용응력을 초과해서는 안 된다.

(2) 피로의 영향에 관해서는 고정하중, 활하중, 충격 및 원심하중만을 고려해서 「9.4.3항」에 의해 검토해야 한다.

(3) 주하중, 부하중 및 그 밖의 하중의 조합은 이 설계기준 「제8장 8.3.3항」의 하중조합을 따른다. 이 경우의 허용응력은 「9.4.2항, 9.4.4항 및 9.4.5항」에 이 설계기준 「제8장」<표 8.3.1>에서 제시하는 증가계수를 곱한 수치를 적용한다.

(4) 기호

b = 플랜지의 폭(mm)

b^* = 박스형단면 및 U형 단면의 경우 복부판 중심간격, 하로플레이트거더의 경우 주거더 중심간격(mm)

f_R = 응력범위(MPa)

f_R^c = 용접루트부에서 용입되지 않은 것을 가정할 때 <표 9.4.9> 허용피로응력범위의 상세범주 C에 해당하는 허용응력범위(MPa)

f_{Rfat} = 허용피로응력범위(MPa)

L = 부재 지간(m)

l = 부재의 좌굴길이, 플랜지의 고정점간 거리(mm)

$\left(\frac{l}{r}\right)$ = 세장비

$\left(\frac{l}{r}\right)_e$ = 등가세장비

N = 응력반복횟수

R = 용접에서의 반경(mm)

r = 고려하는 축에 대한 총단면의 단면2차반지름(mm)

α = 플랜지의 두께(t_f)와 복부판 두께(t_w)의 비

β = 복부판 높이(h)와 플랜지폭(b)의 비

η = 기둥의 유효좌굴길이 계산 시 곱하는 계수($\eta = l/H$)

9.4.2 구조용 강재 및 용접부의 허용응력

(1) 기본허용응력

① 구조용 강재 및 용접부에 대한 기본허용응력은 <표 9.4.1>에 제시한 값으로 한다.

(2) Allowable buckling stress

① Allowable buckling stress is shown in <Table 9.4.2>.

Table 9.4.1 Allowable stress of structural steel and welded part(MPa)

Steel / Stress type, plate thickness					SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570	Remarks
STRUCTURAL STEEl	Tensile stress (based on net section area)		Axial stress	40≥	140	190	215	270	①
				40< 75≥	130	175	200	260	
				75< 100≥			195	250	
			Bending stress	40≥	140	190	215	270	
				40< 75≥	130	175	200	260	
				75< 100≥			195	250	
	Compressive stress (based on total section area)		Axial stress	40≥	140	190	215	270	
				40< 75≥	130	175	200	260	
				75< 100≥			195	250	
			Bending stress	40≥	140	190	215	270	
				40< 75≥	130	175	200	260	
				75< 100≥			195	250	
	Shear stress		Based on total section area	40≥	80	105	120	155	②
				40< 75≥	75	100	115	145	
				75< 100≥			110	145	
	Bearing stress		Steel plate to steel plate	40≥	210	285	320	405	③
				40< 75≥	195	265	300	385	
				75< 100≥			295	380	
WELDED PART	Factory welding	Groove	Tensile stress	40≥	140	190	215	270	④
				40< 75≥	130	175	200	260	
				75< 100≥			195	250	
			Compressive stress	40≥	140	190	210	270	
				40< 75≥	130	175	200	260	
				75< 100≥			195	250	
			Shear stress	40≥	80	105	120	155	⑤
				40< 75≥	75	100	115	145	
				75< 100≥			110	145	
		Fillet	Tensile & compressive stress in bead direction	40≥	140	190	215	270	⑥
				40< 75≥	130	175	200	260	
				75< 100≥			195	250	
			Tensile, compressive and shear stress to throat thickness	40≥	80	105	120	155	⑦
				40< 75≥	75	100	115	145	
				75< 100≥			110	135	
	Field welding		When factory welding quality is unachievable, it shall be 90% factory welding quality or higher.						⑧

(2) 허용좌굴응력

① 허용좌굴응력은 <표 9.4.2>에 제시한 값으로 한다.

표 9.4.1 강재 및 용접부의 허용응력(단위: MPa)

응력의 종류, 판두께 \ 강종					SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570	비고
구조용 강재	인장응력 (순단면적 기준)		축방향응력	40이하	140	190	215	270	①
				40초과 75이하	130	175	200	260	
				75초과 100이하			195	250	
			휨응력	40이하	140	190	215	270	
				40초과 75이하	130	175	200	260	
				75초과 100이하			195	250	
	압축응력 (총단면적 기준)		축방향응력	40이하	140	190	215	270	
				40초과 75이하	130	175	200	260	
				75초과 100이하			195	250	
			휨응력	40이하	140	190	215	270	
				40초과 75이하	130	175	200	260	
				75초과 100이하			195	250	
	전단응력		총단면적 기준	40이하	80	105	120	155	②
				40초과 75이하	75	100	115	145	
				75초과 100이하			110	145	
	지압응력		강판과 강판	40이하	210	285	320	405	③
				40초과 75이하	195	265	300	385	
				75초과 100이하			295	380	
용접부	공장용접	그루브용접	인장응력	40이하	140	190	215	270	④
				40초과 75이하	130	175	200	260	
				75초과 100이하			195	250	
			압축응력	40이하	140	190	210	270	
				40초과 75이하	130	175	200	260	
				75초과 100이하			195	250	
			전단응력	40이하	80	105	120	155	⑤
				40초과 75이하	75	100	115	145	
				75초과 100이하			110	145	
		필릿용접	비드방향의 인장, 압축응력	40이하	140	190	215	270	⑥
				40초과 75이하	130	175	200	260	
				75초과 100이하			195	250	
			목두께에 대한 인장, 압축, 전단응력	40이하	80	105	120	155	⑦
				40초과 75이하	75	100	115	145	
				75초과 100이하			110	135	
	현장용접		공장용접에 준하는 품질을 얻을 수 없는 경우에는 상기의 90%로 한다.						⑧

Table 9.4.1 Allowable stress of structural steel and welded part (MPa) (Con't)

Stress type, plate thickness (mm) \ Steel					SM490C-TMC	SM520C-TMC	HSB 500	HSB 600 SM570-TMC	Remarks
Structural steel	Tensile stress (based on net section area)		Axial stress	100 ≥	190	215	230	270	①
			Bending stress	100 ≥	190	215	230	270	
	Compressive stress (based on total section area)		Axial stress	100 ≥	190	215	230	270	
			Bending stress	100 ≥	190	215	230	270	
	Shear stress		Based on total section area	100 ≥	105	120	130	155	②
	Bearing stress		Steel plate – steel plate	100 ≥	285	320	345	405	③é
Welded part	Factory welding	Groove	Tensile stress	100 ≥	190	215	230	270	④
			Compressive stress	100 ≥	190	210	230	270	
			Shear stress	100≥	105	120	130	155	⑤ë
		Fillet	Tensile & compressive stress in bead direction	100≥	190	215	230	270	⑥
			Tensile, compressive and shear stress to throat thickness	100 ≥	105	120	130	155	⑦í
	Field welding		When factory welding quality is unachievable, it shall be 90% factory welding quality or higher.						⑧

Note) ① When connecting steel members with different stiffnesses, allowable stress of welded part shall be based on the lower stiffness.

② Net section area in 「Note ①」 refers to the area excluding the loss by bolt hole.

③ In butt welding in 「Note ④ and ⑧」, major members shall be subject to radioactive examination or ultrasonography. Acceptable level of radioactive examination shall be class 2 for tensile joint and class 3 for compressive joint as per KS B0845, and ultrasonography shall be class 2 as per KS B0896.

④ In 「Note ⑧」, tensile and compressive strength in welding line shall be 100%.

표 9.4.1 강재 및 용접부의 허용응력(단위: MPa)(계속)

응력의 종류, 판두께(mm) \ 강종					SM490C -TMC	SM520C -TMC	HSB 500	HSB 600 SM570-TMC	비고
구조용 강재	인장응력 (순단면적 기준)		축방향응력	100 이하	190	215	230	270	①
			휨응력	100 이하	190	215	230	270	
	압축응력 (총단면적 기준)		축방향응력	100 이하	190	215	230	270	
			휨응력	100 이하	190	215	230	270	
	전단응력		총단면적 기준	100 이하	105	120	130	155	②
	지압응력		강판과 강판	100 이하	285	320	345	405	③
용접부	공장용접	그루브용접	인장응력	100 이하	190	215	230	270	④
			압축응력	100 이하	190	210	230	270	
			전단응력	100이하	105	120	130	155	⑤
		필릿용접	비드방향의 인장, 압축응력	100이하	190	215	230	270	⑥
			목두께에 대한 인장, 압축, 전단응력	100 이하	105	120	130	155	⑦
	현장용접		공장용접에 준하는 품질을 얻을 수 없는 경우에는 상기의 90%로 한다.						⑧

주) ① 강도가 다른 강종을 연결하는 경우의 용접부의 허용응력은 강도가 낮은 강종에 대한 값을 취한다.

② 「비고①」에 있어서의 부재의 순단면적은 총단면적에서 볼트구멍에 의해서 손실된 단면적을 제외한 것을 말한다.

③ 「비고④ 및 ⑧항」에 있어서 맞대기 용접의 경우 주요 부재에 관해서는 방사선 검사 또는 초음파 탐사검사를 행해야 한다. 방사선 검사의 합격 기준은 KS B0845(강 용접부의 방사선 시험방법 및 투과사진의 등급분류방법)에 따라서 인장이음은 2류 이상, 압축이음은 3류 이상으로 하고 KS B0896(강 용접부의 초음파 탐상시험방법 및 시험결과의 등급 분류방법)에서는 2류 이상으로 해야 한다.

④ 「비고⑧」에 있어서 용접선 방향의 인장, 압축의 경우는 100%로 해야 한다.

Table 9.4.2 Allowable buckling stress of steel (MPa)

(a) Axial compressive stress (total section area)

Steel / Plate thickness(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40 ≥	$0<\frac{l}{r}\leq 9$ 140 $9<\frac{l}{r}\leq 130$ $140-0.80(\frac{l}{r}-9)$ $\frac{l}{r}>130$ $740{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 8$ 190 $8<\frac{l}{r}\leq 110$ $190-1.26(\frac{l}{r}-8)$ $\frac{l}{r}>110$ $740{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7.5$ 215 $7.5<\frac{l}{r}\leq 105$ $215-1.51(\frac{l}{r}-7.5)$ $\frac{l}{r}>105$ $740{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$ 270 $7<\frac{l}{r}\leq 95$ $270-2.14(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>95$ $740{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$
40 < 75 ≥	$0<\frac{l}{r}\leq 10$ 130 $10<\frac{l}{r}\leq 135$ $130-0.72(\frac{l}{r}-10)$ $\frac{l}{r}>135$ $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 8$ 175 $8<\frac{l}{r}\leq 115$ $175-1.12(\frac{l}{r}-8)$ $\frac{l}{r}>115$ $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7.5$ 200 $7.5<\frac{l}{r}\leq 110$ $200-1.36(\frac{l}{r}-7.5)$ $\frac{l}{r}>110$ $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$ 260 $7<\frac{l}{r}\leq 95$ $260-2.04(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>95$ $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$
75 < 100 ≥			$0<\frac{l}{r}\leq 8$ 195 $8<\frac{l}{r}\leq 110$ $195-1.32(\frac{l}{r}-8)$ $\frac{l}{r}>110$ $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$ 250 $7<\frac{l}{r}\leq 95$ $250-1.92(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>95$ $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$

표 9.4.2 강재의 허용좌굴응력 (단위: MPa)

(a) 축방향압축응력(총단면적 기준)

강종 / 판두께 (mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40 이하	$0<\frac{l}{r}\leq 9$: 140 $9<\frac{l}{r}\leq 130$: $140-0.80(\frac{l}{r}-9)$ $\frac{l}{r}>130$: $740{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 8$: 190 $8<\frac{l}{r}\leq 110$: $190-1.26(\frac{l}{r}-8)$ $\frac{l}{r}>110$: $740{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7.5$: 215 $7.5<\frac{l}{r}\leq 105$: $215-1.51(\frac{l}{r}-7.5)$ $\frac{l}{r}>105$: $740{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$: 270 $7<\frac{l}{r}\leq 95$: $270-2.14(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>95$: $740{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$
40 초과 75 이하	$0<\frac{l}{r}\leq 10$: 130 $10<\frac{l}{r}\leq 135$: $130-0.72(\frac{l}{r}-10)$ $\frac{l}{r}>135$: $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 8$: 175 $8<\frac{l}{r}\leq 115$: $175-1.12(\frac{l}{r}-8)$ $\frac{l}{r}>115$: $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7.5$: 200 $7.5<\frac{l}{r}\leq 110$: $200-1.36(\frac{l}{r}-7.5)$ $\frac{l}{r}>110$: $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$: 260 $7<\frac{l}{r}\leq 95$: $260-2.04(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>95$: $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$
75 초과 100 이하			$0<\frac{l}{r}\leq 8$: 195 $8<\frac{l}{r}\leq 110$: $195-1.32(\frac{l}{r}-8)$ $\frac{l}{r}>110$: $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$: 250 $7<\frac{l}{r}\leq 95$: $250-1.92(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>95$: $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$

(a) Axial compressive stress (total section area) (Cont'd)

Steel / Plate thickness (mm)	SM490C-TMC	SM520C-TMC	HSB500	HSB600 SM570-TMC
100 ≥	$0<\frac{l}{r}\leq 8$ 190	$0<\frac{l}{r}\leq 7.5$ 215	$0<\frac{l}{r}\leq 7$ 230	$0<\frac{l}{r}\leq 7$ 270
	$8<\frac{l}{r}\leq 115$	$7.5<\frac{l}{r}\leq 110$	$7<\frac{l}{r}\leq 100$	$7<\frac{l}{r}\leq 95$
	$190-1.26(\frac{l}{r}-8)$	$215-1.51(\frac{l}{r}-7.5)$	$230-1.69(\frac{l}{r}-7)$	$270-2.15(\frac{l}{r}-7)$
	$\frac{l}{r}>115$	$\frac{l}{r}>110$	$\frac{l}{r}>100$	$\frac{l}{r}>95$
	$730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$

(a) 축방향압축응력(총단면적 기준)(계속)

강종 / 판두께 (mm)	SM490C-TMC	SM520C-TMC	HSB500	HSB600 SM570-TMC
100 이하	$0<\frac{l}{r}\leq 8$ 190 $8<\frac{l}{r}\leq 115$ $190-1.26(\frac{l}{r}-8)$ $\frac{l}{r}>115$ $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7.5$ 215 $7.5<\frac{l}{r}\leq 110$ $215-1.51(\frac{l}{r}-7.5)$ $\frac{l}{r}>110$ $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$ 230 $7<\frac{l}{r}\leq 100$ $230-1.69(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>100$ $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$ 270 $7<\frac{l}{r}\leq 95$ $270-2.15(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>95$ $730{,}000/\left(\frac{l}{r}\right)^2$

(b) Bending compressive stress (total section area)

Steel / Bending axis	SS400 SM400 SMA400	SM490 SM490C-TMC	SM 490Y SM 520 SMA 490 SM520C-TMC	SM 570 SMA 570 SM570-TMC	HSB500	HSB600
Bending to string axis	(1) Bending to string axis Equivalent slenderness ratio $(l/r)_e$ in the following equation instead of slenderness ratio in Table (a) (l/r) $(\frac{l}{r})_e = F\frac{l}{b^*}$ Where, I °-section, $F = \sqrt{12+2\beta/\alpha}$ Box girder section, $\beta < \beta_0 : F = 0$ $\beta_0 \leqq \beta < 1 : F = \frac{1.05(\beta-\beta_0)}{1-\beta_0}\sqrt{3\alpha+1}\sqrt{b/l}$ $1 \leqq \beta < 2 : F = 0.74\sqrt{(3\alpha+\beta)(\beta+1)}\sqrt{b/l}$ $2 \leqq \beta : F = 1.28\sqrt{3\alpha+\beta}\sqrt{b/l}$ $\beta_0 = \frac{14+12\alpha}{5+21\alpha}$ U-section, $F = 1.1\sqrt{12+2\beta/\alpha}$					
Bending to weak axis	140	190	215	270	230	270

Note) ① l in Table (a) is buckling length of member (mm), r is radius of gyration of section (mm) of total section to axis considered, and l is as specified in <Table 9.4.3>.

② l in Table (b) is distance (mm) between fixed points of flange, and bis flange width (mm). Then, ＊b is center-to-center spacing (mm) of web for box girder and U-section and center-to-center spacing (mm) of main girder for through plate girder. α is the ratio (t_f/t_w) of flange thickness (t_f) to web plate thickness (t_w), and β is the ratio (h/b) of web plate height (h) to flange width (b).

Table 9.4.3 Buckling length of the member

Member	
Chord of truss	Length of frame
Web of truss (out of plane)	Length of frame
Web of truss (in plane)	0.9 of Length of frame
Horizontal bracing and vertical bracing	Length of frame

(b) 휨압축응력(총단면적 기준)

강종 / 휨 축	SS400 SM400 SMA400	SM490 SM490C-TMC	SM 490Y SM 520 SMA 490 SM520C-TMC	SM 570 SMA 570 SM570-TMC	HSB500	HSB600
강축에 대한 휨	(1) 강축에 대한 휨 표(a) 의 세장비 (l/r)대신에 다음 식으로 표시한 등가세장비 $(l/r)_e$를 사용. $(\frac{l}{r})_e = F\frac{l}{b^*}$ 여기서, I 형단면의 경우 $F = \sqrt{12+2\beta/\alpha}$ 박스거더단면의 경우 $\beta < \beta_0 : F = 0$ $\beta_0 \leqq \beta < 1 : F = \frac{1.05(\beta-\beta_0)}{1-\beta_0}\sqrt{3\alpha+1}\sqrt{b/l}$ $1 \leqq \beta < 2 : F = 0.74\sqrt{(3\alpha+\beta)(\beta+1)}\sqrt{b/l}$ $2 \leqq \beta : F = 1.28\sqrt{3\alpha+\beta}\sqrt{b/l}$ $\beta_0 = \frac{14+12\alpha}{5+21\alpha}$ U형단면의 경우 $F = 1.1\sqrt{12+2\beta/\alpha}$					
약축에 대한 휨	140	190	215	270	230	270

주) ① 표(a)의 l은 부재의 좌굴길이(mm), r은 고려하는 축에 대한 총단면의 단면 2차 반지름(mm)을 나타낸다. 또한 l의 값은 <표 9.4.3>을 따른다.

② 표(b)의 l은 플랜지의 고정점간거리(mm), b는 플랜지의 폭(mm)을 나타낸다. 다만 ＊표시의 b는 박스거더 단면 및 U형단면의 경우 복부판 중심간격(mm)을, 하로 플레이트거더의 경우 주거더 중심간격(mm)을 나타낸다. α는 플랜지의 두께(t_f)와 복부판 두께(t_w)의 비(t_f/t_w), β는 복부판 높이(h)와 플랜지폭(b)의 비(h/b)이다.

표 9.4.3 부재의 좌굴길이

부재	l
트러스의 현재	골조길이
트러스의 복부재(면외)	골조길이
트러스의 복부재(면내)	골조길이의 0.9
수평브레이싱 및 수직브레이싱	골조길이

(3) Calculation of buckling length (l)

① The equation for axial stress in <Table 9.4.2> is based on buckling length of compression member with hinge at both ends, and equivalent slenderness ratio shall be used in the equation of bending stress. The following are example methods of calculating buckling length that are often used.

A. Deck plate girder bridge: l shall be the frame length for compression flange, horizontal bracing and support. In vertical bracing, out of plane buckling length (l) shall be frame length when two members are crossing and in plane bucking length (l) shall be 1/2 of frame length when intersection point is fixed by welding or a high-tension bolt.

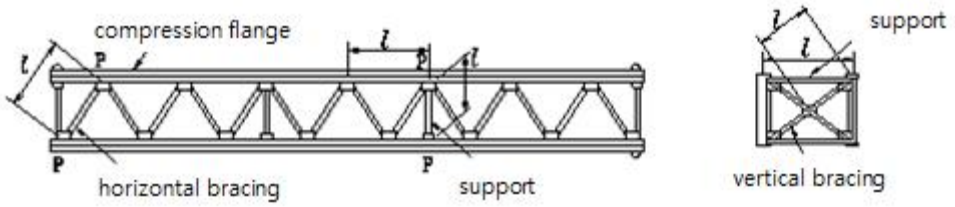


Fig. 9.4.1 Deck plate girder

B. Deck box girder bridge: In a single room box girder, buckling length shall be a span, but when box girdersat both sides on a double track are firmly connected, interval shall be considered l.

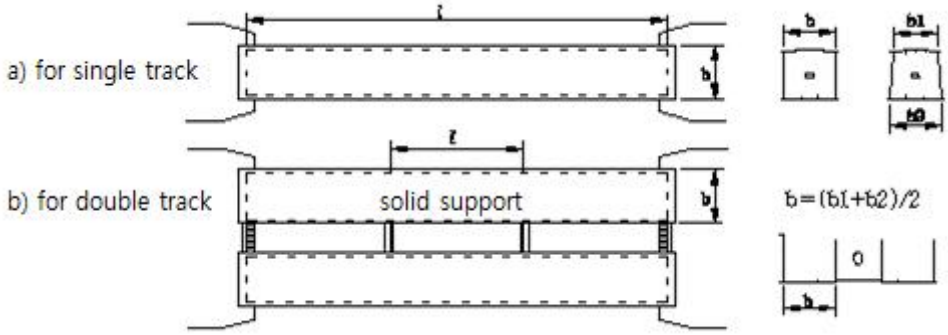


Fig. 9.4.2 Deck box girder bridge

(3) 좌굴길이(l)의 산정방법

① <표 9.4.2>의 축방향응력에 관한 식은 부재의 양단이 힌지인 압축재의 좌굴길이를 기초로 한 것이고, 또한 휨응력의 식에서는 등가세장비를 사용해야 한다. 다음에 실제로 자주 사용되는 구조물의 좌굴길이의 산정방법에 대해 예시하였다.

가. 상로 플레이트거더교 : 압축플랜지, 수평브레이싱, 버팀재 등에 대해서는 l이 골조길이가 되는 것이 원칙이다. 수직브레이싱에 있어서는 2개의 부재가 교차하고 있는 경우에 면외좌굴길이(l)는 골조길이를, 면내 좌굴길이(l)는 교점이 용접 또는 고장력볼트로 견고하게 연결되어 있으면 골조길이의 반으로 해야 한다.

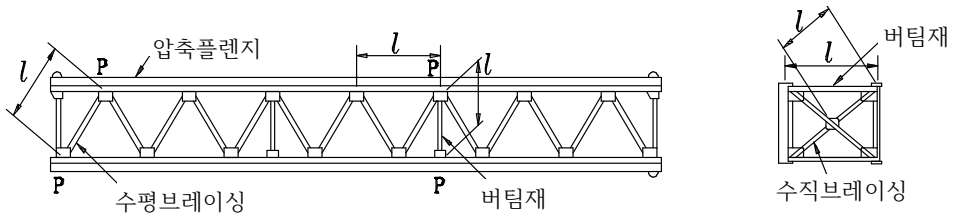


그림 9.4.1 상로 플레이트거더교

나. 상로 박스거더교 : 1실박스거더의 경우에 좌굴길이(l)는 지간을 취하지만, 복선에서 좌우의 박스거더가 견고하게 연결되어 있을 때에는 그 간격을 l로 본다.

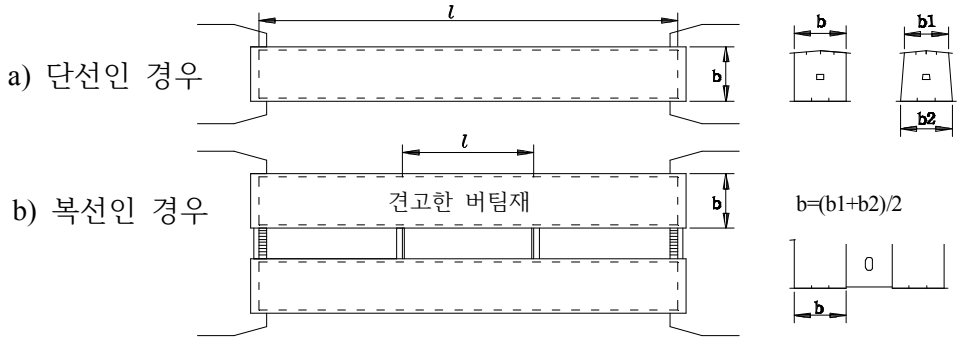


그림 9.4.2 상로 박스거더교

C. Through plate girder bridge: Buckling length of top flange (l) is dependent on stiffness of cross beam and knee brace, and when knee brace is stable, it shall be a cross beam interval. For a steel floor plate type through plate girder, allowable compressive stress for low slenderness, when usual interval and strength of cross beam are applied, such as SM400-140 MPa, SM490-190 MPa, SM490Y and SM520-215 MPa, HSB500-230 MPa, HSB600, SM570-270 MPa, shall be used. In horizontal bracing at bottom, one of two x-crossings only is considered to resist the tension in principle, and buckling length of compression member does not need to be considered, while slenderness ratio of tension member shall be limited. The length of member used for calculating the slenderness ratio shall be bb or bp on out of plane of horizontal bracing when horizontal bracing is supported by solid member such as string beam, and when in plane, ab or bp could be considered as the length of the member (see <Fig. 9.4.3>). When a horizontal bracing is attached to the top flange of string beam, it shall be in accordance with deck plate girder in 「A.」. When overturn of string beam is resisted by the support and reinforcement in the middle, as in <Fig. 9.4.4>, l shall be considered to be divided by the support.

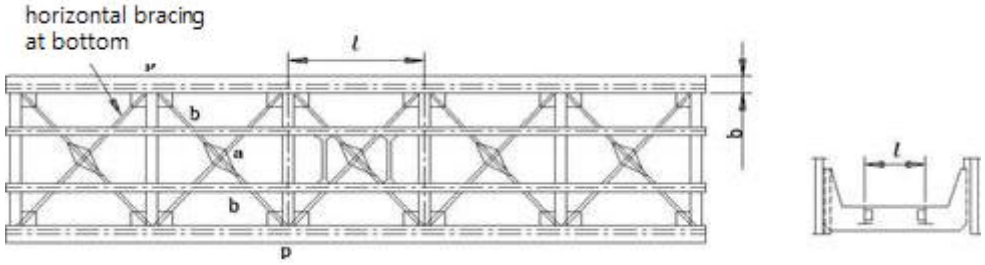


Fig. 9.4.3 Through plate girder bridge

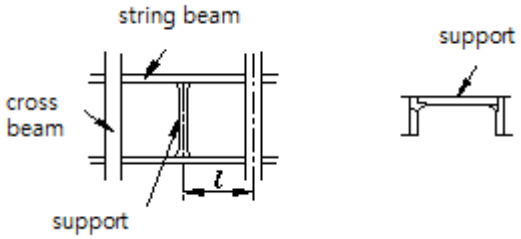


Fig. 9.4.4 String beam

D. Through box girder bridge: When cross beam and knee brace are available, l usually becomes the interval of cross beam, but if the stiffness of cross beam is insufficient, it is necessary to make l longer than actual length considering the strength of cross beam (see <Fig. 9.4.5>).

다. 하로 플레이트거더교 : 상부플랜지의 좌굴길이(l)는 가로보 및 니브레이스의 강도와 관계가 있는데 견고한 니브레이스가 있는 경우에는 가로보 간격으로 해야 한다. 또한 강바닥판식 하로 플레이트거더의 경우에는 보통 사용되는 가로보의 간격과 강도라면 세장비가 작은 경우의 허용압축응력인 SM400의 140MPa, SM490의 190MPa, SM490Y 및 SM520의 215MPa, HSB500의 230MPa, HSB600 및 SM570의 270MPa을 사용한다. 하부수평브레이싱에 대해서는 X형으로 교차하는 2개중에서 1개만이 인장에 저항한다고 보는 것이 원칙이므로, 압축재로서 좌굴길이를 고려할 필요는 없고 인장재로서 세장비의 제한이 있다. 이때의 세장비의 계산에 사용하는 부재의 길이는 세로보 등으로부터 견고한 부재로 수평브레이싱 부재를 지지하는 경우는 수평브레이싱 면외방향에 대해서는 bb 또는 bp를, 면내방향에 대해서는 ab 또는 bp를 부재길이로 볼 수 있다.(<그림 9.4.3> 참조) 세로보의 상부플랜지에 수평브레이싱이 붙어 있는 경우는 「가.항」의 상로 플레이트거더 규정을 따른다. <그림 9.4.4>와 같이 중간에 버팀재와 보강재로 세로보의 전도에 저항하는 경우에는 l은 버팀재에 의해 분할되는 것으로 한다.

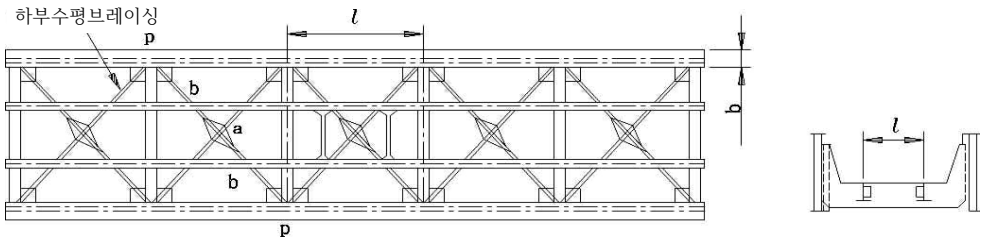


그림 9.4.3 하로 플레이트거더교

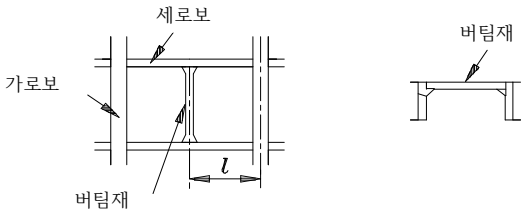


그림 9.4.4 세로보

라. 하로 박스거더교 : 가로보와 니브레이스가 있는 경우에는 l을 가로보의 간격으로 하는 것이 일반적이나, 가로보의 강도가 충분하지 않은 경우에는 가로보의 강도를 고려하여 l을 실제보다 길게 택할 필요가 있다.(<그림 9.4.5> 참조)

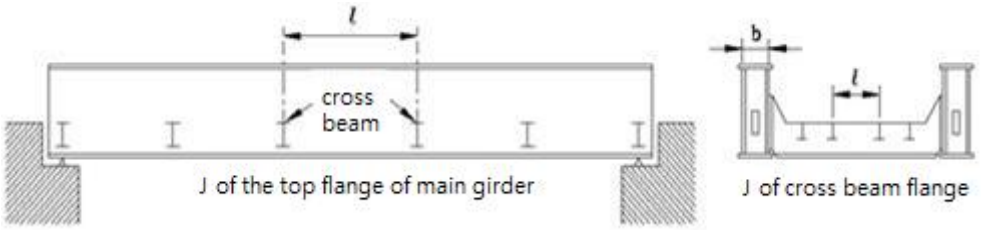


Fig. 9.4.5 Through box girder bridge

E. Deck continuous box girder bridge: For a single deck continuous bridge with box girder section, deck continuous box girder bridge is as shown in <Fig. 9.4.6>. When a single box girder is arranged in parallel on double track and connected in the middle, it shall be as in 「B.」. If a through plate girder or two I-section main girders are connected by horizontal bracing, buckling length of main (l) shall be in accordance with 「A.」 and 「B.」.

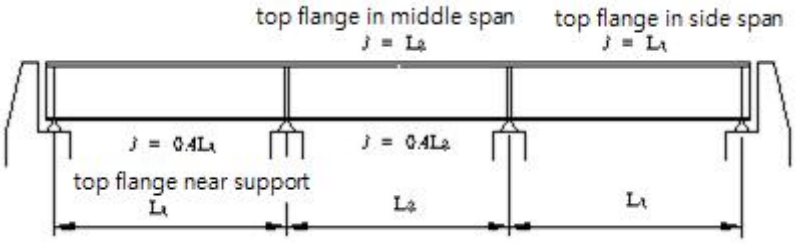


Fig. 9.4.6 Deck continuous box girder bridge

F. Deck Gerber box girder bridge: For a single room box girder, l is as shown in <Fig. 9.4.7>. Because extended length L_2 in Fig. (b) is relatively small in railway bridge, $l = L_3$ shall be applied to center span l, unlike the center span of continuous girder. When connected in the middle of a single girder in parallel or through plate girder or I-section deck, plate girder shall be the same as 「E.」.

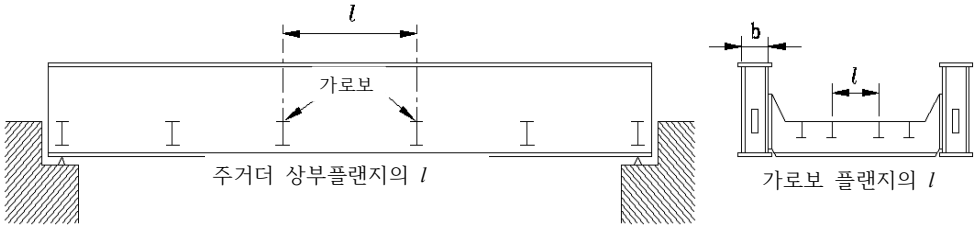


그림 9.4.5 하로 박스거더교

마. 상로 연속 박스거더교 : 박스거더 단면의 단선 상로 연속교의 경우는 <그림 9.4.6>을 따른다. 복선에서 단일박스거더를 병렬배치하고 양박스거더를 중간에서 견고하게 결합한 경우에는 「나.항」을 기준으로 해야 한다. 또한 하로 플레이트거더나 I형단면의 2개 주거더를 수평브레이싱으로 연결한 경우, 주거더의 좌굴길이(l)는 「가.항」및 「나.항」을 따른다.

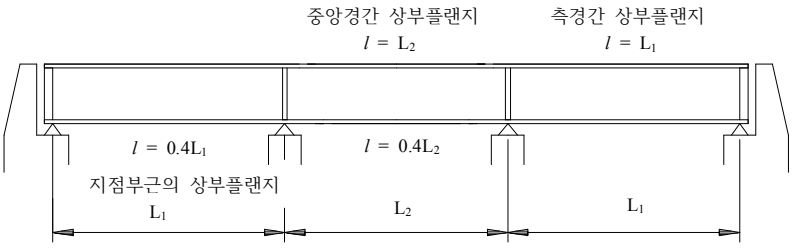


그림 9.4.6 상로연속박스거더교

바. 상로 게르버 박스거더교 : 1실박스거더의 경우, l은 <그림 9.4.7>을 따른다. 다만 그림(b)에 있어서 돌출길이 L_2가 철도교에서는 일반적으로 작기 때문에 중앙 경간의 l에 대해서는 연속거더의 중앙 경간의 경우와 다른 $l = L_3$를 취하는 것으로 해야 한다. 병렬한 단선거더의 중간에서 서로 결합한 경우 및 하로 플레이트거더나 I형 단면 상로 플레이트거더의 경우 등에 대해서는 「마.항」에서 서술한 것과 동일하게 적용된다.

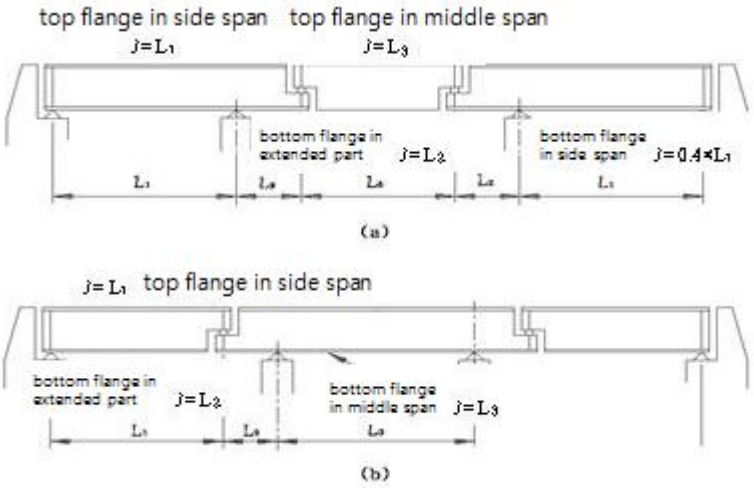


Fig. 9.4.7 Deck Gerber box girder

G. Dwarf girder bridge: In this case, buckling of main girder between rail supports shall be reviewed (see l_1 and b_1 in <Fig. 9.4.8>) with buckling of the member for a single track (2 main girders) (see l_2 and b_2 in <Fig. 9.4.8>).

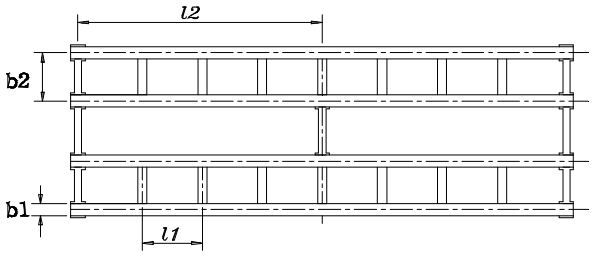


Fig. 9.4.8 Dwarf girder bridge

H. Main truss member: This shall be in accordance with <Table 9.4.3> (see <Fig. 9.4.9>).

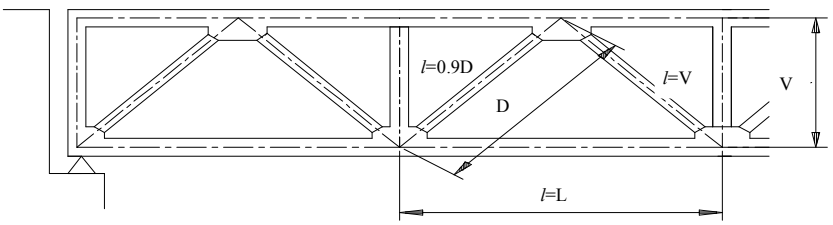


Fig. 9.4.9 Truss

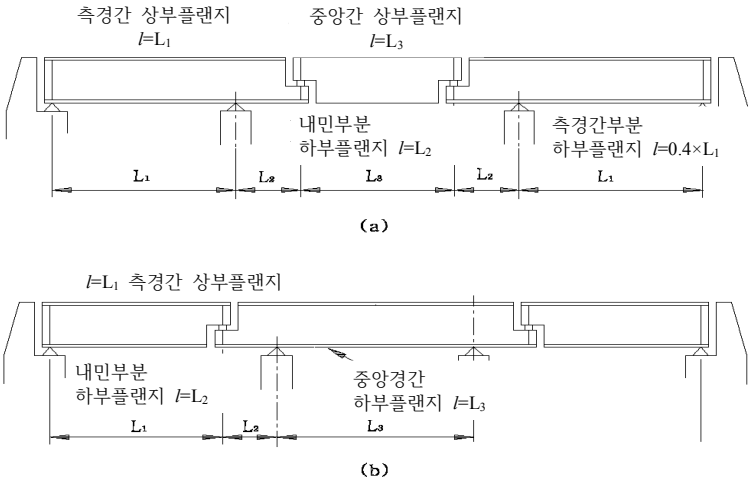


그림 9.4.7 상로 게르버 박스거더교

사. 드워프 거더교 : 드워프 거더의 경우는 우선 레일 지지부 간의 주거더의 좌굴에 관해서 검토하고(<그림 9.4.8>의 l_1과 b_1참조), 1선로분(2주거더)의 부재의 좌굴을 검토해야 한다.(<그림 9.4.8>의 l_2와 b_2참조)

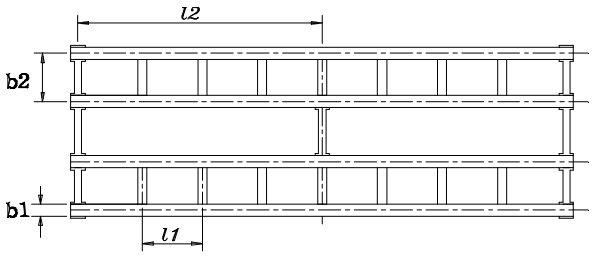


그림 9.4.8 드워프 거더교

아. 주트러스 부재 : <표 9.4.3>을 따른다.(<그림 9.4.9> 참조).

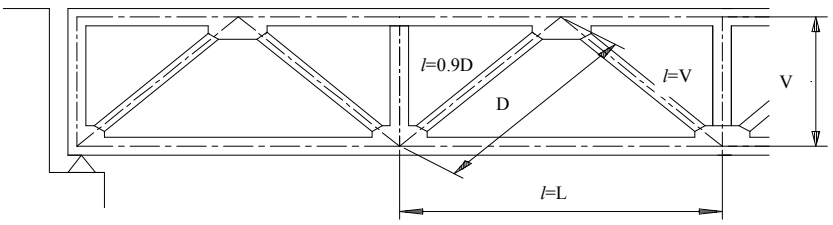


그림 9.4.9 트러스

I. Rahmen pier: In a Rahmen pier, calculation of l to review the compression part is dependent on the stiffness ratio of girder and beam, support condition or how the main girder of a bridge on a Rahmen girder constrains the Rahmen structure. Of the many Rahmen structure types, box type section and main girder of bridge on a single span Rahmen girder is more commonly used. The method to determine l in this case is described in <Table 9.4.4>. l of beam is calculated by multiplying the value in <Table 9.4.4> by the length of beam H.

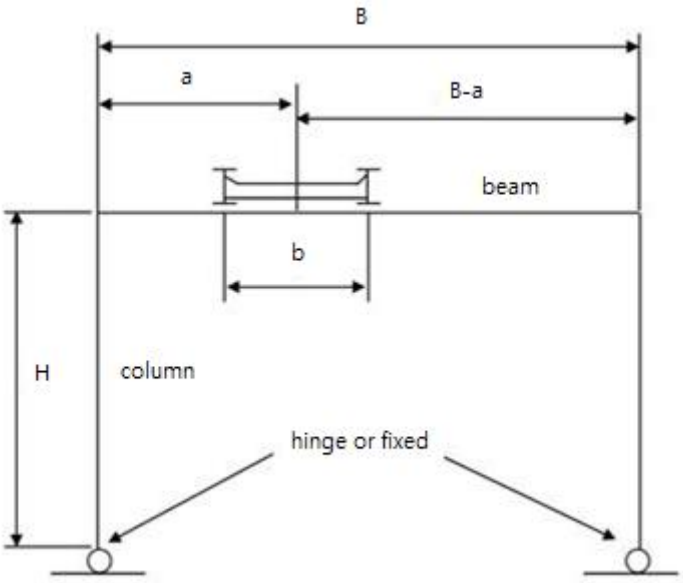


Fig. 9.4.10 Rahmen pier

Table 9.4.4 Buckling length of Rahmen structure

Beam support condition / Member		Hinge	Fixing
Girder		$l = \mathrm{B}$	$l = \mathrm{B}$
Beam	In plane	$\eta = 1.64\sqrt{\frac{B}{B-a}}$ $however,\ \eta \leqq 2.32$	$\eta = 0.82\sqrt{\frac{B}{B-a}}$ $however,\ \eta \leqq 1.16$
	Out of plane	$\eta = \left(\frac{4a}{B} + 0.3\right)\left(1 - \frac{b}{B}\right)^2 + 0.7$ $however, \eta \geqq 1$	$\eta = 2$

where, B, H, b, a: see <Fig. 9.4.10>

자. 라멘 교각 : 라멘 교각에 대해서는 거더와 기둥의 강성비, 지점 조건, 또는 라멘의 거더에 올려진 교량의 주거더가 라멘 구조를 어떻게 구속하고 있는가 등에 따라 압축부분을 검토하기 위한 l의 산정방법이 달라진다. 라멘 구조 형식은 종류가 매우 많은데 <그림 9.4.10>에 나타낸 바와 같이 박스형 단면이며 1층 단경간 라멘의 거더 위에 교량의 주거더를 올려놓는 방식이 가장 많이 사용된다. 이러한 경우의 l을 결정하는 방법을 <표 9.4.4>에 예시하였다. 기둥의 l은 <표 9.4.4>의 값에 기둥의 길이 H를 곱하여 구한다.

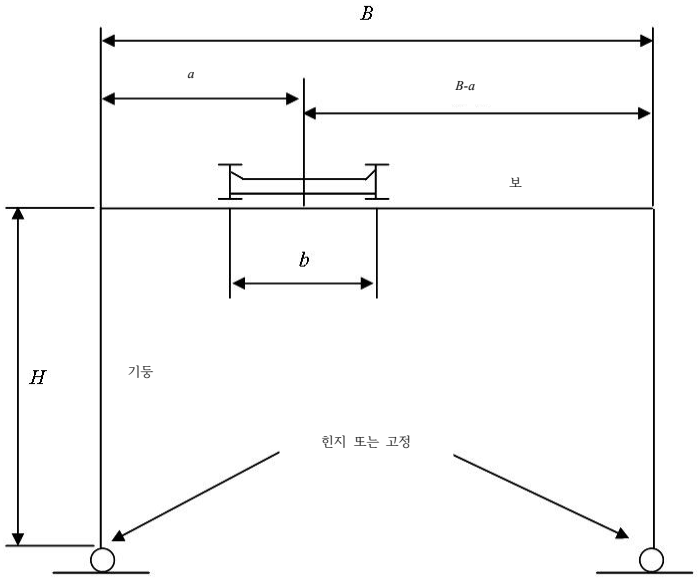


그림 9.4.10 라멘교각

표 9.4.4 라멘구조의 좌굴길이

기둥의 받침조건 / 부재		힌지	고정
거더		l = B	l = B
기둥	라멘 면내	$\eta = 1.64\sqrt{\frac{B}{B-a}}$ 단, $\eta \leqq 2.32$	$\eta = 0.82\sqrt{\frac{B}{B-a}}$ 단, $\eta \leqq 1.16$
	라멘 면외	$\eta = \left(\frac{4a}{B}+0.3\right)\left(1-\frac{b}{B}\right)^2+0.7$ 단,$\eta \geqq 1$	$\eta = 2$

여기서, B, H, b, a : <그림 9.4.10> 참조

η : Factor to be multiplied by beam length when calculating buckling of beam

That is, $\eta = l / H$

J. Arch bridge: This shall be in accordance with 「9.13.3」.

9.4.3 Allowable fatigue stress

(1) General

① Member or connection exposed to repeated stress shall satisfy the allowable stress condition with fatigue condition, but fatigue review may not be applied to the member exposed to compressive stress alone.

② Major dominant elements of fatigue strength include stress repeat cycle, range of stress and type and location of fatigue.

③ Stress repeat cycle (N) shall be determined based on an analysis using traffic forecast, but when traffic survey and other considerations are included, it shall be obtained from <Table 9.4.7>. N is determined by span length for vertical members, while for cross beam, hanger and parts of truss members, it shall be determined by the number of tracks.

④ The impact load applicable to fatigue design shall be obtained by adjusting impact load in 「8.2.3 (3) and 8.2.3 (4), Chapter 8 Bridge General」 using the ratio in <Table 9.4.5>

Table 9.4.5 Ratio applicable

Member span L (m)	Ratio
L ≤ 9 m	100%
L > 9 m	65%

⑤ Live load for fatigue design shall be in accordance with 「8.2.3, Chapter 8 Bridge General」.

⑥ Stress range (f_R) shall be defined by the difference between maximum stress and minimum stress calculated by live load, impact load and centrifugal load.

⑦ Types and locations of various detailed structures are described <Fig. 9.4.11>and <Table 9.4.10>.

⑧ Stress range of collapse-inducing member shall not exceed allowable stress range specified in <Table 9.4.8>.

η : 기둥의 좌굴 계산시 기둥길이에 곱하는 계수,

즉, $\eta = l / H$

차. 아치교 : 아치교의 경우는 「9.13.3항」의 규정을 따른다.

9.4.3 허용피로응력

(1) 일반내용

① 반복적인 응력을 받는 부재 및 연결부는 이 장에 규정된 일반허용응력조건과 함께 피로조건을 만족시켜야 한다. 다만, 압축응력만을 받는 부재는 피로 검토를 하지 않는다.

② 피로강도를 지배하는 주된 요소는 사용기간 중 예상되는 응력반복횟수, 응력범위의 크기 및 피로상세범주의 형태와 위치이다.

③ 응력반복횟수(N)는 예상통행량을 이용한 적절한 분석을 통해 결정해야 하지만, 교통량조사나 다른 고려사항이 없는 경우에는 <표 9.4.7>로부터 구한다. N은 종방향 부재에 대하여는 경간의 길이에 의해 결정되며 가로보와 행어 그리고 일부 트러스 부재에 있어서는 궤도 수에 따라 결정된다.

④ 피로설계에 적용하는 충격하중은 「제8장 8.2.3(3) 및 8.2.3(4)항」에 규정된 충격하중을 <표 9.4.5>의 비율로 조정하여 구한다.

표 9.4.5 적용 비율

부재지간 L(m)	적용비율
L ≤ 9m	100%
L > 9m	65%

⑤ 피로설계를 위한 활하중은 「제8장 8.2.3항」의 규정을 따른다.

⑥ 응력범위(f_R)은 활하중, 충격하중 그리고 원심하중에 의해서 계산된 최대응력값과 최소응력값의 차이로 규정한다.

⑦ 다양한 상세구조의 형식이나 위치는 <그림 9.4.11>과 <표 9.4.10>에 설명되어 있다.

⑧ 붕괴유발부재의 응력범위는 <표 9.4.8>에 기재된 허용응력범위를 넘어서는 안 된다.

⑨ Stress range of members other than the collapse-inducing member shall not exceed the allowable stress range specified in <Table 9.4.9>.

⑩ For the span longer than 90 m, appropriate analysis of the repeat cycle shall be conducted.

(2) High tension bolt receiving tensile fatigue load - High tension bolt shall not be exposed to tensile force in principle, but when such exposure is inevitably necessary, it shall be designed according to <Table 9.4.6>.

Table 9.4.6 Allowable fatigue stress range of tension bolt (MPa)

Repeat cycle	F8T	F10T (S10T)	F13T (S13T)
100,000	200	210	160
500,000	110	120	90
500,000 or more	100	110	80

Table 9.4.7 Stress repeat cycle (N)

Description of Member	Span (L) of flexural member and truss member and load condition	Repeat cycle within certain stress range (N)
Category 1 - vertical flexural member with connection, truss chord including short column and connection	L > 30 m	Less than 2,000,000
	L ≤ 30 m	2,000,000 or more
Category 2 - cross beam with connection, truss hanger transferring reaction of cross beam, sub-diagonal member with connection, truss web with connection	Load on both tracks	Less than 2,000,000
	Load on a single track	2,000,000 or more

Note) <Table 9.4.7> shall be applied to the bridge designed by live load defined in 「8.2.3」.

⑨ 붕괴유발부재가 아닌 부재의 응력범위는 <표 9.4.9>에 기재된 허용응력범위를 넘어서는 안 된다.

⑩ 90m가 넘는 경간에 대하여는 반복횟수에 대한 적절한 분석이 필요하다.

(2) 인장피로하중을 받는 고장력볼트 - 고장력볼트는 인장력을 받지 않도록 하는 것을 원칙으로 하나, 불가피한 경우 <표 9.4.6>에 따라 설계한다.

표 9.4.6 인장볼트의 허용피로응력범위(MPa)

반복횟수	F8T	F10T(S10T)	F13T(S13T)
10만회	200	210	160
50만회	110	120	90
50만회 이상	100	110	80

표 9.4.7 응력반복횟수(N)

부재설명	횜부재 및 트러스부재의 지간(L) 및 하중조건	일정응력범위의 반복횟수(N)
분류 1 - 종방향 횜부재와 그 연결부, 단주를 포함하는 트러스 현재와 그 연결부	L > 30m	2,000,000회 미만
	L ≤ 30m	2,000,000회 이상
분류 2 - 가로보와 연결부, 가로보의 반력만을 전달하는 트러스 행어, 부사재와 그 연결부, 트러스 복부부재와 그 연결부	양궤도 하중	2,000,000회 미만
	단일궤도 하중	2,000,000회 이상

주) <표 9.4.7>은 「8.2.3항」에 규정된 활하중에 의하여 설계된 교량에 적용한다.

Table 9.4.8 Allowable fatigue stress range (f_{Rfat}) – for collapse-inducing member (MPa)

Details	Stress repeat cycle (N)	
	Less than 2,000,000	2,000,000 or more
A	168	168
B	112	112
B'	77	77
C	70	63
	84[1)]	77[1)]
D	56	35
E	42	16
E'[2)]	28	9
F	49	42

Note) 1) Welded part of vertical stiffener of web plate and flange
2) Welding cover plate for partial reinforcement shall not be used on collapse-inducing member with 20 mm or thicker flange

Table 9.4.9 Allowable fatigue stress range (f_{Rfat}) – for non-collapse-inducing member (MPa)

Detailed range	Stress repeat cycle (N)	
	Less than 2,000,000	2,000,000 or more
A	168	168
B	126	112
B'	101	84
C	91	70 or 84[1)]
D	70	49
E	56	31
E'	40	18
F	63	56

Note) 1) Welded part of vertical stiffener of web plate and flange

표 9.4.8 허용피로응력범위(f_{Rfat}) - 붕괴유발부재인 경우(단위: MPa)

상세범주	응력반복횟수(N)	
	2,000,000회 미만	2,000,000회 이상
A	168	168
B	112	112
B'	77	77
C	70	63
	84[1)]	77[1)]
D	56	35
E	42	16
E'[2)]	28	9
F	49	42

주) 1) 복부판과 플랜지의 수직보강재 용접부

2) 두께가 20mm 이상인 플랜지를 갖는 붕괴유발부재에는 국부보강용 용접덮개판을 사용해서는 안 된다.

표 9.4.9 허용피로응력범위(f_{Rfat}) - 붕괴유발부재가 아닌 경우(단위: MPa)

상세범주	응력반복횟수(N)	
	2,000,000회 미만	2,000,000회 이상
A	168	168
B	126	112
B'	101	84
C	91	70 또는 84[1)]
D	70	49
E	56	31
E'	40	18
F	63	56

주) 1) 복부판과 플랜지의 수직보강재 용접부

Table 9.4.10 Fatigue detail range

General condition	Situation	Stress type[1)]	Details (see <Table 9.4.8, 9.4.9>)	Example (see <Fig. 9.4.11>)
Simple member	Base material with rolled surface or smooth surface	Tension or alternating	A	1, 2
I bar and pin plate	I bar and pin plate	Tension	E	
Cope	Standard cope with 19 mm radius or larger	Tension or alternating	C	23
Assembly member	Member and welded part with continuously and completely penetrated groove welding in parallel with stress direction (backing bar removed) or continuous filler welding without attachment	Tension or alternating	B	3, 4, 5, 7
	Member and welded part with continuously and completely penetrated groove welding in parallel with stress direction (backing bar not removed), but continuously partially penetrated groove welding without attachment	Tension or alternating	B'	3, 4, 5, 7
	Welded end of vertical stiffener installed on girder web plate or flange	Tension or alternating	C	6
	Base material at the end of cover plate for partial reinforcement (cover plate narrower than flange with right angled or tapered end, regardless of whether welding treatment or cover plate are wider than flange with welding treated end) (a) Flange thickness ≤ 20 mm (b) Flange thickness > 20 mm	Tension or alternating	 E E'	7
	Base material at the end of partially welded cover plate which is wider than flange with the end without welding treated	Tension or alternating	E'	7

표 9.4.10 피로상세범주

일반조건	상황	응력의 종류[1)]	상세범주 (<표 9.4.8, 9.4.9> 참조)	적용 예 (<그림 9.4.11> 참조)
단순부재	압연면 또는 매끈한 면을 가진 모재	인장 또는 교번	A	1,2
아이바와 핀판	아이바와 핀판	인장	E	
코프	반경이 19mm보다 크거나 같은 표준코프	인장 또는 교번	C	23
조립부재	응력방향과 평행하게 연속 완전용입 그루브용접(뒷댐판 제거)이나 연속필릿용접으로 접합되었으며 부착물이 없는 부재의 모재와 용접부	인장 또는 교번	B	3, 4, 5, 7
	응력방향과 평행하게 연속 완전용입 그루브용접(뒷댐판 미제거)이나 연속 부분용입 그루브용접으로 접합되었으며 부착물이 없는 부재의 모재와 용접부	인장 또는 교번	B'	3, 4, 5, 7
	거더 복부판이나 플랜지에 설치된 수직보강재의 용접단부	인장 또는 교번	C	6
	부분보강용 덮개판 끝의 모재(끝부분의 용접처리 유무와 관계없이 끝이 직각이나 테이퍼 처리된 플랜지보다 좁은 덮개판, 또는 플랜지보다 넓고 끝부분이 용접처리 되어 있는 덮개판) (a) 플랜지 두께 ≤ 20mm (b) 플랜지 두께 > 20mm	인장 또는 교번	 E E'	7
	끝부분이 용접처리 되어 있지 않은 플랜지보다 넓은 부분용접된 덮개판 끝에서의 모재	인장 또는 교번	E'	7

Table 9.4.10 Fatigue detail range (Continued)

General condition	Situation	Stress type[1)]	Details (see <Table 9.4.8, 9.4.9>)	Example (see <Fig. 9.4.11>)
Groove welded connection	Base material and welded part of completely penetrated groove welded joint or adjacent part on rolled section with similar section or welded section (when welded part is grinded in the working direction and non-destructive test is completed)	Tension or alternating	B	8, 10
	Base material and welded part of completely penetrated groove welded joint or adjacent part with 600 mm transition (when welded part is grinded in the working direction and non-destructive test is completed)	Tension or alternating	B	13
	Base material and welded part of completely penetrated groove welded joint or adjacent part with transition in width or thickness (when welded part is grinded in the working direction and non-destructive test is completed)	Tension or alternating	B'	11, 12
	Base material and welded part of completely penetrated groove welded joint or adjacent part without transition in width or thickness, or gradient of welded part is 1:23 or less (when non-destructive test is completed without removing weld reinforcement)	Tension or alternating	C	8, 10, 11, 12
Groove welded attachment with vertical stress [2)]	When joint length L in stress direction is 50 mm or less, base material adjoining completely or partially groove welded attachment	Tension or alternating	C	6, 15
	Base material adjoining completely or partially groove welded attachment when joint length L in stress direction is 50 mm or more, and 12 times the plate thickness or less (100mm or less)	Tension or alternating	D	15

표 9.4.10 피로상세범주(계속)

일반 조건	상황	응력의 종류[1]	상세범주 (<표 9.4.8, 9.4.9> 참조)	적용예 (<그림 9.4.11> 참조)
그루브 용접 연결부	비슷한 단면을 갖는 압연단면 또는 용접단면의 완전용입 그루브용접된 이음부나 인접부의 모재와 용접부(작용응력방향으로 용접부를 연마처리하고 용접부의 건전성을 비파괴검사를 통하여 검사한 경우)	인장 또는 교번	B	8, 10
	부재의 폭방향으로 600mm의 변화부 반경을 갖는 완전용입 그루브용접된 이음부나 인접부의 모재와 용접부(작용응력방향으로 용접부를 연마처리하고 용접부의 건전성을 비파괴검사를 통하여 검사한 경우)	인장 또는 교번	B	13
	부재의 폭방향 또는 두께방향 변화부(용접부경사가 1:2.5 이하인 경우)에서의 완전용입 그루브용접된 이음부나 인접부의 모재와 용접부(작용응력의 방향으로 용접부를 연마처리하고 용접부의 건전성을 비파괴검사를 통하여 검사한 경우)	인장 또는 교번	B'	11, 12
	부재의 폭방향 또는 두께방향 변화부가 없거나 용접부경사가 1:2.5 이하인 변화부가 있는 완전용입 그루브용접된 이음부나 그 인접부의 모재 또는 용접부(용접덧살을 제거하지 않고 용접부의 건전성을 비파괴검사를 통하여 검사한 경우)	인장 또는 교번	C	8, 10, 11, 12
종방향으로 응력을 받는 그루브 용접부착[2]	응력방향으로의 이음부 길이 L이 50mm 이하인 경우, 완전 또는 부분용입 그루브용접된 부착물의 이음부에 인접한 모재	인장 또는 교번	C	6, 15
	응력방향으로의 이음부의 길이 L이 50mm 이상이며 판두께의 12배 이하인 경우(단, 100mm 이하), 완전 또는 부분용입 그루브용접된 부착물의 이음부에 인접한 모재	인장 또는 교번	D	15

Table 9.4.10 Fatigue detail range (Continued)

General condition	Situation	Stress type[1)]	Details (see <Table 9.4.8, 9.4.9>)	Example (see <Fig. 9.4.11>)
Groove welded attachment with vertical stress[2)] (Cont'd)	When joint length L in stress direction is 12 times the plate thickness or 100 mm or more, base material adjoining completely or partially groove welded attachment (a) joint thickness < 25 mm (b) joint thickness ≥ 25 mm	Tension or alternating	 E E'	15
	Base material adjoining completely or partially groove welded attachment with transition radius R, irrespective of joint length. When the welded end with the following radius is finished by grinding: (a) R ≥ 600 mm (b) 600 mm > R ≥ 150 mm (c) 150 mm > R ≥ 50 mm (d) 50 mm > R ≥ 0 mm	Tension or alternating	 B C D E	16
	When welded end of transition is not finished by grinding	Tension or alternating	E	16
Groove welded attachment with lateral stress[2)3)]	Attachment to base material by completely penetrated groove welding and welding in vertical direction was checked through a non-destructive test, regardless of joint length.	Tension or alternating		16
	- When plate thickness is the same and weld reinforcement is removed: (a) R ≥ 600 mm (b) 600 mm > R ≥ 150 mm (c) 150 mm > R ≥ 50 mm (d) 50 mm > R ≥ 0 mm		 B C D E	
	- When plate thickness is the same and weld reinforcement is not removed: (a) R ≥ 150 mm (b) 150 mm > R ≥ 50 mm (c) 50 mm> R ≥ 0 mm	Tension or alternating	 C D E	16

표 9.4.10 피로상세범주(계속)

일반 조건	상황	응력의 종류[1]	상세범주 (<표 9.4.8, 9.4.9> 참조)	적용예 (<그림 9.4.11> 참조)
종방향으로 응력을 받는 그루브용접부착물[2] (계속)	응력방향으로의 이음부의 길이 L이 판두께의 12배 이상이거나 100mm 이상인 경우, 완전 또는 부분용입 그루브용접으로 부착된 이음부에 인접한 모재 (a) 이음부 두께 < 25mm (b) 이음부 두께 ≥ 25mm	인장 또는 교번	 E E'	15
	이음부의 길이와 상관없이 반경 R의 변화부를 갖는 완전 또는 부분용입 그루브용접으로 부착된 이음부에 인접한 모재. 아래의 원형반경을 갖고 용접단부를 연마처리한 경우: (a) R ≥ 600mm (b) 600mm > R ≥ 150mm (c) 150mm > R ≥ 50mm (d) 50mm > R ≥ 0mm	인장 또는 교번	 B C D E	16
	변화부의 용접단부를 연마처리하지 않은 경우	인장 또는 교번	E	16
횡방향으로 응력을 받는 그루브용접부착물[2] [3]	이음부의 길이와 무관하고 비파괴검사를 통해 응력의 수직방향에 대한 용접의 건전성이 확인된 반경 R의 변화부를 갖는 완전용입 그루브용접으로 모재에 붙인 부착물	인장 또는 교번		16
	- 판두께가 동일하며 용접덧살이 제거된 경우: (a) R ≥ 600mm (b) 600mm > R ≥ 150mm (c) 150mm > R ≥ 50mm (d) 50mm > R ≥ 0mm		 B C D E	
	- 판두께가 동일하나 용접덧살이 제거되지 않은 경우: (a) R ≥ 150mm (b) 150mm > R ≥ 50mm (c) 50mm> R ≥ 0mm	인장 또는 교번	 C D E	16

Table 9.4.10 Fatigue detail range (Continued)

General condition	Situation	Stress type[1)]	Details (see <Table 9.4.8, 9.4.9>)	Example (see <Fig. 9.4.11>)
Groove welded attachment with lateral stress [2)3)] (Cont'd)	- When plate thickness is different and weld reinforcement is removed: (a) R ≥ 50 mm (b) 50 mm > R ≥ 0 mm	Tension or alternating	 D E	16
	- Radius of transition when plate thickness is different and reinforcement is not removed	Tension or alternating	E	16
Fillet welding joint	Base material of joint with lateral load, and welded vertically to stress direction (a) joint thickness ≤ 12.5 mm (b) joint thickness > 12.5 mm	Tension or alternating	 C See Fig.	 14 22
	Base material of discontinuous fillet welding part	Tension or alternating	E	
	Shear force of fillet welding throat	Shear force	F (see Fig.)	9
Fillet welded attachment with vertical stress [2)3)4)]	Base material adjoining fillet welded joint with welding length in stress direction L is 500 mm or less	Tension or alternating	C	15, 17, 18, 19, 20
	Base material adjoining joint by fillet welding with welding length L in stress direction is 50mm or more, and 12 times the plate thicknessor less (100 mm or less)	Tension or alternating	D	15, 17
	Base material adjoining joint by fillet welding with welding length L in stress direction is 100 mm or more and 12 times the plate thickness or more. (a) joint thickness < 25 mm (b) joint thickness ≥ 25 mm	Tension or alternating	 E E'	 7, 9, 15, 17 7, 9, 15
	Base material adjoining the joint by fillet welding with transition radius R, regardless of joint length: - When welded end is finished by grinding (a) R ≥ 50 mm (b) 50 mm > R ≥ 0 mm	Tension or alternating	 D E	 16
	- When welded end is not finished by grinding	Tension or alternating	E	16

표 9.4.10 피로상세범주(계속)

일반 조건	상황	응력의 종류[1]	상세범주 (<표 9.4.8, 9.4.9> 참조)	적용예 (<그림 9.4.11> 참조)
횡방향으로 응력을 받는 그루브용접 부착물[2) 3)] (계속)	- 판두께가 다르고 용접덧살이 제거된 경우:	인장 또는 교번		16
	(a) R ≥ 50mm		D	
	(b) 50mm > R ≥ 0mm		E	
	- 판두께가 다르고 용접덧살이 제거되지 않은 변화부 반경	인장 또는 교번	E	16
필릿용접 연결부	횡방향의 하중을 받고 응력방향에 수직하게 용접된 연결부의 모재			
	(a) 이음부의 두께 ≤ 12.5mm	인장 또는 교번	C	14
	(b) 이음부의 두께 > 12.5mm	인장 또는 교번	그림참조	22
	불연속 필릿용접부의 모재	인장 또는 교번	E	
	필릿용접의 목부의 전단력	전단력	F(그림참조)	9
종방향으로 응력을 받는 필릿용접부착물[2) 3) 4)]	응력방향으로 용접길이 L이 50mm보다 길지 않은 필릿용접으로 부착된 이음부에 인접한 모재: 스터드형태의 전단연결재	인장 또는 교번	C	15, 17, 18, 19, 20
	응력방향으로 용접길이 L이 50mm 이상 그리고 판두께의 12배 이하(단, 100mm 이하)인 필릿용접으로 부착된 이음부에 인접한 모재	인장 또는 교번	D	15, 17
	응력방향으로 용접길이 L이 판두께의 12배 이상 또는 100mm 이상인 필릿용접으로 부착된 이음부에 인접한 모재			
	(a) 이음부두께 < 25mm	인장 또는 교번	E	7, 9, 15, 17
	(b) 이음부두께 ≥ 25mm	인장 또는 교번	E'	7, 9, 15
	이음부의 길이와 관계없이 반경 R의 변화부를 갖는 필릿용접으로 부착된 이음부에 인접한 모재:			
	- 용접단부를 연마처리한 경우	인장 또는 교번		16
	(a) R ≥ 50mm		D	
	(b) 50mm > R ≥ 0mm		E	
	- 용접단부를 연마처리하지 않은 경우	인장 또는 교번	E	16

Table 9.4.10 Fatigue detail range (Continued)

General condition	Situation	Stress type[1)]	Details (see <Table 9.4.8, 9.4.9>)	Example (see <Fig. 9.4.11>)
Fillet welded attachment in vertical direction with stress in lateral direction [2)4)]	Joint attached to base material by fillet welding with transition radius R, regardless of joint length (shear force on fillet welding throat determined by F in detail range) - When welded end is finished by grinding (a) R ≥ 50 mm	Tension or alternating	D	16
	(b) 50 mm > R ≥ 0 mm		E	
	- When welded end is not finished by grinding	Tension or alternating	E	16
Bolt & rivet joint	Base material on total section of friction joint of high tension bolt without out of plane bending to connection material	Tension or alternating	B	21
	Base material on net section of bearing joint of high tension bolt	Tension or alternating	B	21
	Base material on net section of rivet joint	Tension or alternating	D	21

Note) 1) Tension indicates the tensile stress range while alternating indicates the stress range where both tension and compression occur during repeated stress.

2) "Stress in vertical direction" indicates the direction of stress in parallel with the welding line, and "Stress in lateral direction" indicates the stress vertically to the welding line.

3) When the load is applied vertically to the welding line, partial penetration groove welding shall be avoided.

4) Gusset plate connected to outer surface of girder flange shall not be attached by lateral fillet welding only.

표 9.4.10 피로상세범주(계속)

일반 조건	상황	응력의 종류[1]	상세범주 (<표 9.4.8, 9.4.9> 참조)	적용예 (<그림 9.4.11> 참조)
주응력방향으로 용접된 횡방향으로 응력을 받는 필릿용접 부착물[2) 4)]	이음부의 길이와 관계없이 반경 R의 변화부를 갖는 필릿용접으로 모재에 부착된 이음부(상세범주 F에 의해 결정되는 필릿용접 목부에 작용하는 전단응력): - 용접단부를 연마처리한 경우 (a) R ≥ 50mm (b) 50mm > R ≥ 0mm	인장 또는 교번	D E	16
	- 용접단부를 연마처리하지 않은 경우	인장 또는 교번	E	16
볼트 및 리벳 연결부	연결재에 면외 휨을 갖지 않는 고장력볼트 마찰이음부의 전단면에서의 모재	인장 또는 교번	B	21
	고장력볼트 지압이음의 순단면에서의 모재	인장 또는 교번	B	21
	리벳연결부의 순단면에서의 모재	인장 또는 교번	D	21

주) 1) 인장은 인장응력범위를 나타내고 교번은 반복응력 시 인장 및 압축이 모두 일어나는 응력범위를 나타낸다.
2) “종방향으로 응력”은 용접선에 평행한 응력의 방향을 나타내고, “횡방향으로 응력”은 용접선에 수직인 응력의 방향을 나타낸다.
3) 하중이 용접선에 수직으로 재하된 경우에는 부분용입 그루브용접을 피해야 한다.
4) 거더플랜지의 바깥 면에 연결된 연결판은 횡방향 필릿용접만으로 부착해서는 안 된다.

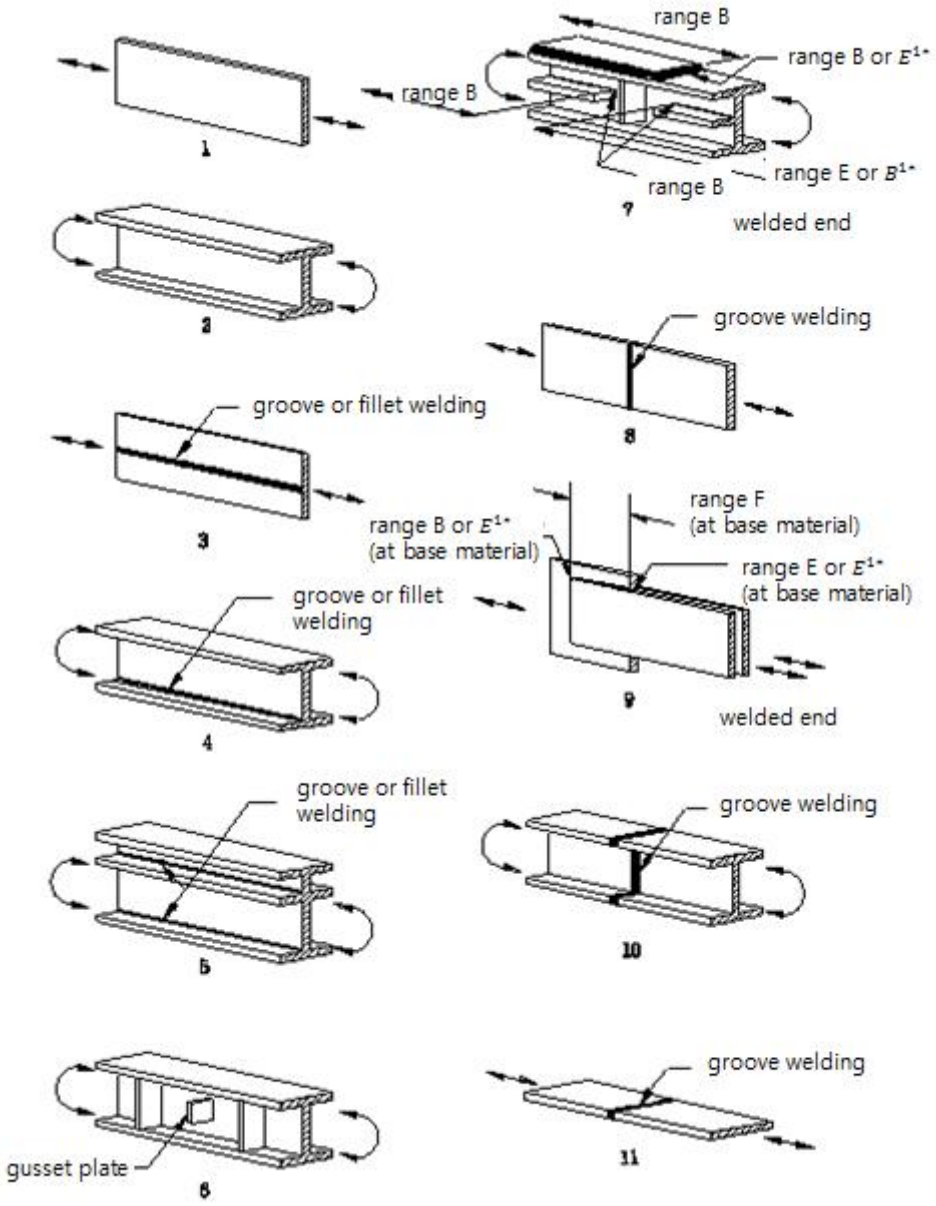


Fig. 9.4.11 Fatigue detail range

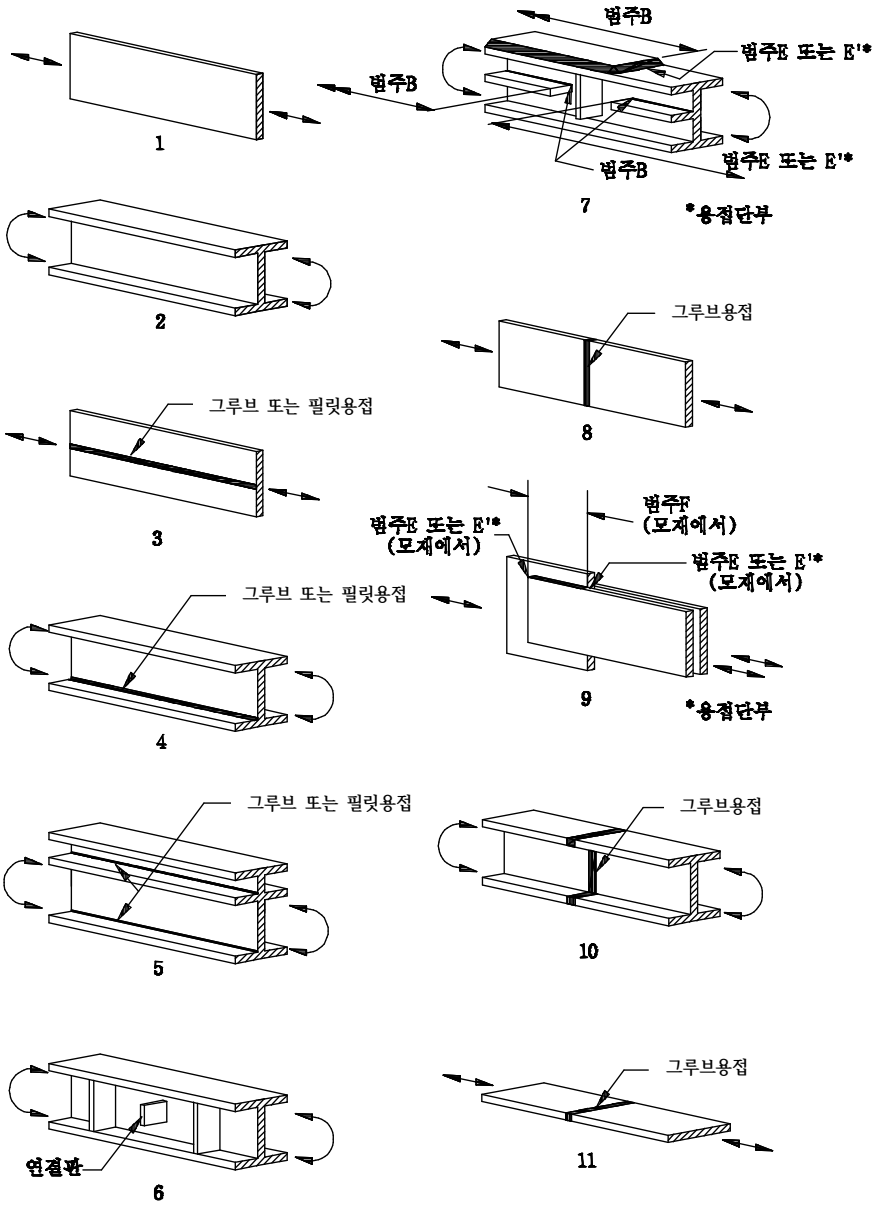
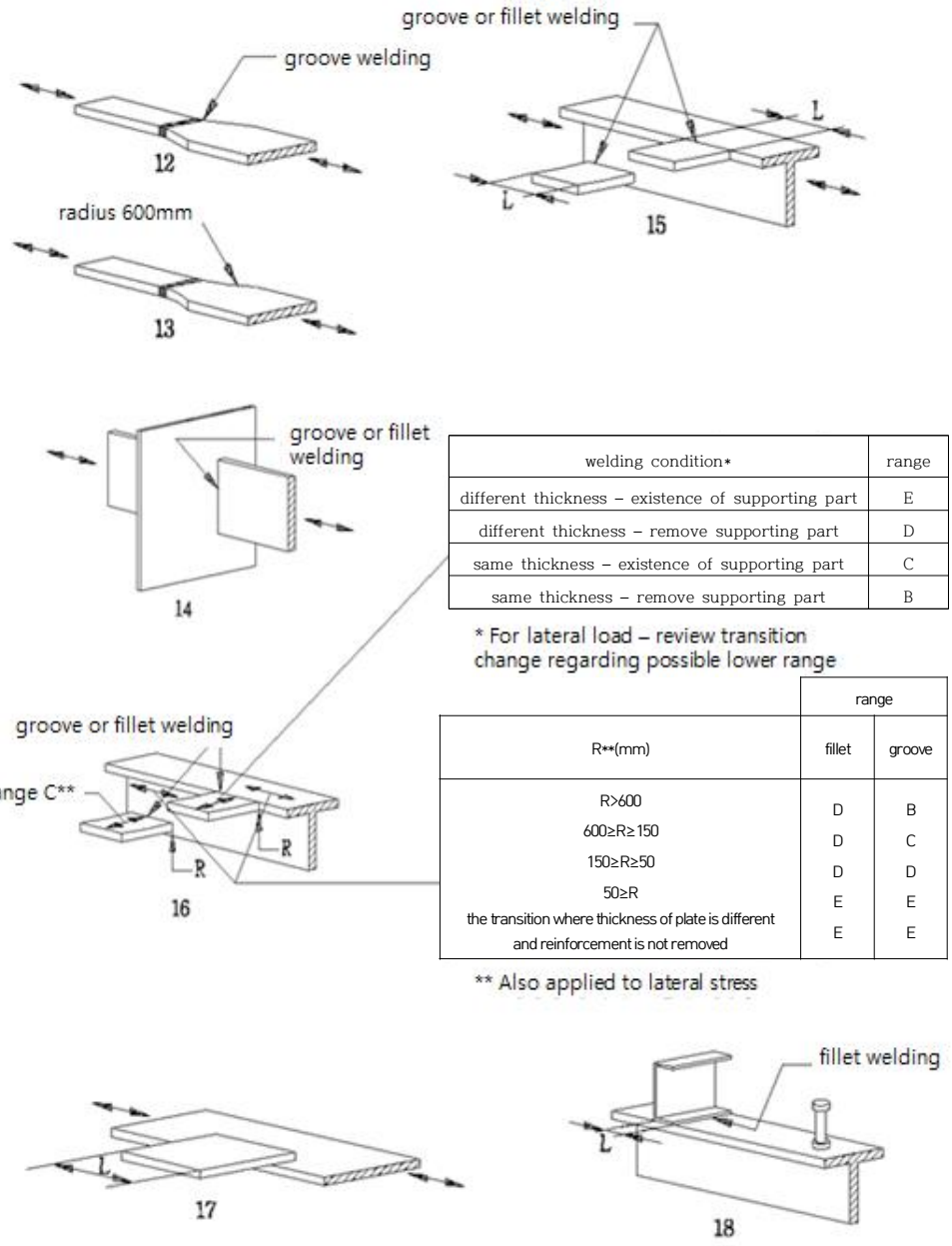


그림 9.4.11 피로상세범주



welding condition*	range
different thickness – existence of supporting part	E
different thickness – remove supporting part	D
same thickness – existence of supporting part	C
same thickness – remove supporting part	B

* For lateral load – review transition change regarding possible lower range

	range	
R**(mm)	fillet	groove
R>600	D	B
600≥R≥150	D	C
150≥R≥50	D	D
50≥R	E	E
the transition where thickness of plate is different and reinforcement is not removed	E	E

** Also applied to lateral stress

Fig. 9.4.11 Fatigue detail range (Continued)

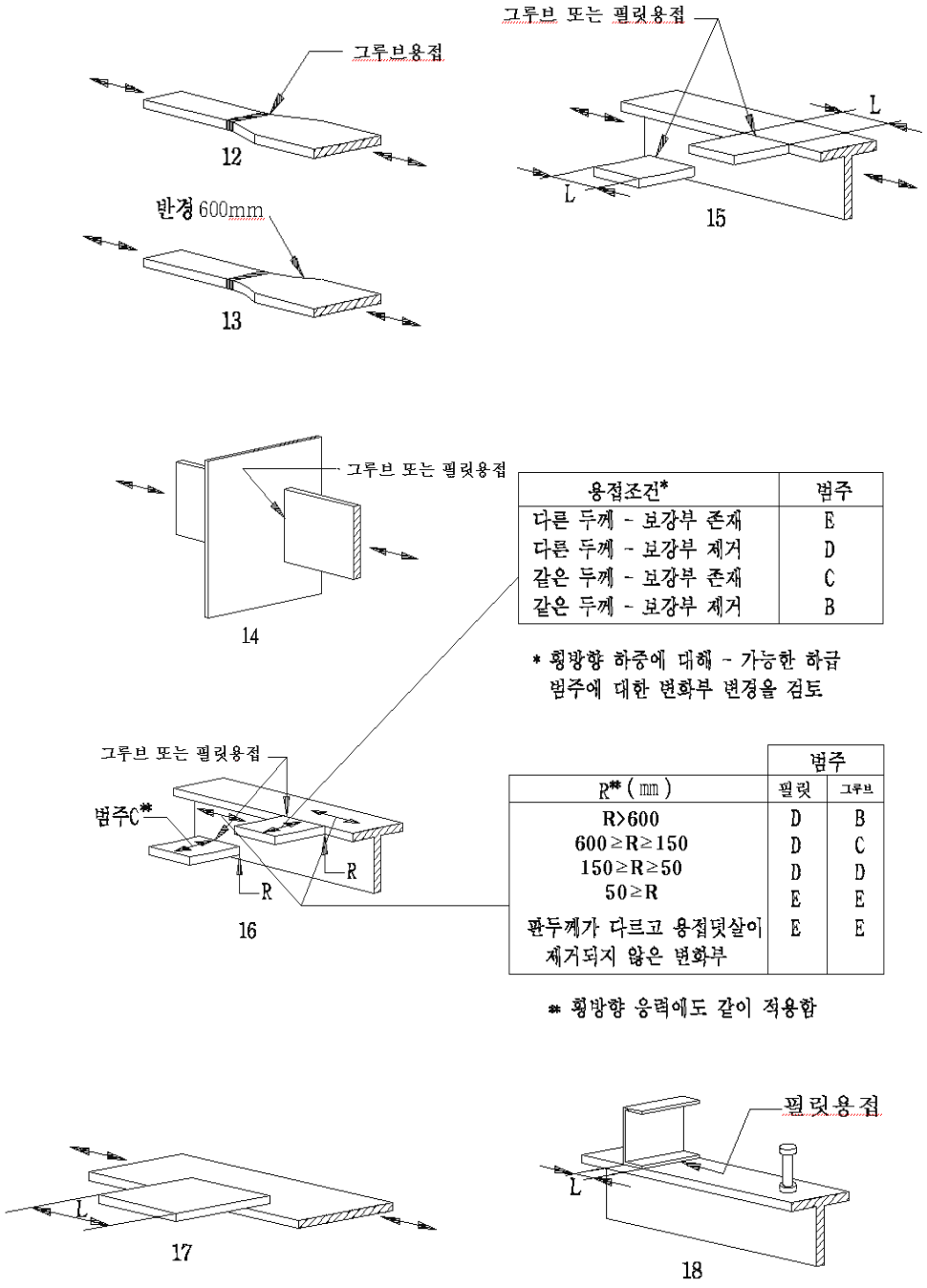


그림 9.4.11 피로상세범주(계속)

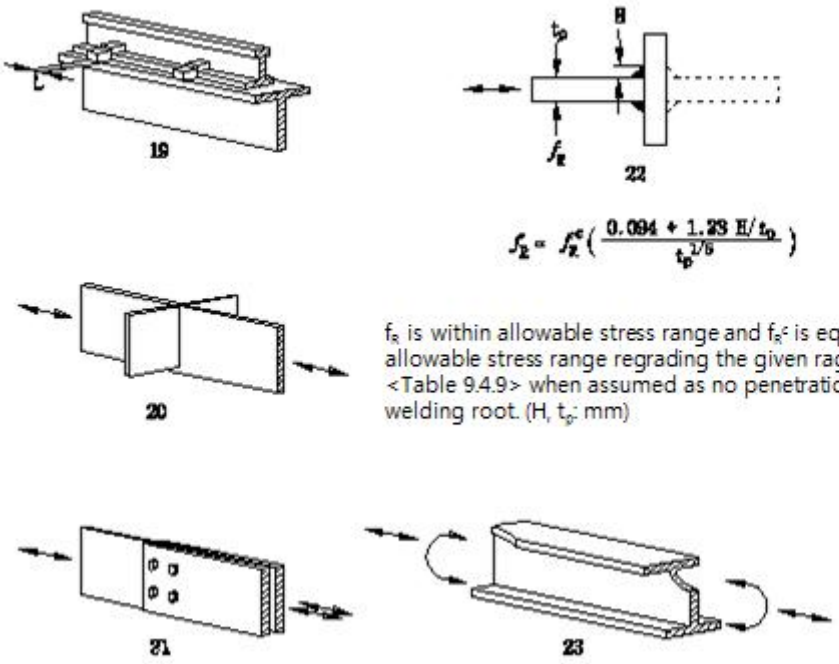


Fig. 9.4.11 Fatigue detail range (Continued)

9.4.4 Allowable stress of bolt and pin

(1) Allowable force and stress of bolt and pin are shown in <Table 9.4.11>, <Table 9.4.12>, <Table 9.4.13> and <Table 9.4.14>.

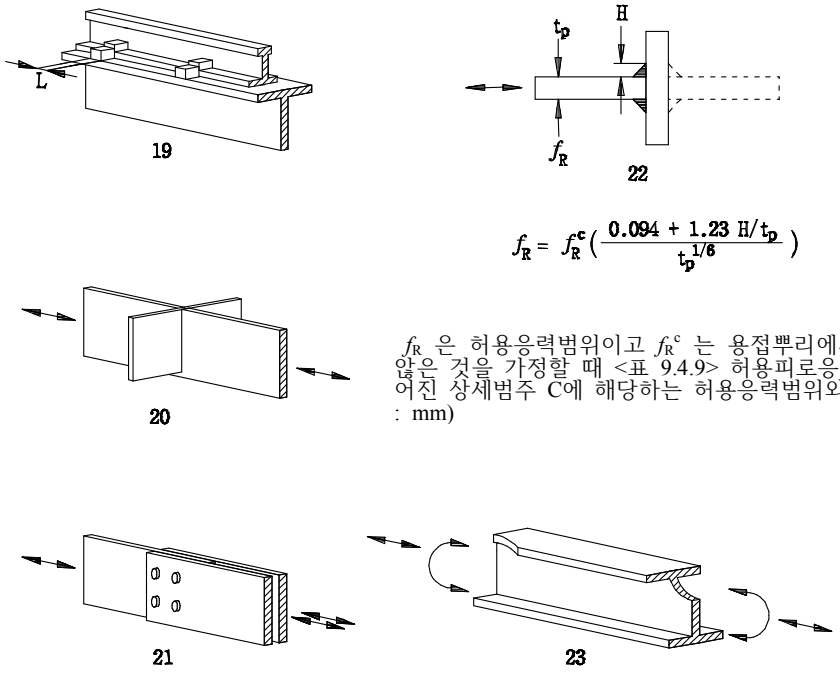
Table 9.4.11 Allowable force high tension bolt for friction joint (kN) (per bolt and friction surface)

Bolt grade / Nut No.	F8T	F10T	S10T[1)]	F13T	S13T[1)]
M20	31	39	39	50	50
M22	39	48	48	63	63
M24	45	56	56	73	73
M27	58	73	73	-[2)]	-[2)]
M30	71	89	89	-[2)]	-[2)]

Note : 1) S10T, S13T: Grade by mechanical properties of T/S bolt.

2) M27 and M30 of F13T are not included in this standard.

3) Shall not exceed the allowable force determined by the allowable bearing stress of the base material.



f_R 은 허용응력범위이고 f_R^c 는 용접뿌리에서 용입되지 않은 것을 가정할 때 <표 9.4.9> 허용피로응력범위에 주어진 상세범주 C에 해당하는 허용응력범위와 같다.(H, t_p : mm)

그림 9.4.11 피로상세범주(계속)

9.4.4 볼트 및 핀의 허용응력

(1) 볼트의 허용력 및 허응응력은 <표 9.4.11>, <표 9.4.12>, <표 9.4.13> 및 <표 9.4.14>에 표시한 값으로 한다.

표 9.4.11 마찰이음용 고장력볼트의 허용력(kN)(1볼트 1마찰면마다)

볼트의 등급 / 나사호칭	F8T	F10T	S10T[1)]	F13T	S13T[1)]
M20	31	39	39	50	50
M22	39	48	48	63	63
M24	45	56	56	73	73
M27	58	73	73	-[2)]	-[2)]
M30	71	89	89	-[2)]	-[2)]

주 : 1) S10T, S13T: T/S 볼트의 기계적 성질에 따른 등급을 나타내는 기호
2) 볼트등급 F13T의 나사호칭 M27과 M30은 본 기준에 포함되지 않음
3) 모재의 허용지압응력으로 결정되는 허용력을 초과할 수 없음

Table 9.4.12 Allowable shear stress of high tension bolt for bearing joint (MPa)

Bolt grade	B8T	B10T	B13T
Allowable shear stress	150	190	245

Table 9.4.13 Allowable bearing stress of base material using bearing joint bolt (MPa)

Base material steel / Steel plate thickness (mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40 or less	235	315	355	450
40 ~ 75	215	295	335	430
75 ~ 100			325	420

Base material steel / Steel plate thickness (mm)	SM490C-TMC	SM520C-TMC	HSB500	HSB600 SM570-TMC
100 or less	315	355	380	450

Table 9.4.14 Allowable stress of ordinary bolt (MPa)

Grade of bolt	Bolt strength 4.6 *
Allowable shear stress	90
Allowable bearing stress	190

*bolt strength classification 4.6 : According to KS B 1002

(2) Basic allowable stress of pin shall be as specified in <Table 9.4.15>.

Table 9.4.15 Allowable stress of pin (MPa)

stress \ steel		SS400	SM35C	SM45C
Bending stress		190	260	290
Shear stress		100	140	150
Bearing stress	Without rotation	210	280	310
	With rotation	105	140	155

표 9.4.12 지압이음용 고장력볼트의 허용전단응력(MPa)

볼트의 등급	B8T	B10T	B13T
허용전단응력	150	190	245

표 9.4.13 지압이음용 볼트를 적용한 모재의 허용지압응력(MPa)

모재 및 연결판의 강종 / 강재판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40 이하	235	315	355	450
40 초과 75 이하	215	295	335	430
75 초과 100 이하			325	420

모재 및 연결판의 강종 / 강재판두께(mm)	SM490C-TMC	SM520C-TMC	HSB500	HSB600 SM570-TMC
100 이하	315	355	380	450

표 9.4.14 일반볼트의 허용응력(MPa)

볼트의 등급	일반볼트 강도구분 4.6 *
허용전단응력	90
허용지압응력	190

*일반볼트 강도구분 4.6 : KS B 1002 규격의 일반볼트 강도구분임

(2) 핀에 대한 기본허용응력은 <표 9.4.15>에 표시한 값으로 한다.

표 9.4.15 핀의 허용응력(MPa)

강종 / 응력의 종류		SS400	SM35C	SM45C
휨응력		190	260	290
전단응력		100	140	150
지압응력	회전을 동반하지 않는 경우	210	280	310
	회전을 동반하는 경우	105	140	155

9.4.5 Allowable stress of bearing

In accordance with 「8.4.1 (4), Chapter 8 Bridge General」

9.5 Member general

9.5.1 General

(1) This provision defines the member applicable to steel bridge and steel composite bridge.

(2) Symbols

A = Area surrounding center line of web plate and flange (mm^2)

A_{fg} = Total section area of tensile flange to strong axis (mm^2)

A_{fg}' = Total section area of tensile flange to weak axis (mm^2)

A_{fn} = Net section area of tensile flange to strong axis (mm^2)

A_{fn}' = Net section area of tensile flange to weak axis (mm^2)

A_g = Total section area of the section (mm^2)

A_n = Net section area of the section (mm^2)

A_w = Total section area of web plate (mm^2)

f = Bending stress calculated according to 「9.5.2 ①」 (MPa)

f_a = ①, ④, ⑥, ⑧ (MPa) in <Table 9.4.1>

f_c = Bending compressive edge stress (MPa)

f_{cao} = Allowable compressive stress when $l/r \fallingdotseq 0$ in <Table 9.4.2> (MPa)

f_t = Bending tensile edge stress (MPa)

f_{ta} = Basic allowable tensile stress according to <Table 9.4.1> (MPa)

I = Moment of inertia to neutral axis of total section of plate girder (mm^4)

I_x = Moment of inertia of total section to strong axis (mm^4)

I_y = Moment of inertia of total section to weak axis (mm^4)

l = Buckling length of the member (mm)

M = Bending moment (N·mm)

M_{eq} = Equivalent moment when bending moment is linearly changed (N·mm)

M_t = Torsional moment at shear center (N·mm)

M_x = Bending moment on strong axis (N·mm)

M_{xa} = Allowable bending moment to strong axis considering lateral buckling (N·mm)

M_y = Bending moment on weak axis (N·mm)

M_{yao} = Allowable bending moment to weak axis (N·mm)

P = Axial force on member (N)

P_{ca} = Allowable buckling stress on strong or weak axis, whichever is less (N)

9.4.5 받침의 허용응력

「제8장 8.4.1(4)항」의 규정을 따른다.

9.5 부재에 관한 일반사항

9.5.1 일반내용

(1) 이 절은 강교 및 강합성교의 설계에 적용하는 부재에 관한 일반사항을 규정하였다.

(2) 기호

A = 복부판 및 플랜지의 중심선으로 둘러싸인 면적(mm^2)

A_{fg} = 강축에 대한 인장플랜지의 총단면적(mm^2)

A_{fg}' = 약축에 대한 인장플랜지의 총단면적(mm^2)

A_{fn} = 강축에 대한 인장플랜지의 순단면적(mm^2)

A_{fn}' = 약축에 대한 인장플랜지의 순단면적(mm^2)

A_g = 단면의 총단면적(mm^2)

A_n = 단면의 순단면적(mm^2)

A_w = 복부판의 총단면적(mm^2)

f = 「9.5.2 ①항」의 규정에 의해 산출한 휨응력(MPa)

f_a = <표 9.4.1>의 ①, ④, ⑥, ⑧(MPa)

f_c = 휨 압축연단 응력(MPa)

f_{cao} = <표 9.4.2>에 나타낸 $l/r \fallingdotseq 0$ 때의 허용압축응력(MPa)

f_t = 휨 인장연단 응력(MPa)

f_{ta} = <표 9.4.1>에 규정한 기본 허용인장응력(MPa)

I = 플레이트거더의 총단면의 중립축에 대한 단면2차모멘트(mm^4)

I_x = 강축에 대한 총단면의 단면2차모멘트(mm^4)

I_y = 약축에 대한 총단면의 단면2차모멘트(mm^4)

l = 부재의 좌굴길이(mm)

M = 휨모멘트(N・mm)

M_{eq} = 휨모멘트가 직선적으로 변화하는 경우의 등가모멘트(N・mm)

M_t = 전단 중심에서의 비틀림모멘트(N・mm)

M_x = 강축에 작용하는 휨모멘트(N・mm)

M_{xa} = 횡좌굴을 고려한 강축에 대한 허용휨모멘트(N・mm)

M_y = 약축에 작용하는 휨모멘트(N・mm)

M_{yao} = 약축에 대한 허용휨모멘트(N・mm)

P = 부재에 작용하는 축방향력(N)

P_{ca} = 강축 또는 약축에 관한 허용좌굴응력 가운데 작은 쪽의 값(N)

r = Radius of gyration of area of total section to the axis considered (mm)

S = Shear force on calculated section (N)

t = Thickness of web plate or flange (mm)

y = Distance from neutral axis of total section on plate girder to the position where stress is calculated (mm)

y_c = Distance from neutral axis of total section on plate girder to compression end for bending (mm)

y_c' = Distance from weak axis to compression end for bending (mm)

y_t = Distance from neutral axis of total section on plate girder to tension end, or from strong axis to tension end for bending (mm)

y_t' = Distance from weak axis to tension end for bending (mm)

v = Shear stress calculated according to 「9.5.4」 or 「9.10.2 (4)」 (MPa)

v_a = ②, ⑤, ⑦, ⑧ (MPa) in <Table 9.4.1>

v_m = Mean shear stress on web plate (MPa)

v_t = Shear stress by torsional moment (MPa)

9.5.2 Bending stress of the member

(1) The stress b bending moment occurring on plate girder or similar structure shall be calculated according to the following.

① Stress by bending moment

$$f = \frac{M}{I} y \qquad (9.5.1)$$

where, f: Bending stress (MPa)

M: Bending moment (N·mm)

I: Inertia of moment to neutral axis of total section (mm^4) (same in 「②」)

y: Distance from neutral axis to the position where the stress is calculated (mm)

r = 고려하는 축에 대한 총단면의 단면2차반지름(mm)

S = 계산 단면에 작용하는 전단력(N)

t = 복부판 또는 플랜지의 두께(mm)

y = 플레이트거더 총단면의 중립축에서부터 응력을 계산하고자 하는 위치까지의 거리(mm)

y_c = 플레이트거더 총단면의 중립축에서 압축연단까지의 거리 또는 강축에서부터 휨에 관한 압축연단까지의 거리(mm)

y_c' = 약축에서부터 휨에 관한 압축연단까지의 거리(mm)

y_t = 플레이트거더 총단면의 중립축에서 인장연단까지의 거리 또는 강축에서부터 휨에 관한 인장연단까지의 거리(mm)

y_t' = 약축에서부터 휨에 관한 인장연단까지의 거리(mm)

v = 「9.5.4항」 또는 「9.10.2(4)항」에 의해 산출한 전단응력(MPa)

v_a = <표 9.4.1>의 ②, ⑤, ⑦, ⑧(MPa)

v_m = 복부판에 작용하는 평균 전단응력(MPa)

v_t = 비틀림모멘트에 의한 전단응력(MPa)

9.5.2 부재의 휨응력

(1) 플레이트거더 및 이것과 유사한 구조물에 발생하는 휨모멘트에 의한 응력은 다음 각항에 따라 계산해야 한다.

① 휨모멘트에 의한 응력

$$f = \frac{M}{I} y \qquad (9.5.1)$$

여기서, f : 휨응력(MPa)

M : 휨모멘트(N・mm)

I : 총단면의 중립축에 대한 단면2차모멘트(mm4)(「②항」에서도 동일)

y : 총단면의 중립축에서부터 응력을 계산하고자 하는 위치까지의 거리(mm)

② End stress by bending moment

$$f_c = \frac{M}{I} y_c f_t = \frac{M}{I} y_t \frac{A_{fg}}{A_{fn}} \quad (9.5.2)$$

where, f_c: Bending compression end stress (MPa)

f_t: Bending tension end stress (MPa)

y_c: Distance from neutral axis of total section to compression end (mm)

y_t: Distance from neutral axis of total section to tension end (mm)

A_{fg}: Total section of tension flange (mm²)

A_{fn}: Net section of tension flange (mm²)

9.5.3 Review of the member receiving axial force and bending moment

(1) The member receiving axial force and bending moment simultaneously shall satisfy the following requirements, in addition to the requirements in 「9.4.1 and 9.4.2」.

(2) Review of stress

① Axial tension

A. Tensile stress: $\frac{P}{A_n} + \frac{M_x}{I_x} y_t \frac{A_{fg}}{A_{fn}} + \frac{M_y}{I_y} y_t' \frac{A_{fg}'}{A_{fn}'} \leq f_{ta}$ (9.5.3)

B. Compressive stress: $-\frac{P}{A_g} + \frac{M_x}{I_x} y_c + \frac{M_y}{I_y} y_c' \leq f_{cao}$ (9.5.4)

② Axial compression

A. Tensile stress: $-\frac{P}{A_g} + \frac{M_x}{I_x} y_t \frac{A_{fg}}{A_{fn}} + \frac{M_y}{I_y} y_t' \frac{A_{fg}'}{A_{fn}'} \leq f_{ta}$ (9.5.5)

B. Compressive stress: $\frac{P}{A_g} + \frac{M_x}{I_x} y_c + \frac{M_y}{I_y} y_c' \leq f_{cao}$ (9.5.6)

② 휨모멘트에 의한 연단응력

$$f_c = \frac{M}{I} y_c \ , \qquad f_t = \frac{M}{I} y_t \frac{A_{fg}}{A_{fn}} \tag{9.5.2}$$

여기서, f_c : 휨 압축연단 응력(MPa)

f_t : 휨 인장연단 응력(MPa)

y_c : 총단면의 중립축에서 압축연단까지의 거리(mm)

y_t : 총단면의 중립축에서 인장연단까지의 거리(mm)

A_{fg} : 인장 플랜지의 총단면적(mm2)

A_{fn} : 인장 플랜지의 순단면적(mm2)

9.5.3 축방향력과 휨모멘트를 받는 부재의 검토

(1) 축방향력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재는 각각에 대해 「9.4.1항 및 9.4.2항」의 규정 이외에 다음의 조건도 만족시켜야 한다.

(2) 응력 검토

① 축방향력이 인장인 경우

가. 인장응력 검토 : $\frac{P}{A_n} + \frac{M_x}{I_x} y_t \frac{A_{fg}}{A_{fn}} + \frac{M_y}{I_y} y_t' \frac{A_{fg}'}{A_{fn}'} \leq f_{ta}$ (9.5.3)

나. 압축응력 검토 : $-\frac{P}{A_g} + \frac{M_x}{I_x} y_c + \frac{M_y}{I_y} y_c' \leq f_{cao}$ (9.5.4)

② 축방향력이 압축인 경우

가. 인장응력 검토 : $-\frac{P}{A_g} + \frac{M_x}{I_x} y_t \frac{A_{fg}}{A_{fn}} + \frac{M_y}{I_y} y_t' \frac{A_{fg}'}{A_{fn}'} \leq f_{ta}$ (9.5.5)

나. 압축응력 검토 : $\frac{P}{A_g} + \frac{M_x}{I_x} y_c + \frac{M_y}{I_y} y_c' \leq f_{cao}$ (9.5.6)

(3) Buckling

$$\frac{P}{P_{ca}} + \frac{M_x}{M_{xa}} + \frac{M_y}{M_{ya0}} \leq 1.0 \qquad (9.5.7)$$

However, for axial tensile force, P = 0 shall be applied.

where, P: Axial force on member (N), but when there is a load combination by adding allowable stress according to 「8.3.3」, it is the value obtained after dividing by the factor in <Table 8.3.1>.

M_x , M_y: Bending moment on strong axis and weak axis (N·mm), but when there is a load combination by adding allowable stress according to 「8.3.3」, it is the value obtained after dividing by the factor in <Table 8.3.1>. Bending moment in <Eq. 9.5.3>, <9.5.4>, <9.5.5> and <9.5.6> are the values for the section to be considered and bending moment in <Eq. 9.5.7> shall be equivalent moment M_{eq} calculated by <Eq. 9.5.8> when changing linearly from moment M_1 to another moment M_2

$$M_{eq} = 0.6M_1 + 0.4M_2 \qquad (9.5.8)$$

Then, $M_1 \geq M_2$ and $M_{eq} \geq 0.4M_1$

I_x , I_y: Moment of inertia of total section to strong and weak axis (mm^4)

A_n, A_g: Net and total section area of the section to be reviewed (mm^2)

A_{fn}, A_{fg}: Net and total section area of the flange to strong axis to be reviewed (mm^2)

A_{fn}', A_{fg}': Net and total section area of the flange to weak axis to be reviewed (mm^2)

y_t, y_c: Distance from strong axis to tension and compression end to bending (mm)

y_t' ,y_c': Distance from weak axis to tension and compression end to bending (mm)

f_{ta}: Basic allowable tensile stress as defined in 「9.4.2」 (MPa)

f_{cao}: Allowable compressive stress (MPa) when $l/r \fallingdotseq 0$ in <Table 9.4.2>. However, when the maximum width-thickness ratio is relaxed, allowable compressive stress (MPa) of compressive flange on girder in <Table 9.6.3> shall be applied (but the condition in <Table 9.6.3> shall not be considered).

P_{ca}: Allowable buckling stress (N) of weak axis or strong axis, whichever is less, shall be calculated as $A_g f_{ca}$. In this case, f_{ca} is allowable compressive stress (MPa) that varies depending on l/r in <Table 9.4.2>. But when maximum width-thickness ratio is relaxed, allowable compressive stress (MPa) of the beam in <Table 9.6.3> shall be applied.

(3) 좌굴검토

$$\frac{P}{P_{ca}} + \frac{M_x}{M_{xa}} + \frac{M_y}{M_{ya0}} \leq 1.0 \qquad (9.5.7)$$

다만, 축방향 인장력의 경우에는$P = 0$으로 해야 한다.

여기서, P : 부재에 작용하는 축방향력(N) 다만 「8.3.3항」의 규정에 따라 허용응력을 할증하여 하중조합을 한 경우에는 <표 8.3.1>에 표시한 계수로 나눈 값이다.

M_x, M_y : 각각 강축 및 약축에 작용하는 휨모멘트(N・mm) 다만 「8.3.3항」의 규정에 따라 허용응력을 할증하여 하중조합을 한 경우는 <표 8.3.1>에 표시한 계수로 나눈 값이다. 또한 <식 9.5.3>, <식 9.5.4>, <식 9.5.5> 및 <식 9.5.6>에서의 휨모멘트는 검토하려는 단면에 대한 값이고, <식 9.5.7>에서의 휨모멘트는 한 끝의 모멘트M_1으로부터 다른 끝의 모멘트M_2까지 직선적으로 변화하는 경우 <식 9.5.8>으로 계산되는 등가모멘트M_{eq}로 해야 한다.

$$M_{eq} = 0.6M_1 + 0.4M_2 \qquad (9.5.8)$$

다만 $M_1 \geq M_2$이고 $M_{eq} \geq 0.4M_1$으로 해야 한다.

I_x, I_y : 각각 강축 및 약축에 대한 총단면의 단면 2차 모멘트(mm^4)

A_n, A_g : 각각 검토하려는 단면의 순단면적 및 총단면적(mm^2)

A_{fn}, A_{fg} : 각각 검토하려는 강축에 대한 플랜지의 순단면적 및 총단면적(mm^2)

A_{fn}', A_{fg}' : 각각 검토하려는 약축에 대한 플랜지의 순단면적 및 총단면적(mm^2)

y_t, y_c : 각각 강축에서부터 휨에 관한 인장 및 압축연단까지의 거리(mm)

y_t', y_c' : 각각 약축에서부터 휨에 관한 인장 및 압축연단까지의 거리(mm)

f_{ta} : 「9.4.2항」에 규정한 기본 허용인장응력(MPa)

f_{cao} : <표 9.4.2>에서 $l/r \fallingdotseq 0$ 때의 허용 압축응력(MPa). 다만 최대폭-두께비를 완화한 경우에는 <표 9.6.3>에 나타낸 거더의 압축 플랜지의 허용압축응력(MPa)(다만 <표 9.6.3>의 단서는 고려하지 않는다.)

P_{ca} : 강축 또는 약축에 관한 허용좌굴응력(N) 가운데 작은 쪽의 값으로$A_g f_{ca}$로 계산해야 한다. 이 경우의f_{ca}는 <표 9.4.2>에 나타낸 l/r에 따라 변화하는 허용축방향 압축응력(MPa)이다. 다만 최대폭-두께비를 완화하는 경우에는 <표 9.6.3>에 나타낸 기둥의 허용압축응력(MPa)을 적용한다.

M_{xa}: Allowable bending moment (N·mm) to strong axis considering lateral buckling shall be calculated as $f_{ca}I_x / y_c$. In this case, f_{ca} is allowable compressive stress (MPa) that varies depending on $(l/r)_e$ in <Table 9.4.2>. But when maximum width-thickness ratio is relaxed, allowable compressive stress (MPa) of compression flange on girder in <Table 9.6.3> shall be applied.

M_{yao}: Allowable bending moment (N·mm) to weak axis, which shall be calculated as $f_{ca}I_y / y_c'$. In this case, f_{ca} is allowable bending compressive stress (MPa) when $(l/r)_e \fallingdotseq 0$ in <Table 9.4.2>.

(4) Fatigue shall be reviewed according to 「9.4.3」. Then, $f_{\max}$ and $f_{\min}$ shall use algebraic maximum and minimum value of the added-up calculated stress if bending stress according to 「9.5.2」, and axial force according to 「9.5.6 (1)」 or 「9.5.6 (3)」 work at the same time.

9.5.4 Shear stress of the member

(1) Mean shear stress of web plate on plate girder and similar structure shall be calculated according to <Eq. 9.5.9>.

$$v_m = \frac{S}{A_w} \qquad (9.5.9)$$

where, v_m: Mean shear stress on web plate (MPa)
S : Shear force on calculated section (N)
A_w: Total section area of web plate (mm^2)

Mean shear stress of web plate above was based on the assumption that shear force is uniformly distributed on the web plate and shall be applied to reviewing buckling of web plate by shear stress or comparing allowable shear stress. But when calculating shear stress on fillet welded part connecting the flange and web plate, it shall be in accordance with 「9.10.2 (4)」.

(2) Shear stress by torsion

① Shear stress by torsional moment of box girder shall be calculated according to <Eq. 9.5.10>.

$$v_t = \frac{M_t}{2At} \qquad (9.5.10)$$

where, v_t: Shear stress by torsional moment (MPa)
M_t: Torsional moment at shear center (N·mm)
A: Area surrounding the centerline of web plate and flange (mm^2)
t: Thickness of web plate or flange (mm)

M_{xa} : 횡좌굴을 고려한 강축에 대한 허용휨모멘트(N・mm)로서 $f_{ca}I_x / y_c$로 계산해야 한다. 이 경우 f_{ca}는 <표 9.4.2>에 나타낸 $(l/r)_e$에 따라 변화하는 허용압축응력(MPa)이다. 다만 최대폭-두께비를 완화하는 경우에는 <표 9.6.3>에 나타낸 거더의 압축플랜지의 허용압축응력(MPa)을 적용한다.

M_{yao} : 약축에 대한 허용휨모멘트(N・mm)로서 $f_{ca}I_y / y_c'$로 계산해야 한다. 이 경우 f_{ca}는 <표 9.4.2>에 나타낸 $(l/r)_e \fallingdotseq 0$일 때의 허용휨압축응력(MPa)이다.

(4) 피로에 대해서는 「9.4.3항」의 규정에 따라 검토한다. 이 때 $f_{\max}$ 및 $f_{\min}$은 「9.5.2항」에 의한 휨응력과 「9.5.6(1)항」또는 「9.5.6(3)항」에 의한 축방향력이 동시에 작용하는 경우에 대해 합산한 계산작용응력의 대수적 최대치 및 최소치를 적용해야 한다.

9.5.4 부재의 전단응력

(1) 플레이트거더 및 이것과 유사한 구조물의 복부판의 평균 전단응력은 <식 9.5.9>에 의해 계산한다.

$$v_m = \frac{S}{A_w} \qquad (9.5.9)$$

여기서, v_m : 복부판에 작용하는 평균 전단응력(MPa)

S : 계산 단면에 작용하는 전단력(N)

A_w : 복부판의 총단면적(mm2)

위에서, 복부판의 평균 전단응력은 전단력이 복부판에 균일하게 작용하는 것으로 가정한 약산식으로 복부판의 전단응력에 의한 좌굴 검토 또는 허용전단응력을 비교하는 경우에 사용해야 한다. 다만, 플랜지와 복부판을 연결하는 필릿용접부에 작용하는 전단응력을 계산하는 경우에는 「9.10.2(4)항」을 적용한다.

(2) 비틀림에 의한 전단응력

① 박스거더의 비틀림모멘트에 의한 전단응력은 <식 9.5.10>에 의해 계산한다.

$$v_t = \frac{M_t}{2At} \qquad (9.5.10)$$

여기서, v_t : 비틀림모멘트에 의한 전단응력(MPa)

M_t : 전단 중심에서의 비틀림모멘트(N・mm)

A : 복부판 및 플랜지의 중심선으로 둘러싸인 면적(mm2)

t : 복부판 또는 플랜지의 두께(mm)

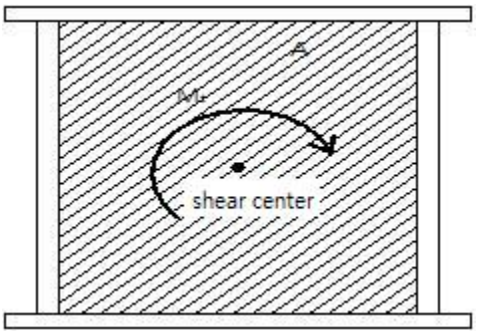


Fig. 9.5.1 Shear center and torsional moment

② Generally, for a box girder used for railway bridge, shear force can be calculated with sufficient accuracy using the equation above. Torsional moment on Box girder is caused by lateral force including centrifugal force, vehicle lateral load or wheel lateral load, eccentricity on curve, wind load at train load and seismic effect, and thus shear stress v_t by torsional moment shall be added to shear stress 「9.5.4(1)」

9.5.5 Review of composite stress of bending moment and shear force

(1) Review of composite stress

① When bending stress and shear stress are applied simultaneously to plate girder or a similar structure, it shall be reviewed according to <Eq. 9.5.11>.

$$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{v}{v_a}\right)^2} \leqq 1.1 \qquad (9.5.11)$$

However, f and v shall be f_a and v_a or less.

where, f: Bending stress (MPa) according to <Eq. 9.5.1>

v: Shear stress (MPa) according to 「9.5.4」 or 「9.10.2 (4)」

f_a: ①, ④, ⑥, ⑧ in <Table 9.4.1> (including increase according to 「8.3.3」)

v_a: ②, ⑤, ⑦, ⑧ in <Table 9.4.1> (including increase according to 「8.3.3))

② When shear force is relatively greater at fillet welding that connects web plate and flange on plate girder or throat on I-beam or H-beam, composite stress by bending moment and shear force needs to be reviewed (see <Fig. 9.5.2>). But when the combined throat thickness of fillet welding is greater than web plate thickness and the review of web plate is completed, a review of the welded part is not required. However, when using a thick web plate or when shear force is small, fillet welding size may be relatively smaller, and in this case, composite stress on throat shall be evaluated.

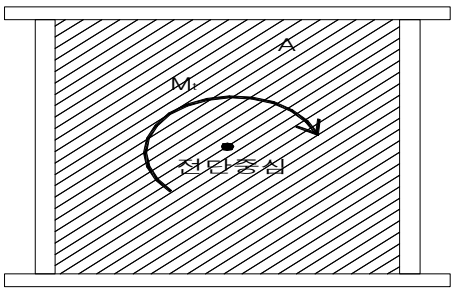


그림 9.5.1 전단중심 및 비틀림모멘트

② 일반적으로 철도교에 이용되는 박스거더의 경우 위에 나타낸 식에 의해 전단력을 구해도 실용상 충분한 정밀도를 갖는다. 박스거더의 비틀림모멘트는 원심력, 차량횡하중 또는 차륜횡압하중, 곡선의 편심 및 열차재하시의 풍하중과 지진의 영향 등의 횡력에 의해 발생되므로, 비틀림모멘트에 의한 전단응력v_t를 「9.5.4(1)항」에서의 전단응력에 가산해야 한다.

9.5.5 휨모멘트와 전단력과의 합성응력 검토

(1) 합성응력의 검토

① 플레이트거더 및 이와 유사한 구조물에 휨응력 및 전단응력이 동시에 작용하는 경우에는 <식 9.5.11>에 의해 검토해야 한다.

$$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{v}{v_a}\right)^2} \leqq 1.1 \qquad (9.5.11)$$

다만, f 및 v는 각각 f_a 및 v_a이하이어야 한다.

여기서, f : <식 9.5.1>에 의해 산출한 휨응력(MPa)

v : 「9.5.4항」또는 「9.10.2(4)항」에 의해 산출한 전단응력(MPa)

f_a : <표 9.4.1>에서의 ①, ④, ⑥, ⑧(「8.3.3항」의 규정에 의해 증가된 경우를 포함해야 한다.)

v_a : <표 9.4.1>에서의 ②, ⑤, ⑦, ⑧(「8.3.3항」의 규정에 의해 증가된 경우를 포함해야 한다.)

② 플레이트거더의 복부판과 플랜지를 연결하는 필릿용접, I형강 또는 H형강의 목부분 등에서 전단력이 상대적으로 큰 경우에는 휨모멘트와 전단력에 의한 합성응력의 검토가 필요하다.(<그림 9.5.2> 참조) 다만 복부판과 플랜지를 연결하는 필릿용접부의 목두께의 합계가 복부판 두께보다 크게 되어 복부판에 대한 검토가 된 경우에는 용접부를 특별히 검토할 필요는 없다. 그러나 두꺼운 복부판이 이용되거나 복부판에 작용하는 전단응력이 작을 경우 필릿용접치수가 상대적으로 작게 적용될 수 있는데, 이 경우에는 목두께면에 대하여 합성응력을 검토해야 한다.

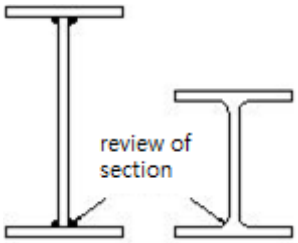


Fig. 9.5.2 Review of section

③ At the middle of a continuous plate girder or cantilever girder, cross beam and Rahmen corner of through plate girder or truss, F, v may be increased at that time, but this requires careful review. When close to girder end in a simple girder or using small flange at the point with high tensile force, composite stress may be increased, and this also requires careful review.

(2) Examination of fatigue

① Fatigue shall in principle be investigated in accordance with 「9.4.3」. In the case that the fatigue is separately examined for normal stress and shear stress according to 「9.4.3」, the examination of fatigue for composite stress is not required. But the fatigue examination for the composite stress of a member of which normal stress and shear stresses may reach a maximum level at the same time, such as a supporting beam or cross beam, shall be carried out. In this case, the examination could be conducted using the composite stress range (Δf_p) calculated by <Eq. 9.5.12> and the allowable fatigue stress range defined in 「9.4.3」.

$$f_{pmax} = \frac{1}{2} \quad f_{\max} + \sqrt{f_{\max}^2 + 4v_{\max}^2} \tag{9.5.12}$$

$$f_{pmin} = \frac{1}{2} \quad f_{\min} + \sqrt{f_{\min}^2 + 4v_{\min}^2} \tag{9.5.13}$$

$$\Delta f_p = \ f_{pmax} - f_{pmin} \tag{9.5.14}$$

where, $f_{\max}$: Maximum bending stress (MPa)

$f_{\min}$: Minimum bending stress (MPa)

$v_{\max}$: Maximum shear stress (MPa)

$v_{\min}$: Minimum shear stress (MPa)

f_{pmax} : Maximum principal stress (MPa)

f_{pmin} : Minimum principal stress (MPa)

Δf_p : Stress range (MPa)

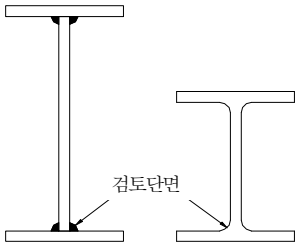


그림 9.5.2 검토단면

③ 연속 플레이트거더나 캔틸레버 거더의 중간지점 부근, 하로플레이트거더나 트러스의 가로보 및 라멘 모서리부 부근 등은 f, v가 동시에 크게 되므로 주의를 요한다. 또, 단순거더에서도 거더 끝에 가깝고, 전단력이 큰 위치에서 작은 플랜지 단면을 사용한 경우에는, 합성응력이 크게 되는 경우가 있으므로 검토해야 한다.

(2) 피로 검토

① 피로 검토는 원칙적으로 「9.4.3항」에 의한다. 즉, 수직응력과 전단응력의 각각에 대해 「9.4.3항」에 따라서 피로 검토를 한 경우에는 원칙적으로 합성응력에 대한 피로 검토를 하지 않아도 된다. 다만, 받침보와 가로보 등, 수직응력과 전단응력이 동시에 최대가 될 수도 있는 부재에 대해서는 합성응력에 대한 피로 검토를 해야 한다. 그 경우 피로 검토는 <식 9.5.12>에 의해 산출한 합성응력의 범위(Δf_p)와 「9.4.3항」에 규정한 허용피로응력 범위를 이용해 검토하면 된다.

$$f_{pmax} = \frac{1}{2}(f_{\max} + \sqrt{f_{\max}^2 + 4v_{\max}^2}) \qquad (9.5.12)$$

$$f_{pmin} = \frac{1}{2}(f_{\min} + \sqrt{f_{\min}^2 + 4v_{\min}^2}) \qquad (9.5.13)$$

$$\Delta f_p = f_{pmax} - f_{pmin} \qquad (9.5.14)$$

여기서, $f_{\max}$: 최대휨응력(MPa)

$f_{\min}$: 최소휨응력(MPa)

$v_{\max}$: 최대전단응력(MPa)

$v_{\min}$: 최소전단응력(MPa)

f_{pmax} : 최대주응력(MPa)

f_{pmin} : 최소주응력(MPa)

Δf_p : 응력범위(MPa)

9.5.6 Effective section area of the member

(1) Effective section area of tension member

① Effective section area of a tension member shall be based on net section area.

② In reviewing the fatigue, total section area shall be applied to high tension bolt friction joint.

③ See 「9.8」 for further details

(2) Effective section area of tension L-shaped steel

When bending moment due to eccentricity because of tension member comprising one or two L-shaped steel members connected to either side of gusset plate occurs, effective section area shall be the sum of the net section area of the bridge connected to gusset plate as shown in <Fig. 9.5.3 (a), (b)> and section area up to 1/2 height of the bridge not connected. When center axis of total tension member is located in the plane of gusset plate as shown in <Fig. 9.5.3 (c)> and center axis of total tension member coincides with the center axis of the gusset plate, and thus bending moment by eccentricity of connection does not occur, effective section area shall be the net section area of tension member including total section area of the bridge not connected to connecting plate. This provision may not be considered when calculating the slenderness ratio of the member.

(3) Effective section area of compression member shall be total section area, but the bolt hole and pin hole shall be excluded.

(4) Effective section area shall be total section area when calculating the bending and statically indeterminate force.

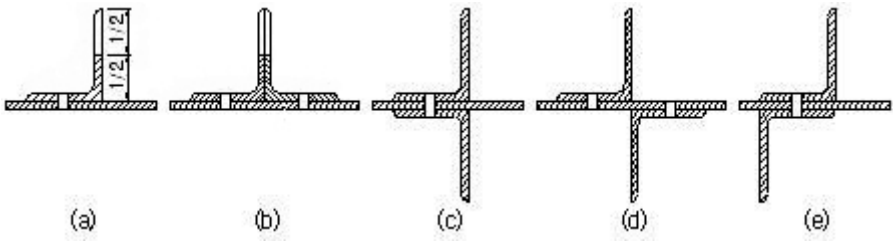


Fig. 9.5.3 Effective section area of L-shaped steel considering eccentricity

9.6 Width-thickness ratio of plate element and stiffener

9.6.1 General

(1) This provision defines the general rules regarding the width-thickness ratio of plate elements of steel bridge and steel composite bridge and stiffener.

(2) Material stiffener shall have a strength that is equal to or higher than the plate to be reinforced.

9.5.6 부재의 유효단면적

(1) 인장부재의 유효단면적

① 인장부재의 유효단면적은 순단면적을 적용한다.

② 피로 검토를 하는 경우 인장부재의 유효단면적은 고장력볼트 마찰이음에 대해서는 총단면적을 적용한다.

③ 관련 세부사항은 「9.8항」을 참조한다.

(2) 인장 L형강의 유효단면적

1개 또는 2개의 L형강으로 구성된 인장 부재가 연결판의 한쪽 면에만 연결되어 편심에 의한 휨모멘트가 발생하는 경우에는 <그림 9.5.3(a),(b)>와 같이 연결판에 연결시킨 다리의 순단면적과 연결되지 않은 다리의 1/2높이까지의 단면적을 합한 면적을 유효단면적으로 한다. <그림 9.5.3(c)>와 같이 전체 인장 부재의 중심축이 연결판 면내에 위치하는 편심 연결의 경우와 <그림 9.5.3(d),(e)>와 같이 전체 인장 부재의 중심축이 연결판의 중심축과 일치하여 연결부의 편심에 의한 휨모멘트가 발생하지 않는 경우에는 연결판에 연결되지 않은 다리의 전체 단면적을 포함한 인장 부재의 순단면적을 유효단면적으로 본다. 한편, 이 규정은 부재의 세장비를 계산할 경우에는 고려할 필요가 없다.

(3) 압축부재의 유효단면적은 총단면적으로 해야 한다. 단지, 일반볼트의 구멍과 핀을 위한 구멍은 공제하는 것으로 한다.

(4) 휨과 부정정력 등을 계산하는 경우의 유효단면적은 총단면적을 적용한다.

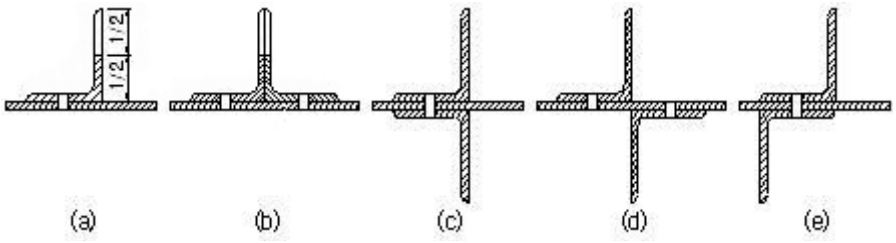


그림 9.5.3 편심의 영향을 고려한 인장 L형강의 유효단면적

9.6 판요소의 폭-두께비와 보강재

9.6.1 일반내용

(1) 이 절은 강교 및 강합성교 판요소의 폭-두께비와 보강재에 관한 일반적인 사항을 규정하였다.

(2) 보강재의 강종은 보강되는 판의 강종과 동등 이상의 강도를 가지는 재료를 사용해야 한다.

(3) Symbols

b = Width of plate (mm)

$(b/t)_o$ = Maximum width-thickness ratio of the plate

$(b/t)_s$ = Width-thickness ratio used in actual design

D = Height of web plate (mm)

d = Interval of intermediate vertical stiffener (mm)

d_s = Interval of stiffener in actual design (mm)

f = End compressive stress of web plate (MPa)

$f_1 f_2$ = Resultant stress at both ends by axial compressive force and bending moment (MPa)

f_{cag} = Allowable compressive stress varying by l/r (MPa)

f_{cao} = Allowable compressive stress when $l/r = 0$ (MPa)

I = Moment of inertia of total section of vertical stiffener (mm^4)

l = Buckling length of the member (mm)

n = Number to be divided by stiffener

r =Radius of gyration of area of total section to axis considered (mm)

t = Thickness of plate (mm)

α = Ratio of plate length (a) to width (b) (a/b)

γ = Stiffness ratio

δ = Ratio of section area of 1 stiffener (A_s) to stiffening plate $(b \cdot t)$

Ψ = Stress ratio at both ends of plate element $(-1.0 \leqq \Psi \leqq 1.0)$

v = Shear stress (mean value between stiffeners) (MPa)

9.6.2 Plate element receiving axial compressive force

(1) Maximum width-thickness ratio

① This provision aims to secure the safety from plate buckling when uniformly distributed compressive force is applied to the plates comprising the member. This shall be applied to the plate elements subject to axial force such as beam, as well as the plate elements subject to constant compressive stress such as compression flange on a plate girder receiving bending force (「9.10」).

② <Table 9.6.1> shall be applied to the maximum width-thickness ratio of the plate subject to axial compressive force, depending on support condition at the end.

③ For the member with the service stress smaller than the allowable stress and the member is subjected to a momentary stress during installation, it may be reduced by multiplying the maximum width-to-thickness ratio of the plate in <9.6.1> by the coefficient as per the <Table 9.6.2>. Allowable compressive stress shall be calculated according to <Table 9.6.3>.

(3) 기호

b = 판의 폭(mm)

$(b/t)_o$ = 판의 최대폭-두께비

$(b/t)_s$ = 실제 설계에 이용하는 폭-두께비

D = 복부판의 높이(mm)

d = 중간수직보강재의 간격(mm)

d_s = 실제 설계에서 정한 보강재 간격(mm)

f = 복부판의 연단압축응력(MPa)

f_1, f_2 = 축방향 압축력과 휨모멘트에 의해 양단에서 발생하는 합응력(MPa)

f_{cag} = l/r에 의해 변화하는 허용압축응력(MPa)

f_{cao} = $l/r = 0$의 경우의 허용압축응력(MPa)

I = 수평보강재의 총단면의 단면2차모멘트(mm4)

l = 부재의 좌굴길이(mm)

n = 보강재에 의해 나뉘어지는 수

r = 고려하는 축에 대한 총단면의 단면2차반지름(mm)

t = 판의 두께(mm)

α = 판의 길이(a)와 판의 폭(b)과의 비(a/b)

γ = 강성비

δ = 보강재 1개의 단면적(A_s)과 보강판의 단면적($b \cdot t$)과의 비

Ψ = 판요소의 양단에서 발생하는 응력의 비($-1.0 \leqq \Psi \leqq 1.0$)

v = 전단응력(보강재 사이의 평균치)(MPa)

9.6.2 축방향 압축력을 받는 판요소

(1) 최대폭-두께비

① 이 항목은 부재를 구성하는 판이 전 폭에 걸쳐 등분포된 압축력을 받을 경우, 판의 좌굴에 대해서 안전을 확보하기 위해 규정한 것이다. 기둥처럼 축방향 압축력을 받는 부재의 각 판요소뿐만 아니고, 휨을 받는 플레이트거더의 압축플랜지처럼 일정한 압축응력을 받는 판요소에 대해서도 적용한다.(「9.10항」참조)

② 부재의 축방향으로 압축력을 받는 판의 최대폭-두께비는, 판 끝의 지지조건에 따라서 <표 9.6.1>을 적용한다.

③ 작용응력이 허용응력에 비해서 작은 부재 및 가설 시에 일시적인 압축응력을 받는 부재에 대해서, <표 9.6.1>의 판의 최대폭-두께비에 <표 9.6.2>의 계수를 곱해서 완화할 수 있다. 이 경우의 허용압축응력은 <표 9.6.3>에 의해 계산한다.

Table 9.6.1 Maximum width-thickness ratio of the plate $(b/t)_o$

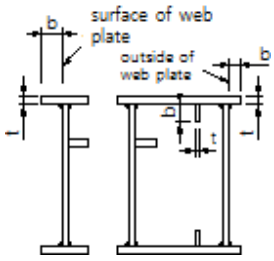
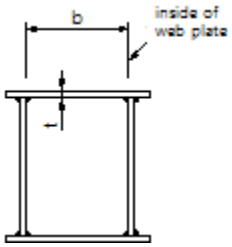
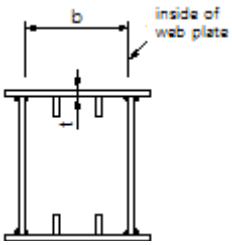
Support at end / Steel	Unstiffened element	Stiffened element	Plate with stiffened element and stiffener at n sector line (stiffened plate)
SS400, SM400 SMA400	12.5	40	28n
SM490 SM490C-TMC	11	34	24n
SM490Y SM520 SMA490 SM520C-TMC	10	32	22n
SM570 SMA570 SM570C-TMC	9	28	20n
HSB500	10	31	21n
HSB600	9	28	20n
Example			
	①	②	③

표 9.6.1 판의 최대폭-두께비($(b/t)_o$)

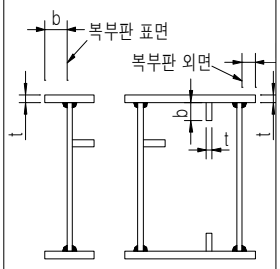
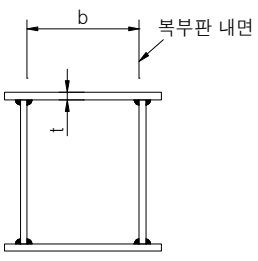
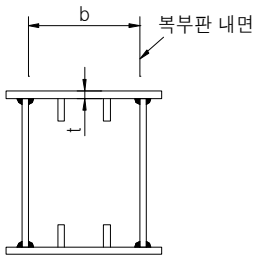
판 끝의 지지조건 / 강종	자유 돌출판	양연 지지판	양연 지지되고 판폭의 n등분선 상에 각각 보강재가 있는 판 (보강된 판)
SS400, SM400 SMA400	12.5	40	28n
SM490 SM490C-TMC	11	34	24n
SM490Y SM520 SMA490 SM520C-TMC	10	32	22n
SM570 SMA570 SM570C-TMC	9	28	20n
HSB500	10	31	21n
HSB600	9	28	20n
적용예	 ①	 ②	 ③

Table 9.6.2 Max width-thickness relaxation coefficient and upper limit

Member	Plate	Normal	Installed	
		Factor	Factor	W-T up/limit
Beam	Unstiffened	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f}}$, 1.2 or less	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f}}$	16
	Stiffened			60
	Plate	$3-\frac{2f}{f_{cag}}$, 1.7 or less	$3-\frac{2f}{f_{cag}}$	60n
Compression flange on girder	Unstiffened	$\sqrt{\frac{f_{cao}}{f}}$, 1.2 or less	$\sqrt{\frac{f_{cao}}{f}}$	16
	Stiffened			60
	Plate	$3-\frac{2f}{f_{cao}}$, 1.7 or less	$3-\frac{2f}{f_{cao}}$	60n

Table 9.6.3 Allowable compressive stress by relaxation of max width-thickness

Member	Plate	Allowable compressive stress
Beam	Unstiffened	$f_{ca}=f_{cag}\cdot\frac{(b/t)_o^2}{(b/t)_s^2}$
	Stiffened	
	Plate	$f_{ca}=f_{cag}\cdot\frac{(b/t)_o^2}{(b/t)_s^2}$
Compression flange on girder	Unstiffened	$f_{ca}=f_{cao}\cdot\frac{(b/t)_o^2}{(b/t)_s^2}$, f_{bag} or less
	Stiffened	
	Plate	$f_{ca}=f_{cao}\cdot\left\{1.5-\frac{(b/t)_s}{2(b/t)_o}\right\}$, f_{bag} or less

where, $(b/t)_o$: Max width-thickness ratio defined in <Table 9.6.1>

$(b/t)_s$: Width-thickness ratio used for actual design

n: Number divided by stiffener (same as 「9.6.2))

b : Width of the reinforced plate (mm) (see example in Table 9.6.1)

t : Thickness of the reinforced plate (mm) (see example in Table 9.6.1)

f : Max working compressive stress (MPa), but the value divided by the factor in 「Chapter 8 Bridge General 」 <Table 8.3.1> when load combination is acceptable even in the event that the allowable stress is increased

f_{cag}: Allowable compressive stress (MPa) varying by l/r in <Table 9.4.2(a)>

f_{cao}: Allowable compressive stress (MPa) when $l/r=0$<Table 9.4.2(a)>

f_{bag}: Allowable compressive stress (MPa) varying by $(l/r)_e=0$ in <Table 9.4.2(b)>

표 9.6.2 판의 최대폭-두께비 완화계수 및 상한치

부재명	판의 종류	상시	가설시	
		계수	계수	폭-두께비 상한치
기둥	자유 돌출판	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f}}$ 단, 1.2 이하	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f}}$	16
	양연 지지판			60
	보강판	$3-\frac{2f}{f_{cag}}$ 단, 1.7 이하	$3-\frac{2f}{f_{cag}}$	60n
거더의 압축플랜지	자유 돌출판	$\sqrt{\frac{f_{cao}}{f}}$ 단, 1.2 이하	$\sqrt{\frac{f_{cao}}{f}}$	16
	양연 지지판			60
	보강판	$3-\frac{2f}{f_{cao}}$ 단, 1.7 이하	$3-\frac{2f}{f_{cao}}$	60n

표 9.6.3 최대폭-두께비 완화에 따른 허용압축응력

부재명	판의 종류	허용압축응력
기둥	자유 돌출판	$f_{ca}=f_{cag}\cdot\frac{(b/t)_o^2}{(b/t)_s^2}$
	양연 지지판	
	보강판	$f_{ca}=f_{cag}\cdot\left\{1.5-\frac{(b/t)_s}{2(b/t)_o}\right\}$
거더의 압축플랜지	자유 돌출판	$f_{ca}=f_{cao}\cdot\frac{(b/t)_o^2}{(b/t)_s^2}$, 단 f_{bag} 이하
	양연 지지판	
	보강판	$f_{ca}=f_{cao}\cdot\left\{1.5-\frac{(b/t)_s}{2(b/t)_o}\right\}$, 단 f_{bag} 이하

여기서, $(b/t)_o$: <표 9.6.1>에서 정하는 최대폭-두께비

$(b/t)_s$: 실제 설계에 이용하는 폭-두께비

n : 보강재에 의해 나누어지는 수(「9.6.2항」과 동일)

b : 보강된 판의 폭(mm)(표 9.6.1의 적용예를 참조)

t : 보강된 판의 두께(mm)(표 9.6.1의 적용예를 참조)

f : 최대작용압축응력(MPa) 다만 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중의 조합이 되는 경우에는 「제8장」<표 8.3.1>의 계수로 나눈 값이다.

f_{cag}: <표 9.4.2(a)>에서 l/r에 의해 변화하는 허용압축응력(MPa)

f_{cao}: <표 9.4.2(a)>에서 $l/r=0$의 경우의 허용압축응력(MPa)

f_{bag} : <표 9.4.2(b)>에서 $(l/r)_e=0$에 의해 변화하는 허용압축응력(MPa)

(2) Required strength of stiffener

① When stiffener is placed on n sector line in the width of the plate which is supported at both sides, moment of inertia per vertical stiffener (I) (③ of <Table 9.6.1>) shall be more than the value calculated using <Eq. 9.6.1>.

$$I = \frac{1}{11} b t^3 \gamma \qquad (9.6.1)$$

where, b : Width of the plate in ③ of <Table 9.6.1> (mm)

γ: Stiffness ratio from <Eq. 9.6.2> ~ <9.6.5>

Maximum width-thickness ratio of each stiffener shall be as specified in ① of <Table 9.6.1>. It shall not be applied when using stiffener in other section shapes.

A. In the case of $\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} > \sqrt{\frac{1+\alpha^2}{2n^2(1+n\delta)}}$

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leqq 1 : \ \gamma = \ 4\alpha^2 n \left\{ \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \right\}^2 (1+n\delta) - \frac{(1+\alpha^2)^2}{n} \qquad (9.6.2)$$

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} > \ 1 : \ \gamma = \ 4\alpha^2 n (1+n\delta) - \frac{(1+\alpha^2)^2}{n} \qquad (9.6.3)$$

B. In the case of $\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leqq \sqrt{\frac{1+\alpha^2}{2n^2(1+n\delta)}}$

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leqq 1 : \ \gamma = \ \frac{1}{n} \left\{ \left[2n^2 \left\{ \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \right\}^2 (1+n\delta) - 1 \right]^2 - 1 \right\} \qquad (9.6.4)$$

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} > 1 : \gamma = \ \frac{1}{n} \left\{ \left[2n^2 (1+n\delta) - 1 \right]^2 - 1 \right\} \qquad (9.6.5)$$

where, $(b/t)_s$: Width-thickness ratio used to actual design

$(b/t)_o$: Maximum width-thickness ratio in ③ of <Table 9.6.1>

α: Ratio of plate length (a) to width (b) (a/b) in <Fig. 9.6.1>

I: Moment of inertia of total section of stiffener (mm^4), which is about the X -axis in <Fig. 9.6.2>

δ: Ratio $\left(\frac{A_s}{b \cdot t} \right)$ between of section area of 1 stiffener (A_s) to stiffening plate $(b \cdot t)$

(2) 보강재의 소요강도

① 양쪽에서 지지되고 있는 판에서, 판 폭의 n등분선상에 각각 보강재가 있는 경우(<표 9.6.1>의 ③)의 종방향 보강재 하나의 소요단면2차모멘트(I)는 <식 9.6.1>에 의해서 산출한 값 이상이어야 한다.

$$I = \frac{1}{11} bt^3 \gamma \tag{9.6.1}$$

여기서, b : <표 9.6.1>의 ③에 보이는 판의 폭(mm)

γ : <식 9.6.2>~<식 9.6.5>에 의해서 산출된 강성비

또한, 각 보강재의 최대폭-두께비는 <표 9.6.1>의 ①에 의한다. 다른 단면형태의 보강재를 이용하는 경우에는 이에 해당되지 않는다.

가. $\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} > \sqrt{\frac{1+\alpha^2}{2n^2(1+n\delta)}}$ 의 경우

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leqq 1 : \gamma = 4\alpha^2 n \left\{\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o}\right\}^2 (1+n\delta) - \frac{(1+\alpha^2)^2}{n} \tag{9.6.2}$$

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} > 1 : \gamma = 4\alpha^2 n(1+n\delta) - \frac{(1+\alpha^2)^2}{n} \tag{9.6.3}$$

나. $\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leqq \sqrt{\frac{1+\alpha^2}{2n^2(1+n\delta)}}$ 의 경우

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leqq 1 : \gamma = \frac{1}{n}\left\{\left[2n^2\left\{\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o}\right\}^2 (1+n\delta) - 1\right]^2 - 1\right\} \tag{9.6.4}$$

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} > 1 : \gamma = \frac{1}{n}\left\{[2n^2(1+n\delta)-1]^2 - 1\right\} \tag{9.6.5}$$

여기서, $(b/t)_s$: 실제의 설계에 이용하는 폭-두께비

$(b/t)_o$: <표 9.6.1>의 ③에서 정하는 최대폭-두께비

α : <그림 9.6.1>에 보인 판의 길이(a)와 판의 폭(b)과의 비(a/b)

I : 보강재 총단면의 단면2차모멘트(mm4)로, <그림 9.6.2>의 X축에 관한 것

δ : 보강재 1개의 단면적(A_s)과 보강판의 단면적($b \cdot t$)과의 비$\left(\frac{A_s}{b \cdot t}\right)$

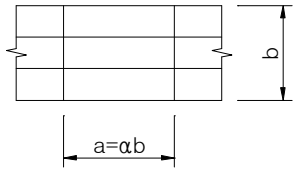


Fig. 9.6.1 Length and width of the plate

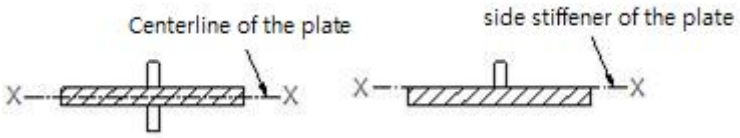


Fig. 9.6.2 Centerline and side stiffener of the plate

9.6.3 Plate element subjected to combined axial compression and flexure

(1)) This provision defines the plate thickness to ensure that no local buckling could occur on the plate element of the member subjected to the combined axial compression and flexure at the same time.

(2) In plane and out of plane stability for buckling over the entire member shall be in accordance with 「9.5.3」.

(3) This provision may not apply when the local buckling of the plate is sufficiently prevented by the concrete deck.

(4) Maximum width-to-thickness ratio

① The maximum width-to-thickness ratio of the plate subjected to the combined axial compression and flexure shall be in accordance with <Table 9.6.4>, which considers the number of stiffeners, when the plate is supported at both ends. The member with the applied stress smaller than the allowable stress and that is subjected to the momentary stress during installation may be relaxed by multiplying the maximum width-to-thickness ratio of the plate in <Table 9.6.4> by the factor given in <Table 9.6.5>. In such a case, the allowable compressive stress shall be calculated in the same manner as the beam in <Table 9.6.3>.

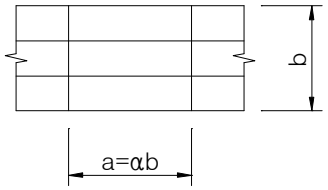


그림 9.6.1 판의 길이와 폭

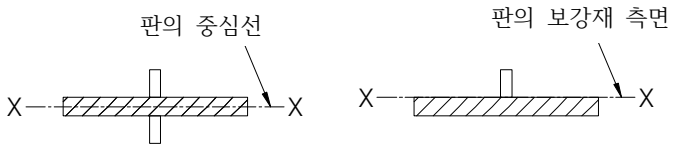


그림 9.6.2 판의 중심선 및 측면 보강재

9.6.3 축방향 압축력과 휨모멘트를 받는 판요소

(1) 이 항에서는 축방향압축력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재의 판요소가 국부좌굴을 일으키지 않도록 판두께를 규정한다.

(2) 부재 전체의 면외 및 면내좌굴에 대한 안정에 관해서는 「9.5.3항」의 규정을 따른다.

(3) 콘크리트 바닥판 등에 의해서 판의 국부좌굴이 충분히 방지된 경우에는 이 조항에 의하지 않는다.

(4) 최대폭-두께비

① 축방향의 압축력과 휨모멘트를 받는 판의 최대폭-두께비는 판의 양단이 지지되어 있는 경우, 판의 보강재 개수를 고려한 <표 9.6.4>의 값을 적용한다. 작용응력이 허용응력에 비해서 작은 부재 및 가설시 일시적인 압축응력을 받는 부재에 대해서는 <표 9.6.4>의 판의 최대폭-두께비에 <표 9.6.5>의 계수를 곱하여 완화할 수 있다. 이 경우의 허용압축응력은 <표 9.6.3>의 기둥에 대한 규정을 적용한다.

Table 9.6.4 Maximum width-to-thickness ratio of the plate

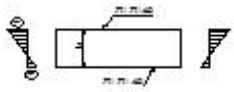
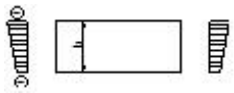
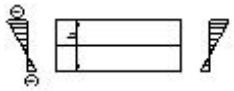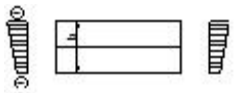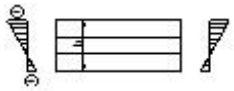
Stiffener and number	Range of Ψ	Maximum width-thickness ratio $(b/t)_o$	Application	
No stiffener	$-1.0 \leqq \Psi \leqq 0.25$	$\frac{710-1020\Psi}{\sqrt{f_{cao}}}$		①
	$0.25 < \Psi \leqq 1.0$	$\frac{455}{\sqrt{f_{cao}}}$		
1 stiffener at the center of plate width	$-1.0 \leqq \Psi \leqq 0$	$\frac{940-285\Psi}{\sqrt{f_{cao}}}$		②
	$0 < \Psi \leqq 1.0$	$\frac{940-285\Psi}{\sqrt{f_{cao}}}$		
2 or more stiffeners at same interval	$-1.0 \leqq \Psi \leqq 1.0$	$\frac{325n+(1-\Psi)(345-11n)}{\sqrt{f_{cao}}}$		

Table 9.6.5 Max width-thickness relaxation coefficient and upper limit

Plate type	Normal	Installing	
	Factor	Factor	Upper limit of width-thickness ratio
Stiffened	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f_1}}$, 1.2 or less	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f_1}}$	60
Stiffening plate	$3-\frac{2f_1}{f_{cag}}$, 1.7 or less	$3-\frac{2f_1}{f_{cag}}$	60n

where, $(b/t)_o$: Max width-thickness ratio in <Table 9.6.4> (same as 「9.6.3 (3)」)

n: Number of partitions by stiffener

t: Plate thickness (mm)

b: Plate width (mm)

$\Psi = f_2/f_1$: Stress ratio at both ends of plate element. However, $-1.0 \leqq \Psi \leqq 1.0$

f_1, f_2: Resultant stress at both ends by axial compressive force and bending moment (MPa). But when load combination is acceptable even in a scenario of increasing allowable stress, it shall be the value divided by the factor in <Table 8.3.1> 「Chapter 8 Bridge General」.

f_{cao}: Allowable compressive stress (MPa) when $l/r \fallingdotseq 0$ in <Table 9.4.2>

f_{cag}: Allowable compressive stress (MPa) varying by l/r <Table 9.4.2>

표 9.6.4 판의 최대폭-두께비

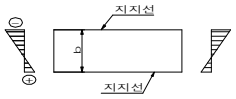
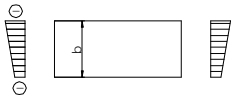
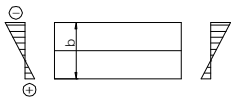
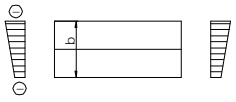
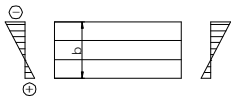
보강재 배치 및 수	Ψ 의 범위	판의 최대폭-두께비 $(b/t)_o$	적용	
보강재가 없는 경우	$-1.0 \leqq \Psi \leqq 0.25$	$\frac{710-1020\Psi}{\sqrt{f_{cao}}}$		①
	$0.25 < \Psi \leqq 1.0$	$\frac{455}{\sqrt{f_{cao}}}$		
판 폭의 중앙 부근에 1개의 보강재가 있는 경우	$-1.0 \leqq \Psi \leqq 0$	$\frac{940-285\Psi}{\sqrt{f_{cao}}}$		②
	$0 < \Psi \leqq 1.0$	$\frac{940-285\Psi}{\sqrt{f_{cao}}}$		
2개 이상의 보강재가 같은 간격으로 있는 경우	$-1.0 \leqq \Psi \leqq 1.0$	$\frac{325n+(1-\Psi)(345-11n)}{\sqrt{f_{cao}}}$		

표 9.6.5 판의 최대폭-두께비 완화계수 및 상한치

판의 종류	상시	가설시	
	계수	계수	폭-두께비 상한치
양연 지지판	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f_1}}$ 단, 1.2 이하	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f_1}}$	60
보 강 판	$3-\frac{2f_1}{f_{cag}}$ 단, 1.7 이하	$3-\frac{2f_1}{f_{cag}}$	$60n$

여기서, $(b/t)_o$: <표 9.6.4>에 규정된 최대폭-두께비(「9.6.3(3)항」과 동일)

n : 보강재에 의한 분할수

t : 판의 두께(mm)

b : 판의 폭(mm)

$\Psi = f_2/f_1$: 판요소의 양단에서 발생하는 응력의 비. 다만, $-1.0 \leq \Psi \leq 1.0$

f_1, f_2 : 축방향 압축력과 휨모멘트에 의해 양단에서 발생하는 합응력(MPa) 다만 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중조합이 되는 경우에는 「제8장」<표 8.3.1>의 계수로 나눈 값이다.

f_{cao} : <표 9.4.2>에서 $l/r \fallingdotseq 0$인 경우의 허용압축응력(MPa)

f_{cag} : <표 9.4.2>에서 l/r에 의해 변화하는 허용압축응력(MPa)

(5) Required strength of stiffener

① The moment of inertia (I) of stiffener of the plate in 「②」 of <Table 9.6.4> shall be greater than the value calculated according to <Eq. 9.6.6>.

$$I = \frac{1}{11} b t^3 \gamma \tag{9.6.6}$$

where, b : Width (mm) of plate in ② of <Table 9.6.4>

t : Plate thickness used for actual design (mm)

γ : Stiffness ratio according to <Eq. 9.6.7>

The maximum width-to-thickness ratio of stiffener shall be in accordance with ① of <Table 9.6.1>. However, this is not applied when using stiffener in another section shape.

$$\gamma = \frac{1}{k_{req} - k_o} \left\{ k_{req} \frac{(b/t)_s^2}{(b/t)_o^2} - k_0 \right\} m \gamma^* \tag{9.6.7}$$

$$m = 1 - \frac{\alpha}{2(1+\alpha)}(1-\Psi) \tag{9.6.8}$$

γ^*: Shall be calculated according to <Eq. 9.6.9>

in case of $\alpha \leqq \sqrt{2n^2(1+n\delta)-1}$

$$\gamma^* = \frac{1}{n}\{4n^2(1+n\delta)\alpha^2 - (1+\alpha^2)^2\} \tag{9.6.9}$$

in case of $\alpha > \sqrt{2n^2(1+n\delta)-1}$

$$\gamma^* = 4n(1+n\delta)\{(n-1)(n+1)+n^3\delta\} \tag{9.6.10}$$

k_o: Shall be calculated according to <Eq. 9.6.11> ~ <9.6.12>

In case of $0 \leqq \Psi \leqq 1$,

$$k_o = \frac{8.4}{\Psi + 1.1} \tag{9.6.11}$$

(5) 보강재의 소요강도

① <표 9.6.4>의 「②항」에 표시한 판의 각 보강재의 소요 단면2차모멘트(I)는 <식 9.6.6>에 의해서 산출한 값 이상이어야 한다.

$$I = \frac{1}{11} bt^3 \gamma \tag{9.6.6}$$

여기서, b : <표 9.6.4>의 ②에 표시된 판의 폭(mm)

t : 실제의 설계에 사용하는 판두께(mm)

γ : <식 9.6.7>에 의해서 산출한 강성비

그리고 각 보강재의 최대폭-두께비는 <표 9.6.1>의 ①에 의해야 한다. 다만 다른 단면형태의 보강재를 이용하는 경우에는 이에 해당되지 않는다.

$$\gamma = \frac{1}{k_{req} - k_o} \left\{ k_{req} \frac{(b/t)_s^2}{(b/t)_o^2} - k_0 \right\} m\gamma^* \tag{9.6.7}$$

$$m = 1 - \frac{\alpha}{2(1+\alpha)}(1-\Psi) \tag{9.6.8}$$

γ^* : <식 9.6.9>로 계산한다.

$\alpha \leqq \sqrt{2n^2(1+n\delta)-1}$ 의 경우

$$\gamma^* = \frac{1}{n}\{4n^2(1+n\delta)\alpha^2 - (1+\alpha^2)^2\} \tag{9.6.9}$$

$\alpha > \sqrt{2n^2(1+n\delta)-1}$ 의 경우

$$\gamma^* = 4n(1+n\delta)\{(n-1)(n+1)+n^3\delta\} \tag{9.6.10}$$

k_o : <식 9.6.11>~<식 9.6.12>로 계산해야 한다.

$0 \leqq \Psi \leqq 1$ 의 경우

$$k_o = \frac{8.4}{\Psi + 1.1} \tag{9.6.11}$$

In case of $-1 \leqq \Psi \leqq 0$

$$k_o = 10\Psi^2 - 6.27\Psi + 7.63 \quad (9.6.12)$$

k_{req}: Shall be calculated according to <Eq. 9.6.13>

$$k_{req} = \frac{8.4n^3}{2.1n - 1 + \Psi} \quad (9.6.13)$$

$(b/t)_o$: Max width-to-thickness ratio over the entire width of stiffening plate according to ② of <Table 9.6.4>.

$(b/t)_s$: Axis direction in calculating width-thickness ratio α, δ and I over the entire width of stiffening plate shall be in accordance with <Fig. 9.6.1> and 「9.6.2 (2)」.

9.6.4 Web plate of the member subjected to shear and flexure

(1) To accomplish the economic design for I-section and box-section plate girders to resist the flexure, a web plate needs to be as thin as possible while the section area of flange becomes larger, but if the web plate is too thin, it may cause buckling deformation or collapse, which could potentially lead to the global collapse of the plate girder, and thus a minimum thickness is stipulated in this provision. But if the local buckling is sufficiently prevented, this provision may not be applied.

(2) Maximum width-to-thickness ratio of web plate with intermediate vertical stiffener

① The maximum width-thickness ratio of web plate with intermediate vertical stiffener shall be in accordance with <Table 9.6.6> depending on the material. When working stress is less than allowable stress without horizontal stiffener, maximum width-thickness ratio <Table 9.6.6> needs to be increased by $\sqrt{f_{cao}/f}$, but exceeding 1.2 times.

$-1 \leqq \Psi \leqq 0$의 경우

$$k_o = 10\Psi^2 - 6.27\Psi + 7.63 \quad (9.6.12)$$

k_{req} : <식 9.6.13>으로 계산한다.

$$k_{req} = \frac{8.4n^3}{2.1n - 1 + \Psi} \quad (9.6.13)$$

$(b/t)_o$: <표 9.6.4>의 ②로 정해진 보강판의 전 폭에서의 최대폭-두께비

$(b/t)_s$: 실제의 설계에 사용하는 보강판의 전 폭에서의 폭-두께비 α, δ 및 I 의 계산에 있어서의 축의 방향은 <그림 9.6.1>과 「9.6.2(2)항」에 의한다.

9.6.4 전단력과 휨모멘트를 받는 부재의 복부판

(1) I형 단면과 박스형단면의 플레이트거더를 휨에 대해서 경제적으로 설계하기 위해서는 복부판을 될 수 있는 대로 얇게 하고 플랜지의 단면적을 크게 하는 것이 바람직하지만 복부판을 너무 얇게 하면 좌굴변형 또는 붕괴를 일으켜 플레이트거더 전체의 붕괴를 유발할 위험이 있으므로 이 조항으로 복부판의 최소두께를 규정하고 있다. 다만 판의 국부좌굴이 충분히 방지되어 있는 경우에는 이 조항을 적용하지 않아도 된다.

(2) 중간수직보강재가 있는 복부판의 최대폭-두께비

① 중간수직보강재가 있는 경우의 복부판의 최대폭-두께비는 사용재료별로 <표 9.6.6>을 따른다. 수평보강재가 없는 경우에 작용응력이 허용응력에 비해서 작은 부재에서는 <표 9.6.6>의 판의 최대폭-두께비를 $\sqrt{f_{\alpha o}/f}$ 배 증가시킬 수 있다. 다만 1.2배를 초과할 수 없다.

Table 9.6.6 Maximum width-thickness ratio of web plate ($(D/t)_0$)

Material	Without horizontal stiffener		Single step horizontal stiffener	
	Same steel	Hybrid	Same steel	Hybrid
SM400, SMA400	150	120	250	200
SM490, SM490C-TMC	130	100	250	170
SM490Y, SM520, SMA490, SM520C-TMC, HSB500	120	90	250	160
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	110	80	250	140

where, $(D/t)_o$: Maximum width-to-thickness ratio according to <Table 9.6.6>

t : Web plate thickness (mm) (same meaning in 「9.6.4 (3) (4) (5) (6)」

D : Web plate height (mm) (same meaning in 「9.6.4 (3) (4) (5) (6)」

f : Maximum working compressive stress; however, when load combination is acceptable even in case of increasing the allowable stress, the value divided by the allowable stress increment coefficient in 「Chapter 8 Bridge General」 <Table 8.3.1> shall be used.

f_{cao} : Allowable compressive stress (MPa) when slenderness ratio $l/r \fallingdotseq 0$ in <Table 9.4.2> (MPa)

(3) Maximum width-thickness ratio of web plate without intermediate vertical stiffener

① The maximum width-thickness ratio of web plate requiring no intermediate stiffener is as shown in <Table 9.6.7> depending on the train load and material.

Table 9.6.7 Maximum width-thickness ratio of web plate without intermediate vertical stiffener ($(D/t)_0$)

Material	Load directly on flange	Not loaded directly on flange
SM400, SMA400	70	$630/\sqrt{v}$, 110 or less
SM490, SM490C-TMC	60	
SM490Y, SM520, SMA490 SM520C-TMC, HSB500	55	
SM570, SMA570 SM570-TMC, HSB600	50	$630/\sqrt{v}$, 100 or less

where, v is the shear stress defined in 「9.5.4」; however, it shall be the value divided by the allowable stress increment coefficient in <Table 8.3.1> when a load combination is acceptable, even when increasing the allowable stress.

표 9.6.6 복부판의 최대폭-두께비($(D/t)_0$)

재료	수평보강재가 없는 경우		수평보강재가 1단인 경우	
	동일강종 단면	하이브리드 단면	동일강종 단면	하이브리드 단면
SM400, SMA400	150	120	250	200
SM490, SM490C-TMC	130	100	250	170
SM490Y, SM520, SMA490, SM520C-TMC, HSB500	120	90	250	160
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	110	80	250	140

여기서, $(D/t)_o$: <표 9.6.6>에서 정한 최대폭-두께비

t : 복부판의 두께(mm)(「9.6.4(3)(4)(5)(6)항」에서도 동일한 의미를 나타낸다.)

D : 복부판의 높이(mm)(「9.6.4(3)(4)(5)(6)항」에서도 동일한 의미를 나타낸다.)

f : 최대작용압축응력. 다만 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중의 조합인 경우에는 이 설계기준「제8장」<표 8.3.1>에 주어진 허용응력증가계수로 나눈 값을 취한다.

f_{cao} : <표 9.4.2>에서 세장비가 $l/r \fallingdotseq 0$ 일 때의 허용압축응력(MPa)

(3) 중간수직보강재가 없는 복부판의 최대폭-두께비

① 중간수직보강재를 설치할 필요가 없는 복부판의 최대폭-두께비는 열차하중의 재하조건과 사용재료별로 <표 9.6.7>의 값을 적용한다.

표 9.6.7 중간수직보강재가 없는 복부판의 최대폭-두께비($(D/t)_0$)

재료	플랜지에 직접 재하하는 부재의 복부판	플랜지에 직접 재하하지 않는 부재의 복부판
SM400, SMA400	70	$630/\sqrt{v}$ 단, 110 이하
SM490, SM490C-TMC	60	
SM490Y, SM520, SMA490 SM520C-TMC, HSB500	55	
SM570, SMA570 SM570-TMC, HSB600	50	$630/\sqrt{v}$ 단, 100 이하

여기서, v는「9.5.4항」에서 규정한 전단응력(MPa). 다만, 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중조합인 경우에는 <표 8.3.1>에서의 허용응력증가계수로 나눈 값을 취한다.

(4) Interval of intermediate vertical stiffener

① The interval of intermediate vertical stiffener (d), when installed, shall be as follows depending on the existence of intermediate vertical stiffeners, but shall not exceed 2D.

A. Without horizontal stiffener

$$d \leqq 980\frac{t}{\sqrt{v}} \tag{9.6.14}$$

But when the compressive bending stress at the end of web plate ((f)) exceeds the value in <Table 9.6.8>, the interval of intermediate stiffeners shall be examined according to <Eq. 9.6.15>~-< 9.6.16>.

If $d/D \leqq 1$,

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4\left\{\left(\frac{f}{325}\right)^2+\left[\frac{v}{54+72\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2\right\} \leqq 1 \tag{9.6.15}$$

If $1 < d/D \leqq 2$,

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4\left\{\left(\frac{f}{325}\right)^2+\left[\frac{v}{72+54\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2\right\} \leqq 1 \tag{9.6.16}$$

Table 9.6.8 Compressive bending stress at the end of web plate (without horizontal stiffener)

Material	f (MPa)
SS400, SM400, SMA400	85
SM490, SM490C-TMC	120
SM490Y, SM520, SMA490, SM530C-TMC	125
HSB500	140
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	170

(4) 중간수직보강재의 간격

① 중간수직보강재를 설치할 경우 중간수직보강재의 간격(d)는 수평보강재의 유무에 따라서 다음의 각 호의 식에 의해 산출한 값으로 해야 한다. 다만 $2D$를 넘어서는 안 된다.

가. 수평보강재가 없는 경우

$$d \leqq 980\frac{t}{\sqrt{v}} \tag{9.6.14}$$

다만 복부판 연단의 휨압축응력(f)가 <표 9.6.8>의 값을 넘을 경우 <식 9.6.15>~<식 9.6.16>에 의해서 중간수직보강재의 간격을 검토해야 한다.

$d/D \leqq 1$ 경우

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4\left\{\left(\frac{f}{325}\right)^2+\left[\frac{v}{54+72\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2\right\} \leqq 1 \tag{9.6.15}$$

$1 < d/D \leqq 2$ 경우

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4\left\{\left(\frac{f}{325}\right)^2+\left[\frac{v}{72+54\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2\right\} \leqq 1 \tag{9.6.16}$$

표 9.6.8 복부판 연단의 휨압축응력(수평보강재가 없는 경우)

재료	f(MPa)
SS400, SM400, SMA400	85
SM490, SM490C-TMC	120
SM490Y, SM520, SMA490, SM530C-TMC	125
HSB500	140
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	170

B. When placing a single row of horizontal stiffeners at $0.2D$ from flange,

$$d \leqq 870\frac{t}{\sqrt{v}} \qquad (9.6.17)$$

When the compressive bending stress (f) at the end of web plate exceeds the value in <Table 9.6.9>, the interval of intermediate vertical stiffeners shall be examined according to <Eq. 9.6.18> ~ < 9.6.19>.

If $d/D \leqq 0.8$,

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4\left\{\left(\frac{f}{1750}\right)^2+\left[\frac{v}{85+72\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2\right\} \leqq 1 \qquad (9.6.18)$$

If $0.8 < d/D \leqq 2$,

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4\left\{\left(\frac{f}{1750}\right)^2+\left[\frac{v}{113+54\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2\right\} \leqq 1 \qquad (9.6.19)$$

Table 9.6.9 Bending compressive stress at the end of web plate (with horizontal stiffener)

Material	f (MPa)
SS400, SM400, SMA400	155
SM490, SM490C-TMC	140
SM490Y, SM520, SMA490, SM530C-TMC	130
HSB500	125
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	120

where, d : When a stiffener is welded, the center-to-center spacing of stiffeners and when bolted, the bolt line shall be the interval of intermediate vertical stiffeners (mm) (the same as in 「9.6.4 (5) (6)」).

v : Shear stress (MPa) as defined in 「9.5.4」 and mean value between stiffeners shall be applied.

f : Bending compressive stress (MPa) at the end of web plate and mean value between stiffeners shall be applied.

When load combination is acceptable even in the case of increasing the allowable stress, v and f shall be the value divided by the allowable stress increment factor in <Table 8.3.1>.

나. 수평보강재를 압축 플랜지로부터$0.2D$부근에 1단으로 배치할 경우

$$d \leqq 870\frac{t}{\sqrt{v}} \tag{9.6.17}$$

다만 복부판 연단의 휨압축응력(f)가 <표 9.6.9>의 값을 넘을 경우에는 <식 9.6.18>~<식 9.6.19>에 의해서 중간수직보강재의 간격을 검토해야 한다.

$d/D \leqq 0.8$ 경우

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4\left\{\left(\frac{f}{1750}\right)^2+\left[\frac{v}{85+72\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2\right\} \leqq 1 \tag{9.6.18}$$

$0.8 < d/D \leqq 2$ 경우

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4\left\{\left(\frac{f}{1750}\right)^2+\left[\frac{v}{113+54\left(\frac{D}{d}\right)^2}\right]^2\right\} \leqq 1 \tag{9.6.19}$$

표 9.6.9 복부판 연단의 휨압축응력(수평보강재가 있는 경우)

재료	f(MPa)
SS400, SM400, SMA400	155
SM490, SM490C-TMC	140
SM490Y, SM520, SMA490, SM530C-TMC	130
HSB500	125
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	120

여기서, d : 중간수직보강재의 간격(mm)으로서, 그 값은 보강재가 용접되어 있는 경우에는 보강재 중심간격, 볼트로 연결되어 있는 경우에는 볼트선 간격으로 결정한다.(「9.6.4(5)(6)항」에 있어서도 동일한 의미를 나타낸다.)

v : 「9.5.4항」에 규정한 전단응력(MPa)으로 보강재 사이의 평균값을 적용한다.

f : 복부판 연단의 휨압축응력(MPa)으로 보강재 사이의 평균값을 적용한다.

또한 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중의 조합인 경우에는, v 및 f는 <표 8.3.1>에서의 허용응력증가계수로 나눈 값을 취한다.

(5) Horizontal stiffener

① When placing a single row of horizontal stiffeners, it shall be at $0.2D$ from compression flange, and the moment of inertia of horizontal stiffener (I) shall exceed the value calculated according to <Eq. 9.6.20>.

$$I = 5dt^3 \quad but,\ d/D \leqq 2 \tag{9.6.20}$$

② The maximum width-to-thickness ratio of horizontal stiffener shall be in accordance with ① of <Table 9.6.1>, but when using vertical stiffeners in another section shape, it may not be applied.

③ where, I : Moment of inertia of gross section of horizontal stiffener (mm^4) and when calculating the value of I, the reference axis shall be in accordance with <Fig. 9.6.2>.

④ When placing a double row of horizontal stiffeners or more, it shall not be in accordance with <Table 9.6.6>.

(6) Intermediate vertical stiffener

① The moment of inertia of intermediate vertical stiffener (I) shall exceed the value calculated according to <Eq. 9.6.21>.

$$I = \frac{5}{22} d_s t^3 \gamma \tag{9.6.21}$$

where, d_s : Interval of stiffener determined in actual design (mm)

I : Moment of inertia of gross section of intermediate vertical stiffener (mm^4) and when calculating the value of I, the reference axis shall be in accordance with <Fig. 9.6.2>

γ : Stiffness ratio according to <Eq. 9.6.22>

② The maximum width-thickness ratio of intermediate vertical stiffener shall be 16 or less, but when using the stiffener in used in another section shape, this may not be applied.

$$\gamma = 25\left(\frac{D}{d}\right)^2 - 20 \tag{9.6.22}$$

but it shall be $\gamma \geqq 5$

(5) 수평보강재

① 수평보강재를 1단으로 사용하는 경우 그 위치는 압축플랜지로부터 $0.2D$ 부근에 배치하는 것으로 하고 수평보강재의 소요단면2차모멘트(I)는 <식 9.6.20>에 의해 산출한 값 이상이 되어야 한다.

$$I = 5dt^3 \quad \text{단}, d/D \leqq 2 \tag{9.6.20}$$

② 또한 수평보강재의 최대폭-두께비는 <표 9.6.1>의 ①에 의하지만, 다른 단면형태의 수직보강재를 사용하는 경우에는 이를 적용하지 않아도 된다.

③ 여기서, I : 수평보강재의 총단면의 단면2차모멘트(mm^4)로 I값 계산시의 기준축은 <그림 9.6.2>를 따른다.

④ 수평보강재를 2단 이상 배치할 경우에는 <표 9.6.6>의 값을 따르지 않는다.

(6) 중간수직보강재

① 중간수직보강재의 소요단면2차모멘트(I)는 <식 9.6.21>에 의해 산출된 값 이상이어야 한다.

$$I = \frac{5}{22} d_s t^3 \gamma \tag{9.6.21}$$

여기서, d_s : 실제 설계에서 정한 보강재 간격(mm)

I : 중간수직보강재의 총단면의 단면2차모멘트(mm4)로서, I 값 계산시의 기준축은 <그림 9.6.2>를 따른다.

γ : <식 9.6.22>에 의해서 산출한 강성비

② 또한, 중간수직보강재의 최대폭-두께비는 16 이하로 하지만 다른 단면형태의 보강재를 사용할 경우에는 이를 따르지 않는다.

$$\gamma = 25\left(\frac{D}{d}\right)^2 - 20 \tag{9.6.22}$$

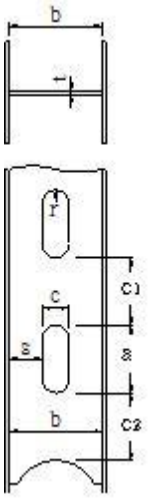
다만, $\gamma \geq 5$로 해야 한다.

(7) Member with perforated plate

① This provision is not applied for the girder subjected to flexure, and the minimum thickness of the perforated plate is as shown in <Table 9.6.10>.

The relationship among dimensions is as follows.

$$a \leq 2c, c_1 \geq b \ , \ c_2 \geq 1.25b, \ r \geq 40 \ \text{mm}$$



where, b : Distance between inner welding lines (mm)

t: Thickness of perforated plate (mm)

s : Maximum width from inner welding line to holes (mm)

a: Length of the hole measured from the direction of stress (mm)

c : Width of hole (mm)

c_1: Length between holes on plate (mm)

c_2 : Shortcut from the end of end hole to the end of perforated plate, measured in the stress direction (mm)

r: Curvature radius of hole end (mm)

Hole shape is circle, oval or chord combining the circle and straight line, and curvature radius of hole end shall be at least 40 mm.

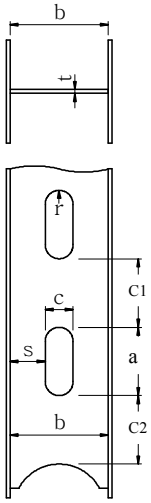
② The moment of inertia and effective section area of the member with perforated plate shall be calculated based on the section with the largest hole. The plate shall have two or more holes, and even if hole positions are staggered, it shall be considered that the hole is assumed to be on the same section.

(7) 구멍 뚫린 판을 가진 부재

① 이 규정은 휨을 받는 거더에 대한 것이 아니며, 구멍 뚫린 판의 최소 두께는 <표 9.6.10>의 값으로 한다.

구멍 뚫린 판의 치수간의 관계는 다음과 같다.

$$a \le 2c,\ c_1 \ge b,\ c_2 \ge 1.25b,\ r \ge 40\,\mathrm{mm}$$



여기서, b : 안쪽 용접선간의 거리(mm)

t : 구멍 뚫린 판의 두께(mm)

s : 안쪽 용접선으로부터 구멍까지의 최대폭(mm)

a : 응력방향에서 잰 구멍의 길이(mm)

c : 구멍의 폭(mm)

c_1 : 구멍과 구멍 사이의 판의 길이(mm)

c_2 : 단부 구멍의 끝과 구멍 뚫린 판 끝과의 응력방향에서 잰 최단거리(mm)

r : 구멍 끝의 곡률반경(mm)

구멍의 형상은 원, 타원 또는 원과 직선을 조합한 활과 같은 형상으로 구멍 끝의 곡률반경은 최소 40mm 이상으로 한다.

② 구멍 뚫린 판을 가진 부재의 단면2차반경 및 유효단면적은 구멍의 폭이 최대인 단면에 대해서 계산하는 것으로 한다. 또한 2개 이상의 구멍이 뚫린 판을 사용하고 구멍의 위치가 상호 엇갈리는 경우에도 같은 단면에 구멍이 있는 것으로 고려하여 계산하는 것으로 한다.

Table 9.6.10 Perforated plate

Steel	Min plate thickness (t) (mm)	Max width from inner welding line to hole (s) (mm)
SS400 SM400 SMA400	b/50	13t
SM490, SM490Y SM490C-TMC SM520 SM520C-TMC SMA490,HSB500	b/40	11t
SM570 SM570-TMC SMA570, HSB600	b/35	10t

9.7 Deck floor system and deck

9.7.1 General

(1) This provision shall be applied to the design of a steel deck floor system, steel deck floor system reinforced with longitudinal rib and transverse rib and RC deck with an aspect ratio of 2 or more.

(2) When the RC deck aspect ratio is less than 2, it shall be designed as a bidirectional deck after precise structural analysis.

(3) Symbols

L = Deck span to the load in 「9.7.4 (4)」 (mm)

M_o = Bending moment by the primary load at the center of span regarding the stringer as a simple girder (excluding track-structure interaction)

Bending moment at the center of span regarding the longitudinal rib as a simple girder

S_o = Reaction on support calculated regarding the longitudinal rib as a simple girder

9.7.2 Deck floor system

(1) Stringer

① Span of stringer: The longitudinal span for design calculation shall in principle be center-to-center spacing of cross beam.

표 9.6.10 구멍 뚫린 판

강종	최소 판두께(t)(mm)	안쪽 용접선으로부터 구멍까지의 최대폭(s)(mm)
SS400 SM400 SMA400	b/50	13t
SM490, SM490Y SM490C-TMC SM520 SM520C-TMC SMA490,HSB500	b/40	11t
SM570 SM570-TMC SMA570, HSB600	b/35	10t

9.7 바닥틀과 바닥판

9.7.1 일반내용

(1) 이 절은 바닥판을 지지하고 있는 강바닥틀, 세로리브 및 가로리브로 보강된 강바닥판과 변장비가 2 이상의 철근콘크리트 바닥판의 설계에 적용한다.

(2) 철근콘크리트 바닥판의 변장비가 2 미만인 경우 양방향 바닥판으로 고려해야 하며, 정밀한 구조해석을 통하여 설계해야 한다.

(3) 기호

L = 「9.7.4(4)항」에서 보여준 하중에 대한 바닥판의 지간(mm)

M_o = 세로보를 단순거더로 보고 계산한 지간 중앙의(궤도-구조물간의 상호작용을 제외한) 주하중에 의한 휨모멘트.
세로리브를 단순거더로 보고 계산한 지간 중앙의 휨모멘트

S_o = 세로리브를 단순거더로 보고 계산한 지점상의 반력.

9.7.2 바닥틀

(1) 세로보

① 세로보의 지간 : 설계계산에 쓰이는 세로보의 지간은 가로보의 중심간 거리로 한 것을 원칙으로 한다.

② Structure of stringer: It shall be a continuous structure, to the extent that this is possible.

③ Expansion system of continuous stringer: The expansion system shall be provided at the center of the bridge when a continuous stringer is 75 m or longer.

(2) Bending moment and shear force of continuous longitudinal beam

① When calculating the deck floor system considering stringer as a continuous girder, the span moment and support moment of the stringer are as shown in <Table9.7.1>.

② Shear force shall be calculated by considering a simple girder.

Table 9.7.1 Bending moment of continuous longitudinal beam

Position	Bending moment
Bending moment at the center of span of end stringer or equivalent	$0.8\ M_o\ (0.95\ M_o)$
Bending moment at the center of span of intermediate stringer	$0.7\ M_o\ (0.9\ M_o)$
Bending moment at intermediate support	$-0.7\ M_o\ (0.8\ M_o)$

Note) ① M_o is the bending moment by the primary load at the center of span regarding the stringer as a simple girder (excluding track-structure interaction).

② The value between parenthesis is the equation used for proving the fatigue.

③ In the case of a ballast track with higher dead loads, this provision shall be applied to live load but not to dead loads.

(3) Cross beam

① Spacing of cross beam - This shall be placed perpendicular to the main girder.

② Span of cross beam - The span of cross beam for design calculation shall be center-to-center spacing of main girder, in principle.

③ End cross beam - The end cross beam shall be provided to the end of through plate girder in principle. The end cross beam shall be designed to resist the uplift of bridge girder, if possible.

(4) Connection of stringer and cross beam

① When connecting the web plate of stringers and cross beams, only shear force shall be considered, and the value shall be 1.2 times the reaction force calculated regarding the stringer as a simple girder, both for a continuous structure and for a simply-supported structure.

② When designing the stringer as a continuous structure, the bending moment and shear force of stringers shall be fully transferred at the connection with cross beams.

② 세로보의 구조 : 세로보는 될 수 있는 한 연속구조로 한다.

③ 연속세로보의 신축장치 : 전장 75m 이상의 연속 세로보에는 가능한 한 교량 중앙부근에 신축장치를 설치해야 한다.

(2) 연속 세로보의 휨모멘트 및 전단력

① 개상식 바닥틀에서 세로보를 연속보로 하여 계산할 때에 세로보의 지간모멘트 및 지점모멘트는 <표 9.7.1>에 표시한 값을 표준으로 한다.

② 전단력은 단순보로 가정하여 계산한다.

표 9.7.1 연속세로보의 휨모멘트

위 치	휨모멘트
단부 세로보 및 그것에 준하는 세로보의 지간 중앙의 휨모멘트	$0.8\,M_o\,(0.95\,M_o)$
중간 세로보의 지간 중앙의 휨모멘트	$0.7\,M_o\,(0.9\,M_o)$
중간 지점상의 휨모멘트	$-0.7\,M_o\,(0.8\,M_o)$

주) ① M_o는 세로보를 단순거더로 보고 계산한 지간 중앙의(궤도-구조물간의 상호작용을 제외한) 주하중에 의한 휨모멘트이다.

② ( )안은 피로검산에 사용되는 식을 나타낸다.

③ 고정하중의 비율이 높은 도상식 등의 경우, 활하중에 대해서는 이 조항을 적용하고 고정하중에 대해서는 이 조항을 적용하지 않는다.

(3) 가로보

① 가로보의 배치 - 가로보는 가능한 한 주거더에 직각으로 배치한다.

② 가로보의 지간 - 설계계산에 쓰이는 가로보의 지간은 주거더의 중심간 거리로 하는 것을 원칙으로 한다.

③ 단부가로보 - 하로플레이트거더의 단부에는 단부가로보를 두는 것을 원칙으로 한다. 단부가로보는 가능한 교량거더의 들어올림에 대해서도 견딜 수 있도록 설계한다.

(4) 세로보와 가로보의 연결

① 세로보와 가로보의 복부판을 연결할 때는 원칙적으로 전단력만을 고려하고, 그 값은 연속구조, 단순구조 중 어느 경우에도 세로보를 단순거더로 보고 계산한 반력의 1.2배로 한다.

② 세로보를 연속구조로 할 때에는 가로보와의 연결부분에서 세로보의 휨모멘트 및 전단력이 충분히 전달되는 구조로 한다.

③ The stringer shall be connected to the cross beam using cross beam stiffeners and L-shaped bars. The cross beam stiffener shall be L-section bars and L-shaped bars shall be as long as possible within the range of the height of the web plate of the stringer, and the thickness shall be 11 mm or more.

(5) Connection of cross beam and main girder

① When connecting the cross beam and main girder, bending moment that may be caused by the stiffness of main girder and the structure of connection shall be considered.

② On through plate girders, the web plate of cross beam shall be placed on the web plate of main girder and fixed by a high-strength bolt using a stiffener and L-shaped bar.

③ The bottom flange of cross beam and main girder shall be connected through a gusset plate, and the length of the L-shaped bar shall be at least the height of the web plate of cross beam and the thickness shall be 10 mm or more.

9.7.3 Steel deck floor system

(1) Structure

① In the case of a ballast track, the minimum thickness of deck floor systems shall be 12 mm at least and the interval of longitudinal ribs shall be 30 times that of deck plate or less, in principle.

② The height of longitudinal rib in a rectangular section shall not exceed 12 times the thickness, in principle.

③ The transverse rib shall be crossed through the longitudinal rib at the intersection of the longitudinal and transverse rib ant the intersection shall be in principle welded.

(2) Design of longitudinal rib on steel deck plate

① The design of longitudinal ribs of a steel deck plate shall be in accordance with the following requirements.

A. Load – In the case of ballast track, the standard train load shall be linearly applied and uniformly distributed over the sleeper length.

B. Effective width – The effective width of a steel deck plate shall be the interval of longitudinal ribs, in principle.

C. Moment and shear force – The span moment, support moment and shear force at the connection of the longitudinal and transverse rib shall be as specified in <Table 9.7.2>. The allowable stress for tension and shear shall be the allowable stress defined in 「9.4.2 (1)」, and for compression, the allowable stress when $l/r = 0$ in the allowable buckling stress in 「9.4.2 (2)」 shall be applied.

③ 세로보는 원칙적으로 가로보의 복부판에 가로보의 보강재와 연결용 L형강을 이용해 연결한다. 이 때 가로보의 보강재도 L형강으로 하고 연결용 L형강은 세로보 복부판의 높이가 허용되는 한 길게 하고 그 두께는 11mm 이상으로 한다.

(5) 가로보와 주거더의 연결

① 가로보와 주거더를 연결할 때에는 주거더의 강성 및 연결부의 구조로 인하여 발생하는 휨모멘트를 고려해야 한다.

② 하로플레이트거더에 있어서는 가로보의 복부판을 주거더의 복부판에 그 보강재 및 연결용 L형강을 통해서 고장력볼트로 연결하는 것을 원칙으로 한다.

③ 가로보의 하부플랜지와 주거더의 하부플랜지는 연결판을 통해 연결한다. 그리고, 연결용 L형강의 길이는 적어도 가로보 복부판의 높이 정도의 길이로 하고, 그 두께는 10mm 이상으로 한다.

9.7.3 강바닥판

(1) 강바닥판의 구조

① 도상식인 경우 바닥강판의 최소두께는 12mm로 하고, 세로리브의 간격은 바닥강판 두께의 30배 이하로 하는 것을 원칙으로 한다.

② 세로리브의 높이는 직사각형 단면인 경우, 그 두께의 12배를 넘지 않는 것을 원칙으로 한다.

③ 세로리브와 가로리브의 교점에서는 세로리브를 관통시키고, 그 교점을 용접하는 것을 원칙으로 한다.

(2) 강바닥판 세로리브의 설계

① 강바닥판 세로리브의 설계는 다음의 각 항을 적용한다.

가. 하중 - 도상식인 경우의 열차하중은 표준활하중의 1축중이 침목의 길이에 걸쳐 등분포하는 선하중으로 재하한다.

나. 유효폭 - 바닥강판의 유효폭은 세로리브의 간격으로 하는 것을 원칙으로 한다.

다. 모멘트 및 전단력 - 지간모멘트, 지점모멘트 및 세로리브와 가로리브와의 연결부에서의 전단력은 <표 9.7.2>의 값을 표준으로 한다. 이 경우의 허용응력은 인장 및 전단에 관해서는 「9.4.2(1)항」에서 규정한 허용응력, 또 압축에 관해서는 「9.4.2(2)항」에서 규정한 허용좌굴응력에서 $l/r=0$ 인 경우의 허용응력을 적용한다.

Table 9.7.2 Moment and shear force of rib

Position \ Steel	SM400, SMA400	SM490, SM490Y, SMA490
Bending moment at the center of span of short longitudinal rib or equivalent longitudinal rib	$1.0\ M_o$	$1.2\ M_o$
Bending moment at the center of span of intermediate longitudinal rib	$0.8\ M_o$	$1.0\ M_o$
Bending moment at intermediate support	$0.75\ M_o$	$0.9\ M_o$
Shear force at the connection between longitudinal rib and transverse rib	$1.2\ S_o$	$1.2\ S_o$

Note) M_o: Bending moment at the center of span regarding the longitudinal rib as a simple girder
S_o : Reaction at the support regarding the longitudinal rib as a simple girder

(3) Design of transverse rib of steel deck plate

① The design of transverse ribs of a steel deck plate shall be applied in the following.

A. Load – In a ballast track, the train load shall be a standard live load on 4 driving wheels, uniformly distributed on (sleeper length x 4800 mm) (see<Fig. 9.7.1>).

B. Effective width – The effective width of a deck plate shall be the interval of transverse ribs.

C. Bending moment – The bending moment shall be calculated for a simply supported girder assuming the center-tocenter spacing of main girders is a span.

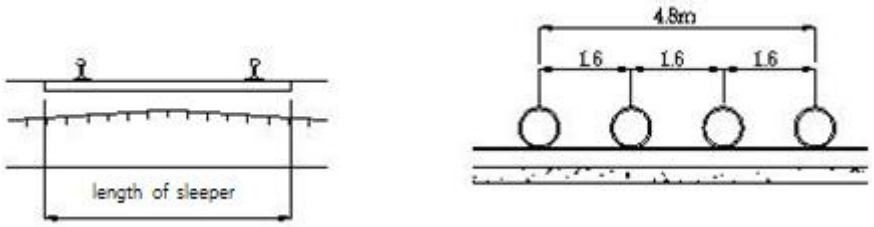


Fig. 9.7.1 Distribution of train load

c

9.7.4 Concrete deck plate

(1) When satisfying the minimum thickness of a deck plate in 「9.7.4 (5)」 and designing the deck plate according to the design moment of deck plate in 「10.10.5」, no consideration of shear force shall be required.

표 9.7.2 리브의 모멘트 및 전단력 산정

위치 \ 강종	SM400, SMA400	SM490, SM490Y, SMA490
단세로리브 및 이에 준하는 세로리브의 지간 중앙의 휨모멘트	1.0 M_o	1.2 M_o
중간 세로리브의 지간 중앙의 휨모멘트	0.8 M_o	1.0 M_o
중간 지점상의 휨모멘트	0.75 M_o	0.9 M_o
세로리브와 가로리브의 연결부에서의 전단력	1.2 S_o	1.2 S_o

주) M_o : 세로리브를 단순거더로 보고 계산한 지간 중앙의 휨모멘트

S_o : 세로리브를 단순거더로 보고 계산한 지점상의 반력

(3) 강바닥판 가로리브의 설계

① 강바닥판의 가로리브의 설계는 다음 각 항을 적용한다.

가. 하중 - 도상식인 경우의 열차하중의 크기는 표준활하중의 4동륜축하중이(침목의 길이×4800mm)의 면적에 등분포된 것으로 한다.(<그림 9.7.1> 참조)

나. 유효폭 - 바닥강판의 유효폭은 가로리브의 간격으로 하는 것을 원칙으로 한다.

다. 휨모멘트 - 휨모멘트는 주거더 중심간 거리를 지간으로 하는 단순거더로 보고 계산하는 것을 원칙으로 한다.

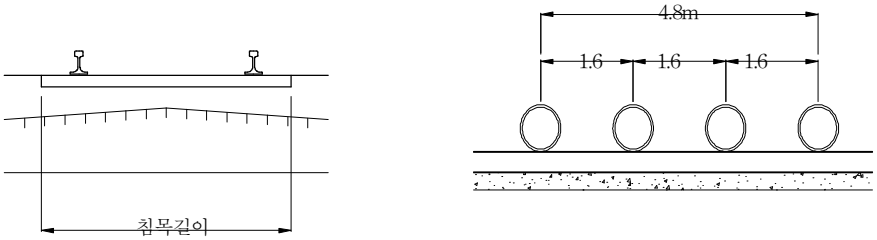


그림 9.7.1 열차하중의 분포

9.7.4 콘크리트 바닥판

(1) 「9.7.4(5)항」의 바닥판 최소두께 규정을 만족하고 「10.10.5항」바닥판의 설계휨모멘트의 규정에 따라 바닥판을 설계한 경우 전단력에 대한 검토를 생략할 수 있다.

(2) Span of deck plate

① The span of a simple plate or continuous plate for the train load and dead load shall be the center-to-center spacing of support girders measured in the main reinforcement direction, However, for a simple plate, when the net span measured in the main reinforcement plus the deck plate thickness at the center of span is less than the above span, this may be considered as a span.

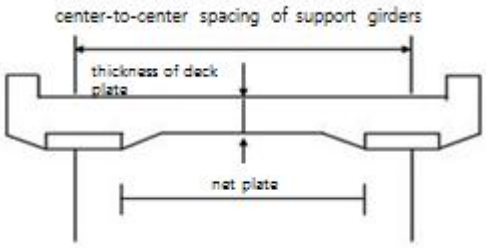


Fig. 9.7.2 Span of a simple plate and continuous span

② The span of skew bridge shall be measured in the main reinforcement direction.

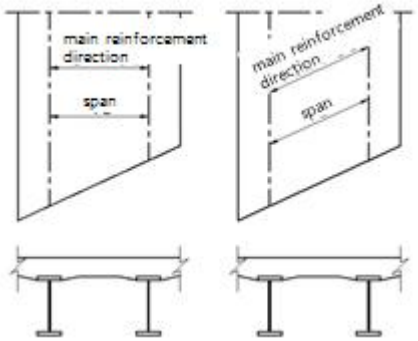


Fig. 9.7.3 Span of deck plate of skew bridge

(3) Minimum thickness of deck plate

① The minimum track deck plate thickness shall be either the value in <Table 9.7.3> or 200 mm, whichever is greater. But in special situations, where the maintenance is difficult due to the damage of deck floor or the additional bending moment is produced due to the deteriorated stiffness of girders supporting the deck, the minimum thickness of railway bridge deck plate shall be greater than the value in <Table9.7.3>.

(2) 바닥판의 지간

① 단순판 및 연속판의 열차하중 및 고정하중에 대한 지간은 주철근의 방향으로 잰 지지거더의 중심간격으로 해야 한다. 그러나 단순판에 대하여는 주철근의 방향으로 잰 순지간에 지간 중앙의 바닥판의 두께를 더한 길이가 위의 지간보다 작은 경우에는 이것을 지간으로 할 수 있다.

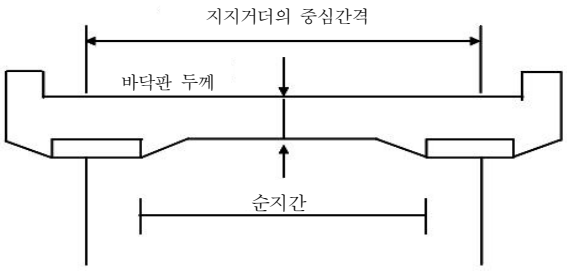


그림 9.7.2 단순판 및 연속판의 지간

② 사교의 지간은 주철근 방향으로 재는 것으로 한다.

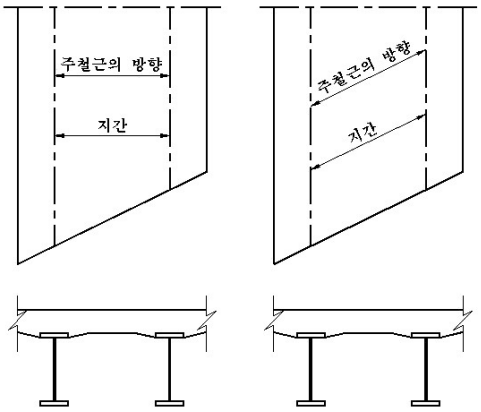


그림 9.7.3 사교의 바닥판의 지간

(3) 바닥판의 최소두께

① 궤도부분 바닥판의 최소두께는 <표 9.7.3>으로부터 얻어지는 값과 200mm 중에서 큰 값으로 해야 한다. 그러나 바닥판에 손상이 생기면 보수작업이 곤란한 경우나 바닥판을 지지하는 거더의 강성이 현저히 차이가 나서 휨모멘트가 부가되는 경우 등 특수한 조건하에 있는 철도교의 바닥판 최소두께는 <표 9.7.3>에 있는 두께보다 크게 설계하는 것이 바람직하다.

Table 9.7.3 Minimum thickness of deck plate (mm)

Plate	Direction of deck plate span	
	Perpendicular to train run	In parallel with train run
Simple plate	$0.040L + 110$	$0.065L + 130$
Continuous plate	$0.030L + 110$	$0.050L + 130$
Cantilever plate	$0 < L \leqq 250$ $0.280L + 160$ $L > 250$ $0.080L + 210$	$0.240L + 130$

Note) L: Span of deck plate to the load in 「9.7.4 (2)」 (mm)

② The minimum thickness of deck plate of sidewalk shall be 140 mm.

(4) Deck plate haunch

① Haunch shall be provided on the deck plate of the main steel girder, if possible.

② Gradient of haunch on the deck plate shall be less than 1:3, and for more than 1:3, the thickness up to 1:3 shall be considered the effective design section of the deck plate.

③ On a haunch of 80 mm or higher, extra reinforcement shall be placed perpendicular to a main girder along the haunch. The diameter of extra reinforcement shall be 13mm or more and the interval shall be the same as the reinforcement below the deck plate placed perpendicular to the main girder.

(5) Structure details

① Diameter of reinforcement and arrangement

A. Deformed bars shall be used, and their diameter shall be 13, 16 and 19 mm. But 22 mm may be used at the end of deck plates.

B. Concrete cover shall be 30 mm thick.

C. The center-to-center spacing of reinforcing bars shall be 100 mm. The maximum spacing of main reinforcement shall be less than the deck plate thickness and less than 300mm, and the maximum spacing of distribution bars shall be also less than 300mm.

D. Compression reinforcement shall be 1/2 of tension reinforcement or more.

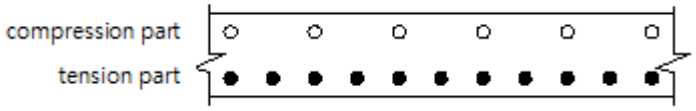


Fig. 9.7.4 Example of reinforcement for deck plate

표 9.7.3 바닥판의 최소두께(mm)

판의 구분	바닥판 지간의 방향	
	차량 진행방향에 직각	차량 진행방향에 평행
단 순 판	$0.040L+110$	$0.065L+130$
연 속 판	$0.030L+110$	$0.050L+130$
캔틸레버판	$0 < L \leqq 250$ $0.280L+160$ $L > 250$ $0.080L+210$	$0.240L+130$

주) L : 「9.7.4(2)항」에 규정된 하중에 대한 바닥판의 지간(mm)

② 보도부분 바닥판의 최소두께는 140mm로 한다.

(4) 바닥판의 헌치

① 바닥판에는 강재주거더 위에 가급적 헌치를 설치한다.

② 바닥판의 헌치의 경사는 1:3보다 완만하게 한다. 바닥판 설계 시 기울기가 1:3보다 급한 경우에는 기울기 1:3까지의 두께를 설계상 유효한 바닥판 단면으로 본다.

③ 높이가 80mm 이상의 헌치에는 헌치 아래면을 따라 주거더의 직각방향으로 가외철근을 배치한다. 이 경우 가외철근은 지름 13mm 이상으로 하고, 그 간격은 헌치 위치에 있어서 주거더에 직각방향으로 배치한 바닥판의 아래 측 철근 간격과 같은 것으로 한다.

(5) 구조상세

① 철근의 지름 및 배근

가. 철근은 이형철근을 사용하고, 그 지름은 13, 16, 19mm를 표준으로 해야 한다. 다만 바닥판의 끝부분 등 철근을 많이 배치해야 하는 부분에는 22mm의 철근을 사용할 수 있다.

나. 철근의 피복두께는 30mm를 표준으로 한다.

다. 철근의 중심간격은 100mm 이상으로 하고 주철근의 최대 중심간격은 바닥판의 두께 이하인 동시에 300mm 이하로 하고, 배력철근의 중심간격도 300mm 이하로 한다.

라. 철근은 단면의 압축측에 적어도 인장 측 소요 철근의 1/2 이상을 배치하는 것을 원칙으로 한다.

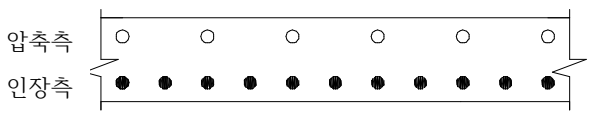


그림 9.7.4 바닥판의 배근 예

E. When the main reinforcement is bent on a continuous plate, it shall be bent at L/6 away from the support, as shown in <Fig. 9.7.5>.

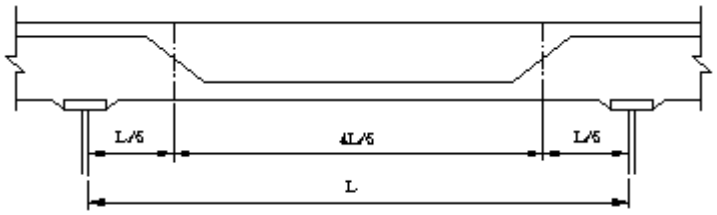


Fig. 9.7.5 Bending of main reinforcement on continuous plate

② Distribution bar

A. The section area of distribution bars for a simply-supported unidirectional slab shall be as follows:

(a) For a uniformly distributed load, it shall be at least 1/6 the tensile reinforcement per a slab width of 1 m.

(b) For a partially distributed load, it shall be the distribution rebar in 「(a)」 plus times tensile reinforcement section per a slab width of 1m required for a partially distributed load, and α shall be applied as follows.

ⓐ When loaded at the center of slab

$$upper\,distribution\,rebar\,\alpha = \left(1-0.25\frac{L}{b}\right)\left(1-0.8\frac{v}{b}\right) \quad (9.7.1)$$

When $\frac{L}{b} > 2.5$, $\frac{L}{b} = 2.5$, α shall be used.

ⓑ When loaded at the edge of slab

$$lower\,distribvtion\,\alpha = \frac{L}{8000}\left(1-2\frac{v}{b}\right) \quad (9.7.2)$$

Where, v, b are load width perpendicular to span (mm) and effective width (mm), respectively, and L is span (mm)

B. Distribution bars of a unidirectional slab shall be upper positive reinforcement and under negative reinforcement.

C. The interval of distributed bars shall be three times the effective height of slab or less.

D. The section area of distributed bars of a unidirectional slab fixed at both ends shall be as specified in A.

마. 연속판에 주철근을 구부리는 경우 <그림 9.7.5>에 표시한 것과 같이 지점으로부터 L/6되는 위치의 단면에서 구부리는 것으로 해야 한다.

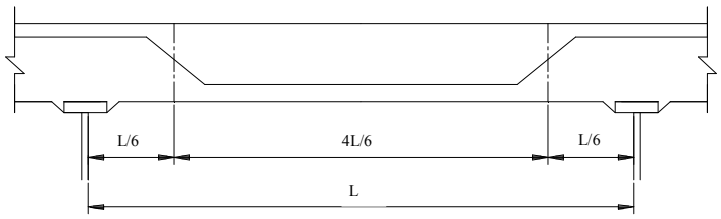


그림 9.7.5 연속판의 주철근을 구부리는 위치

② 배력철근

가. 단순지지된 1방향 슬래브의 배력철근의 단면적은 다음 사항을 적용한다.

㉮ 등분포하중을 받는 경우, 슬래브 폭 1m당의 인장철근 단면적의 1/6 이상으로 해야 한다.

㉯ 부분분포하중을 받는 경우는 「㉮」의 배력철근에 부분분포하중에 대해 필요한 슬래브 폭 1m당의 인장철근 단면적의 α배를 더한 것으로 해야 한다. 이 α는 다음 값을 적용한다.

㉠ 슬래브 중앙부근 재하의 경우

아래쪽 배력철근 $\alpha = \left(1-0.25\frac{L}{b}\right)\left(1-0.8\frac{v}{b}\right)$ (9.7.1)

다만, $\frac{L}{b} > 2.5$의 경우에는 $\frac{L}{b} = 2.5$일 때 α값을 사용한다.

㉡ 슬래브 연단부근 재하의 경우

위쪽 배력철근 $\alpha = \frac{L}{8000}\left(1-2\frac{v}{b}\right)$ (9.7.2)

여기서, v, b는 지간직각방향의 하중폭(mm) 및 유효폭(mm), L은 지간(mm)이다.

나. 1방향 슬래브의 배력철근은 일반적으로 정철근의 바로 위, 부철근의 바로 밑에 배치한다.

다. 배력철근의 간격은 슬래브의 유효높이의 3배 이하로 한다.

라. 양단 고정의 1방향 슬래브의 배력철근의 단면적은 위의 가.항을 따른다.

③ Concrete slab of main girder end

A. Deck plates for track at main girder shall be supported by an end cross beam and end bracket, and the end cross beam shall be designed to resist the load independently.

B. When concrete slab at the center span of a main girder end is not supported by an end cross beam, two times the reinforcement required for the concrete slab at other center spans than the end shall be placed to the slab at half between the main girder end and the slab span.

C. When the concrete slab of cantilever at a main girder end is not supported by an end bracket, two times the reinforcement required for other cantilever slabs than the main girder end shall be placed. But two times the distribution bar shall be placed to the top of other cantilever slabs than the main girder end.

D. The thickness of concrete slab for track at a main girder end shall be increased as much as haunch height.

9.8 Connection

9.8.1 General

(1) Connection of the members

① The connection of a member using high-strength bolts or welds shall be in principle designed based on the design section force or stress, but butt joints using groove welds shall be welded in the entire section.

② In addition to the above, tension members shall be designed according to the allowable tensile stress and compression members shall be designed to have 75% strength due to the allowable buckling stress (for the members subjected to both tension and compression, whichever stress is greater shall be applied).

③ Connection shall be designed to minimize the eccentricity of the member.

④ Number of bolts in the load direction shall be minimized.

(2) Symbols

A = Nominal section area of bolt calculated based on nominal diameter of bolt body (mm^2)

a = Welding throat thickness (mm)

d = Diameter of bolt hole (mm)

e = Minimum bolt edge distance in load direction (mm)

f = Vertical stress on steel by axial or bending force (MPa)

f_a = Allowable tensile and compressive stress of weld part or steel (MPa)

g = Distance between bolts perpendicular to load direction (mm)

③ 주거더 단부의 바닥판

가. 주거더 단부의 궤도부분의 바닥판은 단부 가로보 및 단부 브라킷 등으로 지지시킨다. 이 경우 단부 가로보가 단독으로 하중에 저항하도록 설계한다.

나. 주거더 단부의 중간지간의 바닥판을 단부 가로보 등으로 지지하지 않는 경우, 주거더 단부로부터 바닥판 지간의 1/2 사이에 있는 바닥판에 대해서는, 주거더 단부 이외의 중간지간에 있는 바닥판에서 필요한 주철근량의 2배를 주철근으로 배치한다.

다. 주거더 단부의 캔틸레버보의 바닥판을 단브라킷 등으로 지지하지 않는 경우, 주거더단부 이외의 캔틸레버부 바닥판에서 필요한 주철근량의 2배를 주철근으로 배치한다. 그러나, 이 부분에는 주거더 단부 이외의 캔틸레버부 바닥판의 상측에 배력철근량의 2배를 배력철근으로 배치한다.

라. 주거더 단부의 궤도부분 바닥판은 바닥판 두께를 헌치높이 만큼 증가시켜야 한다.

9.8 연결

9.8.1 일반내용

(1) 부재의 연결

① 고장력볼트 또는 용접에 의한 부재의 연결은 설계단면력 또는 응력에 대해서 설계하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 그루브용접을 이용한 맞대기이음은 전단면이 용접되어야 한다.

② 주요부재의 연결은 전항에 의한 것 외에 인장부재의 경우 허용인장응력, 압축부재의 경우 허용좌굴응력에(부재가 인장 및 압축의 양쪽을 받는 경우에는 어느 것이든 큰 쪽의 부재응력과 같은 부호의 허용응력에) 의한 부재강도의 75% 이상의 강도를 갖도록 설계한다.

③ 부재의 연결부는 구성하는 각 재편에 대해서 가능한 한 편심을 최소화하도록 설계하는 것을 원칙으로 한다.

④ 힘 작용방향의 볼트 갯수는 가능한 한 적게 해야 한다.

(2) 기호

A = 볼트 몸체부 공칭직경을 기준으로 계산한 볼트의 공칭단면적(mm^2)

a = 용접의 목두께(mm)

d = 볼트구멍의 지름(mm)

e = 힘 작용방향으로의 볼트의 최소연단거리(mm)

f = 축력 또는 휨에 의해 용접부나 강재에 발생하는 수직응력(MPa)

f_a = 용접부나 강재의 허용인장응력 및 허용압축응력(MPa)

g = 힘 작용방향에 직각인 방향의 볼트간 거리(mm)

I = Moment of inertia obtained by developing fillet welding throat to the plane in parallel with the member section or moment of inertia of total section of fish plate for neutral axis of the member (mm^4)
l = Effective welding length (mm)
M = Bending moment on joint and fish plate (N·mm)
n = Number of bolts used for joint or high tension bolt on either side of joint line
P = Force working on joint (kN)
p = Distance between bolts perpendicular to load direction (mm)
Q = Primary moment of total section out of joint line which is calculated based on neutral axis of total section of plate girder (mm3)
S = Shear force on section (kN)
t = Thickness of the plate or section steel (mm)
v = Shear stress on welded part (MPa)
v_a = Allowable shear stress of welded part (MPa)
y = Distance from neutral axis to stress calculation point (mm)
a = Allowable shear stress ratio of bolt and base material
ρ = Force per bolt (kN)
ρ_h = Force per high tension bolt on axial joint (kN)
ρ_a = Allowable force per high tension bolt (kN)

9.8.2 Welded connections

(1) Type of welds

① Welding joints to transmit the full load of the members they join shall be groove or continuous filler welds.

② Joints subjected to the stress perpendicular to welding line shall not be welded using groove welds.

③ The connection of major members shall not use skip , plug or slot welds.

(2) The throat thickness of welding to transmit the full load of the members shall be determined according to the following.

① The throat thickness of groove welds shall be the thickness of the member in <Fig. 9.8.1>, and if there is any difference, whichever is thinner shall be applied.

② The throat thickness of fillet welds shall be the height of the inscribed isosceles triangle with weld route as its vertex.

I = 필릿용접의 목 단면을 부재 단면에 평행한 면에 전개해서 얻어진 도형의 단면 2차모멘트 또는 부재의 중립축에 관한 이음판 총단면의 단면2차모멘트(mm^4)

l = 용접의 유효길이(mm)

M = 이음 및 이음판에 작용하는 휨모멘트(N · mm)

n = 이음에 사용한 볼트의 수 또는 이음선의 한쪽에 있는 고장력볼트의 총수

P = 이음부에 작용하는 힘(kN)

p = 힘 작용방향에 평행인 방향의 볼트간 거리(mm)

Q = 이음선 외측의 총단면에 대한 단면1차모멘트로 플레이트거더 전체 단면의 중립축을 기준으로 계산한 값(mm^3)

S = 단면에 작용하는 전단력(kN)

t = 판 또는 형강의 두께(mm)

v = 용접부에 발생하는 전단응력(MPa)

v_a = 용접부의 허용전단응력(MPa)

y = 부재의 중립축으로부터 응력계산 위치까지의 거리(mm)

α = 볼트와 모재의 허용전단응력비

ρ = 볼트 한 개에 작용하는 힘(kN)

ρ_h = 교축방향 이음의 고장력볼트 한 개에 작용하는 힘(kN)

ρ_a = 고장력볼트 한 개의 허용력(kN)

9.8.2 용접이음

(1) 용접의 종류

① 힘을 전달하는 용접이음은 그루브용접 또는 연속 필릿용접으로 해야 한다.

② 용접선에 직각방향으로 인장응력을 받는 이음은 부분용입 그루브용접으로 접합해서는 안 된다.

③ 주요부재의 연결부는 단속용접, 플러그용접 및 슬롯용접으로 접합해서는 안 된다.

(2) 힘을 전달하는 용접의 목두께를 결정하는 방법은 다음 각 항에 의해야 한다.

① 그루브용접의 목두께는 <그림 9.8.1>에 나타난 바와 같이 연결되는 부재의 두께로 하고, 두께가 다를 경우에는 얇은 쪽 부재의 두께로 한다.

② 필릿용접의 목두께는 <그림 9.8.2>에 나타낸 바와 같이 용접부 루트를 꼭지점으로 하는 내접이등변 삼각형의 높이로 한다.

(3) Effective weld length

① The effective weld length used for stress calculation shall be the length that will secure the design throat thickness.

② When a welding line is not perpendicular to the load direction in groove welds, the effective length shall be actual weld length projected on plane perpendicular to the load direction, as shown in <Fig. 9.8.3>.

③ If an end return weld is used in fillet welds, the end return weld length shall not be included in effective length.

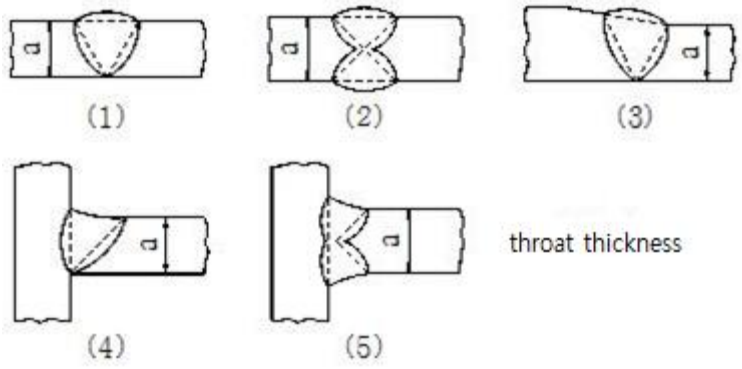


Fig. 9.8.1 Throat thickness of groove welding

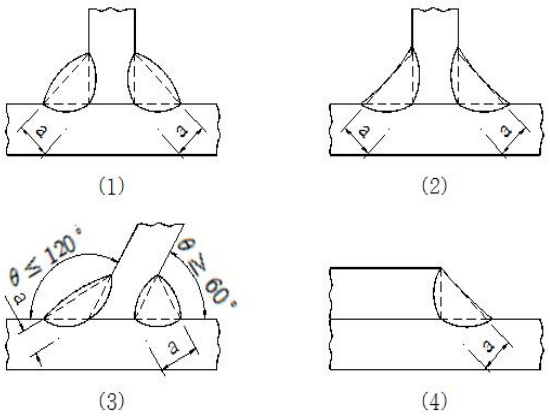


Fig. 9.8.2 Throat thickness of fillet welding

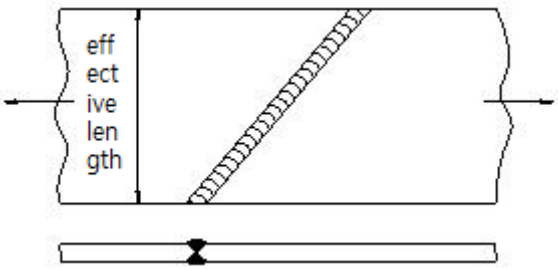


Fig. 9.8.3 Effective length of inclined welding groove

(3) 용접의 유효길이

① 응력계산에 사용하는 용접의 유효길이는 설계상의 목두께를 확보할 수 있는 용접부의 길이로 해야 한다.

② 그루브용접에서 용접선이 힘 작용방향에 직각이 아닌 경우의 유효길이는 <그림 9.8.3>에 나타난 바와 같이 실제의 용접길이를 힘 작용방향에 직각인 면에 투영한 길이로 해야 한다.

③ 필릿용접에서 끝돌림용접을 한 경우에는 끝돌림용접 부분은 유효길이에 포함되지 않는 것으로 해야 한다.

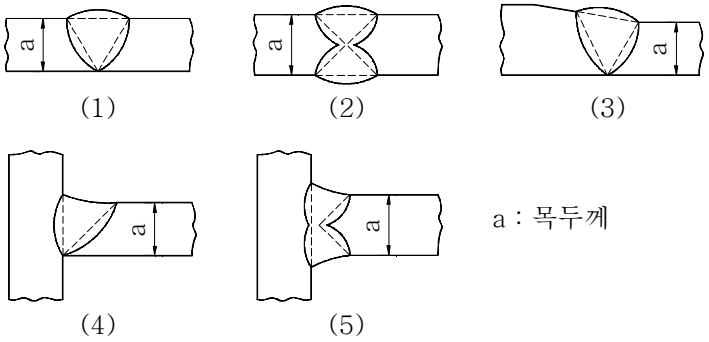


그림 9.8.1 그루브용접의 목두께

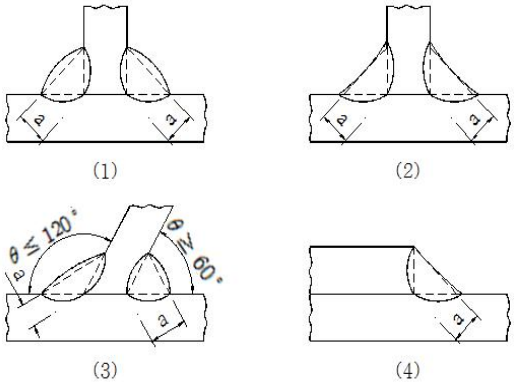


그림 9.8.2 필릿용접의 목두께

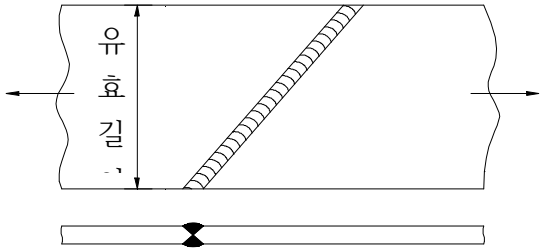


그림 9.8.3 경사진 용접그루브의 유효길이

(4) Butt joint by groove welds

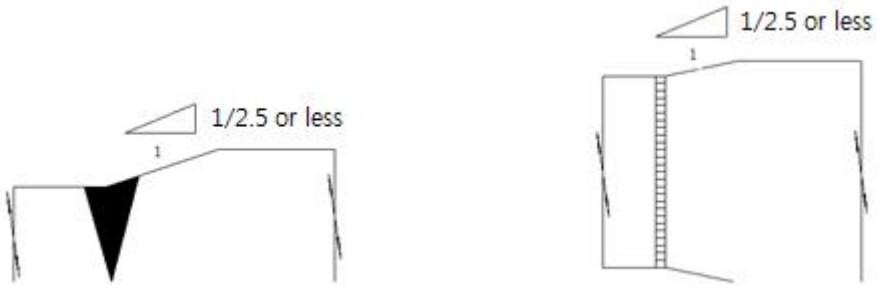
① Butt joint by groove welds shall be carried out using the back weld so as to weld the entire section, but when the back weld is difficult due to structural characteristics, the backing weld shall be used.

② For butt joints with members in different section shapes using groove welds, the transition of thickness and the width of different size of members shall be made lengthwise at a gradient of 1/2.5 or less, as shown in <Fig. 9.8.4>.

③ When welding members with different thicknesses, the thicker one shall not be more than twice the thickness of the thinner one.

④ Tack welds shall not be used for the tension flange of flexural members.

⑤ Distance between the welded end of gusset plate and welding line of groove-welded plate shall be 100 mm or more.



(a) Different thickness (b) Different width

Fig. 9.8.4 Welding of members with different section

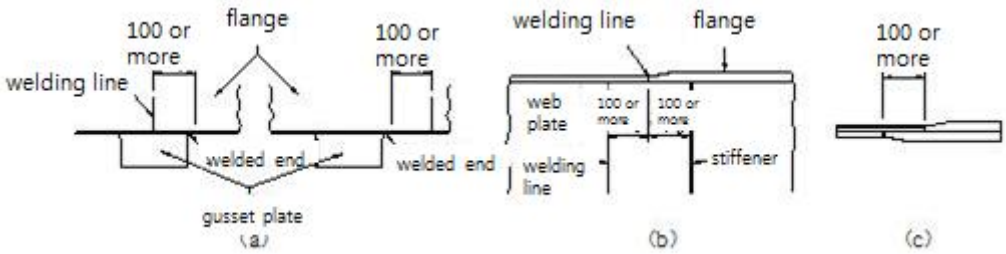


Fig. 9.8.5 Distance between welded end of gusset plate and welding line of the plate

(5) Dimensions of fillet welds

① Fillet weld dimensions shall be based on equal dimensions so that the welded section becomes an isosceles triangle. Then, the fillet weld at right angle to the load direction shall be an unequal dimension with a longer dimension in the stress direction, and shall be finish treated as needed

(4) 그루브용접에 의한 맞대기이음

① 그루브용접에 의한 맞대기이음은 가능한 한 뒷면용접을 하여 전단면을 용접하도록 해야 한다. 다만, 구조상 뒷면용접이 불가능 할 경우에는 뒷댐재를 사용하도록 해야 한다.

② 그루브용접으로 단면이 다른 주요부재를 맞대기이음 한 경우에는 크기가 서로 다른 두께 및 폭은 <그림 9.8.4>에 나타낸 바와 같이 길이 방향의 경사가 1/2.5 이하가 되도록 서서히 변해야 한다.

③ 두께가 다른 부재를 용접할 때 두꺼운 쪽 판의 두께가 얇은 쪽 판의 두께의 2배보다 커서는 안 된다.

④ 휨부재의 인장플랜지는 가용접을 사용해서는 안 된다.

⑤ 연결판 용접단부와 그루브용접한 판이음의 용접선 사이의 거리는 100mm 이상으로 한다.



(a) 두께가 다른 경우 (b) 폭이 다른 경우

그림 9.8.4 단면이 다른 부재의 용접

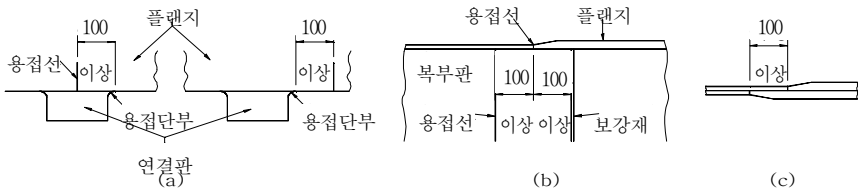


그림 9.8.5 연결판 용접 단부와 판이음 용접선 사이의 거리

(5) 필릿용접의 치수

① 필릿용접의 치수는 용접 단면의 형상이 이등변삼각형이 되는 등치수를 원칙으로 한다. 다만, 주요부재의 힘 작용 방향에 수직인 필릿용접은 응력방향으로 긴 치수를 갖는 부등치수로 하고 필요에 따라 다듬질해야 한다.

② Dimensions of a fillet weld that transfers the force are shown in Table <9.8.1.>.

Table 9.8.1 Minimum fillet weld dimensions

Thickness of base material at thicker side	Minimum fillet weld dimensions	Remarks
20 mm or less	6 mm	One-pass welding
More than 20 mm	8 mm	

(6) The minimum effective length of fillet welds for a main member shall be 10 times the welding dimensions or at least 80 mm.

(7) When subjected to tension not in parallel with welding line or repeated force, fillet welds shall be finished at the corner but end return, which shall be twice the welding dimensions.

(8) Lap joint (splice)

① Two or more rows of fillet welds for lap joints that transfer the stress are required and the overlapped length shall be at least 5 times that of the thinner plate.

② When fillet welds only on the side of the base metal on a lap joint at the end of the member subjected to axial force, the fillet weld length shall be larger than the welding line interval. The welding line interval shall be 16 times the thinner plate's thickness or less in principle, but under tension, it may be 20 times or less.

(9) T joint using fillet welds or partial groove welds

① Fillet welds or partial groove welds for T joints shall be done at both members, but when the structure is laterally supported, the weld at either side would be acceptable.

② When the angle of the member at a T-joint is less than 60° or more than 120°, a full-penetration groove weld shall be carried out in principle. Fillet or partial groove welds are considered to be insufficient in transmit the force.

(10) For joints using welds and bearing joint bolts, a bolt is not considered to be able to transfer the force.

(11) Stress of welded joint subjected to tension, compression, and shear

① When the tensile, compressive and shear force are applied to welded joints, stress occurring at groove or fillet weld metal shall be calculated using <Eq. 9.8.1>.

② 주요부재의 힘을 전달하는 필릿용접의 치수는 표<9.8.1>의 최소치수 이상, 용접부의 얇은 쪽 모재 두께 미만의 범위로 한다.

표 9.8.1 필릿용접의 최소치수

두꺼운 쪽 모재 두께	최소 필릿용접 치수	비고
20mm 이하	6mm	1 패스 용접 적용
20mm 초과	8mm	

(6) 주요부재에 대한 필릿용접의 최소 유효길이는 용접치수의 10배 이상 또는 80mm 이상으로 한다.

(7) 용접선과 평행하지 않은 인장력을 받거나 반복하여 작용하는 힘을 받는 경우에는 필릿용접을 부재의 모서리에서 끝내지 말고 반드시 끝돌림용접을 해야 한다. 다만 끝돌림용접의 길이는 용접치수의 2배 이상으로 한다.

(8) 겹침이음

① 응력을 전달하는 겹침이음에는 2줄 이상의 필릿용접을 하도록 하고 부재가 겹치는 길이는 얇은 쪽 판두께의 5배 이상으로 한다.

② 축방향력을 받는 부재 끝의 겹침이음에서 모재의 측면에만 필릿용접을 할 경우 각 필릿용접의 길이는 용접선의 간격보다 크게 해야 한다. 이 경우 용접선의 간격은 얇은 쪽 판두께의 16배 이하로 하는 것을 원칙으로 한다. 다만 인장력을 받을 경우에는 얇은 쪽 판두께의 20배 이하로 할 수 있다.

(9) 필릿용접 또는 부분용입그루브용접을 사용한 T이음

① T이음에서 필릿용접 또는 부분용입그루브용접은 부재의 양쪽에 해야 한다. 다만 횡방향으로 지지되는 구조의 경우에는 한쪽에서만 용접하는 것도 허용된다.

② 용접부에서 재편이 서로 만나는 각이 60° 미만 또는 120°를 넘는 T이음에는 완전용입그루브용접을 하는 것을 원칙으로 해야 한다. 이 경우 필릿용접 또는 부분용입그루브용접은 힘을 전달하지 못하는 것으로 본다.

(10) 용접과 지압이음 볼트를 병용한 이음에서는 볼트는 힘을 전달하지 못하는 것으로 본다.

(11) 인장력, 압축력 또는 전단력을 받는 용접이음의 응력

① 용접이음에 인장력, 압축력 또는 전단력이 작용하는 경우, 그루브용접 또는 필릿용접부에서 발생하는 응력은 <식 9.8.1>으로 계산해야 한다.

$$f = \frac{P}{\sum a\,l} \quad , \quad v = \frac{P}{\sum a\,l} \tag{9.8.1}$$

where, f: Tensile or compressive stress at welded part (MPa)
v: Shear stress at welded part (MPa)
P: Tensile, compressive and shear force (N) at joint
a: Welding throat thickness (mm) (see <Fig. 9.8.2>)
l: Effective welding length (mm) (see <Fig. 9.8.3>)

(12) Examination of fillet weld at T-joint subjected to bending moment and shear force

① If a fillet weld at a T-joint is subjected to the combined bending moment and shear force, the stress at the fillet weld shall be calculated as follows.

② The stress due to bending moment shall be calculated according to <Eq. 9.8.2>.

$$f = \frac{M}{I} y \tag{9.8.2}$$

where, f: Bending stress at fillet weld (MPa)
M: Bending moment at joint (N·mm)
I: Moment of inertia due to fillet weld throat section to the plane in parallel with member section (mm^4) (see <Fig. 9.8.7>)
y: Distance from neutral axis to calculation point (mm)

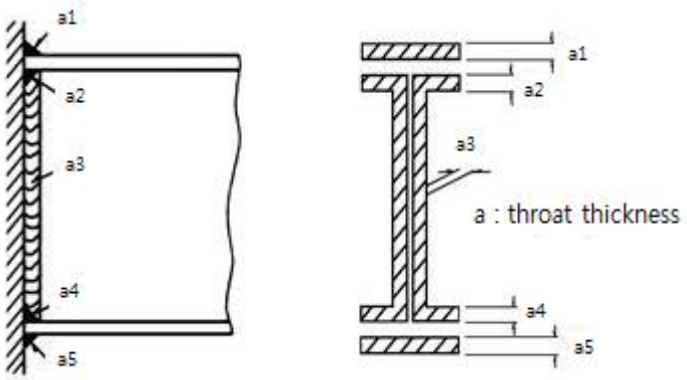


Fig. 9.8.7 Throat section for calculating bending stress of fillet weld

③ The stress (v) due to shear force shall be calculated according to <Eq. (9.8.1)> of 「(11)」. Shear force at the section of L, H and ㄷ section steel or similar section shall be considered to resist by welding the web (or member element receiving shear force) alone.

$$f = \frac{P}{\sum a\,l} \quad , \quad v = \frac{P}{\sum a\,l} \qquad (9.8.1)$$

여기서, f : 용접부에서 발생하는 인장응력 또는 압축응력(MPa)
v : 용접부에서 발생하는 전단응력(MPa)
P : 이음부에 작용하는 인장력, 압축력 또는 전단력(N)
a : 용접의 목두께(mm)(<그림 9.8.2> 참조)
l : 용접의 유효길이(mm)(<그림 9.8.3> 참조)

(12) T형이음의 필릿용접이 휨모멘트와 전단력을 받는 경우의 검토

① T형이음의 필릿용접이 휨모멘트 및 전단력을 받는 경우 필릿용접이음에 발생하는 응력의 계산은 다음의 항들에 따른다.

② 휨모멘트에 의한 응력은 <식 9.8.2>로 구한다.

$$f = \frac{M}{I} y \qquad (9.8.2)$$

여기서, f : 필릿용접에 발생하는 휨응력(MPa)
M : 이음에 작용하는 휨모멘트(N・mm)
I : 필릿용접의 목 단면을 부재단면에 평행한 면에 전개해서 얻어진 도형의 단면2차모멘트(mm4) (<그림 9.8.7> 참조)
y : 전개도형의 중립축에서 계산위치까지의 거리(mm)

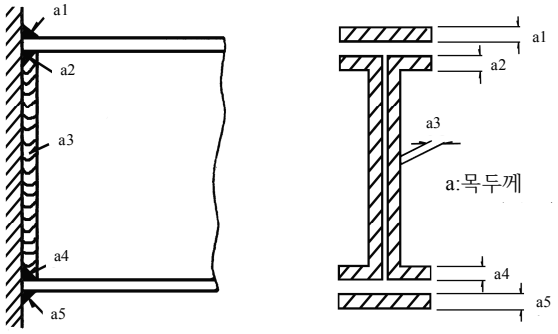


그림 9.8.7 필릿용접의 휨응력 계산을 위한 목 단면의 전개

③ 전단력에 의한 응력(v)은 「(11)항」의 <식(9.8.1)>에 의하여 구한다. 다만 L형강, H형강, ㄷ형강 및 이것과 유사한 단면에서의 전단력은 복부(또는 전단력을 주로 받는 부재요소)의 용접만으로 저항하는 것으로 가정한다.

④ Under the combined bending moment and shear force, it shall be examined according to <Eq. 9.8.3>.

$$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{v}{v_a}\right)^2} \leqq 1.1 \qquad (9.8.3)$$

where, f: Stress calculated according to ① (MPa)

v: Stress calculated according to ② (MPa)

f_a: Allowable stress according to <Table 9.4.1> and <9.4.2> (MPa)

v_a: Allowable shear stress at welded part (MPa)

Then, f and v shall not exceed f_a and v_a.

9.8.3 High-strength bolt and pin joint

(1) Bolt joint general

① Joints with high-strength bolts could be friction, bearing or tension joints.

② For bearing-type joints with high-strength bolts, the location and applicability shall be examined.

③ For tension-type joints with high-strength bolts, the joint stiffness, bolt strength and fastener axial force shall be examined.

④ When a high-strength bolt is not required for bearing accessories, sidewalk or drainage, an ordinary bolt may be used.

(2) Type and size of bolts

① Friction-type joints with high-strength bolts, nuts and washers shall be M20, M22, M24, M27 and M30 for class 1 and 2 and M20, M22, M24 for class 4 as per KS B 1010, unless otherwise specified.

② Friction-type joints with high-strength bolts of class 1, 2 and 4 shall be used for bearing-type joints or the relevant KS or high-strength bolts set with the strength specified in 「①」 may be used.

③ For ordinary bolts, the hexagon bolt in KS B 1002, nut in KS B 1012 and flat washer in KS B 1326 shall be the standard.

(3) The bolt length shall be sufficient to fasten the member, and particularly in bearing-type joints, screw shall not be blocked by shear surface.

④ 휨모멘트와 전단력을 동시에 받는 경우에는 <식 9.8.3>으로 검토한다.

$$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{v}{v_a}\right)^2} \leqq 1.1 \qquad (9.8.3)$$

여기서, f : ① 항에 따라 산출한 응력(MPa)

v : ② 항에 따라 산출한 응력(MPa)

f_a : <표 9.4.1>과 <표 9.4.2>에 따른 허용응력(MPa)

v_a : 용접부의 허용전단응력(MPa)

다만 f 및 v는 각각 f_a 및 v_a를 넘어서는 안 된다.

9.8.3 고장력볼트 및 핀이음

(1) 볼트이음 일반

① 고장력볼트 이음은 마찰이음, 지압이음 및 인장이음 등으로 할 수 있다.

② 고장력볼트 지압이음을 하는 경우에는 그 적용위치, 적합성 등에 관해서 충분한 검토가 있어야 한다.

③ 고장력볼트 인장이음을 하는 경우에는 이음부의 강성, 볼트의 강도, 체결축력 등에 대해 충분한 검토가 있어야 한다.

④ 받침부속품, 보도, 깔판, 배수설비 등 고장력볼트를 사용할 필요가 없는 경우에는 일반 볼트를 사용한다.

(2) 볼트의 종류 및 규격

① 마찰이음용 고장력볼트, 너트 및 와셔는 특별히 정한 경우를 제외하고 KS B 1010에 규정하는 제 1종부터 제 2종까지의 M20, M22, M24, M27 및 M30, 제 4종의 M20, M22, M24를 사용하는 것을 표준으로 한다.

② 지압이음에는 마찰이음용 제 1종, 제 2종 및 제 4종의 고장력볼트 세트를 사용하거나, 다른 KS규격에 따르고 강도가 「①항」의 고장력볼트와 같은 볼트세트를 사용할 수 있다.

③ 일반볼트는 KS B 1002의 육각볼트, KS B 1012의 너트, KS B 1326 의 평와셔 세트를 사용하는 것을 표준으로 한다.

(3) 볼트의 길이는 부재를 충분히 체결할 수 있도록 선택해야 한다. 특히, 지압이음에 있어서는 나사부가 전단면(剪斷面)에 걸려서는 안 된다.

(4) Calculation of bearing force of bolt and pin

① When tensile, compressive and shear force are applied to a butt joint or lap joint of a bolt, the force applied to the bolt shall be calculated using <Eq. 9.8.4>.

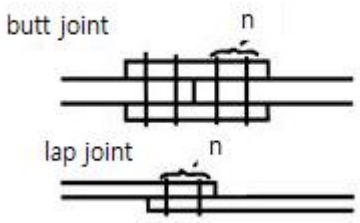
$$\rho = \frac{P}{n} \leqq \rho_a \qquad (9.8.4)$$

where, ρ: Force per bolt and pin (kN)
P: Force on joint (kN)
n: Number of bolts used for joint (see <Fig. 9.8.8>)
ρ_a: Allowable force per bolt and pin (kN)

② For a friction-type joint with a high-strength bolt, the allowable force per bolt shall be calculated using <Table 9.4.10>.

③ The allowable force of high-strength bolt for a friction-type joint shall be determined after calculating the allowable shear and bearing force depending on the nominal diameter, whichever is less.

④ The effective bearing area of a bolt shall be calculated by multiplying the nominal diameter by the steel thickness. When calculating the effective bearing area of a flush bolt, 1/2 of flush bolt head depth shall be considered effective (see <Fig. 9.8.9>).



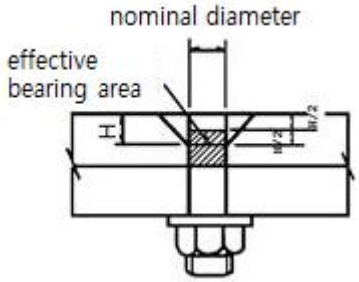


Fig 9.8.8 Number of bolts for stress calculation Fig 9.8.9 Effective bearing area of flush bolt

⑤ When calculating the bearing force of a pin, the effective bearing area shall be calculated by multiplying the diameter by the steel thickness.

(5) Plate girder web plate joint

① A connection plate shall be arranged on both sides, and a high-strength bolt shall be placed in two rows or more at both sides of the joint line.

(4) 볼트 및 핀의 작용력 계산

① 볼트의 맞이음 또는 겹침이음에 인장력, 압축력 또는 전단력이 작용하는 경우 각 볼트에 작용하는 힘은 <식 9.8.4>에 의해 산출한다.

$$\rho = \frac{P}{n} \leqq \rho_a \qquad (9.8.4)$$

여기서, ρ : 볼트 및 핀 1개에 작용하는 힘(kN)

P : 이음부에 작용하는 힘(kN)

n : 이음에 사용한 볼트의 수(<그림 9.8.8> 참조)

ρ_a : 볼트 및 핀 1개의 허용력(kN)

② 고장력볼트를 이용한 마찰이음의 경우에는 볼트 1개의 허용력은 <표 9.4.10>에 규정한 값에 따라 계산한다.

③ 지압이음용 고장력볼트의 허용력은, 그 공칭지름에 따라 허용전단력과 허용지압력을 계산하고, 그 가운데 작은 쪽의 값을 적용한다.

④ 볼트의 유효지압면적은 공칭지름과 지압을 받는 강재의 두께와의 곱으로 해야 한다. 접시머리볼트의 유효지압면적을 계산할 때 접시머리부는 그 깊이의 1/2을 유효한 것으로 한다.(<그림 9.8.9> 참조)

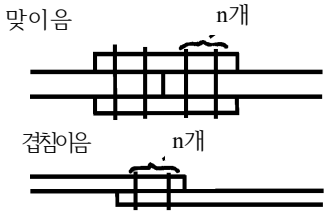


그림 9.8.8 응력계산에 사용되는 볼트의 수

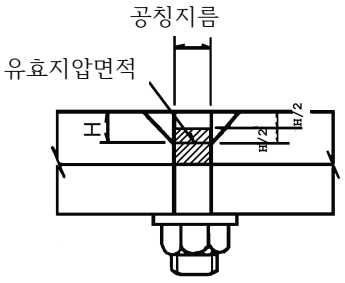


그림 9.8.9 접시머리볼트의 유효지압면적

⑤ 핀의 지압력을 계산하는 경우의 유효지압면적은 그 지름과 지압을 받는 강재의 두께와의 곱으로 한다.

(5) 플레이트거더 복부판의 이음

① 플레이트거더의 복부판 이음에는 이음판을 복부판의 양쪽에 대고, 이음선의 좌우 양쪽에 2열 이상으로 고장력볼트를 배열해야 한다.

② When a moment is applied to the web plate, the bolt shall be designed to satisfy <Eq. (9.8.5)>.

$$\rho = \frac{M}{\Sigma y_i^2} y_i \leq \frac{y_i}{y_n} \rho_a \quad (9.8.5)$$

where, ρ: Force applied per bolt (kN)

ρ_a: Allowable force per bolt (kN)

M: Bending moment (kN-mm)

y_i: Distance from neutral axis of plate to bolt (mm)

Σ: Group of bolts at either side of welding line

y_n: Distance from neutral axis to the bolt at edge; but when connecting the bolt with the flange of same connection, distance from neutral axis to extreme compression or tension fiber of the flange (mm)

③ When connecting web plate subjected to axial force, bending moment and shear force, a bolt shall be designed to satisfy <Eq. (9.8.6)>.

$$\sqrt{(\rho_p + \rho_m)^2 + \rho_s^2} \leq \rho_a \quad (9.8.6)$$

where, ρ_p: Bearing capacity per bolt by axial force (kN)

ρ_m: Bearing capacity per bolt by bending moment (kN)

ρ_s: Bearing capacity per bolt by shear force (kN)

ρ_a: Allowable force per bolt (kN)

④ For a bolt joint of flange or web plate in the axial direction, it shall satisfy <Eq. (9.8.7)>.

$$\rho_h = \frac{SQ}{I} \frac{p}{n} \leq \rho_a \quad (9.8.7)$$

where, ρ_h: Force per high tension bolt of axial joint (kN)

S: Shear force on calculated section (kN)

Q: As primary moment of total section out of joint line, value of neutral axis of total section of plate girder (mm^3)

I: Moment of inertia for neutral axis of total section of the member (mm^4)

p: Pitch of high tension bolt (mm)

n: Number of bolts perpendicular to welding line

ρ_a: Allowable force per bolt (kN)

② 복부판에 모멘트가 작용하는 경우의 볼트는 <식 (9.8.5)>를 만족하도록 설계한다.

$$\rho = \frac{M}{\Sigma y_i^2} y_i \leq \frac{y_i}{y_n} \rho_a \qquad (9.8.5)$$

여기서, ρ : 볼트 1개에 작용하는 힘(kN)

ρ_a : 볼트 1개의 허용력(kN)

M : 휨모멘트(kN-mm)

y_i : 판의 중립축으로부터 볼트까지의 거리(mm)

Σ : 접합선의 한쪽 편에 있는 볼트군의 집합

y_n : 판의 중립축으로부터 가장자리 볼트까지의 거리. 다만, 같은 연결부의 플랜지를 볼트로 연결한 경우에는 중립축으로부터 플랜지의 압축연 또는 인장연까지의 거리(mm)

③ 축방향력, 휨모멘트 및 전단력이 함께 작용하는 복부판을 연결할 경우의 볼트는 <식(9.8.6)>을 만족하도록 설계한다.

$$\sqrt{(\rho_p + \rho_m)^2 + \rho_s^2} \leq \rho_a \qquad (9.8.6)$$

여기서, ρ_p : 축방향력에 의한 볼트 1개의 작용력(kN)

ρ_m : 휨모멘트에 의한 볼트 1개의 작용력(kN)

ρ_s : 전단력에 의한 볼트 1개의 작용력(kN)

ρ_a : 볼트 1개의 허용력(kN)

④ 플랜지 또는 복부판을 교축방향으로 따라가며 서로를 볼트이음하는 경우는 <식 (9.8.7)>을 만족하도록 설계한다.

$$\rho_h = \frac{S Q}{I} \frac{p}{n} \leq \rho_a \qquad (9.8.7)$$

여기서, ρ_h : 교축방향 이음의 고장력볼트 1개에 작용하는 힘(kN)

S : 계산 단면에 작용하는 전단력(kN)

Q : 이음선 외측 총단면의 단면1차모멘트로 플레이트거더 총단면의 중립축에 대한 값(mm3)

I : 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차모멘트(mm4)

p : 고장력볼트의 피치(mm)

n : 접합선에 직각 방향의 볼트의 수

ρ_a : 볼트 1개의 허용력(kN)

(6) Design of connections plate

① Connections in a high-strength bolt joint shall be designed as follows.

A. Connections subjected to tension shall be designed such that the stress on the net section area in 「9.8.3 (8)」 shall be less than the allowable tensile stress.

B. Connection plates subjected to tension shall be designed such that the stress on the net section area in 「9.8.3 (8)」 shall be less than the upper limit of the allowable tensile stress in 「9.4」.

C. Connection plates subjected to flexure shall be designed to satisfy <Eq. (9.8.8)>.

$$f = \frac{M}{I} y \leq f_a \qquad (9.8.8)$$

where, f: Stress on edge of fish plate (MPa)

M: Bending moment on total section of fish plate (N·mm)

I: Moment of inertia of total section of fish plate for neutral axis of the member (mm^4)

y: Distance from neutral axis to fish plate edge (mm)

f_a: Upper limit of allowable stress (MPa) in <Table 9.4.12>

D. When the thickness of a connection plate on either side of base metal exceeds 25 mm, two or three plates 10 mm to 21 mm thick shall be used.

(7) Bolt hole

① When determining the net section area of the member, the bolt hole diameter shall be 3 mm plus the nominal diameter for M20, M22 and M24, and + 4 mm M27 and M30.

② The deduced section area of a flush bolt shall be determined considering the section shape.

(8) Calculation of net section area

① The net section area of a tension member shall be calculated by multiplying the net width by the plate thickness. The net width shall be calculated by deducting the bolt hole width from the total width. But for flush bolts, it shall be calculated by deducting the bolt stem section and the head area from the gross section area.

② The net width of the member on which bolt holes are staggered shall be calculated by deducting the width w of bolt holes in order, according to <Eq. (9.8.9)>.

(6) 이음판의 설계

① 고장력 볼트이음에 있어서, 이음판의 설계는 다음 규정에 의한다.

가. 인장력이 작용하는 판의 이음판은 「9.8.3(8)항」에 규정된 순단면에 생기는 응력이 허용인장응력 이하가 되도록 설계한다.

나. 압축력이 작용하는 판의 이음판은 총단면에 생기는 응력이 「9.4항」에 규정된 허용압축응력의 상한값 이하가 되도록 설계한다.

다. 휨모멘트가 작용하는 부재의 이음판은 <식 (9.8.8)>를 만족하도록 설계한다.

$$f = \frac{M}{I} y \leqq f_a \qquad (9.8.8)$$

여기서, f : 이음판의 연단에 생기는 응력(MPa)
M : 이음판 총단면에 작용하는 휨모멘트(N・mm)
I : 부재의 중립축에 관한 이음판 총단면의 단면2차모멘트(mm4)
y : 부재의 중립축으로부터 이음판 연단까지의 거리(mm)
f_a : <표 9.4.12>에 규정된 허용응력(MPa)의 상한값

라. 모재 한쪽의 이음판 소요 두께가 25mm를 초과하는 경우에는 두께 10mm 이상, 21mm 이하의 2개 또는 3개의 판재를 사용한다.

(7) 볼트의 구멍

① 부재의 순단면적을 산정하는 경우 볼트구멍의 지름은, M20, M22, M24에 대해서는 볼트의 공칭 지름에 3mm를 더한 값으로 하고, M27 및 M30의 경우에는 4mm를 더한 값으로 한다.

② 접시머리볼트에 대해서는 그 단면형상을 고려해서 공제단면적을 정한다.

(8) 순단면적의 계산

① 인장재의 순단면적은 판의 순폭과 판두께의 곱으로 한다. 이 경우 재편의 순폭은 총폭에서 볼트구멍의 폭을 뺀 것으로 한다. 다만 접시머리볼트의 경우는 총단면적에서 볼트 줄기단면 및 접시머리부 공제면적을 뺀 것으로 한다.

② 볼트구멍을 지그재그로 연결한 임의의 단면에 있어서 재편의 순폭은 총폭에서 그 단면의 인접 볼트구멍에 대해 순차로 <식 (9.8.9)>에 의한 폭 w를 뺀 것으로 한다.

$$w = d - \frac{p^2}{4g} \quad (9.8.9)$$

where, d: Bolt hole diameter (mm)

p: Bolt pitch (mm)

g: Spacing between bolts (mm)

③ For a member with a combined section such as T, + and box, it shall be calculated according to 「①」 and 「②」 by member.

④ The total width of L-shaped steel shall be calculated by deducting the leg thickness from the sum of leg widths as shown in <Fig. 9.8.11>, and the bolt spacing of both legs (g) shall be calculated by deducting the leg thickness from the sum of distances from L-shaped back surface to bolt line.

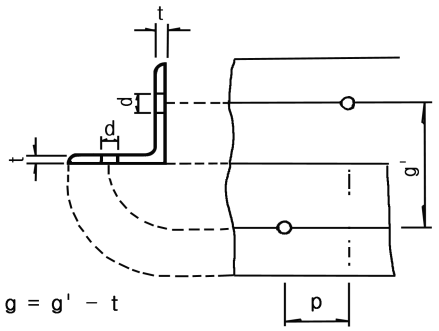


Figure 9.8.11 Development of L-shaped steel

(9) The minimum bolt spacing is as shown in <Table 9.8.2>, which may be reduced to four times the bolt diameter in particular cases.

Table 9.8.2 Minimum bolt spacing

Bolt No	Minimum bolt spacing (mm)
M30	105
M27	95
M24	85
M22	75
M20	65

$$w = d - \frac{p^2}{4g} \qquad (9.8.9)$$

여기서, d : 볼트구멍의 지름(mm)

p : 볼트의 피치(mm)

g : 볼트의 선간거리(mm)

③ T형, ＋형, 박스형 등의 조합단면의 부재에 있어서는 단면을 구성하는 재편마다 「①항」 및 「②항」에 의한 방법으로 계산한다.

④ L형강의 전개 총폭은 <그림 9.8.11>에서와 같이 다리폭의 합에서 다리의 두께를 뺀 것으로 하고, 양다리의 볼트 선간거리(g)는 L형 배면에서 각 볼트 선까지의 거리의 합에서 다리의 두께를 뺀 것으로 한다.

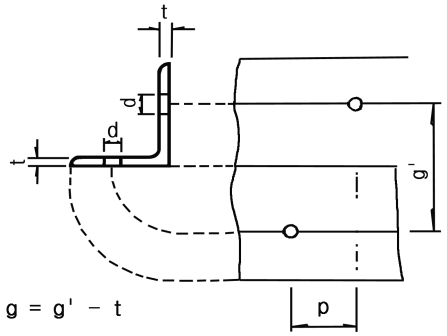


그림 9.8.11 L형강의 전개방법

(9) 볼트의 최소중심간격은 <표 9.8.2>에 나타낸 값을 표준으로 한다. 다만, 특별한 경우에는 볼트 지름의 3배까지 감소시킬 수 있다.

표 9.8.2 볼트의 최소중심간격

볼트의 호칭	최소중심간격(mm)
M30	105
M27	95
M24	85
M22	75
M20	65

(10) The maximum bolt spacing shall be as follows.

① The maximum bolt spacing for a joint and assembly compression member shall be the appropriate value in <Table 9.8.3>, whichever is less.

Table 9.8.3 Maximum bolt spacing

Bolt No	Maximum bolt spacing (mm)		
	p		g
M30	210	12t, When staggered, $15t - \frac{3}{8}g$ but, 12t or less	24t, but, 300 mm or less
M27	190		
M24	170		
M22	150		
M20	130		

where, t: Thickness of outer plate or section steel (mm)
p: Spacing in pitch and load direction (mm)
g: Bolt line spacing in gauge, load direction (mm)
(for g and p, see <Fig. 9.8.12>)

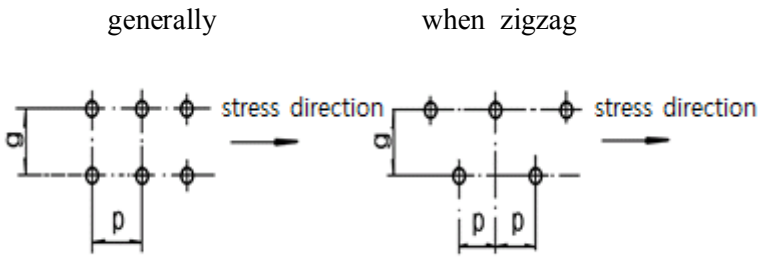


Fig. 9.8.12 Bolt pitch (p) and line spacing (g)

② The maximum bolt spacing for jointing a tension member shall be 24 t, and shall not exceed 300 mm.

③ 「① and ②」 may not be applied to sidewalk, liner or drainage.

(11) Minimum edge distance

① The minimum edge distance from bolt center to edge of base metal or connection plate is as shown in <Table9.8.4>. When the thickness of the base metal is 50 mm or more, the minimum edge distance at the side where edges are facing each other shall be the thickness of the base metal for a tension member, and 0.75 times the thickness of the base metal for a compression member.

(10) 볼트의 최대 중심간격은 다음의 각 항에 따른다.

① 이음 및 조립 압축부재에 있어서 볼트의 최대 중심간격은 <표 9.8.3>에 나타낸 값 중 작은 쪽의 값으로 한다.

표 9.8.3 볼트의 최대 중심간격

볼트의 호칭	최대 중심간격(mm)		
	p		g
M30	210	$12t$, 지그재그배치의 경우는 $15t-\frac{3}{8}g$ 다만, $12t$ 이하	$24t$, 다만, 300mm이하
M27	190		
M24	170		
M22	150		
M20	130		

여기서, t : 외측 판 또는 형강의 두께(mm)

p : 피치, 힘 작용방향의 볼트간 거리(mm)

g : 게이지, 힘 작용직각방향의 볼트선간 거리(mm)

(g 및 p는 <그림 9.8.12> 참조)

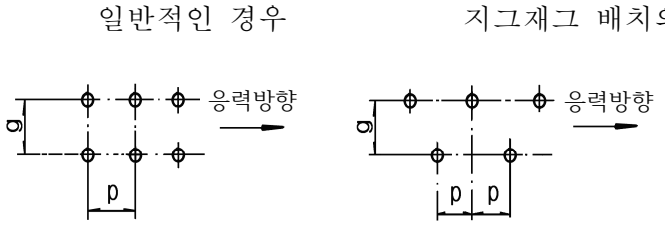


그림 9.8.12 볼트의 피치(p)와 선간거리(g)

② 인장재를 이음하는 볼트의 힘작용방향 최대 중심간격은 $24t$로 한다. 또한, 300mm를 초과해서는 안 된다.

③ 보도, 깔판, 배수설비 등에서는 위의 「①과 ②항」에 의하지 않는다.

(11) 최소연단거리

① 볼트의 중심에서 모재 또는 이음판의 가장자리에 이르는 최소연단거리는 <표 9.8.4>에 나타낸 값으로 한다. 모재 두께가 50mm 이상인 경우, 접합되는 모재의 단부가 서로 마주보는 쪽의 모재 최소연단거리는 인장의 경우 모재 두께, 압축의 경우 모재 두께의 0.75배로 한다.

Table 9.8.4 Minimum edge distance of bolt

Bolt No	Shear edge, manual gas-cut edge (mm)	Rolled edge, finished edge, auto gas-cut edge (mm)
M30	55	50
M27	48	43
M24	42	37
M22	37	32
M20	32	28

② When the number of bolts in a bearing-type joint is 2 or less, the minimum edge distance in load direction shall be as shown in <Table 9.8.4> and shall satisfy <Eq. 9.8.10>.

$$1\,shear\,surface \quad e \geqq \alpha \cdot \frac{A}{t} \qquad (9.8.10)$$
$$2\,shear\,surface \quad e \geqq \alpha \cdot \frac{2A}{t}$$

where, e: Min edge distance measured in stress direction (mm)
α: Allowable bolt-base material shear stress ratio
A: Nominal section area of bolt calculated based on OD (mm^2)
t: Thickness of thinner plate for single shear surface (mm)
Thickness of base material or fish plate, whichever is less, for double shear surfaces (mm)

(12) Maximum edge distance

The maximum edge distance from bolt center to overlapped edge shall be 8 times that of outermost plate or section steel, but shall not exceed 150 mm.

(13) Bolt used for L-shaped steel – Diameter shall not exceed the value in <Table 9.8.5> based on the leg length of L-shaped steel.

Table 9.8.5 Bolt used for L-section steel

Leg length of L steel (mm)	Primary member	Secondary member
100 or more	M24	M24
90	M22	M24
75	M20	M22

표 9.8.4 볼트의 최소연단거리

볼트의 호칭	전단연단, 수동가스 절단연단(mm)	압연연단, 다듬질연단, 자동가스 절단연단(mm)
M30	55	50
M27	48	43
M24	42	37
M22	37	32
M20	32	28

② 지압이음에 있어서 응력방향의 볼트 수가 2개 이하의 경우, 힘 작용방향의 최소연단거리는 <표 9.8.4>에 의하되 <식 9.8.10>을 만족해야 한다.

$$\text{1면 전단의 경우} \quad e \geq \alpha \cdot \frac{A}{t} \qquad (9.8.10)$$

$$\text{2면 전단의 경우} \quad e \geq \alpha \cdot \frac{2A}{t}$$

여기서, e : 응력방향으로 잰 최소연단거리(mm)

α : 볼트와 모재와의 허용전단응력의 비

A : 나사부 바깥지름을 기준으로 계산한 볼트의 공칭단면적(mm2)

t : 1면 전단의 경우에는 얇은 쪽 판의 두께(mm)

2면 전단의 경우에는, 모재의 두께와 연결판의 두께의 합계 중 얇은 쪽의 값(mm)

(12) 최대 연단거리

볼트의 중심으로부터 재편이 겹쳐지는 부분의 연단까지의 최대거리는 최외측의 판 또는 형강의 두께의 8배로 한다. 또한 150mm를 초과해서는 안 된다.

(13) L형강에 사용하는 볼트 - L형강에 사용하는 볼트의 지름은 L형강의 다리길이에 따라 <표 9.8.5>에 나타낸 값을 초과해서는 안 된다.

표 9.8.5 L형강에 사용하는 볼트

L형강 다리길이(mm)	주부재	2차부재
100 이상	M24	M24
90	M22	M24
75	M20	M22

(14) Minimum number of bolts

The number of high-strength bolts in a group on the connection shall be two or more.

(15) Inclined washer and curved washer

① When the outer plane of the member on which a bolt head or nut is placed is inclined 1/20 or more to the plane perpendicular to the bolt axis, an inclined filler or washer shall be used. For a bolt subjected to repeated axial tension, the inclination shall be 1/50.

② When the outer plane of the member on which a bolt head or nut is placed is curved with a curvature radius of 500 mm or less, a curved washer shall be used.

(16) Filler plate

① When inserting a filler plate into members or plates, bearing-type joints with high-strength bolts shall be designed according to the following.

A. When a filler plate thickness is 6mm or more, the number of bolts shall be increased by 30% from the case without filler plate; when the thickness is less than 6mm, it may not be increased.

B. When a filler plate thickness is 9mm or more, the filler plate shall be extended outward and the bolts to be increased according to 「A」 shall be used to connect the filler plate and the member to the extent that it is possible.

② Overlapping filler plates shall be avoided.

(17) Connection by pin

① When the member is connected by a pin, a member shall not be moved at the connection and a nut shall not be loosened.

(18) Design of pin

① Pin diameter shall be 75 mm or more.

② The length of a pin body shall be 6 mm longer than the distance between the outer planes, and Lomas nut or the nut with washer shall be used.

③ Meter screw shall be used and the pitch shall be 4 mm as standard.

(19) Pin hole

① Difference between pin and pin hole diameter shall be 0.5 mm for the pin diameter less than 130 mm, and shall be 1mm for the pin diameter of 130 mm or more.

② Net section area passing through the center of a pin hole at a right angle to the axis of a tension member shall be 40% larger than the net section area required, and the net section area measured in the axial direction between pin hole and member edge shall be larger than the net section area in calculation.

③ The thickness of a web plate subjected to tension at a pin hole shall be 1/8 of the net width or larger.

(14) 볼트의 최소개수

부재 연결부에서 한 무리를 이루는 고장력볼트의 개수는 2개 이상으로 해야 한다.

(15) 경사진 와셔 및 곡면와셔

① 볼트머리 또는 너트가 놓이는 부재의 외측 면이 볼트축에 직각인 면에 대해 1/20 이상의 경사를 이룬 경우에는, 경사진 채움재, 또는 경사진 와셔를 사용해야 한다. 단 축방향으로 반복 인장력이 작용하는 볼트의 경우는 위의 경사를 1/50으로 한다.

② 볼트머리 또는 너트가 놓이는 부재의 외측 면이 곡률 반지름 500mm 이하의 곡면인 경우에는 곡면와셔를 사용한다.

(16) 채움판

① 연결하려는 부재 또는 재편 사이에 채움판을 넣을 경우, 지압이음 고장력볼트의 설계는 다음 규정에 따른다.

가. 채움판의 두께가 6mm 이상인 경우에는, 채움판이 없는 경우에 필요한 볼트 수보다 30% 증가시키고, 그 두께가 6mm 미만인 경우에는 증가시킬 필요는 없다.

나. 채움판의 두께가 9mm 이상인 경우에는, 채움판을 밖으로 연장하고, 「가.항」의 규정에 의해 증가된 볼트는 될 수 있는 대로 채움판과 부재와의 연결에 사용하도록 해야 한다.

② 두 개 이상의 채움판을 겹쳐 사용하는 것은 피한다.

(17) 핀연결

핀으로 부재를 연결하는 경우에는 그 연결부에서 부재가 이동하지 못하도록 하고, 또한 적당한 방법으로 너트가 풀어지지 않도록 한다.

(18) 핀의 설계

① 핀의 지름은 75mm 이상으로 한다.

② 핀 몸통의 길이는 부재의 외측면간 거리보다 6mm 이상 길게 하고, 핀의 양단에는 로마스너트(Lomas Nut) 또는 와셔가 붙은 일반너트를 사용한다.

③ 핀의 나사는 미터형나사를 이용하고 피치는 4mm를 표준으로 한다.

(19) 핀구멍 부재

① 핀과 핀구멍 지름의 차이는 핀지름 130mm 미만의 것에 대해서는 0.5mm, 핀지름 130mm 이상 것에 대해서는 1mm를 표준으로 한다.

② 인장재의 부재축에 직각인 방향으로 핀구멍의 중심을 지나는 순단면적은 그 부재의 계산상 필요한 순단면적보다 40% 이상 크게 하고, 핀구멍과 부재 끝 사이의 축방향으로 측정한 순단면적은 그 부재의 계산상 필요한 순단면적보다 크게 한다.

③ 핀구멍이 있는 부분의 인장을 받는 복부판의 두께는 그 순폭의 1/8 이상으로 한다.

9.9 Bracing and diaphragm

9.9.1 General

(1) This provision shall be applied to bracing and diaphragm of steel bridge and steel composite bridge.

9.9.2 Bracing member

(1) Combined member or section steel shall be used for horizontal bracing, brake truss and diaphragm, and when the members cross each other, the members should be connected at their intersections.

(2) A solid web structure shall be used for a longer bracing member.

9.9.3 Horizontal bracing

(1) Top and bottom horizontal bracing shall be installed on bridge girders in principle, but for through plate girders, bottom horizontal bracing only shall be provided, and when a rigid deck plate is available, it may be simplified.

(2) On a deck plate girder with appropriate vertical bracing and diaphragm, bottom bracing may not be required for a span less than 16m on straight alignment and for a span less than 12 m on curved alignment.

(3) Horizontal bracing between truss compression chords shall be designed to resist the panel shear force corresponding to 1% of total compressive force on both chords besides the load in Design standard 「8.5, Chapter 8 Bridge General」, and the panel shear force in this case shall be considered as the primary load.

9.9.4 Brake truss

(1) Brake truss to resist the vertical load by CWR or by brake load and start load shall be provided as needed in the case of a non-ballast track.

(2) For stringers without expansion joints, brake truss shall be installed at their center. For stringers with expansion joints, brake truss shall be installed at the center of both sides of the expansion joints.

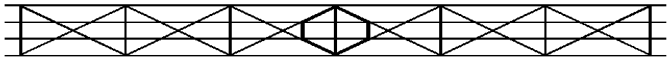


Fig. 9.9.1 Location of brake truss

9.9 브레이싱 및 다이아프램

9.9.1 일반내용

(1) 이 절은 강교 및 강합성교의 브레이싱 및 다이아프램 설계에 관한 규준을 정한다.

9.9.2 브레이싱 부재

(1) 수평브레이싱, 제동트러스 및 다이아프램에는 조합부재 또는 형강을 사용하고 부재가 교차할 경우에는 교점을 연결해야 한다.

(2) 길이가 긴 브레이싱 부재에는 가능한 한 충복구조를 사용한다.

9.9.3 수평브레이싱

(1) 교량거더에는 상부수평브레이싱 및 하부수평브레이싱을 설치하는 것을 원칙으로 해야 한다. 다만 하로플레이트거더의 경우에는 하부수평브레이싱만 설치하고 폐상식으로서 충분히 강한 바닥틀이 있는 경우에는 간략하게 할 수 있다.

(2) 적당한 수직브레이싱 또는 다이아프램이 있는 상로플레이트거더에서 궤도가 직선인 경우에는 지간 16m 이하, 곡선의 경우에는 지간 12m 이하의 것에 대해 하부수평브레이싱을 생략할 수 있다.

(3) 트러스 압축현재간의 수평브레이싱은 이 설계기준「제8장 8.5항」에서 규정한 하중 외에 해당 격간에 있는 좌우 현재에 작용하는 압축력 합계의 1%에 상당하는 격간 전단력에 저항할 수 있도록 설계해야 한다. 또한 이 경우의 격간 전단력은 주하중으로 본다.

9.9.4 제동트러스

(1) 무도상식인 경우 교량거더에는 필요에 의해 제동하중과 시동하중 또는 장대레일에 의한 종하중에 저항하는 제동트러스를 설치해야 한다.

(2) 제동트러스는 신축장치가 없는 연속세로보의 경우에는 세로보 전장의 중앙부에 설치하고 신축장치가 있는 세로보의 경우에는 신축장치의 좌우측 구간의 중앙부에 각각 설치해야 한다.

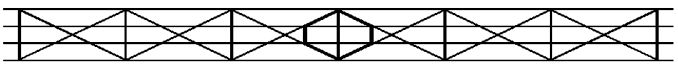


그림 9.9.1 보통의 제동트러스 위치

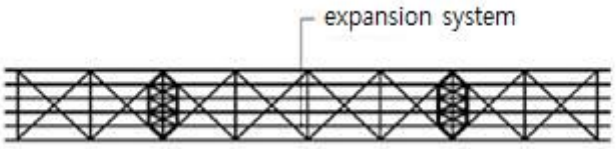


Fig. 9.9.2 1 Location of brake truss when expansion system is available

9.9.5 Intermediate vertical bracing and diaphragm

(1) Vertical bracing or diaphragm shall be installed at the panel point of truss.

(2) When the main girder is a I-section deck plate girder, the interval of intermediate bracing and diaphragm shall be 20 times the width of the compression flange or less, and when it is a box girder deck plate girder, the interval shall be 4 times the web plate spacing or less. In any case, it shall not exceed 8m.

(3) Intermediate vertical bracing or diaphragm shall be provided at 5.5 m intervals on a non-ballast deck floor.

9.9.6 Short vertical bracing and diaphragm at support

(1) Short vertical bracing and diaphragm shall be installed at the support of deck plate girder and deck truss to transfer the total lateral load on the top horizontal bracing to the support.

9.9.7 Portal bracing

(1) Portal bracing shall be installed on a through truss or similar structure to transfer total lateral load on top chord to the support, and a larger knee brace shall be installed for the portal bracing.

9.9.8 Connection of parallel girder

(1) The lateral connection structure connecting parallel girders shall have a sufficient stiffness to prevent excessive stresses due to bending or torsion, and shall be in a hinge structure to mitigate the bending or torsion effect.

9.10 Plate girder

9.10.1 General

(1) This provision shall be applied to the design of the bridge with I-section, π-section or box girder section as the main girder structure (hereafter "Plate girder bridge"). This provision focuses on the I-section plate girder, and may be applied to box girder.

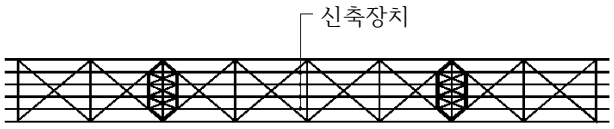


그림 9.9.2 신축장치가 있는 경우의 제동트러스 위치

9.9.5 중간수직브레이싱 및 다이아프램

(1) 트러스에서는 가능한 한 각 격점에 수직브레이싱 또는 다이아프램을 설치한다.

(2) 주거더가 I형단면의 상로플레이트거더인 경우에는 중간수직브레이싱 및 다이아프램의 간격은 압축플랜지 폭의 20배 이하, 또는 박스거더단면의 상로플레이트거더의 경우에는 간격을 복부판 중심간격의 4배 이하로 하고 어느 경우에도 8m를 넘지 않도록 한다.

(3) 무도상 바닥틀에는 중간 수직브레이싱 또는 다이아프램을 5.5m 간격 이내로 설치한다.

9.9.6 지점부 단수직브레이싱 및 다이아프램

(1) 상로플레이트거더 및 상로트러스의 지점부에는 원칙적으로 상부수평브레이싱에 작용하는 전 횡하중을 지점에 전달할 수 있도록 단수직브레이싱 또는 다이아프램을 설치한다.

9.9.7 교문브레이싱

(1) 하로트러스 또는 이것과 유사한 구조물에는 교문브레이싱을 설치하여 상현재에 작용하는 전 횡하중을 지점에 전달할 수 있는 구조로 하는 것을 원칙으로 해야 한다. 다만 교문브레이싱에는 가급적 큰 니브레이스를 설치한다.

9.9.8 병렬거더의 연결

(1) 병렬거더를 연결하는 횡방향 연결구조는 휨이나 비틀림에 의해 과도한 응력이 발생되지 않도록 충분한 강성을 갖고, 휨이나 비틀림의 영향을 적게 받는 힌지 구조로 한다.

9.10 플레이트거더

9.10.1 일반내용

(1) 이 절은 I형 단면, π형 단면 및 박스형 단면의 주거더를 주구조로 하는 상부구조를 가진 교량(이하“플레이트거더교”라 한다.)의 설계에 적용해야 한다. 여기에서는 주로 I형 단면으로 구성되는 플레이트거더교를 그 대상으로 하며, 포괄적인 부분에 있어서는 박스거더 등에도 따를 수 있다.

