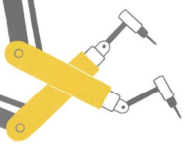


기술동향

전고체 배터리

KISTEP 투자기획조정센터 이강수 · 박정원





Contents

 제1장 개요	1
 제2장 기술 동향	5
 제3장 산업 동향	13
 제4장 정책 동향	19
 제5장 R&D 투자동향	22
 제6장 결론 및 시사점	26



제1장 개요

1.1. 작성 배경

2차전지의 공급량이 세계적으로 급증함에 따라 발화/폭발 사고가 증가하고 있으며, 심각한 인명피해 및 환경오염을 일으킴

- 일반적인 2차전지의 발화/폭발을 일으키는 주요 원인은 유기체 액체 전해질이며, 에너지 밀도가 높고 발화점이 낮아 작은 충격에도 큰 화재로 이어질 수 있음
- 화재 발생 시 이동식 수조에 물을 채워 소화할 수 있지만 경사진 곳과 대형차, 화물차에는 사용이 불가하며 수조가 배송되기 전까지 피해를 막을 수 없음

※ 전기차 화재 시 10만 L 이상의 물로 화재 진압 가능(일반 내연기관 차량은 1000 L로 소화)¹⁾



[그림 1] 전기차 화재 소화용 이동식 수조(좌)²⁾, 실제 전기차 화재 진화 사진(우)³⁾

- 화재 시 액체 전해질에서 유독가스를 대량 발생시켜 인체에 치명적인 영향을 주며 심각한 환경오염 문제를 일으킴(기준치 대비 80만배*)

* 미국 산업안전보건연구원이 규정한 ‘즉각적인 생명위험 노출기준’값(IDLH) 기준

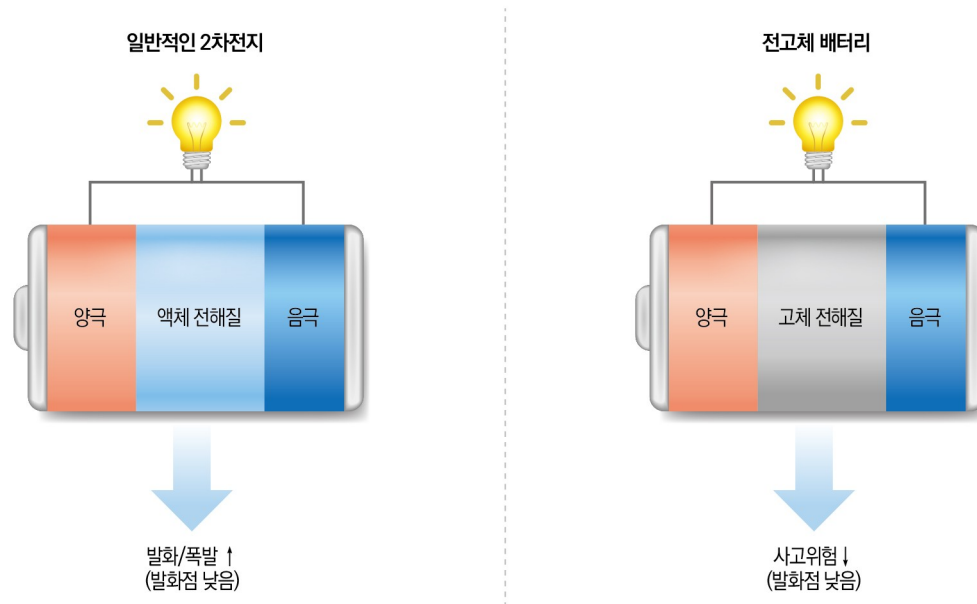
1) (보도자료) 국민일보, (22.06.25.), ““수조에 통째로 넣고 쪼갬” 산불 맛먹는 전기차 화재”

2) (보도자료) 세계타임즈, (21.10.29.), “도 소방본부, 전기자동차 화재대응 특별교육 실시”

3) (보도자료) 동아일보, (22.08.18.), “[단독]전기차 화재 급증하는데...‘이동식 침수조’는 전국 17개 시도 중 3곳만 도입?”

전고체 배터리(All-Solid-State Battery)는 발화점이 낮은 액체 전해질을 고체 전해질로 대체하여 발화/폭발을 방지할 수 있으며 높은 에너지 밀도가 특징

- 전고체 배터리는 전해질이 고체로 되어있어 유기계 액체 전해질을 사용하는 일반적인 2차 전지와 달리 발화/폭발 현상이 거의 없음



[그림 2] 일반적인 2차전지(액체 전해질 사용, 좌), 전고체 배터리(고체 전해질 사용, 우), 저자 구성

- 전해질이 고체이기 때문에 상대적으로 높은 온도에서도 이용할 수 있어 일반적인 2차전지에 비해 다양한 응용처에 사용 가능
 - 일반적인 2차전지는 60℃ 이상에서 발화/폭발 사고가 발생할 확률이 높아 사용을 제한하지만 전고체 배터리는 약 170℃(박막 전고체 배터리 기준)⁴⁾까지 사용 가능
- 전고체 배터리는 리튬금속을 음극으로 사용할 수 있으며, 분리막과 냉각장치가 없으므로 이에 상응하는 부피만큼 에너지 밀도를 높일 수 있어 전기차의 에너지원으로 주목받고 있음

4) Environment, energy & resources, All-solid-state lithium batteries with wide operating temperature range, Mitsuyasu OGAWA, et. al.

『전고체 배터리』는 재사용(충전/방전)이 가능하기 때문에 2차전지에 속하며 일반적으로 상용화 된 2차전지(액체 전해질 사용)와 달리 구분됨

- 본고에서는 액체 전해질을 사용하는 경우 ‘일반적인 2차전지’로 구분하고, 고체 전해질을 사용하는 경우 ‘전고체 배터리’로 구분
 - 배터리는 1회만 사용할 수 있는 1차전지와 재사용이 가능한 2차전지로 나뉘며, 2차전지에서 액체 전해질, 고체 전해질 사용 여부에 따라 일반적인 2차전지와 전고체 배터리로 구분됨

〈표 1〉 1차전지, 2차전지, 전고체 배터리 구조 및 특징 비교

	1차전지	2차전지	
		일반적인 2차전지	전고체 배터리
전해질	액체 전해질	액체 전해질	고체 전해질
발화/폭발	○	○	매우 낮음
사용	일회용 사용	충전 가능	충전 가능
재사용 여부	재사용 불가	재사용 가능	재사용 가능
상용화 형태	건전지, 알칼리 전지	재사용 가능한 제품 대부분에 탑재	상용화(대량생산) 준비 중

- 전고체 배터리는 일반적인 2차전지(액체 전해질)와 구조는 같지만 구성 요소가 모두 고체로 되어있는 구조적 차이가 있음
- 본고에서 사용되는 용어들은 구독자들의 이해를 위해 일반적으로 검색량이 높은 단어로 통일하여 사용함

원고 내 사용 단어	동일 표현
2차전지	이차전지
전고체 배터리	전고체 전지, 전고상 전지, 전고상 배터리, 고체 전지, 고체 배터리 등

1.2. 기술의 정의 및 범위

 배터리의 구성 요소가 모두 고체 상태(All solid state)일 경우 ‘전고체 배터리 (All-Solid-State Battery)’로 정의할 수 있음

- 일부 연구에서 Gel type, 소량의 액체 전해질을 첨가한 경우도 전고체 배터리로 분류하지만, 일반적으로 액체가 없는 배터리를 전고체 배터리로 정의
- 전고체 배터리는 우수한 고온 안정성, 낮은 자가 방전율, 용량 확대 가능성 등의 장점이 있지만 이온 전도도가 낮고 계면 저항이 커서 전기화학 특성이 뒤처짐

〈표 2〉 전고체 배터리와 일반적인 2차전지 장단점 분석

구분	일반적인 2차전지(액체 전해질)	전고체 배터리(고체 전해질)
장점	• 전해질이 액체이기 때문에 빠른 이온 전도도로 고속 충방전 가능 • 전해질/전극(양극, 음극) 계면 저항 최소화 • 대량생산에 적합한 공정 수월성 • 장주기 특성 우수	• 전해질이 고체이기 때문에 발화/폭발 위험이 거의 없음 • 고온 안정성 우수 • 높은 에너지 밀도(냉각장치가 필요 없으며 해당 공간만큼 배터리 용량 확대 가능, 리튬금속을 음극으로 사용하여 용량 확대) • 액체 전해질 대비 매우 낮은 자가 방전율(self discharge rate)
단점	• 발화/폭발 위험 • 발화/폭발 시 높은 수준의 환경오염 발생 • 고온 안정성 미흡 • 높은 자가 방전율	• 박막형 전고체 배터리(구동 온도 -40°C⁵⁾를 제외하고 대부분 저온 구동에 제한적 • 고체 전해질의 낮은 이온 전도도 • 전해질/전극(양극, 음극) 계면 저항으로 인한 전기화학 특성 저하 • 현존하는 기술로는 장주기 성능개선 필요

 본 고를 통해 ‘전고체 배터리’ 분야 국내외 기술 동향, 산업 동향, 정책 동향, R&D 투자 동향을 파악하고, 이를 통해 시사점을 도출하고자 함

5) Environment, energy & resources, All-solid-state lithium batteries with wide operating temperature range, Mitsuyasu OGAWA, et. al.

