

GIST-동국대, 차세대 아연 이온 배터리 원천 기술 개발

그래핀 코팅으로 수명·내구성 대폭 향상

- GIST 중앙기기연구소 조용륜 박사·동국대 안건형 교수 공동연구팀, 'Roll-to-Roll' 방식으로 그래핀을 스테인리스강 포일에 코팅해 아연 이온 배터리의 구조적 한계 극복
- 전기차에너지저장장치(ESS) 등 다양한 분야에 응용 가능한 친환경저비용고안정성 기술로 기대... 국제학술지 《Advanced Energy Materials》 게재



▲ (왼쪽부터) GIST 중앙기기연구소 조용륜 박사, 동국대학교 에너지신소재공학과 안건형 교수, 경상국립대 에너지공학과 허희연 학생.

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 중앙기기연구소 조용륜 박사와 동국대학교 안건형 교수 공동연구팀이 **그래핀***을 입힌 **스테인리스강 포일***을 활용해 **아연 이온 배터리***의 성능과 내구성을 크게 향상시킬 수 있는 원천 기술을 개발했다고 밝혔다.

이 기술은 배터리의 핵심 부품인 전류 집전체를 더 튼튼하고 오래가게 만들 수 있으며, 구조는 단순하면서도 성능이 뛰어나 대량 생산과 산업 현장 적용에 적합하다. 특히 재료와 공정 모두 친환경적이며, 기존 리튬 이온 배터리와 비교해 더 안전하고 비용 경쟁력도 우수하다.

- * **그래핀(Graphene)**: 벌집 구조의 매우 얇은 탄소 소재. 가볍고 강하며 전기·열 전도성이 뛰어나다.
- * **스테인리스강 포일(Stainless Steel Foil)**: 녹슬지 않는 금속인 스테인리스강을 매우 얇고 유연하게 만든 금속 시트로 강도와 내구성이 높음.
- * **아연 이온 배터리(Zinc-Ion Batteries)**: 리튬 대신 아연을 사용하는 이차전지로, 가격이 저렴하고 폭발 위험이 적으며, 원재료 수급이 안정적임.

아연 이온 배터리는 리튬 이온 배터리보다 비용이 낮고 폭발 위험이 적으며, 자원 확보도 쉬워 차세대 대용량 에너지 저장 시스템(ESS)*이나 재생에너지 분야에서 큰 관심을 받고 있다.

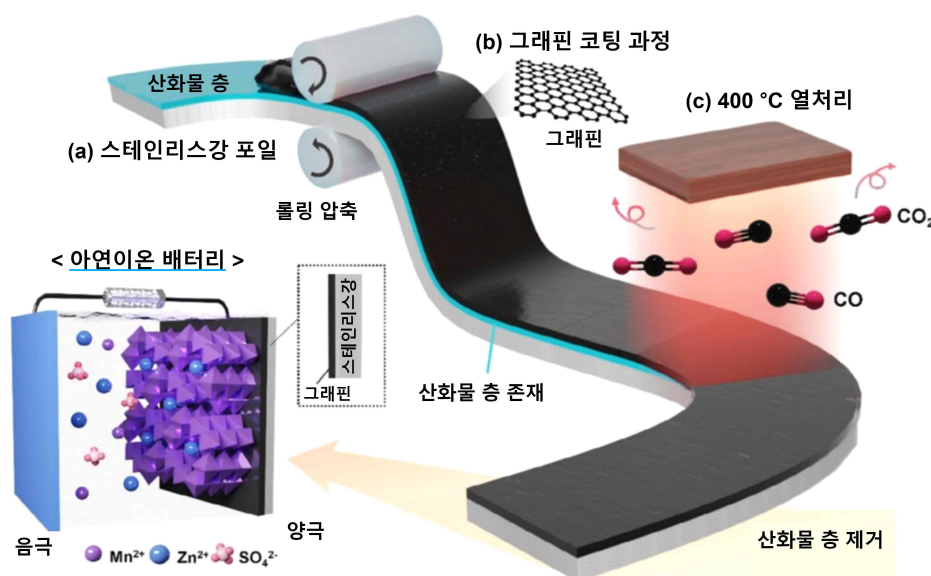
하지만 반복적인 충·방전 과정에서 성능이 급격히 저하되고, 수계 전해질로 인한 부식이 발생하기 쉬워 배터리 수명이 짧아지는 단점이 있었다.

* **에너지 저장 시스템(Energy Storage System, ESS):** 태양광, 풍력 발전으로 생산된 전기를 배터리에 저장했다가 일시적으로 전력이 부족할 때 쓸 수 있도록 하는 에너지 저장 시스템.

연구팀은 이 같은 문제를 해결하기 위해 전류를 전달하는 얇은 금속판인 전류 집전체 표면에 그래핀을 얇고 균일하게 입히는 기술을 개발해 배터리의 안정성과 수명, 성능을 동시에 크게 개선했다.

