

이도윤 인천 송도 미송초 5
설하준 서울 밀알킨더기든 푸른하늘반
최명현 인천 청림중 2

07

핵융합으로 금을 만들 수
있을까요

A



석원경 교수가 답하다

작고 가벼운 원소의 원자핵을 뭉쳐서 더 크고 무거운 원소로 만드는 것을 핵융합(nuclear fusion)이라고 합니다. 실제로 우주에 존재하는 모든 원소는 138억 년 전 처음 등장한 수소의 핵융합으로 만들어진 것입니다. 값비싼 장신구와 반도체 등 첨단 산업에 쓰이는 금(Au)도 예외가 아닙니다. 오늘날 우리가 땅속에서 캐내는 금은 수십억 년 전 우주 공간에서 일어난 핵융합으로 만들어진 것입니다.

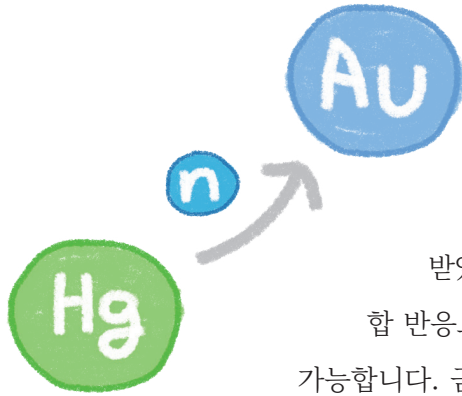
그렇다고 크리소포에이아(chrysopoeia·금(khrusos)과 만들다(poiēin)의 합성어)라고 부르던 ‘황금 합성’을 인공적 핵융합으로 성취하는 꿈이 절대 불가능한 것은 아닙니다. 입자 가속기와 원자로 등을 이용해 핵반응으로 금을 합성할 수는 있습니다. 물론 우주 공간에서는 일상적으로 일어나는 핵융합을 인공적으로 일으키기는 쉽지 않습니다. 너무나 많은 에너지가 필요하기 때문입니다.

원소 변환의 꿈 좇는 과학자들

신비한 효능을 가진 물질을 만들려는 시도는 어제오늘 시작된 것이 아닙니다. 동양에서는 모든 질병을 깨끗하게 치료해 주는 불로장생과 만병통치의 영약을 만드는 것이 간절한 소망이었습니다. 고대 중국에서 시작된 ‘연단술(鍊丹術)’이 그런 시도였죠. 서양에서도 수은이나 납처럼 주변에서 쉽게 구할 수 있는 평범한 비금속(卑金屬)을 누구나 갖고 싶어 하는 금이나 백금과 같은 귀금속(貴金屬)으로 변환시키려는 연금술(鍊金術)이 관심의 대상이던 시절이 있습니다.

연금술의 이론적인 배경은 중세에 이르기까지 서양의 과학적 사고를 지배했던 아리스토텔레스의 자연관에서 비롯했습니다. 그는 물질이 서로 다른 것은 구성하는 원소의 비율이 다르기 때문이기에 물질은 상호변환이 가능하다고 주장했습니다. 그런 변환의 촉매 역할을 하는 ‘철학자의 돌’을 찾아내는 것이 모든 연금술사의 꿈이었습니다. 불과 공기 원소에서 얻은 황, 물과 흙 원소에서 얻은 수은에 철학자의 돌을 넣어주면 금으로 변환할 수 있다고 연금술사는 생각했습니다. 만유인력의 법칙을 발견한 영국의 아이작 뉴턴도 연금술에 빠져있었습니다.

실제로 원소 변환의 꿈이 이뤄지기 시작한 것은 20세기에 들어서였습니다. 1919년 뉴질랜드 출신의 영국의 물리학자 어니스트 러더퍼드가 질소에 알파 입자를 충돌시키는 실험에서 양성자가 방출된다는 사실을 발견했습니다. 그는 알파 입자에 충돌한 질소의 원자핵이 더 작은 원자핵으로 부서졌다고 추정했습니다. 그러나 그의 해석은 잘못된 것이었습니다. 사실은 질소가 오히려 더 큰 원소인 산소로 변환된다는 사실이 확인됐습니다.



최초로 원소 변환의 정체를 밝혀낸 영국의 물리학자 패트릭 블래킷은 핵물리학에 이바지한 공로로 1948년 노벨 물리학상을 받았습니다. 이 과정을 이용한다면 핵융합 반응으로 금을 만드는 것도 이론적으로는 가능합니다. 금보다 가벼운 원소에 양성자와 중성자를 하나씩 붙여가다 보면 언젠간 금으로 변환될 테니 말입니다.

핵융합이 아닌 핵분열 반응을 이용하는 방법도 있습니다. 실제로 중성자 빔을 이용해 금을 만든 실험도 있죠. 1941년 미국의 물리학자 케네스 베인브리지가 처음으로 수은(Hg)에 중성자 빔을 쬐어서 금을 만들 수 있다는 사실을 공식적으로 발표했습니다. 수은의 원자핵에서 한 개의 양성자가 방출되면서 원자번호 79인 금의 원자핵이 만들어지는 것이죠.

하지만 수은의 다른 동위원소를 이용해서 같은 반응을 수행하면 원자번호 81의 탈륨(Tl)으로 바뀝니다. 그런데 1924년에도 똑같은 실험을 했던 물리학자가 있었다고 합니다. 러더퍼드의 실험보다 7년 앞선 1904년에 원자의 형성 모형을 제안했던 일본의 나가오카 한타로가 바로 그 사람이었습니다.

