

최종보고서 제출양식

겉표지 양식 : (4×6배판(가로19cm×세로26.5cm))

(뒷면)

(옆면)

(앞면)

	차세대 이차전지 산업 수요 대응을 위한 혁신기술인재 양성 방안 연구	과제번호
		차세대 이차전지 산업 수요 대응을 위한 혁신기술인재 양성 방안 연구 (Strategic planning study on the education and training of innovative human resources for advanced battery industries)
		연구기관 : 한양대학교 연구책임자 : 이 종 원
		2023. 12. 26
		과 학 기 술 정 보 통 신 부

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의
개인적 견해이며 과학기술정보통신부의 공식견
해가 아님을 알려드립니다.

과학기술정보통신부 장관 이 종 호

제 출 문

과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀하

본 보고서를 “차세대 이차전지 산업 수요 대응을 위한 혁신기술인재 양성 방안 연구”의 최종보고서로 제출합니다.

iris

2023. 12. 26.

연구기관명 : 한양대학교

연구책임자 : 이 종 원

연 구 원 : 임 원 빈

연 구 원 : 박 민 식

※ 연구기관 및 연구책임자, 연구원은 실제 연구에 참여한 기관 및 자의 명의임.

요 약 문

과제번호	RS-2023-00257351		연구기간	2023년 4월 12일 ~ 2023년 11월 11일	
과제명	(한글) 차세대 이차전지 산업 수요 대응을 위한 혁신기술인재 양성 방안 연구 (영문) Strategic planning study on the education and training of innovative human resources for advanced battery industries				
연구책임자 (주관연구기관)	이종원 (한양대학교)	참여 연구원수	총 5명	연구비	40,000천원
요약					
1. 사업목적 ○ 차세대 이차전지 기술분야의 난제를 해결하고 민간 기술수요에 대응할 수 있는 과학기술적 역량을 갖춘 혁신기술인재 양성 2. 사업내용 ○ 차세대 이차전지 혁신기술인재 신규양성 115명 양성(석·박사급) – ① 혁신 원천소재 설계/개발 인력 ② 혁신 셀 설계/고도화 기술 인력 ○ 차세대 이차전지 기술 분야 융복합 교과과정, 산업계 요구를 반영한 맞춤형 교과과정 개발·운영 추진 – 신소재, 에너지공학, 화학공학 등 기초·응용 지식과 이를 구성하는 소재·셀 설계·개발 기술 관련 융복합 교과과정 편성 및 운영 – 산업계 요구를 반영한 전문적, 실용적인 교과목 및 프로젝트 기반 문제해결형 교육 프로그램 개설 운영 3. 정책적 연계성 ○ 차세대전지 초격차 R&D 전략('23.03) – 디지털·그린 혁명을 뒷받침하는 차세대 이차전지 핵심기술 확보 – 혁신적 효율·성능 향상, 안전성·내구성 향상, 원료·소재 자립화 추진 4. 기존 사업과의 차별성 ○ 기존 사업은 리튬이온전지, 이차전지 재사용·재활용 등 분야에 집중 지원 ○ 본 사업은 전고체전지, 리튬메탈음극전지, 나트륨이온전지, 수계아연전지 등 미래 글로벌 리더쉽 확보를 위한 차세대 이차전지 분야 인력양성을 목적으로 함 5. 성과 활용방안 및 파급효과 ○ 차세대 이차전지 분야 전문인력난 해결을 위한 기반 마련 – 핵심 소재/셀 분야에 대한 석·박사급 수요 맞춤형 전문인재 양성 도모					
비공개 사유			비공개 기간		

목차

1. 추진배경 및 현황분석	1
1.1. 추진배경	1
1.2. 국내외 시장 및 정책 현황	3
1.3. 국내외 기술 동향	6
1.4. 국내 전문인력 양성 현황	9
2. 사업추진 타당성	11
2.1. 기존사업 현황 및 차별성	12
2.2. 사업추진 타당성	14
2.3. 정부정책과의 부합성	20
3. 사업내용	23
3.1. 비전 및 사업목표	24
3.2. 세부 사업 내용	24
4. 사업 추진전략	28
4.1. 사업 추진체계 및 역할	29
4.2. 사업 추진방안	30

5. 연차별 투자계획	32
6. 기대성과 및 파급효과	34
5.1. 성과관리 및 평가방안	35
5.2. 연구개발 성과 활용방안	36
5.3. 파급효과	38
7. 미래 추진 계획	40

[별첨]

1. 기획위원 및 추진경과
2. 차세대 이차전지 기술 설문조사 결과
3. 계약정원제 개요 및 계약학과와의 비교
4. 차세대전지 초격차 R&D 전략
5. 차세대 이차전지 기술개요 및 R&D 전략

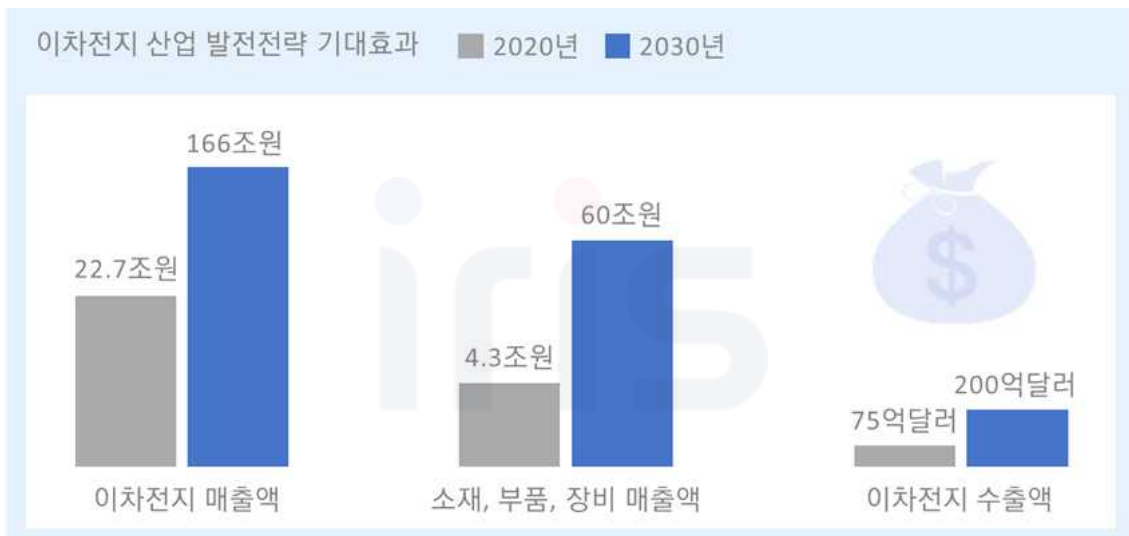
I. 추진배경 및 현황분석

iris

1. 추진 배경

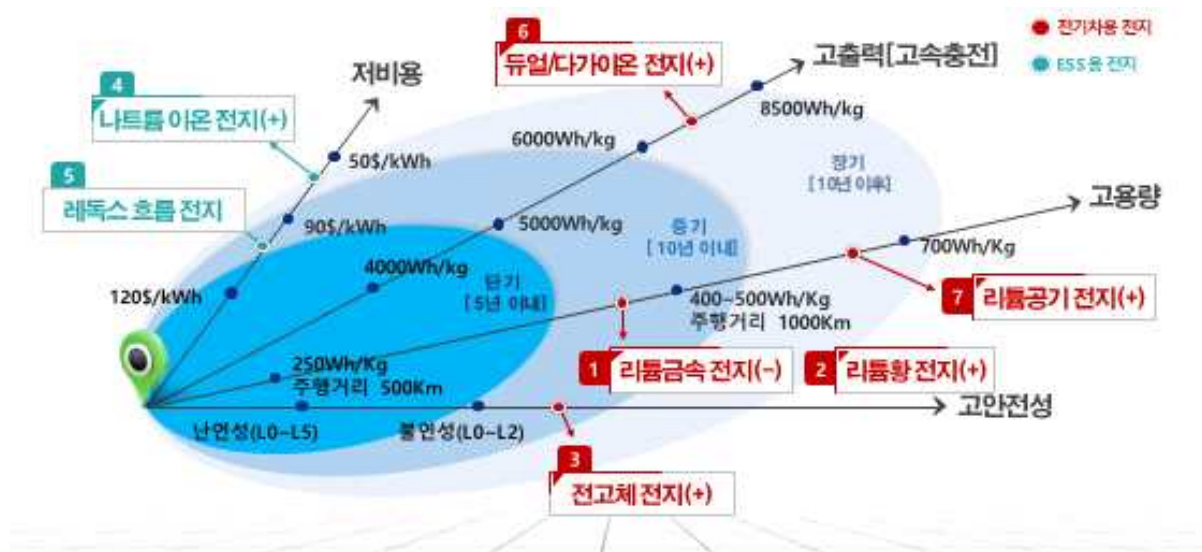
□ 차세대 이차전지 기술의 중요성

- 미래 산업의 변화는 전동화/무선화를 중심으로 재편될 것으로 예상되며, 이차전지는 미래 산업을 이끌어갈 친환경 핵심 동력원이며, 지속 가능한 성장의 핵심 수단으로 급격한 수요 증가가 전망됨
- 이차전지 산업은 환경, 경제, 에너지 문제 해결을 위한 국가 기간산업으로 미래 먹거리 창출과 탄소중립 실현을 위해 기술 경쟁력 확보는 필수적이며, 특히 글로벌 초격차 확보를 위한 차세대 이차전지와 부가가치가 높은 소재 기술 및 산업 육성이 시급함



[이차전지 산업 발전전략 기대효과 (출처: K-Battery 발전 전략)]

- 4차 산업혁명에 따른 산업구조의 재편에 따라 이차전지가 활용되는 사물 배터리(Battery of Things) 시대가 도래함에 따라 이차전지의 주요 성능(용량, 수명, 안정성 등)을 결정하는 핵심 소재 분야를 중심으로 한국, 미국, 중국, 일본 등이 기술력 확보를 위해 치열한 경쟁을 펼치고 있음
- 최근 미래 수요 대응을 위한 기술 고도화 요구가 증가하는 가운데, 차세대 이차전지 분야에서 글로벌 기술 패권 경쟁이 가속화되고 있으며, 이차전지 산업은 획기적인 구조 혁신을 통해 기존 리튬이온전지의 성능한계를 극복할 수 있는 차세대 이차전지 기술을 중심으로 발전할 것으로 예상됨



[차세대 이차전지 개발 중장기 전략(안) (출처: 이차전지 R&D 고도화 전략)]

□ 정부지원 필요성 및 시급성

- (대외환경 변화) 이차전지는 탄소중립을 위한 전기차와 대용량 전력저장장치(ESS)의 핵심기술로서 세계 각국에서 기술 확보에 주력하고 있으며 자국 중심 기술 보호와 기술 패권 경쟁을 바탕으로 하는 기술 블록화가 가속화되고 있음
 - 이차전지 분야의 글로벌 주도권 확보와 더불어 중·장기적인 산업, 생활, 안보 패러다임을 바꿀 수 있는 다양한 용도의 차세대 이차전지에 대한 원천 기술 개발 및 기술 경쟁력 확보를 위한 기반 구축이 필수적임
- (차세대 이차전지) 2050 탄소중립 달성을 목표로 산업계 전반에서 거대한 패러다임의 변화가 이뤄지고 있으며, 차세대 이차전지 기술은 이를 위한 핵심 솔루션으로 주목받고 있음
 - 전세계적으로 기존 리튬이온전지를 대체하기 위한 차세대 이차전지 기술에 국가 역량을 집중하고 있는 상황에서, 글로벌 기술 경쟁력 확보를 위한 차세대 이차전지 기술 중심의 인재 양성 및 확보 방안 수립이 시급함
- (인력양성 현황) 최근 정부에서 지원하고 있는 이차전지 인재 육성 관련 정책은 기존 리튬이온전지 전문 인력 양성에 집중되어 있으며, 차세대 이차전지에 특화된 전문 인재 육성은 제한적임
 - 이차전지 분야 전문 인력 부족은 타 산업 대비 5배 이상 높은 편으로 인력난이 가속화되고 있으며, 전세계 전기차용 이차전지 시장의 3분의 1을 차

지하는 국내 이차전지 산업이 심각한 전문인력 부족 문제를 직면하면서 향후 경쟁력 저하가 우려됨

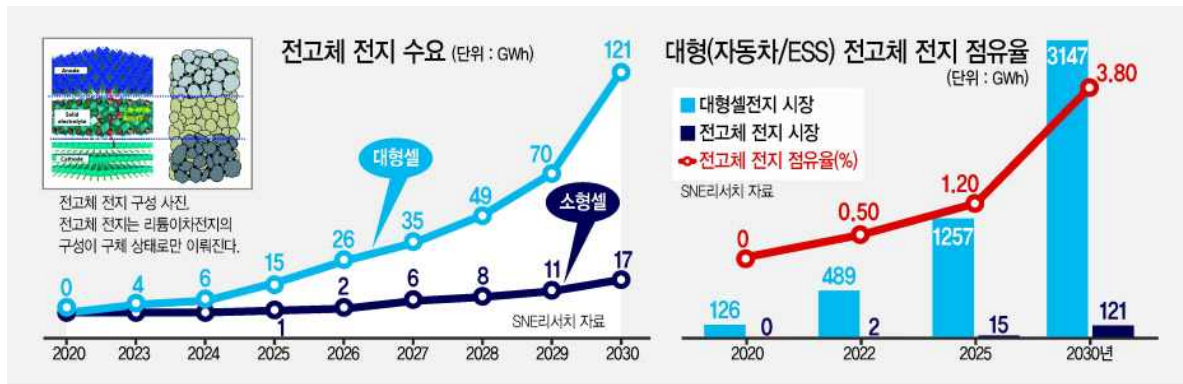
- 이와 더불어 급격한 수요 증가가 예상되는 차세대 이차전지 기술 분야의 난제를 해결하고 민간 기술 수요에 대응할 수 있는 과학기술적 역량을 갖춘 고급 인재 양성 방안 모색이 시급한 실정임
- 차세대 이차전지 기술의 글로벌 경쟁력 확보 및 기업 수요에 대응하기 위해 정부 R&D 과제 기반의 우수 연구성과 창출뿐만 아니라 정부 정책, 기술 동향, 국제협력 등에 대한 폭넓은 식견을 갖춘 전문인력 양성 및 산학연 기초·원천 연구를 지원하기 위한 개방형 융합연구 네트워크 구축 필요함

2. 국내외 시장 및 정책 현황

□ 국내·외 시장 현황

- 최근 이차전지 시장은 환경규제에 따른 친환경차 보급 확대와 더불어 다양한 응용 분야의 확대가 이루어지고 있으며, 특히 글로벌 전기차 및 대용량 전력저장장치(ESS)의 수요 증가에 힘입어 산업의 높은 성장세가 전망되고 있음
- 전기자동차의 보급 확대로 세계 이차전지 시장(20년 461억 → 30년 3517억 달러)이 급속 성장할 것으로 전망되며, 20년 국내 이차전지 시장 규모는 23.3조원으로 전년 대비 20% 증가하였고, 25년에는 약 1,600억 달러 수준으로 예상됨 [출처: SNE리서치]
- 기후변화에 대한 위협에 대응하기 위해 세계 각국은 온실가스 감축을 목표로 전기차 보급률과 신재생에너지 발전 비중을 지속적으로 높이고 있으며, 18년부터 본격적인 전기자동차용 이차전지 시장의 성장(연평균 49.2%)과 더불어 신재생에너지 비중 확대 및 전력계통 안정화 수요로 대용량 ESS 이차전지 시장도 연평균 16.4% 성장하였음 [출처: B3]
- 차세대 이차전지 시장은 황화물계 전고체전지를 중심으로 시장이 급격하게 성장할 것으로 예상되며, 국내 전지업체들은 상용화 기술 개발 및 전문인력 확보를 위해 대대적인 투자를 진행할 계획임
- 글로벌 전고체전지 사용량은 30년 121GWh, 35년 1000GWh 규모로 성장할 전망이며, 대형셀의 경우 전고체전지가 차지하는 비율은 25년 1.2%, 30년

3.8%로 예상되며, 소형셀은 30년에 14% 점유율을 차지할 것으로 분석됨
[출처: SNE리서치]



[이차전지 세계시장 동향 (출처: SNE리서치)]

□ 국내·외 정책 동향

- **(미국)** 미국 에너지부(DOE)는 이차전지 기술을 전문적으로 연구하고 개발하는 인력양성을 위한 프로그램 운영을 통해 석·박사급 대학원생들에게 전문적인 이차전지 연구를 지원하며, 산업계와 연계하여 인턴십 프로그램을 운영 중임
 - 최근 「**배터리 인력 이니셔티브(Battery Workforce Initiative)**」 출범을 통해 정부와 관련 업계를 중심으로 미국 내 500만 달러 규모의 차세대 이차전지 인력양성 지원 계획을 발표함
- **(일본)** 일본 정부는 이차전지 전문인력 양성을 위해 대학과 산업계가 협력하고 있음. 이를 통해 이차전지 기술에 대한 교육 및 연구를 지원하고 있으며, 대표적인 프로그램으로 「**차세대 자동차·모빌리티 인재 육성 프로그램(J-SET)**」과 PANASONIC Battery University가 있음
- **(EU)** 「**Horizon Europe**」이라는 연구 및 혁신 프로그램을 통해 이차전지 관련 연구개발 프로젝트를 지원하고 있으며, 이차전지 제조 및 재료 연구와 더불어 수명 연장 기술 등에 관련된 포괄적인 연구/교육을 포함하고 있음

※ 주요국 차세대 이차전지 인력양성 프로그램

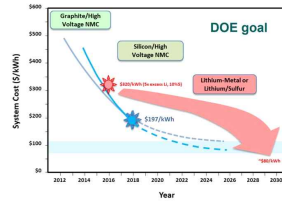
- Battery 500 (미) : 고에너지밀도 (~500 Wh/kg) 전지기술 확보 및 인력양성 목적 → Li-S 등 차세대 전지 기술개발
- 미국 4개 국립연구소 & 5개 대학 컨소시엄 → 참여 학생 및 박사 후 연구원 대상 교육 제공 / 예산 : 75,000,000 \$

BATTERY 500
CONSORTIUM

National Labs

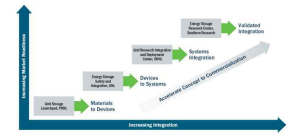


Universities



Battery 500 consortium (2020)

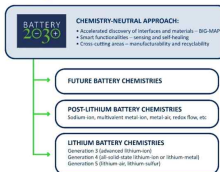
ENERGY STORAGE GRAND CHALLENGE
U.S. DEPARTMENT OF ENERGY



Energy Storage Grand Challenge (2020)

- Battery 2030+ (유럽) : 차세대 전지기술 다각화 및 인력양성 목적 → 자가차유, Li-S, Li metal 전지 기술개발
- 연구결과에 대한 교육과정 제작 → 참여 학생 및 박사 후 연구원 대상 교육제공 / 예산 : € 2,100,000

BATTERY 2030+

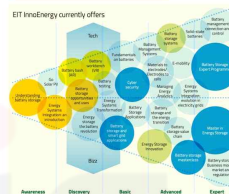


EUROPEAN NETWORKS STIMULATE INNOVATION & GROWTH
STRUCTURE OF THE EUROPEAN BATTERY ECOSYSTEM

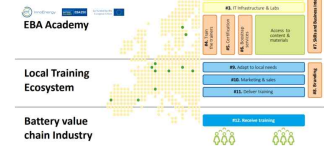


Battery 2030+ (2020)

EUROPEAN BATTERY ALLIANCE
EBA250



EBA Academy Structure:
the Battery Education Ecosystem



EBA250 academy (2020)

- Rising 3 (일본) : 전고체 전지 및 차세대 전지 기술개발 및 인력양성 목적 → 불화물전지, Zn이온전지 기술개발
- 일본 14개 대학 & 8개 기업 & 국가 공동연구 → 산학협력을 통한 인력양성 / 예산 : ¥ 2,375,000

RISING3



Rising 3 (2021)

中华人民共和国科学技术部
Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China



2025

- Raw materials: Improve supply of lithium, nickel and cobalt by strengthening domestic resource exploration and recycling, as well as overseas supply
- Energy density: Achieve a breakthrough of a new power battery system, e.g. lithium-sulfur batteries, metal-air batteries and solid-state batteries with energy density on cell level reaching 500 Wh/kg
- Recycling: Reach international advanced levels in actual recycling - recovery rate for nickel, cobalt, manganese > 95%, for lithium > 85%, for rare earths and valuable metals > 97%
- Cost: Have the cost of full cell systems to CNY 4,000/kWh (this target was set in 2016, but experts predict it will reach CNY 1,000/kWh in 2025)

