

# 재생E 초과발전과 에너지 Biz



**KPX** 전력거래소 제주본부장 김영환  
(yhwan1129@kpx.or.kr)

# 전력설비 현황과 신재생비중

제주지역 전력공급 설비는 21.12월말 기준 총 215.8만kW이며, 이중 신재생 설비는 82.8만kW로 설비용량 비중 38.4%를 차지하고 있으며, 2020.12월말 기준 신재생설비의 발전량 점유율은 18.2%로 풍력 10.5%, 태양광 7.5%로 변동성 재생에너지만으로 총발전량의 18%를 점유

## 전력설비 현황(만kW)

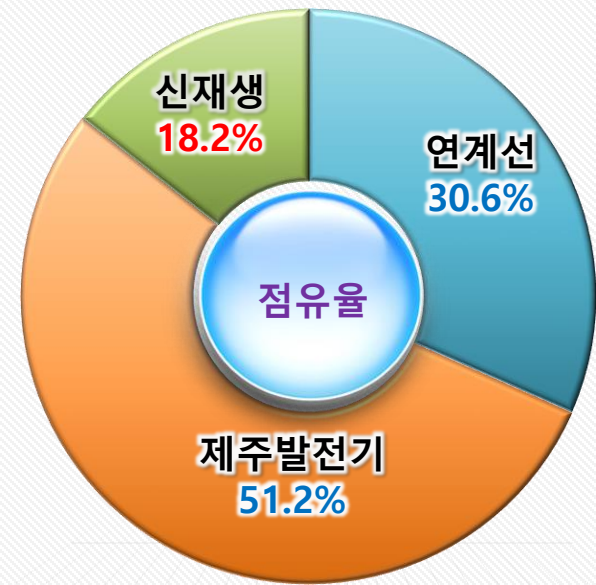
[ '21.12월말 기준 ]

구 분			설비용량	소계
중앙급전 발전기	남제주기력#1,2		20.0	91.0 (42.2%)
	제주기력#2,3		15.0	
	제주내연#1,2		8.0	
	한림복합		10.5	
	제주LNG복합#1,2		22.9	
	남제주복합		14.6	
비중앙 발전기	신재생 발전기	풍력	29.5	84.9 (39.3%)
		태양광	52.6	
		기타	0.9	
		소계	82.8(38.4%)	
	기타(폐기물)		1.9	
연계선	#1HVDC		15.0	40.0 (18.5%)
	#2HVDC		25.0	
전력설비 합계			215.8	

\* 태양광 설비용량은 BTM 5.9만 kW 별도

## 발전량 점유율(%)

[ '20년 연간 실적 기준 ]



● 제주발전기 (중앙급전 45.6%+기타(폐기물) 5.6%)

● 신재생 세부 점유율

풍력 10.5%    태양광 7.5%    기타신재생 0.2%

# 신재생설비증가 추이및 출력제어 현황

최근 4년간 제주 재생E는 태양광 중심으로 크게 증가, 2015년 출력제어 처음 발생하였으며  
제주지역 신재생 초과발전 Tipping Point 는 2018년(0.25%) → 2019년(1.65%)로 제어량 급증

## 신재생설비 증가 추이

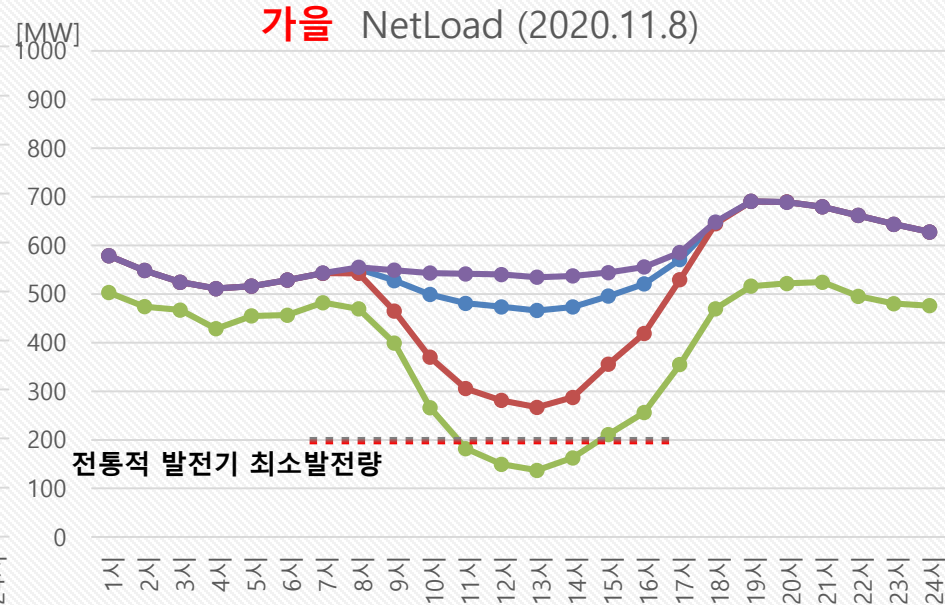
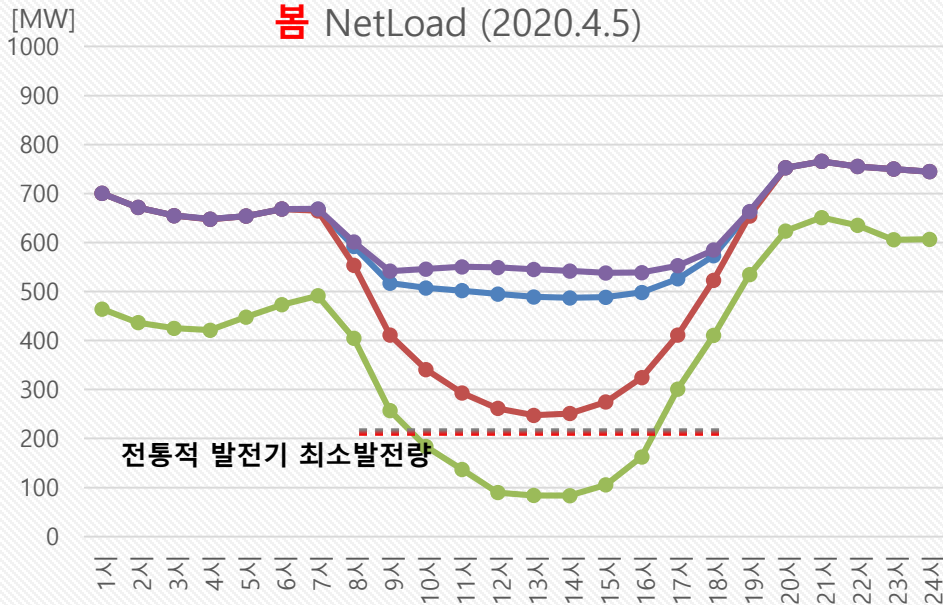
구분	태양광		풍력	소계	평균수요
'15년	76.0		220.7	296.7	547.0
'16년	92.6		270.9	363.5	584.0
'17년	125.4		272.9	398.3	619.0
'18년	184.9	△ 59.5	266.5	451.4	648.0
'19년	293.8	△108.9	290.3	584.1	653.0
'20년	420.1	△126.3	294.7	714.8	646.0
'21년	525.6	△105.5	294.7	<b>823.3</b>	<b>670.0</b>

## 풍력발전 출력제어 현황

구 분	제어량(MWh)/횟수	제어비중
'15년	152 (3회)	0.04%
'16년	252 (6회)	0.05%
'17년	1,300(14회)	0.24%
'18년	1,366(15회)	0.25%
<b>'19년</b>	<b>9,223(46회)</b>	<b>1.65%</b>
'20년	19,449(77회)	3.24%
'21년	12,016(64회)	2.09%

