

배터리속 소재 이야기

The Story of the Material in the Battery

이차전지 혁신융합대학 | 가천대학교 김일태

이차전지 혁신융합대학 사업단
Secondary Battery
Convergence and Open Sharing System

Copyright © 2023. 이차전지 혁신융합대학 사업단

강의 소개

강의 주차	강의 주제
1주차	이차전지 소재의 발전은 어떻게 이루어졌을까?
2주차	이차전지 소재는 어떤 방법으로 분류할 수 있을까?
3주차	이차전지는 어떻게 작동할까?
4주차	이차전지에서 4대 핵심소재가 갖는 의미란?
5주차	이차전지에서 음극과 양극은 어떤 역할을 할까?
6주차	이차전지 음극/양극의 제조 방법
7주차	이차전지에서 전해질의 역할은?
8주차	중간고사
9주차	이차전지 전해질로 사용되는 물질의 특징
10주차	이차전지에서 전극과 전해질은 어떠한 관계일까?
11주차	이차전지 분리막의 제조 방법 및 역할
12주차	이차전지 전극에서 바인더의 역할
13주차	소재의 종류는 어떻게 이차전지의 안정성을 변화시킬까?
14주차	차세대 이차전지 소재에는 어떤 것들이 있을까?
15주차	기말고사



Chapter
4주차
강의

이차전지에서 4대 핵심소재가 갖는 의미 :
I. 양극재

01 이차전지: 4대 핵심 소재란?
(양극재, 음극재, 전해액, 분리막)

02 양극재 특성 및 시장 동향

03 양극재 적용 기술의 의미

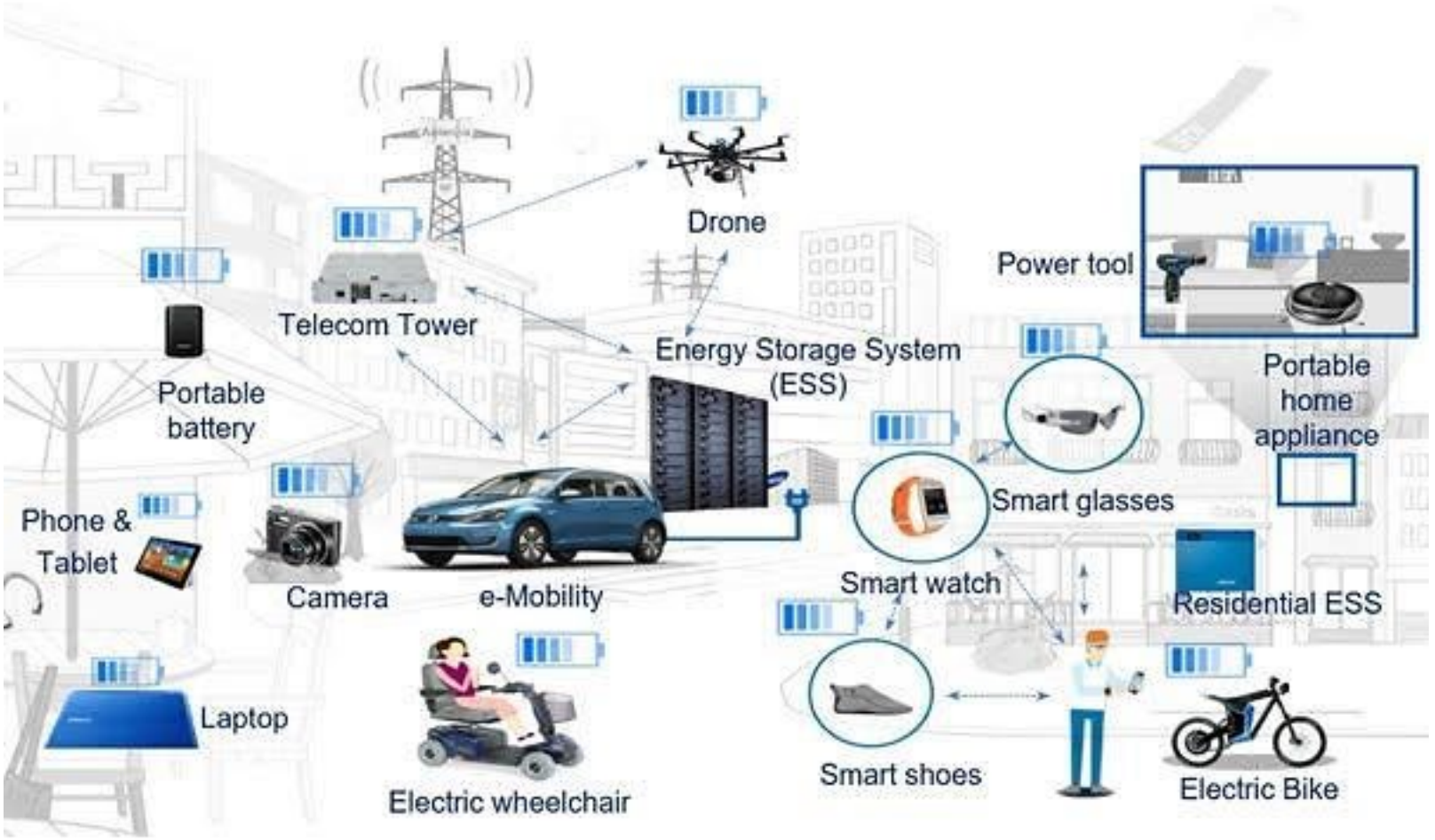
04 맺음말

급성장하고 있는 이차전지 산업!



기술과혁신 , 한국산업기술진흥협회(KOITA)

이차전지의 활용분야의 다양성



자료: 배터리가 적용되는 다양한 애플리케이션 [그래픽=삼성SDI 제공]

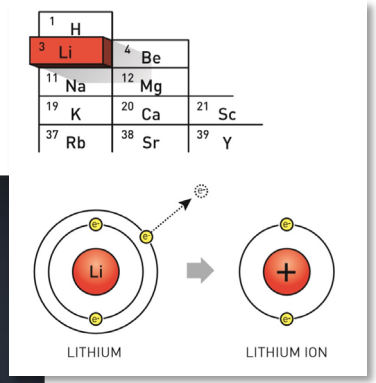
이차전지의 주요 인물

The Nobel Prize in Chemistry 2019









M. Stanley Whittingham:
Binghamton University, USA
- **TiS_2/Li; 1970s**
- **1st functional lithium battery**

John B. Goodenough:
University of Texas, USA
- **$LiCoO_2$/Li; 1980s**
- **Doubled the lithium battery's potential**

Akira Yoshino: Meijo University, Asahi Kasei Corporation, Japan
- **$LiCoO_2$/carbonaceous material; 1986**
- **Pure Li substituted by Li-ions**
- **Commercialized in 1991**

(1922 ~2023)

01 이차전지: 4대 핵심 소재

◉ 이차전지에서 4대핵심 소재란?



이차전지 內 핵심 구성 요소

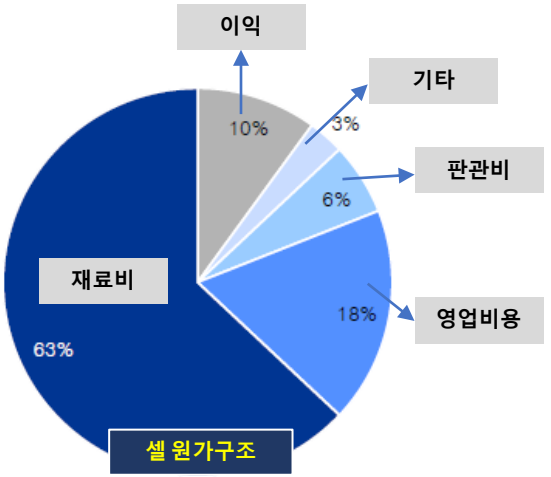
4개의 소재중 하나라도 없다면,
이차전지는 구동될 수 없다!

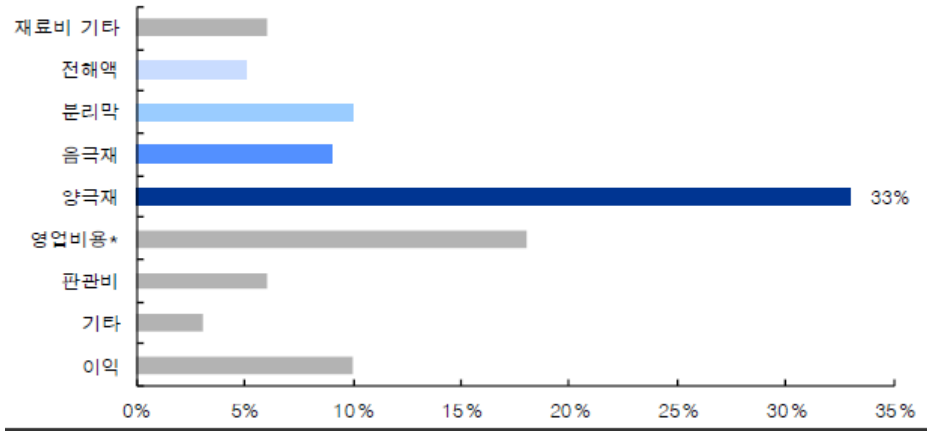
4대 소재	의미
양극재	리튬(Li), 니켈(Ni), 코발트(Co) 등으로 구성. **배터리의 용량과 전압을 결정**하는 핵심재료
음극재	대부분 흑연으로 구성되며 **양극에서 나온 리튬이온을 흡수·방출하면서 외부 회로를 통해 전류가 흐르게** 하는 역할
전해액	전해질은 **양극과 음극 사이에서 리튬이온을 이동시키는 매개체 역할**을 하는 물질
분리막	양극과 음극이 물리적으로 접촉하여 생기는 **전기적인 단락(화재·폭발)을 방지, 리튬이온의 전극 간 이동을 가능하게 해주는 다공성 고분자 필름**

02 양극재 특성 및 시장동향

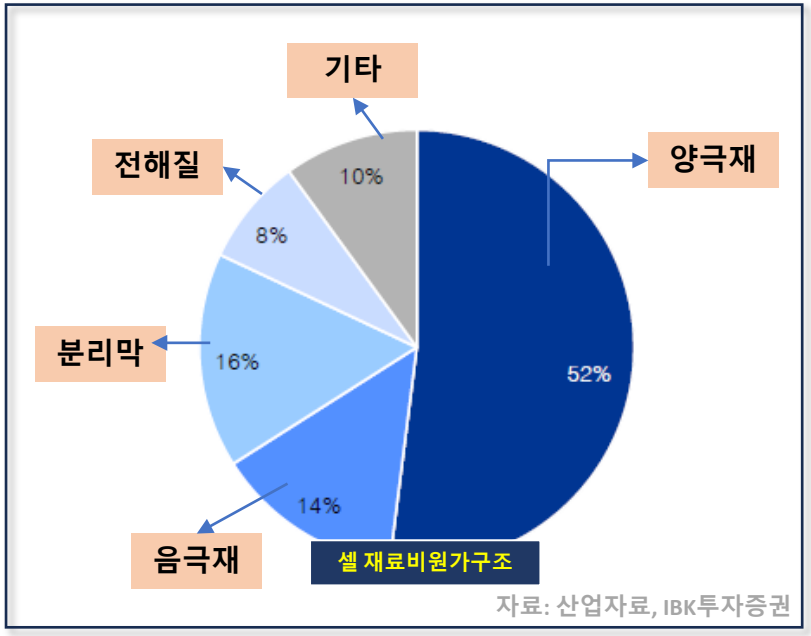
◉ 양극재: 시장 동향

- 이차전지의 핵심은 소재→ 양극재
- 전기차용 이차전지(EV 배터리) 셀 기준:
  → 재료비 비중: 셀 기준 전체 원가의 63%.
  → 양극재: 원가의 33% (재료비 中 52%)
  → 높은 원가 비중만큼 배터리 핵심 기능을 결정





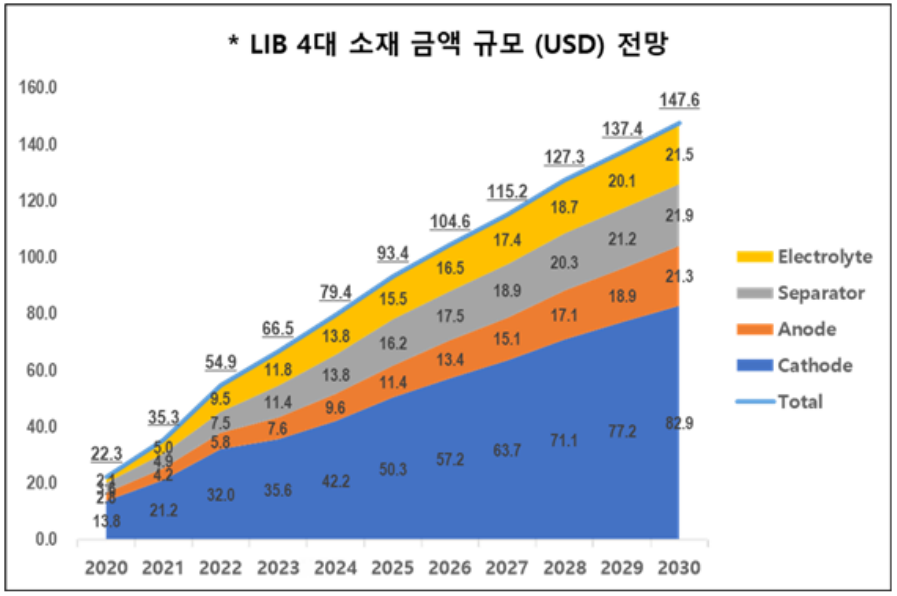
자료: 산업자료, IBK투자증권



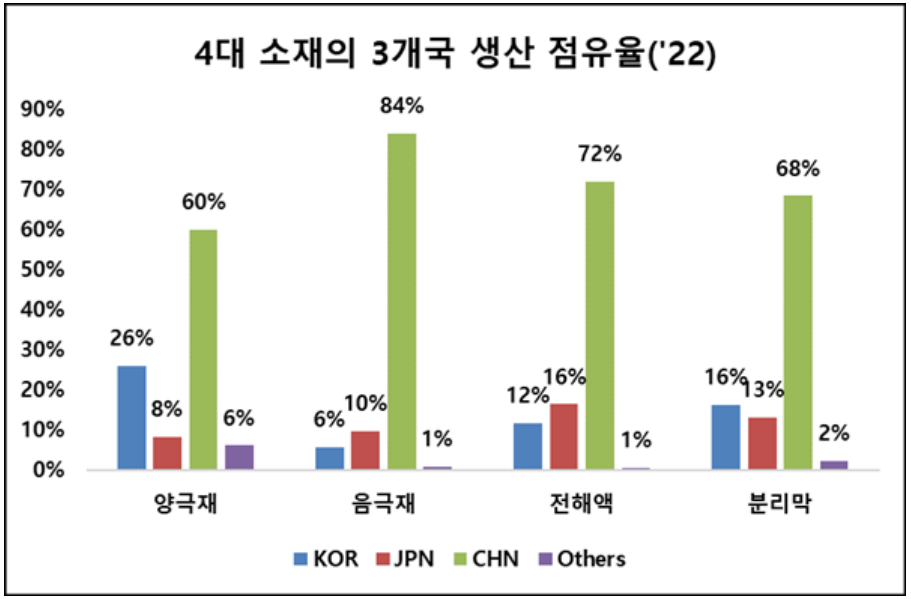
자료: 산업자료, IBK투자증권

02 양극재 특성 및 시장동향

◉ 양극재: 시장 동향



리튬이차전지 4대소재 시장규모 전망(2020~2030) [자료=SNE리서치]



리튬이차전지 4대소재 공급업체 국가별 시장점유율(2022년 생산량 기준) [자료=SNE리서치]

