

2024년도
에너지기술개발사업
연구개발과제기획보고서

**LiB 기반 위험성 평가 및
안전성 강화 기술개발
(내역 : 수냉식 적용
리튬전지 안전성 및
경쟁력 강화 기술개발)**

- ESS 분야 -

무단 전재 및 재배포 금지

한국에너지기술평가원의 허락 없이 본 문서를 온라인 사이트 등에 무단 게재, 전재하거나 유포할 수 없습니다.

제3자의 기획보고서 및 관련자료의 재활용 시 따를 수 있는 책임소재는 한국에너지기술평가원에 없음을 알려드립니다.

목 차

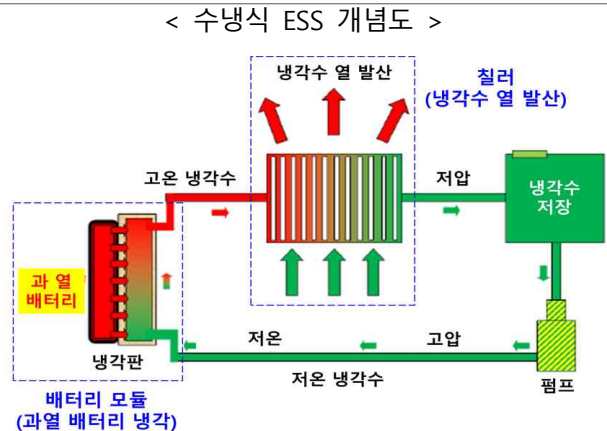
I . 동향분석	1
1. 개 요	
2. 산업·기술동향	
3. 특허동향	
4. 표준화동향	
5. 정부R&D 지원현황	
6. 시사점	
II . 기획대상연구개발과제 도출	27
1. 연구개발과제기획방향	
2. 개발위험 관리방안	
3. 기획연구개발과제 RFP/기술개요서	

1. 개요

□ 수냉식 ESS 냉각기술

- (개념) 수냉식(Liquid cooling) 기술은 액체를 냉각유체로 사용, 공기와 비교하여 비열과 열전도율이 높고 점도계수가 낮아 적은 소비전력으로 전지를 냉각, 개별 전지의 온도편차를 줄여 안정적으로 동작할 수 있는 환경을 제공
 - (구성) 수냉식 열관리시스템은 액체가 순환될 수 있는 루프가 구성되어야 하며, 펌프, 냉각수 저장, 냉각판(자켓), 칠러, 팬 등이 포함

- (펌프동력) 펌프가 냉각수를 순환시켜 냉각수가 과열 배터리 측 자켓에 이동
- (냉각판) 과열 배터리에 접촉한 자켓에 냉각수가 흐르면서 배터리의 열을 흡수
- (칠러) 고온의 냉각수가 칠러를 통과하면서 냉각수의 열을 제거
- (냉각수저장) 냉각수를 저장하여 다시 펌프로 이동



- (강점) 수냉식은 보다 안정적인 운전 환경에서 ESS가 동작하게 함으로써 화재 가능성을 줄일 수 있음

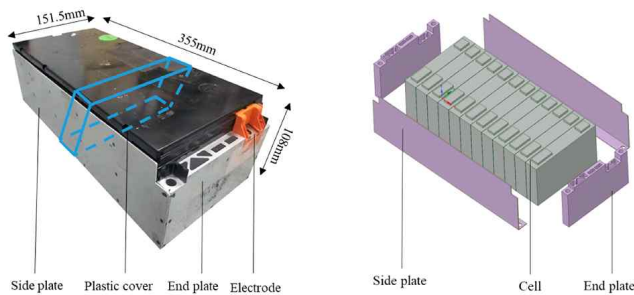
* 냉각성능, 전력 소모량, 배터리 온도구배 및 온도편차, 높은 경제성(전기효율) 등 여러 측면에서 공랭식에 비해 수냉식이 우수한 것으로 나타나며, 화재 취약성도 강화될 것으로 예상

<배터리 냉각방식 성능 비교>

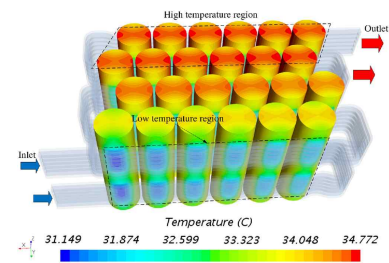
구분	공랭식	수냉식
장점	- 설계·설치가 비교적 간단 - 초기 비용 저렴 - 운전 간단 - 자유롭게 이동이 가능 - 공랭식 냉각 장치가 있으면 됨	- 배터리 모듈에서 열 분산 성능이 탁월함 - 높은 비열로 전기 절약 가능 - 보다 컴팩트한 구조 설계 가능 - (공랭식 대비) 냉각유체 유량 20배 감축 - (공랭식 대비) 냉각 용량 20% 증가 가능 - (공랭식 대비) 냉각 온도 3℃ 감축 가능
단점	- 높은 실내 온도 - 유체의 낮은 비열 특성 - 많은 양의 유체의 순환이 필요하며 경우에 따라 소음이 심하게 발생 - 국부적으로 강한 유속이 발생할 수 있음	- 냉각탑, 펌프, 파이프라인 등 높은 설치 비용(단, 소형칠러 적용으로 최소화 가능) - 물 순환 펌프에 의한 소음이 발생 가능 - (공랭식 대비) 큰 압차(pressure drop) 발생 가능(단, EV의 차압 설계 반영 가능) - 예상치 못한 누수 문제가 발생 가능

○ (핵심기술) 설계, 제작 기술 및 소재 등 다양한 분야에서의 기술개발 필요

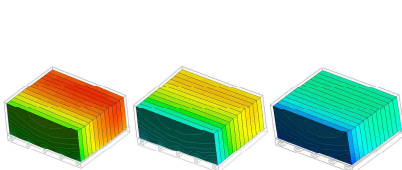
- (설계기술) 냉각 플레이트 최적설계(최적 유로 및 유량 설계), 셀간 간극 및 모듈 설계, 열해석기술
 - * 압력강하, 온도구배를 고려한 냉각 플레이트 최적화 기술
 - * 3D 프린터 등을 활용한 소형 냉각 플레이트 개발
- (소재) 방열 소재, 접착재 등 소재 선정
 - * 고방열, 고강도 하이브리드 접착제, 이종접합 소재 등
 - * 냉각수에 따른 내부식성 확보를 위한 소재 및 코팅, 냉각성능 개선 및 화재 방지를 위한 냉매 개발
- (제작기술) 냉각 플레이트 이종 접합 등 제작기술
 - * 누수 방지를 위한 밸브 설계 및 제어
- (제어기술) 냉각 유량 관리, 누수감지 등 제어 및 보호시스템
 - * 냉각수 순환 시스템의 압력 모니터링 등 빅데이터를 활용한 누수 감지 예측 기술개발
 - * 배터리의 과냉각/과열 방지를 위한 배터리관리시스템(Battery Management System) 및 열관리 시스템(Thermal Management System)의 통합 관리



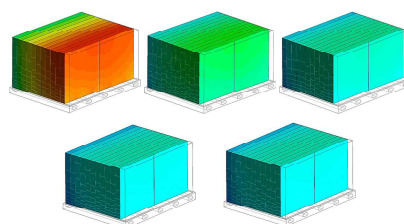
< 수냉식 모듈 구조 >



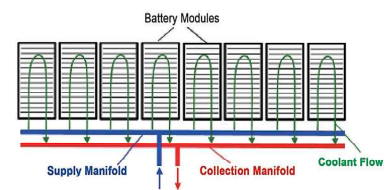
< 모듈 내 온도편차 해석 결과 >



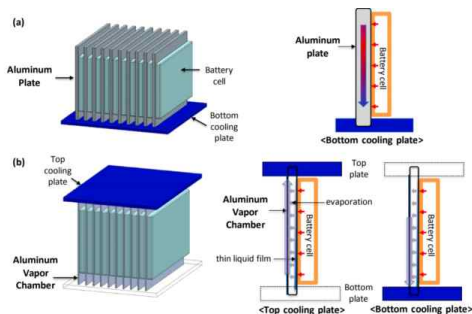
< 단면형상에 따른 온도분포 >



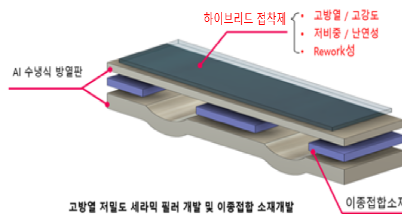
< 유량에 따른 온도분포 >



< 모듈 배치 설계 >



< 알루미늄 플레이트, 베이퍼챔버 구조 >



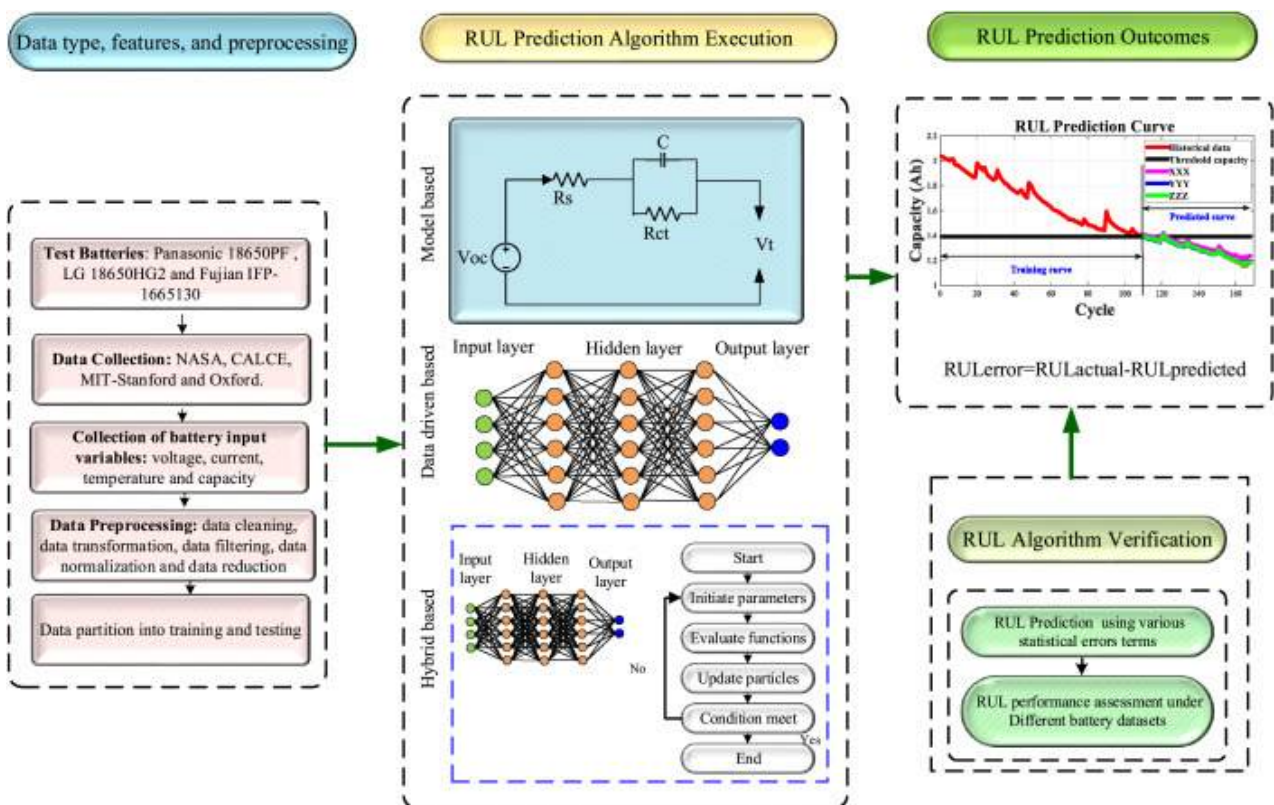
< 접착재 및 이종접합소재 >



< 수냉식 랙 구조 >

□ ESS 설비진단 및 잔존수명 예측기술

- (개념) 전체 수냉식 ESS 설비의 상태 데이터와 운영·관리 데이터를 통합 분석하여 설비의 건전성을 파악, 점검 및 부품교체 시기 최적화를 통한 자산관리
 - 상태 데이터는 온도 모니터링에 기반한 ESS 상태, 냉각수 유량 및 압력 등에 기반한 수냉식 열관리시스템의 데이터와 열화시험을 통한 잔존수명 예측 데이터 등을 포함
 - 운영·관리 데이터는 전압, 전류, 배터리 충방전 횟수, 소비전력, 부품교체 정보, 운전 패턴 및 운전시간, 사고 이력 데이터 등을 포함



< AI 기반 잔존수명 예측 알고리즘 사례 >

(source : "Remaining useful life(RUL) prediction for lithium-ion battery storage system: A comprehensive review of methods, key factors, issues and future outlook, S. Ansari 외, Energy reports, 2022.)