2030

- CO₂ emissions: Reduce the emissions by 65% per unit of GDP compared to 2005 levels
- Fuel cell vehicles: One million fuel FCEV on the road

National Key R&D Program (2021)

3. 국내외 기술 동향

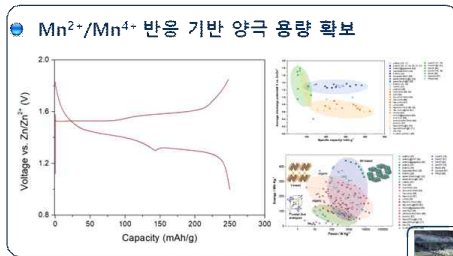
- **(나트륨이온전지)** 기존 리튬 대신 나트륨을 이용한 차세대 이차전지 기술로 나트륨의 풍부한 매장량을 바탕으로 상용 리튬이온전지의 경제성 문제를 해결할 수 있는 에너지저장 기술로서, 중국을 중심으로 상용화 기술 개발이 추진 중이나 국내 나트륨이온전지 상용화 기술 개발은 미진한 실정임
- **(HiNa Battery, 中)** 세계 최초로 상용 나트륨이온전지 5GWh의 생산 용량을 갖춘 양산 라인을 구축하였으며, 중국 전기자동차 업체 Sehol과 공동개발을 통해 나트륨이온전지가 탑재된 EX10 모델을 출시함
- **(CATL, 中)** 최근 210Wh/kg의 높은 에너지밀도 구현이 가능한 전기자동차용 나트륨이온전지를 출시하였으며, 23년 하반기까지 공급망 구축을 위한 기술 개발을 추진 중임



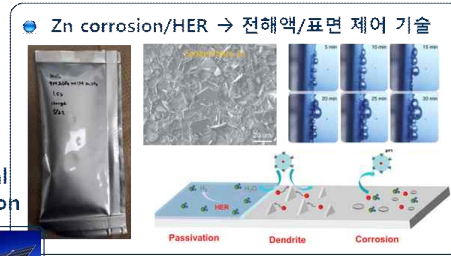
[CATL 나트륨이차전지 효율 및 성능 비교]

- **(수계아연전지)** 기존 리튬이온전지와 달리 물을 전해질로 사용하며 저가의 아연금속을 활용하기 때문에 안전성 및 내구성이 우수하고 저가화가 용이하므로 대용량 전력저장장치용 에너지 저장 기술로 주목받고 있지만 국내 연구 동향은 기초 연구 수준에 머물러 있음
- 최근 수계아연전지의 핵심소재(양극/음극/전해질/분리막 등)에 대한 다양한 연구 결과가 발표되면서 상용화 가능성을 높이고 있는 상황이며, 전세계적으로 상용화를 원천기술 개발 및 기술 선점을 위한 경쟁이 가속화되고 있음

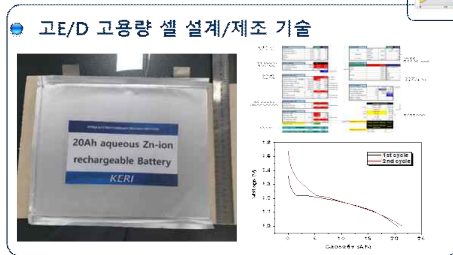
■ 고용량 양극 소재 확보



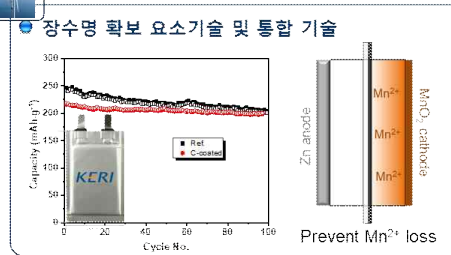
■ Zn corrosion/수소 발생 억제



■ 대용량 셀 설계/제조 기술

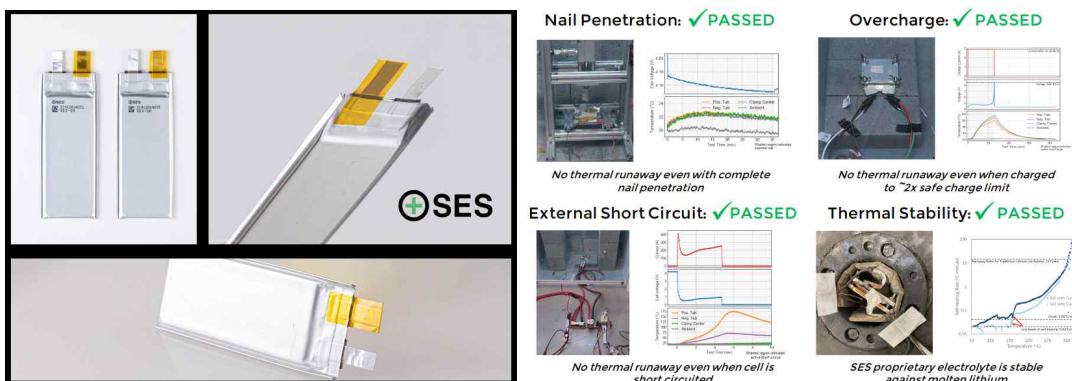


■ 장수명 확보 기술



[수계아연전지 주요 R&D 전략]

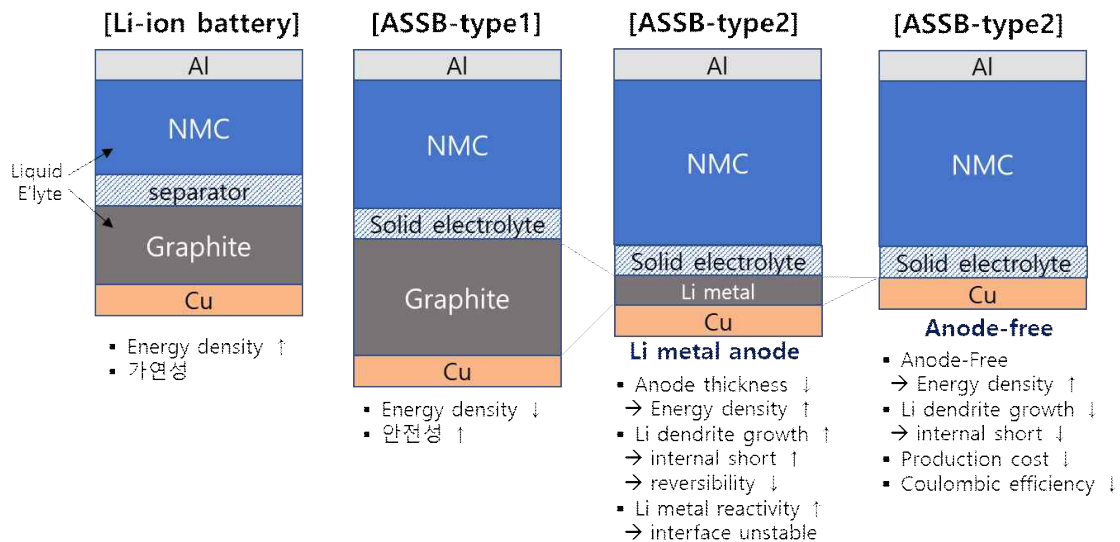
- **(리튬금속음극전지)** 리튬금속을 음극으로 채용함으로써 에너지밀도를 획기적으로 개선시킬 수 있는 유망한 에너지 저장 기술임. 다양한 차세대 이차전지 구현을 위한 핵심기술로서, 국내에서도 정부 지원을 바탕으로 다양한 연구개발 성과가 도출되었으나 아직까지 상용화를 기반 기술 확보 및 신뢰성 검증이 필요한 상황임
- **(솔리드에너지, 美)** 최근 고에너지밀도 구현이 가능한 전기자동차용 리튬금속전지 시제품 개발에 성공하였고, 현재 1GWh 규모의 파일럿 라인 구축을 진행 중에 있으며, 25년까지 상용화 설비 및 공급망 구축을 목표로 함



[솔리드에너지사(SES) 리튬금속전지 개발품]

- **(소일렉트릭, 美)** 차세대 이차전지 시장 선점을 위해서 국내 업체인 롯데케미칼과 합작법인 설립을 통해 25년까지 리튬금속전지용 핵심소재인 리튬금속음극의 GWh급 생산시설을 구축 계획임

- **(전고체전지)** 기존 액체전해질을 고체전해질로 대체하여 에너지밀도 및 안전성을 동시에 향상시킬 수 있는 에너지저장 기술로서 전세계적으로 상용화를 위한 전폭적인 투자가 진행 중임



[LIB 대비 전고체전지 구성 및 특징]



[전고체전지 개발 현황]

- **(토요타, 日)** 세계 최초로 황화물계 고체전해질 기반 전고체전지를 탑재한 전기자동차를 공개하였으며, 30년까지 주행거리 증대와 양산설비 구축을 위해 약 16조원의 투자계획을 발표함

- (퀀텀스케이프, 美) 세라믹 고체전해질 기반의 다층구조 전고체전지를 기술을 개발 중임. 전기자동차 업체인 폭스바겐과 20GWh 규모의 생산라인을 구축 중이며, 본격적인 전고체전지 제품 출시를 진행 중임
- (삼성SDI, 韓) 23년 상반기 내로 은-탄소 나노입자 복합층을 적용한 '석출형 리튬음극 기술'을 기반으로 하는 황화물계 전고체전지 파일럿 라인을 준공하고, 27년부터 본격적인 양산 계획을 수립함

4. 국내 전문인력 양성 현황

- 국내는 차세대 이차전지 관련 전문인력 양성을 위한 교육 커리큘럼 개발 및 특성화 학교 등이 진무하고, 국내 대학에서도 이차전지 관련 계약학과는 다수 설립되었지만, 차세대 이차전지에 특화된 학과는 없음

배터리사-대학교, 인재 육성 협약 현황		
기업	대학교	학과 및 과정
SK온	울산과학기술원 (UNIST)	e-SKB 석사과정
LG에너지솔루션	연세대학교	이차전지융합공학협동과정
	고려대학교	배터리-스마트팩토리학과
삼성SDI	서울대학교	SNU-Samsung SDI battery Track
	포항공과대학교 (POSTECH)	POSTECH Samsung SDI Battery Track
	한국과학기술원 (KAIST)	KAIST-Samsung SDI Battery Track
	한양대학교	HYU-Samsung SDI Battery Track

[국내 이차전지 관련 학과 현황 (출처:전지업체 제공)]

기업	대학교	협력 내용
LG에너지솔루션	연세대	석·박사통합과정, 석·박사과정
	고려대	석·박사통합과정, 박사과정
	포스텍	배터리 혁신 연구센터 설립, 인재양성·기술개발 협력
SK온	유니스트	석사과정
	연세대	산학협력센터 설립
	한양대	산학협력센터 설립
삼성SDI	서울대	석·박사 100명 양성
	포스텍	석·박사 100명 양성
	카이스트	석·박사 100명 양성
	한양대	학사 200명 양성



[기업-대학 간 인력양성 협력 내용]

구분	교과목
전공기초	재료과학, 고체물리학, 재료물성 등
전공심화	결정구조분석, 재료역학, 박막공학 등
실습과목	캡스톤 디자인 등

* A대학 신소재공학부 커리큘럼

구분	교과목
전공기초	물리화학, 유기화학, 분석화학 등
전공심화	고분자화학, 분광학, 유기합성 등
실습과목	유기화학실험, 분석화학실험 등

* B대학 화학공학부 커리큘럼

[이차전지 유관학과별 교육과정]

- 학사 및 석·박사과정에 차세대 이차전지 관련 커리큘럼 자체가 없어 신규 전문인력 양성이 어려운 상황이므로, 기업에서 요구하는 수준의 전문성을 갖춘 인력을 공급할 수 없는 상황임
- 국내의 차세대 이차전지 관련 연구는 기초연구 수준에 머물러 있고, 대학 및 연구소를 주축으로 원천기술 개발에 집중하고 있는 상황으로, 차세대 이차전지 상용화를 위한 기반 기술 확보가 어려운 실정임
- 특히, 전지 및 자동차 업체를 주축으로 전고체전지의 상용화를 위한 투자 계획을 발표하고 기술 개발에 매진하고 있으나, 국내 전고체전지에 대한 전문인력 수급이 제한적이므로 차세대 이차전지 산업에서의 국가 경쟁력을 확보하는데 어려움으로 작용함
- 따라서 정부의 지원을 바탕으로 차세대 이차전지 인력양성을 위한 교육과정의 제도화 및 인프라 구축을 통한 민간 수요 중심의 과학기술적 역량을 갖춘 전문인력 공급망 구축이 필요함

II. 사업추진 타당성

1. 기존사업 현황 및 차별성

□ 중복성 분석

- 본 사업의 중복성을 검토한 결과 이차전지 전문인력 양성 사업은 존재하지만, 차세대 이차전지 기술에 대한 교육 프로그램 및 전문인력 양성 사업은 별도로 존재하지 않음
- 기 수행 중인 이차전지 인력양성 사업은 상용 리튬이온전지의 성능 고도화를 위한 소재 및 장비 기술에 중점을 두고 있으며, 이와 별도로 리튬이온전지의 재활용 기술 및 공정 개발에 초점을 맞추어 진행 중임
 - 정부는 산업혁신인재성장지원 사업의 일환으로 배터리 재사용·재활용 기술 개발 관련 인재 양성을 위해 최대 6년간 62억원을 지원하고 있으며, 리튬이온전지 재사용·재활용에 특화된 교육과정 개발을 포함하고 있음
 - 체계적인 이차전지 산업분야 전문인력 공급망 구축을 위해 부처협업형 인재양성사업(최대 3년간 86억원), 산업혁신인재 성장지원사업(최대 5년, 73억원)을 지원 중이지만 차세대 이차전지 기술에 대한 인력양성 프로그램 투자는 없음
- 향후 산업구조 재편에 따른 미래 수요 대응형 차세대 이차전지 기술의 기술적 파급력과 경제성을 고려할 때, 정부의 지원을 바탕으로 차세대 이차전지 기술에 특화된 인력양성 사업 추진이 반드시 필요함

□ 기존 유사사업과의 비교

구분	차세대이차전지 전문인력 양성 (과기정통부)	산업혁신인재성장지원 (산업부) - 배터리재사용· 재활용 기술개발	부처 협업형 인재양성 (산업부·교육부) - 이차전지	산업혁신인재성장지원 (산업부) - 이차전지산업전문인력 양성
근거법령	○ 과학기술기본법 제16조의5 ○ 국가전략기술육성특별법 제23조	○ 국가연구개발혁신법 제64조 ○ 산업기술혁신촉진법 제11조	○ 고등교육법 제7조 및 제8조 ○ 산업기술혁신촉진법 제19조, 제20조의2	○ 국가연구개발혁신법 제64조 ○ 산업기술혁신촉진법 제11조
기술개발 단계 ¹⁾	기초, 응용	기초, 기타	기초, 기타	기초, 기타
기술분야 ²⁾ (세부기술 분야)	에너지 (이차전지)	에너지 (이차전지)	에너지 (이차전지)	에너지 (이차전지)
투자방향 관련분야 ³⁾	① 국가전략기술 ② 기초연구 및 과학기술인재	② 기초연구 및 과학기술인재 ⑦ 탄소중립	② 기초연구 및 과학기술인재 ⑦ 탄소중립	② 기초연구 및 과학기술인재 ⑦ 탄소중립
사업목적	차세대 이차전지 기술분야 과학기술적 역량을 갖춘 혁신기술인재 양성	주력 산업 및 신산업 육성을 선도할 전문 인력 양성 및 활용을 통해 산업에 우수 인력을 지속 공급하는 선순환 시스템 구축	이차전지 산업 육성 및 경쟁력 확보를 위한 인재양성 체계 구축	이차전지 R&D 석박사 전문인력 양성 및 산학 협력을 통한 고용 연계 시스템 구축
사업 주요내용	○ 사업예산: 10억원(24) ※ 총사업비 130억원 ○ 사업기간: '24.7~'30.12 ○ 사업내용: 차세대 이차전지 분야 석박사 교육 및 인력양성	○ 사업예산: 12.8억원(22) ※ 총사업비 62.5억원 ○ 사업기간: '22.3~'27.2 ○ 사업내용: 신산업 분야 특성에 맞는 석박사 교육·정책 개발 및 운영	○ 사업예산: 28.8억원(22) ※ 총사업비 86.3억원 ○ 사업기간: '22.7~'25.2 ○ 사업내용: 이차전지 산업 육성 및 산업 성장 인프라 확충	○ 사업예산: 12.8억원(22) ※ 총사업비 73.3억원 ○ 사업기간: '20.3~'25.2 ○ 사업내용: 리튬이온 전지 핵심소재, 전자설계, 고도분석 교육과정 운영
지원대상	석·박사	석·박사	석·박사	석·박사
과제 선정방식	공모	공모	공모	공모
수행주체 ⁴⁾	대학, 출연연 등	대학, 출연연 등	대학, 출연연 등	대학, 출연연 등
사업 추진체계	과학기술정보통신부, 대학, 연구소	산업통상자원부, 한국산업기술진흥원, 한국전지산업협회, 컨소시엄 기업, 대학	산업통상자원부, 한국산업기술진흥원, 한국전지산업협회, 컨소시엄 기업, 대학	산업통상자원부, 한국산업기술진흥원, 한국전지산업협회, 컨소시엄 기업, 대학
유사·중복 키워드	차세대 이차전지, 인력양성	배터리, 인재성장	이차전지, 인재양성	이차전지, 인재양성
사업별 차별성	초격차 R&D 전략 기반 기존 LIB 이외 차세대 이차전지 분야 인력 양성	이차전지 재사용/재활용 분야 인력 양성	LIB 중심 산업 인력 양성	LIB 중심 고급 R&D 인력 양성

➡ 기존 이차전지 인력양성 사업은 리튬이온전지, 이차전지 재사용·재활용 등 분야에 집중 지원

➡ 본 사업은 전고체전지 등미래 글로벌 리더십 확보를 위한 차세대 이차전지 분야 인력양성을 목적으로 함

2. 사업추진 타당성

□ 기술적 측면

- 이차전지에 대한 정부 R&D 지원은 리튬이온전지 개발 연구의 비중이 높은 반면, 기초·응용 연구는 상대적으로 부족한 실정으로 차세대 이차전지 기술 선점을 위한 인력양성 사업 추진이 필요함
 - 국내 이차전지 분야 R&D는 대부분 리튬이온전지의 기술 고도화에 초점을 맞추어 왔으며, 성능 목표 달성 및 상용화 기술 개발 등 단기 R&D에 집중되었음
 - 특히, 정부 R&D 지원 투자는 산업기술 분야에 집중되어 왔으며, 상대적으로 차세대 이차전지용 원천 혁신 소재 및 셀 등 기초·응용 기술에 대한 투자는 미진함
- 따라서, 차세대 이차전지의 초격차 기술 확보를 위해서는 원천기술 개발과 더불어 이를 위한 인력양성에 대한 지원 정책으로의 변화가 필요함
 - 향후 차세대 이차전지는 수송용 및 ESS 등에 우선적으로 적용될 것으로 예상되고 있어, 선제적 시장 예측을 통해 적기에 차세대 이차전지 상용 기술을 시장에 제공할 수 있어야 차세대 이차전지 분야 기술 초격차 달성이 가능함
 - 차세대 이차전지 기술의 조기 상용화를 위해서는 산업계 수요를 기반으로 임무지향형 차세대 이차전지 R&D 정책 발굴, 공급망 확보 및 소재 자립화를 통한 소재 원천기술 고도화와 이를 뒷받침해줄 수 있는 인력 확보가 필수적임
- 「차세대전지 초격차 R&D 전략」에 따라 **①효율·에너지밀도·성능, ②안전성·내구성, ③원료·소재 자립화 및 비용** 측면에서 기존 이차전지 성능을 뛰어넘을 수 있는 원천기술 확보가 필요하며, 이를 위해 기초·응용 연구를 강화하고 지원할 수 있는 변화된 R&D 패러다임 확립이 시급히 요구됨

※ 차세대전지 초격차 R&D 전략(23.03)