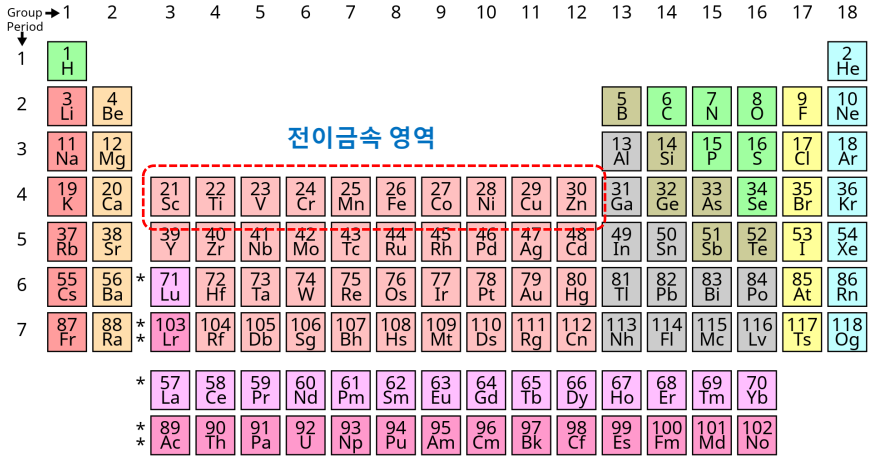
- 리튬이온 이차전지 핵심 4대소재 시장: '2022년 기준 549억달러(70조원)
- '2025년 기준 934억달러(121조원), '2030년 기준 1,476억달러(192조원) 규모로 3배 성장 전망
- 4대소재 3개국 생산 점유율('22): 대한민국 양극재 26% 차지 (중국: 60%)

03 양극재 적용기술의 의미

◉ 양극재: 기술 동향 (활용되고 있는 금속원소의 종류)



POSCO NEWSROOM



- 양극재: 리튬과 금속(전이금속 포함) 성분의 조합
- 주로 사용되는 금속성분: 에너지밀도를 결정하는 니켈(Ni), 안정성을 높이는 코발트(Co)와 망간(Mn), 출력을 향상하는 알루미늄(Al) → 사용하는 비율에 따라 "용량", "에너지밀도", "안정성", "수명", "가격경쟁력"을 결정

03 양극재 적용기술의 의미

◉ 양극재: 기술 동향 (양극재의 구성)

항목	LCO	NCM	NCA	LMO	LFP
분자식	LiCoO2	Li(Ni,Co,Mn)O2	Li(Ni,Co,Al)O2	LiMn2O4	LiFePO4
구조	층상 (layered)	층상 (layered)	층상 (layered)	스피넬 (spinel)	올리빈 (olivine)
안정성	2	3	1	2	4
비용	3	3	2	3	3
수명	2	3	3	2	4
밀도	4	4	4	3	2
용도	소형	소형, 중대형	소형, 중대형	중대형	중대형

LG 케미토피아

- ❖ **LCO**: 리튬코발트 산화물
- ❖ **NCM**: 니켈·코발트·망간
- ❖ **NCA**: 니켈 ·코발트·알루미늄
- ❖ **LMO**: 리튬망간 산화물
- ❖ **LFP**: 리튬인산철 (Li- $FePO_4$)

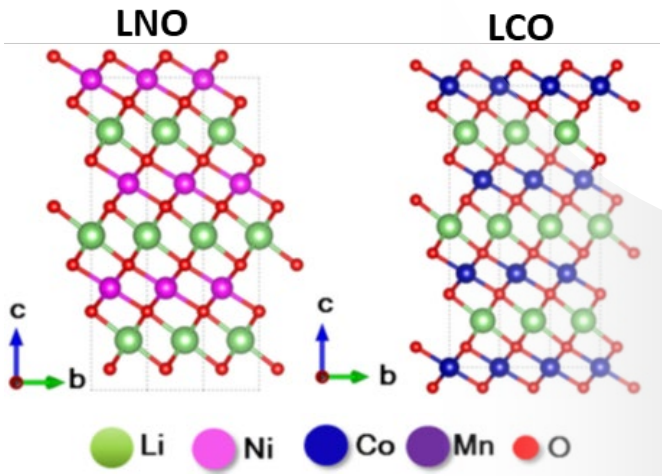
*층상 구조: $LiMO_2$(M: Ni, Co, Mn 등)의 구조로, 가장 직관적인 구조
*스피넬 구조: 아연 스피넬(gahnite)로도 불리는 첨정석(spinel, $MgAl_2O_4$)의 이름으로부터 명명된 구조
*올리빈 구조: 크리스탈 형태의 육면체들이 서로 유기적으로 연결된 격자 구조

- 양극재는 금속염의 구성 성분에 따라 LCO, NCM, NCA, LMO, LFP 등으로 구분
- 양극재는 구조에 따라 층상 구조, 스피넬 구조, 올리빈 구조 크게 3가지로 구분
- 각 특성에 따라 용도 구분하여 활용

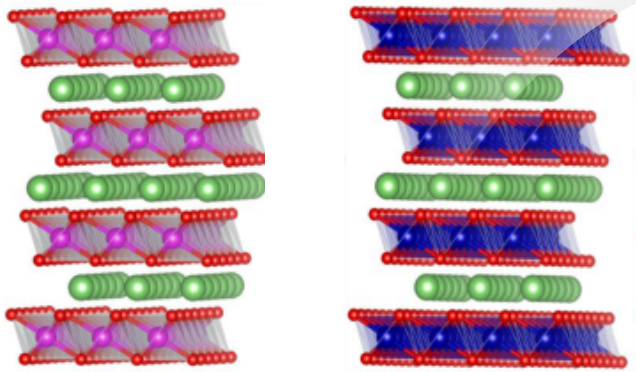
03 양극재 적용기술의 의미

◉ 양극재의 중요성: 기술 동향 (양극재 구성에 따른 특성)

❖ 1원계 양극재



npj Computational Materials (2018) 60



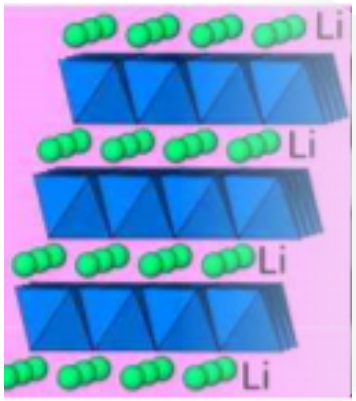
- **LNO**
  - ✓ 층상구조
  - ✓ 약 200 mAh/g 가역용량
  - ✓ LCO대비 저렴, 독성이 낮음

- **LCO**
  - ✓ 층상구조(가장 먼저 상용화된 양극재)
  - ✓ (충전 중) $LiCoO_2 \rightarrow Li_{1-x}CoO_2 + xLi^+ + xe^- \ (0 < x < 1)$ Li^+가 탈리되어 리튬 결핍→코발트 평균 산화수는 탈리 과정에서 Li^+의 산화수만큼 증가
  - ✓ 구조적 안정성 위해 약 50% 리튬만 사용

03 양극재 적용기술의 의미

◉ 양극재의 중요성: 기술 동향 (양극재 구성에 따른 특성)

❖ 삼원계 양극재



▪ **NCM**

✓ 리튬코발트 산화물(LCO)을 기본으로 니켈과 망간을 추가하여 결합 (실제 표기: LNCMO)

✓ 니켈 : 코발트 : 망간 = 1 : 1 : 1 비율로 구성 ➔ 가장 많이 활용

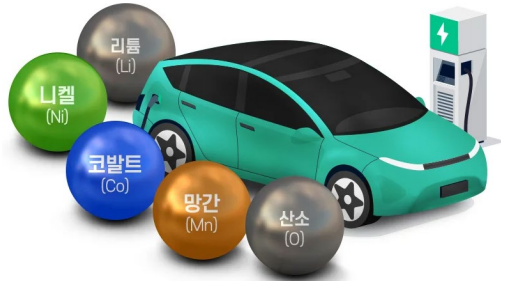
✓ 에너지 밀도 증가 + 비용측면 감소 ➔ 니켈함량 ↑ 코발트 함량 ↓

➔ 'NCM712', 'NCM811' 등이 개발

▪ **NCA**

✓ 리튬코발트 산화물(LCO)을 기본으로 니켈과 알루미늄을 추가하여 결합

✓ 니켈 : 코발트 : 알루미늄 = 8 : 1 : 1 비율로 구성 ➔ 에너지밀도 + 출력 특성 ↑



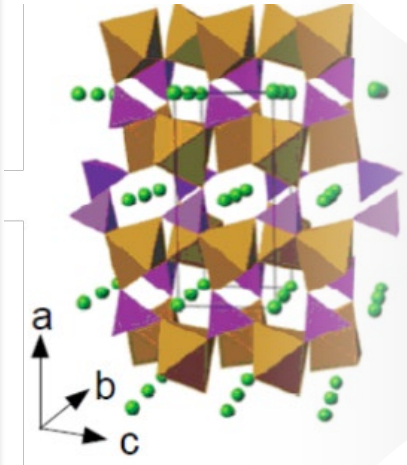


LG엔솔, Battery Inside

03 양극재 적용기술의 의미

◉ 양극재의 중요성: 기술 동향 (양극재 구성에 따른 특성)

❖ 리튬 철 인산화물 양극재

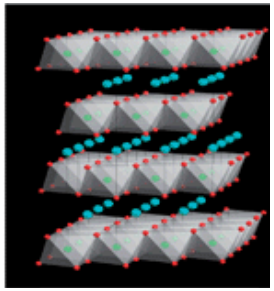
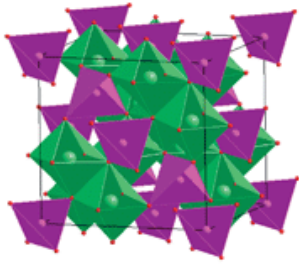
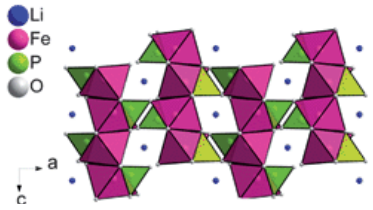


- $LiFePO_4$
- ✓ *사방정계(Orthorhombic) 구조의 올리빈(Olivine)계 물질
- ✓ 철(Fe)기반으로 저렴하고 환경 친화적 소재
- ✓ 완전 방전 및 완전 충전 상태에서 결정구조가 동일함
  → 충·방전 수명 저하 작음. 열적 안정성 우수.
- ✓ 이론적 용량: 170 mAh/g으로 다소 낮음
- ✓ 전기 전도도 및 리튬 이온 확산도 낮음

*사방정계는 3개의 벡터로 결정 구조를 기술하는 7 결정계 중의 하나. 사방정계는 입방정계(정육면체 모양)에서 두 개의 벡터를 서로 다른 길이로 잡아늘린 모양. 직사각형을 밑면으로 하는 사각기둥의 모양이며, 밑면의 양 변의 길이와 높이는 서로 다르다. 입방정계에서 길이만 달라지고 각은 변하지 않으므로 세 벡터는 여전히 직교 (@wikipedia).

03 양극재 적용기술의 의미

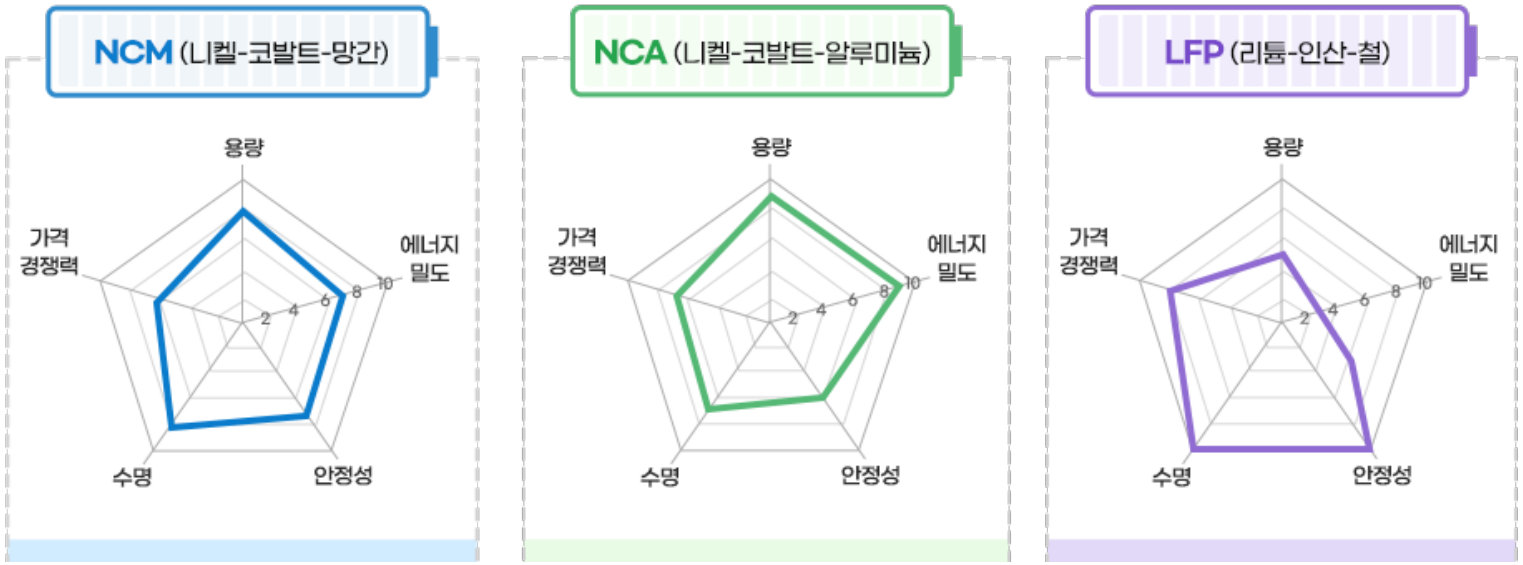
◉ 양극재 (Summary)

종류	구조	특징
LCO		✓ 스마트폰, 노트북 배터리 등 **소형 IT 제품** 위주로 사용(**긴 수명, 비교적 낮은 에너지 밀도**)
NCM NCA		✓ **NCM**: LCO 내 코발트 비중을 쪼개서 니켈, 코발트, 망간 등 재구성한 양극재 ✓ 니켈 함량을 높여 에너지 효율성 좋은 NCM811(Ni 80%, Co 10%, Mn 10%) 이슈 ✓ **NCA**: 리튬, 니켈, 코발트, 알루미늄, 산소로 구성된 양극재 (높은 에너지 밀도, 낮은 안전성→소형 전지에 활용)
LMO		✓ 코발트 대신 망간을 사용해 **가격이 저렴한 편** ✓ 격자 구조가 입체적 형태를 가져 **안정성이 우수** ✓ **에너지 용량 작고 수명이 짧은** 것이 단점
LFP		✓ 육면체 형태로 되어 **안정성이 높고 충방전에 의한 성능 저하가 작음** ✓ **열**에 대한 **안정성 우수** ✓ 높은 가격인 코발트 금속 대신 저렴한 철을 사용하기 때문에 경제적 ✓ 에너지 밀도가 다른 양극재에 비해 낮고 전기 전도도 및 리튬이온의 확산성이 낮음

Manthiram, A., J Phys Chem Lett,, 2011

03 양극재 적용기술의 의미

◉ 양극재의 중요성: 기술 동향 (양극재 구성에 따른 특성)



POSCO NEWSROOM

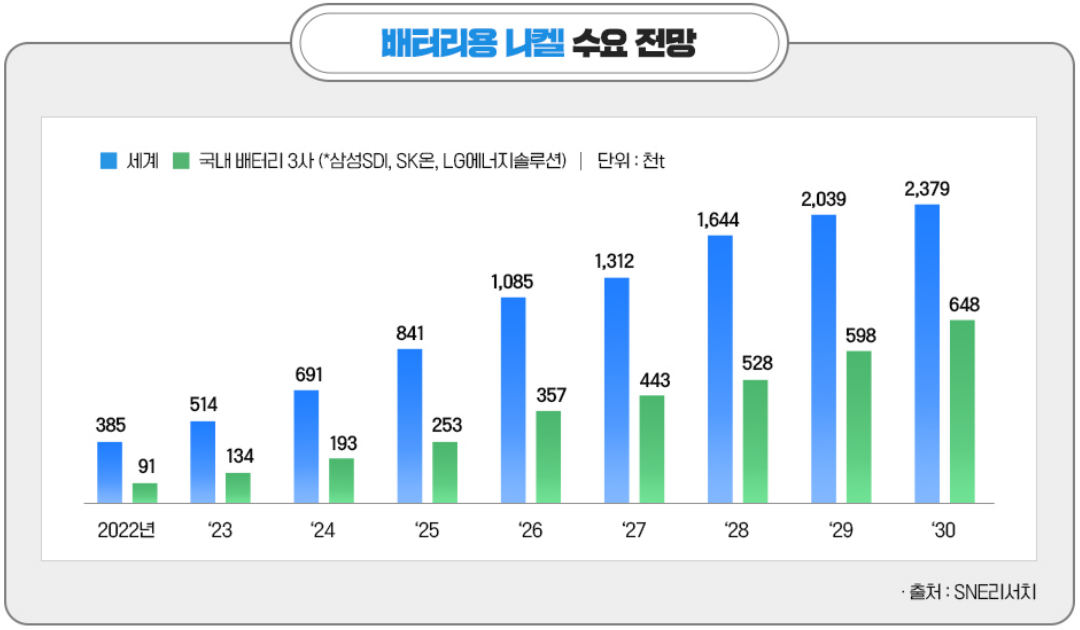
- NCM: 에너지밀도가 높아 주행거리가 길다. 배터리 성능이 안정적이다.
- NCA: 높은 에너지밀도로 주행거리가 길고 출력이 좋다. 수명이 짧고 열 안정성이 떨어진다.
- LFP: 저렴한 가격과 높은 안정성을 지닌다. 낮은 에너지밀도로 주행거리가 짧고 무겁다.

