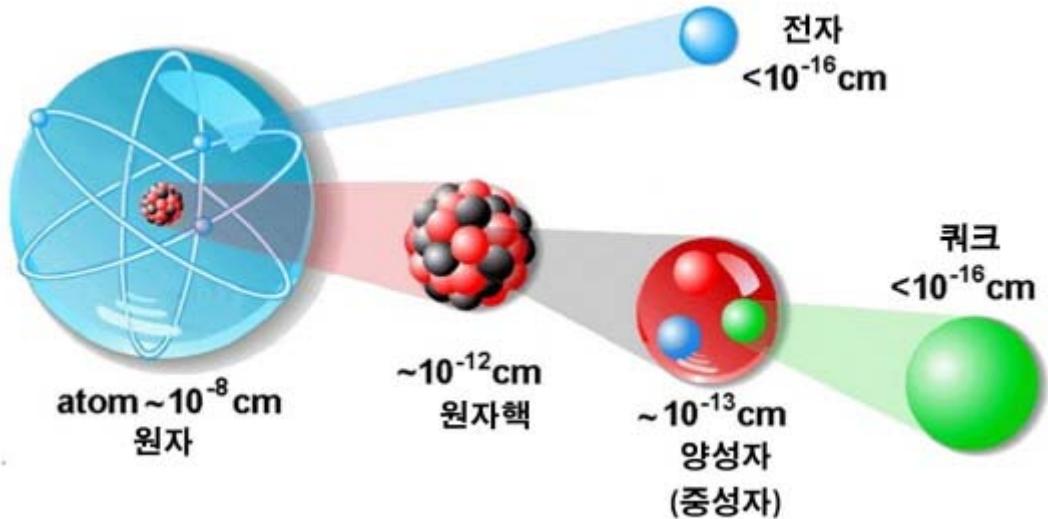


# [문병도의 톡톡 생활과학] 제 2의 '신의 입자'를 찾아라...가열되는 입자 가속기 경쟁

문병도 기자 2016-10-20 13:53:21 바이오&ICT



원자와 이를 구성하는 양성자·중성자와 쿼크, 전자의 크기 비교. 입자 가속기는 1964년 예언된 쿼크의 존재를 증명하는데 유용하게 사용됐다.

'물질을 구성하는 기본입자는 무엇인가'는 물리학자와 화학자들의 최대 관심사다.

19세기 러시아 화학자 멘델레예프가 주기율표를 완성하면서 세상의 모든 물질은 주기율표상 원자의 조합으로 만들어진다고 생각됐다. 이런 생각은 20세기에 들어서 원자는 핵과 전자로 이뤄져 있고, 다시 원자핵은 양성자와 중성자들이 모여서 구성됐다는 것이 밝혀지면서 깨졌다. 이 때까지만 해도 과학자들은 양성자, 중성자, 전자는 더 이상 깨질 수 없는 기본입자라고 확신했다. 그렇지만 1964년 미국의 물리학자 머리 겔만이 '쿼크 이론'을 제시하면서 물질을 구성하는 기본입자는 더 작아졌다.

