

이 세 가지 방법은 모두 장단점이 있습니다. 부생가스를 이용하는 방법은 사용하지 않는 부산물을 활용한다는 점에서 경제적이나, 석유화학 산업과 맞물려 있기 때문에 생산량을 확대하기가 어렵습니다. 고압 수증기를 이용하는 방법은 대량 생산이 가능하고 경제적이나, 공정에서 온실가스인 이산화탄소(CO₂)를 많이 발생시킵니다. 물을 전기분해하는 방법은 친환경적이거나, 전기가 필요하며 생산 단가가 높습니다.

그럼 물을 ‘생산’하는 측면에서는 이 세 가지 수소 생산 방법 중 어떤 방법을 사용할 수 있을까요? 우선 고압 수증기를 사용하거나 물을 전기분해하는 방법으로 수소를 생산하고 그것으로 물을 만든다면, 물을 사용해서 물을 만드는 꼴이 돼 전혀 실효성이 없습니다. 남은 방법은 부생가스로부터 수소를 정제해서 사용하는 방법뿐인데, 이를 위해서는 석유화학 산업의 인프라가 해당 지역에 구축돼 있어야 합니다. 물론 우리나라에서 부생가스를 이용해 생산한 수소를 물 부족 국가가 수입해 사용할 수도 있겠지만, 운반 비용 및 효율을 고려하면 경제적 이치에 전혀 맞지 않습니다. 대량의 물을 생산하는 방법으로 수소기체와 산소기체를 반응시키는 것은 한계가 분명하다고 보는 이유입니다.

하지만 실망할 필요는 없습니다. 당장 물을 화학적으로 합성해 식수 문제를 해결하긴 어렵지만, 이미 존재하고 있는 물을 마실 수 있는 상태로 바꾸는 기술, 즉 정수 기술, 해수 담수화 기술, 대기 중 수증기를 수집하는 기술 등이 발전하고 있으니까요. 미래 세대인 청소년들이 이런 분야에 관심을 갖고 노력한다면 가까운 미래에 분명 식수 문제를 해결할 수 있을 것이라고 생각합니다.

Q

비활성 기체가 실생활에 어떻게 쓰이나요?

24

A



차상원 교수가 답하다

비활성 기체 원소는 주기율표 가장 오른쪽 18족에 위치한 원소들입니다. 인공적으로 합성한 원자번호 118번 오가네손(Og)을 제외한 여섯 원소들, 즉 헬륨(He), 네온(Ne), 아르곤(Ar), 크립톤(Kr), 제논(Xe), 라돈(Rn)은 모두 기체로 자연계에 존재합니다.

1주기 원소인 헬륨은 최외각 전자가 2개, 나머지 비활성 기체 원소들은 최외각 전자가 8개로 모두 안정한 상태이기 때문에 다른 원소와 전자를 공유할 필요가 없습니다. 따라서 비활성 기체 원소들은 반응성이 극히 낮으며, 특히 네온은 현재까지 알려진 다른 원소와의 화합물이 없을 정도로 반응성이 낮습니다.

그렇다보니 이렇게 반응성도 없는 비활성 기체 원소들은 과연 실생활에 쓸모가 있을까 궁금해 하는 분들이 많은데요. 알고 보면 의외로 다양한 산업분야에서 사용되고 있어서 깜짝 놀라실 겁니다.

낮은 반응성? 오히려 장점으로 활용

비활성 기체 원소들은 단원자 상태로 안정하며, 상온에서 모두 기체 상태로 존재합니다. 모두 기체로 존재하는 이유는 비활성 기체 원소 모두 원자간 상호 인력이 낮아 끓는점이 매우 낮기 때문입니다. 비활성 기체의 끓는점은 원자가 커질수록 높아지는데, 가장 큰 라돈의 끓는점도 영하 62도(211 K)에 불과합니다. 가장 작은 헬륨의 끓는점은 영하 269도(4 K)로 더 낮죠. 일반적인 압력에서 아무리 온도를 낮춰도 헬륨을 고체로 만들 수 없습니다.

이렇게 낮은 끓는점으로 인해 액화된 비활성 기체 원소들은 극초저온 냉매제로 사용됩니다. 특히 액체 헬륨은 초전도 자석을 냉각하는 데 주로 사용되며, 전체 헬륨 생산량의 약 20% 이상이 영상의학에서 필수불가결한 장치 중 하나인 자기공명영상(MRI) 장치의 자석을 냉각하는 데 쓰입니다. 헬륨만큼 낮은 온도까지 도달하진 못하지만, 액화 네온도 우수한 냉장 용량을 가진 냉매제입니다.