03 양극재 적용기술의 의미

◎ 양극재의 중요성: 기술 동향 (하이 니켈(High Nickel) 양극재)

❖ 에너지밀도를 결정하는 니켈: 80~90%까지 높이기 위한 노력 수행

➔ 배터리용 니켈 수요 전망 (고순도 니켈(Class 1): 순도 99.8% 이상)





호주 니켈광산 전경, POSCO NEWSROOM

▪ 니켈 가격의 주요 변수

➔ 전기차 시장 확대에 따른 배터리용 니켈 수요 증가

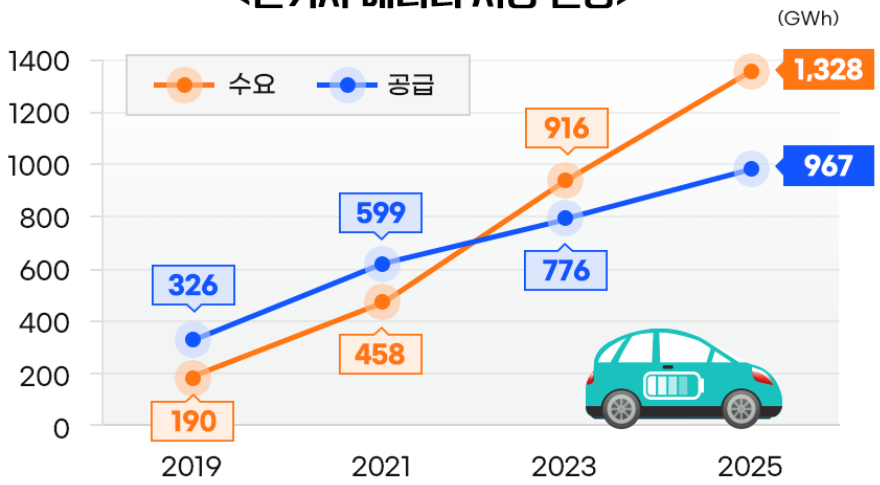
➔ 저탄소, 친환경 요구 증가에 따른 개발비용의 증가

➔ 인도네시아(전 세계 니켈 매장량 최다) 니켈 수출세 부과

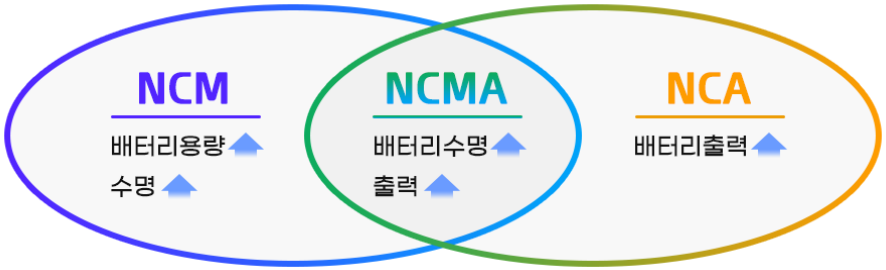
03 양극재 적용기술의 의미

◎ 양극재의 중요성: 기술 동향 (하이 니켈(High Nickel) 양극재)

<전기차 배터리 시장 전망>



출처: SNE Research 2019 (*예상치)



포스코퓨처엠, LG에너지솔루션 하이니켈 양극재 30조원 수주

2023.04.26

- 7년간 대규모 공급계약 체결
- LG에너지솔루션향 공급계약 52조원 넘어… 전체 양극재 수주금액 92조원 돌파
- 원료•품질, 양산능력 등 고객 성공 위해 사업역량 높인 결실 맺어

포스코퓨처엠이 LG에너지솔루션과 대규모 양극재 공급계약을 체결하며 협력관계를 더욱 공고히 한다.

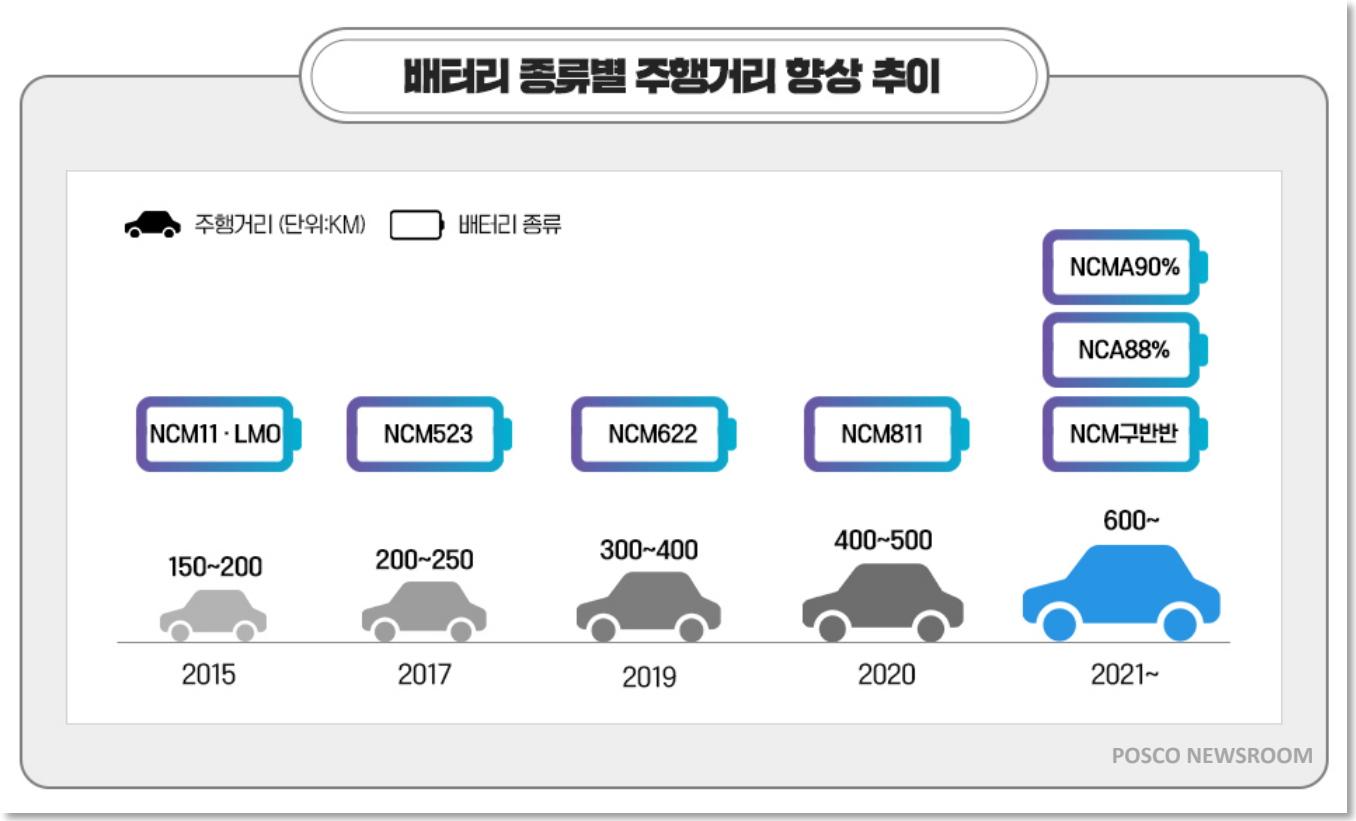
포스코퓨처엠은 올해부터 2029년까지 7년간 LG에너지솔루션에 약 30조 2595억 규모의 양극재를 공급하는 계약을 26일 체결했다.

포스코퓨처엠이 공급하는 제품은 전기차 고성능화에 필요한 배터리 핵심소재인 하이니켈 NCM•NCMA 양극재로, LG에너지솔루션의 국내외 배터리 공장에 공급한다.

양극재는 배터리 원가의 40% 이상을 차지하며 용량과 출력을 결정하는 핵심소재다. 전기차 배터리에 주로 활용되는 하이니켈 양극재는 니켈(N) 비중을 극대화해 배터리의 에너지 저장용량을 높이고, 코발트(C)•망간(M)•알루미늄(A) 등을 함께 사용해 안정성과 출력을 보완한 고부가가치 제품이다.

03 양극재 적용기술의 의미

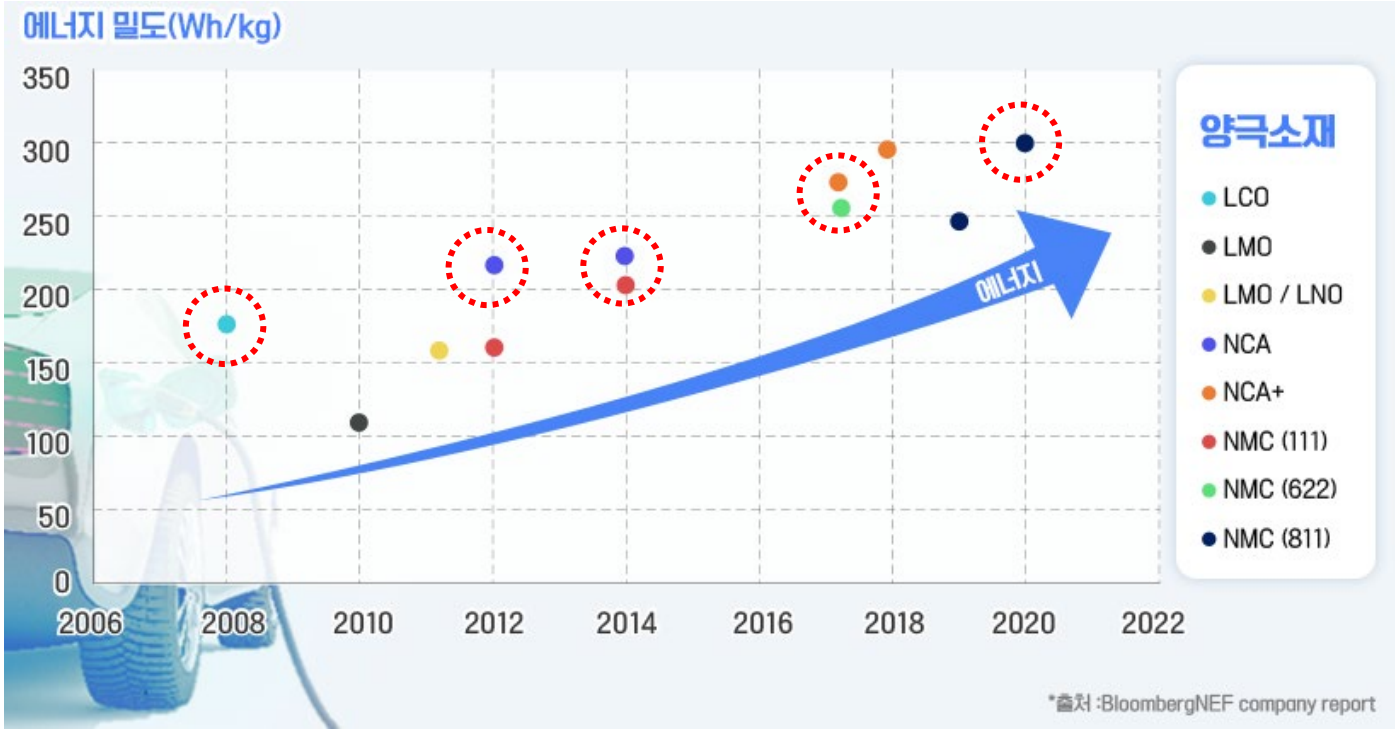
◎ 양극재의 중요성: 기술 동향 (하이 니켈(High Nickel) 양극재)



- 하이 니켈 (90%) 이차전지: 1회 충전으로 평균 600 km 주행 가능
  - ← 니켈 함량 : 충방전 동안 구조적 불안정 발생, 배터리 수명 ↓
  - ← 수명특성 우수한 하이니켈 배터리 생산 기술 확보 절실!

03 양극재 적용기술의 의미

◉ 하이니켈 적용한 리튬이온 전지

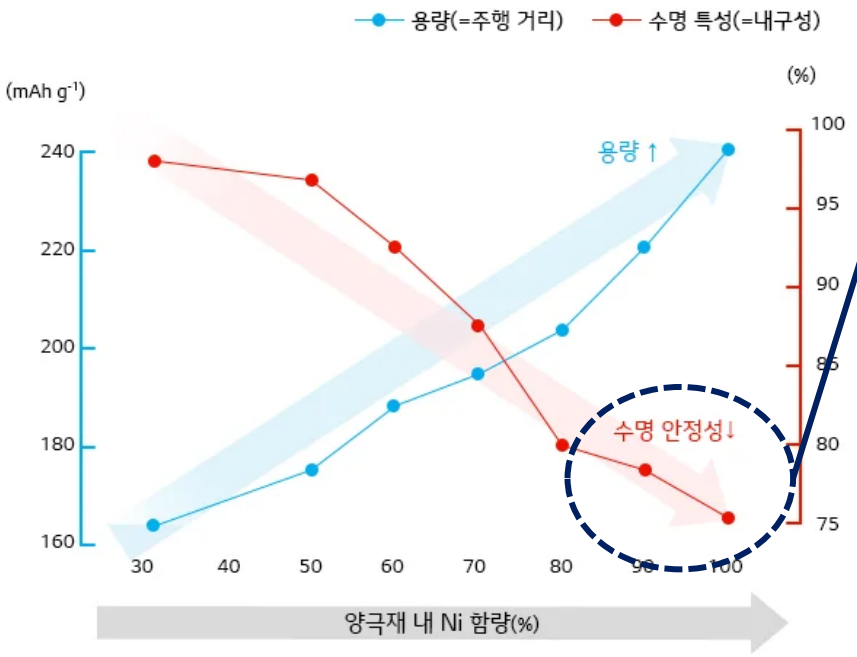


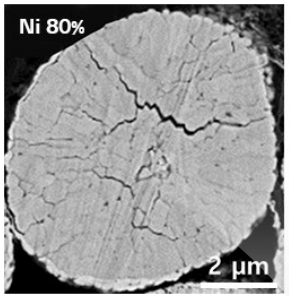
*** 에너지 밀도(Wh/kg) = 전압 (V) x 전류 (A) x 시간 (h) / 무게 (kg)**

