

★ 2026년 8월 5일(수) 조간 (온라인 8.4.(화), 낮 12:00 이후) 보도해 주시기 바랍니다.

보도자료	 한국연구재단 National Research Foundation of Korea
청렴한 연구지원 신뢰받는 NRF	<대외홍보실> 조은혜 팀장, 고흥숙 연구원 ☎ 042-869-6119

<자료문의> 세종대학교 나노신소재공학과 명승택 교수(02-3408-3454)

리튬 의존도 낮출 망간이온전지 구현 가능성 제시 - 비수계 전해질로 전지 구동 성공...차세대 ESS 상용화 기반 마련 -

- 국내 연구진이 저렴하고 풍부한 망간을 활용해, 기존 리튬이온전지의 자원 편중과 가격 변동성 문제를 보완할 차세대 에너지저장장치(ESS) 기술을 발전시켰다. 연구진은 망간 전극의 부식을 줄인 비수계 전해질*을 개발하고, 실제 전지 구동 가능성을 검증했다.

* 비수계 전해질(Non-aqueous Electrolyte) : 물을 용매로 사용하지 않고 유기용매 등을 활용하여 만든 전해질. 물과 전극 반응으로 인한 부식 및 수소 발생 등의 부작용을 줄일 수 있음.

- 한국연구재단(이사장 홍원화)은 명승택 교수(세종대학교) 연구팀이 사불화붕산망간* 기반 비수계 전해질을 설계·적용해 비수계 망간이온전지의 작동 가능성 및 시제품 구현 가능성을 검증했다고 밝혔다.

* 사불화붕산망간($Mn(BF_4)_2$) : 망간 이온(Mn^{2+})과 사불화붕산 이온(BF_4^-)으로 이루어진 망간염으로, 비수계 전해질에서 높은 이온전도도와 전기화학적 안정성을 확보할 수 있는 소재.

- 이번 연구는 과학기술정보통신부와 한국연구재단이 추진하는 나노·소재기술개발과 중견연구, 그리고 교육부와 한국연구재단이 추진하는 대학중점연구소 사업의 지원으로 수행됐으며, 연구 결과는 재료과학 분야 국제학술지 ‘재료과학 및 공학 보고(Materials Science & Engineering R)’에 6월 25일 온라인 게재됐다.

- 재생에너지 확대에 저렴하고 안전한 ESS 수요가 증가하고 있다. 망간

은 차세대 ESS 소재로 꼽히지만, 기존 수계 전해질에서는 전극 표면에 막이 생겨 성능이 저하되는 한계가 있다. 또한, 비수계 전해질에 적합한 망간염은 비싸고 부식성이 강해 연구가 어려웠다.

- 연구팀은 물에 의한 전극 손상을 방지하기 위해 물을 쓰지 않는 ‘사불화붕산망간 기반 비수계 전해질’을 개발했다.

- 개발된 비수계 전해질은 망간불화물과 삼불화붕소 에터레이트를 아세트니트릴 용매에서 반응시켜 합성한 특수 망간염 ‘ $Mn(BF_4)_2 \cdot 4CH_3CN$ ’을 2 몰(M) 농도로 적용했다.

- 개발된 전해질은 망간 금속의 부식을 효과적으로 억제하면서도 석출·박리 반응*을 안정적으로 구현했으며, 높은 이온전도도와 전기화학적 안정성을 나타냈다. 또한 계산과 분광분석 결과, 망간이온이 아세트니트릴 분자 6개와 안정적으로 결합한 구조임을 규명했다.

* 석출·박리 : 충전 시 금속 이온이 전극에 쌓이고, 방전 시 다시 용해되는 반응으로 금속 전지의 성능과 수명을 좌우함.

- 개발한 전해질을 실제 전지에 적용한 결과, 망간화된 비스무트·텔루륨(Bi_5Te_3) 기반 음극과 프러시안블루($NaMnHCF$) 양극을 조합한 전지가 1.5 V 이상의 작동전압과 70~80 mAh g⁻¹의 안정적인 용량을 나타냈다. 또한 실제 전지 형태인 파우치셀에서도 250회 이상 안정적으로 구동됐다.

