

발견국들이 동의하지 못하고 각자의 명칭을 고수하는 사례도 종종 발생합니다. 원자번호 104번 러더포듐(Rf) 사례가 대표적입니다. 이 원소는 옛 소련이 1964년, 미국이 1969년 발견해 각각 쿠르차토븀(Ku)와 러더포듐이라고 명명했습니다. 그러나 냉전시대라는 당시 여건상 양측은 의견 일치를 보지 못했고, 30년 동안이나 각 언어권에서 다른 이름으로 불려왔습니다.

지금은 IUPAC의 중재를 통해 104번 원소를 러더포듐으로, 그리고 105번 원소를 러시아의 합동원자핵연구소(JINR)가 위치한 도시인 두브나(Dubna)에서 이름을 따 더브늄(Db)로 확정하며 타협을 이룬 상태입니다. 새로운 원소의 발견은 이처럼 시작부터 마지막 명명까지 치열한 경쟁 속에 이뤄져 왔습니다. 현재도 새로운 원소의 발견은 물리 및 화학 분야의 최첨단 연구를 이끌며 기초과학의 토대를 더욱 굳건히 다지고 있습니다.



원소와 원자는  
어떻게 다른가요?

13



차상원 교수가 답하다

‘원소(元素·element)’와 ‘원자(原子·atom)’라는 용어는 화학 분야뿐만 아니라 다양한 자연과학 분야를 공부할 때 처음 접하는 용어 중 하나입니다. 하지만 이 두 용어의 의미와 차이점을 이해하는 데 많은 사람들이 어려움을 겪습니다. 그런 이유 때문인지, ‘원소와 원자’라는 주제는 여러 교양과학 서적이나 온라인 콘텐츠의 단골 메뉴이기도 합니다.

원소와 원자의 차이를 설명할 때 자주 등장하는 구분법은 ‘종류’와 ‘개별 입자’입니다. 이러한 구분법에 기초해서 원소와 원자의 차이점을 과일 바구니라는 화합물(compound)에 빗대 설명해 보겠습니다.

한 과일바구니에 사과 3개, 배 2개, 오렌지 5개가 들어 있다고 가정해 봅시다. 이 경우 원소의 개수는 몇 종류의 과일이 있는지에 해당하고, 원자의 개수는 전체 과일의 개수에 해당합니다. 즉, 과일바구니 화합물은 3 종류의 원소로 이뤄져 있고, 총 10개의 원자로 구성돼 있습니다.

또 다른 비유로 일본의 무기화학자 사이토 카즈오는 원자를 개인, 원소를 민족에 비유해 설명하기도 했습니다. 즉, 원소는 어떤 한 종류 또는 집합을 나타내는 추상적인 개념이며, 원자는 실제로 존재하는 물리적 입자라고 정리할 수 있습니다.

### 화학자들조차 논쟁하는 원소의 정의

과일바구니 화합물 비유는 원소와 원자의 차이점을 직관적으로 이해하기에는 좋은 사례지만, 원소와 원자 자체가 의미하는 바를 설명하기에는 부족합니다. 지금부터는 원소와 원자의 의미에 대해 좀 더 자세히 얘기해 보겠습니다.

원소는 화학 분야에서 기본 중의 기본인 개념으로 당연히 아주 명확하고 혼동되지 않는 정의가 있을 것이라고 보통 생각합니다. 하지만 2019년 주기율표 탄생 150주년이 되는 해를 기념해 영국 왕립화학회(Royal Society of Chemistry)가 발표한 ‘원소란 무엇인가’라는 제목의 인터뷰 특집 기사를 보면, 화학을 전공하는 교수나 연구자조차 원소에 대한 정의를 두고 논쟁하고 있음을 알 수 있습니다(QR코드 참조). 심지어 2013년에는 ‘화학자가 원소에 관해 말할 때 그 의미가 무엇인가’라는 논문이 출간되기도 했습니다.<sup>doi: 10.1021/ed3004275</sup>

