

더 오래 가는 전기자동차를 위한 핵심기술 개발

- 국내 공동연구팀, 리튬메탈 전지의 구리박막 음극재를 탄소섬유 페이퍼로 대체
- 내구성 3배 이상 향상...에너지 밀도 높고 가벼워 경량화도 가능



▲ (왼쪽부터) 지스트 엄광섭 교수, KIST 이성호 센터장, KIST 이윤기 학생연구원

전기자동차의 보급 확대로 이차전지 수요가 폭발적으로 증가함에 따라 현재 가장 대중적으로 사용되고 있는 리튬이온 전지보다 용량이 크고 급속충전이 가능한 차세대 이차전지의 필요성이 커지고 있다.

리튬이온의 음극 소재*인 흑연을 리튬메탈로 대체한 리튬메탈 전지는 이론적으로 리튬이온 전지보다 10배 높은 용량을 구현할 수 있다. 그러나 충·방전 중에 리튬 표면에 결정 돌기*가 생성되면서 분리막*을 찢는 현상이 나타나기 때문에 내구성과 안전성 문제가 있어 상용화되지 못하고 있다.

* 음극소재(anode material): 양극에서 나온 리튬이온을 저장했다가 방출하면서 전류를 흐르도록 하여 배터리의 충전속도와 수명에 중요한 역할을 함

* 리튬 수지상 결정돌기(Li-dendrite): 리튬급속전지를 충전하는 과정에서 전극에 리튬이 전극에 불균일하게 전착되며 돌기 모양으로 성장함. 붙임 용어설명 참고.

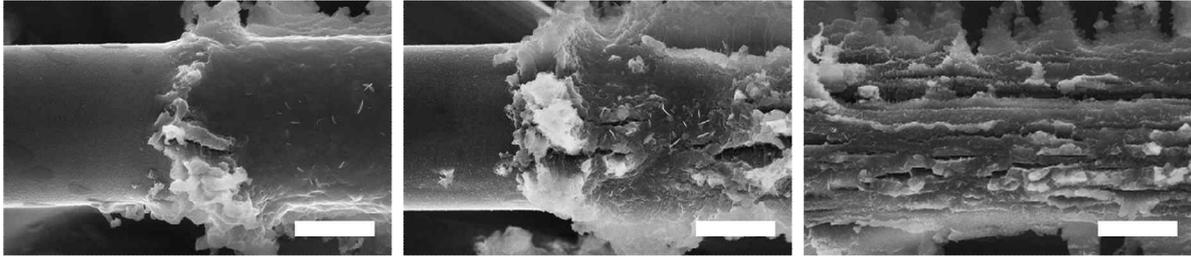
* 분리막: 배터리 내부의 양극과 음극이 접촉하지 않도록 하는 절연소재의 얇은 막. 배터리의 안전성과 관련됨.

지스트(광주과학기술원, 총장직무대행 박래길) 신소재공학부 엄광섭 교수팀은 한국과학기술연구원(KIST, 원장 윤석진) 전북분원 복합소재기술연구소(분원장 김진상) 탄소융합소재연구센터 이성호 센터장 연구팀과 함께 탄소섬유 페이퍼를 음극소재로 사용하여 리튬메탈 전지의 내구성을 3배 이상 향상시키는 기술을 개발했다고 밝혔다.

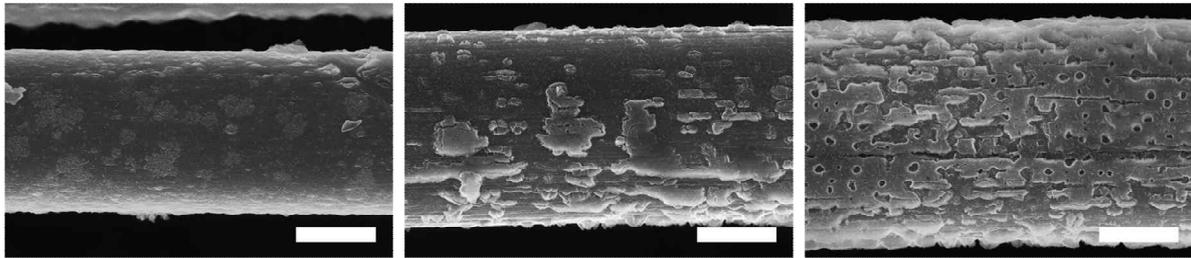
연구진은 리튬메탈 전지의 음극 소재로 쓰이는 리튬메탈을 코팅한 구리 박막을 리튬메탈이 함유된 얇은 탄소섬유 페이퍼로 대체했다. 개발된 탄소섬유 페이퍼는 탄소 단섬유 위에 무기 나노입자인 비결정질* 탄소와 탄산나트륨으로 표면처리를 하여 리튬 친화적인 특성을 가지는 동시에 리튬 수지상 결정이 뾰족하게 성장하지 못하도록 했다.

