

부작용 줄이고 활용도 높인 수화젤 기반 생체 이식형 전극 개발

- 주사로 주입해 분해 속도 조절... 활용도 높은 체내 이식형 전극 개발
- 신소재공학 이재영 교수팀, 재료 분야 저명 학술지 '스몰(Small)'에 게재



▲ (왼쪽부터) 지스트 이재영 교수, 지스트 박중건 연구원

지스트(광주과학기술원, 총장직무대행 박래길) 신소재공학부 이재영 교수 연구팀은 주사로 주입할 수 있고 수명을 조절할 수 있는 생체 이식형 전도성 수화젤*을 제작했다.

연구팀은 수화젤 기반의 생체 이식형 전극을 개발해 절개 없이 주사로 주입함으로써 감염 위험 등 부작용을 최소화하고 분해 속도를 조절하여 전극의 수명을 제어했다.

이식형 생체전극은 정밀한 생체 신호를 측정할 수 있을 뿐만 아니라 파킨슨병 치료를 위한 심부 뇌 자극, 만성 통증 완화를 위한 척수 자극 등 선별적 전기 자극이 가능하며, 생리적 신호를 실시간 모니터링하여 특정 조직에 표적 약물을 전달하는 복합형 전극으로의 활용이 가능하다.

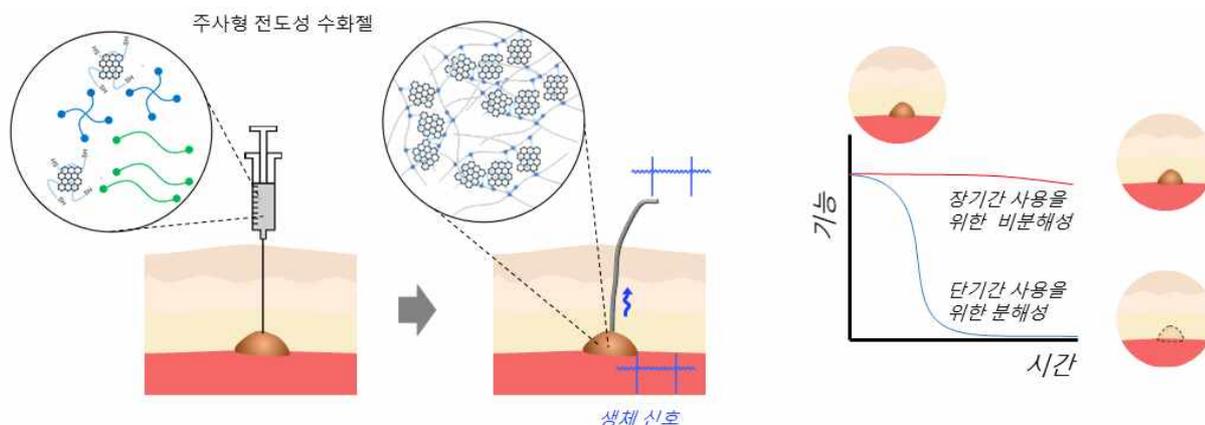
반면 기존 이식형 생체 전극*은 절개 시술에 따른 상처, 감염 등 부작용이 생기거나 금, 백금과 같은 전도성 생체재료 이식 시 조직 손상 또는 극심한 염증 반응이 일어날 위험성이 있으며 이식 및 제거 시 수술이 필요하다.

* 전도성 수화젤: 전도성 수화젤은 수화젤 골격 고분자와 전도성 물질을 섞어 제작된다. 이렇게 제작된 전도성 수화젤은 전기적 특성이 우수하고 부드러우면서 유연하기 때문에 세포 지지체, 여러 전자 소자, 생체 전극 등 여러 분야에 응용된다.

연구팀은 클릭 화학 반응*을 사용하여 생체전극을 주입할 수 있도록 설계했다. 주사형 전도성 수화젤의 경우, 곡면이나 조밀한 조직 내부에서 등각 접촉이 가능하다. 생분해성은 수화젤의 고분자 골격의 종류에 따라 분해 정도를 조절했으며, 생체 내

에서 가수분해가 가능하도록 고분자와 안정적인 고분자를 사용했다.

* **클릭 화학 반응**: 2001년 노벨화학상을 수상한 칼 배리 샤프리스(K. Barry Sharpless)가 만든 용어로, 분자 결합에 사용 가능한 효율적, 선택적 화학 반응이다. 이번 연구에서는 대표적인 클릭화학반응이자 생리학적 조건에서 높은 수율을 보여 주입성 생체재료에 적절한 Michael addition 반응을 사용했다.



▲ 분해성 및 안정성 주사형 전도성 수화젤의 생체신호 전극 활용 모식도: 클릭 화학 반응을 이용한 주사형 전도성 수화젤은 생체 내에 주사로 용이하게 주입이 된 후 자발적으로 젤화되는 이식형 생체 전극임. 또한, 생체내 분해성을 조절할 수 있어서 수화젤 전극을 임시 또는 영구적으로 목적에 맞게 적용 가능함.

