

2021 조사분석

(주) 에스앤이리서치

2021.08.04(수)

김 재 승(Kim, Jaeseung)

연구분야

(electrochemical, Anodization, Lithium ion battery, Supercapacitors)

[목차]

1. Lithium ion battery[LIB] 소개

2-1. 연구활동(학위과정)[논문, 프로젝트]

- $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ + Cu 증착 음극재
- $\text{CoS}@\text{SuS}$ 슈퍼캐패시터

2-2. 한국전자기술연구원

- LIB 양극재 소개
- 양극 소재 물성 및 전기화학 분석과 공정소개.

3. 개별 활동 및 학습모임

1. Lithium ion battery[LIB] 소개

- ❖ Lithium secondary batteries are used in various fields.
- ❖ The demand of lithium secondary batteries increases as the electric vehicle market expands.

Application of Li secondary battery



Wireless appliances



Smart phone



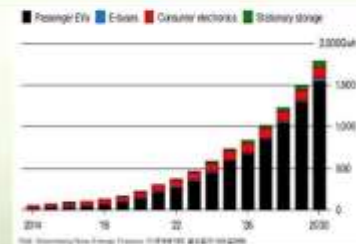
ESS



EV (electric vehicles)

Global Li ion batteries market

EV 주도하에 성장하는 이차전지 시장



완전자율주행 전기차를 위한 충분한 전력확보

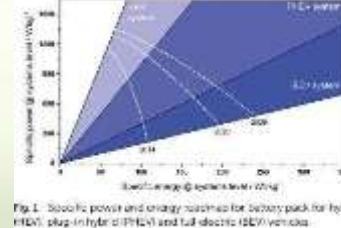


약 2~4kwh의 전력소모 (노트북 50~100대의 전력)
기존의 일반 내연기관 자동차 전력 : 1~2 kwh

BEV, HEV 를 위한 대량의 이차전지 필요

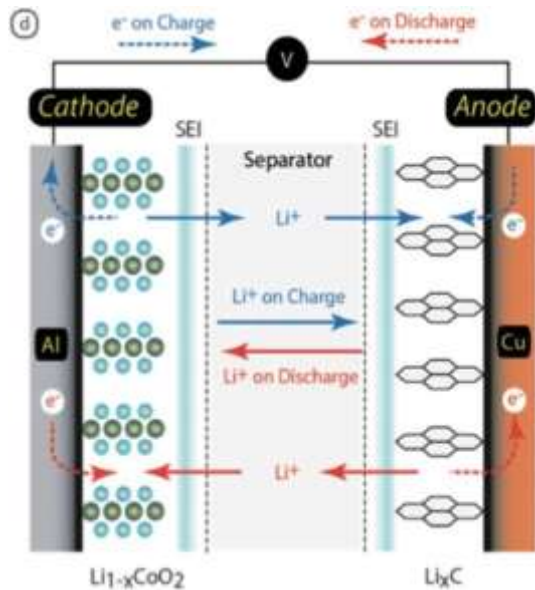


고용량, 고출력의 배터리 필요



- ❖ 리튬 이온 배터리는 양극재, 음극재, 분리막, 전해질로 구성된다.
- ❖ 이차전지 원재료의 가격 구성은 양극재 > 분리막 > 음극재 > 전해질.
- ❖ 2025년 양극재 시장 규모는 현재 (2020년) 의 3배가 될 전망이며 NCM 비중이 확대됨

리튬 이온 배터리 구성요소



Cathode

리튬이온 제공, 용량
과 평균전압결정 LC
O, NCM, NCA

Anode

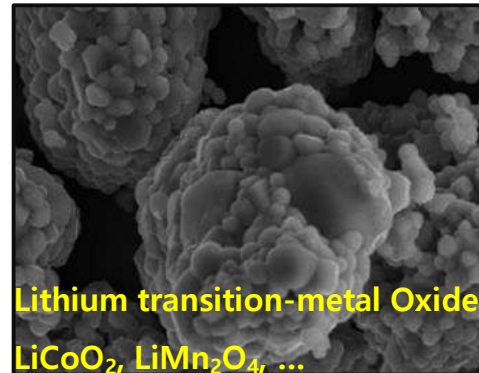
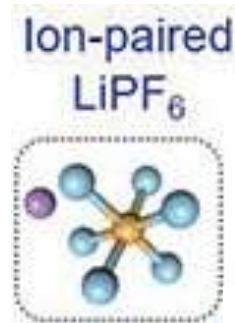
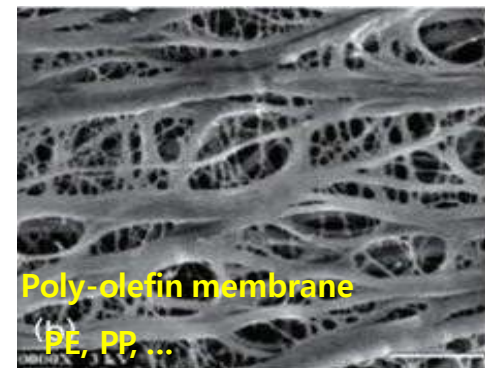
리튬이온 저장과 방출
흑연, LTO

Electrolyte

리튬이온 이동 Carbon
ate, ether 계열

Separator

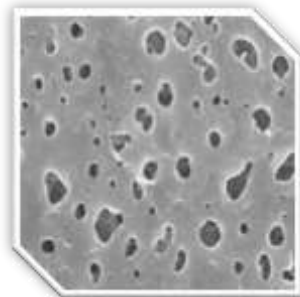
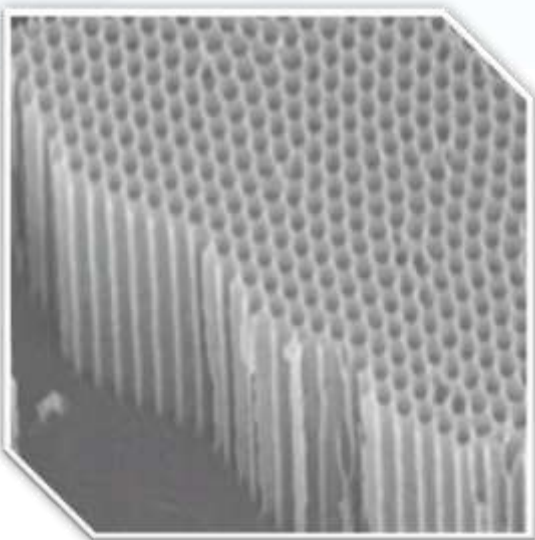
양극과 음극의 접촉차단
PE, PP

양극 소재
(cathode materials)음극 소재
(anode materials)전해질
(Electrolyte)분리막
(separator)

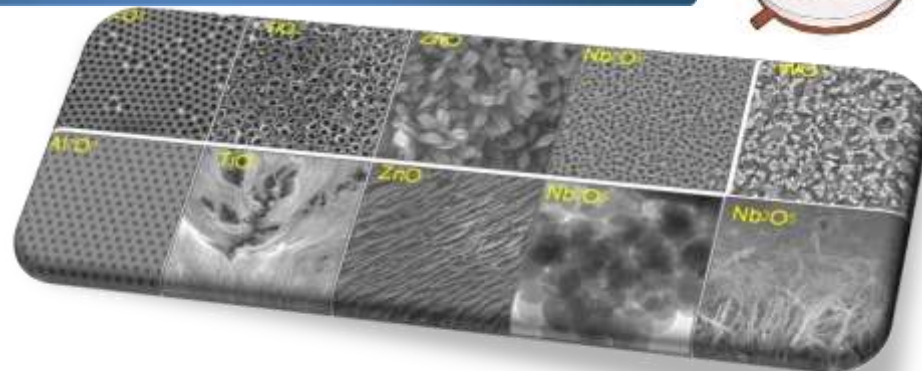
2-1. 연구활동(학위과정)

- $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ 음극재 개발
- $\text{CoS}@\text{SuS}$ 슈퍼캐패시터용 개발

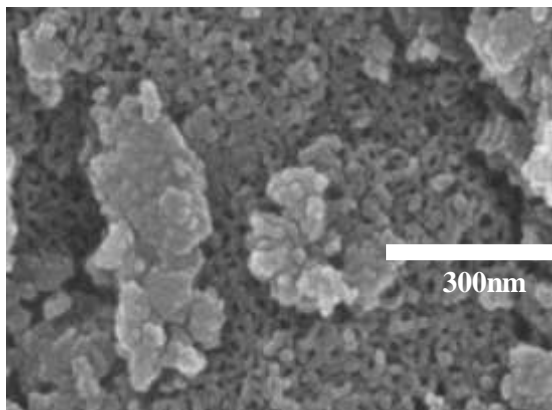
Nano-technology



PEO

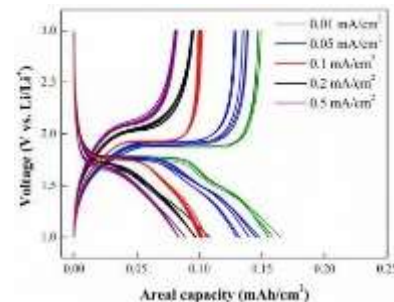
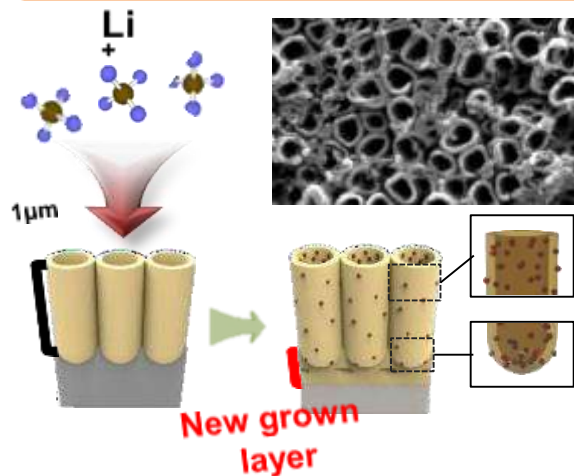


