

이차전지와 재활용산업

Secondary battery recycling

이차전지 혁신융합대학 | 가천대학교 허재현



이차전지 혁신융합대학 사업단

Secondary Battery
Convergence and Open Sharing System



TABLE OF CONTENTS



이차전지 혁신융합대학 사업단
Secondary Battery
Convergence and Open Sharing System

- 01 이차전지 재활용 필요성
- 02 이차전지 구성 및 주재활용 소재
- 03 재사용(re-use)과 재활용(re-cycling)
- 04 이차전지 재활용 법령
- 05 국내외 이차전지 재활용 동향
- 06 이차전지 재활용 공정별 특징
- 07 이차전지 재활용 정리

01 이차전지 재활용 필요성

쏟아지는 '리튬 배터리' 쓰레기... 재활용 난제 해결책은

2022년 1월 9일



2022. 1 BBC News

- 전기차가 내연기관 대체(2011년 첫 양산)
- 제네럴 모터스: 2035년 화석연료자동차 판매 중단
- 아우디: 2033년까지 화석 연료 자동차 생산 중단
- 현대기아차: 2035년경까지 내연기관차 판매 중단
- 블룸버그통신: 2040년까지 전기차가 전세계 승용차 판매량의 2/3 차지 전망



- 리튬 배터리 자원 재활용 없이는 매장량 한계와 수급 부족으로 문제 발생
- 쌓여가는 리튬 배터리 폐기물 문제
(각종 중금속, 전해액 → 매립시 심각한 토양오염)
- 폐기물의 폭발 위험성

01 이차전지 재활용 필요성

◎ 리튬전지 핵심 자원 관련 환경

- 이산화탄소 배출: 배터리 원자재를 광산 채굴시 다량의 물 소비, 이산화탄소 발생(42kg CO₂/1kWh)
- 주요 자원 채굴량 증가: Ni, Li 등 핵심 원자재 수요 증가(Ni: 11.5만톤(2021년) → 121만톤(2030년))
- 신자원 민족주의: 중국, 미국 등의 강대국에서 리튬 자원확보를 위해 해외 광산 투자 확대

핵심광물 생산 상위 3개국의 세계시장 점유율

(단위: %)



자료: OECD-IEA

자료: OECD IEA

핵심광물 수입 비중

*2021년 수입액 기준 (단위: %)

리튬	수산화리튬	중국 84	
	탄산리튬	칠레 82	중국 14
니켈	황산니켈	핀란드 45	벨기에 34
	수산화코발트	중국 69	
코발트	황산코발트	중국 97	
	황산망간	중국 97	
망간	탄산망간	중국 100	
	천연흑연	중국 72	독일 22
흑연	인조흑연	중국 87	
	희토류	중국 54	일본 28
희토류	영구자석	중국 86	

자료: 산업통상자원부

01 이차전지 재활용 필요성

◎ 리튬 채굴 공정 및 이슈사항

☑ 리튬(Li)

1. 광산(광물) 채굴

- 광산 건설, 점토나 광석 추출
- 복잡한 과정을 통해 리튬 분리
- 인근 토지 및 생태계 파괴
- 막대한 양의 담수 소비
- 주 매장지: 남미, 호주, 중국 등

2. 염수 추출법

- 지하에 있는 염수 또는 큰 호수에 포함된 리튬 추출
- 리튬농축액: 고속 원심분리, 증발(에너지소모), 화학적 정제
- 리튬염 호수: 주로 지진활동이 높은 지역(아르헨티나 등)
- 지하수 및 수자원 고갈 위험 존재

3. 이온 교환법

- 재사용 가능한 이온교환 수지 및 흡착제를 담가 표면 아래 염수에서 용해된 금속 추출
- 물을 거의 사용하지 않아 친환경적



https://news.g-enews.com/article/Global-Biz/2022/01/202201141556026828e8b8a793f7_1?md=20220114161027_U



<https://dailypro5.tistory.com/240>



<https://kr.seplite.com/lithium-recovery.html>

01 이차전지 재활용 필요성

◎ 유가금속(Co, Ni) 매장량

☑ 코발트(Co)

- 리튬전지: Co가 Li보다 8배 이상 많이 들어감
- Co 매장량 (콩고>70%)
콩고민주공화국(64000)>러시아(5600)>호주(5000)>캐나다(4300)>쿠바(4200)
- 콩고에서의 정치적 불안정성으로 가격 예측 어려움
- 중국에서 아프리카 광산지역 대부분 선점

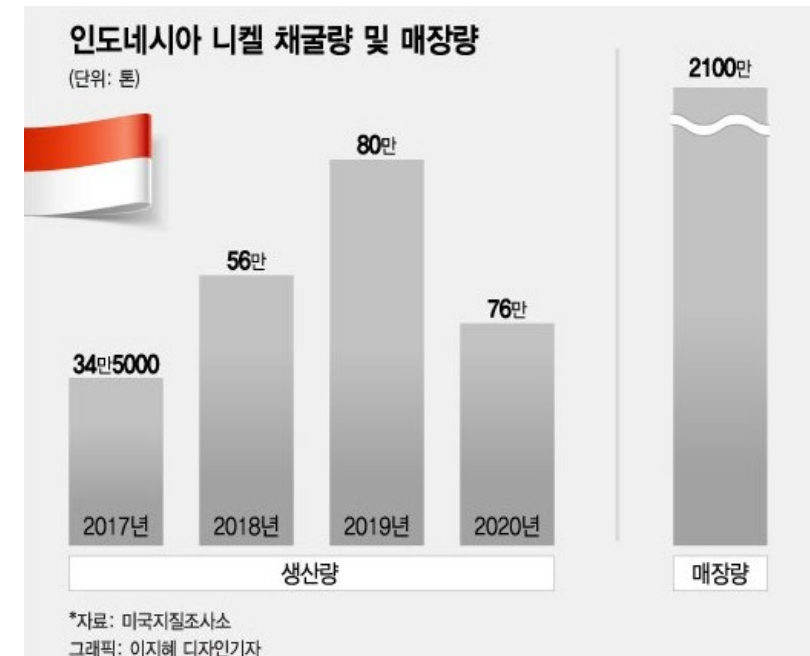


전 세계 코발트 매장량 분포도

<https://blog.naver.com/gp3project/223006387282>

☑ 니켈(Ni)

- 리튬이나 다른 광물에 비해 여러나라에 고르게 분포
- 인도네시아가 가장 높음(30%) > 필리핀(13%) > 러시아(11%)



<https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2021042809383177202>

01 이차전지 재활용 필요성

◎ 리튬 배터리 종류별 자원 함유량

분야별 2차 전지 사용량 비교

항 목	스마트폰	전동공구	E-Bike	HEV	PHEV	BEV	E-Bus
제 품							
용 량	0.01kWh	0.1kWh	~1.0kWh	1.5kWh	12kWh	40kWh	80kWh
사용량 비율	1	10	100	150	1,200	4,000	8,000

자료: SNE Research(2018), "리튬 이차전지 주요 소재 업체 심층 분석 "

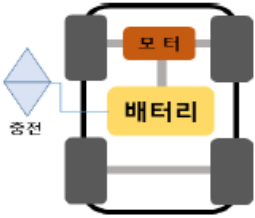
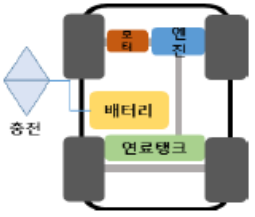
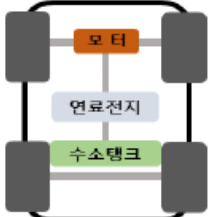
- 전기자동차용 전지: 소형 IT기기 전지 대비 150~8000배에 달하는 전력량(그만큼의 자원 필요)
- 전기차 사용 증가는 이제까지 소형 IT기기 전지와는 비교할 수 없을 정도의 자원 소모
- 전기차 폐배터리: 자원 채굴보다 더 효과적으로 자원 활용 가능(자원 집약)
- 자원 채굴보다 폐배터리 재활용의 탄소배출량이 훨씬 적음

*HEV(hybrid electric vehicle), PHEV(plug-in hybrid electric vehicle), BEV(battery electric vehicle)

01 이차전지 재활용 필요성

◎ 다양한 종류의 전기자동차 및 전지용량(자원 함량)

전기자동차의 종류 및 구조

구 분	정 의	차종별 전지 구성도
순수 전기자동차 (BEV, Battery Electric Vehicle)	- 외부전원으로 충전할 수 있는 전지를 통한 전기에너지만을 동력원으로 사용하는 전기자동차 - 리튬 전지용량 ≒ 40kWh	
플러그인 하이브리드 전기자동차 (PHEV, Plug-In Hybrid Vehicle)	- 외부전원으로 충전할 수 있는 전지가 주동력원이며, 엔진은 보조적 역할을 하는 하이브리드 전기자동차 - 리튬 전지용량 ≒ 12kWh	
하이브리드 전기자동차 (HEV, Hybrid Electric Vehicle)	- 내연기관이 주동력원이며 보조적 역할을 하는 전기모터를 함께 사용하여 최적조건으로 운행하는 전기자동차 - 리튬 전지용량 ≒ 1.5kWh	
수소연료전지 자동차 (FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle)	- 산소·수소의 전기화학적 반응으로 전기를 생산하여 구동하는 전기자동차	