- 디지털·그린 혁명을 뒷받침하는 차세대 이차전지 핵심기술 확보
- 혁신적 효율·성능 향상, 안전성·내구성 향상, 원료·소재 자립화 추진

- 차세대 이차전지로 분류되는 다양한 시스템 후보군 중에서 상기 3대 혁신 목표를 달성하기 위해 민간 수요 기반으로 발굴된 핵심 기술에 대한 초고 난도 난제 해결 및 조기 상용화 수준의 혁신 원천기술 확보가 시급
- 차세대 이차전지 분야의 기존 사업성과와 후속 사업의 연계성 및 신규 기술개발 사업의 시급성을 고려하여 차세대 이차전지 기술에 대한 R&D 추진 필요

※ **한계돌파형 4대 차세대이차전지 핵심 원천기술개발(R&D)(과기부)**

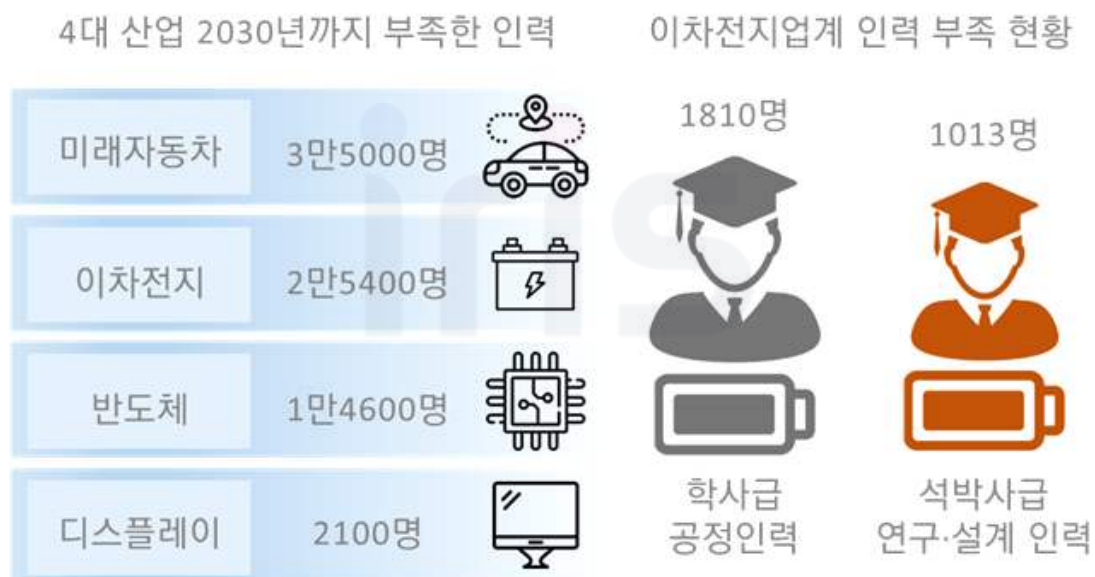
- 리튬이온전지의 성능 한계(안전성, 소재자립, 효율성, 내구성)를 극복하고 초격차 기술 확보를 위한 차세대 이차전지 혁신 원천 기술 개발
- 차세대 이차전지(수계아연, 나트륨이온, 리튬금속, 전고체) 핵심 소재·셀에 대한 민간수요 기반 조기 상용화 타켓형 초격차 원천 기술 확보

[4대 차세대 이차전지 기술별 개발 필요성 및 시급성]

차세대 전지	혁신 목표	기술개발 필요성 및 시급성
나트륨이온	소재 자립화·비용	- 리튬 부족 현상을 극복할 수 있는 혁신적 대안이 필요한 상황에서 나트륨이온전지 개발시 자원고갈로 인한 기존의 중대형 이차전지의 가격 상승을 억제하고 현재 리튬 부족으로 둔화되고 있는 이차전지 시장의 규모를 획기적으로 늘리는데 기여 가능
수계아연	안전성·내구성 향상	- 기존 이차전지 시장은 리튬이차전지로 편중되어 있으나, 물 기반의 수계 전해질을 사용함으로써 안전성을 극대화하고, 장주기 ESS 요구가 증가하는 추세에 대응하기 위해 경제성을 확보할 수 있는 수계아연전지 기술개발 시급
리튬금속	효율·에너지밀도 향상	- 리튬금속음극은 상용 흑연음극 대비 10배 이상 높은 이론용량을 지녀 높은 에너지밀도를 원천적으로 확보할 수 있으나, 전해질과의 부반응, 수지상 형성에 의한 열화 극복이 필요하며, 원천기술 확보 시 미래형 모빌리티 산업에 적합한 리튬-황, 리튬-공기 전지의 개발도 촉진 가능
전고체	안전성·내구성 향상	- 전고체 전지용 소재관련 연구개발은 이루어지고 있으나 상용화를 목표로 전고체 전지의 설계/제조 공정 등 완성품을 개발하는 연구는 거의 미미한 실정. 이 분야에 대한 기술적 노력이 이루어진다면 시장을 선도할 수 있는 기술 우선 확보 가능

□ 경제·사회적 측면

- 이차전지 관련 정부 R&D 투자 규모는 꾸준히 증가하고 있으나, 경제·사회적 중요성에 비해 절대적인 투자 규모 및 **연구인력은 매우 부족한** 실정이며, 전문인력 양성을 위한 다양한 정책적 지원의 필요성이 강조되고 있음
 - 최근 산업기술인력 수요전망에 따르면 이차전지 관련 분야에 대한 인력수요는 산업의 성장과 더불어 급격하게 증가할 전망이지만, 전문인력 공급은 매우 부족한 실정이므로 향후 심각한 인력난 초래가 예상됨
 - ※ 산업기술인력 수요전망, 19년 58,000명 → 29년 79,000명, 산업부 (‘21.03)
 - 고학력 전문인력에 대한 90% 이상이 대기업에 집중되어 있으며, 대·중소기업 간 양극화가 매우 심각한 상황임
 - ※ NTIS, 주요기업 89개사 대상, ‘19년 연구개발활동조사 재가공



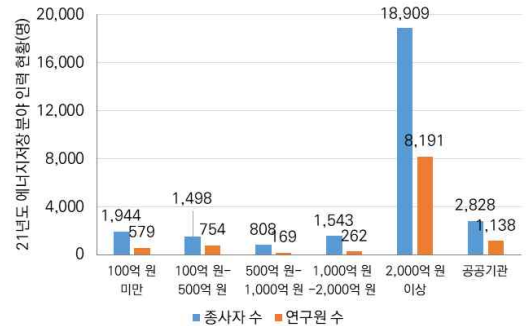
[이차전지 업계 인력 부족 현황 (출처: 산업통상자원부 및 업계 추정치, 한국전지산업협회)]

- 국내 이차전지 전문인력 부족률은 13.3%로 집계되고 있으며, 이는 5대 신산업(전기·자율주행차, IoT 가전, 에너지신산업, 바이오·헬스, 반도체·디스플레이) 평균치인 2.5%를 크게 상회하는 수준임

※ 국내 이차전지 인력현황

- (산업일반) 에너지저장 산업 종사자는 27,530명 수준. 석박사급 연구원은 총 11,093명이고 그중 대학·출연연 등 공공기관의 소속 연구자는 1,138명 [기후기술산업통계, '21년]

기업규모별 인력 현황('21년)(명)



- (정부R&D) 참여인력은 '21년 총 10,871명(CAGR 3y +22%, 석·박사급 50.9%)
 - (기관별) 대학·출연연 25%, 대기업 7.5%, 중견·중소기업 53.8% 수준

연구수행주체별 인력 현황(명)

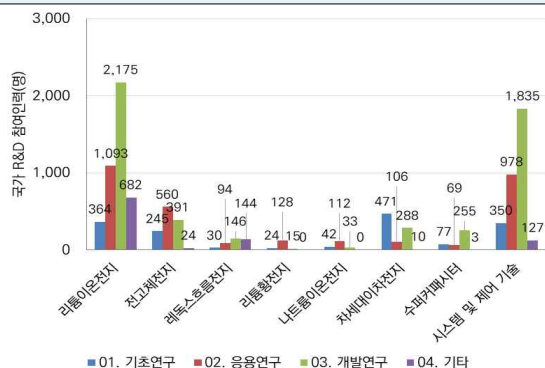


학위별 인력 현황('21년)(명)

구분	학사이하	석사	박사	합계
대기업	346	177	287	810
중견기업	533	203	244	980
중소기업	2,713	962	1,200	4,875
대학	632	154	712	1,498
출연연	354	302	686	1,342
국공립연	0	3	2	5
기타	655	311	395	1,361
총합계	5,233	2,112	3,526	10,871

- (기술단계별) 개발 47.3%, 응용 28.9%, 기초 14.7%로 분포 되어있으며, 차세대 이차전지* 기초연구 참여규모는 8.2%(889명) 수준

기술분야별 참여인력 현황

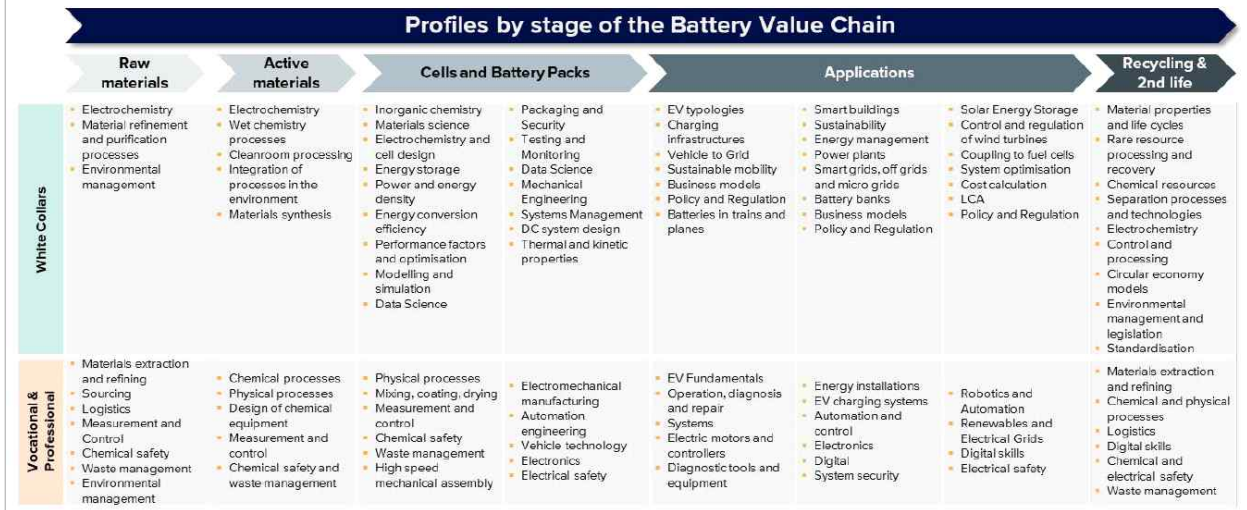


기술-단계별 인력 현황('21년)(명)

구분	기초	응용	개발	기타	합계
리튬이온전지	364	1,093	2,175	682	4,314
*전고체전지	245	560	391	24	1,220
*레독스흐름전지	30	94	146	144	414
*리튬황전지	24	128	15	0	167
*나트륨이온전지	42	112	33	0	187
*차세대이차전지	471	106	288	10	875
*수퍼커패시터	77	69	255	3	404
시스템·제어 기술	350	978	1,835	127	3,290
총합계	1,603	3,140	5,138	990	10,871

※ 미국 이차전지 산업 인력 수요

The battery value chain provides a great opportunity for job creation with many new roles to come.



Batteries jobs were the hardest to recruit for among technology and communications companies

Average length of time job ads closed in Q2 2022 had been online for

	Job type	Days	Departure from average*	Jobs closed
1	Batteries	56.0	+65%	1,291
2	Blockchain	52.0	+21%	1,469
3	Quantum Computing	47.8	NA	454
4	3D Printing	47.0	+35%	1,476
5	RegTech	42.0	+9%	506

*Shows, for each job type, how much more/less time it took to recruit roles in the sector compared to the average across the entire job market

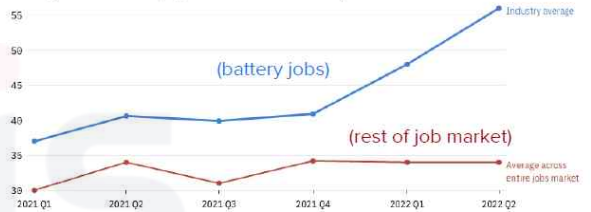
Source: GlobalData

VERDICT

[Verdict](#)

In Q2 2022 it was much more difficult than average to hire for batteries roles in the tech industry

Average number of days job ads closed in each quarter had been online for

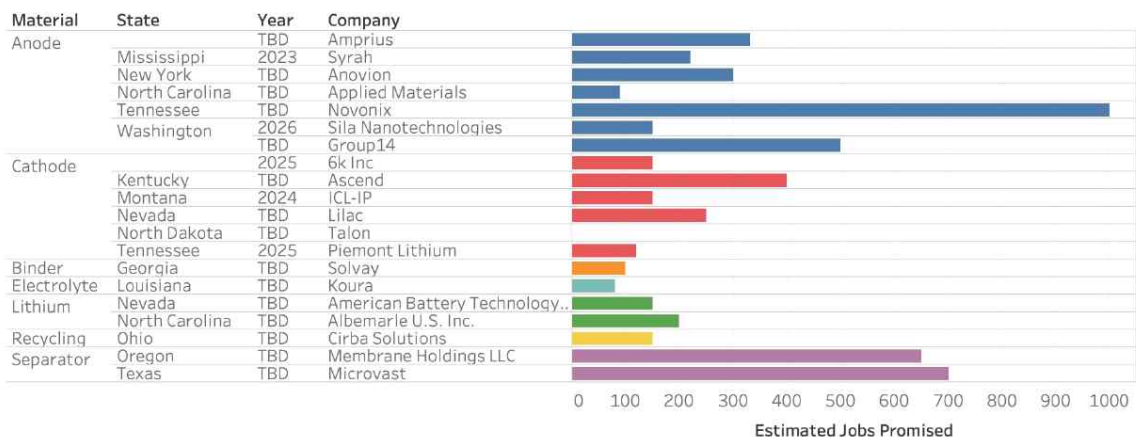


Source: GlobalData

VERDICT

"Bipartisan Infrastructure Law Funding Going to 20 Companies Across 12 States Will Strengthen America's Energy Independence, Create Good-Paying Construction and Manufacturing Jobs, and Lower Costs"

[DOE Announcement](#) and [Project Fact Sheet](#)



What skills are needed and where should they be taught?

	Trade School	In-House Training	2-Yr College	4-Yr University	Post Graduate	Total Responses
Battery Materials	11%	13%	21%	57%	57%	79%
Mining	9%	7%	9%	13%	11%	25%
Electrical	7%	7%	25%	27%	13%	41%
Power Electronics	7%	5%	20%	30%	18%	43%
Software / Battery Management	4%	5%	21%	39%	21%	55%
System Design	4%	7%	14%	38%	25%	54%
Prototyping	9%	20%	20%	32%	16%	45%
Battery Testing	23%	25%	38%	41%	16%	63%
Design for Waste Management	11%	11%	16%	29%	14%	36%
Battery Recycling	16%	14%	23%	32%	27%	48%
Environmental Engineering	4%	5%	7%	25%	14%	30%
Project Management	5%	13%	21%	29%	11%	38%
Technical Lead / Management	5%	16%	13%	34%	20%	45%
Supply Chain Management	5%	13%	20%	29%	9%	43%
Manufacturing Including Plant Design	4%	9%	18%	39%	20%	50%
Applications (Installation, Operation)	11%	11%	21%	23%	11%	38%
Installation of Battery Systems	20%	16%	25%	14%	9%	38%
Operation and Maintenance of Systems	25%	23%	20%	18%	4%	39%
Electrical Skills for Techs (High Voltage)	29%	23%	36%	23%	7%	52%
Safety (Electrical, Hazmat, Fire)	20%	20%	27%	25%	14%	41%
First Response to Battery Fires	18%	25%	23%	14%	9%	36%

32 out of 56 respondents stated that they need to hire, in the near future, someone with battery material knowledge from a university level education.

- Greatest gaps for educational programs at the community and 4-year-college level.
- Training gaps for first response, safety, electrical skills, O&M, and installation at the trade school and community college level or through internal training programs.
- Knowledge of trade school, in-house training programs may be limited in responding population.

(출처: Volta Foundation)

※ 이차전지 관련 주요 연구기관

구분	기관명	부서명
1	한국과학기술연구원	에너지저장연구센터
2	한국전기연구원	이차전지연구단
3	한국화학연구원	에너지융합소재연구센터
4	한국에너지기술연구원	에너지저장연구단
5	한국전자통신연구원	스마트소재연구실
6	한국기초과학지원연구원	물성과학연구부
7	한국생산기술연구원	그린에너지나노연구그룹
8	한국표준과학연구원	소재융합측정연구소
9	한국전자기술연구원	차세대전지연구센터
10	한국세라믹기술원	에너지저장소재센터
11	한국재료연구원	에너지전자재료연구실

3. 정부정책과의 부합성

□ 이차전지 분야 R&D 및 산업경쟁력 강화 논의 (대통령인수위, 22.04)

- 국정과제75 초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약
 - 경제성장과 안보 차원에서 주도권 확보가 필수적인 전략기술을 지정하여, 초격차 선도 및 대체불가 기술확보를 목표로 집중 육성

□ 12대 국가전략기술로서 이차전지 선정 (과기부, 22.10)

- 외교·안보 측면의 전략적 중요성이 인정되고 국민경제 및 연관 산업에 미치는 영향이 크며 신기술·신산업 창출 등 미래 혁신의 기반이 되는 기술
 - ※ 「국가전략기술 육성에 관한 특별법」 제2조 제1호
 - ❶공급망·통상, ❷신산업, ❸외교·안보 관점의 전략적 중요성을 기준으로 12대 기술분야를 선정하고, 분야별 투자지원을 집중할 50개 세부 중점기술 도출
 - 전고체 등 차세대전지 조기 상용화, 폐전지 재사용, 원료 재활용 기술 등 新시장 대응



[12대 국가전략기술 이차전지 세부 중점기술]

□ 차세대전지 초격차 R&D 전략 (과기부, 23.03)

- (비전) 2030 차세대전지 1등 국가 실현
 - 디지털·그린 혁명을 뒷받침하는 차세대 이차전지 핵심기술 확보
 - ❶혁신적 효율·성능 향상, ❷안전성·내구성 향상, ❸원료·소재 자립화 추진
- 차세대 이차전지 소재·셀

- (개념) 고에너지밀도, 안전성, 신뢰성, 경제성 등 응용분야별 맞춤형 특성이 확보된 차세대 이차전지 셀 및 핵심 소재 기술
- (전략적 중요성) 우리 기업의 산업우위 유지를 위해, '30년경 차세대 배터리 상용화로 인한 기존 이차전지 경쟁 구도 재편에 대비한 기술·시장 선점 필요
- 현재의 에너지 밀도 한계 돌파, 화재방지·안전성 향상, 非희귀성/무한대 원료 활용을 위한 기술 개발
 - ※ 리튬메탈 음극 기반 혁신전지, 리튬황 전지, 非리튬이온계 소재 기반 고안전성 전고체 및 수계 이차전지, 나트륨이온전지(고도화) 및 다가이온전지 등 14개

○ 핵심 연구인력 및 기술·산업 선도형 인재 양성('23년 기획)

- 임무지향·한계돌파형 국책 R&D 사업, 대학 연구거점 구축 사업 등을 통해 석·박사급 고급 인력 양성
- 기술뿐만 아니라 관련 정책·산업·국제동향 등 폭넓은 식견을 보유하고 차세대 기술·산업을 선도하는 전략가 육성 추진

iris

※ 한계돌파형 4대 차세대이차전지 핵심 원천기술 개발 추진(안)

□ 추진배경 및 필요성

- 최근 IT융복합·전동화 추세로 일상(가전, EV) 뿐만 아니라 산업·수송, 특수목적(우주, 군사) 등 **소분야에서 배터리가 활용되는 시대** 가속화
 - 전기차 보급 확대 등에 따라 이차전지 시장은 '30년까지 13배 성장할 것으로 전망('21년 297GWh → '30년 3,750GWh, SNE리서치, '21)
- 현재의 리튬이온 전지만으로는 원료·소재의 가격상승, 경제블록화·기술전략화 등에 따른 기술패권 경쟁에 **효율적 대응이 어려울 것으로 예상**
- 산업체 수요를 강화한 **상용성 우선의 차세대 이차전지 R&D 사업 필요**

