

이차전지 제조에 사용되는 광물의 조건

Requirements for key minerals in secondary batteries

이차전지 혁신융합대학 | 가천대학교 김동찬 교수



이차전지 혁신융합대학 사업단

Secondary Battery
Convergence and Open Sharing System

TABLE OF CONTENTS



이차전지 혁신융합대학 사업단
Secondary Battery
Convergence and Open Sharing System

01

핵심 광물 확보의 중요성

- 배터리 산업의 중요성 및 가치
- 글로벌 기술 패권 경쟁 및 자국 우선주의
- 자원 공급망 확보의 필요성

02

배터리 산업의 주요 Value chain

- 업스트림/미드스트림/다운스트림/폐기
- 광물의 생산과 제련 과정
- 물질의 순도

03

핵심 광물의 채굴 및 제련

- 양극재 – 리튬, 니켈, 코발트, 망간
- 음극재 – 흑연

Chapter
I

핵심광물확보의 중요성

- 01 배터리 산업의 중요성 및 가치
- 02 글로벌 기술패권 경쟁 및 자국 우선주의
- 03 자원 공급망 확보의 중요성

이차전지 혁신융합대학 사업단
Secondary Battery
Convergence and Open Sharing System

2023-12-15

01 핵심 광물 확보의 중요성

◎ 배터리 산업의 중요성 및 가치



미래 산업
발전 방향성
(전동화·무선화)
부합

- 미래 산업의 발전 방향성은 전동화와 무선화이며 배터리는 다양한 산업에서 핵심 동력원
- 전기차 외 로봇, 드론, 선박, 무선가전 등 존재

배터리 산업

탄소중립 달성
수단으로서
배터리 산업
중요성 부각

- 신재생에너지 특성인 간헐성¹⁾을 보완할 수 있는 수단인 ESS, 내연기관차 대체 수단인 전기차 등 탄소중립 필수 산업군에 배터리 필요

배터리
전방산업인
전기차 시장
급성장

- 내연기관차 판매 금지
→ 전기차 시장 급성장
- '19년 232만 대
→ '30년 약 5,568만 대²⁾
(CAGR 33% 전망)

기후 변화 위기를 막기 위한 탄소 중립 실현의 필요성

- 지구 평균 온도 1.5 °C 상승 시, 전세계적 기후 재난 닥칠 가능성 ↑
- 탄소 중립: 인간의 활동에 의한 온실가스 (CO₂) 배출을 최대한 줄이고, 남은 온실 가스는 흡수하여 실질적인 온실가스 배출량을 '0'
- 2030년까지 온실가스 순배출량 40% 이상 감축이 목표.

배터리 산업: 탄소 중립 실현을 위한 핵심 산업

- Energy Storage System (ESS): 신재생에너지의 효과적인 저장 시스템



- Electric Vehicle (EV): 전기차 시장의 급성장

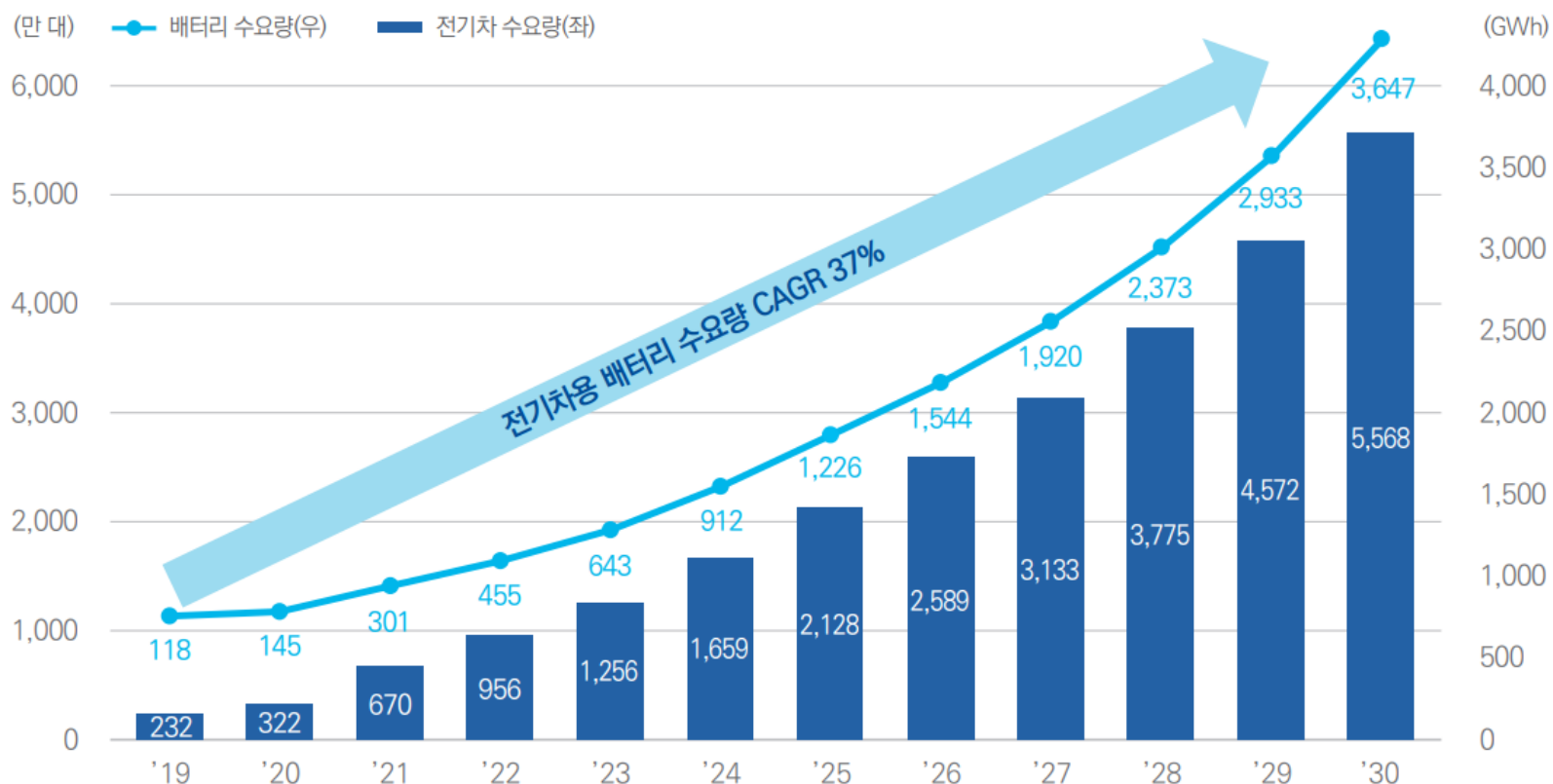


EU, 2035년부터 내연기관차 판매 금지
-> 전기차 시장의 급성장

01 핵심 광물 확보의 중요성

◎ 배터리 산업의 중요성 및 가치

» 전 세계 전기차 및 전기차용 배터리 수요 전망



01 핵심 광물 확보의 중요성

◎ 글로벌 기술 패권 시대 및 자국 우선주의

18년 7월, 트럼프 정부, 중국 제품에 관세 부여, 미-중 무역 분쟁

340억 달러 규모의 중국 수입품 818 종에 25% 관세 부여하며 중국 견제
중국도 똑같이 미국 제품에 25% 무역 관세 부여하며 미국을 견제

22년 8월, 바이든 정부, IRA (Inflation Reduction Act) 법안 발효

목적: 미국 내 투자/생산 확대, 미국을 중심으로 한 글로벌 공급망 재구축

주요 내용: 반도체, 전기차용 고성능 배터리, 의약품, 희토류의 **공급망** 검토

IRA Segment 13401 의 주요 내용

아래의 3가지 조건 충족 시, 1대 당 총 **7500불**의 세제 혜택 받음.

- 1) 전기차 세액 공제를 받기 위해서는 북미 지역에서 전기차를 조립하여야 함.
- 2) 배터리 내 주요 부품의 50% 이상 북미에서 제조 및 조립 되어야 함.
- 3) 배터리 핵심 광물의 40% 이상 미국 혹은 미국과 FTA를 체결한 국가에서 추출/처리 되어야함. (단, FTA 이외 국가에서 추출하였더라도, FTA 체결 국에서 가공하여 50% 이상의 부가가치 창출한 경우 인정)

IRA Segment 13401

구분	내용	적용시기
① 전기차 최종 조립 조건	· 북미(미국, 캐나다, 멕시코 3개국)지역에서 전기차 최종 조립 필수	발효 즉시 (’22.08.16~)
② 배터리 부품 조건	· 전기차 탑재 배터리 제조에 사용된 주요 부품은 50% 이상 (’23년 기준) 북미에서 제조 또는 조립된 경우 → \$3,750 상당 세액공제 혜택 - 주요 부품: 셀, 모듈, 전극활물질(양극재, 음극재, 음극기판), 전기적 활물질(솔벤트, 첨가제, 전해질) - 비중 변화: ’24년 1월 1일 전까지 50% → ’24~’25년 60% → ’26년 70% → ’27년 80% → ’28년 90% → ’29년 100%	세부 규칙안 공지 후 (’23년 3월 이후)
③ 배터리 핵심 광물 조건	· 전기차 탑재 배터리 제조에 사용된 핵심광물은 40% 이상(’23년 기준) 미국 또는 미국의 FTA 체결국에서 추출 또는 처리되거나, 북미에서 재활용된 경우 → \$3,750 상당 세액공제 혜택 - 핵심 광물: 리튬, 니켈, 망간, 코발트, 알루미늄, 흑연 등 약 50여 종 - 비중 변화: ’24년 1월 1일 전까지 40% → ’24년 50% → ’25년 60% → ’26년 70% → ’27년 후 80% · 단, 미국과 FTA를 체결하지 않은 국가에서 추출한 광물이라도 FTA 체결국에서 가공하여 50% 이상의 부가가치를 창출한 경우 → FTA 체결국의 생산물로 간주하여 세액공제 혜택 가능	

美 중심의 배터리 공급망 재구축/ 패권 경쟁에서의 주도권 확립
→ **국내 완성차/배터리 업계에 어마어마한 영향**

01 핵심 광물 확보의 중요성

23년 4월, 미국 재무부에서 발표한 IRA 전기차 세액 공제 세부 지침 규정안

속보

미 IRA 전기차보조금, 세부 지침 발표...한국업체 입장 대체로 반영

2023.03.31 22:59 입력 ▾

이윤정 기자

1번 조항: 전기차를 북미에서 최종 조립해야 함.