양극산화



금속표면처리

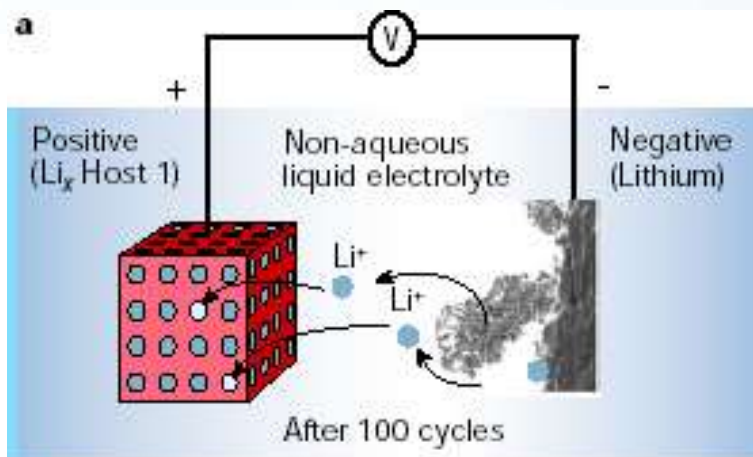
금속 양극산화 (Anodization) and PEO 기술 및 응용



Li - ion battery (LIB) 음극재 개발

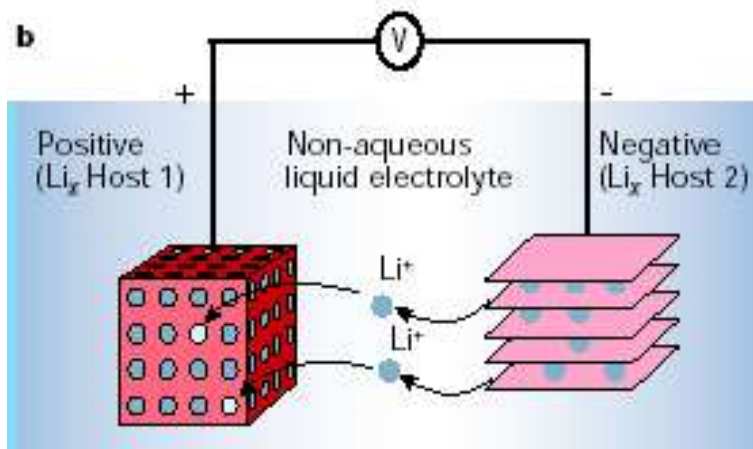
04 비탄소계 음극소재를 개발해야 하는 이유?

Li metal batteries (리튬금속 전지)



dead lithium 생성 → 4배 정도 과량 사용
dendrite 성장 → 내부단락 → 폭발위험

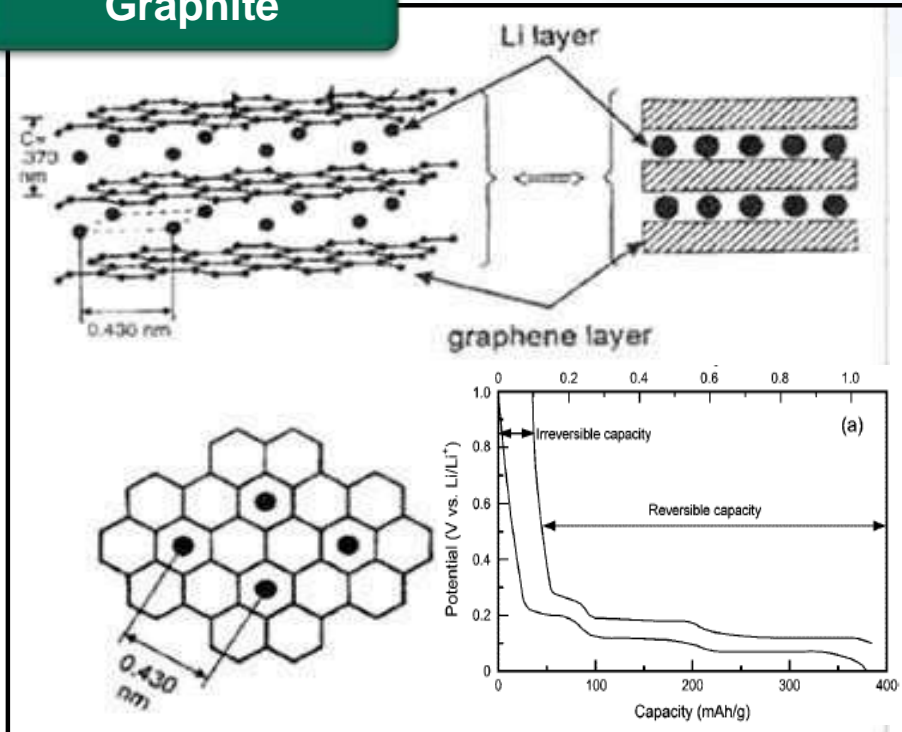
Li-ion batteries (리튬이온 전지)



금속 리튬을 탄소계 재료로 대체
금속의 dendrite 성장 없음 → 안전성 확보
(리튬은 이온상태로만 존재함)

05 비탄소계 음극소재를 개발해야 하는 이유?

Graphite



Insertion oxide (LTO)

장점 : 고출력, 장수명, 저온특성 우수

단점 : 낮은 에너지 밀도,

→ 고출력 (HEV용) 전지에 적합

고에너지 밀도 요구 (고용량화)

-제한된 용량 (< 372 mAh/g, LiC₆)

새로운 시장의 형성 (xEV)

-안정화 특성 요구

-장수명 특성 (> 10 년), 저온특성 (~ -30°C)

차세대 고성능 및 안정화의 소재 개발 필요

Alloy-based

Conversion oxide (MO_x)

장점 : 높은 에너지 밀도,

단점 : 부피변화로 인한 수명문제, 초기효율

→ 고에너지 밀도용 (휴대용 전원)에 적합

- 치밀한 기공 구조를 갖추므로서 Li^+ 의 이동도를 활성화 시킴.

TiO_2 and SiO_2 on lithium battery

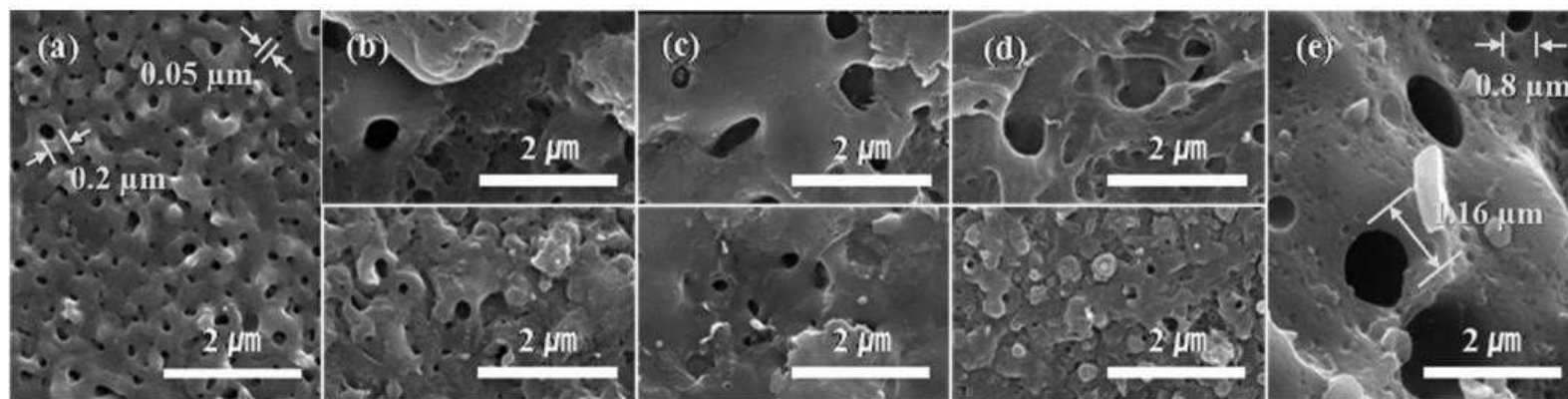


Figure 1. Top-view SEM images of the $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ composite film obtained by the PEO process in various electrolyte conditions (Table S1, Supporting Information): a) Si_0 , b) $\text{Si}_{0.2}$, c) $\text{Si}_{0.3a}$, d) $\text{Si}_{0.3b}$, and e) $\text{Si}_{0.4}$.

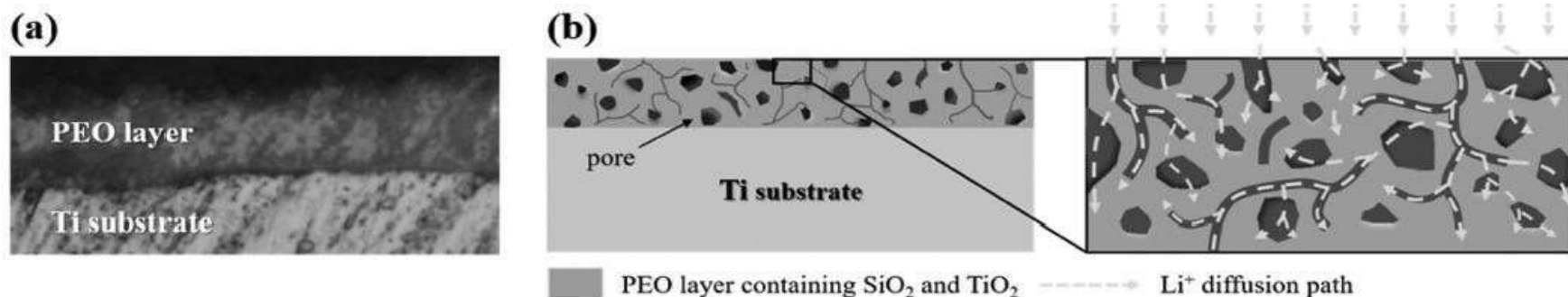


Figure 2. a) Optical micrograph of the as-prepared porous $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ composite film. b) Schematic illustration of the formation of a porous $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ composite film using the PEO process.

- 치밀한 기공 구조를 갖추므로서 Li^+ 의 이동도를 활성화 시킴.

