



01

철도시설물 적용을 위한 무시멘트 콘크리트 배합 개발

Development of Cementless Concrete for
Applications in Railway Infrastructure

표석훈 Sukhoon Pyo
울산과학기술원
지구환경도시건설공학과
부교수

배영훈 Younghoon Bae
한국철도기술연구원
첨단인프라연구실
책임연구원

이철규 Cheulkyu Lee
한국철도기술연구원
교통환경연구실
책임연구원

1. 머리말

세계 경제의 발전과 함께 건설산업도 지속적으로 성장하고 있으며, 이에 따라 주요 건설재료로 사용되는 콘크리트의 수요도 꾸준히 증가하고 있다. 콘크리트의 필수 구성 요소인 시멘트는 생산과정에서 상당한 환경 문제를 야기하며, 특히 이산화탄소(CO₂) 배출과 밀접한 관련이 있다. 현재 시멘트 산업은 전 세계 CO₂ 배출량의 최소 8%를 차지¹⁾하고 있어, 기후 변화에 대응하기 위한 다양한 탄소 중립 기술을 모색하는 것이 시급하다.

지속 가능한 건설산업 및 철도 인프라 산업에서 이러한 CO₂ 배출량을 줄이기 위한 전통적인 콘크리트 대안을 찾는 것은 환경적 영향을 완화하는 혁신적인 방법이 될 수 있다. 이러한 이유로 시멘트를 사용하지 않는 콘크리트 기술은 건설산업을 혁신할 수 있는 유망한 대안으로 주목받고 있다. 전통적인 시멘트는 주로 콘크리트의 골재들을 결합하는 데 사용되지만, 최근의 재료 과학과 공학의 발전으로 시멘트에 의존하지 않고 다양한 산업부산물을 대체재로 사용하는 대안들이 제안되고 있다. 이러한 대안 기술은 시멘트 산업이 직면한 환경적 도전에 대한 효과적인 해결책을 제공할 수 있다. 따라서 시멘트 대체재료를 통한 친환경 콘크리트 개발 및 구조물 적용기술은 기후 변화 대응과 건설산업의 지속 가능성을 동시에 달성할 수 있는 중요한 전략이라고 할 수 있다.

국내에서 시멘트를 적게 사용하는 저탄소 콘크리트와 관련된 기준을 살펴보면, 2017년 개정된 콘크리트공사 표준시방서 ‘콘크리트공사 일반사항(KCS 14 20 01:2017)’에 저탄소 콘크리트 규정이 신설되었다. 그러나 이 규정은 저탄소 콘크리트를 설계기준강도 40MPa 미만의 보통 콘크리트 강도 범위에만 적용하도록 제한하고 있다. 또한, 콘크리트공사 표준시방서 ‘일반콘크리트(KCS 14 20 10)’에서는 레디믹스트 콘크리트에 사용되는 시멘트를 KS에서 규정하는 시멘트로 제한하고 있다. KS 중에서 시멘트 함량을 가장 낮게 허용하는 표준은 ‘고로슬래그 시멘트(KS L 5210)’로, 고로슬래그 함유율에 따라 세 종류로 구분되며 최대 고로슬래그 함유율을 70% 이하(3종)로 제한하고 있다. 반면, 유럽의 EN 14216:2015-09 기준에서는 혼합 시멘트 무게의 최대 95%까지 고로슬래그 사용을 허용하고 있으며, 미국의 ASTM C595/C595M-20 표준에서도 동일한 혼합 시멘트 무게의 95%까지 고로슬래그 사용을 허용하고 있다. 따라서 무시멘트 콘크리트 기술을 상용화하기 위해서는, 단기적으로는 콘크리트 2차 제품에 적용할

수 있을 것이며, 장기적으로는 국내 관련 규정의 보완이 필요하다.

