

그렇다면 다중 결합은 어디까지 가능할까요? 6족 원소인 크로뮴, 몰리브데넘, 텅스텐은 오중결합(quintuple bond), 육중결합(sextuple bond)까지 형성할 수 있다고 알려져 있습니다. 이를 넘어선 칠중결합(septuple bond)의 경우 원자번호 100번 이하의 원소들에 대해서는 성립할 수 없다는 연구 결과가 있습니다.

물론 원자번호 100번 이후의 원자들의 경우에는 아직 연구가 많이 이뤄지지 않았기 때문에 이 같은 연구 결과를 단정 지을 수는 없습니다. 칠중결합의 발견 시기와 가능성은 예측할 수 없지만, 실제로 존재한다면 또 다른 흥미로운 사실이 아닐 수 없습니다.

Q

화학자에게  
없어서는 안 될 원소  
세 가지는 무엇인가요?

27



2019년 주기율표 탄생 150주년을 기념해 아주 흥미로운 주기율표가 발표됐습니다. 바로 ‘젊은 화학자들의 주기율표(periodic table of younger chemists·QR코드 참조)’입니다. 젊은 화학자들의 주기율표는 현재 알려진 118개 원소의 위치에 각각의 원소를 중점적으로 연구하는 젊은 화학자들의 얼굴을 나열했습니다. 이를 보면서 전 세계 화학자들이 참으로 다양한 원소를 연구하고 있음을 새삼 느끼게 됐습니다.

‘화학자에게 없어서는 안 될 원소는 무엇인가’라는 질문을 보고 이 젊은 화학자들의 주기율표가 떠올랐습니다. 이 주기율표처럼 각자의 연구 분야에 따라 화학자 개개인들에게 중요한 원소는 모두 다를 겁니다. 그렇기 때문에 화학 연구에서 대체로 중요한 원소 3개를 꼽는 것은 그리 간단한



일이 아니라는 생각이 들었습니다.

그래서 그 전에 우선 한 명의 화학자로서 필자에게 없어서는 안 될 원소 3가지를 꼽아봤습니다. 필자는 다양한 화학물질의 특성이나 농도를 알아내기 위한 분석법 또는 분석장치를 개발하는 분석화학자입니다. 특히 원소나 화합물의 질량 및 존재량을 측정할 수 있는 질량분석법(mass spectrometry)을 주로 활용합니다. 필자는 질량분석법을 활용해 다양한 유기물질과 무기원소를 측정하는데, 다루는 원소의 종류를 주기율표에서 세어보니 생각보다 많은 31가지였습니다.

이들 원소의 질량을 분석할 때 가장 중요한 원소는 수소(H)입니다. 질량 분석기를 이용해 분자를 관찰하기 위해서는 전기적으로 중성인 분자를 이온으로 만들어야 하는데, 수소이온(H<sup>+</sup>)을 분자에 결합시켜 양이온을 만들거나, 분자로부터 수소이온을 떼어내 음이온을 만드는 것이 가장 대표적인 방법이기 때문입니다. 물론 원소는 아니지만, 전자의 역할도 매우 중요합니다. 분자에 전자가 결합돼 음이온이 되기도 하고, 분자로부터 전자가 떨어져 나가 양이온이 될 수도 있습니다.

수소 다음으로 필자에게 중요한 원소는 소듐(Na)입니다. 수소이온과 잘 결합하지 않는 분자들을 양이온으로 만들 때 소듐이온(Na<sup>+</sup>)이 제 역할을 해주기 때문입니다. 그리고 세 번째 원소는 탄소(C)입니다. 탄소를 선택한 것은 지극히 개인적인 이유로, 오랫동안 흑연 같은 탄소 동소체(allotrope)를 이용한 질량분석법 개발을 주된 연구 주제로 삼아 왔기 때문입니다.

필자가 모든 화학자들의 생각을 알 수는 없지만, 각자의 연구 분야에서 화학자들이 생각하는 중요한 원소들은 대체로 의견이 모아질 것으로 예상됩니다. 유기화합물 합성법을 개발하거나, 유기화합물의 구조 및 특성을 밝혀 응용하는 유기화학자들이라면 유기화합물의 기본 구성 원소라 할



수 있는 탄소, 수소, 산소(O), 질소(N) 등을 가장 중요한 원소로 꼽지 않을 수 없을 겁니다. 물론 유기화학반응에서 반응물만큼 촉매도 중요하기 때문에, 몇몇 유기화학자들은 팔라듐(Pd), 몰리브데넘(Mo), 텅스텐(W), 루테튬(Ru)과 같은 전이금속 원소를 뽑을 수도 있겠습니다.

