최종보고서 제출양식

겉표지 양식 : (4×6배판(가로19㎝×세로26.5㎝))

(뒷 면)	(옆면)	(앞 면)
	차세대배터리초격차R&D전략수립을위한기획연구 과학기술정보통신부	2022R2A1 A1080847 차세대 배터리 초격차 R&D전략 수립을 위한 기획연구 (Research Planning on Super-Gap R&D Strategy for Next Generation Batteries) 연구기관 : 한국과학기술연구원 연구책임자 : 정경윤 2023. 1. 12 과 학 기 술 정 보 통 신 부

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의 개인적 견해이며 과학기술정보통신부의 공식견해가 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 배터리 초격차 R&D전략 수립을 위한 기획연구"의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 1. 12.

연구기관명 : 한국과학기술연구원
연구책임자 : 정 경 윤
연 구 원 : 정 훈 기
연 구 원 : 김 형 석
연 구 원 : 김 상 옥
연 구 원 : 오 시 형
연 구 원 : 장 종 현
연 구 원 : 윤 경 중

※ 본 과학기술정보통신부의 연구기획과제인 “차세대 배터리 초격차 R&D전략 수립을 위한 기획연구”에 대해 KIST 내부 중점연구회 사업을 통한 추가 지원으로 기획이 진행되었으며, 따라서 기획보고서의 세부내용이 유사함.

※ 본 최종보고서는 문체부 바탕체/문체부 돋움체 (출처: 문화체육관광부, 세종대왕기념사업회) 폰트로 작성되었음.

요 약 문

과제번호	2022R2A1A1080847	연구기간	2022년 6월 13일 ~ 2023년 1월 12일		
과제명	(한글) 차세대 배터리 초격차 R&D전략 수립을 위한 기획연구 (영문) Research Planning on Super-Gap R&D Strategy for Next Generation Batteries				
연구책임자 (주관연구기관)	정경윤 (한국과학기술연구원)	참 여 연구원수	총 7명	연구비	80,000천원

요약

○ 본 기획연구는 차세대 전지 초격차 R&D전략 수립을 목표로 함.

- 우리나라의 차세대 전지 분야 글로벌 주도권 확보를 위해서는 기존 전지의 한계를 월등히 뛰어넘을 수 있는 압도적 기술 경쟁력을 갖춘 초격차 기술이 필요
- 이를 위해 이차전지, 수소연료전지, 동위원소전지를 포함한 3대 차세대 전지 분야 기초·원천기술의 개발 추진전략을 수립
- 정부 R&D 투자, 국내외 기술수준, 산업동향을 분석하고, 선진국의 앞선 기술을 빠르게 추격함과 동시에 경쟁력이 확보된 기술의 차별화를 통해 초격차 기술을 확보하는데 필요한 기술개발 방향을 제시

○ 2030 차세대 전지 1등 국가 실현을 위한 초격차 R&D 추진전략을 도출함.

- 다양한 차세대 전지 기술 중 초격차 경쟁력을 달성 가능한 3대 R&D 혁신 목표(효율 향상, 안전성/내구성 향상, 소재 자립화) 기반의 20대 핵심 기술을 제시하고 선제적 확보를 위한 연구개발 추진전략 수립
- 3대 R&D 혁신 목표에 따른 초격차 기술의 효율적인 확보를 위한 차세대 전지 R&D 생태계(우수 인력양성, R&D 네트워크 구축, 국제협력 방안) 조성 방안 수립

비공개 사유	과학기술정보통신부 지정 대외비 보고서	비공개 기간	2023년 1월 12일 ~ 2023년 12월 31일

목 차

1. 개요 ····· 1
1.1. 추진배경 및 필요성 ····· 1
1.1.1. 기획 추진 배경 ····· 1
1.1.2. 차세대 전지 연구개발 필요성 ····· 3
1.2. 차세대 전지 기술의 정의 및 범위 ····· 5
1.2.1. 차세대 전지 기술 정의 ····· 5
1.2.2. 차세대 전지 기술의 범위 및 종류 ····· 9

2. 현주소 진단 및 나아갈 방향 ····· 13
2.1. 현황 분석 ····· 13
2.1.1. 국내 정부 R&D 현황 분석 ····· 13
2.1.2. 해외 정부 R&D 현황 분석 ····· 17
2.1.3. 논문/특허 분석 ····· 23
2.1.4. 산업동향 분석 ····· 33
2.2. 패러다임 변화 및 시사점 ····· 45
2.2.1. 현 기술의 한계 및 차세대 전지 기술 전망 ····· 45
2.2.2. 시사점 및 초격차 기술 확보 방안 ····· 50

3. 추진전략 ····· 53
3.1. 비전 및 목표, 전략체계도 ····· 53
3.2. 3+1 추진전략 ····· 55
3.3. 추진전략별 핵심 기술 도출 ····· 57

4. 차세대 전지 초격차 R&D 핵심 기술 ····· 62
4.1. 효율 향상 ····· 62
4.1.1. 단기 전략 ····· 62
4.1.2. 중장기 전략 ····· 63

4.2. 안전성 및 내구성 향상 ····· 66
4.2.1. 단기 전략 ····· 66
4.2.2. 중장기 전략 ····· 68
4.3. 소재 자립화 ····· 70
4.3.1. 단기 전략 ····· 70
4.3.2. 중장기 전략 ····· 72

5. 초격차 R&D를 위한 생태계 구축 ····· 75
5.1. 우수 연구인력 양성 ····· 75
5.2. R&D 네트워크 구축 ····· 76
5.3. 국제 협력을 위한 기반조성 ····· 78

6. 전망 및 향후 계획 ····· 80
6.1. 해외의 예상 대응 시나리오 ····· 80
6.2. 전망 및 향후 계획 ····· 82

1. 개요

1.1. 추진 배경 및 필요성

◈ (초격차 기술) 압도적 경쟁력과 우위를 보유한 기술로써 기술 역량 확보를 통해 모방과 추격을 넘어 세계 최초를 만들어 낼 수 있는, 대한민국 과학기술 초강국 달성을 위해 필요한 기술을 의미

◈ 기존에 개발된 전지의 한계를 월등히 뛰어넘을 수 있는 압도적 기술 경쟁력을 갖춘 차세대 전지 초격차 기술이 필요

◈ 본 기획에서 다루는 차세대 전지 기술은 이차전지, 수소연료전지, 동위원소전지 기술 등을 포함하며, 차세대 전지 초격차 R&D 전략 수립이 시급

◈ 차세대 전지의 국내외 기술수준, 산업동향을 살펴보고 선진국의 앞선 기술을 빠르게 추격함과 동시에 경쟁력이 확보된 기술의 차별화를 통해 초격차 기술을 확보하는데 필요한 기술개발 방향을 제시하고자 함

1.1.1. 기획 추진 배경

□ 이차전지 초격차 기술 추진 배경

○ 이차전지는 친환경화라는 글로벌 트렌드 속에서 지속 가능한 성장의 핵심수단으로 각국의 수요 증가로 글로벌 시장에서 급속도로 성장할 것으로 전망되고, 특히 최근에는 탄소중립의 일환으로 일상(가전, 전기자동차(EV)), 산업, 수송, 특수목적(우주, 군사) 등 다분야에서 전동화, 무선화가 이루어지고 있는 사물 배터리 시대가 열림

○ 글로벌 이차전지 시장규모는 전기차 보급 확대에 힘입어 `20년 461억 달러에서 `30년 3,517억 달러로 향후 10년간 8배 이상 성장이 전망되고 있으며, 한국·일본·중국이 글로벌 이차전지 시장의 95% 이상을 점유 중

○ 한·중·일 각축 속에서 한국은 제조 생산성, 일본은 배터리 원천기술, 중국은 가격 경쟁력을 우위를 보이고 있으며, 원료, 소재 공급망 관리와 더불어 차세대 전지 조기 상용화가 향후 치열해지고 있는 이차전지 분야의 핵심 가치로 판단됨

○ 한국은 리튬이온 이차전지 제조 분야는 세계 최고 수준이나, 차세대 이차전지용 소재 원천기술은 기술 선도국인 일본 대비 70~80% 수준으로 이차전지 분야의 글로벌 주도권 확보와 더불어 중·장기적인 패러다임을 바꿀 수 있는 다양한 용도의 차세대 전지에 대한 원천기술 개발 전략 수립이 필요함

○ 효율, 내구성, 소재 자립화 측면에서 기존 이차전지 기술을 월등히 뛰어넘을 수 있는 압도적 기술 경쟁력을 갖춘 차세대 이차전지 초격차 기술이 필요하며, 이를 달성할 수 있도록 뒷받침해줄 수 있는 인프라 기술 확보가 급선무임

□ 수소연료전지 초격차 기술 추진 배경

○ 에너지가 자원 중심이 아니라 기술 중심인 수소에너지 사회가 실현되면 기술 보유국이 에너지 강국이 되며, 화석에너지로부터 발생하는 환경, 자원고갈 등의 문제가 해결되고, 도심 내에 분산발전소에서 전력을 공급하며, 공해를 배출하지 않는 연료전지 자동차가 운행되는 등 우리 사회의 전반적인 패러다임 변화를 가져올 것으로 예상됨

○ 연료전지는 기존의 내연기관보다 효율이 높아 발전효율은 40~60%를 얻을 수 있고, 생성되는 열을 재이용하면 전체 에너지효율은 80~95%도 가능하고 광범위한 적용성과 다양한 연료의 사용이 가능하며, 유해가스 배출이 거의 없어, 친환경 신성장동력 기술로 수소 경제 사회 진입을 위한 관건이 되는 기술임

○ 수소에너지 사회에서 연료전지는 에너지 공급의 중심적인 역할을 하는 발전장치로 발전·건물·수송용으로 개발되어 향후 매우 큰 시장의 성장이 기대되며, 앞선 기술력을 갖춘 기업을 중심으로 커다란 산업군을 형성할 것으로 예측됨

○ 향후 막대한 시장이 예상되는 연료전지 분야의 기술 초격차를 유지하고 경쟁력을 확보하기 위해서는 현재 연료전지가 직면한 경제성 및 내구성을 확보할 수 있는 한계돌파형 기술개발과 중·장기적으로 패러다임을 바꿀 수 있는 혁신적 원천기술을 확보할 기술개발이 절실함

○ 수소차에서 기확보된 기술을 바탕으로 드론 등 새로운 차세대 모빌리티에 활용할 수 있는 기술의 개발로 중·장기적 원천기술 확보가 가능하고, 또한 새로운 소재를 활용한 새로운 종류의 연료전지의 개발을 통해서 관련 산업의 미래 먹거리의 확보가 가능할 것으로 예상됨

□ 동위원소전지 초격차 기술 추진 배경

○ 2020년 글로벌 우주산업은 약 3,700억 달러로 추산되며, 연평균 5.2%씩 성장하여 2040년에는 대략 1조 100억 달러로 성장할 것으로 예상됨 [Morgan Stanley, 2020]

○ 동위원소전지 기술은 방사성동위원소가 가지는 특성상 에너지 밀도가 높고 극한환경에서도 작동되는 등 신뢰성이 높아 선진국을 중심으로 우주개발, 극지탐사 및 국방응용 분야에 널리 사용되고 있음

○ 미국은 지속적으로 우주 탐사를 위한 기술 개발을 진행하고 있으며, 최근 DOE에서 우주 에너지원에 대한 10년 계획 발표에서도 달, 화성을 넘어 심우주 탐사를 위한 장수명 고효율 전력 시스템과 열 안정성, 고효율 열전재료 등에 대한 원자력 시스템을 위한 핵심 기술 또한 강조한 바 있음

○ 우주, 극지 등 특수목적용 전지 시스템의 필요성이 부각되며 동위원소전지 기

술에 대한 R&D 전략이 국내외로 활발히 진행되고 있고, 특수목적용 전지시스템 분야에서는 현재 사용되고 있는 전력원들의 한계로 인하여 차세대 전력원에 대한 관심과 소요가 증가하는 가운데, 독립적으로 전기 생산이 가능한 초장수명 고효율의 동위원소전지가 각광받고 있음

○ 선진국에서는 국가 전략기술로서 동위원소전지 기술에 대한 중, 장기적인 개발 프로그램을 운영하고 있으나 후발주자인 우리나라에서는 달 탐사 사업 등 단속적인 사업의 필요에 따라 연구개발이 진행되고 있어 세계적 수준의 기술 확보에 어려움이 있음

○ 우주, 심해, 국방 등 특수목적 분야 이외에도 모바일 센서, IoT 등 일상 분야에서도 적용 가능성이 넓으며, 중장기적인 개발계획의 수립과 진행이 필수적임

1.1.2. 차세대 전지 연구개발 필요성

◈ 현재 널리 이용되는 전지는 에너지밀도 및 안전성 개선이 시급함
◈ 에너지원으로서의 전지의 에너지밀도 한계는 전지의 응용 분야 확장을 저해함
◈ 고에너지밀도 차세대전지의 응용분야는 급속히 확대될 것으로 기대함
◈ 전지 사용에 있어 우선적으로 확보되어야 할 기술은 안전성으로서, 화재 관련 안전성 이슈를 해결해야 함
◈ 전지 제조에서 발생하는 비용의 문제가 전지 산업을 크게 발전시키는 것에 걸림돌이 되고 있으며, 제조 공정의 최적화 및 규모의 경제화를 통해 전지의 제조 단가를 낮추어야 함
◈ 기존의 이차전지, 수소연료전지, 동위원소전지의 한계점을 극복하는 차세대 전지 기술 개발이 필요함

□ **(이차전지 연구 필요성) 현재 이차전지는 에너지밀도, 안전성, 충전속도, 가격 등 성능 및 비용 한계 문제에 직면하고 있으며, 이를 획기적으로 개선하는 연구와 함께 핵심 소재의 해외 의존도를 낮추고 소재를 내재화하기 위한 R&D 생태계 구축이 필요함**

○ **(에너지밀도)** 1회 충전 시 주행거리는 전기차의 가장 중요한 요소로, 리튬이온전지 제조사들은 양극재의 니켈 함량 증가, 음극재 실리콘 첨가량 증대 등을 통한 에너지 밀도 개선을 시도하고 있으나, 상용화된 양극활물질 역시 최근 용량 한계점에 도달한 실정이므로 한계 돌파형 차세대 전지 기술개발이 요구됨

○ **(안전성)** 현재 리튬이온전지는 가연성 소재의 화재 문제가 대두되고 있으며 이는 전지의 열관리의 어려움이 있고 화재 시 전지 소재의 독성과 폭발력이 문제가 되어 고안전성 고체전해질로의 대체, 전지 셀 구조 개선 등을 통해 안

전성을 개선해야 함

○ **(충전 속도)** 급속충전을 위해서는 고전압 고전류 구동이 가능한 배터리가 필요하며 신규 고성능 전극소재 도입을 통해 충전속도 개선을 위한 노력을 진행중이나, 충전 시간을 10분 이내로 단축시키기에는 한계점 존재

○ **(비용)** 지속적인 리튬 등의 원료 가격상승에 따른 비용 증가로 인해 저가형 전지 시스템 개발이 필요함

○ **(소재·부품 해외 의존도)** 리튬이온전지 제조는 세계 최고 수준이나, 차세대 이차전지용 소재 원천기술은 일본 대비 열세이고, 따라서 여전히 소재·부품의 해외 의존도가 높고 시장 점유율도 낮은 등 소재·부품의 생태계는 취약한 실정

□ **(수소연료전지 연구 필요성) 현재 수소연료전지는 안전성, 제조공정, 시스템화 비용 등 기술적인 한계에 봉착하고 있어, 내구성이 높은 소재의 개발과 함께 전지 시스템 수준에서 안정화 기술개발이 필요함**

○ **(안전성)** 고온 작동으로 인한 장기 운전에 대한 신뢰성 확보 부족, 발전용 연료전지가 기존 기술 대비 상용화를 위한 경제성을 갖기 위해서는 5만 시간 이상의 수명이 보장되어야 하지만, 높은 온도에서 발생하는 다양한 열화 현상으로 인하여 내구성 확보에 어려움을 겪고 있고, 복잡한 열화 원인을 규명하고 대응책을 마련하는데 어려움을 겪고 있음

○ **(제조공정기술)** 고온형 발전용 연료전지는 대면적화 및 대용량화에 있어서 세라믹 소재의 취성으로 인한 어려움을 겪고 있고, 제조 공정이 복잡하고 불량품 제어 및 수율 확보가 어렵기 때문에 우수한 본질적인 특성을 실제 제품에서 십분 활용하기가 어렵고 제조 비용을 낮추는 것에도 한계가 있음

○ **(시스템화 비용)** 실험실 수준의 연구에서 발전용 연료전지의 성능을 향상시킬 수 있는 다양한 기술이 보고되고 있으나 이를 실제 대면적 셀 및 실제 스택/시스템에 성공적으로 적용한 예는 찾아보기 어렵고, 이로 인해 현재는 성능이 낮은 타입의 셀 디자인을 사용한 제품 위주로 개발되고 있으며, 따라서 단위 출력에 요구되는 셀 수가 늘어나기 때문에 제조단가를 낮추기 어려움

○ 전력변동 대응 고응답성 연료전지 개발, 연료전지 시스템 고장 진단 기술, 연료전지 스택 수명 예측 기술, 예기치 않은 시스템 shut-down 발생 억제 기술 등의 소재/부품 뿐만 아니라 시스템 수준에서 안정화 기술 개발이 필요함

□ **(동위원소전지 연구 필요성) 동위원소전지는 방사성동위원소를 이용하는 측면에서 제한적인 분야에서만 활용되며, 방사성동위원소의 안전성 문제, 동위원소전지의 저출력 및 높은 제조 단가의 문제 해결이 필요함**

○ **(고비용)** 동위원소열전발전기의 방사성동위원소 열원인 Pu-238, Am-241 등의 소재는 사용 후 핵연료의 재처리를 통해서만 생산이 가능하여, 현재 미국, 러시아에서만 제조가 가능하고 가격이 비쌈

○ **(위험성)** 배터리 내부에 방사성동위원소를 직접 사용하기에 차폐 및 오염에 대한 안전성이 필요하며, 배터리의 폐기 시 일반적인 방법으로 폐기 처분이 어렵기 때문에 방사성동위원소를 안전하게 분리하여 제염하는 기술이 필요함

○ **(저출력)** 현재 시제품으로 나온 베타전지의 출력 전력은 약 5 nW ~ 1 μW의 저출력이며 상용화에 장벽이 있음

○ **(열관리)** 스털링 동위원소전지의 스털링 엔진은 상대적으로 고속으로 작동하여 높은 출력 밀도를 제공하지만 고속 엔진은 저속 엔진보다 수명이 짧고 마모가 더 많이 발생하는 경향이 있으며, 엔진의 고온 구배는 엔진의 고온 부분과 저온 부분 사이에 열 응력을 유발할 수 있어 이를 관리하기 위해서는 고성능 재료가 필요함

1.2. 차세대 전지 기술의 정의 및 범위

1.2.1. 차세대 전지 기술 정의

□ **(전지의 정의) 전지(電池, Battery or Cell)는 물질의 물리적 혹은 화학적 반응을 통해 전기 에너지를 생성하고 공급할 수 있는 장치로, 반응의 종류와 활용 방식에 따라 다양한 전지 기술로 분류 가능함**

○ 전지는 수력 및 화력, 원자력, 신재생에너지 발전 등과는 달리 전기에너지를 화학 및 물리적 에너지로 보관 및 내재화해 두었다가 기기를 구동하기 위해 필요할 시점에 활용이 가능한 장치로 구분 가능함

○ 전기에너지 생산 단계에서 시간적 및 공간적 제약이 따라는 태양광, 조력, 풍력 등의 신재생에너지와는 달리 소형화에서 중대형 제품까지 다양하게 생산 및 응용이 가능하여 사용자 입장에서 전기에너지 효율 극대화가 가능함

□ **(기획대상 차세대 전지 기술 선정) 다양한 전지 시스템 중 에너지를 저장하였다가 필요할 때 전기에너지로 변환하여 반복적 혹은 일정시간 이상 사용할 수 있는 특징을 보유한 이차전지(Secondary Battery), 수소연료전지(Hydrogen Fuel Cell), 동위원소전지(Radioisotope Battery)를 기획 대상으로 선정함**

○ 태양전지와 바이오전지 등은 에너지저장 시스템보다는 발전 시스템에 가까우며, 열전지는 비교적 짧은 시간 동안 고출력을 제공하며 주로 군 응용분야에서 1회성으로 사용되는 등 에너지저장의 개념이 희박해 기획 대상에서 제외함

[그림 1-1] 차세대 전지의 정의 및 특징

□ (이차전지의 정의) 이차전지는 방전 및 충전 과정에서 전지 외부에서는 도선을 따라 전자가 이동하고 전지 내부에서는 이온이 이동하여 발생되는 양극활물질과 음극활물질 사이에 화학에너지 차이를 이용하여 전기에너지를 발생시키거나 내부에 전기에너지를 저장할 수 있도록 구성된 시스템임

○ 이차전지로 널리 이용되는 리튬이온전지는 충전 시에는 양극에 있는 리튬이온이 음극으로 이동하며 양극활물질의 산화(음극활물질의 환원)가 일어나고, 방전 시에는 반대로 리튬이온이 음극에서 양극으로 이동하며 양극활물질의 환원(음극활물질의 산화)이 일어남

○ 리튬이온전지를 구성하는 4대 핵심소재는 양극활물질, 음극활물질, 분리막, 전해질이며, 가장 널리 사용되는 양극활물질은 리튬니켈코발트망간 삼원계 산화물 ($LiNi_xCo_yMn_zO_2$), 음극활물질로는 그라파이트 (C), 분리막으로는 다공성 폴리올레핀계열 (PP, PE), 전해질로는 리튬염이 첨가된 유기용매(예, $LiPF_6$ in EC/DMC)가 있음

[그림 1-2] 리튬이온전지의 원리 (출처: LG에너지솔루션)

□ **(수소연료전지의 정의) 수소연료전지는 수소를 연료로 사용하여 전기화학 반응을 통해 전기와 열 그리고 물을 생산하는 발전장치임**

○ 수소를 연료극으로 공급하면 촉매 층에서 수소이온(H^+)과 전자(e^-)로 산화되며, 공기극에서는 공급된 산소와 전해질을 통해 이동한 수소이온과 외부 도선을 통해 이동한 전자가 결합하여 물을 생성시키는 산소 환원반응이 일어나며 이 과정에서 전자의 외부 흐름이 전류를 형성하여 전기를 발생시킴

연료극 (Anode) 반응 $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$
공기극 (Cahode) 반응 $1/2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$
전체반응 $H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$

[그림 1-3] 연료전지의 작동원리 (https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell)

○ 수소연료전지 기본 구성은 연료극/전해질층/공기극으로 접합되어 있는 셀(cell)이며, 다수의 셀을 적층하여 스택을 구성함으로써 원하는 전압 및 전류를 얻을 수 있음

□ **(동위원소전지의 정의) 방사성동위원소는 안정한 원소로 변해가는 과정에서 방사선에너지를 방출하는데, 이 때 방출되는 광자 또는 하전입자의 에너지를 전기에너지로 변환하여 전력원으로 이용할 수 있도록 구성된 장치임**

○ 원자력으로부터 전력을 생산한다는 점에서는 원자력 발전과 비슷하다고 할 수 있으나 핵분열 연쇄반응을 이용하지 않고 방사성물질이 가진 고유한 에너지를 이용한다는 면에서 큰 차이가 있음

[표 1-1] 동위원소전지에 이용되는 방사성동위원소

방사성동위원소	반감기(year)	에너지(keV)	출력밀도(W/g)	방출 방사선
Ni-63	100	17	0.0067	β
H-3	12.3	5.7	0.34	β
Sr-90/Y-90	29	200/930	0.933	β, γ
Am-241	432.2	5638	~0.1	α
Po-210	0.38	5300	144	α
Pu-238	88	5500	0.56	α

○ 동위원소전지에 사용되는 방사성동위원소는 10~100년 정도의 반감기(방사성동위원소의 붕괴 시 방사능의 양은 지수함수적으로 감소하는 특징을 보이는데, 방사능의 강도가 원래의 절반이 되는데 소요되는 시간을 반감기라고 함)를 가지고 있는데 반감기가 길면 길수록 배터리의 수명이 늘어남

○ 또한, 방사성동위원소의 붕괴 현상은 온도, 압력 등 외부환경과는 무관하기 때문에 충전과 교체가 필요 없고, 수명이 수십 년으로 매우 길며, 극한환경에서도 동작할 수 있게 하는 전지를 만들 수 있어, 이러한 특징을 이용해 우주, 심해, 미세전자기계시스템 (MEMS, Micro Electro Mechanical System) 등에 사용할 수 있는 특수한 목적의 전력원을 개발할 수 있음

□ **(차세대 전지의 정의) 차세대 전지 기술이란 이차전지, 수소연료전지, 현 세대의 전지가 직면하고 있는 성능한계를 돌파하고, 나아가 신시장 창출 및 글로벌 기술 경쟁 주도권을 확보할 수 있는 과학기술 혁신형 전지 기술임**

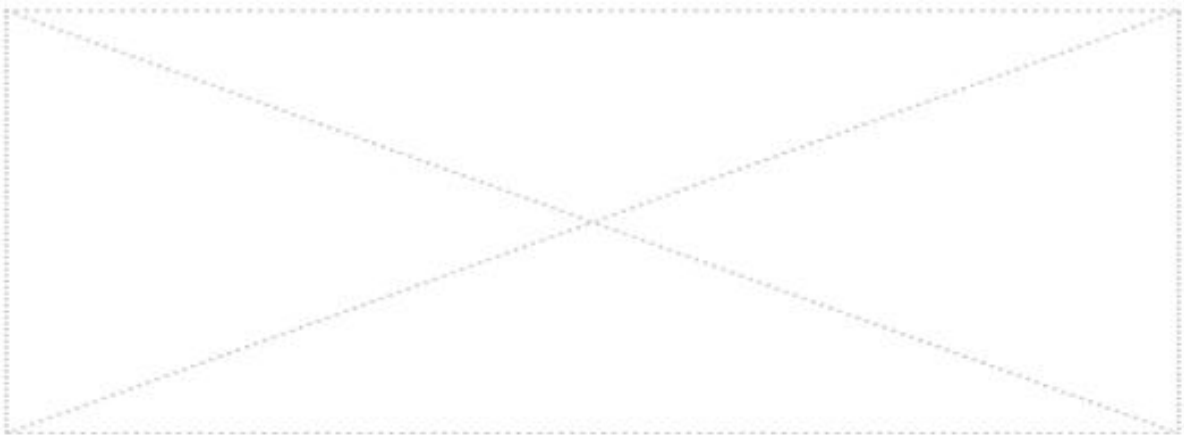
○ 소형 및 모바일 분야를 주도하거나, 기술 성숙도 한계에 의해 전개되지 못하던 현세대 전지 기술은 에너지밀도, 안전성, 비용 측면에서 한계로 인해 소비자가 실사용하기에는 위험부담을 가지고 있음

[그림 1-4] 현 전지 기술의 문제점

○ 월등한 성능을 비롯하여, 폭발 및 화재 위험성 없이 안전하게 사용할 수 있으며, 또한 누구나 사용 가능하도록 저가격 특성을 보장하는 차세대 전지 기술을 통해 새로운 응용 기기 분야를 전개함은 물론, 미래 시장을 선도할 수 있는 꿈의 전지 기술임

1.2.2. 차세대 전지 기술의 범위 및 종류

□ **차세대 전지 초격차 기술 확보 전략 수립을 위한 핵심 기술 분야인 이차전지, 수소연료전지, 동위원소전지에 대하여 우리가 확보할 수 있는 혁신형 전지 기술 범위에 대하여 각 분야별로 분류함**



[그림 1-5] 기획대상 차세대 전지 기술 분류

가. 이차전지

□ **이차전지 분야의 차세대 기술로는 에너지밀도, 안전성, 비용적 측면에서 현재 전세계적으로 가장 범용적으로 활용되고 있는 리튬이온전지의 성능 한계를 향후 뛰어넘거나, 대체할 수 있는 이차전지를 의미함**

○ 차세대 이차전지 요구 성능으로는 저장용량, 이동거리, 사용시간 증가, 경량화, 고속충방전 가능, 내구성 향상, 생산단가 절감 및 핵심소재 재생 등을 들 수 있으며, 이를 바탕으로 휴대용, 이동형, 고정형, 특수목적형 및 재활용 전략분야에 활용하고자 함

□ **차세대 이차전지 기술로는 이차전지를 구성하는 4대 핵심요소(양극, 음극, 분리막, 전해액)의 종류 및 이온 캐리어의 종류에 따라 전고체전지, 레독스흐름전지, 리튬황전지, 소듐(나트륨)이온전지, 리튬공기전지, 다가이온전지, 수계아연전지, 해수전지 기술 등으로 분류 가능함**

○ **(리튬이온전지)** 가장 대표적인 이차전지 시스템으로, 충방전 과정에서 활물질

사이에 화학에너지 차이를 이용하여 리튬이온이 이동하며 전기에너지를 발생시키고, 양극활물질, 음극활물질, 분리막, 전해질의 4대 핵심소재를 중심으로 구성됨

