

# 인체이식형 고성능 친환경 혼합전도체 개발

- 친환경 수계 용매 사용 및 기존 유기용매공정 대비 3배 이상의 전기적 특성이 향상된 n-형 전기화학소재 개발
- 차세대 복합회로형 헬스케어소자 구현에 크게 이바지할 것으로 기대



▲ 왼쪽부터 지스트 윤명한 교수, 카이스트 김범준 교수, 지스트 조일영 박사과정생, 카이스트 정다현 석박통합과정생, 이승진 박사과정생

국내 연구팀이 차세대 생체전자인터페이스 소자로 주목받는 인체 이식형 전자소자 구현에 필요한 성능이 극대화된 고성능 친환경의 혼합전도체를 개발하는데 성공했다.

지스트(광주과학기술원, 총장 김기선) 신소재공학부 윤명한 교수 연구팀은 카이스트(한국과학기술원, 총장 이광형) 생명화학공학과 김범준 교수 연구팀과 공동연구로 친환경 수계 용매 공정이 가능한 고성능 n-형 유기물 혼합형 전도체(OMIEC)\*를 개발하고, 수계 용매가 고분자 미세구조와 전기적·전기화학적 성능 향상에 미치는 영향을 규명하였다.

\* **유기물 혼합형 전도체(organic mixed ionic-electronic conductor: OMIEC):** 금속과 같은 단순 전기전도체가 아닌, 전해질 내에서 이온 전도성과 전기 전도성을 동시에 갖는 재료로써, 전해질 환경에서 생체전기신호를 증폭하는 소자 및 유연 전자 소자의 반도체 재료로 활용됨.

유기물 혼합형 전도체 기반 전기화학 트랜지스터는 전해질 내의 이온의 주입을 통해 신호 증폭, 스위칭이 가능하기 때문에 체내·외에 이식·부착 등을 통해 뇌, 심장, 근육 등 다양한 생체 전기적 신호를 확인 할 수 있어 차세대 바이오 헬스케어로 응용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

하지만 대부분의 전기화학트랜지스터 소자는 p-형 유기물 반도체\* 기반의 연구가 대부분 이고, n-형 유기물 반도체\*\* 연구는 그 수가 드물다. 현재까지 유기물 혼합형 전도체의 경우 n-형에서 전하 이동도\*\*\* 가 p-형의 전하 이동도보다 백배 이상 낮기 때문에 차후 트랜지스터 기반의 다양한 응용 소자 및 논리회로 제작을 위해선 필수적으로 연구가 되어야 한다.

\* **p-형 유기물 반도체(p-type organic semiconductors):** 정공(hole)을 주 캐리어로 하며 공액 구조 주사슬을 가지는 유기물 반도체

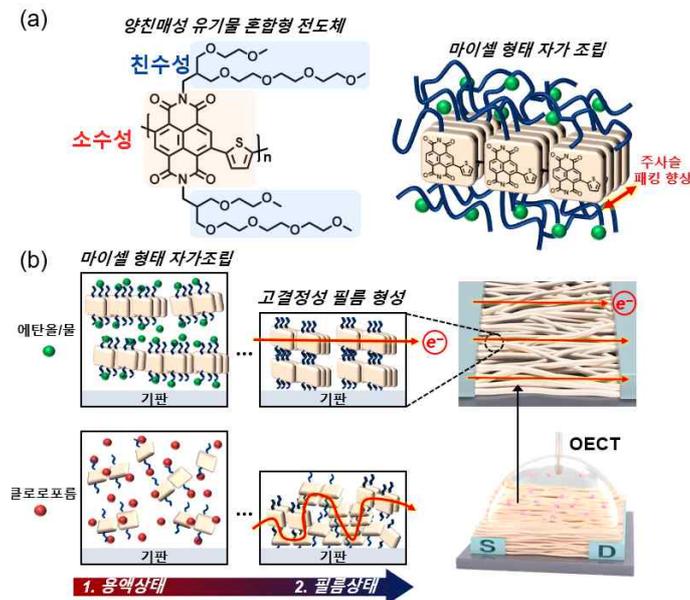
\*\* n-형 유기물 반도체(n-type organic semiconductors): 전자(electron)를 주 캐리어로 하며 공액 구조 주사슬을 가지는 유기물 반도체

\*\*\* 전하이동도(carrier mobility): 반도체 내에서의 전하를 갖는 전자·정공의 이동도

공동 연구팀은 이러한 n-형 유기물 혼합형 전도체의 낮은 전자 이동도 문제점을 개선하고자 양친매성 전도체 소재를 개발하여 전기화학트랜지스터 소자를 제작하였다.

