

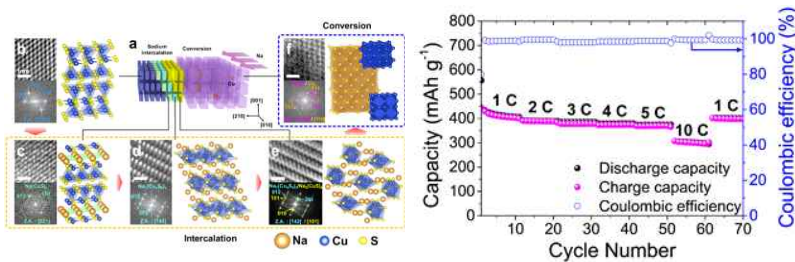
# 나트륨 및 황화구리를 이용한 2차전지 기술

## 기술개요

- 본 기술은 탄소 소재와의 복합소재가 아닌 황화구리 단독으로 활물질 사용이 가능하며, 흑연 대비 저렴하며 우수한 저장용량을 가짐

## 기술의 특징

- 리튬 전지용 흑연 대비 약 70% 저렴(소듐 이온 전지).
- 흑연과 달리 표면 처리 등 최적화 과정 필요 없음.
- CuS-NVPF : LTO-NCM 대비 ~ 24% 줄어든 원자재 비용, 전극물질만 고려할 때 ~ 9 % 높은 에너지 밀도.
- CuS-NFS : LTO-NCM 대비 ~ 91% 줄어든 원자재 비용, 전극물질만 고려할 때 비슷한 에너지 밀도.
- 고속 충방전(1C ~ 5C)시에도 안정적인 용량 유지.



## 적용분야

- 에너지 저장장치, 해수전지 등

## 관련분야 시장규모 및 예상수요기업

- 세계 리튬이온 이차전지 시장 수요량은 2019년 198GWh에서 2030년에는 약 17배 증가한 3392GWh에 육박할 것으로 전망됨



- 예상 수요기업 : 배터리 제조업체

# 나트륨 및 황화구리를 이용한 2차 전지 기술

2020. 9. 17

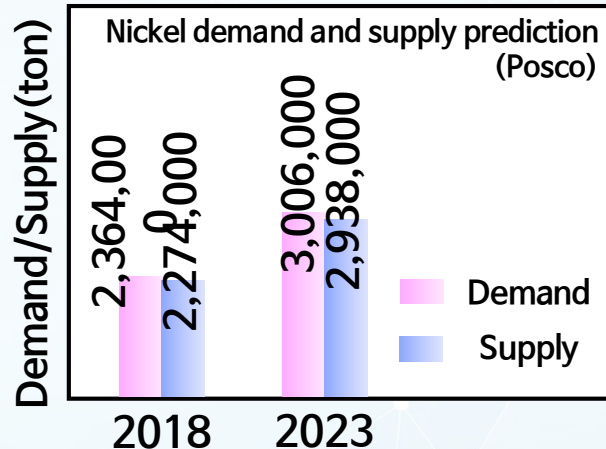
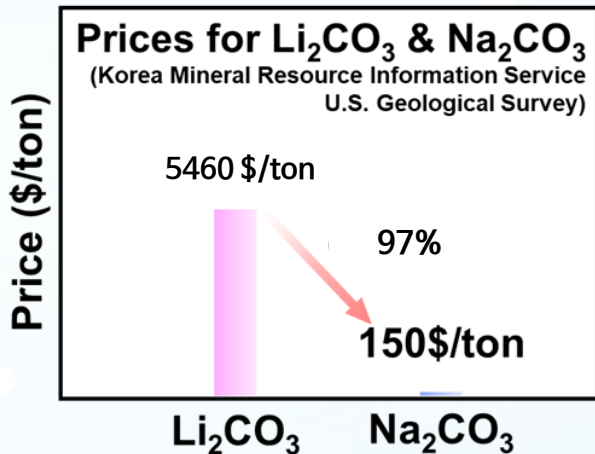
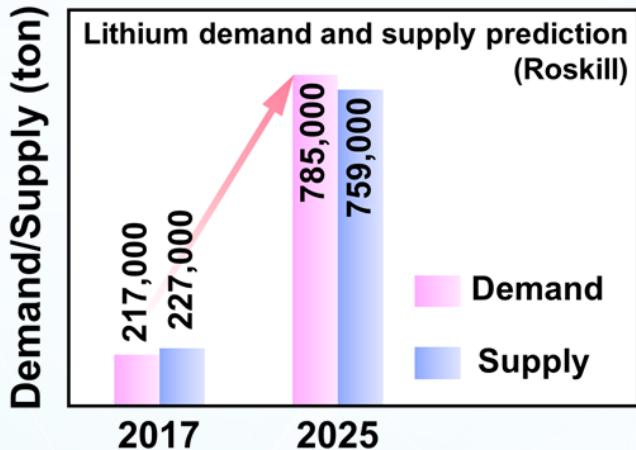
신소재공학과 육종민 교수

