GIST, ‘무흐름 아연-브롬 배터리’ 새 양극재 개발
질소 도핑한 탄소 물질 도포... 자가방전 억제,
고효율 충·방전 성능, 압도적 내구성 확인

- 에너지융합대학원 박찬호 교수팀, 무흐름 아연-브롬 수계 배터리의 성능 저하 원인 ‘크로스오버’ 현상 극복... 평균 충·방전 효율 96%, 에너지 효율 76.6% 달성
- 화재 우려 없는 고성능·안정성 겸비 미래형 에너지저장장치(ESS) 활용 기대... 화학공학 분야 저명 국제학술지 ‘Chemical Engineering Journal’ 게재

▲ (왼쪽부터) 박찬호 교수, 석박사통합과정 조영인 학생, 김종경 박사, 김동희 석사.

차세대 배터리로 주목받는 무흐름 아연-브롬 수계 배터리의 고질적 단점인 성능 저하를 극복한 기술이 개발됐다. **고성능과 안정성을 겸비한 실용적인 에너지저장장치(ESS) 개발을 앞당길 수 있을 것**으로 기대된다.

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 에너지융합대학원 박찬호 교수 연구팀이 무흐름 아연-브롬 수계 배터리의 **양극용 탄소 집전체* 기술을 개발**했다고 밝혔다.

* **집전체(Current Collector)** : 배터리 제조 공정 중 전극 공정에서는 활물질과 용매 등 각종 소재를 믹싱한 슬러리를 집전체에 균일하게 코팅하는 과정을 거친다. 이때 집전체란 약 10㎛(마이크로미터) 두께의 막을 지칭하는 것으로, 배터리를 충·방전할 때 전기화학 반응이 일어나도록 전자를 외부에서 활물질로 전달하거나 반대로 활물질에서 내보내는 역할을 한다.

배터리의 양극은 양극 활물질, 도전재, 바인더, 집전체로 구성되며, 배터리의 용량을 결정한다.

무흐름 아연-브롬 수계 배터리는 아연과 브롬의 산화환원 반응을 활용해 에너지를 저장하는 장치이다. 물에 기반한 전해질 사용으로 발화 가능성이 없으며, **기존 전지에서 전해액 저장소와 펌프를 제거한 ‘무흐름’ 방식으로 제작 비용이 저렴하며 긴 수명이 장점**이다.

그러나 충전 과정 중 브롬 크로스오버(crossover)* 현상에 의한 **성능 저하 문제가 상용화에 걸림돌**이 되고 있다.

* **브롬 크로스오버 현상**: 배터리 충전 과정 중 양극 내부에서 브롬 이온이 브롬 및 브롬 복합체를 형성하는데 이러한 물질들이 음극으로 확산하여 음극에 전착된 아연 금속을 산화시키고 자가방전 반응을 일으켜 배터리 성능 및 수명 저하의 원인이 된다.

이러한 성능 감소 현상을 해결하기 위해 전해질 첨가제나 분리막 연구가 많이 진행되고 있으나 **첨가제 기술은 전해질의 불균일한 분산 및 저항 증가 문제가 발생**하고, **분리막 기술은 브롬 확산의 완벽한 차단이 어렵고 비용이 전체적으로 증가**한다는 문제가 있다.

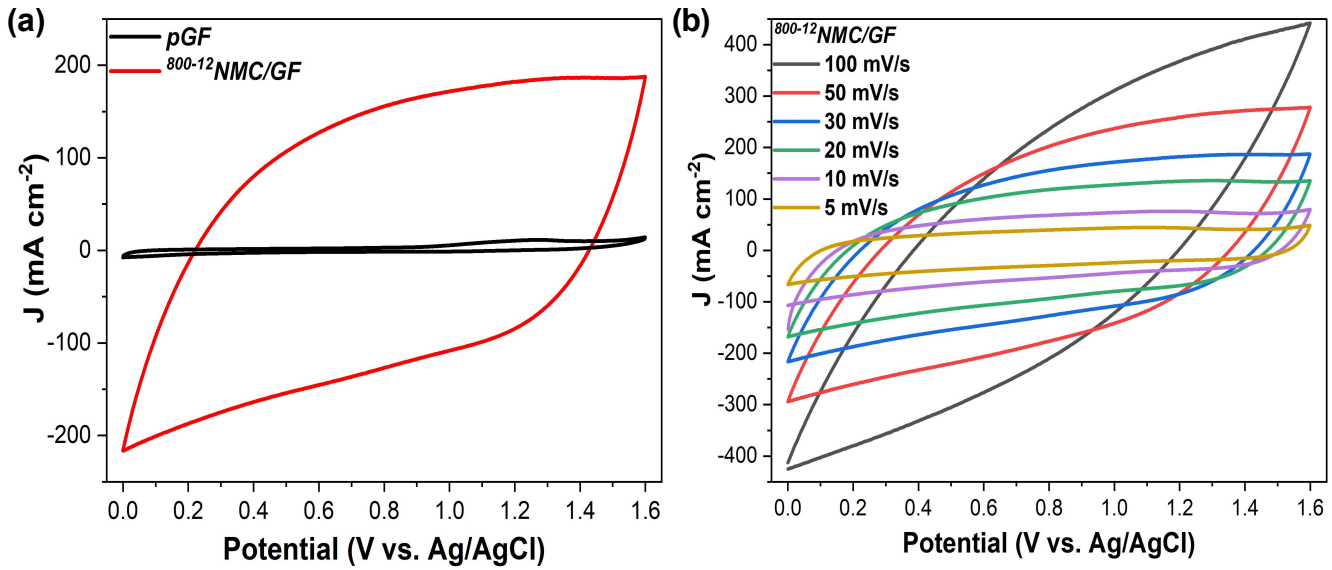
또한 에너지저장장치(ESS)용 전극으로 실용화를 위해서는 **단일 셀당 더 많은 활물질을 저장할 수 있는 전극 개발이 필수적**이며, 이때 양극 소재에 요구되는 특성은 높은 용량과, 고온 및 고전압에서의 구조 안전성이다.