앞서 언급했듯이, 비활성 기체의 낮은 반응성은 산업적 효용성 측면에서 다른 기체들과 차별되는 매우 유용한 특징입니다. 헬륨은 풍선, 기구, 비행선 등을 띄우기 위한 부양용 기체로, 그리고 기체의 확산속도가 중요한 기체크로마토그래피에서 물질을 운반하는 기체로 주로 사용됩니다. 물론 수소기체가 헬륨보다 더 가볍고 확산속도도 빠르지만, 수소기체의 높은 폭발성 때문에 반응성이 낮고 안정한 헬륨이 더 많이 쓰입니다.

또한 비활성 기체 원소의 낮은 반응성은 산소가 없는 주변 환경을 만드는 데 유용합니다. 예를 들어 현재 가장 많이 쓰이는 용접법인 가스 텅스텐 아크 용접(GTAW·gas tungsten arc welding)에서는 공기 중 산화를 방지하기

네온(Ne)

비활성 기체 중 반응성이 가장 낮은 원소. 어떤 물질과도 화학반응을 일으키지 않는다. 무색무취무미하며 공기보다 가볍다. 비활성 기체는 저압방전 시 다양한 색의 빛을 내는데, 네온은 붉은색을 낸다. 헬륨과 혼합해 만든 헬륨-네온 레이저는 레이저 포인터, 광디스크 기록, 의료용 레이저 등에 활용된다.



위해 헬륨이나 아르곤을 보호가스(shield gas)로 사용합니다. 그래서 이 용접법을 텅스텐 비활성 기체(TIG-tungsten inert gas) 용접이라 부르기도 합니다. 또 역사적으로 중요한 고문서의 산화를 방지하기 위해 고문서를 아르곤 환경에 보관하기도 합니다.

제논은 마취제나 조영제로 사용되는데, 제논의 낮은 반응성 덕분에 인체에 부작용이 적다는 장점을 갖고 있습니다. 단점은 아직 너무 비싸서 사용이 제한적입니다. 아르곤은 백열등 전구에 질소와 함께 채우면 필라멘트가 끊어지는 것을 지연시킬 수 있습니다. 크립톤은 아르곤보다 전구의 수명과 효율을 향상시키는 효과가 더 우수하며, 할로젠 램프에도 사용됩니다.

비활성 기체는 그 자체로도 다양한 빛을 내 훌륭한 광원이 됩니다. 일명 ‘네온사인’이라 불리는 기체 방전 램프에 네온뿐만 아니라 다양한 비활성 기체의 혼합물을 주입하면 여러 가지 색깔의 빛을 낼 수 있습니다. 크립톤 램프는 아주 밝은 흰색 빛을 내 공항 활주로의 표시등으로 사용됩니다. 제논 램프도 다른 비활성 기체에 비해 훨씬 밝은 빛을 내기 때문에 자동차 전조등, 카메라 플래시, 영화 영사기 램프, 내시경의 광원 등 고강도 램프로 사용됩니다.

비활성 기체나 비활성 기체와 할로젠 원소를 섞은 혼합물은 레이저의 매질로도 사용됩니다. 헬륨과 네온이 혼합된 헬륨-네온 레이저는 붉은 빛을 내며 레이저 포인터, 광디스크 기록, 의료용 레이저 등 다양한 분야에 활용됩니다. 청록색 빛을 내는 아르곤 레이저는 가장 강력한 가시광선 영역의 레이저로 레이저 쇼, 피부 치료를 위한 레이저 시술 등에 쓰입니다. 비활성 기체 원소와 할로젠 원소를 섞은 엑시머(excimer·뜯뜯 전자에너지 준위에서 생성된 이합체) 레이저는 주로 집적회로를 매우 얇게 깎아내는 공정이나 안과 수술에 사용됩니다.

단열 효과 내는 아르곤, 핵 실험 감지하는 크립톤

지금까지는 비활성 기체 원소들의 공통된 특징을 바탕으로 산업 현장에서 어떻게 응용되는지를 살펴봤는데요. 비활성 기체 원소들이 각각의 개성을 살려 산업 현장에서 활용되는 경우도 많습니다.