○ **(전고체전지)** 이차전지의 4대 구성요소 중 분리막과 전해액을 고체전해질 및 이를 포함한 복합 재료로 대체하여 안전성을 근본적으로 향상시킨 차세대 이차전지로 리튬 금속과 고전압 양극의 사용이 가능하여 고에너지밀도 구현이 가능함

○ **(레독스흐름전지)** 산화수가 서로 다른 액상의 음극, 양극 및 전해액으로 구성되며 레독스 쌍의 전위차에 의해 기전력이 발생하여 가역적으로 충전과 방전이 가능한 시스템으로, 용량과 출력을 독립적으로 설계 및 제조할 수 있으며 생산설비 비용이 낮고 사용된 전해액을 재사용할 수 있어 저가화가 가능함에 따라 타 전지 대비 가격 경쟁력이 높은 장점이 있음

○ **(리튬황전지)** 유황을 양극활물질로 사용하는 전지 시스템으로 유황의 높은 이론용량(1680mAh/g)을 기반으로 하기 때문에 이론적으로 기존의 리튬이온전지 대비 높은 에너지밀도가 가능함

○ **(소듐(나트륨)이온전지)** 반응물질로 리튬 이온 대신 나트륨이온을 이용하는 것이 특징으로, 리튬과 유사한 화학적 성질을 지닌 나트륨을 채용하기 때문에 기존의 리튬 이차전지와 유사한 원리로 작동하며, 저가의 원료를 사용하는 우수한 가격 경쟁력을 바탕으로 주로 ESS용 이차전지 시스템으로의 활용 가능성이 높음

○ **(리튬공기전지)** 리튬 금속을 음극으로 사용하고, 탄소 등의 전도성 소재로 구성된 공기극 집전체 위에서 대기 중의 산소와의 전기화학 반응을 통해 리튬산화물을 생성 및 분해하는 전지 시스템이며, 무게당 에너지밀도를 혁신적으로 증가시킬 수 있는 전지임

○ **(다가이온전지)** 충방전을 위한 이온캐리어로 마그네슘(Mg^{2+}), 칼슘(Ca^{2+}), 알루미늄(Al^{3+})과 같은 다가 이온을 사용하는 에너지 저장 기술이며, 입자 당 전하량이 높기 때문에 전기용량 측면에서 유리하고, 풍부한 매장량 덕분에 안정적인 공급이 가능함

○ **(수계아연전지)** 물을 기반으로 한 전해액 환경에서 아연 이온(Zn^{2+})이 전하 전달 매개체로서 양극과 음극 사이를 이동하면서 충방전이 이루어지는 이차전지임

○ **(해수전지)** 자연의 바닷물을 양극활물질로 사용하여, 해수에 녹아 있는 소금(NaCl)과 물(H_2O)의 전기화학 반응을 통해 에너지를 저장하고 사용하는 전지 시스템임

나. 수소연료전지

□ **수소연료전지 기술의 차세대 기술 범위로는, 전지의 활용분야에 따라 발전기술 그리고 모빌리티기술로 분류할 수 있고, 차세대 원천기술 확보를 위해 신개념 연료전지 기술이 있음**

- ○ **(발전기술)** 수소연료전지 발전기술은 수소를 활용하여 열과 전기를 생산하는 고효율 발전기술로 가정·건물용으로 활용 가능한 분산전원용 및 대형 발전용 연료전지와 이를 이용한 고부가가치 시스템을 포함
- ○ **(모빌리티기술)** 수소연료전지 모빌리티기술은 수소를 활용하여 연료전지시스템에서 발생한 전기로 모터를 구동하여 운행하는 모든 모빌리티기기 기술임
- ○ **(신개념 연료전지 기술)** 새로운 소재 또는 새로운 개념을 활용한 연료전지 기술로 성능, 내구성, 효율 등을 획기적으로 향상할 수 있는 연료전지로 AEMFC, PCFC, 바이오연료전지 등이 포함될 수 있음

□ **(전해질별 시스템)** 수소연료전지는 전해질 종류별로 고분자전해질 연료전지(PEMFC), 인산형 연료전지(PAFC), 용융탄산염 연료전지(MCFC), 고체산화물 연료전지(SOFC), 음이온교환막 연료전지(AEMFC), 프로톤이온전도세라믹 연료전지(PCFC) 등이 있음

□ **(작동온도별 시스템)** 고온형 연료전지(구동온도 ~400℃ 이상), 저온형 연료전지 (구동온도 ~200℃ 이하)로 분류할 수 있으며, 응용 분야별로는 대형발전용, 분산전원용, 수송용(상용차, 특수차량, 드론, 항공기, 선박 등)으로 분류 가능함

다. 동위원소전지

□ **동위원소전지 기술에 해당하는 차세대 기술 범위로는 전력변환 방식에 따라 동위원소 열전발전기(Radioisotope Thermoelectric Generator, RTG), 베타볼테익전지(Betavoltaic Battery), 스털링 동위원소전지(Stirling Radioisotope Generator, SRG) 등 기술의 종류가 있음**

- ○ **(동위원소열전발전기)** 방사성동위원소 연료에서 생성된 열이 열전모듈을 통해 직접 전력으로 전환되고 열전모듈과 연결된 단자에 전기가 모여 최종 전력으로 공급되며, 운동형 구조가 아닌 기기 특성상 마모될 가능성이 없기 때문에, RTG는 매우 신뢰할 수 있는 우주전력 옵션으로 간주됨
- ○ **(베타볼테익전지)** 방사성동위원소에서 방출하는 베타선, 즉 전자가 반도체 내에서 전자-정공 쌍(EHPs, electron-hole pair)을 생성하고, 생성된 전자-정

공 쌍으로 인해 전기장이 형성되어 전류가 흐르는 원리로 작동되며, Ni-63, Pm-147, Sr-90 등과 같은 방사성동위원소에서 방출하는 베타선(전자)을 반도체의 PN 접합층에 흡수시켜 전기에너지를 생산할 수 있도록 만들어진 장치임

○ **(스털링 동위원소전지)** 방사성동위원소의 붕괴열을 이용하여 스털링 엔진을 통해 전력을 생산하는 동적 전력변환방식(Dynamic converting)을 활용한 동위원소전지를 스털링 동위원소전지라고 함

□ **동위원소전지는 방사성동위원소의 붕괴에너지(입자, 전자기파, 열)를 전기에너지로 변환하는 시스템으로서 국방, 우주 영역 분야, 초소형 전력원 등 기존 이차전지를 쓸 수 없는 특수, 극한 환경에서의 에너지원으로 이용됨**

○ **(우주탐사)** 위성의 궤도가 반-알랜 대에 위치하여 우주 방사선에 태양전지가 파괴되어 전력을 공급하지 못하는 임무, 달과 같이 자전주기가 길고 밤낮의 온도차가 매우 큰 행성 탐사, 금성처럼 대기가 불투명하여 태양전지를 사용할 수 없는 탐사 임무, 그리고 태양과 거리가 먼 심우주 탐사 임무를 위한 에너지원

○ **(극지용, 국방용 전력원)** 북극탐사 및 알라스카 지역의 지진 감지용 전력원, 부표 등의 해양용 전력원, 국방용 정찰위성의 전력원, 심해에서의 적군 잠수함 탐지용 active sonar의 전력원

○ **(초소형 전력원)** 마이크로 로봇 또는 자가발전형 센서, 나노기술로 만든 초소형 기계인 미세전자기계시스템(MEMS, Micro Electro Mechanical System) 등의 전력원

2. 현주소 진단 및 나아갈 방향

2.1. 현황 분석

2.1.1. 국내 정부 R&D 현황 분석

□ **과거의 정부 지원 전지 분야 R&D는 현세대 전지 중심의 제조 기술개발인 산업기술 지원 중심으로 집중되었으며, 상대적으로 차세대 전지 핵심소재 기술과 같은 기초과학 및 원천기술에 대한 투자 및 지원은 미진하여 이에 대한 확대가 필요함**

○ 상용화가 진행 속도가 빠른 이차전지 기술 분야의 R&D 투자 분석 결과(NTIS 기준), 2017년부터 2021년까지 추진된 이차전지 국가연구개발사업은 총 3,377개의 과제가 수행되었으며, 최근 5년 동안 약 10,070억 원이 투자됨

○ 수소연료전지 기술 분야의 정부 R&D 투자 분석에 의하면, 2017년부터 2021년까지 국가연구개발사업으로 약 4,653억원이 투자됨

○ 동위원소전지 기술 분야의 경우, 특수목적 분야에 주로 적용되는 전지의 특성으로 인해 정부 R&D 투자가 매우 미미하였으며, 2017년부터 2021년까지 국가연구개발사업으로 약 102.6억원이 투자됨

[그림 2-1] 최근 5년(2017~2021)간 정부 주요 부처별 R&D 연구비

※ ('21 기준) 이차전지(산업부 1,238억/과기부 774억), 수소연료전지(산업부 975억/과기부 237억), 동위원소전지(산업부 17.3억/과기부 14.5억)

○ 이차전지, 수소연료전지, 동위원소전지에 대한 주요 부처별 정부 R&D 투자는 주로 산업부를 중심으로 전지제조, 생산 등 응용·개발 연구 위주의 산업기술 분야에 집중된 것으로 분석되며, 상대적으로 핵심소재와 밀접하게 연관된 기초·원천 기술에 대한 지원은 미진한 것으로 나타남

[그림 2-2] 최근 5년(2017~2021)간 연구개발단계별 투자 현황

○ 최근 5년간 3대 차세대 전지 기술 분야의 정부 R&D 과제를 연구개발 개념 분석에 따른 현황 검토 결과에서도, 전체 투자액(1조 4935억원)의 약 70%(1조 358억원)가 응용·개발연구에 지원되었고 상대적으로 기초연구의 비중이 낮은 것으로 나타남

□ **차세대 전지 기술은 제품화 및 사업화 시기가 5년 이후부터 전개될 것으로 예상되므로, 현재 기초 및 원천기술 확보 투자를 통해 초격차 경쟁력 증대 및 미래 기술 패권 전쟁을 준비할 필요가 있음**

○ 차세대 전지 기술에 대한 정부 주도의 기초·원천 분야 R&D 투자를 확대할 필요성이 높으며, 각 차세대 전지의 현재 기술개발 수준, 수요처의 규모, 향후 다양한 산업 분야로의 파급효과 등을 고려하여 단기 및 중장기 우선순위를 고려한 투자 전략 수립이 요구됨

가. 이차전지

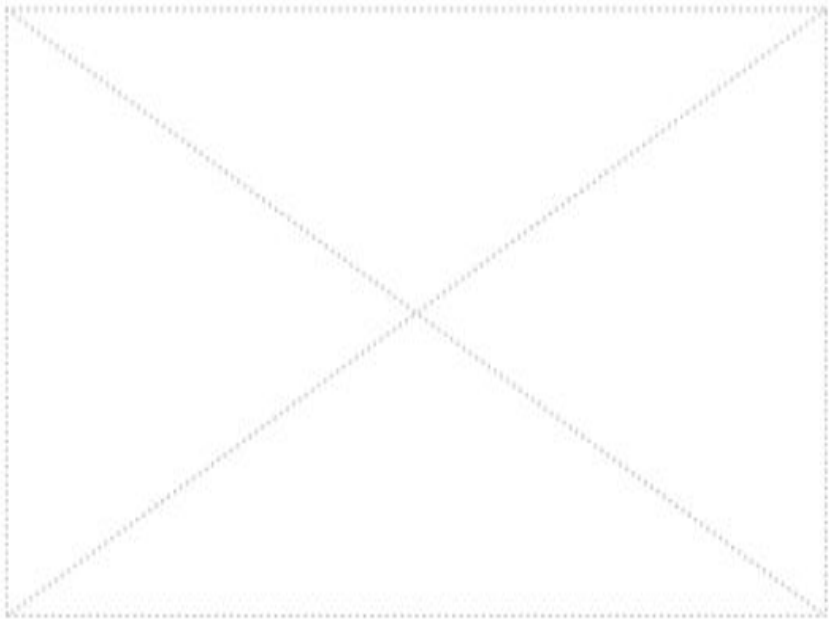
□ **(고성능 차세대 리튬이온전지) 전기차 및 ESS 등의 기술 선도를 위한 고성능 리튬이온전지 개발을 위해 2021년 국내 K-Battery 발전전략을 통해 2030년까지 이차전지 산업 매출액 166조 달성을 위한 대규모 지원 발표함**

○ 국내의 전지 3사와 다양한 소재·부품·장비 기업들은 2030년까지 40조원을 투자하고 이와 함께 정부는 R&D·세제·금융 측면에서 지원하기로 하였으며, R&D에 최대 40~50%, 시설투자에 최대 20% 세액공제의 세제를 지원하기로 함

○ 원재료 확보 지원을 위해 글로벌 선도기지 구축을 위한 연대와 협력의 생태계 조성을 위한 정책 발굴로, 민간의 해외 소재 광물 개발 프로젝트를 지원하고 자원보유국과의 협력 채널을 강화, 비축 시스템을 개선 지원

○ 급성장하는 폐배터리 재활용 시장을 지원하기 위해 2022년 이후 정부 지원금

을 통해 확보한 폐배터리의 시장 방출을 진행하고 사용 후 이차전지 회수, 수집·운반, 보관, 매각, 성능평가, 활용 및 제품화까지의 전 과정의 산업육성을 진행할 예정임



[그림 2-3] 국내 K-Battery 발전전략

※출처: 대한민국 정책 브리핑, 2021.07.09

□ **(신규 차세대 이차전지) 전고체전지, 리튬공기 및 황 전지, 레독스흐름전지, 나트륨이온전지, 다가이온전지, 수계전지, 해수전지와 같은 상용화 되지 않은 신규 차세대 이차전지 분야는 대부분 과기부 및 산업부 주도의 소규모 기초원천 과제를 통해 지원 중임**

○ 전고체전지는 안전한 전기자동차용 이차전지 탑재를 위해 조기 상용화(2027년)를 목표로 차세대 전지 기술 개발에 민간과 정부 역량 결집

- 4대 핵심소재(양극재, 음극재, 전해질, 분리막) 외 7대 차세대 소재를 선정, 미래선도품목에 단계적으로 포함하여 원천기술 개발 지원 확대

- (R&D 인프라) 차세대 이차전지 연구·실증평가를 종합 지원하는 `차세대 배터리 파크' 구축을 통해 미래 경쟁력 확보 집중 지원

○ 리튬-황 전지는 소형 플렉시블 기기 및 드론 등의 항공용 기기에 적용을 위한 개발 전략으로 2021년 K-Battery 발전전략을 수립하기도 하였으며, 최근 LG에너지솔루션에서 일부 프로토타입 전지를 제조하여, 드론용으로 시현하였음

○ 수계 이차전지의 경우, 소규모 기초원천과제로 과기부 지원에 의해 2020년 나노미래소재 원천기술 개발사업 및 2022년 나노 및 소재기술개발사업을 통해 대학 및 연구소 중심으로 R&D 지원이 시작되고 있음

나. 수소연료전지

□ **과기부 및 산업부는 수소 발전 분야의 경제성 확보를 목표로 핵심 부품·소재의 국산화를 위한 기술개발 등 지속적으로 R&D 투자를 지원하고 있으며, 2015년부터 2019년까지 5년간 수소 발전 분야에 과기부 기초원천 R&D로 318억원, 산업부는 주로 실증형 R&D로 1,297억원 투자**

○ 과기부는 수송용 MEA 핵심부품에 대해 미래 선도 가능한 기초·원천 기술개발을, 산업부는 수소모빌리티(육상, 항공, 해상 및 특수차량) 연료전지시스템 및 수소상용차 내구성 향상 기술개발 및 실증을 중심으로 기술개발 지원 중

○ 기초·원천 R&D를 지원하는 과기부에서는 부품소재 국산화를 위해 주로 국가연구실 및 소재혁신선도 프로젝트를 수행 중

- 국가연구실(N-LAB) : 25개 지정, 소재·부품·장비분야 중장기적 연구 및 위기상황 시 신속한 연구수행을 통한 대응, 연구·정책지원 거점 기능
- 소재혁신선도 프로젝트 : 17개 연구단 중 수소연료전지 소재연구단 수행 중, 핵심소재(전극촉매, 카본지지체, 전해질막, 이오노머) 및 부품(막전극접합체, 가스켓) 국산화 연구 수행

다. 동위원소전지

□ **동위원소전지 분야는 항공 및 우주, 심해 등의 특수 목적 분야에 적용을 위해 동위원소열전발전기, 베타볼테익전지, 스텔링 동위원소 전지 등의 차세대 기술개발이 과기부 및 산업부 중심으로 R&D 투자가 지원되고 있음**

○ 동위원소열전발전기(Radioisotope Thermoelectric Generator, RTG) 우주뿐만 아니라 심해, 국방 등 특수목적 분야에서 활용도가 매우 높은 기술로, 과기부 주관의 달탐사 개발 사업 등을 통해 한국원자력연구원 등에서 개발하고 있음

- 선진국에서는 국가 전략기술로서 동위원소열전발전기 기술에 대한 중·장기적인 개발 프로그램을 운영하고 있으나, 우리나라의 경우 달 탐사 사업 등 필요에 따라 단속적인 사업의 연구개발이 진행되고 있음
- 2016년도부터 과기정통부 주관 `달탐사 개발사업'의 선행연구로, 현재 한국원자력연구원과 전기연구원의 공동연구를 통해 달탐사용 원자력전지를 위한 핵심기술을 개발 중에 있으며, 한국원자력연구원은 2019년부터 원자력전지용 Sr-90 방사성동위원소 열원 제조기술 및 보호모듈 개발 등 원자력전지를 위한 방사성동위원소 열원 핵심기술 개발을 진행 중임

○ 베타볼테익전지(Betavoltaic Battery) 분야는 국내 정부 주도에 의한 연구지원은 2011년 이후 꾸준히 이어져 오고 있으나, 주로 정부출연연구소 주요사업

등을 통해 개발되는 등 전체 규모와 참여기관의 수는 제한적임

- 한국원자력연구원은 2007년 과기부의 원자력핵심기초연구과제로, 2차원 평면 형태의 P-N 접합 다이오드를 활용한 동위원소전지 개발 연구를 수행하고 있음
- 한국전자통신연구원은 2010년 기관 주요사업을 통해 방사선 관리 구역인 동위원소 실험실을 구축하는 등 동위원소 기반 전지를 개발하고 있음

2.1.2. 해외 정부 R&D 현황 분석

□ **해외 정부의 경우, 국내에 비해 차세대 이차전지, 수소연료전지, 동위원소전지 분야 R&D 투자가 상대적으로 활발한 것으로 판단되며, 특히, 선진국을 중심으로 이차전지, 동위원소전지 기초·원천기술에 대한 R&D가 전략적으로 수행 중임**

가. 이차전지

□ **(고성능 차세대 리튬이온전지) 미국, 중국을 중심으로 전기차용 이차전지 공급 확대 및 재활용을 장려하기 위한 정책을 추진 중임**

- ㅇ (미국) National Blue Print for Lithium Batteries 2021-2030: 리튬 이온 전지를 만들기 위한 소재의 해외 의존도를 낮추려는 정책 및 이차전지 재활용을 통한 밸류체인 구축 지원 프로그램
- ㅇ (중국) 신에너지 자동차 차량 구입세 면제에 관한 공지: 21년 1월 1일부터 22년 12월 31일까지 구입한 이차전지 기반 자동차에 대한 구입세 면제
- ㅇ (프랑스) 배터리를 위한 혁신 기술 개발: 23년 1월 10일까지 4가지 연구와 관련된 기술에 대한 정부 지원 (1. 리튬 이온 배터리 관련 요소 2. 코발트 니켈을 줄일 수 있는 화학기술 3. 배터리 제작 및 재사용 기술, 4. 혁신적인 배터리팩 시스템 개발)
- ㅇ (EURO) EBA (European Battery Alliance) 신설, 배터리 관련 기업에 1차 32억 유로, 2차 29억 유로 지원 제공

□ **(차세대 이차전지) 리튬이온전지 이후의 차세대 이차전지 기술을 선도하기 위해 이차전지 분야 선진국인 미국, 일본, 중국 등에서 다양한 R&D 투자 프로그램을 진행 중임**

○ 전고체전지 기술

– 미국 에너지부는 'Workplace Charging Challenge'프로그램을 통해 약 350개의 산·학·연이 참여하는 전고체 전해질을 비롯한 이차전지 소재 및 전지 개발 R&D 프로젝트 진행 중임

– "EU 배터리 연합"을 출범하여 독일과 프랑스 주도의 배터리 R&D 및 산업 투자를 계획. EU 집행위원회는 "배터리 산업 발전 전략 실행계획"발표, 전고체 전지를 차세대 전지 기술로 확정하고 이를 위한 R&D 투자 계획 "배터리2030+"발표하였음

– 일본의 신에너지산업기술총합개발기구(NEDO)의 전고체 배터리 개발 프로젝트를 자동차기업 3사(토요타, 닛산, 혼다)와 주도하며 전고체 배터리 주요 기업 및 대학이 모두 참여한 "올재팬 프로젝트" 진행 중

– 중국은 전고체 전해질 등 핵심 부품 소재 기술을 중국화 하겠다는 전략. 웨이란신에너지는 중국 과학원에서 창업한 회사로 전고체를 비롯한 차세대 배터리 기술을 중국 내 대학들과 R&D 프로젝트를 진행하고 있으며 비야디, CATL 등의 업체들과도 연계하여 중국과학원 내 전고체 배터리 기술 연구센터를 설립

○ 레독스흐름전지 기술

– 미국 정부는 연방정부 차원에서 민간이 태양광 발전과 연계하여 ESS를 설치할 경우 ITC(투자세액공제) 지원을 제공

– 독일 정부는 연방에너지경제부(BMWi)의 보조금 지원과 독일재건은행 (KfW)의 저금리 대출제도를 통해 ESS 보급을 지원 자금지원 외에도 신재생 발전과 연계한 가정용 ESS 위주로 세금 및 전력계통 접속 수수료 면제 등 혜택을 제공

– 일본 정부는 가정용 ESS의 보급을 지원해왔으며, 2012년부터 태양광 발전과 결합한 가정, 상업용 ESS의 설치비용의 50%(중앙정부가 최대 30%, 지자체가 10~20%) 지원

– 중국은 보조금, 세제 감면 등 지원 제도에 비해 산업은 여전히 초기 수준으로, 2018년 글로벌 ESS 용량에서 차지하는 비중은 8.5%에 불과할 정도로 ESS 시장 성장은 상대적으로 더딘 편임

– 다만, 중국 국가발전개혁위원회(NDRC), 국가에너지국(NEA), 과학기술부 등은 2025년까지 신형 에너지저장장치 규모 30GW 이상, 2030년까지 신형 에너지 저장 전면 시장화 발전 실현 및 에너지 저장소는 풍력, 태양광 발전의 중요 요소로 전기화 시대에 맞춰 높은 수준의 정부 지원 등 목표를 밝힘

○ 나트륨이온전지 기술

– CATL의 나트륨이온전지 개발과 관련하여, 중극정부는 나트륨이온전지 산업발전에 적극 동참하여 ‘중국 나트륨이온전지 발전 관련 제안’을 발표하며, 기업들의 나트륨이온전지 기술혁신, 대량 양산 등에 적극지원 하겠다고 밝힌 바 있음

– 중국은 과학기술부가 '14차 5개년 기간 에너지 저장 및 스마트 그리드 기술 계획'에 나트륨배터리 분야를 포함했고, 재정부는 제품 및 기업에 대한 지원을 맡고 있고, 경제부 등은 상용화를 적극 추진 중임

○ 리튬공기전지 기술

– 미국, 일본 등 해외에서는 요소기술 확보를 위한 꾸준한 정부 R&D 투자가 이루어지고 있으며, 차세대 핵심기술을 확보하기 위한 중장기적 투자가 이루어지고 있음

– 미국의 경우 Joint Center for Energy Storage Research (JCESR)는 매해 2400만 달러의 지원을 받으며 차세대 전지 개발에 사용되고 있으며, 한번 충전으로 500마일의 주행거리가 가능한 전기차를 상용하기 위해 IBM을 필두로 관련 연구를 수행하였음

– 민간기업 주도의 R&D보다는 해외정부 부처에 의한 요소기술 R&D지원을 통한 학교 및 연구소를 중심으로 한 기초연구가 활발히 이루어지고 있으며, 추후 리튬금속음극의 상용화 및 이차전지 양극등 부품비용 문제, 전지 경량화 문제 등과 같은 현안들에 따라 보다 적극적인 연구가 이루어질 것으로 기대됨

○ 수계아연전지 기술

– 수계아연전지는 아직 기술 성숙도가 낮아 상용화를 위한 기초 기술 연구에 집중되고 있기 때문에 가시적인 정책 지원의 모습은 보이지 않음

– 향후, 수계아연전지의 기술적 진보가 이루어져서 상용화의 가능성이 열린다면 정부 주도의 대규모의 정책적 지원이 예상됨

○ 해수전지 기술

– (미국) 세계 최초로 의무화제도 도입, 세제혜택, 차별적 요금제도 등 연방 및 주정부의 지원정책을 바탕으로 ESS의 보급 확산정책을 적극적으로 추진하고 있음

– (일본) NaS와 리튬이온배터리를 기반으로 기업체와의 협력을 통해 ESS 시장 창출을 가속화하고 있으며 가정용 보조금 지원과 경제산업성 주도의 LIB ESS

설치비의 최대 1/3을 지원하는 정책이 있음

- (독일) 2013년 기준 신재생에너지 발전이 전체 발전량의 23%에 달하고 있어, 보조금 지원을 핵심정책으로 하고 있으며, 태양광 발전 연계형 ESS의 설치비용의 30%를 지원하고 저금리 대출 'KfW 프로그램 275'를 통하여 4천개 이상의 에너지저장시스템을 설치하고 있음

나. 수소연료전지

□ 세계 주요국은 수소 발전 분야의 상용화를 위한 R&D에 적극 투자 중임

○ (미국) DOE Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE)와 Office of Fossil Energy (FE), Office of Science에서 수소연료전지 프로그램 지원

- (EERE) 수송용 고분자전해질 연료전지(PEMFC) 중심의 고정용 연료전지, 백업 전원 등 수소 기반 연료전지의 내구성 향상, 가격 저감, 신뢰성 확보를 위한 핵심 소재·부품 개발 지원
- (FE) 화석연료의 전기변환 효율을 높이기 위한 발전 플랜트용 고온연료전지 (SOFC 등) 개발 프로그램

부문	프로그램 세부 현황
촉매·전극·전해질	• 조기 R&D 적용으로 촉매 및 전해질을 포함한 재료 및 스택 부품의 원가 절감, 성능 및 내구성 향상
ElectroCat 프로그램	• PGM-free 촉매 및 전극 개발하여 연료전지 시스템 확산 가속화
FC-PAD 프로그램	• 연료전지 성능 및 내구성향상, 셀 성능 향상 등 개발 목표

○ (일본) 2020년을 수소발전의 본격 도입과 대규모 수소 공급 시스템의 확립시기로 설정하고 연료전지 등을 활용한 수소 활용 기술을 단계적으로 도입 예정

사업명	사업목적
연료전지 이용확대를 위한 에네팜(ENE·FARM)등 도입 지원 사업비 보조금	• 2020년부터 가정용 연료전지는 보조금 지원 없이도 보급될 수 있도록 지원 • 2017년부터 시장에 투입된 고효율 상업·산업용 연료전지(SOFC)의 보급·확대를 위한 지원
차세대연료전지의 실용화(저비용화·내구성 향상 등)를 위한 연구·개발사업비	• 고효율 및 내구성·저비용의 차세대형 연료전지 시스템을 실현을 위한 촉매·전해질 등 관련 기반 기술 개발 및 실용화 기술 개발 지원 • 고효율(65% 이상) 연료전지 기술개발 지원

○ (EU) FCH JU(Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, 연료전지 및 수소 공동 연구 개발 사업)를 통하여 수소 및 연료전지 기술개발과 보급 추진

※ 수송(차, 버스, 수소충전 인프라)과 에너지분야(수소생산, 분배, 에너지저장, 정치형 발전)에 있어 시장진입을 위해 대규모 실증을 통한 성능향상 및 가격 저감 추진

[표 2-1] 주요국의 정부주도 R&D 프로그램

국가	프로그램명	대상	내용	예산	
미국	Hydrogen and Fuel Cell (EERE)	수송용	수소 제조, 운송, 공급기술 연료전지(PEFC) 기술 기술 타당성 검증 안전 표준,법제화 등	$101M	$202M
	Basic Science	수송용	수소, 연료전지 기초원천	$22M	
	SECA(Fossil Energy)	발전용	SOFC 기술	$30M	
	Nuclear	수소제조	열화학수소제조기술	$2M	
	ARPA-E	수소 연료전지	혁신기술	$47M	
일본	SOFC 실용화 추진 기술 개발사업	건물용 발전용	상업용, 발전용 시스템 개발	$139M (156억엔)	
	수소이용기술 개발사업	수송용	수소충전소 보급 기술 개발		
	수소이용 선도기술 개발사업	수송용	저가 고효율 수소제조, 수소액화저장 기술		
	수소사회구축기술 개발사업	수송용 발전용	수소에너지 시스템 및 이용 기술개발		
	고분자연료전지 이용 고도화 기술 개발사업	수송용 건물용	보급확대 기반기술 및 부품소재 양산공정 개발		
유럽	FCH 2 JU uner Horizon 2020	수송용 발전용 건물용	기간 : 2014-2020 2050년 저탄소경제로 전환을 목표로 수소연료전지 실증	$1.5B (13.3억 유로)	
독일	NIP Ⅱ	수송용 건물용 P2G	기간 : 2016-2026 수소차/수소버스,수소충전소, 주택용 연료전지 실증, 시장 확대, Power to Gas	$1.6B (1.4B)	
중국	New Energy Vehicle	수송용	수소연료전지 핵심기술 수소전기차, 버스 실증	$41M (259 M RMB)	

