

자원고갈 걱정 없는 비리튬계 이차전지

연구팀

에너지저장연구단

발표자

연순화 단장/책임



Contents

01 연구팀 소개

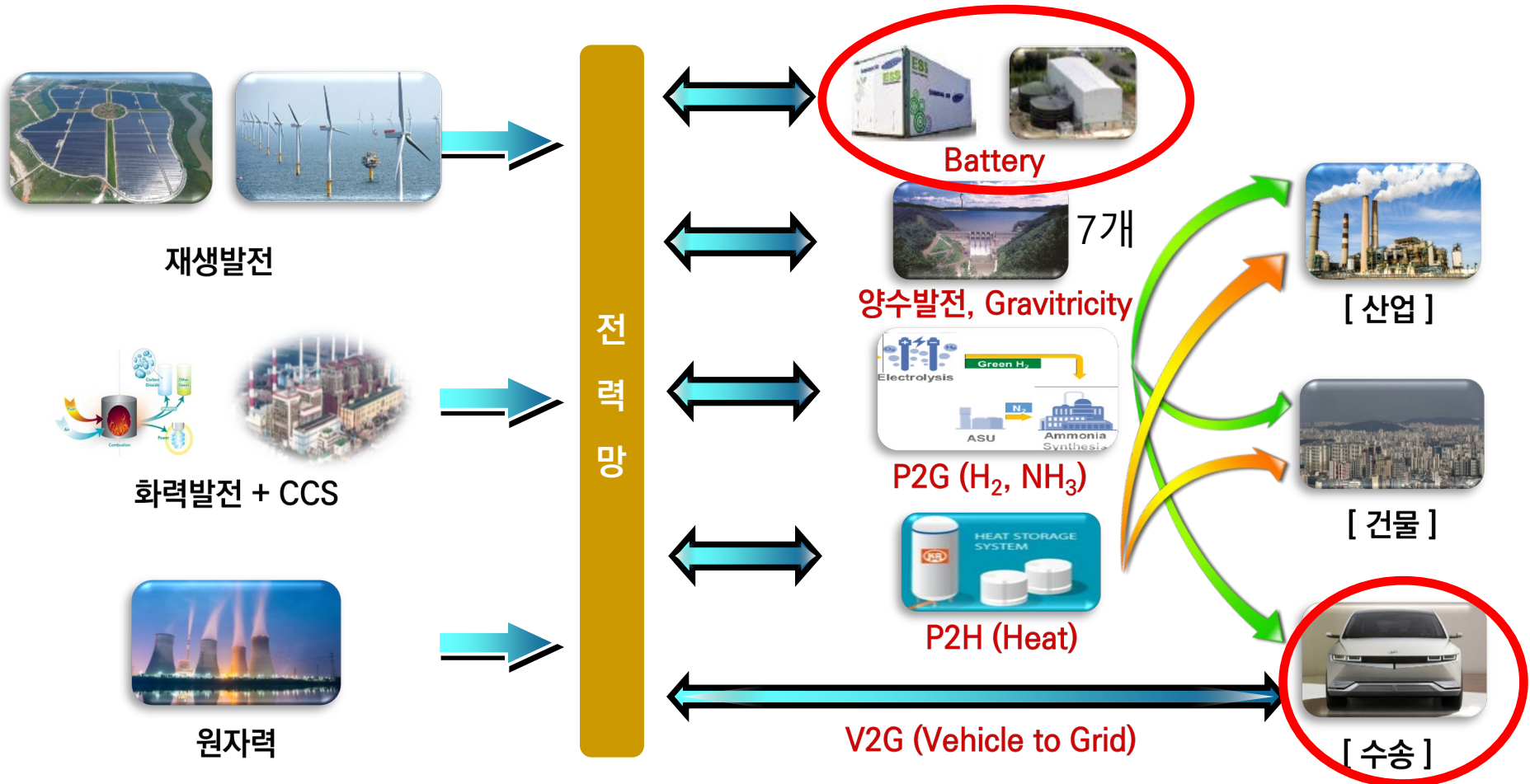
02 기술개발내용

1. 전체 컨셉
2. 세부기술내용
3. 실제실험내용

03 산업적 가치

✧ KIER 이차전지 중점분야

- 그리드 규모 재생전력 저장을 위한 저가·장주기형 대용량 배터리 에너지저장 기술 개발
- 전기자동차용 고성능·고안전 차세대 이차전지 기술 개발



01 연구팀 소개

자원고갈 걱정 없는
비리롭게 이차전지



에너지저장연구단

❖ 글로벌TOP전략연구단-4세부

- 초저가(<\$50/kWh)·장수명 비리롭게 이차전지 개발

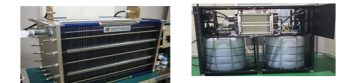


연구 분야

- 세계 최초 이중전극 기반 고전압 스택 기술 개발
- 리튬이차전지용 고에너지밀도 차세대 음극소재 개발
- 고에너지밀도 차세대 전고체전지 고안전성 전고체전지 파우치 셀 개발
- 대량생산을 위한 R2R 공정 개발
- 재생에너지 변동성 제어가 가능한 저가·장주기 흐름전지 ESS 개발
- 고에너지밀도 아연-폴리요오드 (ZIB) 흐름전지 개발
- 20 MWh 이상 레독스흐름전지 개발 및 전력계통 연계 실증
- 해수이용 친환경 에너지저장기술 개발
- 배터리용 건식 후막전극 제조를 위한 연속식 무용매 혁신 공정 개발
- ESS 장주기 대응을 위한 저가 고안전성 수계 아연이온전지(ZIB) 기술
- MAX기반 차세대 고에너지밀도·장주기 ESS 이차전지 소재 기술 개발

<p>[RFB 스택 시스템 이중전극 구조]</p> <p>전압두배형상, 스택효율 90% 이상, 사이클 10,000회 이상</p>	<p>[수계 이차전지 시스템]</p> <p>장수명화를 위한 아연 음극 안정화 기술</p> <p>대면적 전극 극판 제조 공정 기술</p>
<p>[무용매 건식공정]</p>	<p>[대면적/대량생산 R2R 공정]</p>

5kW급 바나듐 레독스 흐름 전지
- 세계적 수준의 출력 성능 확보 ('17)
·기술이전: (주) 단석산업, 5억원



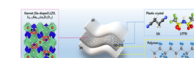
[5kW급 바나듐 레독스 흐름전지 전지]

리튬이차전지용 고에너지밀도 차세대 음극소재 개발
- 음극소재의 용량 한계 극복기술 ('21)
·기술이전: 테라테크노스, 12억원



[고에너지밀도 차세대 리튬이차전지 음극소재]

고안전성 전고체전지
- 고에너지밀도 기술 확보 ('23)
·기술이전: 에이에스이타(주), 0.7억원



[고에너지밀도 전고체전지를 위한 고체전해질 소재]

01 글로벌 TOP 전략연구단 사업개요

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지



사업개요

GT4 4세부



시장선도형 차세대 이차전지 혁신전략연구단 (K-Battery Innovation Consortium, K-BIC)

GT4 : 초저가(<\$50/kWh)·장수명 비리튬계 이차전지 개발

주관	한국에너지기술연구원 KORIAN INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH	연순화
공동	한국과학기술연구원 Korea Institute of Science and Technology	김형석
	한국생산기술연구원 Korea Institute of Technology and Evaluation	임성남
위탁	한국남동발전 KOREA ENERGY	박성하
	동국대학교	한영규
	안양대학교	이종원
	고려대학교	강용묵
	KAIST	최남순
	국립과천과학대학교 Korea National Institute of Science and Technology	박철민
	울산대학교 UNIVERSITY OF ULSAN	류광선
참여연구원	100명	

비전 및 목표

소재자립
초저가·장수명 에너지저장치의 대용량 저장 시스템의 개발
안정적 에너지 공급·국가에너지안보 기여

비리튬계 이차전지 전주기 융합 ONE PROJECT

비리튬계 양극/음극 소재 개발	전극 부반응 억제/제어 기술	전극 보호층 장수명화 기술	양극/음극/ 전해질 구조 고도 분석
------------------	-----------------	----------------	---------------------

비리튬계 전지 시스템 **전지 제조 및 공정 장비**

고로딩 대면적 극판 전극 기술	셀 제조 기술	상온/저온 환경 성능평가 기술
------------------	---------	------------------

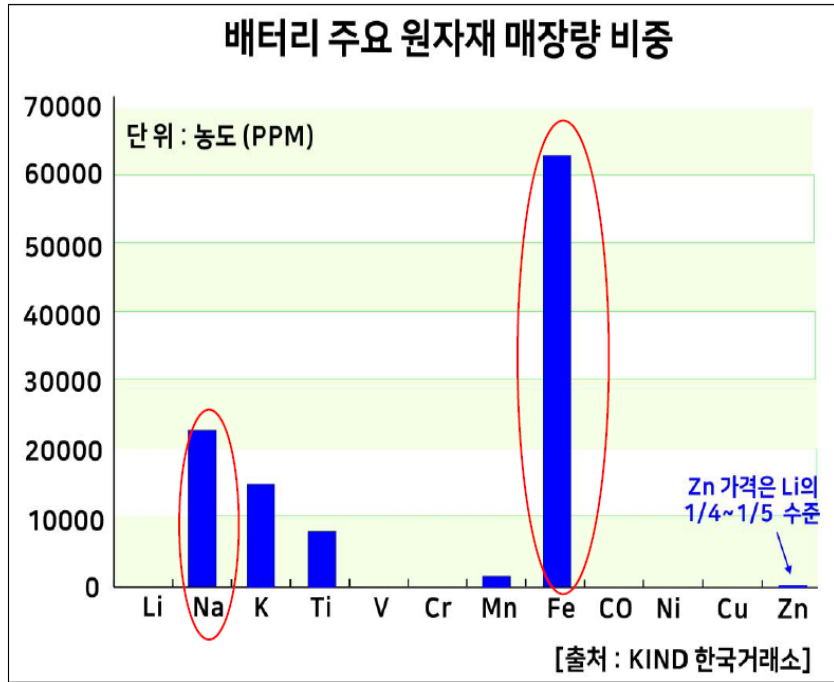
소재 자립화·저가화·성능안정성 기술 확보
글로벌 이차전지 시장 선점

전략연구단 제안 연구기간	(가칭)NTC-4 (억원)			
	전략연구단	기본사업	정부수탁사업	합계
5년 (2024년~2028년) (2년 + 3년 구조)	186.5	447.2	142.5	776.2

02 비리튬계 이차전지 개발 필요성

자원고갈 걱정 없는 비리튬계 이차전지

배터리 안보를 위한 소재 자립화



NaFeZn

응용분야 : 대규모 에너지 저장 시스템, 저가형 전기차, 유틸리티 스케일 에너지 솔루션

2030 DOE Earth Shot 배터리 ESS 시스템 가격 목표

※ US DOE - 2021 Energy Earthshots Initiative 출범

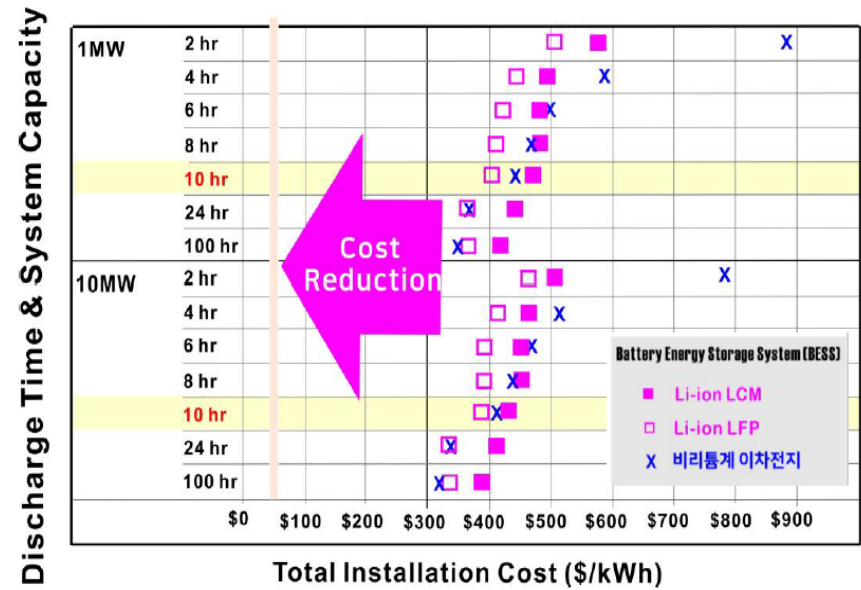
Long Duration Storage Shot

- Reduce storage costs by **90%**
- Use storage systems that deliver **100 hours** of duration
- in 1 decade**

저장가격 90% 절감 저장시간 10시간 10년 안에

Energy Storage Grand Challenge Roadmap (ESGC) 추진

- 정지형 장주기 시스템 위주 Grid Scale Energy Storage
- LCOS 가격목표 : \$0.05/kWh
- 대표적인 기술로 배터리 고려: 2030년 배터리팩 가격목표 \$80/kWh
- 현재 전기자동차 배터리팩 가격 \$143/kWh에서 44% 저감



['21 U.S. DOE LDES RoadMap]

비리튬계 기반 이차전지 이온반응 플랫폼

NaFeZn

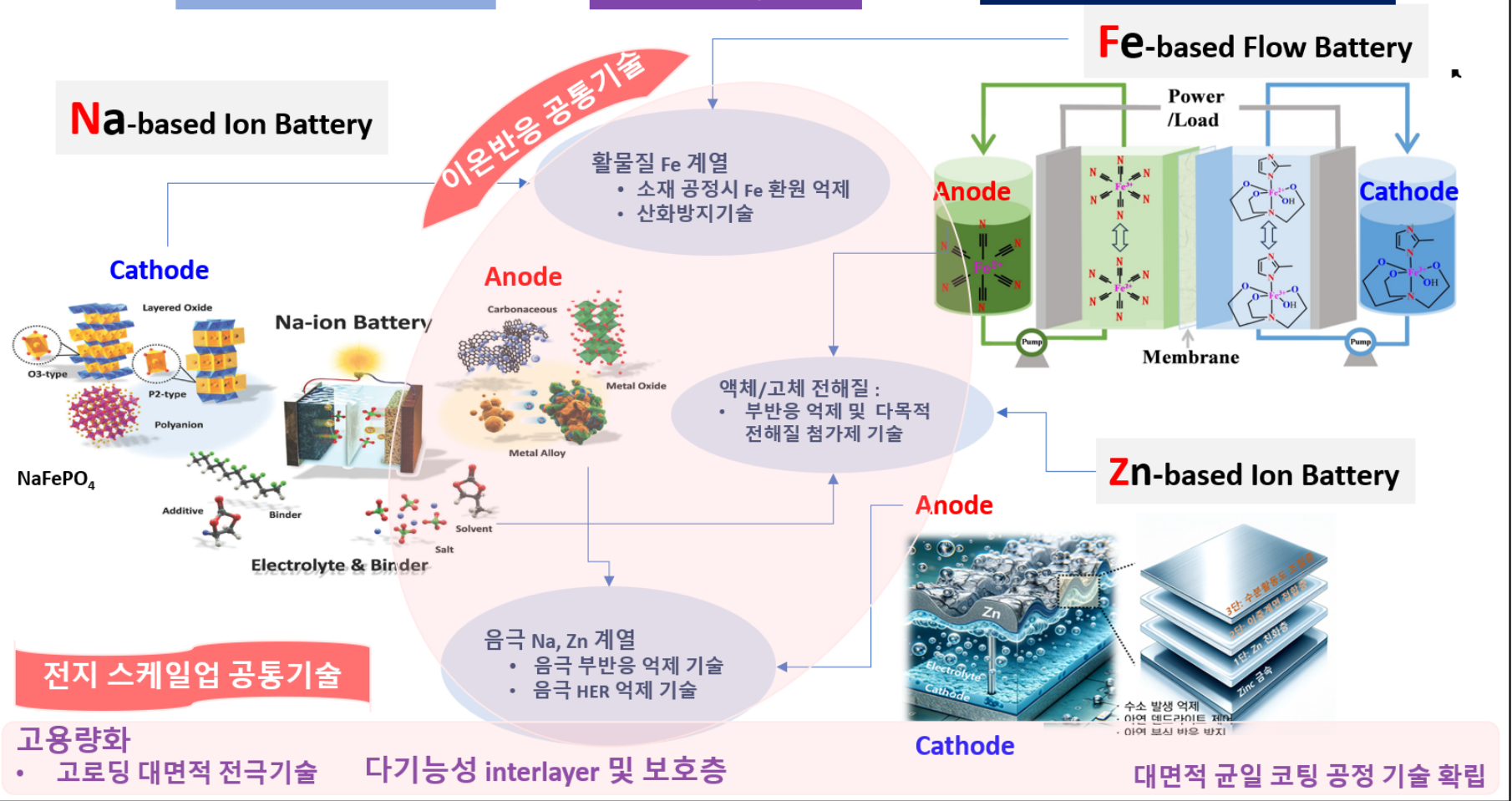
비리튬계 전지 고용량화 및 장수명 안정화 기술

+

전지 소재 및 시스템 Scale-up

=

비리튬계 기반 이온반응 배터리를 위한 플랫폼 구축



K-battery 미래 플랫폼 기술 세미너

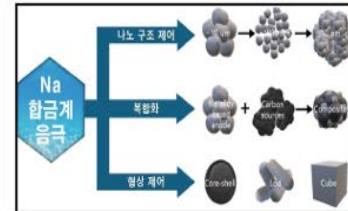
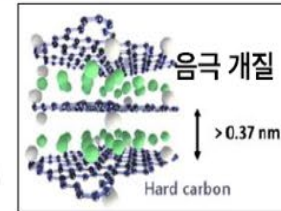
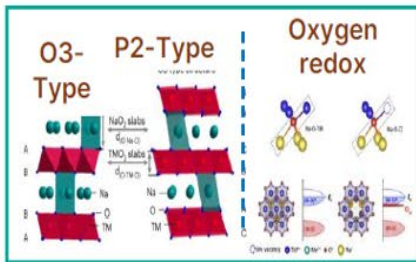
02 핵심개발 기술 : 고에너지밀도