TiO_2 and SiO_2 on lithium battery

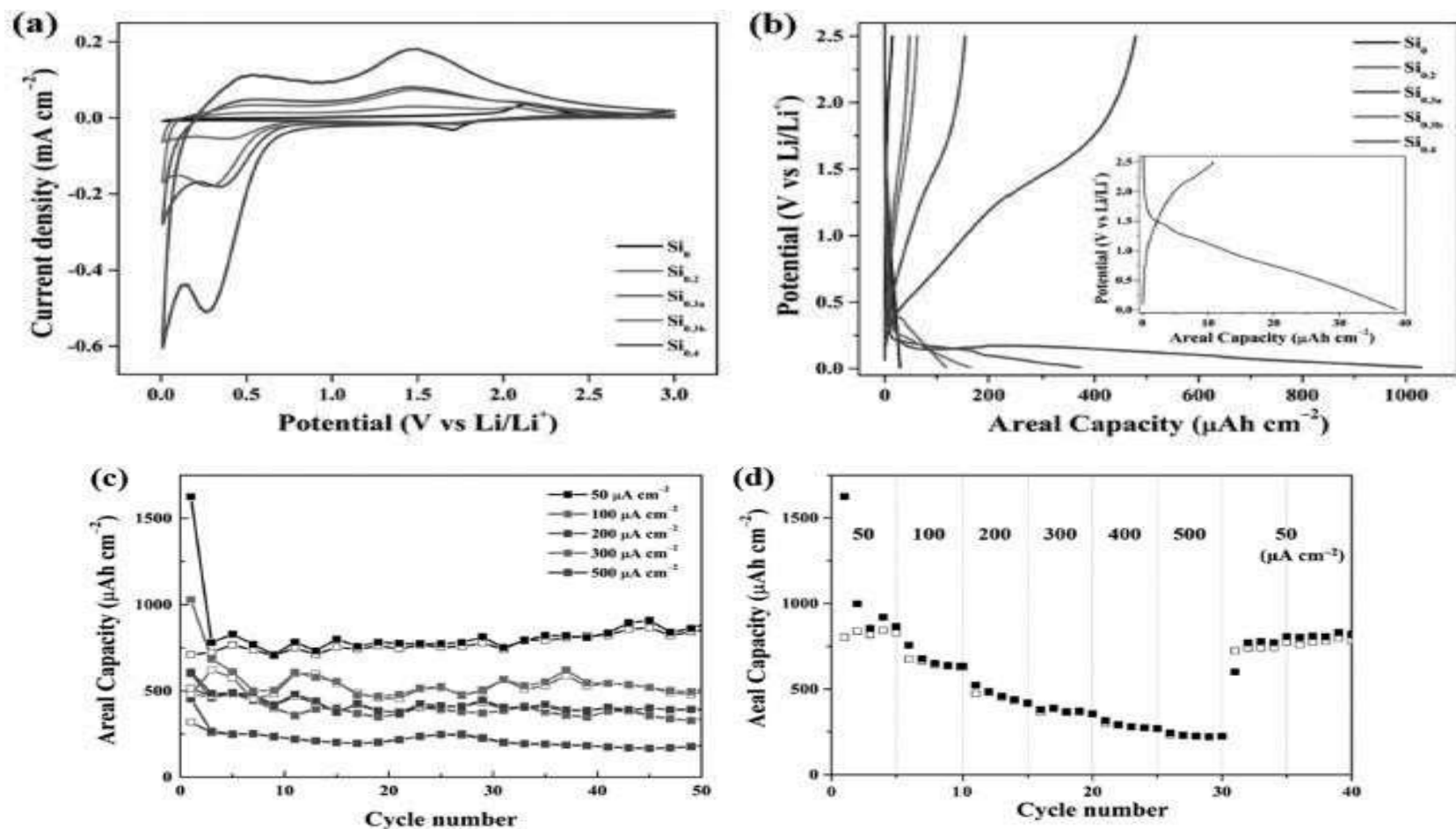
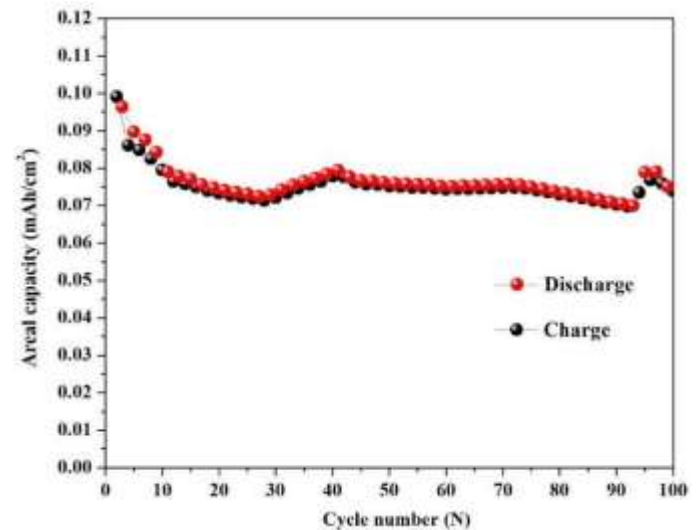
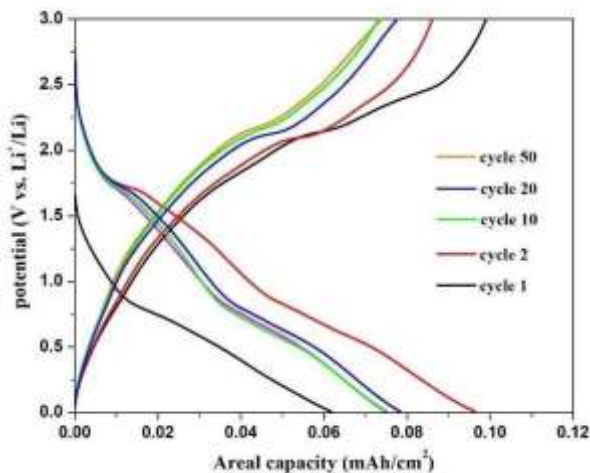
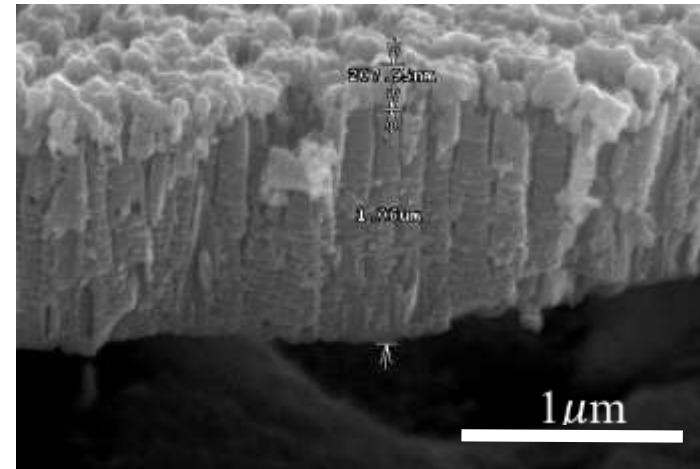
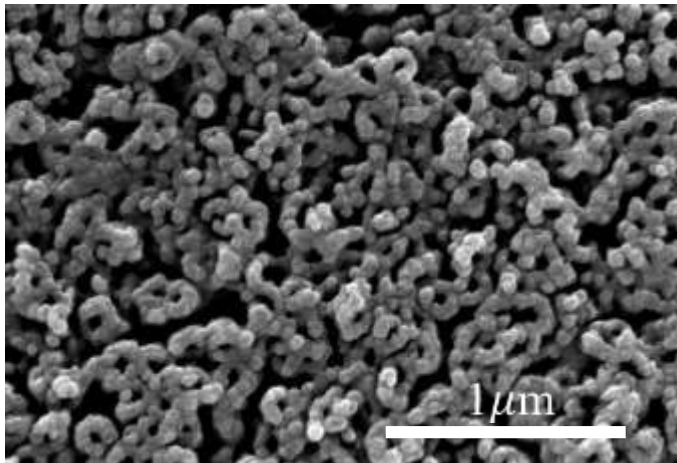


Figure 6. a) Cyclic voltammogram of the as-prepared porous $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ composite film cells in the potential range of 0.01–3.0 V (vs Li/Li^+) at a scan rate of 0.1 mV s^{-1} ; b) galvanostatic charge/discharge curves of $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ composite film cells at $100 \mu\text{A cm}^{-2}$ during the first cycle; c) plots of cyclability versus cycle number of the $\text{Si}_{0.4}$ electrode at various current rates; and d) rate capability of the $\text{Si}_{0.4}$ electrode cycled at various current rates in the potential range of 0.01–2.5 V (vs Li/Li^+).

08 연구 논문소개

- 전압 및 용량이 낮은 TiO_2 나노튜브에 전도성이 높은 구리를 증착해서 그 성능을 증가시킴.