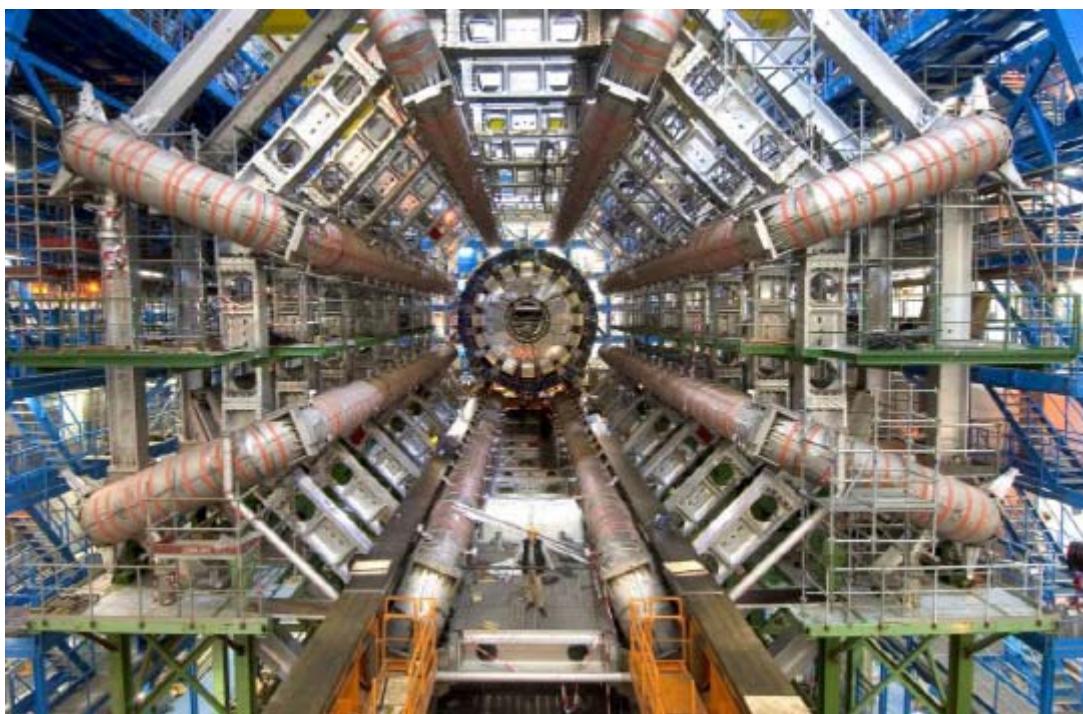
쿼크의 존재를 증명하고 우주를 구성하는 가장 작은 단위 입자를 찾아내려는 물리학자의 실험도구가 바로 '입자 가속기(Particle Accelerator)'다.

입자가속기는 전기장이나 자기장을 이용해 전자나 양성자, 이온 등 전하를 갖는 입자를 빛의 속도에 가깝게 가속한 뒤 원자핵과 충돌하게 하는 장치다. 전하를 띤 입자 양쪽에 전위차를 걸어 주면 입자는 전위차에 의해 힘을 받아 한 쪽으로 가속되는데, 입자가속기는 이런 원리에 의해 지속적으로 입자를 가속 시켜 입자의 속력을 광속에 가깝게 증가시킬 수 있다. 가속된 입자들이 원자핵과 부딪치면 새로운 소립자가 만들어지기도 하는데, 이러한 소립자들의 물리량을 분석하면 입자를 구성하는

물질들을 알아낼 수 있다.

입자가속기는 가속 방식에 따라 선형과 원형으로 나눌 수 있고 가속 입자의 종류에 따라 전자와 양성자, 중이온 가속기로 구분된다. 선형 가속기는 원형 가속기보다 균일하고 강한 입자빔을 얻을 수 있으며 입자가 위치를 바꿀 때 나타나는 미세한 제동에 의한 에너지 손실이 적다는 장점이 있다. 그렇지만 가속하고자 하는 입자의 크기가 커질수록 가속기가 길어져야 한다. 원형 가속기는 이런 단점을 보완하기 위해 한정된 공간에 입자를 나선(사이클로트론)이나 원(베타트론, 싱크로트론)을 그리며 돌면서 가속되도록 한 것이다. 사이클로트론은 전하를 띤 입자가 균일한 자기장 속에서 로렌츠 힘을 받으면 원운동하고, 고주파 전압을 가하면 가속할 후 있다는 사실을 이용하였다. 1929년 미국의 물리학자 로렌스가 개발하였으며, 1930년에는 양성자를 80keV까지 가속할 수 있는 장치를 만들었다. 입자가 작은 전자를 이용한 가속기는 제동에 의한 에너지 손실이 적은 선형 가속기 형태로 주로 만들어진다. 반면 전자보다 질량이 큰 양성자를 이용한 가속기는 대부분 원형 가속기로 만들어진다.

최근에는 물질의 구조를 밝히는 기초연구뿐만 아니라 생명과학, 나노, 의학, 재료공학 등 다양한 분야에서 입자가속기가 쓰이고 있다. 세계 각국은 자국의 과학기술 발전을 위해 첨단 입자 가속기 개발 경쟁을 벌이고 있다.