- 명승택 교수는 “이번 연구는 전해질뿐만 아니라 양·음극 후보 소재를 함께 제시해 후속 망간전지 연구의 설계 기준을 마련하고, 기존의 만전지 성능 평가를 넘어 실제 전지 형태의 구동 가능성을 검증한 데 의의가 있다”라며, “후속 연구에서는 용매와 첨가제, 보호막 설계를 통해 망간의 석출·박리 가역성을 개선하고, 수명과 효율을 높여 상용화의 토대를 마련하겠다”라고 밝혔다.

주요내용 설명

<작성 : 세종대학교 명승택 교수>

논문명	Tailoring Mn-ion batteries through a nonaqueous electrolyte
저널명	Materials Science & Engineering R
키워드	Mn-ion battery (망간이온전지), Nonaqueous electrolyte (비수계 전해질), Multivalent cation (다가양이온), Solvation structure (용매화 구조), Cycling stability
DOI	https://doi.org/10.1016/j.mser.2026.101263
저자	명승택 교수(교신저자/세종대학교), 요헨 아니스케비치 박사(Yauhen Aniskevich)(제1저자/세종대학교), 소랍 베이쭈(Sourav Baiju)(제1저자/울리히연구소), 손준혁(공동저자/세종대학교), 유준호(공동저자/세종대학교), 조창흠(공동저자/세종대학교), 류종경(공동저자/포항공과대학교), 안도천(공동저자/포항공과대학교), 파얌 카자즈치(Payam Kaghazchi)(교신저자/울리히연구소)

1. 연구의 필요성

- 재생에너지 확대와 전력망 안정화 수요 증가로, 저렴하고 안전한 대용량 에너지저장장치 개발이 중요해지고 있다. 현재 리튬이온전지가 주력 기술이지만, 리튬 자원 편중과 가격 변동성으로 인해 이를 보완할 차세대 전지 기술이 필요하다. 이에 나트륨, 마그네슘, 칼슘, 아연 등 포스트 리튬 전지 연구가 활발히 진행되고 있다.
- 망간은 풍부하고 저렴하며 독성이 낮아 대용량 저장장치용 전지 소재로 유망하다. 그러나 기존 망간이온전지는 대부분 물 기반 전해질을 사용해, 망간 금속이 물과 반응하면서 산화물·수산화물 피막을 형성하고 성능이 빠르게 저하되는 한계가 있었다. 또한 비수계 전해질에 적합한 망간염은 비싸거나 부식성이 강해 연구 확장이 어려웠다.

2. 연구내용

- 연구팀은 물에 의한 망간 전극 손상을 줄이기 위해 사불화붕소망간 기반

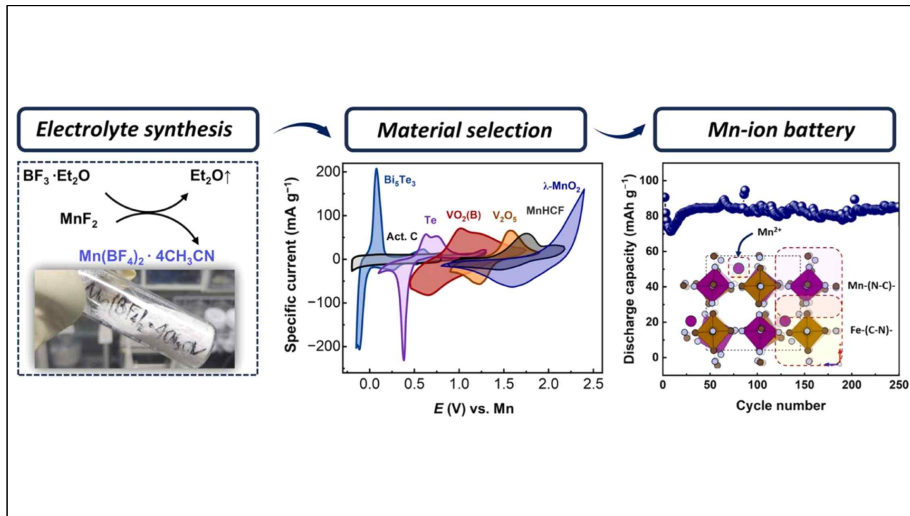
비수계 전해질을 개발했다. 망간불화물과 삼불화붕소 에테레이트를 아세토니트릴에서 반응시켜 $\text{Mn}(\text{BF}_4)_2 \cdot 4\text{CH}_3\text{CN}$ 을 합성하고, 이를 2 M 농도로 아세토니트릴에 녹여 망간이온전지용 전해질로 적용했다.