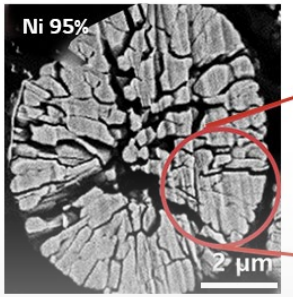
03 양극재 적용기술의 의미

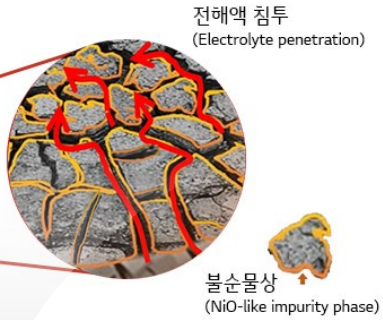
◎ 양극재의 중요성: 기술 동향 (하이 니켈(High Nickel) 양극재)

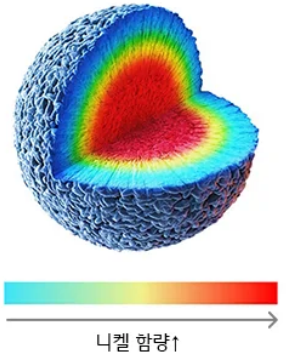
❖ 니켈 함량에 따른 용량과 수명안정성 관계

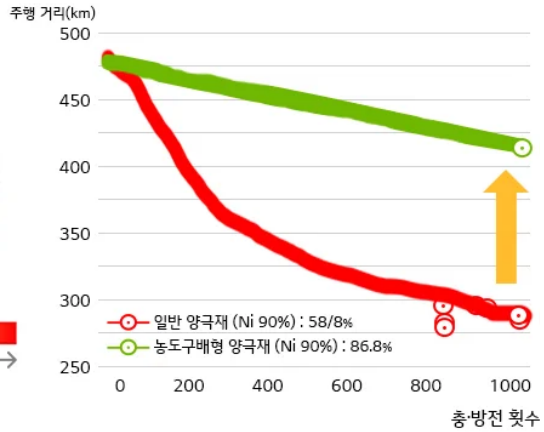






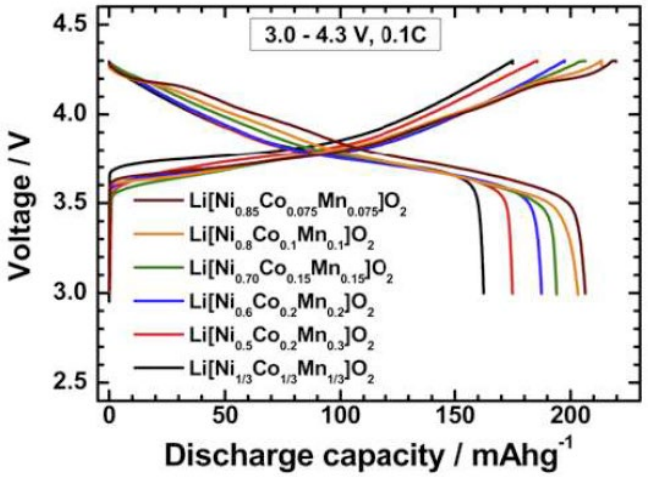


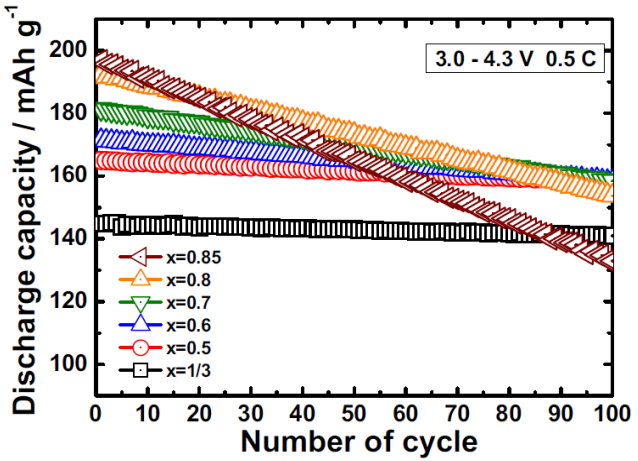




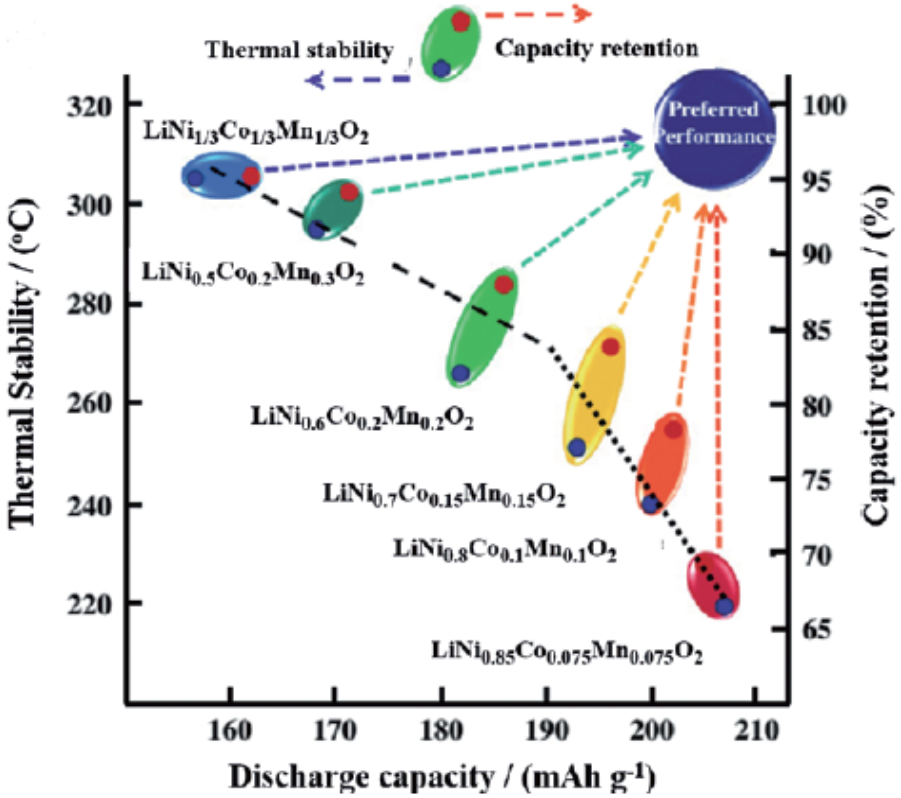
03 양극재 적용기술의 의미

◎ 양극재의 중요성: 기술 동향 (하이 니켈(High Nickel) 양극재)





- $LiNi_xCo_yMn_{1-x-y}O_2$
- (5:2:3; 6:2:2; 8:1:1; 9:0.5:0.5)

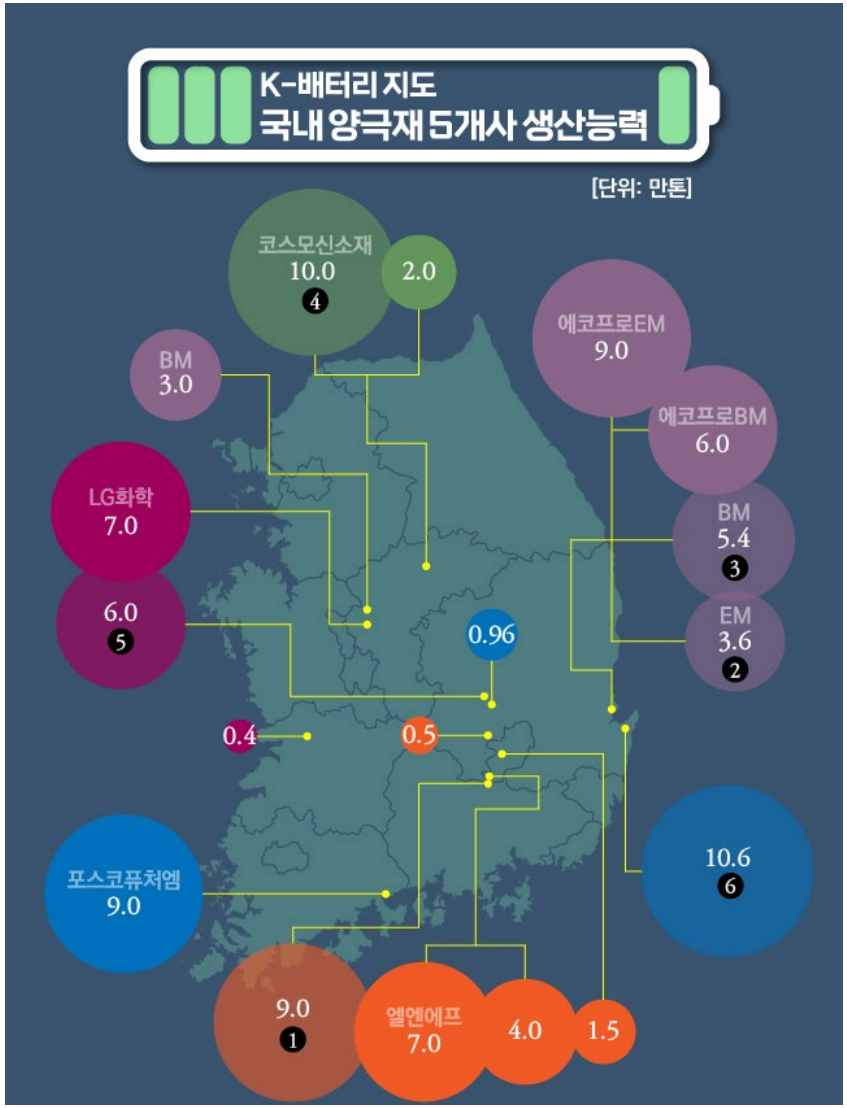


NCM 양극재의 가역 용량과 열 안정성의 관계

J. Power Sources, 233, 121, 2013

03 양극재 적용기술의 의미

◉ 국내 양극재 생산 능력



투자 진행 및 예정인 공장

시기	기업	비고
2023년	엘앤에프	1 3공장
2024년	에코프로EM	2 CAM8
	에코프로BM	3 CAM9
	코스모신소재	4 11개 라인 증설
2025년	LG화학	5 B&M(화유코발트 자회사) 합작
	포스코퓨처엠	6 1단계: 3만톤, 2단계: 3만톤, 2-2단계: 4.6만톤

Biz watch

✓ 배터리의 용량과 출력, 이 특성을 결정하는 주 소재 → 양극재

✓ 양극재는 배터리 원가의 40% 이상을 차지하기 때문에 성능 외에도 시장 진입을 위해 원가 절감을 위한 혁신이 필요



이차전지 혁신융합대학 사업단
Secondary Battery
Convergence and Open Sharing System

Chapter
4주차
강의

이차전지에서 4대 핵심소재가 갖는 의미 : II. 음극재

01 이차전지: 4대 핵심 소재란?
(양극재, 음극재, 전해액, 분리막)

02 음극재 특성 및 시장 동향

03 음극재 적용 기술의 의미

04 맺음말

01 이차전지: 4대 핵심 소재

◉ 이차전지에서 4대핵심 소재란?



이차전지 內 핵심 구성 요소

**4개의 소재중 하나라도 없다면,
이차전지는 구동될 수 없다!**

4대 소재	의미
양극재	리튬(Li), 니켈(Ni), 코발트(Co) 등으로 구성. **배터리의 용량과 전압을 결정**하는 핵심재료
음극재	대부분 흑연으로 구성되며 **양극에서 나온 리튬이온을 흡수·방출하면서 외부 회로를 통해 전류가 흐르게** 하는 역할
전해액	전해질은 **양극과 음극 사이에서 리튬이온을 이동시키는 매개체 역할**을 하는 물질
분리막	양극과 음극이 물리적으로 접촉하여 생기는 **전기적인 단락(화재·폭발)을 방지, 리튬이온의 전극 간 이동을 가능하게 해주는 다공성 고분자 필름**

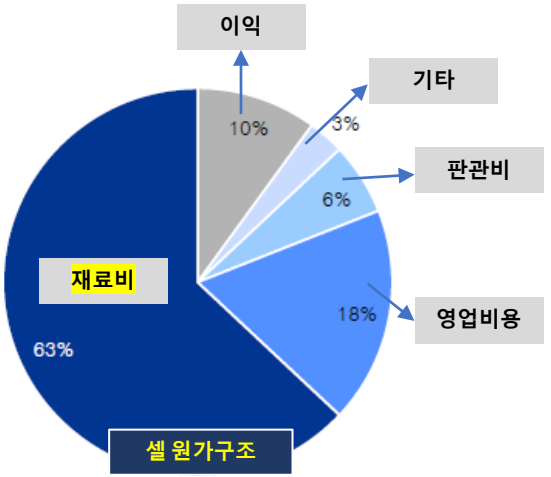
02 음극재 특성 및 시장동향

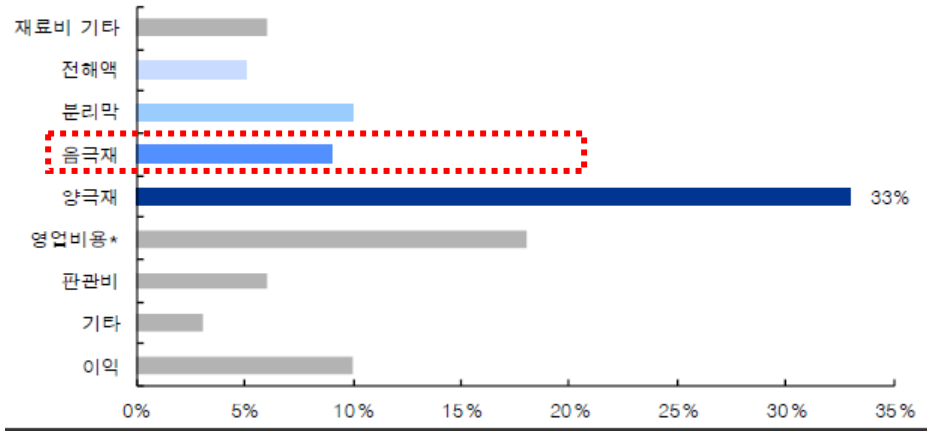
◉ 음극재: 시장 동향

- 이차전지의 핵심 중의 하나→ 음극재
- 배터리 수명과 충전속도에 관여
- 전기차용 이차전지(EV 배터리) 셀 기준:

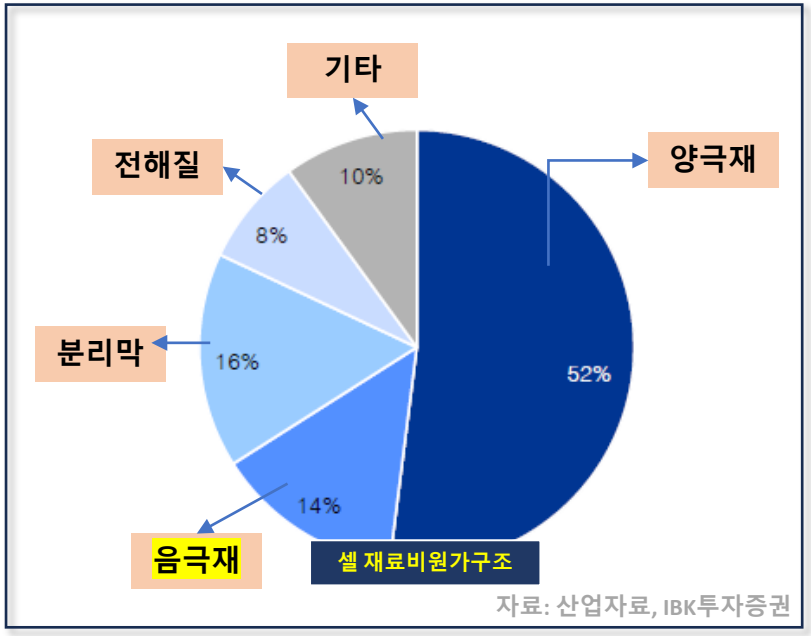
  → 재료비 비중: 셀 기준 전체 원가의 63%.