국의 기술 동향을 살펴보면, 호주의 Wagners사의 Earth Friendly Concrete, 핀란드의 Betolar사의 Geoprime, 네덜란드의 SQAPE Technology사의 SQAPE, 미국의 C-crete Technology사의 무시멘트 콘크리트 등 다양한 국가에서 알칼리 활성 콘크리트 및 지오폴리머 콘크리트와 같은 무시멘트 콘크리트 기술이 개발되어 건설산업에 적용되고 있다. 국내에서도 한국건설기술연구원, 전남대학교, 삼성물산 등에서 무시멘트 콘크리트 기술 개발이 진행되고 있다. 그러나 기존 국내 연구에서는 알칼리 활성화제를 사용함에 따른 급결 문제, 낮은 가격 경쟁력, 관련 제도 기반의 부족, 시멘트 대체 재료의 품질 관리의 어려움 등으로 인해 상용화가 미비한 상황이다. 친환경 건설재료 시장은 지속해서 성장하고 있으며, 선진국에서는 이미 상용화 단계에 진입했지만, 국내에서는 아직 연구 단계에 머물러 있다. 따라서 국내외 건설 시장에서 기술 선점을 위해서는 국내 독자적인 기술 개발이 필요하다.

2. 구조용 무시멘트 콘크리트 배합 기술

2.1 요구조건

무시멘트 콘크리트 기술을 친환경 콘크리트 철도 침목에 적용하기 위해서는 다음과 같은 공학적 요구조건을 고려해야 한다. 우선, 국내에서 수월하게 수급할 수 있는 원재료를 기반으로 배합을 개발하여야 하며, 일반적으로 운영되는 콘크리트 2차 제품 공장에서 쉽게 생산할 수 있는 작업성을 갖춘 굳지 않은 콘크리트 물성을 지녀야 한다. 또한, 고속철도 콘크리트 침목에 적용할 수 있도록 설계기준 압축강도 60 MPa 이상을 발현할 수 있어야 한다. 기존 PSC 콘크리트 침목 구조에 적용할 수 있도록 강연선과의 부착력을 충분히 확보해야 하며, 가능한 기존 2차 제품 공장에서 사용되고 있는 골재와 감수제를 활용하고자 한다. 이를 통해, 추가적인 재료 비용을 최소화하면서도 최적의 성능을 발휘할 수 있는 고강도 무시멘트 콘크리트를 개발하는 것이 목표이다. 또한, 기존 공장 설비를 이용한 양생 조

건을 동일하게 적용하여, 생산 공정에 큰 변화를 주지 않고도 고품질의 친환경 콘크리트를 생산할 수 있어야 한다. 이러한 요구조건을 충족하는 무시멘트 콘크리트는 친환경성과 고성능을 동시에 달성할 수 있으며, 기존 인프라와의 호환성을 유지하여 효율적인 생산이 가능하다. 이를 통해 친환경 건설재료의 상용화를 촉진할 수 있을 것이다.

2.2 고로슬래그 미분말 기반 무시멘트 기초 연구

산업부산물인 고로슬래그 미분말을 시멘트 대체재로 활용하면 콘크리트 배합에서 시멘트 사용량을 줄여 환경적 부담을 감소시키는 실용적인 해결책이 될 수 있다. 시멘트의 대체재로 사용하게 되면 초기 강도는 감소할 수 있지만, 콘크리트의 다양한 특성을 개선할 수 있다고 알려져 있다²⁾. 기존의 무시멘트 콘크리트 연구에서는 고로슬래그 미분말을 사용하면서 수산화나트륨(NaOH) 및 규산나트륨과 같은 알칼리 활성제를 사용해 왔으나, 급결 문제와 공정의 어려움 등의 단점이 있었다. UNIST 연구 그룹은 2013년에 알칼리 활성제의 대안으로 생석회(CaO)와 수산화칼슘(Ca(OH)₂)를 사용하는 방법을 제안했다³⁾. 추가 연구를 통해 중탄산칼슘, 염화칼슘(CaCl₂), 포름산칼슘(Ca(OOCH)₃), 심지어 황산알루미늄과 같은 촉진제를 첨가하면 시멘트질 재료의 초기 경화 시간을 단축하고 초기 수화열을 증가시킬 수 있음을 확인했다⁴⁾.