제2장 기술 동향

2.1. 주요해결 과제 및 특징

 전고체 배터리는 많은 장점에도 불구하고 낮은 이온 전도도, 높은 계면 저항으로 전기화학 특성이 떨어져 상용화에 어려움을 겪고 있음

- 전고체 배터리의 고체 전해질은 고온 안정성과 용량증진*이라는 장점을 제공하지만, 액체 전해질에 비해 리튬 이온의 이동이 제한되기 때문에 전기화학 특성이 저하되는 문제 발생
* 이론용량이 높은 리튬메탈 사용, 냉각장치 공간만큼 전극재료를 채울 수 있어 용량 증진
- 전고체 배터리는 일반적인 2차전지(액체 전해질)에 비해 장주기 특성(Cyclability), 고율 충방전(High Rate Capability) 특성 등 전반적으로 전기화학특성이 미흡하여 상용화에 제한적임
- 전고체 배터리의 상용화를 어렵게 만드는 문제는 여러 가지(셀대형화, 높은 고체전해질 가격 등)가 있지만 그중 주요한 해결 과제는 다음과 같음

전고체 배터리의 주요 해결과제

- ① 고체 전해질의 낮은 이온 전도도
- ② 양극/전해질, 음극/전해질 접촉면의 높은 계면 저항(Interfacial resistance)

 전고체 배터리의 전극(음극, 양극) 소재 및 구조가 일반적인 2차전지와 유사하며 <표 3>와 같이 전해질, 음극, 양극 모두 고체 형태

〈표 3〉 전고체 배터리와 액체 전해질 기반 2차전지 구성 요소 비교

구분	전고체 배터리		일반적인 2차전지	
전해질	고체	산화물, 황화물, 폴리머 등	액체	NMP+Li Salt 등
음극활물질	고체	Lithium, Carbon 등	고체	Carbon
양극활물질	고체	LCO, NCA, NCM 등	고체	LCO, NCA, NCM 등
분리막	없음	-	고체	폴리머

- (전해질) 전고체 배터리에서는 산화물, 황화물, 폴리머 전해질을 사용하여 발화점이 높아 화재 저항성이 우수하며, 일반적인 2차전지는 유기계(NMP+Li Salt 등) 액체 전해질을 사용하여 발화점이 낮아 화재에 취약
- (음극) 전고체 배터리의 음극은 일반적인 2차전지*와 달리 리튬금속(이론 용량 3861 mAh/g)을 사용할 수 있어 배터리의 용량 증진에 용이
 - * Carbon 계열(Graphite 기준 이론 용량 372 mAh/g)의 음극을 사용
 - 일반적인 2차전지에서 리튬금속을 사용하면 수지상(Dendrite)이 생성되고 이는 쇼트(Short)를 일으켜 발화점이 낮은 유기계 액체 전해질에서 화재를 일으킴
 - 전고체 배터리에서는 고체 전해질을 사용하기 때문에 상대적으로 수지상으로 인한 쇼트가 발생하기 어렵기 때문에 리튬금속을 음극으로 사용가능
- (분리막) 전고체 배터리 전해질은 이온전도체와 분리막(절연체) 역할을 동시에 수행하기 때문에 별도의 분리막이 없음
 - 일반적인 2차전지는 음극과 양극에서 발생하는 쇼트를 방지하기 위해 절연 특성의 분리막(Separator)을 사용

2.2. 고체 전해질 이온 전도도 특성

전고체 배터리에서 고체 전해질의 역할이 배터리 특성을 좌우할 만큼 중요하며 이온 전도도를 개선하기 위해서 산화물계, 황화물계, 폴리머계 고체 전해질을 기반으로 한 연구·개발이 주류를 이룸



[그림 3] 고체 전해질 간 상대 특성(저자구성)

※ 위에서 제시한 성능은 절대적인 값이 아닌 일반적인 경향성을 의미하며, 특정 조성에서 상회하는 특성을 가질 수 있으며 측정환경에 따라 다른 성능을 나타낼 수 있음

- (황화물계 고체 전해질) 고체 전해질 중 가장 높은 이온 전도도 특성을 보이지만 습도에 민감하며 상전이(Phase transformation)가 쉽게 일어나기 때문에 생산 용이성에서 '중'의 특성을 보임

〈표 4〉 황화물계 전해질의 이온 전도도 특성

형태	조성	이온 전도도 ($S\ cm^{-1}$)	측정 온도
thio-LiSICON	$Li_7P_3S_{11}$	4.1×10^{-3}	(RT)
	$Li_{10}GeP_2S_{12}$	1.2×10^{-2}	(27°C)
	70Li ₂ S-30P ₂ S ₅ (glass ceramic)	3.2×10^{-3}	(RT)
	70Li ₂ S-30P ₂ S ₅ (heat-treated)	1.7×10^{-2}	(RT)
	0.37Li ₂ S-0.18P ₂ S ₅ -0.45LiI	1×10^{-3}	(RT)
	$Li_{9.54}Si_{1.74}P_{1.44}S_{11.7}Cl_{0.3}$	2.5×10^{-2}	(RT)

형태	조성	이온 전도도 ($S\ cm^{-1}$)	측정 온도
argyrodite	Li_6PS_5Cl	1.7×10^{-3}	(RT)
	$Li_7P_{2.9}Mn_{0.1}S_{10.7}I_{0.3}$	5.6×10^{-3}	(RT)
	$Li_6PS_{4.7}O_{0.3}Br$	1.54×10^{-3}	(RT)
		1.13×10^{-3}	(90 °C)
	$Li_6PS_5Cl_{0.5}Br_{0.5}$	3.63×10^{-3}	(32 °C)

- (산화물계 고체 전해질) 이온 전도도, 온도 안정성, 습도 안정성에서 중간 수준의 특성을 갖지만 고온 소결을 통해 제조해야 하는 산화물 특성상 생산에 어려움이 있음

〈표 5〉 산화물계 고체 전해질의 이온 전도도 특성

형태	조성	이온 전도도 ($S\ cm^{-1}$)	측정 온도
Garnet type	$Li_7La_3Zr_2O_{12}$	3×10^{-4}	(25 °C)
	$Li_7La_3ZrNb_{0.5}Y_{0.5}O_{12}$	8.29×10^{-4}	(30 °C)
	LLZO-0.3 B_2O_3	2.5×10^{-4}	(RT)
	$Li_7La_3Zr_{1.7}Ge_{0.3}O_{12}$	4.78×10^{-4}	(20 °C)
	$Li_{6.65}Ga_{0.15}La_3Zr_{1.90}Sc_{0.10}O_{12}$	1.8×10^{-3}	(300 K)
LiPON	LiPON	2.3×10^{-6}	(RT)
NaSICON type-LAGP	$Li_{1.70}Al_{0.61}Ge_{1.35}P_{3.04}O_{12}$ (melt-quench)	2.3×10^{-4}	(RT)
	$Li_{1.5}Al_{0.5}Ge_{1.5}(PO_4)_3$	3.1×10^{-4}	(30 °C)
perovskite-type	$Li_{0.34}La_{0.51}TiO_{2.94}$	1×10^{-3}	(RT)
	$Li_{0.29}La_{0.57}TiO_3$	5.2×10^{-3}	(300 K)
	$Li_{3/8}Sr_{7/16}Ta_{3/4}Zr_{1/4}O_3$	2×10^{-4}	(bulk 30 °C)

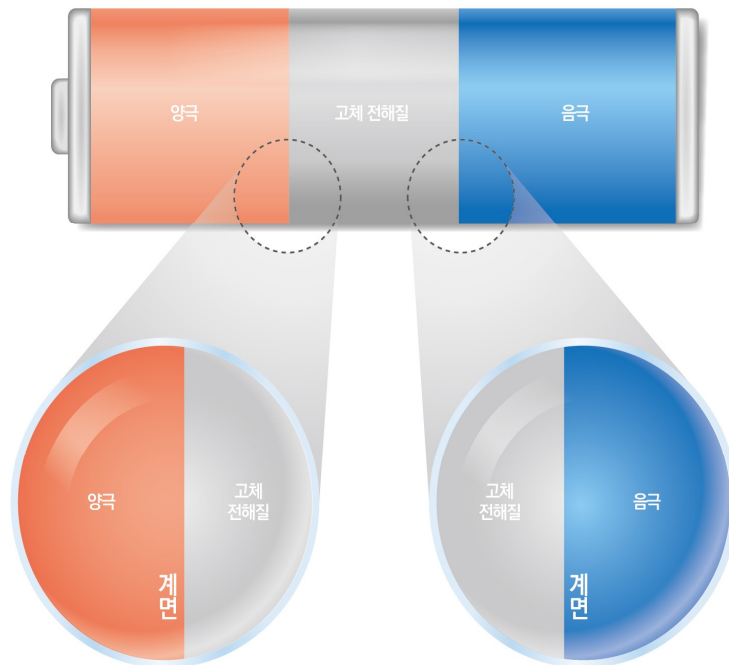
- (폴리머계 고체 전해질) 이온 전도도는 보통이지만 다양한 형상으로 제작이 가능한 재료 특성상 생산 용이성에서 강점을 가지며, 대체로 온도에 취약함

〈표 6〉 고체 폴리머 전해질의 이온 전도도

형태	조성	이온 전도도 ($S\ cm^{-1}$)	측정 온도
PEO based	PEO + S_2TFSI + $LiTFSI$	1.2×10^{-3}	(25 °C)
	PEO: $LiClO_4$ /PAA/PMAA	9.87×10^{-4}	(20 °C)
	$LiFPFSI$ /PEO	6.2×10^{-4}	(80 °C)
PCPU based	polycarbonate-based polyurethanes (PCPU)+ $LiTFSI$	1.12×10^{-4}	(80 °C)
MSTP based	Modified silyl-terminated polyether(MSTP)+ $LiTFSI$	3.6×10^{-4}	(RT)
PPC based	PPC- $LiFSI$ (80 wt%)	6.26×10^{-4}	(30 °C)

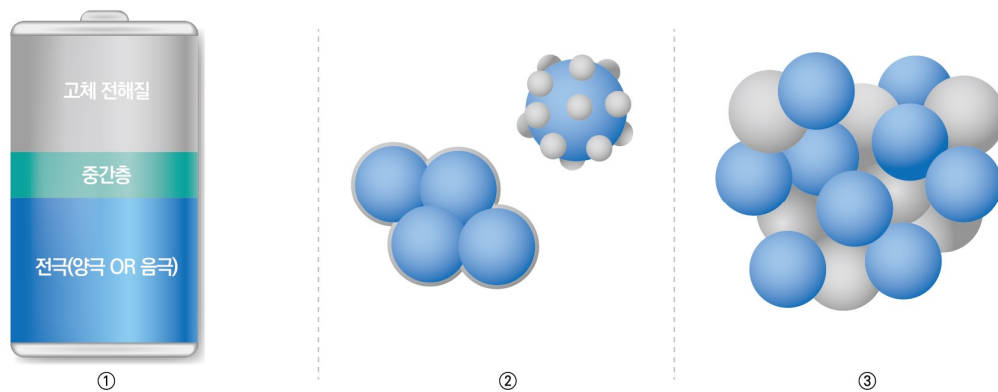
2.3. 계면 저항을 낮추기 위한 기술 동향

- 전고체 배터리의 성능개선을 위해 양극/고체 전해질, 음극/고체 전해질 사이에서 발생하는 계면 저항(Interfacial resistance) 문제 해결 필요



