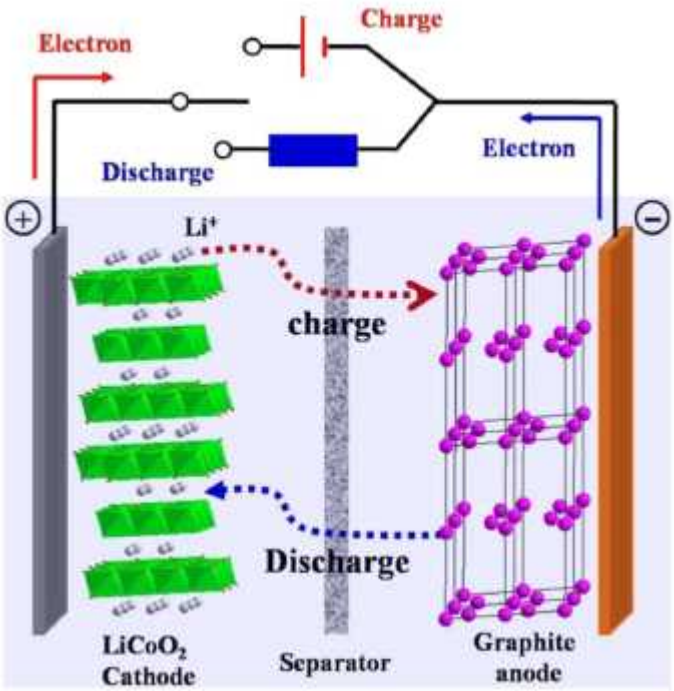
[2회] 리튬이온전지 양극재 기술 및 시장동향

재료연구소 문희성

1. 개요

□ 리튬이온전지 양극재(Cathode Material)는 LCO($LiCoO_2$)를 사용하여 '91년 상용화된 이래, 전지의 용량 등 성능 향상에 핵심 소재이기에 다양한 원소와 물질구조를 가진 양극재들이 등장

- $LiMn_2O_4$(스피넬 구조)은 구조적으로 안정하나 용량이 작고, 고온에서 망간(Mn)이온이 용출되며, $LiNiCO_2$는 리튬(Li+) 충방전율이 높아 고용량에 유리하나 전지의 안정성 측면에서 이슈

