

**“쓰고 버린 전자소자, 벌레가 먹어 분해한다”**

## **GIST-인하대, 실제 작동하는 생분해 전자소자 구현... 전자폐기물 줄일 새 대안 제시**

- GIST 윤명한 교수 연구팀과 인하대 심봉섭 교수 연구팀이 공동으로 '소재'를 넘어 실제 '전자소자' 수준의 분해 가능성 입증해 전자폐기물 저감 기대
- 친환경 전자기기 연구 새 방향 제시
- 국제학술지《ACS Polymer Science & Technology》 게재



**▲ GIST-인하대 공동연구팀 단체사진.** (왼쪽부터) GIST 윤명한 교수(공동 교신저자), 인하대학교 심봉섭 교수(공동 교신저자), GIST 나현준(공동 제1저자), 인하대학교 홍영범(공동 제1저자), GIST 조일영(공동 제1저자), GIST 이다영(공동 제1저자)

광주과학기술원(GIST·지스트, 총장 임기철)은 신소재공학과 윤명한 교수와 인하대학교 화학공학과 심봉섭 교수 공동 연구팀이 사용 후 벌레가 먹어 분해할 수 있는 **친환경 전자소자\***를 개발했다고 밝혔다.

이번 연구는 소재 수준의 생분해 연구를 넘어 실제 작동하는 전자소자 전체가 분해될 수 있음을 입증함으로써, 사용 후 회수가 어려운 일회용 전자기기의 전자폐기물 문제를 해결할 새로운 가능성을 제시했다.

**\* 전자소자:** 센서, 반도체, 메모리 등 전자기기의 핵심 기능을 수행하는 부품이다.

최근 환경 모니터링과 바이오센서 기술의 발전으로 다양한 장소에서 데이터를 실시간으로 수집하는 저비용 센서의 수요가 늘고 있다.

하지만 이러한 센서는 **사용 후 회수가 쉽지 않아 전자폐기물로 남는 경우가 많다.** 지금까지의 친환경 전자소자 연구도 개별 소재의 생분해 가능성을 확인하는 수준에 머물러 실제 소자에 적용하는 데 한계가 있었다.

공동연구팀은 바이오센서와 환경센서에 활용되는 소자인 '**유기 전기화학 트랜지스터(OECT)\***'에 주목했다.

OECT는 인쇄공정을 이용한 대량 생산에 유리하지만, **사용 후 폐기 문제는 여전히**

과제로 남아 있었다.

\* **유기 전기화학 트랜지스터(OECT)**: 전해질 내 이온과 전도성 고분자의 상호작용을 이용해 전기 신호를 증폭하는 소자이다.

이러한 문제를 해결하기 위해 공동연구팀은 벌레가 섭취할 수 있는 점토 광물인 **몬모릴로나이트(Montmorillonite, MMT)**에 주목했다. 다만 점토는 전기 전도성이 낮아 소자에 적용할 경우 성능 저하가 우려됐다.

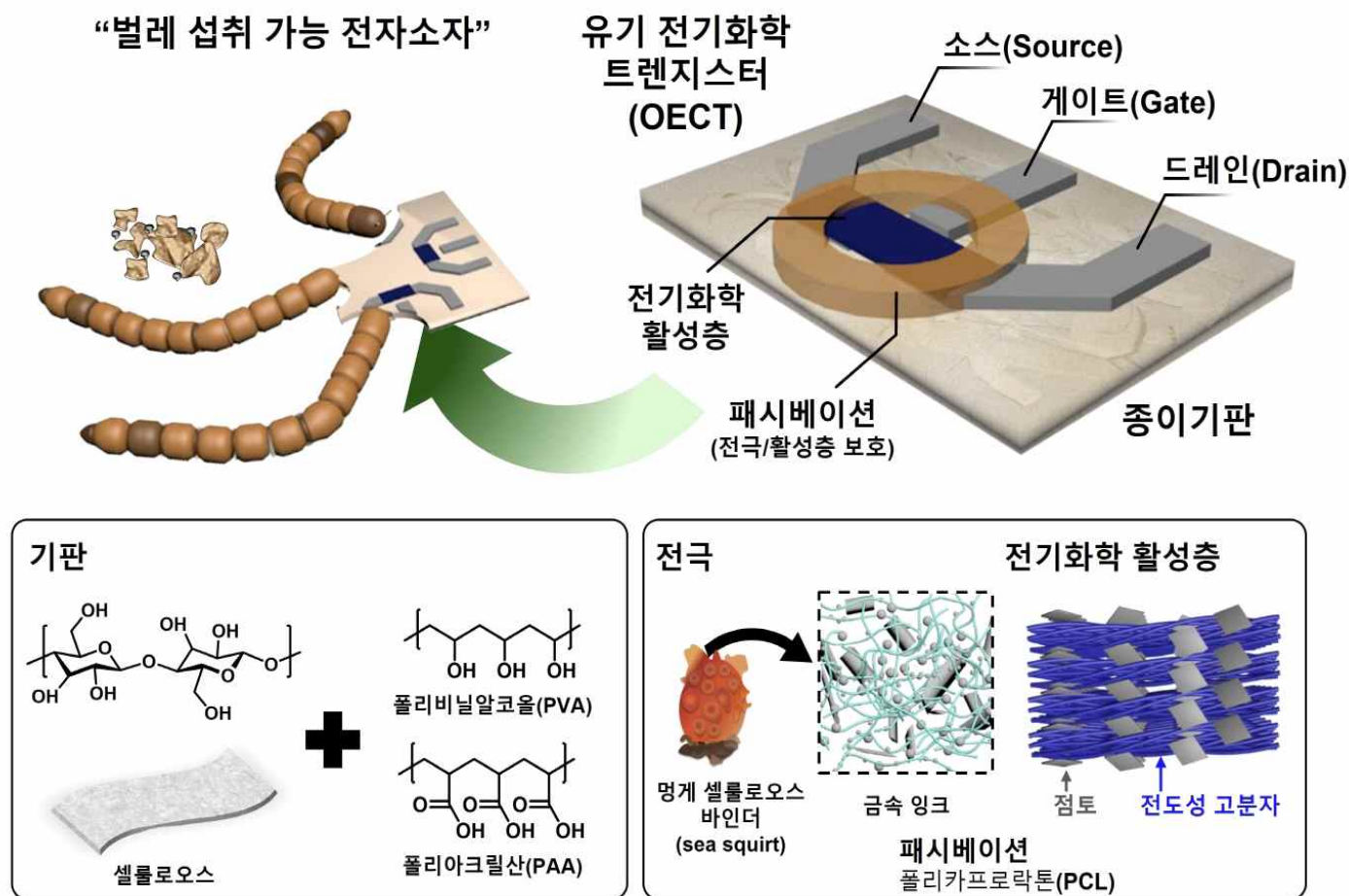
공동연구팀은 이를 OECT에 널리 사용되는 **전도성 고분자\*** 재료인 **PEDOT:PSS\*\***와 결합해 분해 가능성과 전기적 성능을 모두 갖춘 복합 소재를 개발했다.