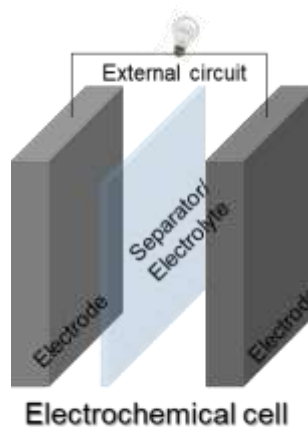
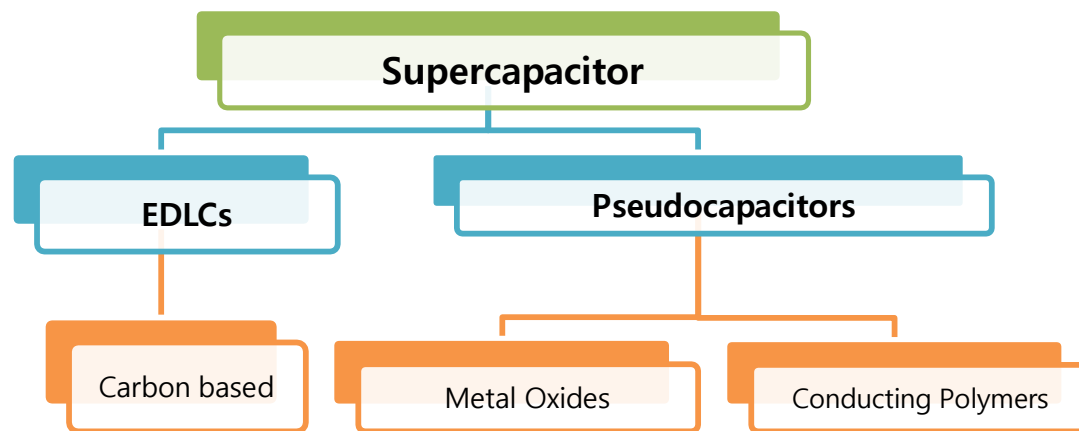
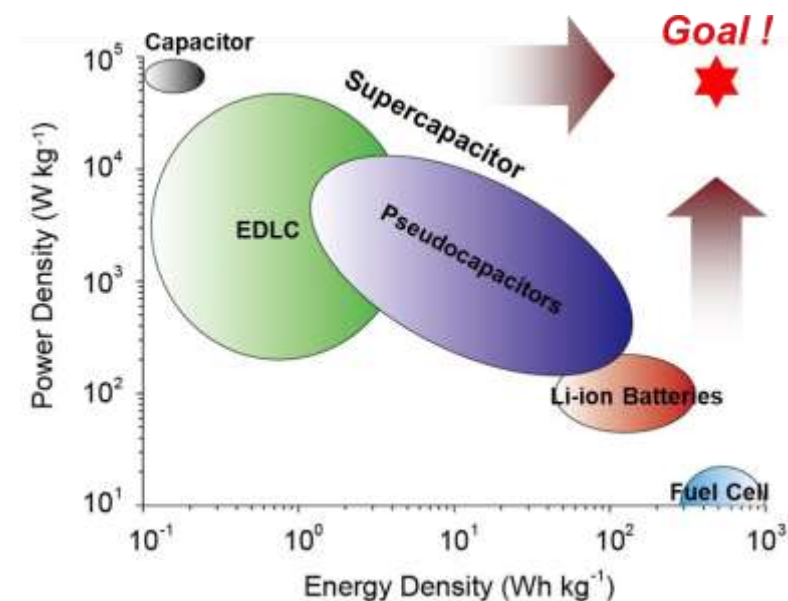
Cu on TiO_2 lithium battery



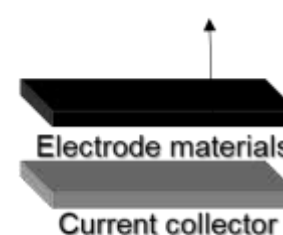
2-2. 연구활동(학위과정)

- $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ 음극재 개발
- $\text{CoS}@\text{SuS}$ 슈퍼캐패시터용 개발

❖ Direction of energy storage device



Active Material + Binder free + Conductive Additive free



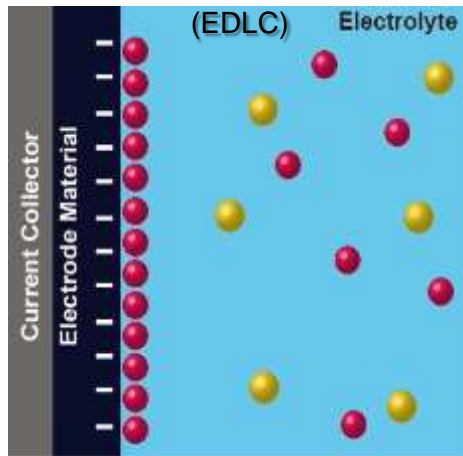
Active Material

Substance involved in the actual electrochemical reaction on electrode.

$$\text{Energy density (Wh/kg)} = \text{Specific capacity (Ah/kg)} * \text{Cell Voltage (V)}$$

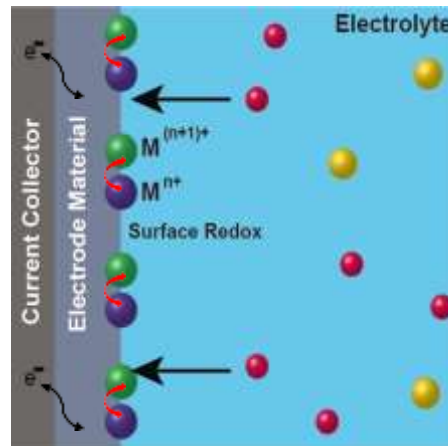
❖ Charge storage mechanism of supercapacitors

EDLC



- Electrostatic Interaction
→ **Charge separator**
- No phase change
- Reversible charge storage

Pseudocapacitors



- Surface Redox Reaction
→ **Charge transfer**
- No phase change
- Reversible charge storage

Impact of surface reaction

Fast and mostly reversible reaction

High Capacitance & Low Resistance



**High Energy & Power performance
Supercapacitors**

$$\text{Capacitance} = \frac{\text{Charge}}{\text{Voltage}} \propto \frac{\text{Surface area}}{\text{Distance of EDL}} [F]$$

$$\begin{aligned} \text{Energy} &= \text{Charge} \times \text{Voltage} [J] \\ &= 0.5 \text{ Capacitance} \times \text{Voltage}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Power} = \frac{V^2}{4 \times R_{ES}} = \frac{\text{Energy}}{\text{discharge time}} [J S^{-1}]$$

R_{ES} : Equivalent series resistance [Ω]

11 SEM image and CV data

SEM images According to Number of cycles

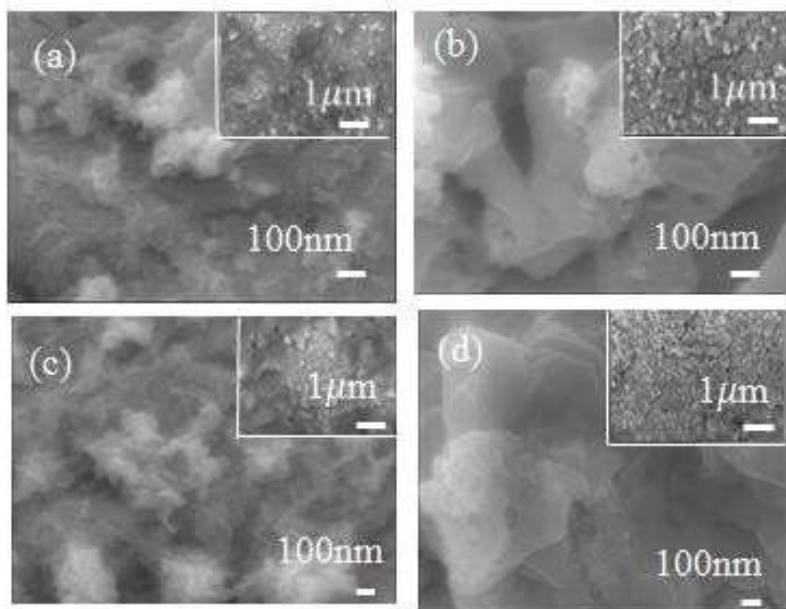


Fig. SEM images of cobalt sulfide(CoS)
(a) 50cycles; (b) 60cycles; (c) 70cycles;
(d) 80cycles.

CV

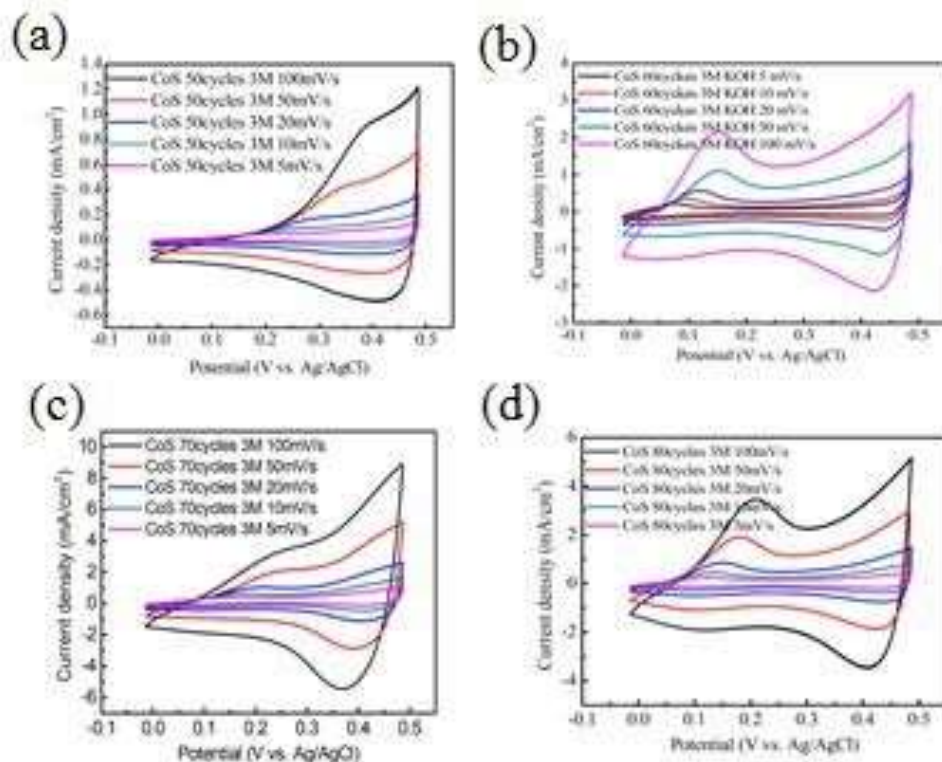
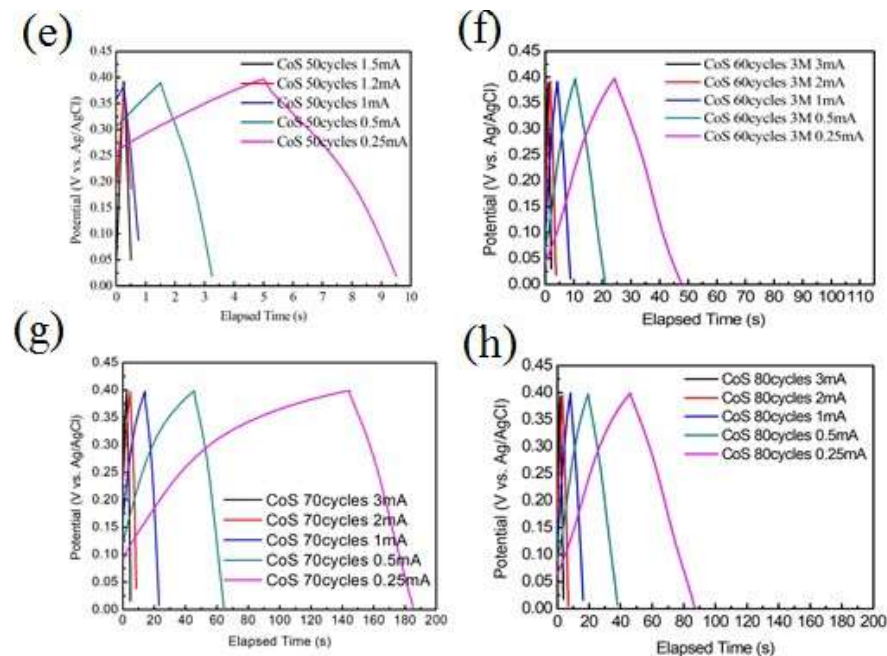


Fig. the CV curve of electrode formed cobalt sulfide(CoS) in 3M KOH solution
(a) 50cycles; (b) 60cycles; (c) 70cycles; (d) 80cycles.

