

PERIODIC TABLE Atomic Properties of the Elements

Chapter 1. 지구와 환경

Fundamental and fundamental physical constants	
speed of light in vacuum	c 299 792 458 m s ⁻¹
Planck constant	h 6.626 070 15 × 10 ⁻³⁴ J s
elementary charge	e 1.602 176 634 × 10 ⁻¹⁹ C
atomic mass	m_u 1.660 539 068 9 × 10 ⁻²⁷ kg
m_e/m_u	5.485 799 094 6 × 10 ⁻⁴
proton mass	m_p 1.672 621 923 69 × 10 ⁻²⁷ kg
fine-structure constant	α 7.297 352 569 8 × 10 ⁻³
Rydberg constant	R_∞ 10 973 731.568 16 × 10 ¹⁰ m ⁻¹
R_H/R_∞	0.999 994 618 757 × 10 ¹⁰ m ⁻¹
Boltzmann constant	k 1.380 658 367 × 10 ⁻²³ J K ⁻¹

Symbol	Atomic Weight	Name
<input type="checkbox"/>		Solids
<input type="checkbox"/>		Liquids
<input type="checkbox"/>		Gases
<input type="checkbox"/>		Artificially Prepared



임주영 경기 육길산초 4

03

주기율표의 119번 원소가 발견될 수도 있을까요

A



석원경 교수가 답하다

원자번호 119의 원소는 국제순수·응용화학연합(IUPAC)이 1979년에 제정한 명명법에 따라 ‘운운엔늄(Ununennium)’이라고 부르고, 원소기호로 ‘Uue’로 표시합니다. 러시아의 화학자 드미트리 멘델레예프의 명명법에 따라 ‘에카 프랑슘’이라고 부르기도 하죠. 리튬(Li)과 소듐(Na), 포타슘(K), 루비듐(Rb), 세슘(Cs), 프랑슘(Fr)에 이어 7번째 알칼리 금속인 운운엔늄의 화학적 성질은 다른 알칼리 원소와 비슷할 수도 있지만, 세슘·프랑슘보다 포타슘·루비듐에 더 가까울 것이라는 주장도 있습니다. 그러나 수명이 수 μs (마이크로초· $1\mu\text{s}$ 는 100만 분의 1초) 수준으로 예상되기 때문에 물리적 성질은 큰 의미가 없습니다.

중이온 가속기를 이용해서 운운엔늄을 합성하는 실험은 1985년 미국 로렌스버클리국립연구소(LBNL)에서 처음 시작했습니다. 아인슈타이늄(Es)에 칼슘(Ca)을 충돌시켰지만, Uue의 합성에는 실패하고 말았습니다. 독일

