

CFI 구현과 ESS 역할

2022-5-6

안종보 KETEP/ESS PD
(mgridahn@ketep.re.kr)

[Contents]

1. 제주 분산에너지 현황 : 문제의 제기

- CFI 2030 계획
- 현황, 문제점

2. 해결 방안 분석

- 방안과 그 한계
- 시사점

3. 대용량/장주기 ESS와 분산에너지 특구

- 필요성, 시급성
- 기대효과, 장애

1. 제주 분산에너지 현황 : 문제의 제기

✓ CFI 2030

- 목표 : 신재생에너지 4GW, EV 37만7천대, 에너지 이용효율화 23% 달성
 - * 풍력 2,345MW, 태양광 1,411MW, 연료전지 104MW, 바이오 40MW 등
- 설치 현황 및 전망
 - * '21년말 기준 : 태양광 525MW, 풍력 295MW 등 820MW 설치
 - * 사업 인허가 현황 : 태양광 704MW, 풍력 한림해상(100MW, '24), 한동·평대 해상풍력(105MW)

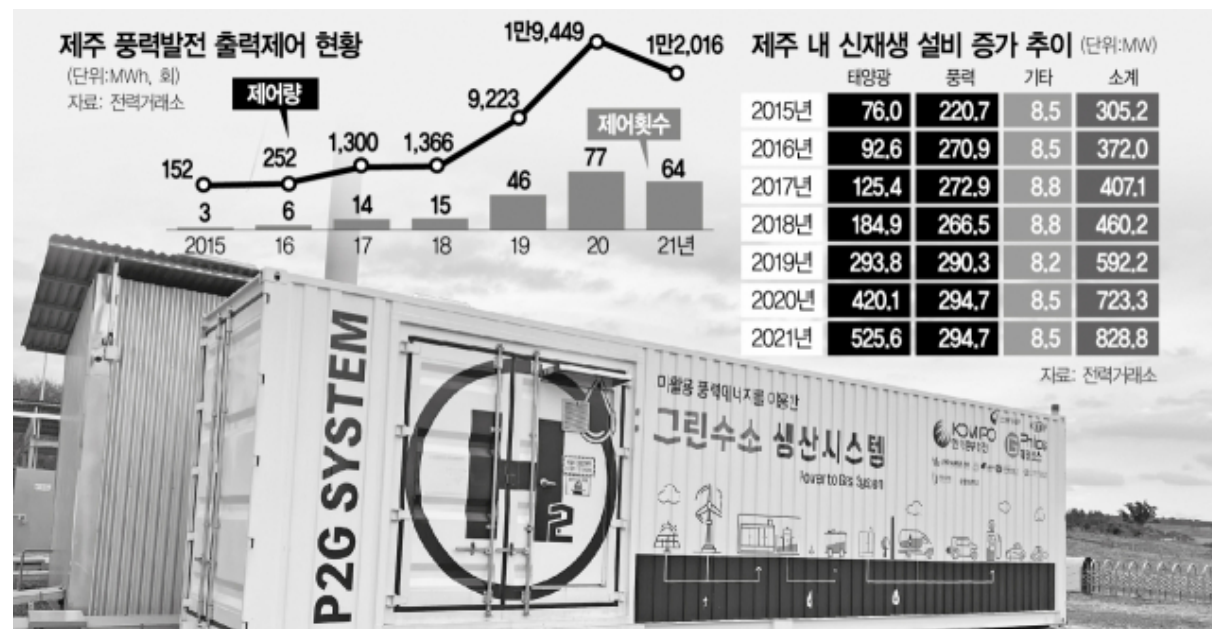
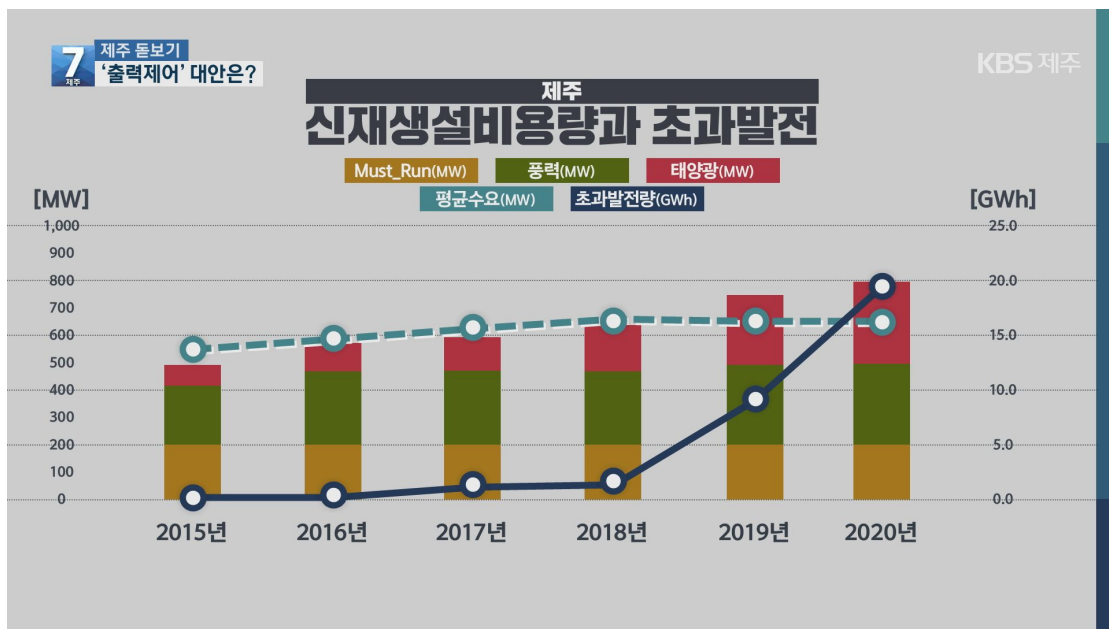
• 2030년 4대 정책목표



