

GIST-조지아공대,

안정성 높고 수명 3배 향상된 리튬금속전지 개발 간편한 음극 제작 공정으로 제조 비용과 시간은 줄여

- 엄광섭 교수팀, 흑연 대체하는 리튬금속 음극에 배터리 셀 내부에서의 간단한 전기화학 처리만으로 안정성과 수명 크게 높인 리튬금속전지 개발... 차세대 전기차 등에 활용
- 425회 이상 충·방전 주기에서 초기 용량 대비 85% 이상 유지, 수명 3배 이상 높아... 조지아공대 톰 풀러 교수와 공동연구, 국제학술지 《Small Structures》 게재



▲ (왼쪽부터) 엄광섭 교수, 김수빈 박사과정생

전 세계 자동차 시장에서 전기차 판매가 꾸준히 이어지고 있는 가운데 상용화되어 있는 리튬이온전지보다 용량이 크고 충·방전이 빠른 차세대 이차전지에 대한 관심이 높아지고 있다.

기존 리튬이온전지의 음극 소재*인 흑연은 이론적 한계 용량에 거의 도달한 상태로, 에너지 밀도를 높이기 위해서는 용량이 더 높은 음극 소재의 개발이 필요한 상황이다.

* 음극 소재(anode material): 양극에서 나온 리튬이온을 저장했다가 방출하면서 전류를 흐르도록 하여 배터리의 충전 속도와 수명에 중요한 역할을 함.

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 신소재공학부 엄광섭 교수팀이 미국 조지아 공과대학(Georgia Tech) 톰 풀러(Tom Fuller) 교수와의 공동연구로, 기능성 첨가제 및 전기화학적 표면 처리 공정 개발을 통해 리튬금속 음극의 고질적인 수지상 성장 문제를 해결하고, 율속* 및 수명 특성을 향상시키는 기술을 개발했다고 밝혔다.

* **수지상 성장 문제:** 리튬 금속 배터리는 충·방전을 거듭할수록 리튬 표면에 나뭇가지 모양으로 리튬이 자라나는데 이를 수지상(樹枝狀) 성장(成長)이라고 한다. 수지상은 금속 배터리가 작동될 때 음극 표면에 바늘처럼 자라 분리막을 뚫고 배터리를 파괴해 성능 및 안전성을 해치는 문제로 여겨지고 있다.

* **울속:** 충방전 속도를 높임에 따라 용량 유지율이 좋아지거나 나빠지는 특성

음극 소재를 흑연에서 리튬 금속으로 대체한 **리튬금속전지는 이론적으로 리튬이온 전지보다 10배 높은 음극 용량을 구현할 수 있어 주목받고 있다.**

하지만 리튬금속전지의 충·방전 중 **리튬의 수지상 결정* 성장**이 일어나면서 분리막* 을 뚫고 전지의 단락(short circuit)을 일으키는 현상을 비롯해 리튬이 도금되면서 부피 팽창이 일어나 배터리가 부풀고 내부의 압력이 증가하는 등 **안전성 및 내구성의 문제가 상용화에 걸림돌이 되고 있다.**

* **리튬 수지상 결정(Li-dendrite):** 리튬금속전지를 충전하는 과정에서 전극에 리튬이 전극에 불균일하게 전착되며 수지상으로 성장함. 붙임 용어설명 참고.

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

연구팀은 전해질 첨가제로 사용한 **티오요소(Thiourea)의 전기화학적 산화를 유도하여 음극 집전체 표면에 구리 황화물(Cu_2S)를 형성시킴으로써 친리튬성*이 있는 리튬금속 음극을 개발했다.**

* **친리튬성(lithiophilicity):** 리튬의 핵생성 에너지 장벽을 낮추어 균일하고 많은 리튬 핵생성이 가능하도록 하는 집전체의 특성.

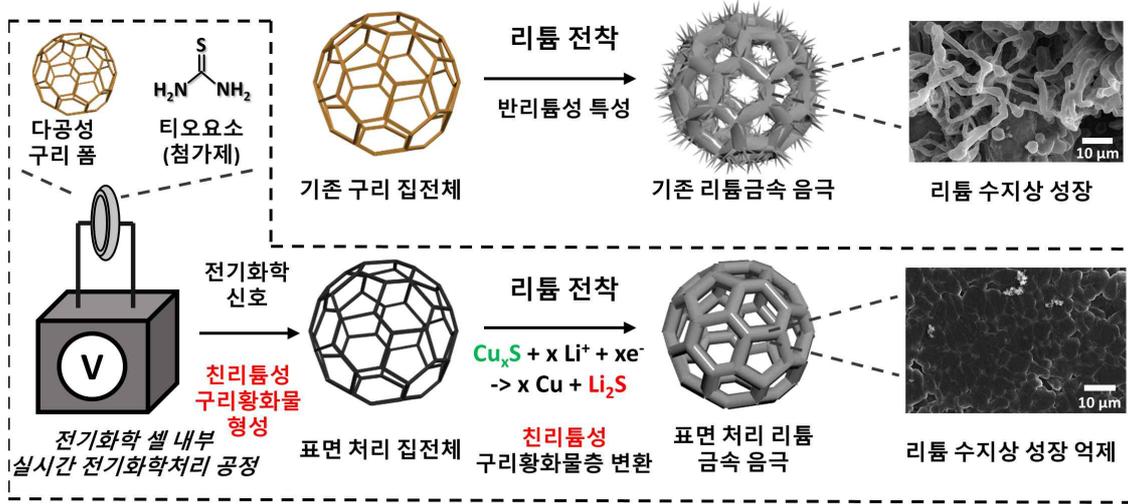
이렇게 개발된 리튬금속 음극은 친리튬성 계면에 의해 리튬 핵생성 및 성장이 균질화되는 한편 고체 전해질 계면(SEI, Solid electrolyte interphase) 형성 과정에서 이온 전도도가 높은 리튬 황화물(Li_2S)이 만들어져 **수지상 결정 성장이 효과적으로 억제되었다.**