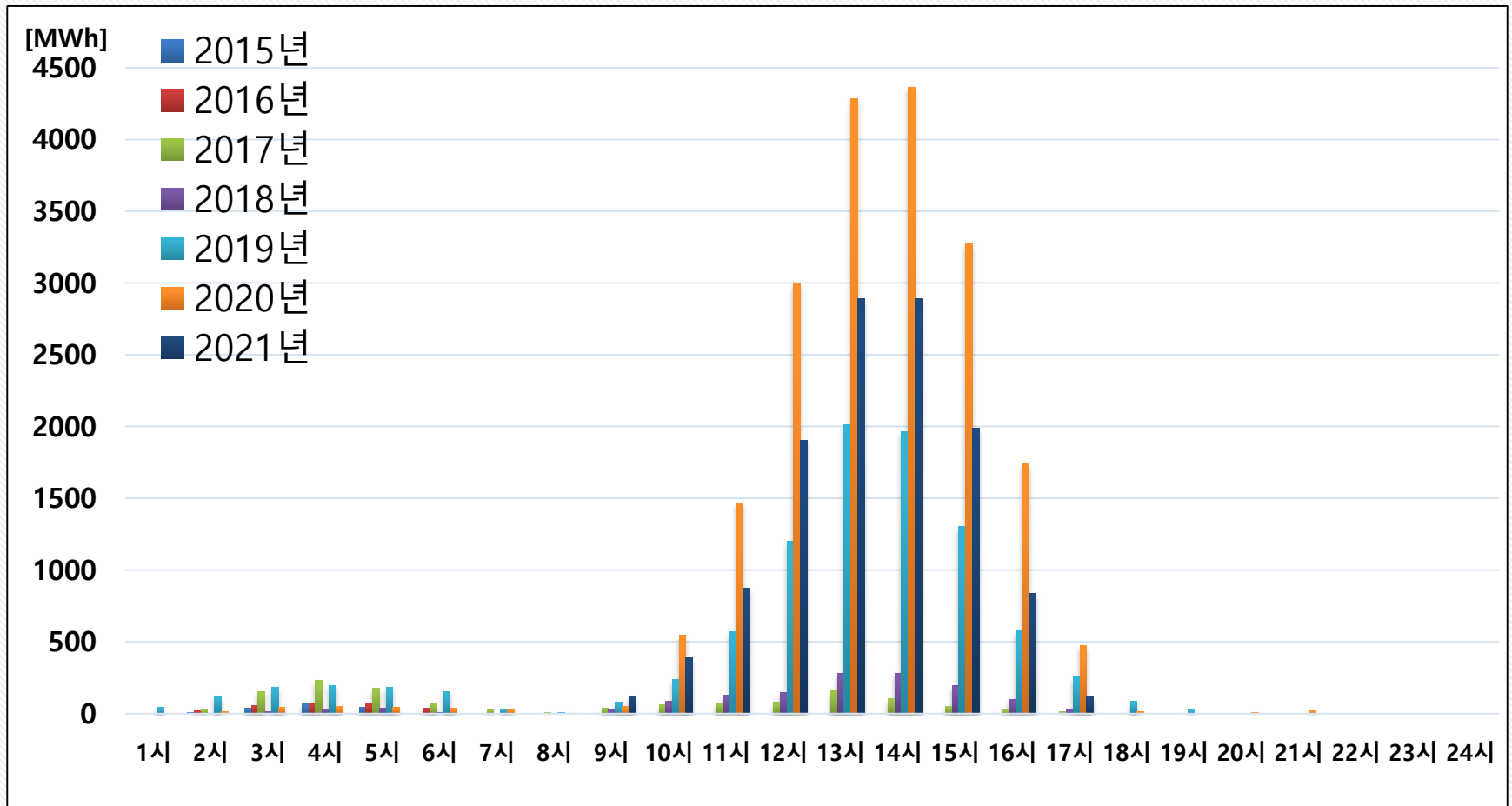
# 출력제어 발생시기(1)

신재생설비 증가에 따라 Duck Curve 현상이 심화되면서  
전력수요가 낮은 봄, 가을철, 주말 경부하시기 출력제어 집중 발생



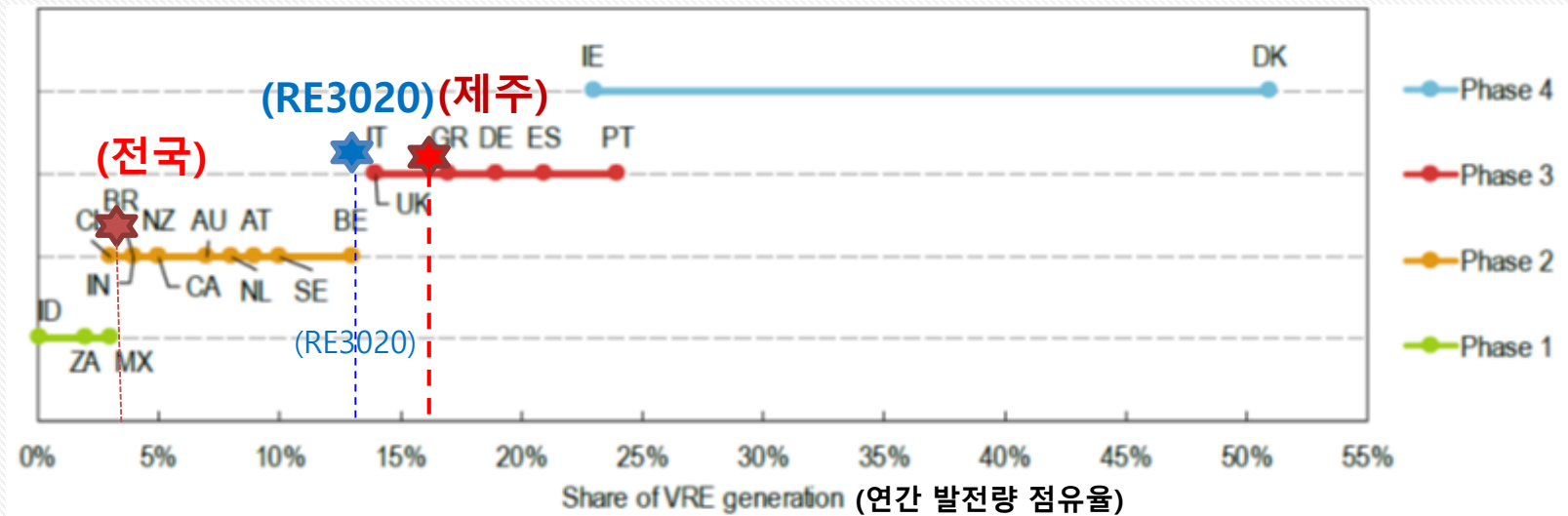
# 출력제어 발생시기(2)

발생시간으로는 풍력, 태양광 발전량이 겹치는 낮 시간 (태양광발전량 분포와 유사)



# 신재생보급단계별 조치사항

재생E 보급단계별 대책 및 필요사항을 제시한 IEA 보고서에 따르면 '20년 제주는 전력계통 영향 3단계로 재생E 변동성 및 초과발전에 대한 대책이 필요한 상황



"Getting Wind and Sun onto the Grid – a Manual for Policy Makers", (IEA, 2017)



# 신재생 설비용량과 초과발전 관계

## ➤ 초과발전 인과요소 : 수급한계, 송전한계, 안정도(관성력 및 예비력)

- '18년 제주 VRE한계량(231MW) = ① 전력수요(431MW) - ② Must Run 발전량(200MW)
- '20년 제주 VRE한계량(226MW) = ① 전력수요(446MW) - ② Must Run 발전량(200MW)

\* **Must Run**: 상정고장 대비 일반발전기 최소운전량 (최저수요 시간 발전기 4대, 최소운전부하)

## ➤ 신재생 설비용량 대비 초과발전량(제약율) 비교

- VRE설비용량('18→'19년): 481MW → 652MW
- 발전량점유율/제약량('18→'19년): 12.5%/1.4GWh(0.25%) → 18.0%/19.4GWh(3.24%)