- 현대 및 기아차는 활성화된 완성차 공장이 미국에 아직 없음.
- 리스를 위해 판매되는 전기차에 한해 예외 적용... 약간의 숨통

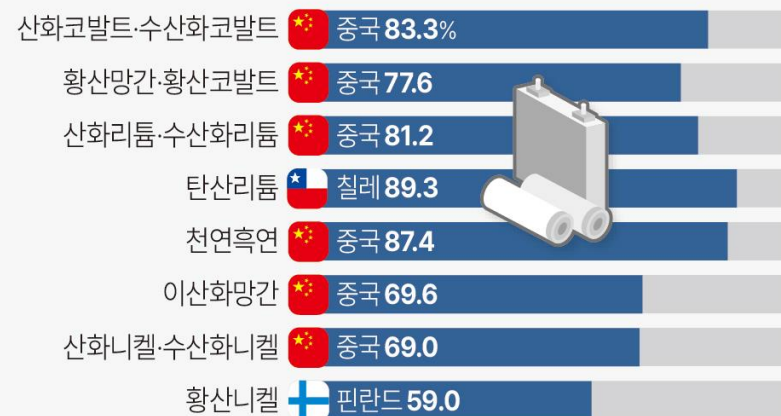
2번 조항: 배터리 부품의 50% 이상 북미에서 제조 및 조립해야 함.

- 국내 배터리 3사의 경우, 미국공장에서 상당 부분 배터리 공정 진행.
- 기존 공정 바꾸지 않아도 세제 혜택 유지 가능.

3번 조항: 핵심 광물의 경우 2025년부터 외국 우려 단체 (FEOC, Foreign entity of concern)에서 조달 시, 세액 공제 받을 수 없음.

- 현재 리튬, 흑연 등은 중국 업체 의존도가 60~70% 이상. 외국 우려 단체는 아직 공개하지 않았으나, 중국 업체 상당 포함할 것으로 예상.
- 당장은 중국업체에서 생산/제련한 핵심 광물 사용 가능하지만, 2025년까지 공급망 다변화 필수.

국내 이차전지 핵심광물 수입의존도 2020년 기준



자료: 대한상공회의소

연합뉴스

01 핵심 광물 확보의 중요성

◎ 자원의 무기화 (Resource nationalism) 및 자원 공급망 확보의 필요성

제2의 연료라고 불리는,
“요소수”

디젤 엔진에서 발생하는 배기가스의 대기오염 물질을
후처리하는데 필요한 질수산화물 환원제
디젤 엔진을 사용하는 차량은 반드시 사용해야 하는 필수품!

$4\text{NO} + 2\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$

**디젤 자동차의 필수품
요소수가 부족하다?**

엔진 배기

촉매층

촉매시스템

머플러

요소수

NO₂

H₂O

N₂

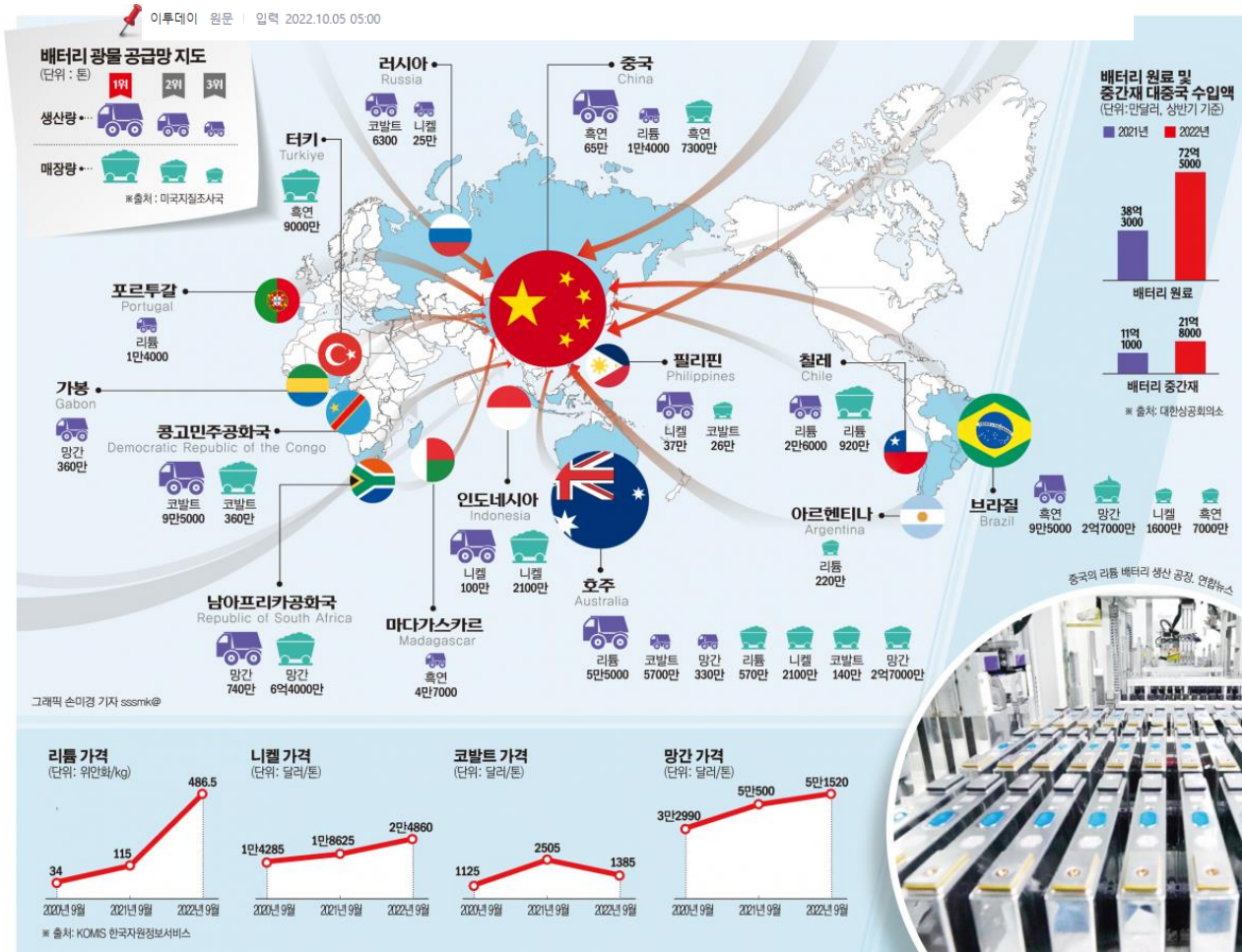
자원의 무기화 예시 – 요소수 대란

- 요소수: 2010년대 초부터 중국 내의 석탄으로부터 주로 생산.
- 2021년 중국 내 석탄 품귀, 중국 정부가 석탄 및 요소 등 석탄 부산물 생산/수출 통제
- 세계적으로 요소 부족 현상이 발생,
요소 수입량의 97%를 중국에 의존하던 대한민국에서 일시적으로 요소 및 요소수의 품귀 현상이 발생하게 됐다.