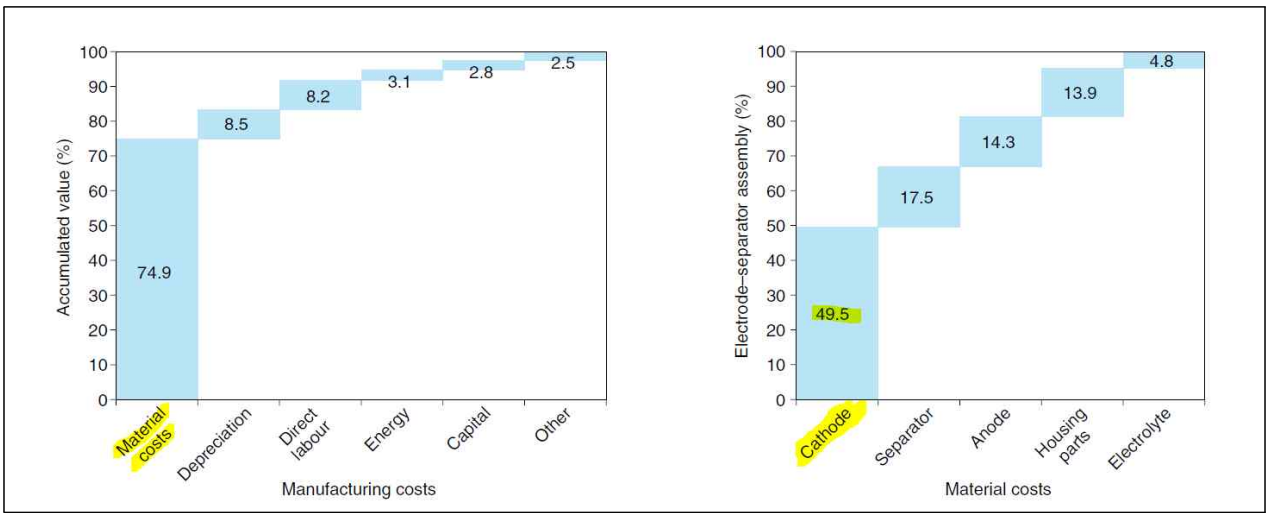


[그림1] 리튬이온전지의 충방전 개요도

출처: Berckmans et al, Energies 2017, 10, 1314

2. 리튬이온전지에서 양극재의 중요성

□ 양극재는 리튬이온전지 재료비에서의 비중이 약 50%로, 리튬이온전지의 원가에서 큰 부분을 차지하기에 성능 외에 시장 진입을 위한 원가 절감 혁신이 요구

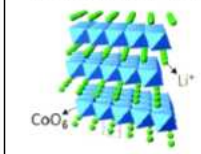
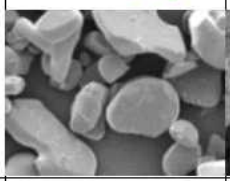
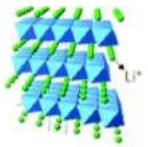
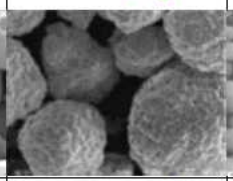
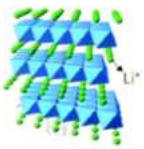
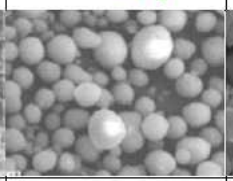
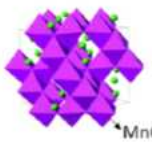
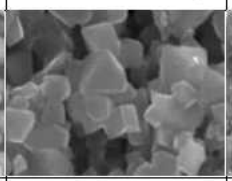
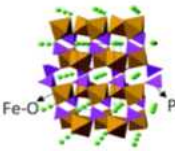
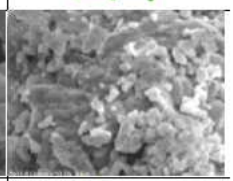


