



재생에너지확산을 위한 전력산업 기능분리 필요성

- 전력시장에서 발전, 판매 그리고 송배전망 -

에너지전환포럼

2021/02/15

홍익대학교

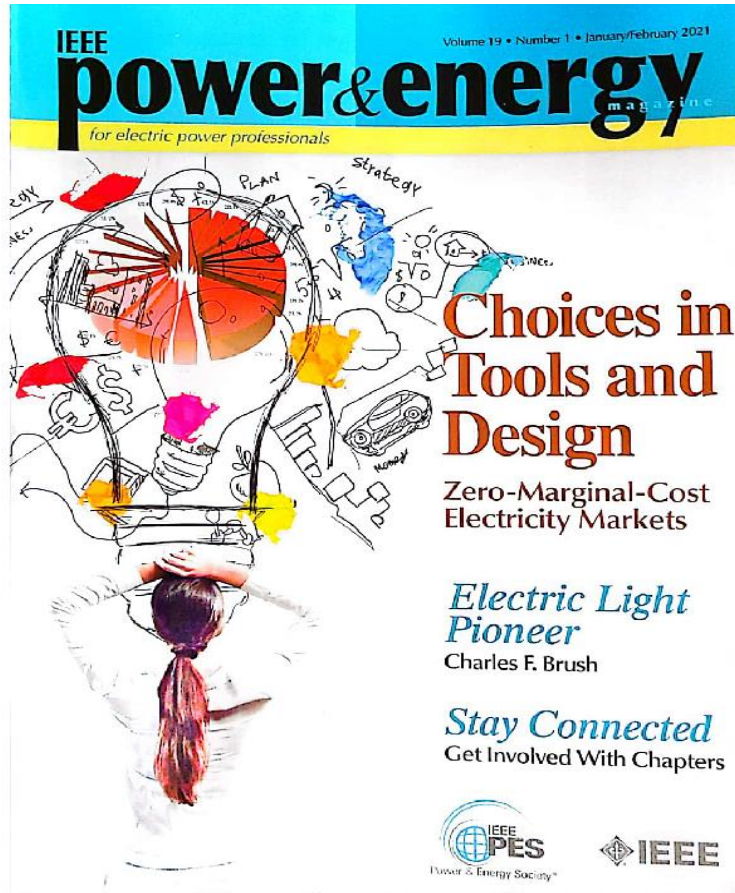
전영환

목 차

1. 전력시장의 필요성
2. 해외의 재생에너지 확대에 따른 이슈 및 대책
3. 우리나라 현주소
4. 앞으로의 과제

01 IEEE power & energy : 전력시장의 의미

- IEEE power & energy Jan/Feb 2021



Revisiting market regulation and design

The key motivation behind the liberalization of power sectors and the introduction of wholesale market mechanisms was to transfer the responsibility of investment decisions from public administrations to market agents, expecting that competition in generation would spur efficiency and drive wholesale energy prices down. Moreover, competition would remove the responsibility of planning from governments as single decision makers whose errors have massive con-

ket agents, thus shifting the consequences of planning errors from the consumers to those who make the decisions.

The principal idea was to “let the market” decide what, when, and how to invest in new generation resources. However, reality has contradicted this original premise. There is a growing consensus among power sector regulators worldwide that markets need regulatory mechanisms that protect and complement the expansion processes.

02 경쟁은 전력시장의 ABC – 재생에너지 확대와 시장

효율적인 탄소중립을 위한 전력시장을 위해
- 전력시장의 규제와 설계에 대해서 다시 점검

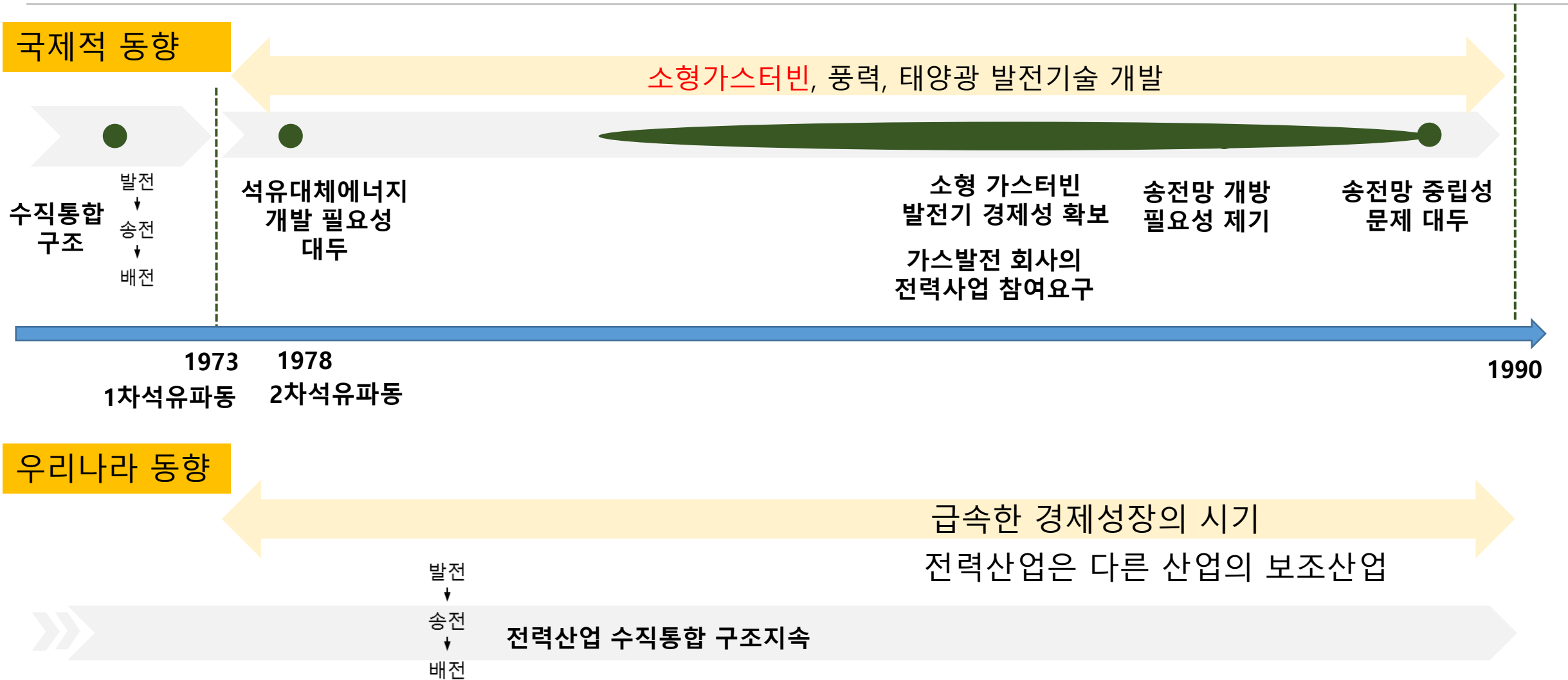
- 정부가 투자 결정을 잘못해서 발생하는 막대한 책임은 소비자가 질 수 밖에 없다.
- 경쟁의 도입은 설비계획을 정부가 아닌 시장에서 결정하게 함으로써 계획을 잘못해서 발생하는 책임을 소비자가 아닌 시장참여자가 지도록 하는 것이다..



- 제5차, 제6차, 제7차 수급계획에서 원자력과 석탄 위주의 전원믹스 계획은 재생에너지가 확대됨에 따라 좌초비용으로 남을 것
-> 소비자의 부담
- 그 동안 시장과 전원계획의 정합성에 대한 문제 제기가 꾸준히 이어져 왔음.

