

“작동 중인 수소 에너지 장치 속 반응, 이제 볼 수 있다” GIST, 수소 생산·발전 장치 내부 반응 실시간 관찰 기술 개발

- 환경·에너지공학과 주종훈 교수팀, 수소 생산·연료전지 핵심 장치 ‘고체산화물 전기화학 셀’ 전극 반응 실시간 분석 성공
- 산소 이동과 전기화학 반응 동시 추적... 수소 에너지 장치 효율 향상 기대
- 에너지 분야 저명 국제학술지《Advanced Energy Materials》게재



▲ (왼쪽부터) GIST 주종훈 환경·에너지공학과 교수, GIST 김태윤 환경·에너지공학과 석·박사통합과정생, GIST 이진실 박사 졸업생(현 한국세라믹기술원 박사후연구원)

광주과학기술원(GIST·지스트, 총장 임기철)은 환경·에너지공학과 주종훈 교수 연구팀이 수소 생산과 발전에 활용되는 고온 에너지 장치 내부의 변화를 실시간으로 관찰할 수 있는 기술을 개발했다고 밝혔다.

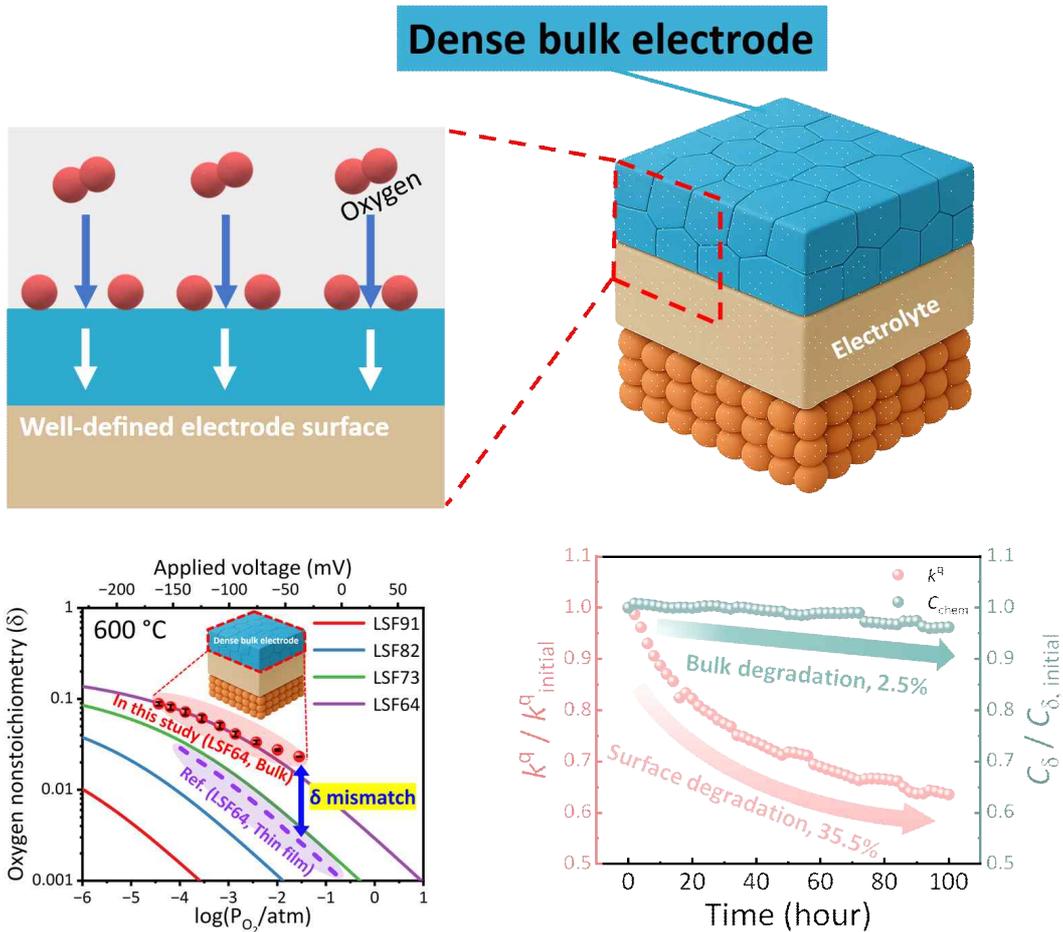
이 기술은 장치가 실제로 작동하는 동안 전극에서 일어나는 산소 이동과 전기화학 반응을 동시에 추적할 수 있어, 그동안 직접 확인하기 어려웠던 내부 반응을 실제 작동 환경에서 정밀하게 분석할 수 있다는 점에서 의미가 크다.