[그림 4] 양극/고체 전해질, 음극/고체 전해질 계면(저자구성)

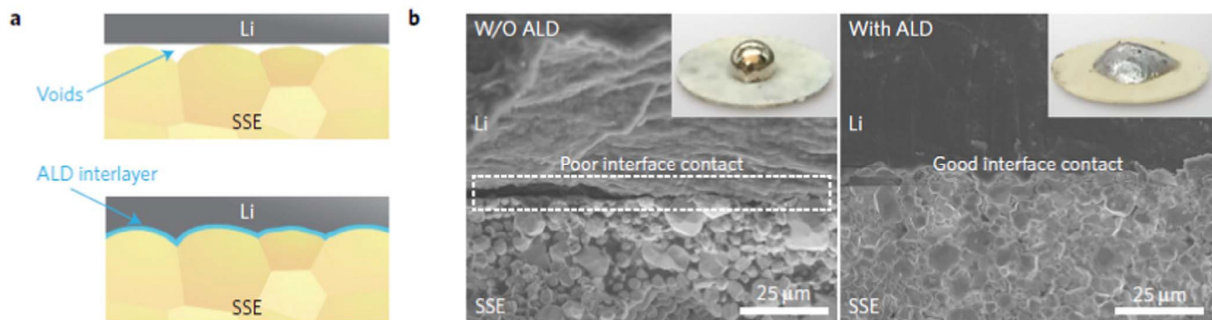
- 일반적인 2차전지는 액체 전해질의 리튬 이온이 3차원적으로 자유롭게 이동할 수 있지만, 고체 전해질에서는 리튬이온이 2차원적으로 이동하며 배터리 성능이 저하됨
 - 액체 전해질의 경우 리튬 이온이 아주 작은 공간까지 빈틈없이 스며들지만, 전고체 배터리의 고체/고체 계면에서 결함(접촉 면적 감소)이 발생할 확률이 높아 계면 저항이 높아짐
- 전고체 배터리의 고체 전해질/전극(양극, 음극) 계면에서 발생하는 결함(접촉 면적 감소)은 주로 기공 발생, 셀 제작 시 압착 불량, 재료의 낮은 성형성 등에 의해 발생함
 - 계면 저항을 해결하기 위해서 다양한 방법이 있지만 다음과 같이 크게 3가지의 방식으로 분류할 수 있음 ① 중간층 삽입, ② 전극 재료 표면 코팅, ③ 고체 전해질 + 전극 재료 복합체



[그림 5] ① 중간층 삽입(전극/고체 전해질 사이), ② 전극재료 표면 코팅, 전체(좌) 혹은 일부(우), ③ 전극소재/고체 전해질(혹은 이종 소재) 복합체 (저자구성)

☐ (중간층 삽입) 전해질/양극, 전해질/음극 사이의 접착력을 개선하거나 빈 공간을 채워주는 버퍼 역할의 재료를 코팅

- 코팅은 기상 증착(CVD, PVD, ALD 등), 파우더 형태의 중간층 재료를 넣어 열처리, 중간층을 녹여 액체 상태로 dip coating, 표면에 붓는(pour) 방식을 사용

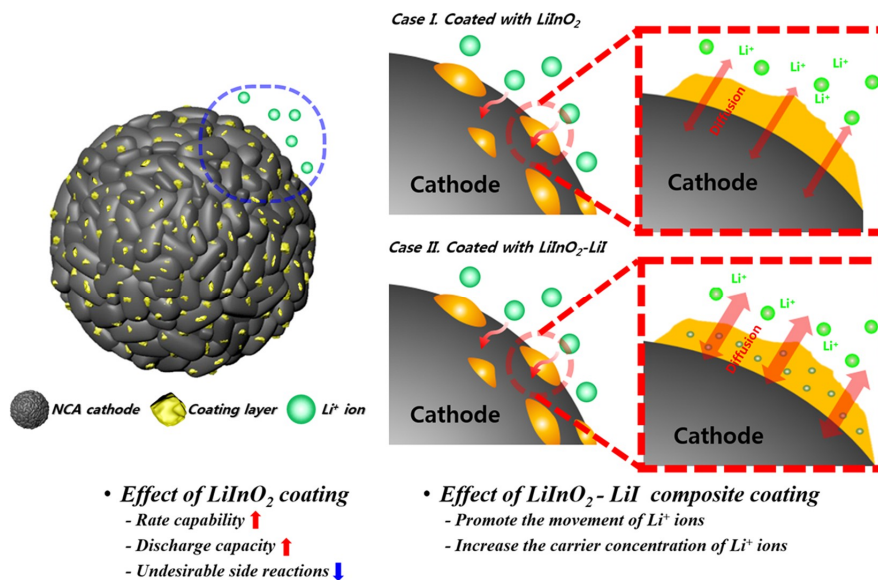


[그림 6] (a) 고체 전해질의 습윤(wetting) 특성 가넷 전해질 표면과 리튬, (b) 일반적인 계면 상태(좌)와 ALD로 증착한 Al_2O_3 중간층(interlayer)이 적용되어 빈틈없는 계면(우)⁶⁾

☐ (전극재료 표면 코팅) 전극 재료 표면에 일부 혹은 전체 코팅을 통해 리튬 이온 이온전도 특성을 개선하는 방식

- 전극(양극, 음극) 최적의 전기화학 특성을 내는 리튬이 포함된 재료(LiMO , LiM 조성 등, M: metal, O: Oxide)나 계면 저항을 최소화해줄 수 있는 재료 코팅

6) X. Han et al., "Negating interfacial impedance in garnet-based solid-state Li metal batteries." Nat. Mater., 16, 572 (2017).

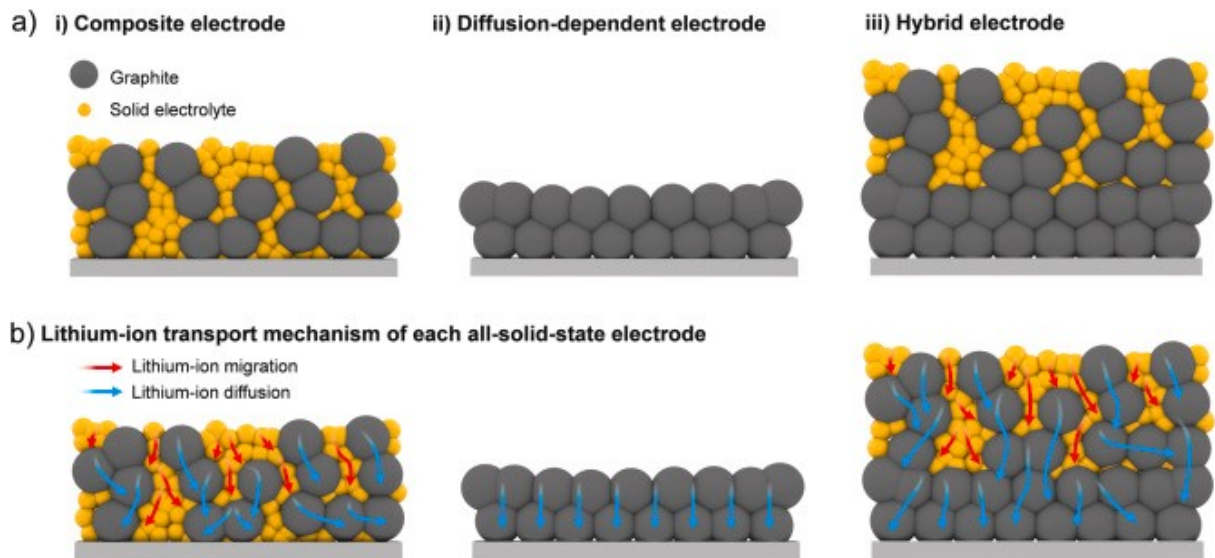


[그림 7] NCA 양극 표면에 LiInO_2 및 LiInO_2 -LiI 코팅 효과 Cathode.⁷⁾

☞ (고체 전해질 + 전극 재료 복합체) 리튬이온이 액체 전해질을 사용했을 때와 같이 3차원 방향으로 이온전도 될 수 있는 것이 특징이며 후 열처리 등을 통해 기공 및 전극/전해질 빈틈을 최소화하는 연구도 보고됨

- 전극(음극, 양극) 재료와 고체 전해질을 혼합(그림 8 i)하는 구조는 일반적인 전극 구조에 비해 전지 성능을 개선할 수 있지만 고체 전해질 함유량이 높아질수록 아래와 같은 특성을 보임
 - ① 단위 부피당 혼합된 전해질의 양만큼 전극 물질의 양이 줄어들어 전체 전지 용량 감소
 - ② 전해질은 부도체이기 때문에 집전체(Current collector)에서 전자의 공급에 제한
 - ③ 이온 확산저항 현상으로 전지 특성 저하 현상이 일어날 수 있음
- 이를 해결하기 위해, 전극 재료를 첫 번째 층, 고체 전해질 + 전극 재료를 두 번째 층(그림 8 iii)으로 쌓아 이온 확산저항을 최소화하고 전극 물질 함유량을 적정수준으로 유지할 수 있는 구조가 주목받고 있음

7) Kwak et al., "Cathode coating using LiInO_2 -LiI composite for stable sulfide-based all-solid-state batteries" Sci. Rep., 9, (2019).



[그림 8] a) i 고체 전해질/음극 복합체, ii 확산 의존적인 전극, iii 하이브리드 전극 구조,
b) i 복합 전극, ii 확산 의존 전극 및 iii 하이브리드 전극의 리튬 이온 수송 메커니즘.⁸⁾

8) Kim et al., "All-solid-state hybrid electrode configuration for high-performance all-solid-state batteries: Comparative study with composite electrode and diffusion-dependent electrode", J. Power Sources., 518, (2022).

