

# 재생에너지와 ESS

## 기술, 시장 현황, R&D 전략

'23. 7. 5.

안종보 ESS PD



# 1. ESS 현황 : 시장, 기술, 정책, R&D

**KETEP**



## ✓ (ESS 용도) 발전단~수용가까지 전영역

- (용도) VRE 연계, 수요관리, Resilience, 보조서비스 등

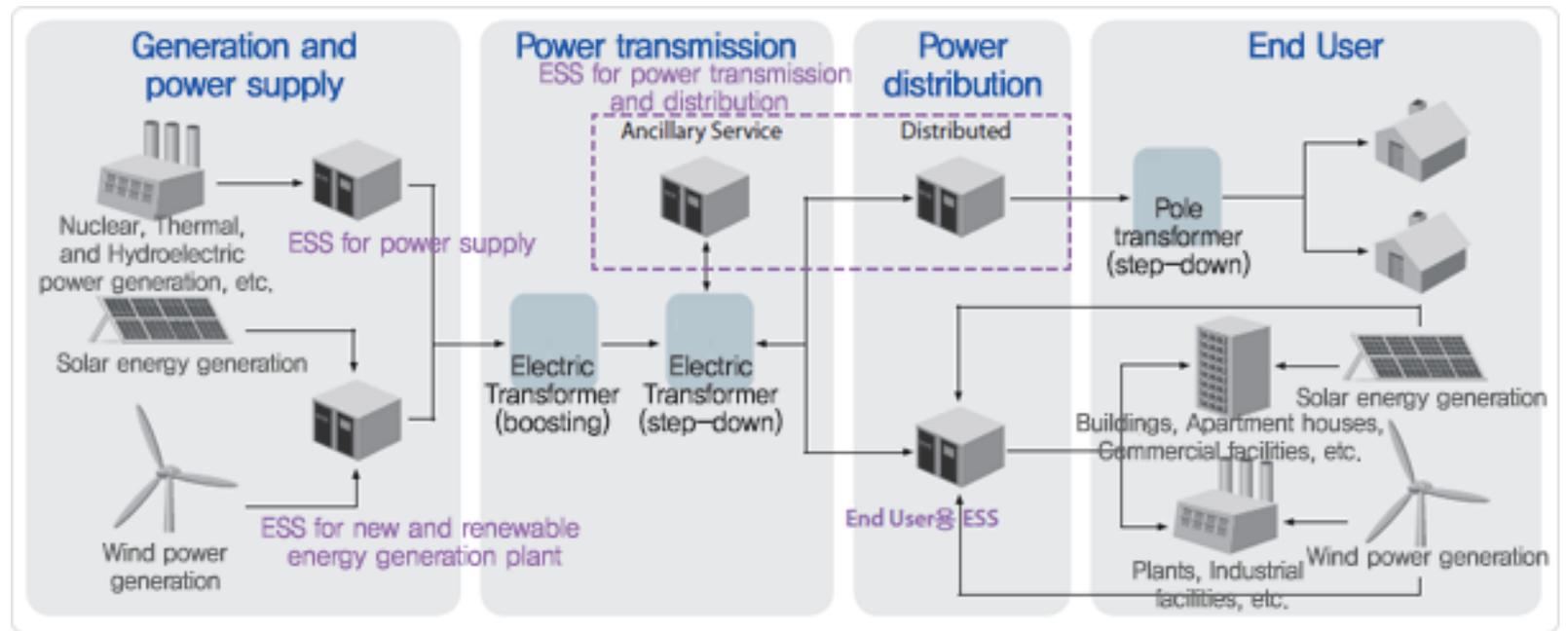
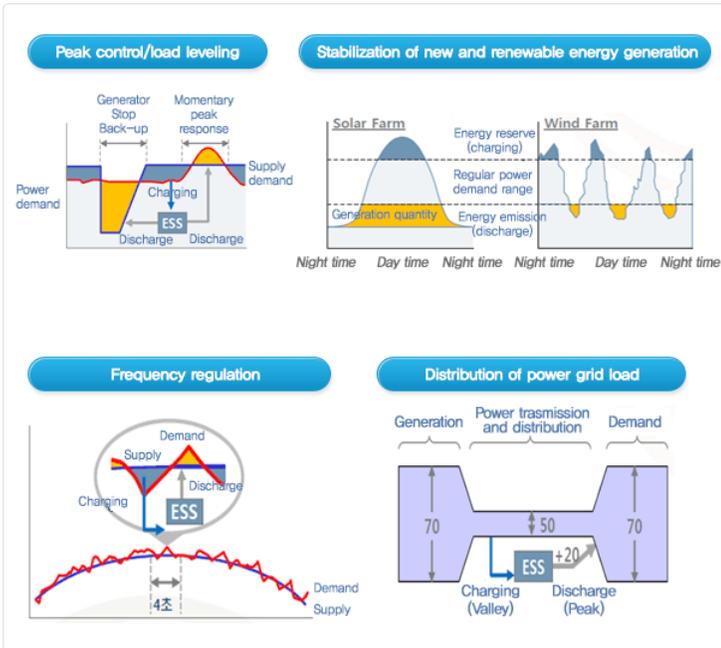
\* 적용 : 발전단 ~ 수요단까지 전영역에 적용

- (배경) 탄소중립 구현 위한 VRE 도입에 따른 보완 기능이 핵심

\* (직접) 계통 수용성(Hosting Capacity), 출력평활화, 계통 혼잡, 전력조류

\* (간접) 보조서비스(FR), 화력발전 대체, Duck Curve 대응(Ramp rate)

Utility ESS 용도
Shift PV & Wind power (curtailment)
Smooth VRE intermittency
Alternatives to coal
Defer T/D upgrade
Market : FR, AS



