

형태, 가능한 결합의 종류 등을 예측할 수 있게 됐기 때문입니다.

멘델레예프가 선물한 주기율표는 원소와 반응, 그리고 화학을 연구하고 사용하는 많은 사람들에게 지도가 돼줍니다. 지하철이나 버스 같은 대중 교통 노선도나 산, 하천, 산책로 등이 표시된 지도처럼 어떤 요소를 파악 하기 위해서는 이에 적합한 정보가 요약된 문서가 필요합니다. 이런 자료가 있으면 목적지를 가장 빠르고 효과적으로 찾아갈 수 있고, 설사 길을 잃더라도 금방 바로잡을 수 있습니다.

마찬가지로 비슷한 성질, 전자의 개수, 가능한 화합물의 형태 등 주기율 표에 집약된 정보들은 화학자들이 연구를 설계하고 확장하는 데 지도와 같은 도움을 줍니다. 주기율표 덕분에 첨단재료를 개발하고 현대 화학을 빠르게 발전시킬 수 있었다고 해도 과언이 아닙니다.

물론 화학을 직접적으로 공부하거나 연구하지 않는 사람에게는 복잡한 알파벳들이 답답하게 나열돼있는 지극히 불친절한 도표에 불과할 수도 있습니다. 이 때문에 여러 종류의 대안 주기율표가 필요한 사람들에 맞게 지속적으로 개발되고 있습니다. 지질이나 자원을 연구하는 사람에게는 지각 내 매장량을 기준으로 칸의 넓이를 다르게 만든 주기율표가, 원소간의 연관관계를 들여다 보고 싶은 사람에게는 원형으로 배치돼 연관성 있는 족들끼리의 관계선을 추가한 주기율표가 유용할 수 있습니다.

대안 주기율표를 만드는 기준은 복잡할 수도, 아주 간단할 수도 있습니다. 물질의 안정성을 기준으로 만들 수도, 발견된 시점이나 주로 활용되는 분야 등의 정보로 만들 수도 있죠. 중요한 점은 이 모든 대안 주기율표 역시 멘델레예프가 생각하고 제안한 큰 틀을 기반으로 구성돼 있다는 점입니다. 전 세계가 주기율표 탄생 150주년을 성대하게 축하한 이유도 바로 여기에 있습니다.

Q

수소는
1족인가요,
17족인가요?

19



장흥제 교수가 답하다

118개의 원소들이 일정한 규칙에 의해 배열된 주기율표에서 첫 번째 가로줄에 위치하는 1주기 원소들, 그중에서도 특히 원자번호 1번 수소(H)는 그 다음부터 이어지는 원소들과는 다른 표현상의 모호함을 가지고 있습니다. 실제로 주기율표의 종류에 따라 수소를 1족에 배치하기도, 17족에 배치하기도 합니다.

잉여 전자 한 개가 남는 1족 알칼리 금속

수소가 1족과 17족 중 어디에 더 적합한지 판단하기 위해서는 먼저 주기율표에서 1족과 17족, 그리고 18족의 특징을 이해해야 합니다. 18족은 비활성 기체라는 명칭에 걸맞게 여러 개의 동일 원자가 홀로 안정한 상태로 존재할 수 있는 원소들의 집합입니다. 비활성 기체 원소들이 안정한 이유

는 전자의 배치에서 찾을 수 있습니다. 전자가 배치될 수 있는 원자의 유효한 오비탈(Orbital)이 전자로 가득 차 있는 상태라, 자신이 보유 중인 전자를 외부로 내보내거나, 외부로부터 부족한 전자를 받아와 이온을 만들 일 없이 홀로 안정하게 존재할 수 있는 겁니다.

같은 비활성 기체라도 안정한 상태는 주기(period)에 따라 다릅니다. 1주기에 해당하는 헬륨(He)은 s오비탈만 관여하기 때문에 2개의 전자만 채우면 안정해집니다. 반면 2주기와 3주기에 각각 속한 네온(Ne)과 아르곤(Ar)은 s와 p오비탈이 동시에 관여하기에 총 8개의 전자를 채워야 합니다. 그보다 높은 주기의 원소들은 d오비탈 혹은 f오비탈이 관여하기 때문에 그보다 더 많은 전자가 필요합니다. 우리가 수소에 대해 혼란을 겪는 이유는 수소가 안정한 상태로 가기 위해 필요한 전자의 최대치가 매우 낮은 1주기에 속하기 때문입니다.