다. 동위원소전지

□ **동위원소전지는 주로 극한환경, 우주 탐사를 목적으로 미국, 러시아 등 한정된 국가를 중심으로 R&D를 수행 중임**

○ 동위원소열전발전기 (Radioisotope Thermoelectric Generator, RTG)

- (미국) 지속적으로 우주 탐사를 위한 기술 개발을 진행하고 있고, 최근 DOE에서 우주 에너지원에 대한 10년 계획 발표에서도 달, 화성을 넘어 심우주 탐사를 위한 장수명 고효율 전력 시스템과 열 안정성, 고효율 열전재료 등에 대한 원자력 시스템을 위한 핵심기술 또한 강조한 바 있으며, 또한, 심우주 자원탐사를 위한 우주선 발사계획을 밝힘으로써 동위원소전지의 효율 향상에 대한 지속적인 연구개발 투자 중

- (러시아) 유럽, 중국에 이어 러시아에서도 최근 달기지 구축 계획을 밝힘으로서 달 표면에서의 생존을 위한 대용량 동위원소전지 관련 연구가 크게 증가하고 있으며, 최근 중국과 우주탐사 공동 연구에 대한 공동연구 진행을 추진하며 우주탐사 전력원으로써 동위원소전지의 중요성과 원자력시스템을 위한 핵심소재 부품기술에 대한 관심과 중요도가 높아지고 있음

○ 베타볼테익 전지 (Betavoltaic Battery)

- (미국) Widetronix사는 2008년 미 국방부, 국립보건원의 지원으로 삼중수소, Ni-63 동위원소를 사용한 베타전지를 개발하였고, 미국 육군연구소, 공군 미사일방청, 미국 국방부 등에서 투자를 했으며 국방 무기체계에 적용되는 베타전지를 개발하는 것으로 예상됨

- (미국) 지난 수년간 베타전지가 대량으로 제작되어 군사장비 보조전원으로 이용된 것으로 파악되며, 러시아는 최근 베타핵종의 생산량을 크게 늘리고 베타전지의 효율 향상 연구에 집중적인 투자를 시작

○ 스털링 동위원소전지 (Stirling Radioisotope Generator, SRG)

- 스털링 동위원소전지는 미국, 중국, 유럽에서 개발되고 있으며, 정부주도의 R&D는 미국과 중국에서 수행됨

- (미국) 스털링 엔진 개발은 1970년대 초 NASA Glenn Research Center(당시 NASA Lewis)에서 시작. 12.5kWe급 SPDE(Space Demonstrator Engine), CTPC(Component Test Power Converter) 개발

- 1983년 초에 SP-100 프로그램으로서 국방부(DOD), 국방고등연구계획국(DARPA), 미국항공우주국(NASA), 항공우주기술국(OAST)과 에너지부(DOE)

원자력 사무소는 군사 및 민간 응용을 위해 스털링엔진 포함, 우주 원자로 전력 시스템에 필요한 기술 공동 개발

- 장기간 우주 과학 임무를 위해 미국 에너지부(DOE)와 록히드 마틴 우주 시스템 회사에 의해 ASRG(Advanced Stirling Radioisotope Generator) 개발. 2013년 ASRG 비행 개발 계약이 종료되었으나, NASA는 민간 기업의 소규모 투자 테스트 계속 진행 중
- DOE 주도로 Kilopower 프로젝트 개발. NASA의 surface fission power 프로젝트는 2020년대 후반 10kW급 제품 달 실증 목표
- (중국) Chanese Space Agency를 주축으로 우주 발전용 FPSE(자유 피스톤 스털링 엔진) 제안 및 분석코드 개발 및 중국 국영조선공사(CSSC) 산하 제711연구소에서 대구경 스털링엔진 프로토타입 개발

2.1.3. 논문/특허 분석

□ **(차세대 전지 분야 논문 분석) 2012년부터 2022년까지의 최근 10년간 차세대 전지 분야의 논문 발표 동향을 살펴본 결과, 우리나라는 꾸준히 증가 추세를 보이고 있으나, 미국 중국, 일본 등과 함께 활동력은 증대되고 있으나, 상용화 수준이 기술력 부분에서는 상대적으로 낮은 편임**

○ 이차전지 분야는 고성능 리튬이온전지, 전고체전지, 리튬황 및 공기전지 등으로 대표되는 차세대 기술이 2018년부터 급격히 증대되고 있으며, 전기자동차와 같은 중대형 시장 전개에 의한 차세대 기술 수요 증대 및 주요 개발국의 R&D 투자 증대로 연구개발 활동력 증대로 판단되고 있음

○ 수소연료전지 분야는 고분자전해질형, 세라믹 고체전해질형, 인산형 연료전지 등으로 대표되는 차세대 기술이 2017년 이후 급속히 증가세를 보이고 있으며, 지속가능형 친환경 에너지원으로 수소에너지의 필요성 증대에 따른 연구개발 활동력 증대로 인한 것으로 판단됨

○ 동위원소전지 분야는 동위원소열전발전기, 베타볼테익전지, 스털링 동위원소전지 등으로 대표되는 차세대 기술이 발표되고 있으나, 이차전지 및 수소연료전지에 비해 제한된 연구기관에서만 발표하고 있어, 절대적인 숫자는 적으나 우리나라의 논문 발표 실적은 증대되고 있는 추세임

□ **(차세대 전지 분야 특허 분석) 상용화 수준에 따라 이차전지 및 수소연료전지, 동위원소 전지에 대한 특허 출원 전략이 다르나, 기업을 중심으로 특허가 출원되는 등 상용화를 위한 원천 특허 전쟁이 심화되고 있음**

○ 전기자동차 및 ESS 기술 전개로 인한 리튬이온전지, 전고체 전지, 나트륨이온

전지 분야에 대한 특허 출원이 꾸준히 증대되고 있는 추세이며, 주로 일본, 미국, 중국, 한국의 기업을 중심으로 4개 이상의 국가에 동시에 출원하는 등의 글로벌 시장 경쟁이 격화되고 있는 추세임

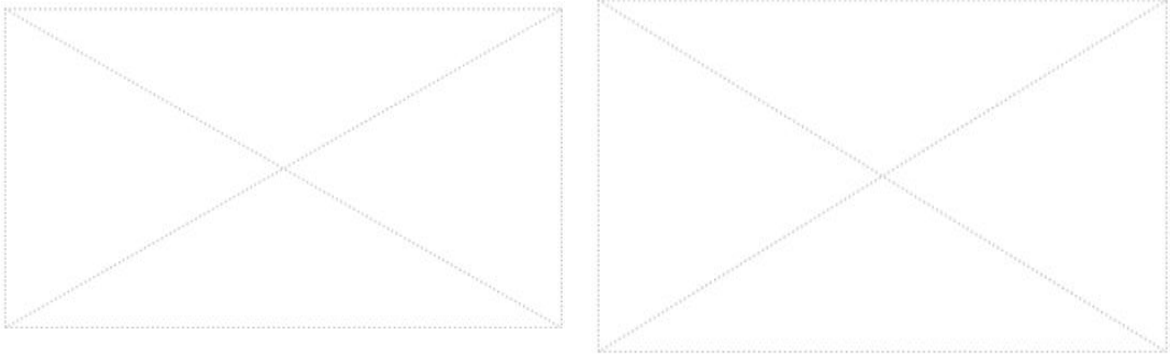
○ 고분자전해질형 연료전지는 주로 현대자동차, 삼성SDI와 같은 우리나라에서 세라믹 고체전해질형 연료전지는 일본의 기업에서, 인산형 연료전지는 LG화학 및 토요타 등의 우리나라와 일본이 주요 출원국가로써 수소차 기술 전개 및 발전 수요 증대 등으로 꾸준히 증대되고 있는 추세임

○ 동위원소전지 분야는 동위원소열전발전기, 베타볼테익전지를 중심으로 특허가 출원되고 있으며, 미국·중국·한국·러시아 등이 주요국으로 판단되나, 상용화할 수 있는 응용 제품 제한으로 인해 해외는 기업이, 우리나라는 연구기관에서 발표하고 있음

가. 이차전지

□ 이차전지 기술의 특허 동향

○ EV/ESS용 리튬이온전지 관련 특허는 매년 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있으며 국제특허분류(IPC) 기준으로 볼 때, 리튬이온전지가 가장 많고, 리튬축전지, 고형활물질 중의 불활성 재료성분의 선택, (예)결합제, 충전제, 활물질, 고형활물질, 유체활물질 재료의 선택 등의 순으로 활발한 출원이 이루어짐

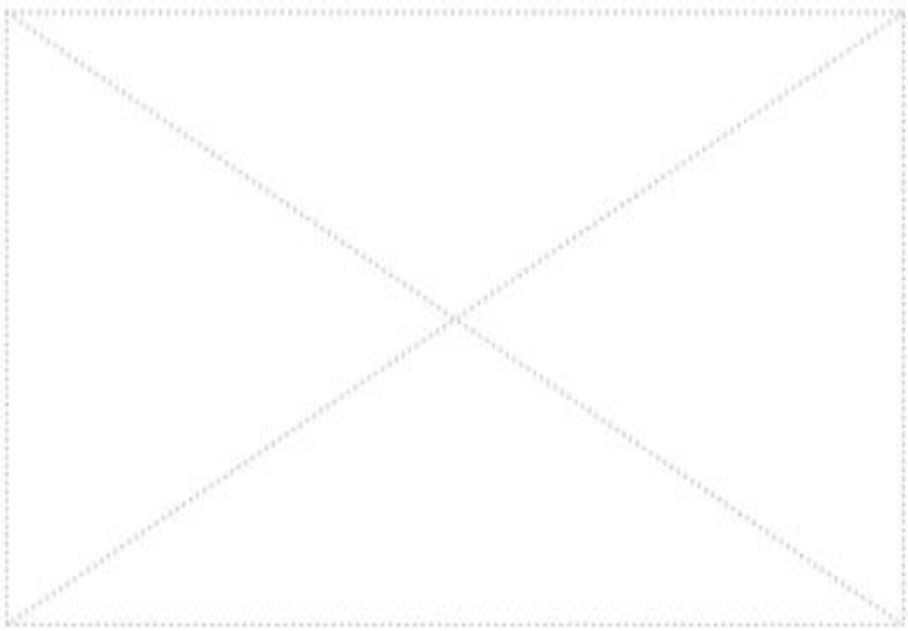


[그림 2-4] 리튬이온전지 기술 연도별 출원 건수(좌), 국제특허분류(IPC)별 출원 동향(우)

○ EV/ESS용 리튬이온전지 관련 기술의 주요 개발국가는 일본, 미국, 한국 등이고, 또한 전체적으로 6%의 기업이 4개 이상 국가에서 출원하고 있으며 이러한 글로벌 출원 전략은 이 분야에 있어 증가된 시장 잠재력을 보여주고 있음

- 가장 많은 특허 출원기관은 한국의 LG Chem. 社 (1,140건)로 압도적이며, 삼성 SDI사 (216건)도 6위에 포함됨, 그 외 독일의 BOSCH GMBH (552건)와 미

국의 General Motors사를 제외하고 모두 TOYOTA 등 일본의 기업들이 포진하고 있음



[그림 2-5] 리튬이온전지 기술 주요 기관별 출원 건수 및 동향

○ 차세대 이차전지 중 EV용 전고체전지 관련 특허는 매년 증가하는 추세로, 국제특허분류(IPC) 기준으로 볼 때, 고체물질(Solid materials, H01M 10/0562)이 가장 많고, 리튬축전지(Li-accumulators, H01M 10/052), 고형활물질 중의 불활성재료성분의 선택, (예)결합제, 충전제(H01M 4/62) 등의 순으로 활발한 출원이 이루어짐

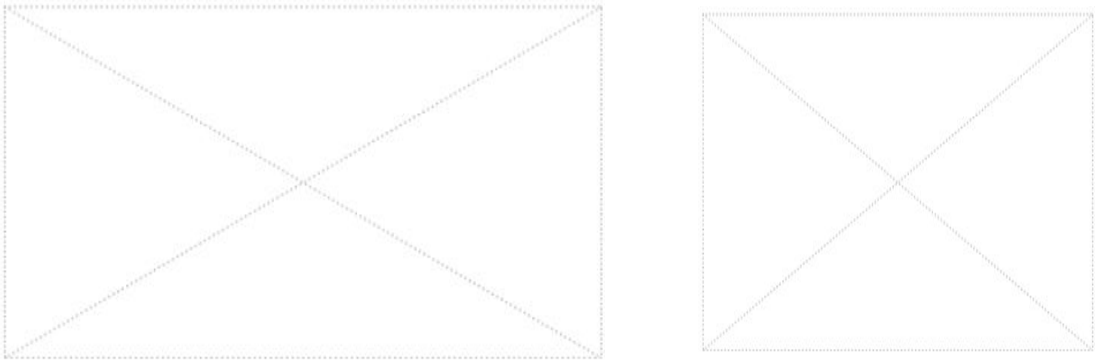
[그림 2-6] 전고체전지 기술 연도별 출원 건수(좌), 국제특허분류(IPC)별 출원 동향(우)

- EV용 전고체전지 관련 기술의 주요 개발국가는 일본, 한국, 미국 등으로 나타나고, 9%의 기업이 4개 이상 국가에서 출원하고 있으며 증가된 시장 잠재력을 보여줌

- 가장 많은 특허 출원기관은 한국의 LG Chem.社 (101건)이고, 현대자동차 (40건)와 KIA 자동차 (20건)도 10위안에 포함되며, 그 외 MITSUBISHI GAS CHEMICAL CO. INC.등 모두 일본의 기업들이 10위권 내에 포진하고 있음

○ 리튬-황 전지 관련 특허는 매년 증가하였으나 최근 2년간 주춤한 추세이고, 주요 개발국가는 중국, 한국, 미국 등으로 나타났으며, 5%의 기업이 4개 이상 국가에서 출원하고 있어 증가된 시장 잠재력을 보여줌

- 가장 많은 특허 출원기관은 LG CHEM LTD. (1,077건)로 압도적으로 선두에 위치하고, 중국과학원 (407건), BOSCH GMBH (224건) 등이 뒤따르고 있으며, 그 외 General Motors, 현대자동차와 같은 한국, 미국, 중국기업들이 10위권 내 포진



[그림 2-7] 리튬-황 전지 기술 연도별 출원 건수(좌) 및 주요 개발국가(우)

○ 소듐(나트륨) 이온전지 관련 특허는 매년 증가하는 추세로 주요 개발국가는 일본, 중국, 미국 등으로 나타남

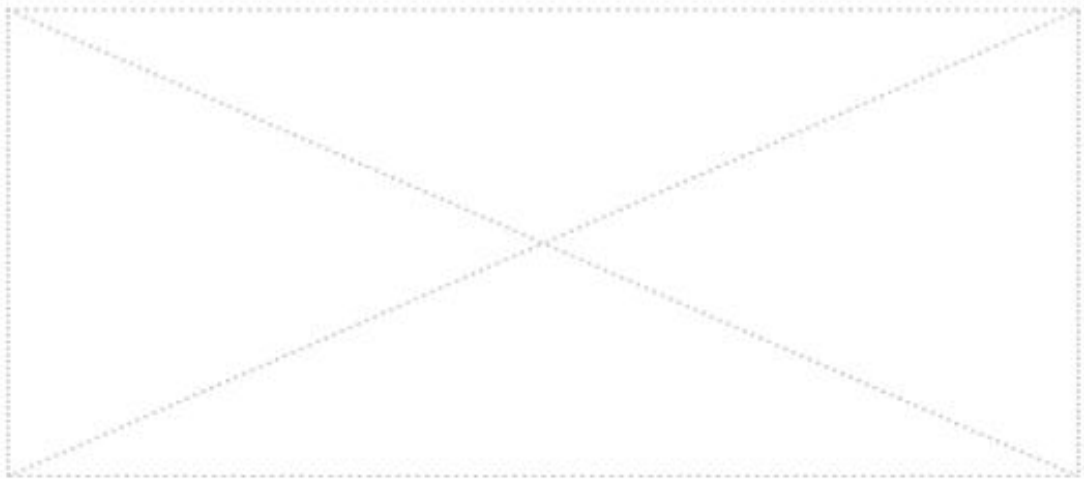
- 가장 많은 특허 출원기관은 일본의 Central Glass社 (36건)이고 Sumitomo Electric Industries (28건), 중국의 Contemporary Amperex Technology (21건) 등이 뒤따르고 있으며, 그 외 Toyota Motor, 중국과학원과 같은 미국, 중국 기업들이 포함됨

[그림 2-8] 소듐이온전지 기술 연도별 출원 건수(좌) 및 주요 개발국가(우)

□ 이차전지 기술의 논문 동향

○ EV/ESS용 리튬이온전지 관련 논문은 지속적으로 증가하는 경향을 보이며, 특히 2018년 이후 급격한 성장을 보이고 있음

– 주요 논문 발표 기관으로는 중국의 칭화대, 중국과학원, 미국의 에너지부(DOE), 아르곤국립연구소, 하얼빈공업대학 등으로 대부분 중국과 미국의 연구소와 대학으로 분석됨



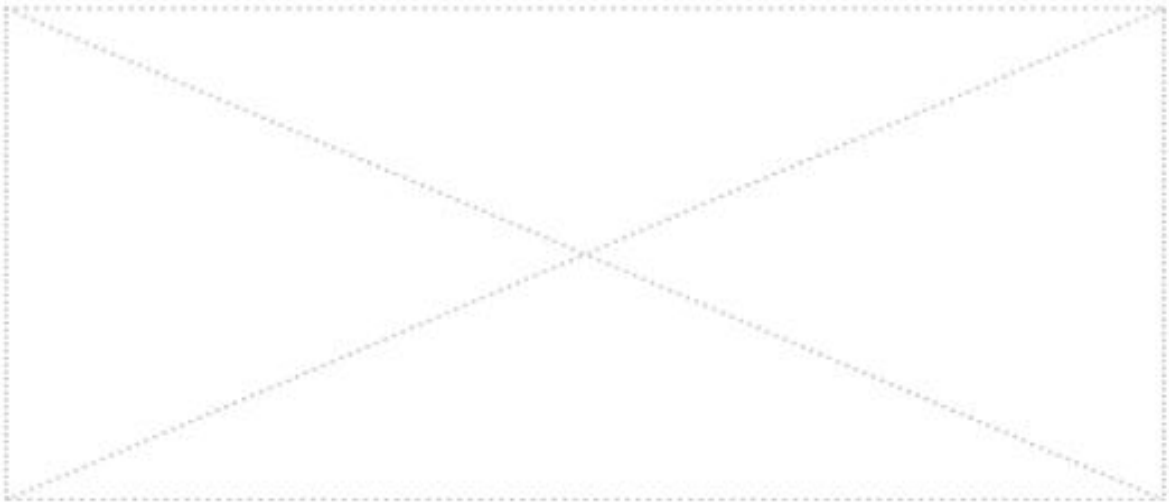
[그림 2-9] EV/ESS용 리튬이온전지 기술의 년도별 논문 동향

○ EV용 전고체전지 관련 논문은 지속적으로 증가하는 경향을 보이며, 특히 2018년 이후 급격한 성장을 보이고 있음

– 주요 논문 발표 기관으로는 중국과학원, 미국의 에너지부(DOE), 헬름홀츠협회, CNRS, 기타 미국의 연구소와 대학으로 분석됨

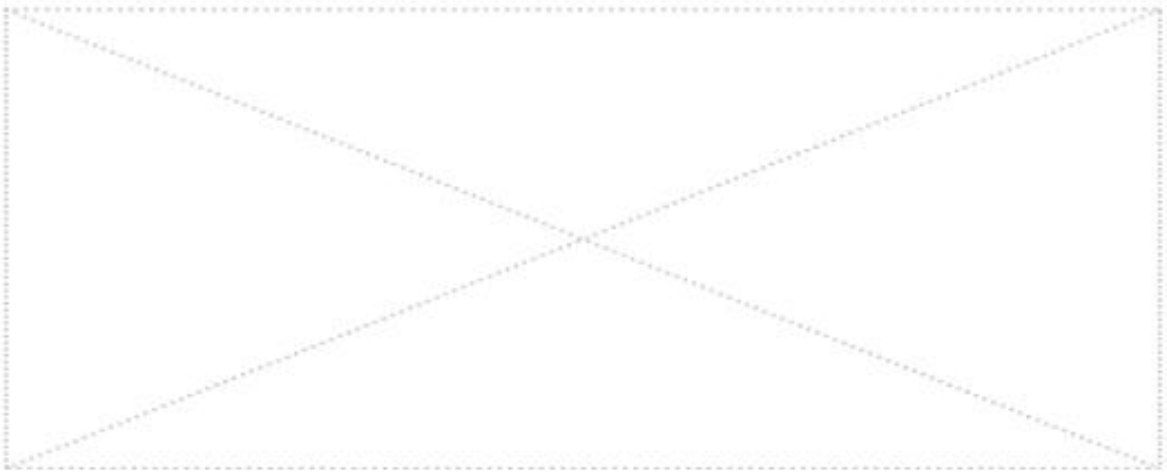
[그림 2-10] EV용 전고체전지 기술의 년도별 논문 동향

○ 리튬-황 전지 관련 논문은 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 주요 논문 발표 기관으로 중국과학원이 압도적인 1위이고, 미국의 에너지부(DOE), 칭화대, Central South University, 중국과학원 등 주로 중국과 미국의 연구소 및 대학으로 분석됨



[그림 2-11] 리튬-황 전지 기술의 년도별 논문 동향

○ 소듐이온전지 관련 논문은 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 주요 논문 발표 기관으로 중국과학원이 가장 많은 논문을 발표했고, University of Wollongong, Peking University, Zhengzhou University, 싱가포르국립대학 등 주로 중국의 연구소와 대학으로 분석됨



[그림 2-12] 소듐이온전지 기술의 년도별 논문 동향

나. 수소연료전지

□ 수소연료전지 기술의 특허 동향

○ 고분자전해질형 연료전지 관련 특허는 매년 높은 수준의 보합세를 보이고 있고 국제특허분류(IPC) 기준으로 볼 때, 고체전해질 연료전지가 가장 많고, 세부(전극), 촉매에 활성화된 비활성전극, 제조방법 등의 순으로 활발한 출원이 이루어짐

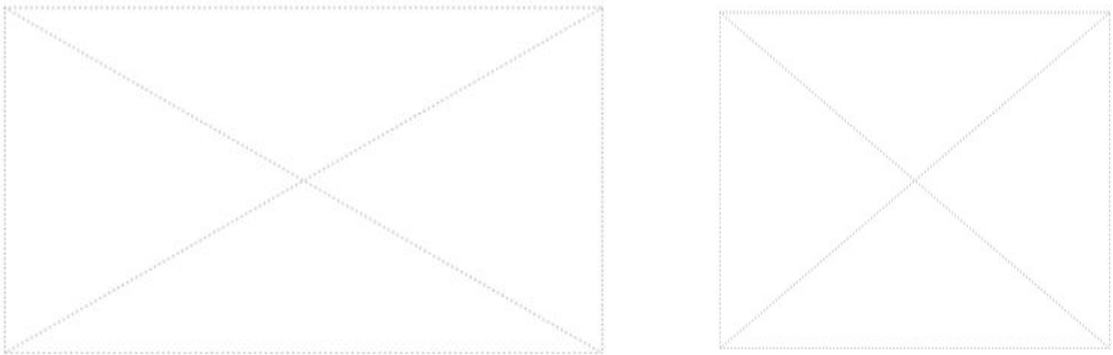
[그림 2-13] 고분자전해질연료전지 기술 연도별 출원 건수(좌),
국제특허분류(IPC)별 출원 동향(우)

- 고분자전해질형 연료전지 관련 기술의 주요 개발국가는 한국, 미국, 중국, 일본, 독일 등이고, 또한 전체적으로 5%의 기업이 4개 이상 국가에서 출원하고 있으며 이러한 글로벌 출원전략은 이 분야의 증가된 시장 잠재력을 보여주고 있음
- 가장 많은 특허 출원기관은 한국의 HYUNDAI MOTOR 社 (366건)로 압도적이며, KIA MOTORS 사 (142건), NGK INSULATOR (139건), 중국과학원 (132건) 순이며, 삼성 SDI, KIST, 에기연과 같은 한국의 연구소와 기업이 다수 포함되어 있음

[그림 2-14] 고분자전해질형 연료전지 기술 주요 기관별 출원 건수 및 동향

○ 고체산화물형 연료전지 관련 특허는 2013년 이후 매년 감소하는 추세이고 주요 개발국가는 일본, 미국, 중국, 한국 등으로 나타남

- 또한 전체적으로 5%의 기업이 4개 이상 국가에서 출원하고 있으며 이러한 글로벌 출원전략은 이 분야에 있어 증가된 시장 잠재력을 보여주고 있음
- 가장 많은 특허 출원기관은 일본의 TOTO LTD. (865건)이고 NGK SPARK PLUG CO. LTD. (776건), NISSAN MOTOR CO. LTD. (679건) 등이 뒤따르고 있으며, 그 외 미국의 BLOOM ENERGY를 제외하고 모두 일본기업들이 10위권 내 포진

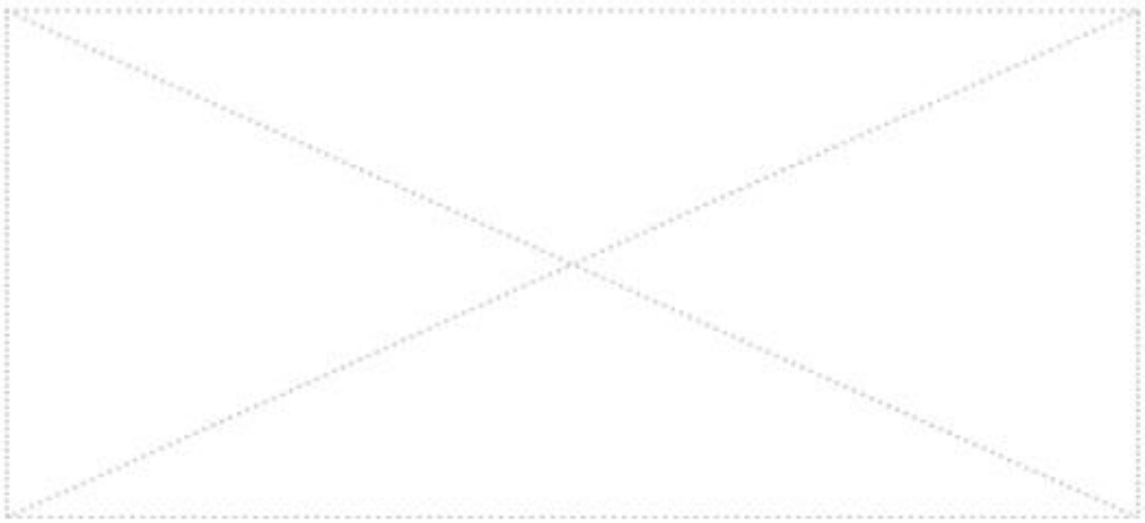


[그림 2-15] 고체산화물형 연료전지 기술 연도별 출원 건수(좌) 및 주요 개발국가(우)

□ 수소연료전지 기술의 논문 동향

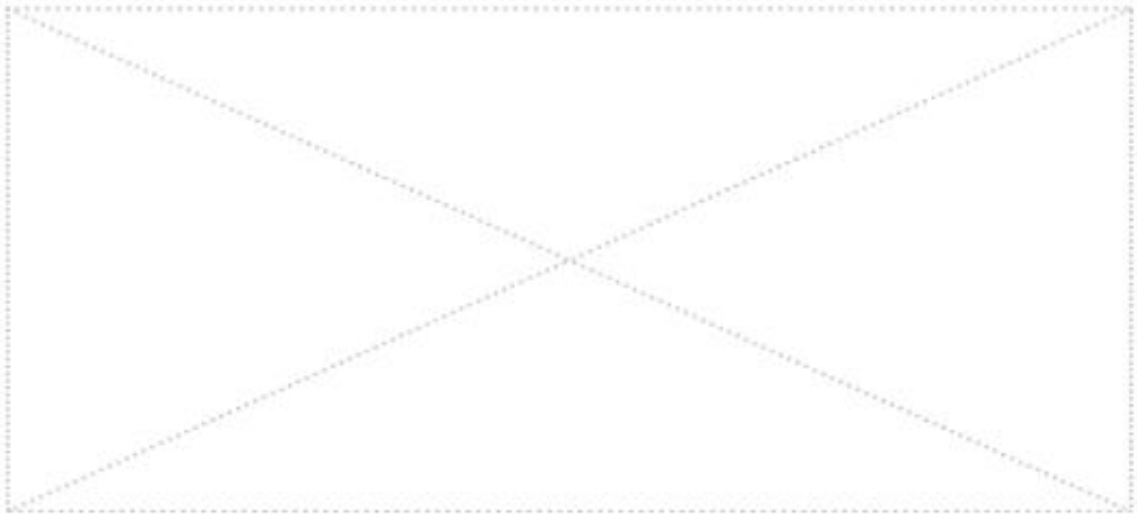
○ 고분자전해질형 연료전지 관련 논문은 지속적으로 증가하는 경향을 보이고, 특

