



국가과학기술연구회 공동TLO마케팅사무국이란?

국가과학기술연구회 소관 25개 정부출연연구소(이하 출연(연))의 연구성과에 대한 공동 마케팅을 통해
기술이전과 출자 등 기업의 기술사업화 지원을 위한 전문조직입니다.



공동TLO마케팅사무국을 통해 무엇을 도움 받을 수 있나요?

신규 사업 아이템 및 기술 업그레이드 등 기술 고민이 있는 예비창업자 및 기존 사업자에게 25개 출연(연)이 보유하고 있는
약 10만여 건의 특허 외에 연구자 노하우 및 연구·시험장비 등을 활용하여 기업의 기술애로를 해결해드리고 있습니다.



기업 애로해결 지원

- 기술도입 및 사업화 유망기술 발굴
- 기술창업용 출자기술 발굴
- 공동연구 대상 전문연구자 연계



정부과제 소개 지원

- 기술도입형 R&BD 과제 연계



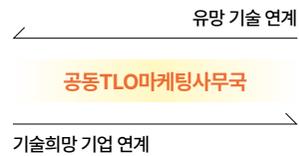
연구장비 지원

- 분석 및 시험장비 연계



IP인수보증 자금 연계 지원

- 기술보증기금, 신용보증기금 등



국가과학기술연구회

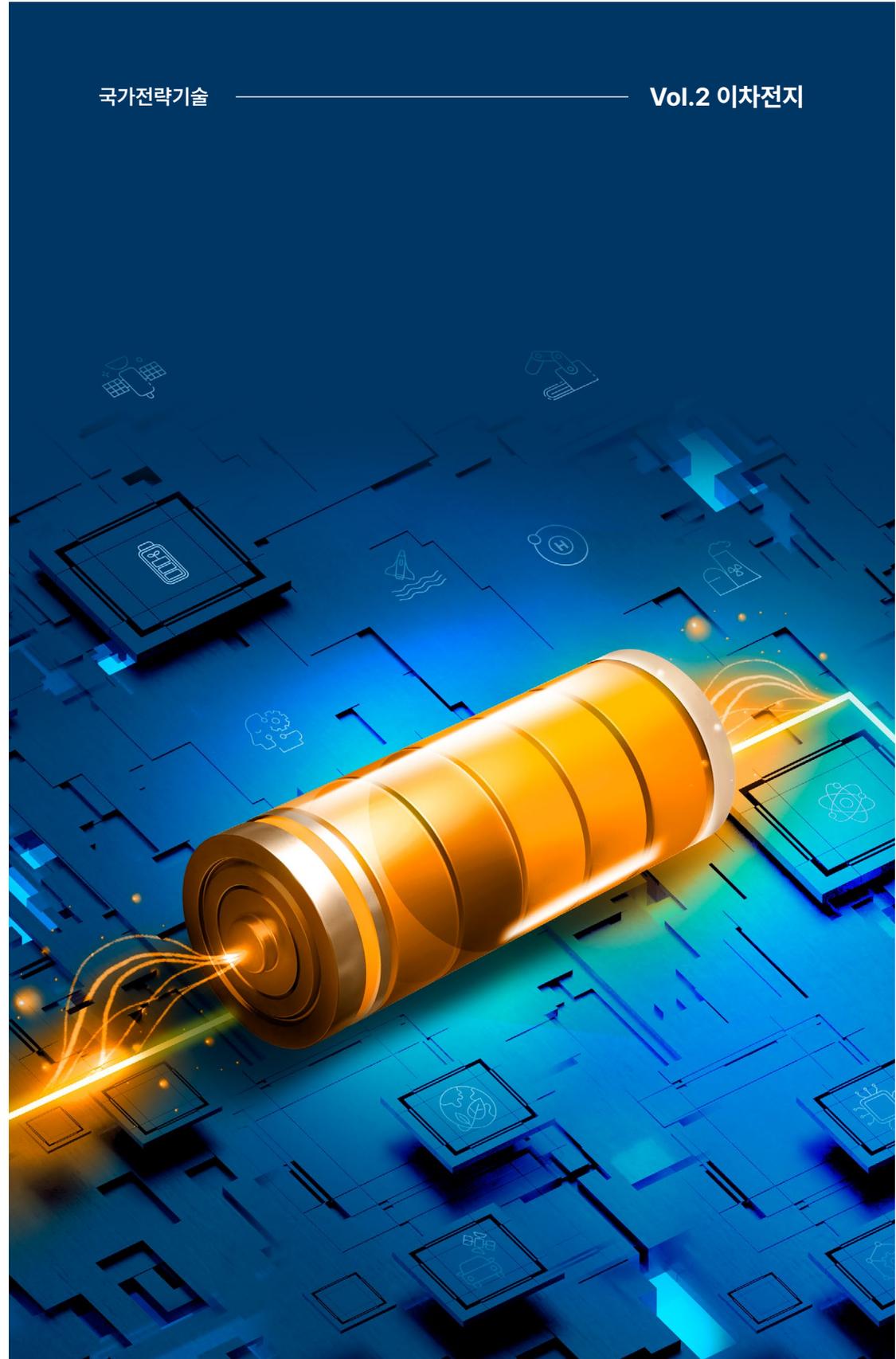
과학기술분야 정부출연연구기관을 지원육성하고 체계적으로 관리함으로써 국가 연구사업 정책 지원 및 지식산업발전을 견인하고자 만든 과학기술정보통신부 산하 정부기관임



문의처

국가과학기술연구회
T. 044-287-7369 E. gylee@nst.re.kr

공동TLO마케팅사무국
T. 042-862-6015 E. seungtae100@wips.co.kr



국가전략기술

Vol.2 이차전지

TLO Tech Trends

2024

국가과학기술연구회 공동 TLO 마케팅 사무국
Technology Licensing Organization



01

이차전지의 세계

- 04 이차전지란?
- 06 전지 개발 변천사

02

이차전지 기술의 혁신

- 08 이차전지 산업 핫이슈
- 10 이차전지 연구개발동향
- 12 산업 속 이차전지 기술활용

03

국가전략기술 '이차전자' 이야기

- 14 기술주권 확보전략
- 14 이차전지, 우리의 정책과 기술수준
- 16 이차전지 중점기술분야

04

출연(연) 보유 '이차전자' 기술

- 20 한눈으로 보는 출연(연) 기술 보유현황
- 22 이차전지 기술개발 연구자 인터뷰

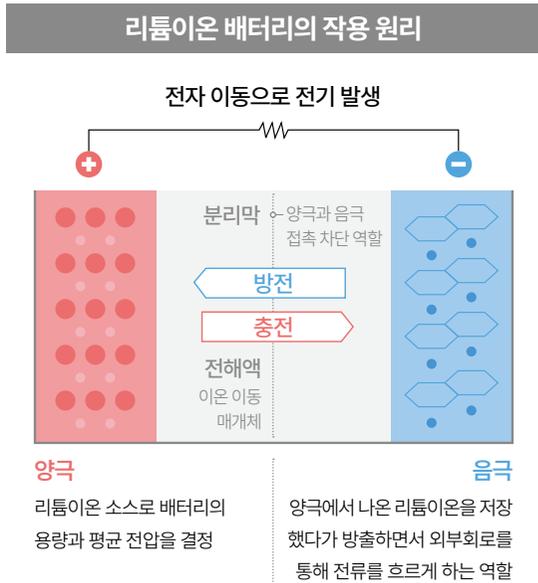


01 이차전지의 세계

이차전지란?

이차전지는 외부의 전기 에너지를 화학 에너지의 형태로 바꾸어 저장(충전)해 두었다가 필요할 때에 전기를 만들어내는(방전) 장치를 말한다. 즉, 한번 쓰고 버리는 일차전지와 달리 사용 후에도 다시 충전 과정을 거쳐 수백회 이상 재 사용이 가능한 전리를 말하며, 납축전지, 니켈-카드뮴전지(NiCd), 니켈-금속수소 전지(Ni-MH), 리튬이온전지(Li-ion) 등 많은 종류가 있다.

기본적인 이차전지의 기본 원리는 전기 화학적 산화환원 반응에 의해 발생하는 이온의 이동으로 전기를 발생시키고 그 반대 과정으로 충전되는 원리이다. 이온의 물질 상태가 양극과 음극에서 서로 달라 이때 발생하는 물질의 고유 에너지 차이로 인한 전압차를 이용한다.



이차전지 종류

납축전지 Lead-Acid Battery

자동차의 밧데리(배터리)라고 말하는 제품이 2차 전지 중 납축전지에 해당하며, 납과 묽은 황산으로 구성된 배터리로 음극(Pb, 납)과 양극(PbO₂, 이산화납)을 전해액(H₂SO₄, 황산)에 넣어 회로를 만들면, 화학반응에 의해 전기적인 기전력이 발생하는 원리이다.

니켈-카드뮴 전지 Ni-Cd Battery

휴대용 전자기기와 장난감에 널리 쓰이며, 철도, 비행기 엔진 시동용 등을 비롯하여 고출력이 요구되는 다양한 산업 및 군사 용도로 사용된다. 수산화니켈(NiOOH)로 된 양극, 수산화카드뮴(CdOH)로 된 음극, 수산화칼륨(KOH)로 된 전해질로 구성되어 있다.

니켈-수소 전지 Ni-MH Battery

카세트 플레이어와 휴대용 CD 플레이어 등에 들어갔던 사각형의 충전기가 니켈-수소 전지이며, 니켈-수소 전지는 양극은 수산화니켈(NiOOH), 음극은 수소저장합금(MH, MetalHydride), 전해액은 수산화칼륨 수용액(KOH)으로 구성되어 있다.