✓ 문제의 제기

- '19년 기점 : 평균수요 < (화력 + 재생에너지 용량)
→ 초과 발전량 발생 → 출력제한
- 출력제한 : 풍력발전('15)에서 태양광발전으로 확대('22)
* 보상제도 없음 → 민원, 계통 안정성 문제
- Carbon-free Island는 가능한가? 기술적 대안은?

key



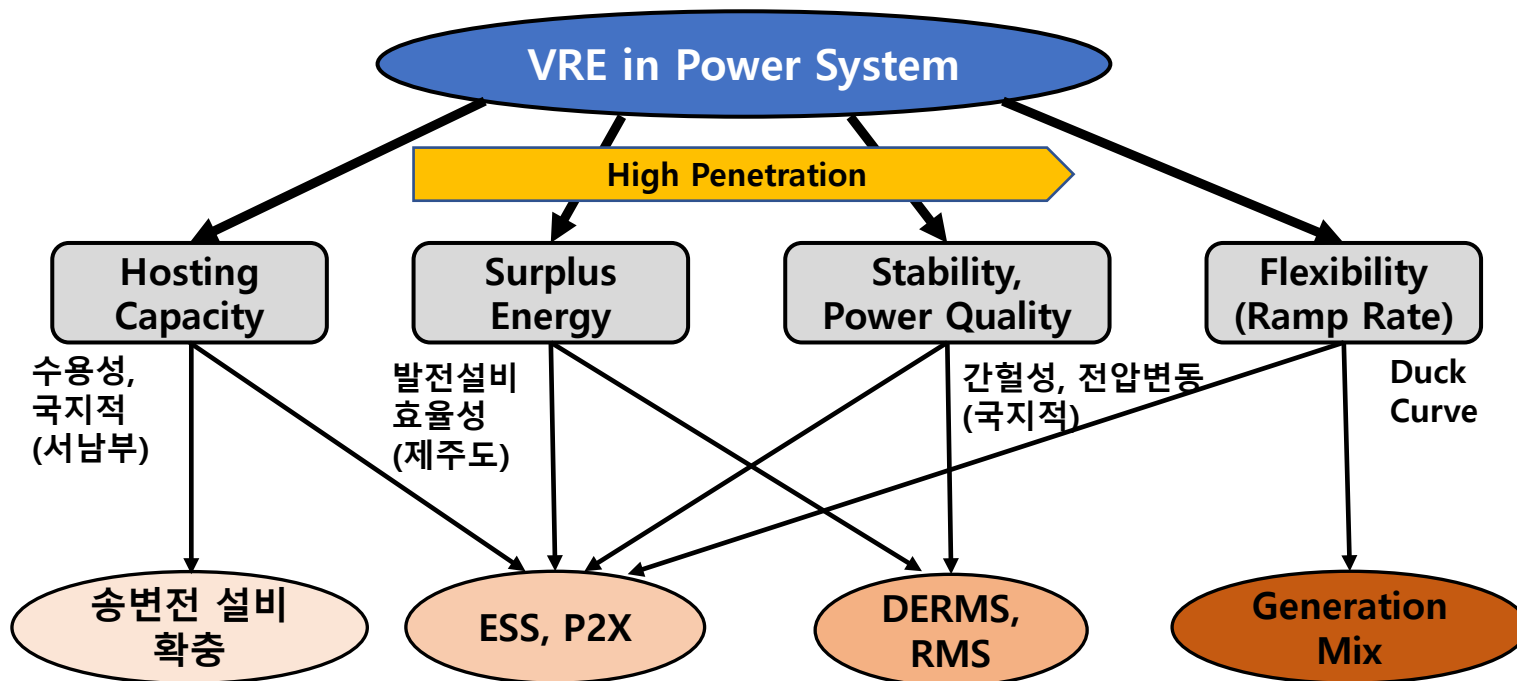
2. 해결 방안 분석

✓ VRE 보급에 따른 이슈

- 1) 계통접속 한계 : 계통 수용성(Hosting Capacity)
- 2) 국지적 잉여전력 : Curtailment(제주도)
- 3) 계통운영 안정성(국지적) : 전압 상승, 주파수 변동 등 이슈
- 4) 송전선로 확충 : VRE 발전지와 소비지 분리로 인한 전력조류
- 5) 계통 관성, Fault Ride-Through 기능, Ramp rate(Duck curve)

중단기 해결 과제(5년 이내).
→ 공공 ESS 이외 대안 부재

장기 해결 과제('30년 이후)
→ 양수(내륙), 송전설비 확충 계획



- DERMS(Distributed Energy Resources Management System), 분산자원관리시스템
- RMS(Renewable Management System), 신재생 통합관제시스템
- VRE(Variable Renewable Energy)

key

✓ 출력제한 이슈 관련 동향

Utility/ 인프라 구축

(1) HVDC

- (현황) #1 150MW, #2 250MW 운영중 → 전류형, 늦은 조류 변경, 30% 공급
- (진행) #3 200MW → 전압형, 빠른 조류 변경, '23년 완공 예정
- (이슈) 설치 지연, 고장시 광역 정전 발생 가능성

(2) ESS

- (현황) 공공ESS : 1.4GW 예타 중 일부
 - * '154kV 금악C/S 50MW ESS 건설(15분용), 270억원
 - * 40MW급 주파수 조정용 ESS 서제주 변전소에 이동, 설치
- (이슈) 단주기용으로 주파수 조정 용도 → 출력제한 해소 혹은 Energy Shift용 아님.