탄소중립을 위한 투자여건 등 전력시장 환경이 크게 변하고 자유도는 줄어들어, 전력시장을 통한 경쟁의 틀은 변하지 않는다

03 에너지위기에서 기후위기로 – 전력시장의 역할



04 전력시장발전은 망 중립성 문제로부터 출발

국제적 동향

송전망 분리->TSO, ISO 체제

Flexible Demand
-> 소비측 변화 요구

경쟁적
전력시장개편

발전경쟁-판매경쟁-망분리

탄소중립경제체제

2000년대 재생에너지 본격 도입 시작

풍력, 태양광, 수소 기술 개발

송전망 중립성
문제 대두

2001

2003

2017

2020

2021 현재

1990

우리나라 동향

발송배전
구조개편

분리
발표

송전망 분리 중단

구조개편 중단

에너지전환 3020 발표

2050 탄소중립계획 발표

- 2019 태양광 사업자 : 10,743개
- 2019 풍력 사업자 : 83개

재생에너지의 확대
-> 발전경쟁시장 정비 필요

한전 발전사업 허용 ?

CBP체제구축

제한적 발전경쟁

전력거래소가 망운영

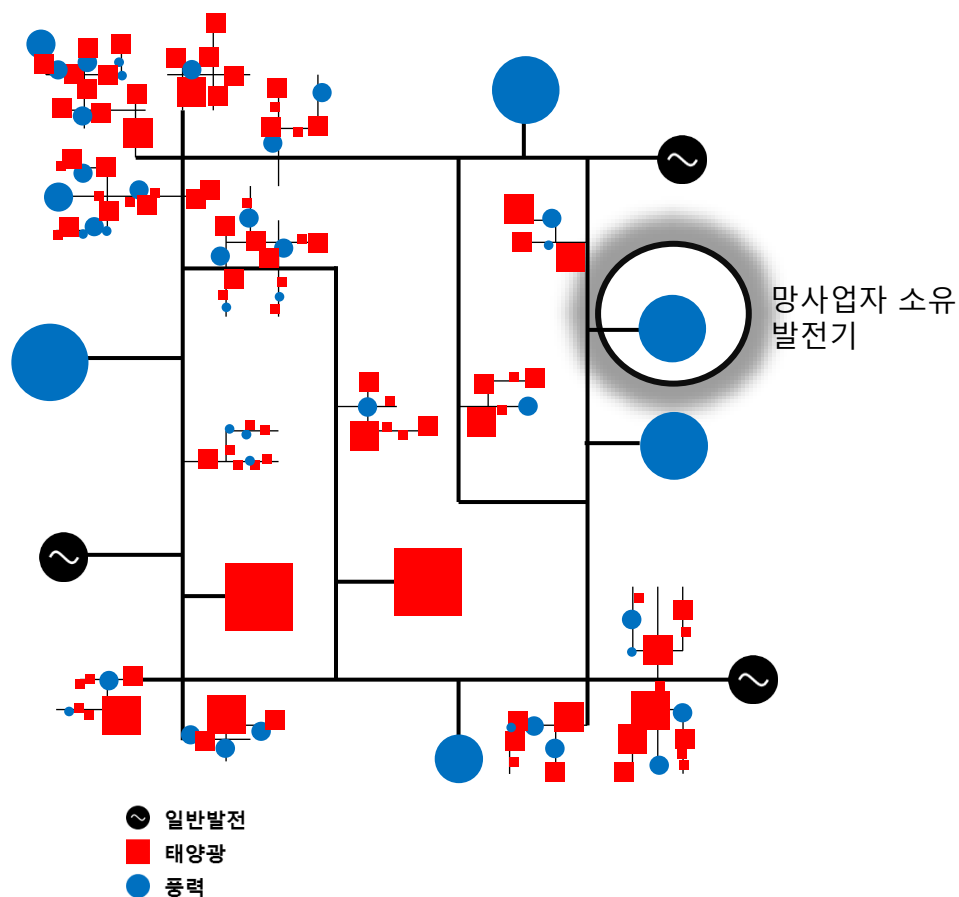
수직통합 구조

발전
↓
송전
↓
배전

발전 ?

후퇴 ?

05 망중립성 유지는 발전, 판매 경쟁의 기본



- 망사업자가 발전사업을 하는 경우 다른 발전사와 차별의 유인이 많음
 - 규칙제정의 불공정 -> 자사에 유리
 - 망투자 우선순위에 차별
 - 정보의 비대칭 - 망에 대한 모든 정보 소유
 - 송전망제약이 지역적으로 curtail 지점 및 용량에 결정적인 요인

✳ 재생에너지 입찰과 출력제한에 공정성 문제

06

송전망 제약에 따른 지역별 가격 분포 데이터-ERCOT (텍사스)

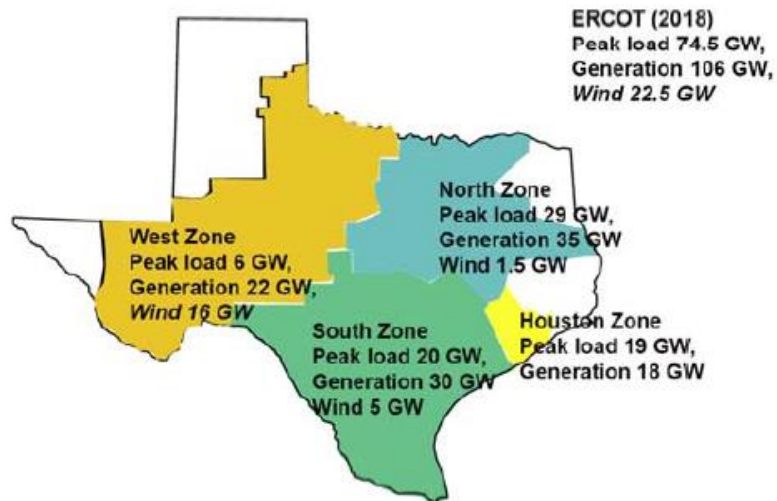


Figure 2.2 ERCOT zones and distribution in 2018 of generation, wind, and peak load. (Source: Lee, D., Ross B., 2020. *Wind Variability and Impact on Markets*, Available from: <http://users.ece.utexas.edu/~baldick/papers/GDFM.pdf>. (Accessed 4 June 2020), based on data from Potomac Economics, 2019. 2018 State of the Market Report for the ERCOT Wholesale Electricity Markets, Available from: www.potomaceconomics.com, (Accessed 18 September 2019).)

