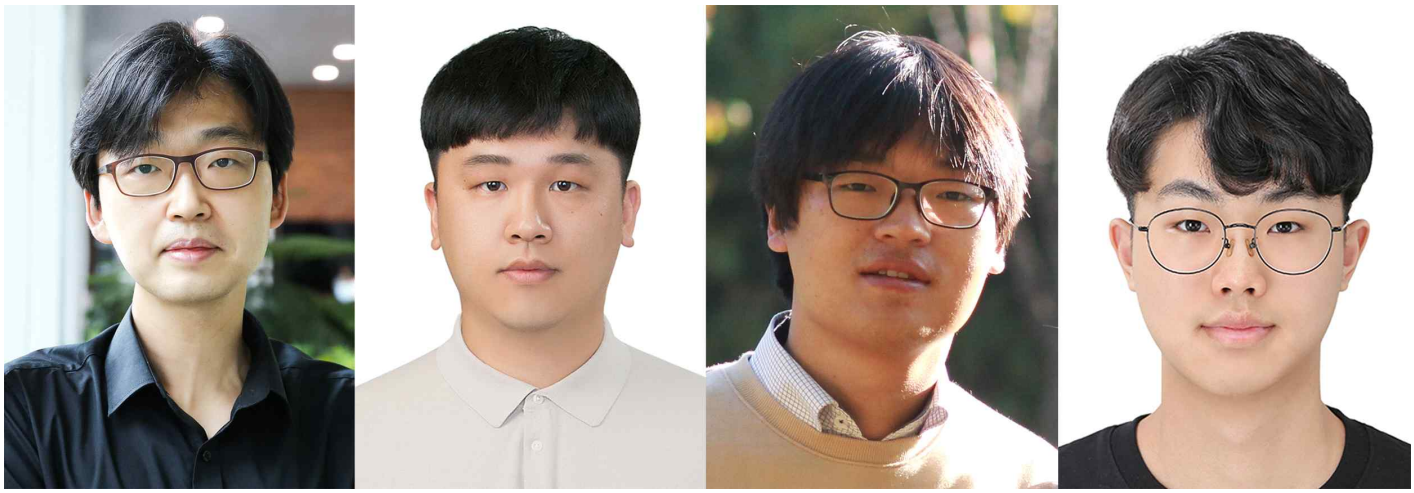
‘그린 수소’ 장시간·대량 생산 위한 유기 반도체 기반 대면적 모듈 시스템 개발

- 장시간 성능 유지되는 금속 캡슐화된 유기 반도체 광음극으로 모듈 개발
- “친환경수소 대량생산 가능성 확인”... 이상한 교수, **Journal of Materials Chemistry A** 표지논문



▲ (왼쪽부터) 이상한 교수, 서세훈 박사, 이종훈 박사, 김예준 석박통합과정생

국내 연구진이 비교적 저렴하고 효율적인 **유기 반도체*** **기반 광전극을 활용하여 장시간·대량 수소 생산**이 가능한 **대면적의 모듈 시스템**을 개발했다.

태양열을 이용해 이산화탄소 배출 없이 수소를 효율적으로 생산하는 **친환경 광전기화학(光電氣化學) 물분해**** **기술**, 이른바 **‘그린(green) 수소’ 생산 기술의 효율성 향상과 안정성 개선**을 통해 실용화를 앞당기는 데 기여할 것으로 기대된다.

* **유기 반도체:** 탄소 결합으로 이루어진 고분자 뼈대와 수소 원자 혹은 질소, 황 및 산소와 같은 부수적인 원자 간의 결합으로 이루어진 물질. 본래 부도체 성질을 갖지만 불순물을 첨가해 가지게 되는 파이 결합에 의해 반도체적인 성질을 띄게 된다. 비교적 저렴하고 생산 방식이 유연·다양해 여러 분야에서 각광받고 있다.

** **광전기화학 물분해**: 태양 에너지를 친환경 에너지원인 수소로 변환시키는 대표적인 방법. 태양 에너지가 반도체 광전극에 공급되면 전자-정공 쌍이 생성되게 되는데, 이를 통해 물을 분해해 광(光)양극에는 광생성된 정공으로 산소가, 광음극에는 광생성된 전자로 수소가 생성되어 친환경적으로 수소를 생산할 수 있다.