히 2017년 이후 높은 성장을 보이고 있으며, 주요 논문 발표 기관으로는 헬름홀츠협회와 서울대학교, KIST, CNRS, 토론토대학 등으로 대부분 한국, 중국, 미국, 유럽의 연구소와 대학 순으로 분석



[그림 2-16] 고분자전해질형 연료전지 기술의 년도별 논문 동향

○ 고체산화물형 연료전지 관련 논문은 최근 10년간 보합하는 경향을 보이고 있고, 주요 기관으로 중국과학원이 압도적인 1위이며, 헬름홀쯔협회, 미 에너지부(DOE), CNRS, 율리히연구소 외 주로 중국의 연구소와 대학으로 분석됨



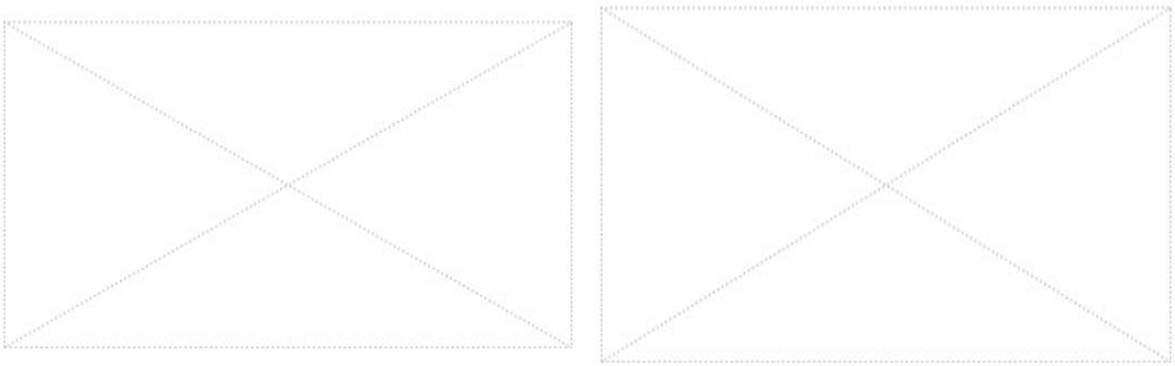
[그림 2-17] 고체산화물형 연료전지 기술의 년도별 논문 동향

다. 동위원소전지

□ 동위원소전지 기술의 특허 동향

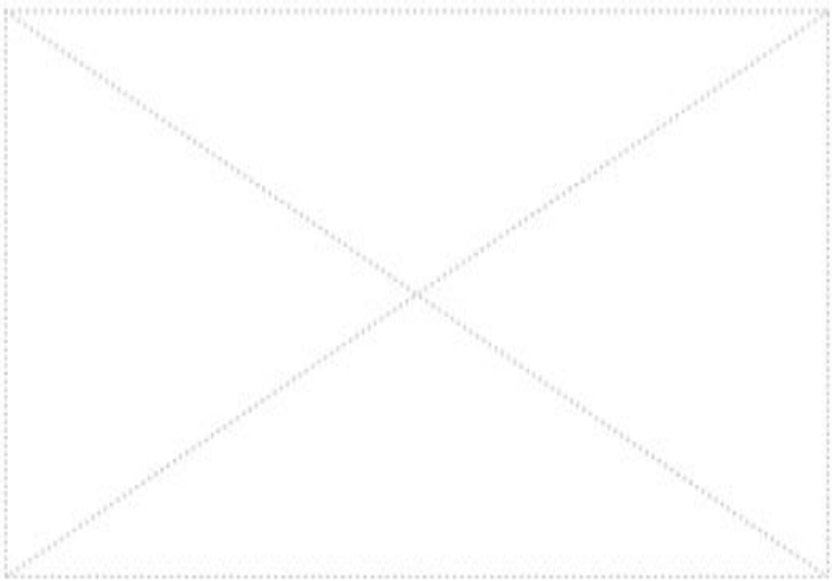
○ 동위원소열전발전기 관련 특허는 2017년 이후 감소세를 보이고 있으며, 국제특허분류(IPC) 기준으로 볼 때, 펠티에 효과 또는 제어백 효과만으로 동작하

는 것과 방사선이 열전접합 또는 열전자 변환기를 가열하는 소자가 가장 많고, 특정의 구동기관 또는 원동기와의 조합 또는 적용에 특징이 있는 펌프 등의 순으로 활발한 출원이 이루어짐



[그림 2-18] 동위원소열전발전기 기술 연도별 출원 건수(좌),
국제특허분류(IPC)별 출원 동향(우)

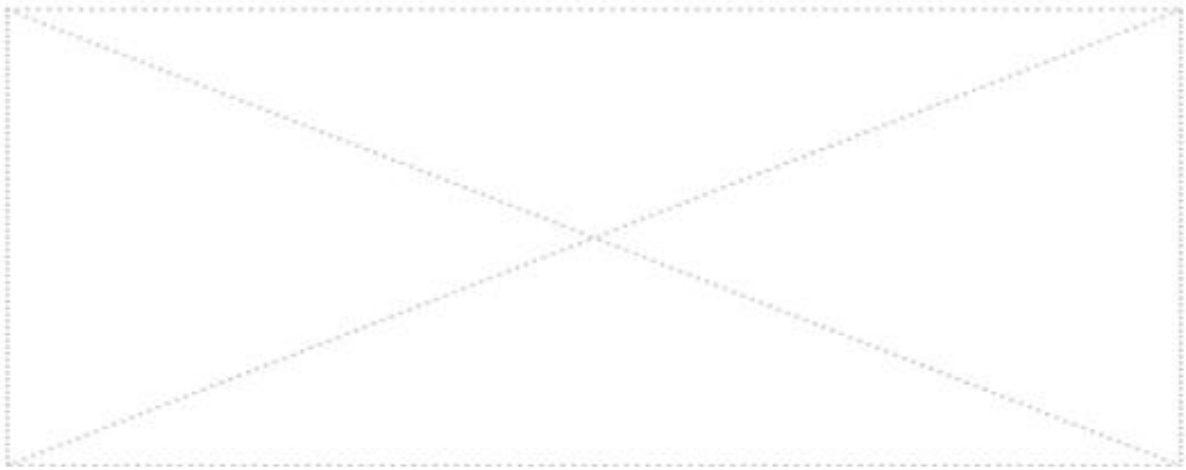
- 가장 많은 특허 출원기관은 Chevron社 (7건)이며, 폴란드의 WROCLAWSKIE CENT BADAN EIT & SP ZOO (6건), California 공과대, GE-HITACHI NUCLEAR ENERGY INC 등의 기업들이 포함되어 있음



[그림 2-19] 동위원소열전발전기 기술 주요 기관별 출원 건수 및 동향

□ 동위원소전지 기술의 논문 동향

○ 동위원소열전발전기 관련 논문은 전반적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 주요 논문 발표 기관으로는 NASA, 캘리포니아 공과대학, 난징항공대 등으로 대부분 미국과 중국의 연구소와 대학으로 분석됨



[그림 2-20] 동위원소열전발전기 기술의 년도별 논문 동향

2.1.4. 산업동향 분석

가. 이차전지

□ 전세계 이차전지 시장은 2020년 765억 달러에서 2030년 3,517억 달러로 약 8배 이상 증대될 것으로 예상되며, 이러한 시장 성장은 주로 전기자동차에 대한 정부지원 증가 등으로 인해 특히 아시아-태평양 시장의 성장에 크게 기여할 전망

[그림 2-21] 전세계 이차전지 시장규모 및 전망

- ㅇ 용도 측면에서, 2025년까지 자동차 배터리가 연평균 17.3%, 산업용 배터리가 12.3%, 휴대용 배터리가 3.3% 순으로 성장할 전망, 2019년을 기준으로 기타가 38.56%의 점유율을 차지하였으며, 그 뒤를 자동차 배터리가 30.19%, 산업용 배터리가 17.30%, 휴대용 배터리가 13.95%로 따르고 있음
- ㅇ 지역 측면에서, 예측기간 동안 아시아-태평양이 13.02%의 가장 높은 성장률로 주요 시장이 될 전망이며 북미가 9.33%, 유럽이 8.78%로 뒤를 따를 전망

○ 이차전지 4대 소재(양극재, 음극재, 분리막, 전해질)시장은 2000년 초반까지 일본 업체들이 기술력을 바탕으로 시장을 주도하였으나, 한국과 중국 업체들의 성장으로 이차전지 생산업체별 supply chain이 다양화되고 경쟁이 치열해지고 있음

- 이차전지 4대 소재는 전반적으로 국산화가 이루어졌으나, 음극재와 전해질은 낮은 수준을 보이고 있음

○ 2020년 현재 전세계 배터리 시장의 95%를 한국, 중국, 일본이 차지하고 있으며, 이 중 중국업체의 점유율 증가가 두드러지고 있음

[표 2-2] 연간 누적 글로벌 전기차용 배터리 출하량 (GWh) (SNE Research)

순위	제조사	2019년	2020년	성장률 (%)	2019년	2020년
1	CATL	32.5	34.3	5.4	27.6	24.0
2	**LG에너지솔루션**	**12.4**	**33.5**	**171.5**	**10.5**	**23.5**
3	파나소닉	28.8	26.5	-8.2	24.4	18.5
4	BYD	11.1	9.6	-13.5	9.4	6.7
5	**삼성 SDI**	**4.4**	**8.2**	**85.3**	**3.8**	**5.8**
6	**SK이노베이션**	**2.1**	**7.7**	**274.2**	**1.7**	**5.4**
7	AESC	3.9	3.8	-3.1	3.3	2.7
8	CALB	1.5	3.4	127.6	1.3	2.4
9	Guoxuan	3.2	2.5	-22.8	2.7	1.7
10	PEVE	2.2	2.0	-8.1	1.9	1.4
소계 (1~10위)		102.2	131.6	28.8	86.6	92.1
기타		15.8	11.2	-29.0	13.4	7.9
합계		118.0	142.8	21.0	100.0	100.0

○ (미국-LG에너지솔루션) LG에너지솔루션은 미국 2위 자동차 업체 제너럴 모터스와의 배터리 동맹을 통해 이차전지 생산능력 확대에 속도를 내고 있고, 25년 미국에서 140GWh 생산이 가능할 것으로 판단되며(GM과의 합작 법인인 얼티엄 셀즈 포함), 이를 통해 미국 시장 점유율 25%를 목표로 하고 있음

○ (미국-SK이노베이션) SK이노베이션은 미국 조지아주에 22GWh 규모의 1, 2공장, 헝가리에 15.5GWh 규모의 2, 3공장을 건설 중으로 포드를 주요 파트너사로 두고 있으며 2025년까지 160GWh급 셀 제조 공장 완공을 목표로 하고 있음

○ (미국-삼성SDI) 삼성SDI는 스텔란티스와 합작사 설립을 통해 미국 진출을 발표하고 2025년 상반기부터 미국 연산 23GWh급 배터리 공장을 구축할 계획임

○ 국내·외 주요 리튬이온전지 연구개발 기관 및 기업의 기술개발 동향을 비교하면 다음과 같음

국내	주요 특징	주요 연구기관 기술개발 동향
LG에너지솔루션	○ 22년 상반기 기준 전기차용 배터리 점유율이 14.4%로 전세계 2위 업체로 기록되어 있음 ○ EV에 판매되는 제품은 파우치형태나 원통형으로 주력제품은 파우치였으나, 테슬라 납품에 기반하여 원통형 배터리 제조량이 크게 증가 ○ 양극은 NCMA기술을 기반으로 하고 있으며, 음극은 천연흑연(65%), 인조흑연(32%), SiOx (0.4%)의 비중으로 제조중임 ○ 미국공장 증설을 통해 북미대륙 진출(40GWh급 LG-스텔란티스 합작, 70GWh급 LG-GM합작, 45GWh급 LG 단독 생산 법인 공장 설립 진행 중) ○ NCM 소재 내재화 비율 40%로 25년까지 증가 계획 (현25%) ○ 화유 코발트사와 합작법인 설립을 통한 배터리 재활용 연구를 진행 중	○ 하이니켈 NCMA 소재를 기반으로 한 도핑/코팅 기술 개발. 단입자 개발을 통한 양극소재 사이클 특성 개선, 입도 분포 균질화 기술 개발진행 중. 최종적으로 고안전성, 고용량 양극소재 개발을 목표로 함 ○ 음극: SiOx 비율을 최적화 기술 개발, 리튬금속 음극재 기술 개발, Dual salt 전해질등의 개발을 통한 안전성, 사이클 특성 강화 기술 개발등 ○ 원통형 4680 배터리 셀 개발 진행, CNT 도전재 적용, 고안정성 전해질 적용 연구 진행
SK on	○ 전기차 및 배터리 제조업체. 22년 기준 현재 7%의 점유율로 세계 5위의 판매량을 유지하고 있음 ○ 2030년까지 RE100 달성을 위해 폐배터리 사업에 진출 ○ 미국 진출을 위해 미국배터리 공장을 계획하고 있으며, 총규모로 150GWh급, 2030년까지 520억 달러 투자 예정 ○ 분리막 100% 내재화 달성 ○ 폐배터리 재활용/재사용 기술 관련 단독 연구개발 착수	○ 하이니켈 NCM900505제품개발, 단입자, 코발트 free 제품에 집중해서 연구개발 진행 중 ○ 음극: Si기반 음극 기술 및 Li Metal 기반 음극 기술 개발 중 ○ Z-stacking 기술을 이용한 전기차용 배터리 셀 조립 기술 개발 중 ○ 폐배터리 재활용과 재사용 기술 개발 연구를 진행 중 [SK on 배터리 재활용 기술 개발]
삼성 SDI	○ 22년 현재 기준 전기차 배터리 점유율 세계 7위 업체, NCA 기반 각형셀에 특화 ○ 미국 스텔란티스와 인디애나주 합작 공장 설립 논의, 미국 미시간주 배터리 팩 공장 증설을 통한 북미 지역 시장 진출 ○ 폐배터리 사업 본격화를 위해 성일하이텍에 지분투자 진행 ○ 에코프로와 함께 양극재 내재화 40% 목표, 세라믹 코팅 분리막 개발 진행	○ Ni90% 이상급 하이니켈 NCA 소재 개발 중, 단입자 제품, 코발트 free, LLO 제품 개발 진행 ○ 음극: Si-C 비율 증대, 리튬 금속으극 개발 진행 중 [삼성 SDI 각형 셀 모형]

해외	주요 특징	주요 연구기관 기술개발 동향
중국 (CATL)	○ 중국 배터리 제조회사로 2022년 상반기 기준 전세계 판매량 점유율 34%를 차지하여 세계전기차용 배터리 점유율 1위 업체 ○ 주력하는 양극소재는 NCM523, 단입자, NCM811, LFP 소재이며, 각형전지에 특화되어 있음 ○ 음극소재의 경우 천연흑연 10%, 인조흑연 90%를 현재 제품에 사용하고 있음 ○ 최근 유상증자를 통해 12조원의 현금을 확보하였으며, 대규모 증성, 연구개발에 투자중임	○ 양극: Ni 90% 이상급 하이니켈 양극소재 개발을 통해 고용량화 달성 예정, 도핑, 코팅기술 최적화 및 LFP, NCA, LLO계열의 제품을 추가 개발진행 예정. 양극재 내재화율이 현재 5% 미만이나 이를 지속적으로 증대할 예정 ○ 음극: Si기반 소재를 적극 개발하여 25년까지 Si소재를 1~2%정도 포함하는 제품 출시 예정 ○ 모듈/팩 기술로는 LFP 및 CTP (cell to pack)기술 개발 중임
일본 (파나소닉)	○ 22년 현재 기준 전기차 배터리 점유율 세계 4위 업체임 (CATL-LGES-BYD-Panasonic순) ○ 한번 충전에 750km 주행이 가능한 리튬이온배터리 4680을 본격 양산 예정 (테슬라 공급예정) ○ 2020년 기준 파나소닉사의 중량 에너지 밀도는 300Wh/kg으로 가장 높은 에너지 밀도 달성 (참고: LG 285, SDI 260, SKI 270, CATL 265, BYD 260 Wh/kg) ○ 점유율은 낮으나 기술력에서는 현재시장 1위로 평가받고 있음	○ NCA 기반 하이니켈 소재 개발 진행, 테슬라에서 요구되는 조건을 맞는 제품을 중심으로 연구개발 진행 중 ○ 고용량화 안전성 부분에 중점을 두고 있으며, 배터리 생산시간을 단축하여 시간당 38GWh 제품 생산 기술개발 중 [파나소닉이 개발한 원통형 NCA전지 (4680셀은 2170셀 대비 용량 5배 증가)]

□ **전고체전지는 고에너지밀도와 함께 안전성이 확보된 차세대 배터리로 가장 주목을 받고 있으며, 관련 시장도 꾸준히 성장할 것으로 예상됨**

○ 특히 전기차용 중대형 전지 위주로 고속 성장이 예상되며, 2030년경에는 전체 전지 시장 수요에서 중대형 셀은 4%, 소형분야 배터리는 14% 정도로 각각 차지할 것으로 예상됨

○ 삼성SDI, LG에너지솔루션, CATL 등의 전지업체나 도요타, 현대차 등의 완성차 업체뿐만 아니라 솔리드파워, 퀀텀스케이프등 수많은 스타트 업계에서도 조기 상용화를 위해 많은 투자를 진행 중임

- 기술적 난제로 인해 2022년 가장 빠른 상용화를 목표로 했던 도요타가 일정을 연기하는 등 소재, 극판 및 셀 제작 기술에 있어서 기술 개발이 시급함

- 국내 완성차 및 전지업체는 전고체전지에 대한 세계적인 리딩 그룹에 있으므로, 향후 전고체전지가 상용화되었을 시 배후 수요를 충분히 창출할 것으로 기대됨

[그림 2-22] 전고체전지의 수요 및 대형 전고체전지 점유율

○ 국내·외 주요 전고체전지 연구개발 기관 및 기업의 기술개발 동향을 비교하면 다음과 같음

국내	주요 연구기관 기술개발 동향
삼성 SDI 삼성종합 기술원	○ 국내 기업 중 가장 많은 전고체 배터리 관련 특허 보유 ○ 2020년 3월 1회 충전으로 주행거리 800㎞, 1000회 이상 충·방전이 가능한 전고체 전지 연구 결과 공개. 음극에 5㎛ 두께의 은·탄소 나노입자 복합층을 적용한 석출형 리튬음극 기술을 적용하여 덴트라이트 현상 해결 ○ 2022년 3월 전고체 전지 파일럿 라인(S라인) 착공, 2023년 휴대폰 등 소형 앱에 적용할 수 있는 전고체 전지 시제품, 2025년 전기차 등 대형 앱에 탑재 가능한 시제품, 2027년 전고체 전지 대량 양산 계획 ○ 삼성SDI의 매출액 7% 이상을 전고체 전지 R&D 투자 중
현대 기아 팩토리얼	○ 현대차와 기아차는 전고체 전지 기업 팩토리얼 에너지와 전기차용 전고체 전지 공동 개발을 위한 업무협약 체결 ○ 실온에서 40 Ah 규모의 셀 수준에서 안정적으로 작동하는 팩토리얼의 'FEST(Factorial Electrolyte System Technology)'를 통해 전해질이 액체인 기존 리튬이온전지 대비 전기차의 주행 거리를 30~50% 늘림 ○ 개인용 비행체(PAV) 'S-A1'을 기반으로 하는 현대차그룹의 UAM(Urban Air Mobillity) 생태계 구축을 가속할 예정이며, 정부 주도 목표인 2025년 개인용 비행체 상용화와 2030년부터 전격 상용화
한국전자통신 연구원 (ETRI)	○ 2022년 7월 전고체 전지 음극에 적용하는 전도성 바인더 소재 개발 연구결과 발표 및 전고체 전지용 부품 소재 R&D 수행 중
한국과학기술 연구원 (KIST)	○ 황화물계 고체전해질 재료 합성 연구 수행 중. 2020년 고체전해질과 전극재료와의 계면에 이종물질 코팅으로 성능향상 시키는 연구결과 발표, 2022년 아지로다이트계 고체 전해질에 Sb, Ge를 도핑하고 리튬을 삽입하여 고 이온전도도와 대기 안정성도를 높힌 연구 결과 발표

해외	주요 연구기관 기술 개발 동향
일본 (Hitachi Zosen)	○ 항공 우주 및 자동차 OEM에게 전고체전지 샘플을 제공 중이며, 이밖에 NGK, OHARA, IDEMITSU 등과의 R&D 협력관계로 고체전해질을 생산 중
미국 (Solid Power)	○ 콜로라도 大 연구팀에서 시작해 2012년 설립 ○ BMW, 포드, 삼성벤처투자 등 다수 기업들 투자 유치, 2025년 양산 계획
중국 (CATL)	○ 중국 닝더시에 첨단 배터리 연구소 “21C 랩”건설 중 ○ GM과 합작으로 전기차 전고체 배터리 개발 ○ 배터리 소재 내재화의 일환으로 2015년부터 여러 중국대학교와 공동연구 수행, 주로 황화물계 고체전해질 개발 중, 2023년 상용화와 대량생산 목표
대만 (ProLogium)	○ 2006년 설립된 대만 전고체 전지 생산업체 ○ 전기차 업체 중국 NIO와 양산 협업 ○ 현재 40MWh 규모의 시설 보유, 2021년 1.5GWh 규모 증설 예정, 2025년 양산 목표
독일 (BMW)	○ BMW는 전기차에 적용될 수 있는 배터리를 개발하기 위해 R&D센터를 240억 달러 규모로 독일 뮌헨에 설립할 계획이며, 전고체 배터리를 비롯하여, 배터리 디자인, 패키징, 테스트, 어셈블리 등을 연구, 2026년 전고체 전지 배터리 탑재 전기차 공개 목표

□ **리튬-황 전지 기술에서 가장 앞선 것으로 평가되는 곳은 영국의 OXIS energy, 미국의 Sion Power, Polyplus를 꼽을 수 있음**

○ 영국의 OXIS energy사는 2018년 고출력용 및 고용량 파우치셀 리튬-황 전지 개발을 발표하였으나 수명이 대략 60~100회 수준인 것으로 알려짐

- 2022년 여름까지 450Wh/kg (550Wh/L), 2023년 여름까지 550Wh/kg (700Wh/L) 준고체 리튬-황 전지를 개발할 계획임

○ 미국의 Polyplus사는 세라믹 보호 리튬 음극 기술을 보유하고 있으며 2012년 ARPA-E 프로그램을 통해 수계 리튬-황 전지 개발을 발표함

○ 국내에서는 LG에너지솔루션이 개발을 진행 중인 것으로 알려져 있으며“배터리 테이 2021”에서 2025년까지 리튬-황 전지 상용화할 계획을 밝힘

○ 국내·외 주요 리튬-황전지 연구개발 기관 및 기업의 기술개발 동향을 비교하면 다음과 같음

국내	주요 연구기관 기술 개발 동향	관련 그림 및 출처
LG화학 (LG에너지솔루션)	○ 자체 개발한 410 Wh/kg 에너지밀도의 리튬-황 전지를 고고도 장기 체공 태양광 무인기에 탑재하여 13시간 비행 테스트 성공 ○ 고도 22km 성층권의 낮은 기온 (영하 70도), 지상 대비 25분의 1의 낮은 대기압의 극한 환경에서도 안정적인 충방전 성능 확인	 [LG화학에서 개발된 리튬-황 전지와 테스트에 사용된 EAV-3 고고도 장기 체공 태양광 무인기]
한국전기연구원 (KERI)	○ 리튬-황 전지의 가장 큰 문제점 중 하나인 리튬폴리설파이드 용출 문제를 분리막에 인을 포함하는 활성탄 코팅을 통해 크게 개선 ○ 황 양극에 전기전도성이 높으면서도 강도가 세고 유연한 탄소나노튜브 소재 도입을 통해 유연성을 갖는 리튬-황 전기 개발	 [한국전기연구원이 개발한 리튬-황 전지와 연구결과가 발표된 논문 표지]

해외	주요 연구기관 기술 개발 동향	관련 그림 및 출처
영국 (Oxis energy)	○ 2021년 준고체 전해질이 도입된 450 Wh/kg급 리튬-황 전지를 개발하여 고객사에 성능검증 및 실증 테스트를 진행할 것으로 알려짐 ○ 추가 개선을 통해 2023년 가을경 550 Wh/kg, 700 Wh/L, 2026년까지 600 Wh/kg, 900 Wh/L 에너지밀도의 리튬-황 전지 개발이 목표로 알려짐	[Oxis Energy사의 리튬-황 전지 파우치 셀]
미국 (MIT)	○ 미국 MIT의 Yet-Ming Chiang 그룹에서는 리튬-황 전지의 양극 활물질인 황의 다층 캡슐화를 통해 리튬폴리설파이드 용출을 억제하는 기술을 개발 ○ 개발된 기술에서는 황 입자를 리튬폴리설파이드 흡착력을 가지는 MnO_2 층으로 감싸고 그 바깥을 전기전도성의 폴리피롤 코팅을 통해 폴리설파이드의 효과적인 용출 억제 및 황의 낮은 전기전도성을 보완할 수 있는 다기능성을 부여함	[황 입자 다층 캡슐화 과정 모식도 및 전자현미경 이미지]
중국 (칭화대학교)	○ 리튬폴리설파이드 용출 억제를 위한 유무기 복합 격리막 개발 및 적용을 통해 고성능 리튬-황 전지 개발 ○ 개발 격리막은 리튬폴리설파이드 흡착력을 가지는 MnO_2와 산화그래핀, 탄소나노튜브 복합체로 구성되어 있음 ○ 개발 격리막 적용 리튬-황 전지의 경우 사이클당 0.029%의 낮은 용량 감소를 나타냈으며 낮은 자가방전율을 보임	[기능성 격리막 적용 리튬-황 전지 모식도 및 격리막 이미지]

□ **2021년 7월 CATL은 자체 개발한 나트륨이온전지를 시장에 선보였으며, 저온 성능과 충전 효율 등에 있어 강점이 있는 만큼 저온·고출력 환경과 에너지저장시스템(ESS) 영역에서 중국 기업이 주력 생산해온 리튬인산철(LFP) 배터리의 보조적인 역할을 해줄 것으로 기대하고 있음**

○ CATL이 개발한 나트륨이온전지(에너지밀도, 160Wh/kg)는 실온에서 15분 만에 80%까지 충전되는 빠른 충전속도, 영하 20°C 미만의 온도 환경에서 90% 이상 유지되는 에너지 보유율, 80% 이상의 시스템 통합효율 등의 특징이 있어 향후 개발될 CATL의 2세대 나트륨이온전지에 대한 관심이 커지고 있음

[그림 2-23] CATL 나트륨이온배터리 효율 및 타 전지와의 성능 비교

○ 국내·외 주요 나트륨이온전지 연구개발 기관 및 기업의 기술개발 동향을 비교하면 다음과 같음

국내	주요 연구기관 기술개발 동향	관련 그림 및 출처
서울대학교	○ 서울대학교의 강기석 교수 연구팀은 최근 전남대학교, 캐나다 워털루 대학교와의 협업을 통해 P2 type의 Co, Mn 계 산화물에 Al을 치환하여 $Na_{0.5}Mn_{0.5-x}Al_xCo_{0.5}O_2$ 조성의 양극 산화물을 합성하였고, X선 구조 분석법을 통하여 도핑된 Al이 양극 소재의 구조적 안정성을 향상하는 데 기여함을 규명한 바 있음	 [P2 type의 산화물에 Al을 치환하여 $Na_{0.5}Mn_{0.5-x}Al_xCo_{0.5}O_2$ 조성의 양극 산화물을 합성]
한양대학교	○ 한양대학교의 선양국 교수 연구팀은 최근 O3 type의 $NaNi_{0.5}Mn_{0.5}O_2$ 층상구조 산화물에 용액법을 통하여 MgO 코팅층을 형성시키는 과정에서 Mg의 도핑 효과를 동시에 얻는 합성 방법으로 양극 물질의 출력 특성 및 수명 안정성을 향상시키는 기술을 보고함	 [O3 type의 $NaNi_{0.5}Mn_{0.5}O_2$ 층상구조 산화물에 용액법을 통하여 MgO 코팅층을 형성]