국가 R&D/ 시범 사업

(3) P2G, P2H

- (현황) 실증연구 진행 중('21 - '23)
 - * 제주에너지공사, 두산중공업, 지필로스, 중부발전 등 참여, 205억원
 - * 행원풍력발전단지와 연계, 3MW급 수전해시스템, 수소저장시스템, 수소버스충전소, 20MWh ESS, 전기차충전소 등 설치 계획 → 풍력발전 출력변동성 대응, 안정적인 전력공급

(4) Plus-DR(수요반응)

- (현황) 잉여전력 발생시 EV 충전 시범사업 → 인센티브 부여

✓ 제주도 출력제한 관련 동향

(5) 제10차 전력수급기본계획

- '21년말 착수, '22년말 심의, 확정 : 수요예측, 전원 구성(에너지 믹스), VRE 확대에 따른 변동성 대응
- 제주도수급소위원회 구성(10명)

(6) 분산에너지 활성화 특별법/분산에너지특구

- 산업부 : 제23차 에너지위원회, 분산에너지 활성화 추진전략 논의('21. 6)
 - * 유연성 자원 확산 : 공공ESS, 재생에너지 통합관제시스템, P2H/P2G 등
 - * 분산편익 지원제도 : 자가발전, 마이크로그리드 등
 - * 분산에너지 친화적 전력시장 구축 : 예측입찰제도, 실시간/보조서비스 시장, VPP
 - * 분산에너지 특구 지정
- 김성환 의원(더불어민주당) 발의('21. 7) → 본회의 상정 불발/계류 중
- 최근, "제주형 분산에너지 정책" 추진 : 마을단위 Microgrid?

✓ 대책 분석

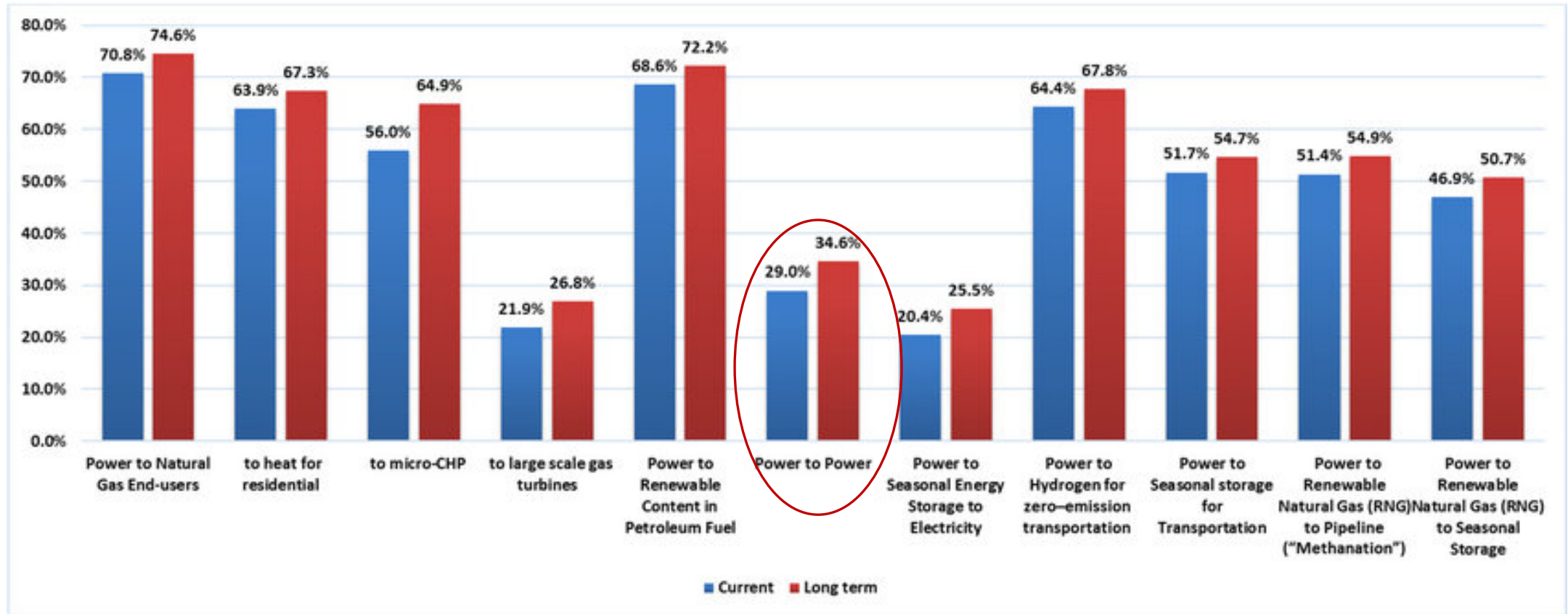
- 다양한 기술/해법의 시험장(Testbed) → 명확한 답은 없다!! 현실적인 해법은??

수 단	장단점/한계	비 고
HVDC	<ul style="list-style-type: none"> - 용량 제한, 고비용 - 무관성(고장시 정전 유발 가능성) 	<ul style="list-style-type: none"> - HVDC #3 : 200MW, 4,600억원, '23년말 예정
+DR, VPP	<ul style="list-style-type: none"> - 수요 자원 제약(전기차, 대용량 수용가 등) 	<ul style="list-style-type: none"> - EV 보급, 인센티브 등 - 본토 DR은 대규모 수용가
P2G, P2H	<ul style="list-style-type: none"> - 고비용, 저효율(특히 Power to Power) 	<ul style="list-style-type: none"> - 현재 29%, 장기적 35%
ESS (리튬전지)	<ul style="list-style-type: none"> - 고비용, 안전성 문제, 설치 공간 	<ul style="list-style-type: none"> - 3-5억/MWh

(시사점)

- 기술적인 해결 방안과는 별개로 고비용을 누가 부담/투자할 것인가? 공공/민간
 - * HVDC, 공공 ESS(단주기용(15분)이라 출력제한 대응 불가) 등
- 현 대안들은 인허가된 태양광, 해상 풍력사업 추진과 현재의 출력제한 해소에는 역부족.
- 투자비/운영비/운영기간, 기여도/안정성, 입지제약/부하 특성 등 종합적인 여건 고려 필요

