

제주의 도전, 스마트시티

- 제주 신재생에너지와 스마트시티 -



2021. 9. 7.

제주스마트시티챌린지사업단
(KAIST지속발전센터, 차상민
서울대 지속가능연구소, 김인환)

1. CFI 제주의 성과와 문제점



청정 *Clean*

제주의 자연 환경과의 조화

안정 *Stability*

안정적 에너지 공급구조

성장 *Growth*

도민주도 산업 생태계 혁신

by
2030



도내 전력수요 100% 대응
신재생 에너지 활용 4,085MWh



도내 등록차량의 75%
친환경 전기차 대체 37.7만대



에너지 수요 절감 23.4%



에너지 융복합 신산업 육성

신재생 에너지 및 EV 기반 탄소저감 프로젝트

카본프리 아일랜드 추진

Since 2012

- 친환경 에너지와 친환경 모빌리티로의 전환
- 에너지 자립도의 향상
- 환경적, 사회적, 경제적 가치를 동시에 추구

1. CFI 제주의 성과와 문제점

제주형 그린뉴딜

제도·정책



그린뉴딜 선도지역

(분산에너지 특구)

실증·사업화



태양광 발전사업허가 행정절차 변경

국내 최초 풍력발전 이익공유화 제도 도입

공공주도 풍력개발 투자 활성화 발표

카본프리 아일랜드 제주 by 2030 발표

국내최초 풍력발전 지구지정

2020

2019~2023

2019.1

2017~2019

2016.7

2015.9

2012.7

2012.5

2011.11~2016.4

2011.10

2009.12~2013.5

신재생에너지 발전량 17.8%(20.11), 전기차 2만대 돌파

전기차 충전서비스 규제자유특구 지정

전기차 폐배터리 재사용센터 구축

제주에너지공사 설립

※ 풍력자원의 체계적 공공관리 전담 실행기구

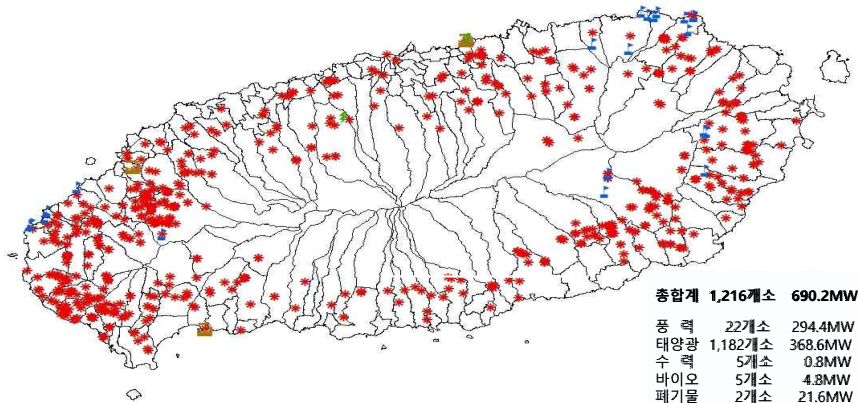
제주 가파도 카본프리 아일랜드 구축

제주 스마트 그리드 국가 실증단지 조성



1. CFI 제주의 성과와 문제점

제주발전기(LNG복합 등) 54%, 해저연계선 29.8%, 신재생에너지 16%



<'20.12월말 기준>



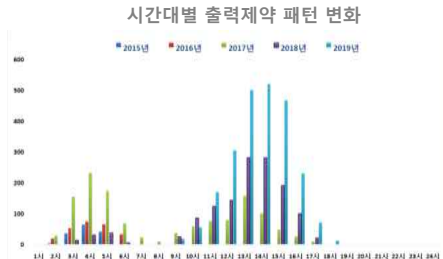
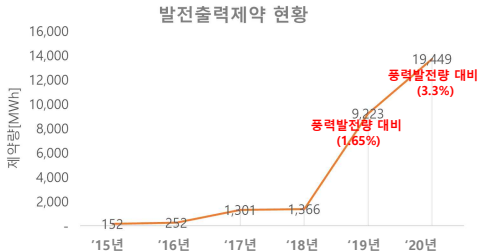
1. CFI 제주의 성과와 문제점 : Curtailment