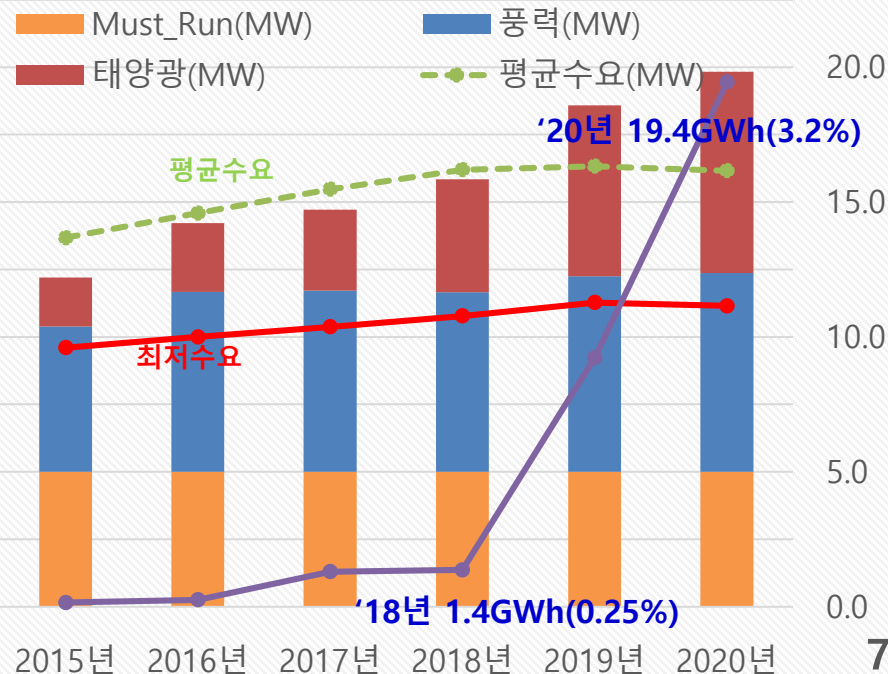
VRE용량대비 출력분포

— 풍력+태양광 — 풍력 - - 태양광

2018년 초과발전범위

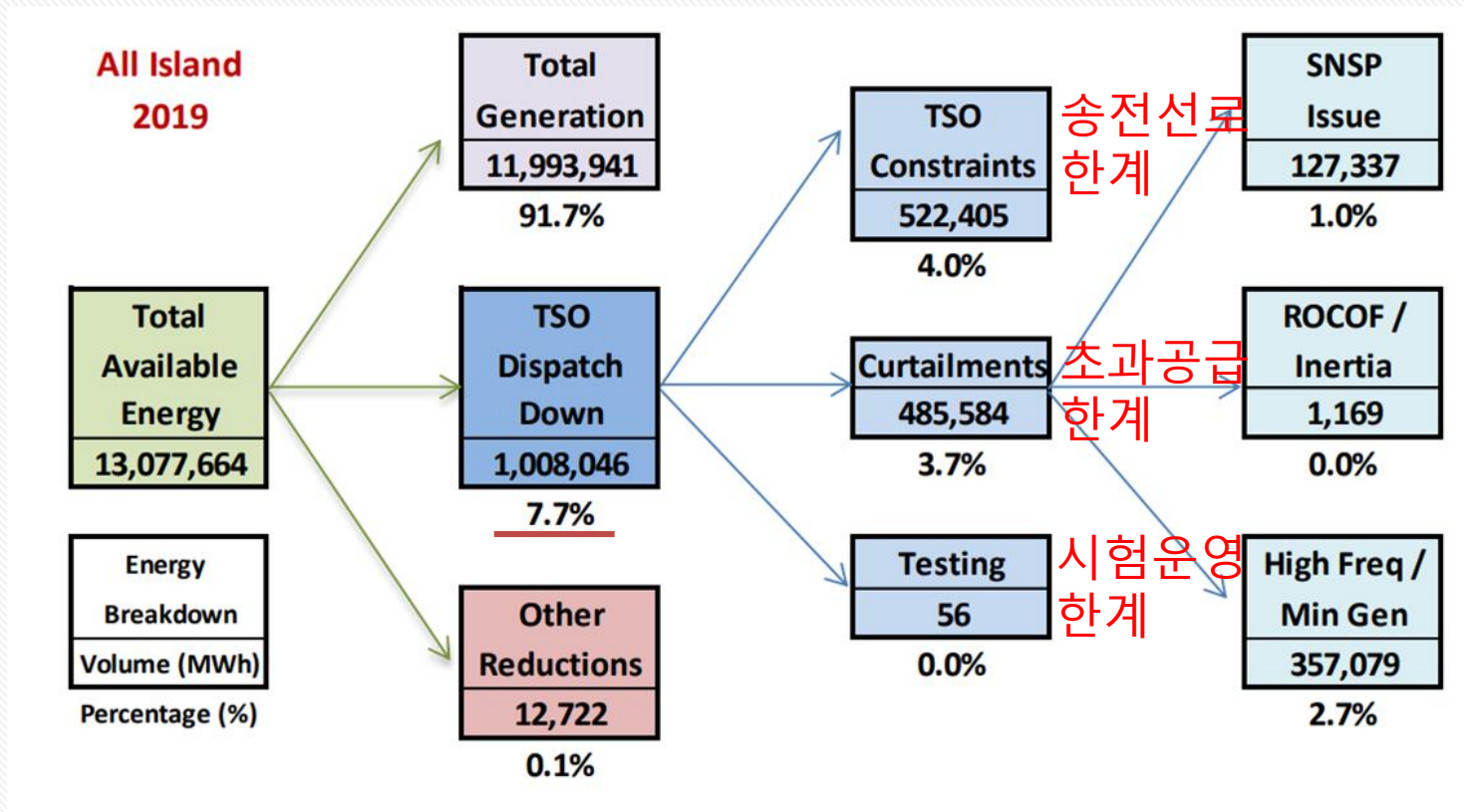
2020년 초과발전범위

[풍력,태양광 설비용량과 초과발전량]



# 신재생 초과발전 해외사례(아일랜드)

## ➤ 아일랜드 신재생출력제어 현황(2019년, 신재생보급률 31.1%)



- \* SNSP Issue : 전력계통 내 비동기(Non-Synchronous) 발전원 비율 제한으로 인한 출력감발
- \* High Frequency/Minimum generation : 주파수 유지 및 발전기 최소발전용량 제한에 의한 출력감발
- \* ROCOF/Inertia : 주파수변화율(Rate Of Change Of Frequency) 기준 및 관성에너지 확보를 위한 출력감발
- \* Other Reductions : DSO/DNO Constraints, Testing 등



➤ **중앙급전발전기 최소출력 하향 및 HVDC 최소운전('20.1~)**

- 기력 및 복합발전기 최소출력 기준대비 10~16MW하향 조정

☞ '20년 초과발전량 50%감축, '21년 25,562MWh 출력제어 완화 효과

➤ **(송전망연계)제1연계선을 이용한 70MW 역송('21.4~)**

➤ **전압형 HVDC (제3연계선) 적기 준공('24.1~)**

전압형 HVDC 도입으로 실시간 양방향전송으로 재생에너지 및 수요 변동성에 유연한 대응

➤ **(유연성자원 확보) 재생E 공급과잉 수용을 위한 장주기 ESS도입**

- 재생E 초과발전 흡수 및 최대전력 저감용으로 운영

➤ **(안정도 향상) 주파수 조정용 ESS 운영**

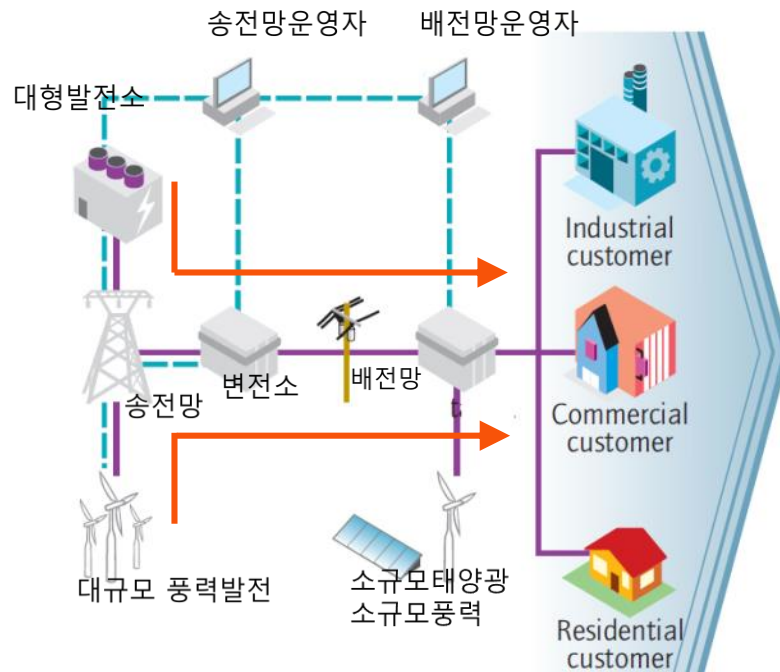
- 상정고장시 주파수 하락폭 완화로 필수운전 발전기(Must Run) 운전 대수 감소

☞ (現) 40MW/10MWh → ('22.08) 90MW/33MWh

# 전력공급체계 분산화의 의미(1)

## (현재) 중앙집중형 전력공급체계

한전, 전력거래소, 대형발전사 중심의 전력공급체계에서  
분산자원, 수요자원 등 새로운 Player 등장과 주연이 바뀌고 있음 →  
전통 발전원은 예비발전원으로 뒷받침 역할,