- (참고) P2G 변환 효율



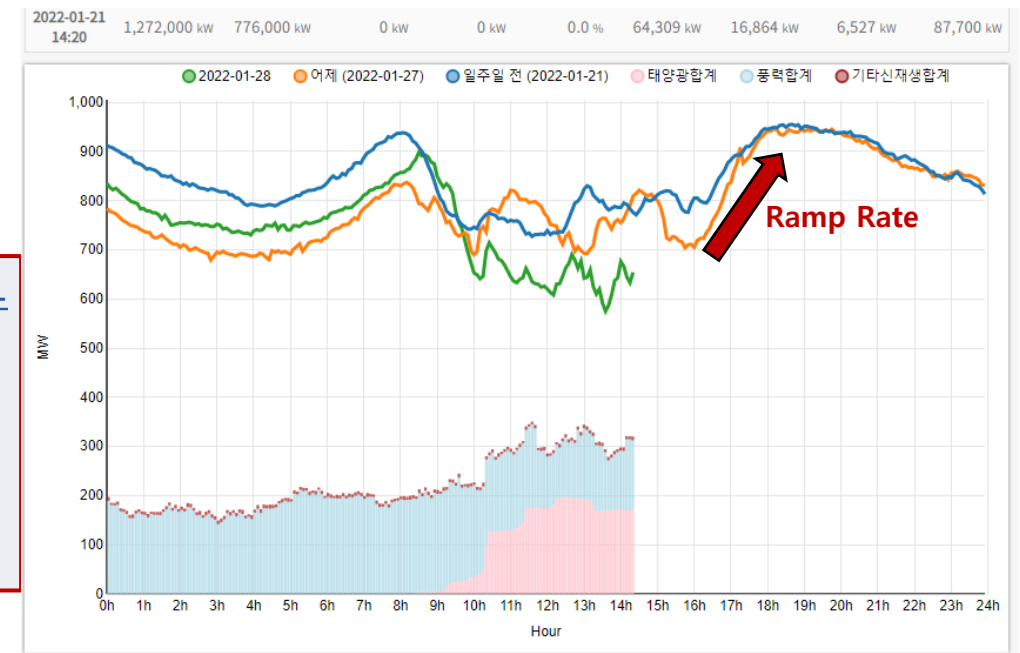
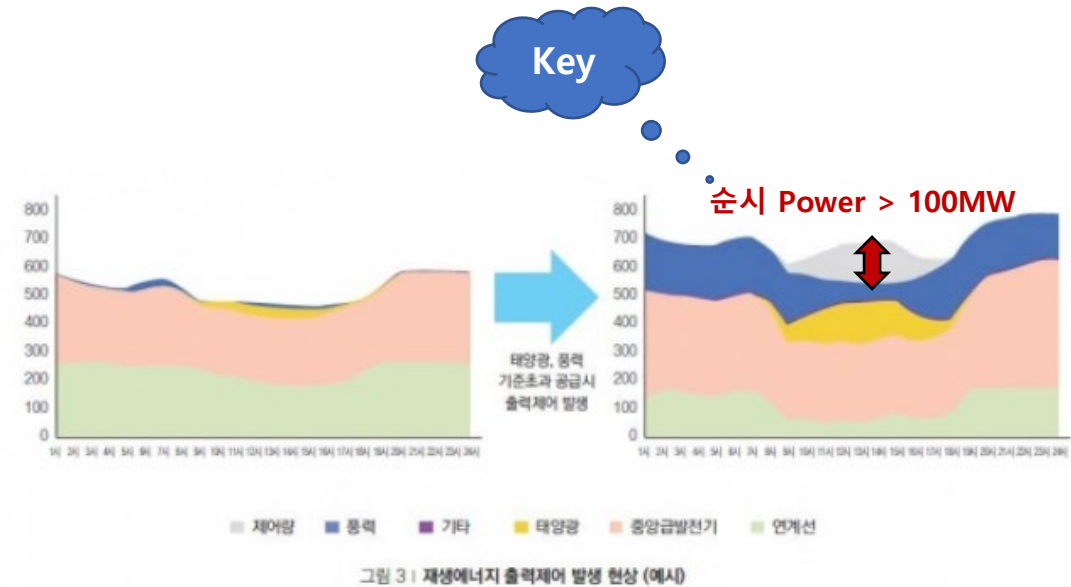
✓ 제주도 전력공급 현황

- ST, GT, ICE 포함 990MW 공급 능력
* ST 385MW, GT 125MW, ICE 80MW 등
- HVDC : #1(300MW, #2(400MW), #3(200MW, 예정)
* 현재 50% 수준인 350MW 운전(30% 부하 담당)
- VRE : 743MW(PV 448MW, Wind 295MW)

✓ Curtailment 원인, 향후 전망, 대책

- 부하 현황('21) : 최소 446MW, 최대 1,009MW, 평균 646MW
- 공급 비중 50% 이상 시 → HVDC, 화력 최소부하 → 출력제한
- HVDC #1, #2는 역송전 가능, 시간 오래 걸림(수 시간) #3 현재 미건설(전압형 방식, 빠른 역송 전환 가능)

- 10MW급 ESS로 대응 불가 : >50/100MW x 수 시간 필요
→ Curtailment Power/Energy 확인, 예측 필요
- 해상풍력 등 건설계획에 따라 확실한 대책 필요함.
→ 출력제한, 주파수 조정 문제가 아니라
계통의 안정적 운영이 핵심