유럽입자물리연구소(CERN)에서 운영하는 거대강입자가속기(LHC). 둘레가 27km에 이른다. CERN은 2025년부터 LHC보다 규모가 3배 이상 큰 '미래형 원형 충돌기(FCC)'를 건설할 예정이다.

현재 세계에서 가장 규모가 큰 실험시설은 유럽입자물리연구소(CERN)의 거대강입자가속기(LHC)다. 스위스와 프랑스 국경지대 지하 100m 깊이에 만든 지름 8km, 둘레 27km 크기의 도넛처럼 생긴 실험 시설이다. 이름의 H는 하드론(Hadron)의 약자로 강한 핵력이 작용하는 입자를 뜻한다. 양성자가 바로 대표적인 하드론으로 LHC는 양성자 충돌장치라는 의미를 갖는다. 유럽입자물리연구소는 LHC로 2012년 힉스 입자 발견에 성공했다. '신의 입자'로 불리는 힉스 입자는 물질의 질량 생성에 관여하는 입자로 알려져 있다. 현대 물리학의 근간인 '표준모형'은 우주가 물질을 구성하는 6쌍의 입자와 힘을 전달하는 4개 입자로 구성된다고 설명한다. 이 기본 입자에 질량을 부여하는 힉스 입자까지 포함해

17개의 입자로 이뤄져 있다는 이론이다. 17개 입자 중 유일하게 발견되지 않았던 입자가 발견되며 표준모형이 완성됐다. 덕분에 50년 전 힉스 입자를 예측한 과학자 프랑수아 엥글레르와 피터 힉스는 2013년 노벨 물리학상을 받는 기쁨을 누렸다.

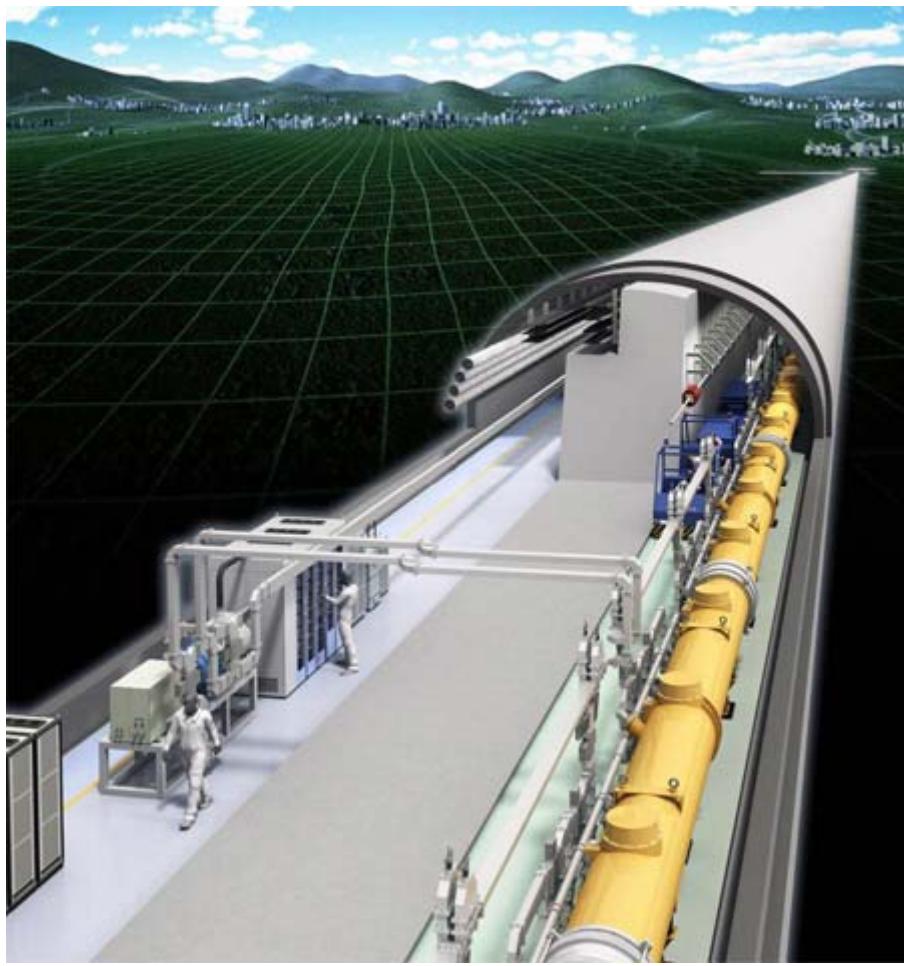
힉스 입증에 혁혁한 공을 세운 LHC는 지난해 대대적으로 장비를 업그레이드 해 충돌 양성자의 에너지를 14TeV(테라전자볼트)로 2배 가량 높였다. LHC는 양성자를 정면 충돌시키는데, 입자 빔이 광속에 가까운 속도로 충돌함으로써 우주 초기 상태인 빅뱅 상황을 재현할 것으로 기대된다. 이렇게 되면 우주의 약 27%를 채우고 있지만 존재를 규명하지 못한 암흑물질과 암흑에너지(우주의 68% 차지) 정체, 입자들의 초대칭 짹입자 존재 여부, 물질과 반물질 성질에 대해 파악할 수도 있다..