(2) Application of hybrid section

① For a hybrid section in which the yield strength of flange is higher than that of web plate, the maximum bending stress of the web plate may exceed the allowable stress, but the maximum bending stress of the web plate shall not reach the yield strength.

② The combination of steel types suggested in <Table 9.10.1> shall be used to prevent the maximum bending stress of a web plate from reaching the yield strength under service load.

③ A hybrid section shall meet the maximum width-to-thickness ratio in <Table 9.6.6> and <Eq. (9.5.10)> in 「9.5.5」 may not be considered separately.

Table 9.10.1 Steel combination of hybrid plate girder section

Flange steel	Steel applicable to web plate
HSB600, SM570, SMA570, SM570TMC	HSB500, SM490Y, SM520, SMA490, SM520C-TMC, SM490, SM490C-TMC,
HSB500, SM490Y, SM520, SMA490, SM520C-TMC	SM490, SM490C-TMC, SS400, SM400, SMA400
SM490, SM490C-TMC	SS400, SM400, SMA400

(3) Range for considering torsional moment

① When torsional moment needs to be considered in the design, the sum of shear stress caused by pure torsion (St. Venant torsion) and normal stress by warping torsion shall be calculated.

② If the torsion constant ratio α < 0.4, the stress by pure torsion may be ignored, while if the torsion constant ratio α > 10, the stress by warping torsion may be ignored.

$$\alpha = l\sqrt{\frac{GK}{EI_w}} \tag{9.10.1}$$

where, l: Length of the member between supports (mm)

G: Shear elastic modulus (MPa)

K: Pure torsion constant (mm^4)

E: Elastic modulus (MPa)

I_w: warping torsion constant (mm^6)

(2) 하이브리드 단면의 적용

① 플랜지의 항복강도가 복부판의 항복강도보다 높은 하이브리드 단면의 경우 복부판의 최대휨응력이 허용응력을 초과하는 것은 허용되지만, 복부판의 최대휨응력이 항복강도에 이르지 않도록 한다.

② 사용하중하에서 복부판의 최대휨응력이 항복강도에 도달하지 않도록 하기 위해서는 <표 9.10.1>에 제시된 강종 조합을 사용해야 한다.

③ 하이브리드 단면의 경우 <표 9.6.6>의 복부판의 최대폭-두께비를 준수해야 하며, 「9.5.5항」의 합성응력의 검토에 주어진 <식 (9.5.10)>을 별도로 검토하지 않는다.

표 9.10.1 하이브리드 플레이트거더 단면의 강종조합

플랜지 강종	복부판에 적용 가능한 강종
HSB600, SM570, SMA570, SM570TMC	HSB500, SM490Y, SM520, SMA490, SM520C-TMC, SM490, SM490C-TMC,
HSB500, SM490Y, SM520, SMA490, SM520C-TMC	SM490, SM490C-TMC, SS400, SM400, SMA400
SM490, SM490C-TMC	SS400, SM400, SMA400

(3) 비틀림모멘트를 고려하는 범위

① 설계에서 비틀림모멘트를 고려해야 할 경우에는 순수비틀림(St. Venant torsion)에 의한 전단응력과 뒴비틀림(warping torsion)에 의한 전단응력과의 합계 및 뒴비틀림에 의한 수직응력을 산출해야 한다.

② 그러나 비틀림상수비 α<0.4일 경우에는 순수비틀림에 따른 응력계산을, 비틀림상수비 α>10일 경우에는 뒴비틀림에 의한 응력계산을 각각 생략할 수 있다.

$$\alpha = l\sqrt{\frac{GK}{EI_w}} \qquad (9.10.1)$$

여기서, l : 지점간의 부재길이(mm)

G : 전단탄성계수(MPa)

K : 순수비틀림상수(mm^4)

E : 탄성계수(MPa)

I_w : 뒴비틀림상수(mm^6)

(4) Biaxial stress

① For the main girder loaded in biaxial stress, such as the connection of main girder flange and Rahmen cross beam flange, <Eq. (9.10.2)> shall be examined.

$$\sqrt{\left(\frac{f_x}{f_a}\right)^2 - \left(\frac{f_x}{f_a}\right)\left(\frac{f_y}{f_a}\right) + \left(\frac{f_y}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2} \leq 1.1 \qquad (9.10.2)$$

where, f_x, f_y: Vertical stress in orthogonal direction (MPa)

v: Shear stress at review point (MPa)

f_a, v_a: Allowable tensile stress and shear stress according to 「9.4.1」 (MPa)

② But, f_x, f_y shall be positive (+) for tensile stress, and negative (-) for compressive stress.

9.10.2 Flange

(1) Minimum thickness of flange thickness

① The limit of the maximum width-to-thickness ratio of the plate subjected to axial compressive force shall be in accordance with 「9.6.2 (1)」.

② The unstiffened width of flange steel plates that directly supports the sleeper shall be 10 times the plate thickness or less, and the minimum width shall be 200mm and the minimum thickness shall be shown in <Table 9.10.2>. However, this limitation may not be applied to box girders using sleeper plate.

③ The number of steel plates used to form the flange section shall be two or less.

④ When the vertical stiffener is a continuous structure, the section area of stiffener may be included in the effective section area.

Table 9.10.2 Minimum plate thickness of flange according to the steel used

Steel	Min plate thickness (mm)
SS400, SM400, SMA400	16
SM490, SM490Y, SM520, SMA490, SM490-TMC, SM520-TMC, HSB500	13
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	12

(4) 2축응력 상태의 검토

① 주거더의 플랜지와 라멘 가로보의 플랜지가 직접 연결되는 경우와 같이 주거더의 2방향 응력이 작용하는 부분은 <식 (9.10.2)>로 검토해야 한다.

$$\sqrt{\left(\frac{f_x}{f_a}\right)^2 - \left(\frac{f_x}{f_a}\right)\left(\frac{f_y}{f_a}\right) + \left(\frac{f_y}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2} \le 1.1 \qquad (9.10.2)$$

여기서, f_x, f_y : 검토하는 곳에서 서로 직교하는 방향으로 작용하는 수직응력(MPa)

v : 검토하는 곳에 작용하는 전단응력(MPa)

f_a, v_a : 「9.4.1항」에 따른 허용인장응력과 허용전단응력(MPa)

② 다만f_x, f_y는 인장응력을(+), 압축응력을(-)로 해야 한다.

9.10.2 플랜지

(1) 플랜지의 최소판두께

① 부재의 축방향으로 압축력을 받는 판의 최대폭-두께비 제한은 「9.6.2(1)항」에 따라야 한다.

② 침목을 직접 지지하는 플랜지 강판의 자유돌출폭은 판두께의 10배 이하로 해야 한다. 다만, 그 최소폭은 200mm, 최소판두께는 <표 9.10.2>에 의해야 한다. 또 침목받침을 사용하는 박스거더의 경우에는 이런 제한이 없다.

③ 플랜지 단면을 구성하는 강판은 가능한 한 2개 이하로 한다.

④ 종방향 보강재가 연속구조로 되어 있는 경우에는 보강재의 단면적을 유효단면적에 포함시킬 수 있다.

표 9.10.2 강종에 따른 플랜지의 최소판두께

강재의 종류	최소판두께(mm)
SS400, SM400, SMA400	16
SM490, SM490Y, SM520, SMA490, SM490-TMC, SM520-TMC, HSB500	13
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	12

(2) Flange Cover Plate

① When a cover plate is provided to flange, the thickness of the cover plate shall be 1.5 times the flange thickness or less, while for the compression flange it shall be 1/24 the width of the cover plate and for the tension flange, it shall be 1/32 or more.

② Distance between side fillet welds that connects the cover plate to the flange shall be 12 times the thickness of a thinner plate or less (150 mm or less), and for the tension flange, it shall be 30 times or less.

③ The length of a cover plate shall be greater than two times the girder height + 1.0 m. Both ends of the cover plate shall have an additional length of 300 mm beyond the theoretical value, or 1.5 times the width of the cover plate. Both ends of the cover plate used for a tension member shall be extended up to the point where the extreme fiber stress of the flange calculated excluding the cover plate is 90% of the allowable stress.

④ A fillet weld at the end of the cover plate shall be an unequal, continuous weld and shall be finished for a smooth flow of stress.

(3) Effective width of flange

① The effective width of either side of flange b_e shall be calculated according to <Eq. (9.10.3)>.

A. Simple girder

$$b_e = \lambda_1 + \lambda_2 \tag{9.10.3}$$

where, λ_1: Effective width of either side between main girders

λ_2: Effective width of either side of extended part

λ_1 and λ_2 shall be calculated as follows.

In the case of $b/l \leqq 0.05$, $\lambda_1, \lambda_2 = b$ (whole width effective)

In the case of $b/l > 0.05$, $\lambda_1, \lambda_2 = \{1.1 - 2(b/l)\} b$

where, l = Span

b = 1/2 between main girders, extended flange width on extended part

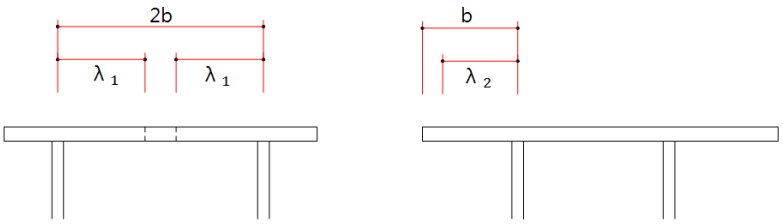


Fig. 9.10.1 Effective width of flange

(2) 플랜지의 덮개판(Cover Plate)

① 플랜지에 덮개판을 겹쳐서 플랜지를 구성할 경우 덮개판의 두께는 플랜지판 두께의 1.5배 이하로 하고, 압축플랜지에서는 덮개판 폭의 1/24 이상, 인장플랜지에서는 덮개판 폭의 1/32 이상으로 해야 한다.

② 덮개판을 플랜지에 연결하는 측면 필릿 용접간 거리는 얇은 쪽 판 두께의 12배 이하(단, 150mm이하)로 한다. 인장플랜지에 있어서는 30배 이하로 한다.

③ 덮개판의 길이는 거더높이의 2배에 1.0m를 더한 값보다 커야 한다. 덮개판의 양단에는 이론값보다 각각 300mm 이상, 또는 덮개판 폭의 1.5배 이상인 여유길이가 있어야 한다. 인장측에 사용되는 덮개판의 양단은, 덮개판을 제외하고 계산한 플랜지의 연단응력(extreme fiber stress)이 허용응력의 90%가 되는 곳까지 연장해야 한다.

④ 덮개판의 단부에 사용하는 필릿용접은 부등치수의 연속 필릿용접으로 하고 응력의 흐름이 원활하도록 마무리해야 한다.

(3) 플랜지의 유효폭

① 플랜지의 한쪽 편 유효폭 b_e는 <식 (9.10.3)>에 의해 계산한다.

가. 단순보

$$b_e = \lambda_1 + \lambda_2 \qquad (9.10.3)$$

여기서, λ_1 : 주거더 사이의 한쪽 편 유효폭

λ_2 : 내민부의 한쪽 편 유효폭

λ_1 및 λ_2는 다음 식으로 계산해야 한다.

$b/l \leq 0.05$인 경우 $\lambda_1, \lambda_2 = b$ (전폭유효)

$b/l > 0.05$인 경우 $\lambda_1, \lambda_2 = \{1.1 - 2(b/l)\}b$

여기서, l = 지간

b = 주거더사이에서는 주거더사이 거리의 1/2, 내민부에서는 플랜지 돌출폭

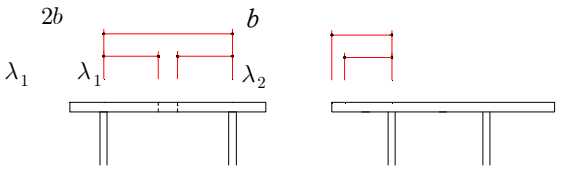


그림 9.10.1 플랜지의 유효폭

B. Continuous girder

$$b_e = \lambda_1 + \lambda_2$$

(a) Center of the span

In the case of $b/l \leqq 0.05$, $\lambda_1, \lambda_2 = b$ (whole width effective)

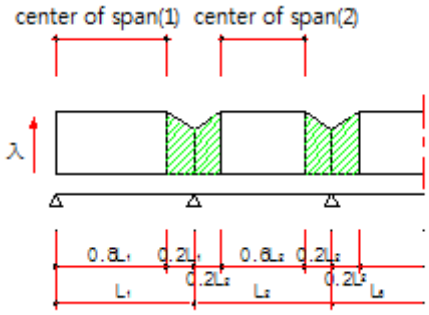
In the case of $b/l > 0.05$, $\lambda_1, \lambda_2 = \{1.1 - 2(b/l)\} b$

(b) Intermediate support

In the case of $b/l \leqq 0.02$, $\lambda_1, \lambda_2 = b$ (whole width effective)

In the case of $b/l > 0.02$, $\lambda_1, \lambda_2 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} b$

Table 9.10.3 Equivalent span length and equations

Equivalent span length	$center\,of\,span(\text{Ⅰ})\ l = 0.8L_1$ $center\,of\,span(\text{Ⅱ})\ l = 0.6L_2$ $intermediate\ support\ l = 0.2(L_1 + L_2)$
Variation of effective width	

(c) Between intermediate support and center of span

Linear variation as indicated with a diagonal line in <Table 9.10.3>

(4) Weld connecting flange plate and web plate

① In principle, the flange plate and web plate shall be connected by fillet welds at both sides of the web plate.

나. 연속거더

$$b_e = \lambda_1 + \lambda_2$$

㉮ 지간 중앙부

$b/l \leqq 0.05$인 경우 $\lambda_1, \lambda_2 = b$(전폭유효)

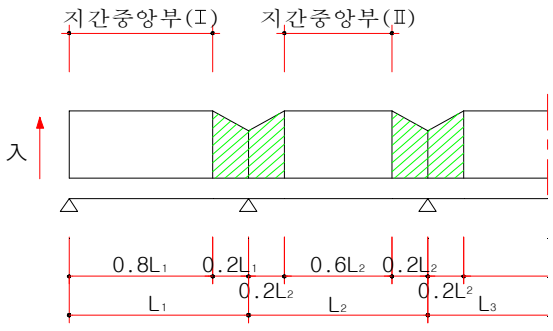
$b/l > 0.05$인 경우 $\lambda_1, \lambda_2 = \{1.1 - 2(b/l)\}b$

㉯ 중간 지점부

$b/l \leqq 0.02$인 경우 $\lambda_1, \lambda_2 = b$(전폭유효)

$b/l > 0.02$인 경우 $\lambda_1, \lambda_2 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\}b$

표 9.10.3 등가 지간장과 적용식

등가 지간장	지간 중앙부(Ⅰ) $l = 0.8L_1$ 지간 중앙부(Ⅱ) $l = 0.6L_2$ 중 간 지 점 $l = 0.2(L_1 + L_2)$
유효폭의 변화 상태	

㉰ 중간지점과 지간 중앙부의 사이

<표 9.10.3>에서 그림의 사선 부분처럼 직선적으로 변화하는 것으로 한다.

(4) 플랜지판과 복부판을 연결하는 용접

① 플랜지판과 복부판의 연결부는 복부판 양측에서 필릿용접으로 접합하는 것을 원칙으로 한다.

② When the sum of fillet welding throat connecting the flange plate to the web plate is greater than the thickness of the web plate, the shear stress calculation maybe ignored, and otherwise, it shall be examined according to <Eq. (9.10.4)>, and the composite stress shall be in accordance with 「9.5.5 (1)」.

$$v_h = \frac{SQ}{I(\sum a)} \qquad (9.10.4)$$

where, v_h: Shear stress on fillet weld throat section (MPa)

S : Shear force on calculated section (N)

Q : Primary moment of flange for neutral axis of total section (mm^3)

I: Moment of inertia for neutral axis of total section of plate girder (mm^4)

$\sum a$: Sum of throat (mm)

③ When the deck plate girder directly supports the sleeper, welds in 「①」 shall be K-weld in principle.

(5) Attachment of vertical stiffener

① Vertical stiffener at support or concentrated load shall be a full penetrating groove weld on both flanges.

② Intermediate vertical stiffener used as connection plate for diaphragm or vertical bracing shall be connected to both flanges by bolting or welding.

③ Intermediate vertical stiffener not used as connection plate shall be completely contacted to the compression flange, and spacing from the tension flange shall be 4 to 6 times the thickness of web plate.

④ Vertical stiffener shall be fixed by welding for tension flanges contacting deck floor.

(6) Deck plate anchor

① Deck plate anchor shall be attached to fix the deck plate to the flange of main girder even if composite effect is not expected.

② The interval of deck plate anchor shall be 1m or less, when using a steel bar, the diameter shall be 13 mm or more, and when using a steel plate, the width and thickness shall be 50 mm and 6 mm, respectively. In any case, the anchorage of 150 mm or longer shall be provided at either side and semi-circular or L-shaped hook shall be provided on the tip.

② 플랜지판과 복부판을 접합하는 필릿용접 목두께의 합이 복부판 두께 이상인 경우에는 필릿용접부의 전단응력에 대한 검산을 생략할 수 있으며, 복부판 두께 미만인 경우에는 <식 (9.10.4)>에 의해 검산해야 한다. 또한 휨응력과의 합성응력에 대한 검산은 「9.5.5(1)항」에 따른다.

$$v_h = \frac{SQ}{I(\sum a)} \qquad (9.10.4)$$

여기서, v_h : 필릿용접의 목두께 단면에 작용하는 전단응력(MPa)
S : 계산하는 단면에 작용하는 전단력(N)
Q : 총단면의 중립축에 관한 플랜지판의 단면1차모멘트(mm3)
I : 플레이트거더의 총단면의 중립축에 대한 단면2차모멘트(mm4)
Σa : 목두께의 합계(mm)

③ 상로플레이트거더로 직접 침목을 지지하는 경우에는 「①항」의 용접은 K형 용접으로 하는 것을 원칙으로 한다.

(5) 수직보강재의 부착방법

① 지점부와 같이 집중하중을 받는 위치에 설치되는 수직보강재는 완전용입그루브 용접으로 양쪽 플랜지에 접합시킨다.

② 다이아프램이나 수직브레이싱 등의 연결판으로도 사용되는 중간수직보강재는 양쪽 플랜지에 볼트나 용접으로 접합시킨다.

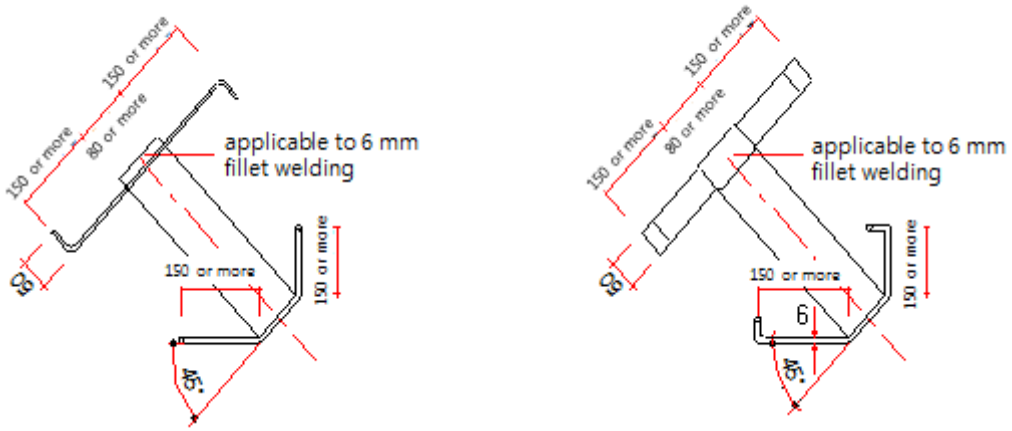
③ 연결판으로 사용되지 않는 중간수직보강재는 압축플랜지와 완전 밀착시켜야 하고, 인장플랜지와는 복부판 두께의 4배 이상, 6배 이하의 간격을 띄워야 한다.

④ 바닥판과 접하는 인장플랜지에는 수직보강재를 용접으로 접합시킨다.

(6) 바닥판 앵커

① 바닥판의 합성효과를 기대하지 않는 부분에서도 주거더의 플랜지에 바닥판을 고정시키기 위하여 바닥판 앵커를 붙여야 한다.

② 바닥판 앵커의 간격은 1m 이하를 원칙으로 하되, 강봉을 사용할 경우에는 지름 13mm 이상으로, 강판을 사용할 경우에는 폭 50mm, 두께 6mm 이상으로 해야 한다. 어느 경우에 있어서도 한쪽 길이가 150mm 이상의 정착길이를 요하며 또, 선단에는 반원형이나 L형의 갈고리를 붙여야 한다.



(a) when using steel bar (b) when using steel plate

Fig. 9.10.4 Deck plate anchor (mm)

9.10.3 Stiffener at load concentration point

(1) Stiffener at load concentration point

① Stiffener shall be provided to load concentration points such as support, cross beam and stringer on the plate girder and vertical brace.

② A vertical stiffener at load concentration points shall be considered a beam, and shall be designed according to the allowable axial compressive stress in 「Chapter 2 Railroad Plan」. The effective section may be considered up to 12 times the web plate thickness on the shear plane of the stiffener and stiffener point at the center of web plate (see <Fig 9.10.5>). But total effective section shall not exceed 1.7 times the area of stiffener section.

③ The radius of gyration of the area used for calculating allowable stress shall be calculated based on centerline of web plate, and the effective buckling length shall be 1/2 the height of plate girder.

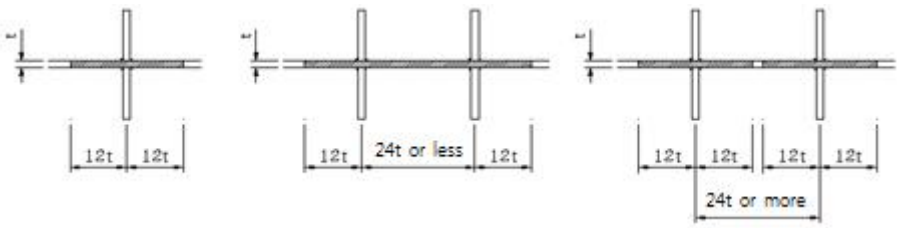
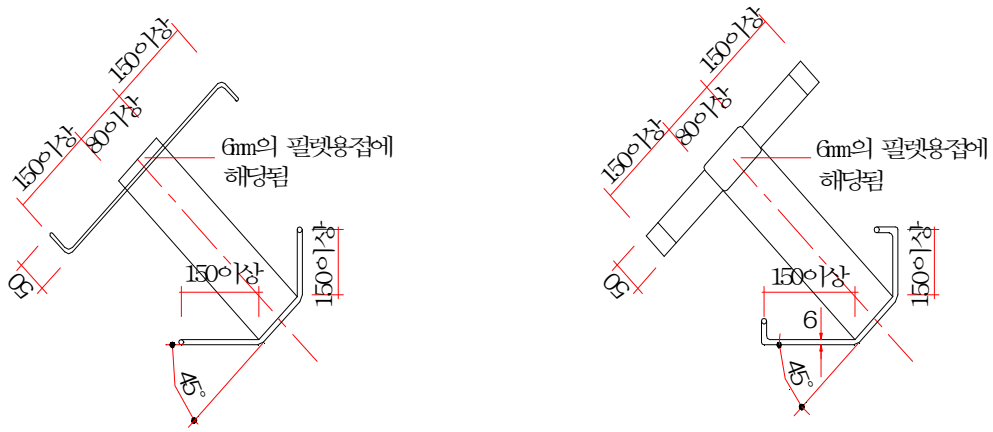


Fig. 9.10.5 Effective section area of stiffener at load concentrated point



(a) 강봉을 사용할 경우 (b) 강판을 사용할 경우

그림 9.10.4 바닥판 앵커(단위: mm)

9.10.3 하중집중점의 보강재

(1) 하중집중점의 보강재

① 플레이트거더의 지점 및 가로보, 세로보, 수직브레이싱 등의 연결부와 같은 하중집중점에는 반드시 보강재를 설치해야 한다.

② 하중집중점의 수직보강재는 기둥으로 보고 「제2장」에서 규정한 허용축방향압축응력에 따라 설계해야 한다. 이때 보강재 전단면과 복부판 가운데 보강재 부착부에서 양쪽으로 각각 복부판 두께의 12배까지를 유효단면이라고 생각할 수 있다.(<그림 9.10.5> 참조) 그러나 전체 유효단면은 보강재 단면의 1.7배를 넘어서는 안 된다.

③ 허용응력의 계산에 사용하는 단면 2차 반지름은 복부판의 중심선에 대하여 구하고 유효좌굴길이는 플레이트거더 높이의 1/2로 한다.

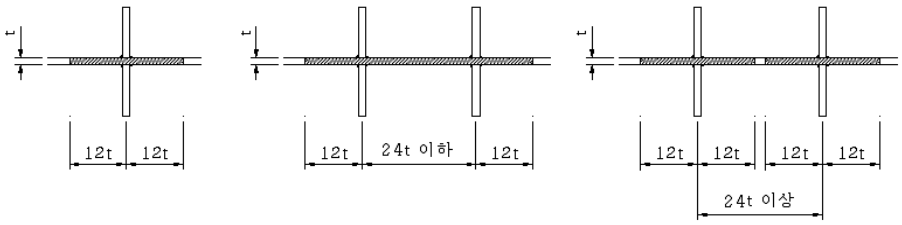


그림 9.10.5 하중집중점 보강재의 유효단면적

(2) Effective bearing area

① Effective bearing area at load concentration points contacting the stiffener base shall be calculated as follows:

A. For a line bearing, it shall include the width b contacting the bottom flange of a short stiffener as shown in <Fig 9.10.6>, and the thickness (ts) area.

B. For a sole plate with high stiffness

(section area contacting bottom flange of stiffener) + ($24t_w$ or width of top base, whichever is less) × t_w

Where, t_w: Thickness of web plate

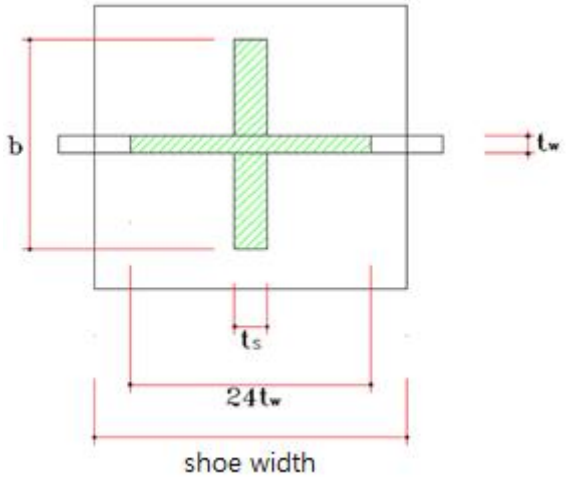


Fig. 9.10.6 Effective bearing area

(3) Design details

① The connection of stiffener and web plate shall be designed considering that only the stiffener will be subjected to a concentrated load.

② The stiffener plate thickness shall satisfy 「9.5」.

③ The stiffener at the support shall be symmetrically extended to the flange.

9.10.4 Fixing top flange of main girder on through plate girder

(1) Knee brace shall be installed at the connection with cross beam on a through plate girder.

(2) When knee brace is not installed, it shall be in accordance with the following:

① For a U-shaped structure comprising a cross beam and vertical stiffeners, the lateral stiffness shall be examined according to <Eq. (9.10.5)>.

(2) 유효지압면적

① 하중집중점의 보강재 받침에 접하는 부분의 유효지압면적은 각각 다음과 같이 계산한다.

가. 선받침의 경우는 <그림 9.10.6> 과 같이 단보강재의 하부플랜지에 접하는 부분의 외연간의 폭 b와 그 두께(t_s)의 면적으로 한다.

나. 강성이 큰 솔플레이트를 사용하는 경우

(보강재의 하부플랜지에 접하는 단면적) +($24t_w$ 혹은 상부받침의 폭 중 작은 값) × t_w

여기서, t_w : 복부판의 두께

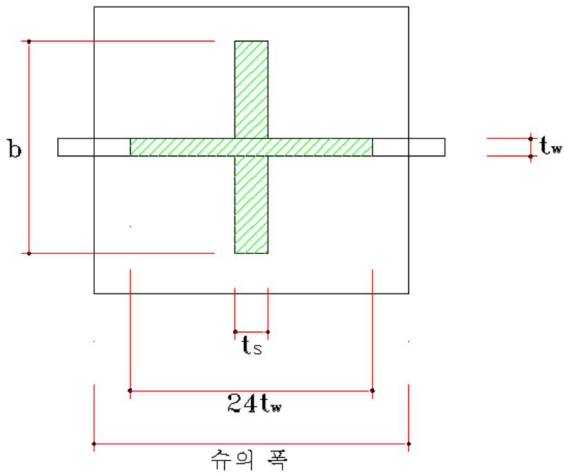


그림 9.10.6 유효지압면적

(3) 설계상세

① 보강재와 복부판과의 연결은 보강재가 집중하중 전부를 받은 것으로 보고 설계해야 한다.

② 보강재의 판두께는 「9.5항」의 규정을 만족해야 한다.

③ 지점상의 보강재는 양쪽에 대칭으로, 플랜지까지 연장시킨다.

9.10.4 하로플레이트거더의 주거더 상부플랜지의 고정

(1) 하로플레이트거더교에서는 가로보와의 연결부에서 니브레이스(knee brace)를 설치하는 것을 원칙으로 한다.

(2) 니브레이스를 설치하지 않는 경우에는 아래 각 항에 의한다.

① 가로보와 수직보강재로서 형성되는 U자형구조는 그 상단에 가해지는 수평횡력에 대해서 <식 (9.10.5)>에 의해 그 강성을 검토해야 한다.

$$k \geqq \frac{8 \cdot A f_{ca}}{l} \tag{9.10.5}$$

where, k: Stiffness of U-structure (N/mm), that is, horizontal force ($k = K/\delta$) when $\delta = 1$ in <Fig. 9.10.7>

A: Section area of top flange (mm2), same as 「②」

f_{ca}: Allowable bending compressive stress (MPa)

l: Assumed buckling depth of main girder flange (mm)

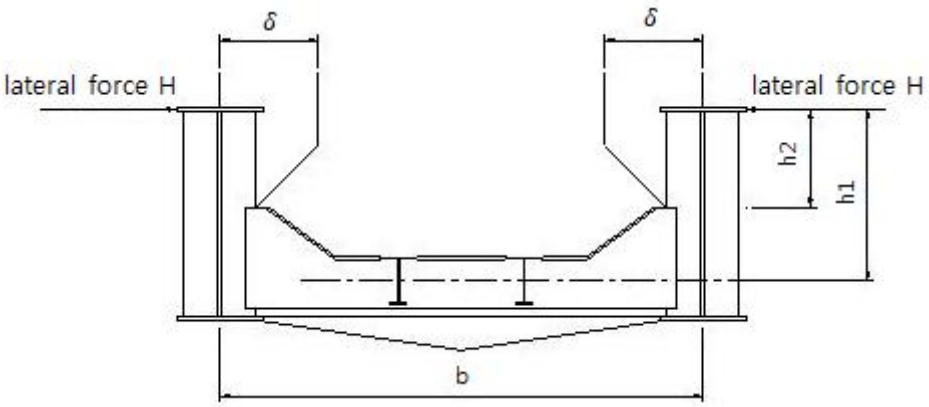


Fig. 9.10.7 Through plate girder

② The structure in 「①」 shall have a sufficient strength when the lateral force in <Eq. 9.10.6> is applied to the top.

$$H = A \cdot f_c \tag{9.10.6}$$

where, H: Horizontal force to review the strength (N)

f_c: Edge bending compressive stress on top flange (MPa)

9.10.5 Composition of stress at steel deck plate and stress at top flange

(1) When designing the steel deck plate as part of main girder on the plate girder using the steel deck plate, the stress stipulated in 「9.7.3」 shall be added to the stress applied to the main girder. Allowable stress for the composite stress shall be the basic allowable stress defined in 「9.4.2 (1)」.

9.11 Composite girder bridge

9.11.1 General

(1) This provision shall be applied to the design of a composite railway bridge with steel girder plate and RC deck using shear connectors.

$$k \geqq \frac{8 \cdot Af_{ca}}{l} \qquad (9.10.5)$$

여기서, k : U자형구조의 강성(N/mm), 즉 <그림 9.10.7>에서 $\delta = 1$인 경우의 수평력($k = K/\delta$)

A : 상부플랜지의 단면적(mm2), (「②항」의 경우도 같다)

f_{ca} : 주거더의 허용휨압축응력(MPa)

l : 주거더 플랜지의 가정한 좌굴길이(mm)

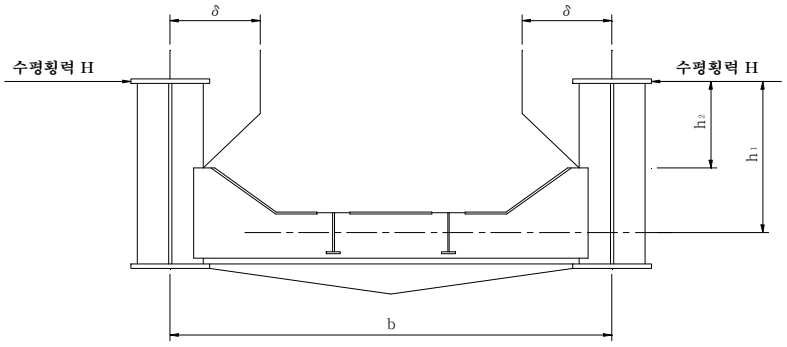


그림 9.10.7 하로플레이트거더교

② 「①항」의 구조는 그 상단에 <식 9.10.6>의 크기로 수평횡력을 주었을 경우 충분한 강도가 있어야 한다.

$$H = A \cdot f_c \,/\, 100 \qquad (9.10.6)$$

여기서, H : 강도를 검토하기 위한 수평력(N)

f_c : 상부플랜지에 작용하는 연단휨압축응력(MPa)

9.10.5 강바닥판으로서의 응력과 상부플랜지로서의 응력의 합성

(1) 강바닥판을 적용한 플레이트거더에서 강바닥판을 주거더구조의 일부로 설계하는 경우 주거더작용으로서의 응력에 「9.7.3항」에서 규정하는 응력을 더해야 한다. 이 경우 합성응력에 대한 허용응력은 「9.4.2(1)항」에서 규정하는 기본허용응력으로 한다.

9.11 합성거더교

9.11.1 일반내용

(1) 이 절은 강거더와 철근콘크리트 바닥판을 전단연결재를 사용하여 합성(合成)한 철도교(이하 “합성거더”라 한다)의 설계에 적용한다.

(2) Items not specified in this provision shall be in accordance with 「Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge」 and 「Chapter 10 Concrete Bridge」.

(3) Notation

A_c = Section area of deck plate within effective width (mm^2)

A_s = Section area of steel girder (mm^2)

b_e = Effective width of deck plate (mm)

b_o = Width of haunch bottom at the part contacting steel plate and steel girder (mm)

d = Diameter of stud stem (mm)

E_c = Elastic modulus of concrete (MPa)

E_s = Elastic modulus of steel (MPa)

f_{ck} = Design strength of concrete (MPa)

f_{cl} = Concrete stress (Mpa) at the contact between deck plate and steel girder

f_{cu} = Axial concrete stress (MPa) at the upper edge of deck plate

f_{sl} = Stress at lower edge of steel girder (MPa)

f_{su} = Steel girder stress at the contact between deck plate andsteel girder (MPa)

I_c = Moment of inertia (mm^4) for neutral axis (C-C) on deck plate within effective width

I_s = Moment of inertia (mm^4) for neutral axis (S-S) on steel girder

L = Span(mm)

$n = E_s/E_c$ = Elastic modulus of steel and concrete

Q_a = Allowable load bearing capacity (N)

ϵ_s = Dry shrinkage of concrete

ϕ_1, ϕ_2 = Creep coefficient of concrete

9.11.2 Section of composite girder

(1) Notation indicated in <Fig. 9.11.1> shall be used for the calculation of composite girder.

(2) 이 절에서 정하지 않은 사항에 대하여는 「제9장」및 「제10장」을 따른다.

(3) 기호

A_c = 유효폭 내의 바닥판의 단면적(mm^2)

A_s = 강거더의 단면적(mm^2)

b_e = 바닥판의 유효폭(mm)

b_o = 바닥판과 강거더와의 접촉부에서 바닥판 헌치하단의 폭(mm)

d = 스터드 줄기의 지름(mm)

E_c = 콘크리트의 탄성계수(MPa)

E_s = 강재의 탄성계수(MPa)

f_{ck} = 콘크리트의 설계기준강도(MPa)

f_{cl} = 바닥판과 강거더와의 접촉부에서 콘크리트의 응력(MPa)

f_{cu} = 바닥판의 상연에 있어서의 교축방향의 콘크리트 응력(MPa)

f_{sl} = 강거더 하연의 응력(MPa)

f_{su} = 바닥판과 강거더와의 접촉부에서 강거더의 응력(MPa)

I_c = 유효폭 내 바닥판의 중립축(C-C)에 관한 단면2차모멘트(mm^4)

I_s = 강거더의 중립축(S-S)에 관한 단면2차모멘트(mm^4)

L = 지간(mm)

$n = E_s/E_c$ = 강재와 콘크리트의 탄성계수비

Q_a = 허용내하력 (N)

ϵ_s = 콘크리트의 건조수축률

ϕ_1, ϕ_2 = 콘크리트의 크리프계수

9.11.2 합성거더의 단면

(1) 합성거더의 계산에는 <그림 9.11.1>에 표시된 기호를 사용한다.

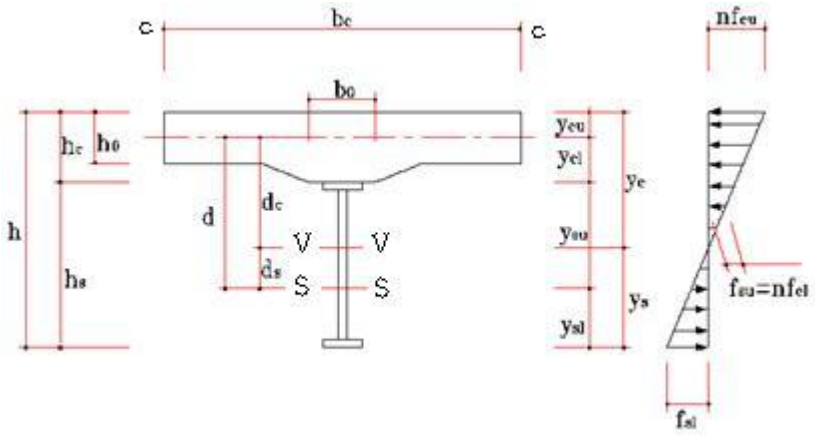


Fig. 9.11.1 Symbols of composite girder

where, b_e: Effective width of deck plate (mm)

b_o: Width of haunch bottom at the contact between deck plate and steel girder (mm)

h_o: Thickness of deck plate (mm)

h_c: Distance from upper edge of top flange on steel girder to upper edge of deck plate (mm)

h_s: Steel girder height (mm)

$h = h_c + h_s$: Composite girder height (mm)

C-C: Neutral axis on deck plate section within effective width

S-S: Neutral axis on steel girder section

V-V: Neutral axis of composite section converted to steel

d: Distance between C-C and S-S (mm)

d_c: Distance between V-V and C-C (mm)

d_s: Distance between V-V and S-S (mm)

y_c: Distance from V-V to upper edge of deck plate (mm)

y_s: Distance from V-V to lower edge of steel girder (mm)

9.11.3 Contents noted on design drawings

(1) On composite girder design drawings, the design strength, maximum size of coarse aggregate, elastic modulus used for design, concrete pouring condition, load during construction and application of dead load after composition, etc. are included in addition to the basic information.

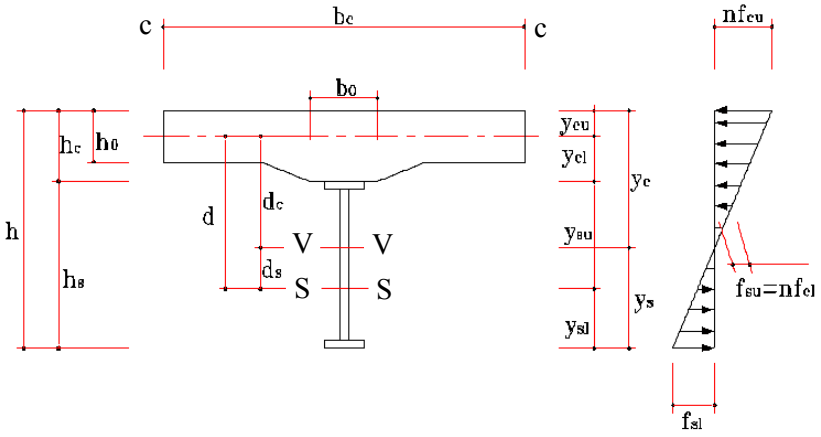


그림 9.11.1 합성거더의 기호

여기서, b_e : 바닥판의 유효폭(mm)

b_o : 바닥판과 강거더와의 접촉부에서 바닥판 헌치하단의 폭(mm)

h_o : 바닥판의 두께(mm)

h_c : 강거더의 상부플랜지 상연에서 바닥판 상연까지의 거리(mm)

h_s : 강거더의 높이(mm)

$h = h_c + h_s$: 합성거더의 높이(mm)

C-C: 유효폭 내의 바닥판 단면의 중립축

S-S: 강거더 단면의 중립축

V-V : 강재로 환산한 합성단면의 중립축

d : C-C와 S-S와의 거리(mm)

d_c : V-V와 C-C와의 거리(mm)

d_s : V-V와 S-S와의 거리(mm)

y_c : V-V에서 바닥판 상연까지의 거리(mm)

y_s : V-V에서 강거더의 하연까지의 거리(mm)

9.11.3 설계도에 기재하는 사항

(1) 합성거더 설계도에는 일반적으로 기재하는 사항 이외에 설계기준강도, 조골재의 최대치수, 설계에 사용한 탄성계수비, 콘크리트 치기의 조건, 공사 중의 하중 및 합성후의 고정하중의 재하시기, 기타 특히 필요한 사항을 명기한다.

9.11.4 Load

(1) In designing composite girders, the creep of slab concrete, dry shrinkage and temperature difference between steel girder and deck plate shall be considered, in addition to the conditions stipulated in 「Chapter 8 Bridge General」.

(2) Load of composite section

① When no temporary intermediate support holding the girder exists during the pouring and curing of concrete slab, the dead load of steel and concrete shall be applied to only steel girder, and all subsequent loads shall be applied to the composite section.

② When temporary intermediate supports holding up the girder exist until the concrete reaches 75% of 28-day concrete strength, the dead load of concrete and all subsequent loads are assumed to be applied to the composite section.

③ Stress by impact shall be calculated by multiplying the stress due to live loads by the impact coefficient stipulated in 「8.2.3, Chapter 8 Bridge General」.

9.11.5 Material

(1) The allowable stress of steel is as shown in 「9.3.3」.

(2) The allowable stress of concrete slab is as shown in <Table 9.11.1>.

Table 9.11.1 Allowable stress of deck plate concrete

	Type	Allowable stress (MPa)		
		$f_{ck} < 30$	$30 \leqq f_{ck} < 4$	$40 \leqq f_{ck} \leqq 5$
Bending compressive stress	Deck plate	$0.40 f_{ck}$		
	Composite girder flange			
Shear stress	No diagonal tension bar	0.9	1.0	1.1
	Diagonal tension bar	2.0	2.2	2.4

(3) The allowable tensile stress of the reinforcement used for concrete slabs is as shown in <Table 9.11.2>. But when serving as part of main girder and slab at the same time, the allowable stress may be increased by 20%.

9.11.4 하중

(1) 합성거더의 설계에는 「제8장」에서 정한 것 외에 바닥판 콘크리트의 크리프, 건조수축 및 바닥판과 강거더와의 온도차 등의 영향을 고려한다.

(2) 합성단면 하중

① 콘크리트 바닥판 타설과 양생시 거더를 받칠 임시 중간 지점이 없는 경우는 강재와 콘크리트 고정하중은 강거더에만 작용한다고 가정하고, 모든 후속하중은 합성단면에 작용한다고 가정한다.

② 콘크리트가 재령 28일 강도의 75%를 가질 때까지 거더에 유효 임시 중간지점이 주어진 경우, 콘크리트 고정하중과 모든 후속하중은 합성단면에 작용한다고 가정한다.

③ 충격에 의한 응력은 활하중에 의한 응력에 충격계수를 곱한 것으로 하며, 충격계수는 「제8장 8.2.3항」의 규정을 따른다.

9.11.5 재료

(1) 강재의 허용응력은 「9.3.3항」의 규정에 의한다.

(2) 바닥판 콘크리트의 기준허용응력은 <표 9.11.1>에 표시된 값으로 한다.

표 9.11.1 바닥판 콘크리트의 허용응력

	종별	허용응력(MPa)		
		$f_{ck} < 30$	$30 \leqq f_{ck} < 40$	$40 \leqq f_{ck} \leqq 50$
휨압축응력	바닥판	$0.40 f_{ck}$		
	합성거더 플랜지			
전단응력	사인장철근을 두지 않는 경우	0.9	1.0	1.1
	사인장철근을 두는 경우	2.0	2.2	2.4

(3) 바닥판에 사용되는 철근의 허용인장응력은 <표 9.11.2>에 표시된 값을 적용한다. 다만 주거더 단면 일부로서의 작용과 바닥판으로서의 작용을 동시에 고려할 경우에는 허용응력의 20%를 증가시킬 수 있다.

Table 9.11.2 Allowable tensile stress of reinforcement

Allowable stress \ Rebar	SD300	SD350	SD400
Allowable tensile stress (MPa)	150	160	160
Allowable compressive stress (MPa)	150	175	180

(4) The increase of the allowable stress of steel girders shall be in accordance with 「8.3.3, Chapter 8 Bridge General」.

9.11.6 Design general

(1) Elastic modulus

① The elastic modulus of steel shall be 2.05×10^5 MPa.

② In calculating the stress and deflection of composite section, the ratio of the elastic modulus of steel to the elastic modulus of concrete (called the modular ratio), n, shall be 8.

③ In calculating the section with deck plate, the modular ration shall be in accordance with 「Chapter 10 Concrete Bridge」.

(2) Deflection of girders due to live load shall be in accordance with 「8.6.3, Chapter 8 Bridge General」.

(3) Skew bridge

① The angle of skew bridge shall be 30° or less, in principle.

② For a girder with an oblique angle, the increased reaction at obtuse angle shall be considered.

(4) Effective width of concrete slab b_e for the compression flange of composite girder shall not exceed the value calculated using <Eq. 9.11.1>.

$$b_e = \lambda_1 + \lambda_2 + 2b_s + b_o \qquad (9.11.1)$$

where, b_s: Horizontal width of haunch; when gradient of haunch is less than 45°, it is as shown in <Fig. 9.11.2>

λ_1: Effective width of either side of inner main girder

λ_2: Effective width of either side of extension

λ_1 and λ_2 shall be calculated as follows.

$b/L \leqq 0.05$ $\quad \lambda_1$ or $\lambda_2 = b$

$0.05 \leqq b/L < 0.3$ $\quad \lambda_1$ or $\lambda_2 = \{1.1 - 2(b/L)\}b$

$b/L \geqq 0.3$ $\quad \lambda_1$ or $\lambda_2 = 0.15L$

where, b: see <Fig. 9.11.2>

L: Span

표 9.11.2 철근의 허용인장응력

철근의 종류 / 허용응력	SD300	SD350	SD400
허용인장응력(MPa)	150	160	160
허용압축응력(MPa)	150	175	180

(4) 강거더에 대한 허용응력의 증가는 「제8장 8.3.3항」의 규정에 의해야 한다.

9.11.6 설계일반

(1) 탄성계수비

① 강재의 탄성계수는 2.05×10^5 MPa로 해야 한다.

② 합성단면으로서의 응력 및 처짐을 계산하는 경우에 강재와 콘크리트의 탄성계수비 n은 8을 표준으로 한다.

③ 바닥판으로 단면계산을 하는 경우에 탄성계수비 n은 「제10장」의 규정에 의한다.

(2) 활하중에 의한 교량거더의 처짐은 「제8장 8.6.3항」의 규정에 의한다.

(3) 사교

① 사교의 각도는 30°이하를 원칙으로 한다.

② 사각을 갖는 교량거더의 경우에는 둔각 지점의 반력증가를 고려한다.

(4) 합성거더의 압축플랜지로서의 바닥판 유효폭 b_e는 <식 9.11.1>에 의하여 계산한 값을 넘어서는 안 된다.

$$b_e = \lambda_1 + \lambda_2 + 2b_s + b_o \qquad (9.11.1)$$

여기서, b_s : 헌치의 수평폭, 헌치의 경사가 45°보다 작은 경우에는 <그림 9.11.2>와 같이 취한다.

λ_1 : 주거더 내측의 한쪽 유효폭

λ_2 : 돌출부의 한쪽 유효폭

λ_1 및 λ_2는 다음 식에 의하여 계산한다.

$b/L \leqq 0.05$ $\quad \lambda_1$ 또는 $\lambda_2 = b$

$0.05 \leqq b/L < 0.3$ $\quad \lambda_1$ 또는 $\lambda_2 = \{1.1 - 2(b/L)\}b$

$b/L \geqq 0.3$ $\quad \lambda_1$ 또는 $\lambda_2 = 0.15L$

여기서, b : <그림 9.11.2> 참조

L : 지간

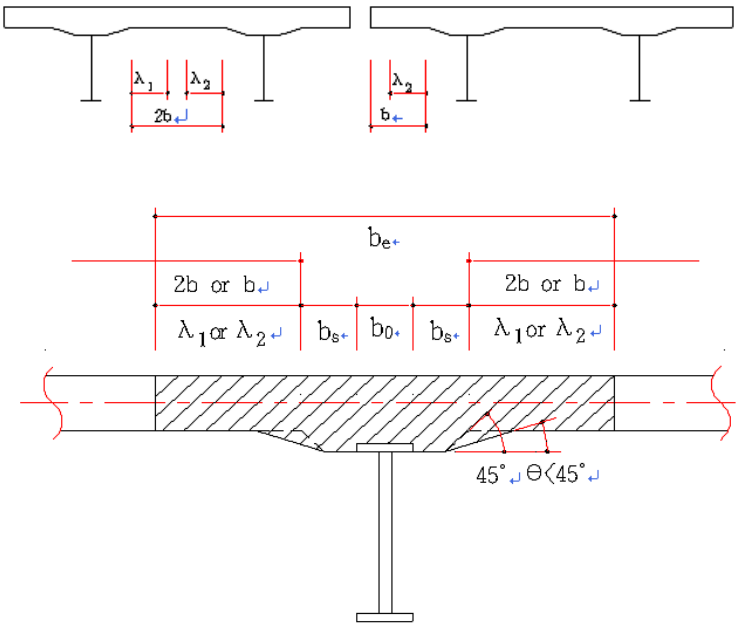


Fig. 9.11.2 Effective width of deck plate

(5) Creep of concrete slab

① In calculating the stress of main girder by dead load after composition, the creep coefficient of concrete slab ϕ_1 shall be 2.0.

② Elastic modulus of concrete considering creep shall be used in calculating concrete stress. That is, $n(1+\phi_1)$ shall be used instead of n for the section transformation.

(6) Dry shrinkage of concrete slab

① Final dry shrinkage coefficient ϵ_s shall be 27×10^{-5} in calculating the stress of the composite section depending on the dry shrinkage of concrete slab, and the creep coefficient ϕ_2 used shall be $2.0\phi_1$.

② In this case, <Eq.s (9.11.2)> ~ <(9.11.8)> shall be used.

$$N_c = N_s = \frac{\epsilon_s E}{\frac{n_\phi}{A_c}+\frac{1}{A_s}+\frac{n_\phi d^2}{I_c+n_\phi I_s}} \tag{9.11.2}$$

$$M_c = \frac{I_c}{I_c+n_\phi I_s} N_c\, d \tag{9.11.3}$$

$$M_s = \frac{n_\phi I_s}{I_c+n_\phi I_s} N_c\, d \tag{9.11.4}$$

$$f_{cu} = \frac{N_c}{A_c}-\frac{M_c}{I_c} y_{cu} \tag{9.11.5}$$

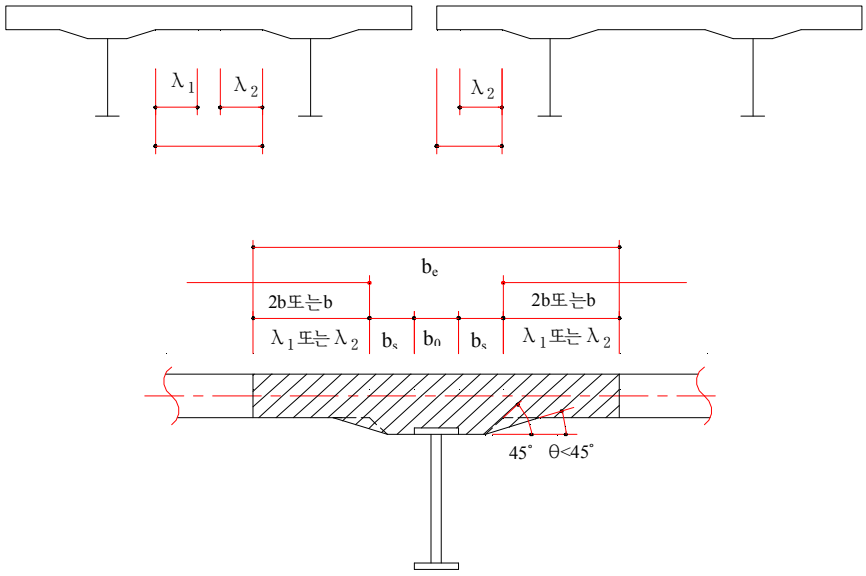


그림 9.11.2 바닥판의 유효폭

(5) 바닥판 콘크리트의 크리프

① 합성후 고정하중에 의한 주거더단면 응력을 계산하는 경우에 바닥판 콘크리트의 크리프계수 ϕ_1은 2.0을 표준으로 한다.

② 콘크리트의 응력계산은 크리프를 고려한 콘크리트의 탄성계수를 사용한다. 즉, 단면 환산을 하는 경우에는 n 대신에 $n(1+\phi_1)$을 사용한다.

(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축

① 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 합성단면의 응력계산에 사용하는 최종 건조수축률 ϵ_s는 27×10^{-5}을 표준으로 하고, 사용하는 크리프계수 ϕ_2는 $2.0\phi_1$을 표준으로 한다.

② 이 경우의 계산에는 <식 (9.11.2)>~<식 (9.11.8)>을 사용한다.

$$N_c = N_s = \frac{\epsilon_s E}{\frac{n_\phi}{A_c}+\frac{1}{A_s}+\frac{n_\phi d^2}{I_c+n_\phi I_s}} \qquad (9.11.2)$$

$$M_c = \frac{I_c}{I_c+n_\phi I_s} N_c d \qquad (9.11.3)$$

$$M_s = \frac{n_\phi I_s}{I_c+n_\phi I_s} N_c d \qquad (9.11.4)$$

$$f_{cu} = \frac{N_c}{A_c}-\frac{M_c}{I_c} y_{cu} \qquad (9.11.5)$$

$$f_{cl} = \frac{N_c}{A_c} + \frac{M_c}{I_c} y_{cl} \quad (9.11.6)$$

$$f_{su} = -\frac{N_s}{A_s} - \frac{M_s}{I_s} y_{su} \quad (9.11.7)$$

$$f_{sl} = -\frac{N_s}{A_s} + \frac{M_s}{I_s} y_{sl} \quad (9.11.8)$$

where, $n_\phi = n(1+\phi_2/2)$: Elastic modulus of concrete for steel

N_c, N_s, M_c, M_s: Axial force and bending moment at the center of deck plate and steel girder section from time $T = 0$ until $T = \infty$

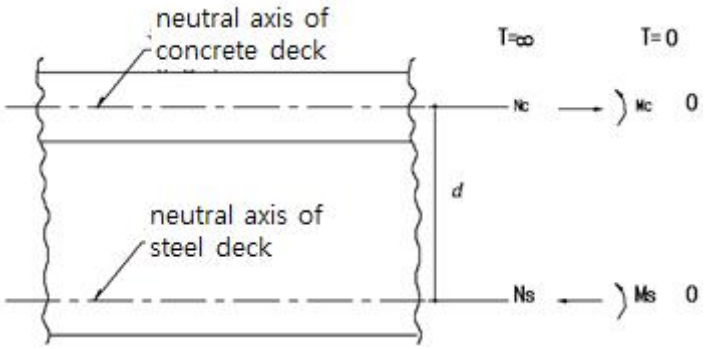


Fig. 9.11.3 Axial force and bending moment by dry shrinkage

(7) Temperature difference between concrete slab and steel girder

① Temperature difference between concrete slab and steel girder is considered to be 10℃, and significant temperature differences, if any exist, shall be considered separately.

② Temperature distribution on the steel girder and concrete slab shall be considered uniform.

③ Linear expansion coefficient of concrete slab and steel shall be 12×10^{-6}

④ When calculating the stress depending on temperature difference, it shall be calculated according to <Eq. (9.11.9)> ~ <(9.11.15)> without considering the effect of creep.

$$N_c = N_s = \frac{\alpha(\pm t)E_s}{\frac{n}{A_c} + \frac{1}{A_s} + \frac{n d^2}{I_c + n I_s}} \quad (9.11.9)$$

$$M_c = \frac{I_c}{I_c + n I_s} N_c d \quad (9.11.10)$$

$$M_s = \frac{n I_s}{I_c + n I_s} N_c d \quad (9.11.11)$$

$$f_d = \frac{N_c}{A_c} + \frac{M_c}{I_c} y_d \qquad (9.11.6)$$

$$f_{su} = -\frac{N_s}{A_s} - \frac{M_s}{I_s} y_{su} \qquad (9.11.7)$$

$$f_{sl} = -\frac{N_s}{A_s} + \frac{M_s}{I_s} y_{sl} \qquad (9.11.8)$$

여기서, $n_\phi = n(1+\phi_2/2)$: 콘크리트의 강재에 대한 탄성계수비

N_c, N_s, M_c, M_s : 시간 $T=0$ 에서 $T=\infty$ 사이에 콘크리트의 건조수축에 의해 바닥판 단면의 중심 및 강거더단면의 중심에 발생하는 축력과 휨모멘트

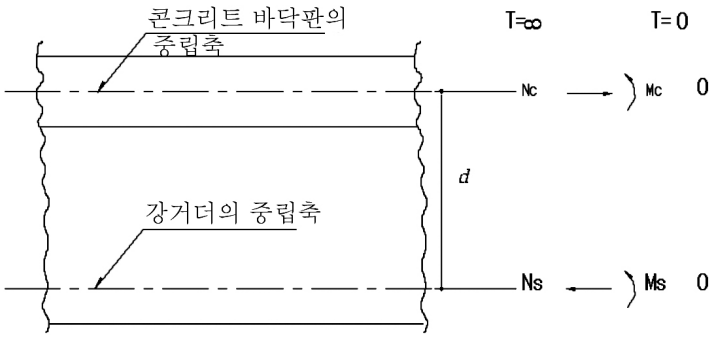


그림 9.11.3 건조수축에 의한 축력과 휨모멘트

(7) 바닥판 콘크리트와 강거더와의 온도차

① 바닥판 콘크리트와 강거더와의 온도차는 10℃를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려해야 한다.

② 온도분포는 강거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다.

③ 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수는 12×10^{-6}을 적용한다.

④ 온도차에 의한 응력의 계산에는 크리프의 영향은 고려하지 않고 <식 (9.11.9)>~<식 (9.11.15)>로 계산한다.

$$N_c = N_s = \frac{\alpha(\pm t)E_s}{\frac{n}{A_c} + \frac{1}{A_s} + \frac{nd^2}{I_c + nI_s}} \qquad (9.11.9)$$

$$M_c = \frac{I_c}{I_c + nI_s} N_c d \qquad (9.11.10)$$

$$M_s = \frac{nI_s}{I_c + nI_s} N_c d \qquad (9.11.11)$$

$$f_{cu} = \frac{N_c}{A_c} - \frac{M_c}{I_c} y_{cu} \quad (9.11.12)$$

$$f_{cl} = \frac{N_c}{A_c} + \frac{M_c}{I_c} y_{cl} \quad (9.11.13)$$

$$f_{su} = -\frac{N_s}{A_s} - \frac{M_s}{I_s} y_{su} \quad (9.11.14)$$

$$f_{sl} = -\frac{N_s}{A_s} + \frac{M_s}{I_s} y_{sl} \quad (9.11.15)$$

where,

N_c, N_s, M_c, M_s: Axial force and bending moment at the center of deck plate section and steel girder section due to temperature difference.

α : Linear expansion coefficient used for calculation

t : Temperature difference, shall be (+) t when deck plate is lower than steel girder and (-)t when higher.

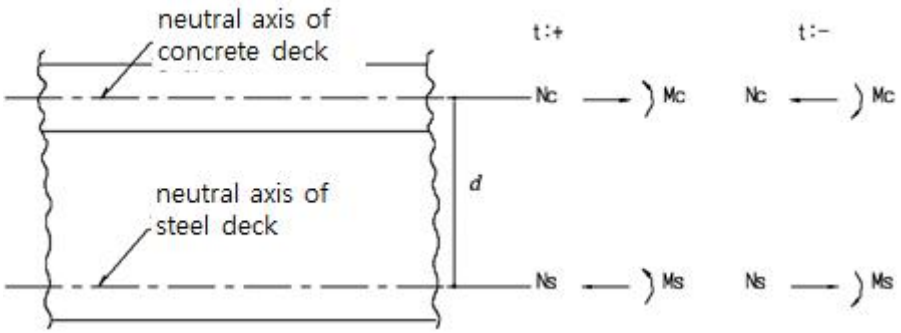


Fig. 9.11.4 Section force of composite girder due to temperature difference

(8) Neutral axis of composite section shall be considered to be in steel girder.

9.11.7 Steel girder

(1) Thickness of flange plate for installing shear connectors shall satisfy the requirements in 「9.6.2 (1)」, and 15mm or more for plate girder and 13 mm or more for box girder, and in any case, it shall be larger than the fillet weld of shear connectors.

(2) Horizontal bracing

① Lower horizontal bracing shall be installed for plate girder bridges, but when appropriate vertical bracing is provided on girder with a span of 16m or less, lower horizontal bracing may not be installed.

② Upper horizontal bracing shall be provided as needed.

$$f_{cu} = \frac{N_c}{A_c} - \frac{M_c}{I_c} y_{cu} \quad (9.11.12)$$

$$f_{cl} = \frac{N_c}{A_c} + \frac{M_c}{I_c} y_{cl} \quad (9.11.13)$$

$$f_{su} = -\frac{N_s}{A_s} - \frac{M_s}{I_s} y_{su} \quad (9.11.14)$$

$$f_{sl} = -\frac{N_s}{A_s} + \frac{M_s}{I_s} y_{sl} \quad (9.11.15)$$

여기서, N_c, N_s, M_c, M_s : 바닥판과 강거더의 온도차에 의해 바닥판 단면의 중심 및 강거더 단면의 중심에 발생하는 축력과 휨모멘트

α : 계산에 사용하는 선팽창계수

t : 온도차, t 앞의 부호는 바닥판이 강거더보다 낮은 경우(+), 높은 경우는(−)로 취해야 한다.

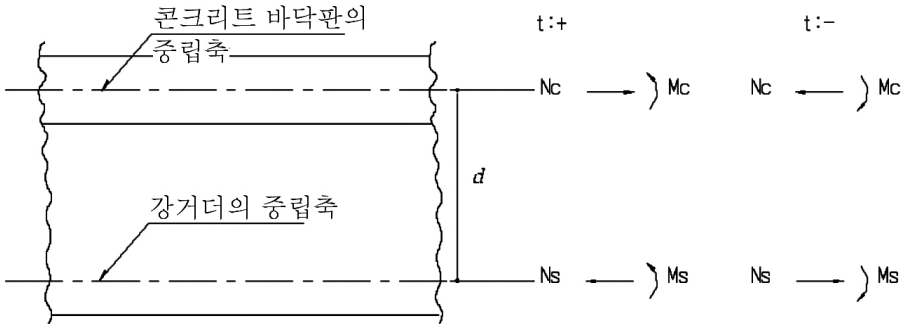


그림 9.11.4 온도차에 의해 발생되는 합성거더의 단면력

(8) 합성단면의 중립축은 강거더 내에 있는 것을 원칙으로 한다.

9.11.7 강거더

(1) 전단연결재를 설치하는 플랜지의 판두께는 「9.6.2(1)항」의 규정을 만족해야 할 뿐 아니라, 플레이트거더의 경우는 15mm 이상, 또 박스거더의 경우는 13mm 이상으로 해야 한다. 특히 어느 경우에도 전단연결재의 필릿용접의 크기 이상으로 해야 한다.

(2) 수평브레이싱

① 하부 수평브레이싱은 플레이트거더교의 경우에는 설치하는 것을 원칙으로 해야 한다. 단, 지간이 16m 이하의 거더에서 적당한 수직브레이싱이 있는 경우에는 하부 수평브레이싱을 생략할 수 있다.

② 상부 수평브레이싱은 필요에 따라 설치하는 것으로 한다.

9.11.8 Concrete slab

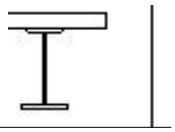
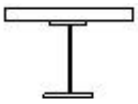
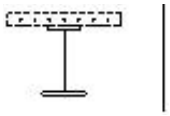
(1) Design shall be in accordance with 「9.7.4」 if not stipulated in this provision.

(2) Composite behavior of Concrete slab

① Composite behavior of Concrete slab in calculating the section stress of main girder shall be considered as specified in <Table 9.11.3>. Shear connector shall be installed over the entire length of the main girder, and when designing a continuous composite girder according to <Table 9.11.3>, a waterproof layer shall be reinforced for the crack near the support, and load-distribution cross beams shall be provided at the points where the bending moment is changed and the shear connector layout and stress variation shall be examined.

② When calculating elastic deformations and statically indeterminate forces, the composite behavior of concrete slab shall be considered, regardless of the requirements in <Table 9.11.3>.

Table 9.11.3 Composite behavior treatment

Bending moment	Treatment of composite behavior	Application
Positive	Deck plate concrete is considered as part of the main girder section	
Negative	1. When concrete section is effective on deck plate receiving tensile stress. Deck plate concrete is considered as part of the main girder section.	
	2. When concrete section is neglected on deck plate receiving tensile stress. Axial reinforcement on deck plate only is considered part of the main girder section.	

Note) For non-prestressed continuous composite girder, positive or negative bending moment may occur depending on the application of live load on the same section.

(3) Steel bar arrangement on concrete slab subjected to tension

① For design with the effective concrete section on slab subjected to tension, reinforcement shall be designed to resist total tensile force in slab.

9.11.8 바닥판

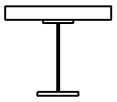
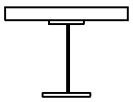
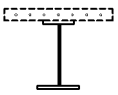
(1) 바닥판의 설계는 이 절에서 규정하는 이외는 「9.7.4항」의 규정에 의한다.

(2) 바닥판의 합성작용

① 주거더의 단면응력을 산출하는 경우 바닥판의 합성작용을 취급함에 있어서는 <표 9.11.3>과 같이 해야 한다. 전단연결재는 주거더의 전장에 걸쳐서 설치해야 한다. 또 연속합성거더에서 <표 9.11.3>에 따라 설계를 하는 경우는 내부지점 부근의 균열에 대해 방수층 등의 처리를 강구함과 동시에 고정하중에 의한 휨모멘트의 부호가 변하는 부근에는 강한 하중분배 가로보를 설치하는 것으로 하고, 전단연결재의 배치 및 응력의 변동 상태 등을 충분히 검토해야 한다.

② 주거더의 탄성변형 및 부정정력을 계산하는 경우에는 <표 9.11.3> 규정에 관계없이 바닥판 콘크리트의 합성작용을 고려한다.

표 9.11.3 합성작용의 취급

휨모멘트의 종류	합성작용의 취급	적용
정	바닥판 콘크리트를 주거더 단면의 일부로 본다.	
부	1. 인장응력을 받는 바닥판에서 콘크리트의 단면을 유효로 하는 경우. 바닥판의 콘크리트를 주거더 단면의 일부로 본다.	
	2. 인장응력을 받는 바닥판에서 콘크리트의 단면을 무시하는 경우. 바닥판 내의 교축방향 철근만을 주거더 단면의 일부로 본다.	

주) 프리스트레스하지 않는 연속합성거더의 경우 한 단면에서 활하중의 재하 상태에 따라 정 및 부의 휨모멘트가 생길 수 있다.

(3) 인장력을 받는 바닥판의 배근

① 인장력을 받는 바닥판에서 콘크리트의 단면을 유효로 하는 설계를 하는 경우에는 바닥판에 작용하는 전인장력을 철근이 받도록 한다.

② For design neglecting the concrete section on concrete slab subjected to tension, axial reinforcement for 2% of slab section shall be placed. In this case, the ratio of the perimeter length of total axial reinforcement to the slab section area shall be 0.0045mm/mm2. Reinforcement placed to deal with deck plate behavior may be considered part of the axial reinforcement.

③ Reinforcement shall be anchored to the compression part of concrete slab after passing the change point of bending moment by dead load.

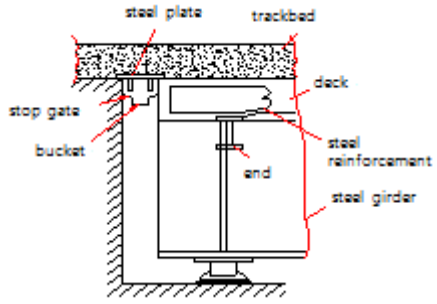
(4) Structural joints shall not be allowed on concrete slab.

(5) Compressive strength of concrete slab during composite behavior shall be more than 80% of f_{ck}.

(6) Concrete slab near the end of bridge girder

① Concrete slab at the girder end shall be braced as specified in <Fig. 9.11.5> In this case, brace shall be designed to resist the dead load in the range of <Fig. 9.11.6>, and uniaxial train load.

② Concrete slab at the girder end shall be designed according to 「9.11.9 (4)」 for the stress due to temperature difference and dry shrinkage.



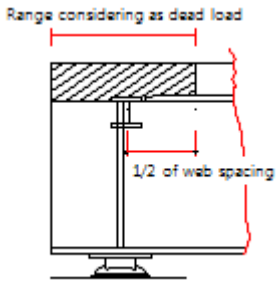


Fig. 9.11.5 Reinforced deck plate on bridge girder end Fig. 9.11.6 End brace

(7) Concrete slab of skew bridge

① Main reinforcement shall be placed perpendicular to the web plate at the center of the span of the composite girder, and shall be diagonally placed on the top and bottom of concrete slab within the range specified in <Fig. 9.11.7> on the girder end.

② Reinforcement shall be placed at the top of the point at obtuse angle on skewed bridge decks in the range specified in <Fig. 9.11.8>. Additional reinforcement shall be calculated by multiplying the positive moment at the center of span on the deck by the coefficient in <Table 9.11.4>.

② 인장력을 받는 바닥판에서 콘크리트의 단면을 무시하고 설계를 하는 경우에는 바닥판 콘크리트 단면적의 2% 이상의 교축방향 철근을 배근해야 한다. 이 경우 교축방향 철근의 총주변장의 바닥판 콘크리트의 단면적에 대한 비, 즉 주장률은 0.0045mm/mm^2 이상으로 한다. 또한 바닥판작용에 대처하기 위하여 배치된 철근을 교축방향 철근의 일부로 볼 수 있다.

③ 철근은 고정하중에 의한 휨모멘트의 부호가 변하는 점을 지나서 바닥판 콘크리트의 압축측에 정착시켜야 한다.

(4) 바닥판 콘크리트에는 구조이음을 설치해서는 안 된다.

(5) 바닥판 콘크리트의 합성작용을 줄 때에 바닥판 콘크리트 압축강도는 f_{ck}의 80% 이상이 되어야 한다.

(6) 교량거더의 단부 부근의 바닥판

① 교량거더 단부의 바닥판은 <그림 9.11.5>과 같이 단부 버팀재로 지지하는 것으로 해야 한다. 이 경우 단부 버팀재는 <그림 9.11.6>에서 나타낸 범위의 고정하중과 1축의 열차하중에 대해서 설계한다.

② 교량거더 단부의 바닥판은 온도차에 의한 응력 및 건조수축에 의한 응력에 대하여 「9.11.9(4)」와 같이 설계한다.

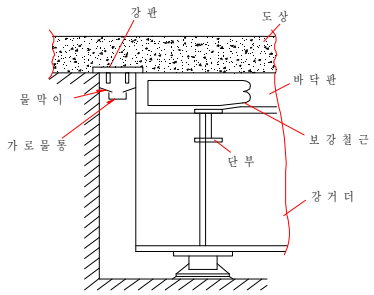


그림 9.11.5 교량거더 단부 바닥판 보강

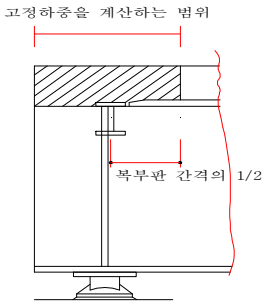


그림 9.11.6 단부 버팀재

(7) 사교의 바닥판

① 주철근 배치는 합성거더의 지간 중앙부에서는 복부판에 직각 방향으로 하고 교량거더 단부에서는 <그림 9.11.7>에 표시된 범위에서 바닥판의 상측 및 하측에 사각 방향으로 배치하는 것을 표준으로 한다.

② 사교 바닥판의 둔각부 지점의 상측에는 보강철근을 <그림 9.11.8>에 표시된 범위로 배치하는 것을 표준으로 해야 한다. 이때 가외철근량은 바닥판 지간 중앙의 정(正)휨모멘트에 <표 9.11.4>에 표시된 계수를 곱한 값의 부(負)모멘트가 생기는 것으로 하여 구한다.

Table 9.11.4 Coefficient of bending moment

Oblique angle	Coefficient of bending moment
$\theta \leq 15°$	0.6
$15° < \theta \leq 30°$	0.8

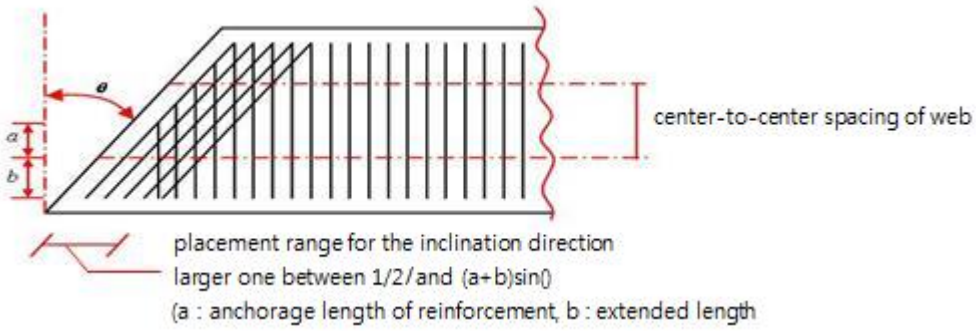


Fig. 9.11.7 Main reinforcement placed on skew bridge deck

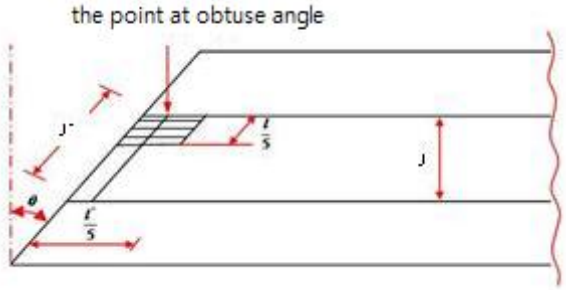


Fig. 9.11.8 Reinforcing bar on skew bridge deck

(8) Waterproofing

① Waterproofing shall be provided to the top of concrete slab with appropriate protection.

② Lateral gradient of 2% or more shall be provided on deck surface.

9.11.9 Shear connector

(1) General

① Stud illustrated in <Fig. 9.11.9> shall be the standard for shear connectors.

② Headed stud shall be used and stud welding shall cover the whole connection surface, and thus the diameter shall be 19 mm or more.

③ Shape, dimensions and tolerance of stud are described in <Table 9.11.5>.

표 9.11.4 휨모멘트의 계수

사 각	휨모멘트의 계수
$\theta \leq 15°$	0.6
$15° < \theta \leq 30°$	0.8

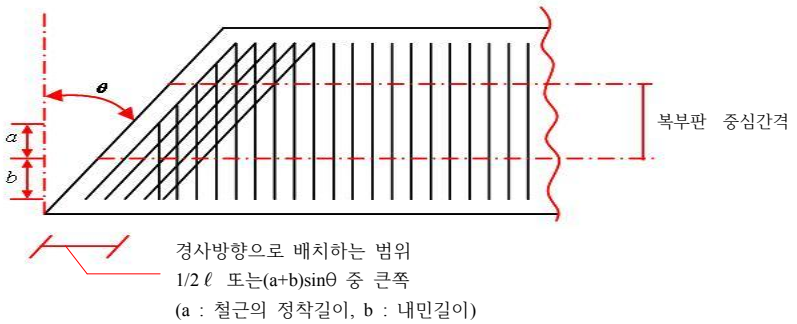


그림 9.11.7 사교바닥판의 주철근배치

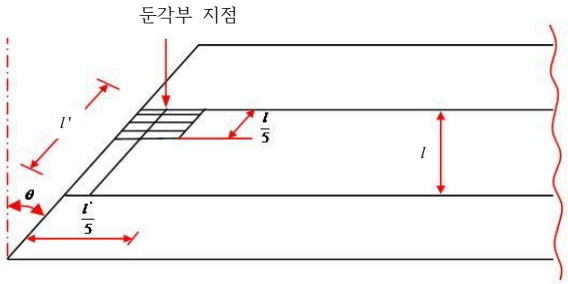


그림 9.11.8 사교바닥판의 보강철근 배치

(8) 방수공

① 바닥판 상면에는 방수공을 설치해야 하며 적절한 보호공을 해야 한다.

② 바닥판 상면에는 원칙적으로 2%이상의 횡방향 경사를 설치하는 것으로 한다.

9.11.9 전단연결재

(1) 전단연결재 일반

① 전단연결재에는 <그림 9.11.9>에 표시한 것과 같은 스터드(stud)를 표준으로 한다.

② 스터드는 머리붙임 스터드를 사용하며 스터드 접합면 전체가 융합되는 스터드 용접을 하는 것을 원칙으로 하고, 스터드의 지름은 19mm 이상으로 한다.

③ 스터드의 형상, 치수 및 그의 허용차 등은 <표 9.11.5>를 표준으로 해야 한다.

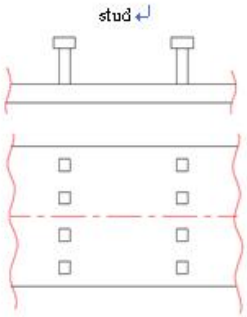
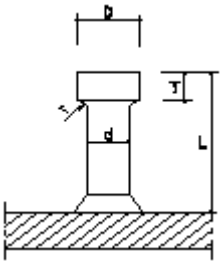


Fig. 9.11.9 Shear connector (stud)

Table 9.11.5 Shape, dimensions and tolerance of stud (mm)

No	Stem Dia (d)		Head Dia (D)		Min. head thickness (T)	Haunch Rad (r)	Standard shape and dimensions symbol
	Standard	Tolerance	Standard	Tolerance			
19	19.0	± 0.4	32.0	± 0.4	10	2 ~ 3	
22	22.0		35.0				
25	25.0		38.0				

(2) Shear connector shall be designed to resist the largest axial shear force between concrete slab and steel girder.

(3) Adhesive stress between concrete slab and steel girder shall be ignored.

(4) Shear force N_c occurring due to the dry shrinkage of concrete and difference in temperature on concrete slab and steel girder shall be considered to have a triangular distribution on the base a at the girder end ([a] is the interval of main girder or 1/10 of span, whichever is less) and shear connector within the range shall resist the force (see <Fig. 9.11.10>).

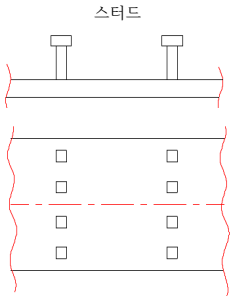
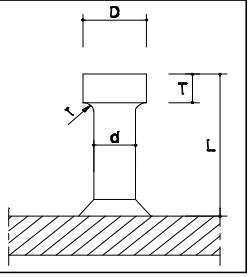


그림 9.11.9 전단연결재(스터드)

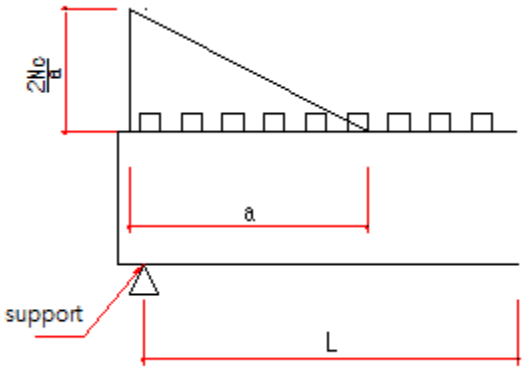
표 9.11.5 스터드의 형상, 치수 및 허용차(mm)

호칭	줄기지름(d)		머리지름(D)		머리두께 (T) 최소	헌치부 반지름(r)	표준형상 및 치수표시 기호
	기준치수	허용차	기준치수	허용차			
19	19.0	±0.4	32.0	±0.4	10	2 ~ 3	
22	22.0		35.0				
25	25.0		38.0				

(2) 전단연결재는 바닥판과 강거더와의 사이에 작용하는 교축방향의 가장 큰 전단력에 대하여 설계한다.

(3) 바닥판 콘크리트와 강거더 사이의 부착응력은 무시한다.

(4) 콘크리트의 건조수축 및 바닥판과 강거더와의 온도차에 의하여 생기는 전단력 N_c는 교량거더 단부에서 저변 a(a는 주거더 간격 또는 지간의 1/10 중 작은 값)에 삼각형 분포를 하는 것으로 하고 그 범위에 있는 전단연결재가 부담하도록 한다.(<그림 9.11.10> 참조)



How to take L: (1) A simple composite girder, L: span

(2) Continuous composite girder, L: sum of span

Fig. 9.11.10 Distribution of shear force

(5) Allowable load bearing capacity of stud and arrangement

① Allowable load bearing capacity

A. Allowable load bearing capacity of stud (Q_a) is calculated according to <Eq. 9.11.16> ~ <9.11.17>.

$$H/d \geq 5.5,\quad Q_a = 9.5d^2\sqrt{f_{ck}}\quad (\mathrm{N}) \qquad (9.11.16)$$

$$H/d < 5.5,\quad Q_a = 1.74dH\sqrt{f_{ck}}\quad (\mathrm{N}) \qquad (9.11.17)$$

where, v_{min}: Min shear stress on stud (MPa)

v_{max}: Max shear stress on stud (MPa)

H: Total height of stud (mm)

d: Stem diameter of stud (mm)

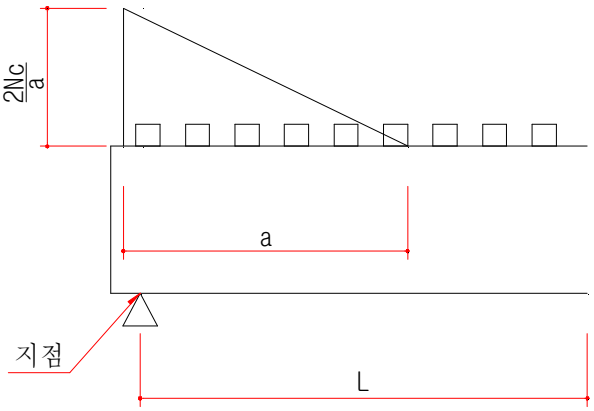
② Arrangement of shear connector

A. Stud head shall be embedded in concrete slab beyond haunch.

B. Two or more studs shall be arranged perpendicular to the axis.

C. The minimum spacing of stud shall be 5d (but 100 mm or more) in the axial direction and d+30 mm perpendicular to axis, where d refers to the diameter of stud stem.

D. Minimum net distance between stud and steel girder flange edge shall be 25 mm.



L을 취하는 법 : (1) 단순합성거더의 경우 L : 지간
(2) 연속합성거더의 경우 L : 지간의 합계

그림 9.11.10 전단력 분포

(5) 스터드의 허용내하력 및 배치

① 허용내하력

가. 스터드의 허용내하력(Q_a)는 <식 9.11.16>~<식 9.11.17>으로 계산한다.

$H/d \geq 5.5$ 의 경우 $Q_a = 9.5d^2\sqrt{f_{ck}}$ (N) (9.11.16)

$H/d < 5.5$ 의 경우 $Q_a = 1.74dH\sqrt{f_{ck}}$ (N) (9.11.17)

여기서, $v_{\min}$: 스터드에 작용하는 최소전단응력(MPa)
$v_{\max}$: 스터드에 작용하는 최대전단응력(MPa)
H : 스터드의 전 높이(mm)
d : 스터드의 줄기지름(mm)

② 전단연결재의 배치

가. 스터드의 머리는 헌치 부분에서 그치지 않고 바닥판 속에 있는 것을 원칙으로 한다.

나. 스터드는 교축직각방향으로는 2개 이상을 배치한다.

다. 스터드의 최소 중심간격은 교축방향에 있어서 $5d$(단, 100mm이상)로 하고 교축직각 방향에 있어서는 $d+30\,\mathrm{mm}$로 한다. 여기서, d는 스터드 줄기의 지름이다

라. 스터드와 강거더 플랜지 연단과의 최소 순간격은 25mm로 한다.

9.12 Truss

9.12.1 General

(1) This provision shall be applied to the design of the superstructure, with truss as the main structure.

(2) This provision may be applied to spandrel braced arch, or truss member of truss-reinforced arch.

(3) General information on truss members shall be in accordance with 「9.3 and 9.5」

(4) General information on horizontal bracing, vertical bracing and portal bracing for truss shall be in accordance with 「9.9」.

(5) The panel point of truss shall be designed to ensure the rational and accurate transfer of the force is accomplished, and shall be designed as a simple structure for easy assembly, inspection, drainage, cleaning and maintenance.

(6) Notation

b = Width of member for contact by gusset plate (mm)

l = Effective buckling length of truss member (mm)

t = Thickness of gusset plate (mm)

P = Maximum force of the member connected to gusset plate (kN)

9.12.2 Member

(1) Characteristics of the member

① Centroid shall be arranged to coincide with the center of section as well as frame line to reduce the secondary stress.

② Weld metal, in combining the members, shall be arranged to be symmetric both horizontally and vertically.

③ Chord, short, short beam or diagonal member in the middle of a continuous truss shall be designed as box girder section, and in this case, the section area of the plate in parallel with truss shall be 40% or more of the gross section area of the member.

④ Slenderness ratio for the gyration of the perimeter of the vertical axis of the member in 「③」 shall be less than the horizontal axis. In a pony truss, vertical and horizontal slenderness ratio shall be 1:1.5.

⑤ Verification of the strength of a short beam when bending moment is applied shall be in accordance with 「9.5.3」.

(2) Length of member

① The length of truss members shall be the same as the length of the frame.

② The effective buckling length of a compression member shall be in accordance with 「(3)」.

9.12 트러스

9.12.1 일반내용

(1) 이 절은 주구조가 트러스인 상부구조의 설계에 적용해야 한다.

(2) 스팬드럴 브레이스드 아치(spandrel braced arch) 또는 트러스 보강형 아치의 트러스 부재 등의 설계에 이 절을 따를 수 있다.

(3) 트러스를 구성하는 부재의 일반사항에 관한 것은 「9.3항 및 9.5항」의 규정을 따라야 한다.

(4) 트러스에 설치되는 수평브레이싱, 수직브레이싱 및 교문브레이싱의 일반사항은 「9.9항」의 규정을 따라야 한다.

(5) 트러스의 격점은 힘의 전달이 합리적이면서 확실하게 이루어지도록 설계해야 할 뿐만 아니라, 가능하면 단순한 구조로 설계하여 각 부재의 연결이 쉽고 검사나 배수, 청소 등의 유지관리 작업이 지장없이 시행될 수 있도록 배려되어야 한다.

(6) 기호

b = 연결판 부재가 연결판에 접하는 부재폭(mm)

l = 트러스 부재의 유효좌굴길이(mm)

t = 연결판의 두께(mm)

P = 연결판에 연결된 한 부재의 최대작용력(kN)

9.12.2 부재

(1) 부재의 구성

① 단면의 구성에 있어서는 단면의 도심이 가능한 한 단면의 중심과 일치하도록 하고, 또한 골조선에 일치하도록 배려하는 등, 2차응력이 가능한 한 작게 되도록 한다.

② 부재의 조합에 있어서는 용접부가 좌우는 물론 상하로도 가급적 대칭인 위치에 오도록 고려하여 설계한다.

③ 트러스의 현재, 단주 및 연속트러스의 중간지점에 설치한 사재 등은 박스거더 단면 부재로 설계한다. 이 경우 트러스면에 평행한 판의 단면적은 부재 총단면적의 40%이상으로 한다.

④ 「③항」에서 부재의 수직축 둘레의 단면2차반지름에 대한 세장비는 수평축에 대한 것보다 작게 한다. 또 포니트러스에서는 수직과 수평세장비의 비를 1:1.5로 한다.

⑤ 단주 등에 있어서 휨모멘트가 가해지는 경우에 강도의 검산은 「9.5.3항」의 규정을 따른다.

(2) 부재의 길이

① 트러스 부재의 길이는 골조의 길이로 한다.

② 압축부재의 유효좌굴길이는 다음의 「(3)항」규정에 의한다.

③ The length of the member when calculating the in-plane slenderness ratio of a web plate truss shall be 0.9 times the frame length. When it comes to horizontal bracing as specified in <Fig 9.12.1>, in-plane length shall be $\overline{pp}$ and out-of-plane shall be $\overline{pa}$. When horizontal bracing is supported by a solid hanger from the stringer, the length in-plane perpendicular to horizontal bracing surface shall be $\overline{bb}$ or $\overline{pb}$ and on other planes, the length shall be $\overline{ab}$ or $\overline{pb}$.

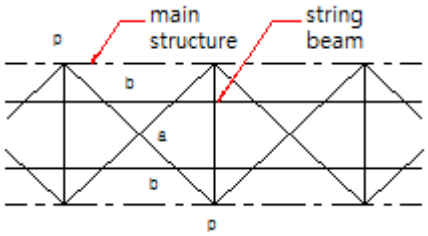


Fig. 9.12.1 Length of the member on horizontal bracing

(3) Effective buckling length of truss member

① In-plane

A. The effective buckling length of haunch shall be the same as the frame length.

B. The effective buckling length of web plate connected to chord by connecting plates may be the spacing of a high-strength bolt group, but shall not be less than 0.8 times the frame length. For a structure without connecting plates at both sides of the member in horizontal or vertical bracing, it shall be 0.9 times the frame length.

C. When the intermediate support of the member is effectively supported by another member, the spacing between supports shall be the effective buckling length. Here, "effectively supported" refers to the case in which the connection between the diagonal member D and brace T is sufficient as shown in <Fig. 9.12.2>, and the brace is designed as a secondary compression member in 「9.3.5」. Strength of the connection between the diagonal member D and brace T shall be 1/4 of the strength of the connection between the diagonal member D and chord.

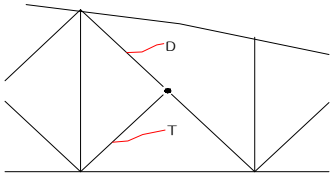


Fig 9.12.2 Diagonal member with brace

③ 인장력을 받는 복부재의 트러스면 내의 세장비를 구할 때의 부재의 길이는 골조 길이의 0.9배로 한다. 또한 <그림 9.12.1>과 같은 수평브레이싱의 경우에는 수평브레이싱면에 수직한 면 내에서는 $\overline{pp}$, 그 이외의 면 내에서는 $\overline{pa}$를 부재의 길이로 본다. 이 경우 세로보 등으로부터 견고한 행어로 수평브레이싱 부재를 지지하는 경우에는 수평브레이싱면에 수직한 면 내에서는 $\overline{bb}$ 또는 $\overline{pb}$를, 기타의 면 내에서는 $\overline{ab}$ 또는 $\overline{pb}$를 부재의 길이로 취할 수 있다.

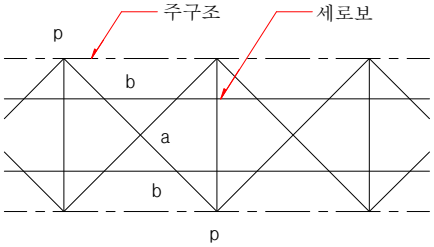


그림 9.12.1 수평 브레이싱에서 부재의 길이

(3) 트러스 부재의 유효좌굴길이

① 트러스면 내

가. 현재의 유효좌굴길이는 부재의 골조길이로 한다.

나. 연결판에 의해 현재에 연결된 복부재의 유효좌굴길이는 연결고장력 볼트군의 중심간 거리를 취하여도 무방하다. 다만 골조 길이의 0.8배 이하가 되어서는 안 된다. 또한 수평브레이싱이나 수직브레이싱 등의 부재에서 부재의 양면에 연결판을 대지 않은 구조에서는 골조 길이의 0.9배를 취한다.

다. 부재의 중간점을 다른 부재가 유효하게 지지하는 경우에는 그 지지점간을 유효좌굴길이로 한다. 여기에서 유효하게 지지한다는 뜻은 예를 들면, <그림 9.12.2>와 같이 사재 D와 버팀부재 T와의 연결이 충분하고, 또한 버팀부재가 「9.3.5항」에 규정된 부압축재로 설계되어 있는 경우를 말한다. 이때, 사재 D와 버팀부재 T와의 연결부의 강도는 적어도 사재 D와 현재와의 연결부의 강도의 1/4이상으로 한다.

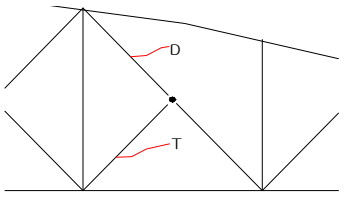


그림 9.12.2 버팀부재가 있는 사재

② Effective out-of-plane buckling length shall in principle be the frame length of the member. But the effective buckling length of main truss chord and web plate supported by horizontal bracing, vertical bracing and portal bracing shall be the spacing of the supports.

③ As the member $\overline{aa}$ in <Fig. 9.12.3(a)>, when a different scale of compression is applied to the members $\overline{ab}$ and $\overline{ba}$ and no brace is out-of-plane, the effective out-of-plane buckling length (l) of the member $\overline{aa}$ could be calculated using <Eq. (9.12.1)>.

$$l = \left(0.75 + 0.25\frac{P_2}{P_1}\right)L \qquad (9.12.1)$$

where, P_1, P_2 is compressive force on panel length , $\overline{ab}$, $\overline{ba}$ of member $\overline{aa}$ and

$$P_1 \geq P_2$$

And as vertical member $\overline{aa}$ of K truss in <Fig. 9.12.3(b)>, when the opposite axial force is applied to $\overline{ab}$, $\overline{ba}$ and no out-of-truss plane brace is provided, effective out-of-plane buckling length (l) of the member $\overline{aa}$ could be calculated using <Eq. 9.12.2>.

$$\left.\begin{aligned} l &= \left(0.75 - 0.25\frac{P_2}{P_1}\right)L \qquad (P_1 \geq P_2) \\ l &= 0.5L \qquad\qquad\qquad\quad (P_1 < P_2) \end{aligned}\right\} \qquad (9.12.2)$$

However, P_1 is an absolute value of compressive force and P_2 is an absolute value of tensile force. This equation may be applied when the section of the member $\overline{aa}$ is constant.



(a) (b)

Fig. 9.12.3 Out-of-plane effective buckling length of truss member with different axial forces

② 트러스면 외의 유효좌굴길이는 부재의 골조길이로 함을 원칙으로 해야 한다. 다만, 수평브레이싱, 수직브레이싱 및 교문브레이싱에 의해 지지된 주트러스 현재 및 복부재는 그 지지점간을 유효좌굴길이로 한다.

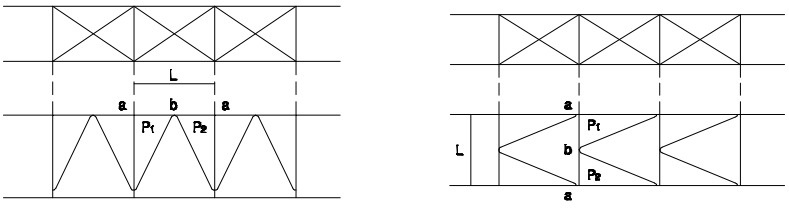
③ <그림 9.12.3(a)>에 표시된 $\overline{aa}$부재와 같이 $\overline{ab}$, $\overline{ba}$에 크기가 다른 압축력이 작용하고 트러스면 외에 버팀부재가 없는 경우, 부재 $\overline{aa}$의 트러스면 외에 대한 유효좌굴길이(l)는 <식 (9.12.1)>에 의해 구할 수 있다.

$$l = \left(0.75 + 0.25\frac{P_2}{P_1}\right) L \tag{9.12.1}$$

여기서, P_1, P_2는 부재$\overline{aa}$의 각 격간장$\overline{ab}$, $\overline{ba}$에 작용하는 압축력이며 $P_1 \geq P_2$이다. 또한 <그림 9.12.3(b)>에 표시된 K트러스의 수직재 $\overline{aa}$와 같이 $\overline{ab}$, $\overline{ba}$에 부호가 반대인 축력이 작용하고 트러스면 외에 버팀부재가 없는 경우, 부재$\overline{aa}$의 트러스면 외에 대한 유효좌굴길이(l)는 <식 9.12.2>에 의해 구할 수 있다.

$$\left.\begin{aligned} l &= \left(0.75 - 0.25\frac{P_2}{P_1}\right) L \qquad (P_1 \geq P_2) \\ l &= 0.5L \qquad\qquad\qquad\quad (P_1 < P_2) \end{aligned}\right\} \tag{9.12.2}$$

다만, P_1은 압축력의 절대치,P_2는 인장력의 절대치이다. 또한 이들 식은 부재$\overline{aa}$의 단면이 일정한 경우에 적용할 수 있다.



(a) (b)

그림 9.12.3 축력이 다른 트러스 부재의 면외 유효좌굴길이

9.12.3 Panel point

(1) Gusset plate

① When applying a high-strength bolt to the gusset plate, it shall be symmetrically arranged to the member axis, and arranged over the entire contact surface of the member and gusset plate.

② When using two gusset plates for a truss or similar structure, the thickness of each gusset plate shall be more than the value calculated according to <Eq. 9.12.3>, or shall be 11mm or more.

$$t = \frac{2.2 \cdot P}{b} \qquad (9.12.3)$$

where, t: Thickness of gusset plate (mm)

P: Maximum force of one member connected to gusset plate (kN)

b: Width of the member contacting gusset plate (mm)

③ When the gusset plate and chord or web plate of a short beam are integrated in a single body, the thickness of the gusset plate shall not be thinner than the web plate.

(2) At the section change of chord at a panel point, the plate thickness shall be varied at the section subjected to smaller member force to secure a sufficient margin length.

9.12.4 Diaphragm and bracing

(1) Diaphragm

① Diaphragm shall be provided to the panel point of truss and horizontal bracing connection in the middle of the truss member and both sides of field joint. Diaphragm at both sides of field joint shall be a closed type.

② Diaphragm shall be provided to the chord or gusset plate where the load is concentrated, such as truss bracing and cross beam connection, to ensure the force is surely transferred.

(2) Bracing

① Horizontal bracing, vertical bracing and portal bracing shall have a sufficient stiffness to maintain the three-dimensional functionality of bridges together with main truss, and arrangement shall be appropriate.

② When the members in horizontal and vertical bracing cross, the intersection between the members shall be connected.

③ Horizontal bracing shares part of the stress of chord and is subjected to additional stress caused by the effect of intermediate vertical bracing, and thus the design shall consider such effects.

9.12.3 격점

(1) 연결판(gusset plate)

① 부재를 연결하는 연결판에 고장력볼트를 사용하는 경우에는 가급적 부재축에 대칭이 되게 배치해야 하며, 또한 부재와 연결판의 접촉면 전체에 걸쳐 배치한다.

② 트러스 및 이와 유사한 구조물의 주트러스에 대하여 두 장의 연결판을 사용하는 경우에는 그 각각의 연결판의 두께는 <식 9.12.3>에 의해 산출한 값 이상, 또는 11mm이상으로 한다.

$$t = \frac{2.2 \cdot P}{b} \qquad (9.12.3)$$

여기서, t : 연결판의 두께(mm)

P : 연결판에 연결된 한 부재의 최대작용력(kN)

b : 연결된 부재가 연결판에 접하는 부재의 폭(mm)

③ 연결판과 현재 또는 단주의 복부판을 일체로 하는 구조에서는 연결판의 두께는 복부판보다 얇게 해서는 안 된다.

(2) 격점에서 현재의 단면변화는 부재력이 작은 쪽에서 판두께를 변화시켜 여유길이를 충분히 확보해야 한다.

9.12.4 다이아프램 및 브레이싱

(1) 다이아프램

① 트러스의 격점, 트러스 부재의 중간부에서 수평브레이싱 등을 연결하는 곳과 현장이음부의 양쪽에는 다이아프램을 설치한다. 또한, 현장 이음부의 양쪽의 다이아프램은 밀폐형으로 한다.

② 트러스의 받침부, 가로보의 연결점과 같이 집중력이 작용하는 부분의 현재와 연결판에는 다이아프램을 설치하여 힘의 전달이 확실히 이루어질 수 있도록 한다.

(2) 브레이싱

① 수평브레이싱, 수직브레이싱 및 교문브레이싱은 주트러스와 함께 교량이 입체적인 기능을 유지할 수 있도록 충분한 강성을 확보해야 하며, 또한 그 배치가 적정해야 한다.

② 수평브레이싱이나 수직브레이싱에서 부재를 서로 교차시킬 경우에는 부재의 교점은 연결되어야 한다.

③ 수평브레이싱은 주트러스 현재의 응력 일부를 분담할 뿐만 아니라 중간 수직브레이싱의 영향에 의한 부가응력을 받는 경우가 있기 때문에 여유 있는 설계를 한다.

④ The height of the strut of a through truss bridge shall be at least at the same level as that of the chord, and when the horizontal bracing height is lower than the chord and the strut is not provided, the connection of horizontal bracing shall be at the same height of the chord in order to install at the height of the chord.

9.12.5 Secondary stress of truss

(1) In designing the truss, the secondary stress due to rigid coupling at the panel point shall be minimized. The height of the main truss member shall be less than 1/10 the length of the member.

(2) When the secondary stress due to rigid coupling at the panel point is not insignificant, the stress of the member considering the secondary stress shall be examined.

9.12.6 Pony truss

(1) U-type structure comprising a cross beam and vertical stiffeners shall have the stiffness and strength required by 「9.10.4」. In such a case, the chord value shall be used instead of the top flange.

9.13 Arch

9.13.1 General

(1) This provision shall be applied to the design of steel arch.

(2) Given the stress concentration or complex stress flow at the load concentration point of arch bridges, a safe and rational design must be achieved considering workability.

(3) Arch axis plan

① Arch axis shall coincide with the pressure line due to load, in principle.

② Arch axis needs to coincide with the pressure line due to load, but given the load variation such as live load, it shall be determined considering the balance of total stress. Generally, to determine the arch axis, dead load or dead load + 1/2 of uniformly distributed live load shall be applied.

(4) Structural analysis

① Section force acting on arch rib is affected by the axis movement, which however is so insignificant that it can be neglected, and thus the section force shall be calculated based on the small deformation theory.

② However, when the frame line change by live load investigated according to 「9.13.2」 is not negligible, its effect shall be considered.

③ In calculating a statically indeterminate force, the section change of arch rib shall be considered.

④ 하로 트러스교의 스트럿의 높이는 적어도 부착할 현재의 높이와 같게 한다. 또한 비재하현에 설치하는 수평브레이싱 부재를 현재에 연결하는 부분에서 수평브레이싱 높이가 현재 높이보다 낮고 스트럿이 그 부분에 없다면 수평브레이싱 부재의 연결부 부근을 현재 높이와 같게 확대해서 현재의 전 높이에 걸쳐 설치한다.

9.12.5 트러스의 2차응력

(1) 트러스의 설계에 있어서, 격점의 강결의 영향으로 인한 2차응력이 가능한 한 작게 되도록 설계한다. 주트러스 부재의 부재높이는 부재길이의 1/10보다 작게 하는 것이 바람직하다.

(2) 격점의 강결에 의한 2차응력이 무시할 수 없는 범위에 있는 경우에는 2차응력을 고려한 부재의 응력검토를 시행해야 한다.

9.12.6 포니트러스(pony truss)

(1) 가로보와 수직보강재로 형성되는 U형구조는 「9.10.4항」에 규정하는 강성과 강도를 확보해야 한다. 단 이 경우에는 상부플랜지 대신에 현재의 값을 사용한다.

9.13 아치

9.13.1 일반내용

(1) 이 절은 강아치교의 설계에 적용한다.

(2) 아치교의 하중집중점에서는 응력집중현상이나 복잡한 응력의 흐름이 생기므로 제작상의 작업성을 고려하면서 안전성 또한 합리적인 설계를 해야 한다.

(3) 아치축선의 계획

① 아치축선은 하중에 의한 압력선과 일치시키는 것을 원칙으로 한다.

② 아치축선은 하중에 의한 압력선과 일치시키는 것이 바람직하지만, 활하중 등의 변동하중이 있기 때문에 가능한 전체적인 응력의 균형을 고려하여 결정한다. 일반적으로 아치축선을 정하는 압력선을 구하는 하중은, 고정하중 또는 고정하중에 등분포 활하중의 1/2을 만재한 상태의 하중을 적용한다.

(4) 구조해석

① 아치리브에 발생하는 단면력은 축선이동의 영향을 받지만 일반적인 경우, 이 영향이 작아서 무시할 수 있으므로 미소변형이론에 기초하여 단면력을 계산한다.

② 단, 활하중에 의해 생기는 골조선의 모양의 변화가 「9.13.2항」의 규정에 의해 검사하여 무시할 수 없는 경우에는 그 영향을 고려해야 한다.

③ 부정정력을 계산함에 있어서는, 아치리브 단면변화의 영향을 고려해야 한다.

(5) Section and buckling stability

① In determining the arch and section shape, in-plane and out-of-plane buckling and bending moment and axial force shall be considered in the design.

② Analysis of arch rib shall be carried out for all combination of train loads, and the investigation of the relevant section shall be carried out.

9.13.2 Effect of displacement

(1) For an arch bridge where dead load per arch structure is greater than w as calculated by <Eq. (9.13.1)>, the deformed shape caused by dead and live load shall be considered in designing the main structure. But in an arch bridge where the stiffening girder is subjected to axial force, this may be neglected.

$$w = \frac{8\alpha}{\gamma} \cdot \frac{EI}{L^3} \cdot \frac{f}{L} \qquad (9.13.1)$$

where, E: Vertical elastic modulus (MPa)

I: Mean moment of inertia of sideway arch member to in-arch plane bending (mm^4); for reinforced arch, sum of arch and reinforced girder is applied

L: Span of arch (mm)

f: Height of arch (mm)

α : In-plane buckling coefficient of arch in <Table 9.13.1>

γ : Correction factor in <Table 9.13.1>

(5) 단면 검토 및 좌굴에 대한 안정 검사

① 아치의 모양과 부재단면의 모양을 선정할 때에는 면내·외의 전체 좌굴이 생기지 않도록 배려함과 동시에 부재는 휨모멘트와 축방향력을 받는 부재로서도 안전하도록 설계한다.

② 아치리브는 열차의 편재하 및 부분재하의 모든 경우에 대해 해석하고 해당되는 단면을 검사한다.

9.13.2 변위의 영향

(1) 1개 아치구조당의 고정하중 강도가 <식 (9.13.1)>로 산출되는 w보다 큰 아치교에서는 고정하중과 활하중을 재하함에 따라 생기는 골조선의 변위의 영향을 고려하여 주구조를 설계해야 한다. 그러나 보강거더에 축방향력이 생기는 아치교에서는 이것을 무시한다.

$$w = \frac{8\alpha}{\gamma} \cdot \frac{EI}{L^3} \cdot \frac{f}{L} \qquad (9.13.1)$$

여기서, E : 종탄성계수(MPa)

I : 아치면 내의 휨에 대한 편측 아치 부재의 단면2차모멘트의 평균치(mm4), 보강아치의 경우에는 아치와 보강거더의 합을 취한다.

L : 아치의 지간(mm)

f : 아치의 높이(mm)

α : <표 9.13.1>에 표시한 아치의 면내좌굴계수

γ : <표 9.13.1>에 표시한 보정계수

Table 9.13.1 In-plane buckling coefficient α and correction factor γ

Structure \ f/L				α					r
				0.00	0.10	0.15	0.20	0.30	
Arch without reinforcement	2-hinge arch			39.5	36.0	32.0	28.0	20.0	9
	Fixed arch			81.0	76.0	69.5	63.0	48.0	
2-hinge reinforced arch with no axial force on reinforced girder	No side span			39.5	36.0	32.0	28.0	20.0	12
	When Side span is available	α	0.00	81.0	76.0	69.5	63.0	48.0	
			0.25	63.0	58.5	52.5	47.0	34.5	
			0.50	55.5	51.5	46.5	41.5	30.5	
			0.75	51.5	48.0	43.0	38.5	28.5	
			1.00	49.0	45.5	41.0	36.5	27.0	
			2.00	45.0	41.0	36.5	32.0	22.5	

where, (a) $\lambda = \frac{a}{L}(1 + I_A / I_G)$ (9.13.2)

a: Length of side span of reinforced girder (mm)

L: Span of arch (mm)

I_A : Mean moment of inertia of side arch for in-plane bending (mm^4)

I_G : Mean moment of inertia of side stiffening girder (mm^4)

(b) When f/L and λ are a median value in <Table 9.13.1>, a is linearly interpolated before calculation

(c) For $\lambda > 2$ as 2-hinge arch, α shall use 2-hinge arch value without, but γ shall use 12

9.13.3 Buckling of arch

(1) In-plane buckling

① Stability for in-plane buckling

A. Horizontal force (H) on an arch bridge shall satisfy <Eq. 9.13.3>.

$$\nu H \leqq H_{cr} \tag{9.13.3}$$

where, H: Axial horizontal reaction on arch bridge (N)

ν: Safety factor (S.F. = 1.7)

H_{cr}: Critical horizontal force in ② (N)

표 9.13.1 면내좌굴계수 α 및 보정계수 γ

구조형식 \ f/L				α					γ
				0.00	0.10	0.15	0.20	0.30	
무보강 아치	2힌지 아치			39.5	36.0	32.0	28.0	20.0	9
	고정 아치			81.0	76.0	69.5	63.0	48.0	
보강거더에 축방향력이 생기지 않는 2힌지 보강아치	측경간이 없는 경우			39.5	36.0	32.0	28.0	20.0	12
	측경간이 있는 경우	λ	0.00	81.0	76.0	69.5	63.0	48.0	
			0.25	63.0	58.5	52.5	47.0	34.5	
			0.50	55.5	51.5	46.5	41.5	30.5	
			0.75	51.5	48.0	43.0	38.5	28.5	
			1.00	49.0	45.5	41.0	36.5	27.0	
			2.00	45.0	41.0	36.5	32.0	22.5	

여기서, (a) $\lambda = \frac{a}{L}(1 + I_A/I_G)$ (9.13.2)

a : 보강거더의 측경간의 지간(mm)

L : 아치의 지간(mm)

I_A : 면 내의 휨에 대한 편측 아치부재의 단면2차모멘트의 평균치(mm4)

I_G : 편측보강거더의 단면2차모멘트의 평균치(mm4)

(b) f/L 및 λ가 <표 9.13.1>에 표시한 값의 중간 값으로 될 경우에는 α를 선형적으로 보간하여 산출한다.

(c) 2힌지 보강아치로서 $\lambda > 2$ 인 경우 α는 2힌지 무보강아치의 값을 사용한다. 다만 γ는 12를 사용하는 것으로 해야 한다.

9.13.3 아치의 좌굴

(1) 면내 좌굴

① 면내 좌굴에 대한 안정검토

가. 아치교에 작용하는 수평력(H)는 <식 9.13.3>을 만족해야 한다.

$$\nu H \leqq H_{cr} \quad (9.13.3)$$

여기서, H : 아치교에 작용하는 교축방향 수평반력(N)

ν : 안전률(S.F.=1.7)

H_{cr} : ②항의 한계수평력(N)

② Critical horizontal force

A. For the cases except for a two-hinge arch bridge, critical horizontal force (H_{cr}) may be expressed with <Eq. (9.13.4)>.

$$H_{cr} = \alpha \frac{E \cdot I_y}{L^2} \tag{9.13.4}$$

where, α: For the in-plane buckling coefficient in <Table 9.13.2> and 2-hinge arch with a pin at both ends, it shall be as in <Eq. (9.13.5)>

$$\alpha = 4\pi^2 \left\{1 - 8\left(\frac{f}{L}\right)^2\right\} \tag{9.13.5}$$

(2) Out-of-plane buckling

① Scope of application

A. Out-of-plane buckling shall be examined for an arch bridge with an arch interval that is short with respect to span.

B. Out-of-plane buckling may not be considered for an arch bridge with a span-to-arch interval ratio less than 20 and f/L less than 1/6 and sufficient braces.

C. Out-of-plane buckling shall be examined under the load condition as shown in <Fig 9.13.1>.

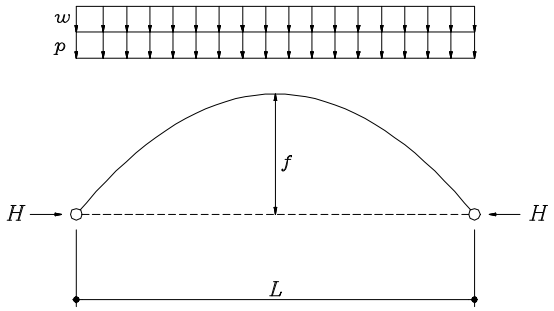


Fig. 9.13.1 Loading for reviewing out-of-plane buckling

where, w, p: uniform fixed load and live load on main structure

② Stability to out-of-plane buckling

A. When the arch axis is on the vertical line and forms the symmetric parabola and the brace is provided according to <9.9> while the members are generally at the same height, out-of-plane buckling shall be examined according to <Eq. (9.13.6)>.

② 한계수평력

가. 2힌지 아치교 이외의 경우에 대해서도 한계수평력(H_{cr})은 <식 (9.13.4)>와 같이 쓸 수 있다.

$$H_{cr} = \alpha \frac{E \cdot I_y}{L^2} \qquad (9.13.4)$$

여기서, α : <표 9.13.2>의 면내좌굴계수로서 양단핀의 2힌지 아치의 경우 <식 (9.13.5)>와 같다.

$$\alpha = 4\pi^2 \left\{ 1 - 8 \left(\frac{f}{L} \right)^2 \right\} \qquad (9.13.5)$$

(2) 면외좌굴

① 적용범위

가. 아치의 간격이 지간에 비하여 작은 아치교에서는 면외좌굴에 대한 안전성을 검토해야 한다.

나. 지간과 아치의 간격의 비가 20 이하이고, f/L 이 1/6 이하이며 충분한 브레이싱이 설치된 아치교에서는 일반적으로 면외좌굴에 대한 검토가 필요치 않다.

다. 아치교의 면외좌굴은 <그림 9.13.1>에 표시한 재하상태에 대하여 검토하는 것을 원칙으로 한다.

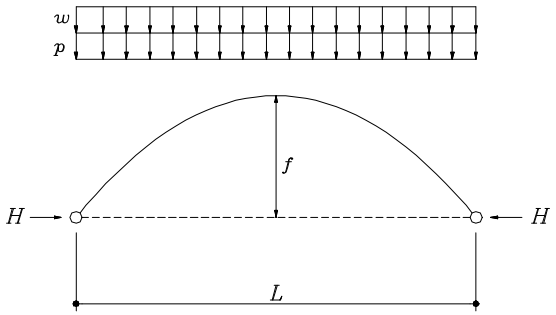


그림 9.13.1 면외좌굴의 검토에 사용하는 재하 상태

여기서, w, p : 주구조에 작용하는 등분포 고정하중 및 활하중

② 면외좌굴에 대한 안정검토

가. 아치축선이 연직면 내에 있고 대칭 포물선을 이루며, 부재가 대체적으로 같은 높이의 아치에서 브레이싱이 9.9의 규정에 준하여 설치되어 있을 경우에는 아치의 면외좌굴의 검토는 <식 (9.13.6)>을 따른다.

$$\frac{H}{A_g} \leqq 0.85 f_{ca} \qquad (9.13.6)$$

where, H: Horizontal element (N) of axial force on side arch member by the load in <Fig. 9.13.1>

A_g: Mean value of total section area of side arch member (mm^2)

f_{ca}: Allowable axis compressive stress (MPa) at L/4 point of side arch member

However, effective buckling length (mm) and radius of gyration of area (mm) shall be in accordance with 「③」.

③ In reviewing 「②」, the effective buckling length (l) and radius of gyration of area (r) shall be in accordance with <Eq. (9.13.7)>.

$$l = \phi \beta L$$
$$r = \sqrt{\{I_z + A_g (b/2)^2\} / A_g} \qquad (9.13.7)$$

where, I_z: Mean moment of inertia (mm^4) for vertical axis of side arch member

A_g: Mean value of total section area of side arch member (mm^2)

b: Spacing between arch axis (mm)

β: Value indicated in <Table 9.13.2> median value of f/L shall be subject to linear interpolation.

ϕ: Value indicated in <Eq. (9.13.8)>.

(ⅰ) $Through reinforce arch$
$\phi = 1 - 0.35k$

(ⅱ) $deck reinforcing arch$
$\phi = 1 + 0.45k$ (9.13.8)

(ⅲ) $half through reinforcing arch$
$\phi = 1$

k: k value determined considering the load by hanger or beam as $(p+w)k$ while loading as shown in <Fig. 9.13.1>. But when arch and reinforcing girder are not rigid coupled on arch crown of deck reinforcing arch, $k=1$

$$\frac{H}{A_g} \leq 0.85 f_{ca} \qquad (9.13.6)$$

여기서, H : <그림 9.13.1>에 나타낸 재하에 의하여 편측 아치부재에 작용하는 축방향력의 수평성분(N)

A_g: 편측 아치부재의 총단면적의 평균치(mm^2)

f_{ca}: 편측 아치부재의 $L/4$점의 허용축방향 압축응력(MPa)

단, 유효좌굴길이(mm) 및 단면2차반지름(mm)은 「③항」을 따른다.

③ 「②항」의 검토에 있어서 유효좌굴길이(l) 및 단면2차반지름(r)은 각각 <식 (9.13.7)>을 따른다.

$$\left.\begin{aligned} l &= \phi\beta L \\ r &= \sqrt{\{I_z + A_g(b/2)^2\}/A_g} \end{aligned}\right\} \qquad (9.13.7)$$

여기서, I_z : 편측 아치부재의 연직축 주위에 대한 단면2차모멘트의 평균치(mm4)

A_g : 편측 아치부재의 총단면적의 평균치(mm2)

b : 아치축선의 간격(mm)

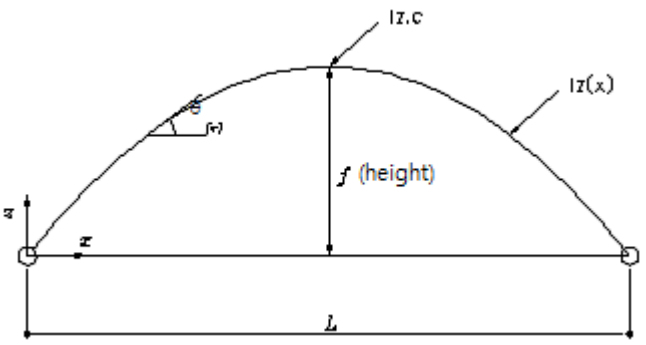
β : <표 9.13.2>에 표시한 값, 여기서 f/L의 중간값에 대해서는 선형보간해야 한다.

ϕ : <식 (9.13.8)>에 규정하는 값

$$\left.\begin{aligned} &\text{(i) 하로보강아치} \quad \phi = 1 - 0.35k \\ &\text{(ii) 상로보강아치} \quad \phi = 1 + 0.45k \\ &\text{(iii) 중로보강아치} \quad \phi = 1 \end{aligned}\right\} \qquad (9.13.8)$$

k : <그림 9.13.1>의 재하상태에 있어서 행어 또는 지주가 분담하는 하중을 $(p+w)k$로 보고 구해지는 k의 값. 다만, 상로 보강 아치에서 아치와 보강 거더를 아치 크라운부위에서 강결하지 않았을 때는 k=1로 한다.

Table 9.13.2 β value for out-of-plane buckling

Arch height ratio f/L / Section					
	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40
I_z= schedule	0.50	0.54	0.65	0.82	1.07
$I_z(x) = I_{z,c}/\cos\theta(x)$	0.50	0.52	0.59	0.71	0.86

9.13.4 Design of member

(1) Arch rib

① In principle, arch rib shall be designed as the member subjected to the combined axial compression and flexure.

② In calculating the equivalent bending moment used for buckling, the spacing between the straight line linking adjacent panel points and the member axis shall be considered when the eccentricity of the member section for the frame line and the axis of the member form a curve. When the bending moment at the panel center is greater than the bending moment at the panel point, greater value may be taken as the equivalent bending moment. When the arch curve is continuous, the spacing between the straight line linking panel points and arch axis at the panel center shall be calculated according to <Eq. (9.13.9)>.

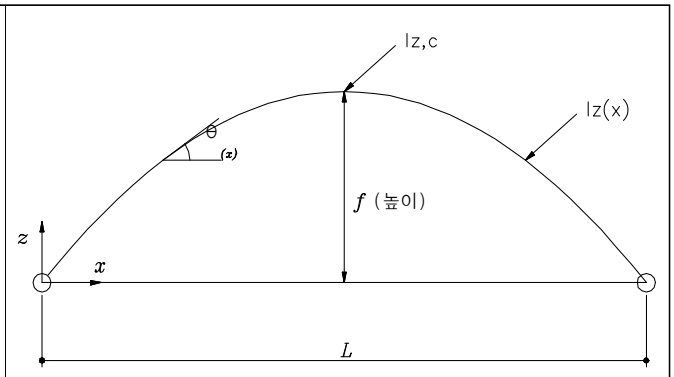
$$e = \frac{f}{n^2} \qquad (9.13.9)$$

where, e: Spacing between straight line linking panel points and arch axis (mm)

f: Height of arch (mm)

n: Number of panel points

표 9.13.2 면외좌굴에 대한 β 의 값



아치높이의 비 f/L / 단면	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40
I_z = 일정	0.50	0.54	0.65	0.82	1.07
$I_z(x) = I_{z,c}/\cos\theta(x)$	0.50	0.52	0.59	0.71	0.86

9.13.4 부재의 설계

(1) 아치리브

① 아치리브는 축방향 압축력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재로서 설계함을 원칙으로 한다.

② 좌굴의 검토에 사용할 환산 휨모멘트의 산출에 있어서는 부재단면의 도심의 골조선에 대한 편심량 및 부재축선이 곡선을 이루는 경우 서로 인접하는 격점을 잇는 직선과 부재축선과의 간격을 고려해야 한다. 이 경우 격점의 휨모멘트보다 격간 중앙점의 휨모멘트가 크다면 큰 것을 환산 휨모멘트로 하여도 무방하다. 또한, 아치 곡선이 연속 곡선인 경우에 서로 인접하는 격점을 잇는 직선과 아치축선과의 격간 중앙점에 있어서의 간격은 <식 (9.13.9)>로 구한다.

$$e = \frac{f}{n^2} \qquad (9.13.9)$$

여기서, e : 아치축선과 서로 인접한 격점을 잇는 직선과의 간격(mm)

f : 아치의 높이(mm)

n : 격점수

③ When the arch axis forms a straight line between panel points, there is no eccentricity on the member section, and the height of the member is 1/10 of panel or less and satisfies the following conditions, the arch member shall be designed as the member subjected to only axial force. In addition, the effective buckling length shall be a panel length.

$$\beta \frac{f_{ca}{}^{A}}{f_{ta}} \times \frac{h^{G}}{h^{A}} > 1 \qquad (9.13.10)$$

where, h^{A}: Mean value (mm) over total length of the height of arch member

h^{G} : Mean value (mm) over total length of the height of reinforcing girder

f_{ca}^{A}: Mean value of axial compressive stress (MPa) of arch member according to allowable stress standard for structural steel and weld

f_{ta}: Mean value of allowable tensile stress (MPa) of bottom flange of reinforcing girder

β: $1.75\ (0.04+0.004\frac{l}{r})$ (axial force on reinforcing girder)

$0.04+0.004\frac{l}{r}$ (no axial force on reinforcing girder)

$\frac{l}{r}$: Slenderness ratio of arch member

(2) Reinforcing steel of stiffening arch bridges shall be designed as the member subjected to the combined axial tension and flexure.

(3) Hanger or shoring

① When calculating a hanger or shoring section force, in-plane deformation at both ends shall be assumed to be a pin.

② In designing the detailed structure where hangers or shorings are connected to stiffnening girder or arch rib, stress concentration or secondary stress shall not occur on the connection.

③ For a hanger, vibration by wind load, serviceability and stability shall be checked.

④ The allowable stress of a hanger shall be 33% of the tensile strength of a steel wire or steel bar, but when using parallel cables with anchorage connected by pins on the arch member of a through arch bridge, allowable stress may be determined separately based on the construction record and detailed review of anchorage system.

③ 「9.13.2항」에 규정된 변위의 영향을 고려할 필요가 없이 아치축선이 각 격점간에서 직선을 이루며, 부재단면에 편심이 없고 부재높이가 격간의 1/10 이하이면서 아래의 조건을 충족시키는 경우에는 아치부재를 축방향력만을 받는 부재로 설계한다. 또한, 이 경우의 유효좌굴길이는 격간 길이를 적용한다.

$$\beta \frac{f_{ca}{}^{A}}{f_{ta}} \times \frac{h^{G}}{h^{A}} > 1 \qquad (9.13.10)$$

여기서, h^A : 아치부재의 부재높이의 전길이에 걸친 평균값(mm)

h^G : 보강거더의 부재높이의 전길이에 걸친 평균값(mm)

f_{ca}^A : 구조용 강재 및 용접부의 허용응력의 규정에 의한 아치부재의 허용축방향 압축응력의 평균값(MPa)

f_{ta} : 보강거더의 하부플랜지의 허용인장응력의 평균값(MPa)

β : $1.75\,(0.04+0.004\frac{l}{r})$ (보강 거더에 축력이 생기는 경우)

$0.04+0.004\frac{l}{r}$ (보강 거더에 축력이 생기지 않는 경우)

$\frac{l}{r}$: 아치부재의 세장비

(2) 보강아치교의 보강형은 축방향 인장력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재로 설계한다.

(3) 행어 또는 지주

① 행어 또는 지주의 단면력을 산출할 때는 이들 양단에서 아치면 내의 변형에 대해서는 핀이라고 가정한다.

② 행어 또는 지주를 보강거더 또는 아치리브에 연결시키는 세부구조의 설계에 있어서는, 연결부에 응력집중이나 2차응력의 발생으로 인한 결함이 생기지 않도록 주의해야 한다.

③ 행어의 경우, 풍하중에 의한 진동과 사용성, 안정성을 검토해야 한다.

④ 행어의 허용응력은 강선 또는 강봉의 인장강도의 33%를 취하는 것을 원칙으로 하나, 하로아치교의 아치부재에 정착구를 핀으로 연결하는 형식의 평행강선 케이블을 사용하는 경우에는 그 시공실적과 정착구조에 대한 상세검토에 근거하여 허용응력을 별도로 정할 수 있다.

(4) Bracing

① Horizontal and vertical bracing with a sufficient strength shall be installed on an arch bridge. Horizontal bracing is the structure provided to resist the lateral load such as wind load, and thus it shall have the required strength. Two arch ribs shall be integrated to increase the resistance against out-of-plane buckling with a sufficient strength.

② When braces are not provided, the stability of arch ribs and the overall structure shall be granted.

③ Diaphragm - Diaphragm shall be provided to the support on which the force is concentrated such as the connection between arch rib and reinforcing hanger, bracing connection, bearing and cross beam connection in order to ensure the force is effectively transferred.

9.13.5 Investigation of ultimate strength

(1) When displacement is considered according to 「9.13.2」, the stress caused by 1.7 times the dead load and the live load including impact load, shall not exceed the stress f_u in <Eq. (9.13.11)>.

$$f_u = \begin{cases} 1.7 f_{ta} & \text{(Tensile stress)} \\ 1.7 f_{cal} & \text{(Compressive stress)} \end{cases} \qquad (9.13.11)$$

where, f_{ta}: Allowable axial tensile stress (MPa) described in allowable stress standard for structural steel and weld (MPa)

f_{cal}: Allowable axial compressive stress (MPa) for local buckling described in the allowable stress standard for structural steel and weld (MPa)

(2) However, when the width-to-thickness ratio of the member is reduced according to 「9.6」, the allowable compressive stress associated with the reduced maximum width-to-thickness ratio according to this provision may be applied.

9.14 Rahmen structure

9.14.1 General

(1) This provision shall be applied to the design of deck and steel piers using Rahmen structure.

(2) The center line of the member shall serve as the frame line used for structural analysis, and section force shall be calculated by assuming the strength of the member in calculating Rahmen.

(4) 브레이싱

① 아치교에는 충분한 강도의 수평 및 수직브레이싱을 설치해야 한다. 이 중 수평브레이싱은 풍하중과 같은 횡하중에 저항하는 구조이므로 소요강도를 갖고 있어야 할 뿐 아니라, 두 개의 아치리브를 일체로 만들어 아치교의 면외좌굴에 대한 저항을 높이기 위해 필요한 강도부재이므로 이에 따른 충분한 강도를 갖도록 설계해야 한다.

② 브레이싱을 생략하는 경우에는 아치리브 자체는 물론 전체 구조의 안정성 확보에 충분한 안전율을 확보해야 한다.

③ 다이아프램 - 아치리브와 보강형의 행어 연결부, 주요부재의 브레이싱 연결부, 받침부, 가로보의 연결부와 같이 집중력이 작용하는 지점부에는 다이아프램을 설치하여 힘의 전달이 확실히 되도록 한다.

9.13.5 극한강도의 검사

(1) 「9.13.2항」의 규정에 의하여 변위의 영향을 고려할 경우에는, 고정하중의 1.7배 및 충격을 포함한 활하중의 1.7배에 의하여 생기는 응력은 <식 (9.13.11)>에 표시한 응력 f_u를 넘어서는 안 된다.

$$f_u = 1.7f_{ta} \quad \text{(인장응력의 경우)}$$

$$1.7f_{cal} \quad \text{(압축응력의 경우)} \qquad (9.13.11)$$

여기서, f_{ta} : 구조용 강재 및 용접부의 허용응력의 규정에 표시한 허용축방향 인장응력(MPa)

f_{cal} : 구조용 강재 및 용접부의 허용응력의 규정에 표시한 국부좌굴에 대한 허용축방향 압축응력(MPa)

(2) 그러나 「9.6항」의 규정에 따라 부재의 폭-두께비를 완화한 경우는 본 설계기준에 의한 최대폭-두께비 완화에 따른 허용압축응력을 적용한다.

9.14 라멘구조

9.14.1 일반내용

(1) 이 절은 라멘구조를 사용하는 교량의 상부구조 및 강교각의 설계에 적용한다.

(2) 구조해석에 이용하는 골조선은 부재중심선으로 하며, 라멘의 계산에 있어서는 각 부재마다 강도를 가정하여 단면력을 산출한다.

(3) Live load considered in designing Rahmen piers shall be applied to the deck at the most unfavorable condition at which reactions resulting from the deck most significantly affect the Rahmen structure , and in the case of T-pier, maximum deck reactions due to live load shall be used. When the deck is not continuous on Rahmen pier, the support reactions due to live load on two adjacent decks, whichever is the greater effect, shall be used.

(4) Impact due to live load shall be considered in designing Rahmen structure, and when the rotation or relative movement of the foundation supporting Rahmen structure is expected, such an effect shall also be considered.

(5) Notation

f = Vertical stress considering shear lag (MPa)

f_a = Allowable tensile stress (MPa)

v = Shear stress (MPa)

v_a = Allowable shear stress (MPa)

t_f = Girder flange thickness (mm)

t_{dw} = Diaphragm web plate thickness (mm)

t_{df} = Diaphragm flange thickness (mm)

t_b = Base plate thickness (mm)

A_1 , A_2 = Section area of girder and beam (mm^2)

W_1 , W_2 = Section modulus of girder and beam (mm^3)

9.14.2 Design general

(1) Design of corner

① Design bending moment

A. Section shall be determined using the bending moment M_1 for A-A, and the bending moment M_2 for B-B as shown in <Fig. 9.14.1>.

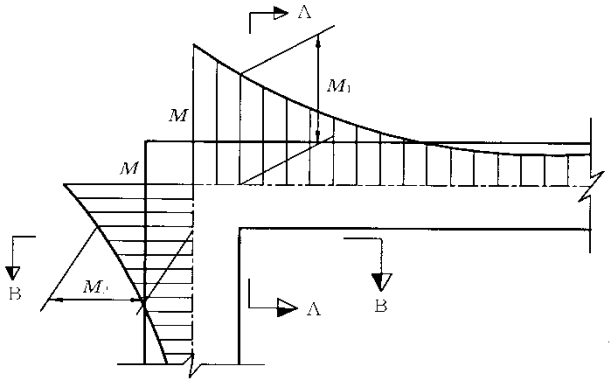


Fig 9.14.1 Design bending moment on coroner

(3) 라멘교각을 설계할 때의 활하중은 상부구조의 반력이 라멘의 고려하는 점에 대해서 가장 불리하게 되도록 상부구조에 재하해야 하며, T형교각의 경우에는 상부구조의 활하중에 의한 최대 반력을 사용한다. 이때 상부구조가 라멘교각상에서 연속구조가 아닌 경우 인접하는 두개의 상부구조에 작용하는 활하중에 의한 지점반력 가운데 고려하는 점에 큰 영향을 주는 쪽을 사용한다.

(4) 라멘구조의 설계에서는 활하중에 의한 충격을 고려해야 한다. 또한 라멘구조를 지지하는 기초구조의 회전이나 상대적 이동이 예상되는 경우 그 영향을 고려해야 한다.

(5) 기호

f = 전단지연을 고려한 수직응력(MPa)

f_a = 허용인장응력(MPa)

v = 작용전단응력(MPa)

v_a = 허용전단응력(MPa)

t_f = 거더의 플랜지 두께(mm)

t_{dw} = 다이아프램의 복부판 두께(mm)

t_{df} = 다이아프램의 플랜지 두께(mm)

t_b = 베이스 플레이트의 판두께(mm)

A_1, A_2 = 거더 및 기둥의 단면적(mm^2)

W_1, W_2 = 거더 및 기둥의 단면계수(mm^3)

9.14.2 설계일반

(1) 모서리부의 설계

① 설계휨모멘트

가. 모서리부에 작용하는 휨모멘트는 <그림 9.14.1>의 A-A 단면에 대해M_1, B-B 단면에 대해 M_2를 사용하여 단면을 결정해야 한다.

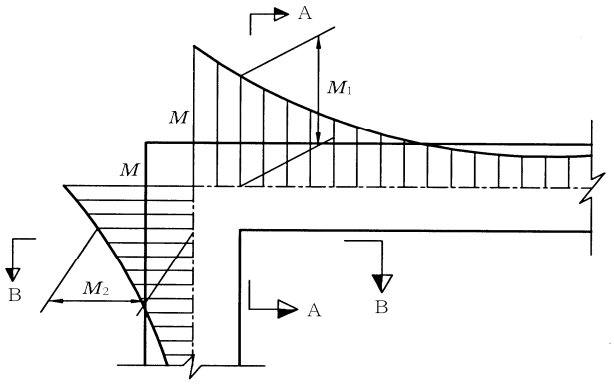


그림 9.14.1 모서리부의 설계휨모멘트

② Examination for stresses on corner

A. Flange section shall be designed for normal stress considering shear lag. Normal stress shall be accommodated by the flange and web plate, but the web plate shall not be inserted into a circular column and box girder corner, and normal stress shall be accommodated by the flange section alone.

B. Normal stress on the girder or column flange shall be under the same condition as a concentrated load, and an increase in the stress due to shear lag shall be considered because the sign of the shear stress is changed at AD or AB in <Fig 9.14.2>.

C. The maximum normal stress of flange is the sum of normal stresses due to bending moment and axial force and shear lag, and shall be calculated as follows.

(a) Vertical stress by bending moment and axial force

$$f_{o1} = \frac{M_1}{W_1} - \frac{N_1}{A_1}, \quad f_{i1} = -\frac{M_1}{W_1} - \frac{N_1}{A_1}$$
$$f_{o2} = \frac{M_2}{W_2} - \frac{N_2}{A_2}, \quad f_{i2} = -\frac{M_2}{W_2} - \frac{N_2}{A_2} \qquad (9.14.1)$$

(b) Vertical stress by shear lag

$$f_{sl} = \frac{b}{d} \cdot \frac{F}{A_w} \cdot S_I$$
$$S = \frac{A_w}{A_f} \qquad (9.14.2)$$
$$S_I = 7.805 \times \frac{S}{(S+3)^2} \sqrt{\frac{10S+30}{10S+3}}$$

(c) Maximum vertical stress of flange

$$f_{f\max} = f_{bc} + f_{sl} \qquad (9.14.3)$$

where, M_1, M_2: Bending moment on girder and beam (N·mm)

N_1, N_2: Axial force on girder and beam (N)

V_1, V_2: Shear force on girder and beam (N)

f_{bc}: Stress of $f_{o1}, f_{o2}, f_{i1}, f_{i2}$; that is, stress by bending moment and axial force on outer and inner flange of girder and beam (MPa)

f_{sl}: Flange stress by shear lag on AD and AB section (MPa)

$f_{f\max}$: Maximum stress of flange of girder and beam (MPa)

A_f: Flange section area of girder and beam (total area of same flange at top and bottom) (mm^2)

② 모서리부 응력의 검토

가. 플랜지 단면은 전단지연을 고려한 수직응력에 대하여 설계해야 한다. 또한 수직응력은 플랜지와 복부판이 분담하는 것으로 해야 한다. 다만, 원형 단면의 기둥과 박스형 단면의 거더 모서리부는 복부판을 끼워 넣지 않는 것으로 하고 수직응력은 플랜지 단면만으로 부담하도록 설계한다.

나. 거더 또는 기둥 플랜지의 수직응력은 <그림 9.14.2>의 AD 또는 AB부분에서 전단응력의 부호가 바뀌기 때문에 집중하중을 받는 것과 동일한 조건이 되고 전단지연에 의한 응력의 증가를 고려하여 결정한다.

다. 플랜지의 최대수직응력은 휨모멘트와 축력에 의한 수직응력과 전단지연에 의한 수직응력을 합한 값이며 다음의 방법에 의해 구한다.

㉮ 휨모멘트와 축력에 의한 수직응력

$$\left.\begin{aligned} f_{o1} &= \frac{M_1}{W_1} - \frac{N_1}{A_1}, \quad f_{i1} = -\frac{M_1}{W_1} - \frac{N_1}{A_1} \\ f_{o2} &= \frac{M_2}{W_2} - \frac{N_2}{A_2}, \quad f_{i2} = -\frac{M_2}{W_2} - \frac{N_2}{A_2} \end{aligned}\right\} \qquad (9.14.1)$$

㉯ 전단지연에 의한 수직응력

$$\left.\begin{aligned} f_{sl} &= \frac{b}{d} \cdot \frac{F}{A_w} \cdot S_I \\ S &= \frac{A_w}{A_f} \\ S_I &= 7.805 \times \frac{S}{(S+3)^2} \sqrt{\frac{10S+30}{10S+3}} \end{aligned}\right\} \qquad (9.14.2)$$

㉰ 플랜지의 최대수직응력

$$f_{f\max} = f_{bc} + f_{sl} \qquad (9.14.3)$$

여기서, M_1, M_2: 거더 및 기둥에 작용하는 휨모멘트(N · mm)

N_1, N_2 : 거더 및 기둥에 작용하는 축방향력(N)

V_1, V_2 : 거더 및 기둥에 작용하는 전단력(N)

f_{bc} : $f_{o1}, f_{o2}, f_{i1}, f_{i2}$의 응력 즉, 거더와 기둥의 외측 및 내측 플랜지의 휨모멘트 및 축방향력에 의한 응력(MPa)

f_{sl} : AD 및 AB 단면의 전단지연에 의한 플랜지 응력(MPa)

$f_{f\max}$: 거더 및 기둥의 플랜지 최대응력(MPa)

A_f : 거더 및 기둥의 플랜지 단면적(상·하 동일 플랜지의 전체면적)(mm^2)

A_w: Section area of web plate of girder and beam (total area of web plate at left/right) (mm^2)

S_I: Value for S which shall be calculated according to <Eq. (9.14.2)> or <Fig. 9.14.3>

b: Web plate center-to-center spacing (mm)

d: Flange center-to-center spacing of girder and beam (mm)

F: Concentration of flange in <Fig.9.14.2>; shear lag stress of girder shall use the beam and shear lag stress of beam shall use the girder

$$F_{o1} = \frac{M_1}{d_1} - \frac{N_1}{2},\ F_{i1} = \frac{M_1}{d_1} + \frac{N_1}{2}$$
$$F_{o2} = \frac{M_2}{d_2} - \frac{N_2}{2},\ F_{i2} = \frac{M_2}{d_2} + \frac{N_2}{2} \qquad (9.14.4)$$

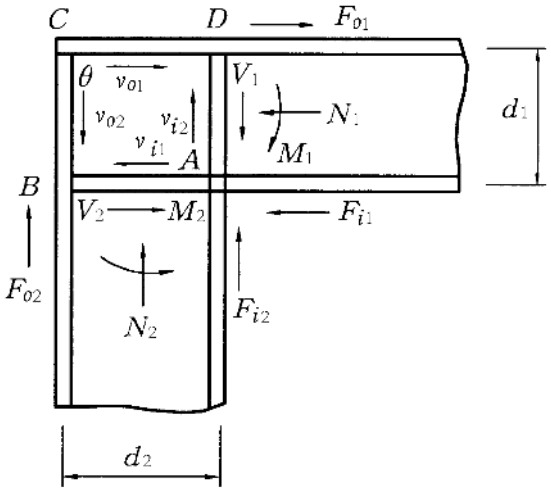


Fig. 9.14.2 External force on corner

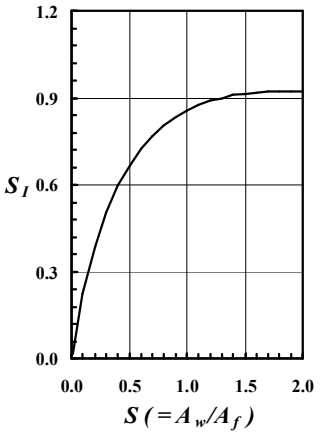


Fig. 9.14.3 Shear lag

D. At the corner of a circular column and box section girder in <Fig. 9.14.4(a)>, the stress due to shear lag of girder flange shall be converted to a box section girder as in <Fig 9.14.4(b)> using the concept in <Fig 9.14.4(c)>, and calculated.

A_w : 거더 및 기둥의 복부판 단면적(좌・우 복부판의 전체면적)(mm^2)

S_I : S에 대한 값으로 <식 (9.14.2)> 또는 <그림 9.14.3>으로 부터 구해야 한다.

b : 복부판 중심간격(mm)

d : 거더 및 기둥의 플랜지 중심간격(mm)

F : 플랜지의 집중력<그림 9.14.2>으로 거더의 전단지연응력은 기둥의 것을, 기둥의 전단지연응력은 거더의 것을 사용해야 한다.

$$\left.\begin{aligned} F_{o1} &= \frac{M_1}{d_1} - \frac{N_1}{2},\ F_{i1} = \frac{M_1}{d_1} + \frac{N_1}{2} \\ F_{o2} &= \frac{M_2}{d_2} - \frac{N_2}{2},\ F_{i2} = \frac{M_2}{d_2} + \frac{N_2}{2} \end{aligned}\right\} \qquad (9.14.4)$$

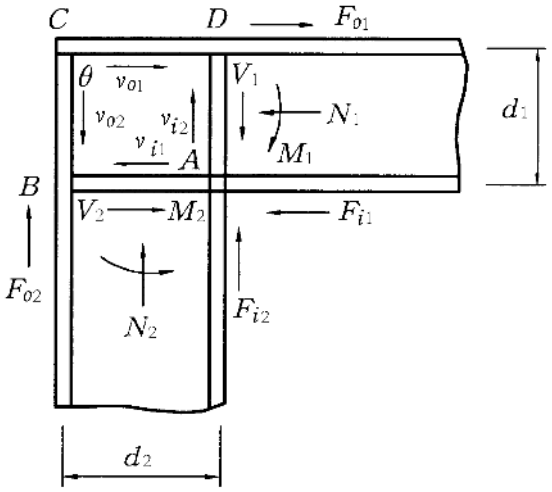


그림 9.14.2 모서리부에 작용하는 외력

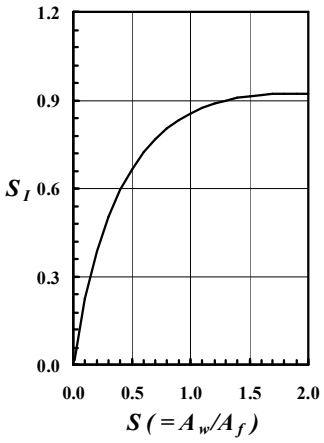
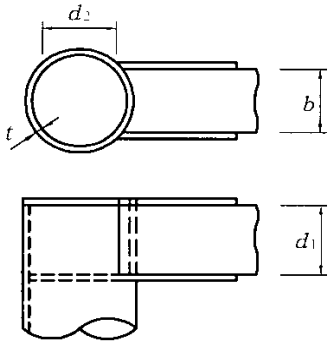
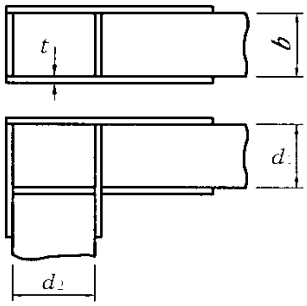


그림 9.14.3 전단지연의 추정도

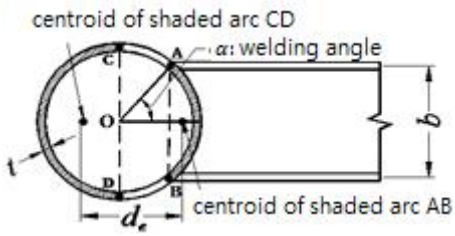
라. <그림 9.14.4(a)>과 같은 원형 단면의 기둥과 박스형 단면의 거더로 구성된 모서리부에서 거더 플랜지의 전단지연에 의한 응력은 원형 기둥을 <그림 9.14.4(c)>의 개념을 이용, <그림 9.14.4(b)>에 나타낸 것과 같은 박스형 단면으로 환산하여 <식 (9.14.2)>에 의해 계산한다.



(a) Actual section



(b) Equivalent section



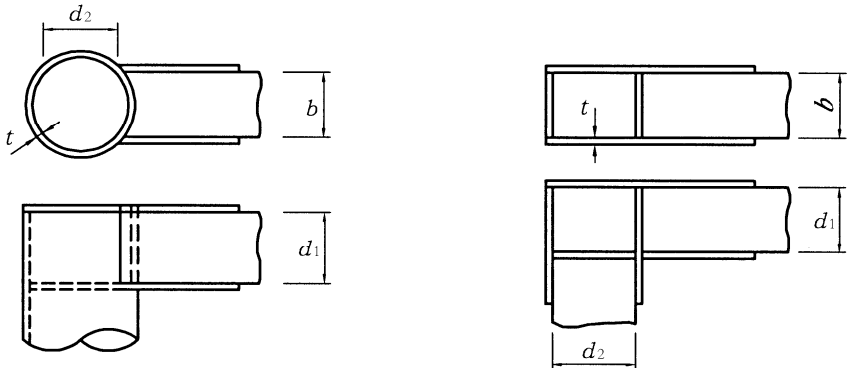
(c) Calculation of d_e ($d_e = 2R/\pi + Rsin(\alpha)/\alpha$)

Fig. 9.14.4 Corner of circular beam

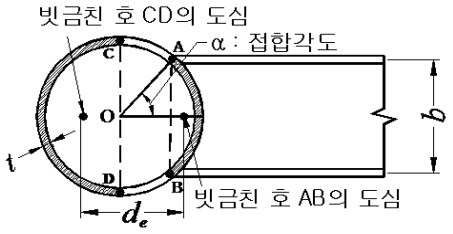
E. Web plate thickness is determined by shear stress, but when calculating the shear stress according to L. S. Beedle's method, allowable shear stress v_a could be 0.45 f_{ta} or less. When calculating the maximum shear stress of a web plate through a detailed analysis, it shall be less than the allowable shear stress v_a as defined in 「9.4.1」.

Shear stress of a web plate shall be obtained according to <Eq. (9.14.5)> (see <Fig. 9.14.2>).

$$\left.\begin{aligned} v_{o1} &= \frac{F_{o1}}{2d_2t} \\ v_{i1} &= \frac{F_{i1} - V_2}{2d_2t} = v_{o1} \\ v_{o2} &= \frac{F_{o2}}{2d_1t} \\ v_{i2} &= \frac{F_{i2} - V_1}{2d_1t} = v_{o2} \end{aligned}\right\} \qquad (9.14.5)$$



(a) 실제 단면 (b) 환산 단면



(c) d_e의 산정방법

$(d_e = 2R/\pi + Rsin(\alpha)/\alpha)$

그림 9.14.4 원형 기둥의 모서리부

마. 복부판의 판두께는 전단응력에 의해 결정한다. 다만 L. S. Beedle의 방법으로 전단응력으로 검토시 허용전단응력v_a를 $0.45f_{ta}$ 이하로 할 수 있다. 복부판의 최대전단응력을 상세해석에 의해 산출한 경우는 허용전단응력 「9.4.1항」에 규정된v_a 이하가 되도록 한다.

복부판의 전단응력은 <식 (9.14.5)>에 따라 구한다.(<그림 9.14.2> 참조)

$$\left.\begin{aligned} v_{o1} &= \frac{F_{o1}}{2d_2t} \\ v_{i1} &= \frac{F_{i1}-V_2}{2d_2t} = v_{o1} \\ v_{o2} &= \frac{F_{o2}}{2d_1t} \\ v_{i2} &= \frac{F_{i2}-V_1}{2d_1t} = v_{o2} \end{aligned}\right\} \qquad (9.14.5)$$

where, F_{o1}, F_{i1}: Concentration on beam from the girder flange (N)
F_{o2}, F_{i2}: Concentration on girder from the beam flange (N)
$v_{o1}, v_{i1}, v_{o2}, v_{i2}$: Shear stress on corner (MPa)
t: Web plate thickness on corner (mm)

F. Composite stress on the flange and web plate section shall be examined according to <Eq. 9.14.6>.

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 \leq 1.0 \qquad (9.14.6)$$

where, f Vertical stress considering shear lag (MPa)
v For flange section, shear stress calculated by shear flow theory and for web plate, shear stress calculated using L. S. Beedle's method (MPa)
f_a: Allowable tensile stress as defined in 「9.4.2」
v_a: Allowable shear stress in 「9.4.2」or $0.45 f_{ta}$ 「9.4.2」

③ Diaphragm

A. When a minimum plate thickness t_{dw} of a diaphragm is larger than a box type bottom flange thickness t_f and the same material as the girder flange is used, a diaphragm thickness may be calculated according to <Eq. (9.14.7)>. Diaphragm at the corner of a circular column shall be determined based on a review of stress, but <Eq. (9.14.7)> may be applied or a stress calculation may not be required when satisfying the requirements in 「C.」.

$$t_{dw} = t_f \cdot \left[1.8 \cdot \left(\frac{R-r}{R} - 1\right)^4 + 1\right] \qquad (9.14.7)$$

$$\frac{R-r}{R} \geqq 0.25$$

B. A plate thicker than the flange at the corner shall be used for diaphragm at the corner of the box section, and when a manhole is provided to the diaphragm at the corner, it shall be placed at the center of the section and the section loss shall be compensated by increasing the thickness of diaphragm or stiffening with the rib and fillet welds for rib, and the diaphragm shall be large enough to transfer the stress.

여기서, F_{o1}, F_{i1} : 기둥에 작용하는 보의 플랜지로부터의 집중력(N)

F_{o2}, F_{i2} : 보에 작용하는 기둥의 플랜지로부터의 집중력(N)

$v_{o1}, v_{i1}, v_{o2}, v_{i2}$: 모서리부의 전단응력(MPa)

t : 모서리부의 복부판 두께(mm)

바. 플랜지 및 복부판 단면은 <식 9.14.6>에 따라 합성응력을 검토해야 한다.

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 \leq 1.0 \qquad (9.14.6)$$

여기서, f : 전단지연을 고려한 수직응력(MPa)

v : 플랜지 단면에 대해서는 전단류이론에 의해 구한 전단응력, 복부판에 대해서는 L. S. Beedle의 방법에 의해 구한 전단응력(MPa)

f_a : 「9.4.2항」에 규정된 허용인장응력

v_a : 「9.4.2항」규정된 허용전단응력 또는 $0.45f_{ta}$

③ 다이아프램

가. 다이아프램의 최소판두께t_{dw}는 박스형보 하부플랜지 판두께t_f 이상으로 하고, 재질은 거더 플랜지의 재질과 동일한 것으로 할 때, 다이아프램의 두께는 <식 (9.14.7)>로 구할 수 있다. 원형 단면 기둥 모서리부의 다이아프램 규격은 응력검토 결과에 따라 정하는 것을 원칙으로 하나, <식 (9.14.7)>을 적용하거나, 「다.항」의 조건을 만족할 경우에는 다이아프램의 응력계산을 생략할 수 있다.

$$t_{dw} = t_f \cdot \left[1.8 \cdot \left(\frac{R-r}{R} - 1\right)^4 + 1\right] \qquad (9.14.7)$$

단, $\frac{R-r}{R} \geqq 0.25$

나. 박스형 단면 모서리부의 다이아프램에는 모서리부의 플랜지와 동일 두께 이상의 판을 사용해야 한다. 또한 모서리부의 다이아프램에 맨홀을 설치할 경우, 단면의 중앙 부근에 설치하고 단면손실분을 다이아프램의 두께를 증가시키거나 리브를 설치하여 보강하며, 이 리브와 다이아프램의 필릿용접은 응력을 전달할 수 있을 만큼 충분한 크기를 확보해야 한다.

C. When the following requirements are satisfied by an empirical Eq. for the diaphragm at the corner of a circular section, the stress calculation may be omitted. The material shall be same as that of girder flange or the equivalent.

(a) $R \leqq 1{,}500\mathrm{mm}$

(b) $t_f \leq 25\mathrm{mm}$

(c) $r \leq R/2$

(d) $t_{dw} \geqq t_f$, $t_{dw} \geqq b_{dw}/17$

(e) $t_{df} b_d \geqq 250 t_f$

where, R: Radius of circular beam (mm)

r: Radius of manhole (mm)

t_f: Thickness of girder flange (mm)

t_{dw}: Thickness of diaphragm web plate (mm)

t_{df}: Thickness of diaphragm flange (mm)

b_d: Width of diaphragm flange (mm)

b_{dw}: Height of diaphragm web plate (mm)

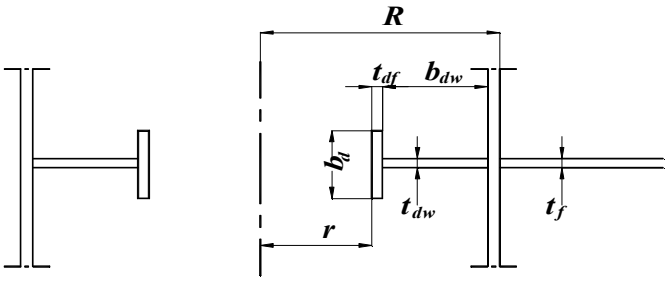


Fig. 9.14.5 Diaphragm of circular beam

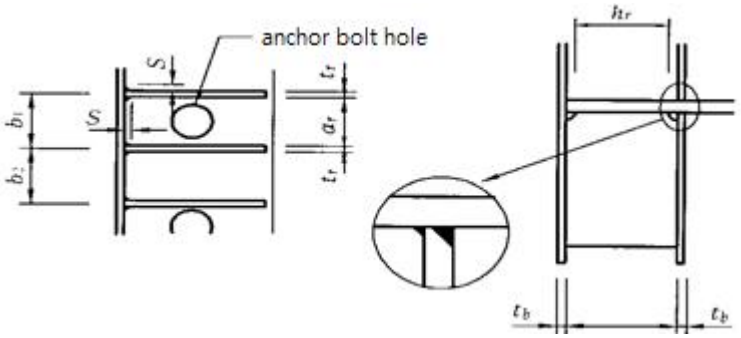


Fig. 9.14.6 Installation of rib

다. 원형 단면 모서리부의 다이아프램 규격에 대한 경험적인 방법으로 다음 조건을 만족할 경우 응력검토를 생략할 수 있다. 이때 재질은 거더 플랜지의 재질과 동일 이상의 것으로 한다.

㉮ $R \leqq 1{,}500\text{mm}$

㉯ $t_f \leq 25\text{mm}$

㉰ $r \leq R/2$

㉱ $t_{dw} \geqq t_f$ 및 $t_{dw} \geqq b_{dw}/17$

㉲ $t_{df} b_d \geqq 250 t_f$

여기서, R : 원형 기둥의 반경(mm)

r : 맨홀의 반경(mm)

t_f : 거더의 플랜지 두께(mm)

t_{dw} : 다이아프램의 복부판 두께(mm)

t_{df} : 다이아프램의 플랜지 두께(mm)

b_d : 다이아프램의 플랜지 폭(mm)

b_{dw} : 다이아프램의 복부판 높이(mm)

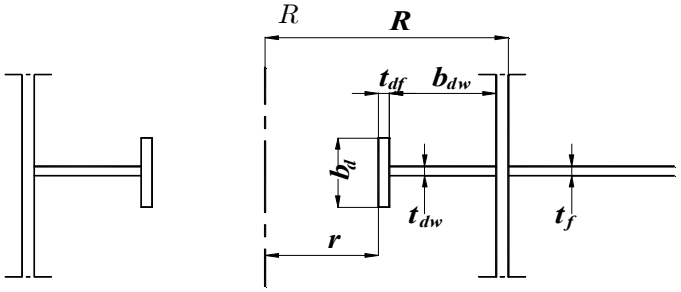


그림 9.14.5 원형 기둥의 다이아프램

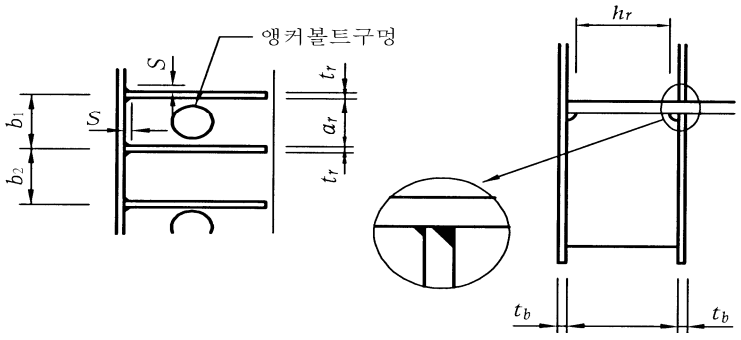


그림 9.14.6 리브의 설치

(2) Design of column foundation

① In designing a pier foundation, concrete at the bottom of the base plate shall be designed to resist compression, while anchor bolt and anchor frame shall be designed to resist tension.

② Design of base

A. Tensile stress of anchor bolt and compressive stress of concrete shall be calculated considering the position of the neutral axis of the composite section, and in the case of the circular section, the design equation for concrete members with the hollow circular section shall be used.

B. Anchor bolt shall be designed to resist a horizontal force on the column foundation, and the shear force is considered to be uniformly distributed to all anchor bolts.

C. Determination of thickness of base plate – Base plate design, unless a more accurate analysis is required, shall be in accordance with <Eq. (9.14.8)>.

$$m = k\ \beta p\ a_r{}^2 \qquad (9.14.8)$$

where, m: Bending moment applied to base plate (N·mm/mm)

k: Coefficient, for the zone with anchor bolt hole $k = 1.7$, zone without anchor bolt hole $k = 1.0$

p: Maximum uniformly distributed compressive force on base plate (MPa)

a_r: Inner spacing of rib (mm)

β: Coefficient <Table 9.14.1>

$$t_b > \sqrt{\frac{6m}{f_{sa}}} \qquad (9.14.9)$$

where, t_b: Thickness of base plate (mm) $\geq$ 25 mm

Shear stress shall be reviewed for the thickness of plate determined using the above equation. Shear force (q) is applied to base plate.

$$q = k\ \alpha p\ a_r \qquad (9.14.10)$$

where, α: Coefficient <Table 9.14.2>

(2) 기둥 기초부의 설계

① 교각 기둥 기초부의 설계에 있어서 베이스 플레이트 하면의 콘크리트는 압축력에 저항하고, 인장력에 대해서는 앵커볼트 및 앵커프레임으로 저항하도록 설계한다.

② 베이스부의 설계

가. 앵커볼트의 인장응력 및 콘크리트의 압축응력은 합성단면의 중립축 위치를 고려하여 계산하며, 원형단면의 경우는 속빈 원형단면의 콘크리트 부재의 설계계산식을 이용하여 구한다.

나. 기둥 기초부에 작용하는 수평력은 앵커볼트로 저항하는 것으로 하며, 그 전단력은 모든 앵커볼트에 균등하게 분포하는 것으로 한다.

다. 베이스 플레이트의 두께 결정 - 베이스 플레이트의 설계는 특별히 엄밀한 해석을 행하지 않을 경우에는 <식 (9.14.8)>에 의해 구한다.

$$m = k\ \beta p\ a_r{}^2 \qquad (9.14.8)$$

여기서, m : 베이스 플레이트가 받는 휨모멘트(N・mm/mm)

k : 계수, 앵커볼트 구멍이 있는 구획에 대해$k=1.7$, 앵커볼트 구멍이 없는 구획$k=1.0$

p : 베이스 플레이트에 작용하는 최대등분포압축력(MPa)

a_r : 리브의 내측간격(mm)

β : 계수 <표 9.14.1>

$$t_b > \sqrt{\frac{6m}{f_{sa}}} \qquad (9.14.9)$$

여기서, t_b : 베이스 플레이트의 판두께(mm) ≥ 25mm

또한 앞 식에 의해 결정되는 판두께에 대해서는 전단응력에 대한 검토를 해야 한다. 베이스 플레이트에 작용하는 전단력(q)은

$$q = k\ \alpha p\ a_r \qquad (9.14.10)$$

여기서, α : 계수 <표 9.14.2>

Table 9.14.1 Coefficient to bending (β)

b/a	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.25	1.5 or more
β	0.0728	0.0764	0.0793	0.0817	0.0834	0.0847	0.0823

Table 9.14.2 Coefficient to shear force (α)

b/a	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.25	1.5 or more
α	0.750	0.717	0.685	0.656	0.628	0.570	0.527

D. Rib shall be placed between the upper and lower base plate, and the plate thickness of rib shall be determined based on the compressive force and shear force from an anchor bolt and bending moment by eccentricity.

③ Design of anchor frame

A. Anchor frame shall be designed to reliably transfer the force from base to foundation concrete.

B. Anchor frame is assumed to be subjected to the stress produced as a continuous girder regarding the location of anchor bolts as the support, and the top flange of the anchor frame is assumed to be subjected to the stress produced as the plate due to concrete bearing pressure

C. Axial force of bolts on an anchor frame shall be considered to be applied by the web plate and diaphragm. Interval of diaphragm shall be the shortest distance among the planes facing each other.

D. Thickness of flange plate

(a) Calculation of plate structure – when reviewing concrete bearing in <Fig. 9.14.7 (a)>, stress shall be reviewed on the assumption that Ⓐ is 4-sides fixed and Ⓑ is 3-sides fixed and 1 side is free.

표 9.14.1 휨에 대한 계수(β)

b/a	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.25	1.5이상
β	0.0728	0.0764	0.0793	0.0817	0.0834	0.0847	0.0823

표 9.14.2 전단력에 대한 계수(α)

b/a	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.25	1.5이상
α	0.750	0.717	0.685	0.656	0.628	0.570	0.527

라. 상하 베이스 플레이트 사이에는 리브를 설치하며, 리브의 판두께는 앵커볼트로부터의 압축력, 전단력, 그리고 편심에 의한 휨모멘트를 검토하여 결정한다.

③ 앵커프레임의 설계

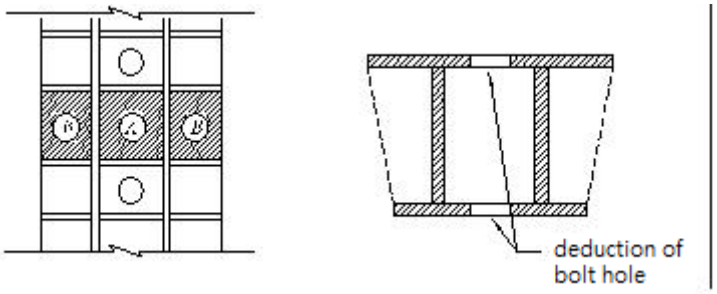
가. 앵커프레임은 베이스부로부터 작용하는 힘을 확실하게 기초 콘크리트에 전달할 수 있도록 설계한다.

나. 앵커프레임에는 앵커볼트 위치를 지점으로 한 연속 거더로서의 응력이 작용하고 앵커프레임의 상부 플랜지에는 콘크리트의 지압에 의한 판으로서의 응력이 작용하는 것으로 가정한다.

다. 앵커프레임에 작용하는 볼트축력은 복부판과 다이아프램의 지압에 의해 받는 것으로 해야 한다. 이 때 다이아프램의 간격은 너트의 마주보는 면사이의 거리 중에서 작은 것으로 한다.

라. 플랜지 판두께

㉮ 판구조에 대한 계산 - <그림 9.14.7(a)>에 있어서 콘크리트의 지압을 검토할 경우, Ⓐ부분은 4변-고정으로 Ⓑ부분은 3변-고정, 1변-자유인 판으로 보고 응력검토를 한다.



(a) Plate structure (b) Girder structure

Fig. 9.14.7 Anchor frame structure

(b) Calculation of girder structure – Bending moment of girder for concrete bearing shall be calculated regarding the bolt position as the support, and the bending stress on the anchor beam section shall be calculated. Then, only the section indicated in an oblique line in <Fig 9.14.7(b)> excluding bolt holes shall be considered.

(c) Resultant stress – Thickness of flange subjected to concrete bearing shall be determined based on the sum of the stress from 「(a)」 and 「(b)」.

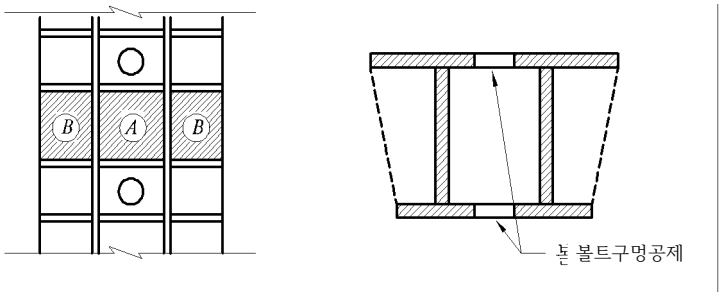
(d) Shear resistance surface – Shear resistance of concrete shall be considered for the pullout force of an anchor bolt group subjected to tension. Allowable shear stress of concrete shall be $v_a = 0.5$ MPa for primary loads.

9.14.3 Structure detail

(1) Members

① Girder and column

A. Plate thickness variation of the member shall be considered in the arrow direction (⇨) as seen in <Fig. 9.14.8> as a standard, and the number of sectional shape changes of the girder and column shall be determined considering design requirements and cost efficiency. In addition, the difference in the plate thickness of the section when a section is changed shall be 12 mm at a maximum, and when changes start from the corner to the section, it shall be allowed up to 20 mm.



(a) 판구조 (b) 거더구조

그림 9.14.7 앵커프레임의 구조

㉯ 거더구조에 대한 계산 - 콘크리트의 지압에 대해서 볼트위치를 지점으로 고려하여 거더의 휨모멘트를 계산하고, 그에 따른 앵커빔 단면의 휨에 대하여 응력을 검토해야 한다. 이때 <그림 9.14.7(b)>에서와 같이 볼트구멍을 공제한 사선부분의 단면만을 고려한다.

㉰ 합응력 - 콘크리트의 지압을 받는 플랜지의 판두께는 「㉮항」과 「㉯항」에서 계산한 응력의 합으로 검토하여 판두께를 결정한다.

㉱ 전단저항면 - 인장력을 받는 앵커볼트군의 인발력에 대해서는 콘크리트의 전단저항면을 고려해야 한다. 이 때 콘크리트의 허용전단응력은 주하중에 대해서 v_a= 0.5MPa로 해야 한다.

9.14.3 구조상세

(1) 부재

① 거더 및 기둥

가. 부재의 판두께 변화는 <그림 9.14.8>에서 보는 바와 같이 화살표(⇨) 방향으로 변화를 주는 것을 표준으로 하며, 거더 및 기둥의 단면변화수는 설계조건과 경제성을 고려하여 적정하게 산정해야 한다. 또한 단면이 변할 때 인접하는 단면의 판두께 차이는 최대 12mm를 기준으로 하고 모서리부로부터 일반 단면으로 이동하는 곳은 부득이한 경우 최대 20mm까지 허용한다.

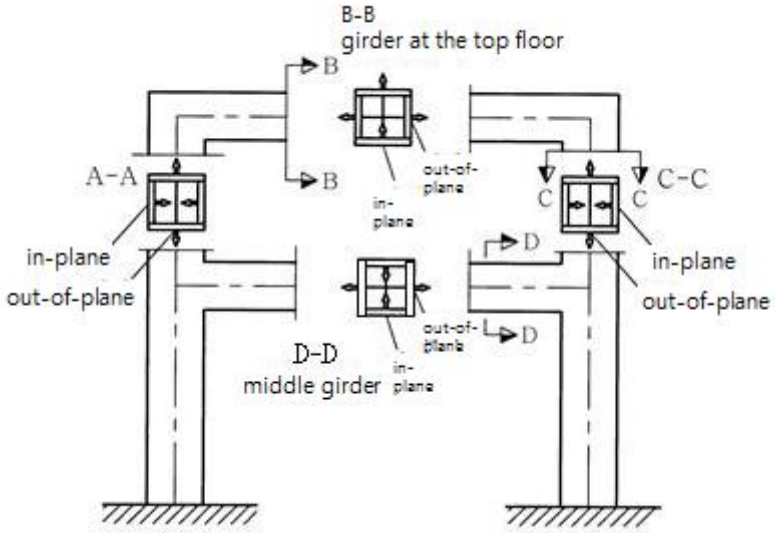
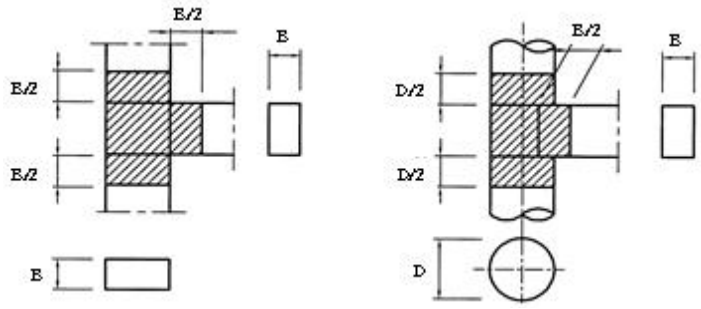


Fig. 9.14.8 Direction in variation of plate thickness



(1) Box type section (2) Circular section

Fig. 9.14.9 Range of corner

B. The position where the corner section is changed to the ordinary section for a box type section shall be at least 1/2 of the web plate spacing, and in the case of a circular section, at least 1/2 of the outer diameter (see <Fig. 9.14.9>).

C. When a circular section is used as a column member, the outer diameter of the column shall be at least 1m.

② Base

A. Thickness of base plate shall be 25 mm or more.

B. Thickness of washer shall be 22 mm as a standard.

C. Diameter of anchor bolt shall be 50 mm or more.

D. Diameter of washer shall be double the diameter of anchor bolt.

E. Distance from outer edge of column to the center of anchor bolt shall be 200 mm or more.

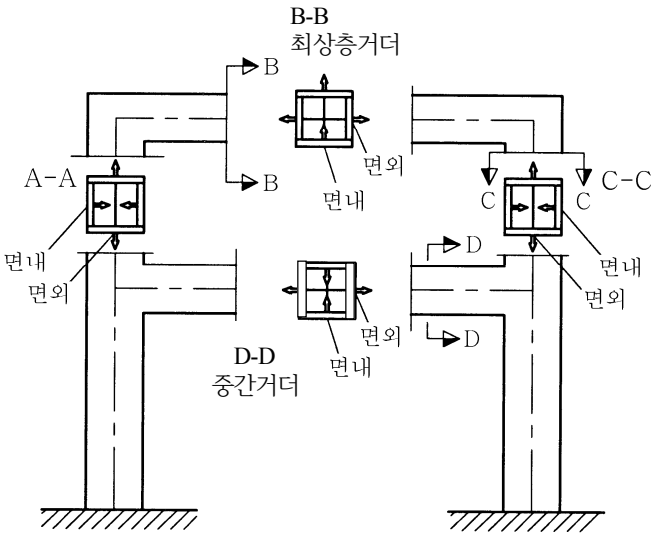
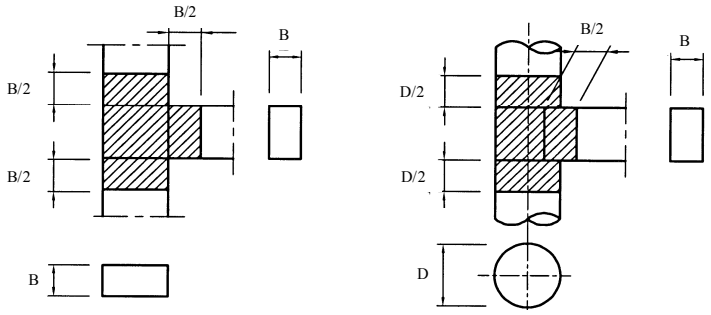


그림 9.14.8 판두께 변화의 방향



(1) 박스형 단면 (2) 원형 단면

그림 9.14.9 모서리부의 범위

나. 모서리부 단면으로부터 일반부 단면으로 이동하는 위치는 박스형 단면의 경우 모서리부로부터 거더의 복부판 간격의 1/2 이상, 원형 단면의 경우 외경의 1/2이상 떨어진 지점으로 한다.(<그림 9.14.9> 참조)

다. 기둥부재로 원형 단면을 사용하는 경우 기둥의 외경은 1m 이상으로 한다.

② 베이스부

가. 베이스 플레이트의 두께는 25mm 이상이어야 한다.

나. 와셔의 두께는 22mm를 표준으로 한다.

다. 앵커볼트의 지름은 50mm 이상이어야 한다.

라. 와셔의 지름은 앵커볼트 지름의 2배 정도로 한다.

마. 기둥의 외측 연단과 앵커볼트 중심까지의 거리는 200mm 이상이어야 한다.

③ Anchor frame – Installation of an appropriate height adjustment device within a minimum range between anchor frame and base shall be considered.

④ Diaphragm

A. Diaphragm with a sufficient stiffness shall be installed to transfer the reaction from the top of bearing shoe.

B. Intermediate diaphragm at a 5 m interval shall be provided at a section other than the bearing shoe in principle, but for a circular column, it shall be installed within 3 times the outer diameter.

C. Diaphragm at the corner of circular section is shown in <Fig. 9.14.5> as standard.

⑤ Longitudinal rib

A. Longitudinal rib shall be provided to the flange or web plate of a box type section to prevent buckling.

B. Material of longitudinal rib used for a column section shall be same as the flange or web plate.

C. When the width or height of box type section is 1.5 m or less, longitudinal ribs may not be considered in calculating the section and shall not be connected, but the potential local buckling of the plate shall be considered.

(2) Manhole

① Manhole shall be protected from penetration by rainwater, and shall be installed considering its strength and appearance.

② In the case of column, manhole shall be 2 m above the ground level while in the case of girder, the manhole is installed at extra space around the section of the tip or top flange of the girder. Minimum manhole dimensions shall be 400 mm × 600 mm.

(3) Bearing

① Bearing shall in principle be connected by welds.

② Welds of bearing shall be applied depending on the distance between the top flange of girder and bearing. Here, H shall be the lowest of four corners.

A. Use plate bearing when H < 130 mm

B. Use box bearing when H ≥ 130 mm

But, when welding throat exceeds 12 mm, it shall be connected using bolts.

③ Set bolt holes on the plate of ⒶⒷⒸ shall be the track type which can accommodate a construction error in the longitudinal and transverse direction of a bridge, and set bolt holes on plate Ⓐ shall be filled with waterproof material. t_1 and t_2 shall be at least 22 mm. Either factory or field welds may be applied, excluding the assembly weld for the bearing of box girder and for the connection weld for the beam flange of box girder.

③ 앵커프레임 - 앵커프레임과 베이스부 사이에는 설치시 높이조정이 가능하도록 최소로 필요한 범위 내로 적절한 높이조절용 장치를 설치하는 것을 고려한다.

④ 다이아프램

가. 상부구조 교량받침부에는 상부반력을 전달하기에 충분한 강성을 갖는 다이아프램을 설치한다.

나. 교량받침부 이외의 일반부에 있어서는 5m 이내의 간격으로 중간다이아프램을 설치하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 원형 단면 기둥의 경우 외경의 3배 이내로 설치해야 한다.

다. 원형 단면 모서리부의 다이아프램은 <그림 9.14.5>와 같이 하는 것을 표준으로 한다.

⑤ 종리브

가. 박스형 단면의 플랜지 또는 복부판에는 좌굴방지를 위한 종리브를 설치한다.

나. 기둥단면에 사용하는 종리브의 재질은 플랜지 또는 복부판과 동일한 것으로 한다.

다. 박스형 단면의 폭 또는 높이가 1.5m 이하인 경우 종리브는 단면 산정 시 고려하지 않는다. 또한 이 경우 종리브는 연결하지 않는다. 다만, 이음부에 있어서는 판의 국부좌굴에 대해 특별히 주의를 해야 한다.

(2) 맨홀

① 맨홀은 내부에 우수가 침투되지 않는 구조로 하고 강도 및 외관상 큰 지장이 없는 곳에 설치한다.

② 맨홀의 위치는 기둥의 경우 지상으로부터 2m 이상인 위치에, 거더의 경우는 거더의 선단 혹은 상부 플랜지의 단면이 여유가 있는 위치에 설치한다. 맨홀의 최소치수는 400mm×600mm로 한다.

(3) 교량받침

① 강재교각상에 설치하는 교량받침은 용접에 의해 연결하는 것을 표준으로 한다.

② 교량받침의 용접은 거더의 상부 플랜지와 교량 받침사이의 높이에 따라 다음과 같이 적용해야 한다. 여기서 H는 네모서리 중에 제일 낮은 높이로 취한다.

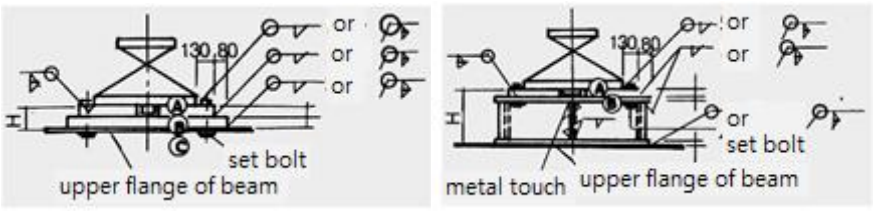
가. $H < 130$mm인 경우 판 받침 사용

나. $H \geq 130$mm인 경우 박스형 받침 사용

다만 용접목두께가 12mm를 초과하는 등 부득이한 경우에는 볼트로 연결해야 한다.

③ ⒶⒷⒸ의 판에 설치하는 세트볼트 구멍은 트랙형으로 하여 교축방향 및 교축직각방향의 가설오차를 흡수할 수 있는 구조로 해야 한다. 또한 Ⓐ의 판에 설치하는 세트볼트구멍에는 세트볼트 설치 후 방수제를 충진하는 것으로 한다. 또한 t_1 및 t_2는 최소 22mm 이상으로 한다. 용접은 박스거더 받침의 조립용접 및 박스거더 받침의 보 플랜지로의 연결용접을 제외하곤 공장 또는 현장 중 어느 곳에서 시공한다.

④ Welds of bearing shoe where uplift is applied shall be reviewed to ensure the safety is secured.



(a) Plate bearing (b) Box girder bearing

Fig. 9.14.10 Bearing connection

9.14.4 Total buckling of Rahmen

(1) Effective buckling length of Rahmen column (l) shall be in accordance with <Table 9.4.4> unless a detailed calculation is necessary.

(2) Review of buckling for Rahmen members subjected to the combined axial compression and flexure shall be in accordance with 「9.5.3」. In this case, allowable compressive stress (f_{ca}) shall be calculated using the effective buckling length (l) in <Table 9.4.4> in accordance with 「9.4.2」. But for a Rahmen structure with a particular structure type or a dramatic section variation, a separate in-depth review shall be performed.

9.14.5 Method

(1) Column embedded in soil or water shall be protected by cover concrete, anticorrosive plate or coating. For a closed type section, details including drainage shall be considered.

9.15 Toughness requirements

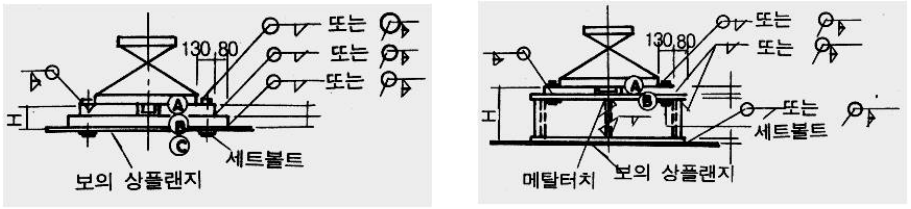
9.15.1 General

(1) This provision shall be applied to steels used for steel bridge and steel composite bridge.

9.15.2 Toughness requirements

(1) Regional temperature distribution is shown in <Table 9.15.1>,and the steel of primary and secondary members exposed to tension and alternate stress shall satisfy the toughness at low temperature requirements indicated in Charpy impact energy according to <Table 9.15.2>.

④ 상향력이 작용하는 교량받침부의 용접은 안전성이 확보되도록 충분히 검토해야 한다.



(a) 판 받침 사용 (b) 박스거더받침 사용

그림 9.14.10 교량받침의 연결방법

9.14.4 라멘의 전체좌굴

(1) 라멘기둥의 유효좌굴길이(l)는 특별히 엄밀한 계산을 하지 않을 때는 <표 9.4.4>를 따른다.

(2) 축방향 압축력과 휨모멘트가 함께 작용하는 라멘부재의 좌굴에 대한 검토는 「9.5.3항」의 규정을 따른다. 이 경우 허용압축응력(f_{ca})은 <표 9.4.4>에 표시한 유효좌굴길이(l)를 사용하여 「9.4.2항」의 규정에 따라 구한다. 그러나 특수한 구조형식의 라멘이나 단면이 현저하게 변화하는 경우에 대해서는 별도로 엄밀한 검토를 해야 한다.

9.14.5 방식

(1) 흙 속 또는 수중에 있는 라멘구조의 기둥 부분은 피복콘크리트, 방식판, 방식도장 등으로 보호해야 한다. 또한 폐합단면인 경우에는 내부에 물이 고이지 않도록 물빼기 등의 구조상세에 주의해야 한다.

9.15 인성요구조건

9.15.1 일반내용

(1) 이 절은 강교 및 강합성교에 적용되는 강재에 적용한다.

9.15.2 인성요구조건

(1) 국내의 지역별 온도구역은 <표 9.15.1>에 따르며, 인장 또는 교번응력을 받는 주부재의 사용 강재는 <표 9.15.2>에 따라서 샤르피 흡수에너지로 나타내는 저온인성 규격을 만족해야 한다.

(2) Allowable maximum plate thickness of primary and secondary members exposed to tension and alternate stress shall be in accordance with <Table 9.15.2>, depending on normal temperatures at the installation site.

(3) Primary and secondary members exposed to tension and alternate stress shall be indicated on the drawings and construction specifications.

Table 9.15.1 Temperature zone based on lowest regional temperature

Category	Lowest temperature[2] (T)	Regions[1]
Zone I	-15℃ ≤ T	Busan, Ulsan, Gwangju South Jeolla province South Gyeongsang province North Gyeongsang-coastal region Jeju province
Zone II	-25℃ ≤ T < -15℃	Seoul, Incheon, Daegu and Daejeon Region except eastern Gyeonggi province South Chungcheong province North Jeolla province North Gyeongsang - Inland region Gangwon-Coastal region
Zone III	-35℃ ≤ T < -25℃	Eastern Gyeonggi region (Dongducheon, Yeecheonm Yangpyung) Gangwon - Inland region North Chungcheongprovince

Note) 1) When the temperature zone of a construction site is uncertain, temperature zone shall be determined based on the low temperature data of the Meteorological office for the past 30 years.
2) Lowest temperature (T) refers to the lowest temperature at the region of the construction site for the past 30 years (similar to a 100-year recurrence cycle).

(2) 인장 또는 교번응력을 받는 주부재의 최대 허용 판두께는 교량이 건설되는 지역의 온도구역에 따라 <표 9.15.2>에 규정한 값으로 한다.

(3) 인장 또는 교번응력을 받는 주부재는 도면과 공사시방서 등에 명시해야 한다.

표 9.15.1 국내 지역별 최저 공용온도에 따른 온도구역 구분

구분	최저 공용온도[2] (T)	대상지역[1]
온도구역 I	-15℃≤ T	부산, 울산, 광주 전체 지역 전라남도 전체 지역 경상남도 전체 지역 경상북도 해안 지역 제주도 전체 지역
온도구역 II	-25℃≤ T <-15℃	서울, 인천, 대구, 대전 전체 지역 경기도 동부를 제외한 지역 충청남도 전체 지역 전라북도 전체 지역 경상북도 내륙 지역 강원도 해안 지역
온도구역 III	-35℃≤ T <-25℃	경기도 동부지역(동두천, 이천, 양평 등) 강원도 내륙 지역 충청북도 전체 지역

주) 1) 교량이 건설되는 지역의 온도구역 구분이 명확하지 않은 경우에는, 대상 지역의 기상청 관측자료를 기준으로 최근 30년 내 최저온도에 따라 온도구역을 구분한다.

2) 최저 공용온도(T)는 교량이 건설되는 지역의 최근 30년 내 최저기온(100년 재현주기 최저기온과 유사)을 말한다.

Table 9.15.2 Toughness of the members subject to tension and alternate stress by type of steel, and maximum allowable plate thickness by temperature zone

Temperature zone / Steel		Impact test[3]		Zone Ⅰ (-15℃)[1]	Zone Ⅱ (-25℃)[1]	Zone Ⅲ (-35℃)[1]
	Symbol	Test temp	Charpy value	Maximum allowable plate[2] (mm)		
Rolled steel for struct weld	SM400B	0℃	27J≤	40	40	40
	SM400C	0℃	47J≤	100	100	95
	SM490B	0℃	27J≤	40	40	40
	SM490C	0℃	47J≤	95	80	70
	SM490C-TMC	0℃	47J≤	95	80	70
	SM490YB	0℃	27J≤	40	40	40
	SM520B	0℃	27J≤	40	40	40
	SM520C	0℃	47J≤	85	70	60
	SM520C-TMC	0℃	47J≤	85	70	60
	SM570	-5℃	47J≤	70	60	50
	SM570-TMC	-5℃	47J≤	70	60	50
w/p hot rolled steel for struct weld	SMA400B	0℃	27J≤	40	40	40
	SMA400C	0℃	47J≤	100	100	95
	SMA490B	0℃	27J≤	40	40	40
	SMA490C	0℃	47J≤	85	70	60
	SMA570	-5℃	47J≤	70	60	50
Rolled steel for bridge struct	HSB500	-5℃	47J≤	85	70	60
	HSB500W	-5℃	47J≤	85	70	60
	HSB500L	-20℃	47J≤	100	95	80
	HSB600	-5℃	47J≤	70	60	50
	HSB600W	-5℃	47J≤	70	60	50
	HSB600L	-20℃	47J≤	95	80	65

Note) 1) Standard temperature used for calculating maximum allowable plate thickness according to the linear interpolation method

2) When lowest temperature (T) for the past 30 years at the region of the construction site is known, maximum allowable plate thickness shall be calculated using the interpolation method according to 1) above. For instance, for SM520 with the lowest temperature in the region of -20℃, maximum allowable plate thickness shall be 77.5 mm (≒78 mm) based on −15℃ in zone I and -25℃ in zone II. But linear interpolation could be used when temperature range is −35℃ ≤ T ≤ -15℃ only.

3) Shall be measured according to KS B 0810 "Metal material impact test method." Toughness of steel is expressed as energy absorption capacity for impact.

표 9.15.2 인장 또는 교번응력을 받는 주부재의 강종별 인성규격과
온도구역별 최대 허용 판두께

강종 \ 온도구역				온도구역 Ⅰ (-15℃)[1]	온도구역 Ⅱ (-25℃)[1]	온도구역 Ⅲ (-35℃)[1]
구분	기호	충격시험[3] 시험온도	충격시험[3] 샤르피 흡수에너지	최대 허용 판두께[2](mm)		
용접 구조용 압연 강재	SM400B	0℃	27J이상	40	40	40
	SM400C	0℃	47J이상	100	100	95
	SM490B	0℃	27J이상	40	40	40
	SM490C	0℃	47J이상	95	80	70
	SM490C-TMC	0℃	47J이상	95	80	70
	SM490YB	0℃	27J이상	40	40	40
	SM520B	0℃	27J이상	40	40	40
	SM520C	0℃	47J이상	85	70	60
	SM520C-TMC	0℃	47J이상	85	70	60
	SM570	-5℃	47J이상	70	60	50
	SM570-TMC	-5℃	47J이상	70	60	50
용접 구조용 내후성 열간 압연 강재	SMA400B	0℃	27J이상	40	40	40
	SMA400C	0℃	47J이상	100	100	95
	SMA490B	0℃	27J이상	40	40	40
	SMA490C	0℃	47J이상	85	70	60
	SMA570	-5℃	47J이상	70	60	50
교량 구조용 압연 강재	HSB500	-5℃	47J이상	85	70	60
	HSB500W	-5℃	47J이상	85	70	60
	HSB500L	-20℃	47J이상	100	95	80
	HSB600	-5℃	47J이상	70	60	50
	HSB600W	-5℃	47J이상	70	60	50
	HSB600L	-20℃	47J이상	95	80	65

주) 1) 선형 보간법에 따라 최대 허용 판두께를 산정할 때 사용되는 각 구역별 기준 공용온도

2) 교량이 건설되는 지역의 최근 30년 내 최저기온(T)을 알고 있는 경우, 주 1의 기준 공용온도에 따른 선형 보간법을 적용하여 최대 허용 판두께를 산정한다. 예를 들어 SM520C의 경우, 어느 지역의 최저기온(T)이 -20℃라면 구역 Ⅰ의 -15℃와 구역 Ⅱ의 -25℃를 기준으로 하여 최대 허용 판두께는 77.5mm(≒78mm)로 된다. 단, 최저기온의 범위가 -35℃≤T≤-15℃일 때만 선형 보간을 적용할 수 있다.

3) KS B 0810 “금속 재료 충격 시험 방법”에 따라 측정하며 강재의 인성을 충격에 대한 에너지 흡수능력으로 표현하는 값임

Chapter 10 Concrete Bridge

10.1 General

10.1.1 Scope of application

This Chapter should apply to the design of the superstructure of railway RC and prestress concrete bridge, but is also applicable to the members that may be included in either the superstructure or substructure, such as the pier of Rahmen bridge.

10.1.2 Definition

(1) Additional reinforcement: supplementary reinforcement to accommodate the tensile stress of concrete caused by dry shrinkage, temperature variation or other factors.

(2) Hook: hooked portion at the end of reinforcing bars to increase the strength of anchorage or lap splice. The angle of the hook is usually 180°, 135°, or 90°.

(3) Tensile strength of steel: the minimum value of tensile strength as stipulated in KS. This is the minimum tensile load in the case of PS steel wire and PS strand.

(4) Yield point of steel: the yield point of steel stipulated in KS or the minimum resisting force. This is the minimum load to 0.2% permanent offset in the case of PS steel wire and PS strand.

(5) Rating Level Ⅰ: a concrete section in which no tensile stress is allowed for service load. The development of tensile stress is allowed during construction.

(6) Rating Level Ⅱ: a concrete section in which no tensile stress is allowed for service load in normal conditions. The development of tensile stress is allowed during construction and for unusual combination of service loads.

(7) Rating Level Ⅲ: a concrete section in which tensile stress is allowed for unusual combination of service load when the whole section is considered. The development of tensile stress is allowed for service load in normal conditions but is not allowed for semi-permanent load combinations in the cover thickness of the section under consideration.

(8) Diaphragm: a lateral stiffener placed to a girder to sustain the section shape or partition wall installed on or between supports of single or multi-box girders to resist torsion.

(9) Factored load: load, multiplied by the corresponding load factor, which is used to design members based on the strength design method.

제 10 장 콘크리트교

10.1 일반사항

10.1.1 적용범위

이 절은 선로를 지지·보호하는 철도교 구조물 중 철근콘크리트 및 프리스트레스 콘크리트 교량의 상부구조 설계에 주로 적용한다. 다만, 라멘교의 교각 등 상부구조와 하부구조의 구별이 명확하지 않은 부재의 설계에도 적용할 수 있다.

10.1.2 용어의 정의

(1) 가외철근 : 콘크리트의 건조수축, 온도변화, 기타의 원인에 의하여 콘크리트에 일어나는 인장응력에 대비하여 가외로 더 넣는 보조적인 철근

(2) 갈고리 : 철근의 정착 또는 겹침이음을 위하여 철근 끝의 구부린 부분을 말하며, 모양에 따라 180° 표준갈고리, 90° 표준갈고리, 135° 표준갈고리가 있음.

(3) 강재의 인장강도 : 한국산업규격(KS)에 규정되어 있는 인장강도의 규격 최소값. PS강선 및 PS강연선에서는 인장하중의 최소값

(4) 강재의 항복점 : 한국산업규격(KS)에 규정되어 있는 강재의 항복점 또는 내력의 규격 최소값. PS강선 및 PS강연선에서는 0.2% 영구옵셋(offset)에 대한 하중의 최소값

(5) 검토등급 Ⅰ : 사용하중에 대하여는 인장응력이 허용되지 않으며, 시공 중에만 인장응력을 허용하는 콘크리트 단면의 등급

(6) 검토등급 Ⅱ : 평상시의 사용하중에 대하여는 인장응력이 허용되지 않으며, 시공 중과 흔하지 않은 사용하중 조합에만 인장응력을 허용하는 콘크리트 단면의 등급

(7) 검토등급 Ⅲ : 총 단면을 고려하는 경우에는 흔하지 않은 사용하중 조합에만 인장응력을 허용하며, 콘크리트 피복두께 단면을 고려하는 경우에는 평상시의 사용하중에 대하여 인장응력을 허용하나 반영구적 하중조합에 대하여는 인장응력을 허용하지 않는 콘크리트 단면의 등급

(8) 격벽 : 단면 형상을 유지시키기 위하여 거더에 배치하는 횡방향 보강재, 다이아프램, 또는 단일 박스 또는 다중 박스거더의 받침점부나 경간 내에 비틀림 등에 저항하기 위하여 설치하는 칸막이 벽

(9) 계수하중 : 강도설계법으로 부재를 설계할 때 사용되는 하중으로서, 사용하중에 하중계수를 곱한 하중

(10) Nominal strength: strength of a member or cross section calculated according to provisions and assumptions of the strength design method, where strength reduction factors are not applied.
(11) Local zone: the concrete section near or in front of the anchorage device where the bearing stress is locally high.
(12) Jacking force: the temporary force generated by the device to introduce the tensile force to tendons.
(13) Prestressing tendon: a steel element such as wire, bar, or strand, or a bundle of such elements, in order to introduce prestress force to concrete.
(14) End strut: a part of structure in which all the forces imposed on the girder are transferred to the support. The end strut requires for a special shear reinforcement.
(15) End block: the expanded end of a member to reduce the stress in the anchorage.
(16) Duct: a circular conduit to accommodate prestressing steel for post-tensioned prestressed concrete installation.
(17) Friction: surface resistance between tendon and duct during prestressing, and can include curvature friction and wobble friction.
(18) Embedment length: length of embedded reinforcement provided beyond a critical section for anchoring the reinforcement.
(19) Deck slab: the plate member supporting train load transferred via ballast, sleeper and rail, and may be supported by other members as well.
(20) Deviation force: the force imposed on curve or deviation section of tendon due to curvature or deviation.
(21) Deviation saddle: the block on web, flange or web-flange joint for deviation of PS steel (external tendon) inside and outside the girder section.
(22) Distributing bar: a supplementary reinforcement arranged perpendicular to main flexural reinforcement in order to distribute applied loads or control cracks.
(23) Negative moment: bending moment that causes the tensile stress on deck plate and upper part of the member.
(24) Bonded tendon: a tendon bonded to concrete either through direct contact or using grouting.
(25) Negative reinforcement: reinforcement arranged to respond to tensile stress by negative moment.
(26) Bracket and corbel: a cantilever or corbel in which the ratio of shear span to effective depth is not greater than 1.
(27) Block method: the construction method to connect separate blocks based on the method of prestressing to fabricate a structural member using the separately fabricated when a precast members.

(10) 공칭강도 : 강도설계법의 규정과 가정에 따라 계산된 부재 또는 단면의 강도로 강도감소계수를 적용하기 전의 강도.

(11) 국소구역(local zone) : 정착장치 주위 및 바로 앞 콘크리트 부분으로 높은 국부 지압응력을 받는 부분

(12) 긴장력(jacking force) : 긴장재에 인장력을 도입하는 장치에 의해 발휘되는 임시적인 힘

(13) 긴장재(tendon) : 콘크리트에 프리스트레스를 가하는 데 사용되는 강선, 강연선, 강봉 또는 이들의 다발

(14) 단부 스트럿(end strut) : 거더에 작용하는 모든 힘을 받침부로 전달시키는 통로로서 특별한 전단보강 철근이 필요한 곳

(15) 단블록(end block) : 정착부의 응력을 감소시키기 위해 부재의 단부를 확대하는 것

(16) 덕트(duct) : 포스트텐션 방식의 PSC부재에서 콘크리트 경화전이나 또는 후에 PS강재를 배치시켜 긴장할 수 있도록 미리 콘크리트 속에 설치해둔 원형의 관

(17) 마찰 : 프리스트레싱 동안 접촉하게 되는 긴장재와 덕트 사이의 표면 저항. 곡률마찰과 파상마찰이 있음

(18) 묻힘길이 : 위험단면을 넘어 더 연장하여 묻어 넣은 철근길이

(19) 바닥판 : 도상이나 침목, 레일 등을 통해 열차하중을 지지하고 다른 부재들에 의해 지지되는 판 부재

(20) 방향 변환력(deviation force) : 긴장재의 곡률 또는 방향변경에 의해 곡선부 또는 방향변경부에 작용하게 되는 힘

(21) 방향변환블록(deviation saddle): 거더단면 내외측에 PS강재(external tendon)의 방향변환을 위해 복부, 플랜지, 복부와 플랜지의 접합부에 두는 블록

(22) 배력철근(distributing bar) : 집중하중을 분포시키거나 균열을 제어할 목적으로 주철근과 직각에 가까운 방향으로 배치한 보조철근

(23) 부모멘트 : 바닥판 및 부재 상측에 인장응력을 생기게 하는 휨모멘트

(24) 부착된 긴장재(bonded tendon) : 직접 또는 그라우팅을 통해 콘크리트에 부착되는 긴장재

(25) 부철근 : 부모멘트에 의하여 생긴 인장응력에 대하여 배치하는 철근

(26) 브래킷 또는 내민받침(코벨) : 집중하중이나 보의 반력을 지지하기 위하여 기둥면 또는 벽체면에서부터 나와 있는 짧은 캔틸레버 부재

(27) 블록공법 : 프리캐스트 부재를 부재 방향으로 몇 개의 블록으로 나누어서 제작하고, 블록을 서로 연결시키기 위해 프리스트레스를 주어 구조부재로 만든 공법

(28) Unfactored prestressing force: the force on member section caused by prestressing without multiplying load coefficient.

(29) Service load: various loads defined in this Code, such as dead loads and live loads, to which load factors are not multiplied.

(30) Diagonal tension bar: Diagonal crack occurs due to the load on RC beam which is usually controlled by shear stress, unlike bending crack, causing a sudden failure. To prevent such failure, shear reinforcement is needed, and shear reinforcement arranged on beam is called web reinforcement or diagonal reinforcement.

(31) Design strength: the strength of a structure or a member obtained by multiplying the nominal strength by the strength reduction factor.

(32) Design member force: bending moment, shear force, axial force and torsional moment generated on a member section by external load. In the ultimate strength method, it is called required strength because it is the section force generated by factored load.

(33) Design load: a factored load used for the design of a member.

(34) Required strength: the strength of a cross section which is necessary to satisfy serviceability and safety requirements for reinforced concrete members.

(35) Sheath: a tube that forms the duct.

(36) Launching support: a temporary support with less friction used for the incremental launching method.

(37) Launching nose: a temporary steel assembly on the tip of superstructure to reduce the bending moment of superstructure while launching the bridge.

(38) Offset bent bar: bent longitudinal bars of columns above and below a joint, which is used for bar lap splice.

(39) Effective depth of section: the distance measured from the edge of compression side to the centroid of longitudinal tension reinforcement.

(40) Effective width: the width of flange that is considered effective on T-beam

(41) Effective prestress: stress remaining in prestressing steel after all losses: but, the influence of dead loads and live loads is not included.

(42) General zone: the zone where concentrated prestress force is expanded on member section in linear stress distribution or the zone in front of anchorage distanced by as much as girder height (h) from girder end, and when anchorage is located in the middle of beam, instead of the end, the zone is distanced by as much as girder height in front of anchorage (See <Fig 10.1.1>).

(28) 사용 프리스트레스 힘(unfactored prestressing force) : 프리스트레싱에 의해 부재 단면에 작용하는 힘으로서 하중계수를 곱하지 않은 것

(29) 사용하중 : 하중계수를 곱하지 않는 하중으로서, 작용하중이라고도 한다.

(30) 사인장철근 : 철근 콘크리트 보에 하중 작용으로 인해 사인장 균열이 발생하며 균열은 휨균열과 달리 주로 전단응력에 지배되어 갑작스런 파괴를 유발하므로 이를 방지하기 위하여 전단(보강)철근을 배근해야 한다. 이때 보에 배치하는 전단철근을 복부철근 또는 사인장철근이라 한다.

(31) 설계강도 : 공칭강도에 강도감소계수 ϕ를 곱한 강도

(32) 설계단면력 : 하중작용에 의해 부재단면에 생기는 휨모멘트, 전단력, 축방향력 및 비틀림모멘트. 강도설계법에서는 계수하중작용에 의해 생기는 부재의 단면력이므로 소요강도라고도 함.

(33) 설계하중 : 부재를 설계할 때 사용되는 적용가능한 모든 하중과 힘, 또는 이와 관련된 내적 모멘트와 힘으로서, 허용응력설계법에 의한 설계에서는 하중계수가 없는 하중(사용하중)이고, 강도설계법에 의한 설계에서는 적절한 하중계수를 곱한 하중(계수하중)이 설계하중이 된다.

(34) 소요강도 : 하중조합에 따른 계수하중을 저항하는데 필요한 부재 또는 단면의 강도, 또는 이와 관련된 휨모멘트, 전단력, 축방향력 및 비틀림모멘트 등으로 나타낸 단면력

(35) 쉬스 : 덕트를 형성하기 위한 관

(36) 압출용 받침 (launching bearing) : 압출공법(incremental launching method)으로 가설할 때 설치하는 마찰이 작은 임시가설용 받침

(37) 압출코(launching nose) : 교량을 압출하는 동안 상부구조의 휨모멘트를 감소시키기 위하여 압출되는 상부구조의 선단에 부착한 가설용 강재부재(temporary steel assembly)

(38) 옵셋 굽힘철근 : 기둥연결부에서 단면치수가 변하는 경우에 배치되는 구부린 주철근

(39) 유효깊이 : 휨모멘트가 작용하는 부재단면에서 콘크리트의 압축단에서 인장철근의 도심까지의 거리

(40) 유효폭 : T형보의 플랜지 등에서 유효하게 작용한다고 보는 플랜지 등의 폭

(41) 유효 프리스트레스 : 프리스트레싱에 의한 콘크리트내 응력 중 자중과 외력에 의한 영향을 제외하고 계산된 모든 응력 손실량을 뺀 나머지 응력, 또는 자중과 외력의 영향을 제외하고 모든 손실이 발생한 후에 프리스트레스트 긴장재 내에 남아있는 응력

(42) 일반구역 : 집중된 프리캐스트레스 힘이 부재 단면상에 선형에 가까운 응력분포로 확산되는 구역, 또는 거더의 단부로부터 거더 높이(h)만큼 떨어진 일반단면 사이의 정착부 앞 구역을 의미하고, 부재의 단부가 아닌 보의 중간위치에 정착부가 있는 경우에는 정착장치 전방으로 거더 높이만큼 떨어진 구역(<그림 10.1.1> 참조)

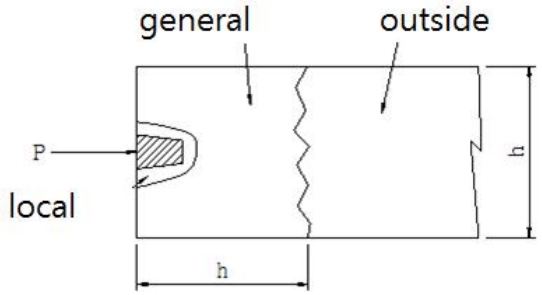


Fig. 10.1.1 Anchorage

(43) General section: when prestress force is sufficiently transferred to concrete member, stress distribution in a section is changed to a linear continuous distribution. Generally, the section is a distance equal to girder height from the end section.

(44) Transfer length: the length required to transfer prestress force to concrete by bonding in pre-tensioned member.

(45) Coupler: a device used to transfer prestress force by coupling PS steel and PS steel, or anchorage and anchorage.

(46) Positive moment: the bending moment that generates the tensile stress on deck plate or the bottom of the member.

(47) Anchorage zone: the zone where concentrated prestress force is introduced to concrete (local zone) from anchorage and distributed broadly to the member (general zone).

(48) Development length: minimum embedded length required to develop the design strength of reinforcement at a critical section.

(49) Anchored section: the end section of anchorage girder.

(50) Anchorage blister: overhang on web, flange or joint between web and flange to secure the anchorage area on one or more PS steel anchorages.

(51) Anchorage device: in post-tensioning, a hardware used for transferring a post-tensioning force from prestressing steel to concrete.

(52) Slip of anchorage device: the slip of PS steel into anchorage device when anchoring PS steel to anchorage device.

(53) Positive reinforcement: reinforcement to accommodate tensile stress generated by positive moment.

(54) Main reinforcement: reinforcement arranged to resist flexural moment and/or axial force in the longitudinal direction of members.

(55) Longitudinal reinforcement: reinforcement arranged in the axial direction.

(56) Coating material: a material to protect rebar or tendon from corrosion or reduce the friction between duct and tendon.

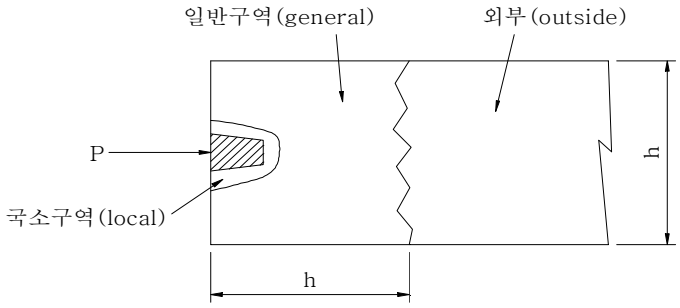


그림 10.1.1 정착구역

(43) 일반단면 : 프리스트레스 힘이 콘크리트부재에 충분히 전달되어 단면내의 응력분포가 선형연속분포가 되는 단면. 일반적으로 단부 단면(end section)으로부터 거더의 높이만큼 떨어진 위치의 단면

(44) 전달길이(transfer length) : 프리텐션 부재에서 부착에 의해 콘크리트에 프리스트레스 힘을 전달하는데 필요한 길이

(45) 접속구 또는 커플러(coupler) : PS강재와 PS강재 또는 정착장치와 정착장치를 접속하여 프리스트레스 힘이 전달되도록 하는 장치

(46) 정모멘트 : 바닥판 및 부재 하측에 인장응력을 생기게 하는 휨모멘트

(47) 정착구역(anchorage zone) : 부재에서 집중된 프리스트레스 힘이 정착장치로부터 콘크리트로 도입되고(국소구역), 부재 내로 넓게 분포되는(일반구역) 부분

(48) 정착길이 : 위험단면에서 철근의 설계강도를 발휘하기 위해 필요한 철근의 묻힘길이

(49) 정착 단면(anchored section) : 정착부가 있는 거더의 끝단부의 단면

(50) 정착돌출부(anchorage blister) : 한 개 이상의 PS강재 정착부에서 면적 확보를 위하여 복부, 플랜지, 복부와 플랜지의 접합부에 돌출시킨 부분

(51) 정착장치 : 포스트텐션방식에 의한 프리스트레스트 콘크리트에서 인장력을 준 PS강재를 경화한 콘크리트에 고정시키기 위한 장치

(52) 정착장치의 슬립량 : PS강재를 정착장치에 정착시킬 때에 PS강재가 정착장치 내에 딸려 들어가는 양

(53) 정철근 : 정모멘트에 의하여 생긴 인장응력에 대하여 배근하는 철근

(54) 주철근 : 철근콘크리트 부재의 설계에서 하중작용에 의해 생긴 단면력에 대하여 소요단면적을 산출한 철근

(55) 축방향철근 : 부재축 방향으로 배치하는 철근

(56) 코팅재 : 철근 또는 긴장재를 부식에 대해 보호하거나 덕트와 긴장재사이의 마찰을 감소시키기 위해 사용하는 재료

(57) Dry shrinkage of concrete: shrinkage strain caused by dry or hydration reaction of concrete over time.

(58) Creep: long-term deformation of concrete due to sustained load. Creep is classified as basic creep and drying creep.

(59) Elastic shortening of concrete: contraction of the member by axial compressive force.

(60) Concrete covering area of section: the section of two lines in parallel with bending axis distanced by as much as the covering thickness (c) of PS steel from the section outline and PS steel.

(61) Wobble friction: in prestressed concrete, friction caused by unintended small deviation of prestressing sheath from its specified profile.

(62) Bursting force: bursting force generated on a load concentrated point such as anchorage device or bridge bearing shoe, and is dependent on the dimensions of concrete member, scale, direction and location of concentrated load.

(63) Closure: in-situ concrete segment used to complete a span.

(64) Post-tension method: prestressing by tensioning PS steel arranged through sheath after concrete is cured to avoid adhering to concrete .

(65) Prestress: stress introduced to concrete in advance so that tensile stresses due to external loads can be offset up to a certain amount.

(66) Relaxation rate of prestressed steel: tensile force reduced by a percentage over time while a certain strain is maintained by imposing tensile force to PS steel, compared to initial tensile force to PS steel.

(67) Prestressed force: force acting on a member due to prestressing.

(68) Prestressing transfer: while prestressing force is transferred to general section from anchorage section, stress distribution curve on the section is changed to a linear continuous distribution from a non-continuous distribution, and a three-dimensional phenomenon of creating vertical stress (f) and shear stress (τ) is generated on the section through this process.

(69) Prestressing: introducing compressive stress to concrete prior to external loading.

(70) Pre-tension method: the method to introduce prestress to concrete by tensioning PS steel at a certain position in the form before pouring concrete, and then pouring concrete around that position and releasing the tension after concrete is cured. Prestress is imposed to concrete by the adhesive force between PS steel and concrete.

(71) Cover thickness: the distance between the outermost surface of embedded reinforcement and the closest outer surface of the concrete.

(72) Lower corner: where the design to resist the force intended to separate the end from the inner side of the support is required.

(57) 콘크리트의 건조수축 : 콘크리트의 건조 또는 수화반응에 의해 시간 경과에 따라 발생하는 수축 변형

(58) 콘크리트의 크리프 : 콘크리트에 일정한 응력이 장기 지속적으로 작용하는 상태에서 시간의 경과와 더불어 변형이 증가하는 현상

(59) 콘크리트의 탄성수축(elastic shortening) : 축방향 압축력에 의해 부재가 수축되는 현상

(60) 콘크리트 피복두께 단면(concrete covering area of section) : 단면외곽선과 PS강재에서 PS강재의 최소 피복두께(c) 만큼 떨어진 휨 축에 평행한 두 직선으로 이루어진 단면

(61) 파상마찰 : 프리스트레스를 도입할 때 쉬스 또는 덕트의 시공상 오차에 의해 발생하는 마찰

(62) 파열력(bursting forces) : 정착장치 또는 교량받침 설치위치 등 하중집중점에서 발생하는 파열력으로서, 콘크리트 부재의 치수와 집중하중의 크기, 방향, 위치에 따라 좌우되는 힘

(63) 폐합부(closure) : 한 경간을 완성하기 위하여 사용하는 현장치기 콘크리트의 세그멘트

(64) 포스트텐션 방식 : 콘크리트와 부착하지 않도록 쉬스를 통하여 배치한 PS강재를 콘크리트가 굳은 다음에 긴장시켜 프리스트레스를 주는 방식

(65) 프리스트레스 : 외력의 작용에 의한 인장응력을 상쇄할 목적으로 미리 계획적으로 콘크리트에 준 응력

(66) 프리스트레스 강재의 릴랙세이션률 : PS강재에 인장력을 주어 일정한 변형이 유지되는 상태에서 시간의 경과와 더불어 감소된 인장력을 최초로 준 PS강재 인장력에 대한 백분율로 나타낸 값

(67) 프리스트레스 힘 : 프리스트레싱에 의하여 부재의 단면에 작용하고 있는 힘

(68) 프리스트레스 힘의 전달(prestressing transfer) : 정착단면으로부터 일반단면으로 프리스트레스 힘이 전달되면서 단면 내에서의 응력분포곡선은 비연속 분포로부터 점차적으로 선형 연속 분포로 바뀌게 되는데 이 과정에서 단면 내에 수직응력(f)과 전단응력(τ)이 발생하는 3차원적인 현상

(69) 프리스트레싱 : 프리스트레스를 주는 일

(70) 프리텐션 방식: 콘크리트를 치기 전에 거푸집내의 소정의 위치에 PS강재를 긴장시켜 놓고, 그 주위에 콘크리트를 치며, 콘크리트가 굳은 다음에 긴장력을 풀어주어 PS강재와 콘크리트의 부착력에 의하여 콘크리트에 프리스트레스를 주는 방식

(71) 피복두께 : 철근, PS강재 또는 쉬스의 표면에서 콘크리트 표면까지의 최단거리

(72) 하단 코너부(lower coner) : 받침 안쪽에서 시작하여 거더의 끝부분을 분리시키려는 힘에 저항하도록 설계해야 하는 곳

(73) Transverse reinforcement: reinforcement perpendicular to the axis of member such as stirrup of beam or stirrup of girder.

(74) A-type joint: in-situ concrete joint, wet concrete between precast members or epoxy joint.

(75) B-type joint: joint without particular material between precast members.

10.1.3 Notations

A_c = Cross-sectional area of a member, (mm^2)

E_c = Modulus of elasticity of concrete, MPa

E_{ci} = Initial tangent modulus of elasticity at an age of 28 days

$E_{ci}(t')$ = Initial tangent modulus of elasticity at an age of t' days

E_{dj} = Modulus of elasticity considering a long-term strain, MPa

E_{ij} = Instantaneous modulus of elasticity of concrete

E_s = Modulus of elasticity of reinforcement, MPa

$f_c(t')$ = Compressive strength of concrete at an age of t' days, MPa

f_{ck} = Specified compressive strength of concrete, MPa

f_{cj} = Compressive strength j days after concrete pouring, MPa

f_{cr} = Target compressive strength of concrete for mix design of concrete, MPa

f_{cu} = Average compressive strength of concrete at an age of 28 days, MPa

$f_{cu}(t)$ = Average compressive strength of concrete at an age of t days, MPa

f_{tj} = Tensile strength j days after concrete pouring, MPa

H = Notional thickness of member, mm = $2A_c / u$

RH = Relative humidity of ambient atmosphere, %

S = Sample standard deviation, MPa,

t = Age of concrete, days

t' = Age of concrete at loading, days

t'_T = Equivalent age at curing temperature T ℃, days

T = Ambient or curing temperature, ℃

u = Perimeter length of member section A_c in contact with atmosphere, mm

$\beta(f_{cu})$ = Function to describe the effect of concrete strength on the creep

$\beta(t')$ = Function to describe the effect of sustained load on the creep

$\beta_c(t-t')$ = Function to describe the effect of loading duration on the creep

(73) 횡방향철근 : 부재축에 직각방향으로 배근하는 철근으로 기둥부재의 띠철근이나 보 부재의 스터럽 등

(74) A형 이음부 : 현장타설콘크리트 이음부, 프리캐스트부재 사이의 습윤콘크리트나 에폭시 이음부

(75) B형 이음부 : 프리캐스트 부재사이에 특별한 재료를 두지 않은 이음부(dry joint)

10.1.3 기호

A_c = 부재의 단면적(mm²)

E_c = 콘크리트의 탄성계수(MPa)

E_{ci} = 재령 28일에서 콘크리트의 초기 접선탄성계수(MPa)

$E_{ci}(t')$ = 재령 t'일에서 콘크리트의 초기 접선탄성계수(MPa)

E_{dj} = 장기변형을 고려할 경우의 탄성계수(MPa)

E_{ij} = 콘크리트의 순간탄성계수(MPa)

E_s = 철근의 탄성계수(MPa)

$f_c(t')$ = 재령 t'일에서 콘크리트의 압축응력(MPa)

f_{ck} = 콘크리트의 설계기준압축강도(MPa)

f_{cj} = 콘크리트 타설 후 j일의 압축강도(MPa)

f_{cr} = 콘크리트의 배합강도(MPa)

f_{cu} = 재령 28일에서 콘크리트의 평균압축강도(MPa)

$f_{cu}(t)$ = 재령t일에서 콘크리트의 평균압축강도(MPa)

f_{tj} = 콘크리트 타설 후 j일에서의 콘크리트의 인장강도(MPa)

h = 개념 부재치수(mm) = $2A_c / u$

RH = 외기의 상대습도, %

s = 표준편차(MPa)

t = 콘크리트의 재령, 일(day)

t' = 하중이 가해질 때의 재령, 일(day)

t_s = 콘크리트가 외기 중에 노출되었을 때의 재령, 일(day)

t'_T = 온도가 20/℃가 아닌 T/℃에서 양생할 경우 등가재령, 일(day)

T = 외기 또는 양생온도, ℃

u = 단면적 A_c의 둘레 중에서 수분이 외기로 확산되는 둘레길이(mm)

$\beta(f_{cu})$ = 콘크리트 강도가 크리프에 미치는 영향함수

$\beta(t')$ = 지속하중이 가해지는 시간 t'가 크리프에 미치는 영향함수

$\beta_c(t-t')$ = 재하기간에 따라 크리프에 미치는 영향함수

$\beta_{cc}(t)$ = Coefficient to describe the effect of concrete age on strength development

β_H = Coefficient to describe the effect of ambient relative humidity and notional thickness of member,

β_{RH} = Function to describe the effect of ambient relative humidity on the creep and shrinkage

$\beta_s(t-t_s)$ = Function of shrinkage strain according to time of drying

β_{sc} = Coefficient to describe the effect of type of cement on shrinkage

$\epsilon_{cf}(t, t')$ = Overall strain developed by the applied stress $f_c(t')$ at an age t', which is the sum of instantaneous strain and creep strain

$\epsilon_{sh}(t, t_s)$ = Shrinkage strain at an exposure age after being exposed to atmosphere at an age t_s

ϵ_{sho} = Notional shrinkage coefficient

$\phi(t, t')$ = Creep coefficient of concrete

ϕ_o = Notional creep coefficient of concrete

ϕ_{RH} = Function to describe the effect of ambient relative humidity and notional thickness on the creep

ν = Poisson's ratio of concrete

10.2 Material

10.2.1 Concrete

(1) General

① If there is no special requirement, f_{ck} shall be based on the strength at the age of 28 days. Otherwise, the test age for f_{ck} shall be described in design documents or specifications.

② Design compressive strength of each member applied to design shall be described in the drawing.

③ Design compressive strength of concrete shall be determined based onthe range applicable at the site.

④ Design compressive strength of concrete shall be based on test of cylindrical specimen.

(2) Design compressive strength

① Design compressive strength of concrete f_{ck} shall be at least the values in <Table 10.2.1>.

$\beta_{cc}(t)$ = 콘크리트 강도 발현에 대한 재령에 따른 보정계수

β_H = 외기의 상대습도와 부재의 두께에 따른 계수

β_{RH} = 외기습도에 따른 크리프와 건조수축에 미치는 영향계수

$\beta_s(t-t_s)$= 건조기간에 따른 건조수축 변형률 함수

β_{sc} = 시멘트 종류에 따른 건조수축에 미치는 영향계수

$\epsilon_{cf}(t,t')$ = 재령 t'일에서$f_c(t')$의 응력이 가해졌을 때 시간 t일에서의 탄성변형률과 크리프를 포함한 전체 변형률

$\varepsilon_{sh}(t,\ t_s)$ = 재령 t_s에서 외기에 노출된 콘크리트의 재령 t에서의 전체 건조수축 변형률

ϵ_{sho} = 개념 건조수축계수

$\phi(t,t')$ = 콘크리트의 크리프계수

ϕ_o = 콘크리트의 개념 크리프계수

ϕ_{RH} = 외기의 상대습도와 부재 두께가 크리프에 미치는 영향계수

ν = 콘크리트의 포아송비

10.2 재 료

10.2.1 콘크리트

(1) 일반내용

① 콘크리트의 설계기준 압축강도는 재령 28일 강도를 기준으로 해야 한다.

② 설계시 적용한 각 부재의 설계기준 압축강도를 도면상에 명시해야 한다.

③ 콘크리트의 설계기준 압축강도는 실무에서 적용가능한 강도범위내에서 정해야 한다.

④ 콘크리트의 설계기준 압축강도는 원주형 표준공시체의 시험결과에 기초를 두어야 한다.

(2) 설계기준 압축강도

① 콘크리트의 설계기준 압축강도 f_{ck}는 <표 10.2.1>에 규정된 값 이상이라야 한다.

Table 10.2.1 Minimum design compressive strength of concrete

Type of members		Minimum design compressive strength (MPa)
Plain concrete member		18
Reinforced concrete member		21
Prestressed concrete member	Pre-tension	35
	Post-tension	30

Note) In the case of PSM (Precast Span Method) and FCM (Free Cantilevered Method), minimum design compressive strength shall be 40 MPa.

② Compressive strength j days after pouring concrete shall be indicated in f_{cj}.

(3) Modulus of Elasticity

① Secant modulus of elasticity for concrete with unit weight, m_c, of 1,450 ~ 2,500 kg/m^3 is calculated from <Eq. (10.2.1)>

$$E_c = 0.077\, m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} \ \text{(MPa)} \qquad (10.2.1)$$

For concrete using normal-weight aggregate (m_c=2,300 kg/m^3), <Eq. (10.2.2)> can be used..

$$E_c = 8{,}500 \sqrt[3]{f_{cu}} \ \text{(MPa)} \qquad (10.2.2)$$

where, f_{cu} is defined as follows:

$$f_{cu} = f_{ck} + \Delta f \quad (MPa).$$

where, Δf is 4 MPa when f_{ck} is not greater than 40 MPa, or 6 MPa where f_{ck} is not less than 60 MPa, and linear interpolation shall be permitted if f_{ck} is between 40 and 60 MPa.

② The relationship between the initial tangent modulus and secant modulus of elasticity for concrete used in creep calculation is defined as <Eq. (10.2.3)>

$$E_c = 0.85 E_{ci} \ \text{(MPa)} \qquad (10.2.3)$$

(4) Poisson's ratio of concrete shall be assumed as 1/6 generally when not determined by the test.

(5) Shear modus of elasticity of concrete shall be calculated using <Eq. (10.2.4)>

표 10.2.1 콘크리트의 최저 설계기준압축강도

부재의 종류		최저 설계기준압축강도(MPa)
무근 콘크리트 부재		18
철근 콘크리트 부재		21
프리스트레스트 콘크리트 부재	프리텐션 방식	35
	포스트텐션 방식	30

주) PSM(Precast Span Method)공법 및 FCM(Free Cantilevered Method)공법의 경우 콘크리트 최저 설계기준압축강도 40MPa로 해야 한다.

② 콘크리트 타설 후 j일의 압축강도는 f_{cj}로 표시한다.

(3) 콘크리트의 탄성계수는 다음의 규정에 따른다.

① 콘크리트의 할선탄성계수는 콘크리트의 단위질량m_c의 값이 1,450~2,500kg/m^{3}인 콘크리트의 경우 <식 (10.2.1)>에 따라 계산해야 한다.

$$E_c = 0.077\, m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} \ (\text{MPa}) \qquad (10.2.1)$$

다만 보통골재를 사용한 콘크리트(m_c=2,300kg/m^3)의 경우는 <식 (10.2.2)>를 이용할 수 있다.

$$E_c = 8{,}500 \sqrt[3]{f_{cu}} \ (\text{MPa}) \qquad (10.2.2)$$

여기서, $f_{cu} = f_{ck} + \Delta f \quad (MPa)$

Δf는 f_{ck}가 40MPa 이하면 4MPa, 60MPa 이상이면 6MPa이며, 그 사이는 직선보간으로 구함

② 크리프 계산에 사용되는 콘크리트의 초기접선탄성계수와 할선탄성계수와의 관계는 <식 (10.2.3)>과 같다.

$$E_c = 0.85 E_{ci} \ (\text{MPa}) \qquad (10.2.3)$$

(4) 콘크리트의 포아송비는 실험에 의하여 결정되지 않는 경우에는 일반적으로 1/6로 가정한다.

(5) 콘크리트의 전단탄성계수는 <식 (10.2.4)>으로 계산한다.

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\nu)} \quad (10.2.4)$$

where, G_c: Shear modus of elasticity of concrete (MPa)

E_c: Modus of elasticity of concrete (MPa)

ν: Poisson's ratio

(6) Temperature expansion coefficient

① Temperature expansion coefficient of concrete shall be generally assumed as $10.0 \times 10^{-6}/℃$

② Temperature expansion coefficient of lightweight concrete shall be determined considering temperature expansion coefficient of mixed aggregate.

(7) Dry shrinkage and creep of concrete

① Drying shrinkage strain shall be calculated from <Eq. (10.2.5)< considering average humidity and dimension of the member, etc.

$$\epsilon_{sh}(t, t_s) = \epsilon_{sho}\beta_s(t-t_s) \quad (10.2.5)$$

where, ϵ_{sho} and $\beta_s(t-t_s)$shall be calculated from <Eq. (0.2.6)> to <Eq. (10.2.9)>.

$$\epsilon_{sho} = \epsilon_s(f_{cu})\beta_{RH} \quad (10.2.6)$$

$$\epsilon_s(f_{cu}) = [160 + 10\beta_{sc}(9 - f_{cu}/10)] \times 10^{-6} \quad (10.2.7)$$

$$\beta_{RH} = \begin{cases} -1.55[1-(RH/100)^3] & (40\% \leqq RH < 99\%) \\ 0.25 & (RH \geqq 99\%) \end{cases} \quad (10.2.8)$$

$$\beta_s(t-t_s) = \sqrt{\frac{(t-t_s)}{0.035\,h^2 + (t-t_s)}} \quad (10.2.9)$$

$$\beta_{sc} = \begin{cases} 4 : \text{type 2 cement} \\ 5 : \text{type 1 and 5 } cement \\ 8 : type\ 3\ cement \end{cases}$$

When the ambient temperature is not 20℃, β_{RH} and $\beta_s(t-t_s)$ shall be modified by <Eq. (10.2.10)> and <Eq. (10.2.11)>, respectively.

$$\beta_{RH} = \left[1 + \left(\frac{8}{103 - RH}\right)\left(\frac{T-20}{40}\right)\right]\beta_{RH} \quad (10.2.10)$$

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\nu)} \tag{10.2.4}$$

여기서, G_c : 콘크리트의 전단탄성계수(MPa)

E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa)

ν : 포아송비

(6) 온도팽창계수

① 보통 콘크리트의 온도팽창계수는 일반적으로 $10.0 \times 10^{-6}/℃$로 가정한다.

② 경량 콘크리트의 온도팽창계수는 콘크리트에 배합된 경량골재의 온도팽창계수를 고려하여 정해야 한다.

(7) 콘크리트의 건조수축 및 크리프

① 콘크리트의 건조수축 변형률은 대기의 평균상대습도, 부재의 크기 등을 고려하여 <식 (10.2.5)>으로 구할 수 있다.

$$\epsilon_{sh}(t, t_s) = \epsilon_{sho}\beta_s(t-t_s) \tag{10.2.5}$$

여기서 ϵ_{sho}와 $\beta_s(t-t_s)$는 <식 10.2.6>~<식 10.2.9>에 의해 계산해야 한다.

$$\epsilon_{sho} = \epsilon_s(f_{cu})\beta_{RH} \tag{10.2.6}$$

$$\epsilon_s(f_{cu}) = [160 + 10\beta_{sc}(9 - f_{cu}/10)] \times 10^{-6} \tag{10.2.7}$$

$$\beta_{RH} = \begin{cases} -1.55[1-(RH/100)^3] & (40\% \leq RH < 99\%) \\ 0.25 & (RH \geq 99\%) \end{cases} \tag{10.2.8}$$

$$\beta_s(t-t_s) = \sqrt{\frac{(t-t_s)}{0.035\,h^2 + (t-t_s)}} \tag{10.2.9}$$

$$\beta_{sc} = \begin{cases} 4 : 2종시멘트 \\ 5 : 1종,5종시멘트 \\ 8 : 3종시멘트 \end{cases}$$

외기의 온도가 20℃가 아닌 경우 β_{RH} 및 $\beta_s(t-t_s)$는 <식 (10.2.10)>과 <식 (10.2.11)>에 의해 보정해야 한다.

$$\beta_{RH} = \left[1 + \left(\frac{8}{103 - RH}\right)\left(\frac{T-20}{40}\right)\right]\beta_{RH} \tag{10.2.10}$$

$$\beta_s(t-t_s) = \sqrt{\frac{(t-t_s)}{0.035h^2\exp[-0.06(T-20)]+(t-t_s)}} \qquad (10.2.11)$$

② The following provisions shall be permitted to be used to predict creep of concrete.

A. Overall strain $\epsilon_{cf}(t,t')$developed by applied stress $f_c(t')$ at an age t', which is the sum of instantaneous strain and creep strain, shall be permitted to be calculated by <Eq. (10.2.12)>, considering the effects of compressive strength, size of member, average relative humidity, loading age, loading duration, type of cement, curing temperature, temperature change, and applied stress level.

$$\epsilon_{cf}(t,t') = f_c(t')\left[\frac{1}{E_{ci}(t')}+\frac{\phi(t,t')}{E_{ci}}\right] \qquad (10.2.12)$$

where, E_{ci} and $E_{ci}(t')$ are calculated from <Eq. (10.2.29)> and <Eq. (10.2.30)>, respectively.

B. The creep coefficient $\phi(t,t')$ in <Eq. (10.2.12)> corresponds to reference curing temperature and temperature at loading of 20℃. The creep coefficient is calculated by the following equations.

$$\phi(t,t') = \phi_0\beta_c(t-t') \qquad (10.2.13)$$

where, $$\phi_0 = \phi_{RH}\beta(f_{cu})\beta(t') \qquad (10.2.14)$$

$$\phi_{RH} = 1+\frac{1-0.01RH}{0.10\sqrt[3]{h}} \qquad (10.2.15)$$

$$\beta(f_{cu}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cu}}} \qquad (10.2.16)$$

$$\beta(t') = \frac{1}{0.1+(t')^{0.2}} \qquad (10.2.17)$$

$$\beta_c(t-t') = \left[\frac{(t-t')}{\beta_H+(t-t')}\right]^{0.3} \qquad (10.2.18)$$

$$\beta_H = 1.5\left[1+(0.012RH)^{18}\right]h+250 \leq 1{,}500(day) \qquad (10.2.19)$$

where, f_{cu} is obtained from <Eq. 10.2.26>

$$\beta_s(t-t_s) = \sqrt{\frac{(t-t_s)}{0.035h^2\exp[-0.06(T-20)]+(t-t_s)}} \quad (10.2.11)$$

② 콘크리트의 크리프는 다음의 규정에 따라 예측할 수 있다.

가. 시간t'에서 작용응력$f_c(t')$에 의한 콘크리트의 순간 변형 및 크리프 변형을 함께 고려한 전체 변형률$\epsilon_{cf}(t,t')$는 1) 콘크리트의 압축강도 또는 설계기준압축강도, 2) 부재의 크기, 3) 평균 상대습도, 4) 재하시의 재령, 5) 재하기간, 6) 시멘트 종류, 7) 양생온도, 8) 온도변화, 9) 작용응력의 크기 등에 따라 <식 (10.2.12)>를 사용하여 구할 수 있다.

$$\epsilon_{cf}(t,t') = f_c(t')\left[\frac{1}{E_{ci}(t')} + \frac{\phi(t,t')}{E_{ci}}\right] \quad (10.2.12)$$

여기서, E_{ci}는 <식 10.2.29>에 의해 구하고,$E_{ci}(t')$는 <식 (10.2.30)>에 의해서 구한다.

나. <식 (10.2.12)>에서 크리프계수$\phi(t,t')$는 양생온도가 20℃이고, 하중이 작용하는 동안의 기온도 20℃인 경우를 기준으로 한 것으로 <식 (10.2.13)>과 같이 구할 수 있다.

$$\phi(t,t') = \phi_0\beta_c(t-t') \quad (10.2.13)$$

여기서, $\phi_0 = \phi_{RH}\beta(f_{cu})\beta(t')$ (10.2.14)

$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1-0.01RH}{0.10\sqrt[3]{h}} \quad (10.2.15)$$

$$\beta(f_{cu}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cu}}} \quad (10.2.16)$$

$$\beta(t') = \frac{1}{0.1+(t')^{0.2}} \quad (10.2.17)$$

$$\beta_c(t-t') = \left[\frac{(t-t')}{\beta_H+(t-t')}\right]^{0.3} \quad (10.2.18)$$

$$\beta_H = 1.5\left[1+(0.012RH)^{18}\right]h + 250 \leqq 1{,}500(\text{일}) \quad (10.2.19)$$

f_{cu}는 <식 10.2.26>에 따른다.

C. The creep coefficient in <Eq. (10.2.13)> shall be adjusted according to applied stress level, temperature, and type of cement as follows.

(a) Effect of curing temperature and type of cement

When the temperature during curing is not 20℃, the age of concrete at loading t′ shall be adjusted according to the temperature and type of cement.

$$t' = t_T' \left[\frac{9}{2+(t_T')^{1.2}}+1\right]^{\alpha} \geqq 0.5(day) \qquad (10.2.20)$$

$$t_T' = \sum_{i=1}^{n} \Delta t_i \exp\left(-\frac{4000}{273+T(\Delta t_i)}+13.65\right) \qquad (10.2.21)$$

$$\alpha = \begin{cases} -1 & : type\,1\,cement \\ 0 & : type\,1\,\text{and}\,5\,cement \\ 1 & : type\,3\,cement \end{cases}$$

where, $T(\Delta t_i)$ is temperature maintained during Δt_i days, and n is the number of temperature change.

(b) Effect of level of applied stresses

For stress levels in the range of $0.4\,f_{cu}(t') < |f_c(t')| < 0.6\,f_{cu}(t')$, the nonlinearity of creep shall be taken into account by <Eq. (2.2.11)>, modifying ϕ_0 in <Eq. (2.2.3)>.

When working stress was as ⓐ, <Eq. 10.2.14> shall be corrected to <Eq. (10.2.22)> considering non-linearity.

$$\phi_o = \exp\left[1.5\left(\frac{|f_c(t')|}{f_{cu}(t')}-0.4\right)\right]\phi_o \qquad (10.2.22)$$

where, $f_{cu}(t')$ is calculated from Eq. (10.2.27), and Eq. (10.2.28)

(c) Effect of temperature change

When the temperature under sustained load changes from 5 °C to 80 °C, ϕ_{RH} and β_H in the creep coefficient shall be modified by <Eq. (2.2.13)> and <Eq. (2.2.14)>, respectively, and the creep coefficient shall be calculated from <Eq. (2.2.12)>.

$$\phi(t,t') = \beta_c(t-t')\phi_o + 0.0004(T-20)^2 \qquad (10.2.23)$$

$$\phi_{RH,T} = \phi_T + (\phi_{RH}-1.0)\phi_T^{1.2} \qquad (10.2.24)$$

where, $\phi_T = \exp\,[0.015\,(T-20)]$ (10.2.24.a)

다. 작용응력의 크기, 온도 및 시멘트의 종류에 따라 <식 (10.2.13)>의 크리프계수는 다음과 같이 보정해야 한다.

㉮ 양생온도 및 시멘트 종류에 따른 보정계수

양생 동안 온도의 변화가 있거나 20℃가 아닌 대기에 노출되어 있는 경우, 또는 시멘트 종류에 따른 재하 재령 t′는 <식 (10.2.20)>과 같이 보정해야 한다.

$$t' = t_T' \left[\frac{9}{2+(t_T')^{1.2}}+1\right]^{\alpha} \geqq 0.5(\text{일}) \qquad (10.2.20)$$

$$t_T' = \sum_{i=1}^{n} \Delta t_i \exp\left(-\frac{4000}{273+T(\Delta t_i)}+13.65\right) \qquad (10.2.21)$$

$$\alpha = \begin{cases} -1 & : 2\text{종 시멘트} \\ 0 & : 1\text{종}, 5\text{종 시멘트} \\ 1 & : 3\text{종 시멘트} \end{cases}$$

여기서, T(Δti)는 Δti일 동안 지속된 온도(℃), Δti는 일정한 온도가 지속된 기간(일)이고, n은 일정한 온도를 유지한 단계의 수이다.

㉯ 작용응력의 크기에 따른 보정계수

작용응력$f_c(t')$가 $0.4 f_{cu}(t') < |f_c(t')| < 0.6 f_{cu}(t')$인 경우 <식 10.2.14>의 ϕ_0는 <식 (10.2.22)>와 같이 보정하여 크리프의 비선형성을 고려한다.

$$\phi_o = \exp\left[1.5\left(\frac{|f_c(t')|}{f_{cu}(t')}-0.4\right)\right]\phi_o \qquad (10.2.22)$$

여기서, $f_{cu}(t')$는 <식 (10.2.27)>과 <식 (10.2.28)>에 의해 구할 수 있다.

㉰ 온도변화에 따른 보정계수

지속하중이 작용하는 동안 온도가 5℃에서 80℃까지 변화할 때 크리프계수는 <식 (10.2.15)>의 ϕ_{RH}를 <식 (10.2.24)>로, 그리고 <식 (10.2.19)>의 β_H를 <식 (10.2.25)>로 보정하여 <식 (10.2.23)>에 의해 구해야 한다.

$$\phi(t,t') = \beta_c(t-t')\phi_o + 0.0004(T-20)^2 \qquad (10.2.23)$$

$$\phi_{RH,T} = \phi_T + (\phi_{RH}-1.0)\phi_T^{1.2} \qquad (10.2.24)$$

여기서, $\phi_T = \exp\,[0.015\,(T-20)]$ (10.2.24.a)

$$\beta_{H,T} = \exp\left[\frac{1,500}{273+T} - 5.12\right]\beta_H \qquad (10.2.25)$$

D. Compressive strength of concrete shall be based on mean compressive strength as a result of a test with $\phi 150 \times 300$ cylindrical specimen as <Eq. (10.2.26)> and the strength over time shall be calculated using <Eq. (10.2.27)> and if it is based on 28-day design strength, it shall be as in <Eq. (10.2.26)>.

$$f_{cu} = f_{ck} + \Delta f \qquad (10.2.26)$$

$$f_{cu}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cu} \qquad (10.2.27)$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp\left[\beta_{sc}\left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right)\right] \qquad (10.2.28)$$

$$\beta_{sc} = \begin{cases} 0.35 : \text{type 1 cement wet curing1} \\ 0.15 : \text{type 1 cement steam curing} \\ 0.25 : \text{type 3 cement wet curing} \\ 0.12 : \text{type 3 cement steam curing} \\ 0.40 : \text{type 2 cement} \end{cases}$$

where, $\beta_{cc}(t)$is strength development rate and β_{sc} is the constant depending on type of cement.

E. Initial tangent modulus of elasticity of concrete when calculating creep strain shall be calculated using <Eq. (10.2.29)>

$$E_{ci} = 10,000\sqrt[3]{f_{cu}} \qquad (10.2.29)$$

F. Variation of initial tangent modulus of elasticity $E_{ci}(t)$over time shall be calculated using <Eq. (10.2.30)> and $\beta_{cc}(t)$ shall be as in <Eq. (10.2.28)>

$$E_{ci}(t) = \sqrt{\beta_{cc}(t)}\, E_{ci} \qquad (10.2.30)$$

G. Test of creep shall be in accordance with KS F 2453 (test method of concrete compressive creep)

$$\beta_{H,T} = \exp\left[\frac{1,500}{273+T} - 5.12\right]\beta_H \qquad (10.2.25)$$

라. 콘크리트의 압축강도는 ϕ150×300mm 원주공시체의 시험결과에 따라 <식 (10.2.26)>과 같이 평균압축강도f_{cu}를 택해야 하며, 시간에 따른 콘크리트의 강도 발현 $f_{cu}(t)$는 <식 (10.2.27)>과 같이 구해야 한다. 이때 f_{ck}가 28일 때의 설계기준 강도이면 <식 (10.2.26)>의 f_{cu}는 f_{28}과 같다.

$$f_{cu} = f_{ck} + \Delta f \qquad (10.2.26)$$

$$f_{cu}(t) = \beta_{cc}(t)\, f_{cu} \qquad (10.2.27)$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp\left[\beta_{sc}\left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right)\right] \qquad (10.2.28)$$

$$\beta_{sc} = \begin{cases} 0.35 : 1\text{종시멘트습윤양생} \\ 0.15 : 1\text{종시멘트증기양생} \\ 0.25 : 3\text{종시멘트습윤양생} \\ 0.12 : 3\text{종시멘트증기양생} \\ 0.40 : 2\text{종시멘트} \end{cases}$$

여기서, $\beta_{cc}(t)$는 시간에 따른 강도발현속도이고, β_{sc}는 시멘트 종류에 따른 상수이다.

마. 크리프 변형을 계산할 때 콘크리트의 초기 접선탄성계수는 <식 (10.2.29)>와 같이 구해야 한다.

$$E_{ci} = 10,000\sqrt[3]{f_{cu}} \qquad (10.2.29)$$

바. 초기 접선탄성계수$E_{ci}(t)$의 시간에 따른 변화는 <식 (10.2.30)>과 같이 구해야 하며 $\beta_{cc}(t)$는 <식 (10.2.28)>과 같다.

$$E_{ci}(t) = \sqrt{\beta_{cc}(t)}\, E_{ci} \qquad (10.2.30)$$

사. 크리프에 대한 실험은 KS F 2453(콘크리트의 압축 크리프 시험방법)에 따라야 한다.

10.2.2 Steel

(1) General

① Yield strength of reinforcement used for design shall be described in the drawing.

② Reinforcement to be welded shall be indicated on the drawing with a description of the welding procedure.

③ Deformed bar only shall be used as additional bar, but circular bar or wire may be used as spiral reinforcement.

(2) Design strength and elastic modulus if steel

① Excluding prestressing tendon, design yield strength of reinforcement f_y shall not exceed 500 MPa, but yield strength of shear reinforcement f_y shall not be designed to exceed 400 MPa.

② Elastic coefficient of reinforcement E_s = 200,000 (MPa)

③ Elastic coefficient of section steel E_{ss} = 205,000 (MPa)

(3) Temperature expansion coefficient of steel shall be 10.0×10^{-6} / ℃

(4) Steel for prestressing

① Characteristics of PS steel to be considered are as follows.

A. Nominal section area of tendon

B. Tensile strength (f_{pu}) and yield strength (f_{py}) of tendon

C. Characteristics of relaxation

D. Adhesive characteristics of concrete

E. Thermal expansion coefficient

F. Longitudinal elastic modulus

② Temperature expansion coefficient of PS steel shall be 10.0×10^{-6} ℃

③ Longitudinal elastic modulus (E_p) of PS steel shall be 200,000 MPa for both PS steel wire and strand.

④ Quality of PS steel shall be verified by the test as high strength member and low relaxation steel shall be used.

⑤ PS steel wire and strand shall be in accordance with KS D7002.

⑥ PS steel bar shall be in accordance with KS D3505

⑦ Mechanical properties and type of PS steel bar shall be as defined in <Table 10.2.2> and <Table 10.2.3>.

(5) Anchorage device and coupler

① Anchorage device and coupler shall have the structure and strength to ensure it does not fail or deform before tensile load on PS steel anchored or coupled reaches the value specified in specification or standard.

10.2.2 강재

(1) 일반내용

① 설계시 적용한 철근의 항복강도는 도면상에 명시해야 한다.

② 용접해야 할 철근은 도면상에 도시해야 하고, 이 때 적용할 용접절차도 명시해 두어야 한다.

③ 보강철근은 이형철근만 사용해야 한다. 다만 나선철근으로는 원형철근 또는 원형철선을 사용할 수 있다.

(2) 강재의 설계강도 및 탄성계수

① 프리스트레싱 긴장재를 제외하고는 철근의 설계기준항복강도f_y는 500MPa를 초과하지 않아야 한다. 다만, 전단철근의 항복강도f_y는 400MPa 보다 더 큰 값으로 설계할 수 없다.

② 철근의 탄성계수는 E_s = 200,000(MPa) 값으로 한다.

③ 형강의 탄성계수는 E_{ss} = 205,000(MPa) 값으로 한다.

(3) 강재의 온도팽창계수는 $10.0 \times 10^{-6}/℃$로 한다.

(4) 프리스트레싱용 강재

① PS강재의 특성 중 고려할 사항은 다음과 같다.

가. 긴장재의 공칭 단면적,A_P

나. 긴장재의 인장강도(f_{pu}) 및 항복강도(f_{py})

다. 릴랙세이션 특성

라. 콘크리트에 대한 부착특성

마. 열팽창계수

바. 종방향 탄성계수

② PS강재의 온도팽창계수는 $10.0 \times 10^{-6}/℃$의 값을 사용한다.

③ PS강재의 종방향탄성계수(E_p)는 PS강선인 경우나 PS강연선 모두 200,000MPa의 값을 사용한다.

④ PS강재는 고강도의 강재로서 시험에 의하여 그 품질이 확인된 것이어야 하며 저릴랙세이션 강재를 사용해야 한다.

⑤ PS강선 및 PS강연선는 KS D7002에 적합한 것이어야 한다.

⑥ PS강봉은 KS D3505에 적합한 것이어야 한다.

⑦ PS강봉의 기계적 성질과 종류는 <표 10.2.2>와 <표 10.2.3>와 같다.

(5) 정착장치 및 접속구

① 정착장치 및 접속구는 정착 또는 접속된 PS강재가 규정된 규격에 정해진 인장하중 값에 이르기 전에 파괴되거나 현저한 변형이 일어나는 일이 없는 구조 및 강도를 갖는 것이라야 한다.

Table 10.2.2 Mechanical properties of PS steel bar

Classification		Symbol	Tension test			Relaxation (%)
			Yield point (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	
Round bar A	#2	SBPR 785/1030	≥ 800	≥ 1,050	≥ 5	1.5 ≥
Round bar B	#1	SBPR 930/1080	≥ 950	≥ 1,100	≥ 5	1.5 ≥
	#2	SBPR 930/1180	≥ 950	≥ 1,200	≥ 5	1.5 ≥

Table 10.2.3 Types of PS steel bar

Size	Diameter (mm)	Symbol	Pitch (mm)	Nominal section area (㎟)	Unit weight (N/m)
9.2 mm	9.2	M10	1.25	66.48	5.2
11 mm	11.0	M12	1.5	95.03	10.5
13 mm	13.0	M14	1.5	132.7	10.4
17 mm	110.0	M18	1.5	2210.9	110.8
23 mm	23.0	M24	2	415.5	32.6
26 mm	26.0	M27	2	530.9	41.7
32 mm	32.0	M33	2	804.2	63.1

② Anchorage and coupler of PS steel shall not be deformed or fail before the tensile strength of PS steel to be anchored or coupled reaches the level stipulated in KS D 7002 or KS D 3505. Thus, anchorage and coupler of PS steel shall be subject to static test or fatigue test to ensure the tensile strength of PS steel is achieved. However, test of anchorage or coupler that has been widely used and has verified safety performance may be omitted.

(6) Sheath shall not be easily deformed during handling or concrete pouring, and cement shall not be penetrated into the connection or joint.

(7) PS grout

① PS grout shall be able to fully cover and protect PS steel from corrosion and adhere to concrete and tendon.

② Grout shall have a 28-day compressive strength that is more than 21 MPa, and sufficient adhesion between PS steel and prestressed concrete.

표 10.2.2 PS강봉의 기계적 성질

종류		기호	인장시험			릴랙세이션 값 (%)
			항복점 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)	
원형봉강 A종	2호	SBPR 785/1030	800이상	1,050이상	5이상	1.5이하
원형봉강 B종	1호	SBPR 930/1080	950이상	1,100이상	5이상	1.5이하
	2호	SBPR 930/1180	950이상	1,200이상	5이상	1.5이하

표 10.2.3 PS강봉의 종류

호칭명	기본지름(mm)	나사의 호칭	핏치(mm)	공칭단면적(mm^2)	단위중량(N/m)
9.2 mm	9.2	M10	1.25	66.48	5.2
11mm	11.0	M12	1.5	95.03	10.5
13mm	13.0	M14	1.5	132.7	10.4
17mm	110.0	M18	1.5	2210.9	110.8
23mm	23.0	M24	2	415.5	32.6
26mm	26.0	M27	2	530.9	41.7
32mm	32.0	M33	2	804.2	63.1

② PS강재의 정착장치 및 접속구는 정착 또는 접속되는 PS강재가 KS D 7002 혹은 KS D 3505에 규정된 인장강도를 발휘하기 전에 유해한 변형을 발생시키거나 파괴되어서는 안된다. 따라서 PS강재의 정착장치 및 접속구는 PS강재의 인장강도를 발휘할 수 있는지에 대하여 정적시험 및 피로시험에 의해 확인하지 않으면 안 된다. 다만, 일반적으로 많이 사용되고 있어 안전성이 확인되어 있는 정착장치나 접속구에 대해서는 시험을 생략할 수 있다.

(6) 쉬스는 그 취급 중 또는 콘크리트 치기를 할 때에 쉽게 변형되지 않는 것이어야 하며 맞물림이나 이음부 등에서 시멘트 풀이 흘러들어가지 않는 것이어야 한다.

(7) PS그라우트

① PS그라우트는 PS강재를 충분히 피복함으로써 녹슬지 않도록 보호하고 부재 콘크리트와 긴장재가 확실하게 부착이 될 수 있는 품질이라야 한다.

② 그라우트는 재령 28일에서의 압축강도가 21MPa 이상으로 또 PS강재와 프리스트레스트 콘크리트 부재사이에서 충분한 부착이 있어야 한다.

10.3 Design general

10.3.1 General

(1) The members of the structure shall be a simple structure and designed for convenient installation, inspection, drainage and maintenance. A simple structure refers not only to a simple beam but also to other parts of the structure.

(2) In design calculation, 3-digit significant number shall be obtained at the final stage.

10.3.2 Design calculation

(1) Principle of design calculation

① In designing the member, the following shall be checked when design load is applied to ensure the member is stable.

A. When factored load is applied as design load, design strength of the member shall be more than the required strength (design section force).

B. When service load is applied as design load, stress of member section shall be less than allowable stress and deflection shall be controlled to meet the usability requirement.

② Load combination when service load and factored load are applied as above shall be as follows.

A. Load combination when the ultimate strength method is used shall be as stipulated in 「Chapter 8」.

B. Load combination when the allowable stress method is used shall be as stipulated in 「Chapter 8」.

(2) Stiffness and section force

① Any rational assumption may be applied when calculating relative bending rigidity and torsional rigidity of continuous structure and framed structure. But the assumption used must be consistent over the entire analysis process. Stiffness of the member considering the crack in member section shall be used, but the stiffness for calculating the section force is relative stiffness based on the stiffness ratio between members, and thus the effect of stiffness itself on section force is considered to be insignificant. For this reason, any rational assumption may be used when calculating relative bending rigidity or torsional rigidity. Stiffness for the total cross section of concrete is frequently used instead of cracked section.

② The effect of haunch shall be considered when determining the bending moment or designing the member.

10.3 설계일반

10.3.1 일반내용

(1) 구조의 각 부재는 단순한 구조로 하고 시공, 검사, 배수, 유지관리 등에 편리하도록 설계해야 한다. 여기서 단순하다는 의미는 단순보만을 의미하는 것이 아니라, 구조의 각 부재가 단순 명확한 구조로 되어야 한다는 것이다.

(2) 설계계산에 있어서는 최종단계에서 유효숫자 3자리를 얻을 수 있도록 해야 한다.

10.3.2 설계계산

(1) 설계계산의 원칙

① 부재를 설계함에 있어서 설계하중 작용시에 대하여 다음 사항을 검사하고, 부재가 안전한가를 확인해야 한다.

가. 계수하중이 설계하중으로 작용시 부재단면의 설계강도가 소요강도(설계단면력) 이상이 되어야 한다.

나. 사용하중이 설계하중으로 작용할 때의 부재단면의 응력은 허용응력 이하가 되어야 하고, 또 사용성 조건을 충족시키기 위해 처짐 등이 조절되어야 한다.

② 위에서 규정한 사용하중 및 계수하중 작용시의 하중조합은 각각 다음과 같다.

가. 강도설계법에서의 하중조합은 「제8장」에 규정된 하중의 조합으로 해야 한다.

나. 허용응력설계법에서의 하중조합은 「제8장」에 규정된 하중의 조합으로 해야 한다.

(2) 강성 및 단면력

① 연속구조물과 골조구조물 부재의 상대적 휨강성과 비틀림강성을 구할 때는 어떠한 합리적 가정도 사용될 수 있다. 그러나 사용된 가정은 해당 해석과정을 통하여 일관성이 있어야 한다. 부재의 강성은 부재단면의 균열 등을 고려하여 구한 강성을 사용하나, 부재에 생기는 단면력의 계산에 사용되는 강성은 부재상호의 강성비 즉 상대적 강성이므로 강성의 크기 그 자체로 인하여 단면력 계산에 미치는 영향은 작다고 볼 수 있다. 이러한 사유에서 상대적인 휨강성과 비틀림강성을 구할 때 어느 합리적 가정도 사용될 수 있다. 균열단면 대신에 콘크리트의 전단면에 준한 강성을 흔히 사용하고 있다.

② 휨모멘트를 결정할 때, 또 부재를 설계할 때 모두 헌치의 영향을 고려해야 한다.

③ Section force used for designing the member shall be calculated through elastic analysis. Concrete, strictly speaking, is not a complete elastic body, if the stress and strain are not linearly proportional. But section force is calculated based on an assumption that it is the elastic body, and the safety of the member designed based on section force is not inferior to the member designed according to strict calculations. For this reason, section force used for designing the member shall be calculated using elastic theory considering the concrete as a complete elastic body. Bending rigidity and torsional rigidity of the member may be calculated considering total section of concrete as effective section. Total section of concrete refers to the section that converts the duct and steel to concrete section, disregarding the crack.

(3) Statically indeterminate force by the effect of concrete creep and dry shrinkage

Statically indeterminate force from statically indeterminate structure of which strain by concrete creep and dry shrinkage is constrained shall be in accordance with the following.

① When there is no change to the structure system: The whole structure is built on shore at once, and when there is no change to the structure system before / after construction, statically indeterminate force shall be calculated considering the following principles:

A. Effect of creep on concrete

This may not be considered generally, but when calculating the section force considering axial line on a long-span arch bridge, strain by creep that has an effect on section force shall be considered.

B. Effect of dry shrinkage of concrete

This shall be calculated using 「10.2.1 (7)」. Dry shrinkage and creep of concrete.

② When there is a change to the structure system: In the event of any change to the structure system before/after construction because the whole structure is not constructed at once, statically indeterminate force shall be calculated using the following principle:

A. Effect of concrete creep

This shall be calculated using 「10.2.1 (7)」. Dry shrinkage and creep of concrete. Continuous load to be considered shall include fixed load, prestress force and the effect of dry shrinkage. Strictly speaking, statically indeterminate force by creep must consider the section force by continuous load after calculating creep coefficient of each part of the structure system from concrete age when the structure system is changed, but as this strict method becomes more complex with more frequent changes to the structure system, statically indeterminate force by creep may be approximated through calculating the variation in reaction by creep according to <Eq. (10.3.1)>.

③ 부재를 설계할 때 쓰는 단면력은 탄성해석에 의해 계산하는 것으로 해야 한다. 콘크리트는 엄밀하게 말하면 응력과 변형률이 선형으로 비례하지 않으며 완전한 탄성체가 아니다. 그러나 이를 탄성체로 가정하여 해석하는 것이 단면력의 계산이 간단하고, 또 그 단면력에 의해 설계된 부재가 엄밀한 계산에 의해 설계된 부재와 비교하여 안전성이 떨어지지 않는다. 이와 같은 이유에서 부재를 설계할 때 쓰이는 단면력은 콘크리트를 완전한 탄성체로 보고 탄성이론에 의해 계산하도록 하였다. 이때 부재의 휨강성 및 비틀림강성은 콘크리트의 전 단면을 유효단면으로 하여 계산하여도 좋다. 콘크리트의 전 단면이란 덕트와 강재를 콘크리트 단면으로 환산한 단면이며, 균열의 발생을 무시한 단면이다.

(3) 콘크리트의 크리프 및 건조수축의 영향에 의한 부정정력

콘크리트의 크리프 및 건조수욱에 의한 변형이 구속되는 부정정구조물에서 발생되는 부정정력은 다음의 규정에 따른다.

① 구조계에 변화가 없는 경우 : 구조물 전체를 한 번에 동바리 상에서 시공하여 시공 중의 구조계와 시공 후의 구조계에 변화가 없는 경우에는 다음의 규정에 의해 부정정력을 계산하는 것으로 한다.

가. 콘크리트의 크리프의 영향

일반적으로 고려하지 않아도 좋다. 그러나 장경간의 아치교 등에서 부재 축선의 이동을 고려하여 단면력을 계산하는 경우에는 크리프에 의한 변형이 단면력에 영향을 미치게 됨으로 검토해야 한다.

나. 콘크리트의 건조수축의 영향

「10.2.1항」(7)콘크리트의 건조수축 및 크리프에 의해 계산하는 것으로 한다.

② 구조계에 변화가 있는 경우 : 구조물 전체를 한 번에 시공하지 않아, 시공 중의 구조계와 시공 후의 구조계에 변화가 있는 경우에는 다음의 규정에 의해 부정정력을 계산하는 것으로 한다.

가. 콘크리트의 크리프 영향

「10.2.1항」(7)콘크리트의 건조수축 및 크리프에 의해 계산하는 것으로 한다. 이때 고려할 지속하중은 고정하중, 프리스트레스 힘, 건조수축의 영향 등으로 한다. 한편 크리프에 의한 부정정력은 엄밀하게는 구조계가 변화할 때의 콘크리트의 재령으로부터 구조계 각부의 크리프계수를 구하여 지속하중에 의한 단면력을 고려해야 한다. 그러나 엄밀한 방법은 구조계가 변화하는 회수가 많아짐에 따라 복잡하게 되므로 크리프에 의한 부정정력을 <식 (10.3.1)>에 의해서 크리프에 의한 반력의 변화량을 계산하여 근사적으로 계산할 수 있다.

$$\triangle R_{\phi} = (R_0 - R_1)(1 - e^{-\phi}) \qquad (10.3.1)$$

B. Effect of concrete dry shrinkage

This shall be calculated using 「10.2.1」(7) Concrete dry shrinkage and creep. To calculate the statically indeterminate force by dry shrinkage, statically indeterminate force of each structure system by construction period shall be calculated to do the sum, but when statically indeterminate force by dry shrinkage seems to be insignificant, statically indeterminate force of final structure system by dry shrinkage may be used approximately.

(4) Expansion of the bridge

① For a simple span, temperature variation shall be considered when a span exceeds 12 m.

② For continuous bridge, temperature transfer control using temperature stress or locker, sliding plate or elastomeric pad shall be considered.

③ Temperature expansion and dry shrinkage of concrete shall comply with 「10.2.1」.

④ Temperature expansion coefficient and dry shrinkage coefficient of lightweight concrete shall be determined depending on the aggregate used.

(5) Effective width of compressive flange

① Effective width of T-girder compressive flange shall be determined as follows.

A. Symmetric T-girder

Effective width b shall be either $12h_f + b_w$, center-to-center distance between slabs at both sides or 1/4 of girder span, whichever is less, where b_w, is web width of girder and h_f is flange thickness.

B. Semi-T-girder

Effective width b shall be either $6h_f + b_w$, girder span/12+b_w, or clear span with neighboring span/2+b_w , whichever is less, where b_w is web width of girder plus protruded flange.

C. Independent T-girder

Flange thickness of independent T-girder shall be 1/2 of web width or more and effective width shall be 4 times of web width or less.

② Effective width of compressive flange of box girder shall be based on an assumption that total slab width is effective for compression.

(6) Minimum thickness of slab and web

① Deck thickness shall comply with 「10.10」.

$$\triangle R_{\phi} = (R_0 - R_1)(1 - e^{-\phi}) \qquad (10.3.1)$$

나. 콘크리트의 건조수축의 영향

「10.2.1항」(7)콘크리트의 건조수축 및 크리프에 의해 계산하는 것으로 한다. 한편, 건조수축에 의한 부정정력을 엄밀하게 계산하기 위해서는 각각의 구조계에 대해 각 시공기간에 따른 부정정력을 산출해서 합계해야 한다. 그러나 건조수축에 의한 부정정력이 그리 크지 않다고 생각되는 경우에는 근사적으로 최종 구조계에 대한 건조수축에 의한 부정정력을 사용해도 좋다.

(4) 교량의 신축

① 일반적으로 단순지간에서는 지간길이가 12m를 초과할 때는 온도변화에 대해 고려해야 한다.

② 연속교량에서는 설계시 온도응력 또는 로커, 활동판, 탄성패드(elastomeric pad) 등을 사용하는 방법으로 온도이동 조절을 고려해야 한다.

③ 보통 콘크리트에 대한 온도팽창 및 건조수축에 대해서는 「10.2.1항」의 규정에 따라야 한다.

④ 경량 콘크리트에 대한 온도팽창계수와 건조수축계수는 사용된 경량골재의 종류에 따라 결정되어야 한다.

(5) 압축플랜지의 유효폭

① T형거더의 압축플랜지의 유효폭은 다음과 같이 결정해야 한다.

가. 대칭 T형거더의 경우

유효폭 b는 $12h_f + b_w$, 양쪽 슬래브의 중심간 거리, 거더 경간의 1/4 가운데 가장 작은 값으로 해야 한다. 여기서 b_w는 거더의 복부폭, h_f는 플랜지의 두께이다.

나. 반T형거더의 경우

유효폭b는 $6h_f + b_w$, 거더경간/12+b_w, 인접거더와의 순경간/2+b_w 가운데 가장 작은 값으로 해야 한다. 여기서 b_w은 거더의 복부폭에 돌출된 플랜지의 길이를 더한 거리이다.

다. 독립 T형거더의 경우

독립 T형거더의 플랜지 두께는 거더의 복부폭의 1/2이상, 플랜지의 유효폭은 거더의 복부폭의 4배 이하라야 한다.

② 박스거더의 압축플랜지의 유효폭은 전체 슬래브 폭이 압축에 유효하다고 가정한다.

(6) 슬래브 및 복부의 최소두께

① 바닥판의 두께는 「10.10항」에 따라야 한다.

② Thickness of bottom slab of box girder shall be at least 1/16 of clear span of girder web or 140 mm. Because there is no direct live load on bottom slab, its thickness is thinner than top slab. But given the constructability and characteristics of box girder, minimum thickness is defined as 40 mm. Unless otherwise required by design, thickness may not be greater than top slab.

③ When designing the width of girder web to be variable depending on height, the variation shall be more than 12 times the difference in the width of web.

(7) Diaphragm

① When it is not possible to resist lateral force or maintain the section shape through other methods, diaphragm may be used at the end of T-girder or box girder, but when sufficient strength is proven by the test or structural analysis, diaphragm may not be provided. As T-girder and box girder would possibly be negatively affected on deck or support without diaphragm, it is necessary to have a diaphragm.

② An interim diaphragm shall be provided for each span of T-girder at least once every 15 m, but it may not be provided when it is proved not to require diaphragm through the test or structural analysis.

(8) Span

① For the member not integrated with the support, the span shall be clear span plus the thickness of the member; however, this shall not exceed the center-to-center distance between supports.

② The span used to calculate the bending moment in analyzing the continuous structure and framed structure shall be the center-to-center distance between supports. However, the moment inside the support may be used for designing the member. When haunch is integrated with the support of the member and the angle is 45°or more to continuous member or confined member, the height of combined member and haunch shall be considered the section that is 1.5 times of the thickness of member. However, haunch shall not be considered as added to effective height.

(9) Composite bending member

① Though concrete composite bending member is installed separately, it shall be comprised of inter-connected precast or in-situ concrete that reacts to external force as a monolithic system. The support shall not be removed until the strength required to bear all loads as well as satisfy the deflection or crack resistance requirements is secured.

② Whole composite member or part of composite member could be used to resist the shear and bending force. Each element shall be reviewed under critical load condition by loading stage, and shall be designed to bear all external forces before achieving the design strength as a composite member.

② 박스거더의 하부 슬래브의 두께는 거더 복부의 순지간의 1/16 이상, 또는 140mm 이상이라야 한다. 하부 슬래브에는 직접 활하중이 작용하지 않기 때문에 상부 슬래브보다 그 두께를 얇게 취하지만, 시공성 및 박스거더로서의 특성 등을 고려하여 최소두께를 140mm로 규정한 것이다. 다만 두께가 설계에 의해 요구되지 않는 한, 상부 슬래브보다 클 필요는 없다.

③ 거더 복부의 폭이 높이에 따라 변하도록 설계하는 경우 이 변화는 복부폭의 차이의 12배 이상의 길이에 걸쳐서 변하게 해야 한다.

(7) 격벽

① T형거더와 박스거더의 단부에는 다른 방법에 의해 횡력에 저항 하지 못하거나 단면 형상을 유지하지 못할 경우에는 다이아프램을 사용한다. 단, 다이아프램을 시험이나 구조해석에 의해 충분한 강도가 있다고 확인될 경우에는 두지 않아도 좋다. T형거더와 박스거더는 다이아프램이 없으면 주거더 직각방향 강성의 감소로 인하여 바닥판, 받침 등의 구조에 해로운 영향을 미칠 수 있으므로 단부에는 다이아프램을 두어야 한다.