* **비결정질**: 광물을 이루는 원자나 이온의 배열 상태가 불규칙하여 일정한 결정을 이루지 못하는 광물

기존 탄소섬유페이퍼



개발된 탄소섬유페이퍼



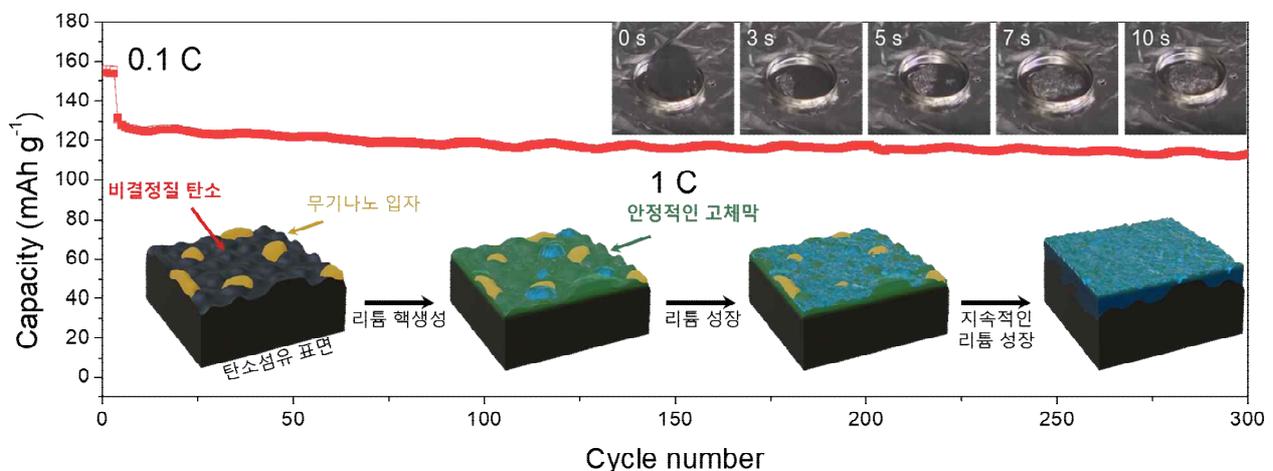
▲ 기존 탄소섬유페이퍼와 계층적 구조가 형성된 탄소섬유페이퍼의 리튬 도금량에 따른 형태

공동 연구진은 개발한 탄소섬유 페이퍼 음극소재를 사용한 결과, **구리 박막보다 3 배 이상 높은 내구성을 갖는 리튬메탈 전지**를 제조할 수 있었다. 구리 박막은 약 100회의 충·방전 사이클 이후에서 단락*이 일어났지만, **새로 개발한 탄소섬유 페이퍼는 300 사이클 이상에서도 안정적인 성능**을 보였다.

또한 구리 박막을 사용하는 리튬메탈 전지의 **에너지 밀도***를 **240 Wh/kg에서 428 Wh/kg으로 약 1.8배 증가**시킬 수 있었다. 나아가 녹은 리튬이 탄소섬유 페이퍼에 빠른 시간 내에 흡수되는 특성을 보여 **전극 제조공정을 단순화**시킬 수 있을 것으로 예상된다.

* **단락**: 합선. 전위차를 갖는 회로 상의 두 부분이 전기적으로 접촉되는 현상. 접점에서 과량의 전류가 흐르게 되어 발열이나 화재, 폭발이 일어나기도 함.

* **에너지 밀도(energy density)**: 단위 부피 혹은 단위 무게에 저장된 에너지. 전지의 효율을 나타내는 지표.