특히, '롤투롤(Roll-to-Roll)*' 방식으로 긴 금속 포일에 그래핀을 연속적으로 코팅한 뒤 400℃에서 열처리하는 단순한 공정만으로도 우수한 전기적 특성과 내구성을 확보할 수 있었다.

* **롤투롤(Roll-to-Roll):** 마치 인쇄하듯 긴 얇은 소재(금속 포일 등)를 연속적으로 움직이며 표면에 균일하게 코팅하는 공정. 대량 생산과 품질 균일성이 뛰어나, 배터리 및 전자소자 제조에 널리 사용됨.



▲ 아연 이온 배터리의 양극 전류 집전체로 사용되는 400℃에서 열처리된 그래핀 코팅 스테인리스강 포일 제조 공정의 개략도. a) 전류 집전체로 사용할 스테인리스강 포일 준비, b) 그래핀 롤투롤(Roll-to-Roll) 코팅 과정, c) 산화층 제거 및 접착력과 전기 전도도를 향상시키기 위한 400℃ 열처리 과정

실험 결과, 이 배터리는 고에너지 밀도 조건(고용량)에서도 안정적으로 작동했으며, 1,500회 충·방전 이후에도 초기 용량의 약 88.7%를 유지해 우수한 수명 성능을 입증했다.

이는 상용 리튬 이온 배터리에 필적하는 수준으로, 아연 이온 배터리의 상용화를 앞당길 수 있는 중요한 발판이 될 것으로 기대된다.

연구팀은 이번 연구의 기반이 된 그래핀 코팅층의 구조와 형성 과정을 GIST 중앙기기연구소의 투과전자현미경(TEM)*을 이용해 원자 수준에서 정밀 분석했다.



▲ GIST 중앙기기연구소 조용륜 박사가 투과전자현미경(TEM)을 이용해 시료의 미세 구조를 분석하고, 그 결과로 얻어진 고해상도 이미지와 조성분석 데이터를 확인하고 있다.

이를 통해 **그래핀 막의 두께, 형상, 층 구조 등 나노 수준의 조성 정보를 상세히 파악**했으며, 이는 배터리 성능을 좌우하는 핵심 요소를 규명하고 최적화하는 데 결정적인 역할을 했다.

* **투과전자현미경(TEM, Transmission Electron Microscope):** 전자빔(E-beam)을 시료에 투과시켜 원자 수준의 구조를 관찰할 수 있는 장비로, 매우 높은 해상도를 제공해 나노 소재나 생체 분자의 미세 구조 분석에 활용됨.

연구팀이 개발한 기술은 **아연 이온 배터리의 구조적 한계를 해결하는 핵심 원천 기술**로, 배터리는 물론, 가정용 저장장치·전기차·ESS 등 다양한 응용 분야와 전력 인프라가 부족한 농촌이나 개발도상국의 독립형 전력 시스템(**오프그리드(Off-grid)***)에도 적합한 친환경 에너지 솔루션으로 기대를 모은다.

* **오프그리드 시스템:** 전력회사의 중앙 전력망과 연결되지 않고, 태양광, 풍력, 배터리 등으로 자체적으로 전기를 생산하고 사용하는 독립형 전력 시스템

GIST 조용륜 박사는 "TEM은 단순한 이미지 확보를 넘어, 재료 내부의 원자 배열과 화학적 조성을 동시에 파악할 수 있는 첨단 분석 도구"라며, "**그래핀 기반 전극의 구조를 정밀하게 분석함으로써 아연 이온 배터리의 소재 설계와 공정 제어가 더욱 정교해졌다**"고 말했다.

동국대 안건형 교수는 "이번 기술은 에너지 저장 분야에서 기존 리튬 이온 배터리의 한계를 뛰어넘을 수 있는 대안"이라며, "**지속 가능한 에너지 기술로 에너지 비용 절감과 공급망 안정성 향상에도 크게 기여할 것**"이라고 강조했다.

GIST 중앙기기연구소 조용륜 박사와 동국대학교 에너지신소재공학과 안건형 교수가 교신저자로 참여하고, 경상국립대학교 에너지공학과 허희연 학생이 수행한 이번 연구는 한국에너지기술평가원 에너지국제공동연구사업, 한국연구재단 개인기초연구사업, 한국산업기술기획평가원 소재부품기술개발사업 및 전자부품산업기술개발사업의 지원을 받았다.

연구 결과는 국제학술지 《어드밴스트 에너지 머티리얼즈(Advanced Energy Materials)》에 2025년 4월 2일 온라인 게재됐다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Advanced Energy Materials (IF: 24.4, 2024년 기준)
- 논문명 : Industrial Scalability of Zinc-Ion Batteries: Enhanced Electrochemical Performance with High Mass Loading Electrodes on Graphene-Coated Metal Current Collectors
- 저자 정보 : 허희연(제1저자, 경상국립대학교), 이재연(공동저자, 동국대학교), 조용륜(교신저자, GIST), 안건형(교신저자, 동국대학교)