알칼리 금속(alkali metal)이라 불리는 1족은 (논란의 여지가 있는) 수소를 제외한 리튬(Li), 소듐(Na), 포타슘(K), 루비듐(Rb), 세슘(Cs), 그리고 프랑슘(Fr) 등 6개 원소의 집합입니다. 알칼리(alkali)라는 이름은 아라비아어 ‘al-qaly’로부터 유래했습니다. al-qaly는 물에 녹여 염기성 용액을 만드는 데 사용되던 통통마디를 태운 재를 의미합니다. 이름에서도 알 수 있듯, 알칼리 금속은 물과 반응했을 때 염기성 수용액을 형성한다는 공통적인 특징을 가지고 있습니다.

또한 1족 원소들은 공통적으로 이미 전자가 가득 차 있는 내부의 오비탈을 제외하고도, 한 개의 전자를 추가로 가지고 있습니다. 알칼리 금속의 화학적 성질 대부분은 바로 이런 전자 한 개의 영향을 받습니다. 같은 족의 원소들이 유사한 특성을 가진다는 주기율표의 의미는 이렇게 최외각에 존재하는 잉여 전자들의 개수로부터 기인합니다. 1족 원소들은 앞서

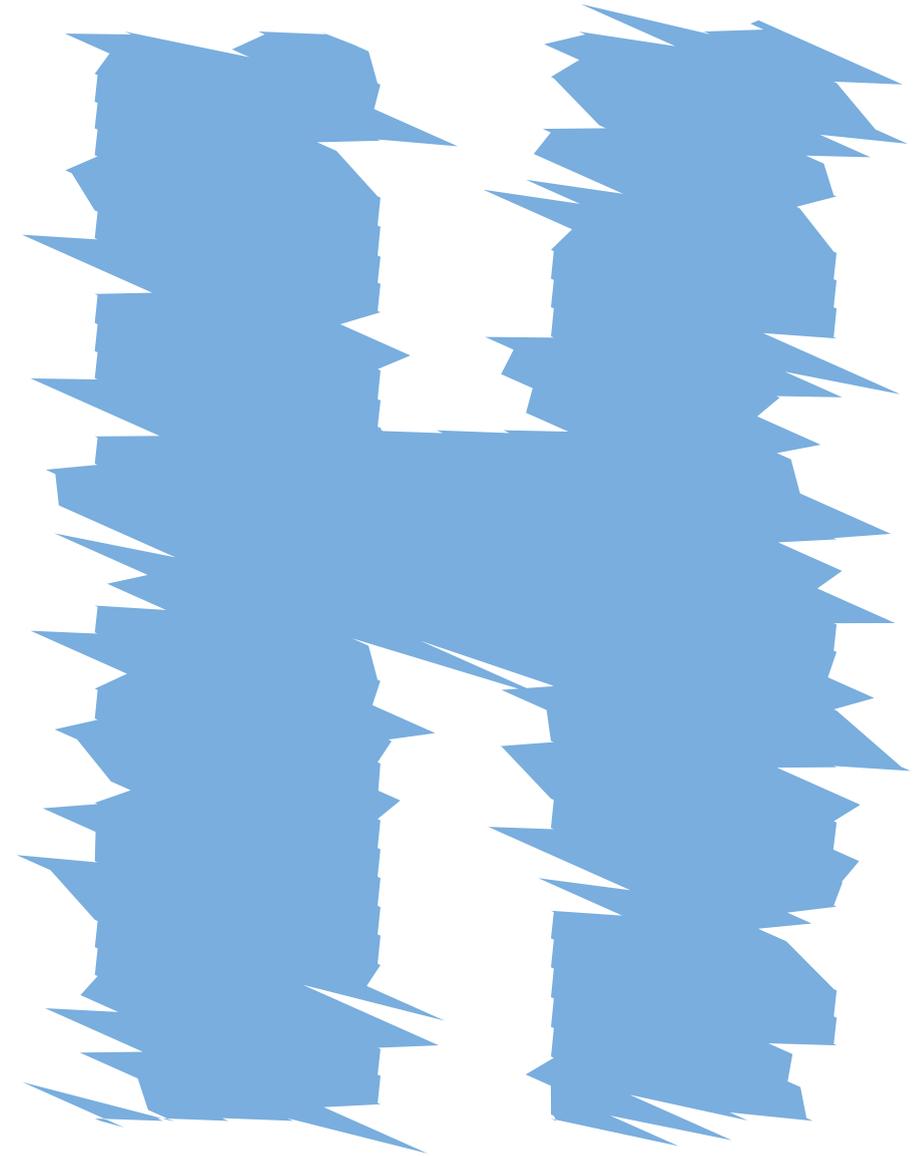
소개한 18족 원소처럼 모든 오비탈을 가득 채우는 전자 배치를 갈구하기에, 자신들이 보유하고 있는 한 개의 잉여 전자를 외부로 내보내며 1가 양이온의 형태(대표적으로 Na^+)를 형성하게 됩니다.