□ 사업내용

- (목적) 용도맞춤형(EV, ESS, UAM)으로 리튬이온전지의 성능 한계(안전성, 소재자립, 효율성, 내구성)를 혁신하는 **4대 차세대 이차전지 원천기술 개발**
 - 차세대 이차전지 핵심 소재·셀에 대한 민간수요 기반 조기 상용화 타켓형 초격차 원천 기술 확보
 - (총사업비/기간) 334억원 / '24년~'29년
 - (수행방식) 지정공모
 - (전문기관/수행주체) 한국연구재단 / 산·학·연 컨소시엄
 - ('24년 예산) 차세대 이차전지 R&D 지원을 위한 연구비 3,500백만원 요구
 - 2과제×2,333백만원×9/12개월=3,500백만원
- ※ 안전성 향상, 소재자립화를 위한 2개 과제를 우선 착수

착수시기	혁신목표	과제	주요내용	적용분야
'24년	안전성	120Wh/kg 수계아연전지	고안전성, 장수명, 초저가의 수계 아연전지 핵심 소재·요소 기술 개발	ESS
	소재자립	220Wh/kg 나트륨이온전지	고성능 저가형 나트륨 이온 전지용 양극, 음극, 전해질, 분리막 등 소재 개발	ESS, EV

□ 기대 효과

- 민간 수요 기반으로 산업체 활용 가능성이 극대화된 차세대이차전지 원천 기술 및 세계 최고 수준의 차세대 이차전지 기술력 확보
- 신규 원료를 사용한 차세대 이차전지 소재 기술개발을 통한 **핵심 원료 내재화 및 공급망 문제 탈피**

III. 사업내용

iris

1. 비전 및 사업목표

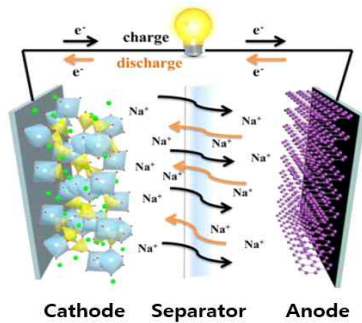
비전	차세대 이차전지 혁신기술인재 양성		
목표	차세대 이차전지 기술분야의 난제를 해결하고 민간 기술수요에 대응할 수 있는 과학기술적 역량을 갖춘 혁신기술인재 양성 체계 구축		
중점 분야	차세대 이차전지 혁신기술인재 ①혁신 원천소재 설계/개발 인력 ②혁신 셀 설계/고도화 기술 인력		
추진 방향	차세대 이차전지 혁신기술인재 양성 센터 구축	차세대 이차전지 특화 교과과정 및 프로젝트 개발·운영	지속가능한 산·학·연 네트워크 조성
사업 내용	■ 대학연구소 중심 이차전지 분야 거점형 센터 운영 ■ 전문교수진 구성 및 실습기반 구축	■ 차세대 이차전지 혁신 원천소재 및 셀 분야 교육과정 설계 ■ 민간수요 기반형 연구 프로젝트 운영	■ 산·학·연 협의체 구성 및 기술교류 ■ 지속가능 성과 제고 체계 구축 ■ 취업연계 활성화

2. 사업 세부내용

□ 차세대 이차전지 혁신기술인재 양성 센터 구축

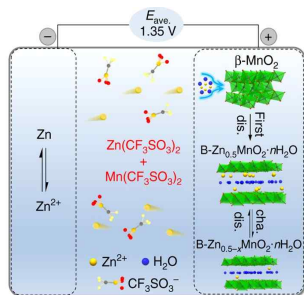
- 차세대 이차전지 기술 선도에 필수적인 기술 특화 분야별 석/박사 전문인력 양성을 위한 센터 구축
 - ※ (센터) ①혁신 원천소재 설계/개발 인력, ②혁신 셀 설계/고도화 기술 인력
 - ※ (기술) 나트륨이온전지, 수계아연전지, 리튬금속음극전지, 전고체전지 등 차세대 이차전지
 - ➔ 상세기획에서 차세대 이차전지 기술 트렌드 및 민간 수요를 기반으로 중점 기술을 도출하고, 탄력적인 인력양성 프로그램 운영
 - ➔ 상세기획에서 기업과 대학의 적극적인 협력을 유인할 수 있도록 계약정원제 검토 (별첨3)
- 차세대 이차전지 혁신 원천소재 및 셀 분야의 고급 전문연구인력 양성을 목표로 115명 이상 배출

[참고] 4대 기술 혁신형 차세대 이차전지



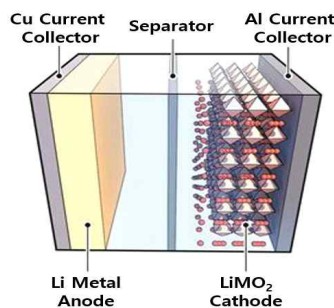
① 나트륨이온전지

나트륨이온전지는 기존 리튬이온전지 시스템의 리튬을 가격경쟁력이 우수한 나트륨으로 대체한 이차전지를 말하며, 기존의 리튬이온전지에서 사용된 시스템을 유사하게 충/방전 과정에서 전극소재에 이온이 탈/삽입되는 원리로 작동함



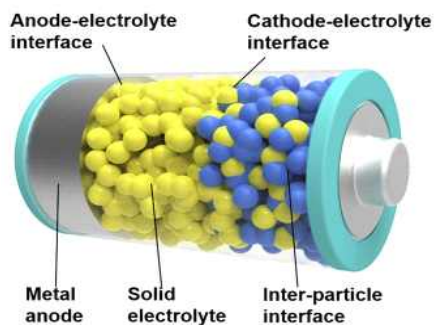
② 수계아연전지

수계아연전지는 물을 기반으로 한 전해액 환경에서, 아연 (Zn) 이온 전하전달 매개체가 양극과 음극 사이를 이동하면서 충방전이 이루어지는 전지로서, 화재 및 폭발 위험이 없어 안전하며, 저가화에 유리함



③ 리튬금속음극전지

리튬금속을 음극으로 적용하는 기술은 기존 리튬이차전지 대비 중량 및 부피 당 에너지 밀도를 최대 2배 향상시킬 수 있는 전지 시스템으로서, 기존 리튬이온전지용 양극 기술의 적용이 가능하여 높은 에너지밀도 구현 가능



④ 전고체전지

전고체전지는 전지의 구성요소 중 가연성 액체가 포함된 액체전해액과 분리막을 고체전해질로 대체하여 전지의 안전성을 획기적으로 개선한 전지 시스템으로서, 고용량 혼합 음극소재, 리튬금속 및 고전압 양극소재 사용이 가능하여 고에너지밀도 구현 가능

[출처: 한계돌파형 4대 차세대이차전지 핵심 원천기술개발(R&D) 사전기획보고서]

☐ 차세대 이차전지 특화 교과과정 개발·운영

- 창의적이고 도전적인 융복합 인재육성을 위해 미래지향적인 산·학·연 및 전공별 협력 교육과정 운영
 - 차세대 이차전지 분야에 대한 기초/응용 지식과 이를 구성하는 소재·셀 설계 및 개발 기술을 중점 분야로 선정하고, 전문인력을 양성할 수 있는 교육체계 및 교과과정 편성 및 운영
- 산업계 요구를 반영한 맞춤형 전문 교과과정 수립 및 운영**
- 프로젝트 기반 문제해결형 교육시스템(PBL, Project Based Learning)을 통해 공학적 문제해결 능력배양
 - 차세대 이차전지 혁신 원천 소재 및 셀 분야의 융복합 기술을 선도하는 국내외 저명 과학자들의 초청 세미나 및 산업계 요구를 반영한 전문적, 실용적인 교과목 개설 및 운영

○ 차세대 이차전지 분야 혁신적 핵심연구 분야 발굴

○ 영역 파괴형 융복합 기초/응용 연구 수행

및 응용기술을 포함하는 공동연구를 진행함

- 산·학·연 간 유기적 협업을 통해 기존의 이차전지 연구의 한계를 탈피한 Multi-scale 연구를 추진함

□ 지속가능한 산·학·연 네트워크 조성

○ 「차세대 이차전지 인력양성 산·학·연 협의체」 구성

- 국내외 우수 산·학·연 전문가가 참여하는 협의체를 구성하여 국제적인 메가트렌드와 국내 경제/산업에서의 시급성 및 중요성을 면밀히 분석함
- 분석 결과를 바탕으로 차세대 이차전지 분야에서 혁신성장을 선도할 수 있는 핵심 연구주제를 발굴하고, 구체적인 연구개발 전략을 수립함

○ 지속가능 성과 제고 체계 구축 및 취업연계 활성화

- 참여 대학원생의 교육 및 연구 프로젝트 성과에 대해 산·학·연의 지속적인 관리를 통한 기술 경쟁 확보 및 이차전자 기술 초격차 유지
- 혁신 소재 및 셀 분야 산·학·연 공동 연구를 통해 현장중심형 기술 인재를 양성함

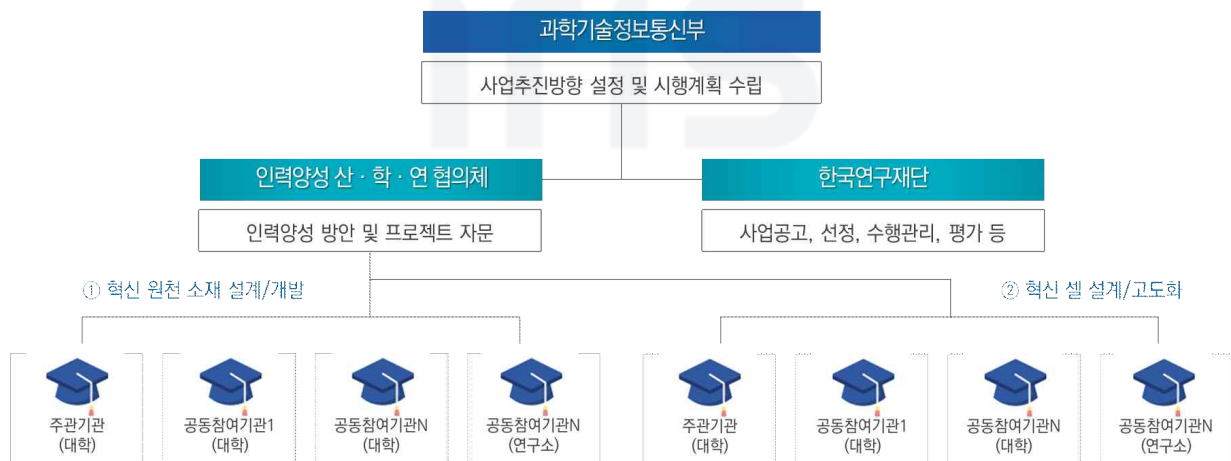
IV. 사업 추진전략

iris

1. 사업 추진체계 및 역할

□ 기본 구조

- 과학기술정보통신부는 사업추진 방향 설정 등 정책수립을 총괄하고, 한국연구재단(NRF)은 사업전담 관리기능을 수행
- 센터별로 주관기관과 참여기관으로 나누어 참여하고, 센터/과제별로 필요한 교과목을 제공하여 교육과 실습을 수행
- 협의체는 과제를 수행하는 센터의 대표자와 산·학·연 자문위원으로 구성
 - 과제참여 석·박사과정 학생의 교육 및 설계 내용 점검
 - 교과목 커리큘럼과 교과목 개설/개선 내용 자문
 - 민간 수요 기반 공동 프로젝트 연구 내용 점검
 - 과제 성과 점검과 평가를 위한 심포지엄 개최
 - 성과확산 및 환류 체계 구축 지원



[차세대 이차전지 혁신기술인재양성사업 추진체계]

□ 기관별 주요 역할

구분	주요역할
과학기술정보통신부	○ 사업추진 정책 수립 및 사업 추진방향 점검 ○ 사업시행 계획 수립 ○ 사업심의위원회 운영 및 과제 선정 최종 심의 등
전담기관 (한국연구재단)	○ 사업/과제기획, 공고 및 과제 신규평가 ○ 수행관리, 연차평가, 성과분석 및 사후관리 등
산·학·연 협의체	○ 참여 대학원생의 교육 및 실무프로젝트 현황 관리 ○ 교과목 커리큘럼과 교과목 개설/개선 자문 ○ 연구 프로젝트 내용 점검 및 자문, 심포지엄 개최
수행기관 (대학·연구소)	○ 주관(대학)/참여(대학·연구소)기관으로 석·박사 인력 양성 ○ 기업 수요 기반 공동연구 프로젝트 수립 및 수행 ○ 현장 지향성 우수 연구인력 양성 ○ 결과물 도출 및 성과활용 ○ 배출 인력의 취업 연계 지원 등

2. 사업 추진방안

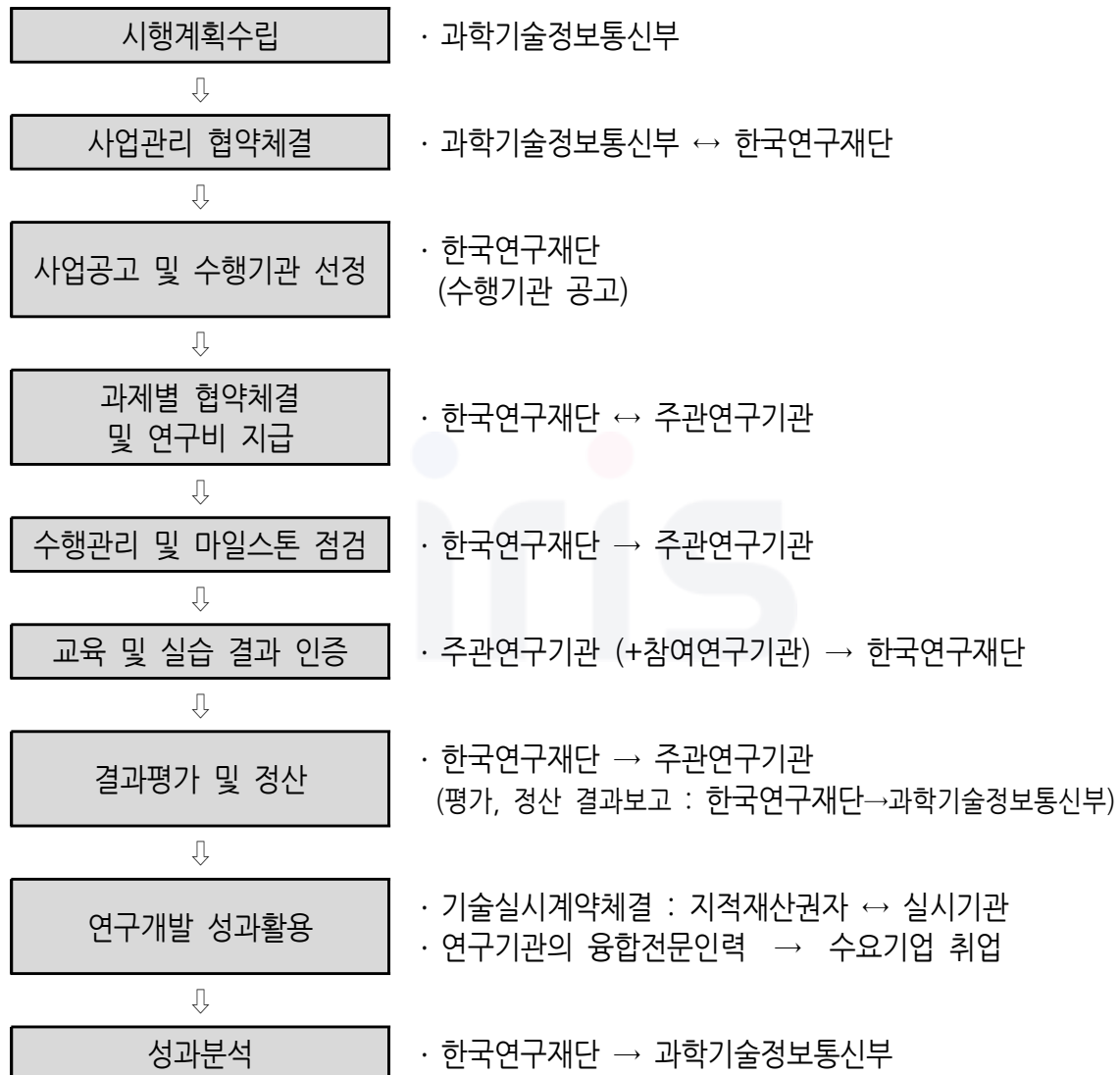
□ 사업운영 기본방향

- **(사업목적)** 차세대 이차전지 분야 개척에 필수적인 최고급 융복합 석·박사 전문인재 육성
 - 대학·연구자가 차세대 이차전지 인재 육성을 위한 융복합 전공을 구성하고 석·박사급 고급인재를 육성토록 교육비·연구비 지원
 - 차세대 이차전지 기술·산업 선도에 필요한 창의력과 적응력 배양을 위해 **①**핵심 원천 소재 설계/개발, **②**혁신 셀 설계/고도화에 특화된 전문지식·경험을 보유한 석·박사 인력 배출
 - 창의적인 융복합 인재인 동시에 전공분야에서 최고 수준의 숙련도를 갖는 수요기반 실무형 전문인재 양성
- **(교육지원)** 최고급 인재가 양성될 수 있도록 차세대 이차전지 기초·응용 분야에 대한 교육 지원. 연구과제 참여교수는 전체 사업의 참여대학원생에 대한 교육의무를 이행
- **(민간수요 기반 연구지원)** 이차전지 소재·부품·셀·응용 분야의 기업 수요 조사를 거쳐 산·학·연 공동 연구개발 과제를 발굴하고, 이를 통해 문제 해결

능력을 갖춘 실무형 전문 인력 양성

- (학생지원) ①석박사 학비·인건비 지급, ②차세대 이차전지 교육과정 이수, ③민간수요 기반 공동 프로젝트 참여 지원, ④학계·산업계 취업 멘토링 지원 등

□ 사업 추진 계획



V. 연차별 투자계획

iris

□ 연차별 소요예산

- 사업기간('24~'30, 총 7년) 동안 기술 및 과제 분야 등을 고려하여 연차별 소요 예산금액 설정

< 예산 투자계획 >

◆ 총 사업 규모 : 총 7년 간 2개 연구거점센터/연구프로젝트, 130억원

◆ 연구거점 센터 당 규모 : 총 7년 간 65억원

◆ 연도별 예산 및 산출내역 :

[단위:억원]

구분	분야	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	계
센터1	혁신 소재 설계/개발	5	10	10	10	10	10	10	65
센터2	혁신 셀 설계/고도화	5	10	10	10	10	10	10	65
합계		10	20	20	20	20	20	20	130

□ 재원조달 계획

- 본 사업은 '24년 7월~'31년 2월, 총 7년간 국고 130억원을 조달하여 운영 예정

VI. 기대성과 및 파급효과

iris

1. 성과관리 및 평가방안

□ 총괄 예상성과

성과 지표	구분		'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	총합	측정산식 (또는 방법)	자료수집 방법 (또는 출처)
인력 양성 (명)	지원	석사	15	30	30	30	30	30	15	-	180	핵심 교과목 및 연구프로 젝트 조건을 수료한 인력	배출 성과
		박사	5	10	15	20	20	15	10	-	95		
	배출*	석사	-	15**	15	15	15	15	15	-	90		
		박사	-	-	-	5**	5	5	5	5	25		
	연구프로젝트 참여		15	30	30	40	40	40	20	-	215		
	취업률(%)		-	75	75	75	75	75	75	-			
교육· 연구 개발 (건)	교과목 개발 및 보완		2	4	4	4	-	-	-	-	14	교육/연구 성과물	결과 보고서
	심화전공 강의 (이론/실습병행)		2	4	4	4	4	4	4	-	26		
	융합교과목 운영 (센터내/센터간)		-	1	1	1	1	1	1	-	6		
	저명인사 초청 세미나		1	2	2	2	2	2	2	-	13		
	산·학·연 융합 심포지엄		-	1	1	1	1	1	1	-	6		
	산학연 프로젝트		3	6	6	6	6	6	3	-	36		
	SCI(E) 논문		-	6	6	6	6	6	6	-	36		

* 차년도 2월 졸업 기준

** 기존 재학생 중 지원 인원 포함

□ 평가방안

- 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제16조(연구개발결과의 평가), 과학기술정보통신부 소관 연구개발사업 처리규정 제33조(연구개발결과의 평가), 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제7조 제10항(평가위원회)

