

IPCC는 이산화 탄소 배출량을 줄이기 위한 협의를 지속해서 진행합니다. 2015년에 체결된 '파리 기후변화 협약'에서는 2100년까지 지구의 온도 상승을 1.5°C 이하로 제한하기로 했습니다. 파리 기후변화 협약에 따라 우리나라도 2030년까지 이산화 탄소 배출량을 37% 감축해야 합니다.

권용일(충북 형석고 1)  
김도연(서울 동덕여중 1)  
이후민(충남 완서중 1)  
정동렬(경남 내동초 6)  
정해천(경기 매현초 4)  
조예진(경기 용인신촌초 6)  
최나윤(서울 세화여중 1)  
최형서(경남 반송여중 2)

Chapter 3. 공장-지구에서

Q



29

우주에서  
가장 가벼운 물질은  
무엇인가요?



A



석원경 교수가 답하다

원소 중 가장 가벼운 수소(H)는 138억 년 전에 일어난 빅뱅(Big Bang·대폭발)과 함께 만들어졌습니다. 지금도 우주에 존재하는 물질의 74%를 차지하고 있습니다. 이외에 헬륨이 24%를 차지하고, 나머지 무거운 원소들이 차지하는 비율은 고작 2%입니다.

지구의 사정은 다릅니다. 가벼운 수소는 대부분 우주 공간으로 새나가 버렸기 때문이죠. 간신히 지구에 남아있는 수소는 탄소, 질소, 산소 등과 결합해 탄화 수소, 암모니아, 물 등의 형태로 있습니다.