01 핵심 광물 확보의 중요성

핵심광물 자원의 무기화 1 - 핵심 광물에 대한 특정 국가 (중국 등) 의존도가 매우 높은 상황

[취척이는 공급망①] 세계 곳곳서 캐낸 배터리 핵심광물 중국에 몰려



리튬 - 전세계 리튬 제련의 65% 이상이 중국 점유

흑연 - 전세계 생산량의 90% 이상이 중국이 점유

코발트 - 전세계 생산량의 70% 이상이 콩고 민주공화국 (19개 광산 중 15개가 중국 소유)

니켈 - 전 세계 생산량의 40%가 인도네시아 (미국과의 FTA 체결 불투명)

01 핵심 광물 확보의 중요성

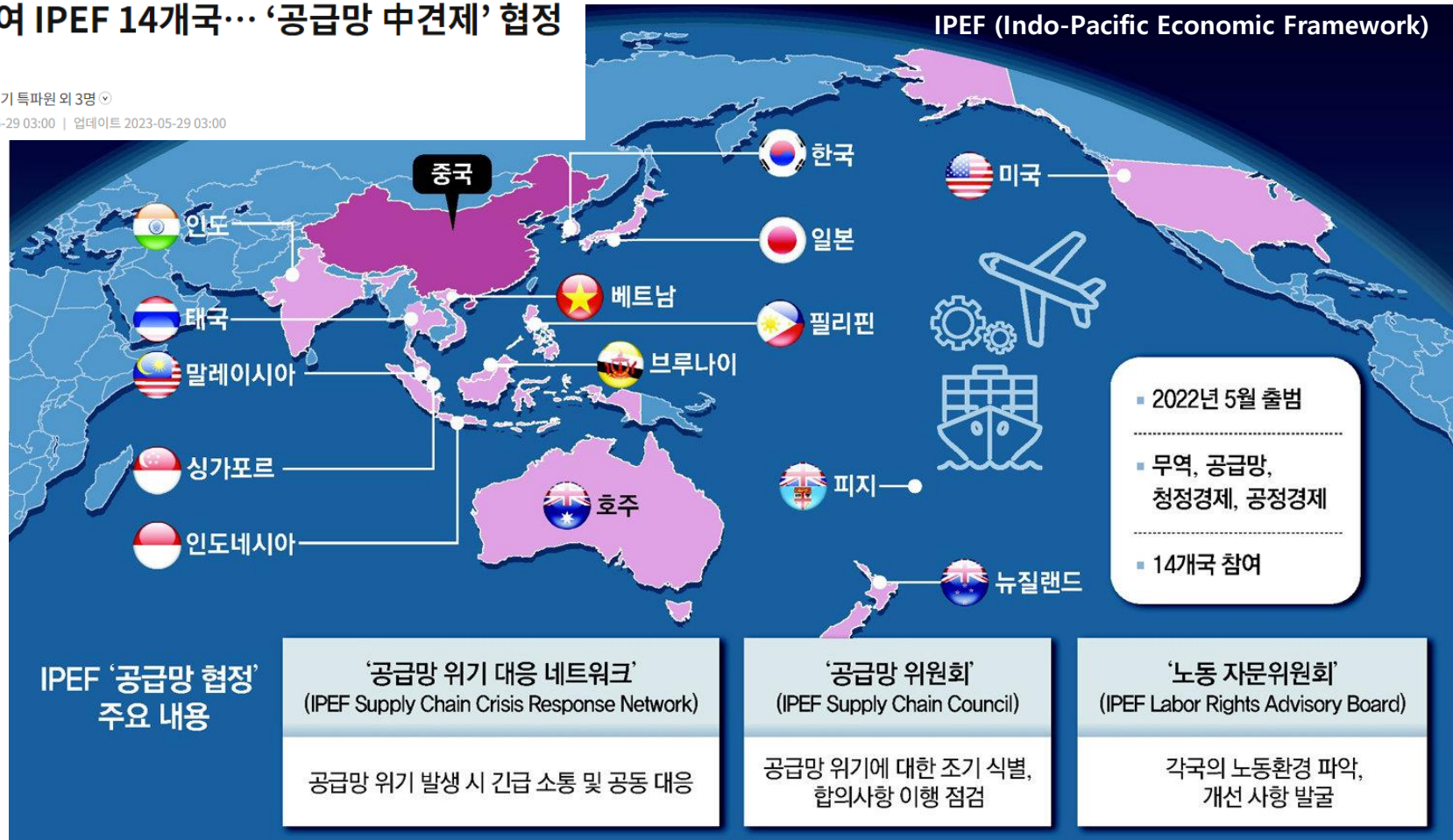
핵심광물 자원의 무기화 2 – 미국 주도 IPEF 14개국 공급망 협정 합의 (23년 5월)

동아일보 | 국제

韓참여 IPEF 14개국... ‘공급망 中견제’ 협정

워싱턴=문병기 특파원 외 3명

입력 2023-05-29 03:00 | 업데이트 2023-05-29 03:00

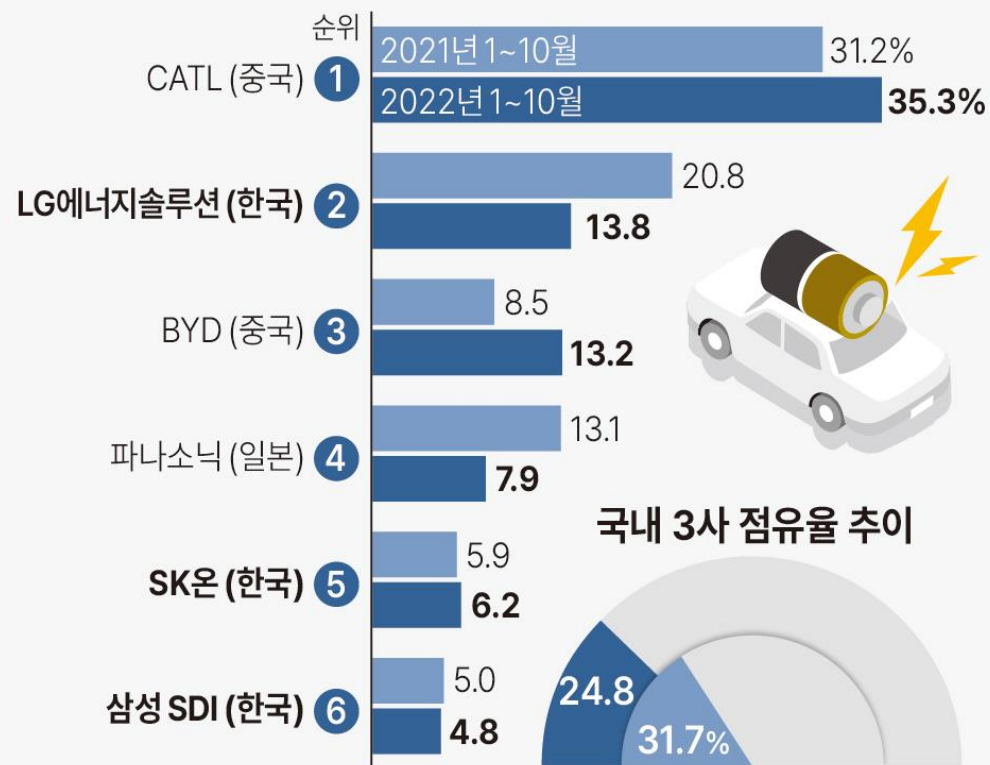


01 핵심 광물 확보의 중요성

국내 배터리 3사는 현재 중국 업체와의 치열한 경쟁 중.... 핵심 광물 자원 확보의 필요성

글로벌 전기차용 배터리 사용량 점유율

전기차(EV, PHEV, HEV) 탑재 배터리 사용량 기준



자료: SNE리서치

연합뉴스

01 핵심 광물 확보의 중요성

공급망 위기에 대응하려는 정부/기업 차원의 노력

산업공급망 10대 이행과제

추진기반	다변화	자원확보
공급망 대응을 위한 제도 및 추진체계 구축 조기경보시스템 고도화 및 위기시 신속대응체계 가동	공급망 리스크 분산을 위한 수입처 다변화 생산거점 다변화를 위한 해외 M&A, P턴 지원	핵심광물 공공비축 확대 및 민간 재고 확보 지원 자원보유국과 협력기반 확충 및 민간 프로젝트 지원 재자원화 기술개발 및 체계 구축

자립화: 핵심품목의 자립 생산기반 확충
핵심기술 조기 개발 및
생산시설 구축 연계
국내 생산능력 확충을 위한
전략적 외투·유턴 확대

자료: 산업통상자원부

news1



전자부품 전문 미디어 디일렉

<https://www.thelec.kr/news/articleView>

포스코홀딩스, 캐나다서 '유전염수 개발' 리튬 공급망 확보

Nov 8, 2023 — 포스코홀딩스가 본격적으로 리튬 공급망 다각화에 나섰다. 새로운 리튬 자원 공급망으로 부상하고 있는 유전염수 개발을 위한 계약을 맺었다.



경향신문

<https://m.khan.co.kr/article>

포스코, 리튬생산 국산화... '2차전지 핵심소재' 공급망 구축

Nov 29, 2023 — 포스코그룹은 이번 수산화리튬 공장 준공을 시작으로 광석리튬 생산 능력을 22만t까지 확대할 계획이다. 내년부터 아르헨티나 염수 자원에 기반한 리튬 1·...