원소라는 개념은 ‘만물의 근원은 무엇인가’라는 고대 그리스의 철학적인 질문으로부터 시작됐다고 볼 수 있습니다. 철학자 탈레스(Thales)가 만물의 근원은 물이라고 주장한 이래로, 아낙시메네스(Anaximenes)와 헤라클

레이토스(Heraclitus)가 물질의 근원으로 각각 공기와 불을 언급했으며, 엠페도클레스(Empedokles)는 이를 종합해 흙, 물, 공기, 불의 4원소설을 주창했습니다. 그리고 이를 계승한 아리스토텔레스(Aristoteles)는 이 4원소가 건조함, 습함, 뜨거움, 차가움 등의 성질을 서로 무한히 교환하면서 물질이 만들어진다고 주장하며, 우주에는 가장 완전한 제5원소(ether)가 존재한다고 설명했습니다.

18세기 다소 극단적인 경험론자였던 프랑스 화학자 앙투안 라부아지에(Antoine-Laurent de Lavoisier)는 이러한 철학적 이치로서의 4원소설을 부정했습니다. 라부아지에는 원소가 추상적인 개념이 아니라, 분리정제가 가능하고 화학적으로 더 이상 분해되지 않는 간단한 물질(simple substance·현대 과학에서는 홑원소 물질이라 해석함)이라고 규정했습니다.

하지만 이 시대에는 원소에 대한 형이상학적 또는 철학적 개념이 여전히 공존하고 있었습니다. 19세기 멘델레예프의 원소에 대한 주장에도 이런 철학적 개념이 남아있습니다. 멘델레예프는 원소란 라부아지에가 주장한 간단한 물질보다 훨씬 더 본질적인 것으로, 원소의 정체성은 원자량에 의해 결정되며 이 정체성은 화학적 변화에서도 유지된다고 주장했습니다.

이를 뒷받침하는 예로 멘델레예프는 다음과 같은 기록을 남겼습니다. “산화 수은은 두 개의 간단한 물질을 포함하고 있지 않지만, 두 개의 원소는 포함하고 있다. (중략) 즉, 산화 수은은 금속 형태의 수은과 기체 형태의 산소를 담고 있는 것이 아니라, 두 개의 ‘원소’를 담고있는 것이다.”

## 0와 O<sub>2</sub>를 모두 산소라 부르는 이유

원소의 정의에 대한 논의는 원자론이 발표된 후 20세기까지도 지속됐습

니다. 1930년대 방사화학(방사성 물질의 화학적 및 물리화학적 성질을 연구하는 분야) 선구자인 프리드리히 파네프(Friedrich Adolf Paneth)는 원소라는 용어는 ‘기본 물질(basic substance)’과 ‘간단한 물질(simple substance)’이라는 두 가지 다른 개념을 포함하고 있다고 설명했습니다. 여기서 ‘간단한 물질’ 개념은 라부아지에의 원소 개념에 바탕을 둔 것이고, ‘기본 물질’ 개념은 멘델레예프가 주장한 원소의 개념과 일맥상통합니다. 하지만 파네프는 ‘기본 물질’이 멘델레예프가 언급한 원자량이 아닌, 원자번호로 구분된다고 주장했습니다.

그 이후 원소의 개념은 어떻게 변했을까요? 20세기 동안 눈부신 과학 발전으로 원소의 개념이 많이 다듬어졌지만, 현재까지도 국제순수·응용 화학연합(IUPAC)에서 정한 원소의 정의는 앞서 언급한 두 개념을 모두 담고 있습니다.

### 원소의 정의

- ① 원자들의 종류로, 원자핵에 같은 수의 양성자를 가진 모든 원자들을 일컬음.
- ② 원자핵에 같은 수의 양성자를 가진 원자들로 이뤄진 순수한 화학물질. 때때로 정의①과 구분하기 위해서, 정의② 개념에 해당하는 용어로 ‘(홑)원소 물질(elementary substance)’을 사용하기도 함. 하지만, ‘화학원소’란 개념은 두 정의에 대부분 통용됨.