자료: 환경부(2018), "전기차 폐배터리 재활용 방법 및 기준 마련 연구"

01 이차전지 재활용 필요성

◎ 전기자동차 내 배터리 원료 단가

- 전기자동차: 전기배터리와 전기모터가 주요 부품
- 배터리: 원가 기준 ~45%(양극재 35%, 분리막 20%, 전해질 15%)
- 양극재 주요 원료: Co, Ni, Mn, Li, Cu, Al
- 음극활물질(흑연), 전해질, 분리막(고분자), BMS(플라스틱)은 부가가치가 낮아 재활용되지 않고 있음



출처: 전자신문

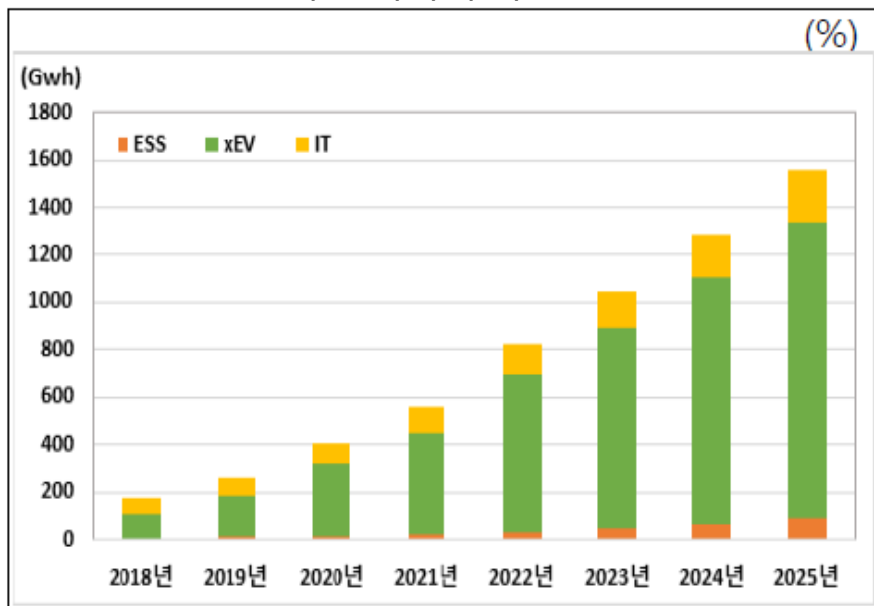
전체 단가의 45% 차지

01 이차전지 재활용 필요성

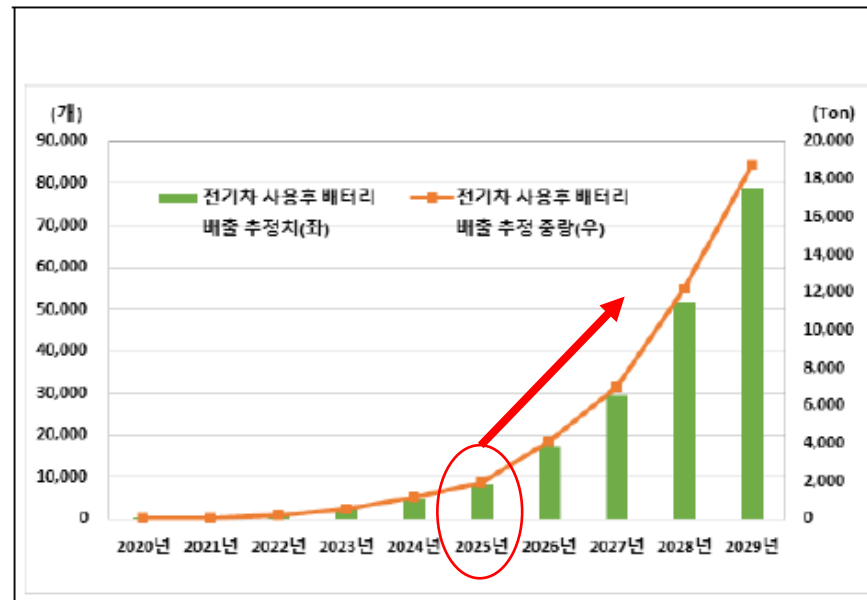
◎ 리튬 배터리 시장 및 폐배터리 배출 전망

- 2023년 현재 인구 1명당 자동차 보유수
- 서울 0.34, 부산 0.45, 경기 0.47, 제주 1.02
- 2023년 현재 친환경차
- 전기차: 39만대(전년 대비 168%), 수소차: 1만대(153%), 하이브리드: 117만대(129%)

리튬 배터리 시장전망



폐전지 배출 전망

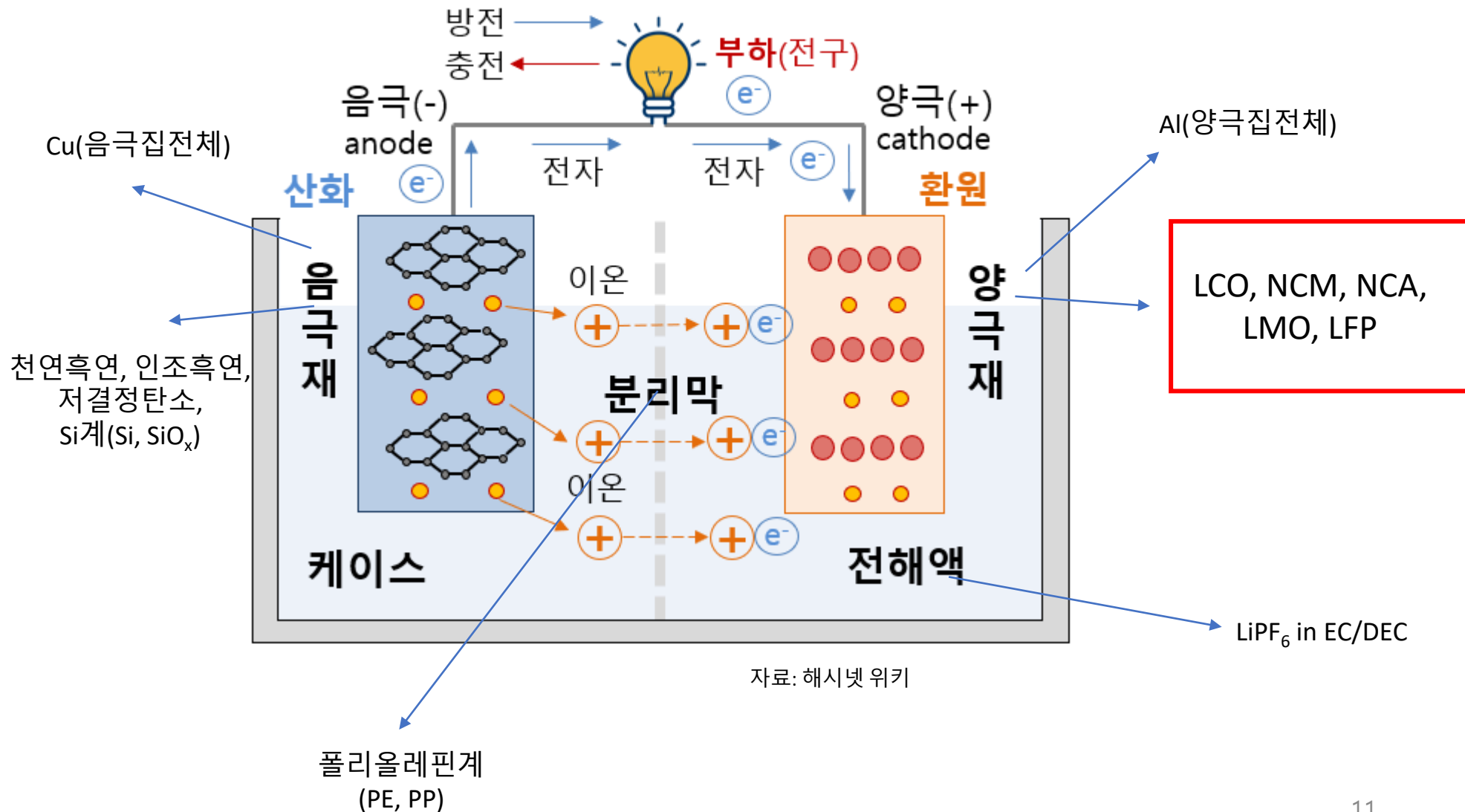


자료: SNE Research(2018), “글로벌 이차전지 시장동향 및 산업전망” 에너지경제연구원, 2018-16호

- 2025년: ESS(~5%), EV(~85%), IT(~10%)
- 2029년: 폐배터리 80,000개(18,000 ton), 2025년 경부터 폐배터리 기하급수적으로 증가
- 전세계 시장규모: 2019년(1조 6500억원), 2030년(6조원), 2040년(66조원), 2050년(600조원)