- (효용) 실시간 데이터와 이력 데이터를 활용한 시스템의 분석, 진단으로 설비의 신뢰성 확보, 배터리 상태 예측을 통해 운전 안정성 및 유지보수 최적화
 - (자산성능관리, Asset Performance Management) 실시간 ESS 설비의 상태진단, 감시 및 고장 예측으로 최적의 유지보수 스케줄을 제공, ESS 설비의 수명 연장을 통하여 수익을 극대화할 수 있음.

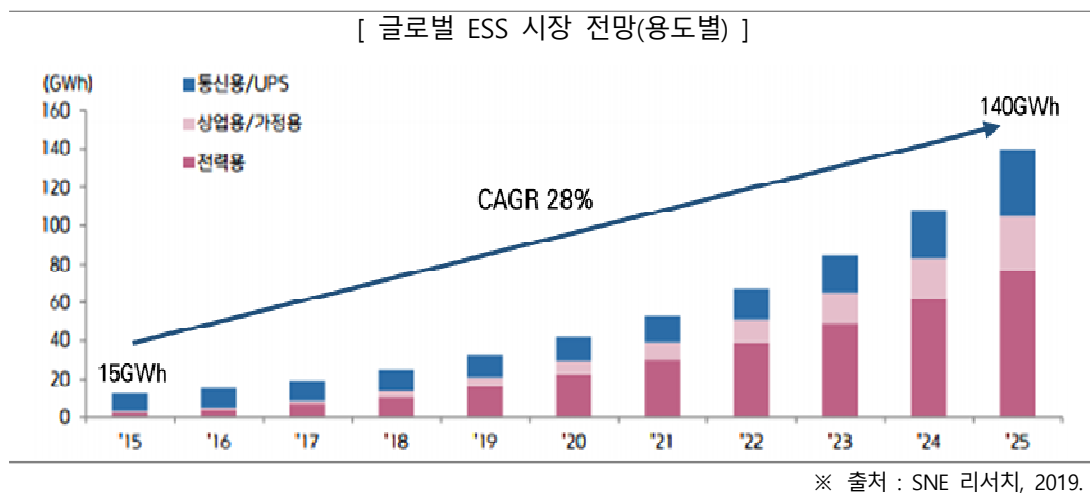
□ 주요 이슈

- (기술) ESS 시스템의 안전성 확보가 시급
 - (현황) 리튬전지 기반 ESS는 화재사고가 지속적으로 발생하고 있으나 충전을 제한 등 운영상의 권고사항, 스프링클러 등 안전기준 강화, 열확산방지 구조 등 화재확산방지 등으로 근본적으로 화재를 줄이는 기술개발은 제한적임
 - * (충전을 제한) 옥내설비는 80%, 옥외설비는 90%로 제한 운전
 - * (안전기준) 화재감지기 및 스프링클러 설치, 이격거리, 급속배기장치, 격벽구조 등
 - * (화재확산방지) 열차단 패키징, 주수장치 등
 - (대책) 수냉식 적용으로 안전성 강화, 수명연장, 에너지 절감
 - * 수냉식은 모듈 내 개별 전지 셀간의 온도편차를 줄여 화재 가능성을 낮추고, 또한 냉각 전력소비를 최대 50%까지 절감할 수 있어 운영비를 저감할 수 있음.
- (산업) 리튬전지의 세계적인 경쟁력에 더해 S/W를 포함한 ESS 전체 시스템에 대한 경쟁력 제고가 필요
 - (현황) 글로벌 ESS 시장의 급속한 확대에 따라 수출전략산업으로서의 ESS 경쟁력 확보 필요
 - * 글로벌 ESS 시장에서 선두권을 유지하고 있는 미국의 테슬라, 플루언스, 중국의 CATL, EVE 등은 가격경쟁력 있는 리튬인산철전지에 수냉식 냉각방식을 적용하고 여기에 더해 진단 및 자산관리 등 S/W적인 경쟁력을 더하고 있음.
 - (대책) 최적의 패키징뿐만 아니라 자산관리를 위한 솔루션 개발 필요
 - * (통신, 응용 S/W) MESA 등 국제표준 기반 통신연계, 주파수조정, 재생에너지 연계 등 단일 기능에서 복합적 다기능 구현, 실증
 - * (O&M 솔루션) AI 기반 O&M 솔루션 통합을 통해서 ESS 자산의 안정적이고 효율적인 운전 및 유지보수 지원 필요
- (정책) 원전과 재생에너지 등 경직성 전원 의존이 높은 전원믹스 계획과 독립섬 구조의 전력망 특성으로 인해 대규모 백업설비 투자 필요
 - (전망) 제10차 전력수급기본계획에 따른 백업설비(ESS) 필요 용량은 26.3GW로 산정되었으며 최대 45조원의 투자가 필요할 것으로 전망
 - (이슈, 대책) 지역적 재생에너지 집중으로 인한 출력제한 확대, 계통연계 대기, 수요지로의 송전 혼잡 등 문제 발생
 - * 리튬전지 ESS의 화재 이슈 등을 해소하여 전력망 안정적 운영에 필요한 기술 확보 필요

2. 산업·기술 동향

□ 해외 산업 동향

- (배경) 재생에너지 증가에 따라 ESS는 안정적이고 효율적인 전력공급 체계 구축을 위한 효과적인 수단으로서 전 세계적으로 시장이 확대되고 있음
 - * 세계 각국은 전력계통 노후화 보완, 비상전원 확보, 신재생에너지 발전 활성화, 노후 석탄화력발전소 대체 등을 위해 ESS 설치를 확대하고 있음
 - (미국) 전력망 불안정 완화, 재생에너지 확대 대응 등을 위해 ESS 수요 증가
 - * 노후화된 송배전 시설을 보완하기 위한 전력계통 보조서비스 용도로 ESS를 활용하고 있으며, 캘리포니아 등에서는 재생e 확대에 따른 계통 안정화를 위해 ESS 보급
 - (일본) 원전사태에 따른 비상전원 확보와 재생e 간헐성 보완으로 ESS 확대
 - (독일) 재생e발전 활성화, 전기요금 절감을 위해 전력용, 가정용 보급 확대
 - (호주) '16년, '17년 대규모 정전사태로 재생e 확대에 따른 전력계통 불안정성 완화를 위해 ESS 구축 확대중
- (전망) 글로벌 ESS 시장은 '16년 15GWh에서 '25년 140GWh 규모로 연평균 28% 성장할 것으로 예상(SNE 리서치)

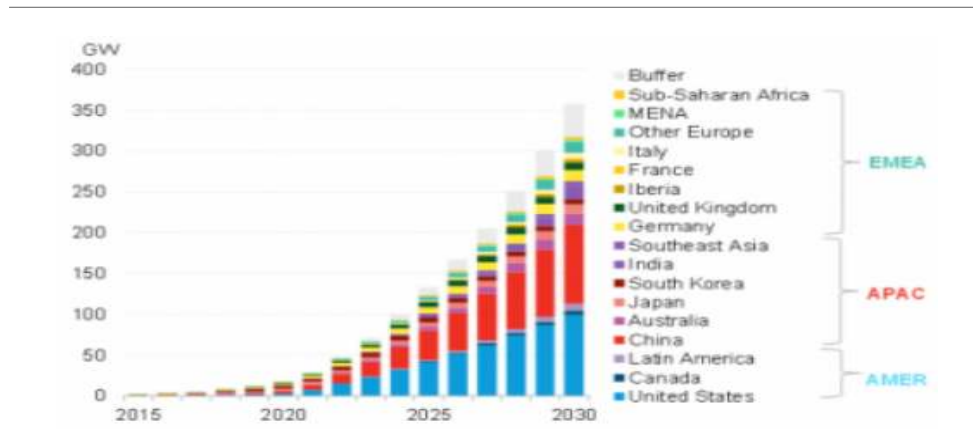


- (지역별 보급) 재생e 보급이 높은 독일과 정부의 ESS 지원이 양호한 미국, 한국, 일본, 중국 등 ESS 시장 성장을 견인할 것으로 전망
 - '21년 기준 누적용량은 미국, 중국, 한국, 일본, 독일 등 상위 5개국 75% 차지(글로벌 62.3GWh)
 - * 미국 7.3GW/18.3GWh(29.4%), 중국 5.8GW/10.4GWh, 한국 3.8GW/9.2GWh, 일본

2.4GW/5.2GWh, 독일 2.0GW/ 3.4GWh 순으로 나타남

- '30년에는 ESS 시장점유율에서 미국과 중국이 절반 이상 차지할 것으로 전망, 확장 예상 시장으로는 인도, 호주, 독일, 영국, 일본 등임.

[2015~2030년 글로벌 에너지저장장치 누적 설치 추이]

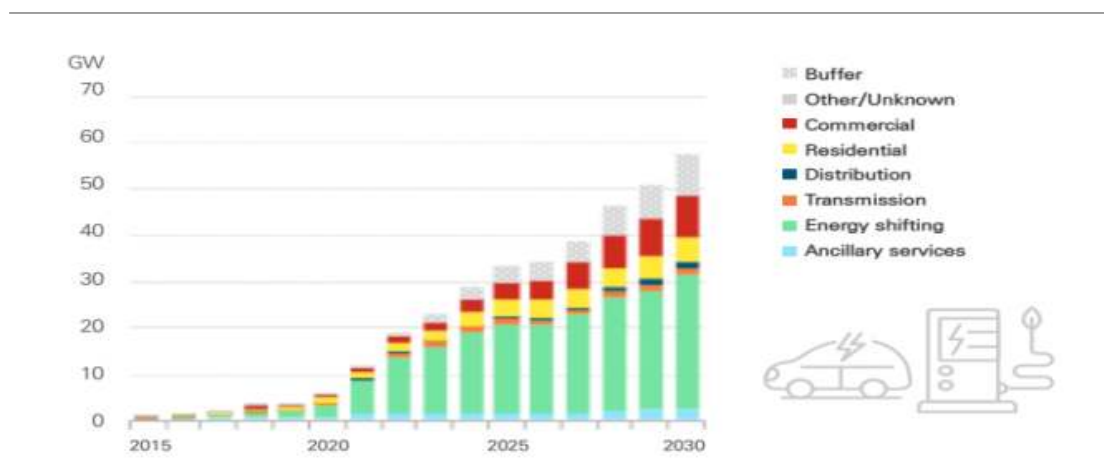


※ 출처 : BloombergNEF, 2021년 글로벌 에너지전망 보고서, 2022.