그런가하면 생명체에서 일어나는 화학현상을 연구하는 생화학자들에게는 생명체를 이루는 주요 원소인 산소, 탄소, 수소, 질소, 칼슘(Ca), 인(P) 등이 없어서는 안 될 원소일 것입니다. 이외에 몸의 이온 항상성을 유지하는 포타슘(K), 소듐, 염소(Cl) 등도 강력한 후보들입니다.

한편 지각에서 일어나는 화학현상을 연구하는 지구화학자들은 지각에 풍부하게 존재하는 산소, 규소(Si), 알루미늄(Al), 철(Fe) 등을 뽑을 가능성이 높을 것 같습니다. 화합물의 전기적 특성이나 전지 등을 연구하는 전기화학자들의 순위에서는 전극물질로 사용되는 탄소, 산소, 리튬(Li), 코발트(Co), 알루미늄(Al), 망가니즈(Mn) 등이 상위권을 차지할 가능성이 높겠죠. 마지막으로 전자소재, 특히 반도체를 연구하는 화학자들은 탄소, 규소, 산소, 갈륨(Ga) 등을 꼽으리라 추측합니다. 이렇게 관심사가 다양한 화학자들이 대부분 공감할 만한 원소 세 가지는 무엇일까요?

### 화학자들의 ‘최애 원소’는?

필자는 수소, 산소, 탄소를 꼽고 싶습니다. 몇몇 독자들은 ‘어차피 우승은 수소, 산소, 탄소군’이라거나 ‘역시 예상을 벗어나지 않는군’이라고 생각할 수도 있겠습니다. 수소, 산소, 탄소는 반응성이 적은 헬륨(He)을 제외하고 우주에 가장 풍부하게 존재하는 원소입니다. 하지만 단순히 그 이유 때문에 선정한 것은 아닙니다. 필자가 이 원소들을 ‘톱 3’으로 선정한 나

름의 이유는, 화학의 정의와 화학이 연구하는 대상의 관점에서 볼 때 이 세 원소가 가장 중심이 되는 원소라 생각했기 때문입니다.

화학을 광범위하게 정의하면, 물질과 그들의 변화에 대해 연구하는 학문입니다. 즉, 화학의 핵심은 ‘물질’과 ‘변화’라 말할 수 있습니다. 그렇다면 모든 화학적 변화를 한 데 묶어 한 줄로 요약해야 한다면 어떻게 말할 수 있을까요?

필자는 ‘화학적 변화는 물질 사이에서 전자나 양성자가 이동하는 변화’라고 말하고 싶습니다. 전자의 이동을 수반한 화학적 변화는 산화-환원 반응이고, 양성자 또는 수소이온이 이동하는 변화는 산-염기 반응입니다. 그리고 이 반응들에 없어서는 안 될 원소가 바로 산소와 수소입니다. 어떤 화학 분야든 산화-환원과 산-염기 반응을 고려하지 않는 분야는 없을 겁니다.

탄소는 화학의 다른 핵심 요소인 ‘물질’을 대표할 수 있는 원소라고 생각해 꼽았습니다. 다양한 원소 중 딱 하나를 꼽으라면 우주에 매우 풍부할 뿐만 아니라, 네 개의 팔로 어느 원소든 만날 준비를 하고 있는, 유기물질의 뼈대를 이루고 있는 탄소가 그 주인공일 것이라 생각했습니다.

추가로 필자가 올해 여름 다양한 전공을 가진 국내 화학자 20명에게 ‘화학에서 가장 중요한 5개의 원소가 무엇인가’를 설문조사한 적이 있습니다. 결과는, 한 명도 빠짐없이 탄소를 선택했습니다. 그리고 한 두 명을 제외하곤 대부분이 수소와 산소를 꼽았습니다. 그 다음으로는 질소와 규소가 선택받았고, 철, 우라늄(U), 리튬, 인 등이 뒤를 따랐습니다. 작은 설문조사였지만 화학자들이 생각하는 ‘최애’ 원소가 대체로 유사하다는 걸 확인하는 결과였습니다.

Q

세상에서  
가장 위험한 원소는  
무엇인가요?

28