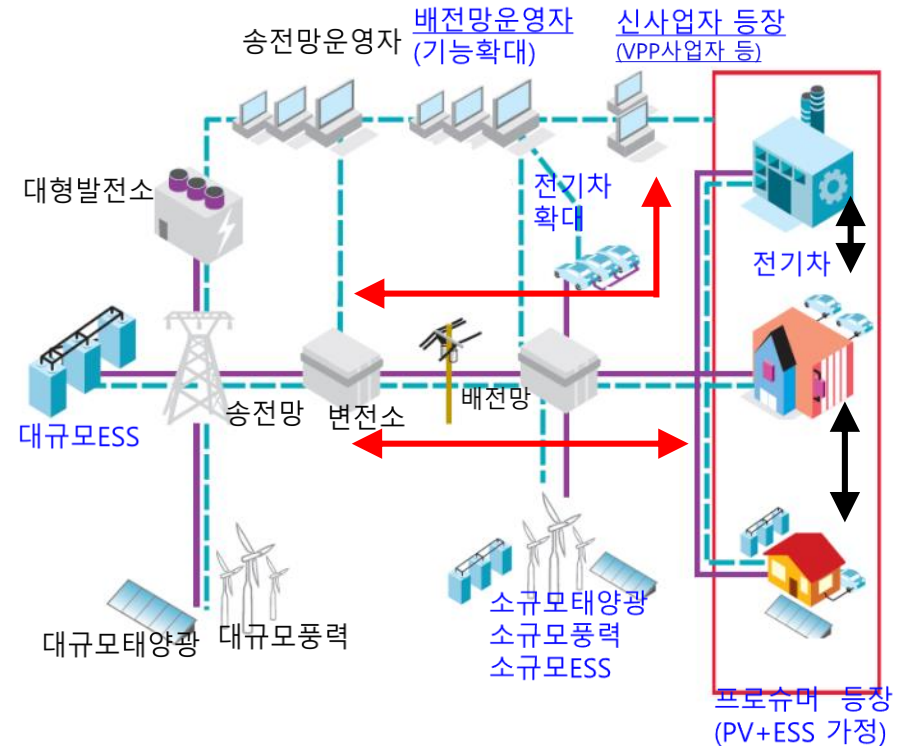


\* 제어흐름 →

**수동적 Local Grid(집중적 단방향 제어)**

## (향후) 분산형 전력공급체계

다양한 분산자원  
신재생에너지와 수요자원(VPP)이 주인공  
안정적 전력공급에 대한 역할과 책임 필요

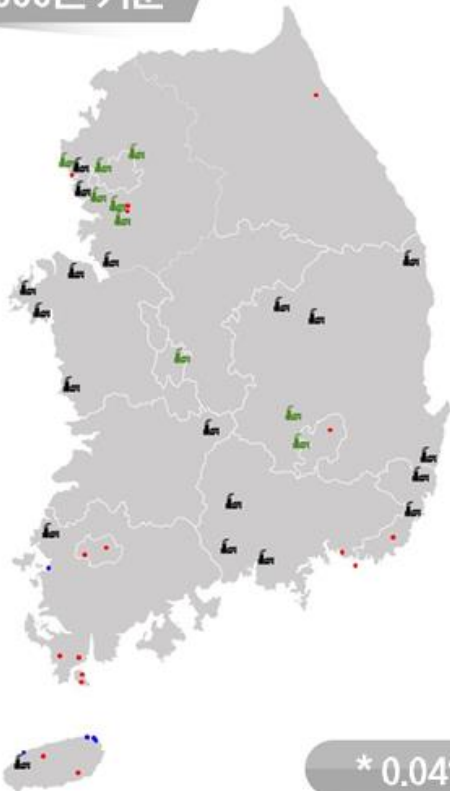


**능동적 Local Grid(분산적 양방향 제어)**

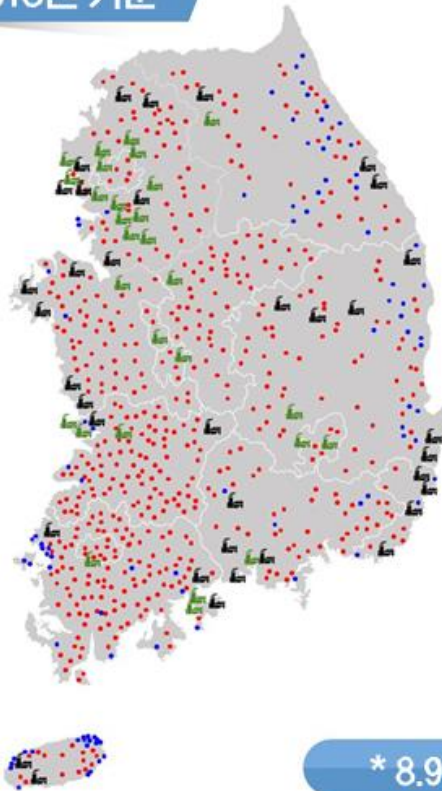
# 전력공급체계 분산화의 의미(2)

: 원자력, 석탄, 복합화력   
 : LNG CHP   
 : 500MW 이상 신재생 단지   
 : 100 ~ 500MW 신재생 단지   
 : 태양광 20MW 규모   
 : 풍력 10 ~ 20MW 규모

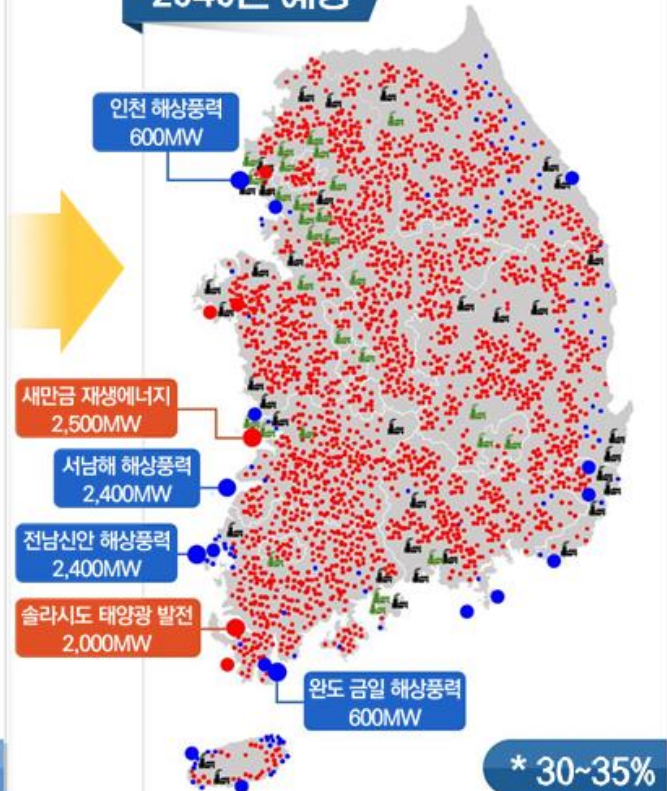
2000년 기준



2018년 기준



2040년 예상



\* 연도별 총발전량 대비 신·재생에너지 발전량 비중

# 전력공급체계 분산화의 의미(3)

## (현재) 중앙집중형 전력공급체계 Centralized Power Grid

- 중앙정부, 국가전력수급기본계획
- 원전, 석탄, LNG 중심. 발전소 입지 수도권외부 지역에 위치, 송전제약
- 국가단위 송전망 운영  
전력거래소(ISO)/한전(TO/DO)
- 발전용량 중심의 하루 전 전력시장
- 소규모전력중개시장, DR시장  
전국단일 종별,(일부)계시별요금제

## (향후) 분산형 전력공급체계 Decentralized Grid

- 지역에너지 분권 및 정책역량 강화  
권역별 탄소중립계획 수립 및 추진
- 태양광/풍력 재생에너지의 주전원화  
신재생자원 남부지역 집중, 지역간  
전원 불균형 심화 -> 송전제약 심화
- 지역단위 그리드, 마이크로그리드.  
광역단위 TSO 와 지역단위 DSO
- 신재생 및 VPP자원 참여 실시간시장  
보조서비스 비용최적화와 시장형성,  
신재생대응 예비력 및 관성자원 확보
- ESS, VPP, DR, Sector Coupling(P2M,  
P2H, P2G) 자원의 전력시장 참여,  
계시별요금제 적용, 송전요금제(?)