2. 연구개발 성과 활용방안

□ 이차전지 현장 중심 우수 연구인력 양성

○ 민간수요 기반 현장 중심의 석·박사급 고급 인력 양성

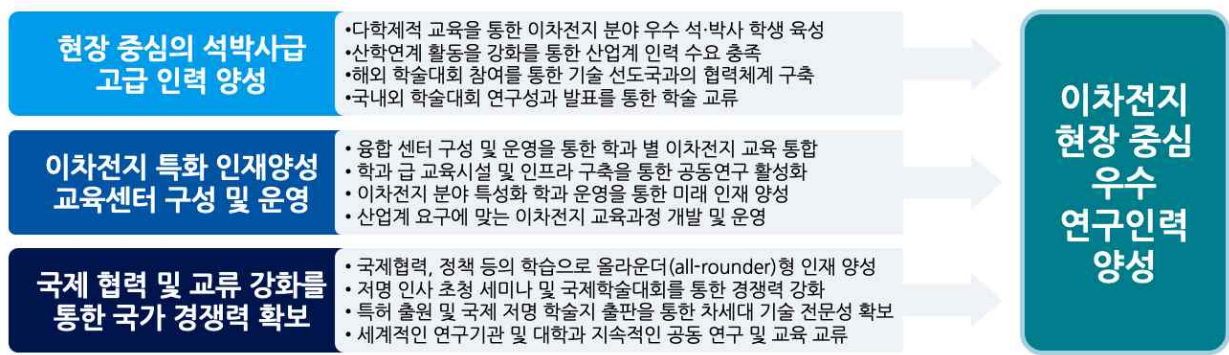
- 다학제적 학습을 통한 이차전지 분야 우수 석·박사 학생 선발 및 육성
- 공동연구사업, 인턴십 등 산학연계 활동을 강화하여 실질적인 인력 수요 충족
- 해외 학술대회 참여 지원을 통한 기술 선도국과의 협력체계 구축
- 국내외 학술대회 연구성과 발표를 통한 학술 교류

○ 차세대 이차전지 특화 인재양성 교육센터 구성 및 운영

- 다양한 세부 전공 대학이 모인 융합 센터 구성 및 지속적인 운영
- 교육시설 및 장비에 대한 학과급 적극적인 투자로 공동연구 기반 마련
- 신소재, 에너지공학, 화학공학 등 이차전지에 특화된 교육 학과 운영을 통한 미래인재 지속 양성
- 산업계 요구를 반영한 현장 중심 이차전지 특화 교육과정 개발 및 운영

○ 국제 협력 및 교류 강화를 통한 국가 경쟁력 확보

- 국제협력, 정책 등의 다방면 학습을 통해 창의력과 폭넓은 시야를 갖춘 올라운더형(all-rounder) 인재 양성
- 저명인사 초청 세미나 및 국제 학술 대회 발표를 통한 전문성 강화 및 국제 경쟁력 향상
- 특허 출원 및 국제 저명 학술지 논문 출판을 통한 연구 성과 구체화 및 차세대 기술 분야 전문성을 확보
- 협력 프로그램 유지를 통해 세계적인 연구기관 및 대학과의 지속적인 공동연구 및 교육 교류

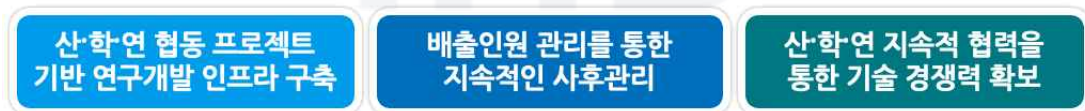


[이차전지 현장 중심 우수 연구인력 양성]

□ 이차전지 산학연 협동 연구 플랫폼 구축

○ 산·학·연 협동 프로젝트 기반 연구개발 인프라 구축

- 대학, 기업, 정부 및 연구기관 간 협력을 통한 공동 R&D 프로젝트, 기술 혁신 및 지식 공유의 장 마련
- 실습 프로젝트 및 전문 교육을 통해 현장 경험이 통합된 실무적인 교육 시스템 구현
- 차세대 이차전지 기술 분야 전문인력 양성을 위한 연구 인력양성 모델 확립 및 인프라 구축



이차전지 산·학·연 협동 연구 플랫폼 구축



[차세대 이차전지 산·학·연 협동 연구 플랫폼 구축]

○ 배출인원 관리를 통한 지속적인 사후관리

- 기업 만족도 조사 및 분석을 실시하여 기업 수요를 반영한 핵심인재 육성
- 공동 연구 활동 및 멘토링 지원을 통해 졸업생 및 기업 인력 재교육

- 졸업생 및 참여 연구원이 공동으로 주최하는 정기 워크숍을 통해 기술 및 정보 교류 장려
- 배출인원과 단기 맞춤형 교육과정을 공동 개발하여 수혜인원의 실무 능력 향상 지원

○ 산·학·연의 지속적 협력을 통한 기술 경쟁력 확보

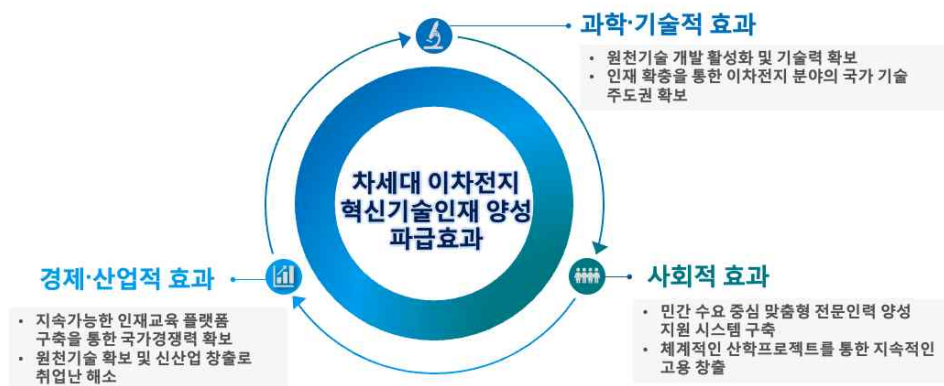
- 차세대 소재개발 및 산업계 수요에 기반한 연구 프로젝트 개발 및 산학연 공동 연구를 통한 현장중심형 핵심 기술 연구
- 전문 특허 멘토링 및 창의적인 아이디어에 대한 적극 지원을 통해 기술 사업화 및 기술이전 진행
- 연구 프로젝트 성과에 대해 산학연의 지속적인 관리를 통한 기술 경쟁력 확보 및 이차전자 기술 초격차 유지

3. 파급효과

□ 과학·기술적 효과

○ 차세대 이차전지 핵심 분야 원천 기술 확보

- **(미래기술 확보)** 체계화된 산·학 교육과정 고도화 및 공개형 교류회를 통해 원천기술 개발을 활성화하고 산업체 활용 가능성이 극대화된 차세대 이차전지 기술력 확보
- **(기술 주도권 확보)** 국가첨단전략기술 중 하나인 이차전지 분야의 R&D 인재 확충을 통해 기초 개발에 필요한 데이터베이스를 확보하여 국가 차원에서 기술 주도권 확보



[차세대 이차전지 혁신기술인재 양성 파급효과]

□ 사회적 효과

- 민간 수요 중심 연구인재 지속공급을 위한 기반 마련 및 생태계 구축
 - (전문 인력양성 시스템 구축) 고도화된 산·학·연 연계 기반의 수요 맞춤형 전문인력 양성 지원시스템을 구축하여 이차전지 관련 전문인재 양성을 확대하고 정보 소통 채널로 활용
 - (고용창출) 대학을 중심으로 산업체와 컨소시엄을 통해 체계적인 산학프로젝트, 교육 프로그램을 제공하여 이차전지 분야의 후속세대 고용 창출을 활성화

□ 경제·산업적 효과

- 미래 국가 경제성장 및 산업 활성화를 위한 대안 제시
 - (국가경쟁력 제고) 산업 특화 교육과정 기반의 지속가능한 플랫폼을 구축하여 가속화되는 이차전지 관련 국가 기술 패권 경쟁에서 주도권 확보
 - (신산업 창출) 이차전지 관련 원천기술 확보를 통해 연관된 추가 제조산업 및 융합기술 활성화 기대

VII. 미래 추진 계획

iris

□ 미래 추진 계획 및 제언

○ 차세대 이차전지 관련 전문인력 배출을 위한 대학의 학과 커리큘럼 개편

- 대학 간 이차전지 관련 과목의 연동 학점제 인정을 추진
- 차세대 이차전지 분야 기술 발전을 활성화시키기 위해 대학의 전문화된 교육 시스템과 전문 교원 확보가 필수적임. 현재는 배터리 특화 교육 시스템 구축이 대학별로 상이하며 허술한 상황이기 때문에 이차전지 특화 학과 개설을 통해 체계적인 교육과정 이수가 가능하게 적극 권장

○ 기초·원천기술 개발 활성화를 위한 산업 특화 연구인재 양성

- 현재 이차전지 관련 기업의 정부 연구개발 참여가 극히 미비하다는 점에서 근본적인 해결책인 인력확보를 위한 기업 중심의 대학연계 연구과제 활성화 및 기업의 정부 연구개발 참여를 위한 적극적인 권장 필요
- 원천기술의 지식재산권 선점을 통한 국가경쟁력 확보를 위해 대학 및 연구기관에 전문 특허 교육단을 파견하는 등 특허 교육을 활성화하고 기술 사업화를 위한 지원을 정부에 제안

○ 대규모 R&D 프로젝트 및 국제협력 교류를 통한 기반 마련

- 해외 국가의 이차전지 개발 전략을 예시 삼아 이차전지 주요 기업과 대학이 모두 참여하는 국가 차원의 대규모 R&D 투자 프로젝트를 기획하고 기술 연구 센터 설립을 통해 개방형 융합연구 활성화
- 해외 이차전지 전문 기관 및 전문 대학과의 인력 교류 및 연구 실적을 공유할 수 있는 프로그램 운영을 위해 정부에 제안
- 지역 균형 발전을 고려한 차세대 이차전지 분야의 동반 성장의 기반을 마련하여 지속가능성을 향상

별첨

iris

별첨 1

기획위원 및 추진경과

□ 민관협의체 인력양성분과 위원

성명	소속	직위	구분	비고
이종원	한양대학교	교수	學	분과장
박민식	경희대학교	부교수	學	
박규성	삼성SDI	상무	産	
엄승욱	한국전기연구원	단장	研	
임진섭	한국생산기술연구원	책임연구원	研	
김현경	강원대학교	조교수	學	

□ 주요 기획 자문 회의

- (23.06.13) 차세대 이차전지 연구개발 인력현황 및 출연연 주요연구분야
(한국에너지기술연구원 / 정규남 책임연구원)
- (23.07.20) 차세대 이차전지 연구개발 프로그램 (전고체전지 기술)
(한국전자기술연구원 / 조우석, 김경수 수석연구원)
- (23.08.11) 차세대 이차전지 연구개발 프로그램 (디지털 트윈 기술)
(DGIST / 이용민 교수)
- (23.08.29) 차세대 이차전지 연구개발 프로그램 (전지 모델링 기술)
(동국대학교 / 전동협 교수)
- (23.09.01) 차세대 이차전지 시장 및 R&D 동향
(한국과학기술연구원 / 정경운 센터장)
- (23.09.01) 차세대 이차전지 산업수요 및 인력양성 방안
(포스코홀딩스 / 남상철 센터장)
- (23.09.01) 차세대 이차전지 연구개발 프로그램 (전지 고도분석 기술)
(동국대학교 / 남경완 교수)
- (23.09.15) 민관협의체 인력양성분과 회의
(삼성SDI / 박규성 상무 외 7인)
- (23.10.08) 차세대 이차전지 연구개발 프로그램 (리튬금속전지 기술)
(한국화학연구원 / 석정돈 센터장)
- (23.10.27) 차세대 이차전지 기술 및 산업동향
(포항공과대학교 / 이상민 교수)

□ 민관협의체 인력양성분과 회의 내용

1. 개요

- **(목적)** 민관협의체를 통한 신규 인력양성 사업 기획 논의
- **(일시/장소)** '23.9.15(금) 16:00 /한양대학교 신소재공학관(B119호)
- **(참석자)** 이종원(한양대/분과장), 박규성(삼성SDI), 임진섭(한국생산기술연),
엄승욱(한국전기연), 박민식(경희대), 김현경(강원대), 정경윤(한국과학기술연)
심성은(과학기술부)
- **(주요내용)** 인력양성 사업 추진(안) 공유 및 논의사항 토론

2. 주요내용

- **(추진경과)** 차세대 이차전지 전문인력 양성 사업 추진(안) 설명·공유

※ [참고] 차세대이차전지 인력양성 사업 추진(안)

- **(목적)** 차세대이차전지 분야 주도권 확보와 민간수요 증가 대응을 위한 석·박사급 전문인력 양성 지원
- **(총사업비 / 기간)** 130억원 / '24~ '30
- **(수행방식)** 공모 (컨소시엄 간 자율경쟁 방식 공모)
- **('24년 예산)** 수요맞춤형 인력양성을 위한 사업비 1,000백만원 요구
- 2개 센터 × 1,000백만원 × 6/12개월 = 1,000백만원
※ 혁신 원천 소재 설계/개발 인력, 혁신 셀 설계/고도화 기술 인력

- **(차별성)** 우수인력 유입 확대를 위한 계약정원제, 차세대 이차전지 분야 전문 인력 양성을 위한 특화 프로그램 개발
 - * 기존 인력양성 사업의 경우, 리튬이온전지 기술 인력 양성에 집중
 - * 차세대 이차전지 분야에 특화된 별도 인력양성 프로그램 수립·운영
- **(운영방안)** 우수인력 유입 확대를 위한 계약정원제 검토
- **(교과과정)** 차세대 이차전지 전문인력 양성을 위한 특화 교과과정 논의
 - * **(산업체)** 소재, 공정/공법, 기계적물성 등 다양한 학문분야의 지식을 습득할 수 있는 교과과정 마련 요구
 - * **(연구소)** 연구소의 적극적인 참여를 유도하기 위해서는 학연생/연수생 제도를 활용한 학·연 협업 방안 마련 필요

별첨 2

차세대 이차전지 기술 설문조사 결과

- 조사기간: 2023년 4월 21일~4월 26일
- 조사형식: 한국연구재단 홈페이지 공지 및 각 연구자 이메일 공지, 설문 후 시스템 취합
- 조사분석: 설문조사 84명의 결과를 통한 기획위원회 분석

1. 귀하의 전공 분야는 무엇입니까? (ex, 재료, 화학공학, 기계, 바이오 등)

재료공학, 화학공학, 고분자화학, 전기화학 등 84명의 전문가 참여

2. 귀하께서는 이차전지 기술에 대한 연구경험이 있습니까?

전체 합계		84명	100.00%
1. 1년 미만		2명	2.38%
2. 1~3년		4명	4.76%
3. 3~5년		6명	7.14%
4. 5년 이상		65명	77.38%
5. 없음		7명	8.33%

3. 귀하께서는 종사하고(연구하고) 있는 곳이 어디입니까?

전체 합계		84명	100.00%
1. 대학만		18명	21.42%
2. 연구소		35명	41.66%
3. 기업		31명	36.90%

4. 휴대폰 등 소형 모바일, 전력저장 및 전기자동차의 핵심부품으로서 이차전지(배터리)가 어느 정도 중요하다고 생각하십니까?

전체 합계	84명	100.00%
1. 전혀 아니다	0건	0.00%
2. 조금 아니다	0건	0.00%
3. 보통이다	0건	0.00%
4. 조금 그렇다	2건	2.38%
5. 매우 그렇다	82건	97.62%

5. 리튬이온전지의 성능 한계 돌파형 기술로 리튬금속전지, 전고체전지, 소듐(나트륨)이온전지, 수계 전지 등의 차세대 이차전지 기술에 관하여 들어본 적이 있습니까?

전체 합계	84명	100.00%
1. 들어보았으며 정확하게 어떠한 기술인지 알고 있음	15명	17.86%
2. 들어보았지만 정확하게 어떠한 기술인지 알고 있지 않음	69명	82.14%
3. 전혀 들어보지 않았음	0명	0.00%
4. 모름	0명	0.00%

6. 다음 보기의 리튬이온전지의 성능을 능가하고, 소재 국산화가 가능한 차세대 이차전지 시스템 중 우리나라가 미래 이차전지 시장을 주도하기 위해 우선적으로 개발 및 확보해야 할 원천 기술은 어떤 시스템이라고 생각하십니까? (최대 3개까지)

전체 합계	222건	100.00%
1. 리튬금속 음극 전지	58건	26.13%
2. 전고체 전지	72건	32.43%
3. 수계 아연전지	14건	6.31%
4. 나트륨이온전지	46건	20.72%
5. 마그네슘이온전지	3건	1.35%
6. 듀얼이온 이차전지	6건	2.70%
7. 금속공기 전지	11건	4.95%
8. 레독스 흐름전지	8건	3.60%
9. 기타주관식 내용 참조	4건	1.80%

* 주관식 내용

이차전지 총방전 회로 설계 기술, 리튬황 전지(2), 연료전지

7. 이차전지 세계 1위의 자리를 지키고 미래 이차전지산업을 선도하기 위해서는 차세대 이차전지 분야 원천기술 개발이 필요하다고 보십니까?

전체 합계		84명	100.00%
1. 전혀 아니다		0명	0.00%
2. 조금 아니다		0명	0.00%
3. 보통이다		0명	0.00%
4. 조금 그렇다		4명	4.76%
5. 매우 그렇다		80명	95.24%

8. 현재 리튬이온전지를 위한 리튬, 니켈, 코발트 등 핵심원료소재 부문의 해외 의존도는 어느 정도라고 생각하십니까?

전체 합계		84명	100.00%
1. 전혀 높지 않다		0명	0.00%
2. 높지 않다		1명	1.19%
3. 보통이다		0명	0.00%
4. 높다		17명	20.24%
5. 매우 높다		66명	78.57%

9. 차세대 이차전지가 가장 시급하게 필요한 분야를 선택해 주십시오. (최대 2개까지)

전체 합계		168건	100.00%
1. 휴대용 IT 기기		13건	7.74%
2. 전기자동차		70건	41.67%
3. 대형 에너지 저장 시스템		59건	35.12%
4. 가정용 축전 시스템		4건	2.38%
5. 로봇용 전지		10건	5.95%
6. 헬스케어용 첨단기기		6건	3.57%

10. 블랙아웃, 전력 수급 불균형을 해결하기 위하여 대형 이차전지가 사용되는 대형 에너지 저장 시스템(ESS)의 보급을 확대하기 위해서는 차세대 이차전지 개발을 통해 어떤 성능을 우선적으로 향상해야 한다고 생각하십니까? (최대 2개까지)

전체 합계		168건	100.00%
1. 짧은 사용 수명		28건	16.67%
2. 비싼 시스템 가격		45건	26.79%
3. 큰 무게 및 부피		18건	10.71%
4. 화재 위험성		65건	38.69%
5. 기타		0건	0.00%

11. 현재 리튬이온전지가 사용되고 있는 전기자동차용 이차전지 시장을 주도하기 위해서는 차세대 이차전지 개발을 통해 어떤 성능을 우선적으로 향상해야 한다고 생각하십니까?

전체 합계		168건	100.00%
1. 짧은 사용 수명		32건	19.05%
2. 비싼 시스템 가격		50건	29.76%
3. 큰 무게 및 부피		11건	6.55%
4. 화재 위험성		66건	39.29%
5. 기타		2건	1.19%

* 주관식 내용 높은 가격, 배터리의 실전적인 교체 및 충전 시스템

12. 현재 휴대폰, 초소형 IT기기, 드론 등의 소형 전원으로 주로 사용되기 있는 이차전지(배터리)의 성능을 향상시키기 위해서는 차세대 이차전지 개발을 통해 어떤 성능을 우선적으로 향상해야 한다고 생각하십니까?

전체 합계		84명	100.00%
1. 한번 충전 후 사용시간 증대		38명	45.24%
2. 충전시간 감소		12명	14.29%
3. 폭발위험성 감소		25명	29.76%
4. 가격 감소		8명	9.52%
5. 기타		1명	1.19%

* 주관식 내용 경량화

13. 우리 나라의 이차전지 산업이 중국, 일본, 미국 등의 시장 확대 및 규제에 적절히 대응할 수 있으며, 2030년 이후의 미래시장을 준비하기 위한 차세대 이차전지 원천 기술 확보 측면에서 해결해야 할 과제는 무엇이라고 생각하십니까? (최대 2개까지)

* 기타인 경우 우선적으로 해결해야 할 원천기술을 제시 바랍니다.