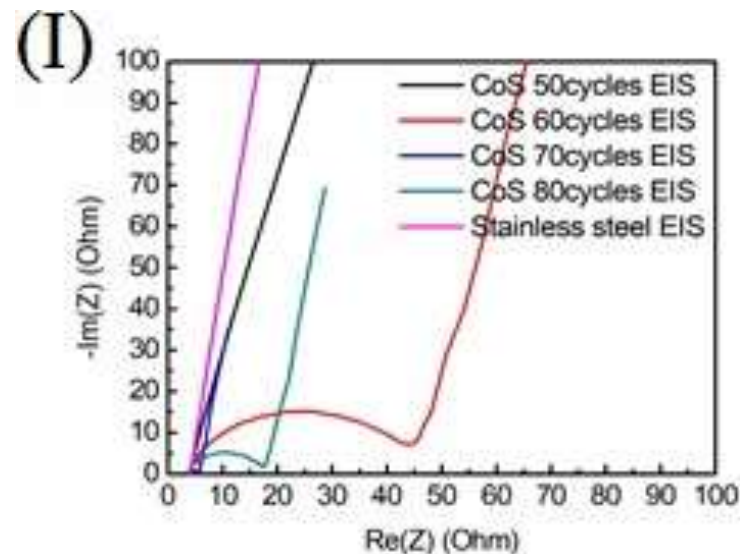
12 Charge-discharge, EIS data

Charge-discharge



The Charge-Discharge curves of (e) CoS 50 cycles; (f) 60 cycles; (g) 70 cycles; (h) 80 cycles.

EIS



The EIS graph of CoS 50,60,70 and 80 cycles.

Conclusions

- Nanosheet of CoS materials can be seen of a chain structure by agglomeration.
- The morphology of CoS shows electrochemical capacitive behavior between Co^{2+} ion and electron(e^-).
- Study about this material is needed for more electrochemical reaction mechanism and morphology.

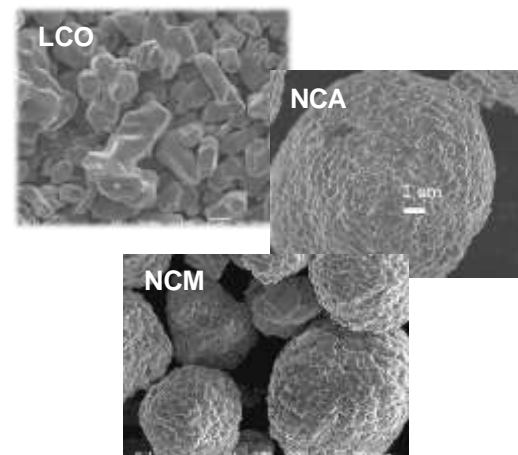
2-2. 연구활동(한국전자기술연구원)

- LIB 양극재 소개
- 양극 소재 물성 및 전기화학 분석과 공정소개.

❖ 양극재 소개

1. LCO
2. NCA
3. NCM

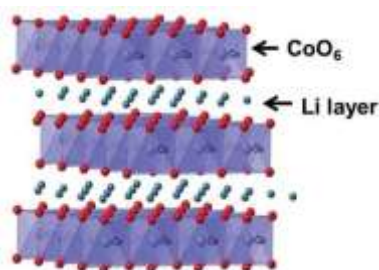
	LCO LiCoO_2	NCA $\text{LiNi}_{0.80}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$	NCM $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$
Capacity (CHG cut-off)	~150 mAh/g (@ 4.3V)	~190 mAh/g (@ 4.3V)	~160 mAh/g (@ 4.3V)
Cost	High	High	Moderate
Process Difficulty	~1,000°C, air Easy	~800°C, O ₂ Difficult	~1,000°C, air Less difficult
Environmental	Poor	Slightly poor	Slightly poor
Thermal Stability	Slightly poor	Poor	Good
Remark	Small~Mid size Mobile devices	Small~Mid size High power	Replacing LCO (low cost)



❖ 양극재 소개

1. LCO
2. NCA
3. NCM

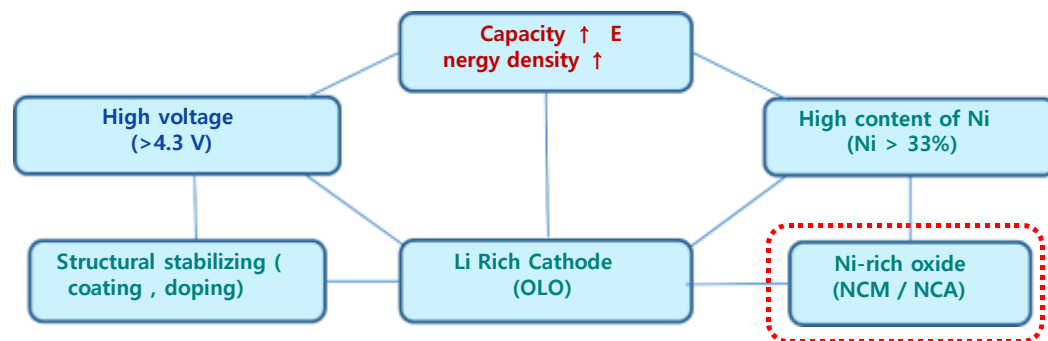
L_{1-x}TM_xO₂ (TM= Transition metal)



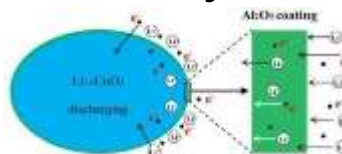
Layered Structure

- Stable on lithium removal
- the retention of capacity on cycling.

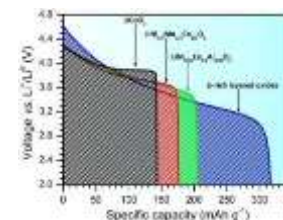
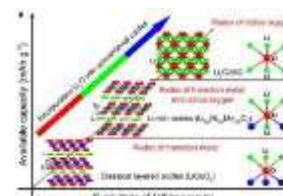
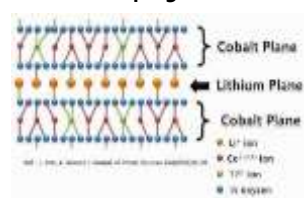
	strength	Weakness
LCO	Better cycle, performance	High cost & Toxic
LNO	High practical discharge capacity & power density	Low thermal stability, Cation mixing
LMO	Low cost, High structural stability	Phase transition to spinel, Cation mobility



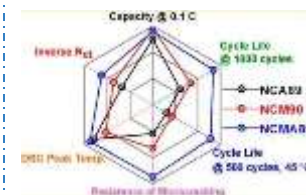
<coating>



<doping>



Chem.Mater.,2017,29(3), 908-915



ACS Energy Lett. 2019, 4, 2, 576-582

15 양극 소재 설계 및 분석 방법 소개

- 차세대 양극(High Ni(80>))계 NCM, LCO의 장수명으로 인한 열화상태를 개선하기 위해 전이금속 도핑 및 세라믹소재 코팅을 하여 공정 및 분석 제시.

물성 분석

purpose	Methods
Particle size	PSA
Morphology	SEM-EDS
Structure	XRD
Physical property	Tap density
Impurity 1 (water)	Karl fisher
Impurity 2 (LiOH & Li ₂ CO ₃)	Titration
Thermal property	DSC
Electrical property	Particle resistance
Mechanical property	Particle strength
Structure stability	Internal pressure
Morphology property	BET
Compositional distribution	ICP-MS

극판 공정



전기화학 분석

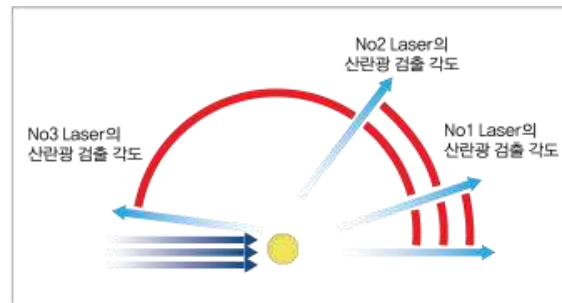
Rate capability
Voltage profile
Cycle life (25°C)
Cycle life (45°C)
Cycle life (60°C)

16 입도 분석

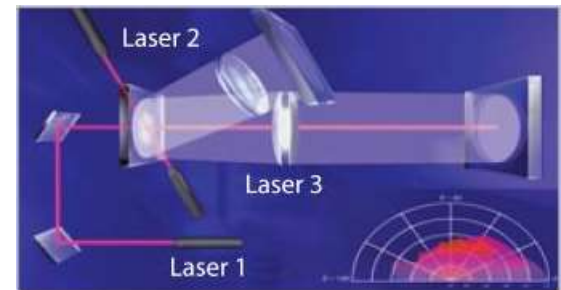
- ✓ . 양극소재의 각 사이즈의 분포도를 분석하여 전기화학 테스트시 어느 입자가 집중적으로 영향을 주는지 파악함.

원리 : 한 입자를 각각 다른 각도의 빛을 쏘서 각도에 따른 산란 강도를 측정하여 Fraunhofer 또는 Mie 산란 모델을 사용하여 입자 크기 분포를 추론하는 방식.

