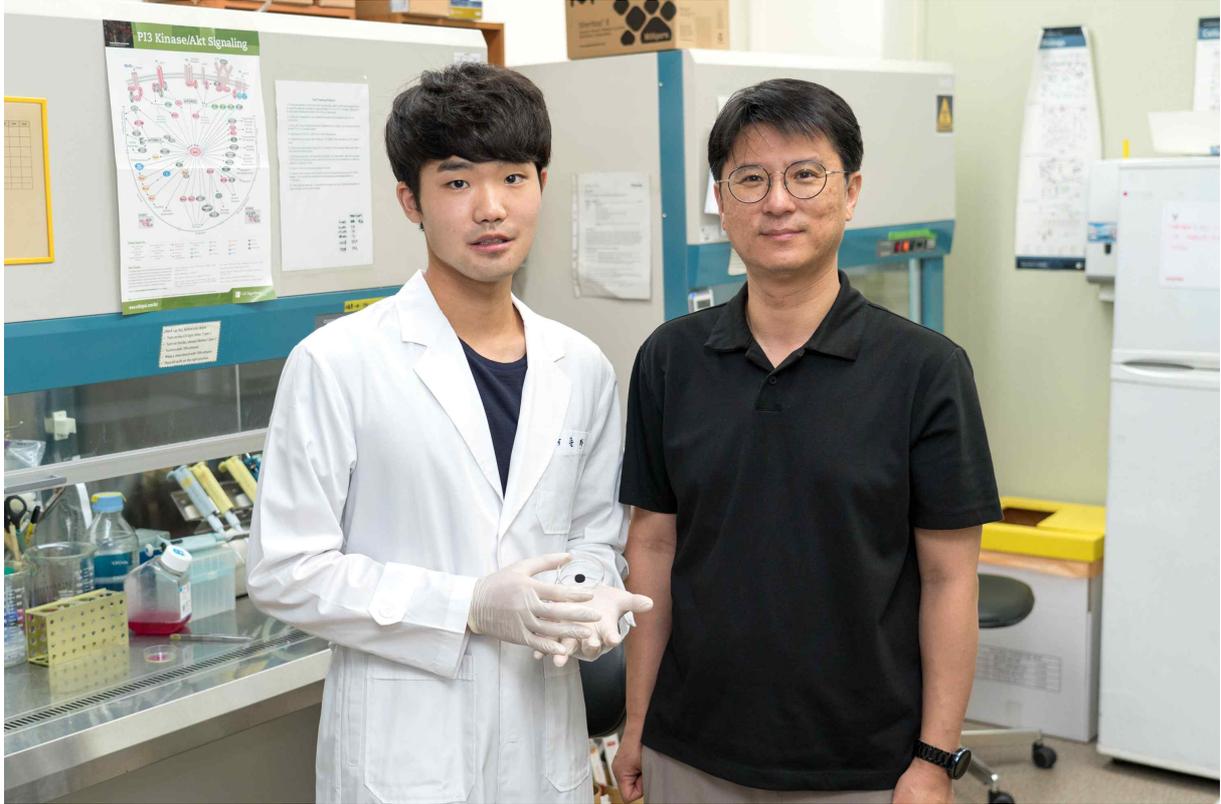


그래핀 3차원 구조화로 독성 낮추고, 전도성 높은 수화젤 개발

- 생체 전극, 세포 지지체 등 다양한 의공학적 응용을 위한 전도성 수화젤 개발
- 이재영 교수팀, Chemical Engineering Journal 논문 게재... “금속 생체전극 대체 기대”



▲ 박중건 박사과정생(왼쪽)과 신소재공학부 이재영 교수

‘꿈의 소재’로 불리는 그래핀*을 3차원으로 구조화해 인체 내에서의 독성(毒性)을 낮추고 전기 전도성은 높은 다기능 수화젤(Hydrogel)이 개발됐다.

향후 금속 기반의 전극을 대체해 우리 몸에 더 적합하고 효율적으로 작동하는 생체전극 및 세포지지체(스캐폴드)** 등에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

