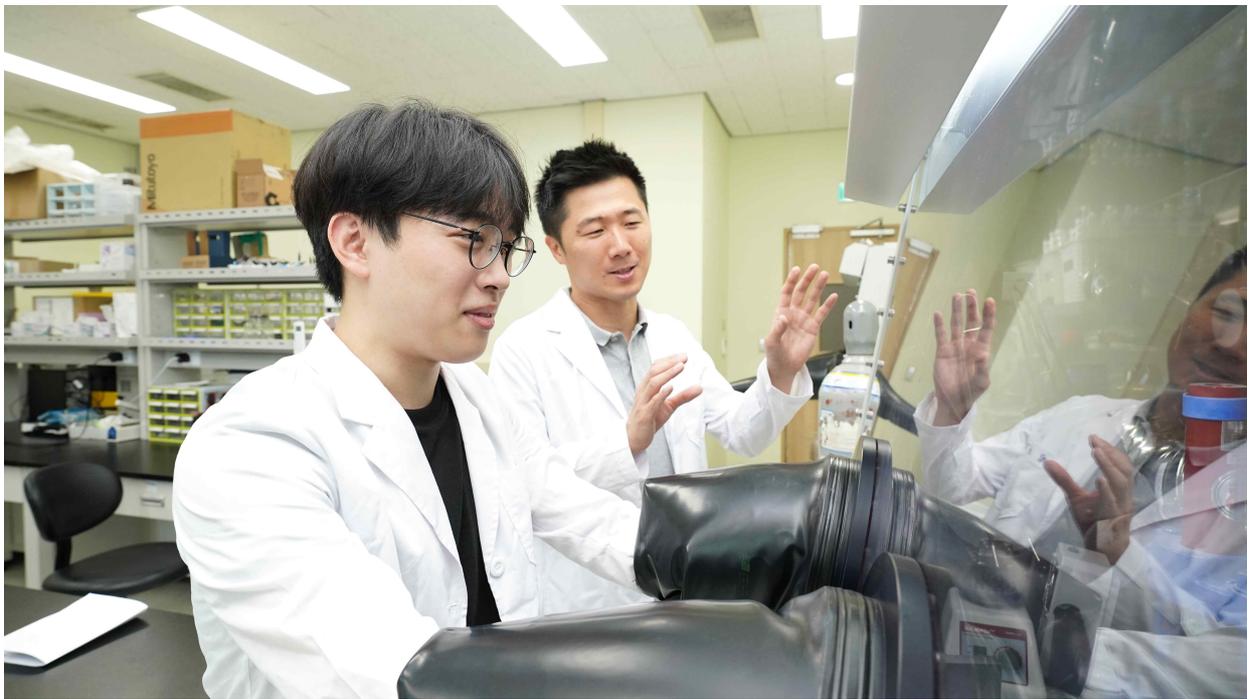


“화재·폭발 위험은 낮고 에너지 밀도는 높은 꿈의 배터리 상용화 앞당긴다” GIST-LG에너지솔루션-KETI, 이온전도성 높고 리튬 메탈에도 안정된 반응 보이는 전고체 배터리 新기술 개발

- GIST 에너지융합대학원 김상륜 교수가 이끈 공동연구팀, 수소화-황화물계 고체 전해질 독자적 설계로 200회 충·방전 후에도 쿨롱 효율 100%에 근접하는 가역적 용량 갖는 고성능 NCM/Li 전고체 배터리 개발
- 수소화물 활용한 전고체 배터리뿐 아니라 리튬이온·소듐이온·포타슘이온 배터리 등 차세대 배터리 기술 개발에 적용 기대... 국제학술지 《ACS Energy letters》 게재



▲ (왼쪽부터) 이태경 석사과정생, 김상륜 교수

최근 전기자동차에 최적화된 배터리 개발을 위해 **높은 안정성과 에너지 밀도를 갖는 이차전지 관련 연구가 활발히 진행되고** 있는 가운데 그중에서도 ‘꿈의 배터리’로 불리는 차세대 전지의 일종인 ‘**전고체 배터리**’에 대한 관심이 높아지고 있다.