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지

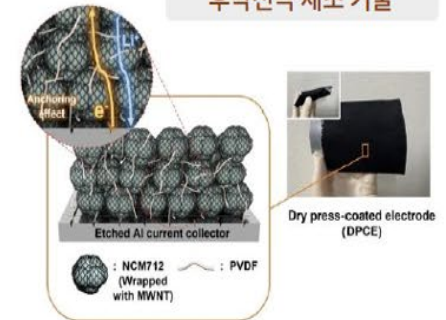
☑ 핵심개발기술 1 (난제 1-3 : 에너지밀도) **NaFeZn**

비리튬계 전지 높은 용량 및 전압의 전극 재료 개발, 전극/전해질 부적합성 개선을 통한 고에너지밀도화

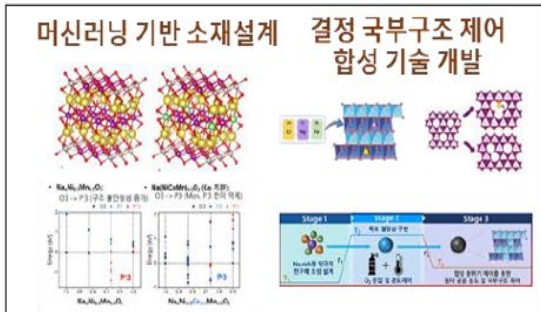
양극 구조개선
-고밀도화, 안정성 향상



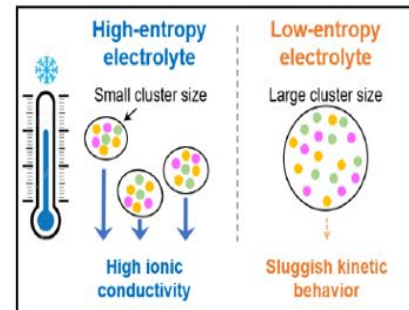
후막전극 제조 기술



머신러닝 기반 소재설계 결정 국부구조 제어
합성 기술 개발



전극계면반응 안정화형 고이온전도성 전해질 및 첨가제



고로딩/고용량화 전극

저온 벌크 및 계면 이온전달성이 확보된 전해질 조성 개발

02 핵심개발 기술 : 사이클 수명 향상

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지

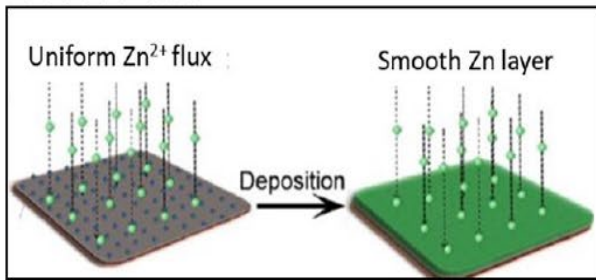
☑ 핵심개발기술 2 (난제 2&3 : 낮은 사이클 수명)

NaFeZn

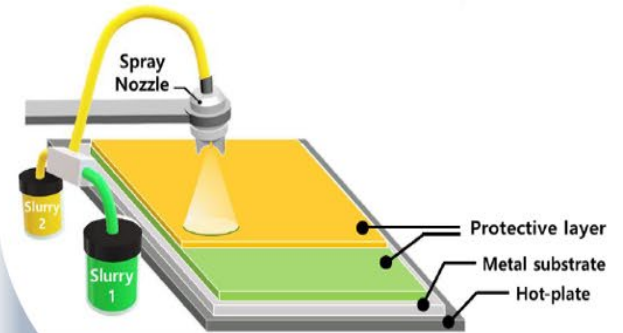
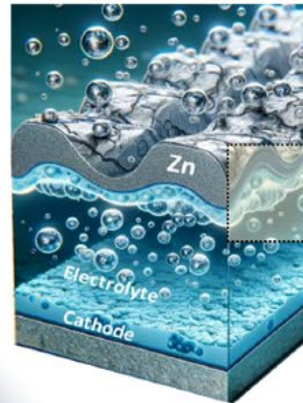
비리튬계 전지 음극 이온의 불균일한 확산 및 증착 억제 및 HER 억제 기술을 통한 장수명화

이종원소 도핑된 음극 보호층 설계 및 대면적 스프레이 코팅 공정 개발

음극 균일 핵생성



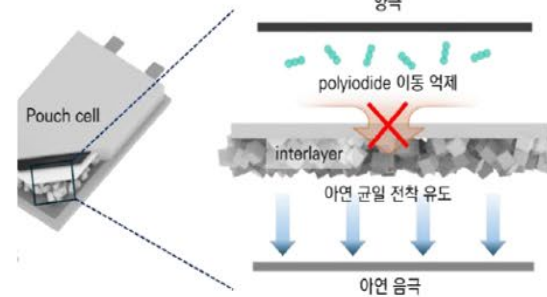
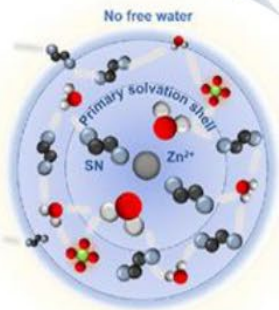
아연균일 증착 및 기본 전극 표면 코팅 공정 확립



• 고품질 대면적(250cm²) 스케일업 기술

WiDES 전해액

리간드 도입을 통한 No Free Water



균일 전착 반응 유도 아연 음극 개발

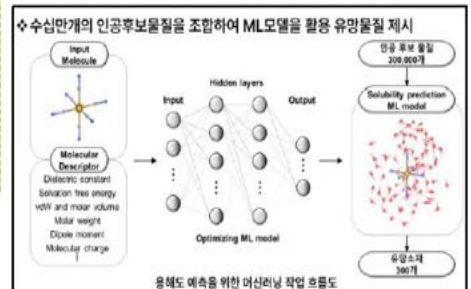
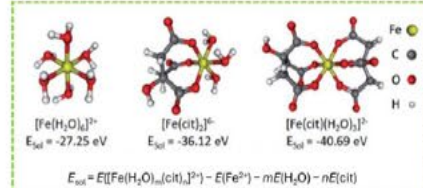
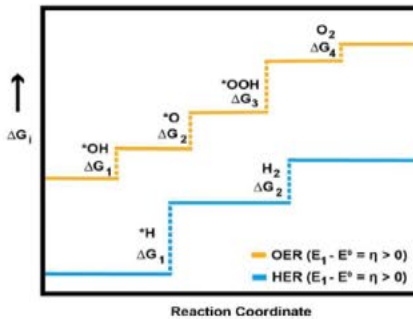
02 기술개발내용 - 효율 향상

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지

핵심개발기술 3 (난제 1&2 : 낮은 효율)

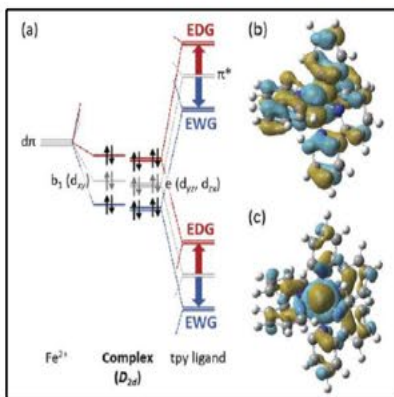
NaFeZn

비리튬계 전지 효율 향상을 위한 금속 리간드 결합 전해질 이온 용해도 증가 및 이동성 개선

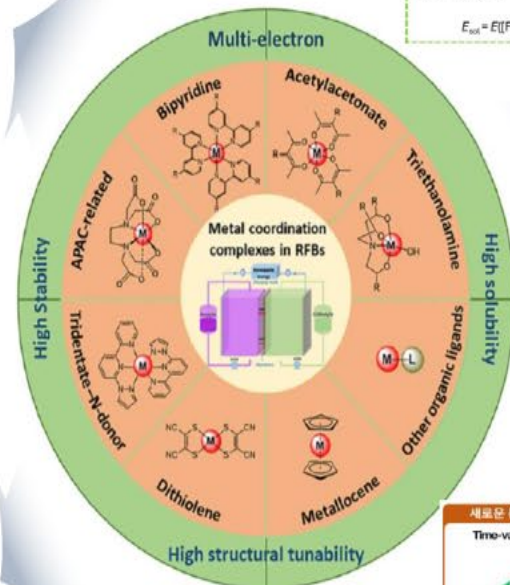


HER/OER 억제 Fe-RFB 전극 활물질 설계

- Fe 이온의 용매화 구조, 과전압, 탈수화 계산

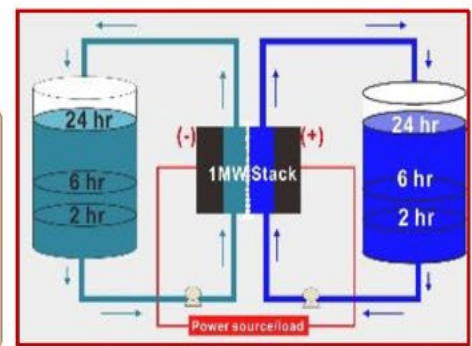


중성 전해질용 기능성 리간드



Fe 수화물 및 리간드 결합에 따른 용매화 (Fe 산화 방지)

저가격·고용량 수계 Fe 계 활물질 개발 및 장주기 적용 흐름전지 시스템



02 상세연구내용 - Na 계 이온전지

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지

1단계 목표

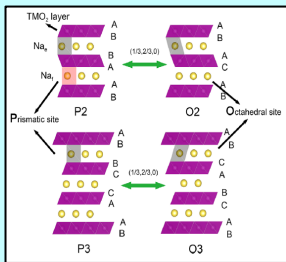
저가 원소를 이용한 비리튬계 (Na) 이차전지 핵심 소재 개발 및 고용량 전극 개발

개발 제품 및 성능 목표 : 상온 에너지밀도 140 Wh/kg, 저온수명 85%@-15 °C, 0.1C 방전

V 1차년도 SIB 저가·고용량, 양극·음극 소재 개발 및 합성법 개발

양극

- Na_xTMO_2 이론용량 (200-250mAh·g⁻¹)



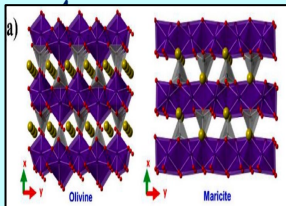
고에너지밀도 소재

O2/O3-type

P2/P3-type

P2-type
(0.3 < x < 0.7),
O3-type
(0.7 < x < 1)
가장 일반적

- NaFePO 이론용량 (154 mAh·g⁻¹)



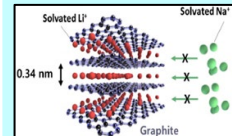
저가격 소재

Olivine-type
(o- NaFePO .)

Maricite-type
(m- NaFePO .)

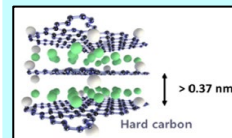
음극

- Hard Carbon



이온 반경

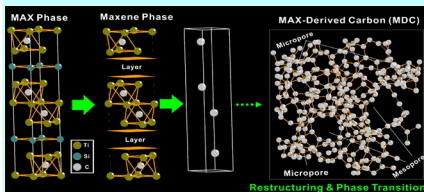
Li이온 약 76 Å
Na이온 약 102 Å



이온 크기에 따른
전기화학적 성질,
배터리 성능 영향
연구

구조 안정성 카본
음극 개발

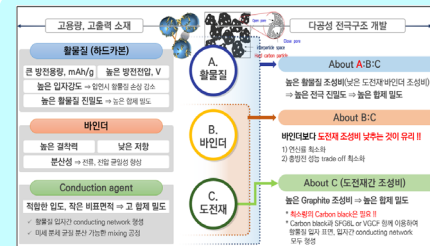
- MAX 유도 상전이 반응 Carbon



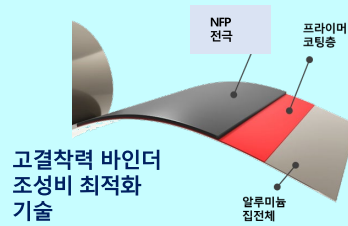
하이브리드 기공형 구조 고용량 카본 음극
개발

V 2차년도 SIB 소재 전극 제조 및 전기화학 특성 확립

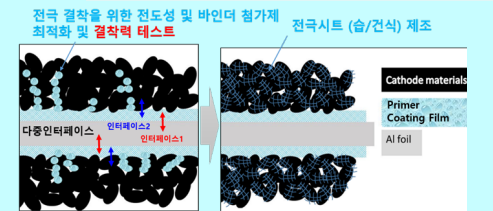
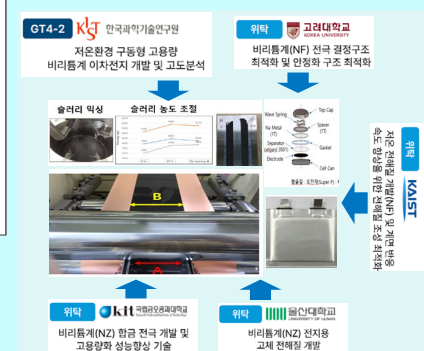
전극



고용량 고효율 전극 소재를 위한 활물질,
바인더, 도전제 특성



NFP 전극 제조를 위한 코팅층 도입



다중 인터페이스 저장 측정

상용 LIB를 대체할 수 있는 저가격 SIB 신규 소재 → 저가격, 고용량,

구조 안정성 핵심

각기관의 SIB 소재 특성에 따른 전극 제조 방법 → 저저항, 고용량,

고출력 전극 소재

02 상세연구내용 - Na 계 이온전지

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지

2단계 목표

초저가 (50\$/kWh) 장수명 대용량 비리튬계(Na계) 대면적 셀 제조 및 시스템 기술 개발

개발 제품 및 성능 목표 : 상온 에너지밀도 200 Wh/kg, 저온수명 90%@-15 °C, 0.1C 방전, 1Ah 셀

V 3차년도

양극

Layer Expansion, Structural characterization

- TM layer: 2.1587 Å, 2.2959 Å
- Na layer: 3.1878 Å, 3.0834 Å

0% Sn vs 8% Sn

음극

카본 얼처리 → 수율, 비표면적, 기공, (002)층간거리 등의 구조 제어

카본 표면 코팅 기술 개발 → SEI 형성에 따른 성능저하를 줄임.