## CONTENTS

- 1 종래 기술의 문제점
- 2 발명의 특징
- 3 관련 논문 및 특허
- 4 사업화 추진 현황

# 1. 종래 기술의 문제점

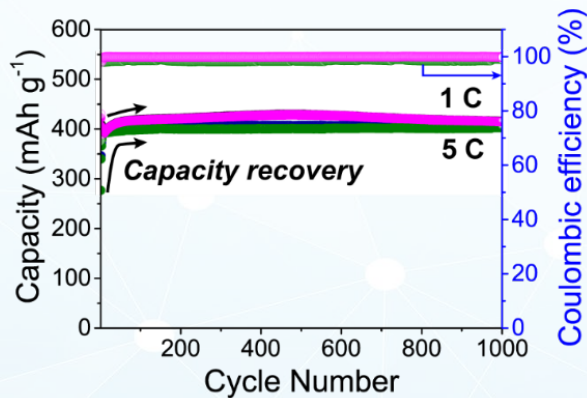
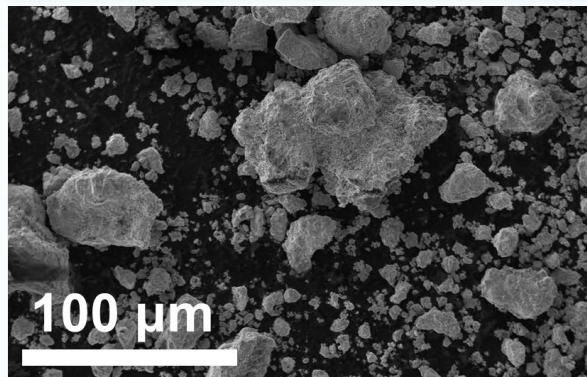
## 기존 리튬이온 전지의 문제점



- 리튬 및 니켈은 공급 부족 전망 (Roskill, 포스코 경영연구원).
- 소듐 가격은 리튬 가격대비 3% 밖에 되지 않음.
- 저렴한 가격의 소듐을 활용한 이차 전지 개발 필요.

## 2. 발명의 특징

### 사이즈 및 크기에 상관 없이 안정적인 소듐 저장 능력



### Graphite, LTO (리튬 이온 전지 음극) 와 비교

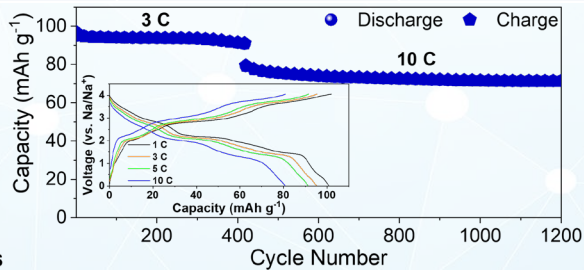
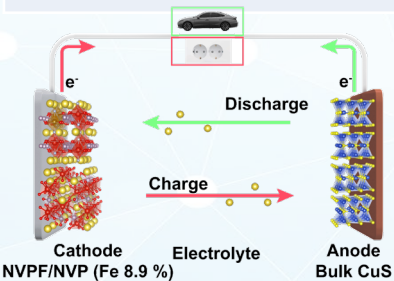
소재/항목	Graphite	LTO ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ )	Bulk CuS
이론 용량 (mAh/g)	372	175	560
실용 용량 (mAh/g)	360	140	430
가격 (usd/ton)	~ 10000	2294 (필요 원자재 기준)	3500 (필요 원자재 기준)
이론 용량당 가격 ( $10^{-6}$ usd/mAh)	26.88	13.11	6.24
평균 충전 전압 (V)	0.1	~ 1.6	~ 1.55
장단점 (장점, 단점)	낮은 충전 전압 높은 가격 느린 충방전	빠른 충방전 저렴한 가격 고온 합성 필요 높은 충전전압 낮은 용량	빠른 충방전 저렴한 가격 간단한 비커 합성 가능 높은 용량 높은 충전전압