리튬-이온 전지 Li-ion Battery

현재 이차전지라 말하는 대표적인 전지종류이며, 스마트폰이나 태블릿, 웨어러블 디바이스, 노트북 등 소형·슬림화 되는 전자 기기를 비롯하여 EV(전기 자동차)·HEV(하이브리드 자동차)의 차량 탑재용 배터리, 주택용 태양광 발전·연료 전지의 축전 시스템 등에 폭넓게 사용되고 있다. 리튬-이온 전지는 크게 4개의 구성요소인 '양극재, 음극재, 전해액, 분리막'으로 이루어져있다.

전고체 전지 All Solid State Battery

배터리 양극과 음극 사이에 있는 전해질을 기존 액체에서 고체로 대체한 차세대 전지이다. 리튬이온 배터리보다 충전시간이 짧고, 주행거리는 2배 이상 길고, 충격·발열 안전성도 우수하나 리튬-이온 전지의 액체 전해질처럼 전도도가 높은 고체 소재를 발견하지 못해 에너지를 많이 저장할 수 있지만, 충분한 출력을 내지 못하는 단점이 있다.

전지의 분류

물리전지 광, 열, 원자력 등 물리적 에너지를 전기에너지로 변환
태양전지, 열전소자, 방사선 전지 등

화학전지

일차전지
화학에너지를 전기에너지로 1차 변환, 충전이 불가능
망간전지, 알칼리망간전지, 산화은전지, 리튬일차전지

이차전지
화학에너지를 전기에너지간의 충전과 방전으로 반복사용
납축전지, 니켈카드뮴전지, 니켈수소전지, 리튬이차전지

연료전지
연료의 화학에너지를 전기에너지로 직접 변환
용융탄산염형, 직접 메탄올형, 고체분자 전해질형 등

초고용량 커패시터
물리적 커패시터와 이차전지의 특성을 혼합한 전지

	납축전지	켈카드뮴 전지	니켈수소 전지	리튬이온전지	리튬폴리머 전지	금속공기전지	슈퍼커패시터
양극	과산화납	수산화 니켈	수산화 니켈	전이금속산화물		리튬 아연등의 금속	다공성 활성탄소
전해질	묽은황산	수산화 칼륨	알칼리수용액	유기비수 용액	고분자고체	수산화칼륨 수용액	수용성, 유기성
음극	납	카드뮴	수소흡장합금	흑연계탄소		공기극	다공성 활성탄소
전압(V)	1.2	1.2	1.2	3.6		1.2	2~4
특징	장점	넓은작동 온도	급속방전	안전성	높은 에너지밀도		높은 에너지밀도
	단점	무겁다	메모리 효과	저전압, 온도 약함	안전성 취약	LIB대비 안전성	수분에 취약
에너지 밀도	비교	낮음	낮음	보통		높음	높음
	Wh/kg	30~40	60	80	150		350
가격	저가	중가	중가	고가	고가	고가	중고가
주요용도	차량용 산업용	차량용 산업용	가정용기기	휴대용기기, 전기자동차	휴대용기기, 전기자동차	보청기	전기자동차

출처 : 한국배터리산업협회 (http://www.k-bia.or.kr/)

전지 개발 변천사



BC 250

바그다드 전지

사산 왕조 페르시아 시대에서 파르티아제국 시대에 만들어진 토기로 용도는 분명하지 않으나, 일반적으로 초기 형태의 전지로 추정되고 있음

1791

갈바니 동물전기

해부한 개구리의 다리에 해부도에 닿자 경련이 일어남을 발견, 생체전기로 일어난 현상을 '동물전기(Animal Electricity)'라고 지칭

1865

망간 전지

프랑스 르클랑세가 고안한 전지로, 양극에 이산화망간, 음극에 아연, 전해액으로 염화암모늄 수용액을 사용하여 개발됨

1859

납축 전지

납과 황산을 전극과 전해질로 사용하는 전지로서, 프랑스 플랑데가 개발한 가장 오래된 형태의 이차전지로 자동차에 활용되고 있음

이차전지

1800

볼타 전지

아연과 구리를 이용한 화학반응으로 세계 최초의 전지이며, 흔히 우리가 쓰는 전압의 단위는 볼타의 이름을 따온 것



1882

알칼리 망간 전지

전해액으로 수산화칼륨을 사용하는 전지로, 납축전지에 비해 진동이 강하고 자기방전이 적음

1899

니켈카드뮴 전지

양극에 니켈화합물, 음극에 카드뮴을 사용하여 전해액으로 알칼리 수용액을 사용하며 과충전 / 과방전에 안정적이며 높은 출력 특징을 가짐

이차전지

1985

리튬이온전지

현재 가장 광범위하게 사용되고 있는 이차전지로 고용량, 고출력에 수명이 길고 가벼우면서도 환경 친화적인 특징을 가짐

이차전지



차세대 전지

Next Generation Battery

02 이차전지 기술의 혁신

이차전지 산업 핫이슈

이차전지 가운데 일반적으로 많이 사용되는 것은 리튬이온(Li-Ion) 배터리이며, 해당산업은 지속적인 기술 혁신과 함께 급속히 발전하고 있다. 최근 전 세계 주요국은 리튬이온전지의 양극재, 음극재, 분리막, 전해질의 소재 및 기술개발을 통해 리튬이온전지의 용량과 안정성을 강화함으로써 배터리 시장 주도권을 유지하기 위하여 치열하게 경쟁 중이다.

전기차용 이차전지 패권경쟁과 공급망 확보

'전동화·무선화·친환경화' 라는 글로벌 트렌드 부상으로 성능이 우수한 이차전지에 대한 수요가 급증하는 추세다. 특히 전기차의 주요 구성품인 이차전지는 전기차 생산원가의 40%를 차지하는 핵심 부품으로 저렴하면서도 높은 에너지밀도를 가진 이차전지 확보가 미래 모빌리티 경쟁우위를 결정한다.

미국, 중국, 한국 등은 전기차 배터리 설비 확대를 계획하고 있으며 배터리 기업과 완성차 기업의 합작투자를 확대하는 추세이다.



미국 Big3 기업인 제너럴모터스(GM), 포드(Ford), 스텔란티스(Stellantis)는 한국 배터리 3사와 미국 내 합작투자를 진행 중이다.

글로벌 자동차업체 제너럴모터스와 LG에너지솔루션의 합작법인 얼티엄셀즈는 미국 오하이오주에 1공장, 테네시주에 2공장을 가동(70GWh) 중이며, 건설 중이던 3공장은 글로벌 고금리·고물가 상황과 전기차 캐즘(Chasm·일시적 수요 정체) 등의 원인으로 일시 중단한 상황이다(2024년 7월 기준).

포드와 SK온의 합작사인 블루오발나(BlueOvalSK)는 배터리 공장을 켄터키(86GWh) 1, 2공장과 테네시(43GWh) 3공장을 건설 중으로 2025년 양산을 목표로 하였으나, 전기차 수요 둔화를 원인으로 양산시점을 늦추겠다고 발표하였다(2024년 5월 기준).

스텔란티스와 삼성SDI의 미국 배터리 합작 공장(33GWh)은 가동 목표시점보다 이르게 2024년 11월부터 가동될 전망이며 합작공장에서는 6세대 각형 배터리 P6를 생산할 예정이다.

스텔란티스와 LG에너지솔루션의 합작법인인 넥스트스타에너지는 캐나다에 전기차 배터리 공장(49.5GWh)을 짓고 배터리 모듈 생산라인은 2024년, 셀 생산라인은 2025년 가동을 계획하고 있다.



중국은 이제 세계 1위의 배터리 생산국으로 해외로 시장을 급속히 확대해 나가고 있다.

특히 배터리 생태계의 핵심인 공급망 분야에서도 한국의 NCM(A) 배터리보다 20~30% 저가인 LFP 계 배터리를 위주로 기술을 개발하고 생산 능력(CAPA)을 높여왔고, 무엇보다 배터리의 핵심 광 물인 흑연, 리튬, 코발트, 니켈의 정·제련과 양극 전구체, 음극재 등의 공급망을 장악하고 있다.

CATL은 2023년 배터리 생산용량이 87.8GWh로 중국시장을 제외한 글로벌 전기차용 배터리 사용량으로 전체 2위를 차지하였으며, 2024년부터는 1위를 차지하던 LG에너지솔루션의 생산용량을 따라잡고 있는 상황이다.



한국은 1999년 리튬이온 배터리를 양산한 이래, 휴대폰용, ESS용, 전기차용에 이르기까지 최고 수준의 경쟁력을 갖는 배터리 생산국으로 자리매김하였다. 우수한 인력과 높은 제조 경쟁력을 바탕으로 한국 배터리 3사는 2023년 기준 1,000조 원이 넘는 수주 잔고를 기록하였다. 미국, 중국, 헝가리 등에 생산 설비를 확대하고 있으며, 다수의 해외 완성차 기업과 공급 계약을 체결하였다.

한국 배터리 주요 3사 해외진출현황

구분	삼성SDI		LG화학		SK온	
	위치	규모	위치	규모	위치	규모
설비계획	미국	23GW('25)	미국 오하이오	70GWh('25)	미국 켄터키	86GWh('27)
	헝가리 피드	30GWh (~20GWh 증설)	중국 난징	110HWh('25)	미국 테네시	43GWh('27)
			폴란드 브로츠와프	70GWh(▶100GWh)	헝가리 이반차	30GWh('28)
			폴란드 브로츠와프	60GWh(▶150GWh)	중국엔칭	15GWh('24)
해외자동차 공급 계약	BMW, 스텔란티스, 폭스바겐, 위통, 포트, 유폰 등		GM 르노, 아우디, 볼보, 상하이, 포르쉐, 폭스바겐, 다임러, 포트, 크라이슬러 등		베이징차, 다임러, 폭스바겐, 페라리 등	
목표 및 계획	'26년까지 생산규모 170GWH 확대		'25년까지 미국에만 5조원 투자, 생산규모 200GWh, 배터리 시장 장악		51조 원 투자를 통한 포드와 합작으로 129GWh 규모 공장 설립	
	미국 시장점유율 증가 목표		'25년까지 9조원 투자해 CATL을 넘어 원통형 배터리 주도권 확보		'25년까지 11조원을 투자하여 생산규모 200GWh	

출처 : 한국전지산업협회('21. 12)

에너지저장장치용 이차전지 탄소중립 실현

에너지저장장치(Energy Storage System, ESS)는 재생에너지의 변동성 문제를 해결하고, 에너지 효율성을 높이는 데 중요한 역할을 하고 있다.