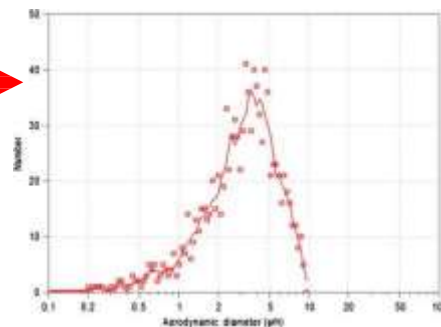
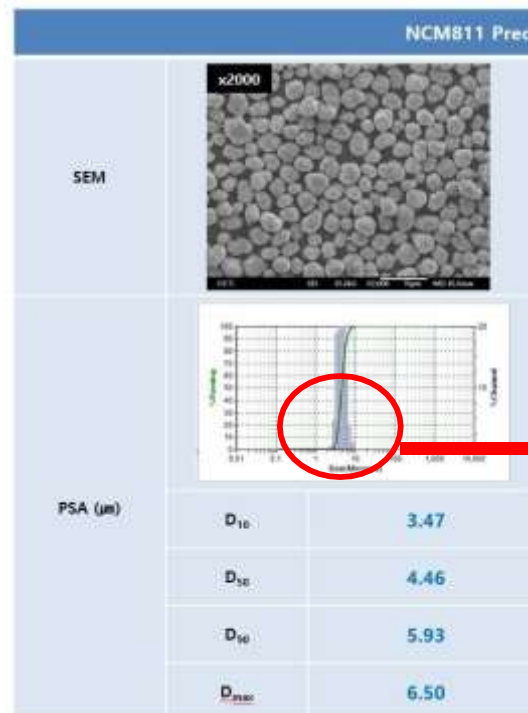
purpose	Methods
Particle size	Particle Size analysis



Laser 검출영역



Tri-Laser System

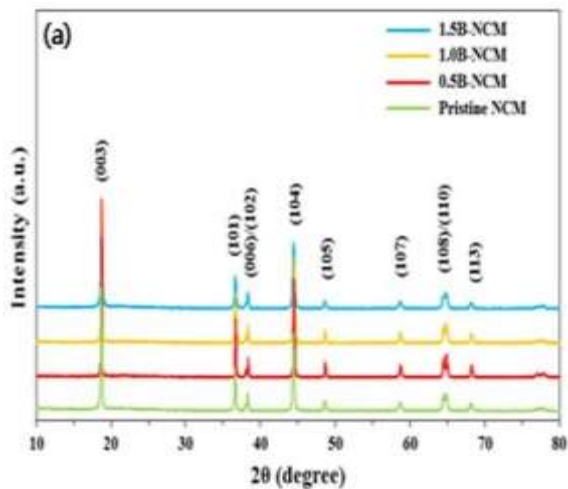


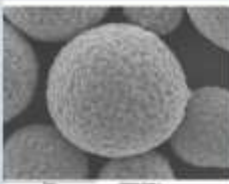



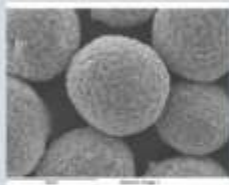


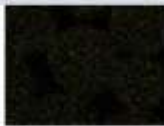
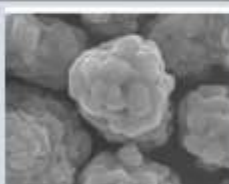



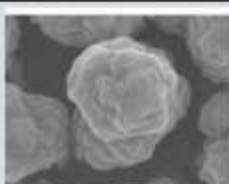

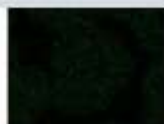

PSA 데이터는 평균치인 D50를 기준으로 가까운 수치를 가진 입자를 가지는 것이 배터리 설계를 하는데 오차가 적다.

17 표면 및 구조 분석

- ✓ 양극소재의 SEM-EDS 및 격자구조 파악.

purpose	Methods
Morphology	SEM-EDS
Structure	XRD



mapping				EDS		
					Weight%	Atomic%
				Ni	85.4	85.16
				Co	9.9	9.84
				Mn	4.7	5
				O		
					Weight%	Atomic%
				Ni	84.73	84.5
				Co	10.7	10.65
				Mn	4.58	4.88
				O		
					Weight%	Atomic%
				Ni	85.45	85.29
				Co	10.24	10.18
				Mn	4.91	4.59
				O		
					Weight%	Atomic%
				Ni	85.88	85.61
				Co	9.98	9.52
				Mn	4.57	4.87
				O		

18 Tap density 분석

- ✓ 실제 배터리 안에서 양극 차지하는 밀도를 측정하기 위한 목적..

purpose	Methods
Physical property	Tap density

Tap machine



1. 개요

- ✓ 탭밀도는 입자들로 이루어진 파우더의 부피당 질량으로, 일정하게 두드리거나 진동을 주어 입자간 공극을 채운 밀도를 말한다.

2. 장치 및 기구

- 1) 시험 용기 : 용량이 약 25 mL 의 표준의 눈금 실린더.
- 2) 분석용 저울
- 3) 탭핑장치

3. 분석절차

- 1) 눈금 실린더에 시료를 10g의 질량을 측정한다.
- 2) 시료를 충전한 메스실린더를 탭밀도 시험기에 조립한 다음 각각의 시험기에서 규정한 측정조건(탭속도 및 낙하높이)으로 시험한다.
- 3) 2000회 탭핑을 실행하고, 이 때의 최종 용적 V_f 를 구하여 다음 식으로 탭밀도 ρ 를 계산한다.

$$\rho = \frac{M}{V_f} \quad \rho : \text{탭밀도(g/mL)}$$

M : 시료의 질량(g)

V_f : 시료의 최종 겉보기 부피(mL)

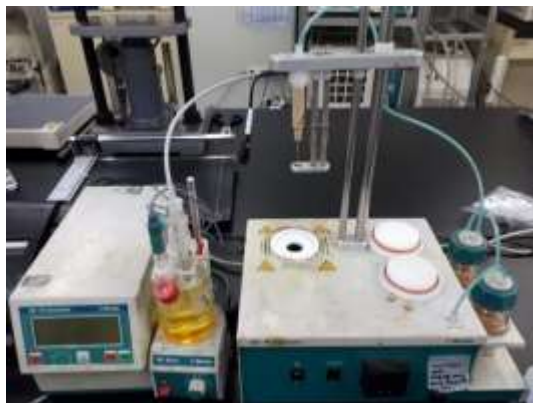
4. 목표

- ✓ 최종 밀도를 얼마나 입자간의 유통성 및 압축률을 통해서 추후 양극 소재의 합제밀도를 고려하기 위함.

19 수분(H₂O) 분석

- ✓ 양극소재 표면에 얼마나 많은 수분이 있는지 파악-> 수분과 전해액의 반응으로 인해 HF 발생으로 가스 형성.

purpose	Methods
Impurity 1 (water)	Karl fisher



NCM

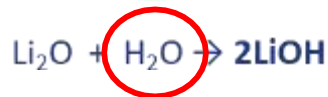
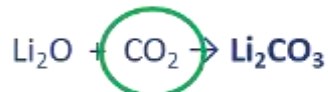
sample	Comp.	ppm
A	H ₂ O	1.9
B	H ₂ O	2.8
C	H ₂ O	2.1
D	H ₂ O	2.8

양극소재 표면의 H₂O의 문제



Scheme 1. Surface change of Li[Ni_{0.7}Mn_{0.3}]O₂ materials after exposure in air.

Formation (aging in air)



CO₂, H₂O,
LiOH, Li₂CO₃

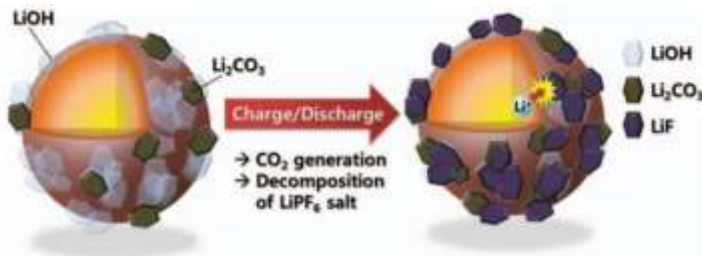


Control &
Removal

20 잔류리튬(Li₂CO₃ 및 LiOH) 분석

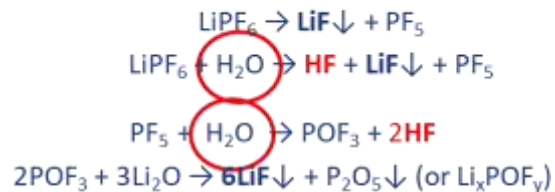
- ✓ 양극소재 표면에 얼마나 많은 수분이 있는지 파악-> 수분과 LiPF₆의 반응으로 인해 HF 발생으로 가스 형성.

purpose	Methods
Impurity 2 (LiOH & Li ₂ CO ₃)	Titration



Scheme 2. Effect of the residual lithium on the surface of Li[Ni_{0.7}Mn_{0.3}]O₂.