3. 대용량/장주기 ESS와 분산에너지 특구

✓ 입지적인 제약을 고려한 Flexibility Tech Mix 필요

- 제약 : 환경보호, 부하 특성 등
- Tech Mix : ESS, P2G/P2H, DR/VPP, HVDC 등
- ESS Mix 구현 : 투자비, 운영기간, 계통기여 등 고려 → 대용량/장주기 ESS 고려

✓ 공공 인프라 투자의 유도

- 예비타당성 검토 시 사회적 편익 고려
- 국내 사례, 주파수 조정(FR사업)/MVDC → 성공, 공공 ESS → 실패/지연
- 해외 사례, 미국 캘리포니아의 ESS 설치 법안(ITC 혜택 등)
 - * CPUC(California Public Utilities Commission)

✓ 연구개발 종료 후 민간 투자 가능하게 하는 시장

- 비즈니스 모델 필요 : 전력거래, 보조서비스 등 분산에너지 특구 추진 필요
- 발전사업자에 ESS 등 인프라 투자 유도/강제
 - * 재생에너지의 시스템 통합 비용 분담 vs. 보급 정책

✓ ESS Mix 구현을 위한 대용량/장주기 ESS 기술

(1) NaS(나트륨황) 전지 양산 기술개발 및 실증

- ✓ (내용) 대용량/장주기 ESS용으로 NaS 전지 양산기술 개발 및 실증
- ✓ (목적) 대용량/장주기 ESS mix 및 비리튬기반 전지 기술 확보
- ✓ (필요성/긴급성)
 - LIB 대안으로 대용량, 장수명, 고밀도 특성을 가진 NaS 전지 상용화
 - 국내개발 기술 사장 전에 실용화 : POSCO/RIST + KEPRI
- ✓ (국내 현황)
 - 포스코 : NaS 전지 개발 발표('10) → 상용화 실패
 - 지필로스, 상명풍력에 BASF NaS ESS 19.2MWh 공급, P2G용
- ✓ (해외 현황)
 - 일본 NGK가 독점 공급 : 200여개 사이트, 500MW이상/4GWh 공급
 - * UAE/아부다비 : 108MW/648MWh('08-'18), 피크컷, 비상용, GT 연료절감
 - * 일본/큐슈 : PV 연계, 50MW/300MWh('16.3), 세계최대 용량
 - BASF New Business가 NaS 판매 계약 체결('19.6)

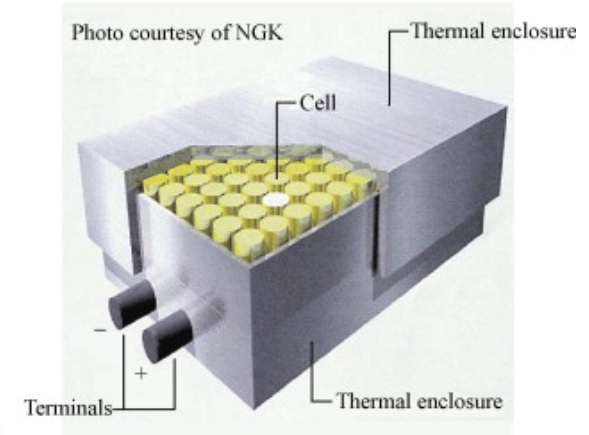
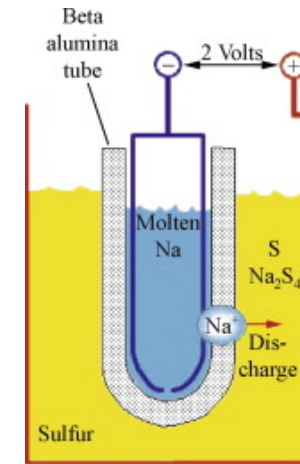


✓ (추진 방안)

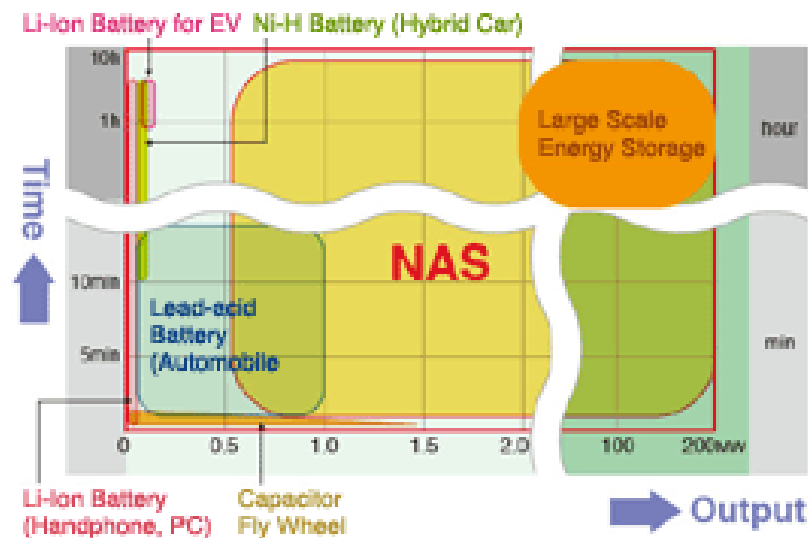
- 개발 방안 : 민간/공공기관 협업
- 양산 및 실증 방안
 - * 양산 : 벤처기업 육성 혹은 기술이전을 통한 양산
 - * 실증 : 풍력발전단지와 연계한 대규모 실증

✓ (비전)

- 비리튬 기반의 대용량/장주기 ESS 기술 확보 → 글로벌 시장 진출
- LIB ESS가 커버할 수 없는 용량/시간 범위 : 50/100MW, 4시간 이상 → ESS Mix 구현
- 신재생전원의 발전제약 완화, 기력발전소의 Ramp rate 지원 등 파급효과 기여