제주는 '15년도부터 출력제약(Curtailment)이 발생, '19년도 부터 급격히 증가

- '20년 : **19.5GWh** 출력제약(77회) 발생 ⇒ 제주 전체 신재생 발전량의 **3.3%, 30억원 상당** 해당
- '21년 181GWh, '22년 254GWh **출력제약** **전망으로 2년간 약 330억 규모 손실 예상**
- #3 HVDC 연계 후 출력제어 완화에도 '23년 약 103GWh 전망

태양광 가파른 증가에 따른 발전출력제약 패턴 변화

△봄, 가을철 출력 제약 급증, △밤 시간대에서 주간 시간대로 출력제약 패턴 변화





1. CFI 제주의 성과와 문제점 : Curtailment

구조적·제도적 문제 동시다발 발생



CO₂ 감축을 위한 **정부정책 수행의**
4가지 복합적인 Hurdle 해소방안 강구 절실



1. CFI 제주의 성과와 문제점 : 해결 방안 모색

에너지 저장

미활용 전력 전기에너지 저장

- 1 BESS
- 2 V2G(전기차)

에너지 전환

저장된 미활용 전력 전기에너지
타 에너지로 전환

- 3 P2G(그린수소)
- 4 P2H(히트펌프)
- 5 전전화(全電化)

에너지 관리

신재생에너지 통합 운영으로
최적화된 에너지 관리

- 6 DR(수요관리)
- 7 VPP(가상발전소)



에너지 시장

전력시장제도 개선을 통한
발전출력제약 최소화 방안 수립

- 11 전력시장 제도

에너지 전송

전압형 HVDC를 통한
제주와 육지 간의 전력 전송

- 10 HVDC

에너지 제어

기존 발전기 제어능력 기술 응용
신재생에너지 발전기 제어기술 적용

- 8 AGC(자동제어)
- 9 출력예측



2. CFI 성과를 스마트시티로 연결

- ① 차량 증가에 따른 교통 체증/주차난 ② 충전난과 에너지 서비스업 위기 ③ 신재생에너지 비용 증가

01 제주도 정책 방향

지역균형발전

제주형 도시재생 뉴딜 사업
농어촌 지역 활성화

Carbon Free Island 2030

신재생에너지 확대
내연차 신규 등록 중단

02 제주 현안



자동차 보유 비율 약 2배
제주 2.05 vs 전국 1.06
(대/세대)



EV 비중 전국 1위
제주 5.4% vs 전국 0.5%



신재생 에너지 확대
20년 19GWh, 18년 대비
14배

03 도시 문제



- 교통 체증의 가중
- 주차난 심각



- 전기차 충전난
- 주유소/충전소 수익 악화







- 불용 에너지 증가



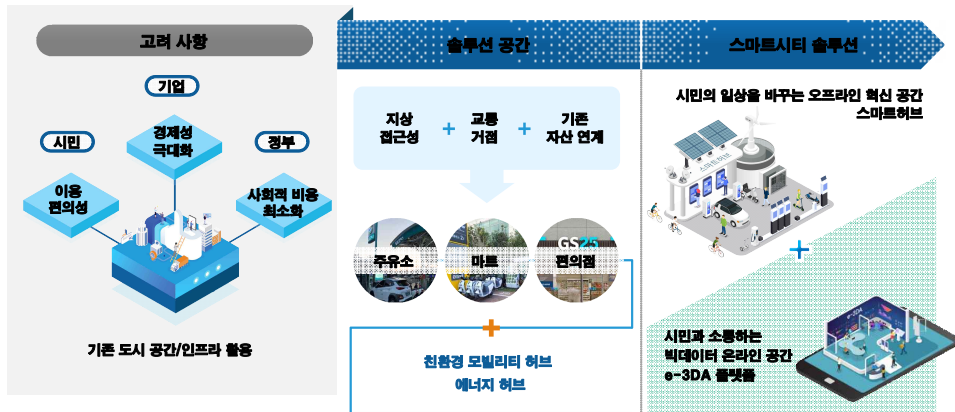
2. CFI 성과를 스마트시티로 연결

도시 문제를 해결하기 위한 시도들은 또 다른 파생 문제를 유발

도시 문제 »	도시 문제 해결 방향성	» 그러나...
교통 체증의 가중 주차난 심각	▶ 다양한 친환경 모빌리티 공유 활성화	
충전난	▶ 초급속 충전 인프라 구축	
주유소/충전소 사업 악화	▶ 기존 자산 활용/전환 비용 낮은 신사업	
불용에너지 발생	▶ 잉여 전력을 수요처와 연계	