## ✓ (시장, 용도) "Global Energy Storage Outlook 2021", BloombergNEF

- (용도) 에너지 이동용 > 상업용 > 가정용

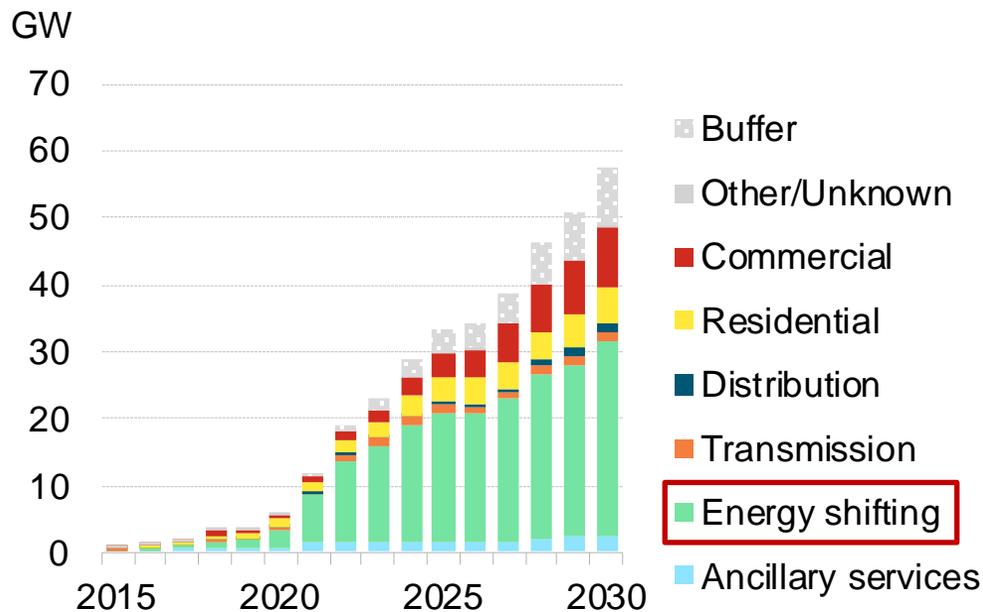
\* VRE와 연계한 에너지 이동용이 60% 이상 차지

- (시장) 미국, 중국이 주도

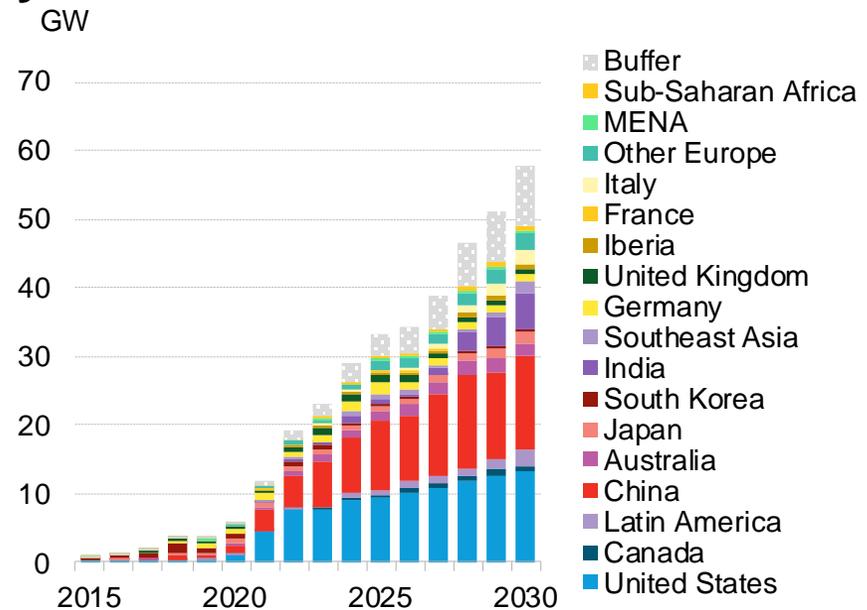
\* (미국, 중국) VRE 도입 확대, 화력발전 축소에 따른 Utility급 ESS → 한국도 해당!!

\* (독일, 일본, 호주) 가정용 ESS 보급 확대

### Global gross capacity additions



▲ By Application



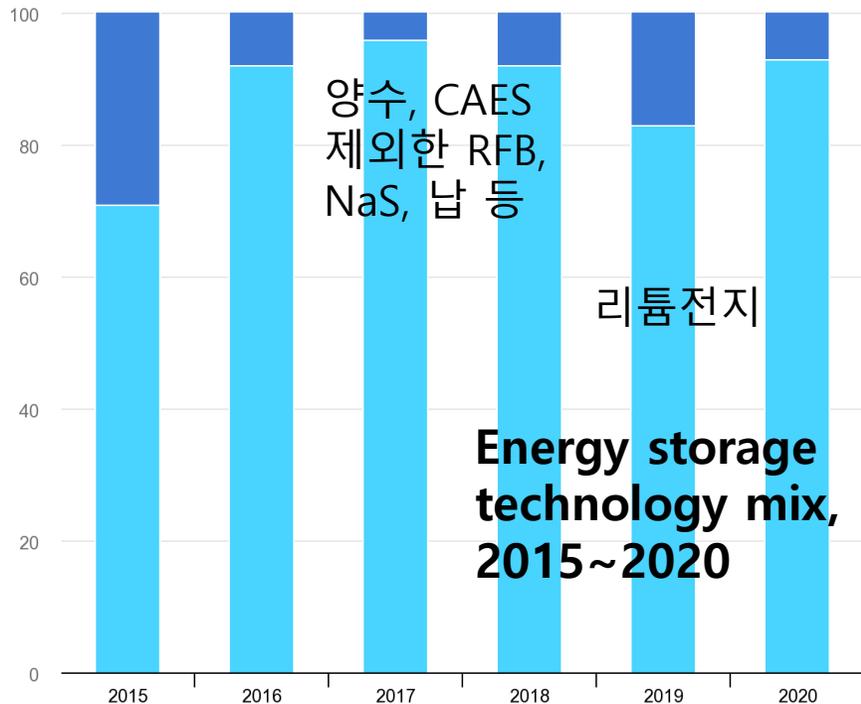
▲ By Market

## ✓ (현황) Energy Storage Tech Mix

- 최근 설치 용량의 90% 이상이 리튬전지(양수 제외) → 가격, 성능, 용도적합성 등
- \* '30년 기준 ESS는 5% 정도의 용도

## ✓ (한계) 리튬전지, 양수 중심 → 입지, 공급망

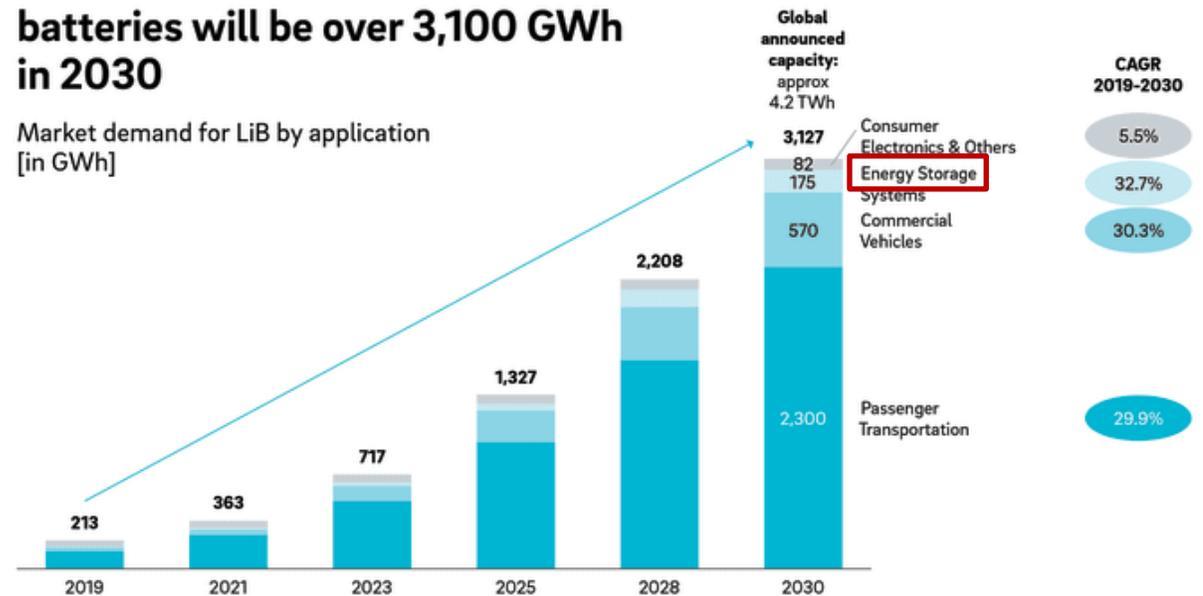
- 리튬전지 : 장주기(LDES)로의 한계(비용, 수명 등), 소재/전지 공급망 및 가격 불안, 화재안전성
- 양수 : 입지제약(VRE와 이격, 환경영향)



Sources) BloombergNEF ('21)

## Global demand for lithium-ion batteries will be over 3,100 GWh in 2030

Market demand for LiB by application [in GWh]



Source: Avicenne, Fraunhofer, IHS Markit, Interviews with market participants, Roland Berger

CAGR 2019-2030



✓ (시장) 화재사고, 정책 일몰로 침체

- '21년 기준 글로벌 누적설치량 3위
- 화재사고, 정책 일몰(충전요금할인, 추가 REC)로 시장 침체
- 공공 ESS, 공공기관 설치의무화로 시장 명맥 유지
  - \* 공공ESS : 6개 변전소 970MW/882MWh, 8,000억원 규모
  - \* 설치의무화, 융복합지원사업, 장기 중앙계약시장(제주 시범사업) 등

✓ (정책) 탄소중립, 전원믹스 → 10차 전력수급기본계획('23), 10차 장기송변전설비 계획('23~)

- (장주기 ESS) 원전 및 재생전원 증가 → 유연성 자원 확보 필요
  - \* '36년까지 20.85GW/125GWh 장주기 ESS 필요 → 백업설비 투자 최대 45조 필요
  - \* 리튬전지, 양수 중심

< 연도별 재생에너지 백업설비 구성(누적) >

연도	초단주기	단주기	장주기	
	동기조상기 (GVar)	기타 저장장치 (GW/GWh)	기타 저장장치 (GW/GWh)	양수 (GW)
'23~'26	-	0.05 / 0.03	0.16 / 0.83	-
'27~'30	36.0	1.16 / 0.73	3.1 / 18.47	-
'31~'36	36.0	3.66 / 2.29	20.85 / 124.97	1.75