이때 모든 물질들은 양이나 음의 전하를 띠고 있는 상태보다는 중성 상태로 존재하는 것을 선호하기 때문에, 알칼리 금속 양이온들은 손쉽게 만날 수 있는 비금속 음이온들과 결합해 화합물을 이룹니다. 앞서 살펴본 소듐 양이온이 염화 이온(Cl^-)과 함께 염화 소듐(NaCl) 화합물을 형성하는 결과를 생각하면 쉽게 이해할 수 있습니다.

전자가 딱 하나 모자란 17족 할로젠

그런가하면 17족 원소들의 명칭은 할로젠(halogen)입니다. 염(halo)을 만든다(genes)라는 그리스어로부터 유래한 용어죠. 다른 물질과 반응해서 물질을 형성하려는 성질이 매우 센, 한마디로 반응성이 극도로 높은 원소들입니다. 오죽하면 홀로 안정하게 존재하며 다른 원소와 반응하지 않는다는 의미로 비활성 기체라 불리는 18족 원소들조차 네온을 제외하고는 모두 할로젠과 반응해서 화합물을 만들 정도니까요. 테트라플루오린화 제논(XeF_4)이나 다이플루오린화 크립톤(KrF_2) 등과 같은 화합물이 대표적입니다.

할로젠의 높은 반응성 역시 보유 중인 전자의 배치로 설명할 수 있습니다. 모든 할로젠 원소는 공통적으로 목표로 하는 비활성 기체보다 최외각 전자껍질의 전자 개수가 하나 부족합니다. 때문에 외부로부터 전자를 하나 가져와서 안정한 상태를 만들려는 의지가 확고하죠. 이온의 형태로는 전자가 하나 추가된 1가 음이온(대표적으로 Cl^-)을 형성하고, 금속 원소들과



수소(H)

주기율표에 첫 번째로 등장하는 원소. 최외각 전자껍질에 전자 1개를 가지고 있어 수소 양이온(H^+)과 수소 음이온(H^-)이 모두 될 수 있다. 1족 알칼리 금속의 특징과 17족 할로젠의 특징을 동시에 가진다. 최근 극고압 환경에서 금속성 수소로 존재한다는 사실이 밝혀지면서 1족의 성질에 한 걸음 더 가까워졌다.



화합물을 이루는 경향성이 두드러집니다. 앞서 말한 염화 소듐(NaCl)을 기억하고 계실 겁니다.

할로젠 원소들은 다른 원자와 결합해 안정해지고 싶은 성질을 이기지 못하고 같은 종류의 원자끼리 돌씩 모여 이원자 분자를 형성하기도 합니다. 염소(Cl_2), 브로민(Br_2), 아이오딘(I_2) 등이 대표적입니다. 이들은 상온에서 각각 기체, 액체, 고체의 상태를 이루지만 1족 원소처럼 금속 상태는 결코 될 수 없는 원소들입니다.

초고압에선 수소가 금속성을 띠나?