해외	주요 연구기관 기술 개발 동향	관련 그림 및 출처
일본 (도쿄이과대학)	○ S. Komaba 교수 연구팀은 2012년 ~190 mAh/g의 높은 가역용량을 갖는 P2 type의 $Na_{2/3}Fe_{1/2}Mn_{1/2}O_2$의 가역적인 충/방전 거동을 발견한 바 있으며 (Nat. Mater. 2012, 11, 512−517), 최근 $NaMnO_2$ 층상계 양극 산화물 소재에 다양한 종류의 원소들을 도핑할 경우 각각의 도핑 원소의 선택적인 안정화(selective stabilization) 효과에 대한 XRD 및 DFT 시뮬레이션 분석을 진행하였고, Cu의 Ti가 각각 α와 β상의 $NaMnO_2$로 안정화시키는데 기여함	 [α−와β−$NaMnO_2$ polymorphs]
미국 (Univ. of Texas, Austin)	○ 미국 텍사스 대학교 오스틴의 A. Manthiram 교수 연구팀은 최근 소듐 이차전지 층상 계 양극 소재의 고전압 특성을 향상시키기 위하여 O3 type의 $Na_{0.9}Ni_{0.3}Mn_{0.4}Fe_{0.3}O_2$에 Li을 일부 치환한 $Na_yLi_xNi_{0.175}Mn_{0.525}Fe_{0.3-x}O_2$ (x = 0.05, 0.1, 0.15, 0.175)의 양극 소재를 합성하였고, Li 도펀트가 얀−텔러 뒤틀림(Jahn−Teller distortion) 효과를 경감시켜 4.2 V (vs. Na^+/Na) 이상의 고전압 충전 상태에서 P3−P′3 상전이를 억제하고, F^- 음이온과의 결합 및 용매 분자와의 상호작용으로 전해질과의 안정한 계면 형성에 기여함	 [$Na_yLi_xNi_{0.175}Mn_{0.525}Fe_{0.3-x}O_2$]

나. 수소연료전지

□ 전세계 연료전지 시장은 수소 발전 분야의 수요가 급증하여 2017년 11억 달러에서 2030년 115억 달러 시장으로 성장할 것으로 전망 (후지경제, 2018)

[그림 2−24] 연료전지 시장 전망: 마이크로 열병합 발전(좌), 분산발전 및 대형(MW급)(우)

○ 기술 측면에서, 고체산화물 연료전지(SOFC)가 연평균 29.84%, 양성자 교환막 연료전지(PEMFC)가 26.89%, 인산 연료전지(PAFC)가 20.6% 순으로 성장할

전망임

○ 2018년을 기준으로 양성자 교환막 연료전지(PEMFC)가 69.44%의 점유율을 차지하였으며, 그 뒤를 고체산화물 연료전지(SOFC)가 12.42%, 인산 연료전지(PAFC)가 11.69%, 기타가 6.45%로 따르고 있음

○ 2014년 두산이 미국의 클리어엣지파워(CEP)를 인수하며 시장에 진출하였고, PAFC기술을 중심으로 국내외 연료전지 보급 성과 창출하였으며, PEMFC, SOFC 등 제품군을 다양화하기 위한 기술개발 진행 중

- 60MW급 PAFC 양산 공장을 국내 완비하였으며, 국내 최대 규모의 두산퓨얼셀 익산공장은 연간 440kW용 144대, 총 63MW의 연료전지 생산이 가능

[그림 2-25] 두산퓨얼셀의 PAFC 제품 및 부생수소 운전중인 PAFC 발전소

○ SK에코플랜트에서는 LNG를 연료로 하는 SOFC 제품을 보급하고 있으며, SK 어드밴스드 울산 공장에서 발생하는 부생수소를 활용하여 SK건설이 SOFC EPC, 미국 Bloom energy가 SOFC 운영을 맡아 운영비 절감을 위한 실증 진행 계획

[그림 2-26] 부생수소로 운전중인 블룸에너지 SOFC 시스템

○ 미국의 블룸에너지사가 전해질 지지형, 평판형 SOFC 기술을 상용화하여 제품 생산/판매 (전기효율 53~65%, 용량 250~300 kW)

[그림 2-27] Bloom Energy 용량별 모듈 구성도

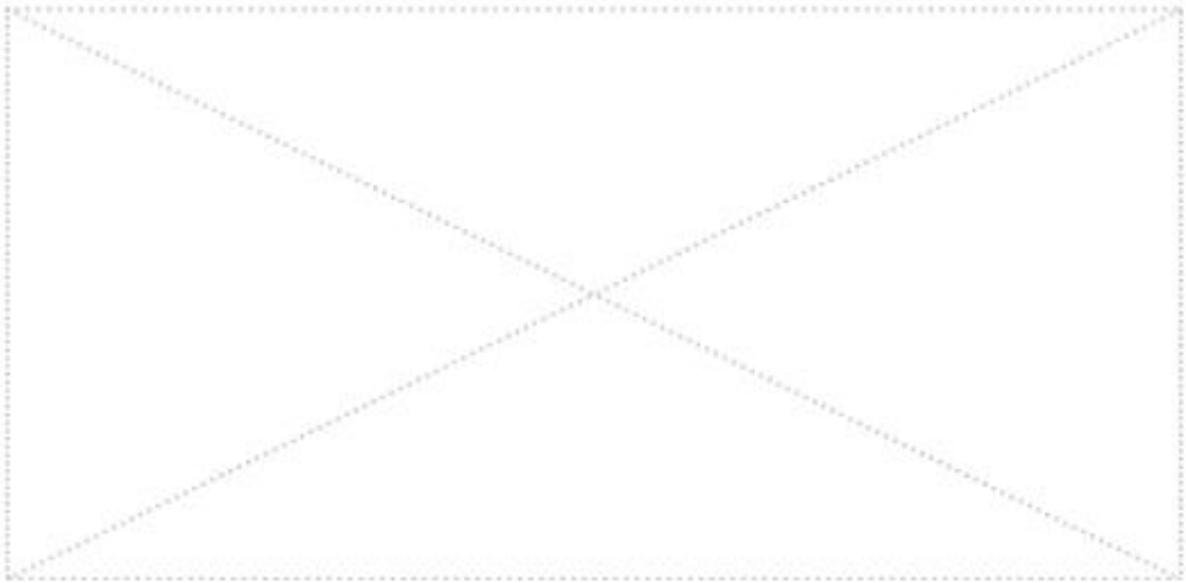
[그림 2-28] Bloom Energy 연료전지 시스템

○ 일본의 MHPS사는 원통형 SOFC 기술을 기반으로 가스터빈과 SOFC을 연계한 복합발전 시스템 실증을 완료하고, 제품 판매 개시 (용량 250 kW급, 전기효율 55%, 1만 시간 실증 완료)

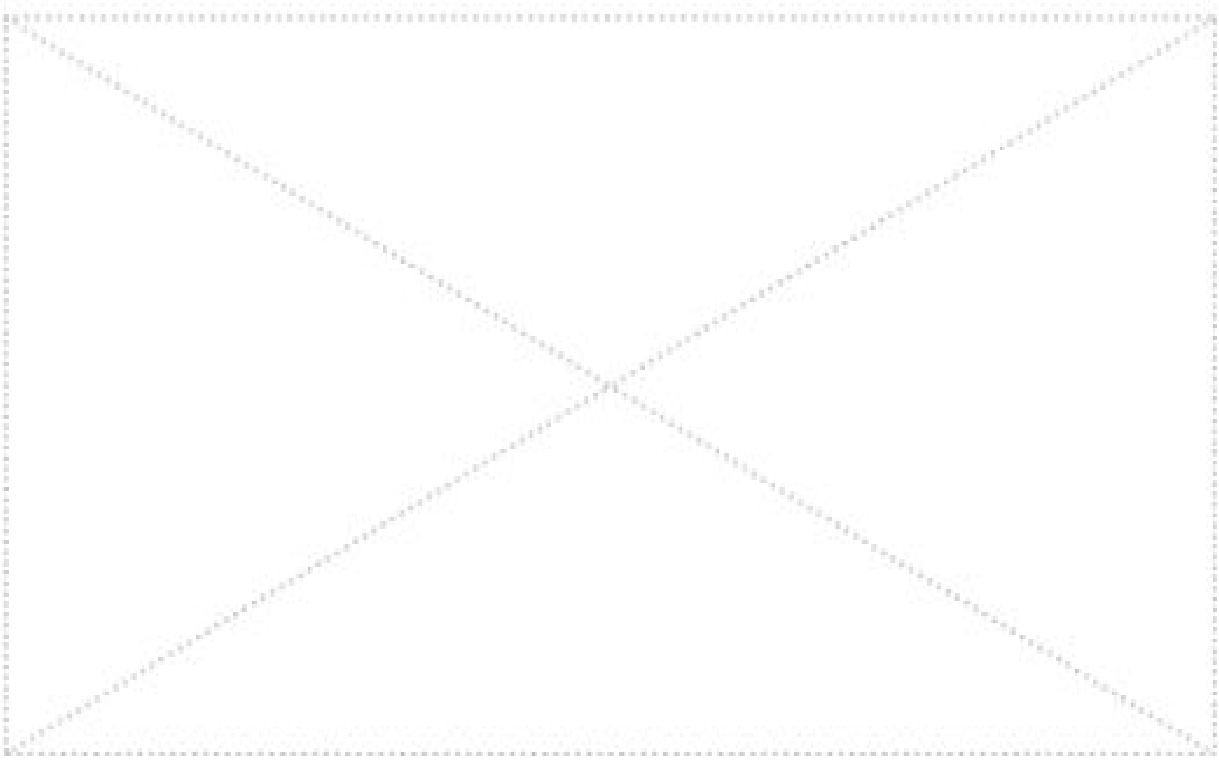
- 1990년대 미쯔비시 중공업에서 연구를 시작하여 현재 250kW급 SOFC-가스터빈 가압형 하이브리드 복합시스템 실증 완료 및 200kW급 SOFC 제품을 시장에 출시
- MHPS는 고유 모델 셀/스택 양산화 기술을 바탕으로 대형 발전시스템 제품 완성

[그림 2-29] 일본 MHPS 250kW SOFC 큐슈대 설치 운영 제품

○ 영국의 Ceres Power, 이탈리아 SolidPower, 일본 아이신, 미우라 등 소형 건물용 제품 개발완료. 향후 발전용으로 확대 예상. 일본과 유럽에서는 소형 시스템의 제품 개발과 보급이 활발하게 진행되고 있음. 일본 Ene-farm 제도를 바탕으로 가정용 연료전지가 일반 가정까지 보급되고 있음 ('21년까지 0.7kW 연료전지 40만대 보급)



[그림 2-30] 유럽에서 실증중인 소용량 연료전지 시스템 현황



[그림 2-31] 유럽의 소용량 연료전지 시스템 실증 프로그램

다. 동위원소전지

□ 전세계 동위원소전지 시장은 예측기간(2021-2026) 동안 연평균 2.18%의 성장률(CAGR)로, 2021년 3억 5,428만 달러에서 2026년 3억 9,457만 달러로 성장할 전망임

[그림 2-32] 전세계 동위원소전지 시장규모 및 전망

(단위: 가치(Value) USD Million, 수량(Volume) 천 개)

○ 기업별로 볼 때, 주요 기업은 모두 미국기업으로, 2020년 기준 Widetronix, Inc.가 가장 높은 시장점유율(35.23%)을 차지하고 있으며, Qynergy Corporation (29.56%), City Labs, Inc.(18.56%), BetaBatt, Inc.(9.89%) 등이 뒤를 따르고 있음

□ 동위원소전지 관련 분야는 주로 국가 임무에 사용되거나 우주·국방용으로 응용되는 경우가 대부분이기 때문에 그 시장은 잘 알려지지 않고 있으나 선진국들 간의 거래가 있는 것으로 판단됨

○ 최근 아르테미스 계획 및 ISRU (In-situ Resource Utilization) 계획이 발표되면서 세계 각국(캐나다, 유럽, 일본 등)의 달탐사 계획이 발표되고 있음에 따라, 달에서의 밤 기간 생존을 위해서는 극한의 온도에서 열과 전력을 공급할 수 있는 동위원소전지가 유일한 대안으로서 미국과 러시아를 제외하고 달탐사를 목표로하는 각국의 동위원소전지 수요는 매우 높을 것으로 예측됨

2.2. 패러다임 변화 및 시사점

2.2.1. 현 기술의 한계 및 차세대 전지 기술 전망

□ 2015년 파리협정과 같은 `글로벌 신기후체제'의 등장, `2050 탄소 중립 국가 실현' 등, 우리나라도 자발적인 온실가스 감축 계획을 발표함에 따라 친환경 에너지원에 대한 관심과 함께 현 기술 수준의 정확한 진단과 차세대 기술의

준비가 시급한 시점임

○ `국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵'(2014. 1월, 녹색성장위원회)에서 온실가스 배출량에 대한 구체적인 감축 목표량을 제시

○ 2050 탄소중립 이행을 위한 핵심 전략으로 `2050 탄소중립 추진전략'(2020.12.7)을 발표하고, 탄소중립에 기여할 수 있는 모든 기술수단을 적극 육성하고 활용하기 위한 `2050 탄소중립 기술혁신 추진전략'(2021.3.31) 수립

[그림 2-33] 글로벌 신기후체제 및 우리나라의 자발적 온실가스 감축 목표

○ 친환경에너지원으로 대표되는 이차전지, 수소연료전지, 동위원소전지 등의 주요 기술에 대한 현세대 기술의 정의와 한계 및 문제점 파악을 통한 차세대 기술의 정립은 미래 우리나라의 기후 기술 선도 및 탄소중립 실현의 시발점이 될 수 있는 필요한 시점임

□ **이차전지 기술은 소형에서 중대형의 전기자동차 및 ESS 시장을 전개하고 있음에도 불구하고, 소형기기 적용에서의 한계가 중대형 분야에서는 가속화되는 경향이 있어 오히려, 차세대 기술의 도래가 가장 시급한 분야임**

○ 휴대폰용 이차전지에서 이슈가 되던 에너지밀도, 안전성, 충전시간, 가격 등의 문제는, 전기자동차 및 ESS 등에서는 인명피해 및 대규모 재산피해를 유발하는 등의 오히려 더욱 심각한 문제로 대두되고 있음

[그림 2-34] 현 세대 이차전지 기술의 한계 및 문제점

○ **(에너지밀도)** 1회 충전 시 주행거리는 전기차의 가장 중요한 요소로, 리튬이온 전지 제조사들은 양극재의 니켈 함량 증가, 음극재 실리콘 첨가량 증대 등을 통한 에너지밀도 개선을 시도하고 있으나, 상용화된 양극활물질 역시 최근 용량 한계점에 도달한 실정으로, 이런 기존 소재의 한계점을 극복할 수 있는 차세대 전지 기술개발이 요구됨

○ **(안전성)** 현재 리튬이온전지는 가연성 소재의 화재 문제가 대두되고 있으며 이는 전지의 열관리의 어려움이 있고 화재 시 전지소재의 독성과 폭발력이 문제가 됨

○ **(충전 속도)** 급속충전을 위해서는 고전압 고전류 구동이 가능한 배터리가 필요하며 음극재에 실리콘을 첨가하여 리튬 흡수량을 개선하는 방법으로 충전속도 개선을 위한 노력을 진행 중이나, 충전 시간을 10분 이내로 단축시키기에는 한계점이 존재함

○ **(비용)** 지속적인 리튬 등의 원료 가격상승에 따른 비용 증가로 인해 저가형 전지 시스템 개발이 필요함

○ **(소재·부품 해외 의존도)** 리튬이온 이차전지 제조 분야는 세계 최고 수준이나, 차세대 이차전지용 소재 원천기술은 일본 대비 열세하며, 우리 기업들도 우수한 경쟁력을 바탕으로 해외시장 선점에 주력하고 있지만 소재·부품은 여전히 해외 의존도가 높고 시장점유율도 낮은 상황으로 소재·부품의 생태계는 취약한 실정임

○ **(원료 공급망)** 현재 한국·중국·일본이 유사한 수준으로 세계 선두 경쟁을 벌이고 있으나 유럽 등 신규 기업들의 시장진입이 본격화되면서 이차전지 가격에 대한 중요도가 증가하는 추세임

  – 주요 원자재가 특정 국가에 편중되어 안정적 조달 및 가격 변동 관리에 있어서 한계점이 존재하여, 이차전지 수요 확대로 원자재 및 1차 가공원료 수요도 급증할 것으로 전망되는 상황에서 공급망 다변화 및 국내 생산기반 확충이 필요함

□ **수소에너지 사용 등으로 각광받고 있는 발전용 수송용 수소연료전지 기술은 경제성 확보를 위한 장시간 구동 기술, 소재 내구성 향상 기술, 시스템화 등의 기술 한계가 나타나고 있음**

○ **(안전성)** 고온형 발전용 연료전지의 경우 높은 온도에서 발생하는 다양한 열화 현상으로 인하여 내구성 확보에 어려움을 겪고 있는 상황으로, 연료전지의 셀·스택·시스템에서 발생하는 열화는 매우 복잡한 현상으로 나타나고 복합적인 요인이 작용하기 때문에 원인 규명과 대응책 마련에 어려움을 겪고 있음

○ **(제조공정기술)** 대면적화 및 대용량화에 있어서 제조 공정이 복잡하고 불량품 제어 및 수율 확보가 어렵기 때문에 우수한 본질적인 특성을 실제 제품에서 십분 활용하기가 어렵고 제조 비용을 낮추는 것에도 한계가 있음

○ **(시스템화 비용)** 실험실 수준의 연구에서 발전용 연료전지의 성능을 향상시킬 수 있는 다양한 기술이 보고되고 있으나 이를 실제 대면적 셀 및 실제 스택·시스템에 성공적으로 적용한 예는 찾아보기 어려움

□ **우주항공 및 군사용 등의 특수 목적에 대응하기 위한 동위원소전지 기술의 문제점은 방사성동위원소의 안전성 문제, 동위원소전지의 저출력 전력 및 높은 제조 단가의 문제가 있음**

○ **(고비용)** 동위원소열전발전기의 방사성동위원소 열원인 Pu-238, Am-241 등의 소재는 사용 후 핵연료의 재처리를 통해서만 생산이 가능하여, 현재 미국, 러시아에서만 제조가 가능하고 가격이 비싸며, 베타전지에 사용되는 방사성동위원소 및 방사선흡수체 반도체의 높은 생산단가, 복잡한 공정은 미래시장 진입에 큰 걸림돌이 되고 있음

○ **(위험성)** 배터리 내부에 방사성동위원소를 직접 사용하기에 차폐 및 오염에 대한 안전성이 필요하며, 배터리의 폐기 시 일반적인 방법으로 폐기 처분이 어렵기 때문에 방사성동위원소를 안전하게 분리하여 제염하는 기술이 필요함

○ **(저출력)** 현재 시제품으로 나온 베타전지의 출력 전력은 약 5nW ~ 1μW의 저출력이며 상용화에 장벽이 있음

□ **(차세대 전지 기술 전망) 차세대 전지 관련 미래 산업은 전동화·무선화가 핵심이며, 모든 사물이 전지로 움직이는 이뤄지는 `사물배터리 시대가 도래할 것으로 예상됨**

○ 무선가전, 로봇, 드론, 에너지저장장치, 전기차, 전기선박 등 이차전지가 적용되는 영역이 지속적으로 확장되고 있음에 따라 요구 성능은 다양화되고 있으며, 2025년에는 전지가 메모리반도체보다 더 큰 시장으로 성장할 전망임

○ 차세대 전지는 미래 먹거리를 책임져줄 것으로 기대되는 동시에 경쟁에서 밀리면 도태될 수 있는 핵심 기술로 기회이자 위기로 작용할 수 있음

- 리튬이온전지와 같은 현세대 기술은 급격한 레드오션(Red ocean)화 및 연이은 폭발 사고로 및 장기 사용에 대한 요구로 차세대 전지 연구개발의 가속화와 미래 시장을 주도하기 위한 각국의 연구개발 및 투자 경쟁이 심화되고 있음

○ 차세대 전지는 향후 5~10년 이후의 미래에 본격적 보급 및 상용화가 가능할 것으로 예상되는 미래 기술로 기술 개발 목표, 투자 규모 및 인프라 등 명확한 로드맵 수립 및 지속적 정부 지원과 전략이 필요함

[그림 2-35] 다양한 분야로의 적용을 위한 차세대 전지의 요구성능

○ 환경 규제 본격화 및 자국 산업 보호 추세에 따라 세계 각국의 공격적인 차세대 이차전지 R&D 강화가 예상되며, IT, 에너지, 자동차 시장의 패권은 이차전지에 의해 크게 영향을 받을 것으로 국가 차원의 관심과 지원이 필요함

□ **(차세대 전지의 R&D 패러다임 변화) 미래 소형부터 중대형 기기의 핵심 동력원으로 적용될 예정으로, 현재 시점에서의 기술적 한계와 문제점 분석과 미래 시장 수요 예측, 산업체 수요 기술을 바탕으로 조속한 상용화 가능한 차세대 기술 정립 및 혁신 원천 연구 중심의 R&D 변화가 필요**

○ 모바일 및 전기자동차 등의 산업을 주도하고 있는 이차전지 기술의 경우 상용화 가능 시점에 따라 산업체에 대한 수요 대응 소통과 핵심 난제 및 과제 발굴 과정에 적극 참여시켜 조속한 상용화 중심의 원천기술 개발로의 패러다임 변화가 필요

- 10년 후 전개될 것으로 예상되는 시장에 대한 차차세대 기술에 대해서도 미리 준비하여, 지속가능한 기술 경쟁력 확보 기틀 마련

○ 에너지가 자원 중심이 아니라 기술 중심인 수소에너지 사회가 실현되면 기술 보유국이 에너지 강국이 되며, 도심 내에 분산발전소에서 전력을 공급하고, 연료전지 자동차가 급격히 보급되는 등 우리 사회의 전반적인 패러다임 변화에 대응할 수 있는 발전용, 건물용, 수송용으로 차세대 수소연료전지 기술에 집중할 필요가 있음

- 연료전지 자동차는 수소충전소와 같은 인프라가 거의 없어 단순하게 경제논리로 시장진입이 어렵지만, 정책시장으로 시장에 진입하여 2025년에 약 40만대인

20조원 내외의 시장을 형성할 것으로 전망됨

- 최근 기술 격차가 있는 중국도 연료전지에 대한 투자를 증대시키는 시점에, 미래시장을 개척하고자 하는 국가적인 노력과 시장 경쟁력 중심의 대응 없이는, 이머징 시장은 타 국가에 내어주는 결과가 나타날 수도 있음

○ 전지 기술의 응용분야가 의료용, 군사용, 우주용, 극한의 기후 조건 등의 특수 상황에서도 반영구적으로 사용이 가능하도록 확대됨에 따라 기존 전지와는 차별화된 장수명, 고에너지밀도의 차세대 동위원소전지 개발이 요구되고 있음

-특수 산업용으로 동위원소전지의 글로벌 기술 경쟁력을 갖추기 위한 국가적 차원의 전략적 R&D 지원체계 구축이 필요하며, 앞으로 예상되는 동위원소전지 시장의 선점에 필수적인 기술 분야임

[그림 2-36] 차세대 전지로의 패러다임 변화

2.2.2. 시사점 및 초격차 기술 확보 방안

□ **전지 분야 R&D 지원은 대부분 현세대 전지 기술 고도화에 초점을 맞추어 왔으나, 차세대 전지 기술의 패러다임 변화에 유연히 대응하고, 압도적 기술 경쟁력 확보를 위한 원천 기술 확보형 차세대 전지 기술 개발 전략이 필요**

○ 정부 R&D 지원 투자규모에 있어, 산업기술 분야에 투자가 집중되어 왔으며, 상대적으로 차세대 전지용 핵심소재 기초원천기술에 대한 투자는 미진한 실정

- 차세대 전지에 대한 정부 R&D 지원 기술 분야별 비교에 있어 응용 및 개발 연구의 비중이 높은 반면, 기초연구는 상대적으로 부족한 실정

- 미국과 유럽 등 기술 선진국들을 전주기적 역량 강화를 위해서 이차전지 본 산업과 후방산업 (소재·부품·장비) 및 전방산업 (스마트폰, 전기자동차 등의 응용분야)에 이르는 전방위적 R&D 연구가 동시에 진행되고 있는 실정으로 차세대 전지의 초격차 기술 확보를 위해서는 원천기술 개발과 더불어 이를 위한 기반시설 구축 및 인프라 구성에 대한 R&D 지원 정책 변화가 필요

○ 향후 차세대 전지의 미래 주요시장은 수송용 및 산업용 디바이스 등의 고도화 및 대형화에 우선 초점을 맞추어 적용될 것으로 예상되고 있어, 선제적 시장

예측을 통해 적기에 차세대 이차전지 상용 기술을 시장에 제공할 수 있어야 차세대 전지 분야 기술 초격차 달성이 가능

○ 차세대 전지 기술 조기 상용화를 위해서는 산업계 수요를 기반으로 임무지향형 차세대 전지 R&D 추진 전략 발굴, 공급망 확보 및 소재 자립화를 통한 소재원천 기술 고도화와 이를 뒷받침해줄 수 있는 인력 및 인프라 측면에서의 협력 네트워크 구축이 필요

○ 최근 더욱 격해지고 있는 글로벌 시장 경쟁에서 살아남기 위해 에너지밀도, 안전성, 비용 측면에서 성능을 뛰어넘을 수 있는 이차전지, 수소연료전지, 동위원소전지의 기술 분야에 대한 초격차 기술 선제적 확보형 전략 수립과 원천기술 집중의 혁신 목표 지향적인 R&D 패러다임 확립이 시급히 요구됨

□ **(차세대 이차전지) 전기자동차와 같은 수송용 및 ESS와 같은 에너지저장용 분야는 물론 미래의 수요를 예측하고 대응할 수 있는 고성능 혁신 소재와 성능 고도화 원천 기술 개발이 필요함**

○ 빠르게 증가하는 전기차의 보급률에 따라 신개념 고체전해질 소재 개발 및 고에너지밀도, 고안전성 전고체 전지 기술 개발과 함께, 차세대 이차전지의 공통 핵심 소재인 금속 리튬 음극의 원천기술 개발이 필요함

– 고에너지밀도와 안전성 확보를 위한 양극, 음극, 전해질, 바인더의 혁신 소재 기술개발이 필요할 뿐만 아니라 극판 구조 제어기술, 셀 설계 및 제조 기술개발도 요구됨

○ 탄소중립 실현을 위한 에너지저장시스템 보급 확대로 리튬 및 비리튬계 이차전지용 핵심소재 및 셀 제조 기술, 수계 전해질 기반 이차전지 원천기술 개발이 필수적임

– 구조적으로 폭발 및 화재에 대해 안전하고 친환경적인 장점이 있는 레독스흐름 전지의 상용화를 위해 고에너지밀도 구현 및 가격경쟁력을 확보할 수 있는 신규 레독스 커플 개발이 시급함

– 저가의 고안전성 나트륨이온 전지 구현을 위해 핵심소재 원천기술 개발 및 셀 구동 관련 반응 메커니즘 규명과 상용화 방안 도출이 필요함

○ 이차전지 시장의 급격한 성장에 따른 소재 수급 및 환경 이슈 발생으로 폐전지의 효율적이고 친환경적인 업사이클링 기술 개발이 필요함

□ **(차세대 수소연료전지) 핵심 소재의 내재화 및 효율 상승 등의 원천기술 확보를 통해 연료전지 발전 및 모빌리티 시스템의 경제성 확보, 신뢰성 확보를 비롯한 자립화하는 노력이 필요함**

○ 발전 시스템 측면에서 장기내구성 개선을 통한 연료전지의 신뢰성 확보, 대면적, 대용량 생산 체제 구축을 통한 수소연료전지의 시장성 확보, 소재 자립화

를 위한 소재 개발 원천기술 확보가 시급함

- 재생에너지 확대에 의한 간헐성 및 부하 변동성에 대비하기 위해 청정수소를 이용한 재생에너지-수소-연료전지 통합시스템과 고효율을 위한 고전압 운전 및 급격한 부하 변동 조건에도 안정적으로 사용할 수 있는 소재 및 부품의 개발이 필요하고 이를 이용한 스택의 설계 및 운전 기술도 필요

○ 육성 및 도심항공용, 해상용 모빌리티를 위한 연료전지 기술을 위해, 출력효율 향상, 소재 경량화 등의 기술 확보를 통한 경쟁력 확보에 주력해야 함

- (스택 경제성 확보) 소재의 국산화, 대량생산 체제 구축 등을 통하여 스택 제조 기술을 시장경쟁력 확보

- (출력효율 향상) 소재 및 구조, 시스템 구동 조건 등의 최적화를 통하여 연료전지 출력 성능을 극대화

- (신뢰성 향상) 연료전지 생산공정의 최적화 및 자동화를 통하여 제품의 신뢰성을 향상시키고, 나아가 신소재 개발을 통하여 소재 내구성을 확보함

- (경박단소화) 효율 극대화를 통한 사이즈 및 스택 구성 감소와 소재 경량화

□ (차세대 동위원소전지) 우주뿐만 아니라 심해, 국방, 극지 등 특수목적 분야에서 활용도가 매우 높아 동위원소전지 기술은 중장기적인 개발계획의 수립과 진행이 필수적임

○ 선진국에서는 국가 전략기술로서 동위원소전지 기술에 대한 중·장기적인 개발 프로그램을 운영하고 있으나, 우리나라는 달 탐사 사업 등 필요에 따라 단속적인 사업의 R&D가 진행되고 있어 세계적 수준의 기술의 확보에 어려움이 있음