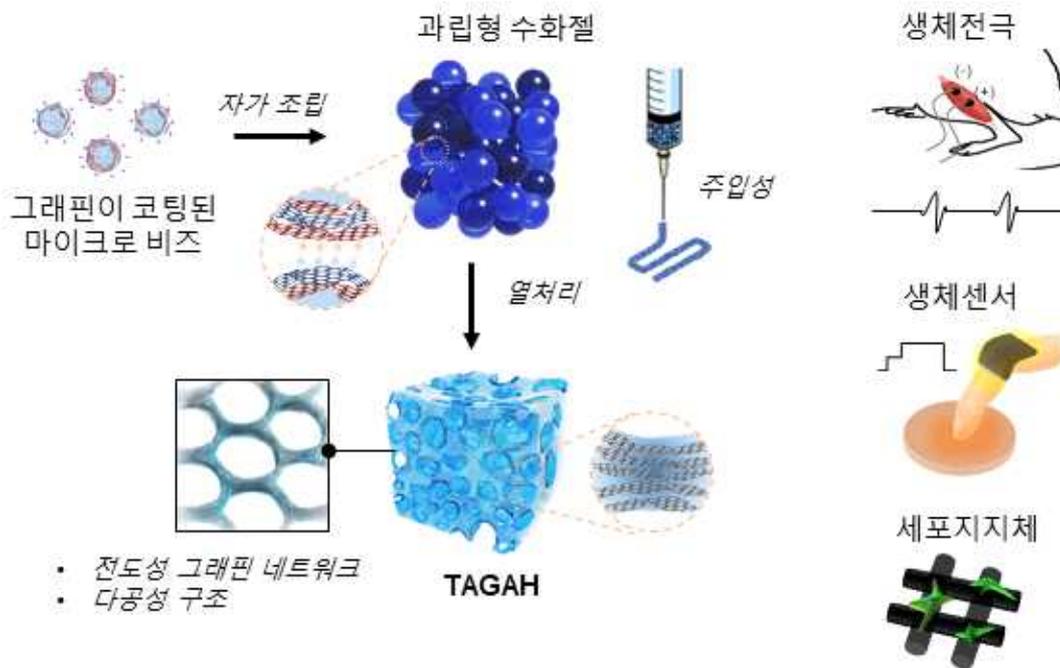
* **그래핀**: 탄소 원자가 벌집 모양으로 이루어진 2차원 물질로 이론상 강철보다 훨씬 높은 강도를 지니고 열·전기 전도성도 뛰어나 꿈의 소재라고 불린다. 그러나 이를 이양하여 3차원인 구조의 제작이나 소수성 등의 문제로 의공학적 이용은 제한적이다.

** **생체전극 및 세포지지체(스캐폴드)**: 전도성 생체재료는 생체 신호를 모니터링하는 전극, 자극을 위한 전극이나 근육, 신경, 심장과 같은 전기활성 조직을 타겟으로 하는 스캐폴드에 많이 이용된다.

전도성 생체재료는 세포나 조직과 전기신호를 효율적으로 매개할 수 있어서 심장·근육 등 인체 내 전기활성조직의 재생을 위한 세포지지체(스캐폴드)와 생체전극 등에 많이 활용되고 있다. 하지만 대부분 금속 기반의 물질로 이루어져 있어 생체에 이식했을 때 염증을 유발하거나 접촉 효율이 저하되는 등 삽입형 생체재료로 사용하기엔 한계가 있다.

따라서 최근에는 전기적 특성이 우수하고 부드러우면서 유연한 전도성 수화젤에 대한 개발이 진행되고 있는데, 이러한 수화젤을 제작하기 위해 필요한 다량의 전도성 물질이 생체 독성을 유발하고 수화젤이 굳게 만들어 이를 극복하기 위한 연구가 진행되고 있다.

지스트(광주과학기술원) 신소재공학부 이재영 교수 연구팀은 수화젤 내에 전도성 물질 함량 대비 향상된 전도도를 위해 그래핀의 배치 및 정렬을 조절함으로써 3차원적인 그래핀 네트워크를 가지는 수화젤 제작 기술을 개발했다. 이번 연구를 통해 생체전기 신호 측정, 압력/변형 전극, 바이오프린팅 잉크, 세포 지지체로의 유용성을 제시하였다.



▲ 그래핀 네트워크가 포함된 전도성 수화젤 개발 및 의공학적 응용분야 모식도

연구팀은 그래핀의 3차원적 네트워크 형성을 위해 마이크로 비즈(microbeads, 직경 약 30 μm의 아가로오스* 하이드로젤)에 그래핀을 코팅하고, 표면 전하에 의한 상호작용을 유도해 표면 전하에 의한 입자간 응집으로 자가조립하여 과립형 수화젤을 제작하였다. 이를 표 면 전하에 의한 입자간 응집으로 반죽형 수화젤(paste-like hydrogel)을 제작하였다.

이후 반죽형 수화젤을 열처리하면 마이크로 비즈는 열에 의해 녹아 그래핀 층들 사이로 이동하고, 비즈 위에 코팅된 그래핀들은 서로 연결되어 전체적으로 3차원적으로 연결된 그래핀 네트워크가 형성된다.