② T형거더에는 중간 다이아프램을 1경간에 1개소 이상 또 15m 이하의 간격으로 설치한다. 다만, 실험이나 구조해석에 의해 다이아프램이 필요하지 않다는 것이 확인되는 경우에는 두지 않아도 좋다.

(8) 지간

① 받침부와 일체로 되어있지 않는 부재에서는 순경간에 부재의 두께를 더한 값을 지간으로 해야 한다. 그러나 그 값이 받침부의 중심간 거리를 초과할 수 없다.

② 연속구조물과 골조구조물 해석에서 휨모멘트를 구할 때 사용하는 지간은 받침부 중심간 거리로 한다. 그러나 받침부 내면에서의 모멘트를 부재설계에 사용해도 좋다. 헌치가 부재의 받침부와 일체로 만들어지고, 그 기울기가 연속부재나 구속부재의 축과 45°이상인 경우에는 받침부 내면은 부재와 헌치 부분이 결합된 높이가 적어도 부재 두께의 1.5배되는 단면으로 보아야 한다. 그러나 이 받침부 내면에서의 헌치 부분이 유효높이에 더해지는 것으로 보아서는 안 된다.

(9) 합성 휨부재

① 콘크리트 합성휨부재는 별개로 분리 시공되었으나 외력에 일체로 작용하도록 상호 연결된 프리캐스트 또는 현장치기 콘크리트 요소로 구성된다. 동바리를 제거하였을 때 모든 하중을 지지할 수 있을 뿐 아니라 요구되는 처짐 및 균열한계 등을 충분히 만족시킬 수 있을 정도로 충분한 강도를 발휘할 수 있을 때까지는 동바리를 제거하여서는 안 된다.

② 전체 합성부재 또는 그 일부만이 전단 및 휨에 저항하도록 사용될 수 있다. 각각의 요소는 각 재하단계에서의 모든 위험한 하중조건에 대해 검토되어야 한다. 또 합성부재로서의 설계강도를 완전히 발휘하기 전에 작용하는 모든 작용외력을 지지할 수 있도록 설계되어야 한다.

③ When specific strength, unit weight or other properties differ among various elements, each property shall be used individually or the most unfavorable value shall be adopted.

④ In calculating the strength of composite member, members with the support or without the support shall be used without discrimination.

⑤ Rebar shall be used to prevent segregation and constrain the cracks.

⑥ Assuming the whole composite member resists vertical shear, shear design shall be in compliance with the shear requirement in the ultimate strength method or the allowable stress method applicable to a monolithic member of the same shape.

⑦ Shear reinforcement shall be sufficiently anchored into interconnected element according to the structure details, and shear reinforcement anchored after extension may be included as a connector to horizontal shear.

⑧ It shall be designed to transfer the horizontal shear force on the contact surface of the interconnected element. Design of horizontal shear shall be performed in accordance with the ultimate strength or allowable stress design method.

(10) Design method

① In designing RC structure, member section shall be determined to have sufficient strength using load factor and strength reduction coefficient according to the ultimate strength design method, and the member section shall satisfy the serviceability requirement. Allowable stress method may be used considering behavioral characteristics and function.

② Prestress member shall be designed according to 「10.7」.

10.4 Reinforcement details

10.4.1 General

(1) The provisions of this chapter shall apply to fabrication and detailing of reinforcement and welded wire reinforcement of reinforced concrete and prestressed concrete members, and to placement of tendons and ducts.

d = Effective depth of beam, mm

d_b = Nominal diameter of reinforcement, wire or prestressing strand, mm

f_y = Specified yield strength of tension reinforcement, MPa

l_d = Development length of reinforcement, refer to 「10.5」

ρ_s = Volumetric ratio of spiral reinforcement to total volume of core(measured between out-to-out of spiral) strengthened by spiral reinforcement in compression members

③ 여러 요소간의 특정강도나 단위중량 또는 그 밖의 성질 등이 서로 다를 경우에는 설계시 각 요소들의 성질을 각각 사용하거나 또는 이들 중 가장 불리한 값을 사용해야 한다.

④ 합성부재의 강도계산에서는 동바리를 받쳐 시공한 부재와 동바리없이 시공한 부재간의 구분은 하지 않도록 해야 한다.

⑤ 각 요소의 분리를 막고, 균열을 억제하기 위해서 철근을 사용해야 한다.

⑥ 전체 합성부재가 수직전단에 저항한다고 가정하는 경우, 전단설계는 동일한 단면형상으로서 일체로 사용된 부재에 관한 강도설계법 또는 허용응력설계법의 전단규정에 따라야 한다.

⑦ 전단철근은 구조상세의 규정에 따라 상호 연결된 요소 내로 충분히 정착시켜야 한다. 연장되어 정착된 전단철근은 수평전단에 대한 연결재로 포함될 수 있다.

⑧ 상호 연결된 요소간의 접촉면에서 수평전단력이 충분히 전달되도록 설계해야 한다. 수평전단에 대한 설계는 강도설계법 또는 허용응력설계법의 전단규정에 따라야 한다.

(10) 설계 방법

① 철근콘크리트 구조물 설계시에는 이 설계기준에서 규정한 강도설계법에 따라 하중계수와 강도감소계수를 사용하여 충분한 강도를 갖도록 부재 단면을 산정하며, 이와 같이 산정된 부재단면은 사용성 요구조건을 만족해야 한다. 한편, 거동특성 및 기능을 감안하여 허용응력설계법의 규정에 따라 설계할 수도 있다.

② 프리스트레스트 부재는 「10.7항」의 규정에 따라 설계해야 한다.

10.4 철근 상세

10.4.1 일반내용

(1) 이 절의 규정은 철근콘크리트와 프리스트레스트 콘크리트 부재의 철근과 용접철망의 가공 및 배치 상세, 그리고 긴장재와 덕트의 배치에 적용 한다.

(2) 기호

d = 보의 유효깊이(mm)

d_b = 철근, 철선 또는 프리스트레싱 강연선의 공칭지름(mm)

f_y = 인장철근의 설계기준항복강도(MPa)

l_d = 철근의 정착길이, 「10.5항」참조

ρ_s = 나선철근비, 나선철근으로 보강된 압축부재에서 나선철근 바깥으로 측정한 지름으로 계산한 심부의 체적에 대한 나선철근 체적의 비

10.4.2 Rebar fabrication

(1) Standard hook

① Standard hooks of longitudinal reinforcement are classified as 180 degree and 90 degree standard hooks. Each standard hook shall satisfy the following.

A. 180-degree standard hooks shall be extended by $4d_b$ or greater, but not less than 60 mm at bent end of semicircle.

B. 90-degree standard hook shall be extended by $12d_b$ or greater at bent end of semicircle.

② Standard hooks of stirrup and tie are classified as 90 degree and 135 degree bend hooks. The hooks shall be fabricated as follows.

A. 90 degree standard hook

(a) bars not greater than D16 shall be extended by $6d_b$ or greater at bent end of semicircle.

(b) D19, D22 and D25 bars shall be extended by $12d_b$ or greater at bent end of semicircle.

B. 135-degree standard hook

bars not greater than D25 shall be extended by $6d_b$ or greater at bent end of semicircle.

(2) Minimum inner radius of bend

① Minimum inner radius of bend for 180 degree and 90 degree standard hooks of longitudinal reinforcement shall not be less than the values given in Table 10.4.1.

Table 10.4.1 Minimum inner radius of bend

Bar size	Minimum inner radius
D10 ~ D25	$3d_b$
D29 ~ D35	$4d_b$
D38 and larger	$5d_b$

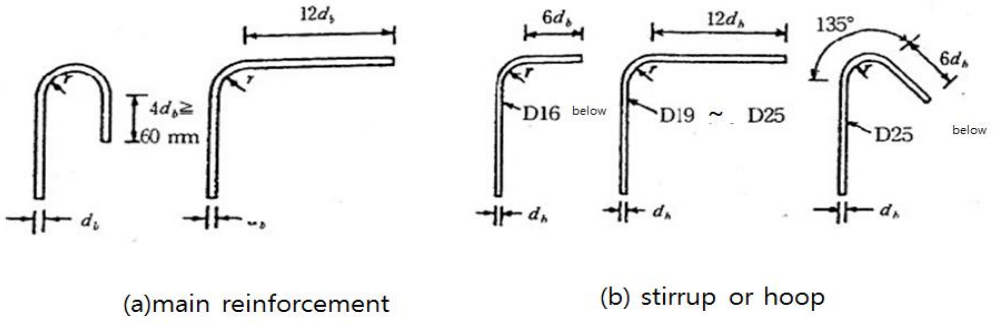


Fig. 10.4.1 Standard hook

10.4.2 철근가공

(1) 표준갈고리

① 표준갈고리는 180°표준갈고리와 90°표준갈고리로 분류되며, 다음 규정을 만족해야 한다.

가. 180°표준갈고리는 180°구부린 반원 끝에서 $4d_b$이상, 또한 60mm 이상 더 연장되어야 한다.

나. 90°표준갈고리는 90°구부린 끝에서 12 d_b이상 더 연장되어야 한다.

② 스터럽과 띠철근의 표준갈고리는 90° 표준갈고리와 135°표준갈고리로 분류되며, 다음과 같이 제작해야 한다.

가. 90° 표준갈고리

㉮ D16 이하인 철근은 90°구부린 끝에서 $6d_b$이상 더 연장해야 한다.

㉯ D19, D22와 D25인 철근은 90°구부린 끝에서 $12d_b$이상 더 연장해야 한다.

나. 135°표준갈고리

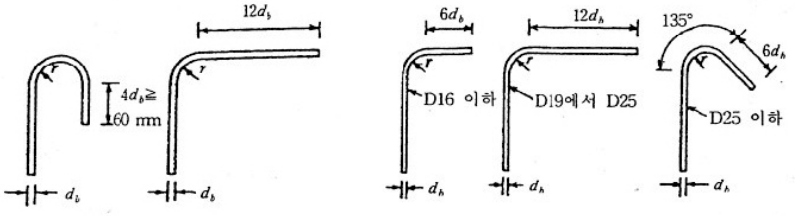
D25 이하의 철근은 135° 구부린 끝에서 $6d_b$이상 더 연장해야 한다.

(2) 구부림의 최소 내면반지름

① 180°표준갈고리와 90° 표준갈고리의 구부림 내면반지름은 <표 10.4.1>의 값 이상으로 해야 한다.

표 10.4.1 구부림 최소 내면반지름

철근 크기	최소 내면반지름
D10 ~ D25	$3d_b$
D29 ~ D35	$4d_b$
D38 이상	$5d_b$



(가) 주철근 (나) 스터럽 또는 띠철근

그림10.4.1 표준갈고리

② Inner radii of standard hook for stirrup and tie shall satisfy the following.

A. For stirrup and tie not greater than D16, inner radius of hooks shall not be less than $2d_b$.

B. For stirrup and tie not less than D19, inner radius of hooks shall be in accordance with Table 10.4.1.

③ For welded wire reinforcement (round or deformed) used for stirrups and ties, inner radius of bend in standard hooks shall not be less than $2d_b$ for deformed wire with not less than 7 mm diameter, and d_b for other wires. In addition, bends with inner radius of less than $4d_b$ shall be placed no less than $4d_b$ away from nearest welded intersection.

④ Inner diameter of bending reinforcement shall be $5d_b$ or more, as shown in (A) of <Fig. 10.4.2>.

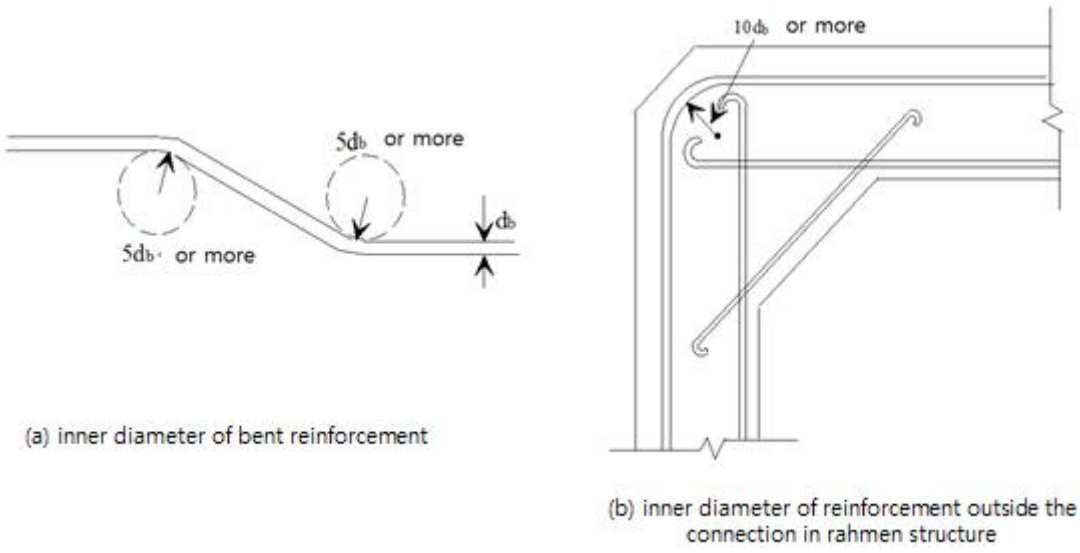


Fig. 10.4.2 Reinforcement bending

⑤ Inner diameter of bending reinforcement outside the corner of Rahmen structure shall be $10d_b$ or more as shown in (B) of <Fig 10.4.2>.

⑥ Inner radius of bend for all other reinforcements except standard hooks shall not be less than the values given in Table 10.4.1

(3) Reinforcement bending

① All reinforcements shall be bent in room temperature except for the case permitted by the qualified structural engineer.

② Reinforcements partially embedded in concrete shall not be bent in field. However, the reinforcements embedded in concrete shall be bent in field for the case as specified in the design drawings or permitted by the qualified structural engineers.

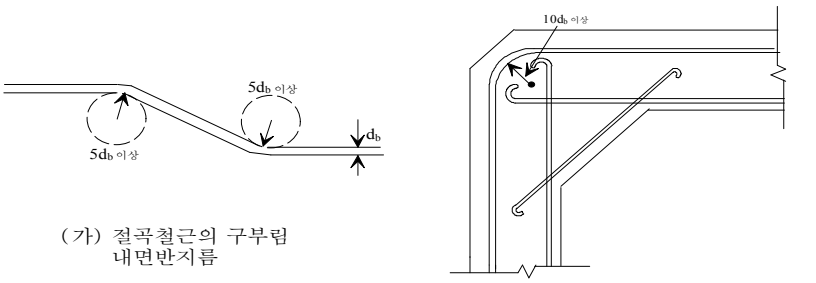
② 스터럽과 띠철근용 표준갈고리의 내면반지름은 다음 규정에 따라야 한다.

가. D16 이하의 스터럽과 띠철근으로 사용하는 표준갈고리의 구부림 내면반지름은 $2d_b$이상으로 해야 한다.

나. D19 이상의 스터럽과 띠철근의 구부림 내면반지름은 <표 10.4.1>에 따라야 한다.

③ 스터럽 또는 띠철근으로 사용되는 용접철망(원형 또는 이형)에 대한 표준갈고리의 구부림 내면반지름은 지름이 7mm이상인 이형철선은 $2d_b$, 그 밖의 철선은d_b이상으로 해야 한다. 또한 $4d_b$ 보다 작은 내면반지름으로 구부리는 경우에는 가장 가까이 위치한 용접 교차점으로부터 $4d_b$이상 떨어져서 철망을 구부려야 한다.

④ 굽힘철근의 구부리는 내면반지름은 <그림 10.4.2> (가)에 도시된 바와 같이 $5d_b$ 이상이어야 한다.



(가) 절곡철근의 구부림 내면반지름

(나) 라멘구조의 접합부 외측에 연하는 철근의 구부림 내면 반지름

그림 10.4.2 철근 구부리기

⑤ 라멘구조의 모서리 부분의 외측에 연하는 철근의 구부림 내면반지름은 <그림 10.4.2> (나)에 도시된 바와 같이 $10d_b$이상이어야 한다.

⑥ 표준갈고리 외의 모든 철근의 구부림 내면반지름은 <표 10.4.1>의 값 이상이어야 한다. 그러나 큰 응력을 받는 곳에서 철근을 구부릴 때에는 구부림 내면반지름을 더 크게 하여 철근 반지름 내부의 콘크리트가 파쇄되는 것을 방지해야 한다.

(3) 철근의 구부리기

① 특별한 경우를 제외하고 모든 철근은 상온에서 구부려야 한다.

② 콘크리트 속에 일부가 묻혀 있는 철근은 현장에서 구부리지 않아야 한다. 다만, 설계도면에 도시되어 있거나 책임기술자가 승인한 경우에는 콘크리트 속에 묻혀 있는 철근을 구부릴 수 있다.

10.4.3 Layout of reinforcement

(1) Principle

① Reinforcements, tendons and ducts shall be accurately placed, and adequately supported against displacement, and arranged for easy construction before concrete is placed.

② Welding of crossing bars for assembly of reinforcement shall not be allowed. However, welding of such reinforcements shall be allowed for a case permitted by the qualified structural engineer.

③ Reinforcements, tendons and ducts shall be placed within the tolerances given in Table 5.3.1, unless otherwise permitted by the qualified structural engineer.

A. Tolerances for effective depth, d and for the minimum concrete cover in flexural members, walls and compression members shall be in accordance with the values given in Table 5.3.1.

B. Tolerances for longitudinal location of bends and ends of reinforcement shall be ±50 mm. However, tolerance shall be ±13 mm at the discontinuous ends of brackets and corbels , and ± 25 mm at the discontinuous ends of other members.

④ When welded wire reinforcement with diameter not greater than 6.4 mm used in slabs not greater than 3 m in span is either continuous over the support or securely anchored at the support, the welded wire reinforcement shall be bent from a point near the top of slab over the support to a point near the bottom of slab at mid span.

(2) Limit in span

① Clear spacing between parallel reinforcements in a layer shall not be less than 25 mm, nor less than the nominal diameter of the reinforcements.

② Reinforcements in the upper layer shall be placed directly above reinforcements in the lower layer for the case that reinforcements are placed in two or more layers at both top and bottom. The clear spacing between the upper and the lower reinforcements shall not be less than 25 mm.

③ Clear spacing of longitudinal reinforcements shall not be less than 40 mm, nor less than 1.5 times the nominal diameter of reinforcement in compression members confined by spirals or ties .

④ Provisions for clear spacing of reinforcement shall apply to the clear spacing between a contact lap splice and adjacent splices or reinforcements.

⑤ In walls or slabs, spacing between flexural longitudinal reinforcements shall not be greater than three times the wall or slab thickness, nor greater than 450 mm. However, this provision shall not be applied for concrete joist structure.

⑥ Bundled reinforcements shall be in accordance with the following.

10.4.3 철근배치

(1) 배근원칙

① 철근, 프리스트레싱 긴장재 및 덕트는 콘크리트 치기 전에 시공이 편리하면서 정확하게 배치되고, 움직이지 않도록 적절하게 지지되어야 하며, 시공이 편리하도록 배치되어야 한다. 이 때 이들의 변위 오차는 허용오차 범위 내에 들어야 한다.

② 철근조립을 위해 교차되는 철근은 용접되지 않아야 한다. 다만, 책임기술자가 승인한 경우에는 용접할 수 있다.

③ 철근, 프리스트레싱 긴장재 및 덕트는 다음과 같은 허용오차 이내에서 규정된 위치에 배치해야 한다. 다만, 책임기술자가 특별히 승인한 경우에는 허용오차를 벗어날 수 있다.

가. 유효깊이 d에 대한 허용오차와 휨부재, 벽체, 압축부재에서 콘크리트의 최소 피복두께 허용오차는 철도공사전문시방서에 따라야 한다.

나. 종방향으로 철근을 구부리거나 철근이 끝나는 단부의 허용오차는 ±50mm이다. 다만 브래킷과 내민받침의 불연속단에서 허용오차는 ±13mm이며 그 밖의 부재의 불연속단에서 허용오차는 ±25mm이다.

④ 경간이 3.0m 이하인 슬래브에 사용되는 지름이 6.4mm 이하인 용접철망(철선 지름이 6.4mm 이하)이 받침부를 지나 연속되어 있거나 받침부에 확실하게 정착되어 있는 경우, 이 용접철망은 받침부를 지나 슬래브 상단 부근의 한 점으로부터 경간 중앙의 슬래브 바닥 부근의 한 점까지 구부릴 수 있다.

(2) 간격제한

① 동일 평면에서 평행하는 철근 사이의 수평 순간격은 25mm 이상, 또한 철근의 공칭 지름 이상으로 해야 하며, 또한 굵은골재 최대치수의 4/3배 이상이어야 한다.

② 상단과 하단에 2단 이상으로 배치된 경우 상하 철근은 동일 연직면 내에 배치되어야 하고, 이 때 상하 철근의 순간격은 25mm이상으로 해야 한다.

③ 나선철근과 띠철근 기둥에서 종방향 철근의 순간격은 40mm이상, 또한 철근 공칭지름의 1.5배 이상으로 해야 하며, 굵은골재 최대치수의 4/3배 이상이어야 한다.

④ 철근의 순간격에 대한 규정은 서로 접촉된 겹침이음 철근과 인접된 이음철근 또는 연속철근 사이의 순간격에도 적용된다.

⑤ 벽체 또는 슬래브에서 휨 주철근의 간격은 벽체나 슬래브 두께의 3배 이하로 해야 하고, 또한 450mm이하로 해야 한다. 다만, 콘크리트 장선구조의 경우 이 규정이 적용되지 않는다.

⑥ 다발철근은 다음의 규정을 따라야 한다.

A. Bundled reinforcements binding two or more reinforcements shall be deformed bars and of the number of bars in a bundle shall not be greater than 4. Bundled reinforcements shall be enclosed by stirrups or ties

B. Individual reinforcement in a bundled reinforcement terminated within the span of flexural members shall terminate at different points with a stagger of not less than $40d_b$.

C. In case that spacing between bundled reinforcements and the minimum concrete cover are represented by reinforcement diameter, diameter of a bundled reinforcement shall be treated as a single reinforcement diameter transformed by the equivalent sectional area.

D. Reinforcements greater than D35 shall not be bundled in beams.

⑦ Tendons and ducts shall comply with the following.

A. Center-to-center spacing of pretensioning tendons at the end of a member shall not be less than $5d_b$ for steel wire, and $4d_b$ for steel wire strands. If, however, specified compressive strength of concrete is greater than 27 MPa at time of initial prestress, minimum center-to-center spacing shall be 45 mm for steel wire strands with not greater than 13 mm nominal diameter and 50 mm for steel wire strands with not less than 15 mm nominal diameter. In the middle portion of a span, closer vertical spacing and bundling of tendons shall be permitted.

B. Bundling of ducts shall be permitted for post-tensioning members if shown that concrete can be properly placed and provision is made to prevent tendons from damaging the duct when tensioned.

10.4.4 Cast-in-place concrete of non-prestressed members

(1) Cast-in-place concrete

① Concrete cast in water ····· 100 mm

② Concrete cast against earth and permanently embedded in earth····· 80 mm

③ Concrete in contact with earth or exposed to outdoor air

A. Reinforcements not less than D29····· 60 mm

B. Reinforcements not greater than D25····· 50 mm

C. Reinforcements not greater than D16, and wires not greater than 16 mm in diameter ····· 40 mm

④ Reinforcements not greater than D16, and wires not greater than 16 mm in diameter

A. Slab, wall, joist

(a) Reinforcements exceeding D35..... 40 mm

(b) Reinforcements not greater than D35 ..... 20 mm

가. 2 개 이상의 철근을 묶어서 사용하는 다발철근은 이형철근으로, 그 개수는 4 개 이하이어야 하며, 이들은 스터럽이나 띠철근으로 둘러싸여져야 한다.

나. 휨부재의 경간 내에서 끝나는 한 다발철근 내의 개개 철근은 $40d_b$이상 서로 엇갈리게 끝나야 한다.

다. 다발철근의 간격과 최소 피복두께를 철근지름으로 나타낼 경우, 다발철근의 지름은 등가단면적으로 환산된 한 개의 철근지름으로 한다.

라. 보에서 D35를 초과하는 철근은 다발로 사용할 수 없다.

⑦ 프리스트레싱 긴장재와 덕트는 다음 규정을 따라야 한다.

가. 부재단에서 프리텐셔닝 긴장재 사이의 순간격은 강선은 $5d_b$, 강연선은 $4d_b$이상이어야 한다. 다만 프리스트레스를 도입할 때 콘크리트의 압축강도가 28MPa 보다 크면 공칭지름이 13mm 이하인 강연선에 대하여 최소중심간격 45mm를 공칭지름 15 mm 이상인 강연선에 대하여 최소중심간격 50mm를 만족해야 한다. 경간 중앙부의 경우 긴장재 간의 수직 간격을 부재단의 경우보다 좁게 하거나 다발로 사용할 수 있다.

나. 포스트텐셔닝 부재의 경우 콘크리트를 치는 데 지장이 없고, 긴장시 긴장재가 덕트로 부터 튀어나오지 않도록 조치한 경우, 덕트를 다발로 사용할 수 있다.

10.4.4 최소피복두께

(1) 현장치기콘크리트

① 수중에서 타설하는 콘크리트…… 100mm

② 흙에 접하여 콘크리트를 친 후 영구히 흙에
묻혀있는 콘크리트 …… 80mm

③ 흙에 접하거나 옥외의 공기에 직접 노출되는 콘크리트

가. D29 이상의 철근 …… 60mm

나. D25 이하의 철근 …… 50mm

다. D16 이하의 철근, 지름 16mm 이하의 철선 …… 40mm

④ 옥외의 공기나 흙에 직접 접하지 않는 콘크리트

가. 슬래브, 벽체, 장선

㉮ D35 초과하는 철근 …… 40mm

㉯ D35 이하인 철근 ……20mm

B. Beams, column ..... 40 mm

Cover thickness can be reduced by 10 mm from the specified value if specified compressive strength of concrete, f_{ck} is not less than 40 MPa

C. Shell, folder plate members..... 20 mm

(2) Precast concrete

① Concrete in contact with earth or exposed to outdoor air

A. Walls

(a) Reinforcements exceeding D35 and tendons exceeding 40mm in diameter.... 40 mm

(b) Reinforcements not greater than D35, tendons not greater than 40mm in diameter and wires not greater than 16 mm in diameter

B. Other members

(a) Reinforcements exceeding D35 and tendons exceeding 40 mm in diameter... 50 mm

(b) Reinforcements not greater than D35 nor less than D19, and tendons exceeding 16 mm in diameter and not greater than 40 mm in diameter ..... 40 mm

(c) Reinforcements not greater than D16, and wires not greater than 16 mm in diameter and tendons not greater than 16 mm in diameter ..... 30 mm

② Concrete not exposed to outdoor air or not in contact with earth

A. Slabs, walls, joists

(a) Reinforcements exceeding D35 and tendons exceed 40 mm in diameter .... 30 mm

(b) Reinforcement not greater than D35 and tendons not greater than 40 mm in diameter..... 20 mm

(c) Wires not greater than 16 mm in diameter..... 15 mm

B. Beams. columns

(a) Longitudinal reinforcements..... d_b

Minimum cover thickness shall not be less than 15 mm and need not exceed 40 mm

(b) Ties, stirrups, spirals.....10 mm

C. Shells, folded plate members

(a) Tendons.....20 mm

(b) Reinforcements not less than D19.....15 mm

(c) Reinforcements not greater than D16, and wires not greater than 16 mm in diameter.....10 mm

나. 보, 기둥 …… 40mm

(이 경우 콘크리트의 설계기준강도f_{ck}가 40MPa 이상인 경우 규정된 값에서 10mm 저감시킬 수 있다.)

다. 쉘, 절판부재 ……20mm

(2) 프리캐스트콘크리트

① 흙에 접하거나 옥외의 공기에 직접 노출된 콘크리트

가. 벽체

㉮ D35를 초과하는 철근 및 지름 40mm를 초과하는 긴장재 …… 40mm

㉯ D35 이하의 철근, 지름 40mm 이하인 긴장재 및 지름 16mm 이하의 철근 …… 20mm

나. 기타 부재

㉮ D35를 초과하는 철근 및 지름 40mm를 초과하는 긴장재 …… 50mm

㉯ D19 이상, D35 이하의 철근 및 지름 16mm를 초과하고 지름 40mm 이하인 긴장재 …… 40mm

㉰ D16 이하의 철근, 지름 16mm 이하의 철선 및 지름 16mm 이하인 긴장재 …… 30mm

② 옥외의 공기나 흙에 직접 접하지 않는 콘크리트

가. 슬래브, 벽체, 장선구조

㉮ D35를 초과하는 철근 및 지름 40mm를 초과하는 긴장재 …… 30mm

㉯ D35 이하의 철근 및 지름 40mm 이하인 긴장재…… 20mm

㉰ 지름 16mm 이하의 철선…… 15mm

나. 보, 기둥

㉮ 주철근 …… d_b

(다만, 15mm 이상이어야 하고, 40mm 이상일 필요는 없다.)

㉯ 띠철근, 스터럽, 나선철근 …… 10mm

다. 쉘, 절판부재

㉮ 긴장재 …… 20mm

㉯ D19 이상의 철근 …… 15mm

㉰ D16 이하의 철근, 지름 16mm 이하의 철선 …… 10mm

(3) Prestressed concrete

① Concreting on earth for permanent embedment ····· 80 mm

② Concrete directly exposed to the earth or open air

A. Wall, slab, joist ····· 30 mm

B. Other members ····· 40 mm

③ Concrete not directly exposed to open air or the earth

A. Slab, wall, joist ····· 20 mm

B. Girder, column

(a) Main reinforcement..... 40 mm

(b) Tie hoop, stirrup, spiral reinforcement..... 30 mm

C. Shell, folded plate member

(a) Rebar D19 or more..... d_b

(b) Rebar D16 or less and wire 16 mm in diameter or less ..... 10 mm

④ Minimum covering depth of rebar without prestressing on prestressed concrete member fabricated under the same conditions as factory fabrication shall be in compliance with 「10.4.4 (2)」

(4) Bundled reinforcements

Cover thickness for bundled reinforcements shall not be less than the equivalent diameter of the bundle. However, cover thickness needs not to be greater than 60 mm. Cover thickness shall not be less than 80 mm for concrete cast against earth and permanently embedded in earth, and 100 mm for concrete cast in water.

(5) Concrete exposed to special environments

① Cover thickness shall be increased in accordance with 「10.4.4 (5) ②」 for concrete under the following conditions.

A. For structural systems requiring high durability

B. For structural systems located within 250 m from coast, and directly exposed to chloride attack without additional surface protection

C. For a condition under severe erosion due to water flow or under chemical attack

② Cover thickness shall not be less than the following for cases specified in 「10.4.4 (5) ①」

A. Cast-in-place concrete

(a) Walls, slabs reinforced by reinforcing bars not greater than D16..... 50 mm

(b) Other members except for ⓐ ..... 80 mm

B. Precast concrete

(a) Walls, slabs .....40 mm

(b) Other members .....50 mm

(3) 프리스트레스트 콘크리트

① 흙에 접하여 콘크리트를 친 후 영구히 흙에 묻혀 있는 콘크리트 …… 80mm

② 흙에 접하거나 옥외의 공기에 직접 노출되는 콘크리트

가. 벽체, 슬래브, 장선구조 …… 30mm

나. 기타 부재 …… 40mm

③ 옥외의 공기나 흙에 직접 접하지 않는 콘크리트

가. 슬래브, 벽체, 장선 …… 20mm

나. 보, 기둥

㉮ 주철근 …… 40mm

㉯ 띠철근, 스터럽, 나선철근 …… 30mm

다. 쉘, 절판부재

㉮ D19 이상의 철근 …… d_b

㉯ D16 이하의 철근, 지름 16mm 이하의 철선 …… 10mm

④ 공장제품 생산조건과 동일한 조건으로 제작된 프리스트레스트 콘크리트 부재에서 프리스트레스 되지 않은 철근의 최소 피복두께는 「10.4.4 (2)항」에 따라야 한다.

(4) 다발철근

다발철근의 피복두께는 다발의 등가지름 이상으로 해야 한다. 그러나 60mm 보다 크게 할 필요는 없다. 다만, 흙에 접하여 콘크리트를 타설하여 영구히 흙에 묻혀있는 경우는 피복두께를 80mm 이상, 수중에서 콘크리트를 타설한 경우는 100mm 이상으로 해야 한다.

(5) 특수환경에 노출되는 콘크리트 및 철근휨과 축방향력

① 콘크리트가 다음과 같은 조건하에 있는 경우에는 피복두께를 적절히 증가시켜야 한다.

가. 고내구성이 요구되는 구조체의 경우

나. 해안에서 250m 이내에 위치하는 구조체로서 추가의 표면처리 공사를 수행하지 않고 직접 외부에 노출되어 염해를 받는 경우

다. 유수 등에 의한 심한 침식 또는 화학작용을 받는 경우

② 「10.4.4 (5) ①항」에서 규정한 경우에는 다음 값 이상의 피복두께를 확보해야 한다.

가. 현장치기 콘크리트

㉮ D16 이하의 철근을 사용한 벽체, 슬래브 …… 50mm

㉯ ㉮외의 모든 부재 …… 80mm

나. 프리캐스트 콘크리트

㉮ 벽체, 슬래브 …… 40mm

㉯ 기타 부재 …… 50mm

③ Cover thickness of a structure requiring fire protection shall be determined considering temperature and duration of fire and properties of used aggregate. When the required cover thickness is greater than the minimum cover thickness specified in 「10.4.4」, equivalent fireproof or coating materials shall be used or cover thickness shall be increased

10.4.5 Limits for reinforcement of compression member

(1) Longitudinal reinforcement area of noncomposite compression members shall be not less than 0.01 times the gross area A_g , not more than 0.08 A_g. Where longitudinal reinforcement is lap spliced, the longitudinal reinforcement area shall not be more than 0.04 A_g.

(2) Minimum number of longitudinal reinforcement in compression member shall be 4 for bars enclosed by rectangular or circular ties, 3 for bars enclosed by triangular ties, and 6 for bars enclosed by spirals specified in <Eq. (10.4.1)>

10.4.6 Transverse Reinforcement for Members

(1) Transverse reinforcement for flexural members

① Compression reinforcement in beams shall be enclosed by ties or stirrups or by welded wire reinforcements of equivalent cross-sectional area. Sizes and spacings of ties or stirrups shall satisfy provisions of 「10.4.6 (2) ③」. In addition, such ties and stirrups shall be provided over the distance where compression reinforcement is placed.

② Transverse reinforcement for flexural framing members subjected to stress reversals or torsion at supports shall be composed of closed ties, closed stirrups or spirals extending around the flexural reinforcement.

③ Closed ties or closed stirrups shall be formed in one piece by overlapping standard hooks of stirrup or tie around a longitudinal bar, or formed in one or two pieces lap-spliced with class B splice (lap of $1.3l_d$), or anchored in accordance with 「10.5.5 (4)」.

(2) Transverse reinforcement for compression members

① Transverse reinforcement for each compression member shall conform to the following provisions.

A. Transverse reinforcement of compression member shall be in accordance with 「10.4.6 (2) ② & ③」, and when shear or torsional reinforcing bar is required, it shall comply with 「10.6.6 & 10.6.7」.

B. Transverse reinforcement of composite compression member shall comply with the design of composite concrete compression member in 「Concrete structure design criteria」.

③ 내화를 필요로 하는 구조물의 피복두께는 화열의 온도, 지속시간, 사용골재의 성질 등을 고려하여 정해야 하며,「10.4.4」에 규정된 최소 피복두께보다 더 큰 값이 요구될 때에는 동등한 내화성능의 재료나 피복재료를 사용하거나 피복두께의 값을 증가시켜야 한다.

10.4.5 압축부재의 최소철근

(1) 비합성 압축부재의 축방향 주철근 단면적은 전체 단면적 A_g의 0.01배 이상, 0.08배 이하로 해야 한다. 축방향 주철근이 겹침이음이 되는 경우의 철근비는 0.04를 초과하지 않아야 한다.

(2) 압축부재의 축방향 주철근의 최소 개수는 사각형이나 원형 띠철근으로 둘러싸인 경우는 4개, 삼각형 띠철근으로 둘러싸인 경우는 3개, <식 (10.4.1)>에 규정하는 나선철근으로 둘러싸인 경우는 6개 이상으로 해야 한다.

10.4.6 부재에서 횡철근

(1) 휨부재의 횡철근

① 보의 압축철근은 띠철근이나 스터럽 또는 등가의 단면적을 갖는 용접철망으로 둘러싸여져야 한다. 이 때 띠철근이나 스터럽의 크기와 간격은「10.4.6 (2) ③항」의 규정을 만족해야 한다. 또한, 이러한 띠철근이나 스터럽은 압축철근이 배근되는 전 구간에 배치되어야 한다.

② 받침부에서 응력의 반전 또는 비틀림을 받는 휨 골조부재의 횡철근은 폐쇄띠철근, 폐쇄스터럽 또는 나선철근으로 해야 한다.

③ 폐쇄띠철근 또는 폐쇄스터럽은 종방향 철근 주위를 한 가닥의 스터럽이나 띠철근으로 한 바퀴 돌려서 교차되는 위치에 표준갈고리로 중첩시켜 만들거나 한 가닥 또는 두 가닥의 철근을 B급 이음(1.3 l_d이음)으로 겹침이음한 형태로 만들거나「10.5.5 (4)항」에 따라 정착시켜 만들어야 한다.

(2) 압축부재의 횡철근

① 압축부재에서 각 부재별 횡철근은 다음 규정을 따라야 한다.

가. 압축부재에 대한 횡철근은「10.4.6 (2) ②항과 ③항」의 규정을 따라야 하며, 전단이나 비틀림 보강철근이 요구되는 경우에는「10.6.6항 및 10.6.7항」의 규정에도 따라야 한다.

나. 합성압축부재에 대한 횡철근은「콘크리트구조설계기준」합성콘크리트부재장의 합성콘크리트 압축부재의 설계항을 따라야 한다.

C. Transverse reinforcement of prestressing tendon shall comply with the design of prestressed concrete compression member in 「Concrete structure design criteria」.

D. Requirements for transverse reinforcement may not be applied when a compression member has been proved to have sufficient strength and structural performance without transverse reinforcement through the test and structural analysis.

② Spirals for compression members shall conform to the following.

A. Spirals shall consist of evenly spaced continuous reinforcing bar or wire, and size of spirals shall be ensured to be fabricated and placed without distortion from designed dimensions.

B. Spiral reinforcement ratio ρ_s shall be as described in <Eq. (10.4.1)>:

$$\rho_s = 0.45\left(\frac{A_g}{A_c} - 1\right)\frac{f_{ck}}{f_y} \qquad (10.4.1)$$

where f_y is a design yield strength which shall 700 MPa or less, and when exceeding 400 MPa, lap splice as specified in 「10.4.6 (2) ② F.」shall not be allowed.

C. Diameter of spiral reinforcement for cast-in-place concrete shall be 10 mm or more.

D. Clearance spacing of spiral reinforcement shall be 25 mm to 75 mm or two times the maximum size of coarse aggregate.

E. Anchorage of spiral reinforcement shall be additionally secured, as many as 1.5 turn around the core from the end of spiral reinforcement.

F. Splice of spiral reinforcement shall be 48 times the diameter for deformed bar, 72 times for round bar and 300 mm or longer lap splice or mechanical splice or welding joint.

G. Spiral reinforcement shall be extended from expanded base plate or top of base slab to the horizontal reinforcement at the bottom of the member supported thereon.

H. When girder or bracket is not connected to all faces of the column, tie hoop shall be extended from the end of spiral reinforcement to the slab or the bottom of drop panel.

I. Spiral reinforcement shall be extended to the point at which diameter or width of column capital becomes twice the column diameter.

J. Spiral reinforcement shall be fabricated firmly and straightly in position by vertical spacer.

다. 프리스트레싱 긴장재에 대한 횡철근은「콘크리트구조설계기준」프리스트레스트 콘크리트장의 압축부재 설계항을 따라야 한다.

라. 횡철근에 대한 상기항목의 규정은 실험과 구조해석에 의해 압축부재가 횡철근이 없어도 충분한 강도와 구조적 적합성을 보인 경우에는 적용하지 않아도 좋다.

② 압축부재에 사용되는 나선철근은 나선철근으로서 역할을 하기 위해서 다음 규정을 따라야 한다.

가. 나선철근은 균등한 간격을 갖는 연속된 철근이나 철선으로 이루어지며, 설계된 치수로부터 벗어남이 없이 다룰 수 있고 제작, 설치할 수 있도록 그 크기가 확보되어야 한다.

나. 나선철근비ρ_s는 <식 (10.4.1)>의 값 이상으로 해야 한다.

$$\rho_s = 0.45\left(\frac{A_g}{A_c}-1\right)\frac{f_{ck}}{f_y} \qquad (10.4.1)$$

여기서 f_y는 나선철근의 설계기준 항복강도로 700MPa이하이어야 하며, 400MPa을 초과하는 경우에는「10.4.6 (2) ② 바.항」에 따른 겹침이음을 할 수 없다.

다. 현장치기 콘크리트 공사에서 나선철근 지름은 10mm 이상으로 해야 한다.

라. 나선철근의 순간격은 25mm이상, 75mm 이하 또는 굵은골재 최대치수의 2배 이상이어야 한다.

마. 나선철근의 정착은 나선철근의 끝에서 추가로 심부 주위를 1.5회전만큼 더 확보해야 한다.

바. 나선철근의 이음은 이형철근인 경우 지름의 48배 이상, 원형철근인 경우 지름의 72배 이상이고, 또한 300mm 이상의 겹침이음 또는 기계적이음이나 용접이음으로 해야 한다.

사. 나선철근은 확대기초판 또는 기초 슬래브의 윗면에서 그 위에 지지된 부재의 최하단 수평철근까지 연장되어야 한다.

아. 보 또는 브래킷이 기둥의 모든 면에 연결되어 있지 않을 때에는 나선철근의 끝나는 점에서부터 슬래브 또는 지판 밑면까지 띠철근을 연장해야 한다.

자. 기둥머리가 있는 기둥에서 기둥머리의 지름이나 폭이 기둥지름의 2배가 되는 곳까지 나선철근을 연장해야 한다.

차. 나선철근은 수직간격재에 의해 제 위치에 단단하고 곧게 조립되어야 한다.

③ Tie hoop used for compression member shall comply with the following requirements.

A. Axial reinforcement D32 or less shall be enwrapped by tie hoop D10 or more and longitudinal reinforcement D35 or more, and bundled reinforcement shall be enwrapped by tie hoop D13 or more; deformed wire or welded wire with equivalent sectional area may be used instead of tie hoop.

B. Vertical spacing of tie hoop shall be 16 times the diameter of longitudinal reinforcement or less or 48 times the diameter of tie hoop or wire and the minimum size of column section or less.

C. Tie hoop shall be arranged in such a way that the axial reinforcement on all the edges and another alternate axial reinforcement are laterally supported by the edge of tie hoop bent at 135°, and when clearance spacing with axial reinforcement laterally supported along tie hoop is 150mm or more, an additional tie hoop shall be provided to laterally support axial reinforcement, and when axial reinforcement is arranged in a circular shape, a round tie hoop may be used.

D. Spacing of the first tie hoop to be placed on expanded base plate or slab shall be 1/2 the other tie hoop or less, and the same applies to the first tie hoop to be placed below horizontal reinforcement at the bottom of slab or base place.

E. When girder or bracket is connected to 4 sides of the column, tie hoop may terminate within 75 mm below the horizontal reinforcement at the bottom of the girder or bracket.

10.4.7 Special Detailing of Reinforcements for Columns and Connections

(1) Where cross-sectional dimensions vary at a column connection, offset bent reinforcements shall be placed in accordance with the following provisions.

① Slope of an offset bent reinforcement at the inclined portion shall not exceed 1/6.

② Portions of offset reinforcement above and below offset bend shall be parallel to axis of column.

③ Horizontal support shall be provided by ties, spirals or floor structure at the bend portion of offset bent reinforcement. Horizontal support shall be designed to resist 1.5 times the horizontal component of the offset reinforcement force computed in the inclined portion. Where ties or spirals are used as horizontal support, such ties and spirals shall be placed within 150 mm from the points of bend.

④ Offset bent reinforcement shall be bent prior to the placement in the forms.

⑤ Where upper column face is offset 75 mm or greater from lower column face in a column connection, longitudinal reinforcement shall not be offset. In such case, separate dowels lap spliced with longitudinal reinforcements of offset columns shall be used and the lap splice shall conform to provisions of 「10.5.8」.

③ 압축부재에 사용되는 띠철근은 다음 규정을 따라야 한다.

가. D32 이하의 축방향 철근은 D10 이상의 띠철근으로, D35 이상의 종방향 철근과 다발철근은 D13 이상의 띠철근으로 둘러싸야 하며, 띠철근 대신 등가단면적의 이형철선 또는 용접철망을 사용할 수 있다.

나. 띠철근의 수직간격은 종방향 철근지름의 16배 이하, 띠철근이나 철선지름의 48배 이하, 또한 기둥 단면의 최소 치수 이하로 해야 한다.

다. 띠철근은 모든 모서리에 있는 축방향 철근과 하나 건너 있는 축방향 철근이 135°이하로 구부린 띠철근의 모서리에 의해 횡지지 되도록 배치되어야 하며, 어떤 축방향 철근도 띠철근을 따라 횡지지된 축방향 철근의 양쪽으로 순간격이 150mm 이상 떨어진 경우에는 추가 띠철근을 배치하여 축방향 철근을 횡지지 해야 한다. 또한 축방향 철근이 원형으로 배치된 경우에는 원형 띠철근을 사용할 수 있다.

라. 확대기초판 또는 기초 슬래브의 윗면에 배치되는 첫 번째 띠철근 간격은 다른 띠철근 간격의 1/2이하로 해야 하고, 슬래브나 지판에 배치된 최하단 수평철근 아래에 배치되는 첫 번째 띠철근도 다른 띠철근 간격의 1/2이하로 해야 한다.

마. 보 또는 브래킷이 기둥의 4면에 연결되어 있는 경우에 가장 낮은 보 또는 브래킷의 최하단 수평철근 아래에서 75mm이내에서 띠철근을 끝낼 수 있다.

10.4.7 기둥철근의 특별배근상세

(1) 기둥 연결부에서 단면치수가 변하는 경우 다음 규정에 따라 옵셋 굽힘철근을 배근해야 한다.

① 옵셋 굽힘철근의 굽힘부에서는 경사는 1/6을 초과하지 않아야 한다.

② 옵셋 굽힘철근의 굽힘부를 벗어난 상·하부 철근은 기둥축에 평행해야 한다.

③ 옵셋 굽힘철근의 굽힘부에는 띠철근, 나선철근 또는 바닥구조에 의해 수평지지가 이루어져야 한다. 이 때 수평지지는 옵셋 굽힘철근의 굽힘부에서 계산된 수평분력의 1.5배를 지지할 수 있도록 설계되어야 한다. 수평지지로 띠철근이나 나선철근을 사용하는 경우에는 이들 철근을 굽힘점으로부터 150mm 이내에 배치해야 한다.

④ 옵셋 굽힘철근은 거푸집 내에 배근하기 전에 구부려 두어야 한다.

⑤ 기둥 연결부에서 상·하부의 기둥면이 75mm이상 차이가 나는 경우에는 축방향 철근을 구부려 옵셋 굽힘철근으로 사용할 수 없다. 이러한 경우에는 별도의 연결철근을 축방향 철근에 겹침이음하여 옵셋 굽힘철근으로 사용해야 한다. 이 때 겹침이음은 「10.5.8항」의 규정을 따라야 한다.

10.4.8 Shrinkage and Temperature Reinforcement

(1) Where flexural reinforcement in slab is placed in one direction only, shrinkage and temperature reinforcement shall be arranged in normal direction to the flexural reinforcement.

① Deformed reinforcement and welded wire used as shrinkage and temperature reinforcements shall not be less than the followings, but not less than 0.0014. Shrinkage and temperature reinforcement ratio shall be defined as the ratio of reinforcement area to gross concrete area.

A. Slabs where deformed reinforcements with a specified yield strength not greater than 400 MPa are Used……0.0020

B. Slabs where deformed reinforcements or welded wire with a specified yield strength exceeding 400 MPa……$0.0020 \times (400/f_y)$

② However cross-sectional area of shrinkage and temperature reinforcement calculated by multiplying the reinforcement ratio required in ① and gross concrete area need not be taken greater than 1,800 ㎟ per unit width in meter.

③ Spacing of shrinkage and temperature reinforcement shall not be greater than five times the slab thickness, nor greater than 450 mm.

④ Shrinkage and temperature reinforcement shall be anchored to develop f_y.

(2) Sectional area of contraction temperature reinforcement to be placed on substructure of the bridge such as abutment or foundation shall be 0.0015•h•s or more. Here, h is thickness of the member and s is the spacing of contraction temperature reinforcement. But for a base plate with the member with a thickness that exceeds 1,200 mm, h does not need to be greater than 1,200 mm.

10.5 Reinforcement anchoring and connection

10.5.1 General

(1) This chapter shall be applied to the development of reinforcement, welded wire fabric, and steel strand.

(2) Notations

a = Depth of equivalent rectangular stress block

A_b = Cross-sectional area of an individual bar, ㎟

A_s = Cross-sectional area of tension reinforcement, ㎟

A_{tr} = Total cross-sectional area of all transverse reinforcement within spacing ㎟ that crosses the potential plane of splitting through the reinforcement being developed,

A_v = Area of shear reinforcement within spacing s, ㎟

A_w = Area of an individual wire developed or spliced, ㎟

10.4.8 수축 및 온도철근

(1) 슬래브에서 휨철근이 1방향으로만 배치되는 경우에는 휨철근의 직각방향으로 수축 및 온도철근을 배치하는 경우에는 다음 규정에 따라야 한다.

① 수축·온도철근으로 배치되는 이형철근은 다음의 철근비 이상으로 해야 하나, 어떤 경우에도 0.0014 이상이어야 한다. 여기서, 수축·온도철근비는 콘크리트 전체 단면적에 대한 수축·온도철근 단면적의 비로 한다.

가. 설계기준항복강도가 400MPa 이하인 이형철근을 사용한 슬래브 ····· 0.0020

나. 설계기준항복강도가 400MPa를 초과한 슬래브 ····· $0.0020\times(400/f_y)$

② 다만, ①에서 요구되는 수축·온도철근비에 전체 콘크리트 단면적을 곱하여 계산한 수축·온도철근 단면적을 단위 m당 1,800mm^{2}보다 크게 취할 필요는 없다.

③ 수축·온도철근의 간격은 슬래브 두께의 5배 이하, 또한 450mm 이하로 해야 한다.

④ 수축·온도철근은 설계기준항복강도 f_y를 발휘할 수 있도록 정착되어야 한다.

(2) 교대, 기초 등 교량 하부구조에 배치해야 하는 온도·수축철근의 단면적은 0.0015·h·s 이상이어야 한다. 여기서, h는 부재의 두께이며 s는 온도·수축철근의 간격이다. 다만, 부재의 두께가 1,200mm를 초과하는 기초판의 경우에는 h를 1,200mm보다 크게 취할 필요는 없다.

10.5 철근의 정착 및 이음

10.5.1 일반내용

(1) 이 절의 규정은 철근과 용접철망의 정착 및 이음에 적용해야 한다.

(2) 기호

a = 등가 직사각형 응력블록의 깊이

A_b = 철근 1개의 단면적(mm^2)

A_s = 인장철근의 단면적(mm^2)

A_{tr} = 정착된 철근을 따라 쪼개질 가능성이 있는 면을 가로질러 배치된 간격 s 이내에 있는 횡방향 철근의 전체 단면적(mm^2)

A_v = 간격 s 이내에 있는 전단철근의 단면적(mm^2)

A_w = 정착되거나 이어지는 철선 1개의 단면적(mm^2)

b_w = Web width, or diameter of circular section, mm

c = Value regarding spacing between bars or cover thickness, mm. 「10.5.2 (2) ④」 reference

d = Effective depth of member, mm

d_b = Nominal diameter of bar, wire, or prestressing strand, mm

f_{ck} = Specified compressive strength of the concrete, MPa.

f_{ps} = Tensile stress of prestressed stiffener for nominal strength, MPa

f_{pe} = Effective stress of prestressed stiffener (after all prestress loss occurred), MPa

f_{sp} = Average split tensile strength of the concrete, MPa

f_y = Specified yield strength of steel, MPa

f_{yt} = Specified yield strength of transverse reinforcement, MPa

h = Overall thickness or height of member, mm

K_{tr} = Transverse reinforcement index.

$= \left(\frac{A_{tr} f_y}{10.7sn}\right)$ (unit of constant 10.7,)

l_a = Additional embedment length beyond centerline of support or point of inflection, mm

l_d = Development length (mm)

$= l_{db} \times$ correction factor

l_{db} = Basic development length, mm

l_{dh} = Development length in tension of deformed bar or deformed wire with a standard hook, measured from critical section to outside end of hook (straight embedment length between critical section and start of hook [point of tangency] plus inside radius of bend and one bar diameter), mm = l_{db} × modification factors

$= l_{hb} \times$ correction factor

l_{hb} = Basic development length of standard hook in tension, mm

M_n = Nominal flexural strength of the cross section

$= A_s f_y (d - a/2)$

n = Number of bars or wires being spliced or developed along the plane of splitting

s = Maximum center-to-center spacing of transverse reinforcement, within development length l_d, mm

s_w = Spacing of wire anchored or continued, mm

V_u = Factored shear force at section

α = Factor used to modify development length based on reinforcement location

β = Factor used to modify development length based on reinforcement coating

β_b = Ratio of cut off reinforcement area to total tension reinforcement area at section

b_w = 복부폭(mm)

c = 철근 간격 또는 피복 두께에 관련된 치수(mm). 「10.5.2 (2) ④항」 참조

d = 부재의 유효깊이(mm)

d_b = 철근, 또는 철선의 공칭지름(mm)

f_{ck} = 콘크리트의 설계기준압축강도(MPa)

f_{ps} = 공칭강도 발휘시 프리스트레스트 보강재의 인장응력, MPa

f_{pe} = 프리스트레스트 보강재의 유효응력(모든 프리스트레스 손실이 발생된 후),(MPa)

f_{sp} = 콘크리트의 평균 쪼갬인장강도(MPa)

f_y = 철근의 설계기준항복강도(MPa)

f_{yt} = 횡방향 철근의 설계기준항복강도(MPa)

h = 부재의 전체 두께(mm)

K_{tr} = 횡방향 철근지수

= $\left(\frac{A_{tr} f_y}{10.7sn}\right)$ (상수 10.7의 단위는, MPa)

l_a = 받침부에서 그 중심선을 지나 묻힘길이 또는 반곡점에서 부재의 유효깊이와 12 d_b중 큰 값(mm)

l_d = 정착길이(mm)

= l_{db}×보정계수

l_{db} = 기본정착길이(mm)

l_{dh} = 위험단면으로부터 갈고리 외측 단부까지의 거리로 나타낸 인장을 받는 표준갈고리의 정착길이(위험단면과 갈고리 시작점 사이의 직선 묻힘길이 + 구부림 내면반지름 + 철근지름), (mm)

= l_{hb}×보정계수

l_{hb} = 인장을 받는 표준갈고리의 기본정착길이(mm)

M_n = 단면의 공칭휨강도

= $A_s f_y(d-a/2)$

n = 쪼개질 가능성이 있는 평면을 따라 정착되거나 이어지는 철근 또는 철선의 수

s = 정착길이 l_d구간 내에 있는 횡방향 철근의 최대 중심간 간격(mm)

s_w = 정착되거나 이어지는 철선의 간격(mm)

V_u = 단면의 계수전단력

α = 철근배치 위치계수

β = 에폭시 도막계수

β_b = 전체 인장 철근량에 대한 절단된 철근량의 비

γ = Factor used to modify development length based on reinforcement size

λ = Modification factor of lightweight concrete

10.5.2 Development of Reinforcement

(1) General development

① Reinforcing bar shall be developed according to embedment length, hook, mechanical anchorage, or a combination them so that the tensile or compressive force, which is applied to each reinforcing bar cross section of RC members, can be shown from the both sides of cross section. At this time, the hook is no longer valid to the development of compression steel.

② The value of $\sqrt{f_{ck}}$ used in this chapter shall not exceed 8.4 MPa.

(2) Development of deformed bar and deformed wire in tension.

① The development length l_d for deformed bar and deformed wire in tension can be applied by selecting any one of the method according to method ② which considers modification factors to the basic development length l_{db} or method ③. The development length l_d computed by this method shall always not be less than 300 mm.

② The basic development length l_{db} for deformed bar and deformed wire in tension shall be computed by following <Eq. (10.5.1)>. Modification factor according to bars arrangement, status of coated or covered steel reinforcement surface, and type of concrete shall be computed by Table 10.5.1.

$$l_{db} = \frac{0.6\ d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} \qquad (10.5.1)$$

③ α, β, λ given in the Table 10.5.1 are computed as follows.

γ = 철근 크기에 따른 계수

λ = 경량 콘크리트계수

10.5.2 철근의 정착

(1) 정착일반

① 철근콘크리트 부재 각 단면의 철근에 작용하는 인장력 또는 압축력이 단면의 양 측에서 발휘될 수 있도록 묻힘길이, 갈고리, 기계적 정착, 또는 이들의 조합에 의하여 철근을 정착해야 한다. 이 때 갈고리는 압축철근의 정착에 있어서 유효하지 않은 것으로 본다.

② 이 절에서 사용하는 $\sqrt{f_{ck}}$ 값은 8.4MPa를 초과하지 않아야 한다.

(2) 인장 이형철근 및 이형철선의 정착

① 인장 이형철근 및 이형철선의 정착길이l_d는 「10.5.2 (2) ②항」의 기본정착길이l_{db}에 보정계수를 곱하여 계산하는 방법, 또는 「10.5.2 (2) ④항」에 의하여 계산하는 방법 중에서 어느 하나를 선택하여 적용할 수 있다. 그러나 이렇게 구한 정착길이l_d는 항상 300mm이상이어야 한다.

② 인장 이형철근 및 이형철선의 정착길이l_{db}는 <식 (10.5.1)>에 의해 구해야 한다. 그리고 철근 배치 위치, 철근표면 도막 혹은 도금 여부 및 콘크리트의 종류에 따른 보정계수는 <표 10.5.1>에 의해 구해야 한다.

$$l_{db} = \frac{0.6\ d_b f_y}{\lambda\sqrt{f_{ck}}} \qquad (10.5.1)$$

③ <표 10.5.1>에 수록된 α, β, λ는 다음과 같이 구할 수 있다.

Table 10.5.1 Correction factors

Rebar diameter Condition	Deformed bar or wire D19 or less	Rebar D22 or more
For stirrup or tie hoop with more than minimum reinforcement over entire section, d_b $d_b$as specified in design standard with clearance spacing $l_d$or more of rebar anchored or continued and more than covering depth or clearance spacing of rebar anchored or continued is $2d_b$covering depth is $d_b$or more.	$0.8\,\alpha\,\beta$	$\alpha\,\beta$
Others	$1.2\,\alpha\,\beta$	$1.5\,\alpha\,\beta$

A. α = position factor of bars arrangement

(a) Top reinforcing bars (Horizontal bars cast by fresh concrete in order to make the development length or under bonded lap joint greater than 300 mm) 1.3

(b) Other bars 1.0

B. β = coated factor of bars

(a) Epoxy coated bars or wire whose cover thickness is less than $3d_b$ or whose clear spacing is less than $6d_b$ 1.5

(b) Other epoxy coated bars or wire 1.2

(c) Galvanized bars 1.0

(d) Uncoated bars 1.0

C. λ shall be in accordance with

(a) f_{sp} value is not defined,

λ = 0.75, All lightweight concrete

λ = 0.85, Sand lightweight concrete

For values between 0.75 and 0.85, a linear interpolation shall be applied depending on volume ratio to convert fine aggregate of sand lightweight concrete to lightweight fine aggregate. For values between 0.85 and 1.0, a linear interpolation shall be applied depending on volume ratio to convert coarse aggregate of normal concrete to lightweight aggregate.

(b) when value f_{sp} is given,

$$\lambda = \frac{f_{sp}}{0.56\sqrt{f_{ck}}} \leq 1.0$$

표10.5.1 보정계수

(c) 철근지름 / (d) 조 건	D19 이하의 철근과 이형철선	D22 이상의 철근
정착되거나 이어지는 철근의 순간격이 d_b이상이고 피복두께도 d_b이상이면서 l_d 전 구간에 구조설계기준에서 규정된 최소 철근량 이상의 스터럽 또는 띠철근을 배치한 경우 또는 정착되거나 이어지는 철근의 순간격이 $2d_b$이상이고 피복두께가 d_b이상인 경우	$0.8\alpha\beta$	$\alpha\beta$
기 타	$1.2\alpha\beta$	$1.5\alpha\beta$

가. α=철근배치 위치계수

㉮ 상부철근(정착길이 또는 겹침이음부 아래 300mm를 초과되게 굳지 않은 콘크리트를 친 수평철근) …… 1.3

㉯기타 철근…… 1.0

나. β=철근 도막계수

㉮ 피복두께가 3 d_b미만 또는 순간격이 $6d_b$미만인 에폭시 도막철근 또는 철선…… 1.5

㉯ 기타 에폭시 도막철근 또는 철선…… 1.2

㉰ 아연도금 철근 …… 1.0

㉱ 도막되지 않은 철근 …… 1.0

다. λ=경량 콘크리트계수

㉮ f_{sp}값이 규정되어 있지 않은 경우

λ = 0.75, 전경량콘크리트

λ = 0.85, 모래경량콘크리트

단, 0.75에서 0.85 사이의 값은 모래경량콘크리트의 잔골재를 경량잔골재로 치환하는 체적비에 따라 직선보간한다. 0.85에서 1.0 사이의 값은 보통중량콘크리트의 굵은골재를 경량골재로 치환하는 체적비에 따라 직선보간한다.

㉯ f_{sp}값이 주어진 경우

$$\lambda = \frac{f_{sp}}{0.56\sqrt{f_{ck}}} \le 1.0$$

D. If the epoxy coated bar is top reinforcing bar, multiplication between position factor of top reinforcing bar α and coated factor of bars β , $\alpha\beta$ need not be greater than 1.7.

④ The development length d_b of deformed bar and deformed wire in tension can be computed by following <Eq. (10.5.2)>

$$l_d = \frac{0.90 d_b f_y}{\lambda\sqrt{f_{ck}}} \frac{\alpha\beta\gamma}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b}\right)} \qquad (10.5.2)$$

The value $(c+\mathrm{K_{tr}})/d_b$ in <Eq. (8.2.2)> shall not be greater than 2.5. The values γ, c and $\mathrm{K_{tr}}$ in <Eq. (8.2.2)> are as follows.

γ= Size factor of reinforcing bar or wire

Bar and deformed wire not greater than D19 ·····0.8

Bar not less than D22 ·····1.0

c= Size related to bar spacing or covering depth

Expression mm units by using the smaller of the shortest distance from the center of reinforcing bar or wire to the surface of concrete and 1/2 of center to center distance values for developed reinforcing bar or wire.

K_{tr}= Transverse reinforcement index $= \frac{40A_{tr}}{s\,n}$

It shall be permitted to use $K_{tr}=0$ as a design simplification even if transverse reinforcement is placed.

⑤ Reduction in l_d shall be permitted by multiplying $\frac{requirement\,A_S}{arrangement\,A_S}$, to the computed development length where reinforcement in a flexural member is in excess of that required by analysis. But at this time, the reduced development length l_d shall not be less than 300 mm. Also, it shall not be applied where development for f_y is specifically required.

⑥ The followings shall be satisfied where specified yield strength of reinforcing bar exceeds 550 MPa.

A. If transverse reinforcement is not placed, the $\frac{c}{d_b}$ shall not be less than 2.5.

B. If transverse reinforcement is placed, $\frac{K_{tr}}{d_b} \geq 0.25$ and $\frac{c+K_{tr}}{d_b} \geq 2.25$ shall be satisfied.

라. 에폭시 도막철근이 상부 철근인 경우에 상부 철근의 위치계수 α와 철근 도막계수β의 곱인 $\alpha\beta$가 1.7보다 클 필요는 없다.

④ 인장 이형철근 및 이형철선의 정착길이는 <식 (10.5.2)>에 따라 상세한 계산에 의해 구할 수 있다.

$$l_d = \frac{0.90 d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} \frac{\alpha\beta\gamma}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b}\right)} \qquad (10.5.2)$$

여기서, $\frac{c+K_{tr}}{d_b}$은 2.5 이하이어야 한다. 그리고 <식 (10.5.2)>의 계수 γ, c와 K_{tr}은 다음과 같다.

γ = 철근 또는 철선의 크기계수

D19 이하의 철근과 이형철선 ····· 0.8

D22 이상의 철근 ····· 1.0

c = 철근간격 또는 피복두께에 관련된 치수

철근 또는 철선의 중심으로부터 콘크리트 표면까지의 최단거리 또는 정착되는 철근 또는 철선의 중심간 거리의 1/2 중 작은 값을 사용하여 mm단위로 나타낸다.

K_{tr} = 횡방향 철근지수 = $\frac{40 A_{tr}}{s\,n}$

횡방향 철근이 배치되어 있더라도 설계를 간편하게 하기 위해K_{tr} = 0으로 사용할 수 있다.

⑤ 휨부재에 배치된 철근량이 해석에 의해 요구되는 소요철근량을 초과하는 경우는 계산된 정착길이에$\left(\frac{\text{소요}A_s}{\text{배근}A_s}\right)$를 곱하여 정착길이 l_d를 감소시킬 수 있다. 다만 이때 감소시킨 정착길이 l_d는 300mm 이상이어야 한다. 또한, f_y를 발휘하도록 정착을 특별히 요구하는 경우는 이를 적용하지 않는다.

⑥ 설계기준항복강도가 550 MPa을 초과하는 철근에 대해서는 다음을 만족하여야 한다.

가. 횡방향 철근을 배치하지 않는 경우에는 $\frac{c}{d_b}$는 2.5 이상이어야 한다.

나. 횡방향 철근을 배치하는 경우에는 $\frac{K_{tr}}{d_b} \geq 0.25$와 $\frac{c+K_{tr}}{d_b} \geq 2.25$를 만족해야 한다.

(3) Development of deformed bars in compression

① Development length l_d of deformed bars in compression is computed by multiplying all applicable modification factors in ③ to the basic development length l_{db} of the following ②. In addition, the computed l_d shall not be less than 200 mm.

② Basic development length $l_{db}$of deformed bars in compression shall be computed according to following <Eq. (10.5.3)>

$$l_{db} = \frac{0.25\, d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} \qquad (10.5.3)$$

However, this value shall be $0.043\, d_b\, f_y$ or more. Here, λ shall be in accordance with 「10.5.2 (2) ③ C.」.

③ Modification factors to the basic development length of deformed bars in compression are as follows.

A. If the area of reinforcement is in excess of that required by analysis …$\left(\frac{required\, A_s}{provided\, A_s}\right)$

B. Deformed bars in compression within spiral reinforcement not less than 6 mm diameter and not more than 100 mm pitch or within D13 ties in accordance with 「10.4.6 (2) ③」 and spaced at no more than 100 mm in center…… 0.75

(4) Development of bundled bars

① Development length l_d of individual bars within a bundle in tension or compression, compared to development length in a case of non-bundled bars, shall be increased 20% for three-bar bundle and 33% for four-bar bundle.

② For determining the development length l_d of bundled bars and in a case of calculating the clear spacing, cover thickness, and coated factor in 「10.5.2 (2)」, and the confinement term in 「10.5.2 (2) ④」, bundled bars shall be treated as a single bar having a centroid and the equivalent total area with total of bundled bars.

(5) Development for a tension deformed bars with standard hooks

① Development length l_{dh} for a tension deformed bars with standard hook in an end shall be determined by multiplying all applicable modification factors from the following ③ to the following ② of basic development length l_{hb}. However, development length l_{dh} determined by this, shall not be less than $8d_b$ and 150 mm.

② Basic development length l_{hb} can be determined according to the following <Eq. (10.5.4)>. β and λ is determined according to 「10.5.2 (2)」.

$$l_{hb} = \frac{0.24\beta\, d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} \qquad (10.5.4)$$

(3) 압축 이형철근의 정착

① 압축 이형철근의 정착길이 l_d는 「10.5.2 (3) ②항」의 기본정착길이 l_{db}에 「10.5.2 (3) ③항」에 있는 적용가능한 모든 보정계수를 곱하여 구해야 한다. 이 때 구한 l_d는 항상 200mm 이상이어야 한다.

② 압축 이형철근의 기본정착길이 l_{db}는 <식 (10.5.3)>에 따라 구해야 한다.

$$l_{db} = \frac{0.25 d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} \qquad (10.5.3)$$

다만, 이 값은 $0.043 d_b f_y$ 이상이어야 한다. 여기서, λ는 「10.5.2 (2) ③ 다.」항에 따른다.

③ 압축 이형철근의 기본정착길이 l_{db}에 대한 보정계수는 다음과 같다.

가. 해석결과 요구되는 철근량을 초과하여 배치한 경우 ……$\left(\frac{\text{소요 } A_s}{\text{배근 } A_s}\right)$

나. 지름이 6mm이상이고 나선간격이 100mm이하인 나선철근 또는 중심간격 100mm 이하로 「10.4.6 (2) ③항」의 요구조건에 따라 배치된 D13 띠철근으로 둘러싸인 압축 이형철근 …… 0.75

(4) 다발철근의 정착

① 인장 또는 압축을 받는 하나의 다발철근 내에 있는 개개 철근의 정착길이 l_d는 다발철근이 아닌 경우의 각 철근의 정착길이보다 3개의 철근으로 구성된 다발철근에 대해서는 20 %, 4개의 철근으로 구성된 다발철근에 대해서는 33 %를 증가시켜야 한다.

② 다발철근의 정착길이 l_d를 계산할 때 「10.5.2 (2)항」의 순간격, 피복두께 및 도막계수, 그리고 「10.5.2 (2) ④항」의 구속효과 관련 항을 계산할 경우에는 다발철근 전체와 동등한 단면적과 도심을 가지는 하나의 철근으로 취급해야 한다.

(5) 표준갈고리를 갖는 인장 이형철근의 정착

① 단부에 표준갈고리가 있는 인장 이형철근의 정착길이l_{dh}는 「10.5.2 (5) ②항」의 기본정착길이l_{hd}에 「10.5.2 (5) ③항」의 적용가능한 모든 보정계수를 곱하여 구해야 한다. 그러나 이렇게 구한 정착길이 l_{dh}는 항상 $8d_b$이상, 또한 150mm 이상이어야 한다.

② 기본정착길이 l_{hb}는 <식 (10.5.4)>에 의해 구할 수 있다. β와 λ는 「10.5.2 (2)항」에 따라 구한다.

$$l_{hb} = \frac{0.24 \beta d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} \qquad (10.5.4)$$

③ Modification factors for basic development length l_{hb} for a tension deformed bars with standard hooks are as in the following.

A. For D35 and smaller bars and side cover thickness which is normal to plane of hook not less than 70 mm, and 90 degree hook with cover thickness on bar extension beyond hook not less than 50 mm..... 0.7

B. For 90-degree hooks of D35 and smaller bars that are either enclosed within ties or stirrups perpendicular to the bar being developed , spaced not greater than $3d_b$ along development length l_{dh} ; or enclosed within ties or stirrups parallel to the bar being developed, spaced not greater than $3d_b$ along the length of tail extension of the hook plus bend 0.8

C. For 180-degree hooks of D35 and smaller bars that are enclosed within ties or stirrups perpendicular to the bar being developed, spaced not greater than l_{dh} along development length l_{dh} 0.8

D. For the cross section where development for total f_y is not specifically required, flexural reinforcement in excess of that required ..... $\left(\frac{required\ A_s}{provided\ A_s}\right)$

But, in 「B」 and 「C」, the first tie or stirrup shall enclose the bent portion of the hook, within $2d_b$ of the outside of the bend.

④ Hooks shall not be considered effective in developing bars in compression.

⑤ For bars being developed by a standard hook at discontinuous ends of member with both side cover thickness and top or bottom cover thickness over hook less than 70mm, the hooked bar shall be enclosed within ties or stirrups or perpendicular to the bar being developed, spaced not greater than $3\ d_b$ along development length l_{dh}. The first tie or stirrup shall enclose the bent portion of the hook, within $2d_b$ of the outside of the bend. For this case, factors in 「10.5.2 (5) ③ B.」 and 「10.5.2 (5) ③ C.」of 0.8 shall not be applied.

⑥ In case of using bars in excess of the specified yield strength of 550 MPa, factors in 「10.5.2 (5) ③ B.」 and「10.5.2 (5) ③ C.」 of 0.8 shall not be applied.

(6) Development of headed and mechanically anchored deformed bars in tension

① Development length of headed deformed bars in tension can be determined by the following equation.

$$l_{dt} = 0.19\frac{\beta f_y d_b}{\sqrt{f_{ck}}}$$

where β is 1.2 for epoxy-coated reinforcement, and 1.0 for the other cases, and the development length shall not be less than the larger of $8d_b$ and 150 mm. The following shall be satisfied before applying the equation above.

③ 표준갈고리를 갖는 인장 이형철근의 기본정착길이l_{hb}에 대한 보정계수는 다음과 같다.

가. D35 이하 철근에서 갈고리 평면에 수직방향인 측면 피복두께가 70mm 이상이며, 90°갈고리에 대해서는 갈고리를 넘어선 부분의 철근 피복두께가 50mm 이상인 경우 …… 0.7

나. D35 이하 90°갈고리 철근에서 정착길이 l_{dh} 구간을 $3d_b$이하 간격으로 띠철근 또는 스터럽이 정착되는 철근을 수직으로 둘러싼 경우, 또는 갈고리 끝 연장부와 구부림부의 전구간을 $3d_b$이하 간격으로 띠철근 또는 스터럼이 정착되는 철근을 평행하게 둘러싼 경우

…… 0.8

다. D35 이하 180°갈고리 철근에서 정착길이 l_{dh} 구간을 $3d_b$이하 간격으로 띠철근 또는 스터럽이 정착되는 철근을 수직으로 둘러싼 경우

…… 0.8

라. 전체 f_y를 발휘하도록 정착을 특별히 요구하지 않는 단면에서 휨철근이 소요철근량 이상 배치된 경우 …… $\left(\frac{\text{소요 } A_s}{\text{배근 } A_s}\right)$

다만 「나.항」과 「다.항」에서 첫 번째 띠철근 또는 스터럽은 갈고리 구부러진 부분 바깥면부터 $2d_b$이내에서 갈고리의 구부러진 부분을 둘러싸야 한다.

④ 갈고리는 압축을 받는 경우 철근정착에 유효하지 않은 것으로 보아야 한다.

⑤ 부재의 불연속단에서 갈고리 철근의 양 측면과 상부(또는 하부)의 피복두께가 70mm미만으로 표준갈고리에 의해 정착되는 경우에 전 정착길이l_{dh}구간에 $3\,d_b$이하 간격으로 띠철근이나 스터럽으로 갈고리 철근을 둘러싸야 한다. 이 때 「10.5.2 (5) ③ 나.항」과 「10.5.2 (5) ③ 다.항」의 보정계수 0.8을 적용할 수 없다.

⑥ 설계기준항복강도가 550 MPa을 초과하는 철근을 사용하는 경우에는 「10.5.2 (5) ③ 나.항」과 「10.5.2 (5) ③ 다.항」의 보정계수 0.8을 적용할 수 없다.

(6) 확대머리 이형철근 및 기계적 인장 정착

① 확대머리 이형철근의 인장에 대한 정착길이는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$l_{dt} = 0.19\frac{\beta f_y d_b}{\sqrt{f_{ck}}}$$

여기서, β는 에폭시 도막철근은 1.2, 다른 경우는 1.0이며, 정착길이는 $8d_b$, 또한 150mm 이상이어야 한다. 위의 식을 적용하기 위해서는 다음의 조건을 만족해야 한다.

A. The specified minimum yield strength shall not exceed 400 MPa.
B. The specified compressive strength of concrete shall not exceed 40 MPa.
C. Diameter of reinforcement shall not exceed 35 mm.
D. The equation cannot be applied for light-weight concrete. Instead, normal-weight concrete shall be used.
E. Net bearing area of head (A_{brg}) shall not be less than $4A_b$.
F. Clear cover thickness for bar shall not be less than $2d_b$
G. Clear spacing between bars shall not be less than $4d_b$. However, clear spacing between bars can be designated as not less than $2.5d_b$ in case of using beam main reinforcement at the beam-column connection which has the top and bottom columns, transverse steel bar at the connection is not less than 0.3% and if the back of heads are located within 50 mm from the outside surface of transverse steel bar.

② Headed deformed bars shall not be considered effective in compression.

③ Any mechanical attachment device capable to develop bars specified minimum yield strength can be used as development method. In this case, test results approving the adequacy of mechanical attachment device shall be submitted to the structural engineer in charge. Development of reinforcement shall be permitted to consist of a combination of mechanical anchorage and bar maximum stress point, and embedment length between mechanical attachments.

10.5.3 Development of Welded Wire Reinforcement

(1) Development of welded deformed wire reinforcement in tension

① Development length for welded deformed wire reinforcement in tension measured from the point of critical section to the end of wire shall be determined by multiplying wire reinforcement factor described in following 「10.5.3 (1) ⑤」 and 「⑥」 to the development length l_d determined in 「10.5.2 (2) ②」 or 「③」.

② If the area of reinforcement located in flexural member is in excess of minimum area of reinforcement required, development length l_d can be reduced by multiplying $\frac{required\,A_s}{provided\,A_s}$ to the development length determined in ①. However, the reduced development length l_d shall not be less than 200 mm, except in computation of lap splices by 「10.5.7 (1)」

③ It shall be permitted to use an epoxy-coating factor β of 1.0 in accordance with 「10.5.2 (2) ②」when obtaining development length l_d for epoxy-coated welded deformed wire reinforcement by using the following ⑤ and ⑥.

가. 철근의 설계기준항복강도는 400 MPa 이하이어야 한다.

나. 콘크리트의 설계기준압축강도는 40 MPa 이하이어야 한다.

다. 철근의 지름은 35 mm 이하이어야 한다.

라. 경량콘크리트에는 적용할 수 없으며, 보통중량콘크리트를 사용한다.

마. 확대머리의 순지압면적(A_{brg})은 $4A_b$ 이상이어야 한다.

바. 순피복 두께는 $2d_b$ 이상이어야 한다.

사. 철근 순간격은 $4d_b$ 이상이어야 한다. 다만, 상하 기둥이 있는 보-기둥 접합부의 보 주철근으로 사용되는 경우, 접합부의 횡보강철근이 0.3 % 이상이고 확대머리의 뒷면이 횡보강철근 바깥 면부터 50 mm 이내에 위치하면 철근 순간격은 $2.5d_b$ 이상으로 할 수 있다.

② 확대머리 이형철근은 압축을 받는 경우에 유효하지 않다.

③ 철근의 설계기준항복강도가 발휘될 수 있는 어떠한 기계적 정착장치도 정착 방법으로 사용할 수 있다. 이 경우, 기계적 정착장치가 적합함을 보증하는 시험결과를 책임구조기술자에게 제시하여야 한다. 철근의 정착은 기계적 정착장치와 철근의 최대 응력점, 기계적 정착장치 사이의 묻힘길이의 조합으로 이루어질 수 있다.

10.5.3 용접철망의 정착

(1) 인장 용접이형철망의 정착

① 위험단면에서 철선 단부까지의 거리로 나타내는 용접이형철망의 정착길이l_d는 「10.5.2 (2) ②항」또는 「③항」에서 구한 정착길이에 「10.5.3 (1) ⑤항」과 「⑥항」에 기술된 철망계수를 곱하여 구해야 한다.

② 「10.5.2 (2) ④항」에 해당되는 경우는 위 「①항」에서 구한 정착길이를 줄일 수 있지만 200mm이상으로 해야 한다. 다만 「10.5.7 (1)항」의 규정에 따라 겹침이음길이를 계산하는 경우 「10.5.2 (2) ④항」의 규정은 적용되지 않는다.

③ 「10.5.3 (1) ⑤항과 ⑥항」의 철망계수를 사용하여 에폭시 도막된 용접이형철망의 정착길이를 구할 때, 「10.5.2 (2) ② 나.항」의 에폭시 도막에 따른 계수 β는 1.0을 사용할 수 있다.

④ When plain wire reinforcement is placed in the development length direction inside welded deformed wire reinforcement, wire reinforcement shall be developed in accordance with「10.5.3 (2)」.

⑤ For welded deformed wire reinforcement with at least one cross wire within the development length and not less than 50 mm from the point of critical section, the wire reinforcement factor shall be the greater of 1.0.

$$\left(\frac{f_y - 245}{f_y}\right) \quad \text{or} \quad \left(\frac{5\,d_b}{s_w}\right)$$

But, this factor shall not be greater than 1.0.

⑥ For welded deformed wire reinforcement with no cross wire within the development length or with a single cross wire less than 50 mm from the point of the critical section, the wire reinforcement factor shall be taken as 1.0 and the development length l_d shall be determined as for deformed wire.

(2) Development of welded plain wire reinforcement in tension

① The specified yield strength of welded plain wire reinforcement could be considered developed by embedment of two cross wires with the closer cross wire not less than 50 mm from the point of the critical section. However, the development length l_d which is shown as a distance from the critical section to the outermost cross-wire, shall not be less than 150 mm.

② Development length l_d shall not be less than 150 mm except in computation of lap splices of welded plain wire reinforcement in tension by「10.5.7 (2)」

③ Development length l_d of welded plain wire reinforcement in tension is determined as follows.

$$l_d = 3.23 l_d = 3.23 \frac{A_w}{s_w}\left(\frac{f_y}{\sqrt{f_{ck}}}\right)\lambda \times \left(\frac{required\ A_s}{provided\ A_s}\right) \qquad (10.5.5)$$

where, λ is determined in accordance with provisions in「10.5.2 (2) ③」.

10.5.4 Development of Prestressing Strand

(1) Seven strands shall be proportioned by making a bond greater than the following value in order to pass beyond the critical section except for the following section (2).

$$l_d = 0.145\left(\frac{f_{se}}{3}\right)d_b + 0.145(f_{ps} - f_{se})d_b$$

The value inside parenthesis is considered as constants without units.

④ 원형철선이 정착길이방향으로 이형철선 내에 배치된 경우 철망은 「10.5.3 (2)항」에 따라 정착되어야 한다.

⑤ 정착길이 내에 1개 이상의 교차철선이 있고 이 교차철선이 위험단면에서 50mm 이상 떨어져 있는 용접이형철망의 철망계수는 다음 중 큰 값을 택해야 한다. 그러나 이 계수는 1.0 이하이어야 한다.

$$\left(\frac{f_y-245}{f_y}\right) \quad \text{또는} \quad \left(\frac{5d_b}{s_w}\right)$$

⑥ 정착길이 내에 교차철선이 없거나 위험단면에서 50mm 이내에 1개의 교차철선이 있는 용접이형철망의 철망계수는 1.0으로 하고 정착길이는 이형철선의 정착길이 산정방법에 따라 구해야 한다.

(2) 인장 용접원형철망의 정착

① 정착길이 내에 2개 이상의 교차철선이 있고 이 중 위험단면에서 가장 가까이 있는 교차철선이 50mm이상 떨어져 있는 경우 용접원형철망은 정착된 것으로 볼 수 있다. 그러나 위험단면에서 가장 바깥에 위치한 교차철선까지의 거리로 나타내는 정착길이 l_d는 「10.5.3 (2) ③항」의 <식 (10.5.5)>의 값 이상이어야 한다.

② l_d는 150mm 이상이어야 한다. 다만 「10.5.7 (2)항」의 인장 용접원형철망의 겹침이음길이를 계산하는 경우에는 적용되지 않는다.

③ 인장 용접원형철망의 정착길이l_d는 <식 (10.5.5)>로 구한다.

$$l_d = 3.23\frac{A_w}{s_w}\left(\frac{f_y}{\sqrt{f_{ck}}}\right)\lambda \times \left(\frac{\text{소요 } A_s}{\text{배근 } A_s}\right) \qquad (10.5.5)$$

여기서 λ는 「10.5.2 (2) ③항」의 규정에 따라 구해야 한다.

10.5.4 프리스트레싱 강연선의 정착

(1) 다음의 (2)항을 제외하고는 7가닥의 강연선은 위험단면을 지나서 다음 값 이상으로 부착되게 설계해야 한다.

$$l_d = 0.145\left(\frac{f_{se}}{3}\right)d_b + 0.145(f_{ps}-f_{se})d_b$$

괄호 안의 값은 단위가 없는 상수이다.

(2) Embedment length less than l_d shall be permitted if the design stress of a strand at arbitrary cross section is not in excess of f_{ps} when determining development length l_d in accordance with equation. 「Concrete Structure Design Criteria 8.4 (1)」.

(3) When bonding of a strand does not extend to the end of the member and a service load is applied, development length determined by (1) shall be doubled if the allowable tension stress from 9.3.1 (2) of tension zone, where a compressive force is already applied, is considered in design.

(4) When bonding of a strand does not extend to the end of the member and a service load is applied, development length determined by (1) shall be doubled if the allowable tension stress from 9.3.1 (2) of tension zone, where a compressive force is already applied, is considered in design.

10.5.5 Detail in Development of Reinforcement

(1) General development of flexural reinforcement

① The safety in development of reinforcement at critical section or terminated tension reinforcement within span or maximum stress point at flexural member shall be investigated. The provisions of 「10.5.5 (2) ③ and ④」 shall also be satisfied.

② Flexural reinforcement shall extend for a distance equal to d or $12d_b$ whichever is greater, beyond the point at which it is no longer required to resist flexural moment. However, this provision cannot be applied to supports of simple spans and a free end of cantilevers.

③ Continuing reinforcement shall have an embedment length not less than l_d beyond the point where bent or terminated tension reinforcement is no longer required to resist flexure.

④ Development of tension reinforcement by bending across the web to be anchored or made continuous with reinforcement on the opposite face of member shall be permitted.

⑤ Adequate anchorage shall be provided for tension reinforcement in flexural members where reinforcement stress is not directly proportional to flexural moment. Such members are sloped, stepped, or tapered footings, brackets, deep beams, or members in which tension reinforcement is not parallel to compression face. Refer to 「10.5.5 (2) ⑥ and 10.5.5 (3) ④」 for deep beams.

⑥ Flexural reinforcement shall not be terminated in a tension zone unless satisfying one of following the conditions, and the reinforcement shall not be terminated, in principle, at a section which is in 50% excess of total reinforcement.

A. For V_u at the cutoff point does not exceed $\frac{2}{3}\phi V_n$.

(2) 임의 단면에서 강연선의 설계응력이 「콘크리트구조설계기준 8.4 (1)항」에 의해 정착길이 l_d를 구할 때의 응력 f_{ps}를 초과하지 않는다면 l_d보다 짧은 묻힘길이를 허용할 수 있다.

(3) 강연선의 부착이 부재 단부까지 연속되어 있지 않고 사용하중 작용시 프리스트레스된 인장구역에 「콘크리트구조설계기준 9.3.1 (2)」의 허용인장응력을 설계에 고려하는 경우에는 (1)에서 계산된 정착길이를 2배로 증가시켜야 한다.

(4) 정착에 대한 검토는 계수하중 하에서 전체 설계강도를 발휘해야 하는 부재 양 단부에서 가장 가까이 위치한 단면에 국한하여 실시할 수 있다. 다만, 적어도 하나의 강연선이 부재의 단부까지 연장되어 부착되어 있지 않거나, 강연선의 정착길이 내에 집중하중이 작용하는 경우는 이 검토를 제외할 수 있다.

10.5.5 정착철근의 상세

(1) 휨철근의 정착일반

① 휨부재에서 최대 응력점과 경간 내에서 인장철근이 끝나거나 굽혀진 위험단면에서 철근의 정착에 대한 안전을 검토해야 한다. 이 때 「10.5.5 (2) ③항과 ④항」의 규정도 만족해야 한다.

② 휨철근은 휨모멘트를 저항하는데 더 이상 철근을 요구하지 않는 점에서 부재의 유효깊이d 또는 $12d_b$중 큰 값 이상 더 연장해야 한다. 다만 단순경간의 받침부와 캔틸레버의 자유단에서 이 규정은 적용되지 않는다.

③ 연속철근은 구부러지거나 절단된 인장철근이 휨을 저항하는데 더 이상 필요하지 않은 점에서 정착길이l_d이상의 묻힘길이를 확보해야 한다.

④ 인장철근은 구부려서 복부를 지나 정착하거나 부재의 반대 측에 있는 철근 쪽으로 연속하여 정착시켜야 한다.

⑤ 철근응력이 직접적으로 휨모멘트에 비례하지 않는 휨부재의 인장철근은 적절한 정착을 마련하여야 한다. 이와 같은 부재는 경사형, 계단형, 또는 변단면 기초판, 브래킷, 깊은 보 또는 인장철근이 압축면에 평행하지 않는 부재들이다. 깊은 보에 대해서는 「10.5.5 (2) ⑥항과 10.5.5 (3) ④항」에 따라야 한다.

⑥ 휨철근은 다음 조건 중 하나를 만족하지 않는 한 인장구역에서 절단할 수 없으며, 원칙적으로 전체 철근량의 50%를 초과하여 한 단면에서 절단할 수 없다.

가. 절단점에서 V_u가 $\frac{2}{3}\phi V_n$을 초과하지 않는 경우

B. For the stirrup area in excess of that required for shear and torsion is provided along each terminated bar or wire over a distance $\frac{3}{4}d$ from the termination point. Excessive stirrup area A_v shall not be less than be $0.42b_w s/f_y$, and spacing s shall not exceed $d/(8\beta_b)$.

C. For D35 bars and the smaller, if continuing reinforcement provides double the area required for flexure at the cutoff point and V_u does not exceed $\frac{3}{4}\phi V_n$.

(2) Development of positive moment reinforcement

① At least 1/3 of positive moment reinforcement in simple members and 1/4 of the positive moment reinforcement in continuous members shall be extended along the same face of members into the support. In beams, this reinforcement shall be extended into the support at least 150 mm.

② When a flexural member is part of a primary lateral-load-resisting system, positive moment reinforcement required to be extended into the support by 「10.5.5 (2) ①」 shall be anchored to develop specified minimum yield strength f_y in tension at the inner face of support.

③ At simple supports and at points of inflection, diameter of positive moment reinforcement shall be limited so that development length l_d computed for f_y by 「10.5.2 (2)」 satisfies <Eq. (10.5.6)>.

$$l_d \leq \frac{M_n}{V_u} \qquad (10.5.6)$$

where, an increase of 30 percent in the value of M_n/V_u shall be permitted when the ends of reinforcement are pressed and confined by a compressive reaction.

④ <Eq. (10.5.6)> does not need to be satisfied for reinforcement terminating beyond centerline of simple supports by a standard hook or a mechanical anchorage whose performance, at least, is equivalent to a standard hook, and development of straight reinforcement shall satisfy the following equation.

$$\frac{V_u - 0.5\phi V_s}{M_v} \leq \frac{l_a}{l_d j d} \qquad (10.5.7)$$

⑤ At simple supports of deep beams, positive moment reinforcement shall be anchored to develop f_y at the face of the support. At interior supports of deep beams, positive moment reinforcement shall be continuous or be spliced with that of the adjacent spans.

나. 절단점에서 $\frac{3}{4}d$ 이상의 구간까지 절단된 철근 또는 철선을 따라 전단과 비틀림에 대해 필요한 양을 초과하는 스터럽이 배치되어 있는 경우.
이 때 초과되는 스터럽의 단면적A_v는 $0.42b_w s/f_y$이상이어야 하고 간격 s는 $d/(8\beta_b)$ 이내이어야 한다. 여기서 β_b는 그 단면에서 전체 인장철근량에 대한 절단된 철근량의 비이다.

다. D35 이하의 철근이며, 연속철근이 절단점에서 휨모멘트에 필요한 철근량의 2배 이상 배치되어 있고 V_u가 $\frac{3}{4}\phi V_n$을 초과하지 않는 경우

(2) 정모멘트 철근의 정착

① 단순부재에서 정모멘트 철근의 1/3 이상, 연속부재에서 정모멘트 철근의 1/4 이상을 부재의 같은 면을 따라 받침부까지 연장해야 한다. 보의 경우는 이러한 철근을 받침부 내로 150mm 이상 연장해야 한다.

② 휨부재가 횡하중을 지지하는 주 구조물의 일부일 때, 「10.5.5 (2) ①항」에 따라 받침부 내로 연장되어야 할 정모멘트 철근은 받침부의 안쪽 면에서 설계기준항복강도 f_y를 발휘할 수 있도록 정착해야 한다.

③ 단순받침부와 변곡점의 정모멘트 철근은 「10.5.2 (2)항」에 따라 f_y에 대하여 계산된 정착길이 l_d가 <식 (10.5.6)>을 만족하도록 철근지름을 제한해야 한다.

$$l_d \leq \frac{M_n}{V_u} \qquad (10.5.6)$$

여기서, M_n/V_u의 값은 철근의 끝부분이 압축 반력으로 눌려서 구속을 받는 경우 30% 증가시킬 수 있다.

④ 단순받침부의 중심선을 지나 절단되는 철근에서 표준갈고리 또는 적어도 표준갈고리와 동등한 성능을 갖는 기계적 정착에 의해 정착되는 경우 <식 (10.5.6)>을 만족하지 않아도 되며, 직선철근으로 정착하는 경우 다음 식을 만족하여야 한다.

$$\frac{V_u - 0.5\phi V_s}{M_v} \leq \frac{l_a}{l_d j d} \qquad (10.5.7)$$

⑤ 깊은 보의 단순받침부에서 정모멘트 철근은 받침부 전면에서 f_y를 발휘할 수 있도록 정착되어야 한다. 또한 깊은 보의 내부 받침부에서 정모멘트 철근은 연속되거나 인접 경간의 정모멘트 철근과 겹침이음이 되도록 설계해야 한다.

(3) Development of negative moment reinforcement

① Negative moment reinforcement in a continuous or restrained member, cantilever member, or in any member of rigid frame shall be anchored in or through the supports by embedment length, hooks, or mechanical anchorage.

② Negative moment reinforcement shall have an embedment length into the span as required by 「10.5.2 (1), 10.5.5 (1) ②」

③ At least 1/3 of the total tension reinforcement provided for negative moment at a support shall have an embedment length beyond the point of inflection not less than d, $12d_b$ or l/d_b of clear span whichever is greater.

④ At interior supports of deep beams, negative moment reinforcement shall be continuous with that of the adjacent spans.

(4) Development of web reinforcement

① Web reinforcement shall be placed as close to the compression and tension surfaces of the member as cover thickness requirements and proximity of other reinforcement shall be permitted.

② Ends of single U-stirrup or multiple U-stirrups shall be anchored as required by one of the following methods.

A. D16 and smaller bars or wire with diameter 16mm and smaller shall be developed with a standard hook around longitudinal reinforcement.

B. D19, D22 and D25 stirrup with f_y greater than 300 MPa shall be developed by ensuring a standard stirrup hook around a longitudinal bar plus an embedment between mid height of the member and the outside end of the hook equal to or greater than $0.17 d_b f_y / \sqrt{f_{ck}}$.

C. Each leg of welded plain wire reinforcement forming simple U-stirrups shall be developed by the following 「ⓐ or ⓑ」 method.

(a) Two longitudinal wires at a 50 mm spacing along the member at the top of the U-stirrups shall be arranged.

(b) One longitudinal wire shall be located not more than d/4 from the compression face and another longitudinal wire shall be spaced not less than 50 mm from the first wire and closer to the compression face. The second longitudinal wire shall be located outside the curvature. In case of the inner diameter above $8d_b$, the wire can be located inside the curvature.

D. For the development of each end of a single leg stirrup of welded plain or deformed wire reinforcement, two longitudinal wires are spaced not less than 50 mm, but the inner wire is spaced at least the greater of to d/4 or 50 mm from d/2. Outer longitudinal wire at tension face shall not be farther from the face than the portion of primary flexural reinforcement closest to the face.

(3) 부모멘트 철근의 정착

① 연속되거나 구속된 부재, 캔틸레버 부재 또는 강결된 골조의 어느 부재에서나 부모멘트 철근은 묻힘길이, 갈고리 또는 기계적 정착에 의하여 받침부 내에 정착되거나 받침부를 지나서 정착해야 한다.

② 부모멘트 철근은 「10.5.2 (1)항과 10.5.5 (1) ②항」에 의한 소요 묻힘길이를 경간 내에 확보해야 한다.

③ 받침부에서 부모멘트에 대해 배치된 전체 인장철근량의 1/3이상은 변곡점을 지나 부재의 유효깊이 d, $12d_b$, 또는 순경간의 1/16 중 가장 큰 값 이상의 묻힘길이를 확보해야 한다.

④ 깊은 보의 내부 받침부에서 부모멘트 철근은 인접경간의 부모멘트 철근과 연속되도록 설계해야 한다.

(4) 복부철근의 정착

① 복부철근은 피복두께 요구조건과 다른 철근과의 간격이 허용하는 한 부재의 압축면과 인장면 가까이까지 연장해야 한다.

② 단일U형 또는 다중U형 스터럽의 단부는 다음 중 한 가지 방법으로 정착시켜야 한다.

가. D16 이하 철근 또는 지름 16mm이하 철선으로 종방향 철근을 둘러싸는 표준갈고리로 정착해야 한다.

나. f_y가 300MPa 이상인 D19, D22 및 D25 스터럽은 종방향 철근을 둘러싸는 표준갈고리 외에 추가로 부재의 중간깊이에서 갈고리 단부의 바깥까지 $0.17d_b f_y/\sqrt{f_{ck}}$ 이상의 묻힘길이를 확보하여 정착해야 한다.

다. U형 스터럽을 구성하는 용접원형철망의 각 가닥은 「㉮ 또는 ㉯」의 방법으로 정착해야 한다.

㉮ U형 스터럽의 가닥 상부에 50mm간격으로 2개의 종방향 철선을 배치해야 한다.

㉯ 종방향 철선 하나는 압축면에서 $d/4$ 이하에 배치하고 두 번째 종방향 철선은 첫 번째 철선으로부터 50mm 이상의 간격으로 압축면에 가까이 배치해야 한다. 이 때 두 번째 종방향 철선은 굴곡부 밖에 두거나 또는 굴곡부 내면지름이 $8d_b$이상일 경우는 굴곡부상에 둘 수 있다.

라. 용접원형 또는 이형철망 한 가닥 스터럽에서 각 단부의 정착은 2개의 종방향 철선을 50mm 이상 떨어지도록 배치하되, 안쪽의 철선은 부재의 중간깊이 d/2에서 d/4 또는 50mm 중 큰 값 이상 떨어지도록 배치해야 한다. 이 때 인장면에 가장 가까이 배치된 종방향 철선은 인장면에 가장 가까이 배치된 휨 주철근보다 인장면에서 더 멀리 배치하지 않아야 한다.

E. 13 and smaller bars or stirrup wire with diameter 13 mm and smaller shall use a standard hook.

③ Between anchored ends, each bend in the continuous portion of a simple U-stirrup or multiple U-stirrup shall enclose a longitudinal bar.

④ When longitudinal bars, which is bent to be used as shear reinforcement, extend into a tension region, the longitudinal bars shall be continuous with longitudinal reinforcement and, if the longitudinal bars extend into a compression region, shall be anchored beyond mid-depth d/2 as specified for development length in 「10.5.2 (2)」 with the stress f_{yt} required to satisfy <Eq. (10.6.47)>.

⑤ When the lap length of a pair of closed U-stirrups or ties is not less than 1.3 l_d, the stirrups or ties shall be considered properly spliced.

⑥ In members with at least 450 mm depth, if stirrup legs extend the full available depth of the members, the splice of closed stirrups shall be considered adequate. The tension force $A_b f_{yt}$ of a single splice shall not be more than 40 kN per leg.

10.5.6 Splices of Reinforcement

(1) General

① Splices of reinforcement shall be made only as required or permitted in contract documents, or as authorized by the structural engineer in charge.

② Lap splices shall be in accordance with the following provisions.

A. Lap splices shall not be used for bars larger than D35. But it shall not be applied as provided in 「10.5.6 (3) ②」.

B. Lap splices of bars in bundle shall be based on the lap splice length required for individual bars within the bundle, and increased in accordance with 「10.5.2 (4)」. But, individual bar splices within a bundle shall not be overlapped. Entire bundles shall not be lap spliced.

C. Bars spliced by non-contact lap splices in flexural members shall not be spaced transversely farther apart than the smaller of 1/5 of the required lap splice length and 150 mm.

③ Mechanical and welded splices shall be in accordance with the following provisions.

A. For welded splices, weldable bars shall be used and a full welded splice shall develop greater than 125 % of specified minimum yield strength f_y.

B. A mechanical splices shall be full mechanical spliced greater than 125% of specified minimum yield strength f_y.

C. Mechanical or welded splices not satisfying requirements of and shall be in accordance with 「10.5.6 (2) ④」 and permitted only for D16 and smaller bars.

마. 장선구조에서 D13 이하 철근 또는 지름 13 mm 이하의 철선 스터럽의 경우 표준갈고리를 두어야 한다.

③ 단일 U형 또는 다중 U형 스터럽의 양 정착단 사이의 연속구간 내의 굽혀진 부분은 종방향 철근을 둘러싸야 한다.

④ 전단철근으로 사용하기 위해 굽혀진 종방향 주철근이 인장구역으로 연장되는 경우에 종방향 주철근과 연속되어야 하고, 압축구역으로 연장되는 경우에는 <식 (10.6.47)>을 만족시키는 응력 f_{yt}를 사용하여 부재의 중간깊이 d/2를 지나서 「10.5.2 (2) 항」의 규정에 따라 계산된 정착길이만큼을 확보해야 한다.

⑤ 폐쇄형으로 배치된 한 쌍의 U형 스터럽 또는 띠철근은 겹침이음길이가 $1.3l_d$이상일 때 적절하게 이어진 것으로 볼 수 있다.

⑥ 깊이가 450mm 이상인 부재에서 스터럽의 가닥들이 부재의 전 깊이까지 연장된다면 폐쇄스터럽의 이음이 적절한 것으로 볼 수 있다. 이 때 한 가닥의 이음부에서 발휘할 수 있는 인장력, $A_b f_{yt}$는 40kN 이하이어야 한다.

10.5.6 철근의 이음

(1)일반내용

① 철근은 설계도, 또는 시방서에서 요구하거나 허용한 경우 또는 책임기술자가 승인한 경우에만 이음을 할 수 있다.

② 겹침이음은 다음 규정에 따라야 한다.

가. D35를 초과하는 철근은 겹침이음을 할 수 없다. 다만 「10.5.6 (3) ②항」의 경우에는 이 규정을 적용하지 않는다.

나. 다발철근의 겹침이음은 다발 내의 개개 철근에 대한 겹침이음길이를 기본으로 하여 결정되어야 하며, 각 철근은 「10.5.2 (4)항」에 따라 겹침이음길이를 증가시켜야 한다. 그러나 한 다발 내에서 각 철근의 이음은 한 군데에서 중복하지 않아야 한다. 또한 두 다발철근을 개개 철근처럼 겹침이음을 할 수 없다.

다. 휨부재에서 서로 직접 접촉되지 않게 겹침이음된 철근은 횡방향으로 소요 겹침이음길이의 1/5 또는 150mm 중 작은 값 이상 떨어지지 않아야 한다.

③ 용접이음과 기계적 이음은 다음 규정에 따라야 한다.

가. 용접이음은 용접용 철근을 사용해야 하며, 철근의 설계기준항복강도 f_y의 125%이상을 발휘할 수 있는 완전용접이어야 한다.

나. 기계적 이음은 철근의 설계기준항복강도 f_y의 125%이상을 발휘할 수 있는 완전기계적 이음이어야 한다.

다. 가 또는 나의 요구조건을 만족하지 않는 용접이음이나 기계적 이음은 「10.5.6 (2) ④항」을 만족해야 하며, D16이하의 철근에만 허용된다.

(2) Splices of deformed bars and deformed wire in tension

① The lap splices length of deformed bars and deformed wire in tension is divided into class A and B and shall not be less than 300 mm and the following values.

A. Class A splice : $1.0l_d$

B. Class B splice : $1.3l_d$

where the development length of deformed bars in tension is calculated in accordance with 「10.5.2」 without the modification factor of 「10.5.2 (2) ⑤」 and it shall be permitted to be less than the minimum length 300mm specified in 「10.5.2 (1)」.

② In lap splices, Class A and B are classified by the followings.

A. Class A splice : The area of reinforcement provided is at least twice that required by analysis over the entire length of the splice and the spliced reinforcement within the required lap length is not more than 1/2 of the total reinforcement.

B. Class B splice: When not relevant to 「A」

③ When bars of different size are lap spliced in tension, splice length shall be the larger of the development length of larger bar and lap splice length of smaller bar.

④ When area of the reinforcement provided within the required lap length is less than twice of that required by analysis, mechanical or welded splices shall satisfy requirements of 「10.5.6 (1) ③ A or B」.

⑤ Mechanical or welded splices not meeting the requirements of 「10.5.6 (1) ③ A or B」where area of reinforcement provided is not less than twice that required by analysis shall be permitted for D16 and smaller bars if the following requirements of ① and ② are met.

A. Splices at each section shall be staggered at least 600 mm and the total tensile force in splices that can be developed shall be at least twice. Moreover, the total reinforcement provided shall develop at least 140 MPa.

B. In computing the tensile forces that can be developed at each section, the spliced reinforcement stress shall be taken as the specified splice strength, but not greater than f_y. The tensile stress in the unspliced continuous reinforcement shall be taken as f_y times the ratio of the shortest length embedded beyond the section to the development length l_d so that the specified minimum yield strength f_y can be developed, but not greater than f_y.

⑥ Splices in tie members shall be made with a full mechanical or full welded splice in accordance with 「10.5.6 (1) ③ A or B」 In addition, the splices in adjacent bars shall be staggered at least 750 mm.

(2) 인장 이형철근 및 이형철선의 이음

① 인장력을 받는 이형철근 및 이형철선의 겹침이음길이는 A급과 B급으로 분류하며 다음 값 이상, 또한 300mm이상이어야 한다.

가. A급 이음 : $1.0l_d$

나. B급 이음 : $1.3l_d$

여기서 인장 이형철근의 정착길이 l_d는 「10.5.2 (2)항」에 따라 계산된 인장 이형철근의 정착길이이다. 이 때 「10.5.2 (2) ⑤항」의 보정계수는 적용하지 않아야 한다.

② 겹침이음에서 A급 이음과 B급 이음은 다음과 같이 분류한다.

가. A급 이음 : 배치된 철근량이 이음부 전체 구간에서 해석 결과 요구되는 소요철근량의 2배 이상이고 소요 겹침이음길이 내 겹침이음된 철근량이 전체 철근량의 1/2 이하인 경우

나. B급 이음 : 「가.항」에 해당되지 않는 경우

③ 서로 다른 크기의 철근을 인장 겹침이음하는 경우, 이음길이는 크기가 큰 철근의 정착길이와 크기가 작은 철근의 겹침이음길이 중 큰 값 이상이어야 한다.

④ 이음부에 배치된 철근량이 해석결과 요구되는 소요철근량의 2배 미만인 경우에 용접이음 또는 기계적 이음은 「10.5.6 (1) ③ 가.항 또는 나.항」의 요구조건을 만족시켜야 한다.

⑤ 「10.5.6 (1) ③ 가.항 또는 나.항」을 만족하지 않더라도 이음부에 배치된 철근량이 해석결과 요구되는 소요철근량의 2배 이상이고 아래의 「가.항」과 「나.항」의 요구조건을 따르는 경우, D16이하의 철근에 대해서 용접이음 또는 기계적 이음을 할 수 있다.

가. 각 철근의 이음부는 서로 600mm이상 엇갈려야 하고, 이음부에서 계산된 인장응력의 2배 이상을 발휘할 수 있도록 이어야 한다. 또한 배치된 전체 철근이 140MPa 이상의 응력을 발휘할 수 있어야 한다.

나. 각 단면에서 발휘하는 인장력을 계산할 때 이어진 철근은 규정된 이음강도를 발휘하는 것으로 보아야 하나 f_y보다 크지 않아야 한다. 이어지지 않은 연속철근의 인장응력은 설계기준항복강도f_y를 발휘할 수 있도록 계산된 정착길이l_d에 대한 짧게 배치된 정착길의 비에 f_y에 곱하여 사용해야 하나 f_y보다 크지 않아야 한다.

⑥ 인장연결재의 철근이음은 「10.5.6 (1) ③ 가.항 또는 나.항」에 따라 완전용접이나 기계적 이음으로 이루어져야 한다. 이 때 인접철근의 이음은 750mm 이상 떨어져서 서로 엇갈리게 해야 한다.

(3) Splices of deformed bars in compression

① Compression lap splice length shall be permitted to be computed by the following equation.

$$l_s = \left(\frac{1.4 f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} - 52 \right) d_b \qquad (10.5.8)$$

where the lap splice length by <Eq. (10.5.8)> need not be greater than $0.072 f_y d_b$ for f_y of 400 MPa or less, or it need not be greater than $(0.13 f_y - 24) d_b$ for f_y greater than 400 MPa. Compression lap splice length shall not be less than 300 mm and for the compressive strength of concrete less than 21 MPa, length of lap shall be increased by 1/3. Lap slice length in compression need not be longer than lap splice length in tension computed by 「10.5.6 (2)」.

② When bars of different size are lap spliced in compression region, splice length shall be the larger of development length of larger bar and lap splice length of smaller bar. In addition, D41 and D51 bars shall be permitted to be spliced with D35 and smaller bars.

③ Mechanical or welded splices used in compression region shall meet requirements of 「10.5.6 (1) ③ A & B」.

④ In bars subjected to compression only, transmission of compressive stress by bearing of square cut ends held in concentric contact by a suitable device shall be permitted. Both ends of bars shall have flat surfaces within 1.5° of a angle to the normal surface to axis of the bars and shall be fitted within 3° of the bearing surface after assembly.

⑤ End-bearing splices shall be used only in compression members where closed ties, closed stirrups, or spirals are placed.

10.5.7 Splices of Welded Wire Reinforcement

(1) Splices of welded deformed wire reinforcement

① Minimum lap splice length of welded deformed wire reinforcement measured between the ends of each reinforcement sheet shall be not less than the larger of $1.3 l_d$ and 200 mm. The overlap measured between outermost cross wires of each reinforcement sheet shall be not less than 50 mm, where l_d is calculated in accordance with 「10.5.3 (1)」 for f_y.

② Lap splices of welded deformed wire reinforcement, with no cross wires within the lap splice length, shall conform to the provisions of deformed wire.

(3) 압축이형철근의 이음

① 압축철근의 겹침이음길이는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$l_s = \left(\frac{1.4 f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} - 52 \right) d_b \qquad (10.5.8)$$

위의 식으로 산정된 이음길이는 f_y가 400MPa 이하인 경우 $0.072 f_y d_b$ 보다 길 필요가 없고, f_y가 400 MPa를 초과하는 경우는 $(0.13 f_y - 24) d_b$보다 길 필요가 없다. 이때 겹침이음길이는 300mm 이상이어야 하며, 콘크리트의 설계기준압축강도가 21MPa 미만인 경우는 겹침이음길이를 1/3 증가시켜야 한다. 압축철근의 겹침이음길이는 「10.5.6 (2)」에서 구한 인장철근의 겹침이음길이보다 길 필요는 없다.

② 서로 다른 크기의 철근을 압축부에서 겹침이음하는 경우, 이음길이는 크기가 큰 철근의 정착길이와 크기가 작은 철근의 겹침이음길이 중 큰 값 이상이어야 한다. 이 때 D41과 D51 철근은 D35이하 철근과의 겹침이음을 할 수 있다.

③ 압축부에서 사용하는 용접이음 또는 기계적 이음은 「10.5.6 (1) ③ 가.항 과 나.항」의 요구조건을 만족해야 한다.

④ 철근이 압축력만을 받을 경우는 철근과 직각으로 절단된 철근의 양끝을 적절한 장치에 의해 중심이 잘 맞도록 접촉시킴으로써 압축응력을 직접 지압에 의해 전달할 수 있다. 이 때 철근의 양 단부는 철근 축의 직각면에 1.5° 이내의 오차를 갖는 평탄한 면이 되어야 하고 조립 후 지압면의 오차는 3° 이내이어야 한다.

⑤ 단부 지압이음은 폐쇄띠철근, 폐쇄스터럽 또는 나선철근을 배치한 압축부재에서만 사용해야 한다.

10.5.7 용접철망의 이음

(1) 인장 용접이형철망의 이음

① 용접이형철망을 겹침이음하는 최소 길이는 두 장의 철망이 겹쳐진 길이가 $1.3 l_d$ 이상 또한 200mm이상이어야 한다. 이 때 겹침이음길이 내에서 각 철망의 가장 바깥에 있는 교차철선 사이의 간격은 50mm이상이어야 한다. 여기서 l_d는 「10.5.3 (1)항」의 규정에 따라 f_y에 대하여 계산된 정착길이이다.

② 겹침이음길이 사이에 교차철선이 없는 용접이형철망의 겹침이음은 이형철선의 겹침이음 규정에 따라야 한다.

③ Where any plain wires are present in the welded deformed wire reinforcement in the direction of the lap splice or where welded deformed wire reinforcement is lap spliced to welded plain wire reinforcement, the reinforcement shall be lap spliced in accordance with 「10.5.7 (2)」.

(2) Splice of tensile welded round wire

① When reinforcement placed at the joint is less than two times the required reinforcement according to the analysis, the length of lap splice between the outermost side of crossing wires shall be 50mm plus the spacing per strand, $1.5l_d$, or 150 mm, whichever is greater. Here, l_d refers to the anchorage length calculated to f_y of wire according to 「10.5.3 (2)」.

② When reinforcement placed at the joint is two times the required reinforcement according to the analysis or more, lap splice length between the outermost sides of crossing wires shall be $1.5l_d$, or 150 mm, whichever is greater. Here, l_d refers to the anchorage length calculated to f_y of wire according to 「10.5.3 (2)」.

10.5.8 Special Requirements for Splice of Column Reinforcement

(1) Lap splices, butt welded splices, mechanical splices, and end-bearing splices shall be used with the limitations from 「10.5.8 (2)」 to 「(7)」. A splice shall satisfy requirements for all load combinations for the column.

(2) When the bar stress under factored loads is compressive, lap splices shall conform to 「10.5.6 (3) ① & ②」, and, if applicable, to the following ① and ②.

① In tied reinforced compression members, where ties throughout the lap splice length have an effective area not less than $0.0015 \cdot h \cdot s$ in both directions, lap splice length shall be permitted to be multiplied by 0.83. However, lap splice length shall not be less than 300 mm. The effective area means the total area of tie legs perpendicular to the dimension of member h .

② In spirally reinforced compression members, lap splice length of bars within a spiral shall be permitted to be multiplied by 0.75. However, lap splice length shall not be less than 300 mm.

(3) Where the bar stress does not exceed $0.5f_y$ in tension under factored loads, lap splices shall be Class B lap splices if more than one-half of the bars are spliced at any section, or Class A lap splices if half or fewer of the bars are spliced at any section and alternate lap splices are staggered by l_d.

(4) Where the bar stress due to factored loads is greater than $0.5f_y$ in tension, lap splices shall be Class B lap splices.

(5) Mechanical or welded splices of column reinforcement shall meet the requirements of 「10.5.6 (1) ③ A & B」.

③ 원형철선이 겹침이음방향으로 이형철망 내에 있는 경우 또는 이형철망이 원형철망과 겹침이음되는 경우, 철망은 「10.5.7 (2)항」에 따라 겹침이음되어야 한다.

(2) 인장 용접원형철망의 이음

① 이음 위치에서 배치된 철근량이 해석결과 요구되는 소요철근량의 2배 미만인 경우 각 철망의 가장 바깥 교차철선 사이를 잰 겹침길이는 교차철선 한 마디 간격에 50mm를 더한 길이, $1.5l_d$ 또는 150mm 중 가장 큰 값 이상이어야 한다. 여기서 l_d는 「10.5.3 (2)항」의 규정에 따라 철선의 f_y에 대하여 계산된 정착길이이다.

② 이음 위치에서 배치된 철근량이 해석결과 요구되는 소요철근량의 2배 이상인 경우 각 철망의 가장 바깥 교차철선 사이를 잰 겹침길이는 $1.5l_d$ 또는 50mm 중 큰 값 이상이어야 한다. 여기서 l_d는 「10.5.3 (2)항」의 규정에 따라 철선의 f_y에 대하여 계산된 정착길이이다.

10.5.8 기둥철근 이음에 관한 특별 규정

(1) 겹침이음, 맞댐용접이음, 기계적 연결 또는 단부 지압이음은 「10.5.8 (2)항」에서 「(7)항」까지의 제한조건에 따라 사용되어야 한다. 이와 같은 철근의 이음은 기둥의 모든 하중조합에 대한 요구조건을 만족해야 한다.

(2) 계수하중에 의해 철근이 압축응력을 받는 경우 겹침이음은 「10.5.6 (3) ①항과 ②항」에 따라야 하며 해당되는 경우에 다음의 「①항과 ②항」에도 따라야 한다.

① 띠철근 압축부재의 경우 겹침이음길이 전체에 걸쳐서 띠철근이 $0.0015 \cdot h \cdot s$ 이상의 유효단면적을 갖는다면 겹침이음길이에 계수 0.83을 곱할 수 있다. 그러나 겹침이음길이는 300mm 이상이어야 한다. 여기서 유효단면적은 부재의 치수h에 수직한 띠철근 가닥의 전체 단면적이다.

② 나선철근 압축부재의 경우 나선철근으로 둘러싸인 축방향 철근의 겹침이음길이에 계수 0.75를 곱할 수 있다. 그러나 겹침이음길이는 300mm 이상이어야 한다.

(3) 계수하중 하에서 철근이 $0.5f_y$이하의 인장응력을 받고 어느 한 단면에서 전체 철근의 1/2을 초과하는 철근이 겹침이음되면 B급 이음으로, 전체 철근의 1/2 이하가 겹침이음되고 그 겹침이음이 교대로l_d이상 서로 엇갈려 있으면 A급 이음으로 해야 한다.

(4) 계수하중 하에서 철근이 $0.5\,f_y$보다 큰 인장응력을 받는 경우 겹침이음은 B급 이음으로 해야 한다.

(5) 기둥철근의 용접이음이나 기계적 연결은 「10.5.6 (1) ③ 가.항과 나.항」의 요구조건을 만족해야 한다.

(6) End-bearing splices according to 「10.5.6 (3) ④ and ⑤」 shall be permitted to be used for column bars stressed in compression if the splices are staggered or additional bars are provided at splice locations.

(7) The continuing bars in each face of the column shall have a tensile strength, not less than $0.25f_y$ times the area of the vertical reinforcement in that face.

10.6 Ultimate strength design method

10.6.1 General

(1) This clause shall be applied to an RC or prestressed concrete bridge.

(2) Symbols

A_c = Sectional area of concrete that resists to shear force (mm^2)

A_{cp} = Sectional area enwrapped by outer circumference of concrete section; opening area, if any, shall be included (mm^2)

A_f = Factored bending moment of bracket or overhanging support Sectional area (mm^2) of reinforcement resisting to $[V_u a_v + N_{uc}(h-d)]$

A_g = Total sectional area of the section (mm^2)

A_l = Total sectional area of longitudinal reinforcement that resists torsion (mm^2)

A_n = Area of reinforcement resisting to tensile force N_{uc} on bracket or overhanging support (mm^2)

A_{oh} = Area closed to centerline of outermost reinforcement resisting torsion (mm^2)

A_s = Sectional area of tensile reinforcement (mm^2)

A_s' = Sectional area of compressive reinforcement (mm^2)

A_{st} = Total sectional area of axial reinforcement (mm^2)

A_t = Area per leg of closed stirrup resisting to torsion within the distance (mm^2)

A_v = Sectional area of shear reinforcement within the distance or total sectional area of shear reinforcement perpendicular to flexural tensile reinforcement within the spacing in case of a deep beam (mm^2)

a = Depth of stress distribution of equivalent rectangle

b = Width of section

b_v = Section width of contact face considering horizontal shear (mm)

b_w = Width of web

C_m = Correction factor of equivalent moment

c = Vertical distance between the edge and neutral axis where maximum compressive strain occurred

(6) 「10.5.6 (3) ④항과 ⑤항」에 따른 단부 지압이음은 이음이 서로 엇갈려있거나 이음 위치에서 추가철근이 배치된 경우 압축을 받는 기둥철근에 적용할 수 있다.

(7) 기둥 각 면에 배치된 연속철근은 그 면에 배치된 수직철근량에 설계기준항복강도 f_y의 25%를 곱한 값 이상의 인장강도를 가져야 한다.

10.6 강도설계법

10.6.1 일반내용

(1) 이 절은 철근콘크리트 및 프리스트레스트 콘크리트교량에 적용할 수 있다.

(2) 기호

A_c = 전단전달에 저항하는 콘크리트의 단면적(mm^2)

A_{cp} = 콘크리트 단면의 바깥 둘레로 둘러싸인 단면적. 뚫린 단면에서도 뚫린 면적을 포함함(mm^2)

A_f = 브래킷이나 내민받침에서 계수휨모멘트 $[V_u a_v + N_{uc}(h-d)]$에 저항하는 철근의 단면적(mm^2)

A_g = 단면의 총단면적(mm^2)

A_l = 비틀림에 저항하는 종방향 철근의 전체단면적(mm^2)

A_n = 브래킷이나 내민받침에서 인장력N_{uc}에 저항하는 철근의 면적(mm^2)

A_{oh} = 가장 바깥의 비틀림 저항철근의 중심선으로 폐합된 면적(mm^2)

A_s = 인장철근의 단면적(mm^2)

A_s' = 압축철근의 단면적(mm^2)

A_{st} = 축방향 철근의 총단면적(mm^2)

A_t = 거리s내의 비틀림에 저항하는 폐쇄스터럽의 다리 1개의 면적(mm^2)

A_v = 거리 s내의 전단철근의 단면적 또는 깊은 보의 경우 간격 s내의 휨인장철근에 수직한 전단철근의 전체 단면적(mm^2)

a = 등가사각형 응력분포의 깊이

b = 단면의 폭

b_v = 수평전단을 고려할 때의 접촉면의 단면폭(mm)

b_w = 복부의 폭

C_m = 등가모멘트 수정계수

c = 최대 압축변형률이 발생하는 연단에서 중립축까지의 수직거리

d = Distance between compressive edge and the center of tensile reinforcement (effective depth)

d' = Distance between compressive edge and the center of compressive reinforcement

d'' = Distance between the center of total section and the center of compressive reinforcement

E_s = Elastic modulus of reinforcement (MPa)

f_{ck} = Design compressive strength of concrete (MPa)

f_{ct} = Mean split tensile strength of lightweight concrete (MPa)

f_{sb}' = Stress of compressive reinforcement at the state of equilibrium strain (MPa)

f_y = Stress of reinforcement (MPa)

f_{yl} = Yield strength of vertical torsional reinforcement (MPa)

f_{yv} = Yield strength of closed lateral torsional reinforcement (MPa)

I_g = Second moment of total section area of concrete to centroid of area

I_{se} = Second moment of total section area of reinforcement to centroid of area

k = Effective length factor

l_n = Clear span between the inner side of supports

l_u = Non-support length of compressive member

M_n = Nominal bending strength of the section

M_u = Required bending strength

M_{ux}, M_{uy} = Factored bending strength of section in x and y direction under biaxial bending

M_{nx}, M_{ny} = Nominal bending strength of section in x and y direction under biaxial bending

M_1, M_2 = Factored moment at the end of compressive member, M_2 is end moment on top or bottom column, whichever is greater.

M_c = Amplified moment considering the curvature of member

P_c = Critical load

P_{nxy} = Nominal axial load under biaxial bending

P_{nx} = Nominal axial load of the section corresponding to M_{nx} when bending is considered in x direction only ($M_{nx} = P_{nx} e_y$, $e_x = 0$)

P_{ny} = Nominal axial load of the section corresponding to M_{ny} when bending is considered in y direction only ($M_{ny} = P_{ny} e_x$, $e_y = 0$)

P_o = Net axial load ($e_x = e_y = 0$)

P_u = Factored axial load

p_h = Perimeter of centerline of exterior part-closed lateral torsional reinforcement

p_{cp} = Perimeter of shear plane

d = 압축연단에서 인장철근의 중심까지의 거리(유효깊이)

d' = 압축연단에서 압축철근의 중심까지의 거리

d'' = 총단면의 중심에서부터 압축철근의 중심까지의 거리

E_s = 철근의 탄성계수(MPa)

f_{ck} = 콘크리트의 설계기준압축강도(MPa)

f_{ct} = 경량 콘크리트의 평균쪼갬인장강도(MPa)

f_{sb}' = 평형변형률 상태의 압축철근의 응력(MPa)

f_y = 철근의 항복강도(MPa)

f_{yl} = 종방향 비틀림 철근의 항복강도(MPa)

f_{yv} = 폐합된 횡비틀림 철근의 항복강도(MPa)

I_g = 단면의 도심에 대한 콘크리트 총단면의 단면 2차모멘트

I_{se} = 단면의 도심에 대한 철근의 단면 2차모멘트

k = 유효길이계수

l_n = 지지부 내면 사이의 순지간

l_u = 압축부재의 비지지장

M_n = 단면의 공칭휨강도

M_u = 소요 휨강도

M_{ux}, M_{uy} = 2축휨을 받는 경우의 단면의 x, y 방향으로의 계수휨강도

M_{nx}, M_{ny} = 2축휨을 받는 경우의 단면의 x, y 방향으로의 공칭휨강도

M_1, M_2 = 압축부재 끝단의 계수 모멘트, M_2는 기둥의 상·하부 단모멘트 중 큰 값

M_c = 부재곡률의 영향을 고려한 확대모멘트

P_c = 임계하중

P_{nxy} = 2축휨을 받는 경우의 공칭 축하중강도

P_{nx} = 휨이 x축 방향으로만 고려되는 경우의 M_{nx}에 부합하는 단면의 공칭 축하중강도($M_{nx} = P_{nx} e_y, e_x = 0$)

P_{ny} = 휨이 y축 방향으로만 고려되는 경우의 M_{ny}에 부합하는 단면의 공칭 축하중강도($M_{ny} = P_{ny} e_x, e_y = 0$)

P_o = 순수 축하중강도 ($e_x = e_y = 0$)

P_u = 계수축하중

p_h = 외곽부 폐합 횡방향 비틀림 철근의 중심선의 둘레길이

p_{cp} = 전단면의 둘레 길이

r = Rotational radius

s = Axial spacing of shear reinforcement

T_{cr} = Torsional cracking moment

T_u = Factored torsional moment

V_n = Nominal shear force of section

V_{nh} = Nominal horizontal shear strength

V_u = Required shear force

α = Angle between inclined stirrup and axis of member

α_f = Angle between shear frictional reinforcement and shear plane

β_c = Concentrated load or ratio of longer side versus shorter side of reaction face

β_d = (1) Ratio of maximum factored axial fixed load to total factored axial load when lateral displacement is supported

(2) Ratio of maximum factored continuous shear force at certain layer to total factored shear force at certain layer when lateral displacement is not supported

(3) In case of stability review

Ratio of maximum factored continuous axial load to total factored axial load

Δ_o = Relative lateral displacement between top and bottom caused at a certain layer by V_u calculated by initial elastic frame analysis

δ_{ns} = Moment amplification factor considering the effect of member curvature between both ends of compressive member in frame structure where lateral displacement is constrained

ϕ_k = Stiffness reduction factor

μ = Friction coefficient

10.6.2 Strength

(1) Required strength

Required strength of the section is the strength required to resist the factored load according to the specified design load combination. All sections of the structure and structure member shall have at a minimum a design strength as large as the design section force. Basic requirements of ultimate strength method are outlined as follows.

Design strength $\geq$ Design section force

(2) Design strength

① Design strength of the member or section indicated in load, bending, shear or stress is the strength calculated by multiplying nominal strength calculated using requirements and assumption of ultimate strength method by strength reduction coefficient ϕ.

r = 회전반경

s = 부재 축방향으로의 전단철근의 간격

T_{cr} = 비틀림 균열모멘트

T_u = 계수 비틀림모멘트

V_n = 단면의 공칭전단력

V_{nh} = 공칭 수평전단강도

V_u = 소요전단력

α = 경사스터럽과 부재축선 사이의 각

α_f = 전단마찰철근과 전단면 사이의 각

β_c = 집중하중이나 반력면의 짧은 변에 대한 긴 변의 비

β_d = (1) 횡변위가 지지된 경우

전체 계수축하중에 대한 최대 계수축고정하중의 비

(2) 횡변위가 지지되지 않은 경우

해당 층의 전체 계수전단력에 대한 해당 층의 최대 계수지속전단력의 비

(3) 안정성 검토의 경우

전체 계수축하중에 대한 최대 계수지속축하중의 비

Δ_o = 일차탄성 골조해석으로 구한V_u로 인해 발생한 해당 층의 상·하부 사이의 상대횡변위

δ_{ns} = 횡방향 변위가 방지된 골조구조에서 압축부재의 양단사이의 부재곡률의 영향을 반영한 모멘트 확대계수

ϕ_k = 강성감소계수

μ = 마찰계수

10.6.2 강도

(1) 소요강도

단면의 소요강도는 규정된 설계 하중조합에 의한 계수하중을 저항하는데 필요한 강도이다. 구조물과 구조부재의 모든 단면은 적어도 설계단면력과 같은 크기의 설계강도를 가져야 한다. 강도설계법의 기본 요구조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

설계강도 ≥ 설계단면력

(2) 설계강도

① 하중, 휨, 전단 또는 응력으로 표시되는 부재나 단면의 설계강도는 강도설계법의 요구사항과 가정에 따라 계산되는 공칭강도에 강도감소계수 ϕ를 곱한 강도이다.

② Strength reduction coefficient is as follows.

A. Bending ..... $\phi_f = 0.90 = 0.90$

B. Shear and torsion ..... $\phi_v = 0.85$

C. Axial compressive member

(a) Member reinforced with spiral reinforcement ..... $\phi_c = 0.70$

(b) Member reinforced by tie hoop ..... $\phi_c = 0.65$

When axial load of compressive member $\phi_c P_n$ is less than $0.100.10 f_{ck} A_g$ or $\phi_c P_b$, whichever is less, ϕ_c shall be calculated by applying a linear interpolation.

D. Axial tension member ..... $\phi_t = 0.85$

E. Support of concrete ..... $\phi_b = 0.65$

F. Bending, compression, shear and support of plain concrete ..... $\phi_{pc} = 0.55$

G. Stability of compression member (compression member requiring consideration of moment amplification factor in 10.6.5 (4)) due to the effect of long column) ..... $\phi_s = 0.65$

③ It is not required to apply strength reduction coefficient to anchorage length and splice length of reinforcement.

10.6.3 Design Assumption

(1) Basic assumption

① Strength design of members for flexure and axial loads shall be based on assumptions specified in 10.6.3 ② through 10.6.3 ⑦, and on satisfaction of force equilibrium and strain compatibility.

② Strain in reinforcement and concrete can be assumed proportional to the distance from the neutral axis. However, nonlinear strain distribution shall be considered for deep beams specified in 「10.6.4 (2) ④」. Alternatively, strut-and-tie model shall be permitted to use for the design of deep beams, instead of considering the nonlinear strain distribution.

③ Maximum usable strain at extreme concrete compression fiber shall be assumed equal to 0.003 for members under flexure or combined flexure and axial loads.

④ Stress in reinforcement not exceeding f_y shall be taken as E_s times reinforcement strain. For strains of reinforcement greater than that corresponding to f_y, stress in reinforcement shall be considered independent of strain and equal to f_y.

⑤ Tensile strength of concrete can be neglected in axial and flexural strength calculations of reinforced concrete members, except for the conditions of provision 9.3.1.

② 강도감소계수는 다음과 같다.

가. 휨 …… $\phi_f = 0.90$

나. 전단과 비틀림 …… $\phi_v = 0.85$

다. 축방향 압축부재

㉮ 나선철근으로 보강된 부재 …… $\phi_c = 0.70$

㉯ 띠철근으로 보강된 부재 …… $\phi_c = 0.65$

압축부재의 축하중강도 $\phi_c P_n$이 $0.10 f_{ck} A_g$와 $\phi_c P_b$중 작은 값보다 작은 경우, ϕ_c값은 직선 보간법을 적용하여 구해야 한다.

라. 축방향 인장부재 …… $\phi_t = 0.85$

마. 콘크리트의 지압 …… $\phi_b = 0.65$

바. 무근 콘크리트의 휨, 압축, 전단, 지압 …… $\phi_{pc} = 0.55$

사. 압축부재의 안정(장주영향으로 「10.6.5 (4)항」의 모멘트 확대계수를 고려해야 하는 압축부재) ……$\phi_s = 0.65$

③ 철근의 정착길이와 이음길이에는 강도감소계수를 적용할 필요가 없다.

10.6.3 설계일반

(1) 기본가정

① 휨모멘트나 축력 또는 휨모멘트와 축력을 동시에 받는 부재의 강도설계에는 이 규정에 명시된 가정에 따라야 하며, 힘의 평형조건과 변형률 적합조건을 만족시켜야 한다.

② 철근과 콘크리트의 변형률은 중립축으로부터 거리에 비례하는 것으로 가정할 수 있다. 「10.6.4 (2) ④항」에 규정된 깊은 보의 경우에는 비선형 변형률 분포를 고려하거나 스트럿-타이 모델을 적용해야 한다.

③ 휨 또는 휨과 축력을 동시에 받는 부재의 콘크리트 압축연단의 극한변형률은 0.003으로 가정해야 한다.

④ 철근의 응력이 설계기준항복강도f_y 이하일 때, 철근의 응력은 그 변형률에 E_s를 곱한 값으로 해야 한다. 철근의 변형률이f_y에 대응하는 변형률보다 큰 경우 철근의 응력은 변형률에 관계없이 f_y로 해야 한다.

⑤ 콘크리트의 인장강도는 철근콘크리트 부재 단면의 축강도와 휨강도 계산에서 무시할 수 있다.

⑥ Tensile strength of concrete can be neglected in axial and flexural strength calculations of reinforced concrete members, except for the conditions of provision 9.3.1.

⑦ Provision of 「⑥」 are satisfied by an equivalent rectangular concrete stress block defined by following provisions.

A. Concrete stress of $0.85f_{ck}$ shall be assumed to be distributed uniformly over an equivalent compression zone bounded by edges of the section and a straight line parallel to the neutral axis at a distance $a = \beta_1 c$ from the extreme fiber of maximum compressive strain.

B. Distance c from the extreme fiber of maximum compressive strain to the neutral axis shall be measured in a direction perpendicular to the neutral axis.

C. For compressive strength of concrete not greater than 28 MPa, β_1 shall be taken as 0.85. For compressive strength of concrete greater than 28 MPa, β_1 shall be reduced linearly at a rate of 0.007 for each 1 MPa of strength in excess of 28 MPa, but β_1 shall not be taken less than 0.65.

10.6.4 General principles

(1) General principle

① Balanced strain conditions exist at a cross section when tension reinforcement reaches the strain corresponding to f_y just as concrete in compression reaches its assumed ultimate strain of 0.003.

② Sections are compression-controlled if the net tensile strain in the extreme tension reinforcement, ε_t, is less than or equal to the compression-controlled strain limit when the extreme fiber of concrete in compression reaches the assumed ultimate strain, 0.003. The compression-controlled strain limit shall be defined as the net tensile strain of tension reinforcement in the balanced condition. For prestressed concrete, the compression-controlled strain limit of tendons shall be set to 0.002.

③ Sections are tension-controlled if the net tensile strain,ε_t, is greater than or equal to 0.005 when the concrete in compression reaches its assumed strain limit of 0.003. When yield strength of reinforcement exceeds 400 MPa, the tension-controlled strain limit shall be taken as 2.5 times the yield strain of reinforcements. Sections with ε_t between the compression-controlled strain limit and 0.005 constitute a transition region between compression-controlled and tension-controlled sections.

⑥ 콘크리트 압축응력의 분포와 콘크리트 변형률 사이의 관계는 직사각형, 사다리꼴, 포물선형 또는 강도의 예측에서 광범위한 실험의 결과와 실질적으로 일치하는 어떤 형상으로도 가정할 수 있다.

⑦ 상기 「⑥항」의 규정은 다음에 정의되는 등가 직사각형 응력블록으로 나타낼 수 있다.

가. 단면의 가장자리와 최대 압축변형률이 일어나는 연단부$a = \beta_1 c$ 거리에 있고 중립축과 평행한 직선에 의해 이루어지는 등가 압축영역에 $0.85 f_{ck}$인 콘크리트 응력이 등분포하는 것으로 가정한다.

나. 최대 변형률이 발생하는 압축연단에서 중립축까지 거리 c는 중립축에 대해 직각방향으로 측정한 것으로 한다.

다. 계수β_1은 콘크리트 강도가 28MPa 이하인 경우는 0.85로 한다. 콘크리트 강도가 28MPa을 초과할 경우, 28MPa을 초과하는 매 1MPa의 강도에 대하여 β_1의 값을 0.007씩 감소시킨다. 그러나 그 값은 0.65보다 작지 않게 한다.

10.6.4 휨부재

(1) 일반원칙

① 인장철근이 설계기준항복강도f_y에 대응하는 변형률에 도달하고 동시에 압축 콘크리트가 가정된 극한변형률인 0.003에 도달할 때, 그 단면이 균형변형률 상태에 있다고 본다.

② 압축 콘크리트가 가정된 극한변형률인 0.003에 도달할 때 최 외단 인장철근의 순인장 변형률 ε_t가 압축지배 단면이라고 한다. 압축지배 변형률 한계는 균형변형률 상태에서의 인장철근의 순인장변형률을 기준으로 하며 압축지배 변형률 한계는 0.002로 한다.

③ 압축 콘크리트가 가정된 극한변형률인 0.003에 도달할 때 최외단 인장철근의 순인장 변형률 ε_t가 0.005의 인장지배 변형률 한계 이상인 단면을 인장지배 단면이라고 한다. 다만 철근의 항복강도가 400MPa를 초과하는 경우에는 인장지배 변형률 한계를 철근 항복변형률의 2.5배로 한다. 순인장변형률 ε_t가 압축지배 변형률 한계와 인장지배 변형률 한계 사이인 단면은 변화구간 단면이라고 한다.

④ Net tensile strain ε_t of nonprestressed flexural members shall be not less than minimum allowable strain. Minimum allowable strain of flexural members is set to 0.004 for reinforcement with a specified yield strength of not greater than 400 MPa and two times the yield strain for reinforcement with a specified yield strength of greater than 400 MPa. For a member with combine flexure and axial loads with factored axial compressive load less than $f_{ck}A_g$, it shall be permitted to compute its flexural strength neglecting effects of axial load.

⑤ Additional tension reinforcements and corresponding compression reinforcements shall be permitted to increase the flexural strength of members.

(2) Additional Requirements for Design of Flexural Members

① Distance between lateral supports of flexural members

A. Spacing of lateral supports for a beam shall not exceed 50 times the minimum width of compression face or flange.

B. Effects of lateral eccentricity of load shall be considered to determine spacing of lateral support.

② Minimum reinforcement of flexural members

A. At every section of a flexural member where tensile reinforcement is required by analysis, except as provided in 「B, C & D」, A_s shall not be less than the greater of the values computed by

$$A_{s,\min} = \frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y} b_w d \qquad (10.6.1)$$

$$A_{s,\min} = \frac{1.4}{f_y} b_w d \qquad (10.6.2)$$

B. For statically determinate members with a flange in tension, $A_{s,\min}$ shall not be less than the value given by <Eq. (10.6.1)> or <Eq. (10.6.2)>, except that b_w is replaced by either $2b_w$ or b the effective width of flange, whichever is smaller.

$$A_{s,\min} = \frac{0.50\sqrt{f_{ck}}}{f_y} b_w d \qquad (10.6.3)$$

C. The requirements of 「10.6.4 (2) ② A & B」 need not apply if, at every section, $A_s$provided is not less than one-third that required by analysis.

④ 프리스트레스를 가하지 않은 휨부재 또는 휨모멘트와 축력을 동시에 받는 부재로서 계수축력이 $0.10 f_{ck} A_g$보다 작은 경우, 공칭축강도 상태에 있어서 순인장변형률 ε_t는 휨부재의 최소허용변형률 이상이어야 한다. 휨부재의 최소허용변형률은 철근의 항복강도가 400MPa 이하인 경우 0.004로 하며, 철근의 항복강도가 400 MPa를 초과하는 경우 철근 항복변형률의 2배로 한다.

⑤ 휨부재의 강도를 증가시키기 위하여 추가 인장철근과 이에 대응하는 압축철근을 사용할 수 있다.

(2) 휨부재 설계의 제한 사항

① 휨부재의 횡지지 간격

가. 보의 횡지지 간격은 압축 플랜지 또는 압축면의 최소폭의 50배를 초과하지 않도록 해야 한다.

나. 하중의 횡방향 편심의 영향은 횡지지 간격을 결정할 때 고려되어야 한다.

② 휨부재의 최소 철근량

가. 해석에 의하여 인장철근 보강이 요구되는 휨부재의 모든 단면에 대하여 아래 「나. 다. 라.항」에 규정된 내용을 제외하고는 철근의 단면적 A_s는 <식 (10.6.1)>과 <식 (10.6.2)>에 의해 계산된 값 중에서 큰 값 이상으로 해야 한다.

$$A_{s,\min} = \frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y} b_w d \qquad (10.6.1)$$

$$A_{s,\min} = \frac{1.4}{f_y} b_w d \qquad (10.6.2)$$

나. 정정구조물로서 플랜지가 인장 상태인 T형단면에 대하여 철근의 단면적$A_{s,\min}$은 <식 (10.6.1)>과 <식 (10.6.2)>에서 b_w에 플랜지의 유효폭 b와 $2b_w$ 중 작은 값을 대입하여 계산되는 철근 단면적의 값 중 큰 값과 <식 (10.6.3)>에 의해 계산되는 값을 비교하여 두 값 중에서 작은 값 이상으로 해야 한다.

$$A_{s,\min} = \frac{0.50\sqrt{f_{ck}}}{f_y} b_w d \qquad (10.6.3)$$

다. 부재의 모든 단면에서 해석에 의해 필요한 철근량보다 1/3 이상 인장철근이 더 배치되는 경우에는 「10.6.4 (2) ② 가.항 및 나.항」의 규정을 적용하지 않을 수 있다.

D. For structural slabs and footings of uniform thickness, $A_{s,\min}$ in the direction of the span shall not be less than the limit specified in 「10.4.8」. Maximum spacing of reinforcement shall not exceed the smaller of three times the thickness and 450 mm.

③ Distribution of flexural reinforcement in beams and one-way slabs

A. Provisions of 「10.6.4 (2) ③」 shall apply for the distribution of flexural reinforcement to control flexural cracking in beams and in one-way slabs (reinforced to resist flexural stresses in only one direction).

B. Distribution of flexural reinforcement in two-way slabs shall conform to 「10.8.6」.

C. Flexural tension reinforcement shall be distributed within maximum flexural tension zones of a member cross section as required by 「D」.

D. The spacing s of reinforcement closest to the tension face shall not exceed the least of the values that given by <Eq. (10.6.4)> and <Eq. (10.6.5)>

$$s = 375\left(\frac{210}{f_s}\right) - 2.5c_c \qquad (10.6.4)$$

$$s = 300\left(\frac{210}{f_s}\right) \qquad (10.6.5)$$

c_c is the least distance from surface of reinforcement or prestressing steel to the tension face. If there is only one bar or wire nearest to the extreme tension face, s shall be taken as the width of the extreme tension face. f_s shall be taken as the stress of reinforcement closest to the tension face at service load. It shall be permitted to take f_s as $2/3 f_y$, approximately.

E. When flange of T-beams is in tension, flexural reinforcements in tension shall be distributed over the effective flange width defined in 「10.3.2 (5)」 or 1/10 of the span, whichever is smaller. If effective flange width is larger than one-tenth of the span, additional longitudinal reinforcement shall be arranged in the outer portions of the flange.

F. Where depth of beam or joist, h, exceeds 900 mm, longitudinal skin reinforcement shall be distributed uniformly along the both side faces of the member extending from the tension face to a distance 0.5h. c_c is the least distance from adjacent side face of the member to the surface of the skin reinforcement. When using a strain-compatibility analysis to determine the stress of each reinforcement or wire, it shall be permitted to include the skin reinforcement in the strength calculation.

라. 두께가 균일한 구조용 슬래브와 기초판에 대하여 경간방향으로 보강되는 인장철근의 최소 단면적은「10.4.8항」에 규정한 값과 같아야 한다. 철근의 최대 간격은 슬래브 또는 기초판의 두께의 3배와 400mm 중 작은 값 이하로 해야 한다.

③ 보 및 1방향 슬래브의 휨철근 배치

가. 보 또는 한 방향으로만 휨응력을 저항하도록 철근이 배치된 1방향 슬래브는 휨균열을 제어하기 위하여 휨철근의 배치에 대한 이「10.6.4 (2) ③항」의 규정을 따라야 한다.

나. 2방향 슬래브의 휨철근 배치는「10.8.6항」에 규정된 바에 따라야 한다.

다. 휨인장철근은「라.항」에 규정된 바에 따라 부재 단면의 최대 휨인장 영역 내에 배치되어야 한다.

라. 콘크리트 인장연단에 가장 가까이에 배치되는 철근의 중심간격 s는 <식 (10.6.4)>과 <식 (10.6.5)>에 의해 계산된 값 중에서 작은 값 이하로 해야 한다.

$$s = 375\left(\frac{210}{f_s}\right) - 2.5c_c \qquad (10.6.4)$$

$$s = 300\left(\frac{210}{f_s}\right) \qquad (10.6.5)$$

여기서,c_c는 인장철근이나 긴장재의 표면과 콘크리트 표면 사이의 최소 두께이다. 철근이 하나만 배치된 경우에는 인장연단의 폭을 s로 한다. f_s는 사용하중 상태에서 인장연단에서 가장 가까이에 위치한 철근의 응력으로 사용하중 휨모멘트에 대한 해석으로 결정해야 하지만, 근사값으로 f_y의 2/3를 사용할 수 있다.

마. T형보 구조의 플랜지가 인장을 받는 경우에는 휨인장철근을「10.3.2 (5)항」에서 정의된 유효 플랜지 폭이나 경간의 1/10의 폭 중에서 작은 폭에 걸쳐서 분포시켜야 한다. 만일 유효 플랜지 폭이 경간의 1/10을 넘는 경우에는 약간의 종방향 철근을 플랜지 바깥부분에 배치해야 한다.

바. 보나 장선의 유효깊이 d가 900mm를 초과하면, 종방향 표피철근을 가장 가까운 곳에 위치한 휨인장철근으로부터 d/2 지점까지에 부재 양쪽 측면을 따라 균일하게 배치해야 한다. 이 때 한쪽면의 단위 m당 표면 철근의 면적A_{sk}는 (d−750)mm^2 이상이어야 하고, 표피 철근의 최대 간격은 d/6와 300mm 중 작은 값을 초과하지 않아야 한다. 개개의 철근이나 철망의 응력을 결정하기 위하여 변형률 적합조건에 따라 해석을 하는 경우, 이러한 철근은 강도계산에 포함될 수 있으며, 양 측면의 종방향 표피 철근의 전체 면적은 필요한 휨인장철근의 1/2을 초과할 필요는 없다.

④ Design of deep beams

A. Deep beams are structural members loaded in one face and supported on the opposite face so that a compression strut develops between the load and support, and are defined as members satisfying 「ⓐ or ⓑ」. Deep beam shall be designed according to the strut–tie model design procedure and considering lateral buckling.

(a) Members with a clear span, l_n, not exceeding four times the member depth

(b) Region between concentrated load and support, where the concentrated force is applied within two times the member depth from the face of the support.

B. Shear strength of deep beams shall be calculated according to 「10.6.6 (9)」.

C. Minimum flexural tension reinforcement shall be conform to 「10.6.4 (2) ②」.

D. Horizontal and vertical reinforcements at both side face of the deep beams shall comply with the requirements of 「10.6.6 (9)」 and「10.9.3 (2) and (3)」.

10.6.5 Compression member

(1) General

① Design of the member receiving axial force or bending and axial force simultaneously shall be based on compatibility conditions of stress and strain using the assumption in 「10.6.3」. Long column effect shall be considered depending on the requirements in 「10.6.5 (4)」.

② The member receiving axial compressive force and bending force simultaneously shall be designed to withstand the maximum moment resulting from such compressive force. Factored axial force P_u under given eccentricity shall not exceed axial design strengthϕP_n which is defined as follows.

A. Design of cross sections subject to flexure or axial loads, or to combined flexure and axial loads, shall be based on force equilibrium and strain compatibility conditions used in assumptions of <Eq. 10.6.6>

$$\phi P_{n(\max)} = 0.85\phi[0.85 f_{ck}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \qquad (10.6.6)$$

B. Balanced strain conditions exist at a cross section when tension reinforcement reaches the strain corresponding to f_y just as concrete in compression reaches its assumed ultimate strain of 0.003.

$$\phi P_{n(\max)} = 0.80\phi[0.85 f_{ck}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \qquad (10.6.7)$$

where, A_s : Total sectional area of the section

A_{st}: Total sectional area of axial reinforcement

④ 깊은 보의 설계

가. 깊은 보는 한쪽 면이 하중을 받고 반대쪽 면이 지지되어 하중과 받침부 사이에 압축대가 형성되는 구조요소로서, 「㉮ 또는 ㉯」에 해당하는 부재이다. 깊은 보는 비선형 변형률 분포를 고려하여 설계하거나 스트럿-타이모델 설계절차에 따라 설계해야 하며, 횡좌굴을 고려해야 한다.

㉮ 순경간 l_n이 부재 깊이의 4배 이하인 부재

㉯ 받침부 내면에서 부재 깊이의 2배 이하인 위치에 집중하중이 작용하는 경우는 집중하중과 받침부 사이의 구간

나. 깊은 보의 전단강도는 「10.6.6 (9)항」에 따라 계산해야 한다.

다. 최소 휨인장철근량은 「10.6.4 (2) ②항」에 따라야 한다.

라. 깊은 보의 양 측면의 수평 및 수직철근은 「10.6.6 (9)」및 「10.9.3 (2)항과 (3)항」의 요구조건을 만족하도록 해야 한다.

10.6.5 압축부재

(1) 일반내용

① 축방향력 또는 휨과 축방향력을 겸해 받는 부재의 설계는 「10.6.3항」의 가정을 사용하여 응력과 변형률의 적합조건에 기초를 둔다. 장주효과는 「10.6.5 (4)항」의 요구조건에 따라 고려해야 한다.

② 축방향 압축력과 휨을 겸해 받는 부재는 그 압축력에 수반될 수 있는 최대모멘트에 대해 설계해야 한다. 주어진 편심에서의 계수축방향력P_u는 축방향 설계강도ϕP_n을 초과할 수 없으며 ϕP_n은 다음과 같다.

가. 「10.4.6 (2) ②항」의 규정에 따른 나선철근을 갖고 있는 프리스트레스를 가하지 않은 부재의 경우 <식 10.6.6>에 따라야 한다.

$$\phi P_{n(\max)} = 0.85\phi[0.85 f_{ck}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \qquad (10.6.6)$$

나. 「10.4.6 (2) ③항」의 규정에 따른 띠철근을 가진 프리스트레스를 가하지 않은 부재의 경우 <식 (10.6.7)>에 따라야 한다.

$$\phi P_{n(\max)} = 0.80\phi[0.85 f_{ck}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \qquad (10.6.7)$$

여기서, A_g : 단면의 총단면적

A_{st} : 축방향 철근의 총단면적

(2) Strength of compressive member - Definition of load-moment relationship of the member receiving bending and axial force simultaneously shall be in accordance with the following.

① Net compression - Axial design strength without eccentricity shall be calculated using <Eq. (10.6.8)>

$$\phi P_o = \phi [0.85 f_{ck} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (10.6.8)$$

Axial strength of compressive member is limited to 80% and 85% of axial force without eccentricity according to 「10.6.5 (1) ②」, and thus net compressive strength in design is a hypothetical condition.

② Net bending - Net bending shall be in accordance with 「10.6.4」

③ Equilibrium strain condition - Equilibrium strain condition to the section is as defined in 「10.6.4 (1)」 Equilibrium axial load ϕP_b and equilibrium bending strength ϕM_b to rectangular section on which reinforcement is placed on one side or two sides at the same distance from the moment axis shall be calculated using <Eq. (10.6.9)> and <Eq. (10.6.10)>.

$$\phi P_b = \phi [0.85 f_{ck} a b + A_s{}' f_{sb}{}' - A_s f_y] \quad (10.6.9)$$

$$\phi M_b = \phi [0.85 f_{ck} a b \left(d - d'' - \frac{a}{2}\right) + A_s{}' f_{sb}{}' (d - d' - d'') + A_s f_y d''] \quad (10.6.10)$$

where, equivalent rectangular stress distribution depth a and compressive reinforcement's $f_{sb}{}'$ stress under equilibrium strain condition shall be as defined in <Eq. (10.6.11)> and <Eq. (10.6.12)>, respectively.

$$a = \left(\frac{600}{600 + f_y}\right) \beta_1 d \quad (10.6.11)$$

$$f_{sb}{}' = 600 \left[1 - \frac{d'}{d} \left(\frac{600 + f_y}{600}\right)\right] \leqq f_y \quad (10.6.12)$$

d'' = Distance from the center of gross section to the center of compressive reinforcement

(2) 압축부재의 강도 - 휨과 축방향력을 동시에 받는 부재에 대한 하중-모멘트 상관관계의 범위를 정의하는 것으로서 다음 규정을 따른다.

① 순수압축 - 편심이 없는 축방향설계강도는 <식 (10.6.8)>으로 계산한다.

$$\phi P_o = \phi [0.85 f_{ck} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \qquad (10.6.8)$$

압축부재의 축방향강도는 「10.6.5 (1) ②항」에 따라 편심이 없는 축방향력의 80% 및 85%로 제한되므로 설계시 순수압축강도는 가설적 조건이다.

② 순수휨 - 「10.6.4항」에 의해야 한다.

③ 평형변형률조건 - 단면에 대한 평형변형률 조건은 「10.6.4 (1)항」에서 정의된 바와 같다. 철근이 한 면 또는 모멘트축에서 거의 같은 거리로 두 면에 배치된 직사각형 단면에 대한 평형 축하중강도ϕP_b와 평형 휨강도ϕM_b는 <식 (10.6.9)>와 <식 (10.6.10)>로 계산한다.

$$\phi P_b = \phi [0.85 f_{ck} a b + A_s{}' f_{sb}{}' - A_s f_y] \qquad (10.6.9)$$

$$\phi M_b = \phi [0.85 f_{ck} a b \left(d - d'' - \frac{a}{2} \right) + A_s{}' f_{sb}{}' (d - d' - d'') + A_s f_y d''] \qquad (10.6.10)$$

여기서 등가 직사각형 응력분포의 깊이a와 평형변형률 조건에서의 압축철근의 응력$f_{sb}{}'$는 각각 <식 (10.6.11)>와 <식 (10.6.12)>과 같다.

$$a = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \beta_1 d \qquad (10.6.11)$$

$$f_{sb}{}' = 600 \left[1 - \frac{d'}{d} \left(\frac{600 + f_y}{600} \right) \right] \leqq f_y \qquad (10.6.12)$$

d''= 총단면의 중심에서부터 압축철근의 중심까지의 거리

④ When bending and axial force are applied together - The strength of section is controlled by tension when nominal axial load P_n is less than equilibrium axial load P_b and is controlled by compression when it is larger than equilibrium axial load. Nominal axial load P_n and nominal bending strength $M_n$shall be multiplied by strength reduction coefficient ϕ to axial compression in 「10.6.2 (2)」.

(3) Compressive member receiving biaxial bending - Instead of general section analysis according to stress and strain condition, design strength of non-circular member receiving biaxial bending shall be calculated using <Eq. (10.6.13)>

① In case of factored axial load $P_u \geqq 0.1 f_{ck} A_g$

$$\frac{1}{P_{nxy}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_o} \qquad (10.6.13)$$

where, P_{nxy}: Nominal axial load when receiving biaxial bending

P_{nx}: Nominal axial load of the section corresponding to M_{nx} when bending is considered in x-axis only ($M_{nx} = P_{nx} e_y$, $e_x = 0$)

P_{ny}: Nominal axial load of the section corresponding to M_{ny} when bending is considered in y-axis only ($M_{ny} = P_{ny} e_x$, $e_y = 0$)

P_o: ($e_x = e_y = 0$), see 「10.6.5 (2) ①」

② In case of factored load $P_u \geqq 0.1 f_{ck} A_g$

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leqq 1 \qquad (10.6.14)$$

where, M_{ux} , M_{uy}: Factored bending strength in x, y direction when receiving biaxial bending

M_{nx} , M_{ny}: Nominal bending strength in x, y direction defined in 「①」.

(4) Effect of long column

① Nonlinear second-order analysis

A. Nonlinear second order analysis shall consider the material nonlinearity, cracking, member curvature, lateral displacement, duration of load, shrinkage and creep and interaction with supporting foundation.

B. When the difference between the section of the member used for analysis and the final design is 10% or more, it shall be calculated as a member of a different size for analysis again.

④ 휨과 축방향력을 겸해 받는 경우 - 단면의 강도는 공칭 축하중강도P_n이 평형 축하중강도P_b보다 작을 때는 인장에 의해 지배되고, P_n이 P_b보다 클 때는 압축에 의해 지배된다. 공칭 축하중강도P_n과 공칭 휨강도M_n에 「10.6.2 (2)항」에 주어진 축방향 압축에 대한 강도감소계수ϕ를 곱해야 한다.

(3) 2축휨을 받는 압축부재 - 응력과 변형률 조건에 준한 일반적인 단면해석 대신에 2축 휨을 받는 비원형 부재의 설계강도는 <식 (10.6.13)>로 구한다.

① 계수축하중 $P_u \geqq 0.1 f_{ck} A_g$ 의 경우

$$\frac{1}{P_{nxy}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_o} \qquad (10.6.13)$$

여기서, P_{nxy}: 2축 휨을 받는 경우의 공칭 축하중강도

P_{nx} : 휨이 x축 방향으로만 고려되는 경우의M_{nx}에 부합하는 단면의 공칭 축하중강도($M_{nx} = P_{nx} e_y$, $e_x = 0$)

P_{ny} : 휨이 y축 방향으로만 고려되는 경우의M_{ny}에 부합하는 단면의 공칭 축하중강도 ($M_{ny} = P_{ny} e_x$, $e_y = 0$)

P_o : 순수축하중강도 ($e_x = e_y = 0$) , 「10.6.5 (2) ①항」참조

② 계수하중 $P_u < 0.1 f_{ck} A_g$의 경우

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leqq 1 \qquad (10.6.14)$$

여기서, M_{ux}, M_{uy} : 2축휨을 받는 경우의 단면의 x, y방향으로의 계수휨강도

M_{nx}, M_{ny} : 위의 「①항」에서 정의된 각각 x, y방향으로의 공칭 휨강도

(4) 장주효과

① 비선형 해석

가. 압축부재의 설계는 재료의 비선형성, 균열, 부재의 곡률, 하중의 지속기간, 크리프와 건조수축, 지지하는 기초와의 관계를 고려한 2계해석(second order analysis)에 의한 계수하중과 모멘트에 근거해야 한다.

나. 해석에 사용되는 부재의 단면과 최종설계된 부재의 단면이 10%이상 차이가 나면 새로운 치수를 가진 부재로 계산하여 해석을 반복해야 한다.

C. Design of compressive member may be in accordance with the approximate method in 「②」 depending on slenderness ratio instead of the method described above previously.

② Whether to consider the effect of a long column - Factored axial load P_u, factored moment at the end of compressive member M_1 and M_2 and relative lateral displacement Δ_o shall be calculated using linear elastic analysis for the determined section considering axial force effect, crack zone along the member and continuous load effect.

A. Characteristics of the section of frame structure shall be as follows.

(a) Characteristics of the section described in <Table 10.6.1> may be used for the analysis considering the crack. But for the analysis at the state of service load, second moment of area in Table shall be multiplied by 1/0.7=1.43.

(b) Second moment of area shall be divided by $(1+\beta_d)$ when continuous lateral load is applied or stability review is performed.

Table 10.6.1 Second moment of area for analysis of frame structure

Classification	Elastic modulus	Second moment of area	Sectional area
Girder	See 「10.2.1 (3)」	0.35	1.0
Column		0.70	
Wall without crack		0.70	
Wall with crack		0.35	
Flat plate and slab		0.35	

B. Unsupported length of compression member can be calculated as follows.

(a) The unsupported length l_u shall be taken as the clear length between supporting members such as slabs, beams and other members that can provide lateral restraint along the direction considered.

(b) For compression members with capitals or haunches, unsupported length shall be taken as the distance measured to the lower surface of the capital or haunch in the plane considered.

C. Radius of gyration, r, shall be permitted to take as a value of 0.3 times the section dimension in the direction considered for rectangular members, and 0.25 times the diameter for circular members. Radius of gyration for other shapes shall be calculated for the gross section of concrete.

다. 압축부재의 설계는 위에 기술된 방법 대신 세장비에 따라 다음 「②항」에 제시된 근사 방법에 따라도 좋다.

② 장주효과의 고려 여부 - 계수축하중P_u, 압축부재 끝단의 계수모멘트M_1과M_2, 상대횡변위Δ_o는 축력의 영향, 부재길이를 따라 발생한 균열영역의 존재, 하중지속의 영향들을 고려하여 결정된 단면에 대하여 선형탄성해석을 이용하여 계산해야 한다.

가. 골조구조의 단면특성은 다음을 따라야 한다.

㉮ <표 10.6.1>에 주어진 단면특성은 균열을 고려한 해석에 사용되어도 좋다. 그러나 구조물의 사용하중 상태에서의 해석을 할 때는 표의 단면 2차모멘트를 $1/0.7 = 1.43$을 곱하여 사용해야 한다.

㉯ 단면 2차모멘트는 지속횡하중이 작용하거나 안정에 대한 검토가 수행되었을 때 $(1+\beta_d)$로 나누어야 한다.

표 10.6.1 골조구조 해석을 위한 단면 2차모멘트

(a) 구 분	탄성계수	단면 2차 모멘트	단면적
보	「10.2.1 (3)항」 참조	$0.35I_g$	$1.0A_g$
기둥		$0.70I_g$	
균열이 발생하지 않은 벽		$0.70I_g$	
균열이 발생한 벽		$0.35I_g$	
평편한 판과 슬래브		$0.25I_g$	

나. 압축부재의 비지지장

㉮ 압축부재의 비지지장l_u는 바닥슬래브들 사이의 순거리, 보 및 거더들 사이의 순거리, 기타 압축부재를 횡방향으로 지지하는 부재들 사이의 순거리로 취해야 한다.

㉯ 헌치가 있는 경우의 비지지장은 해당 평면 내에 있는 헌치의 하단으로부터 잰 거리로 해야 한다.

다. 회전반지름r은 직사각형 압축부재에 대해서는 좌굴이 고려되는 방향의 단면치수의 0.3배, 원형압축부재에 대해서는 지름의 0.25배를 사용할 수 있다. 그 외의 형상에 대한r은 콘크리트의 총단면적에 대하여 계산할 수 있다.

D. Columns in nonsway frames or stories shall be designed according to provision「10.6.5 (4) ③」 and columns in sway frames or stories shall be designed according to 「10.6.5 (4) ④」.

(a) When the increase of end moment in a column calculated by second-order analysis does not exceed 5 percent of the end moment calculated by first-order analysis, the column of this structure can be assumed as a nonsway.

(b) It shall be permitted to assume as a nonsway structure If story stability index Q calculated by $Q = \frac{\sum P_u \Delta_o}{V_u l_c}$ is not greater than 0.05 the story of a structure can be assumed as a nonsway. Where, $\sum P_u$ and V_u are the total factored vertical load and horizontal story shear, respectively, in the story being evaluated, and Δ_o is the first-order relative lateral deflection between the top and the bottom of that story due to V_u.

E. Effective length of compressive member – Effective length factor for a braced compressive member shall be calculated using <Fig 10.6.1>, but the value used shall be 1.0 or less, except when a lower value is proved to be useful through the analysis. For non-braced compressive member, effective length factor k shall be determined considering relative rigidity that incorporates the crack and reinforcement; this however shall be greater than 1.0.

(a) Included in the preliminary design data to calculate effective length factor k is the Jackson and Moreland Alignment Chart shown in <Fig 10.6.1>. This chart is used to determine k in chart for the column with a certain section in a multi-span structure.

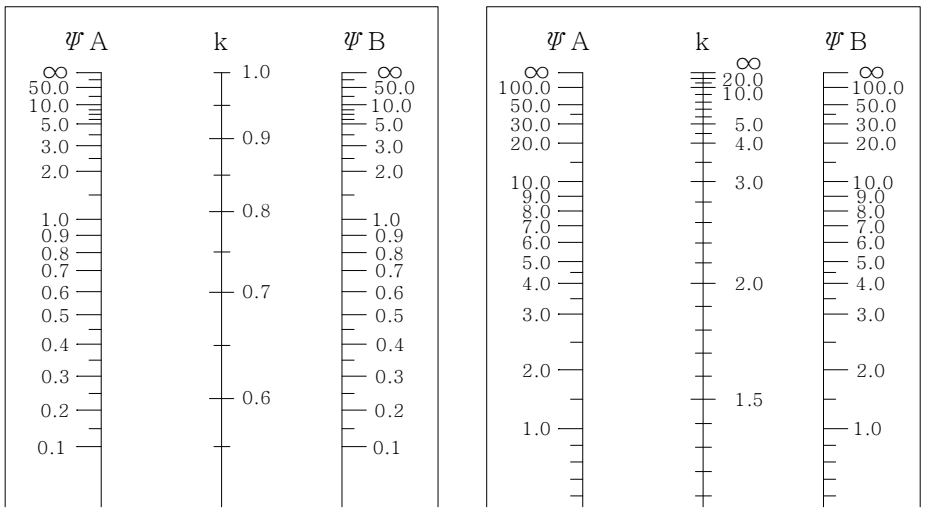


Fig. 10.6.1 Jackson and Moreland Alignment Chart

라. 장주효과의 근사적으로 고려하는 모멘트 확대계수 설계법에서는 횡변위가 지지된 구조물과 횡변위가 지지되지 않는 구조물을 구별해야 한다. 횡구속 골조구조나 층의 기둥설계는 「10.6.5 (4) ③항」에 따라야 하고, 비횡구속 골조구조나 층의 기둥 설계는 「10.6.5 (4) ④항」에 따라야 한다.

㉮ 구조물의 한 층에서 $P-\Delta$효과로 발생되는 횡하중 모멘트 증가가 1계 탄성해석에 의한 모멘트의 5%를 넘지 않으면 횡변위가 구속되어 있다고 가정할 수 있다.

㉯ 구조물의 한 층의 안정지수 $Q = \frac{\sum P_u \Delta_o}{V_u l_c}$가 0.05이하이면 구조물의 그 층은 횡변위가 구속되어 있다고 가정할 수 있다. 여기서 $\sum P_u$와 V_u는 각각 해당층에서의 총 수직하중과 전단력이고, Δ_o는 V_u에 의한 해당 층의 상·하부의 1계 탄성해석에 의한 상대변위이다.

마. 압축부재의 유효길이 - 횡구속 압축부재의 경우, 유효길이계수 k는 <그림 10.6.1>에 의해 구하되 1.0이하의 값을 사용해야 한다. 다만 좀 더 작은 값을 사용할 수 있다는 것을 해석에 의해 증명할 수 있는 경우는 예외로 한다. 비횡구속 압축부재의 경우, 유효길이계수 k는 균열과 철근량이 반영된 상대강성을 고려하여 결정하되 1.0보다 커야 한다.

㉮ 유효길이계수k를 구하기 위한 예비설계자료로는 <그림 10.6.1>의 Jackson and Moreland Alignment Chart가 있다. 이 도표는 다경간 구조물에서 일정단면을 갖는 기둥에 대하여 k를 도표로 결정하는 것이다.

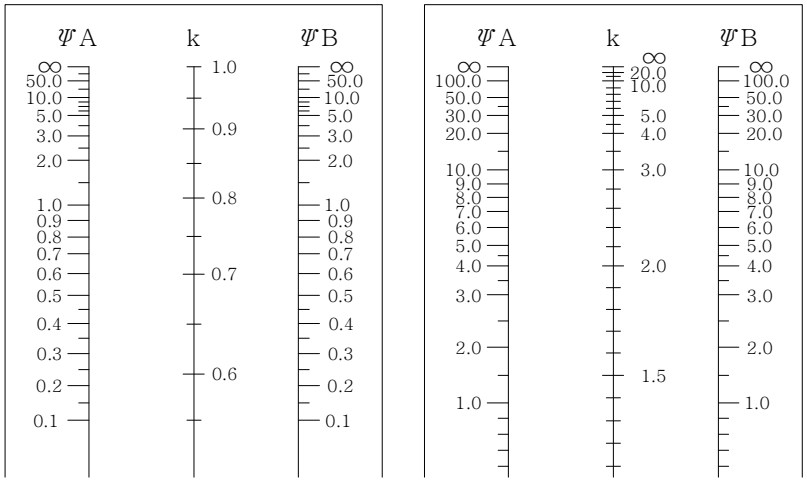


그림 10.6.1 Jackson and Moreland Alignment Chart

In <Fig 10.6.1>,

Ψ= On plane at the end of compressive member, ratio of compressive member, $\sum(EI/l)_c$to flexural member, $\sum(EI/l)_b$, Ψ_A and Ψ_B refers to value Ψ at the end of column.

l = Span of flexural member measured between center-to-center of joints

ⓑ A simplified equation may be used to calculate effective length factor k.

a. Upper limit of effective length factor to braced compressive member which corresponds to <Eq. (10.6.15)> or <Eq. (10.6.16)>, whichever is less.

$$k = 0.7+0.05(\Psi_A+\Psi_B) \leqq 1.0 \quad (10.6.15)$$

$$k = 0.85+0.05\Psi_{min} \leqq 1.0 \quad (10.6.16)$$

where, Ψ_A ,Ψ_B = Value Ψ at the end of column

Ψ_{min} = Ψ_A or Ψ_B whichever is less.

b. Effective length of compressive member with non-braced ends shall be calculated using <Eq. (10.6.17)> and <Eq. (10.6.18)>.

$$\text{For } \Psi_m < 2,\ k = \frac{20-\Psi_m}{20}\sqrt{1+\Psi_m} \quad (10.6.17)$$

$$\text{For } \Psi_m \geqq 2,\ k = 0.9\sqrt{1+\Psi_m} \quad (10.6.18)$$

where, Ψ_m = Mean value Ψ at both ends of the member

c. Effective length factor of non-braced compressive member with a hinge at one end shall be calculated using <Eq. (10.6.19)>.

$$K = 2.0+0.3\Psi \quad (10.6.19)$$

where Ψ= Value Ψ at braced end

F. Consideration of long column effect

Long column effect may be considered depending on $\frac{kl_u}{r}$ value as shown in <Table 10.6.2>.

③ Amplified moment of braced frame

A. For a braced frame, compressive member shall be designed using amplified moment M_c in <Eq. (10.6.20)> considering factored axial load P_u and the effect of the curvature of member.

<그림 10.6.1>에서,

Ψ = 압축부재의 한 단부의 평면에서, 휨부재의 $\sum(EI/l)_b$에 대한 압축부재의 $\sum(EI/l)_c$의 비. Ψ_A와 Ψ_B는 기둥의 각 단부에서의 Ψ값을 의미한다.

l = 절점의 중심간 거리로 측정된 휨부재의 경간길이

㈏ 유효길이계수 k를 구하기 위해 간편식을 사용할 수도 있다.

㉠ 횡구속된 압축부재에 대한 유효길이계수의 상한치로서 <식 (10.6.15)>과 <식 (10.6.16)> 중 더 작은 값을 취해야 한다.

$$k = 0.7+0.05(\Psi_A+\Psi_B) \leqq 1.0 \qquad (10.6.15)$$

$$k = 0.85+0.05\Psi_{\min} \leqq 1.0 \qquad (10.6.16)$$

여기서, Ψ_A,Ψ_B = 기둥의 각 단부에서의 Ψ값

$\Psi_{\min}$ = Ψ_A와 Ψ_B 중 더 작은 값

㉡ 양단 비횡구속 압축부재에 대한 유효길이는 <식 (10.6.17)>와 <식 (10.6.18)>으로 구할 수 있다.

$\Psi_m < 2$에 대하여, $k = \frac{20-\Psi_m}{20}\sqrt{1+\Psi_m}$ (10.6.17)

$\Psi_m \geqq 2$에 대하여, $k = 0.9\sqrt{1+\Psi_m}$ (10.6.18)

여기서, Ψ_m = 압축부재 양단에서의 Ψ값의 평균치

㉢ 한 끝단이 힌지인 비횡구속 압축부재에 대한 유효길이계수는 <식 (10.6.19)>로 구할 수 있다.

$$k = 2.0+0.3\Psi \qquad (10.6.19)$$

여기서, Ψ = 구속된 끝단에서의 Ψ값

바. 장주효과의 고려

$\frac{kl_u}{r}$의 값에 따라 <표 10.6.2>와 같이 장주효과를 고려할 수 있다.

③ 횡구속골조의 확대모멘트

가. 횡구속골조의 경우에는 압축부재는 계수축하중 P_u와 부재곡률의 영향을 고려한 <식 (10.6.20)>의 확대 모멘트 M_c를 사용하여 설계해야 한다.

$$M_c = \delta_{ns} M_2 \tag{10.6.20}$$

Table 10.6.2 Consideration of long column effect depending on value of kl_u/r

Non-braced frame		Braced frame
$\frac{kl_u}{r} < 22$	Without considering long column effect	$\frac{kl_u}{r} \leqq 34-12(M_1/M_2)$
$\frac{kl_u}{r} < 22$	Approximate method considering $P-\Delta$ effect	$34-12(M_1/M_2) \leqq \frac{kl_u}{r} \leqq 100$
$\frac{kl_u}{r} > 100$	$P-\Delta$ analysis	$\frac{kl_u}{r} > 100$

Note) ① $M_1/M_2 \geqq -0.5$. When column is bent by single curvature, M_1/M_2 has positive (+) value.

② For all compressive members with $\frac{kl_u}{r}$ exceeding 100, $P-\Delta$ analysis shall be in accordance with 「10.6.5 (4) ① A」. But 「10.6.5 (4) ① A」 may be applied to a lower slenderness ratio.

B. Here, M_2 shall be top or bottom end moment, whichever is greater, and 1.5 and h shall be in the unit of mm. If end moment M_2 that is calculated is very small or 0, column design shall follow minimum moment $M_{2,mim} = P_u(15+0.03h)$. And δ_{ns} is moment amplified factor that incorporates the effect of the curvature between both ends of the compressive member of the braced frame structure.

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1-\frac{P_u}{\phi_k P_c}} \geqq 1.0 \tag{10.6.21}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2} \tag{10.6.22}$$

C. The important factor in defining critical loadP_c is the selection of bending rigidity EI, which rationally approximates the change in rigidity due to crack, creep or non-linearity of stress-strain curve of concrete. If a very accurate analysis is not required, <Eq. (10.6.23)> and <Eq. (10.6.24)> may be used for EI.

$$EI = \frac{(0.2E_cI_g + E_sI_{se})}{1+\beta_d} \tag{10.6.23}$$

$$M_c = \delta_{ns} M_2 \tag{10.6.20}$$

표 10.6.2 kl_u/r 값에 따른 장주효과의 고려

비횡구속골조		횡구속골조
$\frac{kl_u}{r} < 22$	장주효과 무시	$\frac{kl_u}{r} \leqq 34-12(M_1/M_2)$
$22 \leqq \frac{kl_u}{r} \leqq 100$	$P-\Delta$효과를 고려한 근사방법 사용	$34-12(M_1/M_2) \leqq \frac{kl_u}{r} \leqq 100$
$\frac{kl_u}{r} > 100$	$P-\Delta$ 해석	$\frac{kl_u}{r} > 100$

주) ① 위에서 $M_1/M_2 \geqq -0.5$ 이라야 한다. 기둥이 단일곡률로 휘는 경우, M_1/M_2는 정(+)의 값을 갖는다.
② $\frac{kl_u}{r}$의 값이 100을 초과하는 모든 압축부재에 대해서는 「10.6.5 (4) ① 가.항」에 따라 $P-\Delta$ 해석을 해야 한다. 그러나 그보다 작은 세장비에 대해서도 「10.6.5 (4) ① 가.항」의 적용은 가능하다.

나. 여기서, M_2는 기둥의 상·하부 단모멘트 중 큰 값으로서 $P_u(15+0.03h)$보다는 커야하며, 1.5와 h는 mm단위이다. 만일 계산된 단모멘트M_2가 매우 작거나 0이 나오면, 기둥의 설계는 최소모멘트$M_{2,mim} = P_u(15+0.03h)$에 따라야 한다. 그리고 δ_{ns}는 횡구속 골조구조에서 압축부재의 양단사이의 부재곡률의 영향을 반영한 모멘트 확대계수이다.

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1-\frac{P_u}{\phi_k P_c}} \geqq 1.0 \tag{10.6.21}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2} \tag{10.6.22}$$

다. 임계하중P_c를 정의할 때 중요한 문제는 균열이나 크리프, 콘크리트의 응력-변형률 곡선의 비선형성으로 인한 강성의 변화를 합리적으로 근사화한 휨강성EI를 선택하는 것이다. 매우 정확한 해석을 위한 경우가 아니라면EI값은 <식 (10.6.23)>과 <식 (10.6.24)>를 이용하여도 좋다.

$$EI = \frac{(0.2E_cI_g + E_sI_{se})}{1+\beta_d} \tag{10.6.23}$$

$$EI = \frac{0.4 E_c I_g}{1 + \beta_d} \qquad (10.6.24)$$

D. <Eq. (10.6.23)> is approximated from <Eq. (10.6.24)> and $EI = 0.25 E_c I_g$ may be used on the assumption that $\beta_d = 0.6$. Both <Eq. (10.6.23)> and <Eq. (10.6.24)> are approximated from real lower limit of section characteristics EI, which is thus very conservative. On RC column with continuous load and concrete creep, a certain amount of load on concrete is transferred to the reinforcement, which causes the stress of the reinforcement to increase. On an under-reinforced beam, such load transfer causes early yield of compressive reinforcement, resulting in a decrease in the EI effective value. Thus, EI is divided by $(1+\beta_d)$ and when braced, it is defined as the ratio of maximum factored axial fixed load to total factored axial load.

E. Its equivalent moment modifier shall be in accordance with <Eq. (10.6.25)>

$$\begin{aligned} C_m &= 0.6 + 0.4\frac{M_1}{M_2} \geqq 0.4 \quad (without\ lateral\ load\ ) \\ &= 1.0 \qquad\qquad\qquad\quad (with\ lateral\ load\ ) \end{aligned} \qquad (10.6.25)$$

④ Amplified moment of non-braced frame

A. When necessary to consider the effect of long column, end moment of each compressive member shall be as defined in <Eq. (10.6.26)> and <Eq. (10.6.27)>. That is, moment with potential lateral displacement from each end of column is added to moment M_{ns}, which prevents lateral displacement that is not amplified.

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \qquad (10.6.26)$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \qquad (10.6.27)$$

B. Lateral displacement-constrained moment M_{1ns} and M_{2ns} shall be calculated through linear elastic analysis.

C. Moment $\delta_s M_s$ with potential amplified lateral displacement shall be calculated using one of following methods.

(a) Second elastic frame structure analysis (see 「10.6.5 (4) ① A.」)

(b) $\delta_s M_s$ according to approximate second analysis,

$$EI = \frac{0.4E_cI_g}{1+\beta_d} \tag{10.6.24}$$

라. <식 (10.6.23)>는 <식 (10.6.24)>을 근사화한 것으로, $\beta_d = 0.6$으로 가정하여 $EI = 0.25E_cI_g$ 로 사용할 수도 있다. <식 (10.6.23)>과 <식 (10.6.24)>는 모두 실제의 단면특성EI의 하한값을 근사화한 것이기 때문에 상당히 보수적인 값이라고 할 수 있다. 지속하중과 콘크리트의 크리프 현상이 있는 철근콘크리트 기둥에서 콘크리트가 받는 하중의 일정량은 철근으로 전달되어 철근의 응력이 증가하게 된다. 과소철근보에서는 이러한 하중의 전달이 압축철근의 항복을 성급하게 유도하여 결과적으로EI의 유효값을 감소시킨다. 이러한 점을 고려하여EI를$(1+\beta_d)$로 나누는데, 횡방향 지지된 경우의β_d는 전체계수 축하중에 대한 최대계수 축방향 고정하중의 비로 정의된다.

마. C_m은 등가모멘트 수정계수로서 <식 (10.6.25)>을 따라야 한다.

$$\begin{aligned} C_m &= 0.6+0.4\frac{M_1}{M_2} \geqq 0.4 \quad (\text{횡하중이 없는 경우}) \\ &= 1.0 \qquad\qquad\qquad\quad (\text{횡하중이 있는 경우}) \end{aligned} \tag{10.6.25}$$

④ 비횡구속골조의 확대모멘트

가. 장주효과를 고려할 필요가 있는 경우, 각 압축부재의 단모멘트M_1과M_2는 <식 (10.6.26)>과 <식 (10.6.27)>와 같이 취해야 한다. 즉 기둥의 각 단부에서 확대된 횡변위가 가능한 모멘트$\delta_s M_s$가 확대되지 않은 횡변위가 방지된 모멘트M_{ns}에 더해진다.

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \tag{10.6.26}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \tag{10.6.27}$$

나. 횡변위 방지 모멘트M_{1ns}와 M_{2ns}는 선형탄성해석을 통하여 계산해야 한다.

다. 확대된 횡변위 가능 모멘트$\delta_s M_s$는 다음 방법 중 택해서 구해야 한다.

㉮ 2차 탄성 골조구조 해석(「10.6.5 (4) ① 가.항」참조)

㉯ $\delta_s M_s$를 근사적인 2차해석에 의하면

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1-Q} \geqq M_s \qquad (10.6.28)$$

where Q shall be in accordance with 「10.6.5 (4) ② D」. When δ_s is 1.5 or less, second moment shall be approximately predicted from non-braced structure, but when exceeding 1.5, $\delta_s M_s$ shall be in accordance with 「A or C」.

(c) Approximate amplification factor method

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1-\frac{\sum P_u}{\phi_k \sum P_c}} \geqq M_s \qquad (10.6.29)$$

where, $\sum P_u$: Sum of all vertical loads on floor

$\sum P_c$: Sum of critical loads of columns supporting lateral displacement on floor

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2}$$

$$EI = \frac{(0.2E_c I_g + E_s I_{se})}{1+\beta_d} \text{ or } EI = \frac{0.4E_c I_g}{1+\beta_d} \text{ shall be used.}$$

(d) Effective length factor shall be more than 1.0 and shall depend on E and I in <Table 10.6.1>. β_d depends on confinement of lateral displacement. This is defined as the ratio of maximum factored continuous shear force to total factored shear force on floor when lateral displacement is not confined. As such, it shall be β_d=0 for short-term load such as wind load or seismic load, and it shall not be β_d=0 when lateral load continues.

D. Non-amplified lateral displacement restraining moment at the end of a member is added to amplified moment with potential lateral displacement. Generally, one of the resultant end moments is maximum moment. But on a column with high axial force (slender column), end moment is no longer the maximum moment when maximum moment occurred between the ends. When l_u/r exceeds the value given in <Eq. (10.6.30)>, maximum moment would occur between the ends of columns and exceed the maximum end moment by 5% or more.

$$\frac{l_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{P_u/(f_{ck}A_g)}} \qquad (10.6.30)$$

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1-Q} \geqq M_s \qquad (10.6.28)$$

여기서, Q는 「10.6.5 (4) ② 라.항」에 의해야 한다. 위 방법에 의하면 δ_s가 1.5이하인 경우는 횡변위 지지되지 않은 구조물에서 2차 모멘트를 매우 근사하게 예측해야 한다. 그러나 δ_s가 1.5를 초과하는 경우$\delta_s M_s$는 「㉮항 또는 ㉯항」의 방법에 따라야 한다.

㉰ 근사적인 확대계수법

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1-\dfrac{\sum P_u}{\phi_k \sum P_c}} \geqq M_s \qquad (10.6.29)$$

여기서, $\sum P_u$: 해당 층의 모든 수직하중의 합

$\sum P_c$: 해당 층의 횡변위를 지지하는 기둥들의 임계하중의 합

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2}$$

$EI = \dfrac{(0.2E_cI_g + E_sI_{se})}{1+\beta_d}$ 또는 $EI = \dfrac{0.4E_cI_g}{1+\beta_d}$를 사용해야 한다.

㉱ 유효길이계수k는 1.0보다 커야하며, <표 10.6.1>에 주어진 E와 I값에 의존해야 한다. β_d는 횡변위가 구속된 경우와 구속되지 않은 경우가 서로 다르다. 횡변위가 구속되지 않은 경우에는 해당 층의 전체 계수전단력에 대한 해당 층의 최대 계수 지속전단력의 비라고 정의된다. 따라서 풍하중이나 지진하중과 같은 단기하중에 대해서는 $\beta_d = 0$이며, 횡하중이 지속되는 경우에 대해서는 β_d는 0이 아니다.

라. 부재 끝단의 확대되지 않은 횡변위 구속 모멘트가 같은 위치의 확대된 횡변위 가능 모멘트에 더해진다. 일반적으로 그 결과 나타나는 단모멘트 중 하나가 기둥의 최대 모멘트가 된다. 그러나 높은 축력을 받는 가는 기둥(slender column)에서는 최대모멘트 발생위치가 양 단의 사이에 있어서 단모멘트가 더 이상 최대모멘트가 아니다. 만일 l_u/r가 <식 (10.6.30)>에 주어진 값을 초과하면 최대모멘트는 기둥의 양단사이에서 발생할 것이고 최대단모멘트를 5%이상 초과할 것이다.

$$\frac{l_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{P_u/(f_{ck}A_g)}} \qquad (10.6.30)$$

In such a case, the column shall be designed for factored axial load P_u and moment M_c in 「10.6.5 (4) ③」. Maximum moment shall be calculated by amplifying end moment using <Eq. (10.6.20>.

$$M_c = \delta_s M_2 \qquad (10.6.31)$$
$$= \left(\frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75 P_c}} \right) (M_{2ns} + \delta_s M_{2s})$$

K shall be in accordance with 「10.6.5 (4) ② E」and δ_{ns} shall be 1.0 or more

E. Lateral stability under vertical load shall be calculated in the following 3 cases.

(a) When $\delta_s M_s$ is calculated using second analysis according to member stiffness in <Table 10.6.1>, it shall be $\frac{2nd\ lateral\ \mathrm{deflection}}{1st\ lateral\ \mathrm{deflection}} \leqq 2.5$ for $1.4P_D + 2.0P_L +$ lateral load.

(b) When $\delta_s M_s$ is calculated using <Eq. (10.6.28)> it shall be

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_o}{V_u l_c} \leqq 0.6 \text{ for } 1.4P_D + 2.0P_L$$

(c) When $\delta_s M_s$ is calculated using <Eq. (10.6.29)>

if δ_s is calculated using $\sum P_u$ and $\sum P_c$ corresponding to $1.4P_D + 2.0P_L$, it shall be $0 < \delta_s \leqq 2.5$

10.6.6 Shear design

(1) Shear strength

① The section subject to shear force shall be designed based on <Eq. (10.6.32)>.

$$V_u \leq \phi V_n \qquad (10.6.32)$$

② where, V_u is factored shear force of the section (shear forced multiplied by load factor) and V_n is nominal shear strength calculated using <Eq. (10.6.33)>.

$$V_n = V_c + V_s \qquad (10.6.33)$$

그런 경우, 기둥은 계수축하중P_u와 「10.6.5 (4) ③항」의 모멘트M_c에 대하여 설계된다. 최대모멘트는 <식 (10.6.20)>을 이용한 단모멘트를 확장함으로서 계산될 것이다.

$$M_c = \delta_s M_2 \qquad (10.6.31)$$

$$= \left(\frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75 P_c}} \right) (M_{2ns} + \delta_s M_{2s})$$

k는 「10.6.5 (4) ② 마.항」에 따르며, δ_{ns}는 1.0 이상이다.

마. 연직하중 하에서의 횡방향의 안정성에 대한 검토는 다음의 세 경우에 대하여 실시해야 한다.

㉮ <표 10.6.1>의 부재 강성에 의한 2차해석을 이용하여 $\delta_s M_s$가 계산된 경우, $1.4P_D + 2.0P_L +$횡하중에 대하여, $\frac{\text{2차 횡방향처짐}}{\text{1차 횡방향처짐}} \leqq 2.5$ 라야 한다.

㉯ <식 (10.6.28)>에 의하여 $\delta_s M_s$가 계산된 경우, $1.4P_D + 2.0P_L$에 대하여, $Q = \frac{\sum P_u \Delta_o}{V_u l_c} \leqq 0.6$ 라야 한다.

㉰ <식 (10.6.29)>에 의하여$\delta_s M_s$가 계산된 경우, δ_s가 $1.4P_D + 2.0P_L$에 상응하는$\sum P_u$와$\sum P_c$를 이용하여 계산되었을 때, $0 < \delta_s \leqq 2.5$라야 한다.

10.6.6 전단에 대한 설계

(1) 전단강도

① 전단력이 작용하는 단면은 <식 (10.6.32)>를 기본으로 설계해야 한다.

$$V_u \leq \phi V_n \qquad (10.6.32)$$

② 여기서 V_u는 해당 단면의 계수전단력(하중계수를 곱한 전단력)이며, V_n은 <식 (10.6.33)>에 의해 계산되는 공칭 전단강도이다.

$$V_n = V_c + V_s \qquad (10.6.33)$$

③ where, V_c is nominal shear strength of the section by concrete calculated using 「10.6.6 (2)」 and V_s is nominal shear strength of the section by shear reinforcement calculated using 「10.6.6 (3)」

④ When V_n is calculated, the effect of opening in the member shall be considered.

⑤ When V_c is calculated, effects of axial tension due to creep and shrinkage in restrained member shall be considered, and effects of inclined flexural-compression in members with variable depth shall be considered.

⑥ $\sqrt{f_{ck}}$ used in this clause shall not exceed 8.4 MPa. However, when calculating $\sqrt{f_{ck}}$ is permitted to exceed 8.4 MPa in the calculation of V_c, V_{ci} and V_{cw} for reinforced or prestressed concrete beams and concrete joist construction with the minimum shear reinforcement according to 「10.6.6 (3) ⑤」 「10.6.6 (3) ⑥」

⑦ When the following condition 「A」 is satisfied, the maximum factored shear force V_u at support is permitted to be calculated in accordance with the following conditions 「B.」 or 「C.」.

A. Support reaction in direction of applied shear force introduces compression at the end of a member, loads are applied at or near the top of a member, and no concentrated load is applied between the support face and the critical section defined by the following [B] and [C].

B. In reinforced concrete member, the factored shear force for sections located within the distance of d from the support face is permitted to be taken as V_u at the distance of d from the edge of support.

C. In prestressed concrete member, the factored shear force for sections located within the distance of $0.5h$ from the support face is permitted to be taken as V_u at the distance of $0.5h$ from the edge of support.

(2) Shear strength provided by concrete in reinforced concrete members

① Unless detailed method in accordance with 「10.6.6 (2) ②」 is applied, shear strength V_c shall be calculated according to Eqs. (10.6.34) and (10.6.35).

A. When the shear force and bending moment only are applied to the member, it may be calculated using <Eq. (10.6.34)>

$$V_c = \frac{1}{6}\lambda \sqrt{f_{ck}} b_w d \qquad (10.6.34)$$

③ 여기서 V_c는 「10.6.6 (2)항」에 따라 계산되는 콘크리트에 의한 단면의 공칭전단강도이며, V_s는 「10.6.6 (3)항」에 따라 계산되는 전단철근에 의한 단면의 공칭전단강도이다.

④ 전단강도 V_n을 결정할 때, 부재에 개구부가 있는 경우에는 그 영향을 고려해야 한다.

⑤ 전단강도 V_c를 결정할 때, 구속된 부재에서 크리프와 건조수축으로 인한 축방향 인장력의 영향을 고려해야 하며, 깊이가 일정하지 않은 부재의 경사진 휨압축력의 영향도 고려해야 한다.

⑥ 이 장에서 사용하는 $\sqrt{f_{ck}}$의 값은 8.4 MPa를 초과하지 않도록 해야 한다. 그러나, 「10.6.6 (3) ⑤항」 및 「10.6.6 (3) ⑥항」의 규정에 따라 최소 전단철근이 배치된 철근콘크리트 또는 프리스트레스트콘크리트 보와 콘크리트 장선구조에 있어서 V_c와 V_{ci} 및 V_{cw}를 계산할 때는 $\sqrt{f_{ck}}$의 값이 8.4 MPa을 초과할 수 있다.

⑦ 아래 「가.항」의 조건을 모두 만족한다면, 다음 「나.항」 또는 「다.항」의 규정에 따라 받침부의 최대 계수전단력 V_u를 산정할 수 있다.

가. 작용전단력 방향으로 받침부 반력이 부재의 단부를 압축하고 하중은 부재의 윗면 또는 그 근처에 작용하며, 받침부 내면과 아래의 다음 「나.항」 또는 「다.항」에서 정의되는 위험단면 사이에 집중하중이 작용하지 않을 경우

나. 철근 콘크리트 부재의 경우, 받침부 내면에서 거리 d 이내에 위치한 단면을 거리 d에서 구한 계수전단력 V_u의 값

다. 프리스트레스트콘크리트 부재의 경우, 받침부 내면에서 $0.5h$ 거리 이내에 위치한 단면을 $0.5h$ 거리에서 구한 것과 동일한 계수전단면력 V_u의 값

(2) 철근콘크리트 부재의 콘크리트에 의한 전단강도

① 「10.6.6 (2) ②항」의 규정에 따라 상세한 계산을 하지 않는 한, <식 10.6.34>과 <식 10.6.35>에 따라 전단강도 V_c를 계산해야 한다.

가. 전단력과 휨모멘트만을 받는 부재의 경우 <식 10.6.34>에 의해 계산할 수 있다.

$$V_c = \frac{1}{6}\lambda \sqrt{f_{ck}} b_w d \qquad (10.6.34)$$

B. Shear strength in a member subjected to shear force and flexural moment only shall be calculated by <Eq. (10.6.35)>

$$V_c = \frac{1}{6}\left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right)\lambda \sqrt{f_{ck}}\, b_w d \qquad (10.6.35)$$

where, N_u/A_g is in N/mm^2

C. In a member subjected to significant axial tension, the factored shear force shall be resisted by shear reinforcement only unless a detailed method using <Eq. (10.6.39)> in 「10.6.6 (2) ②」.

② Shear strength V_c shall be permitted to be calculated with more detailed methods provided in Eqs. (10.6.36) in (10.6.39).

A. Shear strength in a member subjected to shear force and flexural moment shall be permitted to be calculated by <Eq. (10.6.36)>

$$V_c = \left(0.16\lambda \sqrt{f_{ck}} + 17.6\rho_w \frac{V_u d}{M_u}\right) b_w d \qquad (10.6.36)$$

However, V_c shall not exceed $0.29\lambda \sqrt{f_{ck}}\, b_w d$ and $V_u d/M_u$ in Ep. (10.6.36) shall not exceed 1.0. Where, M_u is factored flexural moment simultaneously occurring with V_u at the considered section.

B. For a member subjected to axial compression, M_u in <Eq. (10.6.36)> is permitted to be replaced with M_m in order to calculate V_c, where $V_u d/M_u$ is not limited to 1.0.

$$M_m = M_u - N_u \frac{(4h - d)}{8} \qquad (10.6.37)$$

However, V_c shall not exceed the following.

$$V_c = 0.29\lambda \sqrt{f_{ck}}\, b_w d \sqrt{1 + \frac{N_u}{3.5A_g}} \qquad (10.6.38)$$

where, N_u/A_g is in N/mm^2. When M_m by <Eq. (10.6.37)> is negative (-), V_c shall be calculated by <Eq. (10.6.38)>.

나. 축방향 압축력을 받는 부재의 경우, <식 10.6.35>에 의해 계산할 수 있다.

$$V_c = \frac{1}{6}\left(1+\frac{N_u}{14A_g}\right)\lambda\sqrt{f_{ck}}b_w d \qquad (10.6.35)$$

여기서, N_u/A_g의 단위는 N/mm^2이다.

다. 현저히 큰 축방향 인장력이 작용하는 부재의 경우, 「10.6.6 (2) ②항」의 <식 10.6.39>를 사용하여 상세한 계산을 하지 않는 한 전단철근이 모든 전단력에 저항하도록 설계해야 한다.

② 다음 <식 10.6.36>에서 <식 10.6.39>까지 식을 사용하여 정밀하게 전단강도 V_c를 구할 수 있다.

가. 전단력과 휨모멘트를 받는 부재의 경우 <식 10.6.36>에 따라 계산할 수 있다.

$$V_c = \left(0.16\lambda\sqrt{f_{ck}}+17.6\rho_w\frac{V_u d}{M_u}\right)b_w d \qquad (10.6.36)$$

그러나 V_c의 값은 $0.29\lambda\sqrt{f_{ck}}b_w d$를 초과할 수 없으며, <식 10.6.36>에서 $V_u d/M_u$의 값은 1.0을 초과할 수 없다. 여기서, M_u는 전단을 검토하는 단면에서 V_u와 동시에 발생하는 계수휨모멘트이다.

나. 축방향 압축력을 받는 부재의 경우 <식 10.6.36>의 M_u를 아래와 같이 구한 M_m으로 대체하여 V_c를 계산할 수 있으며, 이 때 $V_u d/M_u$의 값은 1.0 이하라는 제한을 받지 않는다.

$$M_m = M_u - N_u\frac{(4h-d)}{8} \qquad (10.6.37)$$

그러나 V_c는 다음 값 이하이어야 한다.

$$V_c = 0.29\lambda\sqrt{f_{ck}}b_w d\sqrt{1+\frac{N_u}{3.5A_g}} \qquad (10.6.38)$$

여기서, N_u/A_g의 단위는 N/mm^2이다. <식 10.6.37>에 의해 계산된 M_m이 음(-)일 경우는 V_c를 <식 10.6.38>에 의해 계산해야 한다.

C. For a member subjected to significant axial tension, the shear strength is permitted to be calculated by <Eq. (10.6.39)>.

$$V_c = \frac{1}{6}\left(1 + \frac{N_u}{3.5A_g}\right)\lambda\sqrt{f_{ck}}\,b_w d \qquad (10.6.39)$$

where, N_u is negative (-) for tension, and N_u/A_g is in N/mm^2.

③ In a member with circular cross section, the area to calculate V_c shall be calculated as a product of effective depth and diameter of the concrete section. The effective depth is permitted to be taken as 0.8 times the diameter.

(3) Shear strength provided by concrete in prestressed concrete members

① Shear strength provided by concrete shall be calculated in accordance with 「10.6.6 (3) ②」 or 「10.6.6 (3) ③」. However, 「10.6.6 (3) ③」 shall be applied for a pretension member when the distance from the section at $h/2$ from the edge of support to the member end is shorter than the transfer length of the prestressing steel, or when bonding of some tendons is not extended to the member end.

② For a member where effective prestress force is not less than 40 % of tensile strength of flexural reinforcement, V_c shall be calculated by <Eq. (10.6.40)> unless 「10.6.6 (3) ③」 is applied.

$$V_c = \left(0.05\lambda\sqrt{f_{ck}} + 4.9\frac{V_u d_p}{M_u}\right)b_w d \qquad (10.6.40)$$

where, V_c shall be less than $\left(\lambda\sqrt{f_{ck}}/6\right)b_w d$, but not greater than $\left(5\lambda\sqrt{f_{ck}}/12\right)b_w d$, and shall not exceed the value given by 「10.6.6 (3) ④」 or 「10.6.6 (3) ⑤」. In <Eq. (10.6.40)>, $V_u d_p/M_u$ shall not exceed 1.0, and M_u is the factored flexural moment simultaneously occurring with V_u at the considered section. d_p shall not be less 0.8h.

③ Shear strength V_c shall be permitted to be calculated in accordance with <Eq. (10.6.41)> and <Eq. (10.6.43)>, where V_c shall be the lesser of V_{ci} and V_{cw}.

A. Shear strength V_{ci} shall be calculated by the following equation.

$$V_{ci} = 0.05\lambda\sqrt{f_{ck}}\,b_w d_p + V_d + \frac{V_i M_{cre}}{M_{\max}} \qquad (10.6.41)$$

where, d_p shall not be less than 0.8h and M_{cre} shall be calculated by <Eq. (10.6.42)>.

다. 현저히 큰 축방향 인장력을 받는 부재의 경우 <식 10.6.39>에 의해 계산할 수 있다.

$$V_c = \frac{1}{6}\left(1+\frac{N_u}{3.5A_g}\right)\lambda\sqrt{f_{ck}}b_w d \qquad (10.6.39)$$

여기서, N_u는 인장력일 때 음(-)이며, N_u/A_g의 단위는 N/mm^2이다.

③ 원형단면 부재의 V_c를 계산하기 위한 단면적을 콘크리트 단면의 유효깊이와 지름의 곱으로 구해야 한다. 이때 단면의 유효깊이는 부재단면 지름의 0.8배로 할 수 있다.

(3) 프리스트레스트콘크리트 부재에서 콘크리트에 의한 전단강도

① 콘크리트에 의한 전단강도는 「10.6.6 (3) ②항」과 「10.6.6 (3) ③항」의 방법 중에서 어느 하나를 선택하여 결정하여야 한다. 다만, 받침부 안쪽 면에서 $h/2$ 거리에 있는 단면부터 부재의 단부까지 거리가 프리텐셔닝 긴장재의 전달길이보다 짧거나 긴장재 일부의 부착이 부재의 단부까지 연장되어 있지 않는 프리텐션 부재는 「10.6.6 (3) ③항」에 따라 콘크리트에 의한 전단강도를 구하여야 한다.

② 휨철근 인장강도의 40 % 이상의 유효프리스트레스 힘이 작용하는 부재의 경우 「10.6.6 (3) ③항」의 계산에 의하지 않는 한 다음 <식 10.6.40>에 따라 V_c를 계산해야 한다.

$$V_c = \left(0.05\lambda\sqrt{f_{ck}}+4.9\frac{V_u d_p}{M_u}\right)b_w d \qquad (10.6.40)$$

그러나 이때 V_c는 $(\lambda\sqrt{f_{ck}}/6)b_w d$ 이상이고, $(5\lambda\sqrt{f_{ck}}/12)b_w d$ 이하이어야 하며, 또한 「10.6.6 (3) ④항」이나 「10.6.6 (3) ⑤항」에서 주어진 값 이하이어야 한다. 이 식에서 $V_u d_p/M_u$는 1.0 이하이어야 하고, M_u는 검토하는 단면에서 V_u와 동시에 발생하는 계수 휨모멘트이다. 여기서, d_p는 $0.8h$ 이상이어야 한다.

③ 다음 <식 10.6.41>과 <식 10.6.43>에 따라 전단강도 V_c를 계산할 수 있다. 여기서, V_c는 V_{ci}와 V_{cw}중에서 작은 값으로 하여야 한다.

가. 전단강도 V_{ci}를 다음 식으로 계산하여야 한다.

$$V_{ci} = 0.05\lambda\sqrt{f_{ck}}b_w d_p + V_d + \frac{V_i M_{cre}}{M_{\max}} \qquad (10.6.41)$$

여기서, d_p는 $0.8h$ 이상이어야 하며, M_{cre}를 다음 <식 10.6.42>에 의해 계산한다.

$$M_{cre} = \left(\frac{I}{y_t}\right)\left(0.5\lambda\sqrt{f_{ck}} + f_{pcc} - f_d\right) \qquad (10.6.42)$$

In <Eq. (10.6.41)>, $M_{\max}$ and V_i shall be calculated with the load combination causing the maximum flexural moment at the considered section, and V_{ci} shall not be less than $0.17\lambda\sqrt{f_{ck}}b_w d$.

B. Shear strength V_{cw} shall be calculated by the following equation.

$$V_{cw} = \left(0.29\lambda\sqrt{f_{ck}} + 0.3f_{pc}\right)b_w d_p + V_p \qquad (10.6.43)$$

where, d_p need not be taken smaller than 0.8h. As Alternatively, V_{cw} shall be permitted to be determined as the shear force corresponding to dead load plus live load causing the principal tensile stress of $\lambda\sqrt{f_{ck}}/3$ at the centroidal axis of cross section, or at the interface between flange and web when the centroidal axis is in the flange. In a composite member, the principal tensile stress shall be calculated using cross section resisting live load.

④ In a pretensioned member, when the distance from the section at $h/2$ from the edge of support to the member end is shorter than the transfer length of the prestressing steel, the reduced prestress shall be considered when V_{cw} is calculated. In addition the maximum value calculated from <Eq. (7.3.7)> shall be limited by the value of V_{cw} . It shall be assumed that the prestress force varies linearly from zero at the end of the prestressing steel, to the maximum at the distance of the transfer length from the end of the prestressing steel. The transfer length shall be permitted to be assumed 50 times the diameter of strand or 100 times the diameter of single wire.

⑤ For a pretensioned member where bonding of some tendons does not extend to the member end, the reduced prestressing force shall be used when V_c is calculated in accordance with 「10.6.6 (3) ②」 or 「10.6.6 (3) ③」. The value of V_{cw} calculated with the reduced prestressing force shall be taken as the maximum limit of <Eq. (10.6.40)>. When bonding of prestressing steel does not extend to the member end, it shall be assumed that the prestress force varies linearly from zero at the end of the bond to the maximum at the distance of the transfer length. The transfer length shall be permitted to be assumed 50 times the diameter of strand or 100 times the diameter of single wire.

$$M_{cre} = \left(\frac{I}{y_t}\right)(0.5\lambda\sqrt{f_{ck}} + f_{pcc} - f_d) \quad (10.6.42)$$

위 식에서 $M_{\max}$과 V_i의 값을 해당 단면에 최대 휨모멘트가 일어나는 하중조합에 대하여 계산하여야 하며, V_{ci}는 $0.17\lambda\sqrt{f_{ck}}b_w d$ 이상이어야 한다.

나. 전단강도 V_{cw}를 다음 식으로 계산하여야 한다.

$$V_{ci} = (0.29\lambda\sqrt{f_{ck}} + 0.3f_{pc})b_w d_p + V_p \quad (10.6.43)$$

여기서, d_p를 $0.8h$보다 작게 취할 필요는 없다. 다른 방법으로서, 부재의 도심축에서 또는 도심축이 플랜지 내에 있을 때는 플랜지와 복부의 교차선에서 $\lambda\sqrt{f_{ck}}/3$의 주인장응력을 일으키는 고정하중과 활하중의 합에 해당되는 전단력으로 V_{cw}를 계산할 수 있다. 합성부재에서는 활하중을 저항하는 단면을 사용하여 주인장응력을 계산하여야 한다.

④ 프리텐션 부재에서 받침부의 안쪽 면에서 $h/2$ 거리에 있는 단면부터 부재의 단부까지 거리가 프리텐셔닝 긴장재의 전달길이보다 짧은 경우에는 V_{cw}를 계산할 때 감소된 프리스트레스 힘을 고려하여야 한다. 또한 이 V_{cw}의 값을 <식 10.6.40>의 상한값으로 취하여야 한다. 프리스트레스 힘을 긴장재 끝에서 영이고, 긴장재 단부부터 전달길이 만큼 떨어진 거리에서 최대 값으로 선형적으로 변화한다고 가정하여야 한다. 긴장재의 전달길이는 강연선의 경우 지름의 50배, 단일 강선의 경우 지름의 100배로 가정할 수 있다.

⑤ 긴장재 일부의 부착이 부재의 단부까지 연장되어 있지 않은 프리텐션 부재의 경우, 「10.6.6 (3) ②항」 또는 「10.6.6 (3) ③항」에 따라 V_c를 계산할 때 감소된 프리스트레스 힘을 사용하여야 한다. 이와 같이 감소된 프리스트레스 힘을 사용하여 계산한 V_{cw}의 값을 <식 10.6.40>의 최대 값으로 취하여야 한다. 부재의 단부까지 부착이 연장되어 있지 않은 긴장재의 프리스트레스 힘은 부착이 시작되는 점에서 영이고, 이 점에서 전달길이 만큼 떨어진 거리에서 최대 값으로 선형적으로 변화한다고 가정하여야 한다. 긴장재의 전달길이는 강연선의 경우는 지름의 50배, 단일 강선의 경우 지름의 100배로 가정할 수 있다.

(4) Shear Strength Provided by Shear Reinforcement

① The following types of shear reinforcement shall be used.

A. Stirrup perpendicular to member axis

B. Welded wire reinforcement perpendicular to member axis

C. Spirals, circular ties, or hoops

② The following types of shear reinforcement shall be permitted to be used in reinforced concrete members.

A. Stirrups with an angle not less than 45° to longitudinal tension reinforcement

B. Reinforcement bent with an angle not less than 30° to main longitudinal tension reinforcement

C. Combination of stirrups and bent reinforcement

③ Specified yield strength of shear reinforcement shall not exceed 500 MPa. However, when welded deformed wire reinforcement is used, specified yield strength of shear reinforcement shall not exceed 600 MPa.

④ When 「10.6.6 (4)」 is applied for prestressed concrete members, effective depth shall be taken as the distance from extreme compression fiber to centroid of prestressing steel and nonprestressed reinforcement, but shall not be less than 0.8h.

⑤ Stirrups and other reinforcement or wires used for shear reinforcement shall be extended to the distance of from extreme compression fiber, and they shall be anchored in accordance with 「10.5.5 (4)」.

⑥ Spacing limit for shear reinforcement

A. Spacing of shear reinforcement perpendicular to the member axis shall not exceed d/2 in reinforced concrete members, or 0.75h in prestressed concrete members, nor 600 mm.

B. Inclined stirrups and bent reinforcement shall be crossed with at least one intersection by the 45° line extending along the reaction force direction from mid-depth of member (0.5d) to the longitudinal tension reinforcement.

C. When V_s is greater than $\lambda\left(\sqrt{f_{ck}}/3\right)b_w d$, the maximum spacings gives in the above 「A」 and 「B」 shall be reduced to one-half.

⑦ Minimum shear reinforcement

A. In all reinforced concrete and prestressed concrete flexural members where the factored shear force V_u exceeds half the design shear strength ϕV_c, minimum shear reinforcement shall be provided except for the followings:

(a) Slabs and footings

(b) Concrete joist structures

(4) 전단철근에 의한 전단강도

① 전단철근은 다음과 같은 형태를 사용하여야 한다.

가. 부재의 축에 직각인 스터럽

나. 부재축에 직각으로 배치한 용접철망

다. 나선철근, 원형 띠철근 또는 후프철근

② 철근콘크리트 부재의 경우 다음과 같은 형태의 전단철근을 사용할 수 있다.

가. 주인장 철근에 45°이상의 각도로 설치되는 스터럽

나. 주인장 철근에 30°이상의 각도로 구부린 굽힘철근

다. 스터럽과 굽힘철근의 조합

③ 전단철근의 설계기준항복강도는 500MPa을 초과할 수 없다. 다만, 용접 이형철망을 사용할 때는 설계기준항복강도는 600MPa을 초과할 수 없다.

④ 프리스트레스트콘크리트 부재에 「10.6.6 (4)항」의 규정을 적용하는 경우, 유효깊이는 압축 콘크리트 연단부터 긴장재와 철근의 도심까지 거리로 하여야 한다. 이 값은 $0.8h$ 이상이어야 한다.

⑤ 전단철근으로 사용하는 스터럽과 기타 철근 또는 철선은 콘크리트 압축연단부터 거리 d만큼 연장해야 하며, 「10.5.5 (4)항」의 규정에 따라 정착해야 한다.

⑥ 전단철근의 간격제한

가. 부재축에 직각으로 배치된 전단철근의 간격은, 철근콘크리트 부재일 경우는 $d/2$ 이하, 프리스트레스트 콘크리트 부재일 경우는 $0.75h$ 이하이어야 하고, 또 어느 경우이든 600mm 이하로 해야 한다.

나. 경사스터럽과 굽힘철근은 부재의 중간높이인 $0.5d$에서 반력점 방향으로 주인장철근까지 연장된 45° 선과 한번 이상 교차되도록 배치해야 한다.

다. V_s가 $\lambda(\sqrt{f_{ck}}/3)b_w d$를 초과하는 경우에 위 「가.항」 및 「나.항」에서 규정된 최대 간격을 절반으로 감소시켜야 한다.

⑦ 최소전단철근

가. 계수전단력 V_u가 콘크리트에 의한 설계전단강도 ϕV_c의 1/2을 초과하는 모든 철근콘크리트 및 프리스트레스트콘크리트 휨부재에는 다음의 경우를 제외하고 최소전단철근을 배치해야 한다.

㉮ 슬래브와 기초판

㉯ 콘크리트 장선구조

(c) Beams where overall depth does not exceed 250 mm, or I-type or T-type beams where the depth does not exceed the greater of 2.5 times thickness of flange and 1/2 times width of web

(d) Plate member where the main behavior is flexural, such as wall and wing wall in abutment, retaining wall, culverts, and so on.

(e) Members with hollow section where the depth of net cross section does not exceed 315 mm, and the factored shear force does not exceed $0.5\phi V_{cw}$

(f) Fiber reinforced concrete beams in which the depth does not exceed 600 mm, and specified concrete compressive strength does not exceed 40 MPa, and the factored shear force does not exceed $\phi\left(\sqrt{f_{ck}/6}\right)b_w d$

B. Minimum shear reinforcement requirements in 「A」 shall be permitted to be waived when it is verified through test that the factored shear force and flexural moment can be resisted without shear reinforcement.

C. Where shear reinforcement is required by 「A」 or strength requirements and where the torsional requirements in 「10.6.7」 is permitted to be neglected, minimum shear reinforcement for and prestressed concrete members except for members corresponding to the following 「D」and reinforced concrete members shall be calculated by <Eq. (10.6.44)>.

$$A_{v,\min} = 0.0625\sqrt{f_{ck}}\frac{b_w s}{f_{yt}} \qquad (10.6.44)$$

However, minimum shear reinforcement shall not be less than $0.35 b_w s/f_{yt}$ where b_w and s shall are in mm.

⑧ Shear reinforcement design

A. When factored shear force V_u exceeds ϕV_c, shear reinforcement shall be provided to satisfy Eqs. (10.6.32) and (10.6.33). Shear strength provided by shear reinforcement V_s shall be calculated in accordance with the following requirements 「B.」 through 「J.」.

B. For shear reinforcement perpendicular to member axis, V_s shall be calculated by Ep. (10.6.45)

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \qquad (10.6.45)$$

where, A_v is area of shear reinforcement within a spacing s, and f_{yt} is specified yield strength of shear reinforcement.

㉰ 전체 깊이가 250mm 이하이거나 I형보, T형보에서 그 깊이가 플랜지 두께의 2.5배 또는 복부폭의 1/2 중 큰 값 이하인 보

㉱ 교대 벽체 및 날개벽, 옹벽의 벽체, 암거 등과 같이 휨이 주거동인 판 부재

㉲ 순 단면의 깊이가 315 mm를 초과하지 않는 속빈 부재에 작용하는 계수전단력이 $0.5\phi V_{cw}$를 초과하지 않는 경우

㉳ 보의 깊이가 600 mm를 초과하지 않고 설계기준압축강도가 40 MPa을 초과하지 않는 강섬유콘크리트 보에 작용하는 계수전단력이 $\phi(\sqrt{f_{ck}/6})b_w d$를 초과하지 않는 경우

나. 전단철근이 없어도 계수휨모멘트와 계수전단력에 저항할 수 있다는 것을 실험에 의해 확인할 수 있다면 「가.항」을 적용하지 않을 수 있다.

다. 「가.항」 또는 강도 요구조건에 의해 전단철근이 필요하고, 「10.6.7항」에 의해 비틀림을 고려하지 않아도 되는 곳의 최소 전단철근량은 철근콘크리트 부재나 다음 「라.항」의 규정에 해당하는 부재를 제외한 프리스트레스트 콘크리트 부재의 경우 <식 (10.6.44)>에 따라 산정해야 한다.

$$A_{v,\min} = 0.0625\sqrt{f_{ck}}\frac{b_w s}{f_{yt}} \qquad (10.6.44)$$

그러나 최소 전단철근량은 $0.35 b_w s/f_{yt}$보다 작지 않아야 한다. 여기서, b_w와 s의 단위는 mm이다.

⑧ 전단철근의 설계

가. 계수전단력 V_u가 전단강도 ϕV_c를 초과하는 곳에는 <식 (10.6.32)> 및 <식 (10.6.33)>을 만족시키기 위해 전단철근을 배치해야 하며, 전단철근에 의한 전단강도 V_s는 다음 「나.항」에서 「자.항」까지의 규정에 따라 계산해야 한다.

나. 부재축에 직각인 전단철근을 사용하는 경우에는 <식 (10.6.45)>에 따라야 한다.

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \qquad (10.6.45)$$

여기서, A_v는 거리 s 내의 전단철근의 전체 단면적이며, f_{yt}는 전단철근의 설계기준항복강도이다.

C. For circular ties, hoops, or spirals used as shear reinforcement, V_s shall be calculated by <Eq. (10.6.45)>, where d for circular cross section shall be calculated in accordance with 「10.6.6 (2) ③ 」, and A_v shall correspond to the area of two legs in spirals, hoops, or circular ties within a spacing s measured in the direction parallel to longitudinal reinforcement.

D. For inclined stirrups used as shear reinforcement, V_s shall be calculated by <Eq. (10.6.46)>

$$V_s = \frac{A_v f_{yt}(\sin\alpha + \cos\alpha) d}{s} \qquad (10.6.46)$$

where, α is the angle between inclined stirrups and member axis, and s is spacing of inclined stirrup in the direction parallel to longitudinal direction.

E. Where a single bent reinforcement or a single group of parallel reinforcements bent at the same distance from support is used as shear reinforcement, V_s shall be calculated by <Eq. (10.6.47)>

$$V_s = A_v f_{yt} \sin\alpha \qquad (10.6.47)$$

where, V_s shall not exceed $0.25\sqrt{f_{ck}} b_w d$ and α is angle between bent reinforcement and member axis.

F. Where a series of parallel reinforcement bent at different distances from support or multiple groups of parallel reinforcement is used as shear reinforcement, V_s shall be calculated by <Eq. (10.6.46)>.

G. When longitudinal bent reinforcement is used for shear reinforcement, only the middle 3/4 of the inclined length shall be considered effective for shear reinforcement.

H. When more than one type of shear reinforcement is used for shear reinforcement at a section, V_s shall be calculated as the sum of the shear strengths of each type of shear reinforcement.

I. V_s shall not exceed $2/3\sqrt{f_{ck}} b_w d$.

(5) Shear friction

① This provision shall apply to the case when considering whether shear transfer is appropriate on the relevant plane. Here, relevant surface refers to the plane in which crack occurred or is likely to occur or contact surface between different materials or contact surface between concrete poured at different times.

다. 원형 띠철근, 후프철근 또는 나선철근을 전단철근으로 사용한 경우, <식 (10.6.45)>를 사용하여 V_s를 산정해야 한다. 이때 d는 원형 단면 부재에 대하여 「10.6.6 (2) ③항」에 규정한 값을 사용하여야 하며, A_v는 종방향 철근과 평행하게 잰 간격 s내에 배치된 나선철근, 후프철근 또는 원형 띠철근의 두 가닥 면적에 해당한다.

라. 경사스터럽을 전단철근으로 사용하는 경우에는 전단강도 V_s를 <식 (10.6.46)>에 따라 계산해야 한다.

$$V_s = \frac{A_v f_{yt}(\sin\alpha + \cos\alpha) d}{s} \qquad (10.6.46)$$

여기서, α는 경사스터럽과 부재축의 사이각이며, s는 종방향 철근과 평행한 방향의 철근 간격이다.

마. 전단철근의 1개의 굽힘철근 또는 받침부에서 모두 같은 거리에서 구부린 평행한 1조의 철근으로 구성된 경우의 V_s는 <식 (10.6.47)>에 따라 계산해야 한다.

$$V_s = A_v f_{yt} \sin\alpha \qquad (10.6.47)$$

여기서, V_s는 $0.25\sqrt{f_{ck}} b_w d$를 초과할 수 없으며, α는 굽힘철근과 부재축의 사이각이다.

바. 전단철근이 받침부에서 서로 다른 거리에서 구부린 일련의 평행한 굽힘철근 또는 여러 조의 평행한 철근으로 구성될 경우의 V_s는 <식 (10.6.46)>에 따라야 한다.

사. 종방향 철근을 구부려 전단철근으로 사용할 경우 그 경사길이의 중앙 3/4만이 전단철근으로서 유효하다고 보아야 한다.

아. 여러 종류의 전단철근이 부재의 같은 부분을 보강하기 위해 사용되는 경우의 전단강도V_s는 각 종류별로 구한 V_s를 합한 값으로 해야 한다.

자. 전단강도 V_s는 $2/3\sqrt{f_{ck}} b_w d$ 이하로 해야 한다.

(5) 전단마찰

① 이 규정은 해당되는 면에서 전단전달을 고려해야 하는 것이 적절한 경우에 적용된다. 이러한 면은 균열이 발생하거나 발생할 가능성이 있는 면, 서로 다른 재료 간의 접촉면 또는 서로 다른 시기에 친 콘크리트 사이의 접촉면이다.

② Design of the section receiving shear transfer described in 「①」 shall be based on <Eq. (10.6.32)>, and shear strength V_n shall be calculated using 「③」 or 「④」.

③ Cracks shall be assumed to occur in the relevant shear plane. Required shear friction for rebar sectional area on such shear plane A_{vf} may be calculated using 「④」 or another shear transfer design method, but in such a case, strength shall in fact coincide with the comprehensive test result. All calculations of shear transfer shall be in accordance with 「10.6.6 (5) ④」.

④ Shear friction design method

A. When shear friction bar is perpendicular to shear force transfer plane, nominal shear strength V_n shall be calculated using <Eq. (10.6.48)>

$$V_n = A_{vf} f_y \mu \qquad (10.6.48)$$

where, μ is the friction coefficient stipulated in 「C.」

B. When shear friction bar is inclined to shear force transfer plane and tensile force is generated by shear force, shear strength V_n shall be calculated using <Eq. (10.6.49)>

$$V_n = A_{vf} f_y (\mu \sin\alpha_f + \cos\alpha_f) \qquad (10.6.49)$$

where, α_f is the angle between shear friction bar and shear plane.

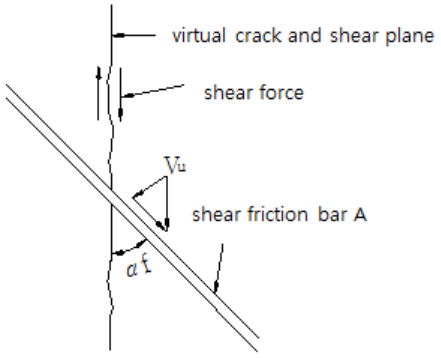


Fig. 10.6.2 Cracks and shear friction bar

C. Friction coefficient μ in <Eq. (10.6.48)> and <Eq. (10.6.49)>shall be as follows.

(a) Concrete poured continuously .....1.4 λ

(b) New concrete poured on cured concrete with coarse surface as per 「10.6.6 (5) ④ H」 .....1.0 λ

② 「①항」에서 기술된 전단전달을 받는 단면의 설계는 <식 (10.6.32)>에 기초를 두어야 하며, 이때 전단강도 V_n은 「③항」이나 「④항」에 따라 계산해야 한다.

③ 균열은 해당 전단면(shear plane)에 걸쳐 발생한다고 가정해야 한다. 이 전단면상의 소요 전단마찰 철근단면적 A_{vf}는 다음 「④항」에 따라 계산하거나 그 외의 전단전달 설계방법을 사용하여 계산하여도 좋으나, 이 때는 강도가 포괄적인 실험결과와 실질적으로 일치해야 한다. 전단전달 강도의 모든 계산은 「10.6.6 (5) ④항」의 규정을 적용해야 한다.

④ 전단마찰 설계방법

가. 전단마찰철근이 전단력 전달면에 수직한 경우, 공칭전단강도 V_n은 <식 (10.6.48)>로 계산해야 한다.

$$V_n = A_{vf} f_y \mu \qquad (10.6.48)$$

여기서, μ는 「다.항」에 규정된 마찰계수이다.

나. 전단마찰철근이 전단력 전달면과 경사를 이루어 작용 전단력에 의해 전단마찰철근에 인장력이 일어날 때에 전단강도 V_n은 <식 (10.6.49)>로 구해야 한다.

$$V_n = A_{vf} f_y (\mu \sin\alpha_f + \cos\alpha_f) \qquad (10.6.49)$$

여기서, α_f는 전단마찰철근과 전단면 사이의 각이다.

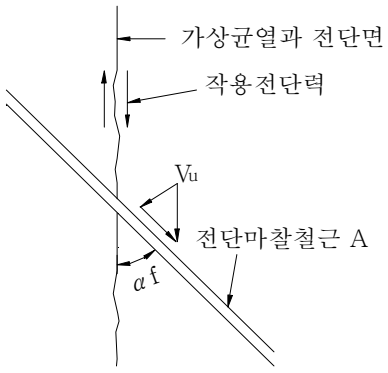


그림 10.6.2 균열과 전단마찰철근

다. <식 (10.6.48)> 및 <식 (10.6.49)>에서 마찰계수 μ는 다음 값이어야 한다.

㉮ 일체로 친 콘크리트 ·····1.4 λ

㉯ 「10.6.6 (5) ④ 아.항」에 따라 표면을 거칠게 만든 굳은 콘크리트에 새로 친 콘크리트 ····· 1.0 λ

(c) New concrete poured on cured concrete with smooth surface ....0.6 λ

(d) Concrete anchored to structure steel member by shear connector or rebar (see 「10.6.6 (5) ④ H.」) .....0.7 λ

Modification factor for lightweight concrete, λ, to account for the effect of lightweight concrete shall be defined as follows. When the value of f_{sp} is not specified, λ = 0.75 for lightweight concrete and λ = 0.85 for sand-lightweight concrete. Linear interpolation between 0.75 and 0.85 shall be permitted, according to the volume ratio of the fine aggregate of sand-light-weight concrete to be replaced with light-weight fine aggregate. Linear interpolation between 0.85 and 1.0 shall be permitted, according to the volume ratio of coarse aggregate of normal-weight concrete to be replaced with light-weight aggregate. When f_{sp} is specified, $\lambda = f_{sp}/(0.56\sqrt{f_{ck}})$.

D. For normal weight concrete either placed monolithically or placed against hardened concrete with surface intentionally roughened as specified in 「10.6.6 (5) ④ H」, V_n shall not exceed the smallest of $0.2f_{ck}A_c$ or $(3.3+0.08f_{ck})A_c$ (Unit in N). For all other cases, V_n shall not the smaller of $0.2f_{ck}A_c$ or $5.5A_c$. Here, A_c is are of concrete section resisting shear transfer. Where different concrete strengths are cast, the value of f_{ck} used to evaluate V_n shall be based on the lower strength concrete.

E. The specified design yield strength for shear friction reinforcement shall not exceed 500 MPa.

F. When net tension across shear plane is applied, the additional reinforcement shall be provided to resist the tension. When calculating required A_{vf}, permanent net compression across shear plane shall be permitted to be taken as additive to $A_{vf}f_y$, the force in the shear friction reinforcement.

G. Shear friction reinforcement shall be appropriately placed along the shear plane and shall be anchored to develop the specified design yield strength on both sides by embedment lengths, hooks, or welding to special devices.

H. For an effective use of 「10.6.6 (5)」, when concrete is placed against previously hardened concrete, the interface for shear transfer shall be clean and free of laitance. If μ is assumed equal to 1.0λ, interface shall be roughened to a full amplitude of approximately 6 mm.

I. When shear is transferred between structural steel and concrete using headed studs or welded reinforcing bars, steel shall be clean and free of paint

(6) Horizontal shear strength of flexural member of composite concrete

① Horizontal shear force on flexural member of composite concrete shall be checked to ensure sufficient transfer between contact surface of interconnected elements.

㉰ 일부러 거칠게 하지 않는 굳은 콘크리트에 새로 친 콘크리트…… ……0.6 λ

㉱ 전단연결재에 의하거나 철근에 의해 구조용 강재에 정착된 콘크리트(「10.6.6 (5) ④ 아.항」참조) ……0.7 λ

여기서, λ는 f_{sp}값이 규정되어 있지 않은 경우에 전 경량 콘크리트에 대해서는 0.75, 모래경량콘크리트에 대해서는 0.85이며, 0.75에서 0.85 사이의 값은 모래경량콘크리트의 잔골재를 경량잔골재로 치환하는 체적비에 따라 직선보간하고, 0.85에서 1.0 사이의 값은 보통중량콘크리트의 굵은골재를 경량골재로 치환하는 체적비에 따라 직선보간한다. f_{sp}값이 주어진 경우에는 $f_{sp}/(0.56\sqrt{f_{ck}})$로 계산하며, 1.0 이하의 값으로 한다.

라. 일체로 친 콘크리트나 「10.6.6 (5) ④ 아.항」에 따라 표면을 거칠게 만든 굳은 콘크리트에 새로 친 보통콘크리트의 경우, 전단강도 V_n은 $0.2f_{ck}A_c$, 또한 $(3.3+0.08f_{ck})A_c$ (단위는 N) 이하로 하여야 한다. 그 밖의 경우 전단강도 V_n은 $0.2f_{ck}A_c$, 또한 $5.5A_c$ 이하로 하여야 한다. 여기서 A_c는 전단전달에 저항하는 콘크리트 단면의 면적이다. 강도가 서로 다른 콘크리트를 친 경우, 낮은 강도 콘크리트의 f_{ck} 값을 사용하여 전단강도 V_n을 산정하여야 한다.

마. 전단마찰철근의 설계기준항복강도는 500 MPa 이하로 해야 한다.

바. 전단면상에 순인장력이 작용할 때는 이에 저항하기 위해서 철근을 추가로 두어야 한다. 한편 소요철근량 A_{vf}를 계산할 때 전단면상의 영구적으로 작용하는 순압축력은 전단마찰철근이 저항하는 힘 $A_{vf}f_y$에 추가되는 힘으로 고려할 수 있다.

사. 전단마찰철근은 전단면에 걸쳐 적절하게 배치해야 하며, 철근 양쪽에 정착길이를 확보하거나 갈고리 또는 특스한 장치에 용접하여 철근이 설계기준항복강도를 발휘할 수 있도록 양측에 정착시켜야 한다.

아. 「10.6.6 (5)항」의 규정을 효과적으로 적용하기 위해서 이미 굳은 콘크리트에 새로운 콘크리트를 칠 때는 전단전달을 위한 접촉면은 깨끗하고 레이턴스가 없도록 해야 한다. μ가 1.0λ와 같다고 가정하는 경우의 접촉면은 그 요철의 크기가 대략 6mm정도 되도록 거칠게 만들어야 한다.

자. 스터드를 사용하거나 철근을 용접하여 구조용 강재와 콘크리트 사이에서 전단력이 전달되는 경우에는 강재는 깨끗하고 페인트가 묻어 있지 않아야 한다.

(6) 합성콘크리트 휨부재의 수평전단강도

① 합성콘크리트 휨부재에서 수평전단력이 상호 연결된 요소들의 접촉면에서 충분히 전달되는지 여부를 확인해야 한다.

② Except when calculation result is in accordance with 「F.」 or 「G.」 in the following, Section design of horizontal shear shall be in accordance with <Eq. (10.6.50)>

$$V_u \leqq \phi V_{nh} \qquad (10.6.50)$$

where, V_u is factored shear on the section considered and V_{nh} is nominal horizontal strength, which is defined as follows.

A. When contact surface is clean and free of floater and the surface is treated as coarse, nominal horizontal shear strength V_{nh} shall be $0.56 b_v d$ or less.

B. When minimum shear connector as stipulated in 「10.6.6 (6) ③」 is provided and contact surface is clean without floater, but the surface is not treated as coarse, nominal horizontal shear strength V_{nh} shall be $0.56 b_v d$ or less.

C. When minimum shear connector as stipulated in 「10.6.6 (6) ③」 is provided and contact surface is clean without floater and the surface is coarse with a depth of approximately 6 mm, nominal horizontal shear strength V_{nh} shall be $(1.8 + 0.6 \rho_v f_y) \lambda b_v d$ and shall not be greater than $3.5 b_v d$. where ρ_v is $A_v/(b_v s)$.

D. When factored shear force V_u on section considered exceeds $\phi(3.5 b_v d)$, horizontal shear design shall be in accordance with shear friction requirements in 「10.6.6 (5) 」.

E. d in 「10.6.6 (6)」 is the distance from the center between tendon and longitudinal tensile bar to the compressive edge, which shall be 0.8h or more for prestressed concrete member.

F. Horizontal shear force shall be obtained by calculating the variation in compressive or tensile force at any element of composite member, and such force shall be arranged to be transferred as horizontal shear force to the element supporting it. Factored horizontal shear force shall be less than horizontal shear strength ϕV_{nh} as stipulated in 「10.6.6 (6) ②」. Then, contact area A_c shall be used instead of $b_v d$.

G. When designing shear connector that resists horizontal shear force to satisfy 「10.6.6 (6) ② F」, spacing and sectional area of shear connector along the axis of the member shall be determined after considering shear force distribution in member.

H. When tensile force exists across the contact surface between interconnected elements, shear transfer by contact shall be allowed when minimum shear connector is arranged as per 「10.6.6 (6) ⑤」.Among the bars passing through the contact surface, shear strength V_{nh} per every % of the reinforcement exceeding the minimum may be increased by $0.004 b_v d$.

② 계산결과가 다음 「바.항」이나 「사.항」의 규정에 부합되도록 계산된 경우를 제외하고, 수평전단에 대한 단면설계는 <식 (10.6.50)>에 따라야 한다.

$$V_u \leqq \phi V_{nh} \tag{10.6.50}$$

여기서, V_u는 고려되는 단면에서의 계수전단력이고, V_{nh}는 공칭 수평전단강도로서 다음과 같이 규정한다.

가. 접촉면이 청결하고, 부유물이 없으며 표면을 거칠게 만들어진 경우, 공칭수평전단강도 V_{nh}는 $0.56b_vd$ 이하로 한다.

나. 「10.6.6 (6) ③항」에서 규정한 최소전단연결재가 있으며, 접촉면이 청결하고 부유물은 없으나 표면이 거칠게 만들어지지 않은 경우, 공칭수평전단강도 V_{nh}는 $0.56b_vd$ 이하로 한다.

다. 「10.6.6 (6) ③항」에 규정된 최소전단연결재가 있고, 접촉면이 청결하고 부유물이 없으며 표면이 대략 6mm 깊이로 거칠게 만들어진 경우, 공칭수평전단강도 V_{nh}는 $(1.8+0.6\rho_v f_y)\lambda b_v d$로 하며, $3.5b_vd$보다 크게 취할 수 없다. 여기서, ρ_v는 $A_v/(b_vs)$이다.

라. 고려하는 단면에서 계수전단력 V_u가 $\phi(3.5b_vd)$를 초과하는 경우, 수평전단력에 대한 설계는 「10.6.6 (5)항」의 전단마찰 규정에 부합되도록 해야 한다.

마. 「10.6.6 (6)항」에서 d는 긴장재와 종방향 인장철근의 중심에서 압축측 연단까지의 거리이며, 프리스트레스트콘크리트 부재의 경우 $0.8h$ 이상이어야 한다.

바. 수평전단력은 합성부재의 임의 요소에서의 압축력이나 인장력의 실제 변화량을 계산하여 구하며, 이러한 힘은 이를 지지하는 요소에 수평전단력으로 전달할 수 있도록 조치하여야 한다. 계수수평전단력은 「10.6.6 (6) ②항」에 규정된 수평전단강도 ϕV_{nh} 이하이어야 한다. 이때, b_vd대신에 접촉면적 A_c를 사용해야 한다.

사. 수평전단력에 저항하는 전단연결재를 「10.6.6 (6) ② 바.항」에 만족되도록 설계할 때, 부재축을 따라 전단연결재의 간격과 단면적은 부재 내의 전단력 분포를 반영하여 결정하여야 한다.

아. 상호 연결된 요소사이에 접촉면을 가로질러 인장력이 존재할 경우에, 최소의 전단연결재가 「10.6.6 (6) ⑤항」에 따라 배치된 경우에만 접촉에 의한 전단전달을 허용해야 한다. 접촉면을 통과하는 철근 중 「10.6.6 (5) ⑤항」에 규정된 최소량을 초과하는 철근량의 매 %당 전단강도 V_{nh}를 $0.004b_vd$씩 증가시켜도 좋다.

③ Connector to horizontal shear

A. When using shear connector to transfer horizontal shear force, sectional area of connector shall be $0.0625\sqrt{f_{ck}}(b_w s/f_{yt})$ or more and shall not be less than $0.35 b_w s/f_{yt}$. Spacing of the connector shall be 4 times the minimum dimension of the supporting element; this, however, shall be 600 mm or less.

B. Rebar, steel wire, multiple stirrup or vertical bar of welded wire may be used as shear connector to horizontal shear force.

C. All shear connectors shall be sufficiently anchored to interconnected elements.

(7) Shear Design of Slabs and Footings

① Shear design of slabs and footings in the vicinity of concentrated loads or reactions shall be performed considering the following conditions 「B.」 and 「C.」, whichever is more severe.

A. For beam flexural action, the critical section of the slab or footing shall be defined as cross section across the entire width, and the slab or footing shall be designed in accordance with 「10.6.6 (1)」 through 「10.6.6 (4)」.

B. For two-way flexural action, the slab or footing shall be designed in accordance with 「B.」 through 「C.」. The perimeter length of the critical section b_0 shall be minimum. However, the location of the critical section need not be closer than d/2 from the perimeter of concentrated loads, reaction areas, columns, column capitals or drop panels.

C. In case of 「B」, the critical section for rectangular columns, concentrated loads or reaction areas shall be permitted to be defined as four straight sides.

② For two-way action, the design of slab or footing shall be based on <Eq. (10.6.32)> and <Eq. (10.6.33)>. V_c shall be calculated in accordance with 「A.」 and 「B.」. V_s shall be calculated in accordance with 「③」. For slabs with shear heads or headed shear studs, V_n shall be in accordance with 「④」 or 「⑤」. When combined punching shear and moment are applied to slab-column or footing-column connections, both 「②」 and 「⑦」 shall be satisfied.

A. Nominal shear strength of a reinforced concrete slab or footing, V_c shall be computed by <Eq. (10.6.51)>

$$V_c = v_c b_0 d \qquad (10.6.51)$$

$$v_c = \lambda k_s k_{b0} f_{te} \cot\psi (c_u/d) \qquad (10.6.52)$$

③ 수평전단에 대한 연결재

가. 수평전단력을 전달시키기 위해 전단연결재를 사용할 경우, 연결재의 단면적은 $0.0625\sqrt{f_{ck}}(b_w s/f_{yt})$ 이상으로 하고, $0.35 b_w s/f_{yt}$ 보다 적어서는 안 된다. 또한 연결재의 간격은 지지요소의 최소 치수의 4배, 또한 600mm 이하이어야 한다.

나. 수평전단력에 대한 전단연결재로는 단일철근이나 철선, 다중 스터럽 또는 용접철망의 수직철근 등이 사용될 수 있다.

다. 모든 전단연결재는 상호 연결된 요소들에 충분히 정착되어야 한다.

(7) 슬래브와 기초판에 대한 전단 설계

① 집중하중이나 반력 부근에서의 슬래브와 기초판의 전단설계는 다음 두 가지 조건 중 불리한 경우에 대하여 검토하여야 한다.

가. 슬래브 또는 기초판이 폭이 넓은 보와 같이 휨거동을 할 때, 설계위험단면은 전체 폭으로 이루어진 단면으로 하고 「10.6.6 (1)항」에서 「10.6.6 (4)항」까지의 규정에 따라 설계해야 한다.

나. 슬래브 또는 기초판이 2방향으로 휨거동을 할 때, 슬래브 또는 기초판은 「②항」과 「③항」에 따라 설계해야 한다. 이 때 위험단면의 둘레길이 b_0 는 최소로 되어야 하나, 집중하중, 반력구역, 기둥, 기둥머리 또는 지판 등의 경계로부터 $d/2$ 보다 가까이 위치시킬 필요는 없다.

다. 「나.항」의 경우, 사각형 형태의 기둥, 집중하중 또는 반력구역에 대한 전단위험단면은 네 변에 나란한 직선으로 정의할 수 있다.

② 2방향으로 거동하는 슬래브 또는 기초판의 설계는 <식 (10.6.32)>와 <식 (10.6.33)>에 근거하여야 한다. 콘크리트에 의한 공칭전단강도 V_c는 「가.항」및 「나.항」에 따라 구하여야 한다. 콘크리트에 의한 공칭전단강도 V_s는 「③항」에 따라 구해야 한다. 전단머리 또는 확대머리 전단스터드가 배치된 슬래브의 V_n은 「④항」 또는 「⑤항」에 따라 각각 구하여야 한다. 슬래브-기둥 접합부 또는 기초판-기둥 접합부에 뚫림전단과 휨모멘트가 함께 작용하는 경우에는 「②항」과 「⑦항」의 규정을 모두 만족하도록 설계하여야 한다.

가. 철근콘크리트 슬래브와 기초판에 대한 공칭전단강도 V_c는 <식 (10.6.51)>에 의해 계산한다.

$$V_c = v_c b_0 d \qquad (10.6.51)$$

$$v_c = \lambda k_s k_{b0} f_{te} \cot\psi (c_u/d) \qquad (10.6.52)$$

where, v_c is the average shear stress capacity of concrete, b_0 is the perimeter of critical section defined in 「10.6.6 (7) ① B.」, λ is the modification factor for lightweight concrete, k_s is the size effect factor of slab thickness, k_{b0} is the aspect ratio factor of critical section, f_{te} is the tensile strength of concrete in the compression zone, ψ is the average crack angle in the compression zone, c_u is the average depth of the compression zone neglecting the contribution of compression reinforcement and f_{cc} is the average compressive stress developed in the compression zone of the critical section.

$$k_s = (300/d)^{0.25} \leq 1.0 \quad (10.6.53)$$

$$k_{b0} = 4/\sqrt{\alpha_s (b_0/d)} \leq 1.25 \quad (10.6.54)$$

$$f_{te} = 0.21\sqrt{f_{ck}} \quad (10.6.55)$$

$$\cot\psi = \sqrt{f_{te}(f_{te}+f_{cc})}/f_{te} \quad (10.6.56)$$

$$c_u = d\left[25\sqrt{\rho/f_{ck}} - 300(\rho/f_{ck})\right] \quad (10.6.57)$$

$$f_{cc} = (2/3)f_{ck} \quad (10.6.58)$$

where, d in <Eq. (10.6.53)> is in mm. α_s is 1.0 for interior column, 1.33 for exterior column (except corner column) and 2.0 for corner column. <Eq. (10.6.57)> shall be permitted to be used for $\rho \leq 0.03$; and the value of 0.005 shall be permitted to be used when ρ is not greater than 0.005.

B. Nominal shear strength V_c provided by concrete at a column in two-way prestressed concrete slab or footing shall be computed by <Eq. (10.6.59)>.

$$V_c = v_c b_0 d + V_p \quad (10.6.59)$$

where, b_0 is the perimeter of critical section defined in 「10.6.6 (7) ① B.」, V_p is the vertical component of effective prestress force crossing critical section. v_c is computed by <Eq. (10.6.52)>, where c_u is the average depth of the compression zone and shall be calculated by a section analysis neglecting the contribution of the compression reinforcement and considering the effect of compressive force caused by prestressing.

여기서, v_c는 콘크리트 재료의 공칭전단응력강도, b_0는 「10.6.6 (7) ① 나.항」에서 정의되는 위험단면의 둘레길이, λ는 경량콘크리트계수, k_s는 슬래브의 두께계수 그리고 k_{b0}는 위험단면 둘레길이의 영향계수, f_{te}은 압축대 콘크리트의 인장강도, ψ는 슬래브 휨 압축대의 균열각도, c_u는 압축철근의 영향을 무시하고 계산된 슬래브 위험단면 압축대 깊이의 평균값 그리고 f_{cc}는 위험단면의 압축대에 작용하는 평균 압축응력이다.

$$k_s = (300/d)^{0.25} \le 1.0 \tag{10.6.53}$$

$$k_{b0} = 4/\sqrt{\alpha_s (b_0/d)} \le 1.25 \tag{10.6.54}$$

$$f_{te} = 0.21\sqrt{f_{ck}} \tag{10.6.55}$$

$$\cot\psi = \sqrt{f_{te}(f_{te}+f_{cc})}/f_{te} \tag{10.6.56}$$

$$c_u = d\left[25\sqrt{\rho/f_{ck}} - 300(\rho/f_{ck})\right] \tag{10.6.57}$$

$$f_{cc} = (2/3) f_{ck} \tag{10.6.58}$$

<식 (10.6.53)>에서 d의 단위는 mm이다. α_s는 내부 기둥에 대하여 1.0, 외부기둥(모서리 기둥 제외)에 대하여 1.33, 모서리 기둥에 대하여 2.0이다. <식 (10.6.57>은 $\rho \le 0.03$의 범위에서 사용할 수 있으며, ρ가 0.005 이하인 경우 0.005를 사용할 수 있다.

나. 2방향 프리스트레스트콘크리트 슬래브와 기초판의 기둥 주위의 공칭전단강도 V_c는 <식 (10.6.59)로 계산해야 한다.

$$V_c = v_c b_0 d + V_p \tag{10.6.59}$$

여기서, b_0는 「10.6.6 (7) ① 나.항」에서 정의되는 위험단면의 둘레길이, V_p는 위험단면에서 모든 유효프리스트레스 힘의 수직성분이다. v_c는 <식 (10.6.52)>에서 계산한다. 이때 c_u는 슬래브의 위험단면 압축대 깊이의 평균값으로서, 압축철근의 영향을 무시하고 위험단면에 작용하는 프리스트레스 압축력의 영향을 고려하여 단면해석을 통하여 계산한다.

C. Shear strength shall be permitted to be determined by <Eq. (10.6.59)> when ⓐ, ⓑ and ⓒ are satisfied; otherwise, B shall apply.

(a) Distance from any portion of the column cross section to discontinuous slab edge shall not be less than four times the slab thickness;

(b) f_{ck} shall not be greater than 35 MPa.

(c) In each direction, f_{pc} shall not be smaller than 0.88 MPa, nor be greater than 3.5 MPa.

D. Nominal shear strength, V_c shall not be exceed $0.34 f_{ck} b_0 c_u$. where b_0 the perimeter of critical section defined in 「10.6.6 (7) ① B.」.

E. When computing V_u for slab-column connections, the effect of uniform loads located within a distance 0.5d from the column face shall be permitted to be neglected. For footing-column connections, the effect of uniform soil reactions within a distance 0.75d from the column face shall be permitted to be neglected.

③ Shear reinforcement consisting of bars or wires and single or multiple leg stirrups are permitted to be used for slabs and footings with d not less than 150 mm and 16 times the bar diameter of shear reinforcement. Shear reinforcement shall be designed in accordance with 「A.」 through 「D.」.

A. Nominal shear strength, V_n, shall be computed by <Eq. (10.6.33)>; nominal shear strength of concrete, V_c shall be computed by <Eq. (10.6.51)> and <Eq. (10.6.59)>; and nominal shear strength of shear reinforcement, V_s, shall be computed in accordance with <Eq. (10.6.60)>.

$$V_s = \frac{0.5 A_v f_{yt} d}{s} \qquad (10.6.60)$$

where, A_v is sectional area of all shear reinforcement arranged along shear risk section. f_{yt} shall not be greater than 400 MPa.

B. Nominal shear strength, V_n, shall not be greater than $0.34 f_{ck} b_0 c_u$. b_0 is the perimeter of critical section defined in 「10.6.6 (7) ① B.」.

C. The distance from the column face to the first line of stirrup legs that surround the column shall not exceed $d/2$. In the first line of shear reinforcement, the spacing between adjacent stirrup legs measured in a direction parallel to the column face shall not exceed $2d$. The spacing between successive lines of stirrups that surround the column shall not exceed $d/2$ in a direction perpendicular to the column face.

D. Shear reinforcement in slab shall be anchored safely at the top and bottom regions of the cross section. The stirrups shall satisfy the requirements of 「10.6.6」 and surround the longitudinal flexural reinforcement .

다. 다음 ㉮,㉯,㉰를 만족하는 경우 전단강도는 <식 (10.6.59)>에 따라 구할 수 있다. 그렇지 않은 경우는 위의 「가.항」의 규정을 적용하여야 한다.

㉮ 기둥단면의 어느 부분도 불연속단부터 슬래브 두께의 4배 이내에 있지 않아야 하고,

㉯ f_{ck}는 35 MPa 이하로 하여야 하며,

㉰ 각 방향의 프리스트레스 압축응력 f_{pc}는 0.88 MPa 이상이어야 하고 3.5 MPa 이하이어야 한다.

라. 공칭전단강도 V_c은 $0.34f_{ck}b_0c_u$이하이어야 한다. 여기서, b_0는 위의 「10.6.6 (7) ① 나.항」에서 정의된 위험단면의 둘레길이이다.

마. 슬래브-기둥 접합부에서 계수전단력 V_u를 계산할 때에는 각 기둥면에서 $0.5d$내에 재하되는 등분포하중의 영향을 무시할 수 있다. 기초판-기둥 접합부의 경우에는 기둥면에서 $0.75d$ 내에 재하되는 등분포 지반력의 영향을 무시할 수 있다.

③ 철근이나 철선으로 구성되는 전단철근과 한 가닥 또는 여러 가닥의 스터럽은 다음의 규정에 따라 d가 150 mm 이상이고 전단철근의 지름의 16배 이상인 슬래브와 기초판에 적용될 수 있다. 전단철근은 다음의 「가.항」부터 「라.항」까지 규정에 따라 설계하여야 한다.

가. 전단강도V_n은 <식 (10.6.33)>로 계산해야 하며, 콘크리트에 의한 공칭전단강도 V_c는 <식 (10.6.51)>과 <식 (10.6.59)>로 구하며, 전단철근에 의한 공칭전단강도 V_s는 <식 (10.6.60)>에 따라 구해야 한다.

$$V_s = \frac{0.5A_v f_{yt} d}{s} \qquad (10.6.60)$$

여기서, A_v는 전단위험단면에 따라 배치된 모든 전단철근의 단면적이다. f_{yt}는 400 MPa을 초과할 수 없다.

나. 공칭전단강도V_n은 $0.34f_{ck}b_0c_u$이하이어야 한다. 여기서 b_0는 「10.6.6 (7) ① 나.항」에서 정의된 위험단면의 둘레길이이다.

다. 기둥면과 기둥 주위를 감싸는 첫 번째 열 스터럽 사이의 간격은 $d/2$ 이하이어야 한다. 첫 번째 열에서 기둥면의 평행방향의 스터럽 다리 사이의 간격은 $2d$ 이하이어야 한다. 스터럽 열 사이의 간격은 기둥면에 직각방향으로 $d/2$이하이어야 한다.

라. 슬래브 전단철근은 단면 상, 하에서 충분히 정착되어야 한다. 스터럽은 「10.6.6항」에서 제시하는 정착 요건을 만족시켜야 하며 길이방향 휨철근을 둘러싸야 한다.

(8) Shear of box type culvert slab

① Shear strength V_c of box type culvert slab may be calculated using <Eq. (10.6.61)> when backfill soil height is 60 or more.

$$V_c = \left(0.178\sqrt{f_{ck}} + 32.4\frac{\rho V_u d}{M_u}\right) b d \qquad (10.6.61)$$

② However, V_c shall not exceed $\frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}\, b d$. But in the case of a single square culvert, V_c of wall-wall slab is not necessarily less than $0.25\sqrt{f_{ck}}\, b d$, and V_c of simple support slab is not necessarily less than $0.20\sqrt{f_{ck}}\, b d$. M_u and V_u are factored section force occurring simultaneously on the section considered, and $V_u d / M_u$ shall not exceed 1.0.

(9) Shear design of brackets and corbels

① Provisions in 「10.6.6 (9)」 shall be used for brackets and corbels where a_v/d does not exceed 1.0, and factored horizontal tensile force, N_{uc}, is not greater than V_u. Effective depth d shall be determined at the face of the column.

② Depth at the outside edge of bearing area in brackets and corbels shall not be less than 0.5d.

③ Section at the face of support shall be designed to resist factored shear force, V_u, factored moment $[V_u a_v + N_{uc}(h-d)]$, and factored horizontal tensile force, N_{uc} simultaneously.

A. In all design calculations in accordance with 「10.6.6 (9)」, strength reduction factor for all member forces, ϕ shall be taken as 0.75 that is the value for shear.

B. Area of shear-friction reinforcement, A_{vf}, to resist shear force, V_u , shall be determined in accordance with 「10.6.6 (5)」. V_n of normal weight concrete shall not exceed the smallest of $0.2 f_{ck} b_w d$, $(3.3+0.08 f_{ck}) b_w d$, and $11 b_w d$. V_n of all-lightweight or sand-lightweight concrete shall not exceed the smaller of $(0.2 - 0.07 a_v/d) f_{ck} b_w d$ and $(5.6 - 2.0 a_v/d) f_{ck} b_w d$.

C. Area of reinforcement A_f to resist factored moment $[V_u a_v + N_{uc}(h-d)]$ shall be determined in accordance with 「10.6.3 and 10.6.4」.

D. Area of reinforcement A_n to resist factored tensile force N_{uc} shall be determined from $N_{uc} \leqq \phi A_n f_y$. Factored tensile force, N_{uc}, shall not be taken less than $0.2 V_u$ unless special apparatuses are made for brackets or corbels to avoid tensile forces. N_{uc} shall be regarded as a live load even when the tensile force results from creep, shrinkage, or temperature change.

(8) 박스형 암거슬래브의 전단

① 박스형 암거슬래브의 전단강도 V_c는 그 위에 채움흙 높이가 60mm 이상의 경우 <식 (10.6.61)>에 의해 계산해도 좋다.

$$V_c = \left(0.178\sqrt{f_{ck}} + 32.4\frac{\rho V_u d}{M_u}\right)bd \qquad (10.6.61)$$

② 그러나 V_c는 $\frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}bd$를 초과할 수 없다. 다만, 단일 사각형 암거에 대해서만은 벽체와 일체로 된 슬래브의 V_c는 $0.25\sqrt{f_{ck}}bd$보다 작게 취할 필요는 없으며, 또 단순지지된 슬래브의 V_c는 $0.20\sqrt{f_{ck}}bd$보다 작게 취할 필요는 없다. M_u와 V_u는 고려되는 단면에서 동시에 발생하는 계수단면력으로서 $V_u d/M_u$의 값은 1.0보다 크게 취하여서는 안 된다.

(9) 브래킷 및 내민받침의 전단

① 「10.6.6 (9)항」의 규정은 전단경간에 대한 깊이의 비 a_v/d가 1.0이하이고, V_u보다 크지 않은 계수수평인장력 N_{uc}를 받는 브래킷과 내민받침의 설계에 적용해야 한다. 이때 유효깊이 d의 크기는 기둥면에서 측정한 값이다. 전단경간에 대한 깊이의 비 a_v/d가 2 이하인 경우는 스트럿-타이 모델 해석을 이용하여 설계할 수 있다.

② 지압면의 외측단의 깊이를 적어도 $0.5d$이상으로 해야 한다.

③ 받침부 면의 단면은 계수전단력 V_u와 계수모멘트$[V_u a_v + N_{uc}(h-d)]$ 및 계수수평인장력 N_{uc}를 동시에 견디도록 설계해야 한다.

가. 「10.6.6 (9)항」에 따른 설계에서 모든 단면력에 대한 강도감소계수 ϕ를 전단강도에 대한 강도감소계수 0.75로 취해야 한다.

나. 전단력 V_u에 저항할 전단마찰철근 A_{vf}의 설계는 「10.6.6 (5)항」에 따라야 한다. 보통중량콘크리트에 대한 전단강도 V_n은 $0.2f_{ck}b_w d$, $(3.3+0.08f_{ck})b_w d$ 및 $11b_w d$ 중 가장 작은 값을 초과할 수 없다. 전 경량 콘크리트 또는 모래 경량 콘크리트에 대한 전단강도 V_n은 $(0.2-0.07a_v/d)f_{ck}b_w d$와 $(5.6-2.0a_v/d)f_{ck}b_w d$ 중의 작은 값을 초과할 수 없다.

다. 계수휨모멘트$[V_u a_v + N_{uc}(h-d)]$에 저항할 철근 A_f는 「10.6.3항 및 10.6.4항」에 따라 구해야 한다.

라. 계수인장력 N_{uc}에 저항할 철근 A_n은 $N_{uc} \leqq \phi A_n f_y$로부터 결정해야 한다. 브래킷 또는 내민받침 위에 놓이는 부재가 인장력을 피하도록 특별한 장치가 마련되어 있지 않은 한 N_{uc}를 $0.2V_u$ 이상으로 하여야 한다. 이때 인장력 N_{uc}는 인장력이 비록 크리프, 건조수축 또는 온도변화에 기인한 경우라도 활하중으로 간주해야 한다.

E. Area of primary tension reinforcement A_s shall not be less than the greater of $(A_f + A_n)$ and $(2A_{vf}/3 + A_n)$.

④ Total area, A_h, of closed stirrups or ties parallel to tension reinforcement A_s shall not be less than $0.5(A_s - A_n)$, and shall be distributed uniformly within (2/3)d adjacent to tension reinforcement A_s.

⑤ Primary tension reinforcement ratio A_s/bd shall not be less $0.04(f_{ck}/f_y)$.

⑥ At front face of bracket or corbel, primary tension reinforcement A_s shall be anchored by one of the following methods:

A. By structural welding to a transverse bar with at least equal size; welding shall be designed to develop the specified yield strength f_y of primary tension reinforcement A_s.

B. By bending primary tension reinforcement in parallel to form a horizontal loop at the free end; the tension reinforcement shall be anchored to the support member.

C. Besides, other reliable anchorage method shall be used.

⑦ Bearing area on bracket or corbel shall not project beyond straight portion of primary tension reinforcement, nor project beyond interior face of transverse anchor bar if transverse anchor bar is provided.

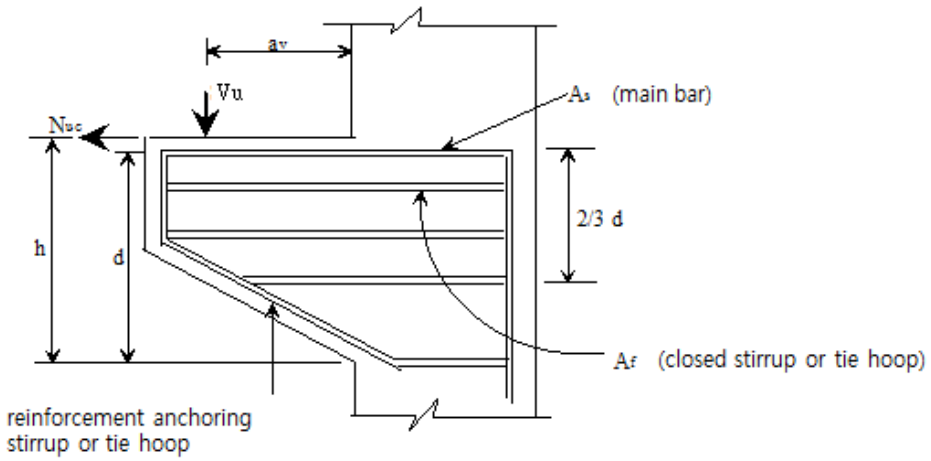


Fig. 10.6.3 shear of bracket and overhanging support

(10) Shear design of deep beam

① The following requirements shall apply to the member provided that l_n is less than 4 times the member depth or the load is applied to the distance within 2 times the member depth, and the point of load application and the support are in the opposite side in order to form a compression zone between the point of application and the support. As well, 「10.5.5 (1) ⑤」 shall also be considered.

마. 주인장철근의 단면적A_s는 $(A_f + A_n)$와 $(2A_{vf}/3 + A_n)$중에서 큰 값 이상이어야 한다.

④ A_s와 나란한 폐쇄스터럽이나 띠철근의 전체 단면적A_h는 $0.5(A_s - A_n)$ 이상이어야 하고 A_s에 인접한 유효깊이의 2/3내에 균등하게 배치해야 한다.

⑤ 주인장철근의 철근비A_s/bd를 $0.04(f_{ck}/f_y)$이상으로 해야 한다.

⑥ 브래킷 또는 내민받침의 전면에서 주인장철근A_s를 다음 방법 중 한 방법에 의해 정착시켜야 한다.

가. 적어도 같은 크기의 횡방향철근에 구조적으로 용접되어야 하며, 이 용접은 주인장철근A_s의 설계기준항복강도를 발휘할 수 있도록 설계되어야 한다.

나. 주인장철근은 자유단에서 수평으로 구부려 지지부재에 정착되도록 해야 한다.

다. 그 외 확실한 정착방법을 사용해야 한다.

⑦ 브래킷 또는 내민받침 위에서 하중이 작용하는 지압면은 주인장철근 A_s의 직선부분 보다 나와 있지 않아야 하며, 또 횡방향 정착철근을 사용하는 경우에는 이 철근의 내측면보다 나와 있지 않아야 한다.

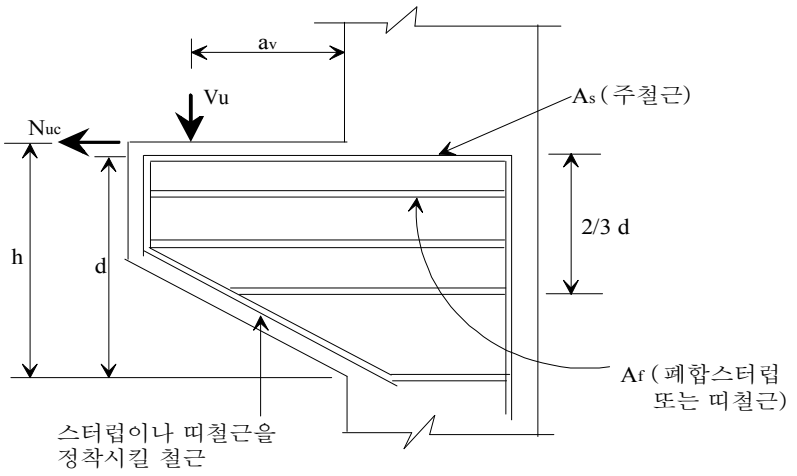


그림 10.6.3 브래킷 및 내민받침의 전단

(10) 깊은 보에 대한 전단설계

① 다음의 규정은 l_n이 부재 깊이의 4배 이하이거나 하중이 받침부로부터 부재 깊이의 2배 거리 이내에 작용하고 하중의 작용점과 받침부가 서로 반대면에 있어 하중 작용점과 받침부 사이에 압축대가 형성될 수 있는 부재에 적용된다. 또한, 「10.5.5 (1) ⑤항」도 참고해야 한다.

② A deep beam shall be in accordance with the non-linear analysis allowed in 「10.6.4 (2) ④」 or strut-tie model design process.

③ V_n of deep beam shall be $(5\lambda\sqrt{f_{ck}}/6)b_w d$ or less.

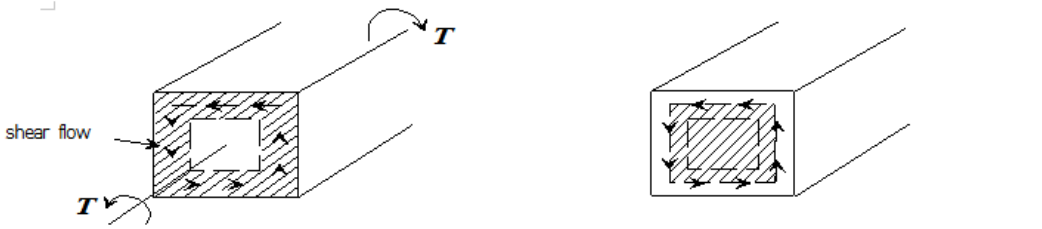
④ Section area A_v of vertical shear rebar which is perpendicular to flexural tensile rebar shall be $0.0025 b_w s$ or more, and s shall be d/5 or less or 300mm or less.

⑤ Sectional area A_{vh} 는of horizontal shear rebar which is perpendicular to flexural tensile rebar shall be $0.0015 b_w s_h$ or more, and s_h shall d/5 or less or 300 mm or less.

⑥ Instead of minimum reinforcement according to 「④, ⑤」, reinforcement satisfying strut-tie model analysis may be used.

10.6.7 Design to torsion

(1) Design to torsion shall be in accordance with thin-walled tube; that is, space truss analysis. Member subject to torsion shall be assumed as thin-walled tube of which section center is disregarded. (<see Fig. 10.6.4>)



(a) thin-walled tube (b) area encolsed by shear flow path

Fig. 10.6.4 Thin-walled tube

(2) When torsion needs to be considered

① Torsion may be disregarded when factored torsional moment T_u is less than $T_{cr}/4$. T_{cr} is torsional crack moment which corresponds to main tensile stress reaching to $\frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}$. Torsional crack moment of the member before prestressing shall be as specified in <Eq. (10.6.62)>

$$T_{cr} = \frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \qquad (10.6.62)$$

② 깊은 보는 「10.6.4 (2) ④항」에서 허용된 비선형해석 또는 스트럿-타이 모델 설계 절차에 따라야 한다.

③ 깊은 보의 V_n은 $(5\lambda\sqrt{f_{ck}}/6)b_w d$ 이하이어야 한다.

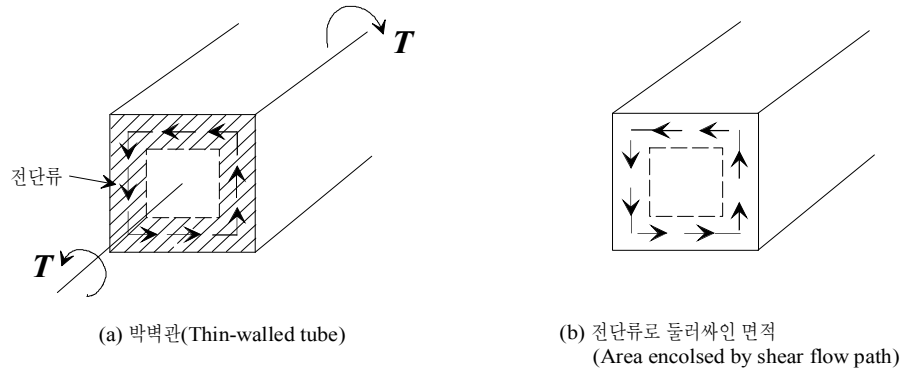
④ 휨인장철근과 직각인 수직전단철근의 단면적 A_v는 $0.0025b_w s$이상으로 해야 하며, s는 $d/5$이하, 또한 300mm이하로 해야 한다.

⑤ 휨인장철근과 평행한 수평전단철근의 단면적 A_{vh}는 $0.0015b_w s_h$이상으로 해야 하며, s_h는 $d/5$이하, 또한 300mm이하로 해야 한다.

⑥ 「④, ⑤항」에 의한 최소철근 대신 스트럿-타이 모델 해석을 만족하는 철근을 배치할 수 있다.

10.6.7 비틀림에 대한 설계

(1) 비틀림에 대한 설계는 박벽관(thin-walled tube), 즉, 공간 트러스 해석에 의해야 한다. 비틀림을 받는 부재는 단면의 중앙부가 무시되는 박벽관으로 가정해야 한다.(<그림 10.6.4> 참조)



(a) 박벽관(Thin-walled tube)

(b) 전단류로 둘러싸인 면적
(Area encolsed by shear flow path)

그림 10.6.4 박벽관(thin-walled tube)

(2) 비틀림이 고려되어야 하는 경우

① 비틀림은 계수 비틀림모멘트 T_u가 $T_{cr}/4$ 보다 작은 경우 무시될 수 있다. T_{cr}은 비틀림 균열모멘트로서 주인장응력이 $\frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}$에 도달할 때에 상응한다. 프리스트레싱되지 않은 부재의 비틀림 균열모멘트는 <식 (10.6.62)>와 같다.

$$T_{cr} = \frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \qquad (10.6.62)$$

② where, p_{cp} is the circumference of shear section while A_{cp} is the sectional area enclosed by outer circumference of concrete section and open area shall be included in open section. Torsional crack moment of prestressed member shall be as specified in <Eq. (10.6.63)>

$$T_{cr} = \frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}\,\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{\frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}}} \qquad (10.6.63)$$

③ Thus, torsion may be disregarded in design in the following cases.