최근 UNIST 연구진은 칼슘계 분말형 활성화제를 활용해 압축강도 150 MPa 이상을 발현하는 초고성능 콘크리트(UHPC) 배합을 개발했다⁵⁾. 시멘트 없는 UHPC를 개발하기 위해 생석회(중량 5%)를 사용해 고로슬래그 미분말을 활성화하고, 포름산칼슘을 0~6 wt% 범위의 농도에서 촉진제로 사용했다. 그 결과, 포름산칼슘 5 wt%까지는 역학적 특성을 크게 향상했으며, 모든 배합이 150 MPa 이상의 압축강도를 나타냈다. 일축 인장시험에서는 일반적인 시멘트 기반 UHPC와 유사한 변형 경화 거동이 관찰되었다. 포름산칼슘을 첨가하면 수화 생성물이 증가하고 내부 공극 크기가 미세화되어 기계적 특성이 개선되었다. 환경 영향성 평가 결과, 개발된 UHPC 혼합물은 시멘트

기반 UHPC에 비해 CO₂ 배출량이 약 70% 낮았다. 이 연구 결과는 지속 가능한 UHPC 개발이 실제로 가능함을 보여주었다.

2.3 사용 재료와 배합설계 방향

구조물 적용 무시멘트 콘크리트 배합을 위해 철도 침목 생산 프리캐스트 공장에서 사용하고 있는 잔골재와 굵은골재, 그리고 화학 감수제를 동일하게 사용하였으며, 실용화를 고려하여 잔골재와 굵은골재의 사용량은 동일하게 유지하였다. 무시멘트 바인더는 UNIST 연구진에서 개발한 무시멘트 UHPC 배합기술⁹⁾을 응용하였다. 고로슬래그 미분말을 생석회를 이용하여 활성화하고, 포름산칼슘을 활용하여 활성화 과정을 촉진하였다. 또한, UHPC 배합에서와 같이 실리카흄을 강도 증진 및 점성 증진을 위해 사용하였다. 강도 및 유동성을 조절하기 위해 물-바인더 비율, 감수제의 양, 실리카흄의 양을 조절하며 배합 비율을 조절하였다. 결정된 배합의 공기량은 2%로 분석되었으며, 바인더의 유동성은 250 mm, 콘크리트의 슬럼프는 175 mm로 측정되었다.

2.4 양생 온도의 영향

양생 온도가 고로슬래그 미분말 기반 시멘트 없는 콘크리트의 강도 발달에 미치는 영향을 이해하기 위해 다양한 양생 온도조건에서 압축강도 발현을 분석하였다. 이를 위해 다음 세 가지 양생 절차를 따랐다: (i) 50℃에서 12시간 증기 양생 후 3일 및 28일 동안 수중 양생; (ii) 70℃에서 12시간 증기 양생 후 3일 및 28일 동안 수중 양생; (iii) 90℃에서 12시간 증기 양생 후 3일 및 28일 동안 수중 양생.

수중 경화조는 각 설정 온도로 유지되었다. 압축강도 측정 결과는 <그림 1>에 요약되어 있다. 50℃에서 양생된 시편들은 28일 수중 양생 후에도 목표 압축강도인 60 MPa에 도달하지 못했다. 그러나 12시간 증기 양생(35.22 MPa) 후 3일(42.5 MPa) 및 28일(57.5 MPa) 동안 수중 양생한 경우 강도가 점진적으로 증가했다.

70℃에서 증기 양생한 경우, 28일 동안의 압축강도

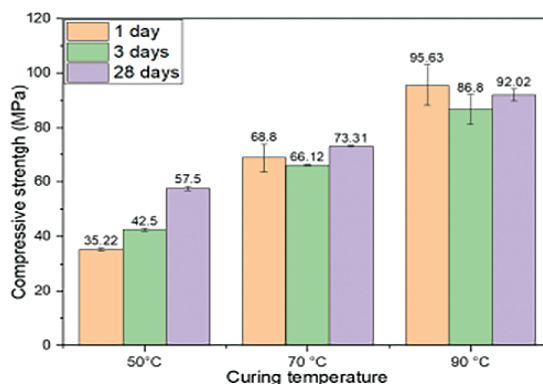


그림 1. 양생 온도에 따른 콘크리트의 강도 결과

가 약간 증가하는 것으로 나타났다. 90℃에서 양생한 경우, 초기 1일 및 3일 경화보다 28일 경화를 하게 되면 압축강도의 편차가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 1일, 3일, 28일 동안의 압축강도 변화는 뚜렷하지 않았다. 이는 높은 온도에서의 초기 증기 양생이 콘크리트의 장기 강도 발현에 긍정적인 영향을 미치며, 특히 90℃에서의 증기 양생이 장기적으로 안정적인 강도를 제공한다는 것을 시사한다.