02 이차전지 구성소재 및 주재활용 소재

◎ 리튬 이온전지 구성 소재



02 이차전지 구성소재 및 주재활용 소재

◎ 양극 소재별 특징

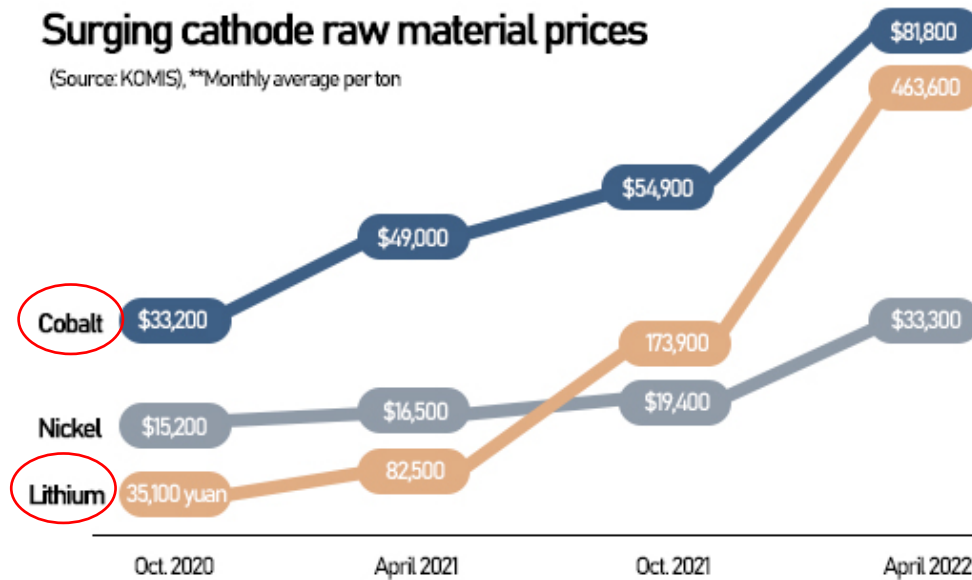
	LCO	NCM	NCA	LMO	LFP
분자식	LiCoO_2	$\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z)\text{O}_2$	$\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Al}_z)\text{O}_2$	LiMn_2O_4	LiFePO_4
구조	층상구조	층상구조	층상구조	스피넬 구조	올리빈 구조
용량(mAh/g)	145	145-175	180	100	150
작동전압	3.7V	3.6V	3.6V	4.0V	3.2V
안정성	높음	다소 높음	낮음	높음	매우 높음
수명	상	중	상	하	상
난이도	쉬움	다소 어려움	어려움	다소 어려움	어려움
용도	소형	소형, 중대형	중형	중대형	중대형
가격	25-28 \$/kg	20-23 \$/kg	21 \$/kg	8-9 \$/kg	20 \$/kg
사용빈도	3	1	4	2	5
제조사	엘엔에프, 코스모신 소재, Umicore, NiChia	엘엔에프, 에코프로, 포스코ESM, Umicore, Nichia, BTBM	에코프로, Sumimoto, Toda, Nichia	포스코 ESM, Nichia, BYD	한화케미칼, BYD, ShanShan, A123

02 이차전지 구성소재 및 주재활용 소재

◎ 대표적 양극재별 가격추이

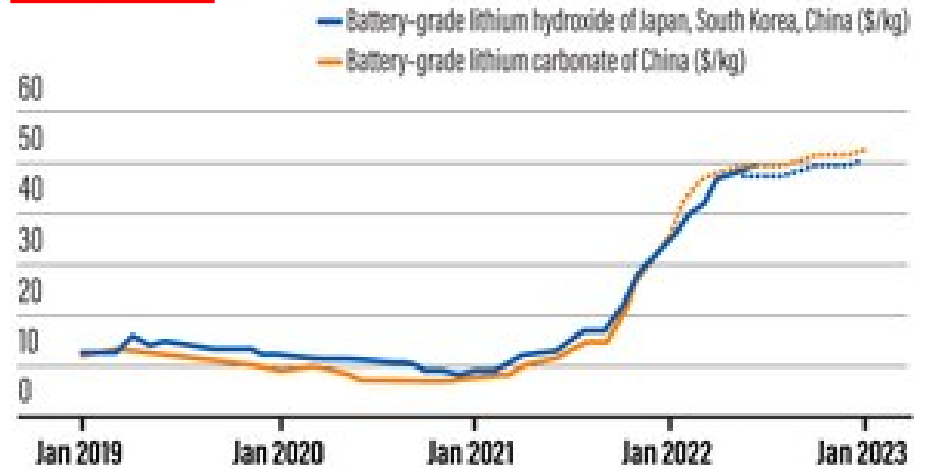
Surging cathode raw material prices

(Source: KOMIS), **Monthly average per ton



자료: KOMIS

LITHIUM PRICE OUTLOOK TO JANUARY 2023 (%)



자료: Rystad

Source: Rystad

- 리튬 양극재 대표적 유가금속 가격: Co > Li > Ni
- 톤당 가격(2022년): Co (\$81,800), Ni (\$33,300), Al(\$3,000), Mn(\$1,700), Li₂Co₃(463,000 yuan ~ \$65,000)
- 최근 Co와 Li 가격이 급상승 중

02 이차전지 구성소재 및 주재활용 소재

◎ 대표적 양극재별 사용분야

항목	LCO	NCM	NCA
장점	- 합성 용이 - 충전 유리	- 순간출력 우수 - 수명 우수	- 용량 우수 - 수명 우수
단점	- 가격경쟁력 낮음(Co)	- 합성 어려움 (NCM 532, 622, 811) (국내, 일본)	- 합성 어려움 (Ni 80% 이상으로 기술적 장벽 높음)
용도	소형(스마트폰)	- 중대형(전기차, ESS)	

소형 전지(LCO)	중대형 전지(NCM, NCA)
- 주로 Co 추출	- 레이저 용접으로 인한 해체의 어려움 - 잔존용량 및 안전성 평가 후 ESS로 재사용

- 소형 전지: 주로 IT 기기(스마트폰, 노트북) 등에 사용, 주로 LCO 양극 사용(우수한 방전 및 고용량)
- 중대형 전지: 전기자동차, ESS, 주로 NCA, NCM 양극 사용(저렴한 가격과 고출력)

03 이차전지 재활용 vs. 재사용

◎ 재사용과 재활용 차이

재사용(Re-Use)

- 전기차: 초기용량 대비 70% 이하로 감소시 주행거리 감소, 충전 속도 저하, 안전성 위험 증가로 교체 필요(대략 5-10년 주행)
- 전기차에서 분리한 전지를 ESS의 전원으로 재사용하여 선순환 생태계 구축

재활용(Re-cycling)

- 더 이상 사용이 불가능한 전지를 파쇄하여 양극활물질로부터 고가의 희유 금속을 추출
- Co 함량이 높은 소형전지
- 용량 저하가 심하거나 외부 충격 등으로 파손된 전지
- ESS로 재사용이 불가능한 전지 대상



EV 차량

성능
~<70%
→
재사용
(Re-use)



ESS 활용

성능
~<50%
→
재활용
(recycle)



유가금속 추출

03 이차전지 재활용 vs. 재사용

◎ 재사용(re-use) 방식

전기차 배터리 재사용 흐름도



- 주요설비 요건: 폐전지 진단 및 분석 설비
- 재사용 배터리: 중대형전지(EV자동차, 소형EV, 대형축전지, 공장백업시스템, 전동포크레인 등)
- 사업화: 아직 사례없음

◎ 재활용(re-cycle) 방식

전기차 배터리 재활용 흐름도



- 주요설비 요건: 폐전지 방전시스템, 회수 공정기술
- 재사용 배터리: 소형전지
- 사업화: 성일하이텍(한국), Umicore(벨기에)

구 성	Re-Cycling	Re-Use
원재료	소형 배터리	전기자동차
원재료 확보	난 해	용 이
기술 진입장벽	높 음	낮 음
대량 생산	가 능	불가능
법률 제약	없 음	제정 중

03 이차전지 재활용 vs. 재사용

◎ 이차전지 재활용 ~ 타자원 재활용 + 분리과정

쓰레기 재활용
(플라스틱/종이)

물리적 재활용

세척, 파쇄, 용융, 배합 → 플라스틱 알갱이(펠렛)
세척비용 높음, 가공과정 오염 → 활용분야 제한적

열적 재활용

플라스틱을 소각하여 발생하는 열에너지 이용
소각시 유해물질 발생 → 환경오염

화학적 재활용

화학공정을 통해 폐플라스틱 분해, 원료 상태로 재활용
물리적/열적 재활용 단점 극복



쓰레기 재활용

원유 정제

원유 시추

증류

끓는점 차이에 따라 분류
(휘발유, 나프타, 등유, 경유, 중질유)

탈황

유분 중 포함되어 있는 불순물 제거
(황, 질소, 산소화합물 제거)