소프트 카본 코팅, 하드카본 표면위에 소프트 카본 코팅

사이클 안정화를 위한 Coating & Doping 기능성 표면 개질

Carbon Coating 및 입자 고밀도화 양극 합성 기술

하이브리드 기공형 구조 후처리 공정 적용

MAX-Derived Carbon (MDC) 타보스트래틱 구조, Carbon Restructuring @ 1000 °C

V 4차년도

대면적 전극

코팅 집전체 적용 고로딩 전극

→ 다중인터페이스 형성 - 측정 신뢰성 필요

다중 복합층 수직방향의 전도성 측정 방법 개발

• 고로딩 결합력 확보

Cathode materials, Primer Coating Film, Al foil

고에너지밀도, 사이클 안정성 기반 대면적 전극
최적화

V 5차년도

GT4-2 KIST 한국과학기술연구원

저온환경 구동형 고용량 비리튬계 이차전지 개발 및 고도분석

위탁 고려대학교

비리튬계(NF) 전극 결정구조 최적화 및 안정화 구조 최적화

위탁 KAIST

저온/저에너지밀도 기반 (NF) 및 계면 반응 속도 향상을 위한 전계적 구조 최적화

위탁 KIST 한국과학기술연구원

다중 복합층 수직방향의 전도성 측정 방법 개발

• 고로딩 결합력 확보

위탁 KIST 한국과학기술연구원

비리튬계(NZ) 합금 전극 개발 및 고용량화 성능향상 기술

위탁 울산대학교

비리튬계(NZ) 전지용 고세 전압계 개발

위탁 KEN 한국남동발전

비리튬계이차전지 ESS 적용가능성 및 경제성 분석

위탁 KEN 한국남동발전

상온/저온환경 구동 가능 기술

대면적 셀 개발 → Ah 급, 200 Wh/kg

1단계 목표

▶ 계면 부반응 억제를 위한 요소기술(기능성 전해질 및 균일 음극 계면) 설계 및 성능 고도화

개발 제품 및 성능 목표 : 셀 0.3 Ah, 1.5 mAh/cm² (전류밀도 >1C), 사이클 3,000 cycle, 용량 유지율 > 70% (1C)

음극 가역성 향상을 위한 기능성 전해질 설계 및 고도화

▶ 작동 조건별 수계 전해액 구조/기능성 특성 평가 및 주요 설계 인자 도출

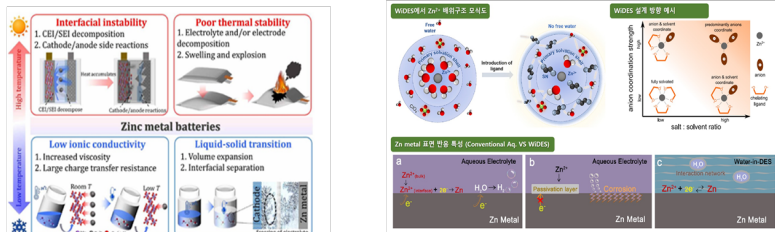
- 온도/조성/충전조건별 기본 전해질 내 Zn²⁺ solvation structure 변화 in-situ 분석
- 전해액 유변학적 특성 변화 및 Zn²⁺의 이온전도도/전위장 및 전기화학적 성능간 상관관계 분석
- 계산 과학 기반 coordination structure, desolvation E, water activity 등 전해액 성능 인자 도출

▶ WiDES 전해액 시스템 적용을 통한 전기화학 성능 최적화

- Polarity, viscosity, dielectric constant 및 Zn salt간 상호작용에 따른 DES 소재 스크리닝
- Zn 이온 coordination 구조 및 온도에 따른 DES 유변학적 특성 분석
- WiDES 내 물의 활성도와 전해액 고온 안정성 사이의 상관관계 도출
- Water 함량에 따른 Zn 전착반응 특성 분석 및 WiDES 조성 최적화

③-1 성능 및 설계치 피드백

① 전해질 요구 성능 분석 → ② 기능성 전해질 (재)설계-물성 제어 → ③ 전지 평가결과 분석 → ④ 성능 최적고도화



덴드라이트 제어를 위한 음극 계면 설계 및 성능 향상

▶ 음극 균일 핵생성 소재 설계 및 공정 기술 확립

- 다양한 금속 산화물 및 합금화 소재 스크리닝 및 아연 전착반응 전기화학 성능 평가 수행
- 핵생성 소재별 hydrophilicity/wettability 특성 및 수소 발생 반응량 분석
- 시뮬레이션 및 고도분석법 활용 핵생성 소재별 Zn 결정성 및 epitaxial mechanism 분석
- 아연균일 증착 nucleation seed 후보 소재 선정 및 기본 전극 표면 코팅 공정 확립

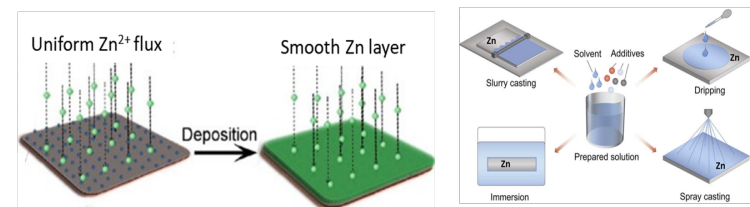
▶ 기능성 고분자 음극 보호막 도입을 통한 음극 표면 부식 억제 기술

- Hydrophobic 특성을 갖는 불소계 기반 고분자 코팅 소재 스크리닝
- 전산모사 기반 코팅 소재 HOMO/LUMO 에너지 비교 및 수소 발생 특성 분석
- 고분자 구조 제어를 통한 피막 hydrophobicity 및 H₂O 활동도 조절
- 보호막 조성에 따른 계면저항, 수소 발생량 및 아연 덴드라이트 성장 거동 분석

③-1 성능 및 설계치 피드백

④-1 성능 및 공정 피드백

① 음극 계면 요구 성능 분석 → ② 균일 생성 seed 및 보호막 설계-물성 제어 → ③ 균일 코팅 공정 설계 → ④ 계면 성능 분석



2단계 목표

비리튬계 수계 아연전지 장수명 구현을 위한 공정 및 셀 설계·제조·평가·분석 기술 고도화

개발 제품 및 성능 목표 : 셀 1 Ah, 2.5 mAh/cm² (전류밀도 >1C), 사이클 10,000, cycle, 용량 유지율 > 70% (1C)

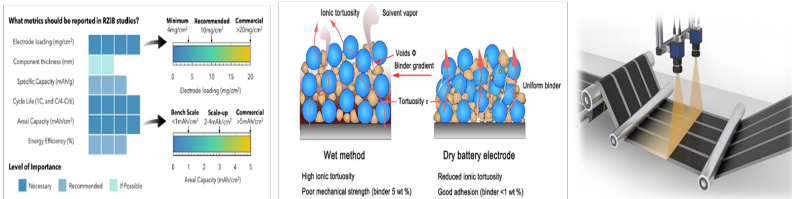
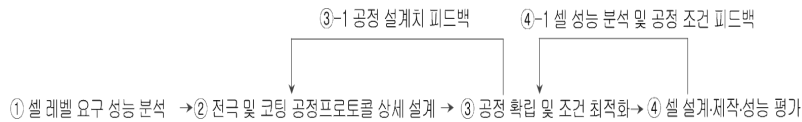
고용량·장수명 셀 구현을 위한 전극 공정 기술 고도화

수계아연전지 고용량 양극 설계 및 제조 공정 기술 고도화

- 활물질·바인더·도전재 최적 입도·조성 설계 및 믹싱 조건 최적화
- 전해질 함침도 고려 전극 로딩 및 극판 밀도 제어 기술 확립
- 극판 hydrophilicity 제어를 위한 표면 물성 조절 코팅 소재 탐색
- 고로딩 후막 극판 균일성 증대를 위한 프레스 조건 확립 및 집전체/극판 계면 저항 저감 기술 개발

균일 핵생성 seed/고분자 보호막 복합 아연 음극 제조 공정 기술 최적화

- 핵생성 seed layer 및 고분자 보호막 복합 음극 대면적화 공정 기술 설계
- 보호막 코팅층 두께·균일도에 따른 아연 핵생성 반응 및 전착 균일성간 상관관계 분석
- 대면적 복합 아연 음극 면용량 별 사이클 수명·효율 분석 및 공정 조건 F/B
- 대면적 복합 아연 음극 덴드라이트 성장 거동/수소 발생량 분석 및 공정 조건 F/B



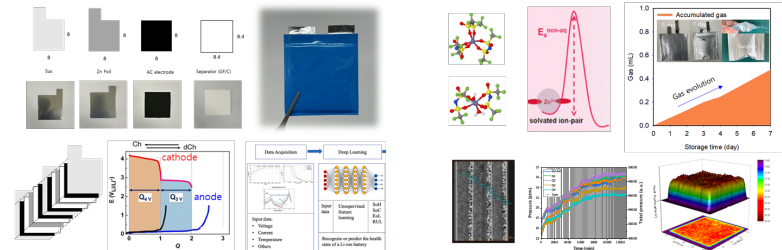
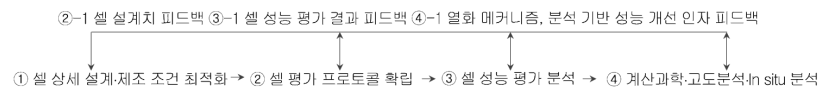
고용량·장수명 셀 성능 향상 및 평가·분석 기술 고도화

셀 성능 고도화를 위한 요소 기술 및 고용량 셀 최적 설계

- 전류 집전체, 탭 및 외장재 등 주요 부품 요구성능 분석 및 최적 설계
- 고로딩 양극/개방 전해질(분리막)/복합 음극간 상호 평가 검증 및 최적 조합 설계
- 고용량 수계아연전지 셀 제작·평가 및 균일 총방전 프로토콜 확보
- 대면적 셀 성능 향상을 위한 단위셀간 균일 적층 공정 기술 확립

고도분석 기법 활용 셀 균일성 분석 및 전기화학 성능 예측 기술

- XRM 기반 비파괴·실시간 셀 상태 분석 기법 확립 및 셀 내부 상태 분석
- 수소 발생량 및 셀 압력 in-situ 측정 기법 확립을 통한 셀 반응 균일도 분석
- 다중물리전산 기법을 통한 셀 구동 조건에 따른 성능 열화인자 분석 및 전기화학 성능 예측



02 상세연구내용 - Fe 계 흐름전지

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지

1단계 목표

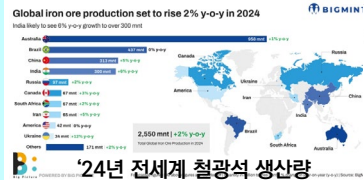
비리튬계 흐름 전지 저비용 · 고용량 활물질 소재 디자인 및 개발

Fe-based Flow Battery

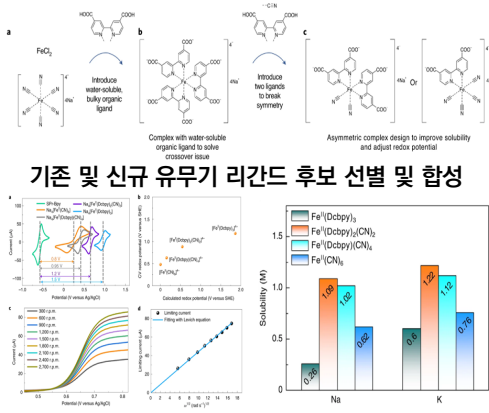
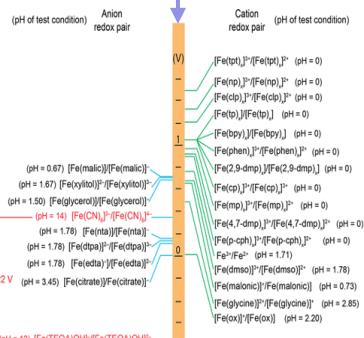
개발 제품 및 성능 목표 : 저가 전해질 소재 전해액 에너지밀도 52 Wh/L

V 1차년도 : Fe기반 양음극 활물질 개발

· 광물 자립 및 저가화 달성을 위한 Fe 활물질 기술개발

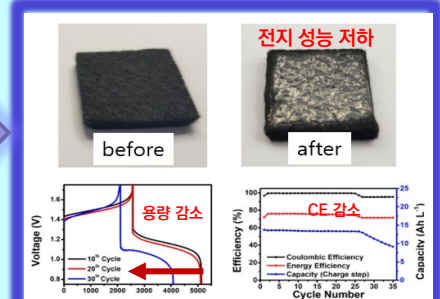
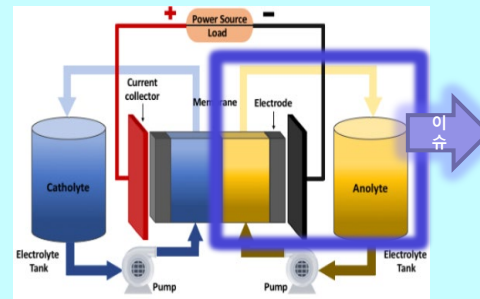


자원 자립 및 저가화 Fe 활물질
→ 지각의 약 5.6%
→ Li 대비 17000배 많고
→ 가격은 192배 낮음
→ 남한 매장량 : 35.3%

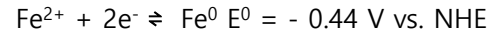


V 2차년도 : Fe 활물질 기반 HER 억제 음극 활물질 기술 개발

· 음극 안정성 향상을 위한 HER 억제 기술개발



Fe 활물질 음극 반응



HER 발생 메커니즘

- 음극 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^0$ 의 표준산화 환원 전위가 HER 전위보다 낮기 때문에(@ pH 0)
- 음극에서의 과전압(부반응 Dendrite) 발생 수소이온이 환원되어 HER 발생
- pH가 낮을수록 수소 이온의 농도가 높아져 HER 반응이 활발하게 이루어짐

Fe 활물질 HER 억제 기술

- HER반응 억제용 환원 전위 조절용 유기리간드 설계 및 합성
- pH 및 이온강도 조절을 통한 전해질 조성 최적화
- 전극 표면 처리 및 다공성 전극 사용들을 통해 HER 반응 억제

광물 자립 및 저가화를 위한 안정성이 확보된 Fe 활물질 선별 및 합성
계산과학 협업 활물질 설계 적용 검토

02 상세연구내용 - Fe 계 흐름전지

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지

2단계 목표

비리튬계 흐름전지 고용량 전해질 특성 향상

Fe-based Flow Battery

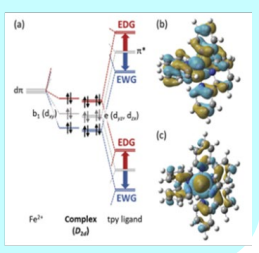
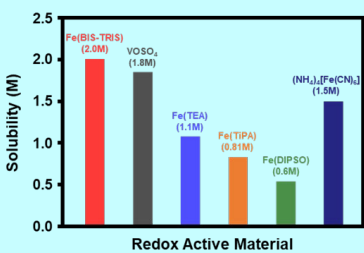
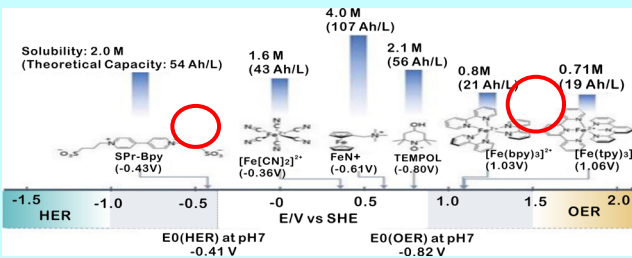
개발 제품 및 성능 목표 : 저가 전해질 소재 전해액 에너지밀도 58 Wh/L

V 3차년도 : 양음극 용해도 향상 기술 개발

고에너지밀도 달성을 위한 Fe기반 활물질 기술개발

- 안정성 향상을 위한 중성 전해질용 기능성 리간드 탐색
- Fe기반 활물질 용해도 향상 리간드 설계 및 합성
- multi-dendrite ligand 설계 및 합성

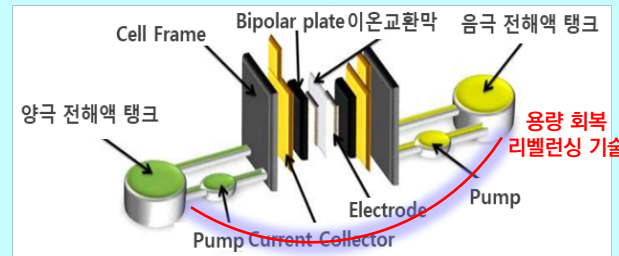
All-Soluble All-Iron Aqueous Redox-Flow Battery



V 4차년도 : Fe기반 활물질 수명향상 연구

셀 및 스택 개발 및 수명 향상 연구

- Fe기반 단셀 소재 및 구조 최적화
- Fe기반 중성 수계 전해질 및 멤브레인 최적화
- Fe기반 활물질 리간드 관능기 조절 및 첨가제 연구



다공성 전극 및 압축률 최적화
과전위 감소

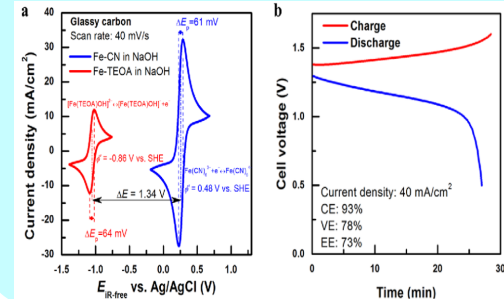
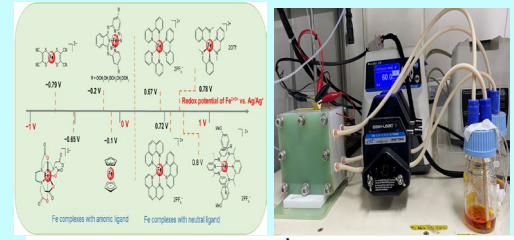
Fe기반 활물질 적용
수명향상을 위한 멤브레인 최적화



