




전력거래자유희와 **Curtailment** 보상방안

홍준희

가천대학교

2021.03.19



Race to 100% Clean Energy of Jeju

Part 1

100% Clean Energy of Jeju

65%

Germany 2030

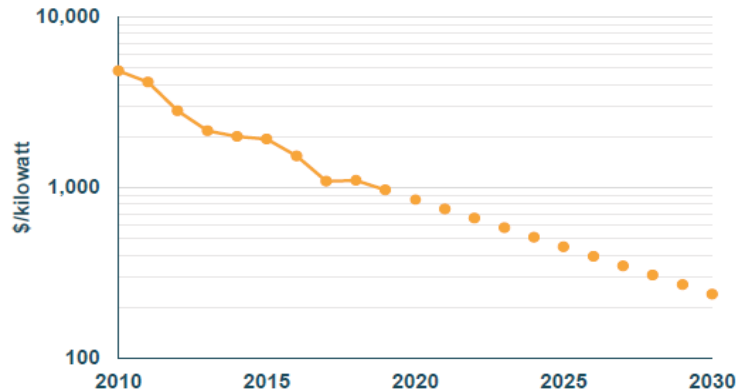
100%

California 2045

100%

Denmark 2030

100% Clean Energy of Jeju

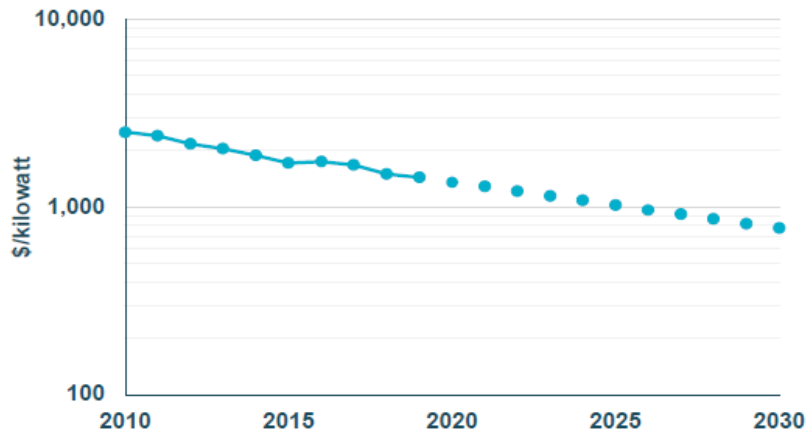


Source: NREL, 2018.¹ RethinkX projections 2019-2030.

그림. 태양광 설비비용 곡선의 추세[로그스케일]

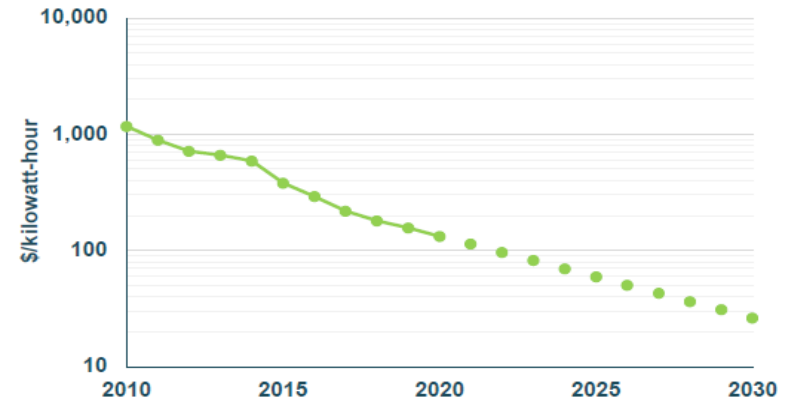
재생에너지 기술의 비용 곡선

- RE 100이 기업이라면, 100 SWB는 계통
- 100% SWB(Solar, Wind, Battery) System의 시점과 비용은?
- SWB의 비용 개선이 20년 동안 일관되고 예측 가능한 속도로 진행
- 제조단가와 생산량 사이에 강력한 상관관계를 보여줌
- 로그스케일의 비용개선은 2030년까지 지속될 것



Source: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2018.³ RethinkX projections 2019-2030.