전화

열분해, 접촉분해, 개질, 이성질화, 알킬화 등



원유 정제

이차전지 재활용

물리적 파쇄

부가가치 낮은 소재(전해질, 분리막): 버림
부가가치가 높은 소재(양극재 금속): 선별

화학적 추출

습식

- 강산 사용
혼합금속 용해
- 금속 맞춤형 용매 사용
해당금속 추출

건식

- 높은 온도에서
혼합금속 녹임
- 금속합금에서
해당금속
습식공정으로 추출



이차전지 재활용

04 이차전지 관련 법령

전기자동차 폐전지 재활용 관련 주요 법안

구 분	수도권 대기 환경 개선에 관한 특별법	대기환경 보존법
법안 목적	대기오염이 심각한 수도권 지역의 대기환경 개선을 위하여 종합적인 시책을 추진하고, 대기오염원을 체계적으로 관리하여 지역민의 건강을 보호하고 쾌적한 생활환경을 조성	대기오염으로 인한 국민건강이나 환경에 관한 위해를 예방하고 대기환경을 적정하고 지속가능하게 관리보전하여 쾌적한 환경에서 생활토록 보존
조항 별 중점 사항	제24조 전기자동차 구매시 보조금과 같은 재정적 지원에 관한 사항 규정 제26조 보조금을 지원받은 소유자가 지켜야 할 의무 운행기간 및 등록말소시 배터리 반납 등에 대한 규정	제58조 전기자동차 구매시 보조금과 지원에 관한 사항과 보조금을 지원받은 자동차의 소유주가 지켜야 할 의무운행 기간 설정, 등록 말소시 배터리 반납 등에 규정
세부 내용	제24조 국가나 지자체는 전기자동차 구매자에게 재정적 지원을 할 수 있음 제26조 · 환경부 장관은 보조금 지급 차량의 의무운행기간을 설정할 수 있음 · 등록 말소 또는 폐차 시 배터리 등의 반납 의무 부과 · 자치단체장 등은 회수한 배터리를 재활용해야함(불가시 매각해야함)	제58조 환경부 보조금 지원 대상의 전기자동차인 경우 폐차 시에 배터리를 시도지사에게 반납하도록 하고 있으며, 시도지사는 회수된 배터리의 성능을 검토하여 재활용하도록 하고 있음

- 법적 적용 범위 및 구속력에서 소형 IT기기용 전지와 전기차용 전지가 다름(표 참조)
- 전기차 배터리의 경우 보조금 지급과 관련하여 그에 따른 반납과 재활용 의무를 가짐(단, 2021년 이후 생산된 전기차의 경우 폐배터리를 지방정부에 반납의무 폐지)
- 문제점)현재 폐전지 수거 이후 재활용을 위한 평가 인증기관, 성능 기준 등에 대한 구체적 실행방안이 없음

자료: SNE Research(2018), "전기차 폐배터리 방법 및 기준 마련 연구 "

04 이차전지 관련 법령

구분	환경부	산업자원부
폐배터리 반납	○	-
폐배터리 재활용 및 폐기	○	-
폐배터리 성능평가	-	준비중
성능 인증기관 선정	-	준비중
재생 배터리 규격	-	준비중

- 전기차 폐배터리 재활용 처리법안: 환경부 주도
- 평가 인증기관 선정 및 성능 기준확립: 산업자원부 주도(아직 구체화되어 있지 않음)
- 리튬 배터리 이외 6종(수은전지, 산화은전지, 니켈/카드뮴전지, 리튬 1차전지, 망간/알칼리전지, 니켈수소전지): 생산자책임재활용(EPR: Extended Producer Responsibility) 의무대상 품목으로 지정

*EPR: 제품 생산자에게 재활용 의무 부여, 미이행시 재활용 소요 비용 이상을 생산자에게 부담

05 국내외 이차전지 재활용 동향

◎ 국내 이차전지 재활용 동향

기업	주요 내용
현대차그룹	한국수력원자력 및 OCI와 업무협약(전기차 발생 폐전지 활용 ESS를 태양광 발전시스템에 접목)
삼성 SDI	- 성일하이텍(국내 폐전지 재활용업체)과 업무협약을 통해 내부에서 발생하는 소형전지 불량품 등으로부터 희유금속 추출/재활용 - 재활용 전문업체 피엠그로우와 협력, 스텔란티스와 함께 미국 첫 전기차 배터리 셀-모듈 합작법인 부지를 인디애나주 코코모시로 선정
LG화학	인바이로스트림(호주 폐전지 재활용업체)과 협약을 통해 소형 전지 리사이클링 수행
SK이노베이션	자체적으로 리사이클링을 통한 희유금속 회수 기술 개발중
LG에너지솔루션	GM과 합작법인인 얼티엄셀즈(Ultium Cells)가 북미 최대배터리 재활용 업체인 리-사이클(Li-Cycle)과 배터리 제조과정에서 발생하는 폐배터리 재활용 계약 체결
SK On	- SK 이노베이션 배터리 사업 자회사 - 기아자동차 니로EV 폐배터리 재사용하여 300kWh급 ESS제조, SK에코플랜트 아파트 건설현장에서 재사용중

05 국내외 이차전지 재활용 동향

◎ 해외 이차전지 재활용 동향

기업	주요 내용	사업 유형
Renault(프)	ESS와 전기자동차 급속충전소 결합	전력사업자와 협업
Tesla(미)	자사 배터리 공장인 Giga-Factory(Nevada, 상하이)내 재활용 시스템 구축 가정용 ESS 출시	자체
Toyota(일)	폐전지와 태양광 연계 ESS 검증 프로젝트 수행 세븐일레븐 매장에 설치하여 전기 공급	자체
Redwood Materials(미)	테슬라 전 회장이 설립한 재활용 스타트업 Envision AESC(닛산 매각 배터리 생산기업)와 협력, 이 곳에서 나온 셀 재활용	
Daimler(독)	자사 전기차 폐전지 활용 대규모 ESS 설치(뤼넨, 하노버)	전력사업자와 협업



- 주로 전력관련 사업자와 협업을 통해 ESS 분야로의 확대 추진
- 국내와 같이 현재 시범사업 수준(초기 단계)

05 국내외 이차전지 재활용 동향

◎ 중국의 배터리 재활용 촉진정책

- 중국
 - 전기차 전세계 1위 판매국
 - 배터리 재활용 시장 석권 노려
- 시장동향 및 정부정책
 - 전기차 뿐 아니라 전기오토바이, 전기철도 등에 이용되어 전력을 내는 배터리를 동력배터리라 통칭하여 이에 대한 정책 발표를 하고 있음
 - 전기차 배터리 생산규모는 2021년 25만톤 규모, 9년씩 연평균 28%씩 성장하여 2030년에 237만톤에 달할 전망
 - 2030년 중국 폐배터리는 LFP 배터리가 153만톤으로 65%를 차지하고, 3원계 배터리가 84만톤으로 35% 차지할 것으로 추정
- 재사용 응용 분야 및 재활용 기술
 - 중국에서 주로 사용하는 LFP 배터리는 삼원계 배터리보다 수명이 길고 고가 금속 함량이 적어 재사용(reuse) 방식에 적합
 - 전기차 배터리 금속 회수에도 구체적 목표를 설정하고 기술개발 적극 추진(관련 특허수: 354(2017)→938(2021))

■ 주요 전기차 배터리 재활용 기업

기업	내용
CATL	- 세계 최대 자동차 배터리 제조업체 - 원료, 전구체, 양극재, 폐배터리 재활용 능력까지 갖춘 종합 생산기지 건설, 2025년 생산 시작 예정
BYD	- 중국 대표 전기자동차 생산업체 - GEM과 폐배터리 회수/가공 생산라인 구축 - 중국 내 40여 개의 배터리 재활용기지 설립
GEM	- 배터리 회수/가공업체 - 인도네시아에 니켈 자원공장 건설, 안정적 니켈 공급을 위한 계약 체결 - 재사용된 NCM 전지 원료의 중국시장 점유율 30% - 중국 폐배터리 30% 회수, 폐건전지 등 소비형 배터리 10% 회수

- 재활용 단계별 표준화
 - 규격, 등록, 회수, 포장, 운송, 해체 등 단계별 표준화
 - 규격: 전기차 배터리 셀, 모듈, 패키지 사이즈 명확히 규격화
 - 등록: 전기차 배터리에 등록번호 부여, 정보 추적 플랫폼에 배터리 정보 기재 의무화
 - 회수: 폐 전기차 배터리를 재료 종류와 위험도에 따라 분류하여 수집
 - 보관/운송: 폐 배터리 보관 및 운송시 지켜야 할 조치사항 규정