전고체 배터리는 양극과 음극 사이 액체 전해질을 고체로 대체함으로써 **화재 및 폭발 위험도를 크게 낮추고 에너지 밀도가 증가할 것으로 기대되며 상용화를 앞당기기** 위해 배터리 관련 기업에서도 기술 개발에 적극 나서고 있다.

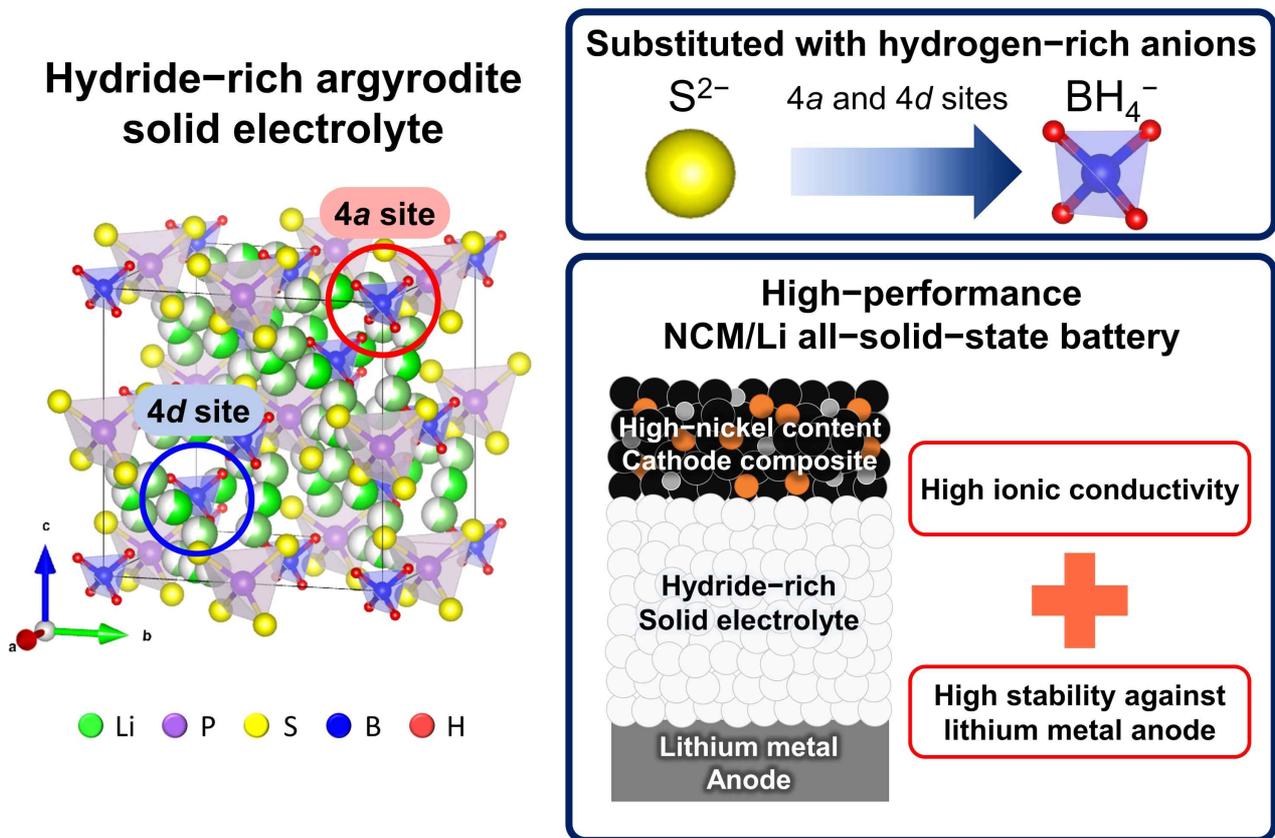
광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 에너지융합대학원 김상륜 교수 연구팀이 LG 에너지솔루션 연구팀 및 한국전자기술연구원(KETI) 차세대전지연구센터와 함께 이온전도성*을 높이고 리튬 메탈에 대하여 안정된 반응을 보이는 수소화-황화물계 고체 전해질을 개발했다고 밝혔다.

