

보도일시	즉시보도
	2024. 8. 5.(월)
문의	연구단/연구책임자: 화학부 임종우 교수 (02-880-2236) / 교신저자
	연구단/연구진 ; 조수근 연구원 (010-2550-2408) / 제1저자

■ 제목/부제

제목	국문	배터리 화재 부르는 열폭주 메커니즘 규명
부제	국문	- 신코팅법으로 열폭주 억제 확인 -

■ 요약

연구 필요성	<p>최근 전기차에서 배터리에 의한 화재·폭발 사고가 잇따라 발생하고 있다. 전기차에서 화재가 나면, 배터리의 온도가 수 초 안에 1000 °C 가 넘게 치솟는 '열 폭주' 현상이 발생해 대형 참사로 이어질 수 있다. 전기차의 안전 문제는 앞으로 본격적인 전기차 시대에 앞서 해결해야만 하는 가장 큰 이슈 중 하나이다.</p> <p>특히 국내 이차전지 업체들이 가장 핵심적으로 추진하는 하이니켈 양극재는 용량이 크지만 열 안정성이 낮은 단점이 있기 때문에, 열폭주에 더 취약하며, 따라서 화재·폭발을 예방하기 위해 열폭주 메커니즘의 비밀을 밝혀내는 것이 더욱 필요하다.</p> <p>하지만, 급격히 온도가 올라가며 불이 붙어버리는 열폭주의 특성상 메커니즘 분석 난이도가 매우 높다. 그리고 전극과 전해질이 배터리셀 안에 가두어져 있기 때문에 열폭주 도중 어떠한 화학반응이 셀 내부에서 일어나는지 이해하는 것은 난제였다. 때문에 순식간에 온도가 치솟게 되는 '열폭주' 현상이 예상보다 더 심하게 나타나는 것 또한 풀지 못한 숙제였다.</p>
연구성과/기대효과	<p>서울대 임종우 화학부 교수팀, 포스텍 화학공학과 김원배 교수팀, 삼성SDI 연구팀은 급격히 온도가 치솟는 열폭주 중에 음극-양극 사이 '자가증폭루프' 교환반응이 핵심 메커니즘이며, 이에 따라 열폭주 반응이 기존 예상보다 급격히 악화되는 것임을 밝혀냈다. 연구결과는 8월 1일 유명 국제학술지 '어드밴스드 머티리얼즈 (Advanced Materials)'의 표지 논문으로 선정되어 출판되었다.</p>

	<p>서울대 연구팀은 방사광 가속기 기반 X선 회절 기법을 활용하여 배터리셀 내부에서 양극과 음극 사이 화학종이 교환되며 열폭주 '자가증폭루프' 반응이 열폭주를 크게 유도하는 것을 관찰했다. 연구팀은 열폭주 초기 단계에서 흑연 음극재에서 발생한 에틸렌 기체가 하이니켈 양극재로 이동하여 양극재 내에서 산소 기체가 탈출하는 것을 유도하고, 양극재 산소 기체가 다시 음극의 에틸렌 기체를 발생시키며 강한 발열 반응이 야기됨을 발견했다. 추가로, 이와 같은 '자가증폭루프' 도중 생성된 산소와 이산화탄소가 음극 표면에 석출된 리튬과 반응하며 배터리 온도를 더욱 올릴 수 있음을 밝혀냈다.</p> <p>서울대 연구팀은 포스텍 연구팀에서 개발한 음극 표면 알루미늄 코팅법을 활용할 경우 음극에서 시작하는 '자가증폭루프'를 봉쇄할 수 있음을 보였다. 코팅된 음극은 에틸렌과 산소 기체 발생이 억제되기 때문에 열폭주 또한 성공적으로 억제가 된 것이다. 이를 응용하면 하이니켈 양극재를 주력으로 추진하는 우리나라 기업들의 경쟁력을 높일 수 있을 것으로 기대된다.</p>
Abstract	<p><i>Professor Jongwoo Lim's research team from the Department of Chemistry at SNU explored the fundamental causes of temperature surges during thermal runaway in lithium-ion battery full cells. The article identified intermediates that create a self-amplifying loop via multidirectional crosstalk between the battery electrodes.</i></p> <p><i>Crosstalk, the exchange of chemical species between battery electrodes, significantly accelerates thermal runaway (TR) of lithium-ion batteries. To date, the understanding of their main mechanisms has centered on single-directional crosstalk of oxygen (O₂) gas from the cathode to the anode, underestimating the exothermic reactions during TR. However, the role of multidirectional crosstalk in steering additional exothermic reactions is yet to be elucidated due to the difficulties of correlative in situ analyses of full cells. Herein, the way in which such crosstalk triggers self-amplifying feedback is elucidated that dramatically exacerbates TR within enclosed full cells, by employing synchrotron-based high-temperature X-ray diffraction, mass spectrometry, and calorimetry. These findings reveal that ethylene (C₂H₄) gas generated at the anode promotes O₂ evolution at the cathode. This O₂ then returns to the anode, further promoting additional C₂H₄ formation and creating a self-amplifying loop, thereby intensifying TR. Furthermore, CO₂, traditionally viewed as an extinguishing gas, engages in the crosstalk by interacting with lithium at the anode to form Li₂CO₃, thereby accelerating TR beyond prior expectations. These insights have led to develop an anode coating that impedes the formation of C₂H₄ and O₂, to effectively mitigate TR.</i></p>
Journal Link	<p>https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adma.202402024 (논문)</p> <p>https://onlinelibrary.wiley.com/toc/15214095/2024/36/31 (저널 표지 이미지)</p>

■ 본문

□ 문단 1

서울대 화학부 임종우 교수팀, 포스텍 김원배 교수팀, 삼성SDI 연구팀

배터리에서 급격히 온도가 치솟는 ‘열폭주’ 메커니즘 규명

신코팅법으로 열폭주 성공적 억제 확인

삼성SDI와 삼성미래기술육성재단, 과학기술정보통신부 지원

서울대, 포스텍, 삼성SDI 연구팀이 전기차 폭발·화재의 원인인 ‘열폭주’ 현상의 메커니즘을 규명하고, 규명한 메커니즘에 따라 음극을 코팅할 경우 ‘열폭주’ 현상이 억제될 수 있음을 보여주었다. 연구 결과가 상대적으로 열안정성이 낮은 하이니켈 양극재를 주력으로 추진하는 우리나라 기업들의 경쟁력을 높일 수 있을지도 주목된다.

