



곽찬우 경남 영양중 1  
김호연 광주 유촌초 6  
조현우 경기 청명중 1

# 미래 자동차의 연료는 수소가 될까요

A



석원경 교수가 답하다

오늘날 우리가 배출하는 온실가스의 14%가량이 수송 분야에서 발생합니다. 휘발유와 경유, 액화천연가스(LNG), 압축천연가스(CNG) 등의 화석연료를 사용하는 자동차가 기후변화의 주범으로 알려진 것도 그런 이유 때문입니다. 탄소 중립 달성을 위해 온실가스 배출량을 줄려면 화석연료를 사용하지 않는 새로운 자동차의 개발이 절실하게 필요합니다.

이런 관점에서 수소는 매력적인 에너지원으로 보입니다. 수소를 연소시키면 순수한 물이 만들어지고, 다른 오염 물질이 발생하지 않습니다. 수소가 같은 질량의 석유보다 3배나 많은 에너지를 가지고 있는 것도 장점이죠. 그래서 수소가 청정에너지라는 주장이 상당한 설득력을 얻고 있습니다. 수소를 연료로 사용하는 ‘수소 전기차(수소차)’ 역시 환경을 오염시키지 않는 친환경 자동차로 꼽힙니다.

하지만 문제가 있습니다. 아직 수소를 마음 놓고 사용할 수 있는 수준의

기술을 확보하지 못했습니다. 수소차는 여전히 더 많은 연구와 투자가 필요한 미래의 자동차라는 뜻입니다. 특히 수소를 생산·운반·저장하는 일이 생각처럼 쉽지 않습니다. 무엇보다, 수소는 자연에서 쉽게 채취할 수 있는 1차 에너지원이 아닙니다. 수소를 생산하려면 상당한 양의 화석연료나 전기를 사용해야 합니다. 수소차가 도로 위를 가득 채우려면 여러 가지 도전적인 문제를 해결해야만 합니다.

## 수소가 자동차를 달리게 하는 방법

국내 자동차 기업이 생산하는 수소차는 ‘연료전지 전기자동차(FCEV, fuel cell electric vehicle)’입니다. 연료전지에서 생산한 전기로 직접 모터를 구동하는 것은 아닙니다. 연료전지의 출력을 실시간으로 정교하게 조절할 수 없기 때문입니다. 그래서 연료전지 전기자동차도 일반 전기 자동차(EV, electric vehicle)와 마찬가지로 리튬 이온 배터리를 사용합니다. 연료전지로 배터리를 충전하고, 배터리의 전기를 이용해 자동차의 모터를 구동시킵니다.

연료전지의 구조와 작동 원리는 비교적 간단합니다. 전해질 용액에 불어넣은 수소( $H_2$ )가 산화 전극(anode)의 표면에서 수소 양이온( $H^+$ )으로 산화되면서 전자가 방출됩니다. 전자는 전기 회로를 통해서 환원 전극(cathode)으로 전달되어서 산소( $O_2$ )를 산소 음이온( $O^{2-}$ )으로 환원시킵니다. 이런 과정은 환원 전극에서 산화 전극으로 전류가 흐르게 만들죠. 그리고 전해질에서는 수소 양이온과 산소 음이온이 화학적으로 반응해서 물( $H_2O$ )이 만들어지게 됩니다.

연료전지의 성능은 산화 전극과 환원 전극으로 사용하는 금속과 전해질을 구분해주는 분리막에 의해 결정됩니다. 성능이 뛰어난 전극 물질과 분





H<sub>2</sub> HYDROGEN POWER  
CLEAN ENERGY OF THE FUTURE

리막, 그리고 효율적인 전해질을 개발하는 것이 화학적으로 중요한 과제입니다. 흔들리는 자동차에 사용하기 어려운 액체 전해질 대신 고체 상태인 고분자 전해질도 개발하고 있습니다.