- (용도별) 보급량의 55%는 에너지이동용(energy shifting)으로 변동성 재생에너지 비중이 높은 국가의 시장이 확대될 전망

* '30년까지 \$2,620억이 ESS에 투자되는데 그 중에서 부하이전용이 가장 많은 \$1,200억 (46%)을 차지할 것으로 추정

[연도별 ESS 신규 보급(GW)]



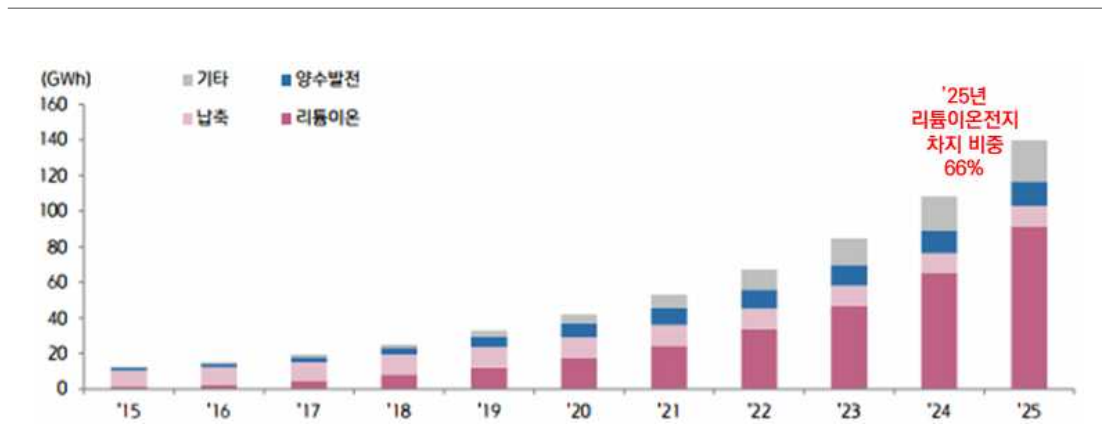
※ 출처 : BloombergNEF, 2021년 글로벌 에너지전망 보고서, 2022.

- (종류별) 전기화학적 방식, 특히 리튬전지 기반 ESS의 경제성이 개선되어 적용 목적과 용량 범위가 확대됨에 따라 시장이 급팽창
- 전통적으로 가장 많이 활용된 에너지저장방식은 양수발전이었으나 최근에

는 리튬이온전지를 이용한 ESS 시장이 크게 확대

- * IRENA, BNEF¹⁾ 등에 따르면 '30년까지 양수를 제외하면 전체 ESS 시장의 90% 이상을 리튬전지가 차지할 것으로 전망.
- * 모바일 및 전기차 시장 등을 통해 규모의 경제를 이룬 리튬전지의 가격경쟁력에 이어 ESS로서의 적합성, 기능 다양성, 짧은 설치 기간 등 장점으로 경쟁 기술이 없을 것으로 전망

[글로벌 ESS 시장 전망(기술별)]



※ 출처 : SNE 리서치, 2019.

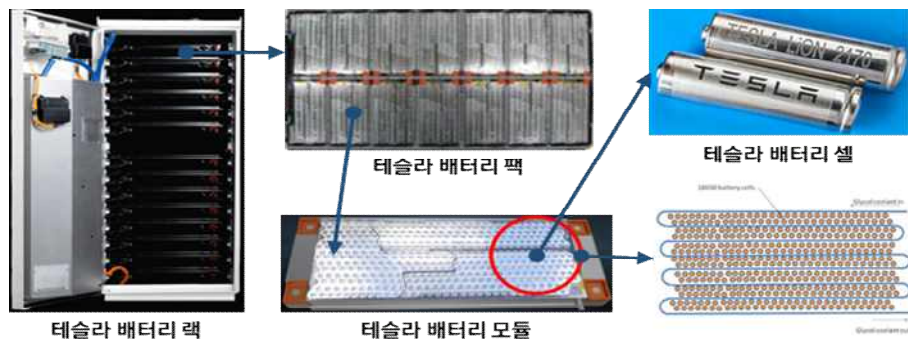
- 리튬전지는 한국, 중국, 일본이 시장을 독과점중이나 ESS 시장은 전지뿐만 아니라 시스템통합(System Integration)업체가 실질적 ESS 공급자로서 역할을 함.
- * 전지공급사 : 한국(LG에너지솔루션, 삼성SDI, SK온), 중국(CATL, BYD 등), 일본(파나소닉 등)
- * 시스템통합사 : Fluence(미국, 18%), NextEra Energy Resources(미국, 14%), 바르질라(핀란드, 11%), 기타 Powin Energy, Flexgen, NEC Energy Solution, SMA Sunbelt, Sungrow 등

1) IRENA(International Renewable Energy Agency), BNEF(Bloomberg New Energy Finance)

□ 해외 기술 동향

- (수냉식 ESS) ESS 글로벌 선두 주자인 테슬라와 Sungrow는 안전성 확보를 위해 ESS 냉각에 수냉식 적용, 공랭식을 채택한 국내 제품과 차별화
 - (테슬라) ESS용 배터리 글로벌 선두 주자인 테슬라는 배터리 용량 기준 100kW, 200kW급부터 수십 MWh급 대용량까지 여러 ESS 라인업을 구축하고 있으며, 최적의 열관리를 위해 수냉식 방식 활용
 - (중국업체) 중국의 CATL²⁾, Sungrow 등 글로벌 탑티어 공급자들은 에너지 밀도는 낮으나 저가이며 화재안전성에서 강점이 있는 인산철전지 기반 ESS에 수냉식을 접목하여 자국 및 해외시장을 공략하고 있음

[테슬라 모델 Powerpack 열관리 장치: 수냉식으로 개별 셀 열관리]



- (전망) 수냉식을 적용한 ESS 시스템이 향후 ESS 시장을 지배할 것으로 예측 (Sungrow³⁾)
 - * 액체 냉각 적용 시 에너지 효율이 높고 과열 방지 및 안전 유지에 유리하며, 성능 저하를 최소화하고 더 높은 성능을 가능하게 하면서 시스템 전체에 걸쳐 셀이 더 균일한 온도분포를 가짐(보조동력 손실 저감, 셀간 온도편차 감소로 수명 연장)
 - * 현재 Sungrow의 새로운 ST2752UX 수냉식 배터리 에너지저장시스템은 유틸리티 규모의 발전소를 위한 AC/DC 커플링 솔루션을 갖추고 있음
- (한계) 현재의 수냉식 기술은 대부분이 측면 냉각방식을 취하고 있어 열관리 효과에 한계 존재
 - * '21년 미국 캘리포니아에서 테슬라의 Megapacks 18.25MW 용량의 ESS에서 화재 발생, 주요 원인은 냉각수 누출로 인한 사고로 추정
 - * 테슬라의 경우 배터리 원통형 셀 측면을 수냉식으로 냉각하는 방법을 취하고 있고, 그 외는

2) Contemporary Amperex Technology Co., Limited (CATL, 중국 배터리 제조사로 전기자동차와 에너지저장시스템을 위한 배터리 관리시스템, 리튬 이온 배터리 제조를 전문으로 함

3) SUNYA, 배터리 스토리지의 핵심기술 동향 2022-2030 Sungrow Q&A, 2022.07.

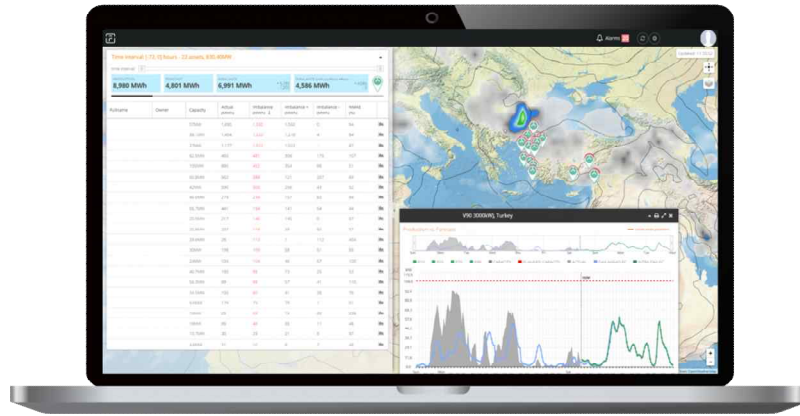
대부분 배터리 모듈의 상면, 하면 또는 측면을 냉각하거나 파우치, 각형, 배터리의 경우 배터리 복수의 셀을 기준으로 셀 사이에 알루미늄 냉각핀(Cooling Fin) 플레이트를 삽입 냉각하는 방식으로 택하고 있음

< 해외 수냉식 ESS 배터리 사용 주요 업체 현황 >

구분	주요 경쟁사별 기술 구성	모듈 냉각 기술 및 형상
TESLA (미국)	- 자동차용 배터리 기반 동일한 수냉식 냉각기술 적용 - 향후 CATL의 LFP 배터리 사용 예정 - 출력/용량 : 1~1.9[MW]/3.9[MWh] - MegaPack, PowerPack에 적용	
CATL (중국)	- 옥외형 수냉식(liquid cooling) ESS - 출력/용량 : 370[kWh] / Rack - 각형 인산철전지(LFP) 적용 - 모듈 하단 냉각 튜브를 이용한 Side Cooling - Rack 구성시 냉각 튜브 상호 연결 - EnerC 및 EnerOne 모델 적용	
SUNGROW (중국)	- PowerStack : 수냉식 ESS - 출력/용량 : 250[kW], 500~1,000[kWh] - 전지 : 삼성 E3 및 LFP 배터리 - 팩 레벨의 하단 냉각 튜브를 이용한 사이드 Cooling 및 랙 레벨의 냉각 파이프 적용 - 랙 간의 Fireproof Bulkhead 적용으로 열폭주 완화 - ST2236UX, ST2752UX 모델 적용	
EVE (중국)	- 옥외형 수냉식, 인산철전지(LFP) 적용 - 팩 레벨의 하단 냉각 튜브를 이용한 사이드 Cooling 및 랙 레벨의 냉각 파이프 적용 - 출력/용량 * 단전지 : LF280K(3.2V, 280Ah, 896Wh) * 팩 : BP1-48-153.6/280-L-F, 153.6V, 280Ah, 43kWh, 0.5C-rate * 랙 : BR-8-1,228.8/280-L, 1,228.8V, 280Ah, 344kWh, 8팩으로 구성	

- * 수동적인 분석 작업 대신 사용자는 여러 스토리지 자산에서 일주일 동안의 평균 충전 상태를 쉽고 빠르게 비교하여 성능 점검을 위한 우선순위 자산을 식별할 수 있음