○ 스털링 동위원소전지의 경우, 국내 정부지원은 없었던 것으로 확인되나 현재까지 해당 전지를 우주에서 실증한 국가는 없으며 전지의 효율과 신뢰성 확보를 위한 국가적인 지원이 뒷받침된다면 선진국 기술을 빠르게 추월해 나갈 수 있을 것으로 판단됨

3. 추진전략

3.1. 비전 및 목표, 전략체계도

차세대 전지 초격차 R&D를 위한 추진전략

비전: 2030 대한민국 차세대 전지 압도적 1등 국가 실현

목표: 과학기술혁신을 통한 차세대 전지 핵심 3대 분야(이차전지, 수소연료전지, 동위원소전지) 초격차 기술 선제적 확보 및 미래 기술 선도

'3+1' 혁신목표 기반 추진전략

3+1 혁신목표

① 효율 향상	기술 분야	초격차 핵심기술
▶초고에너지밀도 및 ▶초경량화형 소재	이차전지	• 하이니켈 NCM 적용 전고체전지 기술 • 리튬금속기반 리튬-공기/황전지 기술
	수소연료전지	• 200kW급 스택 모듈화 기술 (효율 60%(LHV)) • 고성능 소재 개발 및 제조기술 고도화 (효율 70%(LHV))
	동위원소전지	• 동위원소열전발전기 기술 • 스털링동위원소전지 제작 기술 • 베타볼테익 전지 제작 기술

② 안전·내구성 향상	기술 분야	초격차 핵심기술
▶초고안전형 소재 ▶극한환경 구동	이차전지	• 리튬이온기반 전고체전지 기술 • 비리튬이온기반 전고체 및 수계전지 기술 • 고안전성/장수명 레독스흐름전지기술
	수소연료전지	• 신소재 기반 장기 내구성 확보 (10만시간 발전, 100만km 주행)
	동위원소전지	• 극한환경 고성능 동위원소전지 기술 • 우주환경 고내구성 동위원소전지 기술

③ 소재 자립화	기술 분야	초격차 핵심기술
▶소재 재활용 기술 ▶신규원료 활용 소재	이차전지	• 소듐이온기반 이차전지 고도화 기술 • 다가이온 활용 이차전지, 해수전지 기술
	수소연료전지	• 핵심 소재 국산화 기술 (백금 15kg/100kW, 이오노머 100g/kW 이하) • 신소재 원천기술, 소재 예측 기반 고급화 기술
	동위원소전지	• Sr-90 열원 및 Pm-147 생산 기술 • Pu-238, Am-241 공급망 확보 • 베타선 방출핵종 농축 기술

④ R&D 생태계 구축
▶권역별 R&D 컨트롤타워 및 지역 균형 연구지원 체계 구축 ▶기술 분야 맞춤형 우수 연구인력 양성 체계 ▶전략 국가별 긴밀하고 직접적인 국제 협력(한-미 전지 협력 등) 체계 구축

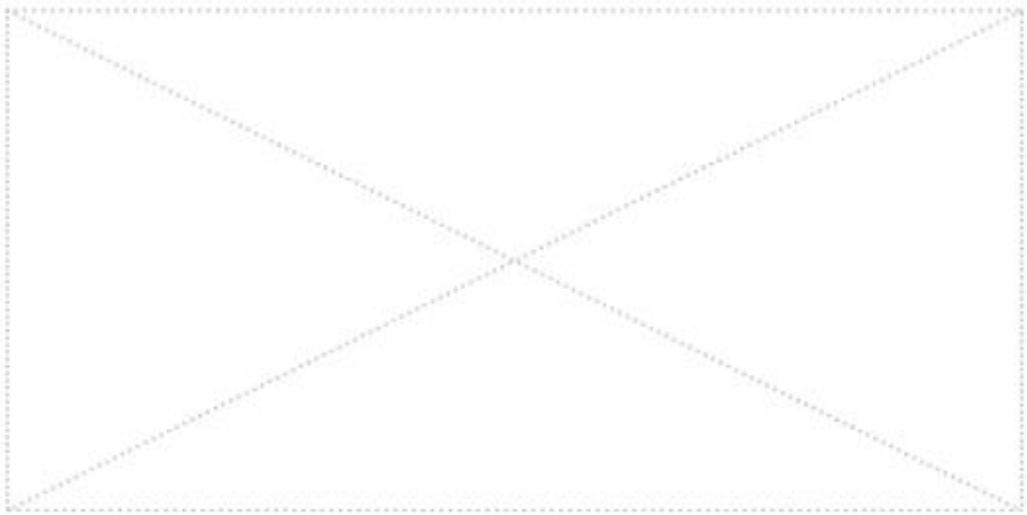
기대효과

초고난도난제 해결 통한 기술선도국 지위 획득	핵심 소재 내재화를 통한 기술 자립도 강화	고급 인력 중심의 지속적 R&D 생태계 구축

□ (비전) 2030 대한민국 차세대 전지 독보적 1등 국가 실현

○ 차세대 전지 기초 원천 기술 혁신형 초격차 R&D 추진 및 초격차 기술 선제적 확보를 통한 진정한 2030 차세대 전지 분야 기술 선도하는 국가로 도약

□ (목표) 과학기술 혁신을 통한 차세대 전지 핵심 3대 분야 초격차 기술 선제적 확보 및 미래 기술 선도



[그림 3-1] 차세대 전지 핵심 3대 분야 목표

○ (Core Technology Initiative, 초격차형 원천기술 혁신) 친환경적 에너지원인 차세대 전지 3대 분야(이차전지, 수소연료전지, 동위원소전지)의 확고한 글로벌 1위를 목표로 세계 최고 수준의 차세대 전지 혁신 초격차 원천기술 확보

○ (Fundamental Initiative, 기초부터 혁신) 차세대 전지의 에너지, 안전성, 가격, 내구성 등의 성능은 기초 및 원천 기술인 핵심 소재에 의해 결정되기 때문에 고성능 차세대 전지용 핵심 소재 기초 기술부터의 성능 혁신을 통한 조속한 상용화 연계형 원천기술 개발

○ (First-Mover) 차세대 전지 분야는 원천기술 혁신, 소재 자립 및 국산화를 통한 기술 선도와 함께 새로운 분야를 개척하는 선도 역할로써, 안정화 및 고성능화 소재 원천기술 개발을 통한 해외 수입 대체 효과가 큰 핵심 소재부터의 혁신 기술 개발로 차세대 전지용 소재 국산화 및 자립화에 기여

○ (Sustainable Initiative) 권역 맞춤형 기초 원천기술 개발의 긴밀한 연구 네트워크 플랫폼, 지역 맞춤형 인재 양성 및 선진국과의 국제 협력 네트워크 구성 등 새로운 분야에 대비한 지속가능한 차세대 전지 분야 원천 혁신 및 지역 균형 발전에 기반한 동반 성장 기틀 마련

3.2. 3+1 추진전략

□ **국내외 현황 분석, 패러다임 변화 등의 분석 결과를 바탕으로 차세대 전지 초격차 R&D의 명확한 목표 달성을 위하여 효율 향상, 안전/내구성 향상, 소재 자립화 및 R&D 생태계 구축 기반의 '3+1'혁신 목표 기반 추진 전략을 제시**

○ 차세대 전지 3대 분야에 대하여 환경분석 결과를 바탕으로 초격차 기술 확보를 위한 핵심 지표를 설정하고, 제시된 방안에 근거하여 공통으로 도출되는 키워드를 중심의 기술 혁신 목표를 수립함

○ 현재 전지 기술의 문제점을 극복하는 차세대 전지로의 패러다임 변화에 부응하기 위해 필수적으로 달성해야 할 혁신 기술 목표와 지속 가능한 연구개발 생태계 구축을 설정함

[그림 3-2] '3+1' 혁신목표 수립

○ 기술 성숙도가 높은 차세대 기술은 5년 이내 조기 상용화를 목표로 집중 지원하며, 현재 기술 성숙도가 낮으나 상용화될 경우 시장 판도를 바꿀 수 있는 파괴적 기술의 경우 중·장기적 연구개발 병행을 추진하여 신개념 전지 기술을 선제적 확보

□ **('3+1' 혁신목표 기반 추진 전략) 주요 추진전략은 핵심 분야별 국내 기술수준과 투자집중도, 기술선진국의 성숙도를 고려하여 '3+1'*의 기술혁신 목표로 설정함**

* ①효율 향상, ②안전·내구성 향상, ③소재 자립화, ④R&D 생태계 구축

○ **(효율 향상)** 현재 기술 선진국 수준 전지의 에너지밀도를 능가할 수 있는 소재 기술을 개발하여 이차전지 기술 선도국 지위를 획득하는 것을 목표로 함

○ **(안전·내구성 향상)** 전지의 활용 범위가 중대형 장치로 대형화, 다변화되면서 안전·내구성에 대한 기준이 높아짐에 따라 화재 및 폭발 등의 안전 문제를 방지할 수 있는 사전 기술을 확보하는 것을 목표로 함

○ **(소재 자립화)** 에너지·안보 기술패권, 공급망 위기 시대를 극복하기 위한 민·관

협력기반의 원료 및 소재 자립형 원천기술을 확보하는 것을 목표로 함

○ **(R&D 생태계 구축)** 차세대 전지 분야 R&D 연구역량 결집을 위한 권역별 네트워크를 구축하고 이를 기반으로 우수 연구인력을 양성하며 국제협력 기반을 조성하는 것을 목표로 함

□ (추진 전략 1. 효율 향상) 고에너지밀도 및 경량화 소재 개발 통한 차세대 전지 혁신 기술 개발

○ 현재 상용화되어 있는 이차전지, 수소연료전지, 동위원소전지를 구성하고 있는 주요 소재의 혁신과 성능 고도화를 통해 현 수준의 에너지밀도를 능가할 수 있는 차세대 전지 혁신 기술 개발을 목표로 함

- 성능 한계에 다다르고 있는 현세대 전지의 후속 세대를 준비하는 차세대 전지 기술 확보 및 응용 분야별 목적을 고려한 세부기술 확보
- 전극 및 전해질 등의 핵심 소재 경량화를 통해 에너지밀도를 혁신적으로 증가시키는 연구개발 분야를 포함

○ 기술성숙도가 낮은 전지 소재의 기술적 난제 극복을 통해 고효율 소재 및 전지시스템 기반으로 다양한 용도의 차세대 전지 시스템 확산 및 보급

□ (추진 전략 2. 안전·내구성 향상) 고안전성 소재 개발 통한 전지 시스템 안전 확보 및 극한환경 대비 내구성 확보 전지 시스템 개발

○ 전지의 활용 수준 대형화에 따른 화재 및 폭발 등의 안전 문제를 사전에 방지할 수 있는 고안정성 소재를 개발하여 다양한 형태의 전지를 안정적으로 운용 가능케 하는 기술 개발

- 기존 전지 시스템의 안전 문제를 야기하는 가연성 소재를 대체할 수 있는 고안정성 소재를 개발하여 이를 기반으로 한 신개념 전지 시스템을 구축
- 고안전 및 고내구성 소재 기반 전지 시스템 구축을 통한 전지 수명 혁신

○ 일상 환경 안전성을 넘어 극저온, 침수, 고내압 등의 극한환경에서 안정적으로 구동하는 전지 소재 및 시스템을 구축

○ 전지 보급 확산의 걸림돌이 되는 안전·내구성 문제를 혁신적으로 개선하여 대용량 모빌리티용 전지 기술 우위를 확보

□ (추진 전략 3. 소재 자립화) 각국의 규제 및 자원 불균형에 대한 자립형 차세대 전지 원천 소재 기술 확보를 통해 소재 공급망 위기 극복 기술 개발

○ 전기화학 구동 및 열화 매커니즘, 분석 연구 등의 기초 연구를 기반으로 대한민국 특화형 자립형 핵심 소재 개발, 전지 제조까지 전주기형 원천기술 혁신

- 원천소재 기술 확보 및 소재 자립화를 통해 다양한 차세대 전지 시스템으로의

전개가 가능하도록 파급효과 극대화

○ 강대국 중심의 수출·수입 규제에 대비하여 핵심 원료·소재를 내재화할 수 있는 자원 재활용 및 신규 원료 활용 기술 확보

○ 원료·소재의 수급 제한 및 가격 상승 등에 대응하여 특수 광물·소재에 대한 의존을 탈피하기 위한 대체형 신규 소재 개발

□ **(추진 전략 4. R&D 생태계 구축) 기초 원천 연구 네트워크 활성화를 위한 R&D 컨트롤 타워를 바탕으로 우수 연구인력 양성, 국제협력 체계 구축**

○ 차세대 기술개발 R&D 과제, 국제협력 프로그램 등의 참여를 통해 고급 연구개발 인력 확보 및 지역 산업체 특화형 우수 연구인력 체계 구축

- 개발 소재에 대한 상용화 기술로의 전개 및 스타트업 창업 지원, 석·박사 연구 및 교육 프로그램 마련

- 핵심소재 원천기술을 개발하고, 기술이전 및 산업체 공동 연구 등을 장려하는 상용화 연계형 기술 개발

○ 권역별(강원-수도권, 제주-영남권, 충청-호남권) RCT(Research Control Tower) 구축을 통한 차세대 전지 기초·원천 연구역량 결집 및 연구자 소통 활성화

- 원천기술 개발 시 소재 개발 연구능력을 보유한 출연연과 대학 등의 컨소시엄의 연구개발 결과를 바탕으로 공정 및 플랫폼을 연계할 수 있는 산업체 참여 가능성을 열어 두어 장기적 완성형 원천소재 기술 확보

- 개발 기술의 피드백을 위해 차세대 이차전지 수요산업인 전기자동차, 신재생에너지, 무인이동체 등 새로운 가치를 창조할 수 있는 산업체들과 유기적인 협업 체계 구축

○ 미국, 일본, 유럽 등 선진 연구기관과의 직접 공동 연구 협력 체계, 현지 센터 구축을 통한 차세대 전지 기술, 규제 변화, 환경 등의 모니터링 강화 및 국내 기술 교류, 협력, 이전 활성화

3.3. 추진전략별 핵심 기술 도출

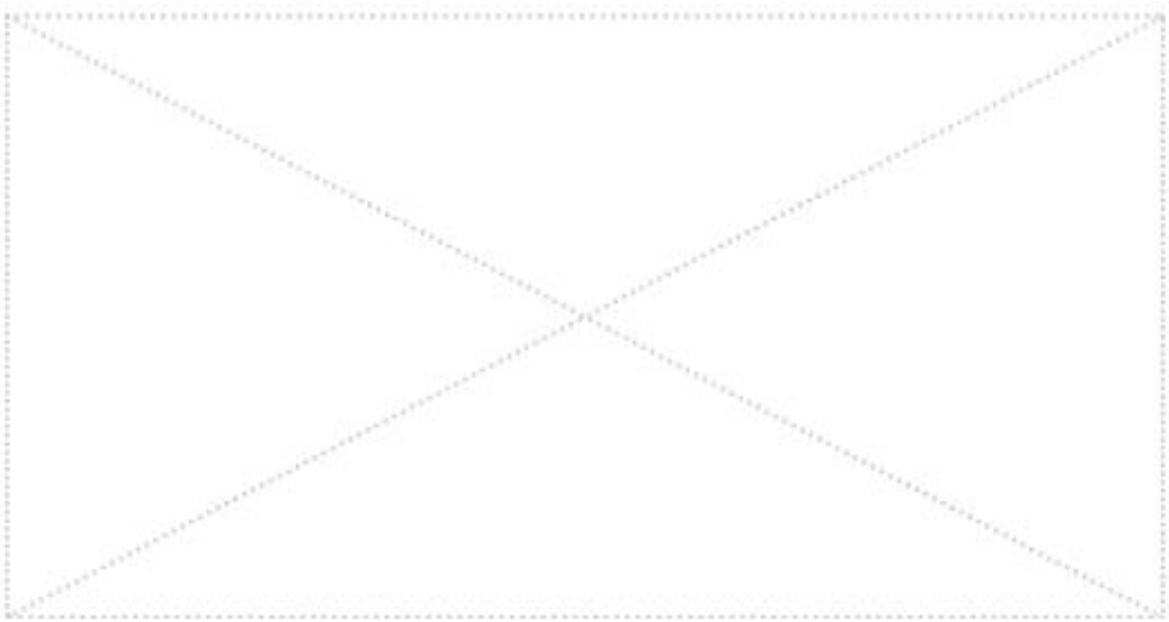
□ **(차세대 전지 기술 분야) 기존 다양한 응용시장 분야에서 활용되어 온 전지의 성능 지표(용량, 내구성, 안전성 등)를 대폭 개선하여 현 성능 한계를 극복하고 응용분야의 미래 요구 성능을 확보 가능한 3대 차세대 전지 기술 분야를 선정**

○ 전지로 구동할 수 있는 응용기기의 특성에 맞춰 요구되는 에너지의 크기에 따라 휴대형(Wh급), 이동형(kWh급), 고정형(MWh급)으로 분류하고 별도로 특수한 용도(의료, 우주, 국방, 극지, 심해 등)에 사용하는 특수목적형으로 분류

가능함

○ 전자기기, 수송기기 및 발전 분야에서는 주로 이차전지와 수소연료전지 기술 초격차 달성을 통한 전지 응용시장의 선점에 주력하고, 특수목적 분야에서는 극한환경 가동성이 우수한 동위원소전지 기술 개발에 집중할 필요가 있음

○ 한편, 차세대 전지에 활용되는 소재 공급망의 불안정화가 가속화됨에 따라 전지 재활용을 통한 소재 확보 및 원료 또는 핵심소재를 자립화할 수 있는 원천소재 기술 확보도 요구됨



[그림 3-3] 전지 응용처별 미래 요구성능 및 초격차 예상 미래 차세대 전지 시스템

□ **다양한 전지 응용분야에서 미래에 요구되는 차세대 전지의 성능 지표는 대표적으로 효율/에너지밀도 향상, 안전성/내구성 향상 및 소재 자립화로 구분된 추진전략에 대한 3대 차세대 전지 분야별 초격차 R&D를 위한 핵심기술 도출**

○ **(효율/에너지밀도 향상)** 모바일 기기의 사용시간 및 전기자동차의 주행거리 향상을 위해 현 리튬이온 이차전지의 효율과 에너지밀도를 능가할 수 있는 차세대 전지의 개발 필요성이 확대되고 있으나, 아직까지 기술 수준이 높지 않아 상용화에 도달하기까지 많은 기술적 난제가 해결되어야 함

○ **(안전/내구성 향상)** 전기자동차와 에너지저장장치의 전원으로 사용되는 리튬이온전지의 연이은 화재 사고가 보고되고 있어 이차전지의 폭발 위험성을 원천적으로 차단하기 위한 기술 개발 및 방사성 원소를 에너지원으로 활용하는 동위원소전지의 안전성 확보가 요구되며, 수송 및 발전 분야에서 응용범위가 확대되고 있는 수소연료전지의 활용률을 제고하고 장기간 안정적인 구동을 위한

내구성 향상 기술 혁신이 필요함

○ **(소재 자립화)** 전지 핵심원료의 해외 의존도가 심화되고 있으며, 이에 따라 리튬이온 이차전지용 전극 및 전해질, 수소연료전지의 분리막 등 원천소재 수급의 불안정성이 급격히 증가하고 있어, 이러한 공급망 위기를 극복하고 안정적으로 원료를 수급하기 위해 소재 자립화 및 내재화가 가능한 기술 경쟁력 강화가 요구됨

□ **(파급효과) 3대 차세대 전지 분야 초격차 기술 달성 시 세계 최고 수준의 기술 경쟁력을 선점하고 기존 전지 응용분야의 시장 주도권을 공고히 할 뿐만 아니라, 기존에 없던 융·복합 소재 및 이를 활용한 전지 시스템 등 신개념 차세대 전지 원천기술 발굴로 새로운 시장 개척에 활용 가능함**

□ **(달성 시기별 분류) 현 시점에서 각 차세대 전지(이차전지, 수소연료전지, 동위원소전지)용 핵심 소재 및 시스템 공정 기술 고도화 수준, 향후 기술 발전 전망, 활용처의 유무 및 응용시장의 규모 등을 종합적으로 고려하여 3대 기술 분야에서 단기 및 중·장기 초격차 기술 확보 가능한 핵심 기술로 분류**

○ 국내외 연구개발 동향 조사에 근거하여 현재 기술 성숙도가 높고 +5년의 근시일내에 상용화가 가능하여 고부가가치를 창출할 것으로 판단되는 기술의 경우 '단기' 기술 분야로 구분함.

○ 새로운 전기화학 반응 및 시스템을 기반으로 하는 전지 기술 분야의 경우 새로운 부가가치의 창출이 가능하여 향후 급격한 시장 성장이 예상되는 미래 유망 기술이나 현 기술 성숙도가 낮고 +10년의 장기적인 원천기술 확보가 중요하므로 '중·장기' 기술 분야로 구분함.

○ **(단기 확보 전략)** 기존부터 지속적인 R&D 수행을 통해 기술 수준이 어느정도 성숙된 차세대 전지 기술은 민간기업 중심의 조기 상용화를 목표로 집중적으로 지원 및 투자가 필요함

- (이차전지) 니켈 함량 95% 이상의 하이니켈 양극소재, 고체전해질 기반의 전고체전지 기술 등
- (수소연료전지) 이동형 고분자전해질 연료전지 및 발전용 고체산화물 연료전지 기술 등

○ **(중·장기 확보 전략)** 아직까지는 산발적 R&D 수행에 따라 기술 수준이 높지 않지만, 상용화가 된다면 시장 판도를 바꿀 수 있는 와해성 차세대 전지 기술에 대한 중장기적 연구개발을 병행함

- (이차전지) 리튬금속 기반 차세대 이차전지, 비리튬계 차세대 이차전지 기술 등

- (수소연료전지) 고분자 전해질 등 핵심 수소연료전지 소재 국산화 기술 등
- (동위원소전지) 외부 환경의 영향이 적고 반영구적 사용이 가능한 동위원소전지 기술 등

[표 3-1] 초격차 달성을 위한 이차전지 분야 시스템별 R&D 핵심 기술 목록

시기	시스템	핵심 기술
단기	리튬이온전지	• 고에너지밀도 혁신 양극소재 제조 기술 • 난연성 전해액 및 고안전성 분리막 제조 기술 • 고속충전 혁신 음극 소재 제조 기술 • 고안전 리튬이온전지 셀 제조 및 평가 기술 • BMS 및 모듈, 팩 제조 기술 • 폐 리튬전지 재활용화 기술 등
중기	전고체전지	• 고이온전도성 고체전해질 저비용 대량생산 기술 • 멤브레인 치밀화/박막화를 통한 계면 안정화 기술 • 계면저항 최소화 및 고안정성 극판제조 기술 • 고에너지밀도 전고체전지 셀 설계/제조 기술 등
	레독스흐름전지	• 고효율/고농도 레독스커플 탐색 및 합성 기술 • 고성능 멤브레인 제조 저가화 및 대면적화 기술 • 핵심소재 및 부품 대량생산 및 재활용 기술 • 고출력 스택 및 시스템 설계/제작 기술 등
	리튬황전지	• 고함량 황 담지 및 용출 저감 탄소 구조체 기술 • 리튬 음극 안정화를 위한 집전체 및 보호막 기술 • 고에너지밀도용 E/S 제어 전해질 및 첨가제 기술 • 폴리설파이드 이동 억제용 코팅 분리막 기술 등
	나트륨이온전지	• 저가형 고용량/고안정성 신규 양극소재 기술 • 장수명/고용량 복합 음극소재 기술 • 고에너지밀도/고안정성 풀셀제작 및 평가 기술 • 고도분석 기반 반응/열화 메커니즘 규명/제어 기술 등
장기	다가이온전지 리튬공기전지 수계아연전지 해수전지	• 고효율 공기극 집전체 및 공기극 촉매 기술 • 금속/전해질 계면 안정화/균일 증착 유도 기술 • 아연 음극 수지상 억제 및 양극 용출 완화 기술 • 해수 내 OER/ORR 촉매 적용 집전체 기술 등

[표 3-2] 초격차 달성을 위한 수소연료전지 분야 시스템별 R&D 핵심 기술 목록

시기	시스템	핵심 기술
단기	발전용	• 고성능 전해질/전극 개발 및 운전 조건 최적화 • 고내구성 소재 개발 및 작동온도 저하 기술 • 제조 공정 최적화 및 대량생산 시스템 기술 • 소재 및 핵심 부품 개발 통한 전지 운전영역 확대 등
	수소차용	• 핵심소재 및 부품의 내구성 증진 기술 • 신 공정개발 및 최적화를 통한 양산 기술 • 고용량 수소 저장 기술 및 급속충전 기술 등
중기	도심 항공용	• 고출력 소재 및 구조체를 통한 경박 단소화 기술 • 온보드 수소 저장·공급시스템 개발 및 실증 기술 • 시스템 단순화/경량화, 최적화 설계 기술 등
	선박용	• 모듈화 기술 기반 설비 공간/운전 환경 최적화 • 특정 환경 내 분석 기반 고내구성 부품 기술 • 충격/진동/경사에 대한 스택/시스템 내구성 확보 등
	직접 암모니아 연료전지	• 합금 나노입자의 표면구조 제어/신규 조성 탐색 • Fe-N-C, 탄소, 금속산화물 촉매 등 신소재 기술 • 전극/멤브레인 계면 설계/신규 MEA 제조 공정기술 등
장기	음이온교환막 연료전지	• 저가 탄화수소계 고성능 고분자 전해질 막 기술 • 비백금계 촉매 성능 극대화 경제성/효율성 확보 등
	프로톤세라믹 연료전지	• 고성능 전극소재 및 하이브리드 구조 전해질 막 기술 • 프로톤 전도성 소재 기반 고내구성 전극 기술 • 공정 최적화를 통한 대면적화 및 양산기술 확보 등
	고온형고분자 연료전지	• 고온 이온 전도성 박형 전해질막 소재 기술 • 고안정성 촉매/바인더 기술 등

[표 3-3] 초격차 달성을 위한 동위원소전지 분야 시스템별 R&D 핵심 기술 목록

시기	시스템	핵심 기술
단기	베타볼테익 전지	• 고선량 베타방출핵종 개발 • 베타방출 동위원소 분리/농축 기술 • 고효율 베타선 흡수체 기술 • 단위셀 집적화 기술
중기	베타볼테익 전지	• 베타방출 방사성 동위원소 생산기술 다양화 • 베타전지 시스템 통합 및 성능시험 기술 등
	동위원소 열전발전기	• 동위원소열원 변환 및 펠릿제조/밀봉조립 기술 • 열전모듈 최적설계 및 제작 기술 • RTG구조체 통한 방사선 차폐/구조 최적화 기술 등
장기	스털링 동위원소전지	• 동위원소열원 변환 및 펠릿제조/밀봉조립 기술 • 내진/내충격 구조 동위원소전지 구조체 기술 • 고내구성 스털링엔진 기술 등

4. 차세대 전지 초격차 R&D 핵심 기술

4.1. 효율 향상 (高에너지밀도 및 경량화)

- **단기 전략**을 통해, **「2030년 내 조기 상용화가 가능**한 차세대 전지 기술에 대해 **단기간 내 집중 지원을 통한 민간 주도의 R&D 활성화 및 사업화를 추진**하여 **高에너지밀도·高효율 및 경량화 기술」**을 개발함
- **중·장기 전략**을 통해, 기존 리튬이온 이차전지의 에너지밀도와 효율을 능가할 수 있는 **차세대 혁신 전지 원천소재 기술 확보 및 세계 1위의 초격차를 추진**함

[그림 4-1] 중점추진전략 1 – 차세대 전지 단기/중장기별 혁신적 효율 향상 기술

4.1.1. 단기 전략

가. 이차전지

□ (중점기술 1) 고성능 하이니켈 NCM 양극 소재(220mAh/g)를 적용한 전고체전지

ㅇ 기술 개요 및 현황

– 최근 리튬이온전지가 적용된 전기자동차 보급이 확대됨에 따라 주행거리 향상을 위해 전지의 高에너지밀도화가 요구되고 있음

– 리튬이온전지의 高에너지밀도화를 위해서는 고용량 양극소재가 필요하며 이 중에서 니켈 함량 80% 이상인 층상구조의 高니켈(하이니켈)함량 소재가 가장 최적으로 알려져 있고, 이는 니켈 함량을 조절함으로써 가역 용량 등의 자유로운 설계가 가능함

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

– (220mAh/g급 이상 고용량 양극소재의 전고체 전지 적용) Ni 함량을 증가시킬 경우 전기차 주행거리가 증가하는데, 주행거리 600km 이상을 위해서는 220mAh/g급 소재인 Ni 90%이상 NCM 소재를 개발하고 이를 전고체전지에 적용하는 것이 중요함

- (가스 발생 저감 고안전 단입자 중입경 제조) 기존의 3미크론 미만 소입경 단입자에서 벗어나, 고온에서의 운전 및 저항, 강도 특성, 극판밀도가 개선된 6미크론 이상 크기의 중입경 제조 기술이 중요함

- (고에너지 구현위한 양극재 고전압화 기술) 하이니켈 NCM 소재에 Mn, Al, Co를 도입하여 신규 조성 설계를 통해 4.2 V 이상의 고전압화와 에너지밀도 증가가 가능함