제3장 산업 동향

3.1. 글로벌 전고체 배터리 산업 동향

 전고체 배터리의 향후 시장은 아시아-태평양 지역에서 급성장이 예측되며 글로벌 완성차 기업들이 주축이 되어 연구개발에 투자하고 있음

- 전고체 배터리의 아시아-태평양 시장 규모는 '19년 1,500만 달러에서 '27년 1억 6,260억 달러까지 성장하며, 이 기간 연평균 성장률은 41.2%로 예상

〈표 7〉 글로벌 전고체 배터리 시장 전망('19-'27)

(단위 : 백만 달러)

지역	'19	'20	'21	'22	'23	'25	'26	'27	연평균 성장률
북미	22.4	21.4	21.9	23.8	26.3	60.7	88.7	140.8	30.90%
유럽	19.7	18.6	18.9	20.5	23.2	43.5	78.1	161.5	26.20%
아시아-태평양	15	14.5	15.1	16.8	22.1	53.4	91.3	162.6	41.20%
기타	7.1	7.1	7.6	8.6	10.7	3.1	7	17.6	13.90%
전체	64.2	61.6	63.5	69.8	82.4	160.7	265.1	482.5	34.20%

* 출처 : Solid State Battery Market, MarketsandMarkets, 2020.04

 (미국) 전고체 배터리를 주요 사업으로 수행 중인 신생 기업을 주축으로 세계 각국의 기업들의 투자를 유치 받아 전고체 배터리 기술개발 중⁹⁾

- 쿼텀스케이프(QuantumScape)는 산화물계 고체 전해질을 주력으로 음극재(Li, Graphite 등)가 필요 없는 전고체 배터리를 연구개발하고 있으며 빌게이츠와 폭스바겐으로부터 약 10억 달러 유치¹⁰⁾
- 솔리드파워(Solid Power)는 전통 기업에 비해 상대적으로 신생 업체임에도 글로벌 완성차 기업(BMW, 포드, 현대 등) 및 유수의 기업들로부터 투자를 유치 받음

9) (보도자료) KOTRA 해외시장뉴스, (2021.03.05.), “미국의 배터리 시장동향”

10) (보도자료) 한경 (2021.09.29.) “폭스바겐·포드 등 완성차 업체, 전고체 배터리 개발 경쟁 불 붙었다”

- SES(Solid Energy Systems)는 하이브리드 리튬메탈 배터리를 주요 제품으로 연구개발을 수행
 - SES는 고체 전해질을 100% 사용하는 구조가 아닌 액체 10%가 함유된 하이브리드 구조로 리튬금속을 음극으로 사용

(중국) 일본과 한국과 비교해 전고체 배터리 개발 속도는 느리지만 가격 경쟁력이 높으며 최근 중국 내에서 공격적인 투자가 이루어지고 있음¹¹⁾¹²⁾

- 화웨이와 샤오미는 전기차 제조를 위해 전고체, 반고체 배터리를 개발하는 웨이란신에너지에 5억 위안(약 952억 원)을 투자
- CATL은 세계 최대 2차전지 시장점유율 갖고 있으며, 장기적으로 리튬금속을 음극으로 사용한 전고체 배터리를 출시할 계획('21년, 제10차 글로벌 신에너지 차량 컨퍼런스 발표)
- '22년 1월 중국의 완성차 기업인 동풍자동차(東風汽車)와 중국 리튬 제조업체 강봉리튬(贛鋒鋳業)이 공동연구 개발을 통해 반고체 배터리를 차량(동풍 평선(風神) E70)에 탑재함

(일본) 전고체 배터리 관련 산업 생태계가 균형 있게 구축되어 있으며 전고체 배터리 관련 특허(건) 기준으로 세계 1위¹³⁾

※ 도요타자동차 1위(약 1,601건), 파나소닉홀딩스 3위, 후지필름 4위, 무라타제조 7위 등 10위 안에 일본 기업 6개 포진

- 한국과 중국에 추월당한 2차전지 시장의 패권을 전고체 배터리 분야에서 확보하려는 움직임이 돋보임
- 그간 축적된 기초소재 관련 기술력을 전고체 배터리에 적용하여 다양한 연구개발을 수행하고 있으며, 단일 국가 내에 전고체 배터리 관련 연구개발을 수행하는 기업의 수가 가장 많음
- 도요타, 닛산, 혼다와 같은 대기업을 주축으로 중소·중견기업까지 전고체 배터리 관련 연구개발을 광범위하게 수행 중

11) (보도자료) 뉴스핌, (2022.03.04.), “[중국] ‘꿈의 배터리’ 전고체 선점하라, 중국 기업 선두 경쟁 가열”

12) (보도자료) 아주경제, (22.04.06.), ‘차세대 먹거리’ 전고체 배터리 경쟁 붙은 중국 배터리...상용화 빨라지나

13) (보도자료) 전자신문, (2022.08.23.), “LG에너지솔루션, 전고체 배터리 특허 보유 국내 1위 기업”

〈표 8〉 일본의 전고체 배터리 기업의 주요 동향

업체명	주요 동향
도요타자동차	LGPS계 무기 전해질($\text{Li}_{9.54}\text{Si}_{1.74}\text{P}_{1.44}\text{S}_{11.7}\text{Cl}_{0.3}$)을 발견
닛산	전고체 배터리 시범 생산 설비를 요코하마 공장에 '24년까지 구축 예정
혼다	'30년까지 전기차용 전고체 배터리 양산을 목표
TDK	높은 안전성을 요구하는 웨어러블 기기 용도를 상정
무라타제작소	웨어러블 기기에 탑재하는 것을 목표로, 용량을 확대하기 위해 재료 변경 등을 추진하고 있음
막셀	코인형 전고체 배터리를 세계 최초로 실용화
일본전기초자	전고체 나트륨 이온 배터리를 개발하고 있음
GS 유아사	이온 전도도와 내수성을 높인 질소 함유 유화 고체 전해질을 개발
미쓰비시 금속	전고체 나트륨 이온 배터리용 고체 전해질 샘플을 공급
일본 케미콘	전고체 배터리의 특성을 향상하는 데 필요한 도전재료 2차전지 재료 사업에 진출

❖ (EU) 완성차 기업에서 전고체 배터리 관련 연구개발을 주도적으로 수행하고 있으며 대부분 자체적으로 R&D를 수행하기보다 스타트업에 투자 중

- 독일의 BMW가 솔리드파워와 함께 '25년까지 전고체 배터리가 탑재된 전기차 시제품을 선보일 예정이며, '30년부터는 대량생산을 목표하는 계획을 발표함¹⁴⁾
- 프랑스의 전기차용 배터리(전기버스, 자동차 등) 제조기업 Blue Solutions는 '26년까지 전고체 배터리를 OEM 형식으로 공급 목표
- 이탈리아의 화학 원료 제조업체인 Italmatch Chemicals은 전고체 배터리의 고체 전해질 연구개발 중

❖ (한국) '22년 기준 전고체 배터리 관련 특허 세계 2위이며, 상위 10대 기업에 우리나라 기업 3곳이 속함

※ 전고체 배터리 특허 건수 기준, 상위 10대 기업에 LG에너지솔루션 2위, 삼성전자 5위, 현대자동차 6위¹⁵⁾

- 일반적인 2차전지 산업은 대규모 투자가 이루어지고 있지만 상대적으로 전고체 배터리 R&D는 투자 규모가 작고 자체 연구보다는 외주 연구·개발 수행
- 대기업(배터리 3사)는 전고체 배터리 완성품 위주로 연구·개발하고 있으며 중소기업은 전해질, 양극, 음극 등 요소기술의 재료개발을 위주로 접근하고 있어 대기업과 중소·중견기업 간 규모의 차이가 큼

14) (보도자료) 더그루 (2021.04.25.) "BMW "2030년 전고체 배터리 양산...2025년 시제품 공개"

15) (보도자료) 전자신문, (2022.08.23.), "LG에너지솔루션, 전고체 배터리 특허 보유 국내 1위 기업"

〈표 9〉 국내 전고체 배터리 기업의 연구개발 및 주요 이슈

기업명	연구개발	주요 이슈
LG에너지솔루션	황화물계, 고분자계 전고체 배터리	'27년 양산, 전고체 프로젝트 3개 팀 신설
삼성SDI	황화물계 전고체 배터리	'27년 양산, '25년 시제품 공개
SK이노베이션	전고체 배터리	'30년 양산, 대전 연구소 차세대 배터리 조직 구성
현대자동차	황화물계 전고체 배터리	'27년 양산, 자동차용 전고체 전지 상용화 연구진행중
포스코제이케이(JK) 솔리드솔루션	황화물계 고체 전해질	'22년 공장 완공, 초기 연 생산량 24톤 규모
씨아이에스, 일진머티리얼즈, 이수화학 등	황화물계 고체 전해질	재료개발
포스코케미칼, 대주전자재료 등	리튬금속 음극, 실리콘 음극	재료개발
엘앤에프, 에코프로비엠, 코스모신소재	NCM 양극재 개발	재료개발
유벳	난연 고분자 전해질 기반 리튬금속 전지	자동 생산 라인 구축('22년)

- 국내에는 전고체 배터리 관련 스타트업이 거의 없어 국내 자본이 해외 전고체 배터리 스타트업으로 유출되는 양상

〈표 10〉 국내 완성차 및 주요 배터리 제조기업의 전고체 배터리 R&D 주요 내용 및 투자/유치현황 ('21¹⁶⁾-'22¹⁷⁾년 자료 재조합, 환율 22년 11월 기준)

회사명	주요 내용	투자 금액
LG에너지솔루션	전고체 배터리 등 차세대 배터리 연구·개발	6,191억 원
SK온	미국 솔리드파워에 투자	3,000만 달러(약 405억 원)
	미국 조지아 공대와 전고체 배터리 개발 협력	-
삼성SDI	SDI연구소 내에 전고체 배터리 파일럿 라인(S라인) 착공 약 2,000평 규모 ¹⁸⁾	-
현대차	Ionic materials('18년), Solid power('18년), SES('21년)에 투자 ¹⁹⁾	Ionic materials(53억 원), Solid power(32억 원), SES(700억 원)

16) (보도자료) 조선일보, (2021.04.23.) “화재 걱정없이 800km 달려… 차업계 ‘전고체 배터리’ 전쟁”

17) (보도자료) 뉴스웨이, (2022.01.20.) “‘꿈의 배터리’ 선점하라…차세대 전고체 기술 경쟁”

18) (보도자료) 전기신문, (2022.03.14.) “삼성SDI, 주행거리 800km ‘전고체 배터리’ 파일럿 착공”