V 5차년도 : 에너지밀도 향상기술

안정성 및 고에너지밀도 활물질 기술개발

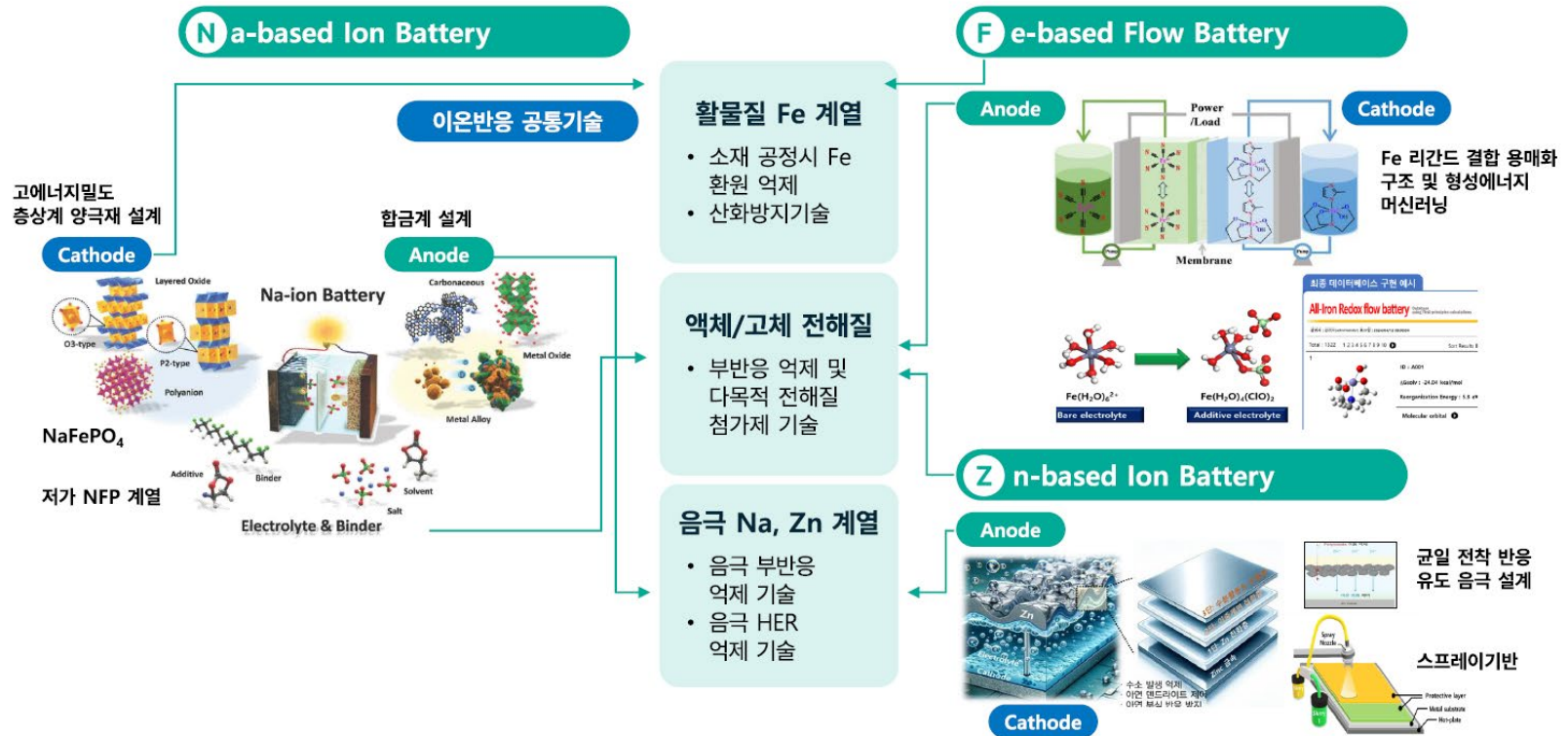
- 효과적인 전자전달 반응 및 산화환원 촉진 리간드
- 전기화학적 반응속도 향상 및 충방전 효율 향상
- Fe기반 활물질 단셀 적용 상용화 가능성 확인



현황 GT4 난제
구성 솔루션

GT4: 상세 연구 구성

최종목표 초저가 (<\$50/kWh) · 장수명 비리튬계 이차전지 개발



Na Fe Zn 비리튬계 기반 이차전지 반응 및 공정 핵심기술 해결

주요 시설 및 장비

- 이차전지 및 슈퍼커패시터 KOLAS 시험인증 인프라 구축
- 이차전지 소재, 셀 제조 및 분석시험평가 장비 보유
- 전지 셀/모듈/팩 시스템 제조 장비, 드라이룸 보유 및 Test Bed 구축
- 200kWh급 ESS 시스템 및 실증시험 설비 보유
- 이차전지 건전성 예측 및 관리 플랫폼 및 인프라 보유
- 울산 차세대 전지 연구개발 센터, 차세대 이차전지 상용화 지원 센터



차세대 배터리 기술이 집적화된
한국에너지기술연구원
울산차세대전지연구개발센터

[울산 차세대 전지 연구개발 센터,
차세대 이차전지 상용화 지원 센터]



[대규모 셀/모듈/팩 실험이 가능한 충방전기]



[이차전지 및 250kW/350kWh급 ESS 실증 인프라]



[건식 후막 전극 제조장비]



[200kWh급 RFB 스택 시험평가 테스트베드 보유]

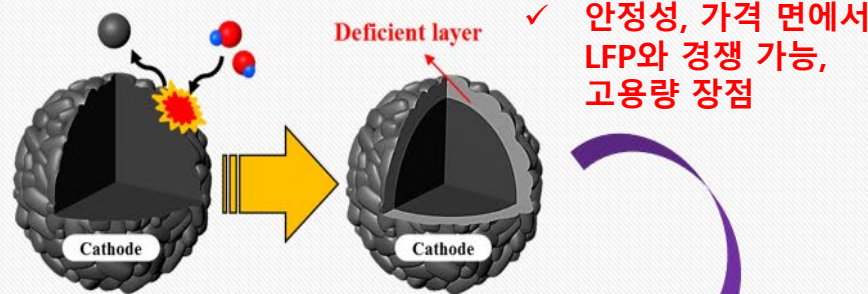
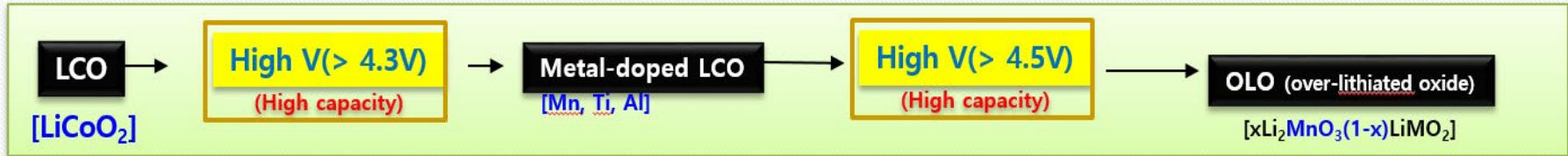
02 기술개발내용 – 차세대 양극 소재 개발

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지

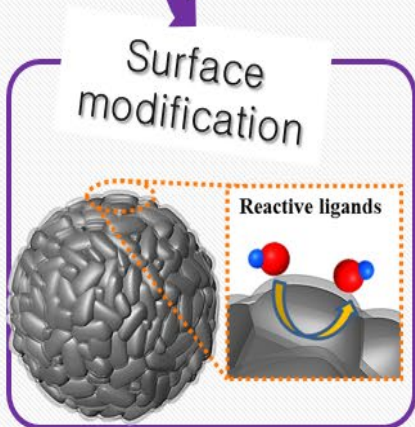


cathodes

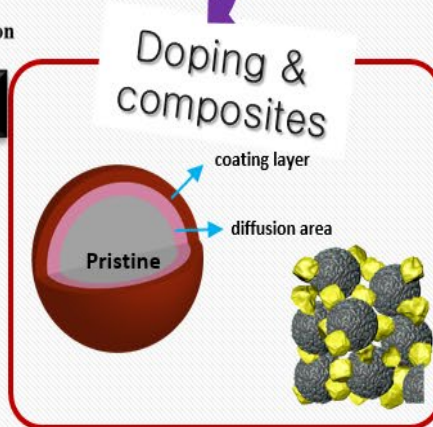
- OLO 양극재란?
니켈과 코발트 함량을 줄이고 리튬과 망간 함량을 극대화한 양극소재



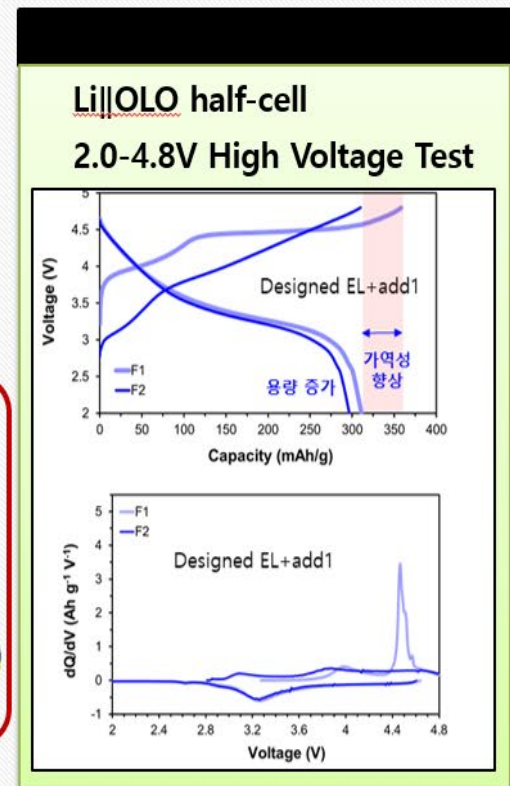
✓ 안정성, 가격 면에서
LFP와 경쟁 가능,
고용량 장점



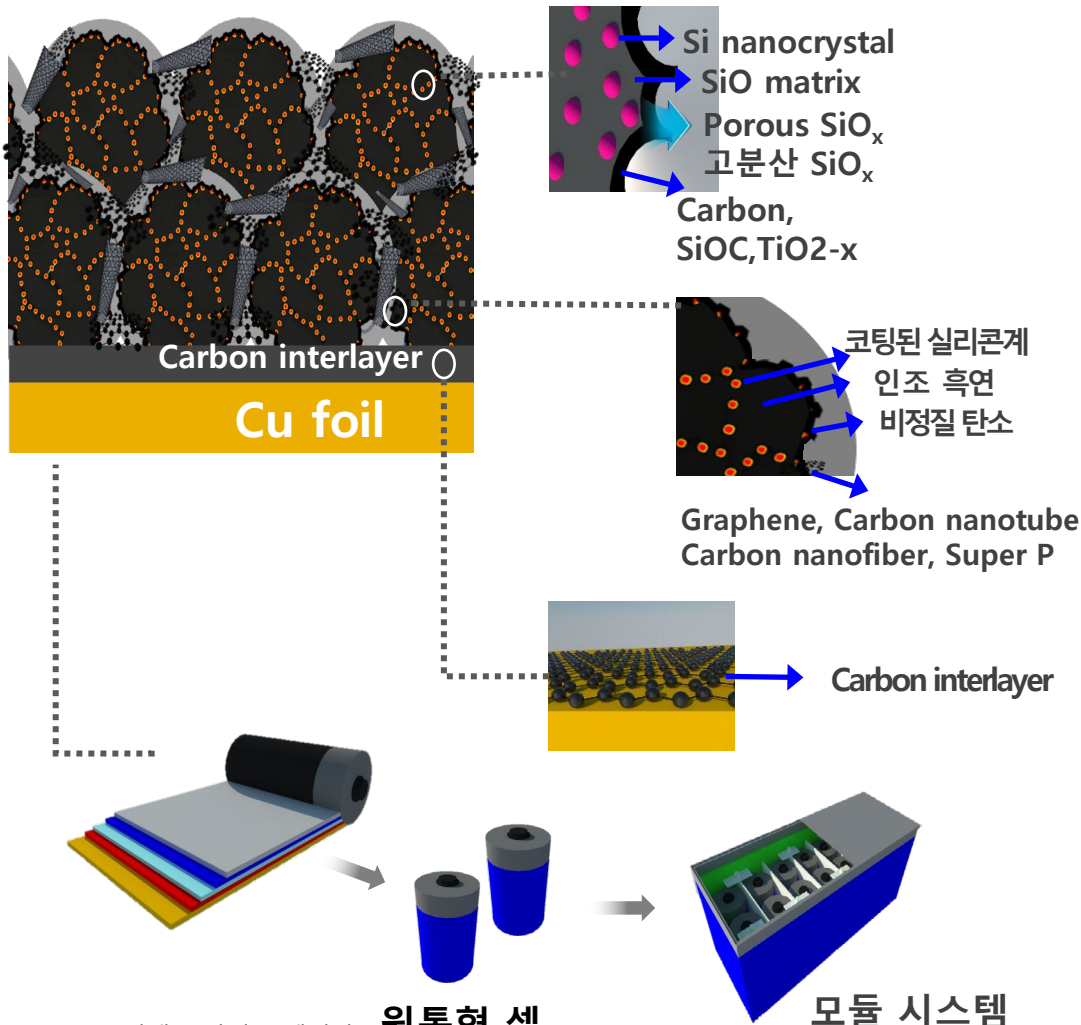
OLO (over-lithiated oxide)



[Coating and Doping Process → 280 mAh/g]



10C급 급속충전 실리콘/탄소 융복합 음극소재 개발



저가 고용량 실리콘계 소재 개발

표면 코팅 기술 개발

코팅된 과립 복합 소재

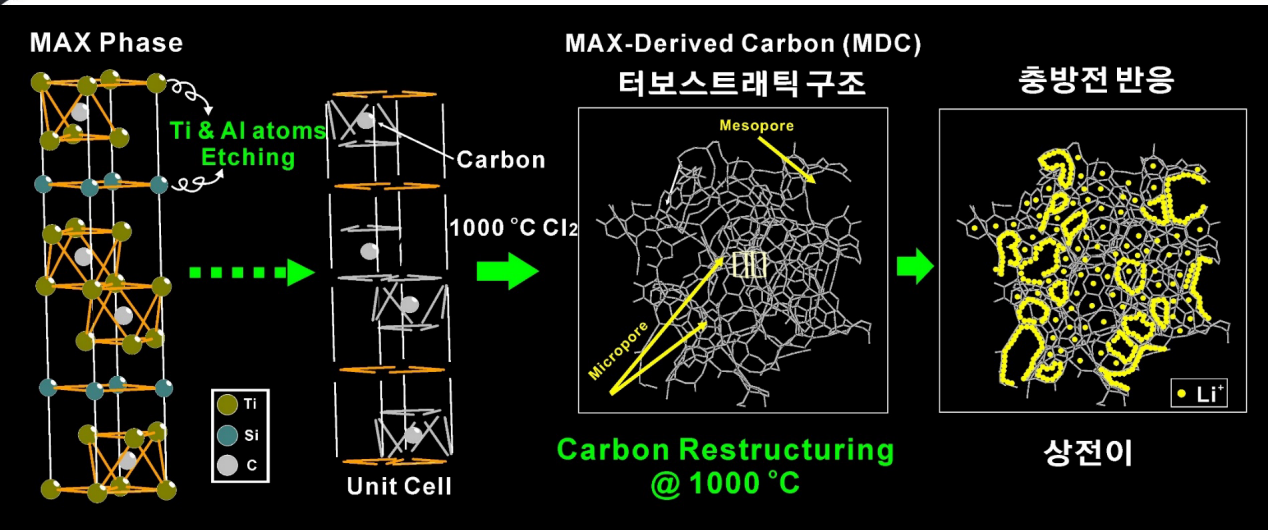
도전성 탄소 복합화 기술

집전체/전극소재 계면제어 기술

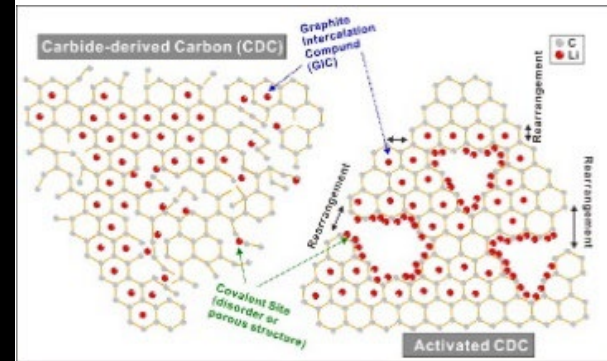
급속충전용 원통형 셀 기술

02 기술개발내용 - 차세대 음극 소재 개발

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지



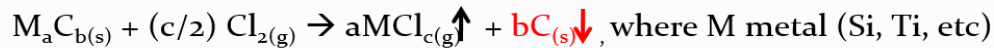
LiB Anode Application : Various Carbons



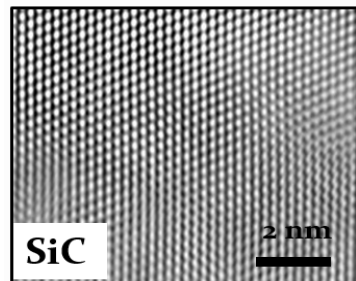
Advanced Anode

MAX phase

CDC Synthesis



Carbide



Etching Agent:

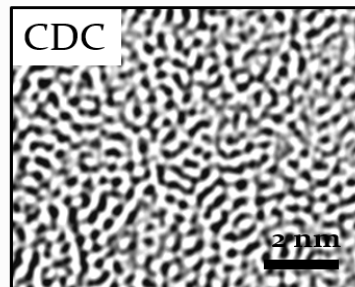


$$V_{SiC} = V_{CDC}$$

Temperature:

200-1200 °C

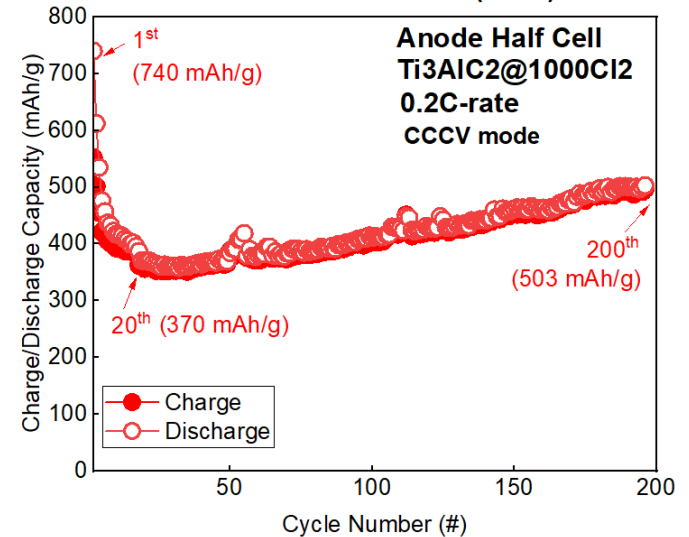
Carbide-derived Carbon



noncrystalline carbon
Porosity > 50%

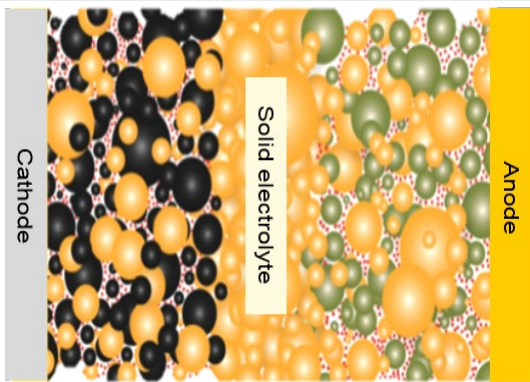
SiC, TiC, B₄C, Mo₂C, SiCN, Ti₂AlC.....
Porosity = 0