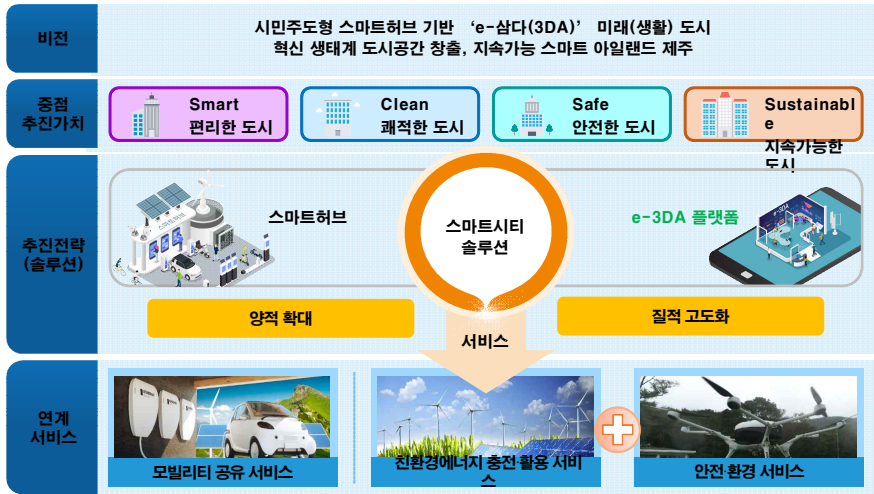
2. CFI 성과를 스마트시티로 연결

생활 거점으로 접근성이 우수한 기존 도시 인프라를, 미래 도시 구현을 위한 기간시설로 활용





2. CFI 성과를 스마트시티로 연결





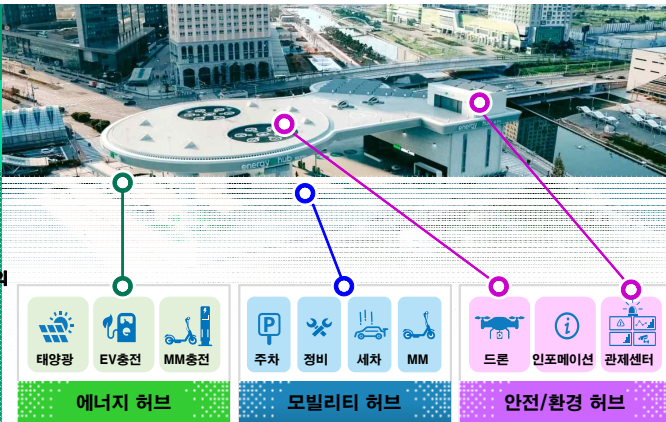
2. CFI 성과를 스마트시티로 연결

기존의 '주유소' 를 '스마트시티 허브' 로 전환

'스마트풀러스 허브'

스마트허브
기능을 모두 구현한
Flagship Site

- 친환경 '미래형 주유소' 모델 제시
- 제주 스마트시티 웰린지의 연계사업으로 활용
- 제주국제공항 앞 추진 예정
(제주특별자치도 소유 부지)





3. 스마트시티에서의 활동들: 주유소를 스마트허브로 전환

- ① 전기차, 수소차 등 스마트·그린 모빌리티로의 전환
- ② 내연차 분야 전환 및 상생 방안 마련



3. 스마트시티에서의 활동들: 전력거래 자유화 시범





전력구매처

Grid

신재생 발전사

커뮤니티 타운

+ DR

부하자원 모집

① 부하자원 모집

컨소시엄 사업자

스마트허브 (지역거점형)

스마트허브 (지역거점형)

스마트허브 (지역거점형)

스마트허브 (지역거점형)

고정형 ESS (250 kWh)