고분자 단량체의 곁가지에 올리고 에틸렌 글라이콜(OEG, oligo ethylene glycol)기를 다량으로 적용함으로써 에탄올·물로 구성된 수계 용매에 용액화를 하였으며, 이를 기존 용액공정에 사용되는 할로겐계 유기용매인 클로로포름에 용액화된 동일 물질과 전기·전기화학적 특성을 비교 분석하였다.

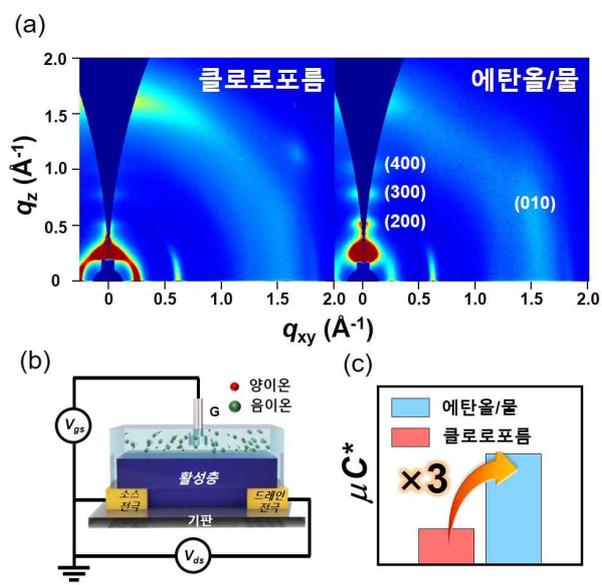
에탄올·물 용매의 경우, 친수성인 올리고 에틸렌 글라이콜 곁사슬을 녹일 수 있지만 소수성인 주사슬을 녹이지 못해 용액상에서 응집된 마이셀(micelle) 상태로 존재하는 반면, 클로로포름을 사용했을 때 곁사슬과 주사슬 모두 잘 녹은 상태로 존재하게 된다. 마이셀 형태의 주사슬들은 에탄올·물 분자와의 상호작용이 최소화되어 용액상에서 주사슬간에 강한 파이-파이 적층 형태가 유도되며, 용액 코팅 공정을 통해 제작된 수십 나노의 박막에서 높은 결정성이 나타나는 것을 확인하였다.



▲ (a) 본 연구에서 제안한 분자의 모식도 (b) 용매 변화를 통한 고분자의 마이셀 형태 자기조립 과정과 형성된 필름 구조 모식도

이를 누적형(accumulation mode) 전기화학 트랜지스터 소자의 활성층에 적용할 시 기존 유기용매인 클로로포름을 통해 제작된 소자 대비 전자 이동도와 전기화학 트랜지스터 특성 평가 지수\* 가 3배 이상 증가됨을 확인하였다.

\* 전기화학 트랜지스터 특성 평가 지수(figure of merit;  $\mu C^*$ ): 전기화학 트랜지스터 특성을 평가하는 값으로, 전하 이동도와 체적 정전용량의 곱( $\mu C^*$ )으로 표현 됨.



▲ (a) x선 실험으로 증명한 용매에 따른 결정화도 측정 결과 (b) 유기물 전기화학 트랜지스터의 소자 구조 (c) 용매에 따른 트랜지스터 특성 평가 지수 그래프

지스트 윤행한 교수는 "친환경성과 n-형 전기화학 트랜지스터의 전자 이동도 특성을 동시에 향상시킴으로써 차세대 복합회로형 생체전자소자 구현에 크게 이바지할 것으로 기대된다"고 밝혔다.

카이스트 김범준 교수는 "이번 연구는 친환경 공정이 가능한 고성능 인체이식형 전기화학소자 제작에 적합한 유기고분자 합성전략을 제시했다는 것에 의의가 있다"고 평가하였다.

지스트 윤행한 교수와 카이스트 김범준 교수가 주도하고, 지스트 조일영 박사과정생, 카이스트 정다현 석박통합과정생, 이승진 박사과정생이 공동으로 수행한 본 연구는 한국연구재단의 중견연구자지원사업, 나노및소재기술개발사업의 지원을 받아 수행되었으며, 과학기술 전문 권위지인 Advanced Functional Materials 2022년 1월 5일 온라인 게재되었다.

## 논문의 주요 내용

### 1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Advanced Functional Materials (IF= 18.808 (2020년))
- 논문명 : High-Performance n-Type Organic Electrochemical Transistors Enabled by Aqueous Solution Processing of Amphiphilicity-Driven Polymer Assembly
- 저자 정보 : 정다현(제1저자, 카이스트), 조일영(공동 제1저자, 지스트), 이승진(공동 제1저자, 카이스트), 김지환(지스트), 김영석(지스트), 김범준(카이스트), 김동욱(카이스트), John R. Reynolds(조지아텍), 윤행한 (공동교신저자, 지스트), 김범준 (교신저자, 카이스트)