

물방울 하나로 대면적 유기태양전지 효율 높였다

- 유기활성용액 내 소량의 물 도입하는 친환경 공법 개발로 고효율 대면적 유기태양전지 구현
- 신소재공학부 김동유 교수팀, Advanced Functional Materials 표지논문 게재



▲ (왼쪽부터) 김동유 교수, 한나라 박사과정생

지스트(광주과학기술원) 연구진이 **소량의 물을 이용해 대면적 유기태양전지*의 효율과 안정성을 향상시킬 수 있는 친환경 공법**을 개발했다.

인쇄 공정을 포함한 **유기태양전지 제작 과정에서 용액 내 분산 상태***를 쉽게 제어할 수 있는 기술로, 고효율·고안정성의 대면적 유기태양전지 대량생산 및 실용화를 앞당기는 데 기여할 것으로 기대된다.

* **유기태양전지**: 태양광을 흡수하는 광활성층에 유기 반도체 물질을 사용해 제작하는 태양전지. 광활성층 내 전하를 생성해 중간층 및 전극을 통해 전류가 생산된다. 무기태양전지에 비해 저온 용액 공정이 용이하고 가벼우면서도 유연하며 비교적 투명한 필름을 가지는 것이 특징이다. 최근 소면적 유기태양전지에서 20%에 가까운 높은 광전효율이 보고되며 실용화를 위한 연구가 빠르게 진행되고 있다.

* **분산 상태**: 하나의 물질 속에 다른 물질이 미립자 상태로 떠다니는 것

유기태양전지의 광전환 효율 및 소자 안정성을 높이기 위해서는 광활성층 내 도너-억셉터*의 분산 상태를 제어해 최적의 박막 형태를 구현하는 것이 매우 중요하다.

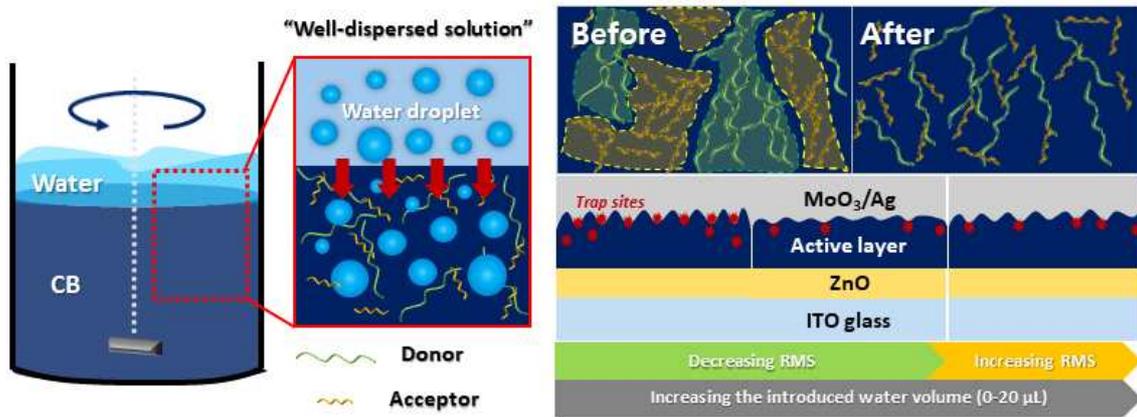
* **도너-억셉터(Donor-Acceptor)**: 유기태양전지 내 광활성층을 이루는 물질로, 전자가 풍부한 '도너(Donor)' 물질과 전자가 부족한 '억셉터(Acceptor)'로 구성돼 있다. '도너'는 태양빛을 받아 전자를 만들어 보내고, '억셉터'는 도너에서 전자를 받아 분리되며 전류가 생산된다.

특히 도너-억셉터 사이의 경계면에서 전류로 전환 가능한 전자와 정공 쌍으로 이루어진 엑시톤(exciton)*을 안정적으로 발생시키기 위한 연구와 박막 형태를 최적화하기 위한 첨가제 도입 등 추가 처리 공법을 도입하는 연구 등이 활발히 진행되고 있다.

* **엑시톤**: 여기된 상태에서 전자와 정공이 쌍을 이루어 속박된 상태를 이루는 것을 의미한다. 유기태양전지의 경우, 엑시톤인 전자와 정공이 분리되며 전극으로 흘러 전류가 생성된다.