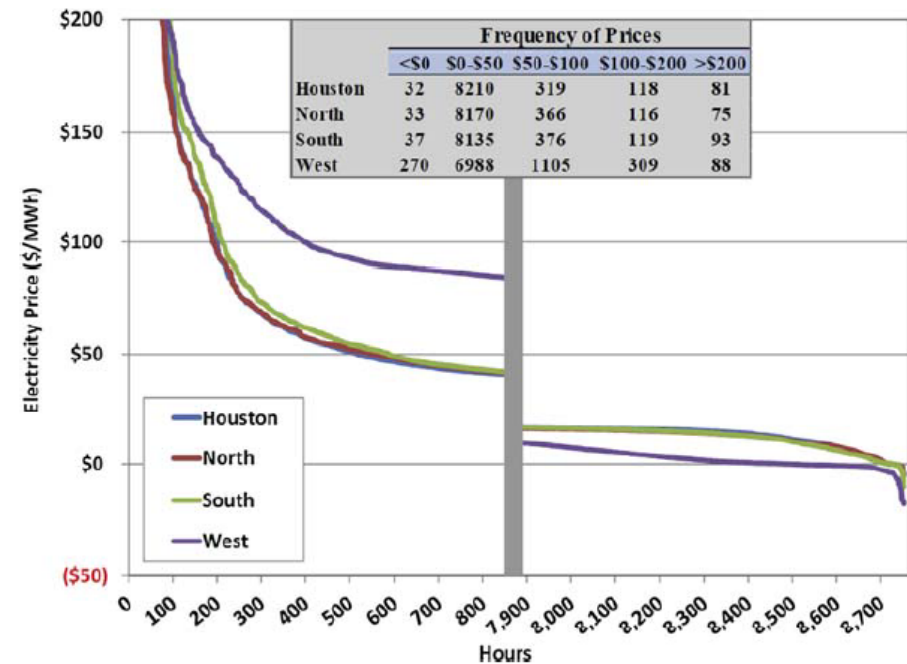
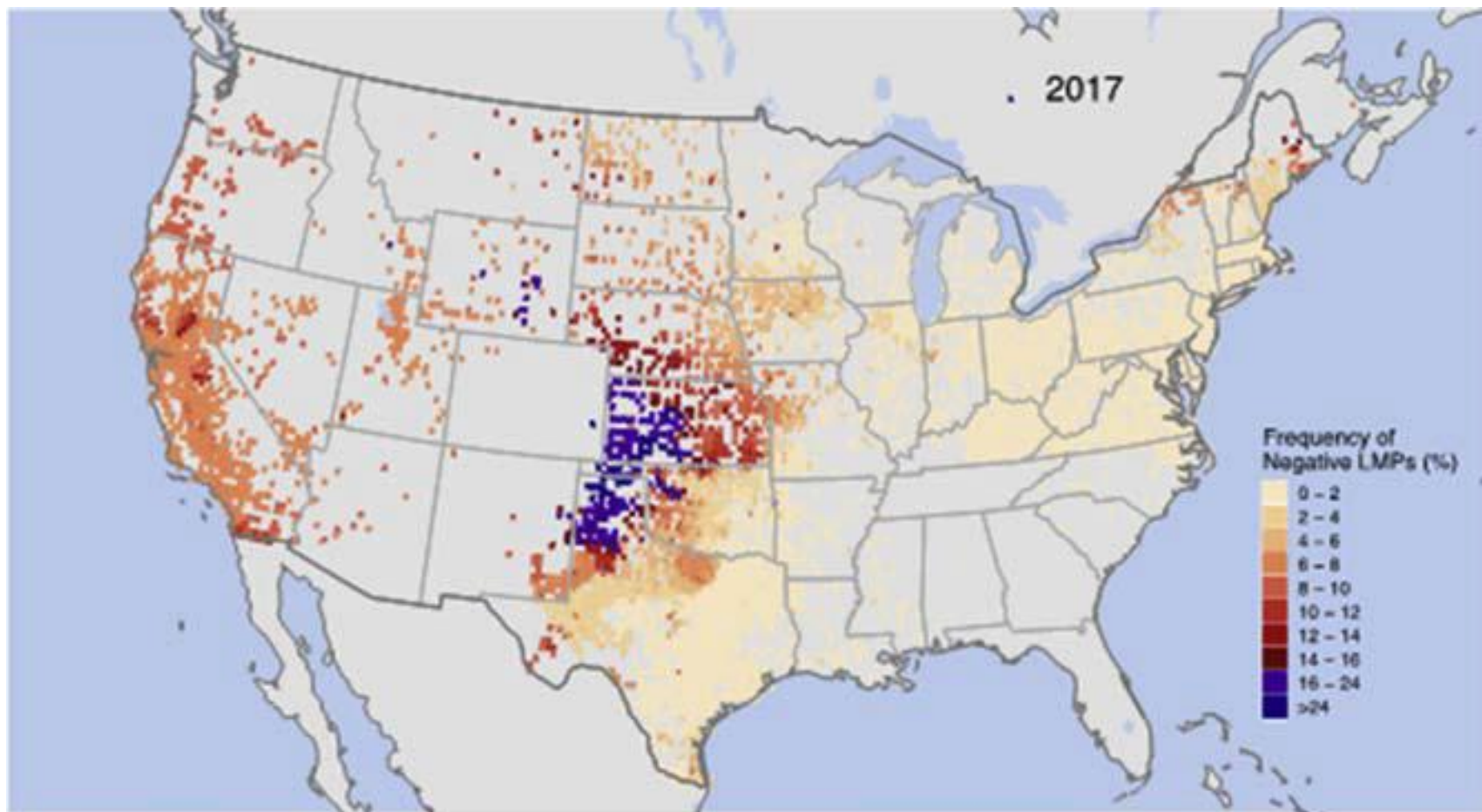


Figure 2.6 Truncated ERCOT price-duration curve for hours in 2018 in each of the load zones. (Source: Potomac Economics, 2019. 2018 State of the Market Report for the ERCOT Wholesale Electricity Markets, Available from: www.potomaceconomics.com. (Accessed 18 September 2019).)

Negative price는 재생에너지 출력조정의 경우이며 송전망 제약에 따라 지역마다
횡수 가격이 다름

01 재생에너지 확대 시장영향-미국

Negative price 빈도 - 2017년

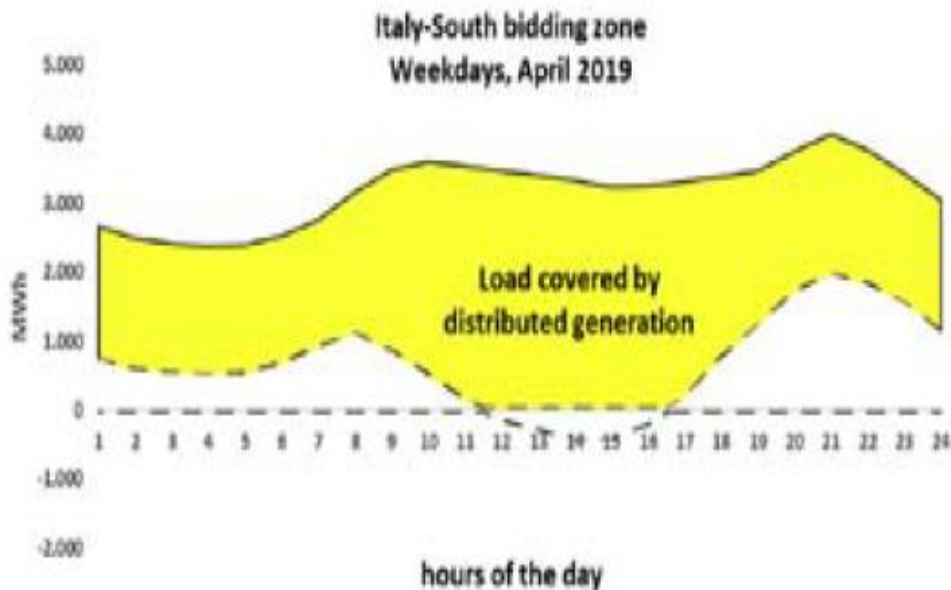


02 재생에너지 확대 시장영향-이탈리아

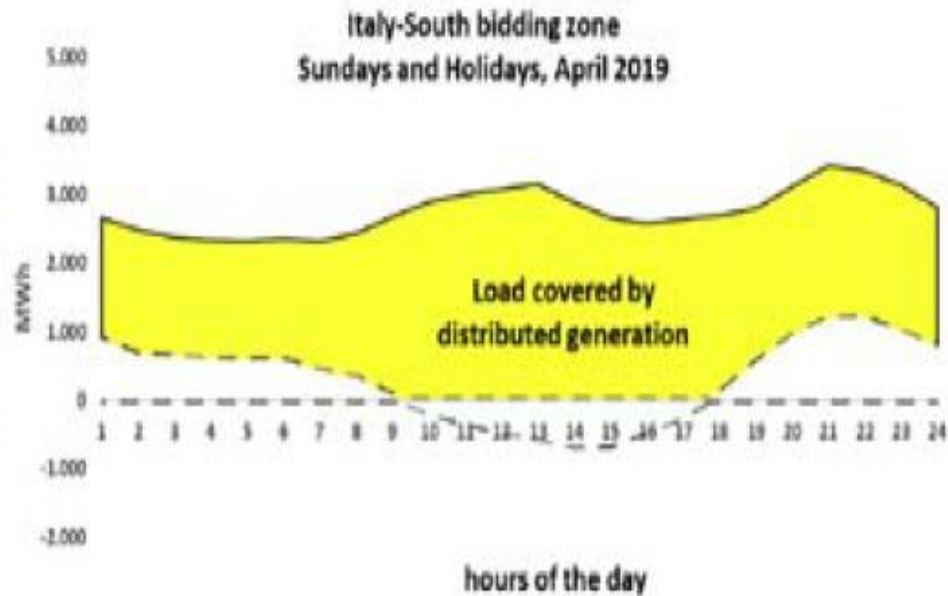
이탈리아 남부 과(過)발전(overgeneration) 케이스 – 2019년 4월 – 55% 수준