2.5 양생 온도 변화에 따른 압축강도 변화

증기 양생의 투입 에너지를 효율적으로 관리하기 위해 총 5가지 조건에서 압축 강도에 미치는 영향을 추가로 분석하였다. 실험의 효과성을 높이기 위해 5 mm 굵 굵은 골재와 5 cm 큐빅 시편을 사용하였다. 사용된 양생 조건은 다음과 같다: (i) 90℃ 12시간; (ii) 90℃ 10시간 후 70℃ 2시간; (iii) 90℃ 8시간 후 70℃ 4시간; (iv) 90℃ 10시간 후 50℃ 2시간; (v) 90℃ 8시간 후 50℃ 4시간.

압축 강도 측정 결과는 <표 1>에 요약되어 있다.

표 1. 양생 조건에 따른 콘크리트의 압축강도 결과

양생 온도 조건	압축강도(MPa)
90℃ 12시간	93.29
90℃ 10시간 후 70℃ 2시간	88.03
90℃ 8시간 후 70℃ 4시간	84.39
90℃ 10시간 후 50℃ 2시간	85.85
90℃ 8시간 후 50℃ 4시간	82.6

90℃에서 12시간 동안 경화한 시편의 압축 강도는 93.29MPa로 가장 높았다. 다음으로는 90℃에서 10시간, 70℃에서 2시간 양생한 시편, 90℃에서 10시간, 50℃에서 2시간 양생한 시편, 90℃에서 8시간, 70℃에서 4시간 양생한 시편, 90℃에서 8시간, 50℃에서 4시간 양생한 시편 순으로 강도가 나타났다.

이 결과는 압축강도가 양생 온도와 기간 모두에 영향을 받는다는 것을 시사한다. 특히, 90℃에서의 장시간 양생이 높은 압축강도를 제공하지만, 에너지 효율성을 고려할 때 90℃와 50℃ 또는 70℃의 조합 양생도 적절한 대안이 될 수 있음을 보여준다. 이러한 관찰을 통해 필요한 압축강도에 따라 최적의 증기 양생 온도와 기간을 결정할 수 있다.

2.6 강도 발현 메커니즘 분석

2.4절에서 확인한 양생 온도에 따른 무시멘트 콘크리트의 강도 발현 특성을 면밀하게 분석하기 위해 열중량 분석(TGA/DTG), 푸리에 변환 적외선 분광법(FT-IR), 핵자기 공명 분석(^{29}Si NMR), 공극량분석(Brunauer-Emmett-Teller, BET)을 추가로 진행하였다.

열중량 분석을 통해 양생 온도에 따른 생성 수화물의 차이를 확인할 수 있다(〈그림 2〉 참조). 기존 연구에서 고로슬래그 미분말과 생석회를 이용하여 활성화하고, 포름산칼슘을 이용하여 반응 촉진한 바인더의 경우 C_2AH_8 수화물이 생성됨을 확인 하였다⁴⁾. 열중량 분석을 통해 양생 온도가 높아지면 상대적으로 불안정한 상태인 C_2AH_8 수화물이 조금 더 안정적인 상으로 변화하는 것을 확인할 수 있다.

FT-IR 분석에서 980cm^{-1} 부근의 결과는 일반적으로 Si-O 결합과 관련이 있다고 알려져 있으며, 이는 주요 수화물인 C-S-H 젤의 정량적 분석에 활용될 수 있다⁶⁾. NMR 분석에서 주파수가 -78ppm, -84ppm 부근에서 최댓값을 보여주는 결과를 Q^1 과 Q^2 로 분류하며, 해당 결과는 C-S-H 젤의 정량적 분석에 활용될 수 있다⁷⁾. 〈그림 3〉과 〈그림 4〉는 양생 온도가 높아지면 C-S-H 젤이 더 많이 생성되면서 무시멘트 콘크리트의 압축강도가 높아지는 현상을 나타내고 있다.