## ✓ (기술, R&D) 글로벌 탑티어 전지제조사, NMC 중심

- (상용화) 전기차 중심, NMC 전지 제조

\* 인산철(LFP) 생산중(LG엔솔, 중국공장), 전고체전지 개발 중

\* 바나듐 흐름전지(VRFB) 초기상용화 수준

- (R&D) LiB ESS 응용 기술 중심 → 비리튬 전지, 장주기 ESS, S/W 경쟁력 강화 등 필요

구성요소/기술		적용 분야					
		수용가		배 전	송 전	발 전	
		주거용	상업/산업용			기존 발전	VPP/Off-grid
Source	소재, 전지 패키징, 제어, 보호	- 상용화(Home ESS, PV+ESS)	- 상용화	- PV farm - Utility ESS	비리튬 기반 전지 LIB 화재안전성	LFP 전지 장주기/대용량 ESS	- 발전단 연계 ESS - (스마트그리드, 수요관리 사업)
PCS	전력변환	- 소용량 하이브리드 인버터	- 중용량, 스마트 인버터	- 중용량, 스마트 인버터	- 대용량, 스마트 인버터(LVRT, FRT 등 Grid code 대응)	- 대용량, 스마트 인버터	- 상용화
PMS	Local 계측 BMS 연동	- 상용화(AMI)	- 상용화(AMI)	- DAS 연동	- Farm Controller (단지 운영시스템)	- 상용화	- 상용화
EMS	운영 S/W O&M S/W	- 상용화(HEMS)	- 상용화 (BEMS)	- SCADA 연동	- 전력거래소 연동 - RMS 연동	- Plant EMS 연동	- Platform - Big Data, AI
효용, 서비스		- E 자급 및 비용 절감 - Resilience		도입 용량 확대 설비 투자지원	주파수 조정(현재) 보조서비스(미래)	효율 향상 예비력 향상 Ramp Rate	- 에너지 거래 - O&M 서비스 - 보조서비스 - 수요반응

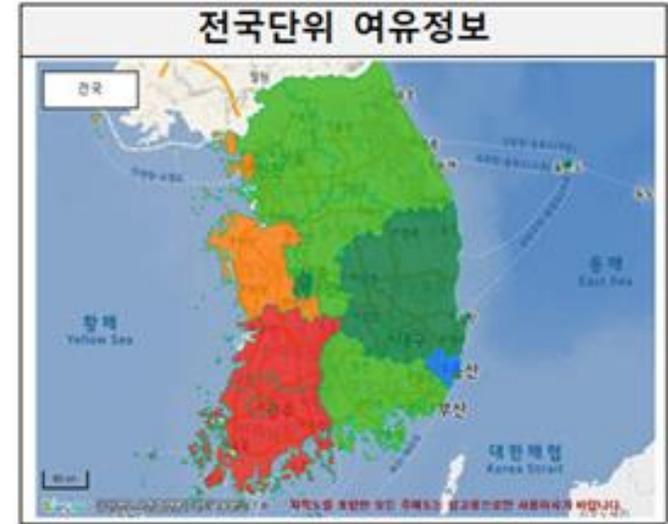
## 2. VRE 보급과 이슈

**KETEP**



## ✓ 국내 VRE 현황

- (설비율) 전체 발전설비 용량 대비 VRE 용량
  - \* 29.2GW/133.3GW('22년), 21.9% → 108.3GW/231.7GW('36년), 46.7%
- (Energy Share/발전량) 연간 에너지 기여율(이용율 반영)
  - \* 7.5%/21년 → 30.6%/30년
  - \* 바이오, 수력, 연료전지 등 비경직성 전원 포함 → VRE 기준 4%~
- (IEA 기준 VRE 도입 단계) 전국적 1~2단계, 지역적 2~3단계
  - \* VRE 40%가 호남 편중



IEA VRE 보급 단계*			
Phase 1	3% 이하	영향 없음	
Phase 2	3~15%	시스템 운영자가 인지	한국
Phase 3	10~25%	유연성 필요	미국, 이태리, 영국, 독일, 스페인 등
Phase 4	25~50%	단기간 100% 발전, 안정도 이슈	미국 캘리포니아**, 아일랜드, 덴마크 등
Phase 5	50%~	잉여전력 저장	

\* 연간 에너지 기준, \*\* 1~2시간 동안 100% 전력수급('22.5)

## ✓ (단기 현안) 출력제한(Curtailment) : 제주 사례

- (현황) VRE 공급 비중 50% 이상시 출력제한 발생
  - \* 부하('21) : 최소 446MW, 최대 1,009MW, 평균 646MW
- (원인) HVDC, 화력발전 최소 부하 → VRE(PV, WT) 출력제한
  - \* HVDC : #1, #2 역송전 가능, 장시간 소요(수 시간), #3 미건설(전압형 방식, 빠른 역송 전환)
- (결과) 민원, 보급 제약 → 안정적 전력망 운영 불가
  - \* +DR, P2G 등 시범사업 : 완전한 해결 불가 → 대용량/장주기 ESS 필요
  - \* 해상풍력 등 건설계획에 따라 확실한 대책 필요 → 전국적 확대 예상(전남, '21.3. 출력제한 시작)

### [ 제주도 전력공급 현황 ]

- ST, GT, ICE 포함 990MW 공급 능력
- HVDC : #1 300MW, #2 400MW),  
#3 200MW(예정)
- \* 정격 50% 350MW 운전(30% 담당)
- VRE : 743MW(PV 448MW, WT 295MW)



그림 3 | 재생에너지 출력제어 발생 현상 (예시)

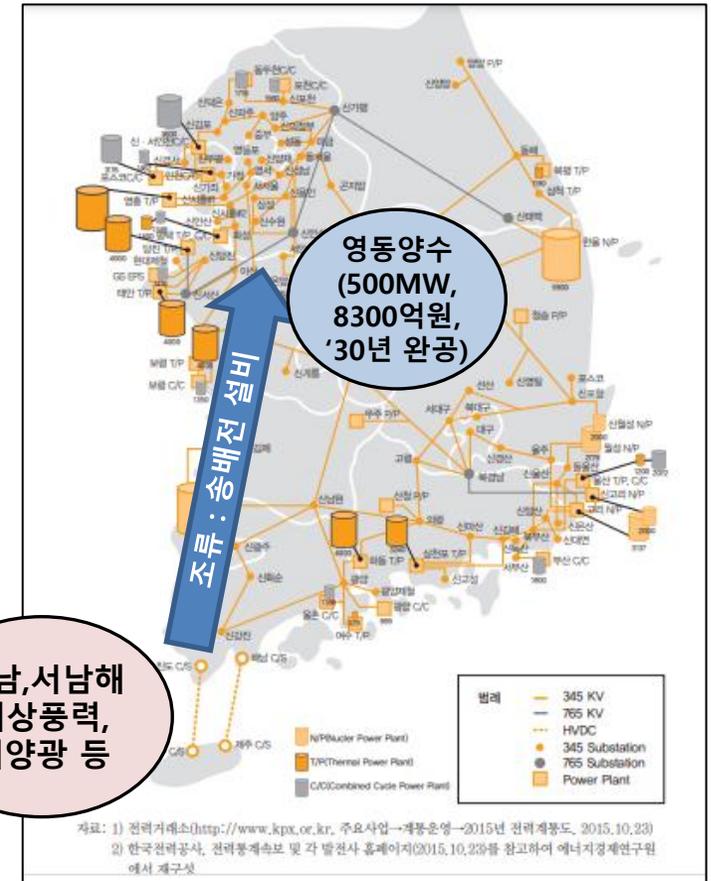
✓ **(중단기 현안) 계통연계 대기, 송전망 혼잡**

- (현황) VRE의 지역적 집중으로 계통연계 대기 발생 : 21.6GW 중 40% 호남 편중
- (원인) 지역 전력수요 제한, 송배전 인프라 건설 지연
- (방안) 탄소중립으로 가기 위해서 방안 마련 시급
  - \* 단기적 해소 방안으로서의 출력제한 : 민원
  - \* 송배전 설비(선로, 변전소) 확충 → 경유지 등 기간, 투자비 소요