05 국내외 이차전지 재활용 동향

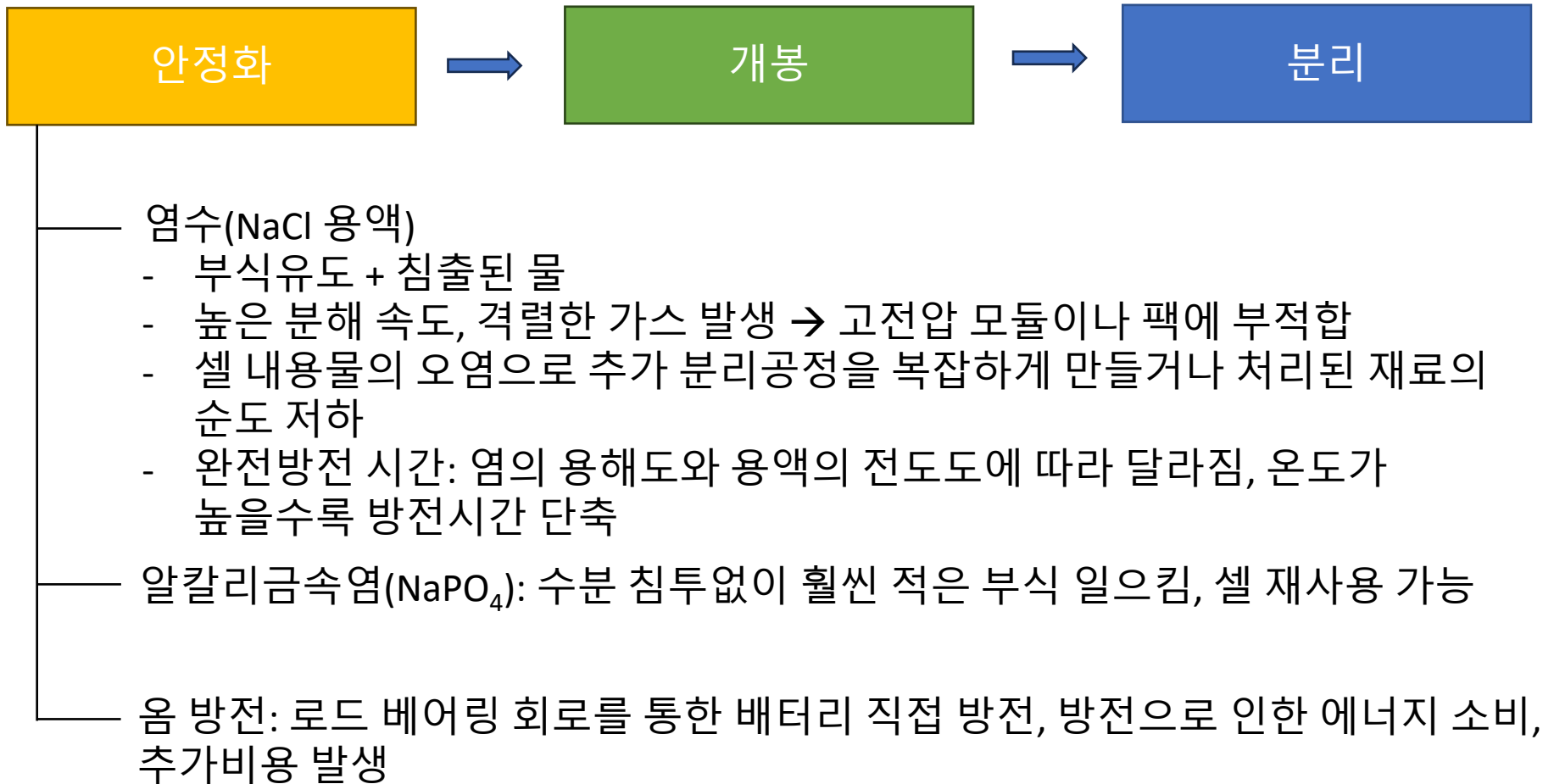
◎ 국내외 이차전지 재활용 대표적 기업 및 생산량

	성일하이텍	Umicore (벨기에)	Brump (중국)	GEM (중국)
생산량(ton/yr)	1000	7000	3000	5000
재활용 제품	Co, Ni, Li, Mn, Cu	Co, Ni	Co, Ni, Li, Mn	Co, Ni, Li, Mn

- Cu, Li_2CO_3 : 향후 추가 생산계획
- 기타 기업: Gmtech(한국), FUYO(일본), 코스모(일본)
- 에코프로, 포스코: 재활용된 CoSO_4 , MnSO_4 , LiPO_3 구매

06 이차전지 재활용 공정별 특징

◎ 이차전지 재활용 공정



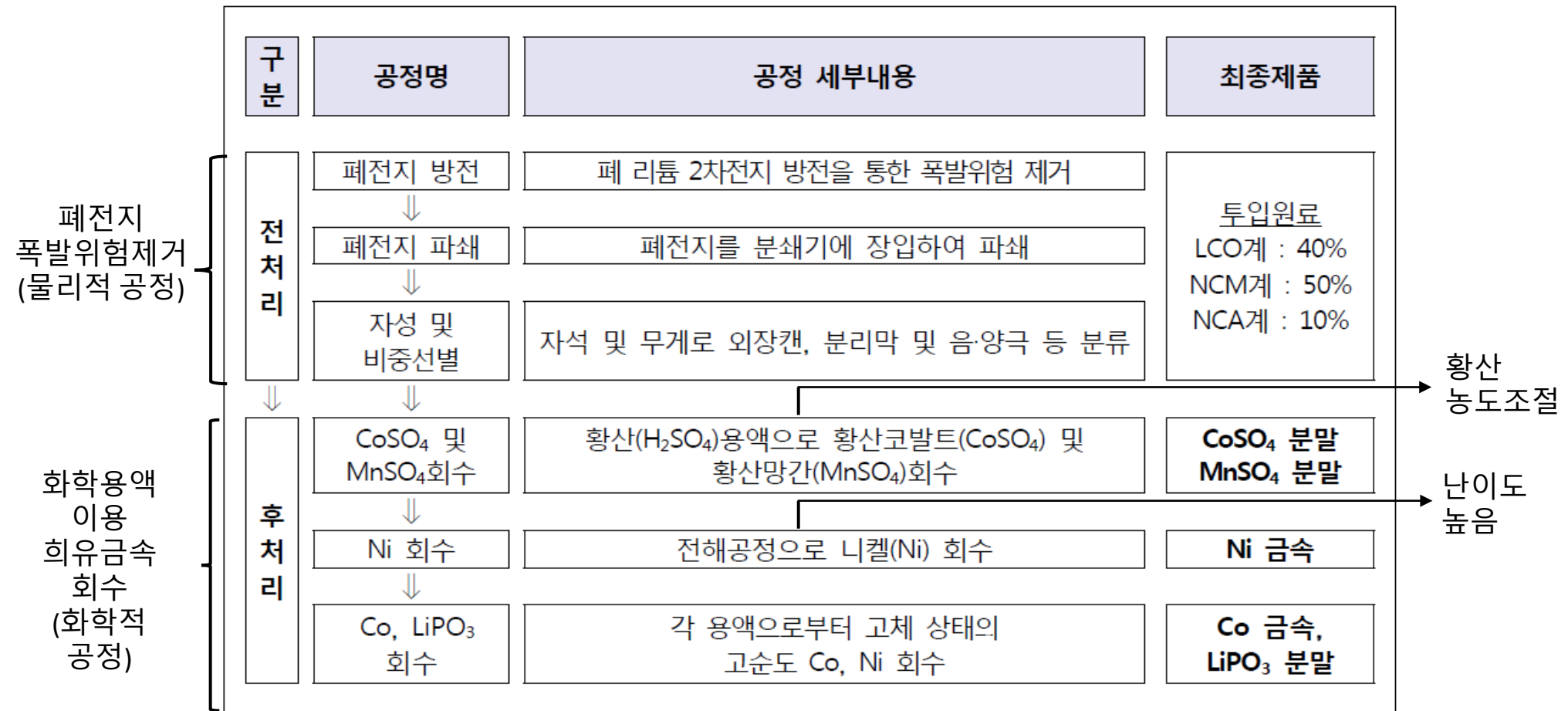
06 이차전지 재활용 공정별 특징

◎ 이차전지 재활용 분리공정별 비교

	건식	습식	다이렉트 리사이클링
유형	• 화학적 방법	• 화학적 방법	• 물리적 방법
필요조건	• 높은 온도	• 강산, 침전제	• 물리적 자극
회수물질	• 원재료	• 원재료	• 활물질 자체
효율측정	• 회수율	• 회수율	• 재사용셀 효율
장점	• 자유로운 원료배합 • Sorting 불필요 • 상업적으로 검증된 프로세스 • 용매 비사용	• 저용량 설비 가능 • 저온/저에너지 프로세스 • 고순도 가능 • Li, Mn 회수 가능	• 양극활물질 화학구조 변화없음 • 저온/저에너지 프로세스
단점	• Li, Al, Mn 회수 문제 • 고온 프로세스 • 배출가스 처리필요 • 높은 투자비 • 고용량 처리에 유리	• 전처리 필요(원료분말) • 폐수처리, 유해물질사용 • 복잡한 공정	• 단일 모델만 투입가능 • 현재의 활물질 성분과 상이 가능 • 아직 양산성 검증 예 없음