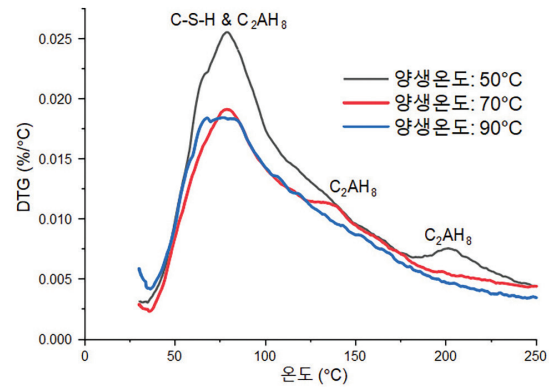


그림 2. 양생온도에 따른 재령 28일 시편의 DTG 결과

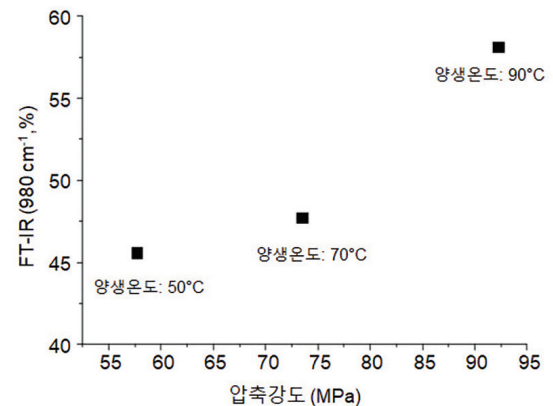


그림 3. 양생온도에 따른 재령 28일 시편의 압축강도와 FT-IR 결과 관계

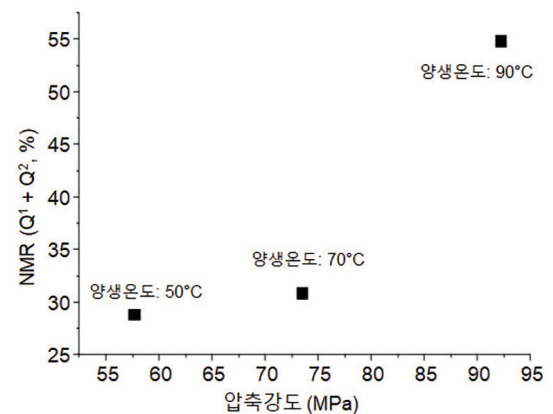


그림 4. 양생온도에 따른 재령 28일 시편의 압축강도와 NMR 결과 관계

파괴역학의 원리에 따르면, 재료 내부의 공극 크기와 크기별 체적은 재료의 강도와 밀접한 관련이 있다. 〈그림 5〉는 BET 방법을 이용해 분석된 공극 크기와 체적 분포를 보여준다. 90℃에서 양생된 시편은 상대

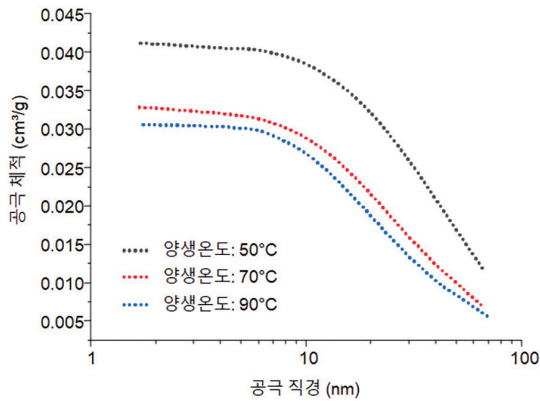


그림 5. 양생온도에 따른 재령 28일 시편의 BET 결과

적으로 가장 미세한 공극 분포를 나타내며, 이는 완전한 수화 과정을 통해 압축강도가 증가한 것과 상관관계가 있다. 반면, 50℃ 및 70℃에서 양생된 시편은 상대적으로 낮은 강도 증가를 했고, 이는 더 많은 모세관 공극의 존재와 관련이 있음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 양생 온도가 콘크리트의 미세구조 및 강도 특성에 결정적인 영향을 미친다는 것을 시사한다.