□ 연구결과

본 연구팀의 서울대 조수근 박사 (현 포항방사광가속기 연구소), 서성재 박사과정 연구원 (공동 1저자)은 8월 1일 급격히 온도가 치솟는 열폭주의 반응 메커니즘인 ‘자가증폭루프’를 최초로 밝혀내는데 성공 했다고 발표했다.

최근 전기차에서 배터리에 의한 화재·폭발 사고가 잇따라 발생하고 있다. 전기차에서 화재가 나면, 배터리의 온도가 수 초 안에 1000 °C 가 넘게 치솟는 ‘열 폭주’ 현상이 발생해 대형 참사로 이어질 수 있다. 전기차의 안전 문제는 앞으로 본격적인 전기차 시대에 앞서 해결해야만 하는 가장 큰 이슈 중 하나이다. 특히 국내 이차전지 업체들이 가장 핵심적으로 추진하는 하이니켈 양극재는 용량이 크지만 열 안정성이 낮은 단점이 있기 때문에, 열폭주에 더 취약하며, 따라서 화재·폭발을 예방하기 위해 열폭주 메커니즘의 비밀을 밝혀내는 것이 더욱 필요하다.

하지만, 수 초 안에 일어나는 열폭주의 특성상 메커니즘의 분석 난이도가 매우 높을 뿐 아니라, 배터리셀 안의 물질들이 화학적으로 어떻게 반응하는지 확인하는 것은 방법론적으로도 매우 어렵다. 때문에 순식간에 온도가 치솟게 되는 ‘열폭주’ 메커니즘은 지금까지도 제대로 연구가 진행되지 못했다.

본 연구팀은 방사광 가속기 기반 X선 회절 기법을 활용하여 배터리셀 내부에서 화학종 교환 반응을 관찰했다. 연구팀은 양극재와 흑연 음극 사이의 화학종 교환에서 중대한 발열 반응들이 야기됨을 발견했고, 이것이 생성물이 반응물을 또 다시 만들어내는 ‘자가증폭루프’ 때문임을 밝혀내었다 <그림 2 (좌)>. 게다가 이 ‘자가증폭루프’에 의해 생성된 산소와 이산화탄소가 음극 표면에 석출 된 리튬과 반응하며 급격한 온도 상승에 중대한 기여를 하고 있음을 발견했다 <그림 2 (우)>.

이를 바탕으로 연구팀은 음극 표면의 리튬과 ‘자가증폭루프’에 의해 생성된 산소와 이산화탄소의 반응을 막을 수 있는 고품질 알루미늄 코팅법을 개발하여, 배터리셀 내에서 일어나는 열폭주를 성공적으로 억제해 내었다 <그림 3>. 이를 응용하면 하이니켈 양극재를 주력으로 추진하는 우리나라 기업들의 경쟁력을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

삼성SDI, 삼성미래기술육성사업, 그리고 한국연구재단의 지원을 받은 이번 연구는 유명 국제학술지 ‘어드밴스드 머티리얼즈 (Advanced Materials)’에 1일 표지 논문으로 선정되어 출판되었다 <그림 1>.

Thermal Runaway Mechanism in Ni-Rich Cathode Full Cells of Lithium-Ion Batteries: The Role of Multidirectional Crosstalk

Sugeun Jo, Sungjae Seo, Song Kyu Kang, Ikcheon Na, Sebastian Kunze, Munsoo Song, Hwang San, Sung Pil Woo, SoHee Kim, Won Bae Kim, and Jongwoo Lim*

□ 문단 2

○ 그동안 이차전지 분야는 공학계열의 연구가 주요한 성능향상을 이끌어 왔음. 그러나 더 이상 공학적인 관점만으로는 배터리의 성능 개선에 한계가 다가오고 있다는 관점이 대두되고 있음. 특히 자연과학적인 메커니즘 이해가 차세대 고성능 배터리의 발전에 필요하다고 여겨지고 있음. 이런 가운데 본 연구는 자연대 화학부에서도 산업계에서 주목하고 있는 차세대 이차전지분야의 발전에 큰 기여를 하여 공학적으로 풀지 못한 이차전지 분야의 문제를 해결했다는 것에 큰 의미가 있음. 지금까지 놓쳐왔던 혁신을 자연과학을 통하여 보여줄 수 있음을 보여준 예시임. 이는 자연과학 분야 연구를 통해 산업계가 당면한 문제 타개를 꿈꾸는 학생들에게도 시사하는 바가 크다고 생각함.

<그림 1> 해당 논문의 대표 이미지: 해당 연구에서 제시한 ‘자가증폭루프’ 로 인한 급격한 온도 상승을 묘사한 표지 그림. 이번 연구는 유명 국제학술지 ‘어드밴스드 머티리얼즈 (Advanced Materials)’ 에 1일 표지 논문으로 선정되어 출판 되었다.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.202470243>