탄소중립 실현을 위한 신재생에너지 및 ESS, 친환경 자동차의 보급이 확대되는 상황에서 전력망 계통연계 시스템, 고효율 태양전지 기술, 초대형 해상풍력 시스템 등은 이차전지 기술과 연계될 때 기술의 완성이 이루어지며, 전기에너지의 연속성, 효율성, 고품질화 달성이 가능하므로 이차전지의 핵심적 역할 수행이 기대된다. 또한 전기차는 내연기관차와 비교하여 50~60%의 이산화탄소 배출 절감이 가능한 것으로 보고되고 있다.

ESS 분야에서는 미국, 유럽, 중국을 중심으로 다수의 에너지 저장 프로젝트가 수행되고 있다. 미국은 테슬라를 중심으로 상업용·유틸리티용 비즈니스 모델을 확대하고 있으며 한국 배터리 3사 또한 ESS용 배터리 생산을 위한 관련 투자를 강화하고 있다.

출처 : 탄소중립 국가기술전략센터(한국에너지기술연구원) 심층투자분석보고서 (2023년)

미국의 테슬라는 ESS 배터리를 디자인·개발·생산·판매하고 있으며 '15년 가정용 ESS인 PowerWall 출시 후 상업용·유틸리티용 ESS인 PowerPack, 유틸리티용 ESS인 MegaPack을 판매 중이다.

독일의 지멘스(Siemens) 스마트 인프라는 바이에른 '북동 바이에른 미래에너지' 컨소시엄을 통해 해당 주의 분지델(Wunsiedel) 지역에 100MW/200MWh 규모의 ESS를 수주하고 '21년 7월 착공하여 2025년 운영을 목표로 하고 있다.

중국은 CATL, Guoxuan Hi-Tech와 같은 리튬전지 제조사, Shandong Sacred Sun Power와 같은 납산전지 에너지저장 장치에서 리튬전지 에너지저장장치로 전환하는 이차전지 제조사와 BYD, Zhongtian Technology, Paineng Technology와 같이 ESS 전체 시스템을 설계하고 제조하는 기업이 ESS 분야에서 활동한다.

한국은 LG엔솔, 삼성SDI 등 기업들을 중심으로 ESS용 이차전지 산업에서 셀 제조 및 배터리 모듈 팩 조립 부문에 대한 투자를 강화 중이다.

이차전지 연구개발동향

리튬이온전지 핵심소재 중심으로..

양극재 리튬이온전지 제조원가의 35% 이상 차지
배터리의 용량과 전압을 결정하는 핵심소재

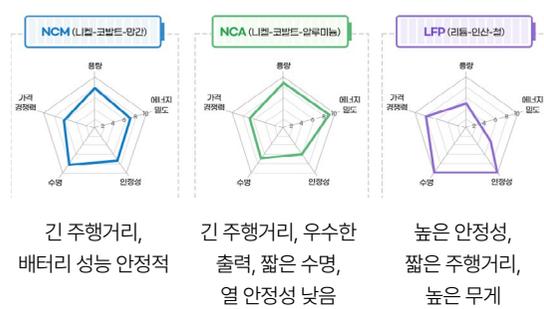
양극활물질 : 하이니켈

배터리 성능과 특성을 결정짓는 양극활물질은 리튬과 금속 성분의 조합으로 이루어져 있으며, 어느 원소를 어떤 비율로 조합하느냐에 따라서 양극재의 ▲ 용량 ▲ 에너지밀도 ▲ 안정성 ▲ 수명 ▲ 가격경쟁력이 달라진다.



양극재는 '20년부터 니켈 함량 70~80% 이상의 NCM과 니켈 함량 90% 이상인 NCM+급 양산체제가 구축되었다. 국내 전기차 배터리 사업자들은 NCM(니켈·코발트·망간), NCA(니켈·코발트·알루미늄) 두 종류의 삼원계 배터리를 주력으로 하고 있다. 그 중에서도 주행거리와 출력이 우수한 NCM 양극재가 현재 전기차용 이차전지로 가장 많이 사용되고 있다. 값비싼 코발트의 함량을 줄이고, 니켈의 함량을 60% 이상으로 높인 '하이니켈 배터리'가 개발되는 추세다.

양극재 소재에 따른 배터리 특성



출처 : POSCO NEWSROOM(<https://newsroom.posco.com/kr/>)

주요 배터리 제조사의 양극재 개발현황

업체명	개발 완료	개발 중
LG 에너지솔루션	High Ni NCM ^(*)	NCMA(Ni 90%, Co 5% ↓)
삼성 SDI	High Ni NCM ^(*) , NCA(Ni 88%)	NCA(Ni>90%)
SK 이노베이션	NCM(Ni 88%)	NCM 9½½ ^(*)
CATL	NCM(Ni 80%)	Ni>90%
BYD	NCM 811 ^(*)	Ni>90%

주1: 정확한 조성은 알려지지 않았으나, 88% 이상으로 추정
주2: 9½½(Ni 90%-Co 5%-Mn 5%), 811(Ni 80%-Co 10%-Mn 10%)

출처 : 전기차용 이차전지의 시장 트렌드 및 기술 개발동향(2021), KDB미래전략연구소

전해액 리튬이온이 원활하게 이동하도록 돕는 매개체
배터리의 안정성, 수명, 출력 등 다양한 성능에 영향

전해액 제조기술은 성숙단계에 접어들어 양산 능력을 늘리는 전략으로 저가화를 실현하고 있다. EV와 ESS의 폭발적인 수요 증가로 전해액의 고기능화와 저가가격화를 동시에 충족시키는 방향으로 기술개발 중이다.

액체전해질은 유기용매, 리튬염 및 첨가제의 종류에 따라 특성이 결정된다.

리튬염 Lithium Salts
· 리튬이온을 이동시키기 위한 염으로 LiPF6(리튬, 인산, 불소)로 범용전해질, 범용리튬염이라 불림
· 전기차용 배터리에는 LiPF6에 더해 LiFSI(F전해질), LiPO2F2(P전해질), LiDPOP(D전해질), LiBOB(B전해질) 등을 더해 사용

유기용매 Organic Solvent
· 염에 잘 녹아들 수 있도록 도와주는 역할
· 유전율과 점도가 높은 고리형 카보네이트를 기본 용매로 하여 여기에 유전율과 점도가 낮은 사슬형 카보네이트를 보조 용매로 혼합하여 사용

첨가제 Additives
· 양극용 첨가제의 경우 주로 발열 개선
· 막 형성으로 보호하는 등 수명 향상
· 전해질의 온도 민감성을 개선하고 안전성을 향상할 수 있는 첨가제 개발이 주요한 이슈

음극재 리튬이온을 삽입·방출하여 전류가 흐르게 하는 역할
배터리의 충전속도와 수명을 결정하는 핵심소재

음극활물질 : 흑연부터 실리콘까지

'음극활물질'의 대표주자는 가격과 안정성 측면에서 장점을 가진 흑연(Graphite)이다. 음극재에 쓰이는 흑연은 크게 천연 흑연과 인조흑연으로 나눌 수 있고, 현재까지 가장 많이 사용된다. 차세대 음극재에 대한 요구도 커지고 있는데, 차세대 음극재 소재는 바로 '실리콘(Silicon)'으로 주목받고 있다.

천연 흑연 층상 구조로 리튬이온 저장	인조흑연 안정적 구조 배터리 수명 ▲	차세대 음극재 실리콘 저장 용량 ▲ 에너지 밀도 ▲ 급속충전 설계
--------------------------------	--------------------------------	--

인조흑연은 천연흑연 대비 고가이나, 내부구조가 균일하고 안정적이므로 급속충전·수명연장에 유리하며, 실리콘은 흑연 대비 저장할 수 있는 리튬이온이 많으므로 에너지밀도 향상에 유리하나 충·방전 시 부피 팽창이 심한 단점이 있어, 흑연과 혼합하여 사용하고 있다.

주요 배터리 제조사의 양극재 개발현황

업체명	개발 완료	개발 중
LG 에너지솔루션	흑연 + SiO	흑연 + pre-lithiated SiO
삼성 SDI	흑연 + SCN(Si 2.2%)	흑연 + SCN(Si 10%)
SK 이노베이션	흑연 + SiO	흑연 + SiO
CATL	흑연 + Si	흑연 + Si
BYD	탄소(90%) + Si(10%)	탄소(80%) + Si(20%)

출처 : 전기차용 이차전지의 시장 트렌드 및 기술 개발동향(2021), KDB미래전략연구소

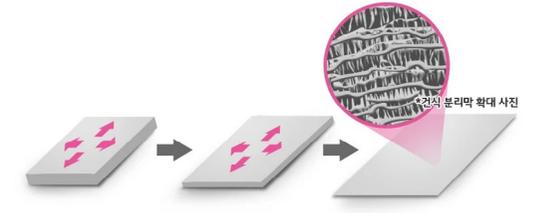
양극재와 달리 음극재는 자생적으로 에너지밀도를 개선할 방법이 제한적이어서 700Wh/L 이상부터는 실리콘계 소재 사용이 필수이다. 실리콘의 에너지밀도는 우수하지만(탄소의 약 10배 수준), 팽창 문제, 낮은 효율, 낮은 수명 문제 극복이 핵심이다.

LG에너지솔루션은 2019년 세계 최초로 실리콘 약 5%의 음극재를 순수 전기차 배터리에 적용시키는 성과를 냈으며 현재 실리콘 7% 함량의 음극재 적용을 위한 기술 개발을 추진하여 기술 혁신을 거듭하고 있다.

