기초과학연구원 Institute for Basic Science

보 도 자 료

본 자료는 배포 즉시 보도에 활용 가능합니다.

문의 : 고려대학교 화공생명공학과 유승호 교수(02-3290-3297)/공동 교신저자
IBS 나노입자 연구단 현택환 연구단장(02-880-7150)/공동 교신저자
IBS 나노입자 연구단 성영은 부연구단장(02-880-1889)/공동 교신저자

배터리 수명 줄이는 열화과정 원인 규명

IBS-고려대 공동연구, 온도에 따른 충방전 시 배터리 전극 구조 변화 관찰-

스마트폰을 쓰다 보면 뜨거운 열이 발생한다. 이러한 과열은 배터리의 수명을 저하시키는 원인 중 하나다. 대부분 전자기기에 사용되는 리튬이온배터리는 충전 시 리튬이온이 음극으로 이동하여 음극 속으로 삽입되고, 사용할 땐(방전) 정반대의 반응이 일어난다. 충·방전 과정에서 발생하는 열이 배터리의 수명과 성능에 영향을 준다고 알려져 있지만, 분자 수준의 구조적·화학적 변화에 대해서는 아직 명확히 규명되지 않았다.

기초과학연구원(IBS, 원장 노도영) **나노입자 연구단** 현택환 단장(서울대 석좌교수)과 성영은 부연구단장(서울대 교수) 연구팀은 유승호 고려대 화공생명공학과 교수팀과 함께 **온도에 따른 리튬이온배터리 전극물질의 구조 변화를 관측**하고, **배터리 열화과정의 근본 원인 규명**에 성공했다.

연구진은 온도가 배터리 성능에 미치는 영향을 면밀히 분석하기 위한 실험을 설계했다. 우선, **이산화티타늄**(TiO_2)**을 전극**(음극)**으로 사용하는 리튬이온배터리를 제조**했다. 리튬이온배터리의 음극으로는 주로 흑연이 쓰인다. 그러나 이산화티타늄은 흑연보다 안정적인데다, 저렴하고 친환경적이어서 차세대 전극 소재로 각광받고 있다.

연구진은 충·방전 시 온도를 달리하며 X선 회절 분석법[1]을 통해 이산화티타늄 전극 구조 변화를 관측했다. 그 결과, **구동 온도가 높아지면 상온에서 일어나지 않았던 새로운 리튬 저장 메커니즘이 진행됨을 밝혀냈다.**

---

1) X선 회절 분석법: 결정격자를 통과한 X선(자외선보다 짧은 파장의 영역으로 파장이 10~0.01나노미터이다.) 회절의 결과를 해석해 결정 내부의 원자가 어떤 배열을 하고 있는지를 분석하는 방법.

기존에는 배터리를 충전할 때 리튬이온(Li^+)이 음극으로 이동해 이산화티타늄과 반응하여 상을 변화($Li_{0.55}TiO_2$)시킨다고만 알려져 있었다. 하지만 분석결과 상온보다 20~30℃만 높아져도 1차 상변화 후 추가적인 2차 상변화(Li_1TiO_2)가 일어나는 것으로 밝혀졌다. 즉 고온이 아닌 **전자기기 사용 시 발생하는 40℃ 수준의 온화한 열 조건에서도 예상치 않았던 추가 상변화가 발생**한다는 것이다.

이어 연구진은 전자현미경을 이용해 2차 상변화에 따른 전극의 구조 변화를 관찰했다. 2차 상변화가 일어나면 에너지 장벽이 높아져 이산화티타늄 전극 내부에서 리튬이온이 이동하기 어려워진다. 마치 동맥경화처럼 **전극 내에 리튬이온이 축적**되다가, 충·방전을 거듭하면 **결국 이산화티타늄 격자 구조에 결함이 생겨 비가역적인 손실**이 발생했다.

이번 연구는 IBS 나노입자 연구단(이산화티타늄 나노입자 전극 합성 및 배터리 설계)과 고려대 연구팀(배터리 열화과정 분석)의 협력연구를 통해 이뤄졌다. **배터리 안정성의 핵심인 열화과정의 원인을 분자 수준에서 규명**한 만큼, 향후 **차세대 배터리 설계에 새로운 방향을 제시**할 것으로 기대된다.

