

리튬·산소 공공(Vacancy) 억제형 장수명 가넷계 고체전해질

소결 조성 제어로 격자 내 리튬·산소 공공을 억제하여,
리튬 금속 음극 대비 3,000시간 이상 안정 구동을 구현한 불연성 산화물 고체전해질

기관·연구자 한국원자력연구원(KAERI) 중성자과학부 · 김형섭 박사
TRL TRL 3~4 · 실험실 입증 (대칭셀·하이브리드 풀셀)

리튬 대칭셀 기준

3000 시간

단락 없는 안정 구동

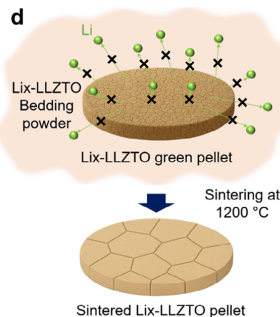
리튬 대칭셀 · 임계전류밀도 1.00
mA/cm²(30°C)

이런 기업에 필요한 기술입니다

-  전고체전지 개발사
산화물 고체전해질 소재
-  세라믹 소재·소결 기업
기존 설비로 고밀도 소결
-  전기차 셀 제조사
리튬 금속 음극 적용 셀
-  극한환경 전원
고온·방사선 환경용 셀

1 기술정의 · 작동원리

가넷계 산화물(LLZTO)은 불연성이 우수한 전고체전지용 고체전해질이나, 1,200°C 고온 소결 중 리튬·산소 휘발로 형성되는 격자 공공(Vacancy)(원자가 있어야 할 격자 자리가 비어 있는 결함)이 리튬 금속 계면의 열화를 유발합니다. 본 기술은 펠릿 20wt%·파우더 10wt%의 비대칭 리튬 과잉 조성으로 소결 분위기를 제어하여 공공 형성을 원천적으로 억제합니다.



리튬 함량이 상이한 그린 펠릿-베딩 파우더 동시 소결(1,200°C)을 통한 리튬 손실 억제 공정 — Adv. Sci. 2026, Fig. 1d

-  **계면 안정성**
리튬 금속 접촉 시 Zr 환원·상전이 억제
-  **대기 안정성**
LiOH·Li₂CO₃ 표면층 생성 억제
-  **공정 호환성**
기존 고상합성·1,200°C 소결 유지, 조성만 조정

2 경쟁기술 대비 차별성



소결 조성 제어로
리튬·산소 빈자리 생성을 원천 억제합니다.

⊗ 기존 가넷 전해질

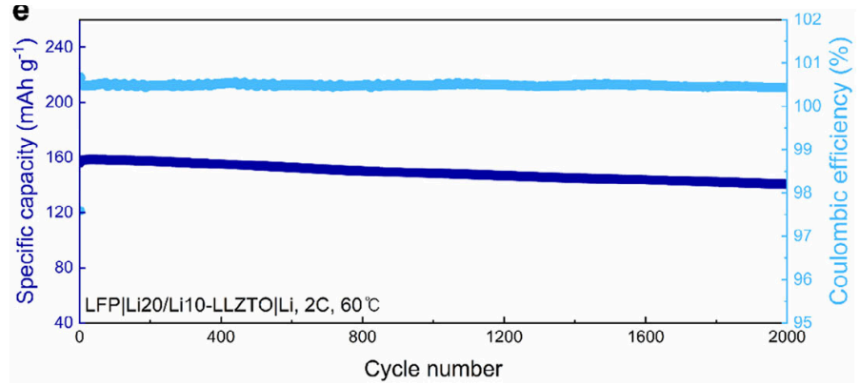
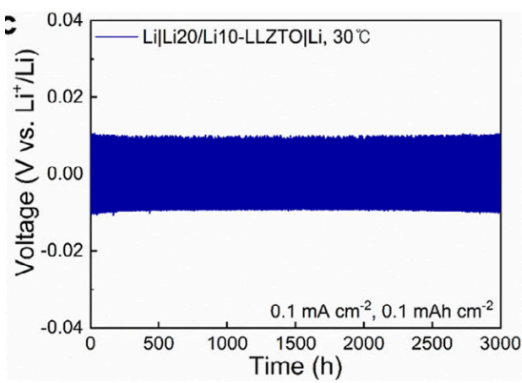
-  빈자리 제어
과잉 리튬 투입에 의존 → Li < 6.5 pfu 결손 잔존
-  리튬 계면
Zr 환원·상전이에 따른 계면저항 증가, 덴드라이트 단락
-  공정
산소 분위기·다원소 도핑 등 추가 공정 필요