19) (보도자료) The bell, (2022.11.16.) “현대차의 ‘북미산 차세대 배터리’에 대한 열망

3.2. 주요 기업의 전고체 배터리 산업 동향

전고체 배터리를 주력으로 개발하는 글로벌 기업은 대부분 신생 기업이며 기업별로 음극, 고체 전해질 소재의 차이가 있음

- 전고체 배터리 풀셀(Full cell)을 연구하는 기업은 전반적으로 리튬금속을 음극 재료로 채택해 배터리 용량을 증진을 목표로 함
- 고체 전해질은 기업별로 사용환경 및 목표성능에 따라 다양한 종류의 전해질을 활용하고 있으며, 상당수의 기업에서 황화물계 고체 전해질을 채택함

〈표 11〉 주요 전고체 배터리 기업의 연구개발 현황

회사명	음극	고체 전해질
QuantumScape(미국)	Anode-free Lithium	Oxidic & Sulfidic Ceramic
SES(미국)	Lithium	Semi-solid Solvent-in-Salt
ionic materials(미국)	Lithium Or Graphite	Doped Pi-conjugated Polymer
Sion Power(미국)	Lithium	Hybrid Ceramic-Polymer
Solid Power(미국)	Lithium	Sulfidic Glass-Ceramic
Bollore(프랑스)	Lithium	PEO-based Polymer
ProLogium(대만)	Lithium Or Graphite/Si	Oxidic Ceramic
Hydro Quebec(캐나다)	Lithium	e.g. PEO-based Polymer
Panasonic(일본)	Lithium	Oxidic & Sulfidic Ceramic
Samsung(한국)	Lithium Ag-C coated	Sulfidic Glass-Ceramic

전고체 배터리는 대규모 투자가 필요하며 상용화 실패에 대한 리스크 분산을 위해 배터리 관련 기업의 공동투자가 활발함

- 전고체 배터리 전용 실험실, 전용 제조시설 구축을 위한 대규모 투자가 필요하여 1개 기업이 단독으로 연구·개발하는데 상당한 리스크가 있음

SOLID STATE BATTERY JOINT VENTURES,
JOINT DEVELOPMENTS AND INVESTMENTS

		\$100 MIO INVESTED & JOINT VENTURE	
		>\$70 MIO INVESTED BY GM+OTHERS	
		>\$65 MIO INVESTED	    
		\$50 MIO INVEST BY BASF	 
			     
		JD OF LITHIUM METAL POLYMER BATTERY	
		JOINT DEVELOPMENTS	 
		JD OF POLYMER & CERAMIC ELECTROLYTE	
		JOINT VENTURE FOR ASS BATTERIES	

[그림 9] 전고체 배터리 조인트벤처(joint venture) 투자 및 합동연구개발(MIO=Million) 현황²⁰⁾

- 글로벌 2차전지 제조기업 및 완성차 기업들은 투자자본 효율화와 위험의 분산을 위해 조인트 벤처를 결성하여 전고체 배터리 관련 스타트업에 투자
- 전고체 배터리 개발을 주력으로 하는 Quantum scape, Solid energy(현 SES), Ionic, Sion power, Solid power등을 대상으로 50~100 MIO(백만 달러) 수준의 대규모 투자가 이루어지고 있음

전고체 배터리 연구·개발을 추진하였으나 사업성 부족으로 개발을 중단한 사례들도 존재

- 세계적인 가전업체 다이슨(Dyson)은 전고체 배터리가 탑재된 전기차를 출시하기 위해 전고체 배터리 기업 Sakti3(미국)를 인수하여 5억 파운드를 투입했으나 '18년 사업성 부족으로 개발 중단선언
 - 다이슨의 전기차 생산가격이 테슬라 전기차 모델의 2배 수준으로 가격 경쟁력 확보가 불가하다고 판단
- 독일의 보쉬(Bosch)는 자동차 부품업체 탑티어로 '15년 전고체 배터리 업체 Seeo를 인수 하였지만 '18년 배터리 관련 개발을 모두 중단하기로 결정²¹⁾
 - 액체 전해질 기반 배터리와 전고체 배터리의 자체 생산을 위해 5억 유로를 투자하였으나 추가로 수조 원의 투자가 필요하여 개발을 중단

20) Sr. Manager Sustainability Battery at PowerCo SE, 자료 (2020)

21) (보도자료) 전자신문, (2018.03.05.), “獨 보쉬, 전기차 배터리 셀 자체 생산 포기”

제4장 정책 동향

4.1. 주요국 정책 동향

 주요국은 전고체 배터리 관련 정책 수립 초기 단계이며, 기술경쟁력 확보를 위해 정부가 깊이 관여하여 지원 중

- (미국) 탄소중립과 세계 에너지 패권 경쟁에서 우위를 차지하기 위한 목적으로 차세대 배터리 관련 R&D 프로그램을 운영 중
 - 미국 에너지부(DOE, Department of Energy)는 미국 첨단배터리 컨소시엄(US Advanced Battery Consortium)과 파트너십을 체결하여 차세대 배터리 기초연구 지원²²⁾
- (중국) 『2020년 제14차5개년 계획』에서 중국 과학기술부 첨단기술부서의 전고체 배터리 관련 특별 사업 3개를 배정하는 등 국가적인 차원에서 전고체 및 차세대 배터리 지원²³⁾
 - 중국 국무원은 『신에너지차 산업 발전계획(2021~2035)』를 수립하여 신에너지차 핵심 기술관련 연구개발을 지원하며, 전고체 동력전지, 전기구동시스템 등 기술개발에 주력함²⁴⁾
- (일본) 경제산업성은 차량에 사용되는 배터리의 수요가 급증할 것으로 예측하고 '22년부터 '30년까지 차세대(전고체 배터리 포함) 축전지 모터 개발을 지원
 - 경제산업성이 주관한 『축전지 산업전략 검토 민관 협의회』에서 '2030년까지 안정성이 뛰어난 전고체 배터리의 상용화'를 목표로 상용화 시기를 보수적으로 평가²⁵⁾
- (EU) Horizon 2020을 통해 유럽의 배터리 가치사슬을 강화하고 전기자동차 시장 수요를 충족하기 위해 대량생산 가능한 전고체 배터리 재료, 구성 요소 및 아키텍처를 위한 프로젝트를 진행 중²⁶⁾
 - 전고체 배터리 프로젝트(All Solid-sTate Reliable BATtery for 2025)를 수립하여 '30년까지 발전된 전고체 배터리의 공개를 목표

22) KIAT, (2021) “차세대 2차전지 산업경쟁력 확보를 위한 정책시사점”

23) 华经产业研究院(2022. 6), “2022-2027年中国固态电池行业市场调研及未来发展趋势预测报告”

24) S&T GPS, (2021), “중국, ‘14·5’계획 신에너지차 혁신 방향 제시”

25) (보도자료) 데일리카, (2022.08.04.), “일본의 벼 아픈 고백.. “전고체 배터리, 상용화는 2030년 이후에나 가능”

26) (공개자료) European Commission, CORDIS, All Solid-sTate Reliable BATtery for 2025

4.2. 국내 정책 동향

 그간 모빌리티 산업의 부품 중 하나로 인식되던 배터리를 부품이 아닌 주력 기술로 받아들여 단독 정책을 수립하는 등 산업육성에 대한 정부의 의지가 높음

- '21년 『2030 이차전지 산업(K-Battery) 발전 전략』(관계부처 합동)을 발표하면서 2차전지 관련 세제 지원 및 전고체 배터리 관련 예비타당성 조사를 관계부처 합동으로 추진
- 2차전지 기술을 국가전략기술*로 지정하고, 2차전지 산업 매출 166조 원을 '30년까지 달성하기 위해 다양한 세제 지원 시행

* 과학기술정보통신부는 글로벌 기술 주도권 확보를 위해 2차전지를 집중적으로 육성하고 보호해야 할 12대 국가전략기술 중 하나로 지정함²⁷⁾

- 국내 2차전지 기업을 대, 중견, 중소기업으로 분류하여 R&D 최대 40~50%, 시설투자 최대 20%의 세액공제 지원
- 전고체, 리튬황, 리튬금속 배터리의 조기 상용화를 위한 시장 맞춤형 R&D 지원
 - ※ '고성능 차세대 2차전지 기술개발' 신규 예타 추진('23~'28년, 산업부), '탄소중립혁신기술개발' 신규예타 내 '한계돌파형 2차전지 미래원천기술연구'('23~'30년, 과기부)
 - 전고체 배터리 기술개발·실증 로드맵(안)을 설계하여 '30년 '차량 실증'을 목표로 사용하는 분야에 맞는 전고체 배터리 R&D 지원(『2030 이차전지 산업(K-Battery) 발전 전략』)
 - ※ EV/군사/우주에 사용될 배터리 무게가 가벼운 황화물계, ESS용으로 사용할 고온 안전성이 우수한 산화물계 전고체 배터리 등으로 시장 맞춤형 기술개발 추진 예정
- 차세대 배터리 핵심 요소인 전극 소재, 고체 전해질, 제조 장비 등 소·부·장 관련 기술개발을 위한 R&D 기획
 - 차세대 배터리의 이온 전도도, 수명, 안전성 문제를 해결하고 핵심기술을 확보를 위한 기술개발 추진
 - ※ 리튬기반 차세대 이차전지 성능고도화 및 제조기술개발 사업('20~'24, 산업부), 차세대 이차전지 상용화 지원센터 사업 ('22~'25, 산업부)
 - 『2030 이차전지 산업(K-Battery) 발전 전략』에 7대 차세대소재* 중 전고체 배터리 필수 요소인 고체 전해질, 리튬금속 음극재, 리튬황 양극재 3가지를 선정하여 미래선도품목에 단계적으로 포함할 예정

27) 『10대 국가필수전략기술('21년)』, 『12대 국가전략기술('22년)』

- 전고체 배터리를 포함한 차세대 배터리의 인프라 조성을 위한 ‘차세대 배터리 파크’ 및 인력 양성 지원
 - 일반적인 2차전지와 다른 형태의 제조(드라이룸 생산 라인), 실증 평가(셀 성능, 신뢰성, 방폭 시험 등), 기업(2차전지 소·부·장 기업의 사업화, 애로기술 해소 등) 지원
 - 2차전지 관련 인력양성 연간 1,100명+@ 양성(2030 이차전지 산업(K-Battery) 발전 전략)을 목표로 산업계 수요를 반영한 수준별 인력양성 추진
- 과기정통부와 산업부는 차세대 배터리 관련 혁신 정책을 기획하고 구체적인 지원 방안을 수립함
 - 과기정통부는 『차세대 전지 초격차 R&D 전략』 수립을 착수하였으며 주요 내용 중 에너지 밀도가 높은 전고체 배터리가 포함됨
 - 산업부는 민·관 합동 『이차전지 산업 혁신전략』(’22.11.)을 발표하여 차량용 전고체 배터리를 ’26년 상용화하는 것을 목표로 기술개발 추진