전체 합계		168	100.00%
1. 리튬이온전지의 성능 극대화 기술		19명	11.31%
2. 리튬 등을 대체한 새로운 이차전지 기술		43명	25.60%
3. 화재에 안전한 이차전지 개발 기술		51명	30.36%
4. 오래 사용할 수 있는 이차전지 기술		11명	6.55%
5. 이차전지 소재 및 셀 생산량 확대		7명	4.17%
6. 리튬이온전지 재활용 기술		32명	19.05%
7. 기타		1명	0.60%
8. 미응답		4명	2.38%

* 주관식 내용

이차전지의 충방전 회로 설계 기술

14. 귀하께서는 우리나라 이차전지 산업계 및 연구계에 대한 인력 수급이 중국, 일본, 미국, 유럽등에 비해 원활히 이루어지고 있다고 생각하십니까?

전체 합계		84명	100.00%
1. 전혀 아니다		6명	7.14%
2. 조금 아니다		20명	23.81%
3. 보통이다		32명	38.10%
4. 조금 그렇다		23명	27.38%
5. 매우 그렇다		3명	3.57%

15. 만약 우리나라 대학이나, 연구소에 개발 중인 차세대 이차전지 성과 교류회나 포럼을 일반인에게 공개하여 개최한다면 참여하실 의향이 있으십니까?

전체 합계		84명	100.00%
1. 전혀 아니다		0명	0.00%
2. 조금 아니다		3명	3.57%
3. 보통이다		13명	15.48%
4. 조금 그렇다		24명	28.57%
5. 매우 그렇다		44명	52.38%

16. 현재 우리나라의 이차전지 연구 기관간 역량 결집 및 인프라 활용, 산업체와의 연구개발 소통활성화를 위한 공동 연구 네트워크 체계가 필요하다고 생각하십니까?

전체 합계		84명	100.00%
1. 전혀 아니다		0명	0.00%
2. 조금 아니다		0명	0.00%
3. 보통이다		6명	7.14%
4. 조금 그렇다		22명	26.19%
5. 매우 그렇다		56명	66.67%

17. 귀하께서는 차세대 이차전지 초격차 기술의 선제적 확보가 시급하고 국가 경제 발전에 이바지 할 것으로 생각하십니까?

전체 합계		84명	100.00%
1. 전혀 아니다		0명	0.00%
2. 조금 아니다		0명	0.00%
3. 보통이다		0명	0.00%
4. 조금 그렇다		12명	14.29%
5. 매우 그렇다		72명	85.71%

18. 차세대 이차전지 초격차 기술 확보를 위한 원천 기술 개발연구는 몇 년 정도가 적당하다고 생각하십니까?

전체 합계		84명	100.00%
1. 3년		0명	0.00%
2. 5년		21명	25.00%
3. 7년		18명	21.43%
4. 10년		37명	44.05%
5. 그 이상		8명	9.52%

iris

별첨 3

계약정원제 개요 및 계약학과와의 비교

□ 계약정원제 개요

- (개념) 기존 첨단분야 학과에 별도 정원*을 한시적으로 증원하여 기업 맞춤 교육과정 운영
 - * 기존 학과 정원의 20% 이내, 정원외로 운영되어 수도권정비법상 정원 규제 미적용
- (장점) 별도 학과 설치 없이 신속·효율적인 인력양성이 가능하며 소수의 정원으로도 운영이 가능하여 기업 수요에 유연한 대응 가능

□ 계약정원제와 계약학과 비교

구분	계약학과	계약정원제
운영 모형	■ 별도 학과 설치 일반학과 (정원 내) + 계약학과 (정원 외)	■ 기존 일반학과 내 추가 운영 일반학과 (정원 내) 계약 정원 (학과 미설치)
정원	■ 입학 정원의 50% 이내	■ <u>기존 일반학과 정원의 20% 이내</u>
학과개설 준비	■ (산업체→대학) 위탁교육 의뢰 및 협의 ■ (산업체, 대학) 교육과정 개발 * 모체학과 교육과정을 바탕으로 산업체 요구 반영 ■ (대학→교육부) 설치 신고 (협약체결 2주전) ■ (산업체, 대학) 협약 체결	■ (산업체→대학) 위탁교육 의뢰 및 협의 ■ (산업체, 대학) <u>교육과정 협의</u> * <u>기존 일반학과 교육과정에 산업체 요구 반영한 교육과정 추가개발</u> ■ (대학→교육부) 설치 신고 (협약체결 2주전) ■ (산업체, 대학) 협약 체결
학생 선발	■ 고등교육법 시행령 제34조에 따라 일반전형 또는 특별전형으로 선발 * 대인기본사항(대교협) 준수	■ 고등교육법 시행령 제34조에 따라 일반전형 또는 특별전형으로 선발 * 대인기본사항(대교협)을 준수하되, <u>모집전형 별도 운영(산업체 채용시)</u>
학과 운영	■ (대학) 교육과정 운영 ■ (산업체) 필요경비의 50% 이상 부담	■ (대학) 교육과정 운영 * <u>기업 요구 별도 교육과정 이수 기능</u> ■ (산업체) 필요경비의 50% 이상 부담
학과 폐지	■ (대학) 폐지 신고 (계약기간 종료 2주전) ■ (산업체, 대학) 계약종료	■ (대학) 폐지 신고 (계약기간 종료 2주전) ■ (산업체, 대학) 계약종료
취득학위	■ 계약학과 내 세부전공 학위 취득	■ <u>일반학과 내 세부전공</u> 학위 취득
취업	■ 졸업 후, 채용협약 기업 취업	■ 졸업 후, 채용협약 기업 취업

1 수립 배경

- 최근 IT융복합·전동화 추세로 일상(가전, EV) 뿐만 아니라 산업·수송, 특수목적(우주, 군사) 등 쏘분야에서 배터리가 활용되는 시대 가속화
 - ※ 전기차 보급 확대 등으로 이차전지 시장은 '30년 3,517억 달러로 '20년 대비 8배 이상 폭발적 성장 전망(SNE 리서치, '20)
- 전지 분야도 최근 심화되는 기술패권 경쟁 및 자국산업 보호주의 등 경제 블록화 물결에 휩쓸리는 상황으로서 전략적 대응 필요
- 우리나라도 이차전지, 수소, 차세대 원자력의 12대 국가전략기술 선정('22.10)을 계기로, 관련 차세대 전지 기술의 선제적 확보 추진
- 탄소중립 시대 전기·전동화 추세에 대응하여 차세대 전지에 대한 전략적 R&D를 통해 기술패권경쟁 대응 및 국가전략기술 육성 필요
 - ※ 동 R&D 전략은 국가전략기술 확보 및 신성장 4.0 추진을 위한 원천기술 확보, 핵심 인력양성 등을 위한 마중물 역할을 수행할 예정

2 현황 및 시사점

- (R&D) 최근 차세대 전지 중요성 증대로 R&D투자가 확대되고 있으나, 제조·활용 등 응용·개발과 현세대 분야 연구에 집중
 - 신소재·신개념 전지 등 기초·원천과 차세대 분야 연구는 부족
 - * 정부 R&D 비율: 이차전지(기초원천 24% / 응용개발 68%), 수소연료전지(기초원천 18% / 응용개발 73%), 동위원소전지(기초원천 23% / 응용개발 77%)
 - * 이차전지 (현세대 68.8% / 차세대 31.2%), 수소연료전지 (현세대 91.5% / 차세대 8.5%)
- (산업·기술현황) 이차전지 현세대 기술은 우위*에 있으나, 핵심 소재의 중국 의존도가 심화되고 있으며, 차세대 소재 기술개발도 상대적 열세
 - * 이차전지 산업 종합경쟁력(산업연구원 '22): 1위 中(95.5점), 2위 韓(86.3점), 3위 日(84.6점) 등
- 수소연료전지는 중대형(모빌리티, ESS 등) 시장 중심으로 성장 전망
 - ※ 동위원소전지는 시장규모는 작으나 우주·국방 등 특수목적에서 활용 증가 예상

3 추진 전략 및 향후 계획

◆ 비전 및 목표 ◆

- (비전) 2030 차세대전지 1등 국가 실현
- (목표) 디지털·그린 혁명을 뒷받침하는 차세대전지 핵심기술 27개 확보
 - ※ ① 혁신적 효율·성능 향상, ② 안전성·내구성 향상, ③ 원료·소재 자립화 추진

□ (미래기술 선정) 이차·수소연료·동위원소 전지 분야 27개 핵심기술 도출

- (이차전지) 현재의 에너지 밀도 한계 돌파, 화재방지·안전성 향상, 非희귀성/무한대 원료 활용을 위한 기술 개발
 - ※ 리튬메탈 음극 기반 혁신전지, 리튬황 전지, 非리튬이온계 소재 기반 고안전성 전고체 및 수계 이차전지, 나트륨이온전지(고도화) 및 다가가이온전지 등 14개
- (수소연료전지) 시스템 효율 및 경제성 향상, 장기 내구성·안전성 확보, 핵심소재 국산화 및 신소재 발굴을 위한 기술개발
 - ※ 고성능 연료전지용 전극/전해질 기술(효율 70%(LHV)), 신소재 개발을 통한 장기 내구성 확보(10만시간, 100만km), 고분자전해질 등 핵심소재 국산화 등 7개
- (동위원소전지) 고출력·고효율 자체 기술 개발, 극한환경 구동성·안전성, 국내 생산기반 및 국제공급망 확보
 - ※ 고효율/고출력 열-전력변환 시스템(30W, 10년, 효율 25%), 베타전지(20mW, 5년, 효율 5%), 동위원소 열원 및 베타방출 동위원소 생산 기술 등 6개

□ (R&D) ^{27개} 미래 유망 원천기술 확보 및 기술혁신 기반 R&D 추진

- 차세대 전지 기술의 완성도는 낮으나 향후 파급효과가 클 것으로 예상되는 미래유망기술 확보를 위한 R&D 기획·추진
- 조기 상용화 가능성이 높은 민간 수요 기반 핵심 기술에 대해 기업 참여형 R&D 기획·추진
- 초격차 기술 성능을 확보하기 위해 미래 소재를 발굴하고 원천기술 개발을 수행하는 미래기술연구실(이차전지, 수소) 지원 강화

□ **(인력양성)** 핵심 연구인력 및 기술·산업 선도형 인재 양성

- 임무지향·한계돌파형 국책 R&D 사업, 대학 연구거점 구축 사업 등을 통해 석·박사급 고급 인력 양성
 - ※ 이차전지 인력 부족률(13.3%)은 타 신산업(평균 2.5%) 대비 5배 이상 높은 편('20, 한국전지산업협회)
- 기술 뿐만 아니라 관련 정책·산업·국제동향 등 폭넓은 식견을 보유하고 차세대 기술·산업을 선도하는 전략가 육성 추진
 - ※ 석·박사 과정생을 대상으로 관련 정책·산업·국제협력 등의 지식·경험을 습득할 수 있는 비학위 과정 운영(현재 수소분야 시범사업 운영 중, 3년간 60명 양성 목표)

□ **(인프라 및 국제협력)** 주요국 기술동맹 강화 및 창업 등 인프라 지원

- 기술 선진국과의 협력사업 발굴* 및 네트워크 구축('24년~), 국제에너지기구(IEA) 등 기 구축된 다자 협력 체계 강화
 - * 예) 한국(출연연, 대학 등)과 미국(Argonne 연구소 등)간 차세대전지 공동연구 등
- 차세대 전지 분야 기술창업 및 스케일업 지원 프로그램, 기초분석 인프라 구축* 사업 추진
 - * 예) 대학·출연연에 관련 특화 인프라(A대: 전해질, B출연연: 양극소재 등)를 구축하고 연구협력센터(RCC)를 통해 상호 연계 및 공동 활용 검토

□ **(민관 협력)** 차세대 전지 연구 협력·개방형 생태계 구축

- 산·학·연 연구자간 R&D 협력, 성과활용 연계 및 국제협력 지원 등을 위한 연구협력센터를 구축하여 차세대 기술 혁신 생태계 조성
 - 산·학·연·관 성과 공유회 개최 및 수요기업 협의체 발족('23.下~)

① 이차전지	혁신적 효율·성능 향상	① 하이니켈(90% 이상) 양극재, 실리콘 음극재(5% 이상) 등 고성능 소재 개발 ② 셀-모듈-팩 연계 단순화, 화재억제 등 패키징 소재 개발 ③ 고성능 하이니켈 NCM 양극 소재 적용 전고체전지 (800Wh/L) ④ 리튬메탈 음극 기반 혁신전지 (1,000Wh/L) ⑤ 황 전극을 활용한 리튬황 전지 기술 ⑥ 건식 극판 공정 기술 기반 고성능 리튬이온전지 기술 (800Wh/L)
	안전성·내구성 향상	⑦ 리튬이온계 소재 기반 고안전성 전고체전지 ⑧ 친환경공법을 적용한 인산철(LFP)계 전지 ⑨ 고안전성 전고체전지 생산 기술 ⑩ 非리튬이온계 소재 기반 고안전성 전고체 및 수계 이차전지 ⑪ 고안전성/장수명(수명 20년) 레독스흐름전지
	원료·소재 자립화	⑫ 나트륨이온전지(고도화) 및 다가이온전지 (600Wh/L) ⑬ 해수전지 (450Wh/L) ⑭ 사용 후 전지의 재활용
② 수소연료전지	혁신적 효율·성능 향상	⑮ 고성능 연료전지용 전극/전해질 기술 (효율 70%(LHV)) ⑯ 신개념 스택 설계 및 모듈화 기반 연료전지 셀 제조·시스템 부품 요소기술 (200kW급, 효율 65%(LHV)) ⑰ 연료전지 가격 저감을 통한 스택 공용화/불량률 개선 기술
	안전성·내구성 향상	⑱ 신소재 개발을 통한 장기내구성 확보 (10만시간, 100만km) ⑲ 장시간 운전에도 안전성을 확보할 수 있는 소재 및 부품 기술 고도화
	원료·소재 자립화	⑳ 고분자전해질 등 핵심 소재 국산화 ㉑ 시스템최적화, 소재 예측 기반 고급화 기술
③ 동위원소전지	혁신적 효율·성능 향상	㉒ 고효율/고출력 열-전력변환 시스템 (30W, 10년, 효율 25%) ㉓ 고효율/고출력 베타전지 (20mW, 5년, 효율 5%)
	안전성·내구성 향상	㉔ 극한환경(극저온, 침수, 고압, 부식성) 조건하 고성능 구동 ㉕ 우주 및 극한환경 내구성 확보, 일상환경 안전성 확보
	원료·소재 자립화	㉖ 동위원소 열원 및 베타방출 동위원소 생산 기술 ㉗ 동위원소 열원 공급망 확보, 베타선 방출핵종 농축기술

별첨 5 차세대 이차전지 기술개요 및 R&D 전략

1 나트륨이온전지 기술

1.1 기술의 정의 및 범위

- 나트륨이온전지는 기존 리튬이온전지 시스템의 리튬을 가격경쟁력이 우수한 나트륨으로 대체한 이차전지를 말하며, 기존의 리튬이온전지에서 사용된 시스템을 유사하게 충/방전 과정에서 층상구조의 전극소재에 이온이 탈/삽입되는 원리로 작동함
- 나트륨 이차전지를 개발함에 있어 적절한 양극 및 음극 소재의 설계 및 합성기술 개발이 필수적으로 요구되며 이와 함께, 신규 전극 소재와의 부반응이 적고 동시에 우수한 전기화학 충/방전 효율을 달성할 수 있는 나트륨 이차전지 시스템에 적합한 전해질의 개발도 필요함

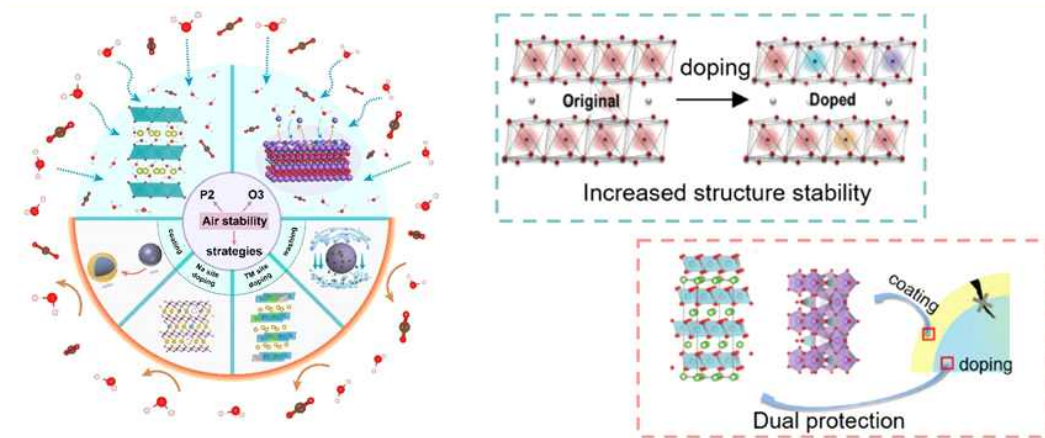
[표] 나트륨이온전지 핵심 개발 기술

기술 분류	개발 요소 기술	적용 분야
전해질	- 고전압/고온/저온 구동 시 안정성이 확보된 전해질 개발 - 전극/분리막과의 상용성이 우수한 전해질 설계	- 대용량 에너지 저장 시스템 분야
양극소재 및 전극	- 저가 전이금속 적용 양극 소재 개발 - 고전압에서 안정성을 유지할 수 있는 고용량 양극 소재 - 합성 과정 최적화를 통한 고용량 양극 소재 및 전극기술	
음극소재 및 전극	- 나트륨이온을 저장할 수 있는 저전압 탄소계 음극 소재 - 음극 표면 SEI층 제어를 통한 초기효율 개선 기술 - 차세대 고용량 음극 소재 및 전극기술	
분리막	- 전해질 젖음성이 우수한 분리막 소재 개발 - 박막 유연 분리막 소재 개발	
설계/제조 기술	- 고에너지밀도 셀 제작 기술	

1.2 R&D 전략

□ 고용량/고안정성/고전압 양극 소재

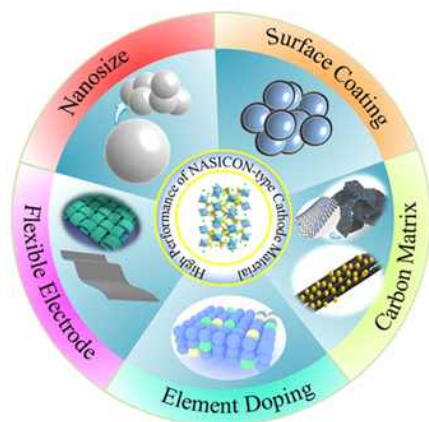
- 층상계 나트륨이온 양극소재



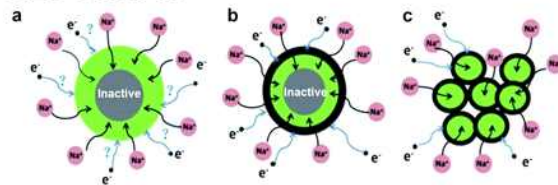
[그림] 층상계 나트륨이온 양극 소재 R&D 주요 전략

- 층상계 양극 소재 내 전이금속 이온 치환을 통해 층간 거리를 증가시켜 나트륨 이온의 이동을 쉽게하고, 전기화학에 참여하지 않는 전이 금속층을 생성하여 구조 안정화
- 층상계 활물질 표면 코팅 및 도핑을 통해 전해질과의 부반응을 제어하고, 구조적 안정성을 향상시켜 수명 특성을 개선
- 희생염 (Sacrificial salt) 적용을 통해 활물질 내 나트륨을 증가시켜 가역용량을 향상 시키고, 구조적 안정성 향상
- 고가의 전이금속 (Co- 및 Ni-free) 사용이 최소화된 Mn 조성 비중이 확대된 층상계 양극 소재 합성
- 단결정 층상계 양극소재 합성을 통해 용량 및 수명 특성을 향상. 결정립계 전해질 침투를 제한하여 전이금속 용해, 산소 손실 등 표면 반응 억제
- 미세구조 제어를 통해 구형 2차 입자 내 기공부피를 최소화하여 농도 균일도와 밀도가 높은 양극소재 합성

