

## 힉스입자의 발견

글\_김동희·경북대학교 물리학과 교수

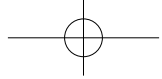
공식적으로 힉스입자가 발견되었다고 2013년 3월 18일에 CERN은 발표했다. 이미 2012년 7월 4일 새로운 입자를 발견하였다고 발표는 했어도 그 당시만 해도 힉스입자라고 단정 짓기는 어려웠다.

오래전부터 탐색이 시도되어 왔지만 힉스입자는 그동안 발견되지 못하고 힉스가 존재한다면 어느 질량의 영역에서는 없다는 결론만을 내려온 상태였다. 1990년대에 지금의 LHC 가속기가 설치되어 있는 터널에 당시에는 전자-양전자 충돌형 가속기인 LEP(Large Electron-Positron Collider)가 약 200GeV의 에너지로 가동되고 있었다. LEP가속기에 존재했던 네 개의 실험 그룹에 의해 힉스입자의 탐색이 수행되었지만 찾지 못했다. 그들의 실험 결과는 만약 힉스입자가 존재한다면 질량이 114.4GeV보다는 무거울 것이라는 결론을 도출한 채로 LHC의 건설을 위하여 2000년에 LEP의 가동이 종료되었다.

LEP의 종료와 함께 힉스입자의 탐색은 미국의 페르미연구소에서의 테바트론가속기를 이용한 실험에서 지속되었다. 페르미연구소의 테바트론가속기는 표준모형에서 발견되지 않았던 마지막 쿼크인 톱쿼크를 1995년에 발견하고 힉스입자를 찾기 위해 테바트론 가속기의 에너지를 2TeV로 높이는 대대적인 업그레이드를 단행했다. 발견을 장담할 수는 없었지만, 당시는 LHC가 건설 중이었으므로 테바트론 가속기를 이용한 CDF와 D0 실험이 오직 힉스입자를 찾는 유일한 길이었다.

그러나 LHC가 2009년 가동되고부터 상황은 급변하게 된다. LEP의 종료 이래 10년 정도 힉스입자의 탐색에 주안점을 두었던 테바트론은 힉스를 발견하지 못하고 힉스 질량의 영역만을 제외시킨 채 2011년 9월 30일 종료하게 했다. 가동을 계속해도 LHC와의 경쟁에서 이미 뒤처질 것이라는 판단에서다. 힉스 질량이 147GeV에서 180GeV의 영역에서 제외되었고 115GeV에서 140GeV 사이의 영역에서 힉스입자로 보이는 사건이 있는 것 같다는 발표가 테바트론 실험 그룹의 힉스입자에 관한 마지막 결론이었다.

2012년 7월 4일 CERN의 CMS와 ATLAS 실험팀은 두 실험이 독립적으로 새로운 입자를 발견했다고 공식적으로 발표했다. CMS와 ATLAS는 각각 125.3GeV와 126.5GeV의 질량으로 보존을 발견하였다. 힉스입자 붕괴 형태 중에 두 개의 채널을 결합한 결과, 발견된 입자가 발견이 아닐 확률이 100만 분의 1 이하인 5 시그마로 발표했다. 확실히 새로운 입자가 발견된 것이다. 두 실험팀은 발견된 입자의 실험적 확실성을 위하여 서로의 결과에 대한 논의 등을 전혀 하지 않았으며



로 완전히 독립된 연구 결과는 입자 발견을 더욱 확실하게 해 주었다. 다만 발견된 입자가 십여년 넘게 찾고 있었던 힉스입자인지 아닌지를 결론을 내리기에는 물리적으로 뭔가 부족하였다.

새로이 발견된 입자는 적어도 표준모형에서 얘기하는 힉스 보존과 일치하는 부분이 있다. 적어도 몇 개의 붕괴 형태는 일치하며 그들의 생성물과 갈래비가 실험 오차 내에서 일치한다. 그러나 이 오차는 힉스라고 얘기하기에는 너무 크므로 다른 입자일 가능성을 부인할 수도 없었다. 더 나아가 힉스라면 입자가 발견된 두 개의 광자로 가는 채널과 두 개의 Z 보존으로 붕괴하는 채널 외에 다른 붕괴 채널에서도 신호가 있다는 정황이 나와야 하나 관측을 하지 못했고 확인을 위해서는 더 많은 데이터가 필요했다. 붕괴 채널마다 붕괴율이 다르므로 데이터의 양이 아직 적어 입자가 보이지 않을 수도 있고 또 힉스입자가 아니면 힉스입자의 붕괴 채널일 필요가 없으므로 특정 채널에서 나타나지 않을 수도 있다. 대표적인 예가 힉스입자가 두 개의 타우로 붕괴하는 채널인데, 두 개의 광자로 붕괴하는 채널에서 입자를 보았으므로 이 채널에서도 보아야 하지만 있다는 증거는 당시만 해도 전혀 없었다.

