

(Bismuth subcitrate)는 위와 십이지장 궤양을 유발하는 세균인 헬리코박터 파일로리(*Helicobacter pylori*) 감염을 치료하는 항생제로 쓰이고 있습니다. 비스무트 의약품의 부작용은 혀와 대변이 검게 변색되는 것인데, 인체에 유해하지는 않다고 합니다.

이처럼 금속 원소는 대부분 유기화합물 또는 무기화합물의 형태로 활용됩니다. 티타늄(Ti)이 들어간 항암제 부도타이테인(Budotitane), 인슐린 유사체로 당뇨 조절에 사용되는 바나듐(V) 화합물, 철(Fe)의 유기금속화합물인 말라리아 치료제 페로퀸(Ferroquine) 등을 예로 들 수 있습니다. 백금(Pt)이 들어간 시스플라틴(Cisplatin)은 다양한 종양 치료에 널리 쓰이는 항암제로 유명합니다. 최근에는 루테튬(Ru)이나 이리듐(Ir) 등 귀금속 원소의 화합물을 이용한 신약도 개발되고 있습니다.

머지 않은 미래에는 단순한 전이금속 외에 란타넘족 원소와 전형원소들 역시 의학 분야에 적극적으로 활용될 것으로 보입니다. 매우 높은 방사선을 방출하는 원소와 화합물 형성이 어려운 비활성 기체를 제외한 거의 모든 원소들에 대해 연구가 이뤄지는 중입니다. 과거에는 원소에 대한 이해나 약물 효과에 대한 연구가 부족해 의약품으로 사용하지 못했던 원소들도 유기 및 무기화합물을 만들면 우수한 치료 효과를 낼 수 있다는 사실이 지속적으로 밝혀지고 있습니다. 신약 개발 분야에서 화학의 역할이 앞으로 더 중요해질 것으로 기대됩니다.

Q

빅뱅 후 원소는
어떻게 생겨났나요?

08



인간을 포함한 지구에 존재하는 모든 것들과 지구 밖 광활한 우주는 극도로 응축된 한 점에서 시작했습니다. 이 점이 약 138억 년 전 ‘빅뱅(Big Bang·대폭발)’을 일으키며 우주를 탄생시켰죠.

빅뱅이 일어나고 $10^{-12} \sim 10^{-6}$ 초 뒤, 우주에는 네 가지 힘(강한 핵력, 약한 핵력, 전자기력, 중력)을 매개하는 4가지 입자(게이지 보손)와 물질을 이루는 6가지의 쿼크 입자, 쿼크보다 가벼운 6가지의 렙톤 입자가 생겼습니다. 함께 생성된 힉스(Higgs) 입자는 앞서 말한 기본 입자들에게 질량을 부여하고 사라졌고요. 이후 빅뱅 후 1초에 이르기까지 쿼크들은 모여서 다양한 입자를 생성했습니다. 대표적인 입자가 양성자와 중성자입니다. 양성자는 전하가 $+\frac{2}{3}$ 인 업 쿼크(up-quark) 2개와 전하가 $-\frac{1}{3}$ 인 다운 쿼크(down-quark) 1개로 이뤄져 전체 전하가 +1입니다. 중성자는 업 쿼크 1개와 다운 쿼크 2개가 모여 전체 전하가 0입니다.

쿼크들이 모여 탄생한 양성자가 바로 원소의 빌딩블록인 수소 원자핵입니다. 그리고 수소 원자핵들은 다시 헬륨을 합성했습니다. 양성자끼리는 정전기적 반발력이 너무 크기 때문에 양성자끼리 합쳐지는 일은 일어나기 어렵습니다. 그래서 헬륨은 단계적으로 만들어졌습니다. 우선 양성자와 중성자가 만나 강한 핵력으로 결합하는 중수소(수소-2, ^2H)의 원자핵이 만들어졌고, 이 중수소 원자핵에 중성자가 결합해 삼중수소(수소-3, ^3H)를 만들거나, 양성자가 결합해 헬륨-3(^3He)을 만들었습니다. 그리고 중수소 2개가 합쳐지거나, 또는 삼중수소에 양성자가 더해지거나, 헬륨-3에 중성자가 더해지는 방식으로 헬륨-4(^4He)가 최종 생성됐습니다.

헬륨 합성은 빅뱅 후 3분 정도가 지났을 시점에 멈췄습니다. 우주가 팽창하면서 온도가 약 9억 K(켈빈)가량으로 떨어졌고, 입자 사이의 거리도 멀어졌기 때문입니다. 이 시점에 우주를 구성하는 원소들은 아주 극소량의 리튬(Li)과 베릴륨(Be)을 제외하고는 모두 수소(H)와 헬륨(He)이었습니다. 수소와 헬륨의 질량비는 3 대 1 정도. 이렇게 태초의 3분 동안 원자핵이 생성되는 과정을 우리는 빅뱅 핵합성이라고 부릅니다.

원소를 만들어내는 핵융합 공장, 별

빅뱅 후 한참의 시간이 흘러 우주의 나이가 약 38만 년 정도 됐을 때 우주의 온도는 3000 K까지 떨어졌습니다. 음전하를 가진 전자의 운동에너지가 수소나 헬륨 원자핵에 끌려 잡힐 만큼 낮았고, 그 결과 중성원자가 생성됐습니다. 전자의 에너지는 불연속적이어서 전자가 양성자에 부딪혀 방전되는 일이 없고, 양성자와 전자가 일정한 간격을 유지하며 중성원자를 이룰 수 있습니다.