- 개발된 전해질은 망간 금속의 심각한 부식을 억제하고, 망간이 전극에 쌓였다가 다시 녹아 나오는 석출·박리 반응을 가능하게 했다. 또한 높은 이온전도도와 전기화학적 안정성을 보였으며, 계산과 분광분석을 통해 망간이온이 아세토니트릴 분자 6개와 안정적으로 결합한 구조로 존재함을 확인했다.
- 연구팀은 양극 후보로 바나듐 산화물, 망간 산화물, 프러시안블루 유사체를, 음극 후보로 망간 금속과 비스무트·텔루륨 기반 소재를 평가했다. 특히 망간화된 Bi_5Te_3 기반 음극과 NaMnHCF 양극을 조합한 전지는 1.5 V 이상의 작동전압과 70~80 mAh g⁻¹ 수준의 안정 용량을 보였고, 파우치셀에서도 250회 사이클 구동 가능성을 확인했다.

3. 연구성과/기대효과

- 이번 연구는 망간이온전지를 기존 수계 전해질의 한계에서 벗어나, 물을 사용하지 않는 비수계 전해질 기반 전지로 확장했다는 점에서 의미가 크다. 비수계 전해질은 망간 부식과 수소 발생, 전극 피막 형성 문제를 줄이고 더 넓은 전압 범위에서 전지 구동을 가능하게 한다.
- 또한 전해질뿐 아니라 양극·음극 후보 소재를 함께 제시해, 향후 망간전지용 전극 조합과 계면 설계의 기준을 마련했다. 망간은 자원 접근성이 높고 가격 부담이 낮아, 재생에너지 연계형 저장장치와 전력망 안정화용 대용량 저장장치에 활용될 가능성이 있다.
- 다만 상용화를 위해서는 추가 개선이 필요하다. BF_4^- 이온은 수분과 반응할 수 있어 전해질 제조와 셀 조립 과정에서 정밀한 수분 관리가 필요하며, 망간 석출·박리 반응의 가역성도 더 높여야 한다. 향후 용매, 첨가제, 보호막 설계를 통해 장기 수명과 효율을 개선하는 연구가 필요하다.