1980년에는 미국의 물리학자 글렌 시보그도 원자로에서 비스무트(Bi)를 이용해 새로운 방법으로 금을 만들었습니다. 그러나 고작 수천 개의 금 원자를 만들 수 있었을 뿐입니다. 장신구 하나를 만들기에는 턱없이 모자라는 양이었습니다. 더욱이 그렇게 합성한 금은 방사선을 내뿜는 방사성 동위원소였습니다.

금보다 소중한 깨끗하고 안전한 에너지

원자핵을 서로 융합시키는 핵융합을 일으키는 일은 간단하지 않습니다. 우선 단단한 고체로 존재하는 금속의 경우에는 높은 온도로 가열해서 원자핵과 전자가 분리된 플라스마 상태로 만들어야 합니다. 이렇게 해야 원자핵끼리 충돌시켜 더 무거운 원소를 만들 수 있습니다. 온도를 5000°C 이상으로 높여야 하는 경우도 있습니다. 이온 상태의 원자핵을 빠르게 가속하는 기술도 필요합니다. 플라스마 상태의 양전하를 가진 원자핵들은 서로 거리가 가까워지면 정전기적 반발 에너지가 급격하게 증가해서 서로 밀치기 때문입니다. 핵융합 반응에는 엄청나게 많은 양의 에너지가 필요하다는 뜻입니다.

핵융합 반응은 주로 태양과 같은 불박이별(항성)에서 일어납니다. 비교적 작은 불박이별인 태양은 표면 온도가 6000°C를 넘고, 내부의 온도는 수억°C에 이를 정도로 뜨겁습니다. 태양에서는 수소의 원자핵 4개가 차례로 핵융합을 일으켜서 헬륨을 만듭니다. 그런 과정에서 아인슈타인의 질량-에너지 등가 이론($E=mc^2$)에 따라서 엄청난 양의 에너지가 밝은 빛의 형태로 방출됩니다. 태양에서 일어나는 핵융합에서는 탄소가 촉매 역할을 합니다. 그런 ‘탄소 사이클’을 처음 밝혀낸 미국의 한스 베테는 1967년 노벨 물리학상을 받았습니다.

베테가 정립한 핵합성 이론에 따르면, 불박이별에서 일어나는 핵융합으로는 철까지의 원소들이 만들어집니다. 철보다 더 무거운 원소의 합성에는 더 많은 에너지가 필요합니다. 그래서 거대한 불박이별의 진화에서 마지막 단계에 해당하는 초신성 폭발이나 몹시 무거운 중성자별이 서로 충돌하는 격렬한 환경에서만 철보다 무거운 원소들이 만들어집니다. 지구



ITER

에서 발견되는 가장 무거운 원소인 플루토늄도 그렇게 만들어진 것입니다. 핵융합으로 금이 만들어지는 것도 이 정도의 조건이 필요하다는 의미죠.



그렇다고 인공적인 핵융합이 불가능한 것은 아닙니다. 1951년 에드워드 텔러가 수소의 핵융합을 이용한 수소폭탄을 처음 설계했습니다. 핵융합을 평화적으로 이용하기 위한 노력도 진행되고 있습니다. 한국핵융합에너지연구원에서는 초전도 전자석을 이용하는 토카막 방식의 한국형 초전도핵융합연구장치(KSTAR)로 핵융합을 연구하고 있습니다. 핵융합을 이용해서 전기를 생산할 수 있는 기초 기술을 확보하려는 목적입니다. 미국·유럽연합(EU)·러시아·일본·중국·인도와 함께 한국이 공동으로 추진하는 ‘국제핵융합실험로(ITER·International Thermonuclear Experimental Reactor)’ 개발 사업도 있습니다. 이를 통해 실제 발전이 가능할 정도의 핵융합 반응을 재현하는 것이 목표입니다.

에너지를 얻기 위한 핵융합 반응에서도 새로운 원소가 만들어집니다. 핵융합 에너지를 연구하는 과학자들은 수소와 삼중수소를 핵융합해 에너지를 얻는 방법을 연구하고 있습니다. 이 과정에서 헬륨이 만들어집니다. 첨단산업에서 헬륨은 금만큼이나 중요한 원소입니다. 끓는점이 낮아 초저온 환경이 필요한 자기공명영상장치(MRI)나 초전도 자석은 물론 입자가속기나 중이온 가속기 등에도 사용됩니다. 실제로 헬륨은 지구상에 희귀한 원소로 일부 국가에서는 전략물자로 취급하기도 합니다. 금은 아니지만, 금처럼 귀한 원소를 핵융합으로 만들 수 있는 셈이죠.

흔히 ‘인공태양’이라고 알려진 핵융합 발전에서는 상대적으로 위험도가

낮고 반감기가 짧아 쉽게 분해돼 사라지는 저준위 폐기물이 발생합니다. 체르노빌이나 후쿠시마의 핵분열 원자로에서 일어났던 폭발 사고도 걱정할 필요가 없습니다. 핵분열에서는 연쇄반응이 일어나 한번 시작된 반응이 다음 반응을 유도합니다. 핵분열 반응이 유도되면 이를 멈추는 것이 쉽지 않다는 의미죠. 하지만 핵융합 반응은 연쇄반응이 아닙니다. 또 핵융합 반응을 일으키기 위해 극한의 조건이 필요한 만큼 핵융합로가 고장나면 반응은 절대 일어날 수 없습니다.

인공적인 핵융합으로 금을 만들기는 어렵겠지만, 그보다 더 소중한 지구를 지킬 수는 있을 것입니다. 핵융합 발전이 안전하고 깨끗한 미래의 청정 에너지원이 될 것으로 기대하는 이유이기도 합니다.