06 이차전지 재활용 공정별 특징

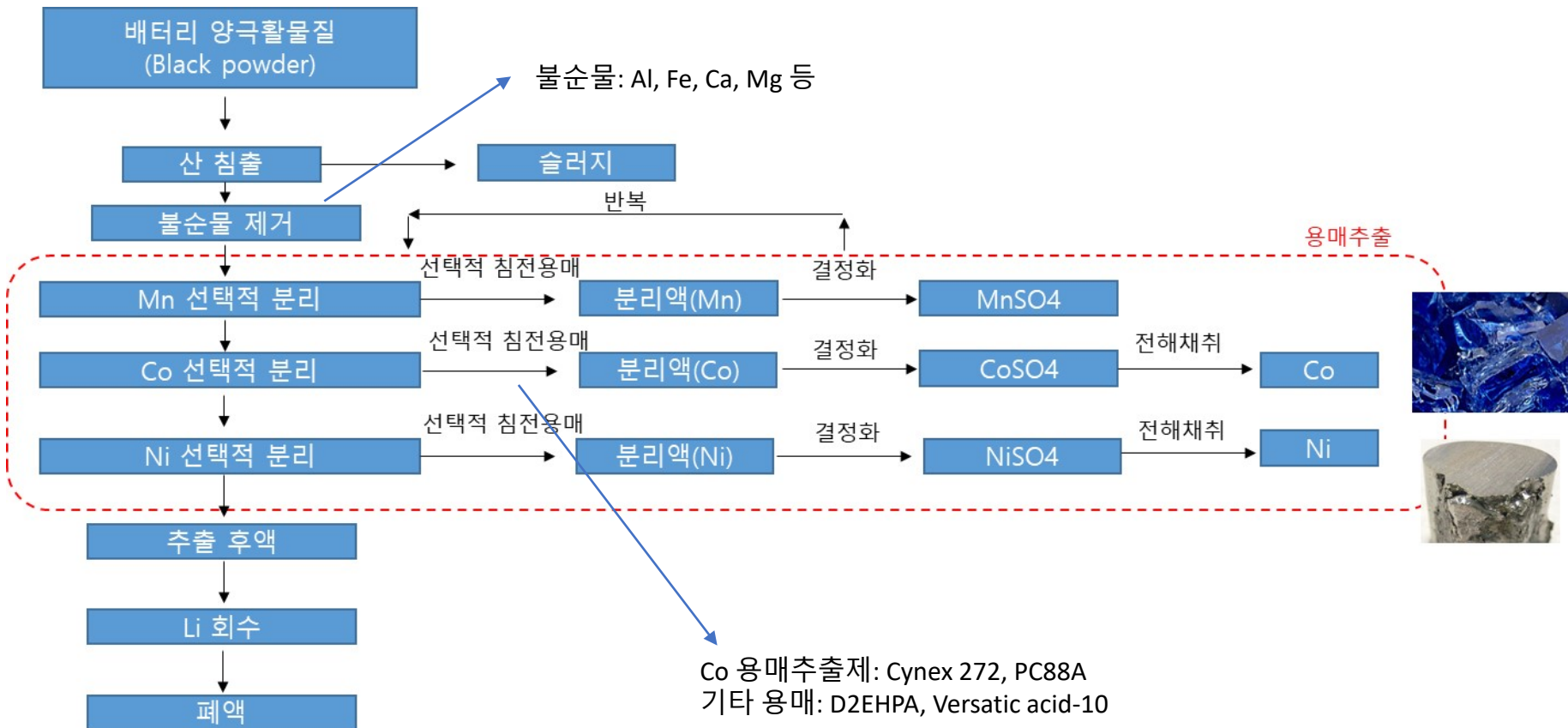
◎ 습식 재활용 공정



→ 수차례 반복적 수행을 통한 99.9% 이상의 순도로 정제

06 이차전지 재활용 공정별 특징

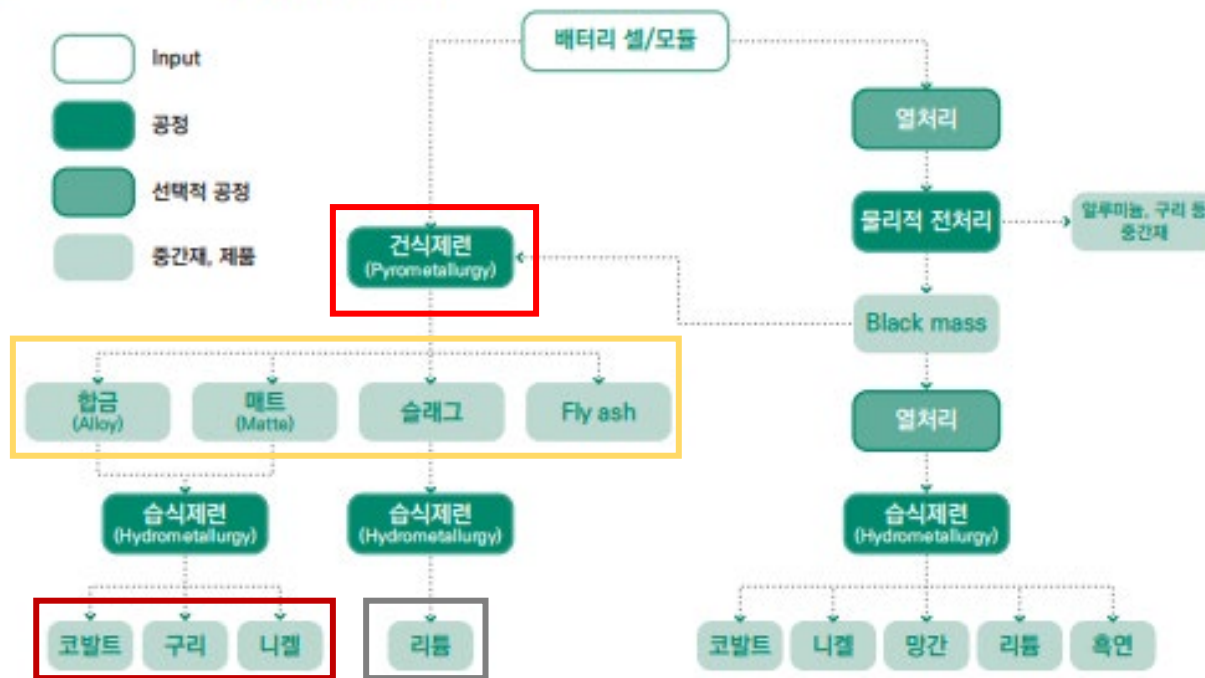
◎ 습식 재활용 공정(후처리 공정)



06 이차전지 재활용 공정별 특징

◎ 건식 재활용 공정

| 전기차 배터리 재활용 공정 방식

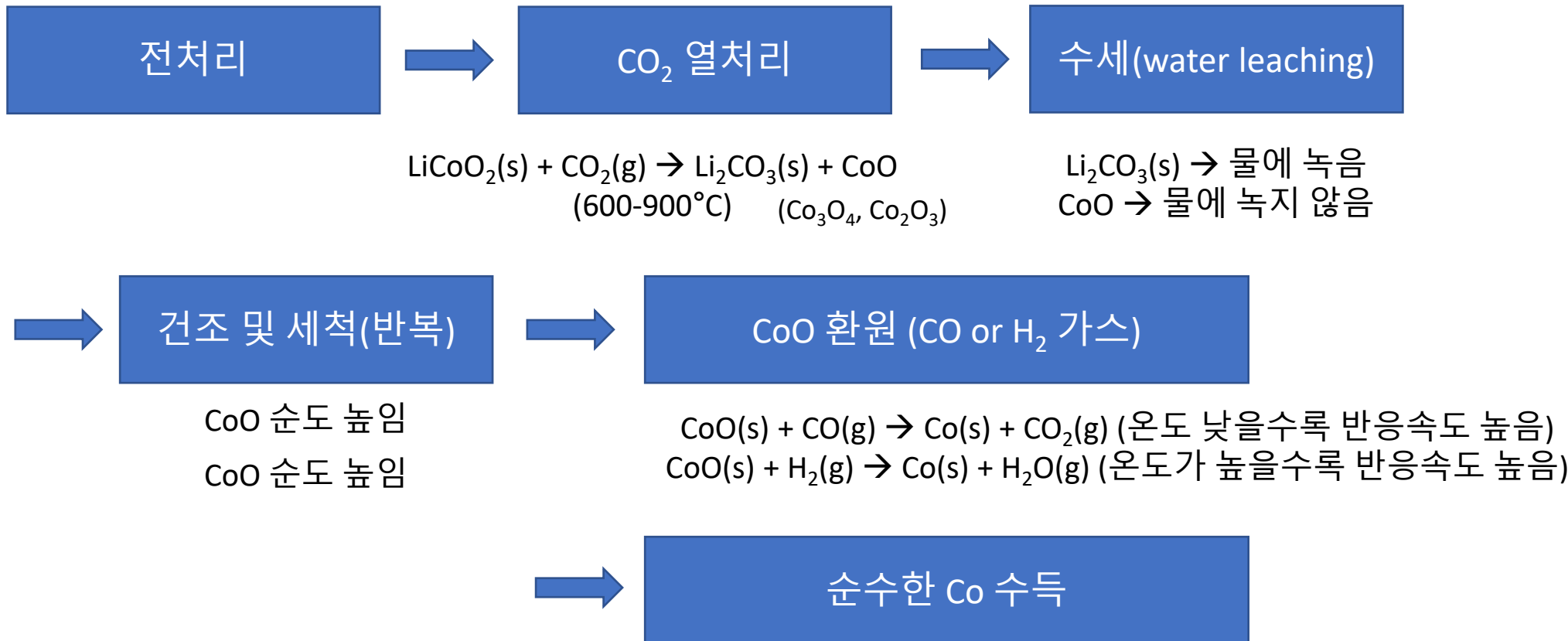


자료: 포스코

- 건식제련(pyrometallurgy): 금속 추출을 위해 고온의 열을 가하는 방식(↔ 습식제련(hydrometallurgy))
- 기계적 분리 및 고온 열분해 포함
- 다양한 종류의 배터리 재료나 고가 금속을 직접 회수할 수 있음
- 전력소비가 많고, 처리과정에서 유해 가스 배출(배기가스 회수 설비 필요)