  → 음극재: 원가의 ~10% (재료비 中 14%)





자료: 산업자료, IBK투자증권



자료: 산업자료, IBK투자증권

02 음극재 특성 및 시장동향

◉ 음극재: 시장 동향



- 전기차 시장이 급속도로 성장함에 따라 2차 전지의 음극재 시장도 함께 성장할 것으로 전망
- 실리콘 음극재 시장이 큰 폭으로 성장할 것으로 전망
- 실리콘 음극재 시장은 2020년 약 155억 원 규모에서 2025년 약 5조 6천억 원 규모로 가파르게 성장할 것으로 전망

02 음극재 특성 및 시장동향

◉ 음극재: 기술개발 동향

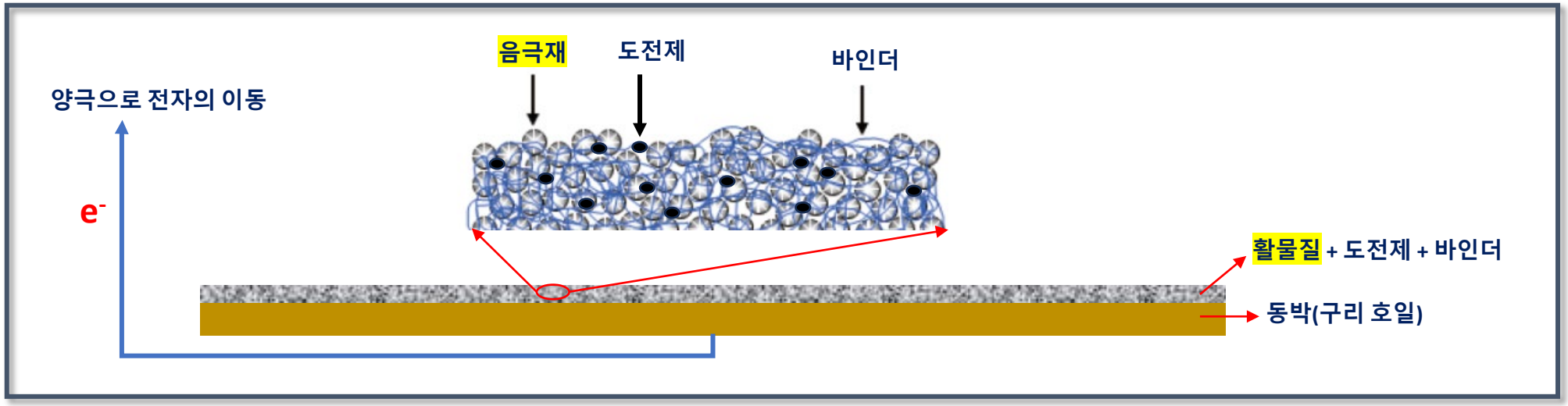
〈그림 4〉 이차전지 기술개발 로드맵

구 분		2022	2023	2025	2027	2030
양극재 (Cathode)	니켈계 (NCM,NCA 등)	High-니켈계 NCM/NCA (니켈(Ni) 80~90%)	High-니켈계 NCM/NCA (니켈(Ni) 90% ↑ 코발트(Co) 5% ↓)		High-망간계 (OLO/NMx 등)	
	인산철계 (LFP)	CTP 기반 LFP	CTP/CTC 기반 고에너지밀도-LFP (LMFP 등)			
음극재 (Anode)		흑연(인조,천연) 및 실리콘계 (실리콘(Si) ~5%)	흑연(인조, 천연) 및 실리콘계(실리콘(Si) ~10%)		실리콘계 (실리콘(Si) 10% ↑)	
분리막 (Separator)		세라믹 코팅 분리막 (두께 9um~12um)	고성능 코팅 분리막 (두께 9um ↓)			
전해액(전해질) (Electrolyte)		액체 전해질	액체 전해질 (첨가제 다변화)		고체 전해질 (황화물계, 산화물계, 고분자계)	

자료: 중소벤처기업부(2022), "중소기업 전략기술로드맵(2022-2024)-이차전지

03 음극재 적용기술의 의미

◉ 음극재: 전극의 구성



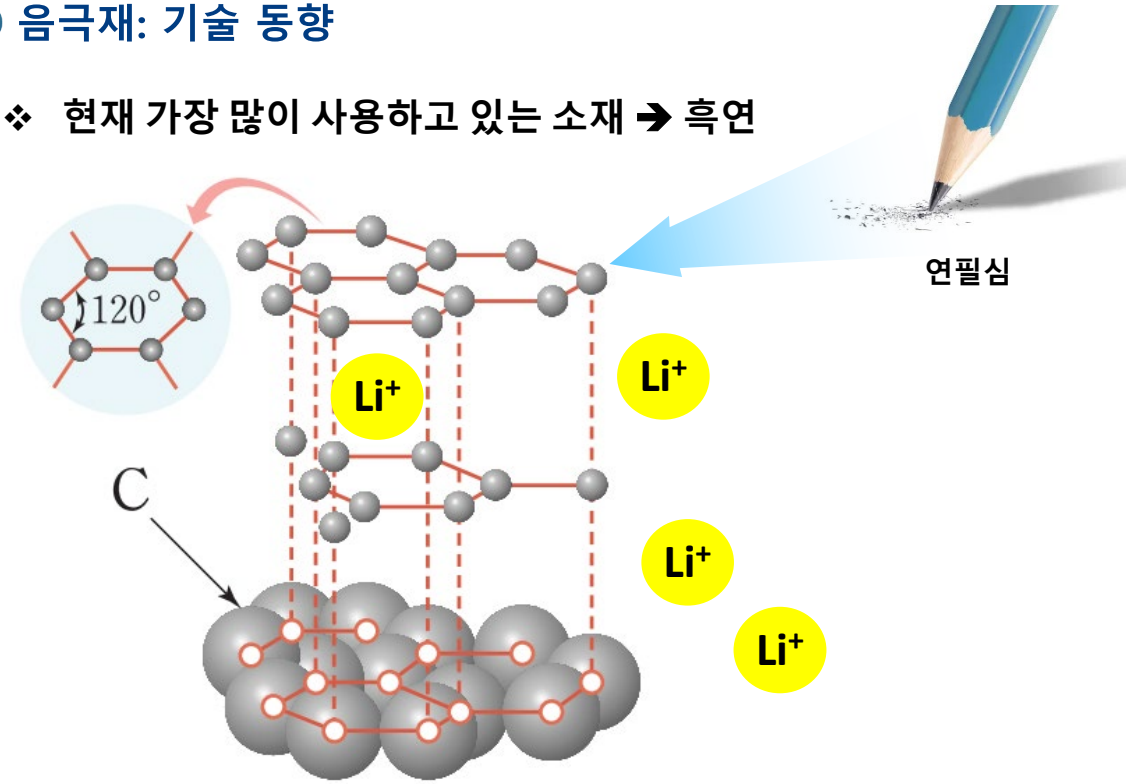
- 전극의 구성: 음극재(활물질), 도전제, 바인더로 구성되어 있음
- 음극재: 흑연, 실리콘, SiOx 등

- (참고)제조 방법: '음극재+도전제+바인더' 를 용매에 잘 섞어 슬러리 형태로 만듦
  동박(구리 호일) 위에 닥터블레이드를 사용해 얇게 코팅 후 건조

03 음극재 적용기술의 의미

◎ 음극재: 기술 동향

❖ 현재 가장 많이 사용하고 있는 소재 ➔ 흑연



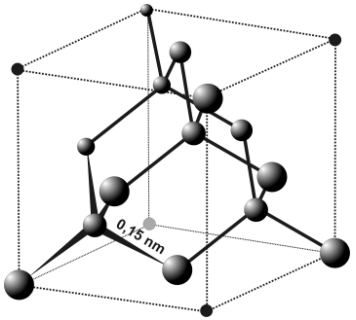
탄소 동소체, Chemi fifty

연필심

VS.



다이아몬드

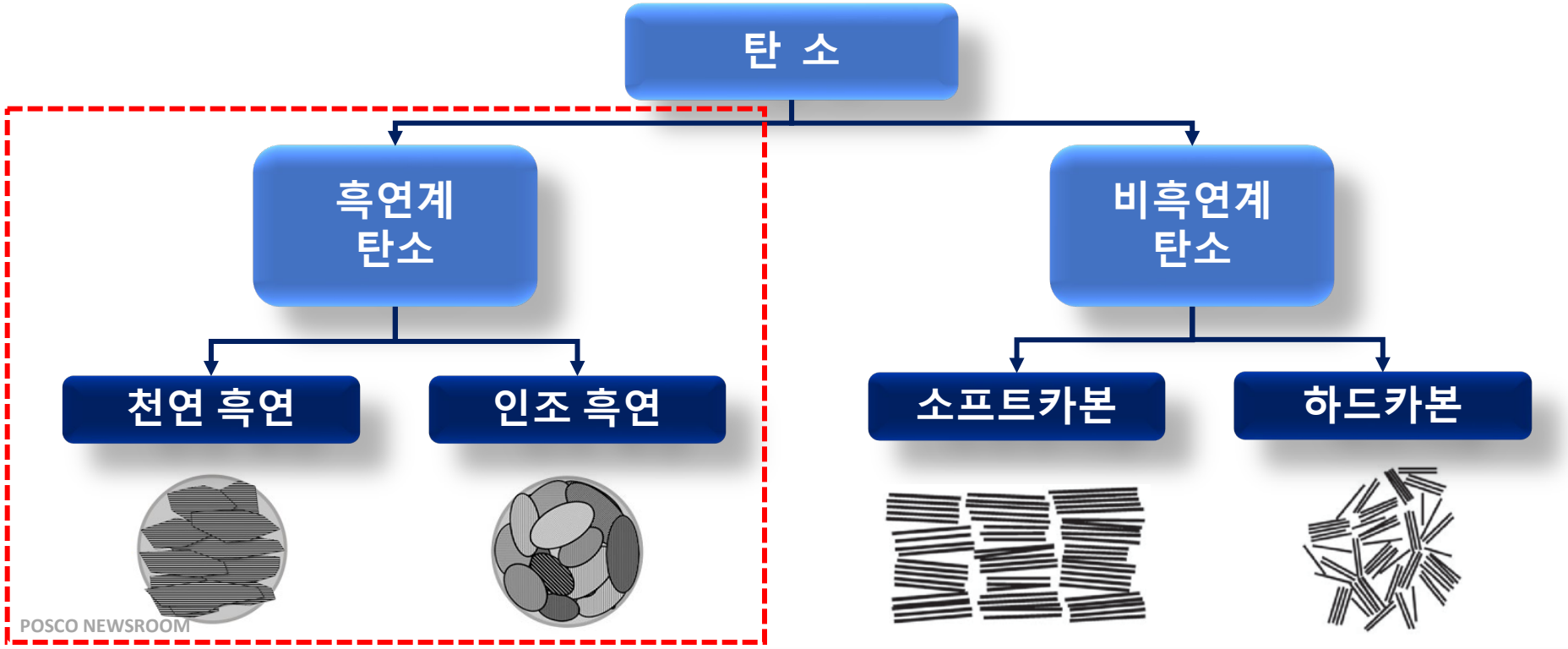


- 흑연:
  - ➔ 광택이 있는 흑색 혹은 철회색
  - ➔ 다이아몬드와 마찬가지로 탄소(Carbon)로 구성
  - ➔ 굳기는 약 1.5로 매우 부드러운 편. (참고: 다이아몬드 굳기: 10)
  - ➔ 층간 거리: 0.34 옹스트롱(Å)

03 양극재 적용기술의 의미

◉ 음극재: 기술 동향 (탄소)

❖ 음극재 특성: 큰 에너지용량, 장수명, 충전속도 향상

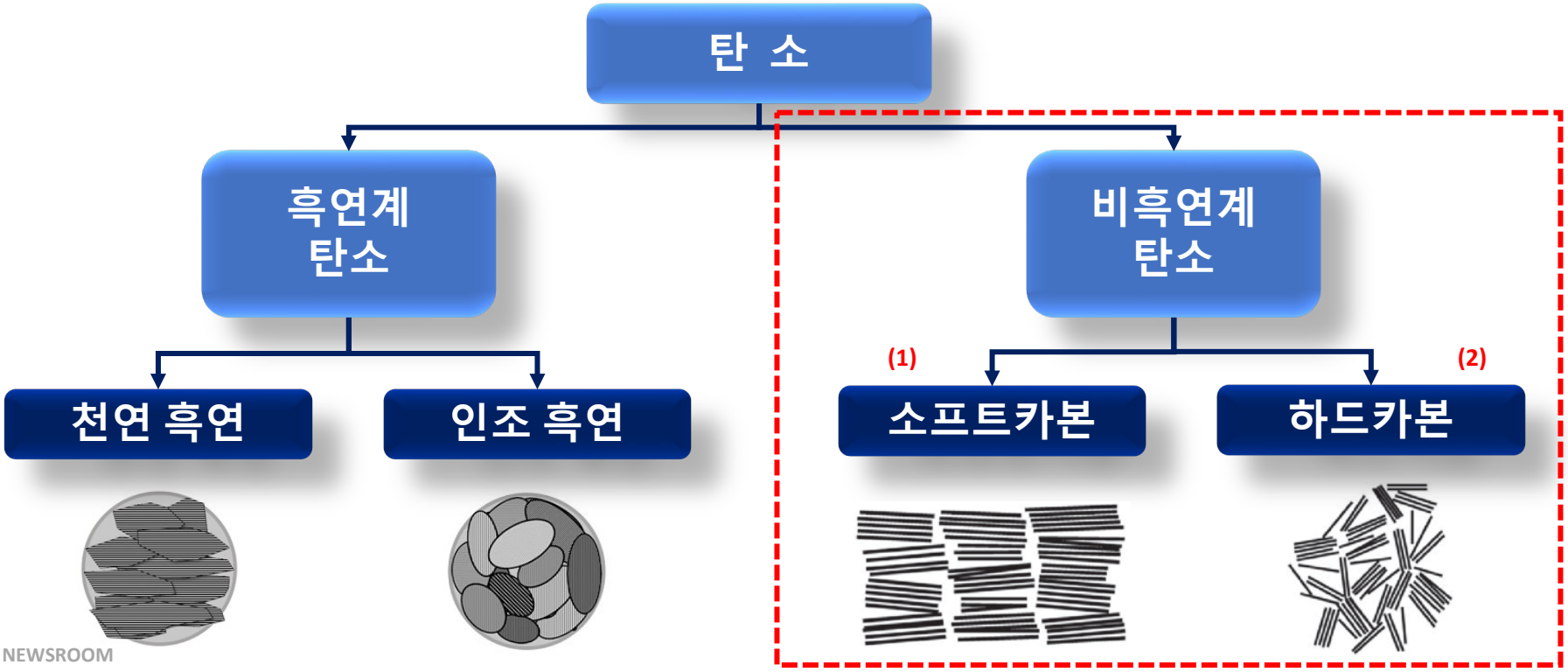


- 천연흑연: 리튬 이온을 저장할 수 있는 가장 안정적이고 저렴한 소재 → 구조적 안정성 ↓ → 배터리 수명 ↓
- 인조흑연: 천연흑연 대비 2~3배 정도의 긴 수명. 약 2,500 ºC 이상에서 열처리 → 결정성이 높고 구조가 균일

03 음극재 적용기술의 의미

◉ 음극재: 기술 동향 (탄소)

❖ 음극재 특성: 큰 에너지용량, 장수명, 충전속도 향상

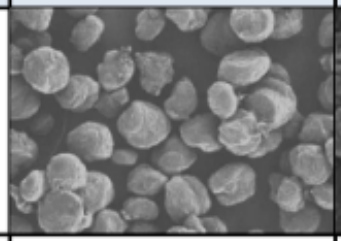
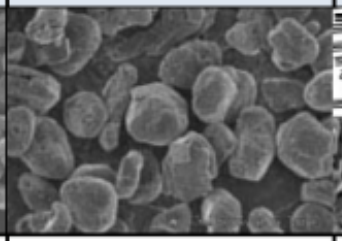
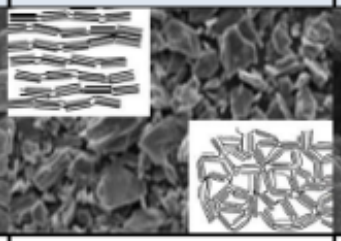
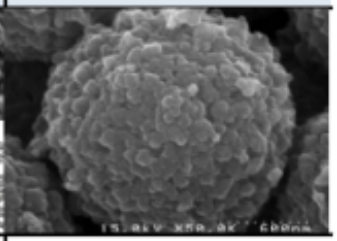