Decomposition of LiPF₆



Corrosion by HF



CO₂, H₂O,
LiOH, Li₂CO₃



Control &
Removal

LCO

Comp.	ppm
Li ₂ CO ₃	288
LiOH	240

NCM

Sample	Comp.	ppm
A	Li ₂ CO ₃	8435
	LiOH	1374
B	Li ₂ CO ₃	9603
	LiOH	1182
C	Li ₂ CO ₃	9460
	LiOH	1425
D	Li ₂ CO ₃	6561
	LiOH	1798

21 시차 주사 열량 분석

- ✓ 완충된 양극 샘플을 가지고 몇도 이상에서 구조변화가 발생되는지 알아보기 위한 테스트.

purpose	Methods
Thermal property	DSC

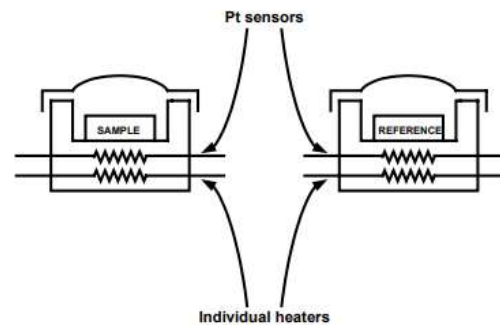
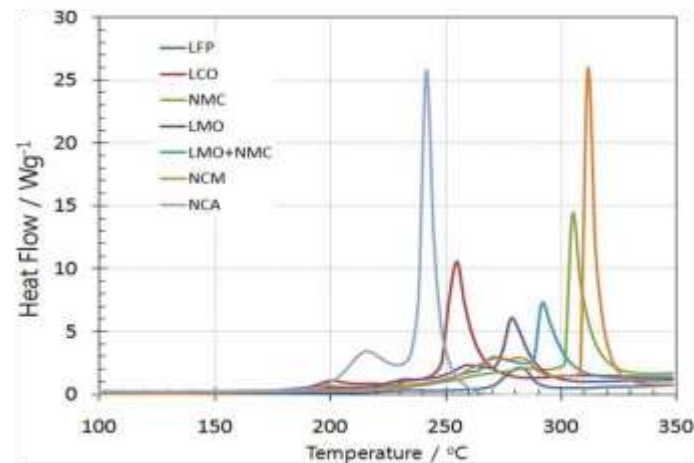


Fig. 1. sample & reference

$$\text{heat flow} = \frac{\text{heat}}{\text{time}} = \frac{Q}{t}$$

$$\text{heating rate} = \frac{\text{temperature increase}}{\text{time}} = \frac{\Delta T}{t}$$

$$\text{heat capacity}(C_p) = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{\frac{Q}{t}}{\frac{\Delta T}{t}}$$

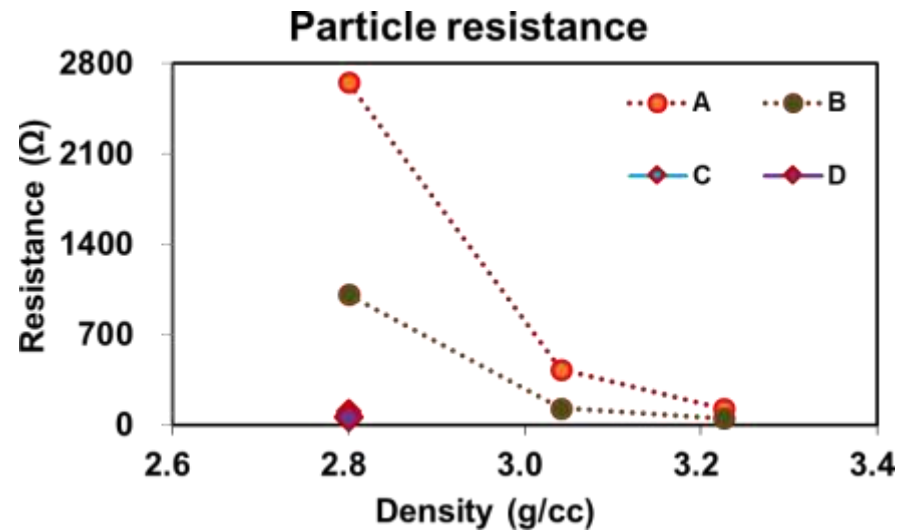


22 입자 전기전도도 분석

- ✓ 양극소재가 가지고 있는 전기전도도를 측정하기 위함..

purpose	Methods
Electrical property	Particle resistance

- 합제밀도에 따라 양극의 전자전도도가 달라짐.



23 입자강도 분석

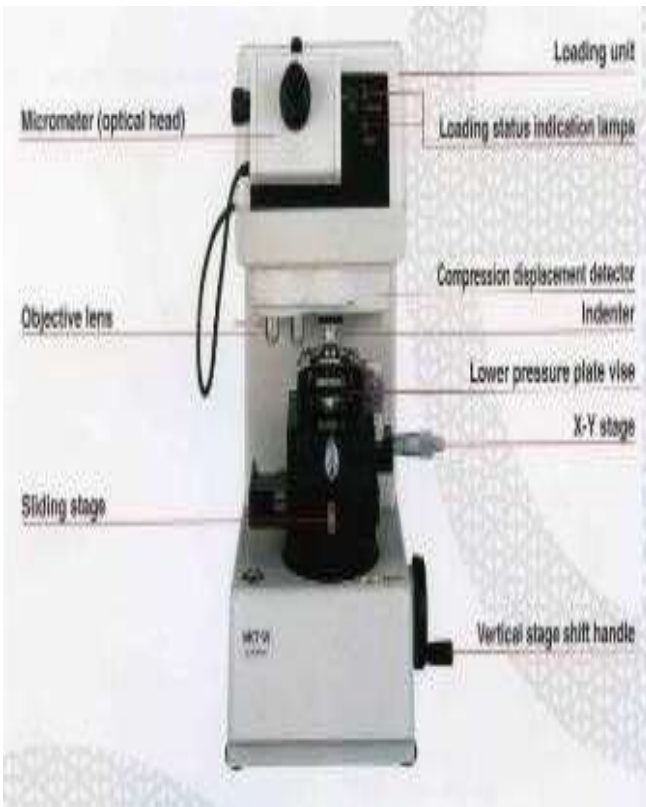
- ✓ 양극소재가 배터리 충방전시 얼마나 많이 열화되는지에 대한 척도를 입자강도를 통해서 정량적인 분석을 나타냄.

purpose

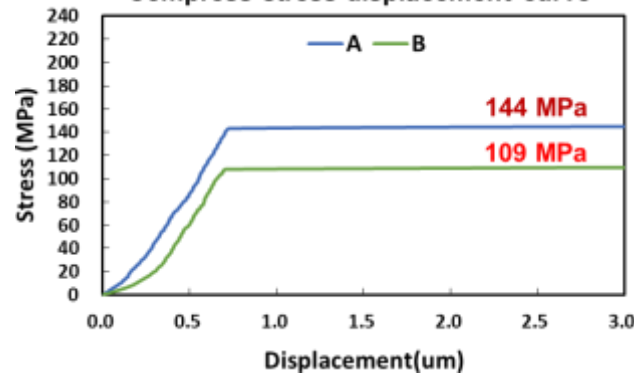
Methods

Mechanical property

Particle strength



Compress stress-displacement curve



$$St = 2.8 \times \frac{p}{\pi d^2}$$

St : 입자강도 (Mpa)
 p : 힘 (N)
 d : 입자직경(mm)

24 내압측정 분석

- ✓ 완충된 양극극판에서 고온에서 얼마나 많은 가스방출량이 발생하는지에 대한 구조분석.

purpose

Methods

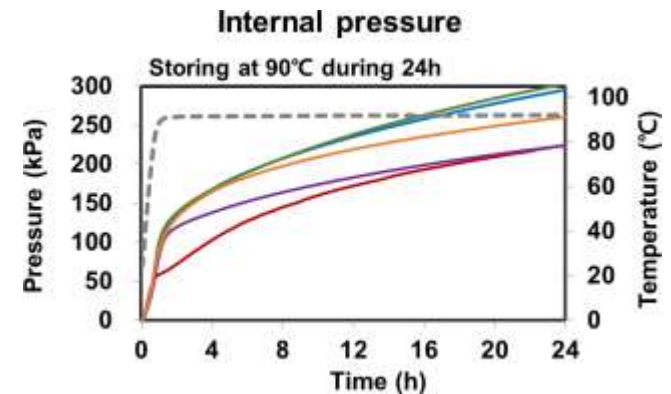
Structure stability

Internal pressure

온도 : 90°C 유지
시간 : 24h

가스 발생량 분석

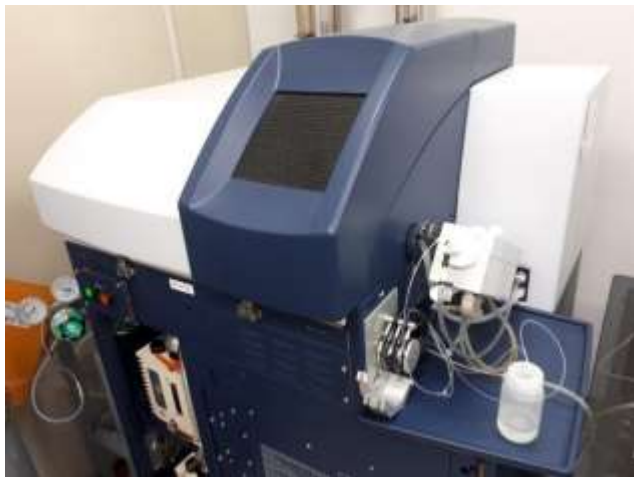
- 1) 양극/전해액표면반응(CO_2)
- 2) 양극의 열분해반응(O_2)
- 3) 전해액의 산화반응(CO_2)
- 4) 전해액의 열분해반응



25 ICP-MS 분석

- ✓ 양극소재를 이루는 원소를 더욱이 플라즈마 방식으로 정량적으로 분석.

purpose	Methods
Compositional distribution	ICP-MS



ICP-MS의 일반적 특성

- ◆ 대부분 의 원소분석 가능
- ◆ 측정 하한이 매우 낮음 (~ sub ppt)
- ◆ 빠른 시간내 정성 및 정량 분석이 가능
- ◆ 원소분석 뿐만 아니라 동위원소 분석 가능
- ◆ 넓은 농도범위
- ◆ 다양한 시료 종류 분석 가능



ICP				
Comp.	Atomic weight	ppm [mg/kg]	molality [mol/kg]	mole ratio [%]
A	58.693	93578.420	1.594	64.8
B	58.933	27991.330	0.475	19.3
C	54.94	21413.950	0.390	15.9

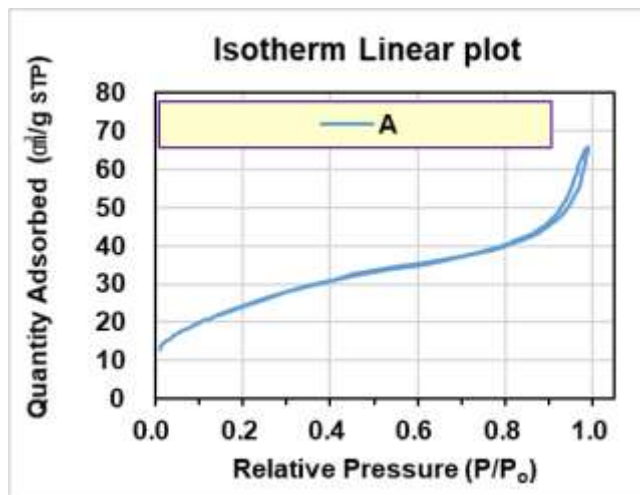
26 Brunauer–Emmett–Teller (BET) 분석

- ✓ 양극소재 표면에 얼마나 많은 기공을 가지는지에 대한 표면분석.

purpose	Methods
Morphology property	BET



- 양극소재는 대체로 기공구조의 구형을 가져서 상당한 크기의 비표면적을 가짐.



