

Industry Indepth | 2026.03.16

[이차전지] (비중확대)

전고체: 내가 왕이 될 상인가



KUVIC Research Team 1

메일	kuvic_korea@naver.com
팀장	44기 Senior 김민재
팀원	44기 Senior 김서정
팀원	44기 Senior 시민규
팀원	

CONTENTS

Summary	3
Key Chart	4
이차전지 소개	5
이차전지 기술의 변화	8
이차전지 소재	22
전해질	
양극재	
음극재	
분리막	
전방산업	39
리스크	47
결론	50
APPENDIX	54
Company Analysis	56
이수스페셜티케미컬	

Summary

기대를 넘어 상용화까지

이차전지의 생태계가 기존 EV·ESS 시장을 넘어 넘어 휴머노이드 로봇, 방산용 드론, UAM 등 초고성능·고안전성을 요구하는 신시장으로 확장됨에 따라, 전고체 배터리 상용화에도 가속도가 붙고 있다. 본 리서치 팀의 추정에 따르면 전고체 배터리 수요량(TAM)은 2026년 0.1 GWh 수준에서 2035년 약 633 GWh(BASE 기준)로 가파르게 성장할 전망이다. 이는 기존 EV 캐즘 현상으로 정체기를 겪고 있는 국내 이차전지 밸류체인에 구조적인 리레이팅을 촉발할 강력한 모멘텀으로 작용할 것이다.

이러한 전고체 생태계 확장의 최대 병목이자 부가가치의 핵심은 단연 고체 전해질이며, 그중에서도 고체 전해질의 주원료인 '황화리튬'이다. 현재 황화물계 전고체 배터리의 셀 단위 제조 원가 중 고체 전해질을 비롯한 핵심 소재비가 차지하는 비중은 75% 이상으로 압도적이다. 팩 단위로 환산 시 400~600달러/kWh에 육박해 기존 리튬이온 배터리(약 100달러/kWh 내외) 대비 경제성이 크게 떨어진다. 이러한 높은 원가 장벽은 수분에 극도로 취약하고 맹독성을 띤 황화리튬 특유의 까다로운 합성 및 취급 공정에서 기인한다.

그러나 상용화 사이클이 본격적으로 개화하는 현시점, 혁신적인 신규 합성법의 도입으로 원가 장벽이 빠르게 허물어질 전망이다. 2026년 글로벌 주요 거점의 대형 가공 시설 가동을 기점으로 황화리튬 단가 하락의 초입이 마련될 것이며, 2032년 이후에는 H₂ 수소환원법과 De novo 액상법의 본격적인 공정 최적화 및 규모의 경제 효과가 발현될 것으로 분석된다. 이는 결과적으로 전고체 배터리 팩 원가를 하이엔드 모델을 넘어 대중화가 가능한 구간까지 안정화시키는 결정적인 요인이 될 것이다.

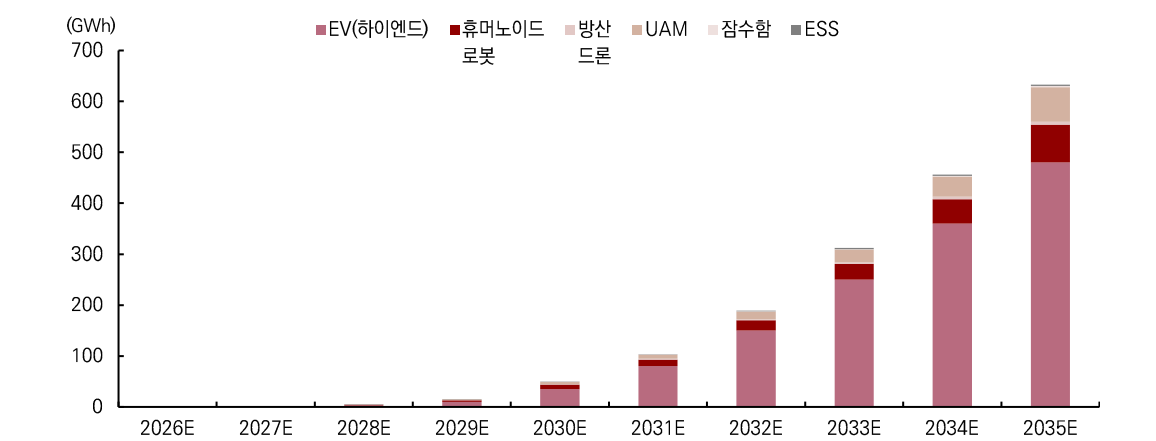
차세대 배터리 성공의 향방은 황화리튬의 경제성 확보라는 선결적인 과제로 귀결된다. 혁신적인 공정 기술로 황화리튬의 원가 장벽을 선제적으로 허물고 가격 경쟁력을 확보하는 소재 기업이 향후 폭발적으로 성장할 차세대 배터리 밸류체인 내에서 독점적 지위와 사이클 수혜를 향유하리라 기대한다.

TOP PICK: 이수스페셜티케미컬

차세대 배터리 패권 경쟁의 수혜주로, 혁신 공정을 통해 타사 대비 탁월한 가격 경쟁력을 입증한 **이수스페셜티케미컬**을 Top Pick으로 제시한다. 동사는 정밀 화학 분야에서 20년 이상 축적된 독보적인 맹독성 가스 취급 노하우를 기반으로, 핵심 원료인 황화수소(H₂S)를 생산 공정 내 부산물로 자체 조달(조달률 87%)하여 외부 시장 구매 대비 원재료비를 약 84%까지 절감하는 압도적인 원가 구조를 완성했다. 이러한 구조적 원가 우위를 바탕으로, 동사는 향후 전고체 소재 밸류체인 내에서 **시장 지배력을 극대화하며 상용화 메가 사이클의 수혜를 선점할** 선도 기업으로 자리 잡을 것이다.

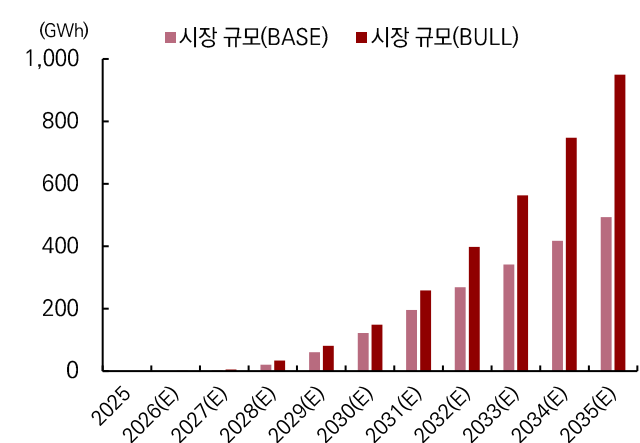
Key Chart

그림 1. 전방산업별 전고체 배터리 수요량 총 TAM(BASE)



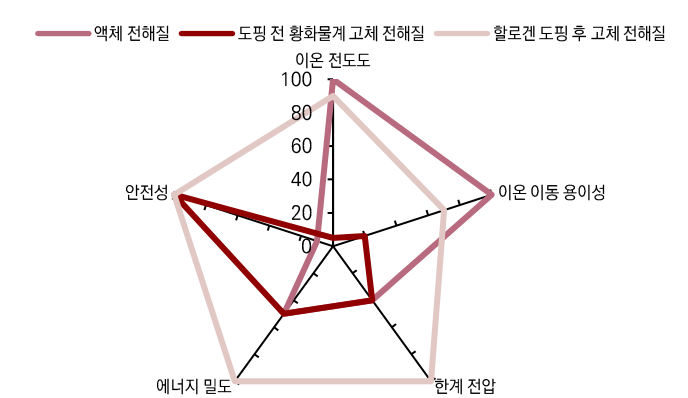
자료: IEA, BNEF, SNE Research, Joby Aviation, TrendForce, 삼성SDI, 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

그림 2. 전고체 배터리 시장 규모 추이 전망



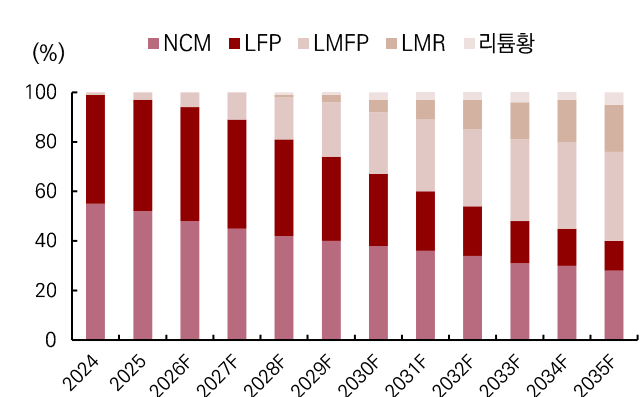
자료: BNEF, SNE Research, KUVIC 리서치 1팀

그림 3. 할로겐 도핑 효과



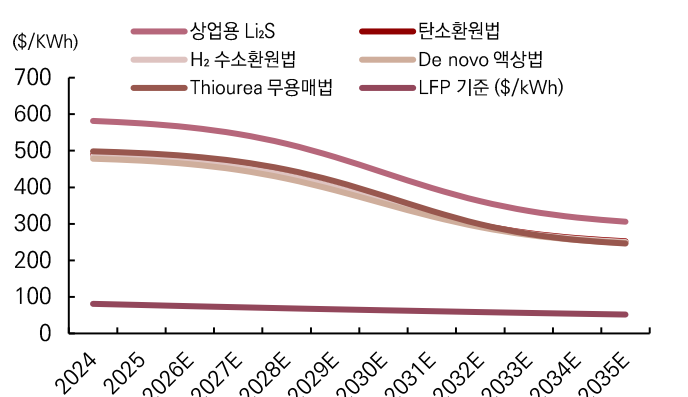
자료: Nature, KUVIC 리서치 1팀

그림 4. 양극재 소재별 비중 추이 전망



자료: BNEF, KUVIC 리서치 1팀

그림 5. 합성법별 전고체 배터리 셀 원가 비교



자료: KUVIC 리서치 1팀

이차전지 소개

이차전지란?

재사용이 가능한 배터리

이차전지는 방전 후 폐기되는 1차 전지와 달리, 가역적인 전기화학 반응을 통해 반복적인 충전과 방전이 가능한 배터리를 의미한다. 이차전지의 핵심 작동 메커니즘은 리튬 이온의 이동을 기반으로 한다. 충전은 외부 전력을 가해 양극재에 있던 리튬 이온을 음극재로 이동시켜 에너지를 저장하는 과정을 의미하며, 반대로 방전은 음극재에 저장되어 있던 리튬 이온이 본래의 안정적인 양극재로 다시 돌아가는 과정이다. 이때 전자가 외부 회로를 타고 함께 이동하면서 기기를 작동시키는 전기 에너지를 출력한다.

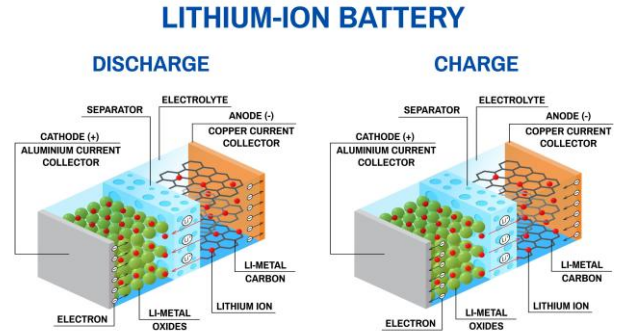
그림 6. 이차전지

그림 7. 이차전지 충전전 과정

6



자료: LG에너지솔루션, KUVIC 리서치 1팀



자료: KUVIC 리서치 1팀

배터리의 성능을 나타내는 핵심 지표인 전력량(Wh)은 전류 용량(mAh)과 전압(V)의 곱으로 산출된다. 여기서 전력량(Wh)은 전기차가 수행할 수 있는 총 일의 양, 즉 '1회 충전 주행거리'와 직결되는 총 에너지 용량을 의미하며, 전류 용량(mAh)은 배터리에 저장되어 흐를 수 있는 전류의 총량을 뜻한다. BNEF의 자료에 따르면, 현재 상용화된 하이니켈 리튬이온 배터리의 셀 기준 에너지 밀도는 약 250~300Wh/kg 수준으로 사실상 물리적·화학적 한계치에 도달해 있는 상황이다.

배터리의 형태

이차전지는 동일한 화학 시스템(NMC, LFP 등)을 갖더라도 셀을 어떤 형태로 만드느냐에 따라 에너지 밀도, 열관리, 제조 비용, 수명, 적용 분야가 크게 달라진다. 이 형태를 폼팩터라고 하며, 크게 원통형, 각형, 파우치형으로 분류된다. 글로벌 전기차 배터리 시장에서 각형이 약 50% 이상으로 최대 점유율을 차지하며, 그 뒤를 원통형과 파우치형이 잇고 있다. 그러나 최근에는 원통형 배터리와 전고체 배터리의 부상으로 폼팩터에 대한 경쟁도 떠오르고 있다.

각각의 폼팩터 형태의 장·단점을 비교해보면, 각형 혹은 파우치형의 에너지 밀도가 가장 높고, 안정성면에서 원통형과 각형이 우수한 편이다. 또한 현재는 원통형과 각형이 배터리 형태의 주류를 차지하고 있는 상황이다. 어떤 종류의 폼팩터가 사용되느냐에 따라 배터리의 종류와 성능이 달라지기 때문에, 폼팩터의 기술도 계속해서 주목할 필요가 있을 것이다.

표 1. 폼팩터 특징 비교

항목	원통형	각형	파우치형
셀 에너지 밀도	보통 (250~280 Wh/kg)	보통 (230~270 Wh/kg)	높음 (280~330 Wh/kg)
팩 에너지 밀도	보통 (CAS 공법으로 개선 중)	우수 (CTP 적용 시)	보통 (스웰링 여유 공간 필요)
제조 비용	낮음 (표준화 대량생산)	보통	높음 (커스텀 설계)
열관리	우수 (균일한 원형 열분산)	우수 (평면 냉각, 액침냉각 적합)	보통 (스웰링 열 관리 필요)
안전성	높음 (금속 캔 보호)	매우 높음 (금속 캔+No TP)	보통 (필름 외장재 취약)
EV 시장 점유율	증가세 (약 46%로 확대)	50% 이상	하락세

자료: BloombergNEF, Large Battery, Nature, 삼성SDI, KUVIC 리서치 1팀

셀 - 모듈 - 팩

그림 8. 모듈 형태 배터리

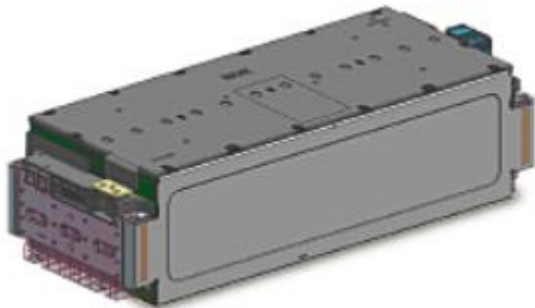
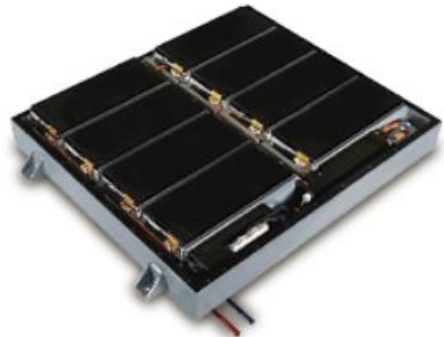


그림 9. 팩 형태 배터리



자료: 삼성SDI, KUVIC 리서치 1팀

자료: 삼성SDI, KUVIC 리서치 1팀

배터리는 전기차에 안전하게 탑재되고 제 성능을 발휘하기 위해 일반적으로 셀, 모듈, 팩이라는 3단계의 패키징 공정을 거친다. 셀은 배터리의 최소 단위로 실질적인 전기 에너지를 충방전이 일어나는 가장 기본적인 단위에 해당한다. 외관 형태에 따라 둥근 모양의 원통형, 납작한 상자 모양의 각형, 알루미늄 필름 주머니에 밀봉된 파우치형으로 나뉜다. 한정된 셀 부피 내에서 에너지 밀도를 얼마나 극대화할 수 있는지가 배터리 성능을 좌우하는 핵심 경쟁력으로 작용한다.

모듈은 수십 개의 셀을 외부의 물리적 충격이나 진동, 열로부터 보호하기 위해 견고한 프레임에 넣어 하나로 묶은 중간 조립체를 칭한다. 이 단계부터 배터리의 상태를 모니터링하는 기본 배터리 관리 시스템(BMS, Battery Management System)이 부착되어 개별 셀의 온도와 전압을 관리한다.

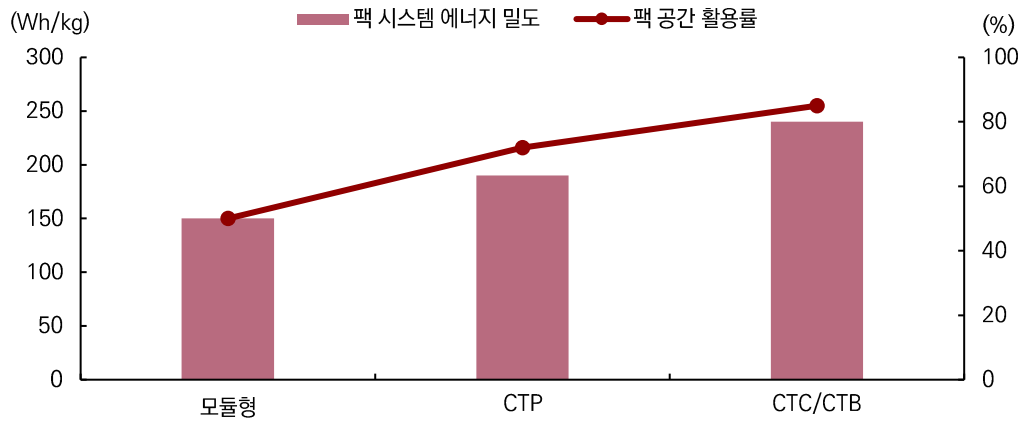
팩은 이러한 다수의 모듈을 결합하여 전기차에 최종적으로 장착되는 완성형 배터리 시스템이다. 전체 배터리를 총괄 통제하는 메인 BMS와 열을 관리하는 냉각 시스템, 각종 센서 및 전원 제어 장치 등이 통합 적용된다. 차량의 무게 중심을 낮추고 공간 효율을 높이기 위해, 일반적으로 차량 하부 전체를 덮는 거대한 판 형태로 장착된다.

최신 패키징 트렌드: 공간 효율의 극대화

최근 배터리 업계는 주행거리를 늘리고 원가를 낮추기 위해 배터리 외부의 불필요한 포장재를 줄이는 설계 혁신에 집중하고 있다. 기존의 중간 조립 단계인 모듈을 생략하고 셀을 바로 팩에 탑재하는 CTP(Cell-to-Pack) 구조를 통해 부품 수를 줄여 원가와 무게가 감축하고, 남은 공간에 셀을 더 넣을 수 있어 팩 단위의 체적 에너지 밀도를 극대화하는 중이다. 이를 통해 팩 내 공간 활용률을 기존 50% 수준에서 70% 이상으로 끌어올려 시스템 단위의 에너지 밀도를 보완하고 있다.

뿐만 아니라 CTC(Cell-to-Chassis), CTB(Cell-to-Body) 구조를 통해 팩 단계마저 생략하고, 배터리 셀을 자동차의 차체(샴시)나 뼈대 자체에 직접 통합시켜 배터리가 자동차의 구조물 역할을 겸하게 함으로써 차량의 경량화와 실내 공간 확보에 하는 데 집중 중이다.

그림 10. 패키징 효율성 비교



자료: BNEF, IDTechEx, KUVIC 리서치 1팀

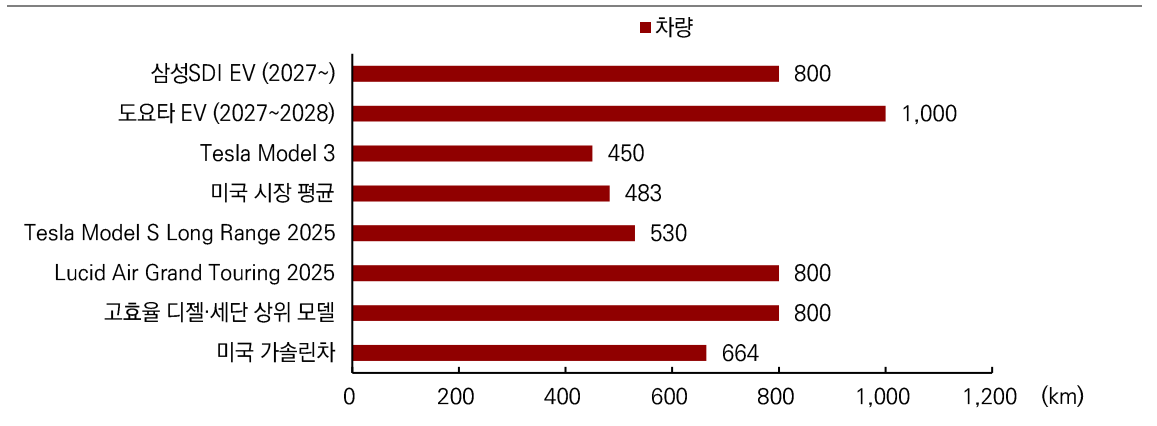
이차전지 기술의 변화

전고체 배터리

전고체 배터리가 등장하게 된 이유

기존 리튬 이온 배터리(Lithium-Ion Battery, LIB)가 내포하고 있는 태생적인 안전성 우려와 성능의 한계가 자리 잡고 있다. 특히 가연성 액체 전해질을 사용하는 리튬 이온 배터리는 외부 충격이나 과충전, 분리막 결함 시 열폭주 현상을 일으켜 대형 화재로 직결될 위험성을 안고 있다. 이러한 산업적 난제를 근본적으로 해결하고 완전한 전동화 시대를 열기 위한 게임 체인저로서 **전고체 배터리(All-Solid-State Battery, ASSB)가 전 세계 에너지 전환의 최전선에서 급부상**하고 있다.

그림 11. EV vs 내연차 주행거리 비교

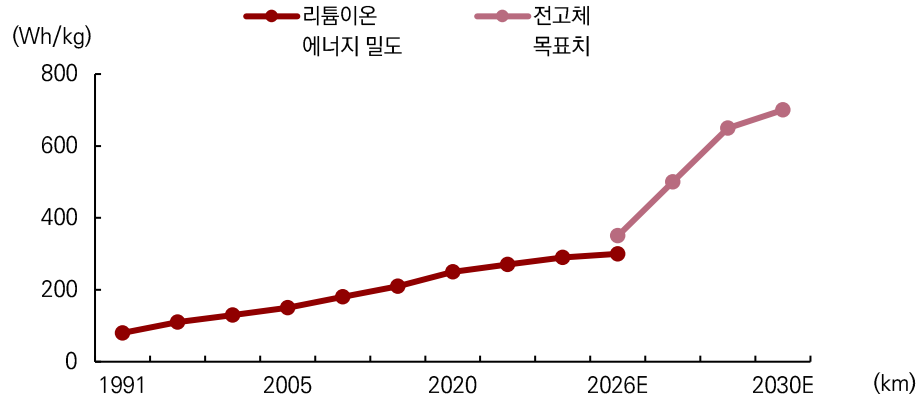


자료: Eleport, Visual Capitalist, KUVIC 리서치 1팀

앞서 서술한 바와 같이, **EV의 주행거리 연장을 위한 에너지 용량 증대가 이차전지 산업의 핵심 과제**였다. 본 리서치 팀의 분석 결과, 2025년 기준 1회 충전·주유 시 평균 주행거리는 내연기관차가 약 640km, 전기차의 경우 480km 수준으로 나타났다. 배터리 기술 발전에 따라 그 격차가 점진적으로 줄어들고 있으나, **현행 리튬 이온 배터리의 구조적 특성상 근본적인 한계가 존재**한다.

[그림 11]은 내연기관차와 EV 주요 모델의 실주행거리를 비교한 그래프다. 중형 EV의 대표 모델인 테슬라 Model 3를 포함하더라도, EV의 평균 주행거리는 동급 내연기관 모델 대비 여전히 최소 100km 이상 짧은 실정이다. 반면, 차세대 기술인 전고체 배터리 탑재 EV의 주행거리 목표치는 1,000km에 달해 기존 내연기관차와 현행 EV의 한계를 일거에 뛰어넘을 것으로 기대를 모으고 있다.

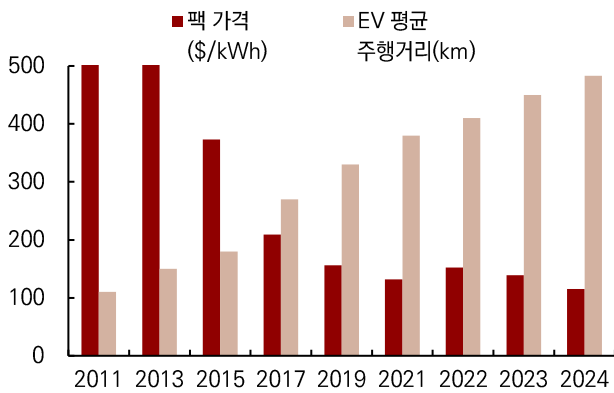
그림 12. 에너지 밀도 발전 추이



자료: IDTechEx, CATL, SMM, KUVIC 리서치 1팀

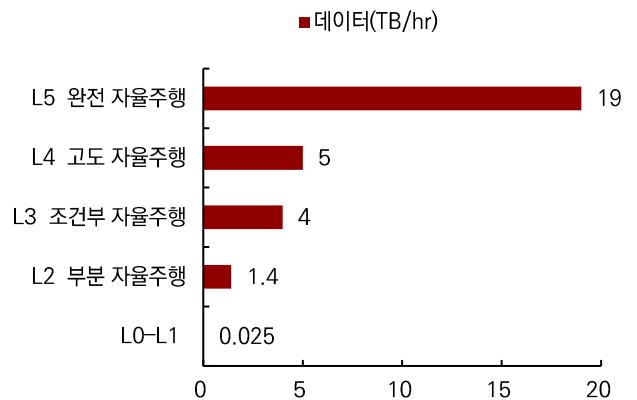
이러한 주행거리 격차의 근본적 원인은 배터리의 에너지 밀도와 관련 있다. [그림 12]의 리튬 이온 배터리 에너지 밀도 추이를 살펴볼 시, 1991년 상용화 당시 80Wh/kg 수준에서 2024년 기준 270Wh/kg 까지 꾸준히 향상되었다는 것을 파악할 수 있다. 그러나 **가연성 액체 전해질을 사용하는 기존 구조는 안전성 문제와 공간 효율성의 제약으로 인해 에너지 밀도를 추가적으로 높이는 데 한계에 봉착했다**. 이에 따라, 배터리 업계는 기존 리튬 이온 배터리의 물리적 제약을 극복하고 에너지 밀도 500Wh/kg 달성을 목표로 전고체 배터리 개발에 역량을 집중하고 있다.

그림 13. 배터리 가격, 주행거리 추이



자료: BloombergNEF, MotorWatt, KUVIC 리서치 1팀

그림 14. 자율주행 레벨별 전기차 데이터 생성량



자료: Tuxera, AAA American Driving Survey, KUVIC 리서치 1팀

[그림 13]은 배터리 가격과 전기차 주행거리 추이의 상관관계를 분석한 결과이다. 시간의 경과에 따라 배터리 팩 가격이 \$100 수준까지 지속적으로 하락하는 동시에 EV의 평균 주행거리는 꾸준히 증가하고 있다. 이는 배터리 원가 절감과 긴 주행거리 확보가 전기차 대중화 및 시장 확대를 견인하는 핵심 요인으로 자리 잡았음을 보여준다.

나아가 [그림 14]은 Level 5(완전 자율주행) 시대가 도래할 경우, 전고체 배터리로의 전환이 선택이 아닌 필수임을 암시한다. 미래의 완전히 자동화된 이상적인 전기차는 각종 센서와 통신을 통해 발생하는 약 19TB의 방대한 데이터를 실시간으로 처리해야 하므로 막대한 전력 소모가 동반된다. 결국 자율주행 시스템의 막대한 전력 부하를 감당하면서도 주행거리 손실을 방지하기 위해서는, **기존 리튬 이온 배터리의 한계를 뛰어넘는 초고용량·고효율의 전고체 배터리 탑재가 필연적으로 요구된다**.

가시화되는 전고체 배터리

전고체 배터리는 양극과 음극 사이에서 리튬 이온을 전달하는 매개체인 전해질을 가연성 액체에서 무기물 기반의 고체로 대체한 차세대 에너지 저장 장치다. 이 기술의 가장 큰 혁신성은 **고체 전해질이 물리적인 분리막 역할을 겸함으로써 누액 및 발화 위험을 원천적으로 차단**한다는 데 있다. 안전성이 확보됨에 따라 기존 리튬 이온 배터리 시스템에서는 발화 위험과 부반응으로 인해 적용하기 어려웠던 고전압 양극재 및 리튬 메탈 음극재의 전면적인 채택이 가능해진다.