2012년 11월, 일본 교토에서 열린 강입자충돌심포지움(Hadron Collider Physics Symposium)에서 7월 이후 획득된 데이터를 더해서 분석한 결과는 힉스 보존과 더 일치하는 것이었다. 특히 주목할 만한 점은 힉스보존이 스칼라 입자이므로 스핀이 0이고 패리티가 +(even)인데, 실험 결과는 발견된 입자가 스칼라 입자인 것으로 기우는 증거가 발표되었다. 더 나아가 모든 물리적 형태를 볼 때 표준모형에서의 힉스입자가 아니라는 결정적 증거는 거의 없는 것으로 판명되었다. 그러나 이 학회에서도 공식적으로 힉스입자를 발견하였다고 말하기에는 좀 무리가 있었다.

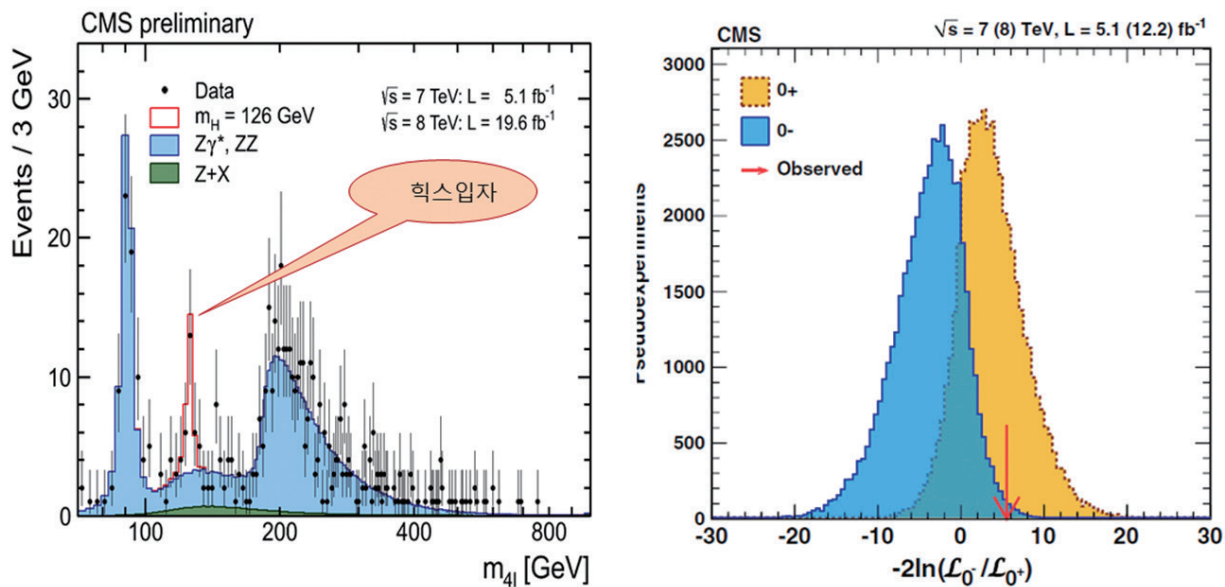
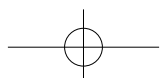
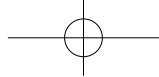


그림 1. 발견된 힉스입자(왼쪽). 파란 부분은 다른 배경사건들이다. 발견된 입자의 스핀과 패리티가 스칼라 입자임을 보여주는 그래프(오른쪽). 노란색의 분포 곡선이 스핀이 0이고 패리티가 +인 경우의 가능한 값들의 분포인데, CMS 데이터는 6(붉은 화살표)을 가리키고 있다. ATLAS도 비슷한 결과를 도출하여 발견된 입자는 힉스입자로 판명된다.





우선 2012년 8TeV 에너지의 데이터 획득을 막 끝낸 CMS와 ATLAS 그룹은 힉스의 붕괴에 관한 모든 채널에 대해 모은 전체 데이터로 분석한 것이 아니었다. 더 나아가 CMS 그룹의 경우 힉스가 두 개의 광자로 가는 채널에 대한 결과는 지난 7월 이래 4배의 데이터를 획득했음에도 7월의 결과를 그대로 발표했다. 그 이유는 측정된 광자의 에너지의 보정 방법에 문제가 발견되었기 때문이다. 그러므로 전체 데이터에 대한 분석의 결과가 나오고 보정 문제가 해결되기를 기다리게 된다.

새로운 결과는 2013년 3월에 열리는 Moriond 학술회의에 발표되는데, 우선 8TeV의 데이터를 가능한 한 모든 양을 적용하여 결과를 보여주게 된다. ATLAS와 CMS 실험의 결과는 힉스로 판명되는 쪽으로 더 기울었으며 결정적으로 발견된 입자가 스칼라 입자로서 스핀이 없고 패리티가 +인 것으로 양 실험 그룹은 발표하기에 이른다. 더군다나 CMS에서 에너지 검출기 보정 문제로 연기되었던, 힉스입자가 두 개의 광자로 붕괴하는 채널에 대해서 8TeV의 모든 데이터를 적용한 결과가 도출되어, 공식적으로 힉스입자가 발견되었다고 2013년 3월 18일에 CERN은 발표했다.