BET	
Comp.	Surface area (m ² /g)
1	0.223
2	0.221
3	0.228
Average	0.224

27 극판 설계 초안(Slurry & coating layer)

양극활물질의 용량과 에너지밀도를 높여 고용량, 고출력의 배터리를 만드는 방향으로 연구가 진행.

극판 공정



고려사항.

1. 슬러리/극판 조건 확립
2. 전기화학적 성능 확보

Materials	Cell parameters
A	L/L(mg/cm ²)
	가역 용량(mAh/g)
	합제밀도(g/cc)
	Al foil 두께(μm)
	Press 전 전극두께(μm)
	Press 후 전극두께(μm)
	활물질 : 도전재(carbon black) : 바인더 (PVDF
	고형분(wt.%)



Materials	Cell parameters
Graphite	L/L(mg/cm ²)
	가역 용량(mAh/g)
	합제밀도(g/cc)
	Cu foil 두께(μm)
	N/P ratio
	Press 전 전극두께(μm)
	Press 후 전극두께(μm)
	활물질 : CMC : Super-P : SBR
	고형분(wt.%)

28 셀 설계 초안(Coin cell & Pouch cell)

양극활물질의 용량과 에너지밀도를 높여 고용량, 고출력의 배터리를 만드는 방향으로 연구가 진행.

Material	parameters
PE	두께 (μm)



Materials
전해질 1M LiPF ₆ EC/EMC=3:7+1.5wt% PS+1wt% VC

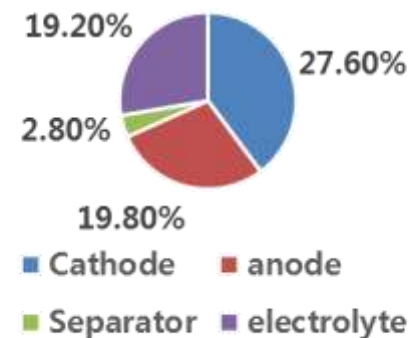


전기화학 분석

Rate capability
Voltage profile
Cycle life (25°C)
Cycle life (45°C)
Cycle life (60°C)

기본 설계 인자
1. 전류밀도
2. N/P raio
3. Sheet number
4. Energy density(wh/kg)
5. 비가역 용량
6. 셀무게(g)

각 부품별 weight 비율



[지원 직무관련 학습 활동 이력]

- 1. 전공이수 포지셔닝맵**
- 2. 연구활동[논문, 프로젝트]**
- 3. 개별 활동 및 학습모임**

이수 전공과목 포지셔닝 맵

높음

학사
과목

관심도

보통

학업성취도

낮음

C+ 이하 B- /B B+ A A+

현대물리학

전자기학

전자공학
및 실험

열물리학

고급물리학
및 실험

일반역학

고체물리학

양자역학

수리물리학

공업수학

미분방정식

일반물리학

일반화학

일반생물학

이수 전공과목 포지셔닝 맵

높음

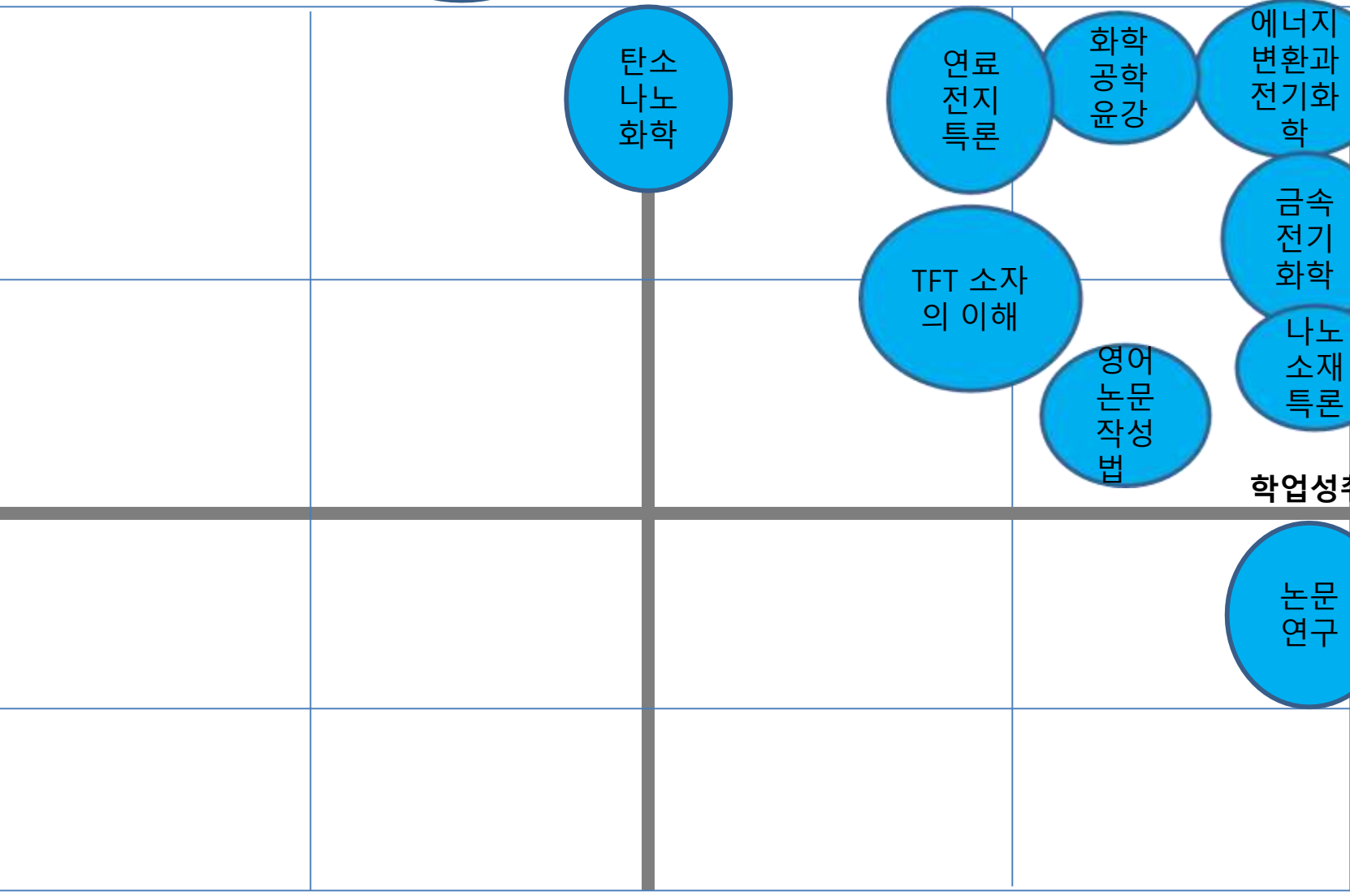
보통

낮음

석사
과목

관심도

학업성취도



C+ 이하

B- /B

B+

A

A+

탄소
나노
화학

연료
전지
특론

화학
공공
윤

에너지
변환과
전기화
학

TFT 소자
의 이해

영어
논문
작성
법

금속
전기
화학

나노
소재
특론

논문
연구

2-1. 연구활동[프로젝트]

<프로젝트 과제>

1. 균일막 형성 기계부품용 타이타늄 양극산화 기술개발 – 포인트 엔지니어링
2. 디스플레이 및 반도체 CVD용 Diffuser 기능의 AAO 소재 개발 – 포인트 엔지니어링
3. 에너지 자원을 확보를 하기 위해 배터리에서 중요한 소재인 리튬을 회수하는 타이타늄 옥사이드 전극재 회수 연구 및 개발.

2-2. 연구활동[논문]

<논문 게재>

스테인리스강 기판에 연속 이온 층 흡착 및 반응 (SILAR) 공정을 통한 CoS 코팅 및 슈퍼캐패시터 전극 특성 -한국표면공학회

<졸업논문>

CoS가 증착된 스테인리스강의 슈퍼캐패시터용 전극 특성 평가
(Development of CoS-deposited stainless steel for supercapacitor electrode)

- 이 졸업 논문에 소개되고 있는 것은 슈퍼캐패시터의 고출력을 위한 것이 아닌 에너지밀도를 중점으로 해서 전극 활물질의 특정용량에너지/면적을 높이기 위해 황화물 계열중에 하나인 코발트 설파이트(CoS)를 선택했다. 그 이유는 현재 에너지 변환 및 저장을 주로 하는 연구분야는 리튬이온 전지이지만, 리튬이온 전지의 단점은 어떤 고출력을 요하는 상황에서 순간적인 고출력을 발휘 하지 못한다는 점에서 고려 하였다.

<학술대회>

1. CoS deposited stainless steel for supercapacitor electrode (주저자, 한국표면공학회)

2. 고전류 구리-주석 합금 도금을 이용한 리튬이온 배터리의 음극재 제조법 연구(공저자, 한국전기화학회)

3. 개별 학습 및 학습 모임

1. 2017.01 ~ 2017.02 / 표준분석연구실 / 측정기기분석(SEM, TEM, 열 소재 분석, XRD)등 필수적으로 중요한 측정기기에 대한 이론 교육과정수료.
2. 2018.03~2018.06 / 대학교 화공실험실 / 화공학과 학부생들을 대상으로 알루미늄 에어 배터리에 대한 실험조교 및 배터리 이론 학습.
3. 2017.11 ~ 2017.11 / 특허법인공간 / 이공계인을 위한 연구 실적 및 특허에 대한 작성 교육과정수료.
4. 2017.10 ~ 2019.07 / 한국에너지기술평가원 / 에너지 소재관련 기업체를 탐방 과정수료.
5. 2019.06 ~ 2019.06 / 국가과학기술인력개발 / 사업제안서 작성 노하우와 연구성과물 보호, 연구비관리를 습득에 대한 지식 교육과정수료.
6. Battery 관련 세미나 : 전기화학 이론 및 전기차에서 어떻게 개발이 되는지에 대한 학습 스터디.