그림 15. 전고체 배터리 구조

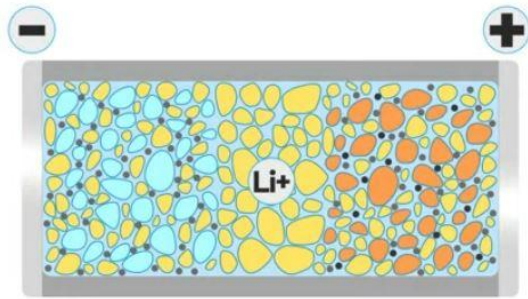
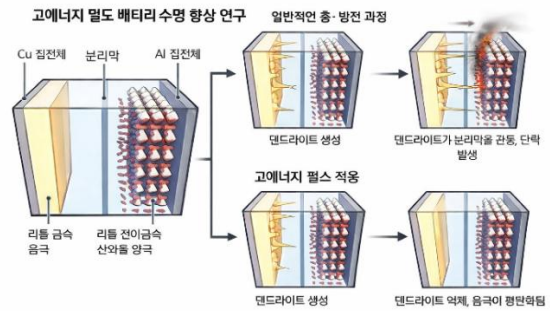


그림 16. 덴드라이트 현상



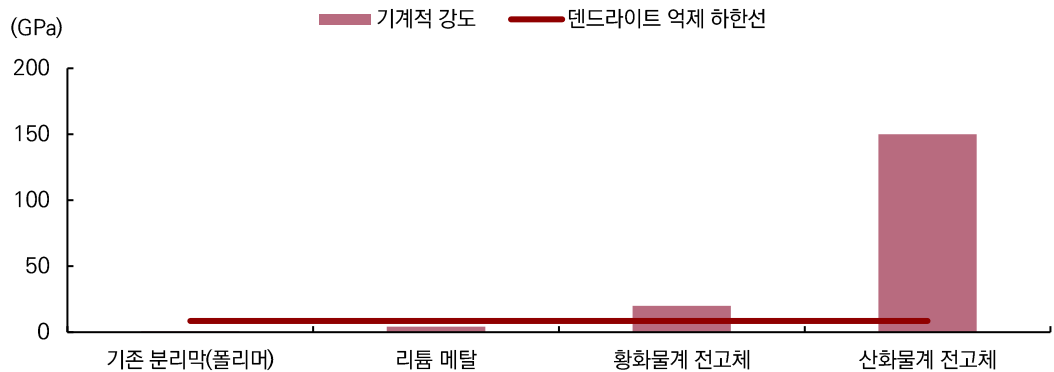
자료: 삼성SDI, KUVIC 리서치 1팀

자료: Nature, KUVIC 리서치 1팀

이에 따라 배터리 팩 내부의 냉각 장치와 안전장치를 대폭 축소할 수 있어, **부피당 에너지 밀도를 기존 리튬 이온 배터리의 2배 이상인 최대 800~1,000Wh/L 수준까지 획기적으로 끌어올릴 수 있다.** 이는 동일한 크기의 배터리를 탑재하고도 전기차의 1회 충전 주행거리를 비약적으로 연장할 수 있음을 의미한다.

더 나아가 전고체 배터리는 급속 충전 시 음극 표면에 리튬이 나뭇가지 모양으로 뻗어나가 분리막을 뚫고 단락을 일으키는 덴드라이트(Dendrite) 형성 문제를 고체 전해질의 강력한 기계적 강도로 억제할 수 있다. 덴드라이트 현상이란 배터리 충전 시 리튬 이온이 음극 표면에 불균일하게 전착되어 나뭇가지 모양으로 자라나는 것을 의미한다. 기존 액체 배터리에서는 이 덴드라이트가 분리막(두께 5~30μm, 다공성 40~60%)의 기공을 뚫고 양극과 맞닿아 내부 단락 및 열폭주 폭발을 일으킨다.

그림 17. 소재별 덴드라이트 억제 임계점



자료: ACS Chemistry of Materials, 관련 논문 종합 및 재구성, KUVIC 리서치 1팀

전고체 배터리는 이를 기계적 물성으로 물리적으로 억제한다. 덴드라이트 관통을 막기 위해서는 전해질의 전단 탄성률이 리튬 메탈(약 3.4~4.9 GPa)의 2배인 최소 8.5 GPa 이상이어야 한다. 산화물계(LLZO 등) 전고체 배터리의 경우 전단 탄성률 60 GPa, 영률 150 GPa 수준으로 덴드라이트 성장을 완벽에 가깝게 차단하지만, 부러지기 쉽다는 단점이 존재한다. 황화물계 전고체 배터리 영률 약 20 GPa 내외로 덴드라이트 억제 조건을 충족하면서도 입자 간 접촉력이 좋아 전극과의 계면 저항을 낮추는 데 가장 유리하다.

그 결과 고출력 급속 충전 시에도 화재 위험이 없어 **충전 시간을 현재의 3분의 1 수준인 약 10~15분 내외로 단축**하는 초급속 충전 생태계를 구현할 수 있다. 중국 기업인 Huawei의 경우, 지난해 5분 충전으로 최대 3,000km 주행이 가능한 전고체 배터리 구조 특허를 출원하며 초급속 충전의 가능성을 입증하였다.

리튬 이온과 전고체, 그 사이의 반고체

기존 리튬 이온과 전고체 배터리의 중간 단계인 ‘반고체 배터리’ 또한 주목받고 있다. 반고체 배터리는 기존 액체 전해질의 50~80%를 겔(Gel)이나 폴리머 복합체로 대체한 형태다. **완전한 고체 상태가 아니기 때문에 전고체 배터리의 가장 큰 난제인 계면 저항 문제가 상대적으로 적으며, 기존 리튬 이온 배터리의 생산 라인을 70~80%가량 그대로 활용할 수** 있다는 공정상의 이점을 지닌다.

특히 전고체 배터리의 대량 양산이 아직 불가능한 현실점에서, 반고체 배터리는 즉각적인 기술 구현이 가능한 현실적 대안으로 평가받고 있다. 실제로 일부 전기차 모델에 탑재되어 실주행에 사용되고 있으며, 기존 리튬 이온 배터리를 상회하는 에너지 밀도(360~400Wh/kg)와 우수한 안전성을 자랑한다. 다만, 배터리 팩의 단가가 차량 전체 가격에 육박할 정도로 매우 높게 형성되어 있어 아직까지는 본격적인 수요 확대로 이어지지 못하는 한계를 안고 있다.

표 2. 이차전지 발전 타임라인

연도	배터리 종류	기업(국가)	내용
1991	리튬이온	소니·아사히카세이(일본)	세계 최초 리튬이온 배터리 상용화, 에너지밀도 100~120 Wh/kg. 가격은 \$3,000/kWh 수준.
2008	리튬이온	테슬라(미국)	테슬라가 리튬이온 배터리(파나소닉 18650 셀)를 탑재한 로드스터 출시. 배터리 팩 가격은 \$600/kWh 이상.
2012	전고체	도요타(일본)	2010년 황화물계 전고체 배터리 연구 공표. 전고체 배터리 특허 출원 증가.
2017	전고체	독일, 미국	QuantumScape(폭스바겐 투자), Solid Power(BMW·포드) 등 스타트업 투자 급증.
2022	리튬이온		리튬 원자재 가격 폭등 + 에너지밀도 물리적 한계(300 Wh/kg)
2022	반고체	WeLion(중국)	세계 최초 반고체 양산 라인 가동, 에너지밀도 360 Wh/kg. 리튬이온 → 전고체 전환의 브릿지 역할.
2023	반고체	Nio(중국)	NIO ET7 150kWh 반고체 팩으로 1,055km 실주행 성공. 그러나 높은 가격 → 수요 부족 발생.
2025	전고체	삼성SDI(한국)	2027년 양산 목표 고안전성·고에너지 밀도(리터당 900Wh 이상)의 전고체 배터리(ASB) 개발 돌입.

자료: BloombergNEF, Large Battery, Nature, 삼성SDI, KUVIC 리서치 1팀

이차전지 기술은 ‘리튬 이온→반고체→전고체’의 순으로 진화하고 있으며, 전고체 단계로 나아갈수록 에너지 밀도, 안전성, 그리고 주행거리 측면에서 **비약적인 성능 향상을 기대할 수** 있다. 다만 현실점에서 전고체 배터리의 가장 큰 상업적 난관은 ‘높은 제조 원가’와 ‘양산 시점의 불확실성’이다. 향후 공정 혁신을 통해 기존 리튬 이온 및 반고체 배터리 수준의 원가 경쟁력을 확보하고 목표 스펙을 성공적으로 구현해 낸다면, 전고체 배터리는 미래 배터리 시장의 핵심 소재로 확고히 자리매김할 수 있을 것이다.

표 3. 배터리 별 특징 비교

항목	리튬이온	반고체	전고체
에너지 밀도	200-270 Wh/kg	360-400 Wh/kg(+35~50%)	500+ Wh/kg(+85%)
안전성	낮음(액체 가연성)	높음(겔, 부분 저감)	매우 높음(불연성 고체)
가격(셀 수준, 추정 단가)	\$115/kWh	\$250~400/kWh	\$400~800/kWh
EV 주행거리	300~530km	700~1,055km(NIO ET7)	1,000km+(도요타 목표)
상용화 시점	대량 양산 중	소량 양산 중(주로 중국 위주)	2027~2028 목표

자료: Electrive, CnEVPost, KUVIC 리서치 1팀

전고체의 원가가 하락하는 EU

현재 전고체 배터리의 추정 원가(\$400~800/kWh)는 기존 리튬 이온 배터리(\$115) 대비 4~7배 높은 수준이다. 이러한 막대한 가격 격차는 배터리 생산의 소재, 공정, 수율이라는 세 가지 측면의 한계에서 기인하는 것으로 분석된다. 세부적인 원가 구성 요소를 살펴보면, 황화물계 고체 전해질이 전체 셀 원가의 약 24%를 차지하며 단일 항목 중 최대 비용 요소로 작용하고 있다. 특히, 이 고체 전해질 원가의 약 63%가 핵심 원료인 황화리튬(Li₂S)에서 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 전고체 배터리의 대량 양산 및 상용화를 달성하기 위해서는 황화리튬의 획기적인 원가 절감 여부가 가장 직접적이고 핵심적인 결정 요인이 될 것이다.

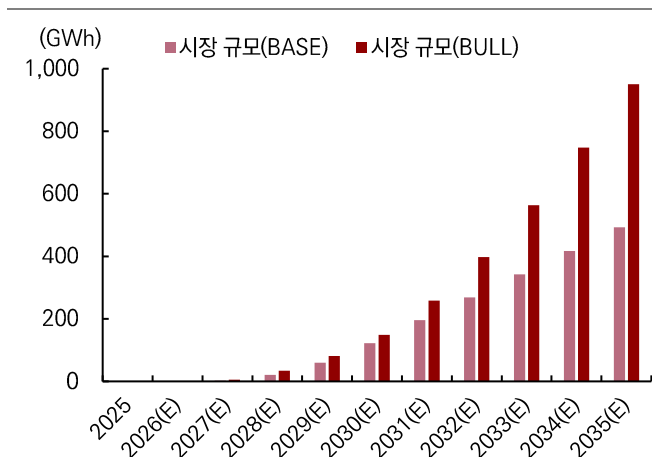
표 4. 전고체 원가 구성 요소

요인	원가 기여 비중(추정)	설명
고체전해질	~35~40%	황화물계 SE 현재 \$170~195/kg → 상용화 기준 필요 원가 \$50/kg 이하 Li ₂ S 의존 제거 시 \$28/kg까지 가능 (ACS AEM, 2024)
Li ₂ S (황화리튬 원료)	~15~20%	Li ₂ S가 황화물계 SE 원가의 핵심 원료 → SE 총원가의 70%+ 기여 Li ₂ S 제거 합성 시 원가 \$169→\$28/kg
드라이룸/ 불활성 환경 (설비 CAPEX)	~15~20%	황화물 SE: 수분 노출 시 H ₂ S 발생 → 이슬점 -40°C 이하 드라이룸 필요 LIB 대비 드라이룸 투자비 30~50% 증가 추정 + 불활성 가스 환경(Ar/N ₂) 설비 추가
리튬메탈 음극 (Li anode)	~10~15%	Li 과잉 300% 사용 시 \$128/kWh vs 20% 과잉 시 \$75/kWh 리튬 초박막(~20μm) 기술이 음극 원가의 핵심 변수

자료: IDTechEx, ACS AEM, KUVIC 리서치 1팀

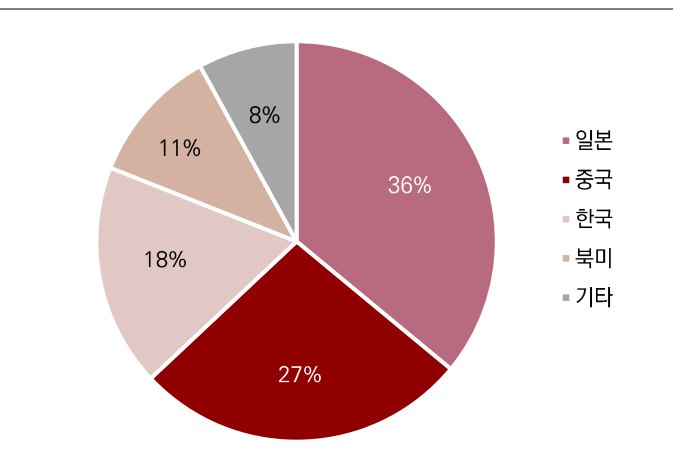
전 세계는 관련 기술 확보에 힘쓰는 중

그림 18. 전고체 배터리 시장 규모 추이 전망



자료: BNEF, SNE Research, KUVIC 리서치 1팀

그림 19. 글로벌 전고체 배터리 원천 특허 점유율



자료: WIPO, JPO, Knowmade, KUVIC 리서치 1팀

현재 전 세계적으로 발표된 전고체 및 반고체 배터리의 연간 생산 능력 계획은 이미 100GWh를 초과하였으며, 기업들의 누적 발표를 종합할 경우 830GWh 이상의 거대한 생산이 예고되어 있다. 그러나 이 중 실제 가동에 들어간 물량은 9.5% 미만에 불과하며, 양산 물량의 대다수는 여전히 소량의 액체 전해질이 포함된 과도기적 기술인 반고체 배터리에 집중되어 있는 실정이다.

일부 반고체 배터리는 이미 중국 시장을 중심으로 대량 생산이 시작되어 GWh 규모에 도달했으나, 순수 전고체 배터리는 기술적 난이도와 수율 문제로 인해 선도 기업들의 파일럿 라인에서 수백 MWh 규모의 시생산 단계에 머물러 있다. 이러한 상황은 전고체 배터리가 POC(Proof of Concept) 단계를 통과했음에도 불구하고, 대량 양산을 위한 계면 저항 제어, 공정 수율 확보, 그리고 킬로그램당 수백 달러에 달하는 고체 전해질 원가 절감이라는 거대한 장벽을 완전히 넘어서지는 못했음을 시사한다.

표 5. 전고체 배터리 시장 전망

구분	2030년 전망	2035년 전망	CAGR	비고
시장 규모(BASE)	약 122 GWh	약 493 GWh	+32.2%	파일럿 라인 가동 및 하이엔드 시장 선도입, 프리미엄 EV 및 특수 목적용 안착 가정
시장 침투율(BASE)	1.6%	6.1%		
시장 규모(BULL)	약 149 GWh	최대 950 GWh	+44.9%	황화물계 고체 전해질 양산 및 원가 절감 조기 달성
시장 침투율(BULL)	2~3%	10%		

자료: BNEF, SNE Research, KUVIC 리서치 1팀

GWh 규모의 순수 전고체 배터리 대량 상용화는 각국 기술 로드맵이 수렴하는 2027년 전후를 기점으로 본격화될 전망이다. 주요 글로벌 시장 조사 기관들의 데이터에 따르면, 전고체 배터리의 본격적인 시장 침투는 2030년을 변곡점으로 가속화될 것으로 예측된다. 분석에 따르면 글로벌 전고체 배터리 시장은 2030년 약 122GWh 규모에서 2035년 493GWh로 연평균 32% 이상의 가파른 성장세를 보일 것으로 전망된다. 동 기간 전체 글로벌 배터리 시장(EV 및 ESS 포함) 내에서 전고체 배터리가 차지하는 침투율은 1.6%에서 6.1%로 증가할 것으로 예상된다. BNEF와 SNE Research 등의 장기 전망을 살펴볼 경우, 전고체 배터리의 수율 안정화와 스케일업이 조기에 달성되는 낙관적 가정 하에서는 2035년경 전고체 배터리가 글로벌 수요의 최대 10%(약 950GWh 규모)까지 점유할 것으로 추정 중이다.

현재 높게 형성된 초기 생산 가격으로 인해, 상용화 초기 단계에서는 일반 대중용 차량보다는 엄격한 안전성과 극한의 성능이 요구되는 휴머노이드 로봇, 첨단 도심항공교통(UAM), 고고도 무인기, 그리고 프리미엄 슈퍼카 및 플래그십 전기 세단 등 고부가가치 하이엔드 시장부터 차례대로 도입될 것으로 판단한다. 이후 2030년을 넘어서며 규모의 경제가 실현됨과 동시에 원재료 공급망이 안정화되는 시점에 이르러서야 볼륨 모델로 그 적용 범위가 확장되리라 기대된다.

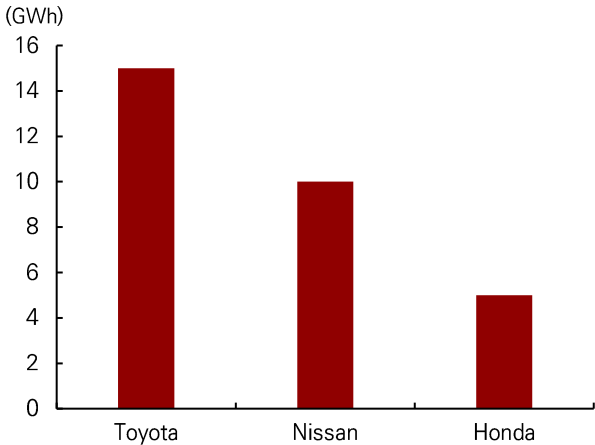
전고체 - 일본

전고체 배터리의 상용화 주도권을 쥐기 위한 글로벌 경쟁은 한국, 일본, 중국을 중심으로 격화되고 있다. 초기 기술적 장벽이 높고 양산 난이도가 극악인 기술일수록 선제적으로 IP 및 제조 공정을 확보한 국가와 기업이 향후 배터리 생태계 전체에서 독점적인 수혜를 누릴 가능성이 높기 때문이다. 미국과 유럽은 벤처 기업과 스타트업을 중심으로 고분자계 및 산화물계 차세대 소재 원천 기술 확보에 집중하고 있으나, 대규모 양산을 위한 제조 공정 기술과 공급망 구축 면에서는 한·중·일 동아시아 3국의 주도권이 압도적인 상황이다.

일본은 전고체 배터리의 패권을 갖기 위해 선제적인 투자를 진행하고 있다. 전고체 배터리 관련 전 세계 특허 점유율의 36%를 차지하며 강력한 원천 기술 우위를 바탕으로 시장을 선도하고 있는 중이다. 일본 경제산업성(METI)은 2030년까지 전고체 배터리 상용화를 국가 전략 목표로 명확히 설정했다. 정부는 Toyota, 소재 기업 Idemitsu Kosan, Mitsui Kinzoku, 그리고 TK Works 등이 연합한 컨소시엄 프로젝

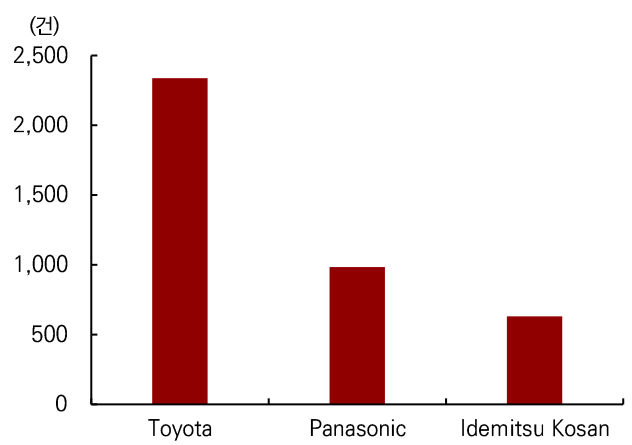
트에 1,000억 엔(약 9,000억원) 규모의 대규모 보조금을 현금 지원하며 초기 투자 리스크를 분담하고 있다. 또한 'Solid-NEXT'라는 민관 연계 플랫폼을 구축하여 기초 소재 합성부터 셀 제조, 차량 실증, 그리고 폐배터리 재활용까지 아우르는 전주기 밸류체인 실증 연구를 수행 중이다. 일본 정부의 궁극적인 목표는 자국 배터리 업체들의 글로벌 시장 점유율을 2025년 기준 약 10%에서 2030년 20%까지 2배 이상 회복하는 것이다.

그림 20. 일본 전고체 배터리 선도 기업 2030년 목표 Capa



자료: 각 사, 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

그림 21. 일본 주요 배터리 기업 전고체 특허 보유 건수



자료: WIPO 및 IP5 재구성, KUVIC 리서치 1팀

개별 기업 차원에서 Toyota는 전고체 배터리 사업을 전 세계에서 가장 적극적이다. Toyota는 2000년대 초반부터 관련 연구를 축적해 현재 황화물계 전해질 관련 특허만 2,337건 이상(세계 1위) 보유하며 거대한 기술적 해자를 구축하고 있다. 2026년 1월, Toyota는 Idemitsu Kosan과 협력하여 황화물계 고체 전해질 대량 양산을 위한 대규모 파일럿 시설 건설에 착수하며 공급망 내재화의 첫발을 내디뎠다. 동사의 로드맵에 따르면 2027~2028년경 자사의 프리미엄 브랜드 Lexus 전기차 모델에 배터리 합작사 PPEs(Prime Planet Energy&Solutions)와 개발한 황화물계 전고체 배터리를 우선 탑재할 목표이며, 이는 **1회 충전 시 1,200km 이상의 주행거리와 10분 내 완충**이라는 내연기관차를 능가하는 편의성을 제공할 것이다.

Nissan 역시 공격적인 양산 로드맵을 가동하고 있다. Nissan은 2025년 1월부터 자사 요코하마 공장에 황화물계 전고체 배터리 파일럿 라인을 구축하여 시가동을 시작했다. 이 파일럿 라인을 거쳐 2028년부터 전고체 배터리를 자사 신형 전기차에 본격 탑재할 계획이며, **생산 능력을 연 100MWh 규모로 즉각 확대하겠다고 발표했다**. 특히 Nissan은 제조 원가 절감을 위해 미국 배터리 스타트업 LiCAP의 건식 전극 공정을 전격 도입하여, 유독성 용매의 건조 과정을 없애고 2028년까지 배터리 제조 원가를 75달러/kWh 수준으로 획기적으로 낮추겠다는 공격적인 청사진을 제시하고 있다.

표 6. 일본 전고체 배터리 업체

국가	기업명	상용화 목표 연도	전략 및 성과	비고
일본	Toyota	2027~2028	2,000건 이상 특허 보유, 황화물계 고체 전해질 파일럿 구축(Idemitsu 협력)	METI 1,000억 엔 지원 등 정부 주도 컨소시엄
일본	Nissan	2028	요코하마 100MWh 파일럿 라인 가동, 건식 전극 공정 결합 원가 절감	2028년 75달러/kWh 원가 목표 달성 추진

자료: 각 사, KUVIC 리서치 1팀

K-배터리 3사의 마더 팩토리 구축 가속

국내 기업 역시 글로벌 M/S 확대를 위해 차세대 전고체 배터리 연구개발과 자본 투자를 활발하게 진행하고 있다. 한국 정부는 민·관 협력 체제를 바탕으로 셀 구현 및 공정 확보를 위한 투자에 적극적이다. 2023년 정부와 배터리 제조 3사(삼성SDI, LG에너지솔루션, SK온)는 차세대 배터리 상용화를 목표로 2030년까지 총 20조 원을 투자하는 메가 플랜을 발표했다. 나아가 기술 유출 방지와 최첨단 수출 혁신을 주도하기 위해 배터리 3사는 **전고체 배터리의 핵심 생산 공정 기술이 내재화된 '마더 팩토리'를 전원 국내에 구축하기로 결의**했다. 산업통상자원부 역시 이를 측면 지원하기 위해 2024년부터 2028년까지 차세대 배터리 핵심 원천 기술 R&D에 1,172억원을 배정하여 소재·부품·장비 생태계 강화에 나섰다.

표 7. 국내 전고체 배터리 업체 동향

국가	기업명	상용화 목표 연도	전략 및 성과	비고
한국	삼성SDI	2027(세계 최초 시도)	1.7조 유상증자 기반 3,541억 라인 투자, BMW i7 실증 테스트(Solid Power 협력)	최근 3년 특허 증가율 51.7% (세계 1위)
한국	LG에너지솔루션	2030	고분자-산화물 복합 및 황화물계 투트랙 전략	민관 20조 원 투자, 국내 마더 팩토리 구축
한국	SK온	2029	800Wh/L 에너지 밀도 목표, WIP 프리 공정으로 저항 감소 및 수명 향상	미래기술원 내 파일럿 플랜트 가동

자료: 각 사, KUVIC 리서치 1팀

국내 3사 중 가장 적극적이고 구체적인 행보로 전고체 시대를 준비하는 곳은 단연 삼성SDI다. 삼성SDI는 전고체 배터리를 회사의 명운을 건 미래 캐시카우로 낙점하고 2027년 세계 최초 양산을 목표로 개발에 박차를 가하고 있다. KIPO에서 보도했듯이 삼성SDI는 최근 3년간(2021~2023년) 전고체 배터리 글로벌 특허 출원 증가율에서 연평균 51.7%라는 경이로운 수치로 세계 1위를 기록했으며, 누적 특허 출원 건수에서도 세계 5위에 랭크되어 있다. 특히 2025년 하반기에만 황화물계 고체 전해질 및 셀 구조 설계와 관련된 핵심 특허를 177건 신규 출원하였으며, 이는 동 기간 글로벌 완성차 및 배터리 업체를 통틀어 압도적인 최다 건수에 해당한다.

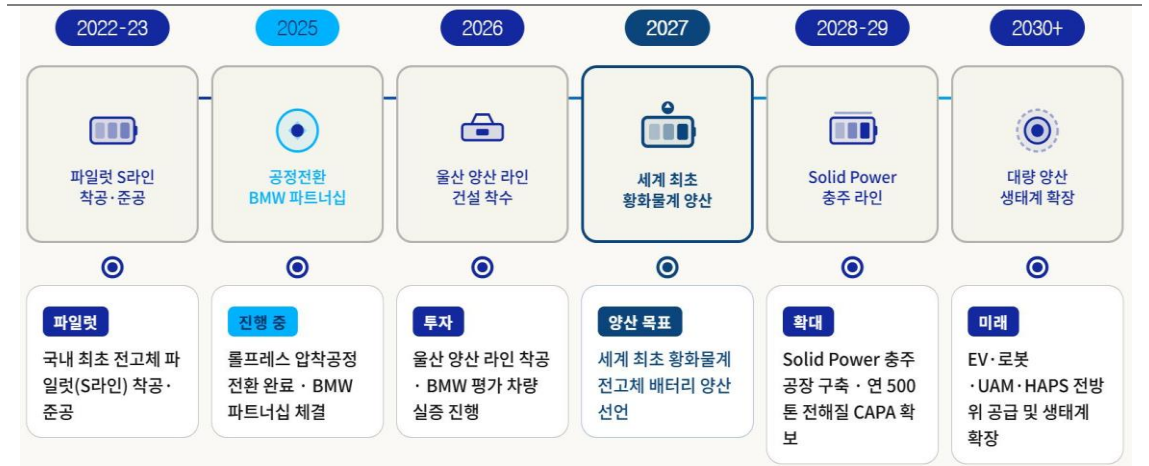
표 8. 2025년 삼성SDI 연구개발실적

연구과제	연구결과 및 기대효과	제품 등의 명칭 및 반영내용	비고
EV용 고용량/고에너지밀도 전지 개발 스택 저저항 구조설계 및 안전성 강화 공법 적용		전기자동차용 각형 리튬 2차전지	진행중
EV용 고용량/고에너지밀도 전지 개발 장거리 주행 차량을 위한 고에너지 밀도 및 급속충전 기술 개발		전기자동차용 각형 리튬 2차전지	완료
UPS용 고출력 ESS 모듈 개발	랙당 방전 파워 상향으로 5분 백업 시스템 개발	에너지저장장치용 각형 리튬 2차전지	진행중
xEV용 46파이 원형 전지 개발	원형 신 폼팩터 신공법 적용 및 급속충전, 장수명 성능 확보	전기자동차용 원형 리튬 2차전지	진행중
IT용 고안전성 파우치형 전지 개발	안전성 강화 공법 및 요소기술 개발	IT용 파우치형 리튬 2차전지	진행중
전동공구용 고출력 원형 전지 개발	고용량, 고출력 기술 확보로 하이엔드 전동공구 기술 경쟁력 우위	전동공구용 원형 리튬 2차전지	진행중
M-Mobility용 46파이 원형 셀 개발	원형 신 폼팩터 신공법 기술 개발	원형 리튬 2차전지	완료

자료: 삼성SDI 사업 보고서, KUVIC 리서치 1팀

삼성SDI는 특허 확보를 넘어 대규모 자금 조달을 통한 실질적인 양산 인프라 구축에도 착수했다. 2025년 5월 완료된 주주배정 유상증자를 통해 1조 7,282억원이라는 막대한 거금을 확보했으며, 이 중 3,541억원을 오롯이 국내 전고체 배터리 파일럿 및 양산 라인 투자를 위한 시설 자금으로 지정하여 공시했다. 이미 2023년부터 수원 미래기술연구소 내 'S-Line'이라는 황화물계 파일럿 라인을 구축하여 시 생산을 진행해온 삼성SDI는 이 자금을 바탕으로 2027년 본격 양산을 위한 팩토리 스케일업을 단행할 예정이다.