[그림2] 리튬이온전지 원가 및 재료비 구성

출처: A. Kawade et al.,Nature Energy, 2018, 290(3), 290

3. 양극재의 종류 및 시장규모

□ 양극재는 구조별로 크게 ①층상(Layered), ②스피넬(Spinel), ③올리빈(Olivine)로 구분

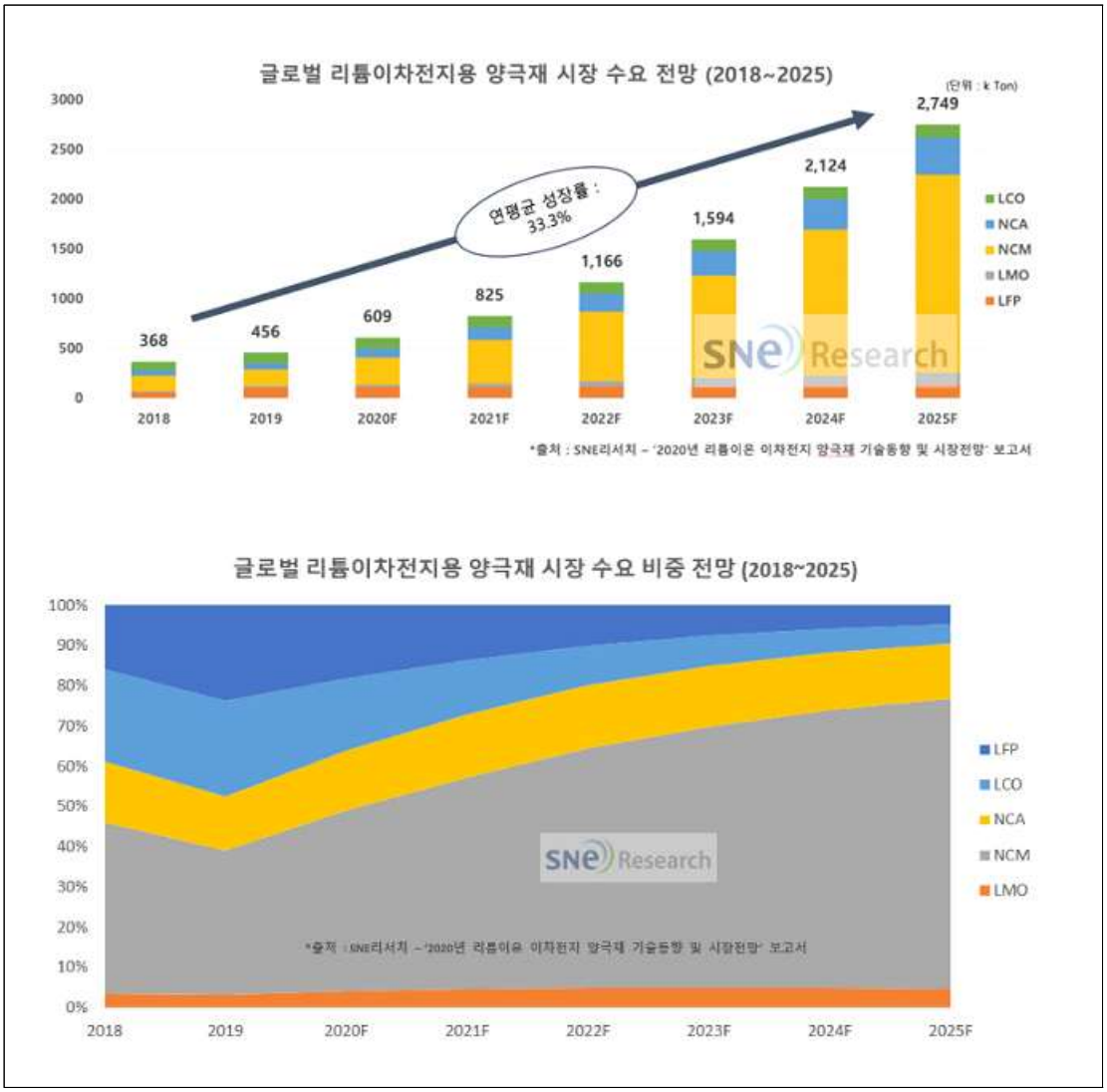
구분	LCO	NCM	NCA	LMO	LFP
분자식	$LiCoO_2$	$Li[Ni,Co,Mn]O_2$	$Li[Ni,Co,Al]O_2$	$LiMn_2O_4$	$LiFePO_4$
구조	층상(Layered) 구조  	층상(Layered) 구조  	층상(Layered) 구조  	Spinel 구조  	Olivine 구조  
에너지 용량	145 mAh/g	140~220 mAh/g	180~220 mAh/g	100 mAh/g	150 mAh/g
동작 전압	3.8 V	3.7 V	3.7 V	4.0 V	3.2 V
안정성	높음	다소 높음	낮음	높음	매우 높음
수명	높음	중간	높음	낮음	높음
난이도	쉬움	다소 어려움	어려움	다소 어려움	어려움
용도	소형	소형, 중대형	소형, 중대형	중대형	중대형
제조사	엘앤에프, 코스모신소재, Shanshan, Umicore, Nichia	엘앤에프, 에코프로비엠, 코스모신소재, 포스코케미칼, Umicore, Nichia	에코프로비엠, Sumitomo, Toda, Nichia	포스코케미칼, Nichia, BYD	한화케미칼, Shanshan, BYD, A123

[그림3] 양극재 종류별 개요

출처: 하이투자증권(2020)

□ 양극재 시장은 전기차 및 에너지저장시스템(ESS) 시장의 수요 급성장에 따라 이와 동반하여 37만톤('18년)에서 연평균 33% 증가하여, 275만톤('25) 규모로 예측되며, 양극재 종류별 비중은 점차 NCM과 NCA계열이 과점할 것으로 추정