MAX-Derived-Carbon (MDC)



02 기술개발내용 – Solid- State Battery

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지

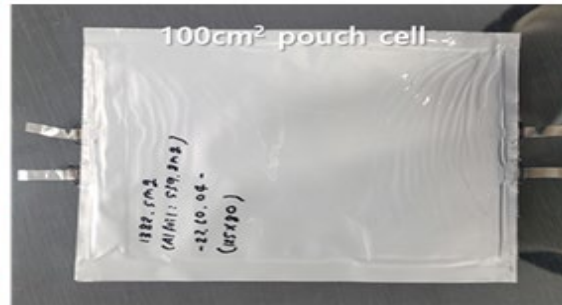
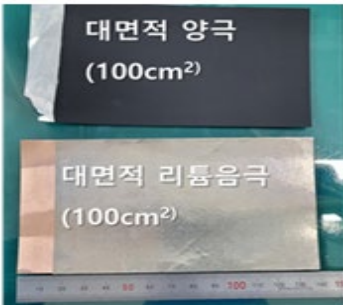
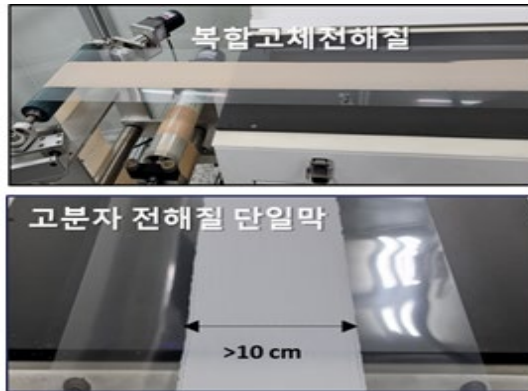
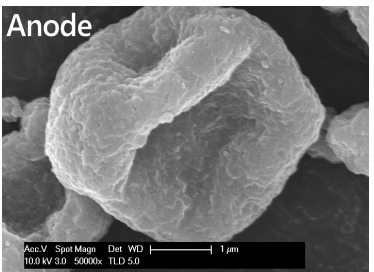
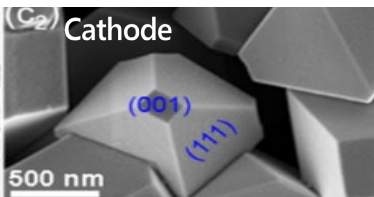
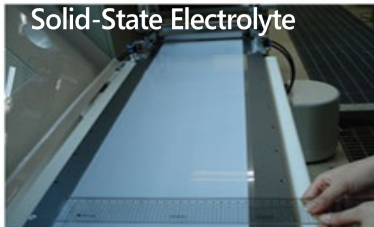


Solid State Battery

- Large-scale Electrode
- Safety
- Simple Process
- Electricity vs. Ion conductivity

고체전해질 소재 / 복합전극 / 셀 혁신기술 개발

- 1 전고체전지용 복합 고체전해질 및 OIC 기술
- 2 전고체전지 복합양극 계면제어 및 복합화 기술
- 3 전고체전지 실리콘-흑연 복합음극 기술
- 4 고안전성 전고체전지 셀 설계 및 제조 기술



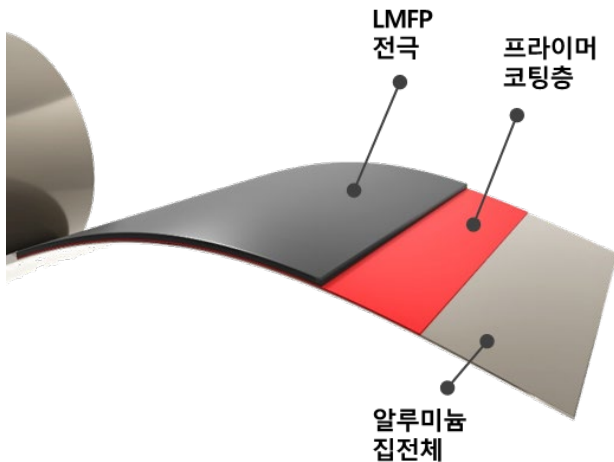
• Solvent-free SSE

• R2R for large-area solid-state electrolyte

고결착력의 표면코팅형 기능성 집전체 제조기술 개발

고결착력 집전체 개발을 위한 알루미늄 표면제어 기술 개발

- ✓ 고강도 알루미늄 소재 물성 제어 기술 개발
- ✓ 알루미늄 집전체 두께 편차 최소화 압연기술 개발
- ✓ 고결착력 확보를 위한 알루미늄 Foil 표면 압연유 최소화 기술 개발
- ✓ 전기화학적 표면처리를 통한 알루미늄 표면 확대 기술 개발



프라이머 코팅액 조성비 및 코팅 두께 최적화 코팅 공정 기술 개발

- ✓ 고농도 프라이머 코팅액 분산 기술 개발
- ✓ 고결착력 바인더 선정 및 조성비 최적화 기술개발
- ✓ 탄소 소재 형상에 따른 최적 입도 제어 기술 개발
- ✓ 코팅 방식 및 구조 설계를 통한 코팅 두께 및 밀도 제어 기술 개발

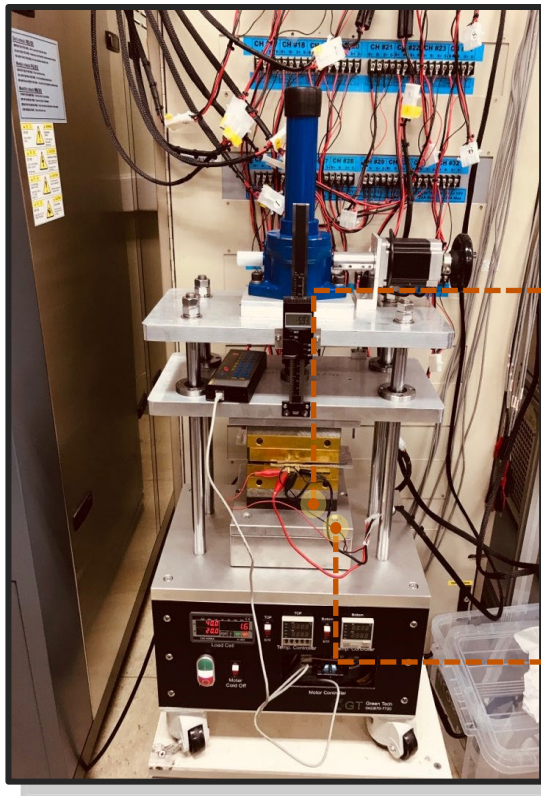
프라이머 코팅층 도입에 따른 양극 합제층 결착력 개선 기술 개발

- ✓ 고밀도/고전도성을 위한 프라이머 코팅층 구조 제어 기술 개발
- ✓ 집전체와 양극 합제층의 접착 계면 형상 제어를 통한 접착력 개선
- ✓ 고주파 등 가열 방식 제어를 통한 양극 합제층 결착력 개선

셀 시험평가 최적 방법 설계

KIER 산화물 복합계 전고체 전지 1 Ah 셀 개발 !!

KIER 제작 압력 변화 셀 측정 장치

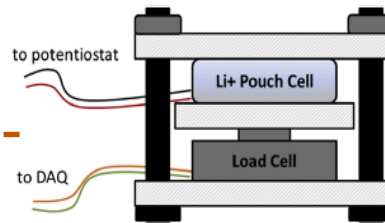


산화물계

황화물계

리튬메탈

압력 조건 변화 및 측정이 가능한 장치



Li//NCM811 대면적 파우치 셀 측정
(외부 압력 영향 시험)

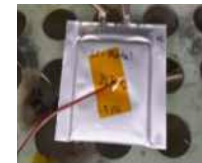


안전성 시험 (Li//NCM811 전지)

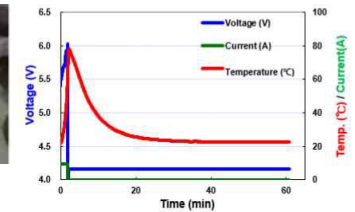
1Ah급 리튬금속 전지 과충전 시험
(KIER & SKI)

상태 100% SOC 6V 충전(6.3C) 1h 유지

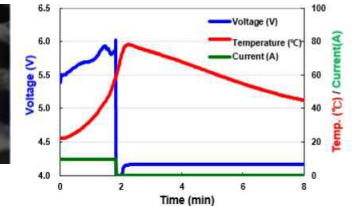
결과 L2 (EUCAR Hazard Level, 전지로써 기능 상실, No leak)



스웰링



L2 Level



차세대 이차전지 제작 셀 시험 최적 환경 조성

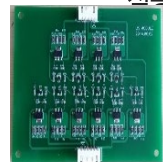
리튬-황전지

**KIER 리튬황전지
모듈(2.4 Ah 셀) 개발!!**

KIER 리튬황전지 2.4 Ah 셀 제조/조립



향 60% 양극 전극약 9-10 EA
전층



PCB for LiS Module
Balance voltage 2.5+ 0.05

KIER 리튬황 전지 모듈 제작 20S1P, (2Ah, 45V) 성공

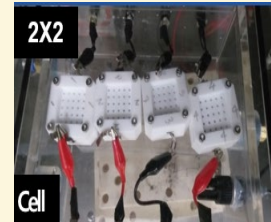
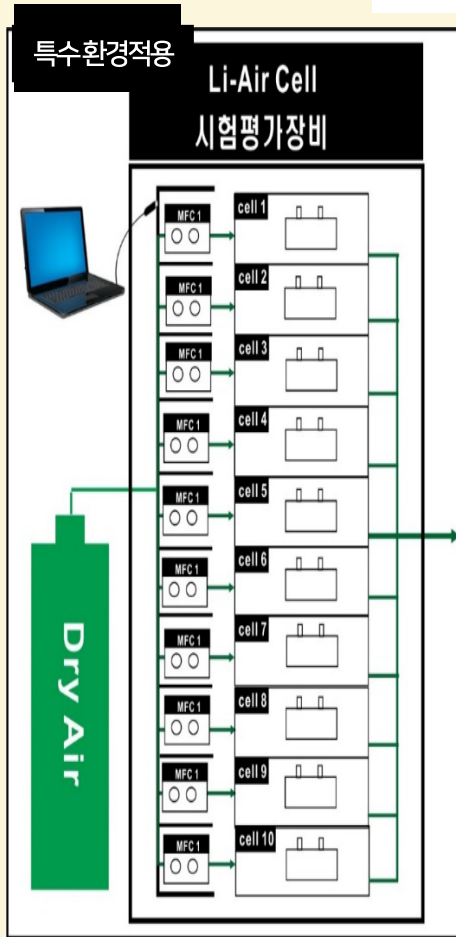


KIER 모듈 100 Wh 제작 성공

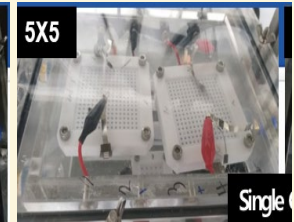
K-Battery 미래 유망기술 세미나

리튬-에어전지

KIER 리튬-에어전지 대용량 셀 (1 Ah 셀) 개발 !!



Single 셀 사이즈 2 cm X 2 cm



Single 셀 사이즈 5 cm X 5 cm

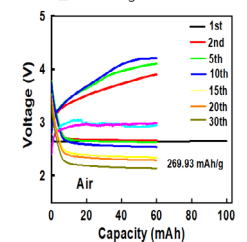
KIER 0.5 Ah 급 리튬-에어 전지 구동 성공



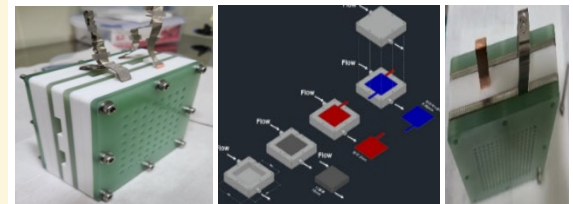
8x8 Bi Li-Air Cell 병렬 연결

0.1 Ah 급

전류밀도 20 mA/g-1.0.06 Ah cut-off

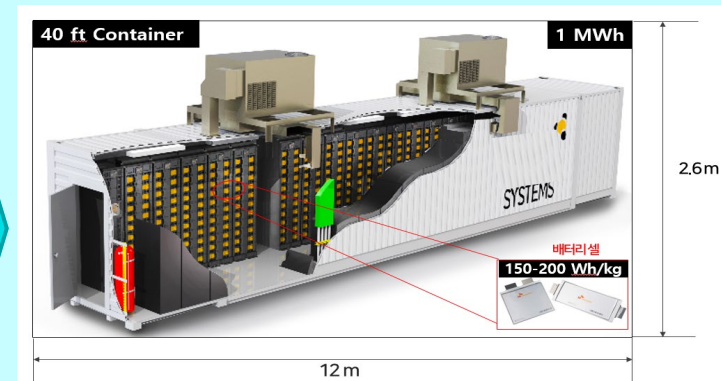
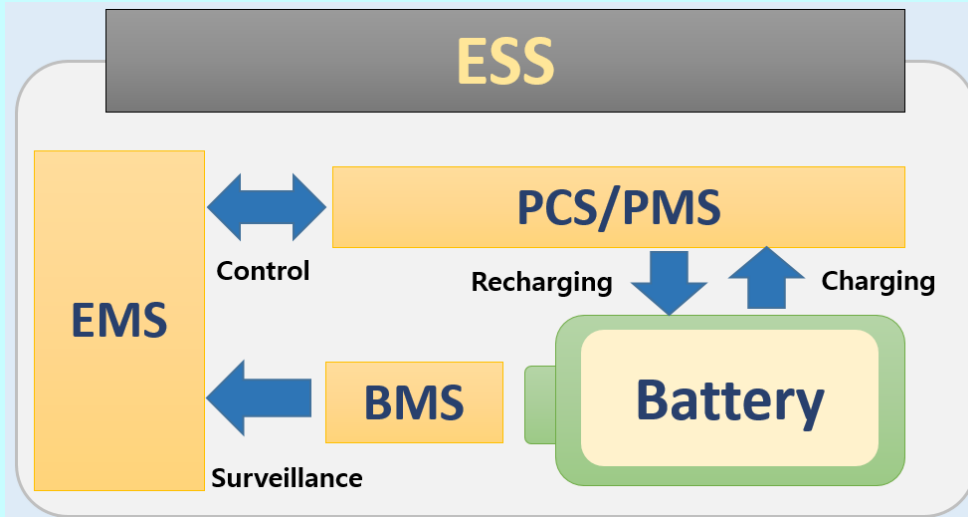
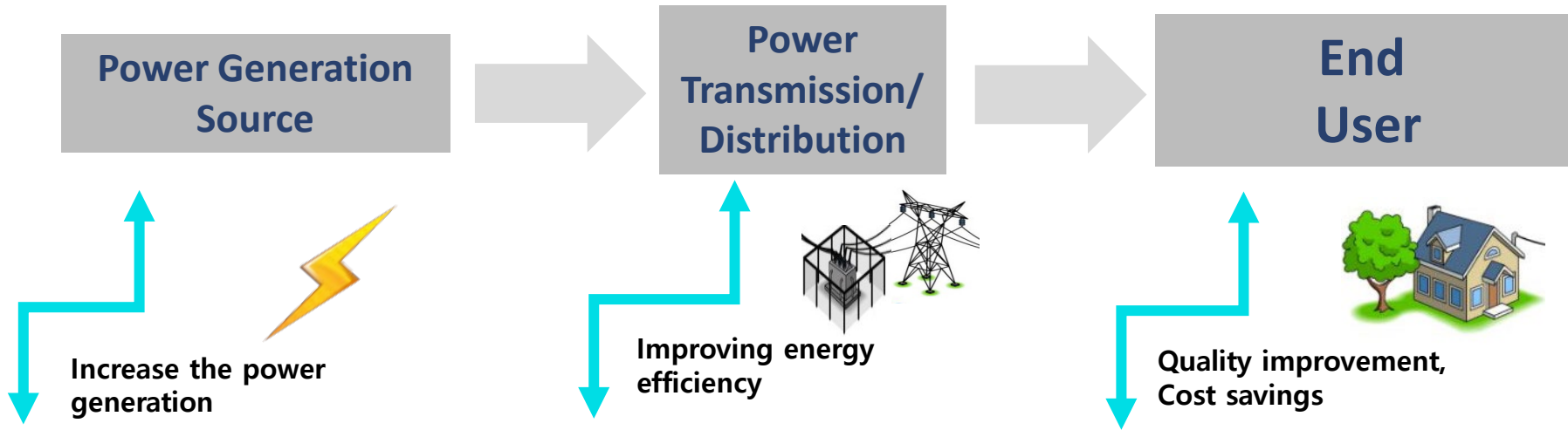


KIER 1 Ah 급 리튬-에어 전지 구동 성공



비셀 사이즈 8 cm X 8 cm

에너지저장시스템+ PCS + EMS + 제어컨트롤 시스템



- Function of ESS
- Using the time difference of energy
 - Improving Power quality