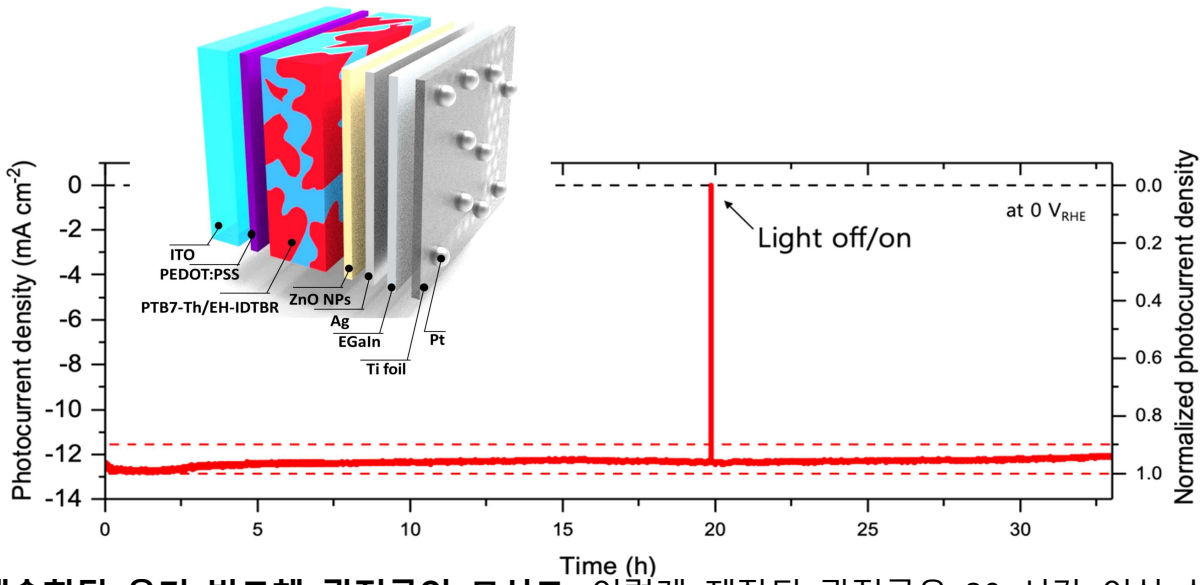
유기 반도체는 다른 반도체 소재에 비해 비교적 저렴하고 다양한 공정 방법을 가지고 있어 **대규모·대면적 생산에 용이**하고 **에너지 전환 효율이 높아** 유망한 광전극 소재로 꼽힌다.

그러나 유기 물질 자체가 수분에 취약해 광전기화학 물분해를 통한 **수소 생산 실용화**를 위해서는 **유기 반도체 성능의 큰 저하 없이 장시간 구동하게 하는 기술 개발이 시급**하다.

지스트(광주과학기술원) 신소재공학부 **이상한 교수 연구팀**은 **태양에너지로부터 다량의 수소 생산을 가능하게 하는 유기 반도체 광전극 기반 모듈 시스템**을 선보였다.

연구팀은 **광전극 내에 수분이 침투되는 것을 막아** 유기 반도체가 장시간 구동할 수 있도록 하는 **금속 캡슐화* 기술을 적용**, 현재까지 보고된 **유기 반도체 광음극 가운데 가장 높은 안정성**을 유지하는 데 성공했다.

* **금속 캡슐화(metal encapsulation)**: 유기 반도체와 같이 수분에 취약한 물질을 밀봉해 물질의 안정성을 보장하는 기술. 밀봉하려는 물질을 액체 금속(인듐-갈륨 합금)과 보호층(금속 포일)을 이용하여 외부 수분의 침투를 완전 차단한다. 기존 연구에서 유기금속 할로겐화물 페로브스카이트 기반 광음극에 도입되어 훌륭한 성능을 보인 바 있다.