전국 평균 : 재생에너지 35% 수준

★ 송전망제약이 지역적 overgeneration 결정



2019년 4월 주중



2019년 4월 주말

03 과(過)발전(overgeneration)과 전력시장

- 에너지 저장 -> 한계
- 인근연계선로활용 -> 남는 전력 송출
-> 인근계통도 재생에너지가 증가하면서 여유가 없어지기 시작

• Curtailment

도매전력시장



Negative pricing으로 나타남



소매시장과 연계

- 소비자가 전력을 소비하는 시간, 패턴을 바꿀 수 있는 유인 제공
- Demand aggregator, new service provider 필요성 대두

현재의 DR, smart metering으로는 한계가 있음



우리나라 도매전력시장 – 재생에너지 포함 경쟁적 입찰시장으로 개선필요
curtail이 가격신호로 반영되어야 함 (negative pricing)

04 Flexible Demand 확대필요 - 선진시장의 경험

- 도매시장의 가격신호인 Dynamic pricing 만으로는 어려움 - (과신)
 - Smart metering (AMI) 가 전제
 - Dynamic pricing에 의한 전기요금 만으로 소비자 반응이 효과가 크지 않음
 - AMI와 연계한 스마트가전, demand aggregator, new service provider 등 정교한 소비 계획이 동반되어야 함.
- 지금 현재 준비하는 실시간 요금제 만으로는 충분한 효과를 얻을 수 없음
- Service provider, VPP 등이 새로운 비즈니스 모델을 만들고 소비자의 소비계획을 정교하게 계획해야 함 (현재 제주의 문제)
- 소매경쟁으로 Sector coupling, V2G 등 새로운 비즈니스 모델 창출
- 해외에서도 flexible demand 확대 추진 중

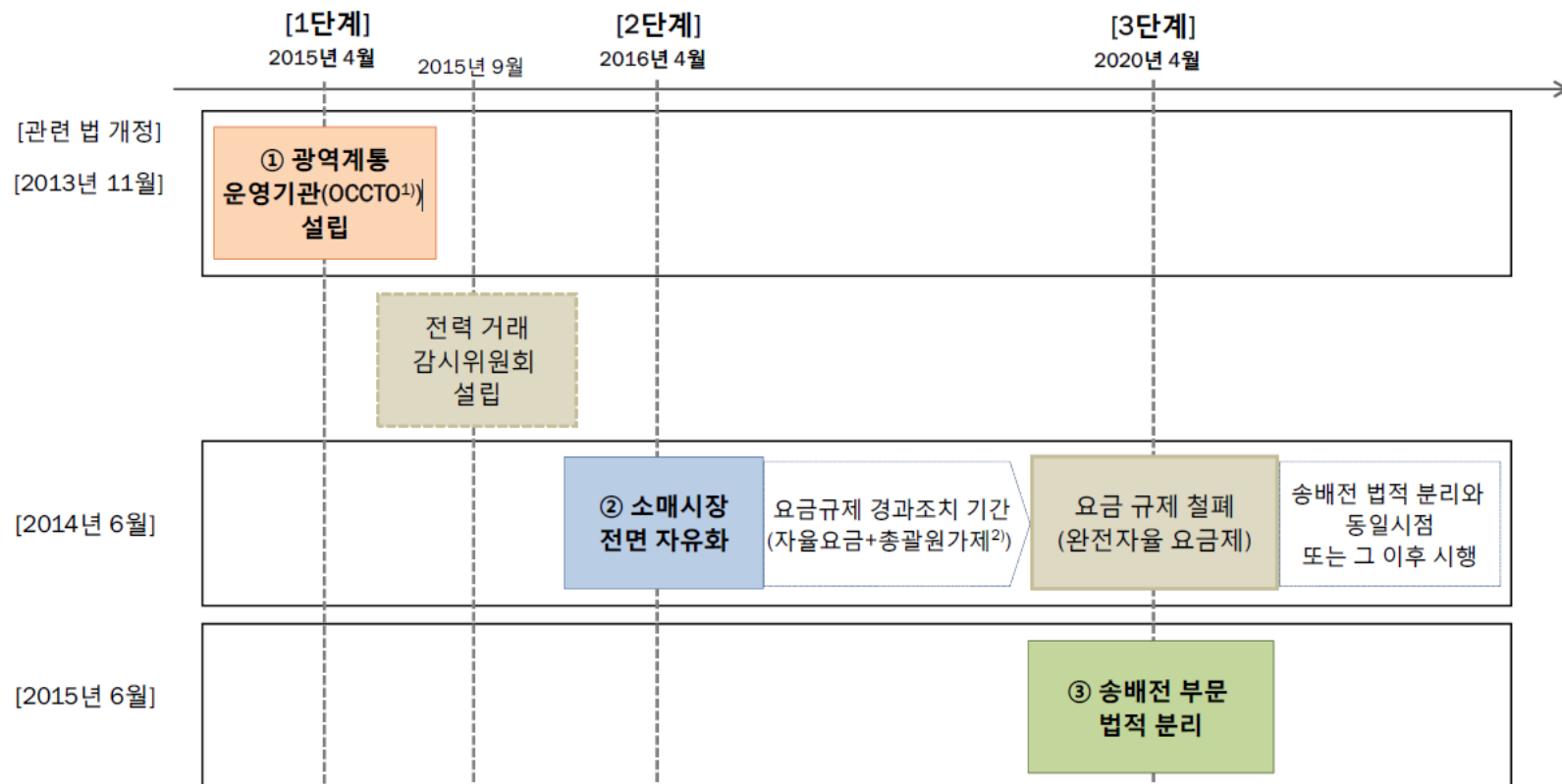


우리나라

판매시장 개방으로 경쟁적 소매시장이 절대적으로 필요
소비의 유연성을 확보하여 공급의 변동성 제어
- VPP, Demand aggregator, New service provider

현재 제주의 재생에너지 출력제한 문제

05 일본의 판매시장 개방 및 송전망 분리 현황



The map illustrates the power grid of Jeju Island, highlighting the integration of renewable energy sources. Key components include:

- Major Substations:** Sejeju Converter Station (서제주변환소), Jeju Converter Station (제주변환소), Jeju Station (제주화력), and Jeju Station (제주변환소).
- Power Plants:** Hanlim Combined Cycle (한림복합화력), Hanlim SS/CS (한림SS/CS), Gyeongju (경주), Jeju (제주), and Jeju (제주).
- Transmission Lines:**
 - #1 HVDC (Red line)
 - #2 HVDC (Red line)
 - 154kV (Blue line)
 - 154kV (Dotted line)
 - 22.9kV (Dotted line)
- Renewable Energy Sources:** Wind power (풍력) and solar power (태양광) are indicated by various symbols and labels across the island.