이번 연구 성과로 기존 아지로드ایت (은, 게르마늄, 황이 결합된 희귀광물) 구조*의 황화물계 고체 전해질이 갖고 있던 한계(▲ NCM* 및 리튬 메탈에 대한 불안정한 반응)를 극복하고, 고전압 . 고전류에서도 우수한 안정성으로 구동되는 NCM/Li 전고체 배터리의 고체 전해질을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

* 이온전도성 : 물질 내부에서 이온이 이동할 수 있는 정도

* 아지로드ایت(Argyrodite) 구조 : 광석인 Ag_8GeS_6 와 동일한 구조를 가지면서 리튬 이온전도성을 나타내는 고체전해질

* NCM : 니켈(Ni)과 코발트(Co), 망간(Mn)을 이용해 양극재로 사용



▲ 연구 내용을 요약한 그림: 아지로드ایت 구조에 수소화물과 황을 공존하여 이루어진 장점을 설명한다.

NCM 양극재와 리튬 메탈 음극재를 사용하는 전고체 배터리는 높은 에너지 . 파워 밀도를 갖기 때문에 차세대 전기자동차, 선박 등에 활용될 수 있다.

그러나 고체 전해질의 NCM 및 리튬 메탈에 대한 불안정한 반응으로 인해 고전류 밀도에서 구동이 어렵고 비가역 용량*이 빈번히 발생하는 단점이 있다.

* 비가역 용량: 재료의 성질이 변하여 이전 상태로 돌아갈 수 없는 용량을 뜻하며, 양극과 음극의 비가역 용량의 차이를 이해해야 배터리 설계가 가능하다.

연구팀은 수소화물 음이온과 황 음이온을 아지로드ایت 황화물계 고체전해질의 결정 구조에 공존시키는 독자적 재료 설계를 통해 향상된 이온전도성과 환원성을 겸비하는 고체 전해질뿐만 아니라 고성능 전고체 배터리를 설계할 수 있었다.

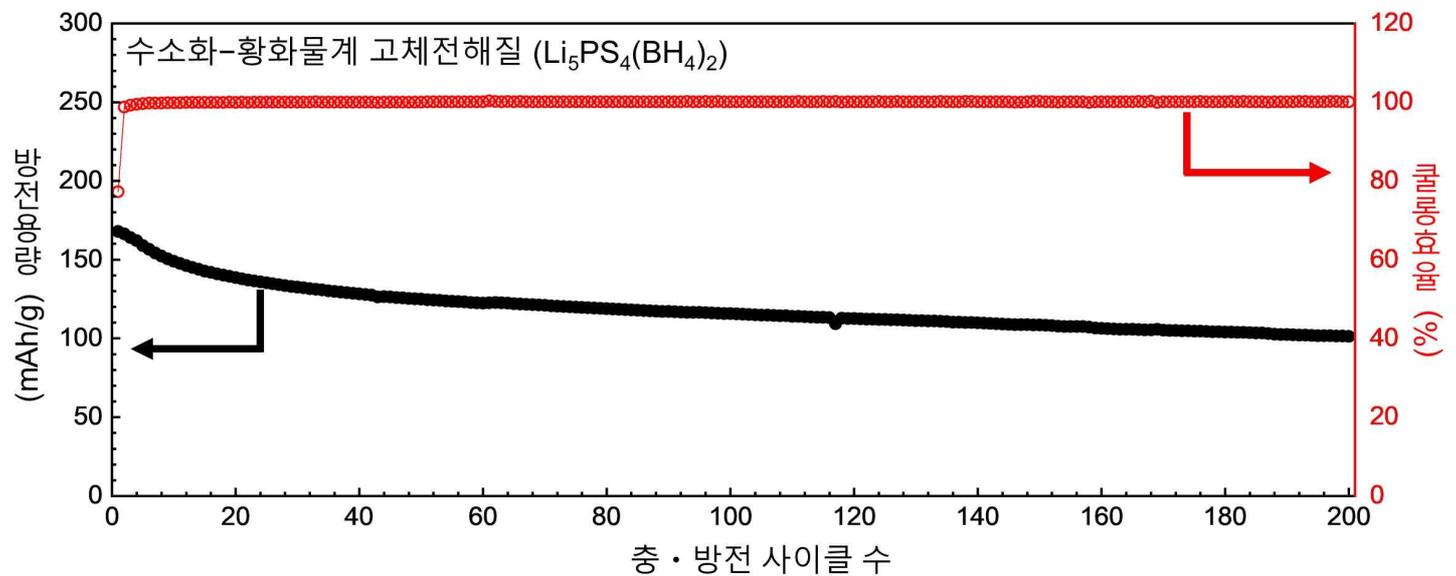
고안된 수소화-황화물계 고체 전해질 $\text{Li}_5\text{PS}_4(\text{BH}_4)_2$ 를 통해 고전류에서도 리튬 메탈에 대하여 안정된 반응을 일으켜 고체 전해질과 리튬 메탈에 대한 낮은 계면 저항을 확인했다.