연료전지의 효율은 최대 60% 수준입니다. 연료전지로 얻은 전기를 이용해서 모터를 구동하는 효율은 75%를 넘지 못합니다. 결국 수소 연료전지 전기자동차의 효율은 일반 전기자동차의 45%를 넘기 어렵다는 의미입니다. 연비에 신경을 쓰는 소비자에게는 상당히 실망스러운 것도 사실입니다.

수소가 부피가 큰 기체라는 사실도 걸림돌입니다. 충분한 양의 수소를 쓰려면 높은 압력이 필요합니다. 현재 판매되는 수소차는 700기압의 연료 탱크를 사용합니다. 수소 충전소에서도 같은 압력으로 수소를 공급해야 합니다. CNG 버스의 연료 탱크에서 사용하는 200기압보다도 3.5배나 더 높은 압력입니다. 여기에 폭발 위험을 줄이기 위해서는 탄소 섬유로 특수 제작한 연료 탱크를 사용해야만 합니다.

효율이 만족스럽지 않은 연료전지 대신 수소를 직접 연소시키는 내연기관을 사용하는 자동차도 가능합니다. 그동안 사용해 왔던 화석연료 자동차의 기술을 적극적으로 활용할 수 있다는 것이 장점입니다. 실린더에 기체 상태의 수소와 적절한 양의 공기를 넣은 후에 점화 플러그를 이용해서 폭발시키면 내연기관이 작동하게 됩니다.

문제는 내연기관 온도입니다. 내연기관은 연료가 연소할 때 온도가 높을수록 연비가 좋아집니다. 그런데 연소 온도가 높아지면 공기 중의 질소가 산화돼 질소 산화물(NOx)이 만들어집니다. 결국 수소 내연기관차는 오염 물질 배출량을 줄이기 위해서 더 낮은 온도에서 연소가 일어나도록 만들 수밖에 없습니다. 수소 내연기관 자동차를 찾아보기 어려운 것도 그런

이유 때문입니다.

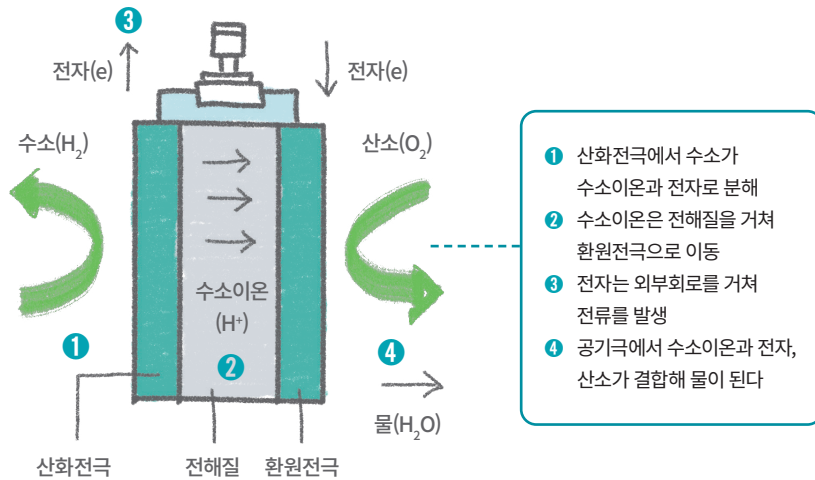
## 친환경 수소를 만드는 데 필요한 기술

수소는 세상에서 가장 먼저 만들어진 원소이자 가장 가벼운 원소입니다. 우주의 75%가 수소입니다. 그렇다고 수소가 우주에 지천으로 널려 있는 것은 아닙니다. 대부분 수소는 태양과 같은 항성에 집중적으로 모여 있습니다. 태양까지의 거리는 빛의 속도로도 8분 30초가 걸릴 정도로 멀지요. 더욱이 태양 표면의 온도 6000°C를 넘을 정도로 뜨겁습니다. 결국, 우주에 있는 수소는 우리에게 그림의 떡일 수밖에 없습니다.