하지만 이러한 방법들은 대부분 소면적 유기태양전지에 적용된 것으로, 대면적 유기태양전지 제작을 위한 인쇄 공정에 동일하게 적용했을 때 큰 효과를 발휘하지 못하거나, 열·빛·공기에 노출된 외부환경에 영향을 받아 효과를 지속하지 못하는 한계가 있다.

지스트 **신소재공학부 김동유 교수** 연구팀은 대면적 유기태양전지 제작 및 준비과정에서 대기 시간 동안 발생하는 도너-억셉터 물질의 과한 응집을 억제하고 최적의 활성층 박막을 얻기 위해 **소량의 물을 이용한 처리 공법**을 개발했다.



▲ **수처리(water treatment) 공정 과정 및 이에 따른 박막 형태 변화 결과를 보여주는 모식도** : 소량의 물을 이용한 수처리 공정은 유기용매와 섞이지 않는 액적 상태로 강하게 회전하며 도너와 억셉터 분산 상태를 제어했다. 제어된 용액은 대면적 유기태양전지의 박막 상태까지 영향을 줄 수 있으며, 박막 거칠기가 가장 적은 최적 조건에서 향상된 소자 효율과 안정성을 보여줬다.

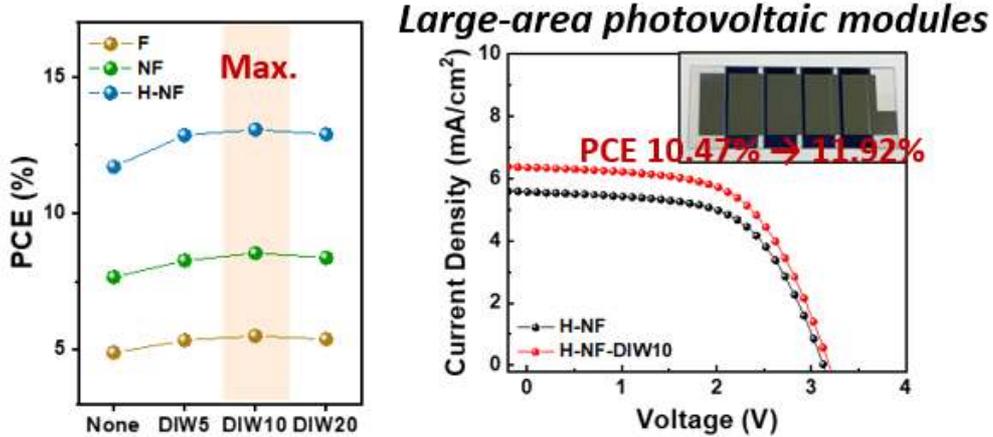
연구팀이 개발한 0-20마이크로리터(μL , 1백만분의 1리터)의 물을 이용한 수처리 공법은 **이중층으로 형성된 물이 유기용매 내 섞이지 않은 작은 물방울(droplet) 상태로 침투**하며, 물방울 주변에 작은 소용돌이를 유발해 유기용매 내 도너와 억셉터의 응집을 억제해주는 역할을 한다.

수처리 공법은 독성 유기용매 기반의 첨가제를 사용하지 않기 때문에 대면적 유기태양전지의 효율 및 안정성 향상을 위한 친환경 처리 기술이다.

연구팀은 대면적 유기태양전지 및 모듈을 제작하기 위해서 슬롯 다이 프린팅* 방법을 사용하였으며, 이를 통해 소면적 유기태양전지(0.1 cm^2)는 최고 13.06%, 대면적 유기태양전지 모듈(10 cm^2)은 최고 11.92% 효율을 달성하였다. 활성 면적 증가에도 개발된 기술이 성공적으로 도입되어 향상된 소자 결과를 얻을 수 있음을 확인했다.