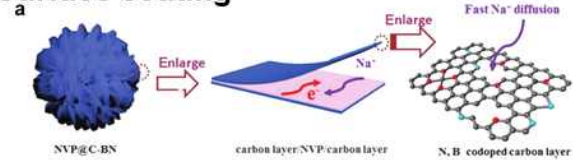
○ 인산염계 나트륨이온 양극소재



Size control



Surface coating



[그림] 인산염계 나트륨이온 양극 소재 R&D 주요 전략

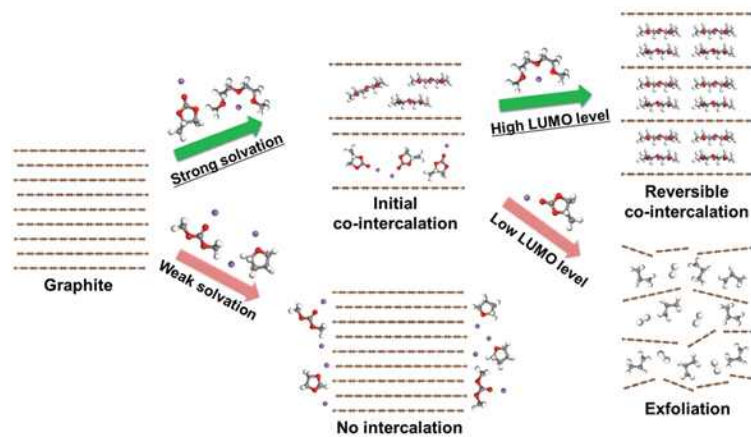
- 나노 사이즈 활물질 합성과 활물질 표면 전도성 물질 코팅을 통해, 활물질 내 나트륨 이온 확산을 용이하게 하고 부족한 전도성을 보완하여 전기화학 특성을 향상
- 활물질 구조 내 금속 도핑을 통해 전기전도성 및 나트륨이온의 확산속도 향상
- 활물질 표면 이중 원소가 도핑된 카본 코팅을 통해 전도성을 향상 시키거나, 금속 산화물 코팅을 통해 구조적 안정성 향상

○ 시안화물계 나트륨이온 양극소재

- 시안화물계 양극 소재 합성 반응 속도를 늦춰 공극형성을 억제하고, 나트륨이온 농도가 높은 용액 적용을 통해 나트륨 비율이 증가된 시안화물계 양극소재 합성
- 가격 경쟁력 확보를 위해 Fe, Mn 기반의 프루시안 화이트를 합성하고, 프루시안 블루를 혼합 적용

□ 저전위/고용량/장수명 나트륨이온 음극 소재

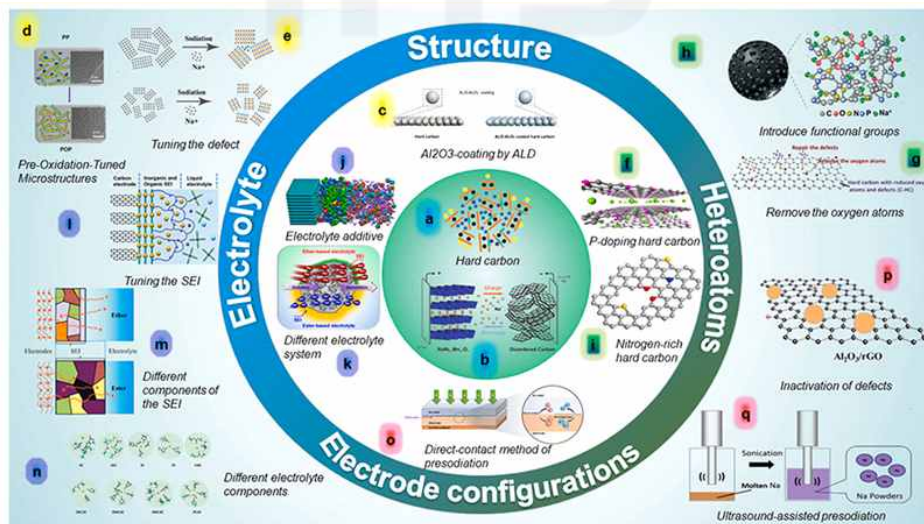
○ 흑연계 나트륨이온 음극 소재



[그림] 흑연계 나트륨이온 음극 소재 R&D 주요 전략

- 나트륨 이온이 흑연에 가역적으로 삽입 될 수 있는 용매+화합물을 적용하여 Co-intercalation을 유도
- 흑연 구조에 이종원소 도핑을 통해 Defect site에 나트륨 이온 흡착을 용이하게 만들고, 전해액과의 interaction를 향상시켜 용량 및 고율 특성을 개선

○ 하드카본계 나트륨이온 음극 소재



[그림] 하드카본계 나트륨이온 음극 소재 R&D 주요 전략

- 합성 시 열처리 공정 제어를 통해 하드카본 내 미세기공 크기 및 결정성을 제어. 열처리 공정 중 흑연화를 억제하는 가교를 형성하여 미세기공 형성을 유도. 탄소층 사이 큰 기공과 공간을 유도하여 높은 가역용량을 발현
- 나트륨이온전지의 낮은 에너지밀도를 개선하기 위해 양극소재의 구동전위

증가와 함께 저전위를 가지는 탄소계 음극소재를 개발

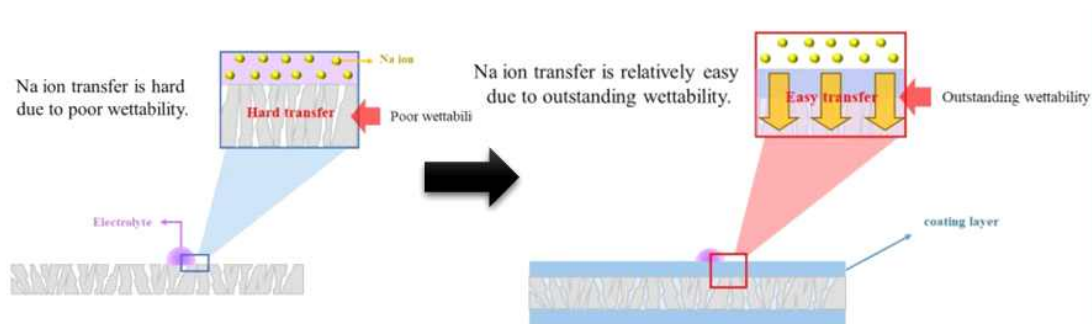
- 전해질 내 첨가제(ex. 플루오르에틸렌카보네이트 (Fluoroethylenecarbonate, FEC)) 적용을 통해, 나트륨 삽입의 가역성을 향상시키고, 안정적인 SEI 층을 형성
- 전해질 분해를 억제하거나, 안정적인 SEI 층을 형성할 수 있는 전기화학 안정성이 높은 하드카본용 바인더 개발
- 사전 나트륨화 (Presodiation)를 통한 풀 셀의 초기 쿨롱 효율 개선

□ 고에너지밀도 · 고안정 나트륨이온 전지

○ 전해질

- 이온전도성, 전기화학/열적 안정성을 확보하기 위한 전해질 조성의 최적화. 전해액 혼용을 통해 전기화학 안정성과 나트륨 용해성 확보
- Co-intercalation 이 가능하고 안정적인 SEI 층이 형성될 수 있는 전해질 시스템 구축
- 전해질 내 나트륨 염 이외 가소제로 작용하는 분말 혼합을 통해 결정화를 억제하고 상온에서 이온전도도를 향상
- 전해질 내 나트륨 염 이외 가소제로 작용하는 분말 혼합을 통해 결정화를 억제하고 상온에서 이온전도도를 향상

○ 분리막



[그림] 나트륨이온전지 분리막 소재 R&D 주요 전략

- 고분자 분리막(PE/PP)에 마이크로 기공이 존재하는 세라믹 입자 코팅을 통해 전해질에 대한 젖음성, 이온전도도, 내열성을 향상
- 나노입자-고분자를 분리막 (PE/PP) 표면 코팅을 하여 미세 다공성 복합 분리막을 제조

2.1 기술의 정의 및 범위

□ 기술 정의

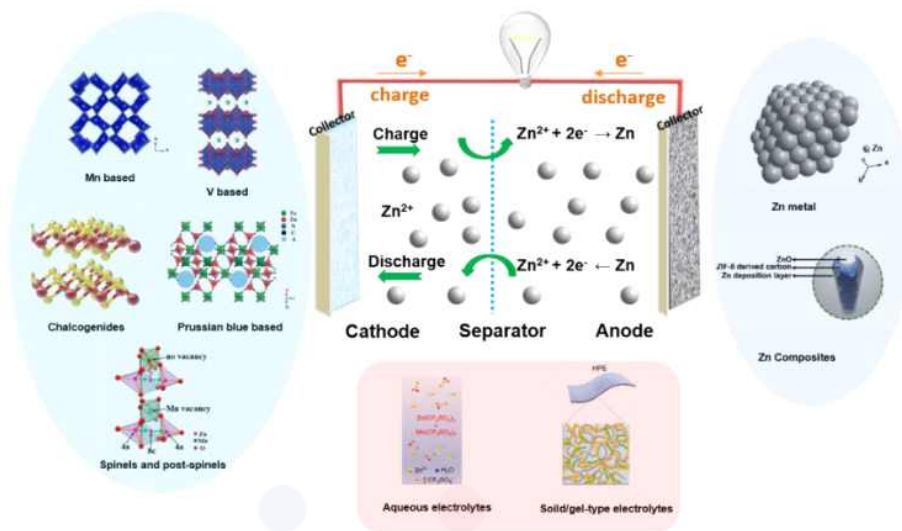
- 물을 기반으로 한 전해액 환경에서, Zn 이온 전하전달 매개체가 양극과 음극 사이를 이동하면서 충방전이 이루어지는 전지로서, 화재 및 폭발 위험이 없어 안전하며, 저가화에 유리함

[표] 수계아연전지 핵심 개발 기술 및 적용분야

기술 분류	개발 요소 기술	적용 분야
양극	- Phase 및 형상 제어 기술 - 양극 반응성 향상 기술 - 양극소재 전해액 내 용해 억제 기술	1. 중대형 ESS 분야 2. 특수목적형 분야 (의료, 군수, 극지, 우주 등)
전해질	- 수소 발생 억제 첨가제 기술 - 전위창 확대 및 부반응 억제 기술	
음극	- 표면처리 기술 (덴드라이트 억제 기술), 보호막 기술 - corrosion 억제 기술	
셀	- 수소 발생 억제 및 셀 내부 압력 제어 기술 - 고에너지밀도 및 저가화 기술 - 장수명 구현 기술	

- 현재 상용화된 리튬이온 전지 (LIB)와 같은 유기계 이차전지 시스템은 고용량, 고에너지 밀도와 같은 장점을 제외한 나머지 측면에서 여러 가지 한계점들을 갖음. 리튬이온전지는 가연성 소재의 화재 문제가 대두되고 있으며 이는 전지의 열관리의 어려움이 있고 화재시 전지 소재의 독성과 폭발력이 문제가 됨. 전지 셀 구조 개선을 통해 열폭주 현상을 억제하려고 하나 현재 유기계 전해액을 사용하는 배터리 시스템에서는 셀 안전성을 개선하기 위해 기술적 한계점이 존재. 또한 유기계 전해액을 사용하는 배터리 공정들은 전지 제조 시 수분 제어 공정에 많은 비용이 소요되고 제조 공정시간 또한 증가하는 단점이 존재함
- 이런 유기계 전해질 기반의 배터리 시스템과는 다르게 수계 전해질로 구성된 배터리는 소재의 가격과 공정비용을 낮출 수 있으며 수계 전해질을 활용하므로 폭발과 열 폭주 현상을 배제할 수 있어 전해질 허용 전압이 낮아 셀 에너지밀도는 낮더라도 중대형 이차전지로 활용할 가치가 큼
- 수계 이차 전지 중 아연을 활용한 전지 연구는 1800년대부터 시작되어 현

재까지 이어지고 있으며, 일차전지 중 대표적으로 알칼라인 건전지 및 소형 보청기에 활용되는 아연-공기 전지 등은 성공적으로 상용화되고 현재까지도 활용되고 있는 아연 기반 전지임. 최근에는 전지 수명을 향상시킬 수 있는 이차전지 시스템에 대한 연구가 지속되고 있으며, 다양한 소재의 원천 기술 개발을 통한 기술 선점이 필요함

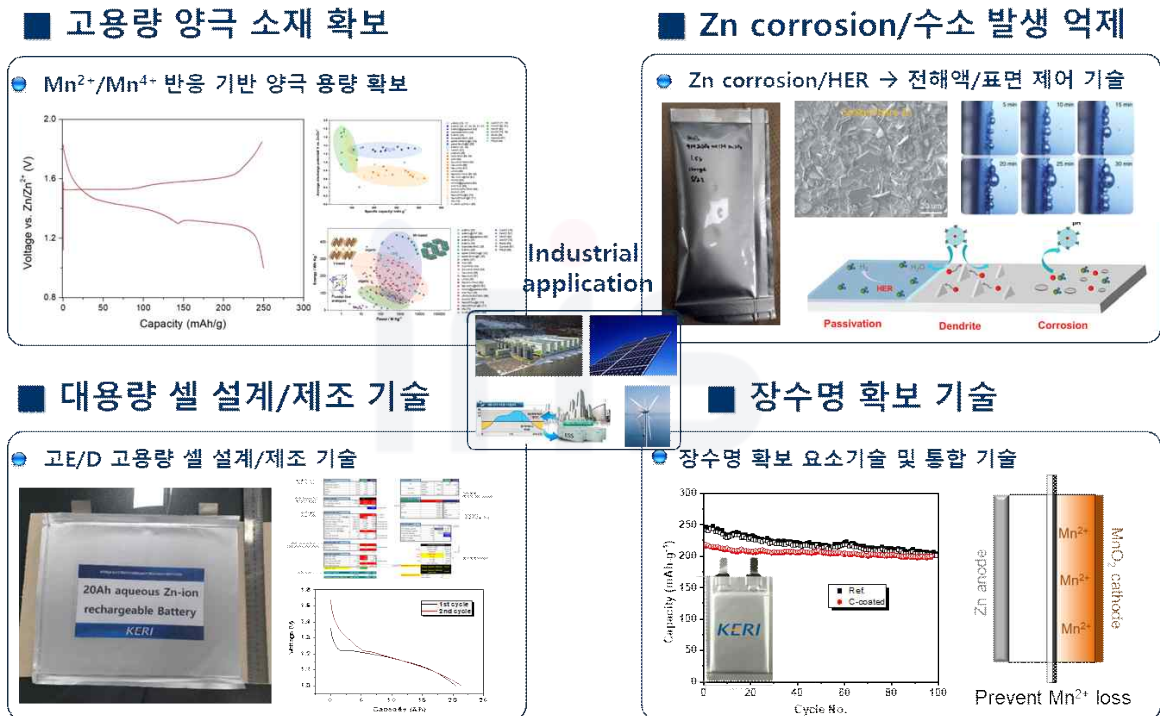


[그림] 수계아연 전지 구성 모식도 (EnergyChem 1 (2019) 100022)

- 음극으로는 아연 금속을 활용하고 양극으로는 MnO_2 , V_2O_5 , O_2 , I^-/I^- 등 다양한 양극 소재와 레독스 커플을 이룰 수 있는 전지로, 수계 전해질 기반 2V (vs. Zn/Zn^{2+}) 이하의 작동 전압을 갖는 수많은 양극 소재와 전지 설계가 가능
- 아연 이온(Zn^{2+} : 74 pm)은 리튬 이온(Li^+ : 69 pm)과 이온 반경이 비슷하여 인터칼레이션 기반 이차전지 시스템에 활용하기 적합하며, 아연 금속은 다전자교환이 가능하고, 높은 밀도(7.13 g/cm^3)로 인해, 리튬 금속 대비 3배에 달하는 높은 체적당 용량(5851 mAh/cm^3) 구현 가능. 아연의 산화·환원 전위(-0.76 V vs. SHE)가 낮으나, 높은 수소 발생 과전압으로 인해 수계 전해질 활용이 가능
- 물을 전해질 용매로 사용하는 수계 전해질의 이온전도특성($0.1 \sim 6 \text{ S/cm}$)은 유기용매($10^{-3} \sim 10^{-2} \text{ S/cm}$) 대비 매우 높아 고율 및 고출력 특성이 우수한 이차전지 구현이 가능하고, 전지 장기간 사이클 이후 단락(short circuit) 문제로 인한 발화 및 폭발 등의 위험이 없어 안전한 전지 시스템 구현이 가능

2.2 R&D 전략

- 본 수계아연 전지 기획에서는 앞서 기술한 세부 중점 기술 개발에 대해 양극, 음극, 전해질 및 셀 기술 관점에서 다음과 같은 차별화 전략을 수립
 - 양극재 다전자 반응 유도 및 양극/전해액 계면 설계
 - 유무기 복합 박막형 Zn ion conductor 설계 및 음극간 계면 접착력 강화
 - 저농도 고전압 안정형 및 Zn 음극 표면 안정화 기능성 전해액 설계
 - 고용량 소재 적용 low tortuosity 후막 설계/제조 기술 및 장수명 요소 기술 통합화



[그림] 수계아연전지 R&D 차별화 전략

□ 양극재 다전자 반응 유도 및 양극/전해액 계면 설계

- 망간 산화물의 경우 충방전 중 Mn^{3+}/Mn^{4+} 반응 기구에 기반해 이론용량 약 308 mAh/g으로 산출되나, Mn^{2+}/Mn^{4+} 반응을 통한 2전자 반응시 이론용량이 616 mAh/g으로 상승 가능. 이러한 예와 같이 다전자 반응을 유도할 수 있는 다양한 양극 반응 메커니즘 연구를 통하여, 속도론적 측면에서도 높은 전압과 충분한 양극 용량을 구현할 수 있는 다전자 반응 양극 소재 설계 등이 이루어져야 함

- 충방전 중 양극 소재 이온이 전해액으로 용출 및 확산되어 최종적으로 음극으로 도달하는 등 활물질이 소실 및 열화되는 것을 최소화하기 위한 양극 극판/전해질 계면 설계가 필수적
- 양극의 전해액 함침성 개선을 위해 친수성 고분자 바인더 도입이나 친수성 고분자 코팅을 통해 전극과 전해액 사이 젖음성 개선을 통한 용량 유지율과 율특성 개선이 필수적

□ 유무기 복합 박막형 Zn ion conductor 설계 및 음극간 계면 접착력 강화

- 약산성 전해질 내에서 열역학적 자발적 반응인 Zn 음극 부식과 동시에 수소 발생 반응을 억제하기 위한 Zn ion conductor 기술 개발이 필요. Zn 음극과 전해액간의 직접 접촉을 막으면서도 Zn 이온 경로 역할을 동시에 수행
- 장수명을 확보하기 위해서는 Zn 음극간 계면 접착력이 우수하고, 얇으면서도 치밀한 피막 확보가 중요함
- 아연 금속의 불균일한 덴드라이트 성장 현상을 완화할 수 있는 아연 친화성 핵 형성 인자 도입과 같은 기술 개발이 필수

□ 저농도 고전압 안정형 및 Zn 음극 표면 안정화 기능성 전해액 설계

- 초고농도 전해액은 여러 가지 이슈(고점도, 고가, 음이온 편향성 등)로 1 ~ 2 M 범위의 염농도 기반 전해액 설계가 필요하며, 고전압 (~1.9 V vs. Zn/Zn²⁺) 에서 산소 발생이 적고, 양극과의 계면도 안정적으로 형성이 가능한 전해질 설계가 중요
- Zn 음극과 약산성의 전해액과 접촉시 수소 발생이 필연적이므로, 이를 억제할 수 있는 Zn 음극 표면처리 기술 등이 함께 접목된 전해액 설계가 필수적임
- LIB 이온 배터리의 SEI형성과 같은 메커니즘 기반의 음극 피막 첨가제 도입을 통해 초기 충방전 구동 후 안정적인 피막 형성을 하여 높은 쿨롱 효율을 가질 수 있는 전해액 첨가제 설계가 필수적

□ 고용량 소재 적용 low tortuosity 후막 설계/제조 기술 및 장수명 요소 기술 통합화

- 고에너지밀도 ZIB를 위한 고용량 양극 소재 개발과 함께 이를 후막으로 구

현할 수 있는 극판 제조 기술이 필수. 또한 Zn 이온이 후막 내 안정적으로 이동이 가능하도록 낮은 tortuosity, 높은 이온/전기전도도 확보가 중요함

- 다양한 셀 설계 인자(고용량 양극 소재, 후막, lean electrolyte, 낮은 NP ratio)들에 대한 성능 영향성을 DB화 및 상세분석을 통해, 개발 요소 기술들을 통합하여 고에너지밀도 및 고용량 수계아연전지 셀 구현시에도 장수명 특성 구현이 가능한 전지 시스템 기술 개발이 필요