연구팀은 **질소가 도핑된 중형 다공성 탄소를 흑연 펠트(Graphite Felt, GF) 전극 전체에 균일하게 형성하여** 배터리의 성능 및 안정성을 높였으며, 실용적인 무흐름 아연-브롬 수계 배터리 시스템용 양극으로 적용할 수 있게 했다.

나아가 이 탄소 물질을 증발유도 자기조립 방법*으로 두꺼운 GF 전체에 균일하게 도포하여 **구조적, 화학적 특성에 변화를 주는 양극**을 만들었다.

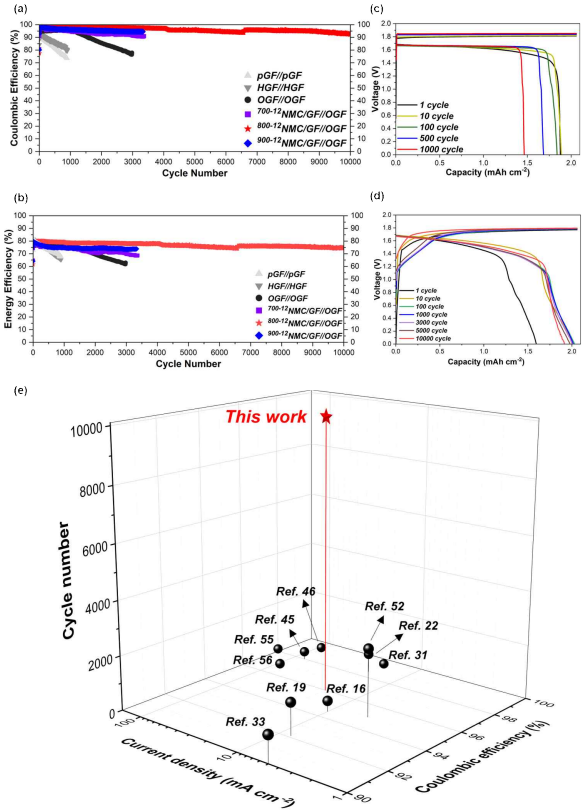
* **증발유도 자기조립 방법(Evaporation - Induced Self-Assembly, EISA)**: 전구체를 포함한 유기 용매 솔루션에서 용매를 천천히 증발시킴으로써 전구체와 계면활성제의 자가조립을 유도하는 방법

이번에 개발된 탄소 물질은 ▲**3-5 nm의 안정적인 중형 기공을 형성**하고 ▲**적정한 산소와 질소 함량으로 흑연 펠트 양극의 수용액에 대한 친화도를 높였**으며, ▲충전 과정에서 생성된 브롬 및 브롬 접합체를 저장·흡착하여 **브롬 크로스오버 현상을 억제하고 안정적인 충·방전 과정에서 우수한 산화/환원 반응 역학**을 보여주었다.



▲ **이번 연구에서 개발된 흑연 펠트 양극의 브롬 산화/환원 반응 역학 비교(좌) 및 스캔 속도에 따른 가역성 평가(우):** 전기화학적 평가 중 순환 전압전류법 실험을 통해 기존 흑연 펠트 대비 개발한 탄소 물질 도입을 통해 향상된 반응성과 가역성을 보인다.

10,000 사이클 이상의 장기적인 배터리 운용 평가에서 **평균 충·방전 효율 96%, 에너지 효율 76.6%라는 우수한 셀 성능과 전례 없는 내구성**을 보이며 양극으로의 활용 가능성을 확인했다.



▲ 흑연 펠트 양극별 단위 전지 평가 결과 비교 : 10,000 사이클 이상 배터리 구동 평가에서 보인 충·방전 및 에너지 효율 결과와 사이클별 충·방전 전압 그래프는 이번 연구에서 개발된 흑연 펠트 양극의 우수성을 보여주고, 다른 연구들에서 보여준 배터리 평가 결과와 비교했을 때 압도적으로 우수한 내구성을 보여준다.

GIST 박찬호 교수는 "이번 연구 성과를 통해 경제적인 무흐름 수계 배터리로 만들어진 실용적인 에너지저장장치(ESS)의 개발을 앞당길 수 있을 것"이라며 "향후 **리튬이온 배터리로 만들어진 현재 ESS의 화재 문제를 해결할 수 있는 차세대 기술로 부상**할 것으로 기대된다"고 말했다.

GIST 에너지융합대학원 박찬호 교수가 지도하고 조영인 통합과정생이 수행한 이번 연구는 과학기술정보통신부 과학기술원 공동연구사업의 지원받았으며, 화학공학 분야 상위 3.5% 국제학술지 'Chemical Engineering Journal'에 2024년 4월 22일 온라인 게재되었다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Chemical Engineering Journal (IF : 15.1, 2022년 기준)
- 논문명 : Achieving unprecedented cyclability of flowless zinc-bromine battery by nitrogen-doped mesoporous carbon on thick graphite felt electrode
- 저자 정보 : 조영인(제1저자, GIST), 김종경(공동저자, GIST), 김동희(공동저자, GIST), 박찬호(교신저자, GIST)