또한 종이 기반 기반 인쇄공정을 적용하고, 수분에 약한 종이의 단점을 보완하는 방수·보강 기술도 함께 구현했다.

이렇게 개발된 복합 소재로 실제 OECT를 제작했으며, 낮은 전압에서도 안정적으로 작동하는 것을 확인했다.

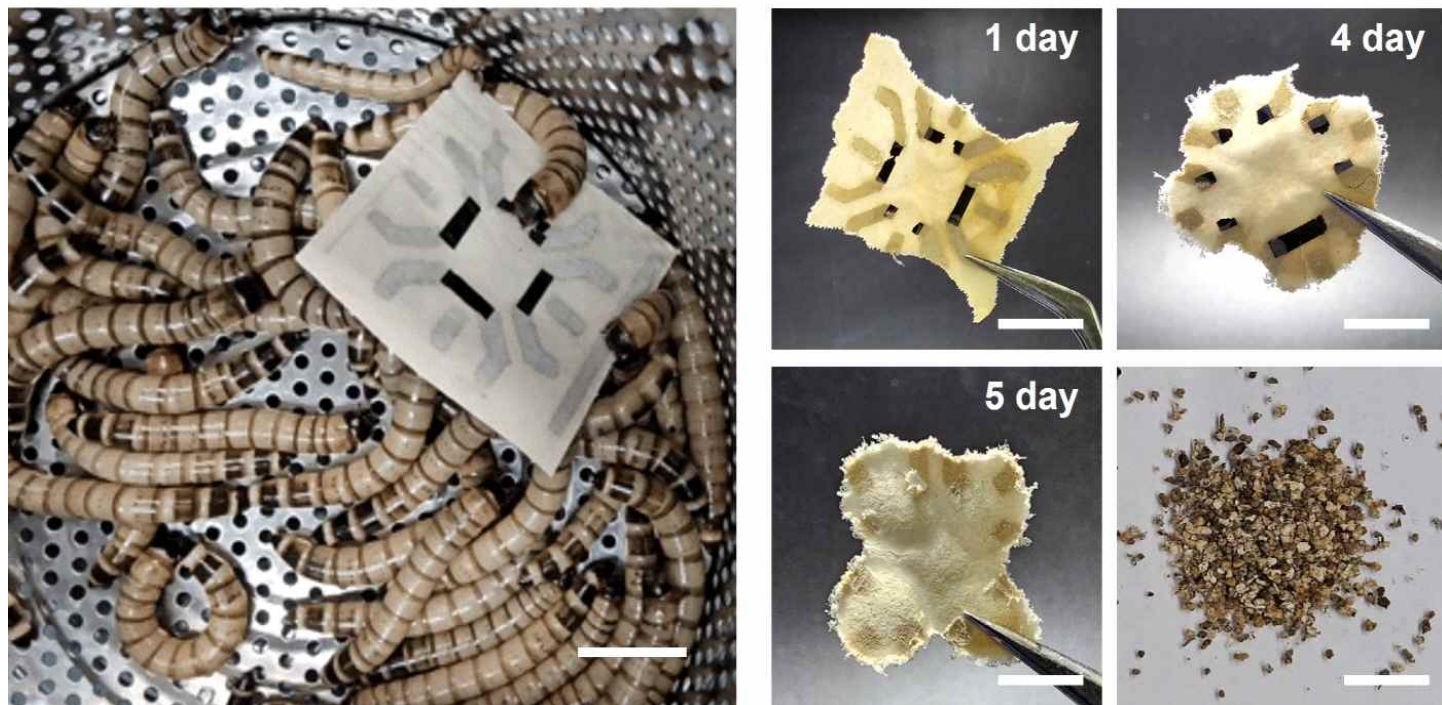
\* **전도성 고분자**: 금속 전도체처럼 전기 전도성을 지닌 고분자이다. 일반적인 유기 고분자와 달리 금속이나 반도체의 전기적, 자기적 그리고 광학적 성질을 동시에 갖는다.

