

# “구조와 공정은 단순하게, 성능과 수명은 더 강력하게” GIST, 저비용·고효율 차세대 수소 생산 전극 개발

- GIST 환경·에너지공학과 주종훈 교수팀·건국대 이장용 교수팀·화학연 김성준 박사팀 공동연구... 촉매물질 전달 가능 통합한 비귀금속 다공성 전극 설계로 고전류 환경에서도 높은 효율·내구성 구현
- 2,142시간 연속 구동 안정성 입증... 국제학술지 《Nature Communications》 게재



▲ (왼쪽부터) GIST 환경·에너지공학과 주종훈 교수, 김혜리 박사(애경케미칼 중앙연구소 연구원), 한국화학연구원 김성준 박사, 신상훈 연구원, 건국대학교 화학공학부 이장용 교수

광주과학기술원(GIST·지스트, 총장 임기철)은 환경·에너지공학과 주종훈 교수 연구팀이 건국대학교 이장용 교수 연구팀, 한국화학연구원 김성준 박사 연구팀과 공동으로 차세대 그린수소 생산 장치의 성능과 내구성을 높일 수 있는 ‘일체형 비귀금속 다공성 전극’을 개발했다고 밝혔다.

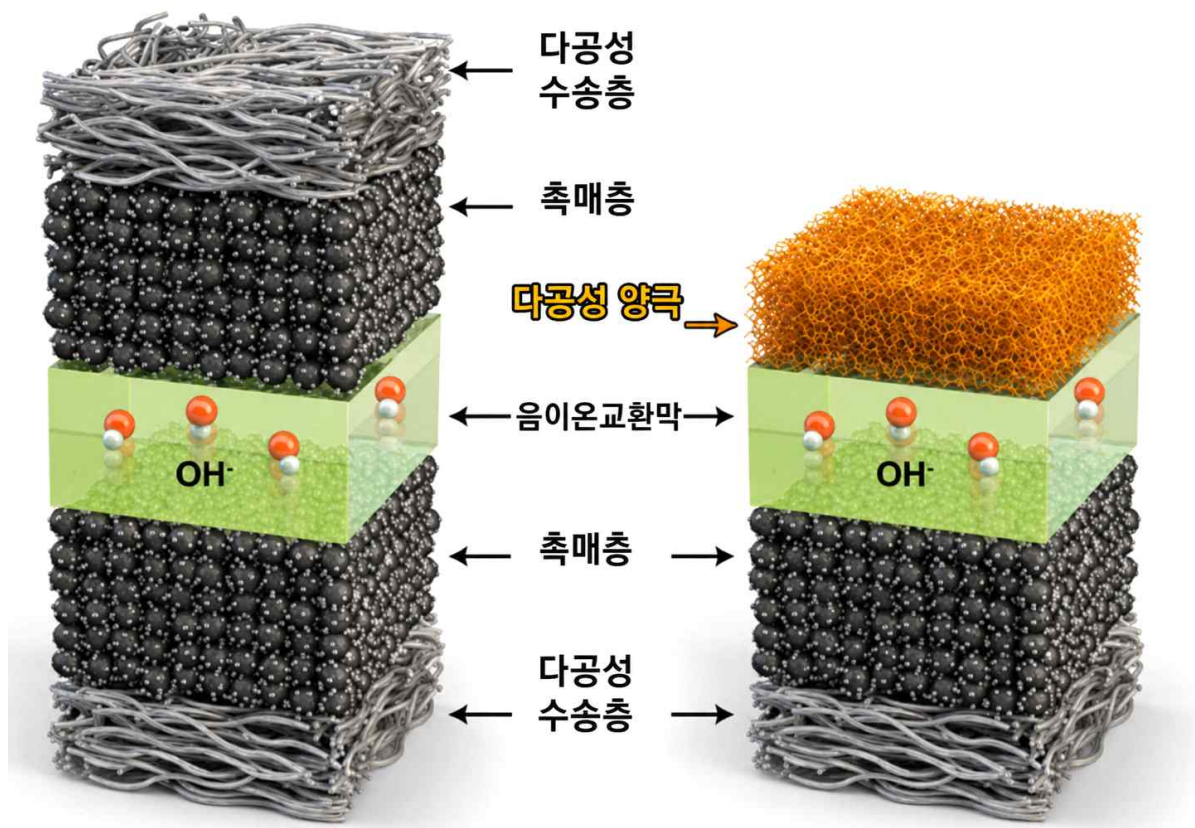
이번에 개발한 전극은 수소 생산 과정에서 산소 발생 반응을 담당하는 촉매 기능과 물·기체 이동을 돕는 전달 기능을 하나의 구조로 통합한 것이 특징이다.

연구팀은 이를 통해 전극 내부의 전기 저항을 줄이고 물 공급과 산소 배출을 원활하게 만들어, 고전류 환경에서도 높은 수소 생산 효율과 장시간 안정성을 구현했다.

최근 탄소중립 실현을 위한 핵심 기술로 ‘그린수소’가 주목받고 있다. 그린수소는 물을 전기로 분해해 생산하는 친환경 수소로, 생산 과정에서 탄소를 배출하지 않는다.

특히 ‘음이온교환막 수전해(AEMWE)\*’는 값비싼 백금족 귀금속 대신 니켈(Ni)·철(Fe)과 같은 저렴한 금속 촉매를 사용할 수 있어 차세대 수소 생산 기술로 주목받고 있다. 그러나 기존 전극은 여러 층을 겹쳐 만드는 구조여서 전기 저항이 발생하고, 장시간 구동 시 촉매층이 떨어지거나 물과 산소의 이동이 원활하지 않은 한계가 있었다.