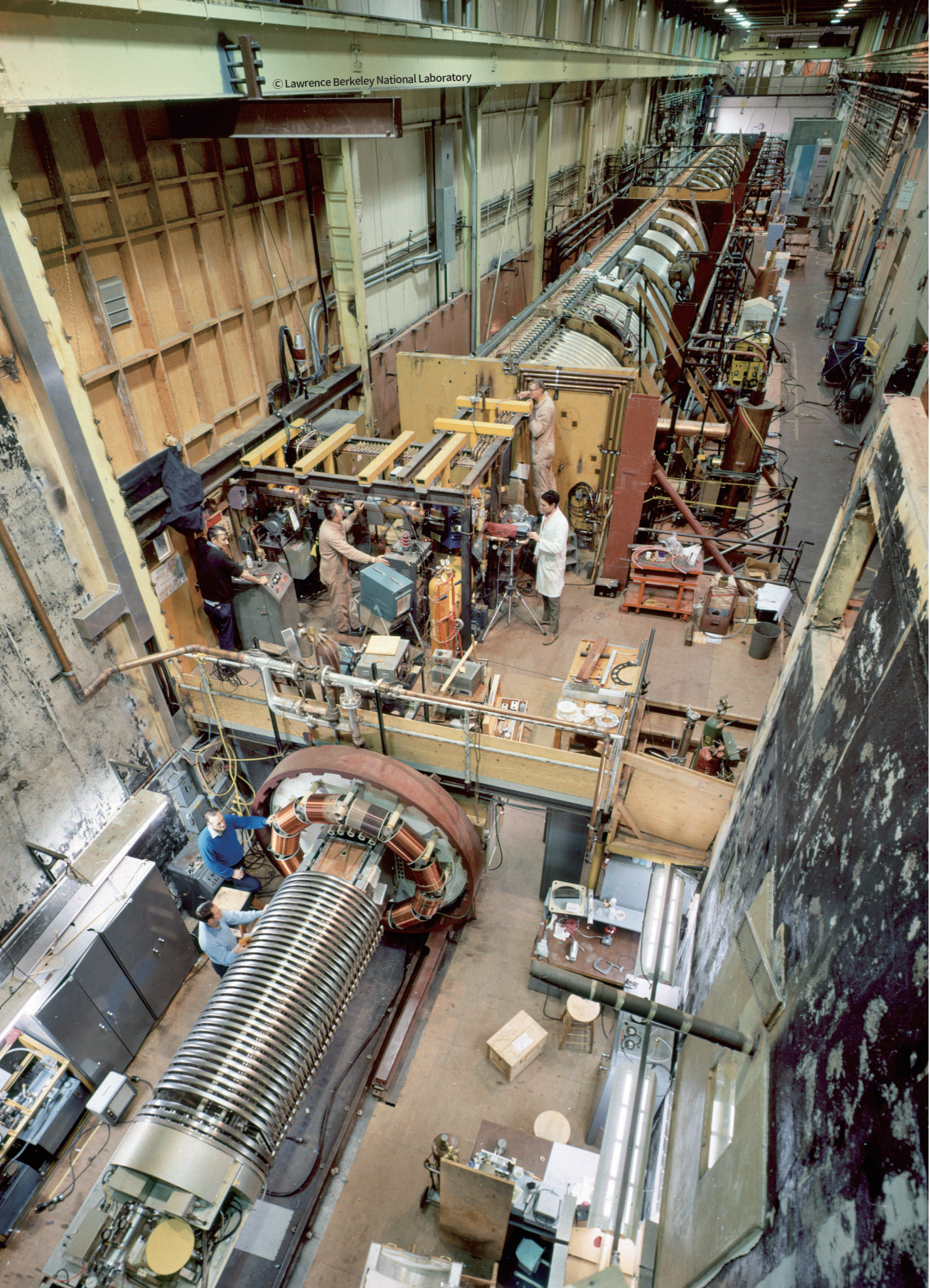
GSI 헬름홀츠 중이온연구소, 러시아 두브나합동원자핵연구소(JINR), 일본 이화학연구소(RIKEN)에서도 다양한 시도를 했으며, 지금도 활발하게 진행되고 있습니다. 특히 일본은 2022년에는 결과를 얻을 수 있다고 밝히고 있습니다. 운운엔늄의 합성이 공식적으로 확인이 되면 이름과 원소기호는 합성에 성공한 연구진의 제안을 고려해 IUPAC에서 다시 결정하게 됩니다.

원소와 인공원소

세상을 구성하고 있는 물질을 향한 관심은 원초적이었습니다. 동양에서는 수메르의 천문학 전통에서 시작된 ‘음양오행설’이 있고, 서양에서는 플라톤의 기하학에서 시작된 ‘4원소설’이 있습니다. 세상이 어떻게 구성됐는지 설명하는 고대의 이론이지만, 이를 자연과 인간의 존재를 설명하는 철학이나 질병을 예방하고 치유하는 의술, 인간에게 요구되는 도덕과 윤리의 근거로 활용하기도 했습니다.

원소의 현대적 정의는 18세기 후반 ‘화학의 아버지’로 알려진 프랑스의 앙투안 라부아지에가 정립했습니다. 라부아지에는 정교한 실험과 놀라운 통찰력으로 산소(O)와 수소(H), 질소(N), 탄소(C), 황(S), 인(P)을 비롯한 55종의 원소가 자연에 존재한다는 사실을 밝혀냈습니다. 1869년 멘델레예프가 처음 만들었던 주기율표에는 63종의 원소가 포함됐습니다. 원소의 물리·화학적 성질이 반드시 주기적으로 반복될 것이라고 확신했던 그는 자신의 주기율표에 앞으로 발견될 원소의 자리를 남겨두는 예지력도 갖추고 있었습니다.