그림 22. 삼성SDI 전고체 배터리 로드맵



자료: 삼성SDI, KUVIC 리서치 1팀

협력 생태계 확장도 속도를 내고 있다. 2025년 10월, 삼성SDI는 오랜 파트너인 BMW 및 미국의 전고체 전문 기업 Solid Power와 전고체 배터리 차량 실증을 위한 삼각 업무 협약을 전격 체결했다. 이 협약을 통해 Solid Power의 고품질 황화물계 고체 전해질을 제공받아 삼성SDI가 독자적인 셀 제조 기술로 대형 파우치 및 각종 전고체 셀을 제작하고, 이를 BMW에 공급하여 i7 차량을 통한 철저한 품질 실증을 완수할 계획이다.

그림 23. LG에너지솔루션 전고체 배터리 로드맵



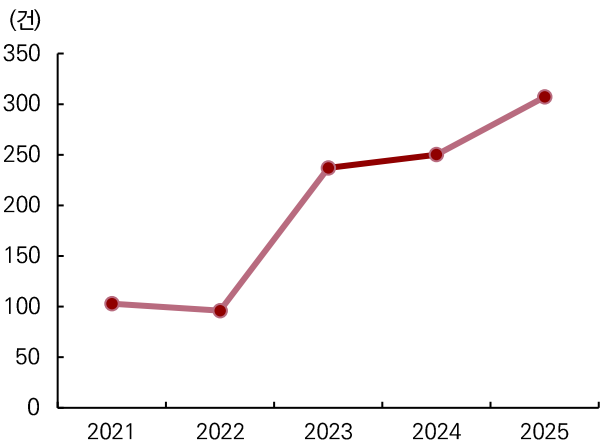
자료: LG에너지솔루션, KUVIC 리서치 1팀

LG에너지솔루션은 황화물계 전고체 배터리뿐만 아니라, 특정 수요를 위한 고분자 및 산화물 복합계 전고체 배터리 개발을 병행하는 투트랙 전략을 구사 중이다. 2026년 중 차세대 배터리 파일럿 라인을 오창 공장에 본격 가동할 전망이다. 특히 전고체 배터리 원가의 핵심인 '수분 제어'와 '에너지 밀도 하락' 문제를 타개하기 위해 건식 전극 공정을 선제적으로 도입하여 무음극 구조까지 구현한다는 기술적 목표를 구체화하고 있다.

SK온은 대전 유성구 미래기술원 내에 4,628㎡(약 1,400평) 규모의 전고체 배터리 전용 파일럿 플랜트를 준공하고, 2029년까지 에너지 밀도 800Wh/L 수준의 전고체 배터리를 상용화하겠다는 목표를 밝혔다. SK온은 국내 최초로 전극 공정에 자체 개발한 '온간응압프레스(WIP) 프리' 기술을 적용했다. 이는 기존 전고체 공정에서 필수적이었던 비효율적인 봉지 압박 공정을 생략하고 일반 프레스 공정을 최적화하여 결합함으로써, 생산성은 극대화하면서도 계면 저항을 획기적으로 낮춰 수명 지표를 대폭 향상시킨 혁신적인 공법으로 평가받는다.

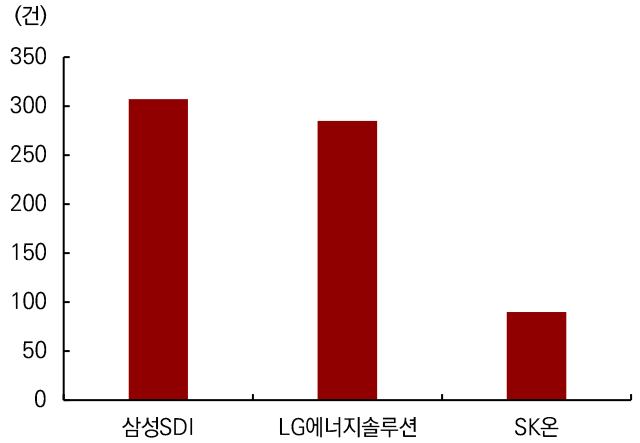
현대자동차그룹 역시 단순한 수요자를 넘어 배터리 내재화에 속도를 내고 있다. 2030년 자사 양산 전기차 모델에 전고체 배터리를 전면 탑재하는 것을 목표로, 2025년 3월 자체적인 전고체 배터리 파일럿 라인 구축 및 시생산을 완료했다. 동시에 미국의 SES AI, 팩토리얼 에너지(Factorial Energy) 등 전고체 벤처 기업들과의 지분 투자 및 공동 연구 협력을 강화하며 다각적인 공급망을 뚫고 있다.

그림 24. 연도별 삼성SDI 신규 출원 추이 추정



자료: KIPO, WIPO 및 IP5 재구성, Knowmade, KUVIC 리서치 1팀

그림 25. 국내 배터리 3사 2025 신규 특허 출원 건수 추정



자료: WIPO 및 IP5 재구성, KUVIC 리서치 1팀

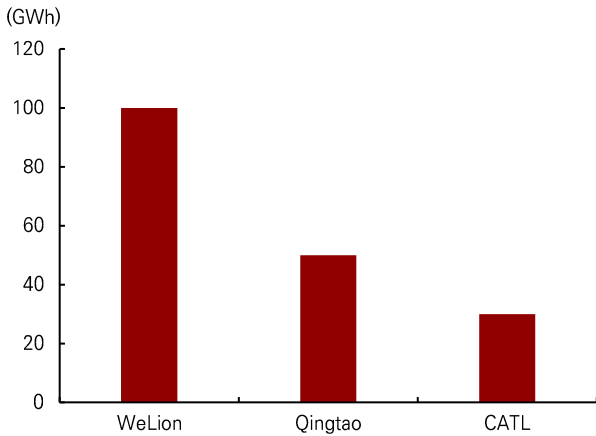
전고체 - 중국

세계 최대의 EV 내수 시장과 원자재 공급망을 장악한 중국 완성차 및 배터리 업체들의 전고체 분야 약진은 기존 선도국들을 강력하게 위협하고 있다. 전고체 배터리 핵심 기술에 대한 전 세계 특허 출원 20,798건 중 중국 국적의 기관이 7,640건을 출원하며 전체의 37%라는 압도적인 점유율 1위를 기록하고 있다. 특히 2025년 4분기라는 짧은 기간에만 무려 1,305건의 신규 특허를 쏟아내었다. 2위인 일본이 동 기간 275건을 출원한 것을 감안하면, 중국이 단순히 제조 능력뿐만 아니라 차세대 배터리 IP 확보 측면에서도 확고한 지위를 점령해 나가고 있음을 알 수 있다.

2026년 1월, 중국 최고급 플래그십 자동차 브랜드이자 국영 기업인 FAW(제일자동차)는 완전한 전고체 배터리 팩을 탑재한 전기 SUV 'Hongqi Tiangong(홍치 텐궁) 06' 시제품을 세계 최초로 시연에 성공했다. Hongqi 브랜드는 그동안 리튬 이온 배터리에 의존해왔으나, FAW 연구진이 470일간의 집중 연구 끝에 개발한 66Ah 용량의 황화물계 전고체 셀을 장착하여 섭씨 200도의 극단적인 열 남용 테스트를 폭발 없이 통과하는 경이적인 안전성을 입증했다. FAW는 2027년부터 해당 전고체 기술을 자사의 최고급 세단과 SUV 모델에 제한적으로 상용 탑재할 것이라는 명확한 타임라인을 밝혔다.

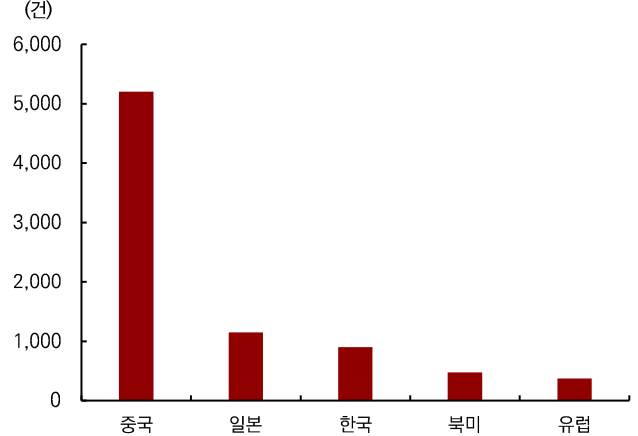
신흥 완성차 업체인 Chery 또한 혁신을 예고했다. Chery는 2026년 자체 브랜드 'Rhino S'를 통해 에너지 밀도가 600Wh/kg에 달하는 산화물 기반 전고체 배터리를 'Liefeng' 슈팅 브레이크 모델에 시범 탑재하여 영하 30도의 극한 환경에서도 최대 1,500km 주행이 가능하다는 놀라운 성능 지표를 공개했다. Chery는 이러한 성공적인 검증을 바탕으로 2027년부터 대량 양산을 시작하겠다고 선언하며 기존 글로벌 업체들의 로드맵을 위협하고 있다. Dongfeng(동펑자동차) 역시 이미 연 0.2GWh 규모의 전고체 파일럿 생산 라인을 가동 중이며, 2026년 9월 극한의 저온 테스트를 마친 전고체 배터리 탑재 전기차 양산에 돌입한다.

그림 26. 중국 전고체 배터리 선도 기업 목표 Capa



자료: 각 사, 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

그림 27. 2025 국가별 전고체 배터리 관련 신규 특허 출원 추정



자료: WIPO 및 IP5 재구성, KUVIC 리서치 1팀

중국 배터리 셀 업체들의 행보 역시 매섭다. 글로벌 점유율 1위인 CATL과 2위 BYD는 2027년 소규모 생산을 거쳐 2030년 대량 양산 단계에 진입하겠다는 공식 로드맵을 공개했다. 특히 CATL은 2024년 전고체 배터리 전담 연구개발팀을 1,000명 이상으로 대폭 증원하며 기초 R&D 투자를 천문학적으로 확대하고 있다. Gotion은 2026년 내에 2GWh 규모라는 실질적인 상업용 양산 라인을 선제적으로 가동할 계획이다.

통신 장비와 스마트폰 강자를 넘어 EV 생태계 전체를 노리는 Huawei의 진입은 글로벌 배터리 산업에 큰 파장을 주고 있다. Huawei는 2025년 중순, 기존 황화물계 전해질에 질소를 도핑 하여 리튬 메탈 음극과의 계면 안정성 문제를 획기적으로 개선한 전고체 배터리 원천 특허를 공식 출원했다. 이 특허 문헌에 명시된 사양에 따르면, 에너지 밀도는 400~500Wh/kg에 달하며, 단 5분 초급속 충전만으로 CLTC 기준 최대 3,000km(미국 EPA 등 엄격한 기준 적용 시에도 2,000km 이상)의 경이로운 주행이 가능하다.

표 9. 중국 전고체 배터리 업체

국가	기업명	상용화 목표 연도	전략 및 성과	비고
중국	FAW	2027	66Ah 전고체 셀 탑재 'Tiangong 06' 롤오프, 200°C 극한 열 남용 테스트 통과	0.5% 질량 감소를 기준 부합 순수 전고체 목표
중국	Huawei	미정	질소 도핑 전해질 특허 출원	5분 충전, 주행거리 3,000km 구현 제시
중국	Chery	2027	에너지 밀도 600Wh/kg 달성	

자료: 각 사, KUVIC 리서치 1팀

[표 10]는 국내외 주요 전고체 배터리 셀 제조사들의 상용화 로드맵을 종합한 것이다. 이를 통해 국내 셀 업체뿐만 아니라 중국의 CATL과 BYD, 일본의 Honda 등 글로벌 선도 기업들이 전고체 배터리 셀 양산 및 완성차 탑재 기술 확보에 박차를 가하고 있음을 확인할 수 있다. 특히 중국 기업들의 공격적인 행보가 돋보이는데, CATL은 이미 5GWh 규모의 전고체 배터리 생산 라인 가동을 시작하며 2030년 대 규모 상용화를 향한 청사진을 제시했다. 또한, BYD는 2024년 전고체 배터리 시제품 생산에 성공함으로써 차세대 배터리 상용화를 본격적으로 가시화하고 있다.

표 10. 글로벌 전고체 배터리 셀 기업 로드맵

기업(국가)	전해질 계열	파일럿(시생산) 현황	대량 양산 목표
SK온(한국)	황화물계·산화물-고분자계	대전·테네시 파일럿 공장 운영, 황화물계 전고체 공개	2030~31년 고객 납품 목표 현대차 차세대 플랫폼과 연계
CATL(중국)	황화물계 (반고체 병행)	2025년 허페이 5GWh 전고체 라인 상업 가동, 20Ah 황화물계 풀셀 샘플 시생산	2030년 이전 대규모 전고체 적용 목표
BYD(중국)	황화물계	2024년 60Ah 전고체 배터리 롤아웃, 충칭 20GWh 전고체 라인(2026년 가동 예정)	2030년 대규모 양산 에너지밀도 400Wh/kg, 주행 1,200km 목표
Honda(일본)	황화물계	2024년 봄 사쿠라(柵木)에 데모 라인 완공, 롤프레스 공법 적용, 투자비 약 430억 엔	2040년까지 글로벌 신차 100% BEV·FCEV 전환 연계
Solid Power(미국)	황화물계	2023년 BMW A-샘플 공급, 2025년 BMW i7 검증 완료	2028년 총주 공장 약 500톤 규모 합작 →연 80만대 분량 목표

자료: 각 사, KUVIC 리서치 1팀

나트륨 배터리의 등장

나트륨 이온 배터리(Na-ion Battery)는 리튬 대신 나트륨(Na) 이온이 양극과 음극 사이를 오가며 에너지를 저장·방출하는 시스템으로, 리튬 이온 배터리와 작동 원리가 동일하다. 1970년대에 리튬 이온 배터리와 함께 연구가 시작되었으나, 상대적으로 낮은 에너지 밀도와 짧은 수명 탓에 상용화가 보류되었다. 그러나 2022년 리튬 등 핵심 원자재 가격의 급등과 공급망 리스크가 부각되면서, 나트륨이 지닌 원자재 우위성이 재조명되며 본격적인 상업화 단계에 진입하고 있다.

나트륨 이온 배터리가 2020년대 들어 다시 주목받게 된 핵심 동인은 ① 리튬 원자재 가격의 높은 변동성, ② 선도 기업(CATL 등)의 기술적 임계점 돌파, ③ ESS(에너지저장장치) 시장의 폭발적 성장에 있다. 2022년 리튬 가격이 전년 대비 약 600% 폭등함과 동시에 글로벌 배터리 팩 평균 가격이 \$132/kWh에서 \$152/kWh로 반등하는 사태가 발생했고, 이는 배터리 업계에 공급망 다변화의 필요성을 각인시켰다. 나트륨은 지각 내 매장량이 2.6%로 리튬(0.002%) 대비 약 1,300배 풍부하며, 중국이나 남미 등 특정 국가에 편중되지 않은 독립적인 공급망 구축이 가능하다. 또한, 값비싼 코발트나 니켈 사용을 배제할 수 있어 핵심 광물 리스크에서 자유롭다는 구조적 장점이 크게 부각되며 전 세계 배터리 산업계의 이목을 집중시키고 있다.

나트륨 이온 배터리의 상용화 가능성은 2021년 7월, 중국 CATL이 세계 최초로 1세대 나트륨 이온 배터리(160Wh/kg)를 공개하며 본격적으로 대두되었다. 이어 2025년 4월, CATL은 나트륨 배터리 전용 브랜드 Naxtra를 론칭하며 175Wh/kg의 에너지 밀도, 5C 급속 충전, 10,000회 수명 사이클이라는 획기적인 스펙을 선보였다. 이는 현재 중저가 시장의 주류인 LFP 배터리(약 185Wh/kg)의 95%에 달하는 수준으로, 나트륨 기술이 상용화의 임계점을 넘어섰음을 시사한다. 특히 전기차와 달리 부피당 에너지 밀도보다 kWh당 사이클 비용이 절대적으로 중요한 ESS 시장에서 나트륨 이온 배터리의 긴 수명과 낮은 소재 원가가 강력한 무기로 부상하고 있다.

현재 나트륨 이온 배터리 밸류체인은 중국 기업들이 주도하고 있다. CATL은 창안자동차(Changan) 모델에 나트륨 배터리를 탑재하며 EV 양산 적용을 앞두고 있으며, BYD와 HiNa 역시 대규모 공장 가동 및 상용차-ESS용 하이브리드 팩 기술을 연이어 출시하고 있다.

표 11. 나트륨 이온 배터리 관련 주요 기업 현황

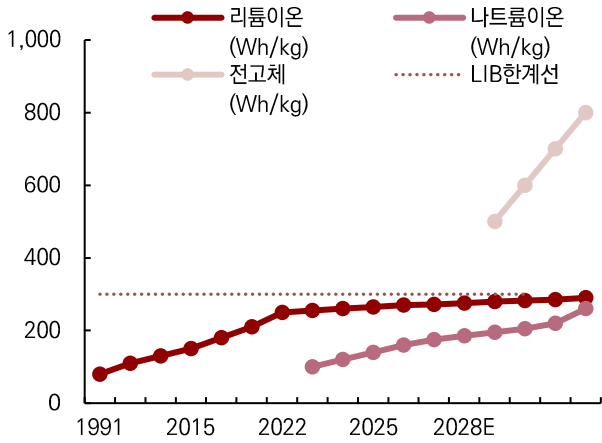
기업(국가)	주요 내용	현황
CATL(중국)	2021년 1세대 발표 → 2025년 Naxtra (175Wh/kg) 론칭 2026년 Changan 차량 탑재 양산 예정	세계 최고 스펙, EV 양산 직전 단계.
BYD(중국)	2024년 초 30GWh/년 Na-ion 공장 착공 Freevoy Na+Li 하이브리드 팩 30개 차종 적용	대규모 양산 투자 단행. 하이브리드 전략.
HiNa(중국)	2022년 12월 세계 최초 1GWh 공장 가동 상용차-ESS 특화	중국 선점. 상용차-ESS 공급 중.
Natron Energy(미국)	2024년 4월 Michigan 공장 양산 개시 (\$40M) 데이터센터 ESS 특화	2025년 9월 자금난으로 운영 중단 → 북미 상용화 어려움.

자료: CATL Naxtra; IDTechEx; BloombergNEF, KUVIC 리서치 1팀

나트륨 이온 배터리의 가장 큰 무기는 원가 경제성과 열적 안정성이다. 나트륨 이온의 장기적인 셀 원가는 약 \$40/kWh 수준까지 하락할 것으로 전망되며, 이는 현행 LFP 배터리(약 \$70/kWh) 대비 소재 원가를 20~30% 이상 절감할 수 있는 수치다. 나아가 리튬 이온 대비 화재 발생 가능성이 현저히 낮고, 1회 충전 기준 약 27년에 달하는 긴 수명을 지녀 시스템 안정성이 매우 뛰어나다.

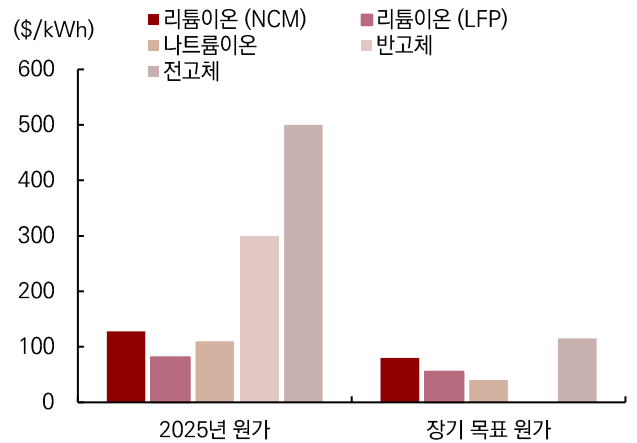
그러나 본격적인 대중화를 위해 극복해야 할 명확한 한계점도 존재한다. 첫째, CATL의 최신 스펙(175Wh/kg) 기준으로도 여전히 LFP의 95% 수준에 그치는 **에너지 밀도의 한계**다. 둘째, 이론적인 소재 원가는 저렴하지만 현재의 양산 단가는 규모의 경제 미확보로 인해 오히려 LFP 대비 약 30%가량 비싸게 형성되어 있다. 셋째, HiNa 등 일부 기업이 생산을 가동 중이나, GWh 이상의 대규모 양산 라인에서 **안정적인 수율이 완벽히 검증되지 않았다는 점**도 리스크 요인이다.

그림 28. 배터리 별 에너지 밀도 추이



자료: RSC Energy, Nature, CATL Naxtra, KUVIC 리서치 1팀

그림 29. 배터리 별 배터리 원가 비교



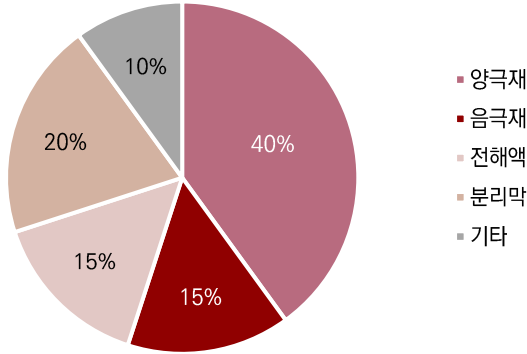
자료: BNEF, EnergyTrend, KUVIC 리서치 1팀

[그림 28]와 [그림 29]은 리튬 이온, 나트륨 이온, 전고체 배터리의 에너지 밀도(Wh/kg) 추이와 팩 원가(\$/kWh)를 비교한 그래프다. 에너지 밀도 측면에서, 나트륨 이온의 물리적 한계선(~260Wh/kg)은 리튬 이온의 한계선(~300Wh/kg)보다 낮게 형성되어 있다. 반면 리튬 이온 배터리는 수십 년간 밀도를 누적 향상시켜 왔음에도 불구하고 액체 전해질의 특성상 300Wh/kg 이상의 구간에서는 개선 속도가 정체 되는 한계를 보인다. 이를 돌파할 대안인 전고체 배터리는 리튬 메탈 음극 채택 등을 통해 에너지 밀도를 500Wh/kg 이상으로 수직 상승시킬 것으로 기대된다.

기술별 원가를 살펴보면, 현재 전고체 배터리의 추정 가격(\$400~800/kWh)은 LFP(\$81/kWh) 대비 5~10배에 달할 만큼 매우 높다. 그러나 차세대 배터리의 기술 성숙도가 올라감에 따라, 장기적으로 전고체 배터리는 공정 혁신과 수율 개선을 바탕으로 원가가 급격히 하락할 것이며, 반대로 나트륨 이온 배터리는 규모의 경제를 구축하며 초저가 시장(LFP 이하)의 새로운 표준으로 자리 잡을 것으로 전망된다. 반고체 배터리의 가격은 2025년 중국 NIO 반고체 배터리 팩 기준으로 약 \$150/kWh이며, 장기 목표 원가는 전고체 배터리의 장기적 목표 원가인 \$115/kWh보다는 다소 낮을 것으로 추정된다.

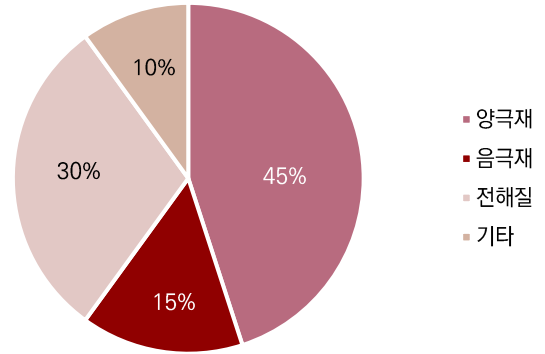
이차전지 소재

그림 30. 리튬 이온 배터리 원가 비중



자료: KUVIC 리서치 1팀

그림 31. 전고체 배터리 원가 비중



자료: KUVIC 리서치 1팀

전해질

액체 전해질

현재 상용 리튬이온 배터리의 92% 이상이 액체 전해질을 사용하고 있을 만큼, 전해질 중에서 액체 전해질의 역할이 크다. 액체 전해질은 리튬 이온 배터리의 양극과 음극 사이에서 리튬 이온을 물리적으로 수송하는 이온 전도 매개체다. 배터리의 ‘혈액’에 비유할 수 있으며, 양극에서 방출된 리튬 이온이 음극으로 이동하는 통로 역할을 한다. 전해질이 없으면 이온 이동이 불가능해 배터리 자체가 작동하지 않는다. 액체 전해질은 실온에서의 이온 전도도는 8~12 mS/cm 수준으로, 이는 전고체 배터리 후보 소재들(황화물계 ~10 mS/cm, 산화물계 1~5 mS/cm)과 유사하거나 우위에 있다.

표 12. 액체 전해질 구성 성분

구분	대표 물질	역할 및 특성
리튬염	LiPF ₆ (육불화인산리튬)	Li 이온 공급원. 유기 용매에 용해되어 이온 전도도 제공. 흑연 음극 표면에 안정적 SEI막 형성.
유기 용매	에틸렌카보네이트 (EC) 디메틸카보네이트 (DMC) 에틸메틸카보네이트 (EMC) 혼합 사용	Li 이동 가능하게 하는 매질. EC는 SEI 형성에 필수적이거나 끓는점이 높아 DMC·EMC와 혼합 사용. 혼합비율이 성능·안전성에 영향.
첨가제	VC (비닐렌카보네이트) FEC (플루오로에틸렌카보네이트) LiDFOB, LiFSI 등	SEI막 품질 개선, 과충전 방지, 난연성 부여, 저온 성능 향상 등 기능성 강화. 소량이지만 수명·안전성에 결정적 영향. 첨가제 기술로 전해질 차별화.

자료: Argonne National Lab, KUVIC 리서치 1팀

리튬 이온 배터리 원가의 약 15%를 차지하는 액체 전해액은 LiPF₆(육불화인산리튬) 리튬염 비중이 약 85%로 압도적이거나, 열적 안정성 저하 및 불화수소 발생 단점을 보완하기 위해 LiFSI(F 전해질) 채택이 하이엔드 시장을 중심으로 확대되고 있다. 2025년 기준 글로벌 전기차용 전해액 사용량은 147.5만 톤으로 전년 대비 37.3% 성장했다. 중국의 Tinci(34.3만 톤, 점유율 1위), Capchem(22.4만 톤), BYD(21.5만 톤), GTHR(10만 톤) 등 상위 4개사를 포함한 중국 업체의 점유율이 90.4%에 달하며 압도적인 독점 구도를 형성하고 있다.