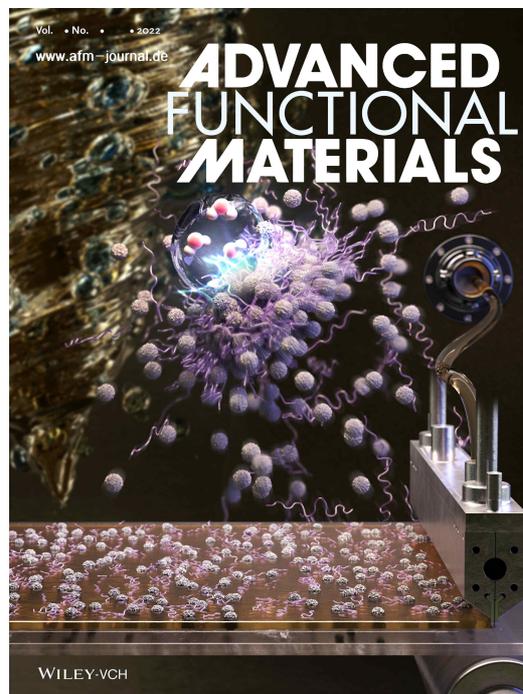
* **슬롯 다이 프린팅(slot-die printing)**: 면적이 넓은 칼날을 이용해 액적의 맺힘 형태를 유지하며 일정 두께의 박막을 인쇄하는 방법이다. 용액 주입 및 인쇄 속도 등에 따라 다양한 형태 및 두께로 박막 특성을 제어할 수 있어, 최근 대면적 유연 전자 소자를 제작하기 위해 사용되고 있다.

김동유 교수는 "수처리 과정 내 발생하는 미세 소용돌이를 이용해 용액과 필름 상태의 도너-억셉터 분산 상태 모두를 자유자재로 제어할 수 있게 된 것이 이번 연구 성과의 가장 큰 의의"라며 "향후 롤-투-롤(roll-to-roll) 공정이 도입된 **대면적 태양전지의 제작과 실용화를 위한 원천 기술을 확보한 것으로** 대량생산 기술의 실용화에 크게 기여할 것으로 기대한다"라고 말했다.



▲ 수처리 공법을 적용시켜 제작한 유기태양전지 및 대면적 모듈 성능 : 수처리 공정이 포함되고 인쇄공정을 통해 제작된 대면적 태양전지(0.1 cm²)와 대면적 모듈(10 cm²)에서 모두 10마이크로리터의 물을 첨가했을 때 가장 좋은 박막을 가지며 가장 높은 효율을 가지는 것을 확인했다.

신소재공학부 김동유 교수(교신저자)가 주도하고, 한나라 박사과정생(제1저자)이 수행한 이번 연구는 한국연구재단의 중견연구자지원사업(도약연구, 후속연구지원) 및 지스트 차세대에너지연구소(RISE) 고유과제인 '생활밀착형 유연·반투명 태양전지 개발 과제'의 지원으로 수행되었으며, 연구 결과는 나노 및 재료 분야의 권위적인 학술지 '어드밴스드 펑셔널 머티리얼스(Advanced Functional Materials, IF: 19.924)'에 **프론트 표지 논문**으로 선정됐으며 6월 23일 온라인 게재됐다.



▲ 어드밴스드 펑셔널 머티리얼스(Advanced Functional Materials, IF: 19.924)'에 **프론트 표지 논문**으로 선정

용어 설명

1. 유기태양전지 (Organic Solar Cells)

- 태양광을 흡수하여 광활성층 내 전하를 생성하며, 중간층 및 전극을 통해 전류가 생산되는 소자를 의미한다.

2. 도너/억셉터 (Donor/Acceptor)

- 유기태양전지 내 광활성층을 이루는 물질로, 전자가 풍부한 도너 물질과 전자가 부족한 억셉터가 사용된다. 도너는 태양광을 받아 전자를 만들어 보내고 억셉터는 도너에서 전자를 받아 분리되며 전류가 생산된다.

3. 슬롯 다이 프린팅 (Slot-Die Printing)

- 면적이 넓은 칼날을 이용해 액적의 맺힘 형태를 유지하며 일정 두께의 박막을 인쇄하는 방법이다. 용액 주입 및 인쇄 속도 등 세부 실험 조건을 제어하여 다양한 형태 및 두께로 박막 특성을 제어할 수 있어, 최근 대면적 유연 전자 소자 제작을 위해 많이 사용되고 있다.

논문 및 저자 정보

1. 논문명, 저자정보

- 논문명 : Introduction of Water Treatment in Slot-Die Coated Organic Solar Cells to Improve Device Performance and Stability
- 저자 정보 : 한나라(제1저자, GIST 신소재공학부 박사과정), 허윤정(GIST 신소재공학부 졸업), 이민우(GIST 신소재공학부 석박사통합과정), 문이나 (GIST 신소재공학부 박사과정), 양동성(GIST 신소재공학부 박사과정), 김윤슬(GIST 신소재공학부 졸업), 김동유(교신저자, GIST 신소재공학부 교수)