제5장 R&D 투자동향

5.1. 주요국 정부 R&D 투자동향

 주요국은 대부분은 전고체 배터리를 위한 단독 투자보다 차세대 배터리 투자에 집중되어 있으며, 정부보다 민간 주도의 투자가 활발함

- (미국) DOE를 중심으로 차세대 배터리 연구가 수행 중이며, ARPA-E, 연구 허브 설립, 첨단배터리 컨소시엄 출범 등 차세대 배터리 개발을 위한 기초 및 기반 연구에 집중
 - DOE는 차세대 배터리 기초연구 개발에 750만 달러를 지원²⁸⁾, EV용 세라믹 전고체 배터리 연구 허브 설립을 위해 4년간 1,100만 달러 투자 발표('22)²⁹⁾
 - ARPA-E(Advanced Research Projects Agency-Energy)를 통해 전고체 배터리 관련 2개의 프로젝트에 355만 달러 투자('21)³⁰⁾
- (중국) 중국 공업정보화부는 중국 내 배터리 기업들이 달성해야 하는 R&D 투자 비율과 기술 목표를 제시하였으며, 중국 내 배터리 기업의 차세대 배터리 연구를 촉구(강제 사항)
 - 공업정보화부는 전기차 육성을 위해 중국 전기차 업체에 약 330억 위안(약 6조 4천억 원, '16~'20년)을 투자³¹⁾할 정도로 배터리(액체 전해질 기반) 관련 투자에 적극적이지만 전고체 배터리 관련 투자는 상대적으로 미미함
 - 배터리 산업경쟁력 강화를 위해 중국 내 배터리 기업에 연간 매출액의 3% 이상을 R&D에 투자하도록 하는 개정안을 발표('21)
 - 『에너지 절약 및 신에너지자동차 기술 로드맵 2.0』('20)을 통해 EV용 전지의 에너지 밀도 목표를 '25년 400 Wh/kg, '30년 500 Wh/kg으로 제시하며 차세대 배터리 개발 촉구

28) KIAT, (2021) “차세대 이차전지 산업경쟁력 확보를 위한 정책시사점”

29) (보도자료) Notebook check, (22.09.23.), “US Energy Department sets US\$11 million solid-state EV battery research hub to explore ceramic ions as lithium alternative”

30) US DOE ARPA-E, (2022), “OPEN 2021 Project Descriptions”

31) (보도자료) NBN (2022.10.12.). “중국에 밀리는 K배터리, 역전 가능할까?”

- (일본) '30년까지 '20년 배터리 생산량의 20배 향상을 목표로 배터리 산업의 패권을 되찾기 위해 전고체 배터리의 개발에 집중
 - 일본 경제산업성은 '22년 전고체 및 차세대 배터리 개발을 위해 파나소닉, 닛산, 혼다 등 전기차용 배터리 제조업체에 약 1,205억 엔(약 1조 2천억 원)을 지원하는 계획을 발표함³²⁾
 - ※ 경제산업성의 지원 과제에 선정된 파나소닉, 혼다는 전고체 배터리 개발에 주력
- (EU) 2차전지의 전반적인 공급망 개선과 차세대 전지 개발에 유럽연합 차원의 적극적인 투자가 진행 중이며, 민간 기업과 연구소, 대학의 파트너십 형태로 전고체 배터리 연구 중
 - Horizon 2020의 하위 프로젝트 중 하나로 『Battery 2030+』 프로젝트를 발표하며 차세대 배터리 개발을 위해 3년간 4,050만 유로(~560억 원) 투자 발표('20.9.)³³⁾
 - EU는 『전고체 배터리 프로젝트(All Solid-state Reliable BATtery for 2025)』에 750만 유로(~107억 원)를 지원하여 육성('20)³⁴⁾
 - 독일 BMBF는 전고체 배터리 역량 클러스터(FestBatt) 2차 추진 발표('21)³⁵⁾
 - ※ 12개 연구소 21개 연구그룹과 민간 기업이 파트너십 형태로 참여하며 21년 11월부터 3년간 2,300만 유로 투자 계획

5.2. 국내 정부 R&D 투자동향

 과제 단위 분석 결과, 최근 5년('17~'21년) 전고체 배터리 관련 정부 R&D 투자액은 1,141억 원 규모로 연평균 27.8% 증가

※ 과제검색키워드는 전고체 전지, 전고체 배터리, 고체 전해질, 차세대 전지 등을 포함한 과제를 대상으로 분석

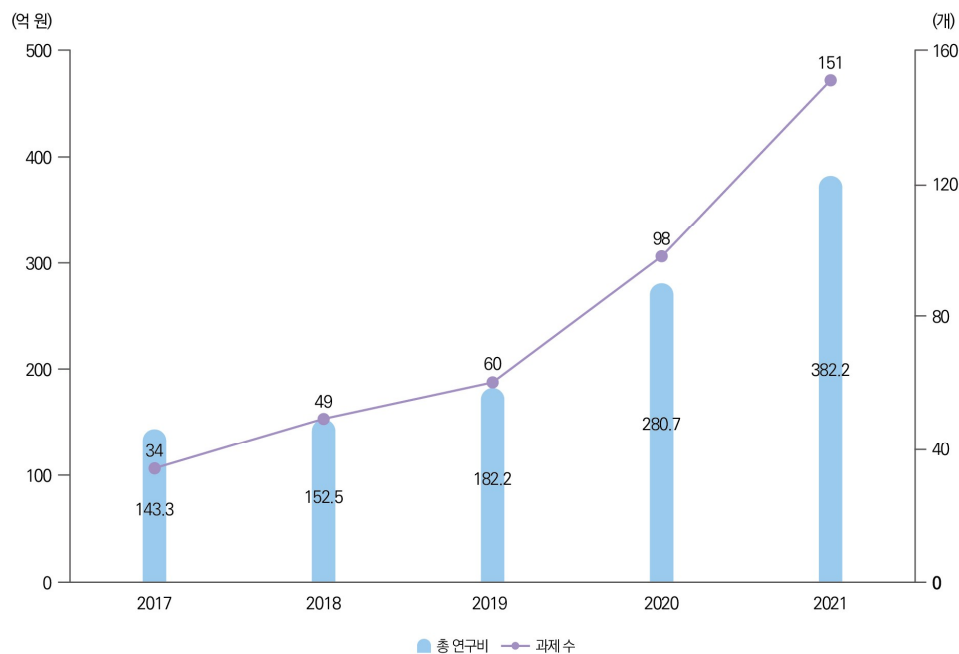
- '17년 이후 전고체 배터리 관련 투자 규모와 과제 수 모두 지속해서 증가하고 있으며, 과제 수와 투자 규모 모두 '21년 최대 규모

32) (보도자료) 조선경제, (2022.04.25.), “일은 ‘전고체’로 단박 역전 노려”

33) <https://hidden-project.eu/battery-2030/>

34) KOTRA, (2021), “2021 유럽 전기차 배터리 시장 진출 전략 가이드”

35) KIT, (2022), “FestBatt: Der nächste Schritt bei der Feststoffbatterie”



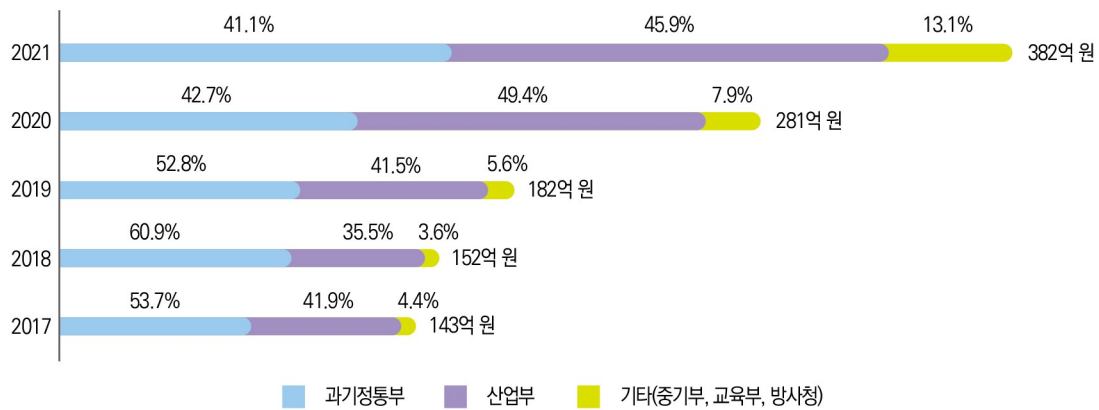
[그림 10] 전고체 배터리 분야 정부 R&D 투자 규모 및 과제 수

- (소재별) '21년 과제 단위 분석 결과, 전고체 배터리 상용화를 위해 선행되어야 하는 고체 전해질 연구에 집중하여 투자가 이루어지고 있음
 - 고체 전해질 47.8%(183억 원), 음극 12.8%(49억 원), 양극 7.9%(30억 원) 순으로 투자 되었으며, 초기 연구 단계(소재 탐색 및 개발) 개별 연구 위주
 - ※ 중복 : 전해질-음극, 전해질-양극, 음극-양극 동시 연구를 중복으로 분류
 - ※ 기타 : 셀 제작, 메커니즘, 안전성, 분석 연구 등 3대 소재 외의 연구를 기타로 분류