표 13. 액체 및 고체 전해질(황화물/산화물/고분자계) 비교

구분	액체 전해질	황화물계 고체 전해질	산화물계 고체 전해질	고분자계 고체 전해질
구성	유기 용매 + 리튬염	아지르다이트(Li6PS5X) 등	LLZO, LATP 등(세라믹)	PEO(폴리에틸렌옥사이드) 등
이온 전도도	약 8~12 mS/cm	액체 수준에 근접	낮음(상온 전도도 불리)	매우 낮음(60°C 이상 고온 가열 필요)
특성	액체	찰흙형(입자 변형이 쉬움)	매우 단단함(세라믹)	유연함(젤/필름형)
전극 계면 저항	매우 낮음	낮음(무른 특성으로 밀착성 우수)	매우 높음	낮음
안전성	매우 낮음(폭발 위험)	높음(불연성이나 수분 반응 주의)	매우 높음(절대 불연성)	보통
한계	화재/열폭주 위험	수분 노출 시 맹독성 황화수소(H2S) 가스 발생	전극 밀착을 위해 1,000°C 이상 고온 소결 공정 필수	저전압 한계(고전압 양극재 적용 불가), 상온 작동 어려움
공정 및 원가	기존 인프라 사용 / 원가 매우 낮음	초고순도 드라이룸 필수 / 원가 매우 높음	고온 열처리 장비 필요 / 원가 높음	기존 공정 활용 가능 / 원가 비교적 낮음
주 사용처	IT기기, EV, ESS 등	휴머노이드 로봇, 방산용 드론 등	초소형 IT/웨어러블, IoT 등	버스 등
선도 기업	BYD, 엔캠 등	Toyota, 삼성SDI, SK온 등	Murata 등	볼로레, Blue Solutions 등

자료: 각 사, KUVIC 리서치 1팀

반면, 차세대 전고체 배터리의 핵심인 **고체 전해질**은 리튬 이온의 이동 통로 역할을 고체 격자가 대신한다. 입자 크기가 1 μ m 이하의 초소립경으로 제조되어야 전극과의 계면 접촉 면적을 극대화하고 저항을 낮출 수 있다. 글로벌 시장 점유율의 37%(아시아 53%)를 차지하며 **가장 상용화에 근접한 소재는 황화물계**다.

황화물계 고체 전해질

현재 전 세계적으로 연구되는 전해질(산화물, 고분자, 황화물) 중 상온에서 액체 전해질과 맞먹는 10⁻³ S/cm 이상의 우수한 이온 전도도를 보이며, 입자 간 접촉을 위한 기계적 유연성을 갖추어 EV용 상용화에 가장 적합한 것으로 판명된 소재다. 황화물계 전해질 내에서도 고가의 게르마늄(Ge) 등 희토류를 사용하는 LGPS 구조 대비, 생산 단가를 크게 낮출 수 있는 아지르다이트(Li6PS5Cl 등) 구조가 상업화 가능성이 가장 높게 평가받아 Toyota, 삼성SDI 등 선도 기업 대다수가 주력으로 삼고 있다.

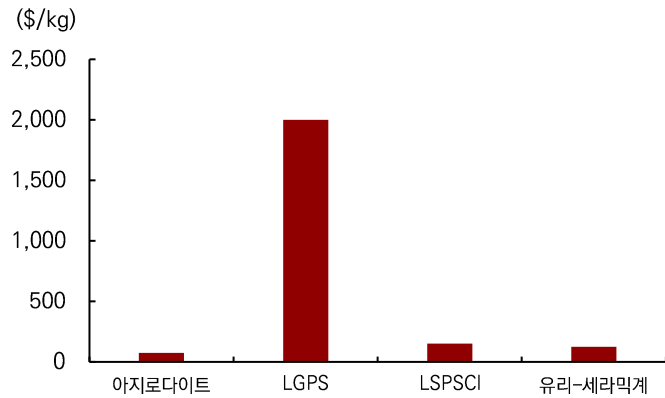
표 14. 황화물계 고체 전해질 조성별 비교

구분	아지르다이트(Li6PS5X)	LGPS(Li10GeP2S12)	LSPSCI(Si-치환 LGPS계)	유리-세라믹계(Li2S-P2S5)
핵심 재료	리튬, 인, 황, 할로겐	리튬, 게르마늄(Ge), 인, 황	리튬, 실리콘(Si), 인, 황	리튬, 인, 황
상온 이온 전도도	1~12 mS/cm	12~25 mS/cm	20~25 mS/cm	1~5 mS/cm
주요 합성 공정	고상법, 액상법	고상 합성법	고상 합성법	기계적 밀링
열처리 공정 온도	150~200°C(액상법), 550°C(고상법)	500~600°C	450~500°C	상온(밀링) + 200~300°C(결정화)
공정 소요 시간	연속 공정 가능(액상법), 10~15시간	8~12시간	8~10시간	20~50시간 이상(장시간 밀링)

자료: KUVIC 리서치 1팀

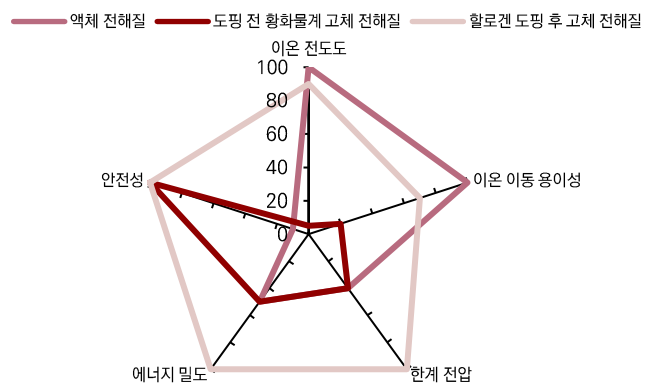
아지르다이트의 핵심 원천 특허는 2008년 독일 지젠대학교(University of Siegen) 연구진이 출원하였으며, 국제 특허 보호 기간 20년이 적용되어 **2028년경 만료될 예정**이다. 이 원천 특허의 만료는 다수의 소재 업체들이 황화물계 전해질을 제약 없이 양산하게 되는 강력한 기술적 변곡점이 될 것이다.

그림 32. 황화물계 고체 전해질 조성별 추정 원가



자료: KUVIC 리서치 1팀

그림 33. 할로겐 도핑 효과



자료: Nature, KUVIC 리서치 1팀

또한 할로겐 도핑을 통해 이온의 호핑 에너지 장벽을 낮춰 상온 이온 전도도를 액체 수준으로 끌어올렸다. 황화물계 중 상용화 기대감이 가장 높은 아지로다이트(Li6PS5Cl) 구조는 본래 약 1~2 mS/cm 수준의 전도도를 갖는다. 그러나 여기에 염소(Cl), 브롬(Br), 요오드(I) 등 할로겐 원소를 이중 도핑하거나 알루미늄(Al) 등을 치환할 경우, 결정 격자 내 리튬 이온의 확산 경로가 넓어지고 활성화 에너지가 0.22 eV에서 0.09 eV 수준으로 급감한다. 그 결과 이온 전도도가 기존 대비 최대 4.7배 증가한 7.0 ~ 10.0 mS/cm 이상까지 급증하여 액체 전해액과 맞먹는 초고속 충전을 가능하게 한다. 이는 에너지 밀도 상승의 핵심 기전 중 하나로 작용 중이다.

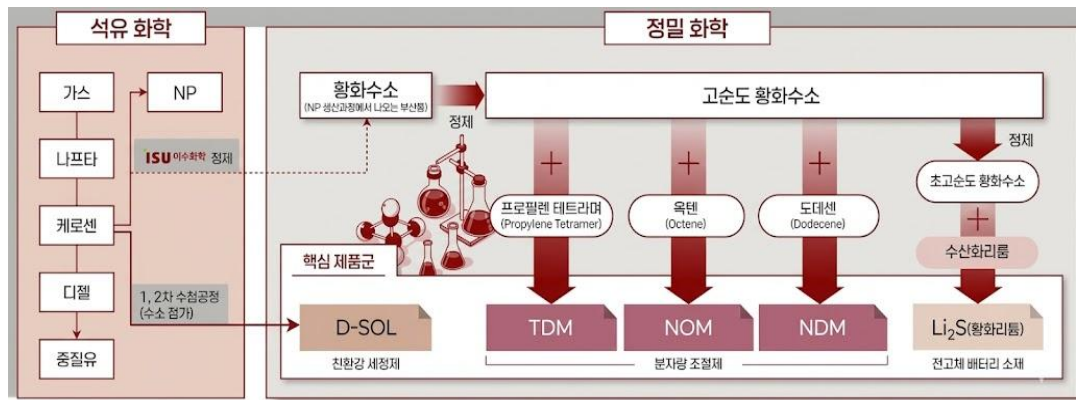
표 15. 액체 전해질 및 고체 전해질(도핑 전/후) 주요 지표 비교

구분	액체 전해질(기존 리튬 이온)	도핑 전 고체 전해질(Li7PS6 등)	도핑 후 고체 전해질(Li6PS5Cl 등)
이온 전도도(상온)	약 10 mS/cm	0.01~0.1 mS/cm	1.0~12.0 mS/cm
활성화 에너지	매우 낮음(0.1eV 이하)	0.4~0.5eV 이상	0.2~0.3eV
한계 전압	4.2~4.3V	4.2V 수준	4.5~5.0V 이상
에너지 밀도	250~300Wh/kg	액체 전해질과 비슷한 수준	400~500Wh/kg 이상
안전성	낮음	높음	높음

자료: Nature, KUVIC 리서치 1팀

황화리튬(Li2S)

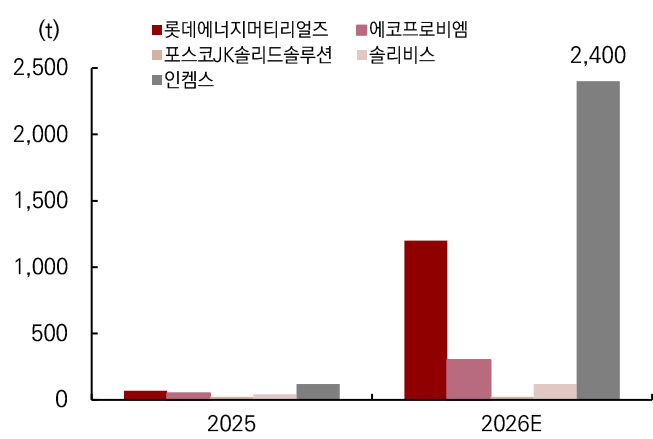
그림 34. 황화리튬 제조 공정



자료: 이수스페셜티케미컬, KUVIC 리서치 1팀

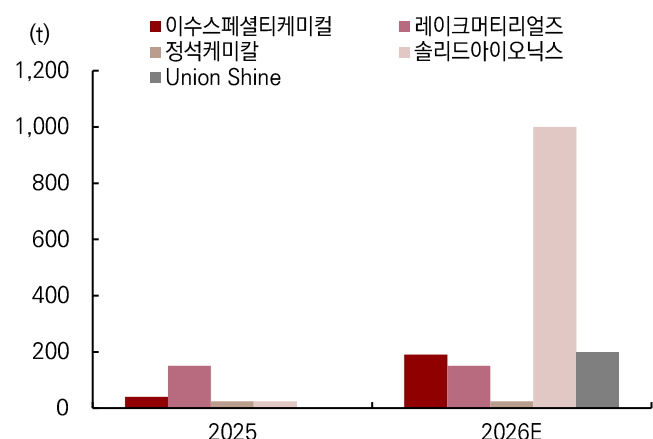
황화물계 고체 전해질을 합성하기 위해 반드시 필요한 절대적인 핵심 원료가 바로 **황화리튬(Li2S)**이다. 아지로다이트 합성에 필수적인 황화리튬은 황화물계 고체 전해질 원가의 40% 이상을 차지한다. 황화리튬은 수분에 극히 취약하여 공기 중에 노출되면 즉시 독성 가스를 뿜으며 분해되므로, 진공 또는 아르곤 불활성 환경에서의 고난도 합성 공정이 필수적이다. 수분(노점 -10도 이하 드라이룸 필수)과 산소를 철저히 차단해야 하는 고난도 공정으로 인해 킬로그램당 약 700달러라는 극도로 높은 단가가 형성되어 있다. 이로 인해 공급 가능한 화학 기업이 극소수에 불과하며, 높은 합성 단가가 전체 전고체 배터리 원가 하락을 가로막는 가장 큰 장벽으로 작용하고 있다. 전고체 배터리 수요 확대로 황화리튬 수요는 2027년 1,400톤에서 2035년 4만 톤으로 폭증할 전망이다. 2027년 국내 주요 업체(이수스페셜티케미컬, 정석케미칼 등)의 생산 능력은 약 800톤에 불과해 극심한 병목이 예상된다. 다시 말해, **고순도 황화리튬의 대량 저가 양산 공정(Ex. 액상 합성법 등)을 독자적으로 확보하는 소재 기업은 향후 배터리 밸류체인 내에서 막강한 가격 결정력을 지니게 될 것이다.**

그림 35. 황화물계 고체 전해질 기업 CAPA



자료: 각 사, 언론보도 종합, KUVIC 리서치 1팀

그림 36. 황화리튬 기업 CAPA



자료: 각 사, 언론보도 종합, KUVIC 리서치 1팀

[그림 35]은 전고체 배터리 필수 소재인 황화물계 고체 전해질의 주요 양산 업체별 생산 능력 전망을 나타낸다. 국내 주요 4사(롯데에너지머티리얼즈, 에코프로비엠, 포스코JK솔리드솔루션, 솔리비스)의 합산 CAPA는 2025년 기준 약 150톤 수준에 머물러 있으나, 2026년을 기점으로 대규모 증설 사이클에 진입한다.

특히 롯데에너지머티리얼즈가 2026년 기준 연간 1,000톤에 달하는 선제적인 투자를 진행하여 시장 주도권을 쥔 것으로 보이며, 에코프로비엠, 포스코JK솔리드솔루션, 솔리비스가 각각 300톤, 24톤, 120톤 내외의 설비를 구축하며 그 뒤를 이을 전망이다. 이는 삼성SDI의 2027년 전고체 배터리 상용화 로드맵에 발맞추어 국내 밸류체인이 집중적으로 구축되고 있음을 방증한다.

반면, 고체 전해질의 핵심 원료인 황화리튬의 CAPA 증설은 상대적으로 그 규모가 절대적으로 작고 성장 속도 또한 완만하여 전체 공급망의 병목 현상을 유발할 가능성이 높다. [그림 36]에서 보듯, 2025년 기준 주요 공급사는 이수스페셜티케미컬(약 40톤), 레이크머티리얼즈(약 150톤), 정석케미칼(약 24톤) 등이 주축을 이루고 있다.

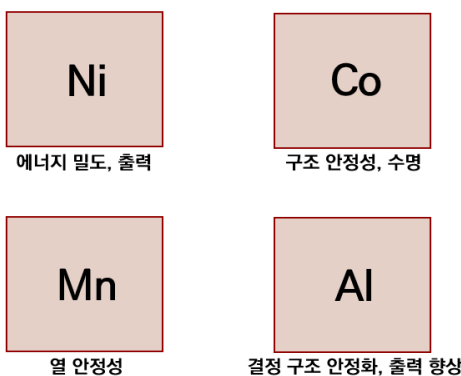
2026년 연내 이수스페셜티케미컬이 약 190톤까지 설비를 확장하며 국내 최대 공급사로 부상하겠으나, 2027년 예상되는 황화리튬 전체 수요(약 1,400톤)와 비교할 때 턱없이 부족한 수치로, 향후 극심한 수급 불일치가 예견된다. 다만 이수스페셜티케미컬은 2025년 이후 CAPA를 매년 150톤, 500톤씩 증설하여 이에 따라 생산량도 기하급수적으로 늘어날 전망이다. 결과적으로 조기에 황화리튬 양산 수율과 CAPA를 확보한 극소수의 소재 업체가 향후 시장을 선점하며 가격 결정력을 행사할 것으로 보인다.

양극재

양극재는 배터리 원가의 약 40%를 차지하며, 에너지 용량과 전압을 결정짓는다. 글로벌 시장은 하이켈 삼·사원계(NCM/NCA/NCMA)와 가격 경쟁력을 앞세운 LFP(리튬인산철)로 양분되어 있다. SNE Research에 따르면 2025년 글로벌 전기차용 양극재 사용량은 약 264.9만 톤(+35.3% YoY)을 기록했다. 이 중 LFP 비중은 중국 내수와 북미 ESS(에너지저장장치) 시장 확대를 발판 삼아 중량 기준 약 54.3% 이상을 상회하고 있다.

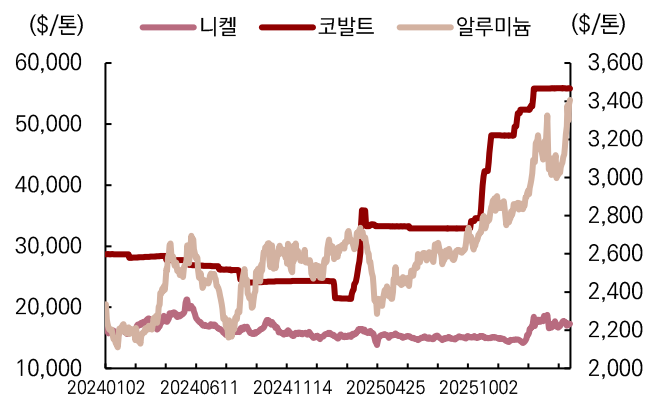
전구체

그림 37. 전구체 주요 소재별 역할



자료: KUVIC 리서치 1팀

그림 38. 전구체 주요 소재별 가격 동향(2024~2026)



자료: KOMIS, KUVIC 리서치 1팀

양극재 원가의 70%를 차지하는 전구체 판가는 니켈, 코발트 등 핵심 메탈 가격에 절대적으로 연동된다. 니켈은 글로벌 공급량의 60%가량을 쥐고 있는 인도네시아 정부가 2026년 생산 쿼터(RKAB)를 전년 대비 대폭 삭감(PT Weda Bay 산출량 제한 등)함에 따라, 지속적인 하락세를 보이던 LME 니켈 가격이 단숨에 톤당 17,200~17,800달러 선까지 반등하며 가격 하방 경직성을 확보했다.

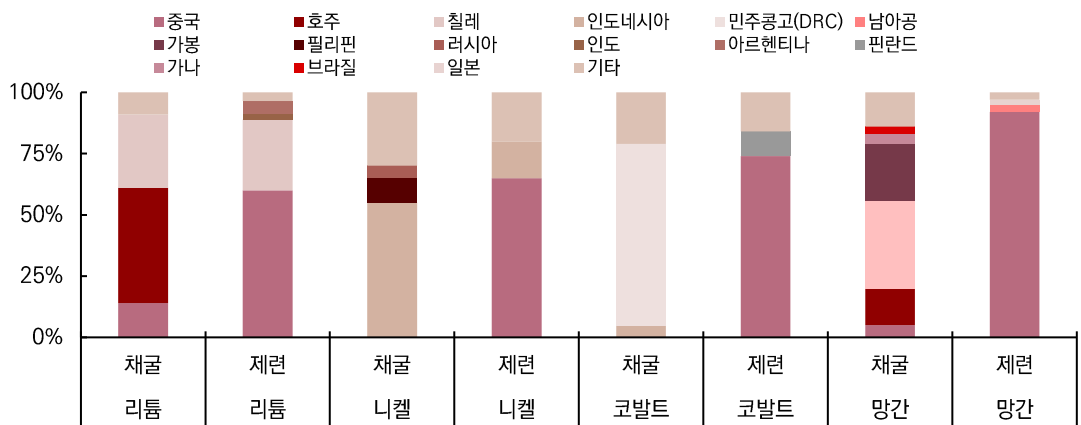
표 16. 글로벌 전구체 소재 수출 니켈/코발트 규제 동향

시기	국가	광물 종류	주요 내용
25.02	콩고민주공화국	코발트	모든 형태의 코발트 정광 수출 전면 금지 조치 시행
25.07	칠레	리튬	국가 리튬 전략에 따른 핵심 염호 국영화 및 친환경 직접리튬추출(DLE) 공법 도입 의무화 세부안 발표
25.08	필리핀	니켈	니켈 원광 수출에 최대 10퍼센트의 세금을 부과 및 자국 내 제련소 건설을 강제하는 법안 하원 발의
25.09	인도네시아	니켈	생산할당량(RKAB) 승인 체계를 3년에서 1년 단위로 단축 및 연 1회만 수정 가능하도록 법령 개정
25.10	콩고민주공화국	코발트	수출 전면 금지를 해제하나, 연간 96,600톤의 상한선을 두는 수출 쿼터제 전격 시행
25.11	콩고민주공화국	코발트	쿼터 할당 후 48시간 내 10퍼센트 로열티 현금 선납 및 모든 수출 물량에 대한 합동 검사 의무화 신설
26.02	인도네시아	니켈	2026년 연간 니켈 생산 쿼터를 전년도 승인량 대비 30퍼센트 이상 삭감된 2억 6천만 톤으로 최종 확정
26.03	인도네시아	니켈	공식 할당량보다 더 낮은 수준으로 실제 산출량을 통제하려는 시도 추진
26.03	짐바브웨	리튬	리튬 정광 수출 전면 금지 조치 시행

자료: 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

코발트는 전 세계 생산량의 76%를 장악한 콩고민주공화국의 광물규제청(ARECOMS)이 연간 수출 쿼터를 96,600톤으로 제한하고, 이 규제를 2026년 1분기까지 강력히 연장함에 따라 공급 부족에 따른 가격 상승이 가시화되고 있다.

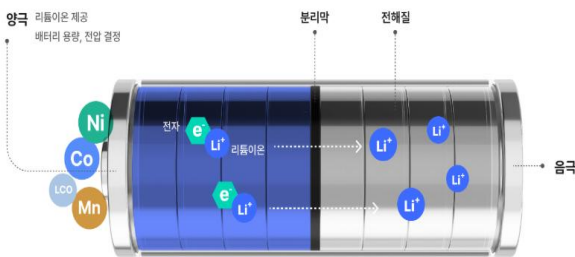
그림 39. 전구체 소재별 공급망(채굴/정제 및 제련) 현황



자료: IEA, KUVIC 리서치 1팀

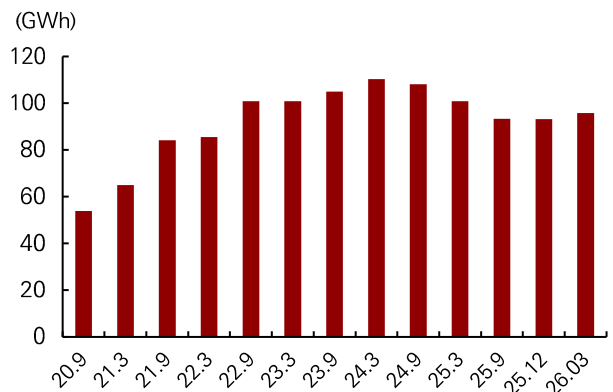
삼원계

그림 40. NCM 배터리



자료: LG에너지솔루션, KUVIC 리서치 1팀

그림 41. 삼원계 배터리 수요량 추이



자료: SNE Research, KUVIC 리서치 1팀

삼원계 양극재는 리튬 이온에 니켈, 코발트, 망간 또는 알루미늄 세 가지 전이금속을 결합한 소재를 의미한다. 초기 전기차 시장에서는 세 광물을 동일한 비율로 섞어 안정성을 극대화한 NCM111(1:1:1)이나 NCM523(5:2:3)이 주를 이루었다. 그러나 전기차의 1회 충전 주행거리를 늘리기 위한 에너지 밀도 향상 경쟁이 치열해지면서, 출력을 결정하는 니켈의 비중을 80% 이상으로 끌어올리고 코발트 비중을 낮춘 NCM811(8:1:1) 등 이른바 하이니켈 양극재가 시장의 주력으로 자리 잡게 되었다.

니켈 함량이 90%에 이르게 될 시 되면 배터리 용량은 극대화되지만, 구조가 화학적으로 매우 불안정해져 화재 위험이 급증하고 수명이 단축된다는 단점이 존재한다. 이를 극복하기 위해 사원계(NCMA) 양극재가 등장하였다. 기존 NCM에 알루미늄을 소량 첨가하여 네 가지 광물을 배합한 소재를 의미하는 사원계 양극재는, 알루미늄을 배합함으로써 고함량 니켈로 인해 흔들리는 결정 구조를 단단하게 잡아내는 데 성공하였다. 해당 과정을 통해 NCMA는 니켈 비중을 90% 안팎까지 끌어올려 출력을 기존 하이니켈 양극재 이상으로 높이면서도, 코발트 비중은 5% 이하로 낮춰 원가를 절감 및 알루미늄으로 화재 안전성까지 확보한 프리미엄 양극재로 평가받고 있다.

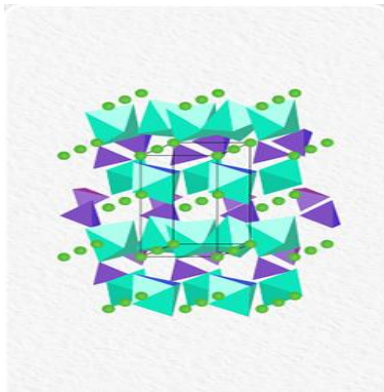
표 17. 삼·사원계 소재 배합별 비교

구분	NCM111	NCM523	NCM811	NCMA
에너지 밀도	150~160 mAh/g	160~170 mAh/g	200~210 mAh/g	220~230 mAh/g
열 폭주 시작 온도	270~280°C	250~260°C	200~210°C	220~230°C
코발트 비중	33%	20%	10%	5% 미만
수명	약 2,000회 이상	약 1,500~2,000회	약 1,000~1,500회	약 1,500회 이상

자료: KUVIC 리서치 1팀

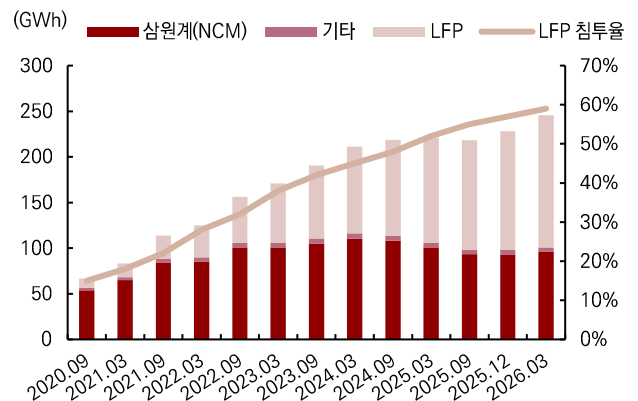
LFP(리튬인산철)

그림 42. 올리빈 구조



자료: 포스코퓨처엠, KUVIC 리서치 1팀

그림 43. 글로벌 LFP 동향



자료: KUVIC 리서치 1팀

LFP 양극재는 삼원계의 2차원 층상 구조와 달리, 1차원 이온 채널을 지닌 올리빈 결정 구조를 채택하고 있다. 올리빈 결정 구조는 내부 결합력이 매우 강해 구조적 열 안정성이 뛰어나며, 이차전지의 최대 난제인 열 폭주 및 화재 위험을 극단적으로 낮출 수 있다. 또한 충방전 과정에서 결정 구조의 변화가 적어 수명이 약 3,000회에서 최대 10,000회 이상에 달할 정도로 매우 길다는 장점을 지닌다. 반면, 1차원 구조 특성상 이온 전도도가 매우 낮고, 이론 용량(약 170 mAh/g)과 작동 전압(3.2V 수준)이 삼원계(200~220 mAh/g, 3.7V 이상) 대비 낮아 전기차의 1회 충전 주행거리를 결정하는 에너지 밀도가 떨어진다 한계가 존재한다.

최근 배터리 업계는 LFP의 치명적 단점인 낮은 에너지 밀도와 전도도를 극복하기 위해 다각도의 기술 고도화를 진행하고 있다. 소재 단위에서는 **활물질 표면에 얇은 탄소 코팅을 입혀 전자 전도성과 리튬 이온의 이동성을 대폭 개선했다**. 나아가 배터리 팩 설계 단계에서는 불필요한 모듈을 제거하고 셀을 팩에 촘촘하게 직접 배열하는 CTP 기술을 적용함으로써, 팩 단위의 물리적 공간 효율과 부피당 에너지 밀도를 극대화하여 삼원계와의 주행거리 격차를 성공적으로 좁히고 있다.

기술적 보완을 바탕으로, LFP 양극재는 고가의 프리미엄 EV 모델이나 고출력이 요구되는 로봇·드론 시장을 타겟으로 하는 삼원계와 달리, 대중화를 이끄는 볼륨·엔트리 EV 모델의 핵심 동력원으로 자리 잡았습니다. 더불어 화재 안전성과 장주기 수명이 필수적인 ESS 시장에서도 최우선 소재로 채택되고 있다. 다만 시장 구조 측면에서는 Hunan Yuneng과 Dynanonic 등 소수의 중국계 기업들이 글로벌 밸류체인을 사실상 독과점하고 있어, 공급망 재편 및 다변화가 향후 중요한 산업적 과제로 대두되고 있는 중이다.