분야	전압	기간
가공송전	154kV	72개월
	345kV	96개월
지중송전	154kV	68개월
	345kV	90개월
변전	154kV 변전소	72개월
	154kV 변압기	12개월
	345kV	96개월
	765kV	120개월
배전	22.9kV(5MW 이상 10MW 미만 접속 또는 배전선로 신설)	12개월

[ 계통연계 대기 현황 ]

- '21년말 기준 5.9GW 대기
  - \* 전남, 전북, 경북, 제주 등
- '21년말 3.2GW 해소(계획)
- 9/10차 전력수급기본계획
  - \* 송변전 설비, 양수 등 반영
- (대책) 일부 해소
  - \* 배전선로 10 → 12MW 확대
  - \* 공공 ESS(제주)



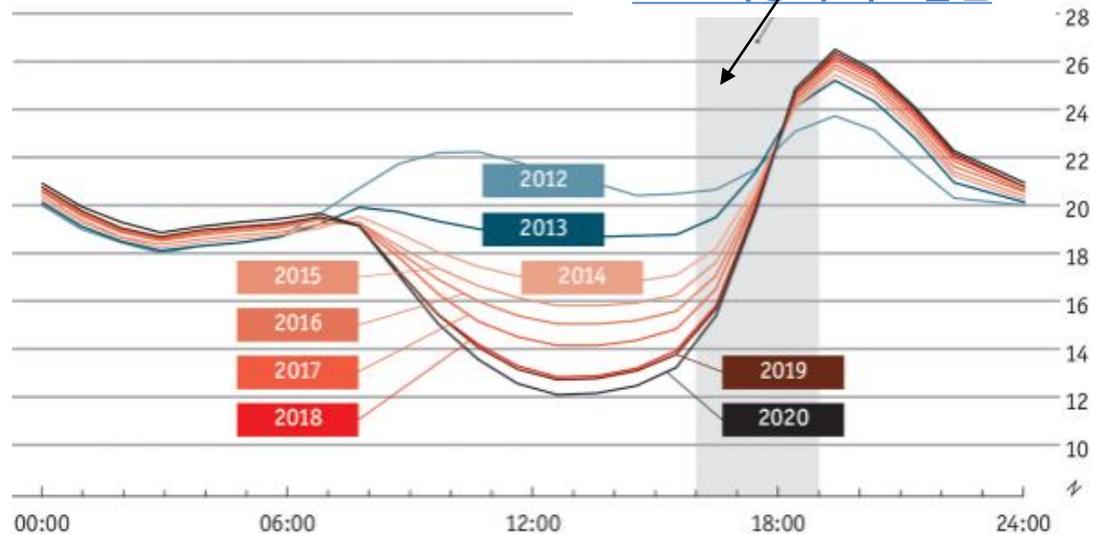
▲ 한국전력의 계통연계 확대 관련 표본공정 작업 소요 일수

## ✓ (중장기 현안) 전력망 유연성 확보(Ramp Rate, Duck Curve 대응)

- (배경) 석탄화력 폐쇄, VRE-원전 Mix에 따른 덕커브 문제(비유연성 발전원의 Ramp Rate 제한)
- (이슈) 비유연성 발전원(석탄, 원전)의 낮은 감발 능력 → 유연성 발전원(양수, 가스, ESS)
- (방안) 전력망 운영 시스템 개선, 인프라 확충 등
  - \* 에너지저장장치 확충 \* 전력운영시스템 고도화 \* VRE 출력 모니터링/예측, 예측오차 최소화
  - \* 전원 믹스 조정(기동시간 짧고, 출력변동 유연성 높은 발전원 필요)

### Who gets the bill?

California, electricity load requirement  
Typical spring day, gigawatts



Source: California ISO

### [ 감발 능력 ]

- 가스발전 : 10 ~ 40분
- CCGT : 2 ~ 6시간
- 석탄 : 8 ~ 12시간
- 원자력 : 하루 이상

## ✓ (호주) 석탄화력 대체 ESS

- (정책) '50년까지 석탄화력 50% 이상 폐쇄

\* 2,880MW 에러링 석탄화력 폐쇄('25. 8) : 7년 조기 폐쇄 결정(경제성 악화, 탄소중립 정책)

- (ESS 설치) Waratah Super Battery Project

\* 에러링 석탄화력 대체 : 700MW/1400MWh BESS, '25년 서비스 개시

\* 낙뢰, 산불 등 전력 서지로부터 송전망 신뢰도와 안정도 유지 목적

### [ 유사 사례 ]

- 미국 : 뉴저지, 242MW
- 칠레 : 560MW



✓ (호주) 전력인프라 투자 지연 : VPL(Virtual Power Line, 가상송전선)

- (목적) 전력계통 혼잡을 회피하면서 대규모 VRE 통합
- (배경) 국지적 VRE 보급, T/D 설비 투자/기간/수용성
- (효과) 연계용량 확대, 출력제한 해소, 다목적 운영(FR 등 보조서비스)

[ 유사 사례 ]

- 독일 : Grid Booster
- 이태리 : SANC, 풍력

### 1 BENEFITS

Virtual power lines (VPLs) allow large-scale integration of solar and wind power without grid congestion or redispatch, avoiding any immediate need for large grid infrastructure investments.

**Supply-side-storage**

1. Charges based on previous renewable generation avoid congestion and curtailment
2. Discharges to demand-side storage system whenever grid capacity is available

**Demand-side-storage**

3. Charges when renewable-based generation and network capacity allow
4. Discharges to address peak demand

---

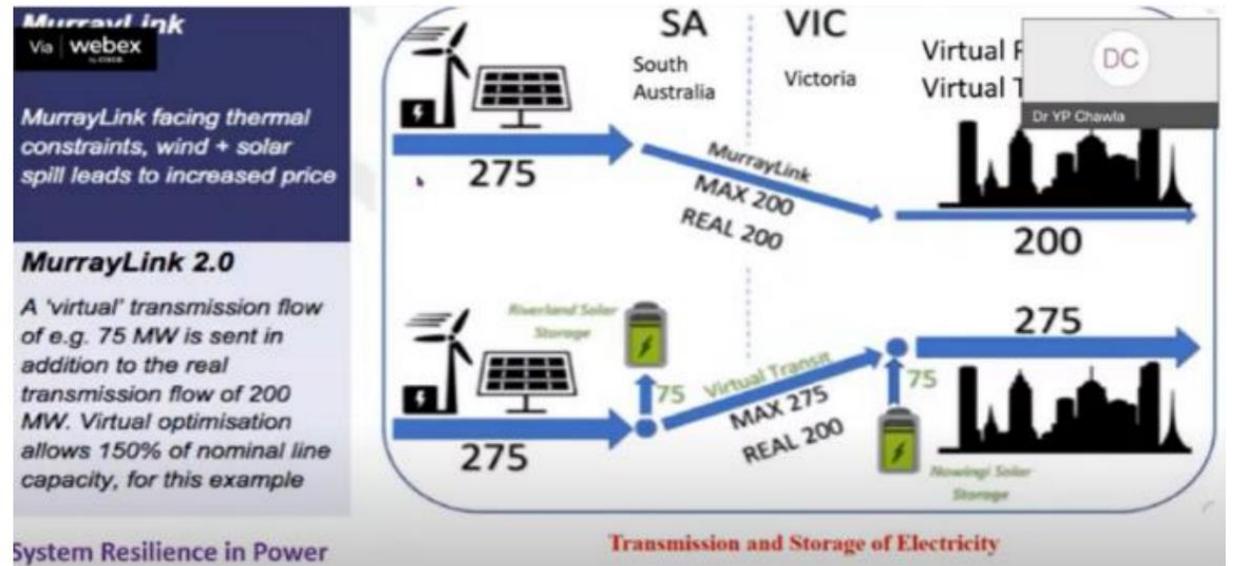
### 2 KEY ENABLING FACTORS

- Regulatory framework for energy storage systems
- Multi-service business case for storage systems
- Digitalisation

---

### 3 SNAPSHOT

- VPLs provide 3 GW of installed storage capacity worldwide
- Global needs for network investment deferral could reach 14.3 GW by 2026.
- Australia, Italy, France and the US are piloting VPLs to reduce renewable power curtailment.