성능을 업그레이드한 LHC에서도 새로운 입자가 발견되지 못한다면 기존보다 훨씬 큰 고에너지를 방출할 수 있는 장비가 필요해진다. 입자가속기의 대형화는 그래서 추진된다. CERN은 스위스 제네바 시내를 둘러싸는 100km의 터널을 뚫어 지하 200m에 뚫어 100TeV(테라전자볼트)의 고에너지 영역으로 양성자를 가속시켜 충돌하는 실험장치인 '미래형 원형 충돌기(FCC-Future Circular Collider)' 프로젝트를 논의하고 있다. 기존 LHC보다 충돌에너지가 7배 가량 큰 FCC의 건설은 2025년부터 시작돼 2035년부터 2040년 사이에 가동을 시작한다. 대량의 힉스 입자를 만들 것으로 기대돼 '힉스 팩토리(Higgs Factory)'로도 불린다. CERN은 FCC를 통해 인류가 아직 한 번도 관측하지 못한 암흑물질이나 초대칭 입자를 발견하길 기대하고 있다. FCC 건설에는 한국의 KAIST, 고등과학원 등 6개 기관을 포함해 23개국이 참여하고 있다.

유럽연합을 바짝 쫓고 있는 나라는 '뜨는 과학강국'인 중국이다.

중국은 2030년 대를 목표로 둘레 50~80km 규모의 원형 강입자가속기 건설을 추진 중이다. 중국 고에너지물리학연구소(IHEP)의 왕이팡 소장은 "FCC에 필적할 만한 중국판 '힉스 팩토리' 최종안을 올해 말까지 완성하고 이르면 2020년 건설을 시작해 2030년대에 완공할 예정"이라고 밝혔다. 우선 2028년까지 전자와 양전자(전자의 반입자)를 충돌시켜 힉스 입자와 다른 여러 기본 입자를 만들어내는 '원형 가속 충돌기'를 건설한 다음, 이어 2035년까지 더 큰 에너지가 들어가는 양성자-양성자 충돌기로 발전시키겠다는 것이다. 이를 통해 힉스의 속성을 자세히 알아낸다는 방침이다. 중국 쪽이 추산하는 건설 비용은 30억 달러(대략 3조원)에 이른다.

일본도 가속기 경쟁에 뛰어들었다.



일본이 건설을 주도하는 '국제 직선형 입자충돌기(ILC)'의 상상도. 길이 31km의 ILC는 전자와 양전자를 가속해 충돌시킨 뒤 나타나는 입자물리 현상을 관측하는데 활용될 예정이다.

일본은 긴 직선 터널에서 전자와 양전자를 가속해 충돌시키는 '국제 선형 가속기'(ILC)를 추진하고 있다. 길이 31km로 2030년께 건설될 예정인데, 선형 가속기 중에서는 세계에서 가장 길다. 건설 비용은 100억 달러(약 11조원). 일본 정부는 미국 등 여러 나라와 협력해 이를 충당하려 하고 있다. 일본은 유럽과 중국의 원형 방식과 달리 선형 가속기를 건설하려는 이유는 선형 가속기가 더 큰 에너지를 만들어낼 수 있기 때문이다. 입자 빔이 곡면으로 휘면서 손실되는 에너지가 없기 때문에 입자의 특성을 상세히 밝히기에 좋다.