2.7 경제성 및 환경성 분석

일반적인 철도 침목용 콘크리트와 시멘트를 사용하지 않는 콘크리트 배합의 경제성과 환경 영향을 비교 분석하였다. 두 배합 모두 같은 종류의 골재를 같은 양 사용하므로, 경제성 비교는 바인더 가격을 기준으로 이루어졌다. 각 원재료의 추정 단가와 단위 부피당 재료 사용량을 고려한 결과, 일반 콘크리트의 바인더 비용은 약 4만 3천 원인 반면, 무시멘트 콘크리트의 바인더 비용은 약 12만 2천 원으로 분석되었다.

〈그림 6〉은 SimaPro 프로그램을 활용하여 분석한 배합 유형별 CO₂ 배출량 분석 과정을 보여주며, 〈그림 7〉은 주요 환경 인자들의 상대적인 차이를 나타낸다. 무시멘트 콘크리트의 CO₂ 배출량은 43.2kg으로, 대조군 배합의 156kg에 비해 약 27.7% 수준으로 낮았다. 또한, 다양한 환경적 측면에서도 무시멘트 콘크리트 배합이 일반 콘크리트에 비해 더 유리한 것으로 분석되었다.

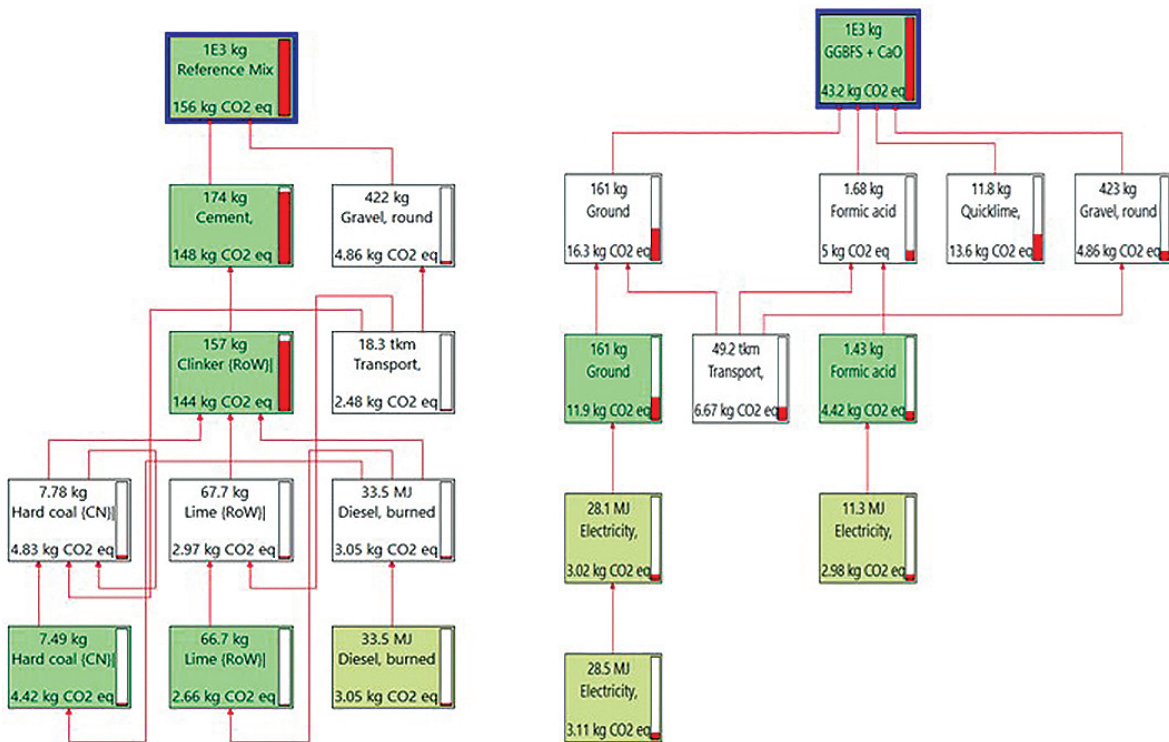


그림 6. 시멘트 사용 유무에 따른 배합설계들의 환경 영향성 분석 과정

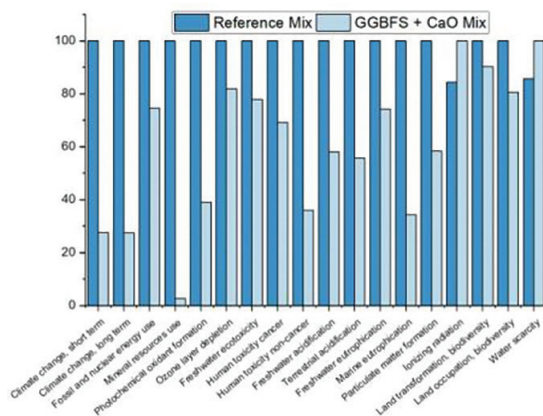


그림 7. 일반 콘크리트 대비 시멘트 제로 콘크리트 배합의 환경 영향성 분석 결과

3. 결론 및 향후 연구방향

본 기사에서는 무시멘트 콘크리트 배합의 개발과정, 재료적 특성 및 경제성과 환경적 영향을 분석하여, 철도 침목용 콘크리트에 대한 잠재적 대안을 제시하였다. 시멘트를 사용하지 않는 콘크리트 배합은 현재 경제성에서 약점을 보이지만, 환경성과 성능 측면에서 큰 잠재력이 있음을 확인하였다.