표 18. 주요 양극재 구조 및 수치 특성

구분	삼원계/사원계(NCM 811, NCMA)	LFP(리튬인산철)
결정 구조	층상 구조: 2차원 이온 이동	올리빈 구조: 1차원 이온 채널
이론 용량/전압	약 200~220 mAh/g, 작동 전압 3.7V 이상	약 170 mAh/g, 작동 전압 3.2V 수준
에너지 밀도	높음(니켈 함량에 비례, 1회 충전 시 주행거리 길)	낮음(삼원계 대비 부피/무게당 담을 수 있는 에너지 적음)
열 안정성	낮음(열 폭주 위험 존재)	매우 높음(화재 위험 낮음)
이온 전도도	우수	매우 낮음
수명	약 1,000 ~ 2,000회	약 3,000 ~ 10,000회 이상
기술 수준	단결정형 소립경(5μm 이하) 적용으로 수명 및 밀도 극대화	탄소 코팅 및 CTP 기술로 낮은 밀도 한계 극복
주 사용자	프리미엄 EV 모델, 휴머노이드 로봇, 방산용 드론 등	볼륨·엔트리 EV 모델, ESS 등
주요 기업	Ronbay, LG화학, 에코프로, 포스코퓨처엠	Hunan Yuneng, Dynanonic(중국계 독과점)

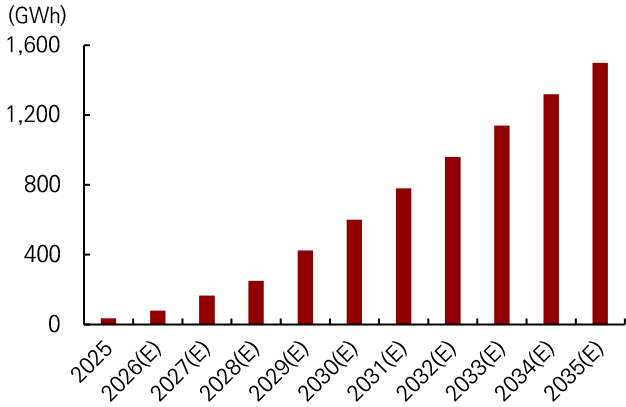
자료: KUVIC 리서치 1팀

INFP 아니고, LMFP

LMFP(LiMnFePO4)는 현재 글로벌 EV 볼륨 및 엔트리 모델을 장악하고 있는 **LFP 배터리의 단점을 보완한 배터리**로, 기존 LFP 양극재에 비싼 니켈이나 코발트 대신 망간(Mn)을 추가로 섞어 넣어 에너지 밀도를 높였다. LFP의 평균 작동 전압은 3.2V 수준인데, 이에 망간이 혼합될 시 전압이 4.1V까지 치솟을 수 있다. 전압을 높임으로써 **배터리 팩 크기를 키우지 않아도, 전체 에너지 밀도를 기존 LFP 대비 15~20%가량 증가**시킬 수 있기에 최근 업계에서 상용화에 박차를 가하는 중이다.

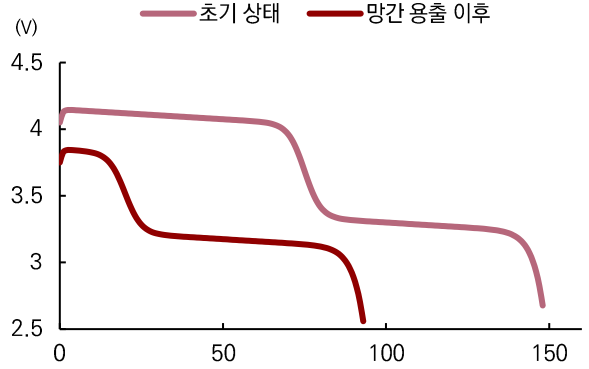
하지만 이러한 LMFP에도 한계가 존재하는데, 망간이 추가되면서 **LFP 본연의 장점이었던 3천~1만 회 이상의 긴 수명이 2천~4천 회 수준으로 다소 짧아졌다**. 이는 ‘망간 용출’ 현상 때문인데, 충방전을 반복할 때 망간 이온이 양극재 표면에서 녹아내려 전해액을 타고 음극으로 이동해 구조를 무너뜨리는 안-텔러 효과가 발생하기 때문이다. 또한 이온 전도도와 전기 전도도가 기존 LFP보다도 더 떨어지기 때문에, 앞서 설명했던 탄소 코팅과 입자 나노화 기술이 훨씬 더 고도화돼야 추진력을 높일 수 있다. 글로벌 배터리 셀 M/S 1위 업체인 중국의 CATL은 LMFP 기술을 확보한 뒤 ‘M3P 배터리’를 출시 및 테슬라 등에 공급을 추진하고 있으며, 한국의 양극재 기업들도 LMFP 양산을 도모하기 위한 로드맵을 세우고 있다.

그림 44. LMFP 배터리 연도별 수요 전망



자료: SNE Research, KUVIC 리서치 1팀

그림 45. 안-텔러 효과로 인한 망간 용출 전후 방전 곡선 비교



자료: KUVIC 리서치 1팀

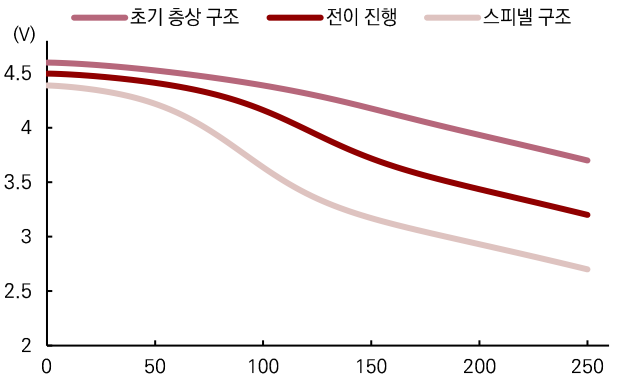
원전에는 SMR, 이차전지에는 LMR(리튬 망간 리치)

그림 46. 망간 가격 추이



자료: KOMIS, KUVIC 리서치 1팀

그림 47. LMR 배터리 상전이에 따른 전압 강하 비교



자료: KUVIC 리서치 1팀

LMR(리튬 망간 리치) 양극재는 기존 삼원계 배터리의 원가 급등을 유발하는 코발트와 니켈의 사용을 배제하거나 극소화하고, 초저가 금속인 망간의 비중을 50~70% 수준까지 대폭 높인 차세대 소재이다. 톤당 1,000달러 대에 불과한 망간을 주력으로 채택함으로써 기존 하이니켈 양극재 대비 양극재 제조 원가를 20~30%가량 절감할 수 있으며, 배터리 팩 기준으로 kWh당 75~85달러 수준의 단가 달성이 기대되고 있다. 동시에 리튬을 과잉 주입하는 방식을 통해 에너지 밀도는 최고급 하이니켈 삼원계와 맞먹는 250~300 Wh/kg 수준의 강력한 출력을 구현할 수 있다.

그러나 LMR은 전압 강하라는 치명적인 단점이 존재한다. 에너지를 극대화하기 위해 4.5V 이상의 고전압으로 충전할 경우, 양극재 구조를 튼튼하게 지탱하던 산소가 가스 형태로 빠져나가는 '산소 탈리' 현상이 촉발된다. 산소가 빠져나간 빈 공간으로 망간 등 전이금속 이온이 무너져 내리며, 이로 인해 망간의 산화수가 변하면서 결정 구조를 심하게 찌그러뜨리는 안-텔러 효과가 발생한다. 이 과정이 반복되면 망간 용출과 함께 양극재의 본래 형태인 층상 구조가 전압이 낮은 스피널 구조로 완전히 뒤바뀌어 버려, 결과적으로 초기 3.5V 이상이던 평균 작동 전압이 3.0V 초반대까지 내려앉게 되고 배터리의 총 출력 급감을 유발한다.

이러한 구조적 불안정성과 전압 강하 문제, 그리고 발화 위험이 상존하는 액체 전해질 기반이라는 한계 때문에 LMR은 고도의 신뢰성과 출력 유지력이 필수적인 첨단 산업에 즉각 채택되기 어렵다고 평가받는 중이다. eVTOL이나 UAM 같은 항공 모빌리티는 체공 중 전압이 갑자기 떨어지면 기체의 고도 유지에 치명적인 사고를 유발할 수 있으며, 극한의 환경에서 예측 가능한 동력을 제공해야 하는 방산용 장비나 즉각적이고 정밀한 모터 제어가 필수적인 휴머노이드 로봇 시장에서도 현재의 액체 전해질 기반 LMR은 출력 안정성과 안전성 측면에서 명확한 진입 장벽이 존재한다.

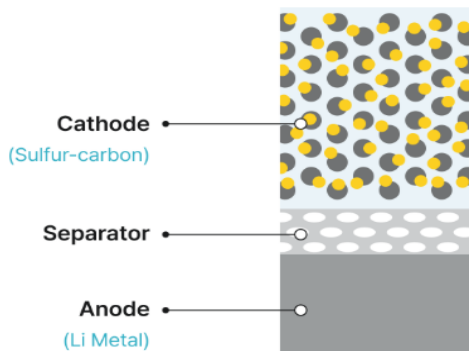
표 19. LMR 양극재 주요 사양 및 특성

구분	사양	비고
명칭	LMR	리튬 과잉 망간 농축 양극재를 지칭
화학적 구조	층상 구조	삼원계 양극재와 같은 구조
주요 원자재	망간 50~70% 이상	코발트 완전 배제 또는 극소화, 니켈 비중 대폭 저감
가용 방전 용량	250 ~ 300mAh/g	현존 양극재 중 최고 수준 (기존 NCM811의 약 200mAh/g 대비 25% 이상 높음)
셀 에너지 밀도	250 ~ 300Wh/kg 이상	최고급 하이니켈 삼원계(NCM)와 유사한 수준의 출력 구현
평균 작동 전압	3.5 ~ 3.6V	에너지를 최대한 뽑아내기 위해 충전 시 4.5V 이상의 고전압 환경 필수
제조 원가 수준	NCM 대비 20~30% 절감	배터리 팩 기준 75~85 달러/kWh 타겟
장점	가성비 및 열 안정성	고가의 전락 광물(니켈, 코발트) 의존도 탈피, NCM 대비 우수한 구조적 열 안정성
단점	전압 강하, 낮은 초기 충방전 효율	고전압 충전 시 산소 탈리 및 망간 용출(안-텔러 효과)로 인한 스피넬 구조로의 붕괴, 첫 충전 시 주입된 리튬이 100% 방전되지 않고 손실되는 비율이 타 소재 대비 높음

자료: KUVIC 리서치 1팀

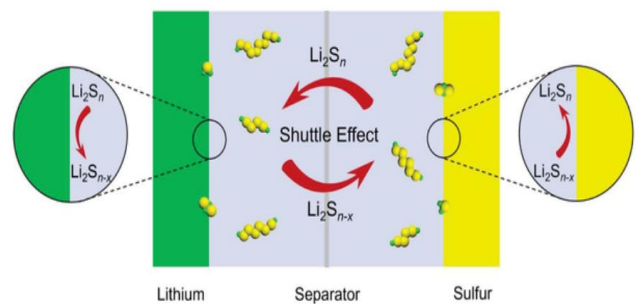
리튬황 배터리

그림 48. 리튬황 배터리



자료: LG에너지솔루션, KUVIC 리서치 1팀

그림 49. 폴리설파이드 셔틀 현상



자료: ResearchGate, KUVIC 리서치 1팀

리튬황(Li-S) 배터리는 가벼운 원소인 황-탄소 복합체를 양극 활물질로 채택한 차세대 배터리다. 이론상 에너지 밀도가 2,500Wh/kg에 달하며, 실제 상용화 목표 수치 역시 기존 NCM 배터리(약 250Wh/kg 내외)를 훌쩍 뛰어넘는 400~500Wh/kg 이상에 달할 것으로 추정된다. 이러한 초경량·고밀도의 소재적 특성 덕분에, 기체의 무게 감축이 체공 시간과 직결되는 드론, 무인기, 그리고 eVTOL과 같은 UAM(도심항공교통) 산업에서 이상적인 동력원으로 평가받고 있다.

또한, 원가 경쟁력과 공급망 안정성 측면에서도 뚜렷한 강점을 지닌다. 공급망 리스크가 크고 고가인 니켈이나 코발트를 전혀 사용하지 않으며, 양극재로 쓰이는 황은 석유 정제 과정에서 대량으로 발생하는 부산물이기에 자원 부존량이 풍부하고 톤당 수십 달러 수준으로 극히 저렴하다. 이를 통해 전체 배터리 제조 원가를 기존 대비 30~40% 이상 대폭 절감할 수 있다.

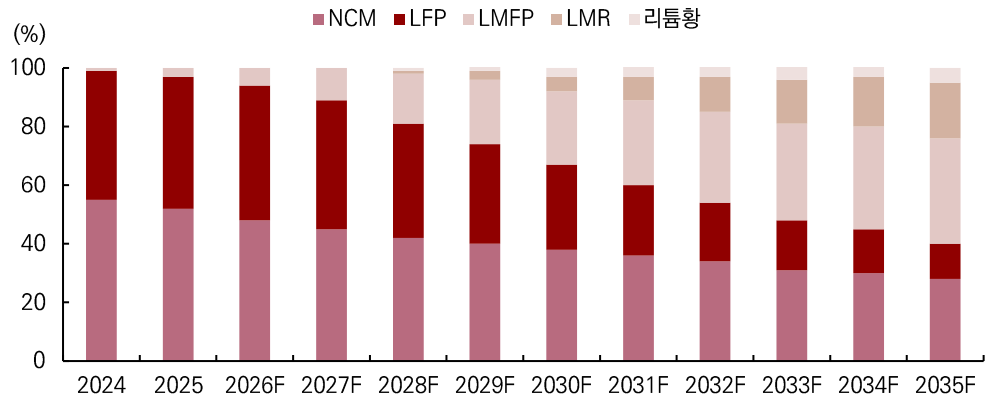
다만, 총방전 과정에서 황이 녹아내리는 폴리설파이드 셔틀 현상을 억제하여 배터리의 치명적인 수명 저하를 극복해야 한다는 점은 여전히 가장 큰 기술적 난제로 꼽힌다. 현재 이러한 한계를 넘어 기가팩토리급 양산을 주도하고 있는 선도 기업들은 주로 미국과 한국을 중심으로 포진해 있다.

표 20. 리튬황 배터리 선도 기업

국가	기업명	비고
한국	LG에너지솔루션	2020년 국내 최초로 리튬황 배터리를 탑재한 태양광 무인기(EAV-3)로 성층권 13시간 비행 테스트 성공, 최근 차세대 전지 개발 인력 대거 총원 및 2027년을 리튬황 배터리의 본격적인 상용화 시점으로 공식 표명
미국	Lyten	3D 그래핀 기술을 활용해 황의 팽창과 누출을 막는 솔루션을 개발, 노스볼트의 폴란드 배터리 공장을 인수, 2026년 하반기 리튬황 배터리 상용 셀을 대량 공급하겠다는 목표를 발표
	Sion Power	리튬 금속 음극재를 보호하는 특수 기술(Licerion) 바탕으로 수명 문제를 획기적으로 개선하는 데 집중
중국	GNE	에너지 밀도 700Wh/kg에 달하는 압도적인 스펙의 리튬황 배터리 프로토타입을 공개, 자체적인 양극-음극재 및 분리막 특허를 기반으로 고고도 드론 및 항공용 전지 양산 라인 구축 추진
	CATL	황화물계 고체 전해질과 리튬황 기술을 연계한 차세대 항공용 배터리 특허를 지속 출원 중

자료: Fortune Business Insights, 각 사, KUVIC 리서치 1팀

그림 50. 양극재 소재별 비중 추이 전망



자료: BNEF, KUVIC 리서치 1팀

음극재

배터리 원가의 15%를 차지하는 음극재는 리튬 이온을 저장/방출하며 충전 속도를 결정한다. 현재 주력인 흑연(천연/인조)은 중국 기업의 시장 점유율이 96%에 달한다. 그러나 전기차 주행거리 확장과 15분 이하의 급속 충전 니즈가 맞물리며, 에너지 밀도 한계를 돌파하기 위한 실리콘 및 리튬 메탈 음극재가 차세대 소재로 급부상하고 있다.

표 21. 음극재 소재별 특성 및 용량 수치 비교

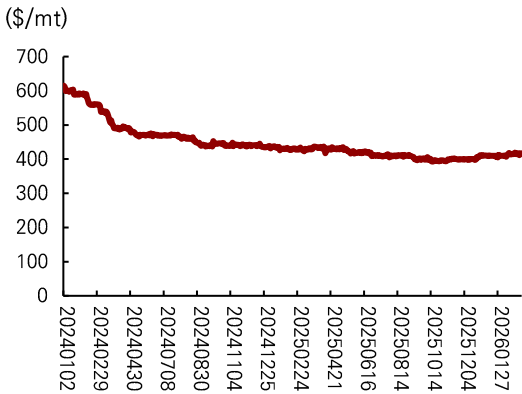
구분	흑연(천연/인조)	실리콘	리튬 메탈
이론 용량	372mAh/g	약 4,200mAh/g	3,860mAh/g
작동 전위	~0.1V	~0.22V	0V(기준 전극)
장점	가격 저렴, 수명 우수	흑연 대비 10배 용량	최고의 에너지 밀도 및 최저 무게
단점	용량 한계 도달	충방전 시 300% 이상 부피 팽창 (스웰링 현상 발생)	덴드라이트 형성으로 인한 단락 위험
상용화 현황	현재 표준 적용	하이엔드 EV에 5~10% 혼합 적용 중 (대주전자재료 등 주도)	전고체 배터리 시스템(황화물계 등)과 결합하여 2027년 이후 적용 전망

자료: KUVIC 리서치 1팀

흑연 음극재

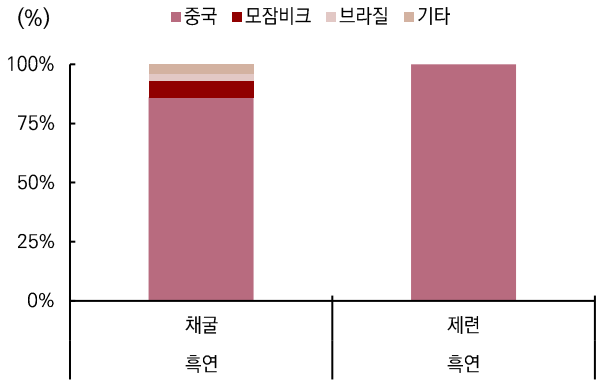
흑연 음극재는 탄소 원자가 육각형 모양으로 층층이 쌓인 2차원 층상 구조를 가진다. 배터리 충전 시 리튬 이온이 흑연 층 사이로 스며드는 방식을 취하며, 방전 시 다시 빠져나온다. 구조적 안정성 덕분에 수명이 길고, 원재료의 특성상 가격이 저렴하여 현재 글로벌 이차전지 시장의 95% 이상을 차지하는 중이다. 다만 이론적인 최대 에너지 용량이 372 mAh/g이라는 명확한 한계점이 존재한다.

그림 51. 흑연 가격 추이



자료: KOMIS, KUVIC 리서치 1팀

그림 52. 흑연 채굴 및 제련 공급망 현황



자료: IEA, KUVIC 리서치 2팀

현재 중국은 천연 흑연 채굴의 약 86%, 그리고 이를 배터리용으로 가공하는 구형 흑연 제련의 거의 100%를 독점하고 있는 상황이다. 이러한 압도적 독점의 배경에는 단순한 매장량을 넘어선 제조 환경 및 원가 경쟁력이 기저에 깔려 있다.

흑연 원광을 배터리에 쓸 수 있는 99.9%의 고순도로 정제하려면 극심한 환경 오염을 유발하는 맹독성 화학물질인 불산(Hydrofluoric Acid, HF)이 대량으로 사용된다. 선진국들은 엄격한 환경 규제와 높은 전력비, 인건비로 인해 정제 공장을 완벽하게 가동할 수 없는 반면, 중국계 기업들은 비교적 느슨한 환경 규제와 저렴한 산업용 전기, 막대한 국가 보조금을 바탕으로 제련을 할 수 있었기에 세계 시장을 장악할 수 있었다.

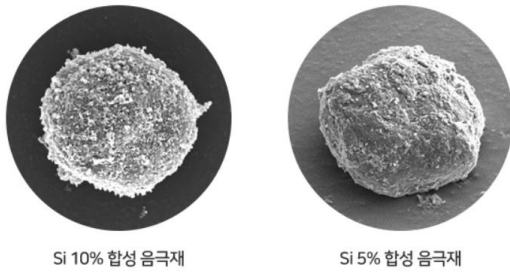
표 22. 흑연 음극재 관련 기업

국가	기업명	생산능력	비고
한국	포스코퓨처엠	연 11.3만 톤	국내 흑연 대량 양산 가능 기업
일본	Resonac	연 5만 톤 이상	특수 소재 위주 시장 집중
	BTR	연 80만 톤 이상	글로벌 점유율 1위, 공격적 추가 증설 추진
중국	Shanshan	연 70만 톤 이상	인조 흑연 음극재 시장 1위, 해외 시장 진출 가속화
	Putailai	연 50만 톤 이상	프리미엄 인조 흑연 제품 출시, Zichen 통해 유럽 공장 구축 중

자료: 각 사, KUVIC 리서치 1팀

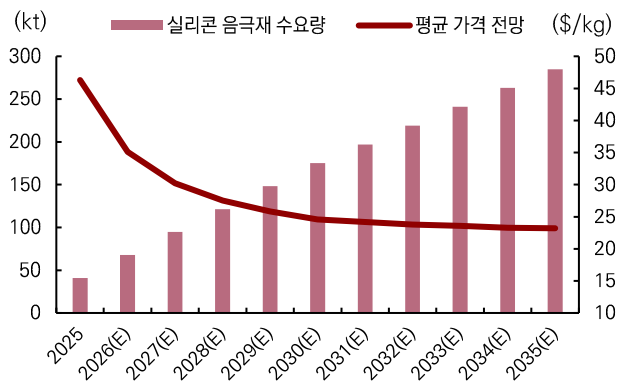
실리콘 음극재

그림 53. 실리콘 음극재



자료: 에프아이씨신소재, KUVIC 리서치 1팀

그림 54. 실리콘 음극재 수요량 추이



자료: SNE Research, KUVIC 리서치 2팀

최근 실리콘 음극재가 대두되는 이유 중 하나는 현재의 기술 수준(액체/반고체 전해질)에서 달성할 수 있는 가장 고성능화 대안이기 때문이다. 실리콘은 리튬 이온과 반응하여 합금을 형성하며, **흑연 대비 무려 10배에 달하는 이론 용량(약 4,200 mAh/g)**을 자랑한다. 리튬 메탈을 채택하려면 반드시 전고체 배터리 시스템이 필수적으로 요구되지만, 실리콘의 경우 **기존 액체 전해액 시스템과 배터리 제조 라인을 그대로 유지하면서도 에너지 밀도와 급속 충전 성능을 비약적으로 끌어올릴 수 있다는 장점**이 있다.

다만, 충전 시 부피가 무려 3~4배 팽창하여 배터리 수명을 단축시키는 치명적인 단점도 존재한다. 이를 막기 위해 현재는 흑연에 실리콘을 약 5~10% 수준으로 섞어 쓰는 SiOx(산화실리콘)나 Si-C(실리콘-탄소 복합체) 형태가 상용화되는 중이다. 관련 선도 기업으로는 중국의 BTR, 한국의 대주전자재료, SK머티리얼즈, 일본의 신에츠 화학, 미국의 Group14 Technologies 등이 팽창을 억제하는 나노 코팅 및 특수 바인더 기술을 토대로 시장을 주도하고 있다.

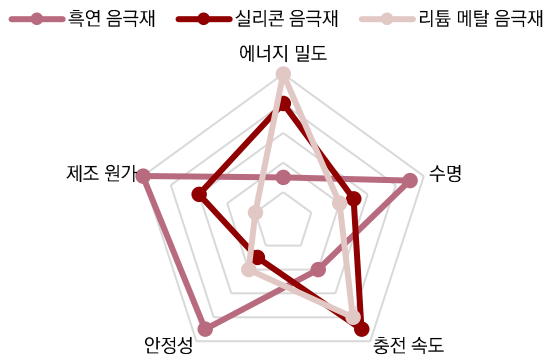
표 23. 실리콘 음극재 관련 기업

국가	기업명	비고
한국	대주전자재료	글로벌 최초 실리콘 산화물(SiOx) EV 적용 레퍼런스 보유
	포스코퓨처엠	美 배터리 소재 업체 실라와 MOU 체결
	SK머티리얼즈그룹14	다공성 탄소 지지체에 실리콘 가스를 융합하는 Si-C (실리콘-탄소 복합체) 기술 특허
중국	BTR	중국 내수 EV 시장 위주 진출 확대
일본	Shin-Etsu	소규모 프리미엄 물량 위주 공급

자료: 각 사, 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

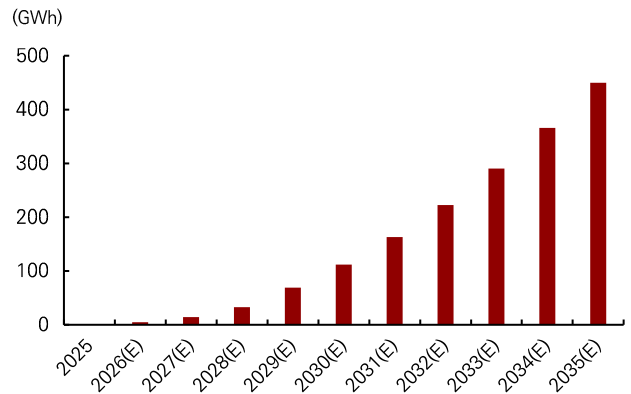
리튬 메탈 음극재

그림 55. 음극재 소재별 비교



자료: KUVIC 리서치 1팀

그림 56. 리튬 메탈 음극재 수요량 추이 전망



자료: SNE Research, IDTechEx, KUVIC 리서치 2팀

리튬 메탈 음극재는 흑연이나 실리콘 같은 별도의 물질을 사용하지 않고, 얇은 리튬 금속 박막 자체를 음극으로 사용하거나 층간에 직접 리튬을 도금하는 방식의 음극재를 의미한다. 이론 용량이 3,860 mAh/g에 달하며 흑연처럼 무거운 구조체가 없기 때문에 배터리의 무게와 부피를 극단적으로 줄일 수 있다.

현재 리튬 메탈 기술은 덴드라이트 성장으로 인한 합선 및 화재 문제를 해결하기 위해 고체 전해질(황화물계, 고분자계 등)과의 결합을 전제로 R&D 및 파일럿 양산 단계에 머물러 있는 중이다. SES AI의 경우, 리튬 메탈 음극에 고농도 액체(반고체) 전해질을 결합하는 하이브리드 방식으로 빠른 상용화(GM, 현대차 등과 샘플 테스트 중)를 노리고 있다. QuantumScape는 무음극 구조와 자체 개발한 세라믹 고체 분리막을 통해 리튬 메탈의 덴드라이트 성장을 물리적으로 억제하는 데 두각을 나타내고 있다. 국내의 LG에너지솔루션과 삼성SDI(무음극 전고체 기술) 등도 2027~2030년 상용화를 목표로 글로벌 스타트업들과의 지분 투자 및 공동 연구를 활발히 진행 중이다.

표 24. 리튬 메탈 음극재 관련 기업

국가	기업명	비고
한국	삼성SDI	Ag-C(은-탄소) 나노 코팅 기술 보유 및 해당 기술 통해 리튬의 균일한 증착 유도
	SES AI	현대차, GM 등과 샘플 테스트 진행 중
미국	QuantumScape	자체 세라믹 고체 분리막 보유, 폭스바겐 등과 샘플 테스트 진행 중
	Solid Power	BMW, 포드와 파일럿 라인 가동
중국	Ganfeng Li	리튬 메탈 음극재의 소재인 초박막 호일 자체 생산 및 동풍자동차 등과 샘플 테스트 진행 중

자료: 각 사, KUVIC 리서치 1팀

분리막

배터리 원가의 약 20%를 차지하는 분리막은 양 음극의 물리적 접촉을 차단(전기 절연)하면서 리튬 이온(크기 0.01~0.5μm 기공)을 통과시키는 다공성 폴리머(PE, PP) 필름이다. 분리막에서 가장 중요한 것은 섀도우 기능으로, 셀 내부 온도가 비정상적으로 상승해 130도 이상 도달할 시 폴리머 필름이 스스로 녹아내리게끔 하여 기공을 닫아 열 폭주를 1차적으로 억제한다. 전고체 배터리 시스템에서는 독립적인 필름형 분리막이 사라지고, 약 5~20μm 두께로 코팅된 고체 전해질 층이 분리막과 전해액의 역할을 동시에 수행하게 된다.

최근 하이니켈 양극재 적용으로 화재 위험성이 높아짐에 따라, 얇은 폴리머 필름 겉면에 세라믹 입자를 얇게 코팅하여 고온에서도 필름이 찢고라들지 않게 내열성을 극대화한 CCS/SRS 등과 같은 안전성 강화 코팅 분리막 기술이 하이엔드 전기차 배터리의 필수 표준으로 자리 잡고 있다.