고체산화물 전기화학 셀(Solid Electrochemical Cell)*은 남는 전기로 물을 분해해 수소를 생산하고 저장한 뒤, 필요할 때 다시 전기를 생산할 수 있는 고효율 에너지 변환 장치다.

* 고체산화물 전기화학 셀(Solid Electrochemical Cell): 고온에서 작동하는 차세대 에너지 변환 장치로, 세라믹(고체 산화물) 전해질을 통해 산소 이온을 이동시키는 방식으로 작동한다. 하나의 기술 기반으로 수소 생산과 발전이 모두 가능해 고효율 청정에너지 기술로 평가받고 있다.

이 장치의 성능은 전극 내부에서 산소가 얼마나 원활하게 이동하고 반응하느냐에 따라 결정된다. 하지만 실제 전극은 스펀지처럼 미세한 구멍이 많은 다공성 구조로 이루어져 있어 내부에서 일어나는 화학 반응과 구조 변화를 직접 관찰하기 어렵다.

특히 장치가 실제로 작동하는 고온 환경에서는 전극 내부에서 일어나는 산소의 이동과 화학 반응을 정밀하게 측정하는 데 한계가 있었다.



▲ **고밀도 벌크(Bulk) 전극 모델 모식도와 전극 성능 실시간 분석도.** 고밀도 전극 모델 셀을 이용해 전극 표면의 산소 반응 속도와 내부 산소 농도를 실시간으로 측정했다. 이를 통해 전극 성능 변화를 정량적으로 분석하고, 시간이 지남에 따라 표면 반응이 약해지는 현상을 확인했다.

연구팀은 이러한 문제를 해결하기 위해 복잡한 다공성 전극 대신, 벽돌을 촘촘히 쌓은 것처럼 치밀한 구조의 전극 모델을 제작해 실제 작동 환경에서 전극 반응을 실시간으로 분석하는 새로운 실험 모델을 제시했다.

연구팀은 고체 전해질과 결합된 조밀하고 단단한 세라믹 전극을 제작해 전극 구조를 단순화했다. 이를 통해 전극 표면에서 일어나는 반응과 전극 내부의 산소 이동 현상을 분리해 관찰할 수 있는 환경을 마련했다.

또한 전극에 전압을 가해 실제 장치가 작동하는 상황을 재현하고, 이때 나타나는 전기 신호를 분석해 내부 변화를 실시간으로 추적함으로써 장치의 성능을 정확하고 종합적으로 평가할 수 있게 됐다.

특히 전극 내부 반응과 표면 반응을 분리해 분석할 수 있어 전극 성능 저하의 원인을 진단하는 데도 활용될 수 있다.

이번 연구는 향후 고체산화물 전기화학 셀의 전극 반응 메커니즘을 보다 정확하게 이해하고, 효율 향상과 내구성 개선 기술 개발에 활용될 것으로 기대된다.

특히 재생에너지로 생산한 전력을 저장하고 필요할 때 전기를 생산하는 친환경 수소 기반 에너지 시스템의 안정성과 효율을 높이는 데 기여할 것으로 전망된다.

나아가 전극을 오래 사용해도 성능이 오래 유지되는 청정에너지 설비 개발로 이어져 장기적으로는 전기요금 절감과 탄소배출 저감에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다.

주종훈 교수는 "구조를 단순화한 치밀한 전극을 통해 실제 작동 환경에서 전극 소재의 본질적인 특성을 실시간으로 들여다보듯 정밀하게 진단할 수 있는 분석 체계를 완성했다"며, "이 기술은 연료전지를 넘어 다양한 고온 전기화학 장치의 효율과 수명 개선에 폭넓게 활용될 수 있을 것"이라고 말했다.

GIST 환경·에너지공학과 주종훈 교수의 지도 아래 김태윤 석·박사통합과정생이 수행한 이번 연구는 산업통상자원부 소재부품기술개발사업, 과학기술정보통신부·한국연구재단 선도연구센터지원사업 및 수소국제공동연구사업(H2GATHER)의 지원을 받았다.

연구 결과는 에너지 분야 저명 국제학술지 《어드밴스드 에너지 머티리얼즈 (Advanced Energy Materials)》에 2026년 2월 17일 온라인으로 게재됐다.

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

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Advanced Energy Materials (IF=26) (2025년 기준)
- 논문명 : In situ Measurement of Oxygen Vacancy Dynamics and Surface Exchange Reactions in Oxide Electrode Under Solid Electrochemical Cell Operating Conditions
- 저자 정보 : 주종훈 (교신저자, GIST), 김태윤 (제1저자, GIST), 이진실 (공동저자, GIST), 박희정 (공동저자, 단국대학교), 유지행 (공동저자, 한국에너지기술연구원), José M. Serra (공동저자, Instituto de Tecnologia Quimica(ITQ))