02 제주 수요 및 전력설비 현황

➤ 계통 수요 (2020년 9월)

최대수요	최저수요	평균수요
1,009Mw	450Mw	653Mw

➤ 제주 설비 현황

단위 : Mw

구분	직류 연계선		제주화력			남제주화력		한림 복합	재생E	공급 능력 합계
	제1	제2	기력 #2,3	복합 #1,2	내연 #1,2	기력 #1,2	복합 (2210준공)			
설비 용량	150	250	79x2	104x2	40x2	103x2	155	83	646	1,936


 동시 정지


 1pole 정지


 2기 정지


 1기 정지

수요에 비해서
발전기 용량이 너무 큼

03 제주 운영 현황

- 발전기 must run 현황 (전력거래소 자료)
 - (안정성을 유지하기 위한 무조건 운전해야 하는 발전기)

정상시		신재생 출력제어 예상시	
수요	운전대수	수요	운전대수
901MW이상	7대	901MW이상	7대
601~900MW이하	6대	751~900MW이하	6대
501~600MW이하	5대	551~750MW이하	5대
500MW이하	4대	550MW이하	4대

- HVDC 최소운전 조건 (전력거래소 자료)
 - #1 : 50Mw – 150Mw
 - #2 : 50Mw – 250Mw
 - 모두 100Mw-400Mw에서 운전 중

04 제주 재생에너지 설비 확대 전망

➤ 수요 및 재생에너지 설비 전망

[단위 : MW]

연 도	수 요*		재생E 계획**		
	최대	최저	풍력	태양광	합계
2021	1,086	528	748	480	1,228
2022	1,111	540	975	660	1,635
2023	1,138	553	1,015	780	1,795
2024	1,161	564	1,075	912	1,987
2025	1,182	574	1,265	1,034	2,299

* 수요 : 제8차 수급기본계획 기준, ** 재생E 계획 : '19.6 제주 CFI 목표('19말 : 580MW)

➤ 재생에너지 수용한계 전망(전력거래소 자료)

[단위 : MW]

연도	수요 수준별	재생E 보급계획	재생E 발전 수용한계	비고
2021	528 ~ 1,086	1,228	182 ~ 639	제3연계선 준공 前
2021	540 ~ 1,111	1,635	194 ~ 664	
2023	553 ~ 1,138	1,795	682 ~ 1,215	제3연계선 준공 後
2024	564 ~ 1,161	1,987	693 ~ 1,215	
2025	574 ~ 1,182	2,299	503 ~ 1,215	

05 제주 재생에너지 현황

단위 : Mwh

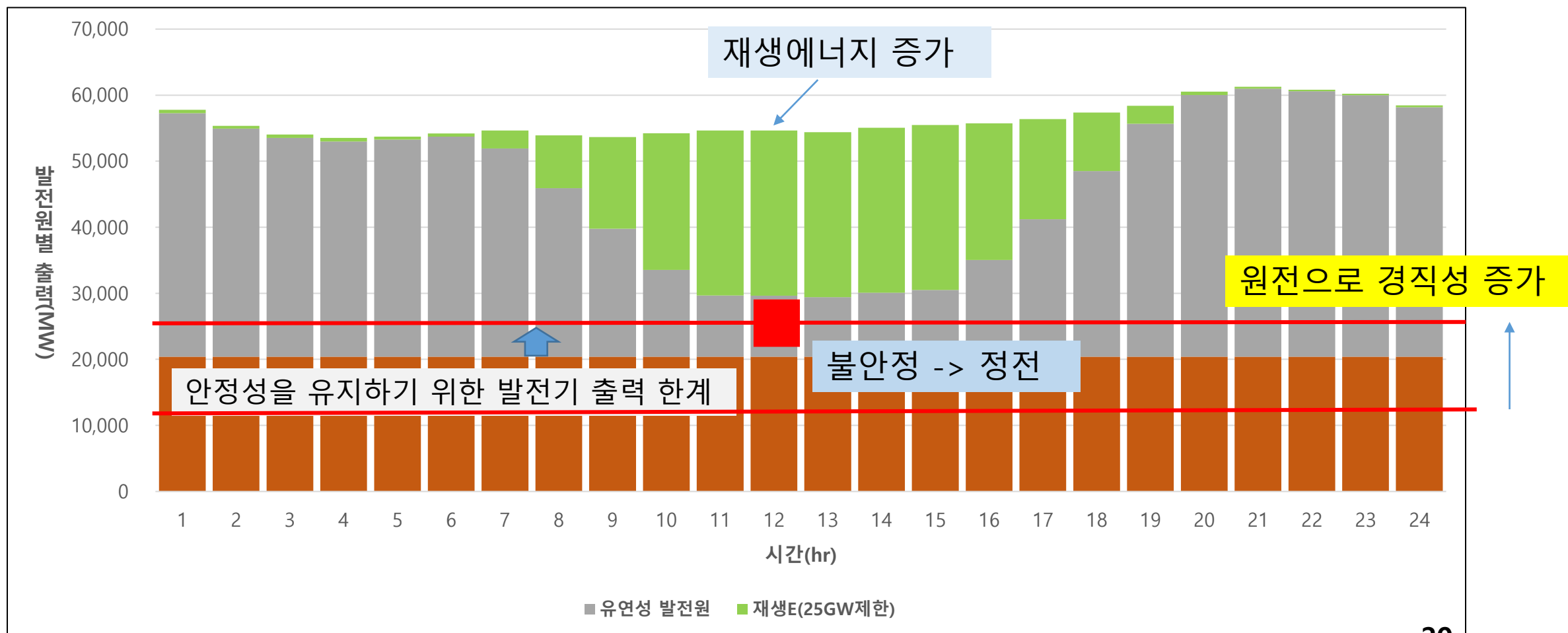
구분		발전실적		증가율 (%)	점유율 (%)
		2018년	2019년		
HVDC		2,272,030	1,807,934	-20.4	31.6
기력		2,099,139	1,852,074	-11.8	32.4
내연		248,894	265,458	6.7	4.6
가스터빈		4,493	7,369	64.0	0.1
복합		320,729	965,253	201.0	16.9
신 재 생	풍력	538,707	548,487	1.8	9.6
	태양광	168,410	252,368	49.9	4.4
	기타	23,326	21,117	-9.5	0.4
	신재생합계	730,443	821,972	13	14.4
합계		5,675,728	5,720,060	0.8	100.0

06 재생에너지 14.4%에서 curtail 발생

- curtail이 발생해도 시장가격에 신호가 없다..
 - 실시간 가격 신호 부재 -
 - 시장가격에 전력거래소의 인위적인 개입
 - 요금제도가 curtail 상황이 반영되지 않음
 - 실시간가격 만으로는 충분한 효과가 없음 <- 해외사례
- 현재 ESS, 동기조상기, 제3HVDC 증설로도 한계
- 열, 수소 저장 (시장가격 및 demand aggregator등과 연계)
- Flexible Demand <- 도매시장, 소매시장에 연계한 새로운 서비스 필요
 - VPP
 - Demand aggregator
 - 다양한 service provider

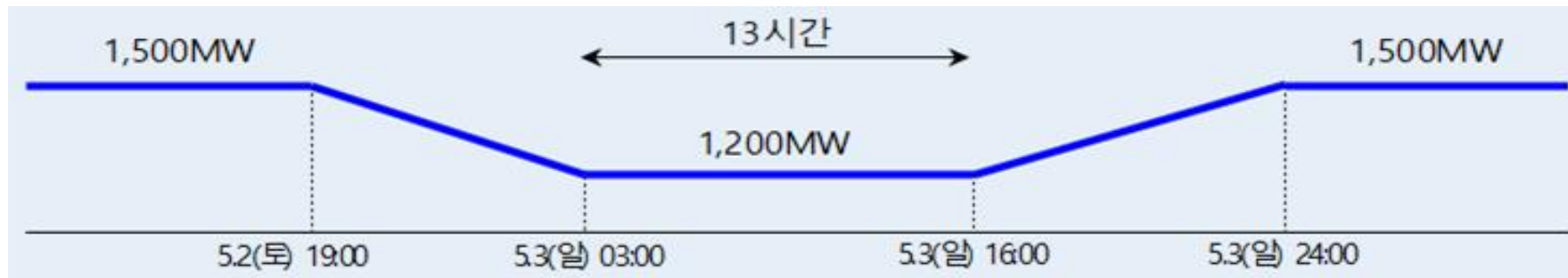
07 육지계통의 문제

❄ 육지계통도 재생에너지 20% 이전에 과발전 문제 발생 – 단위용량이 큰 발전기



08 신고리 #3,4의 출력감소 운전의 의미

- 육지 계통에서 원전의 비중이 높기 때문에 특정 시간대에 원전의 탈락 만으로도 안정성 유지하기 어려움
- 원전 1,400MW, 석탄 1,000MW, 가스복합 800MW 정도