### 우주를 이루는 118개 원소

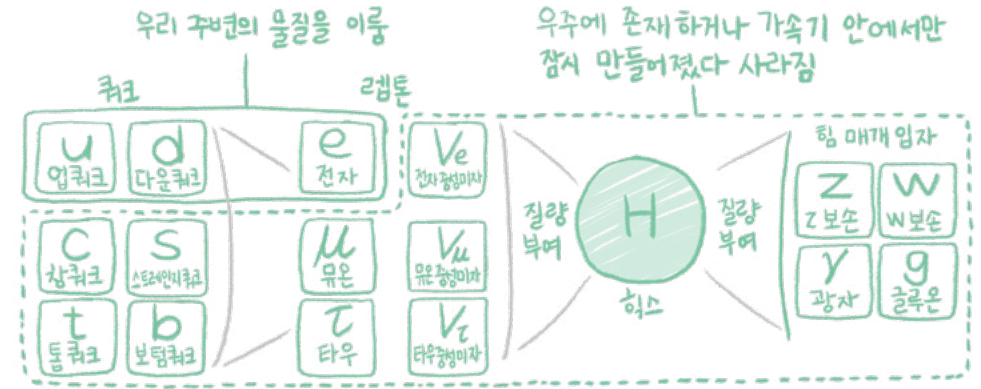
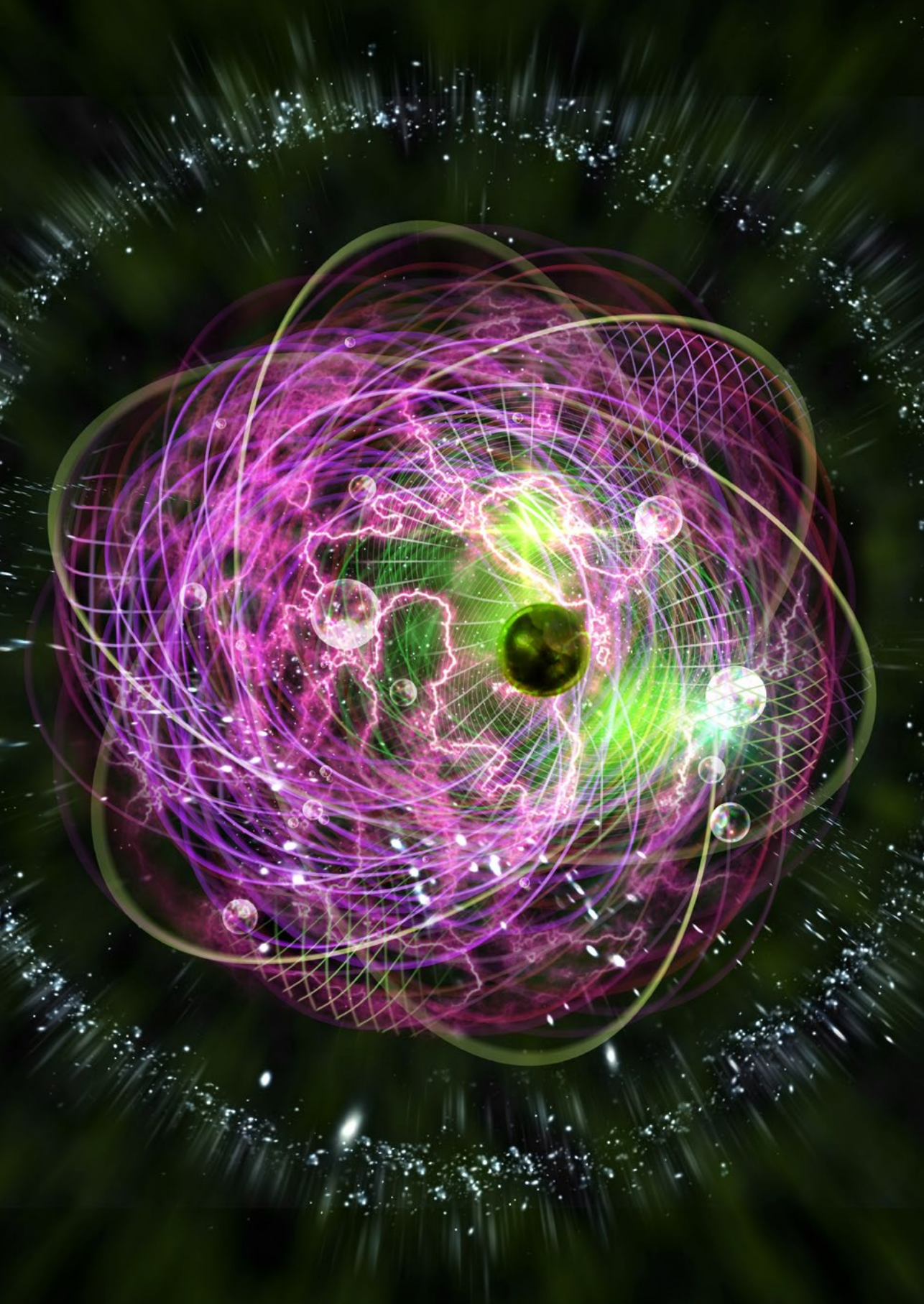
현대 화학에서 세상의 모든 물질은 118종의 원소로 구성돼 있습니다. 모든 원소는 물질의 고유한 화학적 성질을 가지고 있으며, 더 나눌 수 없는

원자로 이뤄져 있습니다. 원소는 고유한 이름이 있습니다. 각 원소는 원자핵에 들어 있는 양성자의 수로 원자 번호를 나타냅니다. 원소 기호는 로마자 알파벳으로 표시합니다. 원소의 원자량은 원자핵에 들어 있는 양성자 수와 중성자 수의 합으로 결정됩니다.

1869년 러시아의 화학자 드미트리 멘델레예프는 이런 원소의 특징을 한눈에 볼 수 있도록 주기율표를 만들었습니다. 주기율표의 가로 방향은 ‘족(group)’, 세로 방향은 ‘주기(period)’로 정했죠. 1족에서 18족에 이르는 족은 최외각 전자껍질에 들어있는 원자가 전자의 수를 나타내고, 1주기에서 7주기에 이르는 주기는 전자껍질의 수를 나타냅니다. 한편 주기율표를 보면 맨 아래쪽에 란타넘족과 악티늄족 원소들을 배열한 별도의 칸도 있습니다.

물론 주기율표는 여전히 미완성 상태입니다. 새로운 원소가 합성되며 주기율표는 계속 확장하고 있습니다. 최근 2년 사이에도 주기율표 7주기 자리에 4개의 원소가 추가로 자리를 잡았습니다. 2018년 국제순수·응용화학연합(IUPAC)은 원자번호 113번 ‘니호늄(Nh)’, 115번 ‘모스코븀(Mc)’, 117번 ‘테네신(Ts)’, 118번 ‘오가네손(Og)’의 합성을 공식적으로 인정하고, 원소 이름과 원소 기호를 확정해 부여했습니다. 1898년 퀴리 부부가 원자번호 88번 ‘라듐(Ra)’을 발견한 이후 120년 만에 비로소 주기율표 7주기에 속하는 원소 32종이 모두 채워진 것입니다.