분리막 양극과 음극이 직접 접촉을 차단하는 역할
절연소재의 미세한 구멍이 있는 얇은 막

분리막으로 활용할 수 있는 고분자 소재는 한정적으로 폴리에틸렌(polyethylene, PE)과 폴리프로필렌(polypropylene, PP)이 대부분이다.

분리막은 생산방식에 따라 건식분리막과 습식분리막으로 분류되며, 국내 배터리 3사는 습식분리막을 주로 사용 중에 있다. 분리막은 박막화·고투과·고내열성 등의 방향으로 개발되고 있고, 전극과 접착성이 요구되며 새로운 폴리머 소재를 사용해 특성을 개선하고자 하는 연구가 진행 중이다. 분리막은 박막화가 중요하며, 박막화에 유리한 습식분리막 비중이 확대되는 추세('20년 기준 66%)로 두께는 현재 11µm 수준인데, 9µm 이하까지 줄이는 것이 연구개발 목표이다.



건식 분리막
PE, PP 필름을 한 방향으로 잡아당기고 늘려서 기공을 생성하는 방식



습식 분리막
고온에서 PE, PP에 파라핀 오일을 섞은 뒤 고온 / 고압으로 압출해 납작하게 굳힌 후 오일을 추출하면서 기공을 생성하는 방식

최근에는 분리막의 고온 변형 문제를 해결하기 위해 습식분리막에 세라믹을 코팅하여 사용하고 있으며, EV용 각형 이차전지는 '21년부터 세라믹 코팅 소재가 적용되고 있다.

출처 : Battery inside(<https://inside.lgensol.com>)

산업 속 이차전지 기술활용



LG에너지솔루션(LG엔솔)의 모회사 LG화학은 1992년 국내 기업 중 가장 먼저 이차전지를 연구하기 시작하여, 오늘날 배터리 업계를 선도하는 다양한 세계 최초의 기술들을 만들어내고 있다.

LG엔솔은 국내 최초로 실리콘 음극재를 양산했으며, 2019년 대주전자재료와 협력해 포르쉐 전기자동차(EV) '타이칸' 배터리에 실리콘 5%의 음극재를 세계 최초로 적용하였다. 또한 실리콘 함량을 5%에서 7%로 높이는 작업을 하고 있다.

전기차 배터리에서 실리콘은 에너지 용량을 올리는 주요 소재이다. 음극재에 실리콘 함량이 높아지면 에너지 밀도를 올리면서도 충전 성능을 끌어올릴 수 있어 배터리 성능이 강화된다. 그러나 실리콘 비중이 높을수록 배터리 부피 팽창 문제가 발생하고 이로 인한 화재 또는 폭발 위험성이 높아 이를 해결하는 것이 중요하다.

또한 LG엔솔은 실리콘 100% '퓨어 실리콘' 배터리 상용화 도전하고 있으며, 전기차 첫 적용을 추진하고 있다. 2023년 1월 기준 전기차용 퓨어 실리콘 시제품을 개발하고, 본격적인 성능 테스트에 착수할 것으로 파악됐다.

실리콘은 흑연보다 많은 리튬이온을 담기 때문에 부피가 커지는 단점이 있는데, 실리콘 크기를 현존 최소 수준인 5 마이크로미터(μm)로 줄여 문제를 해결하였다. 퓨어 실리콘 음극재가 최종 상용화가 되면 장거리 주행과 충전 성능 개선, 흑연보다 용량당 가격이 저렴한 실리콘을 통한 배터리 가격 경쟁력 확보 효과가 기대된다.

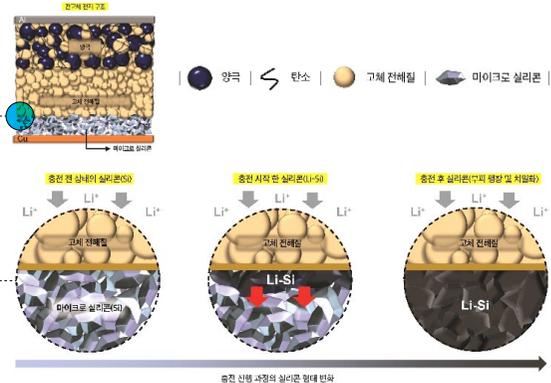
출처 : LG에너지솔루션 뉴스룸 (https://www.lgensol.com/kr/company-newsroom)

실리콘 음극재를 최초 양산에 성공할 수 있었던 기술력은 패밀리 특허 170여건(2024년 8월 공개 기준)에서 확인이 가능하다. 실리콘 음극재 관련 특허는 양산 시점보다 2년 앞선 2017년에 출원되었다.

본 특허는 음극 활물질 층에 Si, 실리콘 산화물 입자, Si-금속합금, 및 Si와 실리콘 산화물 입자의 합금으로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상을 포함하여 제조하는 방법이다. 초기 충전 및 방전에서 비 가역 용량 손실을 최소화하는 것이 중요하데, 그 방법으로서 리튬 이차전지 제작 전에 전리통화(pre-lithiation)를 실시하는 기술을 다루고 있다. 또 다른 특허에서는 실리콘계 음극 활물질을 포함하는 실리콘 산화물 음극을 전리통화 하는 방법이 기술되어 있는데 이러한 이차전지용 실리콘 산화물 음극을 이용하여 제조한 이차전지는 우수한 충방전 효율을 가질 수 있다.



LG엔솔에서 개발하고 있는 '퓨어 실리콘'과 관련해서도 2020년도에 '음극 전리통화 방법(KR 10-2020-0109407)' 특허출원을 시작으로 우수한 기술력의 권리를 확보 중에 있다.



충전 상태에서의 실리콘 입자 형태 변화



삼성SDI는 업계 최고 수준의 에너지 밀도를 가진 전고체 배터리를 양산할 계획임을 인터배터리 2024에서 공식화했다.

전고체 배터리는 고체 전해질을 사용해 화재의 위험성을 줄이고 주행거리가 늘린 배터리로 업계에서 주목하고 있는 차세대 배터리지만, '꿈의 배터리'라는 이름에 어울리게 개발 및 양산의 난이도가 매우 높아 빠른 상용화를 점치기 어려웠다.

삼성SDI는 현재 양산 중인 각종 배터리와 비교해 약 40% 가량 향상된 에너지 밀도인 900Wh/L의 전고체 배터리를 개발 및 양산할 계획이다. 자체적으로 조성한 고체 전해질 소재 개선과 혁신적인 무음극 기술을 통해 음극의 부피를 줄여 양극재를 추가함으로써 업계 최고의 에너지 밀도를 달성하겠다는 목표를 가지고 있다.

전고체 배터리는 액체 전해질을 쓰는 기존 리튬이온 배터리와 달리 고체 전해질을 사용해 이론적으로 온도 변화에 따른 화재 위험이 매우 낮고, 에너지 밀도는 높여 전기차 주행거리를 늘릴 수 있다.

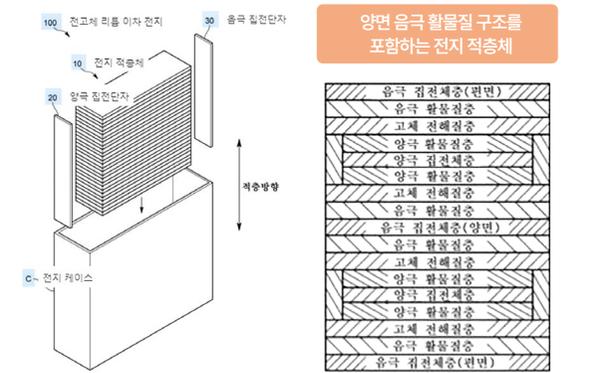
시험 결과 기존 리튬이온 배터리가 섭씨 130도 전후로 전압 하락 현상을 보인 반면, 삼성SDI의 전고체 샘플에서는 170~180도 수준에서야 이런 증상이 나타나는 것으로 확인하였다. 샘플의 경우 편이상 파우치형으로 제작했지만, 삼성SDI의 주력 폼팩터(형태)인 각형으로 제조하면 내구 온도를 더 높일 수 있을 것으로 기대된다.



출처 : 프레스맨(https://www.pressman.kr/news)

삼성SDI의 전고체 배터리 개발 노력은 오래전부터 진행되었는데, 1996년부터 고분자 고체 전해질에 관련된 특허가 출원 것을 기점으로 현재(2024년 8월)까지 190여개의 패밀리 특허를 보유하고 있다.

전고체 이차전지로는, 양극층과 고체 전해질층과 음극층으로 적층한 전지셀(단일 셀)을 복수개 겹쳐서 구성하고 적층형으로 함으로써 고용량화하는 것이 가능하게 된다. 그러나 충방전을 반복하면 각 단일 셀의 팽창 및 수축이 반복되고, 인접한 단일 셀 간끼리 서로 압력변동을 미치는 문제 등이 발생한다. 이를 해결하기 위해 각 단일 셀 간에 완충층을 설치하여, 충방전에 따라 각 단일 셀에 인가되는 압력의 편중을 저감시킴으로써 에너지 밀도의 저하를 억제할 수 있는 기술을 확보하였다.



전고체 이차 전지 (KR 10-2023-0157740)

전고체 전지의 고체 전해질로서 이온 전도도가 우수한 황화물계 고체 전해질이 사용되고 이를 양극과 음극 사이에 개재하여 전고체 전지가 제조된다. 여기에서 양극은 양극 활물질, 고체 전해질 및 도전재를 함유하며 양극 활물질의 함량을 증가시키고 고체 전해질로서 입자 크기가 작은 고체 전해질을 이용하는 방법이 제안되었다. 그런데 이 방법에 따르면 고율 특성 및 용량이 만족할 만 수준에 이르지 못하여 이에 대한 개선이 요구되는데, 이와 관련된 기술도 삼성SDI에서는 확보하려는 노력도 보인다.