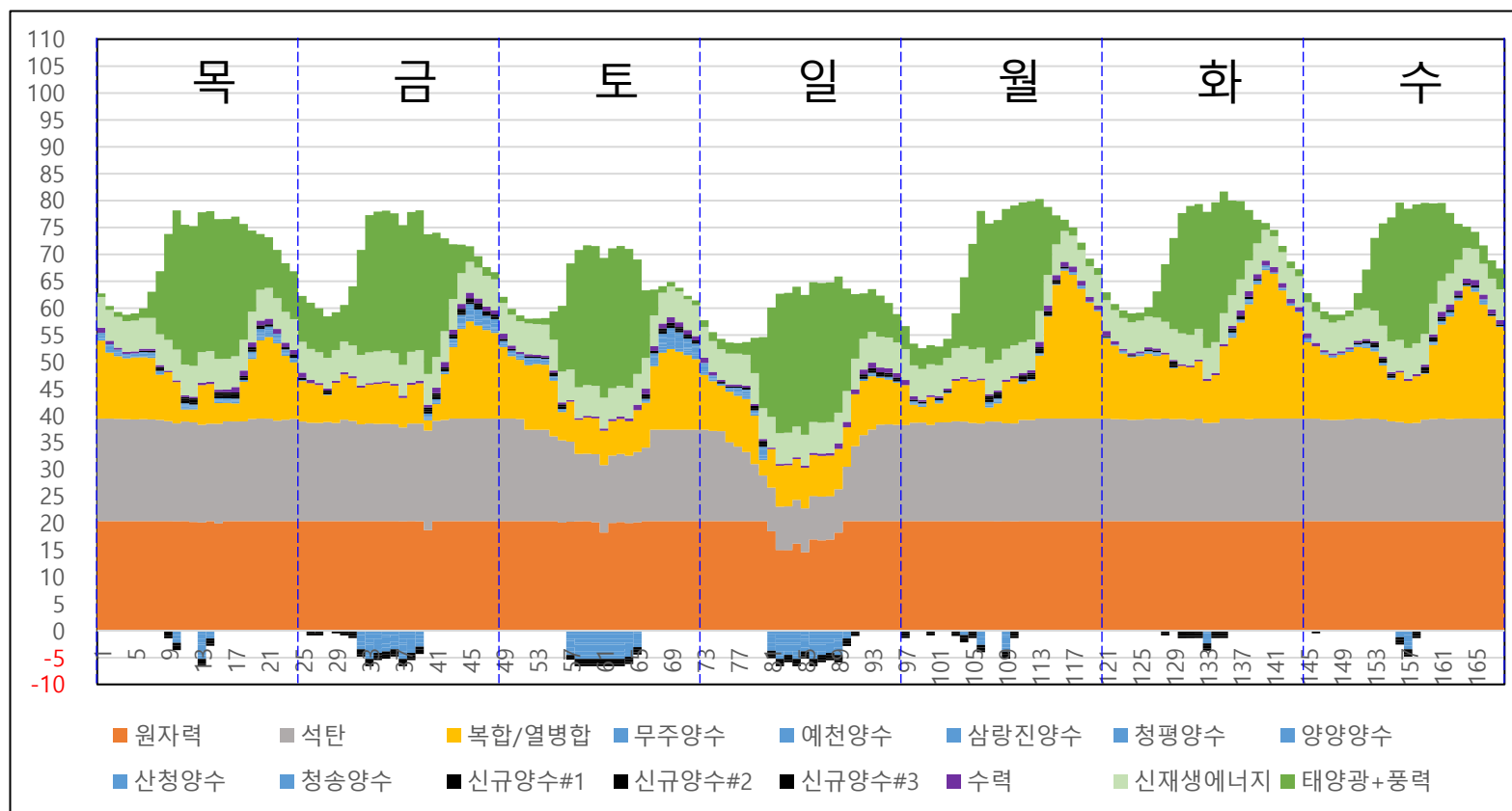


고장기준	최대탈락량	최저주파수	회복주파수	
			1분 이내	10분 이내
발전기 1기	1,400MW	59.7Hz	59.8Hz	-
발전기 2기	2,800MW	59.2Hz	59.5Hz	59.8Hz
SPS 동작	4,000MW			

09

2030 발전계획 전원믹스 검토

- 2030년 봄철 최소 순부하 주간 시나리오
 - 석탄 50% → LNG 복합으로 대체 + 환경제약으로 석탄화력 발전소 최소발전량 80%로 상향

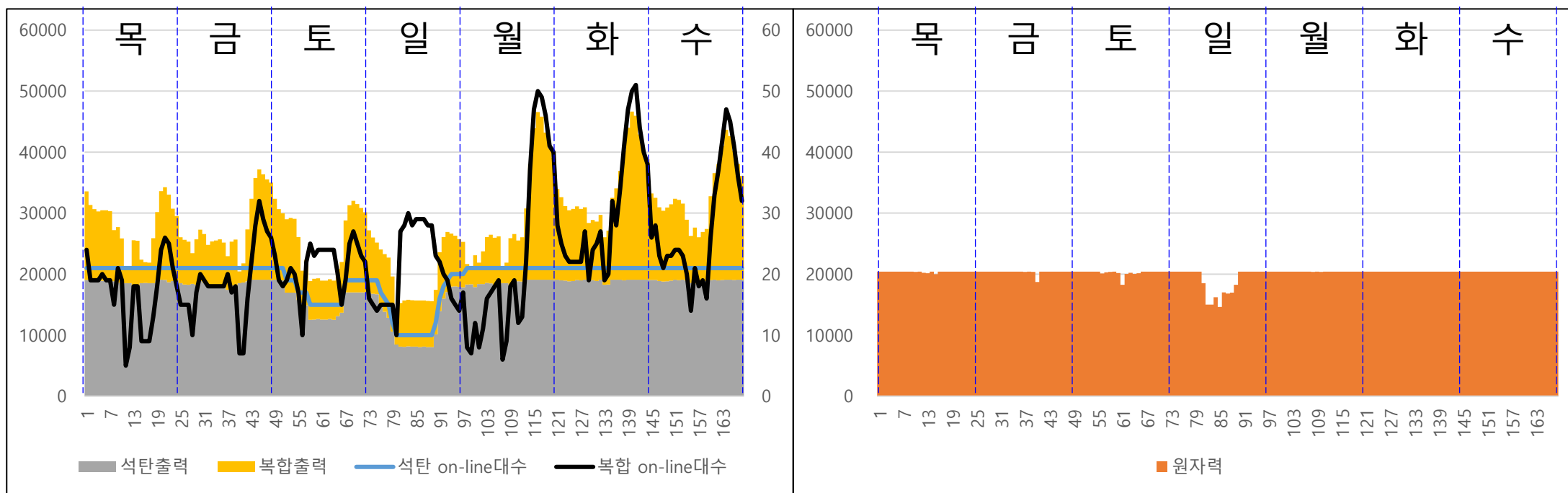


10 2030 발전계획 전원믹스 검토

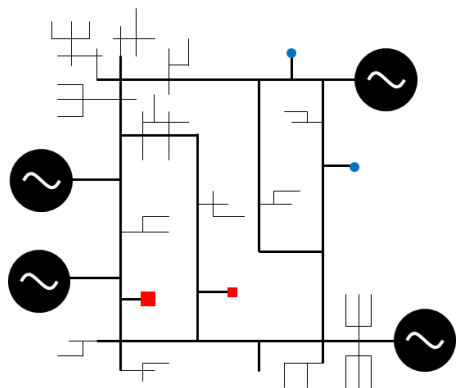


과발전 문제 – 오후에서 저녁에 이르는 순부하 증가 문제도 원인

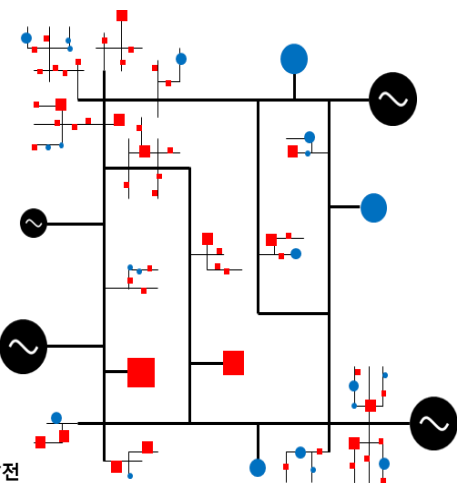
- 석탄화력 최소발전량 80%로 상향시 예비력 확보가 어려워 주말 발전기 기동정지 빈도 증가
- 주말 원자력 발전기 출력 감발