먼저 비활성 기체 원소 중 물과 지질에 대한 용해도가 특히 낮은 헬륨은 스쿠버다이빙 같은 높은 압력조건에서 질소기체를 대체하는 호흡기체로 사용합니다. 질소기체는 다이버가 수면으로 올라와 압력이 급격히 낮아질 때 폐를 통하지 않고 혈관에서 바로 기체 방울로 나와 잠수병을 유발하지만, 헬륨은 이런 현상을 일으키지 않습니다.

열전도율이 매우 낮은 아르곤은 이중창 유리 사이에 채우면 탁월한 단열 효과를 냅니다. 그리고 크립톤과 제논의 방사성 핵종인 ^{85}Kr 과 ^{135}Xe 은 핵분열 시 대기 중으로 방출되는 핵종으로, 핵 실험 감지에 활용됩니다. 제논은 인공위성이 우주에서 궤도를 유지할 수 있도록 돕는 이온 추진 엔진의 추진제로도 활용됩니다.

자연계에 존재하는 가장 무거운 비활성 기체 원소인 라돈은 앞서 언급했던 다섯 비활성 기체 원소들과 전혀 다른 측면에서 중요합니다. 라돈은 방사성 원소 중 유일하게 기체로 존재하며 공기보다 훨씬 무거워 환기가 안 되는 곳에 쉽게 쌓일 수 있습니다. 호흡 과정에서 인체에 유입될 가능성이 높죠. 현재 폐암을 일으키는 1급 발암물질로 규정돼 있습니다.

라돈은 우라늄 붕괴로 생성돼 자연계 어디에나 존재하긴 하지만, 절대 일부러 사용해서는 안 됩니다. 최근 우리나라에서 일명 '라돈 침대' 사고가 있었는데, 이는 라돈을 발생시키는 모나자이트(monazite) 광물 가루를 침대에 사용했기 때문입니다. 단순히 음이온이 몸에 좋다는 비과학적인

생각으로 모나자이트 돌가루를 사용했다가 발생한 황당한 사고였습니다.

비활성 기체 원소의 아버지, 윌리엄 램지 경

반응성이 매우 낮은 18족 비활성 기체 원소들은 다른 족 원소들에 비해 늦게 발견됐습니다. 이런 비활성 기체를 산업에 응용하기까지는 비활성 기체를 발견하고 그 특성을 밝혀낸 화학자들의 노력이 컸습니다. 특히 비활성 기체 원소들을 얘기할 때 우리가 꼭 기억해야 할 사람이 영국의 화학자 윌리엄 램지 경(Sir William Ramsay)입니다. '공기 중 비활성 기체 원소의 발견과 이 원소들의 주기율표상 위치 결정'의 공로로 1904년 노벨화학상을 수상한 분이죠.

램지 경은 1894년 아르곤의 존재를 발견했습니다. 존 레일리 남작(Lord Rayleigh)이 공기 중 질소와 화학적으로 생성된 질소 사이의 밀도 차이를 발견해내자, 램지 경은 그와 함께 공기 중 질소를 제거하고 남은 기체를 분광분석해 아르곤을 찾아냈습니다.

램지 경은 헬륨을 처음으로 발견한 사람은 아니었지만, 우라늄 광물의 일종인 클레베석으로부터 헬륨을 분리해내 지구 지각에 존재하는 헬륨의 실체를 밝혔습니다. 또한 헬륨과 아르곤의 원자량 차이가 큰 것을 인지하고, 이 두 원소 사이에 같은 성질의 다른 원소가 존재할 것이라는 아이디어를 냈습니다. 이에 램지 경은 그의 조수와 액체 공기 분별증류 실험을 통해 네온을 발견합니다. 같은 방법으로 아르곤보다 무거운 비활성 기체 원소 크립톤과 제논도 발견하죠.

램지 경은 방사성 원소 라듐이 붕괴하면서 나온 기체가 다른 비활성 기체 원소와 비슷한 스펙트럼을 갖는다는 점에 착안해 이 기체가 비활성 기

체 원소임을 확인하고 ‘니톤(Ni)’이라 명명했습니다. 이 원소가 오늘날 라돈이라 불리는 원소입니다. 이렇게 비활성 기체 원소 4개를 직접 발견하고 나머지 두 원소의 발견에도 깊이 관여한 램지 경은 명실상부 ‘비활성 기체 원소의 아버지’라 할 수 있습니다.

A black speech bubble containing a white letter 'Q'.

오비탈 이름은
어떻게 정했나요?

25