지금까지 확인된 원소는 모두 118종입니다. 원자번호 1인 수소에서 원

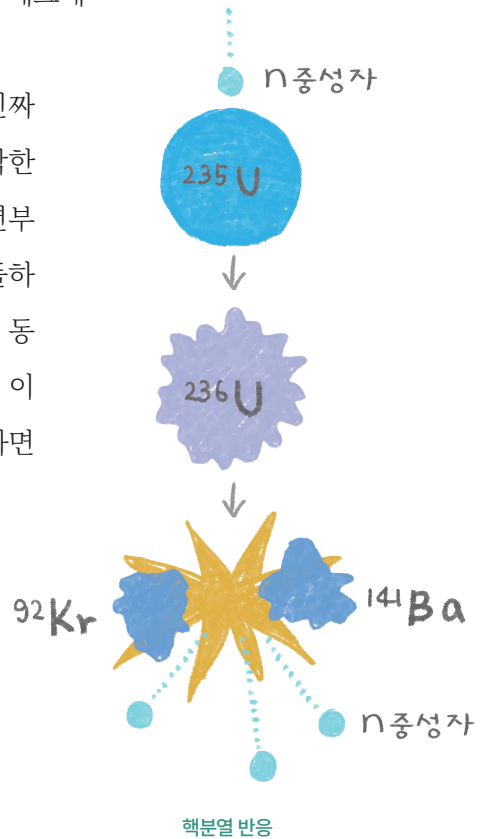


자번호 94인 플루토늄(Pu)까지의 원소 중에서 방사성 붕괴로 지구상에서 모두 사라져버린 프랑슘과 넵투늄(Np)을 제외한 92종의 원소가 오늘날 지구에 존재하는 천연 원소입니다. 나머지 26종의 원소는 모두 핵반응이 일어나는 원자로나 무거운 이온을 빠르게 만드는 가속기에서 인위적으로 합성한 인공원소입니다.

1937년 에밀리오 세그레가 로렌스버클리국립연구소의 사이클로트론 가속기를 이용해서 원자번호 43번의 테크네튬(Tc)을 인공적으로 합성했습니다. 멘델레예프가 ‘에카 망가니즈’라고 불렀던 테크네튬은 그동안 자연에서 그 존재를 확인할 수 없었습니다. 1962년에 들어서야 벨기에령 콩고에서 채굴한 우라늄 광석에서 극미량의 테크네튬이 발견됐습니다.

과학자들이 자연에 존재하지 않은 진짜 인공원소를 본격적으로 합성하기 시작한 것은 제2차 세계대전 중이었던 1944년부터였습니다. 우라늄(U)이 중성자와 충돌하면 크립톤(Kr)과 바륨(Ba)으로 분열하면서 동시에 2~3개의 중성자를 다시 내놓는데, 이때 나온 중성자는 다시 우라늄과 충돌하면서 분열을 유도합니다. 이렇게 시작한 핵분열은 연쇄적으로 일어나면서 엄청난 에너지를 발생시키게 되는데, 원자폭탄은 이 원리를 이용합니다.

원자폭탄을 개발하는 맨해튼 프



로젝트에 참여했던 미국의 글렌 시보그와 앨버트 기오소는 핵분열의 역반응인 핵융합으로 플루토늄에 알파 입자(원자번호 2번인 헬륨의 원자핵. 전자를 모두 잃어버린 상태를 의미함)를 충돌시켜 원자번호 96번인 퀴륨(Cm)을 합성했습니다. 원자번호 95번인 아메리슘(Am)에서 원자번호 100의 페르뮴(Fm)까지의 인공원소는 대부분 우라늄이나 플루토늄에 싱크로트론 가속기로 중성자를 충돌시켜서 합성했습니다. 그보다 더 무거운 인공원소는 표적 원소의 원자핵에 가속한 헬륨(He), 붕소(B), 탄소, 질소, 철(Fe), 크로뮴(Cr) 등의 이온을 충돌시켜 만들었습니다.