고정형 ESS (250 kWh)

고정형 ESS (250 kWh)

고정형 ESS (250 kWh)

이동형 ESS (250 kWh)

이동형 ESS (250 kWh)

커뮤니티 타운 소유 ESS

DR

기업 PPA

충전요금

전력판매처

KPX 전력 거래소

RE100 기업

EV 충전

커뮤니티 타운 주민 대상 +DR 요금제 전력 이용

커뮤니티 타운 ESS 위탁운영

커뮤니티 타운

커뮤니티 타운 주민 +DR 요금 EV 충전

② 연간 756,400원 연료비 절감

커뮤니티 타운 ESS 위탁운영

스마트시티 챌린지 컨소시엄

③ 커뮤니티 타운 수익 연간 13,156,800 원 (위탁운영 수익 배분 30%)

3. 스마트시티에서의 활동들: 재생에너지 신기술 개발 적용

재생에너지 연계 그린수소 생산·저장·활용 실증사업



주관기관

• 제주에너지공사

추진배경

• 재생에너지 미활용 전력을 활용한 그린수소 생산을 통해 재생에너지 변동성 대응

사업내용

- 3MW급 수전해 시스템 설계, 구축
- 600Kg급 그린수소 및 2MWh급 배터리 저장 시스템 구축, 실증
- 그린수소 생산, 저장 시스템 실증 및 운영



풍력, 태양광



물 전기분해방식



수소저장장치



수소연료전지,
수소차, 수소드론

국내최초, 재생에너지 연계 대규모 그린수소 생산·저장·활용 실증
2020.10.~2022.12. 총 204억(정부출연금 135억, 민간 69억)

3. 스마트시티에서의 활동들: CFI 제주의 완성

지난 10여년간,
카본프리아일랜드 2030
계획의 수립·실천을 통한



경험·인프라 축적



**그린 뉴딜 선도적
추진 여건 조성**



**한국판 뉴딜
그린 뉴딜**



**재생에너지 확대 발생문제
선제적 대응**



**제주형
그린 뉴딜**

글로벌 선도 '카본프리 청정 아일랜드'
전국 최고·글로벌 선도 신재생에너지 메카 제주



4. 제주 재생에너지와 ESS 간의 최적 운영

Battery Energy Storage System (BESS) Development in Pacific Island Countries (PICs)





4. 제주 재생에너지와 ESS 간의 최적 운영

On exploring two case studies in Jeju, Korea

The empirical analysis on the relationship between power generation and BESS charging/discharging in *Jeju-do, Korea* and *Gapa-do, Korea*, finds that the importance of BESS as a supporting technology for expanded renewable generation is uncontested. Using the generalized method of moments (GMM), a generic method used in econometrics to estimate parameters in statistical models this report finds that:

In the Jeju main-grid,

- An Increase of 1% in wind power generation has increased daily BESS usage by 32.9 kW.**
 - An Increase of 1% in solar PV generation resulted in a daily BESS usage increase of 27.9kW.**
-



4. 제주 재생에너지와 ESS 간의 최적 운영

Analysis of the Gapa mini-grid yields more conspicuous findings relevant to PICs.

First, in relation to BESS charging,

- **An increase of 1% in solar PV generation is correlated with a 0.37% increase in BESS charging.**
- **An increase of 1% in wind generation is correlated with a 0.13% increase in BESS charging.**
- **There is no observable correlation between diesel generation and BESS charging.**

Second, in relation to BESS discharging,

- **An increase of 1% in solar PV generation is correlated with a 0.53% increase in BESS discharging.**
 - **An increase of 1% in wind generation is correlated with a 0.18% increase in BESS discharging.**
 - **The relationship between diesel generation and BESS discharging is not statistically meaningful.**
-



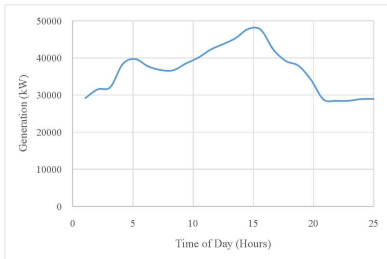
4. 제주 재생에너지와 ESS 간의 최적 운영

Variable renewable energy (VRE) sources like solar PV or wind are likely to be at the center of PICs' national energy transition. In this sense, the findings from the analysis above provides empirical support to BESS: once installed and in operation, BESS embeds well in the energy grid, supporting the transition from a fossil fuel- based energy mix to a renewable-based one.