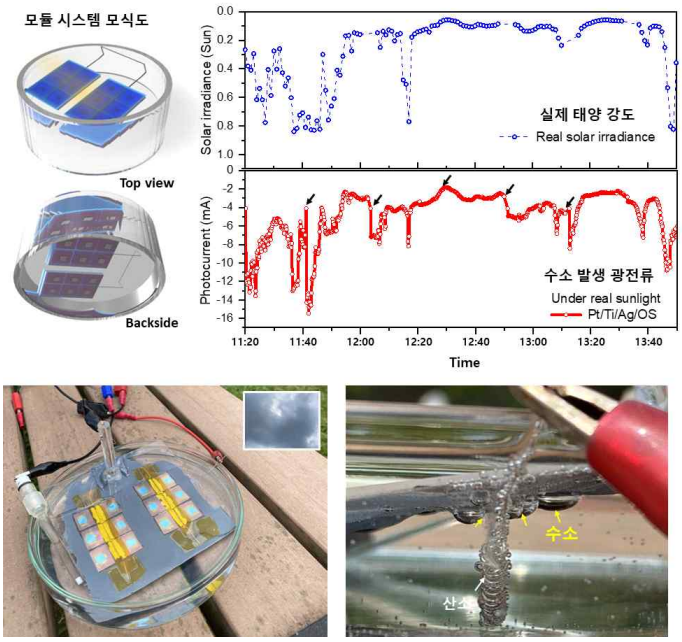


▲ **금속 캡슐화된 유기 반도체 광전극의 모식도**. 이렇게 제작된 광전극은 30 시간 이상 성능의 큰 저하 없이 유지되었고, 이는 현재까지 보고된 유기 반도체 광전극 중에서 가장 높은 안정성을 보여준다.

연구팀의 유기 반도체 광음극은 **초기 성능과 비교해 95% 이상의 성능을 30시간 이상 유지**했으며, **기존 연구보다 최소 20시간 이상 향상된 안정성을 확보**했다. 또한 기존 연구의 최고 효율인 4.3%와 비교해 이번 연구 성과는 12.3mA·cm^{-2}의 높은 광전류와 5.3%의 높은 반쪽전지 효율을 달성했다.

연구팀은 이렇게 장시간 구동 가능한 유기 반도체 광음극을 연결한 **광전극 모듈 시스템을 개발해 실제 태양광 아래에서 구동**시켰으며, 그 결과 실험실 단위를 넘어서 **실제 환경에서 대면적의 유기 반도체 광음극 기반 모듈 시스템의 수소 생산 가능성을 확인**했다.

이상한 교수는 "이번 연구를 통해 유기 반도체 기반 광전극의 큰 이슈인 안정성 문제를 극복했으며, 이를 기반으로 개발한 대면적의 광전기화학 모듈 시스템은 **친환경 수소 대량 생산 기술의 실용화를 앞당기는 데 크게 기여**할 것"이라고 기대했다.



▲ **본 연구팀이 개발한 유기 반도체 광전극 기반 모듈 시스템의 모식도**. 높은 안정성을 가진 유기 반도체 광전극을 연결하여 제작하였고, 제작한 모듈 시스템을 통해 실제 태양광 아래에서 수소 생산을 진행하였다.

이상한 교수는 "이번 연구를 통해 유기 반도체 기반 광전극의 큰 이슈인 안정성 문제를 극복했으며, 이를 기반으로 개발한 대면적의 광전기화학 모듈 시스템은 **친환경 수소 대량 생산 기술의 실용화를 앞당기는 데 크게 기여**할 것"이라고 기대했다.

이상한 교수가 주도하고 **서세훈 박사**(로렌스 버클리 국립 연구소), **이종훈 박사**(일리노이 대학교 어바나-샴페인), 지스트 **김예준 석박통합과정생**이 참여한 이번 연구는 **한국연구재단이 지원하는 미래수소 원천기술개발 사업, 중견연구자 사업 및 GIST-MIT 공동연구 사업** 등의 지원을 받아 수행되었으며, 에너지분야 상위 7% 논문인'**Journal of Materials Chemistry A**'(IF=12.732)에 **표지 논문**으로 선정되어 2022년 6월 28일 온라인 게재되었다.

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Journal of Materials Chemistry A (IF=12.732) (2020년 기준)
- 논문명 : A long-term stable organic semiconductor photocathode-based photoelectrochemical module system for hydrogen production
- 저자 정보 : 서세훈 (공동 제1저자, Lawrence Berkeley Natioanl Laboratory), 이종훈 (공동 제1저자, University of Illinois at Urbana-Champaign), 김예준 (공동 제1저자, 지스트), 이상한 (교신저자, 지스트)