

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



장흥제 교수가 답하다

원소는 일상생활에서부터 과학 연구까지 쓰이지 않는 곳이 없습니다. 그만큼 원소의 안전성이나 유해성에도 관심이 쏠리죠. 질문하신 ‘위험한 원소’라는 건 한 가지로 설명될 수 없습니다. 생명에 치명적인 위협을 주는 원소, 환경을 오염시키는 원소, 취급이 어려운 원소 등 다양한 관점에서 생각해볼 수 있습니다.

### 50 mg만 유입돼도 치명적인 시안화 포타슘

먼저 인체에 미치는 독성 측면에서 생각해보겠습니다. 인체 독성을 측정하는 기준이 되는 화합물은 시안화 포타슘(KCN·potassium cyanide)입니다. ‘청산가리’라는 이름으로 잘 알려진 독극물이죠. 시안화 포타슘은 독성이 매우 높습니다. 체내에 50 mg 이상 유입되면 치명적인 문제를 발생할 수

있다고 알려져 있습니다. 세계대전 당시 나치 독일이 가스 형태로 사용해 큰 문제를 일으킨 물질이기도 합니다. 시안화 포타슘은 오늘날 다른 독성 물질의 위험을 판단하는 비교 기준이 됩니다. 예를 들어 복어가 가진 독인 테트로도톡신(tetrodotoxin)은 시안화 포타슘에 비해 25배 적은 양으로도 인체에 치명적이라고 설명할 수 있습니다.

인체에 유해한 물질이라면 방사성 물질도 빼놓을 수 없습니다. 원자번호 84번 폴로늄(Po)이 대표적입니다. 폴로늄은 퀴리 부부가 발견해 마리 퀴리의 조국인 폴란드의 이름을 딴 원소입니다. 폴로늄의 가장 대표적인 동위원소는 폴로늄-210(<sup>210</sup>Po)인데, 이것은 방사성 붕괴를 하며 알파입자(헬륨의 원자핵 형태)를 주위로 방출합니다. 방출된 알파입자는 체내 세포나 기관에 심각한 손상을 유발합니다. 시안화 포타슘보다 독성이 25만 배나 높습니다. 한 가지 다행인 사실은 우리가 자연 상태에서 폴로늄에 노출될 일은 거의 없다는 겁니다. 핵분열 산물에서 아주 소량씩 생성되기 때문입니다. 인체 피폭 우려가 없는 지구 밖에서는 장기간 전력을 얻을 수 있는 가벼운 소형 전지의 재료로 폴로늄을 사용하고 있습니다.

### 몸속에 서서히 쌓여 중독되는 수은

인체에 미치는 영향은 급성(acute)과 만성(chronic)으로 구분됩니다. 앞서 살펴본 시안화 포타슘이나 테트로도톡신은 급성 독성을 보이며, 폴로늄은 방사성 붕괴라는 특성상 급성과 만성 두 가지 독성을 모두 보입니다. 급성으로 발현되는 독성은 인체에 치명적인 피해를 끼치지만 피해 사실을 인지하기가 쉬워 피해가 주위로 확산되는 일이 적습니다.

그러나 만성 독성은 식품, 토양, 물과 같은 환경적 요인에 장기간 노출



돼 체내에 누적된 화합물이나 원소에 의해 발현됩니다. 인식하지 못하는 동안 수많은 사람들이 동시에 위험에 빠지기도 합니다. 대표적인 사례가 카드뮴(Cd) 중독으로 인한 이타이이타이병이나, 수은(Hg) 중독으로 인한 미나마타병입니다. 납(Pb)도 대표적인 중독성 중금속 원소입니다. 고대 로마의 멸망 원인이 납중독 때문이라고 보기도 하니까요.

카드뮴, 수은, 납, 비소(As) 등 만성 독성을 보이는 원소는 여러 가지가 있지만 개인적으로는 수은이 가장 치명적인 원소가 아닐까 생각합니다. 수은은 상온에서 액체 상태로 존재하기에 피부를 통해 유입될 수 있으며 기화되면 증기로 유입되기도 합니다. 유입된 수은은 인체의 신경계와 뇌에 치명적인 피해를 줄 수 있습니다. 또 우리가 직접 노출되지 않았더라도 해양 생명체의 몸속에 쌓여 먹이사슬 최종 소비자인 인간의 몸속에 들어올 우려가 있습니다(자세한 내용은 37쪽 6번 질문 참조).

### ‘순교자’ 별칭 가진 플루오린

원소의 위험성을 반응성 관점에서도 살펴볼 수 있습니다. 반응성이란 한 물질이 화학 반응을 일으켜 다른 물질과 결합하거나, 다른 물질을 변질시키는 등 무언가 변화를 유발할 수 있는 경향성을 의미합니다. 반응성이 높으면 심한 경우 폭발이나 부식을 유발할 수 있죠. 반응성은 같은 족 원소라도 조금씩 다릅니다. 물과 반응해 수소기체와 열을 발생시키는 1족 알칼리 금속의 경우, 리튬(Li)은 물 위에 떠서 약간의 연기와 열을 발생시키는 반면, 소듐(Na)은 큰 불꽃과 폭발을 유발합니다. 알칼리 금속 중 주변의 수분과 반응성이 가장 클 것으로 추측되는 원소는 프랑슘(Fr)입니다. 하지만 프랑슘은 매우 불안정한 원소라 지구상에 존재하는 양이 극히 적

습니다. 가장 안정한 형태(프랑슘-223)의 반감기가 22분이라 금세 사라져 버립니다. 우리가 프랑슘에 직접 노출돼 실제로 위험에 처할 가능성은 적다고 볼 수 있습니다.

한편 할로젠 원소인 플루오린(F)도 높은 반응성 때문에 역사적으로 여러 문제를 일으켜왔습니다. 작고 가벼운 플루오린은 반응성이 낮기로 유명한 18족 비활성 기체와도 반응할 수 있는 원소입니다. 이런 플루오린을 발견하는 과정에서 많은 화학자들이 영문도 모른 채 부상과 질병을 겪었습니다. 때문에 플루오린은 ‘순교자’라는 별칭을 가지고 있습니다.

플루오린을 포함한 화합물 중에는 반응성이 높아 조심해야 할 것들이 있습니다. 플루오린화 수소산(불산·HF)의 경우 염산(HCl)이나 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)과 같은 강산으로 분류되지는 않지만, 피부에 닿으면 흡수돼 뼈와 이를 녹여 버립니다. 물론 실생활에 유용하게 활용되는 플루오린 화합물도 무궁무진합니다. 조리기구에 사용하는 테플론이나 이를 섬유형태로 만든 고어텍스, 그리고 치약, 의약품 등에 모두 플루오린이 사용됩니다.

위험한 원소는 그 외에도 굉장히 많습니다. 핵무기에 사용되는 플루토늄(Pu)이나 살충제에 포함돼 급성 중독을 일으키는 탈륨(Tl), 무기에 사용되는 인(P)의 한 형태인 백린도 만만치 않은 유해성을 가지고 있습니다.

저는 독성, 방사성, 반응성 측면에서 위험한 원소들을 꼽아 봤지만, 여러분이 생각하는 기준은 제 생각과 또 다를 수 있습니다. 중요한 것은 위험하지만 한편으론 유용한 원소들을 어떻게 안전하게 사용할지, 이것을 대체할 원소는 없을지 연구해나가는 것일 겁니다. 과거의 실수와 피해가 반복되지 않도록 모두가 함께 예방책을 마련해나가는 겁니다.



인류 역사에  
가장 큰 영향을 준 원소는  
무엇인가요?

29