▲ 호주의 MurrayLink 2.0 프로젝트

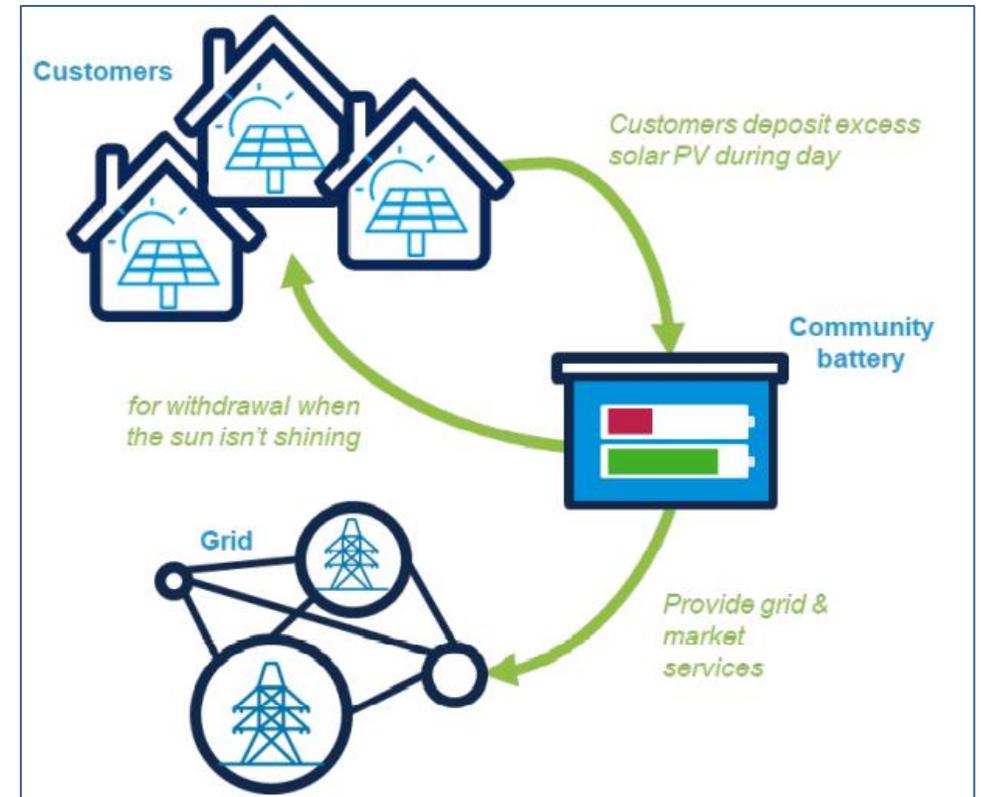
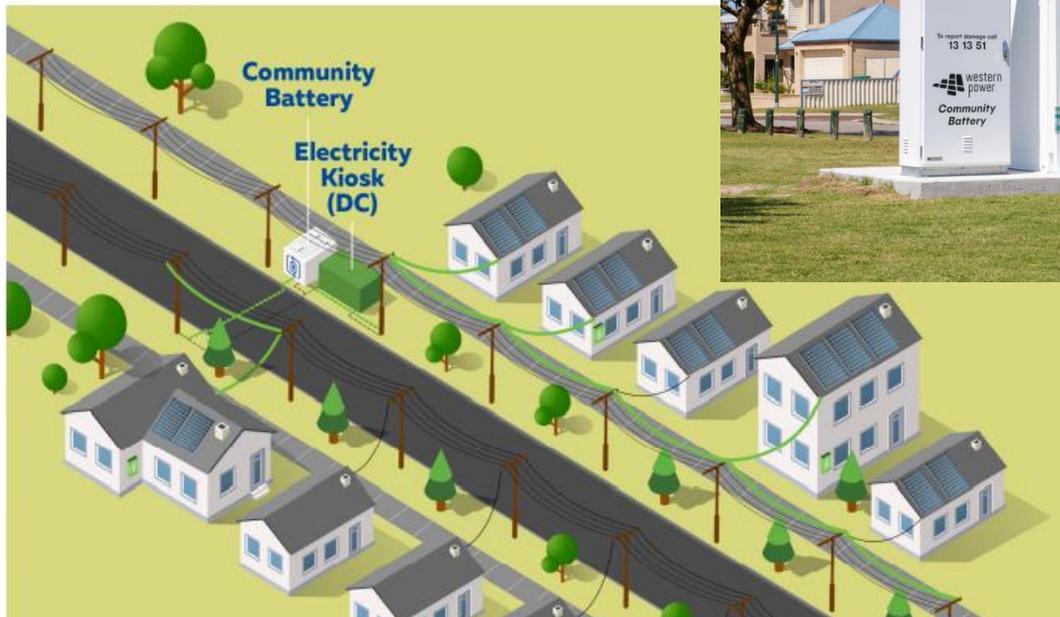
## ✓ (호주) Community Battery 보급

- (정책) 호주 정부는 400개 커뮤니티 배터리를 설치에 2억 2,430만 달러 지원

\* 호주 가정 30% 태양광 보급 → 지역 단위 ESS 보급(사례, Alkimos Beach, 119가구, 1.1MWh)

\* 전기요금 절감, 탄소배출 감소, 전력망 피크 감소 등 목적

\* 시범사업 : 기후 변화, 에너지, 환경 및 수자원부(DCCEEW), 58개 프로젝트에 자금 지원('22. 12)



- ✓ **(배경) VRE 보급에 따른 전력망 유연성 확보**
  - 단기/중기/장기적 이슈 고려
  - ESS의 종류별 특성 활용 → Storage Mix 필요
  
- ✓ **(기능/용도) 발전단 ~ 수용가에 이르는 다양한 기능, 용도**
  - 발전단 : 석탄화력 대체, Ramp Rate 지원
  - 송배전단 : 수용능력(Hosting Capacity) 확대 및 T/D 투자지연, 출력제한 및 계통혼잡 해소 등
  - 수용가 : 수요관리, 에너지자급, 비상전원
  
- ✓ **(보급) Utility, Commercial &Industrial, Residential 영역 확대**
  - 국가적인 보급 목표, 현황 및 시장 여건 등

### 3. ESS R&D 전략 방향

**KETEP**



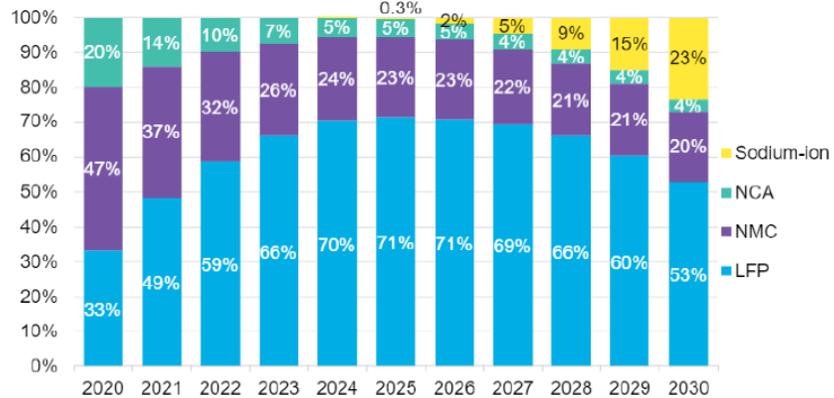
✓ (배경) 주도적 ESS로서의 리튬전지

- '30년까지 LIB 중심 ESS 시장 : 성능, 가격, 공급망, 용도적합성 등
- 비리튬 전지, 비전지 기반 ESS의 상용화 및 경쟁력 지연

✓ (목적) 안전성 확보, 경쟁력 강화를 통한 수출시장 확대

- 안전성 제고 : 수냉식 패키징, 인산철 전지 적용, AI 기반 디지털 솔루션
- 경쟁력 강화 : PCS, 운영 플랫폼 등

Figure 78: Annual technology mix for lithium-ion batteries and sodium-ion batteries in the stationary storage sector



Source: BloombergNEF. Note: LFP, NMC, NCA and Sodium-ion respectively refer to lithium iron phosphate, lithium nickel manganese cobalt oxide, lithium nickel cobalt aluminum oxide and sodium-ion batteries.