(1) 2500 ℃ 이상의 열처리를 통해 결정성이 흑연에 가까워지고 결정의 크기도 커지는 흑연화 과정 (코크스, 메조페이즈계 피치)

(2) 2500 ℃ 이상의 열처리에도 흑연화 과정을 거치지 않고 결정성이 낮은 상태를 유지 (열경화성수지, 등방성 피치, PAN계 탄소 섬유)

03 양극재 적용기술의 의미

◉ 음극재: 기술 동향 (탄소)

	천연 흑연	인조 흑연	저결정탄소	실리콘 기반
구조 형상				
원료	천연 흑연	Pitch/Cokes	Pitch/Cokes, 열경화수지	SiOx, Si 탄소 복합계
용량(mAh/g)	350~370	270~360	200~300	800~1,600
* ICE	90~93%	92~95%	80~90%	73~87%
출력	하	중	상	중
수명	상	상	중	하
가격($/kg)	7~12	4~10	8~12	40~150
장점	고용량	고수명	고출력	고용량

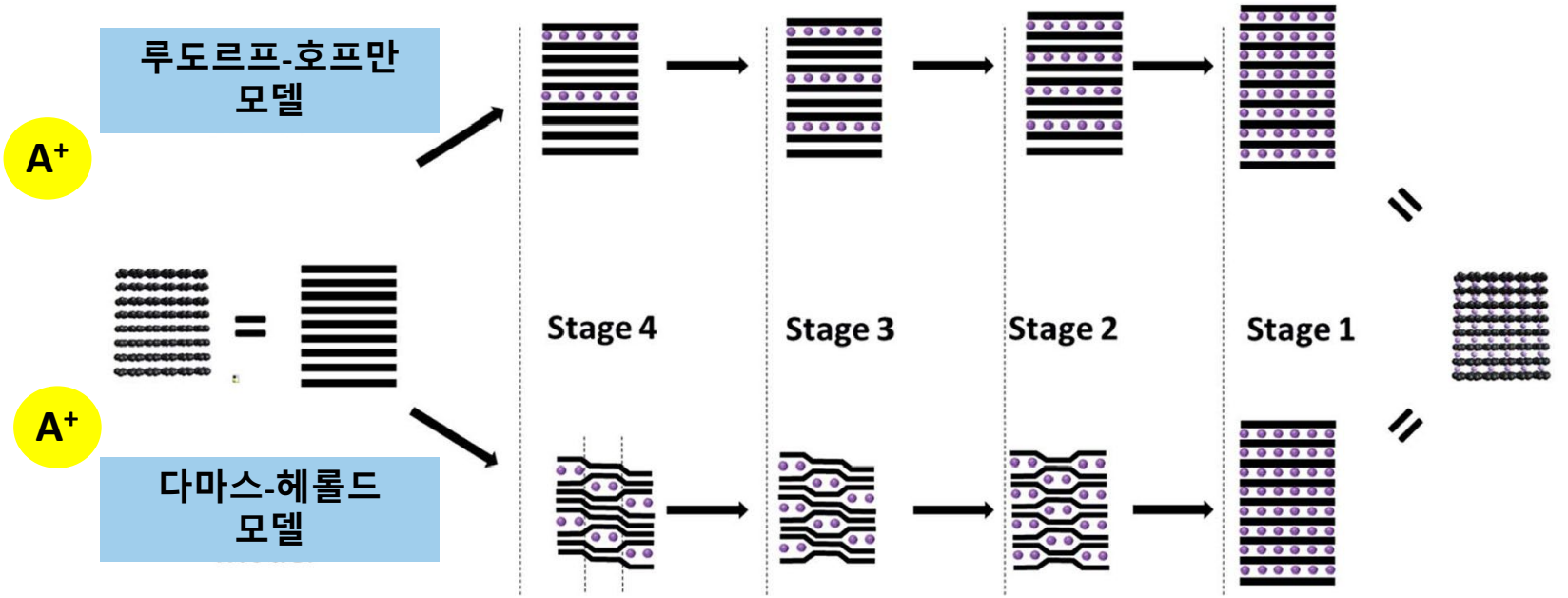
* 초기쿨롱 효율

자료: 대주전자재료, 하이투자증권, 주요 음극활물질 종류별 구조 및 특징

- 각 소재별 특성에 따라 용량, 출력, 수명 및 가격이 다르게 형성
- 고용량, 고출력, 및 장수명 특성을 보유하기 위한 탄소계 기반 연구가 활발히 진행

03 음극재 적용기술의 의미

◉ 음극재: 리튬 이온의 삽입 과정

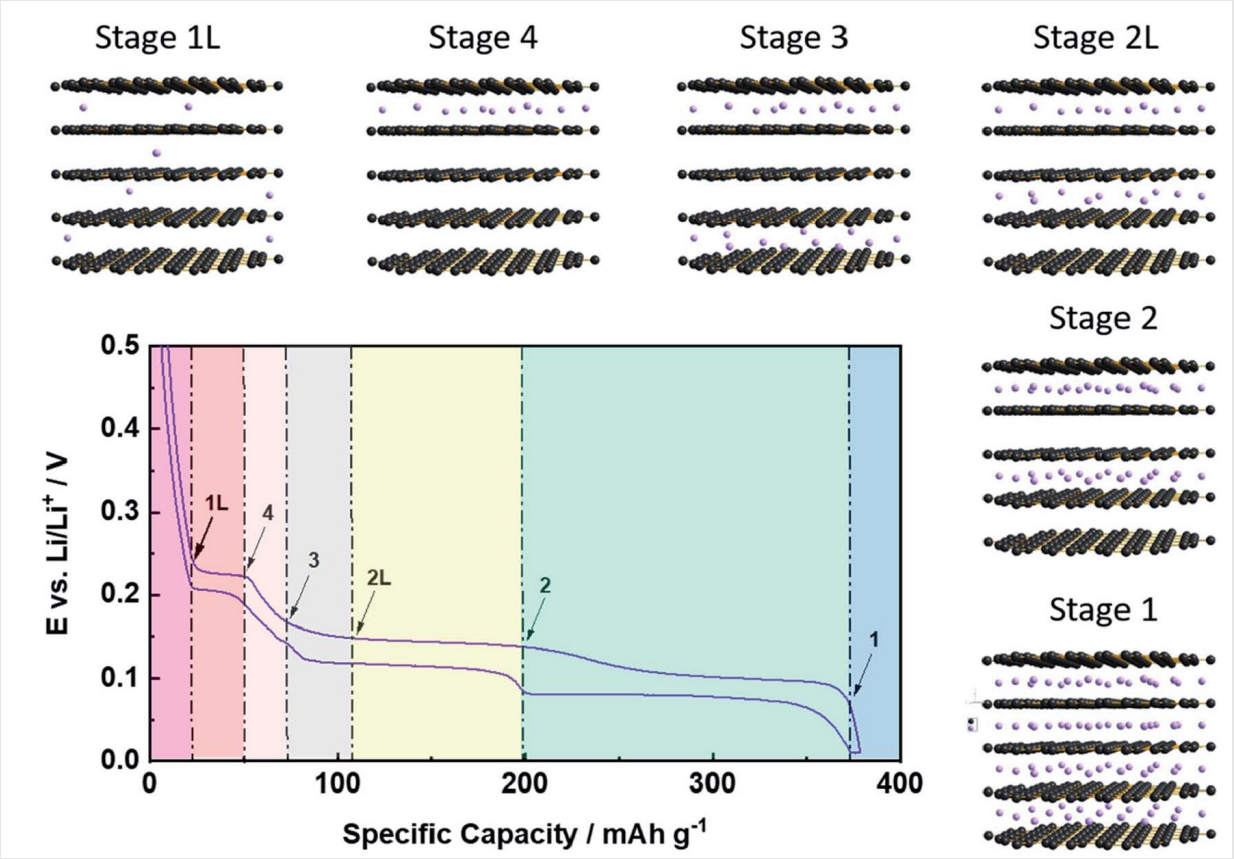


D. Bresser et al. Sustain. Energy Fuels. (2020)

이온들의 삽입 메커니즘에 대한 개략도

03 양극재 적용기술의 의미

◉ 음극재: 리튬 이온의 삽입 과정



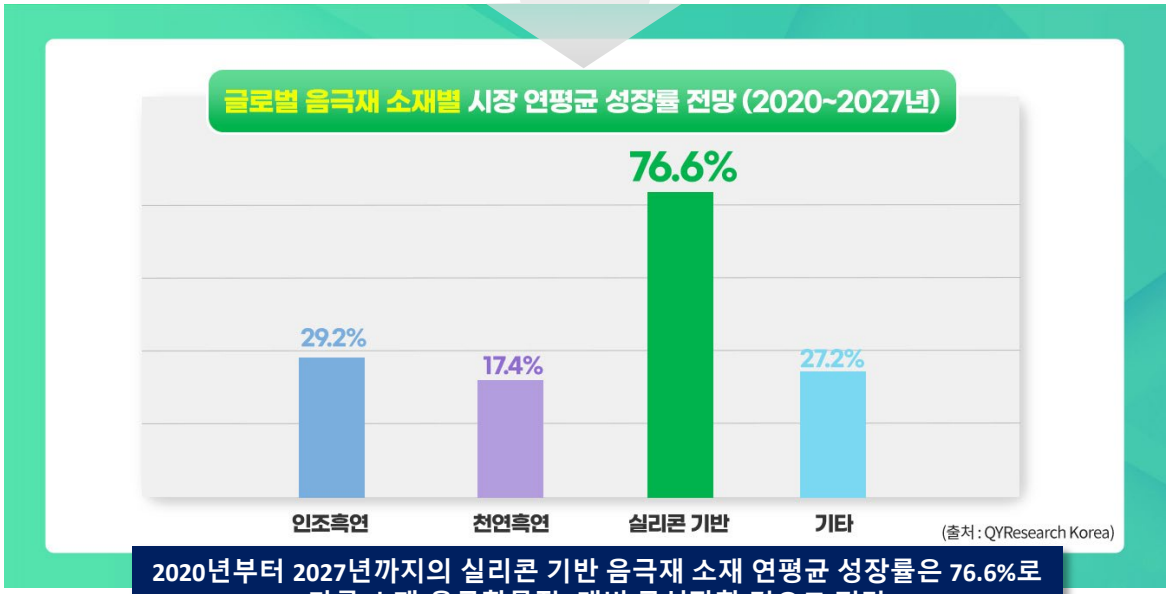
D. Bresser et al. Sustain. Energy Fuels. (2020)

흑연으로의 Li^+ 의 전기화학적 삽입을 위한 스테이징 메커니즘

03 음극재 적용기술의 의미

◉ 음극재: 기술 동향 (실리콘의 등장)

- ❖ 탄소 음극재의 이론 용량: 372 mAh/g (높은 에너지 밀도 구현에 한계)
- ❖ 실리콘: 이론용량: ~4,200 mAh/g (흑연대비 10배 이상) + 충전 시간 단축 가능



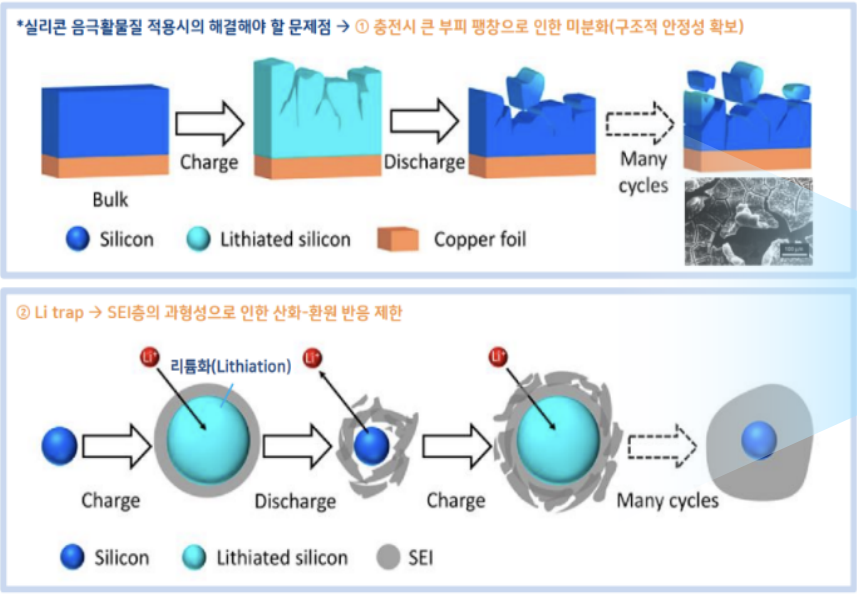
자료: QYResearch Korea

*** 문제점! ➔ 리튬과 반응시 엄청난 부피 팽창이 일어남 (~400%) ←→ 흑연 (10~20%)**

구조적 안정성이 매우 낮음 (급격한 팽창, 수축으로 깨지고 동박과 전기적 분리 발생

03 음극재 적용기술의 의미

◎ 음극재: 기술 동향 (실리콘의 등장)



실리콘 기반 음극재의 문제점 (자료: 하이투자증권)

음극재용 실리콘 소재별 구조 및 특성

	SiOx	코팅형 Si-C	다공성 Si-C
구조	SiO2 Si	탄소 코팅 Si	내부 빈공간 다공성 탄소 실리콘 충진
용량	–	+25%	+40% + α
Si 혼합율	~10%	~15%	~30% + α

(자료: SK, IBK투자증권)

- 실리콘 팽창문제 해결 위해 기존 흑연 소재에 실리콘 5~15%정도만 혼합 (용량: ~500 mAh/g까지 증가 가능)
- (그 외) 적용기술
  → 음극재에 사전적으로 리튬 이온 보충하는 사전리튬화 기술
  → 나노크기 실리콘을 실리콘 산화물로 코팅
  → 다공성 탄소 내부에 실리콘 채우는 실리콘-탄소 복합체 기술

03 음극재 적용기술의 의미

◉ 음극재: 기술 동향 (실리콘의 등장)

	흑연 100%	흑연 95% + Si 5%	흑연 90% + Si 10%	흑연 85% + Si 15%	Si 산화물 100%
음극활물질 저장 용량(mAh/g)	372	439	506	573	1,715
흑연 대비 저장 용량 차이	-	18.1%	36.1%	54.2%	361%
음극재 이론상 상대 부피(두께)	1.00	0.85	0.73	0.65	0.22
흑연 대비 음극재 두께 차이	-	-15.3%	-26.5%	-35.1%	-74.4%

(자료: 이차전지 산업 현황 및 전망, 하이투자증권)

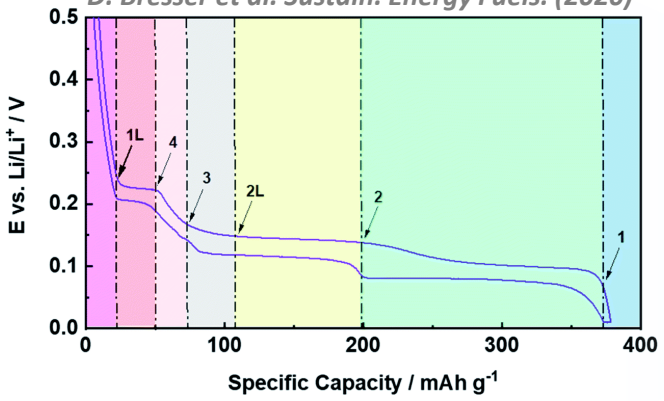
- 음극재에서 실리콘을 적당한 함량으로 개발
  → 용량 확보
  → 부피팽창 억제
  → 보다 빠른 충전