또한, 연구팀이 개발한 리튬금속 음극은 제작 과정에서 **값싼 소량의 기능성 첨가제 및 전기화학 신호만을 이용하기 때문에 다른 공정에 비해 비용과 시간을 비약적으로 줄일 수 있다는 장점도 있다.**

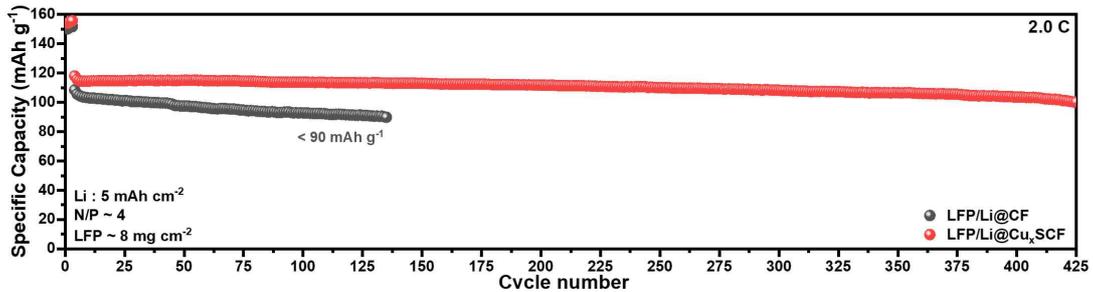
연구팀은 이와 같은 리튬금속 음극을 이용하여 **기존의 구리 집전체 기반 리튬금속 음극보다 3배 이상의 수명을 갖는 리튬금속전지를 만드는 데 성공했다.**

기존의 구리 집전체를 사용하는 경우 높은 전류밀도에서(30분에 1번씩 충전 혹은 방전) 147회 충·방전 사이클부터는 발현 용량이 급속도로 줄어들었지만, **새로운 처리 기법으로 만든 리튬금속 음극은 425회 충·방전 사이클 이상에서도 초기 용량 대비 85% 이상의 용량을 보이며 안정적인 성능을 보였다.**

• 전기화학 표면처리법을 이용한 리튬금속 제작법 개발



• 완전 셀 성능



▲ 전기화학적 표면처리법을 이용한 리튬금속 제작법 개발 모식도, 리튬 금속의 도금 형상 및 완전 셀 성능 비교. 음극으로 리튬금속을 사용하고 양극으로는 리튬인산철 (LiFePO4)를 채택한 완전 셀에서 전기화학 처리를 거친 리튬금속 음극의 경우 높은 전류 밀도에서 3배 이상의 전지 수명을 보이게 된다.

엄광섭 교수는 "외부 공정의 추가 없이 배터리 셀 내부에서 간단한 전기화학 처리 만으로도 리튬금속전지의 안정성을 크게 향상시킬 수 있는 새로운 방법론을 제시 했다"고 설명하고, "기존 리튬이차전지 보다 에너지 밀도가 2배 이상 높은 리튬금속전지를 향후 자동차 또는 에어로모빌리티(aeromobility) 등에 활용하기 위해 안정 성과 수명을 개선한 방법 중 비용과 시간을 가장 쉽게 줄일 수 있을 것"이라고 밝혔다.

GIST 신소재공학부 엄광섭 교수와 조지아공대 톰 풀러 교수가 지도하고 김수빈 박사과정생이 주도적으로 수행한 이번 연구는 현대자동차 (AAM용 배터리 R&D 프로젝트) 및 한국연구재단, 조지아공대(출판료 지원)의 지원을 받아 수행하였다. 연구 성과는 재료공학(나노소재) 분야의 세계적인 국제학술지 《스몰 스트럭처스(Small Structures, 저널 영향력 지수(2023): 13.9, JCR 상위 7.0%)》에 2024년 8월 19일 온라인 게재되었다.

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Small structures (Impact factor: 13.9, JCR 상위 7.0% (2023년 기준))
- 논문명 : *In-situ* electrochemical interfacial manipulation enabling lithiophilic Li metal anode with inorganic-rich solid electrolyte interphase for stable Li metal batteries
 - ※ DOI: <http://doi.org/10.1002/sstr.202400254>
- 주요 저자 정보 : 김수빈 박사과정생 (GIST 신소재공학부, 제1저자), 엄광섭 교수 (GIST 신소재공학부, 교신저자), Tom Fuller 교수 (조지아공대 화학공학부, 공동저자)