원자는 양성자와 중성자가 단단하게 뭉쳐져 있는 원자핵 주위에 전자가 구름처럼 퍼져 있는 구조입니다. 원자핵 주위에 전자가 분포하고 있는 모양은 20세기에 정립된 양자역학으로 밝혀졌죠. 전자의 양자역학적 상태는 3개의 양자수로 설명되는 ‘오비탈’에 의해서 정해집니다. 둥근 공 모양의 *s* 오비탈, 아령 모양의 *p* 오비탈, 네 잎 클로버 모양의 *d* 오비탈 등이 있



습니다. 화학결합을 하지 않은 원자는 지름이 100~300pm(피코미터·1pm는 1 조분의 1m) 정도의 둥근 공 모양이 됩니다. 전자 오비탈들이 서로 겹치면 두 원자 사이에 화학결합이 만들어지면서 분자가 생깁니다.

수소의 원자핵은 1개의 양성자로 이뤄져 있습니다. 모든 원소 중 양성자 수가 가장 적죠. 그러나 중성자의 수는 다양합니다. 중성자 없이 양성자 1개만 있는 수소가 있는가 하면, 원자핵에 중성자 1개가 더 들어 있는 ‘중수소(D)’, 중성자 2개가 더해진 ‘삼중수소(T)’도 있습니다. 이처럼 양성자 수는 같은데 중성자 수만 다른 원소들을 ‘동위원소’라고 합니다. 중성자의 수가 많아질수록 원자의 질량수도 커지죠.

중성자는 양성자가 2개 이상인 원소에서 존재감을 더욱 발휘합니다. 가령 헬륨은 일반적으로 원자 크기의 1만분의 1에 해당하는 0.1pm 크기의 원자핵에 양성자와 중성자가 각각 2개씩 들어있는 원소입니다. 양전하를 띤 양성자 2개가 크기가 이렇게 작은 원자핵에 들어가게 되면 정전기적 반발력이 매우 크게 나타납니다. 중성자는 이때 반발력을 완화해주는 역할을 합니다. 한편 헬륨의 동위원소로 양성자 2개, 중성자 1개를 가진 헬륨-3도 있습니다.

## 핵융합, 원소를 만들어내다

우주에 존재하는 모든 원소는 수소 원자핵의 핵융합 반응으로 만들어졌습니다. 핵융합 반응은 태양과 같은 스스로 빛을 내는 항성에서 일어납니다. 우주 공간에서 먼지처럼 떠돌던 수소와 헬륨이 모여 큰 별이 만들어지면 별은 점점 더 무거워지겠죠. 그러면 별에 중력이 작용하게 되고, 그 중력으로 별은 뜨겁게 달아오릅니다. 태양의 내부 온도는 1500만°C가 넘습니다. 태양의 내부에서는 수소의 핵융합이 이뤄집니다. 그 결과 양성자 2개를 갖는 원소, 헬륨이 만들어지죠. 아인슈타인이 발견한 특수상대성이론 방정식( $E=mc^2$ )에 따라 핵융합 과정에서 엄청난 양의 열과 빛이 방출됩니다. 햇빛과 별빛은 바로 이런 핵융합의 산물입니다.

한편 인간이 핵융합을 일으키기도 합니다. 러시아의 핵물리학자 안드레이 사하로프와 이고르 탐은 핵융합로인 토카막을 만들었습니다. 토카막은 플라즈마를 가두기 위해 자기장을 이용하는 도넛 모양의 장치입니다. 국제핵융합실험로(ITER)는 국제 토카막 실험로로, 중수소와 삼중수소의 핵융합 반응을 이용해 에너지를 생산하는 방법을 연구, 개발 중입니다.