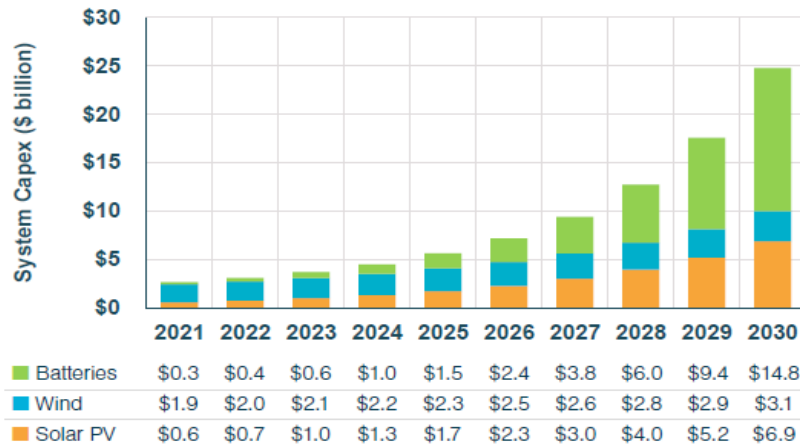
그림. 풍력 설비비용 곡선의 추세[로그스케일]



Source: BNEF, 2019.⁴² RethinkX projections 2020-2030.

그림. 리튬이온 에너지저장장치 설비비용 곡선의 추세[로그스케일]

100% Clean Energy of Jeju



Source: RethinkX

그림. 뉴잉글랜드의 100 SWB 시스템을 위한 자본 투자

100 SWB 시스템 구축 비용 : 뉴잉글랜드 사례

- 미국에서 일조량과 풍력 자원이 가장 빈약한 지역
- 2030년까지 100 SWB 시스템 구성과 전기에너지 비용 분석
- 최소비용의 100 SWB 조합을 위해 910억 달러 투자 필요
- 1,232GWh(평균 수요 89시간) 배터리 설비, 85.5GW 태양광, 25.5GW 풍력으로 구성

	Lowest Cost 100% SWB System	Lowest Cost 100% SWB System + 10% Investment	Lowest Cost 100% SWB System + 20% Investment
0% Super Power Utilization	6.1 cents/ kilowatt-hour	6.6 cents/ kilowatt-hour	7.2 cents/ kilowatt-hour
50% Super Power Utilization	4.9 cents/ kilowatt-hour	4.2 cents/ kilowatt-hour	4.1 cents/ kilowatt-hour
100% Super Power Utilization	4.0 cents/ kilowatt-hour	3.1 cents/ kilowatt-hour	2.8 cents/ kilowatt-hour

Source: RethinkX

그림. 뉴잉글랜드의 100 SWB 시스템 전기에너지 비용

100 SWB 전기에너지 비용

- 최소비용으로 100 SWB 시스템 구축 시 kWh 당 6.1센트
- 추가 10% 투자 후 잉여에너지를 50%만 활용해도 kWh 당 4.9 센트
- 추가 20% 투자 후 모든 잉여에너지를 활용한다면 kWh 당 2.8 센트
- 재생에너지 보조금, 전기차 배터리 활용 등은 고려 X