A. Case without prestressing

$$T_u < \phi\frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}}\,\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \qquad (10.6.64)$$

B. Case of prestressed concrete member

$$T_u < \phi\frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}}\,\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{\frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}}} \qquad (10.6.65)$$

C. Case of RC member subject to axial tensile and compressive force

$$T_u < \phi\frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}}\,\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\sqrt{1+\frac{N_u}{\frac{A_g}{3}\sqrt{f_{ck}}}} \qquad (10.6.66)$$

④ In calculating A_{cp} and p_{cp} of the member when poured with slab as a continuous structure, width of overhanging flange shall be in accordance with 「10.8」.

(3) Factored torsional moment – When factored torsional moment T_u needs to maintain the balance and exceeds the minimum value in 「10.6.7 (1)」, member shall be designed to resist torsional moment.

① In a statically indeterminate structure where torsional moment reduction may occur due to the redistribution of bearing, maximum factored torsional moment T_u may be reduced.

② 여기서, p_{cp}는 전단면의 둘레의 길이이며 A_{cp}는 콘크리트 단면의 바깥 둘레로 둘러싸인 단면적으로, 뚫린 단면에서는 뚫린 면적을 포함해야 한다. 프리스트레스트 부재의 비틀림 균열모멘트는 <식 (10.6.63)>과 같다.

$$T_{cr} = \frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}\,\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{\frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}}} \tag{10.6.63}$$

③ 따라서 다음과 같은 경우는 비틀림에 대한 고려를 설계시 무시할 수 있다.

가. 프리스트레싱되지 않은 경우

$$T_u < \phi\frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}}\,\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \tag{10.6.64}$$

나. 프리스트레스트 콘크리트 부재의 경우

$$T_u < \phi\frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}}\,\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{\frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}}} \tag{10.6.65}$$

다. 축방향 인장 및 압축을 받는 철근콘크리트 부재의 경우

$$T_u < \phi\frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}}\,\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\sqrt{1+\frac{N_u}{\frac{A_g}{3}\sqrt{f_{ck}}}} \tag{10.6.66}$$

④ 슬래브와 일체로 타설된 경우의 부재에서, A_{cp}와 p_{cp}를 계산할 때 필요한 내민 플랜지의 폭은 「10.8항」에 따라야 한다.

(3) 계수비틀림모멘트 - 계수비틀림모멘트T_u가 평형을 유지해야 하고, 「10.6.7 (1)항」의 최소값을 초과하면 부재는 비틀림모멘트에 저항하도록 설계되어야 한다.

① 내력의 재분배로 인해 비틀림모멘트의 감소가 발생할 수 있는 부정정 구조물의 경우, 최대 계수비틀림모멘트T_u는 다음과 같이 감소되어도 좋다.

A. For RC member (Section described in 「10.6.7 (2) ②」)

$$\phi \frac{1}{3} \sqrt{f_{ck}} \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \tag{10.6.67}$$

B. For prestressed member (Section described in 「10.6.7 (2) ③」)

$$\phi \frac{1}{3} \sqrt{f_{ck}} \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{\frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}}} \tag{10.6.68}$$

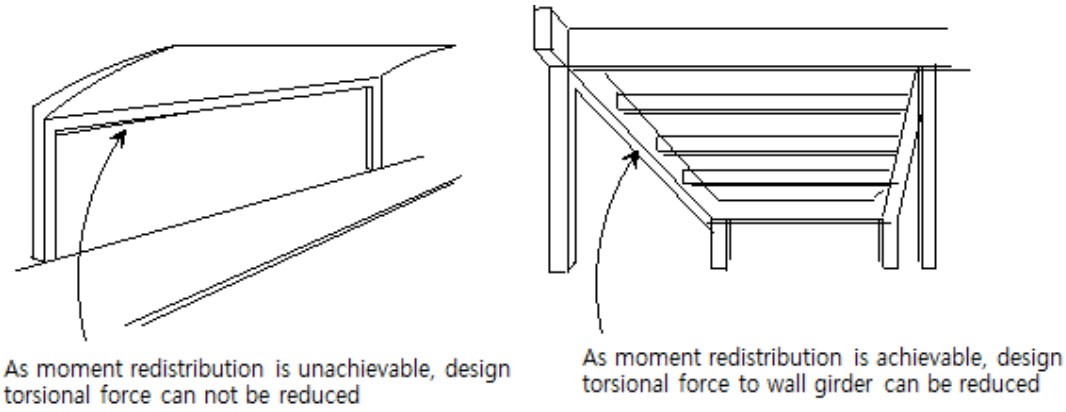


Fig. 10.6.5 Redistribution of torsional moment

② When designing the section within distance d for the member without prestressing, it shall be designed to be no less than T_u calculated at d. If concentrated torsion occurs within s, a critical section of design serves as the support plane.

③ When designing the section within h/2 from the support of prestressed member, it shall be designed not to be less than T_u calculated at h/d. If concentrated torsion occurs within h/2, a critical section of design serves as the support plane.

(4) Torsional moment strength

① Section dimension may be limited for two reasons. First, to reduce the hazardous cracks and second, to prevent the failure of surface concrete by shear and torsional inclined compressive stress.

가. 철근콘크리트 부재의 경우(「10.6.7 (2) ②항」에서 설명한 단면)

$$\phi \frac{1}{3} \sqrt{f_{ck}} \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \tag{10.6.67}$$

나. 프리스트레스트 부재의 경우(「10.6.7 (2) ③항」에서 설명한 단면)

$$\phi \frac{1}{3} \sqrt{f_{ck}} \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{\frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}}} \tag{10.6.68}$$

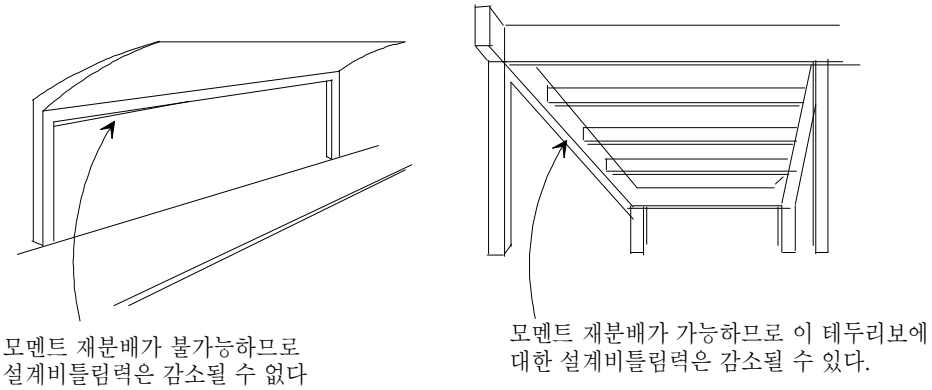


그림 10.6.5 비틀림모멘트의 재분배

② 프리스트레싱되지 않은 부재에서는, 지점으로부터 d이내에 위치한 단면의 설계를 할 때 d에서 계산된 T_u보다 작지 않게 설계해야 한다. 만일 d이내에서 집중비틀림이 발생하면 설계의 임계단면은 지점면이 된다.

③ 프리스트레스트 부재에서 지점으로부터 $h/2$이내에 위치한 단면의 설계를 할 때 $h/2$에서 계산된 T_u보다 작지 않게 설계해야 한다. 만일 $h/2$이내에서 집중비틀림이 발생하면 설계의 임계단면은 지점면이 된다.

(4) 비틀림모멘트 강도

① 단면의 치수는 2가지 이유로 제한할 수 있다. 첫째, 보기흉한 균열을 감소시키고 둘째, 전단과 비틀림의 경사압축응력에 의한 표면 콘크리트의 파괴를 방지하기 위해서이다.

A. Solid section

The stress on section caused by shear occurs on the entire width of the section, but the stress by torsion is assumed to be strained by thin wall tube. Thus, an oval relationship between the stress by shear and the stress by torsion, as shown in <Eq. (10.6.69)>, shall be defined.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2+\left(\frac{T_u p_h}{1.7A_{oh}^2}\right)^2} \leqq \phi\left(\frac{V_c}{b_w d}+\frac{2\sqrt{f_{ck}}}{3}\right) \qquad (10.6.69)$$

B. Hollow section

Shear stress occurred by shear and torsion is directly added as in <Fig 10.6.6>, and thus, the linear relationship between the stress caused by shear and the stress caused by torsion such as <Eq. (10.6.70)> shall be defined.

$$\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)+\left(\frac{T_u p_h}{1.7A_{oh}^2}\right) \leqq \phi\left(\frac{V_c}{b_w d}+\frac{2\sqrt{f_{ck}}}{3}\right) \qquad (10.6.70)$$

where V_c is resistance by concrete to shear and when applying <Eq. (10.6.55)> to hollow section, actual wall thickness shall be used instead of A_{oh}/p_h when actual wall thickness is less than A_{oh}/p_h .

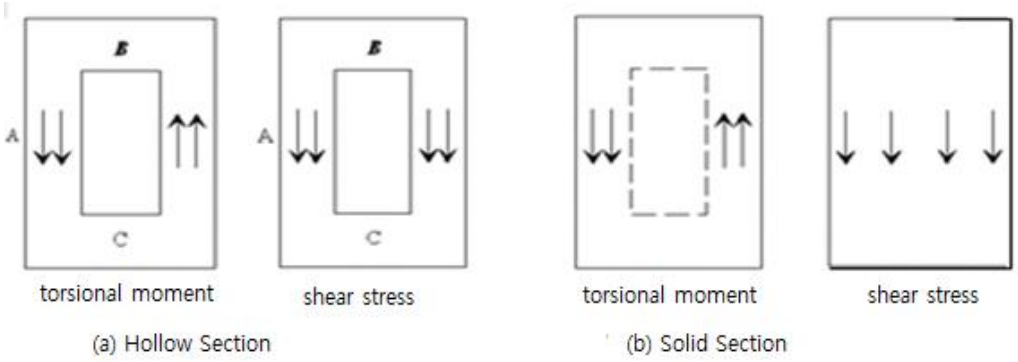


Fig. 10.6.6 Sum of shear stress and torsional stress

② If the wall thickness varies around hollow section, <Eq. (10.6.70)> shall be calculated at the point where the left side is maximized.

③ If wall thickness is less than A_{oh}/p_h , the second clause of <Eq. (10.6.70)> shall be considered as $(T_u/1.7A_{oh}t)$; here, t is the wall thickness of hollow section at the point where stress is calculated.

가. 속찬 단면(solid section)

이 단면에서 전단에 의한 응력은 단면의 전(全) 폭에 걸쳐서 발생하지만, 비틀림에 의한 응력은 박벽관에 의해 저항한다고 가정해야 한다. 따라서 전단에 의한 응력과 비틀림에 의한 응력 사이에 <식 (10.6.69)>와 같은 타원의 관계를 규정해야 한다.

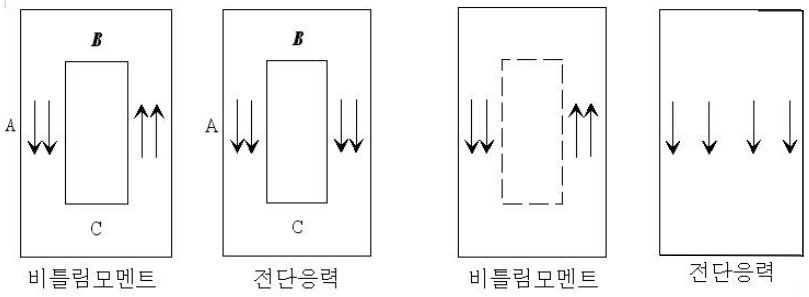
$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2+\left(\frac{T_u p_h}{1.7A_{oh}^2}\right)^2} \leqq \phi\left(\frac{V_c}{b_w d}+\frac{2\sqrt{f_{ck}}}{3}\right) \qquad (10.6.69)$$

나. 속빈 단면(hollow section)

이 단면에서는 전단과 비틀림에 의해 발생한 전단응력이 <그림 10.6.6>과 같이 직접 더해진다. 따라서 전단에 의한 응력과 비틀림에 의한 응력 사이에 <식 (10.6.70)>과 같은 선형의 관계를 규정해야 한다.

$$\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)+\left(\frac{T_u p_h}{1.7A_{oh}^2}\right) \leqq \phi\left(\frac{V_c}{b_w d}+\frac{2\sqrt{f_{ck}}}{3}\right) \qquad (10.6.70)$$

여기서, V_c는 전단에 대한 콘크리트의 저항이다. 그리고 <식 (10.6.55)>을 속빈 단면에 적용할 때 실제 벽의 두께t가 A_{oh}/p_h보다 작은 경우에는 A_{oh}/p_h 대신 실제 벽의 두께가 사용되어야 한다.



(가) 속빈 단면(Hollow Section) (나) 속찬 단면(Solid Section)

그림 10.6.6 전단응력과 비틀림응력의 합

② 만일 속빈 단면의 주위로 벽의 두께가 변한다면 <식 (10.6.70)>은 좌변이 최대가 되는 위치에서 계산되어야 한다.

③ 만일 벽의 두께가 A_{oh}/p_h보다 작다면, <식 (10.6.70)>의 둘째 항을($T_u/1.7A_{oh}t$)로 해야 한다. 여기서 t는 응력이 계산되는 위치에서 속빈 단면의 벽의 두께이다.

④ Design yield strength of torsional reinforcement without prestressing shall not exceed 400 MPa.

Reinforcement required for torsion shall be determined using <Eq. (10.6.71)>.

$$\phi T_n \geqq T_u \qquad (10.6.71)$$

⑤ Factored torsional resistance ϕT_n shall be torsion T_u by factored load or more. In calculating T_n, it shall be assumed that all torsions are resisted by stirrup and main reinforcement and $T_c = 0$. At the same time, shear resistance by concrete V_c shall be assumed to not be changed by torsion.

⑥ Transverse reinforcement to torsion shall be designed using <Eq. (10.6.72)>.

$$T_n = \frac{2 A_o A_t f_{yv}}{s} cot\theta \qquad (10.6.72)$$

where, A_o = $0.85 A_{oh}$ (assumption for simplification)

A_{oh} = The area closed to the centerline of torsional resistance rebar as <Fig. 10.6.7>

θ = Compressive inclination angle 30° ~ 60°

45° if the member without prestressing or prestressing force has 40 % the tensile strength of the main reinforcement or less

37.5° if prestressing force is 40 % or more the tensile strength of the main reinforcement

⑦ Longitudinal rebar to resist the torsion shall be the value specified in <Eq. (10.6.73)> or more.

$$A_l = \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cot^2\theta \qquad (10.6.73)$$

where, θ is the value used in <Eq. (10.6.72)> and A_t / s is the value calculated in <Eq. (10.6.72)>, which shall not be modified by minimum torsion reinforcement.

④ 프리스트레싱되지 않은 비틀림 철근의 설계항복강도는 400MPa를 넘지 않아야 한다.

비틀림에 필요한 철근량은 <식 (10.6.71)>로부터 결정된다.

$$\phi T_n \geqq T_u \qquad (10.6.71)$$

⑤ 계수비틀림 저항ϕT_n은 계수하중에 의한 비틀림 T_u이상이라야 한다.T_n을 계산할 때는 모든 비틀림이 스터럽과 주철근에 의해 저항되고$T_c = 0$이라고 가정해야 한다. 동시에 콘크리트에 의한 전단저항 V_c는 비틀림에 의해서 변하지 않는다고 가정해야 한다.

⑥ 비틀림에 대한 횡철근은 <식 (10.6.72)>를 이용하여 설계해야 한다.

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yv}}{s} cot\theta \qquad (10.6.72)$$

여기서, A_o = $0.85A_{oh}$(단순화를 위한 가정)

A_{oh} = <그림 10.6.7>과 같이 비틀림 저항철근의 중심선으로 폐합된 면적

θ = 압축경사각으로 30°~ 60°

프리스트레싱되지 않은 부재나 프리스트레싱 힘이 주철근의 인장강도의 40% 이하인 경우는 45°

프리스트레싱 힘이 주철근의 인장강도의 40% 이상인 경우는 37.5°

⑦ 비틀림에 저항하기 위한 종방향 철근량은 <식 (10.6.73)>값 이상이라야 한다.

$$A_l = \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cot^2\theta \qquad (10.6.73)$$

여기서, θ는 <식 (10.6.72)>에 사용된 값이며, A_t/s 값은 <식 (10.6.72)>에서 계산되는 값으로써 최소 비틀림 철근량의 규정에 의해 수정되지 않는다.

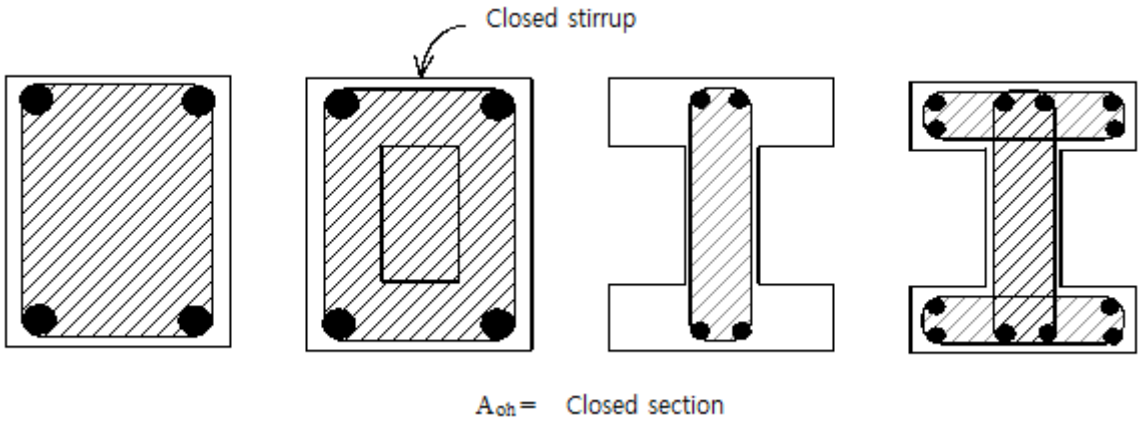


Fig. 10.6.7 Definition of A_{oh}

⑧ When flexural, shear, torsional and axial force are applied to the member simultaneously, main reinforcement and transverse reinforcement shall be calculated separately and overlapped, and rebar spacing and limit requirements shall be satisfied.

⑨ To consider the compression by bending for the member subject to bending force, it may be reduced as much as the area of longitudinal torsional rebar, $M_u/(0.9df_{yl})$ in the flexural compression zone. Here, M_u is factored moment of the section with T_u Then, the required reinforcement shall satisfy the requirement of minimum torsional reinforcement.

⑩ In prestressed member:

A. Total longitudinal reinforcement including PS steel members on each section shall be able to resist additional concentrated longitudinal tensile force $A_l f_{yl}$ which is based on factored moment and factored torsion on that section.

B. Spacing of longitudinal reinforcement including PS steel member shall be in accordance with the requirement for spacing of torsion reinforcement.

⑪ On compression zone of prestressed member, area of longitudinal torsion reinforcement may be reduced as required by 「⑨ and ⑩」.

(5) Details of torsion reinforcement

① Torsion reinforcement may comprise of longitudinal reinforcement, PS steel or one of the following.

A. Closed stirrup or tie hoop which is vertical to axis of member

B. Closed welded wire comprising lateral steel wire which is vertical to axis of member

C. Spiral bar on member without prestressing

② Lateral torsion reinforcement shall be anchored by either one of the following.

A. Anchoring by 135°-bent standard hook around longitudinal reinforcement

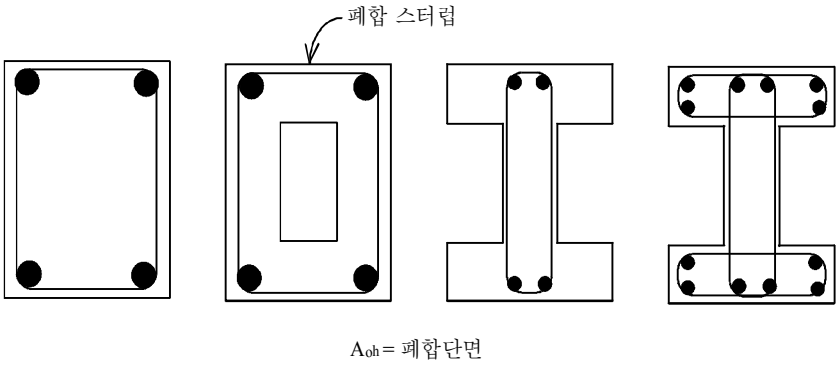


그림 10.6.7 A_{oh}의 정의

⑧ 부재가 휨, 전단, 비틀림, 축력을 동시에 받을 때는 주철근과 횡철근량을 각각 구하여 중첩해야 한다. 이때 철근간격과 배치의 제한사항은 만족되어야 한다.

⑨ 휨을 받는 부재에서는 휨에 의한 압축을 고려하기 위해 휨압축 영역의 종방향 비틀림 철근의 면적을 $M_u/(0.9df_{yl})$만큼 줄여도 된다. 여기서 M_u는 T_u와 함께하는 단면에서의 계수모멘트이다. 이때 필요한 철근량은 최소 비틀림 철근량의 규정을 만족시켜야 한다.

⑩ 프리스트레스트 부재에서는

가. 각 단면에서의 PS강재를 포함한 총 종방향 철근이 그 단면에서의 계수모멘트와 그 단면에서의 계수비틀림에 근거한 추가적인 집중 종방향 인장력 $A_l f_{yl}$에 저항할 수 있어야 한다.

나. PS강재를 포함한 종방향 철근의 간격은 비틀림 철근의 간격에 관한 규정을 만족시켜야 한다.

⑪ 프리스트레스트 부재는 휨에 의한 압축영역에서 종방향 비틀림 철근의 면적을 「⑨항, ⑩항」에서 요구한 양 이하로 줄일 수 있다.

(5) 비틀림 철근의 상세

① 비틀림 철근은 종방향 철근 또는 PS강재와 다음 중 선택된 것들로 구성된다.

가. 부재축에 수직인 폐쇄스터럽 또는 폐쇄띠철근

나. 부재축에 수직인 횡방향 강선으로 구성된 폐쇄용접철망

다. 프리스트레싱되지 않은 부재에서 나선철근

② 횡방향 비틀림 철근은 다음 중의 하나로 정착된다.

가. 종방향 철근 주위의 135°로 꺾인 표준갈고리에 의해 정착

B. Depending on the details of reinforcement, failure of concrete around anchorage is constrained by flange, slab or similar members.

③ Longitudinal torsion reinforcement shall be anchored at both ends.

④ In torsion of hollow section, distance from the centerline of lateral torsion reinforcement to inner wall of the section shall be $0.5A_{oh}/p_h$ or more.

(6) Minimum torsion reinforcement and spacing

① Minimum torsional reinforcement shall be provided in all sections where the factored torsional moment T_u exceeds the value specified in 「10.6.6 (1)」.

② When torsional reinforcement is required according to 「①」 the minimum area of the transverse closed stirrup shall be calculated as follows.

$$(A_v + 2A_t) = 0.0625\sqrt{f_{ck}}\frac{b_w s}{f_{yt}} \qquad (10.6.74)$$

The value in (10.6.74) shall not be less than $0.35b_w s/f_{yt}$.

③ When torsional reinforcement is required according to 「①」, the minimum area of the longitudinal torsional reinforcement shall be calculated as follows.

$$A_{l,\min} = \frac{0.42\sqrt{f_{ck}}\,A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right)p_h\frac{f_{yt}}{f_y} \qquad (10.6.75)$$

where, A_t/s shall not be less than $0.175b_w/f_{yt}$.

(7) Spacing of torsion reinforcement

① Spacing of the transverse torsional reinforcement shall be less than the smaller of $p_h/8$ or 300 mm.

② Longitudinal reinforcement required for torsion shall be distributed at a spacing of 300 mm or less along the perimeter of the closed stirrup. The longitudinal reinforcement or tendons shall be placed inside the stirrup, and at each corner of the stirrup, at least one longitudinal reinforcement or tendon shall be located. The diameter of the longitudinal reinforcement shall not be less than 1/24 stirrup spacing, and not less than D10.

③ Torsional reinforcement shall be extended at least the distance $(b_t + d)$ from the location required by calculations.

10.6.8 Bearing strength

(1) Design bearing strength of shall not exceed $\phi(0.85f_{ck}A_1)$ except in cases 「(2) & (3)」 and 「(4)」 below. where A_1 is loading area.

나. 철근상세에 의하면 정착부 근처의 콘크리트는 플랜지나 슬래브 또는 유사한 부재에 의하여 파괴가 억제된다.

③ 종방향 비틀림 철근은 양단에 정착되어야 한다.

④ 속빈 단면의 비틀림에서는 횡방향 비틀림 철근의 중심선에서 단면 내벽까지의 거리가 $0.5A_{oh}/p_h$ 이상이 되어야 한다.

(6) 최소 비틀림 철근

① 비틀림 철근의 최소면적은 계수 비틀림모멘트T_u가 「10.6.6 (1)항」에 규정된 값을 초과하는 경우 모든 영역에서 확보되어야 한다.

② 「①항」에 의해 비틀림 철근이 요구되는 경우, 횡방향 폐쇄스터럽의 최소면적은 <식 (10.6.74)>에 의하여 계산된다.

$$(A_v+2A_t)=0.0625\sqrt{f_{ck}}\frac{b_w s}{f_{yt}} \qquad (10.6.74)$$

다만 $0.35b_w s/f_{yt}$ 이상이어야 한다.

③ 「①항」에 의하여 비틀림 철근이 요구되는 경우, 종방향 비틀림 철근의 총면적은 <식 (10.6.75)>에 의하여 계산된다.

$$A_{l,\min}=\frac{0.42\sqrt{f_{ck}}\,A_{cp}}{f_y}-\left(\frac{A_t}{s}\right)p_h\frac{f_{yt}}{f_y} \qquad (10.6.75)$$

여기서, A_t/s는 $0.175b_w/f_{yt}$보다 작아서는 안 된다.

(7) 비틀림 철근의 간격

① 횡방향 비틀림 철근의 간격은 $p_h/8$ 또는 300mm 중 작은 것보다 커서는 안 된다.

② 비틀림에 대해 필요한 종방향 철근은 최대간격 300mm인 폐쇄스터럽의 주변을 둘러서 배치해야 한다. 종방향 철근이나 PS강재는 스터럽의 내부에 배치되어야 하며 스터럽의 각 모서리에는 적어도 하나의 주철근 또는 PS강재가 있어야 한다. 종방향 철근은 스터럽 간격의 적어도 1/24 이상이 되어야 하며, D10이상이어야 한다.

③ 비틀림 철근은 이론적으로 필요한 위치로부터 적어도 (b_t+d)이상의 거리에 설치되어야 한다.

10.6.8 지압강도

(1) 콘크리트의 설계지압강도는 아래 「(2)항, (3)항」 및 「(4)항」 경우를 제외하고는 $\phi(0.85f_{ck}A_1)$을 초과할 수 없다. 여기서 A_1은 재하면적이다.

(2) When bearing surface is greater than the loading surface in every aspect, the value multiplied by $\sqrt{A_2/A_1}$ may be used as design bearing strength but $\sqrt{A_2/A_1}$ shall be 2.0 or less. Here, A_2 is the maximum area of the part of bearing surface which is a similar figure to loading surface and has the same center.

(3) When bearing surface is inclined or graded, base area of the largest frustum included in the support when drawing the incline with vertical and horizontal ratio at 1:2 shall be A_2

(4) When large bearing stress occurs on the loading surface due to deflection or eccentric load, design bearing strength obtained from 「(1), (2)」 and 「(3)」 shall be multiplied by 0.75.

10.7 Prestressed concrete

10.7.1 General

(1) This provides general standards for design of prestressed concrete bridge structure for railway bridge.

(2) The symbols shall be in accordance with 「10.1.2」 and the following.

A_s = Sectional area of tensile reinforcement (mm^2)

A_s = Sectional area of compressive reinforcement (mm^2)

A_{ps} = Sectional area of tendon (mm^2)

A_{pf} = Reinforcement required for compressive strength of flange (mm^2)

A_{pw} = Reinforcement required for compressive strength of web (mm^2)

A_v = Web reinforcement (mm^2)

b = Flange width of the member with flange or square girder width (mm)

b_1 = Sum of the web width of beam and the length of overhanging flange (mm)

b_w = Web width of the member with flange (mm)

D = Nominal diameter of tendon (mm)

d_p = Distance from the edge of compression side to the center of tendon or from the edge of compression side to the centroid of negative moment reinforcement on precast continuous girder bridge (mm)

f_{cds} = Mean compressive stress of concrete at centroid of tendon under total fixed load (MPa)

f_{cir} = Mean compressive stress of concrete at centroid of tendon after losing prestress (MPa)

f_{ci} = Compressive strength of concrete when introducing prestress (MPa)

f_{ck} = Design strength of concrete (MPa)

(2) 지지표면이 재하면보다 모든 측면에서 큰 경우에는 설계지압강도는 $\sqrt{A_2/A_1}$을 곱한 값을 사용할 수 있으되, $\sqrt{A_2/A_1}$의 값은 2.0이하라야 한다. 여기서 A_2는 재하면과 닮은 꼴이고 중심이 같은 지지표면 일부분의 최대면적이다.

(3) 지지표면이 경사지거나 층을 이루고 있는 경우에는 재하면으로부터 수직과 수평을 1:2의 비율로 경사를 그렸을 때 형성되어 지지부내에 포함되는 가장 큰 절두체(截頭體)의 밑면적을 A_2로 취해야 한다.

(4) 재하면이 처짐이나 편심하중으로 인하여 재하면의 단에서 큰 지압응력이 발생하는 경우에는 위의 「(1)항, (2)항」 및 「(3)항」에서 구한 설계지압강도에 0.75를 곱해야 한다.

10.7 프리스트레스트 콘크리트

10.7.1 일반내용

(1) 이 항목은 철도교를 위한 프리스트레스트 콘크리트 교량 구조물의 설계에 관한 일반적인 표준을 규정한다.

(2) 기호는 「10.1.2항」및 다음을 따라야 한다.

A_s = 인장철근의 단면적(mm^2)

A_s = 압축철근의 단면적(mm^2)

A_{ps} = 긴장재의 단면적(mm^2)

A_{pf} = 플랜지의 압축강도를 발휘하기 위해 요구되는 철근량(mm^2)

A_{pw} = 복부의 압축강도를 발휘하기 위해 요구되는 철근량(mm^2)

A_v = 복부 철근량(mm^2)

b = 플랜지를 갖는 부재의 플랜지 폭 또는 4각 거더 부재의 폭(mm)

b_1 = 보의 복부폭 b_w와 내민 플랜지의 길이를 합한 거리(mm)

b_w = 플랜지를 갖는 부재의 복부폭(mm)

D = 긴장재의 공칭지름(mm)

d_p = 압축측 연단에서 긴장재 도심까지의 거리 또는 프리캐스트 연속 거더교에서 압축측 연단으로부터 부모멘트 보강철근 도심까지의 거리(mm)

f_{cds} = 총고정하중하에 의해 발생하는 긴장재 도심에서의 콘크리트 평균압축응력(MPa)

f_{cir} = 프리스트레스 손실 후 긴장재의 도심에서의 콘크리트 평균압축응력(MPa)

f_{ci} = 프리스트레스 도입시의 콘크리트 압축강도(MPa)

f_{ck} = 콘크리트의 설계기준강도(MPa)

f_{pe} = Effective tensile stress after loss (MPa)

f_{po} = Jacking stress at anchorage end of post-tensioned member (MPa)

f_{ps} = Mean stress of tendon under factored load (MPa)

f_{pu} = Ultimate strength of tendon (MPa)

f_{ru} = Allowable bending strength of concrete, modulus of busting (MPa)

f_y = Yield strength of tension bar (MPa)

f_y' = Yield strength of compression bar (MPa)

f_{py} = Yield point stress of tendon (MPa)

Δf_p = Total loss excluding friction loss (MPa)

Δf_{pcr} = Loss by concrete creep (MPa)

Δf_{pel} = Loss by elastic shrinkage (MPa)

Δf_{pf} = Loss by friction of PS steel (MPa)

Δf_{pr} = Loss by relaxation of PS steel (MPa)

Δf_{ps} = Loss by slip on anchorage (MPa)

Δf_{psh} = Loss by dry shrinkage of concrete (MPa)

h = Total height of member (mm)

H_r = Mean ambient RH (%)

h_f = Mean flange thickness of the member with flange (mm)

I = Moment of inertia at center of section (mm^4)

k = Wobble friction coefficient per unit length of tendon (1/m)

μ = Curvature friction coefficient (1/rad)

L_x = Distance from panel center to tendon center (mm)

l_x = Length of tendon from anchorage end to random point (mm)

M_{cr} = Transverse tension crack moment by external load

M_{max} = Maximum moment of the section by factored load

M_n = Nominal moment of member

M_u = Factored moment of section (ϕM_n)

Q = Statical moment of area at the center of section (mm^4)

q_p = Steel index ($= \rho_p f_{ps} / f_{ck}$)

s = Lateral spacing of web reinforcement (mm)

v = Lateral allowable horizontal shear stress

V_c = Nominal shear strength to be supported by concrete

V_{ci} = Nominal shear strength on concrete when diagonal crack occurred by combination of shear and moment.

f_{pe} = 손실이 일어난 후 유효 긴장응력(MPa)
f_{po} = 포스트텐션 부재에서 정착단에서의 긴장응력(MPa)
f_{ps} = 계수하중 하에서 긴장재의 평균응력(MPa)
f_{pu} = 긴장재의 극한강도(MPa)
f_{ru} = 콘크리트의 허용 휨강도, 파괴계수(MPa)
f_y = 인장철근의 항복강도(MPa)
f_y' = 압축철근의 항복강도(MPa)
f_{py} = 긴장재의 항복점 응력(MPa)
Δf_p = 마찰손실을 제외한 총 손실(MPa)
Δf_{pcr} = 콘크리트의 크리프에 의한 손실(MPa)
Δf_{pel} = 탄성수축에 의한 손실(MPa)
Δf_{pf} = PS강재의 마찰에 의한 손실(MPa)
Δf_{pr} = PS강재의 릴랙세이션에 의한 손실(MPa)
Δf_{ps} = 정착장치에서의 슬립량에 의한 손실(MPa)
Δf_{psh} = 콘크리트의 건조수축에 의한 손실(MPa)
h = 부재의 총 높이(mm)
H_r = 주위의 연간 평균상대습도(%)
h_f = 플랜지를 갖는 부재의 플랜지 평균 두께(mm)
I = 단면도심에서의 단면 2차모멘트(mm^4)
k = 긴장재의 단위 길이당 파상마찰 계수 (1/m)
μ = 곡률마찰계수 (1/rad)
L_x = 패널의 중심에서 긴장재 중심까지의 거리(mm)
l_x = 정착단으로부터 임의의 점 x까지의 긴장재의 길이(mm)
M_{cr} = 외부작용하중에 의한 휨균열 모멘트
$M_{\max}$ = 계수하중에 의해 발생하는 단면의 최대 모멘트
M_n = 부재의 공칭모멘트
M_u = 단면의 계수모멘트($< \phi M_n$)
Q = 단면도심에서의 단면 1차 모멘트(mm^4)
q_p = 강재지수($= \rho_p f_{ps} / f_{ck}$)
s = 복부철근의 횡방향 간격(mm)
v = 횡방향 허용 수평 전단응력
V_c = 콘크리트가 부담하는 공칭전단강도
V_{ci} = 전단과 모멘트의 조합에 의해 사인장균열이 발생할 때 콘크리트가 부담하는 공칭전단강도

V_{cw} = Nominal shear strength on concrete when diagonal crack occurred by excessive longitudinal stress on web

V_d = Shear force on section by working fixed load

V_i = Factored shear force on section by external working load that generates $M_{\max}$

V_p = Normal component of force of effective prestress

V_s = Nominal strength supported by shear reinforcement

V_u = Factored shear force of section

Z_c = Coefficient of composite section to the sight edge of the section on which tensile stress occurs by external load

m_c = Unit mass of concrete ($\mathrm{kg/m^3}$)

y_t = Distance between centroid axis and tension edge of total section, disregarding reinforcement (mm)

α = Total angular change (rad) of prestressed tendon from anchorage end to random point

β_1 = Ratio between equivalent rectangular stress distribution depth and neutral axis

ρ = Tension bar ratio ($= A_s/bd$)

ρ_p = Tendon ratio ($= A_{ps}/bd_p$)

ρ' = Compression bar ratio ($= A_s'/bd$)

10.7.2 Principle and definition

(1) Concrete strength - This provision may be applied to concrete with a design compression strength of 60 MPa or less.

(2) Review of class

① Three classes of concrete section are defined as follows.

A. Class Ⅰ – Tensile stress shall not be allowed on working load, but shall be allowed during construction only.

B. Class Ⅱ – Tensile stress shall not be allowed on normal working load, but shall be allowed during construction and for unusual combination of working load. Axial stress shall be calculated on a non-cracked section

C. Class Ⅲ – Tensile stress shall be allowed for unusual combination of working load when considering total section. Tensile stress may be allowed for normal working load when considering concrete covering depth but shall not be allowed on semi-permanent load combination.

② Class I shall be considered for working load; that is, tensile stress shall not be allowed for the worst case combination of working load when reinforcement is placed to prestressed structure and calculated section.

V_{cw} = 복부의 과도한 주인장응력으로 인해 사인장균열이 발생할 때 콘크리트가 부담하는 공칭전단강도

V_d = 사용 고정하중에 의해 발생하는 단면의 전단력

V_i = M_{max}를 발생시키는 외부 작용하중에 의해 발생하는 단면의 계수전단력

V_p = 단면의 유효 프리스트레스 힘의 수직분력

V_s = 전단철근이 부담하는 공칭 전단강도

V_u = 단면의 계수 전단력

Z_c = 외부 작용하중에 의해 인장응력이 발생하는 단면의 최외연에 대한 합성단면의 계수

m_c = 콘크리트의 단위질량(kg/m^3)

y_t = 철근을 무시한 총 단면의 도심축으로부터 인장측 연단까지의 거리(mm)

α = 정착단에서 임의점 x까지 프리스트레스 긴장재의 각의 총 변화(rad)

β_1 = 등가직사각형 응력분포의 깊이와 중립축 거리와의 비

ρ = 인장철근비(= A_s/bd)

ρ_p = 긴장재비(= A_{ps}/bd_p)

ρ' = 압축철근비(= A_s'/bd)

10.7.2 원리 및 정의

(1) 사용 콘크리트의 강도 - 이 절은 설계기준 압축 강도가 60MPa 이하인 콘크리트에 대하여 적용할 수 있다.

(2) 검토등급

① 콘크리트 단면의 세 개 검토 등급을 다음과 같이 정의한다.

가. 등급 Ⅰ - 사용하중에 대하여는 인장응력이 허용되지 않으며, 시공 중에만 인장응력을 허용해야 한다.

나. 등급 Ⅱ - 평상시의 사용하중에 대하여는 인장응력이 허용되지 않으며, 시공 중과 흔하지 않은 사용하중 조합에만 인장응력을 허용해야 한다. 축응력은 비균열단면으로 계산해야 한다.

다. 등급 Ⅲ - 총 단면을 고려하는 경우에는 흔하지 않은 사용하중 조합에만 인장응력을 허용해야 한다. 콘크리트 피복두께 단면을 고려하는 경우에는 평상시의 사용하중에 대하여 인장응력을 허용하나 반영구적 하중조합에 대하여는 인장응력은 허용되지 않는다.

② 사용하중에 대하여 등급 I로 검토해야 한다. 즉, 프리스트레스 구조물이며 계산된 단면에 철근이 배근된 경우에 최악의 사용하중 조합에 대하여 인장응력이 발생하지 않아야 한다.

③ Class II shall be considered for road bridge or pedestrian bridge across the railway, unless otherwise required by the authorities concerned.

④ Class II may be considered for railway bridge under construction or temporary railway bridge, provided the requirements in [9.7.1] are satisfied.

⑤ Other prestressed concrete structures not specified above shall be reviewed by the authorities concerned considering the requirements.

10.7.3 Scope of application and material

(1) Concrete

Concrete design strength f_{ck} of the structure shall be defined clearly. Prestressed concrete (PSC) shall have higher compressive strength and less dry shrinkage and creep. High compressive strength is needed to achieve the intended performance of PSC. In particular, the compressive strength used for design calculation - that is, design compressive strength - shall be obtained at the site. PSC, unlike RC, has a large stress as calculated in design by prestressing, and thus for PSC, minimum design strength of concrete f_{ck} shall be as follows:

① Pre-tension 35 MPa

② Post- tension 30 MPa

The strength of concrete used for the structure shall not be less than design strength above, and thus a required average strength shall be determined that is greater than design strength f_{ck} depending on variation of concrete strength at the site.

(2) PS steel and reinforcement

① PS steel

PS steel work, PS steel bar and PS strand shall be in accordance with KS D 7002, KS D 3505. That is, PS steel shall satisfy the following requirements.

A. Required effective prestress shall remain even after initial prestress was reduced for PSC to sustain, and thus PSC steel shall remain tensioned by high tensile stress. Thus, high strength steel is needed for PSC. Average PS steel has tensile strength 2 ~ 4 times that of mild steel. In detail, required tensile strength of PS steel is 1,450 ~ 1,950 MPa and yield strength 1,250 ~ 1,750 MPa, while PS steel bar requires tensile strength 950 ~ 1,450 MPa and yield strength 800 ~ 1,300 MPa. In yield ratio (yield strength/tensile strength, %), PS steel wire is 86 ~ 90 % and PS steel bar is 84 ~ 90 %.

B. Given that the greater the relaxation of PS steel, the higher the loss of prestress, relaxation of PS steel over the long term shall be less. According to KS, relaxation of PS steel wire and PS strand shall be 3 % or less, and PS steel bar shall be 1.5 % or less.

③ 철도선로를 가로지르는 도로교나 보도교는 관련기관에서 요구하지 않은 경우를 제외하고는 등급 II로 검토해야 한다.

④ 시공 중의 철도교량 또는 일시적으로 사용하는 철도교량에 대해서는 「9.7.1항」을 만족한다면 등급 II로 검토할 수 있다.

⑤ 위에서 정하지 않은 프리스트레스트 콘크리트구조물의 경우에는 관련 기관의 요구에 따라 검토해야 한다.

10.7.3 적용범위 및 재료

(1) 콘크리트

구조물 각 부분의 콘크리트의 설계기준강도f_{ck}는 명확히 제시되어야 한다. 프리스트레스트 콘크리트(PSC)에 쓰이는 콘크리트는 압축강도가 높아야 하고 건조수축과 크리프가 작아야 한다. PSC의 목적을 달성하고 그 장점을 충분히 발휘시키기 위해서는 높은 압축강도의 콘크리트가 필요하다. 특히 설계계산에 사용한 압축강도 즉, 설계기준강도가 확실하게 현장시공에서 얻어져야 한다. PSC는 RC와 달라서 설계계산상의 큰 응력이 프리스트레싱에 의해서 실제로 콘크리트에 발생하기 때문이다. 따라서 PSC에서는 콘크리트의 설계기준강도f_{ck}을 적어도 다음 값 이상이 되게 해야 한다.

① 프리텐션 방식의 경우 35 MPa

② 포스트텐션 방식의 경우 30 MPa

구조물에 사용한 실제의 콘크리트 강도가 위의 설계기준강도보다 작게 되는 일이 있어서는 안 된다. 따라서 현장의 콘크리트 강도의 변동에 따라 콘크리트의 배합강도를 설계기준강도 f_{ck}보다 크게 정해야 한다.

(2) PS강재 및 철근

① PS강재

PS강선, PS강봉, PS강연선은 한국산업규격 KS D 7002, KS D 3505에 따라야 한다. 즉 PS용 강재는 일반적으로 다음과 같은 성질이 요구된다.

가. 초기 프리스트레스가 감소한 후에도 PSC가 성립되기 위해서는 소요의 유효 프리스트레스가 남아 있어야 하므로 PS강재를 높은 인장응력으로 긴장해 두어야 한다. 따라서 PSC에서는 고강도 강재가 필요하다. 보통의 PS강재는 연강의 2~4배정도의 인장강도를 나타낸다. 즉 PS강선의 인장강도는 1,450~1,950MPa,항복강도는 1,250~1,750MPa, PS강봉의 인장강도는 950～1,450MPa, 항복강도는 800～1,300MPa 정도를 요구하고 있다. 이것은 항복비(항복강도/인장강도, %)로는 PS강선이 86~90%, PS강봉이 84~90%정도이다.

나. PS강재의 릴랙세이션이 크면 프리스트레스가 많이 감소하기 때문에 PS강재는 장기간에 걸쳐서 릴랙세이션이 작아야 한다. KS규격에서는 PS강선 및 PS강연선의 릴랙세이션은 3%이하, PS강봉의 릴랙세이션은 1.5%이하를 요구하고 있다.

C. Ductility is defined as the property of material that withstands high stress until reaching to busting state while undergoing the large strain, and thus the material with high ductility has high elongation. According to KS D 7002, elongation at failure of PS steel shall be 3.5 ~ 4.5 % and PS strand 3.5 % or more depending on diameter and KS D 3505 requires elongation of PS steel bar to be 5 % or higher.

D. Steel subject to high stress tends to be vulnerable to quick rust with reduced structural strength, and thus it shall be highly resistant to stress corrosion.

E. When bonding PS steel as a pre-tension method, bonding strength of PS steel with concrete shall be sufficient, and to increase the bonding strength, it is recommended to use PS strand or deformed PS steel. PS steel bar produced in straight form may not have problems but rolled PS steel must be straightened before use, as this is very important for construction. Bundle diameter shall be at least 150 times that of a single wire.

F. If PS steel is used for a railway bridge on which the load varies significantly, fatigue strength shall be considered.

② Reinforcement

A. Yield strength of reinforcement shall be given for planning and welded bar shall be proposed in the plan together with the welding process.

B. Yield strength of reinforcement, f_y shall not exceed 500 MPa.

C. With the exception of a round reinforcement or wire using spiral bar or tie hoop, deformed bar shall be used.

10.7.4 Analysis

(1) General

Members shall have proper strength according to this provision and continuous beam and statically indeterminate structure shall be designed to have appropriate strength and satisfactory behavior. Behavior shall be determined by elastic analysis and reaction, moment, shear force and axial force by prestressing, temperature, creep, dry shrinkage, axial deformation, constraint of structural elements in contact and the effect caused by settlement of foundation shall be considered.

(2) Expansion of bridge

① All bridges shall be designed to resist temperature stress, and the movement caused by temperature variation shall be considered in design.

② It shall be designed to deal with movement including shrinkage during prestressing.

다. 파괴에 이르기까지 높은 응력에 견디며 큰 변형을 나타내는 재료의 성질을 연성(ductility)이라 하며, 연성이 큰 재료는 연신율도 크다. KS D 7002에서는 PS강재의 파단시의 연신율을 지름에 따라 3.5~4.5%, PS강연선에 대해서는 3.5%이상을 요구하고 있다. 또 KS D 3505에서는 PS강봉의 연신율을 5%이상 요구하고 있다.

라. 높은 응력을 받는 강재는 급속하게 녹스는 일이 있고 또 표면에 녹이 보이지 않더라도 조직이 취약해지는 경우가 있으므로 응력부식에 대한 저항성이 커야한다.

마. 프리텐션 방식과 같이 PS강재를 부착시켜 사용하는 경우에는 PS강재가 콘크리트와 부착강도가 커야 하며 콘크리트와의 부착강도를 높이기 위해서는 몇 개의 강선을 꼰 PS강연선이나 이형 PS강재를 사용하는 것이 좋다. 곧은 상태로 출하된 PS강봉은 문제가 되지 않으나 타래로 감아서 출하되는 PS강재는 풀어서 사용하는데, 이때 감기지 않고 곧게 잘 펴져야 한다. 즉, 직선성이 좋아야 하는데 이점이 시공상 중요하다. 타래의 지름이 소선 지름의 150배 이상인 것이 좋다.

바. 철도교와 같이 하중 변동이 큰 구조물에 사용할 PS강재는 피로강도를 조사해 두어야 한다.

② 철근

가. 철근의 항복강도는 계획시 주어져야 하고, 용접된 철근은 계획에 제시되어야 하며 용접과정도 규정되어야 한다.

나. 철근의 항복강도 f_y는 500MPa를 초과하지 않아야 한다.

다. 나선철근이나 띠철근으로 사용하는 것이 허용된 원형철근이나 강선을 제외하고는 이형철근을 사용해야 한다.

10.7.4 해석

(1) 일반사항

이 규정들을 사용하여 부재들이 적당한 강도를 갖도록 해야 한다. 연속보와 부정정 구조물들은 적당한 강도를 갖고 만족스런 거동을 하도록 설계해야 한다. 거동은 탄성해석에 의해 결정되며, 이때 프리스트레싱에 의해 유발되는 반력, 모멘트, 전단력 그리고 축력과 온도, 크리프, 건조수축, 축방향 변형, 접촉된 구조요소의 구속 그리고 기초의 침하에 의한 영향 등을 고려해야 한다.

(2) 교량의 신축

① 모든 교량은 온도응력에 저항하도록 설계해야 하며, 온도의 변화에 의해 발생하는 이동을 고려하여 설계해야 한다.

② 프리스트레스를 도입하는 동안에 발생하는 수축을 포함한 이동에 관해 적절히 대처하도록 설계해야 한다.

③ Expansion length is an important factor in determining expansion joint. Type of joint shall be determined after comprehensively considering expansion length and the priority factors at the location.

(3) Span

Span of a simple support beam shall not exceed clear span plus beam height. Span between continuous or constraint floor slab and beam is net length between inner sides of the supports. If continuous slab and slab or support is integrated and haunch at 45°or more to constrained slab is provided, span shall be measured on section where combined thickness of slab and fillet is more than 1.5 times the slab thickness. In such a case, maximum moment at the end of span, if any, shall be considered. Fillet shall not be added to effective depth of the member for consideration.

(4) Rahmen and continuous bridge

① When calculating the stress according to working load for cast-in-place post-tensioned bridge, the effect of secondary moment shall be considered. When calculating required moment strength and shear strength, secondary moment caused by prestressing (load factor = 1.0) and shear force shall be added to moment and shear force caused by factored fixed load and factored live load.

② Composite bridge with continuous simple span precast PSC girder

A. General

When calculating bending moment by live load, impact load and fixed load and structural continuity is assumed, creep and dry shrinkage shall be considered in designing the bridge including deck slab comprising a simple span precast pre-stressed girder and two or more spans.

B. Positive moment connection to structure

(a) This provision provides the definition of the combined effect of creep on girder and deck slab and dry shrinkage at negative moment territory and the design of positive moment caused by live load and impact load on a long-distance span, which shall be considered when dry shrinkage and elastic shrinkage are critical.

(b) Tie reinforcement to positive moment of structure shall be designed to be within 60 % of yield stress, and shall not exceed 250 MPa.

C. Negative moment

(a) Reinforcing bar to positive moment shall be in proportion to design moment strength which is multiplied by the resistance coefficient as per 10.7.5.

(b) When maximum compressive stress by prestress is less than $0.4f_{ck}$ and bar ratio ($\rho = A_s / bd$) of continuous reinforcing bar on deck slab is less than 0.015, the effect of early pre-compression by prestress may be neglected when calculating positive moment of ultimate strength.

③ 신축장치 형식의 결정시 중요한 요소는 신축량이다. 먼저 신축량으로 장치의 형식을 결정하고, 그 후 설치하는 장소에서는 어떤 요소가 우선하는가 등을 종합적으로 판단하여 정한다.

(3) 지간

단순지지된 보의 지간은 보의 순지간에 보의 높이를 더한 길이를 초과해서는 안 된다. 연속 또는 구속된 바닥 슬래브와 보의 지간은 지점의 내측사이의 순길이이다. 연속 슬래브 또는 슬래브와 지지부가 일체로 만들어져 구속된 슬래브 축과 45° 또는 그 이상으로 헌치가 만들어져 있는 경우에는 슬래브와 필릿의 조합된 두께가 슬래브 두께보다 적어도 1.5배 이상이 되는 단면으로부터 지간길이를 측정한다. 위와 같은 경우, 지간의 단부에 최대 부모멘트가 있으면 이를 고려해야 한다. 필렛 부분을 부재의 유효깊이에 추가해서 고려하지는 않는다.

(4) 라멘 및 연속교

① 현장치기 포스트텐션 교량 작업하중으로 인해 발생하는 응력을 계산할 때에는 프리스트레싱에 의한 2차모멘트의 영향을 고려해야 한다. 소요 모멘트강도 및 소요 전단강도를 계산할 때에는 프리스트레싱(하중계수 = 1.0)에 의해 유발되는 2차모멘트 및 전단력을 계수고정하중과 계수활하중에 의해 발생하는 모멘트 및 전단력에 더해야 한다.

② 연속된 단순지간 프리캐스트 PSC거더의 합성에 의한 교량

가. 일반사항

활하중과 충격하중 및 고정하중에 의한 휨모멘트 계산시 구조적 연속성이 가정되었을 때, 단순지간 프리캐스트 프리스트레스트 거더와 두 개 이상의 지간으로 이루어진 바닥판 슬래브를 포함한 교량을 설계할 때에는 크리프와 건조수축의 영향을 고려해야 한다.

나. 구체에 정모멘트 연결

㉮ 이 규정은 부모멘트 영역에서 거더와 바닥판 슬래브의 크리프와 건조수축의 조합된 영향 그리고 원거리 지간에서의 활하중과 충격하중에 의해서 발생하는 정모멘트에 대한 설계를 규정한다. 구체의 건조수축과 탄성수축이 중요할 때에는 이를 고려해야 한다.

㉯ 구체에서의 정모멘트에 대한 연결철근(tie reinforcement)은 작용응력이 항복응력의 60% 이내가 되도록 설계해야 하며 250MPa를 넘지 않아야 한다.

다. 부모멘트

㉮ 부모멘트에 대한 보강철근은 10.7.5절에 따라 저항계수가 곱해진 설계 모멘트 강도에 비례해야 한다.

㉯ 프리스트레스에 의한 최대 압축응력이 $0.4f_{ck}$보다 작고, 바닥판 슬래브의 연속 보강철근의 철근비($\rho = A_s/bd$)가 0.015보다 작으면 극한강도의 부모멘트를 계산할 때 프리스트레스로 인한 거더의 초기 프리컴프레션(Pre-compression)의 영향은 무시한다.

(c) Factored positive (-) resistance moment shall be calculated using compressive strength of girder concrete without considering the strength of diaphragm concrete.

D. Under working load condition, compressed prestress of the girder near the structure and compressive stress at girder end by negative live load near the structure shall not exceed $0.60 f_{ck}$

③ Segmental box girder

A. Girder

(a) Elastic analysis and beam theory shall be used for designing segmental box girder structure.

(b) In analysis of precast box girder bridge, tensile stress on segment joints shall not be allowed when erection load and working load are applied. Furthermore, self-load of segment and unbalanced cantilever moment shall be considered when designing the structure or supplementary support. Temporary equipment to eliminate such unbalanced moment may be used.

B. Bending

Analysis of lateral bending of segmental box girder shall be plate analysis in principle, but analysis of segment as box type flame structure may be allowed. When analyzing as box type flame structure, analysis shall be made regarding the flange as tapered member in consideration of tapered section between flange and web.

C. Torsion

Increase in web shear force caused by eccentric load or structure shape shall be considered in designing the section.

(5) Effective flange width

① T-girder

A. Effective flange width in composite girder prestressed structure on which slab or flange works with the beam as monolithic body shall be taken as follows.

(a) Symmetric section: One of the following, whichever is less.

ⓐ l/4 of span

ⓑ $b_w + 12h_f$

ⓒ Distance between center-to-center of girder

(b) Asymmetric section: One of the following, whichever is less.

ⓐ b_w+ (l/12 of span)

ⓑ $b_w + 6h_f$

ⓒ b_w+ (l/2 of clear span with neighboring girder)

(c) Independent T girder

ⓐ Thickness of flange shall be 1/2 the thickness of web or more.

ⓑ Width of effective flange shall be 4 times the width of web of the girder or less.

㈐ 다이아프램(diaphragm) 콘크리트의 강도를 고려하지 않고 거더 콘크리트의 압축강도를 사용하여 계수 부(-)저항모멘트를 계산한다.

라. 사용하중상태에서 구체 근처 거더의 압축프리스트레스와 부 활하중 모멘트의 영향에 의한 구체 근처의 거더 단부에서의 압축응력은 $0.60f_{ck}$를 넘지 않아야 한다.

③ 세그멘탈 박스거더

가. 일반사항

㉮ 세그멘탈 박스거더 구조물의 설계에는 탄성해석과 보 이론을 사용한다.

㉯ 프리캐스트 박스거더 교량의 해석에서 세그멘탈의 가설하중이나 사용하중이 작용할 때 세그멘트 사이의 연결부에는 인장응력을 허용하지 않는다. 부 구조물의 설계시 일반적으로 고려되는 사항 이외에 세그멘트의 자중과 가설하중에 의한 불평형 캔틸레버 모멘트는 구체 또는 보조의 지보를 설계할 때에 고려되어야 한다. 이와 같은 불평형 모멘트를 제거할 수 있는 가설 장비를 사용할 수 있다.

나. 휨

세그멘탈 박스거더의 횡방향 휨을 해석할 때에는 판해석을 원칙으로 하되 세그멘트를 상자형 골조구조로 해석할 수도 있다. 상자형 골조구조로 해석하는 경우에는 플랜지와 복부사이의 변단면까지 고려하여 플랜지를 변단면 부재로 보고 해석해야 한다.

다. 비틀림

편심을 갖는 하중이나 구조물의 형상으로부터 야기되는 복부전단력의 증가를 단면의 설계 시 고려해야 한다.

(5) 유효 플랜지 폭

① T형보

가. 슬래브나 플랜지가 보와 일체로 작용하는 합성거더 프리스트레스트 구조에서의 유효플랜지 폭은 다음과 같이 취한다.

㉮ 대칭형 단면 : 다음 중에서 작은 값을 취한다.

㉠ 지간의 l/4

㉡ b_w+12h_f

㉢ 거더의 중심간 거리

㉯ 비대칭 단면 : 다음 중에서 작은 값을 취한다.

㉠ b_w + (지간의 l/12)

㉡ b_w+6h_f

㉢ b_w +(인접거더와의 순지간의 l/2)

㉰ 독립된 T형보

㉠ 플랜지의 두께는 복부폭의 1/2배 이상이어야 한다.

㉡ 유효 플랜지 폭은 보의 복부폭의 4배 이하이어야 한다.

(d) Monolithic vent cap

The width of effective flange on cantilever of vent cap shall be 6 times slab thickness or less and 1/10 vent cap span or less.

(e) Cantilever vent cap

Span shall be 2 times the cantilever span.

B. In a monolithic prestressed structure with average slab span and girder spacing, effective flange width shall be the center-to-center distance of the beam. When a span is very short or girder spacing is excessive, analytic study shall be carried out to determine the expected width of flange that works with the beam.

C. In monolithic prestressed structure with independent beam, flange width shall not be more than 15 times the web width, and shall be appropriate for all design loads.

② Box girder

A. In cast-in-place box girder with average slab span and girder spacing where slab and girder are monolithic, entire width of slab shall be assumed to be effective to compression.

B. Analysis method considering shear lag shall be used to determine the section stress caused by lateral bending on particularly large box girder including segmental box girder.

C. Except for the web requiring no haunch and the part in contact with flange bottom, haunch shall be properly placed at all locations crossing box girder surface.

(6) Thickness of box girder web and flange

① Top flange

Minimum thickness of top flange shall be 1/30 of the net length between haunch and web, or 160 mm. But the minimum thickness of precast pre-tension elements manufactured at the factory shall be 140 mm.

② Bottom flange

Minimum thickness of bottom flange may be thinner than top flange because there is no direct live load. But minimum thickness of bottom flange shall be 1/30 of net length between haunch and web or 160 mm. However, the minimum thickness of precast pre-tension elements manufactured at the factory shall be 140 mm.

③ Web

Variation of web thickness on box girder shall be gradual over the length, which is 12 times the difference in web thickness.

(7) Diaphragm and cross beam

Except for the parts requiring no diaphragm or cross beam according to test result or precision structural analysis, diaphragm or cross beam shall be designed according to 「① and ②」.

㉰ 일체 벤트 캡

벤트 캡의 캔틸레버 부분의 유효 플랜지 폭은 슬래브 두께의 6배 이하, 벤트 캡 지간 길이의 1/10배 이하이어야 한다.

㉱ 캔틸레버 벤트 캡

지간은 캔틸레버 지간 길이의 2배로 취한다.

나. 보통의 슬래브 지간과 거더의 간격을 갖는 일체의(monolithic) 프리스트레스트 구조에서의 유효플랜지 폭은 보의 중심간 거리로 한다. 지간이 매우 짧거나 거더 간격이 과도한 경우에는 보와 함께 작용하는 플랜지의 예상폭을 결정하기 위해 해석적 연구를 수행해야 한다.

다. 독립된 보를 갖는 일체의 프리스트레스트 구조의 설계에서는 플랜지 폭이 복부폭의 15배를 초과해서는 안 되고, 모든 설계 하중에 대해 적절해야 한다.

② 박스거더

가. 슬래브가 거더와 일체로 간주되는 보통의 슬래브 지간과 거더 간격을 갖는 현장치기 박스거더에서는 슬래브의 전 폭이 압축에 대해 유효하다고 가정한다.

나. 세그멘탈 박스거더를 포함한 특별히 큰 박스거더에서 횡방향 휨에 의해 발생하는 단면의 응력을 결정하기 위해서는 전단지연(shear lag)을 고려하는 해석방법을 사용한다.

다. 헌치가 필요하지 않은 복부와 플랜지 하부와의 접촉부분을 제외하고는 박스거더의 표면과 교차되는 모든 곳에는 헌치를 적절히 설치해야 한다.

(6) 박스거더의 복부 및 플랜지 두께

① 상부플랜지

상부플랜지의 최소두께는 헌치 또는 복부사이의 순길이의 1/30 이상이어야 하고, 160mm 이상이어야 한다. 다만 공장에서 생산된 프리캐스트 프리텐션 요소에 대한 최소 두께는 140mm 이상이어야 한다.

② 하부플랜지

하부플랜지의 최소두께는 직접 활하중이 작용하지 않기 때문에 상부플랜지보다 얇게 해도 좋다. 하지만 하부플랜지의 최소두께는 헌치 또는 복부사이의 순길이의 1/30 이상이어야 하고, 160mm 이상이어야 한다. 다만 공장에서 생산된 프리캐스트 프리텐션 요소에 대한 최소두께는 140mm 이상이어야 한다.

③ 복부

박스거더에서 복부두께의 변화는 복부 두께 차이의 12배 이상이 되는 길이에 걸쳐서 점차적으로 변해야 한다.

(7) 격벽 및 가로보

실험결과나 정밀구조해석에 근거하여 격벽이나 가로보를 생략해도 되는 곳을 제외하고는 「①항과 ②항」에 따라 격벽이나 가로보를 설계해야 한다.

① T-girder

To reinforce the free end of the slab edge and transfer the lateral force to sub-structure, cross beam shall be provided to the end of the span. When a span exceeds 12m, a middle beam shall be provided between the beams where maximum moment occurs.

② Box girder

Diaphragm and cross beam of box girder shall be in accordance with 「10.15.2」.

(8) Deck plate

① General

A. Precast prestressed deck plate which is used as permanent span between stringers shall be designed with the part for cast-in-place and composite part to bear additional fixed load and live load.

B. Deck plate shall be assumed to bear self-load, construction load and cast-in-place concrete weight, and shall be analyzed on the assumption that it will combine with cast-in-place concrete to bear the moment caused by additional fixed load and live load.

10.7.5 Design general

(1) General

① Design theory and considerations

The members shall satisfy the strength requirements as specified. Given the difficulties with repair, reinforcement and improvement of a PSC structure, sufficient investigation for appropriate determination shall be performed before starting the design in order to prevent crack, damage, deformation or other defects. To this end, investigation of the load on structure, temperature variation, weather, ground bearing capacity and seismic effect, if necessary, shall be carried out. As well, type of structure, allowable stress and structure details shall also be determined for design in consideration of the importance of the structure, inspection, maintainability, aesthetic effect and site conditions.

② Design shall be based on strength (ultimate strength method) and behavior under working condition (allowable stress method). At all loading stages, all extreme cases that may occur from introducing prestress until the expiry of service life shall be considered. Live load stage to be considered for design shall be as follows.

A. When introducing prestress: Tensile force of tendon reaches maximum level while concrete strength becomes the lowest.

B. When working load is applied: Long-term load causes volume change to PSC structure.

① T형보

슬래브의 가장자리 자유단을 보강하고 횡방향력을 부구조물에 전달하기 위해서 지간의 끝부분에 가로보를 설치한다. 지간이 12m를 넘는 경우에는 중간 가로보를 최대모멘트가 발생하는 지점에 있는 보와 보 사이에 설치한다.

② 박스거더

박스거더의 격벽 및 가로보는 「10.15.2」를 따른다.

(8) 바닥판

① 일반사항

가. 세로보(stringer) 사이에서 영구지간으로 사용되는 프리캐스트 프리스트레스트 바닥판은 추가 고정하중과 활하중을 지탱하기 위해서 슬래브의 현장치기 부분과 합성으로 설계되어야 한다.

나. 바닥판은 바닥판의 자중, 시공하중, 그리고 현장치기 콘크리트의 무게를 지탱하는 것으로 가정하고 해석하며, 추가 고정하중과 활하중에 의한 모멘트를 지탱하기 위해서 현장치기 콘크리트와 합성으로 작용한다고 가정하고 해석한다.

10.7.5 설계일반

(1) 일반사항

가. 설계이론 및 일반 고려사항

부재들은 규정된 요구강도에 부합해야 한다. PSC구조물은 보수, 보강, 개량 등이 어려운 경우가 많으므로 설계에 앞서 충분히 조사하여 그 결과에 따른 적절한 판단을 내려야 하고 구조물에 유해한 균열, 파손 등의 결함이나 변형이 생기지 않도록 해야한다. 이를 위하여 시험결과 및 과거의 경험을 기초로 구조물이 받는 하중, 온도변화, 기상작용, 지반의 지지력, 특별한 경우에는 지진의 영향 등을 충분히 조사해야 한다. 그리고 구조물의 중요도 검사, 보수의 난이, 미관, 기타 현장의 실정을 고려하여 이들에 작용할 수 있는 구조물의 형식, 허용응력 및 구조상세 등을 결정하여 설계해야 한다.

나. 설계는 강도(강도설계법)와 사용상태에서의 거동(허용응력설계)을 토대로 한다. 이때 사용되는 모든 하중단계에는 프리스트레스를 도입할 때부터 구조물의 수명이 다하는 동안에 일어날 수 있는 모든 극단적인 경우가 고려되어야 한다. 설계시 고려해야 할 활하중 단계는 다음과 같다.

㉮ 프리스트레스 도입시 : 긴장재의 인장력은 최대인 반면에 콘크리트의 강도는 최소이다.

㉯ 사용하중 작용시: 하중이 장시간 작용하면 PSC구조물에 체적변화가 생긴다.

C. When factored load is applied: Load bearing capacity needs to be calculated to check the safety of the member. In addition, review at the stage of crack load, transport and assembly load shall be performed.

③ Stress concentration caused by prestressing shall be considered in design. Stress is concentrated on anchorage or curve or cut of tendon by prestressing. The effect of stress concentration on the member shall be reviewed to determine proper reinforcement.

④ The effect caused by temperature, dry shrinkage, creep and relaxation of strand shall be considered.

(2) Basic assumptions

The following assumptions shall be applied to monolithic members.

① Strain is changed linearly over the entire load range depending on the depth of the member, but strain distribution is nonlinear in a deep beam, and this shall be considered in analysis and design.

② Stress is in linear proportion to strain before crack occurs.

③ Tensile force of concrete is neglected after crack occurs.

(3) Composite flexural member

This comprises precast element and cast-in-place concrete element, and flexural member of composite girder that behaves monolithically to working load shall be designed according to the following principle.

① The support shall not be removed until the support member required for bearing the load and constraining the deflection and crack is completed.

② Complete composite or partial composite member shall be designed to resist shear force and moment. Independent structural element shall be reviewed over the entire critical load stage and shall be designed to resist all loads introduced before design strength of composite member is achieved. Reinforcement shall be arranged as needed to prevent the segregation of independent structural elements.

③ When the required strength of the structural elements, unit mass or other properties are different, property of independent structural element or critical value shall be used for design.

④ When calculating bending strength of composite member using the strength design method, the member supported or not supported shall not be distinguished.

⑤ Shear reinforcement shall be completely anchored to the connection element according to the shear reinforcement rule. Anchored shear reinforcement may be included in ties to horizontal shear.

⑥ The section that is assumed to resist vertical shear force by the entire member shall be designed in accordance with the requirements in 「10.7.12 (1)」 to 「10.7.12 (4)」

㈐ 계수하중 작용시: 부재의 안전성을 검토하기 위해서 내하력 계산이 필요하다.

이 밖에 균열하중단계, 수송 및 조립시의 하중단계에 대해서도 검토가 필요하다.

다. 프리스트레싱에 의한 응력집중 현상이 설계시 고려되어야 한다. 프리스트레싱을 함으로써 정착부나 긴장재의 굴곡부 또는 절곡부 등에 응력이 집중되게 된다. 이 응력집중이 부재에 주는 영향을 설계시 검토하여 이에 대한 적절한 보강을 해야 한다.

라. 온도, 건조수축, 크리프와 강연선의 릴랙세이션에 의한 영향을 고려해야 한다.

② 기본가정

다음의 가정들은 일체로 된 부재의 설계 목적에 적용된다.

가. 전체 하중범위에 걸쳐 변형률은 부재의 깊이에 따라 직선적으로 변한다. 그러나 깊은 보에서는 변형도 분포가 비선형이 되므로 이를 해석과 설계에 고려해야 한다.

나. 균열이 발생하기 전에는 응력은 변형률에 직선적으로 비례한다.

다. 균열이 발생한 후에는 콘크리트의 인장력을 무시한다.

③ 합성 휨부재

프리캐스트 요소와 현장치기 콘크리트 요소로 구성되어 있으나, 작용하중에 대해 일체로 거동을 하는 합성거더 휨부재는 다음의 규정에 따라 설계한다.

가. 모든 하중을 지탱하고 처짐과 균열을 제한하기 위해 요구되는 지지부재가 완성될 때까지는 지주를 제거해서는 안 된다.

나. 완전합성 또는 부분합성 부재는 전단력과 모멘트에 저항하도록 설계되어야 한다. 독립된 구조요소는 모든 임계하중단계에 대해 조사되어야 하고, 합성부재의 설계강도가 완전히 발휘하기 전에 도입되는 모든 하중에 대해 저항할 수 있도록 설계해야 한다. 독립된 구조요소의 분리를 방지하기 위해 필요한 만큼 보강철근을 배근해야 한다.

다. 여러 구조요소의 규정된 강도, 단위질량 또는 그 외의 성질들이 서로 상이한 경우에는 독립된 구조요소의 성질 또는 임계값이 설계에 사용된다.

라. 강도설계법에 의해서 합성부재의 휨강도를 계산할 때에는 지주로 받쳐진 부재와 받쳐지지 않은 부재를 구별하지는 않는다.

마. 전단보강철근은 전단철근의 정착규정에 따라 연결구조 요소에 완전 정착시켜야 한다. 정착된 전단보강철근은 수평전단에 대한 보강철근(ties)으로 포함시켜도 좋다.

바. 부재 전체가 수직 전단력에 저항한다고 가정되는 단면에서의 설계는 「10.7.12 (1)항」에서 「10.7.12 (4)항」의 규정을 따른다.

⑦ It shall be designed to completely transfer horizontal shear force on contact surface of cross element, and horizontal shear force shall be designed according to 「10.7.12 (4) ④」

⑧ Tensile stress occurs at the bottom of beam and slab due to different dry shrinkage on structure comprising cast-in-place slab on precast beam. As tensile dry shrinkage occurs over an extended time, the effect of dry shrinkage on beam is reduced by creep. Different dry shrinkage has effects on crack load and deflection curve of beam. When such elements are particularly critical, the effect of different dry shrinkage shall be added to the effect of load.

(4) Strength reduction coefficient

Calculated strength of member shall be no less than the largest value calculated in load factor design. Strength reduction coefficient shall be as follows.

① Flexural member, prestressed concrete member receiving bending and axial force together

$\phi = 0.85$

Precast prestressed member manufactured at the factory under quality control

$\phi = 0.90$

② Shear strength

$\phi = 0.80$

Other cases shall be in accordance with strength reduction coefficient in 「10.6.2 (2) ②」.

10.7.6 Prestressing

(1) Prestress force shall be considered with external equivalent load and calculated using 「8.2.2 (8)」

(2) Allowable stress of prestressing tendon

① Tensile stress of prestressing tendon when tensioning shall be 0.8 or 0.94, whichever is less.

② Tensile stress of prestressing tendon immediately after prestress shall be as follows.

A. Pre-tensioning ..... $0.8f_{pu}$ or $0.9f_{py}$, whichever is less.

B. Post-tensioning ..... $0.7f_{pu}$ or $0.8f_{py}$, whichever is less

사. 교차요소의 접촉면에서는 수평전단력이 완전히 전달되도록 설계를 해야 하며, 수평전단력에 대한 설계는 「10.7.12 (4) ④항」의 규정을 따른다.

아. 프리캐스트보 위에 현장치기된 슬래브로 이루어진 구조물에서는 서로 다른 건조수축으로 인하여 보의 하단부분과 슬래브에 인장응력이 발생한다. 인장건조수축은 지속된 시간에 걸쳐 발생하기 때문에 보에 대한 건조수축의 영향은 크리프에 의해 감소된다. 서로 다른 건조수축은 균열하중과 보의 처짐곡선에 영향을 준다. 이와 같은 요소들이 특별히 중요할 때에는 서로 다른 건조수축에 의한 영향을 하중에 의한 영향에 추가해야 한다.

(2) 강도감소계수

계산된 부재의 강도가 하중계수 설계에서 계산한 값의 가장 큰 값보다 작지 않아야 한다. 강도감소계수는 다음과 같다.

① 휨부재, 휨과 축방향력을 겸하여 받는 프리스트레스트 콘크리트부재

$\phi = 0.85$

품질제어 조건하에서 공장 생산된 프리캐스트 프리스트레스트 부재

$\phi = 0.90$

② 전단강도

$\phi = 0.80$

그 외의 모든 경우에는 「10.6.2 (2) ②항」의 강도감소계수를 따른다.

10.7.6 프리스트레싱

(1) 프리스트레스 힘은 외부 등가하중(external equivalent load)과 같이 고려하며, 「8.2.2 (8)항」에 따라 계산해야 한다.

(2) 프리스트레싱 긴장재의 허용응력

① 긴장을 할 때 프리스트레싱 긴장재의 인장응력은 $0.8f_{pu}$ 또는 $0.94f_{py}$ 중 작은 값 이하로 해야 한다.

② 프리스트레스 도입 직후에 프리스트레싱 긴장재의 인장응력은 다음 값 이하로 해야 한다.

가. 프리텐셔닝 ..... $0.8f_{pu}$ 또는 $0.9f_{py}$ 중 작은 값

나. 포스트텐셔닝 ..... $0.7f_{pu}$ 또는 $0.8f_{py}$ 중 작은 값

(3) Concrete strength when introducing prestress

① Compressive strength of concrete when introducing prestress shall be at least 1.7 times the maximum compressive stress of concrete immediately after prestressing. Compressive strength of concrete when prestressing shall have a certain safety factor to maximum compressive stress immediately after prestressing. As this maximum compressive stress is reduced by the relaxation of PS steel and creep, dry shrinkage and fixed load of concrete, the safety factor in such a case may be less than safety factor for design load. But when prestress force is excessive, concrete creep becomes large beyond the range that is proportional to the stress, and thus maximum compressive stress shall be 60 % of compressive strength of concrete or less in order to have a safety factor larger than 1.7. Unless otherwise specified, force shall not be applied to the concrete until the compressive strength of the concrete specimen that was cured under the same condition as the member reaches 30 MPa on pre-tensioned member and 27 MPa on post-tensioned member. Compressive strength of concrete when prestressing in a pre-tensioning method shall be 30 MPa or more to maintain safety against the maximum compressive stress of concrete, as well as considering the need for adhesive stress of PS steel and concrete.

② Concrete around anchorage when prestressing shall have the strength to withstand bearing stress caused by anchoring. Given that the local bearing capacity of tensile stress caused by anchoring PS steel around anchorage is dependent on the type and spacing of anchorage and covering thickness, tensioning of PS steel shall be performed after strength of concrete around anchorage reaches the strength stipulated in the PSC design method. In particular, when tensioning PS steel at an early stage of concrete curing, spacing of anchorage and covering thickness shall be considered and safety shall be ensured through the test as needed.

(4) Prestressing loss

Prestress is not same as tensile force measured by tensioning device while initially tensioning PS steel. A considerable loss of tensile force occurs due to various factors during or after tensioning. Effective prestress is the value reached by deducting the loss from initially tensioned prestress. Though design strength of the member is not influenced by deviation between calculated prestress loss and actual loss, structural behavior, deflection, rise and crack are influenced. For instance, overestimation of prestress loss under working load results in excessive prestress, which may cause excessive rise or native effect of horizontal displacement to the structure.

① Initial prestress force immediately after prestressing shall be calculated considering the loss to tensile end of PS steel due to the following effects.

(3) 프리스트레스 도입시의 콘크리트 강도

① 프리스트레스를 도입할 때의 콘크리트의 압축강도는 프리스트레싱 직후에 콘크리트에 발생하는 최대압축응력의 1.7배 이상이 되지 않으면 안 된다. 프리스트레스 도입시의 콘크리트의 압축강도는 프리스트레싱 직후의 최대압축응력에 대하여 어느 정도 안전율을 갖고 있지 않으면 안 된다. 이 최대압축응력은 PS강재의 릴랙세이션, 콘크리트의 크리프, 건조수축 및 고정하중 등에 의해 감소되는 것이므로 이 경우의 안전율은 설계하중 작용시의 안전율보다 작아도 좋다. 그러나 프리스트레스 힘이 과하면 콘크리트의 크리프가 응력에 비례하는 범위를 넘어 커지게 되므로 최대압축응력은 콘크리트 압축강도의 60%이하로 하여 1.7보다 큰 안전율을 갖도록 규정하였다. 다만, 특별한 규정이 없으면 부재의 양생조건과 동일한 상태에서 양생시킨 콘크리트 시편의 압축강도가 프리텐션 부재에서는 30MPa, 포스트텐션 부재에서는 27MPa이 될 때까지 콘크리트에 힘을 가하지 않아야 한다. 프리텐션 방식에서 프리스트레싱시의 콘크리트 압축강도를 30MPa이상으로 한 것은 콘크리트에서의 최대압축응력에 대한 안전도를 갖게 할 뿐만 아니라 PS강재와 콘크리트의 충분한 부착응력이 필요하므로 이것을 고려하여 정한 것이다.

② 프리스트레스 도입시 정착부 부근의 콘크리트는 정착에 의해 생기는 지압응력에 견딜 수 있는 강도 이상이 되어야 한다. PS강재의 정착에 의하여 발생하는 정착부 부근의 국부적인 지압응력이나 인장응력은 정착장치의 종류, 정착장치의 간격 및 피복두께 등에 따라 다르므로 정착장치 부근의 콘크리트 강도가 각 PSC공법의 설계방법 등에 규정되어 있는 콘크리트의 강도에 도달한 후에 PS강재를 긴장해야 한다. 특히, 콘크리트의 재령이 조기일 때 PS강재를 긴장하는 경우에는 정착장치의 간격이나 피복두께에 대하여 충분한 주의를 필요로 하고, 필요에 따라서는 시험에 의하여 그 외의 안전성을 확보해야 한다.

(4) 프리스트레싱 손실

프리스트레스는 최초에 PS강재를 긴장할 때 긴장장치에서 측정된 인장능력과 같지 않다. PS강재의 긴장작업 중이거나 긴장작업이 끝난 후의 여러 가지 원인에 의해서 인장능력의 상당량이 손실된다. 최초에 긴장한 초기 프리스트레스에서 여러 가지 원인에 의한 손실량을 뺀 값이 유효프리스트레스이다. 계산된 프리스트레스 손실량과 실제 손실량과의 오차는 부재의 설계강도에는 영향을 미치지 않지만 사용하중 작용시 구조의 거동, 처짐, 솟음, 균열 등에는 영향을 미친다. 예를 들면 사용하중 작용시 프리스트레스 손실량을 과대하게 예측한 것은 실제 시공시 지나치게 큰 프리스트레스를 주는 효과를 가져 오고, 이로 인해 지나친 솟음과 구조물에 좋지 않은 수평변위가 생길 수 있다.

① 프리스트레싱 직후의 초기 프리스트레스 힘은 PS강재 인장단에 다음의 영향으로 인한 손실을 고려하여 계산해야 한다.

A. Friction between PS steel and sheath

B. Slip on anchorage

C. Elastic shrinkage of concrete

② Effective prestress shall be calculated based on initial prestress calculated using 「①」 above considering the loss die to time-dependent factors below.

A. Concrete creep

B. Dry shrinkage of concrete

C. Relaxation of PS steel

③ The loss due to influential factors above shall be calculated as follows.

A. Loss due to friction between PS steel and sheath (Post-tensioned member)

The loss due to friction on post-tensioned member shall be calculated by PS steel wave determined by experimental measure and curvature coefficient, and friction loss that occurred while introducing prestressing force shall be identified.

Friction loss due to wave of tendon and curvature shall be calculated using <Eq. (10.7.1)>

$$\Delta f_{pf} = f_{po}\left[1 - e^{-(kl_x + \mu\alpha)}\right] \qquad (10.7.1)$$

When $(kl_x + \mu\alpha)$ is not greater than 0.3, the approximation equation of <(10.7.2)> may be used.

$$\Delta f_{pf} = f_{po}(kl_x + \mu\alpha) \qquad (10.7.2)$$

where, k: Wobble friction coefficient of tendon per unit length

l_x: Length of tendon from anchorage end to random point x.

μ: Curvature friction coefficient

α: Total variation of the angle of prestressed tendon from anchorage end to random point, x (rad)

When no experimental data on the constants for material, $\varkappa$ and μ are available, the value in <Table 10.7.1> may be used. But as <Table 10.7.1> presents a range of values which are predictable, the coefficients shall be obtained from the manufacturer when using particular tendon or sheath. Friction loss occurring before anchoring shall be evaluated during design and considered while introducing prestressing. Rigid duct shall have sufficient strength to be able to sustain the position accurately without uneven surface. Rigid duct shall be prefabricated by welding or connecting, and no galvanizing is required for welding connection.

가. PS강재와 쉬스 사이의 마찰

나. 정착장치에서의 슬립량

다. 콘크리트의 탄성수축

② 유효 프리스트레스 힘은 위 「①항」의 규정에 의하여 계산된 초기 프리스트레스 힘에 아래와 같은 시간 의존적 영향으로 인한 손실을 고려하여 계산해야 한다.

가. 콘크리트의 크리프

나. 콘크리트의 건조수축

다. PS강재의 릴랙세이션

③ 상기의 각 영향인자별 손실량 계산은 다음과 같이 계산한다.

가. PS강재와 쉬스 사이의 마찰에 의한 손실량(포스트텐션 부재)

포스트텐션 부재에서 마찰에 의한 손실은 실험적으로 결정된 PS강재의 파상 및 곡률계수에 의해 계산되며, 긴장력을 도입하는 동안에 발생하는 마찰손실을 규명해야 한다.

긴장재의 파상 및 곡률에 의한 마찰 손실은 <식 (10.7.1)>과 같이 계산한다.

$$\Delta f_{pf} = f_{po}\left[1 - e^{-(kl_x + \mu\alpha)}\right] \qquad (10.7.1)$$

$(kl_x + \mu\alpha)$가 0.3보다 크지 않으면, <식 (10.7.2)>의 근사식을 사용해도 좋다.

$$\Delta f_{pf} = f_{po}(kl_x + \mu\alpha) \qquad (10.7.2)$$

여기서, k : 긴장재의 단위 길이당 파상마찰 계수

l_x : 정착단으로부터 임의의 점 x까지의 긴장재의 길이

μ : 곡률마찰계수

α : 정착단에서 임의의 점 x까지의 프리스트레스 긴장재의 각의 총변화(rad)

사용재료에 대한 상수 κ와 μ의 실험자료가 없을 때에는 <표 10.7.1>의 값을 사용할 수 있다. 다만, <표 10.7.1>은 일반적으로 예측할 수 있는 값의 범위를 제시한 것으로서 특수한 긴장재와 쉬스를 사용하는 경우에는 이들 계수의 값을 제작자로부터 얻어야 한다. 정착을 하기 전에 일어나는 마찰손실은 설계시에 평가하여 프리스트레스를 도입하는 동안에 고려되어야 한다. 강성 덕트는 콘크리트를 치기하는 동안에 확연하게 나타나는 울퉁불퉁함이 없이 덕트의 정확한 위치를 유지할 수 있도록 충분한 강도를 가져야한다. 강성 덕트는 서로 용접되거나 연결되어 만들어져야 한다. 용접연결에 대해서는 아연도금이 요구되지 않는다.

Table 10.7.1 Wobble friction coefficient (k) and curvature friction coefficient (μ)

Type of tendon	Type of duct	Wobble friction coefficient k (/m)	Curvature friction coefficient μ (/rad)
PS wire or uncoated PS strand	Metal sheath	0.0066	0.30
	Galvanized metal sheath, asphalt or grease coated and sheathed galvanized rigid duct	0.0050	0.25
		0.0066	0.30
		0.0007	0.25
High strength steel bar	Metal sheath	0.0010	0.20
	Galvanized metal sheath	0.0007	0.15

B. Loss by slip on anchorage

Loss in tensile force of PS steel by slip of anchorage is dependent on the PSC method. It may be neglected on screw type or button type because of the small slip, but the slip on wedge type is relatively large and thus slip during anchorage shall be assumed considering the past performance and experience in order to review the loss of tensile force of PS steel and the effect.

$$\Delta f_{ps} = E_p \cdot \Delta l / l \qquad (10.7.3)$$

where, Δf_{ps}: Loss in tensile force of PS steel by slip of anchorage (MPa)

Δl: Slip (mm)

l: Length of PS steel (mm)

E_p: Elastic modulus of PS steel (MPa)

C. Loss by elastic shrinkage of concrete

(a) Pre-tension embed

$$\Delta f_{pel} = \frac{E_p}{E_{ci}} f_{cir} \qquad (10.7.4)$$

(b) Post-tension member

$$\Delta f_{pel} = 0.5 \frac{E_p}{E_{ci}} f_{cir} \qquad (10.7.5)$$

where, E_p : Elastic modulus of PS steel (assumed as 200,000 MPa.)

E_{ci}: Elastic modulus of concrete when anchoring

표 10.7.1 파상마찰계수(k)와 곡률마찰계수(μ)

긴장재의 형태	덕트의 형태	파상마찰계수 k (/m)	곡률마찰계수 μ(/rad)
PS강선 또는 도금되지 않은 PS강연선	금속쉬스	0.0066	0.30
	아연도금 금속쉬스	0.0050	0.25
	아스팔트 또는 그리스로 코팅되고 피복된 것	0.0066	0.30
	아연도금된 강성덕트	0.0007	0.25
고강도 강봉	금속쉬스	0.0010	0.20
	아연도금된 금속쉬스	0.0007	0.15

나. 정착장치에서의 활동에 의한 손실량

정착장치의 슬립에 의한 PS강재의 인장력 감소는 PSC공법에 따라 다르다. 나사식이나 단추식의 정착장치에서는 슬립량이 작기 때문에 무시할 수 있지만 쐐기식의 정착장치에서는 비교적 큰 슬립량이 생긴다. 따라서 과거의 실적 등을 고려하여 정착할 때의 슬립량을 미리 가정하여 PS강재 인장력의 감소량과 그의 영향범위를 검토해 놓지 않으면 안 된다.

$$\Delta f_{ps} = E_p \cdot \Delta l / l \qquad (10.7.3)$$

여기서, Δf_{ps} : 정착장치에서의 활동에 의한 PS강재의 인장응력의 감소량 (MPa)

Δl : 슬립량(mm)

l : PS강재의 길이(mm)

E_p : PS강재의 탄성계수(MPa)

다. 콘크리트의 탄성수축에 의한 손실량

㉮ 프리텐션 부재

$$\Delta f_{pel} = \frac{E_p}{E_{ci}} f_{cir} \qquad (10.7.4)$$

㉯ 포스트텐션 부재

$$\Delta f_{pel} = 0.5 \frac{E_p}{E_{ci}} f_{cir} \qquad (10.7.5)$$

여기서, E_p : PS강재의 탄성계수(200,000MPa로 가정할 수 있다.)

E_{ci} : 정착시의 콘크리트의 탄성계수

$$E_{ci} = 0.077 m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} \ (\mathrm{MPa})$$

where, m_c : Unit mass of concrete (kg/m^3)

f_{cu}: Mean compressive strength of 28-day concrete (MPa)

$f_{cu} = f_{ck} + \Delta f$, Δf is 60 MPa when $f_{ck}$is 4 MPa or less and 6 MPa when 60 MPa or more and the value between them is calculated by a linear interpolation.

f_{ci}: Compressive strength (MPa) of concrete when introducing prestress

f_{cir} : f_{cir}, concrete stress at the center of tendon by fixed load and prestress immediately after seating shall be calculated on section where maximum moment occurs. At this stage, initial stress of pre-tensioned member is reduced due to elastic shrinkage of concrete and relaxation of tendon that occur during the concrete pouring and curing process, and on a post-tensioned member, initial stress of tendon is reduced due to elastic shrinkage of concrete and friction of tendon. Reduction in initial stress of tendon due to such factors can be evaluated, and reduced stress of tendon may be $0.63 f_{pu}$ for stress relieved strand and $0.69 f_{pu}$ for low relaxation strand.

D. Loss by concrete creep

For pre-tensioned and post-tensioned member,

$$\Delta f_{pcr} = 12 f_{cir} - 7 f_{cds} \qquad (10.7.6)$$

where, f_{cds} : Concrete stress at the center of tendon caused by all fixed loads except that while prestressing (MPa)

E. Loss by concrete dry shrinkage

(a) Pre-tensioned member

$$\Delta f_{psh} = 119 - 1.05 H_r \qquad (10.7.7)$$

(b) Post-tensioned member

$$\Delta f_{psh} = 0.80 (119 - 1.05 H_r) \qquad (10.7.8)$$

where, H_r : Ambient annual mean HR (%)

$$E_{ci} = 0.077 m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} \ (\mathrm{MPa})$$

여기서, m_c : 콘크리트의 단위질량(kg/m^3)

f_{cu} : 재령 28일에서 콘크리트의 평균압축강도(MPa)

$f_{cu} = f_{ck} + \Delta f$로 취하며, Δf는 f_{ck}가 40MPa 이하이면 4MPa, 60MPa 이상이면 6MPa이며, 그 사이는 직선보간으로 구한다.

f_{ci} : 프리스트레스 도입시의 콘크리트 압축강도(MPa)

f_{cir} : 정착 직후 보의 고정하중과 프리스트레스 힘에 의해 발생하는 긴장재 중심에서의 콘크리트 응력으로서 f_{cir}은 최대모멘트가 발생하는 단면에서 계산한다. 이 단계에서, 프리텐션 부재에서는 콘크리트의 치기와 양생기간 동안에 발생하는 콘크리트의 탄성수축 및 긴장재의 릴랙세이션에 의해 긴장재의 초기응력이 감소하며, 포스트텐션 부재에서는 콘크리트의 탄성수축과 긴장재의 마찰에 의해서 긴장재의 초기응력이 감소한다. 이와 같은 인자들에 의한 긴장재의 초기응력 감소를 평가할 수 있으며, 감소된 긴장재의 응력은 응력제거 강연선(stress relieved strand)에 대해서는 $0.63 f_{pu}$, 저릴랙세이션 강연선 (low relaxation strand)에 대해서는 $0.69 f_{pu}$로 취할 수 있다.

라. 콘크리트의 크리프에 의한 손실량

프리텐션과 포스트텐션 부재에서

$$\Delta f_{pcr} = 12 f_{cir} - 7 f_{cds} \qquad (10.7.6)$$

여기서, f_{cds} : 프리스트레스를 가한 당시 존재하는 고정하중을 제외한 그 이후에 추가되는 모든 고정하중에 의해 발생하는 긴장재 중심에서의 콘크리트의 응력 (MPa)

마. 콘크리트의 건조수축에 의한 손실량

㉮ 프리텐션 부재

$$\Delta f_{psh} = 119 - 1.05 H_r \qquad (10.7.7)$$

㉯ 포스트텐션 부재

$$\Delta f_{psh} = 0.80 (119 - 1.05 H_r) \qquad (10.7.8)$$

여기서, H_r : 주위의 연간평균 상대습도(%)

F. Loss by relation of PS steel

(a) Pre-tensioned member

On steel strand with tensile strength 1,750 ~ 1,900 MPa

ⓐ Stress-relieved strand

$$\Delta f_{pr} = 140 - 0.4\Delta f_{pel} - 0.2(\Delta f_{psh} + \Delta f_{pcr}) \quad (10.7.9)$$

ⓑ Low relaxation strand

$$\Delta f_{pr} = 35 - 0.1\Delta f_{pel} - 0.05(\Delta f_{psh} + \Delta f_{pcr})) \quad (10.7.10)$$

(b) Post-tensioned member

For strand with tensile strength 1,750 ~ 1,900 MPa

ⓐ Stress-relieved strand

$$\Delta f_{pr} = 140 - 0.3\Delta_{pf} - 0.4\Delta f_{pel} - 0.2(\Delta f_{psh} + \Delta f_{pcr}) \quad (10.7.11)$$

ⓑ Low relaxation strand

$$\Delta f_{pr} = 35 - 0.07\Delta f_{pf} - 0.1\Delta f_{pel} - 0.05(\Delta f_{psh} + \Delta f_{pcr}) \quad (10.7.12)$$

For wire with tensile strength 1,600 MPa

$$\Delta f_{pr} = 126 - 0.3\Delta f_{pf} - 0.4\Delta f_{pel} - 0.2(\Delta f_{psh} + \Delta f_{pcr}) \quad (10.7.13)$$

For steel bar with tensile strength 1,015 ~ 1,120 MPa

$$\Delta f_{pr} = 21\mathrm{MPa} \quad (10.7.14)$$

where, Δf_{pf} : Reduction in stress due to friction loss at $0.7 f_{pu}$ or less, which is calculated using 「10.7.6 (4) ③ A.」.

Δf_{pel} , Δf_{psh} , Δf_{pcr} : Loss determined for pre-tensioned or post-tensioned member

바. PS강재의 릴랙세이션에 의한 손실량

㉮ 프리텐션 부재

인장강도가 1,750 ~ 1,900 MPa 인 강연선에서

㉠ 응력제거 강연선

$$\Delta f_{pr} = 140 - 0.4\Delta f_{pcl} - 0.2(\Delta f_{psh} + \Delta f_{pcr}) \quad (10.7.9)$$

㉡ 저 릴랙세이션 강연선

$$\Delta f_{pr} = 35 - 0.1\Delta f_{pcl} - 0.05(\Delta f_{psh} + \Delta f_{pcr}) \quad (10.7.10)$$

㉯ 포스트텐션 부재

인장강도가 1,750 ~ 1,900 MPa 인 강연선에서

㉠ 응력제거 강연선

$$\Delta f_{pr} = 140 - 0.3\Delta_{pf} - 0.4\Delta f_{pcl} - 0.2(\Delta f_{psh} + \Delta f_{pcr}) \quad (10.7.11)$$

㉡ 저 릴랙세이션 강연선

$$\Delta f_{pr} = 35 - 0.07\Delta f_{pf} - 0.1\Delta f_{pcl} - 0.05(\Delta f_{psh} + \Delta f_{pcr}) \quad (10.7.12)$$

인장강도가 1,680 MPa 인 강선(wire)에서

$$\Delta f_{pr} = 126 - 0.3\Delta f_{pf} - 0.4\Delta f_{pcl} - 0.2(\Delta f_{psh} + \Delta f_{pcr}) \quad (10.7.13)$$

인장강도가 1,015 ~ 1,120 MPa 인 강봉에서

$$\Delta f_{pr} = 21\text{MPa} \quad (10.7.14)$$

여기서, Δf_{pf} : 고려되는 시점인 $0.7f_{pu}$수준 이하에서 마찰손실에 의한 응력 감소로 「10.7.6(4)③가 항」에 의해 계산한다.

Δf_{pcl}, Δf_{psh}, Δf_{pcr} : 프리텐션 또는 포스트텐션 부재에 대해 결정된 손실

④ Simplified method to calculate total loss of prestress

Instead of total loss by the aforementioned methods, total loss for designing prestressed member or structure may be calculated using the simplified method shown in <Table 10.7.2>. This loss value is applied to normal concrete, normal prestressed and average exposed prestressed structure. For a long-span or particular design, loss of prestress shall be calculated using the method previously introduced or a more accurate method. Thus, this simplified method shall apply to simple and small bridges only.

Table 10.7.2 Prestress loss (MPa)

Type of tendon	Total loss	
	Concrete compressive strength $f_{ck} = 28$ MPa	Concrete compressive strength $f_{ck} = 35$ MPa
Pre-tensioned strand		-
Stress-relieved strand	-	315
Low relaxation strand		245
Post-tensioned wire or strand	-	-
Stress relieved strand	225	231
Low relaxation strand	168	175
Post-tensioned bar	155	160

*) <Table 10.7.2> For approximate loss of prestress in the post-tensioned method, loss by friction is not included in the value of the table, which however shall be calculated separately according to 「①」. <Table 10.7.2> shows the loss for concrete design strength 28 MPa and 35 MPa, but it may be used for the bridge with design strength 3.5 MPa. That is, it may be applied to 24.5 MPa ~ 38.5 MPa.

⑤ When no experimental result is available, the following values may be used as loss factor.

A. Slip of anchorage (draw-in coefficient) : d = 10.0 mm (10.7.15)

B. Friction curvature coefficient: μ = 0.3 /rad (10.7.16)

C. Friction wobble coefficient: K = 0.004 /m (10.7.17)

10.7.7 Load and stress

(1) Load

① Load defined in 「Chapter 8」 shall be considered서 together with the following.

② Temperature inclination - The effect of temperature inclination shall be calculated as the initial elastic modulus of concrete.

④ 프리스트레스 전체 손실량의 간이계산법

앞에 소개된 방법에 의한 총 손실 대신에 프리스트레스트 부재 또는 구조물의 설계에 있어 총 손실량은 <표 10.7.2>와 같이 간이 계산된 값을 사용할 수 있다. 이 손실 값은 보통 콘크리트, 보통프리스트레스 수준 그리고 평균 노출상태에 있는 프리스트레스트 구조물에 적용한다. 특별히 지간이 길거나 특별한 설계에 대해서는 앞서 소개된 방법에 의하거나 또는 더 정확한 방법에 의해 프리스트레스의 손실량을 계산해야 한다. 따라서 이 간이계산법은 단순하고 작은 교량 이외에는 사용하지 않아야 한다.

표 10.7.2 프리스트레스 손실량(MPa)

긴장재의 형태	총손실량	
	콘크리트압축강도 f_{ck} = 28MPa	콘크리트압축강도 f_{ck} = 35MPa
프리텐션 강연선 응력제거 강연선 저 릴랙세이션 강연선	- -	- 315 245
포스트텐션 강선 또는 강연선 응력제거 강연선 저 릴랙세이션 강연선	- 225 168	- 231 175
포스트텐션 강봉	155	160

*) <표 10.7.2>는 프리스트레스 감소량의 대략의 값으로 포스트텐션 방식에 대해서는 표의 값에는 마찰에 의한 감소는 포함되지 않았으며, 이 값은「①항」에 따라 별도로 계산해야 한다. <표 10.7.2>는 콘크리트의 설계기준강도 28MPa과 35MPa에 대한 감소량을 주고 있지만 이 강도보다 3.5MPa정도 상하의 설계기준강도를 갖는 교량에 대해 사용해도 좋다. 즉, 24.5MPa～38.5MPa 범위의 설계기준강도에 대하여 적용할 수 있다.

⑤ 실험 결과가 없는 경우 각 손실계수로서 다음 값을 사용할 수 있다.

가. 정착장치의 슬립량(draw-in coefficient) : d = 10.0mm (10.7.15)

나. 곡률마찰계수(friction curvature coefficient) : μ = 0.3 /rad (10.7.16)

다. 파상마찰계수(friction wobble coefficient) : K = 0.004 /m (10.7.17)

10.7.7 하중과 응력

(1) 하중

① 하중은「제8장」에서 정의한 하중을 고려해야 하며, 추가하여 다음 사항을 고려해야 한다.

② 온도 경사 - 온도경사의 영향은 콘크리트의 초기 탄성계수로써 계산해야 한다.

③ Additional prestressing

A. PSC box bridge using post-tension shall be designed to additionally prestress 15 % of the required force for design calculation, and prestressing shall be possible at any time during the service of the structure. The purpose of this design requirement is to supplement the 15 % of the loss in compressive stress for any sections in order to fulfill the safety requirement as stipulated in 10.1.2.

B. Even in cases in which there is no compression loss, additional prestressing load shall be considered in order to maintain it above safety conditions.

C. For this reason, additional buttress and deviation blister shall be provided for additional tendon in duct outside the concrete, which shall be reviewed for local bending and tension.

(2) Design review

① The entire structure shall be reviewed as follows.

A. Design of working load to prevent inevitable incidents (working load design combination)

B. Design of factored load for reviewing static equilibrium, strength and stability of structural elements (factored load design combination)

② Safety operation criteria shall be appropriate for all working load conditions including flood, wind load or earthquake.

③ In reviewing all displacements, bedrock which is considered stable to all piers and seep and solid alluvial soil shall be used. On such layer, possible seismic wavelength and amplitude shall be considered, and relative displacement shall also be included in reviewing the displacement. In addition, fault displacement shall be considered.

④ Displacement shall be calculated by summing up the displacement of each foundation, pier, bearing shoe, deck plate and fastener, but the displacement that must be reviewed according to design criteria 「8.6」 is relative displacement between one structure and a neighboring structure.

(3) Stress calculation

① Linear elastic model may be used for stress calculation. Such linear elastic model is not appropriate for a statically indeterminate structure, but may be used if inevitably necessary.

② The structure shall be designed considering the construction method. Uncured concrete may cause stress and displacement to a bridge, such as live load working on the support structure.

③ For a bridge incorporating multiple activities, a simplified formula may be used for calculating the displacement and stress caused by concrete creep and dry shrinkage when stipulated by the authorities concerned.

③ 추가 프리스트레싱

가. 포스트텐션을 적용한 PSC 박스교량은 설계 계산에 필요한 프리스트레스 힘의 15%를 종방향으로 추가 프리스트레싱할 수 있도록 설계해야 하며, 추가 프리스트레싱은 구조물의 공용기간 중 필요할 경우 언제나 가능하도록 설계해야 한다. 이 추가 프리스트레싱은 이 설계기준의 10.1.2에서 정한 검토등급의 안전 조건을 유지하기 위하여 어떠한 단면에 대해서도 15%의 압축응력 손실의 보정이 가능하도록 하는 것이다.

나. 압축손실이 없는 경우에도 추가 프리스트레싱 하중을 상기의 안전 조건을 유지하기 위하여 고려해야 한다.

다. 그러므로 추가적인 부벽(butress)과 방향변환블록(deviation blister)이 콘크리트의 밖에 위치한 덕트 안의 추가 긴장재를 위하여 제공되어야 한다. 이는 국부적인 휨과 인장에 대하여 검토 되어야 한다.

(2) 설계검토

① 전체구조물은 다음에 따라 검토해야 한다.

가. 피해야 할 현상을 초래하지 않기 위한 사용하중 설계(사용하중 설계조합)

나. 구조요소의 정적 평형, 강도 및 안정성을 검토하기 위한 계수하중 설계(계수하중 설계조합).

② 안전 운행 기준은 홍수와 풍하중 또는 지진을 추가한 모든 사용하중조건에 적합해야 한다.

③ 모든 변위의 검토에는 여러 교각에 대하여 안정하다고 간주되는 기반 암 또는 견고하고 깊은 충적토 등의 지반을 사용해야 한다. 이 지반에 재현 가능한 지진의 파장 및 진폭을 고려해야 하며, 상대변위를 변위의 검토에 추가 해야 한다. 관련 지역에서의 단층 변위 또한 고려해야 한다.

④ 변위는 기초, 교각, 받침, 바닥판, 체결구에 대한 변위 등의 개개의 변위의 합으로 계산해야 하지만, 이 설계기준의 「8.6항」에 따라 검토해야 하는 변위는 한 구조물과 인접 구조물 사이의 상대변위이다.

(3) 응력계산

① 대부분의 경우에서 응력계산을 위하여 선형탄성 모델을 사용할 수 있다. 이 선형탄성 모델은 부정정 구조물의 강도설계에는 적합하지 않지만, 부득이 한 경우에는 이를 사용할 수 있다.

② 구조물은 가설공법을 고려하여 설계해야 한다. 타설 시의 굳지 않은 콘크리트는 지지 구조물에 대하여 활하중으로 작용하는 등 교량에 대하여 응력과 변위를 유발할 수도 있다.

③ 여러 시공 공정을 포함하는 교량에서는 관련기관에 의하여 명시 되었을 경우에 한하여 콘크리트의 크리프과 건조수축에 의한 변위와 응력의 계산에 간략식을 사용할 수 있다.

④ Prestressing load: Special analysis shall be carried out for tendon anchorage and local zone in accordance with 「10.7.15」.

(4) Calculated load: Load combination and load factor defined in「Chapter 8」 shall be considered.

(5) Factored load design stress: Factored load combination to be considered including exceptional load combination such as accident load shall be in compliance with 「8.3.4」.

(6) Working load design stress

① Working load combination to be considered shall be in accordance with 「8.3.3」.

② Additional prestressing defined in 「10.7.7 (1) ③」 shall be considered together in working load combination.

(7) Static balance checking

① Static balance checking shall be conducted according to 「Chapter 8」 of the design criteria.

② Static balance checking shall be conducted for the whole structure and at each construction stage.

③ Static equilibrium shall be satisfied by considering wind load, temperature load and erection load, and in particular, no review shall be excluded for a bridge requiring a multiple activities such as MSS method or FCM (Free cantilever method) method.

10.7.8 Section

(1) Definition

① Gross section - Refers to the section linking the outline of concrete without considering steel wire or duct.

② Effective section – Refers to net concrete section excluding duct hole for longitudinal and lateral wire and anchorage from gross section after installation.

③ Transformed section, homogeneous section – Refers to the section after adding the area calculated by multiplying longitudinal PS steel by elastic modulus to effective section.

(2) Section applied to calculate the stress

① Gross section shall be used to calculate the following.

A. Bridge load

B. Stiffness of the element to calculate static indeterminate force

C. Strain of bridge member included in review category II.

② Non-crack section (effective section or transformed section) shall be used to calculate section stress of review categories I and II.

④ 프리스트레싱 하중 : 긴장재 정착구역과 국소구역에 대하여는 「10.7.15항」에 따라 특수해석을 수행해야 한다.

(4) 계산하중 : 「제8장」에서 정의된 하중조합과 하중계수를 고려해야 한다.

(5) 계수하중 설계응력 : 사고하중 등의 예외적인 하중조합을 포함하여 고려해야 하는 계수 하중조합은 이 설계기준의 「8.3.4항」에 따라야 한다.

(6) 사용하중 설계응력

① 고려해야 하는 사용하중 조합은 이 설계기준의 「8.3.3항」에 따라야 한다.

② 이 설계기준의 「10.7.7 (1) ③항」에 정의된 추가 프리스트레싱을 사용하중 조합에서 함께 고려해야 한다.

(7) 정적 안정 검토(static balance checking)

① 이 설계기준의 「제8장」에 따라 정적 안정 검토를 해야 한다.

② 정적 안정 검토는 전체 구조물과 각 시공 단계에 대하여 실시해야 한다.

③ 각 가설 단계에서 풍하중과 온도하중 및 가설하중을 고려하여 정적평형을 만족시켜야 하며, 특히 MSS공법이나 FCM(Free cantilever method)공법 등 여러 시공 공정을 포함하는 교량에 대하여는 이에 대한 검토를 누락시켜서는 안된다.

10.7.8 단면

(1) 정의

가. 총 단면(gross section) - 총 단면은 강선 또는 덕트 등을 고려하지 않은 콘크리트의 외곽선으로 만들어지는 단면을 말한다.

나 유효단면(effective section) - 유효단면은 총 단면에서 시공 완료 후에 채워지더라도 종방향 및 횡방향 강선을 넣기 위한 덕트의 구멍, 정착장치 등을 제외한 콘크리트의 순단면을 말한다.

다. 환산단면(transformed section, homogeneous section) - 환산단면은 PS강재가 완전 부착되어 있다고 가정하여 종방향 PS강재의 면적에 탄성계수비를 곱한 면적을 유효단면에 더한 단면을 말한다.

(2) 응력계산에 적용되는 단면

① 총 단면은 다음을 산출하는 경우 사용해야 한다.

가. 교량의 자중

나. 부정정력을 산출하기 위한 요소의 강성

다. 검토등급 II에 포함되는 교량 부재의 변형률

② 비균열 단면(유효단면 또는 환산단면)은 검토등급 I과 II의 단면응력을 산출하는 경우 사용해야 한다.

③ Effective section shall be used to calculate the stress according to fixed load when designing working load.

④ Crack section without considering tensile stress of concrete shall be used when reviewing category III bridge or bridge elements.

(3) Concrete covering thickness section

① Concrete covering thickness section shall be gross section when no flexural stress component is available.

② When bending stress exists, concrete covering thickness section refers to the section linking two straight lines, outer line and the line in parallel with flexible axis distanced by c from PS steel.

10.7.9 Design for bending

(1) Working load design

① Review category

A. Category defined in 「10.1.2」 shall be applied.

(a) Category Ⅰ – Tensile stress shall not occur over the entire section area under working load. Tensile stress during construction shall not exceed $0.7f_{tj}$.

(b) Category Ⅱ –Tensile stress shall not occur in usual combinations of working load on concrete covering thickness section, and tensile stress in unusual combinations of working load shall not exceed f_{tj}, and shall not exceed $1.5f_{tj}$ on other sections. Tensile stress on concrete covering thickness section during construction shall not exceed $0.7f_{tj}$ and shall not exceed $1.5f_{tj}$ on other sections.

where f_{tj} is 0.6+0.06 f_{cj}(MPa),

f_{cj} is concrete compressive strength (MPa) at Day j

(c) Category Ⅲ – Axial stress shall be calculated by crack section alone.

B. Tensile stress shall not occur in any unusual combination of working load, including usual working load combination and standard train load.

C. Tensile stress during constriction or temporary situation or the most unfavorable combination at category II shall be reviewed.

③ 유효단면은 사용하중 설계시 고정하중에 의한 응력을 산출하는 경우 사용해야 한다.

④ 콘크리트의 인장응력을 무시한 균열단면은 검토등급 III의 교량 또는 교량요소를 검토하는 경우 사용해야 한다.

(3) 콘크리트 피복두께 단면

① 휨응력 성분이 없는 경우에 콘크리트 피복두께 단면은 총 단면이 된다.

② 휨응력 성분이 있는 경우에 콘크리트 피복두께 단면은 단면외곽선과 PS강재에서 c만큼 떨어진 휨 축에 평행한 두 직선으로 이루어진 단면을 말하며 여기서 c는 PS강재의 최소 피복두께이다.

10.7.9 휨에 대한 설계

(1) 사용하중 설계

① 검토 등급

가. 「10.1.2항」에 정의되어 있는 검토 등급을 적용해야 한다.

㉮ 등급 Ⅰ - 사용하중에서는 전체단면적에 대하여 인장응력이 발생하여서는 안 된다. 시공 중의 인장응력은 $0.7f_{tj}$를 넘지 않아야 한다.

㉯ 등급 Ⅱ - 사용하중 하에서, 콘크리트 피복두께 단면에서의 상시 사용하중 조합에서는 인장응력이 발생하여서는 안 되며, 흔치않은 사용하중 조합에서 콘크리트 피복두께 단면에서의 인장응력은 f_{tj}를 넘지 않아야 하며 그 밖의 단면에서는 $1.5f_{tj}$를 넘지 않아야 한다. 시공 중에 콘크리트 피복두께 단면에서의 인장응력은 $0.7f_{tj}$를 넘지 않아야 하며 그 밖의 단면에서는 $1.5f_{tj}$를 넘지 않아야 한다.

여기서, f_{tj} 는 $0.6+0.06f_{cj}$ (MPa) 이며,

f_{cj} 는 j일에서의 콘크리트 압축강도(MPa)이다.

㉰ 등급 Ⅲ - 축응력은 균열단면만으로 산출한다.

나. 철도교량에서 상시 사용하중 조합과 표준열차하중을 포함하는 흔치않은 사용하중 조합에 대하여 인장응력이 발생하여서는 안 된다.

다. 등급 Ⅱ에서 시공 중 또는 일시적인 상황이나 가장 불리한 조합에 대하여 인장응력을 검토해야 한다.

② Allowable stress

Design of precast prestress member shall be based on 35 MPa as a standard. But when consistent strength could possibly be maintained at the discretion of the engineer, concrete strength may be increased to 42 MPa. In a particular individual area, it may be designed with a concrete with a higher level of strength. In such a case, a note stressing the need for more complete supervision to achieve the required strength during material preparation and manufacture process shall be included. This provision shall also be applied to prestressed concrete structures designed with a lower strength. Allowable tensile stress of PS steel shall not differentiate the stress of PS steel between temporary prestress and effective prestress because the initial stress of PS steel immediately after introducing prestress remains for a certain period after the stress of initial steel used in the structure, and thus the initial stress of PS steel shall not be considered as a temporary stress. As continuous loss in stress of PS steel improves the condition of PS steel, no such limit in stress reduction is described in the specification.

A. Allowable stress of PS steel

(a) Stress on anchorage after seating

ⓐ Pre-tensioned member

- Stress relieved strands $0.70 f_{pu}$
- Low relaxation strands $0.75 f_{pu}$

To offset the loss by slip of anchorage, increase in stress up to $0.80 f_{pu}$ in a short time shall be allowed and the stress after seating shall not exceed the above value.

ⓑ Post-tensioned member $0.70 f_{pu}$

To offset the loss by slip of anchorage and friction loss, an increase in stress up to $0.90 f_{py}$ in the short time shall be allowed, and the stress after seating shall not exceed the above value. The stress at the end of loss zone according to the slip of anchorage after seating shall not exceed $0.83 f_{py}$.

(b) Stress under working load condition after loss $0.80 f_{py}$

B. Allowable stress of concrete

(a) Stress immediately after prestressing (temporary stress before loss by creep and dry shrinkage)

ⓐ Compressive stress

- Pre-tensioned member $0.60 f_{ci}$
- Post-tensioned member $0.55 f_{ci}$

② 허용응력

프리캐스트 프리스트레스트 부재의 설계는 일반적으로 35MPa을 표준으로 한다. 그러나 기술자가 일관된 강도를 유지할 수 있다고 판단하는 경우에는 콘크리트 강도를 42MPa까지 증가시킬 수 있다. 특정한 영역(individual area basis)에서는 강도가 더 높은 고강도 콘크리트로 설계할 수도 있다. 이러한 경우에 설계도서에 기술자가 재료와 제작과정에 대한 감독을 완벽하게 하여 요구된 강도를 얻도록 주를 달아야 한다. 이 절의 규정들은 낮은 콘크리트 강도를 갖고 설계된 프리스트레스트 콘크리트 구조물과 구조 요소에 대해서도 동등하게 적용된다. PS강재의 허용인장응력은 일시적인 프리스트레스와 유효프리스트레스 사이의 PS강재의 응력을 구별하지 않는다. 그 이유는 프리스트레스 도입 직후 초기 PS강재 응력이 구조물을 사용한 후에도 상당한 기간 지속되므로 초기 PS강재 응력을 일시적인 응력으로 간주할 수 없기 때문이다. 프리스트레스 손실로 인한 PS강재 응력의 지속적인 감소는 PS강재의 상태를 개선해주기 때문에 시방서에서는 이러한 응력감소에 대한 제한이 제시되어 있지 않다.

가. PS강재의 허용응력

㉮ 정착(seating)후 정착부에서의 응력

㉠ 프리텐션 부재

- 응력제거 강연선(stress relieved strands) $0.70 f_{pu}$
- 저 릴랙세이션 강연선(1ow relaxation strands) $0.75 f_{pu}$

정착장치의 활동에 의한 손실을 상쇄하기 위해서 짧은 시간동안에 응력이 $0.80 f_{pu}$까지 증가하는 것을 허용하며, 정착후의 응력은 위의 값을 초과하지 않아야 한다.

㉡ 포스트텐션 부재 $0.70 f_{pu}$

정착장치의 활동에 의한 손실과 마찰에 의한 손실을 상쇄하기 위해서 짧은 시간동안에 응력이 $0.90 f_{py}$까지 증가하는 것을 허용하며, 정착 후 정착부에서의 응력은 위의 값을 초과하지 않아야 한다. 정착 후에 정착장치의 활동에 의한 손실구역의 끝부분에서의 응력은 $0.83 f_{py}$를 초과하지 않아야 한다.

㉯ 손실이 일어난 후 사용하중 상태에서의 응력 $0.80 f_{py}$

나. 콘크리트의 허용응력

㉮ 긴장 직후의 응력(크리프와 건조수축에 의한 손실이 일어나기 전의 일시적 응력)

㉠ 압축응력

- 프리텐션 부재 $0.60 f_{ci}$
- 포스트텐션 부재 $0.55 f_{ci}$

ⓑ Tensile stress

- Pre-stressed tension zone: No temporary allowable stress is stipulated (see allowable stress after loss in 「b.」)

- Other zones:

Tension zone without reinforcement 1.4 MPa or $0.25\sqrt{f_{ci}}$

Assuming that calculated tensile stress exceeding the above value is in a non-crack section, reinforcement shall be arranged to resist the total tensile force of concrete, and maximum tensile stress shall not exceed $0.5\sqrt{f_{ci}}$.

(b) Stress under working load (stress after all loss occurred)

ⓐ Allowable compressive stress $0.40 f_{ck}$

ⓑ Tensile stress at prestressed tension zone 0

(c) Crack stress

Bending tensile strength from experiment shall be used, and the following shall be applied when no experimental data is available.

ⓐ Normal concrete $0.63\sqrt{f_{ck}}$

ⓑ Sand lightweight concrete $0.54\sqrt{f_{ck}}$

ⓒ All-lightweight concrete $0.47\sqrt{f_{ck}}$

(d) Bearing stress on anchorage

Bearing stress of concrete caused by anchorage of a post-tensioned member with proper reinforcement at the end of the member shall be as follows or less.

ⓐ Immediately after seating tendon $0.7 f_{ci}\sqrt{A'_b/A_b - 0.2} \leq 1.1 f_{ci}$

ⓑ After prestress loss $0.5 f_{ck}\sqrt{A'_b/A_b} \leq 0.9 f_{ck}$

C. Allowable stress of reinforcement

(a) Allowable stress of flexural reinforcement: $f_{ca} = 0.50 f_y$ (130 MPa $\leq f_{sa} \leq$ 180 MPa)

(b) Allowable stress of compressive reinforcement: 40% of yield strength of reinforcement

③ Construction joint section

A. Reinforcement shall penetrate the joint, which shall be reviewed in the same manner as other sections.

B. Reinforcement shall be provided to construction joint to resist shear stress based on the difference in dry shrinkage on horizontal joint installed by 2 stages, such as web plate or deck plate of box girder.

④ Coupler

Coupler shall be less than 50% of total area of tendon at the same section, and connection reinforcement shall be thoroughly reviewed.

㉡ 인장응력

- 미리 압축력을 가한 인장구역 : 일시적인 허용응력이 규정되어 있지 않다.(「㉯항」에 있는 손실 후의 허용응력 참조)
- 그 외 지역 :

부착된 철근이 없는 인장구역 1.4MPa 또는 $0.25\sqrt{f_{ci}}$

계산된 인장응력이 위의 값을 초과하는 부분에서는 비균열단면으로 가정해서 계산된 콘크리트의 총 인장력에 저항하도록 부착된 철근을 배근해야 한다. 이때 최대 인장응력은 $0.5\sqrt{f_{ci}}$ 를 넘지 않아야 한다.

㉯ 사용하중 상태에서의 응력(모든 손실이 일어난 후의 응력)

㉠ 허용압축응력 $0.40f_{ck}$

㉡ 미리 압축력을 가한 인장구역에서의 인장응력 0

㉰ 균열응력

실험으로부터 얻은 휨인장강도를 사용하되, 실험자료가 없을 경우에는 다음 값을 적용한다.

㉠ 보통 콘크리트 $0.63\sqrt{f_{ck}}$

㉡ 모래 경량 콘크리트 $0.54\sqrt{f_{ck}}$

㉢ 전 경량 콘크리트 $0.47\sqrt{f_{ck}}$

㉱ 정착부의 지압응력

부재단부에 적절한 철근을 배치한 포스트텐션 부재의 정착장치에 의해 발생되는 콘크리트의 지압응력은 다음 값 이하로 해야 한다.

㉠ 긴장재 정착 직후 $0.7f_{ci}\sqrt{A'_b/A_b-0.2} \le 1.1f_{ci}$

㉡ 프리스트레스 손실 발생 후 $0.5f_{ck}\sqrt{A'_b/A_b} \le 0.9f_{ck}$

다. 철근의 허용응력

㉮ 휨철근의 허용응력 : $f_{sa}=0.50f_y$ ($130\ \text{MPa} \le f_{sa} \le 180\ \text{MPa}$)

㉯ 압축철근의 허용응력: 철근의 항복강도의 40%

③ 시공 이음부 단면

가. 철근은 이음부를 관통해야 하며, 일반적인 단면과 같은 방법으로 검토해야 한다.

나. 시공 이음부 단면, 특히 박스거더의 복부판이나 바닥판과 같이 2단계로 시공된 수평 이음부 단면에는 건조수축의 차이에 의하여 전단응력이 발생하므로 이에 대비한 철근을 배근해야 한다.

④ 접속구(coupler)

접속 장치를 사용할 경우에는 동일한 단면에서 텐던 총면적의 50% 이하가 되도록 하며 연결부 보강을 엄밀히 검토해야 한다.

(2) Strain analysis

Strain and vibration of railway bridge shall be reviewed in accordance with 「8.6」.

(3) Design of factored load

① Shear design shall be in accordance with 「10.6.6」.

② Wind load and lifetime applicable to railway operation shall be assumed to not exceed an hour.

10.7.10 Bending strength

(1) General

Prestressed concrete member should be considered as a non-cracked section in case of bending with axial force. In calculating section properties, the transformed section area of steel reinforcement and/or prestressing steels shall be considered in both pre-tensioned and bonded post-tensioned members. Prior to bonding of prestressing steels, the transformed section are of pre-stressing area shall be excluded in the calculation of section properties.

(2) Rectangular section

① Design moment resistance, if the neutral axis is located within the flange of T-shaped section beam, shall be calculated by using the following <Eq. (10.7.18)>.

$$\phi M_n = \phi \left[A_{ps} f_{ps} d_p \left\{ 1 - 0.59 \frac{\rho_p f_{ps}}{f_{ck}} \right\} \right] \qquad (10.7.18)$$

$$= \phi \left[A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \right]$$

where, $a = \dfrac{A_{ps} f_{ps}}{0.85 f_{ck} b}$

② Design moment resistance shall be no more than the value calculated by using the following <Eq. (10.7.19)>, if reinforcement index $\rho_p f_{ps} / f_{ck}$ is higher than $0.36\beta_1$, in order to avoid brittle compressive failure of concrete.

$$\phi M_n = \phi [f_{ck} (0.36\beta_1 - 0.08\beta_1^2) b d_p^2] \qquad (10.7.19)$$

where, β_1 is the ratio between the depth of equivalent stress block and the distance to neutral axis.

(2) 변형 해석

철도교량의 변형과 진동은 「8.6항」의 규정에 따라 검토해야 한다.

(3) 계수하중 설계

① 전단설계는 「10.6.6항」을 따라야 한다.

② 풍하중과 선로 운영 적용의 존속시간은 1시간을 초과하지 않는다고 가정해야 한다.

10.7.10 휨강도

(1) 일반사항

프리스트레스트 콘크리트 부재는 규정된 사용하중 하에서 축력과 휨을 동시에 받는 경우 비균열단면으로 가정한다. 부재의 단면 성질을 계산하는 경우, 프리텐션 부재와 그라우팅이 된 포스트텐션 부재에서는 부착된 보강재의 환산단면적을 사용한다. 긴장재의 부착 전에는 덕트의 개방된 단면적은 제외된다.

(2) 사각형 단면

① 사각형 단면 또는 중립축이 플랜지내에 있는 플랜지를 갖는 단면에 대한 설계휨강도는 <식 (10.7.18)>과 같이 계산한다.

$$\phi M_n = \phi\left[A_{ps} f_{ps} d_p\left\{1 - 0.59\frac{\rho_p f_{ps}}{f_{ck}}\right\}\right] \qquad (10.7.18)$$

$$= \phi\left[A_{ps} f_{ps}\left(d_p - \frac{a}{2}\right)\right]$$

여기서, $a = \dfrac{A_{ps} f_{ps}}{0.85 f_{ck} b}$

② 강재지수 $\rho_p f_{ps}/f_{ck}$가 $0.36\beta_1$보다 큰 사각형단면에 대한 설계휨강도는 압축측 콘크리트가 먼저 파괴되는 취성거동을 방지하기 위하여 <식 10.7.19> 값보다 크지 않게 취해야 한다.

$$\phi M_n = \phi[f_{ck}(0.36\beta_1 - 0.08\beta_1^2) b d_p^2] \qquad (10.7.19)$$

여기서, β_1: 등가직사각형 응력분포의 깊이와 중립축 거리와의 비

(3) T-shaped section with flange

① Design moment resistance shall be calculated by using <Eq. (10.7.20)>, if the thickness of flange is less than a or if the reinforcement ratio $[(A_{ps}-A_{pf})/b_w d]\, f_{ps}/f_{ck}$ is less than $0.36\beta_1$.

$$\phi M_n = \phi\left[(A_{ps}-A_{pf})f_{ps}\left(d_p-\frac{a}{2}\right)+0.85f_{ck}(b-b_w)h_f\left(d_p-\frac{h_f}{2}\right)\right] \quad (10.7.20)$$

where, $a=\dfrac{(A_{ps}-A_{pf})f_{ps}}{0.85f_{ck}b_w}$,

A_{pf} is the required amount of prestressing steel reinforcement corresponding to the flange in compression at ultimate state ($A_{pf}=0.85f_{ck}(b-b_w)\dfrac{h_f}{f_{ps}}$),

A_{pw} is the amount of prestressing steel reinforcement corresponding to the web in compression at ultimate state ($A_{pw}=A_{ps}-A_{pf}$).

Design moment resistance shall be no more than the value of <Eq. (10.7.21)> if the reinforcement ratio $[(A_{ps}-A_{pf})/b_w d]\, f_{ps}/f_{ck}$ is greater than $0.36\beta_1$.

$$\phi M_n = \phi\left[f_{ck}(0.36\beta_1-0.08\beta_1^2)b_w d_p^2+0.85f_{ck}(b-b_w)h_f(d_p-0.5h_f)\right] \quad (10.7.21)$$

(4) Tensile stress of prestressing steel at ultimate state (f_{ps})

① If f_{ps} is not exactly calculated based on the condition of compatibility, f_{ps} shall be approximately determined using <Eq. (10.7.22)> if f_{pe} is higher than $0.5f_{pu}$.

A. Bonded case

$$f_{ps}=f_{pu}\left[1-\frac{\gamma_p}{\beta_1}\left\{\rho_p\frac{f_{pu}}{f_{ck}}+\frac{d}{d_p}\left(\rho\frac{f_y}{f_{ck}}-\rho'\frac{f_y}{f_{ck}}\right)\right\}\right] \quad (10.7.22)$$

where, f_{pu} is the ultimate strength of prestressing tendon (MPa);

f_y is the yielding strength of steel reinforcement (MPa);

f_{ck} is the compressive strength of concrete (MPa);

γ_p is a coefficient corresponding to the ratio between the yielding strength (f_{ps}) and ultimate strength (f_{pu}) of prestressing tendon as follows: γ_p is 0.55 if $\dfrac{f_{py}}{f_{pu}} \geqq 0.80$; γ_p is 0.40 if $\dfrac{f_{py}}{f_{pu}} \geqq 0.85$; and γ_p is 0.28 if $\dfrac{f_{py}}{f_{pu}} \geqq 0.90$;

ρ_p is the reinforcement ratio of prestressing steel;

ρ is the tensile reinforcement ratio; and,

ρ' is the compressive reinforcement ratio.

(3) 플랜지를 갖는 단면

① 플랜지의 두께가 a보다 작거나 철근비$[(A_{ps}-A_{pf})/b_w d]f_{ps}/f_{ck}$가 $0.36\beta_1$이하이면 설계휨강도는 <식 10.7.20>과 같이 계산한다.

$$\phi M_n = \phi\left[(A_{ps}-A_{pf})f_{ps}\left(d_p-\frac{a}{2}\right)+0.85f_{ck}(b-b_w)h_f\left(d_p-\frac{h_f}{2}\right)\right] \quad (10.7.20)$$

여기서, $a=\dfrac{(A_{ps}-A_{pf})f_{ps}}{0.85f_{ck}b_w}$

A_{pf} : 플랜지를 갖는 단면의 플랜지가 극한 압축강도에 도달하는데 필요한 강재량

$$A_{pf}=0.85f_{ck}(b-b_w)\frac{h_f}{f_{ps}}$$

A_{pw} : 플랜지를 갖는 단면의 복부가 극한 압축강도에 도달하는데 필요한 강재량

$$A_{pw}=A_{ps}-A_{pf}$$

② 철근비 $[(A_{ps}-A_{pf})/b_w d]f_{ps}/f_{ck}$가 $0.36\beta_1$보다 큰 경우, 설계휨강도는 <식 (10.7.21)> 값보다 크지 않게 계산해야 한다.

$$\phi M_n = \phi\left[f_{ck}(0.36\beta_1-0.08\beta_1^2)b_w d_p^2+0.85f_{ck}(b-b_w)h_f(d_p-0.5h_f)\right] \quad (10.7.21)$$

(4) PS강재의 응력(f_{ps})

① 변형률 적합방법 등의 자세한 해석을 수행하여 얻은 정확한 강재의 응력 f_{ps}값을 모르는 경우에 대하여 f_{pe}의 값이 $0.5f_{pu}$이상이면 f_{ps}값을 <식 (10.7.22)>와 같이 근사적으로 취한다.

가. PS긴장재가 부착된 부재

$$f_{ps}=f_{pu}\left[1-\frac{\gamma_p}{\beta_1}\left\{\rho_p\frac{f_{pu}}{f_{ck}}+\frac{d}{d_p}\left(\rho\frac{f_y}{f_{ck}}-\rho'\frac{f_y}{f_{ck}}\right)\right\}\right] \quad (10.7.22)$$

여기서, f_{pu} : PS강재의 극한강도 (MPa)

f_y : 인장철근의 항복강도 (MPa)

f_{ck} : 콘크리트의 압축강도 (MPa)

γ_p : 긴장재의 항복비에 따른 계수

0.55 : $\dfrac{f_{py}}{f_{pu}} \geqq 0.80$; 0.40 : $\dfrac{f_{py}}{f_{pu}} \geqq 0.85$; 0.28 : $\dfrac{f_{py}}{f_{pu}} \geqq 0.90$

ρ_p : PS강재비

ρ : 인장철근비

ρ' : 압축철근비

If the compressive reinforcement ratio is considered in calculating f_{ps}, the value of <Eq. (10.7.22)> shall be higher than 0.17 and d' shall be lower than $0.15d_p$

B. Unbonded case

If the span to height ratio is less than 35, then

$$f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f_{ck}}{100\rho_p} \quad (10.7.23)$$

where, f_{ps} is lower than f_{py} or $(f_{pe} + 400)\,(\mathrm{MPa})$.

If the span to height ratio is more than 35, then

$$f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f_{ck}}{300\rho_p} \quad (10.7.24)$$

where, f_{ps} is lower than f_{py} or $(f_{pe} + 210)\,(\mathrm{MPa})$.

② At ultimate state, the tensile stress of prestressing tendon in precast deck plate shall be limited to

$$f_{ps} = 70\frac{L_x}{D} + \frac{2}{3}f_{pe} \quad (10.7.25)$$

and it shall be lower than f_{ps} in <Eq. (10.7.22)> to <Eq. (10.7.24)>.

where, D is the nominal diameter of prestressing tendon (mm); f_{pe} is the effective prestressing stress of the tendon; and L_x is the distance from the middle of panel to the end of tendon.

10.7.11 Limitations in the amount of steel reinforcement and prestressing tendon

(1) Maximum reinforcement of prestressing tendon

Maximum reinforcement of prestressing tendon is determined to generate the ductile tensile failure of prestressing steel by preventing the brittle compressive failure of concrete, when the prestressed concrete beam is at ultimate state. The reinforcing indices are as follows:

① Rectangular section

$$q_p = \rho_p \frac{f_{ps}}{f_{ck}} \quad (10.7.26)$$

② Section with flange

$$q_p = \frac{A_{pw}}{b_w d_p}\frac{f_{ps}}{f_{ck}} \quad (10.7.27)$$

f_{ps} 계산시 압축철근을 고려한다면 $\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f_{ck}} + \frac{d}{d_p}\left(\rho \frac{f_y}{f_{ck}} - \rho' \frac{f_y}{f_{ck}}\right)\right]$의 값이 0.17 이상이라야 하고, d'은 $0.15d_p$이하라야 한다.

나. PS긴장재가 부착되지 않은 부재

㉮ 지간과 높이의 비가 35이하인 경우

$$f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f_{ck}}{100\rho_p} \tag{10.7.23}$$

여기서, f_{ps}는 f_{py} 또는 $(f_{pe}+400)$(MPa)이하라야 한다.

㉯ 지간과 높이의 비가 35보다 큰 경우

$$f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f_{ck}}{300\rho_p} \tag{10.7.24}$$

여기서, f_{ps}는 f_{py} 또는 $(f_{pe}+210)$(MPa) 이하라야 한다.

② 계수하중에서 프리캐스트 바닥판 슬래브(deck panel)의 PS강재의 응력은

$$f_{ps} = 70\frac{L_x}{D} + \frac{2}{3}f_{pe} \tag{10.7.25}$$

로 제한되며, <식 (10.7.22)>~<식 (10.7.24)>에 의한 f_{ps}보다 크지 않아야 한다.

여기서, D : 강연선의 공칭지름(mm)

f_{pe} : 손실이 일어난 후 긴장재의 유효프리스트레스(MPa)

L_x : 패널의 중심에서 긴장재 끝까지의 거리(mm)

10.7.11 철근 및 PS강재의 제한

(1) 최대 PS강재량

프리스트레스트 콘크리트 부재는 부재가 극한강도에 도달했을 때 PS강재가 항복하도록 설계한다. 프리스트레스트 콘크리트 부재가 극한상태에 도달할 때 콘크리트의 압축측이 먼저 파괴되는 취성파괴를 방지하고 인장측 보강재가 먼저 항복강도에 도달한 다음 연성을 발휘하는 연성파괴를 유도하기 위해서 최대 강재량을 제한한 것이다. 일반적으로, 강재지수는 <식 (10.7.26)>, <식 (10.7.27)>과 같이 표시된다.

① 사각형 단면

$$q_p = \rho_p \frac{f_{ps}}{f_{ck}} \tag{10.7.26}$$

② 플랜지를 갖는 단면

$$q_p = \frac{A_{pw}}{b_w d_p}\frac{f_{ps}}{f_{ck}} \tag{10.7.27}$$

The reinforcing index shall not exceed $0.36\beta_1$ and the design moment resistance of the prestressed concrete member shall be lower than <Eq. (10.7.19)> and <Eq. (10.7.21)> if the reinforcing index is higher than $0.36\beta_1$.

(2) Minimum reinforcement of prestressing steel

① In determining the minimum reinforcement of prestressing steel, design moment resistance shall be at least higher than cracking moment based on the modulus of rupture.

$$\phi M_n \geqq 1.2 M_{cr} \qquad (10.7.28)$$

where, $M_{cr} = (f_{ru} + f_{pe}) Z_c$

Equation (10.7.28) is prepared based on the intention of preventing sudden failure of prestressed concrete member immediately after first cracking. Prestressed concrete member designed according to this code or specification shall maintain further considerable bending moments even after first cracking and consequently generate considerable deflection.

If the design moment resistance (ϕM_n) is higher than 4/3 times factored moment (ϕM_u), this requirement (10.7.28) may not be applied.

② In case of precast prestressed concrete deck plate, minimum lateral steel reinforcement in cast-in-place slab shall be more than 600 mm per unit width (m).

(3) Steel reinforcement

① Steel reinforcement is considered to contribute to the design moment resistance. Steel reinforcements are assumed to be yield; thus, the tensile force by steel reinforcement is calculated by multiplying the section area of steel reinforcement by the yielding strength of steel reinforcement.

② If the stress of steel reinforcement is lower than the yielding strength of steel reinforcement, the tensile stress of steel reinforcement shall be calculated by using the compatibility condition.

A. Rectangular section

$$\frac{\rho f_y}{f_{ck}} \frac{d}{d_p} + \frac{\rho_p f_{ps}}{f_{ck}} - \frac{\rho' f_y}{f_{ck}} \leqq 0.36\beta_1 \qquad (10.7.29)$$

이 강재지수는 $0.36\beta_1$을 초과하지 않아야 하며 강재지수가 $0.36\beta_1$보다 큰 부재에서는 휨강도를 <식 (10.7.19)>과 <식 (10.7.21)>보다 크지 않아야 한다.

(2) 최소 PS강재량

① 프리스트레싱되지 않은 철근 및 PS강재량은 위험단면에서의 계수모멘트가 파괴계수에 기초를 하여 계산한 균열모멘트보다 최소한 1.2배 이상이 되도록 배치해야 한다.

$$\phi M_n \geqq 1.2 M_{cr} \tag{10.7.28}$$

여기서 $M_{cr} = (f_{ru} + f_{pe}) Z_c$

이 규정은 균열발생 후 즉각적으로 발생하는 급작스런 휨파괴를 방지하기 위한 것이다. 시방서 규정에 따라 설계된 휨부재는 그 부재의 휨강도에 도달하기까지는 균열이 발생한 후에도 상당한 하중이 추가로 재하되어야 한다. 그러므로 부재가 발휘할 수 있는 휨강도에 접근하게 되면 상당량의 처짐이 나타나게 되어 위험을 경고해 준다. 그러나 균열발생 후 즉각적으로 휨강도에 도달하게 되면 위험을 경고해주는 처짐이 생길 틈이 없이 파괴된다. 따라서 본 시방서에서는 적어도 균열하중의 1.2배에 견딜 수 있는 최소 강재량을 요구하고 있다.

검토 단면의 휨강도(ϕM_n)가 외력에 의한 계수모멘트(ϕM_u)의 4/3배 이상인 경우에는 이 규정을 따르지 않아도 된다.

② 프리캐스트 프리스트레스트 바닥판을 활용하는 경우 슬래브의 현장치기된 부분에 횡방향으로 배근되는 프리스트레싱되지 않은 철근의 최소량은 슬래브의 단위폭(m)당 600mm^2 이상이어야 한다.

(3) 철근

① 철근은 보의 계수 인장강도에 기여하는 것으로 고려한다. 이때 철근은 항복한 것으로 가정하며, 철근에 의한 인장력은 철근단면적에 철근의 항복강도를 곱한 것으로 계산한다.

② 항복강도보다 작은 응력이 발생하는 보강철근은 변형률 적합조건을 적용한 해석에 의해서 철근의 응력을 계산한다.

가. 사각형 단면

$$\frac{\rho f_y}{f_{ck}} \frac{d}{d_p} + \frac{\rho_p f_{ps}}{f_{ck}} - \frac{\rho' f_y}{f_{ck}} \leqq 0.36\beta_1 \tag{10.7.29}$$

B. Section with flange

$$\frac{A_s f_y}{b_w d f_{ck}} + \frac{A_{pw} f_{ps}}{b_w d_p f_{ck}} - \frac{A_s{}' f_y}{b_w d f_{ck}} \leqq 0.36\beta_1 \qquad (10.7.30)$$

In calculating the steel index in <Eq. (10.7.29)> and <Eq. (10.7.30)>, the web width shall be calculated to b and b_w, respectively. The member for which equations above are greater than $0.36\beta_1$, is excessively reinforced, resulting in failure on compression side first, and thus bending strength shall not be greater than specified in <Eq. (10.7.19)> and <(10.7.21)>.

10.7.12 Shear design

(1) General

① Prestressed concrete members, excluding solid slab and foundation, need to be reinforced with steel bars under pure shear and/or diagonal tension. The shear resistance of hollow slab should be carefully investigated. If the factored shear force V_u is lower than the half of the design shear resistance $1/2\phi V_c$, then no shear reinforcement is required.

② Shear reinforcements may include stirrups and wires welded perpendicular to the axis of member. Shear reinforcements should be arranged to the distance 'd' (effective depth of flexural reinforcement) from compression zone. Shear reinforcements should be located near to the surface of member with satisfaction to specifications for concrete cover and spacing between reinforcements.

③ Design shear resistance should be higher than the factored ultimate shear force.

$$V_u \leqq \phi(V_c + V_s) \qquad (10.7.31)$$

where V_u is factored shear force; V_c is nominal shear resistance by concrete; and, V_s is nominal shear resistance by stirrups.

④ Factored shear force V_u would be obtained at the section with a distance h/2 from the support.

⑤ Shear key should be installed in the web of precast segmental box girder to transfer the shear force especially on the segment near to pier. Shear stress transferred by shear key during segment erection should be more than $\frac{\sqrt{f_{ck}}}{6}$.

나. 플랜지를 갖는 단면

$$\frac{A_s f_y}{b_w d f_{ck}} + \frac{A_{pw} f_{ps}}{b_w d_p f_{ck}} - \frac{A_s' f_y}{b_w d f_{ck}} \leqq 0.36\beta_1 \tag{10.7.30}$$

<식 (10.7.29)>과 <식 (10.7.30)>에서 강재지수 계산시 복부폭을 b와 b_w로 각각 계산한다. 위 식들이 $0.36\beta_1$보다 큰 부재에서는 압축측 콘크리트가 먼저 파괴되는 과다 보강으로 역시 휨강도를 <식 (10.7.19)>과 <식 (10.7.21)>보다 크지 않게 취해야 한다.

10.7.12 전단에 대한 설계

(1) 일반사항

① 속이 찬 슬래브와 기초를 제외한 프리스트레스트 콘크리트 휨부재는 전단과 사인장응력에 대해 보강해야 한다. 속이 빈 슬래브에 대해서는 전단에 대해 검토를 해야 하며, 계수전단력 V_u가 콘크리트가 부담하는 전단강도 ϕV_c의 1/2배보다 작으면 전단에 대한 보강은 생략해도 좋다.

② 전단철근은 부재축에 직각방향으로 있는 스터럽 또는 부재축에 직각방향으로 위치한 용접된 강선(wire)으로 이루어진다. 전단철근은 압축연단으로부터 d만큼 연장되어야 하고, 피복두께 규정과 다른 철근과의 근접이 허용되는 한도 내에서 부재의 압축면 및 인장면에 가깝게 배근해야 한다. 전단철근이 설계 항복강도를 발휘하도록 전단철근의 양 끝을 철근의 정착규정에 따라 정착해야 한다.

③ 전단력을 받는 부재는 다음 조건 <식 (10.7.31)>을 만족하도록 설계해야 한다.

$$V_u \leqq \phi(V_c + V_s) \tag{10.7.31}$$

여기서, V_u : 위험단면에서의 계수전단력

V_c : 콘크리트가 부담하는 공칭전단강도

V_s : 전단철근이 부담하는 공칭전단강도

④ 작용하중에 의한 반력이 부재의 단부 부근에 압축력을 유발할 때, 지점면으로부터 $h/2$보다 작은 거리에 위치한 단면은 $h/2$지점에서 계산한 계수전단력 V_u에 대해 전단설계를 한다.

⑤ 프리캐스트 세그멘탈 박스거더의 복부에는 가설하중에 의한 전단력을 전달하기 위해서 전단연결재(shear key)를 설치한다. 특히 교각 근처에 있는 세그멘트에서는 전단연결재에 반대의 전단응력이 발생할 수 있다. 세그멘트의 가설시 전단연결재에 의해 전달되는 전달응력은 $\frac{\sqrt{f_{ck}}}{6}$를 초과하지 못한다.

(2) Design

① Girders under shear should be designed as follows: 1) all the components, e.g., web plate and rib, of girders should satisfy both conditions corresponding to service load state (SLS) and ultimate load state (ULS); and, 2) the regions, in girder, for bearing and/or lower corner should be designed according to 「10.7.15 (4), (5)」.

② The stresses of concrete and prestressing tendons should be calculated according to 「10.7.7]; and, factored shear force V should be calculated by considering the reduction of self-weight if the changes in girder height is considerable. Then the reduced factored shear force is notated as V_{red}.

③ Prestressing tendon should not be used as shear reinforcements. to shear force

(3) Design at SLS

① Analysis:

A. the section of girder should be considered as a non-cracked section within linear elastic range;

B. longitudinal stress (f_x), transversal stress (f_t) and shear stress (τ) should be calculated by using effective section area and width;

C. the effective width of web would be calculated as follows:

(a) bonded case, $b_n = b_o - n\frac{\phi}{2}$ (10.7.32)

(b) unbonded case, $b_n = b_o - n\phi$ (10.7.33)

where, b_o is the minimum thickness of web plate; n is the total number of ducts in horizontal direction; and, ϕ is the outer diameter of duct.

D. if transversal prestressing tendons are perpendicular to neutral axis of girder, the longitudinal stress (f_x), transversal stress (f_t) and shear stress (τ) would be calculated by using the following equations:

$$f_x = f, f_t = \frac{P_t}{b_n S_t'}, \ \tau = \frac{V_{red} Q}{b_n I} \quad (10.7.34)$$

where, S_t' is the spacing between adjacent transversal prestressing tendons, and P_t is the tensile force per one transversal prestressing tendon.

② Allowable stresses:

A. Girder and one way slab:

(a) Allowable shear stress of concrete with no shear reinforcement: $\tau_{ca} = 0.08\sqrt{f_{ck}}$

(b) Allowable shear stress of concrete with shear reinforcement: $\tau_{ca} = 0.36\sqrt{f_{ck}}$

(2) 설계 원리

① 전단력에 영향을 받는 거더는 다음과 같이 설계해야 한다.

가. 복부판과 리브 등과 같은 모든 거더의 구성 요소들은 사용하중설계와 계수하중설계에 따라 설계해야 한다.

나. 거더의 받침부위와 하단 코너부에 대한 안정성은 이 설계기준 「10.7.15 (4),(5)항」에 따라 검토해야 한다.

② 응력은 이 설계기준 「10.7.7항」에 따라 산출해야 하며, 종방향의 프리스트레스 힘을 포함하여 외부 작용력에 의한 전단력 V는 거더 높이의 변화가 큰 경우 감소효과를 고려하여 산출해야 한다. 이 때 수정된 전단력은 V_{red}로 표기해야 한다.

③ 프리스트레싱은 전단력에 대한 전단철근으로 사용하여서는 안 된다.

(3) 사용하중설계

① 설계 해석

가. 거더는 비균열단면으로서 선형탄성변형의 가정을 도입하여 해석해야 하며, 종방향응력(f_x), 횡방향 프리스트레싱에 의한 횡방향응력(f_t, 횡방향 프리스트레싱이 없는 경우에는 f_t는 0이다) 및 전단응력(τ)을 고려하여 단면을 설계해야 하다.

나. f_x는 유효단면적을 고려하여 산출하며, f_t와 τ는 저항부재의 유효폭을 고려하여 산출해야 한다.

다. 복부판의 경우 유효폭은 다음과 같이 계산할 수 있다.

㉮ 강재 덕트가 그라우팅 되었을 경우 $b_n = b_o - n\frac{\phi}{2}$ (10.7.32)

㉯ 강재 덕트가 그라우팅 안 되었을 경우 $b_n = b_o - n\phi$ (10.7.33)

여기서, b_o는 복부판의 최소 두께이며, n은 수평방향에서의 총 덕트의 수이며, ϕ는 덕트의 외경이다.

라. Q횡방향 PS강재가 거더의 중립축과 직각을 이루는 경우의 각 응력은 <식 (10.7.34)>와 같이 구할 수 있다

$$f_x = f \qquad f_t = \frac{P_t}{b_n S_t'} \qquad \tau = \frac{V_{red} Q}{b_n I} \tag{10.7.34}$$

여기서, S_t'는 횡방향 PS강재의 배치간격,

P_t는 횡방향 PS강재 한 개의 긴장력

② 허용응력

가. 보와 일 방향 슬래브

㉮ 콘크리트의 허용전단 응력 : $\tau_{ca} = 0.08\sqrt{f_{ck}}$

㉯ 철근의 추가된 부재의 최대 전단 응력 : $\tau_{ca} = 0.36\sqrt{f_{ck}}$

B. Two way slab and foundation: $\tau_{ca} \leq 0.08\sqrt{f_{ck}}$

C. Shear stress during construction and under service load should be less than 3.0 MPa in order to avoid any micro cracks.

(4) Design at ULS

① General

A. Design at ULS should follow the design criteria in the section of 「10.7.9」.

B. Shear reinforcements should be placed at all the elements of prestressed concrete girders.

C. Shear force generated by dry shrinkage in construction joints should be fully resisted by shear reinforcements or stirrups.

D. The surfaces in construction joints should be roughed with 5 mm in height as noted in drawings.

② Nominal shear resistance by concrete

A. In the event that the member receives effective stress that is greater than 40% of tensile strength by flexural reinforcement, shear strength shall be in accordance with <Eq. (10.7.35)> if an accurate calculation according to [B] is impossible.

$$V_c = \left(0.05\sqrt{f_{ck}} + 4.9\frac{V_u\, d_p}{M_u}\right) b_w\, d_p \qquad (10.7.35)$$

However, V_c should be larger than $0.17\sqrt{f_{ck}}\, b_w\, d_p$ and smaller than $0.42\sqrt{f_{ck}}\, b_w\, d_p$ or the calculated value in [B]. In addition, $V_u\, d_p / M_u$ should not be greater than 1.0. In the <Eq. (10.7.35)>, V_u and M_u are section forces occurring simultaneously on the considered section. In the application of <Eq. (10.7.35)>, d_p is the distance from compressive top fiber to the centroid of prestressing tendon.

B. Shear strength resisted by concrete should be smaller value between the following V_{ci} and V_{cw}.

Shear strength V_{ci} can be calculated by using <Eq. (10.7.36)>,

$$V_{ci} = 0.05\sqrt{f_{ck}}\, b_w\, d_p + V_d + \frac{V_i\, M_{cr}}{M_{\max}} \qquad (10.7.36)$$

V_{ci} should not be less than $0.14\sqrt{f_{ck}}\, b_w\, d_p$ and d_p should not be less than $0.8h$. External factored load includes superposed dead load, soil pressure and live load. Both V_i and $M_{\max}$ shall be determined by the external factored load. In addition, cracking moment M_{cr} can be calculated by using <Eq. (10.7.37)>.

나. 2방향 슬래브와 기초 : $\tau_{ca} \le 0.08\sqrt{f_{ck}}$

다. 미세균열을 피하기 위해서 시공 중과 사용하중 작용시의 전단응력은 3.0 MPa을 넘을 수 없다.

(4) 계수하중설계

① 일반내용

가. 계수하중설계는 이 설계기준 「10.7.9항」에 따라야 한다.

나. 관련기관에서 규정한 아주 특별한 경우를 제외하고는, 중앙부의 단면을 포함하여 모든 프리스트레스 콘크리트 요소에 전단철근을 배치해야 한다.

다. 시공이음부에서 상·하 이음면의 건조수축의 차이에 의하여 발생하는 전단력은 이음면에 배치된 철근이 모두 부담하는 것으로 설계해야 한다.

라. 시공이음면은 최소 5mm 크기의 요철이 생기도록 거칠게 접촉면의 처리를 해야 하며, 이를 상세 도면에 표기해야 한다.

② 콘크리트가 부담하는 전단강도

가. 휨철근에 의한 전체 인장강도의 40%보다 큰 유효 프리스트레스 힘을 받는 부재의 경우, 「나.항」에 따라 좀 더 정밀한 계산이 되지 않으면 전단강도 V_c는 <식 (10.7.35)>에 따라야 한다.

$$V_c = \left(0.05\sqrt{f_{ck}} + 4.9\frac{V_u d_p}{M_u}\right) b_w d_p \qquad (10.7.35)$$

그러나 V_c는 $0.17\sqrt{f_{ck}}\, b_w d_p$ 보다 작지 않아야 하며, $0.42\sqrt{f_{ck}}\, b_w d_p$ 나 「나.항」의 값보다 크지 않아야 한다. 그리고 $V_u d_p / M_u$는 1.0보다 크지 않아야 한다. 여기서 V_u와 M_u는 고려단면에서 동시에 발생하는 단면력이다. <식 (10.7.35)>를 적용할 때, $V_u d_p / M_u$에서 d_p는 압축연단에서 프리스트레스 도심까지의 거리이다.

나. 콘크리트가 부담하는 전단강도 V_c는 다음의 V_{ci} 또는 V_{cw} 중에서 작은 값으로 해야 한다.

전단강도 V_{ci}는 <식 (10.7.36)>을 따라야 한다.

$$V_{ci} = 0.05\sqrt{f_{ck}}\, b_w d_p + V_d + \frac{V_i M_{cr}}{M_{\max}} \qquad (10.7.36)$$

이 값은 $0.14\sqrt{f_{ck}}\, b_w d_p$ 보다 작을 필요는 없고, d_p는 $0.8h$ 보다 작게 취할 필요가 없다. 외부에서 작용한 계수하중은 상재 고정하중, 토압, 활하중을 포함하며, 이 계수하중으로부터 V_i와 $M_{\max}$가 결정된다. 여기서, 외부하중에 의해 휨균열이 발생하는 균열모멘트는 <식 (10.7.37)>과 같다.

$$M_{cr} = \frac{I}{y_t}\left(0.5\sqrt{f_{ck}} + f_{pe} - f_d\right) \quad (10.7.37)$$

$M_{\max}$ and V_i on the considered section should be calculated from the load combination generating the maximum moment on the considered section.

Shear strength V_{cw} can be calculated by using <Eq. (10.7.38)>.

$$V_{cw} = \left(0.29\sqrt{f_{ck}} + 0.3\,f_{pc}\right) b_w\, d_p + V_p \quad (10.7.38)$$

where, d_p should not be smaller than 0.8h.

C. Reduced prestressing stress should be considered in calculating f_{cw} for pre-tensioned prestressed concrete members if the section distanced by 0.5h from support does not satisfy the minimum development length of prestressing tendon. It is assumed that the prestressing stress linearly changes from 0 at the end of prestressing tendon to maximum value at anchorage distance from the end of prestressing tendon. The development length of prestressing tendon can be assumed as 50 times the diameter for strand and 100 times for a single steel wire.

③ Shear strength resisted by shear reinforcements or stirrups

A. Shear strength resisted by steel reinforcements or stirrups can be calculated by using the following <Eq. (10.7.39)>.

$$V_s = \frac{A_v\, f_y\, d}{s} \quad (10.7.39)$$

where, A_v is section area of shear reinforcement within spacing s. V_s should not be greater than $\frac{2}{3}\sqrt{f_{ck}}\, b_w\, d$ and d is not necessarily less than 0.8h.

B. Spacing of shear reinforcement, s, should not be greater than 0.75h or 600 mm. But when V_s exceeds $\frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}\, b_w\, d$, maximum reinforcement spacing shall be reduced to the half of 0.75h or 600 mm.

C. Minimum shear reinforcement can be calculated by using the following <Eq. (10.7.40)>.

$$A_{v,\min} = 0.0625\sqrt{f_{ck}\frac{b_w s}{f_{yt}}} \quad (10.7.40)$$

Minimum shear reinforcement should be no less than $0.35 b_w s / f_{yt}$ where b_w and s would be in the unit of mm.

$$M_{cr} = \frac{I}{y_t}\left(0.5\sqrt{f_{ck}} + f_{pe} - f_d\right) \quad (10.7.37)$$

외부하중에 의해 발생하는 단면의 최대계수모멘트 $M_{\max}$와 전단력 V_i는 해당 단면에 최대모멘트를 유발하는 하중조합으로부터 계산해야 한다.

㉮ 전단강도 V_{cw}는 <식 (10.7.38)>을 따라야 한다.

$$V_{cw} = \left(0.29\sqrt{f_{ck}} + 0.3 f_{pc}\right) b_w d_p + V_p \quad (10.7.38)$$

여기서 d_p를 $0.8h$보다 작게 취할 필요는 없다.

다. 프리텐션 부재에서 지점면으로부터 $0.5h$ 거리에 있는 단면이 PS긴장재의 정착길이보다 더 가깝게 부재의 단부에 위치하면, f_{cw}를 계산할 때 감소된 프리스트레스를 고려해야 한다. 프리스트레스 힘은 PS강재의 끝에서 0, PS강재의 끝으로부터 정착길이와 같은 거리에서 최대값이 되는 직선적으로 변하는 값으로 가정해도 좋다. 정착길이는 강연선에 대해서는 지름의 50배, 단일 강선에 대해서는 지름의 100배로 가정해야 한다.

③ 전단철근이 부담하는 전단력

가. 전단철근이 부담하는 전단력은 <식 (10.7.39)>과 같다.

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (10.7.39)$$

여기서, A_v는 간격 s내에 있는 전단철근의 단면적이다. V_s는 $\frac{2}{3}\sqrt{f_{ck}}\, b_w d$ 보다 크게 취해서는 안 되고, d를 $0.8h$보다 작게 취할 필요는 없다.

나. 전단철근의 간격 s는 $0.75h$ 또는 600mm보다 커서는 안 된다. 다만 V_s가 $\frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}\, b_w d$ 를 초과하면 최대 철근간격은 1/2로 감소시킨다.

다. 전단철근의 최소 단면적은 <식 (10.7.40)>과 같다.

$$A_{v,\min} = 0.0625\sqrt{f_{ck}\frac{b_w s}{f_{yt}}} \quad (10.7.40)$$

그러나 최소 전단철근량은 $0.35 b_w s/f_{yt}$보다 작지 않아야 한다. 여기서, b_w와 s의 단위는mm이다.

D. Minimum shear reinforcement, if effective prestressing stress is larger than 40% of tensile strength of steel reinforcing bar, should be a smaller value between <Eq. (10.6.38)> and <Eq. (10.7.41)>.

$$A_{u,\min} = \frac{A_{ps}}{80}\frac{f_{pu}}{f_{yt}}\frac{s}{d}\sqrt{\frac{d}{b_w}} \qquad (10.7.41)$$

E. Design yielding strength of shear reinforcement, f_y, should not exceed 400 MPa. However, for deformed welded wire mesh, 500 MPa yielding strength would be allowed.

④ Horizontal shear resistance in composite member

A. Composite members in flexure should be firmly connected at the interface between flange and web girder by following 2) to 4) as follows in order to transfer the shear force at the interface as well as to prevent any slip at the interface.

B. Contact surface at the interface should be clean and artificially roughed. Moreover, minimum connecting rebars should be arranged according to 4). If the horizontal shear resistance at the interface is higher than the vertical shear force, then the composites members can be assumed to be firmly connected. Ifnot, the horizontal factored shear force should be carefully calculated according to 3) and 4) and then the shear resistance at the interface should be checked again.

C. Horizontal shear stress can be calculated as $\tau = V_u Q/(Ib_w)$. Shear resistance at the interface would be assumed as follows:

(a) If there are connecting rebars at the interface more than minimum requirement addressed in 4) ..... 0.52 MPa

(b) If there are connecting rebars at the interface more than minimum requirement addressed in 4) and contact surface at the interface is clean and artificially roughened..... 2.06 MPa

(c) When stirrup and vertical reinforcement across the connection exceeds minimum reinforcement requirements in 「④」, the following value per unit % of exceeded reinforcement shall be added to the value according to above provisions..... ..... 1.03 MPa

(d) All the connecting rebars at the interface should be covered by cast-in-place slab. Minimum total section area of vertical shear reinforcement per unit length of span (m) should not be less than section area of two D10 reinforcements at a 300 mm interval. The spacing of connecting rebars should be no greater than 4 times the average thickness of composite flange and/or 600 mm.

라. 휨철근 인장강도의 40% 이상의 유효 프리스트레스 힘이 작용하는 프리스트레스트 콘크리트 부재에 대한 최소전단철근량은 <식 (10.6.38)>과 <식 (10.7.41)>에 의해 구한 값 중 적은 값 이상으로 해야 한다.

$$A_{u,\min} = \frac{A_{ps}}{80}\frac{f_{pu}}{f_{yt}}\frac{s}{d}\sqrt{\frac{d}{b_w}} \qquad (10.7.41)$$

마. 전단철근의 설계 항복강도 f_y는 400MPa를 초과해서는 안 된다. 그러나 이형 용접강선망에 대해서는 항복강도 500MPa의 사용을 허용해야 한다.

④ 수평 전단설계 - 합성거더 휨부재

가. 합성거더 휩부재는 접촉면을 따라 전단력을 전달하고 각 요소의 분리를 방지하기 위해서 다음 「나.항~라.항」의 규정에 따라 서로 연결되어야 한다.

나. 접촉면을 깨끗하게 하고 인위적으로 거칠게 만들고, 「라.항」에 따라 최소 수직연결철근을 배근하고, 모든 스터럽을 교차하는 모든 요소에 완전하게 정착시키고, 그리고 복부부재 전체의 수직 전단력에 저항하도록 설계되었을 때에는 계수수평전단력이 완전하게 전달된다고 가정해야 한다. 그렇지 않으면 계수 수평전단응력은 「다.항」과 「라.항」에 따라 계산되고 제한되어야 한다.

다. 「나.항」의 규정 대신에 계수 수평전단응력은 $\tau = V_u Q/(I b_w)$ 식으로 계산할 수 있다. 계산된 전단응력에 저항하도록 하기 위하여 접촉면에서의 전단저항능력은 다음과 같이 가정해야 한다.

㉮ 「라.항」의 최소 연결철근 규정을 만족할 때…… 0.52 MPa

㉯ 「라.항」의 최소 연결철근 규정을 만족하고
프리캐스트 요소의 접촉면이 깨끗하고 인위적으로
거칠게 만들어 졌을 때 …… 2.06 MPa

㉰ 연결부위를 가로질러 배근된 스터럽과 수직연결철근이 「④항」의 최소철근 규정을 초과하는 경우에는 위의 두 규정에 의한 값에다 초과하는 철근량의 단위 %당 다음의 값을 추가해야 한다.
…… 1.03 MPa

라. 모든 전단철근은 현장치기 바닥판으로 연장되어야 한다. 지간의 단위길이(m) 당 수직 전단철근의 최소 총단면적은 300mm 간격으로 배근된 2개의 D10 철근 단면적보다 작지 않아야 한다. 전단철근은 수직연결(ties) 철근의 규정을 만족시키기 위해 사용해야 한다. 수직 연결철근의 간격은 합성플랜지의 평균두께의 4배 그리고 600 mm 보다 커서는 안 된다.

⑤ Horizontal shear design - composite box girder

Horizontal shear stress at the interface web and flange should not exceed $0.01 f_{ck}$.

(5) Total shear reinforcement - final Shear reinforcements for shear, torsion as well as prestressing delivery should not be less than A_{pt} as well as the value A_s x 1.5 or A_{pt} + A_s, whichever is less. Here, A_{pt} is prestressing transfer reinforcement and A_s is shear reinforcement.

10.7.13 Design for torsion

Design of the member subject to torsion should be in accordance with 「10.6.7」.

10.7.14 Anchorage zone design

(1) The prestressing force in a post-tensioned member is transferred, through anchorage zone, from the prestressing tendon to concrete by bearing. In the end zone of prestressed concrete members, the transversal dimension of anchorage zone would be determined as the height and width of concrete end zone whereas the longitudinal dimension of the anchorage zone may not be longer than the length of member or segment or the larger value in transversal dimension. In addition, the longitudinal dimension of anchorage zone may not be larger than 1.5 times the transversal dimension, whichever is the larger. In case of anchoring the tendon in the intermediate zone, additional development length, larger than the transversal dimension of anchorage zone, of prestressing tendon is required. The safety of anchorage zone should be checked through local analysis of anchorage or support zone as well as structural analysis. In case of multiple anchorages zones in slab, the width and height of anchorage zone should be determined as to be the spacing of tendon, but should not be greater than slab length in longitudinal direction. The thickness of anchorage zone should be same as the thickness of the slab.

(2) In a pre-tensioned member, the anchorage zone, from the end of the member to d/4 distance, should be reinforced with vertical reinforcements resisting 4% or more of total prestressing force in order to prevent bursting failure at the anchorage zone. The stress of vertical reinforcements within the anchorage zone should not be higher than l40 MPa. Steel reinforcements should be arranged to cover the prestressing tendon located especially in lower flange of the anchorage zone from the end of the member to d distance. In case of box girder, transversal stirrups or reinforcement should be arranged and extended to the web of box girder.

⑤ 수평 전단설계 - 박스거더

거더의 복부와 연결되는 일체로 치기된 헌치와 플랜지와의 접합부에서의 수평 전단응력은 $0.01 f_{ck}$를 초과하지 않아야 한다.

(5) 총 전단 철근 - 전단력, 비틀림과 프리스트레스 힘의 전달해석 등으로 인한 배치해야 할 최종 전단철근량은 A_{pt}보다 작지 않아야 하며, A_s에 1.5를 곱한 값과 A_{pt}와 A_s를 더한 값 중 작은 값보다 작지 않아야 한다. 여기서, A_{pt}는 프리스트레싱 전달 철근이며, A_s는 전단철근이다.

10.7.13 비틀림에 대한 설계

비틀림을 받는 부재의 설계는「10.6.7」비틀림에 대한 설계에 따라야 한다.

10.7.14 정착 구역 설계

(1) 포스트텐션 부재의 정착구역은 정착장치에 집중된 프리스트레스 힘을 횡방향으로 분산시켜 단면 전체에 선형의 응력 분포가 되도록 하는 콘크리트 부분을 말한다. 부재 또는 세그멘트의 단부에 있는 정착구역의 횡방향 규격은 단면의 깊이와 폭으로 취한다. 긴장재 방향으로의 정착구역 종방향 길이(정착장치 전방)는, 부재 길이나 세그먼트 길이를 초과할 수 없고 횡방향 규격 중 큰 값보다 작아서는 안되며 1.5배보다 커서도 안 된다. 중간에 정착되는 경우의 정착구역 길이는 정착장치 후방으로도 횡방향 규격 중 큰 값보다 작지 않은 거리만큼 연장해야 한다. 정착 구역은 정착부 해석을 위한 구역 설정 값이므로 긴장재 방향으로 동일한 단면을 유지할 필요는 없으나 정착부 및 받침부 국부 해석, 전체 구조계 해석 등에 의해 안전성이 확보되도록 해야 한다.

슬래브에서 여러 개의 정착장치를 사용하는 경우의 정착구역 폭과 길이는 응력이 작용하는 긴장재 중심 간격으로 하되, 긴장재 축방향으로의 슬래브 길이보다 커서는 안 된다. 정착 구역의 두께는 슬래브 두께와 같게 취한다.

(2) 프리텐션 부재에서는 정착구역 파열력에 대한 저항을 위해 긴장력 도입시 총 프리스트레스 힘의 4% 이상을 저항하도록 수직 철근을 보의 단부로부터 $d/4$ 지점 안에 수직철근을 배근해야 하고, 수직철근을 가능하면 단부 가까이에 위치시켜야 한다. 이때 철근의 응력은 140MPa을 초과할 수 없다. 보의 단부로부터 d거리까지는 하부 플랜지에 배치되는 PS강재를 감싸도록 공칭보강철근을 배근해야 한다. 박스 형상의 보에서는 횡방향 철근을 배근해야 하고, 박스 보의 복부까지로 철근을 연장시켜 정착해야 한다.

10.7.15 Review of Stability in anchorage zone, end strut and lower corner

(1) The stability in the anchorage zone, end strut and lower corner of railway bridges must be investigated.

(2) Process in prestressing transfer

① Introduction

A. When the prestressing tendon is anchored on a section S_a, prestressing stress would be transferred from the anchorage section S_a to general section S_a. Consequently, the stress distribution, due to prestressing effects, within a section would be changed from discontinuous to continuous distribution.

B. The process of prestressing transfer would generate both vertical stress (*f*) and shear stress (τ) in a section. Those stresses can be effectively represented by considering two dimensional principal stresses and axes.

C. Reinforcements for resisting the following effects are notated as follows:

(a) Surface effects: A_s

(b) Bursting effects: A_b

(c) Prestressing transfer effects: A_t

② Surface effects

A. The amounts of steel reinforcements for the surface effect (A_s) can be calculated by using <Eq. (10.7.42)>.

$$A_s = 0.04 \frac{\max(F_{j0})}{f_{s,\lim}} \qquad (10.7.42)$$

where, $f_{s,\lim}$ is the design strength of steel reinforcement, which is generally considered as $\frac{2}{3} f_{sy}$ and F_{j0} is the jacking force of prestressing tendon j.

B. A_s should be arranged immediately below the section where the prestressing force is applied.

③ Bursting effects

A. Bursting effects can be considered as follows.

B. Transversal tensile stress (f_{tej})of concrete owing to bursting effects can be calculated using <Eq. (10.7.43)> and should not be greater than 1.25 times of tensile strength (f_{tj}) of concrete.

$$f_{tej} = 0.5\left(1 - \frac{a_j}{d_j}\right) \frac{F_{j0}}{e' d_j} < 1.25 f_{tj} \qquad (10.7.43)$$

10.7.15 정착구역과 단부스트럿 및 하단 코너부의 안정성검토

(1) 많은 양의 PS강재가 배치되는 철도교량에 있어서 이 규정에 의한 검토를 누락하여서는 안 된다.

(2) 프리스트레스 힘의 전달 과정

① 서론

가. 단면 S_a에 PS강재가 정착될 경우, 정착단면 S_a로부터 일반단면 S_r로 프리스트레스 힘이 전달되면서 단면 내에서의 응력분포곡선은 비연속 분포로부터 점차적으로 선형 연속 분포로 바뀐다.

나. 위의 프리스트레스 힘의 전달과정에서 단면 내에는 수직응력(f)과 전단응력(τ)이 발생하게 되는데 이러한 3차원적인 현상은 단면내의 두 개의 주축을 고려하면 효과적으로 표현할 수 있다.

다. 다음의 각 영향에 저항하기 위하여 필요한 철근을 다음과 같이 정의한다.

㉮ 표면 효과 : A_s

㉯ 파열 효과 : A_b

㉰ 전달 : A_t

② 표면 효과

가. 표면 효과에 저항하기 위한 철근(A_s)량은 <식 (10.7.42)>으로부터 구할 수 있다.

$$A_s = 0.04\,\frac{\max(F_{j0})}{f_{s,\lim}} \qquad (10.7.42)$$

여기서, $f_{s,\lim}$은 철근의 설계강도로서 일반적으로 $\frac{2}{3}f_{sy}$이다.

F_{j0}는 PS강재 j의 긴장력

나. A_s는 단면 바로 밑에 배치해야 한다.

③ 파열 효과

가. 각 PS강재에 대해, 파열 효과에 대한 검토를 다음 방법에 따라 수행해야 한다.

나. <식 (10.7.43)>으로부터 구한 콘크리트의 횡방향 인장응력(f_{tej})은 콘크리트의 인장강도(f_{tj})의 1.25배보다 크지 않아야 한다.

$$f_{tej} = 0.5\left(1-\frac{a_j}{d_j}\right)\frac{F_{j0}}{e'd_j} < 1.25f_{tj} \qquad (10.7.43)$$

where, a_j is the size of anchor on the considered section; d_j is the size of the rectangle shown in Fig.10.7.1 and d should be the smaller value of c and c^*; and e' is the thickness of girder on the section BC at the transversal coordinate of t as shown in Fig. 10.7.4.

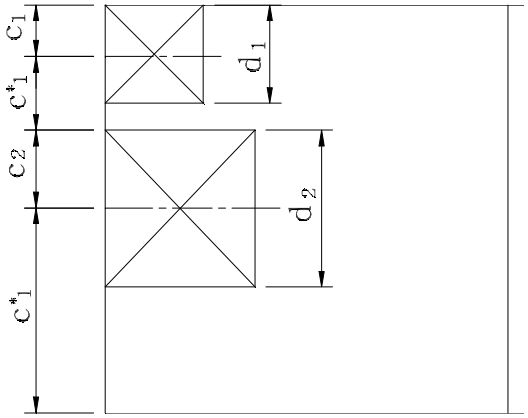


Fig. 10.7.1 - Symmetrical prism influenced by bursting effects

C. Compressive stress (f_{xmj}) of concrete calculated by using <Eq. (10.7.44)> should not be greater than 2/3 of the compressive strength of concrete.

$$f_{xmj} = \frac{F_{j0}}{e' d_j} < \frac{2}{3} f_{ck} \tag{10.7.44}$$

D. Bursting reinforcements for the j-th prestressing tendon can be calculated by using <Eq. (10.7.45)>.

$$A_{bj} = \frac{R_j}{k_j f_{s,\lim}} \tag{10.7.45}$$

where, k_j is 1.0 if a prestressing tendon is located on the side; k_j is 1.5 if a prestressing tendon is located in the middle; and, $R_j = 0.25\left(1 - \frac{a_j}{d_j}\right) F_{j0}$ is a factor considering the bursting force.

E. Reinforcement (A_b) for bursting effect can be determined by using <Eq.(10.7.46)>.

$$A_b = \max \begin{cases} \max(A_{bj}) \\ 0.15 \dfrac{\max(F_{j0})}{f_{s,\lim}} \end{cases} \tag{10.7.46}$$

여기서, a_j 는 계산단면에서의 정착장치의 크기

d_j 는 <그림 10.7.1>에서 표현된 닮은 사각형의 크기, $d = 2 \times$ 작은 값(c, c^*)

e' 는 단면 횡좌표 t의 단면 BC에서의 거더의 두께 (<그림 10.7.4> 참조)

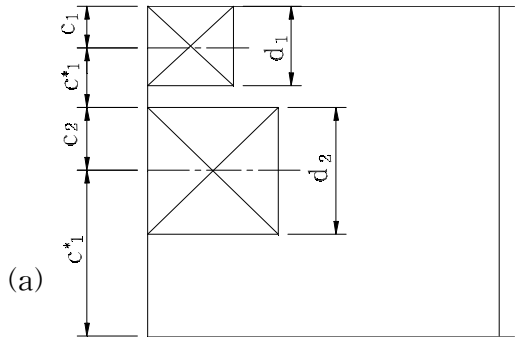


그림 10.7.1 대칭 프리즘에서의 파열효과

다. <식 (10.7.44)>으로 구한 콘크리트의 압축응력(f_{xmj})은 콘크리트의 압축강도의 2/3 보다 크지 않아야 한다.

$$f_{xmj} = \frac{F_{j0}}{e' d_j} < \frac{2}{3} f_{ck} \tag{10.7.44}$$

라. PS강재 j에 대한 파열 철근량은

$$A_{bj} = \frac{R_j}{k_j f_{s,\lim}} \tag{10.7.45}$$

여기서, $k_j = 1.0$ 는 외측 PS강재인 경우

$k_j = 1.5$ 는 중간에 위치한 PS강재인 경우

$R_j = 0.25 \left(1 - \frac{a_j}{d_j}\right) F_{j0}$ 는 파열력(bursting effort)

마. 최종적으로 파열 효과에 저항하는 철근량(A_b)는 <식 (10.7.46)>와 같이 정해야 한다.

$$A_b = \max \begin{cases} \max(A_{bj}) \\ 0.15 \dfrac{\max(F_{j0})}{f_{s,\lim}} \end{cases} \tag{10.7.46}$$

F. A_b should be arranged in the region from the anchorage section (S_a) to the distance of $\max(d_j)$ as shown in Fig. 10.7.2.

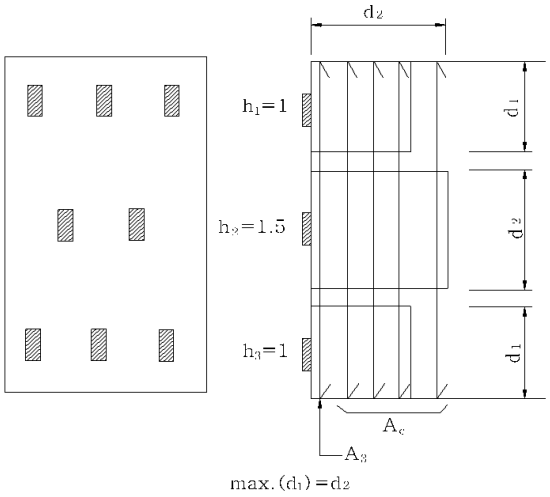


Fig. 10.7.2 Arrangement of reinforcements for bursting and surface effects

(3) Prestressing transfer

① Principle

A. Prestressing transfer should be considered for the worst case during construction or service period.

B. Followings should be considered in estimating the prestressing transfer.

(a) The length for prestressing transfer is assume to be the same as the section height.

(b) Force equilibrium condition within the length for prestressing transfer can be considered by simplifying the two followings:

(a) Concentrated prestressing forces can be translated trapezoidal stress distribution in checking the force equilibrium condition.

(b) The translated stress distribution should be balanced with opposite trapezoidal stress distribution as can be seen in the following figure. It is called as pure diffusion general balance.

바. A_b는 정착단면(S_a)으로부터 $\max(d_j)$ 떨어진 곳까지 배치해야 한다.

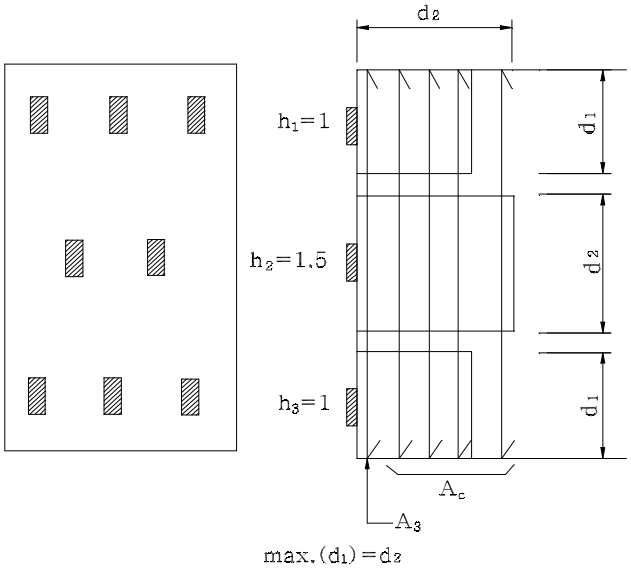


그림 10.7.2 파열효과와 표면효과에 대한 철근보강

(3) 프리스트레스 힘의 전달

① 원리

가. 프리스트레스 힘의 전달은 시공 중 또는 공용기간 중에서 가장 불리한 쪽에 대하여 계산해야 한다.

나. 프리스트레스 힘의 전달을 계산하기 위하여 다음의 가정을 도입해야 한다.

㉮ 도입길이는 단면의 높이와 같다.

㉯ 도입구간 내에서의 힘의 평형은 다음 두 가지 문제로 단순화시킬 수 있다.

㉠ 프리스트레스 집중력을 사다리꼴 분포의 하중으로 치환하여 도입구간 내의 평형조건을 적용해야 한다.

㉡ 프리스트레스 집중력과 앞의 경우와 반대 방향의 사다리꼴 분포력과의 평형조건을 적용해야 한다. 이러한 평형을 순수확산평형(pure diffusion general balance)이라 한다.

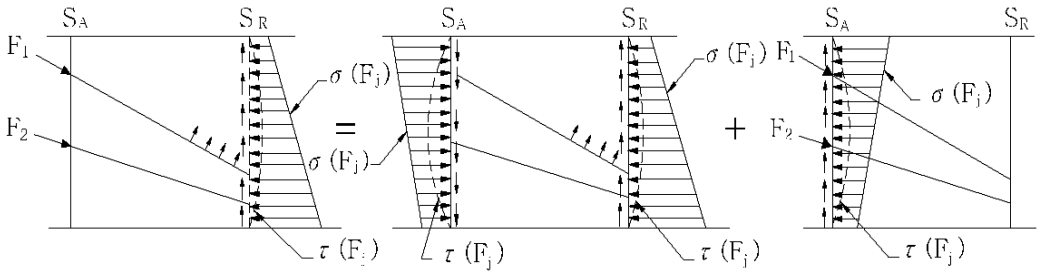


Fig. 10.7.3 Principle of prestressing transfer

C. Corresponding to the above assumptions, section forces during prestressing transfer can be calculated by using <Eq. (10.7.36)> to <Eq. (10.7.38)>.

(a) Shear force: $V_x(t) = F_{lx} - X$ (10.7.47)

(b) Bending moment: $M_t(t) = F_{lx}(t - c_1) - X\alpha + \frac{e}{2}(T - F_{lt})$ (10.7.48)

(c) Axial force: $N_t(t) = F_{lt} - T$ (10.7.49)

where, $\begin{cases} X = \int_{AB} f(F_j)\, e'\, dt \\ T = \int_{AB} \tau(F_j)\, e'\, dt \end{cases}$

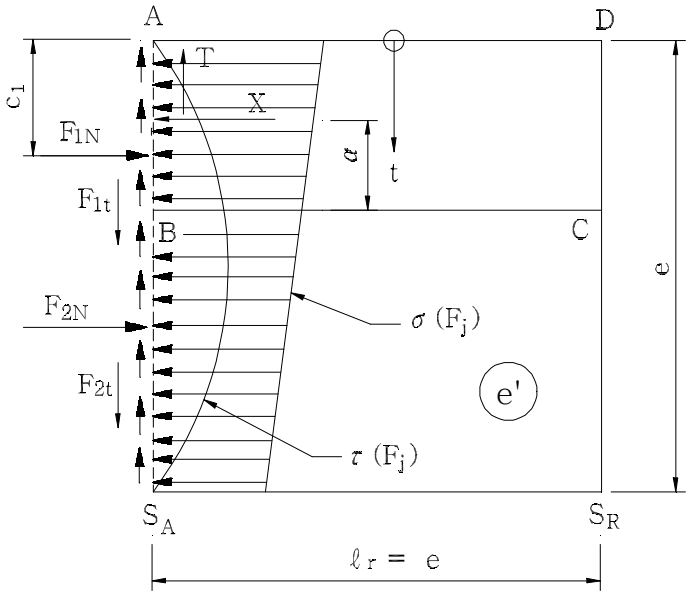


Fig. 10.7.4 Force equilibrium

D. Thus, transfer of prestressing force could be designed in two stages as follows:

(a) First stage is to determine the reinforcements for surface and bursting effects.

(b) Second stage is to determine the reinforcements for pure diffusion general balance.

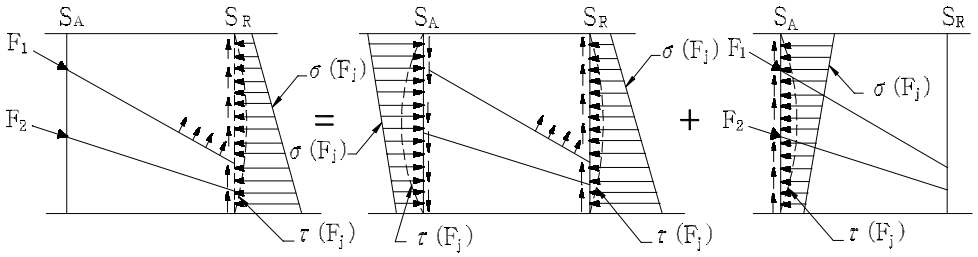


그림 10.7.3 프리스트레싱 전달 해석 원리

다. 앞의 가정으로부터 프리스트레스 힘의 전달과정에서 발생하는 단면력을 <식 (10.7.36)>~<식 (10.7.38)>과 같이 산출할 수 있다.

㉮ 전단력 : $V_x(t) = F_{lx} - X$ (10.7.47)

㉯ 휨모멘트 : $M_t(t) = F_{lx}(t-c_1) - X\alpha + \frac{e}{2}(T-F_{lt})$ (10.7.48)

㉰ 축력 : $N_t(t) = F_{lt} - T$ (10.7.49)

여기서, $\begin{cases} X = \int_{AB} f(F_j)\, e'\, dt \\ T = \int_{AB} \tau(F_j)\, e'\, dt \end{cases}$

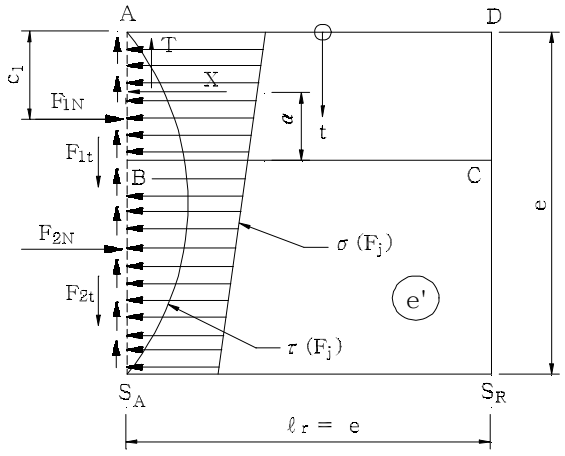


그림 10.7.4 작용력

라. 그러므로 프리스트레스 힘의 전달은 다음의 두 단계로 나누어 설계할 수 있다.

㉮ 첫 번째 조정 구역 : 표면 및 파열 효과에 대한 철근

㉯ 두 번째 조정 구역 : 순수확산평형에 대응하는 전달 철근

② Stress

A. Transferred shear stress at lateral coordinate t for all sections:

$$\tau_d = \frac{2V_x}{e' l_t} \tag{10.7.50}$$

where l_t is the length of prestressing transfer (same as section height); V_x is the horizontal force applied to the prism ABCD in Fig. 10.7.4.

B. Maximum shear stress at lateral coordinate t would be obtained as the sum of transferred shear stress (τ_d) and maximum shear stress (τ) determined from most unfavorable load combination. In calculation, maximum shear stress should not be greater than 1.5 times of tensile strength of concrete (f_{tj}) as shown in <Eq. (10.7.51)>.

$$\tau_{g,\max} = \max(\tau_d + \tau) < 1.5 f_{tj} \tag{10.7.51}$$

③ Reinforcement

A. The amounts of reinforcement to be placed between anchorage section (S_a) and general section (S_r) can be determined by using <Eq. (10.7.52)>.

$$A_t = \frac{| V_{xe} | - N_{te}}{f_{s,\lim}} \tag{10.7.52}$$

where, N_{tc} would be compressive force ($N_{tc} > 0$) or tensile force ($N_{tc} < 0$).

$$V_{xe} = V_x \left[1 - \left(\frac{f_{tj}}{3\tau_d}\right)^2\right] \tag{10.7.53}$$

If transferred shear stress (τ_d) is less than 1/3 of tensile strength (f_{tj}) of concrete, then concrete is assumed to resist all shear force.

B. If the amount of reinforcement A_t is less than $(A_s + A_b)$, no additional reinforcement for prestressing transfer is needed.

C. If the amount of reinforcement A_t is greater than $(A_s + A_b)$, the amount of reinforcement $(A_t - (A_s + A_b))$ should be placed within 2/3 of the length of prestressing transfer.

② 응력

가. 횡방향 좌표 t에서 모든 단면의 표준 전달 전단응력은:

$$\tau_d = \frac{2V_x}{e' l_t} \qquad (10.7.50)$$

여기서, l_t 는 도입길이(단면의 높이와 같다).

V_x 는 프리즘 ABCD에 작용하는 수평력.

나. 횡방향 좌표 t의 단면의 최대 전단응력은 전달전단응력(τ_d)과 가장 불리한 하중조합에 의하여 결정된 최대 전단응력(τ)과의 합이며 단면에 발생하는 최대 전단응력은 콘크리트의 인장강도(f_{tj})의 1.5배보다 크지 않아야 한다.

$$\tau_{g,\max} = \max(\tau_d + \tau) < 1.5 f_{tj} \qquad (10.7.51)$$

③ 철근

가. 정착단면(S_a)와 일반단면(S_r)사이에 배치해야 하는 철근량은 <식 (10.7.52)> 같이 결정할 수 있다.

$$A_t = \frac{|V_{xe}| - N_{te}}{f_{s,\lim}} \qquad (10.7.52)$$

여기서, N_{tc} 는 압축력($N_{tc} > 0$) 또는 인장력($N_{tc} < 0$)이 될 수 있다.

$$V_{xe} = V_x \left[1 - \left(\frac{f_{tj}}{3\tau_d}\right)^2\right] \qquad (10.7.53)$$

<식 (10.7.53)>에서 도입전단응력(τ_d)가 콘크리트의 인장강도(f_{tj})의 1/3보다 작아지면, 콘크리트가 전단력을 부담한다고 가정해야 한다.

나. 위에서 계산된 철근의 단면적 A_t이 $(A_s + A_b)$보다 작은 경우에는, 프리스트레스힘의 도입으로 인한 추가 철근은 필요하지 않다.

다. 위에서 계산된 철근의 단면적 A_t이 $(A_s + A_b)$보다 큰 경우에는, $A_t - (A_s + A_b)$의 철근량을 도입길이의 2/3 이내에 배치해야 한다.

D. The above specifications are corresponding to the end section of girder. For the middle section of the girder, a reduction coefficient should be multiplied to the calculated amounts of reinforcement. Those reduction factors are given in Table 10.7.3 according to construction stage.

Table 10.7.3 - Reduction coefficients of reinforcement introduced

	Reduction coefficient	Case 1	Case 2
PS steel	λs	1.0	1.0
	λb	1.0	1.0
	λt	0.6	1.0
Opposite side of PS steel	λs	0.6	0.3
	λb	0.6	0.3
	λt	0.6	0.3

Note) ① Case 1 is the middle section during construction while case 2 is the middle section but temporarily becomes end section during construction.

(4) End strut

① The applied force to girder is transferred to the support through a strut (MN) with an inclination angle (β_u) as shown in Fig. 10.7.5. β_u should not be less than 30°.

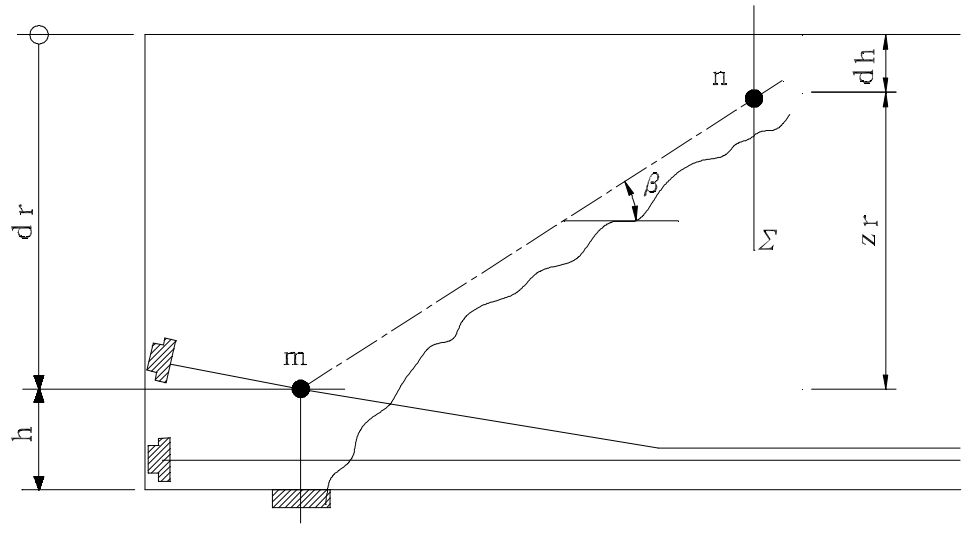


Fig. 10.7.5 End strut

② Pressure line in the block of the girder with a multiple PS strands is a dotted line indicating the acting line of PS steel anchored at the end of girder as shown in Fig. 10.7.6.

라. 위의 규정들은 모두 거더의 단부 단면에 대한 것으로서 중간부 단면에 대해서는 위에서 산정한 각각 철근 단면적에 각각의 계수를 곱함으로써 구할 수 있다. 이들 계수는 구조물의 단계별 시공 계획에 따라 <표 10.7.3>과 같이 정할 수 있다.

표 10.7.3 도입철근의 감소계수

(a)	감소계수	경우 1	경우 2
PS강재 측	λs	1.0	1.0
	λb	1.0	1.0
	λt	0.6	1.0
PS강재 반대측	λs	0.6	0.3
	λb	0.6	0.3
	λt	0.6	0.3

주) ① 경우 1은 시공 중 한 번도 단부 단면이 되지 않는 중간부 단면
② 경우 2는 시공 중 일시적으로 단부 단면이 되는 중간부 단면

(4) 단부 스트럿(end strut)

① 거더에서 작용하는 힘은 거더의 종방향 축으로부터 <그림 10.7.5>에서 β_u도 경사진 하나의 스트럿을 통하여 받침에 전달된다. 여기서 β_u는 30°보다 작아서는 안 된다.

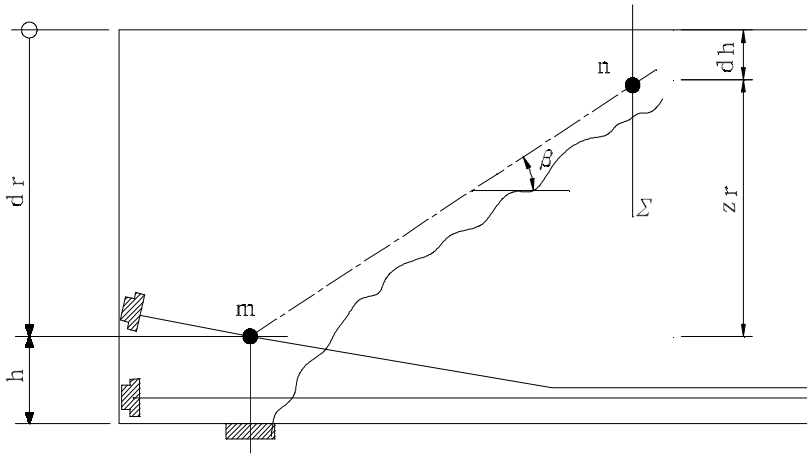


그림 10.7.5 단부 스트럿

② 여러 PS강재를 가지는 거더에서, 블록 내부의 압력선은 거더의 각 끝단에서 정착된 PS강재의 각 작용선을 보여주는 점선이다.

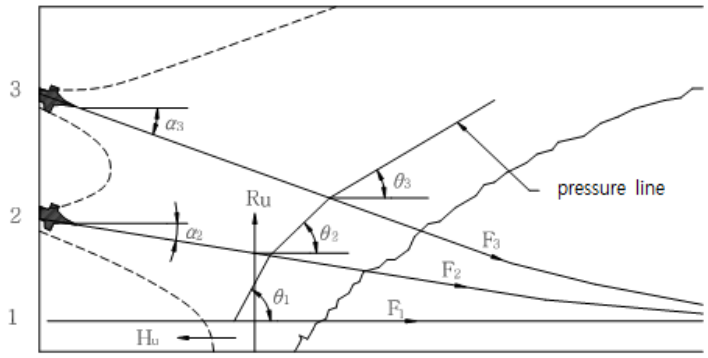


Fig. 10.7.6 - Pressure line

③ End strut should be designed as follows.

A. Calculate each θ_k of pressure line by using <Eq. (10.7.54)>.

(a) If the number for prestressing tendon is given in the order of proximity from the support, each θ_k of pressure line could be calculated by using <Eq. (10.7.54)>.

$$\tan\theta_k = \frac{R_u - \sum_{i=1}^{k} F_i \sin\alpha_i}{\sum_{i=1}^{k} F_i \cos\alpha_i - H_u} \tag{10.7.54}$$

where, α_i is the angle of i-th prestressing tendon, F_i is the length of i-th prestressing tendon, H_u is horizontal force on support (if any), and R_u is vertical force on support.

(b) In design, F_i in <Eq. (10.7.54)> might be replaced by $F_{i,\lim}$ that is the force obtained by multiplying $f_{i,\lim}$ with section area of i-th prestressing tendon.

$$f_{i,\lim} = \min \begin{cases} 1.2 f_{pm} \\ \dfrac{f_{py}}{\gamma_p} \end{cases} \tag{10.7.55}$$

where, f_{pm} is the expected tensile stress of prestressing tendon after jacking; f_{py} is the yielding strength of prestressing tendon; and, $\gamma_p = 1.15$ (in the combination of working load) or $\gamma_p = 1.00$ (in the combination of factored load).

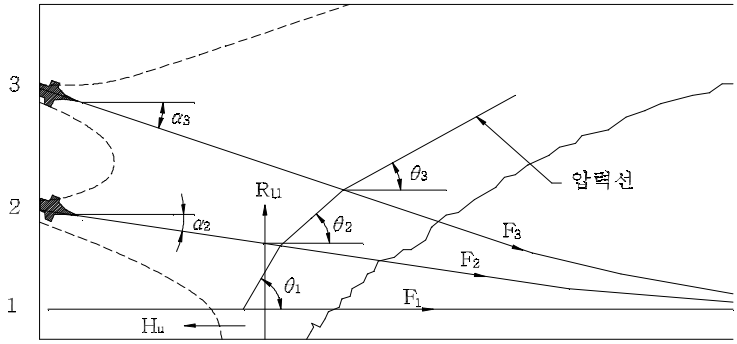


그림 10.7.6 압력선

③ 단부스트럿은 다음에 따라 설계해야 한다.

가. 압력선의 각 θ_k를 구해야 한다.

㉮ 받침에서 가까운 순으로 PS강재의 번호를 매기면, 압력선의 각 θ_k는 <식 (10.7.54)>으로 계산할 수 있다.

$$\tan\theta_k = \frac{R_u - \sum_{i=1}^{k} F_i \sin\alpha_i}{\sum_{i=1}^{k} F_i \cos\alpha_i - H_u} \tag{10.7.54}$$

여기서, α_i는 PS강재 i의 각

F_i는 PS강재 i의 인장

H_u는 받침에서 수평력(존재하면)

R_u는 받침에서 수직력

㉯ 실제의 설계에서는 <식 (10.7.54)>의 F_i는 $F_{i,lim}$로 치환할 수 있으며, $F_{i,lim}$는 $f_{i,\lim}$에 PS강재 i의 단면적을 곱한 힘이다.

$$f_{i,\lim} = \min\begin{cases} 1.2 f_{pm} \\ \dfrac{f_{py}}{\gamma_p} \end{cases} \tag{10.7.55}$$

f_{pm}은 긴장 후 PS강재의 예상응력,

f_{py}는 PS강재의 항복강도

$\gamma_p = 1.15$ (사용하중 조합의 경우)

$\gamma_p = 1.00$ (계수하중조합의 경우)

B. Find the location of r-th prestressing tendon, where pressure line angle becomes less than β_u.

(a) In the r-th prestressing tendon, if following condition is satisfied, the pressure line angle θ_k would be less than β_u.

$$\begin{cases} \tan\theta_k \leq \tan\beta_u \\ \tan\theta_{k-1} > \tan\beta_u \end{cases}$$

(b) Location of prestressing tendon would be valid only if <Eq. (10.7.56)> is satisfied:

$$\sum_i F_{i,\lim}\cos\alpha_i - H_u \geq \left(R_u - \sum_i F_{i,\lim}\sin\alpha_i\right)\cot\beta_u \qquad (10.7.56)$$

C. Establish the equation of force equilibrium in vertical direction.

(a) The height of end strut (z_r) would be calculated by using <Eq. (10.7.57)>.

$$z_r = d_r - d_b \qquad (10.7.57)$$

where, d_r is the distance from girder on support axis to r-th prestressing tendon; and, d_b is usually h/10 and h is girder height.

(b) General condition of force equilibrium on support area in vertical way is expressed as <Eq. (10.7.58)>:

$$W = R_u - \sum_i F_i\sin\alpha_i - \frac{z_r A_s f_{sy}\sin(\alpha+\beta_u)}{s_s\gamma_s\sin\beta_u} \qquad (10.7.58)$$

where, W is vertical force transferred by concrete; f_{sy} is the yielding strength of reinforcement; α is the inclination angle of stirrup between 45° and 90°; s_s is stirrup spacing; and, A_s is section area per stirrup.

D. Calculate the vertical reinforcement.

(a) Dividing the both sides of <Eq. (10.7.58)> by $b_n z$ would generate <Eq. (10.7.59)> as follows:

$$\frac{W}{b_n z} = \tau_{u,red} - \frac{z_r A_s f_{sy}\sin(\alpha+\beta_u)}{z b_n s_s\gamma_s\sin\beta_u} \qquad (10.7.59)$$

where, $V_{u,red} = R_u - \sum_i F_{i,\lim}\sin\alpha_i$; $\tau_{u,red} = \frac{V_{u,red}}{b_n z}$; $z = \frac{I}{Q}$.

나. 압력선의 각이 β_u 보다 작게 되는 PS강재 r의 위치를 찾는다.

㉮ PS강재 r에서 다음의 조건을 만족하면 압력선의 각이 β_u 보다 작게 된다.

$$\begin{cases} \tan\theta_k \le \tan\beta_u \\ \tan\theta_{k-1} > \tan\beta_u \end{cases}$$

㉯ PS강재 r의 위치는 <식 (10.7.56)>을 만족할 때에만 존재해야 한다.

$$\sum_i F_{i,\lim}\cos\alpha_i - H_u \ge \left(R_u - \sum_i F_{i,\lim}\sin\alpha_i\right)\cot\beta_u \qquad (10.7.56)$$

다. 수직력에 대한 평형방정식을 세운다.

㉮ 단부 스트럿 높이(z_r)를 <식 (10.7.57)>으로부터 구해야 한다.

$$z_r = d_r - d_b \qquad (10.7.57)$$

여기서, d_r 는 받침축에서의 거더 위에서 PS강재 r까지의 거리

d_b 는 일반적으로 $h/10$이며, h는 거더의 높이이다.

㉯ 수직력에 대한 받침면적의 일반적인 평형식은 <식 (10.7.58)> 같이 표현할 수 있다.

$$W = R_u - \sum_i F_i\sin\alpha_i - \frac{z_r A_s f_{sy}\sin(\alpha+\beta_u)}{s_s\gamma_s\sin\beta_u} \qquad (10.7.58)$$

여기서, W는 콘크리트에 의하여 전달된 수직력

f_{sy} 는 철근의 항복강도

α 는 스터럽의 경사각으로 45°와 90° 사이의 값

s_s는 스터럽의 간격

A_s는 스터럽 한 개의 단면적

라. 수직철근의 양을 산정해야 한다.

㉮ <식 (10.7.58)>의 양변을 $b_n z$ 으로 나누어 정리하면 <식 (10.7.59)>과 같이 된다.

$$\frac{W}{b_n z} = \tau_{u,red} - \frac{z_r A_s f_{sy}\sin(\alpha+\beta_u)}{z b_n s_s\gamma_s\sin\beta_u} \qquad (10.7.59)$$

여기서, $V_{u,red} = R_u - \sum_i F_{i,\lim}\sin\alpha_i$

$$\tau_{u,red} = \frac{V_{u,red}}{b_n z} \qquad z = \frac{I}{Q}$$

(b) Shear force (W) resistance by concrete should follow <Eq. (10.7.60)>:

$$W \leq b_n z \frac{f_{tj}}{3} \tag{10.7.60}$$

(c) The amounts of vertical reinforcement could be calculated using <Eq. (10.7.61)>:

$$\tau_{u,red} - \frac{z_r A_s f_{sy} \sin(\alpha + \beta_u)}{z b_n s_s \gamma_s \sin\beta_u} \leq \frac{f_{tj}}{3} \tag{10.7.61}$$

E. Vertical reinforcement calculated above should be adjusted depending on scale of z/z_r

(a) if $z_r \geq z$: No adjustment is required as vertical reinforcement is sufficient.

(b) if case of $z_r < z$: At the $z_r \cot\beta_u$ zone from support axis, vertical reinforcement should be increased by as much as z/z_r times.

(5) Stability in lower corner

① Lower corner should be designed to resist the separating force that intends to separate lower corner from inner side of the support.

② If the angle α which is the angle between the sum of all forces on expected bursting plane and vertical axis of bursting plane is not greater than internal friction angle of concrete β, no bursting occurs and thus lower corner shall be designed as follows.

A. Establish the equation of stability considering all forces on expected bursting plane.

$$\frac{A_l f_{sy}}{\gamma_s} \geq \lambda\left(R_u + F_{v,\lim}\right) + H_u - F_{H,\lim} \tag{10.7.62}$$

where, A_l is horizontal reinforcement; R_u is vertical force on support; H_u is horizontal force on support; $F_{H,\lim}$ is horizontal part of prestresing force anchored at corner; $F_{v,\lim}$ is vertical part of prestresing force anchored at corner; θ is the angle between expected bursting plane and vertical axis; and, $\beta = \arctan\frac{2}{3}$ is internal friction angle of concrete.

Moreover, λ can be calculated by using <Eq. (10.7.63)>.

$$\lambda = \frac{\cot\beta - \tan\theta}{1 + \cot\beta\tan\theta} \tag{10.7.63}$$

B. Horizontal reinforcement (A_l) should be calculated using the above equation.

㉯ 콘크리트가 부담하는 전단력(W)은 <식 (10.7.60)>과 같다.

$$W \le b_n z \frac{f_{tj}}{3} \tag{10.7.60}$$

㉰ <식 (10.7.61)>으로부터 수직철근의 양을 구할 수 있다.

$$\tau_{u,red} - \frac{z_r A_s f_{sy} \sin(\alpha+\beta_u)}{z b_n s_s \gamma_s \sin\beta_u} \le \frac{f_{tj}}{3} \tag{10.7.61}$$

마. 위에서 산정한 수직철근의 양을 z/z_r 의 크기에 따라 다음과 같이 조정해야 한다.

㉮ $z_r \ge z$ 인 경우: 수직철근의 양은 충분하므로 조정할 필요가 없다.

㉯ $z_r < z$ 인 경우: 받침 축으로부터 $z_r \cot\beta_u$ 구간에서, 수직철근의 양을 z/z_r 배 만큼 증가시킨다.

(5) 하단 코너부의 안정성

① 하단코너부는 받침 안쪽에서 시작하여 하단코너부를 분리시키려는 힘에 저항하도록 설계해야 한다.

② 예상 파열면에 작용하는 모든 힘의 합력이 파열면의 수직축과 이루는 각 α가 콘크리트의 내부마찰각 β보다 크지 않으면 파열은 발생하지 않으므로 하단코너부는 다음에 따라 설계해야 한다.

가. 예상 파열면에 작용하는 모든 힘에 대한 안정방정식을 세운다.

$$\frac{A_l f_{sy}}{\gamma_s} \ge \lambda\left(R_u + F_{v,\lim}\right) + H_u - F_{H,\lim} \tag{10.7.62}$$

여기서, A_l 는 수평 철근량

R_u 는 받침에서의 수직력

H_u 는 받침에서의 수평력

$F_{H,\lim}$ 는 코너에서 정착된 프리스트레스 힘의 수평부분

$F_{v,\lim}$ 는 코너에서 정착된 프리스트레스 힘의 수직부분

θ 는 예상 파열면과 연직축과 이루는 각

$\beta = \arctan\frac{2}{3}$ 는 콘크리트의 내부마찰각

$$\lambda = \frac{\cot\beta - \tan\theta}{1 + \cot\beta\tan\theta} \tag{10.7.63}$$

나. 위 식으로부터 수평 철근량(A_l)을 산정해야 한다.

C. Horizontal reinforcement should be more than the minimum reinforcement ($A_{t,\min}$) calculated by using <Eq. (10.7.64)>.

$$A_{t,\min} = \frac{0.04\,R_u}{f_{sy}} \times \gamma_s \times (5-4k) \qquad (10.7.64)$$

where, k would be determined as shown in <Fig. 10.7.9>.

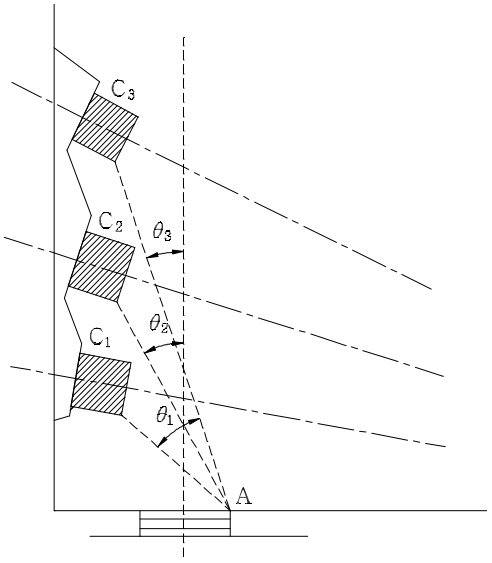
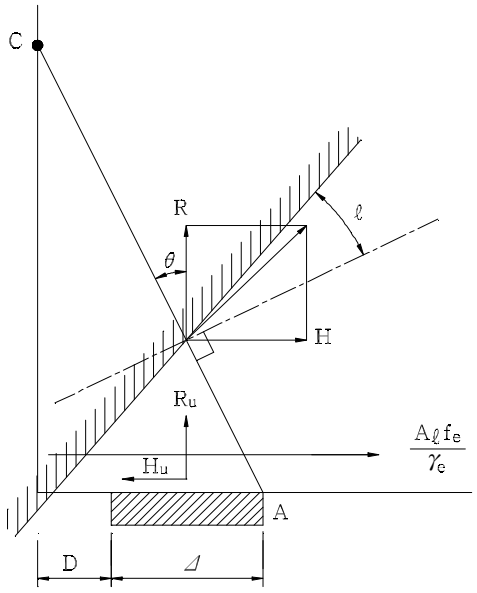


Fig. 10.7.7 Calculation method



$$R = R_u + F_{v,\lim}$$

$$H = \frac{A_\iota\, f_e}{\gamma_s} + F_{H,\lim} - H_u$$

Fig. 10.7.8 Calculation method

다. 수평철근량은 <식 (10.7.64)>으로 산정된 최소철근량($A_{t,\min}$) 이상이어야 한다.

$$A_{t,\min} = \frac{0.04\,R_u}{f_{sy}} \times \gamma_s \times (5-4k) \qquad (10.7.64)$$

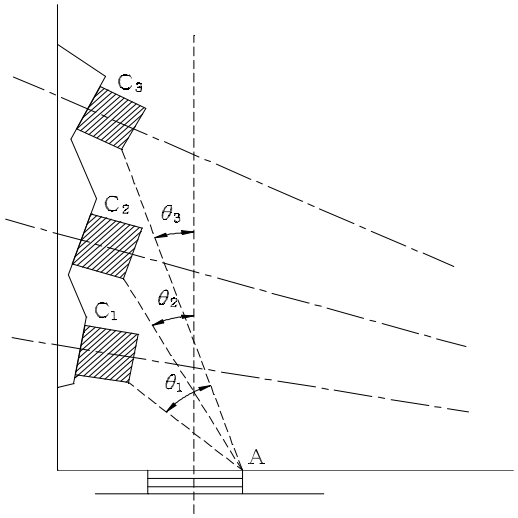
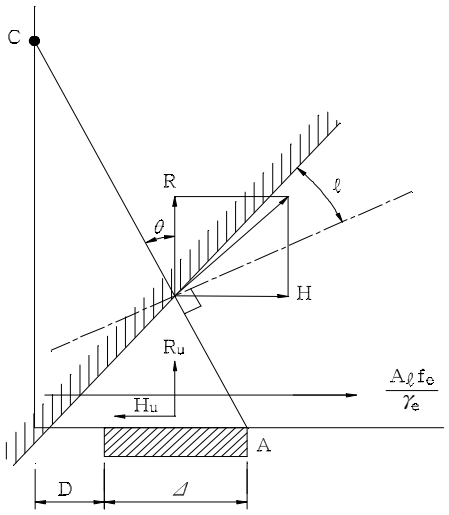


그림 10.7.7 계산방법



$$R = R_u + F_{v,\lim}$$

$$H = \frac{A_\iota f_e}{\gamma_s} + F_{H,\lim} - H_u$$

그림 10.7.8 계산 방법

where, k shall be determined as in <Fig. 10.7.9>:

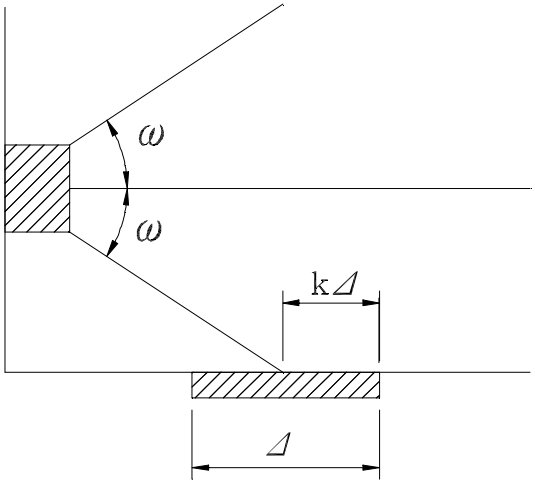


Fig. 10.7.9 Minimum reinforcement calculation method

10.7.16 Deck slab

(1) Prestressing should be applied to deck slab in a pre-tension or post-tension method. When deck slab is supported by girder, prestressing tendon of deck slab should be arranged perpendicular to girder. The surface of deck slab should be roughened to generate composite action between precast and cast-in-place concrete.

(2) The amount ($235\,\mathrm{mm}^2$) of reinforcements per unit width (m) should be reinforced by using steel reinforcements or equivalent steel wire meshes perpendicular to prestressing tendon.

(3) Design of prestressed concrete deck slab should 「10.10 Deck slab」.

10.7.17 Details of reinforcement

(1) Flange Reinforcement

Details of reinforcement for cast-in-place T-beam and box girder flange are as follows.

① Deck slab of T-beam and box girder

A. At least 1/3 of lower longitudinal bar of deck slab should be extended to the outer surface of girder and anchored using a 90° standard hook.

B. If deck slab is extended beyond the web of external girder, reinforcements should be extended to overhanging slab and anchored by standard hook after the outer surface of girder web.

② Bottom slab of box girder

A. Steel reinforcements, corresponding to 0.4% of flange section area, should be placed on bottom slab in parallel with girder span. The steel reinforcements may be arranged in a single layer but the spacing shall not exceed 450 mm.

여기서, k는 <그림 10.7.9> 같이 결정된다.

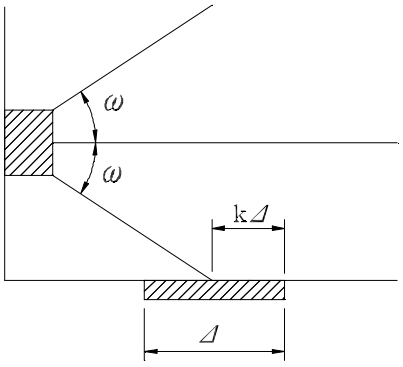


그림 10.7.9 최소 보강 계산 방법

10.7.16 바닥판

(1) 바닥판은 프리텐션 혹은 포스트텐션 방식으로 프리스트레스를 가한다. 바닥판이 거더에 지지되어 있을 때에는 바닥판의 PS강재는 거더의 방향과 직각방향으로 배치해야 한다. 프리캐스트 부분과 현장치기 콘크리트 부분이 일체로 거동하도록 바닥판의 상부표면은 거칠게 만들어야 한다.

(2) 바닥판의 단위폭(m)당 235mm²의 철근을 배근하기 위해 보강철근 또는 등가철망을 PS강재와 직각방향으로 배근해야 한다.

(3) 프리스트레스트 콘크리트 바닥판의 설계는 「10.10 바닥판」의 규정에 따른다.

10.7.17 구조상세

(1) 플랜지의 철근보강

현장치기 T형보와 박스거더 플랜지에 대한 철근보강은 다음과 같다.

① T형보와 박스거더의 바닥판 슬래브

가. 바닥판 슬래브의 종방향 보강철근 중에서 적어도 하부철근의 1/3은 거더의 외측면으로 연장시켜 90°표준갈고리로서 정착시켜야한다.

나. 바닥판 슬래브가 외측거더의 복부보다 연장되는 경우에는 철근을 내민슬래브까지 연장시켜야 하며, 거더 복부의 외측면을 지나서 표준갈고리에 의해 정착해야 한다.

② 박스거더의 하부슬래브

가. 플랜지 단면적의 0.4%에 해당하는 철근을 거더의 지간과 평행하게 하부슬래브에 배근해야 한다. 이때 철근은 한 층으로 배근해도 좋으며 철근의 간격은 450mm를 넘지 않아야 한다.

B. Steel reinforcements, corresponding to 0.5% of flange section area calculated from minimum thickness of slab, should be placed on bottom slab perpendicular to girder span. The steel reinforcements should be placed at both upper and lower sides, and spacing should not exceed 450 mm. All transverse reinforcement should be extended to the outer surface of the web of the outermost girder and anchored.

(2) Concrete cover and spacing for both steel reinforcements and prestressing tendons

① Minimum concrete covers are as follows.

A. Prestressing tendon and longitudinal reinforcements: 40 mm

B. Reinforcements in slab

(a) Upper part of slab: 40 mm

Upper part of slab when deicer is applied: 50 mm

(b) Lower part of slab: 30 mm

C. Stirrup and shear reinforcements: 30 mm

D. When deicer is applied, drainage should not continuously contact with prestressed concrete girder. If such contact is inevitable or the structural members are exposed to salt or chemicals, concrete cover should be increased.

E. When a prestressed concrete members are exposed to soil or a corrosive environment and the allowable tensile stress stipulated in 「10.7.9」 is exceeded, minimum concrete cover should be increased by 50% or more.

② Minimum spacing

A. At the end of beam or girder, net spacing between prestressing tendons should be as follows.

(a) In pre-tension prestressed concrete: 3 times reinforcement diameter or 4/3 of maximum aggregate size, whichever is greater.

(b) In post-tension prestressed concrete: 40 mm or 1.5 times maximum aggregate size, whichever is greater.

B. Prestressing tendons should be placed symmetrically and balanced in deck slab. The spacing of prestressing tendon should not be greater than 1.5 times of total thickness of composite slab or 400 mm.

③ Bundle of prestressing tendon

A. When prestressing tendons in post-tensioned members tend to sag vertically, maximum three ducts might be tied up in a bundle, and minimum spacing of tendon as stipulated in ② should be maintained within 1 m at the end of the member.

B. If prestressing tendons in pre-tensioned members are bundled, all tendons should be bundles at 1/3 of span in the middle and inflection point caused by secondary stress should be reviewed.

나. 슬래브의 최소 두께로부터 계산한 플랜지 단면적의 0.5%에 해당하는 철근을 거더의 지간과 직각으로 하부슬래브에 배근해야 한다. 이때 철근은 상하 양면에 배치하고 철근의 간격은 450mm를 넘지 않아야 한다. 하부 슬래브의 모든 횡철근은 거더 최외측 복부의 외측면까지 연장시켜서 정착해야 한다.

(2) 철근 및 PS강재의 피복두께와 간격

① 다음의 콘크리트 최소 피복두께는 철근 및 PS강재 모두에 적용된다.

가. PS강재 및 주철근 40mm

나. 슬래브의 보강철근

㉮ 슬래브의 상부 40mm

제빙제(de-icer)가 사용되었을 때의 슬래브의 상부 50mm

㉯ 슬래브의 하부 30mm

다. 스터럽 및 전단철근 30mm

라. 해빙제가 사용되었을 때에 배수로의 구조상세는 프리스트레스트 거더와 계속적인 접촉 없이 해빙제의 용해를 처리해야 한다. 이와 같은 접촉을 피할 수 없는 곳 또는 부재가 염분이나 화학물질에 노출된 곳에서는 콘크리트의 피복두께를 추가해야 한다.

마. 흙 및 외기에 노출되거나 부식환경에 노출된 프리스트레스트 콘크리트 부재로서 「10.7.9항」에 규정된 허용인장응력을 초과하는 경우에 최소 피복두께를 50% 이상 증가시켜야 한다.

② 최소간격

가. 보의 단부에서 PS강재의 최소 순간격은 다음과 같다.

㉮ 프리텐션의 강재 : 강재 지름의 3배 또는 콘크리트 최대 골재치수의 4/3배중에서 큰 값

㉯ 포스트텐션의 강재 : 40mm 또는 콘크리트 최대 골재치수의 1.5배중에서 큰 값

나. 바닥판에서의 PS강재는 바닥판의 폭에 걸쳐 대칭이며 균일하게 배치한다. PS강재의 간격은 합성 슬래브 총두께의 1.5배 또는 400mm보다 커서는 안 된다.

③ 다발

가. 포스트텐션 강재가 연직하향으로 처지는 경우 포스트텐션 덕트들을 최대 3개로 묶을 수 있으며, 이때 앞의 ②항에서 규정된 긴장재의 최소간격은 부재의 끝에서 1m 내에서 유지되도록 규정한다.

나. 프리텐션 강재가 다발지어 있으면 모든 다발은 보 지간의 중앙 1/3지점에서 이루어져야 하고, 2차응력에 의해 발생하는 반곡점을 검토해야 한다.

④ Duct

A. Internal section area of the duct for multiple tendons should be at least 2 times the net section area of prestressing tendons.

B. Internal diameter of the duct for single tendon should be larger than the nominal diameter of single tendon (wire, bar and strand) by 6.5 mm at least.

(3) Anchorage and coupler of prestressing tendon in post-tensioned members

① Anchorage, coupler and splices for prestressing tendons in post-tensioned members should be able to bear 95 % of the ultimate tensile strength of prestressing steel when they are not bonded. The development length of prestressing tendon under both working load and factored load should be sufficient to develop the minimum required value of ultimate strength of prestressing tendon. Couplers and splices should be placed at designated area by principal engineer and have sufficient housing to allow the movement required. If anchorages or couplers are located in a critical section under factored load, the ultimate strength of bonded prestressing tendon should not exceed the ultimate strength of bundled tendon including anchorage and coupler without being bonded.

② The anchorage for unbonded prestressing tendon should bear at least 95% ultimate strength of prestressing tendon. Total elongation of tendon under factored load should not be less than 2% of the value measured on 3 m minimum gauge length.

③ Unbonded prestressing tendons require dynamic tests for representative samples. No failure of tendon should occur until 500,000 cycles under periodic load with a magnitude of 60 to 66% of ultimate strength, and 50 cycles under periodic load with a magnitude of 40 to 80% of ultimate strength. Under periodic load, the magnitude of repeated load should vary from low to high and then low again. The samples for the second dynamic test is not necessarily the same as the specimen used for the first test. In testing the tendon comprised of multiple strands, wires and bars, tendon withless strength than a full size tendon shall be used. The tendon used for the test shall have the same behavioral pattern as a full size tendon, and in general the strength shall be 10% that of a full size tendon or more. When anchorage is not placed at the point where repeated load occurs or is not used in another way, no dynamic test of bonded tendon is required.

④ Coupler for unbonded tendon should be used only if engineer allowed for particular use. Couplers should not be used at a point with large curvature. All couplers should be able to maintain 95% or more of ultimate strength of prestressing tendon. Should the requirement of the tendon itself be satisfied, the coupler of tendon will not reduce elongation at failure. Coupler or components should have housing provided that the required movement is allowed. All coupler components should be completely protected by coating before concrete pouring.

④ 덕트의 크기

가. 다수의 강선(wire), 강봉(bar) 그리고 강연선(strand)으로 이루어진 긴장재의 덕트 내부단면적은 PS강재의 순 단면적의 2배 이상이어야 한다.

나. 단일강선(wire), 강봉(bar) 그리고 강연선(strand)으로 이루어진 긴장재의 덕트 내부지름은 강선, 강봉, 그리고 강연선의 공칭지름보다 최소한 6.5㎜이상 커야 한다.

(3) 포스트텐션 부재의 정착부 및 연결장치

① 부착된 포스트텐션 보강재에 대한 정착(anchorages), 연결구(couplers), 겹침이음(splices)은 부착되지 않은 상태에서 실험된 PS강재 극한강도의 최소값의 95%이상이 발휘되도록 해야 한다. 사용하중과 계수하중 하에서 총 프리스트레스 힘이 요구되는 구역과 정착부 사이의 부착정착길이는 PS강재의 규정된 극한강도의 최소값을 발휘하기에 충분해야 한다. 연결장치와 겹침이음은 책임기술자가 허가한 구역에 두어야 하고, 필요한 이동을 허용하기에 충분한 길이만큼의 장부촉이음(housing)을 해야 한다. 정착부나 이음부가 계수하중 하에서 위험단면에 위치할 때에는 부착된 긴장재에 대해 요구되는 극한강도는 부착되지 않은 상태에서 정착장치와 연결장치를 포함하여 실험된 긴장재 다발의 극한강도를 초과하지 않아야 한다.

② 부착되지 않은 긴장재의 정착장치는 PS강재의 규정된 극한강도의 최소값의 95%가 발휘되도록 해야 한다. 계수하중 하에서 긴장재의 총신장량은 3m의 최소 게이지 길이에서 측정된 값의 2%보다 작지 않아야 한다.

③ 부착되지 않은 긴장재에 대해서는 대표되는 시편에 대한 동적실험을 수행해야 한다. 응력수준이 규정된 극한강도의 최소값의 60~66%인 반복하중을 가했을 때에는 500,000회, 응력수준이 규정된 극한강도의 최소값의 40~80%인 반복하중을 가했을 때에는 50회 동안 긴장재는 파괴가 일어나지 않고 견뎌야 한다. 각각의 반복시간 동안 하중은 낮은 응력수준에서 높은 응력수준으로 다시 낮은 응력수준으로 변해야 한다. 두 번째 동적시험에 사용되는 시편은 첫 번째 시험시편과 같을 필요는 없다. 여러 개의 강연선, 강선, 강봉으로 이루어진 긴장재에 대한 실험은 실물 크기의 긴장재보다 작은 강도를 갖는 긴장재를 사용하여 실험을 한다. 실험한 긴장재는 실물 크기 긴장재의 거동과 같아야 하고, 일반적으로 실물 크기 긴장재의 강도의 10%이상은 되어야 한다. 정착장치가 반복하중이 작용하는 곳에 위치하지 않거나 그런 방식으로 사용되지 않았다면 부착된 긴장재에 대한 동적 실험은 필요치 않다.

④ 부착되지 않은 긴장재의 연결장치는 기술자에 의해 지시되거나 허락된 특별한 곳에서 사용한다. 연결장치는 긴장재의 곡률이 큰 곳에는 사용하지 않는다. 모든 연결장치는 PS강재 극한강도의 최소값의 95%이상이 발휘되도록 해야 한다. 긴장재 자체의 요구조건을 만족시키면 긴장재의 연결구는 파괴시의 연신율을 감소시키지는 않는다. 연결구나 연결장치 구성재는 필요한 이동을 허용하기에 충분한 길이만큼의 장부촉이음(housing)을 해야 한다. 모든 연결 구성에는 최종 콘크리트를 치기 전에 코팅재료를 사용하여 완전하게 보호해야 한다.

⑤ Anchorage, anchor, coupler and tendon exposed should be protected from corrosion.

(4) Anchoring PS strand

① 3-strand or 7-strand tendons require sufficient development length calculated by using <Eq. (10.7.65)> beyond the considered section.

$$l_d = 1.5(f_{ps} - \frac{2}{3}f_{pe})D \qquad (10.7.65)$$

where, l_d is development length (mm); D is nominal diameter of strand (mm); and the unit of f_{ps} , f_{pe} is MPa.

② Inspection of anchorage may be limited to the end of the member requiring design strength.

③ If strand is not bonded to the end of the member and tensile stress is allowed on prestressed tensile zone during working load, development length should be 2 times the value calculated in 「①」.

10.8 Slab

10.8.1 General

(1) 「10.8.2」in this provision shall apply to unidirectional slab and others shall apply to slab system which is reinforced bidirectionally, regardless of the beam between supports.

(2) Solid slab, joist or groove on rib due to permanent or removable filler or slab with holes shall be in accordance with this clause.

(3) Minimum thickness of slab designed according to this clause shall comply with 「Chapter 8 Bridge General」

(4) Symbol

b_1 = Width of dangerous section (mm) measured to the span where bending moment is determined

b_2 = Width of dangerous section(mm) measured in vertical direction to b_1

c_1 = Rectangular or equivalent rectangular column, column capital or bracket width (mm) measured in direction where bending moment is determined.

c_2 = Rectangular or equivalent rectangular column, column capital or bracket width (mm) measured in direction where bending moment is determined

⑤ 정착장치, 단부의 고정장치, 연결장치, 그리고 노출된 긴장재는 부식에 대해 완전하게 보호해야 한다.

(4) PS강연선의 정착

① 3연선 또는 7연선은 위험단면을 넘어 <식 (10.7.65)>의 정착길이 이상으로 부착시켜야 한다.

$$l_d = 1.5(f_{ps} - \frac{2}{3}f_{pe})D \qquad (10.7.65)$$

여기서, l_d : 정착길이(mm)

D: 강연선의 공칭지름(mm)

f_{ps} , f_{pe}의 단위는 MPa

② 정착에 대한 검사는 설계강도가 요구되는 부재의 각 단 부근의 단면으로 국한해도 좋다.

③ 강연선이 부재의 단부에서 부착되어 있지 않고, 미리 압축력을 준 인장구역이 사용하중 작용시에 인장응력이 허용되는 곳은 「①항」에서 계산된 정착길이를 2배로 해야 한다.

10.8 슬래브

10.8.1 일반내용

(1) 이 절의 규정 중에서 「10.8.2항」의 규정은 1방향 슬래브에 적용해야 하고, 그 외의 규정은 받침부 사이에 보의 유무에 관계없이 2방향 이상으로 휨 보강되는 슬래브 시스템 설계에 적용해야 한다.

(2) 속찬 슬래브와 장선 또는 리브 사이에 영구적이거나 제거할 수 있는 채움재에 의하여 움푹 파인 곳이나 구멍이 있는 슬래브도 이 절의 규정을 따라야 한다.

(3) 이 절의 규정에 따라 설계된 슬래브의 최소 두께는 「제8장 교량 일반사항」의 규정에 따라야 한다.

(4) 기호

b_1 = 위험단면에서 휨모멘트가 결정되는 경간방향으로 측정된 위험단면의 폭(mm)

b_2 = 위험단면에서 b_1에 수직한 방향으로 측정된 위험단면의 폭(mm)

c_1 = 휨모멘트가 결정되는 방향으로 측정된 직사각형 또는 등가직사각형의 기둥, 기둥머리 또는 브래킷의 폭(mm)

c_2 = 휨모멘트가 결정되는 경간방향과 수직된 방향으로 측정된 직사각형 또는 등가직사각형의 기둥, 기둥머리 또는 브래킷의 폭(mm)

C = Section constant defining torsional characteristic

$= \Sigma\left(1-0.63\frac{x}{y}\right)\frac{x^3 y}{3}$

C value of T or L-shaped section shall be calculated by dividing the section into several rectangular zones and adding C value of each zone.

E_{cb} = Elastic modulus of concrete used for beam

E_{cc} = Elastic modulus of concrete used for column

E_{cs} = Elastic modulus of concrete used for slab

h = Total thickness of the member (mm)

I_b = Moment of inertia for central axis of torsional beam section defined in 「10.8.3 (1) ④」

I_s = Moment of inertia for central axis of whole slab section

K_t = Torsional rigidity of torsional member. Torsional moment to unit rotation angle. See 「10.8.5 (5)」.

l_n = Clear span between supports measured in direction where bending moment is determined

l_1 = Span between supports measured in direction where bending moment is determined

l_2 = Span between supports measured in direction perpendicular to l_1. See 「10.8.4 (2) ③」 and 「10.8.4 (2) ④」.

M = Factored bending moment to which upper and lower column shall resist. See 「10.8.4 (9) ②」.

M_o = Total static factored bending moment to which load factor is applied

M_u = Factored bending moment of section

V_c = Nominal shear strength by concrete

V_u = Factored shear force of section

w_d = Factored fixed load per unit area

w_l = Factored live load per unit area

w_u = Factored load per unit area

x = Dimension of short side of rectangular part of section

y = Dimension of long side of rectangular part of section

α = Ratio of beam bending rigidity to the slab comprising the width divided by centerline of slab plate adjoining one or both sides of beam.

$= E_{cb} I_b / E_{cs} I_s$

α_1 = α in l_1 direction

α_2 = α in l_2 direction

C = 비틀림 성질을 정의하는 단면상수

$= \Sigma\left(1-0.63\frac{x}{y}\right)\frac{x^3 y}{3}$

T형 또는 L형단면의 C 값은 단면을 여러 개의 분리된 직사각형 영역으로 나눈 후 각 부분의 C 값을 더하여 산정해야 한다.

E_{cb} = 보에 사용되는 콘크리트의 탄성계수

E_{cc} = 기둥에 사용되는 콘크리트의 탄성계수

E_{cs} = 슬래브에 사용되는 콘크리트의 탄성계수

h = 부재의 전체 두께(mm)

I_b = 「10.8.3 (1) ④항」에 정의된 비틀림 보단면의 중심축에 대한 단면 2차 모멘트

I_s = 슬래브 전체 단면의 중심축에 대한 단면 2차 모멘트

$\left(\alpha$와 β_t에서 정의되는 슬래브 폭의 $\frac{h^3}{12}$배$\right)$

K_t = 비틀림 부재의 비틀림강성. 단위회전각에 대한 비틀림모멘트. 「10.8.5 (5)항」참조

l_n = 휨모멘트가 결정되는 방향으로 측정한 받침부 사이의 순경간

l_1 = 휨모멘트가 결정되는 방향으로 측정한 받침부 중심 사이의 경간

l_2 = l_1에 수직한 방향으로 측정한 받침부 중심 사이의 경간. 「10.8.4 (2) ③항」과 「10.8.4 (2) ④항」참조

M = 상하기둥이 저항해야 할 계수휨모멘트. 「10.8.4 (9) ②항」참조

M_o = 하중계수를 적용한 전체 정적 계수휨모멘트

M_u = 단면의 계수휨모멘트

V_c = 콘크리트에 의한 공칭전단강도

V_u = 단면의 계수전단력

w_d = 단위면적당 계수고정하중

w_l = 단위면적당 계수활하중

w_u = 단위면적당 계수하중

x = 단면의 직사각형 부분 중 단변의 치수

y = 단면의 직사각형 부분 중 장변의 치수

α = 보의 양 측 또는 한 측에 인접하여 있는 슬래브판의 중심선에 의해 구획된 폭으로 이루어진 슬래브의 휨강성에 대한 보의 휨강성의 비

$= E_{cb} I_b / E_{cs} I_s$

α_1 = l_1 방향으로의 α

α_2 = l_2 방향으로의 α

β_t = Ratio of torsional rigidity of spandrel beam to bending rigidity of slab with the same width as the span between supports of spandrel beam

$= E_{cb}C/2E_{cs}I_s$

γ_f = Ratio of bending moment transferred by slab section to total unbalanced bending moment transferred to slab-column joint. See 「10.8.3 (3)」

γ_v = Ratio of bending moment transferred by shear eccentricity of the slab around column to total unbalanced bending moment transferred to slab-column joint

$= 1-\gamma_f$

ρ = Tension reinforcement ratio

ρ_b = Balanced reinforcement ratio

ϕ = Strength reduction coefficient

10.8.2 Unidirectional slab

(1) Design principle

① Unidirectional slab supported only by two sides, face to face, shall be designed according to 「10.6」.

② Of the bidirectional slabs supported by 4 sides, it shall be considered as a unidirectional slab when the ratio of long side to short side exceeds 3 times; in such case, it shall be designed using a span in short side of slab according to 「10.6」, and the span used shall be in accordance with 「10.3.2 (8)」.

(2) Continuous slab which is monolithic with RC beam

① To calculate the bending moment and shear force of continuous slab which is monolithic with RC beam, elastic analysis may be used on the assumption of continuous beam on a simple support. Then, a span shall be in accordance with 「10.3.2 (8)」 and bending moment shall be modified for the design as follows.

A. Negative bending moment by live load in the middle of span shall be 1/2 of the value calculated.

B. Positive moment in the middle of span shall be more than the value calculated on the assumption that both ends are fixed.

C. When clear span exceeds 3.0 m, bending moment on inner side of clear span may be used. But such values shall be more than the bending moment of fixed end that has been calculated considering the clear span as a span.

② When deflection of the beam at both ends of slab is different, such effect shall be considered.

(3) Structure details

① Thickness of unidirectional slab shall be in accordance with 「Chapter 8」, and shall be at least 100 mm.

β_t = 테두리보의 받침부 중심 간의 경간과 동일한 폭을 가진 슬래브의 휨강성에 대한 테두리보의 비틀림강성의 비

$= E_{cb}C/2E_{cs}I_s$

γ_f = 슬래브-기둥 접합부에 전달되는 전체 불균형휨모멘트에 대한, 슬래브 단면의 휨에 의해 전달되는 휨모멘트의 비율. 「10.8.3 (3)항」참조

γ_v = 슬래브-기둥 접합부에 전달되는 전체 불균형휨모멘트에 대한, 기둥 주위 슬래브의 전단편심에 의하여 전달되는 휨모멘트의 비율

$= 1-\gamma_f$

ρ = 인장철근비

ρ_b = 균형철근비

ϕ = 강도감소계수

10.8.2 1방향 슬래브

(1) 설계 원칙

① 마주 보는 두 변에만 지지되는 1방향 슬래브는 「10.6항」의 규정에 따라 설계해야 한다.

② 4변에 의해 지지되는 2방향 슬래브 중에서 단변에 대한 장변의 비가 2배를 넘으면 1방향 슬래브로서 해석하며, 이 경우 일반적으로 슬래브의 단변방향의 경간을 사용하여 「10.6항」의 규정에 따라 설계해야 한다. 그리고 이 때 사용하는 경간은 「10.3.2 (8)항」의 규정에 따라야 한다.

(2) 철근콘크리트 보와 일체로 된 연속 슬래브

① 철근콘크리트 보와 일체로 만든 연속 슬래브의 휨모멘트 및 전단력을 구하기 위하여, 단순받침부 위에 놓인 연속보로 가정하여 탄성해석을 사용할 수 있다. 이 때 경간은 「10.3.2 (8)항」의 규정에 따라야 하고, 산정되는 휨모멘트는 다음과 같이 수정하여 설계해야 한다.

가. 활하중에 의한 경간 중앙의 부휨모멘트는 산정된 값의 1/2만 취할 수 있다.

나. 경간 중앙의 정휨모멘트는 양단 고정으로 보고 계산한 값 이상으로 취해야 한다.

다. 순경간이 3.0 m를 초과할 때 순경간 내면의 휨모멘트를 사용할 수 있다. 그러나 이 값들이 순경간을 경간으로 하여 계산한 고정단 휨모멘트 이상으로 해야 한다.

② 슬래브 양단부의 보의 처짐이 서로 다를 때는 그 영향을 고려해야 한다.

(3) 구조 상세

① 1방향 슬래브의 두께는 「제8장」을 따라야 하며, 최소 100 mm이상으로 해야 한다.

② Center-to-center spacing between positive moment reinforcement and negative moment reinforcement on a dangerous section shall be less than 2 times the slab thickness or less than 300 mm, and on other sections, it shall be less than 3 times the slab thickness , or less than 450 mm.

③ On unidirectional slab, shrinkage and temperature reinforcement shall be placed perpendicular to positive moment reinforcement and negative moment reinforcement according to 「10.4.8」.

④ When negative moment is caused by overhanging slab on simple support at the end of slab, reinforcement corresponding to this shall be placed.

⑤ Reinforcement shall be placed on top of the long side of slab to prevent the crack caused by negative moment on top of the beam which is perpendicular to the long side of slab. Arrangement shall be in accordance with 「A., B. and C.」.

A. Transverse reinforcement shall be designed for factored load applied to the flange assuming overhanging flange of T-beam as cantilever, and in case of independent T-beam, entire width of overhanging flange shall be considered effective width. For other T-beam, only effective width calculated using 「10.3.2 (5)」shall be considered.

B. Spacing of transverse reinforcement shall be 5 rimes or less of slab thickness and 450 mm.

C. Effective width b of T-beam with monolithic slab and beam shall be either of the following, whichever is less.

(a) T-beam

ⓐ (6 times flange thickness overhanging to both sides) + b_w

ⓑ Center-to-center distance between slabs at both sides

ⓒ 1/4 of the span of beam

(b) Semi T-beam

ⓐ (6 times flange thickness overhanging to either side) + b_w

ⓑ (1/12 of the span of beam) + b_w

ⓒ (1/2 of inner distance to neighboring beam) + b_w

10.8.3 Design process of bidirectional slab

(1) Definition

① Slab system can be supported by column or wall. When slab is supported by column, c_1, c_2 and clear span l_n shall be based on effective bearing section, which is defined by the contact surface at the bottom of the slab. Effective bearing section, when slab bottom surface or base plate is available, is defined as cut surface that is made by the bottom surface with the column or column capital at 45° from the column axis or the largest regular cone or wedge type surface.

② 슬래브의 정모멘트 철근 및 부모멘트 철근의 중심간격은 위험단면에서는 슬래브 두께의 2배 이하이어야 하고, 또한 300 mm이하로 해야 한다. 기타의 단면에서는 슬래브 두께의 3배 이하이어야 하고, 또한 450 mm이하로 해야 한다.

③ 1방향 슬래브에서는 정모멘트 철근 및 부모멘트 철근에 직각방향으로 수축·온도철근을 「10.4.8항」에 따라 배치해야 한다.

④ 슬래브 끝의 단순받침부에서도 내민슬래브에 의하여 부모멘트가 일어나는 경우에는 이에 상응하는 철근을 배치해야 한다.

⑤ 슬래브의 장변방향과 직교하는 보의 상부에 부모멘트로 인해 발생하는 균열을 방지하기 위하여 슬래브의 장변방향 상부에 철근을 배치해야 한다. 배치방법은 「가.항, 나.항, 다.항」을 따라야 한다.

가. 횡방향 철근은 T형보의 내민 플랜지를 캔틸레버로 보고 그 플랜지에 작용하는 계수하중에 대하여 설계해야 한다. 이 때 독립 T형보의 경우 내민 플랜지 전폭을 유효폭으로 보아야 하며, 그 밖의 T형보의 경우 「10.3.2 (5)항」에 따라 계산된 유효폭만 고려해야 한다.

나. 횡방향 철근의 간격은 슬래브 두께의 5배 이하로 해야 하고, 또한 450mm이하로 해야 한다.

다. 슬래브와 보를 일체로 친 T형보의 유효폭 b는 다음 중 가장 작은 값으로 결정해야 한다.

㉮ T형보

- (양쪽으로 각각 내민 플랜지 두께의 6배씩) $+b_w$
- 양쪽의 슬래브의 중심간 거리
- 보의 경간의 1/4

㉯ 반 T형보

- (한쪽으로 내민 플랜지 두께의 6배)$+b_w$
- (보의 경간의 1/12)$+b_w$
- (인접 보와의 내측거리의 1/2)$+b_w$

10.8.3 2방향 슬래브의 설계절차

(1) 정의

① 슬래브 시스템은 기둥 또는 벽체로 지지될 수 있다. 슬래브가 기둥들에 의해 지지될 경우에는 c_1과 c_2 그리고 순경간 l_n은 슬래브 하부의 접촉면에 의해 정의된 유효 지지단면에 근거해야 한다. 유효 지지단면은 슬래브의 바닥표면 또는 지판이 있는 경우는 이의 바닥표면이 기둥축을 중심으로 45° 내로 펼쳐진 기둥과 기둥머리 또는 브래킷 내에 위치한 가장 큰 정원추, 정사면추 또는 쐐기형태의 표면과 이루는 절단면으로 정의된다.

② Column strip refers to slab zone with 0.25 or 0.25, whichever is less, as the width of either side in both directions from the column centerline.

③ A middle strip refers to slab zone between two column strips.

④ When a beam and slab are a monolithic or complete composite structure, beam section shall include the slab extended to both sides as much as the height extended above or below the slab, whichever is greater, and the length extended to either side shall be 4 times slab thickness or less.

(2) Analysis and design method

① Slab system can be designed in any way that satisfies both balancing condition and geometric compatibility condition, but design strength of the section shall be more than the strength according to 「10.6.2」 and shall satisfy the usability requirements under working load such as the limit in deflection.

② Slab system including slab and support beam (if any) and column or wall that constitutes the crossing frame may be designed according to vertical load, using the direct design method according to 「10.8.4」 or equivalent frame method according to 「10.8.5」.

③ For analysis of lateral force of the frame where lateral displacement occurs, reinforcement and crack effect shall be considered when calculating the rigidity of the member.

④ When lateral load is applied to slab system, the analysis result shall be combined with the vertical load result.

⑤ Slab and beam (if any) between the supports shall be designed to resist factored bending moment occurring on all sections.

(3) Transfer of unbalanced bending moment

① When bending moment is transferred between slab and column by vertical load, wind load, seismic load or other lateral load, part of unbalanced bending moment shall be designed to be transferred to bending according to 「③」 and 「④」 below.

② Part of unbalanced bending moment which is not transferred by bending shall be designed to be transferred by shear eccentricity.

③ Among unbalanced bending moment, the part as much as $\gamma_f M_u$ shall be considered to be transferred by bending within effective width of slab. Here, effective width of slab refers to the width distanced by 1.5 times of slab or base plate thickness from the column or column capital in both directions, and M_u is unbalanced bending moment to be transferred, and γ_f can be calculated as per <Eq. (10.8.1)>:

② 주열대는 기둥 중심선을 기준으로 양쪽으로 $0.25l_2$와 $0.25l_1$중 작은 값을 한 쪽의 폭으로 하는 슬래브의 영역을 가리킨다.

③ 중간대는 두 주열대 사이의 슬래브 영역을 가리킨다.

④ 보가 슬래브와 일체로 되거나 완전한 합성구조로 되어 있을 때, 보의 단면은 보가 슬래브의 위 또는 아래로 내민 높이 중, 큰 깊이만큼을 보의 양측으로 연장한 슬래브 부분을 포함한 것으로서, 보의 한 측으로 연장되는 거리는 슬래브 두께의 4배 이하로 해야 한다.

(2) 해석 및 설계방법

① 슬래브 시스템은 평형조건과 기하학적 적합조건을 만족시킬 수 있다면 어떠한 방법으로도 설계할 수 있다. 다만 모든 단면의 설계강도가 「10.6.2항」을 적용한 소요 강도 이상이어야 하고 처짐의 제한 등 사용하중 하에서 사용성을 만족시켜야 한다.

② 슬래브와 이를 지지하는 보(보가 있을 경우) 및 이들과 직교 골조를 이루는 기둥 또는 벽체를 포함하는 슬래브 시스템은 연직하중에 대하여 「10.8.4항」에서 규정하고 있는 직접설계법이나 「10.8.5항」에서 규정하고 있는 등가골조법으로 설계할 수 있다.

③ 횡방향 변위가 발생하는 골조의 횡방향력 해석을 위해 골조 부재의 강성을 계산할 때 철근과 균열의 영향을 고려해야 한다.

④ 슬래브 시스템이 횡하중을 받는 경우 그 해석 결과는 연직하중의 결과와 조합해야 한다.

⑤ 받침부 사이의 슬래브와 보(보가 있을 경우)는 모든 단면에서 발생하는 계수휨모멘트에 저항할 수 있도록 설계해야 한다.

(3) 불균형휨모멘트의 전달

① 연직하중, 풍하중, 지진하중 또는 기타 횡방향 하중으로 인하여 슬래브와 기둥 사이에 휨모멘트가 전달될 때, 이 불균형휨모멘트 중 일부분은 다음 「③항」과 「④항」에 따라 휨으로 전달되도록 설계해야 한다.

② 휨에 의해 전달되지 않은 불균형휨모멘트의 부분은 전단편심에 의해 전달되도록 설계해야 한다.

③ 불균형휨모멘트 중에서 $\gamma_f M_u$만큼의 불균형휨모멘트는 슬래브 유효폭 내에서 휨에 의해 전달된다고 간주한다. 여기서 슬래브 유효폭은 기둥 또는 기둥머리면에서 양쪽으로 슬래브나 지판 두께의 1.5배($1.5h$)만큼 떨어진 폭을 말하고, M_u는 전달되는 불균형휨모멘트이며 γ_f는 <식 (10.8.1)>과 같이 구할 수 있다.

$$\gamma_f = \frac{1}{1+\frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_1}{b_2}}} \qquad (10.8.1)$$

④ If V_u of the support on edge is not more than $0.75\phi V_c$ or V_u of the support on corner is not more than $0.5\phi V_c$, when unbalanced bending moment is applied to the axis in parallel with the side of the external support, according to <Eq. (10.8.1)> γ_f may be increased to 1.0. In the event of unbalanced bending moment on internal support or unbalanced bending moment to the axis perpendicular to the side of external support, according to <Eq. (10.8.1)> γ_f may be increased by up to 25 % when V_u of the support is not more than $0.4\phi V_c$. Here, reinforcement ratio ρ within effective width of slab defined in 「10.8.3 (3) ③」 shall not exceed $0.375\rho_b$. Modification of γ_f shall not be allowed in a prestressed slab system.

⑤ Reinforcement may be concentrated around the column in a way of narrowing the spacing of reinforcement or adding the reinforcement to bear the bending moment within the effective width of slab, as defined in 「10.8.3 (3) ③」.

⑥ Design of the load transferred to the column and wall from the slab by shear and torsion shall be in accordance with 「10.6.6」.

(4) Base plate of flat slab

① When using base plate to reduce the reinforcement for negative moment on top of column on flat flange, the size of base plate shall be in accordance with 「②」 to 「④」.

② Base plate shall be extended in each direction by 1/6 or more of the span between the center of the supports.

③ The thickness of base plate extended to the slab shall be 1/4 or more of the slab thickness excluding overhang.

The thickness of base plate extended to the slab shall be 1/4 of the distance from outer side of base plate to the column or column capital or less.

10.8.4 Direct design method

(1) Limitation

① Slab systems meeting the conditions of 「②」 through 「⑧」 below shall be permitted to be designed by the direct design method.

② There shall be three or more continuous spans in each direction

③ Slab panels shall be rectangular, with the longer-to-shorter span ratio not greater than 2.

$$\gamma_f = \frac{1}{1+\frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_1}{b_2}}} \quad (10.8.1)$$

④ 외부 받침부의 변에 평행한 축으로 불균형휨모멘트가 가해질 때, 만약 가장자리 받침부의 V_u 값이 $0.75\phi V_c$를 넘지 않거나 모서리 받침부의 V_u값이 $0.5\phi V_c$를 넘지 않으면 <식 (10.8.1)>에 의한 γ_f 값은 1.0까지 증가시킬 수 있다. 내부 받침부에서 불균형휨모멘트나 외부 받침부의 변에 대해 직각인 축에 대한 불균형휨모멘트의 경우는 <식 (10.8.1)>의 γ_f값은 만약 받침부의 V_u 값이 $0.4\phi V_c$를 초과하지 않는 경우 25%까지 증가시킬 수 있다. 이 때 「10.8.3 (3) ③항」에 정의된 슬래브 유효폭 내의 철근비 ρ는 $0.375\rho_b$를 넘을 수 없다. 프리스트레스트 슬래브 시스템에서는 γ_f에 대한 수정을 할 수 없다.

⑤ 「10.8.3 (3) ③항」에서 규정된 슬래브 유효폭 내에서의 휨모멘트에 견디기 위하여 철근의 간격을 좁혀 배치하거나 철근을 추가함으로써 기둥 주위에 철근을 집중시켜 설계할 수 있다.

⑥ 전단과 비틀림에 의하여 슬래브로부터 기둥과 벽체로 전달되는 하중에 대한 설계는 「10.6.6항」에 따라야 한다.

(4) 플랫 슬래브의 지판

① 플랫 슬래브에서 기둥 상부의 부모멘트에 대한 철근을 줄이기 위하여 지판을 사용하는 경우 지판의 크기는 다음 「②항」에서 「④항」까지의 규정에 따라야 한다.

② 지판은 받침부 중심선에서 각 방향 받침부 중심간 경간의 1/6이상을 각 방향으로 연장시켜야 한다.

③ 지판의 슬래브 아래로 돌출한 두께는 돌출부를 제외한 슬래브 두께의 1/4이상으로 해야 한다.

④ 지판 부위의 슬래브 철근량 계산시 슬래브 아래로 돌출한 지판의 두께는 지판의 외단부에서 기둥이나 기둥머리면까지 거리의 1/4이하로 취해야 한다.

10.8.4 직접설계법

(1) 제한사항

① 직접설계법을 사용하여 슬래브 시스템을 설계하려면 다음 「②항」에서 「⑧항」까지의 규정을 만족해야 한다.

② 각 방향으로 3경간 이상이 연속되어야 한다.

③ 슬래브판들은 단변 경간에 대한 장변 경간의 비가 2이하인 직사각형이어야 한다.

④ Two successive spans in each direction, measured from the center-to-center of supports, shall not be differed by more than one-third of the longer span.

⑤ The offset of a column from the centerline of successive columns shall not be more than 10% of the span length in that direction.

⑥ All loads shall be vertical and uniformly distributed over entire slab panels. The live load shall not be greater than two times the dead load.

⑦ For a slab panel supported by beams on all sides, the stiffness ratio of beams in the two perpendicular directions shall be in accordance with <Eq. (10.8.2)>

$$0.2 \leq \frac{\alpha_1 {l_2}^2}{\alpha_2 {l_1}^2} \leq 5.0 \qquad (10.8.2)$$

⑧ Redistribution of bending moment to slab system designed through the direct design method shall be in accordance with 「10.8.4 (7)」.

⑨ If verifiable by an analysis method satisfying the requirements in 「10.8.3 (2)」, direct design method may be used even in the event of a slight deviation from the limitation in 「10.8.4 (1)」.

(2) Total factored static moment

① Total factored static moment for a span shall be calculated in a design strip bounded by the center lines of slab panels on both sides of the centerline of supports

② In each direction, the absolute sum of positive and average negative factored moments shall be not less than the following.

$$M_o = \frac{w_u l_2 {l_n}^2}{8} \qquad (10.8.3)$$

③ In case the transverse spans of slab panels on both sides of the centerline of supports are different, l_2 in <Eq. (10.8.3)> shall be taken as the average of the two transverse spans.

④ For a span adjacent and parallel to an edge, l_2 in <Eq. (10.8.3)> shall be taken as the distance from the edge to the panel centerline.

⑤ Clear span l_n is a distance from the face to face of columns, capitals, brackets, or walls. l_n in <Eq. (10.8.3)> shall not be less than $0.65\, l_1$. Circular or regular polygon-shaped supports shall be considered as a square support with the same area.

(3) Positive and negative factored bending moment

① Negative factored bending moment shall be considered to be on the inner side of the rectangular support. A circular or regular polygonal support shall be handled after converting to a square support.

④ 각 방향으로 연속한 받침부 중심간 경간길이의 차이는 긴 경간의 1/3 이하이어야 한다.

⑤ 연속한 기둥 중심선으로부터 기둥의 이탈은 이탈방향 경간의 최대 10%까지 허용할 수 있다.

⑥ 모든 하중은 연직하중으로서 슬래브판 전체에 등분포되어야 한다. 활하중은 고정하중의 2배 이하이어야 한다.

⑦ 보가 모든 변에서 슬래브판을 지지할 경우, 직교하는 두 방향에서 <식 (10.8.2)>에 해당하는 보의 상대강성은 0.2이상 5.0이하이어야 한다.

$$\frac{\alpha_1 {l_2}^2}{\alpha_2 {l_1}^2} \qquad (10.8.2)$$

⑧ 직접설계법으로 설계된 슬래브 시스템에 대한 휨모멘트 재분배는 「10.8.4 (7)항」을 참조해야 한다.

⑨ 「10.8.3 (2)항」의 규정을 만족시키는 해석방법에 의해 증명할 수 있다면 「10.8.4 (1)항」의 제한 규정을 다소 벗어나도 직접설계법을 적용할 수 있다.

(2) 전체 정적 계수휨모멘트

① 어느 한 경간의 전체 정적 계수휨모멘트는 받침부를 잇는 중심선의 양측에 있는 슬래브판 중심선에 의해 구분되는 설계대에서 결정해야 한다.

② 정계수휨모멘트와 평균 부계수휨모멘트의 절대값의 합은 어느 방향에서나 <식 (10.8.3)>이상으로 해야 한다.

$$M_o = \frac{w_u l_2 {l_n}^2}{8} \qquad (10.8.3)$$

③ 받침부를 잇는 중심선으로부터 측정한, 인접한 양측 슬래브판의 횡방향 경간이 서로 다른 경우, <식 10.8.3>의 l_2는 이들 횡방향 두 경간의 평균값으로 해야 한다.

④ 단부에 인접하고 이 단부에 평행한 경간을 고려할 경우, <식 (10.8.3)>의 l_2는 단부로부터 슬래브판 중심선까지의 거리로 한다.

⑤ 순경간 l_n은 기둥, 기둥머리, 브래킷, 또는 벽체의 내면 사이의 거리이다. 다만, <식 (10.8.3)>에서 사용된 l_n값은 $0.65\,l_1$ 이상으로 해야 한다. 원형이나 정다각형의 받침부는 똑같은 단면적을 갖는 정사각형 받침부로 환산하여 취급할 수 있다.

(3) 정 및 부계수휨모멘트

① 부계수휨모멘트는 직사각형 받침부의 내면에 위치하는 것으로 해야 한다. 원형이나 정다각형 받침부는 같은 면적의 정사각형 받침부로 환산하여 취급해야 한다.

② In inner span, total static factored bending moment M_o shall be distributed according to the following ratio.

A. Negative factored moment ……0.65

B. Positive factored moment ……0.35

③ In end span, total static factored bending moment $M_o$shall be distributed according to < Table 10.8.1>

Table 10.8.1 Distribution rate of positive & negative factored bending moment on end span

Category	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Unconstrained external support	Slab with beams between all supports	Slab without beams between internal supports		Fully constrained external support
			Without spandrel beam	With spandrel beam	
Negative factored bending moment of internal support	0.75	0.70	0.70	0.70	0.65
Positive factored bending moment	0.63	0.57	0.52	0.50	0.35
Negative factored bending moment of external support	0	0.16	0.26	0.30	0.65

④ If unbalanced bending moment is not analyzed in a way that distributes it according to the rigidity of neighboring member, negative bending moment section shall be designed to resist the larger bending moment of two negative factored bending moments determined at both spans of the support.

⑤ Slab end or spandrel beam shall be designed to resist the torsion as much as the distribution of negative factored bending moment of external support.

⑥ Bending moment to vertical load transferred to the part between the slab and external column according to 「10.8.3 (3) ②」 shall be $0.3M_o$.

(4) Factored bending moment of column strip

① Column strip shall be designed in order that negative factored bending moment of internal support can resist bending moment distributed at the rate in <Table 10.8.2>.

② 내부 경간에서는 전체 정적 계수휨모멘트 M_o를 다음과 같은 비율로 분배해야 한다.

가. 부계수휨모멘트 ····· 0.65

나. 정계수휨모멘트 ····· 0.35

③ 단부 경간에서는 전체 정적 계수휨모멘트 M_o를 <표 10.8.1>에 따라 분배해야 한다.

표 10.8.1 단부 경간에서 정 및 부계수휨모멘트의 분배율

구 분	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	구속되지 않은 외부 받침부	모든 받침부 사이에 보가 있는 슬래브	내부 받침부 사이에 보가 없는 슬래브		완전 구속된 외부 받침부
			테두리보가 없는 경우	테두리보가 있는 경우	
내부 받침부의 부계수휨모멘트	0.75	0.70	0.70	0.70	0.65
정계수휨모멘트	0.63	0.57	0.52	0.50	0.35
외부 받침부의 부계수휨모멘트	0	0.16	0.26	0.30	0.65

④ 만약 불균형휨모멘트를 인접한 부재의 강성에 따라 분배되도록 해석하지 않는다면, 부휨모멘트 단면은 받침부의 양쪽 경간에서 결정된 두 개의 부계수휨모멘트 중 큰 휨모멘트에 저항하도록 설계해야 한다.

⑤ 슬래브 단부 또는 테두리보는 외부 받침부의 부계수휨모멘트가 분배되는 만큼의 비틀림에 저항하도록 설계해야 한다.

⑥ 「10.8.3 (3) ②항」에 따라 슬래브와 외부 기둥 사이에 전달되는 연직하중에 대한 휨모멘트는 $0.3M_o$로 해야 한다.

(4) 주열대의 계수휨모멘트

① 주열대는 내부 받침부의 부계수휨모멘트가 <표 10.8.2>에 따른 비율로 분배되는 휨모멘트에 저항하도록 설계해야 한다.

Table 10.8.2 Distribution rate of internal support of column strip (%)

l_2 / l_1	0.5	1.0	2.0
$(a_1 l_2 / l_1) = 0$	75	75	75
$(a_1 l_2 / l_1) \geq 1.0$	90	75	45

Note) Linear interpolation shall apply to the value between the above values.

② Column strip shall be designed to resist bending moment distributed at the ratio in <Table 10.8.3> by negative factored bending moment of external support.

Table 10.8.3 Distribution rate of external support of column strip (%)

l_2 / l_1		0.5	1.0	2.0
$(a_1 l_2 / l_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2.5$	75	75	75
$(a_1 l_2 / l_1) \geq 1.0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2.5$	90	75	45

Note) Linear interpolation shall apply to the value between the above values.

③ When 3/4 or more of span l_2 used for calculating M_o is supported lengthwise by column or wall, negative moment can be considered to be uniformly distributed along the entire l_2 .

④ Column strip shall be designed to resist bending moment distributed at the rate specified in <Table 10.8.4> by static factored bending moment.

Table 10.8.4 Distribution rate at the center of column strip (%)

l_2 / l_1	0.5	1.0	2.0
$(a_1 l_2 / l_1) = 0$	60	60	60
$(a_1 l_2 / l_1) \geq 1.0$	90	75	45

Note) Linear interpolation shall apply to the value between above values.

⑤ For slab with beam between the supports, slab of column strip shall be designed to resist bending moment of column strip which is not supported by the beam.

(5) Factored bending moment of beam

① If $(\alpha_1 l_2 / l_1)$ is 1.0 or more, beam between the supports shall be designed to resist 85% of bending moment of column strip.

표 10.8.2 주열대 내부 받침부의 분배율(%)

l_2 / l_1	0.5	1.0	2.0
$(a_1 l_2 / l_1) = 0$	75	75	75
$(a_1 l_2 / l_1) \geq 1.0$	90	75	45

주) 위의 값 사이에서는 직선보간법을 적용해야 한다.

② 주열대는 외부 받침부의 부계수휨모멘트가 <표 10.8.3>에 따른 비율로 분배되는 휨모멘트에 저항하도록 설계해야 한다.

표 10.8.3 주열대 외부 받침부의 분배율(%)

l_2 / l_1		0.5	1.0	2.0
$(a_1 l_2 / l_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2.5$	75	75	75
$(a_1 l_2 / l_1) \geq 1.0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2.5$	90	75	45

주) 위의 값 사이에서는 직선보간법을 적용해야 한다.

③ M_o계산에 이용된 경간 l_2의 3/4 이상이 기둥이나 벽체로 길게 지지되어 있는 경우, 부모멘트는 전체 l_2를 따라 균등하게 분포된다고 볼 수 있다.

④ 주열대는 정계수휨모멘트가 <표 10.8.4>에 따른 비율로 분배되는 휨모멘트에 저항하도록 설계해야 한다.

표 10.8.4 주열대 중앙부의 분배율(%)

l_2 / l_1	(a) 0.5	(b) 1.0	(c) 2.0
$(a_1 l_2 / l_1) = 0$	60	60	60
$(a_1 l_2 / l_1) \geq 1.0$	90	75	45

주) 위의 값 사이에서는 직선보간법을 적용해야 한다.

⑤ 받침부 사이에 보가 있는 슬래브인 경우에는 주열대의 슬래브 부분은 보가 부담하지 않는 주열대 휨모멘트에 저항하도록 설계해야 한다.

(5) 보의 계수휨모멘트

① $(\alpha_1 l_2/l_1)$값이 1.0 이상인 경우, 받침부 사이의 보는 주열대 휨모멘트의 85%를 저항하도록 설계해야 한다.

② If $(\alpha_1 l_2/l_1)$ is 1 to 0, distribution rate of bending moment of column strip to be supported by the beam shall be calculated using the linear interpolation method for 85% to 0%.

③ Beam shall be designed to resist, in addition to bending moment calculated to uniformly distributed load according to 「10.8.4 (2) ②, 10.8.4 (5) ①」 and 「10.8.4 (5) ②」, bending moment occurring as a result of concentrated load or linear load applied directly to the beam, including the weight of overhanging beam above or below the slab.

(6) Factored bending moment of middle strip

① The share of positive and negative factored bending moment which are not supported by column strip shall be divided in proportion to 1/2 middle strip at both sides of column strip.

② Each middle strip shall be designed to resist the sum of bending moment assigned to two 1/2 middle strips.

③ Middle strip neighboring and in parallel with the end supported by the wall shall be designed to resist two times the bending moment assigned to 1/2 middle strip of the first internal support.

(7) Modification of factored bending moment

① Positive and negative factored bending moment may be modified up to 10% within the range that total static factored bending moment to slab plate in the direction considered is not less than the bending moment required by <Eq. 10.8.3>.

(8) Factored shear force of the slab with beam

① The beam with the value $(\alpha_1 l_2/l_1)$ which is 1 or more shall be designed to resist the factored load applied to the area formed by the line at 45° to the side and the centerline of slab plate in parallel with the long side.

② When $(\alpha_1 l_2/l_1)$ is less than 1, it is assumed that no load is applied to the beam when $=$ 0 and shear force to be supported by the beam can be calculated using linear interpolation method.

③ The beam shall be designed to resist the shear force of factored load applied directly to the beam, in addition to the shear force calculated using 「10.8.4 (8) ①」 and 「10.8.4 (8) ②」.

④ Shear strength of slab shall be calculated on the assumption that the load is distributed to the beam according to 「10.8.4 (8) ①」 and 「10.8.4 (8) ②」. The slab shall be designed to be able to resist total shear force on slab plate.

⑤ Shear strength shall satisfy the requirements in 「10.6」.

② ($\alpha_1 l_2/l_1$)값이 1과 0 사이인 경우에는 보가 견딜 주열대 휨모멘트 분담률은 85％와 0％ 사이를 직선보간법을 적용하여 구해야 한다.

③ 보는 「10.8.4 (2) ②항, 10.8.4 (5) ①항」및 「10.8.4 (5) ②항」의 규정에 따라 등분포 하중에 대하여 계산된 휨모멘트 이외에도, 슬래브 상하로 내민보 부분의 무게를 포함하여 보에 직접 작용하는 집중하중이나 선형하중에 의해 발생하는 휨모멘트에 저항하도록 설계해야 한다.

(6) 중간대의 계수휨모멘트

① 주열대가 부담하지 않는 정 및 부계수휨모멘트의 분담분은 주열대 양쪽의 1/2 중간대에 비례하여 할당해야 한다.

② 각 중간대는 2개의 1/2 중간대에 할당된 휨모멘트들의 합에 저항하도록 설계해야 한다.

③ 벽체에 의해 지지되는 단부에 인접하고, 그에 평행한 중간대는 첫 번째 내부 받침부의 1/2 중간대에 할당된 휨모멘트의 2배를 견디도록 설계해야 한다.

(7) 계수휨모멘트의 수정

① 고려된 방향에서 슬래브판에 대한 전체 정적 계수휨모멘트가 <식 10.8.3>에 의해 요구된 휨모멘트보다 작지 않은 범위 내에서 정 및 부계수휨모멘트는 10％까지 수정할 수 있다.