## 2. 발명의 특징

### 황화구리 및 NASICON 계열 양극소재를 이용한 소듐 이온 전지

소재/항목	Graphite// LCO	Graphite// NCM(811)	LTO//LCO	LTO// NCM(811)	CuS// NVPF/NVP
이론 에너지밀도 (실용 에너지밀도) 음극/양극질량만 고려 (mAh/g)	384	456	162	188	~206 (162)
단위 에너지당 전극소재 가격 (usd/kWh)	46.4	24.3	73.2	35.4	26.7
사이클 수명	300 - 500 회		>2000 회		1200회 (~ 88%) 이론적으로 >2000회 가능
장단점 (장점, 단점)	높은 에너지 밀도 높은 가격 느린 충방전	높은 에너지 밀도 저렴한 가격 느린 충방전	빠른 충방전 높은 가격 낮은 에너지 밀도	빠른 충방전 적당한 가격 낮은 에너지 밀도	빠른 충방전 저렴한 가격 낮은 에너지 밀도



- Graphite-NCM(811)과 비슷한 단위 에너지당 가격
- 타 리튬이온전지 대비 저렴한 단위에너지당 가격

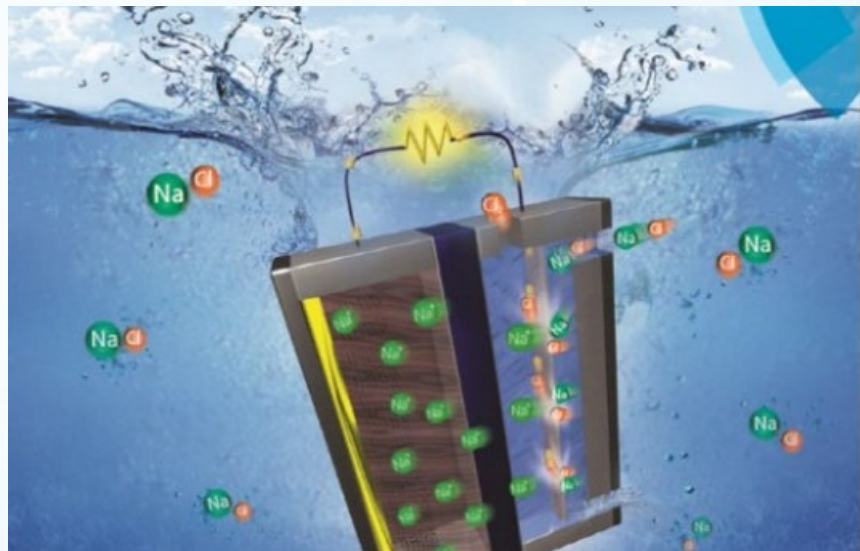
## 2. 발명의 특징

### 응용 가능 분야

에너지 저장 장치 / 전기버스



해수전지



<http://ykimresearch.com/>

저렴한 가격/ 빠른 충방전을 바탕으로 에너지 저장장치/ 전기버스/ 해수전지 등에 응용될 수 있음.

### 3. 관련 논문 및 특허

#### 논문 및 특허



ARTICLE

OPEN ACCESS

#### Atomic visualization of a non-equilibrium sodiation pathway in copper sulfide

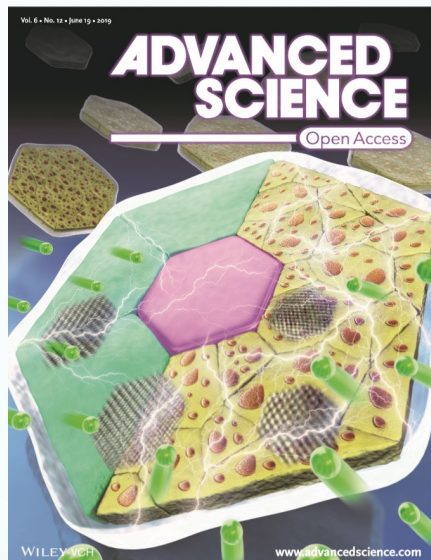
Jae Yeol Park<sup>1,2</sup>, Sung-woo Kim<sup>1,2</sup>, Joon-Ha Chang<sup>1,2</sup>, Hyeon Kook Seo<sup>1,2</sup>, Jeong Yong Lee<sup>1,2</sup> & Jong Min Yuki<sup>1</sup>

Sodium-ion batteries have been considered a promising alternative to lithium-ion batteries for large-scale energy storage owing to their low cost and high natural abundance. However, the commercialization of this device is hindered by the lack of suitable anodes with an optimized morphology that ensure high capacity and cycling stability of a battery. Here, we not only demonstrate that copper sulfide nanoparticles exhibit close-to-theoretical capacity (~560 mAh g<sup>-1</sup>) and long-term cyclability, but also reveal that their sodiation follows a non-equilibrium reaction route, which involves successive crystallographic twinning. By employing in situ transmission electron microscopy, we examine the atomic structures of four distinct sodiation phases of copper sulfide nanoparticles including a metastable phase and discover that the discharge profile of copper sulfide directly reflects the observed phase evolutions. Our work provides detailed insight into the sodiation process of the high-performance intercalation-conversion anode material.