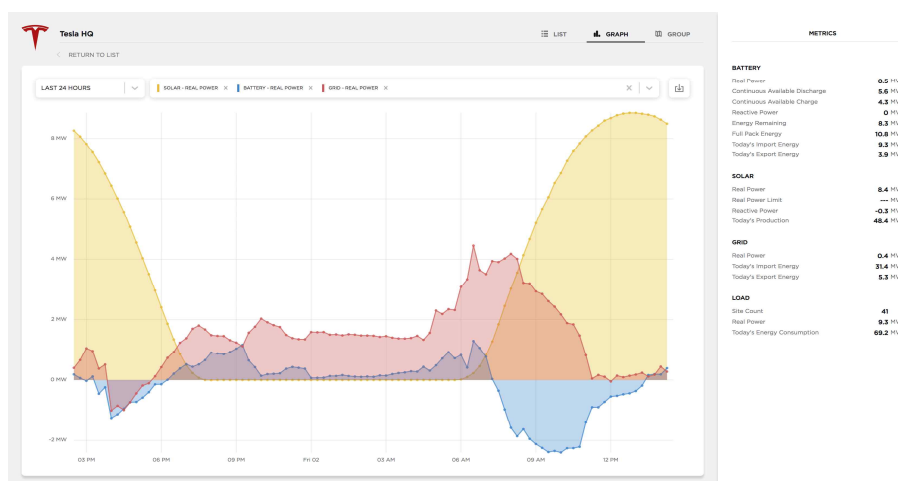
[플루언스의 자산관리솔루션, Nispera]



※ 출처 : Fluence 홈페이지

- (테슬라의 PowerHub) 테슬라의 PowerHub는 분산 에너지 자원, 재생에너지 및 마이크로그리드를 관리하기 위한 첨단 모니터링 및 제어 플랫폼으로, PowerHub는 1GWh 이상의 상업용 사이트로 구성된 테슬라가 공급한 시스템 전체에 적용되어 사용되고 있음
- * ESS 시설 관리자부터 발전소 운영자에 이르기까지 다양한 관계자가 Powerhub를 사용하여 운영 효율성, 가동 시간 및 자산가치를 극대화함
- * PowerHub는 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 시스템의 감시, 제어 등 모든 공통 요소를 다루고 있으며 소규모, 대규모 및 가상발전소(Virtual Power Plant)의 운영 요구사항을 충족하는 표준 사용자 기능을 제공하고 있음. 즉, ESS 운영과 제어를 넘어서 분산자원, 부하에 이르는 통합 서비스를 제공하고 있음

[테슬라의 PowerHub 제어 플랫폼]



※ 출처 : Tesla 홈페이지

□ 국내 산업 동향

- (보급현황) '22년 기준 세계 4위 수준의 ESS 설비용량을 보급 중
 - ESS 신규 설치량은 '18년 최대치를 기록하였으나, '22년에 1/15 규모로 축소되었으며, 공공 분야 중심으로 보급되는 추세
 - * (공공 ESS) 한전이 재생e 증가로 계통불안정성에 대비해 ESS를 중요 지점에 설치하여 주파수 조정 및 발전제약 완화용 ESS 구축사업을 진행, 신남원(336MW), 예산(82MW), 부북(336MW), 함양(56MW), 영천(112MW), 영주(48MW) 등 총 970MW를 6개 변전소에 구축
 - * (공공기관 설치의무화) 계약전력 2,000kW 이상 건축물의 계약전력 5% 이상 ESS 설치 의무화, 2025년까지 2년 연장

< 연도별, 용도별 국내 ESS 신규 설치 현황 >

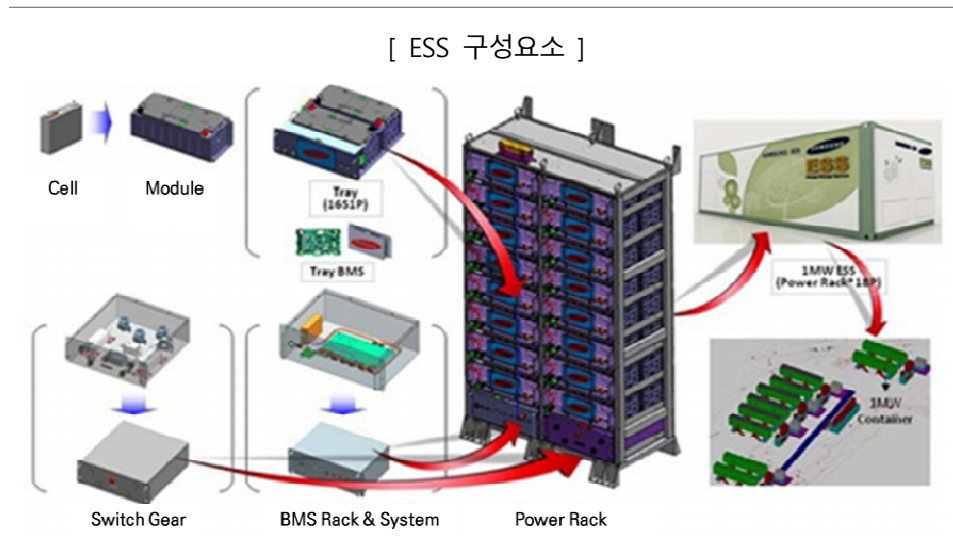
(단위 : MWh(개소))

구 분	~2017	2018	2019	2020	2021	2022	합 계
태양광 연계형	312(132)	1,319(643)	977(411)	2,701(509)	96(30)	2(8)	5,407 (1,733)
풍력 연계형	118(16)	78(6)	38(2)	33(2)	0(0)	0(0)	267 (26)
피크저감형	460(324)	2,437(323)	791(64)	129(74)	262(93)	230(80)	4,309 (958)
주파수조정용	100(16)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	18(1)	118 (17)
기 타	56(32)	2(3)	1(2)	3(4)	1(4)	2(5)	65 (50)
합 계	1,046 (520)	3,836 (975)	1,807 (479)	2,866 (589)	359 (127)	252 (94)	10,166 (2,784)

- (시장현황) 재생e 연계 ESS에 REC 가중치 부여, 충전요금 할인, 설치비 지원 등 보급정책이 축소됨에 따라, 시장은 침체 상황
 - * REC 가중치 및 ESS 충전 전기요금 50% 할인 제도 일몰, ESS의 피크감축량에 대한 기본요금 할인 1배로 축소('20년)
 - '17년 이후 50건의 화재사고 발생('23.9 기준)으로 시장이 급속도로 위축
 - * ESS 화재(건):('17) 1 → ('18) 16 → ('19) 11 → ('20) 2 → ('21) 2 → ('22) 8 → ('23.9) 10
- (산업생태계) 리튬전지 ESS는 견실한 공급망을 유지, 장주기 ESS 분야는 기술개발 초기 단계이나, 성장 잠재력은 충분
 - (공급망) 리튬전지 ESS는 소재·부품, SI(시스템통합), EPC 및 대·중소기업 협력 분야에서 안정적인 공급망 확보중
 - * 부품(PCS, PMS 등), SI(시스템 설계, 응용 S/W 등), EPC(엔지니어링, 설치 등)
 - (기술) 재생e 비중 증가에 따라 장주기 ESS 수요 확대가 예상되나 양수 이외 장주기 ESS 기술에 대한 개발과 상용화는 초보 수준
 - * 국내 보급 ESS 99%가 리튬전지이며, 장주기 기술은 기술성숙도 및 상용화 낮음
 - (보유 역량) 풍부한 ESS 설치 경험과 전문성, 전기·화학·기계 분야 기술을 축적하여, 향후 에너지스토리지의 수출 산업화 잠재력 보유
 - * ESS 수출(단위: 억 달러) : ('20) 20.9 → ('21) 24.2 → ('22) 29.5

□ 국내 기술 동향

- (ESS 구성요소) ESS용 배터리는 셀-모듈-랙 단위로 구성되며, 필요한 수량만큼의 랙으로 MWh 단위의 컨테이너를 구성하게 됨

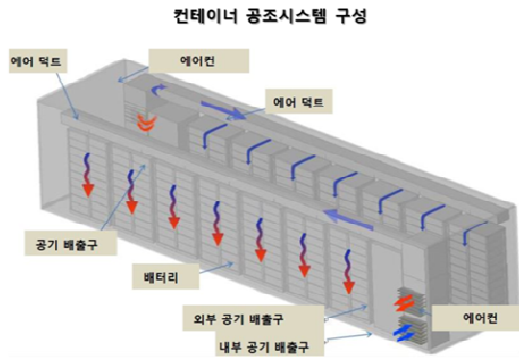


- 배터리관리시스템인 BMS(Battery Management System)는 모듈 내의 셀, 랙 안에 단위 모듈 등 전체의 온도 및 셀 밸런스를 관리
 - 전력변환장치인 PCS(Power Conditioning System)는 직류-교류 변환장치로서 계통에 연계되어 충전, 방전 운전을 하며 필요에 따라 전력망의 주파수와 전압을 조정하는 기능을 수행하게 됨
 - 모듈 및 랙의 열을 관리하는 TMS(Thermal Management System), 가장 상위에서 전력 충방전 명령을 제공하고 시스템을 관리하는 에너지관리시스템인 EMS(Energy Management System)으로 구성
- (냉각 방식) 국내 ESS 공급업체는 100% 공랭식 냉각방식을 채택하고 있으며, 시스템 에어컨 및 R1235A 냉매 방식을 적용
 - ESS용 배터리는 전기차에 비해서 설치 공간에 대한 제약이 덜하고, 방전율(c-rate)가 낮은 경우가 많아서 가장 싸고 간단한 배터리 냉각방식인 공랭식을 적용하고 있음
 - 저밀도, 저방전을 배터리에서는 공랭식과 수냉식 냉각방식이 모두 가능하나, 고밀도 혹은 고방전을 배터리에서는 빠르게 변하는 온도상승을 억제하고 셀 간의 온도편차를 줄이기 위해서는 공랭식보다 수냉식이 보다 효과적인 냉각

방식이나 국내 ESS 시장에서는 이러한 방식을 적용한 사례가 없음

- * 전기자동차용 배터리팩은 에너지 밀도(공간 절약, 장거리 이동)와 출력밀도(급가속 등)를 높이기 위해서 기존에 주로 사용되던 공랭식 대신 수냉식을 사용하는 추세⁴⁾

[현재 국내에서 판매되는 ESS 공조시스템(좌) 및 실제 사진(우)]



[현재 국내 보급 ESS의 기술적 사양]

분류			구성
E-Room	크기		40 FT Container
	IP 등급		IP-54
	공조	품명	시스템 에어컨
		냉/난방 능력	3kW (소내전력) * 2EA
	소방	품명	고체 에어로졸 자동소화장치
		적용 화재	ABC
배터리	제품 정보		삼성SDI 리튬이온배터리 랙 (E2-R091) (94Ah, 91kWh, 845-1096V)
	설치 용량 (kWh)		3000 (198S-4P)
BCP	제품 정보		PMD-B350K
	인증		IEC 60947 Standard
PCS	제품 정보		SUNGROW PCS (SC1000TL)
	AC	정격용량 (kVA)	1000
	성능	최대효율 (%)	98.4 %
	규격	인증	TUV

- (화재방지 기술) 배터리 제조업체나 시스템 통합업체는 유연하고 복합적인 배터리 보호기능, 화재 검출, 소화 기능 등 조치 강화에 주력하고 있으나 대부분이 화재 발생 후 확산 방지 조치 기술들로 구성
 - (LS Electric) 배터리 랙 기준이 아닌, 개별 모듈, 셀 단위의 온도까지 정밀히 측정해 각각의 온도 변화와 위험에 따라 배터리 전체에 소화 약재를 분사하는 것이 아니라 화재 위험이 있는 특정 부분에만 국소 분사하는 기술 구현
 - (삼성SDI) 특정한 셀에서 초기 발화시 소화용 침단 약품을 분사하여 화염으로

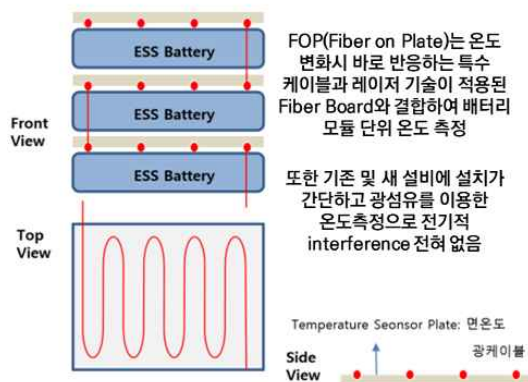
4) 전남대학교 기계공학부, 전기 자동차용 간접 수냉식 배터리팩의 방열성능분석, 2017.