배터리 성능평가를 위한 시험 프로토콜 확립 및 시험평가

❖ 배터리시스템 성능 검증을 위한 평가 시스템 구축

상용배터리 (셀)	항목	규격	형태	상용배터리 (모듈)	항목	규격	형태		
NCM 계 (파우치형)	정격 전압	3.65V		NCM 계 (파우치형)	정격 전압	76.65V		NCM 계	
	정격 용량	53Ah			정격 용량	53Ah			
	정격 전류	0.5C			정격 전류	0.5C			
LFP 계 (각형)	정격 전압	3.2 V		LFP 계 (각형)	정격 전압	51.2V			
	정격 용량	100Ah			정격 용량	100 Ah			
	정격 전류	0.5C			정격 전류	0.5C			

• 시험환경

✓ 25 °C 온도 유지, 온도센서 배터리 표면 부착

• 용량 측정

✓ 용량 측정구간 SOC 100% (4.15 V ~ 2.5 V), 충방전 CCCV

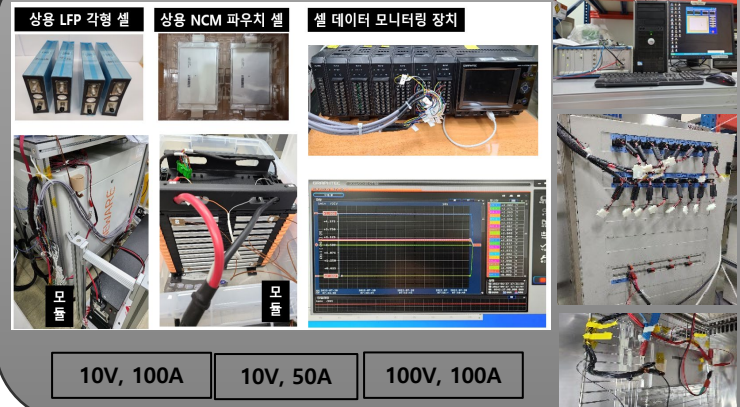
• 출력 및 저항 산출

✓ C-rate 별 충방전 CCCV ✓ 임피던스 측정

• Cycle 시험

✓ SOC 80%-10% 구간 (capacity cut 으로 변경, 38.5Ah) 100 cycle
✓ 가속 수명 테스트

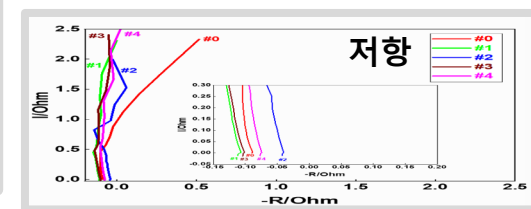
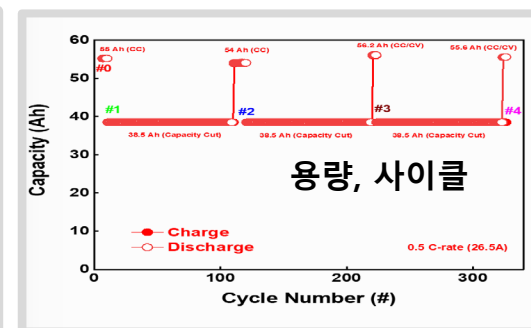
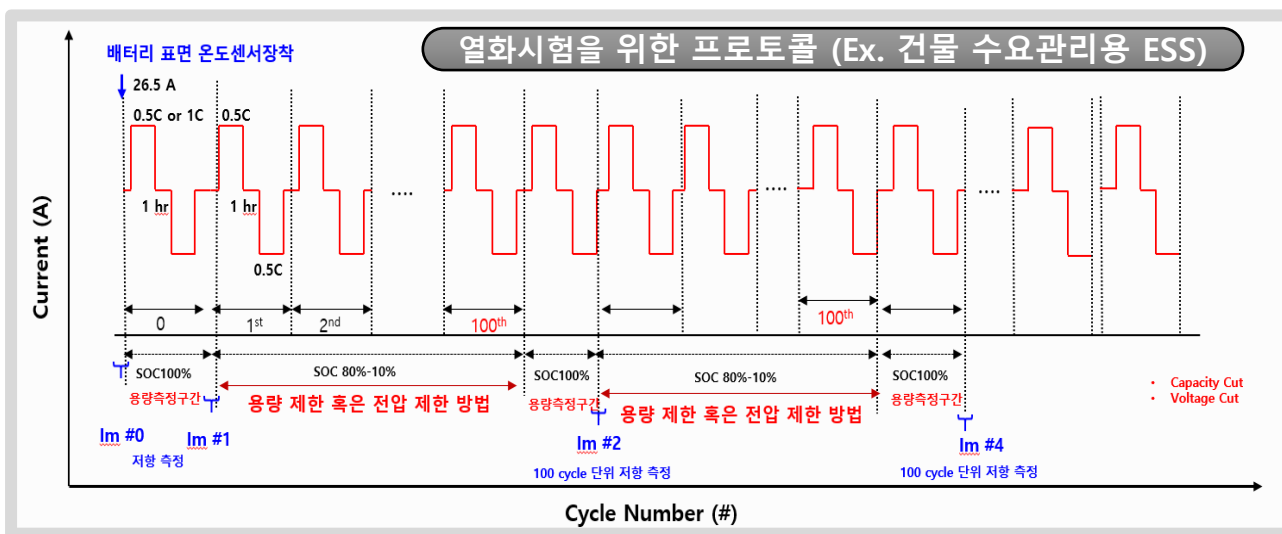
• 시험장비 (충방전기, 저항 측정기)



❖배터리 모듈 비교시험 용량 측정, 출력 및 저항, Cycle 특성

배터리 노화 시험

- ❖ 배터리 셀/모듈 단위 전기적 내부 특성 (열화 시험) 결과 확보, 내부 파라미터 추출
- ❖ 배터리 사용 용도별 (EV 혹은 ESS) 맞춤형 시험 Profile 설계, 잔존 용량 예측 알고리즘 적용 Data 수집



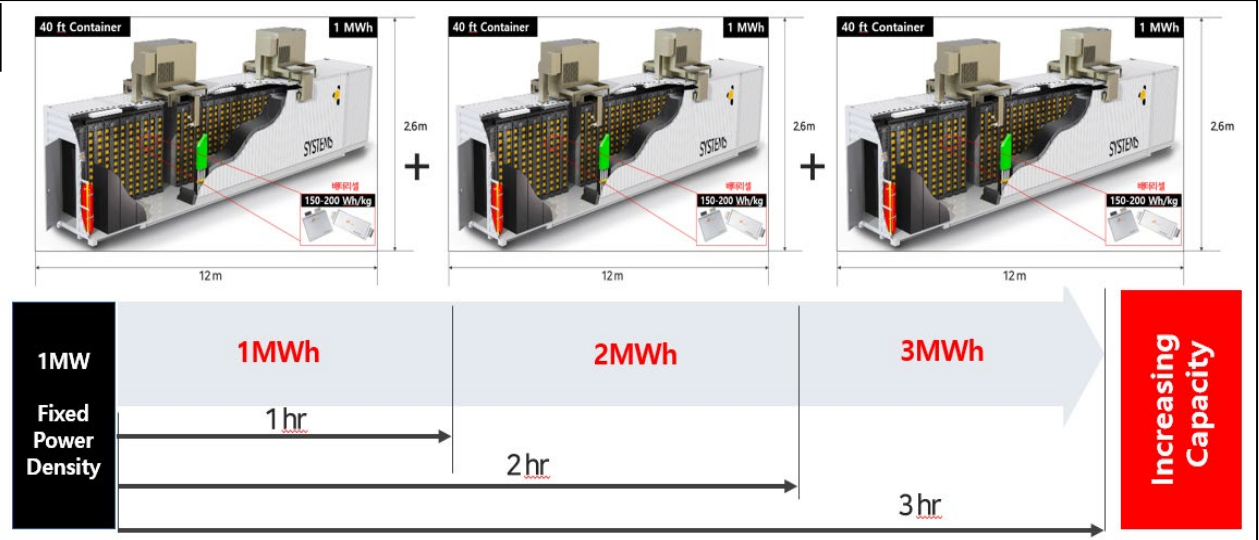
- 상용 배터리 셀/모듈 유형별 확보 : NCM, LFP 계열, 각형, 파우치형 등
- 열화 시험 프로토콜: 배터리 열화 경향을 위한 Cycle 시험, 용도에 맞는 cycle 시험 유형 선택
→ (Capacity limit 혹은 Voltage limit)
- 저항 시험 결과 : 일정 cycle 주기로 저항 측정
→ (Ah 급 이차전지, Frequency Range 10μHz to 3MHz, Voltage ±14 V (±120 V boosted))
- 순환설계 적용 배터리시스템 성능검증 및 상태 추정을 위한 평가시스템 구축

02 기술개발내용 – 대용량 장주기 ESS를 위한 배터리

자원고갈 걱정 없는
비리틈계 이차전지

리튬이온전지 ESS

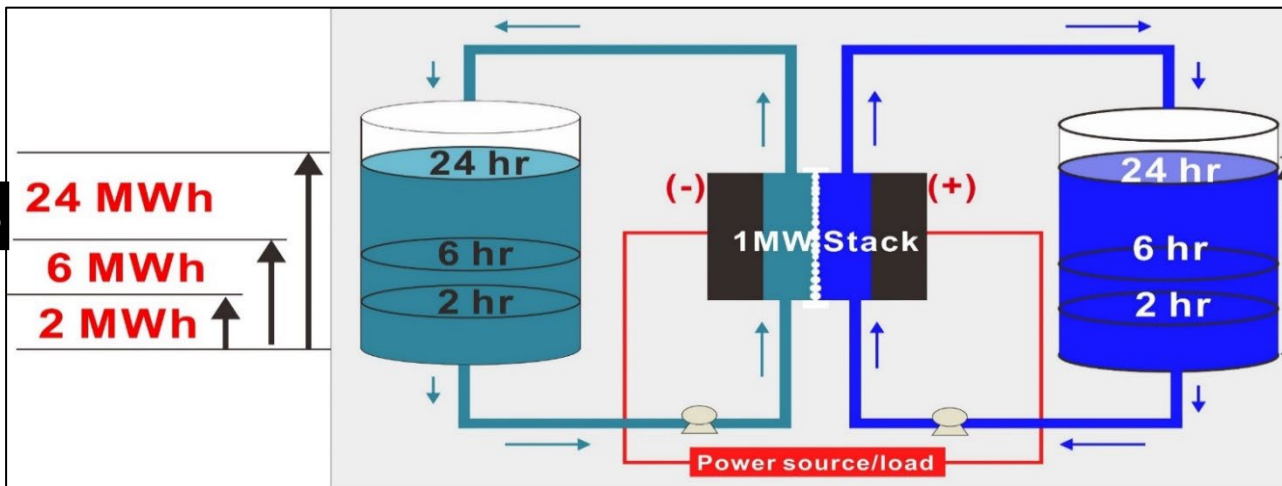
- 상용화
- 시장 점유



레독스 흐름전지 ESS

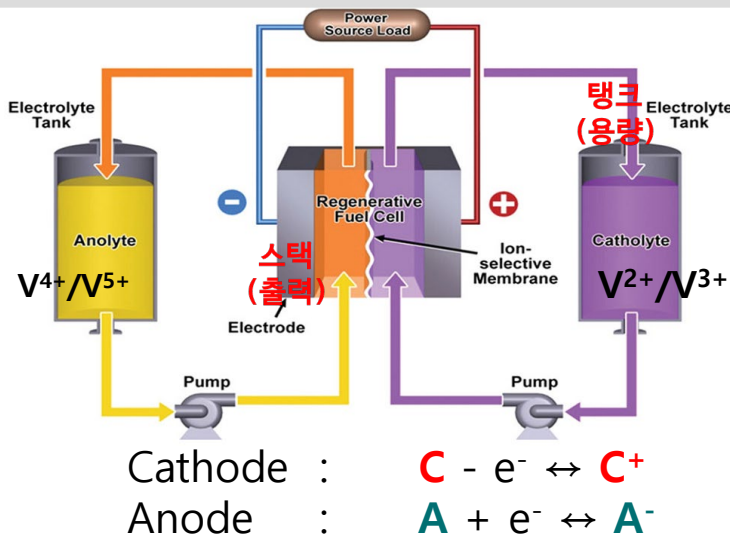
- 상용화 초기
- 시장 & 실증

중점

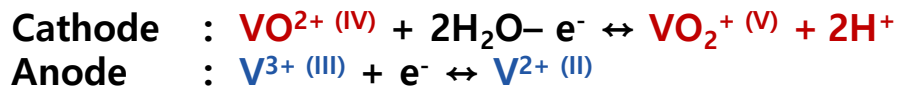


기존 이차전지가 산화/환원 반응을 통해 전기에너지를 전극의 활물질에 저장하는 것과 달리 전극에서 발생하는 산화/환원 (redox) 반응을 통해 전해질에 전기에너지를 장기간 저장할 수 있는 대용량 전력저장 이차전지

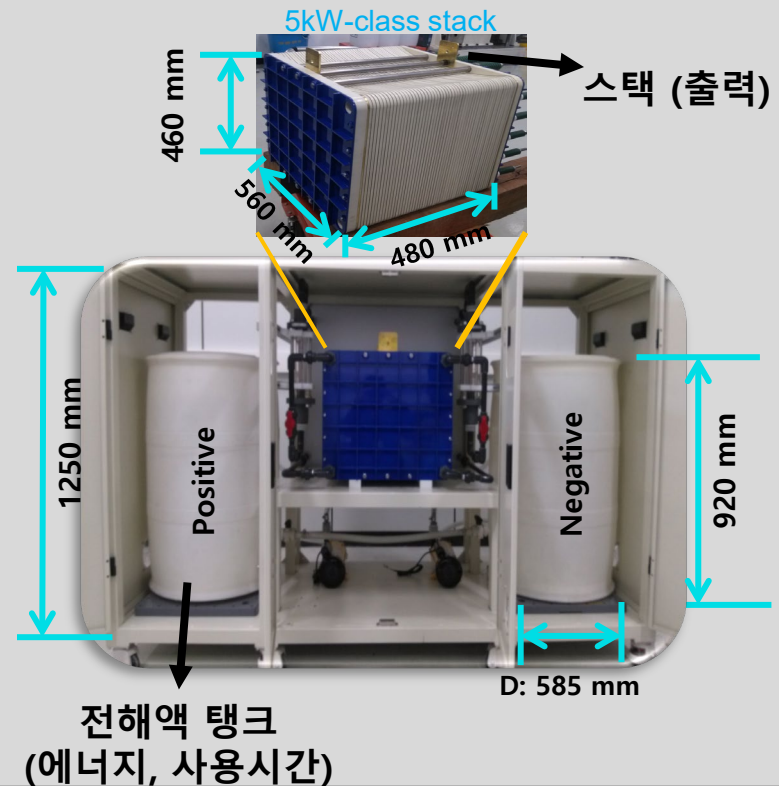
레독스 흐름전지 원리



Vanadium redox flow battery



KIER 5kW-class VRB system





에너지저장 연구단 (Energy Storage System Laboratory)

❖ 10년 이상 RFB 및 에너지저장 관련 기술 및 전문인력 다수 보유 (박사: 9 명, 석사: 2 명)

고출력 밀도 스택 제조기술

KIER RFB 기술 개발 로드맵(Stack & System)



2009

국내최초 5kW급 VRFB 스택
시스템 자체 제작 및 실증 성공

- 2007년 RFB 연구시작
- 2008년 100 W급 스택 제작성공
- 2009년 5kW급 스택 제작 진행
- 2010년 5kW급 실증 성공

2010년 세계 최고 수준의 효율 달성
Energy efficiency : 75.8%
RFB 스택 설계 및 제조기술 보유



2013

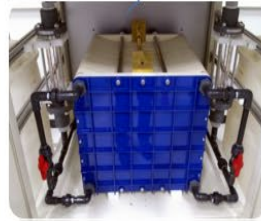
세계 최초 이중전극 기반
고전압 RFB 스택 기술 개발

- 2011년 이중전극 스택 구조 국내
특허 출원 (등록:2013)
- 2020년 US특허 등록
- 2013년 500 W급 RFB 스택 제작 및
실증 성공
- 2015년 5 KW급 스택 기술 이전
기술료 5억원

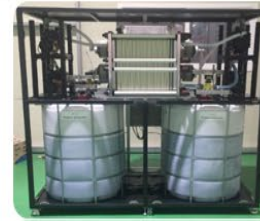
2014년 이중전극 기반 고전압 VRFB 스택 고효
율 달성
Energy efficiency : 86% @ 500 W



2014



2015

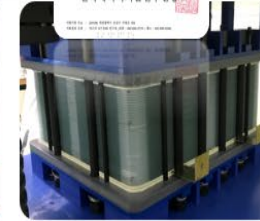


2016

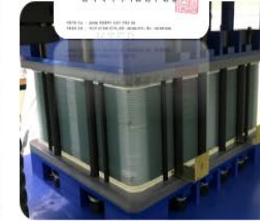
신규 박판 적층형 FF 제조기술 개발

- 2018년 FF 제조공정 기술 개발착수
- CFD 전산해석 기술 적용
- 2019년 FF 제조공정 기술 개발
- 2019년 FF 제조공정 특허 출원
- 2020년 FF 제조공정 적용 1.5kW RFB
스택 제작 및 실증 성공