Chapter

II

배터리산업의 주요 value chain

01 업스트림/미드스트림/다운스트림/폐기

02 광물의 생산 및 제련

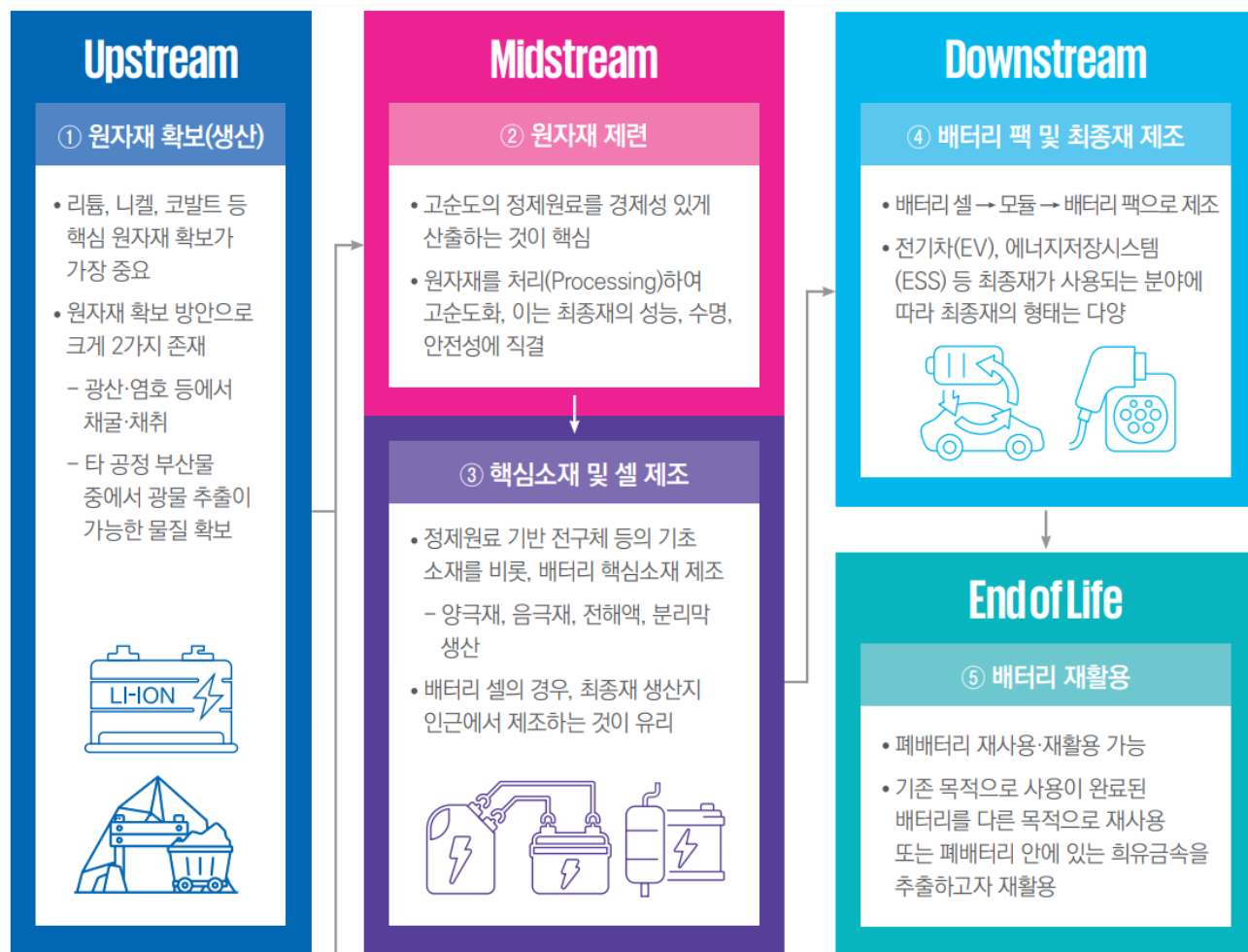
03 물질의 순도

이차전지 혁신융합대학 사업단

Secondary Battery
Convergence and Open Sharing System

02 배터리 산업의 주요 Value chain

◎ 배터리 산업의 주요 Value chain



4단계의 Value chain

1) 업스트림 (Upstream)

핵심 광물의 확보

- 광산에서 채굴, 염호에서 채취 등
- 혹은, 특정 물질의 제조 과정에서 광물 추출

2) 미드스트림 (Midstream)

2-1) 원자재 제련

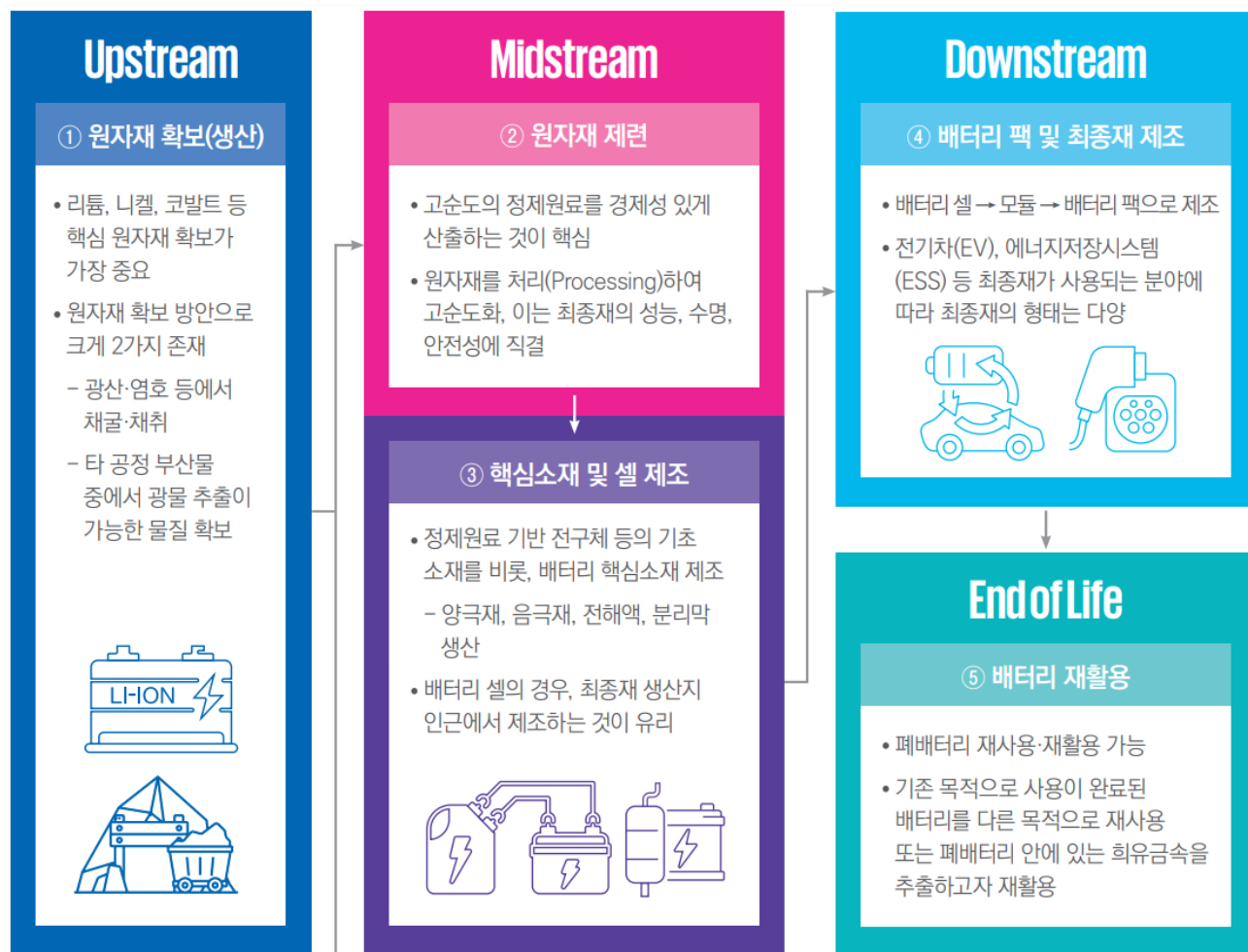
- 채취한 원광물에서 고순도의 원료 정제

2-2) 핵심 소재/부품 및 셀 제조

- 정제된 원료 기반으로 전구체 등 소재 제조
- 4대 부품: 양극재, 음극재, 전해액, 분리막
- 이를 기반으로 단위 셀 제작

02 배터리 산업의 주요 Value chain

◎ 배터리 산업의 주요 Value chain



4단계의 Value chain

3) 다운스트림 (Downstream)

- 배터리 셀을 모듈화, 패키징하여 최종재 생산
- 전기차 배터리, ESS, 스마트폰 배터리 등 활용 분야에 따라 최종재의 형태가 달라짐.

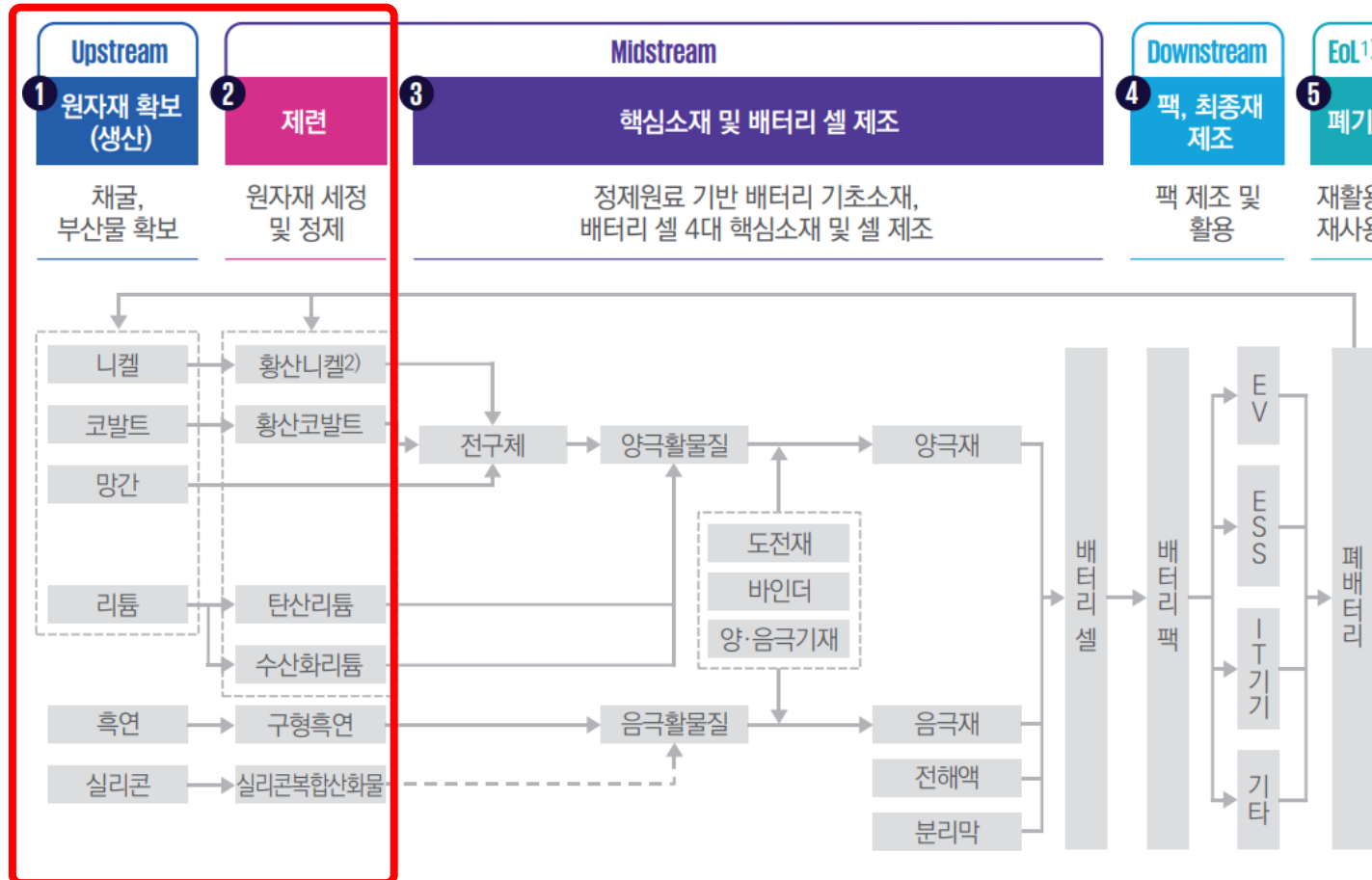
4) 폐배터리 재사용/재활용 (EOL., End-of-Life)