커지는 것을 방지, 또한 열확산 차단재는 발화로 인한 고열이 인접 다른 셀로 전이되는 것을 막도록 하는 특수소화시스템 적용 중

- (LG에너지솔루션) 전기적인 충격에 따른 배터리를 보호하기 위해 모듈 퓨즈, 랙 퓨즈, 서지 프로텍터 등의 3중 안전장치*를 반영해 배터리 안전성 확보

* 모듈 퓨즈와 랙 퓨즈는 과전류가 흐르면 전기 부품보다 먼저 녹아서 전류의 흐름을 끊어주는 안전장치이며, 서지 프로텍터는 외부 이상전압이나 과도신호로부터 제품을 보호함

[LS 화재예방솔루션]



[삼성SDI 특수소화시스템]

1 핵심 기술이 적용된 첨단 약품 추가



특정온도에서 첨단 약품을 자동 분사하여 소화

2 신개념 열 확산 차단재 삽입



MICA포함 복합 재질로 절연성 및 단열성 우수 (내열 온도 800℃)

○ (화재방지 기술 한계) 사후 대응 방식이라도 최소한 열폭주 현상은 방지되어야 하지만, 이에 대한 기술적 대응은 미미한 실정

- 소화장치를 포함하는 기존 화재 대응 기술은 리튬이온 배터리의 화재 진압이 사실상 어려운 것으로 나타남

* 특수 소화약제(분말, 가스계, 고체에어로졸)를 이용하면 화재 지연 효과는 있으나 배터리의 에너지를 감당하지 못해 화재확산 방지를 못하는 것으로 보고⁵⁾

- 또한, 일부에서는 배터리 전극 박막, 분리막 기술 등 배터리 자체에 대한 기술개발, 그리고 합체의 구조 설계 등을 진행하고 있으나 충분한 해결책으로 제시되고 있지는 못한 상황임

○ (디지털 O&M 솔루션) IoE, 빅데이터 분석, 기계 및 심층학습, 클라우드서비스, AI 기술 등을 활용하여 개별기기 에지 수준에서 전력망까지 관리하려는 복합적 에너지관리시스템(EMS) 솔루션으로 범위를 확대하고 있는 추세임⁶⁾

- ESS(PCS, PMS, BMS)의 기기 정보와 환경정보를 기반으로 ESS 이상 현상의

5) 한국화재소방학회, 제34권 제2호, 2020.

6) KOSEN, 에너지저장시스템과 지능형 에너지관리시스템에 대한 이슈와 동향, 2020.

채집과 학습을 통한 사전 예측과 상황에 따른 의사결정 알고리즘으로 자율 운영이 가능한 지능형 EMS에 대한 연구개발이 일부 진행중

○ (클라우드 기반 O&M 서비스) KT의 K-MEG⁷⁾ 에너지 통합운영관리시스템, 그리드 위즈, 인코어드 등 분산자원 디지털트윈 플랫폼 기술 등은 AI 기반 O&M 솔루션 으로서 클라우드 기반으로 ESS 사업자에게 원격 운영 및 유지보수를 대행하는 사업 진행중

- (그리드위즈) ESS 및 전력수요관리(DR) 사업 경험을 토대로 디지털트윈 플랫폼 기술을 개발해 마이크로그리드(MG)·가상발전소(VPP) 등 신규 사업에 진출
- * 모니터링 수준에 그치는 전력설비 운영 S/W 한계를 뛰어넘어 사전계획(Planning)이 가능한 전력설비 운영 솔루션 '디지털트윈 플랫폼⁸⁾'을 앞세워 국내외 태양광·풍력·ESS 등 대형 복합에너지 설비 시장을 공략중
- * 전력피크컷, 전력부하이동 등 용도에 따라 설계된 운영 알고리즘과 태양광·풍력 등 다양한 분산자원에 특화된 ESS 운영기술을 제공할 수 있으며, ESS 운영의 효율성과 안정성에 대한 정밀한 분석 진행
- (KT) 인공지능(AI) 에너지 관리 플랫폼 'KT-MEG'을 통해 고객 맞춤형 최적의 전 서비스와 ESS 운영관리 솔루션을 제공하고, KT-MEG을 통한 실시간 관제 등으로 차별화된 ESS 서비스 제공
- * KT의 EMS는 피크제어와 신재생에너지 안정화, 주파수 조정 등의 기능을 표준화해 고객의 용도에 맞게 사용 가능
- * EMS 시스템에 태양광, 풍력, 디젤발전기 등 복수의 분산발전원과 각 기기들을 동시에 병렬 연결해 통합 운영할 수 있어 고객 맞춤형 ESS 컨설팅 및 종합 솔루션 제공 가능

○ (기술개발) 인산철전지 기술개발 및 양산 설비투자 계획 발표

- (R&D) 고성능 인산철전지 기술개발 추진('23~'26, 정부 164억, 민간 69억)
- * 양극 소재국산화, 세계 최고 에너지밀도(160→200Wh/kg) 전지 개발 등
- (양산계획) LG에너지솔루션 등 ESS용 인산철전지 양산 투자계획 발표
- * (LG에너지솔루션) 미국 애리조나에 16GWh 규모의 ESS용 LFP전지 양산거점을 구축, '26년부터 LFP전지 양산을 본격화할 예정.
- * (삼성SDI) 인산철전지 상용화 착수('23), 수냉식 냉각시스템과 화재 안전성을 고려한 직분사 시스템을 적용한 SBB (Samsung Battery Box) 출시('23)

7) 국가 R&D 과제인 Korea Micro Energy Grid을 통해 개발한 '에너지 통합 운영 관리 시스템' 과 KT의 ICT 역량 접목

8) 디지털 트윈은 물리적 시스템에서 수집하는 수많은 데이터를 처리·가공하고 머신러닝을 통해 가상공간에서 시뮬레이션 실행, 현실에서 발생 가능한 다양한 미래 변수들을 사전 예측, 설비 상태를 최적화하는 기술

3. 특허 동향

□ 국내 특허 동향

- 국내 특허 데이터베이스를 분석한 결과 ‘19년 이후 배터리 화재 및 방지 관련 특허 등록 건수가 급격하게 증가

[특허 분석 주요 키워드]

국문핵심어	수냉식 배터리	ESS 화재	에너지 저장 장치 화재	배터리 화재	에너지 저장 장치 열폭주
-------	---------	--------	--------------	--------	---------------

- ESS 화재가 본격 발생한 시점인 '18년을 기점으로 배터리 화재 및 방지 관련 특허 등록 건수도 함께 증가 추세

* 연도별 ESS 화재 건수(누적) : 1건('17년) → 17건('18년) → 28건('19년) → 30건('20년) → 32건('21년) → 34건('22년)

< 국내 수냉식 배터리 및 ESS 화재방지 관련 특허 등록 건수 (단위 : 건) >



※ 출처 : NTIS 및 ScienceOn 자료 취합

- 국내 특허 동향은 주로 감지 및 차단, 소화시스템, 첨가제, 차단제 등으로 구성
 - 주요 특허에서는 감지, 절체, 소화가 주류를 이루고 있으며, 배터리셀 자체에 대한 온도제어를 통한 온도상승의 사전 방지 및 온도 상승 시에도 열확산 방지가 되는 화재의 근본 요인을 제거하는 기술 특허는 부재
 - 또한, ‘볼트결합형 수냉식 배터리팩 냉각장치’, ‘배터리팩 냉각을 위한 일체형 수냉식 냉각장치’ 등 수냉식 배터리 관련 특허가 출원되어 있으나 전기차 배터리 기술개발 적용 내용임

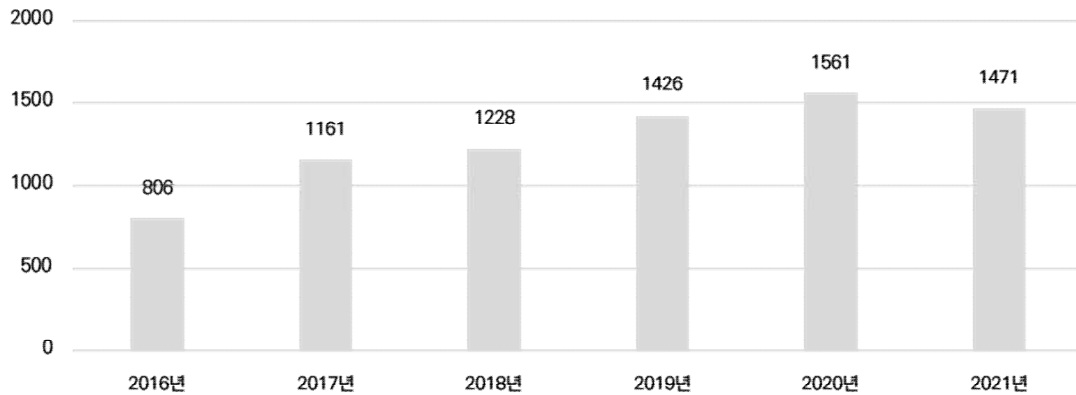
[관련 국내 특허 내용]

명칭(출원 및 등록 번호)	주요 내용
배터리팩 냉각을 위한 일체형 수냉식 냉각장치(10-2019-0016441)	냉각장치의 중량 감소를 통해 전기자동차 주행거리 증가 및 작동 유체의 유동 방향을 단순화하여 배터리의 냉각 효율 향상 관련 특허
볼트결합형 수냉식 배터리팩 냉각장치(10-2019-0016441)	전기자동차 주행거리 확보 및 유로 다채널 형성, 냉각의 효율을 향상시킬 수 있는 볼트결합형 수냉식 배터리 팩 관련 특허
ESS 배터리 랙 화재확산방지 장치(10-2086842)	금속 재질로 형성되고 전/후면이 개방되며 내부에 수용공간을 가진 합체 구조적 설계 관련 특허
ESS 소화 시스템(10-2185759)	화재감지기가 화재 발생 신호를 발신할 경우 소화물질을 분사하는 소화장치 관련 특허
ESS의 화재 발생 차단 시스템(10-2103163)	배터리 저장 공간 의 산소 농도를 감소시켜 화재 차단 관련 특허
냉각 기능을 포함하는 ESS시스템(10-2020569)	별도의 냉매, 열교환 수단 없이도 0℃ 이하의 급속 냉각된 공기를 공급 하여 각 배터리 팩에 개별적인 냉기 공급 관련 특허
리튬이온배터리 화재 안전을 위한 보호 장치(10-2338516)	리튬이온 배터리들이 수용된 합체 내부의 온도, 연기 감지 등에 따른 소화제 분사 관련 특허
배터리 모듈 자동소화시스템 및 이의 작동방법(10-2199513)	배터리 모듈 자동소화시스템 및 이의 작동방법에 관한 특허
에너지 저장 시스템용 냉각장치(10-2285768)	배터리가 위치하는 컨테이너 타입의 내부 온도제어 관련 특허
에너지 저장시스템의 배터리팩 화재예방장치(10-1706717)	컨테이너 타입의 배터리 모듈의 온도 감지 및 전원차단 그리고 소화 관련 특허
에너지저장장치의 화재예방 시스템(10-2021072)	화재가 발생하기 전에 화재 분위기를 사전에 감지하여 소화액을 분사 관련 특허
에너지저장장치의 화재 감시 장치(10-2106153)	화재 감시 장치 관련 특허

□ 해외 특허 동향

- 반면 해외 특허의 경우 급작스러운 증가가 아닌 지속적인 증가 추이를 보이고 있으며, ‘Airflow cooling for an energy storage system(17777671.3)’ 등 ESS에 직접 적용 가능한 수냉식 냉각방식 특허가 출원되고 있음
- 국제특허검색 사이트(WIPO)에서 “Liquid cooling for energy storage” 검색 결과 1,300개 이상의 특허가 검색됨.
 - 대부분이 중국업체의 특허이며 간접 수냉식, 침잠식(immersed liquid cooling) 등 다양한 방안들이 제시되고 있음.
 - 특히, 미국을 포함한 북미지역 진출시 테슬라 등 현지업체의 특허 회피전략이 필요할 것으로 판단됨.