\*\* **PEDOT:PSS**: 전도성을 띠는 'PEDOT'과 절연성 고분자 'PSS'를 혼합한 전도성 고분자이다.



▲**유기 전기화학 트랜지스터(OECT) 구성요소**. 벌레가 섭취할 수 있는 OECT 소자의 구조 및 각 소재의 구성성분을 나타낸다. 수계에서 안정적으로 사용가능한 소수성 처리된 가교 종이기판(왼쪽) 위에, 멍게 셀룰로오스 유래 바인더 함유 금속전극 및 PEDOT:PSS/MMT 전기화학 활성층(오른쪽) 소재가 이용되었다.

이어 실제로 벌레가 소자를 분해할 수 있는지 확인하기 위해 슈퍼웜(Superworm)을 이용한 실험을 진행했다.



▲ OECT 소자의 벌레 섭취 과정. (왼쪽) 구동이 완료된 OECT를 벌레의 먹이로 제공한 모습과 섭취 후 1일, 4일, 5일이 경과함에 따라 점차 감소하는 소자의 모습과 (오른쪽) 소자 섭취 후 배설된 배설물(frass)의 모습이다.

그 결과 실험 기간 동안 슈퍼웜의 생존율은 95% 수준으로 유지됐으며, 슈퍼웜은 ▲ 활성층 ▲ 기판 ▲ 전극 등을 포함한 3cm×3cm 크기의 소자 전체를 약 1주일 만에 완전히 섭취했다.

또한 배설물(frass) 분석 결과, 단순히 잘게 부서진 것이 아니라 화학적 변화를 동반하는 실제 분해가 진행됐음을 확인했다.

이번 연구는 환경 모니터링 센서, 헬스케어 센서, 스마트 농업용 센서 등 사용 후 회수가 어려운 분야에 적용돼 전자폐기물 문제를 줄일 수 있는 새로운 대안을 제시했다.

윤명한 교수는 “친환경 소재를 사용한 소자 전체가 벌레에 의해 분해될 수 있음을 입증했다는 점에서 의미가 있다”며 “향후 지속가능한 전자소자 개발과 친환경 전자 기기 연구에 새로운 방향을 제시할 것으로 기대한다”고 말했다.

심봉섭 교수는 “기존 연구가 분해 가능한 개별 소재 개발에 집중했다면, 이번 연구는 실제 작동하는 소자를 벌레가 완전히 분해할 수 있음을 증명했다는 점에서 가장 큰 차별성이 있다”고 설명했다.

GIST 신소재공학과 윤명한 교수, 인하대학교 화학공학과 심봉섭 교수가 지도하고

GIST 나현준 박사과정생, 인하대학교 홍영범 박사과정생, GIST 조일영 박사, 이다영 박사후연구원이 공동 제1저자로 참여한 이번 연구는 ▲과학기술정보통신부·한국연구재단 기초연구실지원사업 ▲과학기술정보통신부·문화체육관광부 전통문화원천기술개발사업 ▲한국연구재단 우수연구자지원사업(중견연구) ▲한국연구재단 선도연구센터 지원사업 ▲산업통상자원부·한국산업기술기획평가원 소재부품기술개발사업 ▲과학기술정보통신부 지스트-이노코어(GIST-InnoCORE) 사업의 지원을 받았다.

연구 결과는 미국화학회(American Chemical Society, ACS)가 발행하는 **고분자 과학 분야 국제학술지 《ACS Polymer Science & Technology》**에 2026년 6월 29일 온라인으로 게재됐다.

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

## 논문 정보

### ○ 논문명, 저자정보

- 저널명 : ACS Polymer Science & Technology
- 논문명 : From Print to Soil: Superworm-Degradable Organic Electrochemical Transistors via PEDOT:PSS–Clay Composites
- 저자 정보 : 나현준(공동 제1저자, GIST), 홍영범(공동 제1저자, 인하대학교), 조일영(공동 제1저자, GIST), 이다영(공동 제1저자, GIST), 왕성록(공동저자, GIST), 이승현(공동저자, 인하대학교), 이원준(공동저자, GIST), Mohammad Boshir Ahmed(공동저자, GIST), 심봉섭(공동 교신저자, 인하대학교 교수), 윤명한(공동 교신저자, GIST 교수)