⊙ 본 기술

- ✓ 조성 비대칭 소결 →
Li > 6.5 pfu · O 빈자리 ≤ 0.02 pfu
- ✓ 계면 안정화 → 임계전류밀도 1.00 mA/cm² (30°C)
- ✓ 조성 조정만으로 구현 — 기존 소결 설비 유지

3 주요 성능 결과 논문 데이터 기준 (Adv. Sci. 2026)

1.00 mA/cm ²	임계전류밀도 (30°C) 리튬 덴드라이트 관통 없이 허용되는 최대 전류밀도 · 60°C 1.75 mA/cm ²	3000 시간	리튬 대칭셀 안정 구동 0.1 mA/cm ² 조건, 단락 없이 장기 구동
90 %	2,000회 후 용량 유지율 LFP 하이브리드 풀셀 · 60°C	6.5 pfu 이상	리튬 점유 (중성자 회절) 산소 빈자리 0.02 pfu 이하



리튬 대칭셀 3,000 h 장기 구동(좌) · LFP 하이브리드 풀셀 2,000 사이클 수명(우) — Adv. Sci. 2026

4 적용분야 및 기대효과

리튬 금속 음극 계면 열화를 소결 조성 제어만으로 해결 — 기존 소결 공정에 추가 설비 없이 적용

전고체전지 시장¹

16억 달러 ('25)

CAGR 31.8%('26~'33)

전기차용 전고체전지²

20.7억 달러 ('26)

CAGR 54.0%

극한환경용 전지

100°C 작동 목표
연구단 과제 연계

5 관련 특허

구분	발명의 명칭	상태	출원인
논문	Vacancy-Suppressed Garnet Electrolytes for Durable Solid-State Batteries Advanced Science 13(21):e22562 (2026. 3. 3.)	게재	한국원자력연구원
미공개	빈자리 억제형 가넷 고체전해질 제조방법	미공개	한국원자력연구원

기술이전 범위·조건은 협의 · 상세 자료는 NDA 체결 후 제공

6 기술이전 문의

특허법인(유) 화우

☎ 02-3465-7864

✉ hjyi@hwawoo.com

🌐 smart-battery-site.pages.dev



홈페이지

¹ 출처: Grand View Research. (2026.). Solid State Battery Market Size & Share Report, 2026–2033. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/solid-state-battery-market>

* 출처(기술내용·성능): 한국원자력연구원, 기술소개자료(SMK). (2026.).

² 출처: Grand View Research. (2026. 6. 29.). Solid State Car Battery Market Report. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/solid-state-car-battery-market-report>