나. 수소연료전지

□ (중점기술 2) 200kW급 고성능 수소연료전지 스택 모듈화 기술 (효율 60%(LHV))

ㅇ 기술 개요 및 현황

- 수소연료전지의 고효율화는 스택 내 단전지 구성 숫자를 낮춰 가격 경쟁력을 확보할 수 있을 뿐 아니라, 시스템의 중량 및 부피를 줄여 응용 분야를 대폭 확대할 수 있다는 장점이 있음

- 대형 상용차의 동력 시스템 적용기준인 200kW를 모듈화 및 규격화하여, 연료전지의 대량생산체제의 기틀을 만들고, 철도 및 선박, 발전시설 등 연료전지 응용분야 전체를 아우르는 기술표준화를 이룰 수 있음

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

- (고효율 200kW 단일 스택 설계 및 제조 기술) 단전지는 물론, 분리판, 밀봉재 등의 구성 요소품 최적 설계를 통하여, 부품의 구조 및 제조 기술을 고도화하고 성능을 극대화할 수 있는 기술을 개발

- (연료극 미반응 수소 재순환 기술) 수증기를 함유하고 있는 미반응 수소를 다시 연료극에 사용할 수 있도록 재순환하는 기술로, 고체산화물 연료전지와 같은 고온에서 작동하는 연료전지의 경우 고온 내구성 블로워 및 수증기 제거 장치 개발이 필수적임

- (공기극 산소농도 상승 기술) 공기극에 주입되는 가스의 산소농도를 높이면 연료전지 성능을 상승시키는 효과를 가져옴. 별도의 동력주입 없이 공기 중 산소농도(약 21%)를 높여 공기극에 주입함으로써 추가 성능을 확보할 수 있는 기술을 개발함

4.1.2. 중·장기 전략

가. 이차전지

□ (중점기술 3) 공기전지 혁신 전지 기술

ㅇ **기술 개요 및 현황**

- 공기전지는 전이금속의 사용을 배제하여 이차전지의 무게당 에너지밀도를 혁신적으로 증가시킬 수 있는 전지로, 리튬 금속을 음극으로 사용하며 탄소 등의 전도성 소재로 구성된 공기극에서 대기 중의 산소와의 전기화학 반응을 통해 리튬 산화물을 생성 및 분해하는 전지임
- 아시아 태평양 지역은 리튬 공기전지 시장의 평균 증가율이 높으며 중국, 인도 등 신흥 국가들의 리튬 공기전지의 수요가 증가하는 추세를 보임 (2019년에는 4억 7647만 달러 규모의 시장점유율을 기록)

ㅇ **초격차 기술 개발 전략**

- (고효율 공기극 집전체 및 공기극 촉매 기술 개발) 높은 비표면적과 3차원적인 다공성구조를 가지면서 반응활성 및 전도도가 우수한 공기극 집전체와, 산소환원(ORR) 및 산소발생반응(OER)시 반응활성을 크게 높여 과전압을 줄일 수 있는 공기극 촉매 개발이 요구됨
- (고성능, 고안정성 전해액 및 전해액 촉매기술 개발) 이온전도도가 높고, 산소 포화도 및 이동도가 우수하며 외부 공기 유입 시 전해액의 증발이 최소화되는 전해액과, 공기극 촉매와 함께 성능을 극대화시킬 수 있는 전해액 촉매 개발이 요구됨
- (수분제어 및 선택적 가스확산 분리막 기술) 전지 구동에 필요한 산소만을 취하기 위해 외부의 공기에서 함께 유입되는 수분 및 타 기체 성분의 선택적 분리 및 가스 확산을 쉽게 해줄 수 있는 분리막 기술이 요구됨

□ **(중점기술 4) 리튬 금속 기반 리튬-황 전지 혁신 기술**

ㅇ **기술 개요 및 현황**

- 리튬-황 전지는 양극재로 유황 복합체, 음극재로 리튬 금속 등의 경량 재료를 사용하는 시스템으로, 고에너지밀도 구현이 가능함
- 리튬-황 전지는 전기차뿐만 아니라 고고도 무인항공기, 도심 항공교통 등 미래형 모빌리티 산업에 가장 적합한 에너지저장장치로 기술 개발 필요성이 높음

ㅇ **초격차 기술 개발 전략**

- (금속 리튬 안정화 기술) 안정적인 리튬 성장 유도를 위한 집전체 개발과 리튬 수지상 성장 억제를 위한 리튬 보호막 및 리튬 복합체 기술 개발이 필수적임
- (고용량 황전극 개발 기술) 고함량 황 담지용 다공성 탄소 구조체 혹은 폴리설파이드 용출 저감용 도핑 탄소 구조체를 통한 고로딩 황전극 제조 기술 개발이 필요함

– (리튬-황 전지용 전해질 기술) E/S를 최소화하면서 폴리설파이드의 용출 및 shuttling effect를 저감할 수 있는 전해질 개발 및 리튬 안정화를 위한 전해액 첨가제 혹은 고체전해질 개발이 필요함

나. 수소연료전지

□ (중점기술 5) 신소재 개발을 통한 스택 성능 개선 (효율 70%(LHV))

ㅇ 기술 개요 및 현황

– 수소연료전지 전해질 및 전극, 시스템 구성 요소품들을 고성능 소재로 대체함으로써, 시스템 전체의 출력성능 극대화를 목표로 함

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

– (고온형 고분자 전해질 소재 개발) 기존 고분자전해질 소재의 작동 제한온도인 100℃에 국한되지 않고, 더욱 높은 온도에서 연료전지 작동을 가능케 함으로써 추가적인 성능향상을 도출해 낼 수 있는 전해질 소재를 개발함

– (고성능 비백금 촉매 소재 개발) 백금 촉매 이상의 성능을 구현하는 나노(복합)촉매 소재 개발

– (프로톤 전도성 세라믹 전해질 소재 개발) 산소 이온보다 낮은 활성화 에너지 및 높은 이온전도도를 갖는 프로톤(수소이온)을 매개체로 사용하는 프로톤 전도성 세라믹의 고성능을 제대로 구현해낼 수 있는 연료전지 플랫폼 및 전해질 소재 기술을 개발

– (고성능/고내구성 세라믹 양극 소재 개발) 장기내구성을 확보한 고성능 세라믹 양극 소재 개발을 통하여, 연료전지 시스템 전체 출력성능을 효과적으로 향상시킬 수 있으며, 나아가 세라믹 기반 연료전지의 출력성능 유연성을 확보할 수 있다는 장점도 있음

다. 동위원소전지

□ (중점기술 6) 고출력·고효율 동위원소열전발전기(6W, 10년, 효율 5%) 및 스털링 동위원소전지 (30W, 10년, 효율 25%) 기술

ㅇ 기술 개요 및 현황

– 동위원소열전발전기(RTG)는 방사성동위원소가 방출하는 방사선을 차폐하여 방사선에너지를 열에너지로 변환하며, 이를 열전재료에 전달하여 발생하는 온도 구배에 기인한 기전력으로 구동하는 전지임 (미국 NASA 등에서 활용)

– 자유피스톤 스털링 동위원소전지는 열전모듈 대신 스털링 엔진을 전력변환 기

술로 활용하며, 엔진 내 열원에서 발생하는 열을 흡수하고 방출하는 과정에서 내부 기체의 팽창 및 압축을 유도하고 이를 통해 교류전력을 생산하는 부품으로서 열전소자 대비하여 4배 이상의 전기를 생성 가능함

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

- (방사성동위원소 열원 기술) 방사성동위원소 열원을 확보하기 위해서는 핵연료 폐기물로부터 고방열 핵종의 분리·합성 기술, 동위원소열원 펠릿제조기술, 동위원소열원 밀봉기술, 우주선 발사사고 및 재진입사고 보호기술 등이 요구됨
- (열전모듈 기술) 전기 출력을 최대로 할 수 있는 열전소재·열전소자의 설계 및 제조기술, 시스템에서 전력손실을 최소화할 수 있는 기술, 우주선 발사진동 내구성, 우주환경 내구성 기술 등이 요구됨
- (RTG 구조체 기술) 방사선 차폐기술, 단열기술, 열원 및 열전소자 고정구조 설계 기술, 우주선 발사진동 및 우주선 폭발사고 방어기술 등이 요구됨

ㅇ (스털링 엔진 기술) 열손실을 최소화할 수 있는 흡열부·방열부·재생기 구조 설계 기술, 전력 생성을 최대로 할 수 있는 displacer·피스톤·alternator 설계 기술 및 움직이는 부품의 마찰 및 응력집중을 막기 위한 윤활 기술 등이 요구됨

4.2. 안전성 및 내구성 향상

▸ **단기 전략**을 통해, **「기술 성숙도가 높고 안전한 차세대 전지의 성능 고도화**를 통해 상용화를 목표로 신속한 연구개발을 추진하여 **高안전성 및 전지 長수명 기술」**을 달성함

▸ **중·장기 전략**을 통해, **화재·폭발 방지(이차전지)와 장기 내구성(연료전지) 확보 및 방사선 안전성(동위원소 전지) 확보**를 목표로, 미래 시장 판도를 바꿀 수 있는 핵심소재 원천기술 개발을 추진함

[그림 4-2] 중점추진전략 2 – 차세대 전지 단기/중장기별 안전성/내구성 향상 기술

4.2.1. 단기 전략

가. 이차전지

□ (중점기술 1) 리튬이온계 소재 기반 고안전성 전고체전지 성능 고도화 기술 (800Wh/L)

ㅇ 기술 개요 및 현황

- 전고체전지는 전지의 구성요소 중 가연성 액체가 포함된 액체 전해액과 분리막을 고체전해질로 대체하여 전지의 안전성을 획기적으로 개선한 시스템임
- 전고체전지는 폭발위험이 전혀 없고, 내열성, 내구성, 내충격성, 내압력성이 기존 리튬이온전지 대비 모두 우수함

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

- (고체전해질 대기 안정화 기술) 대기 안정화 기술을 통해 전고체전지의 안정성 및 공정성을 확보할 수 있으며, 신규 조성 고체전해질을 개발하고 이에 맞는 저가 합성 공정 기술이 요구됨
- (덴드라이트 성장 억제 멤브레인 기술) 전지의 불량률을 줄일 수 있는 멤브레인 내부결함 방지용 치밀화/박막화 기술 및 리튬금속 음극 덴드라이트 성장 억제 기술이 필요함

나. 동위원소전지

□ (중점기술 2) 극한 환경(극저온, 침수, 고압, 부식성) 조건 하 고성능 구동 기술 확보

ㅇ 기술 개요 및 현황

- 미국과 러시아에서는 극한 환경(심해·극지)용 RTG를 개발하여 잠수함의 이동 감시, 북극 주변 지진 탐지장치, 바다 위 위치표식 부표 및 북극해 연안 등대 무인시스템 운영에 전력원으로 사용하고 있음
- 한국원자력연구원에서는 Sr-90 동위원소 열원을 이용한 극지 및 심해용 RTG를 개발하는 계획을 수립함

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

- (RTG 구조체 기술) RTG 열원의 고정과 안정화 및 외부 충격에서 오는 손상 방지용 단열재, 방열구조, 차폐구조, 내방사선·내진설계 및 열저항 저감 기술 등이 요구됨
- (국방사용 환경 분석기술) 무기체계 운용 중의 진동과 외부 충격에 대한 안전성 확보 및 군 무기체계 운용 온도에서 대응이 가능한 단열구조 및 열전소자 기술 개발이 필요함

4.2.2. 중·장기 전략

가. 이차전지

□ (중점기술 3) 비리튬이온계(아연) 소재 기반 수계 이차전지 기술 (600Wh/L)

ㅇ 기술 개요 및 현황

- 이차전지의 대형화에 따른 화재 및 폭발 등의 안전 문제를 사전에 방지할 수 있는 비리튬이온계 고안정성 소재를 개발하여 다양한 규모의 이차전지를 안정적으로 운용 가능한 기술임
- 안전성 문제를 야기하는 기존 리튬이온 기반 소재 대신 반응성이 낮은 비리튬이온 소재(아연)를 활용하여 화재 위험성이나 폭발 가능성이 현저히 낮고, 특히 수계 전해질을 사용할 경우 가연성의 유기 전해액 사용을 피할 수 있음

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

- (양극 용출 및 부반응 생성물 제어 기술) 충방전 중 양극재 원소 (Mn)가 전해액 내 용출되는 현상을 억제하고, 충방전 중 반응 생성물(Zn complex) 생성을 제어하는 기술이 요구됨
- (아연 음극의 부식, dendrite 성장 억제, 수소 발생 억제 기술) 약산성 전해질 조건 하에서 아연의 화학적 부식 및 수소 발생을 억제하고, 충전 시 아연 음극의 덴드라이트 성장을 억제하여, 가역성을 개선할 수 있는 기술 개발이 필요함
- (고전압 안정성 전해질 및 첨가제 기술) 수용성 전해질의 낮은 구동전압을 극복하고 전기화학적 가역성을 개선할 수 있는 기술 및 음극 덴드라이트 억제와 양극재 용출을 완화할 수 있는 전해질 설계가 요구됨

□ (중점기술 4) 고안전성/장수명 레독스 흐름전지 기술 (사용내구성 20년)

ㅇ 기술 개요 및 현황

- 레독스 흐름전지는 산화수가 서로 다른 액상의 음극 및 양극 전해액으로 구성되며, 레독스 쌍의 전위차에 의해 기전력이 발생하여 가역적으로 충전과 방전이 가능한 시스템임
- 가연성 용매나 리튬 등 반응성이 높은 금속을 사용하지 않고, 용량과 출력을 독립적으로 설계·제조 가능하며, 사용된 전해액을 재사용할 수 있어 타전지 대비 가격 경쟁력이 높음

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

- (레독스 흐름전지 기초 소재 기술) 상용화된 바나듐 및 아연 기반 레독스 활물질의 성능 한계를 극복할 수 있는 레독스 흐름전지용 신규 레독스 활물질 소재

탐색 기술

- (레독스 흐름전지 시스템 기술) 시스템 구축 비용, 소재·부품·스택 제작 비용을 저감하고, 장기 안전성을 확보할 수 있는 기술

나. 수소연료전지

□ (중점기술 5) 신소재 개발을 통한 장기내구성 확보 (10만시간 발전 또는 100만km 이동거리 확보)

ㅇ 기술 개요 및 현황

- 장기내구성이 우수한 새로운 소재를 개발하여 연료전지 시스템 전체의 내구성을 확보함
- 현재의 연료전지가 상용화됨에 있어 가장 큰 문제는 소재의 장기안정성에 있기 때문에 내구성 문제를 보다 근본적으로 해결하기 위해서는 신소재 개발이 반드시 필요한 실정임

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

- (고내구성 단전지 소재 개발) 고내구성 소재의 고분자, 세라믹, 금속촉매 등을 개발하여, 기존 소재를 대체하고, 장기데이터를 확보하여 연료전지 시스템 전반의 장기구동 신뢰성을 확보하는 노력이 중·장기적 관점에서 필요함
- (Cr 증발 억제용 분리판 소재 기술 개발) 고온형 연료전지 작동환경에서의 Cr 피독은 심각한 성능저감을 야기하고 있어, Cr 증발을 억제하는 분리판 소재를 개발하거나 고온 안정성을 확보하는 표면코팅 기술 개발 등이 필요한 실정임

다. 동위원소전지

□ (중점기술 6) 우주 및 극한환경 조건에서의 동위원소전지 고내구성 기술

ㅇ 기술 개요 및 현황

- 동위원소열전발전기의 우주선 임무 시 수반되는 충격에 대한 내구성 및 우주환경 내구성을 확보하기 위해서는 우주환경 분석과 평가기술이 필수적이며, 열전소자를 안정적으로 보호할 수 있는 기술이 필요함 (10년 기준)

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

- (우주사용환경 분석 기술) 동위원소열전발전기와 스털링 동위원소전지의 우주선 탑재위치와 재진입 시나리오, 장착위치 표면온도 변화, 달·화성 표면온도 변화에 따른 내구성을 확보하기 위한 분석 및 대응 기술이 요구됨

– (물리적 충격 및 우주 방사선 손상 평가기술) 우주선의 궤도 및 착륙지에서 받게되는 우주방사선의 종류 및 선량을 계산하여 RTG에 인가되는 방사선 손상을 분석·평가하는 기술 및 우주선 페어링·행성착륙 시 발생하는 충격에 대한 내충격 기술이 요구됨

4.3. 소재 자립화

- **단기 전략**을 통해, **「전지 원료/**소재의 해외 의존도를 줄이고 에너지·안보 문제와 기술패권 경쟁 및 공급망 위기를 극복하기 위한 **민·관 협력** 기반의 **원료 및 소재 자립형 원천기술 확보」**를 추진함
- **중·장기 전략**을 통해, 국내 자립형 및 내재형 **차세대 전지 원천소재의 기술 경쟁력을 강화**하고, 혁신 원천소재를 활용한 **미래형 차세대 전지 기술을 선도**함

[그림 4-3] 중점추진전략 3 – 차세대 전지 단기/중장기별 원료/소재 자립화 기술 확보

4.3.1. 단기 전략

가. 이차전지

□ **(중점기술 1) 소듐(나트륨)이온 기반 이차전지 고도화 기술**

ㅇ 기술 개요 및 현황

– 나트륨이온전지는 리튬이온 대신 나트륨이온을 활용하는 것이 특징으로, 리튬과 유사한 화학적 성질을 지닌 나트륨을 채용하기 때문에 기존의 리튬 이차전지와 유사하게 충·방전 과정에서 층상구조의 전극소재에 이온이 탈/삽입되는 원리로 작동하며, 풍부한 나트륨 자원을 바탕으로 리튬 부족 문제를 해결하고, 저가격 전지 구현이 가능

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

– (저가형 고용량 고안정성 양극 소재 기술 개발) 저가형 Co-free O3-type 고안정성 양극소재 개발과 합성공정 최적화 및 비가역적 상전이 현상과 충방전중 수분 uptake·표면열화 억제를 통한 사이클 특성 및 양극소재 표면 안정성 극대

화 기술이 요구됨

- (장수명 고용량 음극 소재 기술 개발) 합금/변환계 소재나 유·무기계 구조지지체 및 하이브리드 복합 기술을 활용한 부피팽창 제어 기반 신규 고용량·장수명 음극 소재 기술이 요구됨
- (고에너지밀도 고안정 풀셀 제작 기술 개발) 기존 상용 리튬이온전지 제조 플랫폼에 손쉽게 적용 가능한 전극 및 셀 설계 기술 개발이 필요함

나. 수소연료전지

□ (중점기술 2) 핵심 소재 국산화 제조 기술 확보 (백금 15kg/100kW, 이오노머 100g/kW 이하 함량)

ㅇ 기술 개요 및 현황

- 연료전지의 경우 이차전지와 같이 특정 물질에 대한 의존도가 높지는 않으나, 백금 등 귀금속의 수요가 있으며 시장이 확대될수록 추가적인 소재 가격 상승이 예견되고 있음
- 소재 합성 및 제조 기술의 국산화를 통하여, 소재의 해외 의존도를 낮추고 나아가 소재를 수출할 수 있는 기술력을 축적함에 목적이 있음

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

- (고분자 전해질 제조기술 확보) 나피온(Nafion)으로 대표되는 연료전지용 고분자 전해질은 특허가 이미 공개되어 있으나, 합성 및 제조에서의 낮은 기술력으로 인하여 여전히 수입 소재를 능가하는 데 어려움이 있어, 제조기술의 고도화를 통해 제품에 대한 성능 및 신뢰성을 확보할 수 있는 기술력을 갖추어야 소재 국산화가 성공적으로 이루어질 수 있음
- (백금 합성촉매 제조기술 확보) 백금의 함량을 낮추는 것을 목적으로 하는 합성촉매 기술은, 백금에 대한 해외의존도를 함께 낮춰 단기적으로 소재 국산화 효과를 누릴 수 있을 것이라고 평가됨
- (강화복합막 제조기술 확보) 강화복합막은 전량 해외에 의존하고 있는 이오노머의 함량을 낮출 수 있는 전해질 소재로 알려져 있으나 기공제어가 어려운 단점이 있어, 기술력 제고를 통하여 기공제어가 가능한 강화복합막을 개발함으로써, 이오노머 의존도를 낮출 수 있음
- (초고순도 세라믹 소재 제조기술 확보) 고온형 연료전지용 세라믹 소재의 경우, 일반적인 파우더 공정이 주로 사용되어 제조기술에서의 혁신을 기대하기는 다소 어려움이 있으나, 성능 및 내구성에 영향을 주는 초고순도의 소재 제조 측

면에서는 아직도 일본, 미국 등과 같은 기술선진국에 비해 열위에 있기 때문에, 이를 효과적으로 극복하고 진정한 소재 국산화를 실현할 수 있는 기술 개발이 필요함

다. 동위원소전지

□ (중점기술 3) Sr-90 열원 생산 기술

ㅇ 기술 개요 및 현황

- Sr-90 열원은 핵연료 폐기물에서 추출이 가능하기 때문에 이를 국산화하기 위한 연구개발이 진행되고 있음 (2019년도부터 한국원자력연구원에서 원자력전지용 Sr-90 방사성동위원소 열원 제조기술 및 보호모듈 개발 등 원자력전지를 위한 방사성동위원소 열원 핵심기술 개발을 진행 중)
- 미국과 러시아에서는 Sr-90 열원을 분리 및 회수하고 펠렛으로 제조하여 심해 및 극지에서의 RTG 원료로 사용하고 있음

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

- (Sr-90 내재화 기술) 대규모 핵연료 재처리 시설이 필요한 알파방출 핵종 (Pu-238, Am-241) 대신 국내 파이로 공정에서 발생하는 핵연료 폐기물에서 베타방출 핵종인 Sr-90을 분리 및 정제할 수 있는 공정 기술 개발

4.3.2. 중·장기 전략

가. 이차전지

□ (중점기술 4) 다가이온 활용(마그네슘, 아연, 알루미늄 등) 이차전지 기술

ㅇ 기술 개요 및 현황

- 다가이온 전지는 지각 내 매장량이 풍부하여 리튬 대비 저가의 가격으로 전지 구성이 가능함 (KOMIS 한국자원정보서비스에 따르면 마그네슘 및 알루미늄의 가격은 각각 3,420달러/톤, 2,400달러/톤으로 저렴함, 리튬은 75,000달러/톤)
- 리튬의 희소성과 수급 문제를 고려할 때, 리튬을 대체할 수 있는 다가이온 원소들에 대한 연구가 많아질 것으로 예상됨

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

- (마그네슘 이온 전지 기술) 마그네슘 금속/전해질 계면 안정화 및 균일한 마그네슘 증착 유도 기술과, 고전위·고용량 마그네슘 양극소재 기술 및 넓은 전위창을 갖는 전해질 기술 개발이 요구됨

- (알루미늄 이온 전지 기술) 알루미늄의 가역적 전착/탈리가 가능한 안정적인 전해질 개발과 넓은 층간거리를 가진 양극활물질 개발 및 알루미늄 금속 음극의 덴드라이트 억제 기술이 요구됨

- (칼슘 이온 전지 기술) 칼슘 이온 삽입이 가능한 구조의 양극활물질 개발과 고안정성·고전압 구동이 가능한 전해질 개발 및 알루미늄 덴드라이트 성장을 억제할 수 있는 기술이 요구됨

□ (중점기술 5) 해수전지 기술

○ 기술 개요 및 현황

- 해수전지는 지구에 풍부한 자원인 천연 해수를 양극활물질로 사용하여, 해수에 녹아 있는 NaCl과 H2O의 전기화학 반응을 통해 에너지를 저장하는 전지로 해수 양극부, 고체전해질, 음극부의 3가지로 구성되며, 음극부와 고체전해질로 구성된 셀이 해수에 침지되는 형태로 사용됨

○ 초격차 기술 개발 전략

- (해수전지 단셀 및 모듈 설계기술) 음극 내부구조 설계 기술과 세라믹 접합 기술 및 모듈 내 셀 스택킹 및 밸런싱 기술이 요구됨

- (해수 기반 수계 양극 기술개발) 해수 내 OER/ORR 촉매 적용 집전체 기술과 수계 나트륨 삽입/탈리 활물질 기술 및 고에너지 해수 양극을 위한 레독스 복합전극 기술이 요구됨

- (세라믹 고체전해질 기술) 高이온전도성 세라믹 소재를 개발하고, 세라믹 전해질 고밀도화 및 고강도화 기술 및 세라믹-전극 계면 안정화 기술이 요구됨

나. 수소연료전지

□ (중점기술 6) 신소재 개발 및 소재 원천기술 선점

○ 기술 개요 및 현황

- 원천기술에 대한 지적재산권을 확보하고, 시장에서의 우위를 선점할 수 있는 새로운 소재의 합성 및 제조 기술을 개발

- 중·장기적 관점에서의 소재 개발은 우수한 소재를 먼저 개발하여 우위를 점하는 전략을 기반으로 해야 하나, 여전히 우리나라 정부 및 산업계의 투자는 상용화에 가까운 기술에 집중되고 있으며, 신소재 개발과 같은 기초연구에 장기적인 관점에서 지원이 절실한 상황임

○ 초격차 기술 개발 전략

- (저온형 연료전지용 비백금 촉매 개발) 백금에 버금가는 성능을 지닌 비백금

촉매는 개발과 함께 시장의 판세를 뒤흔들 것이라고 예측되고 있으며, 이렇게 수요가 높은 비백금 촉매 개발을 선점함으로써 진정한 의미의 기술 초격차를 달성할 수 있음

- (고성능·고내구성 소재 원천기술 확보) 고온형 고분자 전해질 및 음이온 전도성 고분자 전해질, 저온작동형 세라믹 전해질, 고내구성 공기극 소재 등 연료전지 한계를 돌파할 수 있는 소재의 원천기술 개발이 필요

다. 동위원소전지

□ (중점기술 7) Pu-238, Am-241 공급망 확보

ㅇ 기술 개요 및 현황

- 방사성동위원소 열원은 RTG 시스템에 장기간 우주탐사선에 열을 제공하는 핵심소재이지만 Pu-238이나 Am-241 등의 소재는 사용 후 핵연료의 재처리를 통해서만 생산이 가능함

- 엄격한 통제/보안 하에 있는 국립연구소에서 주로 생산·관리·공급이 이루어짐

ㅇ 초격차 기술 개발 전략

- (국제협력 모색) 방사선 차폐가 용이한 알파핵종 Pu-238, Am-241은 한-미 원자력협정에 따라 국내 핵연료 재처리가 금지되어 있으므로, 미국, 러시아, 영국 등 우주·원자력 선진국들과의 (우주개발) 국제협력 프로그램에 참여하여 열원 확보

5. 초격차 R&D를 위한 생태계 구축

5.1. 우수 연구인력 양성

□ **(필요성) 차세대 전지 기술 초격차를 위해 연구개발을 수행할 핵심인력 부족 문제 및 우수 인재 유치 경쟁 심화를 대비한 연구인력 확보 필요**

○ 핵심 기술 개발을 위한 석·박사급의 전문인력이 부족한 상황으로 전문 인력 양성 확대를 위한 사업 신규 추진 필요

– 이차전지의 경우 부족 인력 현황은 1,013명(석·박사급 연구·설계인력), 1,810명(학사급 공정인력)으로 조사됨 (2020년, 전지협회)

○ 글로벌 기업 간 치열한 기술경쟁으로 국내 우수 인력을 유치하려는 시도가 가열될 전망이며, 기술 유출의 위험성으로 인해 해외 인력 채용도 쉽지 않음

□ **산·학·연 연계 연구과제 지원 확대 및 산·학·연 연계 인력양성 프로그램을 통한 고급 전문인력 양성 및 산업계 맞춤형 인재 양성**

○ 대학원 및 학연과정을 통해 전문교육을 받은 전문인력 양성 및 산업계 맞춤형 인재 발굴을 위해서는 산학연 연계 연구과제 지원이 가장 효율적이며, 기업 맞춤형 연구과제를 수행하는 전문 대학원·학연과정 학생을 양성함으로써 졸업 이후 회사로의 자연스러운 취업을 통해 인력을 보충하는 방안을 제시

○ (인턴십 프로그램) 대학 및 연구원 내 기업 연계 현장경험을 제공하는 실습 및 인턴십 프로그램 제공이 가능한 정부의 사업지원 필요

○ (협의체) 차세대 전지 산업 인력 수급 현황 파악, 교육 훈련, 수요 발굴 및 중장기 인력 양성 계획 수립 등 산·학·연이 참여하는 협의체 신설

□ **(국가주도 인력양성 사업) 차세대 전지 기술 초격차 달성을 위하여 분야별 맞춤형 특성화 인력양성 프로그램을 발굴**

○ (분야별 인력양성) 차세대 전지의 공백 연구 분야가 없도록 다양한 분야의 특화된 전문 인재 양성을 위한 전지설계·소재·고도분석 등 분야별 특화된 인력양성 사업 추진