이렇게 원소는 이중적인 의미를 가지고 있기 때문에 용어를 사용할 때 자주 혼동이 발생합니다. 보통 화학자들은 원소가 어떤 의미로 사용됐는지 문맥상 또는 연구 내용을 바탕으로 파악하기 때문에 크게 혼동하지는 않습니다. 예를 들어, ‘탄화수소는 산소와 반응해 물과 이산화탄소를 생성

한다'고 말할 경우, 여기서 산소는 정의②에 해당하는 산소, 즉  $O_2$ 를 일컫습니다. 물론 혼동을 피하기 위해서는 '산소분자' 또는 '산소기체'라고 표현하는 것이 더 바람직하겠죠.

또 다른 예로 '탄소의 동소체(allotrope)로는 흑연, 다이아몬드, 그래핀 등이 있다'고 말할 경우, 여기서 탄소는 정의①에 해당하는 탄소입니다. 개인적으로는 두 정의 중 대중적으로 통용되는 원소의 개념은 정의①, 즉 같은 원자번호 또는 양성자수를 가진 원자핵의 집합이라고 생각합니다. 만약 정의②만이 원소의 의미로 받아들여질 경우, 매우 불안정하고 수 ms(밀리초)만 존재하는 인공원소를 과연 원소라 부를 수 있을까요? 한 번 생각해 볼 문제입니다.

### 원자, '화학원소'로 규정지을 수 있는 가장 작은 입자

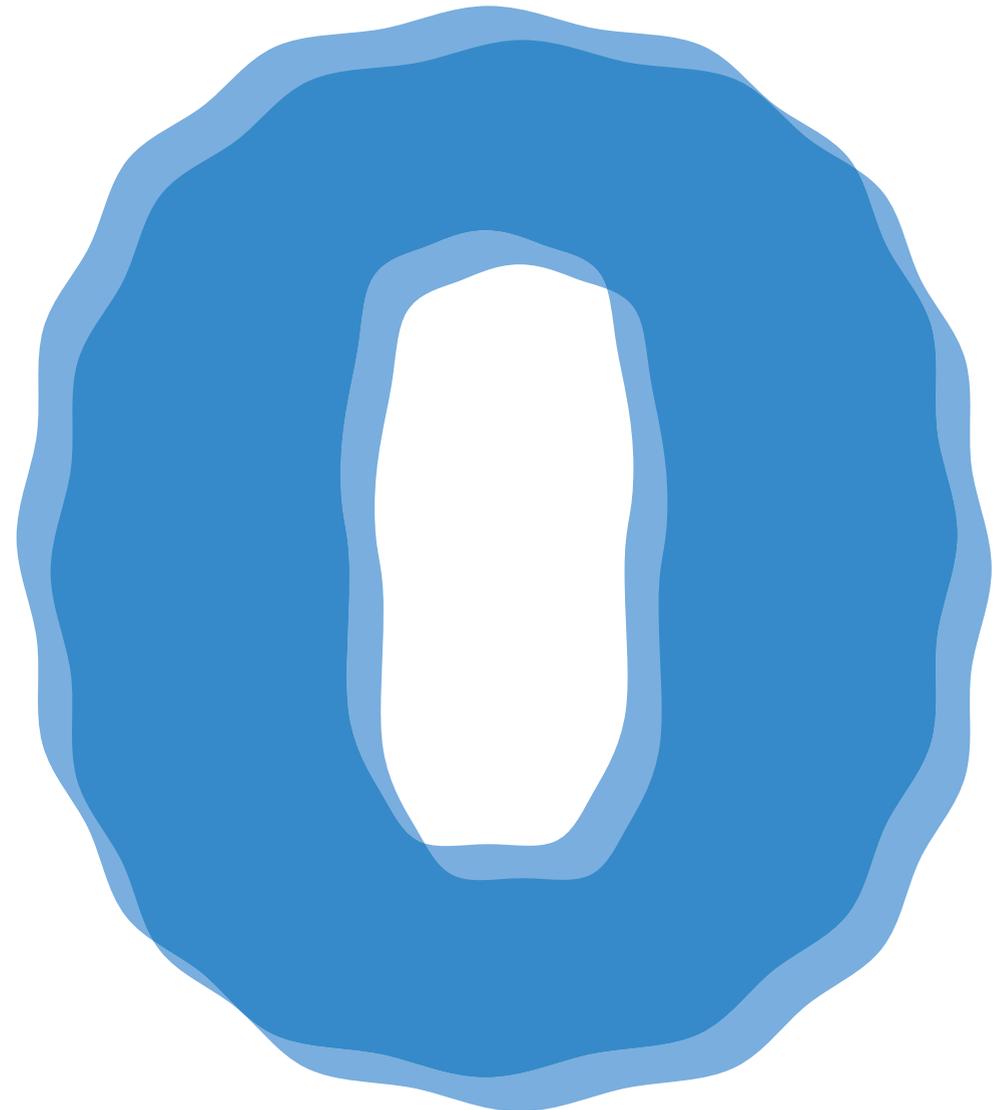
지금까지 원소의 개념에 대해 역사적 배경과 함께 설명했는데요. 마지막으로 원자의 개념을 살펴보며 원소와 원자의 차이를 되짚어 보겠습니다. 원자의 영어 단어인 'atom'은 부정접두어(a-)와 쪼개다는 의미(tomos)가 합쳐진 'atomos'로부터 유래했습니다. 즉 원자는 '더 이상 쪼갤 수 없다'라는 뜻을 가지며, 기원전 5세기 고대 그리스 철학자 데모크리토스(Democritus)가 처음 제시했습니다.