03 국가전략기술 '이차전지' 이야기

기술주권 확보전략

이차전지 산업의 안정적 공급망 확보와 시장 주도권 유지는 지속 가능한 성장과 글로벌 경쟁력 확보를 위한 핵심 전략이다.

이차전지 산업의 발전을 위해서는 '안정적 공급망 확보'가 필수적으로 이를 위해 우리나라는 다음과 같은 전략을 수립하였다.

1 동맹국 중심 핵심광물 및 4대 소재 경쟁력 확보: 주요 동맹국과의 협력을 강화하여 리튬, 코발트, 니켈, 망간 등 핵심 광물과 양극재, 음극재, 전해질, 분리막 등 4대 소재의 안정적 공급망을 구축하고자 한다. 이를 통해 국제적인 공급망 불안정성에 대비하고, 국내 생산 역량을 강화한다.

2 글로벌 친환경 규제 대응 및 재활용 친환경성 강화: EU의 핵심원자재법(안)은 생산부터 재활용에 이르는 전주기의 친환경성 및 안전성을 입증해야 EU 시장에 진출할 수 있는 조건을 규정하고 있다. 이에 대비하여 우리의 생산 공정과 재활용 기술의 친환경성을 강화하고, 무역장벽화에 대응할 수 있는 체계를 구축하고자 한다.

지속적인 이차전지 기술 개발과 상용화를 통해 '시장 주도권을 유지'하고자 한다.

1 삼원계 전지의 성능 및 안전성 강화: 니켈, 망간, 코발트(NMC)를 사용하는 삼원계 전지의 성능과 안전성을 향상시키기 위해 소재 및 설계의 고도화를 추진한다. 이를 통해 고성능 전지 시장에서의 경쟁력을 강화하고, 전기차와 같은 고부가가치 응용 분야에서의 지배력을 확대한다.

2 보급형 시장 진출 위한 가격 경쟁력 확보: 보급형 이차전지 시장에 진출하기 위해 가격 경쟁력을 확보하는 것이 중요하다. 생산 공정의 효율성을 높이고, 저비용 소재를 개발하여 가격 경쟁력을 강화함으로써, 보급형 전지 시장에서도 주도적인 위치를 차지할 수 있도록 한다.

3 차세대 전지 조기 상용화 추진: 리튬황전지, 전고체전지, 리튬금속전지, 소듐이온전지 등 차세대 전지 기술의 조기 상용화를 추진한다. 이를 통해 기존 리튬이온전지의 한계를 극복하고, 새로운 시장 기회를 창출할 수 있다.

이차전지, 우리의 정책과 기술수준

이차전지 산업은 전기차 및 에너지 저장 장치의 핵심 기술로 자리잡으면서 글로벌 경제와 환경에 중요한 영향을 미치고 있다. 각국 정부는 이차전지 산업의 경쟁력 강화를 위해 다양한 정책과 제도를 마련하고 있으며, 이는 산업의 성장과 변화를 주도한다.

자국 중심 공급망 재편

인플레이션 감축법(IRA) 제정(2022년 8월) > 이 법은 미국 내에서 생산되는 전기자동차와 배터리에 대해 세액 공제와 같은 인센티브를 제공한다. 이를 통해 자국 산업을 보호하고 육성하며, 자국 기업의 리쇼어링과 주요 산업의 미국 내 유치를 유도하고 있다.

미국 배터리소재 이니셔티브 발표(2022년 10월) > 이 이니셔티브는 배터리 공급망의 전반적인 성장을 지원하며, 동맹국과 협력하여 공급망을 구축하고, 자국 내 공급망 구축을 위한 신속한 허가 절차를 진행한다.

역내 가치사슬 구축 및 원자재 확보

핵심원자재법(CRMA) 제정 추진 > 이 법은 이차전지에 사용되는 주요 전략 원자재에 대한 역내 공급망 강화를 목표로 한다. 2027년부터 시행될 배터리 여권제는 유럽에서 생산 및 판매되는 전기차 배터리의 원재료 출처를 공개하여 유럽 내 원자재 공급망의 투명성과 안정성 향상을 도모한다.

유럽 배터리 연합(EBA) 정책 > 역내 가치사슬 구축, 생태계 강화를 위해 '유럽 배터리 연합(EBA)'을 설립하고(2017년), 배터리 산업의 확대와 역량 강화를 위한 5대 핵심 순위를 발표했다(2022년). 주요 내용은 배터리 관련 규정 정비, 원자재 공급원 및 경로 다변화, 원자재 프로젝트 심사 절차 단순화, 자금 조달 체계 개선, 유럽 배터리 아카데미 설립으로 원자재 공급망을 확보하고 다변화를 추구한다.

정부 주도의 산업 육성

14차 5개년 계획(2021~2025) 및 신에너지차 산업 발전계획(2021~2035) > 이 계획들은 신에너지 자동차 산업을 육성하기 위해 고성능 이차전지 개발과 육성을 추진한다. 중국 정부는 코발트와 리튬 등 주요 원자재 확보를 위해 대규모 투자를 진행 중으로, 차이나몰디브멤은 세계 2위 코발트 광산에 투자하여 연간 16,000톤 규모의 코발트를 확보하고 있으며, 티앤치는 호주 탈리슨의 경영권을 확보하기 위해 정부와 협력하여 컨소시엄을 추진하고 있다.

배터리 생산능력 제고 및 기술 확보

경제안전보장법 > 이 법에 따라 배터리를 특정 중요 물자로 지정하고, 배터리 생산 기업에 대한 인센티브를 제공하여 자국내 배터리 생산량을 확대하고 있다.

일본 배터리 산업 전략 발표(2022년 8월) > 리튬이온전지 제조 능력 확대와 차세대 기술 확보를 위해 대규모 투자를 진행하고 있으며, 글로벌 입지 확립과 차세대 이차전지 시장에서의 위치 강화를 주요 목표로 하고 있다. 이로 인해 일본은 기술 리더로서의 지위를 더욱 공고히 할 것이다.

 우리나라의 이차전지 산업은 정부의 강력한 지원과 함께 급성장하고 있다. 우리나라 정부는 이차전지 산업을 국가 전략 산업으로 간주하고, 다양한 정책을 통해 산업 경쟁력을 강화하고 있다.

전지 산업 육성 기본 계획(2021~2025년) > 한국 정부는 '전지 산업 육성 기본 계획'을 수립하여 이차전지 산업을 전략 산업으로 육성하고 있다. 이 계획은 전기차 및 에너지 저장 장치(ESS)에 필요한 전지의 기술 개발 및 상용화, 생산능력 확대를 목표로 한다.

전지산업 진흥법 제정(2021년) > 이 법은 이차전지의 생산, 연구 개발, 인력 양성 등을 종합적으로 지원하는 법적 기반을 마련하고 있다. 정부는 이 법을 통해 전지 산업의 경쟁력을 높이고, 글로벌 시장에서의 입지를 강화하고 있다.



국가별 이차전지 기술수준

이차전지 중점기술분야

리튬이온전지 및 핵심소재

#고성능 리튬이온전지 #저가형 양극재 #친환경 전극재 #건식 전극 공정기술

리튬이온전지는 높은 에너지 밀도, 긴 수명, 우수한 성능으로 현대 전자기기와 전기차의 핵심 에너지원으로 자리 잡고 있다. 그러나, 이러한 배터리의 성능을 더욱 고도화하기 위해서는 다양한 핵심 소재와 기술이 필요한 실정이다.

배터리의 용량과 안정성을 좌우하는 '양극소재 기술', 충전 속도와 용량을 크게 향상시킬 수 있는 '음극소재 기술', 전해질은 배터리의 안전성과 효율성을 높이는 '분리막 및 전해질 기술', 고품질, 저비용, 탄소배출 저감을 목표로 하는 '고성능 이차전지 설계-제조-공정 기술'이 리튬이온전지 및 핵심소재의 주요 소기술이다.

유럽과 미국은 전기차용 이차전지 시장에서 아시아의 주도권을 넘어서기 위해 경쟁을 강화하고 있다. 특히, 유럽은 2017년 EU 배터리 연합을 출범시켜, 14개 회원국과 500여개의 금융기관, 기업, 연구소가 참여하는 대규모 프로젝트를 진행하고 있다. 이는 자국 내 이차전지 생태계를 구축하고, 아시아 의존도를 줄이기 위한 전략이다.

또한, 각국은 니켈, 흑연, 코발트, 망간 등 이차전지 관련 필수 광물의 확보 경쟁을 심화시키고 있는데, 이러한 움직임은 공급망 안정성과 자원 확보의 중요성을 강조하는 것으로 보인다.

한국은 세계적 수준의 리튬이온 배터리 제조 기술을 보유하고 있지만, 핵심 원료의 가공과 소재 부분에서는 특정 국가에 대한 높은 의존도를 보이고 있다. 리튬과 코발트와 같은 필수 원료는 대부분 해외에 의존하고 있으며, 이는 공급망의 취약성을 초래하는 실정이다.

또한, 이차전지의 4대 핵심 소재 기술은 경쟁국에 비해 2~3년 뒤쳐진 것으로 평가되어, 이는 글로벌 시장에서의 경쟁력을 유지하기 위해서는 기술 격차를 줄이는 것이 필수적임을 시사한다.

리튬이온 이차전지의 초격차 유지를 위해서는 핵심 원료와 소재의 의존도를 낮추고, 현재 리튬이온전지의 성능을 더욱 고도화할 원천 기술의 확보가 필요하다.

차세대 이차전지 소재 셀기술

#리튬금속 #리튬황 #고체전해질 #원료·소재 자립화

기존 리튬이온전지의 기술적·산업적 한계를 극복하기 위해 고에너지밀도, 안전성, 신뢰성, 경제성을 모두 갖춘 차세대 이차전지 기술 개발이 필요하다. 이러한 차세대 이차전지는 응용분야별 맞춤형 특성을 제공할 수 있어야 한다.