* 결정 구조 : 고체 물질 내에서 원자, 이온 또는 분자가 규칙적이고 반복적인 배열을 이루는 구조

* 환원성 : 화학에서 특정 물질이 전자를 얻어 다른 물질을 환원시키는 능력

연구팀은 수소화-황화물계 고체전해질을 통해 NCM/Li 전고체 배터리에 적용한 결과, 고전류 밀도에서 200회 충·방전 후에도 쿨롱 효율*이 100%에 근접하는 가역적인 방전용량을 가지는 고성능 NCM/Li 전고체 배터리를 만드는 데 성공했다.

* 쿨롱 효율(Coulomb efficiency): 전기화학적 장치에서 전기에너지를 화학에너지로 변환하는 효율을 나타내는 값으로, 전기화학적 장치(예: 배터리)에서 전기를 충전할 때와 방전할 때의 에너지 변환 효율을 의미한다. 에너지를 저장하고 방전할 때 저장한 만큼 돌려줄수록 쿨롱 효율이 좋은 배터리라고 한다.



▲ 수소화-황화물계 전고체 배터리의 전기화학적 성능: 수소화-황화물계 고체전해질인 $\text{Li}_5\text{PS}_4(\text{BH}_4)_2$ 을 사용하여 NCM/Li 전고체 배터리를 고전류밀도로 200회의 방전용량 및 쿨롱 효율을 보여준다. 쿨롱 효율 100%에 근접하게 달성하며 우수한 리튬 메탈 안정성으로 가역적인 방전용량을 보여준다.

김상륜 교수는 “이번 연구 성과는 고환원성의 수소화물의 중요성을 제시하고 NCM/Li 전고체 배터리용 고체전해질 설계에 대한 이해를 증진하는 데 도움이 된다”며 “향후 수소화물을 활용한 전고체 배터리뿐만 아니라 리튬이온 배터리, 소듐이온 배터리, 포타슘이온 배터리 등의 차세대 배터리 기술 개발에 적용할 수 있을 것으로 기대된다”고 말했다.

GIST 에너지융합대학원 김상륜 교수가 지도하고 이태경 석사과정생이 수행한 이번 연구는 LG에너지솔루션이 지원하는 산학 공동연구 사업과, 한국연구재단의 개인기초연구, 민군협력진흥원의 민군겸용기술개발사업의 지원을 받았으며, 재료과학 분야 저명 국제학술지 'ACS energy letters'에 (미국 현지시간 기준) 2024년 8월 21일 온라인 게재됐다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : ACS energy letters (IF: 19.3, 2023년 기준)
- 논문명 : Hydrogen-rich argyrodite solid electrolytes for NCM/Li all-solid-state batteries
- 저자 정보 : 이태경(제1저자, GIST), 박현서(공동 저자, GIST), 주승희(공동 저자, GIST), 김혜림(공동 저자, GIST), 김정현(공동 저자, GIST), 김태승(공동 저자, GIST), 이원락(공동 저자, LG에너지솔루션), 김영복(공동 저자, LG에너지솔루션), 김지영(공동 저자, LG에너지솔루션), 김경수(공동 저자, KETI), 조우석(공동 저자, KETI) 김상륜(교신저자, GIST)