그리고 19세기 초 영국의 화학자 존 돌턴(John Dalton)이 제시한 원자설을 계기로 근현대 과학에서 원자의 개념이 받아들여지기 시작했습니다. 현재 IUPAC에서는 원자를 다음과 같이 정의하고 있습니다.



### 산소(O)

원자번호 8번인 산소는 지각에서 가장 풍부한 원소다. 우주에서도 수소와 헬륨 다음으로 가장 많다. 산소는 상온에서 이원자 분자 상태( $O_2$ )로 존재하며 반응성이 커서 거의 모든 원소와 산화물을 만든다. 흔히 '산소'라고 하면 산소 원자(O)와 산소기체( $O_2$ )를 통칭한다.



### 원자의 정의

화학원소로 규정지을 수 있는 가장 작은 입자. 원자는 Z개의 양성자를 가져 양 전하를 띠고 있는 원자핵(전체 질량의 99.9% 이상을 차지함)과 원자의 크기를 결정하는 Z개의 전자들로 구성돼 있음.

위 IUPAC의 정의에서 핵심은 원자가 화학원소로 규정지을 수 있는 가장 작은 입자라는 점입니다. 이미 원자가 가장 작은 입자가 아니라는 것은 잘 알려져 있습니다. 원자는 양성자, 중성자, 전자와 같은 더 작은 입자로 구성되고, 양성자와 중성자는 그보다 더 작은 쿼크 입자로 이뤄져 있습니다.

하지만 화학원소로서 규정할 수 있는 가장 작은 입자는 바로 원자입니다. 이와 같이 원자는 원소라는 집합 개념에 속하는 구체적인 일원이라고 생각할 수 있습니다. 즉, 어떤 원자는 원자 그 자체로 존재할 수도 있고, 홑원소 물질 안에 존재할 수도 있으며, 화합물의 구성 입자로 존재할 수도 있습니다. 이렇게 다양하게 존재하는 원자를 모두 포괄하는 개념이 바로 원소입니다.



코발트, 니켈의 원자량은 왜 주기율표 순서와 맞지 않나요?

144