경제성 분석 결과, 무시멘트 콘크리트의 바인더 비용은 기존 시멘트 기반 콘크리트보다 높았지만, 대량 생산과 기술 발전을 통해 비용 절감의 가능성이 있다. 환경성 분석에서는 무시멘트 콘크리트가 CO₂ 배출량을 약 72.3% 감소시키며, 기후 변화 대응에 있어 매우 효과적임을 입증하였다.

양생 온도와 기간이 무시멘트 콘크리트의 강도 발현에 미치는 영향을 분석한 결과, 고온에서의 증기 양생이 무시멘트 콘크리트의 장기 강도 발현에 긍정적인 영향을 미쳤다. 또한, 고로슬래그 미분말을 생석회와 포름산칼슘을 이용하여 활성화한 무시멘트 콘크리트는 기존 시멘트 기반 콘크리트와 유사한 수준의 강도를 발현하였다.

무시멘트 콘크리트의 상용화를 위해서는 경제성을 개선하는 것과 더불어, 관련 규정의 보완과 기술 개발이 필수적이다. 기존 시멘트를 완벽히 대체하기 위해서는 장기 내구성, 화학적 안정성, 품질 변동성을 고려한 배합 설계 기술 및 구조물 적용성 등의 추가 연구가

필요하다. 또한, 레미콘 등 일반 콘크리트로 확대 적용하기 위해서는 국내 관련 기준 개정이 장기적으로 필요하다.

4. 감사의 글

본 기사의 연구는 한국철도기술연구원 기본사업(지속 가능 철도교통을 위한 탄소중립 핵심기술 개발, PK2402C1)의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 