이로써 자연에 존재하는 기본입자들의 기본 틀이 완성되었는데, 자연에서 상호작용하는 쿼크와 경입자 등의 기본입자들과 이들이 특정의 힘에 따라 상호작용하도록 도와주는 광자와 게이지 보손 등의 매개입자들과 이들 입자들이 질량을 가지게끔 도와주는 역할을 하는 힉스입자들이 그것이다. 흥미 있는 점은 이들의 스핀이다. 기본입자의 스핀은 모두 1/2로서 페르미온(스핀이 반정수배인 입자)이고 매개입자와 힉스입자는 보손(스핀이 정수배인 입자)이다. 더 나아가 매개입자의 스핀은 모두 1인데 반해 힉스입자의 스핀은 0이다. 오묘한 자연의 질서이다.

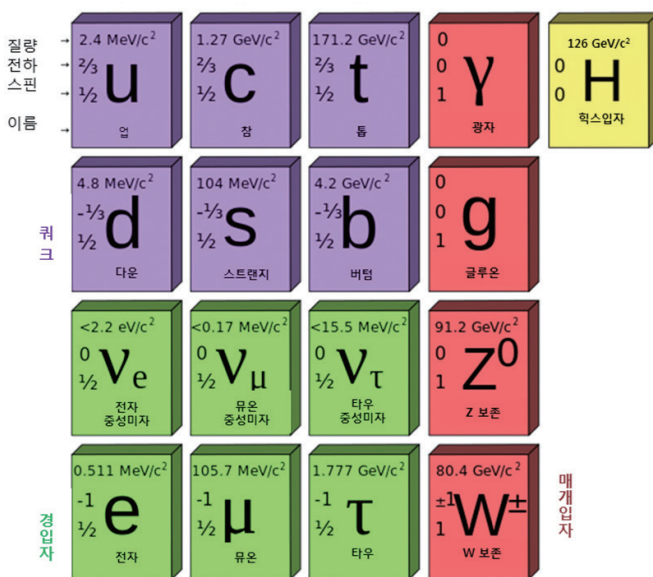
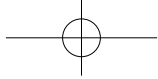


그림 2. 자연에 존재하는 더 이상 쪼갤 수 없는 입자. 그들은 상호작용에 직접 참여하는 쿼크와 경입자(스핀 1/2), 특정의 힘에 따라 상호작용이 일어나도록 도와주는 매개 입자(스핀 1)와 이들의 질량의 근원을 설명해 주는 힉스입자(스핀 0)이다.



힉스입자의 발견은 연구의 끝이 아니라 오히려 시작을 알리는 것이다. 표준모형에서 마지막으로 예측되는 입자라 해서 우리가 우주의 모든 현상을 아는 것은 결코 아니다. 더 나아가 우리가 여태껏 몰랐던 새로운 에너지의 영역에 새로운 현상이 있을 가능성을 힉스입자는 열어주고 있다. CMS와 ATLAS 실험 그룹은 힉스입자 탐색 연구 토픽을 제외하고도 100여 가지가 넘는 있을지도 모르는 새로운 형태의 물리현상을 찾기 위하여 노력하고 있다.

실험적으로 LHC는 2010년 가동을 시작한 이래 2012년까지 7TeV과 8TeV에서 약  $25 \text{ fb}^{-1}$ 의 데이터로서 힉스 발견은 물론 그 외 다른 많은 새로운 물리의 가능성을 연구해 왔다. 2014년 후반기부터 시작될 13TeV(후에 14TeV)의 에너지의 가동은 에너지와 획득 예정인 데이터의 양면에서 볼 때 그 전과 비교가 되지 않을 정도로 새로운 현상 탐색의 지평을 열어주고 있다. 가동 시작 후 새로운 에너지에서 향후 5년여 동안 기존보다 12배가 넘는 데이터를 획득하기로 되어 있으므로 LHC에서 새로운 물리 현상의 탐색은 이제 시작이라고 해도 과언이 아니다.

새로운 에너지에서 인류가 여태껏 몰랐던 새로운 물리 현상이 발견되기를 진심으로 기대해 본다!



**김동희**

서울대학교 물리교육과를 졸업하고 미국 시라큐스대학원에서 입자물리실험으로 박사학위를 받았다. 미국 페르미연구소에서 연구원으로 활동하였으며 현재 경북대학교 물리학과 교수로 재직 중이다. WCU 고에너지 충돌 물리 연구 사업단장(2009-2013)을 거쳐 현재 도약과제 연구책임자(2013~)로 있다. 주 연구 분야는 강입자 충돌을 통한 새로운 입자 탐색으로 CERN의 LHC의 CMS 실험에서 새로운 물리 현상의 탐구에 공헌하고 있다.