표 25. 건식 분리막 및 습식 분리막

구분	건식 분리막	습식 분리막
제조 공법	화학 용매 없이 PP/PE 필름을 압출한 뒤, 얇게 당겨 기공을 형성	폴리올레핀과 화학 용매를 섞어 필름을 압출한 뒤, 용매를 추출해 내어(TIPS 방식) 미세 기공을 형성
기공 특성	기공의 크기가 다소 불균일하고 비교적 큼	기공의 크기가 균일하고 촘촘함
두께 및 강도	얇게 만들기 어려우나, 기계적 강도와 고온 저항성이 우수	박막화 제조할 수 있어 한정된 공간 내 배터리 에너지 밀도 향상에 유리
원가 구조	공정이 단순하고 화학 용매를 쓰지 않아 친환경적이며 제조 원가가 저렴함	제조 공정이 복잡하고 초기 투자비가 높음, 용매 회수 등 환경 처리 비용이 발생해 단가가 비쌘
주요 적용처	LFP 배터리, ESS, 전기버스 등	고성능 하이니켈 배터리, 하이엔드 EV, 소형 IT 기기 등

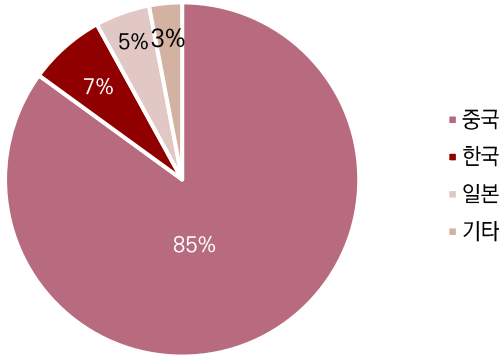
자료: KUVIC 리서치 1팀

분리막은 미세 기공을 뚫는 제조 공법에 따라 크게 습식과 건식으로 나뉘며, 타겟으로 하는 배터리의 종류와 전방 산업에 따라 뚜렷하게 구분되어 사용된다. 건식 분리막의 경우, PP나 PE 소재를 필름 형태로 압출한 뒤 기계적으로 당겨 기공을 만든다. 제조 원가가 낮고 고온 저항성이 좋지만, 기공이 불균일하여 주로 일반적인 리튬 이온 배터리나 ESS 등에 사용된다.

습식 분리막은 TIPS 방식을 활용하여 폴리올레핀과 용매를 혼합한 후 용매를 추출한 뒤 미세 기공을 형성한다. 공정이 복잡하고 비싸지만, 기공 분포가 균일하고 얇게 만들 수 있어 하이엔드 EV향 배터리에 사용되는 중이다.

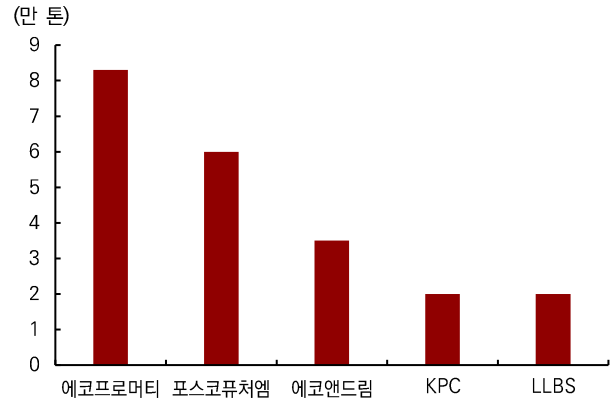
국내 이차전지 기업의 신규 모멘텀: 법제 적용에 따른 탈중국 가속화

그림 57. 글로벌 삼원계 전구체 생산 비중 추정



자료: SNE Research, KUVIC 리서치 1팀

그림 58. 국내 주요 삼원계 전구체 생산 기업 CAPA(2026)



자료: 각 사, KUVIC 리서치 1팀

2025년을 기점으로 촉발된 글로벌 주요국들의 자국 중심 공급망 재편은 국내 이차전지 소재 기업들에게 새로운 기회를 제공하고 있다. 미국의 OBBBA(One Big Beautiful Bill Act)와 유럽의 IAA(Industry Acceleration Act)로 대변되는 신규 법제들의 핵심은 명확하다. 배터리 밸류체인 내 중국 자본 및 핵심 소재의 원천 배제하는 것이다.

특히 미국 OBBBA 내 PFE(금지 외국 기관) 규제는 시장 내 중국 중심의 공급망을 뒤흔드는 중이다. 보조금 수취의 핵심 판단 지표인 MACR(Material Assistance Cost Ratio, 실질 지원 비용 비율)은 2026년 60%를 시작으로 2030년 85%까지 단계적으로 상향된다. 현재 글로벌 삼원계 전구체 시장의 65%를 장악하고 있는 중국 빅 4(CNGR, GEM 등)의 물량을 이 비율 이상 사용할 경우 AMPC 등의 세액공제 혜택이 즉각 박탈된다.

표 26. 미국 및 유럽 배터리 정책 타임라인

시기	주요 내용	비고
2023-08-17	EU 배터리 규정 발효 (entered into force)	유럽
2024-04-30	EU EV배터리 탄소발자국 산정-검증 방법론(초안) 공개	유럽
2025-07-04	미국 OBBBA 제정	미국
2025-09-30	미국 Clean Vehicle Credit 적용 종료 (이후 취득분 불가)	미국
2026-02-12	IRS Notice 2026-15 (MACR/PFE 관련 중간 가이드스)	미국
2026-03-04	EU IAA 영향평가 공개 (배터리 셀-부품 Made in EU 옵션 포함)	유럽

자료: 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

유럽 역시 IAA를 통해 역내 부가가치 창출 및 단일 국가(중국) 의존도 40% 이하 강제 제한 요건을 신설했다. 미국과 유럽이라는 거대 시장에서 중국산 소재의 진입 장벽이 동시에 구축되면서, 완성차 및 셀 메이커들은 기존 중국 중심의 공급망을 해체하고 비중국산 벤더로 강제 전환해야 하는 상황에 놓이게 되었다. 이로 인해 에코프로머티, 포스코퓨처엠 등 전구체 내재화와 탈중국 공급망 구축을 선제적으로 완료한 K-배터리 소재 기업들에게는 구조적 수혜 진입 국면으로 작용할 예정이다.

표 27. MACR 제도 수혜 시나리오

구분	미국 전기차 배터리 수요 (GWh)	삼원계 비중(%)	양극재 총 소요량 (톤)	MACR 최소 요건(%)	중국산 대체 필수 물량(톤)	팀 코리아 수혜 가능 물량(톤, M/S 60% 가정)	양극재 판가 (\$/톤)	비중국산 프리미엄 (%)	수혜 예상 매출(\$Bn)
2026	450	80	360,000	60	216,000	129,600	23,600	5	3.21
2027	520	75	390,000	65	253,500	152,100	23,600	5	3.77
2028	600	70	420,000	70	294,000	176,400	23,600	5	4.37
2029	700	65	455,000	75	341,250	204,750	23,600	5	5.07
2030	800	60	480,000	85	408,000	244,800	23,600	5	6.07

자료: SNE Research, BloombergNEF, KITA, KUVIC 리서치 1팀

본 리서치 팀의 MACR 수혜 시뮬레이션에 따르면, 미국 내 삼원계 배터리 수요에 맞춰 중국산을 대체해야 하는 필수 물량은 2026년 21.6만 톤에서 2030년 40.8만 톤으로 급증한다. 이 공백을 특정 기업이 독식하는 것이 아닌 아닌 K-배터리 밸류체인이 공동으로 대응하여 보수적으로 약 60%의 점유율을 확보한다고 가정할 때, 확정적인 Q 성장이 보장된다.

여기에 타이트한 공급 불균형을 바탕으로 비중국산 프리미엄(+5%)이 반영된 톤당 \$24,780 수준의 양극재 판가(P)가 결합된다고 가정할 시, 국내 양극재 및 전구체 밸류체인이 미국 시장에서만 창출할 수 있는 추가 수혜 매출은 2026년 약 32억 달러에서 2030년 60억 달러(약 8조 원) 규모로 상승할 전망이다.

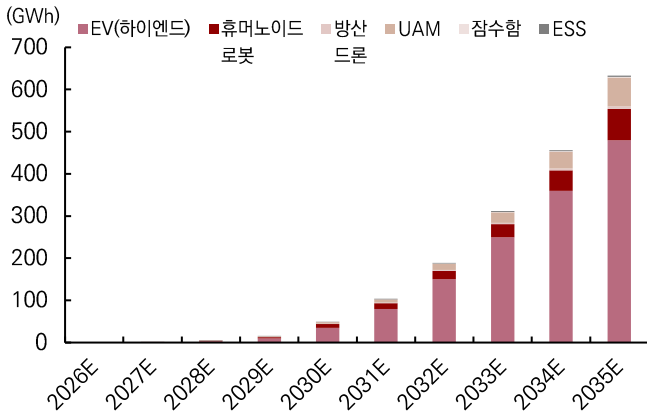
표 28. K-이차전지 밸류체인

구분	역할	주요 기업
황화리튬	전고체 배터리 고체 전해질 합성을 위한 필수 원료	이수스페셜티케미컬, 레이크머티리얼즈, 정석케미칼, 에코프로이노베이션, 포스코홀딩스 등
고체 전해질	리튬 이온의 이동 통로, 물리적 분리막 역할을 동시 수행	엔캠, 에코프로비엠, 롯데에너지머티리얼즈 등
양극재	배터리의 에너지 용량과 평균 전압을 결정	에코프로머티, 엘앤에프, 에코프로비엠 등
음극재	배터리의 수명과 충전 속도를 결정	포스코퓨처엠, 대주전자재료, 에프아이씨신소재 등
셀	배터리 제품의 최종 완성 형태	삼성SDI, LG에너지솔루션, SK온 등

자료: 각 사 종합, KUVIC 리서치 1팀

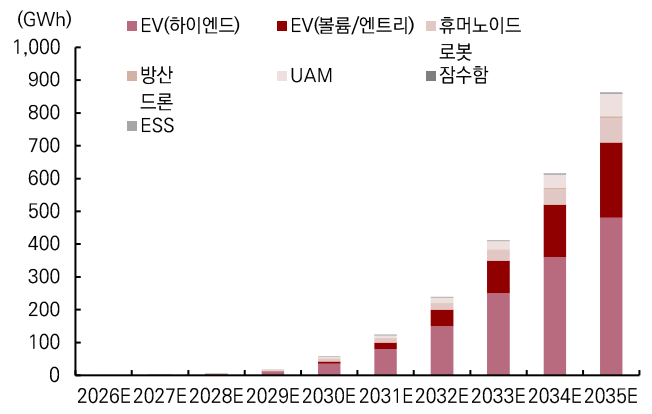
전방산업

그림 59. 전방산업별 전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망(BASE)



자료: IEA, BNEF, SNE Research, Joby Aviation, TrendForce, 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

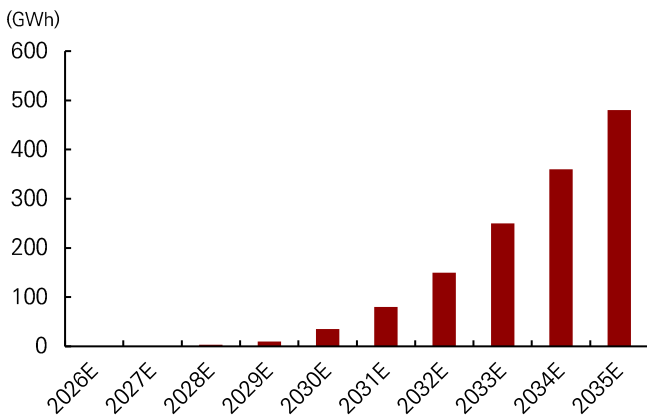
그림 60. 전방산업별 전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망(BULL)



자료: IEA, BNEF, SNE Research, Joby Aviation, TrendForce, 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

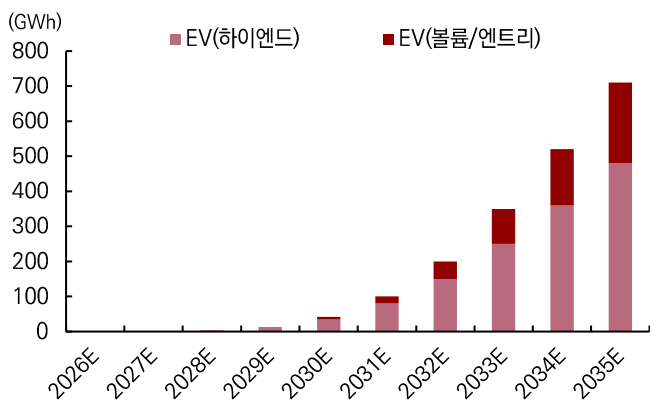
EV

그림 61. EV향 전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망(BASE)



자료: BNEF, TrendForce, 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

그림 62. EV향 전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망(BULL)



자료: BNEF, TrendForce, 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

2024년 배터리 수요 데이터와 STEPS 시나리오를 바탕으로 추정된 결과, 전기차 시장의 전고체 배터리 수요는 삼성SDI가 밝힌 상용화 목표 시점인 2027년에 약 0.5 GWh 규모로 처음 발생한다. 초기 시장은 기술적 제약과 높은 원가를 수용할 수 있는 프리미엄 EV 세그먼트를 중심으로 형성되며, 해당 분야 내 전고체 침투율은 2035년까지 단계적으로 상승할 것이다. 이에 따라 프리미엄 전기차용 전고체 수요량 (BASE 시나리오)은 2030년 35 GWh에서 2035년 480 GWh로 가파르게 팽창하며 전방 산업 중 가장 압도적인 시장 비중을 차지할 것으로 전망된다.

반면 볼륨 및 엔트리급 전기차 시장은 기존 배터리(LFP 등)의 압도적인 원가 경쟁력과 하위 세그먼트의 보수적 접근을 고려해 2035년까지 전고체 채택률이 0%(BASE 기준)를 유지한다. 단, 상용화 단가 하락이 예상보다 빠르게 진행되는 BULL 시나리오 하, 볼륨 및 엔트리 등 중저가형 전기차에도 전고체 탑재가 이루어져 2035년 기준 약 230 GWh의 추가 수요가 발생할 가능성도 상존한다.

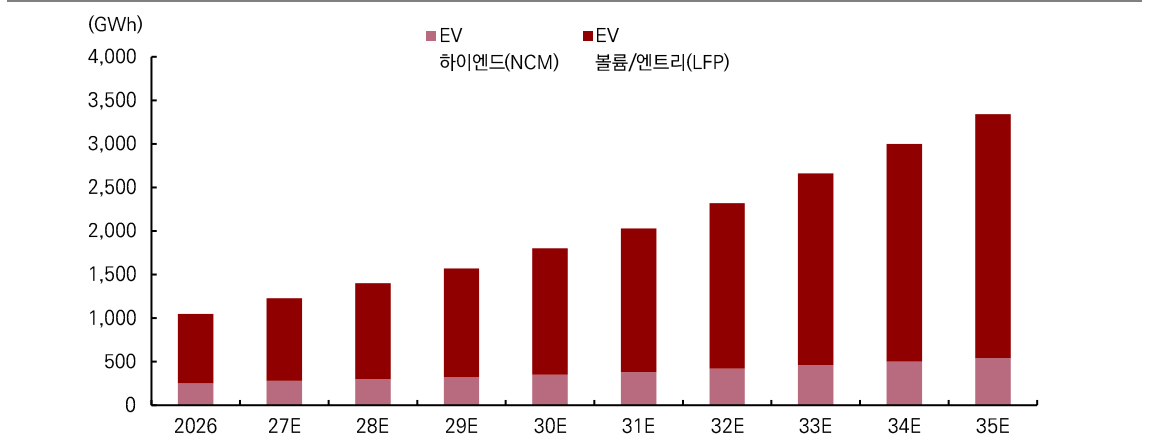
NASA의 자료에 따르면 전고체 배터리의 확산은 팩 기준 300 Wh/kg 이상의 에너지 밀도 달성이 핵심적인 성능 트리거로 작용하며, 2035년 이후에는 팩 에너지 밀도가 약 380에서 420 Wh/kg 수준에 도달할 것으로 예측했다. 이러한 성능 향상은 기존 리튬이온 배터리 대비 약 33% 이상의 질량 절감 효과를 제공하여 주행거리 연장 및 안전성 확보에 기여할 것이다.

표 29. EV 배터리 폼팩터 및 요구 성능

구분	배터리 탑재 공간 및 팩 용량	요구 에너지 밀도	LFP 배터리 채택 가능성 및 한계	전고체 배터리 채택 여부
하이엔드 EV	차량 하부 전체 팩 용량: 81~120+ kWh 셀: 4680 원통형 기준 약 800~1,000개 내외	셀: 300 Wh/kg 이상 팩: 200~250 Wh/kg	X, LFP 팩의 경우 100~160 Wh/kg 수준으로 무거워 500km 이상 장거리 구현 및 고속 주행에 부적합.	NCM 대비 부피를 50% 줄이고(900Wh/L 이상) 에너지 밀도를 극대화하여 800~1,000km 항속거리 달성 가능
볼륨/엔트리 EV	차량 하부 제한적 공간 팩 용량: 40~60 kWh 셀: 2170/각형 팩 구성	셀: 150~200 Wh/kg 팩: 120~150 Wh/kg	O, 원가성 확보 및 300km 내외 주행거리 충분. CTP 공법 도입으로 밀도 한계 일부 극복.	초기 400~600달러/kWh에 달하는 생산 단가로 인해 보급형 차종 적용은 지연 전망.

자료: NASA, KUVIC 리서치 1팀

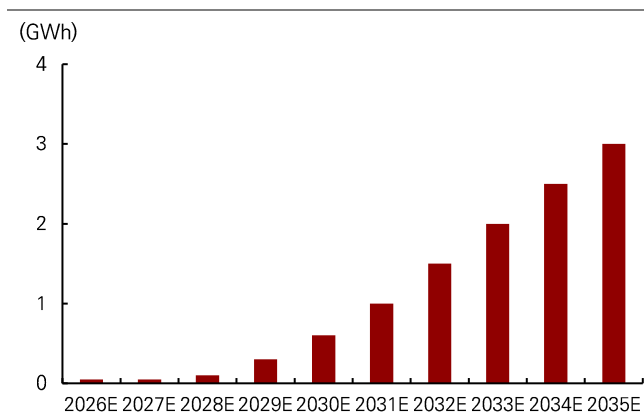
그림 63. EV향 비전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망



자료: IEA, BNEF, 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

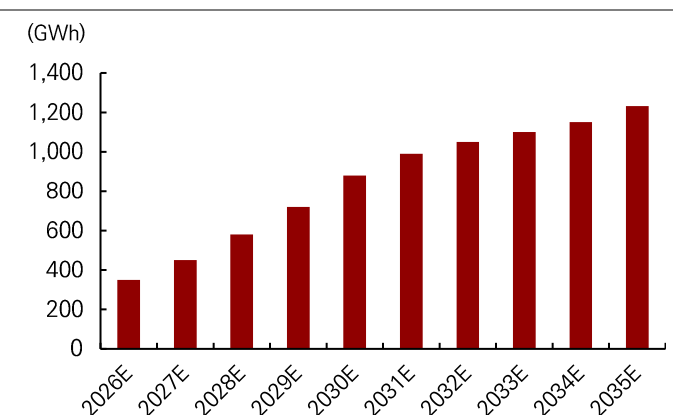
ESS

그림 64. ESS향 전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망



자료: BNEF, KUVIC 리서치 1팀

그림 65. ESS향 비전고체(LFP 중심) 배터리 수요량 총 TAM 전망



자료: Benchmark MI, 삼성SDI, KUVIC 리서치 1팀

BloombergNEF가 공개한 자료에 따르면 글로벌 ESS 설치 규모는 신재생에너지 확대 정책에 힘입어 2025년 기준 247 GWh를 기록하며 폭발적인 성장세를 이어갈 전망이다. 이를 바탕으로 2035년까지의 전체 배터리 수요는 수백 GWh 단위의 거대한 시장을 형성할 것으로 산출된다.

그러나 거대한 수요에도 불구하고, ESS 분야 내 전고체 배터리 수요는 제한적일 것으로 전망된다. 본 리서치 1팀의 추정에 따르면, **2035년 기준 ESS 시장 내 전고체 배터리 수요량은 약 3 GWh 수준에 머물며 타 전방산업 대비 가장 보수적인 채택 흐름**을 보일 것으로 분석된다.

표 30. ESS 컨테이너 구성

ESS 유형	총 용량	LFP 셀 사양	셀 개수	모듈 수
20ft 컨테이너	2MWh	280Ah 각형	약 7,000개	50~70 모듈
SBB 2.0 (삼성 SDI)	3MWh	각형 LFP	약 10,000개	60~80 모듈
LG엔솔 1GWh 공장	1GWh	LFP	350만 개	2.5만 모듈

자료: 각 사 자료 종합, KUVIC 리서치 1팀

이러한 낮은 채택률은 ESS 시장 특유의 비용 중심적 원가 구조에 기인한다. 모빌리티나 항공 산업과 달리, 대형 20ft 컨테이너 규격을 기본 단위로 하는 ESS는 무게나 부피 등 공간 제약이 거의 없어 에너지 밀도가 채택의 우선순위가 되지 못한다. 대신 6,000~8,000 사이클에 달하는 긴 수명과 팩 단위의 단가 경쟁력이 구매 지표로 작용한다. 이러한 환경에서는 삼원계 대비 화재 위험이 낮으면서도 압도적인 저원가를 자랑하는 LFP 배터리 위주의 기존 배터리나 상용화 박차를 가하고 있는 나트륨 배터리가 시장을 지배할 것으로 파악된다.

따라서 전고체 배터리가 ESS 시장에서 유의미한 수요를 창출하기 위해서는 LFP 팩 가격 대비 경쟁력을 입증해야 하나, 이는 단기간 내 실현되기 어려울 것이다. 결과적으로 전고체 배터리는 화재 발생 시 대형 참사로 직결될 수 있는 도심 인구 밀집 지역의 지하 시설, 초고층 빌딩 내부, 혹은 국가 중요 보안 시설 등 안전성 기반 설계 여유가 절대적으로 요구되어 법적으로 LFP 채택이 불가한 특수 입지에 한정되어 탑재될 것이다.

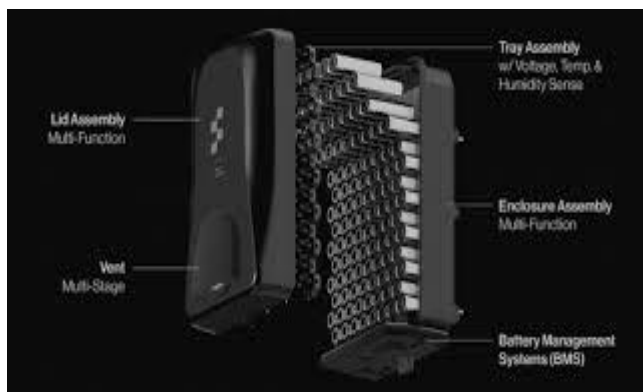
표 31. ESS 배터리 폼팩터 및 요구 성능

구분	배터리 탑재 공간 및 팩 용량	요구 에너지 밀도	LFP 배터리 채택 가능성 및 한계	전고체 배터리 채택 여부
ESS	대형 20ft 컨테이너 규격 단위 팩 용량: MWh ~ GWh 급	무게/부피 제약 거의 없음 (에너지 밀도 무관)	O, 화재위험 감소, 수명(6,000~8,000 사이클) 우위 및 원가성 확보로 주요 사용자	공간 제약이 없는 ESS의 경우, 채택 가능성이 현저히 감소.

자료: KUVIC 리서치 1팀

휴머노이드용 로봇

그림 66. 휴머노이드 배터리



자료: Figure AI, KUVIC 리서치 1팀

그림 67. 휴머노이드 로봇 구성요소



자료: LG에너지솔루션, KUVIC 리서치 1팀

ESS 시장이 에너지 전환의 핵심 인프라로 자리 잡았다면, 휴머노이드 로봇은 **노동력 부족 해결과 제조 효율 극대화를 위한 궁극적인 전방 산업으로 부상**하고 있다. 휴머노이드 로봇 시장의 TAM을 산정하기 위해서는 단순 대수 기준의 전망을 넘어, 투입되는 핵심 부품의 원가 비중과 서비스형 로봇(RaaS) 모델을 통한 구독 매출까지 고려한 입체적인 접근이 필요하다.

기술적 요구사항 측면에서 휴머노이드 로봇은 모빌리티와 고도의 제어 능력을 동시에 요구한다. 인간과 유사한 관절 기동을 구현하기 위한 **고출력·고정밀 액추에이터와 하모닉 드라이브의 비중**이 전체 원가 구조에서 절대적인 위치를 차지한다. 또한 복잡한 지형에서의 보행과 정밀 작업 수행을 위해 고성능 비전 센서 및 라이다를 활용한 주변 인지 기술, 그리고 실시간 데이터 처리를 위한 엣지 컴퓨팅 하드웨어가 필수적이다.

표 32. 휴머노이드용 로봇 배터리 폼팩터 및 요구 성능

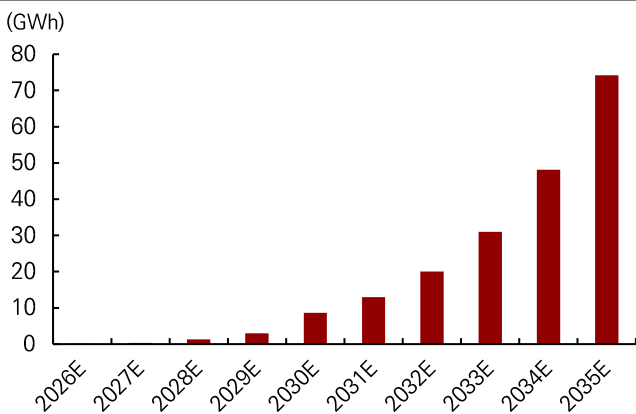
구분	배터리 탑재 공간 및 팩 용량	요구 에너지 밀도	LFP 배터리 채택 가능성 및 한계	전고체 배터리 채택 여부
휴머노이드용 로봇	토르소 부근 협소한 공간 팩 용량: 약 2.3 ~ 5 kWh 셀: 2170/4680 일부	셀: 250~350 Wh/kg 단발성 고출력(20C~50C) 요망	제한적 채택, 배터리가 무거울 시 무게중심 붕괴돼 이족 보행 불가. 높은 순간 출력(점프/물건 들기) 지원 불가로 인한 제한적 채택 전망.	기존 NCM 수준을 넘는 고출력 지원 및 팩 경량화 가능. 폭발·발화 위험 현저히 낮아 채택 유력.

자료: KUVIC 리서치 1팀

특히 배터리 관점에서는 ESS와 상반된 요구사항이 강조된다. 휴머노이드 로봇은 **장시간 구동과 고부하 작업을 동시에 수행**해야 하므로, 원가보다는 **에너지 밀도와 출력 밀도가 최우선 지표**가 된다. 이에 따라 LFP보다는 고출력 삼원계 배터리가 주류를 이룰 것으로 보이며, 향후 **전고체 배터리나 실리콘 음극재 등 차세대 소재 도입을 통한 경량화 및 구동 시간 확보가 시장 경쟁력을 결정짓는 핵심 변수**가 될 전망이다.

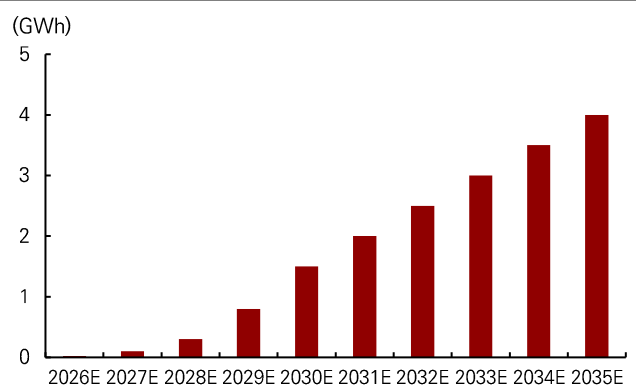
글로벌 규제 및 표준 환경 또한 가파르게 형성되고 있다. 로봇과 인간의 협업 과정에서 안전을 보장하기 위한 ISO 10218 및 ISO/TS 15066 규격 준수가 필수적이며, 인공지능 윤리 가이드라인 역시 시장 진입 장벽으로 작용하고 있다. 이러한 기술적 hurdles과 규제 요건을 충족하며 양산 체제를 구축하는 기업이 향후 휴머노이드 산업의 초기 주도권을 확보할 것으로 분석된다.

그림 68. 휴머노이드 로봇용 전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망



자료: SNE Research, TrendForce, KUVIC 리서치 1팀

그림 69. 휴머노이드 로봇용 비전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망



자료: SNE Research, TrendForce, KUVIC 리서치 1팀

본 리서치 팀의 추정에 의하면, **휴머노이드 로봇용 전고체 배터리 수요는 2027년 0.3 GWh 수준에서 2030년 8.6 GWh, 2035년에는 74.2 GWh 규모로 가파르게 성장**할 전망이다. 휴머노이드 로봇은 공장이나 서비스 현장에서의 가동 시간이 핵심 지표로 작용하며, 전고체 배터리는 기존 리튬 이온 배터리 대비 동일 부피에서 더 긴 작동 시간을 제공함으로써 충전이나 교체를 위한 다운타임을 줄여 가동률을 높이는 역할을 한다. 실제 Figure AI가 공개한 F.03 모델의 경우 2.3 kWh 용량의 배터리로 5시간의 가동

시간을 확보하고 2 kW 급속 충전을 지원하는데, 이러한 고출력 피크 대응과 열관리 여유가 향후 전고체 채택의 주요 판단 기준이 될 것이다.