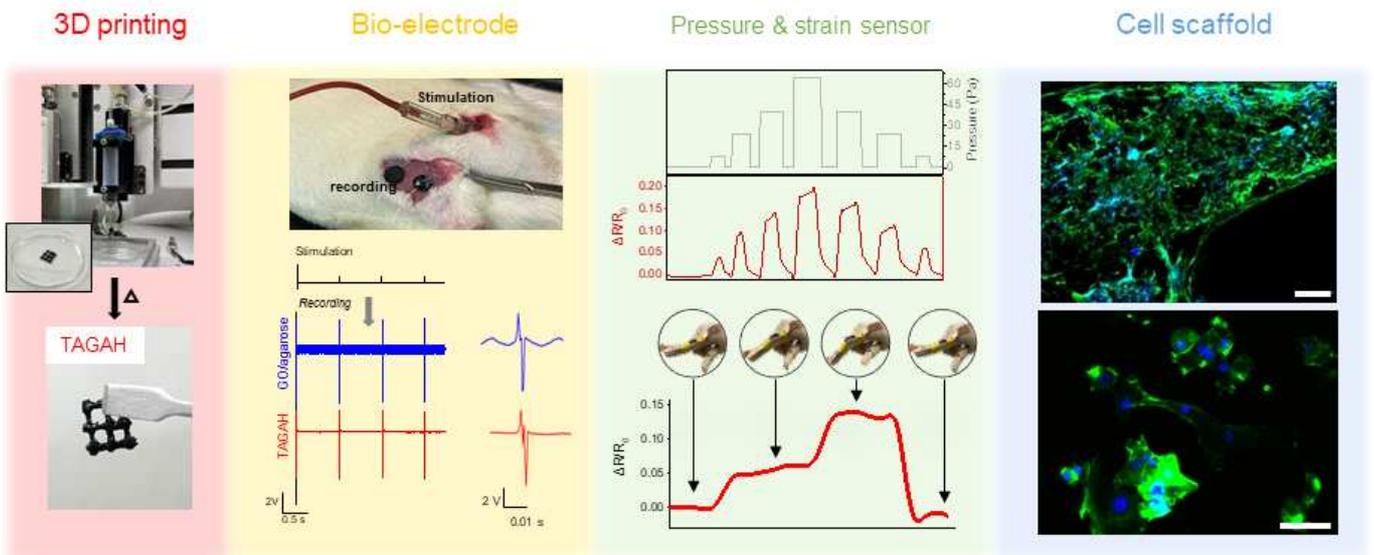
* 아가로오스(아가로스, Agarose, agar): 다당류 중 하나로 우뚝가사리를 추출해서 만든 한천에서 다시 아가로펙틴을 정제하여 만든다. 따뜻한 물에 용해되며, 약 1% 이상의 용액은 식히면 겔 상태가 된다. 이 겔은 그물과 같은 구조를 갖고 있어서 고분자물질도 자유롭게 확산되기 때문에 전기영동의 지지체나 겔 여과용 충전제 등으로 이용된다.

연구팀은 3차원 프린팅 및 주조를 통해 다양한 형태의 전도성 수화젤을 제작하였고, 이렇게 제작된 수화젤은 기존 연구와 비교해 전체 수화젤 부피의 0.15%에 해당하는 매우 적은 그래핀 양으로도 20mS/cm^* 수준의 높은 전도도를 보였다.

이는 같은 양의 그래핀으로 구조화하지 않는 대조군보다 약 5배 정도 높은 전도도 값이다. 또한 우리 몸의 근육과 유사한 130kPa 의 탄성도를 보여 생체에 사용하기에 적절한 기계적 유연함을 갖는 것을 확인했다.

* **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. $1\text{ S/cm} = 1,000\text{mS/cm}$ (밀리 지멘스 퍼 센티미터)

이재영 교수는 "소량의 전도성 물질을 사용해 독성의 위험을 낮추었고, 수화젤의 전도성과 생체적합성을 향상시키면서 동시에 인체 조직과 같은 유연함을 가진 수화젤을 제작했다"며 "향후 금속 기반의 전극을 대체해 인체에 활용될 수 있는 생체 적합하고 더욱 효율적인 전극, 센서 및 조직공학용 지지체로의 활용이 기대된다"고 말했다.



▲ 실제 의공학적 응용분야에 활용한 결과 (3D 프린팅, 생체 전극, 생체 센서, 세포 지지체)

지스트 이재영 교수팀이 수행한 이번 연구는 한국연구재단 기초연구실사업과 나노 및 소재 기술개발사업의 지원을 받아 수행되었으며, 화학 공학분야 상위 2.45% 논문인 'Chemical Engineering Journal'에 2022년 6월 11일 온라인 게재되었다.

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Chemical Engineering Journal (Impact factor: 13.273, 2020)
- 논문명 : Conductive hydrogel constructs with three-dimensionally connected graphene networks for biomedical applications
- 저자 정보 : 박중건(GIST 박사과정, 제1저자), 전나영(GIST 석사과정), 이상훈(GIST 박사과정), 최고은(GIST 박사졸업), 이은지 교수(GIST), 이재영 교수(GIST, 교신저자)

용어 설명

1. 그래핀

- 탄소 원자가 벌집 모양으로 이루어진 2차원 물질로 이론상 강철보다 훨씬 높은 강도를 지니고 열·전기 전도성도 뛰어나 꿈의 소재라고 불린다. 그러나 비용이 비싸 대량 생산이 어렵고 주름이 지는 등의 단점이 있다.

2. 전도성 수화젤

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