\* 음이온교환막 수전해(Anion Exchange Membrane Water Electrolysis): 알칼라인 환경에서 음이온 교환막을 이용해 물을 수소와 산소로 분해하는 수전해 기술이다. 백금족 귀금속 사용을 줄이면서도 고성능 수소 생산이 가능해 차세대 대용량 그린수소 생산 기술로 평가된다.



▲ 기존 전극 구조와 본 연구에서 개발한 일체형 니켈-철 기반 다공성 전극의 비교 모식도. 기존 구조는 촉매층과 다공성 수송층이 분리되어 있는 반면 개발 전극은 촉매 기능과 물·기체 전달 기능을 하나의 다공성 양극 구조에 통합해 막-전극 계면 저항을 낮추고 물 공급 및 산소 배출을 향상시킨다.

연구팀은 이러한 문제를 해결하기 위해 니켈-철 합금 기반의 다공성 전극 (NiFe-f-PTL)을 새롭게 설계했다. 이 전극은 미세한 구멍이 있는 다공성 구조 자체가 촉매와 전달층 역할을 동시에 수행하도록 제작됐다.

이를 통해 기존 전극에 필요했던 별도의 촉매층과 이오노머(ionomer)를 사용하지 않고도 전극과 막 사이의 전기 손실을 줄였으며, 물 공급과 산소 기포 배출 성능을 향상시켰다. 또한 전극 구조의 안정성을 높여 장시간 사용에도 성능 저하를 최소화할 수 있었다.

연구팀은 비교적 단순한 '테이프 캐스팅(tape casting)' 공정\*을 활용해 전극을 제작했다. 금속 분말을 얇은 시트 형태로 만든 뒤 열처리 과정을 거쳐 스펀지처럼 미세한 구멍이 많은 다공성 구조를 형성했다.

이 방식은 전극 두께와 기공 구조를 균일하게 조절할 수 있어 향후 대면적·대량 생산에도 유리하다.

\* 테이프 캐스팅(tape casting) 공정: 금속·세라믹 분말이 포함된 슬러리를 평평한 기판 위에 얇게 펼쳐 균일한 두께의 시트를 만드는 공정이다. 대면적의 얇고 균일한 다공성 전극을 비교적 간단하고 경제적으로 제작할 수 있어 전극 및 배터리 소재 제조에 널리 사용된다.

연구팀은 실제 음이온교환막 수전해 셀(cell)에서 새 전극의 성능을 검증했다.

그 결과 높은 온도와 강한 알칼리 환경에서도 많은 양의 수소를 안정적으로 생산할 수 있음을 확인했다. 실제 수전해 장치의 운전 조건에 가까운 80°C·1.0몰(M) 수산화칼륨(KOH) 환경에서 1.8볼트(V) 기준 6.73암페어(A/cm<sup>2</sup>)의 높은 전류밀도를 기록했다.

또한 동일한 전극을 교체하지 않은 상태에서 총 2,142시간 동안 연속 구동한 시험에서도 구조와 성능이 안정적으로 유지되는 것을 확인했다. 연구팀은 이를 통해 새 전극이 알칼리 환경에서도 높은 내구성을 유지하며 장기간 안정적으로 작동할 수 있음을 입증했다.

이번 연구는 차세대 대용량 그린수소 생산 시스템의 핵심 기술로 활용돼 고효율·저비용 수소 생산 장치 개발에 기여할 것으로 기대된다.

특히 촉매와 물질 전달 기능을 하나의 구조로 통합한 설계를 통해 전극 성능과 내구성을 동시에 향상시켰다는 점에서 의미가 크다.

주종훈 교수는 "이번 연구는 전극의 촉매 성능뿐 아니라 물과 기체가 이동하는 과정, 그리고 막과 전극 사이의 접촉 구조까지 함께 고려해 설계해야 실제 수전해 장치의 성능을 높일 수 있다는 것을 보여준 결과"라며, "일체형 다공성 전극은 효율이 높고 오래 사용할 수 있는 차세대 그린수소 생산 시스템의 핵심 기술로 활용될 수 있을 것"이라고 말했다.

GIST 환경·에너지공학과 주종훈 교수, 건국대학교 이장용 교수, 한국화학연구원 김성준 박사가 지도하고 GIST 김혜리 박사·한국화학연구원 신상훈 연구원이 제1저자로 수행한 이번 연구는 과학기술정보통신부·한국연구재단 선도연구센터지원사업, 나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받았다.

연구 결과는 국제학술지 《Nature Communications》에 2026년 5월 13일 온라인으로 게재됐다.

한편 GIST는 이번 연구 성과가 학술적 의의와 함께 산업적 응용 가능성까지 고려한 것으로, 기술이전 관련 협의는 기술사업화센터(hgmoon@gist.ac.kr)을 통해 진행할 수 있다고 밝혔다.

## 논문 정보

○ 논문명, 저자 정보

- 저널명 : Nature Communications (IF=15.7) (2025년 기준)
- 논문명 : Integrated Catalyst–Transport Nickel-Iron Porous Electrode for Anion Exchange Membrane Water Electrolysis
- 저자 정보 : 주종훈(교신저자, GIST),  
김혜리(공동제1저자, GIST),  
신상훈(공동제1저자, 한국화학연구원),  
이장용(공동교신저자, 건국대학교),  
김성준(공동교신저자, 한국화학연구원)