- 재사용: 폐기 단계에서 배터리 셀을 재제조하여 기존과 다른 목적으로 재사용 (전기차 수명 기준 > ESS 수명 기준)
- 재활용: 폐배터리에서 핵심 광물 재추출

02 배터리 산업의 주요 Value chain

◎ 배터리 산업의 주요 Value chain

광물의 생산과 제련



원자재 확보(생산)	제련
전통 광산 기업 앵글로 아메리칸 BHP 그룹 리오티토 발리(Vale)	탄산·수산화리튬 생산 알버말 SQM 텐치리튬 알켄 간평리튬 필바라 미네랄스 포스코리튬솔루션
리튬 생산 기업 알버말 SQM 텐치리튬 알켄 간평리튬 필바라 미네랄스	정련 코발트 생산 화유코발트 유미코아 JRV(Jervois) 글렌코어
코발트 생산 기업 글렌코어 ¹⁾ 차이나몰리브덴 ²⁾	정련 니켈 생산 진천(Jinchuan) 칭산(Tsingshan) 스미토모탈마이닝 노릴스크 니켈 캠코 더롱(Delong)
니켈 생산 기업 노릴스크 니켈 ³⁾ 사우스32 에라멧	

02 배터리 산업의 주요 Value chain

◎ Upstream: 광물의 확보 및 생산



- 자원 탐사 (조사)에
입각하여 경제성 분석
- 매장량, 품질, 비용 등 검토
- 노천 광산, 지하 광산 (갱도)

- 광석 광물 vs 맥석 광물
- 품위: 유용 성분 (광석 광물) 함량
예) 어떤 구리 원광석의 품위 = 2.5%
Cu 2.5%, 타 원소 97.5%로 구성

- 분쇄: 기계적 방법으로 광석의 크기 축소
- 분립: 입자의 크기 별로 분리
- 선별: 광석의 물리/화학적 특성 활용하여 선별
- 후처리: 농축, 여과, 탈수, 건조하여 정광
- 정광의 품위: 보통 30~40%

02 배터리 산업의 주요 Value chain

◎ Midstream 1: 광물의 제련



원광석에서 선광한 구리 정광



- 정광의 품위: 보통 30~40%

제련
(건식 / 습식)



구리 정광의 건식 제련을 통한 정제조동 제조 과정



- 건식 제련: 용광로 고열로 광석을 추출
- 습식 제련: 산이 함유된 용액으로 정광을 녹여 광석을 추출
- 제련 시, 99.5% 이상의 순도를 가지게 됨

02 배터리 산업의 주요 Value chain

◎ 물질의 순도



9999 Silver가 사용된 은화



999 Silver가 사용된 은화



9999 Gold가 사용된 금괴

$0.9999 = 99.99\% = 4N$ (포나인) = 24K (골드일 경우) (참고로, 18K = 75%, 14K = 58.5%)

$0.999 = 99.9\% = 3N$ (쓰리나인)

$0.9996 = 99.96\% = 3N6$ (쓰리나인식스)

3N -> 4N -> 5N 식으로 순도를 높이는 단계마다,

차원이 다른 기술력이 필요하며 제련 비용이 올라가게 됨.

02 배터리 산업의 주요 Value chain

◎ 물질의 순도

‘순도’로 압도하는 한국산 폴리실리콘

발행일: 2011-04-13 17:30 지면: 2011-04-14 18면



이처럼 한국산 폴리실리콘이 인기를 끄는 이유는 품질 경쟁력이 앞서기 때문이다. 국내업체들은 최소 나인나인(99.999999%)급 이상의 순도를 가진 폴리실리콘을 생산하고 있으며 일부에서는 일레븐나인급도 생산하고 있다. 이는 반도체용 폴리실리콘 수준의 순도를 자랑하는 것으로 식스나인급이 일반적인 중국기업 제품과 차별화된다.

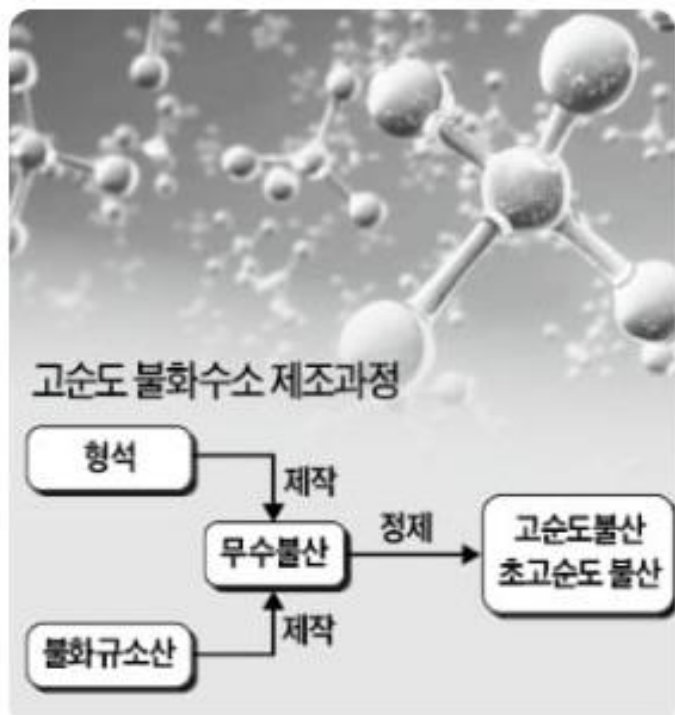
02 배터리 산업의 주요 Value chain

◎ 물질의 순도

" .9999와 .999999의 차이" 불화수소 '순도 경쟁'

표준연 '반도체 공정 진단 분야' 국가연구실 지정...국산 장비 성능 증명, 신뢰 확보
박현민 원장, "전주기 지원 통해 소부장 경쟁력 강화에 도움이 되겠다"

(서울=뉴스1) 김승준 기자 | 2021-07-13 15:00 송고



이런 통상적 공정을 넘으면 포나인(99.99%) 순도의 불화수소가 생성된다. 솔브레인, 이엔에프테크놀로지, 원익, 후성 등 국내 기업도 이 수준의 기술은 갖고 있다. 여기서부터 극미량의 불순물을 없애는 것이 관건이다. 미량의 불순물만으로도 불량률이 치솟을 수 있기 때문이다.

불량률이 1%만 올라가도 연간 수백~수천억원의 손실이 난다는 게 반도체업계의 통설이다. 0.001%가량 들어 있는 헥사 불화규소산, 0.003% 들어 있는 이산화황, 0.0005%의 수분 등을 제거해야만 현재 범용 반도체 공정에서 쓰이는 '파이브나인(99.999%) 순도의 불화수소를 얻을 수 있다.

파이브나인에서 더 나아가 측정조차 어려운 0.00001% 이하 극미량의 비소, 철 등을 없애면 세계에서 일본(스텔라케미파 등)만이 갖고 있는 '일레븐 또는 트웰브 나인(99.999999999%) 순도의 불화수소가 나온다. 10나노미터(nm : $1nm = 10^{-9}m$) 이하 차세대 반도체 공정에 쓰이는 불화수소다. 일레븐나인 불화수소는 씨엔비산업이 2011년 특허를 냈지만 아직 실험실 수준에 머물러 상용화되지 못했다.