이 수화젤은 기존 금속 기반 생체 전극과 비교해 **절개 없이 주입할 수 있을 뿐만 아니라**, 고성능 및 생체 적합성 측면에서 생체 신호 측정에 더 유리하여 **3배 이상 높은 감도로 근전도 신호를 측정할 수 있다.**

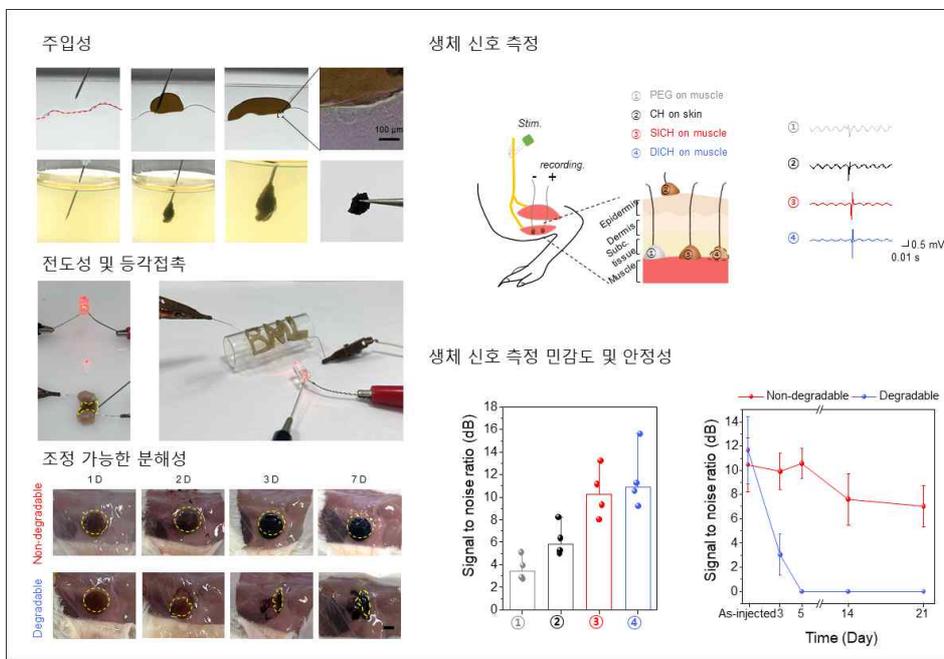
30 kPa의 기계적 특성과 20 mS/cm* 정도의 전도도를 보이며 **생체조직과 유사한 부드러운 특성과 생체 신호를 효율적으로 측정할 수 있는 수준의 전기적 특성**을 지닌다.

* **S(Siemens, 지멘스)**: 지멘스(기호 S)는 전기 전도도(electrical conductance)의 국제 단위로, 옴의 역수와 같다. 1 지멘스(S)는 1 볼트(V)의 전압이 걸렸을 때 1 암페어(A)의 전류를 통과시키는 전도도이다. (1 S/cm = 1,000mS/cm)

연구팀이 개발한 수화젤은 분해 속도를 조정할 수 있다. 1) 분해성 수화젤의 경우, **주입 직후에는 고감도로 근전도를 실시간으로 측정할 수 있었고** 체내에서 분해된 후에는 신호가 측정되지 않았다. 또한 **7일 이내에 완전히 분해되는 것으로** 확인됐다. 2) 비분해성 수화젤은 구조적 안정성을 유지하고 체내에서 오랫동안 변하지 않고 남아있었으며, **최대 3주 동안 생체 전극으로 기능했다.**

* **근전도(electromyography, EMG)**: 신경과 근육에서 발생하는 전기적 신호로 질병 및 근육질환과 말초 신경 질환에 대한 검사가 가능하다.

이재영 교수는 "기존 이식형 생체 전극의 한계를 뛰어넘는 **제어 가능한 분해성, 안정성 및 주입성을 가진 전도성 수화젤을 제작했다**"며 "향후 금속 기반의 전극을 대체해 **인체에 활용될 수 있는 더욱 효율적인 생체 이식형 전극이나 조직 재생의 스마트 전극으로의 활용**이 기대된다"고 말했다.



▲ 분해성 및 안정성 주사형 전도성 수화젤의 특성 분석 결과 (주입성, 전도성, 분해성 및 생체 신호 측정): 주사형 전도성 수화젤의 주입성, 전도성 및 분해 조절성. 주사형 전도성 수화젤의 생체 신호 모식도 및 조정 가능한 분해성에 따른 임시 또는 영구적 생체 전극으로의 활용 가능성.

지스트 이재영 교수팀이 수행한 이번 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국 연구재단-나노 및 소재기술개발사업과 한국연구재단 기초연구실사업의 지원을 받아 수행되었으며, 재료 분야 국제 학술지인 '스몰(Small)'에 2023년 2월 24일 온라인 게재됐다.

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Small (IF: 15.153)
- 논문명 : Injectable conductive hydrogels with tunable degradability as novel implantable bioelectrodes
- 저자 정보 : 박중건(GIST 연구원, 제1저자), 이상훈(GIST 박사과정), 이민규(GIST 박사과정), 김형석 교수(전남대학교), 이재영 교수(GIST, 교신저자)

용어 설명

1. 전도성 수화젤

- 전도성 수화젤은 전도성 폴리머, 탄소 기반의 물질 등 전도성 물질과 수화젤 매트릭스를 섞어 제작되는 수화젤이다. 전도성 수화젤은 기본적으로 전기적 특성과 하이드로젤의 특성, 두 가지 성질을 가져 플렉시블 소자, 생체 전극 등 여러 가지 분야에 응용된다.