담당 편집위원 : 이나현(한국철도기술연구원) nahyunyi@krii.re.kr

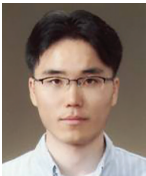
참고문헌

1. York I.N., and Europe I. (2021) Concrete needs to lose its colossal carbon footprint. *Nature* 597(7878), 593–594.
2. Song, H. W., and Saraswathy, V. (2006) Studies on the corrosion resistance of reinforced steel in concrete with ground granulated blast-furnace slag—An overview. *Journal of Hazardous Materials* 138(2), 226–233.
3. Kim, M. S., Jun, Y. Lee, C. H., and Oh, J. E. (2013) Use of CaO as an activator for producing a price-competitive non-cement structural binder using ground granulated blast furnace slag. *Cement and Concrete Research* 54, 208–214.
4. Yum, W. S., Suh, J. I., Jeon, D. H., and Oh, J. E. (2020) Strength enhancement of CaO-activated slag system through addition of calcium formate as a new auxiliary activator. *Cement and Concrete Composites* 109, 103572.
5. Dahal, M., Oinam, Y., Vashistha, P., Oh, J. E., and Pyo, S. H. (2023) Cementless ultra-high performance concrete (UHPC) using CaO-activated GGBFS and calcium formate as an accelerator. *Journal of Building Engineering* 75, 107000.
6. Li, N., Farzadnia, N. and Shi, C. (2017) Microstructural changes in alkali-activated slag mortars induced by accelerated carbonation. *Cement and Concrete Research* 100, 214–226.
7. Wang, S. D., and Scrivener, K. L. (2003) ²⁹Si and ²⁷Al NMR study of alkali-activated slag. *Cement and Concrete Research* 33(5), 769–774.



표석훈 교수는 미국 미시간대학교(University of Michigan, Ann Arbor) 건설환경공학과에서 동적하중을 받는 초고성능 콘크리트의 특성에 관한 연구로 박사학위를 취득하고, 한국철도기술연구원에서 선임 연구원으로 근무하였고, 2019년부터 울산과학기술원 지구환경도시건설공학과 교수로 재직 중이다. 주로 친환경 초고성능 콘크리트, 소음저감형 고성능 콘크리트 관련 연구를 수행하고 있다.

shpyo@unist.ac.kr



배영훈 책임연구원은 서울대학교 건설환경공학부에서 박사수로하였으며, (주)동호(舊금호엔지니어링)에서 토목구조 설계를 수행하였으며, 한국철도기술연구원에서 책임연구원으로 재직 중이다. 궤도용품(침목 및 레일체결장치) 및 궤도구조 개발, 철도표준 관리 등의 업무를 수행하고 있다. 현재 철도부문 탄소중립을 위한 시멘트 제로/시멘트 다량치환 콘크리트 개발 및 철도 제품 실용화 연구를 수행하고 있다.

yhbae@krri.re.kr



이철규 책임연구원은 아주대학교 환경공학과에서 전과정평가를 활용한 저탄소 제품 친환경설계에 관한 연구로 박사학위를 취득하고, 한국철도기술연구원에서 책임연구원으로 근무하고 있으며, ISO/TC269(철도분야) 워킹그룹 컨베너와 국제표준 문서발행, 국제철도연맹(UIC)에서 Senior Advisor로 유럽 철도과제 관리경험 등으로 대한민국 산업포장을 수상받은 바 있다. 현재 교통환경실에서 철도부문 탄소중립을 위한 핵심 기술 개발 연구를 수행하고 있다.

cheul@krri.re.kr

비구조용 경량콘크리트



- 저 자 : 한국콘크리트학회 경량콘크리트위원회
- 출판사 : 한국콘크리트학회
- 발행일 : 2023.07.20
- 총페이지 : 116 page
- 정가(비회원가) : 22,000원
- 회원할인가 : **17,600원**(20%)
- 배송비 : 착불 (4,000원), 평균배송일 2일 이내

| 도서소개 |

주로 건축물의 마감 및 칸막이 벽체로 적용되고 있는 비구조용 경량 콘크리트(선기포 습식 콘크리트 및 ALC 포함) 기술은 초경량성, 내화성 및 단열성 등의 장점으로 지속적 관심을 받고 있습니다. 경량기포 콘크리트는 낮은 압축강도와 강성으로 인해 제조 및 시공 시 품질관리 측면에서 많은 주의가 요구됨에도 불구하고 관련 참고자료 또는 가이드라인은 국제적으로도 매우 미흡한 실정입니다.

이에 따라 우리 학회의 경량콘크리트 전문위원회에서는 기존 연구들의 리뷰 및 실무적 관점에서 제조공정과 시공성을 파악한 결과를 바탕으로 「비구조용 경량 콘크리트」를 준비하였습니다. 이 지침은 현장에서 목표 압축강도 및 밀도를 고려한 비구조용 경량 콘크리트 제조 그리고 품질관리 기반 시공 등의 실무적 가이드라인으로 그 활용도가 기대됩니다.