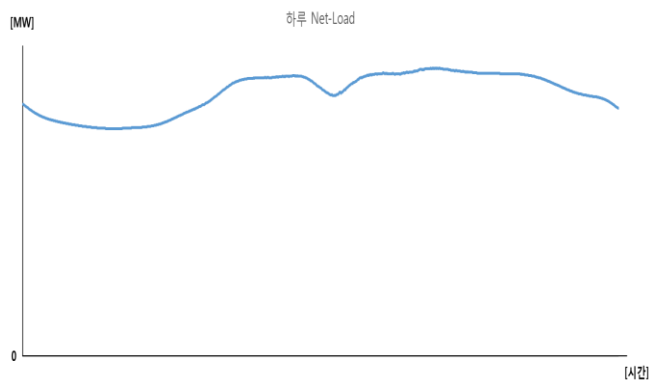
11 재생에너지 확대에 따른 전력망 여건의 변화



<현재 전력계통>

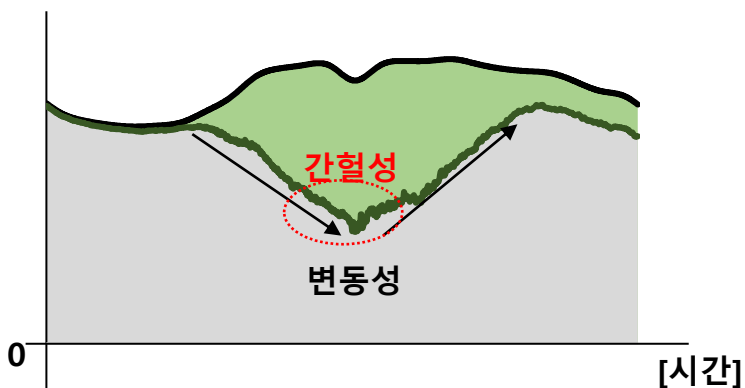


<2030 전력계통>



<재생에너지 영향 zero>

[MW] 하루 Load 및 Net-Load



<2030 Net Load>

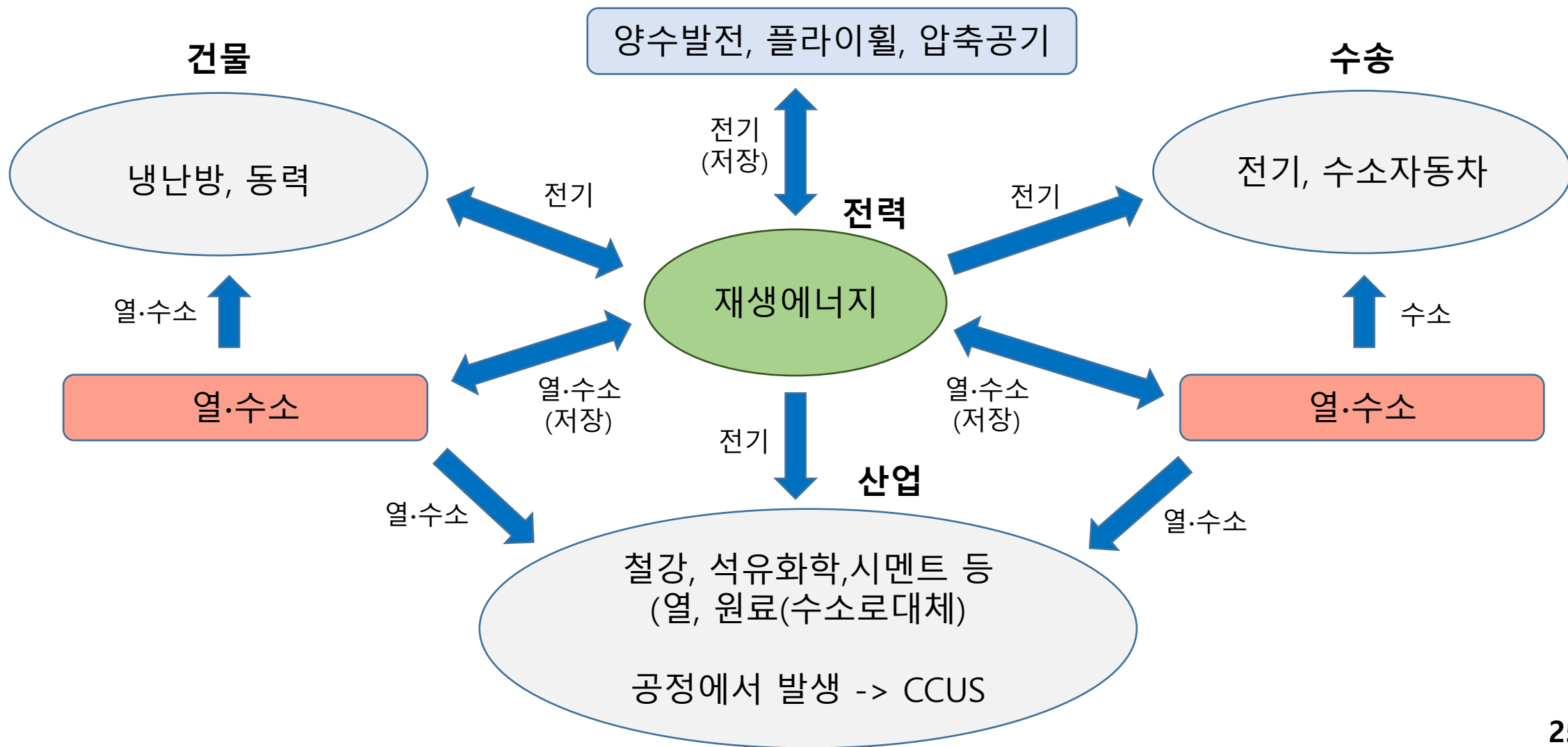
○ 발전자원으로 수요변화 제어

- 공급으로 소비의 변동성 제어
- 발전자원 보조서비스 시장

○ 발전자원의 변동성 간헐성 보완필요

- 물리적 방안
 - 공급으로 소비의 변동성 에너지저장 (양수, 배터리, 플라이휠 등)
 - 안정화 설비 (스마트인버터, 동기조상기)
- 제도적 방안
 - 보조서비스 확대
 - 수요반응(DR) 등