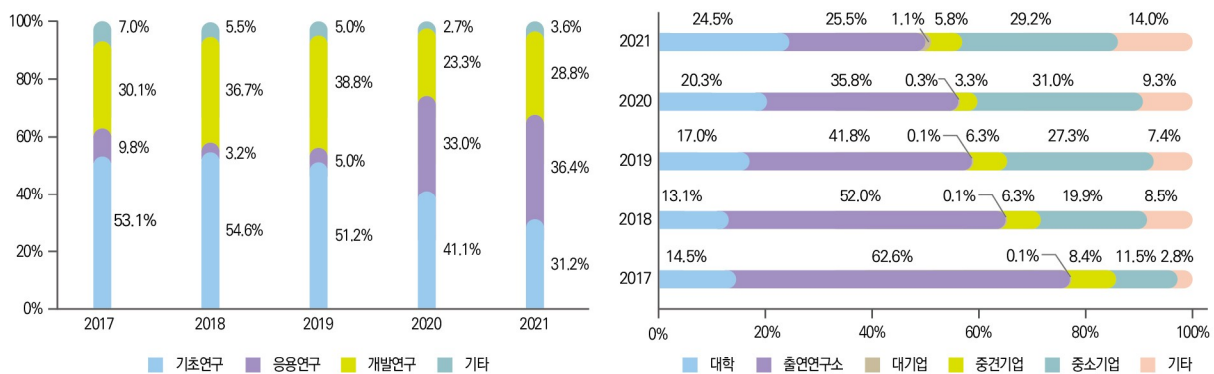
[그림 11] 소재별 정부 R&D 투자 비중

- (부처별) 최근 5년 평균, 과학기술정보통신부와 산업통상자원부가 전고체 배터리 R&D 예산의 91.8%를 수행, 과기정통부의 비중은 '18년 이후 감소하고 산업부와 중기부 비중은 증가
 - '20년과 '21년 응용연구의 비중이 큰 폭으로 증가함에 따라 산업부와 중기부의 비중이 증가하고 과학기술정보통신부의 비중이 감소



[그림 12] 부처별 정부 R&D 투자 비중

- 연구개발단계의 경우, 기초연구는 감소하고 응용연구 비중이 급격히 증가, 연구개발 주체의 경우, 출연연 비중이 감소하고 대학과 중소기업의 비중 증가 추세
 - (연구개발단계) 기초연구의 비중은 '17년 53.1%(76억 원)에서 '21년 31.2%(119억 원)로 감소, 응용연구는 '17년 9.8%(14억 원)에서 '21년 36.4%(139억 원)로 대폭 증가
 - (연구개발주체) 출연연의 비중은 '17년 62.6%(89.7억 원)에서 '21년 25.5%(97.4억 원)로 감소하였으며, 대학과 중소기업의 비중이 급격히 증가



[그림 13] 연구개발 단계별 (좌) 연구개발 주체별 (우) 정부 R&D 수행 비중

제6장 결론 및 시사점

 주요국의 전고체 배터리 관련 R&D 투자가 활발하지 않은 시점에서 기술경쟁력을 선점하기 위한 정부의 과감한 R&D 투자 및 지원 필요

- 전고체 배터리 관련 정부 정책들*의 주요 목표를 달성하기 위해 주요국보다 신속한 R&D 기획 및 투자 필요

* 2030 이차전지 산업(K-Battery) 발전 전략(관계부처 합동), 차세대 전지 초격차 R&D 전략(과기부), 이차전지 산업 혁신전략(산업부) 등

- 우리나라는 일본과 특허권 보유 격차가 크며 대기업 중심으로 특허권이 집중되어 있어 산업 생태계의 비대칭이 심각하며 소·부·장 관련 기술 자립도가 낮음

- 중소·중견기업의 전고체 배터리 관련 특허권 확보를 위한 부처 간 협업 및 전략 마련 필요(중기부, 산업부, 특허청, 과기부)

※ 특허청의 ‘특허 기반 연구개발’에 2차전지 관련 중소·중견기업에 장벽특허 대응 전략, 우수특허 확보방안 등 지원(‘22.8.30) 연계 고려

- 전고체 배터리 상용화 시점을 ’26년(산업부), ’27년(과기부)로 설정하고 있지만 장기적인 관점의 R&D 투자 계획을 재정립할 필요

- 일본은 전고체 배터리의 상용화 시기를 ’30년으로 설정하여 보수적으로 목표하고 있으며, 일부 국내 대기업 및 학계 연구자들은 전고체 배터리의 상용화에 대한 회의적인 견해를 밝히고 있음³⁶⁾

- 전고체 배터리의 핵심 소재의 가격 경쟁력은 중국에 뒤처지고, 품질 측면에서는 일본에 경쟁 열위에 있으므로 ①품질 개선과 ②가격 경쟁력 확보 전략을 마련할 필요

※ 전고체 배터리 고체 전해질의 톤 단위의 대량생산 능력을 갖춘 업체가 일부 있지만 대부분 생산 능력이 수 kg 수준

36) (보도자료) 전기신문, (2022.11.28.), “연이은 전고체배터리 회의적 평가…“상용화 고비 못 넘었다”

배터리 산업은 기하급수적으로 성장하고 있지만 산업 성장 속도에 비해 인력 수급이 어려운 실정

- 배터리 관련 인력이 국내 배터리 3사에 집중되어 불균형이 있으며 그중 전고체 및 차세대 배터리를 위한 인력은 더욱 희소하여 전고체 배터리에 특화된 인력양성 방안을 마련할 필요
 - 정부는 2차전지 관련 석박사, 학사, 재직자 인력양성을 목표하고 있지만 전고체 및 차세대 배터리 관련 인력양성에 대한 계획은 부재하여 세부적인 계획수립 필요

전고체 배터리 산업 생태계 조성을 위해 전문 스타트업 창업이 활성화되도록 정부 지원 필요

- 전고체 배터리 산업은 R&D 초기 투자 비용*이 높아 스타트업이 도전하기 어려운 기술 분야로 정부 지원 없이 성장하기 어려운 구조

* 고가의 합성, 측정/분석 장비, 전고체 배터리를 위한 온도/습도 제어 실험 시설구축 등

- 전고체 배터리는 일반적인 2차전지보다 리스크가 크고 도전적인 기술이기 때문에 대기업의 투자, 중소·중견기업의 기술력 확보, 스타트업의 혁신적인 R&D로 이어지는 생태계 조성이 필요함
 - 글로벌 완성차 및 배터리 제조기업은 자체적으로 연구하기보다 전고체 배터리 스타트업에 투자하여 R&D를 수행하고 있으며 이와 같은 투자를 국내 스타트업이 유치할 수 있도록 다양한 전략 마련 필요
 - ※ 국내 대기업 3사가 미국 전고체 배터리 스타트업에 대규모 투자를 하고 있지만 국내에는 전고체 배터리 관련 스타트업이 거의 없음
 - 전고체 배터리 관련 기술이전 및 스핀오프(출연연, 대학 등) 창업이 활발하게 이루어지도록 지원 필요

참고문헌

문헌자료

- Environment, energy & resources, All-solid-state lithium batteries with wide operating temperature range, Mitsuyasu OGAWA, et. al.
- Environment, energy & resources, All-solid-state lithium batteries with wide operating temperature range, Mitsuyasu OGAWA, et. al.
- X. Han et al., “Negating interfacial impedance in garnet-based solid-state Li metal batteries.” Nat. Mater., 16, 572 (2017).
- Kwak et al., “Cathode coating using LiInO₂-LiI composite for stable sulfide-based all-solid-state batteries” Sci. Rep., 9, (2019).
- Kim et al., “All-solid-state hybrid electrode configuration for high-performance all-solid-state batteries: Comparative study with composite electrode and diffusion-dependent electrode”, J. Power Sources., 518, (2022).
- Sr. Manager Sustainability Battery at PowerCo SE, 자료 (2020)
- KIAT, (2021) “차세대 2차전지 산업경쟁력 확보를 위한 정책시사점”
- 华经产业研究院(2022. 6), “2022-2027年中国固态电池行业市场调研及未来发展趋势预测报告”
- S&T GPS, (2021), “중국, ‘14·5’계획 신에너지차 혁신 방향 제시”
- 『10대 국가필수전략기술(‘21년)』, 『12대 국가전략기술(‘22년)』
- KIAT, (2021) “차세대 이차전지 산업경쟁력 확보를 위한 정책시사점”
- US DOE ARPA-E, (2022), “OPEN 2021 Project Descriptions”
- <https://hidden-project.eu/battery-2030/>
- KOTRA, (2021), “2021 유럽 전기차 배터리 시장 진출 전략 가이드”
- KIT, (2022), “FestBatt: Der nächste Schritt bei der Feststoffbatterie”
- (공개자료) European Commission, CORDIS, All Solid-state Reliable BATTERY for 2025
- (보도자료) 국민일보, (22.06.25.), “수조에 통째로 넣고 쪼다” 산불 맞먹는 전기차 화재”
- (보도자료) KOTRA 해외시장뉴스, (2021.03.05.), “미국의 배터리 시장동향”
- (보도자료) 한경 (2021.09.29.) “폭스바겐·포드 등 완성차 업체, 전고체 배터리 개발 경쟁 불 붙었다”

- (보도자료) 뉴스핌, (2022.03.04.), “[중국] ‘꿈의 배터리’ 전고체 선점하라, 중국 기업 선두 경쟁 가열”
- (보도자료) 아주경제, (22.04.06.), ‘차세대 먹거리’ 전고체 배터리 경쟁 붙은 중국 배터리...상용화 빨라지나
- (보도자료) 전자신문, (2022.08.23.), “LG에너지솔루션, 전고체 배터리 특허 보유 국내 1위 기업”
- (보도자료) 더그루 (2021.04.25.) “BMW "2030년 전고체 배터리 양산...2025년 시제품 공개”
- (보도자료) 전자신문, (2022.08.23.), “LG에너지솔루션, 전고체 배터리 특허 보유 국내 1위 기업”
- (보도자료) 조선일보, (2021.04.23.) “화재 걱정없이 800km 달려... 차업계 ‘전고체 배터리’ 전쟁”
- (보도자료) 뉴스웨이, (2022.01.20.) “‘꿈의 배터리’ 선점하라...차세대 전고체 기술 경쟁”
- (보도자료) 전기신문, (2022.03.14.) “삼성SDI, 주행거리 800km ‘전고체 배터리’ 파일럿 착공”
- (보도자료) The bell, (2022.11.16.) “현대차의 ‘북미산 차세대 배터리’에 대한 열망
- (보도자료) 전자신문, (2018.03.05.), “獨 보쉬, 전기차 배터리 셀 자체 생산 포기”
- (보도자료) 데일리카, (2022.08.04.), “일본의 뼈 아픈 고백..“전고체 배터리, 상용화는 2030년 이후에나 가능”
- (보도자료) Notebook check, (22.09.23.), “US Energy Department sets US\$11 million solid-state EV battery research hub to explore ceramic ions as lithium alternative”
- (보도자료) NBN (2022.10.12.). “중국에 밀리는 K배터리, 역전 가능할까?”
- (보도자료) 조선경제, (2022.04.25.), “日은 ‘전고체’로 단박 역전 노력”
- (보도자료) 전기신문, (2022.11.28.), “연이은 전고체배터리 회의적 평가...“상용화 고비 못 넘었다”



| 저자 소개 |

이 강 수

한국과학기술기획평가원 투자기획조정센터 부연구위원

Tel: 043-750-2503 E-mail: lks@kistep.re.kr

박 정 원

한국과학기술기획평가원 투자기획조정센터 연구원

Tel: 043-750-2843 E-mail: jwpark@kistep.re.kr

| 편집위원 소개 |

전승수 연구위원

정두엽 부연구위원

이선명 연구원

한국과학기술기획평가원 사업조정본부

Tel: 043-750-2503 E-mail: lks@kistep.re.kr

※ 본 KISTEP 기술동향브리프의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 기관의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.