3 리튬금속음극 전지 기술

3.1 기술의 정의 및 범위

- 리튬 금속 전지는 음극에 리튬 금속을 사용한 형태의 리튬이온 전지로 충·방전 시 양극 및 음극 활물질 사이의 화학에너지 차이에 따라 전지 내부의 리튬이온을 이동시키며 전기에너지를 발생시키거나 저장하는 전지임

[표] 리튬금속전지 핵심 개발 기술 및 적용분야

기술 분류	개발 요소 기술	적용 분야
리튬금속음극	- 이미징 기술을 이용한 리튬 증착 반응메커니즘 규명 - 리튬 수지상 억제 및 싸이클 안정성 확보 - 리튬 금속 기반 구조체 설계 - 높은 안정성의 대면적 전극 기술	(휴대용) 초소형, 소형 전자기기 (이동형) 소형, 중형, 대형 수송기기
전해질	- 리튬금속음극/전해질 계면 안정화 기술 - 전극 계면에서의 SEI, CEI 층 설계 기술 - 고이온전도성 복합 전해질 설계 기술	
양극	- High-Ni 양극, 황화물계 양극 등 고용량 양극 기술 - 충전개시형 무음극 전지를 위한 리튬 - 안정성 확보된 대면적 전극/전해질 일체화 기술	
분리막	- Short-circuit 방지를 위한 고강도 분리막 제조 기술 - 안전성 확보를 위한 난연성 전해질 설계 - 전해질/분리막 일체화 공정 기술	
설계/제조 기술	- 충전개시형 무음극 전지 기술 - 완전셀의 초경량화 기술 - 대면적화, 적층 조립 기술	

- 상용 리튬 이온 전지의 음극으로 사용되는 흑연(372 mAh/g)이나 Si/C 복합체에 비해 이론 용량이 매우 높아 (3860 mAh/g) 높은 에너지 밀도를 갖는 차세대 전지로 떠오르고 있음
- 음극에 리튬 금속을 사용하며 양극 소재로는 리튬 전이금속 산화물을 사용할 수도 있고, 황을 사용하는 리튬-황 전지, 산소와의 반응을 이용하는 리튬-공기 전지 등으로 응용할 수 있어 차세대 이차전지 기술의 핵심이라고 볼 수 있음
- 리튬금속전지는 리튬금속 기반 음극 소재와 전해질 및 양극, 분리막, 셀 설계 및 제조기술을 중심으로 핵심 요소 기술이 개발되어야 함

3.2 R&D 전략

□ 리튬 금속 전지의 전해질 첨가제 개발

- 계산 기반 첨가제 물질 탐색
 - 리튬 금속 음극 위 안정적인 SEI 층을 형성하는 소재 개발. 특히 플루오린화 리튬(LiF) 같은 SEI를 만드는 첨가제가 장수명 성능 발전에 유용하다고 여겨지고 있음.
 - 전해질 내에서 리튬 이온의 용매화 구조를 변화시켜 이온의 확산 속도를 증가시킬 수 있는 전해질 첨가제 개발. 탈용매화가 쉬운 구조로 첨가제가 변형시킨다면 이온 확산 속도가 증가할 것으로 예상됨.
 - 전해질 첨가제로 만들어진 SEI 층이 리튬의 균일한 전착을 유도 및 전해질 사이의 부반응을 억제할 수 있는 소재 개발. 전해질과 리튬 금속 음극 사이의 부반응을 억제한다면 결과적으로 얇은 SEI층만 만들게 되어 리튬 이온 확산 속도를 증가시킬 것으로 기대됨.
- 저농도로 역할이 발현 가능한 물질을 탐색.
 - 저농도 첨가제 최적화가 가능한 물질 개발. 비용 측면에서 전해질 첨가제를 고농도로 사용하지 않고서도 리튬 금속 전지의 성능 향상이 가능한 물질로 개발해야 함
- 양극을 고려한 전해질 첨가제
 - 양극의 CEI 층이나 양극 자체에 손상이 가하지 않는 소재로 개발
 - 양극을 훼손하지 않는 탄산염 계열 전해질에 적용이 가능한 첨가제로 개

□ 리튬 금속 음극 위 코팅 개발

○ 음극 표면 제어가 가능한 코팅 물질 탐색

- 리튬의 전착이 더 균일하도록 만들고 죽은 리튬(dead Li)과 전해질 사이의 부반응 등을 줄여 장수명 성능 개선이 가능한 소재로 개발.
- 기계적 강도를 제공할 수 있으면서도 계면 유연성과 리튬 이온 확산도를 높일 수 있는 인공적인 SEI의 소재를 탐색. 특히 단단한 성질을 띠는 플루오린화 리튬(LiF)이 많은 층이 좋은 성능을 낼 것으로 예상됨. 유기물계 코팅과 무기물계 코팅을 합치거나 섞어서 무기물의 기계적 강도와 유기물의 계면 유연성 특징을 모두 확보하는 방향도 있음
- 최대한의 얇은 두께로 기능을 할 수 있는 인공적인 SEI 개발. 고체 상에서의 확산 길이는 줄이는 것이 이득임.
- 소재 자체의 특성을 이용하기 위한 소재 탐색뿐만 아니라 전하를 땀으로써 전기적인 상호작용을 사용하거나 기공을 조절하는 등의 기능성 전략 개발도 수행. 음전하를 띠는 코팅 고분자 층이 리튬 이온 확산을 촉진시켜 균일한 리튬 금속의 전착을 야기한다는 사례도 보고된 바 있음.

○ 경제성 있는 코팅 공정 기술

- 리튬 금속 전지의 상용화를 위해서 용액이나 압착 공정 등 손쉬우면서도 경제성이 있는 방식으로 코팅 물질을 제조
- 소요 시간이나 온도 등 합성 조건이 간단한 코팅 물질로 선택
- 단순히 리튬 금속 음극이나 집전체 위에 코팅 물질을 까는 것으로 코팅 제조가 가능한 물질 탐색

□ 리튬 금속의 3D 구조체 개발

○ 리튬 금속 음극 장수명 성능 구현이 가능한 구조체의 제조 기술

- 미세 기공이 더욱 증가한 높은 표면적의 음극 호스트 제조 기술 개발. 미세 기공을 증가시키면 국부적인 전류 밀도를 감소시키는 효과를 만들어 리튬 금속의 수지상을 덜 만들고 균일한 전착이 가능할 것으로 예상함.
- 리튬과 합금 반응을 이루어 표면 에너지를 증가시킬 수 있는 원소 탐색 및 합금 제조

- 균일한 리튬 증착을 만들고 부피 변화를 최소화시킬 수 있는 구조체 개발. 리튬 금속 음극 제작 과정에 다른 물질을 첨가함으로써 전극의 구조를 변화시키거나 리튬 친화도와 같은 물성을 향상시키는 방법이 유용할 것으로 예상함
- 구조체 내부의 리튬 이온 확산이 용이한 물질 및 구조 탐색. 니켈 폼이나 HCF와 같이 내부적으로 리튬 금속을 수용하는 특정 구조체를 이용할 경우 구조체의 기공 내부까지 리튬 이온의 확산 및 전착을 효과적으로 유도할 수 있어야 함.
- 충전개시형 무음극 전지가 가능한 구조체 개발. 고에너지밀도의 리튬 금속 전지를 만들기 위해서 무음극 전지 개발.
- 경제성 있는 구조체 제조 기술
 - 용액 기화나 냉각을 이용한 공정처럼 3D 구조체의 기공 제조가 경제적인 기술 개발.
 - 폴리에틸렌이민(Polyethylenimine) 등 현재 많이 상용화되어 있는 물질을 활용한 구조체 기술 개발. 합성 공정에 대한 비용 절감 기대.

□ 리튬 금속 음극의 변화를 실시간으로 분석하는 기술 개발

- 실시간 전극 구조 및 계면의 분석이 가능한 기술
 - 배터리가 구동하다가 멈춘 후 개방회로 시간에서 분석을 할 시 전극 구조나 계면의 모습이 부반응으로 인해 전극의 형태가 변하는 경우가 많음. 따라서 실시간으로 모습을 관찰하는 것이 중요함. 실시간으로 모습의 변화를 관찰할 수 있는 이미징 기술 개발이 필요.
 - 음극과 양극의 실시간 구조 및 계면 이미징이 가능한 기술 개발. 리튬 금속 음극에서만 아니라 완전 셀의 성능을 평가하기 위해 양극 소재의 실시간 분석을 통해 전체 전지의 구동 메커니즘을 자세하게 살펴볼 필요가 있음
 - 파우치 셀의 실시간 분석이 가능한 기술 개발. 현재는 코인 셀 수준에서만 실시간 분석이 이뤄지고 있으나, 흔히 사용되는 파우치 셀을 이용했을 때는 리튬 핵 형성 및 성장에 있어 어떤 차이가 있는지 확인해야 함. 파우치 셀이 현실적인 활용도가 더 높은 것으로 기대되기 때문에 리튬 금속 전지의 상용화에 큰 기여가 가능함.
- 수지상 모양 및 양을 실시간으로 관찰할 수 있는 기술

- 리튬 금속 음극의 측면을 실시간으로 관찰하여 수지상 모양 변화를 분석할 수 있는 기술 개발. X-ray를 활용한 측면 이미징 기술을 활용한다면, 광학 이미징 분석보다 더 정확한 물질 구분 및 형태 분석이 가능함.
- 리튬 금속 음극의 표면을 실시간으로 관찰하여 수지상 분포의 균일도나 양을 분석할 수 있는 기술 개발. 전해질 첨가제나 코팅층의 효과를 더 실재적으로 분석할 수 있음.
- 탐지에 민감한 X-ray 탐지기 개발. X-ray 이미징 분석 시 리튬의 작은 질량으로 인해 탐지가 어려운 경우가 있으므로 더욱 민감한 탐지기를 개발하여 X-ray 투과 이미지의 해상도를 높일 필요가 있음. 소량의 리튬 금속의 탐지도 가능해진다면 리튬 금속 전지의 발전에 큰 역할을 할 것으로 기대됨.

4 전고체전지 기술 개발

4.1 기술의 정의 및 범위

- 전고체전지는 전지의 구성요소 중 가연성 액체가 포함된 액체전해액과 분리막을 고체전해질로 대체하여 전지의 안전성을 획기적으로 개선한 전지 시스템으로써, 고용량 혼합 음극소재, 리튬금속 및 고전압 양극소재 사용이 가능하여 고에너지밀도 구현 가능
- 전고체전지는 고체전해질 소재와 고체전해질 멤브레인, 전극 극판, 셀 설계 및 제조기술 중심으로 핵심 요소 기술이 개발되어야 함

[표] 전고체전지 핵심 개발 기술 및 적용분야

기술 분류	개발 요소 기술	적용 분야
고체전해질	- 고체전해질 건식/습식 대량생산 합성공정 기술 - 고체전해질 미분화 및 입도분포 제어 기술 - 황화물계 고체전해질 대기 안정성 확보	(휴대용) 초소형, 소형 전자기기 (이동형) 소형, 중형, 대형 수송기기
양극 극판	- 양극활물질 이용률 증대 기술 - 양극/고체전해질 계면 제어 기술 - 후막 전극 설계 기술	
음극 극판	- 흑연 및 실리콘 음극 적용 기술 - 리튬 덴드라이트 억제 및 리튬 안정화 기술 - 리튬 구조체 설계 - 안정성 확보된 대면적 전극/전해질 일체화 기술	
멤브레인	- 저반응성 용매 및 바인더 설계 - 고체전해질 시트화 기술 - 전극/멤브레인 일체화 공정 기술	
설계/제조 기술	- Dryroom내 적용 가능한 공정 기술 - 롤투롤 방식의 연속 가압 공정 기술 - 대면적화, 적층 조립 기술	

4.2 R&D 전략

□ 고체전해질 소재 기술

- EV 등 산업수요가 큰 차세대 전고체전지로의 선택과 집중 (황화물계 및 황화물-하이드리드계 고체전해질 기술)
- 소재 탐색용 고에너지 밀링 방식 → 습식 대량생산 (용액형, 공침형, 혼합형)
 - 습식 반응 메커니즘 규명을 통한 신소재 설계 및 제조기술 개발
 - 습식 밀링에 의한 저온소결형 고체전해질 생성 메커니즘 규명 및 연속식 제조기술개발
- 극판/멤브레인 성능 극대화를 위한 고체전해질의 입도 제어 및 이온/전기전도도 동시 제어 기술 개발
 - 성능 손실 최소화가 가능한 고체전해질 입도 제어기술 개발
 - 고체전해질 전자전도 메커니즘 규명 및 전자전도성 제어기술 개발
 - 극판용 혼합전도성 고체전해질 복합분말 제조기술 개발
- 드라이룸 적용이 가능한 황화물 고체전해질 대기안정화 기술 개발
 - Oxygen core-gradient 및 P 원소 치환을 통한 대기안정성 향상기술 개발

□ 멤브레인 제조 기술

- 하이브리드 고체전해질을 통한 고이온전도성 멤브레인 제조기술 개발
 - 멤브레인 제조 시 바인더 첨가에 따라 파우더 대비 이온전도도 손실
 - 바인더에 Li salt 첨가로 Li이온전도성 부여하여 이온전도도 손실 회복
- 파우더 pelletize 중심 → 슬러리 casting으로의 연속생산
 - 멤브레인 제작에 적합한 바인더/용매/분산제 등 소재 요소기술 개발
- multi-layer 적층을 통한 dendrite-free/고이온전도도 동시 구현
 - Li 음극 계면저항은 낮지만 dendrite 형성이 쉬운 고분자전해질과 Li 음극 계면저항은 높지만 dendrite 형성이 어려운 세라믹(황화물) 고체전해질을 multi-layer 구조로 적층하여 dendrite-free/고이온전도도 특성을 동시 구현

□ 양극 극판 제조 기술

- 양극 내 계면 저항 극복이 가능한 극판 설계
 - 극판재료의 최적 분산을 통한 저저항 양극 극판 제조 기술
 - 양극 활물질의 입자 표면 개질을 통해 양극 극판 저항 최소화 기술
 - 극판의 저항 감소를 위한 도전재 및 바인더 소재 기술
 - 극판 재료의 최적 입도 조합을 통한 양극 극판의 고에너지밀도화 기술
 - 사이클 진행 시, 리튬이동 경로 유지를 위한 양극 극판 부피 변화 제어 기술
- 양극 내 계면 저항 극복이 가능한 극판 설계
 - 습식 방법에 의한 양극 후막화 기술
 - 습식 제조 시, 슬러리의 용매에 의한 고체전해질의 비가역 열화를 최소화 할 수 있는 신규 용매 발굴
 - 연속식 제조 및 극판의 대면적화가 가능한 건식 제조 기술
 - 건식 공정에 적합한 신규 공정 설계 및 최적화 기술
 - 계면 저항 극복이 가능한 친환경/저비용 무용매 건식 제조 기술

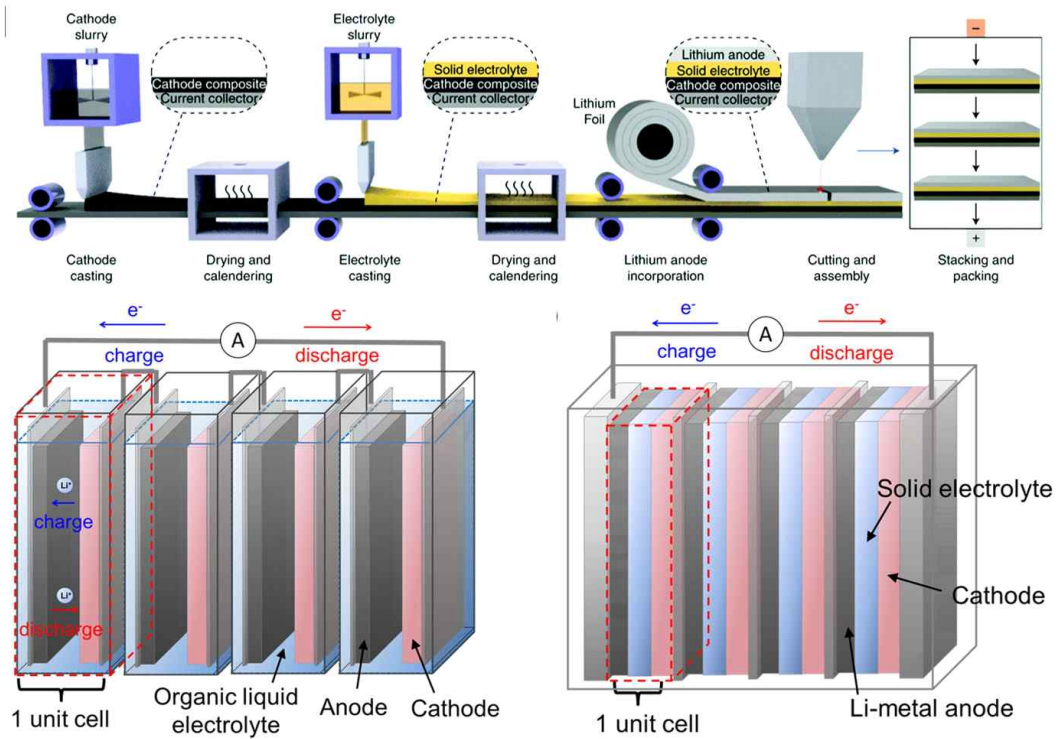
□ 음극 극판 제조 기술

- 리튬 텐드라이트 성장 억제를 위한 음극 소재 개발
 - 리튬 전위와 유사하고, 고체전해질과의 화학적 안정성 확보된 음극 소재

- 리튬 석출형 음극에서의 Ag-대체 저가형 리튬친화적 음극 소재 개발
- 저가형 박막형 합금계 음극 소재 개발 및 이를 통한 WIP 배제 롤투롤 공정 기술 구현
- 저팽창형 음극 구조 설계 및 장기 구조 유지 기술
- 화학적 안정성을 고려한 대면적 음극 극판 제조 기술
 - 고체전해질과의 반응성 없는 바인더/용매 적용 습식 음극 극판 제조 기술
 - 습식 기반 대면적 음극 제조 공정 기술 최적화

□ 고에너지밀도 전고체전지 셀 설계/제조 기술

- Glove box-free 전고체전지 셀 조립 공정 기술
 - 현재 황화물 고체전해질 기반 전극 제조 및 셀 조립 공정은 대부분 Ar 분위기의 Glove-box에서 진행됨에 따라 작업 속도, 작업의 세밀함, 정확성 등이 떨어져 전체적인 공정 효율이 낮아지는 문제가 있음
 - 따라서, 황화물 기반 전고체 전지를 극판, 멤브레인, 조립까지 glove box 바깥, 최소 dryroom 내에서 가능한 공정 기술을 개발함으로써 상용화 기반 조기 확보
- 롤투롤 방식의 전극/멤브레인 계면저항 극복 및 셀 가압 공정 기술
 - 전고체 전지용 전극과 멤브레인간 계면에서의 저항을 극복하기 위해 WIP/CIP 장비를 통해 정수압을 가하는 방식이 일반적이나, 이는 긴 소요 시간, 탭 절단, 연속 공정으로는 적용이 불가능한 문제 발생
 - 이를 극복하기 위해서 LIB에서 통용되는 롤투롤 방식의 가압 방식을 개발하여 전극/멤브레인간 계면 저항을 감소시키고, 연속 공정 구현
- 고에너지밀도 구현을 위한 대면적화, 적층화 기술 및 장수명 구현
 - 고에너지밀도 전고체 전지 제조기술 확보를 위해서는 높은 로딩레벨의 양극 극판, 높은 활물질 함량, 일정량 이상의 적층, 얇고 치밀한 멤브레인 기술이 필요함
 - 양극/멤브레인/음극을 1개의 unit으로 설정할 때, 1 unit 단층셀보다는 unit을 복층화한 셀의 에너지밀도가 높아서 이를 구현할 수 있는 요소 기술이 필수적이고, 이 과정에서 멤브레인을 free-standing, 혹은 전극에 도포하는 방식에 대한 기술적 검토가 필수적임
 - 적층 방식 중 bipolar 방식은 단셀에서 고전압을 확보하고, 부피당 에너지 밀도 향상의 효과는 있으나, 양/음극의 전압 범위에서도 안정적인 집전체 선택, 안정적인 적층 기술, 계면 안정화 등의 이슈 해결 필요



[그림] 전고체 전지 연속 롤투롤 공정 예시 및 bipolar 적층 전지 예시