100% Clean Energy of Jeju

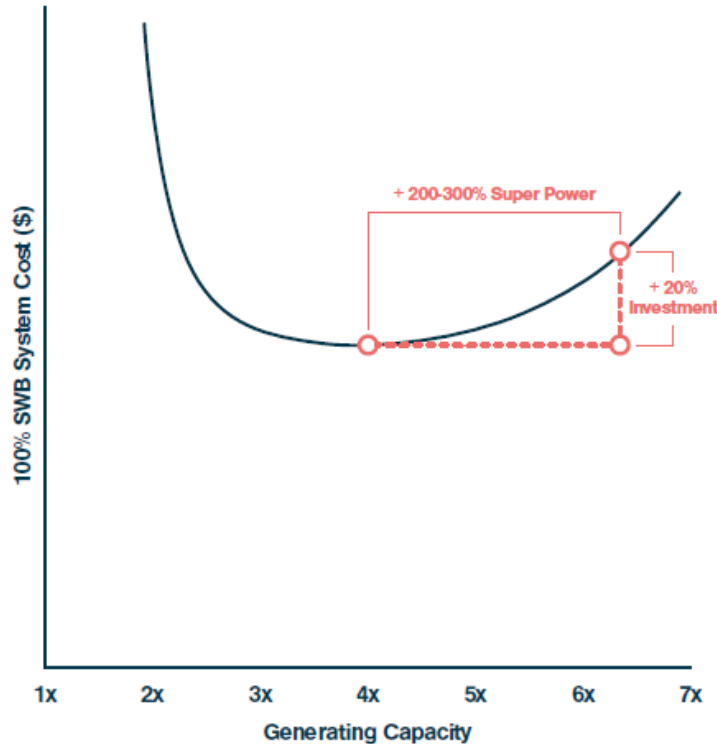


그림. 100% SWB 시스템 자본투자과 잉여에너지 관계

100 SWB 시스템의 특성

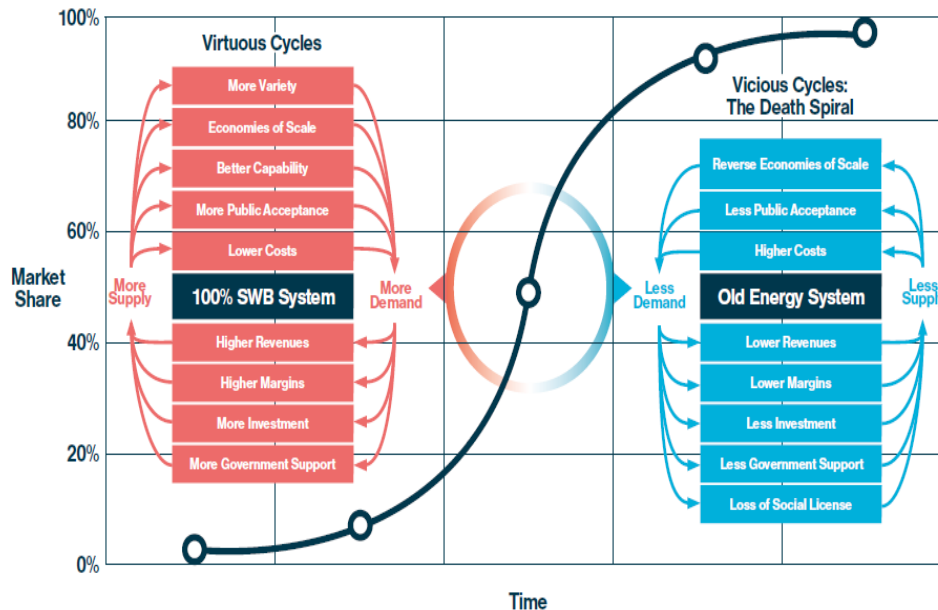
1. 투자 대비 잉여발전량의 비선형적인 증가

- 100 SWB 시스템을 구성하기 위한 투자 대비 재생에너지 설비 증가를 보여주는 U-curve
- 바닥이 넓게 퍼져 작은 투자에 큰 설비용량 증가
- 최저비용 100 SWB 시스템에서 20% 추가 투자하면 200~300%의 잉여발전량을 추가로 얻을 수 있음

2. 풍부한 잉여에너지

- 대부분의 연구나 보고서가 잉여에너지를 최소화하거나 발생하지 않도록 시스템 설계
- 잉여에너지에 대한 새로운 관점 필요
- 한계비용 0의 매우 풍부한 클린에너지
- 운송, 난방, 담수화, 폐기물 처리, 공정, 컴퓨팅 등 수많은 응용분야
- 잉여에너지는 지역경제 개발에 창조적 전환을 가져올 것

100% Clean Energy of Jeju



Source: RethinkX

그림. 에너지 시스템의 Virtuous or Vicious Circle

3. Virtuous Cycles

- 100 SWB 시스템의 구축
 - 풍부한 클린 에너지와 낮은 전기 비용
 - 더 많은 산업, 더 많은 인구, 더 많은 전력 사용
 - SWB 시스템 수익 증가
 - SWB 시스템 투자 증가
 - 잉여에너지의 폭발적 증가
 - 낮은 전기 비용