저온 염소화 기반 리튬 선택 회수 LFP 양극재 친환경 재활용

강산 없이 200°C 이하 건식 공정으로 폐 LFP에서 고순도 염화리튬을 회수하고,
회수 원료 기반 LFP 재합성 구현

- 한국원자력연구원(KAERI) 해체기술개발부 전민구 박사
- TRL 5~6 시작품 단계 · 특허 등록

강산 없이
≤200°C
건식 리튬 회수

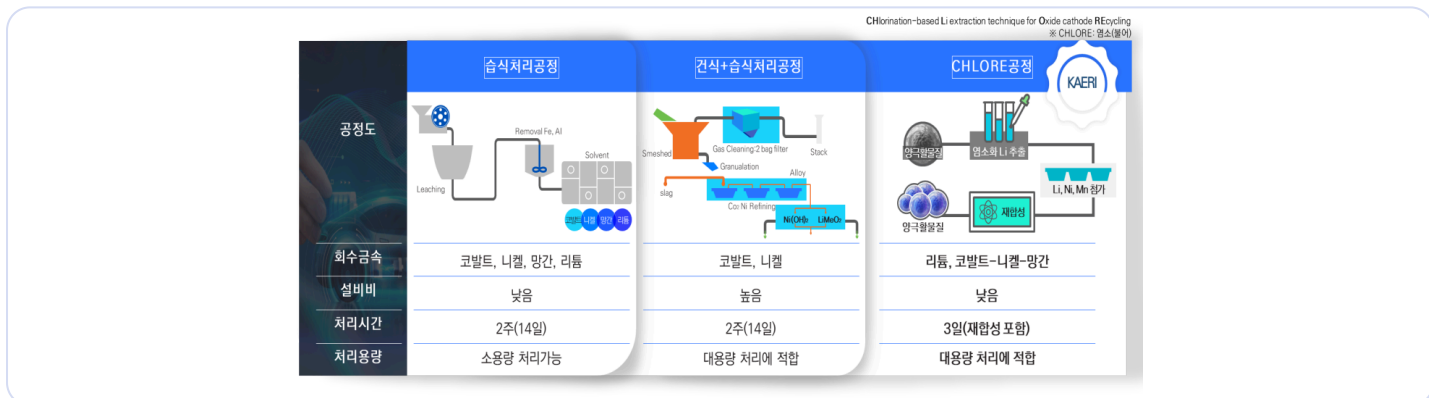
습식 재활용 대비 강산 침출·다단 정제 생략

이런 기업에 필요한 기술입니다

- 폐배터리 재활용 업체
LFP 재활용 시스템
- 양극재 제조사
LFP 재합성 원료
- 배터리 셀 제조사
공정 스크랩 리튬 회수
- ESS·전기차
LFP 채용 확대 대응

1 기술정의 · 작동원리

LFP는 원료 단가가 낮아 기존 습식(강산 침출) 재활용 공정으로는 **경제성 확보가 곤란**합니다. 본 기술은 폐 LFP(LiFePO₄)를 **염소 기체와 기-고 반응**시켜 리튬을 염화리튬(LiCl)으로 선택 전환·분리하고, 잔류 FePO₄와 회수 리튬을 활용하여 **LFP 재합성**을 구현합니다.



폐배터리 재활용 기술 비교 — 습식 · 건식+습식 · CHLORE(염소화) 공정

- 리튬 선택 회수**
Li의 LiCl 선택 전환·분리
- 폐수 최소화**
강산 배제 · NaCl 등 비독성 부산물
- LFP 재합성**
회수 Li + FePO₄ → 양극재 페루프 순환

2 경쟁기술 대비 차별성

저가 LFP 재활용의 경제성 확보를 위한
리튬 선택적 건식 회수 공정

⊗ 기존 습식(강산) 재활용	✓ 본 기술
대상 NCM 기반 설계 — LFP 적용 시 경제성 저하	✓ LFP 전용 — 리튬만 선택 회수
환경 부담 강산 침출 → 다량의 독성 폐수 유발	✓ 건식 염소화 → 비독성 부산물, 폐수 발생 억제
에너지·순도 다단 정제 → 공정 장기화·에너지 소모 증대	✓ ~200°C 저온 + 단순 분리 → 고순도 LiCl 확보

3 주요 성능 결과 SMK 공정 비교 기준

≤200℃

공정 온도
습식 대비 정제 단계 생략

3일

처리시간 (재합성 포함)
습식·건식+습식 공정 2주(14일) 대비 · 설비비 낮음, 대용량 처리 적합

업데이트 중 %

LiCl 순도
재합성 LFP 원료로 사용 가능

4 적용분야 및 기대효과

LFP 폐배터리 대량 발생 시점에 앞서 **저비용 건식 재활용** 공정 기술의 선점이 가능합니다.