- NCM은 '25년 72%의 비중 예상



[그림4] 양극재 시장 전망

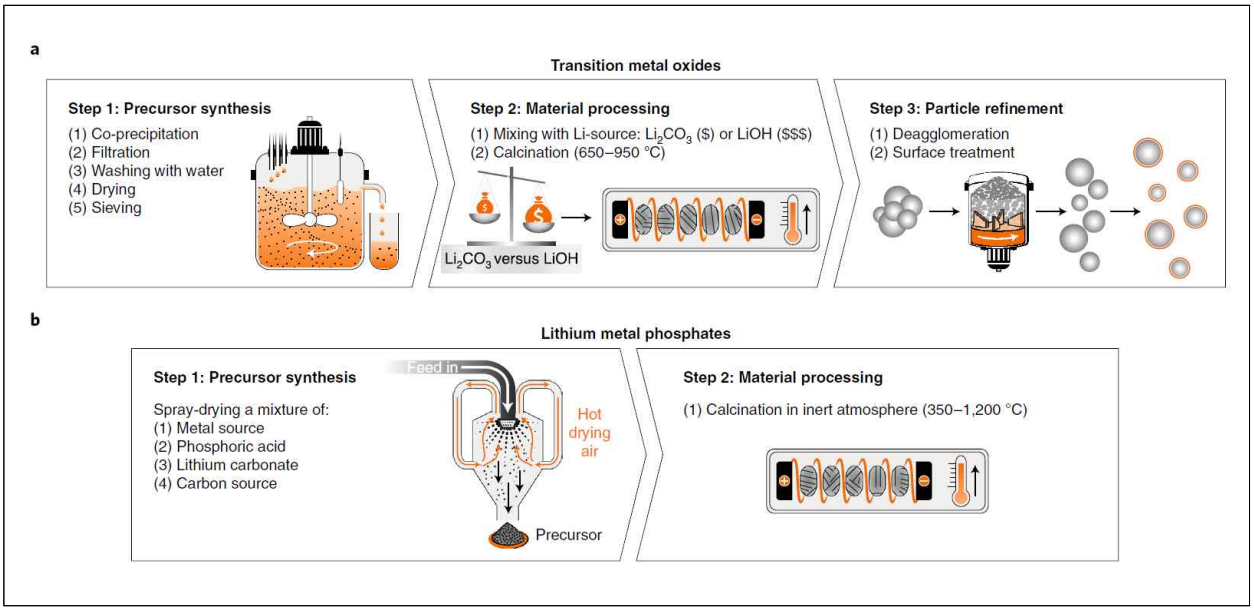
출처: SNE 리서치

- **(양극재 기업)** '18년 양극재 출하량 기준으로 벨기에 Umicore가 1위(4만톤, 10.8%), 일본 스미토모 메탈 마이닝(Sumitomo Metal Mining, SMM)이 2위(3만 6천톤, 9.8%), 일본 니치아(Nichia)가 3

위(2만 6천톤, 7%), 중국 XTC 5위(2만 5천톤, 6.8%), 산산(ShanShan) 6위(2만 3천톤, 6.4%)이며 한국에서는 에코프로BM이 10위(1만 5천톤), 엘앤에프, 포스코 케미칼 등이 사업을 영위중

3. 양극재 제조공정

□ 많이 사용되고 있는 층상구조 양극재는 Ni, Co 등의 금속 전구체(Precursor)과 리튬소스(Li_2CO_3 또는 LiOH)를 혼합/소성하여 제조