# 전력시장제도 개편

## ➤ 전력계통운영시스템 개선 및 전력시장개편



## ➤ 실시간·보조서비스시장 신설

**추진방향** 재생에너지의 변동성 등 실시간 수급여건이 시장가격에 반영되도록 **실시간\*·보조서비스\*\*시장** 도입(제주 '23년, 육지 '25년 예정)

### \* 실시간시장

- 시장가격을 1시간 단위에서 15분 단위로 단축하여 가격 단위 세분화
- 하루전시장 이후 실시간 15분마다 전력시장 개설, 플랫폼의 고도화·자동화

### \*\* 보조서비스시장

- 유연성 자원의 유연성 제공에 대한 적정 가치 보상을 위한 시장
- 실시간 15분마다 유연성 자원에 대한 보조서비스시장 개설

### 기대효과

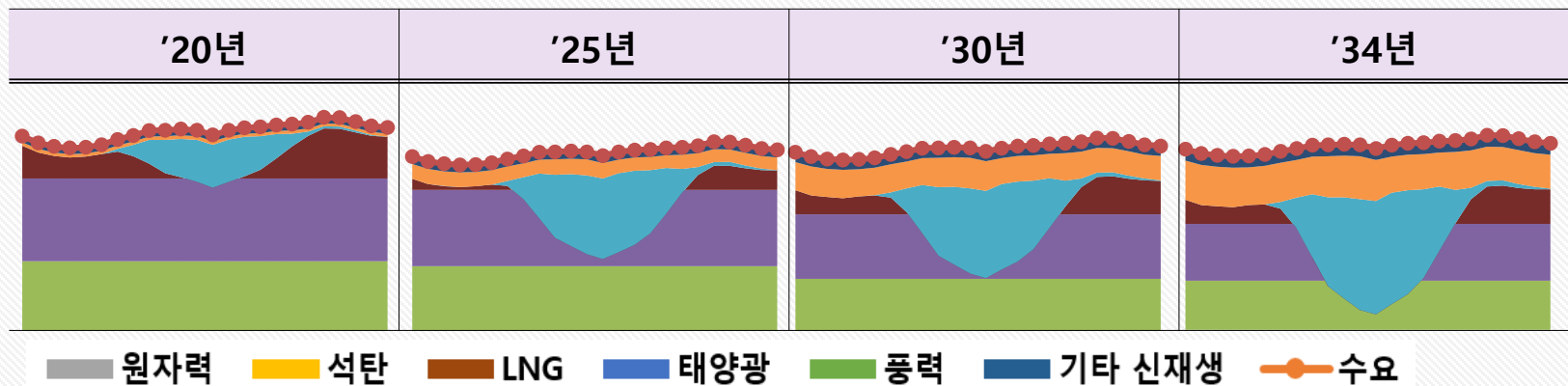
재생에너지 증가에 따른 변동성 문제를 실시간·보조서비스시장을 통해 비용효율적으로 해결하고 유연성 자원 확대에 기여



# 실시간시장 도입(2)

## ➤ (現)전력시장의 문제점

- 현 전력시장은 하루전시장만 운영하고 있어, 이후 재생에너지 발전량 변화 등을 반영한 **실시간 가격기능 부재**
  - \* 하루전시장 대비 실시간의 차이는 여전히 부가정산금(MWP, MAP)으로 처리
- **부가정산금은 추가 비용만을 개별적으로 보상하므로, 변화된 수급여건에 맞추어 발전력을 조정하려는 유인동기(이윤동기) 부족**
  - \* 실시간 가격 기능 : 발전력 부족 → 실시간 가격 상승 → 발전력 증가
- 향후 **탈탄소화로 간헐성자원(재생에너지)이 증가하게 되면 실시간 변동성이 급증하여 하루전시장만으로는 밸런싱 유지가 곤란하므로 실시간시장 필요**



\* 9차 수급계획 토대 미래 전력 공급 믹스 전망

## ◆ 실시간 전력시장 개설

- (주요내용) 신재생 변동성 등 수급여건을 반영하여 정확한 전력의 가치를 산정하고 보상하는 실시간 시장 신설
    - (현재) 하루전시장(1시간단위로 다음날 24시간에 대해 하루전 1번 개설) → (변경) 하루전시장 + 실시간시장(15분 단위로 거래당일 15분마다 개설)
  - 하루전시장은 기동하는데 많은 시간이 필요한 발전기의 운용계획을 결정하고,
  - 실시간시장은 실시간 전력의 생산과 소비에 맞추기 위해 빠르게 움직일 수 있는 유연성 자원의 추가 투입 및 실시간 출력 조정, 예비력 미세 할당 역할 수행
    - 실시간시장은 실시간 상황\* 을 반영하여 시장가격이 결정되므로 시장원리에 의해 실시간 수급균형(밸런싱)이 유지된다는 점에서 매우 중요
- \* 재생에너지 변동성, 송전선로 불시고장 등 하루전에 예측할 수 없는 요소
- (도입시점) 재생에너지 비중이 높은 제주를 대상으로 시범운영('23년) 후 안정화 단계를 거쳐 전국으로 확대 적용('25년)

## ◆ 보조서비스 시장

- (주요내용) 실시간시장과 함께 15분 단위의 보조서비스 시장을 도입하고, 에너지뿐만아니라 예비력도 상품화하여 실시간으로 거래

< 예비력 상품('21년 기준) >

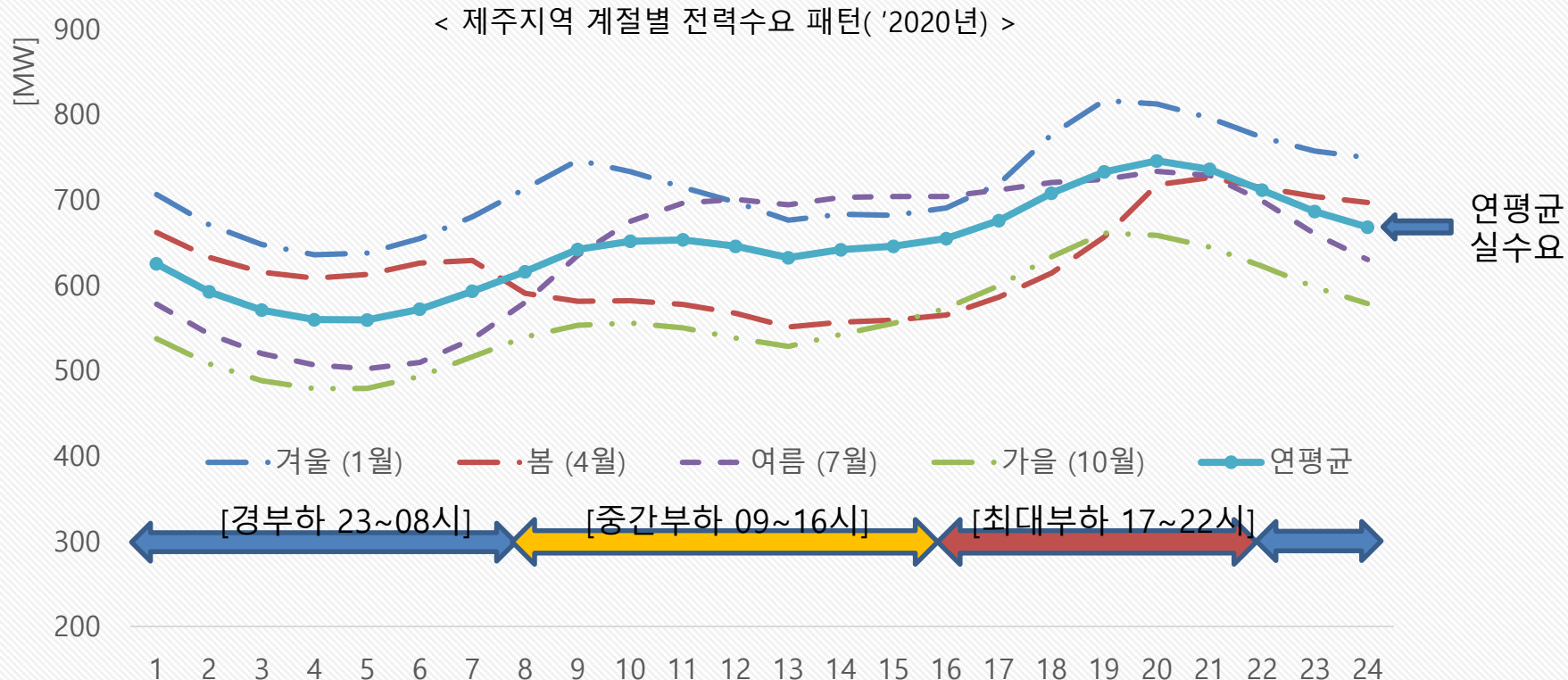
예비력 종류	성능요건	최소확보량
1차예비력	10초 이내 응답 5분 이상 출력유지	700MW
주파수제어예비력	5분 이내 응답 30분 이상 출력유지	1,000MW
2차예비력	10분 이내 응답 30분 이상 출력유지	1,400MW
3차예비력	30분 이내 응답	1,400MW

- 예비력용량가치정산금은 전년기준 단일 평균단가이나, 보조서비스 시장이 도입되면 단가기준이 아닌 시장가격으로 결정되어, 예비력 부족 시 예비력 가격이 인상되므로 예비력의 실시간 가치 반영 가능