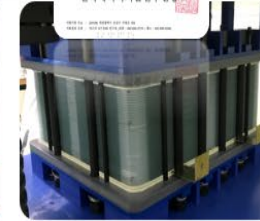
FF 제조기술 개발로 저가화 달성
비용: 기존 대비 ¼ 제조비용 감소
제조 소요시간: 기존 4시간→5분



2017



2018



2020~현재

RFB 스택 및 모듈 평가용 BOP
및 테스트 베드 구축

- 2015년 테스트 베드 개발 착수
- 2016년 5kWh급 테스트 베드 개발
- 2018년 kW BOP 최적화 진행
- 2019년 수십 kW급 테스트 베드 개발완료

BOP 설계 및 제조 기술보유
RFB-ESS 시스템 설계 제조 기술 보유
대용량 RFB 스택 공인 시험 기술 보유
(~30 kW급 스택 시험용 Test bed 구축)



개발 테스트 베드 적용 RFB
스택 시험평가 수행
시험건수: VRFB 스택 5건

02 기술개발내용 – KIER 레독스흐름전지 스택 개발 History

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지

※ 기술이전 (16)

5kW stack development



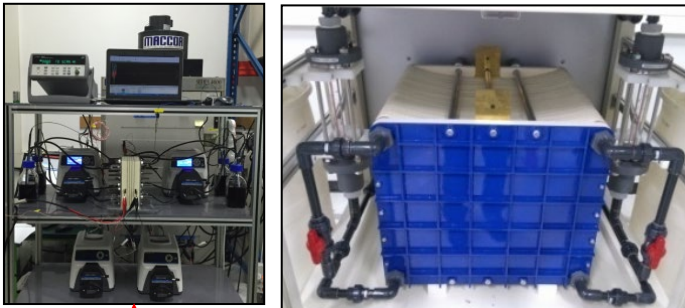
Tandem electrode RFB design & development
** Technology transfer (5kW, 2h RFB System)



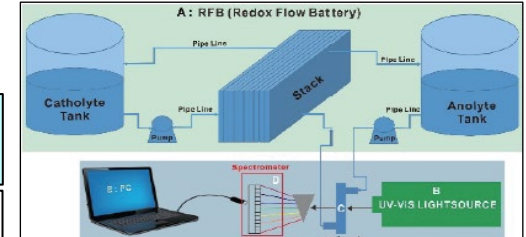
VRFB System
(10kW, 4h RFB System)



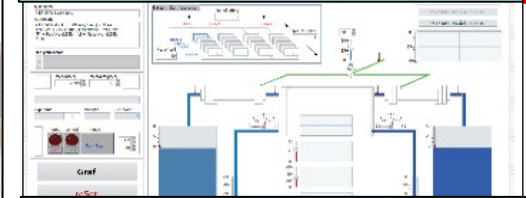
High power density
Stack design and development



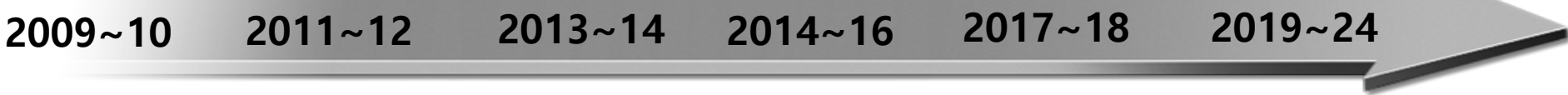
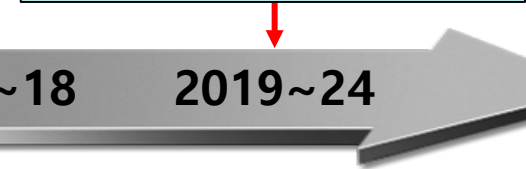
Test bed design for Large Scale
VRFB system (5kW, 6h)



SOC Measurement



System Operation



2009~10

2011~12

2013~14

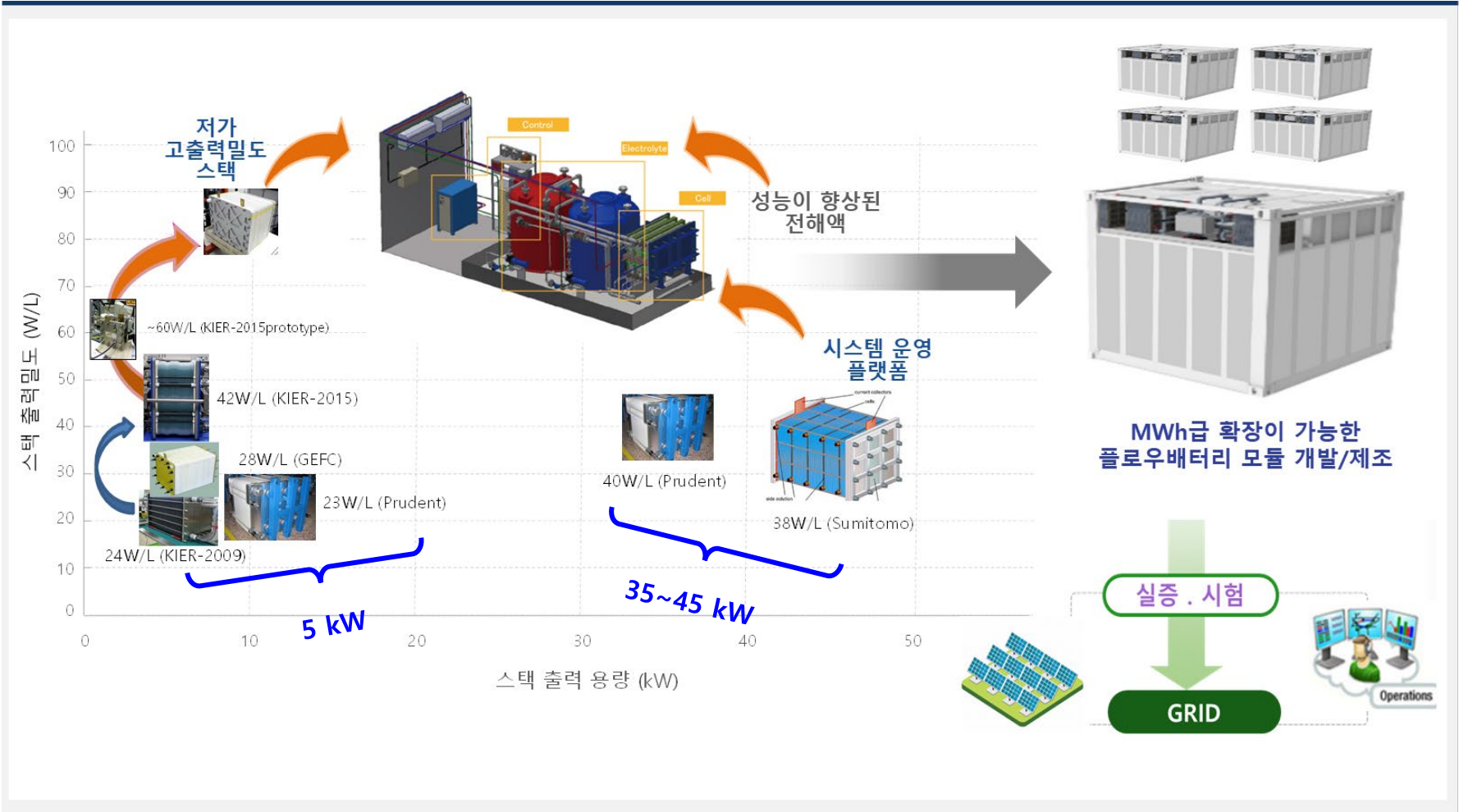
2014~16

2017~18

2019~24

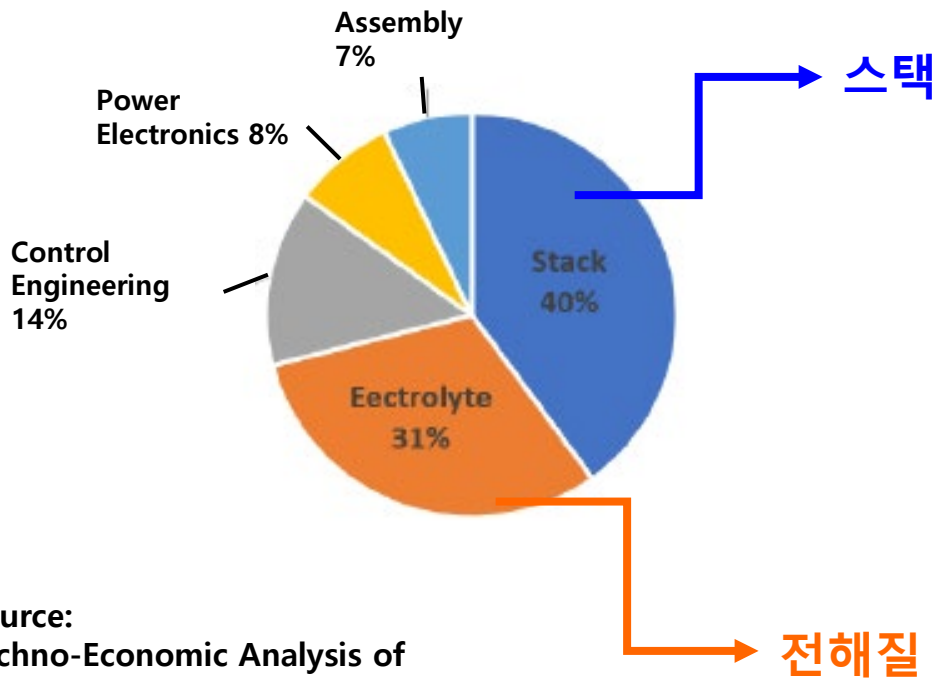
02 기술개발내용 - 바나듐 RFB 스택 용량 현황 및 전망

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지





RFB 가격 절감 목표



Source:
Techno-Economic Analysis of
Redox Flow Battery Systems
J. Noack et al.

RFB 비용 증가 문제 → 해결 방안

출력밀도 향상 (부피 감소 기술 개발)

: '16 기술이전

대량생산 기술 (반자동 공정 개선)

: '24 KIER 스케일업 연구 과제



RFB 실증

: '24 KIER 기본사업 연구 과제

에너지밀도 향상

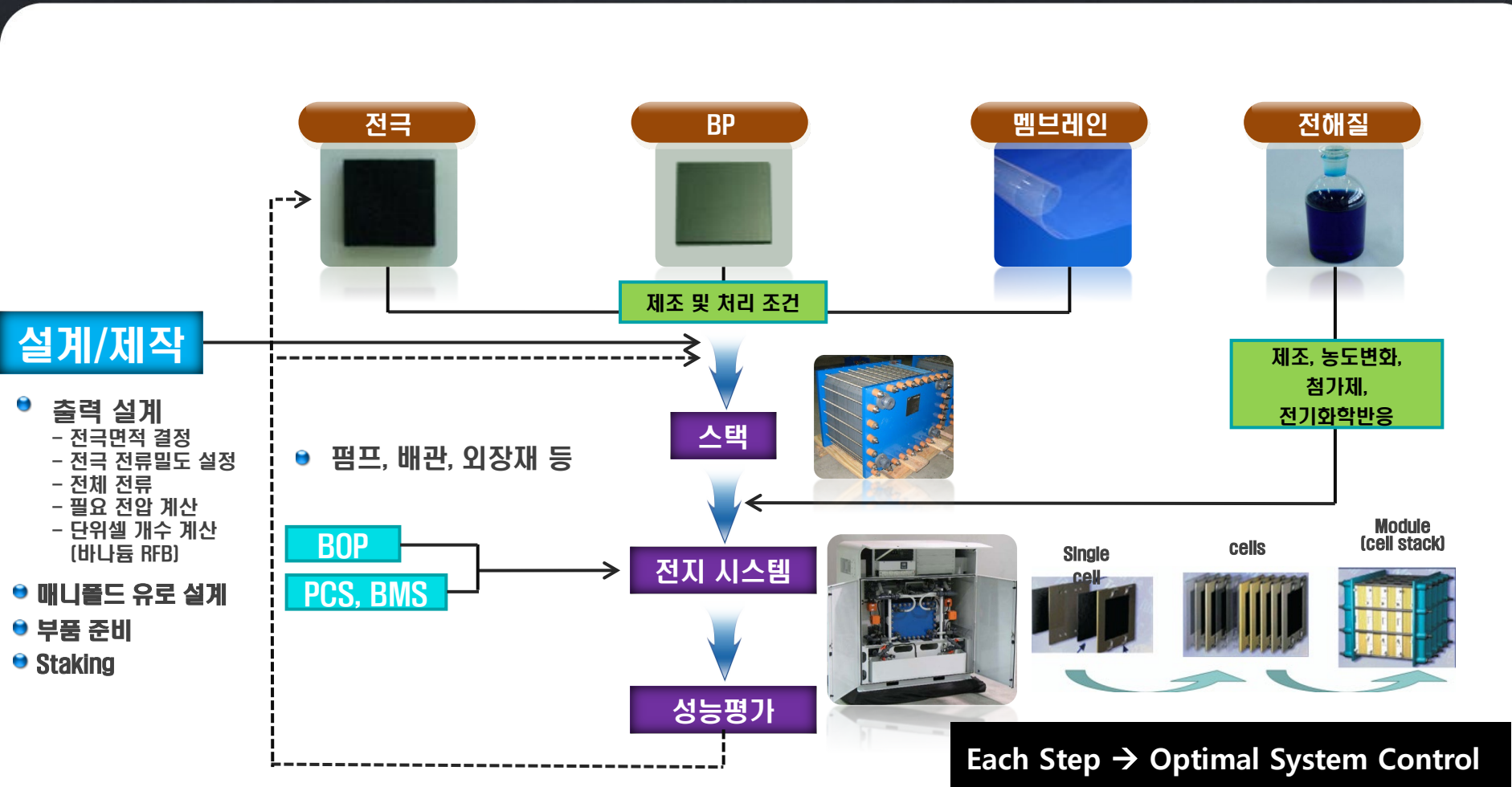
: 수계 유기 활물질 연구 ('23 기본사업)

저렴한 활물질 대체

: 수계 무기 활물질 연구 ('24 글로벌TOP)

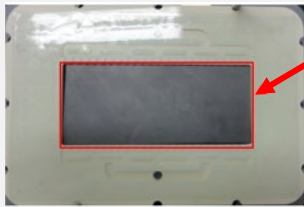
02 기술개발내용 – RFB 핵심 구성 소재 및 시스템

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지

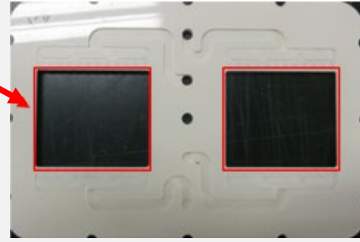
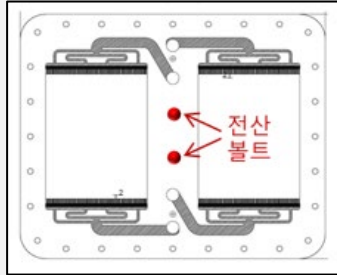


02 기술개발내용 - 전극 시스템 기반 VRFB ('15~'20)

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지

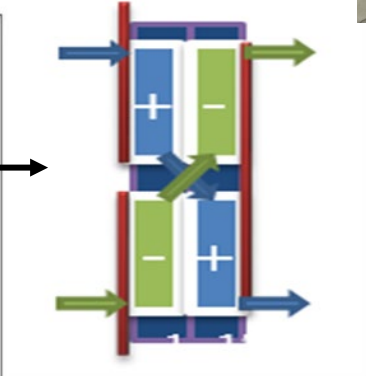
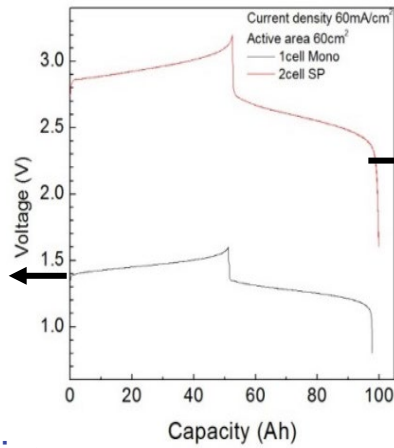
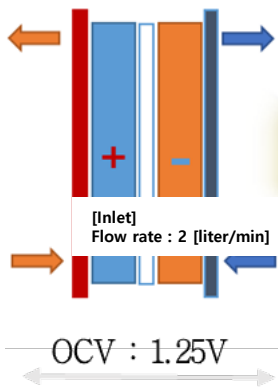
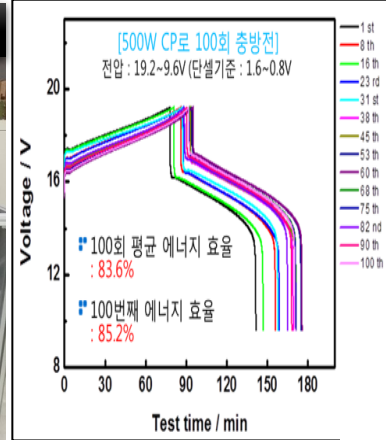


소재면적 1/2 축소
(전압 2배, 고전압형 스택)