리튬이온전지 재활용¹

37.9억 달러 ('23)

CAGR 21.6%

양극재 전체²

377.8억 달러 ('25)

CAGR 11.5%

LFP 스크랩 회수

ESS·전기차

LFP 채용 확대 연계

규제 EU 배터리 규정 — **재활용 원료 사용 의무** 단계적 도입

5 관련 특허

출원(등록)번호	발명의 명칭	상태	출원인
10-2743195	다중음이온계 리튬 이차전지 양극재의 재활용 방법 및 장치	등록	한국원자력연구원

이전 범위: LFP로부터 Li 선택 회수 · 회수 Li + FePO₄로 LFP 재합성

6 기술이전 문의

특허법인(유) 화우

☎ 02-3465-7864
✉ hjyi@hwawoo.com
🌐 smart-battery-site.pages.dev



홈페이지

¹ * 출처: Fortune Business Insights. (2023. 9. 18.). Li-ion Battery Recycling Market 2023–2030. <https://finance.yahoo.com/news/lithium-ion-battery-recycling-market-121100049.html>

* 출처(기술내용·성능): 한국원자력연구원. 기술소개자료(SMK). (2026.).

² * 출처: MarketsandMarkets. (2025. 9. 26.). Cathode Materials Market to 2030. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/cathode-material-market-246078739.html>

저온 염소화 반응을 활용한 NCM 양극재 친환경 재활용

리튬의 LiCl 우선 분리 후 Ni-Co-Mn 회수 — 강산 배제 건식 공정으로 재합성
NCM 검증

기관·연구자 한국원자력연구원(KAERI) 해체기술개발부·전민구 박사
TRL TRL 4~5 · 실험실 검증 · 재합성 NCM 코인셀 평가

강산 배제 건식 공정

LiCl

리튬 우선 분리

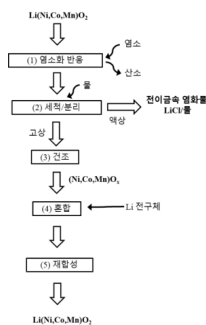
습식 공정: Ni-Co-Mn 침출 후 최종 단계에서 리튬 회수

이런 기업에 필요한 기술입니다

-  폐배터리 재활용 업체
전기차 NCM 재활용
-  하이니켈 양극재 제조사
회수 원료 재투입
-  배터리 셀 제조사
스크랩·불량 셀 회수
-  EU 수출 기업
재활용 원료 의무 대응

1 기술정의 · 작동원리

폐 NCM 양극재를 **저온 염소 기체 분위기에서 가-고 반응**시켜 리튬을 염화리튬(LiCl)으로 우선 분리하고, 잔류 니켈·코발트·망간을 회수하여 양극재 재합성을 구현합니다. 강산 침출(무기산 용액 내 금속 성분 용해·추출 공정) 없이 유기금속의 단계적 분리가 가능합니다.



염소화 반응 → 세척·분리 → 건조 → 리튬 전구체 혼합 → 재합성 공정 흐름

-  **리튬 우선 분리**
Li → LiCl 전환 후 수세 분리
-  **유기금속 회수**
Ni-Co-Mn의 전이금속 산화물 회수
-  **NCM 재합성**
회수 원료 기반 재합성·용량 검증

2 경쟁기술 대비 차별성



리튬 회수 순서의 전환,
공정 초기 단계 고순도 리튬 선택 회수

⊗ 기존 습식(강산) 재활용		⊙ 본 기술
 리튬 회수	침출 후 최종 단계 회수 → 손실·순도 저하 유발	✓ 염소화 반응 기반 첫 단계에 LiCl 선택 회수
 환경 부담	강산·환원제 사용 → 폐수·중화 슬러지 발생	✓ 강산 미사용 건식 , 비독성 부산물
 공정·에너지	고온 제련·다단 용매추출 → 에너지 소모 증대	✓ 저온 염소화 + 단순 분리 → 단계·에너지 절감