02 배터리 산업의 주요 Value chain

◎ 물질의 순도

데일리한국

리튬플러스 '순도 99.999%' 성공했다...전고체 배터리용 초고순도 수산화리튬 출시

이차전지 필수 소재인 수산화리튬, 탄산리튬 제조 기업

리튬플러스는 2021년 설립되었으며, 이차전지의 필수 소재로 사용되는 초고순도의 수산화리튬, 탄산리튬 등을 생산해서 판매하는 기업이다. 저순도의 탄산리튬을 활용해 2차전지 원재료로 사용되는 초고순도의 약 99.995% 수산화리튬, 약 99.9%의 탄산리튬으로 제조하는 기술 및 특허를 보유하고 있다. 촉매 기법을 통해 환경에 유해한 황산 등의 독성 물질을 사용하지 않으며, 폭발이나 악취 등 작업자들의 안전을 위협하는 요소가 없고, 폐수나 오수가 발생하지 않는 친환경적 공정을 통해 제조하는 특징을 지닌다.

→ 수산화리튬: 99.995% ~ 99.999% (현재 연구중)

→ 탄산리튬: 99.9%

리튬배터리 핵심소재 '흑연' 유해물질 없이 제조한다

✎ 길애경 기자 | ✉ kilpaper@HelloDD.com | ⓒ 입력 2020.06.07 06:21 | 댓글 0

지질자원연, 친환경 고순도 흑연 제조 기술 개발
순도 높고 가격 낮춘 기술로 국내와 중국 특허 확보



→ 흑연: 99.9% (기준) -> 99.99% (현재 연구중)

이차전지 산업용 소재의 경우, 반도체 산업용 소재보다 일반적으로 낮은 순도 기준 (3N~4N)의 물질을 현재 사용 중.

하지만, 핵심 소재의 순도를 올리기 위한 연구가 계속 진행되고 있는 상황.

Chapter
III

핵심 광물의 채굴 및 제련

01 양극재 – Li, Ni, Co, Mn

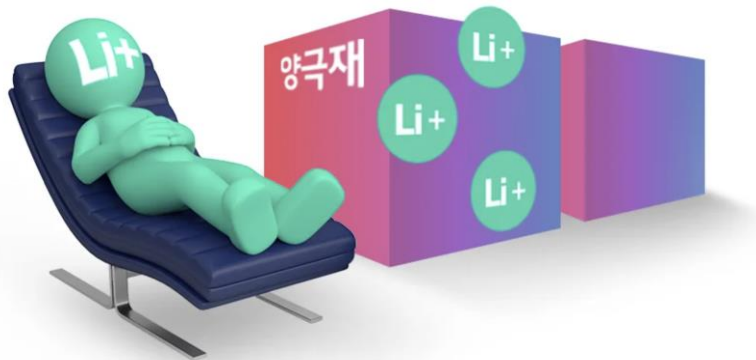
02 음극재 – 흑연 (C)

이차전지 혁신융합대학 사업단
Secondary Battery
Convergence and Open Sharing System

2023-12-15

03 핵심 광물의 채굴 및 제련

양극재 핵심 광물: Li, Ni, Co, Mn



- 배터리의 방전 시, 음극에 저장된 리튬이 리튬 양이온으로 환원. 리튬 양이온은 양극에 축적, 전자는 도선을 통해 외부로 방출

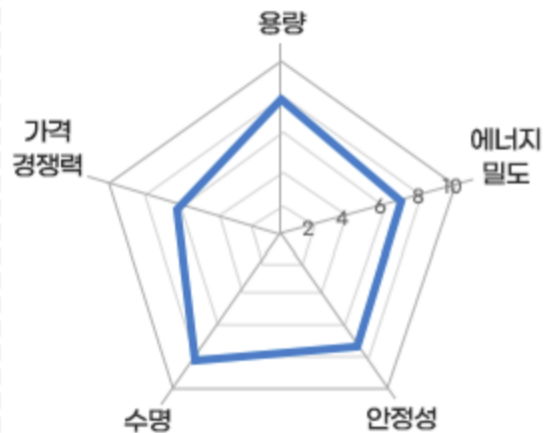
- 양극재는 용량 및 구동전압을 결정
- 리튬 외 다양한 광물 (Ni, Co, Mn, Al 등을 포함)

28 Ni 니켈 58.693 에너지 밀도	27 Co 코발트 58.933 안정성&수명	25 Mn 망간 54.938 안정성
--	---	---

03 핵심 광물의 채굴 및 제련

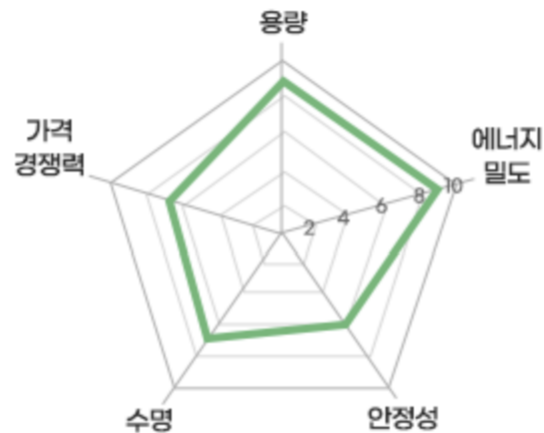
양극재 핵심 광물: Li, Ni, Co, Mn

NCM (니켈-코발트-망간)



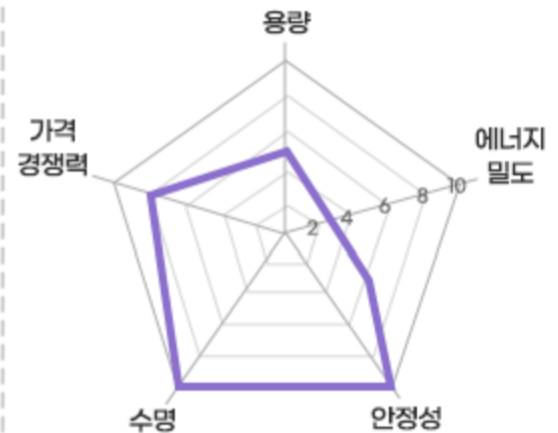
에너지밀도가 높아 주행거리가 길고 배터리 성능이 안정적

NCA (니켈-코발트-알루미늄)



높은 에너지밀도로 주행거리가 길고 출력이 좋으나, 수명이 짧고 열 안정성이 떨어짐

LFP (리튬-인산-철)

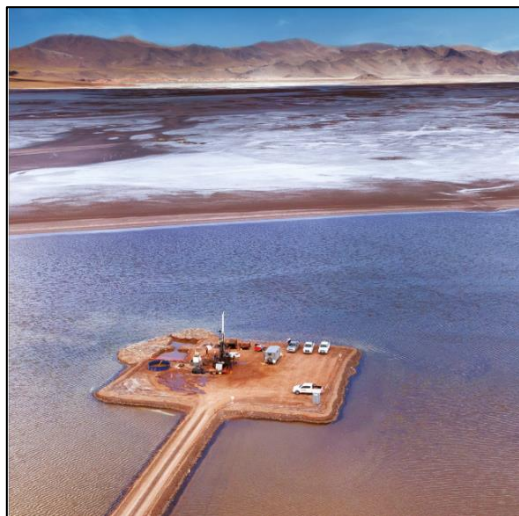


저렴한 가격과 높은 안정성에 비해 낮은 에너지밀도로 주행거리가 짧고 무거움

03 핵심 광물의 채굴 및 제련

◎ 리튬 (Li)의 생산: 염호/광산으로부터 수산화리튬 (LiOH), 탄산리튬 (Li_2CO_3) 제련

리튬 염호 (아르헨티나)



리튬 광산 (호주)



- 원자 번호 3번, 금속 중 가장 가벼운 물질이며 가장 낮은 환원 전위를 가져

리튬이온전지의 주요 구성 물질로 활용됨.

- 전체 리튬의 약 87%는 염호에 매장 (칠레, 아르헨티나, 볼리비아),

10%정도가 광산 (호주 등)에 매장되어 있음.

- 세계 리튬 생산량은 호주(40%), 칠레(18%), 중국(14%), 아르헨티나(6%)

등 4개국이 약 80% 차지

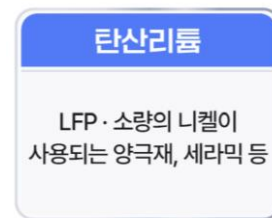
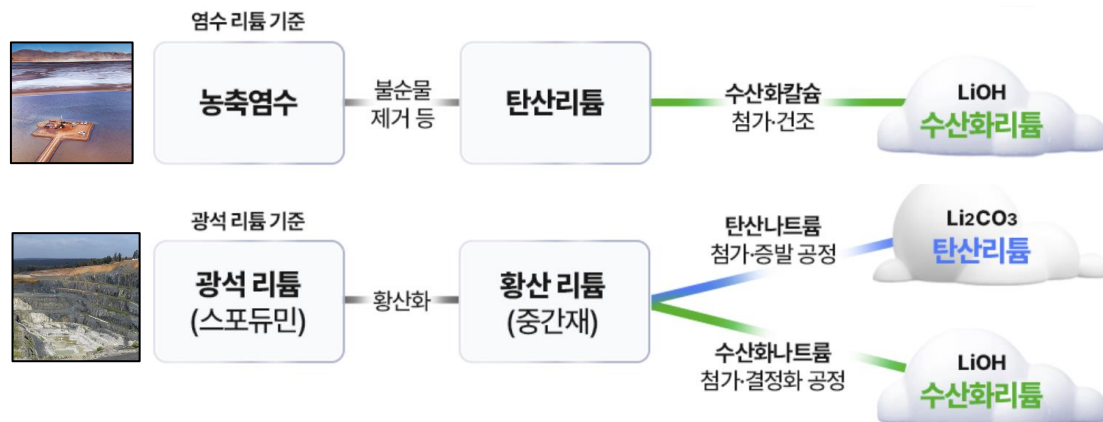
국가	칠레	호주	아르헨티나	중국
매장량(만 톤)	920	470	190	150
매장비율(%)	43.8	22.4	9.0	7.1
생산량(만 톤)	1.8	4	0.6	1.4
생산비율(%)	21.9	48.7	7.5	17