(8) 보가 있는 슬래브의 계수전단력

① ($\alpha_1 l_2/l_1$)의 값이 1 이상인 보는 슬래브판의 네 모퉁이에서 변과 45°의 각을 이루는 선과 장변에 평행한 슬래브판 중심선이 만드는 재하면적에 작용하는 계수하중에 의한 전단력에 견디도록 설계해야 한다.

② ($\alpha_1 l_2/l_1$)의 값이 1 미만일 때에는 α_1=0인 경우 보가 하중을 받지 않는다고 가정하여 직선보간법을 적용하여 보가 분담하는 전단력을 구할 수 있다.

③ 보는 「10.8.4 (8) ①항」과 「10.8.4 (8) ②항」에 따라 산정된 전단력 이외에도 보에 직접 작용하는 계수하중에 의한 전단력에 견디도록 설계해야 한다.

④ 슬래브의 전단강도는 하중이 「10.8.4 (8) ①항」과 「10.8.4 (8) ②항」에 따라 보에 분배된다는 가정 하에 산정해야 한다. 또한 슬래브는 슬래브판에 일어나는 전체 전단력에 견디도록 설계해야 한다.

⑤ 전단강도는 「10.6항」의 규정을 만족해야 한다.

(9) Factored bending moment of column and wall

① Column and wall which are installed monolithically with slab system shall be able to resist the bending moment of factored load applied to slab system.

② Unless the analysis is made of the whole system, the support at the bottom and top of the slab on internal support shall be designed to resist the bending moment in <Eq. (10.8.4)> in direct proportion to the rigidity of the upper and lower members.

$$M = 0.07\,[(w_d + 0.5\,w_l)l_2 l_n^2 - w_d' l_2' (l_n')^2] \qquad (10.8.4)$$

where ,w_d', l_2', l_n' are the values for short span.

10.8.5 Equivalent frame method

(1) Basic assumption

① Slab system design by equivalent frame method shall be based on basic assumptions in 「10.8.5 (2)」 to 「10.8.5 (6)」, and all sections of slab and support member shall be designed to bear the bending moment and shear force calculated.

② When using steel column capital, rigidity and resistance of column capital to bending moment and shear force could be considered.

③ Change in length of column and slab according to direct stress and deflection by shear force may be neglected.

(2) Equivalent frame

① The whole structure could be considered to consist of an equivalent structure taken from horizontal and vertical column line.

② Each frame shall consist of a series of columns or supports and slab-beams, which are divided by centerline of slab plate at both sides from the centerline of column or support.

③ Column and support shall be assumed to be connected to slab-beam member by torsional member (see 「10.8.5 (5)」). This torsional member shall be assumed to cross perpendicular to span and extend to the centerline of slab plates at both sides divided by the equivalent frame from the column side.

④ The frame adjoining and in parallel with the end shall be divided by the centerline of slab plate adjoining the end.

⑤ Each equivalent frame can be analyzed as a whole, and when analyzed according to vertical load, the end of upper and lower column may be considered as fixed and analyzed separately by floor.

⑥ When analyzing slab-beam separately by floor, bending moment on one support of continuous slab may be determined assuming that slab-beam is fixed to the support distanced by 2 spans.

(9) 기둥과 벽체의 계수휨모멘트

① 슬래브 시스템과 일체로 이루어진 기둥과 벽체들은 슬래브 시스템에 작용하는 계수하중으로부터 발생하는 휨모멘트에 견딜 수 있어야 한다.

② 전체적인 해석을 하지 않는 한, 내부 받침부에서 슬래브 상하의 받침부재는 상하부재의 강성에 직접 비례하여 <식 10.8.4>에 규정된 휨모멘트를 견디도록 설계해야 한다.

$$M = 0.07\left[(w_d + 0.5w_l)l_2 l_n^2 - w_d' l_2' (l_n')^2\right] \quad (10.8.4)$$

여기서, w_d', l_2', l_n'는 짧은 경간에 대한 값이다.

10.8.5 등가골조법

(1) 기본가정

① 등가골조법에 의한 슬래브 시스템의 설계는 「10.8.5 (2)항」부터 「10.8.5 (6)항」까지의 기본가정을 바탕으로 하고, 이로부터 얻은 휨모멘트와 전단력에 견디도록 슬래브 및 받침부재의 모든 단면을 설계해야 한다.

② 강재로 된 기둥머리를 사용하는 경우, 휨모멘트와 전단력에 대한 이들 기둥머리의 강성과 저항력을 고려할 수 있다.

③ 직접 응력에 의한 기둥과 슬래브의 길이 변화와 전단력에 의한 처짐은 무시할 수 있다.

(2) 등가골조

① 구조물 전체는 가로방향 및 세로방향의 기둥선에서 취한 등가골조들로 구성된다고 간주할 수 있다.

② 각 골조는 기둥이나 받침부의 중심선을 기준으로 한 좌우 슬래브판의 중심선에 의해서 구획된 일련의 기둥 또는 받침부와 슬래브-보 대로 구성해야 한다.

③ 기둥이나 받침부는 비틀림 부재에 의해 슬래브-보 부재에 연결되어 있다고 가정한다.(「10.8.5 (5)항」참조) 이 비틀림 부재는 휨모멘트가 결정되는 경간방향에 직교하고 기둥 측면으로부터 등가골조로 구획된 양측 슬래브판 중심선까지 연장되는 것으로 가정한다.

④ 단부에 인접하고 그에 평행한 골조는 그 단부와 인접한 슬래브판의 중심선에 의해 구획되어야 한다.

⑤ 각 등가골조는 전체적으로 해석할 수도 있고, 연직하중에 대하여 해석할 경우에는 그 상하 기둥의 먼 단부가 고정된 것으로 하여 각 층별로 따로 해석할 수도 있다.

⑥ 슬래브-보를 층별로 따로 해석할 경우, 연속슬래브의 한 받침부에서의 휨모멘트는 슬래브-보가 그 받침부로부터 두 경간 떨어진 받침부가 고정되어 있다고 가정하여 결정할 수 있다.

(3) Slab-beam

① Moment of inertia of slab-beam on section outside the joint or column capital shall be based on total area of concrete.

② Change of moment of inertia along the axis of slab-beam shall be considered when analyzing the frame.

③ Moment of inertia of slab-beam from column center to column, bracket and column capital shall be assumed to be equal to the value obtained by dividing the moment of inertia of slab-beam section on column, bracket and column capital by $(1-c_2/l_2)^2$ where and are the values measured in the direction to the span where bending moment is determined.

(4) Column

① Moment of inertia of the column outside the joint or column capital shall be based on total concrete area.

② Change of moment of inertia along the axis of slab-beam shall be considered when analyzing the frame.

③ Moment of inertia of the column between the top and bottom surface of slab-beam on joint shall be assumed to be infinite.

(5) Torsional member

① Torsional member (see 「10.8.5 (2) ③」) shall be assumed to have a constant section over the entire length of the member, and such section shall be the largest of the following:

A. Column, bracket or the part of slab with same width as column capital in direction to span where bending moment is determined.

B. For a monolithic or complete composite structure, slab according to 「A.」 plus transverse beam above and below slab.

C. Transverse beam defined in「10.8.3 (1) ④」

② The rigidity K_t of torsional member can be estimated using <Eq. (10.8.5)>:

$$K_t = \Sigma \frac{9 E_{cs} C}{l_2 (1-c_2/l_2)^3} \qquad (10.8.5)$$

where, c_2 and l_2 are values measured to lateral span from both sides of column.

(3) 슬래브-보

① 접합부나 기둥머리 바깥에 있는 단면에서 슬래브-보의 단면 2차모멘트는 콘크리트의 전체 면적을 기준으로 해야 한다.

② 슬래브-보의 축을 따라서 변하는 단면 2차모멘트의 변화는 골조해석시 고려되어야 한다.

③ 기둥 중심에서 기둥, 브래킷 및 기둥머리면까지의 슬래브-보의 단면 2차모멘트는 기둥, 브래킷, 기둥머리면에서 슬래브-보 단면 2차모멘트를 $(1-c_2/l_2)^2$으로 나눈 값과 같다고 가정한다. 여기서 c_2와 l_2는 휨모멘트가 결정되는 경간에 직교방향으로 측정한 값들이다.

(4) 기둥

① 접합부나 기둥머리 바깥에 있는 단면에서 기둥의 단면 2차모멘트는 콘크리트의 전체 면적을 기준으로 해야 한다.

② 기둥의 축을 따라서 변하는 단면 2차모멘트의 변화는 골조를 해석할 때 고려해야 한다.

③ 접합부에서 슬래브-보의 상면과 하면 사이에 있는 기둥의 단면 2차모멘트는 무한대로 가정한다.

(5) 비틀림 부재

① 비틀림 부재(「10.8.5 (2) ③항」참조)는 부재의 전체 길이에 걸쳐서 일정한 단면을 가지는 것으로 가정하고, 이 단면은 다음 중 큰 것으로 택해야 한다.

가. 휨모멘트가 결정되는 경간방향의 기둥, 브래킷, 또는 기둥머리의 폭과 같은 폭의 슬래브 부분

나. 일체식이거나 완전 합성구조물일 경우 앞의 「가.항」에서 규정된 슬래브 부분에 슬래브 상하의 횡방향 보를 더한 것

다. 「10.8.3 (1) ④항」에서 정의된 횡방향 보

② 비틀림 부재의 강성 K_t는 근사적으로 <식 (10.8.5)>로 계산할 수 있다.

$$K_t = \Sigma \frac{9 E_{cs} C}{l_2 (1-c_2/l_2)^3} \qquad (10.8.5)$$

여기서, c_2와 l_2는 기둥 좌우에서 횡경간방향으로 측정한 값들이다.

③ C is torsional constant and shall be calculated on beam with effective flange width by dividing the section into several rectangles and according to <Eq. (10.8.6)>

$$c = \Sigma\left[\left(1 - 0.63\frac{X}{Y}\right)\frac{X^3 Y}{3}\right] \qquad (10.8.6)$$

where, X refers to short side and Y refers to long side of rectangular section.

④ Torsional rigidity when the beam is connected to the column in the direction of the span where bending moment is determined shall be calculated by multiplying the moment of section of the slab, including the beam.

(6) Arrangement of live load

① Equivalent frame shall be analyzed to the load when exact loading state is known.

② When varying live load is 3/4 or less of fixed load or live load is applied to all slab plates simultaneously, maximum factored bending moment may be assumed to occur on all sections when live load is applied to the entire slab system.

③ For load conditions other than 「10.8.5 (6) ②」, maximum static factored bending moment at the center of slab plate is assumed to occur when 3/4 of gross factored live load is applied to slab plate and every other slab plate. In addition, maximum negative factored bending moment on support is assumed to occur when 3/4 of gross factored live load is assumed to apply to only two slab plates adjoining the support.

④ In any case, factored bending moment shall be more than the value that occurs when gross factored live load is applied to all slab plates together.

(7) Factored bending moment

① Dangerous section to negative factored bending moment (column strip and middle strip) on internal support shall be taken from rectangular support member, but shall be within 0.175 from column center.

② Dangerous section to negative factored bending moment perpendicular to end corner on external support shall be taken within 1/2 of overhanging length of bracket or column capital from support member.

③ If the support member is circular or regular polygonal, the section vulnerable to negative factored bending moment shall be obtained by considering it as square support member with same area.

④ When analyzing the slab system satisfying the requirement in 「10.8.4 (1)」 using equivalent frame method, bending moment obtained from the analysis may be reduced accordingly based on fact that the sum of the absolute value of positive moment and mean negative moment used for the design does not necessarily exceed the value in <Eq. (10.8.3)>.

③ C는 비틀림 상수로서, 유효플랜지폭을 갖는 보에서는 단면을 여러 개의 직사각형으로 나누어 <식 (10.8.6)>에 따라 구한다.

$$c = \Sigma\left[\left(1 - 0.63\frac{X}{Y}\right)\frac{X^3 Y}{3}\right] \qquad (10.8.6)$$

여기서, X는 직사각형 단면의 짧은 변, Y는 긴 변을 나타낸다.

④ 휨모멘트가 결정되는 경간방향으로 보가 기둥에 연결되어 있을 경우의 비틀림강성은 보가 없는 슬래브만의 단면 2차모멘트에 대한 그 보를 포함한 슬래브 단면 2차모멘트의 비를 곱하여 구해야 한다.

(6) 활하중의 배치

① 정확한 재하 상태를 알고 있을 때 등가골조는 그 하중에 대하여 해석해야 한다.

② 활하중이 변하지만 고정하중의 3/4이하인 경우, 또는 활하중의 특성이 모든 슬래브판에 동시에 작용하는 것과 같을 경우에는 전체 슬래브 시스템에 활하중이 작용했을 때 모든 단면에서 최대 계수휨모멘트가 발생하는 것으로 가정할 수 있다.

③ 「10.8.5 (6) ②항」에서 정의된 것 이외의 하중조건인 경우, 슬래브판의 경간 중앙부근에서의 최대 정계수휨모멘트는 전체 계수활하중의 3/4이 그 슬래브판과 한 경간씩 건너 슬래브판에 작용할 때 일어난다고 가정할 수 있다. 또한, 받침부의 최대 부계수휨모멘트는 전체 계수활하중의 3/4이 그 받침부에 인접한 두 슬래브판들에만 작용할 때 발생한다고 가정할 수 있다.

④ 어느 경우에나 계수휨모멘트는 전체 계수활하중이 모든 슬래브판에 함께 작용할 때 발생하는 값 이상으로 취해야 한다.

(7) 계수휨모멘트

① 내부 받침부에서 부계수휨모멘트(주열대 및 중간대)에 대한 위험단면은 직사각형의 지지 부재면에서 취하되, 기둥 중심에서부터 $0.175\,l_1$이내의 면에서 취해야 한다.

② 브래킷이나 기둥머리가 있는 외부 받침부에서, 단부 모서리에 직교방향의 부계수휨모멘트에 대한 위험단면은 받침부재면에서부터 브래킷이나 기둥머리의 돌출길이의 1/2이내에서 취해야 한다.

③ 받침부재가 원형이나 정다각형일 경우, 부계수휨모멘트에 대한 위험단면은 같은 면적을 갖는 정사각형 받침부재로 취급해서 구한다.

④ 「10.8.4 (1)항」의 제한사항을 만족하는 슬래브 시스템을 등가골조법으로 해석한 경우, 계산결과 얻은 휨모멘트는 설계에 이용되는 정모멘트와 평균 부모멘트의 절대값의 합이 <식 (10.8.3)>의 값을 초과할 필요가 없다는 사실을 근거로 그에 상응하게 감소시킬 수 있다.

⑤ Bending moment of dangerous section of slab-beam of each frame may be distributed to column strip, beam and middle strip according to 「10.8.4 (4)」 and 「10.8.4 (5) & 10.8.4 (6)」, when the requirements in 「10.8.4 (1) ⑦」 are satisfied.

10.8.6 Bar arrangement details of bidirectional slab

(1) Required reinforcement and spacing

① Rebar section area in each direction for bidirectional slab system shall be determined based on the bending moment of a dangerous section; however, this shall exceed the minimum reinforcement required by 「10.4.8」.

② Bar spacing on dangerous section shall be 2 times slab thickness or less or 300 mm, except waffle or rib structure. Slab bar on top of waffle structure shall comply with 「10.4.8」.

(2) Development of reinforcement

① Reinforcement to positive moment perpendicular to discontinuous end corner shall be extended to the end of slab, and straight or hook shall be embedded in spandrel beam, column or wall for 150 mm or longer.

② Reinforcement to negative moment perpendicular to discontinuous end corner shall be bent or hooked up into spandrel beam, column or wall according to 「10.5」, or anchored properly.

③ When slab is not supported by spandrel beam or wall or slab is cantilevered beyond the support, reinforcement may be anchored in slab.

(3) Reinforcement bar for external corner

① For slab with the beam with α more than 1.0 between the supports, extra top and bottom reinforcement bar shall be provided according to 「②」 to 「④」 below.

② Such extra reinforcement bar shall be sufficient to bear a bending moment as large as the maximum positive moment per unit width of the slab.

③ The direction of such bending moment is assumed to the axis perpendicular to the diagonal from the corner on top of slab and to the axis in parallel with the diagonal at the bottom of slab.

④ Extra reinforcement bar shall be placed as long as 1/5 of a long span from the corner.

⑤ Extra reinforcement bar shall be placed in parallel with the diagonal on top of slab and perpendicular to the diagonal at the bottom of slab, or in parallel with the corner of each slab on top and bottom of the slab in double layers.

(4) Reinforcement details of slab without beam

① Reinforcement of slab without beam shall comply with the minimum length requirement as indicated in <Fig. 10.8.1>, in addition to the requirements in 「10.8.6」.

⑤ 각 골조의 슬래브-보 대의 위험단면의 휨모멘트는, 「10.8.4 (1) ⑦항」의 제한조건을 만족시킨다면, 「10.8.4 (4)항」, 「10.8.4 (5)항 및 10.8.4 (6)항」의 규정에 따라 주열대, 보 및 중간대에 분배할 수 있다.

10.8.6 2방향 슬래브의 배근 상세

(1) 소요철근량과 간격

① 2방향 슬래브 시스템의 각 방향의 철근 단면적은 위험단면의 휨모멘트에 의해 결정 되지만 「10.4.8항」에서 요구되는 최소 철근량 이상이어야 한다.

② 위험단면에서 철근 간격은 슬래브 두께의 2배 이하 또한 300 mm이하로 해야 한다. 다만 와플구조나 리브구조로 된 부분은 예외로 한다. 와플구조 상부의 슬래브 철근은 「10.4.8항」의 요구사항에 따라야 한다.

(2) 철근의 정착

① 불연속 단부 모서리에 직교방향의 정모멘트에 대한 철근은 슬래브의 끝까지 연장하고 직선 또는 갈고리를 150 mm이상 테두리보, 기둥 또는 벽체 속에 묻어야 한다.

② 불연속 단부 모서리에 직각방향의 부모멘트에 대한 철근은 「10.5항」의 규정에 따라 받침면에 정착되도록 테두리보, 기둥 또는 벽체 속으로 구부리거나 갈고리로 하거나 그렇지 못하면 적절히 정착시켜야 한다.

③ 불연속 단부에서 슬래브가 테두리보나 벽체로 지지되어 있지 않은 경우, 또는 슬래브가 받침부를 지나 캔틸레버로 되어 있는 경우에는 철근을 슬래브 내부에서 정착시킬 수 있다.

(3) 외부 모퉁이의 보강 철근

① 받침부 사이에 α값이 1.0보다 큰 보가 있는 슬래브의 경우, 다음 「②항」에서 「④항」의 규정에 따라 외부 모퉁이 부분의 슬래브에 특별한 상부 및 하부 보강철근을 배치해야 한다.

② 슬래브 상하에 두는 이 특별 보강철근은 슬래브 단위폭당 최대 정모멘트와 같은 크기의 휨모멘트에 견딜 만큼 충분해야 한다.

③ 이 휨모멘트가 작용하는 방향은 슬래브 상부에서는 모퉁이로부터 그은 대각선에 직각인 축에 대하여, 슬래브 하부에서는 이 대각선에 평행한 축에 대하여 작용하는 것으로 가정할 수 있다.

④ 특별 보강철근은 모퉁이로부터 긴 경간의 1/5 길이만큼 각 방향에 배치해야 한다.

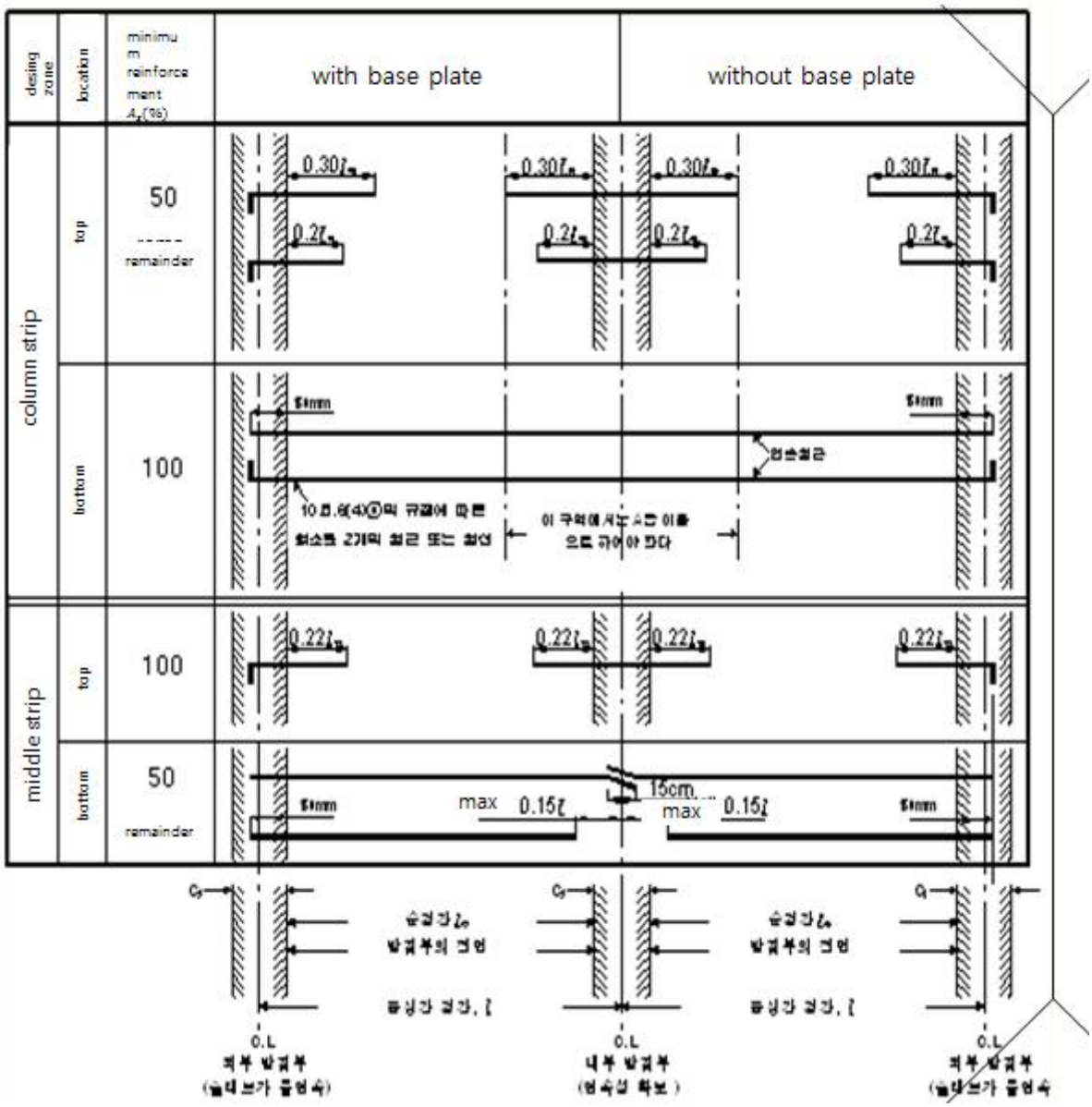
⑤ 특별 보강철근은 슬래브 상부에서 대각선에 평행한 방향으로 배치하고, 슬래브 하부의 경우 대각선에 직각방향으로 배치해야 한다. 또는 특별 보강철근은 슬래브 상부와 하부에서 각각 슬래브 각 모서리에 평행하게 두 층으로 배치할 수 있다.

(4) 보가 없는 슬래브의 철근 상세

① 보가 없는 슬래브의 철근은 「10.8.6항」에서 규정된 모든 요구조건 외에 <그림 10.8.1>에 표시된 것과 같은 최소 길이 규정을 지켜야 한다.

② When the length of adjoining span is different, minimum length of reinforcement to negative moment from the support surface shall be as detailed in <Fig. 10.8.1> and based on a long span.

③ Bent-up bar in bidirectional slab shall be used only in the event that the ratio of slab thickness to span could allow a bending angle of bent-up bar of 45° or less.

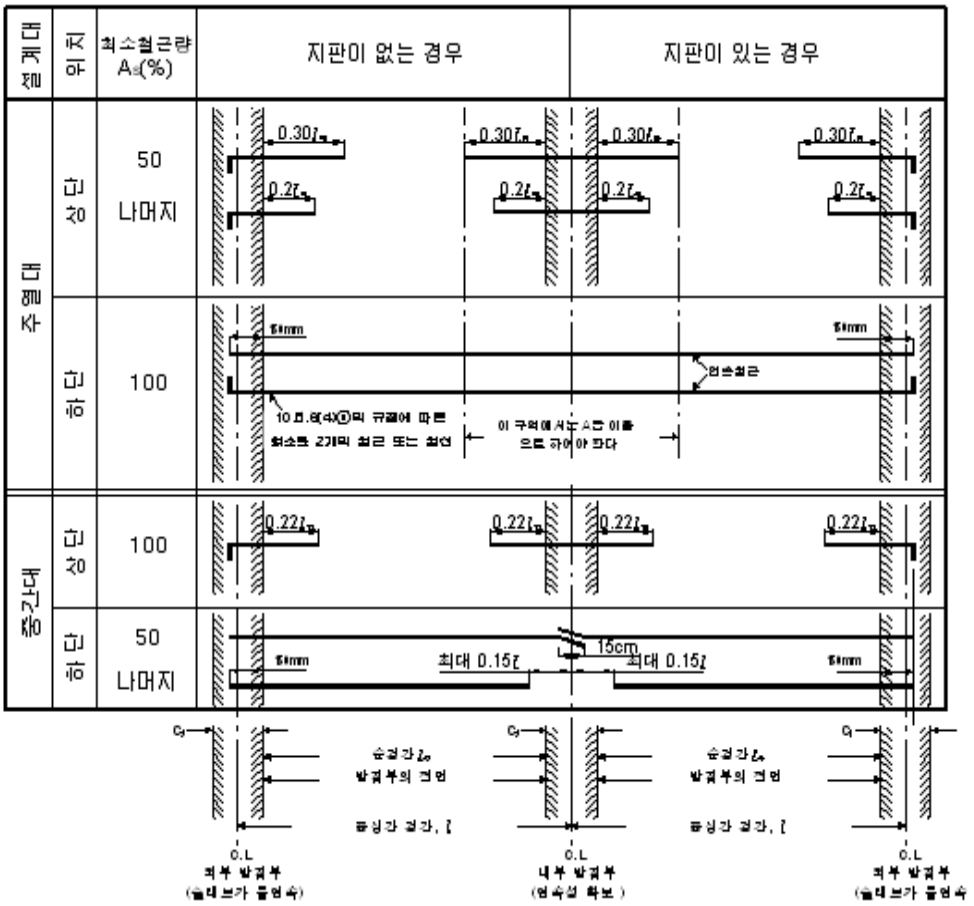


(see support anchoring in 10.5.5 (2) ①)

Fig. 10.8.1 Minimum anchoring length of reinforcement in slab without beam

② 인접한 경간의 길이가 다를 경우, 받침면에서부터 부모멘트에 대한 철근의 최소 연장은 <그림 10.8.1>에 보인 바와 같이 하되 그 기준은 긴 경간으로 해야 한다.

③ 2방향 슬래브에서 굽힘철근은 슬래브 두께와 경간의 비가 굽힘철근의 굽힘각도가 45° 이하가 될 수 있는 경우에만 사용해야 한다.



(10.5.5(2)①항의 받침부의 정착 참조)

그림 10.8.1 보가 없는 슬래브에서 철근의 최소 정착길이

④ With regard to slab of the frame that bears lateral force, reinforcement length shall be determined according to structural analysis, but shall be more than the length stipulated in <Fig. 10.8.1>:

⑤ All bars and wires in each direction within column strip shall be continuous or A-class lap spliced as specified in <Fig. 10.8.1>. At least two bottom bars and wires in column strip in each direction shall pass above the column to be anchored on external support.

⑥ In installing the slab with shear head or lift-slab, at least two bottom bars or wires shall pass shear head or lifting collar in each direction as closely as possible and shall be continuous or A-class lap spliced. On external column, this rebar shall be anchored in the shear head of lifting collar.

10.8.7 Opening of slab system

(1) When design strength is more than the required strength according to 「Chapter 8」 and all serviceability requirements have been satisfied including deflection limit, openings of any size are allowed in slab system.

(2) For slab without beam, opening may be allowed without the particular analysis required by 「10.8.7 (1)」.

① When opening size is 300mm or less or 2 times slab thickness or less and main bar is not cut by opening, opening may be allowed at the zone where middle strips in each direction are overlapped.

② At the zone where column strips in each direction are overlapped, 1/8 or more of column strip shall not be blocked by opening. Reinforcement reduced by opening shall be added around the opening.

③ At the zone where one column strip and one middle strip are overlapped, 1/4 or more of reinforcement at any design zone shall not be cut by opening. Reinforcement cut by opening shall be added around the opening.

④ If slab opening is within 10 times slab thickness or flat slab opening is within column strip in terms of concentrated load or reaction, dangerous section to shear shall be defined as follows.

A. For slab without shear head, circumference area of the section within the line between the center of the side where column or concentrated load or reaction force are applied and opening boundary point shall be considered ineffective.

B. For slab with shear head, ineffective circumference area shall be considered as half of the area defined in 「(2)」 above.

④ 횡력을 부담해야 하는 골조의 슬래브에 대해서는 구조해석 결과에 의하여 철근의 길이를 결정해야 하지만 <그림 10.8.1>에 규정된 길이 이상으로 해야 한다.

⑤ 각 방향의 주열대 내의 모든 하부 철근이나 철선이 연속이거나 <그림 10.8.1>에 위치한 것과 같은 A급 겹침이음으로 이어져야 한다. 각 방향으로 적어도 2개의 주열대 하부 철근이나 철선이 기둥 위를 지나야 하며 외부 받침부에 정착해야 한다.

⑥ 전단머리가 있는 슬래브나 리프트-슬래브의 시공에서는 적어도 각 방향으로 2개의 부착된 하부 철근이나 철선이 가능한 한 기둥에 근접하게 전단머리나 리프팅 칼라를 지나도록 해야 하며, 연속이거나 A급 겹침이음으로 이어야 한다. 외부 기둥에서는 이 철근을 전단머리나 리프팅 칼라에 정착시켜야 한다.

10.8.7 슬래브 시스템의 개구부

(1) 구조해석 결과 설계강도가 「제8장」의 규정을 고려한 소요 강도 이상이고, 처짐 한계를 포함한 모든 사용성을 만족할 경우 어떤 크기의 개구부도 슬래브 시스템 내에 둘 수 있다.

(2) 「10.8.7 (1)항」에서 요구된 특별한 해석을 하지 않고도 보가 없는 슬래브 시스템의 경우 다음 항에 따라 개구부를 둘 수 있다.

① 개구부 크기가 300mm이하이거나 슬래브 두께의 2배 이하이고, 개구부가 주철근을 절단하지 않을 경우에는 양방향의 중간대가 겹치는 부분에 개구부를 둘 수 있다.

② 양 방향의 주열대가 겹치는 부분에서 어느 쪽의 경간에서나 주열대 폭의 1/8 이상이 개구부에 의해 차단되지 않아야 한다. 개구부에 의해 감소된 철근량은 개구부 주변에 추가 배치해야 한다.

③ 한 개의 주열대와 한 개의 중간대가 겹치는 부분에서 어느 설계대에서도 그 설계대의 1/4 이상의 철근이 개구부에 의해 절단되지 않아야 한다. 개구부에 의해 감소된 철근량은 개구부 주변에 추가 배치해야 한다.

④ 슬래브의 개구부가 집중하중이나 반력의 작용면에서 슬래브 두께의 10배 이내의 거리에 위치하거나 플랫슬래브의 개구부가 주열대 내에 위치한 경우 전단에 대한 위험단면은 다음과 같이 정의한다.

가. 전단머리가 없는 슬래브의 경우, 기둥 또는 집중하중이나 반력이 작용하는 면의 중심과 개구부의 경계점 사이로 그은 직선 내에 있는 단면의 둘레부분은 유효하지 않은 것으로 해야 한다.

나. 전단머리가 있는 슬래브의 경우, 유효하지 않은 둘레부분은 상기 「(2)항」에서 정의된 부분의 절반으로 보아야 한다.

(3) When opening size is relatively smaller than slab plate size, reinforcement with the same section area as the part to be cut by opening shall be added to both sides of opening.

(4) When opening size is relatively larger than slab plate size, it may be designed assuming cantilever slab at each corner, and the effect of opening shall be considered when designing adjoining slab.

(5) When opening is large and is biased to one side, it may be considered as the slab with continuous 3 sides and 1 free side, and the effect of opening shall be considered when designing adjoining slab.

10.9 Walls

10.9.1 General

(1) Provisions of this chapter shall be applied to design of walls subjected to axial force regardless of flexural moment.

(2) Design of cantilever retaining walls shall be in accordance with 「Chapter 6 Sheathing structure」.

(3) Symbols

A_g = Gross section area (mm^2)

e = Eccentric distance

f_{ck} = Design strength of concrete (MPa)

h = Thickness of member (mm)

k = Effective length factor of compressive member

l_c = Vertical length between the supports (mm)

P_{nw} = Nominal axial strength of wall calculated using 「10.9.4 (2) ②」

ϕ = Strength reduction coefficient

10.9.2 General Design

(1) Walls are defined as the members which are subjected to the factored axial loads not greater than $0.4A_gf_{ck}$, and the sectional area of longitudinal reinforcements is not greater than 0.01 times sectional area. Otherwise, the members shall be designed in accordance with the provisions of 「10.4, 10.6」.

(2) Walls shall be designed to safely resist applied eccentric axial load, lateral load and other loads.

(3) Design of walls subjected to axial loads shall be in accordance with 「10.9.2, 10.9.3, 10.9.4 (1), 10.9.4 (2)」 or 「10.9.4 (3)」.

(3) 개구부의 크기가 슬래브 판 크기에 비해 상대적으로 작은 경우 개구부에 의해 절단되는 철근과 같은 단면적의 철근을 개구부 양쪽에 보강해야 한다.

(4) 개구부가 슬래브판 크기에 비해 상대적으로 큰 경우 각 모서리에서 캔틸레버 슬래브로 가정하여 설계할 수 있으며, 인접슬래브를 설계할 때는 개구부의 영향을 고려해야 한다.

(5) 개구부가 크고 한쪽으로 치우쳐서 위치한 경우 3변 연속이고 1변 자유인 슬래브로 취급할 수 있으며, 인접슬래브를 설계할 때는 개구부의 영향을 고려해야 한다.

10.9 벽체

10.9.1 일반내용

(1) 이 절의 규정은 휨모멘트의 작용 여부에 관계없이 축력을 받는 벽체의 설계에 적용해야 한다.

(2) 캔틸레버식 옹벽의 설계는 「제6장 흙막이구조물」에 따라야 한다.

(3) 기호

A_g = 전체 단면적(mm^2)

e = 편심거리

f_{ck} = 콘크리트의 설계기준강도(MPa)

h = 부재의 두께(mm)

k = 압축부재의 유효길이계수

l_c = 받침부 간의 수직길이(mm)

P_{nw} = 「10.9.4 (2) ②항」의 규정에 따라 산정한 벽체의 공칭축강도

ϕ = 강도감소계수

10.9.2 설계 일반

(1) 벽체는 계수연직축력이 $0.4A_gf_{ck}$이하이어야 하며, 공칭강도에 도달할 때 인장철근의 변형률이 0.004이상이어야 한다. 이외의 부재는 「10.4, 10.6항」의 압축부재의 설계 및 배근원칙을 따라야 한다.

(2) 벽체는 이에 작용하는 편심축하중, 수평하중 및 기타 하중에 대하여 안전하게 저항할 수 있도록 설계해야 한다.

(3) 축하중을 받는 벽체의 설계는 「10.9.2항, 10.9.3항과 10.9.4 (1)항, 10.9.4 (2)항」또는 「10.9.4 (3)항」의 규정에 따라야 한다.

(4) Unless detailed structural analysis is performed, the effective horizontal length of wall for each concentrated load shall not be greater than the smaller of center-to-center distance between loads and the load bearing width added by 4 times the thickness of wall.
(5) Design for shear shall be in accordance with provisions of 「10.9.6」.
(6) For compression members with a cross section larger than required by load, it shall be permitted to determine minimum reinforcement and design strength using a reduced effective section area, but not less than half of the gross area.
(7) Reinforcements in walls shall be anchored to intersecting structural members such as slabs, roofs, columns, pilasters, buttresses, intersecting walls, and footings.
(8) Amount of reinforcement and limit on wall thickness shall be in accordance with 「10.9.3 and 10.9.4 (2)」, respectively. However, this provision need not be applied if sufficient safety and structural stability are confirmed by detailed structural analysis
(9) Transfer of force from base of wall to footing shall be in accordance with provisions of 「10.9.7」.

10.9.3 Minimum Reinforcement Ratio

(1) Minimum vertical and horizontal reinforcement ratio in walls shall be in accordance with provisions「10.9.3 (2) and 10.9.3 (3)」.
(2) Minimum ratio of vertical reinforcement to gross sectional area of wall shall be as follows.
① For deformed bars not larger than D16 with specified yield strength not less than 400 MPa ……0.0012
② For other deformed bars ……0.0015
③ For welded wire reinforcements with diameter not larger than 16 mm ……0.0012
(3) Minimum horizontal reinforcement ratio to gross section area of wall is as follows.
① For deformed bars not larger than D16 with specified yield strength not less than 400 MPa ……0.0020
② For other deformed bars ……0.0025
③ For welded wire reinforcements with diameter not larger than 16 mm ……0.0020
(4) For walls with thickness not less than 250 mm, vertical and horizontal reinforcement shall be placed on both sides in parallel with faces of wall. However, this provision need not be applied to basement walls
① Reinforcement on exterior surface of wall shall be not less than 1/2 and not greater than 2/3 of total required reinforcement for each direction, and shall be placed not less than 50 mm and not greater than 1/3 of wall thickness from the exterior face.

(4) 정밀한 구조해석에 의하지 않는 한, 각 집중하중에 대한 벽체의 유효 수평길이는 하중 간의 중심거리, 또한 하중 지지폭에 벽체 두께의 4배를 더한 길이를 초과하지 않는 값으로 해야 한다.
(5) 전단력에 대한 설계는 「10.9.6항」의 규정에 따라야 한다.
(6) 벽체와 일체가 된 압축부재는 하중에 의해 요구되는 단면보다 큰 단면으로 설계된 압축부재의 경우, 감소된 유효단면적을 사용하여 최소철근량과 설계강도를 결정할 수 있다. 이 때 감소된 유효단면적은 전체 단면적의 1/2이상이어야 한다.
(7) 벽체의 철근은 이와 교차하는 구조부재인 바닥, 지붕, 기둥, 벽기둥, 부벽, 교차벽체 및 기초 등에 충분히 정착되도록 해야 한다.
(8) 철근량 및 벽두께의 제한은 「10.9.3항과 10.9.4 (2)항」의 규정을 따라야 한다. 다만 정밀한 구조해석에 의하여 충분한 강도와 구조안정성을 확인할 수 있을 경우에는 이를 따르지 않을 수 있다.
(9) 벽체의 밑면에서 기초판으로의 하중전달은 「10.9.7항」의 규정에 따라야 한다.

10.9.3 최소 철근비

(1) 벽체의 수직 및 수평 최소 철근비는 「10.9.3 (2)항 및 10.9.3 (3)항」의 규정을 따라야 한다.
(2) 벽체의 전체 단면적에 대한 최소 수직철근비는 다음 규정을 따라야 한다.
① 설계기준항복강도 400 MPa 이상으로서 D16 이하의 이형철근 …… 0.0012
② 기타 이형철근 …… 0.0015
③ 지름 16 mm 이하의 용접철망 …… 0.0012
(3) 벽체의 전체 단면적에 대한 최소 수평철근비는 다음 각 항에 따라야 한다.
① 설계기준항복강도 400 MPa 이상으로서 D16 이하의 이형철근 …… 0.0020
② 기타 이형철근 …… 0.0025
③ 지름 16 mm 이하의 용접철망 …… 0.0020
(4) 두께 250 mm 이상의 벽체에 대해서는 다음의 각 항에 따라 수직 및 수평철근을 벽면에 평행하게 양면으로 배치해야 한다. 다만, 지하실 벽체에는 이 규정을 적용하지 않는다.
① 벽체의 외측면 철근은 각 방향에 대하여 전체 소요철근량의 1/2이상, 2/3 이하로 하며, 외측면으로부터 50 mm이상, 벽두께의 1/3이내에 배치해야 한다.

② Remaining required reinforcement shall be placed not less than 20 mm and not greater than 1/3 of wall thickness from the interior face for reinforcement on interior surface of wall.

(5) Spacing of vertical and horizontal reinforcement shall not be greater than 3 times wall thickness nor greater

than 450 mm.

(6) Transverse tie reinforcement according to provision of 「10.4.6 (2) ③」. shall be placed if vertical reinforcement ratio at part of wall with closely placed vertical reinforcement is not less than 0.01. Otherwise, transverse tie reinforcement need not be placed. Vertical spacing of tie reinforcement shall be not greater than wall thickness, and vertical tie reinforcement need not be placed unless vertical reinforcement is subjected to compression.

(7) In addition to the minimum reinforcement specified in 「10.9.3 (2)」 and 「10.9.3 (3)」, two bars not less than D16 for doubly reinforced walls and one bar not less than D16 for singly reinforced walls in vertical and horizontal directions shall be placed around openings such as windows or entrance. These reinforcements shall be anchored to develop specified yield strength at the corners of the openings.

10.9.4 Design of Walls

(1) Design of walls subject to axial forces or combined axial force and flexural moment shall be in accordance with 「10.6.3 (1), 10.6.5, 10.6.8, 10.9.2」 and 「10.9.3」. However, practical design method specified in 「10.9.4 (2)」 shall be permitted if corresponding conditions are met.

(2) Practical design method

① If the wall with rectangular section would satisfy the requirements in 「10.9.2, 10.9.3」 and 「10.9.4 (2)」, and the resultant force of factored load is applied within 1/3 of wall thickness, the wall could be designed by using practical design method stipulated in 「10.9.4 (2)」.

② When meeting the requirements in 「10.9.4 (2) ①」, design axial strength of ϕP_{nw} should be calculated by using <Eq. (10.9.1)>. However, it should not be applied when in accordance with 「10.9.4 (1)」.

$$\phi P_{nw} = 0.55\phi f_{ck} A_g \left[1 - \left(\frac{kl_c}{32h}\right)^2\right] \qquad (10.9.1)$$

where, $\phi = 0.65$ and effective length factor k shall be as follows.

② 벽체의 내측면 철근은 각 방향에 대한 소요철근량의 잔여분을 내측면으로부터 20mm이상, 벽두께의 1/3이내에 배치해야 한다.

(5) 수직 및 수평철근의 간격은 벽두께의 3배 이하, 또한 450 mm 이하로 해야 한다.

(6) 수직철근이 집중배치된 벽체부분의 수직철근비가 0.01배 이상인 경우 「10.4.6 (2) ③항」에 따른 횡방향 띠철근을 설치해야 하며, 이외의 경우에는 횡방향 띠철근을 설치하지 않을 수 있다. 이 때 띠철근의 수직간격은 벽체두께 이하로 해야 하며, 수직철근이 압축력을 받는 철근이 아닌 경우에는 횡방향 띠철근을 설치할 필요가 없다.

(7) 모든 창이나 출입구 등의 개구부 주위에는 「10.9.3 (2)항」 및 「10.9.3 (3)항」에 규정된 최소 철근량 이외에도 D16이상의 철근을 2개 이상 배치해야 하며, 그 철근은 개구부의 모서리에서 600 mm이상 연장하여 정착해야 한다.

10.9.4 벽체의 설계

(1) 압축재로서 벽체의 설계 - 축력을 받거나 축력과 휨모멘트를 동시에 받는 벽체의 설계는 「10.6.3 (1)항, 10.6.5항, 10.6.8항, 10.9.2항」및 「10.9.3항」의 규정에 따라야 한다. 다만 해당 조건을 만족할 경우 「10.9.4 (2)항」의 실용설계법을 따를 수 있다.

(2) 실용설계법

① 직사각형 단면의 벽체로서 「10.9.2항, 10.9.3항」및 「10.9.4 (2)항」의 모든 요구조건을 만족하고 계수하중의 합력이 벽두께의 중앙 1/3 이내에 작용하는 경우에는 이 「10.9.4 (2)항」에서 규정하는 실용설계법에 의하여 설계할 수 있다.

② 위의 「10.9.4 (2) ①항」의 규정에 부합될 때 벽체의 설계축강도 ϕP_{nw}는 <식 (10.9.1)>에 의하여 산정해야 한다. 다만, 「10.9.4 (1)항」의 규정에 의할 때에는 이를 적용하지 않는다.

$$\phi P_{nw} = 0.55\phi f_{ck} A_g \left[1 - \left(\frac{kl_c}{32h}\right)^2\right] \qquad (10.9.1)$$

여기서, ϕ=0.65이고 유효길이계수 k는 다음과 같다.

A. For walls laterally restrained at top and bottom ends,

(a) Restrained against rotation at one or both ends 0.8

(b) Unrestrained against rotation at both ends 1.0

B. For walls not laterally restrained ……2.0

③ Minimum thickness of walls shall satisfy following provisions of 「A & B」

A. Thickness of walls shall not be less than 1/25 of the smaller of vertical and horizontal lengths between supporting points, nor less than 100mm.

B. Thickness of exterior basement walls and foundation walls shall not be less than 200 mm.

(3) Alternative design method for slender walls

① If slender wall is dominated by flexural tension, 「10.9.4 (3)」 should satisfy 「10.6.5 (1)」.

② Slender wall designed according to 「10.9.4 (3)」 should satisfy the followings.

A. It should be designed by assuming it as compressive member simply supported, and maximum moment and deflection occur at the center of wall and uniform transverse load is applied externally.

B. Section area is assumed to be constant over the entire height.

C. Wall should be designed such that tension is the dominant behavior.

D. Reinforcement should be estimated to secure the design strength by using <Eq. (10.9.2)>.

$$\phi M_n \geqq M_{cr} \qquad (10.9.2)$$

E. Concentrated vertical load on top of design bending section of the wall should be assumed to be distributed on the following width.

(a) Equal to the bearing width plus the width extended from both bearing surfaces in the ratio of 2 vertical to 1 horizontal.

(b) Not greater than the spacing of the concentrated load.

(c) Not extending beyond the edges of the wall panel.

F. Vertical stress P_u / A_g shall not exceed $0.06 f_{ck}$ at the middle of wall height.

③ Design flexural strength ϕM_n at the middle of the height of wall subject to axial force and flexural moment shall satisfy the condition of Eq. (10.9.3).

$$\phi M_n \geqq M_u \qquad (10.9.3)$$

where,

$$M_u = M_{ua} + P_u \Delta_u \qquad (10.9.4)$$

where, M_{ua} is the moment by factored lateral load and eccentric vertical load in the middle of wall and Δ_u should be calculated by using <Eq. (10.9.5)>.

가. 상・하단이 횡구속 벽체로서

㉮ 상・하 양단 중의 한쪽 또는 양쪽의 회전이 구속된 경우 … 0.8

㉯ 상・하 양단 모두 회전이 구속되지 않은 경우 …… 1.0

나. 비횡구속 벽체 ……2.0

③ 벽체의 최소 두께는 다음 「가.항, 나.항」에 따라야 한다.

가. 벽체의 두께는 수직 또는 수평 받침점 간 거리 중에서 작은 값의 1/25이상이어야 하고, 또한 100 mm이상이어야 한다.

나. 지하실 외벽 및 기초 벽체의 두께는 200 mm이상으로 해야 한다.

(3) 세장한 벽체의 대체설계법

① 휨인장이 벽체 설계를 지배하는 경우 이 「10.9.4 (3)항」의 규정은 「10.6.5 (1)항」을 만족해야 한다.

② 이 「10.9.4 (3)항」에 따라 설계된 벽체는 다음의 규정을 만족해야 한다.

가. 벽판은 단순지지되고 벽체 중앙에서 최대 모멘트 및 최대 처짐이 발생되는 면외 균등한 횡하중을 받는 압축재로 고려하여 설계해야 한다.

나. 단면적은 전 높이에 대하여 일정한 것으로 한다.

다. 벽체는 인장이 지배적인 거동을 하도록 설계해야 한다.

라. 철근은 <식 (10.9.2)>와 같은 설계강도를 확보하도록 산정해야 한다.

$$\phi M_n \geqq M_{cr} \qquad (10.9.2)$$

마. 벽체의 설계 휨 단면 상부에 작용되는 집중 수직하중은 아래와 같은 폭에 분포된 것으로 가정한다.

㉮ 지압폭과 지압면 양측면에서 수직으로 2, 수평으로 1의 비율로 확대한 폭을 더한 값과 같다.

㉯ 집중하중 간격이해야 한다.

㉰ 벽판의 연단을 초과하지 않아야 한다.

바. 벽체 높이의 중앙부분에서 수직응력 P_u / A_g는 $0.06 f_{ck}$를 초과하지 않아야 한다.

③ 축력과 휨을 받는 벽체 높이의 중앙부에서의 설계모멘트 ϕM_n는 <식 (10.9.3)>과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$\phi M_n \geqq M_u \qquad (10.9.3)$$

여기서,

$$M_u = M_{ua} + P_u \Delta_u \qquad (10.9.4)$$

M_{ua}는 계수 횡하중과 편심 수직하중에 의한 벽체 높이 중앙부에서의 모멘트이고 Δ_u는 <식 (10.9.5)>에 의해 계산한다.

$$\Delta_u = \frac{5M_u l_c^2}{(0.75)48E_c I_{cr}} \quad (10.9.5)$$

M_u should be calculated by substituting deflection repeatedly or directly calculated using <Eq. (10.9.6)>.

$$M_u = \frac{M_{ua}}{1 - \frac{5P_u l_c^2}{(0.75)48E_c I_{cr}}} \quad (10.9.6)$$

where,

$$I_{cr} = \frac{E_s}{E_c}\left(A_s + \frac{P_u}{f_y}\right)(d-c)^2 + \frac{l_w c^3}{3}, \quad \frac{E_s}{E_c} \geq 6 \quad (10.9.7)$$

④ Maximum deflection Δ_s by working load considering P-Δ effect should not exceed $l_c/150$ in the middle of wall should be calculated using <Eq. (10.9.8)>.

$$\Delta_s = \frac{(5M)l_c^2}{48E_c I_e} \quad (10.9.8)$$

$$M = \frac{M_{sa}}{1 - \frac{5P_s l_c^2}{48E_c I_e}} \quad (10.9.9)$$

l_e should be calculated based on <Eq. (10.9.10)>, but M_a should be replaced with M and I_{cr} should be calculated by using <Eq. (10.9.7)>.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \quad (10.9.10)$$

where,

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (10.9.11)$$

$$f_r = 0.63\sqrt{f_{ck}} \quad (10.9.12)$$

10.9.5 Non-bearing wall and grade beam

(1) Thickness of non-bearing wall shall be at least 100 mm and 1/30 of the minimum distance between the members that support it laterally.

(2) Reinforcement of the wall designed with grade beam and required for bending moment calculated using 「10.6.3 and 10.6.4」 should be placed on top and at bottom of the wall. Design of shear reinforcement should be in accordance with 「10.6.6」.

(3) The part of the wall that is exposed above the ground surface should satisfy the requirements in 「10.9.3」.

$$\Delta_u = \frac{5M_u l_c^2}{(0.75)48E_c I_{cr}} \quad (10.9.5)$$

M_u는 처짐을 반복적으로 대입하여 계산하거나 <식 (10.9.6)>을 이용하여 직접 계산한다.

$$M_u = \frac{M_{ua}}{1-\frac{5P_u l_c^2}{(0.75)48E_c I_{cr}}} \quad (10.9.6)$$

여기서,

$$I_{cr} = \frac{E_s}{E_c}\left(A_s + \frac{P_u}{f_y}\right)(d-c)^2 + \frac{l_w c^3}{3},\ \frac{E_s}{E_c} \geq 6 \quad (10.9.7)$$

④ P-Δ효과를 고려한 사용하중에 의한 최대 처짐 Δ_s는 $l_c/150$을 초과하지 않아야 한다. 벽체 높이 중간에서의 Δ_s는 <식 (10.9.8)>에 의해 계산한다.

$$\Delta_s = \frac{(5M)l_c^2}{48E_c I_e} \quad (10.9.8)$$

$$M = \frac{M_{sa}}{1-\frac{5P_s l_c^2}{48E_c I_e}} \quad (10.9.9)$$

l_e는 <식 (10.9.10)>에 준하여 계산해야 하며, 다만 M_a을 M으로 대치하고 I_{cr}은 <식 (10.9.7)>을 이용하여 계산한다.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1-\left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \quad (10.9.10)$$

여기서,

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (10.9.11)$$

$$f_r = 0.63\sqrt{f_{ck}} \quad (10.9.12)$$

10.9.5 비내력벽과 지중보

(1) 비내력벽의 두께는 100 mm이상이어야 하고, 또한 이를 횡방향으로 지지하고 있는 부재 간 최소 거리의 1/30 이상이 되어야 한다.

(2) 지중보로 설계하는 벽체는 「10.6.3과 10.6.4항」의 규정으로부터 산정한 휨모멘트에 소요되는 철근을 벽체의 상부 및 하부에 배치해야 한다. 전단보강에 대한 설계는 「10.6.6항」의 규정에 따라야 한다.

(3) 지표면 위로 노출된 지중보 벽체의 부분에 대해서는 「10.9.3항」의 규정을 만족해야 한다.

10.9.6 Shear design for the wall

(1) Design general

① Design of horizontal shear force in parallel with wall surface should be in accordance with 「10.9.6」. However, the design of shear force perpendicular to wall surface should be in accordance with 「10.6.6 (6)」. When wall height is no more than 2 times wall length, it may be designed according to the strut-tie model and 「10.6.6 (2)」.

② Design of horizontal section to shear force on wall surface should be based on <Eq. (10.6.30)> and <Eq. (10.6.31)>, and shear strength V_c should be in accordance with 「10.9.6 (2) ①」 and 「10.9.6 (2) ②」, while shear strength V_s should be in accordance with 「10.9.6 (2) ⑤」

③ In designing horizontal shear force on wall plane, d may be $0.8l_w$. But when analyzing according to compatibility condition, d which is the distance from compression edge to the center of force may be used.

(2) Calculation of shear strength

① Shear strength V_c should be $(\sqrt{f_{ck}}/6)hd$ or less to the wall on which N_u is compression unless it is calculated using 「10.9.6 (2) ②」. But for the wall on which N_u is tension, it shall be the value determined using <Eq. (10.6.35)> or less.

② Shear strength V_c could be calculated using <Eq. (10.9.13)> and <Eq. (10.9.14)>, but the value that is the lowest should be taken.

$$V_c = 0.28\sqrt{f_{ck}}hd + \frac{N_u d}{4l_w} \qquad (10.9.13)$$

$$\text{Or, } V_c = \left[0.05\sqrt{f_{ck}} + \frac{l_w\left(0.10\sqrt{f_{ck}} + 0.2\frac{N_u}{l_w h}\right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}}\right]hd \qquad (10.9.14)$$

where, N_u is negative (-) for tensile force

When $\left(\left(\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}\right)\right)$ is negative (−), <Eq. (10.9.14)> should not be used.

③ Shear strength V_n of horizontal section to shear force in wall plane should be $(5\sqrt{f_{ck}}/6)hd$ or less.

④ The section closer to the wall floor than the distance $l_w/2$ or 1/2 of wall height, whichever is less, may be used for design of $l_w/2$ or V_c obtained from 1/2 of the height.

10.9.6 벽체에 대한 전단설계

(1) 설계 일반

① 벽체면과 나란한 수평전단력에 대한 설계는 이 「10.9.6항」의 규정에 따라야 한다. 그러나 벽체면에 수직인 전단력에 대한 설계는 「10.6.6 (6)항」의 규정에 따라야 한다. 또한 벽체의 높이가 벽체길이의 2배를 초과하지 않은 경우는 스트럿-타이 모델과 「10.6.6 (2) 항」의 규정에 따라 설계할 수 있다.

② 벽체면에서 전단력에 대한 수평단면의 설계는 <식 (10.6.30)>과 <식 (10.6.31)>에 기초해야 하며, 전단강도 V_c는 「10.9.6 (2) ①항」과 「10.9.6 (2) ②항」에 따라야 하고 전단강도 V_s는 「10.9.6 (2) ⑤항」에 따라야 한다.

③ 벽체 평면에서 수평전단력에 대한 설계에서 d는 $0.8l_w$로 취할 수 있다. 그러나 적합조건에 의해 해석할 경우에는 압축연단에서 인장철근의 힘의 중심까지의 거리인 d를 사용할 수 있다.

(2) 전단강도 계산

① 전단강도 V_c는 「10.9.6 (2) ②항」에 따라 계산하지 않는 한 N_u가 압축인 벽체에 대해서 $(\sqrt{f_{ck}}/6)hd$ 이하로 취해야 한다. 그러나 N_u가 인장인 벽체의 경우 <식 (10.6.35)>의 값 이하로 취해야 한다.

② 전단강도 V_c는 <식 (10.9.13)>과 <식 (10.9.14)>에 의해 계산할 수 있으나, 두 값 중에서 작은 것을 취해야 한다.

$$V_c = 0.28\sqrt{f_{ck}}hd + \frac{N_u d}{4l_w} \qquad (10.9.13)$$

$$\text{또는, } V_c = \left[0.05\sqrt{f_{ck}} + \frac{l_w\left(0.10\sqrt{f_{ck}} + 0.2\frac{N_u}{l_w h}\right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] hd \qquad (10.9.14)$$

여기서, N_u는 인장력일 때 부(−)이다.

$\left(\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}\right)$의 값이 부(−)일 때는 <식 (10.9.14)>를 적용할 수 없다.

③ 벽체 평면에서 전단력에 대한 수평단면의 전단강도 V_n을 $(5\sqrt{f_{ck}}/6)hd$ 이하로 취해야 한다.

④ $l_w/2$와 벽체 높이의 1/2 중 작은 쪽의 거리보다 벽체 바닥에 가까이 위치한 단면을 $l_w/2$ 거리 또는 높이의 1/2에서 구한 V_c에 대하여 설계할 수 있다.

⑤ When factored shear force V_u exceeds shear strength ϕV_c, horizontal shear reinforcement should be placed to satisfy <Eq. (10.9.13)> and <Eq. (10.9.14)>, and shear strength V_s should be calculated using <Eq. (10.9.15)>.

$$V_s = \frac{A_{vh} f_y d}{s_h} \qquad (10.9.15)$$

where, A_{vh} is section area of horizontal shear reinforcement within s_h and d should be in accordance with 「10.9.6 (1) ③」 and vertical shear reinforcement should be arranged as indicated by 「10.9.6 (3) ④」.

(3) Minimum reinforcement and arrangement

① When factored shear force V_u is less than $\phi V_c/2$, rebar should be arranged according to 「10.9.6 (3) ② ~ ⑤」 or 「10.9」. When V_u exceeds $\phi V_c/2$, wall reinforcement to resist shear force should be arranged according to 「10.9.6 (3) ② ~ ⑤」.

② Horizontal shear reinforcement ratio ρ_h to gross vertical section area of concrete should be more than 0.0025.

③ Spacing of horizontal shear reinforcement s_h should be $l_w/5$ or less and 450 mm or less.

④ Vertical shear reinforcement ratio ρ_l to gross horizontal section area of concrete should be at least the value in <Eq. (10.9.16)>, or 0.0025 or more.

$$\rho_l = 0.0025 + 0.5\left(2.5 - \frac{h_w}{l_w}\right)(\rho_h - 0.0025) \qquad (10.9.16)$$

However, ρ_l is not necessarily greater than the required horizontal shear reinforcement.

⑤ Spacing of vertical shear reinforcement s_v should be $l_w/3$ or less or 450 mm or less.

10.9.7 Transfer of the force on column, wall or bottom of the support

(1) Device to transfer the force

① The force and moment on column and wall bottom should be transferred to the base plate by concrete bearing force, rebar, dowel bar and mechanical coupler.

② Bearing force of concrete contact surface supported on support member should not exceed bearing strength of concrete stipulated in 「10.6.8」.

⑤ 계수전단력 V_u가 전단강도 ϕV_c를 초과하는 곳은 <식 (10.9.13)>과 <식 (10.9.14)>가 충족되도록 수평전단철근을 배치해야 하며, 전단강도 V_s를 <식 (10.9.15)>에 의해 구해야 한다.

$$V_s = \frac{A_{vh} f_y d}{s_h} \tag{10.9.15}$$

여기서, A_{vh}는 s_h 거리 내의 수평전단철근의 단면적이며, d는 「10.9.6 (1) ③항」에 따라야 한다. 그리고 연직전단철근을 「10.9.6 (3) ④항」에 따라 배치해야 한다.

(3) 최소 철근량 및 배치

① 계수전단력 V_u가 $\phi V_c/2$보다 작은 경우에 「10.9.6 (3) ②~⑤항」 또는 「10.9항」에 따라 철근을 배치해야 한다. V_u가 $\phi V_c/2$를 초과하는 경우는 전단력에 저항할 벽체 철근을 「10.9.6 (3) ②~⑤항」까지의 규정에 따라 배치해야 한다.

② 콘크리트의 전체 연직단면적에 대한 수평전단철근 단면적의 비 ρ_h를 0.0025이상으로 해야 한다.

③ 수평전단철근의 간격 s_h는 $l_w/5$ 이하, $3h$ 이하 또한 450mm이하로 해야 한다.

④ 콘크리트의 전체 수평단면적에 대한 연직전단철근 단면적의 비 ρ_l은 <식 (10.9.16)>의 값 이상, 또한 0.0025 이상으로 해야 한다.

$$\rho_l = 0.0025 + 0.5\left(2.5 - \frac{h_w}{l_w}\right)(\rho_h - 0.0025) \tag{10.9.16}$$

그러나 ρ_l은 소요 수평전단철근량보다 크게 취할 필요는 없다.

⑤ 수직전단철근의 간격 s_v는 $l_w/3$ 이하, $3h$ 이하, 또한 450mm이하로 해야 한다.

10.9.7 기둥, 벽체 또는 받침대 저면에서 힘의 전달

(1) 힘의 전달장치

① 기둥, 벽체 저면에서 힘과 모멘트는 콘크리트의 지압과 철근, 다웰바 및 기계적 이음장치에 의해 기초판에 전달시켜야 한다.

② 받침부재와 지지되고 있는 부재와의 콘크리트 접촉면의 지압력은 「10.6.8항」에서 규정하는 콘크리트 지압강도를 초과하지 않아야 한다.

③ Rebar, dowel bar and mechanical coupler supported on the support member should be able to transfer the force as described in 「A.」 and 「B.」. Other rebar, dowel bar and mechanical coupler should be in accordance with 「10.9.7 (2)」.

A. All compressive force exceeding the bearing strength of the concrete of either member.

B. Tensile force between contact surfaces

④ When moment is transferred to main stud or base plate from wall or column, rebar, dowel bar and mechanical coupler should be designed as specified in 「10.5.8」.

⑤ Lateral force should be transferred to pedestal or base plate according to the shear friction requirement specified in 「10.6.6 (4)」 or other appropriate measures.

(2) Transfer of force in precasting work

① Anchor bolt or mechanical coupler as described in 「② ~ ④」below may be used as a reinforcement method satisfying 「10.9.7 (1)」in precasting work. Anchor bolt should be designed according to the design standard for concrete anchor bolt.

② As the requirement for the joint with precast column or pedestal and support member, precast column should have a minimum nominal tensile strength of $1.5A_g$ (in N), and for a column with larger section area than required section area for the load, reduced effective section area A_g may be used, but such reduced effective section area should be 1/2 or more of the gross section area.

③ For the joint between precast wall and support member, the following requirements should be met.

A. Precast wall panel should use at least two tie bars and nominal tensile strength per tie bar should be 45,000 N or more.

B. In the event that there is no tensile force at the bottom of foundation, tie bar described in 「A」 may be anchored on concrete floor slab supported directly by ground soil.

④ Anchor bolt and mechanical coupler should be designed to reach design strength before failure of anchorage or surrounding concrete.

10.10 Deck plate

10.10.1 General

(1) This provision applies to RC deck and precast concrete deck which are supported by concrete girder, and the ratio of span and a single side in length is more than 1:2.

③ 받침부재와 지지되고 있는 부재와의 사이에 있는 철근, 다웰바 또는 기계적 이음장치는 다음의 「가.항」과 「나.항」같은 힘이 충분히 전달될 수 있어야 한다. 그 외에 철근, 다웰바 또는 기계적 이음장치는 「10.9.7 (2)항」의 규정을 따라야 한다.

가. 어느 한 쪽 부재의 콘크리트 지압강도를 초과하는 모든 압축력

나. 접촉면 사이의 인장력

④ 벽체 또는 기둥으로부터 휨모멘트가 지지 주각 또는 기초판에 전달되는 경우에는 철근이나 다웰바 또는 기계적 이음장치는 「10.5.8항」의 규정에 따라 설계해야 한다.

⑤ 횡력은 「10.6.6 (4)항」의 전단마찰의 규정 또는 다른 적절한 방법에 의하여 지지 받침대 또는 기초판에 전달시켜야 한다.

(2) 프리캐스트 시공에서 힘 전달

① 프리캐스트 시공에서 「10.9.7 (1)항」을 만족시키는 보강방법으로서 앵커볼트나 다음의 「②~④항」과 같이 적절한 기계적 이음장치를 사용할 수 있다. 앵커볼트는 콘크리트용 앵커볼트 설계기준에 따라 설계해야 한다.

② 프리캐스트 기둥 또는 받침대와 받침부재 간의 접합 요구조건으로, 프리캐스트 기둥은 $1.5\,A_g$ (단위는 N) 이상의 공칭인장강도를 가져야 하며, 하중에 의해 필요한 단면적보다 더 큰 단면적을 가지는 기둥의 경우 감소된 유효단면적 A_g를 사용할 수 있다. 다만 이 감소된 유효단면적은 전체 단면적의 1/2 이상은 되어야 한다.

③ 프리캐스트 벽체와 받침부재 간의 접합은 다음의 요구조건을 만족시켜야 한다.

가. 프리캐스트 벽패널은 벽 패널당 최소한 두 개의 연결철근을 사용해야 하며, 연결철근 하나의 공칭인장강도는 45,000 N 이상이어야 한다.

나. 해석결과 기초바닥 저면에 인장력이 발생되지 않을 때에는 「가.항」에 규정된 연결철근은 흙에 직접 지지되는 콘크리트 바닥슬래브에 정착시킬 수 있다.

④ 앵커볼트 및 기계적 이음장치는 정착구의 파괴나 주위의 콘크리트가 파괴되기 전에 설계강도에 도달하도록 설계해야 한다.

10.10 바닥판

10.10.1 일반내용

(1) 이 절은 콘크리트 거더로 지지되고, 지간과 한 변의 길이의 비가 1 : 2를 넘는 철근콘크리트 바닥판 및 프리스트레스트 콘크리트 바닥판의 설계에 적용해야 한다.

(2) Though the deck plate which is rather closer to square due to length ratio between one span and one side (aspect ratio) beingless than 1:2 may be in accordance with this provision depending on minimum thickness of deck, type of rebar and arrangement, it is necessary to consider aspect ratio when calculating design bending moment.

(3) Symbols

a', b'=Wheel base subject to uniform load as shown in Fig. 10.10.4, (m)

c = Distance from the end of partial distribution load width to free end (m)

l = Deck span (m) or slab span (m)

l_d= Deck span to fixed load (m)

l_f = Fixed slab span

M_d = Design moment of cantilever slab by fixed load

M_l = Design moment by train load on cantilever slab including impact

P = Axial load, (m)

s = Thickness of covering layer (kN)

t = Slab thickness (mm)

t_1, t_2 = Contact surface length of the load (mm)

v = Distribution width of the load perpendicular to span (mm)

x = Distance from the center of partial distribution load to the support line of nearest slab (m)

w = Uniformly distributed fixed load ($\mathrm{kN/m^2}$) or converted uniform distribution load ($\mathrm{kN/m^2}$)

10.10.2 Design general

(1) Axial force on guard rail and impact load on guard fence should be considered in design.

(2) Delamination of concrete from RC deck plate as crack develops can easily occur with substandard concrete, and thus the design strength of concrete should be at least 24 MPa.

(3) Shear force may not be reviewed if the deck plate is designed according to design moment in 「10.10.5 (1)」, and minimum thickness of deck plate required by 「10.10.4」 is satisfied.

(2) 지간과 한 변의 길이비(변장비)가 1:2보다 작아 정사각형에 가까운 바닥판은 바닥판의 최소두께, 철근의 종류 및 철근 배치 등에 따라 이 절의 규정을 따를 수 있지만, 설계휨모멘트를 계산할 때에는 변장비의 영향을 고려할 필요가 있다.

(3) 기호

a', b' = <그림 10.10.4>에 나타낸 등분포하중이 분포되는 축거(軸距), (m)

c = 부분분포하중의 분포폭의 단(端)에서 슬래브의 자유단까지의 거리(m)

l = 바닥판의 지간(m) 또는 슬래브의 지간(m)

l_d = 고정하중에 대한 바닥판의 지간(m)

l_f = 고정슬래브의 지간

M_d = 고정하중에 의한 캔틸레버판의 설계휨모멘트

M_l = 충격을 포함한 캔틸레버판의 열차하중에 의한 설계휨모멘트

P = 축중(軸重), (kN)

s = 피복층의 두께(mm)

t = 슬래브의 두께(mm)

t_1, t_2 = 하중의 접촉면 길이(mm)

v = 지간방향에 직각인 하중의 분포폭(m)

x = 부분분포하중의 중심에서 가장 가까운 슬래브의 지지선까지의 거리(m)

w = 등분포 고정하중(kN/m^2) 또는 환산등분포하중(kN/m^2)

10.10.2 설계일반

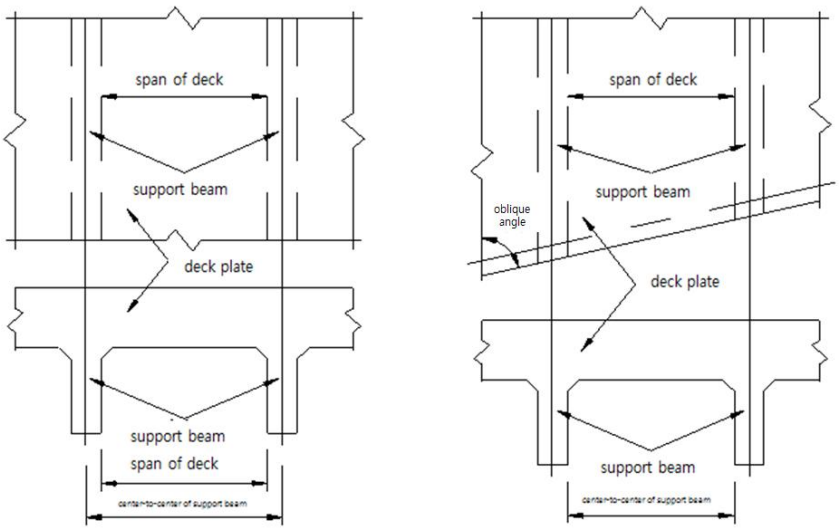
(1) 바닥판의 설계를 할 때 난간에 작용하는 축방향력 및 방호책에 작용하는 충돌하중 등의 영향을 고려해야 한다.

(2) 철근콘크리트 바닥판에서 균열의 진전에 의해 부분적으로 콘크리트가 떨어져 나가는 것은 품질이 나쁜 콘크리트에서 생기기 쉽다. 따라서 바닥판에 사용되는 콘크리트의 설계기준강도는 24MPa이상으로 해야 한다.

(3) 「10.10.4항」에 규정하는 보위의 바닥판의 최소두께를 만족하고, 「10.10.5 (1)항」의 규정에 따른 설계휨모멘트에 의하여 바닥판을 설계할 때에는 전단력에 대한 검토를 생략할 수 있다.

10.10.3 Deck span

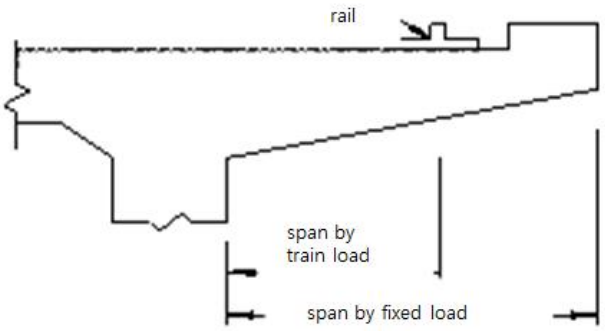
(1) Span, for train load and fixed load on a simple slab and continuous slab, should be as described in Fig. 10.10.1. That is, the span of simple slab and continuous slab should be clear span. The span of skewed bridge should be clear span measured perpendicular to the support beam, considering the stress transfer to the support beam from deck plate.



(a) Straight bridge (b) Skewed bridge

Fig 10.10.1 - Span of a simple slab and continuous slab

Span of cantilever shall be as specified in <Fig. 10.10.2>

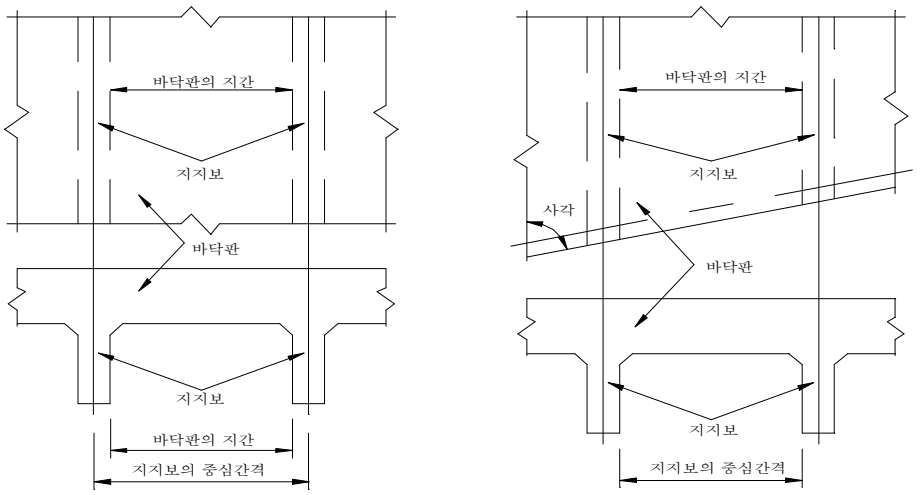


When cantilever is perpendicular to the track

Fig. 10.10.2 Span of cantilever

10.10.3 바닥판 지간

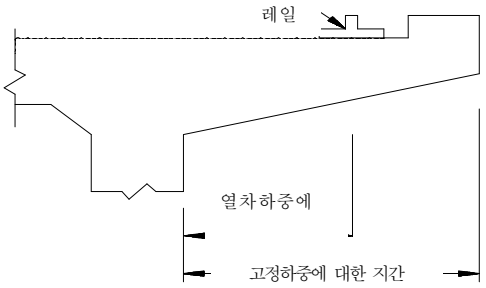
(1) 단순판 및 연속판에 작용하는 열차하중 및 고정하중에 대한 지간은 <그림 10.10.1>과 같이 해야 한다. 즉, 단순판 및 연속판의 지간은 순지간으로 해야 한다. 사교(斜橋)의 지간은 받침부근을 제외하고 바닥판으로부터 지지보로의 응력 전달을 고려하여 바닥판의 지간을 지지보에 직각으로 잰 순지간으로 해야 한다.



(a) 직교의 경우 (b) 사교의 경우

그림 10.10.1 단순판 및 연속판의 지간

캔틸레버판의 지간은 <그림 10.10.2>와 같이 해야 한다.



궤도진행방향에 직각으로 캔틸레버판이 있는 경우

그림 10.10.2 캔틸레버판의 지간

10.10.4 Minimum thickness of deck plate

(1) RC deck plate

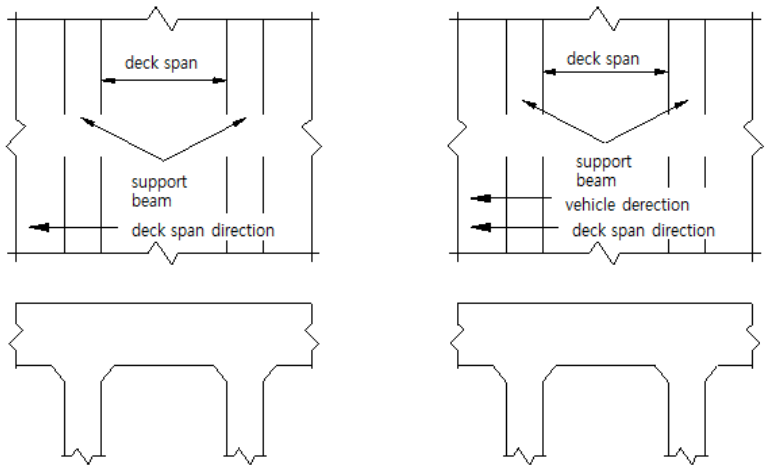
① Given the deck of concrete bridge generally comprises concrete support beam and steel, the equation for continuous slab or cantilever slab needs to be applied.

② Minimum thickness of RC plate for track is summarized in Table 10.10.1 that indicates the minimum thickness of track deck under usual conditions, and thus, for the railway bridge on which bending moment is added due to a significant difference in rigidity of the girder supporting the deck which is difficult to repair when damaged, thickness of the deck should be determined by considering the potential effect. Thus, minimum thickness of track deck should be 200 mm or the value given in Table 10.10.1, whichever is greater. But minimum thickness of railway bridge deck under particular conditions should be greater than the values given in Table 10.10.1. Minimum thickness of cantilever slab in Table 10.10.1 refers to the thickness of the front surface of the web of the support beam.

Table 10.10.1 Minimum thickness of track deck (mm)

Deck span direction* Deck		Perpendicular to track	Parallel with track
Simple slab		$40l + 110$	$65l + 130$
Continuous slab		$30l + 110$	$50l + 130$
Cantilever slab	$l \leq 0.25$	$280l + 160$	$240l + 130$
	$l > 0.25$	$80l + 210$	

*) Deck span direction shall be as <Fig. 10.10.3>. l (m) is deck span according to 10.10.3.



(a) Perpendicular to the track (b) Parallel with the track

Fig. 10.10.3 Deck span direction

10.10.4 바닥판 최소두께

(1) 철근콘크리트 바닥판

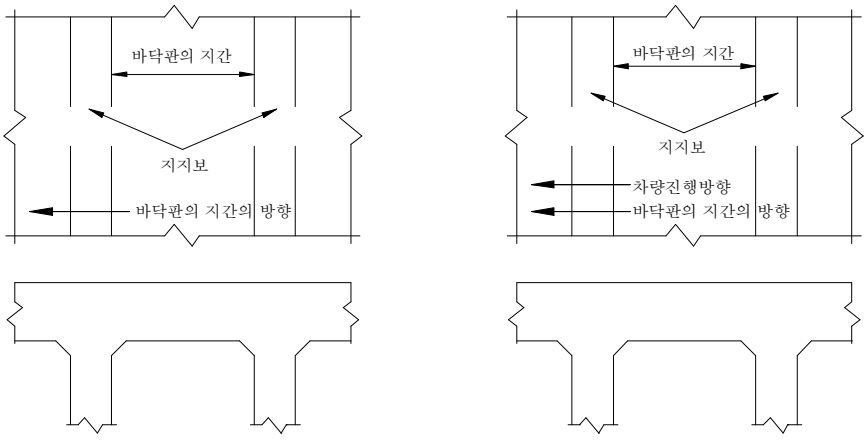
① 콘크리트교의 바닥판은 일반적으로 콘크리트로 된 지지보와 강절로 연결되어 있으므로 연속판 또는 캔틸레버판의 계산식을 적용하는 것이 좋다.

② <표 10.10.1>에 규정되어 있는 철근콘크리트 바닥판의 궤도부분에 대한 최소두께는 일반적인 조건하에서 궤도 바닥판의 최소두께에 대한 기준을 보인 것이다. 따라서 바닥판에 손상이 생기면 보수작업이 곤란한 철도교량, 바닥판을 지지하는 거더의 강성이 현저하게 차이가 나서 휨모멘트가 부가되는 철도교량 등 특수한 조건하에 있는 철도교량에 대하여는 그 영향을 고려하여 바닥판의 두께를 결정하는 것이 바닥판의 내구성을 확보한다는 관점에서 보면 합리적이다. 따라서, 궤도부분 바닥판의 최소두께는 200mm 또는 <표 10.10.1>에 있는 값 중에서 큰 값으로 해야 한다. 그러나, 특수한 조건하에 있는 철도교량의 바닥판의 최소두께는 <표 10.10.1>에 있는 값보다 크게 해야 한다. <표 10.10.1>에서 캔틸레버판의 최소두께는 지지보 복부 전면에서의 두께를 말한다.

표 10.10.1 궤도부분 바닥판의 최소두께(mm)

(a) 바닥판 지간의 방향(주) / (b) 바닥판의 구분		궤도 진행 방향에 직각	궤도 진행 방향에 평행
단순판		$40l$ +110	$65l$ +130
연속판		$30l$ +110	$50l$ +130
캔틸레버판	$l \leq 0.25$	$280l$ +160	$240l$ +130
	$l > 0.25$	$80l$ +210	

주) 바닥판 지간의 방향은 <그림 10.10.3>에 따라야 한다. l(m)은 10.10.3에서 규정한 바닥판의 지간



(a) 바닥판의 지간의 방향이 차량진행방향에 직각인 경우

(b) 바닥판의 지간의 방향이 차량진행방향에 평행인 경우

그림 10.10.3 바닥판 지간의 방향

③ Minimum thickness of deck for sidewalk should be 140 mm.

(2) Prestressed concrete deck plate

① Minimum thickness of track deck is as follows.

A. Minimum thickness of track deck should be no less than 200 mm on any part, in consideration of the need for workability.

B. Thickness of the end of cantilever slab should be 50% or more of the minimum thickness of cantilever slab given in Table 10.10.1, in addition to the requirement in 「①」. Thickness of the end of precast concrete cantilever slab should be determined according to the requirement considering the layout of various PS steel anchorages. Generally, the thickness of slab end should be at least 200 mm. When prestressing in a single direction, another direction should follow 「10.10.4 (1) ①」 considering it is an RC structure.

C. When prestressing in a single direction of deck, minimum thickness of track deck is provided in Table 10.10.2, in addition to the requirement in 「A.」 and 「B.」. Minimum thickness of cantilever slab refers to the thickness of front surface of the web of support girder. But, moment perpendicular to the span is less than that toward the span, which is 90% at right angle to the track and 65% in parallel with the track, and thus it is permitted to reduce the minimum thickness of deck to such proportion. But minimum thickness of 200 mm for the track deck according to A above should be applied.

Table 10.10.2 Minimum thickness of track deck when prestressing in a single direction of deck

Deck span direction* Deck	Perpendicular to track	Parallel with track
In parallel with deck span	90% when deck span is perpendicular to track in <10.101>	65% when deck span is in parallel with the track in <10.101>
Perpendicular to deck span	Value when deck span is perpendicular to track in <10.101>	Value when deck span is in parallel with the track in <10.101>

*) Deck span direction shall be as described in <Fig. 10.10.3>.

② Minimum thickness of deck for sidewalk shall be l40 mm.

③ 보도부분 바닥판의 최소두께는 140mm로 해야 한다.

(3) 프리스트레스트 콘크리트 바닥판

① 궤도부분 바닥판의 최소두께는 다음의 규정에 따라야 한다.

가. 궤도부분 바닥판의 최소두께는 시공성을 고려하여 어느 부분에서도 200mm보다 작아서는 안 된다.

나. 캔틸레버판의 끝부분의 두께는 「①항」의 규정을 따르는 것 외에 <표 10.10.1>에 규정되어 있는 캔틸레버판의 최소두께의 50%이상으로 해야 한다. 프리스트레스트 콘크리트 캔틸레버판 끝부분의 최소두께는 규정에 따라 정하되 각종 PS강재 정착장치의 배치 등을 고려하여 정하는 것이 좋다. 일반적으로 판 끝부분의 두께는 200mm이상으로 해야 한다. 1방향으로만 프리스트레스를 도입하는 경우 프리스트레스를 도입하지 않는 방향은 철근콘크리트 구조이기 때문에 「10.10.4 (1) ①항」의 규정을 적용해야 한다.

다. 바닥판의 1방향으로만 프리스트레스를 도입하는 경우 궤도부분 바닥판의 최소두께는 「가.항」 및 「나.항」의 규정에 따르는 것 외에 <표 10.10.2>의 값으로 해야 한다. 다만 캔틸레버판의 최소두께는 지지거더의 복부 앞면에서의 두께를 말한다. 그러나 지간 직각 방향으로 작용하는 휨모멘트는 지간방향으로 작용하는 휨모멘트보다 작아, 바닥판 지간의 방향이 궤도진행방향에 직각인 때는 90%정도, 궤도진행방향에 평행인 때에는 65%정도이므로 바닥판의 최소두께를 이 비율로 줄이는 것을 허용하였다. 이 경우에도 가항에 규정한 궤도부분 바닥판의 최소두께 200mm를 적용하는 것으로 해야 한다.

표 10.10.2 바닥판의 1방향에만 프리스트레스트를 도입한 경우 궤도부분 바닥판의 최소두께

(a) 바닥판의 지간방향* (b) 프리스트레스를 (c) 도입하는 방향	궤도진행방향에 직각인 방향	궤도진행방향에 평행인 방향
바닥판지간 방향에 평행	<표 10.10.1>에서 바닥판 지간의 방향이 궤도진행방향에 직각인 때의 90%	<표 10.10.1>에서 바닥판 지간의 방향이 궤도진행방향에 평행인 때의 65%
바닥판지간 방향에 직각	<표 10.10.1>에서 바닥판 지간의 방향이 궤도진행방향에 직각인 때의 값	<표 10.10.1>에서 바닥판 지간의 방향이 궤도진행방향에 평행인 때의 값

주) 바닥판 지간의 방향은 <그림 10.10.3>에 따라야 한다.

② 보도부분 바닥판의 최소두께는 140mm로 해야 한다.

10.10.5 Deck design bending moment

(1) Wheel load on track

Train load on track should be determined as follows.

① In calculating bending moment and shear force of girder

A. Wheel load on track should be considered as a concentrated load without considering the distribution of span direction.

B. Distribution width of wheel load in track direction used in calculating the effective width of slab girder should follow 「③ B.」.

② In calculating torsional moment of girder

Wheel load should consider the distribution in parallel with or perpendicular to the track according to 「③ B.)」.

③ In designing the slab supported by girder

A. In designing bending moment on one-way or two-way slab that supports slab track by wheel load, converted uniform distribution load in <Eq. (10.10.1)> should be used.

$$w = \frac{p}{a \times b'} \qquad (10.10.1)$$

where w is converted uniform distribution load ($\mathrm{kN/m^2}$); P is Axial load (kN); α is wheel base (m); and b' is the value shown in Fig. 10.10.4 (m).

B. When reviewing the effect of wheel load distribution, wheel load should be considered as partial distribution load in Fig. 10.10.4 depending on track structure.

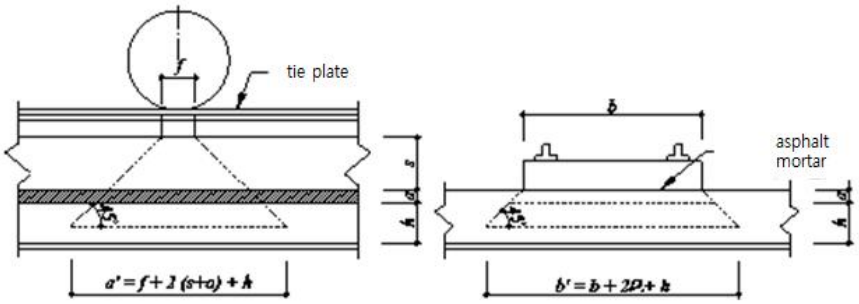


Fig. 10.10.4 Train load distribution width on slab track

Here, f is the distance of the line linking the center of circular arc to inner support on curve (m), s is slab track height, a is diameter of waterproof and h is slab thickness.

10.10.5 바닥판 설계휨모멘트

(1) 궤도상의 차륜하중

궤도상의 열차하중은 다음의 규정을 따라야 한다.

① 거더의 휨모멘트 및 전단력을 계산하는 경우

가. 궤도상의 차륜하중은 일반적으로 지간방향의 분포를 고려하지 않고 집중하중으로 본다.

나. 슬래브 거더의 유효폭 계산에 사용하는 차륜하중의 궤도방향 분포폭은「③ 나.항」를 따라야 한다.

② 거더의 비틀림모멘트를 계산하는 경우

일반적으로 차륜하중은 궤도 방향 및 궤도 직각방향으로「③ 나.항」에 의해 그 분포를 고려해야 한다.

③ 거더에 지지된 슬래브를 설계하는 경우

가. 슬래브 궤도를 지지하는 1방향, 또는 2방향 슬래브의 차륜하중에 의한 휨모멘트의 설계에 있어서는 <식 (10.10.1)>의 환산등분포하중을 사용해야 한다.

$$w = \frac{P}{a \times b'} \qquad (10.10.1)$$

여기서, w : 환산등분포하중(kN/m^2)

P : 축중(軸重), (kN)

α : 축거(軸距), (m)

b' : <그림 10.10.4>에 나타난 값 (m)

나. 특히 차륜하중의 분포의 영향을 검토하려는 경우, 차륜하중은 궤도구조에 따라 <그림 10.10.4>에 나타낸 부분분포하중으로 고려해야 한다.

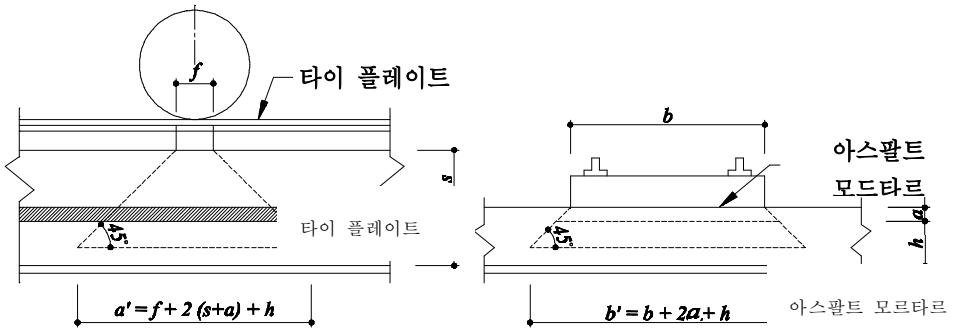


그림 10.10.4 슬래브 궤도의 열차하중 분포폭

여기서, f는 궤도 중심선원호의 중심으로부터 곡선 내측지점을 연결한 선까지의 거리(m), s는 슬래브궤도의 높이, a는 방수공의 지름, h는 슬래브의 두께

④ The moment of continuous slab by uniformly distributed fixed load is different depending on end and middle span. To simplify design process, design moment per unit width (m) of deck generated by uniformly distributed dead load should be calculated as specified in Table 10.10.3.

Table 10.10.3 - Design bending moment per unit width (m) of deck by uniformly distributed dead load (kN.m/m)

Slab	Type of moment	Equations
Simply supported slab	Positive moment	$+ w\, l_d^{\,2} / 8$
Cantilever slab	Negative moment	$- w\, l_d^{\,2} / 2$
Continuous slab	Positive moment	$+ w\, l_d^{\,2} / 10$
	Negative moment	$- w\, l_d^{\,2} / 10$

⑤ If the direction of bending moment is not coincident with the direction of reinforcements, effective section area of steel reinforcement should be used in calculating design moment or the component of prestressing force should be used for design.

⑥ Statically indeterminate bending moment by prestressing should be considered when introducing prestressing to continuous slab, because statically indeterminate force may occur depending on the eccentricity of prestressing tendon. But when prestressing tendon is provided to reduce such statically indeterminate bending moment, such statically indeterminate bending moment may be neglected.

(2) Partial uniform load

① Width of partial uniform load

A. The load on slab surface is distributed in the range of contact surface distanced by 1/2 of slab thickness from the outer side of contact surface to the similar figure.

B. When the top of slab is covered by concrete or asphalt, the range of distribution should be assumed to extend as much as covering thickness from the similar figure above. When covering material is flexible, 3/4 of covering thickness should be applied.

④ 등분포고정하중에 의한 연속판의 휨모멘트는 단지간과 중앙지간에서 다르지만 설계를 간략화하기 위해서 등분포 고정하중에 의한 바닥판의 단위폭(m)당의 설계휨모멘트는 <표 10.10.3>에 의해 계산해야 한다.

표 10.10.3 등분포 고정하중에 의한 바닥판의 단위폭(m)당 설계휨모멘트(kN.m/m)

판의 구분	휨모멘트의 종류	바닥판 지간방향의 휨모멘트
단순판	지간 휨모멘트	$+ w l_d^2 / 8$
캔틸레버판	지점 휨모멘트	$- w l_d^2 / 2$
연속판	지간 휨모멘트	$+ w l_d^2 / 10$
	지점 휨모멘트	$- w l_d^2 / 10$

⑤ 설계휨모멘트의 방향과 강재의 배치방향이 다를 때에는 설계휨모멘트 방향에 대한 강재의 유효단면적을 사용하거나 또는 프리스트레스 힘의 분력을 이용하여 설계를 수행해야 한다.

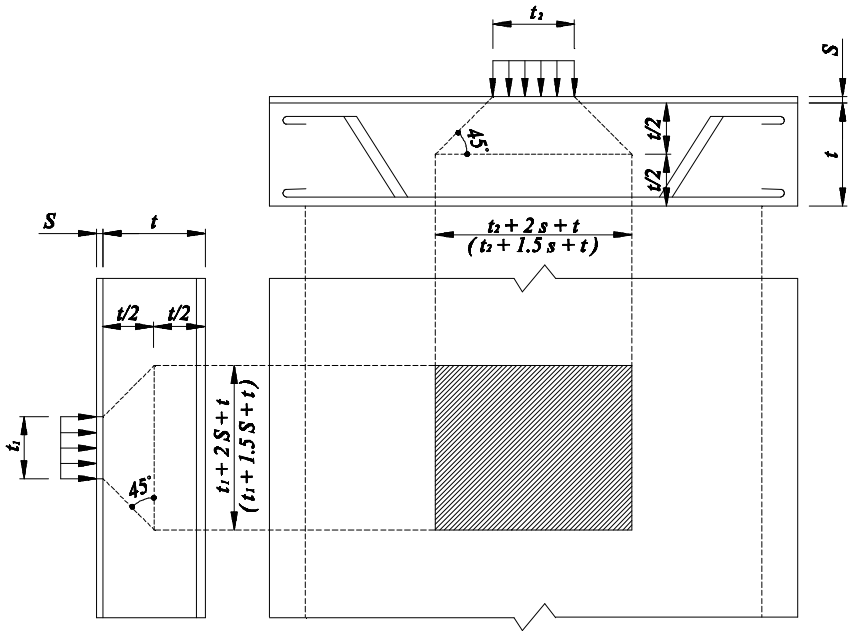
⑥ 연속바닥판에 프리스트레스를 도입하는 경우에는 PS강재의 편심량에 따라 큰 부정정력이 발생할 수 있으므로 프리스트레싱에 의해 생기는 부정정 휨모멘트를 고려해야 한다. 다만, 부정정 휨모멘트가 작게 일어나도록 PS강재를 배치하는 경우에는 이 부정정 휨모멘트를 무시할 수 있다.

(2) 부분 분포하중

① 부분 분포하중의 분포폭

가. 슬래브 표면에 작용하는 하중은 <그림 10.10.5>에서 보인 바와 같이 그 접촉면의 외곽에서 슬래브 두께의 1/2거리만큼 떨어진 접촉면과 닮은꼴의 범위에 분포되어 작용하는 것으로 본다.

나. 슬래브의 상부가 콘크리트 또는 아스팔트 콘크리트로 피복되어 있는 경우에는 위의 닮은꼴에다 피복층의 두께만큼 더 연장시킨 범위에 분포되어 작용하는 것으로 해야 한다. 피복재료가 유연한 경우에는 피복두께의 3/4을 사용해야 한다.



*) ( ) indicates the flexible material in the covering layer.

Fig. 10.10.5 Distribution width of the load

② Design calculation if partial uniform load is applied to one-way slab

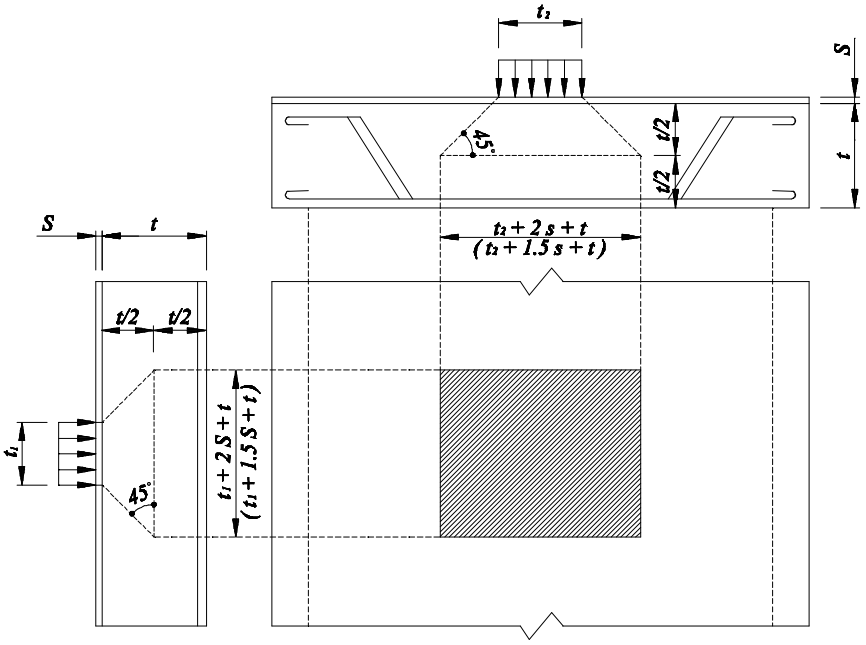
A. If a single span one-way slab receives a single partial uniform load, maximum bending moment per unit width of slab could be calculated on the assumption that the slab has effective width as defined in 「③ A. or ④ A.」 over the entire span, and considering it as the beam with the same effective width.

B. If a single span one-way slab receives the wheel load on track, bending moment and shear force per unit width of slab could be calculated on the assumption that the slab has effective width as defined in 「③ B. or ④ B.」 over the entire span, and considering it as the beam with the same effective width.

C. In the calculation by using the effective width according to 「A. & B.」 above, distribution bar should be provided according to 「⑤」.

③ Effective width of simply-supported one-way slab

A. If simply-supported one-way slab receives a single partial distribution load, the effective width of slab b_e is as follows (Fig. 10.10.6):



*) ( )안은 피복층이 유연한 재료의 경우를 표시함.

그림 10.10.5 하중의 분포폭

② 1방향 슬래브가 부분분포하중을 받는 경우의 설계계산

가. 단일 지간의 1방향 슬래브가 1개의 부분분포하중을 받는 경우, 슬래브의 단위폭당 최대 휨모멘트는 슬래브가 전(全)지간에 걸쳐서 「③ 가.항 또는 ④ 가.항」에서 정하는 유효폭을 갖는다고 보고, 이 유효폭과 같은 폭을 갖는 보로 보아 이를 구해도 좋다.

나. 단일 지간의 1방향 슬래브가 궤도상의 윤하중을 받는 경우, 슬래브의 단위폭당 휨모멘트 및 전단력은 슬래브가 전지간에 걸쳐서 「③ 나.항 또는 ④ 나.항」에서 정하는 유효폭을 갖는다고 보고, 이 유효폭과 같은 폭을 갖는 보로 보아 이를 구해도 좋다.

다. 위의 「가.항 및 나.항」에 의한 유효폭을 사용하여 계산할 경우는 「⑤항」에 따라 배력철근을 두어야 한다.

③ 단순지지된 1방향 슬래브의 유효폭

가. 단순지지된 1방향 슬래브가 1개의 부분분포하중을 받는 경우의 슬래브의 유효폭 b_e는 다음 값으로 해야 한다.(<그림 10.10.6> 참조)

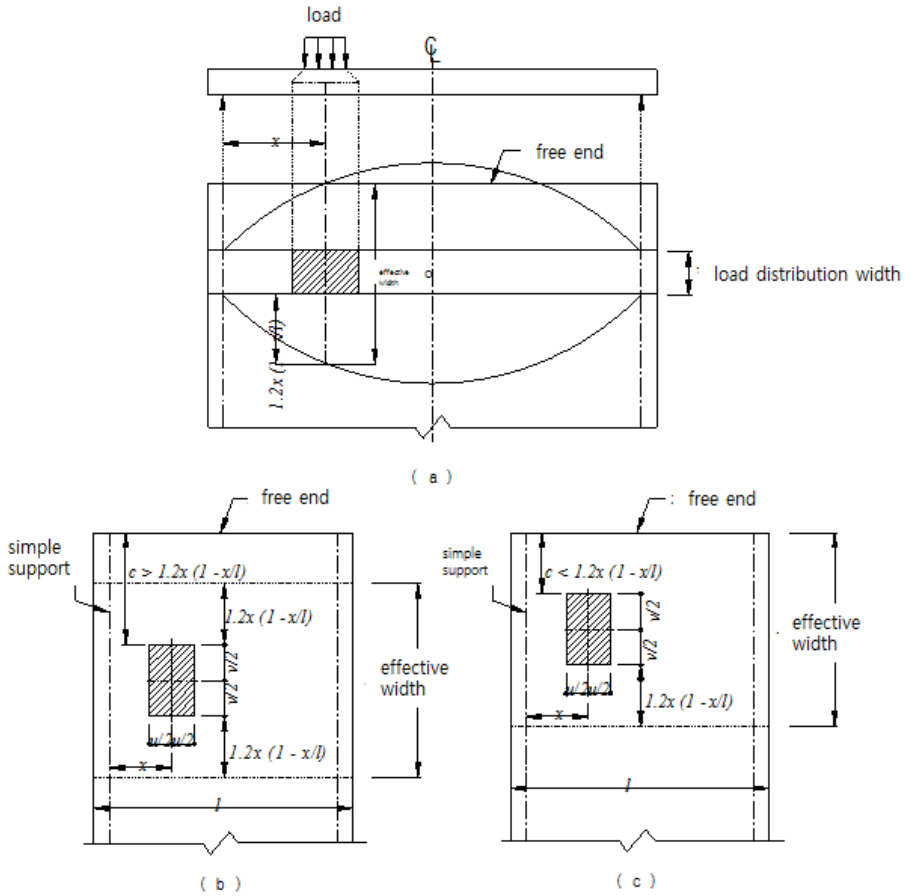


Fig. 10.10.6 Effective width of unidirectional slab

(a) In case of $c \geqq 1.2x\left(1-\frac{x}{l}\right)$ (Fig. 10.10.6 (b))

$$b_e = v + 2 \times 1.2x\left(1-\frac{x}{l}\right) \qquad (10.10.2)$$

(b) In case of $c < 1.2x\left(1-\frac{x}{l}\right)$, (Fig. 10.10.6 (c))

$$b_e = v + c + 1.2x\left(1-\frac{x}{l}\right) \qquad (10.10.3)$$

B. If a simply-supported one-way slab receives wheel load on track and wheel load moving direction is the same as slab span direction, the effective width of slab should be up to slab span size and should be center-to-center distance of adjoining track or less.

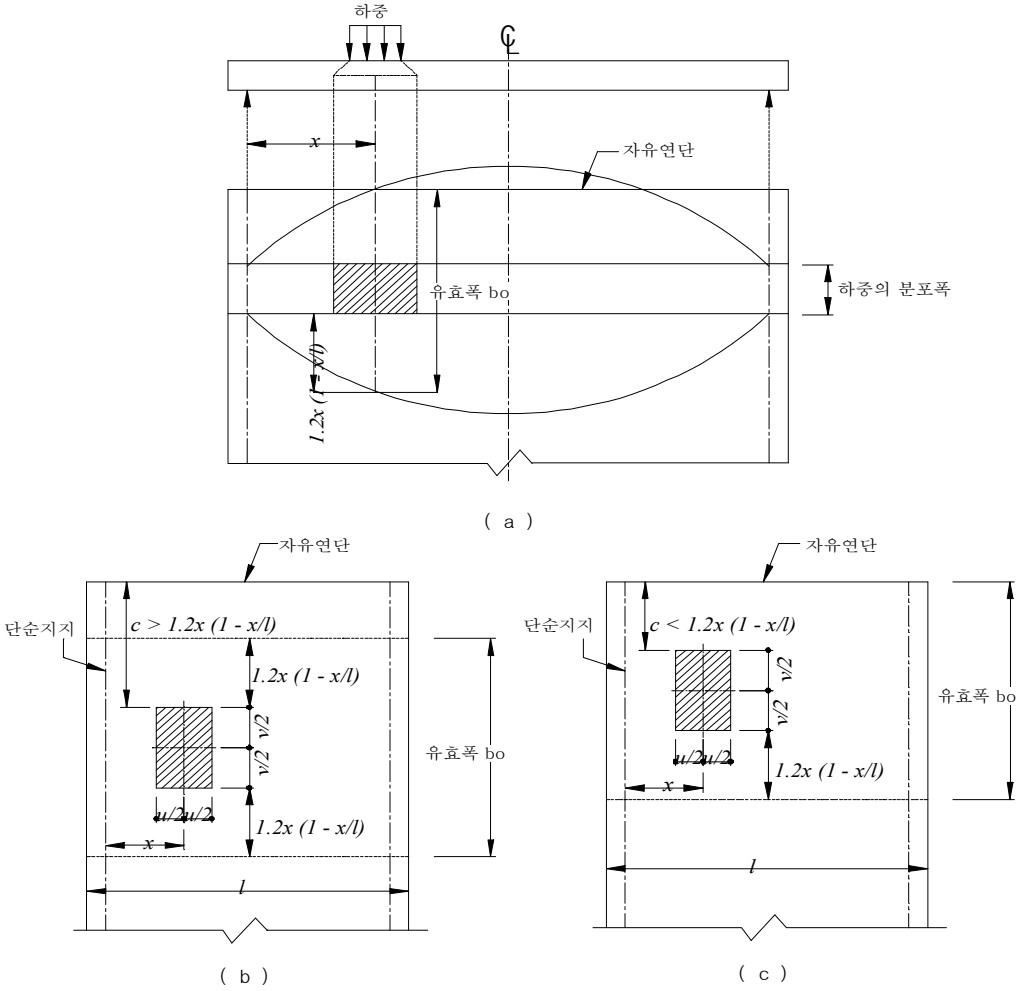


그림 10.10.6 1방향 슬래브의 유효폭

㉮ $c \geqq 1.2x\left(1-\frac{x}{l}\right)$의 경우(<그림 10.10.6(b)> 참조)

$$b_e = v + 2 \times 1.2x\left(1-\frac{x}{l}\right) \qquad (10.10.2)$$

㉯ $c < 1.2x\left(1-\frac{x}{l}\right)$의 경우(<그림 10.10.6(c)> 참조)

$$b_e = v + c + 1.2x\left(1-\frac{x}{l}\right) \qquad (10.10.3)$$

나. 단순지지된 1방향 슬래브가 궤도상의 윤하중을 받는 경우로서 윤하중의 이동 방향이 슬래브의 지간방향과 일치하는 경우에는 슬래브의 유효폭은 슬래브 지간의 크기까지이고, 인접한 궤도의 중심간 거리 이하라야 한다.

④ Effective width of fixed one-way slab

A. Effective width of the slab in the event that one-way slab fixed at both ends receives fixed partial uniform load should be the value calculated on the assumption that l of <Eq. (10.10.2)> and <Eq. (10.10.3)> are set as $0.6l_f$.

B. Effective width of the slab in the event that one-way slab fixed at both ends receives wheel load moving along the track and wheel load moving direction is the same as slab span direction should be up to 0.6 times the slab span and should be the center-to-center distance of the adjoining track or less.

⑤ Distribution bar of one-way slab

A. Sectional area of distribution bar of simply-supported unidirectional slab is as follows.

(a) In case of uniform load, tensile reinforcement per 1 m in length should be generally more than 1/6 of cross section of tensile reinforcement per 1 m in width.

(b) In case of partial uniform load, α times the section area of tensile reinforcement per 1 m in width required for partial uniform load should be added to distribution bar in 「A.」. In addition, α should be calculated as follows.

Loading on slab center:

$$\text{Lower distribution bar } \alpha = \left(1-0.25\frac{l}{b}\right)\left(1-0.8\frac{v}{b}\right) \qquad (10.10.4)$$

But, if $\frac{l}{b} > 2.5$, α should be equal to the value by using $\frac{l}{b} = 2.5$.

Loading on slab edge:

$$\text{Upper distribution bar } \alpha = \frac{l}{8}\left(1-2\frac{v}{b}\right) \qquad (10.10.5)$$

where, v and b are the widths of load and effective width, respectively while l is span (m).

B. Distribution bar in one-way slab should generally be placed immediately above positive reinforcement and below negative reinforcement.

C. Spacing of distribution bar should be 3 times or less of effective height of slab.

D. Section area of distribution bar in one-way slab fixed at both ends should be in accordance with A. above.

10.10.6 Structure details

(1) Haunch

① Haunch shall be provided on support beam to continuously transfer the stress to support beam from deck plate.

④ 고정된 1방향 슬래브의 유효폭

가. 양단이 고정된 1방향 슬래브가 이동하지 않는 부분 분포하중을 받는 경우의 슬래브의 유효폭은 <식 (10.10.2)> 및 <식 (10.10.3)>의 l을 $0.6\,l_f$로 놓고 구한 값으로 해야 한다.

나. 양단이 고정된 1방향 슬래브가 궤도상을 이동하는 윤하중을 받는 경우로서 윤하중의 이동방향이 슬래브의 지간방향과 일치하는 경우에는 슬래브의 유효폭은 슬래브의 지간에 0.6배 까지로 하고, 인접한 궤도의 중심간 거리 이하라야 한다.

⑤ 1방향 슬래브의 배력철근

가. 단순받침으로 된 1방향 슬래브의 배력철근의 단면적은 다음에 따라야 한다.

㉮ 등분포하중을 받는 경우, 슬래브의 길이 1m당 일반적으로 슬래브 폭 1m당의 인장철근 단면적의 1/6 이상으로 해야 한다.

㉯ 부분분포하중을 받는 경우는 「가.항」의 배력철근에 부분분포하중에 대해 필요한 슬래브 폭 1m당의 인장철근 단면적의 α배를 더한 것으로 해야 한다. 이 α는 다음에 따라야 한다.

슬래브 중앙부근 재하

$$\text{아래쪽 배력철근 } \alpha = \left(1-0.25\frac{l}{b}\right)\left(1-0.8\frac{v}{b}\right) \qquad (10.10.4)$$

다만, $\frac{l}{b} > 2.5$의 경우에는 $\frac{l}{b} = 2.5$일 때 α값을 사용해야 한다.

슬래브 연단부근 재하

$$\text{위쪽 배력철근 } \alpha = \frac{l}{8}\left(1-2\frac{v}{b}\right) \qquad (10.10.5)$$

여기서, v, b는 지간직각방향의 하중폭(m) 및 유효폭(m), l은 지간(m)이다.

나. 1방향 슬래브의 배력철근은 일반적으로 정철근의 바로 위, 부철근의 바로 밑에 배치해야 한다.

다. 배력철근의 간격은 슬래브의 유효높이의 3배 이하로 해야 한다.

라. 양단 고정의 1방향 슬래브의 배력철근의 단면적은 위의 「가.항」에 따라야 한다.

10.10.6 구조상세

(1) 헌치

① 바닥판의 헌치는 바닥판으로부터 지지보에 응력을 연속적으로 전달하기 위하여 바닥판에는 지지보 위에 헌치를 둔다.

② Inclination of haunch on deck plate shall be more gentle than 1:3, and when it is steeper than 1:3, the thickness up to 1:3 shall be considered as the effective section when designing the deck, as indicated in <Fig. 10.10.7>.

③ Reinforcement, D 13 or more, shall be provided to inner side of haunch.

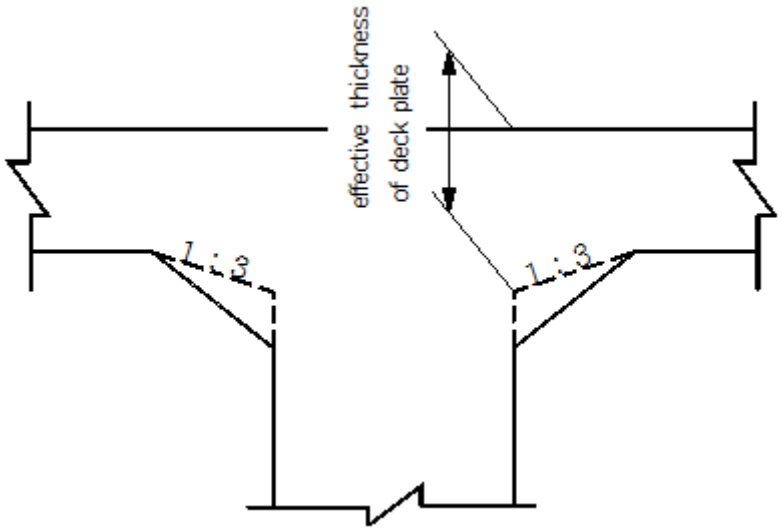


Fig. 10.10.7 Effective thickness of deck plate around haunch

(2) Types of reinforcement and arrangement

① Deformed bar shall be used for reinforcement and crack may occur when using a bar with a large diameter on a thin member such as a base plate, and thus standard rebar diameter is defined. Usually, D13 ~ D19 are used, while D22 can be used in principle at the end of a deck plate requiring more reinforcement.

② If rebar spacing is too dense, it can cause difficulty in pouring concrete, while if rebar spacing is too wide, negative impact caused by concentrated train load is expected, and thus maximum and minimum value in center-to-center distance shall be defined, which shall be 100 mm to 300 mm. However, center-to-center distance of main tensile reinforcement in span direction on deck shall not exceed the thickness of deck plate.

③ When bending rebar in span direction on RC continuous slab, it shall be bent at the section 1/6 of web front face as indicated in <Fig. 10.10.8>. But as positive moment at rebar-lifting point is 80% of bending moment at the center of span and negative moment is 50% of bending moment on support, thus 80% of rebar at the center of deck span and 50% of rebar on web front shall be placed continuously without bending; here, I is center-to-center spacing of support beam.

② 바닥판의 헌치의 기울기는 1:3보다 완만하게 해야 한다. 기울기가 1:3보다 급할 때에는 <그림 10.10.7>에 보인 것과 같이 기울기 1:3 까지의 두께를 바닥판 설계 시 유효한 단면으로 한다.

③ 헌치에는 그 안쪽에 철근을 두어야 하며, 사용하는 철근은 D13이상이어야 한다.

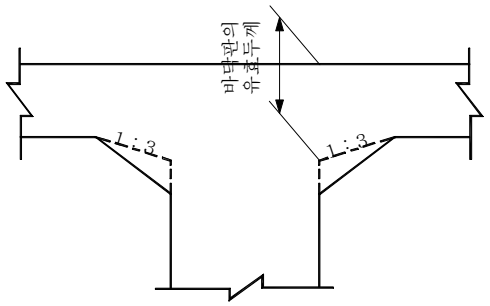


그림 10.10.7 헌치부근 바닥판의 유효두께

(2) 철근의 종류 및 배치

① 철근은 이형 철근을 쓰며, 바닥판과 같이 얇은 부재에서 지름이 큰 철근을 쓰는 경우에는 균열이 발생하기 쉽기 때문에 철근 지름의 표준을 규정한 것으로, 보통 부분에서는 D13~D19의 철근을 쓰는 것이 좋으며, D22의 철근은 바닥판의 끝부분 등 철근을 많이 배치해야 하는 부분에 한하여 쓰는 것을 표준으로 해야 한다.

② 철근의 간격이 너무 좁으면 콘크리트의 타설이 어려워지게 되며, 반대로 철근의 간격이 너무 넓으면 열차하중이 집중되어 작용하는 경우에 바닥판에 나쁜 영향이 생기는 것을 고려하여 철근 중심간격의 최대값 및 최소값을 규정해야 한다. 따라서, 철근의 중심간격은 최소 100mm이상 최소 300mm이하로 해야 한다. 다만, 바닥판 지간방향의 인장 주철근의 중심간격은 바닥판의 두께를 넘어서는 안 된다.

③ 철근콘크리트 연속판에서 바닥판 지간방향의 철근을 구부리는 경우에 <그림 10.10.8>에 있는 것과 같이 복부 앞면에서 $l/6$ 되는 단면에서 구부린다. 다만, 철근을 휘어 올리는 위치에서의 정모멘트는 지간 중앙부에서의 휨모멘트의 80% 정도이고 또 휘어 올리는 위치에서의 부모멘트는 지점위의 휨모멘트의 50% 정도 되기 때문에 바닥판 지간 중앙부 철근량의 80% 이상 및 복부 앞면 철근량의 50% 이상은 각각 구부리지 않고 연속하여 배치해야 한다. 여기서, l은 지지보의 중심간격이다.

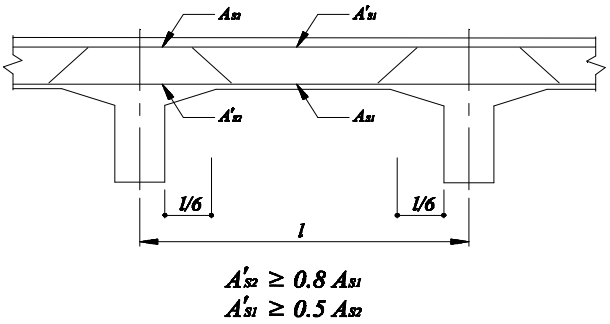


Fig. 10.10.8 Bar ending position on deck in span direction and bar arrangement

④ Negative moment may occur on overhanging part of simple support at the end of slab or at a slab end rigidly coupled to a transverse beam, and thus rebar shall be provided to resist negative moment.

⑤ As it is influenced by oblique angle near the support of skew bridge, rebar on deck in span direction shall be arranged in the direction of the support line.

(3) Arrangement of PS steel

① If prestress is not introduced uniformly on deck, secondary bending moment and shear force occurs as a result of prestress, making it a complex stress state. Thus, PS steel shall be arranged on prestressed concrete deck plate for uniform prestress on deck.

② As prestress is distributed to deck plate by anchorage of PS steel, spacing shall be determined considering the size of anchorage and distribution width of prestressing force in order to ensure the prestress is neither excessive nor insufficient.

③ PS steel in span direction on deck near the support of skew bridge shall be arranged in direction of the support line.

(4) Cantilever slab end and cross beam deck

① According to finite element analysis, design bending moment by live load doubles the value in 「10.10.5」 because of discontinuity of the cantilever slab end, and thus design bending moment on cantilever slab end shall be M_d+2M_l. But in the case of an RC deck, it is recommended to place 2 times the requirement for cantilever slab, except at the end of girder. When placing the rigid bracket at cantilever slab end, it may be designed as the deck supported by support beam and bracket.

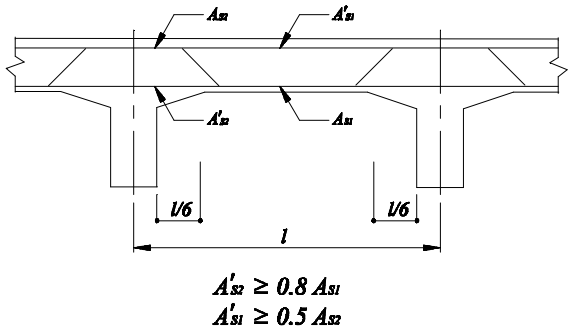


그림 10.10.8 바닥판 지간방향 철근의 절곡 위치 및 배근

④ 슬래브 끝의 단순지지부에서의 받침부 밖으로 약간 내민 부분 혹은 횡방향보와 강결된 슬래브단부분 등에 부모멘트가 발생할 수 있으므로 이들 부모멘트에 대한 철근을 배치해야 한다.

⑤ 사교의 받침부 부근에서는 사각의 영향을 받으므로 바닥판 지간방향의 철근은 받침선 방향으로 배치하는 것으로 해야 한다.

(3) PS강재의 배치

① 바닥판에 프리스트레스가 균일하게 도입되지 않으면 프리스트레스에 의하여 2차적인 휨모멘트 및 전단력이 생겨 복잡한 응력상태가 된다. 따라서 프리스트레스트 콘크리트 바닥판의 PS강재는 바닥판에 프리스트레스가 균일하게 도입될 수 있도록 배치해야 한다.

② 프리스트레스는 PS강재의 정착장치로부터 바닥판에 분포되기 때문에 PS강재의 배치간격은 정착장치의 크기, 프리스트레스 힘의 분포폭 등을 고려하여 설계단면에서 프리스트레스가 과대 또는 과소가 되지 않도록 결정해야 한다.

③ 사교의 받침부 부근에서 바닥판 지간방향의 PS강재는 받침선 방향으로 배치하는 것으로 해야 한다.

(4) 캔틸레버판 단부 및 가로보 위의 바닥판

① 유한요소 해석 등에 의하면 캔틸레버판의 단부는 바닥판의 연속성이 없기 때문에 활하중에 의한 설계 휨모멘트가 「10.10.5항」의 규정에 의한 값의 2배 정도가 된다. 따라서, 캔틸레버판 단부에 작용하는 설계 휨모멘트는 M_d+2M_l로 해야 한다. 다만 철근콘크리트 바닥판의 경우 일반적으로 거더의 단부외의 캔틸레버판에서 필요한 철근량의 2배를 배치하는 것이 좋다. 한편, 캔틸레버판의 단부에 강성이 있는 브래킷을 두는 경우에는 지지보와 브래킷으로 지지되는 바닥판으로 설계해도 된다.

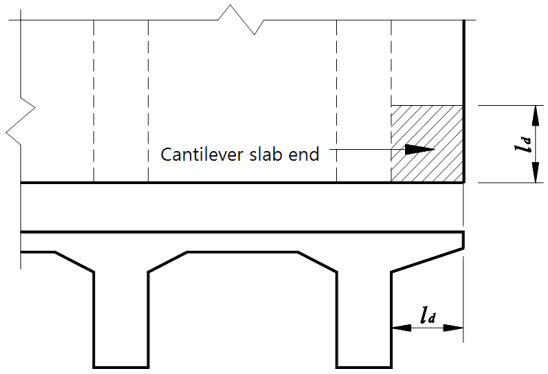


Fig. 10.10.9 Cantilever slab end

② Design of deck, when span direction is perpendicular to track and the deck is supported by cross beam, shall be in accordance with the following.

A. Deck supported by concrete beam is generally supported by cross beam and intermediate cross beam at the end, causing negative moment on cross beam perpendicular to cross beam. According to an analysis of slab fixed on 4 sides, negative moment as large as bending moment perpendicular to deck span occurs on cross beam perpendicular to cross beam. Thus, cross beam shall be designed to the moment perpendicular to cross beam using bending moment perpendicular to deck span according to 「10.10.5」.

B. Distribution of bending moment occurring on top of the cross beam perpendicular to deck span shall be rapidly reduced to 1/6 point of deck span. Thus, steel to be placed above cross beam to design bending moment shall be anchored at 1/6 of deck span from the side of cross beam or within a 500 mm range.

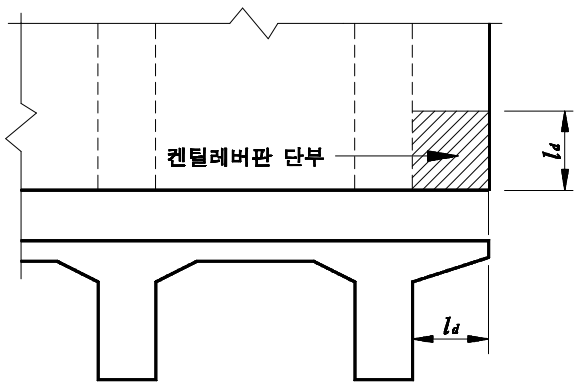


그림 10.10.9 캔틸레버판의 단부

② 바닥판 지간의 방향이 궤도진행방향에 직각이고, 가로보로 지지되는 바닥판의 설계는 다음과 같이 해야 한다.

가. 콘크리트보로 지지되는 바닥판은 일반적으로 단부의 가로보 및 중간 가로보로 지지되기 때문에 가로보에 가로보의 직각 방향으로 부모멘트가 생긴다. 4변이 고정된 판의 해석결과에 따르면 바닥판 지간에 직각인 방향에 생기는 휨모멘트와 같은 크기의 부모멘트가 가로보에 직각인 방향으로 가로보에 생긴다. 따라서 「10.10.5항」의 규정에 따라 바닥판 지간에 직각인 방향으로 생기는 휨모멘트를 써서 가로보에 직각인 방향으로 생기는 모멘트에 대하여 가로보를 설계해야 한다.

나. 가로보의 윗부분에 바닥판 지간에 직각으로 생기는 휨모멘트의 분포는 바닥판 지간의 1/6 정도 되는 위치까지 급격하게 감소해야 한다. 따라서 설계휨모멘트에 대하여 가로보의 위쪽에 배치하는 강재는 가로보의 옆면부터 바닥판 지간의 1/6이상 또는 500mm이상의 범위에 배치하여 정착시킨다.

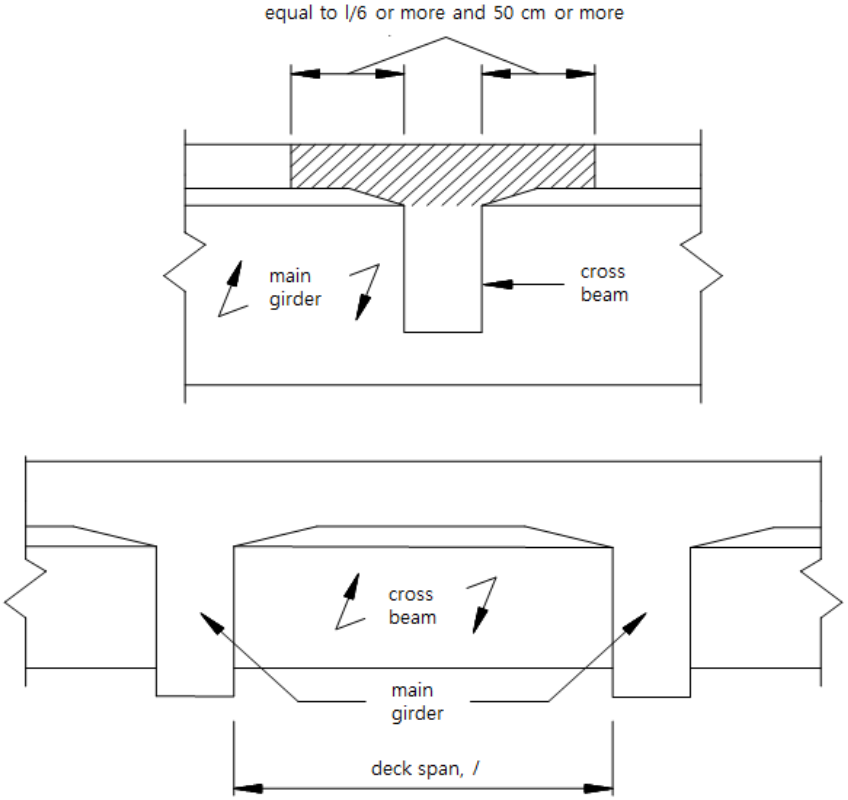


Fig. 10.10.10 Arrangement of upper steel on deck above cross beam

(5) Perpendicular girder supporting curve track

① In addition to the applicable standards, design of slab bridge, T-girder bridge, box girder bridge and composite bridge shall comply with the following.

② With regard to the distance that bridge centerline moves to the inner side of centerline of curve track, maximum distance C between circular arc of the track centerline and cord produced by centerline of curve track with girder span as subtense shall be d/6 for a single track and d/2 for a double track.

③ When track center is not in accordance with 「②」, the skew effect between bridge structure centerline and track centerline shall be reviewed considering the axle.

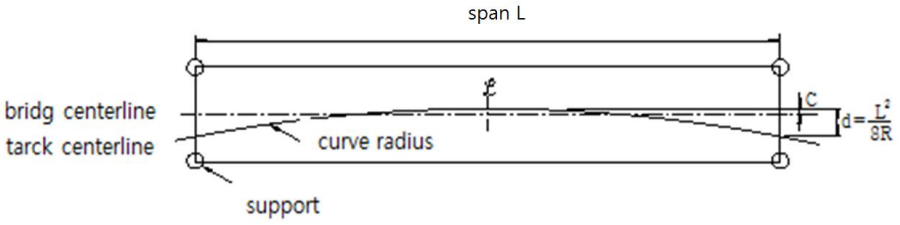


Fig. 10.10.11 Layout of perpendicular bridge type that supports curve track

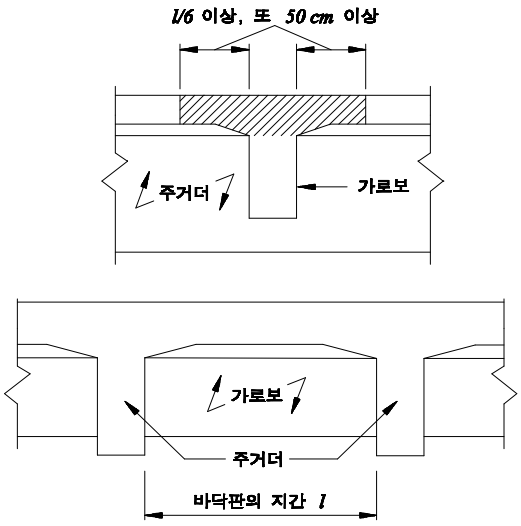


그림 10.10.10 가로보 위에 있는 바닥판에서 상부강재의 배치 범위

(5) 곡선궤도를 지지하는 직각거더

① 곡선궤도를 지지하는 슬래브교, T형거더교, 박스거더교, 합성거더교 등 직각교의 설계시 각각의 적용기준 외에 다음 사항을 따라야 한다.

② 지간 중앙에서의 교축선이 곡선궤도 중심선의 내측으로 이동되는 거리는, 거더의 지간을 현으로 하는 곡선궤도 중심선이 만드는 원호와 현 사이의 최대거리 C는 단선의 경우 d/6, 복선의 경우 d/2을 표준으로 한다.

③ 궤도중심의 위치를 「②항」에 따르지 않을 경우에는 교량구조중심선과 궤도 중심선의 편기에 대한 영향을 차륜축배치를 고려하여 검토해야 한다.

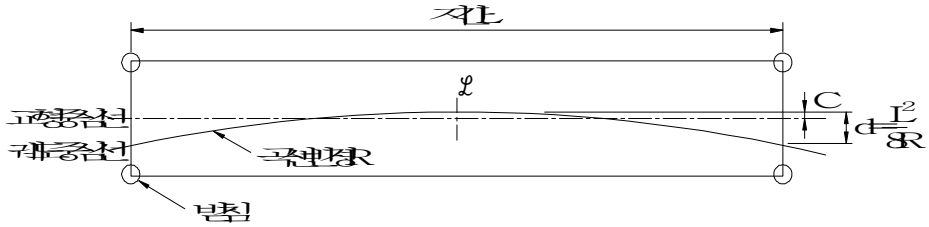


그림 10.10.11 곡선 궤도를 지지하는 직각교형의 배치

10.11 Slab bridge

10.11.1 General

(1) This provision shall apply to the design of a slab structure with opposing 2 sides as free end and another 2 sides supported, slab with cantilever plate, perpendicular and inclined slab bridge, hollow slab bridge and slab type railway bridge with various support conditions.

(2) Symbols

A_s = Sectional reinforcement area per inclined unit width (1 m) at span center (mm^2)

B = Total width of slab (m)

b = Transformed web width (mm)

d_1 = Minimum width of hollow core and slab side (mm)

d_2 = Minimum width between hollow cores (mm)

h_0 = Slab thickness (mm)

h_1 = Minimum thickness of hollow core (mm)

$K \cdot A_s$ = Reinforcement area per inclined unit width (1 m) placed at obtuse part of the slab near the support and K-value shall be determined from <Fig 10.11.9> (mm^2).

l = Span of slab bridge (m)

l_n = Center-to-center spacing of support (m)

l_s = Angled span (m)

ϕ = Skew angle

10.11.2 Design general

(1) Train load on track shall be considered when calculating the section force of slab bridge, and maximum section force shall be used for design.

(2) Axial force on guard rail shall be considered when designing slab bridge.

(3) As the reaction of slab bridge, with the exception of hollow slab bridge which is supported linearly or in a similar shape, is distributed support line, it is safe against shear force, and thus a review of shear force may not be carried out.

(4) When reviewing shear force of hollow slab bridge, it may be considered as a virtual T-girder with web width as large as the sum of the width of non-hollow part as <Fig. 10.11.1>. Virtual T-section in <Fig. 10.11.1> shall be used only for reviewing shear stress, and the scale shear force on such section shall be determined according to the analysis method suggested in 「10.11.3」.

10.11 슬래브교

10.11.1 일반내용

(1) 이 절은 마주보는 2변이 자유단이고, 다른 2변이 지지된 판구조, 캔틸레버판이 있는 슬래브, 직각 및 경사 슬래브교, 속빈 슬래브교 및 여러 가지 지지조건을 갖는 슬래브형태의 판구조 철도교 설계에 적용된다.

(2) 기호

A_s = 지간중앙의 경사단위폭(1m)당의 정철근단면적(mm^2)

B = 슬래브의 전폭(m)

b = 환산복부폭(mm)

d_1 = 속빈 부분과 슬래브측면의 최소폭(mm)

d_2 = 속빈 부분간의 최소폭(mm)

h_0 = 슬래브의 두께(mm)

h_1 = 속빈부분상의 최소두께(mm)

$K \cdot A_s$ = 받침부의 둔각부에 배치하는 경사단위폭(1m)당의 철근량으로, K의 값은 <그림 10.11.9>에서 구해야 한다(mm^2).

l = 슬래브교의 지간(m)

l_n = 받침의 중심간격(m)

l_s = 사각지간(m)

= 사각

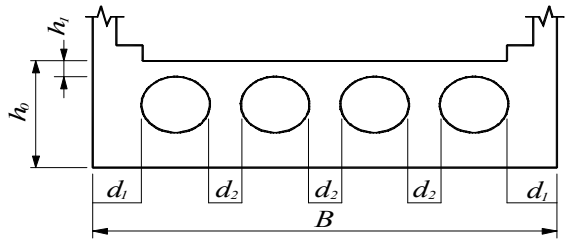
10.11.2 설계일반

(1) 슬래브교의 단면력을 계산할 때에는 제8장에서 제시된 궤도상의 열차하중을 고려하여, 이 중 최대의 단면력으로 설계해야 한다.

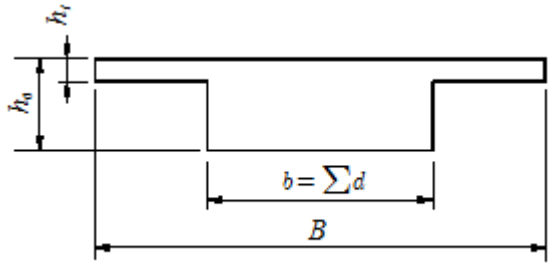
(2) 슬래브교를 설계할 때에는 난간에 작용하는 축방향력 등을 고려해야 한다.

(3) 선형 또는 그와 근사한 모양으로 지지된 속 빈 슬래브교를 제외한 슬래브교는 반력이 받침선상에 분포되어 작용하므로 일반적으로 전단력에 대해 안전하기 때문에 전단력에 대한 검토를 생략할 수 있다.

(4) 속 빈 슬래브교의 전단력을 검토할 때에는 비지 않은 부분의 폭의 총합과 같은 복부폭을 갖는 <그림 10.11.1>의 가상 T형보의 단면으로 보아도 좋다. <그림 10.11.1>의 가상 T형단면은 전단응력검토에만 사용할 수 있고, 이 단면에 발생하는 전단력의 크기는 「10.11.3항」에서 제시하는 해석방법에 의하여 결정한다.

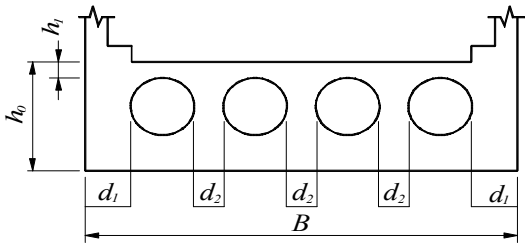


(a) Section shape of hollow slab bridge

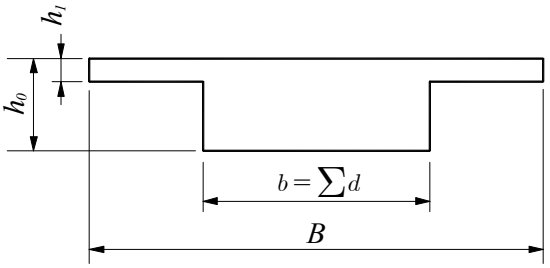


(b) Virtual T-section

Fig. 10.11.1 Virtual T-section of hollow slab bridge



(a) 속빈 슬래브교의 단면형상



(b) 가상 T형단면

그림 10.11.1 속 빈 슬래브교의 가상 T형단면

10.11.3 Structural analysis

(1) General

① Analysis of slab bridge shall be in accordance with plate theory considering support condition and skew angle, but beam theory shall not be allowed. However, when support conditions are complex such as continuous, integral or Rahmen slab bridge, or when curved bridge or skewed bridge is considered, analysis by grid theory and finite element method may be allowed.

② For hollow core slab bridge, it is desirable to calculate the sectional force by considering it as anisotropic plate. If the hollow core slab bridge satisfies the minimum dimensions stipulated in 「10.11.4 (1)」, it may be considered as isotropic plate. When it is designed to have the required stiffness by introducing prestress perpendicular to the beam on slab bridge with precast beam in parallel, it may be considered as isotropic plate for sectional force calculation.

③ For isotropic slab bridges having two simple supports in the opposing sides without cantilever , bending moment shall be calculated according 「10.11.3 (2)」.

④ Structural analysis of slab bridge with cantilever shall be carried out considering the influence of load and stiffness. Design of cantilever shall be carried out according to 「10.10 Deck slab」.

⑤ Support reaction and sectional force in the direction of the support line shall be calculated considering the layout of the support and skew angle.

(2) Slab span and design bending moment

① Design bending moment of slab bridge shall be in accordance with 「10.10.5」.

② Bending moment by dead load may be calculated on the assumption that the load is uniformly distributed over the entire area of slab. But when nonuniform load includes covering thickness or guard rail, bending moment shall be calculated considering the loading point. Bending moment perpendicular to the span by fixed load may be calculated approximately by multiplying bending moment in the span direction by β in <Eq. (10.11.1)>.

10.11.3 구조해석

(1) 일반내용

① 슬래브교의 해석은 받침부의 조건 및 사각 등을 고려하여 판 이론에 따라 수행해야 하며, 보 이론에 의한 해석은 할 수 없다. 그러나 연속 슬래브교, 라멘 슬래브교 등과 같이 지지조건이 복잡한 경우 혹은 곡선교와 사교와 같은 경우에는 격자이론과 유한요소법 등에 의하여 해석하여도 좋다.

② 속 빈 슬래브교의 경우 이방성판으로 단면력을 계산하는 것이 바람직하지만, 「10.11.4 (1)항」에 규정된 최소치수 규정을 만족하는 속 빈 슬래브교의 경우에는 등방성판으로 보고 단면력을 계산하여도 좋다. 또, 프리캐스트보를 나란히 놓은 슬래브교에서 보의 직각방향으로 프리스트레스를 도입하여 필요한 강성을 갖도록 설계한 경우에는 등방성판으로 보고 단면력을 계산하여도 좋다.

③ 마주보는 2변이 선형 또는 선형과 근사한 형태로 단순지지되고, 등방성판으로 생각할 수 있으며 캔틸레버 부분이 없는 슬래브교는 「10.11.3 (2)항」의 규정에 따라 휨모멘트를 계산하여도 좋다.

④ 캔틸레버판이 있는 슬래브교의 구조해석은 켄틸레버 슬래브에 작용하는 하중 및 강성의 영향을 고려하여 수행해야 한다. 단, 캔틸레버 부분의 설계는 「10.10 바닥판」의 규정에 따라 설계해야 한다.

⑤ 지점반력 및 받침선 방향의 단면력은 받침의 배치 및 사각의 영향을 고려하여 계산해야 한다.

(2) 슬래브판의 지간 및 설계휨모멘트

① 슬래브교의 설계휨모멘트의 계산은 「10.10.5항」의 규정에 따라야 한다.

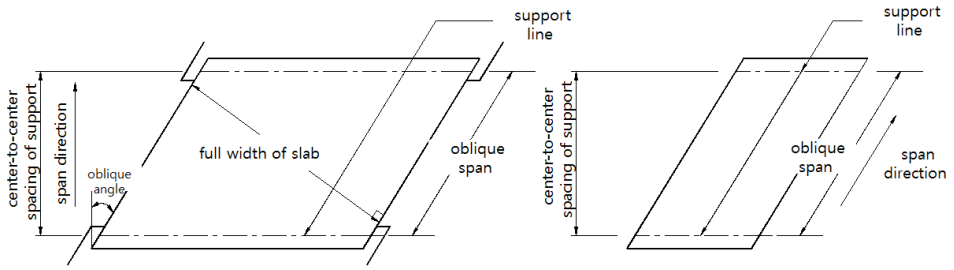
② 고정하중에 의한 휨모멘트는 하중이 슬래브의 전면적에 고르게 분포되어 있는 것으로 보고 계산하여도 된다. 단, 피복두께, 난간 등 편재하중의 영향을 무시할 수 없는 경우에는 재하위치의 영향을 고려하여 휨모멘트를 계산해야 한다. 고정하중에 의한 지간 직각방향의 휨모멘트는 근사적으로 지간방향의 휨모멘트에 <식 (10.11.1)>의 β값을 곱하여 계산해도 좋다.

$$l/B < 0.7 \qquad \beta = 1/6$$
$$0.7 \leqq l/B < 2.0 \ : \ \beta = -0.074(l/B) + 0.22 \qquad (10.11.1)$$

When oblique angle is 30° or more, β = 1/6 would be better.

③ When calculating the section force according to 「10.11.3 (1)의 ④, ⑤」, span of slab bridge shall be l_n which is the center-to-center distance of the support for straight slab bridge; for inclined slab bridge at an inclined angle of 45°, it shall be determined using <Eq. (10.11.2)>.

$$l = l_s \qquad (l_s/B \geqq 1.5)$$
$$l = (l_s + l_n)/2 \qquad (l_s/B < 1.5) \qquad (10.11.2)$$



(a) in case of $l_s/B < 1.5$ (b) in case of $l_s/B \geqq 1.5$

Fig. 10.11.2 Span direction of oblique slab bridge

10.11.4 Structure details

(1) Minimum plate thickness of slab bridge shall be 250 mm.

(2) Effective height of slab on haunch

Effective height, d on haunch when calculating slab section shall be based on an assumption that only the slope less than 1: 3 is effective (see <Fig. 10.11.3>).

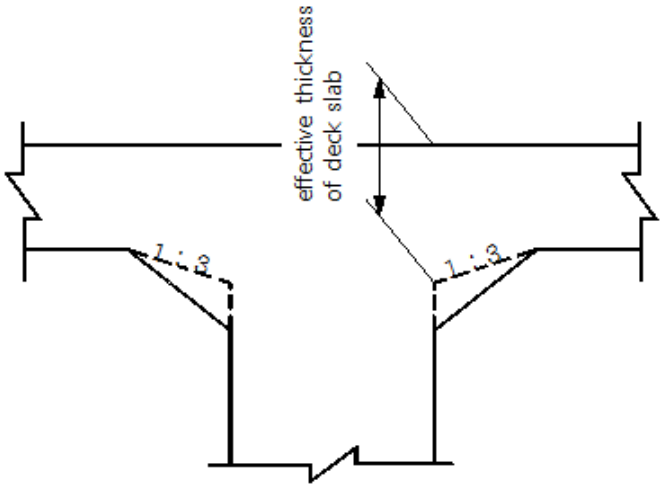


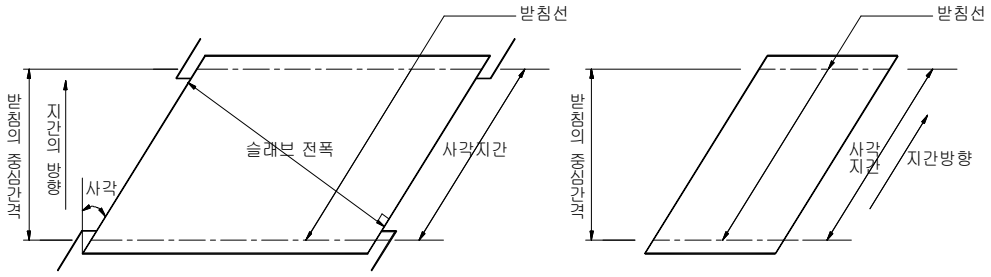
Fig. 10.11.3 Effective height of slab on haunch

$$l/B < 0.7 : \beta = 1/6$$
$$0.7 \leqq l/B < 2.0 : \beta = -0.074(l/B) + 0.22 \qquad (10.11.1)$$

사각이 30°이상인 경우 β=1/6로 하는 것이 좋다.

③ 「10.11.3 (1)의 ④, ⑤항」의 규정에 따라 단면력을 계산하는 경우, 슬래브교의 지간은 직슬래브교에 있어서는 받침중심간격인 l_n으로, 사각 45° 이하의 경사슬래브교에 있어서는 <식 (10.11.2)>에 따라 각각 결정하도록 한다.

$$l = l_s \qquad (l_s/B \geqq 1.5)$$
$$l = (l_s + l_n)/2 \qquad (l_s/B < 1.5) \qquad (10.11.2)$$



(a) $l_s/B < 1.5$인 경우 (b) $l_s/B \geqq 1.5$인 경우

그림 10.11.2 사각슬래브교의 지간방향

10.11.4 구조상세

(1) 슬래브교의 판두께의 최소치수는 250mm로 해야 한다.

(2) 헌치 부분에서의 슬래브의 유효높이

슬래브의 단면을 계산할 때 헌치부분에서의 유효높이 d는 헌치의 1 : 3보다 완만한 경사부분만을 유효한 것으로 가정해야 한다.(<그림 10.11.3> 참조)

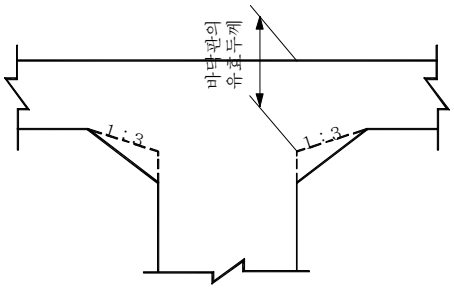


그림 10.11.3 헌치부분의 슬래브의 유효높이

(3) Minimum dimension of cast-in-place hollow slab bridge shall be in accordance with <Fig. 10.11.4>. For hollow slab bridge with precast beam in parallel, minimum dimension shall be determined separately considering the constructability. Furthermore, a separate minimum dimension needs to be determined when diameter of circular hole exceeds 1,200 mm. In addition, if hollow part is not circular on hollow slab bridge, minimum dimension needs to be determined separately, referring to the requirements in 「10.12」 and 「10.15」. Overlapped section on support shall be secured from the end of bearing shoe for $H\cot 45^\circ$ or more.

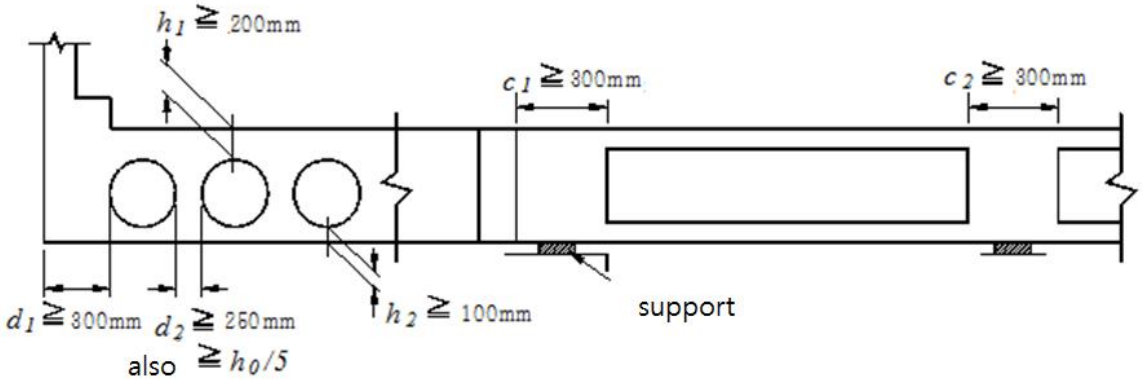


Fig. 10.11.4 Minimum dimension of hollow slab bridge section

(4) Rebar placement shall be in accordance with the following.

① Tensile main reinforcement in span direction shall be D13 or more, and center-to-center spacing shall be 200 mm o less.

② Rebar D13 or larger shall be arranged above and below slab in parallel with and perpendicular to the span at 300 mm center-to-center spacing, while for hollow slab bridge, rebar with smaller diameter shall be arranged considering potential cracks below slab and concrete pouring workability, and additional rebar to constrain the cracks shall be considered. Rebar in parallel with span needs to be concentrated on diaphragm below for structural purpose and constructability.

③ For skew slab bridge, rebar placement shall in principle be in accordance with <Fig. 10.11.5 (a)> and <Fig. 10.11.5 (b)>. The range of rebar placement in oblique span shall be the zone where tensile stress is greater in oblique span than in perpendicular direction. Such range shall be full slab width when l_s/B calculated by dividing oblique span l_s by full slab width is 1.5 or more, and the point at a distance of $l_s/5$ from free end when full slab width l_s/B is less than 1.5.

(3) 현장치기 콘크리트로 시공되는 속 빈 슬래브교의 최소치수는 <그림 10.11.4>에 따른다. 프리캐스트보를 나란히 놓은 속빈 슬래브교의 경우에는 시공성 등을 고려하여 별도의 최소치수를 정하는 것이 좋다. 또한, 원형구멍의 지름이 1,200mm를 넘는 경우에도 별도의 최소치수를 정하는 것이 좋다. 그 외에도 속빈 슬래브교에서 빈 부분의 형상이 원형이 아니면 「10.12항」과 「10.15항」의 규정을 참고하여 단면의 최소치수를 별도로 정하는 것이 바람직하다. 지점부 중복단면의 범위는 교좌장치끝단으로부터 $H\cot 45^\circ$ 이상 확보해야 한다.

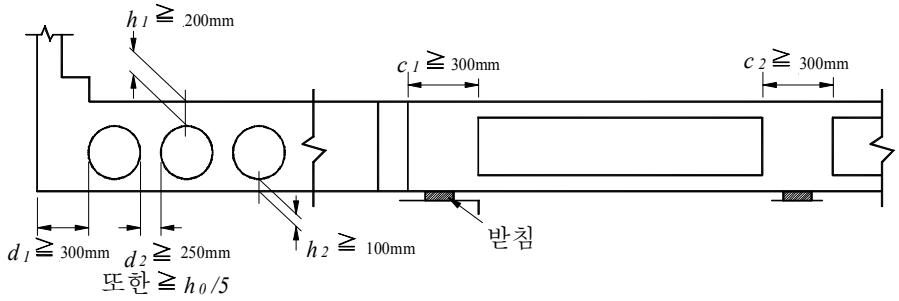


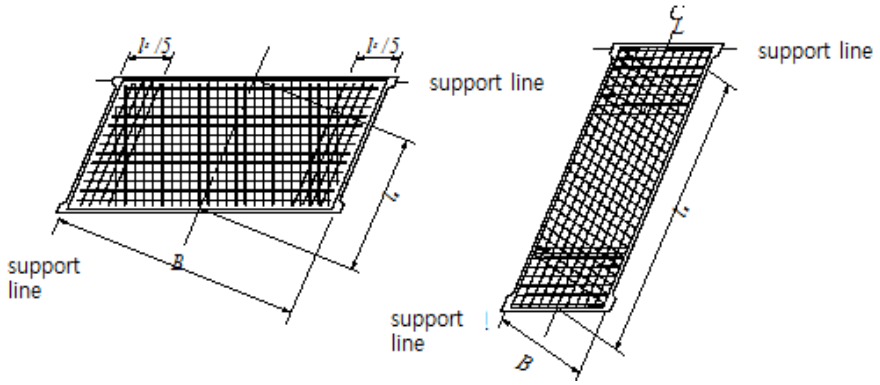
그림 10.11.4 속 빈 슬래브교 단면의 최소치수

(4) 철근의 배근은 다음의 규정에 따라야 한다.

① 지간방향으로 배치되는 인장 주철근은 D13이상, 철근의 중심간격은 200mm이하로 해야 한다.

② 슬래브 위쪽 및 아래쪽에는 지간방향 및 지간 직각방향으로 D13이상의 철근을 각각 300mm이하의 중심간격으로 배치해야 한다. 특히, 속빈 슬래브교의 경우에는 슬래브 아래쪽에 균열발생의 가능성이 크고, 콘크리트치기의 작업성 등이 좋지 않으므로 지름이 가는 철근으로 배근하고, 균열억제를 위한 가외의 철근을 고려해야 한다. 한편, 속빈 슬래브교의 지간방향의 철근은 격벽부의 하부에 집중배근하는 것이 구조적으로 유리함으로 시공성 등을 감안하여 적절히 배근해야 한다.

③ 경사슬래브교에 대하여는 <그림 10.11.5(a)> 및 <그림 10.11.5(b)>에 보인 것과 같이 배근하는 것을 원칙으로 한다. 그림에서 경사지간 방향에 철근을 배치하는 범위는 받침선 직각방향보다 경사지간 방향으로 인장응력이 더 큰 범위로 하면 된다. 이 범위는 사각지간 l_s를 슬래브의 전폭으로 나눈 값 l_s/B가 1.5 이상인 경우에는 슬래브 전폭, l_s/B가 1.5 미만인 경우에는 자유단에서 $l_s/5$만큼 떨어진 위치까지를 범위로 한다.



(a)$l_s / B < 1.5$ (b) in case of $l_s / B \geqq 1.5$

where l_s : oblique span (mm), : full slab width (mm)

Fig. 10.11.5 Rebar placement for oblique slab bridge

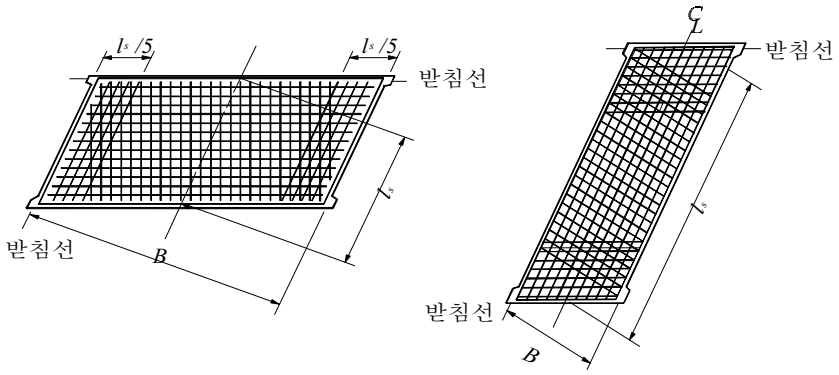
④ Additional reinforcement shall be arranged above and below cantilever slab to deal with temperature difference and dry shrinkage. But given that the cantilever slab on middle support of continuous slab bridge which is almost monolithic with main slab is able to resist negative moment, it is necessary to arrange the reinforcement above cantilever slab as much as 1/2 or more of tensile main bar per unit width (1 m).

(5) PS steel shall meet the following requirements.

① PS steel in span direction shall be arranged such that prestress per unit width (1 m) is equal to eccentricity. When prestressing force and eccentricity are different depending on position on section, such effect shall be considered in calculating the section force.

② When placing PS steel perpendicular to span, it is desirable to arrange the point where there is the resultant force of prestress to match with centroid of the section. If not, there will be strain on slab and unbalanced support reaction and secondary bending moment and shear force.

③ When placing PS steel in direction of oblique span on skew slab bridge, prestressing force occurs along the slab edge as seen in <Fig. 10.11.6>, and shear force is generated on the section, requiring careful attention. Such effect is insignificant at oblique angle 0° ~ 25°, and prestress may be introduced along the oblique angle.



(a)$l_s/B < 1.5$ 인 경우 (b)$l_s/B \geq 1.5$ 인 경우

여기서, l_s : 사각지간(mm), B : 슬래브 전폭(mm)

그림 10.11.5 사각슬래브교의 철근 배치

④ 캔틸레버 슬래브 부분은 온도차 혹은 건조수축에 대비하여 캔틸레버 슬래브의 위쪽 및 아래쪽에 가외철근을 배치하는 것으로 한다. 단, 연속슬래브교의 중간 받침점부에는 캔틸레버 슬래브 부분이 어느 정도 본 슬래브와 일체가 되어 부모멘트에 저항하기 때문에 캔틸레버 슬래브의 위쪽에 단위폭(1m)당 환산 인장 주철근의 1/2이상의 철근을 배치하는 것이 좋다.

(5) PS강재의 배치는 다음 규정에 따르는 것으로 한다.

① 경간방향의 PS강재는 단면의 단위폭(1m)당 프리스트레스 및 편심량이 같도록 배치하는 것이 바람직하다. 만일 프리스트레스 힘과 편심량이 단면내의 위치에 따라 다르게 되는 경우에는 단면력의 계산에 있어서 그 영향을 고려해야 한다.

② 지간 직각방향으로 PS강재를 배치할 때에 프리스트레스 힘의 합력이 작용하는 위치와 단면의 도심이 일치하도록 배치하는 것이 바람직하다. 만일 이들이 일치하지 않으면 슬래브에 변형이 생기고 받침반력이 불균일하게 되고 2차적인 휨모멘트 및 전단력이 생기기 때문에 주의해야 한다.

③ 경사슬래브교에 있어서 경사지간 방향에 PS강재를 배치하면, <그림 10.11.6>에 보인 것과 같이 슬래브의 연단을 따라 프리스트레스 힘이 작용하고 평면 내에 전단력이 생기기 때문에 주의를 할 필요가 있다. 그런데, 사각이 0°부터 25°까지는 그 영향이 작기 때문에 사각을 따라 프리스트레스를 도입하여도 좋다.

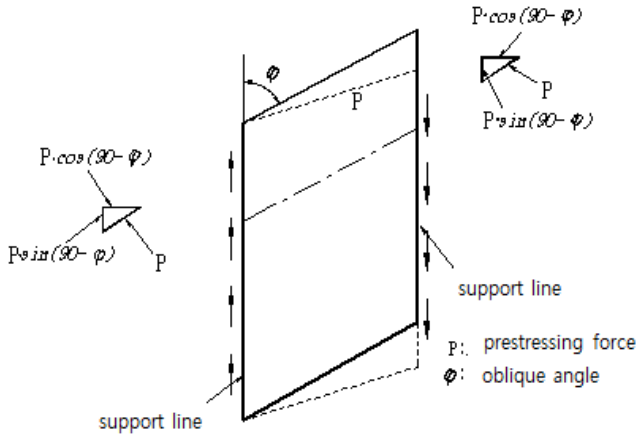
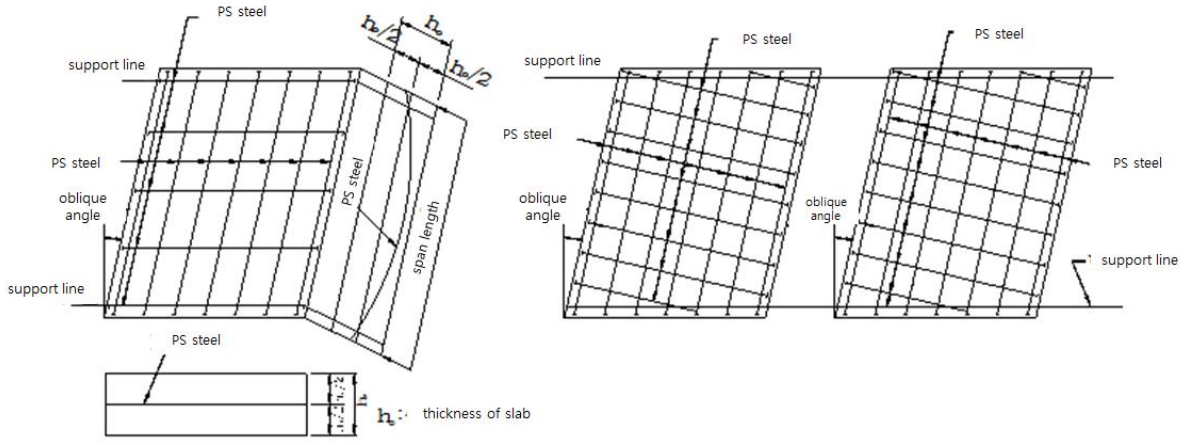


Fig. 10.11.6 Strain of slab depending on distribution of prestressing force

(6) Reinforcement of supports

① To deal with tensile stress resulting from temperature variation and concrete dry shrinkage in the direction of the support line at the end of slab, additional rebar or PS steel shall be arranged and prestress shall be introduced (<see Fig. 10.11.6>, <Fig. 10.11.7>). In this case, additional rebar shall be at least D13 and center-to-center spacing shall be 200 or less.

② As slab end behind the support line is cantilever slab, 13 mm or larger rebar to resist bending moment caused by live load shall be placed at center-to-center spacing of 200 mm or less.



(a) when oblique angle ø 0 ~ 25° (b) when oblique angle ø 25 ~ 45°

Fig. 10.11.7 Placement of PS steel on skew slab bridge

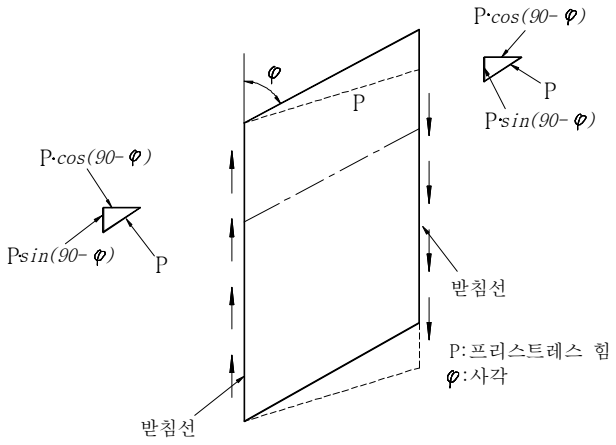
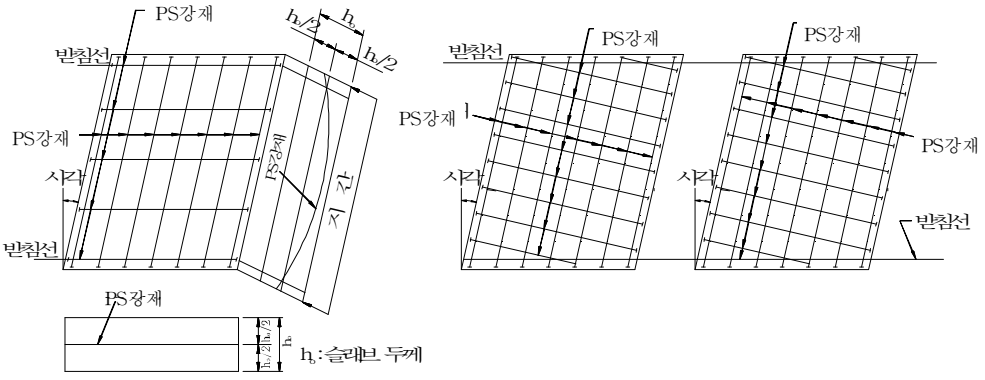


그림 10.11.6 프리스트레스 힘의 분포에 따른 슬래브의 변형

(6) 받침점 부근의 보강

① 슬래브 단부 등의 받침부에 받침선 방향으로 온도변화 및 콘크리트 건조수축에 의하여 생기는 인장응력에 대하여 가외철근을 배치하든가 PS강재를 배치하고 프리스트레스를 도입해야 한다.(<그림 10.11.6>, <그림 10.11.7> 참조) 이 경우 가외철근은 D13이상, 중심간격 200mm이하로 배치하는 것이 좋다.

② 받침선보다 뒤에 있는 슬래브의 단부는 캔틸레버 슬래브이기 때문에 그 부분에 활하중이 재하된 경우에 생기는 휨모멘트에 저항하는데 필요한 철근을 지름 13 mm이상, 중심간격 200mm이하로 배치하는 것으로 해야 한다.



(a) 사각 ϕ가 $0^o \sim 25^o$인 경우 (b) 사각ϕ가$25^o \sim 45^o$인 경우

그림 10.11.7 사각슬래브교 PS강재의 배치

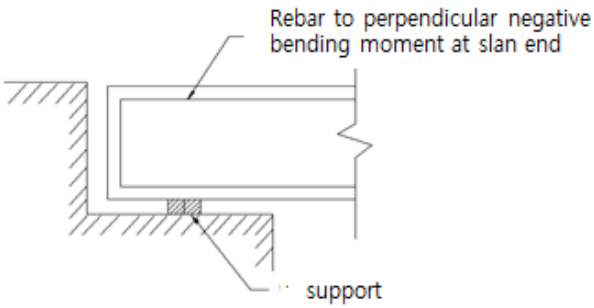
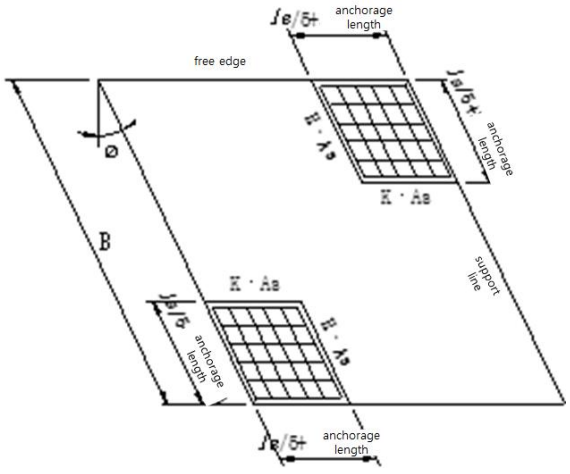


Fig. 10.11.8 Placement of rebar in span direction at slab end

③ Additional rebar shall be arranged above the part at an obtuse angle on skew slab bridge in span direction and support line direction as shown in <Fig. 10.11.9>,and thus, reinforcement may be reduced considering the prestress effect on prestressed concrete slab bridge. When additional bar is placed bidirectional in parallel with the side or support of skew slab bridge at an oblique angle of 45° or less and is supported linearly or with a similar shape, additional rebar per unit width (1 m) shall be calculated by multiplying positive reinforcement per oblique unit width (1 m) of span center by factor K, depending on scale of oblique angle (see <Fig. 10.11.10>). In such a case, rebar placed above the slab at an obtuse angle may be considered part of additional rebar. The range of additional rebar shall be 1/5 point on oblique span plus anchorage length. On a pre-tensioned member, it shall be arranged to resist negative moment rather than placing PSC member in the support line direction.



where,

A_S : positive bar area (mm^2) per oblique unit width (1 m) at span center

$K.A_S$: reinforcement per oblique unit width (1 m) to be placed on support at oblique angle, K is obtained from <Fig. 10.11.10>.(mm^2)

B : full width of slab (m)

l_s : oblique span (m)

ϕ : oblique angle

Fig. 10.11.9 Additional rebar to negative moment on support at obtuse angle and placement

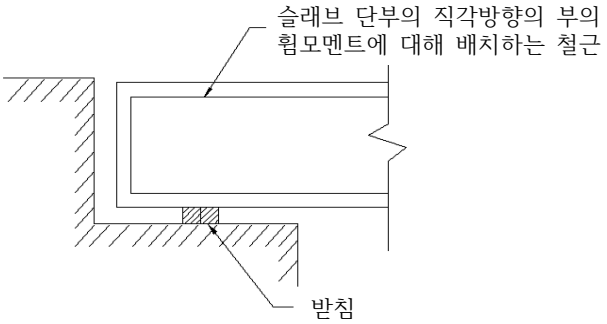
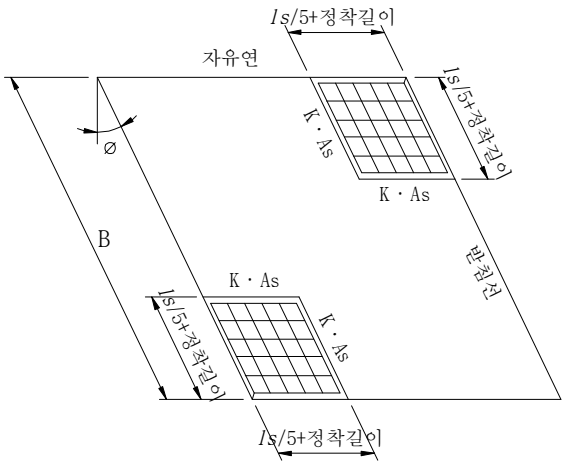


그림 10.11.8 슬래브 단부에서의 지간방향의 철근 배치

③ 경사슬래브교의 둔각부 슬래브 위쪽에는 부모멘트에 대하여 <그림 10.11.9>에 보인 것과 같이 경사지간 방향 및 받침선 방향으로 가외철근을 배치해야 한다. 따라서, 프리스트레스트 콘크리트 슬래브교에 있어서는 그 부분에 작용하는 프리스트레스의 효과를 고려하여 철근량을 감소시킬 수 있다. 사각이 45°이하이고, 선형 또는 선형과 근사한 형상으로 지지된 경사슬래브교에 가외철근을 경사슬래브교의 변, 받침부 또는 받침에 평행하게 2방향으로 배치하는 경우의 각 방향의 단위폭(1m)당 가외철근량은 지간중앙부의 경사단위폭(1m)당의 정철근량에 사각의 크기에 따른 계수 K(<그림 10.11.10> 참조)를 곱하여 계산하는 것으로 한다. 이러한 경우 둔각부 슬래브의 위쪽에 배치되는 철근은 가외철근의 일부로 보아도 좋다. 가외철근의 배치 범위는 경사지간의 1/5되는 지점에 정착길이를 더한 범위로 하는 것이 좋다. 또, 프리텐션부재에서는 받침선 방향으로 PSC부재를 배치하는 것보다 부모멘트에 대하여 저항할 수 있도록 하는 것이 좋다.



여기서,

A_S : 지간 중앙의 경사단위폭(1m)당의 정철근 단면적(mm^2)

$K.A_S$: 받침부의 둔각부에 배치하는 경사단위폭(1m) 당의 철근량으로, K의 값을 <그림 10.11.10>에서 구한다. (mm^2)

B : 슬래브 전폭(m)

l_s : 사각 지간(m)

ϕ : 사각

그림 10.11.9 받침부 둔각부의 부모멘트에 대한 가외철근 및 배치 범위

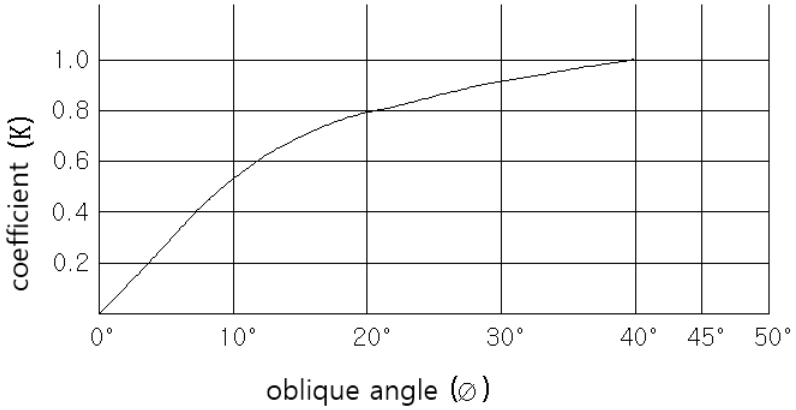


Fig. 10.11.10 Factor

④ D13 or larger additional bar shall be placed below slab at obtuse angle on skew slab bridge at spacing of 200 mm or less to resist support reaction. Bearing stress occurring around the support at obtuse angle is larger than mean bearing force on support (total reaction divided by total support area). Thus an additional bar for this bearing stress shall be arranged below slab as in <Fig. 10.11.11>.

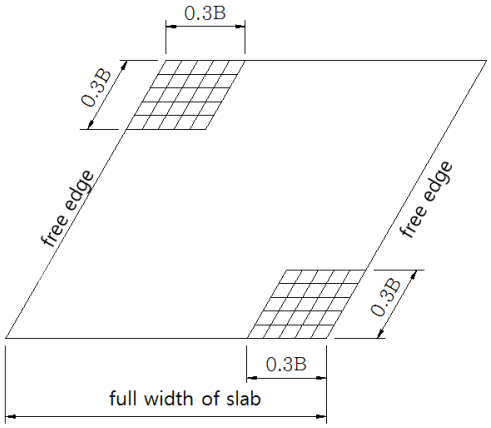


Fig. 10.11.11 Additional rebar below slab at obtuse angle

10.12 T-girder bridge

10.12.1 General

(1) This provision shall apply to railway bridge comprised of T-section RC and precast concrete girder and where the load is distributed by cross beam. Design of continuous girder bridge with T-shaped main girder, Rahmen bridge and composite girder bridge comprising precast beam and cast-in-place concrete slab which are installed monolithically shall be in compliance with 「10.13 Continuous bridge」, 「10.14 Rahmen bridge」 and 「10.15 Box girder bridge」.

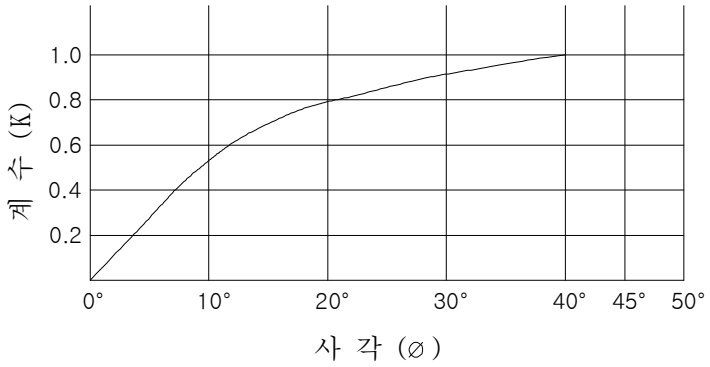


그림 10.11.10 계수 K값

④ 경사슬래브교의 둔각부 슬래브 아래쪽에는 받침부 반력에 대하여 D13 이상의 가외철근을 200mm이하의 중심간격으로 배치해야 한다. 둔각부 받침 부근에 생기는 지압응력은 받침부의 평균 지압력(전체반력을 전체받침 면적으로 나눈 것)보다 크게 된다. 이 지압응력에 대하여 <그림 10.11.11>에 보인 범위의 슬래브 아래쪽에 가외철근을 배치해야 한다.

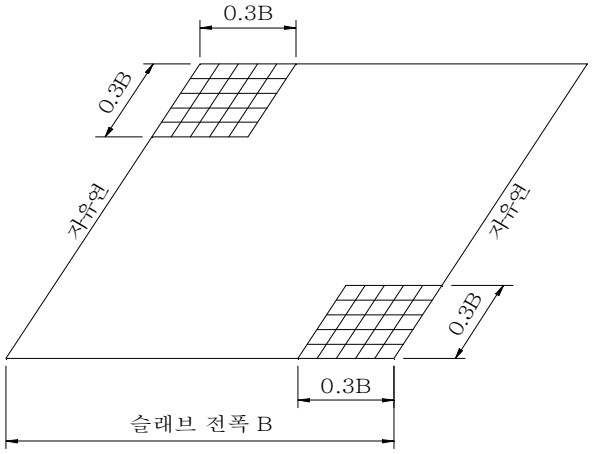


그림 10.11.11 둔각부 슬래브 아래 쪽의 가외철근

10.12 T형교

10.12.1 일반내용

(1) 이 절은 단면이 T형인 철근콘크리트 및 프리스트레스트 콘크리트 주거더로 구성되고, 가로보에 의하여 하중이 분배되는 형식의 철도교량에 적용된다. T형의 주거더로 구성된 연속거더교, 라멘교 및 프리캐스트보와 현장치기 콘크리트 슬래브가 일체로 된 합성거더교의 설계에 관하여는 각각 「10.13 연속형교」, 「10.14 라멘교」및 「10.15 박스거더교」의 규정에 따르는 것으로 한다.

(2) Symbol

α, β = Factor to be multiplied for calculating section force of main girder depending on girder type (see <Table 10.12.1>)

b = Width of cast-in-place part of deck

10.12.2 Design general

(1) Differential deflection or torsional deformation of main girder on T-girder bridge may have a negative effect on deck and support structure, and thus cross beam shall be provided to enhance the perpendicular rigidity of main girder. When oblique angle is 45° or more, cross beam is placed perpendicular to main girder but torsional deformation shall be considered; when it is less than 45°, cross beam may be placed in parallel with support line.

(2) Intermediate cross beam shall be placed per span at least, or every 15 m or less.

10.12.3 Structural analysis

(1) Section force of girder shall be calculated using lattice structure theory, but when crossing at right angle and deck span is short and may be considered as plate structure, section force may be calculated using perpendicular anisotropic plate theory. If sidewalk is provided at both sides, overhanging length of cantilever slab is 1/2 or less of main girder spacing and cross bean is provided according to 「10.12.2 (1) and (2)」, section force of main girder may be calculated using the following method. Section force of main girder shall be the value calculated by dividing section force by gross fixed load by number of main girders. Train load shall be the value calculated by dividing section force calculated by applying full main load to the deck by number of main girders but for factor α and types of girder, it may be multiplied by β for use as section force of main girder (see <Table 10.12.1>).

Table 10.12.1 Factor α and value of β

Width of deck (m)	α	β
5.5 m or more	1.1	0.95
Less than 5.5 m	1.0	1.0

(2) 기호

α, β = 주거더의 단면력 계산시 거더의 형태에 따라 곱하는 계수(<표 10.12.1> 참조)

b = 바닥판의 현장타설 부분의 폭

10.12.2 설계일반

(1) T형거더교는 주거더의 부등처짐이나 비틀림변형이 바닥판, 받침의 구조에 나쁜 영향을 줄 수 있으므로 주거더 직각방향의 강성을 높이기 위하여 가로보를 두어야 한다. 사각이 45° 이상인 경우에는 가로보를 주거더의 직각방향으로 두지만 이때 비틀림변형에 대한 충분한 검토를 해야 하며, 사각이 45° 미만인 경우에는 가로보를 받침선에 평행하게 설치해도 좋다.

(2) 중간 가로보의 설치는 1경간에 1개소 이상 또는 15m이하의 간격으로 설치해야 한다.

10.12.3 구조해석

(1) 거더의 단면력은 격자 구조이론에 의하여 계산해야 한다. 다만 직교로서 바닥판의 지간이 짧고 판구조로 볼 수 있을 때에는 직교이방성 판 이론에 따라 단면력을 계산하여도 된다. 한편, 보도가 양측에 설치된 경우 캔틸레버 슬래브의 내민길이가 주거더 간격의 1/2 이하인 경우, 그리고 「10.12.2 (1)항 및 (2)항」의 규정에 따라 가로보가 설치된 경우에는 다음의 방법에 따라 주거더의 단면력을 계산하여도 좋다. 고정하중은 전체 고정하중에 의한 단면력을 주거더의 개수로 나눈 값을 주거더의 단면력으로 해야 한다. 열차하중은 바닥판의 폭에 주재하하중을 만재시켜서 구한 단면력을 주거더의 개수로 나눈 값으로 하는데 이형(耳형) 계수 α, 그 밖의 형태의 거더에는 β를 곱하여 주거더의 단면력으로 하여도 좋다.(<표 10.12.1> 참조)

표 10.12.1 계수 α 및 β의 값

(a) 바닥판의 폭(m)	(b) α	(c) β
5.5m 이상	1.1	0.95
5.5m 미만	1.0	1.0

(2) When calculating section force according to the lattice structure theory, torsional rigidity of main girder and cross beam may be neglected. But for a skew bridge at an oblique angle of 30° or more, the effect of torsion is great, and thus analysis shall be carried out according to lattice structure theory considering torsional rigidity and torsion shall be reviewed. When calculating section force, effective width of cross beam flange shall be calculated considering a full section as effective, and effective width of cross beam flange when calculating the stress shall be in accordance with the standard for effective width of flange in the specification.

10.12.4 Structure details

(1) Reinforcement of cross beam for prestressed concrete T-girder bridge shall be made by placing PS steel for lateral connection and for RC T-girder, axial rebar shall be used.

① Prestressed concrete T-girder bridge

A. Reinforcement of cross beam shall be made laterally to make prestressed main girder monolithic laterally. When the angle between prestressed main girder and cross beam on skew bridge is 90° ~ 55°, chipping treatment shall be provided to joint between main girder and cross beam; when the angle is 55° ~ 45°, joint shall be perpendicular to the axis of cross beam or appropriate toothing shall be provided.

B. When anchoring PS steel for lateral connection, groove or lug shall be provided to main girder and anchoring plane shall be perpendicular to PS steel, but if the angle between PS steel and anchoring plane is more than 70°, deformed anchor plate needs to be used after confirming the safety against sliding of anchorage.

② RC T-girder bridge

A. Reinforcement to be placed on cross beam of RC T-girder bridge with a spacing of 2 m or less shall be as shown in <Table 10.12.2> and arranged as described in <Fig. 10.12.1>.

Table 10.12.2 Tensile bar of cross beam

Width of HSR bridge (m)	Bar diameter (mm)	No of bar
Less than 7 m	25	2
7 m ~9 m	25	3
9 m ~12 m	25	4

(2) 격자구조이론에 의하여 단면력을 계산할 때에는 주거더 및 가로보의 비틀림강성을 무시하여도 좋다. 그러나 사각이 30°이상인 사교의 경우에는 비틀림의 영향이 크게 나타나므로 비틀림강성을 고려한 격자구조이론에 의하여 해석을 수행하고 비틀림에 대하여 검토를 해야 한다. 또, 단면력을 계산할 때에 가로보 플랜지의 유효폭은 전단면이 유효한 것으로 보며, 응력계산을 할 때에 가로보 플랜지의 유효폭은 시방서의 플랜지 유효폭에 대한 별도규정에 따라야 한다.

10.12.4 구조상세

(1) 가로보의 보강은 프리스트레스트 콘크리트 T형거더교의 경우는 PS강재를 배치하여 횡방향으로 연결하고, 철근콘크리트 T형거더교의 경우는 축방향철근을 배치해야 한다.

① 프리스트레스트 콘크리트 T형거더교

가. 프리스트레스트 주거더를 횡방향으로 일체가 되도록 하는 것이므로 가로보의 보강은 횡방향으로 해야 한다. 사교에서 프리스트레스트 주거더와 가로보가 이루는 각도가 90°부터 55°까지의 범위에는 주거더와 가로보의 이음면에 칩핑(chipping) 등의 처리를 해야 하고, 그 각도가 55°에서 45° 까지인 경우에는 이음면을 가로보의 축선에 직각이 되게 또는 적절한 방법의 맞물림을 두어야 한다.

나. 횡방향으로 연결하는 PS강재를 정착하는 경우에는 주거더에 홈 또는 돌기를 두고 정착면을 PS강재에 대하여 수직으로 두어야 한다. 다만 PS강재와 정착면이 이루는 각도가 70°를 넘는 경우에는 정착장치의 미끄럼 등에 대하여 안전성을 확인한 뒤에 이형 앵커 플레이트 등을 사용하는 것이 좋다.

② 철근콘크리트 T형거더교

가. 직선교에서 주거더의 간격이 2m 정도 이하가 되는 철근콘크리트 T형거더교의 가로보에 배치되는 철근은 <표 10.12.2>에 보인 철근량을 <그림 10.12.1>에 보인 것과 같이 배치하는 것이 좋다.

표 10.12.2 가로보의 인장 철근량

고속철도교량의 폭(m)	철근 지름(mm)	철근의 개수
7m 미만	25	2
7m 이상 9m 미만	25	3
9m 이상 12m 이하	25	4

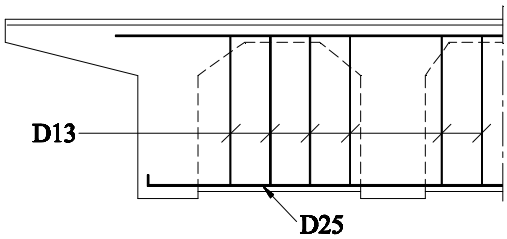


Fig. 10.12.1 Bar placement for cross beam (RC T-girder bridge)

B. When spacing of main girder is more than 2m or in the case of a skew bridge or curve bridge, reinforcement to be placed in cross beam of T-girder bridge shall be calculated using the lattice structure theory, instead of <Table 10.12.2>

(2) Transverse PS steel shall be provided to the deck of prestressed concrete T-girder bridge. Width of cast-in-place deck shall generally be 750 mm or less and needs to be coupled by overhanging bar extended as long as lap spliced length from flange of precast beam. But for a cast-in-place deck with transverse PS steel, it is not necessarily overhanging bar when the width is 300 mm or less.

(3) For cast-in-place deck, the width shall be 750 mm or less.

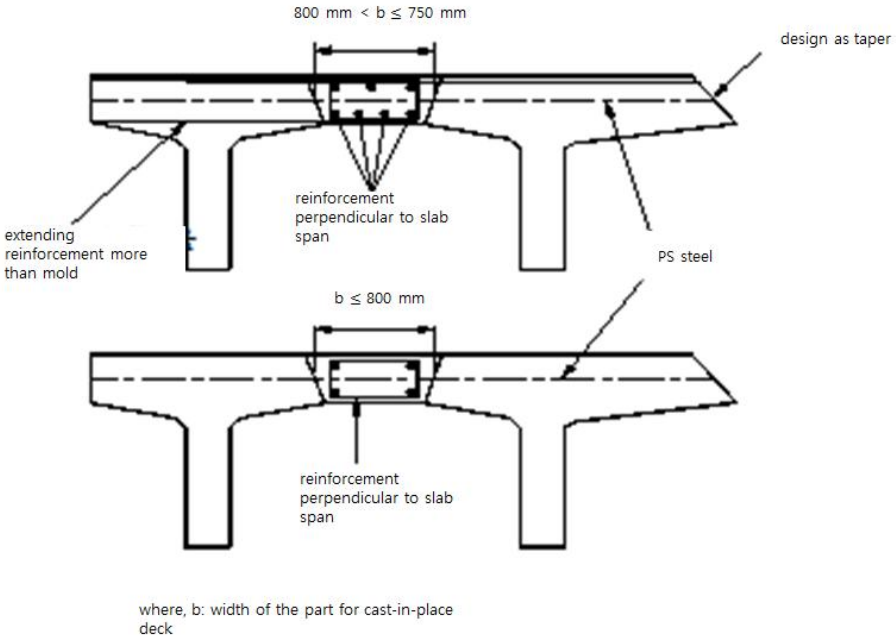


Fig. 10.12.2 Structure details in case of cast-in-place deck

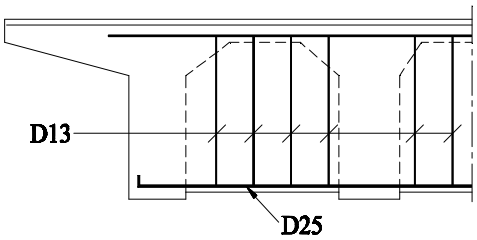


그림 10.12.1 가로보의 배근(철근콘크리트 T형거더교)

나. 주거더 간격이 2m를 넘는 경우, 또는 사교, 곡선교 등의 특수한 경우에 있어 T형거더교의 가로보에 배치하는 철근량은 <표 10.12.2>에 따르지 않고 격자구조이론에 따라 단면력을 계산해야 한다.

(2) 프리스트레스트 콘크리트 T형거더교의 바닥판에는 횡방향 PS강재를 두어야 한다. 한편, 현장치기로 시공되는 바닥판의 폭은 일반적으로 750mm이하이며, 프리캐스트보의 플랜지로부터 겹침이음길이 이상 내민 철근에 의하여 결합하는 것이 좋다. 그러나, 횡방향으로 연결되는 PS강재가 배치된 바닥판이 현장치기로 시공될 때 그 폭이 300mm이하인 경우 철근을 내밀지 않아도 좋다.

(3) 바닥판을 현장치기로 시공할 경우 그 폭은 750mm이하로 해야 한다.

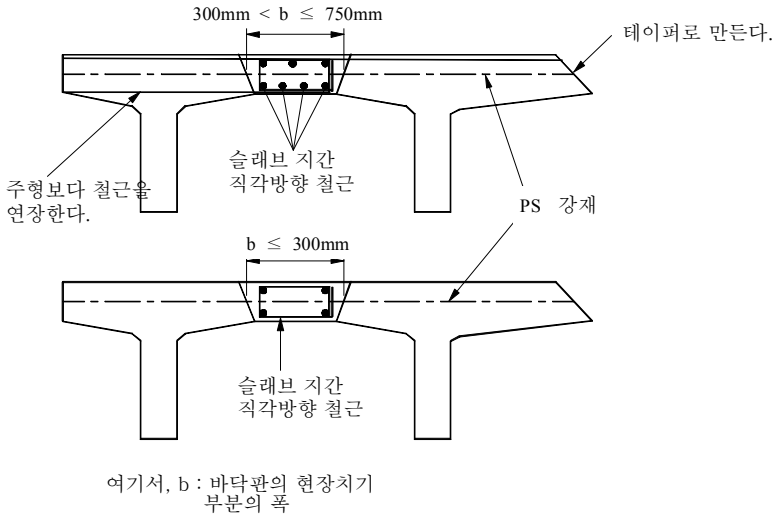


그림 10.12.2 바닥판을 현장치기하는 경우의 구조상세

10.13 Multi-span beam bridge

10.13.1 General

(1) This paragraph shall apply to a 2-span or more continuous railway bridge and also to continuous girder bridge which is built through installing precast simple T-girder or I-girder and casting intermediate cross beam at the site as RC structure with a 2-point intermediate support, and to another type of continuous girder bridge which is built by installing precast simple girder and casting deck and intermediate cross beam at the site as prestressed structure with 1-point intermediate support as well. But in structural analysis, this paragraph shall not be applied to railway bridges with a simple girder where expansion joint is connected to concrete deck .

(2) Other factors not stipulated in this paragraph shall be in accordance with 「10.11, 10.12 and 10.15」.

(3) Symbols

a = When axial virtual distribution width (mm) of reaction in centroid of the section or main girder spacing (mm) according to <Eq. (10.13.1)> is greater than 1/10 of the span, 1/10 of the span shall be taken.

b = Upper flange width of girder (mm)

M = Bending moment on intermediate support (kN · m)

M_1 = Design bending moment on intermediate support (kN · m)

N_{TS} = Axial force (kN) caused by temperature difference between girder and deck slab or dry shrinkage on joint between girder and deck slab

R = Reaction on intermediate support (kN)

w = R/a (kN/mm)

10.13.2 Structural analysis

(1) On a continuous girder bridge with multiple fixed supports, strain with temperature variation, dry shrinkage and prestressing force is strain that causes a statically indeterminate force. Thus, structural analysis for the model including pier shall be carried out. On a continuous girder bridge connecting precast girder on support, structural analysis shall be conducted by considering the load before connecting as a simple girder and considering the load after connecting as a continuous grid. That is, structural analysis of continuous girder bridge shall be conducted in consideration of the construction method and support conditions, but when estimating the load distribution effect on the following continuous girder bridges, an approximation solution may be used.

10.13 연속형교

10.13.1 일반내용

(1) 이 절은 받침부에 의해 지지되는 2경간 이상 연속된 철도교의 설계에 적용해야 한다. 또한, 이 절은 프리캐스트 단순 T형거더나 I형거더를 가설한 후, 중간지점 가로보를 현장에서 쳐서 철근콘크리트 구조로서 연결이 되는 중간지점상에 2점 받침부를 갖는 연속거더교, 또한 프리캐스트 단순거더를 가설한 후, 바닥판과 중간지점 가로보를 현장에서 쳐서 프리스트레스트 구조로서 연결이 되는 중간지점상에 1점 받침부를 갖는 연속거더교에 대해서도 적용해야 한다. 다만, 구조해석에 있어서는 단순거더이나 신축이음부를 콘크리트 바닥판으로 연결하는 형식의 철도교에 대해서는 이 절은 적용되지 않는다.

(2) 이 절에 규정하지 않은 사항에 대해서는 「10.11항, 10.12항, 10.15항」등의 각 규정을 적용해야 한다.

(3) 기호

a = 단면의 도심위치에서의 반력의 교축방향 가상분포폭(mm) 혹은 <식(10.13.1)>의 거더의 간격(mm)으로서 주거더의 간격이 지간의 1/10보다 큰 경우는 지간의 1/10의 값을 취해야 한다.

b = 거더의 위 플랜지폭(mm)

M = 중간지점상의 휨모멘트(kN·m)

M_1 = 중간지점상의 설계휨모멘트(kN·m)

N_{TS} = 거더와 바닥판의 온도차나 건조수축차로 인해 거더와 바닥판의 결합면에 발생하는 축방향력(kN)

R = 중간지점상의 반력(kN)

w = R/a(kN/mm)

10.13.2 구조해석

(1) 복수의 고정받침부를 갖는 연속거더교에서는 온도변화, 건조수축, 프리스트레스힘 등에 의한 변형이 구속됨에 따라 부정정력이 발생한다. 따라서 교각을 포함한 모델을 설정하여 구조해석을 수행해야 한다. 프리캐스트 거더를 지점에서 연결하는 방식의 연속거더교에서는 연결 전에 작용하는 하중에 대해서는 단순거더, 연결 후에 작용하는 하중에 대해서는 연속격자로 보고 구조해석을 수행하는 것이 좋다. 즉 연속거더교의 구조 해석은 시공방법 및 받침부 조건 등을 고려하여 수행해야 하지만, 다음 형식의 연속거더교에 대해 하중분배작용의 영향을 근사적으로 구할 때는 다음의 근사해법에 따라도 좋다.

① Continuous beam shall be converted to a simple girder with a span between 2 points where each fixed load bending moment is 0. In such a case, virtual span in <Fig. 10.13.1> may be used.

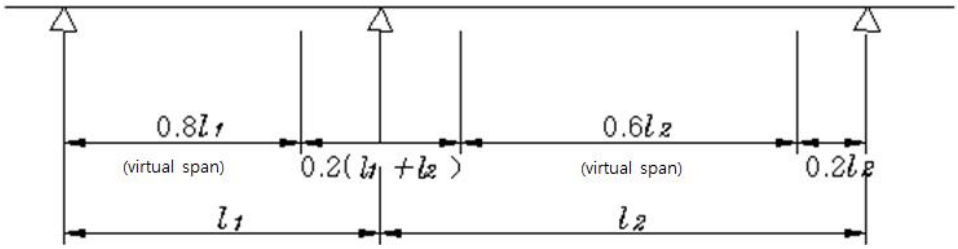


Fig. 10.13.1 Virtual span of continuous slab bridge

② Load distribution coefficient of each simple beam shall be calculated.

③ Section force shall be calculated using beam theory by considering continuous beam as a single beam, and design section force of the beam shall be calculated by multiplying by this load distribution coefficient.

④ With regard to section force on intermediate supports, design section force of each beam shall be calculated considering the mean value of the load distribution coefficient at both spans on the support as the load distribution coefficient.

(2) Structural analysis for seismic effect and wind load perpendicular to axis shall be conducted considering bending rigidity of pier, which may be evaluated using a method of substituting equivalent spring support, as shown in <Fig. 10.13.2>.

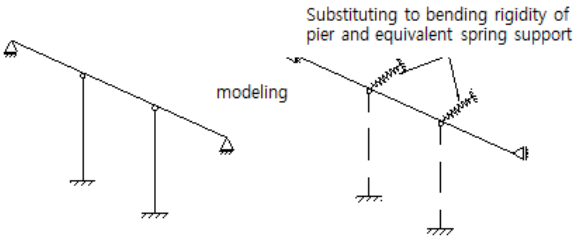


Fig. 10.13.2 Example of the model for reviewing perpendicular to axis

10.13.3 Design bending moment on intermediate support

(1) Bending moment on intermediate support of continuous girder bridge appears as a sharp distribution shape on support according to beam theory, but in fact, it is as shown in <Fig. 10.13.3> after being influenced by support width, girder height and cross beam, and thus design bending moment on intermediate support could be calculated using <Eq. (10.13.1)>.

① 연속보를 각각의 지간 고정하중휨모멘트가 0이 되는 2점간 거리를 지간으로 한 단순보로 치환해야 한다. 이 경우의 지간은 <그림 10.13.1>에서와 같은 가상지간을 써도 좋다.

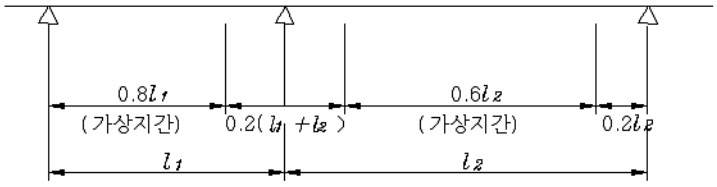


그림 10.13.1 연속슬래브교의 가상지간

② 각각의 단순보의 하중분배계수를 계산해야 한다.

③ 연속보를 1개의 보로 하여, 보이론에 의하여 단면력을 계산하고 이 하중분배계수를 곱해서 각각의 보의 설계단면력을 계산해야 한다.

④ 중간지점부의 단면력에 대해서는, 그 지점의 양쪽 지간의 하중분배계수의 평균값을 하중분배계수로 하여 위와 같이 각각의 보의 설계단면력을 계산해야 한다.

(2) 교축 직각방향의 지진의 영향 및 풍하중에 대한 구조해석은 교각의 휨강성을 고려하여 행해야 한다. 교각의 휨강성 평가방법으로는 <그림 10.13.2>에서와 같이 등가스프링 받침부로 치환하는 방법 등이 있다.

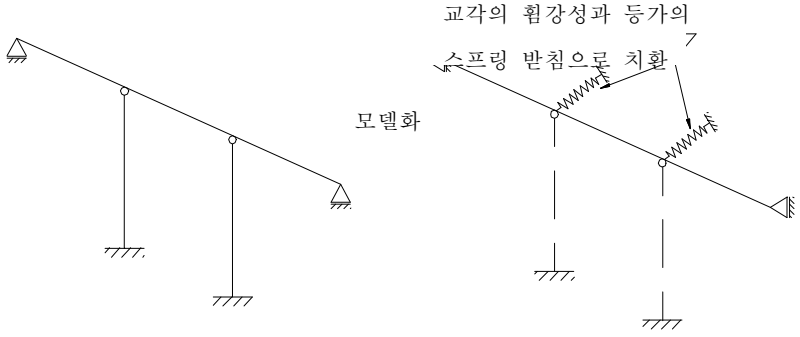


그림 10.13.2 교축 직각방향의 검토 모델의 예

10.13.3 중간지점상의 설계휨모멘트

(1) 연속거더교의 중간지점상의 휨모멘트는 보 이론으로는 지점상에서 뾰족한 분포로 나타나나 실제의 거더에서는 받침부폭, 거더의 높이, 가로보 등의 영향을 받아 <그림 10.13.3>에서와 같이 된다. 따라서 중간지점상의 설계휨모멘트는 <식 (10.13.1)>에 의하여 계산할 수 있다.

$$M_1 = M - \frac{wa^2}{8} \qquad (10.13.1)$$

But, $M_1 \geqq 0.9M$

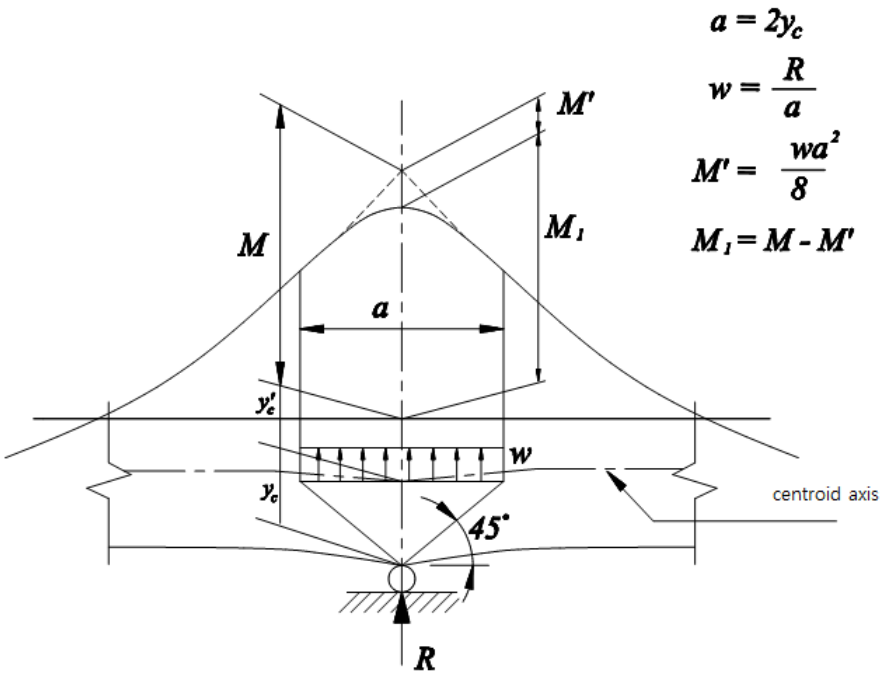


Fig. 10.13.3 Design bending moment on intermediate support

(2) Then, larger compressive stress than calculated according to beam theory may occur on the edge below the girder and thus, it is necessary to place an additional bar according to 「10.13.5」. For a design section with cross-beam or diaphragm on support, this may be omitted (see <Fig. 10.13.4>).

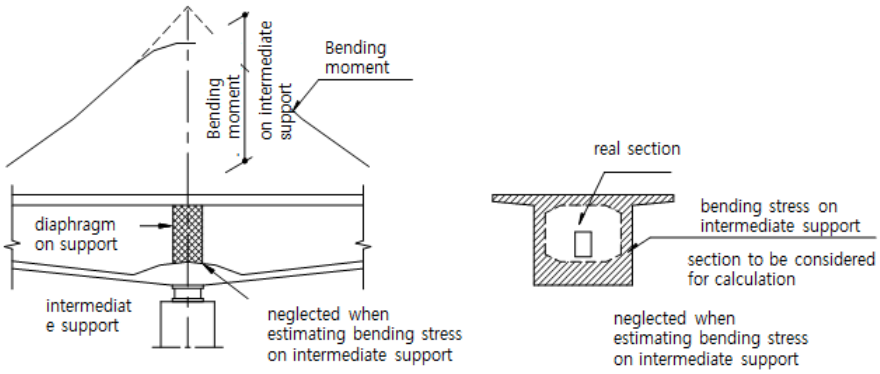


Fig. 10.13.4 Section used for calculating the stress to bending moment on intermediate support

$$M_1 = M - \frac{wa^2}{8} \qquad (10.13.1)$$

다만, $M_1 \geq 0.9M$

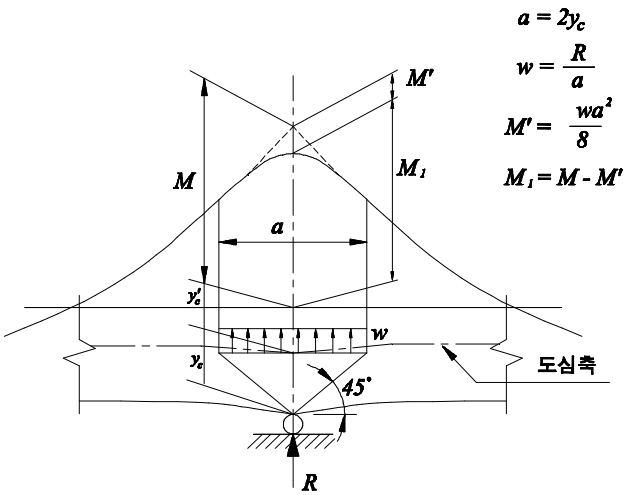


그림 10.13.3 중간지점상의 설계휨모멘트

(2) 한편, 거더의 아래 연단측에는 보 이론으로 계산한 경우 보다 큰 압축응력이 발생할 수 있으므로 이 부분에서는 「10.13.5항」의 규정에 따라 가외철근을 배치할 필요가 있다. 또한 지점상에 가로보나 격벽이 있는 경우의 설계단면은 이를 무시한 단면으로 보는 것이 좋다.(<그림 10.13.4> 참조)

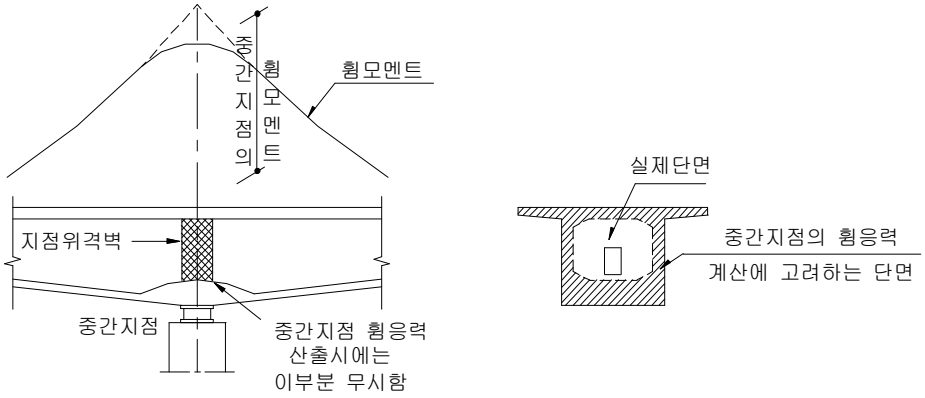
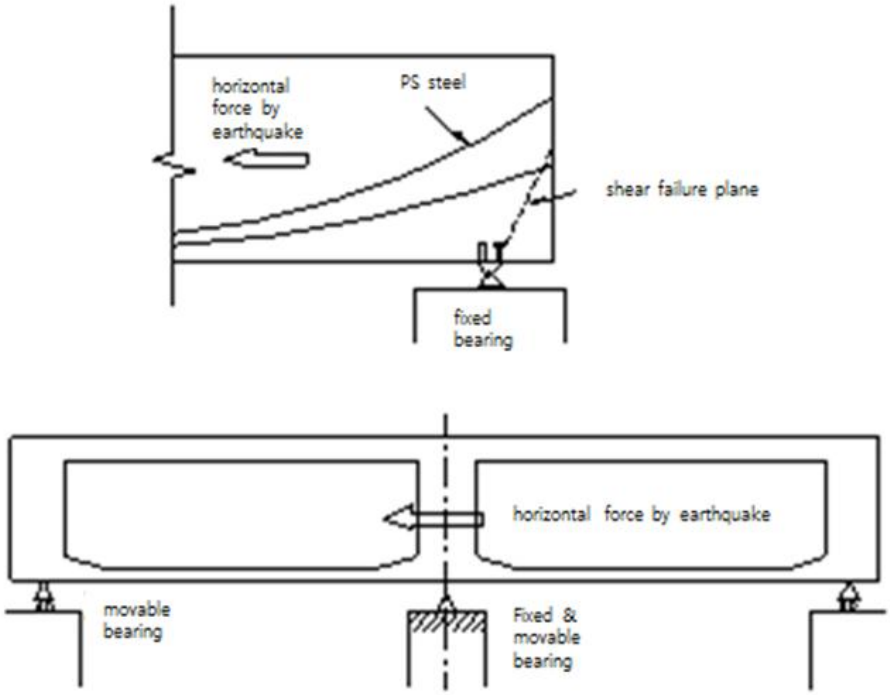


그림 10.13.4 중간지점의 휨모멘트에 대한 응력계산에 쓰이는 단면

10.13.4 Fixed bearing

(1) Fixed bearing of continuous girder bridge, as horizontal reaction by earthquake is applied to the girder as shown in <Fig. 10.13.5>, shall be designed to bear the stress caused by rebar or prestressing force.



(a) When using end support as fixed bearing (b) Fixed bearing on intermediate pier

Fig. 10.13.5 Horizontal reaction on fixed bearing

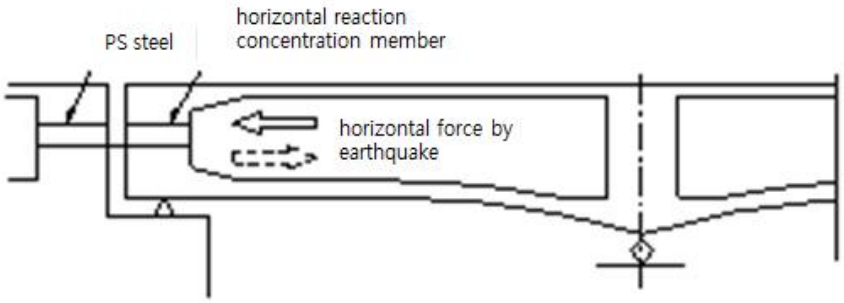
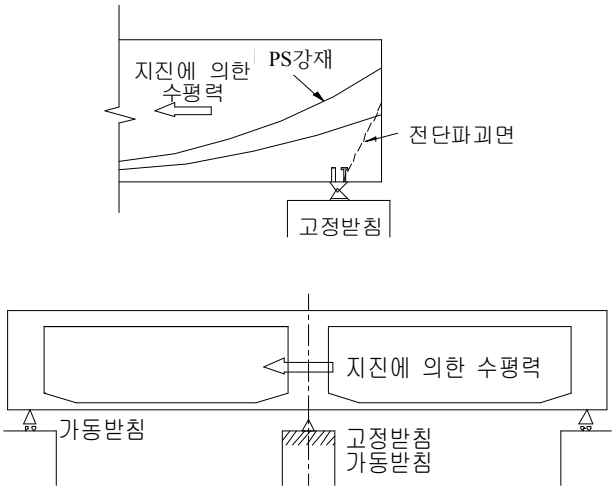


Fig. 10.13.6 When horizontal reaction is directly transferred to pier from end point diaphragm

10.13.4 고정받침부

(1) 연속거더교의 고정받침부는 <그림 10.13.5>에서 나타난 바와 같이 지진의 영향에 의한 수평반력이 거더에 작용하게 되므로 이로 인한 응력에 대해 철근이나 프리스트레스트에 의해 보강하여 설계해야 한다.



(a) 단지점을 고정받침부로 하는 경우 (b) 중간교각에 고정받침부를 설치

그림 10.13.5 고정받침부에서의 수평반력

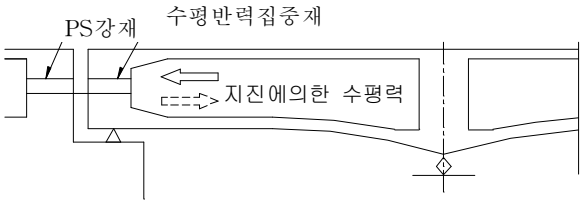


그림 10.13.6 단지점의 격벽으로부터 직접 교대에 수평반력을 전달하는 경우

10.13.5 Structure details

(1) Both bending moment and shear force reach the maximum in the middle of continuous gird bridge, and stress becomes complex due to the concentrated bearing reaction and larger compressive stress that according to beam theory may occur below the girder. Thus, additional bars shall be placed on web and below girder as shown in <Fig. 10.13.7>.

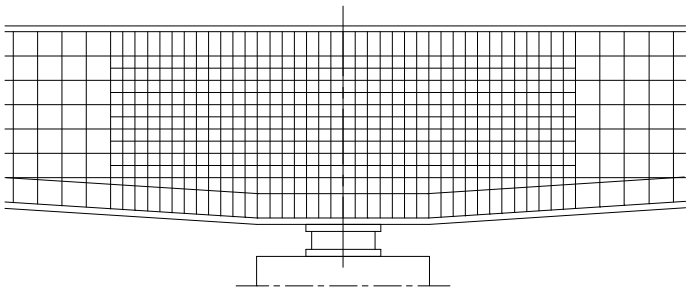


Fig. 10.13.7 Example of placement of additional bars

10.14 Rahmen bridge

10.14.1 General

(1) This paragraph shall apply to a railway bridge on which the girder and slab are monolithically coupled. This paragraph defines the unique characteristics of Rahmen bridge; for slab bridge, T-girder bridge and box girder bridge, they shall comply with the relevant provisions.

(2) With regard to column and wall of Rahmen bridge, earth pressure, water pressure and support settlement which are not specified in this provision shall be reviewed separately.

(3) Symbols

A_s = Reinforcing bar (mm^2)

a = Spacing of stirrups or tie hoops (mm) or vertical member height (mm)

b = Horizontal member height (mm) or width of beam or column in <Fig. 10.14.7> (mm)

D = Diameter of vertical member. Width of wall or column in <Fig. 10.14.6> or <Fig. 10.14.7>

D_1, D_2, D_3, D_4 = Specification of joint material to determine rigid zone on joint of Rahmen member (see <Fig. 10.14.3>)

H = Haunch height

h = Width of column

I = Bending rigidity of Rahmen member joint

l_a = Anchorage length or anchorage length on spread footing of axial bar of column

10.13.5 구조상세

(1) 연속거더교의 중간지점 부근에서는 휨모멘트와 전단력이 모두 최대가 되는 단면이고, 또한 집중적인 받침반력을 받아 응력상태가 복잡하고, 거더 아래 측에는 보이론으로 해석한 경우보다 큰 압축응력이 발생할 수 있다. 따라서 <그림 10.13.7>에서와 같이 복부와 거더 아래 측에 가외철근을 충분히 배치해야 한다.

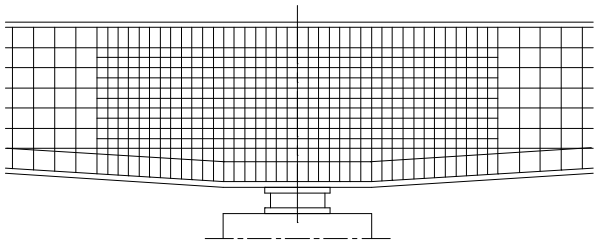


그림 10.13.7 가외철근 배치의 한 예

10.14 라멘교

10.14.1 일반내용

(1) 이 절은 거더 및 슬래브와 기둥이 일체로 강결(剛結)된 철도교량의 설계에 적용해야 한다. 이 절은 라멘교 고유의 사항에 대해 규정한 것으로, 슬래브교, T형거더교, 박스거더교 등의 단면형상의 고유 사항에 대해서는 각각의 절의 규정에 따라야 한다.

(2) 라멘교의 기둥 및 벽에 대해서는 이 절에서 규정하고 있지 않는 사항들인 토압, 수압 및 지점침하 등에 대해서도 추가로 검토해야 한다.

(3) 기호

A_s = 보강철근량(mm^2)

a = 스터럽 또는 띠철근의 간격(mm) 혹은 연직방향부재의 높이(mm)

b = 수평방향부재의 높이(mm)혹은 <그림 10.14.7>의 보의 폭 또는 기둥의 폭(mm)

D = 연직부대의 지름 <그림 10.14.6> 혹은 <그림 10.14.7>의 벽체 또는 기둥의 폭

D_1, D_2, D_3, D_4 = 라멘부재 절점부에서의 강역선정을 위한 접합부재의 제원(<그림 10.14.3> 참조)

H = 헌치부의 높이

h = 기둥의 폭

I = 라멘부재 절점부의 휨강성

l_a = 정착길이 혹은 기둥의 축방향 철근의 확대기초에서의 정착길이

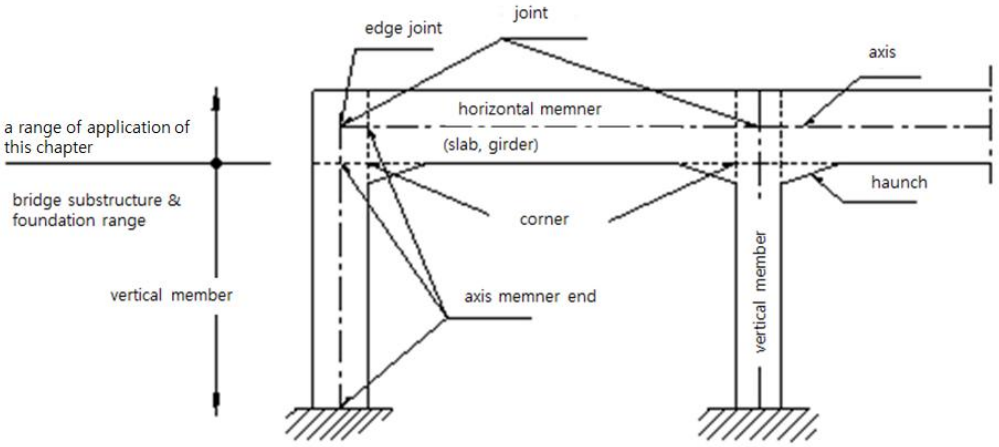
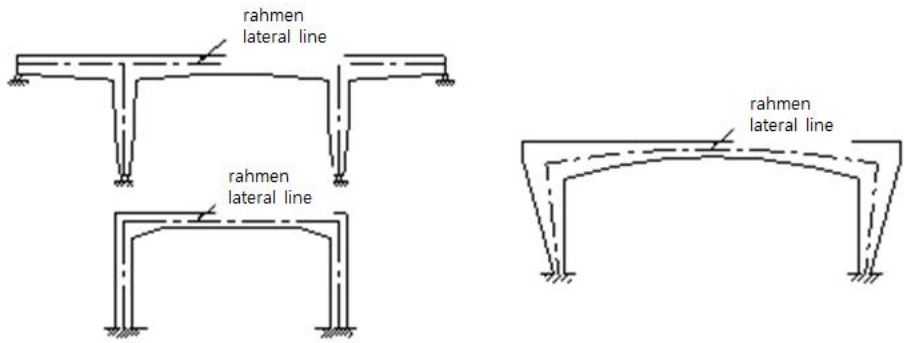


Fig. 10.14.1 Name of parts on Rahmen bridge

10.14.2 Structural analysis

(1) Rahmen axis when calculating the section force shall coincide with centroid axis of member section as shown in <Fig. 10.14.2 (a)>. But when the ratio of the length of horizontal member to vertical member is 4 or more or the change to the section is severe, section force shall be calculated considering the effect of axial change of girder as shown in <Fig. 10.14.2 (b)>.

(2) Bottom of column axis shall be the top of the foundation structure when column is coupled monolithically with foundation structure, and the center of hinge when coupled with hinge structure.



(a) when change to rahmen lateral line may be neglected

(b) when change to Rahmen lateral line must not be neglected

Fig. 10.14.2 Structure model for Rahmen bridge

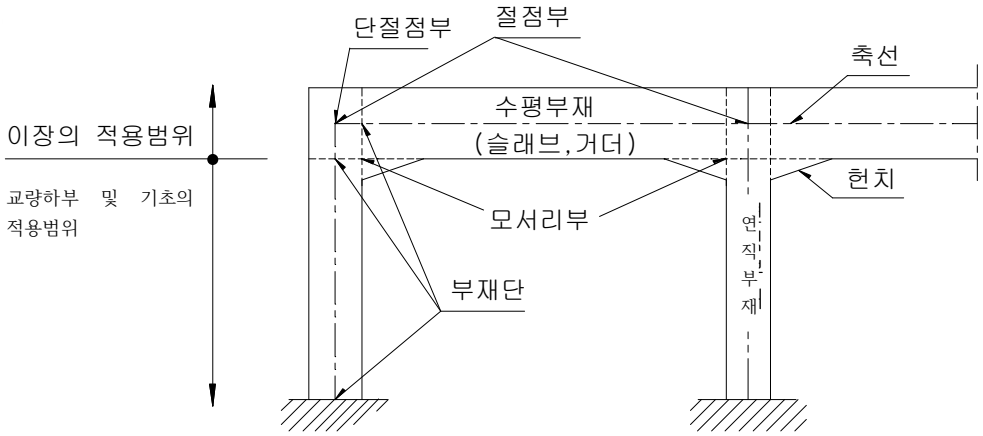
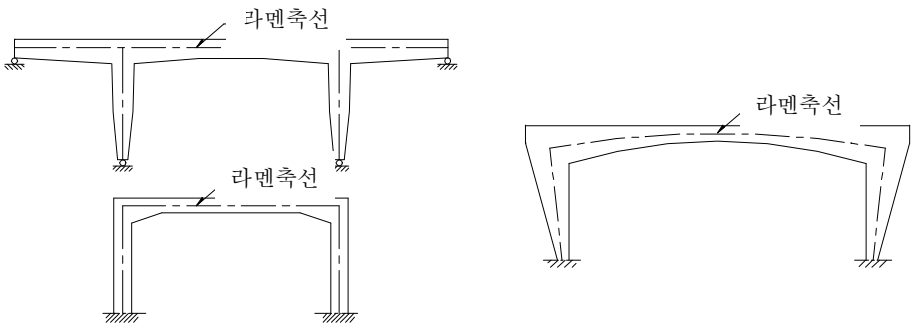


그림 10.14.1 라멘교 각부의 명칭

10.14.2 구조해석

(1) 단면력을 계산할 때의 라멘축선(軸線)은 <그림 10.14.2(a)>에서와 같이 부재단면의 도심축선에 일치시킨다. 그러나 <그림 10.14.2(b)>에서와 같이 수평부재와 연직부재의 길이의 비가 4정도 이상이거나 단면의 변화가 매우 심한 경우는 거더의 축선변화의 영향을 고려하여 단면력을 계산하는 것이 좋다.

(2) 기둥의 축선의 하단은 기둥이 기초구조와 일체로 강결된 경우에는 기초구조의 상면으로 하고, 힌지구조에 결합되어 있는 경우에는 힌지의 중심으로 해야 한다.



(a) 라멘축선의 변화를 무시해도 좋은 경우

(b) 라멘축선의 변화를 무시할 수 없는 경우

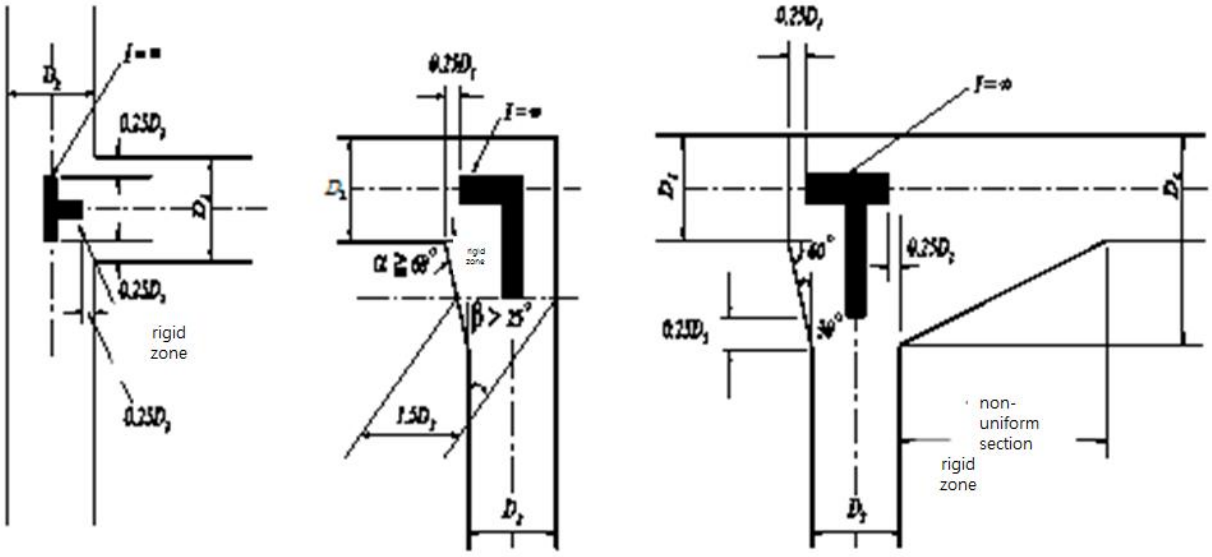
그림 10.14.2 라멘교에 대한 구조모델

(3) When haunch is small for the section of member which may be neglected in calculating the stress on section, change to bending rigidity may be neglected as well. Since the error in the analysis is too insignificant for a Rahmen bridge with a relatively longer span even when the rigid zone is neglected, rigid zone may be neglected in general. If the analysis considering the change to bending rigidity is intended, design bending moment of Rahmen member joint may be obtained according to <Fig. 10.14.5>. But when a large haunch is on the joint between column and beam or beam or column is very thick, rigid zone cannot be neglected, and thus, structural analysis shall be carried out considering <Fig. 10.14.3>.

① When member end adjoins another member, it shall be from 1/4 of member thickness at the end to the joint.

② When the member has a haunch inclined 25° or more to the axis, it shall be from the point that is 1.5 times member thickness to the joint. But, if haunch is inclined 60° or more, it shall be from the point at 1/4 of member thickness to the joint at start point of haunch.

③ When 2 or more points determined as 「① and ②」 exist simultaneously for reasons of different haunch size, the greater value shall be adopted as rigid zone.



(a) Uniform section (b) Non-uniform section 1 (c) Non-uniform section 2

Fig. 10.14.3 Rigid zone on joint of Rahmen bridge

10.14.3 Rahmen joint

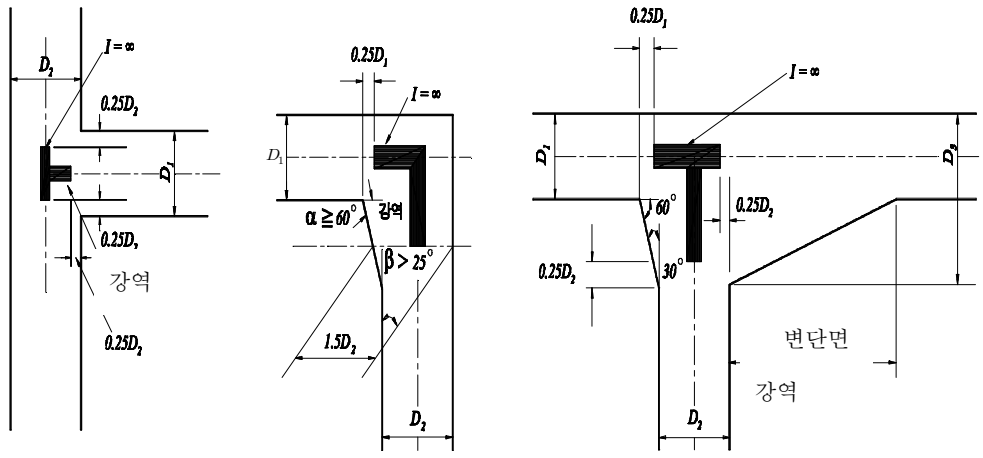
(1) Rahmen joint shall be able to transfer section force with members adjoining each other

(3) 헌치의 크기가 부재단면에 비해 작고, 단면의 응력계산에서 무시될 수 있는 정도의 크기의 헌치인 경우는 휨강성의 변화를 무시해도 좋다. 또한 지간이 비교적 긴 라멘교에서는 강역(剛域)의 영향을 무시하여 해석하더라도 그 오차는 작기 때문에 일반적으로 강역의 영향을 무시할 수 있다. 이 경우 휨강성의 변화의 영향을 고려하여 해석하려면 라멘부재 절점부의 설계휨모멘트는 <그림 10.14.5>에 따라 구해도 좋다. 그러나 기둥과 보의 절점부에 특히 큰 헌치가 있는 경우나 보부재 또는 기둥부재의 부재두께가 매우 큰 경우에는 강역의 영향이 무시될 수 없으므로 아래의 방법으로 구하는 강역 <그림 10.14.3>을 고려하여 구조해석을 수행하는 것이 좋다.

① 부재단부가 다른 부재와 접합할 때는 그 부재단에서 부재두께의 1/4안쪽 점에서부터 절점까지로 해야 한다.

② 부재가 그 축선에 대해 25°이상 경사진 헌치를 갖는 경우에는 부재두께가 1.5배가 되는 점에서부터 절점까지로 해야 한다. 다만, 헌치의 경사가 60°이상의 경우는 헌치의 시점(始點)부터 부재 두께의 1/4안쪽 점에서부터 절점까지로 해야 한다.

③ 양측의 헌치의 크기가 다른 경우 등의 사유로 「① 및 ②」로 정한 점이 2점 이상 동시에 존재하는 경우에는 강역의 범위는 큰 쪽을 취해야 한다.



(a) 등단면의 경우 (b) 변단면의 경우 1 (c) 변단면의 경우 2

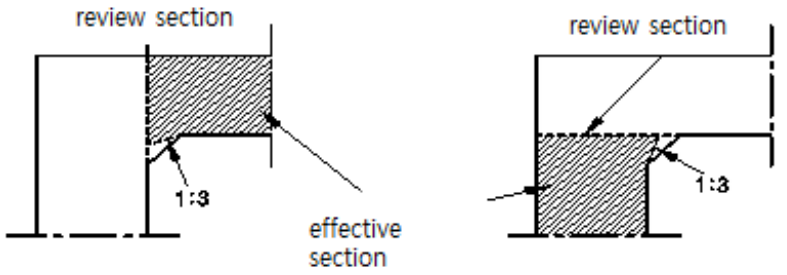
그림 10.14.3 라멘교 절점부에서의 강역

10.14.3 라멘부재 절점부

(1) 라멘부재의 절점부(節點部)는 접속하는 부재 서로가 단면력을 확실하게 전달시킬 수 있도록 해야 한다.

(2) Haunch shall be attached to Rahmen joint edge, but when the member has a non-uniform section or intermediate joint or the stability of joint has been evaluated, haunch is not necessarily attached to the joint.

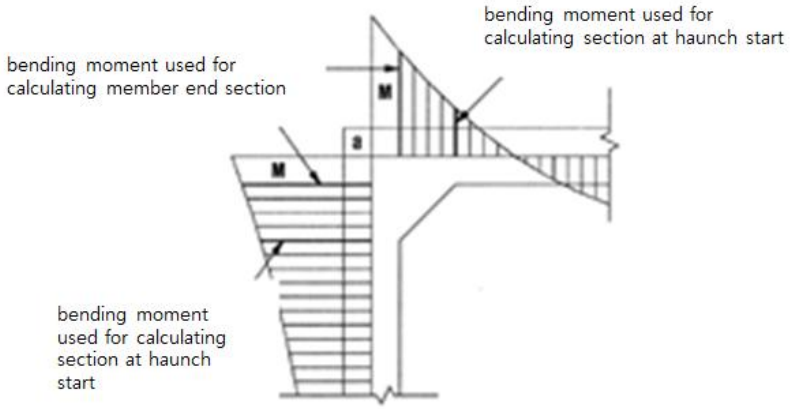
(3) Effective part of haunch when examining the stress shall be considered as shown in <Fig 10.14.4>.



(a) Beam member (b) Column member

Fig. 10.14.4 Effective part of haunch

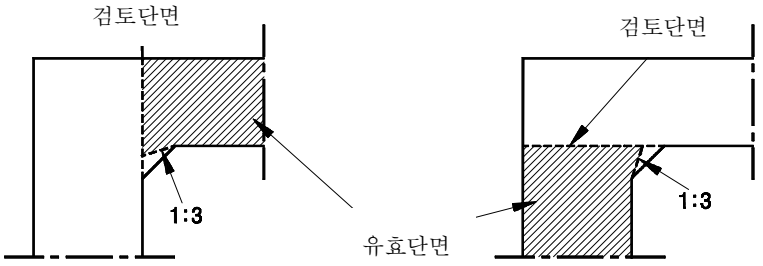
(4) Design bending moment of Rahmen joint shall be calculated as shown in <Fig. 10.14.5>.



(a) Effect of haunch considered

(2) 라멘부재 절점부 모서리부에는 헌치를 붙인다. 그러나 부재가 변단면(變斷面)인 경우 혹은 라멘 중간 절점부인 경우에는, 특히 절점부의 안정성에 대하여 검토한 경우 등의 절점부에는 헌치를 붙이지 않아도 좋다.

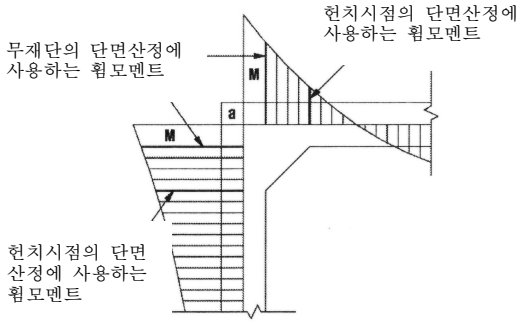
(3) 응력을 검사할 때 헌치의 유효부분은 <그림 10.14.4>와 같다고 본다.



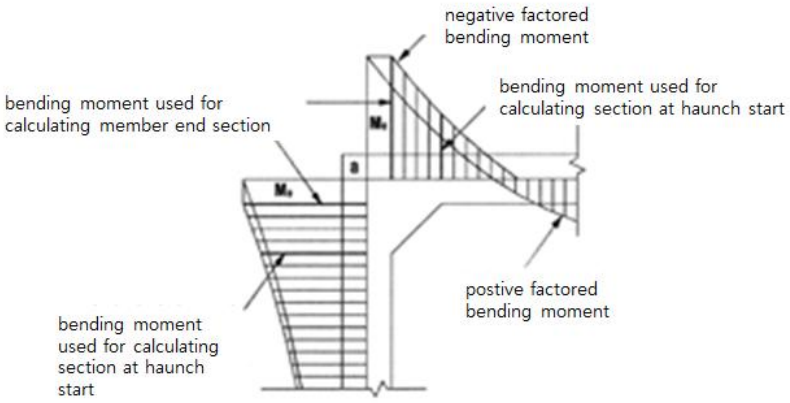
(a) 보 부재 (b) 기둥부재

그림 10.14.4 헌치의 유효부분

(4) 라멘부재 절점부의 설계휨모멘트는 <그림 10.14.5>와 같이 구한다.



(a) 헌치영향고려



(b) Effect of haunch neglected

Fig. 10.14.5 Design bending moment of Rahmen joint

(5) When column section is circular, section to examine the stress of girder or slab shall come into the column by 1/10 of column diameter as in <Fig. 10.14.6> or the surface when converting a circular section to a virtual square section with the same section area.

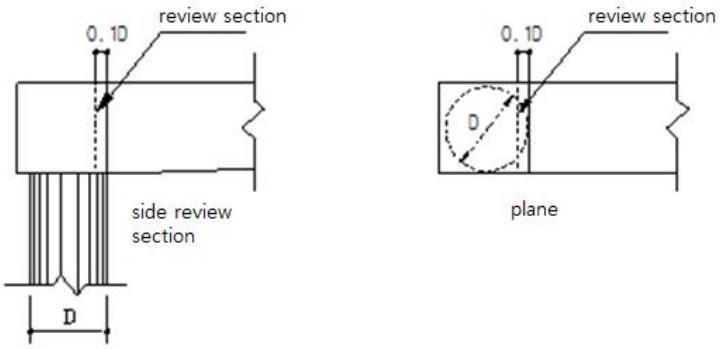


Fig. 10.14.6 Design section when column section is circular

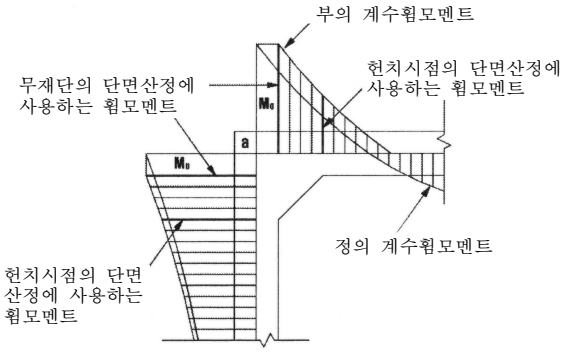
10.14.4 Rahmen bridge subject to earth pressure

(1) When earth pressure is applied to Rahmen bridge with wall pier, earth pressure varies due to diverse factors. When earth pressure is small, small earth pressure shall be considered.

(2) No earth pressure or partial earth pressure during construction needs to be considered.

10.14.5 Structure details

(1) Girder, slab and main reinforcement of column shall be arranged to surely transfer the section force considering the relationship on joint.



(b) 헌치 영향무시

그림 10.14.5 라멘부재 절점부의 설계휨모멘트

(5) 기둥의 단면이 원형인 경우는 거더 또는 슬래브의 응력 등을 검사할 단면의 위치는 <그림 10.14.6>과 같이 기둥 표면에서 기둥 직경의 1/10 만큼 들어간 위치로 하거나 단면적이 같은 가상의 정사각형 단면으로 원형 단면을 치환했을 때의 표면 위치로 하여도 좋다.

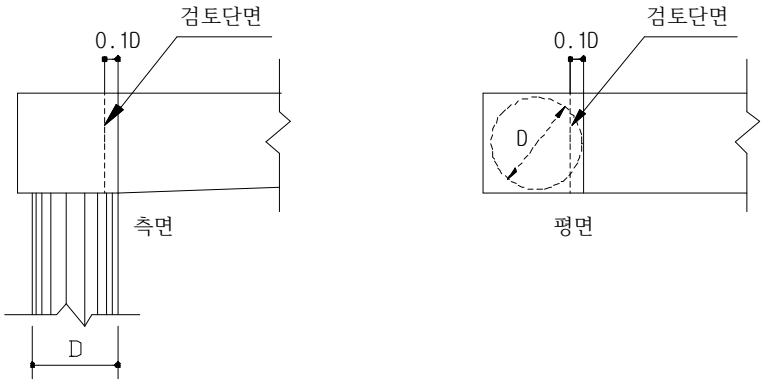


그림 10.14.6 기둥 단면이 원형인 경우의 설계단면

10.14.4 토압이 작용하는 라멘교

(1) 벽식 교각의 라멘교 등에서는 교각에 토압이 작용할 때, 토압이 여러 가지요인에 의해 설계대로 작용하지 않을 경우가 있다. 이렇게 토압이 작게 작용하는 경우에는 작은 토압을 고려해야 한다.

(2) 시공 중에 토압이 작용하지 않을 경우, 혹은 부분적으로 작용하는 경우 등에 대해서도 검토할 필요가 있다.z`

10.14.5 구조상세

(1) 거더 및 슬래브와 기둥의 주철근은 절점부에서 서로간의 배치관계를 고려하여 단면력이 확실하게 전달되도록 배치해야 한다.

(2) Given various bars are crossing each other on Rahmen joint and there is a large section force, bar placement shall be carefully designed in order to avoid any problem with bar fabrication, placement and concrete pouring.

(3) At least 1/2 of main reinforcement which is coupled on joint shall be placed at the outer side as shown in <Fig. 10.14.7>.Reinforcement indicated by broken line in <Fig 10.14.7> is to be placed as needed for calculation.

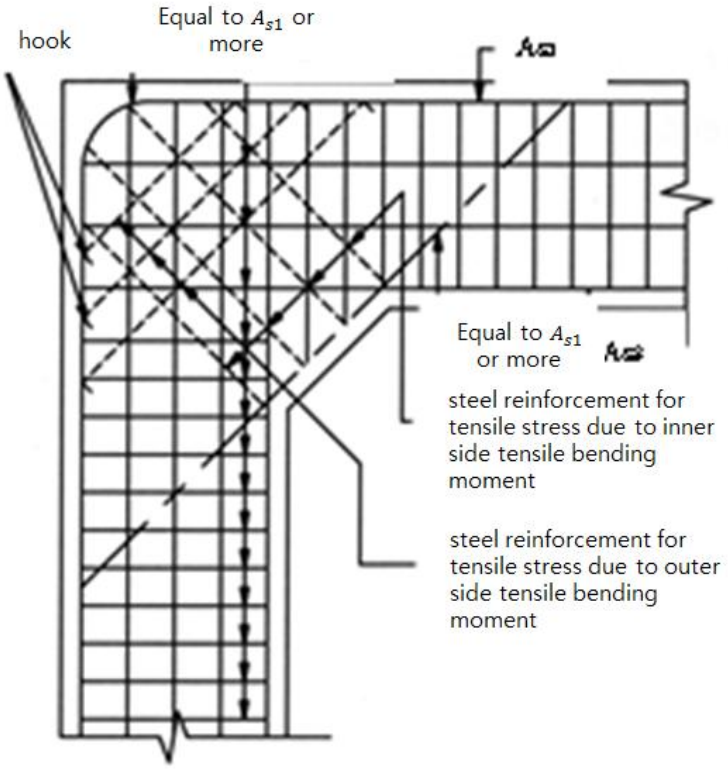


Fig. 10.14.7 Rebar placement on Rahmen end joint

① When negative bending moment is applied to outermost joint, tensile stress f_t on the section in the diagonal direction caused by factored load bending moment exceeds $\sqrt{f_{ck}}/3$, and reinforcement shall be placed.

② When positive moment is applied to the joint, tensile stress occurs in the diagonal direction from the joint and thus reinforcement shall be placed in the diagonal direction.

(4) Main reinforcement of column on intermediate joint shall be extended by anchorage length after passing by 1/2 of girder and slab member height or 1/2 of the effective height of column, whichever is less, from the edge. That is, axial bar is often discontinued on box girder by opening on diaphragm, and thus, the required reinforcement needs to be anchored on a-a section as shown in <Fig. 10.14.8>.

(2) 라멘 절점부는 각종의 철근이 교차하고 있고, 그 외에 큰 단면력이 작용하고 있기 때문에 철근의 배치에 대해서는 각별히 주의하고, 철근의 조립 및 배근, 콘크리트의 치기 등에 지장이 없도록 설계해야 한다.

(3) 단절점부에서는 <그림 10.14.7>에서 보여주는 바와 같이 절점부에서 결합하는 부재의 주철근량의 적어도 1/2은 외측에 연해서 배치하는 것이 좋다. <그림 10.14.7>에서 파선으로 표시된 철근은 계산상 필요한 경우에 배치하는 철근이다.

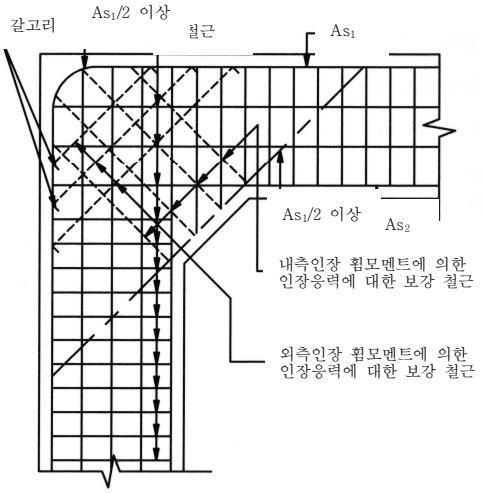


그림 10.14.7 라멘 단 절점부의 철근의 배치

① 부휨모멘트가 최외측 접합부에 작용하는 경우에 계수하중 휨모멘트에 의해 대각선 방향의 단면에 생기는 인장응력 f_t가 $\sqrt{f_{ck}}/3$를 넘을 경우는 철근을 배치해야 한다.

② 접합부에 정휨모멘트가 작용하면, 접합부 대각선 방향으로 인장응력이 작용하므로 경사방향으로 철근을 배치해서 보강해야 한다.

(4) 중간 절점부에서의 기둥의 주철근은 모서리에서 거더 및 슬래브의 부재 높이의 1/2 또는 기둥의 유효높이의 1/2 중 작은 값만큼 지나서 이 점부터 정착길이 이상 연장해야 한다. 즉, 박스거더 등에서는 격벽에 설치된 개구부 등으로 인해서 축방향철근이 끊기는 경우가 많으므로 이 경우도 <그림 10.14.8>의 a-a단면에서 소요 철근량은 이 규정에 따라 정착시키는 것이 필요하다.

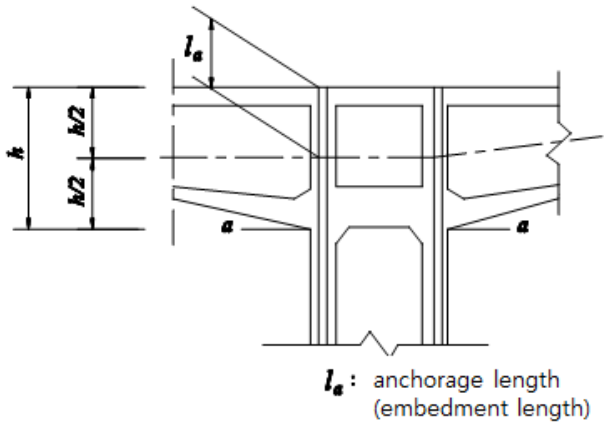


Fig. 10.14.8 Embedment length of main reinforcement of column

(5) When column bottom is fixed, main bar of column shall be anchored as shown in 「10.14.5 (4)」 from top of foundation. But when inevitably necessary for installation, longitudinal bar may be extended to the bottom of spread footing and anchored using a right-angled hook, as shown in <Fig. 10.14.9>.

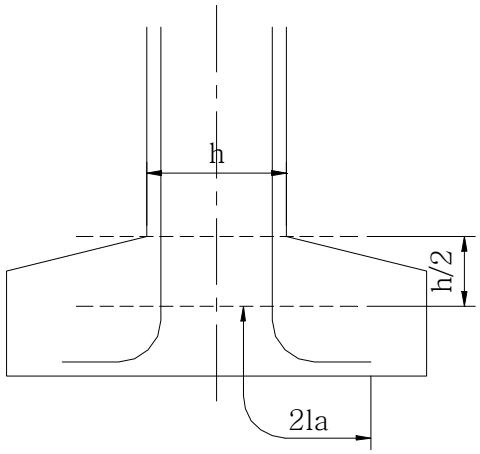


Fig. 10.14.9 Anchorage of longitudinal bar in spread footing

(6) Additional bar shall be placed along the slope even when it is determined through calculation that no bar is required.
(7) No main bar splice shall be placed on or around member joint.
(8) Additional horizontal bar shall be placed on the side of joint to prevent deformation of shoring or vertical crack in column by vertical reaction during construction.
(9) Rebar shall be placed on Rahmen joint corner considering construction joint.

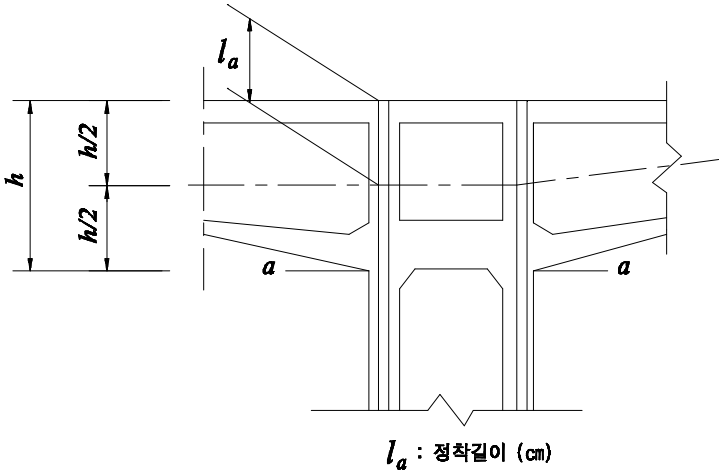


그림 10.14.8 기둥의 주철근의 묻힘길이

(5) 그리고, 기둥의 하단이 고정된 경우에도, 기둥의 주철근은 기초의 상단부터 위의 「10.14.5.(4)항」과 같이 정착시킨다. 다만 시공상 부득이한 경우에는 <그림 10.14.9>과 같이 축방향철근을 확대기초 하단까지 연장하여 직각갈고리를 만들어 정착시켜도 좋다.

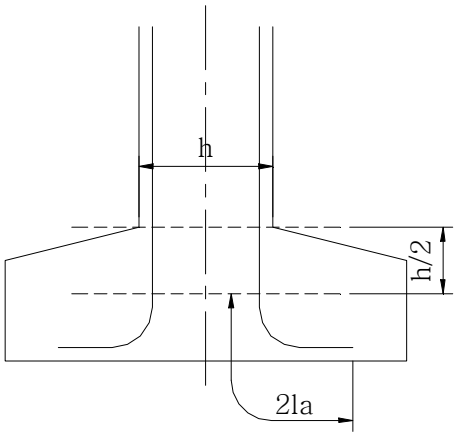


그림 10.14.9 확대기초 내에서의 축방향철근의 정착

(6) 헌치에는 계산상 철근이 필요없는 경우에도 경사면에 연하여 보강철근을 추가로 배치해야 한다.

(7) 부재 접합부 및 그 부근에는 주철근의 이음을 두지 않아야 한다.

(8) 접합부 모서리 측면은 시공 중에 동바리의 변형이나 기둥이 연직방향 반력의 영향에 의한 연직방향으로 발생하는 균열을 방지하기 위하여 수평방향 철근을 추가 배치해야 한다.

(9) 라멘의 접합부 모서리 부분은 콘크리트의 시공이음을 고려하여 철근을 배치해야 한다.

10.15 Box girder bridge

10.15.1 General

(1) This provision shall be applied to the design of railway bridge with box type section.

(2) Among the basic sections of box girder bridge are simple box girder bridge and multiple box girder bridge, as shown in <Fig. 10.15.1>.

(3) <Fig. 10.15.2> shows various box girder bridges with box sections.

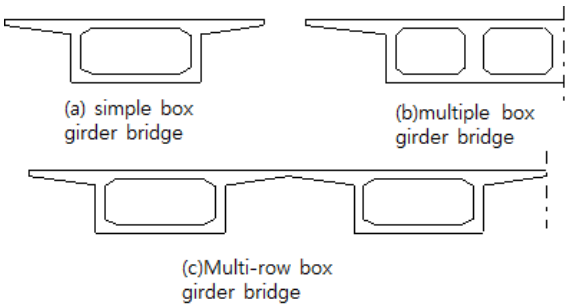


Fig. 10.15.1 Basic section shape of box girder bridge

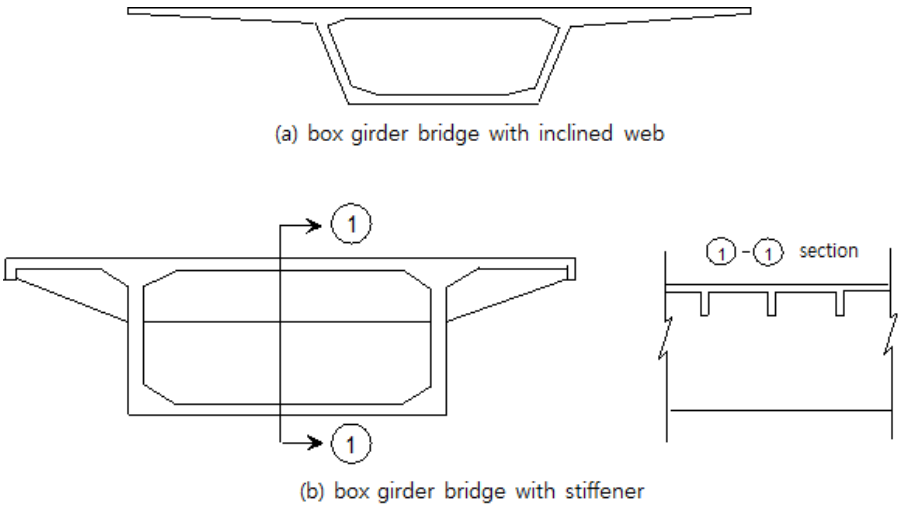


Fig. 10.15.2 Box girder bridge in various shapes

10.15.2 Design general

(1) Cross beam and diaphragm shall be provided to the support point of main girder.

(2) Intermediate cross beam and diaphragm shall be provided to multi-row box girder with a span of 24 m or longer. When cross beam is provided within the span, it shall be placed at the point where the largest bending moment occurs.

10.15 박스거더교

10.15.1 일반내용

(1) 이 절은 단면이 박스 모양으로 구성된 철도교량의 설계에 적용된다.

(2) 박스거더교의 기본적인 단면형상에는 <그림 10.15.1>에 보인 것처럼 단일박스 거더교, 다열박스 거더교 및 다중박스 거더교가 있다.

(3) <그림 10.15.2>에는 상자단면의 특성을 갖는 여러 가지 형상의 박스거더교를 보여준다.

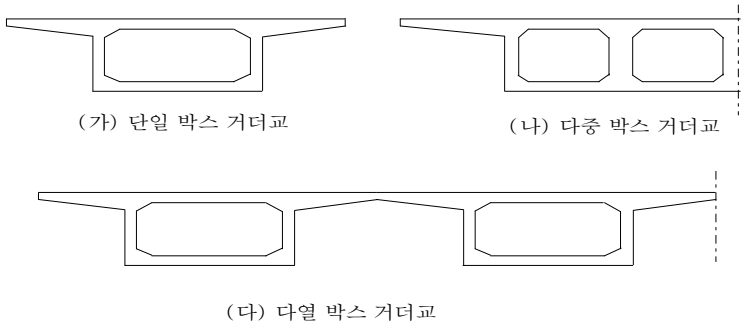


그림 10.15.1 박스거더교의 기본 단면 형상

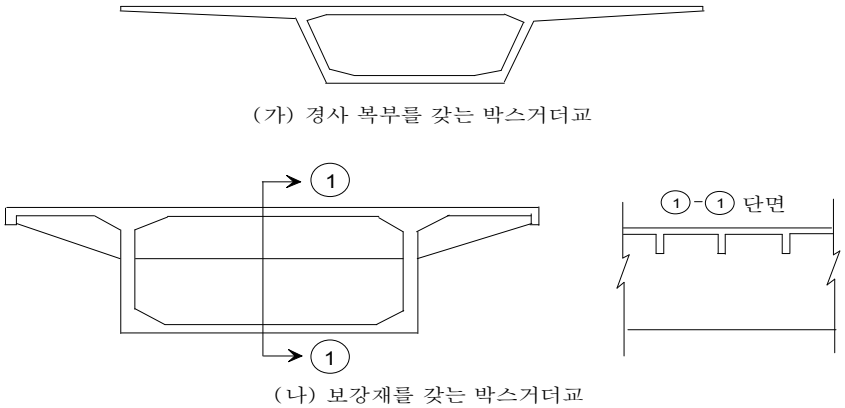


그림 10.15.2 여러 가지 형상의 박스거더교

10.15.2 설계일반

(1) 주거더의 받침점상에는 가로보 및 격벽을 둔다.

(2) 지간이 24m 이상인 다열형 박스거더에서는 중간 가로보 및 중간 격벽을 설치한다. 경간 내에 가로보를 둘 경우에는 휨모멘트가 가장 큰 위치에 배치하는 한다.

(3) However, an intermediate diaphragm is not required in the case of a simple or multiple box girder for straight bridge or curve bridge with a radius of curvature of 240 m or larger.

(4) Intermediate diaphragm may be required in the case of a simple or multiple box girder with a radius of curvature less than 240 m, and spacing and strength of the intermediate diaphragm shall be reviewed at the design stage. In such a case, the spacing of the intermediate diaphragm needs to be 12 m or less.

(5) Width of web for calculating shear stress shall be the thickness perpendicular to web axis. That is, the width perpendicular to shear flow may be used for inclined web as shown in <Fig. 10.15.3>.

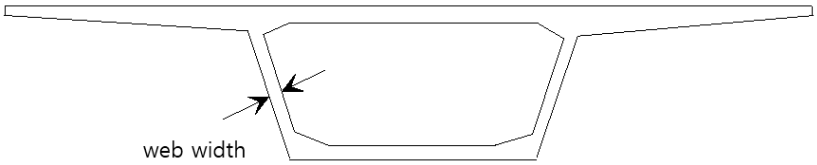


Fig. 10.15.3 Web width used for calculating shear stress

(6) When flange width is larger for web or flange thickness, shear force on flange shall be reviewed. In particular, when web width is more than 4 times flange thickness or bridge is a box girder bridge with reinforcing rib, it is necessary to investigate the horizontal shear stress on flange.

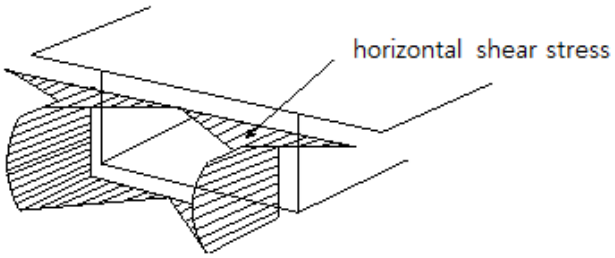


Fig. 10.15.4 Distribution of horizontal shear stress on flange

(7) Effective width of compressive flange of box girder

Whole slab width shall be assumed to be effective to compression.

(3) 단일 및 다중 박스거더로서 직선교이거나 내측 곡률반경이 240m이상인 곡선교일 경우에는 중간 격벽을 설치할 필요가 없다.

(4) 단일 및 다중 박스거더의 곡률반경이 240m미만일 경우에는 중간 격벽이 필요할 수 있으며 중간 격벽 간격과 강도는 설계 시에 신중히 검토해야 한다. 이 경우에 중간 격벽의 간격은 12m이하로 하는 것이 바람직하다.

(5) 전단응력의 계산에 쓰이는 복부의 폭은 복부 축선의 직각방향의 두께로 해야 한다. 예를 들면 경사진 복부의 경우에는 <그림 10.15.3>에 보인 것과 같이 전단류의 직각방향의 폭을 사용하면 된다.

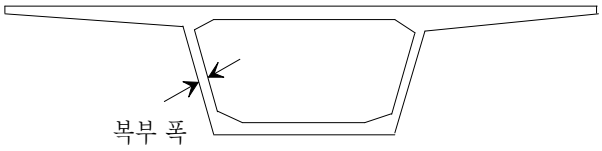


그림 10.15.3 전단응력의 계산에 쓰이는 복부의 폭

(6) 플랜지 폭이 복부 또는 플랜지의 두께에 비하여 클 때에는 플랜지에 생기는 전단력에 대하여 검토하는 것이 좋다. 특히 복부폭이 플랜지 두께의 4배를 넘거나, 보강 리브가 있는 박스거더교 등에 대하여는 플랜지에 생기는 수평전단응력에 대하여 조사를 하는 것이 좋다.

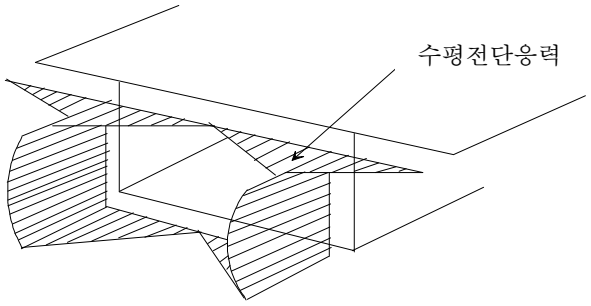


그림 10.15.4 플랜지에 생기는 수평전단응력의 분포

(7) 박스거더의 압축플랜지의 유효폭

전체 슬래브 폭이 압축에 유효하다고 가정해야 한다.

10.15.3 Structural analysis

(1) Section force of simple box girder bridge and multiple box girder bridge shall be calculated using beam theory. Generally, rigidity perpendicular to the axis of a simple box girder bridge and multiple box girder bridge is large and has a good load distribution function, and thus a full section of box girder may be considered a single beam for analysis. But for a multiple box girder bridge with a relatively large width and a width ratio to span (full width/span) of more than 0.5, section force needs to be calculated using lattice theory.

(2) Section force of box girder bridge and multi-row box girder bridge at an oblique angle shall be calculated using lattice theory, but when oblique angle is less than 20°, it may be calculated using beam theory, instead of lattice theory.

10.15.4 Lateral design

(1) The stress of bottom flange and web may be analyzed considering box girder as a Rahmen structure comprising web and top and bottom flange. As seen in <Fig. 10.15.5>, since sufficient solution could be obtained in fact even when modeling it as a 1m-thick box Rahmen structure, this method may be used in general. And as axial force on member caused by other loads is generally insignificant, axial force may not be considered when designing flange.

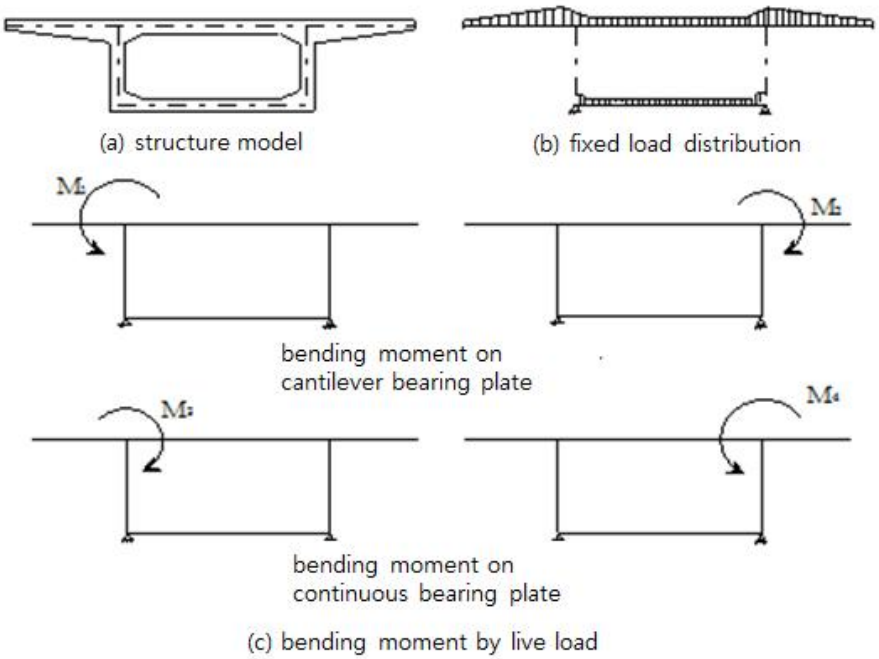


Fig. 10.15.5 Bending moment of bottom flange and web

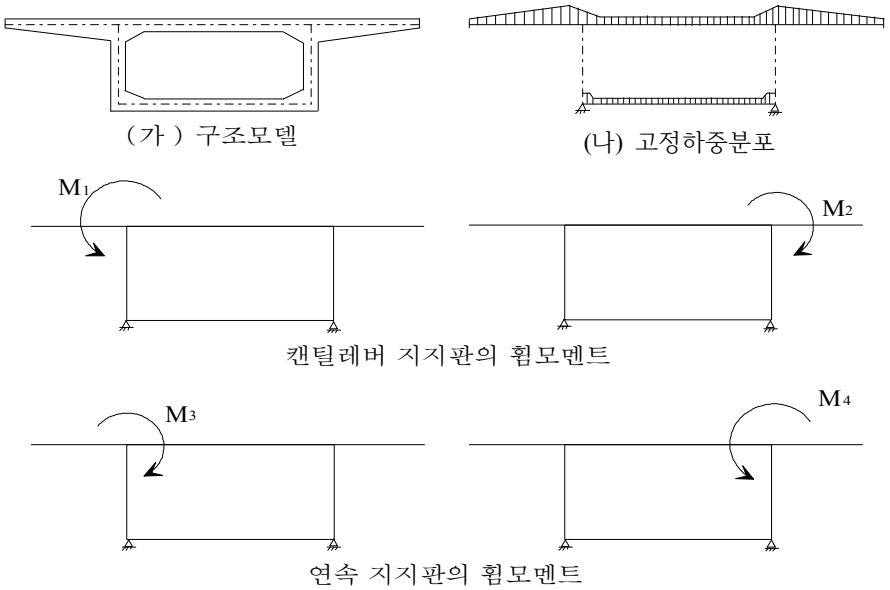
10.15.3 구조 해석

(1) 단일박스 거더교 및 다중박스 거더교의 단면력은 보이론에 따라 계산하면 된다. 일반적으로 단일박스 거더교 및 다중박스 거더교는 교축 직각방향의 강성이 크고 하중분배작용이 좋기 때문에 박스거더 전단면을 하나의 보로 보고 해석하여도 된다. 그러나 지간에 대한 전체폭의 비(전체폭/지간)가 0.5를 넘는 비교적 폭이 넓은 다중박스 거더교는 격자이론에 따라 단면력을 계산하는 것이 좋다.

(2) 사각이 있는 박스거더교 및 다열 박스거더교의 단면력은 격자이론에 따라 계산해야 한다. 다만 단일 박스거더교 및 다중 박스거더교에서 사각이 20° 미만이면 격자이론을 따르지 않고 보이론에 따라 해석하는 것도 좋다.

10.15.4 횡방향 설계

(1) 하부플랜지 및 복부의 응력은 박스거더를 복부 및 상하 플랜지로 구성된 라멘 구조로 보고 해석하여도 좋다. <그림 10.15.5>에 보인 것처럼 교축방향으로 1m의 두께가 있는 박스 라멘 구조로 모델링하여 계산하여도 실제적으로 충분한 정도의 해를 얻을 수 있기 때문에 일반적인 경우에 이 방법을 써서 구하여도 좋은 것으로 하였다. 프리스트레스 이외의 하중에 의하여 부재에 생기는 축방향력은 일반적으로 작기 때문에 하부 플랜지 및 복부를 설계할 때에 축방향력은 고려하지 않아도 좋다.



(다) 활하중에 의한 휨모멘트

그림 10.15.5 하부플랜지 및 복부의 휨모멘트

(2) Section force of bottom flange and web of box girder with inclined web and reinforcing rib shall be calculated considering the effect of inclined web and reinforcing rib. When axial PS steel on web of box girder bridge with inclined web is bent up, the section force according to the vertical component of prestressing force shall be reviewed. But section force of box girder bridge with reinforcing rib shall be calculated considering the effect of rib. Section force on box girder bridge with varying girder height is caused by vertical stress on the bottom flange and vertical component of prestressing force. Thus, a wide bottom flange, the effect of which cannot be neglected, shall be considered in design.

(3) 1/2 of reinforcement placed to bending moment of web may be considered the diagonal tension bar. Since loading condition used to calculate diagonal tension bar does not always coincide with loading condition for maximum bending moment on web as stipulated in 「10.15.4 (1)」, up to 1/2 of the required reinforcement may be considered the diagonal tension bar to resist the bending moment on web.

$$A_s = A_{s1} + 0.5A_{s2} + A_t \qquad (10.15.1)$$

where, A_s: Reinforcement per web

A_{s1}: Diagonal tension bar required per web

A_{s2}: Reinforcement required resisting bending moment on web (inner side or outer side of web, whichever is greater)

A_t: Required transverse reinforcement per web to torsional moment

However, the reinforcement required for positive/negative moment on web shall be provided to inner side and outer side of web.

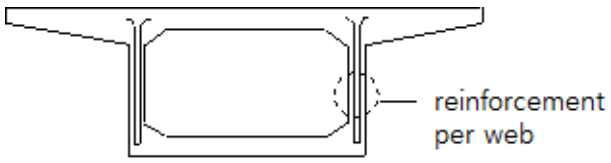


Fig. 10.15.6 Reinforcement placed on web

10.15.5 Design of cross beam and diaphragm on supporting point

(1) Section force of cross beam and diaphragm shall be calculated after determining the analysis model depending on joint condition between the support and member and according to beam theory.

(2) 경사진 복부 및 보강 리브가 있는 박스거더교의 하부플랜지 및 복부의 단면력은 복부의 경사와 보강 리브의 영향을 고려하여 구해야 한다. 경사진 복부가 있는 박스거더교에서 복부에 배치된 교축방향의 PS강재가 위로 휘어진 경우 프리스트레스 힘의 연직방향분력에 의하여 생기는 단면력 등에 대하여 검토해야 한다. 다만 보강 리브가 있는 박스거더교의 단면력은 리브의 영향을 고려하여 계산한다. 거더 높이의 변화가 있는 박스거더교는 하부플랜지에 작용하고 있는 수직응력 및 프리스트레스 힘의 수직분력에 의하여 단면력이 생기게 된다. 따라서 하부플랜지의 폭이 넓고 그 영향을 무시할 수 없는 경우에는 설계시 이를 고려해야 한다.

(3) 복부의 휨모멘트에 대하여 배치된 철근량의 1/2은 교축방향의 설계를 할 때 사인장철근으로 간주하여도 된다. 사인장 철근량을 계산할 때의 재하상태가 「10.15.4 (1)항」에 규정된 재하상태인 복부에 최대휨모멘트가 생기는 재하상태와 반드시 일치하는 것은 아니기 때문에 복부에 생기는 휨모멘트에 저항하기 위하여 필요한 철근량의 1/2까지 사인장철근으로 볼 수 있도록 하였다.

$$A_s = A_{s1} + 0.5A_{s2} + A_t \qquad (10.15.1)$$

여기서, A_s : 1개의 복부에 배치된 철근량

A_{s1} : 복부 1개당 필요한 사인장 철근량

A_{s2} : 복부에 생기는 휨모멘트에 저항하는데 필요한 철근량(복부 내측 또는 외측의 것 중 큰 값)

A_t : 비틀림모멘트에 대한 복부 1개당의 횡방향 필요철근량

그러나 복부 내측 및 외측에 대하여는 복부에 생기는 정·부모멘트에 대하여 각각 필요한 철근량 이상의 철근을 배치해야 한다.