[해외 수냉식 배터리 및 ESS 화재 방지 관련 특허 등록 건수 (단위 : 건)]



○ (참고) 테슬라의 수냉식 관련 특허

- 원통형 배터리에 수냉식 스트립을 둘러싸는 구조로서 방열 면적을 증가하기 위하여 곡선 형태로 제작한 특허
- 히트 파이프를 이용한 배터리 모듈 구조 특허

[테슬라의 수냉식 관련 특허 사례]

Patent application number: 20110212356

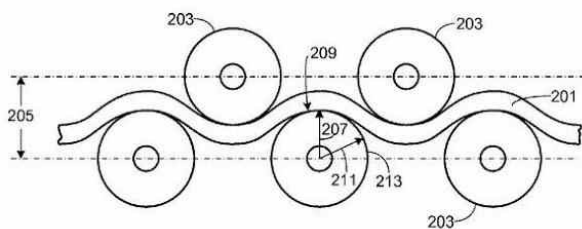


FIG. 2

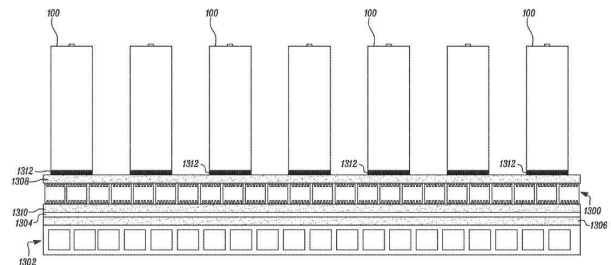


FIG. 13A

< 원통형 배터리의 냉각용 스트립 특허 >

< 히트파이프 이용 수냉식 전지모듈 구조 특허 >

○ 해외 특허 사례

- 중앙집중식 액침형 냉각시스템, 한국
- Inerting explosion-proof liquid cooling lithium battery energy storage power station and control method thereof(활성이 없는 방폭 액체냉각 리튬전지 에너지저장장치와 그 제어 방법), 중국
- Lithium battery energy storage system liquid cooling and fire fighting combined management and control system and management and control

- method (결합된 관리와 제어와 다툼 리튬전지 에너지저장시스템 액체냉각과 화재 시스템 관리와 그 제어 방법), 중국
- Two-phase immersed battery liquid cooling device for super fast charging of lithium battery and cooling system of two-phase immersed battery liquid cooling device (리튬전지의 초고속 충전을 위한 2-상태 침전식 액체냉각장치와 2-상태 침전식 액체냉각장치의 냉각방식), 중국
 - Honeycomb-shaped liquid cooling device of lithium battery(리튬전지의 벌집 형태 액체냉각장치), 중국
 - An all-weather thermal management system for a battery and a working method thereof(배터리를 위한 전천후 열관리 시스템 및 그 작업 방법), 중국
 - Optimization method and device for liquid cooling plate in lithium battery energy storage system, equipment and medium (리튬전지 에너지저장 시스템, 장비 및 매체에 있는 액체 냉각 플레이트를 위한 최적화 기법과 장치), 중국
 - Fault maintenance method and device based on lithium battery liquid cooling energy storage system(리튬전지 액체냉각 에너지저장 시스템에 기초가 된 결합 유지관리 방법과 장치), 중국
 - Two-phase immersed liquid cooling energy storage device(2-상태 침전식 액체 냉각 에너지저장장치), 중국
 - Test device for liquid cooling/heating system of battery pack(배터리 팩의 액체 냉각/가열 시스템을 위한 평가 장치), 중국
 - BATTERY MODULE AND ENERGY STORAGE RACK (배터리 모듈과 에너지 저장 랙), 루마니아
 - COOLING CAPACITY DISTRIBUTION UNIT AND LIQUID COOLING SYSTEM(냉각 용량 배분 장치와 액체 냉각시스템), 중국
 - New energy power storage equipment and management system thereof(새로운 에너지 전력저장 장비와 그 관리시스템), 중국

4. 표준화 동향

□ 해외 동향

- 프랑스 및 영국 등 유럽 및 미국 등 선진국 중심으로 이차전지 및 ESS에 대한 IEC 등 국제표준 내 안전 관련 표준화가 2015년부터 본격적으로 제·개정 중
- 프랑스 국가표준(NF)과 영국의 국가표준(BS) 등은 리튬이온 기반 이차전지의 적용 분야별 안전관리 항목을 세분화하여 표준화 진행 중
- 수냉식 배터리 기술의 경우, 전기차 등의 e-모빌리티 분야에 대해 안전 요구사항을 정립하고 있으며, 미국은 ESS 운용 및 설치 등과 연계된 안전 시험 항목 기준 마련 수립

[이차전지 및 ESS 안전 관련 해외 표준]

구분	표준명	내용	제·개정년도
이차전지 (리튬이온)	IEC 62281	Safety of primary and secondary lithium cells and batteries during transport	2023
	IEC 63056	Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Safety requirements for secondary lithium cells and batteries for use in electrical energy storage systems	2020
	IEC 62485-5	Safety requirements for secondary batteries and battery installations - Part 5: Safe operation of stationary lithium ion batteries	2020
	ISO 12405-3	Electrically propelled road vehicles -- Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems -- Part 3: Safety performance requirements	2014
	NF EN 62485-3	Safety requirements for secondary batteries and battery installations - Part 3 : traction batteries	2015
	BS PAS 7061	Batteries for vehicle propulsion electrification. Safe and environmentally-conscious handling of battery packs and modules. Code of practice.	2021
ESS	IEC 62933-5-2	Electrical energy storage (EES) systems - Part 5-2: Safety requirements for grid-integrated EES systems - Electrochemical-based systems	2020
	IEC 62933-5-3	Electrical energy storage (EES) systems - Part 5-3: Safety requirements for grid-integrated EES systems - Performing unplanned modification of electrochemical based system	2023
	IEEE 2030.3	IEEE Standard Test Procedures for Electric Energy Storage Equipment and Systems for Electric Power Systems Applications	2016
	NFPA 855	Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems	2023

- 미국의 대표적인 인증기관인 UL은 안전성, 성능과 관련하여 다음과 같은 시험, 인증 서비스를 제공하고 있음.
 - UL 9540 Standard for Energy Storage Systems and Equipment
 - UL 9540A Test Method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation in Battery Energy Storage System
 - UL 1642 Standard for Lithium Batteries(Cells)
 - UL 1973 Standard for Batteries for Use in Light Electric Rail(LER) Applications and Stationary Applications
 - UL 1741 Standard for Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use With Distributed Energy Resources
 - UL 1564 Industrial Battery Chargers
 - UL 1008 Standard for Transfer Switch Equipment
 - UL 3001 Outline for Investigation for Distributed Energy Generation and Storage Systems
 - UL 1778 Uninterruptible Power Supply Systems

□ 국내 동향

- 국가표준(KS)의 경우, IEC 등의 국제표준을 부합화하는 방식을 채택하여 이차 전지 및 ESS에 대한 안전관련 표준화 진행 중
- ESS 화재 발생 이후, 단체표준 등을 통해 안전관리 항목 및 ESS 설치 등을 포함하는 안전요구사항 및 가이드라인 등 단체표준(SPS)을 제정, 운영 중
- 국내 ESS는 대부분 공랭식을 적용하고 있으나 성능 및 안전성 시험 관련 표준은 냉각방식과 상관없이 적용할 수 있음.
 - 단, 수냉식 ESS에 관련된 설계·설치·운용 가이드라인 등 기존 표준의 일부 개정이 필요
- 성능, 안전성 관련 국가표준(KS)
 - KS C IEC 62933-3-1 : 2019 전기 에너지 저장 시스템(ESS)-제3-1부: 전기 에너지 저장 시스템의 계획 및 성능평가 - 일반 요구사항,
 - KS C IEC 62933-5-2 : 2019 전기에너지저장(EES) 시스템-제5-2부: 계통연계 EES 시스템을 위한 안전 요구사항 - 전기화학기반 시스템
 - KS C IEC/TS 62933-4-1 : 2017 전기에너지저장(EES) 시스템-제4-1부: 환경 이슈에 대한 가이드라인 - 일반 사양

- KS C IEC 62933-2-1 : 2017 전기에너지저장(EES) 시스템 - 제2-1부: 유닛 파라미터 및 시험방법 - 일반 사양

○ 성능, 안전성 관련 단체표준

- KSGA-025-5-4:2023(Ed3.0) 전기에너지저장 시스템 - 제4부: 리튬이온 이차 전지 기반 EES 시스템 운영, 전기적 안전 요구사항 및 시험방법(한국스마트그리드협회)
- SGSF-025-5-1-1:2017 전기에너지저장시스템 - 제1-1부: 비상전원 기능을 포함한 시스템의 개별 요구사항(한국스마트그리드협회)
- SGSF-025-5-2-1:2017 전기에너지저장시스템 - 제2-1부: 비상전원 기능을 포함한 시스템의 시험방법(한국스마트그리드협회)
- KSGA-025-5-3:2019 전기에너지저장시스템 - 제3부: 성능 현장 시험방법 가이드라인(한국스마트그리드협회)

[이차전지 및 ESS 안전 관련 국내 표준]