100% Clean Energy of Jeju

Summary

1. 100 SWB 시스템은 물리적으로 가능하고 시기적으로도 멀지 않았음
2. 100 SWB 시스템 구성을 위한 투자는 통상적인 믿음보다 크지 않으며, 배터리 필요량도 생각보다 많지 않음
3. 100 SWB 시스템은 수백만 개의 일자리 창출과 함께 온실가스 배출량을 50% 이상 직접적으로 제거할 수 있을 것
4. 클린 잉여에너지로 모든 도로 운송을 전기에너지로 사용하면 석유 수요를 20% 이상 줄일 수 있을 것
5. 풍부한 한계비용 0의 잉여에너지는 에너지시장, 에너지 집약적 산업, 경제 전반에 큰 변화를 가져올 것
6. 2030년 이후 인구밀집지역 대부분에서 100 SWB 시스템을 목표하고 구축하게 될 것
7. 잉여에너지는 (curtailment를 해야만 하는) 문제가 아니라 해결책임



Curtailment Solution for Future

Part 2

Curtailment Solution

- Market-based Solution

- Operation-based Solution

- Regulation-based Solution

- Technology-based Solution

Curtailment Solution

Market-based Solution

curtailment 보상 문제

- (수익 불확실성) 현 재생에너지 사업자의 투자비 회수 문제
- (형평성) 풍력발전사업자 위주의 curtailment

형평성과 불확실성

- 형평성은 SO나 MO가 해결해줘야 하는 문제
- 불확실성은 논의의 여지가 있음
- 기본적으로 투자로 인한 수익 불확실성은 투자자 책임
- 단, 재생에너지 도입 초기에는 확대 지원을 위해 rate payer가 부담 가능

curtailment solution의 방향성

- 현재는 다양한 방식(설비접속, 보조금, 발전량 예측제도 정산금 등)으로 재생에너지 지원
- 재생에너지 비중 증가에 따라 불확실성에 따른 투자 리스크는 시장에 의한 사업자가 부담하는 것이 합리적
- 재생에너지 선도국가의 추세도 동일
- 동시에 재생에너지 잉여로 인한 가격 형성은 재생에너지 설비와 에너지저장설비 투자에 대한 장단기적 가격 신호를 제공할 수 있음

Curtailment Solution

Market-based Solution

Market-based Solution

- 에너지 시장(CBP)은 현재와 같은 방식 유지
- 재생에너지 사업자는 에너지시장에서 낮은 가격으로 입찰 하여 모든 발전량 낙찰
- 계통운영자가 하루전시장에서 Must Run 발전기들이 최소발전제약 값으로 발전함에도 공급이 수요를 초과할 때 공급 과잉 선언
- 계통운영자가 초과공급량에 대해 새로운 시장을 열고, 발전사업자(또는 배터리사업자)는 네거티브 가격으로 supply bid to decrease를 입찰
- 계통운영자는 낮은 가격부터 낙찰하여 발전량을 줄임
- 시장에서 발전사업자(또는 배터리 사업자)에게 지불하는 총 보상금액 제한이 필요할 경우, price cap 사용
- 시장의 입찰량이 충분치 않을 경우, 계통운영자가 manual dispatch를 시행

Curtailment Solution

Market-based Solution

- curtailment solution을 단기 현안과 미래가치 고려, 시기적으로 3단계로 나누어 시행
- 1단계는 보상제도로 제 3연계선로 완공 1년 전까지 시행
- 2단계는 시범제도로 1단계 종료 후 1년간 시범적으로 시행
- 3단계는 시장제도로 제 3연계선로 완공 후 시행

1단계: 보상제도

(목적) 발전사업자 curtailment 보상 및 형평성 고려
(제도) 발전사업자의 curtailment에 대해 (시장가격+REC) 보상
(비용) 산자부 100%
(비용근거) 제 3연계선로 지연