○ (현장 전문인력양성) 현장 전문인력 부족 문제 해결을 위한 품질관리·공정운영 등 제조현장인력 강화를 위한 연구지원 사업 추진

○ (소재·부품 인력양성) 취약한 국내 소재·부품 등의 경쟁력을 강화를 위한 전문인력양성 사업 추진

○ (융합형 인력양성) 학문 간 융합 연구 및 다양한 분야 간의 협업을 통하여 기술적 난제를 해결할 수 있는 인력 양성 사업 추진

□ (지역 특화 산업체 수요를 고급 인력양성) 각 지역 내 전지 관련 산업체 인력 수요를 바탕으로 지역 맞춤형 각 산업체 및 대학, 연구소 융합의 인력 양성 프로그램 발굴

○ (산업체-대학-연구소 융합형 고급인력 양성) 권역내 산업체, 대학, 연구소와의 연계형 석박사 인력양성 프로그램으로, 산업체의 현장 경험, 대학의 교육, 연구소의 연구 개발/분석 경험 등 각 기관의 전문성을 확보할 수 있는 통합형 고급 인력 양성 프로그램 추진

○ (권역별 산업체 수요 분석) 수도권 및 비수도권 내 분포하고 있는 전지 관련 산업체 내 인력 수요 분석을 통해, 연구 개발 및 사업화에 필요하 인력 양성 교육 프로그램에 반영

○ (권역별 산학연 융합 석박사급 인력 양성) 수도권, 강원/영남, 충청/호남 등의 각 권역에 대한 석박사 중심의 전지 특화형 고급 인력 양성 특성화 대학원 및 학과 유치를 통해 지역 내 산업체 수요 의견이 반영된 교육 프로그램 발굴

○ (학사급 인력 미 재교육 프로그램 발굴) 학점 인정형 및 취업 연계형 산업체 인턴쉽 프로그램과 권역별 타분야 인력에 대한 전지 분야로의 재교육 프로그램 발굴을 통해 취업 연계할 수 있는 특화형 인력 양성 프로그램 추진

□ 기존 R&D 사업 추진과 동시에 석박사급 대학원생 간의 연구 개발 성과 공유회 프로그램 추진을 통한 도전적이고, 창의적인 R&D 적극 지원

○ 도전적인 연구주제 및 실패를 용인하는 연구에 대한 투자 비중을 늘림으로써, 안정적인 연구비 지원 속에 자유로운 아이디어 제시와 도전적인 시도를 해볼 수 있는 환경을 조성하여 창의력이 높은 우수 연구인력 양성을 유도함

○ 차세대 전지 R&D 추진 중, 기존 과제 내에서 진행되던 성과 공유회를 전지 분야를 전체 R&D과제에 대한 성과 공유회 및 포럼을 추진함으로써 컨소시엄 간 성과를 교류 및 성과 융합형 원천 기술 개발 추진

○ 연구 책임자 중심의 성과 교류회화 함께, 석박사 대학원생 중심의 연구 성과 교류회를 별도 추진함으로써, 도전적 아이디어 발굴과 동시에 우수 인력에 대한 취업 연계 가능성 도모

5.2. R&D 네트워크 구축

□ (인프라 강화 필요성) 차세대 전지 초격차 기술의 조기 개발을 위해 R&D 인프라 구축 및 규격화, 표준화에 대한 지원이 필요

○ 차세대 전지의 신속한 연구개발을 위해 시간이 많이 소요되는 초기 연구 인프

라 구축 및 연구 노하우 확보를 국가 차원에서 측면 지원함

○ 실험 장비 및 실험 프로토콜을 규격화, 표준화하여 이를 연구자들에게 오픈하여 객관적이고 신뢰성 있는 연구결과의 확보가 가능하게 함으로써 연구 개발을 촉진함

□ **(네트워크 구축 필요성) 차세대 전지 초격차 개발의 효율성을 높이기 위한 R&D 네트워크 구축이 필요**

○ 권역별 RCT(Research Control Tower) 구축을 통하여 지역 특색에 맞는 산학연 연구역량 결집, 인력양성 및 연구자간 소통 활성화를 통해 R&D의 효율성을 높임

□ **R&D 연구역량 결집, 인력양성 및 군역별 특성강화를 통한 국내 R&D 생태계 구축 및 네트워크 플랫폼 구축**

○ 수도권, 영남권, 호남권 권역 내 기초 연구 지원 및 해외 네트워크 구축을 담당할 수 있는 RCT 구축하여 차세대 이차전지 R&D 연구 역량을 결집하고 지원 인프라를 강화하는 R&D 생태계 구축 전략

○ 지역별 균형있고 특화된 RCT 구축을 통하여, 소재 설계·분석·평가 중심의 기초연구 지원 체계를 구축하고, 과기부 특화형 박사급 중심의 고급 연구 인력을 양성하며, 선도국 기술 모니터링 및 협력 연구 네트워크를 구축함

○ 동위원소 전지의 경우 국내에 산발적으로 연구를 수행하고 있는 연구팀을 통합하여 연구개발 네트워크를 구성하고 동위원소 전지 협의체를 구축함

□ **(국가주도 인프라 강화) 기술 초격차 달성을 위해 R&D 연계 인프라 구축을 위한 정책을 수립하고 제조, 평가, 분석 등과 관련된 표준 프로코톨을 구축함**

○ R&D 연계 인프라 구축을 위한 로드맵 작성 등 정책 수립

○ 차세대 전지 시험·평가를 위한 표준 프로토콜 구축

○ 고도분석 및 전산모사 인프라 연계 플랫폼 구축

○ 차세대 전지의 성능, 신뢰성 및 안전성 평가 종합 지원

○ 차세대 전지 시험 관련 표준화 전문 기관을 설치하고 주기적인 프로토콜 업데이트 및 국내 유관 연구자들에게 공개를 통해 연구 몰입 환경 조성

○ 차세대 전지의 평가를 용이하게 할 수 있도록 전문 공인시험평가 기관을 설립

□ **(전담 조직 활용) 차세대 전지 연구 시설장비 활용 및 기업의 문제 이슈 등을 전담하는 전문 조직 활용을 통해 기술의 수요를 반영한 R&D 대응 연계 방안 모색 가능한 인프라 적극 활용 추진**

□ **산·학·연 협의체 구성을 통해 기업의 참여 유도, 연구혁신 방안 마련**

- ㅇ (산·학·연 균형지원) 민간 수요 중심의 개발 연구와 더불어 출연연·대학 주도의 도전적 원천기술 연구에 대한 균형적 지원책 마련 필요
- ㅇ 대학 주도의 도전적 연구를 촉진하고, 출연연의 산업 연계 연구를 강화하여 연구(대학)-개발(기업) 간 간극을 연결하는 유기적 역할 분담 체계 구축 필요
- ㅇ (기술·인력 순환 플랫폼 구축) 기업의 상용화 문제 이슈 발굴, 해결 및 기업의 부족한 인력 수요를 위한 혁신 역량 강화 교육을 산·학·연 유기적 협력을 통한 순환 플랫폼 구축
- ㅇ (산·학·연 협의체 신설) 차세대 이차전지 시장 선도를 위한 산학연의 주체 간의 특성에 맞도록 기초·원천기술, 인증·기술지원, 상용화 등에서 현황 파악 및 상호 협력을 위한 협의체 신설 필요
- ㅇ (산·학·연 차세대전지 컨트롤 타워 신설) 관련 정책, 기술 로드맵 수립, 관련 R&D 수행 지원 및 기술 관리 등 산·학·연 전체 참여의 차세대 전지 컨트롤 타워 구축

[그림 5-1] 권역별 차세대 전지 R&D 컨트롤 타워 구축

5.3. 국제 협력을 위한 기반조성

□ **(R&D 국제협력 강화의 필요성) 차세대 전지의 기술적 난제의 조기 극복 및 기술 선점을 위해 기술 선진국과의 협력 확대 필요**

○ 차세대 전지의 실용화에 이르기까지 나타날 많은 기술적 난제들의 극복을 위해서는 단일 국가, 단일 연구그룹의 노력으로는 시간적, 물리적 한계가 있으므로 국제 우수 연구그룹 간의 공동연구를 통해 이에 대응할 필요가 있으며 이를 활성화할 수 있는 다양한 정책적 지원이 필요함

□ **(국가주도 국제협력 강화) 차세대 기술 초격차 달성을 위해 기술 선진국 간 협력 네트워크 구축과 성과 공유협력 강화를 위한 국제 교류회 개최 지원**

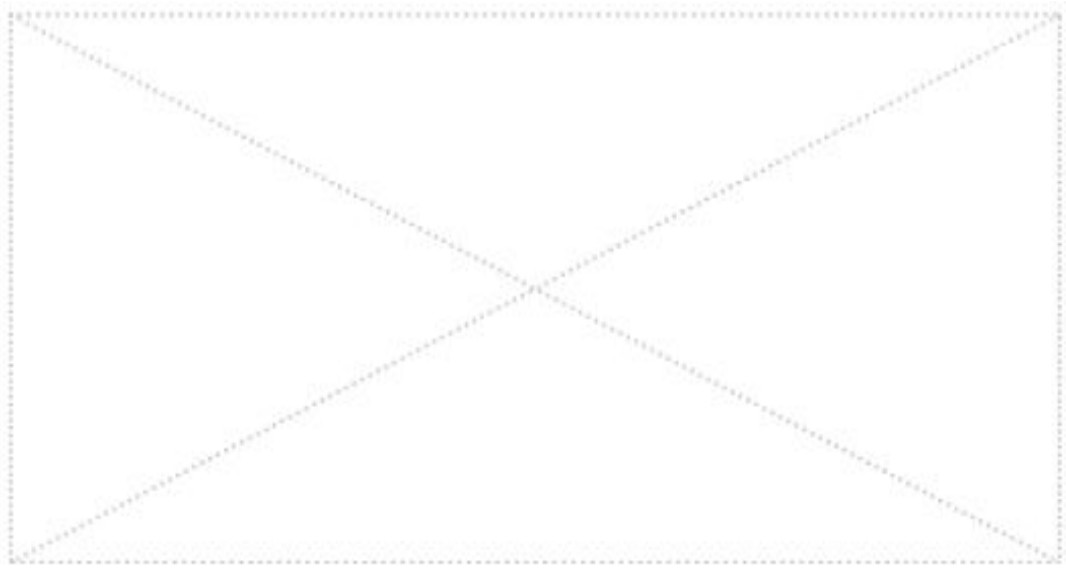
○ 차세대 전지 분야 국제협력 협의체 출범을 통하여 국제협력 강화 컨트롤 타워 역할을 담당하고, 해외우수기관과의 연구협력을 위한 상호 사업 강화 및 5개 출연연 해외거점 연구소 및 MOU 연구소들을 활용하여 이를 달성하고자 함

○ (국제 컨퍼런스 활용) 실질적인 인맥 교류와 글로벌 시장 동향 정보를 습득할 수 있는 국제 컨퍼런스 및 전시회를 활용하여 우리 기업의 기술력과 브랜드를 홍보할 수 있는 계기를 마련하여 국내외 차세대 이차전지 시장 선점을 위한 환경 필요

□ **국제 원자재 공급망 및 수요처와 R&D 협력 확대**

○ (원재료의 안정적 공급 협력 확대) 차세대 전지 제조에 필수적인 원재료 확보를 위한 세계 각 국가들의 경쟁이 치열한 상황에서 우리나라 역시 원재료와 정제원료의 확보는 해외시장에 의존하고 있는 취약점이 있어 글로벌 협력에 기초해야 하며, 이를 위해 민·관 협력을 통한 해외 광물자원 확보 강화 및 비축확대를 위한 외교적, 공동 기술 개발 등 다각적 노력 필요

○ (국제 수요처 업계와 협력 강화) 글로벌 수요시장 선도를 위한 차세대 전지를 이용하는 자동차, 전자기기, 의료 등 다양한 국제 업계들과의 협업 확대 지원



[그림 5-2] 차세대 전지 국제협력 기반 조성

6. 전망 및 향후 계획

6.1. 해외의 예상 대응 시나리오

□ **현재 전지 시장은 리튬이온전지를 중심으로 매우 활성화되어 있지만, 리튬이온전지의 에너지밀도, 가격, 자원매장량 및 발화가능성 등에 있어 한계점들이 드러나면서 차세대전지를 개발하고자 글로벌 경쟁이 심화되고 있음**

□ **따라서, 리튬이온전지 이후의 차세대 전지 분야에서 창출되는 시장을 선점하고 기술패권을 차지하기 위해서 세계 각국 정부에서는 차세대 전지에 대한 정부 정책을 수립하고 범정부적 지원을 통한 R&D 전략을 수립하고 있음**

- 지난 8월 미국 의회에서 통과 및 발효된 인플레이션 감축법안 (Inflation Redcution Act, IRA)은 미국의 차세대 전지 분야의 패권을 차지하기 위한 수천억 달러 규모의 막대한 지원 방안이 담겨 있음
- 중국은 2010년 초중반부터 자국산 배터리에 대한 막대한 지원정책을 펼쳐 2021년 전기차 배터리 밸류체인에서 중국 기업들이 차지하는 비중이 모든 요소기술 분야에서 70%에 이르고 있어, 추후 차세대 전지 분야에서도 중국 정부의 범정부적 지원이 예상되고 있음

가. 이차전지

□ **(정부 지원 및 정책 강화) 차세대 이차전지 창출 시장 선점 및 확보를 위한 각 국가 정부의 지원, 전략 및 기술 로드맵 추진 대응 예상**

- 미국의 `Battery 500`, 중국의 `Made in China 2025`, 유럽의 `ISET-Plan (Integrated Strategic Energy Technology Plan)` 그리고 일본의 `RISING 2 II` 등의 이차전지 기술에 대한 로드맵을 만들어 시장을 선점하기 위한 노력을 하고 있고, 이는 차세대 이차전지를 포함하는 이차전지 기술에 대한 로드맵으로 차세대 이차전지 중심으로 정부의 전략적 대응이 예상됨

□ **(자국 산업 보호 정책) 자국 산업 보호를 위한 주요 국가들의 산업 정책 추진 예상**

- 중국 정부는 자국 산업 육성과 보호를 위해 정책적으로 타 국가에서의 수입을 차단하는 정책을 펴옴
- 미국 정부는 여러 인센티브와 연방정책 등으로 자국에서 개발된 기술로 자국에서 제품을 생산하도록 유도하는 정책을 강화하는 움직임이 예상됨
- 유럽과 인도는 중국에 대한 견제를 위해 새로운 정책을 개발함
- 주로 자국 영역에 이차전지의 생산을 강제하거나 인센티브를 부여함으로 자체 공급망 확보를 위한 움직임 예상

나. 수소연료전지

□ **유럽에서는 탄소중립을 달성하기 위하여 수소연료전지를 탈탄소 이행의 핵심 요소기술로 판단, EU 차원에서 수소경제 관련 정책들을 수립하여 유럽의 수소 생산 잠재력과 인프라를 적극적으로 활용하는 정책을 추진하고자 관련 수소연료전지 기술에 대규모의 투자를 진행해 왔으며, 2050년까지 계획하고 있음**

○ 독일연방정부는 `수소 및 연료전지 기술 국가 혁실 프로그램(NIP)'을 중심으로 수소연료전지 중심으로의 에너지 전환을 선도하기 위하여 모빌리티, 연료전지, 충전소 등과 관련된 R&D를 집중 투자하고 현장 실험을 추진 중에 있음

□ **미국에서는 기업들로 구성된 연료전지 및 수소에너지협회를 주축으로 지난 2020년 향후 수소 및 연료전지 산업의 장기 비전과 정책 제안을 담은 `미국 수소경제로의 로드맵(Road map to a US Hydrogen Economy)' 이 발표되었으며 이를 바탕으로 관련 분야에 대한 투자를 확대하고 있음**

○ 2030년까지 자국 수소 수요를 1,700만 톤으로 확대하고, 자급률 100%를 달성하기 위해 수전해설비 등 수소 생산기술 혁신에 투자

○ 청정수소(블루수소+그린수소) 생산에 필수적인 탄소포집·저장기술 확보용 세금 지원과 투자 지속 추진

○ 고밀도 저장 시스템 및 탄력적 수요 대응을 위한 수소저장 전략 구축

□ **중국은 `제조2025'를 통해 연료전지 기술 개발, 수소전기차 산업 육성, 수소에너지기술 개발 등과 관련된 정책과 목표를 제시하고 수소 산업을 전략적 신산업 중 하나로 설정, 중앙정부의 방침 아래 지방정부는 전방위적 계획과 지원책을 마련 중에 있음**

○ `중국제조2025' 정책은 2030년까지 대규모 생산·저장·운송 분야에서의 수소연료전지 핵심기술 확보 및 산업 가치사슬 구축하고, 2050년까지 수소연료전지의 대규모 보급을 목표로 수소연료전지 관련 기술개발 지원하고 있음

○ 기술 약점 극복을 위한 해외 기업과의 파트너십도 범정부적인 차원에서 적극적으로 추진 중에 있음

다. 동위원소전지

□ **다양한 산업분야에서 동위원소전지에 대한 필요성이 대두되고 있으며, 관련하여 선진국들을 중심으로 기술개발에 대한 국가적 관심 및 정책설정이**

이루어지고 있음

- ㅇ 우주산업 주도권 확보를 위해서는 우주 생존의 필수 전력원인 동위원소전지 확보가 기반이 되어야 하므로 동위원소전지 핵심기술 개발에 역량을 집중하고 선행기술 확보에 성공한 국가들과 국제협력을 모색할 것으로 예상됨
- ㅇ 아르테미스 협정에 서명한 국가들은 대부분 현지자원활용(ISRU, In-situ Resource Utilization) 기술을 확보하여 달 영토 및 자원을 선점하기 원하며, 아르테미스 계획이 성공하여 달 거주가 본격화되기 시작하면 달의 밤 기간 생존을 위한 동위원소전지의 수요가 폭발적으로 증가할 전망임
- ㅇ 미래전장은 첨단 전자장비를 이용한 무인체계가 등장할 것으로 보이며, 각국은 국방장비의 무한전력 공급원으로서 다양한 규격의 동위원소전지 기술을 개발에할 것임
- ㅇ 스마트 IoT 기기, 안전감시 센서 등의 전력원으로서도 동위원소전지에 대한 관심이 높아지고 있으며, 핵심 기술을 보유한 국가, 기업들 간의 기술협력 수요가 증가하여 관련 시장이 확대될 것으로 예상됨

□ **미국, 러시아는 동위원소전지 핵심기술 개발에 역량을 집중해온 결과, 상당한 수준 선행기술을 보유하고 있으며, 동위원소전지 관련 기술들을 국가전략기술로서 보호하고 있어, 이들 국가들과의 기술 협력을 위해서는 일정수준 이상의 기술력을 확보한 국가만이 협력 가능성을 타진할 수 있을 것으로 보여짐**

6.2. 전망 및 향후 계획

□ **`2050 탄소중립', 우주시대 등을 대비하기 위하여 차세대 전지 기술개발에 대한 관심이 어느 때보다 높아지고 있고 관련하여 다양한 분야에서의 새로운 시장 창출 가능성이 매우 높아지고 있는 상황임**

□ **이에 따라 각 정부의 범정부적 정책 마련 및 투자에 대한 계획이 수립되고 있는 상황에서 선도적 기술 확보 및 창출될 신시장 선점을 위해서 이를 지속적으로 뒷받침할 수 있는 우리 정부의 정책 마련과 차세대 전지 R&D 분야에서의 혁신기술 개발이 필수적임**

□ **차세대 전지 관련 산업 분야에서 주요국의 자국산업 보호정책에 대비한 역내 생산 거점 마련 및 세계적 보호무역주의 강화 정책에 대응하기 위한 차세대 전지 수출에 대한 안정적인 통상 환경 확보가 필요함**

□ **산업 간 융합과 신산업 창출에 대한 산업변화에 대한 선제적 예측 및 기술**

분석을 통해 미래 시장 선점을 위한 정부 주도의 R&D 추진전략 대응이 요구됨

가. 이차전지

□ **(산업 기반 강화) 소재·부품 등 후방산업 지원, 전문인력 육성, 고도의 분석 인프라 구축 등 국내 산업의 취약점 극복을 위한 정부의 집중 지원 및 산업 기초체력 강화 필요**

□ **(특허 전략 수립) 산업 성장으로 촉발될 특허 전쟁에서 우위를 점하기 위한 원천기술 확보·축적과 고위험성 파괴적 연구에 대한 다각도 지원이 요구됨**

□ **(국제 표준 참여) 산학연 주체 간 긴밀한 교류를 통해 시장에서 지속적인 경쟁력을 확보할 수 있도록 국제 표준화에 적극 참여 필요**

◦ 차세대 이차전지 분야에서 국내 기술이 국제 표준으로 선정될 수 있도록 국내 실증사업에 해외 업체, 대학 및 연구기관을 참여하고 국제 학술대회 및 표준화 관련 회의에 국내 전문가들이 참석하도록 지원 필요

□ **(공급망 확보) 국내 소재·부품 등의 경쟁력과 주요 원재료의 해외 의존 생태계는 취약한 약점으로 민관 협력을 통한 해외 광물자원 확보 강화 및 비축확대 필요**

◦ 수요기업 중심의 핵심 소부장 공급기지 신설을 통해 원자재의 안정적인 조달 추진

◦ 해외자원개발의 사업성, 기술적 타당성, 법률 제도 등 기초조사지원과 융자, 컨소시엄 구축 등 자금지원 확대 추진

□ **(지속적인 미래시장 예측) 차세대 이차전지는 다양한 분야와 장단점을 가지고 있어 향후 어떤 제품이 기술 수요가 급증 할 것인지 어떤제품 시장이 우위를 선점할지 예측이 어려움으로 지속적인 기술수요 변화와 산업 동향 파악으로 향후 미래 시장에 대한 다양한 관점의 진단을 통한 예측과 기술의 비전과 전략 모색이 필요**

□ **(국제관련 정책 대응) 차세대 이차전지는 세계적으로 집중 투자 지원되고 있는 분야로 각 국의 정책 방향 및 지원에 따른 향후 추이를 지속적 주시하여 대응이 요구됨**

나. 수소연료전지

□ 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술에 포함된 수소연료전지는 수소활용 분야의 핵심기술로 세계 최고 수준의 기술 경쟁력 강화를 위해서는 기존의 효율 향상, 가격 경쟁력 및 내구성 확보 등의 연구뿐만 아니라 단위셀 또는 스택 단위에서의 핵심소재의 성능 고도화를 위한 전략이 필요

□ 해외 기술선진국과는 달리 중장기적인 실증과 연계한 R&D 기회가 상대적으로 미흡하여, 향후 수소 상용차 분야에서의 글로벌 시장선점과 기술선도를 위해서 필수적으로 요구되는 성능 최적화 및 실증 R&D 기술의 고도화가 시급히 요구됨

다. 동위원소전지

□ 중장기적으로 국제협력 체제에 편입되어 관련 기술을 검증하고, 최종적으로 우리나라 주도의 동위원소전지 기술 자립을 위한 핵심기술 확보계획 수립이 필요

□ 동위원소전지 핵심기술을 보유한 미국, 러시아 등과의 지속적인 국제협력 및 연구협력을 통한 동위원소전지 핵심기술 확보가 필요

□ 정부부처에서부터 출연연, 산업체, 학계를 아우르는 산학연 기반 동위원소전지 융복합 체계를 인적, 정책·재정적, 국제협력 측면 등 전반에 걸쳐 동위원소전지 기술의 효율적 개발 체계 마련이 필요

□ 원자력에너지 및 동위원소전지 분야의 연구개발을 위한 국내융합연구 체제를 마련하고, 과학기술연구회 주도의 동위원소전지 연구트랙 신설을 통해 해당 연구 및 기술 활성화

[별첨 1] 차세대 전지 초격차 R&D 전략 기획 추진 절차

□ 기획 추진 경과

○ (2022.6월) 기획 총괄위원장(KIST 윤석진 원장) 및 과기정통부 주도로 이차전지, 수소연료전지, 동위원소전지를 포함하는 차세대 전지 초격차 R&D 전략 기획을 착수*하여 총괄 차원의 전략 수립 방향을 도출함

* `22.6.10. 1차 총괄위원회 개최 (KIST 대회의실)

○ (2022.7월) 3대 차세대 전지 분과의 기획위원*을 확정하고 전문가 기획회의를 통해 분과별 초격차 R&D 전략 방향을 설정함

* 3대 분과 전체 기획위원 명단 별첨 (별첨 2)

○ (2022.8월) KIST 연구기획·분석팀, 녹색기술센터(GTC)와의 회의를 통해 차세대 전지 분야 정부 R&D 투자현황 (부처별, 기술별), 논문/특허 동향 및 산업 현황 분석에 착수함

○ (2022.9월) 차세대 전지 기술별 현황분석 자료를 기반으로 총괄 및 분과 실무회의를 통해 총괄/분과별 중점추진 전략 및 핵심기술을 선정하고 총괄위원회를 개최하여 전략 방향에 대해 심층 검토함

* `22.9.20. 2차 총괄위원회 개최 (KIST 대회의실)

○ (2022.10월) 총괄 및 각 차세대 전지 분과별 전문가 실무회의를 통해 총괄 및 분과 R&D 추진전략 초안을 도출하고 과기정통부, 한국연구재단과의 협의를 통해 추진전략 보완 의견을 수렴함

○ (2022.11~12월) 산·학·연·관 전문가 의견을 추가적으로 반영하여 총괄 및 분과 R&D 추진전략을 보완하고 차세대 전지 초격차 R&D 전략을 수립함

[그림] 차세대 전지 초격차 R&D 전략 기획의 추진 경과

[별첨 2] 차세대 전지 초격차 R&D 전략 기획 위원 명단

□ 기획 총괄위원회 구성 (총괄위원장 1인, 실무위원장 1인, 분과장 및 간사 각 3인, 실무간사 1인)

성명	소속	직위	비고	구분
윤석진	한국과학기술연구원	원장	총괄위원장	연
정경윤	한국과학기술연구원	책임연구원	기획실무위원장/이차전지 분과장	연
이종원	대구경북과학기술원	부교수	이차전지 간사	학
한종희	한국에너지공과대학교	교수	수소연료전지 분과장	학
배기호	한국에너지공과대학교	조교수	수소연료전지 간사	학
손광재	한국원자력연구원	책임연구원	동위원소전지 분과장	연
홍진태	한국원자력연구원	책임연구원	동위원소전지 간사	연
김상옥	한국과학기술연구원	책임연구원	기획실무 간사	연

□ 제 1분과 - 이차전지 (총 13인, 산업계 4인, 학계 4인, 연구계 5인)

성명	소속	직위	비고	구분
정경윤	한국과학기술연구원	책임연구원/센터장	기획실무위원장/이차전지 분과장	연
이종원	대구경북과학기술원	부교수	이차전지 간사	학
김제영	LG에너지솔루션	상무	이차전지 기획위원	산
박규성	삼성SDI	상무	이차전지 기획위원	산
최경환	SK온	부사장/센터장	이차전지 기획위원	산
남상철	포항산업과학연구원	연구위원	이차전지 기획위원	산
석정돈	한국화학연구원	책임연구원/단장	이차전지 기획위원	연
엄승욱	한국전기연구원	책임연구원/센터장	이차전지 기획위원	연
정규남	한국에너지기술연구원	책임연구원	이차전지 기획위원	연
김상옥	한국과학기술연구원	책임연구원	기획실무 간사/이차전지 기획위원	연
류원희	숙명여대	부교수	이차전지 기획위원	학
유승호	고려대	부교수	이차전지 기획위원	학
김영식	울산과학기술원	교수	이차전지 기획위원	학

□ 제 2분과 - 수소연료전지 (총 10인, 산업계 3인, 학계 3인, 연구계 4인)

성명	소속	직위	비고	구분
한종희	한국에너지공과대학교	교수	수소연료전지 분과장	학
배기호	한국에너지공과대학교	조교수	수소연료전지 간사	학
최서호	현대자동차	상무	수소연료전지 기획위원	산
문상진	두산퓨얼셀	상무	수소연료전지 기획위원	산
이무석	코오롱	상무	수소연료전지 기획위원	산
장종현	한국과학기술연구원	책임연구원/센터장	수소연료전지 기획위원	연
박구곤	한국에너지기술연구원	책임연구원/실장	수소연료전지 기획위원	연
윤경중	한국과학기술연구원	책임연구원	수소연료전지 기획위원	연
유지행	한국에너지기술연구원	책임연구원/실장	수소연료전지 기획위원	연
정남기	충남대학교	부교수	수소연료전지 기획위원	학

□ 제 3분과 - 동위원소전지 (총 11인, 산업계 2인, 학계 3인, 연구계 6인)

성명	소속	직위	비고	구분
손광재	한국원자력연구원	책임연구원/부장	동위원소전지 분과장	연
홍진태	한국원자력연구원	책임연구원	동위원소전지 간사	연
류벽우	엔텍코어	부사장	동위원소전지 기획위원	산
백혁제	LIG넥스원	수석	동위원소전지 기획위원	산
류동영	한국항공우주연구원	책임연구원	동위원소전지 기획위원	연
최병건	한국전자통신연구원	책임연구원	동위원소전지 기획위원	연
황정아	한국천문연구원	책임연구원	동위원소전지 기획위원	연
오시형	한국과학기술연구원	책임연구원	동위원소전지 기획위원	연
인수일	대구경북과학기술원	교수	동위원소전지 기획위원	학
이지민	울산과학기술원	부교수	동위원소전지 기획위원	학
오민욱	한밭대학교	부교수	동위원소전지 기획위원	학