유승호 교수는 “열 발생을 수반하는 에너지 장치의 배터리 설계에 있어 온도는 고려해야할 가장 중요한 요소 중 하나”라며 “온도가 높아지면 추가적인 상변화가 발생하며 배터리의 성능과 수명을 저하시키는 것을 확인했다”고 설명했다.

성영은 부연구단장은 “최근 전기자동차의 수요 급증과 함께 성능이 우수한 배터리 물질의 개발이 중요해졌다”며 “열에 의한 영향을 최소화할 수 있다면 용량이 높고 안정적인 동시에 오래 사용할 수 있는 차세대 배터리를 설계할 수 있을 것”이라고 덧붙였다.

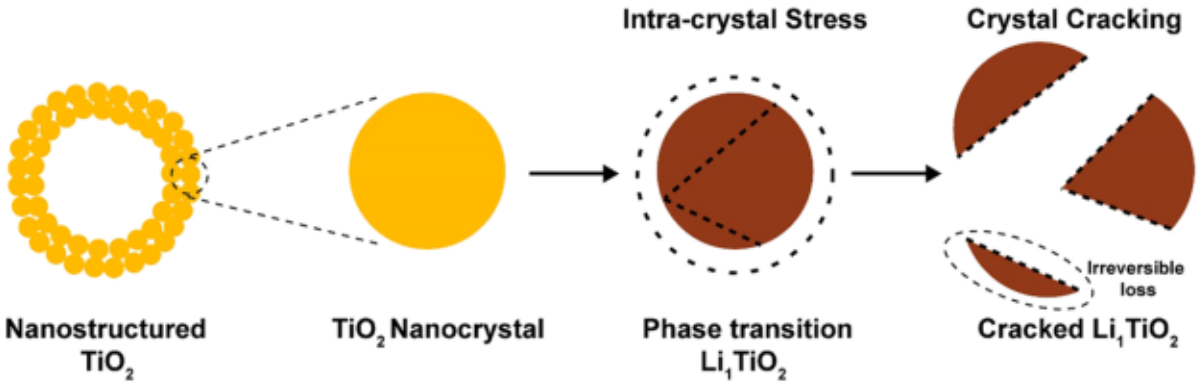
연구결과는 화학분야 세계적 학술지인 **미국화학회지**(Journal of the American Chemical Society, IF 14.612) **8월 5일**(현지시간)자에 게재됐다.