태양보다 더 큰 별에서는 헬륨보다 큰 네온, 마그네슘, 규소, 황, 철까지 각종 무거운 원소가 만들어집니다. 미국의 물리학자 한스 베테는 이렇게 큰 별에서 탄소, 산소, 질소가 핵융합의 촉매 역할을 한다는 사실을 밝혀 1967년 노벨물리학상을 받기도 했죠. 철보다 더 무거운 원소는 수명을 다하고 죽어가는 초신성 폭발이나 중성자별의 충돌 과정에서 만들어집니다. 그 결과 무거운 원소가 우주 공간으로 뿔뿔이 흩어지는데, 이 무거운 원소가 다시 모이면 지구와 같은 행성이 만들어집니다. 실제로 지구의 외핵과 내핵에는 이렇게 모인 무거운 원소들이 밀집돼 있습니다.

## 양성자와 중성자보다 작은 기본입자

현대 물리학에서도 물질을 구성하는 입자를 나누는 이론을 제시합니다. 1967년 스티븐 와인버그, 압두스 살람, 셸던 글래쇼가 만든 ‘표준 모형(standard model)’입니다. 표준모형은 우주의 구성과 움직임을 설명하는 정교한 이론으로 평가받습니다. 표준모형에 따르면 세상은 17종의 기본입자들의 상호작용으로 설명할 수 있습니다. 기본입자는 양자역학적으로 매우 다른 특징을 가진 ‘페르미온(fermion)’과 ‘보손(boson)’ 등으로 분류됩니다.

페르미온에는 업(u·up), 다운(d·down), 스트레인지(s·strange), 참(c·charm), 보텀(b·bottom), 톱(t·top)이라는 6종의 ‘쿼크(quark)’와, 전자, 뮤온, 타우 등 3종류의 중성미자(neutrino)를 포함한 6종의 ‘렙톤(lepton·경입자)’이 있습니다. 원자핵을 구성하는 양성자는 2개의 업 쿼크와 1개의 다운 쿼크가 결합한 것이고, 중성자는 반대로 2개의 다운 쿼크와 1개의 업 쿼크가 결합한 것입니다. 업 쿼크는 +2/3에 해당하는 전하를 가지고 있고, 다운 쿼크는 -1/3의 전하를 가지죠. 그래서 양성자는 +1의 양전하를 갖게 되고, 중성자는 전기적으로 중성이 됩니다. 미국의 물리학자 머리 겔만이 양성자와 중성자를 이루는 쿼크의 존재를 이론적으로 밝혔으며, 이에 대한 업적으로 1969년에 노벨물리학상을 받았습니다.

기본입자 중 보손은 힘을 만들어내는 입자입니다. 보손은 총 5종류입니다. 먼저 전자기력과 상호작용하며, 정지 질량이 0인 ‘광자(photon)’가 있습니다. 그리고 핵분열을 가능하게 만들어주는 약한 핵력과 관련된  $W$  보손과  $Z$  보손, 쿼크를 결합해서 양성자와 중성자를 만들어주는 글루온(gluon), 물질이 질량을 갖도록 해주는 힉스(Higgs)가 있습니다.

표준모형을 구성하는 기본입자들은 모두 대형 입자 가속기를 통해서만 확인할 수 있습니다. 1968년에 톱 쿼크가 처음 발견되면서, 기본입자를 찾아내기 위한 연구가 활발하게 이뤄지기 시작했습니다. 2012년에 프랑스에 있는 유럽입자물리연구소(CERN)에서 ‘신의 입자’로 알려진 힉스 보손의 존재가 마지막으로 확인됐습니다. 힉스 입자의 존재를 주장했던 영국의 피터 힉스와 프랑스의 프랑수아 앙글레르는 2013년 노벨물리학상을 받았습니다.

다시 처음 질문으로 돌아와, 모든 물질은 각각 6종의 쿼크와 렙톤 그리고 힘을 만들어내는 5종의 보손으로만 이뤄졌고 이는 논란의 여지가 없는 사실일까요? 현재 과학기술 수준에서 내릴 수 있는 답은 “그렇다”입니다. 지금의 과학으로는 우주에서 이들보다 더 가벼운 물질, 즉 이들을 구성하는 기본입자들의 존재를 확인할 방법이 없습니다.

Chapter 3. 공장-지구에서



30

원소들은 어떻게  
자신만의 스펙트럼을  
가지나요?