03 핵심 광물의 채굴 및 제련

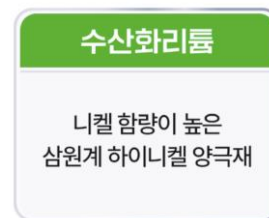
리튬 생산방식 비교

구 분	염수형 (Brine)	경암형 (Hard Rock)
위 치	남미지역 (리튬 삼각지대)	호주 서호주주, 중국
주요지역	칠레 Salar de Atacama	서호주 Greenbushes
처리공정	지하 염수 펌핑後(Solution Mining), 12~18개월 이상 자연건조 후 부산물 제거, 추가 공정을 통한 리튬 추출	채광작업, 파분쇄, 분리, 선광후 정광제조 후 변환설비를 통해 리튬 생산
장 점	낮은 운영비용	낮은 투자비용 (시장 대응력 高)
단 점	• 높은 투자비용 (규모의 경제 의존) ※ 증발지 건설비 : 투자비의 50% • 긴 준비/생산기간 • 낮은 회수율 (10~20%) → 염수 사용량이 많아 지하수 고갈 우려 • 날씨 변동성, 초대형 증발지(蒸發池) 필요	• 높은 운영비 - 에너지 및 채광비 • 탐사에서 생산까지 장기간 소요 • 전 세계적 고품질 광체 희귀 • 시약 사용에 따른 환경문제 발생 가능성

- 염호의 경우, 염수를 건조시키고 불순물 제거 및 이온교환을 통해 탄산 리튬 제련, 추가 공정을 통해 수산화 리튬의 형태로 제련됨.
- 광산의 경우, 채광, 분쇄, 선광 등의 작업을 거쳐 리튬 정광 확보됨, 이후 추가 공정을 통해 탄산 리튬 및 수산화 리튬의 형태로 제련됨.



노트북, 스마트폰
최근 전기차 (LFP)



전기차 배터리

03 핵심 광물의 채굴 및 제련

국내 업체 (포스코홀딩스)의 리튬 생산 현황

아르헨티나 염호

사업주체

포스코아르헨티나(포스코홀딩스 지분 100%)

부지위치

아르헨티나 살타/카타마르카주
Hombre-Muerto 염호

매장량

13,517천 톤LCE



염수리튬 생산공장

사업주체

포스코아르헨티나(포스코홀딩스 지분 100%),
포스코리튬솔루션(포스코홀딩스 지분 100%)

부지위치

아르헨티나 살타/카타마르카주
Hombre-Muerto 염호
광양 울촌 산업단지

생산량

수산화리튬 50천 톤/연
(1단계, 2단계 각 25천 톤/연)



호주 광산

사업주체

호주 Pilbara Minerals社 (포스코홀딩스 지분투자 2.76%)

부지위치

서호주 Pilgangoora 지역 Pilgan Mine

물량

스파듀민 Off-Take 315천 톤/연



광석리튬 생산공장

사업주체

포스코필바라리튬솔루션(포스코홀딩스 82%, Pilbara 18%)

부지위치

광양 울촌 산업단지

생산량

수산화리튬 43천 톤/연



03 핵심 광물의 채굴 및 제련

◎ 니켈 (Ni)의 생산: 니켈 광석으로부터 Class 1 (>99.8%), Class 2 (<99.8%) 니켈 제련, 황산 니켈 생성



인도네시아 니켈 광산

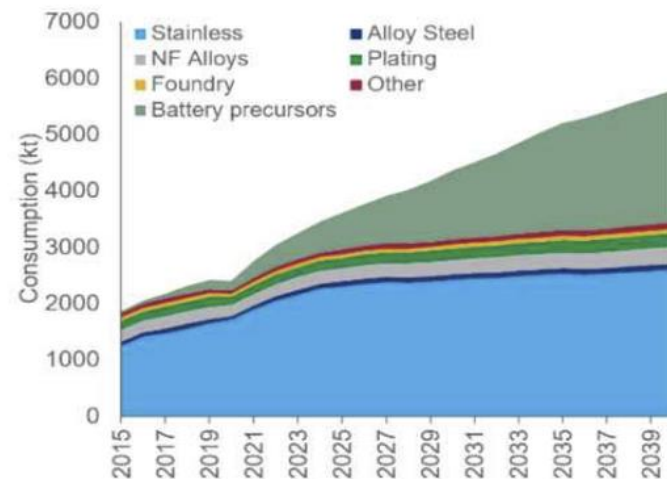
국가	인도네시아	호주	브라질	러시아
매장량(만 톤)	2,100	2,000	1,600	690
매장비율(%)	22.3	21.2	17.2	7.3
생산량(만 톤)	76	17	7.3	28
생산비율(%)	30.4	6.8	2.9	11.2

- 원자 번호 28번, 배터리의 에너지용량을 증가시켜주는 핵심 광물 (전기차 배터리에 많이 활용됨)
- NCM (Ni – Co – Mn), NCA (Ni –Co –Al) 등의 하이니켈 계열의 양극재에 활용됨.
- 전체 니켈 매장량의 약 60%는 산화광 (인도네시아), 약 40%는 황화광 (캐나다, 호주) 형태로 존재, 황화광이 산화광보다 고품위
- 니켈은 다른 광물에 비해 비교적 여러 나라에 고르게 분포, 2020년 기준 인도네시아가 최대 보유국이자 생산국이다.
- 중국 기업들은 인도네시아에 대규모 제련시설을 구축하는 등 다수의 니켈 광산 프로젝트를 추진하고 있다.

03 핵심 광물의 채굴 및 제련

◎ 니켈 (Ni)의 생산

분류	건식제련 (Pyrometallurgy)	습식제련 (Hydrometallurgy)
정의	· 금속을 추출하기 위해 전기로를 이용하여 고온의 열을 가하는 방식	· 고압산침출법(High-Pressure Acid Leaching, HPAL) 등 황산, 암모니아 등을 사용하여 화학반응을 통해 원료 속의 금속을 추출
주요 원광	· 황화광 · 산화광의 사프로라이트 - Saprolite, 니켈 함량 1.8% 이상	· 산화광의 리모나이트 - Limonite, 니켈 함량 1.3% 이하
정련 제품	· Class 1(순도 99.8% 이상) · Class 2(순도 99.8% 미만)	· Class 1(순도 99.8% 이상) · Class 2(순도 99.8% 미만)



- 니켈의 제련은 크게 건식 제련과 습식 제련으로 나뉨
- 황화광은 건식 제련을 통해 Class 1 니켈 (>99.8%) 생산, 배터리에 활용 (황산 니켈, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- 산화광은 일반적으로 습식 제련을 통해 Class 2 니켈 (페로 니켈), 스테인레스강에 활용되나 산화광 중 일부는 Class 1 니켈 생산 가능

03 핵심 광물의 채굴 및 제련

◎ 코발트 (Co) 의 생산: 구리/니켈 광산의 부산물로 생산, 제련 코발트 (99.8%)로 제련/정련, 황산 코발트 생성



- 원자 번호 27번, 전기차 배터리 양극재에 핵심 소재로서 (안정성 및 수명 증가), 주로 구리 또는 니켈 광산에서 부산물로 생산됨
- 콩고민주공화국 (DRC)는 세계 제1의 코발트 생산국, 2020년 전 세계 코발트 공급의 약 70%, 이중 대부분이 중국으로 수출.
- 코발트 최대 수입국인 중국은 DRC의 코발트 광산에 대한 대규모 투자를 통해 DRC 광산의 약 70%를 보유, 제련/정련을 통해 전세계 제련 코발트(순도 99.8% 이상)의 64% 공급
- 불법 채굴, 아동인권 등의 문제로 인해 코발트 함량을 줄이는 방향으로 양극재 개발 중 (LFP 등)

03 핵심 광물의 채굴 및 제련

◎ 망간 (Mn)의 생산: 망간 광산에서 채굴, 제련을 통해 고순도 망간 제련

국가	매장량
남아프리카공화국	640,000
호주	270,000
브라질	270,000
우크라이나	140,000
가봉	61,000
중국	54,000
인도	34,000
가나	13,000
카자흐스탄	5,000
멕시코	5,000

국가	2020년 생산량	2021년(예상) 생산량
남아프리카공화국	6,500	7,400
가봉	3,310	3,600
호주	3,330	3,300
중국	1,340	1,300
우크라이나	578	670
가나	637	640
인도	632	600
코트디부아르	525	500
브라질	494	400
말레이시아	347	360
기타	260	260

- 원자번호 25번, 망간 전기차 배터리 양극재 용 핵심소재로서 (안정성 증가)
- 대부분은 합금용으로 사용되었으나, 최근 배터리 활용도가 늘고 있는 추세.
- 남아프리카공화국, 호주, 브라질, 우크라이나 등 4개국이 주요 매장국. 생산국의 경우, 남아프리카공화국, 가봉, 호주, 중국 등
- 대부분의 망간 제련은 중국에서 이루어 지고 있음. (20년 10월 중국의 망간생산업체들이 정부의 지원 아래 '망간혁신연합' 출범)