주요 소기술로는 리튬이온전지의 대체재인 '리튬황전지', 고체 전해질 사용으로 발열과 폭발 위험을 줄인 '전고체전지', 리튬이온전지보다 더 높은 에너지 밀도를 구현하는 '리튬금속전지', 저비용으로 대량생산이 가능한 '소듐이온전지' 등이 있다.

전기차 보급 확대와 함께 이차전지 시장의 경쟁이 치열해지고 있으며 각국 정부는 자국 내 공급망 확보를 위해 적극적으로 유치 경쟁을 벌이고 있다. 미국, 중국, 일본, 유럽연합(EU)은 리튬이온전지의 한계(주행거리, 폭발 가능성)를 극복하기 위해 차세대 기술 개발에 대규모 투자를 하고 있다.

미국과 EU는 자국 내 배터리 생산을 강화하기 위해 정책을 지원하고 있으며, 중국은 국가 차원의 지원을 통해 글로벌 배터리 시장에서의 입지를 공고히 하고 있다. 일본 역시 혁신적인 차세대 배터리 기술 개발에 집중하고 있다.

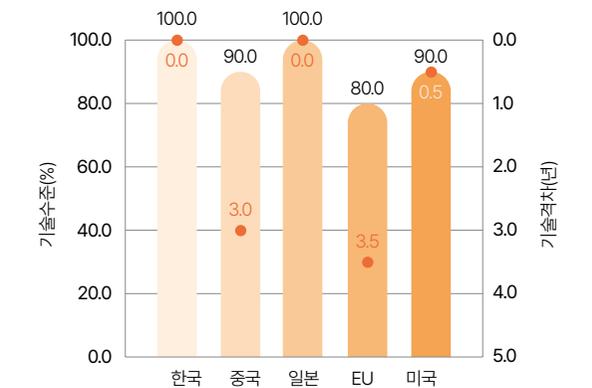
우리나라는 리튬이온전지 생산능력에서 최고 수준을 자랑하나, 혁신적 요소기술, 소재 공급기반, 배터리 팩 기술(BMS, 팩외장 등)에서는 중·일 등 경쟁국 대비 부족한 상황이다.

글로벌 시장에서의 경쟁이 치열한 차세대 이차전지 기술 확보 및 조기 상용화를 위해서는 집중적인 육성이 필요하다. 2025년부터 2030년까지 차세대 이차전지의 상용화가 예상되며, 이를 위한 기술적 준비와 인프라 구축이 필수적이다.

리튬이온전지의 한계를 넘어서기 위한 혁신적인 차세대 이차전지 기술 개발은 단순히 에너지 저장 장치의 발전을 넘어, 전기차 보급 확대, 재생에너지 효율 증대 등 다양한 분야에서 중요한 역할을 할 것으로 전망된다.



2022년도 기술수준평가 결과, 과기부, 2024.02.29



2022년도 기술수준평가 결과, 과기부, 2024.02.29

이차전지 모듈·시스템

#배터리 관리 시스템 (BMS) #전력 관리 시스템 #모듈화 설계 #전력 효율화

차세대 이차전지 시스템 기술은 전기동력 모빌리티의 주행거리 연장과 에너지저장용 시스템의 장수명 구현을 목표로 한다. 이를 위해서는 모듈, 팩, 시스템 기술, 안전도 제고를 위한 지능형 관리기술, 그리고 이중 저장장치의 하이브리드 기술 등이 필요하다.

주요 요소기술로는 친환경 교통수단의 배터리 시스템을 최적화하는 '그린수송용 이차전지 시스템 기술', 재생에너지 저장과 같은 대형 전력저장 시스템을 위한 '전력저장용 이차전지 기술', 높은 에너지 밀도와 빠른 충전·방전 속도를 동시에 달성할 수 있는 '슈퍼캐퍼시터 하이브리드 적용기술'이 있다.

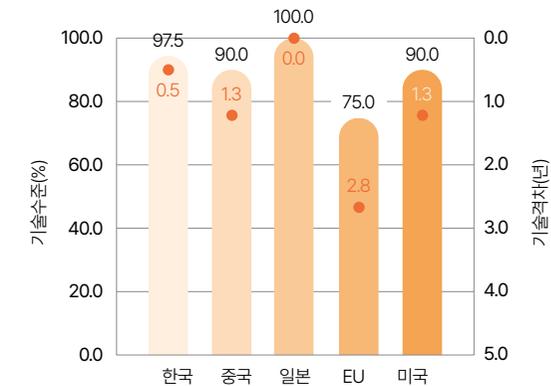
전 세계 주요 완성차 및 부품 기업들은 친환경차에 대한 투자와 경쟁을 지속적으로 확대하고 있다. 특히, 기존 자동차 산업 선진국들은 여전히 강세를 유지하며, 전력저장 시스템에서의 기술 경쟁력 확보를 위해 더욱 가혹한 운용 조건에서도 장기 신뢰성을 유지할 수 있는 기술 개발이 요구되고 있다.

미국과 중국 등 주요 국가에서는 에너지저장장치(ESS) 시장이 빠르게 성장하고 있으며, 소형 모빌리티용 배터리 수요처의 다변화를 예견하고 준비 중에 있다.

우리나라는 전기구동차용 배터리 셀 및 시스템 기술, 대형 전력저장 기술에서 강점을 보유하고 있으나, 이러한 기술들은 시장 초기 단계에 해당되며, 기술력 제고가 필요하다.

급성장하고 있는 미래차, 사물인터넷(IoT), 전력 신산업 등 이차전지 적용·연계 분야에서의 경쟁력을 확보하기 위해 모듈·시스템 활용 핵심기술 확보가 시급한 실정이다.

이차전지의 고성능·안전성·고수명 위한 신개념 설계 및 지능형 관리 기술을 확보하기 위하여 산·학·연 협동연구를 지원하고자 중점 투자할 예정이다.



2022년도 기술수준평가 결과, 과기부, 2024.02.29

이차전지 재사용·재활용

#배터리 재활용 #리튬 회수 #재생 리튬 #리튬 재활용

이차전지의 잔존 성능과 안전성에 대한 분석, 평가, 인증을 통해 특정 부품 혹은 셀, 모듈, 팩을 재사용하는 기술과 폐전지로부터 유가 금속을 회수하는 기술이 지속 가능한 배터리 산업의 핵심이다.

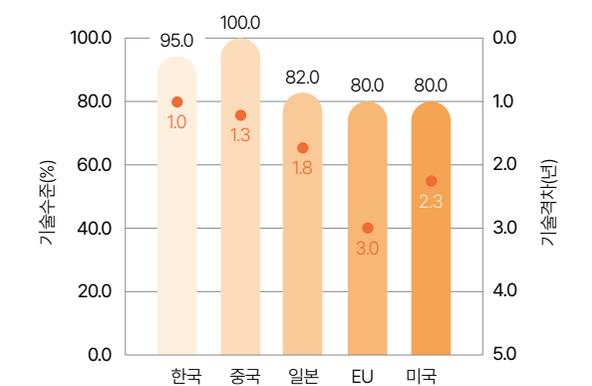
주요 요소기술로는 사용 후 배터리의 재사용 가능여부를 판단하는 '이차전지 성능·안전성 진단기술', 진단된 배터리를 재사용하여 다른 용도로 활용할 수 있도록 하는 '이차전지 재사용 기술', 리튬, 코발트, 니켈 등 유가 금속을 회수하는 '이차전지 재활용 기술'이 있다.

미국, 일본, 유럽연합(EU) 등 주요 국가들은 친환경 자원순환 및 소재 확보를 위해 관련 기술 개발과 생태계 조성에 적극 나서고 있다. 사용 후 이차전지 시장은 2030년까지 800GWh 규모로 증가할 것으로 전망되며, 연평균 성장률(CAGR)은 39%에 이를 것으로 예상된다.

특히, EU는 2030년부터 배터리 원자재의 일부를 재활용 원료로 사용해야 하는 '친환경 배터리 규제(안)'를 발표하여 재활용 기술의 중요성을 강조하고 있다. 이러한 규제는 배터리 산업의 지속 가능성을 높이고, 자원 의존도를 줄이기 위한 중요한 정책적 수단이 되고 있다.

우리나라는 사용 후 이차전지 거점 마련 및 관련 인프라와 제도를 정립하고 있으며, 최고 기술수준을 보유한 미국 대비 94.5%(0.3년 격차)의 기술력을 확보하고 있다. 그러나 글로벌 경쟁에서 앞서 나가기 위해서는 기술 격차를 줄이고, 보다 효율적인 재사용 및 재활용 기술을 개발하는 것이 필요하다.

글로벌 환경규제가 강화됨에 따라, 이차전지 재활용·재사용 기술을 확보하는 것은 필수적이다. 이를 통해 이차전지 핵심 소재에 대한 의존도를 낮추고, 환경규제에 선제적 대응을 할 수 있으며, 자원 순환을 촉진하여 지속 가능한 산업 생태계를 구축할 수 있을 것으로 판단된다.