구분	표준명	내용	제·개정년도
이차전지 (리튬이온)	KS C IEC 63056	알칼리 또는 기타 비산성 전해질을 포함하는 이차전지 셀 및 전지 —전기 에너지 저장 시스템에 사용하기 위한 리튬이차전지 셀 및 전지의 안전 요구사항	2021
	KS C IEC 62485-5	이차전지 및 전지 설치에 대한 안전 요구사항 — 제5부: 고정형 리튬이온전지의 안전 운용	2022
	SPS-C KBIA -10104-05-7488	에너지저장시스템용 리튬이차전지 셀 열폭주 유도 시험 방법	2022
	SPS-C KBIA -10104-03-7312	에너지저장시스템용 리튬이차전지시스템 - 성능과 안전	2022
	SPS-C KBIA -10104-04-7345	배터리에너지저장장치용 리튬 이차 전지의 전지관리 시스템 — 성능 및 안전 요구사항	2019
	SPS-C KBIA -10104-04-7346	주파수조정용 배터리에너지저장장치 리튬 이차 단전지 및 전지시스템 — 성능 및 안전 시험방법	2019
ESS	KS C IEC 62933-5-2	전기에너지저장(EES) 시스템 — 제5-2부: 계통연계 EES 시스템을 위한 안전 요구사항 — 전기화학기반 시스템	2019
	SPS-C KOEMA 0392-7506	리튬이온 배터리 기반 전기에너지저장 시스템(EESS) 설치, 운영 및 안전관리 가이드	2022
	SPS-C KEEA 0020-7457	전기에너지저장장치(EESS) 운용관리 요구사항	2021
	KFS 412	리튬이온배터리 에너지저장시스템(ESS)의 안전관리 가이드	2018

5. 정부R&D 지원현황

□ 투자 동향

- (ESS핵심기술개발사업) ESS 부품소재 국산화 및 산업경쟁력 강화를 위한 기술개발, ESS 초기시장 창출을 위한 신규 수요 확대 및 시장 창출을 통한 경제적 비즈니스 모델 확보
 - ‘17년~’21년까지 정부 1,549억 투자, 51개 과제 수행, ‘19년 사업 일몰 확정
 - 중점추진 방향 : 안정적인 전력공급 및 전력계통 효율화, ESS 수출품목화, 에너지 신산업 비즈니스 모델 개발을 위한 실증연구 등
- * 본 사업을 통해 전지 소재, 부품 및 ESS 시스템 개발 및 실증까지 추진

[ESS 핵심기술개발사업 추진 분야(적색 박스는 미추진 분야)]

Device/Technology		Application					
		Consumer		Distribution	Transmission	Generation	
		Residential	C&I			Conventional	VPP/Off-grid
Source	소재, 패키징 공조, 보호	- Home ESS - PV+ESS	- ESS - PV+ESS	- PV farm - Utility ESS	- PV/Wind Farm LIB 화재안전성 장주기/대용량 ESS	- ESS	-
PCS	전력변환	- 소용량 하이브리드 인버터	- 중대용량, 스마트 인버터	- 중대용량, 스마트 인버터	- 대용량, 스마트 인버터 (LVRT, FRT, Ramp rate 등 Grid code 대응)	- 대용량, 스마트 인버터	-
PMS	Local 계측 BMS 연동	- AMI	- AMI	- DAS 연동	- Farm Controller (단지 운영시스템)	-	-
EMS	운영 S/W	- HEMS	- BEMS	- SCADA 연동	- 전력거래소 연동 - RMS 연동	- Plant EMS 연동	- Platform - Big Data, AI
효용, B/M		- E 자금 및 비용 절감 - Resilience		- 도입 용량 확대 - 설비 투자지연	- 주파수 조정(현재) - 보조서비스(미래)	- 효율 향상 - 예비력 향상	- E 거래 - O&M 서비스 - 보조서비스 - 수요반응

□ 최근 기술개발 현황

- ‘20년 ESS 핵심기술개발사업 일몰, 이후 개별 기술개발사업으로 전환하여 아래와 같은 기술개발 지원
 - (PCS 경쟁력 강화) ESS용 전력변환장치(PCS)의 기술경쟁력 강화 및 시스템 안전성 제고 기술개발
 - (비리튬계 2차전지) 바나튬흐름전지(VRFB), 해수이차전지 등 비리튬 소재 기반 ESS용 전지 및 시스템 기술개발 지원
 - (고압, 대용량화 기술) ESS의 대용량화에 따른 고압모듈형 ESS 기술개발
 - (응용 확대) 선박의 이산화탄소 배출 저감을 위한 선박용 ESS 기술개발
 - (사용후 배터리) 사용후 배터리를 이용한 운송용 및 ESS 기술개발 및 실증
- * 운송용 : 전기카터, 스쿠터 등 개인용 이동수단(Personal Mobility)
- * ESS용 : 재생에너지 연계한 1MWh급 ESS 개발 및 실증

[최근 ESS 관련 기술개발사업 추진 현황]

사업명	사업년도	내용
PCS 경쟁력 강화 핵심기술개발사업	'20~'23	- 전력변환 핵심소재 모듈화 기반 스마트 PCS 상용화 기술 - 계통연계 PCS 신뢰도 향상 핵심기술 개발 및 실환경 실증 - PCS-EES 연계시스템 이상징후 사전감지 및 위험요인 분석 핵심기술
EV, ESS 사용후 배터리 응용제품 기술개발 및 실증	'21~'24	- 재사용, 재제조 배터리 팩 성능 및 안전성 시험평가 기술개발 - 재제조 배터리를 활용한 이동형 응용제품(카트 등) 기술개발 - 재사용, 재제조 배터리를 활용한 신재생에너지연계 MWh급 ESS 기술개발 및 실증
선박용 고안전성 ESS 패키징 기술개발사업	'21~'23	선박용 고안전성 ESS 패키징 기술개발사업 (306억원)
재생e 전력계통 연계 대용량 고압 모듈형 ESS 기술개발	'21~'24	- MMC타입 ESS, 고압형 허브스테이션 핵심기기개발 - 모바일허브스테이션 개발, 운영 실증(154kV 송전선 연계)
고신뢰 장주기RFB-ESS (수십MWh급) 기술개발	'21~'24	- 고안정성 기반 장주기 대용량 RFB-ESS 핵심기술 실증 - 고출력밀도 스택 개발, 대형 RFB-ESS 경제성 평가
해수이차전지 용량화 및 MMWh급ESS 기술개발	'21~'23	- 해수이차전지 핵심요소기술 고도화를 통한 셀 대면적화, 대용량화로 중소형급(1~10kWh급) 조기 상용화 - 대용량 모듈 개발 및 성능검증, 해양전자기기 시장 진출
이차전지 화재 안전성 검증센터구축	'20~'23	- 한국형 화재안전성 시험평가방법 및 운용절차 개발 - 화재안전성 시험인프라 및 안정성 검증센터 구축
신재생 연계 ESS 안전성 평가센터 구축사업(R&D)	'22~'25	- ESS와 연계된 신재생 발전설비의 안전성 평가실증센터 구축(태양광, 수소연료전지) 및 안전기준 개발 - ①전력변환시 발생하는 공통모드전압, ②배터리 건전성 판단 내부저항, ③ESS 계통을 고려한 절연저항, ④모듈퓨즈, ⑤충전율, ⑥온·습도 환경

※ 출처 : NTIS

6. 시사점

□ 시사점

- (기술) 화재사고 대책은 화재 감지 및 확산방지에 주력, 근본적으로 화재 가능성을 낮출 수 있는 기술개발 미추진
 - 화재방지대책 기술은 보호기능 강화와 화재 발생시 확산 방지하는 기술 위주로 화재안전성 보장 및 예방을 위한 근본적인 기술개발 추진은 없는 상황임
 - * 보호기능 : 퓨즈 및 서어지 보호장치 설치, Off-gas 검출 등
 - * 확산 방지 및 진압 기술 : 스프링클러 등 소방시설 및 방화벽 설치, 열차단 패키징 기술 등
- (산업) 글로벌 수출경쟁력 강화를 위해서는 전문 패키징 및 시스템통합 기업 육성이 필요
 - (수출경쟁력 확보) 재생에너지 보급 및 관련 시장이 활성화된 선진국 시장뿐만 아니라, 인도 등 개도국 시장도 점차 확대되고 있고 중국, 일본, 미국 등 국가들과의 경쟁도 점차 치열해지고 있음
 - * 최근 글로벌 ESS 시장은 리튬인산철전지의 수냉식 적용이 시장을 지배 중
 - (패키징기업 육성) ESS의 경쟁력은 2차전지뿐만 아니라 배터리 패키징 및 S/W 분야이므로 글로벌 경쟁력 있는 전문기업 육성이 중요
 - * 사례, 미국의 플루언스는 패키징 및 시스템 통합기업으로서 글로벌 수주 1위 유지중

□ 전략 방향

- (수냉식 패키징) ESS의 근본적 화재안전성에 기여할 수 있고 글로벌 경쟁력 강화가 가능한 리튬전지 패키징 기술개발로 국내 산업생태계 활성화와 글로벌 ESS 시장에서 점유율을 제고
 - 신제품 혹은 사용후 배터리를 이용한 수냉식 ESS 모듈 및 랙 개발
 - * 수냉식은 모듈 내에서 셀간 온도편차를 줄여 화재가능성을 낮추고 냉각에 필요한 전력 소모를 줄이는 등 장점이 있음
- (예측진단 S/W) 사고사전진단 기능에 더해 자산성능관리(APM)가 가능한 잔존수명예측 알고리즘 개발로 운영 및 유지보수의 최적화, S/W 경쟁력 강화
 - * APM(Asset Performance Management) : 예측 유지관리, AI 강화 분석 등의 기능을 사용하여 비용 추가 없이 설비 고장 가능성을 감소하고 자산 신뢰성을 향상시키며 자산 수명을 연장하는데 도움이 됨

1. 연구개발과제기획 방향

□ 연구개발과제기획 기본방향

- 화재 안전성 강화, 수명연장, 소비전력 절감을 위한 수냉식 모듈/랙 기술개발
 - * 신제품/사용후 배터리를 적용한 수냉식 패키징 기술개발 및 전문 패키징기업 육성
- 해외 선진시장에 적용할 수 있는 통신표준을 적용한 잔존수명예측 기능 등 O&M 솔루션 등 S/W 경쟁력 강화
 - * 수명연장, 유지관리비 최소화 등

□ 신규 예산 지원 계획안

(단위 : 억원)

구 분	원천기술	혁신제품형	계
지정공모	-	-	-
품목지정	-	80	80
자유공모		-	-
계		80	80

□ 기획대상 연구개발과제 현황

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제(품목)명	
수냉식 적용 리튬전지 안전성 강화 기술개발	수냉식 적용 리튬전지 패키징 및 안전제어 강화기술	○ 정부정책 - (국정과제) 현 정부 국정과제인 에너지안보, 에너지신시장 정책이행을 위한 핵심사업 해당 - (제10차 전력수급기본계획) '36년까지 전원믹스 변화로 45조 규모의 ESS 기반 백업설비 구축 필요('23. 1) - (제3차 지능형전력망 기본계획) 재생e 증가에 따른 실시간 변동성을 완화하고 안정적인 전력계통 운영을 위한 시스템 고도화와 관리체계 마련('23. 2) ○ 산업기술 R&BD 전략 - (ESS) 재생에너지 대응 출력 안정화 및 ESS 통합 운영 기술 ○ 사전기획 - ESS 글로벌 경쟁력 강화 기술개발

□ 사업화 연계성과 발생 가능성

연구개발과제(품목)명		지식재산권				표준	인증
		등록특허		소프트웨어	기타		
기획대상 주제명	기획대상 연구개발과제 (품목)명	해외	국내				
수냉식 적용 리튬전지 안전성 강화 기술개발	수냉식 적용 리튬전지 패키징 및 안전제어 강화기술	△	○	○	○	○	○