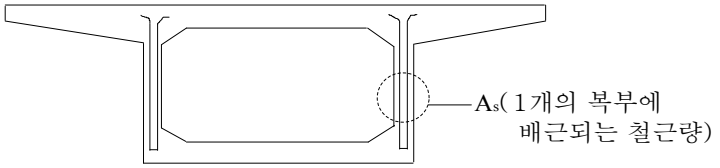


그림 10.15.6 복부에 배치되는 철근량

10.15.5 지점 가로보 및 다이아프램의 설계

(1) 지점 가로보 및 다이아프램의 단면력은 지점과 부재의 결합조건에 따라 해석모델을 설정하고 보이 론에 의하여 계산하는 것이 좋다.

(2) When calculating the cross beam and diaphragm, effective width of flange shall be calculated using the specification. But when cross beam and diaphragm have openings, the effect shall be considered in determining the structure model and calculating the section force.

10.15.6 Structure details

(1) Thickness of top and bottom slab of box girder subject to train load shall be 200 mm or more.

(2) When changing flange thickness in the direction to main girder, slope shall be less than 1/5, but when a steeper slope is required, the effective section area used for design calculation shall be a gentle slope of 1/5 or less.

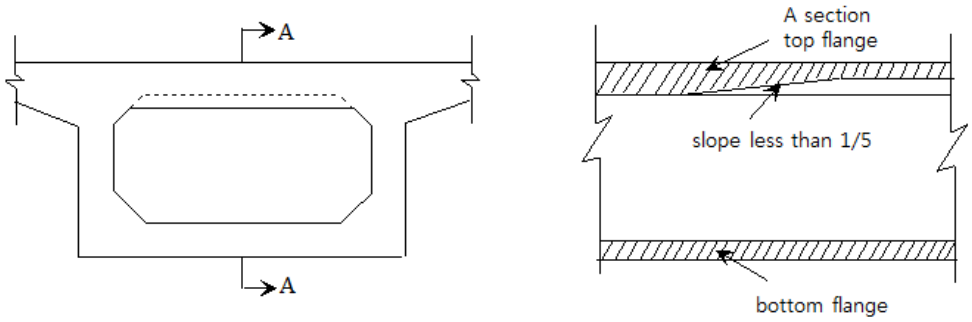


Fig. 10.15.7 Change to flange thickness

(3) Longitudinal bar on web shall be uniformly distributed over the entire section more than dry shrinkage and temperature bar (0.2%), and longitudinal and lateral bar placement shall be in accordance with 「10.4.3」.

(4) Main reinforcement to be placed on main girder of RC box girder bridge shall be arranged in 2 steps or less in web and haunch, but when its placement in flange is inevitably necessary, it shall be arranged in 1/10 of main girder span from the side of web, and maximum center-to-center rebar spacing shall be 250 mm.

(2) 가로보 및 다이아프램의 단면력을 계산할 때, 플랜지의 유효폭은 시방서의 규정에 따라 구하면 된다. 다만 지점 가로보 및 다이아프램에 개구부가 있을 때에는 그 영향을 고려하여 구조모델을 설정하고 단면력을 계산해야 한다.

10.15.6 구조상세

(1) 열차하중을 받는 박스거더의 상부슬래브 및 하부슬래브의 두께는 200mm이상으로 해야 한다.

(2) 플랜지의 두께를 주거더방향으로 변화시킬 경우에는 1/5보다 완만한 경사로 하는 것이 좋다. 다만 그 이상의 급한 경사로 할 필요가 있는 경우의 설계계산에 사용되는 유효단면적은 1/5 이하의 완만한 경사내의 부분으로 해야 한다.

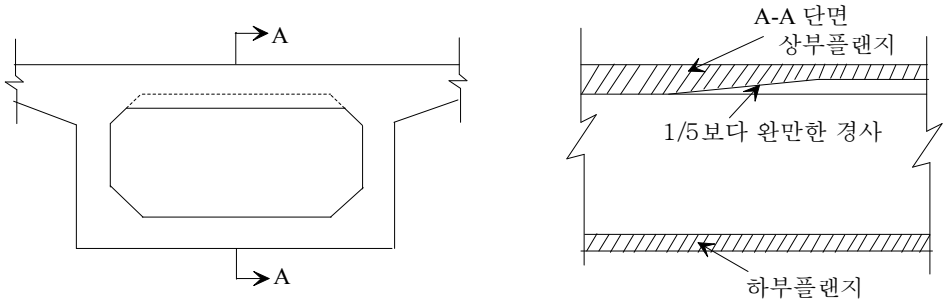


그림 10.15.7 플랜지 두께의 변화

(3) 복부의 종방향 철근은 건조수축 및 온도철근(0.2%) 이상으로 전단면에 걸쳐서 균등하게 배치해야 하고, 하부슬래브의 종방향 및 횡방향 철근의 배근은 「10.4.3항」에 따라야 한다.

(4) 철근콘크리트 박스거더교의 주거더에 배치하는 주철근은 복부 및 헌치부 내에서 2단 이하로 배치하는 것이 좋다. 그러나 부득이 플랜지 내에 배치할 경우에는 복부의 측면에서 주거더의 지간의 1/10의 범위 내에 배치하고, 철근 중심간격의 최대값은 250mm로 하는 것이 좋다.

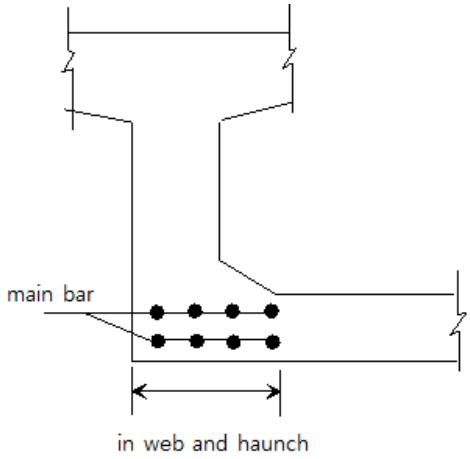


Fig. 10.15.8 Placement of main reinforcement

(5) When opening is provided, surroundings shall be reinforced. The opening shall be placed at the location where stress is minimized and the bar cut by opening shall be reinforced. As shown in <Fig. 10.15.9>, PS steel shall be anchored far away from the opening.

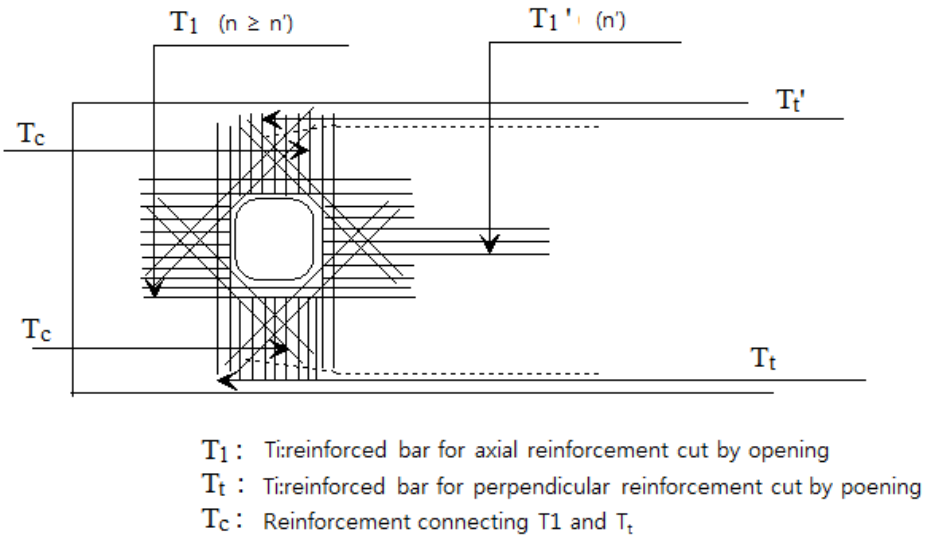


Fig. 10.15.9 Example of opening on bottom flange

10.16 Arch bridge

10.16.1 General

(1) This provision shall apply to RC arch bridge. Arch bridge is structurally categorized into fixed arch, 1-hinge arch, 2-hinge arch and 3-hinge arch.

(2) Arch bridge is categorized by structure type into open arch and closed arch.

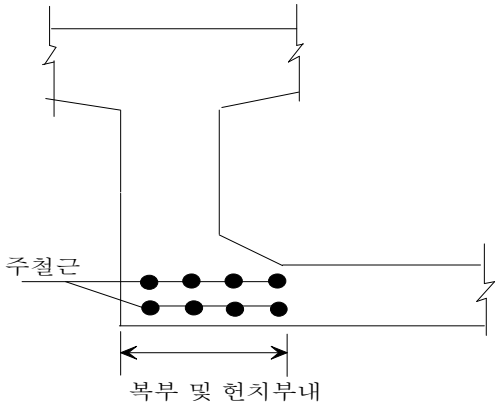
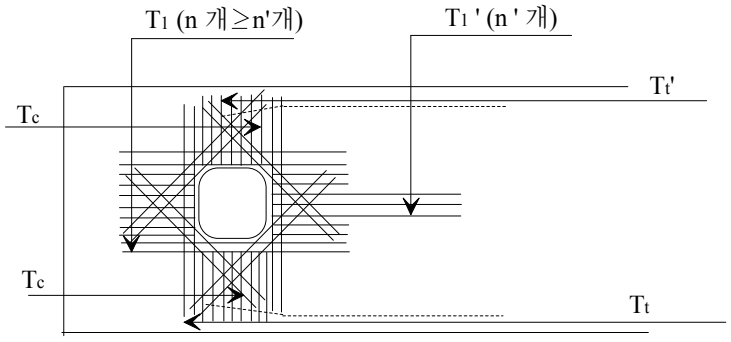


그림 10.15.8 주철근의 배치

(5) 개구부를 둘 경우에는 그 주위를 보강해야 한다. 개구부는 될 수 있으면 응력의 크기가 작은 곳에 두며, 개구부에 의하여 절단된 철근량 이상의 철근을 보강철근으로 배치하는 것으로 해야 한다. <그림 10.15.9>과 같이 PS강재의 정착은 개구부로부터 충분히 떨어진 곳에 하도록 해야 한다.



Tl : 절단된 축방향철근(Tl ')의 보강철근
Tt : 절단된 직각방향철근(Tt ')의 보강철근
Tc : Tl', Tt' 를 연결하는 철근

그림 10.15.9 하부플랜지 개구부 구조의 한 예

10.16 아치교

10.16.1 일반내용

(1) 이 절은 철근콘크리트 아치교의 설계에 적용해야 한다. 아치교를 구조역학적으로 분류하면, 고정아치, 1힌지아치, 2힌지아치, 3힌지아치 등으로 구분된다.

(2) 아치교의 구조형식별에는 개복식(開腹式)아치 및 폐복식(閉腹式)아치교가 있다.

(3) Symbols

f = Arch height

a = Fixed load per unit length in springing

c = Fixed load per unit length on crown

λ = Slenderness ratio

10.16.2 Design general

(1) Arch axis

① To the maximum extent possible, arch axis shall be selected to match with pressure line by load.

② The load to calculate the pressure line that determines arch axis shall be fixed load or fixed load plus 1/2 of uniform distribution load.

③ Arch axis shall generally be determined according to <Eq. (10.16.1)>.

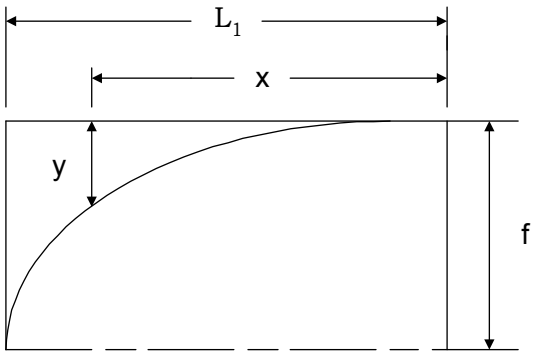


Fig. 10.16.1 Arch axis

$$y = \frac{f}{m-1}(\cosh(k\xi)-1) \qquad (10.16.1)$$

where, $m = \frac{W_a}{W_c}$

$k = \cosh^{-1} m$

$\xi = x / L_1$

(2) Arch superstructure

① Superstructure of open arch shall be designed as a Rahmen structure.

② Partition shall be attached laterally at proper spacing on side wall of closed arch. To prevent side wall and arch from moving monolithically, vertical joint shall be provided on side wall at proper spacing.

(3) Buckling shall be reviewed on a long-span arch.

(4) Arch foundation shall be able to resist horizontal force from arch.

(3) 기호

f = 아치의 높이

a = 스프링잉(springing)에서 단위길이당 고정하중(kN/m)

c = 크라운에서 단위길이당 고정하중(kN/m)

λ = 세장비

10.16.2 설계일반

(1) 아치축선

① 아치축선은 하중에 의한 압력선에 가능한 일치하도록 선택해야 한다.

② 일반적으로 아치축선을 정하는 압력선을 구하는 하중은, 고정하중 또는 고정하중에 등분포활하중의 1/2를 만재한 상태의 하중으로 해야 한다.

③ 아치축선은 일반적으로 <식 (10.16.1)>에 의해 정해야 한다.

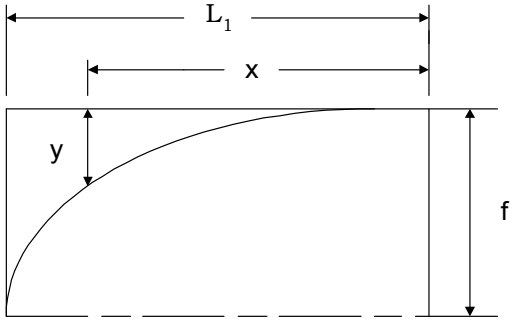


그림 10.16.1 아치축선

$$y = \frac{f}{m-1}(\cosh(k\xi)-1) \qquad (10.16.1)$$

여기서, $m = \frac{W_a}{W_c}$

$k = \cosh^{-1}m$

$\xi = x / L_1$

(2) 아치 상부구조

① 개복아치의 상부구조는 라멘구조로서 설계해야 한다.

② 폐복아치의 측벽에는 적당한 간격마다 횡방향으로 칸막이를 붙이면 좋다. 측벽과 아치가 일체로 움직이지 않도록 하기 위하여 측벽에는 적당한 간격으로 연직이음을 설치해야 한다.

(3) 지간이 긴 아치에서는 좌굴에 대하여 안전한가를 검토해야 한다.

(4) 아치의 기초는 아치에서 발생하는 수평력에 충분히 저항할 수 있도록 해야 한다.

(5) In-plane and out of plane buckling shall be checked for safety.

① When designing arch rib, in-plane and out of plane buckling, in addition to stress or section force, shall be checked for safety. As an example showing in-plane buckling of RC arch bridge, inspection method according to 「DIN (1981.4)」 is as follows.

A. $\lambda \leq 20$: No buckling inspection is needed

B. $20 < \lambda \leq 70$: After converging the effect of finite deformation into bending moment by eccentric load and adding to the moment, stability to factored bending moment of section shall be reviewed.

C. $70 < \lambda \leq 200$: In addition to the effect caused by finite deformation, safety against buckling shall be checked considering the effect caused by nonlinearity of RC material.

D. $200 < \lambda$: Unsuitable as the structure.

10.16.3 Structural analysis

(1) Arch can include 2-hinge arch, 3-hinge arch and fixed arch; in this provision, fixed arch is addressed.

(2) Statically indeterminate force in arch shall be obtained according to elastic theory.

(3) In addition to vertical and horizontal load, the effect caused by temperature variation and concrete dry shrinkage shall also be considered in designing the arch.

(4) Arch shall be designed considering the effect of arch axial line and moment of inertia of each section on statically indeterminate force.

10.16.4 Handling of the load

(1) Section shall be determined according to combination of fixed load + train load + impact + temperature variation + dry shrinkage load and other load combinations shall also be considered, and the section shall be modified as needed.

(2) Train load shall use equivalent uniformly distributed load provided in <Table 10.16.1>.

Table 10.16.1 equivalent uniformly distributed load per rail (kN/m)

Span (m)	LS-22	HSR load
10 ~15	75	110
15 ~20	70	100
20 or more	65	90

(5) 아치리브가 포함하는 면내에서의 좌굴이나 면외에서의 좌굴에 대하여 안전한가를 확인해야 한다.

① 아치리브를 설계할 때는 응력이나 단면력의 검사 외에 면내 및 면외방향의 좌굴에 대한 안정성을 확인해야 한다. 철근콘크리트 아치교의 면내좌굴에 대한 검토의 일례로서, 「DIN (1981.4)」에 규정된 검사방법의 적용기준은 다음과 같다.

가. $\lambda \leq 20$: 좌굴검사는 필요치 않음

나. $20 < \lambda \leq 70$: 유한변형에 의한 영향을 편심하중에 의한 휨모멘트로 치환하여 발생모멘트에 더하여 단면의 계수 휨모멘트에 대한 안정성을 검토해야 한다.

다. $70 < \lambda \leq 200$: 유한변형에 의한 영향에 더하여, 철근콘크리트 부재의 재료의 비선형성에 의한 영향을 고려하여 좌굴에 대한 안정성을 검사해야 한다.

라. $200 < \lambda$: 구조물로서 적합하지 않음.

10.16.3 구조해석

(1) 아치에는 2 힌지아치, 3 힌지아치, 고정아치 등이 있지만, 이 절에서는 철도교에서 주로 이용되는 고정아치에 대해서만 언급한다.

(2) 아치에 있어서 부정정력은 탄성이론에 의해서 구해야 한다.

(3) 아치를 설계하는 경우는 연직 및 수평하중 뿐만 아니라 온도변화 및 콘크리트 건조수축에 의한 영향도 고려해야 한다.

(4) 아치는 아치축선의 형상, 각 단면의 단면 2차모멘트의 변화 등이 부정정력에 미치는 영향을 고려하여 설계해야 한다.

10.16.4 하중의 취급

(1) 일반적으로 고정하중+열차하중+충격+온도변화+건조수축하중의 조합에 의하여 단면을 정하고, 다른 하중조합에 관해서도 검토하여 만일 단면이 부족하면 단면을 수정하도록 해야 한다.

(2) 열차하중은 <표 10.16.1>의 등가등분포하중을 이용해야 한다.

표 10.16.1 레일당의 등가등분포하중(kN/m)

지간 (m)	KRL-2012 하중		EL-18 하중
	여객화물혼용선	여객전용선	
10 ~ 15	95	70	50
15 ~ 20	90	67	
20 이상	85	64	

(3) Dry shrinkage shall be based on the values in <Table 10.16.2>.

Table 10.16.2 Dry shrinkage rate

RC arch	Reinforcement 0.5% or more	15×10^{-5}
	Reinforcement 0.1% ~ 0.5%	20×10^{-5}
Plain concrete arch		25×10^{-5}

(4) Brake load and start load on arch and vertical load on CWR shall be considered as applied in parallel with the axis of horizontal member of superstructure in case of open arch and on top of closed web in case of closed arch.
(5) Vehicle lateral load in [Chapter 8] working on arch shall be considered to apply in parallel with the crown of arch axis.
(6) Seismic effect on arch shall be reviewed both in axial direction and perpendicular direction.

10.16.5 Determination of arch rib section

(1) Thickness of arch ring shall be thinner on crown and thicker around springing considering the effects of temperature variation and dry shrinkage.

10.16.6 Structure details

(1) On RC arch, axial reinforcement shall be placed symmetrically in the vertical direction, and reinforcement shall be 600 mm^2 or more per m of arch rib width. Sum of the upper and lower parts shall be 0.15% of concrete section.
(2) On RC arch, stirrup or tie hoop enwrapping axial bar on top and bottom of arch shall be D10mm or more and 1/4 of axial bar diameter, and spacing shall be 15 times axial bar diameter or less and the minimum dimension of arch section or less.
(3) Expansion joint shall be provided to springing or other proper location of side wall of closed arch.
(4) Drainage shall be provided to the top of superstructure for open arch and the top of arch for closed arch, and drained water shall not flow along the side of arch.

(3) 건조수축은 <표 10.16.2>에 나타난 값을 표준으로 해야 한다.

표 10.16.2 건조수축률

철근 콘크리트 아치	철근량 0.5% 이상	15×10^{-5}
	철근량 0.1% 이상 0.5% 미만	20×10^{-5}
무근 콘크리트 아치		25×10^{-5}

(4) 아치에 작용하는 제동하중 및 시동하중과 장대 레일 종하중은 개복아치의 경우에는 상부구조의 수평부재의 축선에 수평으로 작용하는 것으로 하며. 폐복아치의 경우에는 폐복부의 상연에 작용하는 것으로 해야 한다.

(5) 아치에 작용하는 차량횡하중은 「제8장」에 표시한 차량횡하중이 아치축선의 크라운에 수평으로 작용하는 것으로 하면 좋다.

(6) 아치에 미치는 지진의 영향은 아치의 축방향과 아치축의 직각방향에 관해 검토해야 한다.

10.16.5 아치리브 단면의 선정

(1) 아치링의 두께는 온도변화 및 건조수축의 영향을 고려해서 크라운을 될 수 있는 한 얇고, 스프링잉 부근에서는 두껍게 하는 것이 좋다.

10.16.6 구조상세

(1) 철근 콘크리트 아치에서는, 아치의 상하면에 따라서 대칭으로 축방향 철근을 배치해야 한다. 철근량은 각각 아치리브폭 1m당 600mm^{2}이상, 상하면의 철근을 합하여 콘크리트 단면의 0.15%이상으로 해야 한다.

(2) 철근 콘크리트 아치에서는 아치 상하면의 축방향 철근을 감는 스터럽 또는 띠철근의 규격은 D10mm이상, 또 축방향 철근지름의 1/4이상으로 하고, 그 간격은 축방향 철근 지름의 15배 이하, 아치단면의 최소치수 이하로 배치해야 한다.

(3) 폐복아치의 측벽에는 스프링잉 및 그 외의 적당한 위치에 신축이음을 설치해야 한다.

(4) 배수공 개복아치에 있어서는 상부구조의 상면에, 폐복아치에 있어서는 아치의 상면에 시공하고, 배수한 물이 아치 측면을 따라 흐르지 않도록 해야 한다.

10.17 Allowable stress design method

10.17.1 General

(1) RC member without prestressing may be designed according to stress analysis based on linear elastic theory and design method under working load conditions without applying load factor.

(2) Symbols

A_g = Gross section area (mm^2)

A_v = Section area of shear reinforcement within the spacing (mm^2)

A_s = Section area of tensile reinforcement (mm^2)

A_1 = Loading area (mm^2)

A_2 = Maximum area of bearing part which has same center and is geometrically similar with loading area (mm^2)

b_o = Perimeter of dangerous section to bidirectional shear for slab and spread footing (mm)

b_w = Web width (mm)

d = Effective depth of member (mm)

f_{ba} = Allowable bearing stress of concrete (MPa)

f_{ca} = Allowable flexural compressive stress of concrete (MPa)

f_{ck} = Design compressive strength of concrete (MPa)

f_{sa} = Allowable tensile stress of reinforcement (MPa)

f_{ta} = Allowable flexural tensile stress of concrete (MPa)

M = Design bending moment

n = Modulus of elasticity = E_s/E_c

N = Design axial force perpendicular to the section that works with shear force V; when axial force is compressive force this has a positive value (+), when axial force is tensile force this has a negative value (-). Tensile force by creep and dry shrinkage shall be included.

N_u = Factored axial force perpendicular to the section that works with shear force V

P_u = Factored axial force from given eccentricity

s = Spacing of shear reinforcement measured in parallel with axial reinforcement (mm)

v_c = Design shear stress (MPa)

v_{ca} = Allowable shear stress of concrete (MPa)

v_{ha} = Allowable horizontal shear stress of concrete (MPa)

V = Design shear force of section

α = Angle between inclined stirrup and axis of member

10.17 허용응력설계법

10.17.1 일반내용

(1) 프리스트레스를 가하지 않은 일반적인 철근콘크리트 부재는 하중계수를 적용하지 않은 사용하중의 작용하에 선형탄성이론에 의한 응력해석과 설계법에 따라 설계할 수 있다

(2) 기호

A_g = 단면의 전체 면적(mm^2)

A_v = 간격 s이내에 있는 전단철근의 단면적(mm^2)

A_s = 인장철근의 단면적(mm^2)

A_1 = 재하면적(mm^2)

A_2 = 재하면적과 기하적으로 유사하고 같은 중심을 가지는 받침면의 부분 중 최대면적(mm^2)

b_o = 슬래브와 확대기초판에 있어 2방향 전단에 대한 위험단면 의 둘레길이(mm)

b_w = 복부의 폭(mm)

d = 부재의 유효깊이(mm)

f_{ba} = 콘크리트의 허용지압응력(MPa)

f_{ca} = 콘크리트의 허용휨압축응력(MPa)

f_{ck} = 콘크리트의 설계기준압축강도(MPa)

f_{sa} = 철근의 허용인장응력(MPa)

f_{ta} = 콘크리트의 허용휨인장응력(MPa)

M = 설계 휨모멘트

n = 탄성계수비 = E_s/E_c

N = 전단력 V와 동시에 작용하는 단면에 수직한 설계축력으로서 축력이 압축력일 때는 양(+)의 값, 인장력일 때는 음(−)의 값을 취하며, 크리프와 건조수축에 의한 인장력을 포함시킨다.

N_u = 전단력 V와 동시에 작용하는 단면에 수직한 계수축력

P_u = 주어진 편심에서 계수축력

s = 축방향 철근과 나란한 방향으로 측정한 전단철근의 간격(mm)

v_c = 설계전단응력(MPa)

v_{ca} = 콘크리트의 허용전단응력(MPa)

v_{ha} = 콘크리트의 허용수평전단응력(MPa)

V = 단면의 설계전단력

α = 경사 스터럽과 부재의 축이 이루는 각

β_c = Longer side ÷ shorter side ratio on concentrated load or reaction surface

ρ_w = Tensile reinforcement ratio = $A_s / b_w d$

ϕ = Strength reduction coefficient

10.17.2 Design general

(1) All stress under working load shall not exceed the allowable stress specified in 「10.17.3」.

(2) Rebar embedment and coupling shall be in accordance with 「10.5」.

(3) Design load combination and increment factor when calculating required strength of section shall be in accordance with 「8.3.3」.

10.17.3 Allowable stress

(1) Allowable stress of concrete ÷ Allowable stress of concrete shall be calculated based on design compressive strength f_{ck} and unless otherwise specified, it shall not exceed the values in 「① ~ ④」.

① Allowable flexural compressive stress on flexural compressive edge, f_{ca} …… $0.40 f_{ck}$

② Shear

A. Beam, one-way slab and spread footing plate

(a) Allowable shear stress v_{ca} of concrete on section without shear reinforcement (further details shall be in accordance with 「10.17.7 (2)」) ..... $0.08\sqrt{f_{ck}}$

(b) Maximum shear stress allowed by shear reinforcement and concrete ..... $v_{ca}+0.32\sqrt{f_{ck}}$

B. Allowable shear stress of concrete in joist structure, v_{ca} …… $0.08\left(1+\frac{2}{\beta_c}\right)\sqrt{f_{ck}}$

C. Allowable shear stress of concrete in bidirectional slab and spread footing plate, v_{ca} …… $0.08\left(1+\frac{2}{\beta_c}\right)\sqrt{f_{ck}}$

However, v_{ca} shall be $0.16\sqrt{f_{ck}}$ or less.

③ Allowable bearing stress, f_{ba}

A. When loading on a full section …… $0.25 f_{ck}$

B. When loading on partial section …… $0.25 f_{ck}\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$

However, $\sqrt{A_2/A_1}$ shall be 2 or less.

④ Allowable flexural tensile stress (plain concrete spread footing plate and wall), f_{ta} …… $0.10.13\sqrt{f_{ck}}3$

(2) Allowable stress of reinforcement

① Allowable stress of reinforcement for D32 or less shall be as <Table 10.7.1>

β_c = 집중하중 또는 반력의 작용면에서 짧은 변에 대한 긴 변의 비

ρ_w = 인장철근비 = $A_s/b_w d$

ϕ = 강도감소계수

10.17.2 설계일반

(1) 사용하중 하에서의 모든 응력은 「10.17.3항」의 허용응력을 초과해서는 안 된다.

(2) 철근의 정착과 이음은 「10.5항」의 규정에 따라야 한다.

(3) 단면의 소요강도 계산시의 설계하중조합 및 증가계수는 「8.3.3항」의 규정에 따라야 한다.

10.17.3 허용응력

(1) 콘크리트의 허용응력 - 콘크리트의 각종 허용응력은 설계기준압축강도 f_{ck}를 기준으로 하여 산정하며, 특히 별도의 규정이 없을 때는 다음 「①항 에서 ④항」까지의 값을 초과하지 않아야 한다.

① 휨 - 압축연단에서의 허용휨압축응력, f_{ca} …… $0.40 f_{ck}$

② 전단

가. 보, 1방향 슬래브 및 확대기초판

㉮ 전단보강철근이 없을 때의 콘크리트 단면에서
콘크리트의 허용전단응력, v_{ca} (보다 상세한 계산은
「10.17.7 (2)항」에 따라야 한다.) ……$0.08\sqrt{f_{ck}}$

㉯ 전단보강철근과 콘크리트에 의해 허용되는
최대 전단응력 …… $v_{ca} + 0.32\sqrt{f_{ck}}$

나. 장선구조에서 콘크리트의 허용전단응력, v_{ca}……$0.09\sqrt{f_{ck}}$

다. 2방향 슬래브 및 확대기초판에서 콘크리트
허용전단응력, v_{ca} …… $0.08\left(1+\frac{2}{\beta_c}\right)\sqrt{f_{ck}}$

다만, v_{ca}는 $0.16\sqrt{f_{ck}}$ 이하로 취해야 한다.

③ 허용지압응력, f_{ba}

가. 전단면에 재하될 때 …… $0.25 f_{ck}$

나. 부분적으로 재하될 때…… $0.25 f_{ck}\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$

다만 $\sqrt{A_2/A_1}$은 2 이하로 취해야 한다.

④ 허용휨인장응력(무근의 확대기초판과 벽체), f_{ta} ……$0.13\sqrt{f_{ck}}$

(2) 철근의 허용응력

① 철근의 허용응력은 D32 이하의 철근에 대하여 <표 10.7.1> 값으로 한다.

Table 10.17.1 Allowable stress of reinforcement (MPa)

Reinforcement Stress and member			SD300	SD350	SD400
Tensile stress	When impact load or seismic load is not included in load combination	(1) General members	150	175	180
		(2) Slab bridge with deck span 10 m or less	150	160	160
		(3) Member in water or below groundwater level	150	160	160
	(4) Reference value of allowable stress when impact load or seismic load is included in load combination		150	175	180
(5) Compressive stress			150	175	180

② The difference in stress between maximum tensile stress and minimum tensile stress caused by live load and impact on reinforcement shall be determined in accordance with fatigue stress limit, and main bar shall not be bent when stress is large.

(3) Allowable stress considering temperature variation and dry shrinkage – When temperature variation and dry shrinkage are considered with other major loads, allowable stress may be increased up to 1.15 times the allowable stress stipulated in 「10.17.3 (1) and (2)」.

10.17.4 Embedment and coupling of reinforcement

(1) Embedment and coupling of reinforcement shall comply with the requirements in 「10.5」.

(2) When applying the requirements in 「10.5.5 (2) ③」, M_n is bending moment calculated on the assumption that all positive reinforcement on section reached the allowable tensile stress, and V_u shall be shear force by working load without multiplying load factor on section.

10.17.5 Flexural member

(1) Flexural member shall satisfy the requirements in 「Chapter 8」 and 「10.6.4」.

(2) When calculating the stress under working load, linear elastic theory shall be applied to flexural member based on the following assumptions.

표 10.17.1 철근의 허용응력 (MPa)

응력 및 부재의 종류 \ 철근의 종류			SD300	SD350	SD400
인장 응력	하중의 조합에 충돌하중 혹은 지진의 영향을 포함하지 않는 경우	(1) 일반적인 부재	150	175	180
		(2) 바닥판, 경간 10m 이하의 슬래브교	150	160	160
		(3) 수중 혹은 지하수위 이하에 설치하는 부재	150	160	160
	(4) 하중의 조합에 충돌하중 혹은 지진의 영향을 포함하는 경우의 허용응력의 기본값		150	175	180
(5) 압축응력			150	175	180

② 직선으로 배근된 철근에서 활하중과 충격에 의해 발생하는 최대인장응력과 최소인장응력 사이의 응력차는 피로응력한계의 규정에 부합해야 한다. 그리고 응력이 큰 부분에서는 주철근의 굽힘을 피해야 한다.

(3) 온도변화와 건조수축 고려시의 허용응력 - 온도변화나 건조수축을 다른 주요 하중과 함께 고려하는 경우에는 허용응력을 「10.17.3 (1)항 과 (2)항」에 규정된 허용응력의 1.15배까지 높일 수 있다.

10.17.4 철근의 정착과 이음

(1) 철근의 정착과 이음은 「10.5항」의 요구조건에 따라야 한다.

(2) 이 설계기준의 「10.5.5 (2) ③항」의 요구조건을 적용할 때, M_n은 단면의 모든 정철근이 허용인장응력에 도달하였다는 가정 하에 계산된 휨모멘트 크기이며, V_u는 단면에서 하중계수를 곱하지 않은 사용하중에 의한 전단력으로 해야 한다.

10.17.5 휨부재

(1) 휨부재는 「제8장」및 「10.6.4항」의 요구사항을 만족시켜야 한다.

(2) 사용하중 하에서의 응력을 계산할 때, 다음의 가정에 따라 선형탄성이론을 휨부재에 적용해야 한다.

① Strain of concrete and reinforcement shall be in proportion to the distance from neutral axis of flexural member with the exception of high beam. For a high beam such as a simple beam with height /span ratio is 4/5 and continuous beam with 2/5 or more, nonlinear distribution of strain shall be considered.

② Tensile strength of concrete on RC member shall be neglected.

③ Elastic modulus ratio $n = E_s/E_c$ shall use the nearest constant but must be 6 or more, and lightweight aggregate concrete n may be assumed as the value of ordinary concrete with the same strength.

④ When calculating transformed section of compressive reinforcement in calculating the stress of double reinforcement beam, effective elastic modulus ratio $2E_s/E_c$ shall be used. In such case, compressive stress of compressive reinforcement shall be equal to allowable tensile stress or less.

10.17.6 Compressive member subject to axial force or bending moment and axial force together

(1) Bearing capacity of bending moment and axial force-combined axial load of compressive member shall be 40% of the value calculated using 「10.6」.

(2) A long column effect shall be considered according to 「10.6.5 (4)」. Then, P_u shall be 2.5 times the design axial force and the factor $\pm$=0.75 shall be replaced by 1.0.

10.17.7 Shear design

(1) Design shear stress

① Shear stress v_c shall be calculated using <Eq. (10.17.1)>.

$$v_c = \frac{V}{b_w d} \qquad (10.17.1)$$

where, V is design shear force on the section for consideration.

② Design shear stress around bearing

When reaction is applied to the member edge in shear force direction, the section within distance d from inner side of bearing may be designed to the same shear stress v_c as obtained from distance d.

(2) Shear stress to be borne by concrete

① Allowable shear stress v_{ca} to be borne by concrete on member receiving shear force and bending moment only shall not exceed $0.08\sqrt{f_{ck}}$ unless calculated in more detail according to 「10.17.7 (2) ④」.

① 콘크리트와 철근의 변형률은 높이가 큰 보를 제외하고는 휨부재의 중립축으로부터 떨어진 거리에 비례해야 한다. 높이/지간의 비가 4/5 이상인 단순보, 2/5 이상인 연속보 등과 같이 높이가 큰 보에서는 변형률의 비선형 분포를 고려해야 한다.
② 철근콘크리트 부재에서 콘크리트의 인장강도는 무시해야 한다.
③ 탄성계수비 $n=E_s/E_c$는 가장 가까운 정수를 사용하되 6이상, 경량골재콘크리트의 n값은 같은 강도의 보통 콘크리트의 것으로 가정해도 좋다.
④ 복철근보의 응력계산에서 압축철근의 환산단면을 구할 때는 유효 탄성계수비 $2E_s/E_c$를 사용해야 한다. 이 경우에도 압축철근의 압축응력은 허용인장응력 이하이어야 한다.

10.17.6 축력 또는 휨모멘트와 축력을 동시에 받는 압축부재

(1) 휨모멘트와 축력이 조합된 압축부재의 축하중 내력은「10.6」의 규정으로 계산한 값의 40 %로 취해야 한다.
(2) 이 구조설계기준의「10.6.5 (4)항」에서 규정한 사항에 따라 장주효과를 고려해야 한다. 이 때 P_u는 설계축력에 2.5배를 곱한 값으로 취하고, 계수 ϕ=0.75는 1.0으로 대체시켜야 한다.

10.17.7 전단설계

(1) 설계전단응력

① 전단응력, v_c는 <식 (10.17.1)>에 의해 구해야 한다.

$$v_c = \frac{V}{b_w d} \qquad (10.17.1)$$

여기서, V는 고려하는 단면에서의 설계전단력이다.

② 받침부 부근의 설계전단응력

반력이 작용전단력방향으로 부재의 단부를 압축할 경우에는 받침부 내면에서 d거리 이내에 위치한 단면은 d거리에서 구한 것과 동일한 전단응력 v_c에 대해 설계할 수 있다.

(2) 콘크리트가 부담하는 전단응력

① 전단력과 휨모멘트만을 받는 부재에서 콘크리트가 부담하는 허용전단응력 v_{ca}는「10.17.7 (2) ④항」에 따른 더 상세한 계산에 의하지 않는 한 $0.08\sqrt{f_{ck}}$를 초과할 수 없다.

② Allowable shear stress v_{ca} to be borne by concrete on member receiving axial compressive force shall not exceed $0.08\sqrt{f_{ck}}$ unless calculated in more detail according to 「10.17.7 (2) ⑤」.

③ If the member is subject to axial tensile force, shear reinforcement shall be designed to bear all shear force unless calculated in more detail according to <Eq. (10.17.2)>.

$$v_{ca} = 0.08\left(1 + \frac{N}{1.75A_g}\right)\sqrt{f_{ck}} \qquad (10.17.2)$$

where, N is negative value (-) in case of tensile force and the unit of N/A_g is MPa.

④ Allowable shear stress v_{ca} of the member receiving shear force and bending moment only shall be calculated using <Eq. (10.17.3)>

$$v_{ca} = 0.07\sqrt{f_{ck}} + 7.8\rho_w\frac{Vd}{M} \leqq 0.13\sqrt{f_{ck}} \qquad (10.17.3)$$

where, M is bending moment of the section occurring together with shear force V, and Vd/M shall be 1.0 or less.

⑤ Allowable shear stress of the member receiving axial compressive force shall be calculated using <Eq. (10.17.4)>

$$v_{ca} = 0.08\left(1 + \frac{N}{11.5A_g}\right)\sqrt{f_{ck}} \qquad (10.17.4)$$

where, the unit of $\frac{N}{A_g}$ is MPa.

⑥ Allowable shear force of concrete v_{ca} shall apply to ordinary concrete, but when using lightweight concrete, one of the following modifications shall be applied.

A. When mean split tensile strength f_{sp} of lightweight concrete is defined, $\sqrt{f_{ck}}$ may replace $1.76f_{sp}$ but f_{sp} shall not exceed $\sqrt{f_{ck}}$.

B. When f_{sp} is not defined, $\sqrt{f_{ck}}$ shall be multiplied by 0.75 for all lightweight concrete and by 0.85 for sand lightweight concrete. When using the sand partially, a linear interpolation method may be used.

⑦ When determining the shear stress to be borne by concrete, the effect of axial tensile force caused by creep and dry shrinkage of confined member shall always be considered when applicable, and the effect of axial compressive stress in slope direction on non-uniform section shall be included.

② 축방향 압축력을 받는 부재에서 콘크리트가 부담하는 허용전단응력 v_{ca}는 「10.17.7 (2) ⑤항」에 따라 상세한 계산에 의하지 않는 한 $0.08\sqrt{f_{ck}}$를 초과할 수 없다.

③ 축방향 인장력을 받는 부재의 경우 <식 (10.17.2)>에 의해 상세한 계산을 하지 않는 한 전단철근이 전체 전단력을 부담하도록 설계해야 한다.

$$v_{ca} = 0.08\left(1 + \frac{N}{1.75A_g}\right)\sqrt{f_{ck}} \qquad (10.17.2)$$

여기서, N은 인장력일 경우 부(-)의 값이며, N/A_g의 단위는 MPa이다.

④ 전단력과 휨모멘트만을 받는 부재에 대한 허용전단응력 v_{ca}는 <식 (10.17.3)>으로 계산해야 한다.

$$v_{ca} = 0.07\sqrt{f_{ck}} + 7.8\rho_w\frac{Vd}{M} \leqq 0.13\sqrt{f_{ck}} \qquad (10.17.3)$$

여기서, M은 고려하는 단면에서 전단력 V와 동시에 발생하는 단면의 휨모멘트로서 Vd/M의 크기는 1.0이하로 취해야 한다.

⑤ 축방향 압축력을 받는 부재에 대한 허용전단응력 v_{ca}는 <식 (10.17.4)>로 계산해야 한다.

$$v_{ca} = 0.08\left(1 + \frac{N}{11.5A_g}\right)\sqrt{f_{ck}} \qquad (10.17.4)$$

여기서, $\frac{N}{A_g}$의 단위는 MPa이다.

⑥ 콘크리트의 허용전단응력 v_{ca}는 보통 콘크리트에 적용해야 한다. 그러나 경량 콘크리트가 사용되는 경우는 다음의 수정사항 중 하나를 적용해야 한다.

가. 경량 콘크리트의 평균 쪼갬인장강도 f_{sp}의 값이 규정되어 있는 경우 $\sqrt{f_{ck}}$를 $1.76f_{sp}$로 대신할 수 있으나, $1.76f_{sp}$의 값은 $\sqrt{f_{ck}}$를 초과하지 않아야 한다.

나. f_{sp}의 값이 규정되어 있지 않은 경우 $\sqrt{f_{ck}}$의 값은 전경량 콘크리트에 대하여 0.75, 모래경량 콘크리트에 대하여 0.85를 곱해야 한다. 부분적으로 모래를 사용하였을 경우는 직선보간법을 사용할 수 있다.

⑦ 콘크리트가 부담하는 전단응력을 결정할 때 구속된 부재의 크리프와 건조수축으로 인한 축방향 인장력의 영향은 적용 가능할 경우 언제나 이를 고려해야 하며, 변단면 부재에서 경사방향의 휨압축응력의 영향을 포함시켜야 한다.

(3) Shear Strength Provided by Shear Reinforcement

① The following types of shear reinforcement shall be permitted to be used in reinforced concrete members.

A. Stirrup perpendicular to the axis of member

B. Welded wire perpendicular to the axis of member at 45° to longitudinal tensile bar

C. Reinforcement bent with an angle not less than 30° to main longitudinal tension reinforcement

D. Combination of stirrups and bent reinforcement

E. Spiral bar

② Design yield strength of shear reinforcement shall not exceed 400 MPa.

③ Stirrups used as shear bar and other bars or wires shall be extended by distance d from compressive edge, and shall be anchored at both ends to achieve yield strength of reinforcement according to 「10.5.5 (4)」.

④ Spacing limit for shear reinforcement

A. Spacing of shear reinforcement perpendicular to the member axis shall not exceed 0.5d in reinforced concrete members, or 0.75h in prestressed concrete members, nor 600 mm.

B. Inclined stirrups and bent reinforcement shall be crossed with at least one intersection by the 45° line extending along the reaction force direction from mid-depth of member (0.5d) to the longitudinal tension reinforcement.

C. When $(v_c - v_{ca})$ exceeds $0.16\sqrt{f_{ck}}$, maximum spacing defined in A and B above shall be reduced by half.

⑤ Minimum shear reinforcement

A. In all reinforced concrete and prestressed concrete flexural members where the factored shear force v_c exceeds half the design shear strength v_{ca} , minimum shear reinforcement shall be provided except for the followings:

(a) Slabs and footings

(b) Joist structure of concrete

(c) Beams where overall depth does not exceed 250 mm, or I-type or T-type beams where the depth does not exceed the greater of 2.5 times thickness of flange and 1/2 times width of web

B. Minimum shear reinforcement requirements in [A.] shall be permitted to be waived when it is verified through test that the factored shear force and flexural moment can be resisted without shear reinforcement

C. When shear reinforcement is required according to [A.] or as a result of analysis, minimum section area of shear reinforcement shall be calculated using <Eq. (10.17.5)>.

(3) 전단철근이 부담하는 전단응력

① 전단철근은 다음과 같이 구성할 수 있다.

가. 부재의 축에 직각인 스터럽

나. 종방향 인장철근과 45°이상의 각을 갖는 부재의 축에 직각으로 설치되는 철선으로 된 용접철망

다. 종방향 인장철근과 30°이상의 경사로 구부린 종방향 주철근

라. 스터럽과 종방향 굽힘철근을 병용한 것

마. 나선철근

② 전단철근의 설계기준항복강도는 400 MPa를 초과하지 않아야 한다.

③ 전단철근으로 사용된 스터럽과 기타 철근 또는 철선은 압축연단부에서 d 거리까지 연장되어야 하며, 철근의 항복강도를 발휘할 수 있도록 이 기준 「10.5.5 (4)항」에 따라 양단에 정착해야 한다.

④ 전단철근의 간격은 다음의 규정을 만족해야 한다.

가. 부재축에 직각으로 설치되는 스터럽의 간격은 0.5 d이하로 해야 하고, 또한 600mm 이하로 해야 한다.

나. 스터럽과 굽힘철근은 부재의 중간 높이(0.5 d)에서 반력점 방향으로 주인장철근까지 연장 45° 경사선과 한 번 이상 교차하도록 배치해야 한다.

다. $(v_c - v_{ca})$가 $0.16\sqrt{f_{ck}}$ 를 초과할 경우 위의 가와 나에서 규정한 최대 간격은 1/2로 감소시켜야 한다.

⑤ 최소 전단철근량은 다음 규정을 따라야 한다.

가. 설계전단응력 v_c가 콘크리트에 의한 허용전단응력 v_{ca}의 1/2를 초과하는 철근콘크리트 부재는 다음의 경우를 제외하고 최소 단면적의 전단철근을 두어야 한다.

㉮ 슬래브와 확대기초판

㉯ 콘크리트의 장선구조

㉰ 부재의 깊이가 250 mm이하이거나 플랜지 두께의 2.5배 또는 복부폭의 1/2 중 큰 값 이하인 보의 경우

나. 전단철근이 없어도 소요휨강도와 전단강도에 저항할 수 있다는 것을 실험에 의해 확인할 수 있다면 위의 「가.항」의 최소 전단철근은 적용하지 않아도 좋다.

다. 「가.항」 또는 해석에 의해 전단철근이 요구되는 경우, 전단철근의 최소 단면적은 <식 (10.17.5)>로 구해야 한다.

$$A_{v,\min} = 0.0625\sqrt{f_{ck}}\frac{b_w s}{f_{yt}} \qquad (10.17.5)$$

However, minimum shear reinforcement shall not be less than $0.35 b_w s/f_{yt}$. where, b_w and s shall be in mm.

⑥ Design of shear reinforcement shall comply with the following requirements.

A. Where factored shear force v_c exceeds v_c, shear reinforcement shall be provided to satisfy <Eq. (7.2.1)> and <Eq. (7.2.2)>. Shear strength provided by shear reinforcement V_s shall be calculated in accordance with the following requirements [B] through [H].

B. When using shear reinforcement perpendicular to the axis of member, section area of shear reinforcement A_v shall be calculated using <Eq. (10.17.6)>

$$A_v = \frac{(v_c - v_{ca})\, b_w\, s}{f_{sa}} \qquad (10.17.6)$$

C. When inclined stirrups are used as shear reinforcement, section area of shear reinforcement A_v shall be calculated using <Eq. (10.17.7)>

$$A_v = \frac{(v_c - v_{ca})\, b_w\, s}{f_{sa}(\sin\alpha + \cos\alpha)} \qquad (10.17.7)$$

D. When shear reinforcement comprises one bent-up bar or a set of bars in parallel and bent up at same distance, section area of shear reinforcement A_v shall be calculated using <Eq. (10.17.8)>

$$A_v = \frac{(v_c - v_{ca})\, b_w\, s}{f_{sa}\sin\alpha} \qquad (10.17.8)$$

However, $(v_c - v_{ca})$shall not exceed $0.11\sqrt{f_{ck}}$

E. Where a series of parallel reinforcement bent at different distances from support or multiple groups of parallel reinforcement is used as shear reinforcement, shall be calculated by <Eq. (10.17.7)>.

F. When longitudinal bent reinforcement is used for shear reinforcement, only the middle 3/4 of the inclined length shall be considered effective for shear reinforcement.

$$A_{v,\min} = 0.0625\sqrt{f_{ck}}\frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (10.17.5)$$

그러나 최소 전단철근량은 $0.35 b_w s/f_{yt}$보다 작지 않아야 한다. 여기서, b_w와 s의 단위는 mm이다.

⑥ 전단철근의 설계는 다음 규정에 따라야 한다.

가. 설계전단응력v_c가 콘크리트의 허용전단응력 v_{ca}를 초과하는 곳은 다음 「나.항」에서 「아.항」까지의 규정에 따라 전단철근을 두어야 한다.

나. 부재축에 직각인 전단철근을 사용하는 경우 전단철근 단면적 A_v는 <식 (10.17.6)>에 따라 구해야 한다.

$$A_v = \frac{(v_c - v_{ca})\, b_w\, s}{f_{sa}} \quad (10.17.6)$$

다. 경사스터럽이 전단철근으로 사용되는 경우, 전단철근 단면적 A_v는 <식 (10.17.7)>로 구해야 한다.

$$A_v = \frac{(v_c - v_{ca})\, b_w s}{f_{sa}(\sin\alpha + \cos\alpha)} \quad (10.17.7)$$

라. 전단철근이 1개의 굽힘철근 또는 받침점에서 모두 같은 거리에서 구부린 평행한 1조의 철근으로 될 경우의 전단철근 단면적 A_v는 <식 (10.17.8)>로 구해야 한다.

$$A_v = \frac{(v_c - v_{ca})\, b_w s}{f_{sa}\sin\alpha} \quad (10.17.8)$$

다만, $(v_c - v_{ca})$는 $0.11\sqrt{f_{ck}}$ 를 초과할 수 없다.

마. 전단철근이 받침점에서 서로 다른 거리에서 구부린 일련의 평행한 굽힘철근 또는 여러 조의 평행한 철근으로 되는 경우의 전단철근 단면적은 <식 (10.17.7)>에 따라 구해야 한다.

바. 종방향 철근을 구부려서 전단철근으로 사용할 때는 그 경사길이의 중간 3/4만이 전단철근으로서 유효하다고 보아야 한다.

G. When more than one type of shear reinforcement is used for shear reinforcement at a section, Vs shall be calculated as the sum of the shear strengths of each type of shear reinforcement.

H. $(v_c - v_{ca})$ shall not exceed 0.28 $\sqrt{f_{ck}}$.

(4) Shear friction

① When considering the shear transfer on plane with potential risk of crack or contact surface between different materials or between concretes poured at different time is appropriate, shear friction requirements in 「10.6.6 (4)」 shall be applied.

② Maximum for shear stress shall be 47% of the value given in 「10.6.6 (4) ④ D.」.

③ Allowable stress of shear friction reinforcement shall be the value in 「10.17.3 (2)」.

(5) Horizontal shear reinforcement of composite flexural member

Allowable horizontal shear stress, v_{ha}, in designing composite concrete flexural member shall not exceed 47% of horizontal shear strength given in 「Concrete structure design criteria 17.3.2」.

(6) Shear design of slab and spread footing

① Design of slab and spread footing near concentrated load or reaction shall be determined using one of the following, whichever is less favorable.

A. When slab or spread footing works as wide beam and dangerous section is extended from the area of concentrated load or reaction to the zone with entire width on section distanced by d, slab or spread footing shall be designed according to the requirements in 「10.17.7 (1) ②」 to 「10.17.7 (3)」

B. When slab or spread footing works as bidirectional slab and dangerous section perpendicular to slab surface is extended to the area of concentrated load or reaction, slab or spread footing shall be designed according to the requirements in 「10.17.7 (6) ②」 and 「10.17.7 (6) ③」. Perimeter of dangerous section shall be minimized but not necessarily to be closer than d/2 from the area of concentrated load or reaction.

② Design shear stress v_c shall be calculated using <Eq. (10.17.9)>

$$v_c = \frac{V}{b_o d} \qquad (10.17.9)$$

where, V and b_0 are shear force and perimeter of dangerous section defined in 「10.17.7 (6) ① B.」

③ Design shear stress v_c without shear reinforcement shall not exceed allowable shear stress v_{ca} according to <Eq. (10.17.10)>

사. 여러 종류의 전단철근이 부재의 같은 부분을 보강하기 위하여 사용되는 경우, 필요한 전단철근 단면적은 각 종류별로 구한 단면적의 합으로 되어야 한다. 이 때 v_{ca}는 한 번의 계산에서만 포함되어야 한다.

아. $(v_c - v_{ca})$의 값은 $0.28\sqrt{f_{ck}}$ 를 초과할 수 없다.

(4) 전단마찰

① 균열이 발생하거나 발생할 가능성이 있는 면, 다른 재료 사이의 접촉면 또는 다른 시기에 친 두 콘크리트 사이의 접촉면 상에서 전단전달을 고려하는 것이 적절한 경우는 이 기준 「10.6.6 (4)항」의 전단마찰 규정을 적용해야 한다.

② 전단응력에 대한 최대 제한값은 이 기준 「10.6.6 (4) ④ 라항」에 주어진 값의 47 %로 취해야 한다.

③ 전단마찰철근의 허용응력은 「10.17.3 (2)항」에 주어진 값을 사용해야 한다.

(5) 합성휨부재의 수평전단철근

합성콘크리트 휨부재의 설계에 있어서 허용수평전단응력 v_{ha}는 「콘크리트구조설계기준 17.3.2」에서 주어진 수평전단강도의 47%를 넘지 않도록 해야 한다.

(6) 슬래브 및 확대기초에 대한 전단설계

① 집중하중이나 반력 부근에서 슬래브와 확대기초판의 전단에 대한 설계는 다음 두 가지 조건 중 불리한 것에 의해 결정해야 한다.

가. 슬래브 또는 확대기초판이 폭이 넓은 보와 같이 작용하여 위험단면이 집중하중이나 반력 구역에서 d거리에 위치한 단면에서 전체폭에 걸친 면에 연장되는 경우, 슬래브 또는 확대기초는 「10.17.7 (1) ②」에서 「10.17.7 (3)」까지의 규정에 따라 설계해야 한다.

나. 슬래브 또는 확대기초가 2방향 슬래브로 작용하여 슬래브의 면에 수직한 위험단면이 집중하중이나 반력을 받는 면적의 주위에 걸쳐 연장되는 경우에는 슬래브 또는 확대기초판은 「10.17.7 (6) ②」 및 「10.17.7 (6) ③」에 따라 설계해야 한다. 이 때 위험단면의 둘레 길이 b_0는 최소로 되어야 하나 집중하중이나 반력을 받는 면적의 주변에서 d/2보다 가까이 위치시킬 필요는 없다.

② 설계전단응력 v_c는 <식 (10.17.9)>에 의해 구해야 한다.

$$v_c = \frac{V}{b_o d} \qquad (10.17.9)$$

여기서, V와 b_0는 각각 「10.17.7 (6) ① 나.항」에서 정의된 위험단면에서 전단력과 둘레길이이다.

③ 전단철근을 두지 않은 경우 설계 전단응력 v_c는 <식 (10.17.10)>에 의해 주어지는 허용전단응력 v_{ca}를 초과하지 않아야 한다.

$$v_{ca} = 0.08\left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right)\sqrt{f_{ck}} \qquad (10.17.10)$$

However, v_{ca} shall not exceed $0.16\sqrt{f_{ck}}$. where B_c is the ratio of longer side - shorter side of the area subject to concentrated load or reaction. When lightweight concrete is used, modified value as per 「10.17.7 (2) ⑥」shall be applied.

④ When bar or wire is used as shear reinforcement as per 「Concrete structure design criteria 7.12.2」, v_{ca} shall not exceed $0.08\sqrt{f_{ck}}$ and v_c shall not exceed $0.24\sqrt{f_{ck}}$.

⑤ When shear head consisting of I-steel or ㄷ-steel is used as per 「Concrete structure design 7.12.4」, v_c on dangerous section defined in「10.17.7 (6) ①」 shall not exceed $0.28\sqrt{f_{ck}}$ and v_c on dangerous section defined in 「Concrete structure design 7.12.4 (8)」 shall not exceed $0.16\sqrt{f_{ck}}$. V_u in <Eq. (7.12.5)> and <Eq. (7.12.6)> in 「Concrete structure design 7.12.4」 shall be replaced by the value arrived at by multiplying V by 2.0.

(7) Shear design of box girder culvert slab

① Shear stress v_c, of box girder culvert slab with top soil thickness of 600 mm or more may be calculated using <Eq. (10.17.11)>.

$$v_c = 0.08\sqrt{f_{ck}} + 15.4\rho_w\frac{Vd}{M} \leqq 0.15\sqrt{f_{ck}} \qquad (10.17.11)$$

② If a single culvert and slab and wall are monolithic, v_c is not necessarily less than $0.11\sqrt{f_{ck}}$ and on simple-supported slab, it is not necessarily less than $0.09\sqrt{f_{ck}}$. V_d/M shall be 1.0 or less and M is design bending moment that occurs with V on the section for consideration.

(8) Shear design of bracket and overhanging bearing

Shear design of bracket and overhanging bearing shall be in accordance with 「10.6.6 (8)」.

(9) Torsional design

Design of the torsional member shall be in accordance with 「10.6.7」.

$$v_{ca} = 0.08\left(1+\frac{2}{\beta_c}\right)\sqrt{f_{ck}} \qquad (10.17.10)$$

다만, v_{ca}는 $0.16\sqrt{f_{ck}}$를 초과할 수 없다. 여기서 B_c는 집중하중이나 반력을 받는 면적의 짧은 변에 대한 긴 변의 비이다. 경량 콘크리트가 사용되는 경우에는 「10.17.7 (2) ⑥항」으로 수정된 값을 적용시켜야 한다.

④ 철근이나 철선이 「콘크리트구조설계기준 7.12.2」에 따라 전단보강으로 사용되는 경우 v_{ca}는 $0.08\sqrt{f_{ck}}$를 초과할 수 없으며, 또 v_c는 $0.24\sqrt{f_{ck}}$를 초과할 수 없다.

⑤ I형강 또는 ㄷ형강으로 된 전단머리가 「콘크리트구조설계기준 7.12.4」에 따라 사용되는 경우, 「10.17.7 (6) ①항」에서 정의된 위험단면에서 v_c는 $0.28\sqrt{f_{ck}}$를 초과할 수 없으며, 또 「콘크리트 구조설계기준 7.12.4 (8)항」에서 정의된 위험단면에서 v_c는 $0.16\sqrt{f_{ck}}$를 초과할 수 없다. 「콘크리트구조설계기준 7.12.4」의 <식 (7.12.5)>와 <식(7.12.6)>의 V_u는 설계전단력 V에 2.0을 곱한 값으로 대신해야 한다.

(7) 상자거더암거 슬래브의 전단설계

① 600mm이상의 토피를 가진 상자거더암거 슬래브의 전단응력 v_c는 <식 (10.17.11)>로 구해도 좋다.

$$v_c = 0.08\sqrt{f_{ck}} + 15.4\rho_w\frac{Vd}{M} \leqq 0.15\sqrt{f_{ck}} \qquad (10.17.11)$$

② 단일 암거이고, 슬래브와 벽체가 일체로 시공되었을 경우에는 v_c를 $0.11\sqrt{f_{ck}}$보다 작게 취할 필요는 없고, 단순지지된 슬래브에서는 $0.09\sqrt{f_{ck}}$보다 작게 취할 필요가 없다. Vd/M는 1.0이하이어야 하고, M은 고려하는 단면에서 V와 동시에 발생하는 실제의 설계휨모멘트이다.

(8) 브래킷과 내민받침에 대한 전단설계

브래킷과 내민받침에 대한 전단설계는 이 설계기준 「10.6.6 (8)항」에 따라야 한다.

(9) 비틀림 설계

비틀림을 받는 부재의 설계는 이 설계기준 「10.6.7항」에 따라야 한다.

Chapter 11 Bridge Substructure and Foundation

11.1 General

11.1.1 Scope of application

This chapter shall apply to bridge substructure including pier, abutment and foundation specified in 「Chapter 8 Bridge General」.

Unless otherwise specified in this chapter, it shall be in accordance with the design standard of the Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs (MLTMA) or related associations.

11.1.2 Terms and definitions

The terms used in this chapter shall be defined as follows:

(1) Rigid foundation: a foundation with a high rigidity, and as such elastic deformation of the foundation itself may be disregarded in calculating the displacement and stability of the foundation.

(2) Pneumatic caisson: a caisson where a work space is provided at the bottom and compressed air is injected to remove the water from inside the work space, and made to reach the bearing layer while bottom soil is excavated and discharged manually or mechanically.

(3) Structure: a part of the substructure including pier or abutment that conveys load from the superstructure to the foundation.

(4) Ultimate bearing capacity: the maximum ground resistance that bears the structure.

(5) Embedment depth (penetration depth): the depth to the foundation bottom or end from the current ground surface.

(6) Cast-in-situ pile by mechanical excavation: a pile construction method excavating to a required depth using All Casing or Benoto, Reverse Circulation Drill (RCD) or Earth Drill method.

(7) Precast pile: factory-fabricated RC-PC pile (KS F 4303 pretension centrifugal PC pile), PHC pile (KS F 4306 pretension centrifugal high strength concrete pile) and steel pile (KS F 4602 steel pipe pile and KS F 4603 H beam pile).

(8) Standard displacement: the displacement that serves as the basis when estimating the horizontal subgrade reaction coefficient of an elastic foundation.

(9) Foundation: a part of the substructure that transfers load from the structure to the ground.

제 11 장 교량하부 및 기초

11.1 일반사항

11.1.1 적용범위

이 장은 「제8장 교량 일반사항」에서 규정한 철도교의 교대, 교각 및 그의 기초 등 하부구조의 설계에 적용한다.

이 장에서 규정하지 않은 사항에 대해서는 국토해양부 및 관련학회에서 제정한 설계기준에 따른다.

11.1.2 용어의 정의

이 장에서 쓰이는 용어의 의미는 다음과 같다.

(1) 강성 기초 : 기초의 변위 및 안정 계산에서 기초 자체의 탄성변형을 설계상 무시할 수 있는 강성이 큰 기초

(2) 공기케이슨 : 케이슨 하부에 작업실을 설치하고 작업실 내에 압축공기를 주입하여 작업실 내의 물을 배제하고 인력 또는 기계로 토사를 굴착 배출하면서 침하시켜 소정의 지지층에 도달시키는 케이슨

(3) 구체 : 하부구조의 한 부분으로 상부구조로부터의 하중을 기초에 전달하는 교각 또는 교대의 부분

(4) 극한지지력 : 구조물을 지지할 수 있는 지반의 최대저항력

(5) 근입깊이(관입깊이) : 현 지반면에서 기초저면 또는 끝까지의 깊이

(6) 기계굴착에 의한 현장타설말뚝공법 : 올케이싱공법(All Casing 공법 또는 Benoto 공법), 리버스 서큘레이션 드릴공법(Reverse Circulation Drill 공법 : RCD 공법) 또는 어스드릴공법(Earth Drill 공법)에 의하여 소정의 깊이까지 굴착하는 현장타설말뚝공법

(7) 기성말뚝 : 공장에서 제작된 RC말뚝-PC말뚝(KS F 4303 프리텐션방식 원심력 PC말뚝), PHC말뚝(KS F 4306 프리텐션방식 원심력 고강도 콘크리트말뚝) 및 강말뚝(KS F 4602 강관말뚝 및 KS F 4603 H형강 말뚝)

(8) 기준변위량 : 탄성 기초의 수평방향 지반반력계수를 산출할 때 기준이 되는 변위량

(9) 기초 : 하부구조의 한 부분으로 구체로부터의 하중을 지반에 전달하는 부분

(10) Deep foundation: refers to a foundation used when good bearing layer is deep; includes pile foundation and caisson foundation.
(11) Internal excavation pile: a pile hammered to obtain bearing capacity or casted the pile end with cement or concrete after pushing or tamping a pile to a certain depth while excavating inside the precast pile with an open end.
(12) Individual footing: a structure that transfers the axial load of a single column to the ground by transferring the load to the foundation base plate.
(13) Reverse circulation drill pile: a cast-in-situ pile that basically protects the hollow wall by differential head while excavating using a rotary bit, and discharging the soil by reverse flow of slurry.
(14) Friction pile: a pile of which the bearing capacity mostly depends on the frictional force developed between the intermediate bearing layer and the pile surface without reaching the pile end to the deep bearing layer.
(15) Pile foundation: an elastic foundation applied when a rigid bearing soil layer is at a deep level, where piles are constructed using driven pile method, bored pile method or cast-in-situ pile, and then pile head is connected to the spread footing to make it integrated.
(16) Group pile: two or more piles which are installed closely enough to form a single foundation.
(17) Benoto pile: a cast-in-situ pile installed after excavating using a hammer grab bucket while protecting the hollow wall with a casing tube.
(18) Combined foundation: a structure that transfers the axial forces of two or more columns to the ground by transferring the load to the foundation base plate.
(19) Precast pile with preboring: a precast pile drived after drilling the ground.
(20) Design ground surface: a ground surface for design with considering changes expected in the future.
(21) Stable bearing soil layer: a ground layer that can bear the load from foundation (bedrock layer, sandy soil with N value 30 or more, cohesive soil with N value 20 or more and sufficient thickness).
(22) Shallow foundation: a foundation used when the stable bearing soil layer is at a shallow level; a rigid foundation that is installed after shallow and wide excavation.
(23) Continuous foundation: a foundation that transfers the load to the ground from the superstructure by the base plate installed in the shape of a band by binding a series of columns, or along the bottom of the wall.
(24) Earth drill pile: a cast-in-situ pile that is installed after excavating and discharging soil by using a rotary bucket while protecting the hollow wall using a bentonite slurry.

(10) 깊은기초 : 양질의 지지층이 비교적 깊은 곳에 있는 경우에 사용하는 기초로서, 말뚝기초, 케이슨기초 등이 있음

(11) 내부굴착말뚝 : 선단이 개방된 기성말뚝의 내부를 통하여 굴착하면서 말뚝을 소정의 깊이까지 압입하거나 가볍게 타격하여 관입시킨 뒤 소정의 지지력이 얻어지도록 해머로 두드려 박거나 말뚝선단 부분을 시멘트나 콘크리트로 처리하는 말뚝

(12) 독립기초 : 단일 기둥의 축력을 기초저판으로 하중전이 하여서 지반으로 전달하는 구조체

(13) 리버스 서큘레이션 드릴말뚝 : 원칙적으로 수두차에 의하여 공벽을 보호하면서 회전 비트를 사용하여 굴착하고 이수(泥水)의 역류에 의하여 토사를 배출시켜 현장에서 설치하는 현장타설말뚝

(14) 마찰말뚝 : 지지력의 대부분을 주면 마찰력에 의존하는 말뚝으로 지지층의 깊이가 매우 깊은 경우에 말뚝을 지지층에 도달시키지 않고 중간 지지층과 말뚝 주면의 마찰력을 지지력으로 이용

(15) 말뚝기초 : 양질의 지지층이 깊은 곳에 있는 경우에 타입말뚝공법, 매입말뚝공법 및 현장타설말뚝공법 등으로 설치하는 기초로서, 말뚝의 머리 부분을 확대기초와 연결하여 일체화시키는 탄성 기초

(16) 무리말뚝 : 두 개 이상의 말뚝을 인접 시공하여 하나의 기초를 구성하는 말뚝

(17) 베노토 말뚝 : 케이싱튜브로 공벽을 보호하면서 주로 해머그랩 버켓으로 굴착하여 현장에서 설치하는 현장타설말뚝

(18) 복합기초 : 두 개 이상의 기둥 축력을 기초의 저판으로 하중전이 하여서 지반으로 전달하는 구조체

(19) 선굴착 기성말뚝공법 : 지반을 천공한 후 기성말뚝을 삽입, 타격하는 공법

(20) 설계지반면 : 현 지반면에 대하여 장래 지반이 변하는 상태를 고려하여 정한 설계상의 지반면

(21) 양질의 지지층 : 기초로부터의 하중을 안전하게 지지할 수 있는 양질의 지반(암반층, N값이 약 30 이상인 사질토층, N값이 약 20 이상인 점성토층 등으로 충분한 층두께를 갖는 지반)

(22) 얕은기초 : 양질의 지지층이 비교적 얕은 곳에 있는 경우에 사용하는 기초로서, 지반을 얕고 넓게 굴착하여 설치하는 강성 기초

(23) 연속기초 : 벽 아래를 따라 또는 일련의 기둥을 묶어 띠모양으로 설치하는 기초의 저판에 의하여 상부 구조로부터 받는 하중을 지반에 전달하는 형식의 기초

(24) 어스드릴말뚝 : 원칙적으로 벤토나이트 이수에 의하여 공벽을 보호하면서 회전버켓을 사용하여 굴착하고, 토사를 배출하여 현장에서 설치하는 현장타설말뚝

(25) Open caisson: a caisson that reaches a certain bearing soil layer while excavating and settling the soil in a caisson using a clamshell or grab bucket.
(26) Effective embedding depth: the depth from the design ground surface to the foundation bottom or end.
(27) Cast-in-situ pile method by manual excavation: a manual excavation to a certain depth while installing a side sheathing wall throughout the entire excavation depth, and basically, the sheathing material remains at the site (hereinafter referred to as “Manual Method”).
(28) Single pile: an independent pile or a pile for which reduction in bearing capacity by the effect of group pile may not be considered, even if the piles are installed around in a group.
(29) Mat foundation: a foundation for multiple columns is built on a single foundation slab to widen the ground contact area.
(30) Bearing pile: a pile which is in contact with the solid ground level or rock, and transmits the load from the superstructure to the bottom of ground.
(31) Concrete pile: a series of reinforced concrete pile or pre-stressed pile used for driven piles.
(32) Caisson foundation: a rigid foundation using the caisson method on a stable bearing soil layer with deeper embedment compared to the width.
(33) Driven pile: a pile driven to a certain depth using a diesel hammer, drop hammer or vibration hammer.
(34) Elastic (ductile) foundation: a less rigid foundation for which it is required to consider the elastic deformation of the foundation itself when calculating the displacement and stability.
(35) Special ground: the ground with a significant seismic displacement requiring seismic design of foundation.
(36) Allowable displacement: a displacement allowable by the substructure to the extent that it does not deteriorate the function and safety of superstructure and substructure.
(37) Allowable bearing capacity: a bearing capacity calculated by dividing ultimate bearing capacity by a certain factor of safety, and the bearing capacity defined from allowable displacement, whichever is smaller.
(38) Cast-in-situ pile: a pile installed by placing concrete into a hole that has been drilled, either manually or mechanically.
(39) Spread footing: a plate structure that transfers the load to the pile or ground while supporting the column or wall.

(25) 오픈케이슨 : 케이슨 내의 토사를 크람셸이나 그래브버켓 등으로 굴착 배출하면서 침하시켜 소정의 지지층에 도달시키는 케이슨

(26) 유효근입깊이 : 설계지반면에서 기초저면 또는 끝까지의 깊이

(27) 인력굴착에 의한 현장타설말뚝공법 : 굴착 전깊이에 걸쳐 측면의 흙막이를 설치하면서 인력에 의하여 소정의 깊이까지 굴착하고 원칙적으로 흙막이재를 철거하지 않는 현장타설말뚝공법(이하 인력공법이라 한다.)

(28) 외말뚝 : 외말뚝(Single Pile)은 말뚝이 단독으로 설치되는 경우나 주변에 무리를 형성하여 설치되더라도 무리말뚝효과에 의한 지지력 감소현상을 고려할 필요가 없는 말뚝

(29) 전면기초 : 접지면적을 넓히기 위해 여러 개의 기둥 기초를 하나의 기초 슬래브로 시공하는 기초

(30) 지지말뚝 : 말뚝의 끝이 땅속에 있는 굳은 지반이나 암반 등에 닿아 기둥과 같이 상부의 하중을 지반 하부에 전달하는 말뚝

(31) 콘크리트말뚝 : 타입말뚝 등에 사용되는 철근콘크리트말뚝이나 프리스트레스트말뚝의 총칭

(32) 케이슨기초 : 양질의 지지층이 깊은 곳에 있는 경우에 케이슨공법으로 설치하는 기초로서, 일반적으로 근입깊이가 폭에 비하여 큰 강성 기초

(33) 타입말뚝 : 디젤해머, 드롭해머, 진동해머, 유압해머 등을 사용하여 소정의 깊이까지 두드려 박는 말뚝

(34) 탄성(연성)기초 : 기초의 변위 및 안정 계산에서 기초 자체의 탄성변형을 설계상 고려할 필요가 있는 강성이 작은 기초

(35) 특수지반: 지진시 발생하는 지반변위가 크고, 그 영향을 고려하여 기초의 내진설계를 해야 하는 지반

(36) 허용변위량 : 상·하부구조의 기능성과 안전성이 손상되지 않는 범위 내에서 하부구조가 허용할 수 있는 변위량

(37) 허용지지력 : 극한지지력을 소정의 안전율로 나눈 지지력과 허용변위량으로부터 정하여지는 지지력 중 작은 값

(38) 현장타설말뚝 : 기계나 인력에 의하여 굴착한 구멍 안에 철근콘크리트를 타설하여 만드는 말뚝

(39) 확대기초 : 구조체인 기둥 또는 벽체를 지지하면서 그 하중을 말뚝이나 지반에 전달하는 판상 구조물

11.1.3 Design conditions

Substructure shall be designed to safely transfer the load from superstructure and the substructure itself to the ground, and must satisfy the design conditions given according to the superstructure.

11.1.4 Accuracy of calculation

Effective number to be reviewed at the final stage of design calculation shall be secured to three decimal places.

11.2 Investigation and plan

This section describes the investigation and plan for a substructure; for further details, see 「3.3 Geotechnical investigation, Chapter 3 Survey and Geotechnical Investigation」.

11.2.1 Investigation

Investigations shall be carried out to obtain the data required for the design and construction of substructure, and are categorized into location environmental investigation, geotechnical investigation, river investigation, construction environment investigation, and others.

(1) Location environment investigation

① This includes environmental impact assessment, traffic impact assessment, hydraulic and hydrologic investigation and in addition, the structure surroundings shall be investigated at the detailed design stage and construction stage.

② The topographic survey shall be conducted to investigate the geographic features that may have an effect on construction or be affected by the construction using a topographic map or aerial photograph and through site survey.

③ Environmental investigation shall be grouped into a broad environment investigation at the structure plan stage, and an investigation around the structure at the detailed design and construction stage after a construction plan has been established.

④ Obstacle investigation shall include the existing water pipe, sewer, oil pipeline, communication and power cable, gas pipe and underpass, and it is necessary to identify the type, depth and size of underground obstacles to ensure that safe construction will be carried out.

⑤ Investigation of spoil bank, construction equipment, land acquisition and related laws shall be carried out in advance, where necessary.

11.1.3 설계조건

하부구조의 설계는 상부구조에서 전달되는 하중과 하부구조 자체에 작용하는 하중을 안전하게 지반에 전달시킴과 동시에 상부구조에서 주어진 설계조건을 만족하도록 실시해야 한다.

11.1.4 계산의 정밀도

설계계산의 최종단계에서 검토의 대상이 되는 수치의 유효숫자는 셋째 자리까지 확보해야 한다.

11.2 조사 및 계획

이 절은 하부구조에 대한 조사 및 계획내용으로서 조사에 대한 상세내용은 「제3장 측량 및 지반조사 3.3 지반조사」를 참조한다.

11.2.1 조사

조사는 하부구조의 설계 및 시공에 필요한 자료를 얻기 위하여 실시하며, 입지환경조사, 지반조사, 하천조사, 시공환경조사 및 기타조사로 구분할 수 있다.

(1) 입지환경조사

① 입지환경조사에는 환경영향평가, 교통영향평가, 수리·수문조사 등이 있으며, 이외에도 실시설계 및 시공단계에서 구조물 주변을 조사해야 한다.

② 지형조사는 구조물 건설에 영향을 미치거나 공사로 영향을 받을 수 있는 지형을 지형도나 항공사진 등을 이용하여 분석하고 현장답사를 통해 실시해야 한다.

③ 환경조사는 구조물 계획단계에서 실시하는 광역 환경조사와 시공계획 수립 후 실시설계 및 시공단계에서 구조물 주변 환경조사로 구분하여 실시해야 한다.

④ 지장물조사는 건설공사 지역 내에 이미 설치되어 있는 상수도 및 하수도관, 송유관, 통신 및 전력 케이블, 도시가스관, 지하통로 등을 대상으로 하며, 지하지장물의 종류, 심도 및 크기를 파악하여 안전한 시공을 할 수 있도록 해야 한다.

⑤ 기타 필요시 사토장 조사, 공사용 설비 조사, 보상 조사 및 관계법 조사를 사전에 수행해야 한다.

(2) Geotechnical investigation

① Classification of investigation

Geotechnical investigation shall be categorized into preliminary investigation, main investigation, supplementary investigation and investigation during construction.

② Preliminary investigation

This refers to an investigation to determine a location at the construction planning stage, and includes data examination (existing ground and structure data) aerial photograph and site investigation over the broad area around the site, and geophysical prospecting, boring and excavation investigation shall be carried out, where necessary.

③ Main investigation

This refers to an investigation to obtain detailed information required for detailed design or construction, which includes surface geological investigation, boring test, sampling, sounding, soil test, rock test, groundwater test, loading test, geophysical prospecting, hazardous gas and oxygen deficient air investigation to determine the design parameters including distribution of stratum, geologic structure and engineering characteristics. Investigation and test method may vary depending on the type of structure and the purpose of construction.

④ Additional investigation

Additional investigation shall be carried out through a boring test, physical prospecting, lab test or field test following the main investigation when design change or additional confirmation is needed.

⑤ Investigation during construction

This is needed when some part of the investigation is not completed due to civil complaints, permit or technical problem at the preliminary, main or additional investigation stage, or when a ground change is expected during construction. The investigation item and quantity shall be planned to obtain necessary ground information considering site conditions.

(3) River investigation

① The purpose of river investigation is to prevent the bridge from being damaged due to water flow, and to ensure that installation or construction will not interfere with irrigation works or transportation by ship.

② Accordingly, the river investigation requires prior consultation with the river management officials, and shall be in compliance with the related laws including River Facility Criteria.

③ River investigation shall cover water level, flow, flow velocity and depth in the past, riverbed change and flood record. In addition, it is necessary to investigate irrigation, hydroelectric power plant and fishing right, in consultation with the authorities concerned.

(2) 지반조사

① 조사의 구분

지반조사는 예비조사와 본조사, 추가조사 및 시공 중 조사의 단계로 구분하여 실시한다.

② 예비조사

예비조사는 공사계획 단계에서 구조물의 위치선정을 위하여 실시하는 조사로서 넓은 범위를 대상으로 하여 자료조사(기존 지반자료의 조사, 기존 구조물의 조사), 항공사진 판독 및 분석, 현지답사 등을 실시하며, 필요할 경우에는 물리탐사, 시추 및 시굴조사를 실시한다.

③ 본조사

본조사는 실시설계나 시공에 필요한 지반의 상세한 정보를 얻기 위하여 실시하는 조사로서 지층의 분포, 지질구조, 공학적인 특성 등 설계정수를 파악하기 위하여 상세지표지질조사, 시추조사, 시료채취, 사운딩, 토질시험, 암석시험, 지하수조사, 재하시험, 물리탐사 및 물리검층, 유해가스, 산소결핍공기 등의 조사를 포함하며, 공사의 목적이나 구조물의 종류에 따라 조사 및 시험의 진행방법이나 중점 조사사항을 다르게 할 수 있다.

④ 추가조사

추가조사는 본조사 실시 후 설계변경이나 지반특성의 추가확인이 필요한 경우에 시추, 물리탐사, 실내시험 및 현장시험을 실시하여 본조사 결과를 보완해야 한다.

⑤ 시공 중 조사

시공 중 조사는 예비조사, 본조사 및 추가조사 단계에서 민원, 인허가 등 부득이한 사유나 기술적 한계 등으로 인하여 일부 조사가 시행되지 못한 경우 또는 시공 중 지반 변화가 예상되어 부가적인 조사가 필요한 경우에 실시해야 하며, 현장 여건을 고려하여 필요한 지반정보가 얻어질 수 있도록 조사항목과 조사수량을 계획해야 한다.

(3) 하천조사

① 하천조사는 유수에 의한 교량의 피해를 방지하고 하부구조의 설치나 시공이 이수나 주운 등에 지장을 주지 않도록 하기 위하여 실시한다.

② 따라서, 하천 관리자들과 사전에 협의해야 하며, 관계법령 특히 하천시설기준을 준수해야 한다.

③ 하천에 관한 조사로는 수위, 유량, 유속과 과거의 수심, 하상의 변동, 홍수나 고조의 기록 등을 조사한다. 또한, 관개, 수력발전 등의 이수상황, 어업권, 주운 등에 관해서도 조사를 하고 관계기관 등과 협의해야 한다.

(4) Construction environment investigation

To carry out a design that considers construction safety and work space, the investigations shall be categorized into the investigation of the existing data, the investigation of the surrounding environment and the investigation of the work environment.

(5) Other investigations

In special cases including soft ground, mountainous areas or close proximity to an existing structure, investigation shall be carried out by paying more attention to the existing data, topographic and geologic features and the surrounding environment.

11.2.2 Plan

(1) Design plan and principle

A foundation design plan shall be carried out in harmony with the whole structure design plan, and the foundation type shall be determined considering topographic and geological features, structural characteristics, construction condition, schedule and safety, constructability, stability against seismic environment and economic feasibility.

(2) Topographic and geological features

① A designer shall examine geographical conditions related to the structure in determining a route, as topographic and geological characteristics have a significant effect on the structure.

② Investigation shall include topography, bearing stratum, intermediate stratum, surface layer, groundwater, ground displacement, river area and other particular conditions.

(3) Review of structural characteristics

This shall include the scale and direction of the load and allowable displacement of a structure.

(4) Review of construction environment

As a foundation must be designed in a way that prevents any negative effect on structures or underground utilities during or after construction, it is necessary to review the existing structure, utilities, work space and temporary construction facilities.

(5) Review of construction schedule

Constraints in the schedule, if any exist, shall be reviewed before determining the support type and foundation method.

(6) Review of earthquake

Seismic design of a structure shall be designed to protect the structure from being damaged due to seismic effect and secure the safety of train operation, and economic feasibility shall also be considered.

(4) 시공환경조사

시공의 안전성, 작업공간의 확보성 등을 고려한 설계를 하기 위해서는 기존자료의 조사, 주변환경의 조사 및 작업환경의 조사로 구분하여 실시한다.

(5) 기타조사

연약지반, 산지부 및 근접시공과 같이 특별한 경우에는 기존자료, 지형과 지질, 주변환경 등에 대하여 특히 유의해서 조사를 실시해야 한다.

11.2.2 계획

(1) 설계계획 기본 방침

기초 설계계획은 구조물 사용목적에 따라 구조물 전체 설계계획과 조화시켜 검토해야 하고, 기초의 형식은 지형 및 지질조건, 구조물의 특성, 시공환경, 공기(工期), 지진 조건에 대하여 시공성, 안정성, 경제성 등을 고려하여 유리한 것을 선정해야 한다.

(2) 지형 및 지질조건

① 지형 및 지질조건은 구조물에 큰 영향을 미치므로, 설계자는 노선선정에서부터 구조물을 염두에 두고 지형조건을 검토해야 한다.

② 지형 및 지질조건에 관한 검토는 지형, 지지층, 중간층, 표층, 지하수, 지반변위, 하천지역 및 그 외 특별조건에 대하여 실시해야 한다.

(3) 구조물의 특성에 관한 검토

구조물의 특성에 관한 검토는 하중 방향과 크기, 구조물의 허용변위량에 대하여 실시해야 한다.

(4) 시공환경에 관한 검토

시공중이나 완료 후에 기존 구조물과 매설물에 악영향을 미치지 않도록 기초를 설계해야 하므로, 시공환경에 관해서는 기존 구조물과 매설물, 작업공간, 공사용 가설물 등에 대하여 검토해야 한다.

(5) 공기 검토

공기에 제약이 있는 경우에는 공기에 대하여 검토하고 지지방식과 기초형식을 결정해야 한다.

(6) 지진에 관한 검토

구조물의 내진설계는 지진에 의하여 구조물이 해로운 손상을 받지 않고, 그 위를 통과하는 열차주행의 안전이 확보되는 것을 목표로 하며, 아울러 경제성을 고려해야 한다.

11.3 Member design general

11.3.1 Symbols

A: Gross section area of concrete (mm^2)

b_w: Width of member section (mm)

d: Effective depth of member section (mm)

e: Distance between centroid axis and axial force point on concrete section (mm)

f_c: Edge compressed stress of concrete section (MPa)

f_{ck}: Design standard strength of concrete (MPa)

f_{sa}: Allowable tensile stress of reinforcement (MPa)

f_t: Edge tensile stress of concrete section (MPa)

f_y: Yield strength of reinforcement (MPa)

M: Bending moment (N·mm or kN·m) on member section

N: Axial force (N)

v: Design shear stress (MPa)

V: Design shear force on member section (N)

V_h: Design shear force considering the change to the effective depth of member (N)

Z: Section modulus of concrete section (mm^3)

β: Angle of compressed edge to axial direction of member

γ: Angle of tensile reinforcement to axial direction

11.3.2 General

(1) Principle of design calculation of the member

① Design member force shall be calculated according to the elastic theory, irrespective of concrete or steel member. However, bending strength, shear rigidity and torsional rigidity may be estimated in order to simplify the calculation, regardless of whether the member is concrete or steel, on the assumption that the gross section of concrete is an effective section.

② Member design shall be basically in accordance with the Strength Design Method, but may be carried out according to the Allowable Stress Method.

③ When designing a concrete member according to the Strength Design Method, it is necessary to apply the load factor defined in the load combination according to「8.3.4 Strength Design Method, Chapter 8 Bridge General」 and the strength reduction coefficient according to「10.6.2, Chapter 10 Concrete Bridge」.

④ In the Allowable Stress Design method, the stress of concrete and steel occurring on the section shall be equal to or less than the allowable stress in「11.3.6」.

11.3 부재 설계 일반

11.3.1 기호

A : 콘크리트의 전단면적(mm^2)

b_w: 부재단면의 폭(mm)

d : 부재단면의 유효깊이(mm)

e : 콘크리트 단면의 도심축으로부터 축방향력 작용점까지의 거리(mm)

f_c : 콘크리트 단면의 연단압축응력(MPa)

f_{ck}: 콘크리트 설계기준강도(MPa)

f_{sa}: 철근의 허용인장응력(MPa)

f_t : 콘크리트 단면의 연단인장응력(MPa)

f_y : 철근의 항복강도(MPa)

M : 부재단면에 작용하는 휨모멘트(N·mm 또는 kN·m)

N : 축방향력(N)

v : 설계전단응력(MPa)

V : 부재단면에 작용하는 설계전단력(N)

V_h: 부재 유효깊이 변화의 영향을 고려한 설계전단력(N)

Z : 콘크리트 단면의 단면계수(mm^3)

β : 부재 압축연단이 부재 축방향과 이루는 각도

ɣ : 인장 철근이 부재 축방향과 이루는 각도

11.3.2 일반사항

(1) 부재 설계계산의 원칙

① 부재의 설계단면력은 콘크리트부재, 강부재에 관계없이 탄성이론에 의하여 산출한다. 그러나 콘크리트 부재의 휨강성, 전단강성 및 비틀림강성은 계산을 간략화하기 위해 강재를 무시하고 콘크리트 전단면을 유효단면으로 해서 산정한 값을 사용할 수도 있다.

② 부재의 설계는 강도설계법에 따르는 것을 원칙으로 하되 허용응력설계법에 따라 설계할 수도 있다.

③ 강도설계법에 의해 콘크리트부재를 설계할 경우에는「제8장 교량 일반사항 8.3.4 강도설계법」에 따른 하중조합에서 규정하는 하중계수와 「제10장 콘크리트교 10.6.2항」규정에 따른 강도감소계수를 적용한다.

④ 허용응력설계법의 경우에는 하중작용시 단면에 생기는 콘크리트, 강재의 응력은「11.3.6항」에 규정된 허용응력 이하가 되도록 설계해야 한다.

(2) Physical constant of concrete

① Elastic coefficient and shear elastic coefficient shall be in accordance with 「10.2.1, Chapter 10 Concrete Bridge」.

② Creep coefficient and dry shrinkage rate shall be in accordance with 「10.2.1, Chapter 10 Concrete Bridge」.

(3) Physical constant of steel

① Physical constant of steel shall be in accordance with 「9.2.5, Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge」.

② For a PC pile and PHC pile, apparent relaxation value of PS steel shall be the value affected at a high temperature.

11.3.3 Design of flexural member and compressive member

(1) When designing a concrete section according to the Strength Design Method, it shall conform to the requirements in 「10.6.3, Chapter 10 Concrete Bridge」 and 「10.6.5 Compressive member」.

(2) When designing a concrete section according to the Allowable Stress Design Method, it shall conform to the following requirements.

① Design of a reinforcement member section shall be calculated according to 「 10.17.5 Flexural Member, Chapter 10 Concrete Bridge」 and 「10.17.6 Compressive member subject to axial force or bending moment and axial force simultaneously」.

② A plain concrete structure subject to axial eccentric load shall be designed in a manner that ensures that tensile stress does not occur on the section.

③ Stress of a plain concrete member subject to axial eccentric load shall be calculated according to <Eq. (11.3.l)>.

$$f_c = \frac{N}{A} \pm \frac{N \cdot e}{Z} \qquad (11.3.1)$$

Where, f_c: Edge stress of concrete section (MPa)

N: Axial force (N)

A: Gross section of concrete (mm^2)

e: Distance between centroid axis and axial force point on concrete section (mm)

Z: Section modulus for centroid axis of concrete section (mm^3)

(2) 콘크리트의 물리상수

① 탄성계수 및 전단탄성계수는「제10장 콘크리트교 10.2.1항」의 규정에 의한다.

② 크리프계수 및 건조수축률은「제10장 콘크리트교 10.2.1항」의 규정에 의한다.

(3) 강재의 물리상수

① 설계계산에 사용하는 강재의 물리상수는「제9장 강교 및 강합성 교량의 9.2.5항」의 규정에 의한다.

② PC말뚝 및 PHC말뚝의 경우 일반적으로 PS강재의 겉보기 릴랙세이션 값은 고온의 영향을 받는 경우의 값을 적용한다.

11.3.3 휨부재 및 압축부재의 설계

(1) 강도설계법으로 콘크리트부재 단면을 설계하는 경우에는「제10장 콘크리트교 10.6.4 휨부재」및「10.6.5 압축부재」에서 규정하는 여러 사항을 만족해야 한다.

(2) 허용응력설계법으로 설계하는 경우에는 다음 사항을 만족해야 한다.

① 철근콘크리트부재 단면의 설계는「제10장 콘크리트교 10.17.5 휨부재」및「10.17.6 축력 또는 휨모멘트와 축력을 동시에 받는 압축부재」의 규정에 따라 계산한다.

② 축방향 편심하중을 받는 무근콘크리트 구체는 그 작용점이 핵안에 작용하도록 즉, 단면에 인장응력이 생기지 않도록 설계한다.

③ 축방향 편심하중을 받는 무근콘크리트 부재의 콘크리트의 응력은 <식 (11.3.1)>에 의하여 산출하도록 한다.

$$f_c = \frac{N}{A} \pm \frac{N \cdot e}{Z} \qquad (11.3.1)$$

여기서, f_c : 콘크리트 단면의 연단응력(MPa)

N : 축방향력(N)

A : 콘크리트의 전단면적(mm^2)

e : 콘크리트 단면의 도심축으로부터 축방향력 작용점까지의 거리(mm)

Z : 콘크리트 단면의 도심축에 관한 단면계수(mm^3)

④ When the edge tensile stress of a plain concrete structure exceeds the allowable bending tensile stress, total tensile stress of concrete shall be borne by reinforcement. Sectional area of reinforcement shall be calculated by dividing total tensile stress by allowable tensile stress of reinforcement.

For a rectangular section as shown in <Fig. 11.3.l>, the required reinforcement (A_s) could be estimated according to <Eq. (11.3.2)>.

$$x = \frac{h \cdot f_t}{f_c + f_t} \quad (\mathrm{mm}) \qquad (11.3.2)$$

$$A_s = \frac{x \cdot b \cdot f_t}{2\ f_{sa}} \quad (\mathrm{mm}^2)$$

Where, f_{sa}: Allowable tensile stress of reinforcement (MPa)

f_t: Edge tensile stress of concrete section (MPa)

f_c: Edge compressive stress of concrete section (MPa)

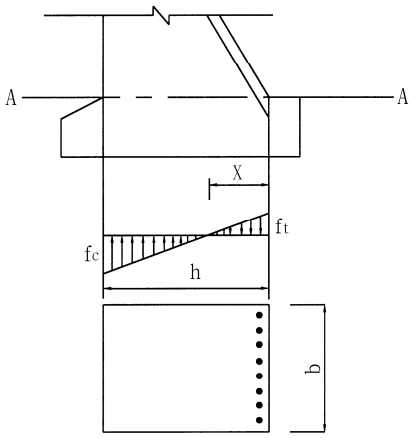


Fig. 11.3.1 Plain concrete with tensile stress

11.3.4 Design of reinforcement member subject to shear force

(1) When designing a reinforcement member according to the Strength Design Method, it shall conform to the related requirements of 「10.6.6 Shear Design, Chapter 10 Concrete Bridge, 」 and 「10.6.7 Torsional Design」.

(2) When designing a reinforcement member according to the Allowable Stress Design Method, it shall be in accordance with 「10.17.7 Shear Design, Chapter 10, Concrete Bridge」.

④ 무근콘크리트로 설계한 구체의 연단인장응력이 허용휨인장응력을 넘는 경우에는 콘크리트의 전인장응력은 철근으로 부담시킨다. 이때 철근의 단면적은 단면에 생긴 전인장응력을 철근의 허용인장응력으로 나누어 얻어진 값으로 한다.

<그림 11.3.1>에서와 같은 직사각형 단면인 경우에는 <식 (11.3.2)>에 의하여 소요철근량(A_s)를 구할 수 있다.

$$x = \frac{h \cdot f_t}{f_c + f_t} \quad (\mathrm{mm}) \quad (11.3.2)$$

$$A_s = \frac{x \cdot b \cdot f_t}{2\, f_{sa}} \quad (\mathrm{mm}^2)$$

여기서, f_{sa} : 철근의 허용인장응력(MPa)

f_t : 콘크리트 단면의 연단인장응력(MPa)

f_c : 콘크리트 단면의 연단압축응력(MPa)

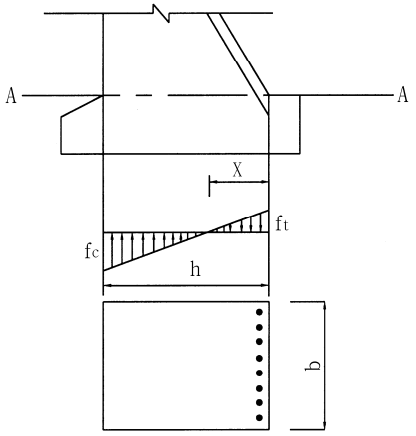


그림 11.3.1 인장응력이 생기는 무근콘크리트

11.3.4 전단력이 작용하는 철근콘크리트부재의 설계

(1) 강도설계법으로 철근콘크리트부재 단면을 설계하는 경우에는「제10장 콘크리트교」「10.6.6 전단에 대한 설계」 및「10.6.7 비틀림에 대한 설계」에서 규정하는 사항 중 해당사항을 만족해야 한다.

(2) 허용응력설계법으로 철근콘크리트부재 단면을 설계하는 경우에는「제10장 콘크리트교 10.17.7 전단설계」 규정에 따른다.

11.3.5 Structural details

(1) Minimum reinforcement of flexural member

This shall be in accordance with 「10.6.4 Flexural Member (2) Design of Flexural Member, Chapter 10, Concrete Bridge」.

(2) Limit of reinforcement for compressive member

① Axial reinforcement of a compressive member shall be within a range of 1% ~ 8% of the gross section. Axial reinforcement shall be at least 6 when it is arranged in a round shape and at least 4 in a square shape. At this moment, the size of reinforcement shall be at least D16.

② A compressive member with a larger section than the section required for the load may have a reduced effective sectional area. However, the reduced effective sectional area shall be 1/2 of total sectional area, and shall require 1% axial reinforcement to bear the load.

(3) Arrangement of reinforcement

① Thickness of rebar covering

A. The thickness of rebar covering shall be in accordance with 「10.4.4 Minimum Thickness of Rebar Covering, Chapter 10 Concrete Bridge」.

B. Minimum thickness of RC, PC and PHC pile covering shall be as follows.

(a) Covering thickness of axial and spiral reinforcement of RC pile shall be at least 10mm for OD 200 mm and at least 15mm for OD 250 ~ 600 mm.

(b) Covering thickness of PS steel and spiral reinforcement of PC and PHC pile shall be 15mm or more.

C. Minimum thickness of concrete exposed to corrosion or salt damage shall be appropriately increased according to 「10.4.4 (5) Concrete exposed to particular environment, Chapter 10 Concrete Bridge」. Epoxy-covering reinforcement or special concrete-overlaying may be used to prevent corrosion.

② Arrangement and interval of reinforcement shall be in accordance with 「10.4.3 Reinforcement Arrangement, Chapter 10 Concrete Bridge」.

③ Hook and bending of reinforcement shall be in accordance with 「10.4.2 Rebar Processing, Chapter 10 Concrete Bridge」.

④ Arrangement of main reinforcement

A. Diameter of main reinforcement shall be at least D13.

B. Main reinforcement shall be arranged in 2 layers or less for effective concrete pouring and compaction.

⑤ Arrangement of shear reinforcement shall be in accordance with 「10.4.6 Transverse Reinforcement, Chapter 10 Concrete Bridge」.

11.3.5 구조상세

(1) 휨부재의 최소철근

휨부재의 최소철근은「제10장 콘크리트교 10.6.4 휨부재 (2) 휨부재 설계」의 제한사항에 따른다.

(2) 압축부재의 철근제한

① 압축부재의 축방향 철근량은 총 단면적의 1% ~ 8% 범위이어야 한다. 그리고 축방향 철근은 철근배치가 원형일 경우에는 6개 이상, 사각형일 경우에는 4개 이상으로 배치해야 한다. 이때 철근의 크기는 D16 이상으로 한다.

② 하중에 의해 요구되는 단면보다 큰 단면으로 설계된 압축부재에서는 감소된 유효단면적을 사용하여도 된다. 이때 감소된 유효 콘크리트 단면적은 총 단면적의 1/2 이상이고, 하중을 지지하기 위해 1%의 축방향 철근을 요구하는 단면 이상이어야 한다.

(3) 철근의 배치

① 철근의 피복두께

가. 철근의 피복두께는「제10장 콘크리트교 10.4.4 최소피복두께」규정에 따른다.

나. RC말뚝, PC말뚝, PHC말뚝의 최소피복두께는 다음과 같다.

㉮ RC말뚝의 축방향 철근 및 나선형 철근의 피복두께는 RC말뚝의 바깥지름 200mm에서는 10mm 이상으로 하며, 바깥지름 250~600mm에서는 15mm 이상이어야 한다.

㉯ PC말뚝 및 PHC말뚝의 PS강재 및 나선형철근의 피복두께는 15mm 이상이어야 한다.

다. 부식이나 염해의 영향을 받는 콘크리트는「제10장 콘크리트교10.4.4 (5) 특수환경에 노출되는 콘크리트」규정에 따라 최소피복두께를 적절히 증가시켜야 한다. 부식을 방지하는 방법으로는 에폭시피복 철근을 사용하거나 특수콘크리트로 덧씌우기 한다.

② 철근의 배치 및 간격은「제10장 콘크리트교 10.4.3 철근배치」에 따른다.

③ 철근의 갈고리와 구부리기는「제10장 콘크리트교 10.4.2 철근가공」에 따른다.

④ 주철근의 배치

가. 주철근의 지름은 D13 이상의 철근으로 한다.

나. 철근을 여러 단으로 배치하면 콘크리트의 타설 및 다짐이 곤란하므로 주철근은 2단 이하로 배치한다.

⑤ 전단철근의 배치는「제10장 콘크리트교 10.4.6 부재에서 횡철근」에 따른다.

⑥ Arrangement of tie bar shall be in accordance with 「10.4.6 Transverse Reinforcement, Chapter 10 Concrete Bridge」.

⑦ Anchorage and splice of reinforcement shall be in accordance with 「10.5 Anchorage and Splice of Reinforcement, Chapter 10 Concrete Bridge」.

11.3.6 Allowable stress

(1) General

① Allowable stress of concrete and steel for primary load or special load equivalent to primary load shall correspond to the values defined in 「(2) ~ (5)」.

② Allowable stress of concrete and steel for secondary load or special load equivalent to secondary load shall be calculated by multiplying the allowable stress in 「(2) ~ (5)」 by the increment factor in 「(6)」.

(2) Allowable stress of concrete

① RC member installed in atmospheric condition

A. Allowable stress of concrete shall be in accordance with 「10.17.3 Allowable Stress, Chapter 10 Concrete Bridge」.

B. As concrete pouring of a cast-in-situ pile in atmospheric condition is carried out in a limited space and is inconvenient in terms of construction control and inspection, allowable compressive stress and shear stress of the cast-in-situ pile shall be 90% of the value defined in 「A.」.

C. When a large stress is imposed on the edge due to deflection or eccentric load, allowable bearing stress of the section shall be 75% of the value defined in 「A.」.

② RC member installed under water

Allowable stress of concrete for RC members to be installed under water is listed in <Table 11.3.1>. However, concrete mixing shall be unit cement or more and water-binder ratio 55 % or less, and slump 150 ~ 210 mm.

③ Plain concrete member

Allowable stress is listed in <Table 11.3.2>.

However, when the base is reinforced by rebar, allowable bearing stress may be increased by 7 MPa. For local loading, allowable bearing stress shall not exceed 12 MPa.

⑥ 띠철근의 배치는「제10장 콘크리트교 10.4.6 부재에서 횡철근」에 따른다.

⑦ 철근의 정착과 이음은「제10장 콘크리트교 10.5 철근의 정착 및 이음」에 따른다.

11.3.6 허용응력

(1) 일반

① 주하중 및 주하중에 상당하는 특수하중에 대한 콘크리트 및 강재의 허용응력은「(2)~(5)항」에서 규정한 값으로 한다.

② 부하중 및 부하중에 상당하는 특수하중을 고려할 때의 콘크리트 및 강재의 허용응력은「(2)~(5)항」에 규정한 허용응력에「(6)항」에 규정한 증가계수를 곱한 값으로 한다.

(2) 콘크리트의 허용응력

① 대기 중에서 시공하는 철근콘크리트부재

가. 콘크리트의 허용응력은「제10장 콘크리트교 10.17.3 허용응력」에 따른다.

나. 대기 중에서 시공하는 현장타설말뚝의 콘크리트 치기는 좁은 구멍 내에서의 작업이기도 하고 시공관리나 검사가 지상의 구조물에 비하여 불편하므로, 대기 중에서 시공하는 현장타설말뚝에 사용되는 콘크리트의 허용압축응력과 허용전단응력은「가.항」값의 90%로 한다.

다. 처짐이나 편심하중으로 인하여 지압면 단부에 큰 응력을 받는 경우에는 재하단면의 허용지압응력은「가.항」값의 75%로 한다.

② 수중에서 시공하는 철근콘크리트부재

수중에서 시공하는 철근콘크리트부재중에서 현장타설말뚝의 콘크리트 허용응력은 <표 11.3.1>의 값으로 한다. 다만, 콘크리트의 배합은 단위시멘트량 350kg/m^3 이상, 물-결합재비 55% 이하, 슬럼프 150~210mm로 한다.

③ 무근콘크리트 부재

콘크리트의 허용응력은 <표 11.3.2>의 값으로 한다.

다만, 받침면을 철근으로 보강하는 경우의 허용지압응력은 7MPa까지 높여도 된다. 또 국부 재하 경우의 허용지압응력은 12MPa을 초과해서는 안 된다.

Table 11.3.1 Allowable stress of concrete of cast-in-situ pile under water (MPa)

28-day compressive strength of standard cured specimen		30	35	40
Design strength of underwater concrete		24	27	30
Comp stress	Bending compressive	9.6	10.8	12
	Axial compressive	6	6.8	7.5
Shear stress	When bearing shear stress by concrete only	0.39	0.41	0.43
	When reinforced with shear reinforcement	1.8	1.9	2.0

Table 11.3.2 Allowable stress of plain concrete (MPa)

Type of Stress	Allowable stress	Note
Compressive	$0.25 f_{ck} \leqq 5.5$	f_{ck}: Design strength of concrete
Bending tensile	$0.13\sqrt{f_{ck}} \leqq 0.5$	
Bearing	$0.25 f_{ck} < 6$	

④ Prestressed concrete member

Allowable stress of a prestressed concrete member shall be in accordance with 「10.7.9 Allowable Stress, Chapter 10 Concrete bridge」.

⑤ Precast concrete pile

Allowable stress of concrete of RC, PC and PHC pile shall use the values in <Table 11.3.3>.

Table 11.3.3 Allowable stress of concrete of RC, PC and PHC pile (MPa)

Piles / Stress	RC	PC	PHC
Design strength	40	50	80
Bending compressive	14	17.5	28
Axial compressive	10	12.5	20
Bending tensile	-	0	0

Elastic modulus of concrete of RC and PC pile shall be in accordance with 「10.2.1 of Chapter 10 Concrete Bridge」, but the PHC pile may use .

표 11.3.1 수중에서 시공하는 현장타설말뚝의 콘크리트 허용응력(MPa)

표준양생 공시체의 28일 압축강도		30	35	40
수중콘크리트의 설계기준강도		24	27	30
압축응력	휨압축응력	9.6	10.8	12
	축압축응력	6	6.8	7.5
전단응력	콘크리트만으로 전단응력을 부담하는 경우	0.39	0.41	0.43
	전단철근으로 보강된 경우	1.8	1.9	2.0

표 11.3.2 무근콘크리트의 허용응력 (MPa)

응력의 종류	허용응력	비 고
압축응력	$0.25 f_{ck} \leqq 5.5$	f_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도
휨인장응력	$0.13\sqrt{f_{ck}} \leqq 0.5$	
지압응력	$0.25 f_{ck} < 6$	

④ 프리스트레스트 콘크리트 부재

프리스트레스트 콘크리트 부재의 허용응력은 「제10장 콘크리트교 10.7.9 허용응력」에 따른다.

⑤ 기성 콘크리트 말뚝

RC, PC, PHC 말뚝의 콘크리트의 허용응력은 <표 11.3.3>의 값으로 한다.

표 11.3.3 RC, PC, PHC 말뚝의 콘크리트의 허용응력 (MPa)

말뚝의 종류 / 응력의 종류	RC말뚝	PC말뚝	PHC말뚝
설계기준강도	40	50	80
휨압축응력	14	17.5	28
축 압축응력	10	12.5	20
휨인장응력	-	0	0

콘크리트의 탄성계수는 RC말뚝 및 PC말뚝에 대해서는 「제10장 콘크리트교 10.2.1항」에 따르되 PHC말뚝에 대해서는 4.2×10^4MPa 을 사용할 수도 있다.

(3) Allowable stress of reinforcement

① For less than a 51 mm-diameter reinforcement, allowable stress of the reinforcement shall use the value in <Table 11.3.4>. A reinforcement more than a 51mm-diameter may be used for a substructure. When using a reinforcement with a large diameter, crack control and stress distribution shall be considered in the design.

Table 11.3.4 Allowable stress of reinforcement (MPa)

Type of stress and member \ Reinforcement			SD300	SD350	SD400
Tensile stress	Impact load or seismic effect is not included in load combination	1) Ordinary	150	175	180
		2) Member in water or below ground water level	150	160	160
	3) Impact load or seismic effect is included in load combination		150	175	180
4) Compressive stress			150	175	180

② Allowable stress of a welded joint shall be considered to be equal to that of the base material when it is tested and under control.

③ When arc welding, mechanical splicing or sleeve joint are used for reinforcement joint, joint strength shall be determined by the test considering the type of reinforcement, diameter, stress and joint location.

④ <Table 11.3.5> shows the allowable shear stress of the fillet welded part by arc welding with different steel members.

However, when splicing with steel that is less rigid than the reinforcement, allowable shear stress of the steel shall be used.

Table 11.3.5 Allowable shear stress of the fillet welded part by arc welding (MPa)

Welding \ Reinforcement	SD300	S50	SD400
Factory welding	105	105	105
Field welding	90% of the above		

(3) 철근의 허용응력

① 철근의 허용응력은 지름 51mm 이하의 철근에 대하여 <표 11.3.4>의 값으로 한다. 하부구조에서는 지름 51mm보다 큰 철근을 사용할 수도 있다. 큰 지름의 철근을 쓸 경우에는 균열제어, 응력 분산을 고려하여 설계해야 한다.

표 11.3.4 철근의 허용응력 (MPa)

응력, 부재의 종류 \ 철근의 종류			SD300	SD350	SD400
인장응력	하중의 조합시 충돌하중 혹은 지진의 영향을 포함하지 않는 경우	1) 일반부재	150	175	180
		2) 수중 및 지하수위 아래에 설치되는 부재	150	160	160
	3) 하중의 조합시 충돌하중 혹은 지진의 영향을 포함하는 경우		150	175	180
4) 압축응력			150	175	180

② 용접이음의 허용응력은 시험 및 관리가 되어 있을 때 모재의 허용응력과 같이 본다.

③ 철근의 이음에 아크용접이음, 기계적 이음, 슬리브이음 등을 사용할 때는 철근의 종류, 지름, 응력상태, 이음위치 등 사용조건을 고려한 시험에 의하여 이음강도를 정한다.

④ 철근과 다른 강재와의 아크용접에 의한 필렛용접부의 허용전단응력은 <표 11.3.5>의 값으로 한다.

다만, 철근보다도 강도가 낮은 강재와 접합하는 경우의 허용전단응력은 강재의 허용전단응력을 사용한다.

표 11.3.5 아크 용접에 의한 필렛용접부의 허용응력(MPa)

용접의 종류 \ 철근의 종류	SD300	SD350	SD400
공장 용접	105	105	105
현장 용접	위의 90%		

(4) Allowable stress of structural steel

Basic allowable stress of structural steel and welded part shall be in accordance with 「Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge, 9.4.2 Allowable stress of structural steel and welded part (1) Basic allowable stress (2) Allowable buckling stress」. However, for the welded joint of steel pipe sheet pile, 80% of factory welding shall be applied.

① Steel pipe pile shall use SKK 400, SKK 490 or STKT 590, and steel pipe sheet pile shall use SKY 400 or SKY 490. <Table 11.3.6> shows the upper limit value of allowable stress.

Table 11.3.6 Upper limit value of allowable stress (MPa)

Steel / Welding	SKK 400 SKY 400	SKK 490 SKY 490	STKT 590
Compressive stress	140	190	255
Tensile stress	140	190	255
Shear stress	80	110	145

(5) Allowable stress of PS steel

Allowable stress of PS steel of prestressed concrete shall be in accordance with 「10.7.9 Allowable Stress of PS Steel, Chapter 10 Concrete Bridge」.

(6) Increase in allowable stress

① Reinforced and plain concrete, steel structure

When considering secondary load or special load equivalent to secondary load, allowable stress shall be calculated by multiplying the allowable stress defined in 「(2) ~ (5)」 by the increment factor in the load combination according to 「8.3.3, Allowable Stress Design Method of Chapter 8. Bridge General」.

A. Stress of a substructure shall not exceed the combined allowable stress against the most unfavorable combination among the indicated load combinations.

B. Increment of allowable stress while driving the pile shall use the increment factor of the stress that is significantly reduced after installation among the combinations of erection load (EL).

C. When increasing the allowable stress of reinforcement, allowable stress in <Table 11.3.4>, depending on load combination, shall be calculated by multiplying the increment factor of load combination according to 「8.3.3, Allowable Stress Design Method, Chapter 8. Bridge General」.

(4) 구조용 강재의 허용응력

구조용강재 및 용접부에 대한 기본허용응력은 「제9장 강교 및 강합성교 9.4.2 구조용강재 및 용접부의 허용응력 (1) 기본허용응력 및 (2) 좌굴허용응력」에 따른다. 다만, 강관널말뚝기초의 연결부 용접부분에 대해서는 공장용접부의 80% 값을 허용응력으로 한다.

① 강관말뚝은 SKK 400, SKK 490 또는 STKT 590, 강관널말뚝은 SKY 400 또는 SKY 490을 사용하며, 허용응력 상한값은 <표 11.3.6>과 같다.

표 11.3.6 허용응력 상한값(MPa)

강재의 종류 / 용접의 종류	SKK 400 SKY 400	SKK 490 SKY 490	STKT 590
압축응력	140	190	255
인장응력	140	190	255
전단응력	80	110	145

(5) PS강재의 허용응력

프리스트레스트 콘크리트 부재의 PS강재의 허용응력은 「제10장 콘크리트교 10.7.9 PS강재의 허용응력」에 따른다.

(6) 허용응력의 증가

① 철근 및 무근 콘크리트, 강구조

부하중 및 부하중에 상당하는 특수하중을 고려할 때의 허용응력은 「(2)~(5)항」에 규정한 허용응력에 「제8장 교량 일반사항 8.3.3 허용응력설계법」에 따른 하중조합의 하부구조에서의 증가계수를 곱한 값으로 한다.

가. 하부구조의 설계는 표시한 하중의 조합 중 가장 불리한 조합에 대하여 응력이 조합한 허용응력을 넘지 않아야 한다.

나. 말뚝을 박을 때의 응력에 대한 허용응력의 증가는 가설하중(ER)의 조합 중 완성 후의 응력이 현저히 저하되는 경우의 증가계수를 사용한다.

다. 철근의 허용응력을 증가시키고자 할 때는 하중의 조합에 따라서 <표 11.3.4>의 허용응력에 대해서는 「제8장 교량 일반사항 8.3.3 허용응력설계법」에 따른 하중조합의 하부구조에서의 증가계수를 곱한 값으로 한다.

11.4 Design of abutment, pier and spread footing

11.4.1 General

(1) Scope of application

This section shall be applied to the design for abutment, pier and spread footing of a concrete structure of which superstructure and substructure are clearly distinguished by the support. Steel pier shall be designed according to 「Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge」. Steel bridge, Rahmen or PSC structure not specified in this section shall be in accordance with 「Chapter 8 Bridge general」, 「Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge」 or 「Chapter 10 Concrete Bridge」.

(2) Shape of abutment and pier

① The shape of the abutment and pier shall be determined depending on site conditions.

② The shape of the abutment and pier shall be determined after considering site conditions, superstructure design, economic feasibility and aesthetic effect, and the river bridge shall be in accordance with the 「River Design Standard」.

(3) Impact protection

Where an abutment or pier has a risk of being crashed into by a boat or floating matter, a protection measure shall be provided in order to prevent a concrete structure from being damaged by collision.

When protection to the concrete structure is not provided, the thickness of covering may be increased to protect the reinforcement (double-layer where necessary).

11.4.2 Design load

In designing an abutment and pier, the member force and stability shall be reviewed based on the most unfavorable condition among the load combinations defined in 「8.3 Design Method and Load Combination, Chapter 8 Bridge General 」.

(1) Load combination acting on abutment

① In calculating the member and stability of an abutment, in general, the load combination shall be in accordance with 「Chapter 8 Bridge general, 8.3 Design method and load combination」, but seismic effect shall be in accordance with 「8.8 Seismic Design」.

A. Water pressure shall be considered in load combination, where necessary.

B. Fixed load shall include buoyancy depending on site conditions when reviewing stability. For a safe design, buoyancy shall be considered when reviewing stability against overturn, but may not be considered when reviewing stability against bearing force.

C. Water pressure working on the rear surface of abutment shall be considered when installed in a river or sea with a significant change in water level or tide level.

11.4 교대, 교각 및 확대기초 설계

11.4.1 일반사항

(1) 적용범위

이 절은 상부구조와 하부구조가 받침 등에 의해서 명확히 구별되어 있는 콘크리트 구조의 교대와 교각 및 확대기초의 설계에 주로 적용하며 강재교각의 설계는「제9장 강교 및 강합성교」에 따른다. 강교나 라멘교 혹은 PSC구조 등에 대하여 이 장에서 규정하지 않은 사항은「제8장 교량 일반사항」,「제9장 강교 및 강합성교」,「제10장 콘크리트교」를 따른다.

(2) 교대 및 교각의 형상

① 교대 및 교각은 가설되는 교량의 기준지점 상황에 가장 적합한 형상으로 해야 한다.

② 교대 및 교각의 형상은 가교지점의 상황, 상부구조의 설계조건, 경제성, 미관 등을 고려하여 결정한다. 하천에 가설되는 교량에 대해서는「하천설계기준」에 따라야 한다.

(3) 충돌물에 대한 방호

하천에 설치하는 교대 및 교각에 유목, 선박 및 기타의 유송물 등이 충돌할 우려가 있는 경우에는 충돌에 의한 구체의 파손을 방지하기 위하여 방호를 해야 한다.

콘크리트 구체에 있어서 방호공을 설치하지 않는 경우에는 충돌면의 피복 두께를 증가하여 철근을 보호한다.(필요하면 2중으로 배근한다.)

11.4.2 설계하중

교대・교각을 설계함에 있어서는「제8장 교량 일반사항 8.3 설계방법 및 하중조합」에 규정한 하중조합 중 가장 불리한 하중조합에 대하여 부재력결정 및 안정검토를 해야 한다.

(1) 교대에 작용하는 하중의 조합

① 교대의 부재계산 및 안정계산에서의 일반적인 하중의 조합은「제8장 교량 일반사항 8.3 설계방법 및 하중조합」에 따른다. 다만, 지진의 영향은「8.8 내진설계」에 따른다.

가. 하중조합시 필요한 경우 수압을 고려한다.

나. 안정에 대해 검토할 경우 고정하중은 현장여건에 따라 부력을 고려해야 한다. 그러나 설계의 안전을 고려하여 전도에 대한 안정 검토시는 부력을 포함하고 지지력에 대한 안정 검토시는 부력을 고려하지 않을 수 있다.

다. 수위 변동이 현저한 하천 또는 조위의 변화가 큰 해중에 설치된 교대는 필요한 경우 교대배면에 작용하는 수압을 고려해야 한다.

D. The longitudinal force f a continuous welded rail (CWR) may not be considered when reviewing the stability against foundation.

E. Impact load due to a train may not be considered when designing an abutment, but shall be considered for designing a support.

F. Surface load on the backfill, if any, shall be taken into account, and surface load behind the abutment shall be considered as follows.

(a) Track weight: =15 kN/m^2

(b) Train load shall be considered as distribution load according to <Eq. (11.4.1)>.

$$q_2 = \frac{p}{ab} \qquad (11.4.1)$$

Where, q_2: Converted uniformly distributed load (kN/m^2)

p: Single axel train load (kN)

a: Wheel base (m)

b: Distribution width of train load perpendicular to rail (m)

(In general, total width for a single line and 1/2 for double line)

(2) Working earth pressure

① When the heel length is 200 ~ 300mm or less, like a gravity abutment, earth pressure shall be assumed to act directly on the rear side of a concrete structure (<See Fig. 11.4.l>).

② Earth pressure shall be assumed to work on the rear side of a concrete structure of a reverse-T abutment and buttress abutment when calculating the wall section, and on the virtual vertical side of a heel edge when calculating stability. (<See Fig. 11.4.2>)

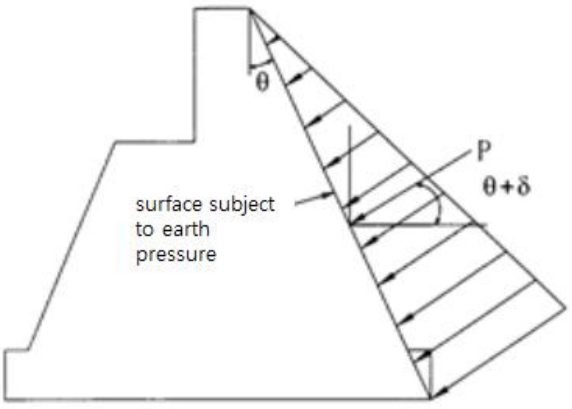


Fig. 11.4.1 Earth pressure on gravity abutment

라. 기초의 안정을 검토할 경우 장대레일종하중은 고려하지 않는다.

마. 교대를 설계할 때는 열차에 의한 충격하중의 영향을 고려하지 않아도 된다. 다만, 받침설계에 있어서는 열차에 의한 충격하중의 영향을 고려해야 한다.

바. 배면토상에 상재하중이 있는 경우 이를 고려해야 하며, 교대 배면의 상재하중은 다음과 같이 설정해야 한다.

㉮ 궤도 중량 : q_1=15 kN/m2

㉯ 열차하중은 <식 (11.4.1)>에 의해 분포하중으로 취급해야 한다.

$$q_2 = \frac{p}{ab} \qquad (11.4.1)$$

여기서, q_2: 환산등분포하중(kN/m^2)

p : 열차하중의 1 동륜축하중(kN)

a : 축거(m)

b : 선로 직각방향에 대한 열차하중의 분포폭(m)

(일반적으로, 단선교대는 교대의 전폭, 복선교대는 전폭의 1/2로 하면 된다.)

(2) 작용 토압

① 중력식 교대와 같이 뒷굽판의 내민길이가 200~300mm 이하로 짧은 경우의 토압은 구체 콘크리트 배면에 직접 작용하는 것으로 한다.(<그림 11.4.l> 참조)

② 역T형 교대와 부벽식 교대의 토압작용면은, 벽의 단면 계산에서는 구체 콘크리트의 배면, 안정계산에서는 뒷굽판 연단에서의 가상 연직면으로 한다.(<그림 11.4.2> 참조)

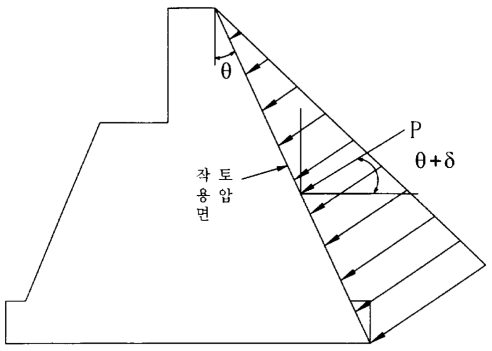


그림 11.4.1 중력식 교대의 토압작용면

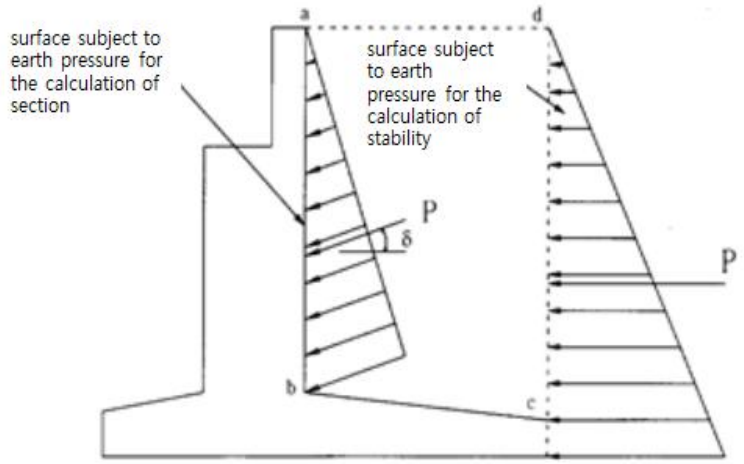


Fig. 11.4.2 Earth pressure on reverse-T and buttress

In calculating stability during seismic events, seismic earth pressure on the virtual vertical surface (dc surface) shall be considered in addition to self-load, surface load, the weight of top soil on the heel and force of inertia. In calculating the wall section, seismic earth pressure is assumed to work on the rear side of a concrete structure, and the weight of top soil on the heel and the force of inertia shall not be considered.

③ Wall friction angle shall use the values in <Table 11.4.1>.

Table 11.4.1 Wall friction angle

Abutment	Calculation	Wall friction angle,	
		normal	seismic
Gravity Semi-gravity	Stability	$\phi/3$	0
	Wall section	$\phi/3$	0
Reverse-T Buttress	Stability	β	0
	Wall section	$\phi/3$	0

Note) ϕ : angle of soil shear resistance (internal friction angle, °), β : Surface slope behind wall

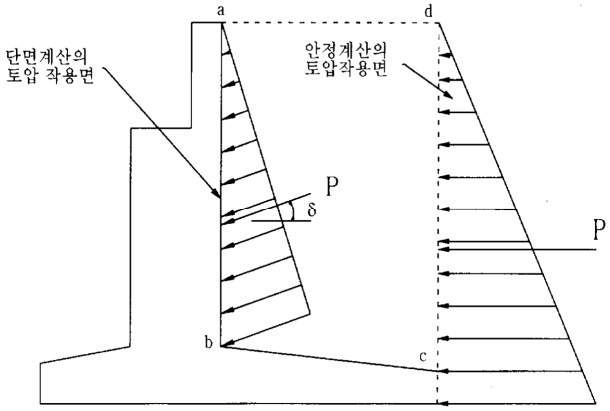


그림 11.4.2 역T형 교대 및 부벽식 교대의 토압작용면

지진시의 경우에도 안정계산에서는 하중으로서 자중, 상재하중 및 뒷굽판 상재토의 중량과 관성력을 고려하는 외에 가상연직면(dc면)에 지진시 토압을 작용시켜서 계산한다. 벽의 단면계산에서는 지진시 토압을 구체 콘크리트 배면에 직접 작용시키고 뒷굽판 상재토의 중량과 관성력은 고려하지 않는다.

③ 벽면마찰각 δ는 <표 11.4.1>의 값을 사용한다.

표 11.4.1 벽면마찰각

교대의 종류	계산의 구분	벽면마찰각, δ	
		평상시	지진시
중력식 교대 반중력식 교대	안정 계산	$\phi/3$	0
	벽의 단면계산	$\phi/3$	0
역T형 교대 부벽식 교대	안정 계산	β	0
	벽의 단면계산	$\phi/3$	0

주) ϕ : 흙의 전단저항각 (내부마찰각, °), β : 옹벽 배면 지표 경사각

(3) Load on the bottom of abutment

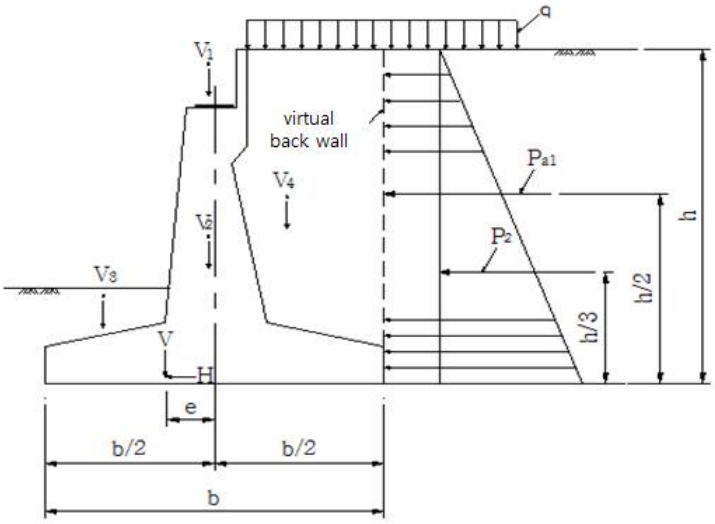


Fig. 11.4.3 Stability calculation (normal)

$$P_{a1}=K_a q h \ , \ P_{a2}=\frac{1}{2}K_a \gamma h^2 \ , \ V=\sum V_i \ , \ H=\sum P_{ai} \ , \ M=Ve \qquad (11.4.2)$$

Where, K_a : Active earth pressure coefficient

γ : Unit weight of soil (kN/m^3)

e : Load eccentricity

q : Ground surface load

h : Abutment height (m)

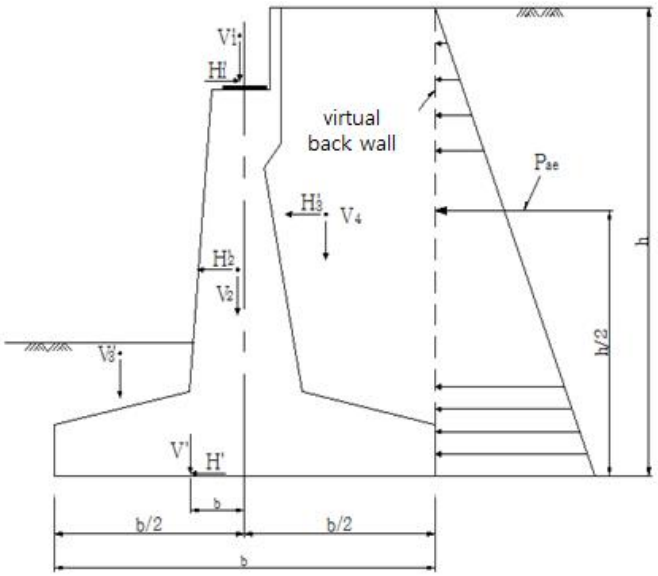


Fig. 11.4.4 Stability (seismic)

(3) 교대 저면에 작용하는 하중

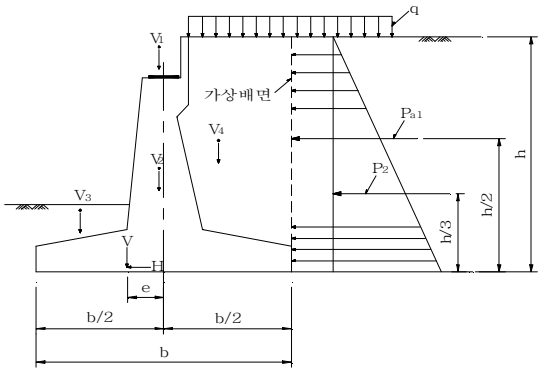


그림 11.4.3 안정계산(평상시)

$$P_{a1}=K_a q h \ , \ P_{a2}=\frac{1}{2}K_a \gamma h^2 \ , \ V=\sum V_i \ , \ H=\sum P_{ai} \ , \ M=Ve \qquad (11.4.2)$$

여기서, K_a : 주동토압계수

γ : 흙의 단위체적중량(kN/m3)

e : 하중 편심량

q : 지표면 상재하중

h : 교대 높이(m)

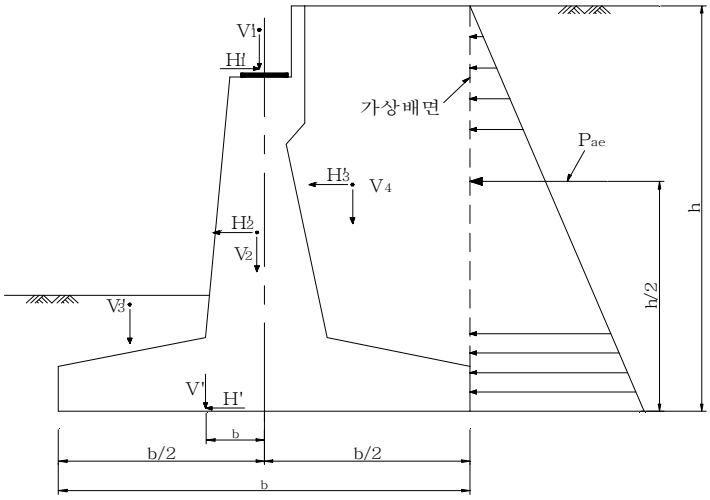


그림 11.4.4 안정계산(지진시)

$$P_{ae} = \frac{1}{2} K_{ae} \gamma h^2, \quad V' = \sum V_i', \quad H' = \sum H_i' + P_{ae}, \quad M' = V' e \qquad (11.4.3)$$

Where, P_{ae}: Active earth pressure at earthquake

K_{ae}: Seismic active earth pressure coefficient

(4) Earth pressure behind abutment shall be calculated according to 「Chapter 8 Bridge General」, and Rankine earth pressure shall be applied to the stability review while Coulomb earth pressure is applied to the section review.

(5) In calculating earth pressure or buoyancy, water level shall be based on high and low level at a temporary state, and it shall be based on normal water level at normal and seismic state.

(6) Horizontal load at the fixed or moving end shall be calculated according to 「Chapter 8 Bridge General」.

(7) Review direction of abutment design

Generally, no review is carried out for the direction at a right angle to the traverse axis, except that horizontal force perpendicular to the traverse axis is large, the width of a foundation perpendicular to the traverse axis is smaller than the width of a foundation in the direction of the traverse axis, or the width perpendicular to the traverse axis is large.

(8) Load Combinations acting on pier

① In calculating the member and stability of a pier, usual load combination shall be in accordance with 「8.3 Design Method and Load Combination, Chapter 8 Bridge General」; however, seismic effect shall be in accordance with 「8.8 Seismic Design」.

② Horizontal force from a girder used for pier design shall, in principle, be calculated considering the support structure and rigidity of a substructure, and this horizontal force shall be considered to work on the top of the support. Horizontal force perpendicular to the traverse axis shall be considered to work on each load point.

(9) Application of live load

① Live load for substructure design shall be planned to have the most unfavorable effect on a structure.

② Train load shall be determined by combining horizontal load including braking load and traction load acting on an abutment.

③ Load shall be located and evaluated based on the most dangerous position or the place with the largest member force or stress.

$$P_{ae} = \frac{1}{2} K_{ae} \gamma h^2,\ V' = \sum V_i',\ H' = \sum H_i' + P_{ae},\ M' = V'e \qquad (11.4.3)$$

여기서, P_{ae} : 지진시 주동토압

K_{ae} : 지진시 주동토압계수

(4) 교대배면의 토압은 「제8장 교량 일반사항」에 따라 산출하여 안정검토시는 Rankine토압, 단면검토시는 Coulomb토압을 적용해야 한다.

(5) 토압 또는 부력 산정시, 수위는 일시상태에 대해서는 고수위 및 저수위로 평상시 상태 및 지진시 상태에 대해서는 평상시 수위로 해야 한다.

(6) 고정단 또는 가동(可動)단에 작용하는 수평하중은 「제8장 교량 일반사항」에 따라 산정해야 한다.

(7) 교대설계에서의 검토방향

교축직각방향에 대해서는 일반적으로 검토하지 않아도 좋으나 교축직각방향의 수평력이 큰 교대, 교축방향의 기초폭에 비하여 교축직각방향의 기초폭이 작은 교대, 교축직각방향의 폭이 특히 넓은 교대 등의 경우에 대해서는 교축직각방향에 대하여 검토해야 한다.

(8) 교각에 작용하는 하중의 조합

① 교각의 부재계산 및 안정계산에서의 일반적인 하중의 조합은 「제8장 교량 일반사항 8.3 설계방법 및 하중조합」에 따른다. 다만, 지진의 영향은 「8.8 내진설계」에 따른다.

② 각 교각의 설계에 사용되는 거더로부터의 수평력은 지지부의 구조, 하부 구조의 강성 등을 고려하여 구하는 것을 원칙으로 하며, 이 수평력은 받침상면에 작용하는 것으로 한다. 또한, 교축직각방향 수평력은 각각의 작용점에 작용하는 것으로 한다.

(9) 활하중의 재하방법

① 하부구조의 설계에 사용하는 활하중은 구조물에 가장 불리한 영향을 미치도록 계획해야 한다.

② 열차하중을 결정할 때는 교대에 작용하는 제동하중, 시동하중 등의 수평하중과 조합해야 한다.

③ 하중은 안정에 가장 위험을 주는 곳이나 부재력 및 응력이 가장 크게 되는 곳을 위주로 배치하여 검토해야 한다.

11.4.3 Design of support and wide structure

(1) Support

Support design shall be in accordance with 「8.7.1 Support, Chapter 8 Bridge General」.

(2) Wide structure

Shall be designed considering vertical crack and lateral differential settlement due to temperature variation and dry shrinkage.

11.4.4 Design of abutment

(1) Working earth pressure

① Earth pressure on abutment shall be in accordance 「8.2.2 (4) ③ Horizontal Earth Pressure, Chapter 8 Bridge general 」.

② Loading surface subject to earth pressure shall be in accordance with the following rules.

A. For gravity abutment, it will be the rear surface of a concrete structure.

B. For a reverse-T and buttress abutment, it will be the rear surface of the concrete structure when calculating the wall section, and the vertical rear surface perpendicular to the rear edge of a spread footing when calculating the stability.

(2) Reverse-T abutment

Wall, toe and heel plate of a reverse-T abutment shall be designed as cantilever.

(3) Buttress abutment

① Wall of a buttress abutment shall be designed as a continuous beam supported by buttresses.

② Buttress wall shall be fixed to the spread footing, and shall be the web of a T-shaped cantilever beam with variable height.

(4) Inclined abutment

Member and stability of an inclined abutment shall be calculated for the direction perpendicular to the rear surface and traverse axial direction.

(5) Design of parapet wall

Parapet wall of an abutment shall be designed to be safe against train load, earth pressure and train load impact working on the rear side of the abutment.

(6) Design of wing wall

Wing wall shall be designed as a plate subject to load and earth pressure due to live load. In this case, the plate shall be a cantilever plate fixed to the wall or a 2-sided plate fixed to the wall and the spread footing.

(7) Rear side of abutment

Abutment backfill shall be designed with stable material that can be compacted sufficiently.

11.4.3 받침부 및 폭이 큰 구체의 설계

(1) 받침부

받침부의 설계는「제8장 교량 일반사항 8.7.1 받침부」에 따른다.

(2) 폭이 큰 구체

폭이 큰 구체는 온도변화와 건조수축에 의한 연직균열 및 횡방향 부등침하를 고려해서 설계해야 한다.

11.4.4 교대의 설계

(1) 작용 토압

① 교대에 작용하는 토압은「제8장 교량 일반사항 8.2.2(4)③ 수평토압」에 따른다.

② 토압의 작용면은 다음 규정에 따른다.

가. 중력식 교대의 경우는 구체 콘크리트 배면으로 한다.

나. 역T형 교대와 부벽식 교대의 경우는, 벽의 단면 계산에서는 구체 콘크리트 배면, 안정계산에서는 확대기초 뒷쪽 연단에서 연직인 가상배면으로 한다.

(2) 역T형 교대

역T형 교대의 벽, 앞굽판 및 뒷굽판은 켄틸레버보로 설계해야 한다.

(3) 부벽식 교대

① 부벽식 교대의 벽은 부벽으로 지지된 연속보로 설계해야 한다.

② 부벽은 확대기초에 고정되고 보의 높이가 변화하는 T형 단면 켄틸레버보의 복부로 한다.

(4) 경사 교대

경사 교대의 부재계산과 안정계산은 배면의 직각방향 및 교축방향에 대해서 해야 한다.

(5) 흉벽의 설계

교대의 흉벽은 교대배면에 작용하는 열차하중과 토압 및 열차하중의 충격에 대하여 안전하도록 설계해야 한다.

(6) 날개벽의 설계

날개벽은 활하중에 의한 재하하중과 토압을 받는 판으로 설계해야 한다. 이 경우 판은 벽에 고정된 켄틸레버판 또는 벽과 확대기초에 고정되어진 2변 고정판으로 한다.

(7) 교대 배면

교대 뒤채움은 특별히 양질이고 충분히 다져지는 재료를 사용해서 설계 시공해야 한다.

(8) Design of abutment in a particular condition

The following cases shall be considered as particular conditions of an abutment, and shall be designed after comprehensively considering vertical and horizontal support, overturn, displacement and member strength.

① When cohesion of backfill is considered in calculating active earth pressure
② When soil behind abutment adjoins the cut original ground or structure
③ When an abutment is on soft ground
④ When an abutment is on slope
⑤ In case of square abutment
⑥ Abutment with extraordinary structure

11.4.5 Design of pier

(1) T-shape pier

① Design of overhanging beam

A. Overhanging beam of a pier shall be designed as a cantilever with the vertical section of beam as a fixed end.
B. Overhanging length of a cantilever beam shall be the distance from the vertical section to the beam end when the beam section is rectangular. For a round or regular polygon beam, the overhanging length shall be calculated after converting to the square beam section with the same sectional area. And for an oval beam, the overhanging length shall be calculated according to the rule for a round type, on the assumption that the section is semicircular or rectangular.
C. Overhanging beam shall also be designed considering horizontal force to the traverse axis.

② Column design

A. Column shall be designed for the most unfavorable axial force and the combination of bending moment.
B. Column design for axial force and bending moment shall be in accordance with 「Chapter 10 Concrete Bridge」.
C. In beam design, considerations in torsion shall be in accordance with 「Chapter 10 Concrete Bridge」.

③ Design of spread footing

Spread footing shall be designed in accordance with 「11.4.6」.

(2) Rahmen pier

① Since stress transfer is complex at joints of rahmen members due to sudden change in stress direction caused by cross sectional force, the jointed members shall be designed to securely transfer the cross sectional force to each other.

(8) 특수조건에서의 교대 설계

다음과 같은 경우에는 교대의 특수조건으로 보고 연직지지, 수평지지, 전도, 변위, 부재강도가 소요 안전도를 가지도록 관련 요소를 종합적으로 판단하여 설계해야 한다.

① 주동토압 계산시 배면토의 점착력을 고려하는 경우
② 교대배면이 절취한 원지반면 또는 구조물에 근접한 경우
③ 교대가 연약지반에 놓여 있는 경우
④ 교대가 경사면상에 놓여 있는 경우
⑤ 사각교대의 경우
⑥ 특수구조의 교대

11.4.5 교각의 설계

(1) T형 교각

① 내민보의 설계

가. 교각의 내민보는 기둥 전면의 연직단면을 고정단으로 하는 캔틸레버로 설계한다.

나. 캔틸레버보의 내민길이는 기둥단면이 직사각형인 경우 기둥 앞면에 있어서 연직 단면으로부터 보의 끝까지의 길이로 한다. 원형이나 정다각형 기둥인 경우는 기둥단면적과 같은 면적의 정사각형 기둥단면으로 치환하여 내민길이를 구한다. 또 기둥단면이 타원형인 경우에는 단면이 반원형과 직사각형으로 이루어진 것으로 하여 원형인 경우의 규정에 따라 내민길이를 구한다.

다. 내민보는 교축방향의 수평력에 대해서도 설계해야 한다.

② 기둥의 설계

가. 기둥은 가장 불리하게 작용하는 축력과 휨모멘트의 조합에 대해서 설계해야 한다.

나. 축력과 휨모멘트에 대한 기둥의 설계는 「제10장 콘크리트교」에 따른다.

다. 기둥의 설계에서 비틀림을 고려하는 경우는 「제10장 콘크리트교」에 따른다.

③ 확대기초의 설계

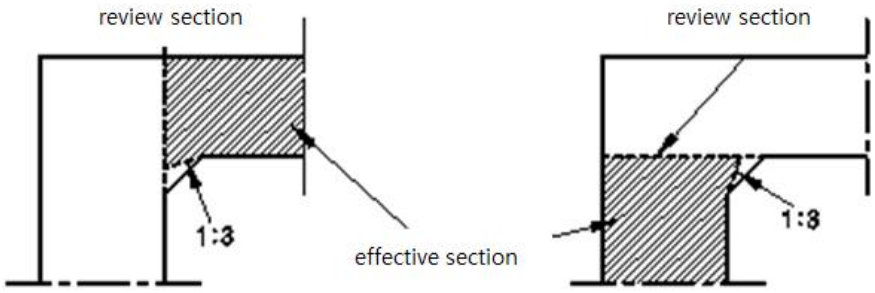
확대기초는 「11.4.6항」에 의하여 설계해야 한다.

(2) 라멘교각

① 라멘부재의 절점부는 접속하는 부재 상호간에 단면력이 확실히 전달되도록 해야 한다.

② In principle, haunch shall be attached to the corner of Rahmen member.

③ When reviewing the stress, the effective part of a haunch is shown in <Fig. 11.4.5>.



(a) Beam member (b) Column member

Fig. 11.4.5 Effective part of haunch

④ In calculating sectional force, axis shall be in agreement with the centroid axis of the member section.

⑤ Design bending moment of the Rahmen member joint shall be calculated as shown in <Fig. 11.4.6>.

⑥ Rahmen bridge pier without a continuous spread footing shall be designed considering differential settlement and relative horizontal movement.

⑦ In principle, sharing ratio of the beam to antiplane load of Rahmen bridge pier shall be determined according to the strength ratio, but when the difference in strength is insignificant, it may be shared in proportion to the axial force.

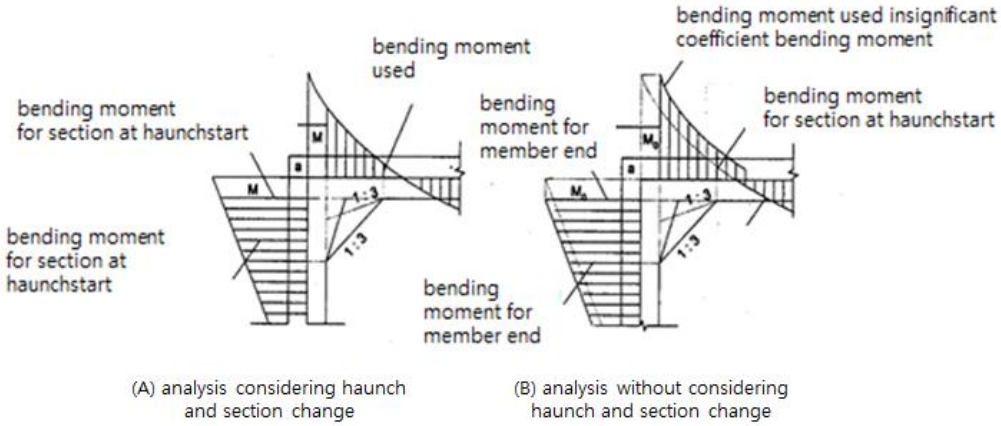
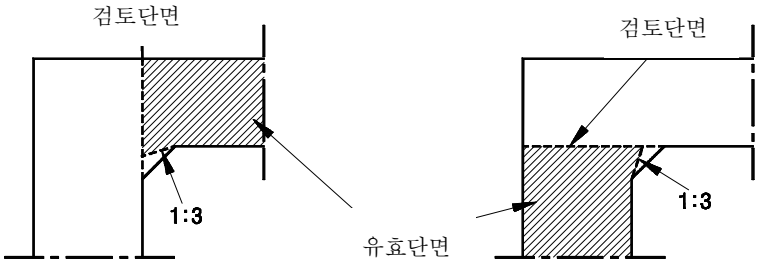


Fig. 11.4.6 Design bending moment of Rahmen member joint

② 라멘부재의 모서리는 헌치를 붙이는 것을 원칙으로 한다.

③ 응력을 검토하는 경우의 헌치의 유효부분은 <그림 11.4.5>와 같이 한다.



(a) 보 부재 (b) 기둥부재

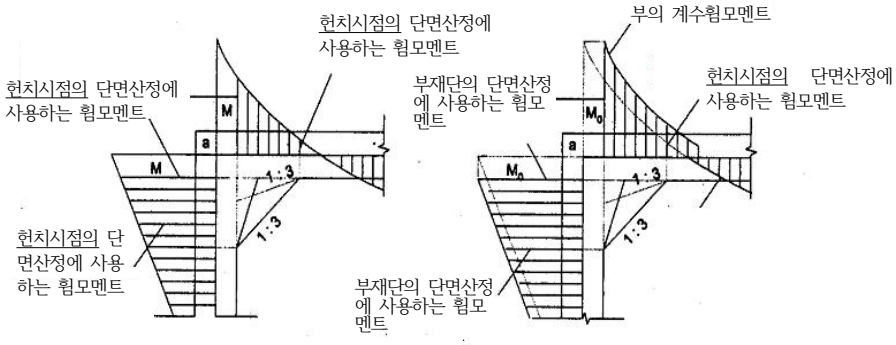
그림 11.4.5 헌치의 유효부분

④ 단면력을 산출할 때의 축선은 부재단면의 도심축선에 일치시키는 것으로 한다.

⑤ 라멘부재 절점부의 설계 휨모멘트는 <그림 11.4.6>과 같이 구한다.

⑥ 확대기초가 연속되어 있지 않은 라멘교각에서는 부등침하 및 상대적 수평이동을 고려해서 설계해야 한다.

⑦ 라멘교각의 면외하중에 대한 기둥의 분담률은 강도비에 따라 정함을 원칙으로 하나 기둥의 강도가 별 차가 없을 때는 축력에 비례하여 분배해도 된다.



(가) 헌치와 단면변화의 영향을 고려해서 해석하는 경우 (나) 헌치와 단면변화를 무시해서 해석하는 경우

그림 11.4.6 라멘부재 절점부의 설계 휨모멘트

⑧ Cantilever and beam shall be designed according to 「11.4.5 (1)」 and spread footing according to 「11.4.6」.

11.4.6 Design of spread footing

(1) General

① Spread footing shall be designed as a cantilever, simple beam, continuous beam and fixed beam.

② Spread footing shall basically consider self weight of a spread footing and load of surface soil. Spread foundation shall consider subgrade reaction and the pile foundation shall consider pile reaction and buoyancy under the most unfavorable conditions.

(2) Thickness of spread footing

In principle, spread footing shall have the thickness required to bear bending moment, shear force and punching shear force. In addition, the gradient on the top of spread footing shall be lower than 1: 2.

(3) Bending design

① Calculation of bending moment

A. Bending moment of an independent spread footing and wall spread footing shall be calculated as a cantilever beam.

B. Spread footing between the beams of a continuous spread footing shall be designed considering continuity and constraint conditions of a structure.

C. The part acting as the cantilever of a continuous spread footing shall be designed in the same way as the independent spread footing.

D. In the design section, bending moment shall be the bending moment generated by the load working on the entire spread footing of the front side of a beam or wall.

② Dangerous section exposed to bending

A. Dangerous section of a spread footing that supports the beam or wall of a rectangular section shall be the front side of a beam or wall.

B. Dangerous section of a spread footing that supports the beam with a steel base plate shall be in the middle of the steel plate edge and the front side of beam.

C. In determining a dangerous section, the spread footing that supports the round or regular polygon beam shall be considered as a square beam section with the same area as the beam sectional area.

(4) Shear design

① Dangerous section exposed to shear

When determining the shear strength of a spread footing, the most unfavorable condition among the following dangerous sections shall be adopted.

⑧ 내민보 및 기둥은 「11.4.5(1)항」의 규정, 확대기초는 「11.4.6항」에 따라 설계해야 한다.

11.4.6 확대기초의 설계

(1) 기본 사항

① 확대기초는 켄틸레버, 단순보, 연속보, 고정보 등 보 부재로 설계해야 한다.

② 확대기초는 확대기초 자중 및 흙 등의 상재하중을 기본적으로 고려한다. 또한, 직접기초에서는 지반반력, 말뚝기초에서는 말뚝반력 및 부력을 설계상 가장 불리한 방향으로 고려한다.

(2) 확대기초의 두께

확대기초는 휨모멘트, 전단력, 펀칭전단력 등에 대하여 부재로서 필요한 두께를 확보함과 동시에 강체로 취급되는 두께를 가져야 함을 원칙으로 한다. 또 확대기초 상면의 경사는 원칙적으로 1:2보다 완만하도록 한다.

(3) 휨설계

① 휨모멘트의 계산

가. 독립확대기초 및 벽확대기초의 휨모멘트는 켄틸레버보로서 산출한다.

나. 연속확대기초의 기둥사이의 확대기초부는 구조물의 연속성 및 구속조건을 고려하여 설계해야 한다.

다. 연속확대기초의 캔틸레버로서 작용하는 부분은 독립확대기초와 같이 설계해야 한다.

라. 설계단면에 있어서 휨모멘트는 기둥 또는 벽 앞면의 확대기초 전면적에 작용하는 하중에 의하여 발생하는 휨모멘트로 한다.

② 휨에 대한 위험단면

가. 직사각형단면의 기둥 또는 벽체를 지지하는 확대기초의 위험단면은 기둥 또는 벽체의 전면으로 한다.

나. 강철저판을 갖는 기둥을 지지하는 확대기초의 위험단면은 강철저판연단과 기둥전면의 중간으로 한다.

다. 원형이나 정다각형 기둥을 지지하는 확대기초는 기둥 단면적과 같은 면적의 정사각형 기둥단면으로 취급하여 위험단면을 결정한다.

(4) 전단설계

① 전단에 대한 위험단면

확대기초의 전단강도를 결정할 때는 다음 위험단면 중 가장 불리한 것으로 해야 한다.

A. Unidirectional dangerous section shall be the plane across the entire width at d distance from the front side of a beam or wall.

B. Bidirectional dangerous section shall be the plane vertical to the circumference at d/2 distance from the zone that receives concentrated load or reaction.

C. In the spread footing supported by pile, the shear strength of a dangerous section shall be determined in accordance with Concrete Design Standard 「12.3.2」.

② Shear strength and design

Shear strength and design of a spread footing shall be in accordance with 「Chapter 10 Concrete Bridge」.

(5) Arrangement of flexural reinforcement

① Main reinforcement of a spread footing shall be arranged in two directions, and the direction shall be determined considering pile arrangement.

② Flexural reinforcement of a unidirectional spread footing and square spread footing shall be uniformly distributed over the entire width.

③ Flexural reinforcement of a bidirectional rectangular spread footing shall be arranged as follows.

A. Flexural reinforcement on a longer side shall be uniformly distributed over the entire width.

B. The quantity of flexural reinforcement on a shorter side shall be determined according to <Eq. (11.4.4)> and uniformly distributed over the same width of central zone as the shorter side of a spread footing, and the center line of the width of the central zone shall be the center line of a beam or a pier. The remaining reinforcement shall be uniformly distributed over the external part of the width of central zone.

$$A_{s,m} = \frac{2}{1+\beta} A_{s,s} \qquad (11.4.4)$$

Where, $A_{s,m}$: Reinforcement over the width of central part of a foundation (mm^2)

$A_{s,s}$: Total reinforcement required for the shorter side of a foundation (mm^2)

β: Ratio of a longer side to a shorter side of a foundation

④ Reinforcement on the top shall be at least 1/3 of reinforcement at the bottom.

⑤ Reinforcement shall be placed on the top when pullout force occurs on pile.

가. 1방향작용의 위험단면은 기둥 또는 벽체의 전면에서 d거리에 위치하는 전체폭을 가로지르는 평면으로 한다.

나. 2방향작용의 위험단면은 집중하중이나 반력을 받는 구역에서 d/2 거리에 위치하는 둘레에 수직하는 평면으로 한다.

다. 말뚝으로 지지된 확대기초에서는 위험단면의 전단력은 콘크리트구조설계기준「12.3.2항」에 따라 결정되어야 한다.

② 전단강도 및 설계

확대기초의 전단강도 및 설계는「제10장 콘크리트교」에 따른다.

(5) 휨철근의 배근

① 확대기초의 주철근은 2방향으로 배근하고, 배근방향은 말뚝배치를 고려해야 한다.

② 1방향 확대기초와 정사각형 확대기초의 휨철근은 전폭에 걸쳐 균등하게 배치해야 한다.

③ 2방향 직사각형 확대기초의 휨철근은 다음과 같이 배치해야 한다.

가. 긴 변 방향의 휨철근은 전폭에 걸쳐 등간격으로 배치해야 한다.

나. 짧은 변 방향의 휨철근은 <식 (11.4.4)>으로 결정되는 철근량을 확대기초의 짧은 변의 폭만큼의 중심구간 폭에 걸쳐 균등하게 배치해야 하며, 중심구간폭의 중심선은 기둥 또는 교각의 중심선으로 한다. 나머지 철근량은 기초 중심구간 폭의 외측부분에 균등하게 배치해야 한다.

$$A_{s,m} = \frac{2}{1+\beta} A_{s,s} \quad (11.4.4)$$

여기서, $A_{s,m}$: 기초 중심구간 폭에 배치해야 할 철근량(mm^2)

$A_{s,s}$: 기초 짧은 변 방향에 대하여 필요한 총 철근량(mm^2)

β : 확대기초의 짧은 변에 대한 긴 변의 비

④ 윗면 철근은 아랫면 철근의 1/3 이상을 배근해야 한다.

⑤ 말뚝에 인발력이 생기는 경우는 윗면에 철근을 배근한다.

11.5 Basic requirements of foundation design

11.5.1 Type of foundation

(1) Classification of foundation

Foundation types are classified into shallow foundation and deep foundation. Shallow foundation directly transmits load from the superstructure to the ground through the bottom of the foundation, and includes independent foundation (spread footing), continuous foundation, complex foundation and mat foundation. Deep foundation transmits load from the superstructure to the ground through the tip and principal plane of a foundation, and it includes pile foundation and caisson foundation.

(2) Determination of foundation

A type of foundation shall be determined after reviewing topographic and geological condition, structure, construction and environment condition based on investigation results defined in 「Chapter 3」 and 「11.2.1」.

11.5.2 Bearing layer of foundation

(1) Stable bearing layer

Stable bearing layer may vary depending on the importance of the structure and the load scale, and is generally based on the following.

① Review shall be carried out when cohesive soil is bearing layer.

② Sandy soil is considered as a stable bearing layer if N value is 30 or more.

③ For a bearing layer with high strength and uniform rock, it is possible to expect a large bearing capacity. However, when discontinuity exists or slaking is expected, review of the effect shall be carried out.

(2) Shallow foundation and caisson foundation

① Shallow foundation shall be directly supported by the stable bearing layer because little lateral friction is expected.

② Caisson foundation shall be penetrated into the stable bearing layer.

(3) Pile foundation

① Embedment depth (penetration depth) of a pile foundation shall be determined considering the type and function of a superstructure, pile support and constructability.

② Penetration depth of the point into the bearing layer shall be greater than the pile diameter.

③ When a bearing pile is not applicable or is cost inefficient considering the type and function of a superstructure, load, constructability and geological conditions, particularly the depth of the bearing layer, a friction pile may be used after securing the required embedment depth.

11.5 기초 설계의 기본 사항

11.5.1 기초의 종류

(1) 기초의 구분

기초의 종류에는 얕은기초와 깊은기초가 있다. 얕은기초는 상부구조물의 하중을 기초저면을 통하여 지반에 직접 전달하는 기초형식으로 독립기초(확대기초), 연속기초, 복합기초, 전면기초 등이 있다. 깊은기초는 상부구조물의 하중을 기초의 선단과 주면을 통하여 지반 속에 전달하며, 여기에는 말뚝기초, 케이슨기초 등이 있다.

(2) 기초의 선정

기초의 종류는 「제3장」 및 「11.2.1항」에서 규정한 조사결과를 토대로 지형 및 지질조건, 구조물의 특성, 시공조건, 환경조건 등을 상세히 검토한 후에 선정해야 한다.

11.5.2 기초의 지지층

(1) 양질의 지지층

양질의 지지층은 구조물의 중요도나 기초에 작용하는 하중의 규모에 따라 달라질 수 있으므로, 일반적으로 다음 사항을 표준으로 한다.

① 점성토층을 지지층으로 할 때는 검토가 필요하다.

② 사질토층은 N값이 약 30 이상이면 양질의 지지층으로 한다.

③ 강도가 크고 균질한 암반을 지지층으로 하는 경우에는 큰 지지력을 기대할 수 있다. 그러나 암반에 불연속면이 존재하거나 슬레이킹(Slaking) 등의 영향을 받기 쉬운 경우에는 이들 영향에 대하여 검토를 해야 한다.

(2) 얕은기초 및 케이슨기초

① 얕은기초는 측면마찰력을 거의 기대할 수 없으므로 양질의 지지층에 직접 지지시켜야 한다.

② 케이슨기초는 양질의 지지층에 관입시켜야 한다.

(3) 말뚝기초

① 말뚝기초의 근입깊이(관입깊이)는 상부구조의 형식과 기능, 말뚝의 지지방식, 시공성 등을 고려하여 결정해야 한다.

② 지지말뚝에서 말뚝선단의 지지층 내 근입깊이는 말뚝지름 이상을 확보해야 한다.

③ 상부구조의 형식이나 기능, 하중규모, 시공성, 지질조건, 특히, 지지층의 깊이 등을 종합적으로 고려하여 지지말뚝으로 하는 것이 불가능하거나 비경제적인 경우에는 필요한 근입깊이를 확보해서 마찰말뚝을 사용할 수도 있다.

④ Negative skin friction shall be reviewed at landfill where settlement is in process.

11.5.3 Design ground surface

(1) Design ground surface at normal condition

Design ground surface of a foundation structure shall have bearing capacity for an extended period, and shall be determined by considering the following.

① Scouring

② Consolidated settlement

③ Freezing and thawing

④ Ground disturbance by constriction activities

⑤ Impact by floating matters, ice floe or vessel

(2) Design ground level for seismic design

In seismic design, ground level shall be the foundation bottom for shallow and pile foundation, while it shall be the slab top for caisson foundation. However, when soil layer exists even at the foundation bottom or on the top of caisson top slab, the bottom level of soil layer shall be the ground level.

(3) Determination of design ground level

The most unfavorable condition for foundation design shall be adopted as a design ground level, among the following cases.

① Permanent and temporary state

② Seismic state

11.5.4 Soil parameters

Soil parameters necessary for foundation design shall be determined after comprehensively considering geotechnical investigation and soil test. In extraordinary ground conditions, correction shall be made depending on load condition.

11.5.5 Displacement of foundation and subgrade reaction

(1) Displacement of foundation

Displacement of foundation includes elastic displacement due to short-term load and displacement due to continuous load. Elastic displacement refers to the displacement when the load acting on a foundation is within the allowable range and within the range that the ground can be considered as elastic body. Displacement due to continuous load includes consolidated settlement and secondary compressive settlement.

④ 지반침하가 진행되고 있는 매립지 등에서는 부주면마찰력의 영향을 받으므로 이에 대한 검토를 해야 한다.

11.5.3 설계지반면

(1) 평상시의 설계지반면

기초구조물의 설계지반면은 오랫동안에 걸쳐서 안정된 지층으로 지지력을 기대할 수 있어야 하며, 다음 사항을 고려하여 정해야 한다.

① 세굴

② 압밀침하

③ 동결융해

④ 시공에 의한 지반의 흐트러짐

⑤ 홍수시의 부유물, 동절기의 부빙(浮氷), 또는 선박의 충돌 등의 영향

(2) 내진설계시의 설계지반면

얕은기초와 말뚝기초는 기초바닥, 케이슨기초는 상부 슬래브의 윗면을 내진설계시의 지반면으로 정해야 한다. 단, 토층이 기초바닥이나 케이슨 상부슬래브의 윗면까지 존재하는 경우에는 이들 토층의 바닥면을 지반면으로 취해야 한다.

(3) 설계지반면의 결정

설계상 지반면은 다음 조건 중에서 기초설계에 가장 불리한 조건을 택하여 결정한다.

① 상시 및 일시상태

② 지진시 상태

11.5.4 지반정수

기초의 설계에 필요한 지반의 여러 정수는 지반조사 및 토질시험의 결과를 종합적으로 판단해서 정해야 한다. 특수한 지반조건에서는 하중조건에 따라 보정해야 한다.

11.5.5 기초의 변위량과 지반반력

(1) 기초의 변위량

기초의 변위량에는 단기하중에 의한 탄성변위량과 지속하중에 의한 변위량이 있다. 탄성변위량은 기초에 작용하는 하중이 허용범위 내에 있고 지반을 탄성체로 취급할 수 있는 범위 내의 변위량이다. 지속하중에 의한 변위량에는 압밀침하량과 2차 압축침하량이 있다.

(2) Estimate of elastic displacement and subgrade reaction

Elastic displacement and subgrade reaction due to the load on a foundation shall be estimated from the subgrade reaction coefficient based on the assumption that the ground is an elastic body.

(3) Estimate of consolidated settlement

Consolidated settlement shall be estimated when there is a cohesive soil layer that may cause consolidation under the foundation level.

Consolidated settlement at the cohesive soil layer shall be calculated for the increment of vertical stress in the ground due to the load working on the foundation, and to this end, the result of a consolidation test of a cohesive soil sample is needed.

When multiple consolidation layers with different properties exist, the sum of consolidated settlement for each layer shall be obtained.

(4) Subgrade reaction coefficient

This shall be calculated from a variety of investigation and test results, and it shall be grouped according to the type of foundation after considering the type of foundation, loading width, ground condition and foundation design condition.

(5) Ground displacement during earthquake

Ground displacement during earthquake shall be calculated based on whether the ground conditions reflect A, B or C below. Ground is defined as follows.

① Condition A: When ground strength is uniform along the depth of surface ground.

② Condition B: When ground strength is low at the top and high at the bottom of surface ground distributed in a triangular shape.

③ Condition C: When ground strength of surface ground is divided into double layers or more.

(6) Review of structure displacement

Displacement is categorized into vertical displacement (settlement or heaving), horizontal displacement and slant (rotation). Displacement of a structure in an earthquake shall be calculated as follows.

① Displacement of a structure shall be calculated considering the type and scale of load, ground characteristics and rigidity of the foundation and structure.

② Displacement of a structure shall be within the allowable value stipulated in the specification.

③ Allowable displacement of a structure and foundation shall be determined considering the structure supporting a train, structure crossing the river, road and track and statically indeterminate structure.

④ Allowable displacement of a foundation shall be determined considering the allowable displacement of a structure and the effect of foundation displacement on the ground.

(2) 탄성변위량과 지반반력의 산정

기초에 작용하는 하중에 의한 탄성변위량과 지반반력은 지반을 탄성체로 보고 지반반력계수로부터 산출한다.

(3) 압밀침하량의 산정

① 압밀침하량은 기초 바닥면아래에 압밀을 일으킬 수 있는 점성토층이 존재하는 경우에 산출한다.

② 점성토층의 압밀침하량은 기초에 작용하는 하중에 의한 지반 내의 수직응력의 증가량에 대해서 구하며, 압밀침하량을 계산하기 위해서는 점성토의 비교란시료에 대한 압밀시험의 결과가 필요하다.

③ 특성이 다른 여러 압밀층이 있는 경우에는 각 층의 압밀침하량을 합하여 구한다.

(4) 지반반력계수

지반반력계수는 각종의 조사와 시험 결과를 이용하여 구하고, 기초의 종류, 재하폭, 지반조건, 기초의 설계조건 등을 고려하되, 기초의 종류별로 구분하여 산정한다.

(5) 지진시의 지반의 변위량

지진시의 지반의 변위량은 A, B, C의 3종 지반상태로 나누어 산정해야 한다. 여기에서 각 지반의 정의는 다음과 같다.

① A 지반 : 지반의 강도가 표층지반의 깊이방향으로 균일한 경우

② B 지반 : 지반의 강도가 표층지반의 상부는 작고 하부에서 큰 삼각형 분포의 경우

③ C 지반 : 표층지반의 강도가 2층 이상으로 나누어지는 지반

(6) 구조물의 변위검토

변위의 형태는 연직변위(침하 또는 융기), 수평변위, 경사(회전)로 구분된다. 지진시의 구조물의 변위량은 아래와 같이 산정해야 한다.

① 구조물의 변위량은 하중의 종류와 크기, 지반의 성질, 기초와 구조물의 강성 등을 감안하여 산정해야 한다.

② 구조물의 변위량은 시방서에서 규정한 허용변위량 이내이어야 한다.

③ 구조물과 기초의 허용변위량은 열차를 지지하는 구조물, 하천, 도로, 철도 등을 횡단하는 구조물, 부정정 구조물 등을 고려하여 정해야 한다.

④ 기초의 허용변위량은 구조물의 허용변위량과 기초의 변위에 따른 지반의 영향을 고려하여 정해야 한다.

11.5.6 Deep foundation on ground where consolidated settlement occurs

When installing a deep foundation including pile foundation or caisson foundation on a stable bearing layer through the ground where consolidated settlement occurs, it is necessary to ensure that there is negative skin friction occurring on the principal plane, no possibility of horizontal resistance due to settlement of design ground surface, and a reduction of vertical resistance.

11.5.7 Foundation subject to eccentric load

(1) When lateral movement of a foundation is likely to occur in the structure subject to eccentric load due to embankment load such as abutment on soft ground, its potential effects shall be reviewed.

(2) To prevent lateral movement, it is necessary to reduce the eccentric load by lowering the abutment height or reinforcing the foundation ground of an abutment. In addition, when determining a construction method, it is necessary to improve the stability of embankment ground.

11.5.8 Seismic design

(1) Seismic design of a foundation shall be in accordance with the Equivalent Static Analysis Method. However, for a structure with a long natural period, or when it is necessary to analyze the soil-structure dynamic interaction, the dynamic analysis method may be used.

(2) The structure with a natural period more than 2 seconds shall be designed according to the dynamic analysis method, considering the characteristics of ground.

(3) When ground displacement is likely to be significant, such as with soft ground, it shall be considered in designing a structure.

11.5.9 Load and load combination

(1) In foundation design, load condition is divided into ordinary, temporary and seismic state depending on loading time and frequency in order to review the stability and settlement for each state. In addition, it is necessary to review load and structure system during construction, which is different from ordinary state.

(2) Load combination used for structure design shall be in accordance with the Structure Design Standard, and in addition, buoyancy and the load due to ground settlement shall be considered in foundation design, and other load combinations may be taken into account where necessary.

11.5.6 압밀침하가 생기는 지반의 깊은기초

압밀침하가 생기는 지반을 관통하여 양질의 지지층에 말뚝기초나 케이슨기초와 같은 깊은기초를 설치할 경우에는 기초 주면에 생기는 부주면마찰력, 설계지반면이 지반침하의 영향으로 변화함에 따라 수평저항을 기대할 수 없는 부분의 발생, 연직 저항의 저하 등에 대하여 검토해야 한다.

11.5.7 편심하중을 받는 기초

(1) 연약지반에 설치한 교대와 같이 성토하중에 의해 평상시에 편심하중을 받는 구조물에서 기초의 측방이동의 염려가 있는 경우에는 그 영향에 대하여 검토해야 한다.

(2) 측방이동에 대한 대책으로는 교대 높이를 낮추어 편심하중을 작게 하거나, 교대의 기초지반을 개량하는 방법 등을 고려할 수 있다. 또한 공법 선정시 성토지반의 안정성을 향상시키는 것이 필요하다.

11.5.8 내진설계

(1) 기초의 내진설계는 기본적으로 등가 정적해석법에 의한다. 단, 고유주기가 긴 구조물 또는 지반-구조물 동적 상호작용을 엄밀히 분석할 필요가 있는 경우에는 동적해석법을 적용하여 설계할 수 있다.

(2) 지반의 특성을 고려하여 구조물의 고유주기가 2초 이상인 구조물은 동적해석법에 의하여 설계한다.

(3) 연약한 지반과 같이 지반의 변위가 크게 발생할 수 있는 경우에는 이를 고려하여 구조물을 설계할 필요가 있다.

11.5.9 하중 및 하중조합

(1) 기초설계에는 주로 하중 재하시간과 빈도 등을 감안하여 하중상태를 상시, 일시 및 지진시의 3가지로 구분한 후, 각각의 상태에 대한 안정성과 침하량을 검토해야 한다. 또한 하중과 구조계가 상시와 다른 건설 중에 대해서도 검토할 필요가 있다.

(2) 구조물의 설계에 사용되는 하중조합은 구조물 설계표준에 규정되어 있으므로 그것을 따르되, 기초설계에 있어서는 그 외에도 부력, 지반변위에 의한 하중 등을 고려할 필요가 있다. 또한, 필요에 따라 다른 하중조합을 고려할 수도 있다.

(3) In design calculation, load direction is generally considered to be traverse axial or perpendicular to the traverse axis. However, other directions shall be reviewed where necessary, considering structure and foundation shape and angle of slope.

11.5.10 Material quality

(1) The quality of reinforcement and concrete used for foundation, caisson body and cast-in-situ pipe shall be in accordance with the Concrete Standard Specification (2009).
(2) Steel pile shall be in accordance with Korean Industrial standards (KS) or the equivalent depending on the type and use.
(3) Precast pile shall be in accordance with Korean Industrial standards (KS) or the equivalent depending on the type and use.

11.5.11 Allowable stress

(1) Allowable stress for the base of a shallow foundation and a pile foundation and the body of caisson foundation shall be in accordance with 「11.3.6 Allowable Stress」.
(2) Allowable stress of a cast-in-situ pile shall be in accordance with 「11.3.6 Allowable Stress」.
(3) Allowable stress of a steel pipe pile and precast concrete pile shall be determined depending on the type of steel and concrete.
(4) Allowable stress for load combination shall be calculated by multiplying the standard allowable stress by the factor in 「8.3.3 Allowable Stress Design Method, Chapter 8 Bridge General」.
(5) Allowable stress during construction shall be determined according to the characteristics of load.

11.5.12 Effective embedment depth of foundation

When determining the effective embedment depth used for calculating vertical bearing capacity, generally, ground surface may be the design ground surface at ordinary state.

11.5.13 Evaluation of liquefaction potential

(1) Evaluation shall be carried out as a simple evaluation followed by a detailed evaluation.
(2) The simple evaluation shall use the Seed and Idriss method.
(3) The detailed evaluation shall use the seismic response analysis and seismic laboratory triaxial test.

(3) 설계계산에 있어서 하중 작용방향은 일반적으로 교축방향과 교축 직각방향을 고려하나, 구조물과 기초의 형상, 경사각 등에 의해 필요하다고 생각되는 방향에 대해서도 검토해야 한다.

11.5.10 재료의 품질

(1) 기초, 케이슨본체 및 현장타설말뚝 등에 사용하는 철근과 콘크리트의 품질은 콘크리트 표준시방서(2009)를 따른다.

(2) 강(鋼)말뚝은 그 종류에 따라 그에 해당되는 한국산업표준(KS)에 맞는 품질이나 그 이상의 것을 사용해야 한다.

(3) 기성 콘크리트 말뚝은 그 종류에 따라 그에 해당되는 한국산업표준(KS)에 맞는 품질이나 그 이상의 것을 사용해야 한다.

11.5.11 허용응력

(1) 얕은기초의 기초, 말뚝기초의 기초 및 케이슨본체의 허용응력은 「11.3.6 허용응력」의 값을 기준으로 해야 한다.

(2) 현장타설말뚝의 허용응력은 「11.3.6 허용응력」의 값을 기준으로 해야 한다.

(3) 강관 말뚝 및 기성 콘크리트 말뚝의 허용응력은 강재 및 콘크리트 종류에 따라 정해야 한다.

(4) 조합하중에 대한 허용응력은 기준 허용응력에 「제8장 교량 일반사항 8.3.3 허용응력 설계법」에 규정된 계수를 곱하여 얻는 값으로 해야 한다.

(5) 시공시의 허용응력은 하중의 성질에 따라 정해야 한다.

11.5.12 기초의 유효근입깊이

연직지지력 산정에 사용되는 기초의 유효근입깊이를 구하는 경우의 지표면은 일반적으로 상시상태의 설계 지반면을 취할 수 있다.

11.5.13 액상화 평가

(1) 액상화 평가는 간이평가와 상세평가의 순서로 수행해야 한다.

(2) 액상화 간이평가 방법은 Seed와 Idriss방법 등을 사용한다.

(3) 액상화 상세평가는 지진응답해석과 실내 진동삼축시험을 사용한다.

11.5.14 Foundation of statically indeterminate structure

Performance of structure at service load shall be determined by elastic analysis, considering reactions, moments, shears, and axial forces induced by prestressing, creep and shrinkage of concrete, temperature change, axial deformation, restraint of attached structural elements, and foundation settlement.

11.6 Geotechnical design of shallow foundation

11.6.1 Basic condition

(1) Shallow foundation shall be used when a stable bearing layer exists near the ground surface without compressible soil layer, and settlement is unlikely to exceed the allowable limit.

(2) The design of a shallow foundation shall conform to the following conditions.

① Bearing capacity against external force acting on a shallow foundation shall be secured.

② Displacement shall be within the allowable limit.

③ Each member of a shallow foundation shall have the required strength.

(3) It is necessary to review the effect on a structure depending on the deformation of surrounding ground and geological conditions, and the foundation bottom shall be located below the frost penetration depth.

11.6.2 Sharing of load

(1) It is necessary to take into account the vertical load working on the top of foundation, self load of foundation, water pressure at the bottom of foundation, horizontal load and moment when calculating the bearing capacity of a shallow foundation and settlement.

(2) As significant lateral friction resistance cannot be expected from a shallow foundation, vertical load is assumed to be supported by vertical ground reaction force at the bottom of the shallow foundation alone.

(3) As the embedment depth in the stable bearing layer is shallow, horizontal load is assumed to resist at an embedment level, but to resist only with shear force at the bottom of the foundation. However, when the stable bearing layer is expected near the ground surface, it is possible to share horizontal load at an embedment level.

11.6.3 Vertical bearing capacity of shallow foundation

(1) Shallow foundation shall be designed to have sufficient bearing capacity to protect the subgrade at a shallow foundation from failure (whole, local or punching failure)

11.5.14 부정정 구조물의 기초

부정정 구조물에서는 기초의 안정검토와 구조물의 단면력 산정, 기초에 작용하는 하중의 산정 등을 구할 때 구조물과 기초를 함께 고려한 종합적인 검토가 필요하다.

11.6 얕은기초의 지반공학적 설계

11.6.1 기본조건

(1) 얕은기초는 지표면 가까운 곳에 견고한 지지층이 존재하고 그 아래 압축성이 큰 토층이 존재하지 않아서 침하량이 허용치를 초과할 가능성이 없을 때 사용한다.

(2) 얕은기초의 설계는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

① 얕은기초에 작용하는 외력에 대하여 지지력이 확보 될 것.

② 얕은기초의 변위가 허용치 이내일 것.

③ 얕은기초의 각 부재가 소요의 강도를 가질 것.

(3) 기초 주변의 변형, 지질 등의 조건에 따라서 구조물의 영향이 미치는 범위의 안정에 대해서도 검토해야 하며 기초저면은 최소한 동결심도보다 하부에 위치해야 한다.

11.6.2 하중의 분담

(1) 얕은기초의 지지력 및 침하량 계산시에는, 기초 상부에 작용하는 연직하중, 기초의 자중, 기초저면에 작용하는 수압, 수평하중, 모멘트 등을 고려한다.

(2) 얕은기초는 측면의 마찰저항을 거의 기대할 수 없으므로 연직하중은 얕은기초 저면지반의 연직지반반력만으로 지지되는 것으로 한다.

(3) 얕은기초는 양질의 지지층에 근입된 깊이가 작기 때문에 수평하중은 근입부분에서는 저항하지 않고 기초저면의 전단력만으로 저항하는 것으로 한다. 다만, 안정된 지지층을 지표면 근처에서 확보할 수 있는 경우에는 근입부분에 수평하중을 분담시킬 수 있다.

11.6.3 얕은기초의 연직지지력

(1) 얕은기초는 기초가 놓인 지반이 파괴(전반, 국부, 펀칭파괴)되지 않는 지지력을 갖도록 설계해야 한다.

(2) Allowable vertical bearing capacity of the ground shall be calculated by dividing ultimate vertical bearing capacity by a certain factor of safety.
(3) Theoretical ultimate bearing capacity shall be determined considering ground condition, load condition (slope load, eccentric load) foundation shape, embedment depth, gradient and groundwater. When calculated bearing capacities differ from each other, it shall be determined at the discretion of the designer.
(4) When calculating the bearing capacity in an empirical way, it shall be applied differently depending on size of foundation, embedment depth and groundwater level.
(5) Bearing capacity may be determined according to the plate load test, standard penetration test, cone penetration test, borehole loading test and field vane test considering ground condition, boundary condition and test characteristics.
(6) When a foundation is on a rock layer, bearing capacity shall be calculated considering rock strength, discontinuity, weathering and groundwater level.

11.6.4 Horizontal bearing capacity of shallow foundation

(1) Allowable horizontal bearing capacity of a shallow foundation shall be calculated by dividing shear bearing capacity at the bottom of the foundation by a certain factor of safety. When a stable bearing layer is not available near the ground surface, passive earth pressure acting on the foundation divided by the factor of safety may be considered as the allowable horizontal bearing capacity.
(2) When shear resistance at the bottom of a foundation is insufficient, shear resistance could be increased by installing a sliding-prevention wall. When the sliding-prevention wall is installed, shear resistance shall be calculated in parallel with the bottom of the foundation through the tip of the sliding-prevention wall, rather than the resistance at the bottom of foundation, and this shear plane shall serve as a virtual foundation.

11.6.5 Overturn of shallow foundation

A foundation and structure shall be designed to be safe against overturn due to the load on the foundation.

11.6.6 Settlement of shallow foundation

(1) Settlement of a shallow foundation includes immediate settlement, primary consolidated settlement and secondary consolidated settlement. Settlement shall be calculated for the ground within the depth where the increase in underground stress due to foundation load is not low relative to the initial stress. The structure on a embankment layer shall consider a long-term settlement (creep settlement) of embankment layer itself.

(2) 지반의 허용연직지지력은 극한연직지지력을 소정의 안전율로 나눈 값으로 한다.
(3) 이론적인 극한 지지력은 지반조건, 하중조건(경사하중, 편심하중), 기초형상, 근입깊이, 지반경사, 지하수 영향 등을 고려하여 산정하며, 지지력 계산 방법에 따라 서로 다른 지지력이 계산될 경우에는 설계자의 판단에 따라 적용방법을 선택한다.
(4) 경험적 방법으로 지지력을 산정하는 경우에는 각 방법의 적용조건을 고려하여 신중하게 적용해야 하며, 기초의 크기, 근입깊이, 지하수위 등에 따라 수정하여 적용한다.
(5) 평판재하시험, 표준관입시험, 콘관입시험, 공내재하시험, 현장베인시험 등의 현장시험 결과를 이용하여 지반의 지지력을 산정할 수 있으며, 지반상태, 경계조건, 시험특성을 고려한다.
(6) 암반에 기초가 놓이는 경우에는 암석의 강도, 불연속면의 특성, 풍화정도, 지하수 등을 고려하여 지지력을 산정한다.

11.6.4 얕은기초의 수평지지력

(1) 얕은기초의 허용수평지지력은 기초저면의 전단지지력을 소정의 안전율로 나눈 값으로 한다. 지표면 근처에서 안정된 지지층을 확보할 수 있는 경우에는 기초전면에 작용하는 수동토압을 안전율로 나눈 값을 적용하여 허용수평지지력으로 고려할 수 있다.
(2) 기초저면에 있어서 전단저항력이 부족할 경우에는 활동방지벽을 설치하여 전단저항력을 증가시킬 수 있다. 활동방지벽을 설치한 경우의 전단저항력은 기초저면이 아니라 활동방지벽의 선단을 통하는 기초저면과 평행한 면을 따라 전단저항력을 산출하며, 이 전단면을 가상의 기초저면으로 한다.

11.6.5 얕은기초의 전도

기초에 가해진 하중에 따라 기초와 구조물이 전도되지 않도록 안전성을 확보해야 한다.

11.6.6 얕은기초의 침하

(1) 얕은기초의 침하는 즉시침하, 1차압밀침하, 2차압축침하를 합한 것을 말하며, 기초하중에 의해 발생된 지중응력의 증가량이 초기응력에 비해 상대적으로 작지 않은 영향깊이 내 지반을 대상으로 침하를 계산한다. 쌓기층에 놓이는 구조물은 쌓기층 자체의 장기침하(Creep 침하)를 고려해야 한다.

(2) Immediate settlement could be calculated using elastic theory, load-settlement curve of plate loading test and deformation modulus obtained from the borehole loading test.
(3) If differential settlement with a different size of settlement depending on the location of a structure occurs, it may cause a crack in the structure or inclination, influencing the performance and safety of the structure. For this reason, differential settlement shall not exceed the allowable limit.
(4) Allowable settlement may be classified as uniform settlement, differential settlement and angular displacement, and shall be separately determined depending on the type, shape and function of a structure, and unless otherwise specified herein, an international standard shall be applied.
(5) Generally, ground settlement behavior is predicted based on the limited data on a specific location. As there is a limit to the applicability of the predicted value of the ground settlement behavior, the predicted ground settlement shall be validated through field investigation.
(6) It is necessary to confirm that the settlement pace and scale under working load condition conform to the prediction, and to monitor the settlement for a certain period of time even after the structure has been built, where necessary.

11.6.7 Subgrade reaction coefficient

(1) Subgrade reaction coefficient shall be used in calculating the displacement by ground elastic deformation and subgrade reaction, as well as in analyzing the stability of shallow foundation.
(2) As the subgrade reaction coefficient depends on the ground deformation coefficient, the shape, dimension and stiffness of the loading surface, the scale of ground deformation, the loading rate and cycle, these shall be considered in determining the coefficient.

11.6.8 Shallow foundation design under specific conditions

The following specific conditions shall be considered in designing a shallow foundation.

(1) When the bearing layer is a soil layer with low strength or for a high structure, seismic effect shall be considered in design.
(2) When there is a significant change in the bearing layer, the slope adjoins, foundation layer is at least a double layer, or plane dimension is quite large, all related factors shall be considered comprehensively.
(3) When subgrade strength cannot be recovered due to ground disturbance or compaction, or the work stages are integrated, stability review shall be carried out.

(2) 즉시침하는 탄성이론, 평판재하시험의 하중-침하 곡선, 공내재하시험에서 구한 변형계수 등을 이용하여 산정할 수 있다.
(3) 구조물의 위치에 따라 침하의 크기가 다른 부등침하가 일어나면 구조물에 균열이 발생되거나 구조물이 기울어져 기능과 안전성에 영향을 받으므로, 부등침하가 허용치를 초과하지 않도록 해야 한다.
(4) 허용침하량은 균등침하, 부등침하, 각변위 등으로 규정할 수 있으며 구조물의 종류, 형태, 기능에 따라 별도로 정한다. 별도의 기준이 없는 경우에는 국제적인 기준을 적용한다.
(5) 일반적으로 지반의 침하거동은 특정지점에 대한 제한된 자료로부터 예측된다. 따라서 지반의 침하거동의 예측치를 실제에 적용하는 데에는 한계성이 있으므로 예측한 지반의 침하거동은 현장측정을 통해서 확인되어야 한다.
(6) 사용하중상태에서 침하속도 및 침하량이 예측값과 부합되는지를 판단하고 대책이 요구되는 경우 구조물 준공 후 일정기간동안 침하를 관측한다.

11.6.7 지반반력계수

(1) 지반반력계수는 지반의 탄성변형에 의한 변위량과 지반반력을 계산하고 얕은기초의 안정을 해석하는데 이용한다.
(2) 지반반력계수는 지반의 변형계수 뿐만 아니라 기초 재하면의 형상과 치수 및 강성, 지반변형의 크기, 재하속도, 반복횟수 등에 따라 달라지므로 이를 고려하여 정한다.

11.6.8 특수조건에서의 얕은기초 설계

다음과 같은 경우에는 얕은기초의 특수조건으로 보고 설계한다.

(1) 강도가 작은 토층을 지지층으로 하거나, 높이가 높은 구조물에 대해서는 지진의 영향을 고려하여 설계한다.
(2) 지지층의 변화가 현저한 경우, 비탈면에 인접한 경우, 기초지반이 2개층 이상인 경우, 평면치수가 현저히 큰 경우에 대해서는 관련 요소를 종합적으로 판단하여 설계한다.
(3) 시공에 의해 지반이 교란되어 다짐 등으로 지반강도를 회복할 수 없는 경우와 단계 시공으로 각 단계가 일체구조로 되는 경우에는 필요한 안정검토를 수행해야 한다.

11.6.9 Design of shallow foundation body

Sectional force depending on superstructure load, self load, earth pressure and subgrade reaction force shall be designed in accordance with 「11.3 Member Design General」. However, it shall be in accordance with 「11.5.8 Seismic Design」 if seismic effect is taken into account.

11.6.10 Treatment of the bottom of foundation and backfill material

(1) Treatment of the bottom of foundation

The bottom of a shallow foundation shall be tightly adhered to the bearing layer and have shear resistance against horizontal load.

(2) Backfill material

When horizontal force is distributed to the embedment part of a foundation, backfill material and construction method shall be described in the design document.

11.7 Geotechnical design of deep foundation

11.7.1 Pile foundation

(1) Basic condition

Pile foundation shall be designed to maintain external force below the allowable bearing capacity and the displacement of a foundation, and the superstructure shall be within the allowable limit. Allowable bearing capacity and displacement shall be reviewed for both axial and lateral direction, and allowable bearing capacity shall be either the bearing capacity of subgrade or allowable load of pile, whichever is less.

(2) Load sharing

① Vertical load on a pile foundation shall be designed to be supported only by pile, disregarding the effect of support provided by the foundation footing. However, reliable support effect may be considered.

② Lateral load of a pile foundation shall be assumed to be supported by the pile. However, lateral support of the side of foundation may be considered when the foundation is deep and the backfill is well compacted in order to share lateral load.

(3) Arrangement and interval of piles

① Piles shall be placed symmetrically to the vertical loading point, and load-sharing of each pile shall be uniform.

② Interval between the pile-centers shall be 2.5 times larger than the pile diameter, and the distance between the foundation side and the pile center shall be 1.25 times larger than the pile diameter.

11.6.9 얕은기초 본체의 설계

얕은기초의 본체는 상부구조의 하중, 자중, 토압, 지반반력 등으로부터 결정되는 단면력에 대해서 「11.3 부재설계일반」을 따라 설계한다. 단, 지진의 영향을 고려하는 경우에는 「11.5.8 내진설계」에 따른다.

11.6.10 얕은기초 저면의 처리 및 되메움 재료

(1) 기초저면의 처리

얕은기초의 저면은 지지지반에 밀착되고 수평하중에 대한 전단저항을 갖도록 처리해야 한다.

(2) 되메움 재료

기초의 근입부분에 수평력을 분담시키는 경우에는 되메움 재료, 시공조건 등을 설계서에 명시해야 한다.

11.7 깊은기초의 지반공학적 설계

11.7.1 말뚝기초

(1) 기본 조건

말뚝기초는 작용 외력이 허용지지력 이하가 되게 하고, 기초 및 상부구조물의 변위가 각각 허용치 이하가 되도록 설계해야 한다. 허용지지력 및 허용변위는 각각 말뚝의 축방향 및 횡방향의 경우에 대하여 검토해야 하며, 허용지지력은 지반의 허용지지력과 말뚝의 허용하중을 비교하여 작은 값으로 해야 한다.

(2) 하중의 분담

① 말뚝기초의 연직하중은 말뚝에 의해서만 지지되는 것으로 설계하며 기초 푸팅의 지지효과는 무시한다. 다만, 기초의 지지효과에 대하여 신뢰할 수 있는 경우에는 이를 고려한다.

② 말뚝기초의 횡방향 하중은 말뚝에 의해서 지지되는 것으로 한다. 다만, 기초의 깊이가 깊고 되메움이 잘 다져져서 횡방향 하중을 분담할 수 있다고 판단될 때에는 기초측면의 횡방향 지지력을 고려할 수 있다.

(3) 말뚝의 배열과 간격

① 말뚝의 배열은 연직하중 작용점에 대하여 가능한 한 대칭을 이루며 각 말뚝의 하중 분담률이 큰 차이가 나지 않도록 한다.

② 말뚝 간격은 최소한 말뚝중심 간의 거리가 말뚝직경의 2.5배 이상, 기초측면과 말뚝중심 간의 거리는 최소한 말뚝직경의 1.25배 이상으로 한다.

(4) Axial allowable compressive bearing capacity of pile

① This shall be either the allowable load of the ground supporting the pile that would not cause shear failure due to insufficient bearing capacity, or allowable load considering allowable displacement of pile, or allowable load considering allowable compressive stress of pile body, whichever is smaller.

② Axial allowable compressive bearing capacity of the ground under a single pile condition shall be calculated by dividing axial ultimate compressive bearing capacity by a certain factor of safety.

③ Axial ultimate compressive bearing capacity of a single pile could be calculated through various methods, but reliability and applicability must be ensured. For a group pile, the effect of group pile shall be considered.

(5) Lateral allowable bearing capacity of pile

① Lateral allowable bearing capacity of a single pile shall be determined after considering the actual behavior of a pile. It shall be calculated through loading test, but when lateral loading test is difficult, it may be determined using an analytic method or other field test results.

② For a group pile, the effect of group pile shall be taken into account, and lateral allowable bearing capacity shall be reduced considering load characteristics.

③ A lateral allowable bearing capacity of the pile shall be determined that satisfies the following two conditions:

A. Bending stress on a pile shall not exceed the allowable bending stress of the pile material.

B. Displacement of pile head (displacement in bending direction) shall not exceed the allowable displacement required by the superstructure.

(6) Axial allowable pullout resistance of pile

① Allowable pullout resistance of a single pile shall be either the pile weight in addition to axial allowable pullout resistance of the ground or allowable load considering allowable tensile stress of a pile body, whichever is smaller.

② Axial allowable pullout resistance of a pile shall be determined after pullout loading test.

③ When the pullout loading test result cannot be performed, ultimate pullout resistance could be estimated based on the ultimate compressive skin friction force obtained from the compressive loading test.

④ Allowable pullout resistance of a group pile shall consider the effect of the group pile.

(4) 말뚝의 축방향 허용압축지지력

① 말뚝의 축방향 허용압축지지력은 말뚝을 지지하는 지반이 지지력 부족으로 인한 전단파괴를 일으키지 않는 조건을 고려한 허용하중, 말뚝의 허용변위를 고려한 허용하중 및 말뚝본체 재료의 허용압축응력을 고려한 허용하중을 비교하여 그 중 작은 값을 취해야 한다.

② 외말뚝 조건에서 지반의 축방향 허용압축지지력은 축방향 극한압축지지력을 소정의 안전율로 나눈 값으로 한다.

③ 외말뚝의 축방향 극한압축지지력은 다양한 방법으로 구할 수 있으나 반드시 신뢰도 및 적용성에 주의해야 한다. 무리말뚝의 경우에는 무리말뚝 효과를 고려해야 한다.

(5) 말뚝의 횡방향 허용지지력

① 외말뚝의 횡방향 허용지지력은 실제 말뚝의 거동을 고려하여 허용지지력을 구해야 한다. 외말뚝의 횡방향 허용지지력은 재하시험에 의하여 구하되, 횡방향 재하시험을 실시할 수 없는 경우에는 해석적 방법 또는 횡방향 재하시험 이외의 다른 현장시험 결과를 이용한 방법으로 추정할 수 있다.

② 무리말뚝의 경우에는 무리말뚝 효과를 고려해야 하며, 하중특성을 고려하여 횡방향 허용지지력을 감소시켜야 한다.

③ 말뚝의 횡방향 허용지지력은 다음의 두 가지를 만족하도록 정해야 한다.

가. 말뚝에 발생하는 휨응력이 말뚝재료의 허용휨응력을 넘어서는 안 된다.

나. 말뚝머리의 변위량(휨방향 변위량)이 상부구조에서 정해지는 허용변위량을 넘어서는 안 된다.

(6) 말뚝의 축방향 허용인발저항력

① 외말뚝의 허용인발저항력은 지반의 축방향 허용인발저항력에 말뚝의 무게를 더한 값과 말뚝본체의 허용인장응력을 고려한 허용하중 중 작은 값으로 한다.

② 말뚝의 축방향 허용인발저항력은 인발재하시험을 실시하여 판정한다.

③ 인발재하시험 결과를 얻을 수 없는 경우에는 압축재하시험 결과를 통해 얻어진 극한압축주면마찰력으로부터 극한 인발저항력을 추정할 수 있다.

④ 무리말뚝의 허용인발저항력에 대해서는 무리말뚝의 영향을 고려한다.

(7) Settlement of pile foundation

① Stability of a structure against settlement shall be determined considering settlement of a single pile and a group pile, settlement and differential settlement of a single pile and a group pile by negative skin friction force as well as the characteristics of the superstructure.

② Allowable settlement shall be determined depending on the type of superstructure, material, use, importance and time characteristics of settlement.

③ Settlement of a single pile shall be evaluated using compressive static loading test, and if compressive static loading test result cannot be obtained, it may be determined using the settlement calculation equation or an analytical method.

(8) Pile loading test

① Pile loading tests can be divided into the tests performed for design purposes to obtain design data, and the tests performed for confirmation purposes to identify the appropriateness of design. The aim of loading tests is to identify displacement, the integrity of pile material, the appropriateness of the construction method, the bearing capacity of pile depending on ground condition and construction method over time, negative skin friction force and load transfer of bearing capacity, etc. in addition to bearing capacity.

② Pile loading test shall be planned to accomplish the test purpose, and considerations shall include site conditions, conformity to design concept, test type and method, test load, compliance with related test requirements, test result analysis method and capability, pile type and relations with construction method, test frequency and method, and the appropriateness of the test time.

③ Pile loading test includes static loading test and dynamic loading test. Depending on the loading direction, it may include compressive test, pullout test and lateral test. Compressive loading test may be classified into pile head loading and bidirectional loading test using the pressure device pre-installed on the pile body according to the pile and loading scale.

④ Frequency and time of pile loading test shall be specified in the specifications, considering the following.

A. Given that the bearing capacity of pile is dependent on the type of pile, construction method and ground condition, test time shall be determined considering the use of the test result. When the test is intended to identify the bearing capacity patterns over time and compliance with design bearing capacity, the test shall be carried out after a certain period of time.

(7) 말뚝기초의 침하

① 침하에 의한 구조물의 안정성을 판정할 때에는 외말뚝의 침하량, 무리말뚝의 침하량, 부주면마찰력에 의한 외말뚝의 침하량, 부주면마찰력에 의한 무리말뚝의 침하량 및 부등침하량뿐만 아니라 상부 구조물의 특성도 고려해야 한다.

② 허용침하량은 상부구조물의 구조형식, 사용재료, 용도, 중요성 및 침하의 시간적 특성 등에 의해 정한다.

③ 외말뚝의 침하량은 압축 정재하시험을 실시하여 평가한다. 압축 정재하시험 결과를 얻을 수 없는 경우에는 침하량 산정 공식이나 해석적 기법을 이용하여 추정할 수 있다.

(8) 말뚝재하시험

① 말뚝재하시험은 설계자료를 확보하기 위한 설계목적용과 설계결과의 적정성을 확인하기 위한 확인목적용으로 구분할 수 있다. 재하시험은 단순히 지지력을 확인하는 것 외에 변위량, 말뚝재료의 건전성, 시공방법의 적정성, 지반조건과 시공방법에 따른 말뚝지지력의 시간경과효과, 부주면마찰력 및 지지력의 하중전이 특성 등 다양한 내용들을 확인하기 위하여 실시한다.

② 말뚝재하시험을 계획할 때에는 시험의 목적을 달성할 수 있도록 면밀히 검토해야 한다. 계획 시에는 현장상황, 설계개념에의 적합성, 시험 종류 및 방법 선정의 적합성, 시험하중 결정의 적정성, 관련시험규정에의 충족여부, 결과분석방법 및 분석능력의 적정성, 말뚝종류 및 시공방법과의 관련성, 시험횟수와 방법 그리고 시험실시 시기의 적합성 등을 검토해야 한다.

③ 말뚝재하시험에는 정적재하시험방법 또는 동적재하시험방법을 고려할 수 있으며, 하중의 작용방향에 따라 압축시험, 인발시험, 횡방향시험 등을 고려할 수 있다. 압축재하시험에는 말뚝 및 재하하중 규모에 따라 선정할 수 있는 말뚝머리 재하방법과 말뚝본체에 미리 설치한 가압장치를 이용한 양방향재하시험방법이 있다.

④ 말뚝재하시험의 실시시기 및 횟수는 다음 사항을 고려하도록 시방에 명기한다.

가. 말뚝의 지지력은 말뚝종류와 시공방법 및 지반조건에 따라 영향을 받으므로 시험결과의 활용목적에 따라 시험시기를 결정하여 시행해야 한다. 특히 시간경과에 따른 지지력 변화 파악, 설계지지력의 만족여부 평가 등을 목적으로 할 때에는 소정의 시간이 경과한 조건에서 시험한다.

B. Compressive static loading test shall be carried out every 250 piles unless there is any significant change in the ground condition, or considering the characteristics of each structure.

C. The purpose of the dynamic loading test during construction (EOID, End Of Initial Driving test) is to check the performance of the equipment, judge the appropriateness of the equipment, check the ground condition, determine the integrity of a pile and establish a construction management standard. At least 1% of all piles shall be tested (at least once even if less than 100 piles) unless there is a significant change in the ground conditions.

D. To verify the effect over time, restrike test shall be carried out after a certain period of time according to the ground conditions, and the frequency shall be defined in 「C.」.

E. Test frequency shall be increased if the conditions such as ground, equipment or pile are changed, as well as for an important structure.

(9) Negative skin friction force

① Negative skin friction force working downward may occur on the pile that is installed in the ground with potential settlement. In this case, it is necessary to examine the compressive bearing capacity of the pile, the stress of the pile body and the effect of negative skin friction force on settlement of pile head in order to prevent the pile body from being damaged and secure the function of a structure.

② In designing a pile, fixed load only shall be considered in reviewing the effect of negative skin friction force, and negative skin friction force may not be considered in a seismic design.

③ When negative skin friction force is significant, the reduction method shall be applied.

(10) Subgrade reaction coefficient

① Subgrade reaction coefficient of a single pile shall be determined based on construction method, pile shape and loading direction.

② Subgrade reaction coefficient of a group pile shall be determined considering the effect of a group pile.

(11) Spring constant of pile

This includes axial spring coefficient and perpendicular spring coefficient, which are used in calculating pile reaction force or estimating elastic settlement of a pile foundation.

나. 압축정재하시험의 수량은 지반조건에 큰 변화가 없는 경우 최소한 말뚝 250개당 1회 또는 구조물별로 특성을 고려하여 실시한다.

다. 동재하시험의 시공 중 시험(EOID, End Of Initial Driving test)은 시공장비의 성능 확인, 장비의 적합성 판정, 지반조건 확인, 말뚝의 건전도 판정, 시공관리기준 설정 등을 목적으로 실시한다. 시험 수량은 지반조건에 큰 변화가 없는 경우 전체 말뚝 개수의 1% 이상(말뚝이 100개 미만인 경우에도 최소 1개)을 실시한다.

라. 시간경과효과 확인을 위하여 지반조건에 따라 시공 후 일정한 시간이 경과한 후 재항타 동재하시험(Restrike test)을 실시한다. 재항타 동재하시험의 빈도는 「다.」항에서 정하는 바와 같다.

마. 지반조건, 시공장비, 말뚝종류 등 제반 시공조건이 변경될 때는 시험횟수를 추가한다. 또한, 중요 구조물일 때에는 시험횟수를 증가시킨다.

(9) 부주면마찰력

① 침하가 발생할 우려가 있는 지반에 시공된 말뚝에서는 말뚝주면에 하향으로 작용하는 부주면마찰력이 작용할 수 있다. 이런 경우에는 말뚝본체의 손상을 막고 구조물의 기능을 확보하기 위해서 말뚝의 압축지지력, 말뚝본체 응력 그리고 말뚝머리 침하량에 대하여 부주면마찰력이 미치는 영향을 검토해야 한다.

② 말뚝을 설계할 때 부주면마찰력의 영향을 검토하기 위한 하중은 고정하중만 고려하는 것으로 하며 지진시에는 부주면마찰력을 고려할 필요가 없다.

③ 부주면마찰력이 큰 경우에는 부주면마찰력 감소방법을 적용해야 한다.

(10) 지반반력계수

① 외말뚝의 지반반력계수는 시공방법, 말뚝형상, 하중방향 등의 조건을 고려하여 결정해야 한다.

② 무리말뚝의 지반반력계수는 무리말뚝의 영향을 고려하여 산정해야 한다.

(11) 말뚝의 스프링정수

말뚝의 스프링정수에는 축방향 및 축직각방향 스프링정수가 있으며, 이 값은 말뚝반력을 산정하거나 말뚝기초의 탄성침하량을 추정하는데 이용된다.

(12) Estimate of reaction force and displacement of pile

① Reaction force and displacement of a pile head shall be calculated using the elastic analysis method (displacement method) that solves equilibrium equation for horizontal force, vertical force and rotational moment working on the entire pile foundation considering spread footing as rigid body.

② When a foundation is not assumed to be rigid body and the rigidity of the superstructure is less than the foundation, sectional force at the bottom of column is considered as the load, and sectional force and displacement shall be calculated according to the frame analysis.

③ When a pile foundation is considered as a member of a Rahmen structure, frame analysis shall be carried out according to the structural design model in order to calculate sectional force and displacement.

(13) Special design of pile foundation

This shall be designed with detailed review on the special purpose so that axial support, lateral support, displacement and member strength have the required factor of safety.

11.7.2 Caisson foundation

(1) Basic requirements

① Caisson foundation refers to the foundation of a large RC structure installed on the ground or under the ground by excavating bottom layer and putting it down to the stable bearing layer, closing the bottom and filling the inside with the concrete.

② Caisson foundation shall be designed safely to withstand all loads, including loads during construction, superstructure load, earth pressure and water pressure.

③ As the load is mostly supported at the bottom while the load due to skin friction force is less, vertical bearing force of a caisson foundation shall be supported by bearing layer, and geotechnical investigation shall be carried out to check the bearing layer before starting construction.

(2) Load sharing

① Vertical load shall be supported by subgrade reaction force alone. However, when the ground around the caisson foundation is stable and less disturbed, frictional resistance may be considered.

② Horizontal load shall be considered to be supported by horizontal subgrade reaction force on the front ground, and by shear subgrade reaction force at the bottom ground.

(12) 말뚝의 반력과 변위량의 산정

① 말뚝머리의 반력과 변위량은 확대기초를 강체로 보고 말뚝기초 전체에 작용하는 수평력, 연직력, 회전모멘트에 관해 평형방정식을 푸는 탄성해석법(변위법)을 이용하여 계산한다.

② 기초를 강체로 가정할 수 없는 경우로서 기초의 강성과 비교하여 상부구조의 강성이 작은 경우에는 기둥하단에 작용하는 단면력을 하중으로 취급하여 구조계산 모델로 골조해석하여 단면력, 변위량 등을 산정한다.

③ 말뚝기초를 라멘구조의 한 부재로서 취급하는 경우는 구조설계 모델에 따라 골조해석을 수행하여 단면력 및 변위량을 구한다.

(13) 말뚝기초의 특수설계

말뚝기초의 특수설계에 있어서는 특수항목에 대한 면밀한 검토와 더불어 축방향 지지, 횡방향지지, 변위 및 부재강도가 소요의 안전율을 갖도록 설계해야 한다.

11.7.2 케이슨기초

(1) 기본조건

① 케이슨기초란 지상에 구축하거나 지중에 양질의 지지층까지 속파기공법 등에 의하여 침하시킨 후 그 바닥을 콘크리트로 막고 속을 채우는 대형의 철근콘크리트 구조물로 된 기초형식을 말한다.

② 케이슨기초는 상부구조물의 하중과 토압 및 수압뿐만 아니라 시공 중에 받게 되는 모든 하중조건에 대해서도 검토하여 안전하도록 설계한다.

③ 케이슨기초의 연직지지력은 주면지지에 의한 하중분담이 작고 거의 저면에서 부담하기 때문에 지내력이 확보되는 지지층에 지지시키도록 하며, 공사 착수 전에 지지지반 확인을 위한 지반조사를 해야 한다.

(2) 하중의 분담

① 연직하중은 저면 지반의 지반반력만으로 저항하도록 하되, 케이슨기초의 주변 지반이 양질이어서 케이슨 시공에 의한 교란이 작은 경우에는 주변지반에 의한 마찰저항을 고려할 수도 있다.

② 수평하중은 전면 지반의 수평지반반력 및 저면 지반의 전단지반반력으로 저항하는 것으로 한다.

(3) Stability calculation

In calculating the stability against vertical load, maximum subgrade reaction force at the bottom of caisson shall not exceed the allowable bearing capacity of the ground, and settlement on the top of caisson shall be less than the allowable settlement of the superstructure.

(4) Allowable bearing capacity of caisson

① Allowable vertical bearing capacity at the bottom of caisson foundation

Allowable vertical bearing capacity of a caisson foundation shall be determined considering ultimate vertical bearing force at the bottom and settlement of the foundation, and a certain factor of safety against ultimate vertical bearing force of the ground shall be secured.

② Ultimate vertical bearing force at the bottom of caisson foundation

A. This shall be calculated by the static equation based on the geotechnical investigation and test result.

B. When calculating using the plate loading test result, ultimate vertical bearing force from the test result shall be corrected because of the difference between the loading plate size and the actual structure area.

③ Allowable horizontal bearing force of the ground in front of caisson foundation

A. This shall be calculated by dividing the passive earth pressure of the ground by a certain factor of safety.

B. Passive earth pressure shall be calculated based on the geotechnical investigation and test result.

④ Allowable shear resistance at the bottom of caisson foundation

This shall be calculated by dividing shear resistance between the foundation bottom and the ground by a certain factor of safety.

(5) Negative skin friction force

For a caisson foundation that reaches the bearing layer after being penetrated into the subgrade with potential settlement, it is necessary to review the negative skin friction force working on the principal plane.

(6) Estimate of reaction and displacement of caisson

① Subgrade reaction coefficient

Subgrade reaction coefficient used for a caisson foundation design shall be determined based on the review of geotechnical investigation and test result, but may be calculated using the relaxation factor of the base below foundation and the side of the foundation with considering the actual condition of construction .

(3) 안정계산

연직하중에 대한 케이슨의 안정계산은 케이슨 저면의 최대지반반력이 지반의 허용지지력을 초과하지 않아야 하며, 케이슨 상단의 침하량이 상부구조물의 허용침하량보다 작아야 한다.

(4) 케이슨의 허용지지력

① 케이슨기초 저면 지반의 허용연직지지력

케이슨기초의 허용연직지지력은 저면 지반의 극한연직지지력과 기초의 침하량을 고려하여 결정하며, 지반의 극한연직지지력에 대하여 소정의 안전율을 확보해야 한다.

② 케이슨기초 저면 지반의 극한연직지지력

가. 케이슨기초 저면 지반의 극한연직지지력은 지반조사 및 시험결과를 이용하여 정역학적 공식에 의해 구할 수 있다.

나. 평판재하시험의 결과를 이용하여 구하는 경우에는 재하판 면적이 실제 구조물 면적과 다르다는 것을 고려하여 시험결과로부터 구한 극한연직지지력을 수정해야 한다.

③ 케이슨기초 전면 지반의 허용수평지지력

가. 케이슨기초 전면 지반의 허용수평지지력은 그 위치에 있어서 지반의 수동토압을 소정의 안전율로 나누어 구한다.

나. 수동토압은 지반조사 및 시험결과에 기초하여 산출해야 한다.

④ 케이슨기초 저면 지반의 허용전단저항력

케이슨기초 저면 지반의 허용전단저항력은 기초저면과 지반 사이에 작용하는 전단저항력을 소정의 안전율로 나누어 구한다.

(5) 부주면마찰력

침하를 일으킬 우려가 있는 지반을 통과하여 지지층에 도달시킨 케이슨기초는 주면에 작용하는 부주면마찰력에 대하여 검토해야 한다.

(6) 케이슨의 반력과 변위량의 산정

① 지반반력계수

케이슨기초의 설계에 이용하는 지반반력계수는 지반조사 및 시험결과를 검토하여 결정하되, 실제 시공상황을 고려하여 기초저면 하부지반 및 기초 측면지반의 이완계수를 이용하여 구할 수도 있다.

② Subgrade reaction and displacement

A. Subgrade reaction and displacement of a caisson foundation shall be calculated using subgrade reaction coefficient, considering caisson body as rigid body.

B. Vertical subgrade reaction force of a caisson foundation shall be calculated by dividing all vertical loads at the bottom through caisson by the bottom area of caisson.

C. Skin friction force of a caisson is generally not considered, but when it is determined to be obviously developed, the effect shall be considered.

D. Total settlement due to vertical load on the top of a caisson shall be calculated by adding the elastic displacement of caisson body to the settlement at the bottom of caisson.

11.8 Structural engineering design of deep foundation

11.8.1 Design of pile body

(1) Axial force of a pile body due to axial compressive force or axial pullout force shall be estimated considering the load transfer characteristics of the ground. Load transfer characteristics could be determined from the pile axial load measured during the pile loading test.

(2) Force perpendicular to the axis, bending moment of pile body due to pile head moment and shear force shall be calculated on the condition that the pile is the beam on the elastic ground.

(3) Each part of a pile body shall be safe against axial force, bending moment and shear force. Buckling may not be considered for the pile embedded in the ground in total length, and the section of the pile projected over the ground may be determined by considering buckling.

11.8.2 Pile joint

(1) Pile joint shall be designed to withstand axial compressive force, axial pullout force and force perpendicular to axis and other loads after and during construction. In addition, the joint shall have the same strength as the total pile strength.

(2) When a pile is connected, allowable load of the pile is reduced because of stress concentration on joint, reduced bending strength and fatigue of jointing material. Reduction rate of pile joint shall use the values in <Table 11.8.1> considering site conditions, and for a bored pile, reduction rate may be reduced by half because there is no damage on the joint.

(3) As precast pile joint requires field application, the joint is affected by construction management. Usually, it shall be determined considering sectional force, number of joints, constructability and economic feasibility.

② 지반반력 및 변위량

가. 케이슨기초의 지반반력과 변위량은 케이슨본체를 강체로 하고, 지반반력계수를 이용하여 계산한다.

나. 케이슨 기초지반의 연직지반반력은 케이슨을 통하여 저면지반에 전달되는 모든 연직하중을 케이슨 저면적으로 나눈 값으로 한다.

다. 케이슨의 주면마찰력은 일반적으로 고려하지 않는다. 그러나 주면마찰력이 분명하게 발생할 것으로 판단될 때에는 그 영향을 고려한다.

라. 연직하중에 의한 케이슨 상단의 총 침하량은 케이슨본체의 탄성변위량과 케이슨 저면지반의 침하량을 합한 값으로 한다.

11.8 깊은기초의 구조공학적 설계

11.8.1 말뚝본체의 설계

(1) 축방향 압축력 또는 축방향 인발력으로 인한 말뚝본체 각 부분의 축력은 지반의 하중전이 특성을 고려하여 구한다. 하중전이 특성은 말뚝재하시험시 측정된 말뚝 축하중으로부터 결정할 수 있다.

(2) 축직각방향력과 말뚝머리 모멘트에 의한 말뚝본체 각 부의 휨 모멘트 및 전단력은 말뚝을 탄성지반 상의 보로 가정하여 구한다.

(3) 말뚝본체 각 부분은 축력, 휨모멘트 및 전단력에 대해 안전해야 한다. 그리고 전길이가 땅속에 근입된 말뚝은 좌굴을 고려하지 않아도 되며, 지반위로 돌출된 말뚝에서는 좌굴에 의해 단면을 정할 수도 있다.

11.8.2 말뚝의 이음

(1) 말뚝의 이음은 구조물이 완공된 후에 작용하는 하중에 의한 축방향압축력, 축방향인발력, 축직각방향력은 물론 시공시의 타입에 따른 하중에 대해서도 안전하도록 설계해야 한다. 그리고 이음구조는 말뚝본체의 전체강도에 상당하는 강도를 갖도록 설계해야 한다.

(2) 말뚝을 이음 시공하면 이음부에서의 응력집중, 휨강성의 감소 및 이음부 재료의 피로 등으로 인하여 말뚝의 허용하중이 감소한다. 말뚝이음에 의한 허용하중의 감소율은 현장조건을 감안하여 <표 11.8.1>의 값을 사용하며, 매입말뚝의 경우에는 말뚝타격에 의한 이음부의 손상이 없기 때문에 감소율을 반으로 줄일 수 있다.

(3) 기성말뚝의 이음부를 시공하려면 현장작업이 따르기 때문에 이음부는 시공관리의 영향을 받기 쉽다. 일반적으로 단면력, 이음 개수, 시공성, 경제성 등을 종합적으로 검토하여 선정해야 한다.

Table 11.8.1 Reduction rate of allowable load by pile joint (per joint)

Joint method	Welded joint	Bolted joint	Concrete-filling joint
Rate	5%	10%	20% for first two piles 30% from the third pile

11.8.3 Joint between pile and spread footing

(1) Basic requirements

① The method of a pile-spread footing joint includes strong coupling or hinge coupling, and basically, the bridge foundation shall use a strong coupling method.

② The pile-spread footing joint shall be designed to resist compressive force on pile head, pullout force, horizontal force and moment and other external forces.

(2) Coupling method

A pile-spread footing coupling shall be one of the following:

① Method A

After embedding a pile into the spread footing at a certain depth, the embedded pile resists bending moment of pile head, and the embedment length shall be more than the pile diameter. This may be applied to steel pipe pile, PC pile, PHC pile and RC pile.

② Method B

The length of pile embedded into spread footing shall be minimized and reinforced by rebar to resist pile head bending moment. The length of the embedded pile head shall be 100mm, and this method may be applied to steel pipe pile, PC pile, PHC pile, RC pile and cast-in-situ pile.

11.8.4 Considerations in piling work

(1) It is necessary to examine the stress when transporting and installing piles.

(2) When driving a pile, impact stress on the pile body is dependent on the characteristics of the ground ahead of and around the pile, and no particular consideration is needed for ordinary ground conditions. However, when the ground on the tip is hard, the stress on the pile tip is likely to become higher than other parts. When the pile is driven into soft ground, a level of tensile stress similar to compressive stress is reflected. As such, in this case, it is necessary to secure safety while driving a pile.

표 11.8.1 말뚝이음에 의한 허용하중의 감소율(이음 1개소당)

이음방법	용접이음	볼트식 이음	콘크리트 채움식 이음
감소율	5%	10%	최초 2개소까지 20% 3개소 이후 30%

11.8.3 말뚝과 확대기초의 결합부

(1) 기본조건

① 말뚝과 확대기초의 결합 방식으로는 강결합과 힌지결합이 있으며, 교량 기초의 경우에는 강결합으로 설계하는 것을 원칙으로 한다.

② 말뚝과 확대기초의 결합부는 말뚝머리 부분에 작용하는 압축력, 인발력, 수평력 및 모멘트 등 모든 외력에 대해 저항할 수 있도록 설계한다.

(2) 결합방법

말뚝과 확대기초의 결합 방법은 다음 중 적당한 것을 취한다.

① 방법 A

확대기초 속에 말뚝을 일정 깊이만큼 근입시키고, 근입된 부분으로 말뚝머리 휨모멘트에 저항하는 방법이다. 말뚝머리부의 근입길이는 말뚝지름 이상으로 하며, 강관말뚝, PC말뚝, PHC말뚝, RC말뚝 등에 적용할 수 있다.

② 방법 B

확대기초 속으로 근입되는 말뚝의 길이를 최소한으로 하고, 주로 철근을 보강함으로써 말뚝머리 휨모멘트에 저항하는 방법이다. 말뚝머리부의 근입길이는 100mm로 하며, 강관말뚝, PC말뚝, PHC말뚝, RC말뚝, 현장타설말뚝 등에 적용할 수 있다.

11.8.4 말뚝시공시 검토사항

(1) 말뚝을 운반하거나 설치할 때의 응력에 대해 검토해야 한다.

(2) 말뚝을 타입할 때 말뚝본체에 발생하는 충격응력은 말뚝 주변 지반과 선단지반의 성질에 관계되며, 일반적인 지반 조건의 경우에는 특별히 검토할 필요는 없다. 다만, 말뚝의 선단지반이 단단한 경우에는 말뚝선단부분에 생기는 응력이 다른 부분에 생기는 응력보다 증대할 가능성이 있고, 또 말뚝선단이 연약지반에 타입될 경우에는 압축응력과 동일한 정도의 인장응력이 반사된다. 따라서 이와 같은 경우에는 타입시의 안전성을 확보해야 한다.

11.8.5 Structural details of pile foundation

(1) Precast RC pile

① This shall be in accordance with KS F 4301 (eccentric RC pile).

② The tip of a precast RC pile (mostly closed type) shall be safe and stable against the ground.

③ As the stress on the pile head is likely to be excessively increased due to striking, pile head shall be reinforced.

④ In principle, precast RC pile joint shall be arc welded using a clamp joint metal.

(2) PC pile and PHC pile

① PC pile and PHC pile shall be in accordance with KS F 4303 (pretension eccentric PC pile) and KS F 4306 (pretension eccentric high strength pile).

② The tip of PC pile and PHC pile shall be (mostly open type) safe considering the construction method and ground condition.

③ The head of PC pile and PHC pile shall be reinforced, as excessive stress may occur locally on the pile head.

④ Joint of PC pile and PHC pile shall be arc welded using a clamp joint metal.

⑤ When cutting the head of PC pile and PHC pile, it shall be reinforced with rebar in advance, where necessary. Reinforcement shall be determined considering anchorage length depending on bar covering, interval, PS steel arrangement, and the range of stress reduction due to cutting of pile head (50 times the steel diameter).

(3) Cast-in-situ pile

① Cast-in-situ pile has a standard diameter depending on the construction method, equipment and material. Design diameter used generally shall be lm, l.2 m and l.5 m, for casing, RCD and earth drill method, respectively. Depending on the relationship between the design diameter and the maximum excavation depth in manual method in terms of construction safety, it is recommended to apply diameter 1.4 m for depth 10m, diameter 2 m for depth 20 m and diameter 3m for depth 30 m.

② Distance from the surface of a cast-in-situ pile to the center of main reinforcement shall be 150 mm depending on the existence of casing, ground roughness and constructability of pile. In the manual method, it shall be 250 mm when sheathing material is removed and 100 mm when remained.

11.8.5 말뚝기초의 구조상세

(1) 기성 철근콘크리트 말뚝

① 기성 철근콘크리트 말뚝은 KS F 4301(원심력 철근콘크리트 말뚝)의 규격에 적합한 것으로 한다.

② 기성 철근콘크리트 말뚝의 선단(대부분 폐쇄형)은 타입에 대해 안전함과 동시에 지반에 알맞은 구조라야 한다.

③ 기성 철근콘크리트 말뚝의 머리부는 타격시 편타 등으로 인해 말뚝머리부에 작용하는 응력이 과도하게 커질 수도 있으므로 보강이 필요하다.

④ 기성 철근콘크리트 말뚝의 이음은 원칙적으로 이음 철구를 이용한 아크용접 이음으로 한다.

(2) PC말뚝과 PHC말뚝

① PC말뚝과 PHC말뚝은 KS F 4303(프리텐션방식 원심력 PC말뚝), KS F 4306(프리텐션방식 원심력 고강도 말뚝)의 규정에 적합한 것으로 한다.

② PC말뚝과 PHC말뚝의 선단(대부분 개방형)은 타입에 대하여 안전하고 시공법을 고려한 구조이면서 지반에 알맞은 구조이어야 한다.

③ PC말뚝과 PHC말뚝의 머리 부분은 타격시 편타 등에 의해 말뚝머리에 국부적으로 큰 응력이 발생할 수도 있으므로 보강해야 한다.

④ PC말뚝과 PHC말뚝의 이음은 원칙적으로 이음철구를 사용한 아크용접 이음으로 한다.

⑤ PC말뚝과 PHC말뚝의 머리부를 절단할 경우에는 필요에 따라 미리 말뚝의 머리부에 보강철근을 배치한다. 보강철근의 배치는 철근의 덮개와 간격, PS강재의 배치 및 말뚝머리 절단에 의한 PS강재의 응력 감소 범위(강재 지름의 50배)에 따른 정착길이를 고려하여 결정한다.

(3) 현장타설말뚝

① 현장타설말뚝에는 공법이나 사용장비, 재료에 따라 표준이 되는 말뚝지름이 있다. 일반적으로 사용되고 있는 설계지름은 올케이싱공법, RCD공법 및 어스드릴공법에서 각각 1m, 1.2m, 1.5m 정도이다. 또 인력공법에서는 시공의 안전성면에서 설계지름과 최대굴착깊이의 관계를 지름 1.4m일 때 깊이 10m정도, 지름 2m일 때 깊이 20m정도, 지름 3m일 때 깊이 30m정도로 하는 것이 적당하다.

② 현장타설말뚝 표면에서 주철근 중심까지의 간격은, 케이싱의 존재, 지반의 요철, 철근망의 집어넣기 등 현장타설말뚝의 시공성을 고려하여, 150mm를 표준으로 한다. 인력공법에서는 흙막이재를 철거할 경우에는 250mm, 철거하지 않을 경우에는 100mm를 표준으로 한다.

③ At least 6 deformed bars with a diameter of 22 mm or more shall be used for main reinforcement, and the amount of steel shall be 0.4 % to 6 % (except in the manual method), and net interval of reinforcement shall be double the reinforcement diameter, or two times larger than the maximum dimension of coarse aggregate. Hook shall not be fixed to main reinforcement and shall be a single layer.

④ Deformed bar with a diameter of 13 mm or more shall be used for a tie bar, and the center-to-center distance shall be 500 mm or less, and the details shall be in accordance with the Concrete Structure Design Standard. However, the center-to-center distance of tie bar shall be 150 mm or less within the range that doubles the pile diameter from the bottom of spread footing, and the amount of steel shall be 0.2 % or more of the sectional area of the side.

⑤ When fabricating a rebar cage, it shall be reinforced with a tie bar to prevent deformation during storage, transport and hanging.

⑥ Rebar splicing shall be in accordance with 「10.5 Rebar Anchorage and Splicing, Chapter 10 Concrete bridge」 or the Concrete Structure Design Standard.

(4) Steel pipe pile

① This shall be in accordance with KS F 4602 (Steel pipe pile). The length shall vary depending on the transportation method and the installation equipment, but generally shall be 6 m to 12 m (in 0.5 m units).

② The thickness of a steel pipe pile shall be sufficient to bear compression, bending, tension and shear stress considering the loss due to corrosion, and shall be at least 9 mm. The stress on the pile during installation shall be considered to be effective to the gross section.

③ The loss in thickness due to corrosion shall be based on the plane in contact with soil or water. However, the inner side may not be considered.

④ Anticorrosive coating may include painting, organic lining, inorganic lining, steel plate wrapping and electrical method.

⑤ To prevent the pile head from being damaged, the thickness of a pile may be increased, or an appropriate hammer selected with care.

⑥ To prevent the tip of a pile from being damaged due to obstacle or for easy driving, appropriate reinforcement shall be carried out where necessary.

⑦ Field splicing of a steel pipe pile shall be carried out with arc welding over the total circumference and thickness using a clamp joint metal.

11.8.6 Basic requirement for caisson design

(1) In designing a caisson foundation, it is necessary to take into account the subgrade reaction, displacement, and stress on caisson during and after construction.

③ 주철근은 지름 22mm 이상의 이형철근을 6개 이상 사용하며, 철근량은 0.4% 이상 6% 이하(인력공법은 제외), 철근의 순간격은 철근 지름의 2배 이상 또는 조골재 최대치수의 2배 이상으로 해야 한다. 주철근에는 갈고리를 붙이지 않으며, 주철근의 배근은 한겹배근으로 한다.

④ 띠철근은 지름 13mm 이상의 이형철근을 사용하고, 중심간격을 500mm 이하로 기준하되 상세내용은 콘크리트구조설계기준을 따른다. 다만, 확대기초 저면으로부터 말뚝지름의 2배의 범위 안에는 띠철근의 중심간격을 150mm 이하로 하고 철근량을 측단면적의 0.2% 이상으로 한다.

⑤ 철근망을 조립할 때는 보관, 운반 및 매달림시의 변형을 방지하기 위해 조립용 띠철근으로 보강해야 한다.

⑥ 철근의 이음은「제10장 콘크리트교 10.5 철근의 정착 및 이음」또는 콘크리트구조설계기준의 해당항목을 따른다.

(4) 강관말뚝

① 강관말뚝은 KS F 4602(강관말뚝)의 규격에 적합한 것을 표준으로 한다. 강관말뚝의 길이는 수송방법이나 시공장비의 능력에 따라 다르지만, 일반적으로 표준길이를 6m 이상 12m 이하(0.5m 단위로 증가)로 한다.

② 강관말뚝의 두께는 압축, 인장, 휨, 전단 등 말뚝에 생기는 모든 응력에 대해 안전한 두께에 부식에 의한 감소두께를 더한 값 이상으로 하며, 최소 9mm 이상으로 한다. 시공시 말뚝에 생기는 응력에 대해서는 전단면이 유효한 것으로 한다.

③ 강관말뚝의 부식에 의한 감소 두께는 말뚝이 흙이나 물에 접하는 면에 대해서 고려한다. 다만, 강관의 안쪽면에 대해서는 고려하지 않아도 된다.

④ 방식처리는 도장, 유기질 라이닝, 무기질 라이닝, 철판감기 및 전기방식 방법 등을 적절하게 사용할 수 있다.

⑤ 말뚝머리가 타입에 의해 손상을 입을 우려가 있는 경우에는 강관말뚝의 두께를 증가시키거나 해머의 선택에 주의해야 한다.

⑥ 말뚝 선단이 장애물 등에 의해 손상을 입을 우려가 있거나 굳은 지반에 쉽게 타입되도록 할 경우에는 필요에 따라서 보강해야 한다.

⑦ 강관말뚝의 현장이음은 원칙적으로 이음철구를 이용한 전둘레, 전두께 아크용접 이음으로 한다.

11.8.6 케이슨 설계의 기본 사항

(1) 케이슨기초의 설계 계산에 있어서는 준공 후의 지반반력, 변위량 및 케이슨 각부의 응력 및 시공시의 케이슨 각 부분의 응력 등을 고려해야 한다.

(2) It is very critical to review the stress of a caisson foundation during construction, and as such, stress calculation shall be carried out in various conditions. Particular cases that require review are as follows.

① Immediately after caisson is settled down

② While hanging between the lifts during settlement process

③ When the inner pressure of a work space is suddenly reduced due to power failure immediately before the final settlement is finished, or other worse cases

④ When caisson is empty after finishing settlement and dewatering

11.8.7 Size and shape of caisson

(1) Size of caisson body

① The size shall be determined to be safe through stability calculation, and the size of the upper level shall be sufficient for the shape and dimension of a structure supported by caisson.

② The plane size of an open caisson shall be 20 m or less considering the need for constructability and safety, and particular attention shall be paid when larger than this size.

③ Minimum size of a pneumatic caisson shall be 4m or more on the inner side considering workability, and the height of a work space shall be about 2m considering excavation. Caisson body shall be enlarged when extra space is needed on the caisson upper slab, structure joint or between the cut-off wall and the structure.

(2) Shape of caisson section

① Caisson section may be categorized into rectangular, circular or track type.

② When the section of a caisson is large, a partition may be needed to reduce the bending stress and torsional stress. However, economic feasibility depending on workability shall also be considered.

③ On a bridge where the lane is separated, caisson may be divided into two parts instead of installing a superstructure on a single caisson. In this case, the general effect on two caissons shall be considered, and the subgrade reaction coefficient shall be reduced as well.

(3) Preparation of settlement diagram of caisson

① When the shape and size of a caisson are determined, settlement relationship shall be assumed and it shall be checked to determine if there is any problem in settlement. When caisson is very light, it is necessary to increase the thickness of wall.

(2) 케이슨기초는 시공시의 응력검토가 매우 중요하므로, 시공시의 여러 조건으로 케이슨 각부의 응력계산을 실시해야 한다. 검토를 요하는 시공과정에서의 특별한 경우는 다음과 같다.

① 케이슨이 침하 작업에 들어간 직후

② 침하 작업 중에 각 리프트 사이에 생기는 매달린 상태

③ 최종침하가 끝나기 직전에 작업실 내압이 정전 등의 사고로 급격히 감소되는 경우와 같은 최악의 하중상태

④ 케이슨의 침하 완료 후, 물푸기를 실시하는 경우에 케이슨 내부가 빈 상태

11.8.7 케이슨의 크기와 형상

(1) 케이슨본체의 크기

① 케이슨본체의 크기는 기초의 안정 계산에 대하여 안전해야 하며, 케이슨 상단의 치수는 케이슨으로 지지하는 구조물의 형상과 치수에 대하여도 여유를 가져야 한다.

② 오픈케이슨의 평면 크기는 시공의 확실성, 용이성, 안전성을 생각하여 20m 이하로 하고, 이것보다 클 때는 특별한 배려를 해야 한다.

③ 공기케이슨의 최소 크기는 작업성을 생각하여 안쪽 크기를 4m 이상으로 하고, 작업실의 높이는 굴착작업을 고려할 때 2m 정도가 필요하다. 케이슨 상부슬래브와 구체의 이음부 및 지수벽과 구체사이에 있어서 시공상 여유를 필요로 하는 경우에는 케이슨본체를 크게 해야 한다.

(2) 케이슨 단면의 형상

① 케이슨기초의 단면형상으로는 직사각형, 원형, 트랙형으로 구분할 수 있다.

② 케이슨 단면이 클 경우에는 벽체에 생기는 휨응력, 구체의 비틂응력을 작게 하기 위하여 칸막이를 둘 필요가 있다. 다만, 오픈케이슨의 경우에는 칸막이를 두면 작업이 어렵게 되기 때문에 경제성도 생각하여 검토한다.

③ 왕복차선이 분리되어 있는 교량은 하나의 큰 케이슨 위에 상부구조를 세우지 않고 2개의 케이슨으로 나누는 경우가 있는데, 이 경우에는 시공중에 두 개의 케이슨 사이에 미치는 종합적인 영향을 고려해야 하며 지반반력계수를 감소시켜야 한다.

(3) 케이슨의 침하관계도 작성

① 케이슨의 형상과 크기가 결정되면, 케이슨의 침하관계를 가정하고 침하작업에 지장이 있는지 여부를 검토한다. 그 결과, 케이슨의 구체중량이 상당히 가벼운 경우에는 벽을 두껍게 하는 등의 조치가 필요하다.

② Settlement resistance of a caisson includes skin friction force, slope resistance and tip resistance of caisson. The empirical scale of skin friction force of caisson is shown in <Table 11.8.2>. This value is based on the assumption that there are good conditions such as gentle slope, existence of friction cut and no tip resistance.

Table 11.8.2 Skin friction force of caisson (kN/m^2)

Soil \ Depth	8 m	16m	25m	30m	40m
Cohesive soil	5	6	7	9	10
Sandy soil	14	17	20	22	24
Sand, gravel	22	24	27	29	31

11.8.8 Design of caisson body

(1) Side wall and partition of caisson body

These shall be designed considering various load combinations during and after construction.

(2) Top slab

A top slab between the side wall and the pier shall be designed considering the connection between the side wall and the top slab.

(3) Support of top slab

When designing a top slab support as a simple support, the following rules shall be observed.

① Top slab support shall be considered to receive external force working at the bottom of the top slab.

② Top slab support shall be designed in consideration of uplift of top slab, pressure and sliding of the support.

③ The top slab support shall resist the sliding by tightly adhering to the support surface, and if it is impossible to resist by friction force only, a shear key may be provided.

(4) Bottom slab of open caisson

The thickness of a bottom slab shall be at least 2 m considering the safety and construction error. In an open caisson, reaction of the bottom ground is transferred to the side wall or partition through the bottom slab.

(5) Tip

① A tip shall allow the easy settlement of caisson, and shall be safe during settlement.

② A tip shall be calculated as a cantilever for the load in the worst case scenario.

② 케이슨의 침하저항에는 케이슨 주면마찰력, 케이슨의 경사로 인한 저항, 케이슨의 날끝저항 등이 있다. 케이슨의 주면마찰력의 크기는 경험적으로 <표 11.8.2>와 같다. 이 값은 케이슨의 경사가 작고, 마찰 컷이 부착되어 있으며, 날끝저항은 전혀 없다는 조건을 만족하는 비교적 침하여건이 좋은 경우에 대한 값이다.

표 11.8.2 케이슨의 주면마찰력(kN/m^2)

케이슨 깊이 / 토질	8 m	16m	25m	30m	40m
점성토	5	6	7	9	10
사질토	14	17	20	22	24
모래자갈	22	24	27	29	31

11.8.8 케이슨본체의 설계

(1) 케이슨본체의 측벽과 칸막이

케이슨본체의 측벽과 칸막이는 시공시와 완성 후의 각종 하중의 조합에 대해서 설계한다.

(2) 상부 슬래브

케이슨 측벽과 교각 구체 사이에 설치하는 상부 슬래브는 측벽과 상부 슬래브의 결합 상태를 고려하여 설계한다.

(3) 상부 슬래브 지지부

상부 슬래브 지지부를 단순지지로서 설계하는 경우에는 다음의 규정을 따른다.

① 상부 슬래브 지지부는 상부 슬래브 밑면에 작용하는 외력을 받는 것으로 하여 설계한다.

② 상부 슬래브 지지부는 상부 슬래브의 부상, 지지부의 지압, 활동에 대하여 검토한다.

③ 활동에 대해서는 지지면에 요철을 만들어 밀착시켜 마찰로 저항하도록 한다. 그리고 마찰만으로 저항할 수 없는 경우에는 활동방지벽을 두는 방법을 강구한다.

(4) 오픈케이슨의 저면 슬래브

저면 슬래브의 두께는 안전성과 시공오차를 고려하여 최소 2m 이상을 확보한다. 오픈케이슨에서는 저면 슬래브를 통하여 저면지반의 반력을 측벽 또는 칸막이에 전달시킨다.

(5) 날끝

① 날끝은 케이슨의 침하가 용이한 형상으로 하고, 침하 중에 안전하도록 설계해야 한다.

② 날끝은 예상할 수 있는 최악의 하중에 대하여 켄틸레버로서 계산한다.

(6) Ceiling slab and ceiling slab hanger beam of pneumatic caisson

① Ceiling slab of pneumatic caisson shall withstand the most unfavorable load combination during and after construction.

② Ceiling slab hanger beam of caisson with a partition shall be designed as a beam to use the bottom of partition and share the load acting on the ceiling slab of work space.

(7) Parapet wall

A parapet wall shall be designed considering the structure of a cut-off wall.

11.8.9 Detail structure of caisson foundation

(1) Construction joint

While the caisson settles, the structure may be partially lifted due to soil collapse, adhesion of wall over extended period or inclined caisson. Accordingly, vertical reinforcement shall be placed in the construction joint in preparation for the worst case scenario.

(2) Cut-off wall or sheathing wall

When the top of a caisson is below the water level or ground surface, a cut-off wall or sheathing wall shall be provided to install an abutment or pier.

(3) Water hole in partition

When settling down the caisson with partition, it is recommended to provide a water hole in the partition. Diameter of the water hole is 40 ~ 50 mm, and one per 1 m^2. When the water hole is not provided, horizontal reinforcement of partition shall be reinforced to bear the water pressure.

(4) Around shaft hole on pneumatic caisson

A shaft is fixed to the ceiling slab of the work space with the anchor bolt, but main reinforcement in the ceiling slab is discontinued, and as such, it shall be reinforced through a reinforcement in the loop or diagonal shape.

(6) 공기케이슨의 작업실 천정 슬래브 및 천정 슬래브 행거빔

① 공기케이슨의 작업실 천정 슬래브는 시공시 및 완성 후의 하중상태에 가장 불리한 조합에 대하여 안전해야 한다.

② 칸막이를 가지는 케이슨 작업실 천정 슬래브 행거빔은 칸막이 하부를 이용하고 작업실 천정 슬래브에 작용하는 하중을 분담하는 보로 설계하는 것으로 한다.

(7) 흉벽

흉벽은 그 상부에 설치될 차수벽의 구조형식을 고려하여 설계한다.

11.8.9 케이슨기초의 구조상세

(1) 시공 이음

케이슨의 침하 도중에 주위 흙의 붕괴, 장기간의 방치에 의한 벽면의 부착 또는 케이슨의 경사 등에 의해 부분적으로 구체가 들뜨는 상태로 되는 수가 있다. 따라서 이들의 최악의 상태를 예상하여, 각 리프트 사이의 시공 이음에 측벽연직방향의 보강철근을 넣어야 한다.

(2) 차수벽 또는 흙막이벽

침하 완료시의 케이슨 상단이 수면 또는 지반면보다 아래에 있는 경우에는 교대나 교각 구체를 구축하기 위해서 차수벽이나 흙막이벽을 설치한다.

(3) 칸막이에 설치하는 통수구멍

칸막이를 둔 케이슨을 침하시키는 경우에는 칸막이에 통수구멍을 설치하는 것이 좋다. 통수구멍은 지름 40~50mm정도로 칸막이의 하부에 $1m^2$당 1개 정도 설치한다. 통수구멍을 설치하지 않는 경우에는 칸막이의 수평철근이 수압에 견딜 수 있도록 사전에 보강한다.

(4) 공기케이슨의 샤프트구멍 주변

샤프트는 앵커 볼트에 의해 작업실 천정 슬래브에 결합되어 있으나, 이 주변 부분은 작업실 천정슬래브의 주철근이 불연속으로 되므로, 환상철근이나 경사철근으로 보강한다.

Chapter 12 Tunnel

12.1 General

12.1.1 Scope of application

(1) This chapter is the standard for planning and designing the railway tunnel using a mining method instead of an open-cut excavation method. An open-cut excavation tunnel must be in accordance with「12.17 Open-cut excavation tunnel」.

(2) standard shall also apply to any design change which is implemented due to the limits of a site investigation, changes to ground condition or other tunnel design characteristics.

(3) aspects not specified in this standard shall be in accordance with the relevant design standards or separate standards for particular cases.

12.1.2 Definition

The terms used in this design standard shall be defined as follows.

(1) Slope: a maximum horizontally inclined angle of discontinuous surface of bedding plane (stratum), fault plane and joint plane; slope direction is always perpendicular to the strike and is measured based on true north.

(2) Instrumentation: a method or behavior to measure the displacement or stress variation in the surrounding ground, structure or support as a result of tunnel excavation.

(3) Tunnel face (excavation face): the face ahead of excavation which is mostly vertical; the area 20 ~ 30m behind the excavation face is the excavation zone.

(4) Excavation method: it includes full face method, division method and advanced drift method.

(5) Excavation technique: it includes manual excavation, mechanical excavation, breaking and blasting methods.

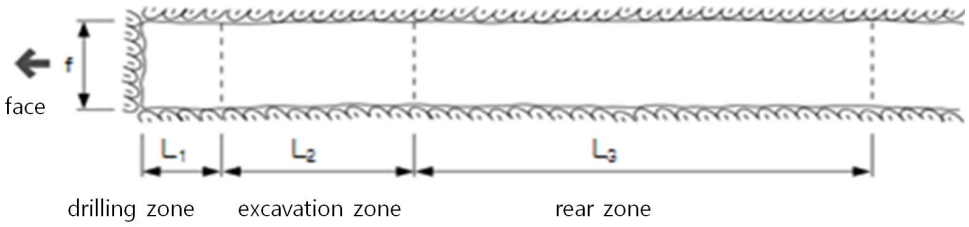


Fig. 12.1.1 Excavation face & zone

제 12 장 터널

12.1 일반사항

12.1.1 적용범위

(1) 이 터널장은 지반을 개착하지 않고 굴착(Mined)하여 시공하는 철도터널공사의 계획, 설계에 대한 기준이다. 단, 개착식터널은「12.17 개착터널」의 기준을 따른다.

(2) 설계를 위한 조사의 제한성 및 실제지반 변화의 다양성 등 터널설계의 특성으로 인하여 설계내용을 현장여건에 적합하도록 변경하는 경우에도 이 기준을 적용한다.

(3) 이 기준에서 규정하지 않은 사항은 다른 관련 설계기준에서 정하는 바에 따라 설계하며 특수한 경우에는 별도로 정하여 설계할 수 있다.

12.1.2 용어의 정의

이 설계기준에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

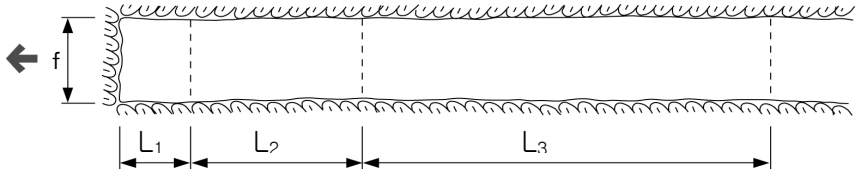
(1) 경사 : 층리면(지층면), 단층면, 절리면 등의 지질 불연속면이 수평면에 대하여 최대로 기울어진 각도를 말하며, 경사방향은 주향과 항상 직교하게 나타나며, 진북을 기준으로 측정한다.

(2) 계측 : 터널굴착에 따른 주변지반, 주변구조물 및 각 지보재의 변위 및 응력의 변화를 측정하는 방법 또는 그 행위를 말한다.

(3) 굴진면(또는 막장면) : 터널굴진방향에 대한 굴착면을 말하며 거의 연직에 가까운 것이 대부분이다. 또한 굴진면 후방의 20~30m 구간의 굴착작업이 주체적으로 실시되는 영역을 굴착부(막장부)라고 한다.

(4) 굴착공법 : 굴진면 또는 터널굴착방향의 굴착계획을 총칭하는 것으로서 전단면굴착공법, 분할굴착공법, 선진도갱굴착공법 등이 있다.

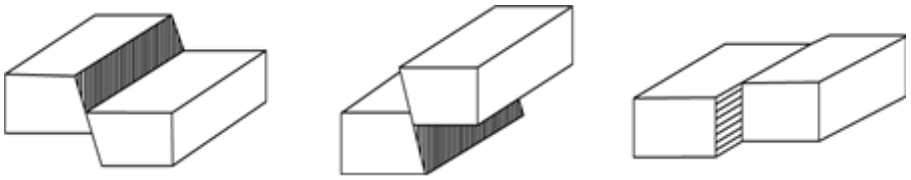
(5) 굴착방법 : 굴진면의 지반을 굴착하는 수단을 말하며 인력굴착, 기계굴착, 파쇄굴착, 발파굴착방법 등이 있다.



(f : 굴진면, L_1 : 굴진구역,
L_2 : 굴착구역, L_3 : 후방구역)

그림 12.1.1 굴진면과 굴착부

(6) Mechanical excavation an excavation using breaker (hand, small and large), excavator, and the full face method (TBM). Open TBM is used for the rocks down to the soft rock class and shield TBM used for rocks weaker than the soft rock.
(7) Displacement of internal tunnel section: a change to the internal shape of a tunnel by excavation, and the reduction in the tunnel section is represented by a positive value (+).
(8) Detonator: an initial explosive or base charge used to explode an explosive or gunpowder.
(9) Expanded section: a section expanded for special purpose.
(10) Fault: a fracture in a rock formation along which there has been movement of the blocks of rock on either side of the plane of fracture caused by plate tectonic forces.



(a) Gravity fault (b) Reverse fault (c) Strike slip fault

Fig. 12.1.2 Faults

(11) Emergency exit: a fire escape tunnel that is in parallel with the main tunnel or inclined or vertical shaft.
(12) Frost prevention layer: a layer replaced with antifreezing material up to the frost penetration depth to protect the trackbed from frost damage.
(13) Dynamic analysis: a method used to dynamically estimate the ground and structure behavior; includes a time history response analysis method that uses the time history of acceleration and a design spectrum analysis method that uses response spectrum.
(14) Disk cutter: a disc cutter attached to an excavator such as TBM to break the rock through the rotation and compressive force of the cutter.
(15) Rock bolt: a bolt inserted to reinforce the excavated rock in order to stabilize the ground by integrating the rock; rock bolt is anchored using a point-anchored method and a full face-anchored method and combined method.
(16) Rock bolt pull-out test: a test to evaluate the pulling-resistance of rock bolt.
(17) Thrust of rock bolt: an axial load on a rock bolt installed in ground.
(18) Micro pressure wave: the compressive wave generated when train enters the tunnel that propagates ahead of the train and rapidly expanded and discharged at the exit, generating an impulsive wave with a large sound pressure.

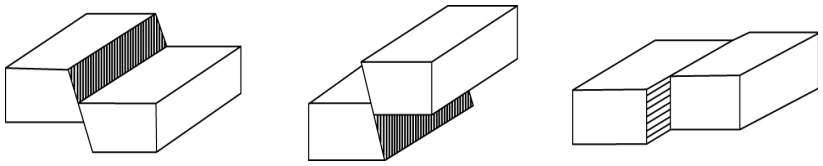
(6) 기계굴착 : 브레이커(핸드, 소형, 대형), 굴착기, 전단면 터널굴착기계(TBM) 등을 이용하여 터널을 굴착하는 방식을 말하며, 전단면 터널굴착은 양호한 암반에서 전단면을 굴착하는 Open TBM 방식과 연암 이하의 지반에서 전단면을 굴착하는 쉴드(Shield) TBM 방식이 있다.

(7) 내공변위 : 터널굴착으로 발생하는 터널 내공형상의 변화를 말하며 통상 내공단면의 축소량을 양(+)의 값으로 한다.

(8) 뇌관 : 폭약 또는 화약을 기폭시키기 위해 사용되는 기폭약 또는 첨장약이 장전된 관체를 말한다.

(9) 단면확폭부 : 일반구간보다 단면이 확폭 변화된 단면구간을 말한다.

(10) 단층 : 지각의 응력에 따라 생긴 일정 규모 이상의 전단파괴면에서 양측에 상대적으로 어긋남을 가지는 선상 또는 대상의 부분을 말한다.



(a) 정단층 (b) 역단층 (c) 주향이동단층

그림 12.1.2 단층의 종류

(11) 대피로 : 터널 내의 화재 발생시 안전지역으로 대피자를 탈출시키기 위한 공간으로 본선터널과 평행한 별도의 터널이나 경사갱 및 연직갱 등을 말한다.

(12) 동상방지층 : 노상의 동결에 따른 동상피해를 억제하기 위하여 동결깊이 만큼의 노상을 동상방지 재료로 치환하는 층을 말한다.

(13) 동적해석법 : 지반 및 구조물의 거동을 동적으로 산정하는 해석법으로 가속도의 시간이력을 사용하는 시간이력 응답해석법과 응답스펙트럼을 사용하는 설계 스펙트럼 해석법이 있다.

(14) 디스크커터(Disk Cutter) : TBM 등 각종 기계굴착기에 부착되는 원반형의 커터로 회전력과 압축력에 의해 암반을 압쇄시켜 굴착한다.

(15) 록볼트(Rock Bolt) : 굴착암반면의 보강을 위하여 삽입하는 볼트이며, 암반을 일체화함으로써 원지반의 안정을 위하여 설치한다. 록볼트의 정착방식에는 선단정착방식, 전면정착방식 및 병용방식이 있다.

(16) 록볼트 인발시험 : 록볼트의 인발내력을 평가하기 위한 시험을 말한다.

(17) 록볼트 축력 : 지반에 설치된 록볼트에 발생하는 축방향 하중을 말한다.

(18) 미기압파(Micro Pressure Wave) : 열차의 터널 진입으로 인하여 발생된 압축파가 터널을 따라 열차진행 방향으로 전파되어 출구에서 급격히 방출 팽창됨으로써 생성되는 큰 음압레벨의 충격파(Impulsive Wave)를 말한다.

(19) Enclosed shield TBM: a TBM with a chamber between tunnel face and bulkhead filled with slurry and muck; the tunnel face is stabilized by maintaining the pressure for muck and slurry.
(20) Invert: the bottom of the tunnel.
(21) Launch base: a tunnel to launch TBM at initial excavation, which is excavated by blasting or by machine for a length of TBM body.
(22) Blasting excavation: an excavation performed by exploding a charge inserted in a drilled hole.
(23) Smoke exhaust: discharging the smoke or hot current from the fire to outside.
(24) Muck: a block or piece of rock or soil generated from excavation.
(25) Bench: when excavating the tunnel separately by upper half and lower half, the boundary of excavation is called Bench.
(26) Length of bench: the axial distance between the upper half and lower half.
(27) Deformation tolerance: the tolerance in the inner diameter considering expected ground deformation to maintain the planned inner diameter even in the event of deformation during excavation.
(28) Auxiliary support: the support to maintain bearing capacity during excavation, other than the main support.
(29) Discontinuities in rock mass: It includes all joints in rock, bedding in sedimentary rock, foliation in metamorphic rock and all soft planes appearing in fault and fracture zone.
(30) Emergency power: the power source used in the event of a failure of regular power (external power supply source at normal state).
(31) Emergency lighting: a standby lighting to prevent secondary accidents and support a safe evacuation when power fails due to fire or accident.
(32) Fiber reinforced shotcrete: a shotcrete mixed with steel or fiber to reinforce the mechanical properties.
(33) Segment: the unit pieces used to form the lining for a shield tunnel, which are categorized by material into steel segment, concrete segment and cast iron segment and composite segment combining concrete segment with doweled steel plate.
(34) Shotcrete: the uncured concrete sprayed from a nozzle using compressed air

(19) 밀폐형 쉴드TBM : 격벽을 갖고 있으며 굴진면과 격벽 사이의 챔버(Chamber) 내를 버력 또는 이수로 채우고, 버력 또는 이수에 필요로 하는 압력을 유지시켜 굴진면의 안정을 도모하는 구조의 쉴드TBM을 말한다.

(20) 바닥부 : 터널단면의 바닥부분을 말한다.

(21) 발진터널 : TBM의 초기 굴착 시 TBM본체의 발진을 위한 터널로서 발파굴착, 기계굴착 등에 의해 시공되며, 일반적으로 TBM 본체길이 정도의 공간이 필요하다.

(22) 발파굴착 : 착암기나 점보드릴 등 천공장비에 의해 천공된 공에 화약을 장약하여 그 폭발력을 이용하여 암반을 굴착하는 방법을 말한다.

(23) 배연(Smoke Exhaust) : 화재 시 발생하는 연기 및 열기류를 화재지점으로부터 외부로 배출하는 것을 말한다.

(24) 버력 : 터널 굴착과정에서 발생하는 암석덩어리, 암석조각, 토사 등의 총칭이다.

(25) 벤치(Bench) : 터널 단면을 상·하로 분할하여 굴착하는 경우에 분할면을 벤치(Bench)라 한다.

(26) 벤치길이 : 분할굴착 시 상단부 굴진면과 하단부 굴진면 간의 터널 축방향 이격거리를 말한다.

(27) 변형여유량 : 굴착에 따른 지반 변형이 있더라도 계획 내공단면이 확보될 수 있도록 미리 예상되는 지반 변형량 만큼 여유를 두어 굴착하는 내공 반경방향의 여유량을 말한다.

(28) 보조지보재 : 굴착 시 지반의 지지능력을 보완해 주는 지보재로서 주지보재를 제외한 지보재의 총칭이다.

(29) 불연속면(Discontinuities In Rock Mass) : 모든 암반 내에 존재하는 절리, 퇴적암에 존재하는 층리, 변성암에 존재하는 엽리, 대규모 지질구조와 관련된 단층과 파쇄대 등 암반에서 나타나는 모든 연약면을 총괄하여 일컫는 말이다.

(30) 비상전원 : 상시전원(정상적인 상태에서 외부로부터 전력을 공급받아 사용하고 있는 전력공급원)이 사고나 고장으로 인하여 공급되지 못할 경우에 사용하기 위한 전력공급원을 말한다.

(31) 비상조명 : 화재 등 사고로 인한 갑작스런 정전 시 2차사고를 방지하고 안전하고 원활한 피난활동을 할 수 있도록 설치하는 예비조명을 말한다.

(32) 섬유보강 숏크리트(Fiber Reinforced Shotcrete) : 숏크리트의 역학적인 특성을 보완하기 위하여 강(Steel) 또는 기타 재질의 섬유를 혼합하여 타설하는 숏크리트를 말한다.

(33) 세그먼트(Segments) : 터널, 특히 쉴드터널공법에 사용되는 라이닝을 구성하는 단위조각으로, 재질에 따라 강판을 용접한 강재세그먼트, 철근콘크리트제의 콘크리트 세그먼트, 주조에 의하여 제조된 주철 세그먼트 및 콘크리트 세그먼트의 단면에 지벨이 붙은 강판을 배치한 합성 세그먼트 등이 있다.

(34) 숏크리트(Shotcrete) : 굳지 않은 콘크리트를 가압시켜 노즐로부터 뿜어내어 소정의 위치에 부착시켜 시공(타설)하는 콘크리트를 말한다.

(35) Shield TBM: a TBM with shield that supports surrounding ground.
(36) Spring line: the line vertically linking the start point of tunnel arch or the points forming the maximum width of the tunnel section.
(37) Skip: a transport equipment used to transport the muck through a vertical shaft.
(38) Fold: the structure of igneous rock, metamorphic rock and sedimentary rock which was bent in wave form from the plane.
(39) System rock bolt: a rock bolt arranged in a certain interval and length.
(40) Signal device: a device displaying a comprehensive instruction such as the priority to the cars or trains in operation.
(41) Safety zone: the zone surrounding tunnel defined by safety degree; safety measures shall be taken depending on each zone categorized.
(42) Talus: the sediment of crushed weathered stones accumulated at the toe of a steep slope without vegetation caused by weathering or gravity action.
(43) Shoulder: located in the middle (portion and/or point) of the tunnel crown and spring line.
(44) Underpinning: a method used to reinforce or support an existing structure when changing or expanding the foundation of structure, and to reinforce or support the structure or foundation in order to reduce the influence of adjacent construction activity.
(45) Overcut: the area larger than excavation plan during tunneling work.
(46) Foliation: a geological structure that appears on metamorphic rock in a plate or band shape due to recrystallization.
(47) Skin plate: a cylindrical plate encasing the drill and segment assembly on shield TBM.
(48) Spring: the groundwater coming from the excavation face.
(49) Response displacement method: one of the seismic design methods that enables the calculation of tunnel deformation and stress by entering the displacement caused by shearing vibration of surface ground Ground displacement during earthquake is generally based on horizontal displacement. A calculation method using the formula from response spectrum and another method that requires the input of the vibration waveform from the vibration model of finite element method are available.

(35) 쉴드TBM(Shield TBM) : 주변 지반을 지지할 수 있는 보호강판(Shield)이 부착되어 있는 TBM을 말한다.

(36) 스프링 라인(Spring Line) : 터널의 상반 아치의 시작선 또는 터널단면중 최대폭을 형성하는 점을 종방향으로 연결하는 선을 말한다.

(37) 스킵(Skip) : 연직갱을 통하여 버력 등을 운반하는 데 사용되는 운반용구를 말한다.

(38) 습곡(Fold) : 화성암, 변성암, 퇴적암에서 변형 전 평면에 가까운 면들이 변형에 따라 물결처럼 굽어 있는 구조를 말한다.

(39) 시스템 록볼트(System Rock Bolt) : 일정한 간격과 길이로 규칙적으로 배열하는 록볼트 설치형식을 말한다.

(40) 신호기 : 운행 중인 차량이나 열차에 통행의 우선권 등 포괄적인 지시를 하는 장치를 말한다.

(41) 안전영역(Safety Zone) : 터널의 안전에 영향을 미치는 정도를 규정한 터널 주변의 영역으로서 각 영역별로 터널안전을 위한 대책을 강구하도록 규제하는 영역을 말한다.

(42) 애추(Talus) : 식생피복이 되어 있지 않은 급한 기울기의 비탈면 아래에 풍화암 부스러기가 풍화작용 및 중력 작용으로 인하여 낙하함으로써 군집 형성된 돌무더기의 퇴적물을 말한다.

(43) 어깨(Shoulder) : 터널의 천장과 스프링 라인의 중간점(사이구간)을 말한다.

(44) 언더피닝(Underpinning) : 기존 구조물이나 기초를 변경 혹은 확대하거나 인접공사 등으로 보완이 필요한 경우 기존 구조물을 보강 또는 지지하는 공법을 말한다.

(45) 여굴 : 터널굴착공사에서 계획한 굴착면보다 더 넓게 굴착된 것을 말한다.

(46) 엽리 : 변성암에 나타나는 지질구조로 암석이 재결정 작용을 받아 같은 광물이 판상으로 또는 일정한 띠를 이루며 형성된 지질구조를 말한다.

(47) 외판(Skin Plate) : 쉴드TBM에서 굴진장치, 세그먼트 조립장치 등을 감싸고 있는 원통형의 판을 말한다.

(48) 용출수 : 터널의 굴착면으로부터 용출되는 지하수를 말한다.

(49) 응답변위법 : 표층지반의 전단진동에 따른 변위를 지반 속에 위치한 터널에 입력함에 따라 터널의 변형과 응력을 산정하는 내진설계의 한 방법을 말하며, 지진시 지층지반의 변위는 일반적으로 수평변위를 대상으로 하고 응답스펙트럼에서 계산식으로 구하는 방법과 유한요소법 등의 진동모델에서 진동파형을 입력하여 구하는 방법이 있다.

(50) Erector: one of the TBM component device used to assemble the ring by lifting the segment.

(51) Relaxation zone: the loosened zone due to the redistribution of ground stresses by tunnel excavation.

(52) Invert: the bottom of the tunnel section. In case of a circular shape tunnel, this is a bottom circular arc with the 90° section; for horseshoe and oval shape tunnel, this is the bottom section of the tunnel. Depending on invert shape, it is classified into curve invert and straight invert. Tunnel lining is classified into a closed type and non-closed type depending upon the adoption of concrete for the invert..

(53) Routine instrumentation: a measurement for ordinary construction management; includes surface settlement, crown settlement and convergence.

(54) Self-power generation facilities: on-site power generation facilities in case of the failure of external power supply.

(55) Jack stroke: the effective length of jack for shield TBM operation and segment assembly.

(56) Electrical prospecting: part of physical prospecting, it measures self-potential and resistivity and examines the ground structure and groundwater.

(57) Joint: a discontinuous face in rock with a certain relative directional pattern and relative displacement less than fault, which is caused by rock characteristics or external force.

(58) Connection: the section where the tunnels with the section in the same or different shape or size are connected.

(59) Precise measurement: a measurement to monitor the ground behavior precisely, with the aim of comprehensively identifying the ground behavior and improving the design.

(60) Smoke control: the control of smoke and heat current in fire.

(61) Main support: the support after excavation excluding auxiliary support and concrete lining, which comprises steel support, shotcrete and rock bolt.

(62) Strike: an azimuth from the direction where discontinuous face (bedding plane, fault plane and joint plane) and horizontal line cross each other as the true north.

(63) Geophysical exploration: the exploration of fracture zone, groundwater distribution, geologic features and structure, which includes gravity, magnetic, electric, electronic, seismic and radioactive exploration.

(50) 이렉터(Erector) : TBM의 구성요소로 세그먼트를 들어 올려 링으로 조립하는데 사용하는 장치를 말한다.

(51) 이완영역 : 터널굴착으로 인해 터널 주변의 지반응력이 재분배되어 다소 느슨한 상태로 되는 범위를 말한다.

(52) 인버트(Invert) : 터널단면의 바닥 부분을 통칭하며, 원형터널의 경우 바닥부 90° 구간의 원호 부분, 마제형 및 난형 터널의 경우 터널 하반의 바닥 부분을 지칭한다. 인버트의 형상에 따라 곡선형 인버트와 직선형 인버트로 분류하며, 인버트 부분의 콘크리트라이닝 타설 유무에 따라 폐합형 콘크리트라이닝과 비폐합형 콘크리트라이닝으로 분류한다.

(53) 일상계측 : 일상적인 시공관리를 위해 실시하는 계측으로서 지표침하, 천단침하, 내공변위 측정 등이 포함된 계측이다.

(54) 자가발전설비 : 외부 전원의 정전에 대비하여 전기 수용자가 별도로 설치한 발전 전원설비를 말한다.

(55) 잭 스트로크(Jack Stroke) : 쉴드TBM의 추진과 세그먼트의 조립을 위한 잭의 유효 길이를 말한다.

(56) 전기탐사 : 물리탐사법의 일종으로 지반전류의 물리현상을 대상으로 하여 자연전위, 비저항을 측정하며 지반구조, 지하수 등을 조사하는 방법이다.

(57) 절리 : 암반에 존재하는 비교적 일정한 방향성을 갖는 불연속면으로서 상대적 변위가 단층에 비하여 크지 않거나 거의 없는 것을 말하며 성인은 암석 자체에 의한 것과 외력에 의한 것이 있다.

(58) 접속부 : 단면의 형태 및 규모가 같거나 다른 터널이 서로 접속되는 구간을 말한다.

(59) 정밀계측 : 정밀한 지반거동 측정을 위해 실시하는 계측으로서 주로 종합적인 지반거동 평가와 설계의 개선 등을 목적으로 수행한다.

(60) 제연(Smoke Control) : 화재 시 연기 및 열기류의 흐름방향을 제어하는 것을 말한다.

(61) 주지보재 : 굴착 후 시공하는 지보재로서 보조지보재 및 콘크리트라이닝을 제외한 지보재의 총칭이며 강지보재, 숏크리트 및 록볼트 등으로 구성된다.

(62) 주향 : 불연속면(층리면, 단층면, 절리면 등)과 수평면의 교선방향을 진북 방향으로 기준하여 측정한 방위를 말한다.

(63) 지구물리탐사(Geophysical Exploration) : 지구물리학적 방법에 의해 파쇄대의 존재, 지하수분포의 상태, 지질특성 및 지질구조 등을 조사하는 방법으로서, 중력탐사, 자력탐사, 전기탐사, 전자탐사, 탄성파탐사, 방사능탐사 등이 있다.

(64) Ground: the surface layer of the earth which is subject to structure foundation or excavation.
(65) Ground condition: it refers to topography, geology and hydrologic condition around the tunnel.
(66) Support: a member to support, reinforce or cover the ground for tunnel stabilization and safe construction during/after excavation.
(67) Support pattern: a support to stabilize the tunnel considering the condition of excavated ground, crown and the surface layer which combines shotcrete, rock bolt and steel support and auxiliary method to stabilize the tunnel after excavation.
(68) Underground displacement: a radial displacement around the tunnel caused by tunnel excavation.
(69) Underground settlement: a displacement settlement that occurs during tunnel excavation, which varies in depth to the ground surface from tunnel crown.
(70) Surface settlement: a surface settlement due to tunnel excavation.
(71) Underground utilities: artificial structures or utilities under the ground.
(72) Nitrogen oxide (NOx): a material generated by thermal behavior between oxygen and nitrogen in the air at high temperature while fuel is combusted in an engine.
(73) Crown settlement: the vertical settlement of the crown due to excavation and absolute downward settlement at control point is defined as (+) crown settlement.
(74) Crown: a crown including shoulder at both sides.
(75) Initial stress: the stress which the ground has before excavation.
(76) Thrust force: the propulsion of cutter head to the face in TBM system.
(77) Wall: forms the bottom of shoulder to the invert.
(78) Side line: a virtual line linking measuring points in the shortest distance.
(79) Bedding: the layer occurring in sediment depending on sedimentation condition while sedimentation rock is formed.
(80) Cutter: the metal attached to TBM cutter head for excavating the soil or rock, which includes disc cutter, cutter bit and copy cutter.
(81) Cutter bit: a blade-shape fixed bit to be attached to TBM cutter head which comprises the body and tip; chrome molybdenum steel or nickel molybdenum steel body with hard metal tip made of tungsten, cobalt or carbon.
(82) Cutter shop: a space to accommodate the reserve cutter as well as repair the cutter required for TBM operation.

(64) 지반 : 건설공사에 관련한 지구의 표층 부분이며, 구조물의 기초나 굴착 등의 대상이 되는 부분이다.

(65) 지반조건(Ground Condition) : 터널주변 지반의 지형, 지질, 수리·수문 조건 등을 말한다.

(66) 지보재 : 굴착 시 또는 굴착 후에 터널의 안정 및 시공의 안전을 위하여 지반을 지지, 보강 또는 피복하는 부재 또는 그 총칭을 말한다.

(67) 지보패턴 : 터널굴진면의 지반 상태와 터널 천단부 및 그 상부의 지반 상태, 시공성 등을 고려하여 터널의 안정성이 확보되도록 적용되는 지보 형태를 말하며, 터널굴착 후 조기에 설치하여 터널의 안정을 꾀하기 위하여 설치하는 숏크리트, 록볼트, 강지보공과 보조공법 등을 조합한 것이다.