3 주요 성능 결과

정량 데이터는 NDA 후 제공

업데이트 중 %	리튬 회수율 NCM → LiCl 선택 회수
업데이트 중 %	Ni·Co·Mn 회수율 전이금속 산화물 형태
업데이트 중 mAh/g	재합성 NCM 초기 방전용량 2.1~4.5 V vs. Li ⁺ /Li 코인셀

4 적용분야 및 기대효과

전기차 폐배터리 발생량 증가에 따라 **폐수 배제 건식 재활용**의 원가·인허가 경쟁력이 확대됩니다.

리튬이온전지 재활용¹ 37.9억 달러 ('23) CAGR 21.6%	하이니켈 양극재² 82.3억 달러 ('26) CAGR 12.99%	스크랩·불량 셀 회수 유가금속 셀 제조 공정
---	--	---------------------------------------

규제 EU 배터리 규정 — **재활용 원료 사용 의무** 단계적 도입

5 관련 특허

출원(등록)번호	발명의 명칭	상태	출원인
업데이트 중 · 특허번호	염소화 반응을 이용한 NCM 양극재 재활용 방법	업데이트 중	한국원자력연구원

이전 범위: NCM으로부터 Li 선택 회수 · 회수 Ni·Co·Mn을 이용한 양극재 재합성

6 기술이전 문의

특허법인(유) 화우

☎ 02-3465-7864
 ✉ hjyi@hwawoo.com
 🌐 smart-battery-site.pages.dev



홈페이지

¹ 출처: Fortune Business Insights. (2023. 9. 18.). Li-ion Battery Recycling Market 2023–2030. <https://finance.yahoo.com/news/lithium-ion-battery-recycling-market-121100049.html>

* 출처(기술내용·성능): 한국원자력연구원. 기술소개자료(SMK). (2026.).

² 출처: Precedence Research. (2026. 6. 30.). High-Nickel Cathode Materials Market. <https://www.precedenceresearch.com/high-nickel-cathode-materials-market>

나노 결함(기공)을 제어해 수명을 늘린 하이니켈계 양극활물질

첨가제 없이 200~300°C 저온 전처리 한 단계만 추가 — 기존 합성 공정 설계 그대로

기관·연구자 한국원자력연구원(KAERI) 중성자과학부 · 김형섭 박사

TRL TRL 4 · 실험실 규모 소재 핵심성능 평가

본 소결 전 전처리

200~300°C

한 단계만 추가

도핑·코팅 첨가제 불요 · Eutectic Li salt 사용 시
더 낮게

이런 기업에 필요한 기술입니다



하이니켈 양극재 제조사
차량용 장수명 소재



전기차·전장 부품사
장수명 리튬이차전지



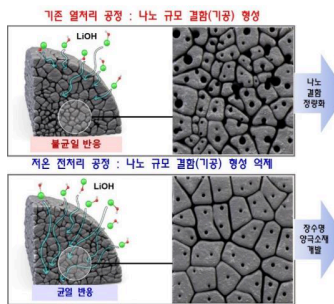
화학·정밀화학 기업
전처리 공정 라이선스



소재 분석 기업
나노 결함 정량 프로토콜

1 기술정의 · 작동원리

하이니켈 양극은 합성 중 생긴 **원자·나노 규모 결함(기공)**이 미세 균열의 씨앗이 되어 수명을 깎습니다. 본 기술은 전구체 ($\text{LiOH} + \text{TM}(\text{OH})_2$)를 **200~300°C에서 1차 저온 소결**한 뒤 기존과 같은 2차 소결을 진행해 결함을 억제하고, **소각 산란** (X선·중성자로 나노 기공을 세는 분석)으로 정량해 제어합니다.