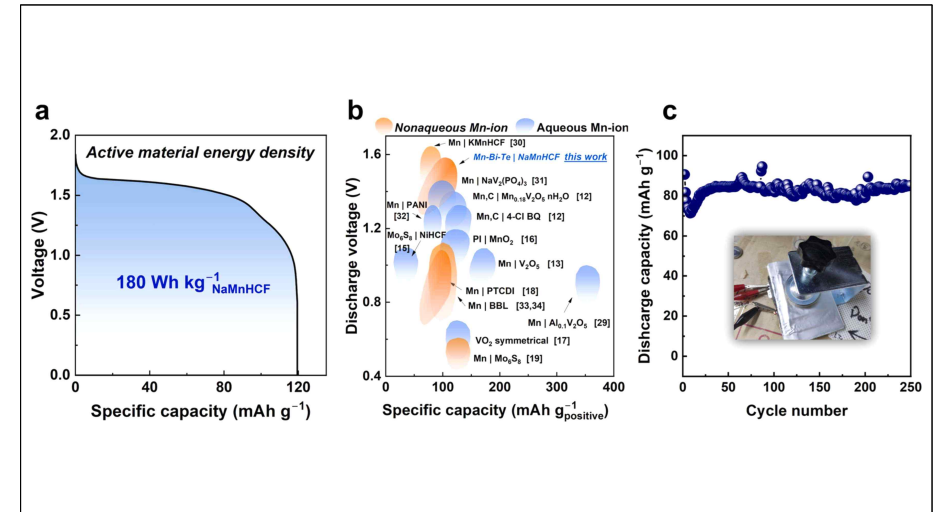
그림 설명



(그림1) 사불화붕산망간 기반 비수계 전해질의 개발과 망간이온전지 구현

불화망간(II)(MnF_2)과 삼불화붕소 에테레이트($\text{BF}_3\cdot\text{Et}_2\text{O}$)를 아세토니트릴에서 반응시켜 사불화붕산망간-아세토니트릴 착물($\text{Mn}(\text{BF}_4)_2\cdot 4\text{CH}_3\text{CN}$)을 합성했다. 개발된 전해질을 이용해 바나듐 산화물, 망간 산화물, 프러시안블루 유사체 등의 양극 후보와 망간 금속, 비스무트, 텔루륨 기반 음극 후보를 비교했다. 그 결과, 망간화된 Bi_5Te_3 음극과 NaMnHCF 양극을 적용한 비수계 망간이온전지가 250회 이상 안정적으로 작동해 실제 전지 적용 가능성을 확인했다.

그림설명 및 그림제공 : 세종대학교 명승택 교수



(그림2) 비수계 전해질을 적용한 망간이온 파우치전지의 성능 검증

망간화된 비스무트와 텔루륨계 음극과 프러시안블루 유사체인 NaMnHCF 양극을 조합해 비수계 망간이온전지를 구현했다. NaMnHCF 양극은 활물질 기준 약 180 Wh kg^{-1} 의 에너지밀도를 나타냈으며, 기존에 보고된 다수의 망간이온전지보다 높은 작동전압을 확보했다. 특히 2M 사불화붕산망간 전해질을 적용한 파우치전지가 250회 충·방전 동안 안정적으로 작동해 실제 전지 적용 가능성을 보여줬다.

그림설명 및 그림제공: 세종대학교 명승택 교수

연구 이야기

<작성 : 세종대학교 명승택 교수>

□ 연구를 시작한 계기나 배경은?

재생에너지 확대와 전력망 안정화 수요가 커지면서 저렴하고 안전한 대용량 에너지저장장치의 필요성이 높아지고 있다. 현재 리튬이온전지가 주력 기술이지만, 리튬 자원의 지역적 편중과 가격 변동성은 장기적인 공급망 부담으로 이어질 수 있다. 연구팀은 이를 보완할 소재로 자원이 풍부하고 가격이 낮으며 독성이 적은 망간에 주목했다. 그러나 기존 수계 망간이온전지는 망간 금속이 물과 반응해 부식되고 표면에 피막이 형성되는 문제가 있었다. 이에 연구팀은 물을 사용하지 않는 비수계 전해질을 통해 망간 전극의 안정성을 높이고, 실제 전지로 구현할 수 있는 가능성을 확인하고자 연구를 시작했다.

□ 이번 성과, 무엇이 다른가?

기존 연구가 수계 전해질이나 개별 전극 소재의 성능 평가에 주로 머물렀다면, 이번 연구는 비수계 전해질부터 양극·음극 소재까지 전지 구성 요소를 함께 검토했다는 점에서 차별성이 있다. 연구팀은 사불화붕산망간 기반 전해질을 직접 합성하고, 다양한 전극 후보와의 적합성을 체계적으로 비교했다. 이를 통해 망간화된 비스무트·텔루륨계 음극과 프러시안블루 유사체 양극의 조합을 제시했다. 해당 전지는 1.5 V 이상의 작동전압과 안정적인 용량을 나타냈다. 특히 반전지 수준을 넘어 파우치형 완전전지로 제작해 250회 충·방전이 가능함을 확인함으로써 실제 전지 적용 가능성을 검증했다.

□ 실용화된다면 어떻게 활용될 수 있나? 실용화를 위한 과제는?

비수계 망간이온전지가 실용화된다면 재생에너지 연계형 저장장치와 전력망 안정화용 대용량 에너지저장장치에 활용될 수 있다. 망간은 자원 접근성이 높고 가격 부담이 낮아, 비용이 중요한 고정형 저장장치 분야에서 장점이 있다. 또한 리튬 기반 전지를 완전히 대체하기보다는 공급망 다변화와 저장장치 선택 폭 확대에 기여할 수 있다. 다만 사불화붕산 이온이 수분과 반응할 수 있어 전해질 제조와 셀 조립 과정에서 정밀한 수분 관리가 필요하다. 앞으로 망간 석출·박리 반응의 가역성, 장기 수명, 에너지밀도를 높이고 대면적·대용량 셀에서 성능을 검증하는 연구가 요구된다.