2단계: 시범제도

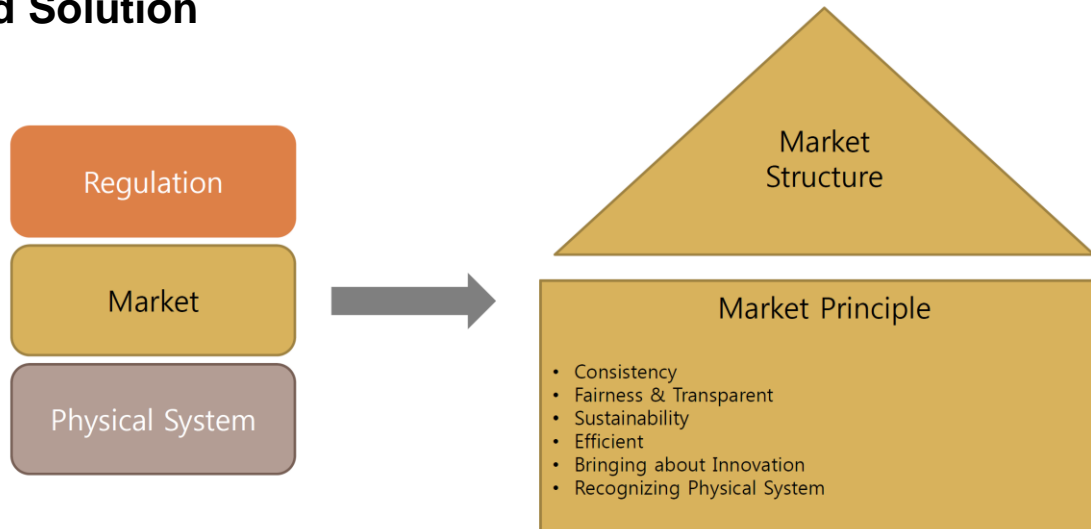
(목적) 3단계 시장제도의 시범적 운영
(시장참여자) 잉여 E 거래시장을 통한 새로운 사업기회 창출
(계통운영자) 잉여 E 거래시장의 미비점 보완
(정부) 재생에너지 잉여 E 거래시장 시범적 운영

3단계: 시장제도

(목적) 시장제도를 통한 잉여에너지의 가치 창출
(시장제도) 잉여 E 발생 시, 계통운영자가 잉여 E 거래시장에 입찰
(제도근거) 사회후생최대화, 사업기회 창출, 잉여E 활용, 전전화·충전인프라 확대
(비용부담) 전기서비스 사용자(end-user)
(비용근거) 시장 활성화로 전체 사회후생증가

Curtailment Solution

Market-based Solution



Market-based Solution의 복잡함

단순히 curtailment만을 위한 시장을 만들 수 있는 것은 아님
다음과 같은 요소 고려 필요

1. 기본적인 전력시장의 설계 원칙 준수
2. 시장 전체에 대한 구조(다른 시장과의 관계)에 대한 설계 및 분석
3. 규제, 운영, 기술과 시장의 관계
4. 시장 도입으로 인한 문제점이나 부작용(유동성, 시장지배력, 올바른 가격 신호 등)
5. 시장의 형태(가격 결정 메커니즘, timeline, 입찰 자격 등)

Curtailment Solution

○ Market-based Solution

○ Operation-based Solution

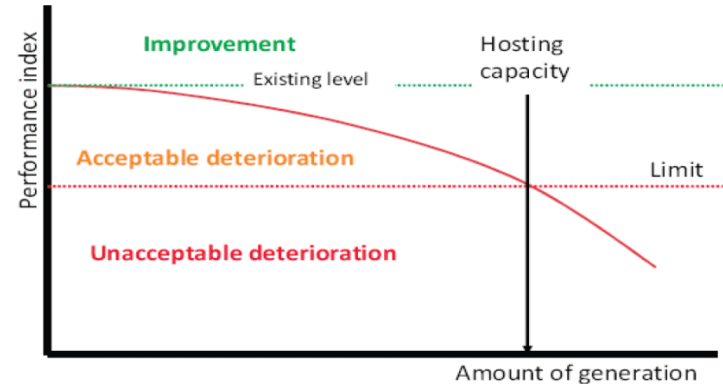
○ Regulation-based Solution

○ Technology-based Solution

Curtailment Solution

Software Technology : Hosting Capacity Analysis Program(수용용량 분석 프로그램)

- **(정의)** Hosting Capacity는 재생에너지 자원을 수용할 수 있는(Host) 최대 용량을 의미
- **(개발)** 캘리포니아 주는 2014년 분산전원 수용용량 계산을 위한 프로그램 개발 시작
- 미네소타주는 2015년, 뉴욕주는 2016년
- **(목적)** 현재 미국 전력계통 상당수가 전력 유틸리티의 수용용량 분석을 의무로 하고 있음
- 재생에너지 입지 최적화, 효율 최대화, 망 계획 등을 목적으로 개발하여 사용