그렇다면 수소는 이들 중 어디에 더 가까울까요? 먼저 수소가 최대 2개의 전자를 갖게 된다면, 같은 주기에서 가장 안정한 18족 원소인 헬륨과 같은 전자 배치를 이룰 수 있습니다. 수소는 최외각에 전자 1개를 가지고 있기 때문에 가지고 있는 전자를 외부로 내보내서 1가 수소 양이온(H^+)을 이루거나, 혹은 외부로부터 전자 하나를 가져와서 1가 수소 음이온(H^-)을 이루는 두 방향 모두 가능합니다.

실제로 이 두 이온들은 여러 화학 실험에서 유용하게 쓰입니다. 수소 양이온은 비금속 음이온과 화합물을 만들 수 있으며(염화 수소(HCl), 암모니아(NH_3), 물(H_2O) 등), 수소 음이온은 금속 양이온과 화합물을 형성할 수 있습니다(수소화 리튬(LiH), 수소화 마그네슘(MgH_2), 수소화 알루미늄(AlH_3) 등). 이처럼 수소는 주기율표상의 1족과 17족의 성질을 공통적으로 보이는 흥미로운 원소입니다.

반응성이 아닌 수소 그 자체의 특성은 1족과 17족 중 어디에 더 어울릴까요? 먼저 수소는 단일 원소로 안정하게 존재하기 위해 부족한 하나의 전자를 충족시키고자 같은 종류의 원자와 결합합니다. 온도가 25도, 기압이

1기압인 지구 표면 조건에서 이원소 분자(H_2)의 기체로 존재합니다. 이는 17족 원소의 성격과 비슷합니다.

또 수소는 산소나 질소와 같은 다른 기체들처럼 매우 낮은 온도에서 액화돼 액체 상태로 상변화를 일으킵니다. 영하 252.87도의 극저온에서 액체 수소(liquid hydrogen)로 물질의 상태가 바뀝니다. 액체 수소는 1981년 미국의 우주왕복선 컬럼비아호를 비롯한 여러 추진체의 극저온 액체 연료로 사용됐죠. 1족 원소들은 저온에서 보통 금속 상태로 존재하는데, 수소가 저온에서 액체 상태로 변한다는 점은 1족보다는 17족에 가까운 것이 아닌가 생각하게 만들었습니다.

그런데 2016년 이것을 다시 뒤집는 연구 결과가 나왔습니다. 미국 하버드대 연구팀이 영하 267도 극저온 환경에서 수소에 약 489만 기압의 압력을 가하면 금속성 수소(metallic hydrogen)가 된다는 사실을 처음으로 확인한 겁니다. 투명한 수소는 초고압 환경에서 검은빛의 광택을 보이는 물질로 서서히 변했습니다. 17족 원소들은 온도를 아무리 낮춰도 금속 원소는 될 수 없는데 말입니다. doi: 10.1126/science.aal1579

금속성 수소가 존재할 가능성은 1935년에 이미 제기됐습니다. 고압 조건에서 수소가 알칼리 금속과 같은 금속성을 보일 것이라는 점, 금속성 액체 수소가 존재할 수 있다는 점, 수소가 초전도성 수소 등 다양한 방식으로 존재할 수 있다는 점 등이 지속적으로 관심을 받아 왔습니다. 미국 항공우주국(NASA)은 실제로 목성이나 토성과 같은 행성의 내부가 금속성 수소로 이뤄져 있을 것이라는 예측을 내기도 했고요. 2016년 금속성 수소의 존재가 실험으로까지 입증되면서 수소가 1족이라는 생각은 다시 힘을 얻었습니다.

수소가 어떤 족에 소속돼야 하는지 정확한 판단을 내리려면 앞으로 추

가 연구를 이어나가는 것이 중요합니다. 그리고 그렇게 결과에 다가가는 과정에서 수많은 과학적 발견이 이어질 겁니다. 과거에 빛이 파동인지, 입자인지를 구분하기 위해 많은 과학적 논쟁과 연구가 이뤄졌던 것과 어느 정도 비슷하다고 볼 수도 있겠네요. 앞으로 얼마나 더 흥미로운 수소 연구가 나올지 함께 지켜보면 좋겠습니다.

Q

란타넘족과 악티늄족이
주기율표에서 분리된
이유가 무엇인가요?

20