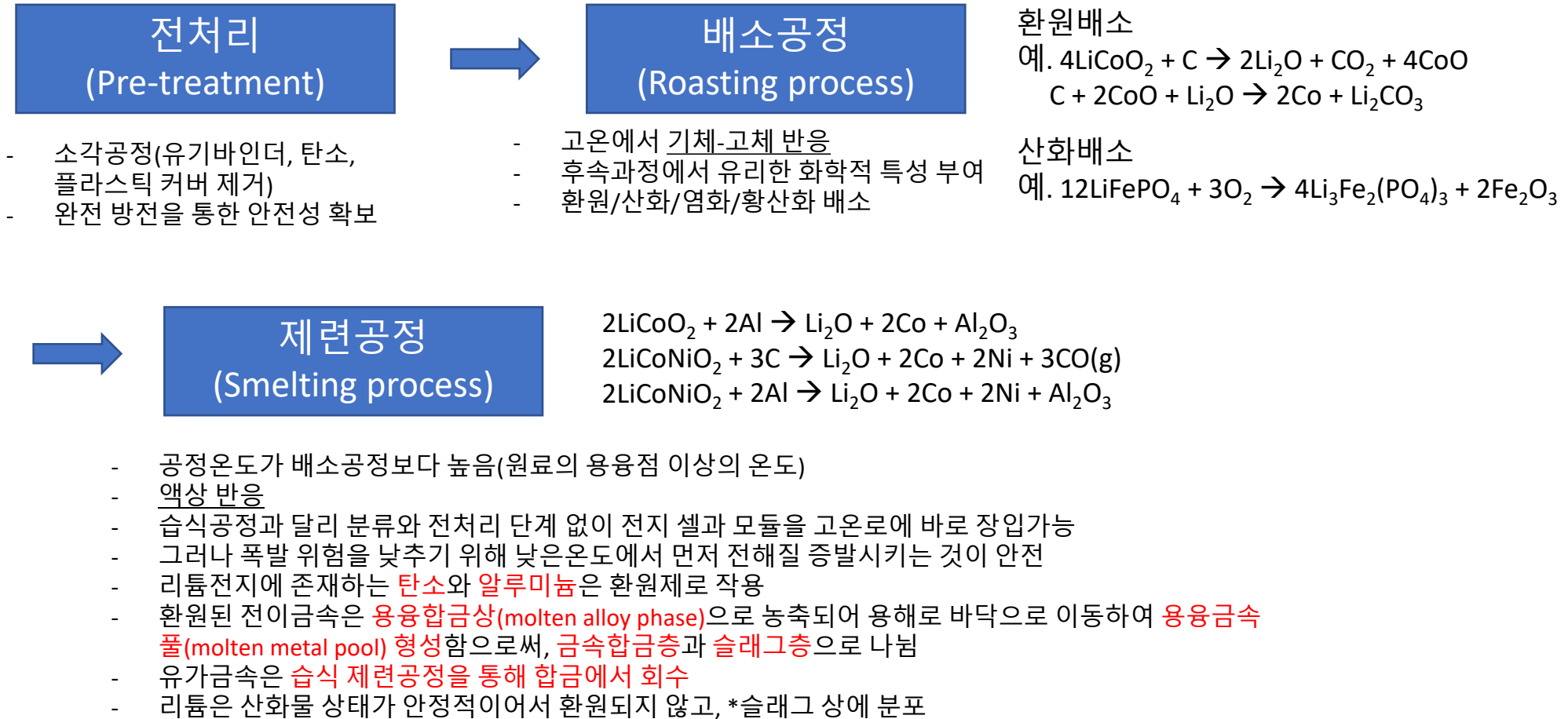
06 이차전지 재활용 공정별 특징

◎ 습식 재활용 공정을 이용한 LCO로부터 Co 회수 예시



06 이차전지 재활용 공정별 특징

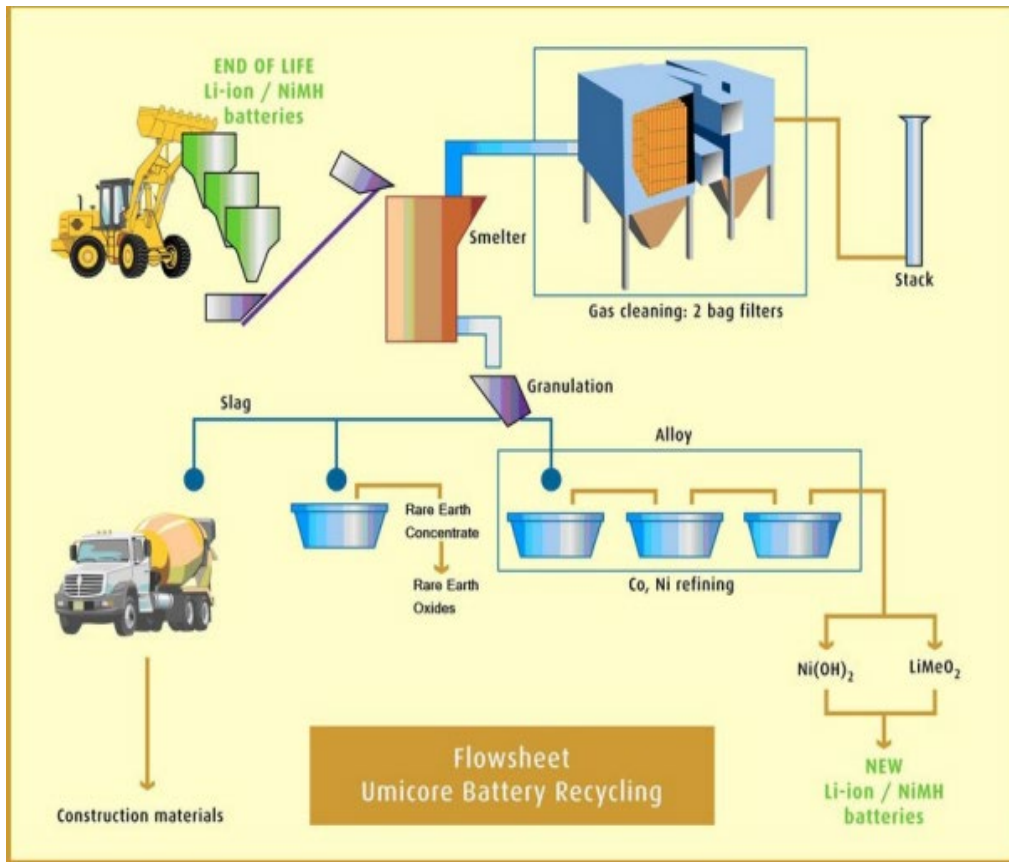
◎ 건식 재활용 공정을 이용한 LCO로부터 Co 회수 예시



*슬래그: 광석과 사용된 금속을 제련할 때 나오는 부산물

06 이차전지 재활용 공정별 특징

◎ 건식 재활용 공정을 이용한 유가금속 회수 예시



- Umicore 고온(1200-1450°C) 초고온 제련기술
- 전처리 없이 연간 7000톤 폐전지 재활용
- 3단계 공정
- 첫번째: Ni, Co, Cu, Fe포함 합금 형성
- 두번째: 추가 습식공정: Cu, Fe, CoCl₂, Ni(OH)₂ 형태로 회수, 합금에 포함되지 못한 산화된 Al, Si, Li, Ca, Mn은 슬래그에 포함
- 세번째: 공정 중 생성된 가스는 필터를 통해 정화단계를 거쳐 깨끗한 가스로 배출
- 문제점: 다량의 Li이 dust또는 슬래그로 유실 → 리튬 추가회수를 위한 제련 후 추가 공정 개발중

Umicore 건식공정에 의한 배터리 재활용

출처: 자원리사이클링 제 31권, 제 3호, 2022

06 이차전지 재활용 공정별 특징

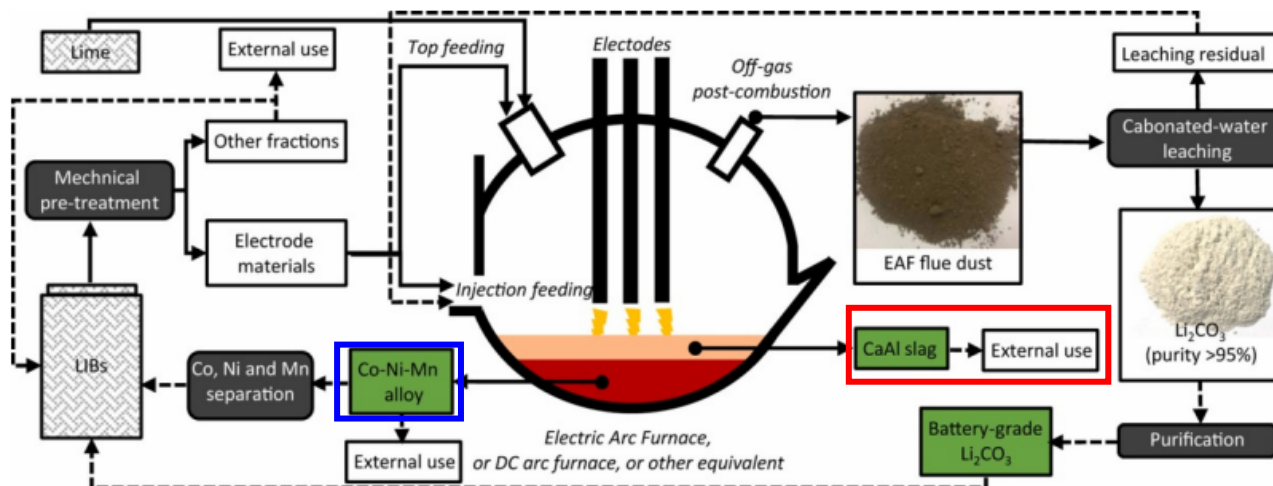
◎ 리튬 회수를 위한 추가 공정(1)