\* 예비력가격 : 실시간 예비력을 제공하는 발전기의 기회비용(실시간 시장가격 (실시간 SMP)-발전기의 자기연료비) 중 가장 높은 가격으로 결정

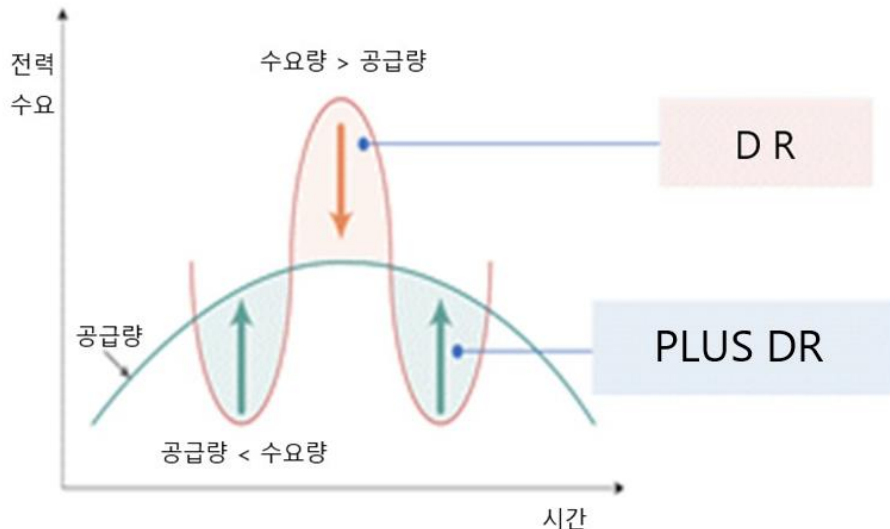
# 계시별요금제('21.9, 제주시범적용중)

- 신재생 초과발전 억제(신재생에너지 활용), 에너지 비용효율 등을 고려하여 계절별 시간별 차등화 추진 필요
- (실수요기준 요금적용시 문제점) 21.10월, 그리드위즈, 전기차충전기를 활용한 +DR 사업 개시
  - 초과발전시간(+DR 발령) 충전 시 전기소비자에 50원/kWh 지역화폐로 보상하고 있으나, 계시별요금제 중간요금 적용시 비용효과 상쇄, **충전요금 저렴한 심야시간 충전이 유리**



# 수요자원 활용 (DR: Demand Response, 수요응답)

구 분		발령 요건	주요 참여자	용 량
전력 사용 절감	① 의무수요감축(신뢰성 DR)	수급 준비(550만kW) 등 수급비상시	산업체, 대형 빌딩 등 4,900 개사	4.5GW
	② 자발적 DR	경제성 DR		
		없음 (매일 24시간 입찰)		
		피크수요 DR	수급대책기간 기준전망수요 초과시	
전력 사용 절감	③ 에너지쉼표(국민 DR)	미세먼지 DR	미세먼지 비상저감조치 발령시	-
		수급 비상 또는 미세먼지 비상저감 조치 발령시	70kW 이하 소규모 사용자 884개	
		수급 비상 또는 미세먼지 비상저감 조치 발령시	70kW 이하 소규모 사용자 884개	
사용 증대	④ Fast DR('21년 시범운영)	주파수 59.85Hz 이하 하락시	산업체 35개사	742MW
	⑤ 플러스 DR('21.3월 시행)	제주 신재생 출력제어* 발생시 * 전력수요가 낮은 시간대에 공급과잉으로 일부 풍력발전 제어	제주내 전기 사용자	-