• Double voltage type manifold structure

전산 볼트

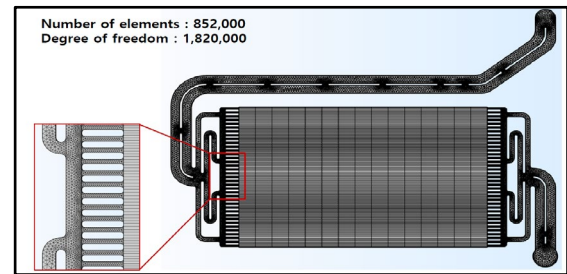
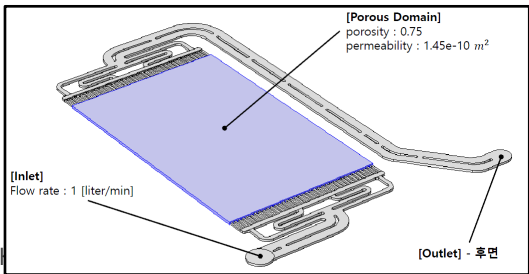


고전압형 스택

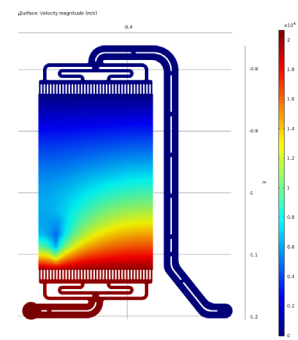
수용가 전압 커버 가능 (220V) 전류감소로 발열량 1/2 저감

→ 스택 및 시스템 효율 향상

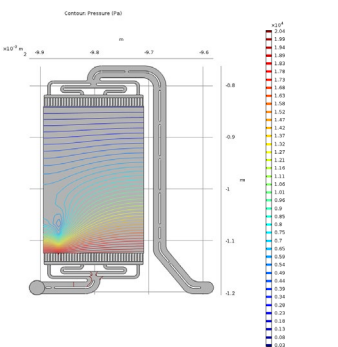
Flow Frame Design



Surface : Velocity (m/s)



Contour Pressure : Pa



전력 안정성 대응 재생에너지 시스템과 연계된 VRFB-ESS 시스템 통합 구축



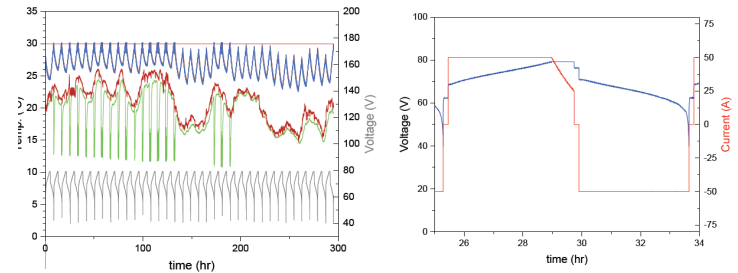
KIER-RFB 시스템 안정화 운전 모니터링 시스템 구축

➔ KIER- RFB 스택 적용 시스템 안정화 운전 (20kW, 6시간)

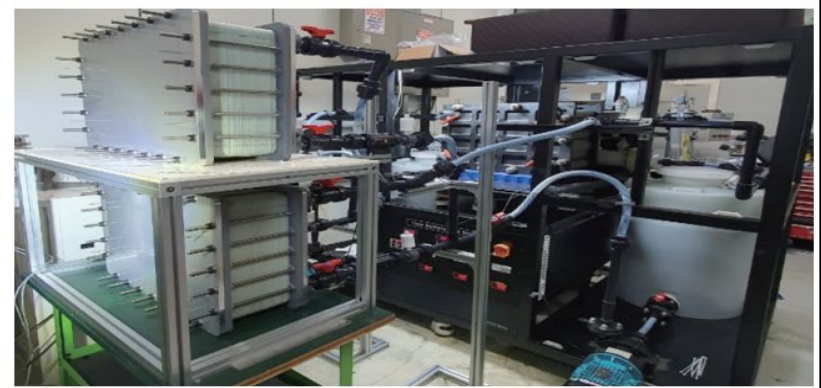
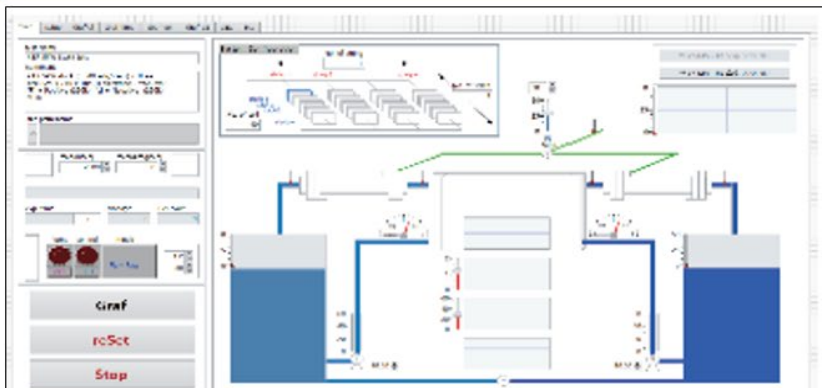
- ▶ VRFB 시스템 안정화 운전을 위한 시스템 운전 모니터링 설치
- ▶ 시스템 운전 데이터 확보 및 제어 모니터링
- ▶ 운전 자동화 확립

장주기 운전을 위한 KIER-VRFB 시스템 실증 사이트 확보 및 트랙레코드

시스템 운전 데이터



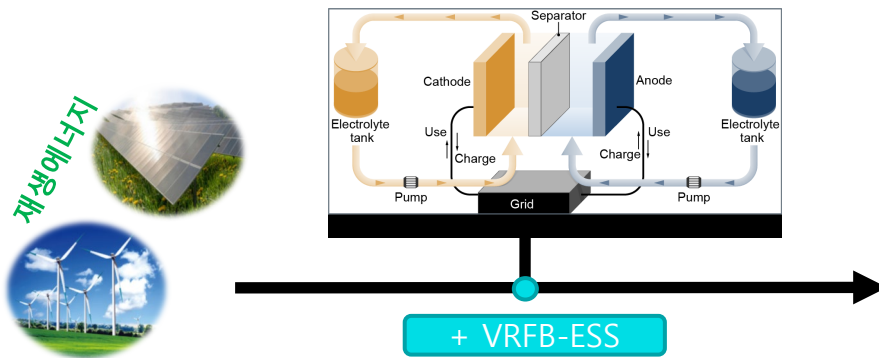
VRFB 시스템 안정화 운전 모니터링/최적화



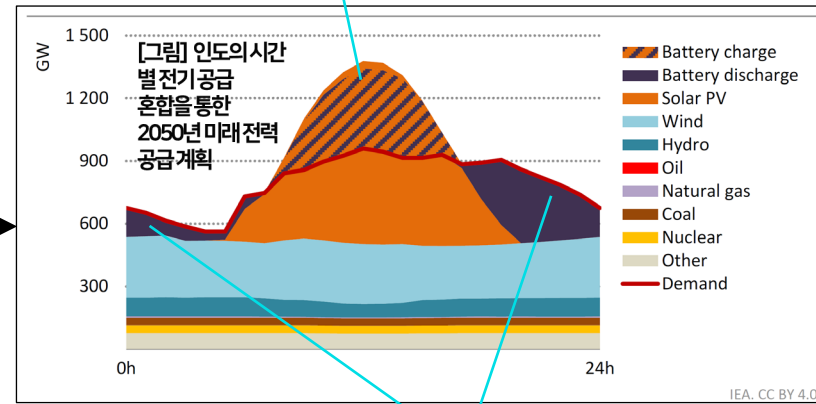
02 기술개발내용 – BESS 통합 에너지 시스템

자원고갈 걱정 없는
비리튬계 이차전지

☑ 전력 안정성 대응 재생에너지 시스템과 연계된 장주기 VRFB-ESS 시스템 통합 구축

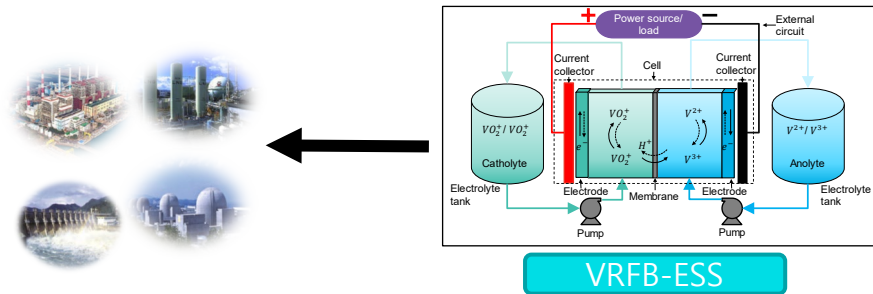


태양광) 낮 잉여 전력 : 배터리 충전 전기저장, 장주기 6~10 시간



태양광) 저녁 최대부하시: 배터리 사용 (방전), 장주기 6~10 시간

☑ 비상발전백업



안전성 확보, 비상시 빠른 대응

Na Fe Zn 비리튬계 기반 이차전지 상용화

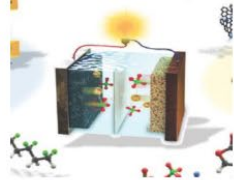
1단계 (1,2차년도)

고성능화 핵심원천기개발

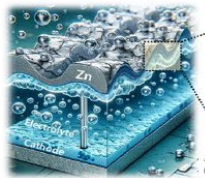
비리튬계 핵심 소재 및 안정성 기술

Na 이온전지

Na-ion Battery

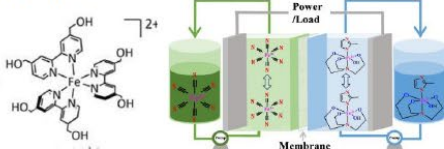


Zn 이온전지



Fe 계 흐름 전지

Fe 리간드

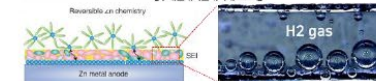


2단계 (3,4,5차년도)

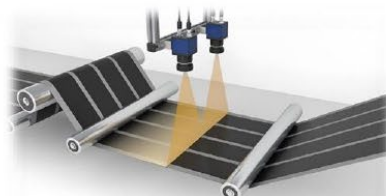
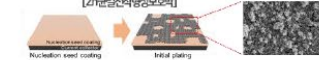
대면적 전극 제조 및 셀 장수명화

음극

• 음극수소반응억제(고분자보호층활용)
[수계환경내분자보호필요성]



• Zn 덴드라이트 생성 억제 및 콜롬 효율 개선(금속 seed 활용)
[Zn 균일착탈성보조성]



대면적 전극 극판 제조 공정 기술

3단계 (6,7,8,9,10차년도)

단/중/장주기 이차전지 ESS 실증



1

저가격 소재 이용
안전성 강화

2

대용량 ESS
구현 용이

3

장주기 ESS
구현 가능

4

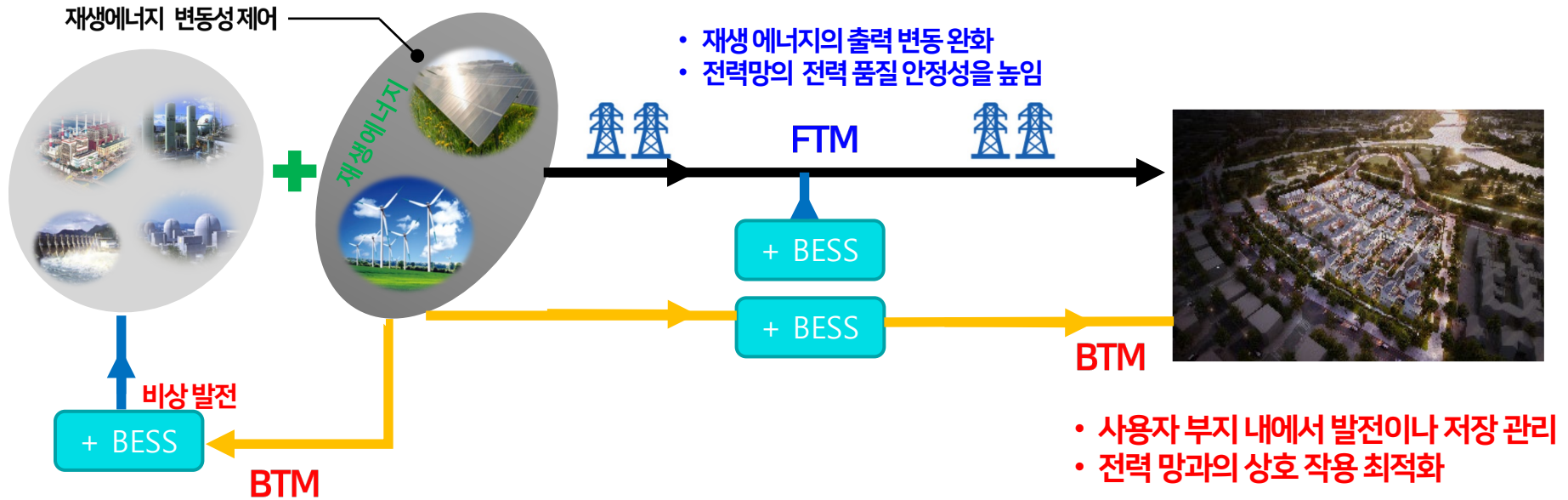
우수한 LCOE
(levelized cost of energy)

소재자립

초저가·장수명 에너지저장치의 대용량 저장 시스템의 개발
안정적 에너지 공급·국가에너지안보 기여

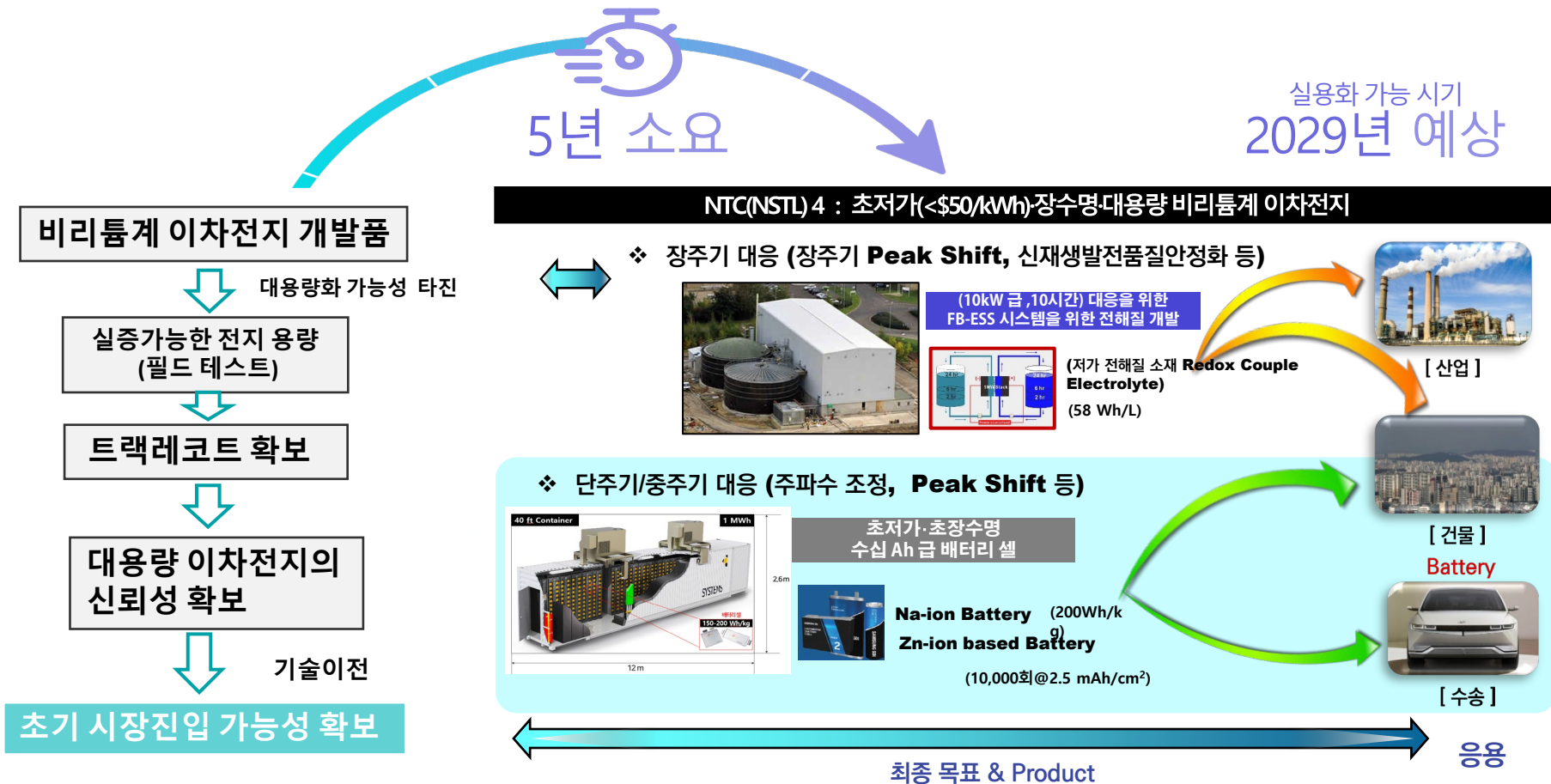
재생에너지 변동성 제어 BESS 통합 에너지 시스템

☑ 재생에너지 변동성 제어를 위한 안전한 BESS 구축



- 전기의 비상 공급원 역할 - 에너지 효율성 및 비용 절감
- 비상상황 시 전력공급 보장

비리튬계 이차전지 대용량 이차전지의 신뢰성 확보를 통한 초기 시장진입 가능성 확보



단주기·장주기 비리튬계 전지 ESS 실증 연계 협력

감사합니다.

K-BATTERY



BATTERY