1) 염화 배소(chlorination roasting)

- 슬래그에 염소 공여체(CaCl_2) 추가 + 열처리
- 공여체 투입량, 배소 온도, 시간 최적화
- 슬래그로부터 LiCl 증발 유도
- 염화배소를 통해 생성된 LiCl 은 수용성 물질
- 수 침출(water leaching)을 통해 Li 회수

2) 탄산수 침출(carbonated water leaching)

- 다양한 형태로 존재하는 리튬복합체에 탄산수(물+이산화탄소)를 넣어 물에 용해될 수 있게 바꿈
- 예. 슬래그에 존재하는 리튬 산화물과 복합체 형성(LiAlO_2 , LiCaSiO_4), 연진(flue dust)에 포함된 리튬
- 침출된 리튬복합물(예. LiHCO_3)을 증발과정을 통해 고순도의 Li_2CO_3 로 변환

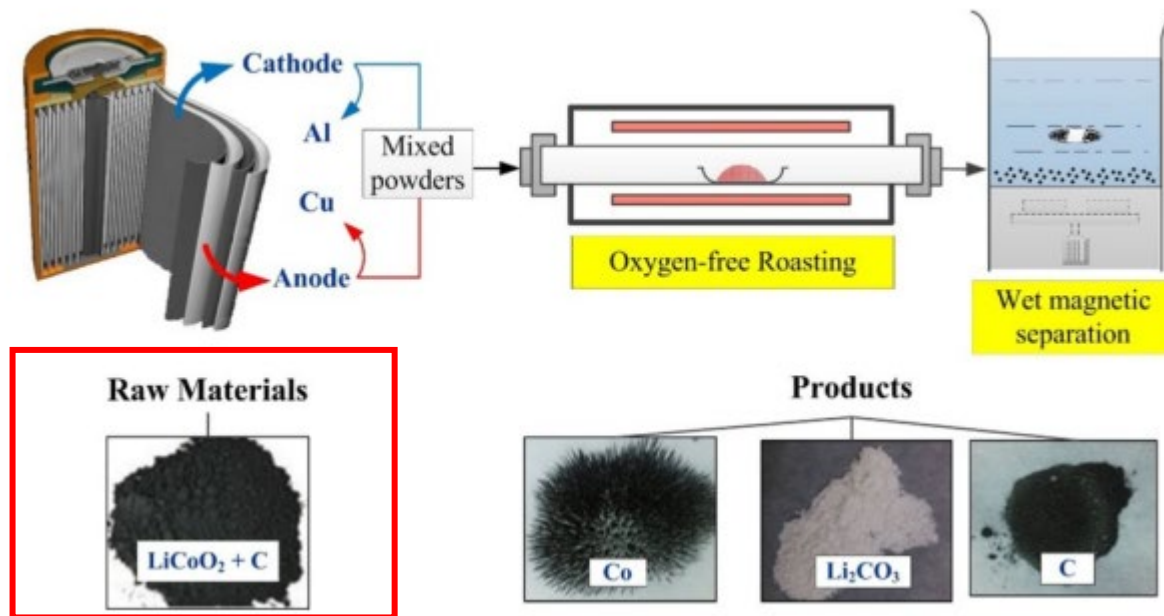


06 이차전지 재활용 공정별 특징

◎ 리튬 회수를 위한 추가 공정(2)

3) In-situ 환원배소

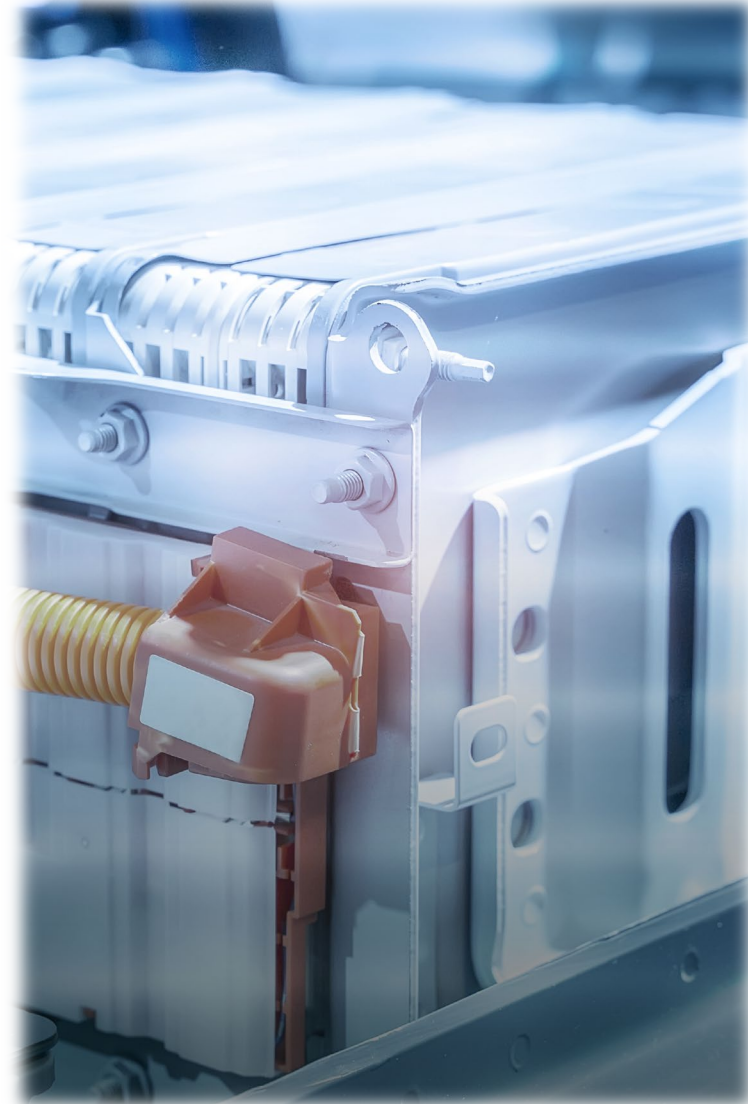
- 다른 첨가제 없이 열분해를 통해 바로 사용가능한 형태로 변환
- LCO와 LMO에 대해 연구
- 첨가제 없이(산소 없음) 배소과정으로 혼합전극 물질은 Li_2CO_3 , 금속, 금속산화물로 변환
- 특정 조건에서 Li 및 Co보다 O_2 에 대한 친화력이 강한 흑연에 의한 산소 팔면체의 붕괴
- 흑연이 연소될 때 이들 사이 coupling 반응으로 인해 LCO의 열분해를 촉진함(coupling & collapsing 모델)
- LCO 분해온도가 1436K에서 1173K로 감소
- 이를 통해 LCO가 Li_2CO_3 로 변환



In-situ LCO 재활용을 위한 oxygen-free (첨가제 없음) roast/wet magnetic separation 공정

07 이차전지 재활용 산업 정리

- 리튬 배터리 재활용 요구 배경(사회문제, 경제문제)
 - 배터리팩 주행거리 상승에 따른 전기 자동차 판매량 증가
 - ESS 사용량 증가
 - 리튬 배터리 주요 원재료들(Co, Li, Ni)의 원가 상승
 - 광물 채굴에 의한 자연환경 파괴 및 CO₂ 배출
 - 신자원민족주의
- 재사용(re-use): 주로 중대형 이차전지(EV)를 ESS에 활용
 재활용(re-cycle): 주로 소형 이차전지로부터 유가금속 채취
- 국내외 이차전지 재활용 시장: 현재 초기단계, 2025년경 이후
 기하급수적으로 증가 예정
- 이차전지 재활용 공정: 습식/건식/다이렉트재활용
- 습식공정: 용매 추출공정을 통한 고순도 물질 생산, 소량 처리 가능,
 투자비 상대적으로 낮음
 건식공정: 높은 온도에 의한 제련공정 이용, 주요 유가금속 추출을
 위해서는 추가 습식공정 필요, 대량 처리, 투자비 높음
- 향후 고려사항
 - 리튬 이차전지 구성 성분 변화(주행거리 향상을 위한 high Ni 양극재)
 - 기존 주 재활용 소재들(Co, Ni, Mn, Li) 이외의 구성성분 재활용 필요(4대
 금속 이외의 금속(Al, Fe, Cu, Mg 등), 흑연, 분리막 고분자, 외장캔 등)





감사합니다!