

문제는 이런 수소 핵융합 반응이 태양과 같은 매우 높은 온도와 압력 조건에서만 일어난다는 점입니다. 지구상에 상온 상압으로 존재하는 수소들이 서로 부딪히며 핵융합 반응을 일으킬 리는 만무하죠. 팔라듐을 원료로 한 아크 리액터가 실현되기 위해서는 실내온도(상온)에서 핵융합 발전을 일으키는 ‘상온 핵융합(Cold fusion)’ 기술이 뒷받침돼야 합니다.

상온 핵융합이 가능할까요? 여기에 대한 생각은 과학자들마다 다르지만 상온 핵융합 연구는 전 세계적으로 꾸준히 진행되고 있습니다. 1989년에는 미국 유타대 연구팀이 팔라듐을 이용해 상온 핵융합 실험에 성공했다는 사실을 전 세계 언론에 발표했습니다. 연구팀은 중수(D₂O)에 팔라듐으로 구성된 전극을 넣고 전류를 흘려보내 전기분해로 중수소(²H) 분자를 발생시키는 실험에서 상온 핵융합 반응이 일어나 며칠 동안 용액의 온도가 상승한 채로 유지됐다고 주장했습니다. 하지만 다른 연구자들이 실험을 재현했을 때 같은 결과가 나오지 않아 해프닝으로 끝났죠.

그해 북한 김일성종합대에서도 백금과 팔라듐 전극으로 중수를 전기분해 해서 상온 핵융합에 성공했다고 보도했으나 역시 검증에 실패했습니다. 이후로도 상온 핵융합에 대한 여러 시도가 이어졌지만 수소와 헬륨 같은 가벼운 원소를 융합하려는 연구가 주를 이뤘습니다.

결론적으로 팔라듐을 사용해 소형 원자로를 구현하는 것은 현재 기술로는 불가능합니다. 아주 소량 존재하는 방사성 팔라듐(¹⁰⁵Pd)을 통해 에너지를 얻을 수는 있으나, 원자로를 제작하고 발전시키는 목적이 적은 비용으로 많은 에너지를 얻기 위함임을 고려할 때, 현실적으로 의미가 없습니다. 이쯤되면 아이언맨 시나리오를 쓴 작가에게 물어보고 싶어집니다. 왜 팔라듐인지, 왜 하필 핵반응과 관계없는 화학 분야 최고의 촉매 원소를 골랐는지 말입니다.

Q

수소와 산소로
물을 만들어
쓸 수 있을까요?

23

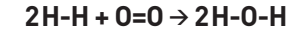


차상원 교수가 답하다

물(H₂O)은 지구상에 가장 풍부한 액체 상태 화합물 중 하나입니다. 지구 생명체가 생명현상을 영위하는 데 필수 불가결한 물질이죠. 그럼에도 지구 인구의 약 10%에 이르는 약 7억8000만 명은 제대로 된 식수를 공급받지 못하고, 이중 1억4000만 명은 지표수에 의존해 식수를 해결하고 있습니다. 그들에게 수소와 산소로 물을 '생산'해 공급할 수는 없을까요?

수소와 산소가 만나면 폭발한다?

참으로 훌륭한 아이디어이지만 현실적으로 어렵습니다. 수소와 산소로 물을 직접 생산하지 않는 가장 큰 이유는 수소기체의 폭발성 때문입니다. 수소기체의 연소반응에서는 다음과 같이 두 개의 수소 분자와 하나의 산소 분자가 결합해 두 개의 물 분자를 생성합니다.



수소기체와 산소기체를 단순히 섞는다고 해서 위의 반응이 일어나지는 않습니다. 하지만 작은 불꽃같은 에너지를 주면 수소가 원자 상태로 바뀌면서 산소와 폭발적으로 반응하게 됩니다. 위의 반응을 보면, 2개의 H-H 결합과 1개의 O=O 결합이 끊어지고, 4개의 O-H 결합이 생성됩니다. 결합을 끊기 위해서는 에너지가 필요하고, 결합이 생성될 때는 에너지가 방출됩니다. 전자를 쉽게 내어주는 수소와 전자에 대한 욕심이 많은 산소와의 결합이기 때문에, 생성되는 O-H 결합은 매우 안정합니다.