[붙임] 1. 연구 추가 설명 2. 그림설명 3. 연구진 이력사항

연 구 추 가 설 명

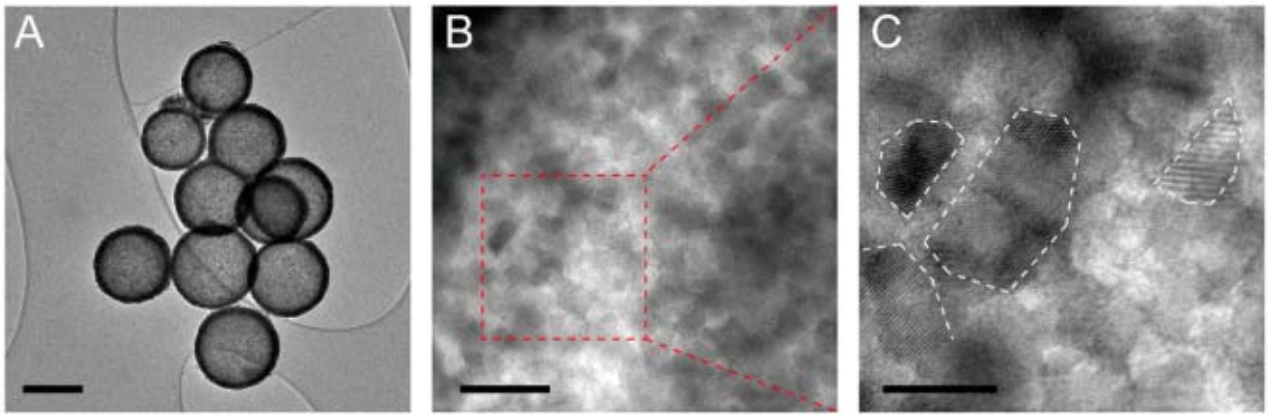
논문명 (저널)	**Operando Identification of the Chemical and Structural Origin of Li-Ion Battery Aging at Near-Ambient Temperature** *Journal of the American Chemical Society*
저자정보	Min-Seob Kim,[†] Byoung-Hoon Lee,[†] Jae-Hyuk Park,[†] Hyeon Seok Lee, Wytse Hooch Antink, Euiyeon Jung, Jiheon Kim, Tae Yong Yoo, Chan Woo Lee, Chi-Yeong Ahn, Seok Mun Kang, Jinsol Bok, Wonjae Ko, Xiao Wang, Sung-Pyo Cho, Seung-HoYu,[*] Taeghwan Hyeon,[*] and Yung-Eun Sung[*]
연구이야기	**[연구배경]** 리튬이온배터리의 발전은 에너지저장시스템의 혁신을 견인했다. 특히 전자기기의 소형화와 함께, 현대의 리튬이온배터리는 에너지를 소비하는 장치와 결합되어 휴대용 전자기기로서의 사용이 극대화되고 있다. 배터리의 에너지를 소비하는 과정에서 발열은 피할 수 없는 부분으로, 상온보다 20~40℃ 가량 높은 온도에서 배터리가 구동되곤 한다. 과열은 배터리의 성능을 감소시키고, 수명을 줄이는 원인이다. 하지만 배터리의 복잡한 구성으로 인해 지금까지 성능 감소의 물리·화학적 원인에 대해서는 명확히 밝혀지지 않았다. 리튬이온배터리가 상온보다 높은 온도에서 가동될 수밖에 없는 환경임을 고려하면, **온도에 따른 배터리 성능 저하의 근본적인 원인을 나노미터 수준에서 규명하는 것은 안정적으로 작동하는 리튬이온 배터리 개발에 있어 필수적**이다. **[연구내용]** IBS 나노입자 연구단은 유승호 고려대 교수팀과 함께 이산화티타늄 나노입자를 모델 물질로 이용하여 고온에서 일어나는 리튬이온배터리 성능 저하의 원인을 나노미터 수준에서 규명했다. 흥미롭게도, 배터리 구동 온도가 상온보다 20℃만 높아져도 상온에서는 발생하지 않는 새로운 리튬이온 저장 메커니즘이 발생했다. **상온에서 리튬이온은 음극에서 1차 상변화(TiO_2 + 0.55Li^+ + 0.55e^- → $Li_{0.55}TiO_2$)만 진행**한다. 하지만 **온화한 열 조건에서는 2차 상변화($Li_{0.55}TiO_2$ + 0.45Li^+ + 0.45e^- → Li_1TiO_2)까지 추가로 진행**됐다. 공동연구진은 이처럼 리튬이온배터리가 고온에서 충·방전 될 때 새로운 상변이가 지속적으로 발생함에 따라 전극(이산화티타늄 나노입자)이 붕괴되는 현상을 전자현미경으로 관찰했다. 이어 물질분석과 전기화학적 분석을 통해 전극의 구조 변화가 배터리의 성능에 직접적인 영향을 미친다는 것을 파악할 수 있었다.