<sup>1</sup>Department of Materials Science & Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), 291 Daejeon-ro, Daejeon 34141, Republic of Korea; <sup>2</sup>Center for Nanomaterials and Chemical Reaction, Institute for Basic Science (IBS), 291 Daejeon-ro, Daejeon 34141, Republic of Korea. These authors contributed equally to this work. Correspondence and requests for materials should be addressed to J.Y.P. (jyeol.park@kaist.ac.kr) or to J.M.Y. (jmyuk@kaist.ac.kr).

<https://doi.org/10.1038/s41467-018-03892-5>

1001-9246/18/000000-00 | www.nature.com/naturecommunications



Electronic Acknowledgement Receipt	
EPF ID:	38373345
Application Number:	16652164
International Application Number:	PCT/KR2018/009436
Confirmation Number:	4113
Title of Invention:	SODIUM-ION STORAGE MATERIAL
First Named Inventor/Applicant Name:	Jaeg Min YUK
Customer Number:	126687
Filer:	Daniel Chung/Jaeg Min
Filer Authorized By:	Daniel Chung
Attorney Docket Number:	KSD-0101
Receipt Date:	23 JAN 2020
Filing Date:	30 2018
Time Stamp:	10:20:09
Application Type:	U.S. National Stage under 35 USC 371
Payment Information:	
Submitted with Payment:	yes
Payment Type:	DA
Payment was successfully received in BAM:	\$1180
Valid confirmation Number:	120010630161206
Deposit Account:	602040
Authorized User:	jaeg min
The Director of the USPTO is hereby authorized to charge indicated fees and credit any overpayment as follows:	
37 CFR 1.19 (Patent application and examination/processing fees)	
37 CFR 1.19 (Document supply fee)	

Nat. Commun. 9, 922 (2018)

Adv. Sci. 6, 1900264 (2019) 황화구리 관련 국내특허 등록

황화구리 관련 해외 특허 출원 (US, CN)  
양극소재 관련 국내 특허 출원

#### 황화구리

- 관련 논문 2건 출판 (Nat commun., Adv. Sci.)
- 관련 국내 특허 1건 등록, 해외특허 2건 (미국, 중국) 출원

#### 양극소재

- 논문 1건 투고 후 리뷰 진행 중
- 관련 국내 특허 1건 출원, 해외특허 1건 출원 예정

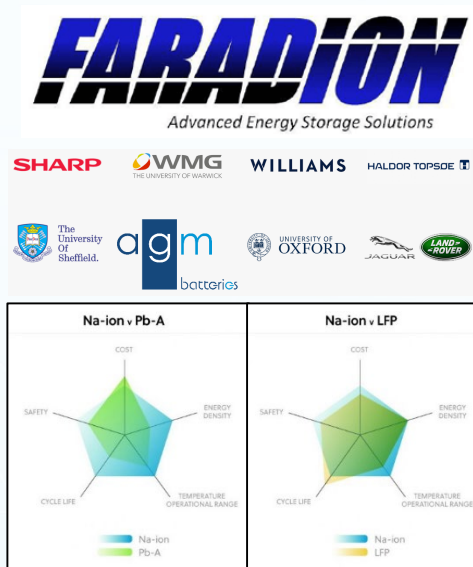




## 4. 사업화 추진 현황

### 해외 사례

#### 영국



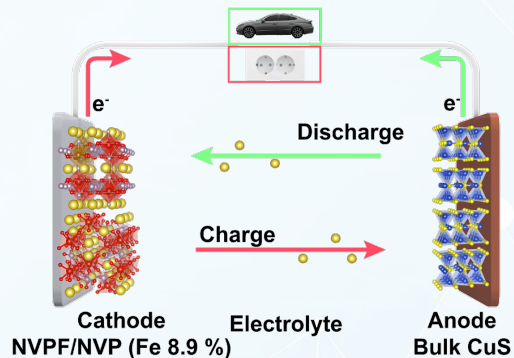
층상구조의 양극과 하드카본 음극을 사용

#### 프랑스



$\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$  양극과 하드카본 음극을 사용

#### 본 연구팀



- 하드 카본을 사용한 소듐 이온 전지 대비 낮은 에너지 밀도
- 하지만, 빠른 충방전, 저렴한 가격 및 우수한 수명 특성 기대



# Thank you

감 사 합 니 다