기존 열처리(위, 불균일 반응·나노 기공 형성) vs 저온 전처리(아래, 균일 반응·기공 억제)



결함을 숫자로

소각 산란으로 나노 기공 정량·제어



첨가제 불요

도핑·코팅 없이 전처리 한 단계



공정 그대로

기존 공정 설계·설비에 바로 적용

2 경쟁기술 대비 차별성



수명을 첨가제로 사지 않고,
보이지 않던 결함을 세어 줄입니다.

⊗ 기존 하이니켈 합성

☑ 본 기술



결함 진단

나노 기공으로 커지는 과정 정량 불가



✓ **소각 산란으로 정량화** → 제어 변수로 사용



수명 개선

도핑·코팅 의존 → 비용↑, 에너지밀도 손실



✓ **첨가제 없이** 전처리로 결함 최소화



공정 적용

새 첨가제·공정 도입 시 라인 변경



✓ **전처리 단계만 추가** — 라인 유지

3 주요 성능 결과 SMK 그림 데이터 기준

200~300℃

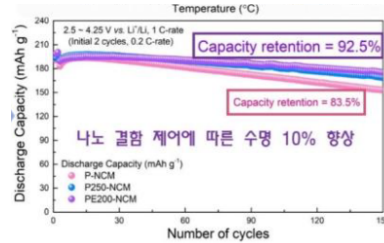
본 소결 전 1차 전처리 온도
Eutectic Li salt 사용 시 더 낮게

92.5%

150 사이클 후 용량 유지율
기준 83.5% 대비 · 2.5~4.25 V, 1C

0.1~300 nm

나노 결함(기공) 정량 범위
소각 산란 분석으로 정량화



150 사이클 용량 유지율 92.5% vs 83.5% (2.5~4.25 V, 1C)

4 적용분야 및 기대효과

라인을 바꾸지 않고 수명만 올리는 공정 라이선스형 기술 — 양극재 제조사의 도입 장벽이 낮습니다.

하이니켈 양극재 ¹
82.3억 달러 ('26)
CAGR 12.99%

양극재 전체 ²
377.8억 달러 ('25)
CAGR 11.5%

소재 전처리 공정
라이선스
화공·정밀화학

5 관련 특허

출원(등록)번호	발명의 명칭	상태	출원인
10-2023-0072806	양극활물질 및 이를 포함하는 리튬 이차전지	출원	한국원자력연구원

이전 범위: 전처리 조건 · 나노 결함 정량 분석 프로토콜

6 기술이전 문의

특허법인(유) 화우

☎ 02-3465-7864
✉ hjyi@hwawoo.com
🌐 smart-battery-site.pages.dev



홈페이지

¹ * 출처: Precedence Research, (2026. 6. 30.), High-Nickel Cathode Materials Market, <https://www.precedenceresearch.com/high-nickel-cathode-materials-market>
* 출처(기술내용·성능): 한국원자력연구원, 기술소개자료(SMK), (2026.).

² * 출처: MarketsandMarkets, (2025. 9. 26.), Cathode Materials Market to 2030, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/cathode-material-market-246078739.html>

고순도 산소 없이 용량·수명을 함께 잡는 리튬 농도 구배형 하이니켈 양극

일반 공기·저온 합성으로 코어→표면 리튬 농도 구배 2차 입자를 만들어 표면 열화를 억제

기관·연구자 한국원자력연구원(KAERI) 중성자과학부 · 김형섭 박사

TRL TRL 4 · 실험실 규모 소재 핵심성능 평가

⇨ 고순도 산소 대신
일반 공기
로 하이니켈 합성

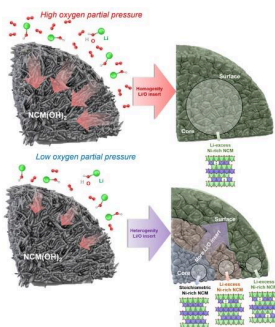
산소 분압·리튬 함량 제어 · 저온 합성

이런 기업에 필요한 기술입니다

-  하이니켈 양극재 제조사
순산소 설비 원가 절감
-  전기차·전장 부품사
고에너지밀도 셀
-  화공·정밀화학 기업
합성 조건 라이선스
-  공정 안전 담당
순산소 취급 위험 감소