중성원자가 생긴 후 약 1억 년 동안은 우주에 별다른 일이 없었습니다. 팽창에 의해 온도는 더 내려가고 물질들은 퍼져 나갔죠. 그러다 어느 날 별이 생겨났습니다. 물질이 퍼질 때 물질의 밀도가 높아지는 부분이 생기는데, 이 부분으로 더 많은 물질들이 중력 작용에 의해 모였고, 그럴수록 밀도가 상승해 중력수축이 더 활발해지면서 별이 탄생했습니다.

중력수축이 계속되자 별의 중심부 온도는 약 1500만 K까지 상승했습니다. 그 결과 별 안에서는 수소 핵융합이 일어났습니다(이러한 별을 주계열성이라고 합니다). 별의 중심에서 헬륨이 생성되는 과정은 빅뱅 직후 헬륨이 만들어지는 과정과는 조금 다릅니다. 수소의 원자핵에 약한 핵력이 작용해 4개의 양성자가 2개의 양성자와 2개의 중성자로 바뀝니다.

이때 중성자가 양성자보다 무겁기 때문에 자칫 핵융합 과정에서 별의 질량이 증가하는 것이 아닐까 생각할 수도 있겠는데요. 예상과 반대로 양성자와 중성자가 결합할 때에는 오히려 질량 결손이 발생합니다. 헬륨 원자핵의 질량이 양성자 질량 4개의 합보다 적어지는 거죠. 이런 질량 차이만큼 에너지가 발생해($E=Δmc^2$) 별이 빛을 냅니다.

별이 만든 탄소가 우리 몸에 오기까지

핵융합을 할 수소를 전부 소진한, 중심부에 헬륨만 남은 별은 크기와 질량에 따라 다른 길을 걷습니다. 질량이 태양 질량의 절반에 못 미치는 작은 별은 헬륨으로 구성된 백색왜성(white dwarf)으로 별의 생애를 마칩니다.

반면 태양보다 큰 주계열성은 다릅니다. 수소 핵융합이 중단되면서 중심에서 바깥으로 향하는 에너지 발산은 없어지고 별의 질량에 의해 중심으로 향하는 중력수축은 계속 진행되는 바람에 중심부의 온도가 다시 상

수소(H)

빅뱅 후 핵합성을 통해 가장 먼저 만들어진 원소. 우주를 구성하는 입자의 90%를 차지하고, 우리 몸의 70%를 이루는 물의 구성 원소이기도 하다. 밀도가 공기보다 낮고 불에 타기 쉬운 성질을 가지고 있다. 수소자동차, 수소폭탄 등에 쓰인다. 프랑스의 화학자 앙투안 라부아지에가 물(hydro)을 만들어내는(genes) 원소라는 뜻에서 '수소(hydrogen)'로 명명했다.



▶ QR 코드를 스캔하면 수소의 특징과 숨은 이야기를 다룬 대한화학회의 영상을 볼 수 있습니다.

승합니다. 이전보다도 훨씬 높은 약 1억 K까지요. 그러면 헬륨이 다시 핵 융합을 시작해 탄소(C)를 만듭니다. 그리고 1억 K의 헬륨 코어 바깥쪽에 온도가 1500만 K 정도 되는 부분에서는 다시 수소 핵융합이 시작됩니다. 이로 인해 별이 팽창하고 표면부 온도가 약 3000 K 정도가 되면서 붉은 색을 띠니다. 이러한 별을 적색거성(red giant)이라고 합니다.

별이 진화하는 동안 이 과정은 계속 반복됐습니다. 헬륨 다음으로는 탄소가 중심부에 점점 축적되고 헬륨의 핵융합이 중단되면서 중력수축에 의해 별의 중심부 온도가 상승했습니다. 중심부가 약 8억 K에 이르렀을 때 탄소의 핵융합, 즉 탄소 연소과정이 별 중심에서 일어났습니다. 이 과정에서 산소(O), 네온(Ne), 소듐(Na), 마그네슘(Mg) 등이 만들어졌습니다. 탄소 연소과정 이후에는 네온-산소-규소(Si) 순으로 연소가 일어났습니다.

그러다 안정한 철 원소가 별 중심부에 축적되면서부터는 핵융합이 더 이상 일어나지 않고 중력수축만 발생했습니다. 그 결과 별의 중심부 온도가 급격히 상승하고 이는 폭발로 이어졌습니다. 우리가 흔히 아는 초신성(supernova) 폭발입니다. 초신성 폭발은 중심부에서 생성된 원소들을 우주 공간 전체로 퍼뜨렸습니다. 그중 일부는 지구, 그리고 우리 몸에도 자리 잡았고요.

그렇다면 마지막으로 궁금해지는 한 가지가 있습니다. 원자번호 2번 헬륨과 6번 탄소 사이에 존재하는 리튬(Li), 베릴륨(Be), 붕소(B)는 어떻게 생겨났을까요? 베릴륨과 붕소 대부분은 탄소 같은 무거운 원소가 우주선(cosmic ray)이라 불리는 고에너지 입자에 의해 파쇄되면서 생성된 결과물입니다. 다 같은 우주 초기의 가벼운 원소들이지만, 생성 과정과 순서가 조금씩 다르다는 것이 재미있지 않나요?

Q

철보다 무거운 원소는
어떻게 나왔나요?

09