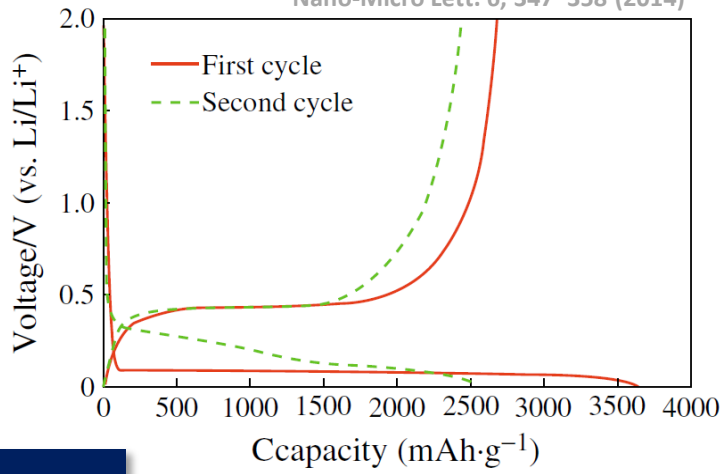
03 음극재 적용기술의 의미

◉ 음극재: 기술 동향 (탄소+실리콘 복합체 음극재의 성능)

D. Bresser et al. Sustain. Energy Fuels. (2020)

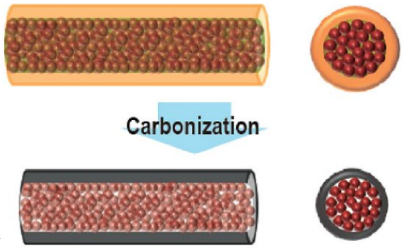


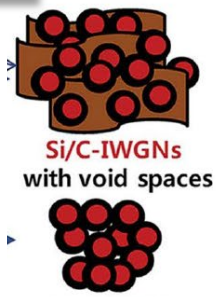
Nano-Micro Lett. 6, 347–358 (2014)



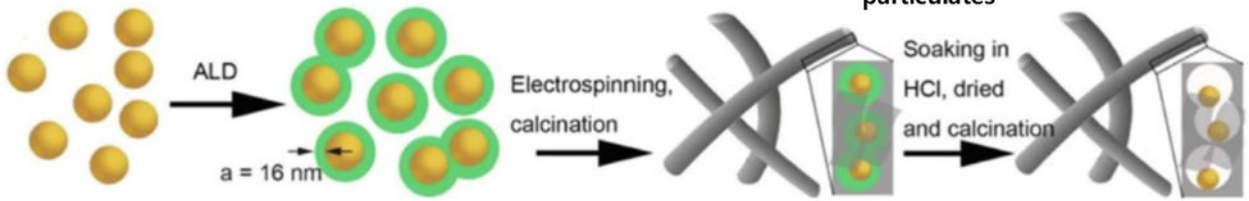
다양한 미래 기술들

Journal of Energy Chemistry 27 1067–1090 (2018)





Electrochemical Energy Reviews 2:149–198 (2019)





이차전지 혁신융합대학 사업단
Secondary Battery
Convergence and Open Sharing System

Chapter
4주차
강의

이차전지에서 4대 핵심소재가 갖는 의미 :
III. 전해액과 분리막

01 이차전지: 4대 핵심 소재란?
(양극재, 음극재, 전해액, 분리막)

02 전해액 특성 및 동향

03 분리막 특성 및 동향

04 맺음말

01 이차전지: 4대 핵심 소재

◉ 이차전지에서 4대핵심 소재란?



이차전지 內 핵심 구성 요소

4개의 소재중 하나라도 없다면,
이차전지는 구동될 수 없다!

4대 소재	의미
양극재	리튬(Li), 니켈(Ni), 코발트(Co) 등으로 구성. **배터리의 용량과 전압을 결정**하는 핵심재료
음극재	대부분 흑연으로 구성되며 **양극에서 나온 리튬이온을 흡수·방출하면서 외부 회로를 통해 전류가 흐르게** 하는 역할
전해액	전해질은 **양극과 음극 사이에서 리튬이온을 이동시키는 매개체 역할**을 하는 물질
분리막	양극과 음극이 물리적으로 접촉하여 생기는 **전기적인 단락(화재·폭발)을 방지, 리튬이온의 전극 간 이동을 가능하게 해주는 다공성 고분자 필름**

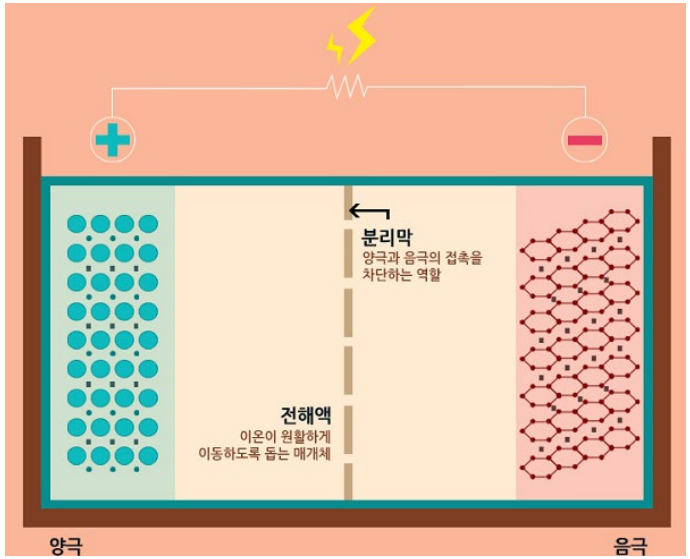
02 전해액 특성

◉ 전해액의 중요성

❖ 전해질 종류 및 특징

○ 양극과 음극 사이에서 리튬 이온이 이동할 수 있도록 매개체 역할

○ 배터리의 안정성, 수명 등을 향상시키는 기능



자료:삼성SDI

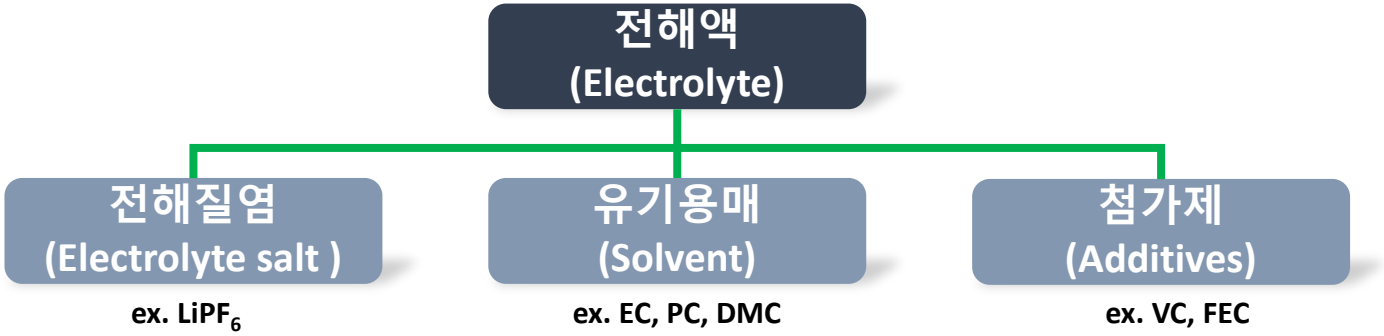


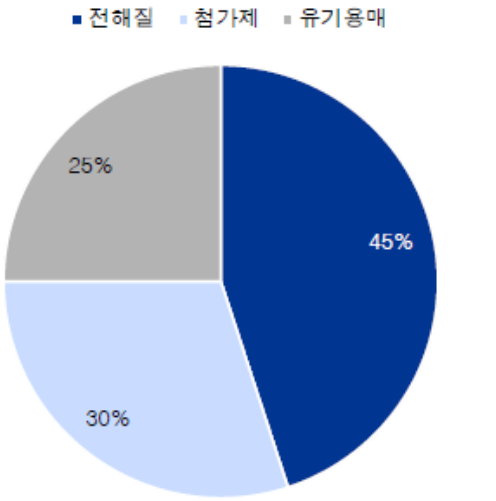
○ **이온은 전해액으로 이동**. 전자는 도선으로 이동. 만약 전자가 도선이 아니라 전해액을 통해 이동하게 되면 전기를 사용할 수 없는 것은 물론이고, 안전성까지 위협!

○ 전해액은 리튬이온을 잘 이동시킬 수 있도록 이온 전도도가 높은 물질을 사용

02 전해액 특성 및 동향

◉ 전해액의 구성





자료: 동화기업, 천보, IBK투자증권

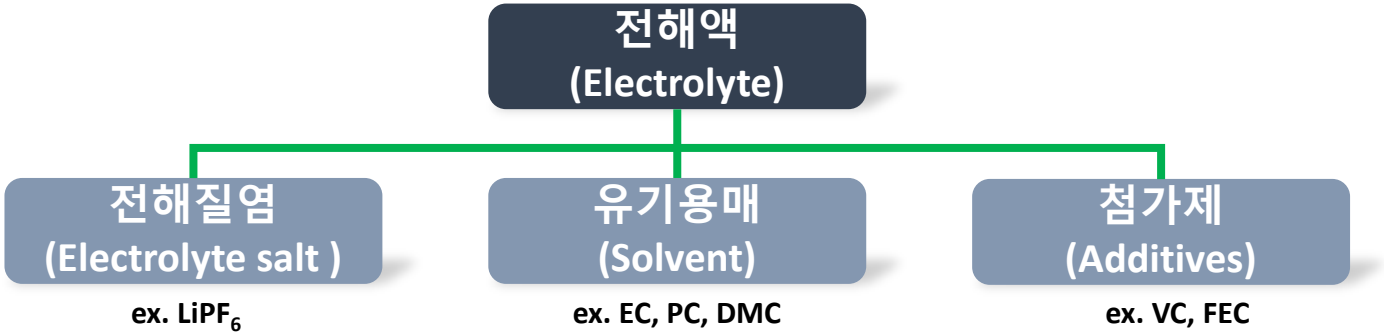
○ **전해질(염)** : 전해액 구성재료원가 중 ~45%
→ 리튬이온 이동 매개채
→ 높은 이온전도도 및 전기화학 안정성 필요

○ **유기용매** : 전해액 구성재료원가 중 ~25%
→ 전해질(염)을 용해
→ 이온의 빠른 이동 위해 낮은 점도 특성

○ **첨가제** : 전해액 구성재료원가 중 ~30%
→ 전지수명, 안정성, 에너지 출력밀도 향상 등 위해 소량 첨가
→ (양극) 표면보호, 열화/발열 억제, 과충전 방지
→ (음극) 용매 분해 방지, 열화/발열 억제, 용량 유지 등

02 전해액 특성

◉ 전해액의 중요성



○ 리튬이온전지의 기본 성능인 작동 전압, 에너지밀도 등은 양/음극 구성 물질에 따라 결정.

⟷ 우수한 전지 성능을 얻기 위해선 전극 사이의 높은 이온 전달이 요구→ 최적의 전해질 선택이 중요

- ✓ [이온전도도] 전지 성능면에서 높으수록 바람직→ 전지의 고속 충방전 시 리튬 이온의 이동 속도가 중요
- ✓ [전극 안정성] 음극과의 환원 반응 및 양극과의 산화 반응을 고려하여 그에 적합한 전위 영역에서 전기 화학적으로 안정.
- ✓ [온도 범위] 일반적 작동 범위 온도인 20℃ ~ 60℃ 온도영역에서 요구 조건을 만족
- ✓ [안전성] 일반적인 유기 용매는 가연성 물질로 발화, 인화로 인해 연소/폭발 위험성→난연성, 불연성 특징이 필요. 외부 환경 노출 가능성으로 인해 독성 안전도 중요

02 전해액 특성 및 동향

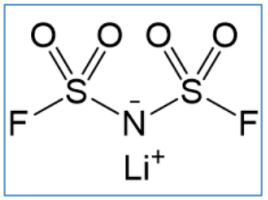
◎ 전해액: 전해질 중요성

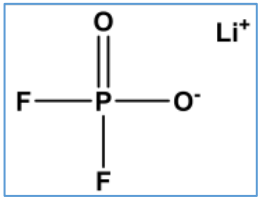
LiFSI (F)	배터리 안정성 향상 및 수명 연장 낮은 온도에서 배터리 방전 억제
*Lithium bis(fluorosulfonyl)imide	
$LiPO_2F_2$ (P)	배터리 수명 향상 및 고출력, 충전시간 단축
*Lithium difluoro phosphate	
LiDFOP (D)	배터리 수명 향상 및 고출력, 충전시간 단축
*Lithium difluoro(bisoxalato)phosphate	
LiBOB (B)	배터리 고출력, 순간출력 향상
*Lithium bis(oxalato)borate	
$LiPF_6$	소형 IT 배터리 전해질

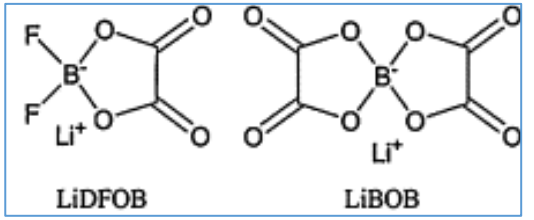
EV, ESS용 차세대 전해질





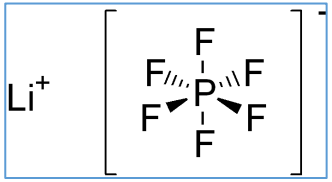






소형 IT용 전해질





지료: 천보

02 전해액 특성 및 동향

◉ 전해액: 첨가제 중요성

❖ 고용량용 (High Capacity) 첨가제

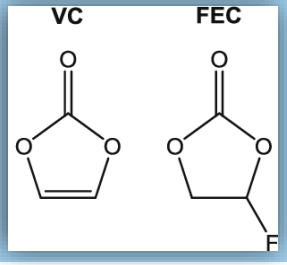
○ 상용 리튬이온배터리의 전극을 고용량 소재인 실리콘과 하이니켈로 대체하려는 연구가 활발

→ 실리콘 음극: 충방전시 부피가 3배 이상의 변화가 반복되어 기계적 내구성이 약함

→ 하이니켈 양극: 화학적으로 불안정한 문제

→ 전해액 첨가제를 통해 이러한 기계적, 화학적 불안정한 전극의 안전성을 보완.

: VC(vinylene carbonate), FEC(fluoroethylene carbonate) 등 상용 첨가제 널리 사용



❖ 고전압용 (High Voltage) 첨가제

○ 고에너지밀도 리튬이차전지 구현위해 고용량뿐만 아니라 고전압에서 작동하는 전극 소재 필요.

→ LCO, LNO, LMO 소재 대비 고전압 사용이 가능한 삼성분계 NCM 소재가 널리 활용

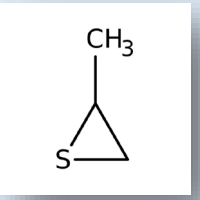
→ 일반 전해질은 4.3V 이상 고전압 영역에서 전기화학적 산화 분해 발생→전해질 손실 발생

양극에 안정한 표면층이 형성되지 않아 이차전지 사이클 성능이 퇴화.

→ PS (Propylene Sulfone) 같은 설폰 화합물은 기존 전해질 대비 높은 산화안정성으로 주목.

음극의 안정한 표면층 형성이 어렵고 추가적인 전해액 환원 일으키는 문제점으로 사용이 제한

➔ 고전압용 첨가제 개발 지속적으로 필요.



02 전해액 특성 및 동향

◉ 전해액의 미래

○ 좋은 전해액의 특성

→ 리튬 이온을 잘 이동시키는 능력 중요(전해질(염)과 용매의 종류, 함량 비율이 중요)

→ 배터리가 작동되는 동안 기존에 예상되지 않았던 '부반응'을 일으키지 않아야 함

→ 어는 점는 낮아야 하고, 끓는점은 높아야 함

→ 가격이 저렴, 환경친화적 물질이면 금상첨화



자료: Battery Inside

○ 용매 및 구성에 따라 전해질 종류가 구분.