Battery Output and duration



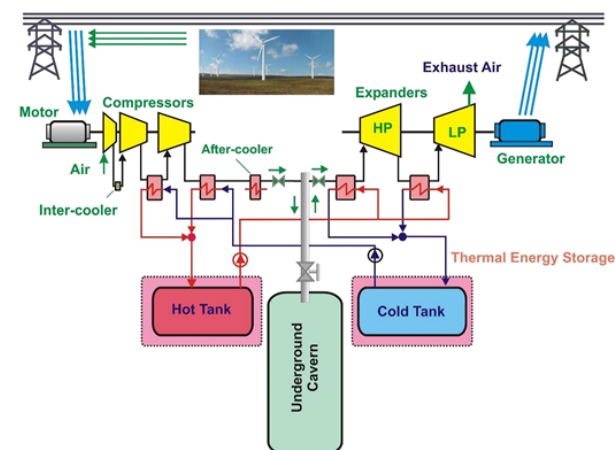
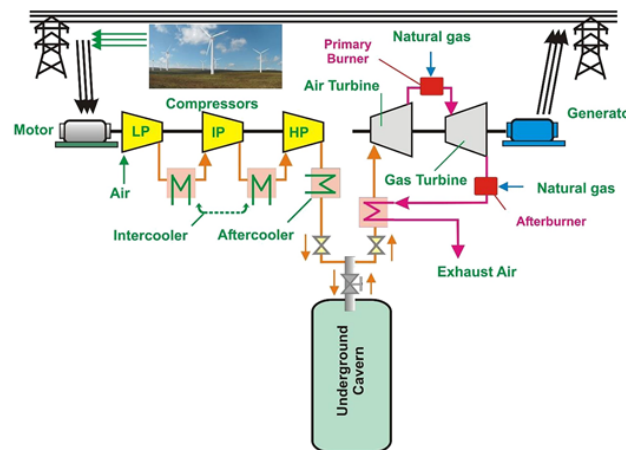
Comparison Table

Battery		NAS (Base)	Lead-Acid (Current)	Lithium Ion	Ni-H
Item	Continuous Discharge Duration with rated output	6 hours	2 hours	3 hours	2 hours
	Expected Lifetime (at standard conditions)	15 years	3 to 5 years	10 years	7 years
Size	MWh(1MW × 6h)	1	3 times	2 times	3 times
Weight	MWh(1MW × 6h)	1	6 times	2 times	6 times
Price	MWh × 15years	1	3 to 5 times	8 times	6 times
Notes	Self Discharge	No	Yes	Yes	Yes
	Memory Effect	No	No	No	Yes

Note: These data are typical values and change by the manufacturers

(2) CAES 상용화 개발 및 실증(>50/100MW)

- ✓ (내용) 잉여전력을 압축공기로 암반 혹은 인공터널에 저장하고 필요시 압축공기를 이용하여 발전하는 기계적 ESS
- ✓ (목적) 단기적으로 출력제한이나 계통연계 지연되는 지역 인근에 설치하여 Energy Shifting
- ✓ (필요성/긴급성) * 경제적 측면 : 송배전망 확충 투자 지연, 폐기 에너지 활용(향후, 보상비용 회피)
* 기술적 측면 : 출력제한 완화, 계통연계 대기물량 해소, 관성자원으로 활용
- ✓ (국내 현황)
 - 한국지질자원연구원, 정선, 폐탄광 50기압급 LRC 파일럿 실증('09-'11) → 발전 설비 없음.
 - 한국지질자원연구원, A-CAES용 지하 열저장 핵심기술 개발('12-'14)



✓ (해외 현황)

- 독일, Huntorf('78) : 290MW, 원전과 연계한 black start 서비스, 압염층, 316MW로 증대('06)
- 미국, McIntosh('91) : 110MW, 화력발전소 전력저장, 재생열교환기 적용(효율 77%), 압염층
- 중국, 독일, 호주, 캐나다, 미국 등 2,000년 이후 A-CAES 건설/계획 중

✓ (추진 방안)

- 제주, 호남지역(좌초자산) 사이트에 50/100MW 이상급 개발

- * 재생에너지 고밀도 보급지역에 인공터널 방식 적용
- * 발전소 부지, 국산 압축기 및 GT 활용

- 개발 방안

- * 방안1 : Pilot CAES 개발(1-2MW급) → 대용량급 개발(80MW급)
- * 방안2 : 실적용급 2세대 D-CAES 개발

- 추진 절차 : LIB ESS와 경제성/운용성 비교 (필요시 예타), 사이트 선정, 참여기관 협의

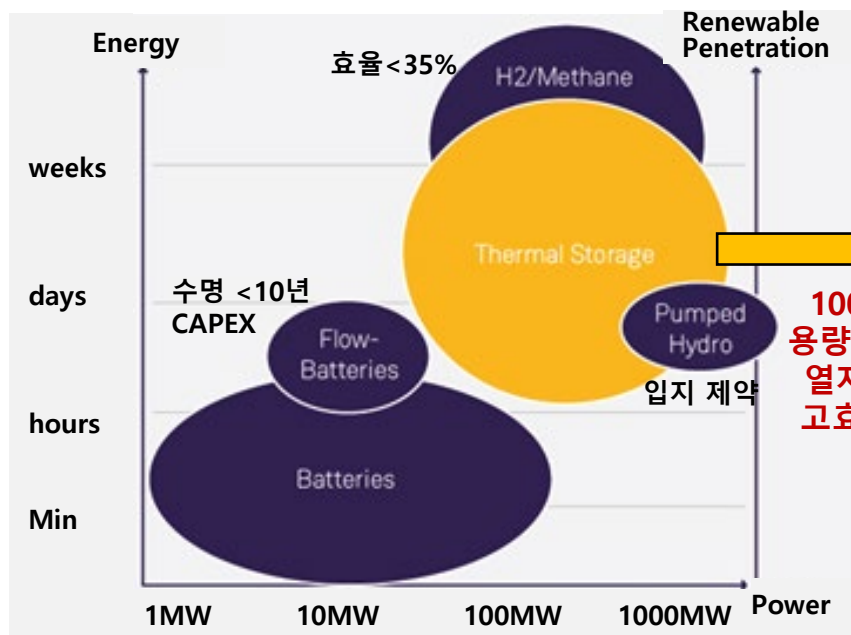
✓ (비전)