물론 수소는 지구상에서도 10번째로 흔한 원소입니다. 지구에도 적지 않은 양의 수소가 있다는 뜻입니다. 그런데 순수한 원소 상태의 수소는 기체로 존재하고, 너무 가벼워 우주 공간으로 모두 빠져나가 버렸습니다. 지구에 남아있는 수소는 대부분 탄소와 결합한 탄화 수소( $C_nH_m$ ), 질소와 결합한 암모니아( $NH_3$ ), 산소와 결합한 물( $H_2O$ )과 같은 화합물로 존재합니다. 수소를 연료로 사용하려면 화합물로부터 수소를 떼어내야만 합니다. 상당한 에너지가 필요합니다.

수소차의 연료로 사용하는 수소를 생산하는 방법은 크게 세 가지가 있습니다. 첫째는 정유공장의 증류 공정이나 제철공장의 코크스 생산 공정에서 부산물로 얻어지는 부생 수소(by-product hydrogen)입니다. 생산과정에서 많은 양의 온실가스가 발생하기 때문에 수소의 친환경 이미지와는 어울리지 않는 ‘그레이 수소(grey hydrogen)’라고 부르기도 합니다. 생산량이 제한적인 부생 수소는 대부분 암모니아를 합성하는 비료공장이나 정밀화학 제품 생산에 활용되는 수소화 공정에서 소비되기 때문에 수소차에 사용





하기는 어렵습니다.

천연가스의 주성분인 메테인에서 뜨거운 수증기를 이용해 수소를 추출하는 ‘개질 수소(reformed hydrogen)’ 또는 ‘추출 수소(extracted hydrogen)’도 있습니다. 뜨거운 수증기를 만들기 위해 석탄이나 천연가스를 사용하기 때문에 ‘브라운 수소(brown hydrogen)’라고 부르기도 합니다. 우리나라의 수소 충전소는 대부분 개질 수소를 사용하고 있습니다.

물을 전기분해해서 수소를 생산할 수도 있습니다. 흔히 ‘수전해 수소(water electrolysis hydrogen)’라고 부릅니다. 상온에서 염기성 전해질을 사용하는 ‘알칼리 전기분해’ 방식도 있고, 섭씨 700도 이상의 고온에서 ‘양성자 교환 막’이나 ‘고체 산화물 전기분해’를 사용하는 방식도 있습니다. 온실가스 배출량이 가장 적어 ‘그린 수소(green hydrogen)’라는 이름이 붙습니다. 하지만 이런 방식들은 여전히 큰 비용과 막대한 양의 전력이 필요한 상황입니다.

기체 상태의 수소를 운반 및 저장하는 일도 쉽지 않습니다. 특히 공기와

혼합돼 수소의 농도가 4~75%의 범위가 되면 정전기와 같은 작은 불씨에 의해서도 폭발이 일어나게 됩니다. 수소를 액화시키면 부피가 800분의 1로 줄어 운반과 저장이 쉽습니다. 그러나 수소는 임계온도가 33K(영하 약 240°C)로 액화가 쉽지 않습니다. 헬륨을 냉매로 사용하는 고성능 냉동기가 필요하고, 단열에도 많은 신경을 써야 합니다. 수소를 팔라듐과 같은 금속의 틈새에 저장하는 기술도 개발하고 있지만, 수소 저장에 사용할 수 있는 금속은 가격이 매우 비싸다는 단점이 있습니다.

수소차가 여러 가지 장점이 있는 것은 사실입니다. 그러나 수소의 생산·운반·저장에 필요한 여러 가지 화학적 기술이 여전히 개발돼야 하는 상황입니다. 이를 위해 수많은 과학자와 공학자가 다양한 방식으로 한계를 극복하려 노력하고 있습니다. 머지않아 수소차가 도로 위를 가득 채울 날을 기다려볼 수 있을 것 같습니다.