[KISTEP 브리프 발간 현황]

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
01 (22.02.09.)	시스템반도체	채명식 (KISTEP)	기술동향
02 (22.02.10.)	미 하원 「2022년 미국 경쟁법」 주요 내용과 시사점	최창택 (KISTEP)	혁신정책
03 (22.02.23.)	메디컬 섬유소재	정두엽 (KISTEP)	기술동향
04 (22.03.02.)	2020년 한국의 과학기술논문 발표 및 피인용 현황	한웅용 (KISTEP)	통계분석
05 (22.03.14.)	2020년 신약개발 정부 R&D 투자 포트폴리오 분석	강유진·김주원 (KISTEP)	통계분석
06 (22.03.16.)	바이오헬스 정책·투자동향	김종란·강유진·홍미영 (KISTEP)	기술동향
07 (22.03.18.)	러시아-우크라이나 사태에 따른 과학기술 동향과 시사점	김진하·이정태 (KISTEP)	혁신정책
08 (22.03.21.)	미래 스마트 팩토리 유망 서비스	KISTEP·ETRI	미래예측
- (22.03.23.)	2030 국가온실가스감축목표에 기여할 10대 미래유망기술	이동기 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제323호)
09 (22.03.30.)	바이오연료	박지현·강유진 (KISTEP)	기술동향
10 (22.04.04.)	2020년 국내 바이오산업 실태조사 주요 결과	한웅용 (KISTEP)	통계분석
11 (22.04.08.)	일본 과학기술·경제안전보장전략 주요내용과 시사점	김규판(KIEP) 김다은·홍정석(KISTEP)	혁신정책
12 (22.04.13.)	6G 통신 기술	이승필·형준혁 (KISTEP)	기술동향
13 (22.04.18.)	우리나라 산업기술인력 수급 현황 - 2020년도 기준 -	한웅용 (KISTEP)	통계분석
14 (22.04.27.)	소재 신(新)연구방법론	정두엽·조유진 (KISTEP)	기술동향
- (22.04.29.)	대전환 시대의 과학기술혁신 정책 이슈	변순천 외 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제324호)
15 (22.05.02.)	OECD MSTI 2022-March의 주요 결과	정유진 (KISTEP)	통계분석

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
16 (22.05.16.)	2020년도 국가연구개발사업 성과분석 현황	한웅용 (KISTEP)	통계분석
- (22.05.18.)	디지털 전환의 미래사회 위험이슈 및 대응 전략: 인공지능 역기능을 중심으로	구본진 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제325호)
- (22.05.26)	「국가R&D 혁신방안」 추진과제 분석 및 향후 추진방향 제언	최창택 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제326호)
17 (22.06.02.)	2020년 미국의 박사학위 취득자 현황 분석 - NSF, Doctorate Recipients from U.S. Universities -	한웅용 (KISTEP)	통계분석
- (22.06.08.)	일반국민은 2022년 정부R&D예산에 대해 어떻게 생각하고 있을까?	이승규·박지윤 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제327호)
18 (22.06.09.)	새정부 과학기술 관련 국정과제 주요 내용 및 시사점	고윤미·배용국·양은진· 심정민(KISTEP)	혁신정책
19 (22.06.15.)	2021년 국가 과학기술혁신역량 분석	김선경 (KISTEP)	통계분석
- (22.06.17.)	감염병 위기대응 4대 영역별 핵심기술 및 정부R&D 지원방안	김주원·홍미영 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제328호)
20 (22.07.04.)	2022년 IMD 세계경쟁력 분석	김선경 (KISTEP)	통계분석
21 (22.07.06.)	양자정보기술	유형정 (KISTEP)	기술동향
- (22.07.11.)	신산업 정책의 민관협력(PPP) 주요 이슈 분석	신동평·허정·권용완 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제329호)
22 (22.07.11.)	메타버스 산업생태계 활성화를 위한 방향과 과제	이나래 (KISTEP)	혁신정책
23 (22.07.18.)	전국대학 연구활동 현황 - 2021년 전국대학 연구활동 실태조사 기준 -	한웅용 (KISTEP)	통계분석
24 (22.08.01)	미국 대학의 연구활동 현황	한웅용 (KISTEP)	통계분석
25 (22.08.08)	기술패권 경쟁 대응을 위한 주요국 세액공제제도 신설 동향 및 시사점	조길수·유혜인 (KISTEP)	혁신정책
26 (22.08.17)	CCU(이산화탄소 활용)	여준석·김태영 (KISTEP)	기술동향
27 (22.08.18.)	우리나라 대학의 지식재산 창출과 활용 현황	한웅용 (KISTEP)	통계분석

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
- (22.08.24.)	국가연구개발사업 학생인건비 지급의 주요 쟁점과 제언	박일주·이지은 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제330호)
28 (22.08.25.)	바이오플라스틱	박지현·홍미영 (KISTEP)	기술동향
29 (22.08.31.)	美, 「반도체 및 과학법 (CHIPS and Science Act)」 주요 내용 및 시사점	송원아·이양경·김다은 (KISTEP)	혁신정책
30 (22.09.05.)	우리나라 여성과학기술인력 현황	한웅용 (KISTEP)	통계분석
31 (22.09.16.)	K-방산 수출 성과와 민군 R&D 협력의 주요 시사점	임승혁·유나리 최충현·한민규 (KISTEP)	혁신정책
32 (22.09.19.)	2021년도 국가연구개발사업 집행현황	한웅용·한혁 (KISTEP)	통계분석
33 (22.09.21.)	美, 「국가 생명공학 및 바이오제조 이니셔티브」 행정명령 주요 내용 및 시사점	김종란·김주원 (KISTEP)	혁신정책
34 (22.09.28.)	오픈사이언스 시대, 블록체인 기술을 통한 연구데이터 플랫폼 활성화 방안	이민정 (KISTEP)	혁신정책
35 (22.10.04.)	2020년도 세계 R&D 투자 상위 2500 기업 현황	한웅용 (KISTEP)	통계분석
36 (22.10.05.)	지능형 센서 플랫폼	권정은·조유리 (KISTEP)	기술동향
- (22.10.06.)	화이트바이오 산업 활성화를 위한 유망 분야 도출 및 정부지원 방안	박지현·홍미영 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제331호)
- (22.10.20.)	신산업 분야 소재·부품·장비 미래선도품목 현황 진단 및 기술적 한계 극복전략	김진용·김어진 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제332호)
37 (22.10.31.)	디지털 역기능 전망과 대응 방향	KISTEP·ETRI	미래예측
38 (22.11.02.)	메타물질	김용준·이학주·임승혁 (수원대학교·파동에너지 극한제어연구단·KISTEP)	기술동향
39 (22.11.03.)	'22년도 국가연구개발 행정제도 개선의 주요 내용 및 제언	서지현·김희정 (KISTEP)	혁신정책
40 (22.11.07.)	2022년 유럽혁신지수 분석 - European Innovation Scoreboard 2022 -	김선경 (KISTEP)	통계분석
41 (22.11.15.)	2020년도 우리나라 민간기업의 연구개발활동 현황 분석	한웅용·김한울 (KISTEP)	통계분석

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
- (22.11.17.)	대·중소기업의 상생·협력 R&D 활동을 어떻게 촉진할 수 있을까?	김주일·이승필·정두엽 조유진·진영현 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제333호)
42 (22.11.18.)	일본 경제안전보장추진법 기본방침 및 기본지침 주요 내용과 시사점	송원아·김규판 (KISTEP·KIEP)	혁신정책
43 (22.11.22.)	2022년 OECD NESTI 작업반 최신 동향 및 시사점	정유진 (KISTEP)	혁신정책
44 (22.11.23.)	소형모듈원자로 (SMR)	강경탁 (KISTEP)	기술동향
- (22.11.24.)	출연연의 전략성과 도전성 강화를 위한 기관평가 제도 개선 방안	김이경·우기쁨·정수현 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제334호)
45 (22.11.28.)	미국 중간선거(Midterm elections)에 따른 첨단기술 정책 변화 전망과 시사점	김진하·서정건 (KISTEP·경희대학교)	혁신정책
46 (22.11.30.)	전고체 배터리	강유진·김주원 (KISTEP)	기술동향
47 (22.12.01.)	2022년 세계혁신지수(GII) 분석	김선경 (KISTEP)	통계분석
48 (22.12.02.)	연구현장에서 바라보는 「국가연구개발혁신법」	유지은 (KISTEP)	혁신정책
- (22.12.06.)	전기차 사용후 배터리 산업 생태계 활성화 방안	이승필·여준석 조유진·김태영 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제335호)
- (22.12.06.)	新기후체제 시대 기후변화 적응 R&D의 주요 이슈 및 정부R&D 투자방향 제언	성민규·박창대 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제336호)
- (22.12.12.)	실험실창업, 어떻게 활성화 할 것인가? - 실험실창업 추진실태 분석과 정책제언 - (Suggestion for laboratory start-up activation)	이길우·방형욱·김태현 (KISTEP· 과학기술일자리진흥원)	이슈페이퍼 (제337호)
- (22.12.14.)	기술수용주기 모형 기반 2045년 미래혁신기술 분석	이재민·박창현·전해인 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제338호)
49 (22.12.14.)	한국 인도-태평양 전략 방향과 과학기술외교 시사점	강진원·김진하 (KISTEP)	혁신정책
- (22.12.16.)	기술패권 시대 과학기술 인재 정책 방향	유준우·김지홍·이원홍 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제339호)
50 (22.12.21.)	전고체 배터리	이강수·박정원 (KISTEP)	기술동향