2. 개발위험 관리방안

□ 기술개발 위험요인

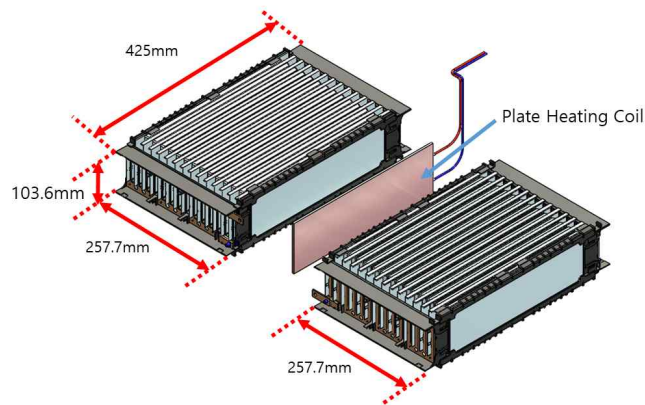
[사업 추진시 장애요인 및 극복 방안]

장애 요인	내 용	극복 방안
제한적인 화재방지 효과	■ 냉각방식 변경으로 근본적인 화재방지 대책기술이 될 수 없음	■ 화재 원인에 대한 다양한 시각이 존재하나 공통적으로는 ESS는 모듈이나 랙 내에 수 많은 단위 전지셀로 구성되며 화재는 일부 열화 혹은 불량인 셀에서 발생한다는 점임 ■ 전지제조사는 성능개량, 품질관리 등 조치를 취하고 있음. ■ 수냉식은 근본적으로 화재를 방지할 수는 없어도 전지간 온도편차를 줄여서 각 단위 전지가 보다 안정적 운전환경에서 작동할 수 있어 화재사고를 줄일 수 있음 ■ 수냉식 냉각과 화재확산 방지기술을 결합하여 화재 가능성을 낮추고 화재시에도 최소의 범위로 한정하는 효과를 기대할 수 있음
기존기술과의 차별성, 비용 상승, 전지 수급 등	■ 전기차에 적용하는 수냉식 방식과의 차별점 ■ 공랭식 대비 구성이 복잡하여 비용 상승 요인 있음	■ 전기차의 경우 급가감속, 급속충전 등으로 높은 방전율(C-rate)을 요구하고 있으며 지상에 설치하는 ESS 보다는 가혹한 운전조건, 제한된 공간 등으로 수냉식을 적용하나 ESS용으로 적용하기는 너무 고비용이 문제점임 ■ 기술개발의 필요성은 신제품 및 사용후 배터리 적용, 원통형 외 각형, 파우치형 등 다양한 형태 전지 적용, 대용량화에 적합한 저가화 설계, 구현이 필요하기 때문임 ■ 비용 상승효과는 전체 시스템 비용에 비해 낮으며 장기간 운영시 냉난방 전력요금 절감 효과(냉각효율 상승), 수명 연장(온도편차 감소) 등 효과로 상쇄 가능함
특허 회피	■ 이미 수냉식을 출시하고 있는 해외 경쟁사들의 특허 회피 필요	■ 기존 특허에 대한 면밀한 분석이 필요 ■ 구조, 소재 등 회피 설계로 구현
전지셀 확보	■ 국내 전지제조사는 ESS 모듈 및 랙을 직접 제작중 ■ 패킹을 위한 전지 수급이 불확실할 수 있음	■ 사용후 배터리를 사용하는 방안 ■ 전지제조를 본 사업에 직접 참여시키는 방안 ■ 중소전지제조사의 전지를 활용하는 방안
비교시험을 위한 실증단지 확보	■ 기존 공랭식과의 비교시험을 위해 동일한 용량을 가진 실증단지가 필요	■ 용량 설계 시 기존제품과 비교할 수 있도록 고려 ■ 실증단지를 보유한 기업을 과제에 참여시키는 방안 ■ 동일 용량의 기존 방식 제품을 구매하여 비교 시험하는 방안

○ 실증시험 시 전기적 요인에 의한 실화재 시험을 통한 안전성 평가*

- (위험요인) 전기적 원인에 의한 화재 발생 시 상당한 폭발력을 가지므로 실증시험 시 실화재 시험 진행에 있어 기존 방식(전지셀 사이 코일 삽입을 통해 열적 외력인가 후 화재모의 방식)보다는 전기적 방식(과전압 등)에 의해 전지셀이 충분히 팽창 후 폭발 발화가 되도록 시험 진행 필요.
- (극복방안) 모듈 단위에서 안전밸브 채용방식으로 압력 분산 및 전기적 원인에 의한 전지 화재 폭발 시 비산 방지 기술 확보 필요.
- (대안) 자체시험 후 공인인증기관에서의 시험 추천

* 삼척, ESS 화재안전성검증센터 등 활용



< 일반적인 전지 화재 시험방식(Heating Coil 사용하여 열적외력 인가 후 발화) >



< 외부 열적 요인에 의한 전지 화재발화 순간(좌측:대기중, 우측:액침) >



< 전기적 DC(CC) 과충전에 의한 전지 화재발화 순간(좌측:대기중, 우측:액침) >

□ 사업화 애로사항

○ (시장진입) 전문 패커(Packer) 제품의 시장진입 장애

- (내용) 현재 리튬전지 ESS 시장은 전지사가 제공하는 모듈, 랙 단위 공급, SI사가 시스템을 구성하여 공급하는 형태가 주류

* 사례, 삼성SDI, SBB(Samsung Battery Box)

- (극복방안) 개발업체(전문 패커)가 SI업체 혹은 전지사와 직접 거래

* 미국 플루언스는 패키징, S/W 등을 내재화한 SI기업으로 글로벌 ESS시장 선두 유지중

○ (비용상승) 냉각방식 변경에 따른 시스템 비용상승 요인

- (내용) 펌프, 열교환기, 냉매, 모니터링장치 등 부대설비로 인한 비용 상승 요인을 정량적 분석 필요

* (냉각시스템 비용) 공랭식 1.5% → 수랭식 3.0%(전체 시스템 가격 대비)

- (극복방안) 냉각 소요동력 절감분을 운전시간, 수명주기 동안 절감하는 등 정량적으로 제시 필요

* 실증운전을 통해 냉각에너지 측정, 비교 데이터 제출 필요

○ (규제) 스프링클러 설치 등 기존 규제사항들과의 충돌 가능성

- (내용) 수랭식 냉각방식 및 화재확산방지 기능 추가로 화재 가능성이 낮을 경우 부가적인 스프링클러, 설치 간격 등 기존 규제와 충돌 가능성 있을 것으로 판단, 이에 대한 것을 분석하고 대안을 제시함

* 기존 안전 관련 규제 중 미해당 사항 정리 필요 : 예, 충전율 등

- (극복방안) 본 기술개발과 실증을 통한 연구 결과물로서 안전성이 입증된다면 규제 수정 제안 등 조치 필요

* 관련 표준, 인증 등 검토 필요

□ 기술영향 검토

- (ESS 안전성 제고) 근본적으로 화재 원인을 제거할 수는 없지만 화재의 가능성을 낮추고, 화재 발생시에도 국부적으로 진화되어 ESS에 대한 안전성 우려를 불식시킬 수 있음
 - ESS 보급 활성화와 보급정책에 기여
 - * 제주도의 저탄소 장기중앙계약시장(시범사업), 10차 전기본 백업설비 45조원 투자 등
 - 하드웨어적인 수냉식 적용과 소프트웨어적인 진단 및 예측기술 적용으로 안전성을 2중으로 강화
 - * 기존 화재확산방지 기술 활용하여 화재 발생시도 확산 억제
- (전문 중소중견기업 육성) 본 사업에서 주요 기술개발 영역은 배터리 패키징 및 S/W 분야이므로 중소중견기업의 주요 사업 영역임. 또한 역량을 키워 전문기업으로서 전지 제조사와의 수직계열화도 가능하며 해외의 플루언스의 사례처럼 시스템통합업체(SI)로서의 성장 가능
 - 전문 패커 육성을 통한 고용 창출, 글로벌 수출경쟁력 있는 전문기업 육성

3. 기획연구개발과제 RFP / 기술개요서(연구개발과제기획이력서)

[품목지정공모 (기술개요서)]

품목명 : 수냉식 적용 리튬전지 패키징 및 안전제어 강화기술

'24년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리번호	2024-ESS-품목-1	
연구개발과제유형	원천기술형()	혁신제품형(○) 실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제(○)	
품목명	수냉식 적용 리튬전지 패킹 및 안전제어 강화기술 (TRL : [시작] 5단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성	○ (기술성) 수냉식과 화재확산 방지기술을 적용, ESS 화재안전성을 근본적으로 강화 ○ (경제성) ESS의 화재안전성 강화를 통해 국내 안정적 보급과 수출경쟁력 제고 ○ (정책성) 출력제한과 계통연계대기 해소, 산단 RE100 달성 등 ESS 보급정책 지원	
2. 품목정의	○ (최종목표) 수냉식*과 화재확산방지기술**을 적용한 모듈/랙 기술개발 및 성능평가 * (수냉식) 공냉식이 아닌 액체형 냉매를 이용한 냉각방식(Liquid cooling) ** (화재확산방지기술) 열차단 패키징기술 등을 적용하여 인접 모듈, 랙으로 화재확산을 방지 ○ (연구내용) 리튬전지 ESS 모듈/랙 개발, BANK 단위 ESS 시스템 설계 및 실증 (1) 리튬전지 수냉식 ESS 모듈/랙 개발 - 수냉식 및 화재확산방지기술을 적용한 단위 모듈 및 200kWh 이상 랙 개발 * 리튬이온전지 종류, 형태 및 신제품 혹은 사용후 배터리 지정 - 열관리 포함 배터리관리시스템(BMS) 개발(통신표준과 기능/성능 스펙 포함) - 모듈 및 랙 단위 공인기관 성능, 안전성, 환경시험 (2) BANK 단위 ESS 시스템 설계 및 실증 - 냉각설비를 포함한 전체 시스템 설계(1MWh 이상급으로서 2개 이상 랙 포함) - 열화 혹은 잔존수명 예측 알고리즘 구현 - 공랭식과 성능 비교를 위한 실증시험(3개월 이상) * 셀간 및 모듈간 온도편차, 소비동력 등 성능 비교항목, 시험 방안, 절차 제시 ※ 진출시장 선점 위한 초격차 스펙(성능/가격, 인증·표준 등)을 정량적 목표로 제시 必 * 진출시장 내 상용제품(시스템) 스펙과 비교 제시, 진출시장 예시(미국, 호주 등) ○ 개발위험 극복방안 - 수행기간내 모듈/랙/컨테이너의 국내·외* 인증·표준 통과 계획을 계획서에 반영 * 수출 유망국 중에서 수행기관이 선택한 수출 대상국에서 요구하는 기준 - 국내외 특허 현황 분석 및 회피방안 제시 - 배터리 확보 방안, 비용상승 요인 분석 및 최소화 혹은 상쇄 방안 제시 ○ 안전관리 사항 - 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 '연구개발 과제별 안전관리계획'을 제출해야 함(적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)	
3. 지원기간/추진체계	○ 기간 : 36개월 이내(1차년도 정부지원연구개발비: 20억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 총 정부지원연구개발비 : 80억원 내외) 징수 ○ 주관연구개발기관 : 기업(컨소시엄에 중소·중견기업 1개 이상 참여 必) ○ 기타사항 : 실증설비 사후 활용방안에 대한 제시 필요 수요기업(전지제조사, 시스템통합업체, 발전사업자 등) 참여 권장	