→ 액체 전해질(Liquid Electrolyte)

➔ 무기화합물 또는 고분자와 같은 고체: **고체 전해질(Solid Electrolyte)**

➔ 용매가 고분자인 경우: 고분자 전해질(Polymer Electrolyte)

03 분리막 특성

◉ 분리막의 중요성

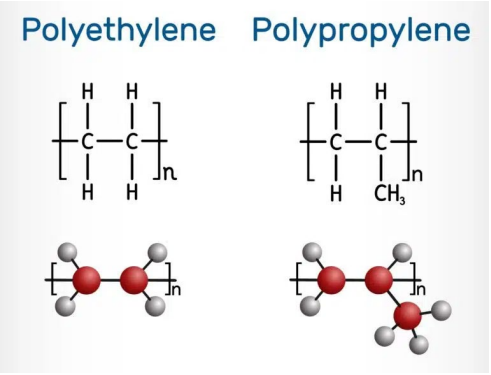
❖ 분리막의 특성

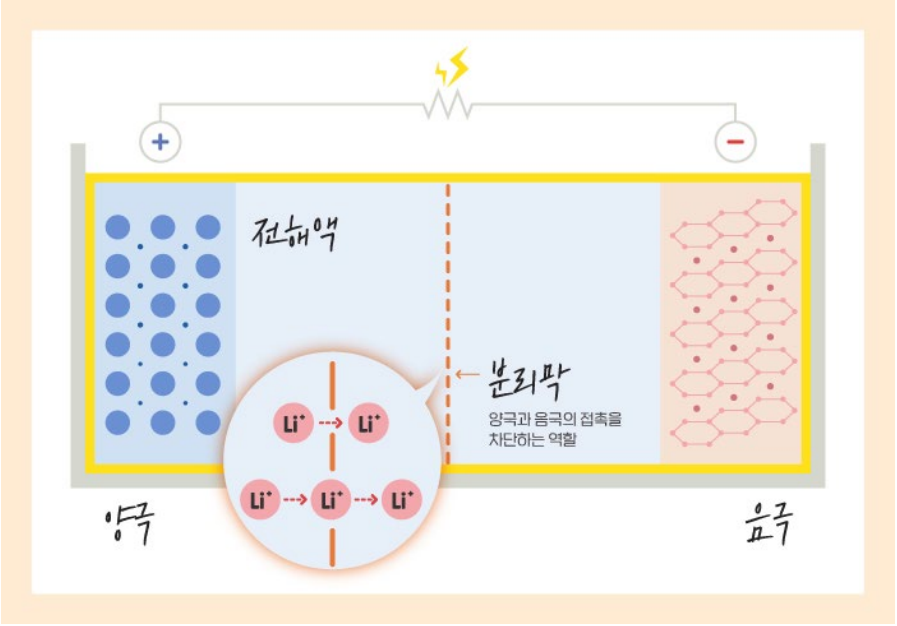
○ 양극과 음극이 닿지 않도록 막아주는 '벽'

○ 리튬이온이 지나다닐 수 있는 '통로' 역할

○ 미세 구멍을 가진 절연 소재로 이루어진 얇은 막

○ 폴리에틸렌(polyethylene, PE)과 폴리프로필렌(polypropylene, PP)이 주로 사용





자료:삼성SDI

○ 갖추어야 할 특징 3가지

➢ 높은 열 안정성과 전기절연성!

➢ 기공의 크기가 균일하고 개수가 많아야!

➢ 얇으면서도 튼튼해야!

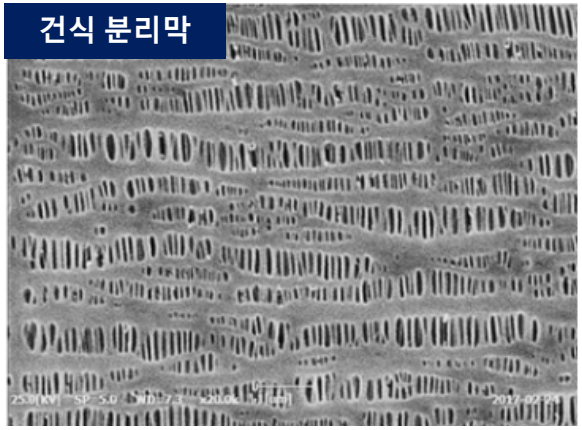
03 분리막 특성

◉ 분리막의 제조방법

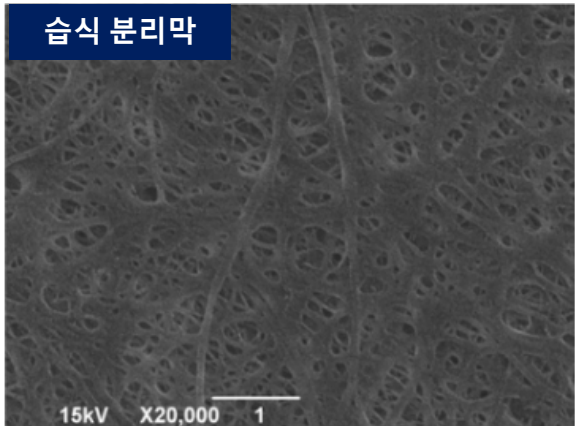
❖ 건식법 및 습식법

자료:NICE, 유펙스켐

건식 분리막



습식 분리막



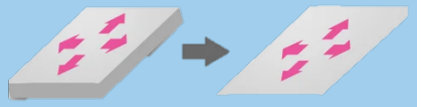
❖ 건식 분리막

○ 한 방향으로 잡아당기고 늘려 기공 형성

○ 공정이 간단하여 대량 생산 가능

○ (단점) 균일한 기공 크기 및 얇은 막 형성이 어려움

○ 높은 에너지밀도가 필요없는 산업에 사용



자료:Battery Inside

❖ 습식 분리막

○ 고온에서 PE, PP에 파라핀 오일을 섞은 뒤 고온/고압으로 압출해 납작하게 만드는 방식

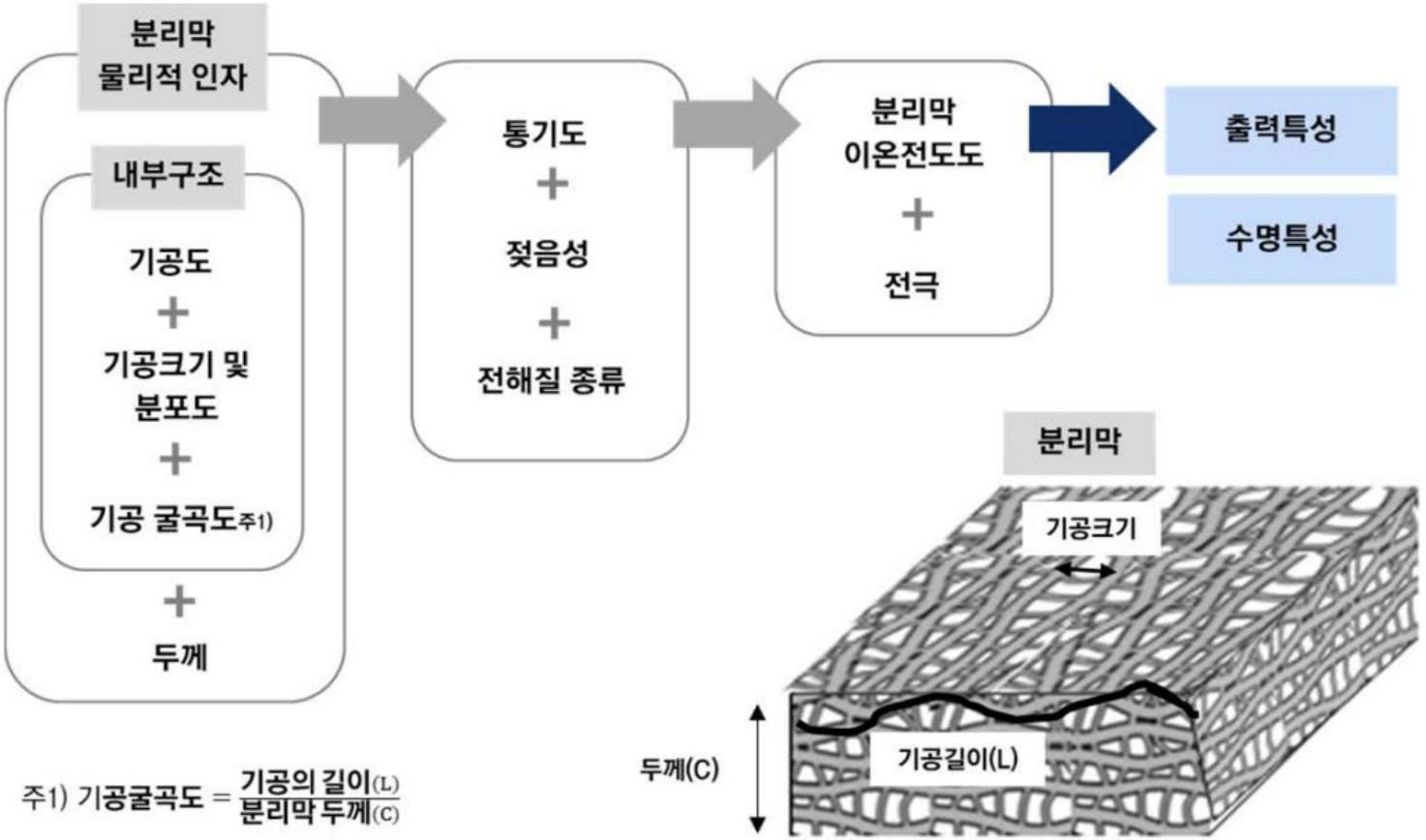
○ 압출된 PE, PP 시트를 천천히 굳히면서 필름 틈에 채워져 있던 오일을 추출하여 기공 형성

○ (장점) 길이와 폭을 모두 늘려 기공이 균일 단가가 높지만, 두께가 얇아 높은 에너지 밀도 확보

○ (활용처) 휴대폰이나 노트북 등 소형 배터리 전기차 배터리 등 고용량, 고출력 배터리

03 분리막 특성

◉ 분리막의 고려사항

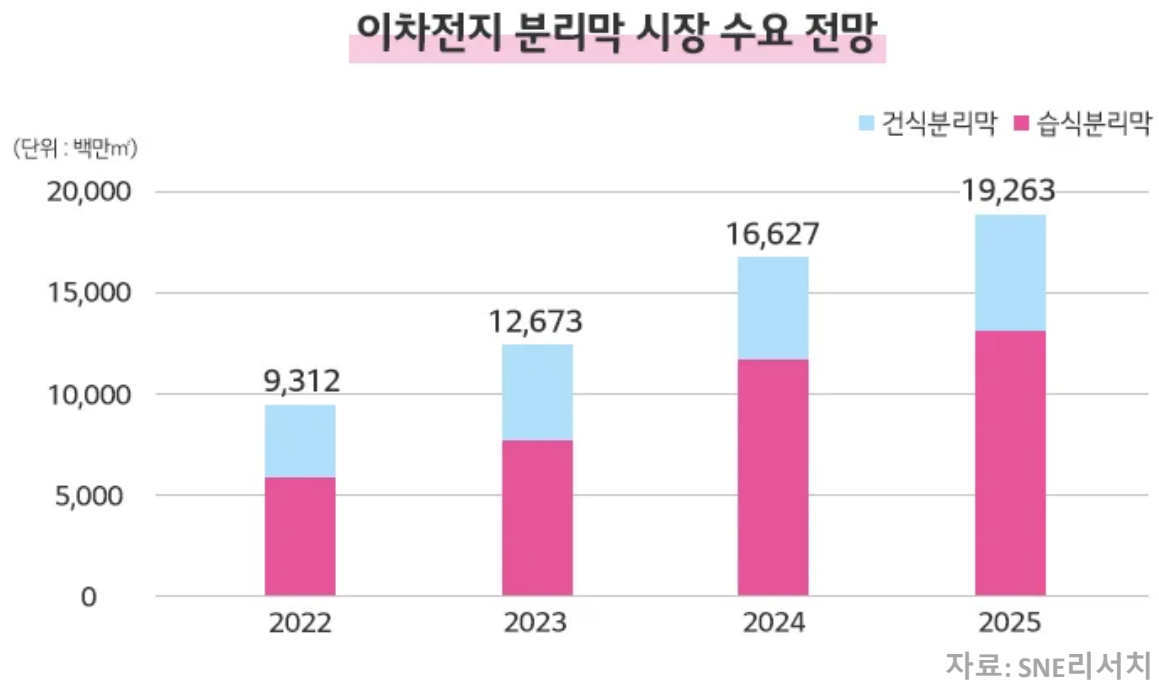


주1) 기공굴곡도 = 기공의 길이(L) / 분리막 두께(C)

자료: 이베스트투자증권 리서치센터

03 분리막 특성 및 동향

◉ 분리막의 미래



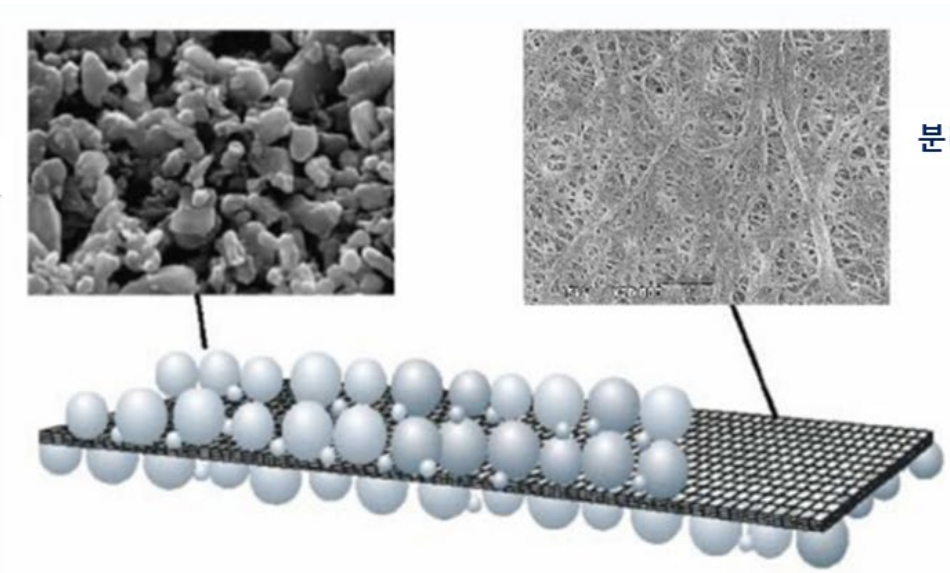
- ❑ '2020년 리튬이온 이차전지 분리막 기술 동향 및 시장 전망' 보고서에 따르면 이차전지 분리막의 시장 수요를 2025년까지 연평균 성장률이 38%으로 전망
- ❑ 배터리의 소형화, 경량화, 고용량화 트렌드에 맞춰 습식 분리막의 수요가 건식 분리막보다 더 늘어날 것

03 분리막 특성 및 동향

◉ 분리막의 미래

세라믹 입자

내열성 향상 위한 세라믹 코팅 분리막 개발 (LG화학)



자료: 이베스트투자증권 리서치센터

- ❑ 전기차가 해결해야 될 과제 → 주행거리 ➔ 분리막이 얇아지면 양극재의 함량을 높일 수 있어 배터리 에너지 밀도 증가.
- ❑ 분리막이 너무 얇아지면 양극과 음극이 물리적으로 맞닿아 사고가 생길 수 있어 얇으면서도 강한 분리막을 만들기 위해 끊임없이 연구

04 이차전지: 4대 핵심 소재의 중요성

◉ 이차전지에서 4대핵심 소재란?



이차전지 內 핵심 구성 요소

**4개의 소재중 하나라도 없다면,
이차전지는 구동될 수 없다!**

4대 소재	의미
양극재	리튬(Li), 니켈(Ni), 코발트(Co) 등으로 구성. **배터리의 용량과 전압을 결정**하는 핵심재료
음극재	대부분 흑연으로 구성되며 **양극에서 나온 리튬이온을 흡수·방출하면서 외부 회로를 통해 전류가 흐르게** 하는 역할
전해액	전해질은 **양극과 음극 사이에서 리튬이온을 이동시키는 매개체 역할**을 하는 물질
분리막	양극과 음극이 물리적으로 접촉하여 생기는 **전기적인 단락(화재·폭발)을 방지, 리튬이온의 전극 간 이동을 가능하게 해주는 다공성 고분자 필름**



이차전지에서 4대 핵심소재가 갖는 의미

The Story of the Material in the Battery

이차전지 혁신융합대학 | 가천대학교 김일태

이차전지 혁신융합대학 사업단
Secondary Battery
Convergence and Open Sharing System

감 사 합 니 다 !

Copyright © 2023. 이차전지 혁신융합대학 사업단