2022년도 기술수준평가 결과, 과기부, 2024.02.29

04 출연(연) 보유 '이차전지' 기술

한눈으로 보는 출연(연) 기술 보유현황



이차전지 중점기술 분야별 기술 보유현황



출연(연) 보유 이차전지 주요기술



리튬이온전지 및 핵심소재

- KRICT** · 양극활물질에 강유전성 물질이 코팅된 복합양극활물질, 이를 채용한 고용량 양극재와 리튬이차전지 / 석정돈
- 복합 양극재 및 이를 포함하는 이차전지 양극 및 이의 제조방법 / 최성호
- 이차전지 음극소재의 제조방법 및 이에 따라 제조된 이차전지 음극소재 / 임지선

- KBSI** · 긴 수명의 고용량 리튬 이차 전지용 음극 활물질 기술 / 김양수

- KIST** · 이차전지 양극 활물질 복합체, 이를 포함하는 이차전지 및 이의 제조방법 / 정경윤
- 전고상 박막 이차전지의 박막봉지 및 제조방법 / 최지원

차세대 이차전지 소재 셀기술

- KERI** · 고체전해질 및 전고체셀 특성분석 시스템 / 하윤철
- 용매치환법에 의한 차세대 황화물계 고체전해질 입도 제어기술 / 하윤철

- KRICT** · 평행 방향으로 연신이 가능한 연신 전극 및 이의 제조 방법 / 최영민

이차전지 모듈·시스템

- KERI** · 급속 충전이 가능한 음극 표면처리 기술 / 최정희
- 배터리 시뮬레이션 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 온도분포 모니터링 기술 / 하윤철

- KIER** · 초고속 충전 가능한 알루미늄 이온 배터리 기술 / 윤하나

이차전지 재사용·재활용

- KIGAM** · 폐자원(폐배터리, 폐플라스틱, 하수슬러지 등)의 물리적 처리 공정 최적화 기술 / 한요셉

- KAERI** · 공정 단순화로 경제적인 친환경 이차전지 양극재 재활용 방법 / 전민구

이차전지 기술개발 연구자 인터뷰

배터리 시뮬레이션 플랫폼 및

디지털 트윈 기반 온도분포 모니터링 기술

한국전기연구원

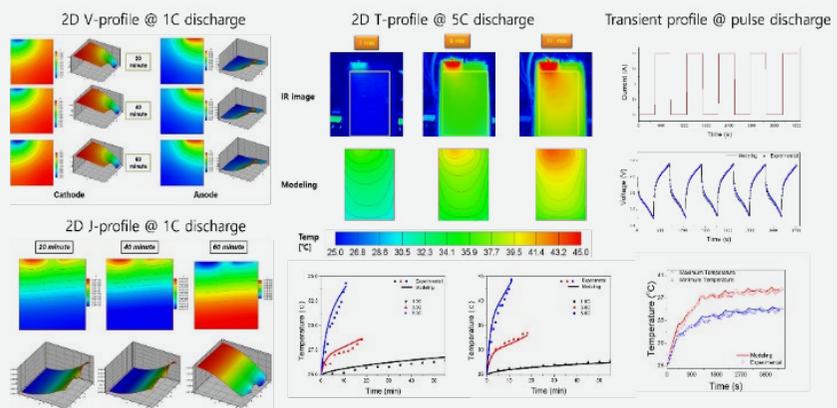
하윤철 박사



리튬이온전지의 안전성 문제와 이를 해결하기 위한 실시간 온도 감시 기술의 필요성

1991년 일본 소니에서 상용화에 성공한 리튬이온전지 기술은 모바일 등 휴대용 전기·전자기기로부터 전기자동차, 에너지저장장치에 이르기까지 산업의 패러다임을 바꿀 수 있는 핵심 요소기술로 자리매김하고 있다. 다만, 리튬이온전지는 에너지밀도가 크고 가연성 액체 전해질을 사용하고 있어서 전지의 결함이나 사고 발생시 화재나 폭발에 이를 수 있다. 특히, 전기자동차, 에너지저장장치, 전기선박, 잠수함 등에 사용되는 리튬이온전지 시스템의 경우 한 개 단위셀이 전체 셀을 화재에 이르게 하는 열폭주와 열전이 문제를 일으킬 수 있다. 이러한 열폭주나 열전이에 의한 대형 화재 사고를 방지하기 위해서는 개별 단위셀의 전기적·열적 특성에 따른 온도 감시, 특히 외부에서는 측정할 수 없는 셀의 내부 온도에 대한 감시 기술이 필요하다. 이러한 내부 온도분포는 전기화학적·열적 시뮬레이션(전산해석)을 통해 예측할 수 있다. 이를 바탕으로 셀/모듈/팩/시스템이 정상적인 상태인지, 비정상적인 상태인지를 실시간 모니터링하는 진일보한 안전관리 기술이 필요하다.

배터리 시뮬레이션을 통한 온도 예측



전기화학-열 모델을 활용한 리튬이온전지 내부 온도 예측과 실시간 모니터링

단위셀의 열적 시뮬레이션이 가능한 상용 전산해석 프로그램 패키지들(COMSOL, ANSYS, STAR CCM+ 등)이 개발되고 있지만, 셀 내부 온도분포를 포함하여 모듈/팩/시스템의 온도를 실시간으로 예측할 수 있을 정도의 빠른 계산은 사실상 불가능하다. 이에 저희는 1) 계산 시간을 줄이면서도 3차원 열해석이 가능한 전기화학-열 모델을 적용하고, 2) 이에 필요한 파라미터를 실험적으로 자동 추출할 수 있는 하드웨어-소프트웨어 기술을 개발하여, 3) 셀/모듈/팩/시스템의 실제 운전(충방전) 패턴

에 따른 실험적 결과치와 시뮬레이션 결과치의 비교를 통해, 4) 다양한 정상 운전 환경에서의 시뮬레이션 결과치를 확보하고, 5) 기계학습 알고리즘의 적용으로 6) 실시간 온도감시가 가능한 디지털 트윈 기술을 개발해 왔다. 즉, 시스템이 사고없이 정상 운전되는 경우에 예측되는 모든 지점에서의 온도 변화와 실제 시스템에 특정 지점에 설치되어 있는 온도센서들의 값을 비교함으로써 비정상적인 이상 징후를 사전 감지할 수 있는 기술이다. 현재 산업적으로는 디지털 트윈 기반의 배터리 감시 기술 적용 사례가 적는데, 이는 단위셀 특성 및 단위셀의 직병렬 구조, 모듈의 절연/냉각 구조, 팩 및 시스템의 운전 조건 등 다양한 요소에 대한 종합적인 이해를 통해 구현될 수 있기 때문이다. 온도분포 예측과 같은 고난이도 기술이 필요하지 않는 일반적인 상태감시(전압, 전류, SOC, SOH 등)는 대부분의 배터리 팩/시스템에 배터리관리시스템(BMS)의 형태로 적용되어 있다. 현재 온도의 경우 모듈 내 2~4개소 정도의 특정 지점에 대한 측정값을 모니터링하는 정도로 관리되고 있어, 체계적인 온도 예측 기법의 접목이 필요한 상황이다.



상용화를 위한 도전과 과제

저희가 개발해 온 “파라미터 측정에 기반한 이차전지 거동 예측 방법 및 시스템”과 “디지털트윈 장치 및 디지털트윈 기반의 배터리 온도감시방법” 등은 개념적인 원천기술을 셀/모듈 수준에서 실증한 연구 결과이다. 실제 상용화를 위해서는 시스템의 제반 환경적 요소까지 고려하여 열해석을 할 수 있어야 하며 시스템 레벨의 디지털 트윈을 위한 실증적인 연구가 추가되어야 한다. 디지털 트윈에 의한 배터리 온도감시방법은 배터리 시스템의 장기적인 운전 안전성을 향상시키고 열화에 따른 상태 변화를 지속적으로 모니터링할 수 있다. 다만, 갑작스런 사고 발생에 따른 열폭주 및 열전이를 방지하기 위해서는 전력 차단, 소화 등 다른 안전관리 기술과의 결합이 필요하다.

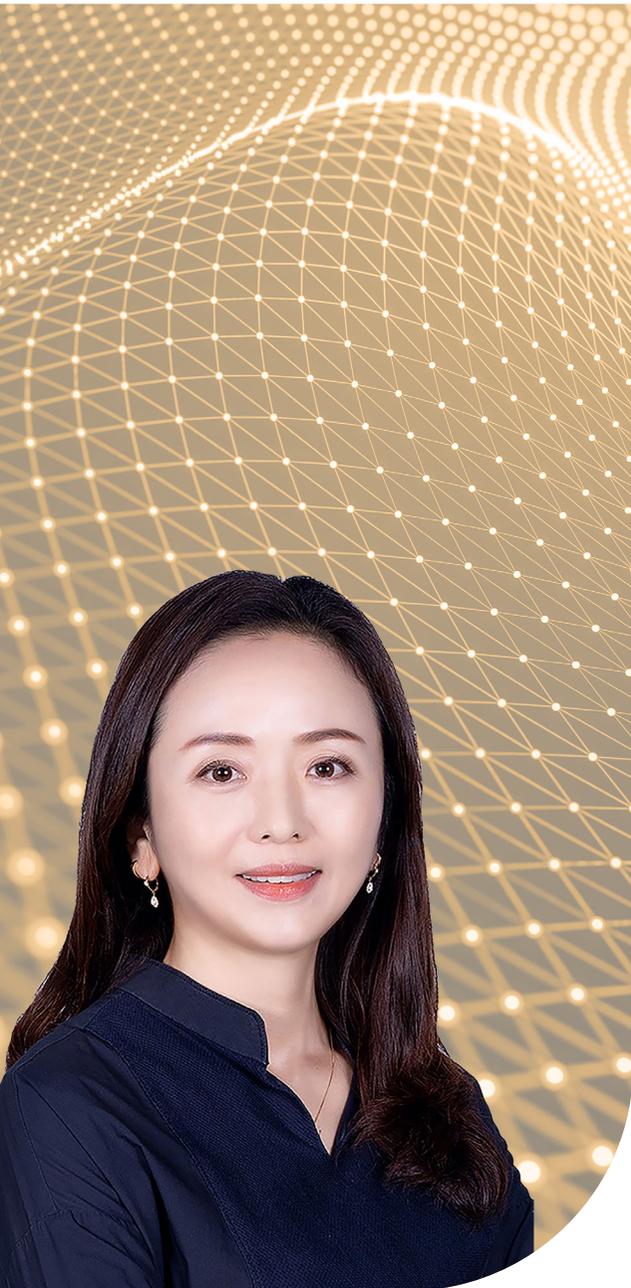
배터리 안전관리 기술의 미래전망

국내 ESS 산업의 현안이 되었던 화재 사고들은 대부분 장기 운용 중에 발생한 사고들로 전압, 전류 등 총방전 이력관리 수준에서의 기존 배터리 관리 기술의 한계를 대변하고 있다. 배터리의 안전성은 온도감시가 핵심이며 시뮬레이션과 기계학습 기반의 디지털 트윈 기술은 이러한 한계를 극복할 수 있는, 산업적으로도 매우 중요한 안전관리 수단이 될 것으로 생각된다.