1 기술정의 · 작동원리

하이니켈 양극은 니켈 환원을 막으려고 **고순도 산소 가스**로 합성해야 해 원가·안전 부담이 큼니다. 본 기술은 낮은 온도에서 **리튬 함량과 산소 분압을 제어**해, 코어에서 표면으로 갈수록 리튬이 점점 많아지는 2차 입자(작은 결정이 모인 덩어리)를 만들고, 표면 리튬 과량층이 구조 열화를 막습니다.



산소 분압이 높을 때(위, 균일) vs 낮을 때(아래, 코어→표면 리튬 농도 구배) 2차 입자 형성

-  **순산소 불요**
일반 공기로 합성 → 원가·안전 개선
-  **용량 + 수명 동시**
에너지밀도 손실 없는 표면 안정화
-  **공정 그대로**
기존 공정 안에서 조건만 변경

2 경쟁기술 대비 차별성

 코팅으로 감싸는 대신,
입자 안에서 리튬 농도를 설계합니다.

⊗ 기존 하이니켈 합성		⊙ 본 기술
⇨ 합성 분위기	니켈 환원 방지 위해 고순도 산소 필수	✓ 일반 공기 + 산소 분압 제어
♥ 수명 개선	도핑·코팅 → 에너지밀도 감소 동반	✓ 리튬 농도 구배로 표면 열화 억제, 용량 유지
≡ 소재 설계	균일 조성 2차 입자	✓ 코어→표면 구배 2차 입자 — 원천 소재 기술

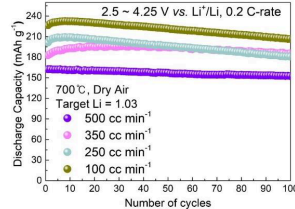
3 주요 성능 결과 SMK 그림 데이터 기준

700℃

합성 온도 · 건조 공기(Dry Air)
고순도 산소 대신 일반 공기 · Target Li 1.03

100 회

사이클 평가 (0.2C, 2.5~4.25 V)
공기 유량 100~500 cc/min별 방전용량 비교



700℃ 건조 공기 합성 · 공기 유량별 100 사이클 방전용량 (0.2C)

4 적용분야 및 기대효과

순산소 설비·가스 비용을 덜어 하이니켈 양극재의 원가 경쟁력과 공정 안전성을 함께 높입니다.

하이니켈 양극재 ¹

82.3억 달러 ('26)

CAGR 12.99%

양극재 전체 ²

377.8억 달러 ('25)

CAGR 11.5%

합성 조건 라이선스

화공·정밀화학

소재 합성

5 관련 특허

출원(등록)번호	발명의 명칭	상태	출원인
10-2023-0174720	양극 활물질의 제조 방법 및 이로부터 제조된 양극 활물질	출원	한국원자력연구원

이전 범위: 고농도 산소 없이 용량·수명을 동시에 확보하는 양극활물질 제조 기술

6 기술이전 문의

특허법인(유) 화우

☎ 02-3465-7864

✉ hjyi@hwawoo.com

🌐 smart-battery-site.pages.dev



홈페이지

¹ * 출처: Precedence Research. (2026. 6. 30.). High-Nickel Cathode Materials Market. <https://www.precedenceresearch.com/high-nickel-cathode-materials-market>

* 출처(기술내용·성능): 한국원자력연구원, 기술소개자료(SMK). (2026.).

² * 출처: MarketsandMarkets. (2025. 9. 26.). Cathode Materials Market to 2030. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/cathode-material-market-246078739.html>