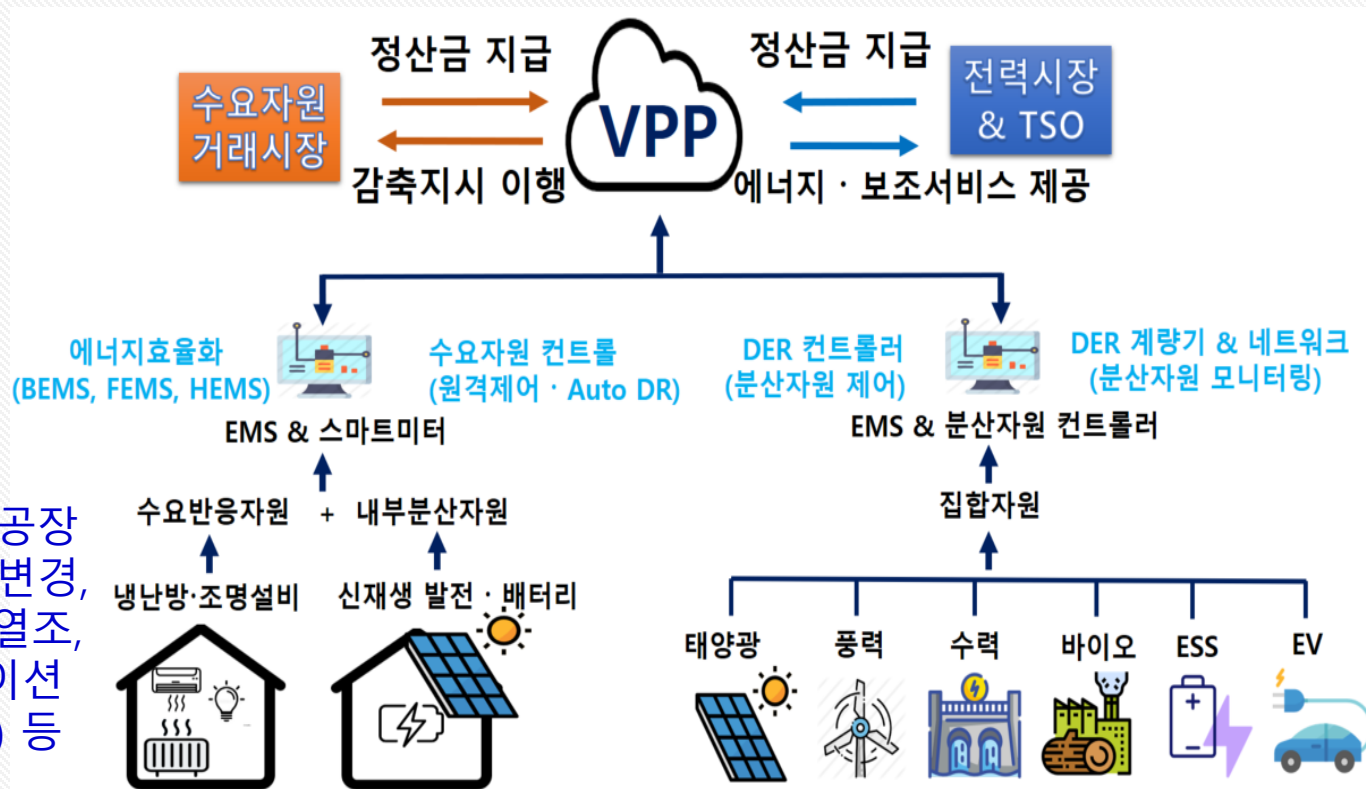
## ➤ 플러스 DR 개념

신재생 출력제어가 필요한 시간에  
수요를 증가시켜 출력제어량 최소화

- 전기차 충전소, ESS 충전
- 산업체 조업시간 이전
- 상업시설 열생산, 온수, 조명 추가사용

# VPP(Virtual Power Plant) 자원의 시장참여

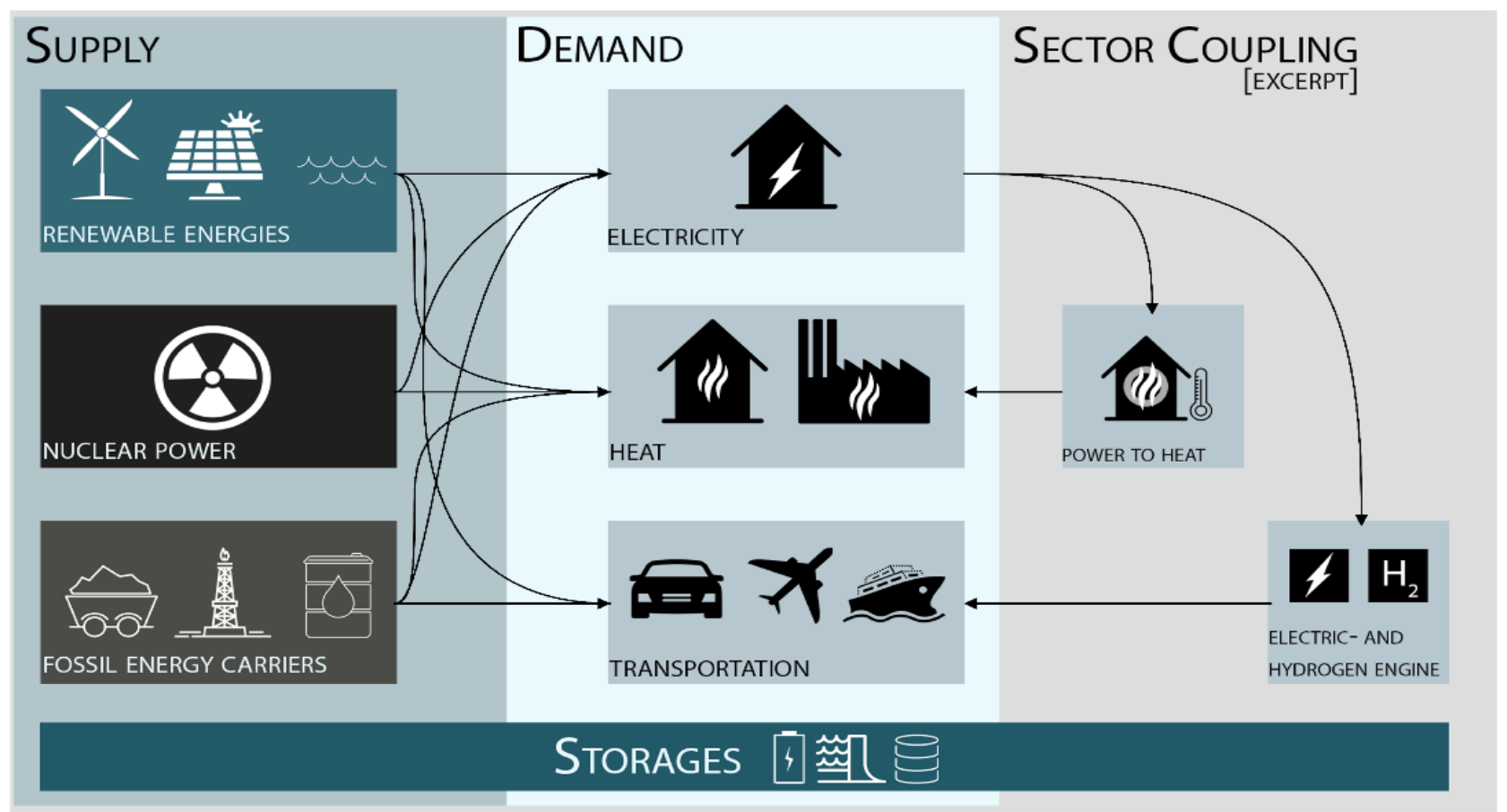
- 일정규모 이상의 재생에너지 및 수요자원을 병합하여 전력시장 입찰에 참여
- 발전량 예측, 실시간 발전량 정보 제공을 통한 계통운영계획 반영
- 전압제어, 예비력 제공 등 중앙급전발전기와 유사하게 계통안정운영에 필요한 가시성 확보와 유연성 문제를 해결





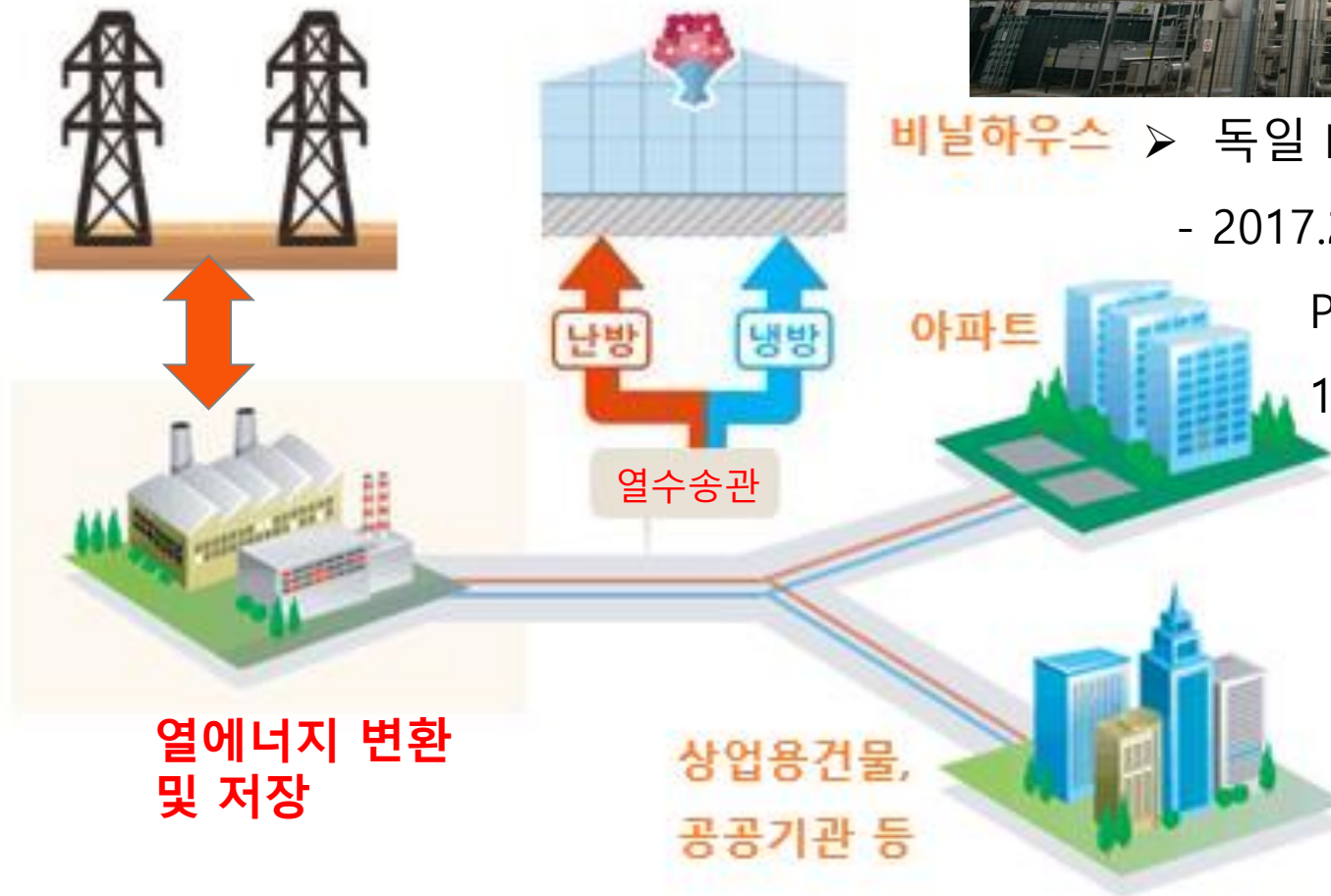
# 에너지부문간 연계(Sector Coupling)

- ▶ 열, 수송 등 타에너지부문과의 연계를 통한 에너지비용 최적화
  - 전기차, 전차, 축열, 수소생산 등의 저장수단 활용과 사용시간차 활용



# P2H (Power to Heat) – 단기 부하이전

- 잉여전력을 열로 변환하여 냉난방, 농작물 재배 등에 활용



➤ 독일 P2H 플랜트

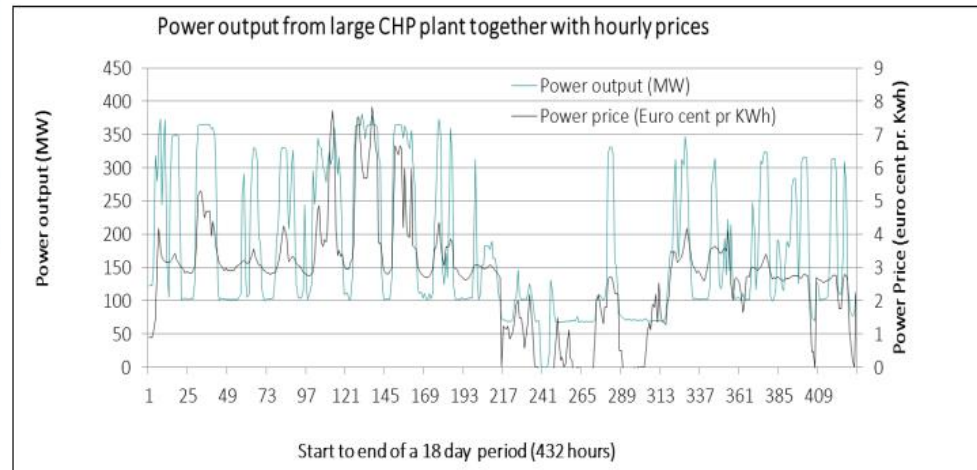
- 2017.2월 기준 5MW 이상의 P2H 플랜트 25기, 1MW 이상 8기 운영 중