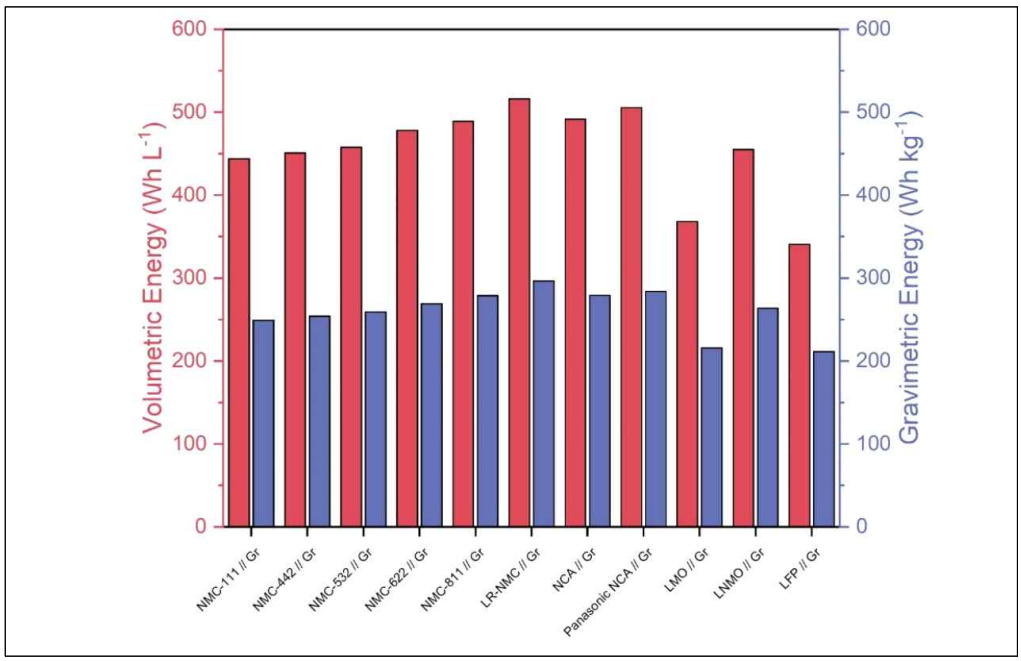
[그림5] 양극재 제조공정 (a) 층상 및 스피넬 (b) 올리빈 양극재

출처: R. Schmuch et al., Nature Energy, 3, 267, 2019.

4. 양극재 기술 현황 및 이슈

□ 양극재의 기술개발 방향은 결국 리튬이온전지의 에너지밀도 향상과 저가(Low cost)화이며 이를 위해 층상구조의 양극재에 있는 LCO의 코발트(Co) 함유량을 줄이고 다른 금속(Ni, Mn, Al)으로 대체

- [그림6]와 같이 전기차 초기에는 NMC532, 즉 Ni 50%, Mn 30%, Co 20% 의 비율로 하여 Co의 함유량을 LCO 대비 감소
- 점진적으로 NMC622, NMC811 등 Ni의 함유량을 높이는 방향으로 개발해서 이미 적용하거나 적용 예정



[그림6] 양극재별 에너지용량(Wh/L, Wh/kg) 비교

출처: M. Wentker et al., Energies 2019, 12, 504

□ 궁극적인 방향은 NMC811과 NCA가 양극재의 주류가 될 전망이며 NCA가 상대적으로 제조공정상 난이도가 높아 기술적 경쟁우위를 보유

- NCM에 알루미늄(Al)을 도핑하여 NCMA 양극재도 차세대 양극재로서 주목하고 있으며, LG화학은 얼티움(Ultium) 배터리를 개발하여 주행거리 400마일(645km) 확보

□ 고전압 구조 안정화를 위한 조성설계가 필요하며, 양극재의 표면에 리튬(Li)이 잔류하게 되는데 이는 가스 발생 등 불량요인이 되기에 양극재 제조공정에서 세정 공정이 중요

- 또한, 입자 구조 안정화를 위해 금속 도핑(Doping)이나 코팅이 필요, 표면 안정화

□ 양극재 안정성을 높이기 위해 1) 표면 코팅, 2) 도핑, 3) 형상 제어 등의 기술 개발이 필요

① (표면코팅) 전해질과의 부반응 감소를 위해, 과량 투입된 리튬이 표면잔류하여 이를 제거하는 식의 코팅 연구 필요

② (형상제어(Morphology Control)) 나노크기 1차입자를 가지고 2차입자 양극재를 구성하고 있기에, 1차입자의 형상에 따라 전도도 등 특성 상이하기에, 최근에는 1차입자를 단결정화하여 열화를 낮추고, 다결정화에 따른 부반응 제한을 위해 개발 중

③ (도핑) 스크리닝을 통한 단순 원소 치환해서, 분석 방법론의 발전으로 도핑용 전구체를 개발하여 전기화학적 성능을 새로 부여하는 방향으로 개발