(혁신도전형) 소재 혁신 양자시뮬레이터 개발사업

# 페로브스카이트 광전극과 니켈-코발트 전기촉매를 활용한 알칼리성 매질에서의 광전기화학적 수소 발생 반응

한양대학교 장윤정 교수

E yjang53@hanyang.ac.kr

전체 수전해 반응의 과전압을 줄이기 위한 니켈-코발트(NiCo) 전기촉매를 개발하고, 페로브스카이트(perovskite) 광전극과 결합하여 높은 광전류 밀도와 개시 전위를 달성하였다. 또한 산소 발생 반응의 느린 동역학을 극복하기 위해 하이드라진(hydrazine) 산화 반응을 도입하여 태양광을 통해 생성된 광전압만을 이용하여 수소 생산을 가능하게 함으로써 광전기화학적 수소 생산을 실현하였다.

## 연구 배경

광전기화학적 수소 생산 방법은 화석 연료에 대한 유망한 대안으로 떠오르고 있다. 기존의 수소 생산 방식이 화석연료, 바이오매스 및 공업 프로세스의 부산물로 발생하는 부생 가스를 개질·추출하는 것과 달리, 광전기화학적 수소 생산은 태양 에너지를 직접 활용하여 수소를 생산한다. 이 접근 방식은 재생 가능 에너지원인 태양광을 이용함으로써 온실가스나 오염 물질을 배출하지 않고 녹색 수소를 저가로 생산할 수 있어, 탄소 중립 실현을 위한 중요한 기술로 평가받고 있다.

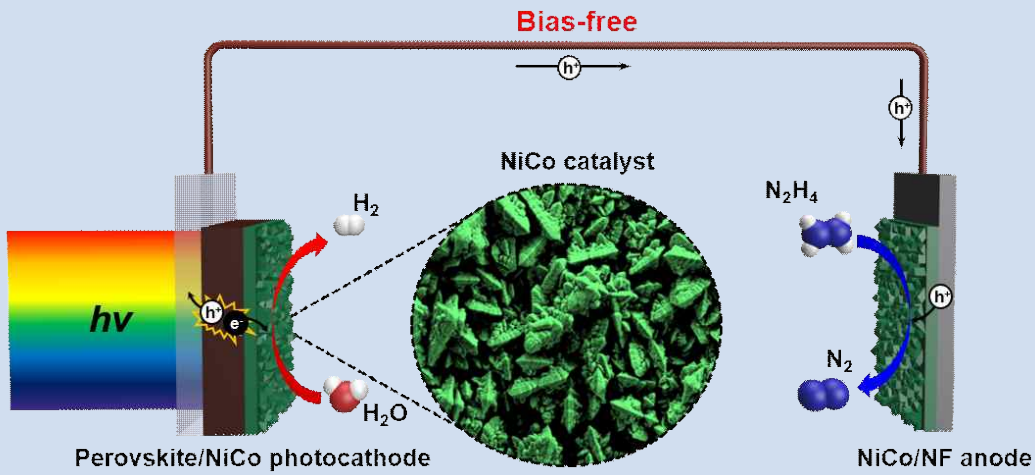
그러나 이러한 중요성에도 불구하고 광전기화학적 수소 생산 시스템은 아직 미국 에너지부(department of energy, DOE)에서 제시한 상용화 목표인 태양광-수소 전환효율(solar-to-hydrogen efficiency, STH) 25%에 도달하지 못한 상황으로, 기술 상용화를 위하여 지속적인 연구 개발이 필요하다.

## 연구 내용

본 연구는 광전기화학적 수소 생산을 위해 다음과 같은 연구 개발을 진행하였다. 첫째, 알칼리 전해액에서 산소 발생 반응과 수소 생산 반응에 적용 가능한 양반응성 니켈-코발트(NiCo) 전기촉매를 개발하여, 전체 수전해 시스템을 단순화하고 비귀금속계 촉매를 사용하여 경제적 이점을 확보하였다. 또한, 전체 수전해 반응의 과전압을 낮춤으로써 광전기화학적 수소 생산의 효율을 향상시켰다.

둘째, 높은 가시광이용율을 가진 페로브스카이트(perovskite) 기반의 광전극을 사용하여 높은 광전류 밀도와 개시 전위를 달성하였다. 페로브스카이트는 태양 전지 분야에서 각광받고 있는 소재로, 가시광 흡수에 이상적인 밴드갭을 갖고 있지만 수분에 매우 취약하다. 따라서 광전기화학적 수소 생산 반응에 사용하기 위해 금속 보호층으로 캡슐화하여 수계 환경에서의 안정성을 확보하였다.

셋째, 촉매 개발로도 완전히 해소되지 않았던 산소 발생 반응의 느린 동역학적 한계를 극복하기 위해, 하이드라진(hydrazine) 산화 반응을 도입하였다. 하이드라진은 산업에서 원료 물질로 많이 사용되며 이론적으로 산소 발생 반응보다 낮은 산화환원전위와 빠른 반응 속도를 가지고 있어 산소 발생 반응을 대체할 경우, 전체 수전해 반응의 과전압을 낮춰 태양광에 의해 생성된 광전압만으로 수소 생산이 가능하다.




알칼라인 수전해 촉매인 니켈-코발트(NiCo)와 페로브스카이트(perovskite) 광전극에서 생성된 광전압을 통해 외부 전압 없이 태양광만으로 수소를 생산하였다.

| 학회 | Photoelectrochemical Hydrogen evolution reaction in Alkaline media using Perovskite photocathode with NiCo catalyst(한국화학공학회, 2024, 우수 포스터 발표상 수상) |
|---|---|

## 차별성 및 우수성

광전기화학적 수전해 연구는 주로 광전극 개발에 집중되고 있지만, 본 연구는 전체 수전해 반응의 과전압을 효과적으로 줄이기 위해 촉매 개발에도 초점을 맞추어 연구를 확장하였다. 또한, 수소와 산소가 생산되는 기존의 수전해 반응과 달리 산소 발생 반응을 대체한 하이드라진 산화 반응 기반의 수전해를 통해 전체 수전해 반응의 과전압을 줄이고 반응 속도를 증가시켜 STH 29%를 달성하였다. 이를 통해 광전기화학적 수소 생산 시스템의 상용화 가능성을 입증하였다.

## 파급효과 및 활용계획

광전기화학적 수전해 연구는 오랫동안 미국 에너지부에서 제시한 상용화 목표를 달성하는 데 어려움을 겪었다. 그러나 본 연구에서는 광전극과 촉매 개발, 하이드라진을 이용한 수전해의 도입을 통해 기술 목표를 달성하며, 광전기화학적 수전해의 상용화 가능성을 입증하였다. 앞으로 광전기화학적 수소 생산 시스템의 지속적인 발전을 위해 고성능의 광전극 및 촉매 개발뿐만 아니라 전극의 대면적화, 단위 셀(unit cell) 연구 개발을 통해 상용화를 위한 새로운 단계로 나아갈 수 있을 것이다.