그 림 설 명



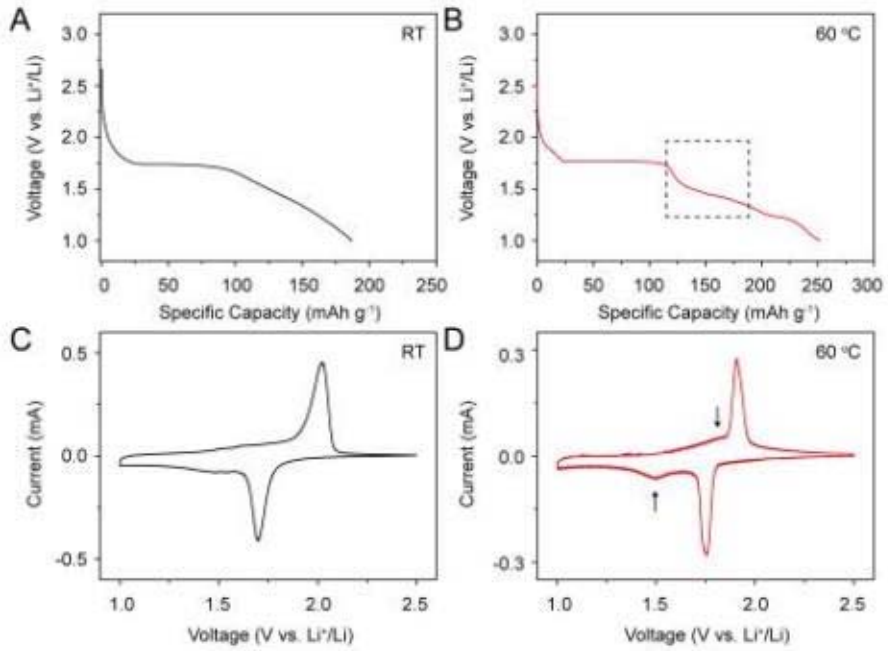
[그림1] 상온과 온화한 열 조건하에서 리튬이온배터리 구조 변화

연구진은 이산화티타늄 리튬이온배터리가 40~60℃의 온화한 열 조건에서 충·방전될 때 추가적인 상변화가 일어나며, 전극물질을 노화시키는 현상을 발견했다.



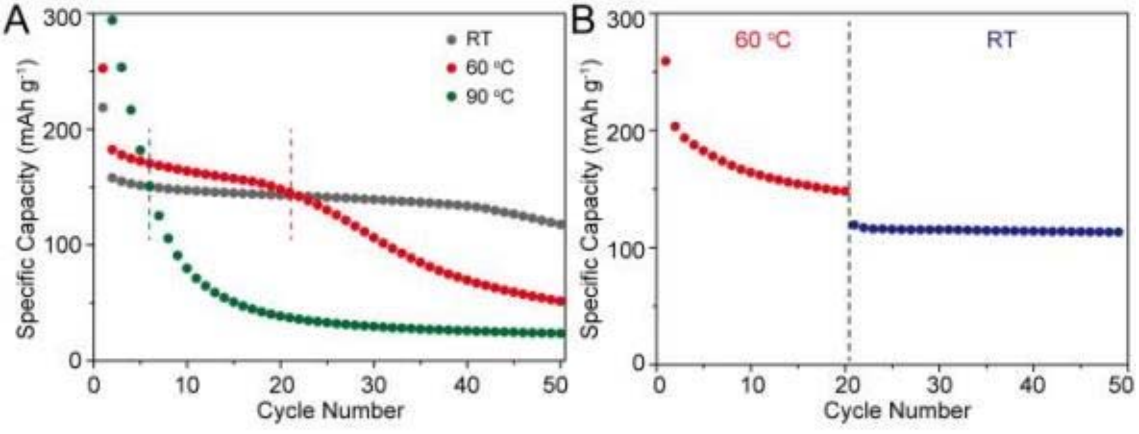
[그림2] 고온 충방전 후 전극 구조 변화

고온에서 일어나는 2차 상변화로 인해 전극으로 쓰인 이산화티타늄 나노입자가 잘게 쪼개지는 현상을 전자현미경을 통해 관측했다. 결과적으로 나노입자의 결함은 배터리의 성능에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.



[그림3] 상온과 고온에서 리튬이온배터리의 전기화학적 구동

연구진은 상온(25℃, 왼쪽)과 고온(60℃, 오른쪽) 조건에서 이산화티타늄 리튬이온 배터리의 전기화학적 성능을 비교했다. 위 그래프에서는 60℃에서 배터리를 충·방전할 때 1.5V 부근에서 추가적인 평탄전위와 peak가 발현되는 것을 확인할 수 있다. 이는 리튬이온의 2차 상변화로 인한 것으로, 상온에서와는 다르게 60℃에서 배터리를 구동하게 되면, 추가적인 상변화로 인해 배터리의 전기화학적 반응이 변한다는 것을 추론할 수 있다.