미국은 2009년 세계 처음으로 스탠포드가속기연구소에 4세대 방사광가속기 'LCLS'를 구축, 식물 광합성과 엽록소 연구에 활용하고 있다. 최근에는 초고속 화학 반응을 관찰·연구할 수 있는 또 다른 기능의 4세대 방사광가속기를 추가 구축하고 있다. 스웨덴은 세계에서 가장 밝은 X선 빔을 내는 새로운 차원의 둑근 고리 모양의 방사광가속기(MAX-IV)를 개발해 시운전하고 있다. 독일은 함부르크에 미국, 일본, 우리나라에 이어 세계 네 번째 4세대 방사광가속기(유럽-XFEL) 구축을 주도하고 있다.



포스텍에 건설된 4세대 방사광가속기 전경. 대각선 방향으로 뻗은 1.1km의 건물 안에 전자를 가속시키는 선형 가속관이 설치돼 있다. 오른쪽 둑근 건물은 3세대 방사광가속기.

한국 포스텍이 최근 완공한 4세대 방사광가속기는 태양보다 100경 배 밝은 빛을 만들어 낸다. 이 빛을 이용해 '찰나'보다도 더욱 빠른 펨토초(1,000조분의 1초)에 일어나는 움직임도 나노미터(10억분의 1미터) 단위로 정확하게 포착할 수 있다. '초고성능 거대 현미경'에 해당하는 이런 대규모 시설을 만든 나라는 미국, 일본에 이어 한국이 세계 3번째이며, 유럽보다 앞섰다. 이 실험 장치를 건설하는데 4년이 넘는 세월과 총 사업비 4,298억 원이 투입됐다. 내년부터 본격적인 가동에 나서는 이 시설은 청정에너지 연구, 차세대 반도체 소자 개발, 신소재 개발 등 각종 분야에 효과적으로 활용할 수 있다.

우리나라는 오는 2020년께 대전, 부산 등 전국에 대형 가속기 7기를 구축·운영할 예정이다. 현재 운영하고 있는 경주 양성자가속기에 이어 한국형 중이온가속기 '라온(RAON)', 부산 기장의 '의료용 중이온가속기' 등 첨단 대형 가속기 구축 사업을 이어 가고 있다.



대전 유성구 신동지구 내에 들어설 중이온가속기(라온) 조감도. 세계 최고 수준의 이온빔을 제공하는 가속기로 2021년까지 지어질 계획이다. 미래창조과학부는 지난 2014년 중이온가속기(라온) 건립계획을 확정했다. 2021년까지 1조6,662억 원을 투입해 건설하는 중이온가속기는 세계 최고 수준의 이온 빔(200MeV, 400kW)을 제공하는 가속

기다. 중이온가속기는 수소, 헬륨보다 무거운 중이온을 고에너지로 가속 시킨 뒤 다른 원자핵에 충돌시켜 희귀 동위원소를 만드는 데 활용된다. 중이온가속기는 핵물리 연구뿐만 아니라 천체물리, 원자력, 의학 등 다양한 분야에 활용할 수 있다. 중이온가속기로 새로운 동위원소를 발견하면 노벨상을 받을 가능성도 있다. 실제로 노벨 물리학상 수상 성과의 약 20% 정도가 가속기와 관련이 있는 것으로 분석된다.

가속기는 규모가 클수록 높은 에너지의 입자를 얻을 수 있어 다양한 실험이 가능하다. 과학자들이 너나 할 것 없이 '조금이라도 더 큰 가속기'를 선호하는 까닭이다. 기초과학연구원(IBS) 관계자는 "최근 입자를 더 높은 에너지로 가속하기 위해 입자충돌기가 점점 더 대형화되는 추세"라며 "희스같이 그동안 우리가 잘 알지 못하던 입자의 물리적 특성을 상세히 밝힐 수 있게 될 것"이라고 말했다./문병도기자 do@sedaily.com

<저작권자 © 서울경제, 무단 전재 및 재배포 금지>