- 운영 목표 : 수용성, 유연성 → Curtailment, 접속대기 완화 등 단기적 문제 해결
- LIB ESS가 커버할 수 없는 용량/시간 범위 : 50/100MW, 4시간 이상 → ESS Mix 구현
- 관성 자원, 발전제약 완화, 기력발전소의 Ramp rate 지원 등 파급효과 기여

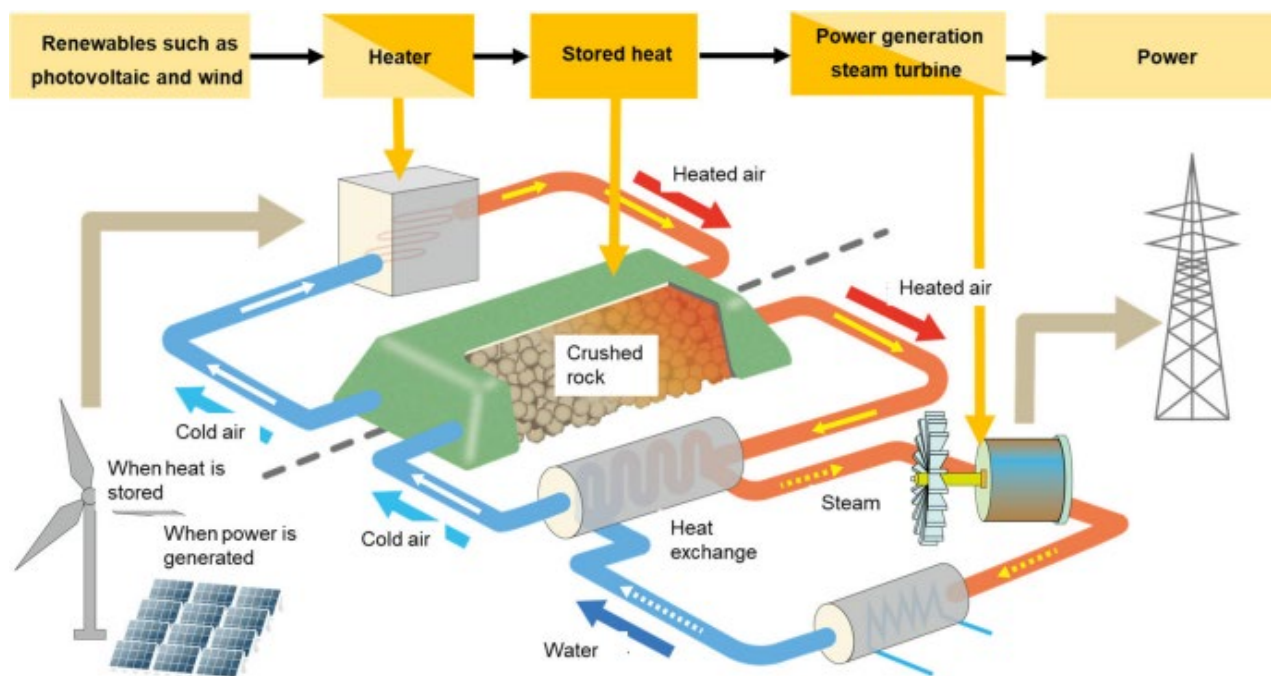


(3) 대용량 열저장(카르노 배터리)

- ✓ (내용) 잉여전력을 열로 변환, 저장했다가 필요시 증기터빈으로 발전하는 대용량, 장주기 카르노 배터리 (Carnot Battery) 시스템의 개발 및 실증
- ✓ (목적) 대용량, 장주기 ESS의 확보로 출력제한, 계통연계 지연 등 해결 방안 제시(Power Shifting)
- ✓ (필요성/긴급성) * 경제적 측면 : 송배전망 확충 투자 지연, 폐기/노후 발전설비 활용(석탄, 가스)
* 기술적 측면 : 출력제한 완화, 계통연계 대기물량 해소, 관성자원으로 활용



100 - 1000MW
용량, 장주기 ESS는
열저장이 경제적,
고효율, 장수명임.



✓ (국내 현황)

- 에너지기술연구원, 생산기술연구원, 기계연구원 및 대학에서 기초 연구 수행 실적 있음.
- 에기연, IEA 카르노배터리 국제공동연구 참가('19.10-)

✓ (해외 현황)

- DOE : NREL, ARPA-E DAYS 프로젝트('18.10'-), 전기히터 가열, GT 발전
- 일본, 독일, 미국(구글) 연구 시작
- 독일(IEA 국제공동연구 주도) : Siemens Gamesa, 전기히터-암석 데모플랜트 구축, 커미셔닝 중('19-)

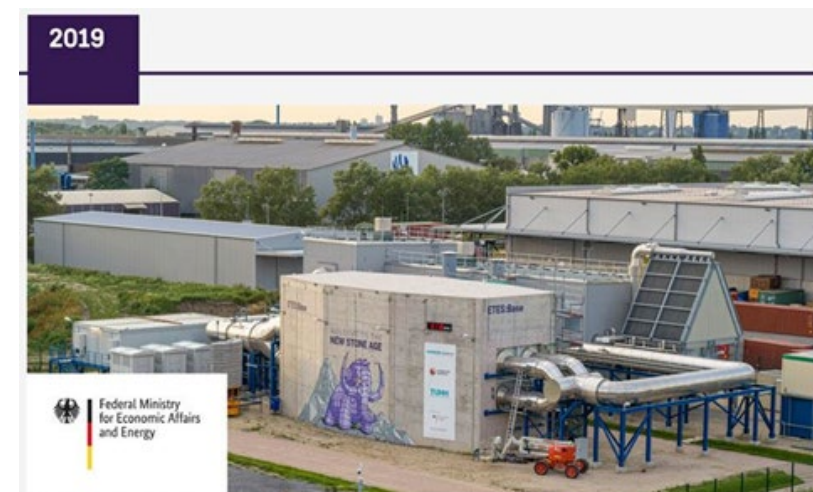
✓ (추진 방안)