시장 조사 기관의 보급 전망에 따르면 휴머노이드 로봇의 누적 보급 대수는 2030년 69만 대에서 2040년 5,330만 대까지 확대될 것으로 예측된다. 이에 따라 전고체 배터리 수요 또한 2030년대 후반부터 폭발적으로 늘어나 2045년에는 기준 시나리오상 연간 약 187 GWh 규모에 도달하며 전체 전방 산업 수요 중 큰 비중을 차지하게 될 것이다. 이는 휴머노이드 로봇이 부품의 단가보다 가동 시간 개선과 같은 성능 향상에 따른 임무 가치에 더 민감하게 반응하여 성능 트리거에 의한 조기 채택이 활발히 일어날 것임을 시사한다.

방산용 드론

드론 산업에서 배터리는 기체의 비행 성능과 페이로드(적재 중량)를 결정짓는 핵심 요소이다. 휴머노이드 로봇이 인간과의 공존 및 안전성에 집중한다면, 드론은 중량 한계를 극복하기 위한 극도의 에너지 밀도와 이착륙 시 필요한 고출력 특성이 제품 채택의 선행 지표가 된다. 특히 비행 중 배터리 결함은 기체 추락으로 직결되어 인명 및 재산 피해를 야기하므로, 가혹한 물리적 충격과 진동 환경에서의 신뢰성 확보가 필수적이다.

표 33. 방산용 드론 배터리 폼팩터 및 요구 성능

구분	배터리 탑재 공간 및 팩 용량	요구 에너지 밀도	LFP 배터리 채택 가능성 및 한계	전고체 배터리 채택 여부
방산용 드론	극소형 공간 팩 용량: 1 kWh 미만 ~ 수 kWh	셀: 400 Wh/kg 이상 팩: 260~300 Wh/kg 이상	X, LFP의 무게로 드론의 체공 시간을 절반 이하, 페이로드(무기/센서) 장착 공간 확보로 인한 한계 존재.	리튬메탈 기반 전고체 적용 시 410 Wh/kg(현재 2배) 구현 가능. 영하 20도 극한 환경에서도 방전 없이 작전 수행 위해 필요.

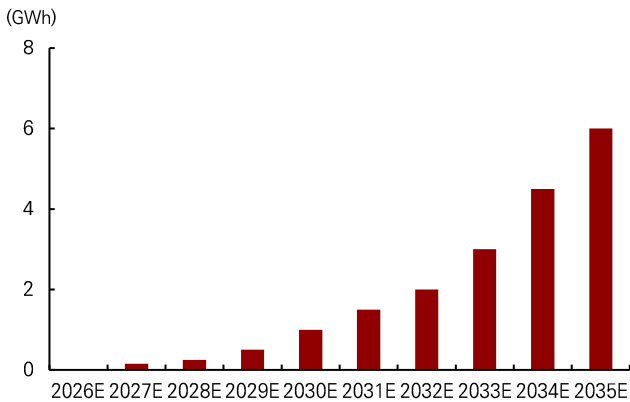
자료: KUVIC 리서치 1팀

현재 드론용 배터리는 리튬 폴리머(Li-Po)가 주류를 이루고 있으나, 짧은 비행 시간(통상 20~40분)이 산업적 확산의 병목 구간으로 작용하고 있다. 이를 해결하기 위해 단기적으로는 셀의 물리적 구조를 최적화하여 팩 무게를 줄이는 동시에, 연속적인 고출력 방전(C-rate) 시 발생하는 열을 효과적으로 관리하는 기술이 요구된다. 중장기적으로는 300~400 Wh/kg 이상의 에너지 밀도를 구현할 수 있는 전고체 배터리 도입을 통해 현재 대비 2배 이상의 비행 시간 확보가 시장 성장의 촉매제가 될 전망이다.

운용 환경 측면에서는 고도 변화에 따른 기압 차이와 급격한 온도 변화를 견디는 설계 역량이 필요하다. 특히 산업용 드론은 영하의 기온에서도 안정적인 출력을 유지해야 하며, 먼지와 습기로부터 회로를 보호하는 방진·방수(IP 등급) 설계가 기계-전기 통합 관점에서 이루어져야 한다. 또한 배터리 상태를 실시간으로 모니터링하여 잔여 비행 가능 시간을 정확히 예측하는 BMS 알고리즘의 정밀도가 기체 운용의 안전성을 좌우한다.

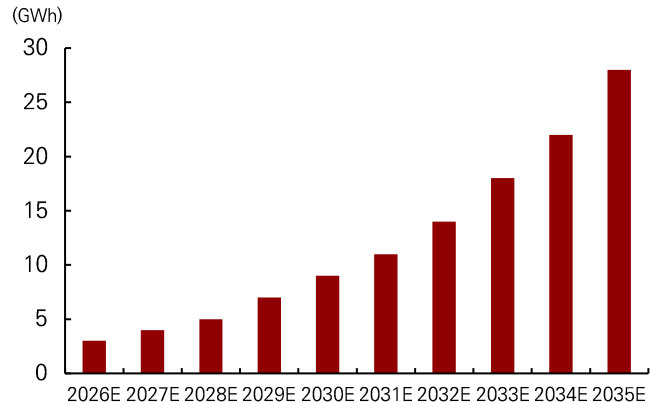
규제 및 인증 관점에서는 비행체에 탑재되는 특성상 항공 안전 기준에 준하는 엄격한 테스트가 요구된다. 국제적인 운송 안전 규격인 UN 38.3은 물론, 각국의 항공 당국이 요구하는 배터리 안전성 인증을 통과해야 상용화가 가능하다. 향후 도심 항공 모빌리티(UAM)로 시장이 확장될수록 이러한 안전 요구사항은 더욱 고도화될 것이며, 이는 고성능·고안전 배터리 제조 역량을 갖춘 기업에게 높은 진입 장벽이자 기회 요인이 될 것으로 분석된다.

그림 70. 방산용 드론향 전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망



자료: BNEF, SNE Research, TrendForce, KUVIC 리서치 1팀

그림 71. 방산용 드론향 비전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망



자료: BNEF, SNE Research, TrendForce, KUVIC 리서치 1팀

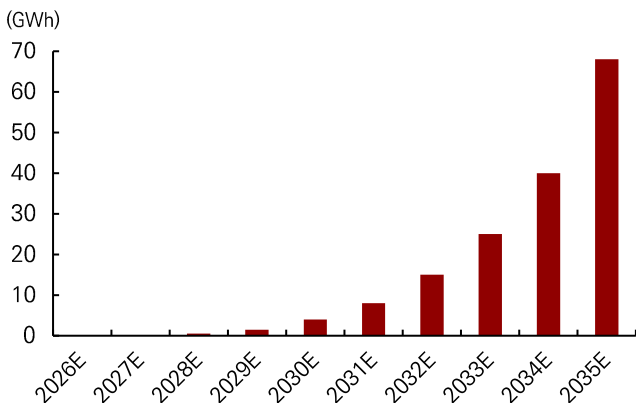
방산용 드론 전고체 배터리 수요는 2027년 0.15 GWh를 시작으로 2030년 약 1 GWh, 2035년에는 6 GWh 규모로 성장할 전망이다. 방산용 드론 시장에서 전고체 배터리의 도입은 단순한 스펙 업그레이드가 아닌, 전장 생존력과 작전 반경 확대를 위한 목적을 수반한다. 특히 현재 현대전의 핵심 전력으로 부상한 ISR(정보·감시·정찰) 드론의 경우, 배터리의 질량 절감과 안전성이 임무 성공률로 직결되는 성능 트리거가 강력하게 작동하는 영역이다.

기존 리튬 폴리머(Li-Po)나 리튬 이온 배터리를 탑재한 최신 군납 모델(예: Skydio X10D)의 경우, 에너지 밀도의 물리적 한계로 인해 작전 체공 시간이 40분 남짓에 불과하다. 그러나 팩 기준 400 Wh/kg 이상의 전고체 배터리를 적용할 경우, 기체의 무게와 탑재 공간을 그대로 유지하면서도 체공 시간을 약 60분 수준으로 50% 이상 비약적으로 연장할 수 있다. 이는 곧 작전 반경의 획기적인 확장을 의미하며, 줄어든 배터리 질량만큼 고성능 광학 센서나 추가 장치를 탑재할 수 있는 기술적 우위로 직결된다.

또한, 전고체 배터리의 고체 전해질이 지닌 비가연성 특성은 피격 위험이 상존하는 전장에서 기체의 생존력을 극대화한다. 액체 전해액과 달리 총탄이나 파편에 관통당하더라도 공중에서 폭발하거나 발화하지 않으며, 영하 20도 이하의 극한 환경에서도 급격한 전압 강하 없이 안정적인 작전 수행을 보장한다.

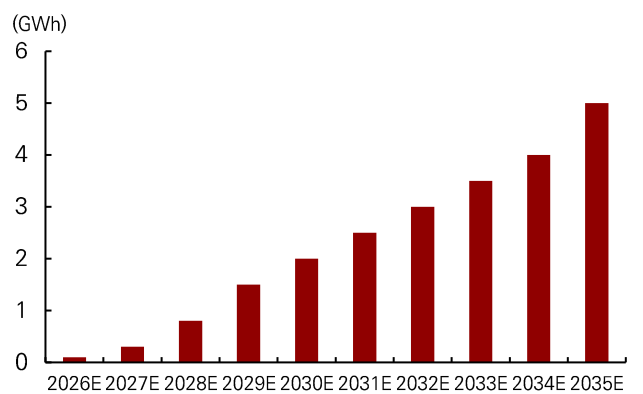
UAM

그림 72. UAM향 전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망



자료: Joby aviation, 삼성SDI, 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

그림 73. UAM향 비전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망



자료: Joby aviation, 삼성SDI, 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

NASA의 연구 자료와 주요 항공 업계의 로드맵에 따르면, **eVTOL 산업은 전고체 배터리 채택이 선택이 아닌 필수인 대표적인 시장**으로 분류된다. 선도 기업인 Joby Aviation은 공시를 통해 현재 상용화된 리튬 이온 배터리의 팩 기준 에너지 밀도는 235 Wh/kg 수준의 물리적 한계에 봉착해 있음을 시사했다. 본격적인 상업화를 위해서는 1만 회 이상의 비행 사이클과 승객 탑승 시간 내 초급속 충전이 필수적이므로, 이를 충족할 전고체 배터리의 도입을 목표로 하고 있다. 본 리서치 1팀의 분석 결과에 따르면, **eVTOL용 전고체 수요는 상용화 원년이 될 2027년 0.05 GWh의 초기 탑재 물량을 시작으로 2030년 4.0 GWh, 대중화 궤도에 오르는 2035년에는 68.0 GWh 규모로 폭발적인 성장을 이룰 전망이다.**

유럽항공안전청(EASA)의 항공 인증 규정에 따르면, 비행체의 추진 배터리 시스템은 최소 20% 셀의 열폭주 유도 시험을 통과해야 하는 등 지상 모빌리티 대비 매우 엄격한 가혹 조건의 안전 기준을 요구받는다. 이러한 높은 안전 인증 장벽은, 열폭주 원인인 액체 전해액을 배제한 **전고체 배터리의 비가연성 특성이 인증 비용과 화재 방지용 구조물의 중량 페널티를 대폭 줄이는 결정적인 채택 동인으로 작용한다.**

NASA는 팩 기준 300 Wh/kg 달성을 항공 전동화의 1차 분기점으로 보고 있으며, 400 Wh/kg 수준의 차세대 성능을 구현하기 위해서는 전고체 배터리의 기술적 성숙이 필수적이라고 명시한다. 향후 전고체 배터리 적용을 통해 팩 에너지 밀도가 350~400 Wh/kg 수준으로 개선될 경우, 기존 대비 배터리 질량을 약 33% 이상 획기적으로 절감할 수 있으며, 이는 유상하중의 증가나 항속 거리의 비약적 연장으로 직접 전이되어 eVTOL 산업의 폭발적 성장을 견인할 것이다.

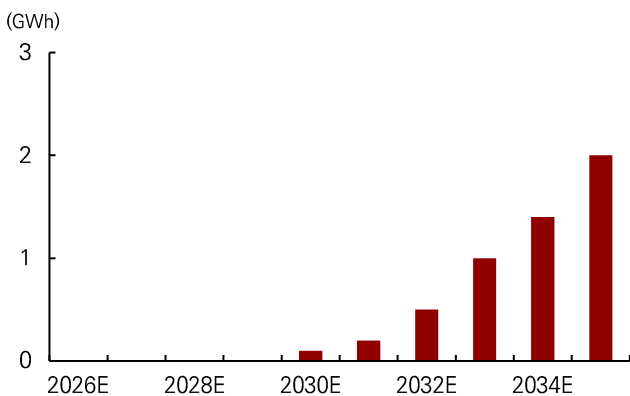
표 34. UAM 배터리 폼팩터 및 요구 성능

구분	배터리 탑재 공간 및 팩 용량	요구 에너지 밀도	LFP 배터리 채택 가능성 및 한계	전고체 배터리 채택 여부
UAM	항공기 구조 내 분산 탑재 팩 용량: 100~200+ kWh 추정	셀: 450~550 Wh/kg 팩: 360~400 Wh/kg 이상	X, 질량 대비 에너지밀도가 NCM보다 수직 이착륙 시의 전력 소모를 20% 낮아 기체가 이륙 불가능하거나 운항 거리 극도로 짧음.	감당할 출력과 고공 비행 시의 열 안정성(고체 전해질) 동시 충족.

자료: KUVIC 리서치 1팀

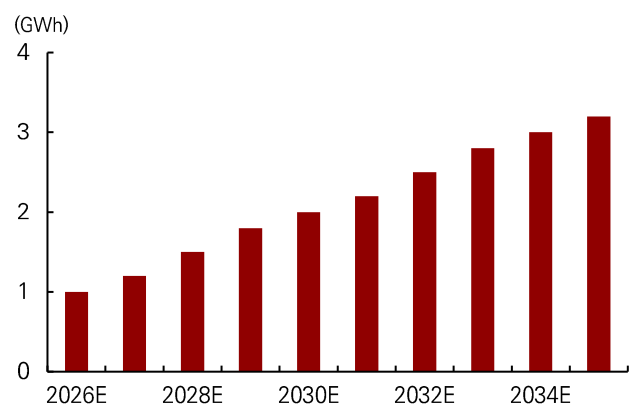
잠수함

그림 74. 잠수함용 전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망



자료: Navantia, KUVIC 리서치 1팀

그림 75. 잠수함용 비전고체 배터리 수요량 총 TAM 전망



자료: Navantia, KUVIC 리서치 1팀

Navantia의 공개 설계 발표 자료에 따르면, **군 및 연구용 잠수함은 수십 MWh급의 대형 에너지 저장이 필요하며 극한의 안전 요구와 긴 개발 및 인증 기간이 수반되는 특수 영역**이다. 잠수함용 전고체 배터리 수요는 군수 체계 인증 리드타임을 반영하여 2029년까지는 0 GWh를 유지하다가 **2030년 0.1 GWh를 기점으로 최초 발생하며, 2035년에는 2.0 GWh 규모를 형성할 전망이다.** 전고체 침투율은 2035년까지 1% 미만의 매우 낮은 비율로 잡히는데, 이는 장기 신뢰성 검증, 정비성 확보, 그리고 수중 폭발 충격 대응 등 인증 절차가 극도로 까다롭고 플랫폼 교체 주기가 통상 10년 단위로 길기 때문으로 파악된다.

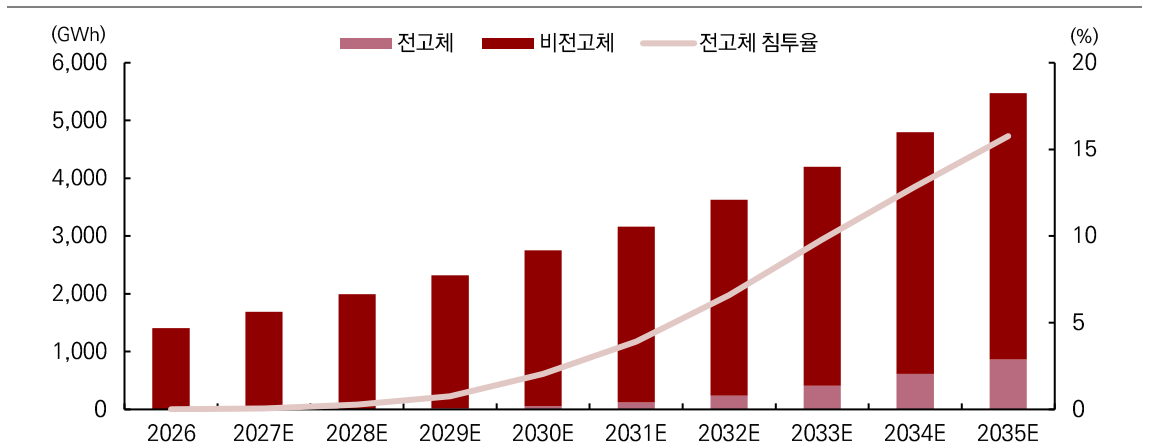
그럼에도 불구하고 Navantia가 제시한 기존 LFP 시스템의 밀도인 약 150 Wh/kg 대비 전고체 배터리를 적용할 경우 배터리 질량 예산을 약 57%까지 획기적으로 절감할 수 있다. 이러한 성능 개선은 단순히 에너지 효율을 높이는 것을 넘어, 디젤 잠수함의 생명인 **잠항 일수 및 무소음 체류 시간을 비약적으로 연장하거나 잉여 공간에 추가적인 무기 체계를 탑재하는 등의 작전 가치로 전이될** 것이다. 또한 밀폐된 해저 공간에서 가스 배출 및 폭발 우려를 원천 차단하는 **전고체의 비가연성 특징은 승조원의 생존성을 높일 것으로 기대된다.** 잠수함 분야의 전고체 도입은 시스템 기준 250 Wh/kg 이상의 체적/질량 밀도 확보와 격실 안전성 및 군수 절차 적합성이 입증되는 시점을 분기점으로 하여 특수 연구용이나 선별적인 플랫폼부터 점진적으로 탑재가 시작될 것이다.

표 35. 잠수함 배터리 폼팩터 및 요구 성능

구분	배터리 탑재 공간 및 팩 용량	요구 에너지 밀도	LFP 배터리 채택 가능성 및 한계	전고체 배터리 채택 여부
잠수함	선체 최하층 전용 배터리실 팩 용량: 수십 MWh 급(셀 수만 개)	팩: 체적 에너지 밀도(Wh/L) 최우선 고려	제한적 채택, 기존 납축전지보다는 우수하나 잠항 능력을 극대화하기엔 부피가 큼.	선체 대비 용량을 극대화해 잠항 시간을 3배 이상 늘릴 수 있음, 독성 가스 배출 및 폭발 우려 원천 차단 필요.

자료: KUVIC 리서치 1팀

그림 76. 총 배터리 수요량 비교



자료: IEA, BNEF, SNE Research, Joby Aviation, TrendForce, 삼성SDI, 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

리스크

전고체의 난관: 경제성과 원가 구조

LFP 대비 아쉬운 경제성

전고체 배터리의 압도적인 기술적 우위에도 불구하고, 상용화 확산을 가로막는 가장 치명적인 병목은 '경제성'과 '원가 구조'에서 발생한다. 캐즘 장기화의 영향으로 최근 전기차 시장에서는 차량의 저가화가 핵심 생존 트렌드로 자리 잡았다. 볼륨 및 엔트리 모델에 대한 수요가 급증함에 따라 완성차 업체들은 배터리 채택 전략을 수정하고 있다. 값비싼 코발트와 니켈이 다량 함유된 하이니켈 삼원계(NCM, NCA) 양극재는 높은 원가 부담으로 인해 적용 범위가 하이엔드 차종으로 제한되고 있으며, 그 빈자리를 고전압 미드니켈(HVM) 또는 가격 경쟁력이 뛰어난 LFP(리튬인산철) 배터리가 빠르게 대체하고 있다.

BNEF의 분석에 따르면 2025년 기준 글로벌 리튬 이온 배터리 팩 평균 가격은 108달러/kWh 수준까지 하락했으며, 중국 내 LFP 배터리의 경우 84달러/kWh 수준이라는 기록적인 최저가에 도달했다. 이러한 리튬 이온 배터리의 극단적인 가격 하락은 전고체 배터리에게 막대한 상업적 압박으로 작용한다. 전고체 배터리의 생산 초기 단계(2027~2028년경)에서의 가격은 보수적으로 산정해도 kWh당 400~600달러 수준으로 평가된다. 이는 현재의 리튬 이온 배터리 대비 4배에서 최대 5배 이상 비싼 수치로, 단기간 내에 볼륨-엔트리급 EV 채택으로 확산되는 것은 현실적으로 불가능에 가깝다.

복잡한 공정 과정

표 36. LIB/황화물계 전고체 배터리 핵심 제조 공정 비교

공정 단계	기존 리튬 이온 배터리(LIB)	황화물계 전고체 배터리
핵심 소재 합성	범용 액체 전해질 및 일반 양극재 적용	황화리튬 기반 고체 전해질 및 특수 코팅된 단결정 하이니켈 양극재 사용
전극 제조	슬러리 믹싱 및 건조, 롤프레스 압연	고체 전해질 특성 유지 위한 특수 용매 적용 또는 완전 건식 공정 도입
조립 및 성형	와인딩 또는 스택킹 후 전해액 주입	계면 저항 최소화를 위한 수백 MPa급 초고압 프레스 성형 및 고온 소결
작업 환경 제어	일반 드라이룸 운영(노점 약 -40°C 수준 관리)	초고도 통제 드라이룸(노점 -70°C 이하) 또는 아르곤(Ar) 가스 충전 불활성 클러브 박스 전면 도입

자료: KUVIC 리서치 1팀

전고체 배터리의 높은 가격표 뒤에는 원자재 비용과 극도로 까다로운 제조 공정 비용이라는 구조적 문제도 존재한다. 독일 울리히 연구소(Forschungszentrum Jülich) 등의 심층 원가 시뮬레이션 연구에 따르면, 전고체 배터리의 전체 생산 비용 중 원자재 및 제조 공정이 차지하는 비중은 무려 70% 이상에 달한다. 1억 개의 셀을 대량 생산하는 시나리오를 가정하고 20%의 누적 학습률을 적용한 조건 하에서도, 고체 전해질과 하이니켈 양극재 등 핵심 재료비가 셀 수준 원가에서 차지하는 비중은 여전히 75~77% 수준으로 압도적이다.

원자재 측면에서 전고체 배터리의 핵심인 고체 전해질, 특히 주류로 평가받는 황화물계 전해질은 합성에 필요한 기본 전구체인 황화리튬(Li₂S)의 가격이 치명적인 걸림돌이다. 황화리튬은 수분에 극도로 취약하고 독성을 지녀 소수의 정밀 화학 기업들만이 소량 합성 체제를 갖추고 있으며, 이로 인해 단가가 리튬 이온 배터리의 액체 전해질 대비 수십 배 이상 높다. 양극 활물질 역시 전고체 환경에서의 저항을 줄이기 위해 특수 코팅된 단결정 하이니켈 양극재(HE-NCM 등)가 요구되어 비용 상승을 부추긴다.

제조 공정 비용의 상승 또한 심각한 수준이다. 무기 고체 전해질은 입자 간의 이온 전도도를 확보하고 계면 저항을 최소화하기 위해 극도로 높은 압력의 성형 공정과 경우에 따라 산화물계의 경우 최대 1250°C에 이르는 고온 소결 공정을 거쳐야 한다. 이는 막대한 전기 에너지 소비로 직결된다. 더욱이 황화물계 전해질은 대기 중의 수분과 단 1%라도 반응할 경우 배터리 성능 저하는 물론 인체에 치명적인 맹독성 황화수소(H₂S) 가스를 발생시킨다. 따라서 배터리 조립부터 패키징에 이르는 전 공정을 노점 극도로 통제된 드라이룸이나 아르곤 가스로 채워진 불활성 글러브 박스 내에서 진행해야 하며, 이러한 특수 환경 유지는 CAPEX와 OPEX를 기하급수적으로 천문학적으로 증가시키는 요인이 될 것이다.

표 37. 기존/황화물계 배터리 원가 비교

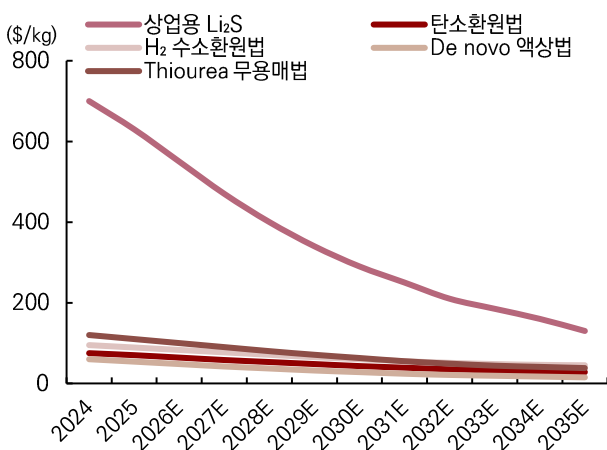
셀 설계	소재 원가 (\$/kWh)	공정 원가	총 제조원가
기존 LIB (흑연 음극)	약 \$55 ~ \$70	약 \$20 ~ \$30	약 \$75 ~ \$100
황화물계 SLIB (흑연 음극)	약 \$300 ~ \$450	약 \$100 ~ \$150	약 \$400 ~ \$600

자료: KUVIC 리서치 1팀

그럼에도 전고체 배터리 상용화 이상 無

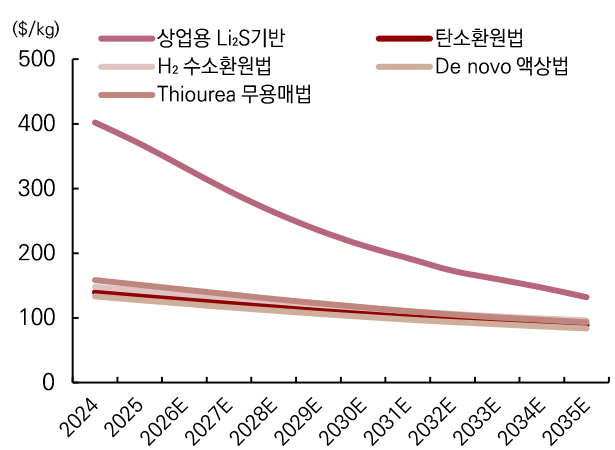
그럼에도 전고체 배터리는 초기 상용화 시 가격 저항이 상대적으로 낮고 혁신 기술의 프리미엄을 기꺼이 지불할 수 있는 고사양 프리미엄 모델 중심으로 탑재될 전망이다. 2025년 7월, BMW는 미국의 고체 전해질 전문 업체인 Solid Power의 전고체 배터리 셀을 자사의 플래그십 대형 전기 세단인 i7 모델에 시험 적용하며 도로 실증 주행에 돌입했다. i7은 가격과 포지셔닝 측면에서 브랜드를 대표하는 최상위 프리미엄 모델에 해당하며, 이러한 무거운 중량의 럭셔리 세단은 고용량 배터리 탑재로 인한 중량 증가를 억제하기 위해 전고체 배터리와 같은 고에너지 밀도 기술이 가장 절실히 요구된다. Ford, Stellantis 등 타 완성차 업체들 또한 Solid Power를 비롯한 전고체 벤처 기업들과의 지분 투자 및 공동 연구개발 협업을 지속하며 하이엔드 차종을 겨냥한 상용화 파이프라인을 구축하는 중이다.

그림 77. 황화리튬 합성법별 연도별 원가 추정



자료: SMM, KUVIC 리서치 1팀

그림 78. 합성법별 황화물계 고체 전해질 원가 동향 추정



자료: Nature, KUVIC 리서치 1팀

현재 전고체 배터리 상용화의 최대 병목 지점인 황화리튬의 제조 단가를 낮추는 시점을 파악하기 위해, 본 리서치 팀은 핵심 합성 공법인 '탄소환원법, H₂ 수소환원법, De novo 액상법, 무용매법'을 토대로 원가 절감 시나리오를 진행하였다. [그림 77]와 [그림 78]은 현재 상업용 황화리튬 가격인 \$700/kg을 기준으로 각 신공법 도입에 따른 비용 절감 효과와 고체 전해질 원가 동향을 추정한 결과이다.