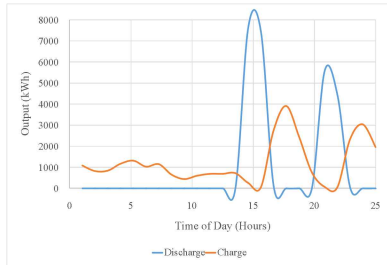
The study also emphasizes the essential role of national energy policies such as the renewable portfolio standard (RPS) or the regional energy policies such as BESS mandates. Such national and regional level BESS policies incentivize utilities, power generators, and private sectors to actively invest and install BESS.



4. 제주 재생에너지와 ESS 간의 최적 운영



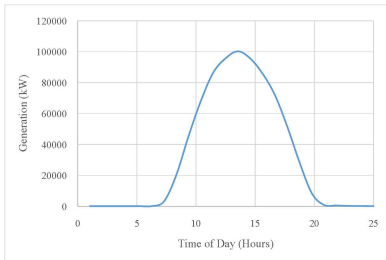
Average August Wind Generation in 2020



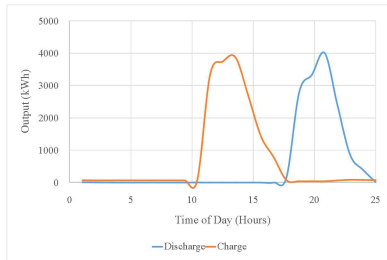
Average August BESS Charge-Discharge in 2020(Wind + BESS)



4. 제주 재생에너지와 ESS 간의 최적 운영



Average August Solar PV Generation in 2020



Average August BESS Charge-Discharge in 2020(Solar PV + BESS)



5. 제주 경험의 Global 확산 모색 : 태평양 도서국가(PICs)

On the policy and market framework development for BESS in PICs

Pivoting back to the discussion of policy and market framework development for BESS in PICs – particularly in developing the roadmaps for the Federated States of Micronesia (FSM), the Republic of Marshall Islands (RMI), and Tuvalu (TUV), the study identifies BESS policy and market measures to facilitate much needed private sector participation (see Table 1). Because BESS is a supporting technology, rather than an energy generation technology, the proposed policies and market mechanisms are highly related to energy generation – renewables, in particular.

Proposed BESS Policy [↗]		
Targets [↗]		Battery Energy Storage System (kWh or MWh) [↗]
		Renewable Energy (%) [↗]
		Transportation (# of vehicles) [↗]
Policy measures [↗]	Indirect [↗]	Auctions or Reverse Auctions [↗]
	Indirect [↗]	Energy Access / Electrification Rate (%) [↗]
	Direct [↗]	BESS mandate (%) [↗]
	Indirect [↗]	Feed-in Tariff (FiT) [↗]
	Indirect [↗]	Interconnection Standards [↗]
	Direct [↗]	Investment tax credits [↗]
	Indirect [↗]	Renewable Portfolio Standard, RPS [↗]
	Direct [↗]	Tax Reduction or Exemption [↗]
	Indirect [↗]	Time of Use (TOU) & net metering [↗]



5. 제주 경험의 Global 확산 모색 : 태평양 도서국가(PICs)

In most PICs, single power utilities are entirely responsible for the generation, transmission, distribution, and sales of electricity^[1], which limits direct private sector participation. However, the placement of the policies proposed in Table 1 will encourage and incentivize private sector participation in the short-term in the form of PPPs. A special purpose vehicle (SPV) can be set up that de-risks BESS projects by combining the public' s know-how in political and social governance and the private sector' s expertise in RE project operation and financing.

In the long-term, reviewing the trend in global energy market liberalization, the central governments and public utilities in PICs may consider a transition from the current market structure towards one that opens certain aspects to the private sector. For instance, delegating the responsibility of power generation to the private sector will create multiple IPPs. In this case, BESS becomes an even more attractive technology that enables profit generation for IPPs.