- 출력제한 해소용으로 개발 : 예, 제주화력 75MWx2 전환
- 핵심기술(대용량 저장, 전력-열-전력 변환 기술) 개발
- 발전사 참여 : 좌초자산(석탄화력) 활용 방안

✓ (비전)

- 100MW 이상급 카르노 배터리 상용화 운전
- RTE 50% 이상의 열저장 발전 플랜트 구축

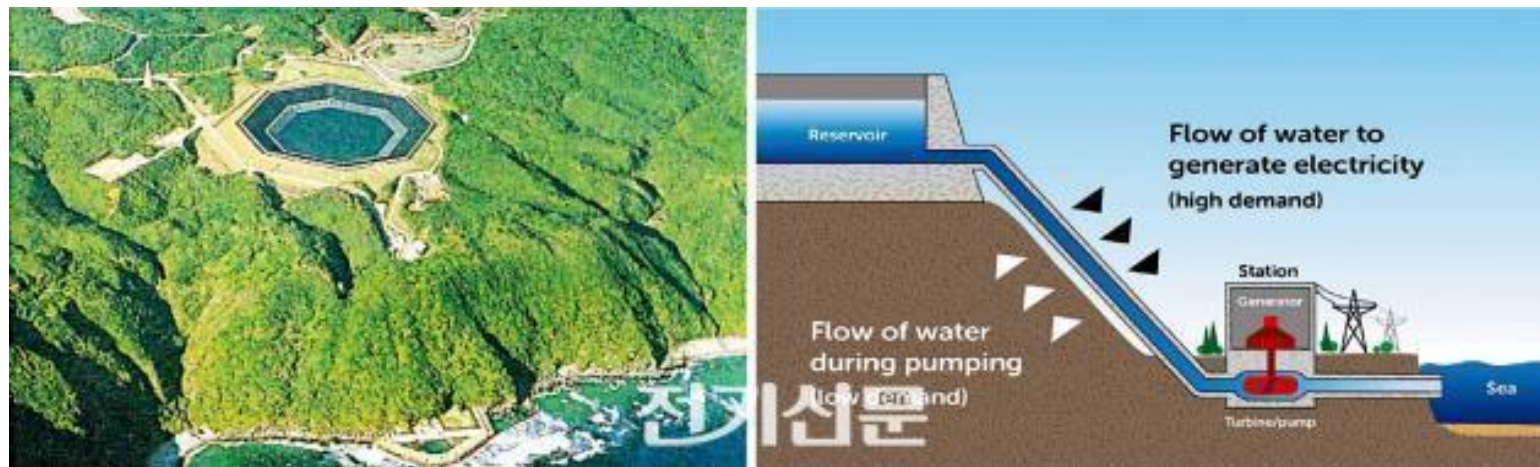
- 대용량, 장주기 ESS 현실적 대안 =
중단주기 리튬전지 + 장주기 열저장(폐기발전소)
- 출력제한 및 안정화, 접속대기 등 해결 → 인프라 활용



▲ Siemens Gamesa 프로젝트(5.4MW/130MWh), 2019 운전 개시

(4) 중형 해수 양수 시스템(Seawater Pumped Hydro) 개발 및 실증

- ✓ (내용) 제주, 서남해안 VRE 집중 보급지역 인근에 중형(<100MW) 해수양수 발전소 개발
- ✓ (목적) 해수 양수 시스템 개발로 장주기 ESS 기술 확보
- ✓ (효과) Curtailment, 연계 대기 해소 등 단기적인 성과
- ✓ (국내 현황)
 - 한전 전력연구원에서 제안 수준 : 입지, 환경파괴, 염수 오염 등 문제점 확인
- ✓ (해외 현황)
 - 일본 오키나와, Yanbaru('87-'99), 연구용 해수양수, 30MW급
 - * 136m, 26m³/s, 564,000m³, 인공저수지(염수 오염 방지), '16 해체(전력수요 정체, 경제성 악화)
 - 호주, Cultana : 225MW, 8hr, 설계 및 투자경제성 분석 중



✓ (추진 방안)

- 필요성 : VRE 대량 보급 인근 지역에 적용할 수 있는 안정적 대용량/장주기 ESS 확보
- 여건 : 기술적 측면 보다 환경적, 입지 고려 → 인근 지역의 염수 침해, 기기 오염 등 해결 필수적임.
- 추진 방안 : KPX, 한전, 발전사와 논의

✓ (비전)

- 세계 최초 상업용 해수양수 발전시스템
- 중단기적 Flexibility 기술 확보

✓ **참고 : 대형 양수**

- (현황) 8차 전력수급기본계획('17-'31)
 - * 영동, 홍천, 포천 3곳, 1850MW, 3.6조
 - * 영동양수('24-'29) : 500MW(453m, 410만톤)
- (시사점)
 - * 경제성 논란(가동율 10%, 6시간 운전), 입지 제약
 - * '30년부터 순차적 가동, VRE 밀접지역과는 이격
- (경제성) 단순 CAPEX
 - * 양수 : 500MW, 6hr, 3GWh → 1.2조(영동양수) vs. LIB : 3GWh → 1.5조

감사합니다!!