▲ ESS Mix 전망(Bloomberg NEF)



▲ 수냉식 ESS(Sungrow)

**Applications**  
**Optimize and Control**

Additional controls may help prevent or mitigate blackouts, increase sustainable generation, allow storage assets to participate in ancillary services and more.

<p><b>Ancillary Services</b> Provide services to the grid in response to utility or system operator signals</p> <p><b>Energy Shifting</b> Store and dispatch excess capacity from renewable sources</p> <p><b>Spinning Reserve</b> Provide power or energy capacity to the grid as a standalone asset</p> <p><b>Frequency Regulation</b> Participate in frequency regulation markets</p>	<p><b>Voltage and Reactive Power Support</b> Provide system strength across all areas of the network</p> <p><b>Transmission and Distribution Support</b> Supply capacity to defer or eliminate the need to upgrade infrastructure</p> <p><b>Inertia</b> Enable more renewable generation by virtually emulating mechanical inertia</p>
--	--

▲ ESS application(Tesla )

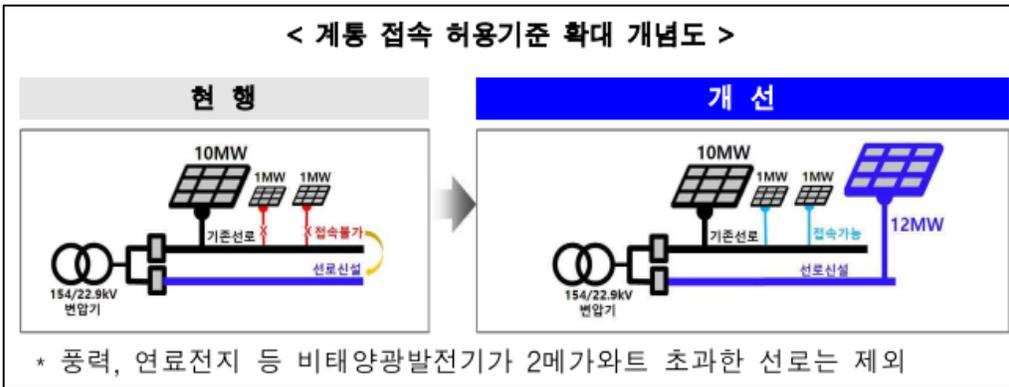
- ✓ (용도) 요구되는 성능/기능 차별성
  - FR : 단주기, 빠른 응답 → 리튬전지(NMC, LFP)
  - VRE Shifting : 대용량, 느린 응답, 장수명, 저비용 → NaS전지, 흐름전지
- ✓ (입지, 인프라) VRE 밀집지 LDES 도입용 → 기존 설비 활용, 입지 제약 고려
  - 양수 : 대용량 양수 입지는 VRE 밀집지역과 이격, 송배전 인프라 신설
  - 압축공기/열저장 : 기존 화력설비 활용 가능, 입지제약 해소(인공터널방식)
- ✓ (소재수급성, 안정성, 수명) 효율이나 에너지 밀도 등 단점 커버
  - (소재) 리튬 vs. 나트륨/바나듐, (수명) 전지 기반 vs. 기계 기반

종류	장점	단점
리튬전지	높은 E 밀도와 효율	안정성, 수명(비용, 대용량화)
NaS 전지	저비용, 대용량화, E 밀도	E 효율
흐름전지	친환경성, 안정성, 장수명, 저비용	E 밀도, 효율
양수	빠른 응답, 대용량, 장수명	입지제약
압축공기	대용량 저장, 장수명	입지제약, E 밀도

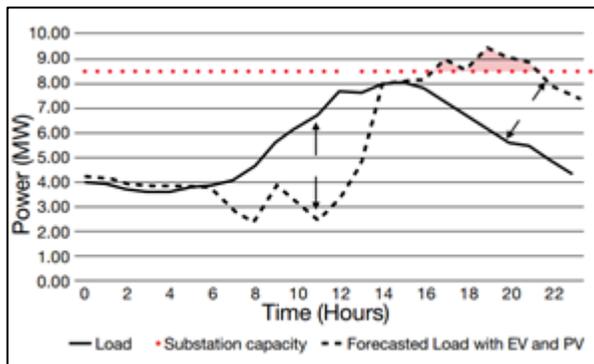
## ✓ NWA(전력설비 비증설 대안)로서의 LDES

- (배경) 인프라 구축의 다른 수단(송배전 설비, 양수) 보다 단기적, 경제적, 효과적 수단
  - \* 경유지, 환경, 입지 이슈 ↔ ESS 규모 경제 달성(가격 저하), 다목적 운용
- (목적) VRE 밀집지 LDES 도입 → VRE 수용성 확대, 출력제한 해소 → 송배전 설비 투자 지연

< 계통 접속 허용기준 확대 개념도 >



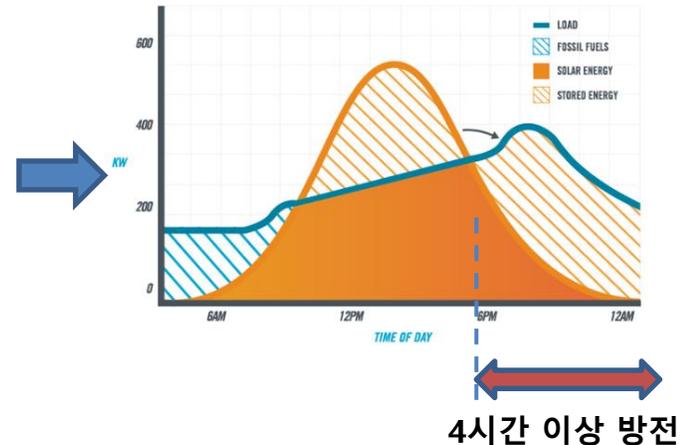
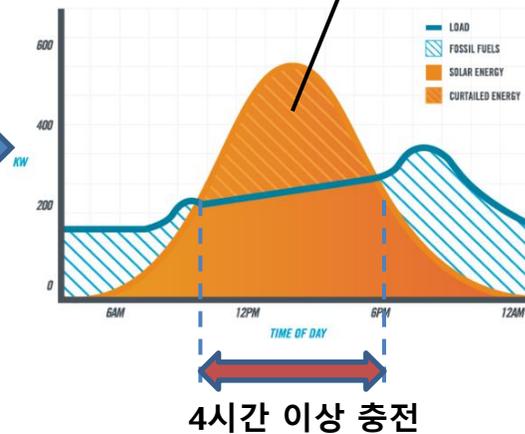
▲ 계통연계 대기 :  
획일적 연계 용량  
설정