Criteria	Description	Threshold	Basis
Primary Over-Voltage	High voltage exceeds nominal voltage by threshold	105%	ANSI C84.1 Range A – Maintain quality of service to customers
Primary Voltage Deviation	Change in Voltage from no DER to full DER	3%	MN Tariff Section 10, Sheet No. 146 – Maintain power quality for customers
Regulator Voltage Deviation	Change in bandwidth from no DER output to full DER output at a regulated node	50%	Prevent reliability and power quality issues by avoiding excessive regulator operations
Thermal for Discharging DER	Element rating	100%	Continue reliable customer service by staying within the normal ratings of existing elements
Additional Element Fault Current	Deviation in feeder fault currents	10%	Based on worst case scenarios from internal studies – maintain customer reliability
Breaker Relay Reduction of Reach	Deviation in breaker fault current	10%	Based on worst case scenarios from internal studies – maintain customer reliability

Curtailment Solution

Software Technology : Hosting Capacity Analysis Program(수용용량 분석 프로그램)

Static HC

- Fit and forget
- Worst case static snapshots
- Traditional Firm interconnection approach
- 보수적인 접근법

Uncoordinated Dynamic HC

- 인버터 설비 고려, 통신 X
- 개별적 자동 제어
- time-dependent behavior 분석 필요
- 개별 제어이기 때문에 HCA가 확률적 성격을 가질 수 있음

Coordinated Dynamic HC

- 통신 기반 중앙집중 제어
- 다수의 DER과 다수의 제약 조건 동시에 푸는 문제
- time-dependent behavior 분석 필요
- Flexible Interconnection with curtailment risk

- 초기에는 재생에너지 설비 계획 목적으로 활용되지만, 중장기적으로 계통 운영에 활용
- 특히 수용용량 분석 프로그램은 재생에너지 잉여 또는 curtailment 분석을 가능하게 해줌
- 이러한 분석은 다음을 포함 : 시간대별 curtailment 양, 총 curtailment 양, 재생에너지 입지에 따른 curtailment 양 등

Curtailment Solution

Software Technology : Hosting Capacity Analysis Program(수용용량 분석 프로그램)

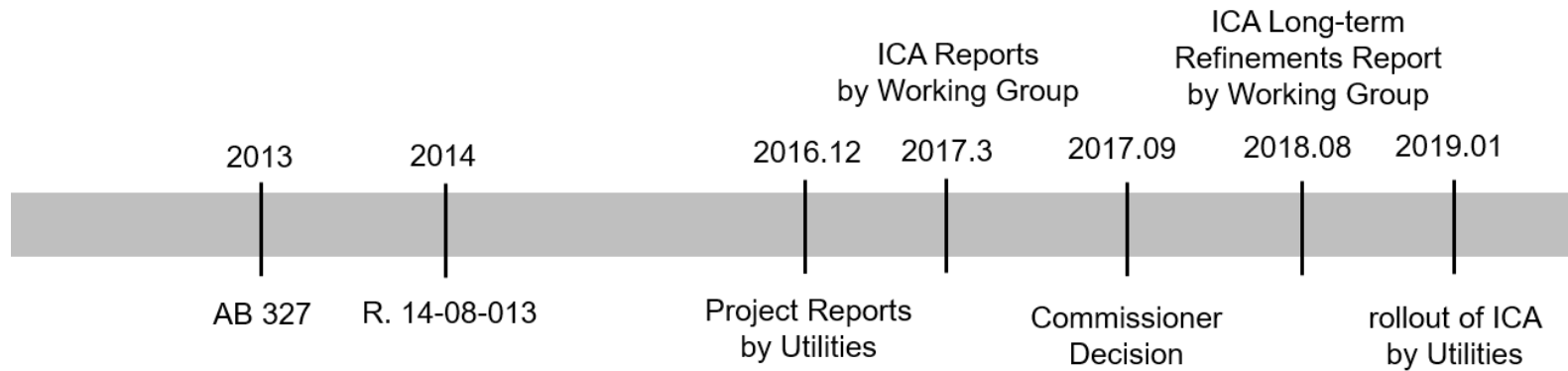


그림. 캘리포니아 주의 수용용량 분석 프로그램 개발 스케줄

- 우리나라의 수용용량 분석프로그램은 한전 전력연구원에서 개발 중(2022년 하반기 개발 예정)
- 제주도의 재생에너지 증가가 훨씬 빠르기 때문에, 개발 및 활용이 필요
- 재생에너지 입지, 잉여에너지 or curtailment 분석, 망 보강 등을 위해 활용 필요

THE
END