다르게 표현하면, 수소 원자와 산소 원자가 만나 O-H 결합을 형성할 때 많은 에너지가 방출됩니다. 2개의 수소 분자와 1개의 산소 분자의 모든 결합을 끊는데 필요한 에너지는 안정한 4개의 O-H 결합이 생성될 때 방출되는 에너지 보다 훨씬 적기 때문에 반응 시 열이 발산되며, 이러한 반응을 발열반응이라고 합니다. 발생한 열은 다른 수소 분자의 결합을 끊어 수소를 원자 상태로 바꾸며, 이 수소 원자들이 다시 연쇄적으로 폭발적인 반응을 일으키게 됩니다. 따라서 식수를 생산할 정도로 큰 규모로 수소기체와 산소기체를 반응시키는 것은 매우 위험합니다.

또 다른 이유로 식수를 생산할 정도로 많은 양의 수소기체를 저장할 공간을 구축하는 것도 결코 쉽지 않습니다. 물론 수소기체를 고압용기에 저장하면 부피를 줄일 수 있습니다. 수소 자동차의 50L 정도 되는 수소연료탱크는 700기압까지 견딜 수 있도록 탄소섬유를 이용해 제작합니다. 하지만 이 정도의 압력을 견디는 대용량 저장탱크를 제작하는 것은 기술적, 비용적인 면에서 아직 한계가 있습니다. 또한 실제 기체는 압력에 비례해 부피가 줄어드는 데 한계가 있습니다. 기체 분자간 상호작용이 없다고 가

정하는 이상기체와 달리, 실제 기체분자들은 압력이 매우 높은 상태에서 상호작용을 하고, 이를 무시할 수 없기 때문입니다.

우주에 가장 많은 수소, 그러나 대기엔 희박해

위에서 언급한 수소기체의 폭발성 문제나 저장 문제 등을 모두 해결한다고 하더라도, 더욱 근본적이고 현실적인 문제점이 남아있습니다. 바로 수소기체를 어떻게 확보해 공급할 것인가 하는 문제입니다. 산소기체는 대기의 약 21%를 차지할 정도로 지구상에 풍부하게 존재하기 때문에 공급을 걱정할 필요가 없습니다. 하지만 수소기체는 지구의 중력에 의해 잡혀 있을 수 없을 정도로 매우 가볍기 때문에 지구 대기에 매우 희박하게 존재합니다. 수소는 우주에 가장 풍부하게 존재하는 원소임에도 불구하고 수소기체는 지구 대기의 약 0.00005%에 불과합니다. 따라서 우리는 암모니아 제조나 석유 정제 제품에서 황(S)을 제거하는 공정을 위해서나, 수소연료전지의 연료로 사용하기 위해서 수소기체를 생산하고 있습니다.

수소기체를 생산하는 방법은 여러 가지이나 산업적으로 활용되는 방법은 크게 세 가지입니다. 석유화학 제조 공정에서 발생하는 부생가스에서 수소기체를 분리하는 방법과 천연가스나 화석연료에 고압의 뜨거운 수증기를 가해 수소기체를 발생시키는 방법, 그리고 물을 전기분해 해서 얻는 방법입니다. 세계적으로는 가장 경제적인 방법인 천연가스와 수증기를 이용한 방법을 주로 사용하며, 이것이 수소 생산의 약 절반을 차지하고 있습니다. 반면, 석유화학 산업이 발달한 우리나라에서는 전체 생산량의 95%를 부생가스로 생산하고 있습니다. 물을 전기분해 해서 수소를 생산하는 방식은 전 세계 생산량의 4%에 불과합니다.



물(H₂O)

생명을 유지하는 데 없어서는 안 되는 물질. 두 개의 수소 원자와, 하나의 산소 원자가 공유결합 한 물질이다. 물 분자는 극성을 띠고 있어 전하를 띠고 있는 이온성 물질과 극성 물질을 잘 녹인다. 표준 온도와 압력에서 무색투명하고 무미무취하다. 지표면의 70%를 덮고 있을 만큼 지구상에 풍부하다.

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.



비활성 기체가
실생활에 어떻게
쓰이나요?

24