▲ PV, EV 도입에 따른 선로 과부하/혼잡

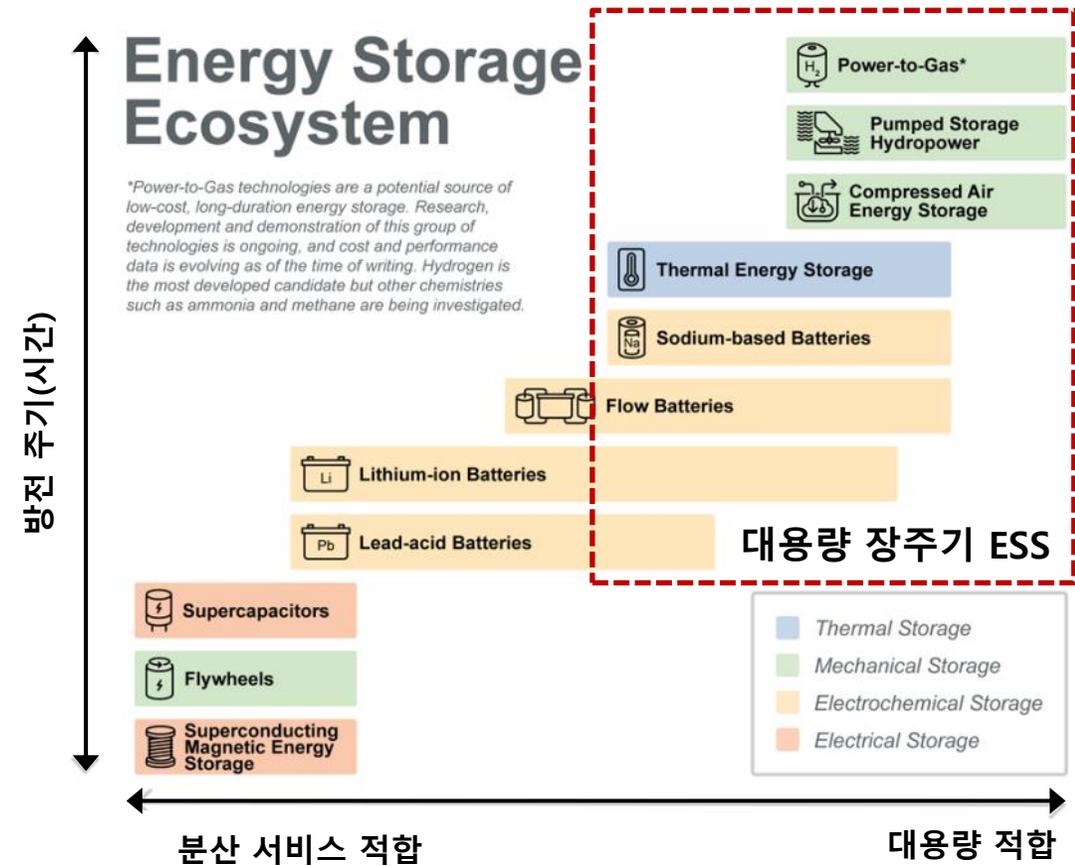
LDES  
도입

• 이 시간 동안 집중되는 VRE 출력  
으로 출력 및 접속 제한이 발생!



▲ LDES 필요성 : 연계 확대, 에너지 이동

- ✓ (안전성, 경쟁력) 리튬전지 대상
  - H/W : 수냉식 패키징, LFP/사용후 배터리 적용
  - S/W : 적용/기능 다양화, O&M 디지털 솔루션 등
  - 실증 : 현안 해소(출력제한, RE100 대응)
- ✓ (ESS Mix) 비리튬 기반 전지
  - 흐름전지 : 양산화
  - NaS전지 : 기존 기술 활용한 조기 상용화
- ✓ (LLES) Low-cost Long-duration ESS 기술 확보
  - 비전지 기반 : 열, 기계 기반 LLES 기술 개발
  - 국내 산업 기반 활용 가능, 수출 및 시장선점 가능성
    - \* 압축공기저장, 열저장 등
    - \* LiB, 양수 제외한 기술은 기술개발 ~ 초기상용화 수준
- ✓ (산업부) "스토리지산업 발전전략" 수립 중('23.~)
  - 시장 및 산업 생태계 활성화, 수출주도화



## 4. ESS R&D 추진 내용

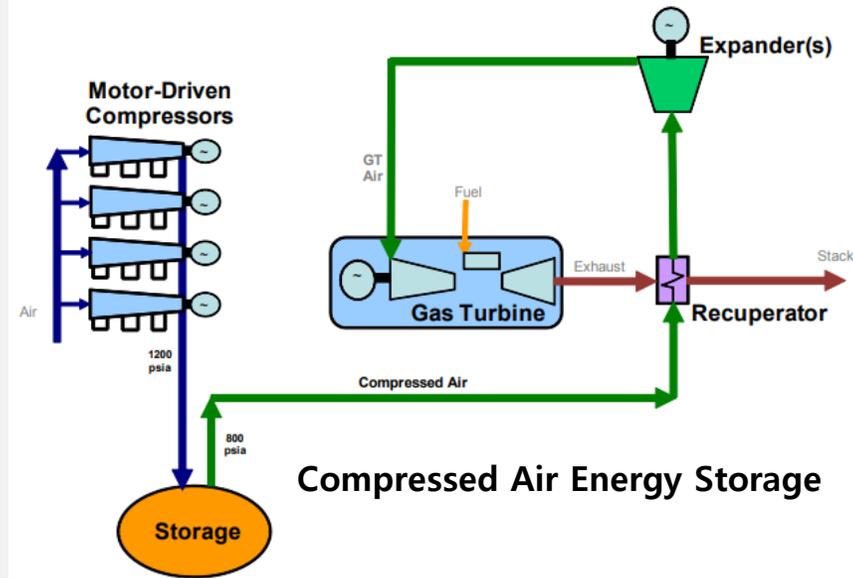
**KETEP**



- (사업 목적) LiB 경쟁력에 패키징기술, 운영 S/W 기술개발 통해 ESS 시스템 안전성, 글로벌 경쟁력 강화
- (사업 핵심 내용) 수냉식 패키징, 운영 S/W, 실증
  - (안전성 강화 패키징 기술) 리튬전지 및 EV 사용후 배터리 이용 수냉식 배터리 모듈 개발
  - (운영 및 유지보수 S/W) 효율성, 안전성 제고 응용 S/W 기술개발(ESS 기능 다양성, 시스템 통합 용이, 진단기능)
  - (현안 해결 실증) 고밀도 VRE 보급지 출력제한 및 계통연계 대기 해소, 산업단지 RE100 달성 지원 실증
- (필요성, 시급성) 안전성 강화는 보급 장애 해소, 글로벌 시장 확대 대응, 에너지신산업 활성화
  - (경쟁사) Tesla, CATL, Sungrow 등 수냉식 적용
  - (시장 전망) 글로벌 ESS 시장은 30% 이상 고성장(미국, 중국, 호주, 독일, 영국 등)



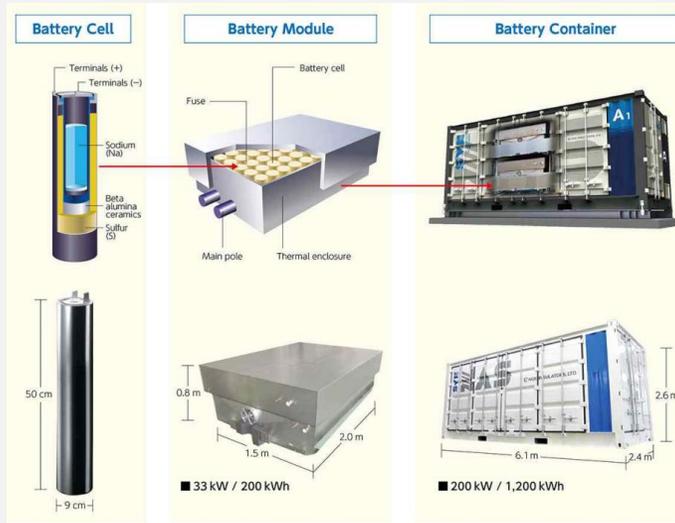
- (기술 개요) 잉여전력으로 공기를 압축해 암반이나 인공터널에 저장 후, 팽창시켜 터빈으로 발전
  - CAES 주요 장점
    - \* 유지보수를 통해 장기간(경제수명 30년) 손실 없는 대용량·장주기 에너지저장 가능
    - \* 2세대 CAES : 상용 GT 배기가스 폐열 열원 사용 → 전력저장과 폐열발전(스팀발전 대체) 2가지 기능
- (사업 목적) 기계 기반 LDES 기술개발 및 실증을 통해 전력망 유연성 확보, 수출전략 산업화 기여
- (사업 핵심 내용) 잉여전력을 압축공기로 변환, 인공 지하터널 저장, GT로 발전하는 2세대 CAES
  - (압축공기 저장조 E&C) 3MW급 압축공기 저장용 지하설비 구축, 지반조건 분석 및 입지 최적화 기술 확보
  - (시스템 설계 및 제작) CAES 시스템 모델링, 효율/경제성 분석, CAES 최적화 압축기터빈 설계 및 제작
  - (경제성·안전관리) 지하시설물 안전점검 기준, 무인자동화 안전점검장치 개발, 안전성 평가, 사고시나리오 개발
- (필요성, 시급성) 계통수용성 확보, 전원믹스에 의한 장주기 대용량 ESS 대안