118번까지 채워진 현재의 주기율표가 완성된 것은 2016년이었습니다. 2016년 한 해 동안 4개의 원소가 새롭게 등록됐죠. 원자번호 113은 일본의 국호를 반영한 니호늄(Nh), 115번은 두브나합동원자핵연구소가 있는 러시아 수도의 지명을 딴 모스크뵘(Mc), 117번은 미국 오크리지국립연구소가 위치한 주 이름에 근거한 테네신(Ts), 118번은 러시아의 핵물리학자 유리 오가네시안을 기린 오가네손(Og)으로 결정했습니다. 1898년 퀴리 부부가 7주기의 라듐(Ra)을 처음 발견한 후 118년 만에 7주기의 원소 32종이 모두 채워진 것입니다.

세상에서 가장 무거운 원소 찾는 여정

과학자들의 노력에도 이보다 더 큰 원자번호의 원소가 아직 발견되지 않는 이유는 원자번호가 커질수록 원자핵이 불안정해지며 순식간에 붕괴하기 때문입니다. IUPAC에서는 수명이 10^{-14} 초보다 긴 경우에만 원소로 인정하고 있어 아무리 큰 원소를 합성한다고 하더라도 반감기가 짧다면 주기율표상에 이름을 올릴 수 없습니다. 그렇기에 현재 기술로 합성할 수

있을 것으로 생각되는 인공원소는 원자번호 126번까지입니다. 주기율표의 8주기를 완전히 채우려면 원자번호 164번까지의 원소가 필요합니다.

1940년 미국의 물리학자 리처드 파인만은 전자기 상호작용의 크기를 결정하는 미세구조 상수를 근거로 원자번호 137보다 큰 원소는 존재할 수 없을 것이라고 주장했습니다. 그래서 원자번호 137 원소를 파인만늄(Fy)이라고 부르기도 합니다. 파인만이 이같이 주장한 근거는, 디랙 방정식에 따르면 파인만늄보다 큰 원자의 가장 안쪽 껍질의 전자는 0보다 큰 실수의 에너지 값을 가질 수 없다는 것이었습니다(이는 전자의 속도가 광속을 초월한다는 것과 같은 의미입니다). 양자역학의 정립에 핵심적인 역할을 했던 닐스 보어도 비슷한 주장을 했습니다. 그러나 파인만의 주장은 원자핵을 부피가 없는 점으로 가정한 결과였습니다. 원자핵의 부피를 고려하면 원자번호의 한계는 173까지 확장될 수 있을 것으로 추정됩니다.

118번 이후의 원소를 찾기 위한 과학자들의 노력은 여전히 이어지고 있습니다. 2019년 러시아에서는 슈퍼헤비엘리먼트팩토리(SHEF)라는 이름의 중이온가속기를 구축했습니다. 119번과 120번 원소를 찾는 것이 목적이죠. SHEF를 이용해 원자번호 114번의 플레로븀 동위원소를 합성한 실험에서는 그간 안정적일 것이라고 예상했던 플레로븀이 사실은 불안정한 핵을 갖고 있다는 점이 밝혀졌습니다. 대신 아직 밝혀지지 않은 120번 원소가 안정적인 구조를 갖고 있어 합성이 가능할 것이라는 분석이 나오기도 했습니다.

앞에서 언급한 연구소를 포함한 다른 나라의 연구소에서도 원자번호 119번 이후의 인공원소를 만들고자 노력하고 있습니다. 프랑스는 우라늄과 니켈(Ni)의 충돌로 원자번호 120의 운비닐륨(Unbinilium, Ubn)을 합성했지만, 수명이 10^{18} 초에 불과하고 외부의 중성자 공급 없이도 자발적으로 핵분열

하기에 새로운 원소로 인정받지 못했습니다. 퀴륨과 철, 플루토늄과 니켈, 우라늄과 저마늄(Ge)의 충돌 실험으로 원자번호 122의 운비륨(Unbibium, Ubb) 인공원소를 얻고자 하는 시도도 있었지만, 역시 이 원소의 자발적 핵분열을 확인했을 뿐입니다. 이와 같은 충돌 실험 결과는 두 원소의 핵이 충돌하며 생성되는 복합 핵(compound nucleus)이 매우 불안정하기 때문입니다. 그렇기에 이런 문제를 극복하고 원자번호 119번과 그 이후 원소를 찾기 위해서는 충돌하는 핵 사이에 양성자와 중성자를 교환할 수 있게 하는 핵 전달 반응이 필요하다는 이론이 제기되고 있습니다.