03 핵심 광물의 채굴 및 제련

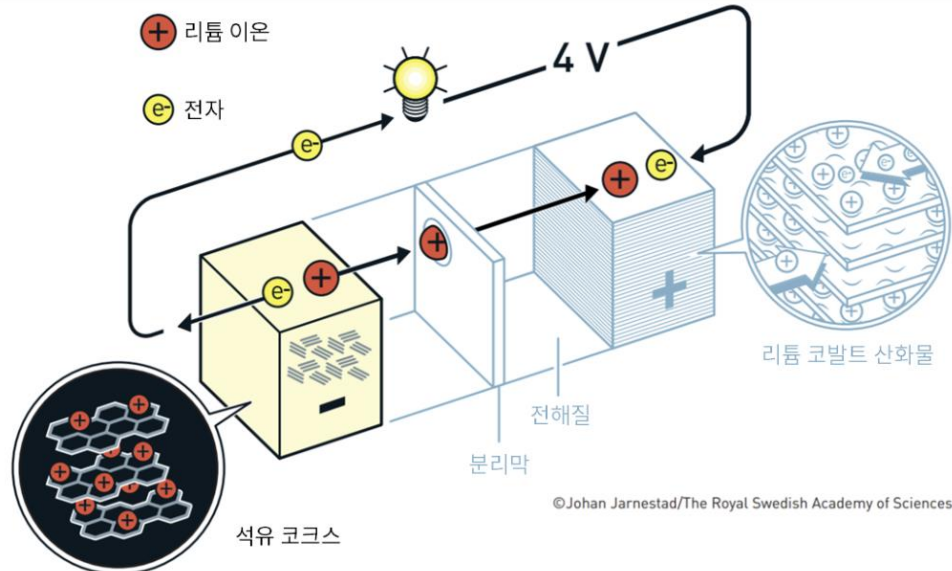
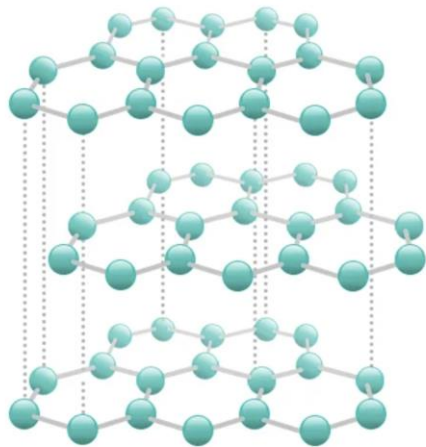
음극재 핵심 광물: 흑연

- 기존에는 음극재로 리튬을 활용하였으나, 안정성 문제 제기됨.
- 1985년 요시노 교수의 흑연 음극재 발견
- 음극재는 배터리의 수명, 용량, 충전속도에 관여함.

리튬 금속의 폭발성



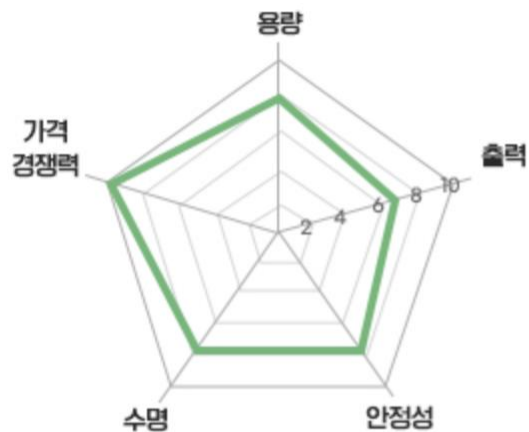
흑연: 탄소의 층상 구조



03 핵심 광물의 채굴 및 제련

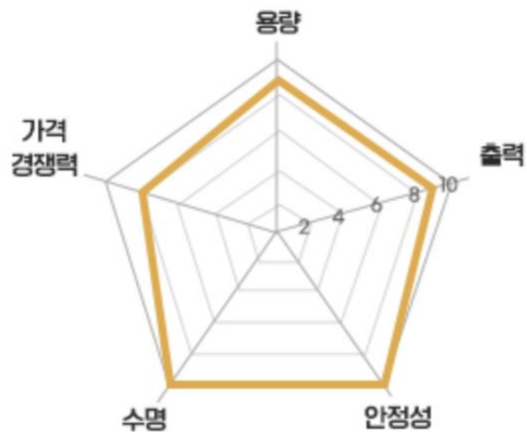
음극재 핵심 광물: 흑연

천연흑연 음극재



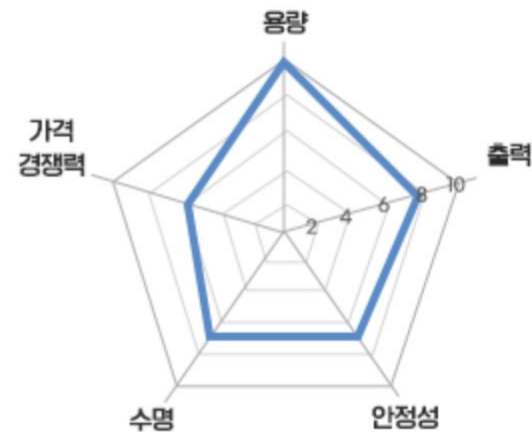
큰 용량, 우수한 가격경쟁력
내부 층상구조 발달로
리튬이온을 안정적으로 저장가능

인조흑연 음극재



안정적 구조, 긴 수명
고속 충전에 유리

실리콘 음극재



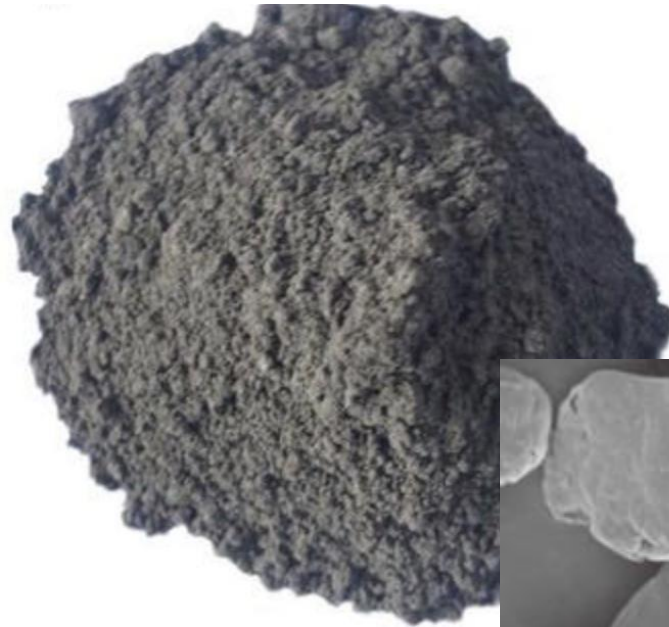
흑연계 음극재 대비
10배 높은 용량으로 주행거리 향상
급속 충전 설계 용이

03 핵심 광물의 채굴 및 제련

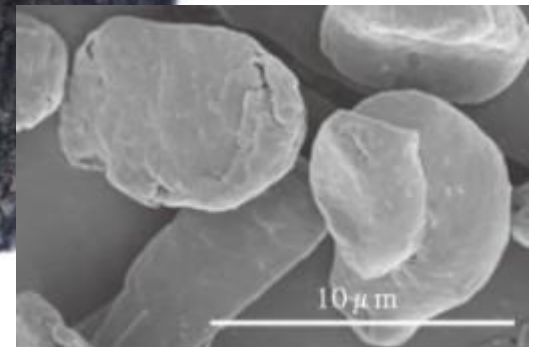
◎ 흑연 (C) – 천연 흑연



흑연 광산에서
채굴



구형 흑연으로
가공



- 천연 흑연은 낮은 가격과 높은 에너지 저장용량의 장점을 지님. 최근, 표면 처리기술의 발달과 함께 성능이 대폭 향상.
- 흑연광산은 전세계에 흩어져 있음. 국내에도 존재.
- 흑연광산에서 채굴 후 배터리용 구형 흑연으로 가공해야하며, 대부분의 구형 흑연은 중국에서 생산 중.

03 핵심 광물의 채굴 및 제련

◎ 흑연 (C) – 인조 흑연



- 코크스 제조 시 나오는 콜타르를 가공하여 침상코크스 생산
- 침상코크스를 일정한 사이즈로 갈아낸 후, 원하는 상태로 뭉쳐내면 음극재로서의 기본 형상 가능.
- 이후 3,000℃ 이상의 고온에서 2주간 가열하면 전기차 배터리에 사용되는 인조흑연 음극재 생산.
- 천연소재 대비 높은 수명 및 안정성, 급속 충전에 유리
- 그렇지만 생산 시 탄소 배출이 높고 가격이 비싸다는 단점이 있어, 천연흑연과 mixing 하는 경우도 다수

Summary

1. 핵심광물확보의 중요성

- 01 배터리 산업의 중요성 및 가치
- 02 글로벌 기술패권 경쟁 및 자국 우선주의
- 03 자원 공급망 확보의 중요성

2. 배터리산업의 주요 value chain

- 01 업스트림/미드스트림/다운스트림/폐기
- 02 광물의 생산 및 제련
- 03 물질의 순도

3. 핵심 광물의 채굴 및 제련

- 01 양극재 – Li, Ni, Co, Mn
- 02 음극재 – 흑연 (C)