(68) 지중변위 : 터널굴착으로 인해 발생하는 굴착면 주변지반의 변위로서 터널 반경방향의 변위를 말한다.

(69) 지중침하 : 터널을 굴착할 때 인접된 원지반은 침하변위를 일으키며 터널 천장부를 기점으로 하여 지표로 갈수록 각 지층의 침하량은 깊이별로 서로 다르게 나타나는데 이때의 깊이별 침하를 말한다.

(70) 지표침하 : 터널굴착으로 인하여 지표면이 침하되는 형상을 말한다.

(71) 지하매설물 : 지표하부에 묻혀있는 인공구조물 또는 인공시설물로서 지장물이라고도 말한다.

(72) 질소산화물(NOx) : 엔진 내에서 연료의 연소 시 고온에 의하여 공기 중의 질소와 산소가 열반응하여 생성되는 물질을 말한다.

(73) 천단침하 : 터널 굴착으로 인해 발생하는 터널 천장의 연직방향의 침하를 말하며, 기준점에 대한 하향방향의 절대 침하량을 양(+)의 천단 침하량으로 정의한다.

(74) 천장부(Crown) : 터널의 천단을 포함한 좌우 어깨 사이의 구간을 말한다.

(75) 초기응력 : 굴착 전에 원지반이 가지고 있는 응력을 말한다.

(76) 추력(Thrust Force) : TBM 등의 기계굴착방법에서 커터헤드의 굴착면으로의 추진력을 말한다.

(77) 측벽부(Wall) : 터널어깨 하부로부터 바닥부에 이르는 구간을 말한다.

(78) 측선 : 계측을 위해 설정한 측점 사이의 최단거리에 해당하는 가상의 선을 말한다.

(79) 층리 : 퇴적암이 생성될 때 퇴적 조건의 변화에 따라 퇴적물 속에 생기는 층을 이루는 구조를 말한다.

(80) 커터(Cutter) : TBM의 커터헤드에 토사 또는 암반의 굴착을 위하여 부착하는 금속으로 디스크커터, 커터비트, 카피커터 등이 있다.

(81) 커터비트(Cutter Bit) : TBM의 커터헤드에 부착하는 칼날형의 고정식 비트로 본체와 팁으로 구성되어 있다. 크롬몰리브덴강, 니켈크롬몰리브덴강 등의 내마모강으로 만든 본체의 끝부분에 텅스텐, 코발트, 카본으로 만든 초경합금인 팁을 용접하여 사용한다.

(82) 커터숍(Cutter Shop) : TBM에 의한 작업 시, 특히 암반부 굴착 시 다량 소요되는 예비 커터를 보관하고, 커터를 정비하는 공간이다.

(83) Cutter slit: it is used to put excavated soil into the shield while cutter head is rotating.
(84) Cutter head: the part attached to the front of TBM to rotate and excavate with disc cutter or cutter bit
(85) Cage: a basket-shaped device for hauling muck or workers through vertical shaft.
(86) Concrete lining: the plain concrete or reinforced concrete (RC) applied to the innermost side of tunnel.
(87) Tail void: a cylindrical void between outside diameter (OD) of segmented ring and OD of shield TBM; that is, the sum of thickness of tail skin plate and tail clearance.
(88) Tail skin plate: the skin plate of shield TBM tail, which is generally thicker than the external plate.
(89) Tail seal: tail seal is attached to the rear part of shield TBM to prevent groundwater or backfill material from flowing back into the gap between OD of shield TBM and segment.
(90) Tail clearance: the gap between inner side of tail skin plate and outer side of segment.
(91) Top soil: the vertical thickness from the crown to ground surface.
(92) Gap: the vertical gap to discontinuous face.
(93) Breaking excavation: the excavation performed by breaking the rock using hydraulic gas, expandable mortar and slower explosive.
(94) Expandable ground: the ground that may be expanded during excavation, which includes volcanic material or expandable mudstone or sulfuric clay.
(95) Uneven pressure: an uneven ground pressure in lateral or forward-backward direction.
(96) Standard support pattern: standardized support patterns depending on ground category.
(97) Pillar: a column or wall-shaped ground remaining on excavation face.
(98) Unconsolidated ground: a low consolidated ground containing sediment, weathered zone or fractured zone formed from the 3^{rd} phase to 4^{th} phase of the Cenozoic era.
(99) Allowable deviation: an allowance for deformation plus inevitable error.
(100) Vent: a system to supply fresh air and discharge the contaminated air.
(101) Torque: the force to rotate the TBM cutter head.
(102) Hood: a part of shield steel pipe at front end that protects the top to maintain safe excavation and secure the work space.
(103) DGPS (Differential Global Positioning System): GNSS (Global Navigation Satellite System).

(83) 커터슬리트(Cutter Slit) : 쉴드 굴착 시 굴착토를 커터헤드의 회전에 따라 쉴드기 안으로 끌어 담는 역할을 한다.

(84) 커터헤드(Cutter Head) : TBM의 맨 앞부분에 배열·장착되는 디스크커터 또는 커터비트 등 각종 커터를 부착하여 회전·굴착하는 부분을 말한다.

(85) 케이지(Cage) : 연직갱을 통하여 버력이나 작업원 등을 운반 시 사용하는 바구니 형상의 운반용구를 말한다.

(86) 콘크리트라이닝 : 터널의 가장 내측에 시공되는 무근 또는 철근 콘크리트의 터널부재를 말한다.

(87) 테일 보이드(Tail Void) : 세그먼트로 형성된 링의 외경과 쉴드TBM 외판의 바깥 직경사이의 원통형의 공극을 말한다. 즉, 테일 스킨 플레이트의 두께와 테일 클리어런스의 두께의 합을 말한다.

(88) 테일 스킨 플레이트(Tail Skin Plate) : 쉴드TBM 테일부의 외판(Skin Plate)을 말하며 일반적으로 외판보다 약간 두껍다.

(89) 테일 실(Tail Seal) : 쉴드TBM의 외판 내경과 세그먼트간의 틈이 생기는데 이곳에서 지하수 유입 또는 뒤채움 주입재의 역류를 막기 위해 쉴드TBM 후단에 부착하는 것을 말한다.

(90) 테일 클리어런스(Tail Clearance) : 테일 스킨 플레이트의 내면과 세그먼트 외면 사이의 간격을 말한다.

(91) 토피 : 터널 천장으로부터 지표까지의 연직두께를 말한다.

(92) 틈새 : 불연속면에 대하여 수직한 방향으로 벌어진 거리를 말한다.

(93) 파쇄굴착 : 유압가스, 팽창성 모르타르, 특수저폭속화약 등을 이용하여 암반을 파쇄시켜 굴착하는 방법을 말한다.

(94) 팽창성 지반 : 터널굴착 시 팽창으로 인하여 문제를 일으키기 쉬운 지반으로써, 제3기층의 열수 변질을 받은 화산분출물, 팽창성 이암 및 온천 여토 등을 말한다.

(95) 편압 : 터널 좌우 또는 전후 방향으로 불균등하게 작용하는 지반압력을 말한다.

(96) 표준지보패턴 : 지반의 등급에 따라 미리 표준화한 지보패턴을 말한다.

(97) 필러(Pillar) : 굴착면 사이에 남아 있는 기둥이나 벽모양의 지반을 말한다.

(98) 함수미고결지반 : 신생대 3기말부터 제4기에 형성된 퇴적물, 암석의 풍화대, 파쇄대 등의 미고결 또는 물을 포함하고 있는 고결도가 낮은 지반을 말한다.

(99) 허용편차 : 변형 여유량에 시공상 피할 수 없는 오차를 합한 값을 말한다.

(100) 환기설비 : 터널 내 공기질을 유지하기 위하여 신선공기를 급기하거나 오염공기를 배출하기 위한 설비를 말한다.

(101) 회전력(Torque) : TBM의 커터헤드를 회전시키는 힘의 크기를 말한다.

(102) 후드부 : 쉴드강관의 일부로 선단부에 있어서 굴진면의 안전을 유지하고 작업공간의 확보와 안전을 꾀하기 위하여 정상부를 보호하는 부분을 말한다.

(103) DGPS(Differential Global Positioning System) : 상대측위방식 GNSS(Global Navigation Satellite System) 측량을 말한다.

(104) K-Segment: the segment to be inserted finally in shield assembly process

(105) Open TBM: a cutting or breaking the full face of the tunnel by rotating the cutter on head without support.

(106) Q-System: one of the quantitative rock classifications derived by incorporating RQD, joint, roughness and variation of discontinuous face, reduction coefficient by groundwater and stress reduction coefficient; proposed by Barton.

(107) RMR (Rock Mass Rating): one of the quantitative rock classifications derived by incorporating RQD, joint, interval and condition of discontinuous face, groundwater and relative direction of discontinuous face; proposed by Bieniawski.

(108) RQD (Rock Quality Designation): the value calculated by dividing the sum of boring core more than 10cm in length by boring length; used to represent the rock quality. Then, core diameter shall be more than NX standard.

(109) TBM (Tunnel Boring Machine): a large-scale excavator that is mechanized and systematized for the whole process including excavation and muck-hauling; generally classified into open TBM and shield TBM.

(110) TCR (Total Core Recovery): the entire boring length versus core length recovered in percentage.

(111) WGS-84 (World Geodetic System, 1984): an earth-centered and earth-fixed 3D Cartesian coordinate system.

12.2 Plan

12.2.1 Plan general

(1) Tunnel plan shall be based on the regional environment, topographic features, land use and future plan and ground conditions.

(2) Tunnel plan shall be developed considering the objective of railway tunnel and the functional appropriateness, safety and constructability and applicability of construction method, as well as cost efficiency, including construction & maintenance cost.

(3) Tunnel construction plan shall consider the environmental impact during and after construction, and shall include the disposal and reuse of construction waste.

(4) Tunnel inner section shall be classified into single track & double track section and large section, and shall be planned depending on the objective and function of the tunnel.

(5) Tunnels shall be categorized into short tunnels less than 1,000m, long tunnels 1,000 m ~ 5,000 m and super-long tunnels 5,000 m or longer.

(6) Structure and shape of tunnel shall be determined after considering the use, topography, ground, construction method and load condition.

(7) The tunnel plan shall include a plan for maintenance.

(104) K-Segment : 쉴드의 세그먼트 조립시 마지막으로 끼워 넣는 세그먼트를 말한다.
(105) Open TBM : 무지보 상태에서 기기전면에 장착된 커터의 회전과 주변 암반으로부터 추진력을 얻어 터널 전단면을 절삭 또는 파쇄하여 굴진하는 터널굴착기를 말한다.
(106) Q-System : 바톤(Barton) 등이 제안한 정량적인 암반분류의 하나이며 RQD, 절리군수, 불연속면 거칠기, 불연속면 변화정도, 지하수에 의한 감소계수, 응력감소계수 등을 반영하여 암반을 분류하는 방법을 말한다.
(107) RMR(Rock Mass Rating) 분류 : 비에니아스키(Bieniawski)가 제안한 정량적인 암반 분류방법이며 암석강도, RQD, 불연속면 간격, 불연속면 상태, 지하수 상태, 불연속면의 상대적 방향 등을 반영하여 암반 상태를 분류하는 방법을 말한다.
(108) RQD(Rock Quality Designation) : 시추코아 중 10cm 이상되는 코아편의 길이의 합을 시추길이로 나누어 백분율로 표시한 값으로서 암질의 상태를 나타내는데 사용한다. 이때 코아의 직경은 NX규격 이상이어야 한다.
(109) TBM(Tunnel Boring Machine) : 소규모 굴착장비나 발파방법에 의하지 않고 굴착에서 버력처리까지 기계화·시스템화 되어 있는 대규모 굴착기계를 말하며, 일반적으로 Open TBM과 쉴드TBM으로 구분한다.
(110) TCR(Total Core Recovery) : 전체 시추길이에 대한 회수된 전체 코아의 길이비를 백분율로 표시한 값을 말한다.
(111) WGS-84(World Geodetic System, 1984) : GPS의 기준좌표계인 지구고정 지구중심 3차원 직각좌표계를 말한다.

12.2 계획

12.2.1 계획일반

(1) 터널계획은 지역여건, 지형상태, 토지이용 현황 및 장래전망, 지반조건 등 사전조사 성과를 기초로 하여 계획해야 한다.
(2) 터널계획은 철도터널의 건설 목적과 기능의 적합성, 공사의 안전성과 시공성, 공법의 적용성을 우선하여 수립하되 건설비와 유지관리비 등을 포함하여 경제성이 있도록 해야 한다.
(3) 터널계획은 공사 중은 물론 유지관리 시에도 주변환경에 유해한 영향을 미치지 않도록 하고 환경보전에 대해서도 배려해야 하며 건설 폐기물의 저감, 재활용, 적정한 처리 및 처분에 대한 계획을 수립해야 한다.
(4) 터널의 내공단면의 크기는 단선터널과 복선터널 또는 대단면터널로 구분하고 터널의 기능과 목적에 따라 계획해야 한다.
(5) 터널계획은 터널길이에 따라 1,000m 미만은 짧은터널, 1,000m~5,000m는 장대터널, 5,000m 이상은 초장대터널로 구분하여 계획해야 한다.
(6) 터널의 구조와 형상은 사용목적, 지형, 지반, 시공법 및 하중조건 등을 고려하여 결정해야 한다.
(7) 터널계획 시 운영 중 유지관리도 고려해야 한다.

12.2.2 Basic tunnel plan

(1) Horizontal alignment shall be planned after considering the following:

① Tunnel route shall be planned to pass through the site where the ground condition is good, maintenance is easy and environmental impact is minimized. In particular, slopes, folds or Talus where uneven pressure is expected, locations where spring or surface water is expected or faults or fracture zones where the stability is suspect shall be avoided.

② The portal shall be located at a site with stable ground and topographic condition, and land use, top soil and constructability shall be considered and shall cross the slope at a right angle depending on site conditions.

③ When two or more tunnels are planned in parallel or close to each other, they shall be distanced properly considering section size, physical properties of the ground, blasting vibration, and land acquisition at both ends of tunnel in order to prevent a negative impact on neighboring tunnels. When the distance between the tunnels needs to be reduced, excavation method and the support shall be planned to secure the safety.

④ When a tunnel passes near the ground structure, underground structure or an existing tunnel, the excavation shall be reviewed considering the importance and structural characteristics of the existing structure, and protection measures shall be planned in preparation for future development plans.

⑤ When a portal is planned at a site where uneven pressure occurs or where slope behavior, falling stones, floods or avalanche are expected, portal structure and protection measures shall be considered in the plan.

⑥ The locations of ventilation shafts, rescue tunnels, working shafts in a long tunnel, dump sites, access and other auxiliary tunnel facilities shall be reviewed.

⑦ For an eco-friendly tunnel plan, cutting and banking that may cause damage to areas with conservation value shall be minimized in planning horizontal and vertical alignment.

⑧ Alignment plan shall also consider the installation of auxiliary and construction facilities.

⑨ The route shall be determined after comparing several alternatives, and a topographic map shall be produced for detailed review.

12.2.2 터널의 기본계획

(1) 평면선형 계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

① 터널노선은 가능한 한 지반조건과 시공성이 양호하고 유지관리가 용이하며 주변 환경에 미치는 영향이 적은 곳을 통과하도록 결정해야 한다. 특히 편압이 예상되는 비탈면과 습곡지역, 애추(Talus) 분포지역, 용출수나 지표수가 많을 것으로 판단되거나 조사된 지역, 안정성이 우려되는 단층 및 파쇄대지역 등은 피하여 계획하되 현장조건에 따라 변경할 수 있다.

② 터널의 갱구위치는 안정된 지반으로 지형조건이 좋은 위치에 선정하도록 하며 토지이용 현황과 토피 등을 감안하고 시공성을 우선하여 결정하되 비탈면에 직교하도록 선정하며 현장조건에 따라 변경할 수 있다.

③ 터널을 2개 이상 병렬 또는 인접하여 계획하는 경우에는 터널의 단면 크기, 굴착대상 지반의 공학적 특성, 발파진동 영향, 터널 전·후 구간의 용지보상 규모, 지장물 및 민원물건 등을 감안하여 터널 굴착공사로 인한 주변 지반거동 및 발파진동이 인접 터널에 나쁜 영향을 미치지 않도록 상호 이격시켜야 한다. 터널 간 이격거리를 줄여야 할 경우에는 안정성을 확보할 수 있도록 굴착방법, 굴착공법 및 보강공법 등 적절한 대책을 수립해야 한다.

④ 계획된 터널이 지상구조물, 지하구조물, 터널 등 기존 시설물에 근접하여 통과하는 경우에는 기존 시설물의 중요도 및 구조적인 특성에 따라 터널 굴착공사로 인한 상호 영향을 검토해야 하며 장래 지상 및 지하개발 계획을 감안하여 필요 시 방호공 등의 사전대책을 수립해야 한다.

⑤ 선형계획 시 제반 제약조건으로 인해 편압이 작용하는 곳에 갱구를 설치하거나 갱구주변 지반에서 비탈면 활동, 낙석, 토석류, 홍수, 눈사태 등이 예상되는 경우에는 갱문의 구조선정에 유의하고 방호설비 등을 검토해야 한다.

⑥ 터널의 부속시설인 환기터널, 피난터널, 장대터널에서 작업터널, 사토장, 진입로 및 기타 터널외부설비 등의 입지조건을 검토해야 한다.

⑦ 환경친화적인 터널계획을 위해서 보전가치가 있는 지형 및 지질유산의 보전과 대규모 지형 변화를 가져오는 깎기와 쌓기가 최소화되도록 평면선형 및 종단선형을 계획해야 한다.

⑧ 선형계획 시에는 부대설비와 공사용 설비의 설치도 고려해야 한다.

⑨ 조사결과에 따라 여러 노선을 선정하여 비교검토 후 예정노선을 결정하고 예정노선에 대해 지형도를 작성하고 터널 예정위치를 상세히 검토해야 한다.

(2) Vertical alignment shall be planned after considering the following.

① Tunnel inclination shall be 3‰ at least for natural drainage and in accordance with the design speed as required by the Railroad Construction Regulation.

② Inclination shall be planned in principle as uphill toward the tunnel center from the tunnel entrance considering natural drainage, but when downward inclination is inevitable due to site conditions, use of the tunnel, construction plan or ventilation plan, a drainage system shall be provided.

③ A minimum top soil thickness according to the vertical alignment plan shall be determined after considering ground and underground structure, ground condition, construction method and excavation section so as to secure a structurally safe zone, and the limit in depth for land use in the future shall also be incorporated.

(3) Inner section shall be planned after considering the following.

① Inner section shall consider construction gauge (facility limitation) depending on tunnel function and use, the curved horizontal alignment shall consider vehicle inclination by cant, the clearance from measuring center (track) to construction center shall be set and space for tunnel signal and communication equipment, extra width for maintenance and access path shall be considered, while allowing for construction error.

② Construction gauge (facility limitation) shall be in accordance with 「2.4.3 Acceptable limit」.

③ Tunnel inner section shall be planned after determining the tunnel type such as 2 or more small/medium tunnels in parallel, or a large tunnel or specialized tunnel depending on topographic and ground conditions and top soil so as to ensure that stability, constructability and cost efficiency are provided.

④ When the tunnel is before/after the station or underground station, a single, double or large section tunnel shall be combined to meet the functional requirements or accomplish the objective considering stability, constructability and cost efficiency.

⑤ When the ground condition is inferior for tunneling work with high potential risk or tunnel length is the major factor in determining the section size, small tunnels in parallel shall be adopted to the extent that it is possible.

⑥ Tunnel excavation section plan shall be determined based on inner section considering total thickness of the support, concrete lining thickness and allowable deviation so as to make it structurally stable.

⑦ Inner section at the same site shall be standardized in terms of size and shape to enhance the work efficiency.

⑧ Inner section shall be planned after considering the air resistance caused by train operation in tunnel, air tightness of the train, ride quality and pressure wave.

(2) 종단선형 계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

① 터널의 기울기는 자연배수가 가능하도록 3‰이상으로 계획하고, 설계속도에 따라 철도건설규칙에 규정된 설계속도에서 정하는 기울기 이하가 되도록 계획해야 한다.

② 계획기울기는 터널입구에서 진행방향으로 가능한 한 오르막기울기가 되도록 하여 자연배수가 원활히 이루어지도록 하는 것을 원칙으로 하되, 현장조건과 터널의 목적이나 시공계획, 환기계획 등의 조건상 터널중앙부가 입구부보다 낮은 내리막기울기가 불가피할 경우에는 배수설비를 계획해야 한다.

③ 종단계획에 따른 터널의 최소 토피는 터널의 구조적 안전영역의 범위가 확보되도록 지표와 지하구조물의 현황, 지반조건, 시공방법 및 굴착단면의 크기 등을 고려하여 결정해야 하며, 최소 토피에는 장래 예상되는 토지이용 한계심도를 반영해야 한다.

(3) 내공단면 계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

① 내공단면은 터널목적 및 기능에 따른 건축한계(시설한계)와 평면선형이 곡선인 구간은 캔트에 의한 차량경사량과 슬랙량을 더하여 확대하고 측량(궤도)중심으로부터 구축중심 이격거리를 설정하고, 터널 내 신호, 통신 등 설비의 시설공간, 유지관리에 필요한 여유폭, 보도 등을 고려하여 정하며 시공 중 터널변형 등 시공오차에 대한 여유를 예상하여 결정해야 한다.

② 건축한계(시설한계)는 「2.4.3 허용한계」를 따른다.

③ 터널의 내공단면 계획 시에는 지형, 지반조건 및 토피정도에 따라 2개 이상의 소·중단면 병렬터널이나 1개의 대단면 터널 또는 특수단면터널의 채택 여부를 검토하여 안정성, 시공성 및 경제성을 확보해야 한다.

④ 정거장 전후구간 또는 지하터널식 정거장일 경우의 터널은 단선, 복선 또는 대단면 터널을 조합하여 기능과 목적에 부합하도록 종합적인 검토를 하여 안정성, 시공성, 경제성 및 유지관리성 등을 고려하여 계획해야 한다.

⑤ 지반조건이 열악하고 주변여건상 터널시공이 장래 문제를 유발할 가능성이 있는 지역인 경우나 터널길이가 내공단면의 크기를 결정하는 데 주요 인자로 적용되는 경우에는 가급적 중·소단면 병렬터널을 계획해야 한다.

⑥ 터널의 굴착단면 계획은 내공단면을 기준으로 하여 지보재의 총두께, 콘크리트라이닝의 두께 및 허용편차를 고려하되, 구조적으로 유리한 형상으로 결정해야 한다.

⑦ 동일 작업구간내의 터널 내공단면은 가급적 동일한 규격 및 형상으로 표준화하여 시공성을 높일 수 있도록 계획해야 한다.

⑧ 내공단면 계획 시에는 열차의 고속주행에 의하여 터널 내에 발생되는 공기저항 및 공기압 변화와 차량 밀폐도, 승차감 및 미기압파의 영향등을 고려해야 한다.

(4) Section plan depending on tunnel length shall be made considering the following:

① When the life safety system is considered insufficient in the main tunnel longer than 15 km, supplementary measures considering tunnel characteristics shall be provided.

② As the train stays at a long tunnel for a considerable time, it is necessary to consider passenger comfort, safety and the potential need for emergency evacuation, and maintenance and supplementary measures shall be incorporated into the design.

③ Work shaft in a long tunnel shall be determined after considering construction method, mucking, dump site and vent shaft to ensure a cost and time efficient construction plan.

(5) Auxiliary facilities shall be planned after considering the following:

① Auxiliary tunnel facilities shall be categorized into operation and maintenance facilities and temporary facilities during construction.

② Auxiliary facility plan shall be developed considering functional conformity, cost efficiency and maintenance efficiency.

③ Permanent facilities shall include vent, electrical power, water supply and distribution, life safety, signaling and communication, security, inspection and evacuation facilities, the type and capacity of which shall be determined according to their use and function.

④ Temporary facilities shall include material storage, material delivery and mucking, water supply and distribution, sewage and wastewater treatment, vent and power reception, electricity, sound barrier and vibration, shotcrete mixing and pouring, temporary building and emergency air supply facilities, the type and capacity of which shall be determined according to construction scale, construction method and duration and site conditions.

(6) Instrumentation shall be planned after considering the following:

① Instrumentation management for tunnel shall be categorized into measurement during construction to monitor the ground behavior and the effect of the support in order to secure construction stability and cost efficiency, and measurement for maintenance to secure safety during operation.

② Instrumentation plan during construction shall also include instrumentation items, location and frequency depending on ground condition in addition to the function and importance of the tunnel.

③ Instrumentation plan during operation shall include the objective depending on the function and the importance of the measurement and implementation plan, and to the extent that it is possible it shall be managed in connection with the measurement during construction.

(4) 터널길이에 따른 단면계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

① 본선터널의 길이가 15km 이상인 터널에서 방재 요구조건이 미흡하다고 판단되는 경우에는 해당 터널특성에 적합한 별도의 대책을 수립해야 한다.

② 장대터널과 초장대터널에서는 열차가 비교적 오랜 시간 터널 내부에서 운행되므로 이에 따른 열차 내 승객의 쾌적성, 안전성, 비상시 대피 및 터널의 유지보수 등을 검토하고 취약한 부분의 성능이 개선될 수 있도록 관련 구조물이나 설비를 설계에 반영해야 한다.

③ 장대터널과 초장대터널에서는 시공방법, 버력반출, 사토장, 공사용 설비, 환기탑의 설치 등을 고려하여 작업구의 위치를 결정함으로써 경제적이고 공기에 맞는 시공계획을 수립해야 한다.

(5) 부속설비 계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

① 터널의 부속설비는 운영 시의 유지관리용 영구설비와 공사 중 시공을 위한 임시설비로 구분하여 계획해야 한다.

② 부속설비의 계획에는 기능의 부합성과 함께 경제성 및 유지관리성을 종합적으로 검토하여 수립해야 한다.

③ 일반적인 영구설비에는 환기설비, 전기설비, 급・배수설비, 방재설비, 신호・통신 및 조명설비, 보안설비, 점검설비, 대피설비 등이 있으며 터널의 목적과 기능에 따라 설비종류 및 규모를 결정해야 한다.

④ 공사용 임시설비에는 자재저장 시설, 자재반입 및 버력처리설비, 급수및 배수설비, 오수 및 폐수 정화설비, 환기 및 수전설비, 전기설비, 방음 및 방진설비, 숏크리트 배합 및 타설설비, 가설 건물설비, 비상급기 설비 등이 있으며 설비의 종류와 규모 결정은 공사규모와 공법, 공사기간, 현장여건 등을 고려해야 한다.

(6) 계측 계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

① 터널의 계측관리 계획은 터널굴착에 따른 지반의 거동과 각 지보재의 효과를 파악하고 공사의 안정성과 경제성을 확보해야 하는 공사 중 계측과 터널 준공 후 운영 중의 안전을 확보하기 위하여 시행되는 유지관리 계측으로 구분하여 수립해야 한다.

② 공사 중 계측계획 수립 시에는 터널의 기능과 중요도 및 지반조건에 적합하도록 계측의 항목 및 설치위치, 측정빈도 등을 계획해야 한다.

③ 운영 중 시행하는 유지관리계측은 터널의 기능과 중요도에 따라 계측의 목적을 정하고, 목적에 적합한 계측계획을 별도로 수립하며, 가능한 한 시공 중 계측계획과 연계하여 관리될 수 있도록 계획해야 한다.

(7) Tunnel portal and work shaft plan shall be developed to prevent rainwater from penetrating into the tunnel, and drainage shall be provided.

(8) Waterproofing shall be planned after considering the following:

① Waterproofing approaches can be categorized into a drainage method that provides a drainage channel to part of the tunnel wall to drain the groundwater continuously in order to prevent water pressure on the concrete lining, and a non-drainage method that provides waterproof material over the entire wall so as to prevent groundwater from penetrating into the tunnel while water pressure is imposed on the concrete lining.

② A waterproofing method shall be selected after comprehensively considering the topography, land use, top soil condition, groundwater characteristics and level, surrounding ground condition and tunnel shape and size, as well as construction and cost efficiency.

③ For undrained tunnel, a waterproofing method and material that meet the construction requirements and a concrete lining that withstands the water pressure shall be selected, and a certain capacity of drainage shall be considered in preparation for excessive leakage.

④ For drainage tunnel, proper drainage system and section shall be secured and functionality and maintenance efficiency shall be considered for maintenance.

(9) Ventilation system shall be planned after considering the following:

① Tunnel ventilation shall be planned to control the pollutant level in the tunnel to within the acceptable level, and the type shall be determined after considering tunnel length and train capacity to maximize the function.

② Tunnel ventilation plan shall be developed by estimating the required capacity based on locomotive, weather, environment, topography and related laws, and natural ventilation or mechanical ventilation, whichever is optimal, shall be adopted.

③ When mechanical ventilation is adopted, the capacity shall be determined after considering structure design, allocation and ventilation location.

④ Ventilation will be used as a smoke control system in an emergency situation such as fire, and thus stabilization shall be reviewed in determining the ventilation system.

(10) The plan for TBM tunnel, vertical shaft, inclined shaft, intersection and transition section shall be in accordance with the relevant regulations.

(11) Life safety system shall be in accordance with “Regulation for railway safety standard” and “Railroad facility safety standard” to constrain the expansion and mitigate the damage.

(12) Major risk factors shall be identified and removed at the tunnel planning stage, and a plan to minimize the damage, if such risk factors cannot be removed, shall be provided.

(7) 터널 갱구부와 작업구의 계획 시에는 우수유입으로 인한 침수피해가 발생되지 않도록 하며 유사시에 대비한 배수대책을 세워야 한다.

(8) 방수형식 계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

① 방수형식은 터널 전체 주위 벽면 중 일부분에 지하수의 배수경로를 만들어 지속적으로 지하수를 배수하여 콘크리트라이닝에 수압이 작용하지 않도록 하는 배수형 방수형식과 터널 전체 주위 벽면에 방수재를 설치하여 지하수가 터널내부로 유입되는 것을 차단하여 콘크리트라이닝이 수압을 받도록 하는 비배수형 방수형식으로 구분한다.

② 방수형식은 지형, 지상 토지이용 현황, 토피정도, 지하수의 특성과 수위, 주변지반 상태 등 현장 지반조건과 터널형상 및 규모 등의 조건을 감안하여 시공성, 경제성 및 유지관리성 등을 종합 검토한 후 결정해야 한다.

③ 비배수형 터널에는 시공 특성에 부합되는 방수형식 및 재료를 선정하고 작용수압에 안전하게 견딜 수 있는 콘크리트라이닝을 계획해야 하며 유사시 또는 과도한 누수에 대비하여 적정 용량의 배수시설을 설치하는 것을 검토해야 한다.

④ 배수형 방수형식의 터널에는 원활한 배수계통과 배수단면을 확보해야 하며 유지관리상 배수계통의 기능 확인과 보수가 용이하도록 계획해야 한다.

(9) 환기계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

① 터널의 환기설비는 터널 내 오염물질의 농도가 허용수준이하로 유지될 수 있도록 터널길이와 열차용량 등 시설물의 목적에 적합한 형식으로 계획하여 필요로 하는 기능을 발휘할 수 있도록 해야 한다.

② 터널의 환기계획은 기관차, 기상, 환경, 지형, 지물 및 관련 법규를 바탕으로 소요환기량을 산정하여 자연환기와 기계환기 중 적합한 방법을 선정해야 한다.

③ 기계환기 선정 시에는 구조설계, 배치 및 환기장소를 고려하여 설비제원을 결정해야 한다.

④ 환기설비는 화재 등 비상 시 안전 확보를 위한 배연이나 제연시설로 운용되므로 환기방식의 선정은 비상시 안정성을 고려하여 검토되어야 한다.

(10) TBM터널 및 연직갱, 경사갱, 분기부, 확폭부 등의 계획에 대해서는 해당 공종에서 정하는 바를 따라야 한다.

(11) 방재시설은 사고 시 피해의 확산을 제어하고 인명피해를 최소화 시킬수 있도록 국토교통부「철도시설의 기술기준」에 따라 계획해야 한다.

(12) 터널계획 단계에서는 재난을 유발할 수 있는 주요 위험요인을 파악하여 근본원인을 제거해야 하며, 제거가 불가능한 경우에는 재난발생 시 피해를 최소화할 수 있는 방재설비를 계획해야 한다.

12.3 Design general

12.3.1 Basic design direction

(1) Tunnel shall be designed by classifying it into single tunnel, double tunnel and large section tunnel and considering the potential for electrification in the future.

(2) Tunnel design shall be categorized into short, long and super-long tunnel depending on length, and shall be designed to meet the functional requirements and accomplish the object.

(3) Long tunnel and ultra-long tunnel shall be designed considering life safety measures.

(4) Tunnel design shall be developed to secure stability, constructability, cost efficiency and durability as well as maintenance efficiency based on the result of the investigation, and design change measures shall also be included in preparation for any discrepancy between design and site conditions. To this end, all data, analysis and prediction shall be proposed.

(5) In tunnel design, section shape, excavation method, support, concrete lining, tunnel entrance and exit, life safety and auxiliary facilities and work sequence shall be determined in order to maximize the bearing capacity of the ground considering the ground's characteristics.

(6) Tunnel design shall consider the need for an efficient ventilation, lighting and life safety system.

(7) Design shall aim to minimize the damage to foundation ground and overbreak through countermeasures.

(8) Impact on surroundings outside of the tunnel structure shall be minimized to secure the safety of the tunnel, and rational measures to deal with the impact on surrounding environment shall be adopted.

(9) Tunnel design shall consider the uncertainty of the ground, the technical constraints of the geotechnical investigation and the limitations of the underground workspace.

12.3.2 Determination of design method

(1) Design method shall be determined to allow ground behavior and bearing capacity of the support to function together so as to maintain tunnel stability, but when the bearing capacity of the ground support cannot be used, ground reinforcement shall be provided, or the support shall be able to bear all loads on ground.

12.3 설계일반

12.3.1 설계의 기본방향

(1) 터널설계는 터널단면에 따라 단선터널, 복선터널, 대단면터널 등으로 구분하여 전철화를 고려하여 설계해야 한다.

(2) 터널설계는 터널연장에 따라 짧은터널, 장대터널, 초장대터널로 구분하여 그 기능과 목적에 적합하도록 설계해야 한다.

(3) 장대터널과 초장대터널은 방재대책을 고려하여 설계해야 한다.

(4) 터널설계는 조사결과를 토대로 안정성, 시공성, 경제성과 내구성이 확보되고 유지관리가 편리한 시설이 되도록 하되 실제 시공조건이 설계 당시에 예측한 조건과 상이한 경우에 대비한 변경방법 및 조치사항 등을 포함해야 한다. 이를 위하여 설계 시에 적용한 모든 적용자료와 분석 및 예측사항을 명확하게 제시해야 한다.

(5) 터널설계는 제반조사 자료들을 근거로 지반특성을 고려하여 터널주변 원지반이 보유하고 있는 지보능력을 최대한 활용할 수 있도록 단면형상, 굴착공법과 방법, 지보재 형식, 콘크리트라이닝, 터널 입구와 출구부, 방재 및 부대시설, 시공순서 등을 선정해야 한다.

(6) 터널설계 시 환기, 조명, 방재시설 등의 제반설비 사항도 고려하고 이들의 역할이 잘 발휘되도록 설계해야 한다.

(7) 터널굴착 시 원지반의 손상이나 여굴발생이 최소화되도록 설계하며 원지반의 손상이나 여굴발생 시 그 처리방안을 설계해야 한다.

(8) 터널안정성을 확보하기 위하여 터널구조물의 안전뿐만 아니라 주변 위험 영향도 최소화되도록 해야 하며, 터널 주위에 미치는 영향에 대해서는 필요 시 합리적인 대책을 강구해야 한다.

(9) 터널설계는 지반의 불확실성, 지반조사의 기술적 한계 및 지하공간에서의 제한적 작업특성 등이 고려되어야 한다.

12.3.2 설계방법의 선정

(1) 설계방법 선정은 지반의 거동특성과 지보재의 지보력이 상호 연합하여 일체가 되게 거동하여 터널의 안정성이 유지될 수 있는 방법을 선정해야 한다. 다만, 지반의 거동특성상 지반의 지보능력 활용이 불가능할 경우에는 지반보강을 시행하거나 지보재가 지반하중을 모두 지지하도록 하는 설계방법을 채택한다.

(2) A standard support pattern and excavation method applicable to rock classification may be selected for design. In such a case, support pattern shall be determined after considering the performance in similar ground conditions or by referring to the support proposed in RMR and Q-system,; however, this may be modified depending on site conditions. Rock classification shall be based on「Implementation standard for basic design (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs)」, 「Tunnel design standard (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs)」 and 「Slope design standard (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs)」.

(3) Stability of the excavation method and support pattern shall be verified through an analytic method according to conditions, and working load, engineering characteristics, analysis technique and boundary condition shall be comprehensively evaluated.

(4) When there are particular design conditions, or no record of performance with similar conditions, design shall be determined after a thorough review of the excavation method and support pattern.

12.3.3 Basic design conditions

(1) Tunnel design shall include the following:

① Horizontal and vertical alignment
② Analysis and classification of the ground for excavation
③ Shape of tunnel section
④ Determination of support pattern and application area
⑤ Excavation method
⑥ Specification and work sequence of the supports
⑦ Required supplementary and reinforcement method
⑧ Waterproof and drainage method
⑨ Application of concrete lining
⑩ Instrumentation plan and implementation method
⑪ Auxiliary facilities, including ventilation and life safety system
⑫ Maintenance plan
⑬ Environmental impact assessment
⑭ Construction specifications

(2) Tunnel design shall focus on stability first and optimize the support. In such a case, an empirical method using design and construction experience shall also be considered, in addition to an analytical method.

(3) Concrete lining of the tunnel passing though the hard rock layer may be applied after reviewing the function to the tunnel.

(4) Material used in tunnel shall be fire-resistant.

(2) 암반분류 후 해당 등급에 적용할 표준지보패턴과 굴착방법을 정하여 설계할 수 있다. 이 경우 유사암반조건에서의 시공실적 또는 RMR 방법 및 Q-system 등에서 제안한 지보패턴을 참조하여 지보패턴을 정하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 변경할 수 있다. 암분류는 「기본설계 등에 관한 세부시행기준(국토해양부)」,「터널설계기준(국토해양부)」,「건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부)」을 기본으로 하며 필요할 경우 별도로 정하여 실시한다.

(3) 굴착공법과 지보패턴은 선정조건에 따라 각 조건별 해석적인 방법을 통하여 그 안정성을 검증하며 작용하중, 공학적 특성치, 해석기법 및 경계조건 등을 종합적으로 검토해야 한다.

(4) 설계조건이 특수하거나 유사조건에서의 시공사례도 없는 경우에는 예상되는 문제들을 면밀히 검토한 후 굴착방법, 지보패턴 및 보조공법 등을 선정하고 정밀한 해석적인 검증을 통하여 설계를 확정해야 한다.

12.3.3 설계의 기본요건

(1) 터널설계에는 다음 사항을 포함해야 한다.

① 평면 및 종단선형
② 굴착 대상지반의 분석 및 분류
③ 터널단면의 형상
④ 지보패턴 및 지보패턴 적용구간 선정
⑤ 굴착공법 및 굴착방법
⑥ 각종 지보재의 규격 및 시공순서
⑦ 필요한 보조공법 및 보강공법
⑧ 방수 및 배수방법
⑨ 콘크리트라이닝의 시공
⑩ 계측계획 및 수행방법
⑪ 환기, 방재 등을 비롯한 각종 부대시설
⑫ 유지관리계획
⑬ 터널시공에 따른 환경영향분석
⑭ 공사시방서

(2) 터널 설계는 안정성 확보를 우선으로 하고 지보재가 최적화 되도록 설계한다. 이 경우 해석적인 방법 외에 설계·시공사례 등의 경험적인 방법도 고려해야 한다.

(3) 신선한 암반을 통과하는 터널은 지보재의 내구성이 확보될 경우 콘크리트라이닝의 역할을 분석하여 이의 미설치 여부를 검토할 수 있다.

(4) 터널 부대시설에 사용하는 재료는 화재에 대한 내화성을 가진 재료를 사용해야 한다.

(5) Tunnel material shall be in accordance with the Korea Industrial Standard in the 「Industrialization Act」 (hereinafter called 「KS Product」) or the equivalent, and a review to determine whether it is an environment-friendly product according to the 「Act on promoting the purchase of environment-friendly products」 or preferential purchase product according to the 「Act on promoting or supporting the products of small and medium enterprise」 is applicable.

(6) Measures necessary for operation and maintenance shall be considered.

(7) Measures to deal with discrepancies between the design and site conditions shall be proposed, and shall include <Table 12.3.1>

12.4 Investigation

12.4.1 General

(1) Investigation shall be implemented in a manner that ensures the data necessary for determining the route, design, construction and maintenance is obtained, and the details shall be in compliance with 「2.5 Project implementation environment investigation」 and 「3.3 Geotechnical investigation」.

(5) 터널 공사용 자재는 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격 표시품(이하 「KS 표시품」이라 한다) 또는 이와 동등 이상의 성능을 지닌 자재이어야 하며, 「친환경상품 구매촉진에 관한 법률」에 의한 친환경상품 또는 「중소기업제품 구매촉진 및 판로지원에 관한 법률」에 따른 우선구매대상 기술개발제품이 설계에 반영될 수 있는지 검토해야 한다.

(6) 향후 운영 시의 유지관리에 필요한 사항을 고려해야 한다.

(7) 시공 시의 제반여건이 설계당시의 조건과 상이할 수 있는 문제점에 대한 대책을 제시해야 하며 <표 12.3.1>의 사항을 포함한다.

12.4 조사

12.4.1 일반사항

(1) 조사는 터널의 노선선정, 설계, 시공 및 완공 후의 유지관리에 중대한 영향을 미치는 사항으로 필요로 하는 기초자료를 얻을 수 있도록 실시해야 하며, 상세한 내용은 「2.5 사업시행 환경조사」및 「3.3 지반조사」를 따른다.

Table 12.3.1 Design changes

Items	Description
Reclassification of ground	Classification of the ground
Change of design section	.Support
	.Acceptable deformation
	.Section shape
Change of support pattern	.Thickness of shotcrete
	.Material of shotcrete
	.Length and number of rock bolts
	.Interval and size of steel supports
Change of excavation method	.Bench-cut (including Core and ring cut)
	.Pilot drift
	.Other excavation section division
Auxiliary method	.Face (excavation) stabilization method
	.Ground reinforcement method
	.Springs
	.Surface settlement
	.Neighboring structure
Section closure	.Invert concrete (early completion)
	.Invert shotcrete (temporary closure)
	.Concrete lining stiffness increase
	.Dual lining (temporary lining)
Change of tunneling method	.Change to open-cut method
	.Change to earth structure
Other	.Other factors that must be changed

(2) Scope, sequence, method, level, quantity and duration of investigation shall be determined after considering the objective and size of the tunnel, and the result of the investigation shall be produced considering tunnel design and construction method.

(3) It is difficult to determine the soil, rock, geologic and underground characteristics based on investigation at the design stage, and for this reason, the investigation shall continue during construction. Rock classification for plan and design shall be applied to construction consistently.

표 12.3.1 설계내용의 변경사항

주요항목	주요내용
지반의 재분류	. 적용지반의 분류
설계단면의 변경	. 지보재
	. 변형 여유량
	. 단면형상
적용지보패턴의 변경	. 숏크리트 두께
	. 숏크리트의 재질
	. 록볼트의 길이, 본수
	. 강지보재 설치간격 및 규격
굴착공법의 변경	. 벤치커트 공법(코아(Core)남김, 링커트 포함)
	. 선진도갱공법
	. 기타 굴착단면 분할
보조공법 도입	. 막장(굴진면) 안정화 대책
	. 지반보강 대책
	. 용수대책
	. 지표면 침하 대책
	. 근접 구조물 대책
단면의 폐합	. 인버트 콘크리트(조기 시공)
	. 인버트 숏크리트(가폐합)
	. 콘크리트라이닝 강성 증대
	. 이중 라이닝(임시 라이닝)
터널공법 변경	. 개착터널 공법으로 전환
	. 토공구간으로 전환
기 타	. 기타 변경이 요구되는 사항

(2) 터널의 목적, 규모 및 위치 등을 고려하여 조사의 내용, 순서, 방법, 범위, 정도, 수량 및 기간 등을 결정해야 하며 터널의 설계 및 시공 시 활용방법 등을 고려하여 조사성과를 정리해야 한다.

(3) 터널공사는 설계 시의 조사 결과만으로 토질 및 암반조건, 지질조건, 지하수 등 지반조건을 정확하게 파악하기 어려우므로, 시공단계에서도 계속적인 조사를 실시해야 한다. 또한, 계획 및 설계단계에서 적용한 암반분류 기준이 시공 시 조사에도 일관성 있게 적용되도록 해야 한다.

(4) Investigation is classified into locational environment investigation and geotechnical investigation, and shall include the following:

① Locational environment investigation shall include the factors that may have an effect on construction or may be affected by construction, such as topography, environment, obstacles, dump site, hydraulic characteristics, construction equipment, land acquisition and related laws.

② Geotechnical investigation shall include a preliminary investigation to determine the basic plan and route, a main investigation for the design and construction plan after the tunnel route is determined, a supplementary investigation and an investigation during construction.

12.4.2 Environment investigation

(1) The goal of the environment and locational condition investigation is to identify the environment, laws and other factors that may have an effect on construction, and the investigation scope and method shall be determined after considering the objective & stage of the investigation and railway's characteristics. The details shall be in accordance with 「2.5 Project implementation environment investigation」.

(2) Topographic investigation shall consider the following:

① Topography that may have an effect on construction or may be affected by construction shall be analyzed using topographic map, aerophoto or satellite picture; this shall be followed by site investigation.

② Data collection, site investigation and field survey of steep slope, superelevation, Talus, slided land valley or other site vulnerable to flood, landslide and avalanche shall be performed to identify the topographic features and potential impact on construction.

(3) Environment investigation shall consider the following:

① Environment investigation is divided into a broad investigation at the basic plan and route plan stage and a tunnel environment investigation at the design stage.

② The goal of the broad investigation is to minimize the impact of tunnel construction and operation on the environment and the community, and it shall include the following:

A. Hydraulic and hydrologic features: Topography and river valley, river flow, water level, water use, effect of other works on groundwater and aquifer

B. Weather: Temperature, rainfall, snow, wind and frequency of snowstorm and gust

C. Natural disaster: Frequency of avalanche, landslide, collapse, earthquake and flood and resulting damages

(4) 조사는 입지환경조사 및 지반조사로 구분되며 각 조사에서는 다음 사항을 포함해야 한다.

① 입지환경조사는 터널의 건설에 영향을 미치거나 터널건설로 영향을 받을 수 있는 사항에 대한 조사로서 지형, 환경, 지장물, 사토장, 수리・수문특성, 공사용 설비, 보상 및 관련법규 조사를 포함해야 한다.

② 지반조사는 터널건설의 기본계획 및 노선 선정을 위한 예비조사, 터널노선 결정 이후 공사 착공전의 설계 및 시공계획을 위한 본조사, 그리고 보완조사 및 시공중 조사로 단계를 구분하여 시행한다.

12.4.2 환경조사

(1) 환경・입지조건조사는 터널건설에 영향을 미치는 관련 환경, 법규 및 기타 사항에 대하여 조사하는 것으로서 조사내용, 방법, 범위 등에 대해서는 조사목적, 단계, 철도의 특성 등을 고려하여 계획해야 하며, 상세한 내용은 「2.5 사업시행 환경조사」를 따른다.

(2) 지형조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 터널건설에 영향을 미치거나 터널공사로 영향을 받을 수 있는 지형은 지형도나 항공사진 및 인공위성사진 등을 이용하여 분석하고 현장답사를 통하여 조사해야 한다.

② 급경사, 편경사, 애추(Talus), 붕괴지, 계곡 및 매몰된 수로 등 불안정한 지형이나 산사태, 눈사태 및 홍수 등 재해가 예상되는 지형에 대해서는 자료조사, 현장답사, 측량 및 지반조사 등을 병행하여 지형 현황과 특성을 파악하고 터널 건설에 미치는 영향을 분석해야 한다.

(3) 환경조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 환경조사는 기본계획 및 노선선정 단계에서 실시하는 광역 환경조사와 설계 단계에서 수행하는 터널주변 환경조사로 구분하여 실시한다.

② 광역 환경조사는 터널 시공 및 이용으로 인하여 자연환경 및 사회환경에 미치는 악영향을 최소화하기 위하여 광범위하게 실시해야 하며, 다음 사항을 포함한다.

가. 수리・수문 : 지형 및 하곡의 성상, 하천유량, 지하수위, 물이용 상황, 지하수에 영향을 미치는 타공사의 유무, 대수층의 존재여부

나. 기상 : 기온, 강우, 강설, 바람 등의 영향, 눈보라와 돌풍의 발생빈도 및 현황

다. 재해 : 산사태, 눈사태, 붕괴, 지진, 홍수 등의 발생지 및 피해정도

D. Land: Land use, major structures and use according to the law
E. Transport: Existing railways, roads and other transport capacity
F. Public facilities: Location and scale of schools, hospitals, nursing homes and public parks
G. Cultural asset: Location and scale of remains, cultural assets and natural monuments, and designation by law
H. Underground resources: Establishment of the rights, mines and mineral resources
I. Mine development: Location & scale of mines, closed mines and quarries
J. Others: Flora and fauna distribution, landscape and regional development

③ Tunnel environment investigation shall include the following to predict the environmental change, develop conservation measures and confirm the effects.

A. Water use: Surface water and groundwater quality, water source, neighboring works that may cause muddy water and potential flow and water level change
B. Noise and vibration: Noise, vibration, topographic & geologic features and land use.
C. Ground settlement: Road, railway, subway, building, structure, underground utilities, closed mines and land use
D. Ground and structure deformation: Neighboring works that may have impact on building, structure, topographic & geologic features and land use
E. Water pollution: River, drainage, channel and regulations
F. Fair pollution: Pollutants in the air and weather
G. Traffic impact: Structure, traffic congestion, road management and surrounding environment
H. Flora and fauna distribution: Investigation of animals and plants and designation of natural monuments

12.4.3 Investigation of obstacles

(1) This shall include the following, and the details shall be in accordance with 「2.5 Project implementation environment investigation」.

① Investigation of waterpipe, sewer, pipeline, communication & power cable, gas pipe, underpass and neighboring tunnel shall be implemented to identify the depth and size for safe construction.

② Boring location shall be determined by referring to the utility map from relevant authorities and after manual excavation or investigation, and it shall be planned to avoid the penetration of boring hole into the tunnel.

③ Investigation of surrounding buildings, bridges and structures that may be affected by tunnel excavation shall be carried out to identify the type, use and status of these for reference in evaluating the impact caused by excavation.

④ Obstacle investigation data shall be used to protect these during construction.

가. 토지 : 토지이용 현황, 주요 구조물, 법에 의한 용도구분의 범위
나. 교통 : 기존철도, 도로의 규격, 구조, 수송력 등
다. 공공 시설물 : 학교, 병원, 요양소, 자연공원 등 공공시설물의 위치 및 규모
라. 문화재 : 사적, 문화재, 천연기념물 등의 위치, 규모 및 법지정의 현황
마. 지하자원 : 권리설정 현황, 광산현황 및 광물의 부존상태 등
바. 광산개발 : 광산의 갱도나 폐갱도와 지하공동의 위치 및 규모
사. 기타 : 동식물의 분포상태 및 경관, 지역 개발계획 등

③ 터널주변 환경조사는 터널 건설로 인하여 발생되는 터널주변 환경변화의 예측, 환경보전 대책의 입안, 대책의 효과확인 등을 위하여 실시하며 다음 사항을 포함해야 한다.

가. 물이용 현황 : 지표수 및 지하수의 수질, 수원의 현황, 탁수발생 가능성이 있는 인접공사, 유로 및 수위변화 가능성
나. 소음 및 진동 : 소음, 진동, 지형, 지질, 토지이용 현황
다. 지반침하 : 도로, 철도, 지하철, 건물, 구조물, 지하매설물, 폐광, 토지 이용현황
라. 지반과 구조물의 변형 : 건물, 구조물 상태, 지형 및 지질, 토지이용 현황, 구조물의 변형발생 가능성이 있는 인접공사
마. 수질오염 : 하천의 상태, 배수 상태, 수로의 상태, 법규제 상태
바. 대기오염 : 대기중의 유해물, 기상현황
사. 교통장애 : 구조, 교통량 혼잡상태, 도로관리자, 도로주변의 환경 등
아. 동식물 분포 : 동식물의 현황 및 분포와 천연기념물 등 법적 보호종의 현황조사

12.4.3 지장물조사

(1) 지장물조사 시에는 다음 사항을 고려해야 하며, 상세한 내용은 「2.5 사업시행 환경조사」를 따른다.

① 터널공사 전에 지역내에 기설치되어 있는 상수도 및 하수도관, 송유관, 통신 및 전력 케이블, 도시가스관, 지하통로, 인접터널 등 지하지장물의 종류, 평면상 위치 심도 및 크기 등을 파악하여 안전한 시공이 될 수 있도록 해야 한다.

② 시추조사 위치는 관련기관으로부터 지장물 매설도를 구하여 참조하고 유관기관과 협의 후 반드시 인력터파기나 탐사방법 등을 이용하여 지하매설물의 유무를 확인한 후에 선정해야 한다. 또한 시추공이 터널을 직접 관통하지 않도록 위치를 계획해야 한다.

③ 터널 굴착으로 인하여 영향을 받을 수 있는 주변 건물, 교량 및 기타구조물 등 지상지장물의 종류, 용도, 특징 및 상태 등을 조사하여 터널굴착으로 인한 영향검토시 자료로 활용해야 한다.

④ 지장물 조사결과는 후속공사시 지장물 보호를 위해 활용해야 한다.

12.4.4 Investigation for compensation

(1) Objects for compensation include land, building, tree and replantation, the rights (superficies, subsurface rights, water rights, hot spring rights, fishing rights, quarrying rights), reduction in farming and fishing rights and operating loss. An investigation to obtain the compensation data shall be carried out and further details shall be in accordance with 「2.5 Project implementation environment investigation」.

12.4.5 Investigation of construction facilities and dump site

For construction facilities the following shall be considered, and further details shall be in accordance with 「2.5 Project implementation environment investigation」.

(1) Included among construction facilities are tunnel entrance, vent and dust collection, aggregate and concrete plant, power distribution, drainage and temporary building, and an investigation of the following is needed to obtain the data.

① Topographic, geologic and weather data: may have an impact on facilities or cause a risk to the facilities

② Surrounding environment: Environmental impact including noise, vibration, drainage, traffic and dust

③ Electric power: Capacity of existing power line, frequency, voltage, difficulty with power distribution, time and distance for power supply, approximate cost, power source and power consumption of construction equipment

④ Powder magazine plan: Related laws and regional regulations

⑤ Drainage: Concrete mixing water, potable water, springs from tunneling work and drainage of washing water

⑥ Material hauling and mucking: Equipment access, construction road for mucking, track size, traffic and control and surrounding road

⑦ Material: Concrete aggregate, fresh concrete, material supply and transport

⑧ Relevant laws, regulations and other works around the site

(2) In investigating the dump site, the following shall be considered:

① When a dump site to dispose of the muck is needed, investigation of topographic feature, hailing method and distance, traffic volume and regulation and environmental impact on dump site and relevant laws shall be implemented.

② Land acquisition process shall be checked.

③ Use of a dump site, when the scale is large, shall be planned.

④ Ground stabilization, soil erosion and environmental impact caused by hazardous minerals shall be investigated in planning the dump site.

12.4.4 보상대상조사

(1) 터널공사에 있어서의 보상대상 사항은 용지취득에 수반되는 토지, 건물, 수목 등의 매수 및 이전, 각종 권리(지상권, 지하권, 수리권, 온천권, 어업권, 광업권, 채석권 등)의 침해, 농림 및 어업 수익의 감소, 영업손실 등이 있고, 이들의 보상을 위한 자료를 얻기 위하여 필요한 조사를 해야 하며, 상세한 내용은 「2.5 사업시행 환경조사」를 따른다.

12.4.5 공사용 설비 및 사토장 조사

공사용 설비 조사시에는 다음 사항을 고려해야 하며, 상세한 내용은 「2.5 사업시행 환경조사」를 따른다.

(1) 공사용 설비로는 터널입구 설비, 환기 및 집진설비, 운반설비, 골재 및 콘크리트 플랜트 설비, 수배전 설비, 용배수 설비, 임시건물 설비 등이 있으며, 공사용 설비 계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 다음의 사항을 조사해야 한다.

① 지형과 지질 및 기상 : 설비기능 저해 혹은 위험 가능성이 있는 지형, 지질 및 기상

② 주변환경 : 주변환경에 영향을 미치는 공사용 설비의 소음, 진동, 배수, 교통, 분진

③ 전력의 사용 : 기가설 송배전선의 용량, 주파수, 전압, 수변전의 난이, 수전까지의 소요시간 및 거리, 개략산출 비용, 발전설비 등의 동력원, 공사용 장비 운용 시의 소요전력량

④ 화약고 설치계획 : 화약에 관한 법률이나 지방자치단체조례 등

⑤ 용배수 : 콘크리트 혼합용수, 음용수, 기타 잡용수의 취수조건, 터널시공에 수반한 용출수의 처리, 세척수의 방류조건

⑥ 자재 및 버력운반 : 기계 및 반출입, 버력운반 등에 필요한 공사용 도로, 궤도 등의 규격, 교통량, 교통규제의 현황 및 주변도로 이용 현황

⑦ 노무자재 : 터널외부 설비에 관계되는 콘크리트용 골재, 굳지 않은 콘크리트, 기타 자재의 공급경로, 공급사정의 현황 및 관리방법, 노무사정의 현황

⑧ 법규, 기타에 의한 규제 및 인접 지역의 공사 유무

(2) 사토장 조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 공사 중에 발생하는 버력을 처리하기 위한 사토장이 필요할 때에는 지형, 운반방법, 운반거리, 운반도로의 교통규제, 교통안전 등의 운반조건, 사토장이 주변환경에 미치는 영향, 사토후의 토지의 형태변화, 법규에 의한 규제 등에 대하여 사전에 조사해야 한다.

② 사토를 위한 용지취득 및 사토에 따른 보상에 대해 조사해야 한다.

③ 대규모 사토장을 계획할 경우에는 사토장의 활용계획에 대하여 검토해야 한다.

④ 사토장의 계획시 사토에 따른 지반의 안정성, 토사유출, 유해광물에 의한 환경오염방지에 관한 조사를 실시해야 한다.

12.4.6 Hydraulic and hydrologic investigation

(1) For hydraulic and hydrologic investigation, the following shall be considered, and further details shall be in accordance with 「2.5 Project implementation environment investigation」.

① Data that may predict the presence of springs, surface water and groundwater around the site during construction shall be obtained.

② Data on wells, reservoirs and rivers that may be influenced by tunnel construction shall be obtained to use in developing the countermeasures.

12.4.7 Relevant laws

(1) The effect on construction, scope, level, process and countermeasures shall be examined, and further details shall be in accordance with 「2.5 Project implementation environment investigation」.

12.4.8 Geotechnical investigation

(1) Geotechnical investigation shall be classified into preliminary investigation, main investigation and supplementary investigation, and the following shall be considered according to the stage. Further details shall be in accordance with 「3.3 Geotechnical investigation」.

① Preliminary investigation is implemented at a broad area to determine the location of the site, route or structure at planning stage, and this includes data, satellite photo, aerial photo examination and site investigation to identify the ground conditions and boring test as needed.

② Main investigation is divided into broad investigation and precision investigation, and is intended to identify the stratum distribution, geologic structure, design parameters including engineering characteristics, geophysical survey, boring test and in-situ test, and investigation and test may be performed in diverse ways considering tunnel conditions.

③ As there might be constraints even in the event of precision investigation at the design stage, actual ground conditions shall be monitored for safety.

④ For small projects, investigation may be partially replaced with existing data, but a detailed geotechnical investigation plan shall be developed for a long tunnel and urban tunnel.

⑤ Geotechnical investigation shall be planned to deal with structures that are unstable due to the surrounding environment during operation.

12.4.6 수리・수문조사

(1) 수리・수문조사 시에는 다음 사항을 고려해야 하며, 상세한 내용은 「2.5 사업시행 환경조사」를 따른다.

① 수리・수문조사는 시공 중 발생하는 용출수나 터널공사가 주변의 지표수 및 지하수에 미치는 영향을 예측시 필요한 정보가 제공되도록 실시해야 한다.

② 터널공사로 인하여 갈수가 예상되는 우물, 저수지, 용천, 하천 등에 대하여는 그 분포, 수량의 계절적 변화, 이용상황 등을 조사하여 갈수대책의 자료로 이용해야 한다.

12.4.7 관계법규조사

(1) 터널공사에 있어서 법규에 의한 규제를 받는 경우에는 공사에 미치는 영향의 범위, 이에 대한 규제의 정도, 수속, 대책 등에 관한 관계법을 조사해야 하며, 상세한 내용은 「2.5 사업시행 환경조사」를 따른다.

12.4.8 지반조사

(1) 지반조사는 예비조사, 본조사, 보완조사로 구분하며 각 단계에서 다음 사항을 고려해야 하며, 상세한 내용은 「3.3 지반조사」를 따른다.

① 예비조사는 계획 단계에서 부지나 노선 또는 구조물의 위치 선정을 위하여 실시하는 조사로서 넓은 범위를 대상으로 수행하며, 기존 자료조사, 인공위성사진 분석, 항공사진 판독 및 분석, 현장답사 등을 통해 개략적인 지반특성을 파악할 수 있도록 수행하며 필요시에는 시추조사도 시행해야 한다.

② 본조사는 광역조사와 정밀조사로 구분되며 부지나 노선 또는 구조물의 위치가 결정된 후 지층의 분포, 지질구조, 공학적인 특성 등 설계정수를 파악하기 위하여 수행하는 조사로서 지표지질조사, 지구물리탐사, 시추조사, 현장시험, 실내시험 등을 포함하며, 터널현황 등을 고려하여 조사 및 시험의 진행방법이나 중점 조사사항을 다르게 할 수 있다.

③ 설계단계에서 정밀한 조사가 수행되었다고 하더라도 조사자체에는 한계성이 있으므로 시공 시 노출되는 실제지반을 관찰하여 시공의 안전성을 확보할 수 있도록 해야 한다.

④ 소규모 공사의 경우에는 기존 조사자료를 활용하여 조사단계의 일부를 생략할 수 있으며 장대터널 및 도심지터널 공사 등 에서는 보다 자세한 지반조사계획을 수립하여 실시하여야 한다.

⑤ 유지관리 시 터널의 주변환경변화로 구조물의 안정에 문제가 발생할 것으로 예상될 경우에 대비한 지반조사를 시행해야 한다.

⑥ Investigation and test shall be carried out to achieve the target, and when the result is different from what is expected, a supplementary investigation shall be carried out.

⑦ Geotechnical investigation shall be based on「Implementation standard for basic design (Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs)」,「Tunnel design standard (Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs)」 and 「Slope design standard (Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs)」

(2) The following shall be considered when examining existing data.

① The aim of examining the existing data is to gather the basic data to identify the topographic & geologic condition.

② Examination of existing data shall include topographic map, geologic map, groundwater development status and disaster history at tunnel

(3) Site investigation shall consider the following:

① Site investigation must identify the topographic and geologic condition and topographic change in the past, and any site conditions that may have an impact on construction. Furthermore, it aims to identify the data needed for geotechnical investigation and test plan.

② Site investigation shall include the following:

A. Topographic change: Trace of old embankment, channel, railway or civil work and landslide.

B. Surface water and groundwater: Springs and wells with the level, seasonal variation, groundwater and reservoir and drainage by rain or snow.

C. Surrounding structure: Road, railway, abutment & pier, settlement crack, slope and reflection

D. Underground utilities: Water pipe, gas pipe, communication & power cable, subway and the effect and status of building foundation.

E. Transport route: Accessibility by truck or heavy vehicles, traffic, noise, vibration and pollution.

F. Investigation location and equipment access route: By investigation item

(4) The surface geological survey shall consider the following:

① Shall be implemented to make use of the previous data on topographic & geologic features, rock floor & stratum and distribution of groundwater as supplementary data.

② The scale of aerophoto for the geological survey shall be 1/10,000 or more, but there is no such limit with satellite pictures.

③ The scale of topographic maps for the surface geological survey shall be 1/5,000, which may be adjusted depending on the complexity of the geological conditions.

① 조사 및 시험은 목적에 따라 적절하게 수행하되, 조사결과가 당초 예상한 바와 상이할 경우에는 조사계획을 변경하거나 보완조사를 추가로 시행해야 한다.

② 지반조사항목 및 기준은 기본설계 등에 관한 세부시행기준(국토해양부), 터널설계기준(국토해양부), 건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부)을 따르며 필요할 경우 별도로 정하여 실시한다.

(2) 기존 자료조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 기존 자료조사는 터널 대상 지역의 지형, 지질 조건을 파악하기 위한 것으로 이에 필요한 기초 자료를 수집하여 검토해야 한다.

② 자료조사는 지형도, 지질도, 지하수개발현황, 지하매설물도, 기존 구조물 도면, 터널주변 지역의 재해이력 등의 자료를 수집하여 지형과 지반 및 입지여건과 관련된 사항을 파악할 수 있도록 해야 한다.

(3) 현장답사시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 지형이나 지질 및 지반상태를 확인하거나 과거의 지형변화 등에 대한 정보를 입수하여 조사자료에서 나타난 사항을 확인하고 시공에 영향을 줄 수 있는 제반 현장여건을 파악해야 한다. 또한, 향후 지반조사 및 시험 계획 수립에 필요한 사항을 현장에서 파악하는 것으로, 지표의 지형 및 지질을 상세히 관찰 검토해야 한다.

② 현장답사 시 조사해야 할 주요 내용은 다음과 같다.

가. 지형변화 : 옛 제방흔적과 범위 및 수로, 철도, 쌓기 매립 등의 토공 흔적이나 상태, 산사태지형을 표시하는 지역에서는 그 활동 흔적이나 범위

나. 지표수 및 지하수 : 용출수, 우물의 수위와 그의 계절적 변동, 피압지하수의 유무, 호우, 강설 시 등의 저수, 배수의 상태

다. 인근 구조물 유지상태 : 도로 및 철도의 제방, 교대 및 교각, 기타 중요 구조물의 침하균열이나 경사도, 굴곡 등의 변상 유무

라. 지하 매설물 : 상하수도, 가스관, 통신 및 전력케이블, 지하철, 지하도, 공사현장 부근에 있는 경우는 그 영향의 정도, 건물기초 등

마. 수송로 : 트럭, 중차량의 출입제한 유무, 교통상황, 소음, 진동, 공해 등

바. 조사위치 및 장비 이동통로 : 지반조사 항목별 조사실시위치와 대형장비의 이동 가능한 경로 등

(4) 지표 지질조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 지표 지질조사는 지형, 토질, 지질구조, 암상과 지층, 지하수 등의 종류, 분포 및 상태 등을 파악하여 기 실시된 조사의 보완자료로 활용할 수 있도록 수행해야 한다.

② 일반적으로 지표 지질조사를 목적으로 하는 항공사진 판독은 1/10,000 이상의 축적으로 촬영된 항공사진의 이용이 바람직하며 인공위성 사진인 경우에는 별도의 제한이 없다.

③ 지표 지질조사에 이용되는 지형도의 축척은 1/5,000을 기본지형도로 하며 지질분포의 복잡성에 따라 축척은 조정하여 사용할 수 있다.

④ The intent of the survey is to identify the bedding, joint, fold, fault and fault zone that may constrain tunneling work and cavity or rock distribution that may be observed at surface level and compare this with geophysical prospecting as needed to produce the geologic map which will be used in developing the main investigation plan.

⑤ The geologic map initially produced shall be compared with boring test and physical prospecting at the main investigation for supplementation and geologic plan, and a section indicating the surface layer, rock, cavity, rock boundary and groundwater shall be produced for tunnel design.

(5) Boring test shall consider the following:

① The intent of the test is to identify the stratum and groundwater level and obtain an undisturbed sample.

② Boring shall be performed using NX dual core barrel in principle, but NQ may be used for a deep boring. A triple core barrel or a D-3 sampler may be used to improve the core recovery rate and undisturbed sample.

③ Boring hole shall be larger than NX when implementing lateral loading testing bore hole, field permeability test and pre water pressure test.

④ Boring shall be vertical, but an inclined or horizontal test may be implemented considering investigation objective and site condition.

⑤ Boring test or physical prospecting shall be implemented at tunnel portal and low top soil section to identify the variation of stratum.

⑥ Boring holes shall in principle be placed at intervals of 50 ~ 100m along the route; however, this may be adjusted based on broad investigation result at the responsible engineer's discretion at a site where the boring test is difficult to implement due to topographic conditions, such as in mountainous tunnels (deep and long tunnels), but must be supplemented by further surface geologic survey and physical prospecting.

⑦ Boring depth shall be up to 1/2 of maximum tunnel section from planned level, and when a fractured or soft layer is detected through physical prospecting, it shall be further extended as needed.

⑧ Interval and depth of boring hole shall be based on <Table 12.4.1>, and this may be increased depending on topographic & geologic conditions to obtain the optimal data.

④ 지표 지질조사는 터널공사에 제한조건으로 작용하는 층리, 절리, 습곡, 단층 및 단층대 등과 같은 지질구조, 지표에서 관찰되는 공동, 암종 분포 등과 같은 지질특성을 파악하고 필요시 물리탐사결과와 비교분석하여 큰 축적의 지질도를 1차적으로 작성한 후 본조사의 효율적 계획수립에 반영해야 한다.

⑤ 1차적으로 작성된 지질도는 본조사의 시추조사, 시험결과 및 물리탐사 결과와 비교분석하여 지질구조의 특성을 보완하고 표층지반, 암질, 지하공동, 암종경계, 지하수 등의 사항을 표시한 지질평면도, 지질종단면도 등을 최종적으로 작성하여 터널설계에 반영해야 한다.

(5) 시추조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 터널시공 구간내의 지반에 대한 지층의 구성과 지하수위를 파악하고 흐트러진 또는 흐트러지지 않은 시료를 채취하며 현장시험을 수행하기 위하여 시추조사를 실시해야 한다.

② 시추는 NX규격 이중 코아배럴을 사용하여 실시하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 대심도 시추 시에는 NQ규격도 사용할 수 있다. 또한, 풍화대나 파쇄대 등에서는 코아의 회수율을 높이고 원상태의 시료를 채취하기 위하여 삼중 코아배럴이나 D-3 샘플러 등을 사용할 수 있다.

③ 시추공 내 횡방향 재하시험, 현장투수시험, 간극수압 측정 등을 수행할 경우 시추공의 크기는 NX 이상이어야 한다.

④ 시추는 연직으로 실시하되 조사목적과 현장조건을 고려하여 경사 및 수평시추를 할 수 있다.

⑤ 터널 갱구부 및 저토피 구간에서는 필요로 하는 시추조사 및 물리탐사를 등을 시행하여 지층 변화를 상세히 파악해야 한다.

⑥ 터널에서 시추공은 노선방향으로 50~100m 간격으로 배치하는 것을 표준으로 하되, 산악터널(대심도, 장대터널 등)과 같이 시추조사가 원활히 이루어지기 어려운 지형의 경우, 광역조사결과를 바탕으로 지반분야 책임기술자의 판단에 의해 시추조사 간격을 조정할 수 있다. 단, 시추조사를 수행하지 못한 구간은 지표지질조사 및 물리탐사 등의 조사를 상세히 수행하여 보완하도록 하여야 한다.

⑦ 시추심도는 터널 바닥부의 계획심도에서 터널 최대직경의 1/2 이상의 깊이까지 실시하되 특정한 목적 또는 물리탐사 등으로 파쇄대·연약대 등의 존재 확인시는 필요한 심도까지 증가시킬 수 있다.

⑧ 시추공의 간격 및 심도는 <표 12.4.1>에 의하는 것을 표준으로 하되 도심지와 산악지, 단층 파쇄대 등의 지형 및 지질 특성에 따라 최적설계를 위한 지반조사 자료 도출을 위해 시추공수를 증대시킬 수 있다.

Table 12.4.1 Interval and depth of boring hole

	Arrangement		Depth	Note
Tunnel (NX)	BD	One for each tunnel portal	0.5D below FL (D:Max tunnel diameter)	Soil, topographic conditions, Increased for mountainous tunnel, fault or fractured zone
	BD	3 or more (including tunnel portal)	0.5D below FL (D:Max tunnel diameter)	Soil, topographic conditions, Increased for mountainous tunnel, fault or fractured zone
	ID	50m～100m interval (including tunnel portal)	0.5D below FL (D:Max tunnel diameter)	Soil, topographic conditions, Increased for mountainous tunnel, fault or fractured zone

※ 1) Boring hole varies depending on the excavation location (urban, mountainous)
2) Additional holes at vulnerable sites
3) For a single tunnel in parallel and distance between tunnel centers is 5D (tunnel width) or more, geotechnical investigation is performed separately.

⑨ Portal shall be included when arranging boring holes, and a boring plan shall be developed by including the sites with vulnerable ground conditions.

⑩ Interval may be adjusted in mountainous areas, and for the site with poor ground condition as the result of an aerial photo (satellite picture) examination, seismic exploration and resistivity survey, horizontal boring test during construction shall be considered. boring test shall be carried out as needed for the accessible portal.

(6) Test tunnel investigation shall consider the following:

① Test tunnel may be excavated for investigation when confirmation of particular ground condition or in-site test is required.

② If performing an in-site test or measurement in test tunnel or sampling, disturbance of the ground shall be minimized.

③ A geologic map shall be produced during test tunnel investigation for reference in general analysis.

(7) Geotechnical investigation of under river / undersea tunnel shall consider the following:

① When the tide occurs, appropriate equipment and materials shall be used for quality and safety purposes.

② Unless otherwise specified, boring location shall be determined by DGPS.

표 12.4.1 시추공의 간격과 심도

구분	시추공의 배치		시추심도기준	비 고
터널 구간 (NX)	기본 계획	터널 입출구부에 각 1공	FL하방 0.5 D (D : 터널최대직경)	토질, 지형조건, 산악터널 등과 단층, 파쇄대 등 지층이 불규칙한 경우는 증감
	기본 설계	3개소이상 기준 (터널 입출구부 포함)		
	실시 설계	50m~100m 간격 (터널 입출구부 포함)		

※ 1) 터널 굴착 위치별(도심지, 산악지 등) 시추공 배치 변동 가능
2) 지질, 지반 취약 구간 예상시 추가 시추 가능
3) 단선병렬 터널의 경우, 두 터널 중심간의 거리가 5D(터널 폭) 이상 이격되었을 경우, 각각의 터널로 고려하여 지반조사를 수행한다.

⑨ 시추공의 배치 시 갱구부는 반드시 포함하도록 하며 터널 노선대에 대하여 지반조건 파악이 가능하도록 취약구간을 포함한 시추조사 계획을 수립해야 한다.

⑩ 시추조사를 위한 접근이 곤란한 산악지형은 시추공 간격을 조정할 수 있으며 항공(위성)사진 판독과 탄성파탐사 및 전기비저항 탐사를 실시하고 그 결과를 토대로 지반조건이 불량한 구간에는 시공 중 수평시추조사를 계획해야 한다. 접근 가능한 갱구부는 필요한 개소만큼의 시추조사를 실시해야 한다.

(6) 시험터널 조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 특수한 지반상태를 직접 확인할 필요가 있거나 특정 원위치 시험을 실시할 필요가 있을 때에는 시험터널을 굴착하여 조사할 수 있다.

② 시험터널 내에서 각종 원위치 시험이나 계측을 실시할 경우 및 시료를 채취할 경우에는 원지반의 교란을 최소화해야 한다.

③ 시험터널 조사 시에는 터널의 지질도를 작성하여 종합분석에 참고해야 한다.

(7) 하·해저터널의 지반조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 조수간만의 차이가 발생하는 경우 지반조사 자료의 품질향상 및 안전을 고려하여 적절한 조사장비 및 자재를 선정해야 한다.

② 시추위치를 선정할 때 특별한 언급이 없을 경우는 DGPS에 의하여 결정한다.

③ Marine geoprospecting shall in principle be conducted using a research ship equipped with seismic survey equipment that sails perpendicular to isobath; however, this may be adjusted depending on site conditions and the location shall be indicated by international common coordinates system.

④ Survey instrument shall be able to record the bedrock and sedimentary layer accurately at a constant interval, and the depth of rock shall be indicated at the depth of basic level surface (water depth + sedimentary layer thickness) .

12.4.9 Test

(1) Field test shall consider the following; further details shall be in compliance with 「3.3 Geotechnical investigation」.

① Field test to identify the natural ground characteristics shall be implemented after reviewing the field applicability for each test item.

② Test item and frequency shall be determined after considering the construction characteristics, and site conditions and test method may be determined when other objective data is needed.

(2) Laboratory test shall consider the following:

① It shall be classified into soil test and rock test depending on ground

② Test method shall be determined after considering ground condition, geologic structure, excavation method and design technique.

③ Test shall be in accordance with KS and the technical guidance of the Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs, and if not specified, an internationally-recognized test method may be applied.

④ Rock test shall be conducted to determine the engineering characteristics and design parameters if rock sample and sampling are used, and test method shall be an internationally-recognized test method.

⑤ In determining the dynamic ground constant for seismic review, resonant column test, torsional shear test, free end resonant column test, vibration triaxial compression test, seismic test, crosshole seismic survey, S-PS well logging, sonic logging and density logging shall be carried out appropriately for the design objective.

12.4.10 Supplementary investigation during construction

(1) The following shall be considered in the investigation, and the details shall be in accordance with 「3.3 Geotechnical Investigation」.

③ 해상 지층탐사는 고정밀 분해능력을 갖는 탄성파 탐사장비를 탑재한 조사선을 등심선에 직각방향으로 운항하여 실시하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있으며, 위치는 WGS-84 등 국제 공용 좌표계로 표시한다.

④ 탐사기는 기반암과 퇴적층을 명확히 기록할 수 있도록 최대한 일정간격으로 기록해야 하며, 암반의 심도는 기본수준면 하의 깊이(수심+퇴적층 두께)로 표기한다.

12.4.9 시험

(1) 현장시험 시에는 다음 사항을 고려해야 하며, 상세한 내용은 「3.3 지반조사」를 따른다.

① 자연상태의 현장 지반특성을 파악하기 위한 현장시험은 시험항목별로 대상 지반에서의 적용성을 검토하여 수행해야 한다.

② 시험항목과 빈도는 공사의 특성, 현장여건 등 제반사항을 감안하여 선정하며 상기의 시험항목 이외에도 필요한 목적이 있을 경우 목적에 적합한 시험방법을 선정할 수 있다.

(2) 실내시험시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 실내시험은 대상지반에 따라 토질시험과 암석시험으로 구분하여 시행해야 한다.

② 실내시험은 지반조건, 지질구조, 굴착방법, 설계기법 등을 감안하여 적절한 시험방법을 선정해야 한다.

③ 실내시험은 한국산업규격(KS) 및 국토해양부 발행 기술지도서에 제시된 시험방법에 따라서 수행해야 한다. 단, 동 규격에 명시되지 아니한 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법을 준용할 수 있다.

④ 암석시험은 채취된 암석시료의 공학적 특성과 설계정수를 결정하기 위하여 수행하며 시료의 제작 및 시험방법은 국내·외에서 권장하는 시험방법 등 국제적으로 공인된 방법을 적용해야 한다.

⑤ 내진검토를 위한 동적지반정수 산정을 위하여 공진주시험, 비틂전단시험, 자유단 공진주시험, 진동삼축압축시험 등과 물리탐사인 하향식탄성파탐사, 시추공간 탄성파탐사, S-PS검층, 음파검층, 밀도검층 등을 설계 목적에 적합하게 선정하여 수행해야 한다.

12.4.10 시공 중 보완조사

(1) 시공 중 보완조사 시는 다음 사항을 고려해야 하며, 상세한 내용은 「3.3 지반조사」를 따른다.

① This shall be carried out when not implemented during the preliminary or main investigation due to particular or technical reasons, or when additional investigation is needed due to changes to ground condition, and the test items shall be determined to obtain the data in consideration of site conditions.

② The purpose of this investigation is to identify the ground condition ahead of and around the excavation site, and when the monitoring of changes to ground conditions or monitoring results show an outlier, a supplementary investigation or test shall be conducted.

③ In a supplementary investigation, Geological Mapping is needed and geological characteristics shall be assessed through horizontal boring or physical prospecting in tunnel. Support pattern including rockbolt in hard rock tunnel shall be based on supplementary investigation during construction, and investigation of the section ahead of excavation shall be carried out to determine the need for an auxiliary method.

12.4.11 Compilation of geotechnical investigation data

(1) The data obtained from the investigation shall be compiled to use for tunnel route plan, design, construction and maintenance, and further details shall be in accordance with 「3.3 Geotechnical investigation」.

(2) Given the importance of the independency of face, springs, uneven pressure, potential portal slope collapse and behavior, impact on neighboring structure and ground expansion, investigation of weak ground shall be performed.

① Given the possibility of unexpected spring water in unconsolidated sandy soil or fault or fractured zone, the potential for collapse shall be reviewed.

② As slope collapse or behavior may have an impact on construction activities, broad monitoring and past record of collapse or landslide shall be reviewed.

③ Given the high potential for collapse or ground activities at a site with thin-top soil, uneven pressure, talus or landslide, the excavation, support and construction method shall be reviewed thoroughly.

④ As ground evaluation provides important data for pattern design, determination of construction method and evaluation of measured values, it shall be objectively evaluated based on investigation & test results and a case study.

(3) The following shall be considered in ground classification.

① It shall be based on a comprehensive analysis of the investigation & test data.

② Soil layer shall be further classified in accordance with the Unified soil classification system (USCS)

① 시공 중 보완조사는 예비조사와 본조사 단계에서 민원 등 부득이한 이유나 기술적 한계 등으로 인하여 필요로 하는 조사가 시행되지 못한 경우, 또는 시공 중 지반변화가 예상되어 추가조사가 필요한 경우에 실시해야 하며 현장여건을 고려하여 필요한 지반정보가 얻어질 수 있도록 조사항목을 선정해야 한다.

② 시공 중 보완조사의 목적은 굴진면 전방과 굴진면주변의 지반상태를 파악하는데 있으며 시공 중 관찰되는 노출된 지반의 상태를 분석하여 예기치 않았던 지반변화나 시공 중의 계측결과가 이상치를 보일 경우 반드시 필요한 추가조사 및 시험을 실시해야 한다.

③ 시공 중 보완조사는 일상적으로 굴진면 지질매핑(Geological Mapping)이 시행되어야 하며, 필요한 경우 감지공 천공(Feeler Hole), 수평시추 및 터널 내 물리탐사 등을 통하여 굴진면 전방에 대한 지질특성을 조사할 수 있다. 경암반 터널의 록볼트를 포함한 지보패턴 변경은 지질매핑 등 시공 중 보완조사 결과에 근거해야 하며, 필요시 굴진면전방조사를 통하여 보조공법 적용여부를 판단하는 등 사전 공사준비를 위한 자료로 제공되어야 한다.

12.4.11 지반조사 성과의 정리

(1) 조사 성과는 터널노선 계획, 설계 및 시공, 유지관리 시 활용할 수 있도록 정리해야 하며, 상세한 내용은 「3.3 지반조사」를 따른다.

(2) 터널 공사는 막장의 자립성, 막장내 용출수, 편압의 작용, 갱구부의 비탈면붕괴 및 활동가능성, 인접 구조물에 대한 영향, 지반의 팽창성 등이 중요한 요소가 되므로 다음과 같은 취약 지반조건에 대한 평가가 수행되어야 한다.

① 미고결 사질지반이나 단층, 파쇄대에서는 돌발적인 용수가 발생할 수 있으므로 이에 따른 지반 자립성의 저하 및 붕괴 가능성에 대한 검토가 수행되어야 한다.

② 갱구부에서의 비탈면붕괴나 활동은 공사의 진척에 영향을 미칠 수 있으므로 광범위한 지형관찰, 과거의 산사태나 비탈면붕괴 기록 등을 검토해야 한다.

③ 토피가 얇은 구간, 편압 발생 지형, 애추 구간, 산사태 지역 등은 터널 굴착시 붕괴 및 지반활동을 야기할 우려가 있으므로 굴착공법, 지보공, 보조공법 등을 면밀하게 검토해야 한다.

④ 지반평가는 패턴설계, 시공방법의 결정 및 시공 시 계측결과의 판정 등에 중요한 기준을 제공하므로 조사 및 시험 결과와 설계·시공사례를 토대로 객관적으로 평가되어야 한다.

(3) 지반분류시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 조사와 시험으로부터 수집된 제반정보를 종합적으로 분석하여 설계 및 공사목적에 부합되도록 지반을 분류해야 한다.

② 토사층은 통일분류법(USCS) 등에 따라서 세분해야 한다.

③ Rock classification shall be based on items selected from the following:

A. Compressive strength

B. Seismic velocity

C. Deformation modulus

D. RQD

E. Interval or frequency of discontinuous face

F. Status of discontinuous face (roughness, weathering, continuity, gap and thickness and characteristics of filling material)

G. Strike and angle of discontinuous face

H. Groundwater

I. Initial stress

J. Type of rock, weathering index and characteristics when immersed

④ Rock classification for support design may be determined using RMR or Q-system and uniaxial compressive strength if RMR is used, and quantifiable elements such as EQD may be used to estimate the score using Bieniawski graph (1989). Rock Classification by RMR shall be divided into 5 categories, which may be further divided considering the size and use of the tunnel and regional characteristics. However, specific ground conditions such as unconsolidated condition shall be classified separately.

(4) Investigation data shall be compiled considering the following:

① Surface geologic survey result shall be compiled on the applied geological map which shall be classified into the broad geological map including tunnel section (1/25,000) and the precision applied geological map (1/5,000).

② Boring test data shall be compiled on boring log, and stratum description shall include the color, N value, strength, weathering index, crack, rock name, TCR and RQD. Geologic section shall be produced referring to boring log, geophysical survey data and other related data.

③ Samples shall be kept in a sample bottle or box.

④ Color photos of drilling core sample shall be kept in a photo album and shall be included in the investigation report as needed.

(5) Investigation data shall be kept for use for maintenance.

12.5 Tunnel support

12.5.1 Tunnel support design general

(1) Tunnel support shall in principle make use of the bearing capacity of foundation ground, and shall be designed to comply with the surrounding ground characteristics in order to maintain stability during and after construction.

③ 암반분류시에는 다음 사항 중 필요한 사항을 선정하여 분류해야 한다.

가. 압축강도

나. 탄성파 속도

다. 변형계수

라. RQD

마. 불연속면의 간격 또는 빈도

바. 불연속면의 상태(거칠기, 풍화도, 연속성, 틈새, 충전물의 두께와 특성 등)

사. 불연속면의 주향 및 경사

아. 지하수 상태

자. 초기응력 상태

차. 암석종류, 풍화도, 수침시의 특성 등 암반의 거동특성에 영향을 주는 지반특성

④ 지보재 설계를 위한 암반분류는 RMR, Q-system 등을 적용할 수 있으며 특히 RMR의 경우 일축압축강도나 RQD 등 계량화가 가능한 평가요소의 경우는 Bieniawski의 제안 그래프(1989)를 이용하여 점수를 산정할 수 있다. RMR에 의한 암반분류는 5등급으로 분류하는 것을 원칙으로 하되, 터널의 크기, 용도 및 지역특성을 고려하여 5등급 이상으로 세분화할 수 있다. 함수미고결지층 등과 같이 특수한 지반조건이 존재할 경우에는 이를 별도의 지반등급으로 분류해야 한다.

(4) 조사결과의 정리시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 지표지질조사 결과는 응용지질도로 정리해야 하며 응용지질도는 터널구간을 포함하는 광역지질도(1/25,000)와 정밀응용지질도(1/5,000)로 구분하여 작성해야 한다.

② 시추조사 결과는 일정한 양식의 시추 주상도에 정리해야 하며, 지층설명은 색조, N값, 강도, 풍화도, 균열상태, 암석명, TCR, RQD 등을 포함하여 상세하게 기록하고 시추 주상도와 지구물리탐사 등 관련자료를 참고하여 터널구간의 지질단면도를 작성해야 한다.

③ 채취된 시료는 일정한 규격의 시료병이나 시료상자에 정리해야 한다.

④ 시료상자에 정리된 시추코아는 암석의 색조, 상태, 절리 등의 관찰이 용이하도록 직상부에서 천연색으로 촬영하여 사진첩에 정리해야 하며 대표적인 것은 지반조사 보고서에도 수록해야 한다.

(5) 조사자료는 추후 유지관리시 활용가능토록 보존해야 한다.

12.5 터널지보재

12.5.1 터널지보재의 설계일반

(1) 터널의 지보는 원지반의 지보능력을 적극적으로 활용함을 원칙으로 하되, 터널지보재는 터널주변의 지반거동 특성에 부합하도록 설계하여 시공 중이나 완공 후에도 터널의 안정을 유지할 수 있도록 해야 한다.

(2) The support shall be designed to stabilize the excavated ground earlier, and shall not have a negative impact on the stabilization of the surrounding structure.
(3) The support shall be designed considering work efficiency and stability within the tunnel.
(4) Tunnel support shall be designed as a main support consisting of steel support, rockbolt and shotcrete, and as an auxiliary support including steel bar, shotcrete on tunnel face, rockbolt, injection material and steel pipe.
(5) In designing the support, the support depending on ground classification shall be described in order to change the type and quantity of the support when ground condition is different from the design.
(6) Standard support pattern depending on type of tunnel section and rock classification shall be applied, but it may be differentiated in the case of a large fault zone, unconsolidated layer, large section such as branching or expanding section, limestone layer or other weathered rock layer.

12.5.2 Steel support

(1) The following shall be considered in the design of the steel support.
① Steel support shall be used when the following functions are required, but may not be used when they are not required.
A. To stabilize the tunnel face until shotcrete or rockbolt starts functioning
B. Reaction bearing point of auxiliary excavation method
C. Need to increase the stiffness of the support for bearing strength
D. Need to constrain the ground displacement such as surface settlement
② Size and interval of steel supports shall be arranged to integrate with shotcrete, rockbolt or other supports to provide a full support function.
③ Joint of steel supports shall be minimized considering construction sequence and efficiency, but addition or removal shall be possible.
(2) Shape and dimensions of steel support shall meet the following requirements:
① Section of steel support shall be determined to enable easy concrete pouring and integration with shotcrete, and shall use H-beam, U-beam or lattice girder.
② Dimensions of steel support shall be determined after considering minimum cover thickness of steel support and excavation method. Furthermore, the steel support shall be able to generate the required stiffness, and be resistant to buckling, torsion and local load.

(2) 지보재는 굴착지반을 조기에 안정시키며 지반굴착에 따른 영향이 인접구조물의 안정을 해치지 않도록 설계해야 한다.
(3) 터널 내부에서의 작업효율성, 안정성을 고려하여 각종 지보재를 설계해야 한다.
(4) 터널의 지보재는 강지보재, 록볼트, 숏크리트 등으로 구성되어 있는 주지보재와 굴착의 용이성 및 안정성 증진을 목적으로 주지보재에 추가하여 시공하는 강봉, 굴진면 숏크리트, 굴진면 록볼트, 주입재, 강관 등의 보조지보재로 구분하여 설계해야 한다.
(5) 지보재의 설계에 있어서는 지반의 분류 등급과 해당 지보재의 선정에 대한 기준을 제시함으로써 시공 시 실제지반조건이 설계 시의 예측조건과 상이할 경우 적합한 지보재의 종류와 물량으로 변경할 수 있도록 해야 한다.
(6) 지보설계는 단·복선 등 터널단면의 규모별로 암반 분류에 의한 표준 지보패턴 설계를 원칙으로 하되, 대규모 단층대, 함수 미고결층, 분기·확폭부 등의 대단면, 석회암층 통과부 및 기타 풍화가 용이한 암반층 등의 구간에서는 별도의 지보패턴을 설계해야 한다.

12.5.2 강지보재

(1) 강지보재의 설계 시 다음 사항을 고려해야 한다.
① 다음의 기능이 요구될 때 강지보재를 사용해야 하며, 강지보재의 역할이 필요 없는 경우에는 생략할 수 있다.

가. 숏크리트 또는 록볼트의 지보기능이 발휘되기까지 굴착면의 안정을 도모
나. 굴진면 훠폴링 등 보조공법의 반력지지점
다. 큰 지압으로 인한 지보재의 강성 증가 필요
라. 지표침하 등 지반변위의 억제 필요

② 강지보재는 숏크리트, 록볼트 등의 다른 지보재와 일체가 되어 소요의 지보기능을 발휘하도록 규격과 배치간격을 정해야 한다.
③ 강지보재의 이음은 시공순서 및 시공성을 고려하여 이음개소가 최소가 되도록 정하되 제거와 추가이음이 필요한 곳에는 시공이 가능하도록 설계에 반영해야 한다.
(2) 강지보재의 형상 및 치수는 다음 사항을 준수해야 한다.
① 강지보재의 단면은 강지보재의 설치 후에도 숏크리트의 타설이 용이하고, 숏크리트와 일체화되기 쉬운 형상을 가진 것이어야 하며, H형강, U형강, 격자지보(Lattice Girder) 등을 사용해야 한다.
② 강지보재의 치수는 작용하중 외에 숏크리트의 두께, 강지보재의 최소덮개, 굴착공법, 굴착방법 등을 고려하여 결정해야 한다. 또한, 소요의 강성이 발휘되고, 좌굴, 비틀림 및 국부적인 하중에 대하여 저항성이 크고 시공능률을 높일 수 있는 것이어야 한다.

(3) Steel support material shall comply with the following:

① It shall be ductile and flexible for welding and processing.

② H-beam and U-beam shall be in accordance with SS400 in KS D 3503 or an equivalent standard. Lattice girder shall comply with SD500W (yield strength 500 MPa) in KS D3504 and shall be low carbon steel (carbon content 0.3 % or less) to ensure complete welding performance using deformed bar or round bar.

③ When using high strength plastic or compound material instead of steel, the performance shall be the same as that of a steel support.

(4) Joint and interval of steel support shall be as follows.

① Steel support shall in principle be fabricated in parts for the sake of delivery, storage and installation efficiency, the joints shall be minimized and the joint between the members shall be firm. Joints which are structurally vulnerable shall be avoided.

② Steel support joint at a section with high convergence such as expandable ground may be expandable joint, and allowable expansion shall be estimated carefully in such case.

③ Interval of steel support shall be determined after considering ground characteristics, use and construction method.

④ When excavating the upper part and lower part separately, steel support may not be installed partially after securing the vertical support point.

(5) Spacer and floor plate of steel support shall comply with the following:

① To prevent overturn until steel support is stabilized by shotcrete, appropriate space shall be inserted between steel supports, the shape of the space shall not have a negative effect on the shotcrete and the interval shall be based on 2.0m, which may be adjusted depending on site conditions.

② Floor plate shall be attached to the bottom of steel plate and the support as needed to maintain the bearing capacity.

③ In terms of the floor plate for steel support, wood, RC block or steel plate may be used, and if the load on steel support is significant, floor concrete shall be used.

12.5.3 Shotcrete

(1) Shotcrete shall be designed considering the use, ground condition and construction efficiency, as well as the following:

① Shotcrete is classified into ordinary shotcrete and high strength shotcrete.

② Shotcrete shall be able to distribute the external force to the ground using adhesion to the ground and shear resistance effect, as well as support the vulnerable rock block and form the ground arch at excavation face.

(3) 강지보재의 재질은 다음 사항을 준수해야 한다.

① 강지보재는 연성이 크고 휨과 용접 등의 가공성이 양호해야 한다.

② H형 및 U형 강지보재의 재질은 KS D 3503에 규정된 SS400을 표준으로 하며 이와 동등 이상의 성능을 발휘하는 구조용 강재로 해야 한다. 또한 격자지보형 강지보재의 재질은 KS D3504에 규정된 SD500W(항복강도 500MPa이상)를 표준으로 하며 이형봉강이나 원형봉강을 사용하여 이와 동등 이상의 성능을 발휘하고 부재간 완전한 용접성능을 발휘할 수 있는 저탄소(탄소함량이 0.3% 이하) 용접구조용 강재로 해야 한다.

③ 강재 대신 고강도 플라스틱, 복합부재 등을 지보재로 사용할 경우 강지보재와 동등 이상의 성능을 발휘해야 한다.

(4) 강지보재의 이음 및 설치간격은 다음 사항을 따라야 한다.

① 강지보재는 운반, 거치 및 시공성을 고려하여 분할 제작하는 것을 원칙으로 하되 이음개소를 최소화하고 부재 상호간은 견고한 이음이 되도록 설계해야 한다. 특히 구조적으로 불리한 위치에서의 이음은 가능한 한 피하도록 해야 한다.

② 팽창성 지반 등과 같이 내공변위가 크게 발생하는 지역에서는 강지보재의 이음을 가축변형(可縮變形)이 허용되는 조인트 구조로 할 수 있다. 이 경우에는 가축허용량 산정에 주의해야 한다.

③ 강지보재의 설치간격은 지반특성, 사용목적, 시공법 등을 고려하여 정해야 한다.

④ 상반과 하반으로 나누어 굴착하는 경우 지반조건에 따라 상부 강지보재의 연직지지점 확보가 가능하도록 조치한 후 하반의 강지보재를 일부 생략할 수 있다.

(5) 강지보재의 간격재와 바닥판 받침은 다음 사항을 준수해야 한다.

① 숏크리트에 따라 강지보재가 고정되기 전까지 전도를 방지하기 위하여 강지보재 사이에 적절한 크기의 강재 간격재를 일정한 간격으로 설치해야 한다. 이때 간격재의 형상은 숏크리트의 일체화에 저해되는 형상을 사용하여서는 안되며 그 설치간격은 2.0m 이내를 표준으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

② 강지보재 하단에는 바닥판을 붙이고 필요에 따라 받침을 설치하여 필요로 하는 지지력을 확보할 수 있도록 해야 한다.

③ 강지보재 바닥판의 받침으로는 목재, 철근 콘크리트 블록, 강판 등을 사용할 수 있으며 강지보재에 작용하는 하중이 큰 경우는 필요에 따라 바닥보강 콘크리트를 사용해야 한다.

12.5.3 숏크리트

(1) 숏크리트 설계는 그 사용목적, 지반조건, 시공성 등을 고려하여 지보재로서 다음 사항을 고려하여 설계해야 한다.

① 숏크리트는 일반 숏크리트와 고강도 숏크리트로 구분할 수 있다.

② 숏크리트는 지반과의 부착 및 자체전단 저항효과로 숏크리트에 작용하는 외력을 지반에 분산시키고, 터널 주변의 붕락하기 쉬운 암괴를 지지하며, 굴진부에서 지반아치가 형성될 수 있도록 한다.

③ It shall be able to provide the ground with a pressure-resistance effect through bending compression and axial force, so that the surrounding ground maintains a triaxial stress state.

④ It shall be able to convey ground pressure to steel support or rockbolt.

⑤ It shall be able to fill the bent and adhere the joint to avoid stress concentration.

⑥ It shall be able to cover the excavated face to constrain the weathering, groundwater and erosion of fine-grained soil.

(2) Shotcrete shall have the following characteristics.

① Strength required to satisfy the design requirement and objective

② Early strength

③ Required adhesion to the ground

④ Rebound Ratio and dust shall be minimized

⑤ Smooth surface for easy waterproof and drainage

(3) Mixing and strength of ordinary shotcrete shall comply with the following:

① Early and long-term strength required shall be secured, and design strength shall be determined after considering the following:

A. Ground strength and function as the support

B. Quality and availability of mixing material

C. Constructability and workmanship for shotcrete application

② Portland cement shall be used for shotcrete; however, this may be changed depending on site conditions. Fine aggregate shall not contain particles 0.1 mm or less, and coarse aggregate shall be 10mm or larger.

③ Shotcrete shall have the required strength and durability as well as superior adhesion and applicability, and compressive strength at 1 day shall be 10 MPa or more and strength at 28 days shall be 21 MPa or more.

④ Shotcrete is classified into dry and wet shotcrete depending on the water mixing method, and steel or fiber may be mixed together.

⑤ Steel fiber shall have a tensile strength of 700 MPa or more, diameter of 0.3 ~ 0.6 mm and length of 30 ~ 40 mm; however, this may be adjusted depending on site conditions. It shall also have good adhesion with shotcrete without clogging or clumping.

③ 휨압축 또는 축력에 의한 저항효과로 주변 원지반에 내압효과를 발휘하도록 하여 굴착면 주변지반이 3축 응력상태를 유지하도록 한다.
④ 강지보재 또는 록볼트에 지반압을 전달하는 기능을 발휘할 수 있도록 한다.
⑤ 굴착된 지반의 굴곡부를 메우고 절리면 사이를 접착시킴으로써 응력집중 현상을 피할 수 있도록 한다.
⑥ 굴착면을 피복하여 풍화방지, 지하수 및 세립자 유출 등을 억제할 수 있도록 한다.

(2) 숏크리트는 다음과 같은 특성을 보유해야 한다.
① 설계목적과 기준에 부합하는 소요 강도를 확보해야 한다.
② 조기에 필요한 강도를 발휘할 수 있어야 한다.
③ 지반과 필요로 하는 부착성을 확보해야 한다.

④ 반발률(Rebound Ratio) 및 분진발생량을 최소화해야 한다.
⑤ 평활한 굴착면을 확보하여 방수 및 배수시공이 용이해야 한다.

(3) 일반 숏크리트의 배합 및 강도는 다음 사항을 준수해야 한다.
① 숏크리트는 설계목적에 적합한 조기 및 장기강도를 발휘해야 하며, 다음 사항을 고려하여 설계강도를 결정해야 한다.
가. 지반 강도 및 지보재로서의 기능
나. 배합재료의 품질 및 조달의 용이도
다. 시공성 및 숏크리트 타설 작업의 숙련도
② 숏크리트용 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 변경할 수 있으며, 잔골재에는 입경 0.1mm 이하의 세립물을 포함하지 않아야 하고, 굵은 골재의 최대 치수는 10mm 이하가 되어야 한다.
③ 숏크리트는 필요한 강도와 내구성이 확보되고 부착성과 시공성이 양호하며 재령 1일 압축강도가 10MPa 이상, 재령 28일 강도가 21MPa 이상 되도록 배합해야 한다.
④ 숏크리트 사용수(水)의 혼합방법에 따라 건식과 습식으로 구분하며 필요에 따라 강(鋼) 또는 기타 재질의 섬유(Fiber)도 혼합하여 사용할 수 있다.
⑤ 강섬유는 인장강도 700MPa 이상, 직경 0.3~0.6mm, 길이 30~40mm를 표준으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있으며, 숏크리트와의 부착성능이 양호하게 발현되고 숏크리트 타설 시 뭉침현상이나 막힘현상이 발생하지 않아야 한다.

⑥ Steel fiber on wall after application shall be 30 kg/㎥ or more and shall meet bending strength and flexibility requirements. Bending strength of 28-day steel fiber-reinforced shotcrete shall be 4.5 MPa or more and equivalent flexural strength shall be 3.0 MPa or more. When mixing fiber other than steel fiber, performance shall be equivalent to steel fiber.

⑦ Accelerating agent may be used for early strength and the volume of the accelerating agent shall be 5 ~ 10 % of cement in weight and shall have following properties.

A. Hardening acceleration

B. Less reduction in long-term strength

C. Superior adhesion

D. No corrosion to steel support

E. Safety shall be secured

⑧ Since it takes a longer time from concrete mixing to shotcrete spraying for a long tunnel, the use of a water-reducing agent shall be considered to improve workability.

(4) Mixing and strength of high strength shotcrete shall comply with the following:

① High strength shotcrete shall have required strength and durability, with 1-day strength of 10 MPa or more and 28-day strength of 35 MPa or more.

② High strength shotcrete shall be used for the following cases.

A. When no concrete lining is applied

B. When early stabilization of tunnel is needed

C. When a tunnel is used as a structure requiring long-term durability

D. When shotcrete thickness needs to be reduced in a large section tunnel

E. When improving safety, constructability and cost efficiency

③ To improve the strength of shotcrete, powder admixtures such as silica fume, metakaolin and fly ash may be used.

④ Other factors shall be in accordance with the requirements in ordinary shotcrete; however, this may be adjusted depending on site conditions.

(5) Minimum thickness of shotcrete used as tunnel support shall be determined after considering the use, ground condition, section size, stability and constructability of the support, and shall be at least 50mm; however, this may be adjusted depending on site conditions.

⑥ 실제 벽면에 타설된 강섬유 혼입량은 30kg/㎥ 이상이 되어야 하며, 설계 휨강도와 휨인성을 만족해야 한다. 이때 재령 28일의 강섬유 보강 숏크리트의 휨강도는 4.5MPa 이상, 그리고 휨인성을 나타내는 등가휨강도는 3.0MPa 이상이어야 한다. 강섬유 이외의 기타 섬유를 적용할 경우에는 상기 강섬유 보강 숏크리트의 성능기준 이상을 발현할 수 있도록 설계해야 한다.

⑦ 숏크리트의 조기강도를 위하여 급결제를 사용할 수 있다. 이때 사용되는 급결제의 사용량은 시멘트 중량의 5~10%를 표준으로 하며, 다음의 특성을 보유한 것이어야 한다.

가. 콘크리트의 응결경화를 촉진해야 함

나. 장기강도의 저하가 적어야 함

다. 부착성이 우수해야 함

라. 강지보재를 사용하는 경우는 강재를 부식시키지 않아야 함

마. 사용상의 안전성이 확보되어 있어야 함

⑧ 장대터널에서는 콘크리트 배합부터 숏크리트 타설까지 상당한 시간이 소요되어 작업성이 저하될 수 있으므로 감수제의 사용을 검토해야 한다.

(4) 고강도 숏크리트의 배합 및 강도는 다음 사항을 따라야 한다.

① 고강도 숏크리트는 필요한 강도와 내구성이 확보되고 부착성과 시공성이 양호해야 하며, 재령 1일에 10MPa 이상 그리고 재령 28일 강도가 35MPa 이상이 되도록 배합해야 한다.

② 다음과 같은 경우에는 고강도 숏크리트를 사용할 수 있다.

가. 콘크리트라이닝을 설치하지 않는 경우

나. 터널의 조기 안정화가 요구되는 경우

다. 장기내구성이 요구되는 목적구조물로서 활용되는 경우

라. 대단면 터널에서 숏크리트 두께 축소를 목적으로 하는 경우

마. 안전성, 시공성, 경제성 향상을 목적으로 하는 경우

③ 숏크리트의 강도 증진을 위하여 혼화재를 사용할 경우에는 실리카 흄, 메타카올린, 플라이애쉬 등과 같은 미분말 혼화재를 사용할 수 있다.

④ 기타 사항은 일반 숏크리트에 대하여 제시된 내용에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

(5) 터널의 지보재로 사용되는 숏크리트의 최소 두께는 사용 목적, 지반조건, 단면의 크기, 지보재 안정성 및 시공성 등을 고려해야 하며, 50mm 이상으로 하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

(6) When shotcrete that has been applied may peel off due to fixed load, wire mesh may be used to enhance the shear and tensile strength of shotcrete. But for shotcrete reinforced with steel fiber or fiber, wire mesh may not be used. Material and size of wire mesh shall comply with the following:

① Wire mesh shall be welded wire mesh according to KS D 7017, diameter shall be approximately 5 mm and opening 100 × 100 mm or 150 × 150 mm; however, this may be adjusted depending on site conditions.

② When excavation face remains unstable and shotcrete is separated, wire mesh with small diameter and opening may be used to improve the adhesion.

③ Wire mesh shall have a lap splice and splice length shall be 100mm vertically and 200mm horizontally; however, this may be adjusted depending on site conditions.

12.5.4 Rock bolt

(1) The following shall be considered in the design of the rock bolt.

① Rock bolt material, yield strength and anchorage method shall be reviewed when designing the rock bolt.

② Rock bolt shall satisfy the following requirements considering ground condition, distribution of discontinuous face and spring water.

A. Sealing effect: The rock bolt must function to fix the loosened rock after blasting to the foundation ground.

B. Retention effect: The rock bolt must function to tighten the joints to convey the shear strength so as to act as a composite beam.

C. Bearing force: When bearing force equivalent to the tensile force on the rock bolt works on the wall, tunnel ground at biaxial stress state is changed to triaxial stress state, which has the effect of a constraint force (lateral force) at triaxial test, preventing the ground strength or bearing force from being reduced.

D. Arch forming effect: An arch with a large load-bearing capacity is formed by convergence due to the pressure-resistance effect caused by system rock bolt.

E. Ground reinforcement effect: Rock bolt increases the shear resistance of the ground and enhances the residual strength after the yielding by ground.

③ When tensile force is generated by stressed sealing effect among the effects of rock bolt, rock bolt with the material and shape that have sufficient safety factor against the pulling-resistance force shall be adopted.

④ Rock bolt material, bearing plate and anchorage type and material shall be determined after considering the installation efficiency.

(6) 타설된 숏크리트가 고정하중으로 인하여 박리될 가능성이 있는 경우 또는 숏크리트의 인장강도 및 전단강도 등 인성을 향상시키기 위하여 철망을 사용할 수 있다. 단, 강섬유 또는 기타 재질의 섬유를 혼합한 숏크리트의 경우는 철망을 생략할 수 있다. 철망의 재질 및 규격은 다음 사항을 따라야 한다.

① 철망은 KS D 7017에 규정된 용접철망을 사용해야 하며, 철망의 지름은 5mm 내외, 개구크기는 100×100mm 또는 150×150mm인 철망을 표준으로 하되 현장조건에 따라 변경할 수 있다.

② 굴착면의 자립이 어렵고 숏크리트 타설 시 숏크리트 박리가 발생하는 경우에는 숏크리트와 지반과의 부착을 증진시키기 위하여 개구크기와 철선지름이 작은 철망을 사용할 수 있다.

③ 철망은 종방향 및 횡방향으로 겹이음을 실시하며 터널 종방향으로는 100mm, 횡방향으로는 200mm 이상의 이음장을 표준으로 하되 현장조건에 따라 증감할 수 있다.

12.5.4 록볼트

(1) 록볼트 설계 시 다음 사항을 고려해야 한다.

① 록볼트 설계 시에는 록볼트 소재와 록볼트 자체의 항복하중과 정착방법을 면밀히 검토해야 한다.

② 록볼트의 설계에 있어서는 지반상태, 불연속면의 분포, 발생용수 등을 고려하여 다음에 언급한 효과가 사용 목적에 적합하도록 발휘되어야 한다.

가. 봉합작용 : 발파 등에 의해 이완된 암괴를 이완되지 않은 원지반에 고정하여 낙하를 방지하는 기능이다.

나. 보형성작용 : 터널 주변의 층을 이루고 있는 지반의 절리면 사이를 조여줌으로써 절리면에서 전단력의 전달을 가능하게 하여 합성보로서 거동시키는 효과이다.

다. 내압작용 : 록볼트에 작용하는 인장력과 동등한 힘이 내압으로 터널 벽면에 작용하면 2축응력 상태에 있던 터널 주변 지반이 3축응력 상태로 되는 효과가 있으며, 이것은 3축 시험시 구속력(측압)의 증대와 같은 의미를 가지며 지반의 강도 혹은 내하력 저하를 억제하는 작용을 한다.

라. 아치형성 작용 : 시스템 록볼트의 내압효과로 인하여 굴착면 주변의 지반이 내공측으로 일정하게 변형하는 것에 의해 내하력이 큰 아치를 형성한다.

마. 지반보강 작용 : 지반 내에 록볼트를 설치하면 지반의 전단 저항능력이 증대하여 지반의 내하력을 증대시키고 지반의 항복 후에도 잔류강도 향상을 도모한다.

③ 록볼트의 작용효과 중 특히 봉합작용이 강조되어 인장력이 발생되는 경우는 소요의 인발내력에 대하여 필요로 하는 안전율을 갖는 재질과 형상의 록볼트를 채택해야 한다.

④ 록볼트의 재질, 지압판, 정착형식 및 정착재료 등을 선정할 경우에는 그 시공성을 고려해야 한다.

⑤ When a large convergence has occurred due to stress release after excavation, prestress may be introduced by end anchorage type or combined type rock bolt. In cases of prestress, ground conditions shall allow continuous prestress, and the stress imposed on the bolt by prestressing shall be less than 80 % of yield strength.

⑥ When a long rock bolt longer than 8m is required for a large section tunnel or tunnel intersection, cable bolt may be used in combination with rock bolt considering the need for constructability.

(2) Material and shape of rock bolt shall be as follows.

① Rock bolt shall be made of deformed bar with the required strength, but expandable steel pipe or fiber-reinforced plastic (FRP) with equivalent strength and function may be used, and material and strength must be in accordance with KS.

② Material of rock bolt shall be determined after considering ground condition and use, and its long-term durability must be superior if used for permanent support. Generally, it shall be steel that exceeds the requirements of SD 350, with high tensile strength and elongation. Mechanical properties required by KS E 3132 and KS D 3504 are as shown in <Table 12.5.1>.

③ Bearing plate functions to integrate the rock bolt with shotcrete, and shall have the required area and strength for the expected stress. Thickness of bearing plate shall be 6mm, or 9mm for expandable ground.

Table 12.5.1 Mechanical properties of steel bar used for rock bolt

Type	Diameter (mm)	Material	Mechanical properties		
			Yield	Tensile (MPa)	Elongation (%)
Deformed bar	≥22	≥SD600	≥600	≥710	≥10
		≥SD700	≥700	≥800	≥10
	≥25	≥SD350	≥350	≥490	≥18
		≥SD400	≥400	≥560	≥16

(3) Rock bolt anchoring method shall be determined according to the following:

① Rock bolt anchoring methods include end anchoring, front-contact and combined anchoring, and an appropriate method is selected after considering the use, ground condition and constructability.

② Either cementitious material or resin material may be used depending on site conditions, and material shall be applied in a way that prevents it from flowing down.

⑤ 굴착으로 인한 응력해방에 따라 내공변위가 크게 발생하는 경우에는 선단정착형 또는 혼합형의 록볼트 형식으로 프리스트레스를 도입할 수 있다. 프리스트레스를 도입하는 경우에는 도입된 프리스트레스가 지속적으로 유지될 수 있는 지반조건이어야 하며, 프리스트레싱에 의한 록볼트의 응력이 항복강도의 80% 이내가 되도록 해야 한다.

⑥ 대단면 터널, 터널 교차부 등과 같이 8m 이상의 긴 록볼트를 설치할 필요가 있는 경우에는 시공성 등을 고려하여 록볼트와 함께 케이블볼트를 조합하여 설계할 수 있다.

(2) 록볼트 재질 및 형상은 다음 사항을 따라야 한다.

① 록볼트는 소요의 강도 이상을 가지는 이형봉강으로 제작하는 것을 기준으로 하나 강관, 팽창성 강관 또는 이와 동일한 강도와 기능을 가지는 섬유보강 플라스틱(FRP) 등 기타 소재의 록볼트도 사용할 수 있으며, 재질 및 강도는 한국산업규격(KS)에 적합한 것이어야 한다.

② 록볼트의 재질은 원지반 조건 및 사용목적을 고려하여 정해야 하며, 영구지보재로 사용하는 경우는 장기 내구성이 우수한 것이어야 한다. 일반적으로 SD 350 이상의 강재로서 재질 인장강도 및 연신율이 큰 것이어야 한다. KS E 3132 및 KS D 3504에 제정되어 있는 봉강의 기계적 성질은 <표 12.5.1>과 같다.

③ 지압판은 록볼트와 숏크리트를 일체화시키는 역할을 담당하며, 예상되는 응력에 대하여 필요로 하는 면적과 강도를 갖는 것이어야 한다. 지압판 두께는 6mm를 표준으로 하되 팽창성 지반의 경우는 9mm 이상을 사용해야 한다.

표 12.5.1 록볼트로 사용되는 봉강의 기계적 성질

종 류	직 경 (mm)	재질 기호	기계적 성질		
			항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
이 형 봉 강	22이상	SD600 이상	600 이상	710 이상	10 이상
		SD700 이상	700 이상	800 이상	10 이상
	25이상	SD350 이상	350 이상	490 이상	18 이상
		SD400 이상	400 이상	560 이상	16 이상

(3) 록볼트의 정착방법의 선정 시에는 다음 사항을 따라야 한다.

① 록볼트의 정착방법으로는 선단정착형, 전면접착형, 혼합형 등이 있으며 사용목적, 지반조건, 시공성 등을 고려하여 정착방법을 선정해야 한다.

② 정착재료는 시멘트계와 수지계를 현장 여건에 따라 사용할 수 있다. 설치위치에 따라 정착재료의 흘러내림을 최대한 방지하도록 조치해야 한다.

③ When a rock bolt is not independent due to soft ground condition, a self-drilling rock bolt may be used.

④ When rock bolt function is urgently required, a rock bolt that will have immediate frictional force shall be used.

⑤ Portland cement is usually used as anchoring material; however, this may be changed depending on site conditions. The maximum diameter of the sand to be used shall be 2mm or less.

(4) Position and length of rock bolt shall comply with the following:

① Rock bolt shall be positioned to reinforce the zone that will be influenced by excavation; however, this may be changed depending on site conditions.

② Position and length of rock bolt shall be determined after considering the use, ground condition, shape and size of tunnel section, excavation method and joint interval.

③ When rock bolts need to be arranged at a certain interval, they shall be positioned perpendicular to the excavation face in a radial direction to the tunnel section; however, this may be changed depending on site conditions, and when penetrating the discontinuous face of hard rock with joints, rock bolt shall be placed in a direction considering the joint and interaction between rock bolts shall be allowed. But when installing the rock bolt earlier, inclined rock bolt toward the tunnel may be used.

④ The length of rock bolt shall be adjusted depending on the size of the excavation section and the depth of loosened ground, and 2 times the interval shall be standard; this may be adjusted depending on advancement distance per time. Joint and interval shall be arranged to maximize the bearing capacity.

⑤ Diameter of rock bolt shall be determined after considering the rock weight to be supported by one rock bolt or shear force required for bearing ground force, and shall generally be in accordance with D25 standard.

⑥ When the reinforcement effect created by rock bolt is not expected or is very insignificant at the steel pipe reinforcement section, rock bolt may not be installed after reviewing the ground condition.

12.6 Concrete lining

12.6.1 Role of concrete lining

(1) Concrete lining shall be designed considering ground condition, the surrounding environment and the bearing capacity of main support in order to meet the requirements and secure stability and strength without impact of leakage or erosion.

③ 지반이 연약하여 록볼트 천공의 자립이 어려운 경우에는 자천공(自穿孔)형 록볼트를 사용할 수 있다.

④ 긴급한 록볼트 기능 도입이 요구되는 경우에는 마찰력을 즉시 발휘시킬 수 있는 구조의 록볼트를 사용해야 한다.

⑤ 록볼트의 정착재료는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 변경될 수 있으며, 사용하는 모래는 최대 직경이 2mm 이하의 입도가 양호한 모래를 사용해야 한다.

(4) 록볼트의 배치 및 길이 선정은 다음 사항을 따라야 한다.

① 록볼트는 굴착에 따라 영향을 받는 영역을 보강하도록 배치하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

② 록볼트의 배치 및 길이는 그 사용목적, 지반조건, 터널 단면의 크기 및 형상, 굴착공법, 절리의 간격 등을 고려하여 결정해야 한다.

③ 록볼트를 일정한 간격으로 배치할 필요가 있는 경우에는 터널단면의 방사선 방향으로 굴착면에 직각으로 설치하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 변경할 수 있고, 절리가 발달하였으나 암질이 양호한 불연속면을 관통하는 경우에는 절리면을 고려한 방향으로 록볼트를 설치해야 하며, 인접한 록볼트 간에는 상호작용 발휘가 가능하도록 록볼트를 배치해야 한다. 단, 록볼트를 조기에 타설할 필요가 있는 경우에는 터널진행방향으로 경사진 경사록볼트 형식을 적용할 수 있다.

④ 록볼트의 길이는 굴착단면의 크기와 이완영역의 발달 깊이에 따라 조정해야 하며, 설치간격의 2배 정도를 표준으로 하고, 1회 굴진장 및 암반의 절리상태에 따라 조정해야 하며, 지반자체의 지보능력을 원활히 발휘할 수 있는 간격으로 배치해야 한다.

⑤ 록볼트의 직경은 1본의 록볼트가 지탱하는 암괴의 중량 또는 지반에 필요한 전단 보강력에 따라 결정할 수 있으나 일반적으로 D25의 규격을 표준으로 한다.

⑥ 터널 상부에 강관보강공법이 적용된 구간에서 록볼트에 의한 보강효과를 얻을 수 없거나 매우 저감되는 경우에는 지반조건을 면밀히 검토한 후 록볼트를 생략할 수 있다.

12.6 콘크리트라이닝

12.6.1 콘크리트라이닝의 역할

(1) 콘크리트라이닝은 터널이 계획된 지역주변의 지반상태, 환경조건 및 주지보재의 지보능력을 고려하여 사용목적 및 사용조건에 적합하고 내구연한 동안 필요로 하는 안정성과 누수 등에 의한 침식이나 강도의 감소 등이 없는 내구성을 가지도록 설계해야 한다.

(2) The concrete lining shall be designed to have the following functions:
① Mechanical function as the structure for the service life
② Pressure resistance in undrained waterproof tunnel
③ Aesthetic effect as tunnel's interior material
④ Tunnel inspection and maintenance function
(3) Concrete lining shall be applied as early as possible considering the decreased bearing capacity of the support after excavation.
(4) Water pressure shall be considered for undrained waterproof tunnel.

12.6.2 Material and strength of concrete lining
(1) The material must be appropriate for the use, and generally in-situ plain concrete or RC may be used, though precast lining may also be used depending on site conditions. Other than rebar, steel fiber or glass fiber may be used to constrain crack and improve the durability.
(2) Required strength of concrete lining shall be designed considering ground characteristics, shape of concrete lining, type of the support and load on lining. Generally, the 38-day strength shall be 21 ~ 24 MPa; however, this may be increased as needed.
(3) Watertight concrete shall be used for an undrained waterproof tunnel, and 28-day strength in such a case shall be 27 MPa or more.
(4) Lining may not be applied when long-term stability is secured, or in consideration of site conditions.

12.6.3 Shape and thickness of concrete lining
(1) The shape of concrete lining shall include inner section, and avoid sharp curves, edges and uneven surfaces to prevent stress concentration and reduce bending moment, and beveling shall be considered as needed.
(2) Thickness of concrete lining shall be designed considering the size and shape of tunnel section, ground condition, working load, water pressure, material and construction method.
(3) Thickness of concrete lining shall be 300mm as standard for small section railway tunnel; however, this may be adjusted according to the size and shape of the section and site condition.

(2) 콘크리트라이닝은 다음과 같은 기능을 보유하도록 설계해야 한다.
① 내구연한 동안 구조체로서의 역학적 기능
② 비배수형 방수형식 터널에서의 내압기능
③ 터널 내장재로서 미관유지 기능
④ 터널내 점검 및 보수 관리 기능
(3) 콘크리트라이닝의 타설 시기는 굴착 후 지반 및 지보재의 지지능력 저감을 감안하여 가능한 조속히 시공토록 계획해야 한다.
(4) 비배수형 방수형식 터널에서는 콘크리트라이닝에 수압이 작용하므로 수압을 고려하여 설계해야 한다.

12.6.2 콘크리트라이닝의 재료 및 강도
(1) 콘크리트라이닝에 사용하는 재료는 터널 사용목적에 적합해야 하며 일반적으로 현장타설 무근 또는 철근 콘크리트를 사용할 수 있으며, 현장여건에 따라 프리캐스트라이닝도 적용할 수 있다. 콘크리트라이닝의 균열 억제 및 내구성 증진 등을 위하여 철근 이외에 강섬유 또는 유리섬유를 사용할 수 있다.
(2) 콘크리트라이닝의 소요강도는 지반특성, 콘크리트라이닝의 형상, 지보재의 종류 및 라이닝에 작용하는 하중 등에 적합하도록 설계해야 한다. 일반적으로, 재령 28일 강도가 21~24MPa 인 콘크리트를 표준강도로 하나 경우에 따라서는 그 이상인 고강도 콘크리트를 사용할 수 있다.
(3) 비배수형 방수형식 터널에서는 방수목적상 수밀콘크리트를 사용해야 하며, 이 경우 재령 28일 강도는 27MPa 이상이 되도록 해야 한다.
(4) 터널의 장기 안정성이 확보되는 경우나 현장여건에 따라 라이닝을 설치하지 않을 수 있다.

12.6.3 콘크리트라이닝의 형상 및 두께
(1) 콘크리트라이닝의 형상은 소요 내공단면을 포함하며 국부적인 응력집중을 방지하고 휨모멘트가 작게 발생하도록 급격한 만곡, 모서리, 요철 등을 피해야 하며 필요시 모따기 등을 고려해야 한다.
(2) 콘크리트라이닝의 두께는 터널 단면의 크기와 형상, 지반조건, 작용하중, 수압, 사용재료 및 시공법 등을 고려하여 설계해야 한다.
(3) 콘크리트라이닝의 두께는 소단면 철도터널을 기준으로 300mm를 표준으로 하되 단면크기, 형상 및 지반조건 등 현장여건을 감안하여 증감할 수 있다.

(4) When concrete lining is reinforced by rebar, thickness shall be determined after considering structural stability and constructability together. In addition, the measure to improve the concrete quality for joint and workability shall be developed and vertical reinforcement may be discontinued as needed, but reinforcement shall be followed. When concrete lining is reinforced by rebar, an anti-deflection measure shall be taken and cladding thickness and construction gauge (facility limitation) shall be secured.

12.6.4 Shape of invert and application of concrete lining

(1) Application of concrete lining to invert shall be determined based on the characteristics of foundation ground.
(2) Timing of invert concrete lining on particular ground such as expandable ground, compressive ground and unconsolidated ground shall be reviewed separately; for soft ground, reinforcement of the invert by applying shotcrete may be considered.
(3) When the tunnel may become unstable due to uneven ground pressure, invert may be curved; however, this may be changed depending on site conditions.
(4) Invert shall be designed to the shape that integrates with the wall to resist the external wall safely.
(5) The depth of invert curve shall be determined depending on topographic and ground condition, and constructability and cost efficiency shall also be considered.
(6) For a straight invert, concrete lining may be applied to the invert considering the use and maintenance efficiency.

12.6.5 Prevention of cracks

(1) Measures to prevent cracks shall be taken when a hazardous crack may occur, and an expansion joint shall be provided when the temperature may be an influence.
(2) Causes of cracks in concrete lining include temperature expansion due to setting temperature, temperature expansion due to temperature change in tunnel and dry shrinkage due to change in humidity. The following shall be considered in the design to prevent the cracks.
① Smooth connection between shotcrete and concrete lining
② Reducing hydration heat and dry shrinkage by adding expansion agent, admixture and superplasticizer when mixing the concrete
③ Adjusting the concrete lining application sequence
④ Providing crack-inducing joints considering leakage
⑤ Using rebar, wire mesh and fiber-reinforced concrete
⑥ Wet curing

(4) 콘크리트라이닝을 철근으로 보강하는 경우에는 구조적 안전성과 시공성을 함께 고려하여 두께를 산정해야 한다. 이 경우, 시공이음부에 타설하는 콘크리트의 품질을 향상시키고 시공성을 증진시키는 방안을 강구해야 하며, 필요에 따라 종방향 철근을 단절시킬 수 있되 단절에 따른 보강조치를 취해야 한다. 철근으로 보강하여 콘크리트라이닝을 타설할 경우 철근 처짐 방지 대책을 수립하여 소요피복두께와 건축한계(시설한계)를 확보해야 한다.

12.6.4 인버트 형상 및 콘크리트라이닝의 설치

(1) 원지반의 특성에 따라 인버트 부분에 콘크리트라이닝 설치여부를 결정해야 한다.

(2) 팽창성 지반, 압축성지반 및 함수미고결층 지반 등 특수한 지반에서는 인버트 콘크리트라이닝의 타설 시기를 추가로 검토해야 하며 특히 지반이 불량한 경우에는 숏크리트에 의한 인버트 부분의 보강도 고려해야 한다.

(3) 지형 조건상 편압으로 인하여 터널의 안정성에 문제가 발생될 것으로 예상될 경우 인버트 부분의 형상을 곡선형으로 하되 현장조건에 따라 다른 형상을 적용할 수 있다.

(4) 인버트는 측벽과 일체가 되어 외력에 안전하게 저항할 수 있는 형상이 되도록 설계한다.

(5) 곡선형 인버트의 곡선부분 깊이는 지형 및 지반조건에 따라 정해야 하며, 시공성 및 경제성 등도 검토해야 한다.

(6) 직선형 인버트를 적용하는 터널의 경우도 터널의 용도, 유지관리 등을 고려하여 인버트 부분에 콘크리트라이닝을 타설할 수 있다.

12.6.5 균열방지대책

(1) 콘크리트라이닝에 유해한 균열이 발생할 염려가 있는 경우에는 균열방지대책을 강구해야 하며 외기온도의 영향을 많이 받는 구간은 필요에 따라 콘크리트 타설시 신축이음부를 설치해야 한다.

(2) 콘크리트라이닝 균열의 요인은 콘크리트 경화온도 강하에 의한 온도신축, 터널내 온도 변화에 의한 온도신축, 터널내 습도의 저하에 의한 건조수축 등이 있으며 균열 방지를 위하여 다음 사항을 검토하여 설계해야 한다.

① 숏크리트와 콘크리트라이닝의 평활한 접속

② 콘크리트 배합시 팽창재, 혼화제, 유동화제 등을 첨가하여 수화열과 건조수축량을 감소

③ 콘크리트라이닝의 타설순서 조정

④ 필요시 누수대책이 고려된 균열유발 줄눈의 설치

⑤ 철근이나 철망 배치 및 섬유보강 콘크리트 사용

⑥ 습윤양생 실시

12.6.6 Tunnel floor

(1) Sub-ballast concrete shall be provided as needed for track installation and maintenance.

(2) Sub-ballast concrete shall have a thickness of 150mm or more, and its 28-day strength shall be 18 MPa or more. Wire mesh shall be provided to prevent cracks.

12.6.7 Concrete lining on tunnel crown

(1) Concrete lining on crown shall be designed, and material mixing, structure and layout of injection point shall be planned.

(2) Injection pressure shall be determined to ensure there is no damage to the drainage system and the structure.

(3) Injection material shall not be excessively segregated, settled and expanded after injection.

(4) When filling the concrete lining, injection pipe and vent pipe shall be provided to fill the voids effectively.

12.7 Tunnel stability analysis

12.7.1 General

(1) The intent of the Tunnel stability analysis is to identify the behavior of surrounding ground and the impact on structure during construction, as well as to review the stability of the support and tunnel in advance. In applying the analysis result, the design shall not be simply dependent on the result of the analysis only.

(2) Analysis shall consider topographic and ground condition, groundwater, tunnel shape and location, construction method and support pattern, and a 2D or 3D analysis technique may be used. When adopting 2D analysis, 3D ground behavior shall be considered.

(3) The following shall be considered in the analysis.

① Analysis territory shall be determined to identify the effect of tunnel excavation, in consideration of the tunnel size and ground condition.

② Analysis model shall include the influence of phasing excavation and analysis territory, except in an elastic boundary condition including boundary elements and finite element, and shall be 3 times the tunnel excavation width at both sides and 2 times at the lower part and up to surface level at the upper part. But when top soil is relatively higher, a separate model that will include upper ground conditions may be used.

12.6.6 터널바닥처리

(1) 터널바닥에는 궤도시공 및 유지관리를 위하여 필요한 경우 보조도상 콘크리트를 타설해야 한다.

(2) 보조도상 콘크리트는 두께 150mm 이상, 재령 28일 강도 18MPa 이상이 되도록 해야 하며 균열방지를 위하여 와이어메쉬를 설치해야 한다.

12.6.7 터널천장부 콘크리트라이닝 뒤채움

(1) 콘크리트라이닝의 천장부 채움을 설계 시 반영하고 주입재의 재료, 배합, 주입구의 구조 및 배열 등을 계획해야 한다.

(2) 주입작업시 배수체계의 훼손 및 구조물의 손상이 발생하지 않도록 주입압을 검토해야 한다.

(3) 주입 재료로 사용되는 모르타르는 주입 작업 시의 분리, 특히 고형물의 침전이 적고 주입 후의 체적 신축이 작아야 한다.

(4) 콘크리트라이닝 천장부 채움시 주입관과 배기관을 설치하여 공극채움이 원활히 되도록 해야 한다.

12.7 터널안정성해석

12.7.1 일반사항

(1) 철도터널 안정성 해석의 목적은 터널 건설에 따른 주변 지반의 거동과 주변 시설물에 미치는 영향 및 지보재를 포함한 터널 구조물의 안정성을 사전에 검토하기 위함이다. 특히 해석 결과의 분석과 적용에 있어서는 단순히 해석 결과에만 의존하는 설계가 되지 않도록 주의해야 한다.

(2) 해석 시에는 지형 및 지반조건, 지하수 조건, 터널의 형상 및 위치, 시공방법 및 터널주변 지반의 지보특성을 고려해야 하며, 해석기법은 2차원 해석이나 3차원 해석을 채택할 수 있다. 2차원 해석을 실시할 경우에는 3차원적 실제 지반거동을 고려해야 한다.

(3) 해석 수행 시 다음 사항을 고려해야 한다.

① 해석영역은 철도터널의 규모와 지반조건 등을 고려하여 터널굴착에 따른 영향을 파악할 수 있는 범위로 설정해야 한다.

② 해석모델은 단계별 굴착의 영향이 포함되도록 하되 경계요소, 무한요소 등의 탄성경계 조건을 부여하는 경우를 제외하고는 터널 좌·우는 터널굴착폭의 3배 이상, 하부는 터널높이의 2배 이상, 상부는 지표면까지를 해석영역으로 해야 한다. 단, 상부토피가 상대적으로 높은 경우에는 상부지반조건의 영향이 포함될 수 있는 별도의 모델을 적용할 수 있다.

③ Characteristic value of the ground used for analysis shall be obtained from the test, but when the test result is not obtainable due to the scale of the work or site condition, value of similar ground conditions may be limitedly used at the discretion of the senior engineer.

(4) All programs used for analysis shall be verified and able to simulate the ground behavior appropriately and reproduce the phasing excavation, calculate the displacement, stress and moment of the ground and support that can be used for design and stability analysis.

(5) Analysis of tunnel excavation shall be carried out through preliminary investigation, modeling, calculation output and comprehensive evaluation, in that order; however, this may be changed depending on analysis conditions.

(6) In preliminary investigation, analysis model and characteristic value of the ground shall be determined based on geological data, tunnel section, construction method and standard support pattern, and analysis shall be carried out.

(7) The data and diagram applied to the comprehensive evaluation shall be described in detail, and the result of the analysis not applied shall not be included.

(8) Analysis Sequence of tunnel is as shown in <Fig. 12.7.1>

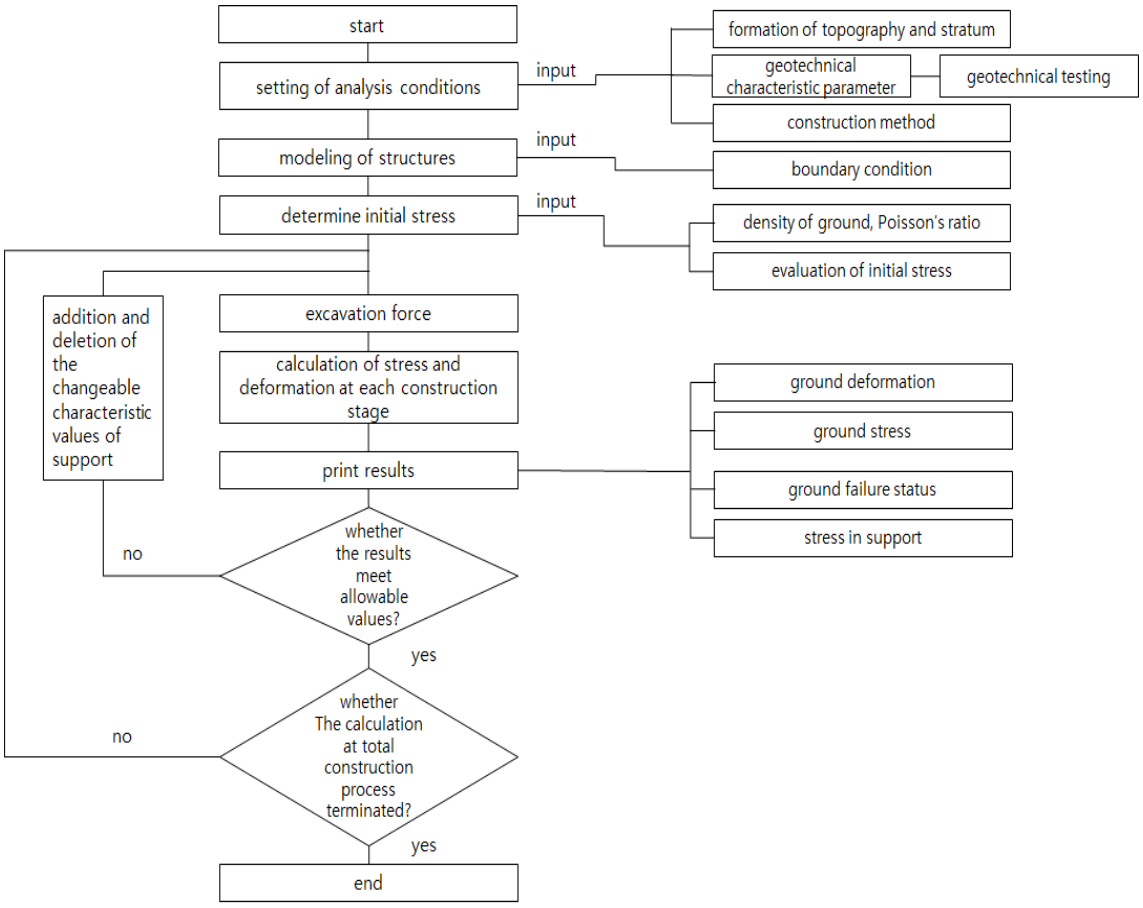


Fig. 12.7.1 Analysis sequence of railway tunnel

③ 해석 시 사용하는 지반특성값들은 해당 지반의 시험 결과를 토대로 산정된 값을 사용해야 한다. 단, 공사의 규모 또는 현장 여건상 시험 결과를 얻을 수 없는 경우에는 경험이 풍부한 기술자의 판단에 따라 유사지반의 지반특성값을 제한적으로 준용할 수 있다.

(4) 해석에 사용되는 모든 프로그램은 그 적합성이 검증되고 지반의 거동을 적절하게 모사(Simulation)할 수 있는 기능을 보유해야 하며, 터널의 단계별 굴착을 재현할 수 있는 기능과 지반, 지보재의 변위, 응력 그리고 모멘트 등을 계산하여 터널 설계 및 안정성 해석에 이용할 수 있어야 한다.

(5) 터널 굴착에 대한 해석은 일반적으로 사전조사, 모형화, 계산, 결과출력 및 종합평가의 순서로 진행하는 것을 원칙으로 하되 해석조건에 따라 조정할 수 있다.

(6) 사전조사에서는 지질조사 자료 및 철도터널 설계단면, 시공단계, 굴착공법, 표준지보패턴 등의 관련 자료를 바탕으로 해석모형과 지반특성값을 설정하여 해석을 실행해야 한다.

(7) 종합평가에 직접 적용된 수치 및 도표 등의 내용은 상세히 기술해야 하며, 적용되지 않는 각종 해석 결과는 수록하지 않는 것을 원칙으로 하되 평가조건에 따라 변경할 수 있다.

(8) 터널의 일반적인 해석 순서는 <그림 12.7.1>과 같다.

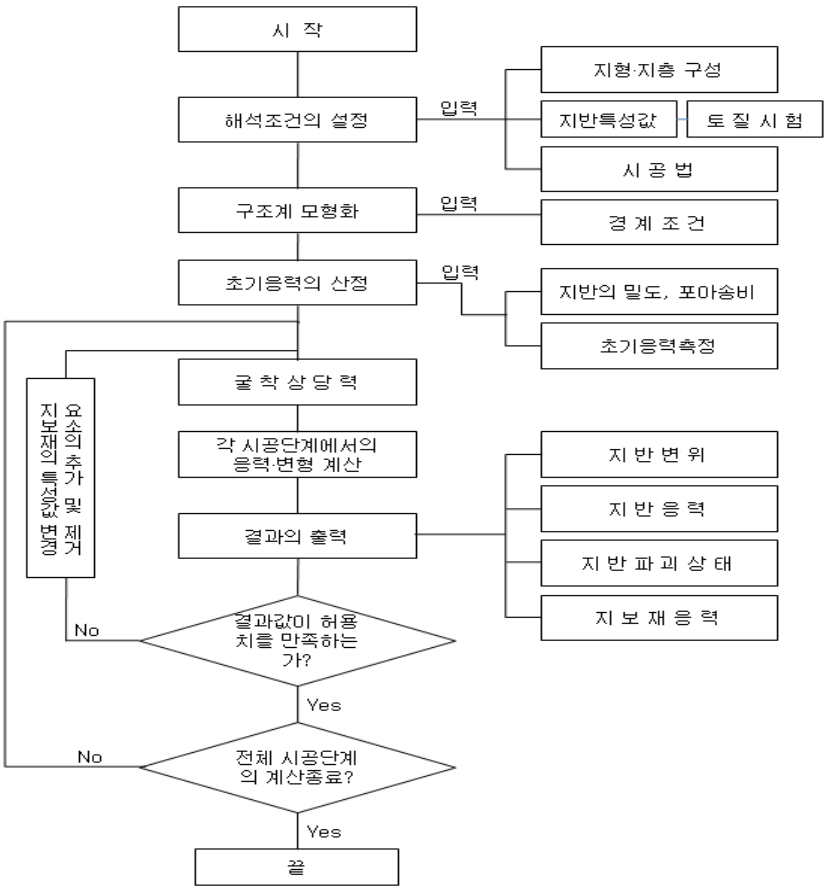


그림 12.7.1 일반적인 철도터널의 해석순서

12.7.2 Characteristics of analysis input

(1) Input required for analysis includes ground characteristic value, initial stress of ground, groundwater level, characteristic of the support and auxiliary construction method.

(2) Ground characteristics shall represent the tunnel behavior, and initial stress of the ground shall be the value measured at the site or estimated using an empirical equation or prediction equation, as it has significant impact on tunnel behavior.

(3) When injecting to reinforce the ground, characteristic value of reinforced ground is needed; when it is mechanically reinforced, the material shall be considered as the support and the characteristic value of the support or reinforced ground shall be used.

12.7.3 Determination of the load

(1) The loads used for analysis are initial stress of the ground, and groundwater pressure and external load may be considered as needed.

(2) Load shall be determined after considering the following:

① Initial stress of foundation ground shall consider the unit weight of the ground, tunnel depth and lateral pressure coefficient.

② Water pressure shall be determined after considering groundwater level. For an undrained tunnel, groundwater level shall be fixed as hydrostatic pressure, while water pressure shall be determined after considering the variation of groundwater level in a drained tunnel.

③ When traffic load of the structure, road or railway is imposed on top of the tunnel, it shall be considered as an external force.

④ Uneven pressure that could potentially occur on railway due to topographic or ground conditions shall be considered.

⑤ When a seismic effect could potentially occur on portal considering regional characteristics, top soil thickness above the railway and topographic & ground conditions, such potential effect shall be incorporated into the design.

⑥ When a time-dependent creep is expected over a long-term period, creep load shall be considered; for a temporary support, it may not be considered.

12.7.4 Analysis method

(1) Tunnel stabilization methods include the numerical analysis method, theoretical value method and empirical method.

(2) When using the numerical analysis method, a verified analysis program shall be used that can appropriately simulate the ground and design conditions and analyze the ground behavior.

12.7.2 해석입력특성

(1) 해석에 필요한 해석입력값은 지반특성값, 지반의 초기응력, 지하수위, 지보재 특성값, 사용되는 보조공법재의 특성값 등이다.

(2) 지반특성값은 터널 거동을 나타낼 수 있어야 하며, 지반의 초기응력은 터널거동에 큰 영향을 미치므로 현장에서 측정한 값, 경험식 또는 추정식으로 부터 산정해야 한다.

(3) 보조공법 중 지반보강을 목적으로 주입한 경우에는 보강된 지반특성값이 필요하며, 기계적 보강을 실시한 경우에는 각각의 재료를 지보재로 보고, 지보재의 특성값을 입력하거나, 보강지반으로 환산하여 보강된 지반특성값을 사용해야 한다.

12.7.3 하중결정

(1) 해석에 사용되는 하중의 종류는 지반의 초기응력과 지하수위에 의한 수압이며, 필요 시 관련 외부하중을 고려해야 한다.

(2) 하중 선정 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 원지반의 초기응력은 지반의 단위중량, 철도터널심도, 측압계수 등을 고려해야 한다.

② 수압은 지하수위를 고려하여 결정해야 한다. 비배수형 터널의 경우에는 지하수위를 고정하여 정수압으로 하고, 배수형 터널의 경우에는 지하수위의 변화를 고려하여 수압을 정해야 한다.

③ 터널 상부에 구조물이나 도로 및 철도 등에 의한 교통하중이 작용하는 경우에는 외력으로 고려해야 한다.

④ 지형 및 지반조건 등의 이유로 철도터널에 편압이 작용할 우려가 있는 경우에는 편압에 대한 영향을 고려해야 한다.

⑤ 갱구부에 대하여는 지역적 특성, 철도터널 상부의 지층두께, 지형 및 지반조건 등에 따라 지진의 영향이 예상되는 경우에는 이의 영향을 설계에 반영해야 한다.

⑥ 장기간에 걸쳐 시간 의존적인 지반의 크리프(Creep)현상이 예상되는 경우에는 크리프하중을 고려해야 하며, 일시적인 지보인 경우에는 이를 고려하지 않아도 된다.

12.7.4 해석방법

(1) 터널 안정성 해석방법에는 수치해석적 방법, 이론해를 이용하는 방법, 경험적 방법 등이 있으므로 필요에 따라 적절한 방법을 선택하여 사용해야 한다.

(2) 수치해석적 방법을 이용할 경우에는 공학적으로 공인되어 널리 사용되고 있으며, 대상 지반 및 설계 조건들을 적절히 모사할 수 있고, 지반의 거동을 적절히 해석할 수 있는 기능을 보유한 해석 프로그램을 이용해야 한다.

(3) The method using theoretical value is simple as it saves time; however, it is only able to analyze within a limited assumption and thus shall be used only for numerical analysis, design of measured value and when a similar result is obtained through a case study.

(4) The empirical method involves predicting the rock behavior and selecting the support based on data from previous railway design and assumptions. Stabilization analysis based on the empirical method shall be implemented according to the stage below.

① Rock classification evaluation according to quantitative rock classification

② Identifying the correlations between rock classification and constructability

③ Reviewing the constructability while quantitatively representing the retention time and tunnel width, without support and with the required support

12.7.5 Evaluation of analysis result

(1) Evaluation of analysis result shall be incorporated in the design.

① Evaluation of tunnel stability

② Value of similar tunnel and verification evaluation

③ Interrelation with neighboring structure

(2) Structural stability of the tunnel shall be evaluated based on an analysis of displacement and stress of ground elements and support.

(3) Analysis result shall be evaluated by comparing and verifying the stress and convergence of similar tunnels, surface settlement and ground displacement.

12.8 Drainage and waterproof

12.8.1 Design general

(1) Tunnel type is classified into drained waterproof and undrained waterproof depending on groundwater drainage method.

(2) Drain is designed to drain the groundwater in the tunnel, and consists of the three following types depending on the drainage method.

① Full-drainage type: Drainage allowed on a full section

② Partial drainage: Waterproof membrane on crown and side wall to drain

③ External drainage: Waterproof membrane on the entire concrete lining to protect it from groundwater, and separate drainage outside the tunnel to collect the groundwater running into the tunnel.

(3) Undrained type is designed to isolate the groundwater from the tunnel, and as the groundwater is not drained, water pressure on concrete lining shall be considered.

(3) 이론해를 이용하는 방법은 계산이 간편하여 시간을 절약할 수 있으나 한정된 가정 조건하에서만 해석이 가능하기 때문에 수치해석, 계측 결과 등의 설계, 시공 사례의 분석을 통하여 유사한 결과를 보일 경우에 한하여 사용해야 한다.
(4) 경험적 방법은 기존의 철도터널 설계로부터 획득한 경험을 기초로 예상되는 상황을 가정하여 암반의 거동을 예측하고 적절한 지보재를 채택하는 방법이라 할 수 있다. 경험적 방법에 의한 안정성 해석은 다음에 정리한 단계로 수행해야 한다.
① 정량적인 암반분류법에 의한 암반등급 평가
② 암반등급과 시공성과의 상관성 파악
③ 무지보 유지시간, 무지보 터널폭, 필요 지보량 등을 정량적으로 표현한 시공성 검토

12.7.5 해석결과의 평가
(1) 해석 결과는 다음과 같은 적절한 평가를 거쳐 설계에 반영해야 한다.
① 터널의 안정성 평가
② 유사터널의 계측 결과와 검증 평가
③ 인접 구조물과 상호 영향 평가
(2) 터널은 굴착의 각 단계에 대한 각 지반요소 및 지보재의 변위, 응력, 파괴 접근도 등의 해석 결과를 검토하여 구조적인 안정성을 평가해야 한다.
(3) 해석 결과는 유사터널의 응력 및 내공변위, 지표침하, 지중변위 등의 계측 결과와 비교・검증하여 평가해야 한다.

12.8 배수 및 방수

12.8.1 설계일반
(1) 터널은 지하수의 처리 방법에 따라 배수형 방수형식과 비배수형 방수형식으로 구분한다.
(2) 배수형 방수형식 터널은 유입되는 지하수를 배수하는 터널로서 배수방법에 따라 다음과 같은 세 가지 형식으로 구분할 수 있다.
① 완전 배수형 : 터널내부의 전주면으로 배수를 허용하는 형식
② 부분 배수형 : 터널 천장부와 측벽부에만 방수막을 설치하여 유입수를 한 곳으로 유도하여 배수하는 형식
③ 외부 배수형 : 지하수로부터 터널 내부 시설물이나 콘크리트라이닝을 보호하기 위하여 콘크리트라이닝 외부 전체를 방수막으로 둘러싸고 그 밖으로 터널 외부에 별도의 배수로를 설치하여 터널 내부로 들어오는 지하수를 차집하여 외부로 배수하는 형식
(3) 비배수형 방수형식 터널은 지하수가 터널 내부로 유입될 수 없도록 차단하는 방수형식으로서 지하수를 배수시키지 않으므로 콘크리트라이닝에 지하수위 조건에 따른 수압작용을 고려해야 한다.

12.8.2 Selection of drained type

(1) Drained type shall be determined after considering the use of the tunnel, ground conditions, groundwater state, maintenance convenience, environment, safety, cost efficiency and constructability.

(2) Considerations in adopting the drained type shall include the following:

① Drained type shall in principle be applied to sites with good ground condition with less influent water and high groundwater level; however, this may be adjusted depending on site conditions.

② When a groundwater level is high (water pressure 0.6 MPa or more), the drained type shall be applied to promote tunnel stability.

③ When a tunnel is built at a site with excessive potential influent water, water-stop grouting shall be applied to reduce the maintenance cost for water pumping in order to reduce the influent water.

④ Drainage through the tunnel shall not have an impact on the surrounding structure.

⑤ Drainage system shall have a gradient of 3 ‰ or more to allow natural drainage.

⑥ Reduction in water pressure through drainage shall be maintained for service life in drained type, and a partial drained type that distributes the drainage and water pressure may be used.

⑦ If a dual lining system is used, the deterioration of the drainage function inside the lining shall be considered, and it may be designed as a non-structural system with a separate service life.

(3) Considerations in adopting the undrained type shall include:

① Undrained type shall be applied when ground settlement has occurred due to a lowered groundwater level and there is the risk of social or economic loss, when disposal of influent water in tunnel is difficult or when the underground water environment needs to be protected.

② Undrained type may be applied when reducing influent water by cutoff method is difficult and the use of a drained type would significantly increase the maintenance cost.

③ Undrained type shall be applied when water pressure is 0.6 MPa or less due to a technical problem with the waterproofing system.

12.8.3 Drainage method in detail

(1) In the partial drained type, non-woven fabric is attached to a waterproof membrane between shotcrete and concrete lining in order to drain the influent water to the bottom of side wall. Non-woven fabric shall have sufficient conveyance capacity to drain the groundwater.

12.8.2 배수형식의 선정

(1) 배수형식의 선정은 터널의 구축 목적, 용도, 지반조건, 지하수 조건, 유지관리의 용이성, 환경성, 안정성, 경제성, 시공성 등을 고려하여 선정해야 한다.

(2) 배수형 방수형식 터널 선정 시 다음 사항을 고려한다.

① 지반조건이 양호하여 유입수가 적은 반면 지하수위가 비교적 높은 지역은 배수형 방수형식 터널을 선정하는 것을 표준으로 하되 현장조건에 따라 다른 형식을 사용할 수 있다.

② 지하수위가 비교적 높은(수압 약 0.6MPa 이상 정도) 경우에는 터널의 안정성을 위해 배수형 방수형식 터널로 선정하는 것을 표준으로 한다.

③ 주변지반의 여건상 과다한 유입수가 예상되는 지역에 터널을 구축해야 하는 경우 유입수의 양수를 위한 유지관리비용의 절감을 위하여 터널주위 지반에 차수 그라우팅을 실시하여 유입수를 최대한 저감시킨 후 배수형 방수형식을 채택할 수 있다.

④ 터널을 통한 배수가 주변 구조물이나 시설에 영향을 주지 않도록 대책 수립이 가능해야 한다.

⑤ 배수 시스템은 자연흐름이 가능하도록 3‰ 이상의 기울기를 유지해야 한다.

⑥ 배수형 터널은 배수를 통하여 수압을 저감시키는 개념이 설계수명 동안 유지되도록 해야 하며, 배수와 수압을 배분한 부분배수형 방수형식을 채택할 수 있다.

⑦ 이중구조 라이닝의 경우 배수 시스템 안쪽의 내부 라이닝은 장기적으로 배수기능 저하에 따른 영향을 고려해야 하며, 계측관리와 연계하여 별도의 내구연한을 갖는 비구조체로 설계할 수 있다.

(3) 비배수형 방수형식 터널 선정 시 다음 사항을 고려해야 한다.

① 지하수위의 저하로 터널주위 지반이 침하가 발생되고 인근 시설물에 영향을 미쳐 사회·경제적인 손실 발생이 우려되거나, 터널 내부에서 유입수 처리가 곤란한 경우 또는 지하수 환경을 보전해야 하는 경우에는 비배수형 방수형식 터널을 채택해야 한다.

② 차수공법으로 지하수의 유입량을 감소시킬 수 없고, 배수형 방수형식을 채택하면 배수시설의 보수 및 유지관리에 큰 비용이 들 것으로 예상되는 경우에도 비배수형 방수형식 터널로 채택할 수 있다.

③ 비배수형 방수형식 터널은 방수기술상의 제한 때문에 작용수압이 0.6 MPa 이하인 지역에서만 채택하는 것을 표준으로 한다.

12.8.3 배수방법의 세부사항

(1) 부분배수형 방수형식 터널의 경우 숏크리트와 콘크리트라이닝 사이에 설치되는 방수막에 부직포를 설치하여 터널 측벽 하단으로 유입수를 유도하며, 사용 부직포는 유입 지하수를 배수시킬 수 있는 통수능력을 갖추어야 한다.

(2) For the ground containing fine soil, clogging shall be considered, and the discharge capacity shall be increased by increasing the thickness or using a drain board.
(3) Water penetrated into the tunnel is usually drained through the strainer pipe at the center or the drainage pipe at the sides, whichever is more efficient. Furthermore, the drainage check or cleaning shall be placed at a certain interval.
(4) As drainer may be deteriorated due to external pressure and clogging by soil particles, filtering function and durability shall be considered in determining the drainer, and the drainer may be installed by integrating with waterproof membrane.
(5) A drainpipe for groundwater collected by the drainer shall be 100mm diameter or larger, and shall have no negative impact on the structural stability of the lining.
(6) A drainpipe at the center or side of the inverter may be concrete pipe, galvanized pipe or THP pipe and the diameter of these pipes shall be 200mm or larger. When using THP pipe, protection measure against external force shall be provided.
(7) Appropriate drainage shall be provided according to 「12.14.5 Drainage during construction」 to drain the groundwater during construction.
(8) Tunnel drainage system shall have manhole or the like to remove the debris considering the reduced discharge capacity caused by sediment.
(9) Antifreezing measures shall be provided at portal and other sites where damage due to low temperature is expected.
(10) A water cross section shall be secured to drain the influent water through drainpipe at the center and sides.

12.8.4 Waterproofing method in detail

(1) The method that isolates the influent water by installing a waterproof membrane between shotcrete and concrete lining shall be applied to the partially drained, externally drained and undrained type.
(2) Waterproof material shall have tensile strength of 16 MPa, tear strength of 6 MPa, elongation of 600 % or more, heat expansion and contraction of 2.0 mm and 4.0mm or less, respectively, and the thickness shall be 2mm or more.
(3) When concrete lining is reinforced by rebar, waterproof membrane protection shall be provided to the joint.
(4) Drainage diagram, tunnel and vertical shaft, open and connection section and joint with expanded section shall be proposed in detail.
(5) For the undrained type, concrete lining shall be watertight concrete in order to maintain the watertightness.
(6) Cut-off plate shall be provided to construction joint and expansion joint of concrete lining.

(2) 세립분이 함유된 지반에서는 부직포의 막힘현상 가능성을 검토하고 필요에 따라 부직포의 두께를 증가시키거나 드레인보드를 사용하여 터널의 내구연한 동안 통수능력을 확보할 수 있도록 해야 한다.
(3) 터널 내 유입수의 처리는 중앙집수관 또는 측방배수관을 통해 배수되는 것이 일반적이나 동등 이상의 통수능력을 갖는 배수방법을 적용할 수 있다. 또한 배수상태 점검이나 청소가 가능한 시설을 일정한 간격으로 설치해야 한다.
(4) 배수재는 외부로부터의 압력에 의한 압착, 주변 지반 토립자의 유동에 의한 폐색 등에 의하여 장기적으로 통수능의 저하 가능성이 있으므로 적정한 필터 조건 및 내구성을 고려하여 배수재를 선정해야 하며, 경우에 따라 방수막과 일체형으로 시공할 수 있다.
(5) 배수재를 통해 집수된 지하수를 배수하는 측방배수관은 직경 100mm 이상의 유공관을 사용해야 하며, 측방배수관 설치로 인한 라이닝의 구조적 안정성을 손상시키지 말아야 한다.
(6) 인버트의 중앙부 또는 측방에 설치하는 배수관은 콘크리트관, 아연도강관, 고밀도폴리에틸렌(HDPE)관 등을 사용할 수 있다. 이러한 관의 직경은 200mm 이상이 되어야 하며, 고밀도폴리에틸렌(HDPE)관을 사용할 경우에는 외력으로부터 관을 보호할 수 있는 조치를 취해야 한다.
(7) 시공 중에도 유입되는 지하수를 배수할 수 있도록 「12.14.5 공사 중 배수설비」에서 정하는 바에 따라 적절한 배수시설을 갖추도록 해야 한다.
(8) 터널 내 배수 시스템은 침전물의 퇴적 등에 의한 통수능력 저하를 고려하여 적정 거리로 배수 확인공 또는 맨홀을 설치하여 청소가 용이하도록 해야 한다.
(9) 갱구부 등 동결이 우려되는 경우에는 배수 시스템 동결 방지대책을 강구해야 한다.
(10) 터널 내 유입수가 중앙집수관 및 측방배수관 등 배수시설을 통하여 원활히 배수될 수 있도록 통수단면적을 확보해야 한다.

12.8.4 방수방법의 세부사항

(1) 부분 배수형, 외부 배수형, 비배수형의 방수방법으로는 숏크리트와 콘크리트라이닝 사이에 방수막을 설치하여 유입수를 차단하는 방법을 채택해야 한다.
(2) 방수재료는 인장강도 16MPa 이상, 인열강도 6MPa 이상, 신도 600% 이상 가열신축량이 신장 및 수축 시 각각 2.0mm 이하 및 4.0mm 이하의 재질로서 두께가 2mm 이상을 원칙으로 하되, 동등 이상의 재질인 경우 두께를 조정하여 사용할 수 있다.
(3) 콘크리트라이닝에 철근을 배근하는 경우, 철근의 이음부에는 방수막을 보호할 수 있는 조치를 취하여 방수막 파손을 방지해야 한다.
(4) 터널 전 구간에 대한 배수계통도와 터널과 연직갱, 개착부, 연결부, 단면확폭부 등과의 접합부는 접합 및 방수 상세를 제시해야 한다.
(5) 비배수형 방수형식 터널의 경우 방수막과 함께 콘크리트라이닝은 수밀 콘크리트로 설계하여 수밀성을 유지해야 한다.
(6) 콘크리트라이닝의 시공이음부 및 수축·팽창이음부에는 지수판을 설치해야 한다.

12.8.5 Allowable leakage

(1) An appropriate waterproof grade shall be determined for tunnel waterproofing depending on the use of the tunnel, and allowable leakage depending on grade may be determined as provided in <Table 12.8.1>. Railway tunnels are categorized into grades 2 or 3; however, this may be adjusted through agreement with the client.

12.8.6 Waterproof for under-river and undersea tunnel

(1) This shall be in accordance with 「Tunnel Design Criteria (Ministry of land, Transport & Maritime affairs)」.

12.9 Excavation and measurement

12.9.1 Excavation method

(1) Excavation methods, which may include manual excavation, mechanical excavation, blasting and breaking, shall be selected considering the following:

① The method must be able to maximize the bearing capacity of the foundation ground, as well as the stability, cost efficiency and constructability.

② It shall be determined after considering ground condition, groundwater, size and shape of excavation section, tunnel length, neighboring structure and surrounding environment impact (vibration, noise and surface settlement) and the applicability of the auxiliary construction method.

(2) Manual excavation uses rock drill or small breaker, and shall be used under the following conditions.

① When partially excavating soft small area within a short period of time and installing the support at early stage

② When partially excavating vibration-influenced small area within a short period of time and installing the support at early stage

③ When TBM excavation is difficult

12.8.5 허용누수량

(1) 터널의 방수설계는 터널 용도에 적합한 방수등급을 정하고 각 방수 등급별로 <표 12.8.1>과 같은 누수량을 허용할 수 있다. 철도터널의 경우는 방수등급 2 및 3에 해당되며 단, 발주자의 여건에 따라 협의 하에 이 표에 규정한 값을 조정하여 적용할 수 있다.

12.8.6 하저 및 해저 터널의 방수형식

(1) 하저 및 해저 터널의 방수형식 관련 기준은 「터널설계기준(국토해양부)」을 따른다.

12.9 굴착 및 계측

12.9.1 굴착방법

(1) 굴착방법에는 인력굴착, 기계굴착, 발파굴착, 파쇄굴착 등이 있으며 굴착방법 선정에 있어서는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 원지반이 본래 가지고 있는 지지능력을 최대한 보존할 수 있으며 안정성, 경제성 및 시공성이 우수한 굴착방법을 채택해야 한다.

② 지반조건, 지하수 유입정도, 굴착단면의 크기와 형태, 터널연장, 근접구조물 유무와 주변환경영향(진동, 소음 및 지표침하 등), 보조공법의 적용성을 고려하여 선정해야 한다.

(2) 인력굴착은 착암기, 소형 브레이커 등 간단한 굴착도구를 사용하여 인력으로 굴착하는 방법으로 주로 다음과 같은 조건에서 적용해야 한다.

① 자립시간이 짧은 토사지반을 소규모로 분할굴착하고 조기에 지보재를 설치해야 하는 경우

② 진동영향을 크게 받는 지반을 소규모로 분할굴착하고 조기에 지보재를 설치해야 하는 경우

③ TBM 굴진에 어려움이 발생한 경우

Table 12.8.1 Allowable leakage by waterproof grade1)

Grade	Internal state	Use	State	Allowable leakage based on tunnel length (ℓ /㎡/day)	
	Internal state	Use	State	10m	100m
1	Complete dry	Living space, storage, workplace	No water leak stain on wall	0.02	0.01
2	Almost dry	Traffic tunnel & station tunnel with freezing risk	Partial water leak stain on wall, no water from stain, no discoloration by moisture after contacting the paper	0.1	0.05
3	Slight wetness	Traffic tunnel requiring grade 2 or less waterproof	Partial stain on wall, discoloration after contacting the paper but no water drops	0.2	0.1
4	Water drops slowly	Facility tunnel	Water drops slowly at a certain place	0.5	0.2
5	Frequent water drops	Sewage tunnel	Water drops frequently at a certain place	1.0	0.5

1) Based on the recommendation of German Underground traffic facility association (STUVA)

(3) Mechanical excavation is performed using shovel, breaker or heavy equipment or TBM, and the following shall be considered in design.

① Mechanical excavation using heavy equipment may be used for cataclastic rock or weathered rock to minimize the ground relaxation and overcut.

② Excavation equipment shall be selected after considering ground condition, surrounding environment, tunnel section size and shape, tunnel length and mucking method.

③ TBM tunnel design shall be in accordance with 「12.13 TBM Tunnel」; however, this may be modified depending on site conditions.

표 12.8.1 터널의 방수 등급별 허용누수량 [1)]

방수등급	내부상태	용 도	상 태 정 의	터널연장을 기준한 허용누수량 (ℓ /㎡/day)	
				10m	100m
1	완전건조	주거공간, 저장실, 작업실	벽면에 수분의 얼룩이 검출되지 않을 정도의 누수상태	0.02	0.01
2	거의건조	동결위험이 있는 교통터널, 정거장 터널	벽면의 국부적인 장소에 약간의 수분얼룩이 검출될 수 있는 정도, 수분의 얼룩을 건조한 손으로 접촉하여도 손에 물이 묻지 않을 정도, 흡수지 또는 신문지를 붙여보아도 붙여진 부분이 습기로 인해 변색되지 않을 정도의 누수	0.1	0.05
3	모관습윤	방수2등급 이상의 방수가 요구되지 않는 교통터널구간	벽면의 국부적인 장소에 수분얼룩이 검출되는 정도, 수분의 얼룩에 흡수지 또는 신문지를 붙였을 경우 습기로 인해 변색되지만 수분이 방울져 떨어지지 않을 정도의 누수	0.2	0.1
4	물방울이 가끔 떨어짐	시설물 터널	독립된 장소에서 물방울이 가끔 떨어지는 정도의 누수	0.5	0.2
5	물방울이 자주 떨어짐	하수 터널	독립된 장소에서 물방울이 자주 떨어지거나 방울져 흐르는 정도	1.0	0.5

1) 독일의 지하교통시설 연구협회(STUVA)의 추천 값을 참조한 것임

(3) 기계굴착은 쇼벨(Shovel), 브레이커(Breaker) 등 중장비 혹은 TBM 등 터널 굴진 장비를 사용하여 굴착하는 방법으로 설계 시에 다음 사항을 고려해야 한다.

① 중장비에 의한 기계굴착은 절리가 심하게 발달한 파쇄암이나 풍화암 등에서 지반이완을 최소화하고 여굴을 억제하는데 적용할 수 있다.

② 굴착 중장비는 지반조건, 주위환경, 터널단면의 크기, 형상 및 연장, 버력처리방법 등을 고려해서 시공성과 경제성 있는 기종으로 선정해야 한다.

③ TBM 터널의 설계는 「12.13 TBM 터널」에서 정한 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 변경할 수 있다.

(4) Blasting excavation is the most common method, and the following shall be considered in the design.

① It must have a high cost efficiency and constructability, but shall be determined after considering surrounding conditions due to vibration and noise.

② It shall be designed to minimize the relaxation zone by blasting vibration to form an even excavation surface, and the muck shall be sized appropriately for hauling. The following shall be included in the design:

A. Size and shape of excavation surface
B. Advance
C. Drilling
D. Drilling, blasting and hole diameter, allocation, angle and depth
E. Type and amount of blasting charge
F. Detonator
G. Ignition and explosion sequence
H. Test blasting plan

③ Environmental impact of vibration and noise shall be considered in blasting design to provide a countermeasure, and when vibration needs to be constrained strictly, vibration-dampening measures shall be provided or micro-vibration excavation or precision vibration control blasting shall be applied to satisfy the vibration & noise requirement, and when an environmental impact caused by blasting noise is expected at the tunnel portal, sound barrier (door, bank or wall) shall be provided.

④ When a structure or facilities near the blasting site need to be protected, allowable ground vibration shall be designed, referring to maximum particle velocity (Table 12.9.1>. But when an appropriate frequency band is not identified, a conservative value shall be applied.

(4) 발파굴착은 가장 일반적인 암반 굴착방법으로 설계 시에 다음 사항을 고려해야 한다.

① 발파굴착은 경제성과 시공성은 양호하나 진동과 소음 등이 수반되기 때문에 지반조건 또는 주변여건에 따라서 적용여부를 결정해야 한다.

② 발파설계는 지반조건을 고려하여 발파진동으로 인한 터널주변 지반의 이완영역을 최소화하며 평활한 굴착면이 형성되고, 버력의 크기가 적재 및 운반에 적합하도록 수행해야 하며, 다음 사항을 포함해야 한다.

가. 굴착 단면의 크기 및 형상
나. 굴진장
다. 심발 형식
라. 심발공, 발파공 및 주변공의 직경, 배치, 각도 및 천공 깊이
마. 화약의 종류와 장약량
바. 뇌관의 형식
사. 점화 및 기폭 순서
아. 현장 시험발파 계획

③ 발파설계 시에는 지반진동이나 소음이 주변 환경에 미치는 영향을 고려하여 제어발파 등의 대책을 수립해야 하며 엄격한 진동규제를 필요로 할 때에는 방진대책을 제시하거나 미진동굴착공법, 정밀진동제어발파 등을 검토하여 진동소음 허용기준을 만족시켜야 하며, 터널 갱구부에서 발파소음으로 인한 환경영향이 우려되는 경우 방음시설 (방음문, 방음둑, 방음벽 등)을 설치하는 등 적극적인 대책을 마련해야 한다.

④ 발파지점 주변에 지반진동으로부터 보호해야 할 시설물이나 구조물이 있는 경우, 대상 시설물 위치에서의 지반진동허용치는 최대입자속도를 기준으로 <표 12.9.1>에서 정한 값을 준용하여 설계한다. 단, 현장의 적정 주파수 대역 미파악 시에는 보수적인 기준치를 적용해야 한다.

Table 12.9.1 Allowable ground vibration based on damage to structure

	Structure	Cultural asset and vibration-sensitive structure	Masonry wall (brick, stone) and wooden ceiling structure	Masonry building with underground foundation and concrete slab	Small building with RC frame and slab	Large building with RC frame and slab
	Structure	Cultural asset	Traditional house, low-rise house	Low-rise house, townhouse	Low-rise apartment, shopping mall and factory	Seismic structure, high-rise apartment and building
Allowance by band (㎝/s)	50Hz or more	0.75	1.5	2.5	4.0	5.0
Allowance by band (㎝/s)	Less than 50Hz	0.3	1.0	2.0	3.0	5.0

⑤ For facilities which are sensitive to vibration, design shall be performed to satisfy the relevant requirement, and when the category of the structure according to <Table 12.9.1> is ambiguous, another standard based on test blasting may be established.

⑥ Allowable vibration to protect the residents near blasting site shall be in accordance with Environment Minister's 「Regulation on vibration and noise」, but when the site is near a stock farm, fish farm or precision machinery factory, allowable blasting vibration shall be determined through consultation with the experts or based on previous precedents, and vibration level shall also be monitored.

(5) Breaking excavation is performed using pressure or chemicals when mechanical or low vibration blasting excavation is not applicable, and is also applied when low vibration or noise is needed near a residential area, public building, hospital, school or farm.

(6) Auxiliary methods include steel bar and steel pipe reinforcement for crown, shotcrete for excavation face, rock bolt for excavation face and slope, injection chemical and support core, and the method shall be determined after considering ground condition, groundwater and size of excavation face.

(7) Recycling of muck shall be incorporated in the design.

표 12.9.1 구조물 손상기준 지반진동 허용치

구 분	구조물 형 식	문화재 및 지반진동 예민 구조물	조적식 벽체(벽돌,석재등)와 목재로 된 천장을 가진 구조물	지하기초와 콘크리트 슬래브를 갖는 조적식 건물	철근콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 중소형 건물	철근콘크리트, 철근골조 및 슬래브를 갖는 대형 건물
	구조물 종 류	문화재 등	재래가옥, 저층일반가옥 등	저층 양옥, 연립주택 등	중·저층아파트, 중소상가 및 공장	내진구조물 고층아파트, 대형 건물 등
주파수 대역별 허용치 (㎝/s)	50Hz 이상	0.75	1.5	2.5	4.0	5.0
	50Hz 미만	0.3	1.0	2.0	3.0	5.0

⑤ 진동에 아주 민감한 특정 시설의 경우에는 해당 시설의 진동규제치를 기준으로 설계해야 하고 <표 12.9.1>에 의한 구조물의 구분이 명확히 적용하기 어려운 경우에는 시험발파 등의 방법을 통하여 별도로 진동규제치를 정할 수 있다.

⑥ 발파지점 주변의 주민에 대한 생활 공해방지를 위한 지반진동 허용치는 환경부 제정 「진동과 소음에 관한 규정」을 준용해야 한다. 단, 가축사육장, 양식장, 정밀기계 공장 등에 대한 인접공사의 경우에는 해당 전문가의 자문이나 기존 판례를 고려하여 발파진동 허용치를 정해야 하며, 계측시에는 진동레벨을 포함하여 계측하여야 한다.

(5) 파쇄굴착은 기계 또는 저진동 발파에 의한 굴착을 채택하기 어려운 경우에 압력이나 약액을 사용하여 암반을 파쇄할 때 적용하며, 터널주변에 주택지나 주요구조물, 공공건물, 병원, 학교, 목장 등 주변환경으로 인하여 진동과 소음을 최소화 할 필요가 있는 경우에도 적용할 수 있다.

(6) 굴진면 안정을 위한 보조공법에는 천장부 보강용으로 강봉 및 강관보강공법, 굴진면 보강용으로 굴진면 숏크리트, 굴진면 록볼트, 경사 록볼트, 주입재, 지지코아 등이 있으며 지반조건, 지하수 유입정도, 굴착단면의 크기 등을 고려하여 보조공법을 선정해야 한다.

(7) 굴착 시 발생하는 버력의 재활용 여부를 검토하여 설계에 반영해야 한다.

12.9.2 Excavation method

(1) Tunnel excavation methods are classified as shown in <Table 12.9.2> and shall be determined after considering the independence of the excavation face, the bearing capacity of the foundation ground and allowable surface settlement with cost efficiency and constructability.

① A full-face excavation may be applied when ground independency and bearing capacity are secured, and is mostly applied to small section tunnels with good ground conditions.

② A horizontal division excavation may be applied to a large section with good ground conditions, and is used to enhance the independence of the excavation face when the ground condition is somewhat poor.

③ A vertical division excavation may be applied to a large section or poor ground, and a temporary support shall be provided to ensure the safety.

④ Advanced drift method may be applied to a large section or to identify the ground state ahead or groundwater in under-river or undersea tunnel or when performing blasting excavation after advanced drift by mechanical excavation.

⑤ Temporary invert shall be provided when constraining the deformation of excavation face or extending the bench because of poor ground conditions.

Table 12.9.2 Classification of excavation method

Excavation method			Definition	Note
Full-face excavation			Excavation at a time	
Division	Horizontal Division excavation	Long bench	Bench length: 3D or more	D: Tunnel diameter
		Short bench	Bench length: 1D～3D	
		Mini bench	Bench length: less than 1D	
		Multi bench	Number of benches: 3 or more	
	Vertical division		Vertical division excavation	
	Advanced drift		Part of section in advance	
	Temporary invert		Excavation after shotcrete on upper part of bench	Temporary invert by shotcrete

12.9.3 Instrumentation

(1) Tunnel instrumentation design shall include measurement item, location, interval, selection and installation time, duration and frequency, result and analysis method, and the following shall be considered.

12.9.2 굴착공법

(1) 터널의 굴착공법은 일반적으로 <표 12.9.2>와 같이 분류할 수 있으며, 굴진면의 자립성, 원지반의 지보능력, 지표면 침하의 허용값 등을 조사한 후에 시공성과 경제성을 고려하여 다음 사항을 근간으로 선정해야 한다.

① 전단면굴착은 지반의 자립성과 지보능력이 갖춰진 경우에 적용할 수 있으며, 주로 지반상태가 양호한 중소단면의 터널에서 적용할 수 있다.

② 수평분할굴착은 주로 지반상태가 양호하고 단면적이 큰 경우에 시공성을 높이기 위하여 적용하거나, 지반상태가 다소 불량한 경우에 굴진면의 자립성을 높이기 위하여 적용한다.

③ 연직분할굴착은 주로 지반상태가 불량하거나 단면적이 큰 경우에 적용해야 하며 안전성 측면에서 임시지보재 설치를 검토해야 한다.

④ 선진도갱굴착공법은 주로 단면적이 특히 크거나 하저 및 해저통과 등 특수한 조건하에서 굴진면 전방의 지반 및 지하수상태를 확인할 목적으로 굴착해야 하는 경우와 기계굴착공법을 적용하여 선진도갱하고, 발파공법으로 확장하여 굴착하는 경우에 적용할 수 있다.

⑤ 지반이 연약하여, 굴착단면의 변형을 억제하거나 벤치의 길이를 길게 할 필요가 있을 경우에 가인버트 설치를 검토해야 한다.

표 12.9.2 굴착공법의 분류

굴 착 공 법			정 의	비 고
전단면 굴착			전단면을 1회에 굴착	
분할굴착	수평분할굴착	롱벤치	벤치길이 : 3D 이상	D : 터널의 직경
		쇼트벤치	벤치길이 : 1D~3D	
		미니벤치	벤치길이 : 1D 미만	
		다단벤치	벤치 수 : 3개 이상	
	연직분할굴착		연직방향으로 분할굴착	
	선진도갱굴착		단면의 일부분을 먼저 굴착	
	가인버트 굴착		벤치 상부에 숏크리트 타설 후 굴착	숏크리트로 가인버트 형성

12.9.3 계측

(1) 터널의 계측설계는 계측항목, 계측위치, 배치간격, 계측기기의 선정과 설치시기, 측정기간과 빈도, 결과정리 및 분석 방법 등을 포함하며, 설계 시 다음 사항을 고려해야 한다.

① Instrumentation shall be appropriate to identify the behavior of the ground and surrounding structure due to tunnel excavation as well as to confirm the effect and quality of the support, considering the use and scale of the tunnel, ground conditions, surrounding environment of land, under-river and undersea.

② Instrumentation location and interval shall be determined to achieve the measurement goal and identify the correlations among measurement items considering tunnel size, ground condition and construction method.

③ To determine the instrumentation, design shall suggest the level and durability of the instruments necessary for tunnel stabilization.

④ Installation timing, measurement frequency and duration shall be planned according to the excavation and lining schedule to monitor the ground and support behavior.

⑤ Instrumentation result shall include the measured value and change over time, and analysis shall be performed by comparing the values by item so as to evaluate the tunnel's stability based on the correlation between the ground behavior and support effect.

⑥ The result of 3D measurement shall be analyzed using an existing displacement analysis approach and other methods applicable to the 3D method in order to enable a prediction of the vertical tunnel deformation behavior and displacement in advance of excavation.

(2) Instrumentation shall be planned for usual measurement for routine construction management and measurement for precision analysis.

(3) Routine measurement is mandatory for usual construction management, and shall include monitoring inside the tunnel, convergence measurement, crown settlement measurement and rock bolt pull-out test; surface settlement may be included when top soil is thin. The design shall consider the following:

① Monitoring inside the tunnel shall be conducted for every advance, which may be adjusted to the minimal frequency required for developing geologic map which is the basic data for maintenance depending on ground conditions.

② The section of convergence and crown settlement measurement shall be at 20m intervals; this may be adjusted to 10m intervals for 50 m of portal area or when top soil thickness is less than two times the tunnel diameter. The same measurement and response system shall apply according to design visual line to ensure that effective railway construction management is achieved.

③ When ground conditions are poor or variable, measurement points shall be adjusted to narrow them; when ground conditions are good and less variable, the measurement interval may be widened or measurement may not be conducted.

① 계측항목은 터널의 용도, 규모, 지반조건, 육상, 하저 및 해저 등의 주변환경, 시공방법 등을 고려하여 터널의 굴착에 따른 지반 및 주변 구조물의 거동을 파악하고 각종 지보재의 효과 및 품질을 확인하는 데 적합하도록 선정해야 한다.

② 계측위치 및 배치간격은 터널의 규모, 지반조건, 시공방법 등을 고려하여 계측목적에 부합하고 각 계측항목 사이의 상호 관련성을 파악할 수 있도록 선정해야 한다.

③ 계측기기의 선정을 위하여 설계자는 터널 안정관리상 요구되는 기기의 정도와 내구연한을 제시해야 한다.

④ 계측기기의 설치시기, 측정빈도 및 측정기간은 터널굴착에 따른 지반 및 지보재의 거동을 파악할 수 있도록 인버트 굴착 및 라이닝 타설시기를 감안하여 계획해야 한다.

⑤ 측정 결과의 정리방법은 계측결과를 확인할 수 있도록 계측치와 경시변화를 함께 제시해야 하며, 분석방법은 계측항목별 측정치를 상호 비교하여, 지반거동과 지보재 효과의 상관성에 따른 터널의 안정성을 검토할 수 있도록 제시해야 한다.

⑥ 3차원 변위 계측시 결과는 기존 변위 분석방법과 아울러 터널의 3차원 거동 파악이 가능한 분석방법을 도입하여 터널 종단선상의 터널변형 거동 파악 및 굴진면 전방 선행변위 예측이 가능하도록 분석해야 한다.

(2) 계측은 일상적인 시공관리를 위한 일상계측과 지반거동의 정밀분석을 위한 정밀계측으로 구분하여 계획을 수립해야 한다.

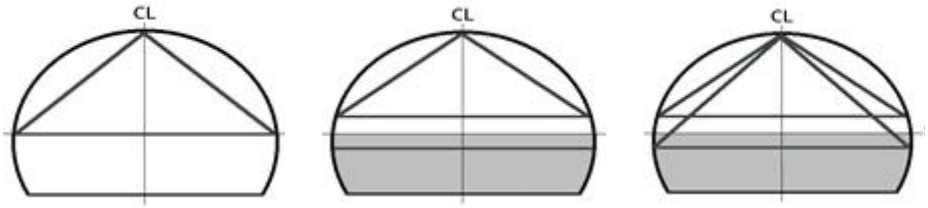
(3) 일상계측은 일상적인 시공관리상 반드시 실시해야 할 항목으로서, 터널 내 관찰조사, 내공변위 측정, 천단침하 측정, 록볼트 인발시험 등을 포함하며, 토피가 얕은 도심지에서는 지표침하 측정을 일상계측에 추가할 수 있으며, 설계 시 다음 사항을 고려해야 한다.

① 터널 내 관찰조사는 매 굴진면마다 실시하는 것을 표준으로 하되, 지반상태에 따라 유지관리 시의 기초자료인 터널지질도를 작성하는데 필요한 최소한의 빈도로 조정할 수 있다.

② 내공변위 및 천단침하 측정 시 측정단면은 20m 간격을 표준으로 하되, 갱구부 50m 구간과 토피가 터널 직경의 2배 이하인 구간은 10m 간격을 표준으로 하며 현장조건에 따라 증감할 수 있으며, 설계 시 각 선구별 동일한 계측관리 및 대응체계를 적용하여 효율적인 철도건설공사 관리가 될 수 있도록 하여야 한다.

③ 지반조건이 불량한 구간이나 변화가 심한 구간에 대하여는 계측간격을 일반구간 간격보다 좁히고, 지반조건이 양호하고 구간 내에서 지반변화가 적을 때에는 사전 검토 결과를 토대로 계측간격을 일반구간 보다 넓히거나 계측을 생략할 수 있다.

④ Survey lines of convergence shall be based on <Fig. 12.9.1>; however, this may be adjusted when located near portal or uneven pressure is expected, or at a fault or fractured zone or a site where excessive groundwater is expected, and measurement shall be planned to monitor 3D behavior.



3 survey lines for full section | 4 survey lines for half section | 6 survey lines for half section

Fig. 12.9.1 Example of survey lines for monitoring convergence

⑤ Crown settlement and convergence shall be measured on the same section, and the measuring point shall be as close to the excavation face as possible; crown settlement shall be measured as absolute downward settlement by leveling. When it is necessary to confirm the overall settlement, invert settlement shall be measured together with crown settlement.

⑥ When measuring surface settlement as a routine measurement, measuring point shall be placed on tunnel center line as implemented for convergence, and multiple points shall be arranged perpendicular to the tunnel axis. The outermost measuring point shall be a fixed point outside of the influence of tunnel excavation.

⑦ Rock bolt pull-out test shall be performed at an early stage of excavation to determine the type of rock bolt and anchorage effect after excavation.

(4) The aim of precision measurement is to monitor in detail the ground and structure behavior depending on surrounding conditions, in addition to routine measurement which shall include subsurface displacement, rock bolt axial force, shotcrete axial force and subsurface settlement. The following shall be considered when designing near portal or specific structure or directly under an apartment building or public facilities in an urban area.

① Survey line of precision measurement shall be placed at 500m intervals; however, this may be adjusted depending on tunnel size or surrounding conditions. Survey line shall be placed at tunnel analysis zone so as to compare and evaluate the analysis result with the measurement results.

② Measuring points of subsurface settlement shall be placed at surface ground of the tunnel center line or measuring point according to depth.

④ 내공변위의 측선 수는 <그림 12.9.1>을 기준으로 하여 배치하되 갱구 부근, 편압 예상구간, 단층 및 파쇄대, 과도한 지하수 용출이 예상되는 구간 등은 측선 수를 조정할 수 있으며, 필요한 경우에는 3차원 거동을 파악할 수 있도록 계측계획을 수립해야 한다.

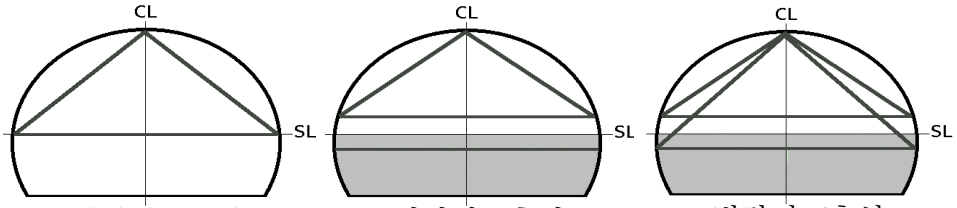


그림 12.9.1 내공변위 계측의 측선 배치 예

⑤ 천단침하와 내공변위는 동일단면에서 측정되어야 하고, 이 측점은 가능한 한 굴진면에 근접하게 설치되어야 한다, 또한, 천단침하는 수준측량 등을 통하여 하향방향의 절대침하량으로 측정하여야 한다. 터널이 전체적으로 침하하는지를 확인 할 필요성이 있는 경우 천단침하와 더불어 터널 바닥면의 침하도 측정하여야 한다.

⑥ 일상계측으로서 지표침하 측정이 필요한 경우에는 측점을 내공변위 측정과 동일한 단면의 터널 중심선상의 지표면에 배치하고 터널 축에 직각 방향으로 여러 개의 측점을 거리별로 배치한다. 이때 가장 바깥쪽의 측점은 가능하면 터널 굴진의 영향을 받지 않는 부동점이 되도록 계획해야 한다.

⑦ 록볼트 인발시험은 록볼트 종류의 선정 및 시공 후의 정착효과를 판정하기 위하여 굴착 초기단계에 실시해야 한다.

(4) 정밀계측은 지반조건 또는 주변여건에 따라 지반 및 구조물의 거동을 보다 상세히 관찰할 목적으로 일상계측에 추가하여 선정하는 항목으로서, 현장조건을 고려하여 지중변위 측정, 록볼트 축력 측정, 숏크리트 응력 측정, 지중침하 측정 등을 포함하며, 갱구부 또는 특정 구조물 주변, 도심지 공공주택 또는 다중이용시설의 직하부에는 설계 시 다음 사항을 고려해야 한다.

① 정밀계측 측선의 간격은 500m 간격으로 배치하는 것을 표준으로 하되, 터널의 규모나 지반 및 주변 조건 등에 따라 조정할 수 있으며, 가능한 한 설계 시의 터널해석 구간에 설치하여 해석결과와 시공 시의 계측결과를 비교 검토할 수 있도록 해야 한다.

② 지중침하 측정 위치는 터널 중심선상의 지표면 또는 측정해야 할 위치에 배치하고 깊이별로 여러 개의 측점을 계획해야 한다.

③ For subsurface displacement, rock bolt axial force and shotcrete stress to be conducted inside the tunnel among the precision measurements, there shall be 3 to 5 measuring points per section depending on the tunnel design pattern for effective measurement.

④ When the effects of ground settlement, crack in structure and inclination need to be reviewed, the designer shall propose the measurement plan.

⑤ 3D measurement needs to be introduced to expanded section, connection section, fault or fractured zone or other zones requiring precision measurement, and to enhance the reliability, geophysical prospecting or pilot horizontal boring shall be carried out in parallel.

⑥ When environmental or ecological impact is suspected, an instrumentation plan shall be made that considers blasting vibration and noise and groundwater level.

(5) The designer shall develop the construction specifications necessary for reviewing measurement tolerance, degree, durability and installation of instrument, measurement time and frequency, maintenance, compilation and analysis of measurement result.

(6) When tunneling work could potentially have an effect on the surrounding structure or a particular tunnel structure, land slide or ground behavior is expected or a negative impact on groundwater level or geologic features is expected after construction, an instrumentation plan for maintenance shall be established.

12.10 Portal

12.10.1 Portal design general

(1) Portal zone includes 1 to 2 times the tunnel diameter lengthwise from the portal structure, or the zone with top soil thickness of 3~5m from tunnel crown to 1.5 times tunnel diameter. But when foundation ground is hard rock or soft soil layer such as colluvium or alluvial layer, it may be defined separately.

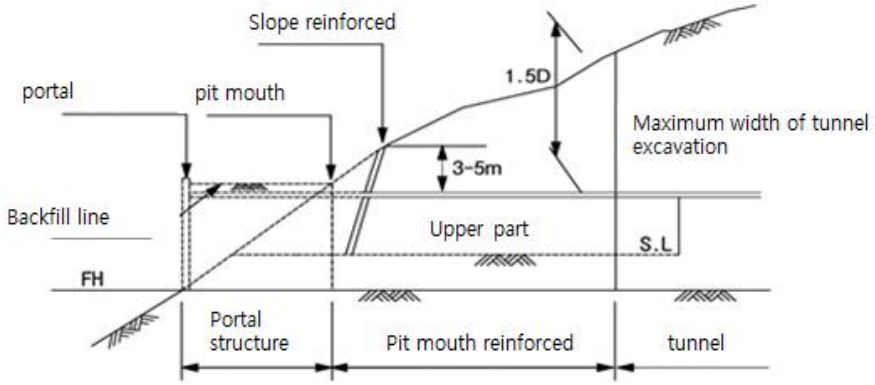


Fig. 12.10.1 Range of portal zone

③ 정밀계측 항목 중 계기를 터널 내에 설치하는 지중변위 측정, 록볼트 축력 측정, 숏크리트 응력 측정 등의 계측항목에 대해서는 1단면마다 3~5점을 기준으로 터널의 설계패턴에 따라 효과적인 계측이 가능하도록 적절한 위치에 배치해야 한다.

④ 설계자는 상기 항목 이외의 지반침하, 구조물 균열 및 경사도 등 터널공사에서 수반되는 제반 영향을 검토할 필요가 있는 경우에는 관련계측에 대한 계획을 제시해야 한다.

⑤ 확폭부, 접속부, 단층파쇄 등의 연약지반 구간, 그리고 별도의 정밀계측이 필요한 구간에는 3차원 계측을 도입할 필요가 있으며, 필요 시 물리탐사나 선진수평시추를 함께 실시하여 계측의 신뢰도를 높일 필요가 있다.

⑥ 터널공사로 인하여 환경피해 및 생태계 변화가 우려되는 구간에는 발파진동 및 소음, 지하수위 등의 환경영향 관련 계측계획을 수립해야 한다.

(5) 설계자는 계측의 허용오차, 계측기기의 정도, 내구성, 설치시기, 측정기간 및 빈도, 계측기의 유지관리, 계측결과의 정리 및 분석방안, 계측관리 기준치 등 계측기기 선정, 계측수행 및 분석에 필요한 모든 사항을 포함한 공사시방서를 작성해야 한다.

(6) 터널시공이 인접 구조물에 영향을 미칠 가능성이 높은 경우, 특수한 구조의 터널인 경우, 산사태나 지반거동의 가능성이 있을 경우, 지하수위와 지질학적인 문제 예상지역 등 터널완공 후 주변여건 및 지반조건상 터널 및 주변에 악영향이 예상되는 경우에는 준공 후 유지관리시의 안전성 확보를 위한 유지관리계측 계획을 수립해야 한다.

12.10 갱구부

12.10.1 갱구부 설계 일반

(1) 갱구부는 일반적으로 갱문구조물 배면으로부터 터널길이 방향으로 터널직경의 1~2배 범위 또는 터널 천장부로부터 토피고 3~5m에서 터널직경 1.5배의 토피고가 확보되는 범위까지로 정의한다. 단, 원지반 조건이 양호한 암반층 또는 붕적층, 충적층 등의 연약토 사층에서는 별도의 구간을 갱구부 범위로 정의할 수 있다.

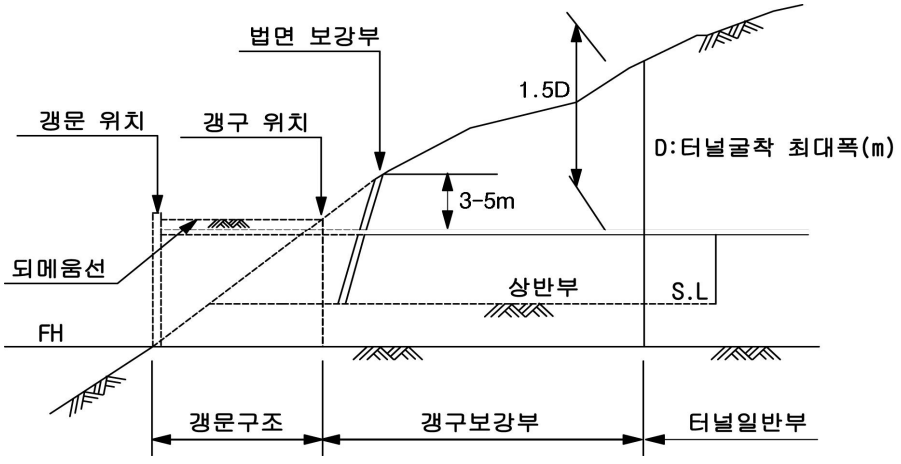


그림 12.10.1 갱구부의 범위

(2) Portal zone, unlike mainline in tunnel, is significantly affected by topographic features, weather, locational conditions and surrounding facilities, and these shall be considered in determining the structure and construction method.

(3) The following shall be considered in portal design in order to secure the safety and minimize the environmental impact.

① Location and construction of portal

② Range of portal zone

③ Excavation, support and concrete lining structure of portal

④ Stability of portal slope and stabilization method

⑤ Surface water disposal and drainage on portal slope

⑥ Climatic condition and countermeasures

⑦ Effect on surrounding structure near the portal

12.10.2 Design of portal zone

(1) Given the effect of topographic and weather conditions on the portal, the following shall be considered in portal design.

① When the portal is at the upper part of the slope, it shall be designed considering access road and connection with the surrounding structure.

② Top soil thickness above the portal shall be 3 ~5m, while on rock layer, it shall be 1~2m except when necessary to minimize the cutting in a particular topographic and geologic condition; however, this may be adjusted depending on site conditions.

③ When tunnel axial line is at an oblique angle to the slope, an asymmetric slope or portal is inevitable and thus lateral top soil and uneven pressure shall be reviewed in such a case.

④ When portal is at the valley due to the tunnel axial line being toward the valley, hydrologic and hydraulic review shall be conducted to ensure the surface water and influent water from the backside of portal will be drained smoothly, and measures to protect against falling rocks, landslide and avalanche shall be provided.

(2) Portal shall be located in a manner that minimizes the cutting in order to stabilize the slope and conserve the environment, and cost efficiency, constructability, landscape and environmental impact of cutting according to the location shall be considered.

(3) Portal design shall consider slope stability, bearing capacity of the ground, relation between tunnel axial line and slope, stability of portal slope cutting and tunnel stability.

(4) The gradient of portal slope shall be determined according to ground conditions, and reinforcement shall be secured to ensure the stability of the slope.

(2) 갱구부는 터널 본선부와는 달리 지형, 기상, 입지조건, 근접시설물 등의 외적조건에 크게 영향을 받기 때문에 이를 고려하여 구조 및 시공법을 선정해야 한다.

(3) 갱구부의 설계에는 아래의 사항들을 검토하여 안정성을 확보하고 환경훼손을 최소화할 수 있도록 해야 한다.

① 갱구의 위치 및 설치방법
② 갱구부의 범위
③ 갱구부의 굴착공법, 지보구조, 보조공법과 콘크리트라이닝 구조
④ 갱구비탈면의 안정검토와 필요한 사면 안정공법
⑤ 갱구비탈면의 지표수 및 지하수 배수 대책
⑥ 기상재해의 가능성과 필요한 대책공법
⑦ 갱구주변의 구조물에 미치는 영향

12.10.2 갱구부 설계

(1) 갱구부의 위치는 지형이나 기상의 영향을 크게 받으므로 다음과 같은 특성을 고려하여 설계해야 한다.

① 갱구부가 평지보다 높은 경사면 상부에 위치할 때에는 공사용 접근도로와 인접 구조물과의 관계 등을 고려하여 설계해야 한다.
② 갱구부는 갱구부 깎기 최소화를 위하여 특수한 지형 및 지질조건을 제외하고는 갱구부 상단 토피 3~5m 또는 암토피고 1~2m 확보되는 지점에 갱구부를 형성하는 것을 표준으로 하되 현장조건에 따라 증감할 수 있다.
③ 터널 중심축선이 지형 비탈면에 대하여 사각으로 진입하는 경우에는 비대칭의 깎기 비탈면이나 갱문이 형성되게 되므로 횡방향 토피 확보 여부와 편압에 대한 검토를 해야 한다.
④ 터널 중심축선이 골짜기로 진입하여 골짜기에 갱구부를 위치시키는 경우에는 수리·수문학적인 검토를 하여 지표수와 갱문 배면의 침투수가 원할하게 배수처리되도록 해야 하며, 낙석, 산사태, 눈사태 등의 자연재해 발생 가능성에 대비해야 한다.

(2) 갱구부의 위치는 깎기 비탈면의 안정과 자연 지형 보존을 위하여 땅깎기를 최소화 할 수 있는 위치로 선정해야 하며 갱구위치별의 깎기량에 대한 경제성, 시공성, 경관성, 환경영향 등을 비교 검토해야 한다.

(3) 갱구부의 설계는 비탈면의 안정성, 지반의 지내력, 터널중심 축선과 비탈면의 관계, 갱구비탈면 땅깎기 및 터널의 안정성 등을 검토해야 한다.

(4) 갱구부 비탈면의 기울기는 지반조건에 따라 안전한 기울기를 선정해야 하며, 필요시 비탈면 안정성 확보를 위한 보강공법으로 설계해야 한다.

(5) When top soil is thin and bearing capacity of the ground is low, it is necessary to confirm that the entire top soil load is imposed on the support.
(6) As the portal is vulnerable to leakage and freezing, appropriate waterproofing and drainage shall be provided, and concrete lining reinforcement, anti-freezing layer and snow-removal measures shall be considered.
(7) When seismic impact is expected because of poor ground conditions, the effects of seismic load shall be reviewed.
(8) When ground loosening or slope collapse is a concern, measures to prevent falling stones and ensure slope stabilization shall be provided.
(9) The relation between tunnel axial line and slope shall be reviewed during tunnel stabilization analysis when 3D behavior or uneven pressure is expected, and when stabilization is not secured, surcharge loading or cutting shall be performed to achieve a balance of ground pressure, and reinforcement against unbalanced stress shall be proposed.
(10) When the surface settlement is limited near the portal, the appropriate measures shall be considered in the design.
(11) Trees that may have an effect on train operation shall not be planted near the portal.
(12) To prevent the surface water from flowing into the tunnel during torrential rain, a side ditch shall be provided on slope shoulder with slope protection measures. Retaining wall or slope protection block shall be provided when slope ground is poor.

12.10.3 Design of portal

(1) Location shall be determined after considering topographic features, ground conditions and cutting and slope stability to minimize the climatic impact, and the risk of natural disaster and relations with maintenance facilities and tunnel external structure shall also be considered.
(2) Portal shall be able to protect the portal zone from falling rock, collapse, avalanche or surface water, and shall be designed to be structurally stable.
(3) Portal shall be appropriate to use and harmonized with the landscape considering ease of maintenance, and shall be determined as follows according to the topographic features and ground conditions.
① A wall type has a portal structure separated from portal zone on steel slope, and can be categorized according to the structure into gravity type and wing type. It shall be designed as an earth retaining wall.

(5) 갱구부 상부의 토피가 얇고, 지반 자체의 지보력 형성이 어려울 것으로 예상되는 경우에는 상재된 전토피 하중이 지보재에 작용하는지의 여부를 검토해야 한다.
(6) 갱구부는 누수, 결빙 등이 발생하기 쉽기 때문에 적합한 방수 및 배수조치를 해야 하며, 갱구부에 작용하는 하중 및 기상조건에 따른 영향을 고려하여 콘크리트 라이닝의 철근 보강여부, 동상방지층, 제설 및 방설시설의 적용여부를 검토해야 한다.
(7) 갱구부에서 지반상태가 불량하여 지진에 의한 영향이 예상될 경우에는 지진하중에 의한 영향을 검토해야 한다.
(8) 갱구부의 지반 특성상 지반이완과 비탈면 붕괴가 발생될 위험이 있는 경우에는 낙석방지와 비탈면을 안정시키는 보강대책을 수립해야 한다.
(9) 터널 중심축선과 비탈면의 위치관계에서 3차원 거동이 예상되거나 편압이 작용하는 경우에는 터널 안정 해석 시 이에 대한 검토를 해야 하며, 안정성이 확보되지 않는 경우에는 압성토와 땅깎기로서 지반압의 균형을 맞추도록 하거나 불균형의 응력 발생에 대비한 보강대책을 제시해야 한다.
(10) 갱구부 인접지표부에 침하의 제한이 필요한 시설물이 있는 경우에는 이에 대한 대책을 검토하여 안전한 공법으로 설계해야 한다.
(11) 터널 갱구부 주위에 태풍 등의 영향으로 쓰러지거나 가지가 끊어져 열차운행에 지장을 줄 수 있는 수종은 식재하지 않도록 해야 한다.
(12) 집중호우시 터널 갱구부 비탈면으로 대량의 지표수가 직접 유입되지 않도록 비탈면 어깨부에 산마루 측구를 설치하고, 비탈면에는 식생공 등의 비탈면 보호공을 시공해야 한다. 비탈면의 지질이 불량한 경우에는 옹벽 또는 비탈면보호블럭 등 영구시설물 설치를 고려해야 한다.

12.10.3 갱문 설계

(1) 갱문의 위치 선정시 에는 기상 및 자연재해에 의한 영향을 최소화 할 수 있도록 갱문 배면의 지형, 지반조건, 땅깎기 및 비탈면의 안정성 등을 검토해야 하며, 갱구부 주변의 유지관리시설과의 관계와 터널 외부의 구조물형식을 고려해야 한다.
(2) 갱문은 비탈면에서의 낙석, 토사붕락, 눈사태, 지표수 유입 등으로부터 갱구부를 보호할 수 있는 기능을 갖도록 하고, 역학적으로 안정한 구조로 설계해야 한다.
(3) 갱문의 형식은 터널의 사용목적에 적합하고 주변경관과의 조화와 유지관리상의 편의성을 고려하여 다양한 형식으로 적용할 수 있으며, 갱구부의 지형 및 지반조건을 고려하여 다음과 같이 선정해야 한다.
① 면벽형은 급경사지에 터널 갱구부가 형성될 경우 갱구부와 분리된 갱문 구조물을 형성하는 것으로 구조적으로 중력식과 날개식 등으로 나눌 수 있고 갱문 배면의 지반압을 받는 토류 옹벽 구조로 설계해야 한다.

② The projection type has the portal continued and projected from the portal zone, and can be categorized into parapet type, cut-cylindrical type and bell mouth type, which shall be determined after considering the topographic features and ground conditions.

③ The stability of the portal foundation against falling-stone, avalanche and landslide at thawing and rainy season shall be considered when selecting the type.

(4) In addition to the load, portal structure shall be designed considering seismic effect, temperature variation and concrete's drying shrinkage.

(5) A cut & cover tunnel portal shall be designed as an open-cut structure, and uneven pressure, if any exists, shall be considered in the design.

(6) Connection between portal structure and tunnel shall be separated and the joint shall be provided, and when two different types of waterproofing materials are connected, compatible materials shall be used and a lateral raceway shall be provided to drain the leaked water through the joint.

(7) A floor slab shall be considered when installing an open-cut portal structure.

(8) Safety facilities to protect against falling stones and ensure pedestrian safety shall be provided on top of the portal.

12.11 Transition section and joint section

12.11.1 Design of transition section

(1) When shelter, signal, switch, transformer or turnout equipment is planned in the basic section of a single or a double track tunnel, the section becomes complex or unusual in shape and thus it shall be designed to secure stable tunnel and surrounding ground as follows considering the use and ground conditions.

(2) Tunnel section shall be expanded in the following cases:

① When a single track tunnel is expanded to accommodate turnout system or evacuation shelter

② When a tunnel is expanded to accommodate turnout system

③ When a tunnel is expanded to secure construction gauge on curve alignment

④ When a tunnel is expanded to accommodate the vent

⑤ When a tunnel is changed from a single track to a double track section, or from a double track to a single track and thus track spacing is changed

⑥ When a section is expanded to accommodate the shelter, signal, switch or transformer

(3) Expansion of tunnel section shall be subject to good ground conditions.

(4) Shape of expansion, construction method and sequence, support, concrete lining and reinforcement shall be designed to make the tunnel stable and cost efficient.

② 돌출형은 완경사지에 터널 갱구부가 형성될 경우, 갱구부와 연속된 갱문 구조물이 지표로부터 돌출한 형식으로서 그 형상에 따라 파라펫트식, 원통절개식, 벨마우스식 등이 있으며, 지형 및 지반조건, 주변환경 등을 고려하여 선정해야 한다.
③ 해빙기와 집중호우 시 낙석, 눈사태, 산사태로부터 이용자의 안전을 확보할 수 있도록 갱문 형식을 선정해야 한다.

(4) 갱문의 구조 설계는 소요하중 외에 지진, 온도변화, 콘크리트의 건조수축 등의 영향을 고려해야 하며, 갱문 구조물 기초의 안정성도 검토해야 한다.

(5) 갱문 구조물의 일부로서 터널과 연결된 복개식 터널 구조물은 개착 구조물로 간주하여 설계해야 하며 편압이 작용할 경우에는 이에 대한 영향을 고려하여 설계해야 한다.

(6) 갱문구조물과 본선터널의 접합부는 분리구조로 하고 적합한 조인트를 설치해야 하며, 재질이 서로 다른 두 종류의 방수막이 접합되는 경우, 방수막 상호간 접합이 용이한 재료를 선정하여 사용한다. 특히 접합부에는 누수에 대비하여 구조물 횡방향으로 도수로를 설치하여 유도배수해야 한다.

(7) 갱구부 개착구조물 설치 시 원지반의 특성을 감안하여 바닥 슬라브의 설치 여부를 검토해야 한다.

(8) 갱문 상부에는 낙석방지, 통행자의 안전을 위한 안전 난간 등의 보호시설을 설치해야 한다.

12.11 단면확폭부 및 접속부

12.11.1 터널 단면확폭부 설계방안

(1) 단선터널과 복선터널 기본단면에서 대피소, 신호기, 전철기, 변압기, 터널내 교행역 설비 등 시설을 계획해야 할 경우 단면이 크고 복잡하며 특수한 형상이 되기 때문에 그 기능, 목적 및 지반조건을 고려하여 다음 경우의 터널과 주변지반의 안정을 확보할 수 있도록 설계해야 한다.

(2) 터널 단면을 확폭해야 하는 경우는 다음과 같다.
① 단선터널 내 교행역이나 대피역 등의 시설로 확대확폭하는 구간
② 터널 내 분기기 설치로 확폭하는 구간
③ 터널이 평면선형상 곡선부에 위치하여 건축한계(시설한계) 폭을 확폭하는 경우
④ 터널 내 환기설비 설치로 확폭하는 구간
⑤ 터널 내 본선이 단선병렬에서 복선으로 또는 복선에서 단선병렬로 선로간격이 변화되는 구간
⑥ 대피소, 신호기, 전철기, 변압기 등 시설의 설치로 단면확폭이 필요한 구간

(3) 기본단면을 확폭하는 터널은 지반의 조건이 양호한 위치에 설치하는 것을 기본으로 한다.

(4) 단면확대확폭 개소는 터널과 주변지반이 역학적으로 안정하고 그 시공이 경제적이 되도록 단면확대확폭의 형상, 시공방법 및 순서, 지보재, 콘크리트라이닝, 보강공법 등을 검토하여 설계해야 한다.

12.11.2 Design of transition section

(1) Section plan for expansion shall be made after considering stability and cost efficiency, and as the section shape is changed repeatedly during construction, stability of the changed section shall be ensured.

(2) When expansion is insignificant, it may be replaced by changing the support; in this case, the increase in support shall be rationally calculated.

(3) Work sequence shall be determined after considering the section size, space to accommodate the expansion, ground condition and work schedule.

(4) When the ground condition is poor, a detailed geotechnical investigation shall be performed and stability shall be reviewed using 3D analysis.

12.11.3 Connection area design

(1) Connection area shall include crossing station, shunting station and turnout area.

(2) As various tunnel sections exist at crossing station or turnout area, stability shall be reviewed for design.

(3) Construction method, sequence and clearance at turnout area shall be designed considering the effect of pilot tunnel on support and ground.

(4) When a tunnel is branched, a pillar width appropriate to tunnel size and ground condition shall be maintained.

(5) When it is difficult to secure the required pillar width or the ground condition is poor, pillar may be reinforced with the rigid support, or branching at the expanded section may be planned.

(6) Crossing station or turnout shall be planned to secure the stability, and when installing on poor ground, a detailed geotechnical investigation shall be performed, and stability shall be reviewed using 3D analysis.

12.12 Vertical shaft and inclined shaft

12.12.1 Design general

(1) Design of vertical shaft shall be applied to vertical or near vertical shafts used as auxiliary tunnel for main tunnel.

(2) Inclined shaft shall be applied to inclined tunnel as auxiliary tunnel for main tunnel.

(3) Ground characteristics and condition based on geotechnical investigation shall be incorporated into the design for vertical and inclined shaft.

12.11.2 단면확폭부 설계

(1) 단면확폭부는 안정성과 경제성을 고려하여 단면계획을 해야 하며, 시공과정에서 단면의 형상이 여러 형태로 변화하므로 이를 고려하여 변화된 터널 단면의 안정성을 확보해야 한다.

(2) 단면확폭량이 적은 경우에는 지반조건을 파악하여 지보패턴의 변경으로 대체할 수 있으며, 이 경우 지보재 증가수량을 합리적으로 산정해야 한다.

(3) 단면확폭부의 시공순서는 확대확폭단면의 크기, 확폭단부의 공간처리, 지반조건, 공기 등을 고려하여 결정해야 한다.

(4) 단면확폭부가 부득이 하게 지반조건이 불량한 위치에 계획된 경우에는 별도의 상세한 지반조사를 시행해야 하며, 필요 시 3차원 해석을 통한 안정성을 검토해야 한다.

12.11.3 접속부 설계

(1) 접속부는 교행역, 대피역 및 분기기 설치개소 등이 해당된다.

(2) 교행 대피역이나 분기기 설치개소는 터널 단면들이 여러 형태이므로 이에 대한 안정성을 검토하여 설계해야 한다.

(3) 분기기 설치개소의 시공법, 시공순서 및 시공 이격거리는 선행굴진 터널의 지보재 및 주변 지반에 미치는 영향을 고려하여 설계해야 한다.

(4) 터널이 분기된 경우에는 터널의 크기와 지반조건에 적합한 필러(Pillar)의 폭을 유지해야 한다.

(5) 터널 분기 시 소요의 필러 폭 확보가 곤란하거나 지반조건이 불량한 경우에는 강성이 큰 지보재로 필러를 보강하거나 단면확폭부를 이용한 분기를 적용 할 수 있다.

(6) 교행 대피역이나 분기기의 구조 및 형상은 안정성이 확보되도록 계획해야 하며, 부득이하게 지반조건이 불량한 위치에 계획된 경우에는 별도의 상세한 지반조사를 시행해야 하고, 필요 시 3차원 해석 등을 통해 안정성을 검토해야 한다.

12.12 연직갱 및 경사갱

12.12.1 설계일반

(1) 연직갱의 설계는 본선터널의 보조터널로서 연직이거나 연직에 가까운 터널에 적용해야 한다.

(2) 경사갱의 설계는 본선터널의 보조터널로서 경사진 터널에 적용해야 한다.

(3) 연직갱 및 경사갱의 설계 시에는 사전에 필요로 하는 지반조사를 실시하여 지반의 상태 및 특성을 파악하고 이를 설계에 반영해야 한다.

(4) Special equipment used for excavating vertical shaft shall be determined after considering topographic and ground conditions, and a plan for stability and constructability in preparation for groundwater penetration shall be developed. In particular, safety measures to protect against icicles formed by leaked water near the ground's surface and falling objects shall be provided.

(5) When a vertical shaft used during construction is not used for other purposes after construction, measures to reinforce, it is necessary to propose close or backfill to avoid any impact on tunnel or surface ground.

(6) Location, effective section, slope, horizontal extension, location of horizontal branch point and the angle to main tunnel shall be determined in the design of the inclined shaft considering the use, ground condition, muck and equipment hauling, tunnel equipment, survey, construction, maintenance and safety during inspection.

(7) Horizontal extension of inclined shaft shall be determined after considering survey, mucking equipment and replacement of vehicle, in addition to the internal equipment.

(8) The angle of inclined shaft to main tunnel shall in principle be a right angle; however, this may be adjusted considering connection structure, constructability and turning radius of the vehicle.

(9) Location of vertical shaft and inclined shaft shall be determined after considering the use, ground & topographic condition, groundwater, length and maintenance in order to make it cost efficient. For a vertical shaft requiring maintenance, lift for manpower and equipment shall be installed and safety measures depending on depth shall be provided.

(10) When vertical shaft and inclined shaft are used for construction, the location shall be determined after considering the arrangement of bottom hole equipment, survey and disposal after construction.

(11) When vertical shaft and inclined shaft are used for ventilation, drainage, air pressure adjustment or emergency route, the location shall be determined after considering the need for future expansion, and the environmental impact caused by pollutants from the shaft shall be minimized.

(12) When vertical or inclined shaft is planned at water-bearing layer or groundwater layer, auxiliary method to lower the groundwater level or reinforce the layer shall be provided.

(13) To mitigate the ringing and air resistance caused by increased air pressure in tunnel, investigation and review shall be conducted before designing the vertical or inclined shaft.

(4) 연직갱에서는 특수한 작업기계를 사용하게 되므로 지형 및 지반조건에 적합한 장비를 선정하여 제시해야 하고, 지하수 유입에 대비하여 안정성, 시공성이 고려된 계획을 세워야 한다. 특히 동절기 시공 중 지표 부근의 누수로 인한 고드름 및 기타 낙하물에 대한 안전대책을 사전에 강구해야 한다.

(5) 연직갱을 작업용으로 사용하고 공사 완공 후 타목적으로 전용하지 않는 경우에는 터널 본체 및 지표에 영향을 미치지 않도록 보강, 폐쇄, 매립 등의 적절한 방안을 제시해야 한다.

(6) 경사갱의 설계 시에는 용도, 지반조건, 버력 및 기자재의 반출입, 터널 내부설비, 측량, 시공, 유지보수, 점검 시의 안정성 등을 고려하여 위치, 유효단면, 기울기, 수평부의 연장, 수평분기점의 위치, 본선 터널과의 교차각도 등을 정해야 한다.

(7) 경사갱의 수평부 연장은 터널 내부설비 외에 측량의 정도, 버력설비, 차량의 교체작업 등을 고려하여 정해야 한다.

(8) 경사갱과 본선 터널과의 교차각도는 직각을 표준으로 하되 연결부의 구조, 시공성, 차량의 선회반경 등 운행 조건을 고려하여 교차각도를 별도로 정할 수 있다.

(9) 연직갱 및 경사갱의 위치는 용도, 지반 및 지형조건, 유입 지하수, 연장 및 유지관리를 고려하여 경제적으로 유리한 장소를 선정해야 한다. 유지 관리해야 할 연직갱의 경우에는 필요시 인력 및 장비수송용 승강기를 연직갱 내에 설치해야 하며, 심도에 따른 안전대책을 수립해야 한다.

(10) 연직갱 및 경사갱을 작업용으로 사용하는 경우에는 본선 터널과 연결하는 갱저설비의 배치, 측량, 완성 후의 처리 등을 고려하여 위치를 선정해야 한다.

(11) 연직갱 및 경사갱을 환기, 배수, 공기압 저감용, 비상용 통로 등 본 설비로 사용하는 경우에는 향후 지하시설의 확장에 대비하여 위치를 선정해야 하며, 갱에서 배출되는 오염물질이 주변 환경에 미치는 영향을 검토해야 한다.

(12) 연직갱 및 경사갱의 굴착대상인 지층에 대수층이 있거나 유입 지하수가 많을 것으로 예상되는 경우에는 지하수위 저하, 지수, 지반 강화 등의 보조공법을 계획해야 한다.

(13) 차량의 터널 진입 시 발생하는 공기압 증가에 따른 이명감 및 공기 저항 증가 등을 해소하기 위하여 연직갱 또는 경사갱을 설계할 경우에는 사전에 필요로 하는 조사 및 검토를 실시해야 한다.

12.12.2 Design of vertical shaft

(1) Section of vertical shaft shall be determined after considering the following:

① The size and shape of the section shall be determined after considering required inner section, construction method, equipment to be installed, size of equipment and materials to be delivered and ground conditions.

② Section of vertical shaft designed to reduce the air pressure shall be determined after considering the section of main tunnel and train speed.

③ The section of vertical vent shaft shall be sufficient to secure the required ventilation volume, and shall be designed to reduce the wind velocity within the shaft to 20m/sec or less.

④ The section of vertical shaft for construction shall be determined after considering mucking equipment such as cage and skip, drainage, vent pipe, cable and emergency stairs, and the size of equipment & material.

⑤ Effective section of vertical shaft after installing the support shall be designed considering hourly mucking, manpower, material & equipment delivery, required hourly ventilation and ground conditions.

(2) The following shall be considered in the design of the vertical shaft.

① Excavation of vertical shaft is carried out using either a full-face downward or upward excavation or pilot drift expansion excavation, and the excavation method and mucking and hauling shall be determined after considering the use, depth, section size, ground condition, construction duration and cost.

② Blasting, manual or mechanical exaction may be used.

③ Blasting plan shall be made considering ground conditions, groundwater level, excavation section size, rock quality and advance.

(3) The following shall be considered in the design of the vertical shaft support.

① It shall be determined after considering ground conditions, soil water zone, section shape, depth, construction method and lining schedule to ensure safe and efficient tunneling work is implemented.

② The size of section and ground conditions shall be considered in determining the size of steel support and interval, and when ground conditions are good, steel support may be replaced by rock bolt and shotcrete.

③ Vertical shaft support design shall in principle be in accordance with 「12.5 Tunnel Support」; however, this may be adjusted for safety depending on site conditions considering rapid change of ground conditions and groundwater flow.

④ Shotcrete shall be reinforced with wire mesh or fiber.

12.12.2 연직갱 설계

(1) 연직갱의 단면을 결정할 때에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 연직갱의 단면은 용도에 따른 소요 내공단면, 시공법, 연직갱 내에 설치될 모든 설비의 배치, 반입 기자재의 크기, 지반조건 등을 종합적으로 고려하여 그 크기와 형상을 정해야 한다.

② 공기압의 저감을 위하여 설계하는 연직갱의 단면은 본선 터널의 단면, 열차속도 등 관련사항을 고려하여 결정해야 한다.

③ 환기용 연직갱은 본선 터널 내의 소요 환기량을 확보할 수 있는 단면적 이상이어야 하며, 연직갱의 단면은 연직갱 내 풍속이 20m/sec 이하가 되도록 결정해야 한다.

④ 작업용 연직갱의 설계 시에는 케이지(Cage), 스킵(Skip) 등의 버력처리설비 및 배수관, 환기관, 급기관, 각종 배선류, 비상계단 등의 설치와 반입 기자재의 크기 등을 종합적으로 검토하여 단면을 결정해야 한다.

⑤ 지보설치 후의 연직갱 유효단면은 지하시설 건설공사를 가장 경제적으로 수행하기 위한 시간당 버력, 인원, 소요 자재 운반량과 반입할 장비, 설비의 크기, 시간당 환기량과 각종 설비, 지반조건을 고려하여 설계해야 한다.

(2) 연직갱의 굴착 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 연직갱의 굴착공법은 전단면하향굴착, 전단면상향굴착, 선진도갱 확대굴착으로 구분되며 연직갱의 용도, 심도, 단면크기, 지반조건, 입지 조건, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 검토하여 적절한 굴착공법 및 버력반출방법 등을 선정해야 한다.

② 굴착방법으로서 인력 또는 발파방법 외에 기계굴착방법도 고려할 수 있다.

③ 연직갱 내 발파계획 시 지반조건, 지하수위, 굴착단면의 크기, 암질, 굴진장 등을 고려하여 설계해야 한다.

(3) 연직갱 지보재 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 연직갱 지보재는 지반조건, 함수대 유무, 단면형태, 심도, 시공법, 라이닝의 시기 등을 고려하여 안전하고 능률적으로 터널 내부작업을 수행할 수 있도록 설계해야 한다.

② 강지보재의 크기와 간격 결정 시 연직갱 단면의 크기 및 지반조건 등을 고려해야 하며, 지반이 양호한 경우에는 강지보재를 록볼트와 숏크리트로 대체할 수 있다.

③ 연직갱 지보재의 설계는 「12.5 터널지보재」에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있으며, 지반의 급격한 변화, 지하수의 유동성 등을 감안하여 안전측으로 설계할 수 있다.

④ 숏크리트의 탈락방지를 위하여 철망이나 섬유보강 숏크리트를 사용해야 한다.

(4) The following shall be considered in the design of vertical shaft.

① Lining material must satisfy the requirements for use. While concrete shall generally be used, concrete block, segment or liner plate may be used depending on ground conditions.

② Length and thickness of lining shall be determined after considering the size and shape of the section that is appropriate for vertical shaft, ground characteristics, depth, working load, lining material, construction method, constructability and performance record.

③ When the geological structure is not complicated, it may be designed assuming working load is applied evenly, but when topographic or ground conditions are significantly asymmetric, uneven load shall be considered in design.

④ In a case of downward excavation, blasting or when side wall is used as lining immediately after mucking, lining shall be assumed in the design to receive ground pressure, and when ground conditions are poor, lining shall be made short in order to prevent the collapse of side wall, and shall be reinforced with steel supports.

⑤ When excavation and lining are implemented alternately every 20～30m, ground deformation shall be constrained by shotcrete, and lining shall be applied at once for a certain length depending on ground conditions and lining shall be assumed to receive ground pressure in design.

⑥ When shotcrete and rock bolt are applied, concrete lining thickness shall be determined after considering constructability and section size, and shall be adjusted considering the variation of the section size.

⑦ Concrete mixing ratio shall be determined to obtain required strength, durability and constructability.

(5) The following shall be considered in the design of the invert of vertical shaft.

① Invert equipment includes drainage and mucking equipment the capacity and arrangement of which shall be determined after considering ground conditions, main tunnel excavation method, hauling and advance schedule.

② Drainage during construction shall be in accordance with 「12.14.5 Drainage during construction」; however, this may be adjusted depending on site conditions.

③ When designing the drainage, it is necessary to take into account settling pond, reservoir, drainage pump, drainpipe, pump station, electric control room and storage yard.

④ Capacity and layout of auxiliary facilities to be installed in main tunnel shall be determined after considering ground conditions and hauling method.

⑤ Safety facilities including phone, flasher or siren, fire extinguisher, gas mask and emergency material shall be planned.

(4) 연직갱의 라이닝 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 라이닝에 사용되는 재료는 터널의 사용 목적에 적합한 것이어야 하며, 일반적으로 콘크리트 사용을 기본으로 하되 지반조건에 따라 콘크리트 블록(Concrete Block), 세그먼트(Segment), 라이너플레이트(Liner Plate) 등을 사용할 수 있다.

② 라이닝의 길이 및 두께의 설계 시에는 연직갱의 용도에 적합한 단면의 크기 및 형상, 지반특성, 심도, 작용하중, 라이닝 재료, 시공법, 시공성, 기존 시공실적 등을 고려해야 한다.

③ 지질구조가 복잡하지 않은 경우 적용하중이 균등하게 작용하는 것으로 간주하여 설계할 수 있다. 그러나 지질구조가 급격히 변하거나 지형 및 지반 특성상 현저하게 비대칭인 경우 편하중이 작용하는 것으로 설계해야 한다.

④ 하향굴착 시 굴착, 발파, 버력처리 후 즉시 측벽을 라이닝으로 유지하는 경우에는 라이닝이 지반압을 받는 것으로 설계해야 하며, 불량한 지반의 경우에는 측벽 붕괴를 방지하기 위하여 라이닝 길이를 짧게 하고 강지보재를 추가하는 등 대책을 강구해야 한다.

⑤ 굴착과 라이닝을 20~30m 정도로 교대로 시공하는 경우에는 굴착 후 지반변형을 숏크리트 등으로 억제하고, 지반 상태에 따라 일정 구간을 일시에 라이닝을 시공하는 것으로 설계할 수 있다. 라이닝의 설계 시 지반압은 라이닝이 받는 것으로 설계해야 한다.

⑥ 숏크리트와 록볼트를 시공하는 경우 콘크리트라이닝의 두께는 시공성, 단면의 크기 등을 고려하여 설계하고, 단면의 증감을 고려하여 두께도 적합하도록 증감시켜야 한다.

⑦ 콘크리트라이닝에 사용되는 콘크리트의 배합은 소요 강도, 내구성 및 양호한 시공성을 얻을 수 있도록 설계해야 한다.

(5) 연직갱의 터널바닥설비 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 연직갱의 터널바닥설비에는 배수설비와 버력처리설비가 있으며 지반조건, 본선터널의 시공법, 연직갱의 운반방법, 굴진공정 등을 고려하여 그 규모, 용량, 배치 등을 정해야 한다.

② 공사 중 배수설비는 「12.14.5 공사 중 배수설비」에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

③ 배수설비 설계 시 침전조, 저수조, 배수펌프, 터널내 배수관, 펌프장, 배전실 및 충전실, 재료적치장 등에 대하여 검토해야 한다.

④ 연직갱 본체에 설치할 각종 부대시설 등은 지반조건, 운반방법 등을 고려하여 그 규모와 배치를 결정해야 한다.

⑤ 안전설비로서 전화, 점멸장치, 사이렌 등의 비상용 경보장치와 소화기의 설치, 비상용 자재로서 가스마스크 등이 계획되어야 한다.

(6) The following shall be considered when designing external facilities outside the vertical shaft.

① Generator during construction shall be in accordance with 「12.14 Ventilation and lighting system」; however, this may be adjusted depending on site conditions.

② In preparation for excessive influent water into vertical shaft, cable for cage winch for emergency evacuation and drainage pump shall be provided by the system.

12.12.3 Design of inclined shaft

(1) The following shall be considered when determining the slope and section of inclined shaft.

① Slope shall be determined after comprehensively considering the use, length, locational relations with main tunnel, ground condition, construction method & schedule, hauling method, ventilation and cost efficiency, and when inclined shaft is for mucking, the capacity of hauling equipment shall also be considered.

② The slope and length shall be determined after considering equipment mobilization, installation, maintenance and safety during inspection.

③ The size and shape of section shall be determined after comprehensively considering the use, hauling equipment, access and equipment installation.

④ The section of inclined working shaft shall be determined after comprehensively considering mucking equipment, drainpipe, ventilation pipe and other cables and equipment.

⑤ As drainpipe may be increased depending on groundwater, sufficient space shall be secured to accommodate the required inner section.

(2) The following shall be considered in the design of the excavation method.

① Excavation, reinforcement, hauling, ventilation and drainage method appropriate to the slope and effective section shall be developed.

② Excavation and mucking methods for inclined shaft are divided into full-face downward & upward excavation, division excavation and pilot drift and expansion excavation, and the appropriate method shall be selected after comprehensively considering the use, length, slope, section size and shape, ground condition, location, excavation direction and construction schedule & cost.

③ Excavation methods may include manual, blasting and mechanical excavation.

④ Blasting plan shall be made considering ground conditions, groundwater level, excavation face size, rock quality and advance.

(3) The following shall be considered in the design of the inclined shaft support.

① The support shall be designed considering the construction method and ground conditions in order to maximize the bearing capacity of the ground itself.

(6) 연직갱의 터널외부설비 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 공사 중 발전설비는 「12.14 환기 및 조명 설비」에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

② 연직갱 내 과도한 지하수 유입으로 인하여 배수설비가 침수되는 경우에 대비하여, 인원탈출을 위한 케이지 권양기와 배수펌프의 전선을 별도계통으로 나누어 배선해야 한다.

12.12.3 경사갱 설계

(1) 경사갱의 기울기 및 단면 결정 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 경사갱의 기울기는 용도, 연장, 본선 터널과의 위치 관계, 지반조건, 시공법, 공기, 운반방법의 특성, 환기방법, 경제성 등을 종합적으로 검토하여 정해야 하며, 버력반출용 경사갱의 경우에는 장비의 등판능력을 고려하여 계획해야 한다.

② 경사갱에서는 설치하는 설비의 반출입, 설치의 용이성, 유지보수, 점검 시의 안전성 등을 고려하여 기울기 및 연장을 정해야 한다.

③ 경사갱의 단면은 용도, 시공을 위한 운반설비, 작업용 통로 및 공사용 제설비의 배치 등을 종합적으로 고려하여 크기와 형태를 정해야 한다.

④ 작업용 경사갱의 단면은 버력반출설비, 배수관, 환기관, 급기관, 각종 배선류와 반입 기자재의 크기 등을 종합적으로 검토하여 정해야 한다.

⑤ 배수관은 지하수의 유입 상태에 따라 증설의 필요성이 발생하므로 여유를 갖는 배치가 되도록 내공단면을 확보해야 한다.

(2) 경사갱의 굴착방법 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 기울기 및 유효단면에 적합한 굴착, 보강, 운반, 환기, 배수 방법 등을 확립해야 한다.

② 경사갱의 굴착공법은 전단면내리막굴착, 전단면오르막굴착, 분할굴착, 선진도갱확대굴착 등으로 구분되며 경사갱의 용도, 연장, 기울기, 단면의 형태 및 크기, 지반조건, 입지 조건, 굴착방향, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 검토하여 적절한 굴착공법 및 버력반출방법 등을 선정해야 한다.

③ 굴착방법으로서 인력 또는 발파방법 외에 기계굴착방법도 고려할 수 있다.

④ 경사갱 내 발파계획은 지반조건, 지하수위, 굴착단면의 크기, 암질, 굴진장 등을 고려하여 수립해야 한다.

(3) 경사갱의 지보재 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 지보재는 시공법, 지반조건 등을 고려하여 굴착 후 지반의 자체 지보능력이 발휘될 수 있도록 설계해야 한다.

② Steel support may be installed perpendicular to inclined shaft, vertically or between perpendicular and vertical direction depending on the initial stress and ground condition.

③ The support and support pattern shall be the same as horizontal tunnel but designed more safely than horizontal tunnel considering the vulnerability of inclined shaft.

(4) The following shall be considered in the design of inclined shaft lining.

① Lining shall be designed considering the use of the inclined shaft, slope, ground condition, construction method and schedule.

② Lining shall be designed in the same manner as horizontal tunnel, but the design shall be adjusted for steep slope or pressurized water pipe to secure an appropriate thickness and structure depending on ground conditions and water pressure.

③ Thickness of lining shall be determined depending on the size and shape of section, load on lining, ground condition, lining material and constructability.

④ Lining thickness shall be determined to bear the load.

⑤ Lining concrete mixing shall be designed to obtain the required strength, durability, quality and constructability.

(5) The following shall be considered in the design of the invert.

① The equipment installed on invert includes drainage and mucking equipment, the size, capacity and installation of which shall be determined after considering ground conditions, main tunnel construction method and hauling method in inclined shaft.

② Mucking equipment shall be determined after considering slope, length, hauling method in connection tunnel, safety and efficiency.

③ Drainage during construction shall be in accordance with 「12.14.5 Drainage during construction」; however, this may be adjusted depending on site conditions.

(6) Generator design during construction shall be in accordance with 「12.14 Ventilation and lighting」; however, this may be adjusted depending on site conditions.

(7) When inclined shaft is used to discharge the smoke, a separate evacuation route plan shall be established.

12.13 TBM tunnel

12.13.1 TBM tunnel general

(1) General

① This clause defines the design criteria for TBM (Tunnel Boring Machine) used for a single or double track tunnel, and other machines not specified in this clause may be determined separately.

② Designer may select TBM depending on site conditions considering the type and characteristics of TBM.

② 강지보재는 경사갱의 직각방향, 연직방향, 직각방향과 연직방향의 중간방향으로 설치할 수 있으며 초기응력 및 지반 상태를 고려하여 가장 적합한 방법으로 선택해야 한다.

③ 지보재와 지보패턴은 수평터널의 경우에 준하여 설계해야 하며, 경사갱의 특수성을 감안하여 수평터널의 지보재보다 안전측으로 설계할 수 있다.

(4) 경사갱의 라이닝 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 라이닝은 경사갱의 용도, 기울기, 지반조건, 시공법, 시공시기 등을 고려하여 설계해야 한다.

② 라이닝설계는 수평터널의 설계에 준하지만 기울기가 급한 경사갱이나 수압관로의 라이닝은 주변 지반의 상태 혹은 수압 크기 및 형태에 따라 적절한 두께와 구조를 확보하도록 해야 한다.

③ 라이닝두께는 단면의 형태와 크기, 라이닝에 작용하는 하중, 지반조건, 라이닝재료, 시공성 등을 고려하여 정해야 한다.

④ 라이닝두께는 일반적으로 경사갱에서는 하중의 크기에 견딜 수 있는 두께로 설계한다.

⑤ 콘크리트라이닝에 사용되는 콘크리트의 배합은 소요 강도, 내구성, 양호한 품질과 시공성을 얻을 수 있도록 설계해야 한다.

(5) 경사갱의 터널바닥설비 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 경사갱 내부의 터널바닥설비는 배수설비와 버력처리설비 등이 있으며 지반조건, 본선 터널의 시공법, 경사갱의 운반방법 등을 고려하여 그 규모, 용량, 배치 등을 정해야 한다.

② 버력처리설비는 기울기, 연장, 접속터널의 운반방법, 안전성, 능률 등을 고려하여 선정해야 한다.

③ 공사 중 배수설비는 「12.14.5 공사 중 배수설비」에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

(6) 경사갱의 터널외부설비로서 공사 중 발전설비 설계 시에는 「12.14 환기 및 조명 설비」에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

(7) 경사갱을 화재 시 배연통로로 이용할 경우 별도의 대피통로계획을 수립해야 한다.

12.13 TBM 터널

12.13.1 TBM 터널 일반

(1) 일반 사항

① 이 절은 철도단선터널과 복선터널을 TBM(Tunnel Boring Machine)으로 굴착할 경우의 설계기준이며, 이 기준에 기재되지 않은 사항은 별도로 정할 수 있다.

② 설계자는 현장 조건에 맞는 TBM을 선정할 수 있도록 기기의 종류와 그 특성을 사전에 숙지해야 한다.

③ TBM can be classified into Open TBM (or Gripper TBM) which gains the reaction from rock wall by Gripper, and Shield TBM using reaction to segment.

④ Open TBM is comprised of cutter head, propulsion device, mucking conveyor and gripper and the equipment for auxiliary method for reinforcement (including shotcrete, rock bolt).

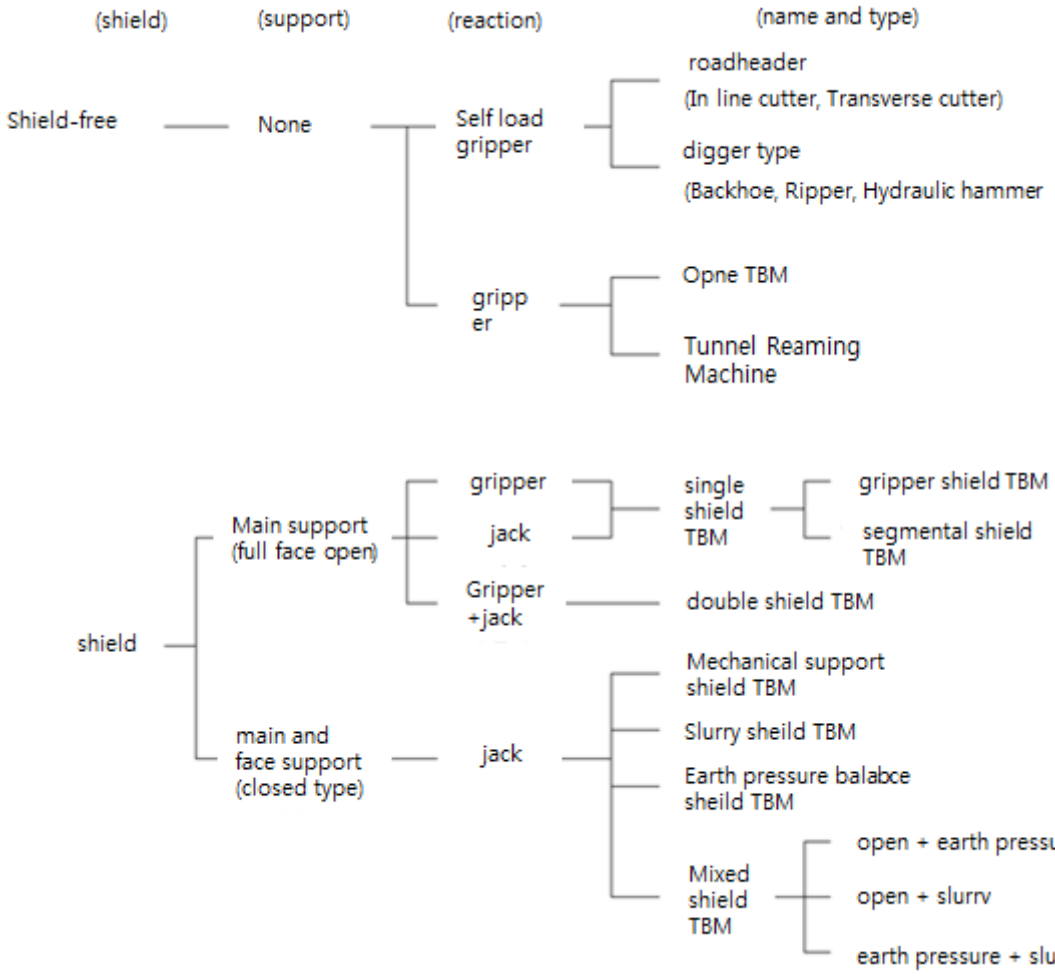


Fig. 12.13.1 Classification of mechanical tunneling method

(2) Classification and characteristics of TBM tunnel

① TBM may have a different propulsion and rotation mechanism depending on the manufacturer, and for this reason it is necessary to check the classification criteria in <Fig. 12.13.1> before determining the type of equipment.

③ TBM 장비의 굴진을 위한 반력을 그리퍼(Gripper)의 암반벽면 지지에 의해 얻는 Open TBM(또는 Gripper TBM)과 세그먼트에 대한 반력을 이용하는 쉴드TBM으로 구분한다.

④ Open TBM은 디스크가 부착된 커터헤드, 추진장치, 버력운반 컨베이어 그리고 그리퍼로 구성되어 있으며, 터널 굴진시 보강을 위한 보조공법(훠폴링, 숏크리트, 록볼트 등)을 실시할 수 있는 장치를 갖출 수 있다.

⑤ Open TBM은 크게 Main Beam TBM과 Kelly Type TBM의 두 가지 형식으로 구분된다.

⑥ TBM은 터널의 원주면만을 지지하거나, 원주면과 굴진면을 동시에 지지하는 두 가지 방식으로 구분된다.

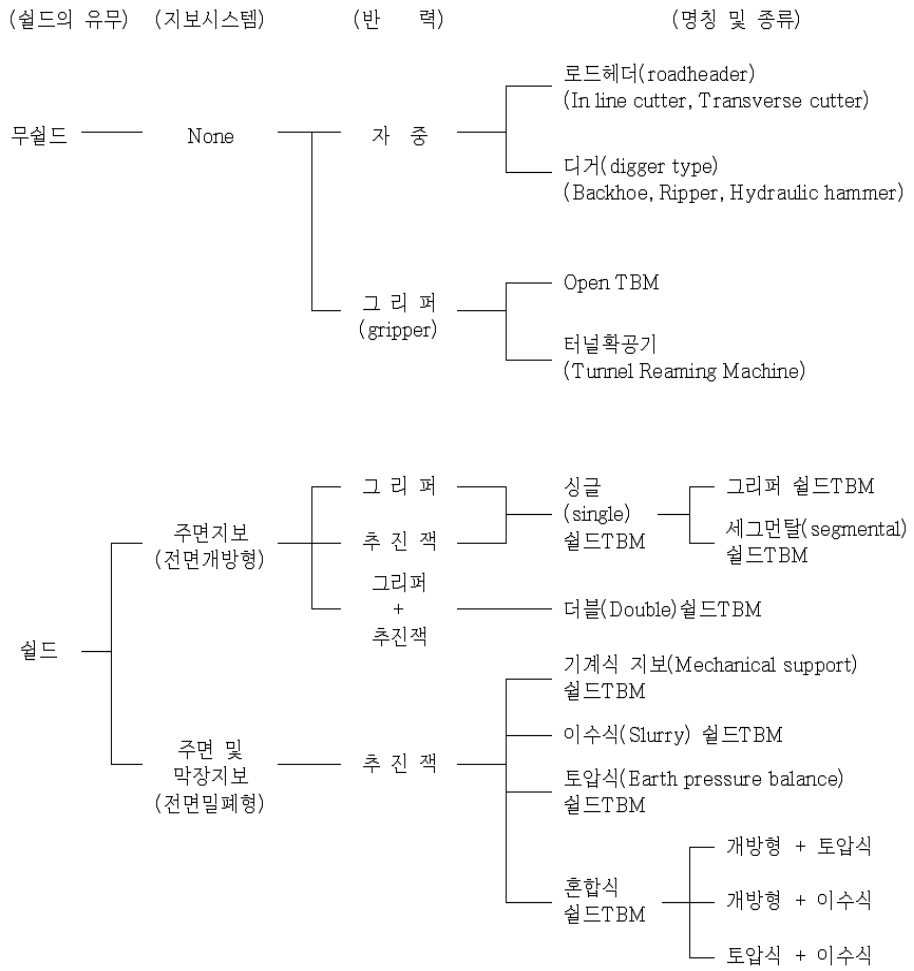
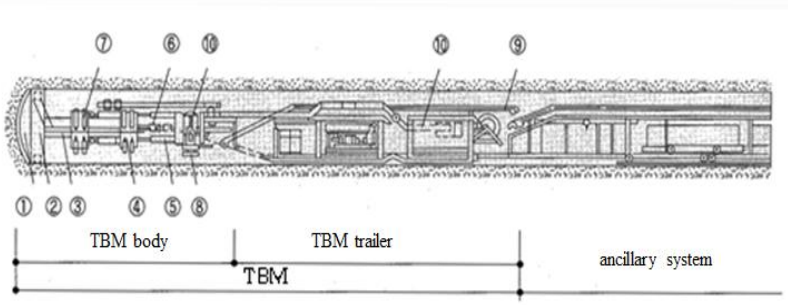


그림 12.13.1 터널 기계화시공법의 분류기준

(2) TBM 터널의 분류 및 특징

① TBM은 제작사에 따라 터널굴착의 주요기능인 추진 및 회전의 기계적 방식이 다를 수 있으므로 설계 시 TBM 기종 선정 전에 <그림 12.13.1>의 분류기준을 참조하여 이러한 특성을 파악하고 검토해야 한다.

② Open TBM generally consists of the body, trailer and ancillary facilities as shown in <Fig. 12.13.2>, and auxiliary equipment may be attached.



① Cutter head ② Cutter head jacket ③ Inner Kelly ④ Outer Kelly
⑤ Propulsion cylinder ⑥ Cutter head drive ⑦ Clamping head ⑧ Rear support
⑨ Belt conveyor ⑩ Dust catcher

Fig. 12.13.2 Example of Open TBM

③ there are not many constraints on good ground conditions, TBM including the type with head jacket shall be reviewed when soft ground such as fractured zone is partly encountered.

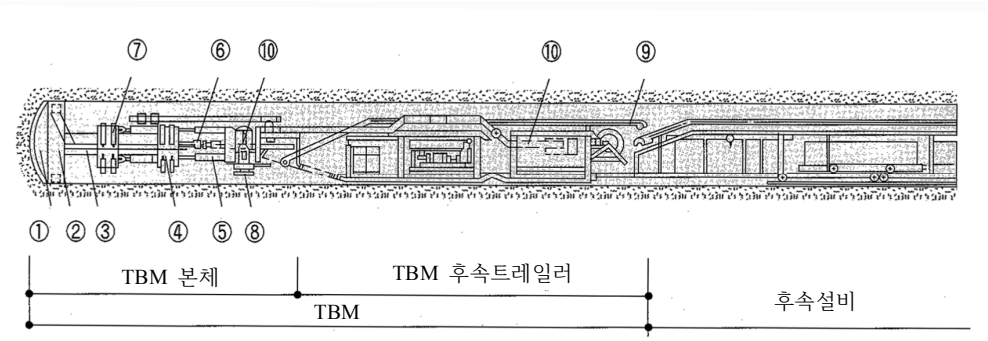
④ fractured zone or weathered rock are encountered, modified open TBM with auxiliary system or shield TBM with cylindrical steel plate is used.

⑤ Shield TBM can be classified as full-open type or full-closed type depending on the structure. Open type shield TBM can be further divided into full open type and partial open type, while closed type can be divided based on the support type into mechanical shield, compressed air shield, slurry shield, earth & sediment shield and combined shield TBM.

⑥ An open type TBM shall be used when drilling face can be maintained independently, and a closed type shall be used if it cannot.

⑦ Generally, shield TBM consists of the body and auxiliary system and as shown in <Fig. 12.13.3>, the body consists of hood, girder and tail and the skin consists of skin plate and the support, and thus the designer shall be acquainted with the detailed configuration of shield TBM before determining the type.

② Open TBM은 일반적으로 <그림 12.13.2>와 같이 본체, 후속트레일러 그리고 후속설비로 크게 세 가지로 구성되며 보조공법을 위한 장치를 갖출 수 있다.



①커터헤드 ②커터 헤드 자켓 ③이너켈리 ④아우터켈리 ⑤추진 실린더 ⑥커터헤드 드라이브 ⑦클램핑 패드 ⑧후방지지장치 ⑨벨트 컨베이어 ⑩집진기

그림 12.13.2 Open TBM의 구성(예)

③ 터널 전체노선이 전반적으로 양호한 지반상태에서는 기종의 제약을 많이 받지 않지만, 노선 상에 파쇄대 등 연약지반이 부분적으로 나타날 경우에는 헤드자켓(Head Jacket)이 부착된 TBM 등 지반조건에 적합한 TBM을 검토하여 적용해야 한다.

④ 노선 중 상당 부분이 파쇄대 또는 풍화암일 경우에는 Open TBM 대신 보조공법 장치로 파쇄대에 대처할 수 있는 개량형 Open TBM을 사용하거나 본체부분이 원통형 강판으로 보호된 쉴드TBM을 사용하는 방안 등을 검토해야 한다.

⑤ 쉴드TBM은 전면의 구조형식에 따라 전면개방형 쉴드TBM과 전면밀폐형 쉴드TBM으로 분류되며, 개방형 쉴드TBM은 전면 개방형과 부분 개방형으로, 밀폐형 쉴드TBM은 굴진면 지지 방식에 따라 기계식 쉴드TBM, 압축공기 쉴드TBM, 이수식 쉴드TBM, 토압식 및 이토압식 쉴드TBM, 혼합식 쉴드TBM 등으로 구별할 수 있다.

⑥ 굴착 동안 굴진면 자립이 유지될 수 있는 지반조건에서는 개방형 TBM을 사용하고 굴진면 자립이 어려운 경우에는 밀폐형 쉴드TBM을 사용해야 한다.

⑦ 일반적인 쉴드TBM은 본체와 후속설비 등으로 이루어져 있고 본체부분은 <그림 12.13.3>과 같이, 굴진면 측에서 부터 후드부, 거더부, 테일부의 3부분으로, 외피는 외판(Skin Plate)과 그 보강재로 구성되어 있으므로 설계자는 쉴드TBM기종을 결정하기 전에 이와 같은 쉴드TBM의 세부 구성사항을 파악하고 각 구성요소별 역할을 숙지해야 한다.

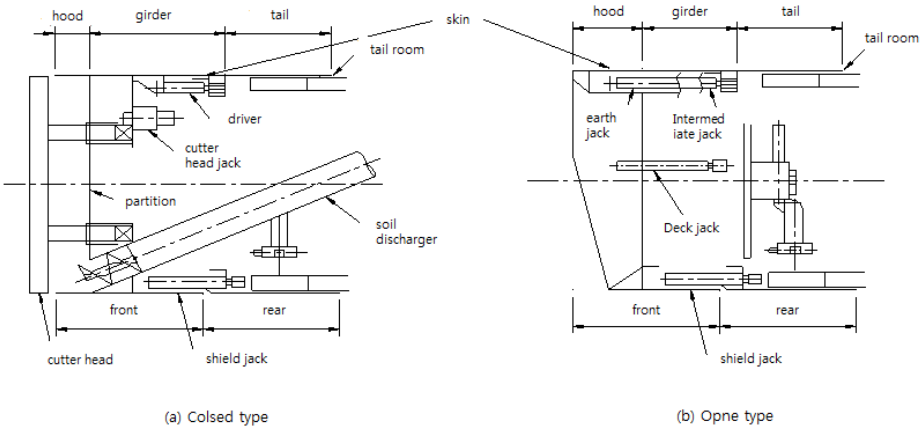


Fig. 12.13.3 Shield TBM

⑧ Shield TBM cutter is classified into spoke type and plate type depending on the shape of the front face. Spoke type is favorable as it reduces load torque and blows excavated soil, while plate type is favorable as it prevents soil on drilling face and accelerates to sustain the injection of material.

⑨ Cutter Slit has different open ratio and excavation tool (beat or disc cutter) depending on ground conditions, and the shape and dimensions shall be determined after considering safety and excavation efficiency.

⑩ As shown in <Fig. 12.13.4>, hood type may be classified into square type, inclined type or cut-type, and the appropriate type will be selected according to ground conditions.

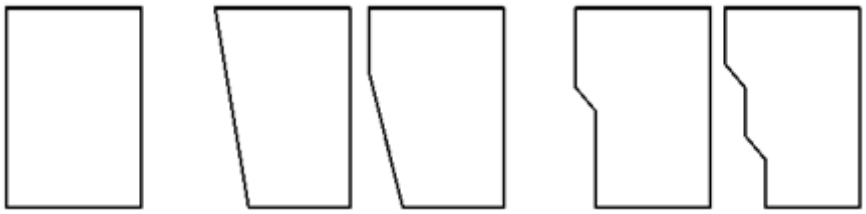
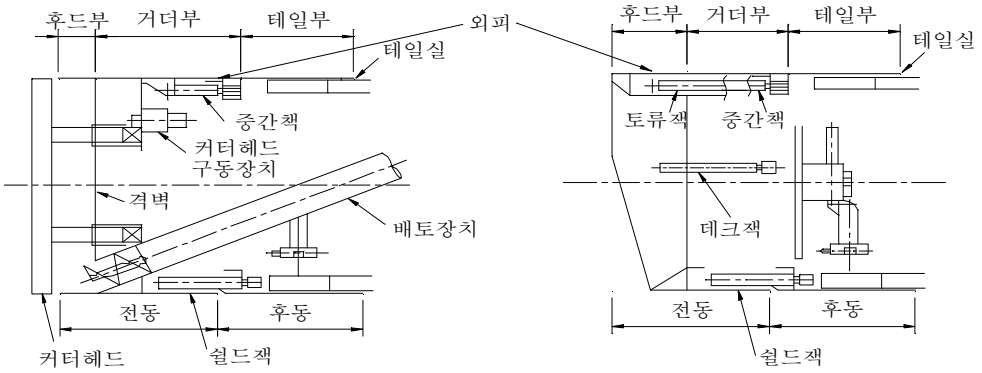


Fig. 12.1.3 Hood shape

(3) TBM Excavation

① As shown in <Fig. 12.13.5>, TBM excavation methods include a cutting method using the rotational force of button cutter and a crushing method using the rotational force of disk cutter and the appropriate method shall be selected based on the following standard.



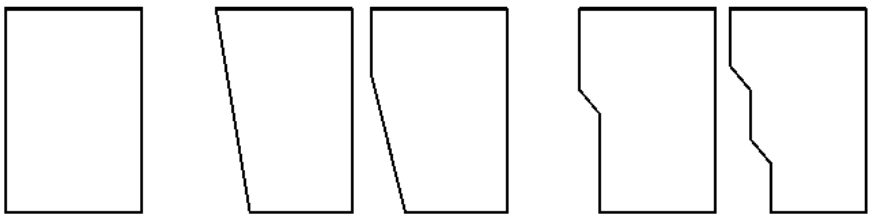
(a) 밀폐형 쉴드 (b) 개방형 쉴드

그림 12.13.3 쉴드TBM의 구성

⑧ 쉴드TBM의 커터헤드는 전면형상에 따라 스포크(Spoke)형과 면판형으로 분류되며, 스포크형은 커터의 실부하 토크의 저감, 굴착토사의 취입이 우수하고 면판형은 굴진면의 토류방지 기능과 주입재료의 굴진면에서 체류를 촉진하는데 유효하므로 이를 고려하여 커터헤드의 종류를 선정해야 한다.

⑨ 커터 슬리트(Cutter Slit)는 지반조건에 따라 개구(開口)율 및 굴착기구(비트 또는 디스크 커터 등) 형식이 달라지는데, 그 형상과 치수는 지반의 조건, 굴진면 안전기구 및 굴착능률을 고려하여 결정해야 한다.

⑩ 후드부의 형상은 <그림 12.13.4>와 같이 직형과 기울기형, 그리고 단절형 등으로 분류할 수 있으며, 지반의 조건에 적합하도록 결정해야 한다.



직형 기울기형 단절형

그림 12.13.4 후드형상

(3) TBM 굴착

① TBM의 굴착방법은 <그림 12.13.5>와 같이 버튼커터(Button Cutter)의 회전력을 이용한 절삭식과 디스크커터(Disk Cutter)의 회전력에 의한 압쇄식 굴착방법으로 구분할 수 있으며, 그 선정기준은 다음과 같다.

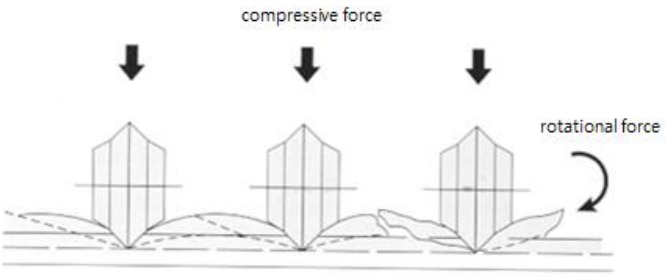


Fig. 12.13.5 Excavation by cutter

A. Cutting method is usually applied for weathered rock or soft rock with compressive strength 30 ~ 80 MPa, while crushing method is usually applied for rock with a strength of 100 MPa or more.

B. Recently, crushing method has been developed to apply to various ground conditions, and the method shall be selected after considering ground conditions, excavation efficiency and cost efficiency of equipment.

② For a long tunnel, it shall be determined after considering cost efficiency, constructability and technology for a full-face excavation of a single track in parallel or double track tunnel.

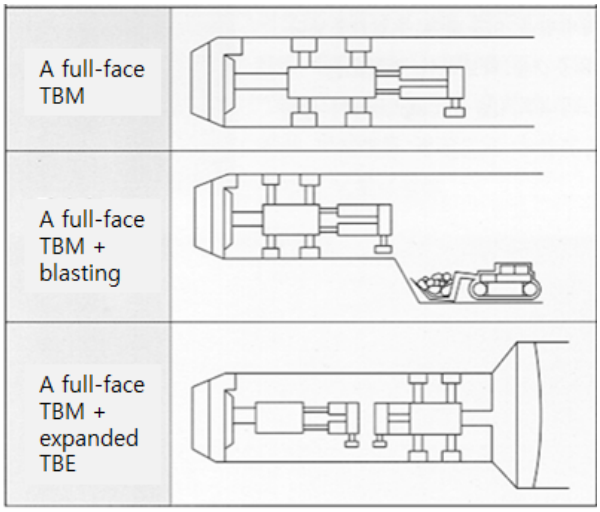


Fig. 12.13.6 Excavation using TBM

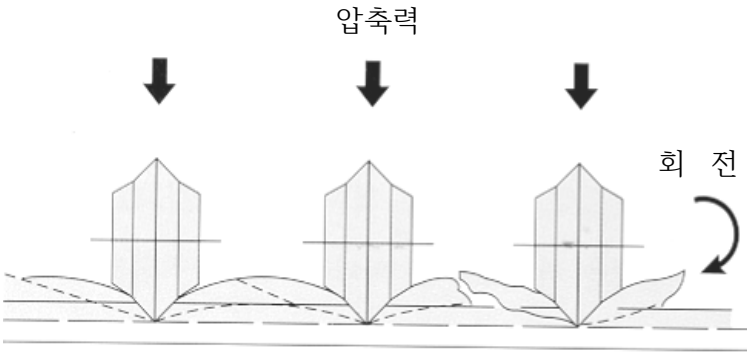


그림 12.13.5 커터에 의한 굴착방식

가. 일반적으로 압축강도 30~80MPa 정도의 풍화암 및 연암일 경우는 절삭식을, 100MPa 이상일 경우에는 압쇄식을 적용해야 한다.

나. 최근 압쇄식이 다양한 지질에 적용할 수 있도록 개발되고 있으므로 지반조건, 굴진효율, 장비의 경제성 등을 고려하여 적합한 방식을 선정해야 한다.

② 본선터널에서 장대터널일 경우는 단선병렬 전단면 굴착, 복선터널 전단면 굴착 등에 대하여 TBM의 기종선정과 경제성, 시공성, 기술성 등을 종합적으로 검토한 후 결정해야 한다.

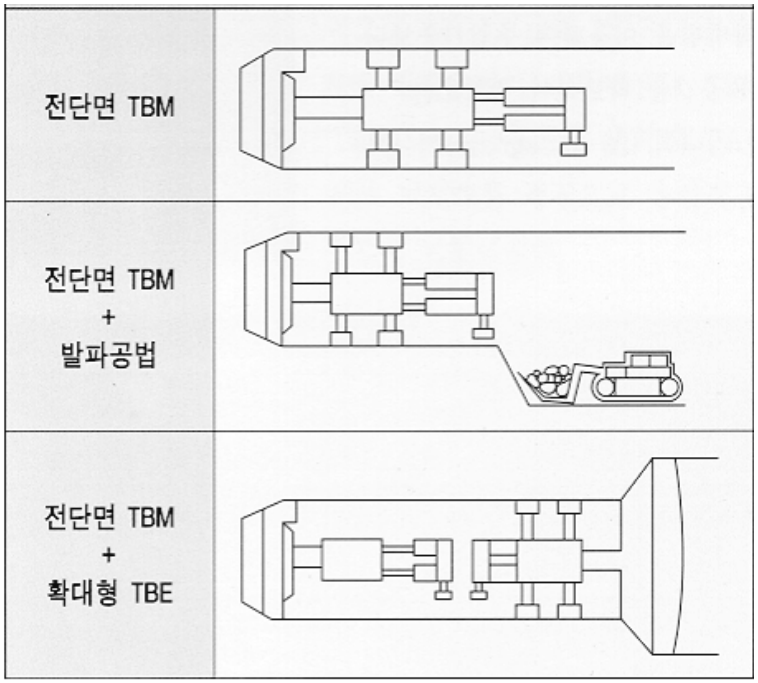


그림 12.13.6 TBM을 이용한 굴착공법

12.13.2 Plan

(1) Alignment

① Alignment plan shall include the use, design requirements, locational requirements, topographic features, obstacles & ground conditions, constructability, equipment characteristics, surrounding structure and life safety design.

② TBM tunnel alignment shall be planned to advance along the uniform soil conditions in consideration of TBM capacity.

③ When using the TBM method, track center survey shall be included considering the error in TBM method.

④ Alignment plan shall be in accordance with 「12.2.2 Tunnel Basic Plan」; however, this may be adjusted depending on site conditions.

⑤ Minimum curve radius of TBM tunnel shall be designed considering ground conditions, site condition, section size, construction method, equipment characteristics and lining.

⑥ When horizontal alignment is changed to a steep curve or an extremely small curve radius or connects to the other tunnel, ground reinforcement TBM structure and segment improvement, backfill due to overbreak or curved working shaft shall be reviewed in consideration of tunnel deformation resulting from drilling reaction, as well as segment stability.

⑦ Location of tunnel portal shall in principle be in accordance with 「12.2.2 Tunnel Basic Plan」, but shall be planned after considering the space necessary for TBM equipment assembly and auxiliary equipment installation.

⑧ When planning two tunnels in parallel, net interval between tunnels shall be more than TBM excavation OD in principle, but when it is smaller than this, design load shall be determined after considering ground conditions and auxiliary ground reinforcement shall be applied as needed.

⑨ When planning to build TBM tunnel near another structure, it shall be in accordance with 「12.2.2 Tunnel Basic Plan」; however, this may be adjusted depending on site conditions.

⑩ Top soil thickness of TBM tunnel shall be more than 1.5 times excavation OD and shall be determined after considering underground structure, ground condition, size of excavation section and construction method.

(2) Longitudinal slope

① Longitudinal slope shall be determined after considering the use, maintenance, constructability, drainage during construction and operation, groundwater disposal and pollution and shall be in accordance with 「12.2.2 Tunnel Basic Plan」; however, this may be adjusted depending on site conditions.

12.13.2 계획

(1) 선형

① TBM 공법의 선형계획 시에는 사용목적, 설계조건, 입지조건, 지형조건, 지장물 및 지반조건, 시공성, 장비특성, 인접 구조물, 방재설계 등을 고려해야 한다.

② TBM 터널의 노선은 TBM굴진 효율을 고려하여 가급적 균질한 지반을 통과하도록 계획해야 한다.

③ TBM 터널의 경우 궤도가 중요시되므로 TBM 굴진오차를 감안하여 선로중심 확인측량을 계획해야 한다.

④ 선형계획은 「12.2.2 터널의 기본계획」을 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

⑤ TBM 터널의 최소곡선반경은 지반조건, 현장여건, 굴착단면의 크기, 시공방법, 장비특성, 라이닝 등을 고려하여 설계해야 한다.

⑥ 현장여건 상 평면선형이 급곡선으로 변화하거나 극단적으로 작은 곡선반경 또는 도중에 다른 터널과 접속하는 경우는 굴진반력에 의한 터널 변형방지와 세그먼트의 안정성을 고려하여 지반보강, TBM의 구조 및 세그먼트의 개량, 여굴에 의한 뒤채움 주입량, 방향전환 작업구, 지중접합 등의 대책을 검토해야 한다.

⑦ 터널 갱구부의 위치는 「12.2.2 터널의 기본계획」을 따르는 것을 원칙으로 하되, TBM 장비의 조립 및 부대장비의 설치에 필요한 공간계획을 감안하여 계획해야 한다.

⑧ 터널을 2개 이상 병렬로 계획하는 경우, 터널간의 순간격은 TBM 굴착외경 이상을 표준으로 하되 그 이하로 근접 계획할 경우에는 지반조건을 고려하여 설계하중을 결정하며 필요에 따라 지반보강을 위한 보조공법을 적용해야 한다.

⑨ TBM 터널을 다른 구조물에 근접하여 계획하는 경우는 「12.2.2 터널의 기본계획」을 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

⑩ TBM 터널의 토피는 굴착외경의 1.5배 이상을 기준으로 하고, 지하구조물의 현황, 지반조건, 굴착단면적의 크기, 시공방법 등을 검토하여 결정해야 한다.

(2) 종단기울기

① 종단기울기는 사용목적, 유지관리, 시공성, 공사 중 및 운영 시 배수처리문제, 지하수처리 및 오염방지 문제 등을 고려하여 결정하되, 「12.2.2 터널의 기본계획」을 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

② It shall be 3 ‰ or more upward slope for the efficient advance of TBM and natural drainage except in cases such as at tunnel station; however, this may be adjusted depending on site conditions. And when it exceeds 20 ‰ due to site condition or obstacles, advance of TBM, mucking and material delivery and safety shall be considered.

③ Downward excavation shall be planned after considering tunnel drainage and advance efficiency.

④ A steep slope shall be avoided in principle; when a steep slope is inevitable, traction power and braking force shall be considered to minimize the loss in advance efficiency.

(3) Inner section

① The size and shape of the inner section of TBM tunnel shall be planned after considering the construction gauge in Railroad Construction Regulation.

② Inner section size of TBM tunnel for a single and double track tunnel shall be planned after considering construction gauge (facility limit), maintenance access, vent, electrical & signal and communication cable, transformer, drainage, life-safety system and electrification plan.

③ TBM size shall not be changed during construction, and shall be planned after considering TBM advance error, equipment size, design section, deformation margin, support & lining thickness and construction allowance.

④ Tolerance of tunnel's inner section shall be within 100～200mm horizontally and vertically and shall be determined after considering alignment error horizontally and vertically, error by deformation and settlement, size of excavation section, ground condition, type and controllability of TBM, advance rate, concrete lining, horizontal alignment and slope, cutter wearing and characteristics of structure.

⑤ Inner section shall be planned together with the TBM excavation method considering section size, constructability and cost efficiency.

⑥ Inner section on curve shall be planned after considering the construction gauge specified in the Railroad Construction Regulation.

⑦ As TBM tunnel inner section is not in a circular shape, drainage or shelter may be installed on the invert of a single or double track tunnel.

⑧ A shape other than circular may be used, and if there is any problem with TBM equipment, segment strength, shape and construction shall be reviewed.

(4) Pit and working shaft

① When planning TBM method, working shaft, space for the equipment outside the tunnel and storage yard shall be available near the pit for fabrication considering the size of pit and construction method.

② 종단기울기는 터널 정거장처럼 부득이한 경우를 제외하고는 TBM 장비의 굴진 효율 향상과 시공 중 및 운영 중 용출수를 자연유하시킬 수 있도록 3‰ 이상의 오르막을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다. 또한 작업구 조건이나 지장물의 제약으로 종단기울기가 20‰를 초과하는 경우에는 배수, TBM의 추진, 시공 중의 버력 및 재료의 운반 등 작업능률 저하와 안전을 고려해야 한다.

③ 내리막 굴착계획 시에는 터널 내 배수 및 굴진능률 저하 등을 고려해야 한다.

④ 급기울기 설계를 지양하며, 급기울기 설계 시에는 운반장비의 견인력과 제동력을 고려하여 굴진율 저하요인을 최대한 감소시켜야 한다.

(3) 내공단면

① TBM 터널의 내공단면 크기와 형태를 계획할 때에는 철도건설규칙 건축한계(시설한계)를 고려하여 계획해야 한다.