- Off-the-shelf 기자재 사용
  - \* 5ppm 이하의 저 NOx 상용 GT
  - \* 기존 GT 활용
- 10분 이내의 Cold Start
- Turndown <25%, 보조서비스

# 나트륨황(NaS) 전지

- (기술 개요) NaS 전지
  - 양극활물질로 황, 음극활물질로 나트륨, 전해질로 나트륨 이온에 대해 전도성을 갖는 세라믹( $\beta$ -alumina)을 사용하며 고온(300~350°C)에서 구동되는 이차전지.
  - NaS전지 장점 : 수명(15년), 경제성, 안전성으로 장주기 ESS 적합
- (사업 목적) 리튬전지의 소재공급망 및 가격 불안, 화재안전성 이슈를 해소, 나트륨(Na), 황(S) 소재 나트륨황전지(NaS) 기반 대용량, 장주기 에너지저장장치 기술개발을 통한 ESS Mix 실현
- (사업 핵심 내용) 소재공급망 해소 위한 나트륨, 황 기반 NaS(나트륨황) 전지 대용량 장주기 ESS 기술개발
  - (핵심부품 국산화, 양산) 단전지 제작공정 최적화, 단전지 평가기술개발 및 성능평가
  - (모듈 설계, 제작, 성능평가) 모듈 설계, 열응력 및 열유동 해석, 모듈 제작 및 성능평가
  - (시스템 설계, 성능평가) BMS, PCS, 시스템 설계 및 제작, 모듈/시스템 모니터링 및 진단기술, 운영기술 개발
- (필요성, 시급성) 계통수용성 확보, 전원믹스에 의한 장주기 대용량 ESS 대안, 에너지신산업



## NaS 전지 국산화 및 전력망 운영에 NaS 도입

NaS ESS 신뢰도 확보(인증) / Supply chain 형성 / 해외 수출 전략 확보 / 후속 과제 도출

소재 · 공정 원천기술 개발  
고체전해질 대형화 및 양산  
(산 · 학 · 연)

- 고체전해질 및 전극소재 국산화
- 대형화/양산/저가화 연구개발



전지/모듈 개발 및 양산  
ESS 제작 및 검증  
(산 · 학 · 연)

- 단전지/모듈 최적화 및 양산 기술
- ESS 프로토타입 제작 및 성능 검증

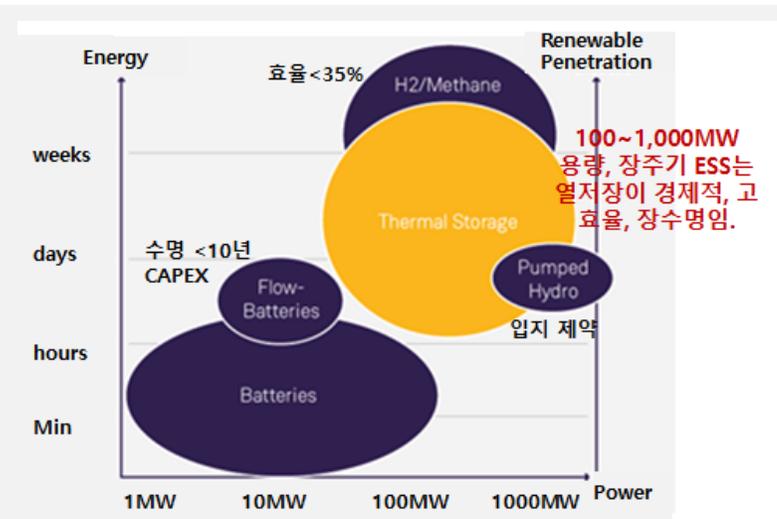
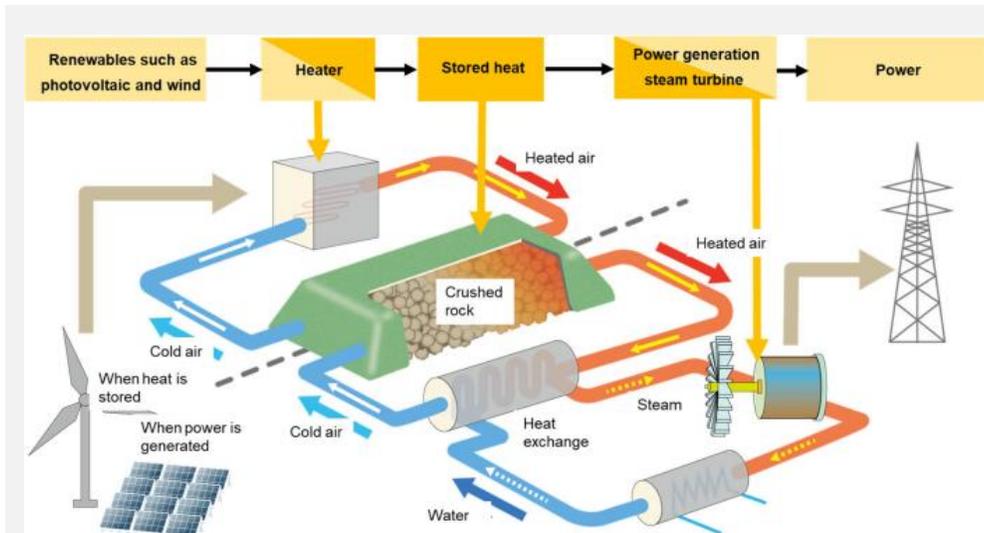


ESS 실증 및 운영관리 기술  
(산 · 연)

- ESS 시나리오 테스트 및 평가
- 모니터링 및 상태진단 기술 개발



- (기술 개요) 카르노 배터리
  - 잉여전력을 고온열로 변환, 저장했다가 필요시 증기터빈으로 발전하는 대용량/장주기 에너지저장장치
  - 카르노 배터리 장점 : 입지제약 없음, 저가의 비독성 저장매체, 기존 기술 활용, 장수명, 경제성, 안전성
- (사업 목적) 폐쇄 석탄화력발전소를 활용한 대용량, 장주기 에너지저장장치 기술개발을 통한 ESS Mix 실현
- (사업 핵심 내용) 수백MW급 카르노 배터리 기술개발
  - (1단계) 100kW급 콘크리트 열에너지저장시스템 개발, 성능평가
  - (2단계) 10MW급 카르노 배터리 실증시스템 상세 설계 및 구축
  - (3단계) 200MW급 카르노 배터리 시스템 설계 및 구축, 운
- (필요성, 시급성) 계통수용성 확보, 전원믹스에 의한 장주기 대용량 ESS 대안, 에너지신산업
  - 경제적 측면 : 송배전망 확충 투자 지연, 폐기/노후 발전설비 활용(석탄, 가스)
  - 기술적 측면 : 출력제한 완화, 계통연계 대기물량 해소, 관성자원으로 활용



- ✓ **(요약) 세계적 탄소중립 정책과 구현 수단인 재생에너지 확대**
  - VRE의 간헐성, 변동성 → 기존 전력시스템의 안정적 운영 위협
  - VRE의 지역적 편중 → 송배전 투자 필요
  - 유연성 자원인 ESS는 합리적, 현실적 대안 → 글로벌 ESS 시장 확대
  
- ✓ **(ESS와 전력전자 기술) Beyond power conversion & topology**
  - (현재) LVDC, MVDC, HVDC, MMC 개발 중
  - (가까운 미래) 현안 해결을 위한 기술개발
    - \* 통신 비의존 자율적 VRE 제어 기술 → Grid-forming Inverter
    - \* 가변양수를 위한 대용량 드라이브 기술 → SFC(Static Frequency Converter)
    - \* Virtual Power Plant, Virtual Power Line → S/W 비중 증가(표준통신, 기능)

감사합니다!!