연료전지 및 이차전지 전극의 내구성 저하 문제를

획기적으로 개선하는 one-step 다공성 그래핀 코팅 기술

한국에너지기술연구원
김희연 박사



연료전지 전극 촉매 기술을 시작으로

한국에너지기술연구원의 김희연 박사는 촉매 전문가로서, 다양한 에너지시스템에 적용되는 촉매 기술을 연구하고 있고, '최적의 구조를 가진 촉매의 경제적&효율적 제조 공정 개발'을 목표로 소재 원천 기술부터 공정 기술까지 개발하고 있다. 2010년 무렵, 연료전지 전극 촉매 기술을 연구하던 중 촉매의 내구성 저하 문제가 상용화를 가로막는 가장 큰 원인임을 알게 되었고, 개발해 온 촉매 구조 최적화 기술을 통해 해결할 수 있겠다는 생각을 하게 되었다. 즉, 기상 공정을 적용하여 연료전지 전극용 백금 촉매에 다공성 그래핀을 one-step으로 코팅함으로써 백금 촉매의 성능을 저하시키지 않으면서도 내구성을 극대화하는 기술을 개발했다. 개발 기술은 이차전지 전극 소재에도 적용하여, 충방전 반복에 따른 내구성 저하 문제의 해결에도 효과적임을 확인했다. 최근 이차전지 시장이 지속적으로 성장함에 따라 여러 관련 기업에서 해당 기술에 관심을 보이고 있고, 기술이전을 완료하거나 현재 진행 중이다.

저비용, 단시간의 다공성 그래핀 코팅 기술

일반적인 그래핀 연구자들은 결함이 없는 완벽한 구조의 그래핀을 만들어내는 것을 목표로 한다. 저희가 목표로 하는 것은 백금이나 실리콘과 같은 전극 소재의 표면 반응을 저해하지 않으면서도 전극 촉매의 응집, 부식, 탈락 등에 의한 내구성 저하를 근본적으로 억제할 수 있도록, 다공성 그래핀층을 코팅하는 것이다. 기존 기술과의 차이점은, 기상공정에 의해 수 초~수 분 이내에 one-step 코팅이 가능하며, 저온&상압 공정을 적용함으로써 공정비용이 매우 저렴하며, 원료비용이 kg당 1만원대로 매우 저렴하다는 특징이 있다. 산업적으로는 아직까지 액상 공정에 기반한 그래핀 코팅 공정이 적용되고 있으며, 산업적으로도 기존 기술의 단점을 극복하기 위해 탄소층 코팅을 위한 건식 공정 개발에 대한 요구가 대두되는 상황이다.

다공성 그래핀 코팅 기술의 상용화와 시장 진입 전략

본 연구팀이 개발한 기술은 비전문가도 기술전수 과정을 통해 단기간에 쉽게 습득하여 운전할 수 있을 정도로 기술적 어려움이나 한계점은 없다. 실제로, 최근 '다공성 그래핀 코팅 기술'을 관련 기업에 기술이전(통상실시)하고 기술전수를 통해 양산 공정을 구축하였다. 기상공정에 의한 one-step 그래핀 코팅 기술은, 설치의 용이성, 경제성, 효율성 측면에서 많은 장점이 있어 관련 기업에서 지속적으로 관심을 보이고 있는 상황이다. 기술적 장점들로 인해 상용화가 매우 용이할 것으로 판단되지만, 상용화를 위해서는 신규 또는 기존 공정 개선을 통한 양산 공정 구축이 필요하고, 이보다 더 중요한 부분은 제품 판매를 통해 기업에서 직접적으로 수익을 창출할 수 있도록 판로 개척에 힘써야한다. 이차전지 시장은 어느 분야보다도 기업 간 경쟁이 치열한 만큼, 기업의 적극적인 의지와 추진력이 가장 중요할 것으로 판단된다.

코팅기술 활용범위의 확대를 기대하며..

개발한 다양한 구조의 탄소층 코팅 공정은 활용 범위가 매우 넓다. 용도에 따라 맞춤형 코팅이 가능하며, 탄소층의 결정성을 무정형에서 그래파이트와 같은 결정성 탄소 코팅이 가능하며, 1~2층의 그래핀부터 여러층의 그래핀이 stacking된 상태로 코팅이 가능하다. 현재까지 연료전지용 전극 촉매(백금 및 백금 합금), 이차전지 전극 소재(음극재 및 양극재) 등에 적용되어 내구성과 분산성 향상을 통한 제품 성능 향상 효과를 입증하고 있으며, 이외에도 전자 부품의 전도성 확보를 위한 귀금속(금, 은 등) 코팅을 대체하여 비용 절감 및 내구성 향상 효과를 얻을 수 있다. 또한, 해수에 의한 오염이나 부식을 방지하기 위한 anti-fouling 목적에도 효과적으로 적용이 가능하다.



출처 : 월간수소경제 연속기획(2022.06.29)

물리적 처리 공정
최적화 기술을 통한
폐배터리 재활용



한국지질자원연구원
한요셉 박사

선별기술, 전처리 기술을 통한 재활용을 향상을 바라며..

본 연구팀이 수행하는 연구는 원래는 광산산업에서 사용되는 물리적 특성을 이용한 광물-광물간 선별기술이다. 이러한 선별기술은 현대 산업에서는 일명 전처리라고 하며, 원료물질 또는 대상목적 물질 대상으로 주요 공정이전에 물리적 방법으로 농축 또는 분리하는 기술이다. 탄소중립 달성 그리고 RE100 달성을 위해 전환, 산업, 수송 등등에서 온실가스 감축을 위한 노력을 해야하는데, 특히, 폐기물에서 또한 재활용을 향상 그리고 그에 따른 산업으로의 긍정적인 영향을 미치는 것이 선별기술, 전처리 기술이 필요하다. 이러한 국가적 NET-ZERO 달성을 위해 함께 필요한 기술로서 중요성 및 필요성을 인식하고 있으며, 이에 따른 의무감을 가지고 연구 동기를 고취시키고 있다.

분리선별 또는 전처리의 물리적 처리 방법

산업에서는 전처리 공정기술로 많이 활용되고 있으며, 기본적으로 잘 알려진 기술은 파쇄/분쇄(파분쇄) 기술, 분립/분급 기술, 비중/정전/자력/부유선별 기술로서 나눌 수 있다. 이와 같은 기술은 기본적으로 입자가 가지는 본질적인 성질을 이용하여 대상물질을 물리적으로 농축을 하고자 하는 기술이며, 자원분야에서는 선별 또는 물리적 처리라고 불리며, 환경 그리고 화학분야에서는 전처리라고 불려지고 있다. 예를 들면, 대표적으로 플라스틱의 경우, 플라스틱의 성분 그대로 분리선별을 통하여 재활용하는 것을 기계적 재활용(Mechanical Recycling)이라고 한다. 게다가, 플라스틱 성분 그대로 즉, 재질별로 분리선별하여 재활용함에 따라 물질재활용(Material Recycling)이라고도 한다. 두 개의 이니셜이 MR로서 동일하게 활용하기도 한다. 따라서, 플라스틱 재질별을 기계적 방식 즉, 물리적 공법으로 재활용물은 MR로서 얘기하며, 이를 달성하기 위해서는 우리 연구팀의 기술은 물리적 처리(분리선별 또는 전처리)로 얘기할 수 있다.

순환자원분야에서도 상용화 공정적용의 중요성

기본적으로 대한민국 주요 산업분야인 제철 및 시멘트 산업 등에서는 앞서 얘기드린 물리적 처리 기술에 대한 상용화 사례가 많이 있다. 그러나, 순환자원분야에서는 아직까지 상용화 공정 적용 사례가 많지 않다. 특히나 물리적 처리 기술 등의 전처리 공정을 적용하기 위해서는 기존의 공정을 개선하여 추가 공정이 적용되는 것임에 따라 설치 및 운영 등의 모든 비용 인자를 포함하여 경제성을 가져야 한다. 따라서, 물리적 처리 기술의 상용화 조건에서는 효율적 측면에서는 기술성 확보는 당연하며, 추가적으로 경제성 정량적 지표를 제시해야 한다.



물리적 처리 방법을 통해 폐배터리의 블랙매스 확보 기술 개발 요구

현재 국회를 통과한 '순환경제사회 전환 촉진법'에 의해 전세계적으로 수행되어야 하는 순환자원경제를 구축하고자 해야한다. 이에, 제조업 뿐만 아니라 모든 산업에서 필요한 원료에 일부분을 순환자원으로 사용되어야 할 뿐만 아니라 제품 생산에 의해 발생하는 잔재물 대상으로 재활용을 향상시켜 순환자원으로 유도를 증가시켜야 한다. 특히, 최근에 전기차 판매가 국내 그리고 전세계적으로 증가됨에 따라 배터리 원료물질이 많이 필요해질 것이다. 그렇다면 결국 많은 폐전기차가 발생될 것이며, 그와 함께 폐배터리가 발생될 것이다. 그렇다면 폐배터리로부터 다시 전기차 배터리 원료로서 재활용하기 위한 여러 가지 기술이 필요할 것이다. 여기서, 물리적 처리 기술이 잘 알려진 블랙매스(*폐배터리로부터 얻어지는 검은색 배터리 분말이며, 양극재와 음극재가 혼합된 물질) 확보기술에서 매우 필요하다. 따라서, 결국 물리적 처리 기술에 의한 순환자원 물질의 개발에 필요한 기술은 꾸준히 많은 연구와 발전이 필요할 것으로 예상되고 있다.



출처 : 한국지질연구원 홈페이지