[그림4] 서로 다른 열 조건하에서 리튬이온배터리 성능 비교

온도가 높아지면 발생하는 추가적인 상변화는 초반에는 배터리의 성능을 높인다. 리튬이온을 추가로 저장할 수 있기 때문이다. 하지만 충·방전을 거듭하면 결국 리튬이온이 전극 내부에 축적되며 전극의 결함과 노화를 촉진하고, 이로 인해 배터리

의 성능이 급격히 떨어지게 된다.

연구진 이력사항

<현택환 나노입자 연구단 단장, 공동 교신저자>

1. 인적사항

○ 소 속 : 기초과학연구원(IBS) 나노입자 연구단 단장
서울대학교석좌교수 화학생물공학부

○ 전 화 : 02-880-7150

○ e-mail : thyeon@snu.ac.kr

2. 학력

1983-1987 학사, 서울대학교 화학과

1987-1989 석사, 서울대학교 화학과

1991-1996 박사, University of Illinois at Urbana Champaign

3. 경력사항

2017 - 현재 서울대학교 석좌교수; 중견석좌교수 (2010-2016)

2010 - 현재 미국화학회지(JACS) 부편집장

2012 - 현재 기초과학연구원(IBS) 나노입자 연구단 단장

2013 - 현재 미국재료연구학회(MRS) 석학회원(Fellow)

4. 전문 분야 정보

2002 젊은과학자상(대통령상), 이달의 과학기술자상(과기부장관상)

2008 POSCO 청암과학상

2011 세계 100대 화학자 선정(UNESCO&IUPAC 화학분야 37위; 재료과학분야 19위)

2012 호암공학상

2014 ~ 2019 Highly Cited Researcher (Clarivate Analytics), 화학과 재료과학 2개 분야

2016 대한민국 최고과학기술인상(대통령상)

2016 국제진공과학기술응용연합 (IUVSTA) 기술상

<성영은, 나노입자 연구단 부연구단장, 공동교신저자>

1. 인적사항

○ 소　속 : 기초과학연구원(IBS) 나노입자연구단
서울대학교 화학생물공학부

○ 전 화 : 02-880-1889

○ e-mail : ysung@snu.ac.kr

2. 학력

1982-1986　학사, 서울대학교 화학공학과

1986-1988　석사, 서울대학교 화학공학과

1992-1996　박사, University of Illinois at Urbana Champaign

3. 경력사항

2004 - 현재　서울대학교 공과대학 화학생물공학부 교수, 부교수

1998 - 2004　광주과학기술원 신소재공학과 부교수, 조교수

2012 - 2017　기초과학연구원(IBS) 나노입자연구단 그룹리더

2018 - 현재　기초과학연구원(IBS) 나노입자연구단 부연구단장

4. 전문 분야 정보

2004 젊은과학자상(대통령상)

2008 제 41회 과학의 날 대통령상 표창

2010 PBFC 학술상

2012 신양학술상

2012 한국과학기술한림원 공학부 정회원

2014 우수업적교수상

2015 연료전지 학술상

2018 한국공업화학상

<유승호, 고려대학교 화공생명공학과, 공동교신저자>

1. 인적사항

○ 소 속 : 고려대학교 화공생명공학과

○ 전 화 : 02-3290-3297

○ e-mail : seunghoyu@korea.ac.kr

2. 학력

2004-2008 학사, 서울대학교 화학생물공학부

2008-2013 박사, 서울대학교 화학생물공학부

3. 경력사항

2019-현재 고려대학교 화공생명공학과 교수, 조교수

2015-2019 코넬대학교, Department of Chemistry and Chemical Biology, 박사후 연구원

2014-2015 기초과학연구원(IBS) 나노입자연구단 선임연구원

2013-2014 서울대학교 신소재 연구소 연구원