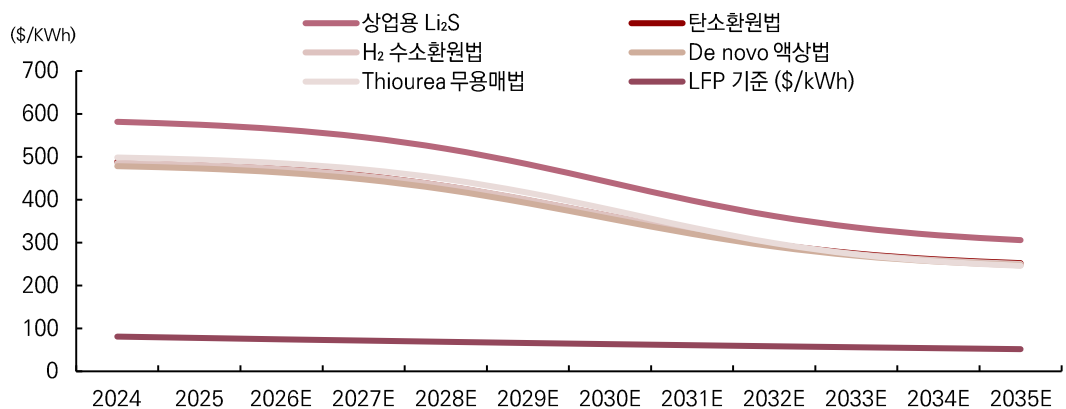
2035년까지의 황화리튬 원가 추정은 '라이트의 법칙(Wright's Law)'을 적용하여 산출했다. 현재 상업용 황화리튬의 기준 가격(\$700/kg) 외에 각 합성 공법별로 상이한 초기 원가를 설정하고, 누적 생산량이 2배 증가할 때마다 일정한 학습률에 따라 비용이 감소한다는 모델을 활용해 추정을 진행했다.

다만 본 추정 모델은 매년 생산 능력이 배가된다는 공격적인 CAPA 확장을 전제로 하였으며, 공법별 학습률 수치는 기존 리튬 이온 배터리 및 정밀 화학 공정의 과거 데이터를 기반으로 유추했다는 한계점을 지닌다. 황화물계 고체 전해질의 원가는 핵심 전구체인 황화리튬 가격에 절대적으로 연동되므로, (추정 황화리튬 단가 × 42%) + 고정 원가(가공비 및 품질관리비 등)의 공식을 통해 산출했다. 여기서 고정 원가는 공정 최적화와 규모의 경제 효과를 반영하여 초기 \$108/kg을 기점으로 매년 3%씩 하락한다고 가정했다. 이와 동일한 논리로 전고체 배터리의 최종 셀 원가 역시 (황화물계 고체 전해질 단가 × 고체 전해질 비중 25%) + 기타 원가의 수식으로 모델링하였으며, 기타 원가의 경우 매년 5%씩 꾸준히 하락한다는 전제를 부여해 시뮬레이션을 진행하였다.

연도별 황화리튬 원가 절감 추이를 살펴볼 시, 2026년부터 일본 치바 지역 등 주요 거점 내 대형 양산 설비 가동이 본격화됨에 따라 유의미한 원가 하락이 시작될 전망이다. 구체적으로 탄소환원법은 \$70에서 \$64/kg으로, De novo 액상법은 \$54에서 \$48/kg으로 단가가 인하될 것으로 추정된다. 또한 2027년에는 한국, 미국, 일본 중심의 공격적인 CAPA 확장과 공정 수율 개선에 힘입어 글로벌 황화리튬 공급량이 급증할 것으로 예상된다. 이 시기 고효율의 De novo 액상법을 적용한 황화리튬 단가는 \$42/kg 수준까지 수직 하락하며, 수백 달러를 호가하는 기존 상업용 거래가(약 \$470/kg) 대비 유의미한 원가 경쟁력을 확보할 것으로 산출되었다. 2032년 이후에는 H₂ 수소환원법과 De novo 액상법의 본격적인 공정 최적화 및 규모의 경제 효과가 발현될 것으로 보인다.

본 리서치 팀의 시나리오대로 진행될 시, 전고체 배터리가 초기 하이엔드 럭셔리 시장 위주의 제한적 침투에서 벗어나 점진적인 배터리 팩 원가 하락을 바탕으로 볼륨급 대중형 전기차 및 eVTOL, 방산용 드론 등 광범위한 전방산업으로 탑재 영역을 넓혀가는 사이클로 이어지리라 기대된다.

그림 79. 합성법별 전고체 배터리 셀 원가 비교



자료: KUVIC 리서치 1팀

결론

다가올 전고체 배터리 시대의 핵심은 황화리튬

황화리튬 제조 기업에 주목하자

차세대 배터리 시장은 기존의 EV와 ESS를 넘어, 휴머노이드 로봇과 방산용 드론이라는 고부가가치 신 시장으로 모멘텀이 빠르게 확장되고 있다. 나아가 eVTOL 및 군용 잠수함 등 안전성과 성능이 요구되는 타 산업으로의 진출 기회까지 가시화되면서, 바야흐로 전고체 배터리의 본격적인 상용화 시대가 도래하고 있는 국면에 진입했다.

현재 전고체 배터리의 대량 상용화에 있어 가장 치명적인 병목 지점은 바로 핵심 원료인 황화리튬(Li₂S)의 높은 제조 원가다. 결국 황화리튬의 단가 절감이 원활하게 진행되어야만 전고체 배터리의 대량 상용화에 강력한 추진력을 제공할 수 있을 것이다. 이러한 우려를 불식시키기 위해 글로벌 셀 메이커들의 대규모 양산 타임라인에 발맞추어, 소재 기업들이 선제적인 CAPA 증설에 나서고 있으며, 신규 공정법 도입 및 수율 개선을 이뤄내고 있어 원가 부담은 점진적으로 완화될 것으로 기대된다.

결론적으로 전고체 배터리의 최대 수혜는 원가 절감의 열쇠를 쥔 소재 기업들에게 집중될 전망되며, 이에 본 리서치 팀은 황화리튬 밸류체인을 최우선으로 주목할 것을 제시한다. 특히 제조 공정의 부산물(H₂S)을 활용해 타사 대비 압도적인 원가 경쟁력을 확보한 이수스페셜티케미컬을 Top Pick으로 선정한다.

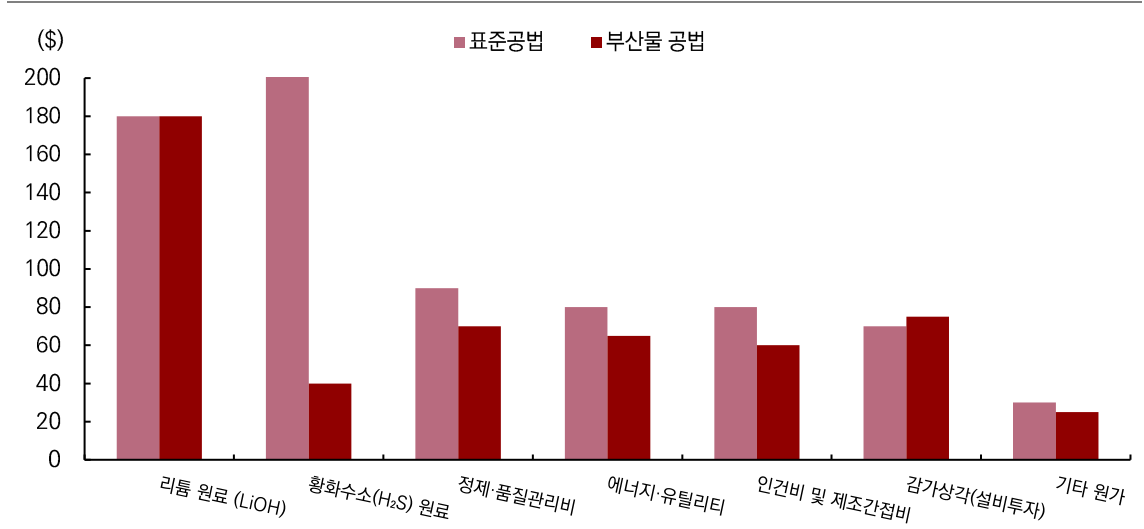
TOP PICK

고체 전해질 확산에 따른 이수스페셜티케미컬의 구조적 수혜

부산물 공법에 따른 원가 절감 효과

이수스페셜티케미컬은 제조 공정에서 불가피하게 발생하는 부산물인 황화수소(H₂S)를 황화리튬(Li₂S)의 합성 원료로 활용함으로써, 외부 시장 구매 대비 원재료비를 약 85% 절감하는 원가 구조를 보유하고 있다. 이를 통해 당사의 황화리튬(Li₂S) 예상 판매단가는 글로벌 시장가 대비 최대 50~70% 저렴한 수준으로 책정 가능하며, 전고체 배터리용 황화물계 고체전해질이 본격적으로 양산될 시, 가격 경쟁력을 확보할 것으로 보인다.

그림 80. 황화리튬 공법별 원료 비교



자료: 이수스페셜티케미컬, Metal.com, KUVIC 리서치 1팀

일반적인 표준 공법에서는 황화수소를 외부 시장에서 전량 구매하는 반면, 이수스페셜티케미컬은 TDM/NOM 생산 공정에서의 부산물 황화수소를 내부 공정으로 조달한다. 이때 내부 단가는 약 \$55/톤으로, 외부 시장가(\$350/톤) 대비 약 84% 저렴하다.

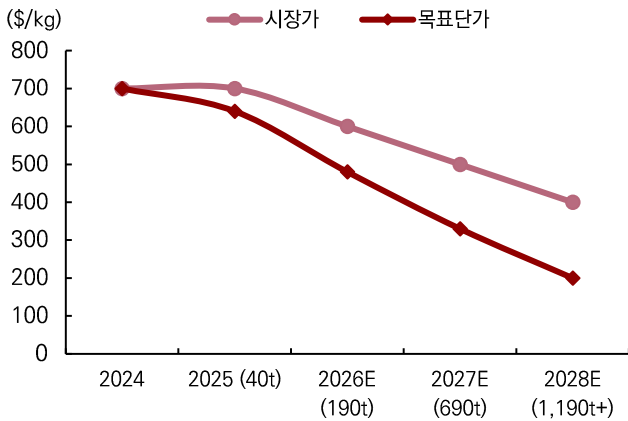
표 38. 공법별 단가 비교

공법	조달 방식	단가 (\$/톤)
표준 공법	외부 시장 전량 구매	\$350
이수스페셜티케미컬 공법	부산물 내부 전용 (87%)	\$55
절감 효과		△\$295 (약 84% 절감)

자료: KUVIC 리서치 1팀

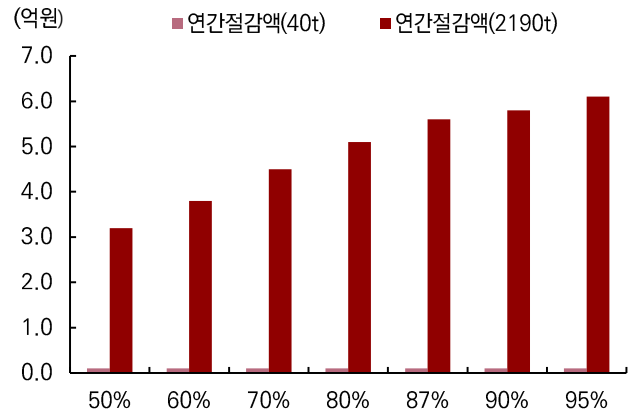
동사의 황화리튬 목표 판매 단가는 선제적인 CAPA 확장에 힘입어 글로벌 시장 판가 대비 가격 격차를 벌려 나갈 것으로 전망된다. 2024년에는 시장가와 유사한 약 \$650/kg 수준에서 출발하지만, 2025년 파일럿 라인(40t) 가동을 통해 \$630/kg으로 단가를 낮추고, 2026년(190t) \$465/kg, 2027년(690t) \$350/kg으로 가파른 원가 절감을 시현할 것으로 추정된다. 특히 대규모 양산 체제가 본격화되는 2028년(1,190t 이상) 이후에는 단가가 \$200/kg 수준까지 수직 하락할 것으로 기대된다. 이는 동 기간 예상되는 글로벌 평균 시장가(\$400/kg)의 절반(50%)에 불과한 수치로, 향후 글로벌 전고체 소재 벤더 경쟁에서 확고한 우위를 점하는 키 포인트가 될 것이다.

그림 81. Li₂S 판매단가 로드맵 (\$/kg)



자료: KUVIC 리서치 1팀

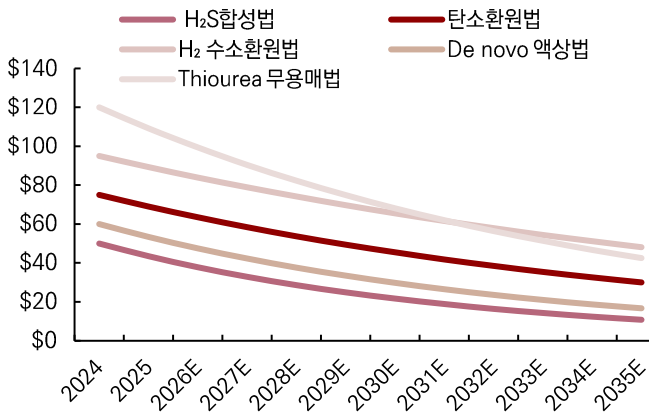
그림 82. 부산물 조달비율별 연간 절감액



자료: KUVIC 리서치 1팀

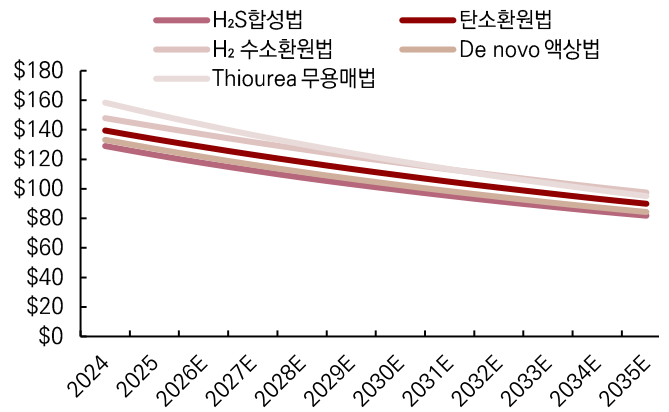
이러한 원가 절감을 가능케 하는 근본적인 배경에는 동사의 공정 내 황화수소 부산물 활용 비중이 자리하고 있다. 황화수소 부산물의 조달 비율이 높아질수록 원가 절감 효과는 단조 증가하는 구조적 강점을 지닐 것으로 보인다. 87% 조달 비율 달성 시, 초기 40t CAPA 기준 연간 약 1.2억원, 2028년 이후 최대 CAPA인 2,190t 가동 시 연간 약 57억원에 달하는 막대한 비용 절감 효과가 발생할 수 있다. 보수적인 시나리오를 적용하여 조달 비율이 50%에 그치더라도 40t 기준 0.9억원, 2,190t 기준 42억원의 구조적 절감이 유지된다. 동사가 20년 이상 축적해 온 정밀 화학 분야의 독보적인 맹독성 황화수소 취급 노하우를 고려할 때, 87% 이상의 높은 조달 비율을 무난히 달성하고 유지할 수 있는 가능성이 높을 것으로 전망된다.

그림 83. 합성법별 황화리튬 원가 추이



자료: KUVIC 리서치 1팀

그림 84. 합성법별 황화물계 고체 전해질 원가 추이



자료: KUVIC 리서치 1팀

앞선 분석처럼, 동사는 전고체 배터리의 핵심 소재인 황화수소를 정밀 화학 공정의 부산물로 내부 조달함으로써 황화리튬 제조 원가를 시장가 대비 획기적으로 절감할 수 있다. 동사의 핵심 제조 공정은 이렇게 자체 조달한 부산물을 활용한 'H₂S 가스 합성법'이다. 이에 본 리서치 팀은 이수스페셜티케미컬만의 독자적인 공정 구조와 원가 우위를 반영하여, 종합적인 황화리튬 제조 원가 하락 궤적을 추정했다.

우선 동사의 H₂S 내부 조달 구조를 바탕으로, 현재 Li₂S의 초기 추정 원가를 \$50/kg으로 산출했다. 이는 수산화리튬(LiOH) 원료비 \$20/kg, H₂S 조달비 \$7/kg(내부 비중 87%·\$55/톤, 외부 비중 13%·\$350/톤의 가중평균), 정제 및 건조 등 고정비 \$15/kg, 그리고 연속식 공법 도입에 따른 공정 처리비 \$8/kg을 합산한 추정치다. 이 초기 원가(\$50/kg)를 바탕으로, CAPA가 2배 증가할 때마다 일정한 비율로 비용이 감소하는 라이트의 법칙을 적용해 연도별 원가 시뮬레이션을 진행했다. 특히 동사가 주력으로 활용하는 H₂S 가스 합성법의 경우, 향후 연속식 공정 고도화를 통한 수율 개선 여력이 크다는 점을 반영하여 13%의 비교적 높은 학습률을 부여했다.

본 리서치 팀의 시뮬레이션 결과, 동사의 황화리튬 원가는 대규모 CAPA 증설에 비례하여 가파른 하락세를 보일 것으로 도출되었다. 황화물계 고체 전해질의 원가는 이 황화리튬 단가에 투입 비중 42%를 곱한 뒤 일정 고정 가공비를 가산하는 방식으로 연동 산출하였다. 그 결과, 동사는 H₂S 가스 합성법을 통해 2026년 기준 황화리튬 원가 \$39/kg을 달성하고, 대량 양산이 극대화되는 2035년에는 \$12/kg이라는 압도적인 최저 단가에 도달할 것으로 분석된다. 이는 경쟁사들이 채택 중인 타 합성법 대비 최소 50% 이상 저렴한 수준으로, 전고체 밸류체인 내에서 동사가 구조적인 원가 우위를 바탕으로 황화리튬 제조 선도 기업으로 자리 잡을 것을 방증해 준다.

APPENDIX

APPENDIX 1. 액체 전해질 기반 분리막 및 고체 전해질 구조 비교

구분	기존 LIB 분리막	전고체 배터리(고체 전해질 층)
핵심 소재	폴리올레핀(PE/PP) 기반 미세 다공성막 + 세라믹 코팅	황화물계, 산화물계 등 무기 기반 고체 전해질
기공률	40% ~ 60%	기공 없음
두께	10~30µm	5~20µm
이온 이동	물리적 기공을 통한 액체 내 이온 확산(수동적)	결정 격자 구조 내 이온 호핑(능동적)
안전성	고온(130도) 열수축 및 섰다운 의존	불연성 고체 자체가 물리적 방벽 역할 수행

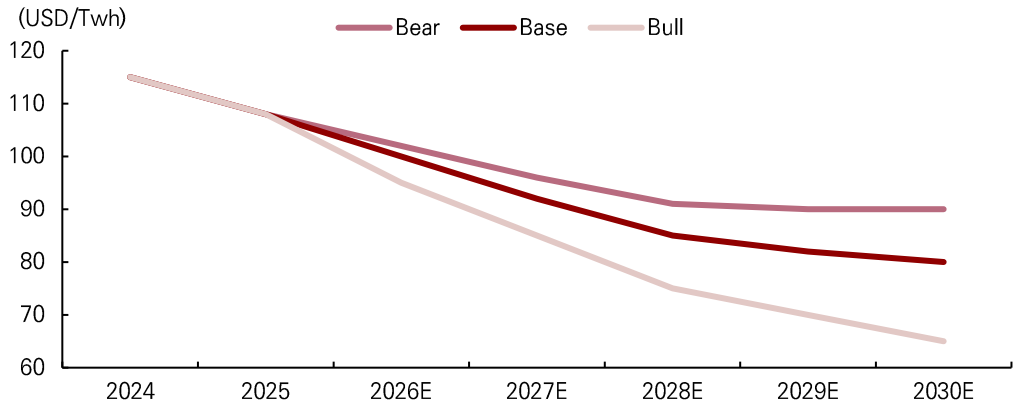
자료: KUVIC 리서치 1팀

APPENDIX 2. 2023~2027 EV 배터리 정책 타임라인

시기	주요 내용	비고
2023-08-17	EU 배터리 규정 발효 (entered into force)	유럽
2024-04-30	EU EV배터리 탄소발자국 산정·검증 방법론(초안) 공개	유럽
2025-07-04	미국 OBBBA 제정	미국
2025-09-30	미국 Clean Vehicle Credit 적용 종료 (이후 취득분 불가)	미국
2026-02-12	IRS Notice 2026-15 (MACR/PFE 관련 중간 가이드스)	미국
2026-03-04	EU IAA 영향평가 공개 (배터리 셀·부품 Made in EU 옵션 포함)	유럽
2027-02	EU 배터리 여권 의무화	유럽

자료: 언론 종합, KUVIC 리서치 1팀

APPENDIX 3. EV 배터리 단가 예측



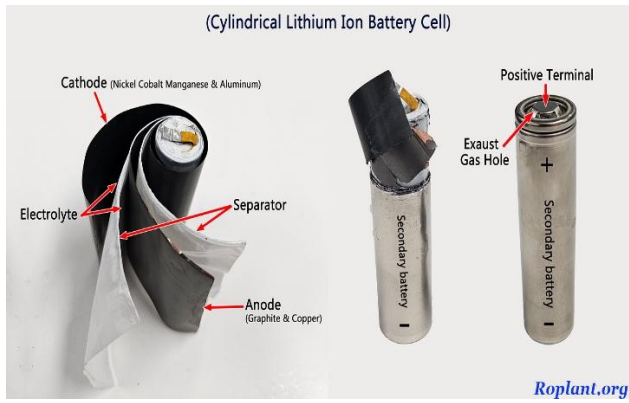
자료: BloombergNEF, KUVIC 리서치 1팀

APPENDIX 4. EV 배터리 셀 개수

차종	팩 용량	셀 타입	대당 셀 수
중형 EV	75kWh	2170 원통	약 4,000~4,400개
소형 EV	40kWh	18650 원통	약 3,100~3,500개
대형 EV	100kWh	4680 원통	약 1,000~1,100개
중대형 EV	77kWh	파우치 or 각형	수백 개 수준

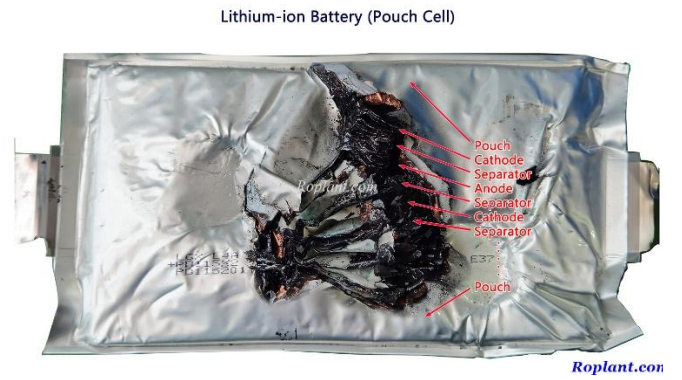
자료: Panasonic, KUVIC 리서치 1팀

APPENDIX 5. 원통형 배터리



자료: Roplant, KUVIC 리서치 1팀

APPENDIX 6. 파우치형 배터리



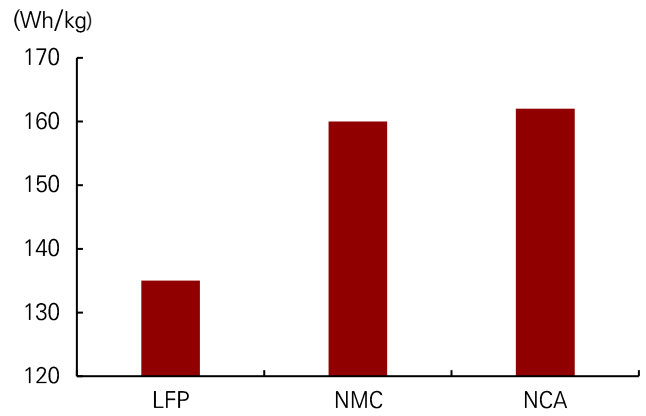
자료: Roplant, KUVIC 리서치 1팀

APPENDIX 7. 각형 배터리



자료: Roplant, KUVIC 리서치 1팀

APPENDIX 8. 팩 기준 중량 에너지 밀도



자료: SNE리서치 등 실증 데이터 종합, KUVIC 리서치 1팀

Not
Rated

이수스페셜티케미컬 (457190)

전고체 배터리를 뒷받침할 선도 기업

부산물 공법에 따른 원가 절감 효과

이수스페셜티케미컬은 제조 공정에서 불가피하게 발생하는 부산물인 황화수소(H_2S)를 황화리튬(Li_2S)의 합성 원료로 활용함으로써, **외부 시장 구매 대비 원재료비를 약 85% 절감(약 \$50로 시작)**는 원가 구조를 보유하고 있다. 이를 통해 당사의 황화리튬(Li_2S) 예상 판매단가는 글로벌 시장가 대비 최대 50~70% 저렴한 수준으로 책정 가능하며, 전고체 배터리용 황화물계 고체 전해질이 본격적으로 양산될 시, 가격 경쟁력을 확보할 것으로 보인다. 따라서 전고체 배터리의 병목이 되는 황화리튬의 원가를 확보하여, 제조원가 절감에서 유리한 위치를 점한 것이다.

가스 합성법을 통한 원가 우위 확보

동사의 핵심 제조 공정은 이렇게 자체 조달한 부산물을 활용한 'H₂S 가스 합성법'이다. 동사의 황화리튬 원가는 대규모 CAPA 증설 속도에 비례하여 가파른 하락세를 보일 것으로 전망한다. H₂S 가스 합성법 활용 시, **황화리튬의 원가는 2026년 기준 원가 \$39/kg을 달성**하고, 대량 양산이 극대화되는 2035년에는 \$12/kg이라는 압도적인 최저 단가에 도달할 것으로 분석된다. 이에 따라 황화물계 고체 전해질의 가격 또한 2035년 기준 \$100까지를 목표로 하고 있다. 이는 **타 합성법 대비 최소 50% 이상 저렴한 수준**으로, 전고체 배터리 밸류체인 내에서 동사가 구조적인 원가 우위로 황화리튬 제조 선도 기업으로 자리 잡을 것을 방증한다.

휴머노이드·방산 드론용 전고체 배터리의 핵심 소재

황화리튬 수요의 핵심 전방산업은 EV에 국한되지 않고, 휴머노이드 로봇·방산용 드론이 전고체 배터리의 새로운 핵심 수요처가 될 것이다. 이로 인해 전고체 배터리에 탑재되는 황화리튬 장기 수요도 확장되어, **휴머노이드 로봇용 배터리 수요는 2026년 약 0.05GWh에서 2035년 74.2GWh로, 드론용 2035년 6GWh로** 폭증하면서, 여기에 탑재될 전고체 배터리는 누적되고, 이에 따라 황화리튬 소재의 수요도 증가하게 될 것이다. 따라서 동사는 배터리 완제품 제조업체의 필수적인 원재료 공급처로 핵심 수혜를 차지할 것이다.

Stock Information

시가총액	2조 7,046억원
발행 주식 수	3,022만주
유동주식비율	65.6%
52주 최고가	122,200원
52주 최저가	37,050원
외국인 지분율	5.74%
KOSPI	5,549.9
KOSDAQ	1,138.3

Price Trend



KUVIC Research Team 1

메일	kuvic_korea@naver.com
팀장	44기 Senior 김민재
팀원	44기 Senior 김서정
팀원	44기 Senior 시민규

Who We Are



Earnings and valuation metrics

결산기 (12월)	2023	2024	2025E	2026E	2027E
매출액 (십억원)	117.5	332.1	411	452.6	554.2
YoY (%)		+182.6%	+23.9	+10.1%	+22.1%
영업이익 (십억원)	-6.1	14.2	1.0	27.8	39.5
YoY (%)		흑전	-81.5%	+2,680.0%	+42.0%
영업이익률 (%)	-5.2	4.3	0.3	6.1	7.1
당기순이익 (십억원)	-6.2	10.5	-4.9	11.9	18.4
EPS (원)	-222	348	-163	392	608
P/E (배)	-142.6	90.4	N/A	133.8	86.3

주: K-IFRS 연결 기준, 순이익은 당기순이익

자료: KUVIC Research 1팀

Compliance Notice

- 본 보고서는 고려대학교 가치투자동아리 KUVIC의 리서치 결과를 토대로 한 분석 보고서입니다.
- 본 보고서에 사용된 자료들은 고려대학교 가치투자동아리 KUVIC이 신뢰할 수 있는 출처 및 정보로부터 얻어진 것이나 그 정확성이나 완전성을 보장하지 못합니다.
- 본 보고서는 투자 권유 목적으로 작성된 것이 아닌 고려대학교 가치투자동아리 KUVIC의 스터디 목적으로 작성되었습니다.
- 따라서 투자자 자신의 판단과 책임 하에 종목선택이나 투자시기에 대한 최종 결정을 하시기 바랍니다.
- 본 보고서에 대한 지적재산권은 고려대학교 가치투자동아리 KUVIC에 있으며 어떠한 경우에도 법적 책임소재의 증빙자료로 사용될 수 없습니다.