# P2H (Power to Heat) – 단기 부하이전

- (덴마크) CHP Plant : 전기보일러를 통한 열 생산 및 저장
- 신재생 변동성에 대응하는 출력조절 (10~100%) 과 응답속도 (3~4%/min)



Operational range: 10 - 100%  
Regulating rate: 3 - 4% per minute  
  
+ Heat accumulators and electric boilers



# V2G (Vehicle to Grid) – 단종기 부하이전

## ➤ (덴마크) NUUVE사 사례

- 자동차1대 월매출 158유로(\$188), 연수입 \$979(매출 \$3273, 비용 \$2294)

## ➤ (제주) 그리드위즈 사례

- 사전 등록된 전기차사용자 참여, +DR 발령에 따라 공용 급속충전기 충전시 탐나는 전 포인트 50원/kWh 지급

1 PLUG IN YOUR CAR  
to any charger



2 CHARGE BATTERY  
safely and efficiently in V2G Mode



3 MAKE MONEY  
by providing power capacity  
and sending energy back  
and forth to regulate the Grid

OR SAVE COSTS  
by using stored energy from  
EV batteries to reduce building  
energy peak consumption

4 YOU'RE READY TO DRIVE  
with the charge you set for the day  
with advance trip planning using a  
mobile fleet management app

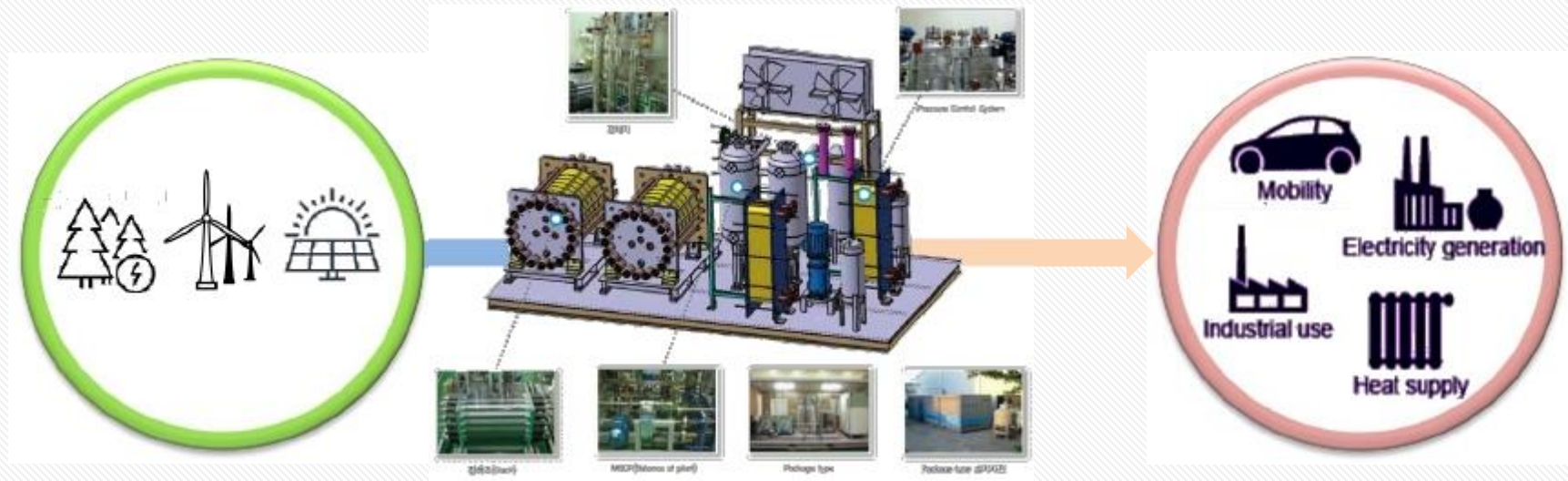
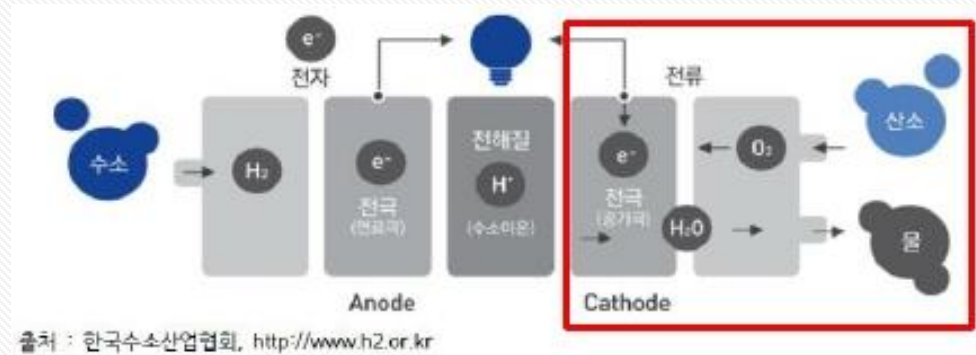




# P2G (Power to Gas) – 장기 부하이전 수단

## ➤ 잉여전력을 활용한 수소생산

- 수전해로 수소를 생산 저장  
(cf. LNG 개질을 통한 수소생산)
- 수소 연료전지차, 열 및 전력생산



신재생에너지

수전해 시스템

수소생산/활용

# 스마트그리드(Smart Grid)

- 스마트그리드란 기존 전력망(Grid)에 정보통신기술을 더해 전력 생산과 소비정보를 양방향, 실시간으로 주고받음으로써 에너지 효율을 높이는 전력망





# 스마트시티(Smart City)

우리 정부는 백지상태의 부지에 4차 산업혁명의 각종 첨단기술을 집약한 미래형 스마트시티 선도모델로서 국가 시범도시를 세종과 부산에 조성하고 있습니다. 도시공간 조성과 함께 혁신적인 스마트인프라 및 서비스 개발을 본격 추진중이며, 2021년 입주를 목표로 하고 있습니다.

국가 시범도시에는 인공지능, 5G, 블록체인 등 공통 신기술을 접목하고 이를 기반으로 자율자동차, 드론, 스마트 에너지와 같은 신산업을 육성하고자 합니다. 또한, 교통, 에너지, 환경 등 다양한 도시 데이터를 연계활용하고 민간기업이 참여하는 혁신 산업생태계 조성도 추진하고 있습니다.

## ■ 세종

- MP : 정재승 교수 (뇌공학자)
- 사업시행자 : 한국토지주택공사(LH)
- 위치 : 세종시 합강리 일원
- 면적 : 2.7km<sup>2</sup> (83만평)
- 계획인구 : 22,500명
- 입주시기 : 2022년~

## ■ 부산

- MP : 황종성 전문위원 (데이터 플랫폼 전문가)
- 사업시행자 : 한국수자원공사 (K-Water)
- 위치 : 부산시 강서구 일원
- 면적 : 2.2km<sup>2</sup> (84만평)
- 계획인구 : 8,500명
- 입주시기 : 2021년~

## 국가시범도시 - 세종

세종 시범도시는 인공지능 기반의 도시를 컨셉으로 모빌리티·헬스케어·교육·에너지 등의 7대 혁신요소를 통해 시민의 일상을 바꾸는 스마트시티를 조성하고 있습니다. 예컨대, 스마트교통은 공유기반의 교통수단과 교통흐름 데이터의 인공지능 분석을 통해 교통흐름을 최적화하여 이동 시간과 비용을 절감하는 서비스를 제공하고, 자율주행 자동차 등 다양한 미래형 이동수단을 도입하여 미래 교통을 일상 생활 속에서 체험할 수 있게 하고자 합니다.



### >> 7대 혁신요소



#### 교통

공유 모빌리티(카셰어링, 카셰어링)  
자율주행차/자율주행셔틀, C-ITS



#### 거버넌스

디지털 트윈, 블록체인 기반 M-Voting  
시민 참여 기반 리빙랩 운영



#### 헬스케어

원격진료, AI 기반 스마트 문진 등  
스마트 응급호출, 드론 활용 긴급구조



#### 문화

수요자 맞춤형 문화/예술/쇼핑 서비스 추천,  
지역화폐 결제, 자율주행 쇼핑카트, 무인배송



#### 교육

에듀테크, 온라인 교육, 국제표준교육  
3D 프린터, 메이킹 공간, 개인 맞춤형 학습



#### 일자리

창업 인큐베이터센터 구축,  
해외도시와 교차 실증 추진



#### 에너지

CEMS, 이웃 간 전력거래,  
제로에너지 건축물 건축

경청해주셔서 감사합니다 ! ^^