② TBM 터널의 내공단면 크기는 단선터널과 복선터널의 경우, 건축한계(시설한계), 유지보수 관리용 통로, 환기설비, 전기 및 신호, 통신 등의 케이블과 변압기설비, 배수설비, 재해대책, 향후 전철화계획 등을 고려하여 계획해야 한다.

③ TBM 터널은 시공 중 TBM 크기를 변경할 수 없으며, TBM의 굴진오차, 사용장비의 규격, 설계소요단면, 변형여유량, 지보재 및 라이닝 두께, 시공여유 등을 고려하여 계획해야 한다.

④ 터널 내공단면의 허용시공오차는 설계선형에서 상하좌우로 100~200mm를 기준으로 하되, 상하·좌우의 선형오차, 변형·침하에 의한 오차, 굴착단면의 크기, 지반조건, TBM의 형식과 조종성, 굴진속도, 콘크리트라이닝의 유무, 평면선형과 기울기, 커터마모 보정, 구조물의 특성 등을 고려하여 결정해야 한다.

⑤ 내공단면을 계획할 때에는 단면의 크기와 시공성, 경제성을 고려하여 TBM 굴착공법을 함께 검토해야 한다.

⑥ 곡선부에서의 내공단면은 철도건설규칙 건축한계(시설한계) 규정내용을 고려하여 계획해야 한다.

⑦ TBM 터널 내공단면 형태는 원형이므로 철도 단선터널이나 복선터널에서 인버트부의 여유공간에 배수로, 대피시설 등 부대설비를 계획할 수 있다.

⑧ 원형이외에도 다른 단면 형상을 선택할 수 있으며, 이 경우 TBM장비, 세그먼트의 강도, 형상 및 시공상의 문제점에 대하여 검토해야 한다.

(4) 작업장 및 작업구

① TBM 공법의 작업장을 계획할 때에는 터널공사 및 조립장의 규모, 굴착공법에 따른 기종 선정 등을 고려하여 작업구, 터널외부설비, 굴착버력 처리장, 재료적치장 등을 위한 부지를 발진작업구 부근에 확보해야 한다.

② Worksite plan shall consider the vent, power supply, water supply and drainage, cutter shop, rail fabrication, conveyor, muck pond, air supply and material storage.
③ Mucking site shall be planned based on the estimated amount of muck generation.
④ Initial advance of TBM shall be determined after considering ground reinforcement in pilot tunnel, structure and strength of jacking reaction wall, segment removal plan, equipment at receiving pit and mucking plan.
⑤ When advancing TBM, fixing point shall be determined based on TBM center and height, and shall be adjusted upward when TBM is likely to be deflected due to poor ground conditions.
⑥ TBM reaction girders are classified into temporary segment type and steel members, and shall have sufficient stiffness to bear the thrust without deformation.
⑦ Slurry shield TBM shall have a slurry disposal site.
⑧ Location, size and function of TBM work shaft shall be planned after considering ground conditions to enable efficient and safe construction.
⑨ Work shaft shall be planned after considering TBM delivery, assembly, segment material, equipment, mucking and access for workers, and shall be provided in the middle or at the end point for turning or TBM lifting.

(5) Mucking
① Mucking equipment shall be planned after considering construction duration, mucking volume, tunnel environment, dump site and hauling distance.
② The equipment shall be able to haul all muck to outside of the tunnel immediately after excavation.
③ For a long tunnel, a turnout section shall be provided for hauling vehicle to avoid delays in TBM advancement considering muck loading and waiting time and work efficiency.

(6) Auxiliary equipment and construction method
① Auxiliary facilities including vent, power supply, water and drainage, settlement pond, air supply, cutter shop and rail assembly yard shall be planned after considering the function and constructability, and an efficient spatial layout shall be developed considering the characteristics of the equipment.
② Auxiliary facilities in TBM tunnel shall be planned after considering the work environment, safety and cost efficiency, and drainage, vent, fire-fighting and manhole shall be incorporated into the design as needed for use and maintenance.
③ Auxiliary facilities shall be planned with the work space to avoid interference considering the equipment mobilization plan.

② 작업장 계획은 환기설비, 수전설비, 급수 및 배수 설비, 커터숍(Cutter Shop), 레일 조립장, 컨베이어 조립장, 버력처리장 침전지, 급기설비, 재료적치장 등 각종 가시설의 기능과 규모 등을 감안하여 배치해야 한다.

③ 암버력의 발생량을 산정하여 작업장에 버력처리장 배치계획을 해야 한다.

④ TBM의 초기굴진은 발진부에 대한 사전 지반개량 여부, 발진반력대의 구조 및 강도, 가설세그먼트의 해체시기, 후방설비의 배치 및 토사의 반출입 방법 등을 고려하여 결정해야 한다.

⑤ TBM의 발진 시 고정위치는 설계상의 TBM 중심 및 높이를 기본으로 하여 결정하고, 지반이 연약하여 TBM 처짐이 예상되는 경우는 위치를 상향 보정하도록 계획해야 한다.

⑥ TBM의 반력대 설비는 주로 가조립 세그먼트 방식과 형강을 주재로 하는 설비 등으로 분류할 수 있으나 어떠한 경우든 필요한 추력에 대해 견딜 수 있어야 하고, 유해한 변형을 발생시키는 일이 없도록 필요한 강성을 확보하도록 계획해야 한다.

⑦ 이수식 쉴드TBM인 경우는 이수처리 설비장의 부지를 확보해야 한다.

⑧ TBM의 작업구는 TBM 통과지의 지반조건과 현장여건을 고려하여 시공이 안전하고 능률적으로 행해지도록 위치, 규모 및 기능 등을 계획해야 한다.

⑨ TBM의 반입과 조립, 세그먼트 등의 재료와 모든 기계기구의 반입, 굴착토사의 반출, 작업원의 출입 등을 위한 발진 작업구를 계획해야 하며, 필요에 따라 방향전환용 또는 TBM 인양을 위해 터널 중간이나 종점에도 작업구를 설치해야 한다.

(5) 버력처리

① 버력처리 장비는 공사기간, 버력 발생량, 터널내부 환경, 사토장위치 및 운반거리 등을 고려하여 수립해야 한다.

② 장비는 가급적 굴착과 동시에 굴착량 전부를 터널외부로 반출할 수 있는 운반체계로 한다

③ 장대 터널인 경우는 버력적재 및 대기시간의 시공성을 고려하여 TBM 굴진능력에 영향을 주지 않도록 버력운반차의 교행구간에 교행장치계획을 검토해야 한다.

(6) 부속설비 및 보조공법

① 환기설비, 수전설비, 전력설비, 급수 및 배수 설비, 침전지, 급기설비, 커터숍 및 레일조립장 등 각종 부속설비는 기능과 시공성을 고려한 용량계산을 토대로 계획하며, 각종 설비별 특성을 고려하여 효율적인 공간배치를 계획해야 한다.

② TBM 터널의 부속설비는 작업 환경성, 안전성, 경제성을 고려하여 계획해야 하며, 사용목적이나 유지관리상의 필요성에 따라 배수, 환기, 방화 등의 설비와 맨홀 등을 설계에 포함해야 한다.

③ 부속설비 계획은 운반장비의 통행을 감안하여 상호 간섭되지 않도록 작업공간을 계획해야 한다.

④ When ground settlement or displacement during the TBM tunneling process are expected, an effective support method shall be adopted considering usability, safety, cost efficiency, construction schedule and environment.

(7) Instrumentation

① Instrumentation plan shall in principle be in accordance with 「12.9 Excavation & Instrumentation」, and the location, frequency and interval shall be adjusted considering the advantages of mechanical excavation, and errors shall be minimized using precision instruments.

② When ground settlement due to collapse or overcut during TBM tunneling work is expected, monitoring or prediction by instruments shall be planned in advance.

(8) Collection of technical data and mobilization of the experts

① TBM requires a specialized high-tech design and construction method, and for this reason data on the type and capacity of equipment, mechanical characteristics and failure and part replacement shall be collected and compared and incorporated into the design.

② The qualification of the experts who will provide the technologies in design, installation and operation shall be stipulated in the design.

③ For efficient cooperation between TBM operator and geotech engineer, the organization and technical manpower shall be specified in the design.

(9) TBM operation and maintenance

① A spare parts plan shall be developed in advance to ensure effective operation and maintenance, and replacement of the cutter depending on rock quality shall also be considered.

② An appropriate maintenance plan shall be developed to maintain the optimal function over the service life.

12.13.3 Investigation

(1) Geotechnical investigation and test

① The tests for TBM tunneling work shall be in accordance with 「12.4 Investigation」, and the test to check the wear property and swelling test shall be included considering mechanical characteristics.

② Performance test to predict the operation rate of TBM and geotechnical investigation and test of cutter wear shall be carried out.

④ TBM 터널시공에 따른 주변 지하구조물에 침하, 손상 등의 변위가 예측되는 경우에는 사용성, 안전성, 경제성, 공사기간 및 환경조건 등을 고려하여 효과적인 보조공법을 검토해야 한다.

(7) 계측

① 계측계획의 수립 시 일반적 사항에 대하여는 「12.9 굴착 및 계측」을 따르는 것을 원칙으로 하되, 기계굴착의 장점을 고려하여 계측위치, 계측항목, 계측간격, 측정빈도 등을 조정하여 경제적인 계측계획을 수립해야 하며, 정밀계측장비를 이용하여 계측오차를 최소화해야 한다.

② TBM 굴착 시 지반붕괴로 인한 장비의 함몰이나 과굴착으로 인하여 과다한 지반침하 등이 우려되는 경우에는 굴진면 관찰 또는 조사장비에 의한 굴진면 전방예측, 과굴착 측정 등을 사전에 계획해야 한다.

(8) 기술자료 수집 및 전문기술요원 확보

① TBM장비는 특수한 최첨단기술로 제작되어 특수한 공법으로 설계, 시공해야하므로 TBM 제작사별 생산기종 및 기계의 성능, 굴진능력, 기계고장, 부품교체 등 기술자료를 수집하여 비교평가하고 그 특성에 따라 설계해야 한다.

② TBM 터널공법 설계기술과 설치 운용기술을 파악하여 확실하게 기술전수를 할 수 있는 전문기술요원을 확보하도록 설계에 반영해야 한다.

③ TBM 터널에서는 효율적인 굴착을 위해 TBM 조작자와 지반기술자 등이 상호 협조하여 현장을 운용할 수 있는 조직과 기술인력을 확보하도록 설계에 반영해야 한다.

(9) TBM 운영 및 유지관리

① 공사 중 TBM 장비의 원활한 작동 및 유지관리를 위해 사전에 부품수급 계획을 수립해야 하며 암질에 따른 커터의 적정 교체시기 등도 함께 고려하여 계획해야 한다.

② TBM 터널의 공용기간 동안 보유해야 하는 성능의 수준을 유지하도록 적절한 유지관리계획을 세워야 한다.

12.13.3 조사

(1) 지반조사 및 시험

① TBM 터널의 시공을 위한 일반적인 시험사항은 「12.4 조사」에서 정하는 바를 따르고 TBM의 기계적인 특성을 고려하여 커터의 마모성을 평가할 수 있는 시험 및 팽창성시험(Swelling Test) 등을 추가로 실시해야 한다.

② TBM 가동율 예측을 위하여 커터의 성능시험과 커터의 마모에 영향을 미치는 지반조사 및 시험을 실시해야 한다.

(2) Site investigation

① The investigation for TBM tunneling work shall cover the road for transporting TBM, traffic, TBM assembly & disassembly site, power and water supply for TBM operation, access road, settlement pond and dump site for use in determining the route and type of TBM and tunnel size.

(3) Investigation of obstacles

① Investigation of obstacles shall be in accordance with 「12.4.3 Investigation of Obstacles」; however, this may be adjusted depending on site conditions.

(4) Topographic and environment investigation

① Topographic and environment investigation shall be in accordance with 「12.4 Investigation」; however, this may be adjusted depending on site conditions. In particular, it shall be conducted carefully at expandable layer, complex layer, fault, sand & gravel layer with high groundwater level, boulder or soil-rock boundary or harmful gas-containing layer that may cause problems with the TBM method.

② Investigation of rock structure, fault fractured zone, clay or the layer with high strength rock or quartz shall be carried out to review the efficiency of TBM excavation.

(5) Other investigations

① Other investigations and tests shall be in accordance with「12.4 Investigation」; however, this may be adjusted depending on site conditions.

12.13.4 TBM tunnel design

(1) Design general

① Other designs shall be in accordance with 「12.3 Design general」; however, this may be adjusted depending on site conditions.

② This is the design standard for TBM excavation of a single and double track tunnel, and a separate standard not specified here may be applied.

③ TBM tunnel shall be designed based on the investigation result to meet the requirements in terms of appropriateness, safety, cost efficiency and constructability, and the support shall be designed to utilize the advantages of mechanical excavation.

④ In the event any conflict between design and actual ground condition is found from monitoring during construction, it shall be corrected through a design change.

(2) Considerations for TBM tunnel design

① Type and characteristics of equipment shall be reviewed and the following shall be considered to meet site conditions.

A. Size of inner section of TBM tunnel

B. Selection of TBM equipment

(2) 입지조건 조사

① TBM 터널을 위한 입지조건 조사는 노선 선정과 적용 TBM종류의 결정, 터널의 규모와 내용설정 등을 위한 자료로 이용할 수 있도록 TBM장비 운반을 위한 도로망, 교통상황조사, TBM 조립, 해체 및 공사용 부지조사, TBM에 소요되는 전력 및 급배수 시설, 진입로, 침사지 및 사토장 부지 등을 조사해야 한다.

(3) 지장물 조사

① 지장물 조사는 「12.4.3 지장물조사」를 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

(4) 지형 및 환경조사

① 지형 및 환경조사는 「12.4 조사」를 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다. 특히 팽창성 지반이나 복합지반, 단층대, 지하수위가 높은 모래자갈층이나 전석층 또는 토사와 암반의 경계부, 유해가스의 발생가능 지역에서는 TBM 공법 적용이 문제가 발생 할 수 있으므로 신중한 지반조사를 실시해야 한다.

② 암석구조, 단층파쇄대, 점토대, 암석강도가 현격하게 높거나 석영함량이 높은 지반 등을 조사하여 시험한 자료로 TBM 굴착효율을 검토해야 한다.

(5) 기타 조사

① 본 절에 기재되지 않은 조사 및 시험에 관한 사항은 「12.4 조사」에서 정한 기준에 따르며 특수한 경우는 별도로 정할 수 있다.

12.13.4 TBM 터널의 설계

(1) 설계일반

① 이 절에 기재되지 않은 설계일반 사항에 대하여는 「12.3 설계일반」에서 정한 기준에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

② 철도 단선터널과 복선터널을 TBM으로 굴착할 경우의 설계기준이며 이 기준에 기재되지 않은 사항은 별도로 정할 수 있다.

③ TBM 터널은 조사결과를 기초로 하여 사용목적의 적합성, 안전성, 경제성, 시공성이 확보되도록 설계해야 하며 지보재는 기계굴착의 장점을 최대한 활용할 수 있도록 설계해야 한다.

④ 시공 중 관찰과 계측 결과로부터 실제 지반조건이 설계 시의 예측 지반조건과 상이할 경우는 설계변경을 통하여 조정해야 한다.

(2) TBM 터널설계 시 고려사항

① TBM 설계는 현장조건에 맞도록 기기의 종류와 그 특성을 사전에 숙지해야 하며, 다음 사항을 검토하여 현장조건에 적합하게 해야 한다.

가. TBM 터널내공 단면크기

나. TBM 장비의 선정

C. Cutter head design
D. TBM assembly yard, pilot tunnel and receiving pit
E. Mucking and hauling system
F. Support and deformation allowance
G. Lining (segment and concrete lining)
H. Invert
I. Drainage and waterproof
J. Auxiliary method
K. Temporary facilities
L. Access for workers
M. Life safety and lighting
N. Electric power and other facilities
O. Auxiliary facilities and space required

12.13.5 Selection and fabrication of TBM

(1) Selection of TBM

① The body of Open TBM consists of the cutter head, propulsion system and clamping system, the trailer consists of the motor, hydraulic pump, dust collector and belt conveyor, and the ancillary system includes muck car or conveyor belt.

② Type of TBM shall be determined after considering efficiency, work conditions and ground conditions.

③ When ground conditions are generally good, a wide range of equipment may be used, but when fractured zone or soft ground is partly found, open TBM with head jacket or open TBM or shield TBM protected with cylindrical steel pipe shall be considered.

④ Type of TBM shall be determined in consideration of ground conditions, surface conditions, section size, underground utilities, tunnel length & alignment, construction schedule and use, excavation and segment assembly, constructability, work space and dump site for safety and cost efficiency.

⑤ Open type or closed type may be selected depending on site conditions.

⑥ When an underground structure or foundation pile is encountered, displacement or removal of obstacle shall be comprehensively considered in addition to ground conditions.

다. 커트 헤드 설계
라. TBM 조립장, 발진기지 및 도달기지
마. 버력처리 및 운반 시스템
바. 지보 및 변형 여유량
사. 라이닝(세그먼트 및 콘크리트라이닝)
아. 인버트
자. 배수 및 방수
차. 보조공법
카. 가시설
타. 작업자 통로
파. 방재, 조명 및 환기
하. 수전설비 등 각종 설비
거. 부대시설 규모 및 소요 공간

12.13.5 TBM 선정 및 제작

(1) TBM 기종선정

① Open TBM의 본체는 커터헤드, 추진시스템, 클램핑 시스템으로 구성되며, 후속 트레일러는 전동모터, 유압펌프, 집진기, 벨트컨베이어로, 후속설비는 버력반출을 위한 광차 또는 벨트컨베이어로 구성되어 있다.

② TBM의 기종은 장비의 효율 및 작업여건을 고려하여 경제적이고 시공성이 좋은 기종으로 선정해야 하며, 노선의 지반조건에 적합해야 한다.

③ 터널 전체노선이 전반적으로 양호한 지반상태에서는 기종의 제약을 많이 받지 않으나, 노선 상에 파쇄대 등 연약지반이 부분적으로 나타날 경우에는 헤드자켓(Head Jacket)이 부착된 Open TBM이나 본체 부분이 원통형 강관으로 보호된 쉴드TBM을 사용하는 방안을 검토해야 한다.

④ TBM의 기종 선정은 TBM 적용구간의 지반조건, 지표의 상황, 단면치수, 지하지장물, 시공연장, 터널의 선형, 공사기간 및 사용목적 등의 조건과, 굴착이나 세그먼트 조립 등의 시공성 및 작업장 용지와 굴착토사 처리방법 등을 고려하여 안전하고 경제적인 시공이 가능한 형식을 선정해야 한다.

⑤ TBM 기종은 개방형 또는 밀폐형 중 지반조건과 현장여건을 고려하여 가장 적합한 형식으로 선정한다.

⑥ 굴진면에 지하구조물 또는 기초말뚝 등의 지하장애물이 있는 경우에는 지반조건 외에도 장애물의 제거나 변위발생 등을 고려, 종합적으로 검토 선정해야 한다.

(2) TBM fabrication design

① The following shall be considered when fabricating TBM.

A. Major components of TBM

(a) Cutter Head

(b) Cutter Head Drive

(c) Segment Erector

(d) Electric system

(e) Methane Gas Control

B. Data Acquisition System

C. Mucking equipment

(a) Extendable Belt Conveyor

(b) Truck Hopper

(c) Locomotive and Muck Car

D. Slurry equipment

E. Backfill injector

② TBM shall be designed to be able to bear vertical & horizontal earth pressure, water pressure, self-load, surface load, differential load and full-face load.

③ TBM structure shall be designed to be functional with all working loads.

④ TBM design shall consider disassembling, transporting and installing large and heavy equipment, and the importance of the effect of weight and gravity center on soft ground.

⑤ TBM consists of equipment for excavating, advancing and lining, and thus protection against external load is important.

⑥ OD of TBM refers to OD of Skin Plate, and the OD of segment, tail clearance and skin plate thickness shall be considered.

⑦ Tail clearance is usually 20 ~ 40 mm but shall be determined after considering segment shape and size, tunnel alignment, alignment adjustment, segment assembly and tail seal.

⑧ The length of TBM shall be designed considering ground conditions, tunnel alignment, TBM type, interruption device, segment width, K-segment insertion and tail seal.

⑨ The length of TBM needs to be shorter for operation efficiency, but if it is too short, ground contact pressure will increase, making handling difficult.

⑩ The length of tail shall be determined after considering segment width, shape and constructability.

⑪ Thickness of tail skin plate shall be as thin as possible unless harmful deformation occurs.

(2) TBM 제작 설계

① TBM 제작시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

가. TBM 장비의 주요설비

㉮ 커터헤드(Cutter Head)

㉯ 커터헤드 구동부(Cutter Head Drive)

㉰ 세그먼트 이렉터(Segment Erector)

㉱ 전기설비(Electrics)

㉲ 작업장 가스 제어설비(Methane Gas Control)

나. 운영 관리자료 획득설비(Data Acquisition System)

다. 버력처리장비

㉮ 신축연장가능 벨트컨베이어(Extendable Belt Conveyor)

㉯ 트럭(Truck)과 호퍼(Hopper)

㉰ 기관차(Locomotive)와 광차(Muck Car)

라. 이수처리설비

마. 뒤채움 주입설비

② TBM은 연직 및 수평토압, 수압, 자중, 상재하중의 영향, 편향하중, 굴진면 전면압 등의 하중을 지지하도록 설계한다.

③ TBM 구조는 각각의 작용하중에 대하여 TBM 각부가 안전하고 확실하게 가동될 수 있는 구조로 설계한다.

④ TBM 장비는 무겁고 대형이므로 분할, 수송, 작업구로의 투입 등 제 조건을 고려하여 제작해야 하며, 또한 연약지반에서 쉴드TBM을 추진하는 경우에는 TBM의 중량 및 중심위치가 그 운전성능에 영향을 미치므로 TBM 제작설계 시 이를 고려한다.

⑤ TBM은 굴착, 추진, 라이닝 설치를 동시에 할 수 있는 기능을 갖는 장치군으로 구성되므로 외부에서 작용하는 하중에 대하여 내부를 보호할 수 있어야 한다.

⑥ TBM의 외경은 외판(Skin Plate)의 외경을 말하며, 세그먼트 외경, 테일 클리어런스(Tail Clearance) 및 테일 스킨 플레이트 두께를 고려해야 한다.

⑦ 테일 클리어런스는 20~40mm가 일반적이나 세그먼트의 형상과 크기, 터널의 선형, 선형수정, 세그먼트 조립 시 여유, 테일 실(Tail Seal)의 설치 등을 고려하여 결정해야 한다.

⑧ TBM의 길이는 지반의 조건, 터널의 선형, TBM 형식, 중절장치의 유무, 세그먼트 폭, K-세그먼트의 삽입형식, 테일 실의 단수 등을 고려하여 설계해야 한다.

⑨ TBM의 길이는 외경과의 조화로, 운전 조작면에서는 가능한 한 짧은 것을 선택해야 한다. 단, 길이가 극단적으로 짧으면 접지압이 커져 조향성이 나빠지므로 이를 고려해야 한다.

⑩ 테일부의 길이는 세그먼트 폭과 형상 및 시공성을 고려하여 결정해야 한다.

⑪ 테일 스킨 플레이트 두께는 유해한 변형이 발생하지 않는 범위내에서 가능한 얇게 설계해야 한다.

⑫ Tail seal shall be determined after considering backdraft prevention, durability and pressure-resistance.

(3) TBM cutter head design

① Cutter head shall be determined after considering ground conditions for optimal function.

② Shape, material and layout of cutter bit shall be determined after considering ground condition.

③ Cutter head support shall be designed considering TBM OD and foundation ground, as well as compatibility with mucking equipment.

④ Cutter head opening type, size and rate shall be determined after considering ground condition, excavation face stability and excavation efficiency.

⑤ Reamer is designed to enhance the handling efficiency of shield TBM, which shall be designed according to ground conditions and work requirements.

(4) TBM jacking system

TBM jacking system shall be designed considering the following:

① Open TBM shall use the gripper while shield TBM uses the jack, and total jacking force shall be designed after considering jacking resistance allowance.

② Selection and layout of gripper and jack shall be designed after considering TBM handling, segment structure and assembly efficiency, and shall be simple and lightweight to enable easy maintenance and replacement.

③ Jacks shall be placed near the inner side of ski plate at consistent intervals, the load shall be evenly imposed on segment and the gripper shall be placed to bear the self-load and secure the jacking force.

④ TBM jacking system shall be determined after considering the clearance of stroke width, and shall have a length for curve section.

⑤ Operation speed of the gripper and jack shall be determined based on advance rate and constructability.

(5) Segment assembly tool

Segment assembly tool shall be designed considering the following:

① Erector shall be determined after considering the type and capacity of shield TBM, division and shape of segment, mucking method and work cycle to ensure accurate and efficient segment assembly.

② The capacity of erector shall be determined after considering type, shape, weight and assembly sequence of segment.

⑫ 테일 실은 뒤채움 주입재나 토사를 동반하는 지하수의 역류방지 및 내구성, 내압성 등을 고려하여 선정해야 한다.

(3) TBM 커터헤드 설계

① 커터헤드는 지반조건에 적합하고, 기능을 발휘할 수 있는 것으로 선정해야 한다.

② 커터 비트(Cutter Bit)는 지반조건에 적합하도록 그 형상, 재질 및 배치를 결정해야 한다.

③ 커터헤드의 지지방식은 TBM 외경, 원지반 조건 등에 적합하도록 선정하여 버력 반출기구와의 조합 등에 대하여 고려해야 한다.

④ 커터헤드의 개구부는 원지반 조건, 굴진면 안정기구 및 굴삭능률을 고려하여 개구 형식과 크기 및 개구율을 정해야 한다.

⑤ 확공장치는 쉴드TBM의 조향성을 향상시키기 위한 장치로서 지반조건, 시공조건에 적합하게 설계해야 한다.

(4) TBM 추진기구

TBM의 추진기구 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다

① Open TBM의 추진은 그리퍼를 사용하고 쉴드TBM에서는 추진잭 사용을 원칙으로 하되, TBM 총추진력은 TBM의 총 추진저항 여유를 고려하여 설계해야 한다.

② 그리퍼와 잭의 선정과 배치는 TBM의 조향성, 세그먼트의 구조, 세그먼트 조립의 시공성 등을 고려하여 설계하며, 가능한 한 간단한 구조가 되도록 하고 경량으로 내구성이 크고, 보수, 교환이 용이해야 한다.

③ 추진 잭은 TBM 외판 내측에 근접하여 등간격으로 배치하고 세그먼트에 가급적 균등하중이 가해지도록 해야 하며, 그리퍼는 TBM 자중을 지지하면서 추진력을 얻을 수 있도록 적절히 배치해야 한다.

④ 추진 잭의 스트로크 폭의 소요 여유를 고려하여 결정해야 하며, 또한, TBM의 곡선시공을 위한 적정 길이가 되도록 해야 한다.

⑤ 그리퍼와 잭의 작동속도는 굴진속도 및 시공능률을 고려하여 결정해야 한다.

(5) 세그먼트 조립기구

세그먼트 조립기구 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다

① 이렉터(Erector)는 쉴드TBM의 형식과 규모, 세그먼트의 분할과 형상, 굴착토 처리방법, 작업주기 등을 고려하여 세그먼트의 조립이 정확하고 능률적인 것으로 선정해야 한다.

② 이렉터의 능력은 세그먼트의 종류, 형상, 중량 및 조립순서 등을 고려하여 결정해야 한다.

(6) Hydraulic, electrical and control equipment

The following shall be considered for design.

① Hydraulic equipment for TBM requires high pressure in an extreme work environment, and thus a type with high durability, efficiency and low noise shall be selected.

② Hydraulic equipment shall have a self-diagnosing device for ease of maintenance in the working environment.

③ Hydraulic circuit shall be simple to use, accurate operation shall be provided and it shall be safe against malfunction.

④ Hydraulic oil shall be suitable to the equipment.

⑤ Electrical device shall be waterproof, damproof and dustproof, and installed in a location allowing for easy operation and maintenance.

⑥ Controller shall be compatible with the equipment for excavation, jacking and mucking and able to deal with malfunctions in a safe manner.

(7) Auxiliary equipment

Auxiliary equipment shall be designed after considering the following:

① Stoppage device shall be appropriate for ground conditions, tunnel alignment and type of TBM.

② Bidirectional controller shall be determined after considering ground conditions, type of TBM and tunnel alignment for accurate steering control.

③ The instrument mounted on TBM shall be selected after considering the position and movement of TBM, and shall be able to withstand high temperature and humidity inside the tunnel.

④ When backfill injector is required, the device shall be determined after considering injection material, method and amount.

⑤ The bogie shall be designed to accommodate the equipment for advancing, material and support, and shall have the function and capacity to follow TBM during excavation.

12.13.6 Support and auxiliary construction method

(1) Design of the support

① Tunnel support shall be designed in consideration of the mechanical characteristics of TBM and constructability, and other designs shall be in accordance with 「12.5 Tunnel Support」; however, this may be adjusted depending on site conditions.

② Rock classification for support design shall consider the type of TBM, distribution of relaxed zone by excavation and tunnel wall excavation.

③ Support for Open TBM tunnel may not be provided depending on ground conditions.

(6) 유압, 전기, 제어기구

유압, 전기, 제어기구 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① TBM용 유압기기는 일반건설기계의 경우와 달리 고압 대용량이고 사용환경이 나쁘므로 내구성, 효율, 소음 등을 고려하여 기종을 선정해야 한다.

② 유압기구는 자가점검장치가 있거나 점검이 용이한 것으로 선택하여 사용조건하에서 적절한 상태로 유지관리가 가능해야 한다.

③ 유압회로는 가능한 한 간단하여 각 기기가 확실하게 작동하고, 오조작이 있을 경우에도 안전을 보장해야 한다.

④ 유압작동유는 유압기기에 적합한 양질의 것이어야 한다.

⑤ 전기 기기류는 방수, 방습, 방진 등에 유의해야 하며, 가능한 한 조작 및 점검보수가 용이한 위치에 설치해야 한다.

⑥ 제어기기는 각 기기가 확실하게 작동하여 굴착, 추진, 버력처리 등을 위한 기기들과 상호 연관성을 양호하게 하고 이상 시에도 안전하게 대처할 수 있어야 한다.

(7) 부속기구

부속기구 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 설계한다.

① 중절장치는 원지반 조건, 터널의 선형, TBM의 형식 등에 적합하고, 그 기능이 확실하게 발휘될 수 있는 방식과 기구를 선정해야 한다.

② 방향제어장치는 지반조건, TBM의 형식, 터널의 선형 등을 고려하여 확실한 TBM의 방향제어가 가능한 것으로 선정해야 한다.

③ TBM에 탑재하는 측량장치는 TBM의 자세, 움직임 방향의 파악 등 측량 목적에 맞추어 선정해야 하며, 터널 내 고온, 다습 등의 환경 조건에서도 필요로 하는 내구성을 확보해야 한다.

④ 뒤채움 주입장치가 필요한 경우는 주입재료, 주입방법, 주입량 등을 고려하여 확실하게 충전될 수 있는 기구를 선정해야 한다.

⑤ 후방대차는 TBM 굴진을 위한 기계장치 설치 및 굴진면의 작업에 이용하는 재료 및 각종 작업받침대, TBM 굴진과 동시 이동 등의 기능과 규모를 가지도록 해야 한다.

12.13.6 지보재 및 보조공법

(1) 지보재 설계

① 터널지보재는 TBM의 기계적 특성과 지보재 작업의 시공성 등을 고려하여 설계해야 하며, 기타 일반적인 설계사항은 「12.5 터널지보재」를 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.

② 지보재 설계를 위한 암반분류는 반드시 TBM의 기종, TBM굴착으로 인한 암반이완대의 분포, 터널 벽면의 굴착상태 등을 고려해야 한다.

③ Open TBM 터널의 지보재는 양질의 지반조건에서는 생략할 수 있다.

(2) Auxiliary construction method

① TBM tunnel analysis shall incorporate stress distribution and ground behavior by blasting excavation, and the weight of the support shall be reduced by adjusting the support pattern.

② Wire mesh as an auxiliary method for Open TBM tunnel is classified into wire mesh for increasing shotcrete adhesion and reinforcement effects and wire mesh for preventing collapse, which shall be selected depending on rock quality.

③ Auxiliary method shall be appropriate to use and shall be designed to meet the requirements in terms of ground conditions, environment, safety, constructability and cost efficiency.

12.13.7 Segment design

(1) Cautions in the design of segment lining

The following shall be considered in the design of segment lining.

① Segment lining shall be able to bear the thrust, surrounding earth and water pressure and secure a certain tunnel inner section, as well as the function to meet the requirements for use and construction.

② Dynamic behavior of tunnel is dependent on ground conditions, tunnel section shape and construction method in shield TBM, and shall be considered in the design of the segment lining.

③ Design calculation for segment lining shall describe calculation conditions, assumptions and processes in detail.

④ Segment lining shall in principle be designed according to the strength design method, but a similar verified design method may be used as needed.

(2) Material and type of segment

① The material to be used for segment shall meet the requirements specified in KS, and plain concrete & RC shall be in accordance with 「Concrete structure design criteria 」 and 「Concrete standard specification (MOLTMA)」.

② Segment is classified as concrete, steel or composite segment (concrete + steel or cast iron) depending on the material, and is classified into box type and plate type depending on shape, which shall be determined after considering strength, durability, constructability and cost efficiency.

(3) Design of segment structure and shape

① Strength, structure and shape of segment shall be determined after considering ground conditions and the construction method.

(2) 보조공법 설계

① TBM 터널을 해석할 때에는 발파굴착에 비하여 주변 지반의 응력분포와 지반변형 특성이 상이한 점을 특별히 반영해야 하며, 지보패턴의 등급을 조절하거나 지보재 설계의 경량화를 고려해야 한다.

② Open TBM 터널의 보조공법인 철망은 숏크리트의 부착력과 보강효과 증가를 위하여 설치하는 철망과, 낙반 방지용 철망으로 구분하고 낙반방지용 철망은 암질상태에 따라 철망의 종류를 달리 해야 한다.

③ 보조공법은 사용목적에 적합하고, 원지반 조건, 환경조건, 안전성, 시공성, 경제성 등을 확보하도록 설계해야 한다.

12.13.7 세그먼트 설계

(1) 세그먼트라이닝 설계 시 주의사항

세그먼트라이닝의 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 세그먼트라이닝은 추진 잭의 추력, 주변 지반의 토압과 수압 등의 하중에 견딜 수 있어야 하며, 소정의 터널 내공을 확보함과 동시에 터널의 사용 목적 및 시공조건에 따른 역할과 기능을 보유할 수 있도록 안전하고 견고하게 설계해야 한다.

② 쉴드TBM 터널에서는 지반의 조건 및 터널의 단면형상, 시공법 등에 따라 터널의 역학적 거동이 상이하므로 세그먼트라이닝의 설계 시 이를 고려해야 한다.

③ 세그먼트라이닝의 설계계산서에는 계산상의 제반 조건, 가정 및 계산과정을 명기해야 한다.

④ 세그먼트라이닝은 강도설계법으로 설계하는 것을 원칙으로 하되, 필요 시 검증된 유사 설계법도 적용할 수 있다.

(2) 세그먼트의 재료 및 종류

① 세그먼트에 사용하는 재료는 한국산업규격(KS)을 표준으로 하되, 무근 및 철근콘크리트에 관해서는「콘크리트 구조설계기준(국토해양부)」및 「콘크리트 표준시방서(국토해양부)」의 규정에 따른다.

② 세그먼트의 종류는 재질에 따라 콘크리트, 강재, 합성(콘크리트+강재 또는 주철) 세그먼트로 분류하고 형상에 따라 상자형, 평판형 세그먼트 등으로 분류하며 세그먼트의 강도, 내구성, 시공성 및 경제성 등을 고려하여 선정해야 한다.

(3) 세그먼트의 구조 및 형상 설계

① 세그먼트의 강도, 구조, 형상 등은 지반조건, 시공법 등을 고려하여 선정해야 한다.

② A ring structure fabricated by bolting box or plate type segment may be considered a ring with the same stiffness, and shall be designed separately according to the material into concrete, steel and composite segment.

③ Dimensions and shape of segment shall be designed considering the use, constructability and cost efficiency.

④ Joint of the segment shall be designed considering the certainty, workability and water tightness as well as the strength and stiffness, and appropriate torque shall be estimated for bolting joint.

⑤ Segment shall be watertight

⑥ Each segment shall have at least one injection hole for uniform backfill injection, and the diameter of the hole shall typically be 50mm but can be determined after considering the material. Size and location of hole when using the hole as the hook shall be determined based on safety and pulling force to self-load.

⑦ When assembling the small steel segment manually, the hook is not required, but the hook shall be designed for handling and assembling for other segments.

⑧ Number and width of tapering shall be designed considering tunnel alignment, ground conditions, auxiliary method, joint stiffness, segment assembly and constructability.

(4) Structural analysis of segment lining

① Structural calculation of segment lining includes a simple method and spring model, and a numerical analysis method and structural calculation are implemented separately for longitudinal section and cross section. The load in each stage during and after construction shall be considered.

② Load in each stage during and after construction shall be considered in the design.

③ Design load for tunnel cross section shall be the load under the most unfavorable conditions.

④ Thrust of jack, vertical and horizontal ground pressure, water pressure, self-load, effect of surcharge load, ground reaction, internal load, load during construction, effect of tunnels in parallel and ground settlement shall be considered when calculating the load on segment lining, and in particular shall be designed to bear the train operation vibration (repeated vibration).

⑤ Load during and after construction and segment structure characteristics shall be considered in the analysis of the longitudinal section.

⑥ Segment section force shall be designed after considering structural characteristics.

⑦ Joint angle of segment shall be designed after considering transfer of section force and efficiency of assembly.

② 상자형 또는 평판형 세그먼트를 볼트이음으로 조립한 링 구조는 강성이 같은 링으로 취급할 수 있으며, 재질에 따라 콘크리트, 강재, 합성세그먼트로 구별하여 설계해야 한다.

③ 세그먼트의 형상치수는 사용목적, 시공성, 경제성을 고려하여 설계해야 한다.

④ 세그먼트의 이음 구조는 소요 강도와 강성을 가짐과 동시에 조립의 확실성, 작업성 및 지수성을 고려하여 설계해야 하며, 볼트 체결방식의 경우 적정 토오크치를 산정해야 한다.

⑤ 세그먼트는 수밀성을 확보하도록 설계한다.

⑥ 뒤채움 주입을 균등하게 행하기 위하여 각 세그먼트에는 1개소 이상의 주입공을 설치하고 주입공의 직경은 사용하는 주입재를 고려하여 결정하나 일반적으로 내경 50mm를 기준으로 하며, 주입공을 고리로 사용하는 경우는 작업성은 물론, 작업의 안전성과 자체 하중에 대한 인발력을 고려하여 주입공의 직경과 위치를 결정해야 한다.

⑦ 소구경의 철제 세그먼트를 손으로 조립하는 경우는 고리를 필요로 하지 않으나 일반 세그먼트에서는 운반, 조립 등을 위하여 고리를 설계해야 한다.

⑧ 테이퍼 링은 터널 선형, 지반조건, 보조공법, 이음의 강성, 세그먼트의 제작성, 시공성 등을 고려하여 그 수와 폭, 테이퍼량을 설계해야 한다.

(4) 세그먼트라이닝의 구조해석

① 세그먼트라이닝의 구조계산방법은 간편법, 스프링모델 및 수치해석법 등이 있으며, 구조계산은 횡단면과 종단면으로 나누어 수행하고, 시공 도중의 각 단계 및 완성 후의 상태에 작용하는 하중을 고려하여 수행해야 한다.

② 터널의 구조계산은 시공도중의 각 단계 및 완성후의 상태에 대응하는 하중을 고려하여 설계한다.

③ 터널 횡단면의 설계하중은 설계의 대상이 되는 터널구간 내의 가장 불리한 조건을 대상으로 결정해야 한다.

④ 세그먼트라이닝에 걸리는 하중 산정 시에는 추진 잭의 추력, 연직 및 수평지반압, 수압, 자중, 상재하중의 영향, 지반반력, 내부하중, 시공 시 하중, 병설터널의 영향, 지반침하의 영향 등을 고려해야 하며 특히 철도 운행진동(반복진동)에 견딜 수 있도록 설계해야 한다.

⑤ 종단면해석 시에는 시공단계 및 완성 후의 하중 상태와 세그먼트의 구조특성 등을 고려해야 한다.

⑥ 세그먼트 단면력은 그 구조특성을 고려하여 설계해야 한다.

⑦ 세그먼트의 이음 각도는 단면력의 전달과 조립 작업성을 고려하여 설계해야 한다.

12.13.8 Pilot tunnel and jacking shaft

(1) Design of pilot tunnel

① Work shaft, exterior tunnel facilities, mucking disposal site and material yard shall be provided near pilot tunnel after considering tunnel size, equipment for excavation method and construction method.

(2) Design of work shaft

① The size and shape of shaft and the construction method shall be determined after considering the use, section of shield TBM and connection to main structure.

(3) Pilot tunnel

① To advance to the tunnel, a pilot tunnel shall be planned, and this is usually excavated manually, including through blasting.

② Diameter of pilot tunnel shall be determined after considering the clearance for TBM and the sum of TBM diameter and a clearance of 300mm shall apply; however, this may be adjusted depending on site conditions.

③ The length of the pilot tunnel is dependent on the type of equipment, and shall be determined after considering the TBM body length requiring the support according to wall face and rock quality.

④ Pilot tunnel shall be planned with wall support by both sides.

(4) Jacking shaft

① Initial advance shall be determined after considering prior ground reinforcement, structure and strength of shield TBM reaction wall, temporary segment disassembly schedule, arrangement of support facilities and muck hauling method.

② Stationary position of shield TBM shall be determined based on TBM center and height, and when TBM is likely to settle due to soft ground, the level shall be adjusted upward.

③ Reaction platform for advancement can be classified into segment type and steel member type, and whichever shall be able to bear the thrust and stiffness shall be secured to prevent deformation.

(5) Assembly yard and muck site

① TBM assembly yard shall have sufficient space for TBM assembly and assembly yard width shall be determined after considering TBM body width and crane operation radius, while assembly yard length shall be determined after considering TBM body length and bogie length. In general, the space required for YBM assembly shall be as follows:

A. Width(B) = TBM body width + crane operation radius

B. Length(L) = TBM body length + bogie length

12.13.8 작업장 및 발진구

(1) 작업장 설계

① TBM 터널의 작업장은 터널공사의 규모, 굴착공법에 따른 기종 선정, 시공법 등을 고려하여 작업구, 터널외부설비, 굴착버력 처리장, 재료적치장 등을 위한 부지를 발진작업구 부근에 확보해야 한다.

(2) 작업구 설계

① 각 작업구의 규모와 형상 및 시공방법은 그 사용목적 및 쉴드TBM의 단면, 본 구조물과의 연결 등을 고려하여 결정해야 한다.

(3) 발진 터널

① TBM의 최초 터널내부로의 진입을 위한 벽면지지용 발진터널을 계획해야 하며, 일반적으로 발파 등 인력굴착방법으로 굴착해야 한다.

② 발진터널의 구경은 TBM이 원활히 진입할 수 있는 여유폭을 감안하여 결정해야 하며 TBM구경과 여유폭 300mm의 합을 표준으로 하되 현장조건에 따라 증감할 수 있다.

③ 발진터널의 길이는 TBM의 기종별 장비사양에 따라 변동이 있으며, 일반적으로 벽면지지가 필요한 TBM 본체의 길이와 암반상태를 감안하여 결정해야 한다.

④ 발진터널은 양쪽 측면에서 TBM의 벽면지지가 가능하도록 벽면지지대를 계획해야 한다.

(4) 발진기지

① 초기굴진은 발진부에 대한 사전 지반개량 여부, 쉴드TBM의 발진반력대의 구조 및 강도, 가설세그먼트의 해체시기, 후방설비의 배치 및 토사의 반출입 방법 등을 고려하여 결정해야 한다.

② 발진시 쉴드TBM의 고정위치는 설계상의 쉴드TBM 중심 및 높이를 기본으로 하여 결정하고, 지반이 연약하여 쉴드TBM 처짐이 예상되는 경우는 위치를 상향 보정하도록 계획해야 한다.

③ 발진에 필요한 반력대 설비는 주로 가조립 세그먼트 방식과 형강을 주재로 하는 설비 등으로 분류할 수 있으나 어떠한 경우든 필요한 추력에 대해 견딜 수 있어야 하고, 유해한 변형을 발생시키는 일이 없도록 필요한 강성을 확보하도록 설계해야 한다.

(5) 조립장 및 버력처리장

① TBM 조립장은 TBM의 조립에 지장이 없도록 필요로 하는 공간이 확보되어야 하며, TBM 조립장의 폭은 TBM 본체의 폭과 크레인 작업폭을, 조립장 길이는 TBM 본체의 길이와 후속대차의 길이를 함께 고려해야 한다. 일반적으로 TBM 조립 시 필요한 공간의 산정은 다음과 같다.

- 조립장 폭(B) = TBM 본체의 폭 + 크레인 작업폭
- 조립장 길이(L) = TBM 본체의 길이 + 후속대차의 길이

② Work space during construction shall be designed considering the following:

A. Layout shall be planned after considering the function and capacity of vent, power facilities, water supply and drainage, cutter shop, rail assembly yard, settlement pond, air supply and other facilities.

B. Muck site and muck hauling equipment yard shall be provided according to the equipment specifications.

C. Muck site shall have sufficient space to accommodate the muck for 2 to 3 days, and loading platform or wall shall be provided

.

12.13.9 Other facilities

(1) Hauling equipment

① TBM tunnel shall have the passage for muck hauling, delivery of equipment and material for TBM operation and emergency evacuation of the workers from tunnel face, and the passage shall remain uninterrupted in any event.

② Mucking equipment shall be planned after considering construction schedule, muck volume, tunnel environment and distance to muck site.

③ Mucking equipment shall be planned to be able to haul all muck to outside the tunnel at a time upon excavation.

④ Mucking shall be planned after considering potential environmental impact.

⑤ Mucking may be carried out using truck, mine car or belt conveyor, and when a tunnel is 3km or longer, it shall be planned to avoid the truck considering the ventilation and turnout space, and will instead use mine car or conveyor system that will reduce the loading and standby time. When using a mine car, a rail switching point shall be provided every 2 to 4 km.

⑥ Belt conveyor width shall be determined after considering muck size, mucking capacity and conveyor speed, and the conveyor gradient shall be designed so as not to exceed 18 ~ 20°.

⑦ When using slurry to enhance the stability of tunnel face and the mucking efficiency, the pressure to maintain the stability of tunnel face shall have the room of 20 ~ 50 kPa for water and earth pressure, and thus relay pump shall be provided appropriately to maintain the pressure.

(2) Ventilation system

The following shall be considered in the design of the ventilation system.

① Ventilation method and equipment in TBM tunnel shall be designed based on the required ventilation.

② 터널굴착 중 작업공간은 다음 사항을 고려하여 설계해야 한다.

가. 환기설비, 수전설비, 급수 및 배수 설비, 커터숍, 레일조립장, 침전지, 급기설비 등 각종 가시설의 기능과 규모를 감안하여 배치계획을 수립해야 한다.

나. 버력운반 장비의 규격에 따라 버력하치장과 버력운반장비의 대기공간을 확보해야 한다.

다. 버력하치장은 최소한 2~3일분의 굴착버력량을 적치할 수 있는 공간을 확보해야 하며, 버력적하가 가능하도록 필요시 석축 또는 옹벽 등을 설치해야 한다.

12.13.9 기타 설비

(1) 운반설비

① TBM 터널은 버력의 원활한 반출, TBM 가동에 필요한 장비 및 부품의 신속한 반입, 반출과 굴진면에서 이상 상황의 발생 시 작업자의 대피 등 즉각적인 대처가 가능하도록 통행로를 항상 확보해야 하며, 어떠한 이유로도 통행로를 차단하는 일이 없도록 설계해야 한다.

② 버력처리를 위한 장비계획은 공사기간, 버력 발생량, 터널 내 작업환경, 버력처리장과의 거리 등을 감안하여 수립해야 한다.

③ 버력 운반장비의 계획 시 가급적 굴착과 동시에 굴착량 전부를 터널 외부로 반출할 수 있는 운반체계로 결정해야 한다.

④ 버력의 외부반출 시 환경문제를 고려하여 사전에 대책을 수립해야 한다.

⑤ 트럭, 광차, 벨트컨베이어를 사용하여 버력처리를 할 수 있으며, 3km 이상의 장대터널의 경우 공사 중 환기량, 교행구간의 설치 등을 고려하여 덤프트럭의 사용을 억제하고, 버력적재 및 대기시간을 최소화하고 TBM 굴진능력을 높이기 위하여 가급적 광차나 고속 컨베이어 시스템을 사용해야 하며, 광차를 사용하는 경우 2~4km마다 교행가능지점(Rail Switching Point)의 설치를 검토해야 한다.

⑥ 벨트컨베이어의 폭은 버력의 최대 입자크기, 버력처리 용량 및 운반속도 등을 고려하고, 벨트의 기울기는 18~20° 를 초과하지 않도록 설계해야 한다.

⑦ 굴진면의 안전유지 및 굴착버력의 배출을 위하여 이수를 사용하는 쉴드TBM의 경우 굴진면의 안정을 유지하기 위한 압력은 수압 및 토압에 대하여 일반적으로 20~50kPa 정도의 여유를 두고 유지해야 하기 때문에 중계 펌프를 적정 위치에 설치하여 압력 저하를 방지하도록 해야 한다.

(2) 환기설비

환기설비 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① TBM 터널에서의 터널 내 환기방법과 설비는 소요환기량을 계산하고 그 결과에 따라 적합한 설계를 해야 한다.

② Required ventilation shall be estimated based on the ventilation required for the maximum number of workers or the ventilation required for dust and ventilation for equipment operation, whichever is greater.

③ Capacity and air pipe diameter shall be determined based on the required ventilation.

④ Ventilation method may be air supply, air exhaust or a combined method considering required ventilation and air pipe diameter.

(3) Power supply system

The following shall be considered in the design of the power supply system.

① It shall be planned after considering both the requirements for TBM and for other ancillary equipments.

② The power for TBM main equipment shall be supplied by connecting a high voltage cable at intervals of 200m along the advance of TBM.

③ To supply the power for ancillary equipment and other temporary facilities in tunnel, transformer shall be provided every 800 ~ 1,000 m in preparation for power loss or voltage drop.

(4) Water supply and drainage

The following shall be considered in the design of water supply and drainage.

① Water supply shall be designed considering the demand, and pump and pipe shall be determined based on demand.

② The demand for TBM shall be estimated by adding the demand for TBM cutter, support and other equipments.

③ Pump power and water pipe diameter shall be determined to maintain the required pressure at TBM head.

④ Drainage shall be able to accommodate the water discharged by TBM and groundwater in tunnel, and extra capacity shall be considered in the design in preparation for unexpected effluent from groundwater.

⑤ Required drainage shall be estimated by considering natural spring water, water discharged by TBM and support and other equipment.

⑥ Pump power and water pipe diameter shall be determined based on the required drainage.

⑦ Pump shall be provided every 400 ~ 500 m in a long tunnel for drainage.

(5) Settlement pond

The following shall be considered in the design of settlement pond.

① The capacity and shape of settlement pond shall be designed based on tunnel drainage capacity, and rational water quality and environment protection measures shall be established.

② 소요환기량은 터널내 최대 작업원에 대하여 필요한 소요환기량, 분진에 의한 소요환기량, 터널내 장비운용에 따른 소요환기량과 기타 소요환기량 중 가장 큰 환기량으로 산정해야 한다.

③ 소요환기량에 따라 환기 팬의 용량과 풍관의 구경을 결정해야 한다.

④ 환기방법은 소요환기량과 풍관의 구경에 따라 터널 내 배치공간을 감안하여 송기식, 배기식, 송배기식 중 적합한 환기방법을 적용해야 한다.

(3) 수전설비

수전설비 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 수전설비는 TBM의 전력소요량과 기타 부속설비에 필요한 전력소요량을 합산하여 계획해야 한다.

② TBM 본체용 전력공급은 TBM 굴진에 따라 고압케이블을 100~200m 마다 연결하도록 계획해야 한다.

③ 후속설비 및 터널내부 가시설용 전력공급은 터널의 길이에 따라 발생하는 선로손실 및 전압강하를 감안하여 800~1,000m 마다 변압기를 설치하도록 계획해야 한다.

(4) 급수 및 배수 설비

급수 및 배수 설비 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 급수설비는 소요되는 급수량을 고려하여 설계해야 하며 소요급수량에 따라 급수펌프의 동력 및 급수관의 구경을 결정해야 한다.

② 소요급수량은 TBM 커터에 필요한 소요급수량, 지보재설치에 따른 소요급수량과 기타 소요급수량을 모두 합하여 산정해야 한다.

③ 급수펌프의 동력과 급수관 구경은 TBM 헤드에서의 소요압력이 유지될 수 있도록 결정해야 한다.

④ 배수설비는 TBM에 공급된 용수 중 퇴수되는 양과 터널내의 지하수 용수량을 배수할 수 있도록 하며, 지하수맥의 존재로 다량의 지하수가 존재할 경우 등의 예측하지 못한 출수에 대비하여 예비 배수설비를 계획하여 설계해야 한다.

⑤ 소요배수량은 자연용수량, TBM 퇴수량, 지보재설치에 따른 퇴수량과 기타 퇴수량 및 비상시 퇴수량을 모두 합하여 산정해야 한다.

⑥ 소요배수량에 따라 급수펌프의 동력과 급수관의 구경을 결정해야 한다.

⑦ 장대터널에서는 TBM 굴진에 따라 400~500m 간격을 기준으로 펌프를 설치하여 배수시켜야 한다.

(5) 침전설비

침전설비 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 침전설비는 터널 내의 배수용량에 따라 침전조의 규모 및 형태를 결정하고, 합리적인 수질 및 환경보호대책을 수립해야 한다.

② Given that the water generated from the TBM method is in a colloid solution state mixed with stone dust which is not discharged by itself, it shall be settled at the pond using aluminum sulfate before discharging.

(6) Emergency air supply system

The following shall be considered in the design of the system.

① Emergency air supply system shall be provided in preparation for an emergency situation.

② Air compressor and duct capacity and size shall be determined based on a capacity of 8 to 15 persons.

(7) Slurry treatment facilities

① For slurry shield TBM, slurry treatment facilities shall be secured.

② A plant to dispose of slurry by stage shall be provided to prevent groundwater, surface water and seawater pollution, and in this process, sludge shall be separated from the water for disposal at the dump site while the wastewater may be discharged after adjusting the pH or recycled at the tunnel face.

③ The capacity of the slurry treatment plant shall be sufficient to follow the maximum advance rate of TBM, and extra stabilizer liquid shall be available in the event of an emergency.

④ Slurry treatment plant shall have an automatic system to measure pH, turbidity of treated water and drainage in order to meet the environmental requirements.

(8) Mucking equipment

The following shall be considered in the design of mucking equipment.

① Mucking equipment shall be designed considering tunnel section size, length and slope for most efficient mucking.

② Muck hauling may be planned based on the track method using locomotive and mine car, belt conveyor method and dump truck, which shall be determined after considering tunnel size, length, construction schedule, muck volume, work environment and distance to dump site.

③ Generally, hauling using motor car and mine car is more favorable in a small tunnel, while truck is commonly used in a long tunnel, but as the tunnel is extended farther, mucking must be carried out considering the environment and safety.

④ Mucking and hauling shall be carried out in a manner that avoids damage to the support or temporary facilities installed in tunnel.

⑤ Equipment with the capacity to haul the entire quantity at once during excavation shall be used.

② TBM 굴진 시는 발파공법에 의한 굴착에 비해 작업용수와 혼합된 석분의 배출상태가 직접배수하기 곤란한 콜로이드 상태이므로 침전설비를 반드시 설계하여 황산알루미늄을 투입, 응집시킨 후 배출해야 한다.

(6) 비상급기설비

비상급기설비 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 비상급기설비는 터널작업 시 낙반사고 등 터널이 매몰될 경우를 대비하여 계획해야 한다.

② 비상급기설비는 터널연장 및 대피인원 8~15명을 기준으로 공기압축기의 용량 및 급기관의 구경을 결정해야 한다.

(7) 이수처리설비

① 이수식 쉴드TBM인 경우는 이수처리 설비장의 부지를 확보해야 한다.

② 이수식 쉴드TBM 적용 시에는 지하수, 지표수, 해수의 오염을 방지하도록 몇 차에 나누어 처리되는 플랜트를 설계해야 한다. 이 경우 반드시 슬러지와 상급수를 분리하여 슬러지는 사토 처리해야 하며, 상급수는 pH 조정 후 최종 방류하거나 굴진면에 재유입하여 재사용하도록 해야 한다.

③ 이수처리 플랜트설계 시에는 쉴드TBM의 최대 굴진속도를 보장할 수 있는 처리용량을 확보해야 하며, 긴급 상황에 대처할 수 있게 필요로 하는 예비 안정액을 확보해야 한다.

④ 이수처리 플랜트에서 배출하는 처리수는 하천수질환경기준에 따른 배출허용기준을 만족하기 위하여 pH, 탁도, 배수량을 측정하고 자동 기록하는 시스템을 갖추도록 해야 한다.

(8) 버력처리설비

버력처리설비 설계 시에는 다음사항을 고려해야 한다.

① 터널 내 버력처리설비는 터널의 단면크기, 연장, 기울기 등을 감안하여 버력처리를 가장 효율적으로 할 수 있도록 설계해야 한다.

② 터널 내 버력운반은 기관차와 광차를 이용하는 궤도방법, 벨트 컨베이어 방법, 덤프트럭 이용방법 등이 있으며 터널의 크기, 연장, 공사기간, 버력 발생량, 터널 내부의 작업환경, 사토장위치 및 운반거리 등을 감안하여 결정해야 한다.

③ 일반적으로 소구경 터널의 경우는 광차와 기관차를 사용하여 반출하는 것이 유리하며, 대구경 터널에서는 덤프트럭을 사용하나 터널연장이 길어지면 터널 내 작업환경, 안전성 등을 고려하여 버력처리방법을 결정해야 한다.

④ 버력적재 및 운반 시는 기설치된 지보재, 가설시설 등을 손상시키지 않도록 설계해야 한다.

⑤ 장비는 가급적 굴착과 동시에 굴착량 전부를 터널외부로 반출할 수 있는 운반체계로 해야 한다.

12.13.10 Design of backfill material

(1) Material

Backfill material to be filled in the void behind segment shall be designed considering the following:

① Backfill materials include cement mortar, expanded mortar, lightweight aerated mortar, fiber-mixed mortar, plastic material and ballast, and shall be selected after considering ground conditions, type of shield TBM and material properties.

② Backfill material shall be materials that are not vulnerable to segregation such as bleeding, reduction in volume during the hardening process, loss of fluidity, and must maintain uniform early strength greater than the design strength, with high water tightness and no environmental impact.

(2) Injection method

The following shall be considered in the design of the injection method.

① Injection at the sides upon jacking TBM, injection to segment injection hole along with jacking and injection whenever one segment is completed, which shall be determined after considering the type of TBM and ground conditions.

② Backfill injection method is appropriate for small section tunnel but simultaneous injection to constrain the settlement due to tail void is recommended for a large section tunnel.

③ Backfill injection pressure shall be larger than external pressure on segment by 0.1～0.2MPa in order to fill void behind the segment completely.

④ Backfill material volume shall be designed after considering the size of tail void, the penetratability of material into the ground, the permeability of the ground and overbreak.

12.13.11 Waterproof design

(1) Selection of waterproofing method

① Waterproof design shall be applied to segment joint and injection hole to ensure segment lining will bear the groundwater pressure.

② It shall be determined after considering the use of the tunnel and the environment.

③ Waterproofing methods include sealing, caulking and bolting, and these may be combined in the design depending on the use of the tunnel and ground conditions.

12.13.10 뒤채움 주입재의 설계

(1) 주입재료

세그먼트 배면공극에 주입하는 뒤채움 주입재료는 다음 사항을 고려하여 설계해야 한다.

① 뒤채움 주입재료에는 시멘트 모르타르, 발포성 모르타르, 경량기포 모르타르, 섬유혼합 모르타르, 가소성 주입재, 자갈 등 여러 가지가 있으며, 지반조건, 쉴드TBM형식, 주입재 특성 등을 고려하여 가장 적합한 재료를 선정해야 한다.

② 뒤채움 주입재료는 블리딩(Bleeding) 등의 재료분리를 일으키지 않고 유동성을 잃지 않는 재료, 주입 후의 경화현상 등에 따라 용적감소나 용탈이 적은 재료, 지반강도에 상당하는 균일한 강도를 조기에 얻을 수 있고 설계강도 이상을 발휘할 수 있는 재료, 수밀성이 뛰어난 재료, 주변환경에 영향이 없는 무공해 재료로 선정해야 한다.

(2) 뒤채움 주입방법

뒤채움 주입방법 설계 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

① 뒤채움 주입방법은 쉴드TBM장비 측면에서 추진과 동시에 주입하는 동시주입방법, 세그먼트 주입공에서 추진에 맞춰 주입하는 반동시주입방법, 1개 세그먼트링 설치 완료시 마다 주입하는 즉시주입방법이 있으며 쉴드TBM 기종과 현장 지반조건 등을 고려하여 설계해야 한다.

② 소형단면에서는 쉴드TBM의 특성과 적용 조건에 적합한 뒤채움 주입방식을 선정하되, 대형단면에서는 테일 보이드에 의한 지반침하를 억제하기 위하여 동시주입을 계획해야 한다.

③ 뒤채움 주입압은 세그먼트 배면을 완전히 충전시킬 수 있도록 세그먼트에 작용하는 외압보다 0.1～0.2MPa 정도 큰 압력으로 설계해야 한다.

④ 뒤채움 주입량은 쉴드TBM 후미의 공극크기, 주입재의 지반에 대한 침투성, 지반의 투수성, 여굴 등을 고려하여 설계해야 한다.

12.13.11 방수설계

(1) 방수방법의 선정

① 세그먼트라이닝은 지하수압에 견딜 수 있고 방수가 될 수 있도록 반드시 세그먼트 사이의 이음부, 뒤채움 주입구 등에 방수설계를 해야 한다.

② 방수방법의 선정 시에는 쉴드TBM 터널의 사용목적과 작업환경에 적합한 방법을 선정해야 한다.

③ 방수는 실(Seal), 코킹, 볼트 등이 있으며, 사용목적과 현장여건에 부합하도록 한 가지 또는 여러 가지의 방법을 조합하여 설계할 수 있다.

(2) Waterproofing material and properties

① Sealing materials include synthetic rubber, composite rubber and water-swelling rubber, and appropriate sealing materials shall be selected after considering water tightness, durability, compressibility, stability and workability.

② Caulking materials include epoxy, chioglycolic and urea resin, and appropriate caulking materials shall be selected after considering site conditions.

12.13.12 Design of concrete lining

(1) Design general

① Concrete lining (2nd lining) design shall be in accordance with 「12.6 Concrete Lining」 in principle; however, this may be adjusted depending on site conditions; for shield TBM using segment, type and characteristics of segment and joint between segment and concrete lining shall also be considered in the design.

(2) Thickness and stability

① Thickness shall be determined after considering the use of the tunnel, constructability and safety, but shall be at least 150mm.

② When using concrete lining as the structure, section force and stress shall be calculated considering the load on concrete lining and the structural characteristics of segment to ensure the stability.

③ For shield TBM using segment, concrete lining may not be implemented after providing waterproofing as needed.

12.14 Ventilation and lighting

12.14.1 Ventilation facilities

(1) Design general

① Ventilation facilities to dispose of pollutants and heat generated by trains shall be provided to maintain the proper air quality and environment.

② Ventilation facilities shall be designed based on required ventilation considering tunnel size and train, and shall be installed when natural ventilation is not expected.

③ Ventilation facilities shall be designed and used for smoke control in the event of a fire.

④ Aspects of the ventilation facilities not specified in this clause shall be in accordance with 「Tunnel Design Criteria (MOLIMA)」.

(2) Design of ventilation

① Carbon monoxide, nitrogen oxide and dust are the pollutants expected from the train in the tunnel, and thus a ventilation system to maintain the pollution below a certain level shall be provided.

(2) 방수재료 및 특성

① 실(Seal)재는 합성고무계, 복합고무계, 수팽창 고무계 등이 있으며, 현장조건을 고려하여 수밀성, 내구성, 압착성, 복원성, 시공성 등이 우수한 재료를 선택하여 설계해야 한다.

② 코킹재는 에폭시, 치오클계, 요소수지계 등의 재료가 있으며, 현장조건을 고려하여 적합한 재료를 설계해야 한다.

12.13.12 콘크리트라이닝의 설계

(1) 설계일반

① 콘크리트라이닝(2차 라이닝) 설계는 「12.6 콘크리트라이닝」을 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있으며. 특히 세그먼트를 사용하는 쉴드TBM에서는 세그먼트의 종류와 특성, 세그먼트와 콘크리트라이닝의 접합 상황 등도 콘크리트라이닝의 설계 시 고려해야 한다.

(2) 두께 및 안정성

① 콘크리트라이닝의 두께는 터널의 사용목적, 시공성 및 안전성을 고려하여 결정해야 하나 최소한 150mm 이상이 되도록 해야 한다.

② 콘크리트라이닝을 구조체로 이용하는 경우는 콘크리트라이닝에 작용하는 하중 및 세그먼트의 구조특성을 고려하여 단면력 및 응력을 계산하여 안정성을 확보해야 한다.

③ 세그먼트라이닝을 설치하는 쉴드TBM의 경우는 필요에 따라 방수처리 등 제반 조치 후 콘크리트라이닝을 생략할 수 있다.

12.14 환기 및 조명 설비

12.14.1 환기설비

(1) 설계일반

① 터널을 통과하는 차량 열차에 의해서 발생하는 오염물질 및 발생열을 처리하여 공기질 및 열환경을 유지할 수 있도록 환기설비를 계획해야 한다.

② 환기설비는 터널제원과 통과열차의 특성을 고려하여 소요환기량을 검토하고 자연환기가 불가능한 경우에 설치해야 한다.

③ 환기설비는 터널화재 시 제연 또는 배연설비를 겸할 수 있으며, 환기설비계획 시에는 이를 고려하여 계획해야 한다.

④ 이 기준에 기재되지 않은 사항은 「터널설계기준(국토해양부)」에 의해서 설계해야 한다.

(2) 환기설계

① 오염물질 배출열차가 운행되는 경우에는 호흡과 관련된 일산화탄소, 질소산화물, 분진을 환기대상 오염물질로 하며, 터널환경을 허용농도 이하로 유지할 수 있도록 환기설비를 계획해야 한다.

② The temperature in the tunnel shall be maintained at certain level regardless of the heat generated from the train, air conditioner, lighting and other heat generator.

③ Plans shall be made to prevent the ear pain caused by air pressure while the train runs in the tunnel.

④ Ventilation facilities shall be designed to provide a safe evacuation environment in the event of an emergency, as well as for smoke control and exhaust.

⑤ The capacity and type of ventilation system shall be determined after considering the above factors and comparing with natural ventilation according to the train to make it safe and cost efficient.

12.14.2 Lighting facilities

(1) Tunnel length for railway tunnel lighting system shall be based on the table below.

Type	straight	≥ R = 600	< R = 600
Single	≥ 120 m	≥ 100 m	≥ 80 m
Double	≥ 150 m	≥ 130 m	≥ 110 m
HSR	≥ 200 m	≥ 200 m	-

(2) Lighting shall be installed at a level that does not interfere with the signal, and in principle shall be at a height of 1.8 ~ 2.0 m (HSR 2.5 m) from the floor, switch box at 1.2 m from the floor, outlet at 0.5m from the floor and exit sign at 0.5 m from the floor; however, this may be adjusted depending on site conditions. Interval between light fixtures shall be 10 m (HSR 20 m); however, this may be adjusted depending on the light source. Interval of adaptational lighting shall be from 10m to 150m in an HSR tunnel longer than 500 m, and from 7 m to 70 m in a traditional tunnel longer than 250 m.

(3) Mean general luminance shall be 10 lux based on horizontal track level.

(4) General illumination shall use white fluorescent lamp 32 W or tunnel lamp (high-pressure sodium lamp, metal haloids lamp, electrodeless lamp, LED lamp) and when using the relighting lamp, instantaneous relighting lamp shall be considered and shall be designed to withstand train-generated vibration and wind pressure, and shall be acid, alkali and moisture-resistant.

(5) Lighting for shelter shall be general illumination white fluorescent lamp 32W or tunnel lamp (high-pressure sodium lamp, metal haloids lamp, electrodeless lamp, LED lamp) and 1 lamp shall be used for a medium & small shelter while 2 lamps shall be used for a large shelter; a small shelter may use general illumination.

② 열차의 주행, 차량 냉방기기, 조명, 일체의 발열 등에 의해 상승되는 터널내의 온도가 일정온도 이상을 초과하지 않도록 터널 내 온도를 제어 하기 위한 환기량 이상을 확보하도록 한다.

③ 열차가 터널을 주행할 때 공기압변동에 의한 이명현상이 발생하지 않도록 계획해야 한다.

④ 환기설비가 설치될 경우에는 비상 시 승객의 안전한 대피환경을 제공하고 발생매연을 신속하게 배출할 수 있도록 환기설비는 제연 및 배연을 고려하여 계획해야 한다.

⑤ 상기 환기요소인자를 검토, 분석하고 열차의 교통환기력에 의한 자연 환기량을 산출한 결과와 비교하여 경제적이고 신뢰성이 높은 환기방식 및 기기용량, 규모 등을 결정해야 한다.

12.14.2 조명설비

(1) 철도터널의 조명등 부하설비를 하는 터널의 길이는 다음 표에 의한다.

종 별	직 선	R=600 이상	R=600 미만
단선터널	120m 이상	100m 이상	80m 이상
복선터널	150m 이상	130m 이상	110m 이상
고속철도 터널	200m 이상	200m 이상	-

(2) 조명기구의 시설위치는 신호기의 투시에 지장을 주지 아니하는 개소로 선정하되 조명기구의 설치 높이는 바닥면상 1.8~2.0m(고속철도 2.5m), 조작함은 1.2m, 콘센트는 0.5m, 유도등은 0.5m를 표준으로 하되 현장조건에 따라 증감할 수 있다. 조명기구의 설치간격은 10m(고속철도 20m)를 표준으로 하되 광원에 따라 간격을 달리할 수 있다. 완화조명을 위하여 고속철도 500m 이상의 터널은 150m까지 10m 간격, 일반철도 250m 이상의 터널은 70m 까지는 7m 간격으로 설치한다.

(3) 전반조명의 소요 평균조도는 터널 바닥면을 기준으로 하여 5럭스(Lux)이상으로 해야 한다.

(4) 전반조명은 백색 형광램프 32W, 또는 터널등(고압나트륨, 메탈할라이드, 무전극램프, LED램프 등) 등을 사용하되 재점등 시간이 긴 전구를 시설할 경우에는 순시 점등형 전구를 고려하고 조명기구는 열차 통과에 의한 진동 및 풍압과 함께 산, 알칼리, 수분 등에 견디는 터널용으로 설계해야 한다.

(5) 대피소 내의 조명은 전반조명과 동일형상의 형광등 32W, 또는 터널등(고압나트륨, 메탈할라이드, 무전극 램프, LED램프 등)을 사용하고 중·소형 대피소는 1등, 대형 대피소는 2등으로 해야 한다. 다만 소형 대피소는 터널 전반조명과 공용한다.

12.14.3 Ventilation during construction

(1) It shall be estimated considering tunnel length, construction method and the following:
  ① Ventilation to supply the fresh air required by workers in tunnel
  ② Ventilation to expel harmful gas after blasting
  ③ Ventilation to expel contaminated gas produced by an internal combustion engine
  ④ Ventilation to dispose of dust
(2) Total requirements shall be the greater of those required for several activities.
(3) Ventilation for workers shall be based on 3 ㎥/min/person.
(4) Harmful gas per 1kg of explosives may be based on common practice, but shall refer to data from the manufacturer.
(5) Harmful gas per 1kg from internal-combustion engine may be based on common practice, but shall refer to data from the manufacturer.
(6) The dust generated from shotcrete shall be based on 25 mg/㎥.
(7) Allowance of harmful gas and dust in tunnel during construction shall be in accordance with the relevant environment law.
(8) When harmful gas or combustible gas is generated in a tunnel during construction, the monitoring of such gas shall be performed for ventilation.

12.14.4 Lighting during construction

(1) Lighting is classified into temporary and local lighting at the work site, and long-term and broad lighting at non-work sites such as passages.
(2) Required luminance shall be secured at the work site such as tunnel face, and multiple lamps shall be used to maintain 70 lux or more without causing a difference in luminance.
(3) Luminance at a non-work place in the middle of tunnel shall be maintained at 50 lux, and portal or vertical shaft shall be 30 lux or more.
(4) Lighting fixtures in tunnel shall be water-resistant and protected from water to prevent current leakage.
(5) Power board or switchboard shall be equipped with a flash signal to protect against construction vehicles.

12.14.3 공사 중 환기설비

(1) 터널연장 및 시공방식을 고려하여 산정해야 하며, 환기량은 다음의 필요 환기량을 고려하여 산정해야 한다.
① 터널 내 작업원이 필요로 하는 신선공기공급을 위한 환기량
② 발파 후 발생하는 유해가스 처리를 위한 필요 환기량
③ 내연기관의 가동을 위한 공기공급 및 기관에서 발생하는 오염가스처리를 위한 환기량
④ 분진처리를 위한 환기량

(2) 총 소요환기량은 병행작업이 예상되는 공종의 환기량 합량에서 가장 큰 환기량을 적용해야 한다.

(3) 터널 내 작업원이 필요로 하는 환기량은 3㎥/분/인을 기준으로 해야 한다.

(4) 폭약 1kg당의 환기대상 유해가스 발생량은 일반적인 기준을 적용할 수 있으나 해당터널에서 사용은 폭약의 제조업체가 제시한 기준을 적용해야 한다.

(5) 내연기관의 유해가스 발생량은 일반적인 기준을 적용할 수 있으나 해당터널에서 사용하는 장비제조업체가 제시한 표준 배출량을 적용하고 엔진 출력당 배출에 관한 기준을 적용할 수 있다.

(6) 숏크리트 타설로 인한 분진 발생량은 25mg/㎥을 적용해야 한다.

(7) 터널 공사 중의 유해가스 및 분진 허용농도는 근로환경 관계법규에 제시된 기준치를 만족하도록 한다.

(8) 공사 중 터널에서 유해가스나 가연성가스가 발생하는 경우, 유해가스에 의한 인명사고 및 가연성가스의 폭발 방지를 위해 터널 내 지반에서 나오는 가스 발생 유무를 측정 감시해야 하며, 이를 고려한 환기를 수행해야 한다.

12.14.4 공사 중 조명설비

(1) 조명은 직접작업이 이루어지는 작업장에 일시적 및 국소적인 조명과, 작업이 이루어지지 않는 통로 등에 장기적 및 광역적인 조명으로 구분하여 설계해야 한다.

(2) 굴진면과 같이 직접작업이 이루어지는 장소는 필요로 하는 조도를 확보할 수 있도록 하며, 밝고 어두운 차이가 심하지 않도록 여러 개의 조명기구를 사용하여 70럭스(Lux) 이상의 조도를 확보할 수 있도록 한다.

(3) 작업이 이루어지지 않는 터널 중간 구간은 50럭스(Lux) 이상, 터널 입출구부나 연직갱 구간의 조도는 30럭스(Lux) 이상의 조도를 확보해야 한다.

(4) 터널 내에 사용하는 조명기구는 습기에 강하고 누전이 되지 않는 방수형 보호장치를 부착한 기구로 해야 한다.

(5) 작업에 필요한 수전반, 분기전 등에는 점멸등을 설치하여 작업차량에 의한 손상이 발생되지 않도록 해야 한다.

12.14.5 Drainage during construction

(1) Spring water in tunnel is classified into normal spring water and concentrated spring water, and the measure for normal spring water shall be planned after considering tunnel size, depth, scale of leaked layer and permeability, while for concentrated spring water the scale shall be determined after considering the possibility (usually spring water from average rock is 0.5 ~ 1.5 ㎥/min per km).

(2) When planned as an upward slope, a division channel shall be provided based on natural drainage, and when planned as a downward slope, it shall be gathered to tunnel face and drained by relay pumps. The number of pumps shall be determined based on the capacity and head of fluid.

(3) The power provided for pumps shall consider the need for generator and spare pump.

(4) Section area of drainage pipe and the capacity of pumps shall be planned to be double the expected requirements in preparation for influent water through vertical shaft and inclined shafts.

(5) Water examination of drained water is required when using it for construction.

12.15 Disaster prevention facilities

12.15.1 Objective

(1) The purpose of this provision is to define the standard for safe evacuation of the passengers and crew members in an emergency in order to mitigate damages and enhance safety.

12.15.2 Scope of application

(1) This standard shall apply to plan, investigation, design and construction of railway tunnel, including both electrified and non-electrified railway sections.

(2) The life safety system for a railway tunnel longer than 1 km shall be planned based on safety analysis according to 「Railroad facility detail safety standard」, and the safety analysis shall be implemented based on objective and proven procedures and data.

(3) When disaster prevention requirements are considered insufficient for a tunnel longer than 15 km, supplementary measures shall be provided.

(4) Urban railway tunnel, under-river or undersea tunnel, underground platform, freight train-only tunnel or tunnels with very low operation frequency may be excluded from this standard.

(5) Items not specified in this standard may be based on relevant domestic law or the latest foreign laws that are commonly applied, or determined through consultation with the relevant agencies.

12.14.5 공사 중 배수설비

(1) 터널내 용수는 정상적인 용수와 집중용수로 구분할 수 있으며 정상적인 용수는 터널이 관통하는 크기, 터널의 심도 위치, 누수층의 규모, 투수성을 고려하여 계획해야 하며, 집중용수는 설계 시 집중용수의 가능성을 결정하여 그 규모를 고려한다.(보통의 암반상태에서의 용수의 발생량은 1km당 0.5~1.5㎥/분 정도이다.)

(2) 오르막 기울기로 계획하는 경우는 자연유하를 기준으로 하지만 가배수로를 설치하고, 내리막 기울기로 계획하는 경우는 막장 부근에 물을 모아 수중펌프로 배수해야 한다. 터널연장이 긴 경우는 중계펌프를 두어 배수하며, 펌프대수는 용량 및 양정을 고려한다.

(3) 펌프 전원은 비상시를 대비하여 자가발전설비와 예비펌프를 고려한다.

(4) 배수관의 단면적이나 펌프의 능력은 터널 공사시 용출수 이외에 예상치 않은 대용수 또는 경사갱, 연직갱 및 기타 지선터널에서 물이 유입하는 경우를 고려하여 배수관의 단면적이나 펌프의 능력은 2배 정도의 여유를 두어 계획한다.

(5) 배수된 물은 갱내의 급수원으로 사용하는 경우에는 사용용도에 적합하도록 수질조사를 실시한다.

12.15 방재설비

12.15.1 목적

(1) 이 기준은 철도 터널의 계획, 조사, 설계를 수행하는데 있어서 터널 내 열차의 화재 등 비상사태를 대비하여 승객과 승무원들이 안전하게 대피·구조될 수 있도록 시설물의 규모 등 기준을 설정하고, 비상사태가 발생될 경우 그 피해를 최소화 할 수 있는 사고경감방안을 수립하여 이에 따른 안전성을 제고시키는데 그 목적이 있다.

12.15.2 적용범위

(1) 이 기준은 신규 철도터널의 계획, 조사, 설계 및 시공에 적용하며 전철화 및 비전철화 구간을 모두 포함한다.

(2) 연장 1km 이상인 철도 터널의 방재시설은 「철도시설의 기술기준」에서 정하는 안전성 분석을 수행하여 계획하며, 안전성 분석은 객관성 및 신뢰성이 검증된 세부절차 및 자료에 근거하여 수행해야 한다.

(3) 본선터널의 길이가 15km 이상인 터널에서 이 기준의 방재 요구조건이 미흡하다고 판단되는 경우에는 해당 터널의 특성에 적합한 별도의 대책을 수립해야 한다.

(4) 도시철도 구간의 터널, 하저 또는 해저 터널, 지하승강장 구간, 화물열차 전용터널 및 열차운행계획에 따라 여객열차의 운행빈도가 매우 적게 계획된 터널은 본 기준 적용에서 제외한다.

(5) 본 기준에서 규정하지 아니한 사항은 필요에 따라 국내관련 법규 또는 국제적으로 통용되고 있는 최신의 외국 관련법규를 준용하거나 관계기관과 협의하여 정할 수 있다.

12.15.3 Relevant laws and references

(1) Applicable laws

① Railroad Construction Law

② Railroad Business Law

③ Railroad Safety Law

④ Special Law on safety management of facilities

(2) References

① Regulation on railroad facility safety standard

② Detailed safety standard for railroad facilities

③ Regulation for safety of railroad vehicles

④ Guideline for safety of railroad vehicles

12.15.4 General design and disaster prevention facility plan

(1) Tunnel safety shall prioritize accident prevention, evacuation facilities shall be provided for passengers and crew members in an emergency and facilities for rescue and fire-fighting shall be provided.

(2) A training program shall be established for persons responsible for facility management, and regular training shall be carried out to ensure an appropriate response to an emergency situation.

(3) In the event of a train fire in a tunnel, the train shall escape from the tunnel if possible and the design shall be made considering such case.

(4) A measure to prevent another train from entering into the tunnel when a train with a fire stops in a tunnel shall be incorporated into the design.

(5) Life safety facilities shall be developed considering interlocking and compatibility with other facilities.

(6) The material of signal and electrical facilities in tunnel shall be fire-resistant, vibration-resistant and wear-resistant.

(7) Tunnel life safety system shall be planned after comprehensively considering tunnel specifications, train and operation conditions, and shall be in accordance with 「Regulation on railroad facility safety standard」 and 「Regulation on railroad facility safety standard」.

(8) The tunnel life safety system shall be planned by classifying its facilities into accident prevention facility, accident damage mitigation facility, evacuation facility and rescue facility.

12.15.3 관계법령 및 참고기준

(1) 관계법령

① 철도건설법

② 철도사업법

③ 철도안전법

④ 시설물 안전관리에 관한 특별법

(2) 참고기준

① 철도시설의 기술기준

② 철도차량 안전기준에 관한 규칙

③ 철도차량 안전기준에 관한 지침

12.15.4 설계일반 및 방재시설 계획

(1) 터널방재는 사고가 발생되지 않도록 사고예방을 가장 우선적으로 고려해야 하며, 비상사태가 발생되었을 때에는 승객 및 승무원들이 안전하게 대피할 수 있는 대피시설이 구비되어야 하며, 최종적으로 구조 및 소방활동을 원활하게 수행할 수 있는 시설 및 설비가 구축되어 안전수준이 확보되어야 한다.

(2) 사고예방을 위해 터널 방재시설 관리자에 대한 교육 및 훈련계획을 반드시 수립하고 정기적으로 교육훈련을 실시하여 비상시 대응능력을 갖출 수 있도록 해야 한다.

(3) 터널 내에 운행 중인 차량에서 화재가 발생할 경우에는 열차의 운행이 가능한 경우에는 차량으로 신속하게 터널외부로 탈출시켜야 하며, 이를 고려하여 계획해야 한다.

(4) 화재의 차량이 터널내부에 정차하게 되는 경우에 대비하여 다른 차량이 외부로부터 사고터널 내부로 들어가지 못하도록 하는 제반조치를 계획해야 한다.

(5) 방재시설은 시설상호간의 연동 및 호환성을 고려하여 설계해야 한다.

(6) 터널 내부에 설치되는 신호, 전기 등의 시설물은 내화성, 내진성, 내구성이 만족되는 자재를 사용하여 방재시설을 구축해야 한다.

(7) 터널의 방재시설은 터널제원, 열차의 종류 및 운행 조건, 통행방식 등을 고려하여 종합적으로 검토하여 「철도시설의 기술기준」에 준하여 계획해야 한다.

(8) 터널에 대한 방재 대책으로 사고예방 시설물대책, 사고피해감소 시설물대책, 대피촉진 시설물대책, 구조촉진 시설물대책으로 구분하여 계획한다.

12.16 Seismic design

12.16.1 Seismic design general

(1) Tunnel seismic design shall be configured to minimize injury and property damage caused by loss of structure function.

(2) Seismic design shall be developed to meet the low and medium level of domestic earthquake characteristics.

(3) Seismic design in principle shall be applied to open-cut tunnel only, not boring tunnel, except in the following cases for safety purposes.

① Portal or connection of the tunnel with thin top soil and soft ground

② Section where uneven pressure occurs due to unstable portal slope

③ Section passing through a large fault or fractured zone

④ Tunnel in ground with potential for liquefaction

12.16.2 Performance-based seismic design

(1) Seismic design of railway tunnel allows for a certain level of structural damage which could be restored by emergency repair without total collapse, and seismic design shall be carried out when the cases meet the requirements in 「12.16.1 (3)」.

(2) Railway tunnel shall be designed as category 1 or 2 according to 「2.4.4 Seismic Design」.

(3) Design shall be developed using an analysis method that considers the structure response as equivalent linear response or non-linear behavioral characteristics.

12.16.3 Seismic design method

(1) Tunnel seismic design shall be carried out through the following procedure.

① Determination of seismic classification depending on the importance of tunnel

② Geotechnical investigation and evaluation of potential liquefaction at the site

③ Seismic stability analysis method depending on classification

④ Estimate of design earthquake factor

⑤ Review of seismic stability

⑥ Design of section

(2) Ground properties for tunnel seismic design shall be obtained and determined through geotechnical investigation and lab test.

(3) Base ground shall in principle be a solid rock layer with average shear wave velocity of 760 m/sec or more; however, this may be adjusted depending on site conditions. When base ground is significantly deeper than tunnel level, standard design response spectrum may be used.

12.16 내진설계

12.16.1 내진설계 일반

(1) 터널의 내진설계는 지진 시 구조물의 기능 마비로 인한 사회적 간접피해 및 재산피해를 최소화해야 한다.

(2) 내진설계 시 국내의 중약지진특성에 맞는 설계지진규모를 반영하도록 한다.

(3) 개착터널이 아닌 굴착터널에 대하여는 내진설계를 수행하지 않는 것을 원칙으로 하나, 다음의 경우에는 터널의 안정성 증진을 위하여 내진설계를 수행해야 한다.

① 토피가 작고 지반이 연약한 터널의 갱구부 및 주요 접속부

② 갱구부 사면의 불안정에 따른 편압 발생구간

③ 대규모 단층대 및 파쇄대 통과구간

④ 액상화가 우려되는 연약지반 내 터널구간

12.16.2 성능수준에 기초한 내진설계

(1) 철도터널의 내진설계는 설계지진하중 발생 후 터널에 붕괴가 발생하지 않는 정도의 제한적인 구조적 피해는 허용되나 터널의 전체적인 붕괴는 허용하지 않고 긴급보수를 통해 터널의 기능을 회복할 수 있는 수준이며 내진설계는 「12.16.1(3)」에 정리된 조건에 부합하는 경우만 수행한다.

(2) 철도터널은 「2.4.4 내진설계」규정에 의해 내진 1등급 또는 2등급으로 설계해야 한다.

(3) 구조물의 응답을 등가선형 또는 비선형 거동특성을 고려할 수 있는 해석방법을 이용하여 설계해야 한다.

12.16.3 내진설계 방법

(1) 터널 내진설계절차는 각호와 같은 주요 절차를 따라야 한다.

① 터널 설치구간의 중요도에 따른 내진등급결정

② 건설지점의 지반조사 및 액상화 가능성 평가

③ 등급에 따른 내진안정성 해석법 결정

④ 설계지진계수의 산정

⑤ 내진안정성 검토

⑥ 단면설계

(2) 터널의 내진설계에 필요한 지반물성은 제반 동적 지반조사 및 실내시험결과와 기존 자료를 종합적으로 분석하여 선정해야 한다.

(3) 기반면은 평균 전단파속도가 760m/sec 이상인 견고한 암반으로 하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 변경할 수 있다. 기반면이 철도터널의 위치보다 상당히 깊이 발달되어 있을 경우는 지반의 종류에 대한 표준설계 응답스펙트럼을 이용하여 사용할 수 있다.

(4) Earthquake factor shall be in accordance with earthquake zone coefficient (Z) and risk factor (I) depending on earthquake map or earthquake recurrence cycle, and the details shall be as provided in 「2.4.4 Seismic Design」.
(5) Investigation to identify the ground characteristics for seismic design shall include investigation of stratum and engineering characteristics, and groundwater level and dynamic ground test shall be included as needed.
(6) Longitudinal and lateral ground motion shall be considered in the seismic analysis.
(7) Spatial variation characteristics of ground motion shall be considered.
(8) The effect of variation in topographic and ground conditions on ground motion shall be considered.
(9) For tunnel seismic design analysis methods, response displacement method, dynamic analysis method and quasi-static analysis method shall be applied, as follows.
① As the weight of unit volume of tunnel including inner section is generally less than or equal to the surrounding ground, response displacement method shall be applied considering displacement or deformation in surrounding ground.
② Incident seismic wave in dynamic analysis of a category 1 earthquake shall use artificial earthquake time history curve considering the site, ground conditions and natural period of the structure.
③ A quasi-static analysis method shall be locally applied to retaining wall type portal, and dynamic time history characteristics shall be simplified to static load to produce a more conservative design.

12.16.4 Liquefaction evaluation method

(1) Liquefaction evaluation in tunnel design shall be applied to the section affected by groundwater such as tunnel portal or where soft ground is widely distributed; however, this may be adjusted depending on site conditions.
(2) Liquefaction evaluation is classified into preliminary, simple and detailed evaluation; however, this may be adjusted depending on site conditions.
(3) Liquefaction evaluation may not be implemented in the following cases:
① When ground is above the groundwater level
② When standard penetration resistance (N) in soil column map is 20 or more.
③ When soil depth is 20 m or deeper
④ When plastic index (PI) is 10 or more and clay is more than 20 %.
⑤ When fine-grained soil is more than 35 %
⑥ When relative density is more than 80 %
(4) Liquefaction evaluation is commonly applied to soft ground, and evaluated safety factor shall be 1.5 or more.

(4) 터널은 설계지진 계수 산정시 지진재해도 또는 지진 재현 주기에 따른 지진구역계수(Z)와 위험도계수(*I*)를 따르는 것을 원칙으로 하되, 상세내용은 「2.4.4 내진설계」를 따른다.
(5) 터널의 내진설계 대상 지반특성을 파악하기 위한 조사항목은 지층의 구성 및 각 지층별 공학적 특성 파악, 지하수위 측정 등을 포함해야 하며 필요시 지반의 동적특성시험을 실시해야 한다.
(6) 내진해석의 지반운동은 철도터널의 길이방향과 횡방향의 지반운동 영향을 고려해야 한다.
(7) 지반운동의 공간적 변화특성을 고려해야 한다.
(8) 지형 및 지반조건의 변화가 지반운동에 미치는 영향을 고려해야 한다.
(9) 터널의 내진설계해석 방법은 응답변위법, 동적해석법, 유사정적해석법을 다음 각 호와 같이 적용한다.
① 터널은 그 내공부(內空部)를 포함한 단위체적중량이 주변 지반의 단위체적중량과 비교하여 일반적으로 같거나 가벼우므로 주변지반에 발생하는 변위, 변형 등을 중요하게 고려하여 응답변위법을 적용해야 한다.
② 내진 1등급 동적해석법에서의 입력지진파는 터널시공지역, 지반특성, 구조물의 고유 주기 등을 고려하여 유추한 인공지진 시간이력곡선을 적용해야 한다.
③ 유사정적해석법은 옹벽형식의 터널 갱구부에 국부적으로 적용하며, 동적인 시간이력 특성을 정적인 하중으로 단순화 시켜 보다 간편하고 보수적인 설계가 되도록 해야 한다.

12.16.4 액상화 평가법
(1) 터널 내진설계 시 액상화 평가는 터널의 입출구부 및 연약지반이 광범위하게 분포한 지역을 통과하는 터널에 있어서 지하수의 영향을 받는 구간에 대하여 실시하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.
(2) 액상화 가능성 평가는 예비평가, 간편평가 및 상세평가의 3단계로 구분하여 실시하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.
(3) 토사터널의 액상화 예비평가에 있어서 아래 열거한 사항 중 하나 이상이 되는 경우에는 액상화 평가를 생략할 수 있다.
① 지하수위 위의 지반
② 주상도상의 표준 관입 저항치(N 값)가 20 이상인 지반
③ 대상지반 심도가 20m 이상인 지반
④ 소성지수(PI)가 10 이상이고 점토성분이 20% 이상인 지반
⑤ 세립토 함유량이 35% 이상인 경우
⑥ 상대밀도가 80% 이상인 지반
(4) 액상화 간편평가법은 국내 연약지반 내진설계에서 널리 사용되는 합리적인 방법으로 한다. 이때의 평가안전율은 1.5 이상으로 한다.

(5) When safety factor as a result of a simple evaluation is less than 1.5, liquefaction evaluation of the sample shall be performed and safety factor from the evaluation shall be 1.0.

12.16.5 Cautions in seismic design

(1) An increase in the thickness of the concrete lining may cause an adverse effect, and thus rebar shall be used to increase the strength rather than increase the thickness.
(2) Seismic design of column section shall be performed to prevent compressive failure, shear failure or bending tensile failure by seismic horizontal force, and will ensure that bending tensile failure will occur before compressive failure or shear failure.
(3) Soil-arresting work shall be provided on a cut slope of portal to prevent the erosion of top soil on portal.
(4) Expansion joint at seismic design section shall be provided by installing low-stiffness joint on joint of railway tunnel in order to reduce the bearing capacity on the structure, and measures to supplement the structurally vulnerable joint with low stiffness shall be considered.
(5) Liquefaction prevention or mitigation shall be achieved through ground reinforcement.

12.16.6 Quality control of seismic design

(1) Tunnel at active fault zone is not recommended, but when inevitably necessary, it shall be designed in a manner that minimizes the potential damage by earthquake, and allows for easy maintenance or reinforcement in the event of functional damage.
(2) When seismic design is required, satisfaction of the seismic design requirements, appropriateness of the seismic design technique and assumptions, satisfaction of legal requirements and constructability shall be verified.

12.17 Open-cut tunnel

12.17.1 Design general

(1) Open-cut excavation tunnel is implemented through a sequence of excavation, structure and backfill when there is a short distance between portal and portal of tunnel or between the open-cuts of the mountain valley area in the middle of tunnel, or between tunnels .
(2) Environmental conditions such as topographic and geologic conditions, underground water and weather and social conditions such as nearby residential area and structure, slope stability, uneven earth pressure, potential climatic disaster and landscape shall be considered.

(5) 간편평가 결과 안전율이 1.5 미만인 경우 현장 시료를 채취하여 액상화 상세평가법을 실시한다. 이때의 평가 안전율은 1.0이다

12.16.5 내진설계 시 주의사항

(1) 콘크리트라이닝이 지진력에 저항하도록 두께를 증가하는 것은 지진력을 증대시키는 역효과를 가져올 수 있으므로 콘크리트라이닝 두께를 증가시키는 대신에 철근을 넣어 인성을 증가시키도록 해야 한다.

(2) 기둥단면의 내진설계는 지진에 의한 수평력에 따라 기둥단면의 압축파괴나 전단파괴, 휨인장 파괴가 발생하지 않도록 보강하여 압축파괴나 전단파괴보다 휨인장 파괴가 먼저 발생하도록 설계해야 한다.

(3) 갱구부는 표토의 활동붕괴를 방지하기 위하여 입구부의 절취면에 적당한 기울기를 확보하여 토류공을 설치해야 한다.

(4) 내진설계를 고려하는 구간의 신축이음부는 철도터널의 이음부에 강성이 작은 이음장치를 설치하여 구조물에 작용하는 지지력을 감소시킬 수 있도록 하며 강성이 작은 이음장치 설치에 따른 구조적인 약점에 대하여 검토해야 한다.

(5) 액상화 방지는 지반개량을 통하여 지반 액상화를 방지 또는 억제시키도록 해야 한다.

12.16.6 내진설계 품질관리

(1) 활성단층지역에는 터널을 건설하지 않는 것이 바람직하다. 단, 이를 피하기 어려울 경우에는 지진 발생에 따른 손상이 최소화되도록 설계해야 한다. 또한 기능손상이 발생할 경우에 대비하여 보수·보강이 용이하도록 설계해야 한다.

(2) 내진설계를 고려하는 구간의 경우에는, 내진설계 요구사항의 만족성, 내진설계기법 및 가정사항의 적절성, 법규요건에 대한 만족성, 내진설계 결과의 시공성 등의 검증을 실시해야 한다.

12.17 개착터널

12.17.1 설계일반

(1) 개착터널은 갱구부와 갱문사이 및 터널중간 계곡부의 개착부분이나 터널과 터널 사이의 거리가 가까워 하나의 터널로 연결하기 위해 지반을 굴착하고 구조물을 설치한 후 다시 되메우기 하는 터널을 말한다.

(2) 설계 시 지형, 지질조건, 지하수 조건 및 기상 등의 자연조건과 민가, 구조물의 유무 등의 사회적 조건, 경사의 안정, 편토압, 기상재해의 가능성 및 주변경관과의 조화 등을 고려해야 한다.

(3) An Open-cut excavation tunnel shall be designed in accordance with the underground concrete structure, unless otherwise specified (see 「Chapter 7 Underground Structure 」).

(4) Open-cut excavation tunnels can be classified as follows according to their location, use and structure type.

① Classification according to location

A. Open-cut excavation tunnel with projected portal

B. Open-cut excavation tunnel with wall type portal

C. Open-cut excavation tunnel passing the valley

② Classification according to use

A. Rock-protection Open-cut excavation tunnel

B. Eco-friendly Open-cut excavation tunnel

③ Classification depending on type of structure

A. Horseshoe-shaped open-cut excavation tunnel

B. Box culvert open-cut excavation tunnel

(3) 개착터널부는 특별한 경우를 제외하고는 콘크리트 지중구조물 설계에 준하여 설계해야 한다.(「제7장 지하구조물」참조)

(4) 개착터널의 종류는 크게 설치위치, 사용 용도 및 구조물 형태에 따라 다음과 같이 구별할 수 있다.

① 설치위치에 따른 분류

가. 돌출형 갱문에서의 개착터널

나. 면벽형 갱문에서의 개착터널

다. 계곡부 통과시 개착터널

② 사용용도에 따른 분류

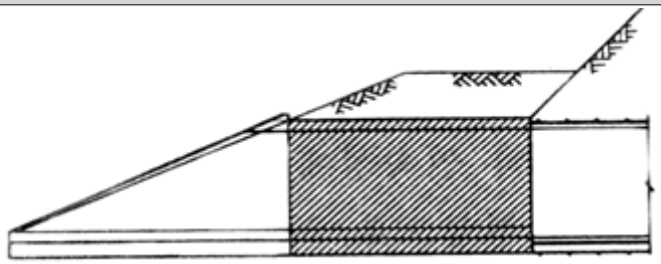
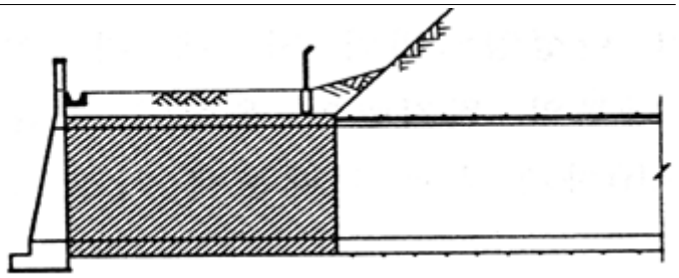
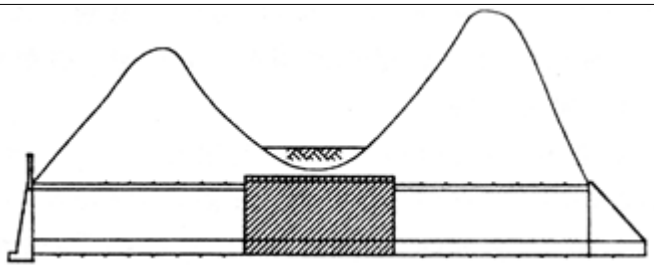
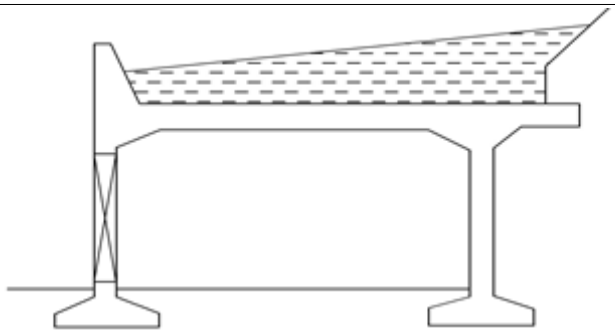
가. 피암용 개착터널

나. 환경생태용 개착터널

③ 구조물 형태에 따른 분류

가. 마제형 개착터널

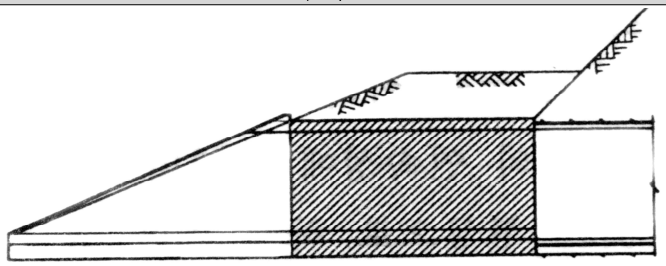
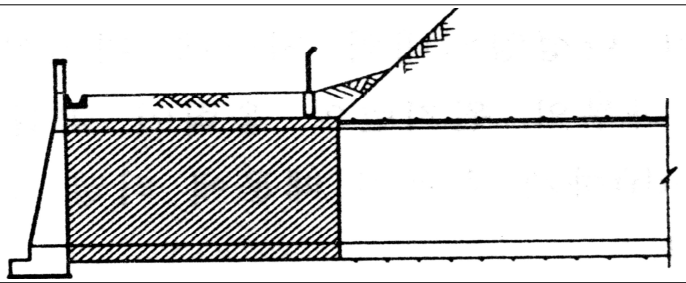
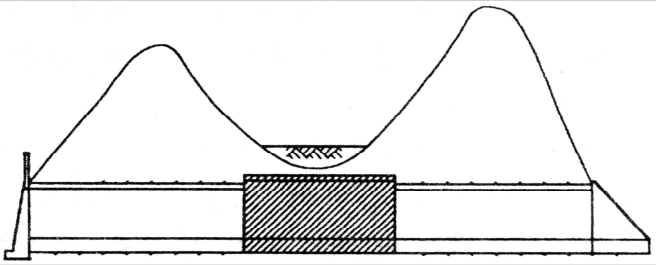
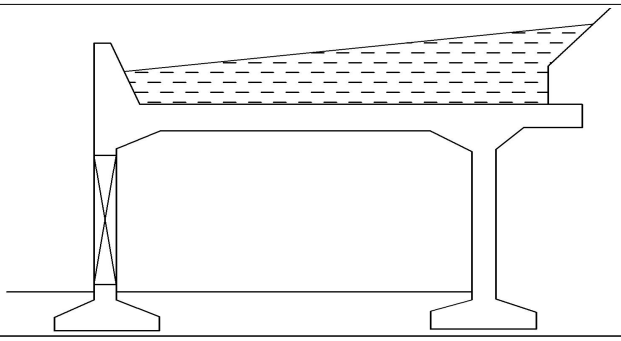
나. 박스 컬버트형 개착터널

Classification	Conceptual diagram
Open-cut excavation tunnel with projected portal	
Open-cut excavation tunnel with wall type portal	
Open-cut excavation tunnel passing the valley	
Rock-protecti on Open-cut excavation tunnel	

(5) Open-cut excavation tunnel with projected portal has the same inner section as main tunnel which is continued from portal zone, and section force and ground bearing capacity shall be designed considering the surcharge load caused by banking, earth pressure and other loads (snow load, etc.).

(6) Open-cut excavation tunnel with wall type portal has a three-dimensional shape that resists the external force independently, and thus shall be structurally stable against the load of backfilled soil and active earth pressure.

(7) Open-cut excavation tunnel with thin top soil is vulnerable to collapse when passing the valley, and thus a measure to prevent leaking and scouring on top of the tunnel shall be provided.

구 분	개 념 도
돌출형 갱문에서의 개착터널	
면벽형 갱문에서의 개착터널	
계곡부 통과시 개착터널	
피암용 개착터널	

(5) 돌출형 갱문에서의 개착터널은 터널본체와 동일 이상의 내공단면을 갖는 형상으로 터널 갱구부에 연속해서 만들어지며, 완성 후에 성토에 의한 상재하중, 토압, 기타하중(적설하중 등)을 고려해서 단면력, 지반의 지지력에 대하여 설계해야 한다.

(6) 면벽형 갱문에서의 개착터널은 구조상 터널 본체에서 독립하여 외력에 저항하는 입체적 형상이므로 갱문 뒷면의 되메우기 흙에 대한 하중과 주동토압이 작용했을 때 구조적으로 안정해야 한다.

(7) 계곡부 통과시 터널의 상부 토피고가 낮으면 터널 굴착에 따른 붕괴의 우려가 있어 누수가 발생될 소지가 있으므로 누수방지 대책과 개착터널 상부의 세굴방지 대책을 수립해야 한다.

(8) Rock-protection Open-cut excavation tunnel may be installed when no clearance is available on road or railway because of falling stones or steep slope, and safety fence or retaining wall is insufficient to secure the safety.

(9) Eco-friendly open-cut excavation tunnel has the purpose of restoring the environment isolated by railway, and the type shall be determined after investigation of fauna & flora and moving route.

12.17.2 Section design

(1) Open-cut excavation tunnel shall continue with inner section as large as main tunnel, and surcharge load and earth pressure after completion shall be considered and appropriate section determined based on calculated section force and ground bearing capacity.

(2) As an open-cut excavation tunnel is easily affected by temperature variation, dry shrinkage and earthquake, these shall be considered in the design.

12.17.3 Applicable load

(1) External load, self-load and the load in tunnel and ground reaction shall be considered in the design of an open-cut excavation tunnel.

(2) Applicable load to open-cut excavation tunnel shall be in accordance with 「7.3.2 Design load and design strength」.

12.17.4 Structural analysis

(1) Structural analysis of open-cut excavation tunnel shall be in accordance with 「Chapter 7 Underground structure」.

(2) Seismic design of open-cut excavation tunnel shall be in accordance with 「2.4.4 Seismic design」.

(3) Stability of the members of the open-cut excavation tunnel shall be in accordance with 「Concrete structure design criteria (MOLIMA)」.

12.17.5 Joint and backfill details

(1) Transition section between portal and main tunnel and open-cut excavation tunnel and main tunnel shall be separated depending on the differential behavior between the two structures, and joint shall be provided to prevent damage to the structure.

(2) Measures to deal with leakage and differential settlement shall be developed when planning the joint structure.

(3) When backfilling the open-cut excavation tunnel, perforated drainpipe shall be installed at both sides to drain the spring water and reduce the water pressure, and measures to prevent the perforated drainpipe from becoming clogged shall be established.

(8) 피암용 개착터널은 낙석 또는 비탈면 급경사에 의해 도로, 택지, 철도 등의 이격부에 여유가 없거나 혹은 낙석의 규모가 커서 낙석방지울타리, 낙석방지옹벽 등으로는 안전을 기대하기 어려운 경우에 설치할 수 있다.
(9) 환경생태터널은 철도 건설로 단절된 지형을 복원하여 자연생물의 이동과 번식을 유도하기 위해 설치하는 개착터널로서 이용 동물의 종류와 이동경로를 파악하여 적정한 형식을 선정해야 한다.

12.17.2 단면설계
(1) 개착터널은 터널 본체와 동일 이상의 내공단면으로 연속해서 설치해야 하며 완성후의 쌓기에 대한 상재하중, 토압 등의 하중을 고려해야 한다. 또한, 개착터널에 작용하는 단면력, 지반의 지지력을 계산하여 적정 단면을 선정해야 한다.
(2) 개착터널은 온도변화, 건조수축, 지진의 영향 등을 받기 쉽기 때문에 필요에 따라 이를 고려하여 설계해야 한다.

12.17.3 적용하중
(1) 개착터널의 설계 시에는 터널외부에서 작용하는 하중, 자중, 터널 내부의 하중 및 이에 의해 생기는 지반반력을 고려해야 한다.
(2) 개착터널의 적용하중은 「7.3.2 설계하중 및 설계강도」를 따르도록 한다.

12.17.4 구조해석
(1) 개착터널의 구조공학적 해석은 「제7장 지하구조물」을 따르도록 한다.
(2) 개착터널의 내진설계는 「2.4.4 내진설계」를 따르도록 한다.
(3) 개착터널의 부재안정검토는 「콘크리트 구조기준(국토교통부)」을 따르도록 한다.

12.17.5 접합부 및 되메움 세부사항
(1) 갱문 구조물과 본선터널, 개착터널과 본선터널이 접합하는 개소는 양 구조간 거동차이에 따라 접합부는 분리구조로 하고 조인트를 설치하여 구조물 손상을 방지해야 한다.
(2) 접합부의 구조물 계획시 누수 및 부등침하에 대한 대책을 사전에 수립해야 한다.
(3) 개착터널부의 되메움시에는 구조물에 가해지는 수압을 감소시키고 배면용출수를 원활히 배수하기 위하여 양 측면에 유공관을 매설하고 유공관이 막히지 않도록 대책을 수립해야 한다.

Chapter 13 Station

13.1 General

13.1.1 Scope of application

(1) This design standard defines the guideline for civil works and track work with regard to the construction of the station facilities, and other facilities including building, electricity, catenary, signaling and communication system are defined in a separate standard.

(2) Unless otherwise specified in this standard, other facilities shall be designed in accordance with 「Chapter 2 Railway Plan」, 「Chapter 4 Earth Structure」, 「Chapter 5 Culvert and Drainage」, 「Chapter 8 Bridge General」 and 「Chapter 9 Steel Bridge and Steel Composite Bridge」, as well as 「Railroad Construction Rule (2009)」, 「Regulation on Railroad Construction Standards (2009)」, 「Detailed Enforcement Regulations on Train Operation」 and other applicable regulations, and other rules may be established for special cases.

(3) Given that the facility, scale and function of the station are heavily dependent on the type of railway and the location of the station, it is difficult to define an absolute standard, and thus the requirements applicable to a general standard are described.

13.1.2 Terminology

The terms used in this standard are defined as follows.

(1) Crossing track: an up/down main track for crossing trains on a single track.

(2) Depot: a facility for handling freight, for vehicle maintenance or for storage, and includes the following:

① Maintenance depot: a facility to store the track maintenance material or equipment for inspection.

② Motorized car depot: a facility for car washing, inspection, maintenance and storage of motorized cars.

③ Yard: a yard for sorting or shunting a train.

④ Storage yard: a yard for storing a motorized car or passenger car and waiting for service.

⑤ Rolling stock depot: a facility for the inspection and maintenance of rolling stock, and can be categorized into locomotive depot, motorized car depot, passenger car depot and freight depot, stronghold of operating crews.

제 13 장 정거장

13.1 총칙

13.1.1 적용범위

(1) 이 설계기준은 정거장 시설 중 노반공사와 궤도공사에 관련되는 기준을 정하며 건물, 전기, 전차선, 신호, 통신 등 다른 시설은 별도로 정한다.

(2) 이 기준에 기재되지 아니한 사항은「제2장 철도계획, 제4장 흙구조물, 제5장 구교 및 배수시설, 제8장 교량 일반사항, 제9장 강교 및 강합성교」,「철도건설규칙(2009)」 및「철도의 건설기준에 관한규정(2009)」,「열차운전시행세칙」, 기타 해당규정에 따라 설계하며 특수한 경우에는 별도로 정하여 설계할 수 있다.

(3) 정거장은 선로의 성격, 정거장 입지성격에 따라 시설, 규모, 기능에 따라 큰 차가 있으므로 절대적인 기준을 제시하기 어려워 일반적인 사항과 수치를 제시하였다.

13.1.2 용어의 정의

이 기준에 사용하는 용어의 의미는 다음과 같다.

(1) 교행선 : 단선운전구간에서 열차를 교행하기 위하여 설치하는 상하본선

(2) 기지 : 화물취급 또는 차량의 정비 및 유치를 목적으로 시설한 장소로서 다음의 시설을 말한다.

① 보수기지 : 선로보수에 필요한 자재를 비치하거나 보수용 장비의 유치 및 검수하기 위하여 시설한 장소

② 전동차기지 : 전동차의 청소, 검수, 정비, 유치를 위하여 시설한 장소

③ 조차장 : 열차의 조성 또는 차량의 입환을 위하여 설치한 장소

④ 주박기지 : 전동차, 여객차의 주박, 착발대기를 위하여 시설한 장소

⑤ 차량기지 : 차량의 유치와 차량의 검수 및 정비를 위하여 시설한 장소로서 기관차, 전동차, 여객차, 화물기지로 구분하며 열차를 운전하는 승무원의 거점

⑥ Freight depot: a depot for storing, shunting and inspection of freight cars for handling freight.

(3) Facing, trailing: facing refers to the scenario in which a train approaches from the front end of turnout and proceeds to the rear end, while trailing refers to the scenario in which at rain approaches from the rear end of turnout and proceeds to the front end.

(4) Sub-main track: an important track following the main track. Train occupation is limited in normal operation. And it is the track for standby train, arrival and departure, crossing, relief and passing train.

(5) Turnout: a track facility to switch the track for the vehicle or train, and comprises the point, lead and crossing.

(6) Point machine: a signal system comprising the point or nose movable crossing with an electric or mechanical system to switch the track for the car or train.

(7) Platform: a facility for the passenger to get on/off the train, and can be categorized into the platform for motorized car and passenger train.

(8) Passenger passage: the passage between the station and platform or platform and platform, and includes at-grade, underground and overpass (over-bridge).

(9) Station: a facility where a train departs and arrives, and to a facility for freight handling, and includes ordinary station, passenger station and freight station.

① Ordinary station refers to a station that provides both passenger and freight service.

② Signal station refers to a station that is solely for train crossing or waiting, without passenger or freight service.

③ Passenger station refers to a station for passenger service.

④ Freight station refers to a station for freight service.

(10) Station building: a facility where the passengers engage in the ticketing process, owners of the goods engage in the shipping process, and the railway operator provides passenger / freight services.

(11) Effective length: a maximum length of track required to accommodate the train without interfering with neighboring train or cars and to move.

(12) Freight platform: a platform to load, unload or transfer the freight to and from freight cars or trucks.

(13) Station: a facility to provide passenger or freight service, and includes shunting yard, signal station, passenger car depot, freight depot, high speed railway train depot, motorized car depot and locomotive depot.

(14) Normal position and reverse position: normal position facing and reverse position of the turnout.

(15) Mainline: a track for train departure and arrival and passing train.

⑥ 화물기지 : 화물취급을 위주로 하여 화차의 유치와 화차 입환 및 조성과 검수를 위하여 시설한 장소

(3) 대향, 배향 : 열차가 분기기 전단으로부터 후단으로 진입할 경우를 대향이라 하며 분기기 후단으로부터 전단으로 진입할 때를 배향이라 한다.

(4) 부본선 : 주본선 다음으로 중요한 선로로서 평상시에는 차량의 유치를 제한하며, 정차 열차의 취급과 열차의 착발, 교행, 대피, 통과열차의 취급을 주기능으로 하는 선로

(5) 분기기 : 차량 또는 열차의 운행선로를 변경시키기 위한 궤도시설로서 포인트, 리드, 크로싱의 3개부로 구성되어 있다.

(6) 선로전환기 : 차량 또는 열차의 운행선로를 변경시키기 위하여 포인트 및 노스 가동크로싱부에 전기식 또는 기계식 가동장치를 설치하여 진로를 변환시키기 위한 신호설비를 말한다.

(7) 승강장 : 여객이 열차를 타고 내리기 위해 설치한 장소를 말하며, 전동차용, 일반 여객 열차용으로 나눈다.

(8) 여객통로 : 역사와 승강장 또는 승강장 상호간에 여객이 통행하기 위한 통로를 말하며 평면통로와 지하도, 구름다리(과선교)와 같은 입체통로가 있다.

(9) 역 : 열차를 착발하고 여객, 화물을 취급하기 위하여 설치한 장소를 말하며 보통역, 여객역, 화물역으로 구분한다.

① 보통역 : 여객과 화물을 같이 취급하는 역

② 신호장 : 여객이나 화물취급 등 영업활동은 하지 않고 열차의 교행, 대피를 위하여 설치한 장소

③ 여객역 : 여객을 취급하는 역

④ 화물역 : 화물을 취급하는 역

(10) 역사 : 여객이 열차이용을 위한 수속과 화주가 소화물이나 화물을 탁송하며 철도가 이에 필요한 여객업무나 화물 수송업무를 하기 위하여 설치한 건물을 말한다.

(11) 유효장 : 인접 선로의 열차 및 차량 출입에 지장을 주지 아니하고 열차를 유치할 수 있는 당해 선로의 최대길이

(12) 적하장 : 화물을 화차에 적재 및 하화함과 동시에 트럭과 같은 타 수송차량에 화물을 옮겨 싣고 내리는 장소

(13) 정거장 : 여객 또는 화물의 취급을 하기 위하여 시설한 장소로서, 조차장, 신호장, 객차기지, 화물기지, 고속철도 차량기지, 전동차기지, 기관차기지를 포함한다.

(14) 정위, 반위 : 분기기가 상시 개통하고 있는 방향을 정위라 하고 반대방향을 반위라 한다.

(15) 주본선 : 열차의 착발 또는 통과열차를 운전하는데 사용하는 선로

(16) Station site: the site developed to build the facilities at station.

(17) Site drainage channel: a channel to drain the surface water within the site.

(18) Station site width: the distance between the shoulders of the site developed to build the facility at station.

(19) Departure/arrival track: a track exclusively for train departure /arrival, and departure and arrival may be separated at start/terminal station.

(20) Siding: tracks other than the tracks for normal operation, which include storage track, lead track, loading track, reserve track, inspection track, classification track and engine track.

① Inspection track: a track for inspection of locomotive, motorized car and passenger/freight car. Though inspection and maintenance are not clearly distinguishable, the inspection track is mainly for inspection service while the maintenance track is for maintenance service. Inspection tracks are categorized into daily, monthly and temporary inspection tracks according to the type of inspection period.

② Scale track: a track to measure the dead-weight tonnage which is needed at the freight station or depot.

③ Empty car storage track: part of storage track, it temporarily accommodates empty cars. 1 ~ 2 tracks of classification track are designated for this purpose.

④ Locomotive waiting track: a track used to temporarily accommodate the car or train before setting the trains for passenger or freight car.

⑤ Engine track: a track used to accommodate the locomotive in order to avoid disturbance to shunting while locomotive runs between departure line or arrival line and engine shed.

⑥ Turn-back track: a track for the train to turn back.

⑦ Classification track: a track to classify the train by destination or station. At a large shunting yard, classification tracks may be separated by destination and station.

⑧ Car washing track: a track for washing the car with water supply and washing table; garbage collection may be added.

⑨ Temporary storage track: a track used to temporarily store cars before moving to other tracks or track groups.

⑩ Safety siding track: a track used to avoid collision between trains or cars that depart or arrive at the station at the same time.

⑪ Spare track: a track used to accommodate the spare car in case of maintenance or recess.

⑫ Storage track: a track used to store motorized car, passenger car and freight car; excludes tracks used to accommodate cars in operation, arrival track, departure track, car washing track, inspection track and lead track.

(16) 지축 : 정거장내에 제반 시설물을 설치하기 위하여 조성하는 부지를 말한다.
(17) 지축수로 : 지축내의 표면수를 처리하기 위하여 설치하는 배수로를 말한다.
(18) 지축폭 : 정거장내에 제반시설물을 설치하기 위하여 조성한 부지의 양어깨간의 거리를 말한다.
(19) 착발선 : 열차의 착발을 취급하는 전용선로로서 시종착역의 경우 출발선과 도착선을 별도로 설치할 경우도 있다.
(20) 측선 : 열차의 운전에 상용하는 선로 이외의 선로로서 유치선, 조성선, 인상선, 적하선, 예비차선, 검사선, 분별선, 기회선 등 본선 외의 선로
① 검수선 : 기관차, 전동차 또는 객화차의 검사, 수선을 하는 선으로 검사와 수선을 구분하기는 곤란하나 검사를 주체로 하는 선을 검사선, 수선을 주체로 하는 선을 수선선이라 한다. 검수의 종류에 따라 일상검사선, 월상검사선, 임시검사선으로 구분한다.
② 계중대선 : 화물의 적재중량이 허용하중을 초과하였는지 여부를 검사하기 위한 선으로 대규모 화물역, 화물기지에 필요시 배치한다.
③ 공차유치선 : 유치선의 일부로 공차를 일시 유치하여 두는 선. 일반적으로 조차장에서는 분별선 중에서 1~2개선을 공차유치선으로 지정해 두고 있다.
④ 기관차 대기선 : 기관차가 객차 또는 화차를 연결하여 열차를 조정하기 이전에 일시 대기시킬 목적으로 설치하는 선
⑤ 기회선 : 기관차가 열차 출발선 또는 도착선과 기관차고와의 사이를 출입할 때 역구내 입환작업에 지장을 주지 않고 왕복할 수 있도록 기관차만 주행시킬 목적으로 설치하는 선
⑥ 반복선(회차선) : 열차를 반복운전하기 위하여 설치하는 선
⑦ 분별선 : 차량을 행선별 또는 역 순위별로 조성하기 위한 선로이며, 큰 조차장에서는 방향별과 역별 분별선을 따로 설치할 수도 있다.
⑧ 세척선 : 차량을 세척할 목적으로 설치하는 선으로 급수설비, 세척대가 병설되어 있고 오물 수거 시설을 병행하는 경우도 있다.
⑨ 수수선 : 어떤 선 또는 선군(線群)에서 다른 선 또는 다른 선군에 차량을 이동할 때 그 차량을 일시 유치하여 두는 선으로 수도선이라고도 한다.
⑩ 안전측선 : 정거장내에서 2개 이상의 열차 또는 차량이 동시에 진입 또는 진출할 때에 과주로 인한 충돌의 사고를 방지하기 위하여 설치하는 선로
⑪ 예비차선 : 부속편성에 필요한 차량이나 수선하기 위하여 운휴차 대신에 사용할 예비차를 유치하는 선
⑫ 유치선 : 수용선이라고도 하며, 전동차나 객차, 화차를 유치하는 선으로 운용차를 유치하는 선로, 도착선, 출발선, 세척선, 검사선, 기회선을 제외한 선을 말한다.

⑬ Lead track: a track used to lead the cars to form a trainset.
⑭ Equipment storage track: a track used to accommodate the track maintenance equipment; must be installed at a station with siding tracks to enable efficient maintenance work within the given time limit.
⑮ Loading gauge track: a track used to gauge the freight loaded on a freight car which is needed at a large scale freight station, shunting yard and freight depot.
⑯ Train formation track: a track used to form a trainset, which may use a storage track or an extended track (considering train length).
⑰ In/out track: a track to run in/out of the depot.
⑱ Passage track: a track used to move a train or car from one track to other tracks.
⑲ Freight loading track: a track used to load the freight, which is connected to the loading platform.
(21) Passing track: a track for a passing train.

13.2 Station plan

13.2.1 Station plan general
(1) Facility plan
① Station plan shall be based on the train operation plan in the basic plan, and on the station plan in the basic design.
② Station facility shall be planned in accordance with 「Railroad Construction Regulation 」 and 「Regulation on Railroad Construction Standard」.
③ Station facility shall be planned incorporated with trackbed, operation system, track system, passenger service, freight service, depot, station building and auxiliary building and other utilities considering the interface among them.
(2) Development of integrated drawing
① For a large scale ground station with more than 8 tracks in the form of at-grade station, elevated station or depot, the integrated drawing shall include the station plan showing the layout and trackbed, building layout, support (lighting, signal, communication and catenary) underground utilities (rainwater, sewage, wastewater, oil and water supply), cable (electric, signal and communication) and related facilities.
② Location of facilities shall be demonstrated using local coordinate system or world geodesic system.
③ Two control points (kilometer post or location of entering signal), Y axis of local coordinate system shall be track center and X-axis shall be beginning/end point of the station, and these control points shall be indicated using local coordinate system or geodesic coordinates (see <Fig. 13.2.1>).

⑬ 인상선 : 열차의 조성 작업시 차량을 다른 선로로 이동시키기 위하여 인상하는 선로
⑭ 장비유치선 : 선로 유지보수 장비를 유치하는 선으로 선로차단 시간 내 유지보수 작업을 효율적으로 해야 하므로 가능한 측선이 계획된 정거장에 설치가 요망된다.
⑮ 적재정규선 : 화물의 적재상태가 차량한계 초과여부를 검사하기 위한 선으로 대규모 화물역, 화차조차장, 화물기지에 필요시 배치한다.
⑯ 조성선 : 열차를 조성하기 위하여 사용하는 선으로 유치선을 그대로 사용하는 경우도 있고 조성차의 유치선 및 해방차의 유치선 외에 1개선만 길게(열차길이에 여유를 봄) 따로 설치하는 경우도 있다.
⑰ 출입고선 : 차량이 기지를 출입하기 위한 전용의 통로선
⑱ 통로선 : 어떤 선군에서 다른 선군으로 차량 또는 차량열을 이동할 때 그 사이에 통로로 사용되는 선
⑲ 화물적하선 : 화물의 적하작업을 목적으로 하여 설치하는 선으로 화물적하장에 연하여 설치한다.
(21) 통과선 : 통과열차의 운전에 사용할 목적으로 설치하는 선로

13.2 정거장계획

13.2.1 정거장계획 일반

(1) 시설계획

① 정거장계획은 기본계획에서 제시된 열차운영계획과 기본설계의 정거장계획을 근간으로 하여 시설을 계획한다.
② 정거장 시설계획은 「철도건설규칙」과 「철도건설기준에 관한규정」의 정거장 및 기지에 관한 기준에 따라 계획한다.
③ 정거장 시설계획은 노반시설, 운전설비용 시설물, 선로설비, 여객설비, 화물설비, 차량기지, 역사 및 부속건물과 그 외 각종 유틸리티의 시설을 종합하여 상호 지장이 없도록 계획한다.

(2) 종합도면 작성

① 지상 및 고가정거장, 차량기지 등 구내선로가 8선 이상인 대규모 지상정거장의 경우 배선과 노반시설이 표시된 정거장 평면도에 건물의 배치, 각종 지지주(조명, 신호, 통신, 전차선 등), 지하매설관로(우수, 오·폐수, 급유, 상수도 등), 각종 전선로(전기, 신호, 통신 등) 등 관련시설이 단계별 시공과정에서 상호지장을 최소화하도록 종합도면을 작성한다.
② 각종 시설물의 위치는 정거장별로 별도의 독립된 지역좌표(local coordinate system) 또는 세계측지계 좌표로 표기한다.
③ 정거장별 독립된 지역좌표(local coordinate system)의 Y축은 선로중심선, X축은 정거장 시종점부에 2개의 기준점(거리표 또는 장내신호기 등의 위치)을 설정하며 이 기준점은 독립된 지역좌표 값(local coordinate system)과 세계측지계 좌표 값을 같이 표기하여 세계측지계 좌표로 전환이 가능하게 해야 한다. (<그림 13.2.1> 참조)

X=1000.0000(E=199302.3865) X=2000.0000(E=198702.3865)

Y=500.0000 (N=159527.2607) Y=500.0000 (N=158998.1104)

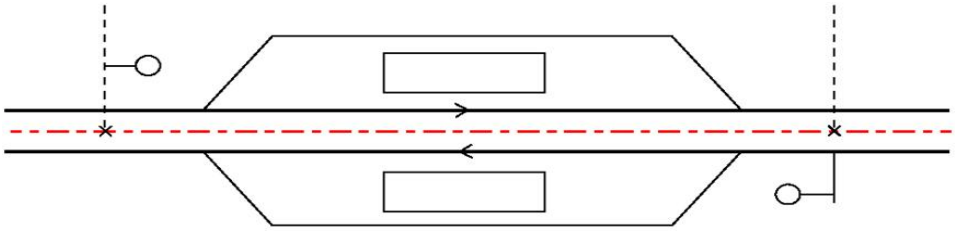


Fig. 13.2.1 Conceptual diagram of local coordinate system

*( ) is an example of the value of world geodetic coordinates.

13.2.2 Station facility planning

(1) Work divisions for station design

The work divisions for the station design involved in planning and implementing shall be defined as follows.

① Station design

A. Civil works

(a) Site development of station, drainage and road such as infrastructure work plan

(b) Track layout plan (consultation with operator, signal, catenary, power, communication)

(c) Leading Track

(d) Passenger passage (incorporating traffic impact assessment report and road design standard) structure design

(e) Structural design for high and low platform

(f) Underground structure and passage design

(g) Freight loading facility design (including traffic impact assessment report)

(h) Access road design (considering traffic impact assessment report and road design standard)

(i) Outdoor drainage system such as rainwater, water supply, sewage (excluding sewage and wastewater treatment facilities)

(j) Sound proofed wall and fence design (considering environmental impact assessment report)

(k) Station plaza (considering traffic impact assessment report) and parking lot design

(l) Connection road and transfer passage design (considering traffic impact assessment report)

(m) Auxiliary facilities design (retaining wall, surface water drainage channel, slope protection)

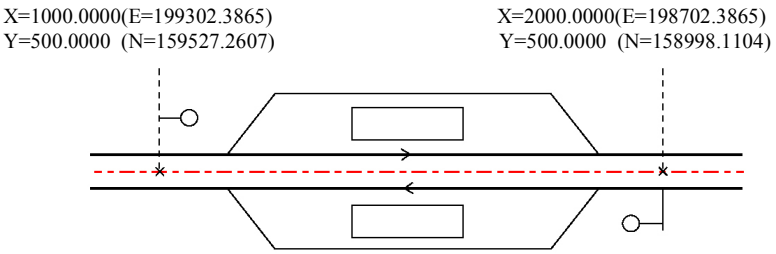


그림 13.2.1독립된 지역좌표계(local coordinate system)설정 개념도

※ 괄호안의 수치는 세계측지계 좌표계 값의 예시임

13.2.2 정거장 시설계획

(1) 정거장 설계 업무구분

정거장 시설물을 설계하는데 있어 분야별 업무를 다음과 같이 구분하여 계획·시행한다.

① 정거장(역) 설계

가. 토목분야

㉮ 정거장 부지조성, 배수, 도로와 같은 전반적인 기반시설 계획

㉯ 배선계획(운영, 신호, 전차선, 전력, 통신과 협의)

㉰ 인입선

㉱ 여객통로(교통영향 분석개선대책 결과, 도로설계기준 반영) 구조체 설계

㉲ 높은 승강장 및 낮은 승강장 구조물 설계

㉳ 지하도 구조물 및 구내 작업통로

㉴ 화물 적하시설(교통영향 분석개선대책 결과 반영)

㉵ 진입도로(교통영향 분석개선대책 결과, 도로설계기준 반영)

㉶ 우수, 상수도, 오·폐수 등 옥외 배수시설(오, 폐수 처리설비 제외)

㉷ 방음벽 및 울타리(환경영향 평가 결과 반영)

㉸ 역 광장(교통영향 분석개선대책 결과 반영) 및 주차장 부지조성

㉹ 연계도로 및 환승통로(교통영향 분석개선대책 결과 반영)

㉺ 부대시설(옹벽, 표면배수, 수로, 비탈면보호시설)

B. Track

(a) Track Layout (detail planning including insulation joint, expansion joint)

(b) Track engineering design

C. Architectural work

(a) Station and fence

(b) Underpass, passenger passage, transfer passage plan (consultation with civil/traffic) and interior work

(c) Platform (consultation with civil/traffic) and interior

(d) Plaza and parking pavement and landscaping

(e) Freight loading and storage

(f) Drainage (sewage, wastewater, pipe work after septic tank are civil works.)

(g) Water supply system (outdoor/indoor)

(h) Plaza and site landscaping

(i) Office and building at station

(j) Over-bridge

(k) Platform roof

D. Traffic impact assessment report

(a) Size of station plaza and parking lot

(b) Access road connection and size

(c) Access road planning in considering of urban planning

(d) Underpass, over-bridge, platform width planning

E. Environmental impact assessment

(a) Location and size of sound proofed wall and fence

(b) Landscaping at station area and planting

(c) Sewage treatment facilities

② Depot

A. Civil work

(a) Overall infrastructure planning including site development, drainage, road for depot

(b) Track layout plan (consultation with operation, signal, catenary, power, communication)

(c) Site development (outdoor civil works)

(d) Access road and connection road at the site (incorporating traffic impact assessment report and road design standard)

(e) Sound proofed wall and fence (incorporating environmental impact assessment report)

(f) Outdoor washing facility (water supply and sewage, washing facilities are included in inspection)

나. 궤도분야

㉮ 배선(절연이음매, 신축이음매 배치를 포함한 상세계획)

㉯ 궤도실시설계

다. 건축분야

㉮ 역사 및 역사 주위 울타리

㉯ 지하도, 여객통로, 환승통로(토목・교통분야와 협의수행) 계획 및 마감

㉰ 승강장(토목・교통분야와 협의수행) 마감

㉱ 광장 및 주차장 포장 또는 조경

㉲ 화물적하장 및 창고

㉳ 배수분야(오수, 폐수, 정화조, 정화조 이후의 관로는 토목이 담당)

㉴ 각종 급수시설(옥외분, 옥내분)

㉵ 광장 및 지축내 조경

㉶ 역구내 각종 사무소 및 현업용 건축물

㉷ 구름다리

㉸ 승강장 지붕

라. 교통영향 분석개선대책

㉮ 역 광장 및 주차장 규모

㉯ 진입도로 연결방법 및 규모

㉰ 도시계획 관련된 진입 도로연결 방법

㉱ 지하도, 구름다리, 승강장 폭원 계획

마. 환경영향 평가

㉮ 방음벽, 울타리 설치위치 및 규격

㉯ 구내 조경개소 및 수종

㉰ 오・폐수처리 시설방안

② 차량기지

가. 토목분야

㉮ 차량기지의 부지조성, 배수, 도로를 포함한 전반적인 기반시설계획

㉯ 배선계획(운영, 신호, 전차선, 전력, 통신과 협의)상세

㉰ 부지조성(옥외 토목시설)

㉱ 진입도로 및 구내도로(교통영향 분석개선대책 결과, 도로설계기준 반영)

㉲ 방음벽 및 울타리(환경영향 평가)

㉳ 옥외세척설비용 구조물(상, 하수 시설포함, 세척설비는 검수분야에서 시행)

(g) Auxiliary facilities (retaining wall, play ground, etc)

(h) Outdoor pipe facilities including rainwater, water supply and sewage (excluding sewage and wastewater treatment facilities)

B. Track

(a) Track layout (track detail design including insulation joint and expansion joint)

(b) Track engineering design

C. Architectural work

(a) Inspection-related architectural works (design the architectural affairs for light maintenance (inspection shop), heavy maintenance (maintenance shop), wheel grinding, washing environment facilities)

(b) Administration facilities (office, welfare building, operation control room, environment control room, etc)

(c) Support facilities (wastewater treatment, air compressor, sanitation facilities, garbage, fuel storage, reservoir, substation, incineration plant)

(2) General for station facility planning

① Track layout planning

A. Specification of turnout shall be determined based on the train speed and headway provided with the train operation plan.

B. Standard effective length of mainline, sub-main track, departure/arrival track and lead track shall be determined based on train length provided with train operation plan.

C. Length of loading track, number of track, storage track, departure/arrival track and setting track shall be determined considering the freight demand specified in the basic plan.

D. Width and length of platform shall be determined considering traffic impact assessment report.

② Access road and station plaza: area and function shall be determined based on the traffic impact assessment report, and detailed design shall be implemented according to road design criteria.

③ Station and auxiliary building: building layout plan shall be determined according to the building plan (station and auxiliary buildings) based on station function and passenger/freight demand, and maintenance building layout and track plan shall be set in accordance with light/heavy maintenance plan.

④ Passenger service facilities: platform layout plan shall be determined based on the number of passenger trains, train length, headway and the requirements of the 「Act to promote Mobility Convenience of the Mobility Handicapped」.

㉮ 부대시설(옹벽, 운동장시설 등)

㉯ 우수, 상수도, 오・폐수 등 옥외배수 관로시설(오, 폐수 처리설비 제외)

나. 궤도분야

㉮ 배선(절연이음매, 신축이음매 배치를 포함한 궤도 상세설계)

㉯ 궤도실시설계

다. 건축분야

㉮ 검수관련 건축시설(경수선공장(검수고), 중수선공장(정비고), 전삭고, 세척기, 환경시설과 같은 건축시설의 상세제원을 담당분야로부터 제공받아 설계수행)

㉯ 행정시설(관리사무소, 복리후생동, 운전사령실, 환경관리실 등)

㉰ 지원시설(폐수처리장, 공기압축기실, 오물처리시설, 쓰레기처리장, 유류고, 동력실, 저수처리장, 변전소, 소각장 등)

(2) 정거장 시설계획 일반

① 배선계획

가. 열차운영계획에서 제시된 열차속도, 운전시격에 따라 본선 분기기의 제원을 결정한다.

나. 열차운영계획에서 제시된 최대열차길이에 따라 본선, 부본선 및 착발선, 인상선의 표준유효장을 결정한다.

다. 기본계획에서 제시된 화물량에 따라 적하선 연장 및 선로수, 유치선수, 착발선수, 조성선수를 결정한다.

라. 교통영향 분석개선대책결과에 따라 승강장 폭원 및 길이를 반영한다.

② 진입도로 및 역 광장 : 교통영향 분석개선대책에서 제시한 결과에 따라서 면적 및 기능을 배치하며 도로설계기준에 따라 세부설계를 수행한다.

③ 역사 및 부속건물 : 정거장의 기능과 여객 및 화물수요를 토대로 한 건축계획(역사 및 각종 부속건물)에 따라 건물배치계획을 결정하고, 경수선 및 중수선 등은 차량검수 계획에 따라 정비시설의 건물배치와 배선계획을 결정한다.

④ 여객취급 시설 : 기본계획에서 제시된 열차당 여객수, 열차길이, 열차시격 및 「교통약자의 이동편의 증진법」에 따라 승강설비배치를 결정한다.

⑤ Freight service facilities: container platform, yard, storage, cement silo and parking lot shall be determined considering the freight volume and characteristics proposed in the basic plan.

⑥ Facility layout: station building, auxiliary buildings, loading platform, station plaza and access road shall be arranged based on the track layout plan.

⑦ Safety facility layout: safety fence and screen door shall be considered at the permanent operation section such as the motorized car track.

⑧ Emergency facilities: various safety facilities such as evacuation route, fire extinguisher, removing smoke system shall be designed at places where people are concentrated.

(3) Determination of station track layout plan

Track layout plan in station shall be determined in accordance with the flow in <Fig 13.2.2>

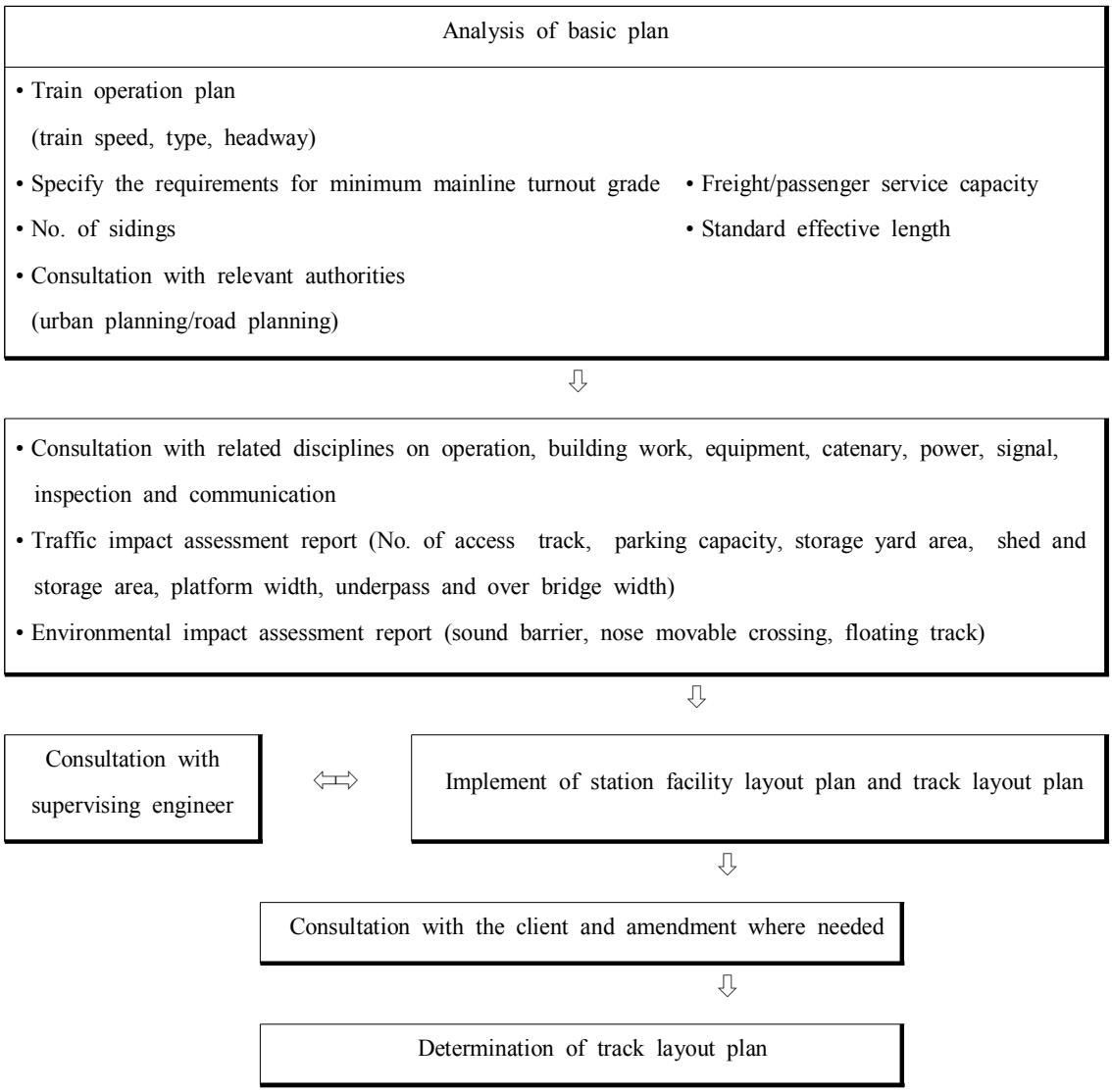


Fig. 13.2.2 Station track layout plan and work flow

⑤ 화물취급 시설 : 기본계획에서 제시된 화물량 및 화물특성에 따라 필요한 경우 컨테이너 적하장, 창고 및 헛간, 야적장, 양회싸일로, 주차장 면적을 결정한다.

⑥ 시설물 배치 : 배선계획을 근간으로 하며 역사, 부속건물, 적하장, 역 광장, 접근도로를 배치한다.

⑦ 안전시설물 배치 : 전동차 전용선과 같이 고정편성으로 운영하는 구간에는 안전울타리, 스크린도어(Screen Door) 설치 계획을 검토

⑧ 방재설비 : 사람이 집중되는 곳임을 감안 화재에 대비하여 대피로, 소화설비, 제연설비와 같은 각종 안전시설을 설치 계획을 검토

(3) 정거장 배선계획 확정과정

정거장 배선계획은 <그림 13.2.2>와 같은 흐름도에 따라 확정한다.

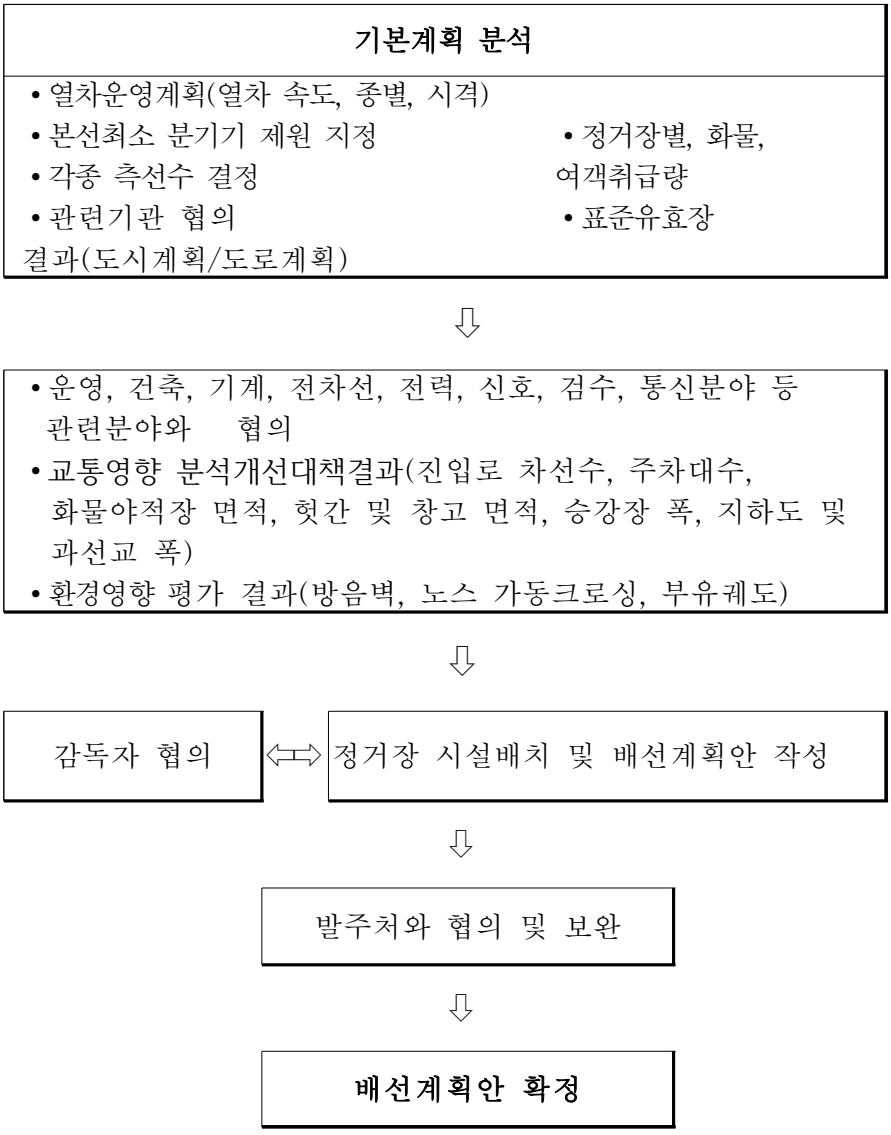


그림 13.2.2 정거장 배선계획 확정 흐름도

(4) Facilities for the handicapped

① Elevator for the handicapped, effective passage width (2.0 m or more) for the mobility handicapped on platform, clearance between platform edge and vehicle (50 mm or less), foothold, wheelchair lift and ramp shall be planned.

② For the visual handicapped braille blocks, warning blocks and broadcasting guidance shall be planned.

(5) Station planning on soft ground

① The structure of passenger passage shall be appropriately inclined to respond to residual settlement.

② Drainage structure shall be planned to ensure to flow capacity and to maintain slope to avoid back flow due to differential settlement.

③ When top soil thickness of track-crossing structure is 1.5 m or less, a 5.0 m-long approach slab shall be provided to maintain the surface level against the variation in trackbed stiffness and soft ground settlement.

④ Platform shall be constructed with easily adjustable structure to maintain a relative certain elevation above rail surface.

(6) Considerations by station depending on location

① Ground station

A. Site width shall be at least 4.0 m from outermost track center, and when an auxiliary facility is built with the building, necessary width shall be secured according to the facility layout.

B. Longitudinal slope shall be in accordance with "Railroad Construction Regulation and "Regulation on Railroad Construction Standard."

(a) Station where the trains are operated: 2 or less

(b) Exclusive motorized train track on which the trains are not operated: 10 or less, others: 8 or less

C. Cross-sectional slope shall be 3%, but within the range of 2% ~ 5% is acceptable if a slope of 3% is impossible to achieve. A drain shall be provided every 2 ~ 3 tracks.

D. A right-of-way boundary shall be in accordance with the civil works specification and design standard, and the width to accommodate environmental impact mitigation facilities shall be considered as needed.

E. Drainage shall be planned based on rainfall data and runoff calculated, and shall include surface drain, u-ditch, manhole, pit and open channel consistent with site conditions.

F. Fence shall be planned considering noise barrier, block or natural fence consistent with site conditions.

(4) 장애인 시설물

① 신체장애인를 위한 엘리베이터, 승강장에서의 교통약자이동편의를 위한 통로 유효폭(2.0m 이상) 확보, 승강장연단과 차량간 이격거리를 일정한계치(50mm)내로 유지하며, 부득이한 경우에는 안전발판을 설치, 장애인용 휠체어 승강기(Wheel Chair Lift), 장애인용 램프(Ramp)등의 설치계획을 검토한다.

② 시각장애인 대응설비로 유도블록, 경고블록, 유도방송설비 설치계획을 검토한다.

(5) 연약지반에 설치되는 정거장 계획

① 여객통로 구간의 구조물은 연약지반의 잔류침하에 대응할 수 있게 일정한 경사를 유지하도록 계획한다.

② 배수구조물은 부등침하에 의한 역류가능성을 배제하기 위하여 충분 하게 통수 또는 배수기울기를 확보할 수 있도록 계획한다.

③ 선로 횡단구조물의 토피가 1.5m 이하인 경우에는 노반강성변화와 연약지반 침하에 따른 최소한의 면맞춤을 유지하도록 길이 5.0m의 어프로치 슬래브를 계획한다.

④ 레일면과 상대적인 높이를 유지해야하는 승강장은 높이를 쉽게 정정할 수 있는 구조로 설치한다.

(6) 위치에 따른 정거장별 주요 검토사항

① 지상정거장

가. 지축폭은 최외방 선로중심에서 4.0m 이상으로 하며 건물과 같이 부대시설이 설치되는 구간은 시설배치 조건에 따라 필요한 폭을 확보한다.

나. 종단기울기는「철도건설규칙」및「철도의 건설기준에 관한 규정」에 따른다.

㉮ 차량을 해결하는 정거장 : 2‰ 이하

㉯ 차량을 해결하지 않는 전기동차 전용선 : 10‰ 이하, 그 외 정거장은 8‰ 이하

다. 횡단기울기는 3%로 한다. 단 부득이한 경우 2%~5%까지 조정 할 수 있다. 배수로는 연속하여 부설된 2-3개선마다 1개를 기준으로 설치한다.

라. 용지경계는 토공정규 및 설계기준에 의거하여 계획하며 환경영향 발생구간은 환경영향 저감시설설치를 고려한 용지폭을 확보한다.

마. 배수시설은 부지내의 강우강도를 조사한 후 유출량을 산출하여 현장조건에 부합되는 표면수로, U형 측구, 맨홀, 집수정, 횡단배수로, 개천내기를 계획한다.

바. 울타리는 정거장부지 지축 끝에 주위여건에 따라 방음벽 또는 블록울타리, 생 울타리를 설치한다.

G. Access road, plaza, underpass, overpass and parking lot shall be planned.

H. Turnout shall be installed at the location where ground strength is uniform, and when top soil thickness is 1.5 m or less, approach block shall be provided over the entire length of the turnout section.

I. Turnout shall not be installed to over the bridge and at-grade section and additional stress of rail by girder expansion near the bridge shall not exceed the allowable limit.

② Under-track and over-track station

A. Interval of column and floor height of station structure shall be planned through consultation with the architecture division.

B. Longitudinal slope shall be in accordance with the standard for a ground station.

C. Cross-sectional slope shall be 1% or more for drainage, and a separate drainage plan shall be developed for a wide station structure.

D. Structure design criteria shall be in accordance with the railway design criteria.

E. For surface drainage, drain shall be provided on slab so as to drain through rainwater pipe on pier or abutment to gutter.

F. Structure plan shall incorporating with moving facilities such as elevator and escalator, and fire-fighting equipment, HVAC (heating, ventilation, air conditioning), sanitation, cables such as signal, communication, electrical and catenary system.

G. Auxiliary facilities that make use of the available space in the structure shall be planned.

H. Under-track structure shall be planned in an environment-friend by providing the passengers and station employees with a comfortable conditions with reduced noise and vibration.

I. A right-of-way boundary shall be planned based on the foundation or superstructure, whichever is wider, considering the constructability when obstacles are encountered.

③ Underground station

A. With the exception of the electrified section for motorized car and passenger service only, to maintain a certain level of air quality the station shall not be built under the ground, with the exception of an electrified section for container trains only that do not generate pollutants.

B. Relief track shall be provided according to the train operation plan, and a space for turnout and maintenance workers shall be provided when installing the turnout.

C. Longitudinal slope shall be 2 or more for drainage.

D. At least 1.0 m from the outer side of side wall shall be secured for the right-of-way boundary; however, this may be determined considering environmental impact when an obstacle exists.

사. 진입도로, 광장, 지하통로 및 구름다리, 주차장을 계획한다.

아. 분기기는 노반강도가 균등한 구간에 설치하며, 지하구조물의 토피가 1.5m 이하인 경우 분기기 전연장에 어프로치블럭 설치를 검토한다.

자. 교량과 토공구간에 걸쳐, 분기기를 설치하지 않으며 교량과 인접한 구간에서는 거더 신축에 의한 레일 부가응력이 허용기준 이내가 되도록 한다.

② 선하정거장 및 고가정거장

가. 정거장 구조물의 기둥간격과 층간높이는 건축분야와 협의하여 계획한다.

나. 종단기울기는 지상정거장의 기준을 따른다.

다. 횡단기울기는 배수가 원활하게 1% 이상으로 하며 폭이 넓은 정거장은 별도의 배수계획을 수립한다.

라. 구조물 설계기준은 철도설계기준을 따라야 한다.

마. 표면배수는 슬래브에 배수구를 설치하며 교각 또는 교대에 설치하는 우수 유출관으로 집수되어 측구로 유출되게 한다.

바. 정거장에 설치되는 엘리베이터, 에스컬레이터 등 승객 이동시설, 소방설비, 공조, 냉난방, 위생설비, 신호, 통신, 전기, 전차선 등 각종케이블 설치를 고려한 구조물을 계획한다.

사. 구조물의 공간 활용을 위하여 필요시 부대시설 계획한다.

아. 선하구조물은 승객과 근무하는 직원과 같이 이용자에게 쾌적한 환경을 제공할 수 있게 소음 및 진동저감을 할 수 있는 친환경적 구조로 계획해야 한다.

자. 용지경계는 기초와 상부구조물 중 큰 폭을 기준으로 계획하며 지장물이 발생하는 구간은 시공성을 고려한 폭으로 한다.

③ 지하정거장

가. 지하정거장에서의 대기질 유지를 위하여 전철화 전용구간이며 전동차 및 여객전용으로 운행하는 선로를 제외하고는 지하에 정거장을 설치하지 않는다. 단 전철전용구간으로 콘테이너 전용열차 등 분진을 발생하지 않는 화물을 운반하는 구간의 경우는 예외로 한다.

나. 열차 운영계획에 따라 필요시 대피선을 부설하며, 분기기 설치구간에서는 분기기설치와 보수요원 대피공간을 확보한다.

다. 종단기울기는 배수를 위하여 2‰ 이상으로 계획한다.

라. 용지폭은 측벽 외측으로부터 1.0m 이상을 확보한다. 다만 지상에 지장물이 있을 경우는 민원 및 지역여건에 따라 환경친화를 고려하여 별도로 정할 수 있다.

E. Underground structure shall be designed according to 「Chapter 7 Underground structure」.

F. Sewage and leakage shall be drained in gravity separately to sump pit and sewer (cleaning water, domestic sewage) or drain shall be installed separately.

G. Structure plan shall incorporating with moving facilities such as elevator and escalator, and fire-fighting equipment, HVAC, ventilation, sanitation, cables such as signal, communication, electrical and catenary system.

H. Exit sign, air supply, gas emit, smoke removal, fire prevention door and special exit stairs required by the disaster prevention program shall be installed in cooperation with the relevant divisions.

I. A space for the toilet for train crew members shall be provided on the platform of start and terminal station (or return track).

J. Flood prevention facilities shall be provided at entrance, vent and openings according to the Article 64 of Urban Railroad Construction Regulation.

13.3 Station track layout

13.3.1 General for track layout design

(1) General

① Station track layout shall be planned based on the station classification, i.e. terminal station, intermediate station, junction station or crossing station based on its location in the connection network, and shall be planned based on its function ordinary station, shunting yard, signal station and depot. (see <Fig. 13.3.1>)

② Station layout shall be planned considering passenger service, freight service, combined service, HSR only or combined operation, express or commuter, passing train, standby and transfer to urban railway.

③ Station shall be built straight and with good visibility, unless there are inevitable conditions.

④ Interference with shunting work or train handling shall be minimized.

⑤ When a departing and arriving train interfere with each other, layout shall be designed to mitigate the interference to the arriving train rather than the departing train.

마. 지하구조물 설계는「제7장 지하구조물」에 따른다.

바. 지하정거장에는 오수, 누수를 분리하여 배수처리를 하되 집수정까지 자연배수가 되도록 하고 오수(청소수, 생활하수)처리관을 매설하거나 배수로를 설치하여 별도 집수 처리토록 한다.

사. 엘리베이터, 에스컬레이터(상하행) 등 승객 이동시설, 소방설비, 환기, 공조, 냉난방, 위생설비, 신호, 통신, 전기, 전차선 등 각종케이블 설치를 고려한 구조물을 계획한다.

아. 화재 발생시 방재프로그램에 의한 비상유도등, 급기, 배기, 제연설비, 방화문, 특별피난계단을 설치하기 위한 시설을 해당분야로부터 제원을 제공받아 설치한다.

자. 전기동차의 시・종착역 승강장(또는 회차선)에는 열차 승무원이 이용할 수 있는 화장실 건축 공간을 계획한다.

차. 출입구, 환기구 등 개구부에는 필요시 도시철도건설규칙 제64조에 따라 침수방지설비를 계획한다.

13.3 정거장의 배선

13.3.1 배선설계 일반

(1) 일반사항

① 정거장 배선은 계획노선과 연계노선 체계상의 설치위치에 따른 종단역, 중간역, 분기역, 교차역으로 분류하고 정거장 기능에 따라 보통역, 조차장, 신호장, 기지와 같이 사용목적에 따라 계획한다. (<그림 13.3.1> 참조)

② 정거장 배선은 여객전용 및 여객화물열차 혼용, 고속열차전용 또는 혼용 및 장거리 급・완행열차의 통과 및 대피, 도시철도와의 환승을 고려한다.

③ 정거장은 투시를 양호하게 하고, 부득이한 경우를 제외하고 직선으로 한다.

④ 구내의 입환작업 및 열차취급에 상호간섭을 최소화 할 수 있게 배선한다.

⑤ 정거장에서 착발열차가 간섭되는 경우의 배선은 출발시보다 도착시의 경합을 줄이도록 배선한다.

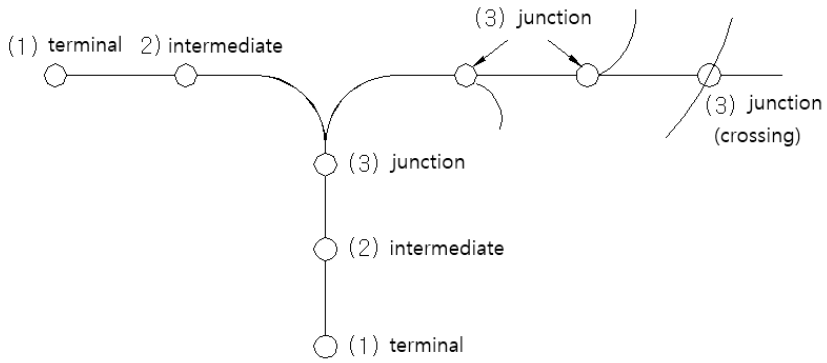


Fig. 13.3.1 Classification of station based on its location in the connection network

⑥ Purpose of the track use shall be simplified with the track layout separating mainline from lead track, classification track from standby track.

⑦ Number of turnouts in main line shall be minimized as possible, and turnout shall be arranged for the train to pass through straightly.

⑧ Turnout shall be arranged to be concentrated for effective maintenance, and shall be trailing turnout if possible.

⑨ Special turnout shall be avoided, unless there are inevitable conditions.

⑩ Track distance shall be in accordance with 「Railroad Construction Regulation」.

⑪ Layout shall be planned to secure the each track mutual flexibility considering of the layout to deal with any emergency situation.

⑫ Layout shall be designed considering buildings, underpass, passage, drainage, sewer, water pipe, catenary pole, power cable, communication and signal cable, lighting pole and signal pole.

⑬ When modifying the track layout in existing station, construction plan shall be developed in step by step to avoid interference in train operation and service.

⑭ Layout plan shall incorporate rail expansion joint, insulation joint and transition rail.

⑮ Storage track for maintenance equipment shall be provided at the station as possible.

(2) Track spacing in station

① Distance between track centers shall be in accordance with 「Regulation on Railroad Construction Standard」 considering the train operation and handling, various equipments between tracks, maintenance and shunting.

② When installing the facilities such as signals near the track, the track spacing in station shall be widen to secure the construction gauge.

③ When a cart way for maintenance between tracks is provided, it shall be 1.5 m or more.

④ Distance between mainline and sub-mainline track centers for HSR shall be 6.5 m; when a windbreak is installed, this may be reduced depending on the train speed.

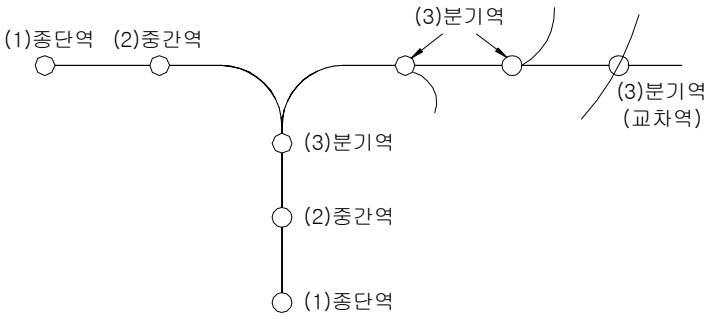


그림 13.3.1 연계노선 체계상의 위치에 따른 역 분류

⑥ 본선과 인상선, 분별선과 대기선을 분리하는 배선으로 하여 선로의 사용용도를 단순화한다.

⑦ 본선상의 분기기 수는 가능한 적게 하고 분기기의 설치는 통과열차가 직선으로 통과하도록 배치한다.

⑧ 분기기는 유지관리가 편하도록 집중배치하며 가능한 배향 분기기가 되도록 배치한다.

⑨ 특수분기기는 부득이한 경우를 제외하고는 설치하지 않도록 한다.

⑩ 선로간격은 「철도건설규칙」에 따라 배치한다.

⑪ 사고시에 대응하는 배선을 고려하여 각선 상호의 융통성을 확보하도록 배선한다.

⑫ 선로 배선시는 각종 건물배치, 지하도, 구내도로, 우수 배수관로, 오수 및 폐수관로, 상하수도관로, 전차선 지지주, 전력, 통신, 신호케이블 매설 및 조명주, 신호주 위치를 고려한다.

⑬ 기존정거장에서의 모양변경을 위한 배선시는 열차운행 및 영업에 지장이 없도록 단계별 시공계획을 수립한다.

⑭ 배선시는 레일신축이음매, 절연이음매, 중계레일 설치를 고려한다.

⑮ 보선장비 유치선은 가능한 측선이 부설되는 정거장에 부설토록 한다.

(2) 정거장내 선로간격

① 궤도의 중심간격은 「철도의 건설기준에 관한 규정」에 따라야 하며, 열차의 운행 및 취급과 선로사이에 설치되는 각종 설비와 보수유지관리, 열차의 입환을 고려해야 한다.

② 정거장내의 선로의 중심간격은 신호기와 같이 선로에 인접한 시설을 설치할 경우 건축한계를 확보 할 수 있도록 선로의 중심간격을 확대해야 한다.

③ 선로사이에 보수용 재료를 운반하기 위한 손수레 운반용 도로를 설치하는 경우는 1.5m 이상으로 한다.

④ 고속철도 전용선은 통과본선과 부본선간 궤도중심 간격을 6.5m로 하며, 방풍벽을 설치할 경우 통과속도에 따라 이를 축소 할 수 있다.

(3) No conflict shall be allowed in the layout design.

① Turnout shall be arranged to avoid conflict between, transition curve and vertical curve.

② Turnout and circular curve shall be arranged to avoid conflict each other, if possible.

③ Turnout and underpass with thin topsoil shall be avoided each other if possible, unless it is inevitable turnout shall not be negatively affected by uneven ground strength.

④ Turnout shall not be installed over the boundary between at-grade and bridge or girder expansion joint, and though considering economics it may be installed at the section where the train runs at 150 km/h or less, axial force of CWR (continuous welded rail) shall be considered and it shall be arranged to avoid conflict between switch or crossing and girder expansion joint.

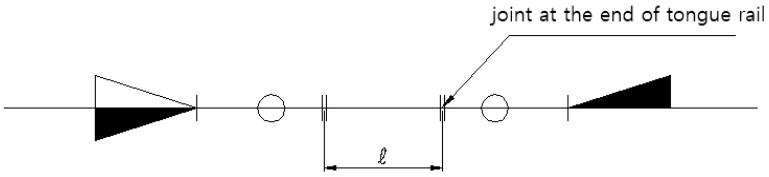
(4) Installation of turnout

① Turnout to be installed on station mainline shall be at least the weight of the mainline, and a movable nose crossing shall be applied to a station exceeding passing speed of 160 km/h. Noise and vibration shall be mitigated even at low speeds, and movable nose crossing shall be applied as needed, excluding special crossings such as SCO (scissors crossover) and DSS (double slip switches) for special turnout.

② Interval between turnouts

When turnouts are installed continuously, the interval is as shown in <Fig. 13.3.2>. But for HSR, 12# - 46# shall be applied depending on operation speed, headway and operating status of through train, and the interval between turnouts and the clearance from the structure shall be based on the relevant standard.

A. Interval between facing turnouts



l : Distance between joints of tongue rail end of facing turnout
10.0 m or more for mainline
5.0 m or more for sidings

(3) 배선 설계시 경합금지

① 분기기와 완화곡선 및 종곡선과 경합하지 않도록 배치한다.

② 분기기와 원곡선은 부득이한 경우를 제외하고 경합하지 않도록 배치한다.

③ 분기기와 토피가 작은 지하횡단구조물은 가능한 피하도록 배치하며, 부득이한 경우에는 노반강도의 불균질이 분기기에 악영향을 미치지 않도록 조치한다.

④ 분기기는 교량과 토공이 접하는 곳이나 거더 신축이음부는 경합되지 않도록 배치한다. 단 경제성을 고려하여 통과속도 150km/h 미만으로 운행하는 구간에서는 배치를 할 수 있으나, 거더 신축에 따른 장대레일 축력을 고려하되 분기기의 스위치부 및 크로싱부가 거더 신축이음부와 경합되지 않도록 한다.

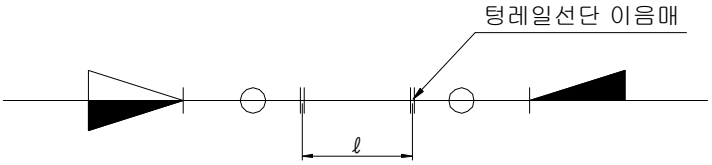
(4) 분기기 부설

① 정거장 구내본선에 설치하는 분기기는 본선 부설레일중량 이상으로 하고, 통과속도 160km/h를 초과하는 정거장은 가동 노스크로싱을 적용하며 저속으로 통과하는 정거장의 경우에도 소음, 진동의 최소화 및 유지보수상 필요시에는 가동 노스크로싱을 적용한다. 단 SCO, DSS와 같이 특수분기기에 설치되는 특수 크로싱은 예외로 한다.

② 분기기의 간격

분기기를 연속하여 설치하는 경우 분기기간 간격은 <그림 13.3.2>와 같이 한다. 단 고속철도의 경우에는 운행속도, 운전시격, 통과열차 운영여부에 따라 12# - 46#을 적용하며 분기기 간격, 구조물로부터의 이격거리는 별도의 설치기준에 의한다.

가. 상대하는 분기기의 간격

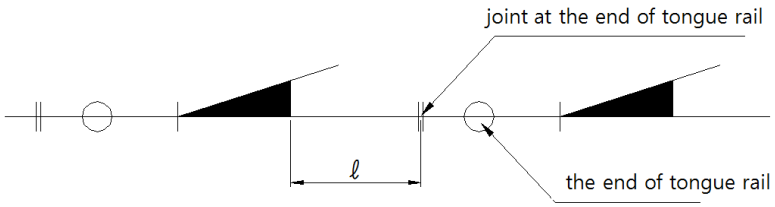


ℓ : 상대하는 분기기의 텅레일선단 이음매간 거리

본선 10.0m 이상

측선의 경우 5.0m 이상

B. Distance between turnouts



l : Minimum distance between turnouts

Rear end of mainline turnout and tongue rail front end joint: minimum of 10.0 m, 5.0 m if inevitably necessary

Rear end of siding track turnout and tongue rail front end joint: minimum of 5.0 m

Fig. 13.3.2 Minimum distance between turnouts

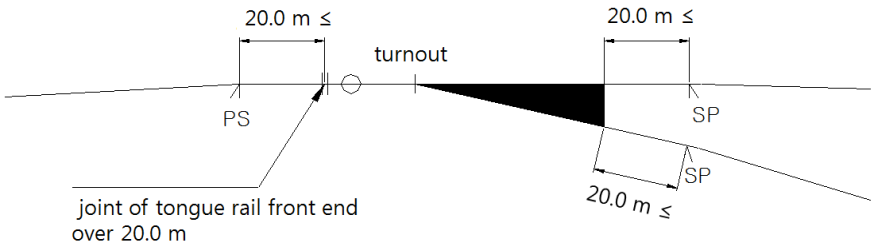
③ Straight length required between turnout and curve

Minimum straight length required between turnout and curve shall be as specified in <Fig. 13.3.3>. But for HSR, it shall be in accordance with the separate standard depending on operation speed and headway.

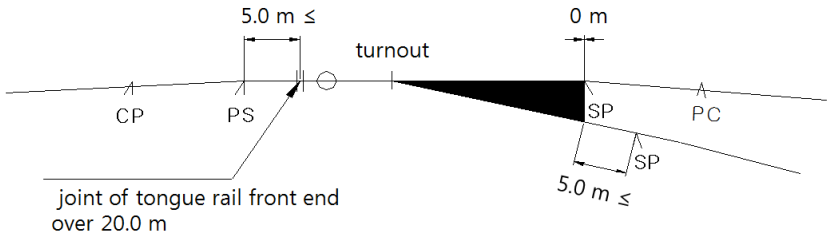
④ Installation of turnout

Turnout to be installed on mainline shall be in accordance with train speed, headway, operating status of through train and distance between turnout and stopping point. Turnout to be installed on siding track shall be 8# or higher.

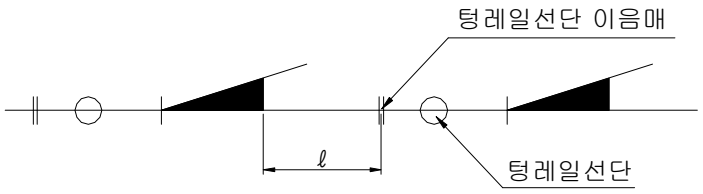
A. Recommended (when transition curve is provided)



B. When inevitably necessary (when transition curve is not provided)



나. 분기기간 거리



ℓ : 분기기간 최소 거리

본선 분기기후단-텅레일 선단이음매 : 최소10.0m 부득이한 경우 5.0m

측선 분기기 후단-텅레일 선단이음매 : 최소 5.0m

그림 13.3.2 분기기간 최소간격

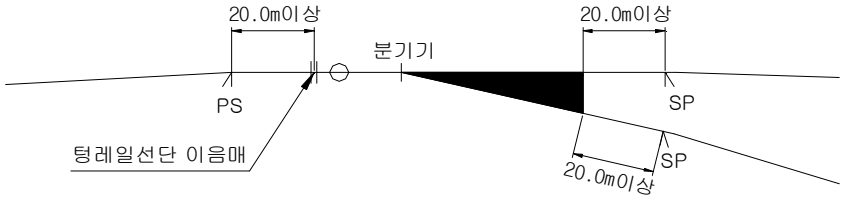
③ 분기기와 곡선간의 필요한 직선길이

분기기와 곡선간의 필요한 최소 직선거리는 <그림 13.3.3>에 표시한 거리 이상 확보한다. 단 고속철도의 경우 운행속도, 운전시격 등에 따라 분기기와 곡선간의 필요한 최소직선거리는 별도의 설치기준에 의한다.

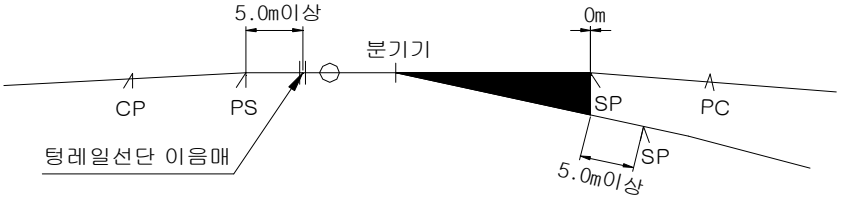
④ 분기기 설치

본선에 설치되는 분기기는 열차운전속도, 열차운전시격, 통과열차 취급여부, 분기기에서 열차정지 목표까지의 거리에 따라서 별도로 정한다. 측선에 설치되는 분기기는 8# 이상으로 한다.

가. 바람직한 경우(완화곡선 있을 때)



나. 부득이한 경우(완화곡선 있을 때)



C. When inevitably necessary (when no transition curve is provided)

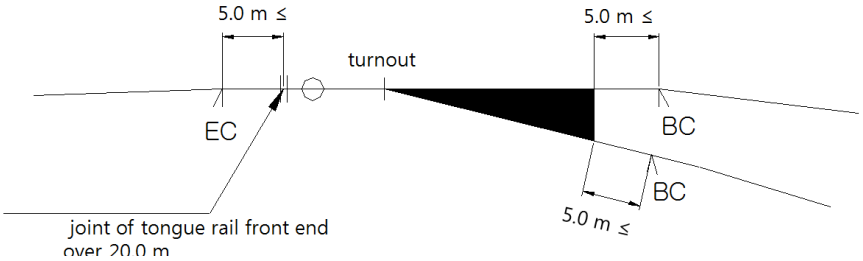


Fig. 13.3.3 Straight length required between turnout and curve

(5) Station plan drawing

① Scale of track layout shall be 1/1,000, and the scale of the layout map shall be 1/1,000 horizontally and 1/3,000 vertically.

② Location of buildings and site boundary shall be displayed.

③ Existing line, planned line and demolition line of the station being modified shall be distinguished by using different colors.

④ Layout of mainline, sub-main track, arrival/departure track, passing track and sidings track shall be planned for each direction (up/down) for operation efficiency and safety.

13.3.2 Effective length

(1) Determination of effective length

① Effective length based on the train operation plan shall be secured according to the railway construction basic plan as defined by 「Article 7 of Railroad Construction Law」.

② Safety allowance in equation to calculate the effective length of the siding track shall be as below.

A. Lead track: 20 m

B. Passenger car storage track: 20 m

③ The effective length of the track to be connected shall be considered to facilitate efficient train operation.

(2) Measurement of effective length

Effective length of track shall be as follows

① Mainline

A. When clearance posts are at both ends of the track, use either clearance posts distance or insulation joint distance, whichever is smaller.

다. 부득이한 경우(완화곡선 없을 때)

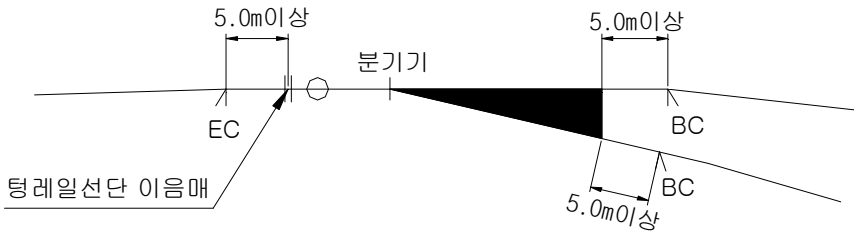


그림 13.3.3 분기기와 곡선간의 필요직선길이

(5) 정거장평면도 작성

① 배선계획도의 축척은 1/1,000으로 하며 배선약도의 축척은 횡방향 1/1,000, 종방향 1/3,000으로 한다.

② 필요한 제 건물의 위치 및 소요용지 경계를 표시한다.

③ 정거장 개량 도면에는 모양변경중인 정거장은 기존선, 계획선, 철거선을 색으로 구분한다.

④ 본선, 부본선, 착발선, 대피선, 통과선, 유치선, 측선은 열차운용 효율증대와 열차운행 보안을 위하여 상하선 방향별 배선을 계획한다.

13.3.2 유효장

(1) 유효장 설정

① 정거장안의 선로에는 「철도건설법 제7조」의 규정에 의해 철도건설 기본계획에서 정한 열차운행계획에 따라 유효장을 확보한다.

② 측선의 유효장은 유효장을 구하는 식에서 여유거리는 다음과 같다.

가. 인상선 : 20m

나. 객차 유치선 : 20m

③ 열차운행효율을 원활히 할 수 있게 가급적 연계되는 노선의 유효장을 고려하여 계획한다.

(2) 유효장 측정

선로의 유효장은 아래와 같다.

① 본선

가. 선로의 양단에 차량접속한계표가 있을 때는 양 차량접속한계표 또는 절연이음매 사이 길이 중 작은 값

B. When start signal is available, use either clearance posts distance or insulation joint distance, whichever is smaller.

C. When a buffer stop is provided, use clearance posts distance (insulation joint) or the distance from departure signal to front of buffer stop, front of heap of rubble or insulation joint, whichever is smaller.

D. When a train stop post is installed, use the distance from train stop post to clearance posts or to insulation joint, whichever is smaller.

② Siding track

A. When turnout is at both ends, effective length shall be the distance between clearance posts. But on track with track circuit, it shall be at between the insulated rail joint.

B. When a buffer stop is provided at the end of the track, effective length shall be to the front of buffer stop on clearance posts or the front of heap of rubble. But, on track with track circuit, it shall be to the insulated rail joint.

C. When turnout is facing to the train such as drill track, it shall be from the joint at the beginning of turnout, but when track circuit is provided, it shall be from insulated rail joint. The end of effective length shall be the same as B.

(3) Installation of turnout within track effective length

① For safety purposes no turnout shall be planned within the effective length of the mainline.

② Turnout may be installed within the effective length considering economic efficiency in each of the following cases.

A. When a siding track is not used for train departure or arrival

B. When branching off the freight storage track that requires less shunting work

C. When branching off the storage track that requires less shunting work

D. When branching off the locomotive waiting track that requires less work

E. When branching off the storage track for maintenance train

13.3.3 Installation of safety siding track

(1) Location for safety siding track (including lead track)

① Where train operation may be interfered with when two or more trains are moving in/out at a time.

② Where protection from train collision is needed when mainline or siding track is crossing with or switching to others.

A. When handling the train moving in opposite direction

B. When handling the train moving in the same direction

나. 출발신호기가 있는 경우 그 선로의 차량접속한계표 또는 절연이음매에서 출발신호기의 위치까지 길이 중 작은 값

다. 차막이가 있는 경우는 차량접속한계표(절연이음매) 또는 출발신호기에서 차막이의 연결기받이 전면위치, 차막이 앞 자갈무덤까지 또는 절연이음매까지 길이 중 작은 값

라. 열차정지위치표가 설치되어 있는 경우는 열차정지 위치표에서 차량접속한계표 또는 절연이음매까지 길이 중 작은 값

② 측선

가. 양단에 분기기가 있는 경우는 전후의 차량접속한계표 사이의 길이 단 궤도회로의 설비가 있는 선로에서는 레일절연이음매 사이로 한다.

나. 선로의 끝에 차막이가 있는 경우는 차량접속한계표에서 차막이의 연결기받이 전면까지 또는 차막이 앞 자갈무덤까지, 단 궤도회로의 설비가 있는 선로에서는 레일절연이음매까지로 한다.

다. 인상선 등 분기기가 열차에 대하여 대향인 경우에는 분기기 시점에 위치한 이음매부터로 한다. 단 궤도회로의 설비가 있는 경우에는 레일절연이음매부터로 한다. 유효장의 끝부분은 “나.”와 같이 한다.

(3) 선로유효장내의 분기기 설치

① 본선의 유효장내에는 안전확보를 위해 분기기를 설치하지 않도록 계획한다.

② 다음과 같은 경우에는 경제성을 고려하여 유효장내 분기기를 설치할 수 있다.

가. 분기하는 측선을 열차 착발선으로 사용하지 않는 경우

나. 입환작업이 적은 화물적하선을 분기할 때

다. 입환작업이 적은 유치선을 분기할 때

라. 작업이 적은 기관차대기선을 분기할 때

마. 보수용 차량용 유치선을 분기할 때

13.3.3 안전측선 설치

(1) 안전측선(인상선 포함)의 설치개소

① 2개 이상의 열차 또는 차량을 동시에 진입, 진출시킬 경우에 열차의 진로에 지장우려가 있는 개소

② 본선 또는 중요한 측선이 다른 본선과 평면교차 또는 전환하는 경우에 열차상호간 충돌 가능성을 고려하여 방호할 필요가 있는 개소

가. 대향열차를 취급할 때

나. 동방향 열차를 취급할 때

③ Where the train operation in site may be interrupted by overrun by another train

④ The length of safety siding track shall be 75 m or longer from clearance posts of turnout.

(2) When safety track not be provided

① When a signal next to the signal has a warning signal with reveal device for protect

② When a safety allowance greater than 200 m from ATS (automatic train stop) signal device or train stop device is provided ahead of buffer stop (150 m or longer for engine train and electric train); however, for siding track in station, when 50 m safety allowance or more for overrun is provided ahead of shunting signal, or train stop sign or train speed at station is limited to 25 km/h or less

② When ATC (automatic train control) is installed

A. When either signal display is green, and another is interlocked to display the red to prevent two trains from approaching each other at the same time, no safety siding track is required.

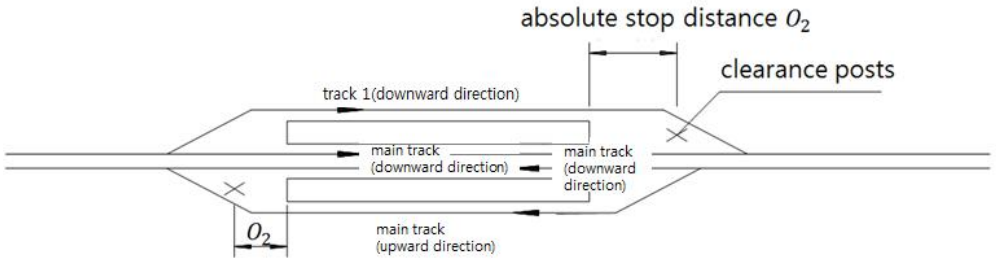


Fig 13.3.4 When ATC is installed

13.3.4 Track layout of passenger station

Passenger station shall be classified as follows, and tracks shall be layed out to maximize the function depending on speed, function and type of train.

(1) Single line, double line and quadruple track line

(2) Scale of station

① Large station

② Small station

(3) Function of station

① Intermediate station (relief, intermediate turn around)

② Start/terminal station (backward turn around, bay platform station)

③ Station neighboring depot (serial, parallel type)

(4) Type of train to handle

① Exclusively for passenger train

③ 구내운전으로 차량이 과주(Over Run)하여 다른 열차에 지장을 줄 우려가 있는 개소

④ 안전측선의 길이는 안전측선을 설치하는 분기기의 차량접촉한계에서 75m 이상을 표준으로 한다.

(2) 안전측선을 생략하는 경우

① 방호를 위해 신호기 외방의 신호기가 경계신호를 현시하는 장치를 가졌을 때

② ATS설비 신호기 또는 열차정지 장치의 위치에서 전방으로 200m 이상의 과주여유 거리를 설정했을 때(동차 및 전동차는 150m 이상) 단, 정거장내 측선의 경우는 입환 신호기 또는 차량정지 표식의 전방으로 50m 이상의 과주여유거리를 설치했을 때 또는 구내운전속도를 25km/h 이하로 설정 되었을 때

③ ATC를 설치했을 때

가. 한 쪽의 장내신호가 진행 신호현시일 때 다른 쪽의 장내신호기가 반드시 정지신호현시 되도록 연동을 설치, 동시진입이 되지 않도록 하는 경우 안전측선은 불필요하다.

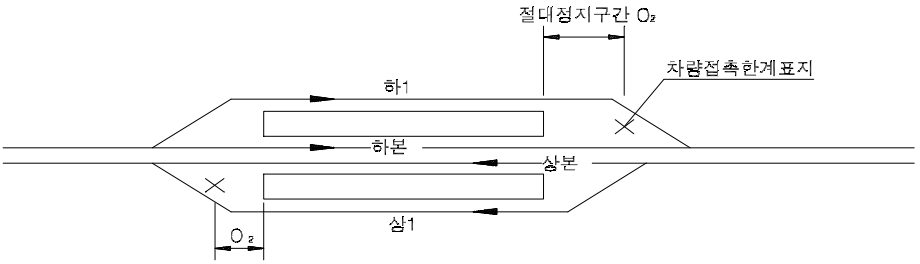


그림 13.3.4 ATC를 설치한 경우

13.3.4 여객정거장 배선

여객정거장은 아래와 같이 분류하여 노선의 속도, 기능, 취급열차종류에 따라 기능을 극대화 할 수 있도록 배선한다.

(1) 단선, 복선, 복복선

(2) 정거장 규모

① 대규모역

② 소규모역

(3) 정거장 기능

① 중간역(대피역, 중간 반복역)

② 시종점역(후부 회차형, 두단식 정거장)

③ 차량기지 인접역(기지 직결형, 기지 병렬형)

(4) 취급열차의 종류

① 일반여객열차 전용

② Combined passenger-freight train
③ Electrified train
④ Exclusively for high-speed railway
⑤ Whether it handles through train or relief train

13.3.5 Track layout of freight station

Freight station shall be classified as follows , tracks shall be layed out to maximize the function depending on station function, location and type of freight.

(1) Container station
① Container station shall have sufficient freight platform width to handle the freight.
② Layout and facilities are dependent on function of the container yard, and their major elements are as follows.
A. Facilities by type and by function
B. Yard , freight platform related with track layout type
C. Exclusive container yard or track layout type according to small yard

(2) Accommodation and shunting capacity
① Accommodation capacity is estimated based on the sum of the effective length/14.0 m of the tracks that can store the freight train such as freight siding, train storage track and loading track, rounded down to the nearest whole number.
② Shunting capacity is estimated based on accommodation capacity × 0.7, rounded down to the nearest whole number.
③ Up/down mainline, sub-main track, lead track, equipment storage track, car washing, inspection track and engine track shall be excluded when determining accommodation and shunting capacity.

13.4 Passenger service facilities

13.4.1 General for passenger service facilities

(1) This shall be determined considering functional and required transportation demand characteristics, and shall be categorized into platform, passage and plaza, while access road shall be determined separately.
(2) Passenger service facilities such as parking lot, building, platform and platform stairs shall be planned by incorporating the traffic impact assessment report, architectural plan and architectural design.

② 일반여객열차 및 화물열차 혼용
③ 전철전용
④ 고속철도 전용
⑤ 통과열차 및 대피열차 취급여부

13.3.5 화물정거장 배선

화물정거장은 아래와 같이 분류하여 역의 기능, 위치, 화물의 종류에 따라 기능을 충분하게 발휘할 수 있도록 배선한다.

(1) 콘테이너 취급정거장
① 콘테이너 취급정거장은 적하장 폭, 콘테이너 적치장에서 하역작업 설비가 작업에 협소하지 않도록 설비한다.
② 콘테이너 야드 기능에 따라 설비 및 배선방식이 상이하며 그 주요 요소는 아래와 같다.
가. 유형별, 기능별 배치할 시설
나. 야드, 적하장과 연계배선방식
다. 콘테이너 전용야드 또는 소규모 야드에 따른 배치방식

(2) 포용량 및 입환 가능량
① 포용량은 측선 중 화물측선, 열차유치선, 적하선과 같이 화차유치가 가능한 각 선로의 유효장/14.0m값에서 소수점 이하 버린 값을 합하여 산출한다.
② 입환 가능량은 포용량×0.7값에서 소수점 이하 버린 값으로 산출한다.
③ 상하 본선 및 부본선, 인상선, 장비 유치선, 세척선, 검수선, 기회선 등은 포용량 및 입환 가능량에서 제외한다.

13.4 여객설비

13.4.1 여객설비 일반

(1) 여객설비는 기능적 특성 및 수송수요의 특성을 감안하여 결정하며 승강장, 통로, 역 광장으로 구분하고 접근도로는 별도로 정한다.
(2) 정거장내의 주차장, 건물, 승강장 및 승강장 계단과 같은 여객시설은 교통영향 분석 개선대책결과와 건축계획 및 건축설계 결과를 반영해야 한다.

13.4.2 Passenger passage

(1) At-grade/multi-level passage

① Passenger passage shall be planned as a multi-level structure to ensure the safety of passenger traffic and train operation, but may be allowed for an at-grade passage in case of a low deck platform with 100 passengers or less a day and No. of passing trains being less.

(2) At-grade passage (passage at station)

① The width shall be 3.0 m or more.

② At-grade passage crossing mainline or sub-mainline shall be used with prefabricated panel for upgraded maintenance for track.

(3) Overpass (over-bridge)

① Distance from platform edge to column (including lighting pole, catenary pole) shall be 1.5 m or more, and the traffic shall be granted for the mobility handicapped.

② Effective height from rail surface to overpass shall be meet or exceed the requirements of「Railroad Construction Regulation」.

(4) Underpass for the passenger

① Concrete box structure shall be used in principle.

② As it crosses under the track, waterproofing and drainage shall be considered.

③ Vent and lighting shall be provided according to the relevant standard.

(5) Width of overpass, underpass and stairs

① These shall be determined by the architectural team according to the number of passengers proposed in the traffic impact assessment report.

② The following facilities shall be provided for the mobility handicapped.

A. Elevator and escalator for movement at station and platform

B. 600 mm-wide warning blocks in front of the stair for the visually impaired

C. Braille block from platform to stairs

13.4.3 Platform

(1) General for platform design

① Platform shall be either island type or separate type, whichever is applicable.

② Low deck platform for ordinary passenger train and high deck platform for electrified train.

③ Platform structure shall be either concrete wall or block, depending on ground condition.

④ Platform design shall be in accordance with「Railroad Construction Regulation」and「Articles 22 & 23 of Regulation for railroad standard」.

⑤ In underground station platform screen door shall be considered for passenger safety and a comfortable environment.

13.4.2 여객통로

(1) 평면과 입체통로

① 여객통로는 여객통행 및 열차운행의 안전성확보를 위해 입체통로를 설치한다. 단 낮은 승강장으로서 1일 승객수가 100인 미만이고 열차운행횟수가 적은 경우 평면통로로 할 수 있다.

(2) 평면통로(구내통로)

① 평면 통로폭은 3.0m 이상으로 하며 부득이한 경우, 2m 이상으로 한다.

② 선로의 유지보수성 제고를 위하여 본선 및 부본선을 횡단하는 평면통로에는 조립식 보판을 사용해야 한다.

(3) 구름다리(과선교)

① 승강장연단에서 기둥까지 (조명주, 전차선주 등 포함) 1.5m 이상 이격하여 설치한다. 단, Wheel Chair장애인과 같은 교통약자의 통행에 지장이 없도록 계획한다.

② 레일면에서 철도를 횡단하는 구름다리(과선교)의 유효공간 높이는「철도건설규칙」에서 정한 높이 이상을 확보한다.

(4) 여객지하도

① 지하도설계는 철근콘크리트 박스형을 일반으로 한다.

② 지하도는 선로 밑을 횡단하므로 방수와 배수를 고려해야 한다.

③ 지하도에는 기준에 부합되는 환기, 조명을 설치하도록 한다.

(5) 구름다리 및 지하도와 계단의 폭

① 구름다리 및 지하도와 계단의 폭은 교통영향 분석개선대책에서 제시된 승·하차 인원과 관련기준에 따라 건축분야에서 결정한다.

② 교통약자의 이동편의증진을 위하여 다음 설비를 설치해야 한다.

가. 역사와 각 승강장간 이동에 필요한 엘리베이터, 에스컬레이터를 설치

나. 계단 앞에는 시각장애인 위험표시용 폭 600mm의 경고블록설치

다. 승강장에서 계단까지 유도블록설치

13.4.3 승강장

(1) 승강장설계 일반

① 승강장은 섬식, 상대식으로 구분하고 정거장의 특성에 맞게 적용한다.

② 일반여객열차는 낮은 승강장으로 전철전용 승강장은 높은 승강장으로 설치한다.

③ 승강장의 구조는 지반조건에 따라 콘크리트 옹벽 또는 콘크리트 블록으로 계획한다.

④ 승강장 설계는「철도건설규칙 및 철도의 건설기준에 관한규정 제22조 및 제23조」의 규정에 의거 설계한다.

⑤ 지하정거장에서는 승객의 안전 및 쾌적성을 제고하기 위하여 스크린도어를 설치를 검토한다.

(2) Platform width

① Platform width shall be planned based on number of boarding/ disembarking passengers after considering the traffic impact assessment report.

(3) Platform length

① Platform length = longest train length (length of one train x number of trains) + (safety allowance for overrun)

② Safety allowance for overrun for motorized train shall be 5 m on ground and 1m in underground, and 10 m for ordinary cases. But when ATO (automatic train operation) or PSD (platform screen doors) is provided, it may be excluded at the section for electric train.

(4) Platform height

① Platform height shall be 500 mm from rail surface when passenger train has a foot step at passenger platform.

② Shall be 1,135 mm from rail surface on direct-fastened track, and 1,150 mm on non direct-fastened track when passenger train has no foot step at electric train platform.

(5) Platform distance

① Distance from track center to platform edge shall be 1,675 mm for straight platform at low deck platform (ordinary train), 1,610 mm for direct-fastened track for electric train (train and platform edge clearance is less than 50 mm) and 1,700 mm in case of a non direct-fastened track.

② On a curved platform, this shall be expanded considering cant, curve radius, slack and train dimensions, and a safety foothold shall be provided for safety when the clearance between platform edge and train is wide.

(6) Cross slope and longitudinal slope of platform

① Cross slope shall be provided on platform for drainage, and it may be on either side or on both sides depending on platform conditions. Maximum slope shall be 2%.

② Warning block with anti-slip tile shall be used on platform edge, and a warning block shall be placed 60 ~ 80 cm from the edge for the visually impaired.

③ Cables on platform shall be buried in common duct.

13.4.4 Station plaza

(1) Location and shape

① These shall be planned after considering connectivity between the station and existing road, street traffic status and the traffic impact assessment report.

② Location shall be determined after considering the location and track layout of the station, facility layout and the connectivity with related facilities.

③ Location shall be planned after considering connected traffic facilities such as pedestrian passage, vehicle and urban railway.

(2) 승강장의 폭

① 승강장 폭은 교통영향 분석개선대책 자료를 토대로 승차 및 하차인원에 따라 계획한다.

(3) 승강장 길이

① 승강장의 길이=최장열차 편성길이(1량 길이×연결량수)+과주여유거리

② 과주여유거리는 전동차 경우 지상구간은 5m, 지하구간은 1m, 일반의 경우 지상구간은 10m, 지하구간은 5m를 기준으로 한다.

(4) 승강장 높이

① 일반여객 승강장으로 객차에 승강계단이 있는 경우는 레일면에서 500mm로 한다.

② 전기동차 승강장으로 객차에 승강계단이 없는 경우 레일면에서 승강장 높이를 직결도상은 1,135mm, 직결도상이 아닌 경우에는 1,150mm로 한다.

(5) 승강장 이격거리

① 궤도중심에서 승강장 연단까지 이격거리는 직선인 경우 낮은 승강장(일반열차)은 1,675mm로 하고, 전기동차가 운행하는 경우에서 직결도상은 1,610mm(차량 끝단으로부터 승강장 연단까지의 거리는 50mm를 초과할 수 없다), 직결도상이 아닌 경우에는 1,700mm로 한다.

② 곡선승강장인 경우 설정캔트, 곡선반경, 슬랙, 차량치수를 고려하여 확대하고, 승강장과 차량간 간격이 넓어 안전사고의 우려가 있는 곡선개소에서는 안전발판설비를 설치한다.

(6) 승강장의 횡단기울기 및 종단기울기 기타

① 승강장에는 배수가 원활하도록 횡단기울기를 설치한다. 횡단기울기는 승강장 여건에 따라 양쪽기울기, 한쪽기울기로 계획 할 수 있으며 최급기울기는 2%로 한다.

② 승강장 연단에는 경고블록 미끄럼 방지타일을 붙여야 하며 승강장 연단에서 60~80cm떨어진 곳에 시각장애인 경고블록을 설치해야 한다.

③ 승강장구간의 전선관류는 공동구 등 매입식 전선관로 계획한다.

13.4.4 역 광장

(1) 위치 및 모양

① 역 광장은 역사와 기존 도로와의 연결성 및 시가지 현황과 교통영향 분석개선대책 결과를 토대로 위치와 규모를 계획한다.

② 역 광장의 위치는 정거장의 위치와 배선, 정거장 시설의 배치 및 역사 및 각종 관련시설 들과 연계성을 고려하여 결정한다.

③ 역 광장은 보행자 통로 및 자동차, 도시철도와 같은 연계교통시설을 감안하여 계획한다.

13.5 Freight facilities

13.5.1 General

(1) Freight facilities shall be determined according to the type and volume of freight, and shall include tracks such as storage track, sorting track, loading track and loading platform, loading equipment, storage, inspection, track scale and container yard.

(2) Access road transporting freight, freight handling system, loading equipment and temporary storage shall be designed separately.

13.5.2 Freight platform

(1) Main dimensions of high-deck platform

① Effective area of freight platform shall be calculated considering seasonal and hourly factors and daily freight handling average volume in a year.

② Length of platform

This shall be determined considering No. of trains handled in the platform in annual volume/day, seasonal and hourly factor, average turnaround and length of freight train.

③ Transverse slope of platform

This shall be 1% ~ 3% based on the slope of the track to allow gravitational drainage.

④ Platform height

Platform height of rail side shall be 1,100 mm as standard from rail surface for high deck platform and corridor side shall be same as the vehicle deck. When using loading equipment such as forklift, it shall be based on low- deck platform.

⑤ Vertical platform

This shall be 1,100 mm from rail surface, with horizontal length of 5.0 m or more and slope of 1/10 or less.

(2) Relay freight platform and loaded car freight platform

① The width of relay platform shall be 9 ~ 12 m.

② The length of relay platform shall be calculated considering annual volume/day, standard relay volume/day/m and seasonal and hourly factor.

③ The width of loaded car freight platform shall be 5 m ; however this may be dependent on conditions.

(3) Dimension of low-deck platform

① Effective area

This shall be calculated considering annual freight volume(t)/day, standard freight volume(t)/day and seasonal and hourly factors.

13.5 화물설비

13.5.1 화물설비 일반

(1) 화물설비는 화물취급규모와 종류에 따라 정하며 유치선, 입환선, 화물적하선 등 관련 선로시설, 화물적하장, 화물적하설비, 화물보관시설, 화물검사시설, 계중대, 적재정규, 콘테이너 적하장으로 구분한다.

(2) 화물운반 접근도로와 화물의 연계시스템에 따른 설비, 화물적하장비, 화물임시보관시설에 대하여는 별도로 정하여 설계한다.

13.5.2 화물적하장

(1) 높은 적하장 주요치수

① 적하장의 유효면적은 계절별, 시간대별 할증계수, 연간 1일 평균화물 취급량을 감안하여 계산한다.

② 적하장 길이

적하장의 길이는 연간 1일 평균 해당 적하장 취급차수 및 계절별, 시간대별 할증계수, 평균회전수, 화차길이를 감안하여 계산하여 결정한다.

③ 적하장 횡단기울기

적하장의 종단기울기는 선로의 종단기울기에 따라서 설치하나 횡단 기울기는 강우시 자연배수가 되도록 현장조건에 따라 1%~3%기울기로 포장한다.

④ 적하장 높이

높은 적하장 높이는 선로측은 레일면에서 1,100mm를 표준으로 하고 통로측은 가장 많이 사용하는 운반차의 적재면과 같은 높이로 한다. 지게차와 같이 기계화 상하차 장비를 사용하는 경우는 낮은 적하장 기준을 적용한다.

⑤ 종적하장

적하장 높이는 레일면에서 1,100mm로 하며, 수평구간 길이는 5.0m 이상, 경사로 기울기는 1/10 이하로 한다.

(2) 중계적하장 및 영차급 적하장

① 중계적하장의 폭은 9~12m로 한다.

② 중계적하장의 길이는 연간 1일 평균취급화물 개수, 1일 1m당 표준중계개수, 계절별, 시간대별 할증계수를 감안하여 계산토록 한다.

③ 영차급 적하장의 폭은 5m를 표준으로 하고 있으나 조건에 따라 별도로 정할 수 있다.

(3) 낮은 적하장 주요치수

① 유효면적

적하장의 유효면적은 년간 1일 평균 화물취급수량(t), 1일 $1m^2$당 표준화물취급수량(t), 계절별, 시간대별 할증계수를 고려하여 계산한다.

② Effective width

Bulk freight only: 4.0 m

Others: 4.0 ~ 8.0 m

※ When using loading equipment, this shall be determined according to the structure and efficiency of equipment.

③ Shape

May be rectangular, step, saw or comb type.

Height of freight platform

For a low-deck platform, rail side shall be based on rail surface.

(4) Freight passage

① Width of passage

A. When the longest freight truck is placed perpendicular to the freight car, the width shall allow the widest truck to pass through.

B. The passage shall not be a dead-end way, and turn space shall be available near the freight platform.

C. Passage shall be concrete-paved or asphalt-paved depending on the road design standards.

13.5.3 Freight loading track

(1) Length of loading track

① The length for a station with handling volume of less than 10 cars /day shall be determined separately.

13.5.4 Container platform and yard pavement design

(1) Container yard design general

① Capacity shall be determined based on the freight transport plan, and the area shall be calculated considering future demand. Scale of the yard and area for passage shall be determined according to handling capacity.

② When container transporters are diverse, the area shall be secured considering this fact.

③ Container loading facilities

When installing container unloading equipment (reach stacker, truck platform, truck access, crane, gantry crane and so on), the equipment shall be considered in determining the distance between track centers. Even though there are no standard for container facilities container loading platform shall be designed considering the following.

② 유효폭

산적화물전용 : 4.0m

기타의 경우 : 4.0~8.0m

※ 장비에 의한 화물적하의 경우는 기계의 구조 및 성능에 따라 정한다.

③ 형태

화물적하장의 모양은 구형(장방형), 계단형, 톱날형, 빗형으로 구분한다.

④ 적하장 높이

낮은 적하장 높이는 선로측은 레일면을 표준으로 한다.

(4) 화물통로

① 통로 폭 설정

가. 화차에 가장 긴 화물자동차를 직각으로 놓고 가장 폭이 넓은 자동차가 통과 할 수 있는 폭 이상으로 한다.

나. 통로는 막힌 길로 하여서는 안 되며 부득이한 경우에는 화물적하장에서 근접한 위치에 회차시설을 설치해야 한다.

다. 통로의 포장은 콘크리트 또는 아스팔트로 하고 도로설계기준을 참고한다.

13.5.3 화물적하선

(1) 적하선 연장

① 소요길이는 공차를 포함하여 화물발송 차수가 년간 1일 평균 10량 이하의 적은 취급역에서는 화물적하선의 유효장을 별도로 정하여 적용한다.

13.5.4 콘테이너 적치장 및 작업장 포장설계

(1) 콘테이너 적치장 설계 일반

① 콘테이너는 화물수송계획에 따라 취급규모를 설정하고 장래수송수요를 고려하여 소요면적을 산출한다. 이때 취급규모에 따라 적치장의 규모, 통로에 소요되는 면적을 산정한다.

② 콘테이너 취급업체가 다양할 때는 이를 고려하여 화물처리 업무용 부지를 확보해야 한다.

③ 콘테이너 적하설비

콘테이너 하역용 장비(리치스테카 작업장, 적하트럭 정차대, 트럭통로, 크레인 설비, 갠트리 크레인)를 설치할 때는 이를 감안하여 선로간격을 조정한다. 콘테이너 적하설비는 설비표준이 정해진 것은 없지만 다음 사항들을 고려한다.

A. space required for reach stacker

The width between the side of freight car and inner side of truck (yard sash) or container storage for loading/unloading the freight by reach stacker shall be determined after considering the operating radius, and pavement shall be designed after considering the weight of reach stacker and the road design standard.

B. Track platform for freight truck

A 3.5 m-wide single line shall be secured

C. Truck access

A 3.5 m-wide single line shall be secured

D. Crane (T/T)

As the train exclusively used for container transport runs, it shall be planned to simplify the process by organizing unloading, storing and inspecting as a set.

(2) Passage and unloading on arrival/departure track

① For temporary storage of arrival/departure container, suspended container and reserve container, 3 m for a single row and 6 m for 2 rows shall be secured. The passage shall be a single line as container yard.

A. 10 t container yard

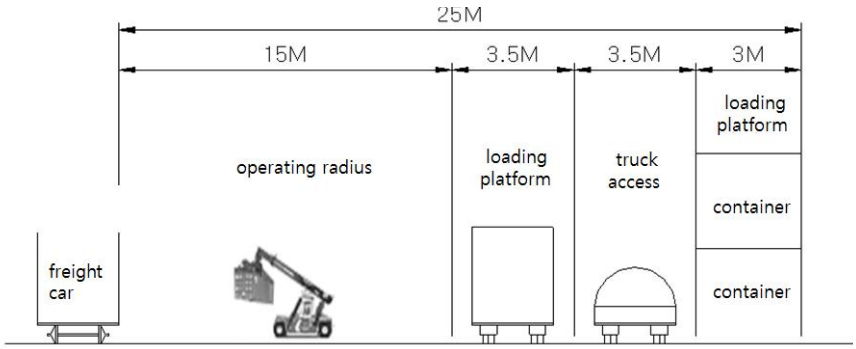


Fig. 13.5.1 Container yard section (example)

② Distance between the side of freight car and inner side of truck or container yard for loading the container by reach stacker shall be 15 m.

가. 리치스테카 작업장

리치스테카가 화차에 콘테이너를 적재 및 하화하기 위하여 화차측면으로 부터 트럭내측(야드샤시) 혹은 콘테이너 유치장소까지의 폭은, 리치스테카의 작업반경 등을 감안 결정한다. 이때 포장은 리치스테카의 중량을 감안하고 도로설계기준을 적용하여 설계토록 한다.

나. 적하트럭 정차대

1차선으로서 3.5m폭을 확보한다.

다. 트럭통로

1차선 폭을 3.5m로 한다.

라. 크레인(T/T 설비)

콘테이너 수송을 중심으로 한 전용열차가 운행되므로 하역, 유치 및 검수작업을 편성단위로 작업할 수 있도록 설치하여 작업을 단순화하도록 계획한다.

(2) 통로 및 착발선 하역

① 도착 콘테이너, 출발 콘테이너 일시유치, 휴일로 인해 운반되지 않는 콘테이너의 일시유치, 영업용 예비 콘테이너의 유치를 위하여 콘테이너를 1열로 놓는 경우 3m, 2열로 놓는 경우는 6m를 확보한다. 통로는 일반적으로 콘테이너 적하장 단면도와 같이 1차선으로 한다.

가. 10t 콘테이너 적하장

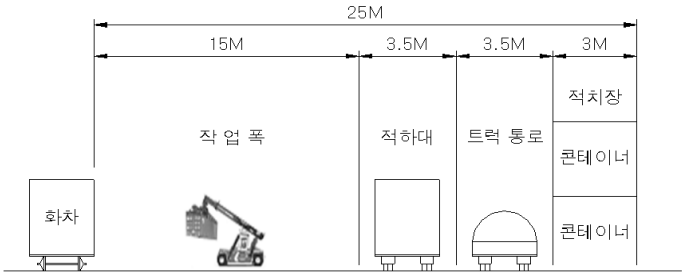


그림 13.5.1 콘테이너 적하장 단면도(예)

② 리치스테카 작업대는 리치스테카가 화차에 콘테이너를 적재하기 위하여 화차측면에서 트럭내측 또는 콘테이너 적치장까지의 소요거리는 약 15m로 기준한다.

13.6 Rolling stock depot

13.6.1 Rolling stock (RS) depot general

(1) Plan

① RS depot shall be categorized into passenger car, freight car, motorized car, HSR, locomotive (diesel, electric) and integrated depot (combined), and shall be furnished with their function corresponding.

② RS depot is for washing, storing, setting, inspection and maintenance as well as the base for train operation, while crew and track layout shall be determined depending on depot function, and light maintenance (inspection shop), heavy maintenance (maintenance shop) and crew accommodation shall be deployed.

③ Location of RS depot

Location for construction and operation to be suitable for convenience and maintenance shall be determined depending on function after considering the following.

A. Locations where depot construction is allowed under the relevant laws and less traffic and environmental impact are expected.

B. RS depot shall be located at the station accommodating start/arrival train, but when start/terminal station is downtown, another location may be determined depending on scale.

C. Depot shall be located near the station and shunting yard for easy move in/out of train and to reduce the operational loss in turn-back, and the location shall be determined according to the function of the depot for passenger train, locomotive train or freight train.

D. Plans shall be made to minimize the interference with mainline train operation by in/out and turn-back operation.

E. Location shall be determined considering for cost efficiency and future expansion.

F. Location shall be determined considering for supply of power, gas and water and other utilities.

G. Location shall be determined considering for accessibility of material, equipment and employees.

④ Environmental management at depot

Environmental preservation facilities shall be planned considering pollution caused by fuel, lubricant, washing water and sewage, and shall include oil separator, wastewater treatment system, septic tank, dust collector, noise barrier tree and sound absorbing wall and squeal noise reduction measures.

13.6 차량기지

13.6.1 차량기지 일반

(1) 차량기지 계획일반

① 차량기지는 객차기지, 화물기지, 전동차기지, 고속철도 차량기지, 기관차(디젤기관차, 전기기관차)기지, 종합차량기지(각종 차량의 종합기지)로 구분하여 기능에 부합되도록 설비한다.

② 차량기지는 차량의 청소, 유치, 조성, 검사, 수선을 주요 업무로 하며, 열차를 운전, 승무하는 거점역할을 함을 감안하여, 각 차량기지 기능에 맞추어 배선함은 물론 경수선공장(검수고), 중수선공장(정비고), 승무원숙소를 배치한다.

③ 차량기지 입지

차량기지의 위치는 기능에 따라 건설 및 운영시에 편리성, 유지관리에 적합하도록 위치선정시 다음과 같이 고려한다.

가. 관련법에 의해 차량기지 건설이 가능한 지역이고 차량기지 설치에 의한 교통, 환경영향이 적은 지역을 선정한다.

나. 차량기지는 가급적 시종착 열차를 취급하는 정거장내에 설치하며, 시·종착역 주변이 밀집된 시가지로 지장시설이 많을 경우에는 차량기지 규모에 따라 별도의 위치를 선정할 수 있다.

다. 차량기지는 정거장으로부터 입출고가 편리하도록 역, 조차장에 가까이 설치하여 차량의 회송, 승무원의 운영손실을 적게 한다. 객차기지, 기관차기지, 화물기지 등 기지의 기능에 따라 역과의 상대적인 위치를 계획한다.

라. 입출고 및 반복운전 중 본선열차 운영에 지장을 최소화하도록 계획한다.

마. 경제적이고 장래시설 확장을 고려한 위치를 선정한다.

바. 차량기지에 소요되는 전력, 가스, 상수와 같은 각종 기반시설의 공급이 원활한 위치에 배치한다.

사. 자재, 장비, 근무인원의 진출입이 원만한 지역을 선정한다.

④ 차량기지의 환경관리

차량기지의 경우 연료, 윤활유취급, 세척수, 오수 취급에 따른 환경오염을 감안하여 환경보존시설을 계획한다. 환경보존시설로는 유수 분리장치(Oil Separator), 폐수처리시설, 정화조, 집진기, 방음대 수림 또는 방음벽, 스퀼소음 방지대책을 계획한다.

⑤ Layout of RS depot

A. Layout shall be designed to maximize the efficiency depending on track-center distance of storage track (loading track), inspection track, passenger and freight car shed, number of tracks, effective length, train operation plan and inspection plan.

B. Track-center distance at light maintenance shop (inspection shop) and heavy maintenance shop (maintenance shop), passenger car and freight car shed and locomotive shed shall be based on the inspection facility plan.

C. Shunting shall not interfere with other works.

D. Special turnout such as DSS, SSS (single slip switch), DC and SCO shall not be used other than limited site area because of difficulties of supply.

E. Layout of depot shall be designed by combining end type and island type considering the land use efficiency, and shall be planned to minimize the regression operation.

F. Turnout shall be arranged to concentrated to the greatest extent possible.

⑥ Facility plan at depot

A. Facility plan shall correspond to the track layout plan, inspection, maintenance, washing and storage function and moving line plan.

B. General office and welfare building shall be designed considering user convenience, stability and accessibility.

C. Facilities for crew shall be designed to reduce the moving line, considering crew members' need for rest and sleep and other factors.

D. Substation shall be designed considering power load and supply source.

E. Storage shall be located to reduce the transport distance and accessibility.

F. Fuel storage shall be located at a location where less traffic, loading from the train is allowable and the vehicle is accessible.

G. Wastewater treatment shall be close to the generation source considering the surrounding environment.

H. Light maintenance shop (inspection shop), heavy maintenance shop (maintenance shop), grinding shop, car washing and auto washing shall be arranged considering for inspectors'circulation, outsourcing and functional efficiency.

(2) Major facility plan at depot

① Track shall be a ballast track unless installed in building or on structure. For a structure requiring low bearing capacity such as pit, sewage box, common duct or underpass on the soft ground, the interval of the expansion joint shall be adjusted to avoid cracks caused by differential settlement.

② Site elevation shall be 30 cm higher than the surrounding high water level, and surface water shall not flow into the underground structure.

⑤ 차량기지내의 배선

가. 유치선(적하선), 검수고, 객차고, 화차고와 같은 건물내의 선로간격, 선로수, 소요유효장 등 열차운행계획 및 차량검수 계획에 따라 작업에 효율성을 극대화 할 수 있도록 배선한다.

나. 경수선공장(검수고), 중수선공장(정비고), 객차고, 화차고, 기관차고 등 건물내 선로간격은 검수분야의 시설계획에 따라 조정해야 한다.

다. 입환시 타작업에 지장이 없도록 배선한다.

라. DSS, SSS, DC, SCO 등 특수분기기는 유지보수자재 수급상 어려움이 있어 부지가 제한되는 경우와 같이 특수한 경우를 제외하고는 가능한 배제한다.

마. 기지내 배선은 검수규정에 부합되고 부지의 효율적인 사용을 고려하여 관통식 및 두단식을 혼용으로 계획하되 퇴행운전이 최소화하도록 계획한다.

바. 분기기는 가능한 집중하여 배치한다.

⑥ 차량기지내의 시설물 배치

가. 차량기지 주요시설은 배선계획 및 검수·정비·청소·유치의 기능 및 동선에 부합되도록 배치한다.

나. 종합사무실 및 복리 후생동은 이용자의 편리성, 안정성, 접근성을 감안하여 배치한다.

다. 승무원이 이용하는 시설은 동선이 짧고 승무원들의 일반업무, 승무대기를 위한 휴식, 수면과 같이 승무원을 위한 기능의 특수성을 감안하여 배치한다.

라. 변전소는 전력부하, 전력공급원을 고려하여 배치한다.

마. 창고는 사용부서와 이동거리가 짧고 반입성과 운반성이 우수한곳에 배치한다.

바. 유류저장 시설은 사람의 접근이 적고, 열차로부터 하화가 가능하며 자동차 통행이 가능한곳에 배치한다.

사. 폐수처리장은 발생원과 인접하고 주변환경을 고려하여 배치한다.

아. 경수선공장(검수고), 중수선공장(정비고), 전삭고, 청소선, 자동세척기는 검수원들의 이동동선, 일부업무의 외주시행 가능성, 기능의 효율성을 감안하여 배치한다.

(2) 차량기지의 주요시설물 계획

① 궤도는 건물내, 구조물 위에 설치되는 특수한 경우를 제외하고는 자갈궤도로 부설한다. 연약지반에 설치되는 피트, 하수Box, 공동구, 지하도와 같이 소요지지력이 크지 않은 일반구조물은 신축이음간격을 축소 조정하여 부등침하에 따른 구조물 균열을 최소화한다.

② 부지정지고는 기지의 중요성을 감안하여 주변 최고수위 보다 30cm 이상 높게 하며, 지하에 설치되는 각종 구조물은 표면수가 유입되지 않도록 계획한다.

③ Water supply system

A. Water tank to supply the water for depot operation shall be installed on a tower or building roof, and underground water tank shall also be installed. A certain pressure shall be maintained for water supply (1 bar or more at the end of the pipe).

B. Pipe burial depth shall be planned considering surface load and freezing depth.

④ Drainage

A. A separate system (rainwater, sewage, wastewater) shall be adopted to ensure environmental preservation, and the quality standard for effluence shall be observed.

B. Drainage shall be planned to be the shortest possible system, after considering the sewerage law, standard and local basic plan.

C. Pipe depth shall be planned after considering surface load and frost penetration depth.

⑤ Road inside depot

A. Pavement shall be designed according to the road design standard considering maintenance efficiency, and concrete pavement shall be applied to the site of fuel-related facilities.

B. A double lane will be used for access with heavy traffic, and a single lane for others

C. The road required to transport large equipment for substation, light and heavy maintenance shop shall have a curve inner radius for the traffic of 12m or larger if it is used by trailers, buses or large vehicles.

D. Road shall be planned considering the flow line of the workers and material/equipment.

E. Pavement section shall be planned considering freezing depth.

⑥ Common culvert

A. A common culvert shall accommodate the utilities needed for depot operation for convenient maintenance and operation.

B. Horizontal alignment of common culvert shall be designed to reach the designated location for convenient use

C. Vertical alignment shall be planned considering the relationship with other underground structures, internal drainage (sump), water pipe gate valve, ventilation, lighting and maintenance efficiency.

⑦ Operation room

This shall be located to enable easy monitoring of the train movement to/from and within the depot.

③ 급수설비

가. 기지운영에 필요한 용수를 공급하기 위하여 급수탑 또는 건물옥상에 급수조를 설치하며 하부에는 지하 저수조를 설치하고 모든 용수가 급수탑으로부터 공급되도록 계획함으로 일정치 이상의 압력(단말관 기준 1bar 이상)이 유지되도록 계획한다.

나. 상재하중 및 동결심도를 고려하여 매설심도를 계획한다.

④ 배수설비

가. 환경보존을 위하여 분류식(우수, 오수, 폐수)을 채택 배수토록 계획하며 오수 및 폐수의 경우 수질환경보전법상 배출허용기준을 준수한다.

나. 하수도법, 시설기준, 해당지역의 하천현황, 해당지역의 하수도 기본계획을 반영하여 기지에서 최단거리로 배수토록 계획한다.

다. 상재하중 및 동결심도를 고려하여 매설심도를 계획한다.

⑤ 구내도로

가. 포장은 유지보수성을 고려하며 도로설계기준에 따라 설계한다. 단 유류를 취급하는 시설주변에는 콘크리트 포장으로 한다.

나. 진입로 및 차량통행이 많은 주요건물 접근로는 2차선을 기타 도로는 1차선 이상을 유지한다.

다. 변전소, 경수선공장(검수고), 중수선공장(정비고)과 같이 대형기기 및 자재가 반입되는 도로는 트레일러, 버스와 같은 대형차량의 원활한 소통을 위하여 포장 내측 곡선반경을 12m 이상으로 한다.

라. 근무자 및 자재장비 이동 동선을 고려하여 계획한다.

마. 해당지역의 동결심도를 고려하여 포장단면을 계획한다.

⑥ 공동구

가. 향후 유지보수 및 관리에 편리를 도모하기 위하여 기지에 운영에 필요한 각종 유틸리티를 설치하는 공동구를 계획한다.

나. 공동구의 평면선형은 각 시설에서 이용에 편리하도록 소정위치까지 도달하도록 한다.

다. 공동구의 종단선형은 타 지하구조물과의 상관관계 공동구 내부배수(집수정), 상수관로의 게이트 밸브위치, 기타 공동구의 전환, 환기, 조명, 유지보수요원의 출입성 제고를 감안하여 계획한다.

⑦ 운전취급실

가능한 차량기지로 입출고하는 열차 및 기지내 차량 움직임을 쉽게 파악 할 수 있는 위치에 배치한다.

⑧ Civil complaints relating to depot construction

Potential civil complaints shall be identified at an early stage to address these in the facility plan.

⑨ Environment facilities

Sound barrier, air and water preservation facilities shall be planned, incorporating environmental impact assessment report.

⑩ Car-washing plan

Car-washing shall be downwardly inclined when installed ahead of passenger car or motorized car depot, but when upwardly inclined, the gradient shall be 3 or lower and at least a one-car distance straight shall be provided in section of before/after from start/end point of car-washing.

⑪ Track

A. Layout of the sleeper for test track and in/out track shall be same as mainline.
B. CWR shall be laid as much as possible for efficient maintenance.
C. Buffer stop shall be provided at the end of the track in shop (shed) to prevent the car from overrunning. Buffer stop within the shop may be a scotch block considering low speed.

⑫ Dead Section of power line

Dead section shall be provided ahead of the depot entrance connected to mainline for operating everytime in depot.

13.6.2 Passenger car depot

(1) This shall be designed to safely and comfortably accommodate the depot functions, including inspection, maintenance, washing, cleaning and storing of passenger cars.
(2) Given that the set of passenger cars is mostly fixed, layout including arrival, formation, car-washing (including garbage disposal) cleaning (including linen replacement), engine track, inspection, maintenance, departure, disinfection, repair, storage, lead, turn-back, fuel, water supply, locomotive standby and wheel grinding track shall be arranged as a set.
(3) For arrival track, a track shall accommodate 10 trains in principle.
(4) In addition to the effective length to accommodate one train, a small track section to accommodate trains by car to form the trainset and to store the separated train or trainset shall be provided.

⑧ 차량기지 설치에 따른 민원

차량기지 설치에 따른 주변주민들의 민원사항을 사전에 파악하여 시설물 배치에 적극 반영한다.

⑨ 환경시설물

차량기지 설치에 따른 환경영향 평가를 반영하여 필요시 방음벽, 대기질, 수질 보존시설을 계획한다.

⑩ 세척기 설치계획

세척기는 객차기지 및 전동차기지 전방 인입선구간에 설치시 세척기 전방에는 가능한 하향기울기로 계획하는 것이 바람직하나, 상향기울기로 계획시에는 3‰이내 기울기로 계획하며, 세척기 시종점으로부터 전·후구간은 각각 차량길이 1량 이상의 직선거리를 확보한다.

⑪ 궤도시설

가. 시운전선 및 기지 입출고선의 침목배치는 본선에 준하여 계획한다.

나. 가능한 장대레일을 부설하여 유지보수성을 제고토록 한다.

다. 공장(차고)내에는 선로 종점부에는 검수차량이 일주를 방지하기 위하여 차막이를 설치한다. 공장내 설치되는 차막이는 속도가 낮은 점을 감안 차륜막이를 사용한다.

⑫ 전차선 사구간(Dead Section) 설치

차량기지의 상시운영을 위하여 본선과 연결하는 구간인 차량기지 전방에 전차선 사구간을 설치한다.

13.6.2 객차기지

(1) 객차기지는 객차의 검사, 정비, 청소 및 세척, 유치를 포함한 기지의 기능을 안전하고 쾌적한 상태로 운영, 유지할 수 있게 계획한다.

(2) 객차가 대부분 고정편성으로 운행함을 감안하여 가급적 편성단위로 도착선, 조성선, 세척선(오물 제거작업 포함), 청소선(린넨 교체작업 기능 포함), 기회선, 검사선 및 정비선, 출발선, 소독선, 수선선, 유치선, 인상선, 객차회송선, 급유선, 급수선, 기관차대기선, 전삭고선으로 구분하여 배선한다.

(3) 도착선은 10개 열차에 대하여 1개선을 기준으로 한다.

(4) 조성선은 1개열차를 유치할 수 있는 유효장을 확보한 선과 별도로 분별한 차량이나 조성차량을 유치하기 위하여 객차를 량 단위로 유치하는 소선군을 배치한다.

(5) Storage track is the section to accommodate the cars in operation and for standby, and total tracks excluding arrival, washing and departure shall be used as storage track and the effective length shall be able to accommodate the longest train. Storage track may be used as departure track. Water supply pipe and working vehicles shall be available for cleaning, water supply, garbage elimination and seat replacement together on storage track and off scouring removal shall be directly connected to sewage pipe.

(6) Inspection track installed at the workshop shall secure a certain track-center distance for inspection activities.

(7) Effective length of passenger car inspection track and one track

① The number of inspection tracks for passenger car shall be the same as the average number of trainsets for daily inspection.

② Effective length of a single track shall be 23·L (L: Maximum No. of trainset), and if there are two or more inspection tracks, effective length may be changed depending on train length, irrespective of 23·L, and extra length of 20 m shall be secured considering shunting work.

(8) Passenger car repair track

① Car repair track at repair shop shall have 3.0 m of clearance between repair track and external wall of repair shop for repair work, material delivery and equipment moving.

② Percentage of repair cars to inspect shall be 30%.

③ No. of repair tracks, length, etc.

A. The length required for a repairing car shall be 37 m. The capacity of one track shall be for 3 cars, the clearance to the shed shall be 5 m and interval between cars shall be 2.5 m.

B. Repair track shall be designed straightly so as to allow move in/out from both directions in before and after.

C. An extra length of 20 m shall be provided for shunting.

(9) Track spacing

① 4.5 m between inspection track, repair track and shed wall and 3.0 m on opposite side

② 5.0 m between inspection track and repair track and 5.5 m (when installing trolley line)

③ 6.5 m between repair tracks (for lift jack)

④ 3.0 m between inspection shop, repair shed, car-washing and outer track of shed

(10) Concrete pavement for inspection track and repair track at shed and wood or brick for car disassembling place.

(5) 유치선(수용선)은 운용차량 및 예비차의 유치를 목적으로 설치되는 선군이며 총 소요선수에서 도착, 세척, 출발의 각 선을 제외한 나머지를 유치선으로 하며 유효장은 취급열차의 최장열차를 유치할 수 있어야 한다. 또 유치선은 출발선을 겸할 수 있다. 유치선에서 차내 청소, 객차내 급수, 오물제거, 시트교체 작업을 같이 수행하기 위하여 급수관로의 설치, 작업용 차량이 운행 가능토록 계획하며, 오물제거는 오수관로로 직접 연결하도록 배치한다.

(6) 검수고에 설치하는 검사선은 검사작업을 위하여 일정치 이상의 선로간격을 확보한다.

(7) 객차검사선 및 1선의 유효장

① 객차검사선수는 1일 평균 검사편성수와 같은 수로 한다.

② 1선의 유효장은 23·L(L : 최대편성량수)로 하여 최대편성을 유치할 수 있도록 하고 검사선이 2선 이상의 개소는 각 선 모두 23·L에 의하지 않고 편성길이의 길고 짧음에 따라 선의 유효장을 변경할 수 있으며 입환여유를 감안하여 여유거리 20m를 확보한다.

(8) 객차 수선선

① 객차 수선고에 설치하는 수선선은 수선작업 및 이에 따른 자재운반, 장비이동을 위하여 수선선과 차고 외벽간의 간격은 3.0m 이상을 확보한다.

② 객차의 검사에 대한 객차 수선량수 비율은 30%로 한다.

③ 객차 수선선 선수, 연장 및 기타

가. 수선차 1량에 대한 소요연장은 37m로 한다. 1선의 유치용량은 3량을 한도로 하고 전후차고와의 간격을 5m로, 차량 간격은 2.5m를 기준으로 한다.

나. 수선선은 수선고 전후에서 입고 및 출고가 가능토록하고 작업의 특수성을 감안하여 직선으로 계획한다.

다. 입환여유를 감안하여 여유장 20m를 확보한다.

(9) 선로중심간격

① 검사선, 수선선과 차고 측벽간은 작업장측 4.5m, 반대측 3.0m

② 검사선과 수선선간은 5.0m, 5.5m(트로리선을 부설하는 경우)

③ 수선선 상호간은 6.5m(리프트 쟉키 설치 개소)

④ 검수고, 수선고, 세척선과 차고외선과의 간격 3.0m 이상

(10) 포장은 차고내 및 검수선, 수선선은 기름에 적용성이 우수한 콘크리트포장으로 하고 차체해체 개소는 목, 벽돌포장으로 한다.

(11) No. of tracks and effective length of locomotive track shall be planned considering the number of locomotives in the operation plan, and locomotive track shall arrange the siding track including pit track for lodge, inspection and maintenance , fueling, sand supply, water supply and storage.

(12) Effective length of locomotive waiting track to change the locomotive of arriving trains shall be able to accommodate two cars with some extra length for safety; lead track may be used.

(13) Departure track at passenger car depot is waiting track for the train to depart after inspection, maintenance or washing and water supply, preheating or brake test may be performed and effective length shall be the same as arrival track, and it shall be based on 15 trains per track.

(14) As the sterilizing track is used to disinfect the train, it shall be installed near the storage for keeping something such as the sterilant and bedding.

(15) Engine track is for the locomotive moving to maintenance shop and in/out lane in depot, and shall be arranged so as not to interfere with the operation on mainline or departure/arrival track.

(16) The purpose of the lead track is to lead the arrival train to mainline for effective shunting, and effective length shall be based on longest train length and lead track may be planned by track group at large depot.

(17) Auto washing track shall be installed on some part of incoming track, a minimum distance of one car straight length shall be secured before/after car-washing and track spacing shall be secured considering car-washing width.

13.6.3 Freight depot

(1) Layout of freight depot

① Freight depot is designed to handle the freight and shall be located at a logistics point such as an industrial complex near the metropolitan area.

② For the efficient operation of a freight train, it must be close to the metropolitan area or near start/terminal station and it shall directly connect to mainline from start/end point of depot.

③ Depot must have good connectivity to the existing road network for easy freight collection and distribution.

(2) Track group at freight depot

① Freight depot shall be planned by track group to accommodate freight handling, storing, shunting, forming, maintenance and inspection function.

② Depot shall be categorized into horizontal, gravity and hump depot, and into three track groups such as arrival by direction and station and departure track group.

(11) 기관차고선의 선로수와 유효장은 기관차 운영계획에 의한 유치할 기관차 수를 토대로 하여 계획하며 기관차고선은 주박 및 유치할 기관차의 검사 및 정비를 위한 검사 및 정비용 핏트선, 급유, 급사, 급수, 유치선을 포함한 측선을 배선한다.

(12) 도착열차의 기관차를 교체하기 위하여, 출고한 기관차를 유치하는 기관차 대기선의 유효장은 고장기관차를 견인하는 경우를 감안 2량 길이에 신호현시 등을 감안 다소 여유를 두어야 하며, 인상선을 활용할 수도 있다.

(13) 객차기지의 출발선은 검수 및 정비, 청소와 같이 작업이 끝난 출발 열차가 대기하는 선으로서 필요시 객차의 급수 및 예열난방과 관통제동검사를 하게 되며 유효장은 도착선과 같으며, 선수는 15개 열차당 1개선을 표준으로 한다.

(14) 소독선은 객차소독을 주기능으로 하는 선으로 소독용품, 침구와 같은 용품창고 부근에 설치한다.

(15) 기회선은 차량의 정비고, 입출고 등 기지내 입환용 기관차가 선로별로 이동운행하는 전용 선로로서 본선 및 착발선에 지장 없도록 배선해야 한다.

(16) 인상선은 도착열차가 본선에 지장없이 인상하여 각 선군으로 입환이 원활하게 배선하고, 유효장은 최대 열차장을 기준으로 하며, 큰 기지에서는 선군별로 인상선을 계획 할 수 있다.

(17) 자동세척선은 주로 입고선의 일부구간에 자동세척기를 설치하며, 세척기를 포함 세척기 전후구간은 차량길이 1량 이상의 직선거리를 확보하고, 세척기 폭을 감안한 선로간격을 확보해야 한다.

13.6.3 화물기지

(1) 화물기지의 배치

① 화물기지는 화물취급을 주기능으로 하는 시설로서 화물이 집중되는 대도시근접지역 산업공단과 같은 물류거점 지역에 설치한다.

② 화물열차의 효율적인 운영을 위하여 가급적 대도시 부근 및 시점 및 종점 정거장에 근접되고, 기지의 시점 및 종점에서는 본선으로 직통운행이 가능하게 설치한다.

③ 화물의 집하와 분산이 쉽도록 주변의 기존 도로망과의 연계성이 우수해야 한다.

(2) 화물기지의 선군

① 화물기지는 화물취급과 화물열차의 유치, 입환 및 조성, 정비 및 검수기능을 할 수 있게 선군별로 계획한다.

② 기지는 평면기지, 중력기지, 험프기지의 종류로 구분하며, 도착선군 방향별 및 역별선군, 출발선군의 3개선 군으로 계획한다.

③ Depending on handling volume, it may be classified into arrival and departure, classified by direction and station and classified by sorting track group as well.

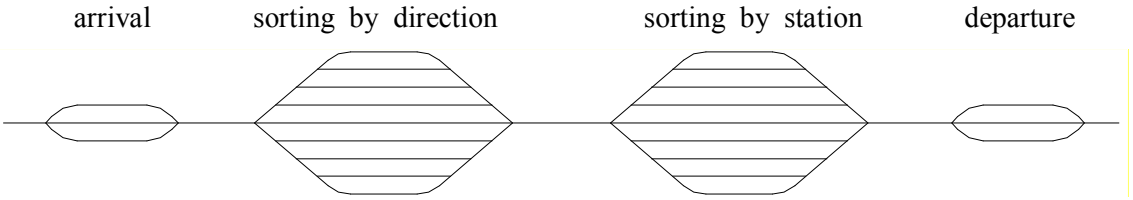


Fig. 13.6.1 Track groups

④ Track groups shall be categorized into storage track, reserve car storage track, transfer parcel inspection and repair track, brake test track, locomotive engine run round and waiting track, freight loading track and scale track.

(3) Arrival and departure track group

① Effective length shall be the same standard effective length applied to mainline.

② Layout of arrival track

A. Effective length shall be 20 m longer than the longest train, and shall be planned to switch to sorting and shunting track group.

B. Arrival and shunting-related track group shall be concentrated.

C. Lead track shall be planned to have the same axis as arrival track group and shunting track group, to enabled river and crew to easily monitor the work.

D. Arrival track group shall have a locomotive engine track for coupling and decoupling and track spacing 4.3 m or wider for inspection of arrival train and obstacle such as pole shall be relocated.

③ Number of arrival/departure tracks shall be dependent on operation frequency, and one arrival track for 15 trains and one departure track for 10 departure trains, and it shall be planned separately if there are many passing tracks.

④ When estimating depending on operation frequency, one arrival/departure track for 15 trains and one departure track for 10 trains shall be the standard used; however, this shall be adjusted when through trains are frequent.

(4) Lead track / temporary storage track

① Lead track shall be designed to be straight and horizontal in order to view the wide area and monitor the shunting tracks.

② Effective length of lead track shall be the same as mainline, but must be at least 1/2 of mainline if it inevitably needs to be shorter.

③ 2 to 3 temporary storage tracks shall be available for shunting by direction.

③ 취급규모에 따라 도착과 출발선군, 방향별 및 역별선군과 분별선군을 겸용할 수도 있다.

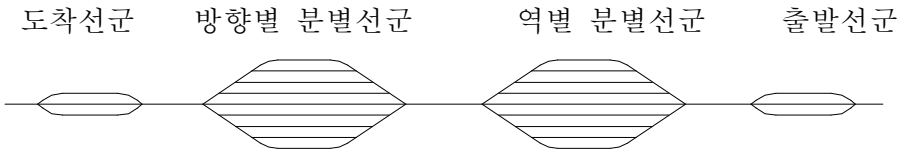


그림 13.6.1 작업별 선군

④ 유치선, 예비차 유치선, 중계 소화물 취급선 검사 및 수선선, 제동시험선, 기관차 기회 및 대기선, 화물적하선, 계중대선으로 구분하여 배선한다.

(3) 도착선군 및 출발선군

① 유효장은 본선에서 적용하고 있는 표준유효장 이상을 확보토록 한다.

② 도착선의 배선

가. 도착선의 유효장은 최대열차장보다 20m 이상 여유 있게 하며, 분별선과 조차선군으로 신속히 전선할 수 있게 계획한다.

나. 도착선군과 조차선군과 같이 관련 있는 선군을 집중화시켜 계획한다.

다. 인상선은 도착선군 및 조차선군과 같은 동일축으로 계획하며 기관사 및 구내원이 작업 상태를 쉽게 볼 수 있도록 계획한다.

라. 도착선군은 기관차의 해결 및 연결에 따른 기관차 기회선을 두어야하고, 도착열차의 점검업무를 감안하여 선로중심 간격을 4.3m 이상으로 하며 전주 등 지장물이 있는 경우는 별도로 이격시켜야 한다.

③ 착발선의 선수는 열차 운행횟수를 기준으로 하여, 도착선은 종착열차 15개에 1선, 출발선은 출발열차 10개에 1선을 표준으로 하며, 통과열차가 많은 경우 별도 계획한다.

④ 열차 횟수만으로 산정하는 경우는 착발열차 및 종착열차 1선에 15개 열차 출발열차 1선에 10개 열차 단, 통과열차가 많을 때는 조정한다.

(4) 인상선 및 일시유치선

① 인상선은 구내투시가 양호하며, 조차선로를 확인해야함을 감안하여 가급적 직선 및 수평으로 계획한다.

② 인상선의 유효장은 본선유효장과 같게 해야 하나, 부득이한 경우에는 본선유효장의 1/2 이상으로 할 수 있다.

③ 임시 유치선은 방향별 조차를 고려하여 2~3선 확보한다.

(5) Inspection facilities

① Inspection shop, maintenance shop and car washing shall be available at freight inspection depot.

② Inspection track in shed shall be calculated by dividing total volume to be generated by turning frequency of one inspection track, which is 2 ~ 4.

③ Track spacing in shed and others

A. Between inspection tracks 5 m

B. Between inspection track center and inner side of wall column 4 m

C. Between inspection track center and side wall of shop 4.5 m

D. Between inspection tracks/repair tracks – where lifting jack is installed 6 m

Between inspection tracks/repair tracks – Other locations 5 m

E. Between repair tracks – where lifting jack is installed 6 m

Between repair tracks - Other locations 5 m

F. Between repair track center and inner side of wall column 4 m

G. Between repair track center and side wall of shop 4.5 m

(6) Inspection pit and other facilities

① Pit shall be 10 m-deep, supported by H-beam, and rail surface shall be at building floor level.

② Access for vehicle and material delivery shall be provided, and drainage shall be provided internally with the pump as needed.

13.6.4 Motorized car depot

(1) Depot plan general

① Depot shall be located near start/terminal station so as to minimize the movement needed.

② It shall be planned for fixed set motorized train for inspection and maintenance and perform the process, storage washing inspection (maintenance) storage departure in an effective way.

③ Given that the train is not separated except for temporary inspection and maintenance at the motorized car depot, all the works shall be planned by trainset.

④ Total number of trainsets required and planned shall be in accordance with the train operation plan, and the number to be accommodated by station shall be excluded from the total. Inspection and maintenance plan shall be based on the total number of trainsets.

⑤ Number of tracks, track spacing and area at light maintenance shop (inspection shop) and heavy maintenance shop (maintenance shop) at depot shall be determined based on the inspection and maintenance plan and number of trainsets for inspection and maintenance provided by inspection team.

(5) 검수설비

① 화차검수기지에는 검수고, 수선고, 세척선을 설치하고 작업장 기타를 부속시킨다.

② 차고내의 검사선은 검사 후 운영을 위해 출고할 발생량 수에서 검사선 1선의 회전수로 나눈 값으로 하며 검사선 1선의 회전수는 2~4로 한다.

③ 차고내 선로의 중심간격 기타

가. 검사선 상호간	5m	
나. 검사선 선로중심과 측벽주의 내측	4m	
다. 검사선의 선로중심과 작업장 측벽	4.5m	
라. 검사선, 수선선 상호간 - 리프팅 쟉키 설치개소		6m
검사선, 수선선 상호간 - 기타개소	5m	
마. 수선선 상호간 - 리프팅 쟉키 설치개소		6m
수선선 상호간 - 기타개소	5m	
바. 수선선 선로중심과 측벽주의 내측	4m	
사. 수선선의 선로중심과 작업장측벽	4.5m	

(6) 검사핏트 등 기타시설

① 검사핏트의 깊이는 1.0m를 표준으로 하며, H형보로 지지하도록 하고 레일면은 건물바닥과 동일 수평 상에 있도록 한다.

② 기타 구내에는 자동차용 통로와 직원 및 물품운반통로를 설치하고 구내 배수, 특히 검사장내 배수는 양호하게 하고 필요에 따라 배수펌프를 설치한다.

13.6.4 전동차기지

(1) 전동차기지 계획의 일반사항

① 전동차기지는 시점 또는 종점역에 근접 배치하여, 입출고동선을 최대한 짧게 한다.

② 전동차기지는 고정편성의 전동차를 검수 및 정비 할 수 있게 입고→세척→검사(정비)→유치 →출발하는 기능을 효과적으로 수행할 수 있도록 계획한다.

③ 전동차기지내에서는 임시검사, 정비시를 제외하고는 분리를 하지 않는 특성을 감안하여 모든 작업이 편성단위로 작업하도록 계획한다.

④ 해당노선의 차량 총 소요편성수와 편성량수는 열차 운영계획에 따라 정하며 전동차기지에 유치할 편성수는 총 편성수에서 정거장에서 주박하는 기지외 주박을 제외한다. 검사 및 정비설비는 총 편성수에 따라 계획한다.

⑤ 전동차기지내에 경수선공장(검수고) 및 중수선공장(정비고)에 소요되는 선로수, 간격 및 면적은 검사 및 정비계획, 검사 편성수 및 정비 편성수에 따라 검수분야로부터 자료를 제공받아 결정한다.

(2) Track layout of motorized car depot

① Track layout shall be planned to enhance the functional efficiency of the process, in washing (car-washing) storage (standby) inspections to rage out.

② Basic process of in washing (car-washing) storage (standby) inspection shall be planned as a direct process (through type).

③ Minimum effective length of storage track shall be train length + 10m (extra length).

④ Inspection facilities including light maintenance shop (inspection shop), heavy maintenance shop (maintenance shop), wheel grinding shop, air cleaning shop and car-washing shall be concentrated for work efficiency.

⑤ Any potential conflict shall be excluded from the inspection process but the connectivity with other works shall be maintained.

⑥ One trainset shall be used per storage track in principle, and when two trainsets are allocated to one track, distance between trains shall be at least 30 m.

⑦ Track spacing

A. 6.0 m between daily inspection tracks and 7.0 m between regular inspection tracks

B. 8.0 m between temporary inspection tracks (considering the space for lifting jack)

C. 8.0 m between the tracks (in/out, reserve) at heavy maintenance shop

D. 3.0 m between car washing and out track at light maintenance shop (inspection shop)

E. 3.5 m between inspection track and side wall of light maintenance shop

⑧ Test track

A. Sufficient length to check the basic function of new, maintained and repaired trains shall be secured.

B. Test track shall be located near the light maintenance shop (inspection shop) and heavy maintenance shop (maintenance shop) to minimize the movement distance and enhance the shunting efficiency without interfering with other works.

⑨ Wheel grinding track shall be provided before/after grinding shop to accommodate one trainset at least.

⑩ Loop or delta track to prevent wheel and pantograph from imbalanced wearing shall be provided when the space is available.

13.6.5 Depot for high speed railway train

(1) HSR depot plan general

① Shall be located near start/terminal station to minimize the in/out movement distance.

② The site shall be in a rectangular shape to accommodate the inspection, maintenance and storage function consistently, and the need for future expansion shall be considered.

(2) 전동차기지의 배선

① 입고→청소(세척대선)→유치(검사대기)→검사→유치→출고로 운영되는 전동차기지의 기능효율성을 제고하도록 배선한다.

② 입고→청소(세척대선)→유치(검사대기)→검사로 이어지는 기본 동선은 가능한 직통식 (관통식)이 되도록 배선한다.

③ 유치선의 최소유효장은 열차장+10m(여유길이) 이상으로 한다.

④ 경수선공장(검수고), 중수선공장(정비고), 전삭고, 기취고, 세척대와 같은 검수시설은 작업의 효율화를 위하여 집중배치 되도록 배선한다.

⑤ 검수업무에 경합요인을 완전 배제토록 하며, 타 분야와의 연계성을 유지하도록 계획한다.

⑥ 유치선은 1개선에 1편성으로 계획한다. 단 1개선에 2편성을 유치 시는 열차간 거리 30m 이상을 유지토록 계획한다.

⑦ 선로중심간격

가. 일상검사선간 6.0m 이상, 정기검사선간 7.0m 이상

나. 임시 검사선 8.0m 이상(리프트잭키 설치공간 감안)

다. 중수선공장(정비고)내 선로(입창선, 출창선, 예비선 간) 8.0m 이상

라. 경수선공장(검수고), 세척선과 차고외선과의 간격 3.0m 이상

마. 검사선과 경수선공장(검수고) 측벽간 3.5m 이상

⑧ 시험선

가. 시험선은 신규반입, 정비, 수선한 열차의 기본성능을 확인할 수 있는 연장을 확보토록 계획한다.

나. 시험선은 직접 연관되는 경수선공장(검수고) 및 중수선공장(정비고)과 인접하게 배치 동선거리의 최소화로 입환 효율성을 제고하고 타 작업에 지장이 최소화되도록 배치한다.

⑨ 차륜 전삭고선은 전삭고 전후에 1개 편성 이상을 유치토록 계획한다.

⑩ 부지여건이 가능시 차륜 및 팬터그라프의 편마모를 방지하기 위한 루프(Loop)선 또는 삼각선을 계획한다.

13.6.5 고속철도 차량기지

(1) 고속철도차량기지 계획의 일반사항

① 차량기지는 시·종점역에 근접 배치하여 입·출고동선을 최대한 짧게 한다.

② 차량기지의 부지는 차량의 검사 및 정비, 유치 업무를 일관작업으로 할 수 있게 장방형의 부지를 선정해야 하며, 장래 확장을 감안한다.

③ Depot shall be planned to perform the process effectively, wheel inspection external washing internal washing inspection (bogie replacement as needed, maintenance) storage departure for inspection and maintenance.

④ Given that the train is not separated except for bogie replacement inspection and maintenance, all the works shall be planned by trainset.

⑤ Required capacity and scale of the depot shall be planned in accordance with total number of trainsets required and planned shall be in accordance with the train operation plan.

⑥ Number of tracks, track spacing and area at light maintenance shop (inspection shop) and heavy maintenance shop (maintenance shop) at depot shall be determined based on the review data from inspection and architectural team.

⑦ Utilities including air conditioning and heating, water supply, electricity and gas shall be integrated in common duct.

(2) Facility layout plan for HSR depot

① Light maintenance shop (inspection shop), grinding shop, auto washing, wheel inspection, arrival car inspection shall be considered for efficiency.

② Arrival inspection shop shall be placed on departure/arrival track group.

③ Crew and depot administration office shall be arranged considering the need for work circulation and accessibility in relation with facility layout.

④ Sewage and wastewater treatment plant shall be arranged near the generation source for the efficiency of operation.

(3) Track layout of HSR depot

① Track layout shall be planned to enhance the efficiency of work flow, In wheel inspection external washing and internal washing bogie replacement (as needed) storage (internal cleaning and disinfection) out.

② Minimum effective length of storage track shall be train length + 20 m (extra length)

③ Track layout shall be planned for concentrate arranging of important inspection facilities including light maintenance shop (inspection shop) and heavy maintenance shop (maintenance shop) for work efficiency.

④ Any potential conflict shall be excluded from the inspection process but the connectivity with other works shall be maintained.

⑤ Train movement flow and facility layout shall be planned rationally.

⑥ To the extent that it is possible, it shall be planned as a through type for enhanced work efficiency.

⑦ Effective length of more than one trainset shall be provided before/after grinding shop so as not to interfere with train operation during the grinding process.

③ 차량기지는 고정편성의 고속차량을 검사 및 정비하기 위하여 입고 중 차륜검사→외부세척→내부청소→검사(필요시 대차교환, 정비)→유치→출발하는 기능을 효과적으로 수행 할 수 있도록 계획한다.

④ 차량기지내 설비는 대차교환, 검사 및 정비 작업 이외는 차량을 분리하지 않으므로 모든 작업을 차량편성단위로 할 수 있게 계획한다.

⑤ 차량기지의 소요용량과 규모는 열차 운영계획상의 총 편성수와 총 차량수에 따라 계획한다.

⑥ 차량기지의 경수선공장(검수고) 및 중수선공장(정비고)의 면적과 소요선로수, 선로간격은 검수 및 건축분야의 검토자료에 따라 결정한다.

⑦ 차량기지의 냉·난방, 수도, 전기, 가스와 같은 공급설비는 공동구를 설치하여 집중 배치한다.

(2) 고속철도 차량기지 시설물 배치계획

① 경수선공장(검수고), 전삭고, 자동세척기, 차륜검사고, 도착검사고는 차량 입·출고의 용이성과 검수체계를 고려하여 배치한다.

② 도착검사고는 기지운영에 효율성을 제고하기 위하여 착발선군에 배치한다.

③ 승무 및 기지관리사무소는 차량기지 업무의 작업동선과 시설배치 와 연계하여 접근성이 유리하게 배치한다.

④ 오수 및 폐수처리시설은 발생시설 부근에 배치하여 운영의 효율성을 제고한다.

(3) 고속철도 차량기지의 배선

① 입고→차륜검사→외부세척 및 내부청소→대차교환(필요시)→유치(내부청소 및 소독)→출고로 운영되는 고속철도 차량기지 작업흐름의 기능효율성을 제고하도록 배선한다.

② 유치선의 최소유효장은 열차장+20m(여유길이)로 한다.

③ 경수선공장(검수고), 중수선공장(정비고)과 같은 중요 검수시설은 작업의 효율화를 위하여 집중배치 되도록 배선한다.

④ 검수업무에 경합요인을 완전 배제토록 하며, 타 분야와의 연계성을 유지하도록 계획한다.

⑤ 차량기지내 열차흐름과 각 시설물 배치가 합리적으로 될 수 있도록 계획한다.

⑥ 차량기지내 작업효율성 제고를 위하여 가능하면 관통식 배선으로 계획한다.

⑦ 전삭고 전방 및 후방에는 1편성 이상의 유효장을 확보토록 계획하여 차륜 전삭시 타 열차운영에 지장이 없도록 계획한다.

⑧ For the type in which car washing moves while train stops, clearance before/after car washing shall be provided so as not to interfere with shunting operation. A fixed washing equipment type shall be able to provide external car washing function when car entered installed at depot, and 1/2 of train length before/after the equipment shall be inclined by up to 1 and a train-long straight line shall be secured before/after equipment.

⑨ Track spacing

A. Storage track: 4.3 m or more

B. Arrival/departure track: 4.5 m or more

C. Catenary pole: 6.0 m or more

D. At light maintenance shop (inspection shop): 6.0 m or more

13.6.6 Locomotive depot

(1) Track capacity in shed

① One line for wheel stack line

② Monthly inspection track: N/25 cars when inspection days/month exceeds 25 days

③ Fueling inspection track: one car portion for 4 cars, the maximum number of car for fueling /hour

④ Storage track shall be 5% of arranged cars.

⑤ Heating car track shall accommodate all heating cars.

⑥ Track spacing in maintenance shed and regular inspection shop shall be 6.0m or more.

⑦ Monthly inspection track and storage track shall be accessible from both directions.

(2) Track spacing in shed and others

① Track spacing between repair tracks 8.0 m

However, when locomotive at depot is less than 30, it may be 6.5 m, and when 3 tracks are installed within the same shed, it shall be 8.0 m and 6.5 m.

② Between repair track and storage track 4.0 m

③ Between track center and side wall or inner side of column 4.0 m

But when repair track only is installed at one shed, one side shall be 6.0 m.

④ Monthly inspection track fueling (standing) 5.0 m

⑤ Monthly inspection track fueling inspection track and side wall 4.0 m

⑥ Between storage tracks 4.5 m

But when column is between tracks, the spacing shall be 5.0 m.

⑦ Storage track and inner side of side wall 3.5 m

⑧ 열차가 정차한 상태에서 세척기가 이동하는 방식의 경우에는 세척시 차량입환에 지장이 없도록 세척기 전후에 여유거리를 확보토록 해야 한다. 고정식 세척설비는 차량기지에 입고와 동시에 차체외부 세척이 가능토록 배치하며, 전·후방에 열차길이의 1/2 이상 구간을 1‰ 이내 기울기로 계획하고, 세척기 전방 및 후방에는 1차량길이 이상의 직선구간을 확보토록 한다.

⑨ 선로중심간격

가. 유치선 : 4.3m 이상

나. 착발선 : 4.5m 이상

다. 전차선주 건식 : 6.0m 이상

라. 경수선공장(검수고) 내 : 6.0m 이상

13.6.6 기관차기지

(1) 차고내 선로의 용량

① 차륜적입선 1선

② 월간검사선은 월간검사시행 일수가 25일 넘는 경우 N/25량분

③ 급유작업 검사선은 1시간 최대 급유작업 검사량수 4량에 대하여 1량분

④ 유치선은 배치량수의 5%로 한다.

⑤ 난방차선은 배치 난방차 전부를 유치한다.

⑥ 정비선 차고 및 정기검사고의 선로중심간격은 6.0m 이상으로 한다.

⑦ 월간검사선 및 유치선은 양쪽으로 진출입이 가능하도록 한다.

(2) 차고내 선로중심간격 및 기타

① 수선선간 선로간격 8.0m

단, 기관차기지의 기관차가 30량 이하의 경우는 6.5m로 한다. 같은 차고에서 3선을 설치하는 경우 선로중심간격은 8m, 6.5m로 한다.

② 수선선과 차륜보관선 4.0m

③ 선로중심과 측벽 또는 기둥의 내측면 4.0m

단, 1동의 차고에 수선선만 설치하는 경우는 편측을 6.0m로 한다.

④ 월간검사선 급유작업(서서하는 일) 검사선 상호 5.0m

⑤ 월간검사선 급유작업검사선과 측벽내측 4.0m

⑥ 유치선 상호 4.5m

단 선로 사이에 기둥이 있는 경우는 5.0m

⑦ 유치선과 측벽내측 3.5m

(3) Auxiliary facilities of locomotive shed

① Inspection pit

A. Trough pit

(a) Trough pit shall be installed on repair track.

(b) Pit width and length: Width 3.6 m, Length 6.35 m

(c) Pit depth : 2.20 m

(d) Trough pit center to shed entrance: 5.5 m

(e) Track center to trough put edge: 1.2 m

B. Monthly inspection shop

(a) Inspection pit depth shall be 1m and shall be installed over entire length, excluding 2.5 m of clearance at both ends.

(b) Track shall be supported by H-beam and column and pit-to-pit shall be connected.

② Track outside shed

A. Track layout shall be based on one-way traffic, and shunting shall not interfere with mainline and station operation.

B. Engine track shall be installed separately from shed.

C. Lead track and arrival track shall be provided depending on depot condition.

③ Storage track outside shed

A. Storage outside shed shall include waiting track, and shall be designed to directly connect to in/out track.

B. Storage outside shed shall be based on in/out track at both sides, and the capacity of one track shall be up to 4 cars.

C. Warehouse track shall be installed in warehouse with loading facilities as needed.

D. A 500 m-long test track shall be provided at locomotive depot.

E. Track spacing of the track outside the shed shall be 4 m, but when an obstacle such as a pole is located between the tracks, ditch shall be planned separately.

13.6.7 Diesel motorized car depot

Given that the diesel motorized car is operated in a maximum of a 4-car/set, maintenance and inspection at locomotive depot, instead of at a separate diesel motorized car depot, shall be planned.

(1) Track capacity within shed

It shall be determined depending on function of repair track and monthly inspection track.

(3) 기관차 차고 부속설비

① 검사핏트

가. 트라프 핏트

㉮ 트라프 핏트는 수선선에 설치한다.

㉯ 핏트의 폭과 길이 : 폭 3.6m, 길이 6.35m

㉰ 핏트의 깊이 : 2.20m

㉱ 트라프 핏트의 중심은 차고입구에서 : 5.5m

㉲ 선로중심에서 트라프 핏트 연단까지 : 1.2m

나. 월간검사고

㉮ 검사핏트의 깊이는 1m로 하고 차고 길이방향 양단의 여유 2.5m를 제외한 전장에 걸쳐 설치한다.

㉯ 궤도는 H형 빔과 기둥으로 지지하고 궤도 밑은 내측핏트 측면 핏트간을 통행할 수 있는 구조로 한다.

② 차고 외 선로

가. 기관차 구내배선은 일방통행을 기준으로 하고 입환 할 때에는 본선과 역구내에 지장이 없도록 배선한다.

나. 차고 외에 별도로 기회선을 설치한다.

다. 기관차 기지의 여건에 따라 인상선 및 도착선을 설치한다.

③ 차고 외 유치선

가. 차고 외 유치선은 출고 대기선을 포함하는 것으로 하고 입출고선에서 직접 진출입할 수 있는 배선으로 한다.

나. 차고 외 유치선은 양쪽 출입선을 기준으로 하고 1선의 유치용량은 4량 이내로 한다.

다. 창고에는 창고선을 부설하고 필요에 따라 적하설비를 한다.

라. 기관차 기지에서는 연장 500m 이상의 시운전선 1선을 설치한다.

마. 차고 외 선로의 중심간격은 4m로 한다. 단, 선로의 중간에 전주와 같이 지장물이 있는 경우 및 측구를 설치하는 장소는 별도로 고려한다.

13.6.7 디젤동차 기지

디젤동차의 경우는 최대 4량/편성으로 소규모로 운행되고 있는 점을 감안 별도의 디젤동차 전용기지가 아닌 기관차 기지에서의 정비, 검수 업무도 가능토록 계획한다.

(1) 차고내 선로의 용량

차고내 선로용량은 수선선, 월상검사선 등 기능에 따라서 정한다.

(2) Inspection track

① Inspection

A. Washing track shall be planned for 3 cars/day or 1 car for 3 sets or 1 set.

B. It shall be planned to accommodate the demand considering the capacity of monthly inspection and washing track.

② Clearance from shed to neighboring track

Clearance from shed wall and neighboring track center shall be 3m or more.

③ Access to inspection shop

Monthly inspection track, inspection track and storage track shall be accessible by both ends, and the length shall be for a 4 to 2-car/set or less.

④ Auxiliary facilities of shed

A. The pit at repair track shall be 1m-long and 850 mm-wide, and shall be provided over entire length of the shed excluding the clearance of 2 m at both ends

B. The pit at monthly inspection shop shall be divided into the pit within the track and the side pit, and the pits shall be connected below the track.

C. Distance from inspection track center to side pit wall shall be 1.5 m.

⑤ Inspection shop

A. The pit shall be 1 m-long and 850 mm-wide.

⑥ Washing equipment

A. Washing track shall be the longest train length +10.0 m, and car washing platform shall be 20.0 m per car with 6.0 m of clearance at both ends.

B. Water supply valves shall be located at intervals of 10 m.

C. Washing track shall be concrete track, and shall be inclined to the drain appropriately for drainage.

D. When incineration furnace is provided, trash passage shall be provided between washing track and incineration furnace.

⑦ Water supply

A. Water pump shall be determined according to the demand for potable water and treated water.

B. Washing water for diesel motorized car: 0.5 m^3/car

C. Water supply to diesel motorized car with water tank: 0.5 m^3/car

D. Cooling water for locomotive: 0.5 m^3/car

E. Other water demands.

F. The capacity of water tank shall be 25% of daily use.

(2) 검사선

① 검사

가. 세척선은 1일 세척 3량 또는 3편성에 대하여 1량분 또는 1편성분으로 계획한다.

나. 월간검사선, 조업검사선, 세척선의 유치용량을 포함 체박량 수에 맞도록 계획한다.

② 차고와 인접한 선로의 이격거리

차고벽면과 인접한 선로중심과의 간격은 3m 이상으로 한다.

③ 검수고선의 출입

월간검사선, 작업검사선 및 유치선은 양쪽출입으로 하고 특별한 경우를 제외하고는 1선의 길이는 4~2량/편성 이내로 한다.

④ 차고부속설비

가. 수선차고의 검사핏트는 깊이 1m, 폭 850mm로 하고 차량양단의 여유 2m를 제외한 차고 전장에 걸쳐 설치한다.

나. 월간검사고의 검사핏트는 궤도내 핏트와 측면 핏트로 나누고 궤도아래는 1량에 대하여 2개소의 궤도내 핏트와 측면핏트 간을 통행 할 수 있는 구조로 한다.

다. 검사선의 중심에서 측면 핏트 측벽까지의 거리는 1.5m로 한다.

⑤ 작업검수고

가. 검사핏트의 깊이는 1m, 폭은 850mm로 한다.

⑥ 세척설비

가. 세척선의 길이는 최대 열차편성길이에 10.0m의 여유를 확보하며, 세차대 길이는 1량당 20.0m로 하되, 양쪽 끝에 6.0m의 여유길이를 확보한다.

나. 급수 밸브는 필요에 따라 10m마다 설치한다.

다. 세척대의 세척선은 콘크리트도상으로 하고, 도상면에는 적당한 기울기를 붙여 배수구를 설치한다.

라. 필요에 따라 쓰레기 소각장을 설비할 경우는 세척선과 소각로 사이에 쓰레기 운반용 포장도로를 설치한다.

⑦ 급수설비

가. 양수기는 상수도와 공업용수(중수도)의 소요판단을 하여 이에 따라 정한다.

나. 디젤동차 세척용수 : 0.5㎥/량

다. 수조가 장착된 디젤동차의 급수 : 0.5㎥/량

라. 기관냉각용수 : 0.5㎥/량

마. 기타 잡용수를 적당히 고려한다.

바. 저수조의 용량은 1일 사용량의 약 1/4로 하고 각 시설에 필요한 량을 얻도록 설비한다.

⑧ Track outside the shed

A. Track layout at diesel motorized car depot shall be based on unidirectional operation, and shunting shall not interfere with the mainline or station operation.

B. In/out track shall not interfere with other works and arrival and lead track may be provided as needed.

C. Fuel track shall be directly connected to in/out track.

D. Fuel track shall have one inlet per car.

E. Storage track and formation track

(a) Storage track shall be directly connected to in/out track

(b) Storage track shall be an in/out track at both ends, and the capacity of a single track shall be 4 cars, or 2 trainsets or less.

(c) Storage track shall have a water cock and fuel valve.

(d) The capacity of storage track shall be dependent on maximum demand, including shed and washing track, and shall have a formation track as needed.

⑨ Other tracks

A. A track for loading may be provided at the shed, as needed.

B. A tank track may be installed for fueling with loading equipment, as needed.

⑩ Track spacing

Track spacing of the track outside the shed shall be 4.3 m; this may be adjusted when there are obstacles such as pole or sewage.

⑧ 차고외 선로

가. 디젤동차기지 구내배선은 1방향 동선체계로 하고, 입환 할 때는 본선 또는 역구내에 지장 되지 않도록 배선한다.

나. 입출고선은 다른 작업에 지장없이 입출고 할 수 있는 배선으로 하고 상황에 따라 도착선 및 인상선을 설치한다.

다. 급유선은 입출고선에 직접 연결할 수 있는 배선으로 한다.

라. 급유선에는 매 1량분마다 급유구를 설치한다.

마. 유치선 및 조성선

㉮ 유치선은 입출고선에 직접 연결할 수 있는 배선으로 한다.

㉯ 유치선은 양쪽 입출고선으로 하고, 1선의 유치용량은 4량 이내 또는 2편성 이내로 한다.

㉰ 유치선에는 필요에 따라 급수전, 급유전을 설치한다.

㉱ 유치선의 용량은 차고선 및 세척선을 포함하여 최대 체박량수를 유치할 수 있도록 하고, 필요에 따라 약간의 조성선을 설치한다.

⑨ 기타선로

가. 창고에는 창고선을 부설하고 필요에 따라 적하시설을 한다.

나. 연료유에 부속시켜 탱크차선을 설치하고 필요에 따라 적하설비를 설치한다.

⑩ 선로간격

차고 외 선로중심간격은 4.3m로 하고 선로의 중간에 전주, 하수구, 기타의 지장물이 있는 경우의 간격은 별도로 고려한다.

Professionals Participated

Editor-in-Chief

Hwang, Seon Keun

Chief Researcher, Korea Railroad Research Institute, E-mail: skhwang@krri.re.kr

Associate Editor

Pyo, Sukhoon

Senior Researcher, Korea Railroad Research Institute, E-mail: shpyo@krri.re.kr

Reviewers

Field		Name	Affiliation, title	E-mail
Civil Works	Chapter 1	Ahn, Taebong	Woosong University, Professor	tbahn@wsu.ac.kr
		Beckham, Antony	Woosong University, Assistant Professor	abeckham@wsu.ac.kr
		Bhandari, Binayak	Woosong University, Assistant Professor	binayak@wsu.ac.kr
	Chapter 2	Ahn, Taebong	Woosong University, Professor	tbahn@wsu.ac.kr
		Beckham, Antony	Woosong University, Assistant Professor	abeckham@wsu.ac.kr
		Bhandari, Binayak	Woosong University, Assistant Professor	binayak@wsu.ac.kr
	Chapter 3	Ahn, Taebong	Woosong University, Professor	tbahn@wsu.ac.kr
		Beckham, Antony	Woosong University, Assistant Professor	abeckham@wsu.ac.kr
		Bhandari, Binayak	Woosong University, Assistant Professor	binayak@wsu.ac.kr
	Chapter 4	Joh, Sung Ho	Chung-Ang University, Professor	shjoh@cau.ac.kr
	Chapter 5	Mok, Young Jin	Kyung Hee University, Professor Emeritus	yjmok@khu.ac.kr

	Chapter 6	Kim, Woon-Hyung	Dasan consultants Co., Vice President	whkimb@gmail.com
	Chapter 7	Kim, Dookie	Kunsan National University, Professor	kim2kie@kunsan.ac.kr
	Chapter 8	Kim, WooSeok	Chungnam National University, Associate Professor	wooseok@cnu.ac.kr
	Chapter 9	Jeon, Jong-Su	Andong National University, Assistant Professor	jsjeon@anu.ac.kr
	Chapter 10	Zi, Goangseup	Korea University, Professor	g-zi@korea.ac.kr
		Kim, Dong Joo	Sejong University, Associate Professor	dkkim75@sejong.ac.kr
		Kim, WooSeok	Chungnam National University, Associate Professor	wooseok@cnu.ac.kr
		Park, Kyung soo	Yonsei University, Associate Professor	k-park@yonsei.ac.kr
	Chapter 11	Kim, Kee-Dong	Kongju National University, Professor	kkkim@kongju.ac.kr
		Lee, Byung sik	Kongju National University, Professor	blee@kongju.ac.kr
	Chapter 12	Kim, Sang Hwan	Hoseo University, Professor	kimsh@hoseo.edu
	Chapter 13	Yoo, Jenam	Yooshin Engineering Co., Vice President	stryoo@gmail.com

Acknowledgement

This work was supported by a grant (17RTRP-B085904-05) from Railroad Technology Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean Government

Design Standards of Korean Railroad

Vol I: Civil Works

issued by **Korea Railroad Research Institute**

< not for sale, all rights reserved >

비매품/무료

93530

9 791188 058310

ISBN 979-11-88058-31-0

Korea Railroad
Research Institute
176, Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si,
Gyeonggi-do, 16105, Korea
http://www.krri.re.kr