▲ 고분자의 탄화를 통해 비결정질 탄소와 무기나노입자의 형성으로 계층적 구조가 형성된 탄소섬유 표면에 리튬 수지상 돌기를 억제하는 효과를 제시한 모식도와 낮은 리튬이 빠른 시간에 탄소섬유페이퍼에 흡수.

엄광섭 교수는 “이번 연구 성과는 구리보다 훨씬 가벼운 탄소섬유의 간단한 표면처리로도 리튬메탈음극용 집전체로서 충분한 안정성을 확보할 수 있다는 데 가장 큰 의의가 있다”면서, “향후 고에너지 리튬금속배터리의 상용화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다”고 밝혔다.

이번 연구는 과학기술정보통신부(장관 이종호) 지원을 받아 KIST 주요사업 및 나노소재기술개발사업으로 수행되었으며, 연구결과는 국제학술지 '어드밴스드 에너지 머티리얼즈'(IF=29.698, JCR 상위 2.464%) 1월호에 게재되었다.

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Advanced Energy Materials (IF=29.698)
- 논문명 : Construction of Hierarchical Surface on Carbon Fiber Paper for Lithium Metal Batteries with Superior Stability
※ DOI: <https://doi.org/10.1002/aenm.202203770>
- 저자 정보 : 지스트 엄광섭 교수(공동교신저자), 한국과학기술연구원 이성호 박사(공동교신저자) 한국과학기술연구원 이윤기 연구원(제1저자)

용어 설명

1. 탄소섬유

- 1970년대 레이온 섬유를 기반으로 탄소섬유의 상업화를 시작하여 현재 polyacrylonitrile (PAN)을 전구체로 방사, 안정화, 탄화, 표면처리 공정을 거쳐 제조된 탄소섬유를 전 세계적으로 생산하고 있다. 최근에 탄소섬유는 항공기용 복합재의 보강재로 사용됨에 따라 수요량이 폭발적으로 증가하고 있다. 우주항공 응용을 위한 탄소섬유는 고강도, 고탄성의 극한 성능을 갖는 소재로 개발되고 있으며 탄소섬유의 물성은 전구체의 종류와 공정조건에 따라 좌우된다.

2. 리튬메탈 이차전지

- 리튬메탈 이차전지는 리튬이온전지의 흑연 대신 리튬 금속을 음극재로 사용하는 전지이다. 흑연의 이론용량은 372 mAh g⁻¹이지만 리튬 금속의 이론용량은 3,860 mAh g⁻¹로써 흑연보다 10배 이상의 용량을 가지고 있다. 이로 인해, 리튬이온전지에 비해 2배 이상의 높은 에너지 밀도를 가져 차세대 배터리 중 하나로 주목받고 있다.

3. 리튬 수지상 결정돌기 (Li-dendrite)

- 리튬메탈전지의 충전하는 과정에서 리튬이 전극에 전착되는데, 이때 불균일하게 전착되면서 리튬 수지상 결정돌기로 성장하게 된다. 이때의 리튬 결정체가 뿔족한 돌기의 모양으로 보여 수지상 결정돌기 (dendrite)라고 부른다. 리튬 수지상 결정돌기가 계속 성장하게 되면 분리막을 찌어 반대편 전극에 닿아 전지의 단락을 일으킬 수 있다. 또한, 충-방전이 반복됨에 따라 리튬 수지상 결정돌기들이 전착 및 탈리 과정을 거치며 사용하지 못하는 리튬들이 만들어져 충방전 효율을 떨어뜨리게 된다.

4. 리튬친화성 (lithiophilicity)

- 리튬과 친화성이 뛰어난 물질을 뜻하는 것으로, 예를 들어 은 (Ag), 아연 (Zn), 질소 혹은 산소가 도입된 탄소 등이 있다.

5. 고체막 (solid electrolyte interphase layer)

- 충-방전 과정에서 전지에 사용되는 전해질의 전기분해로 인해 음극재 표면에 형성되는 막을 뜻한다. 이 고체막은 추가적인 전해질의 분해를 막아주며, 성분에 따라 리튬의 이온 확산 속도와 기계적 물성들이 달라진다.