01 2050 탄소중립은 재생에너지가 기본



02 열, 수소 등 저장과 타부문과의 연계

- 전력 공급의 안정성 확보를 위한 노력
 - 타부문과의 연계를 통한 전력분야 안정성 확보

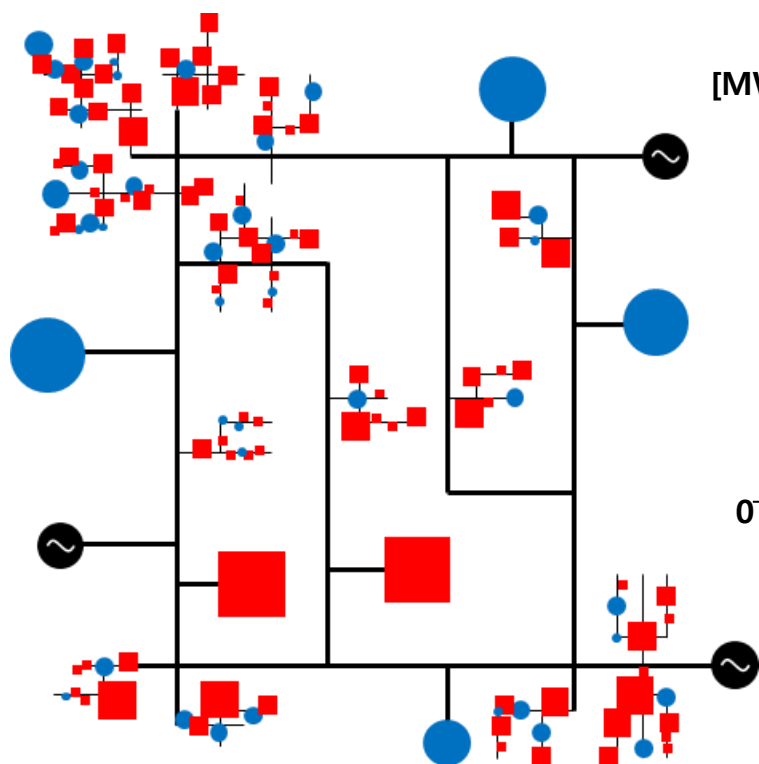
➤ Sector coupling을 통한 전기에너지 시장의 활성화

- P2H(열공급과 전기공급 연계)
 - 히트펌프를 통한 열공급 -> 제주의 열에너지는 재생에너지로 공급 (시급함)
 - 축열조와 계통운영시스템과 연계하여 열생산을 재생에너지 출력과 연계
- P2G를 통한 그린 수소경제
 - 재생에너지로 수소 생산을 위한 실증공장 건설
 - 수소생산시설과 계통운영시스템 연계
 - 수소터빈 기술 개발
- 전기자동차, 수소자동차 활성화



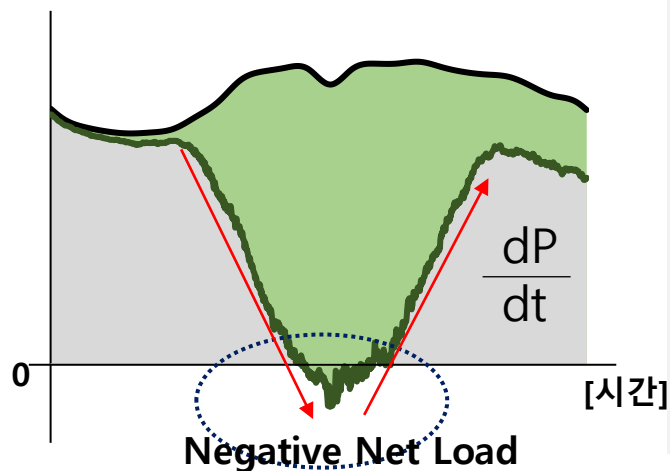
타 산업과의 연계도
재생에너지의 전력시장의 가격
신호와 효과적인 서비스 제공자
가 필요

03 우리의 전력망 – 2030년 이전 도래



<미래 전력계통>

[MW] 하루 Load 및 Net-Load



<미래 Net Load>

판매시장 필요

○ 과발전문제, Ramp 제약 문제

● 물리적 방안

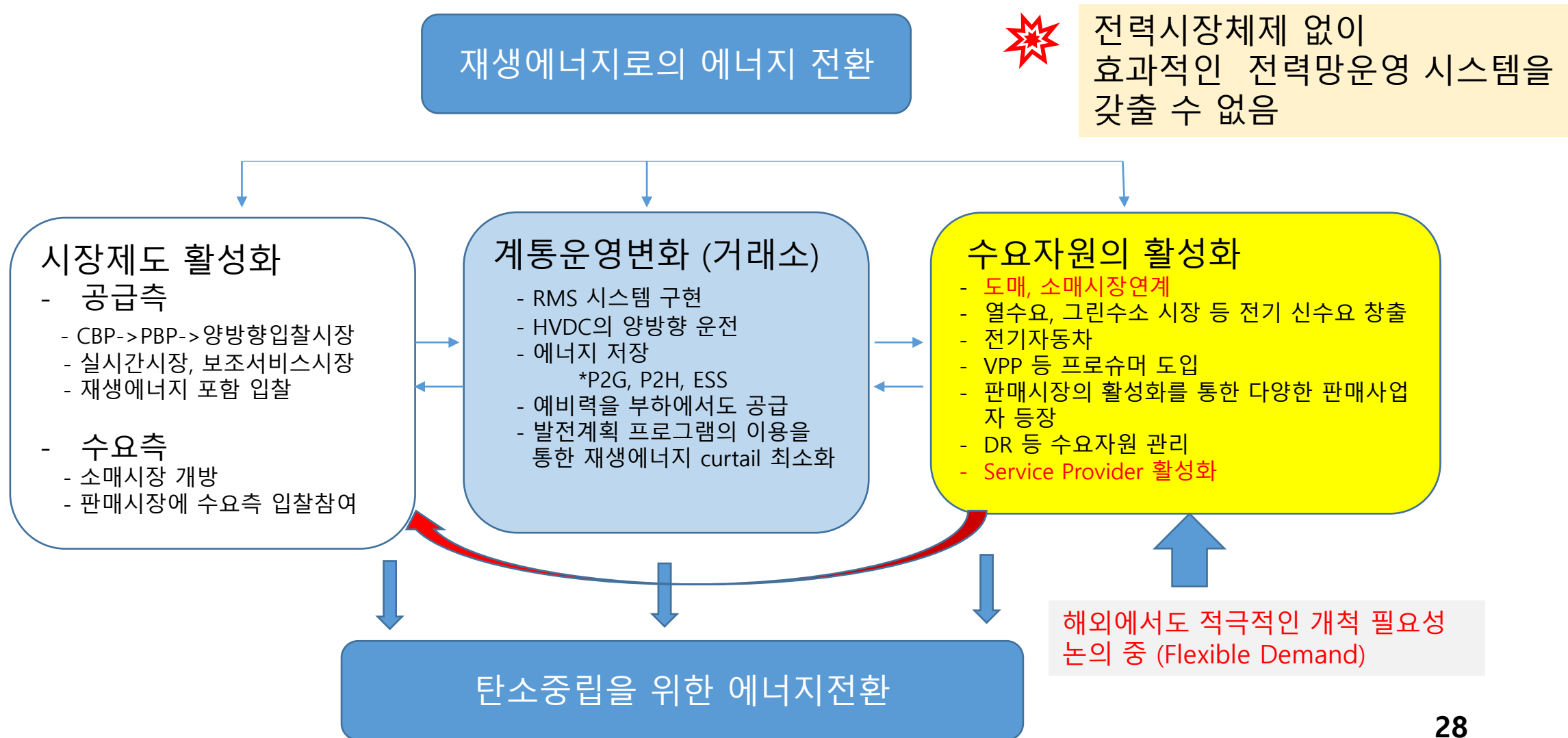
- 발전기 유연성 확대
 - 석탄, 원자력 정지 → 가스확대
- 에너지저장 (양수, 배터리, 수소)
- 안정화 설비
 - 스마트인버터, VSM(Virtual Synchronous Machine), 동기조상기
- Sector coupling (열, 수소)
- 출력제한
 - 경제성 문제

● 제도적 방안

- Flexible Demand(소비의 유연화)
(소비를 통한 공급의 변동성 제어)
 - VPP
 - Service provider 의 필요성
 - Demand aggregator



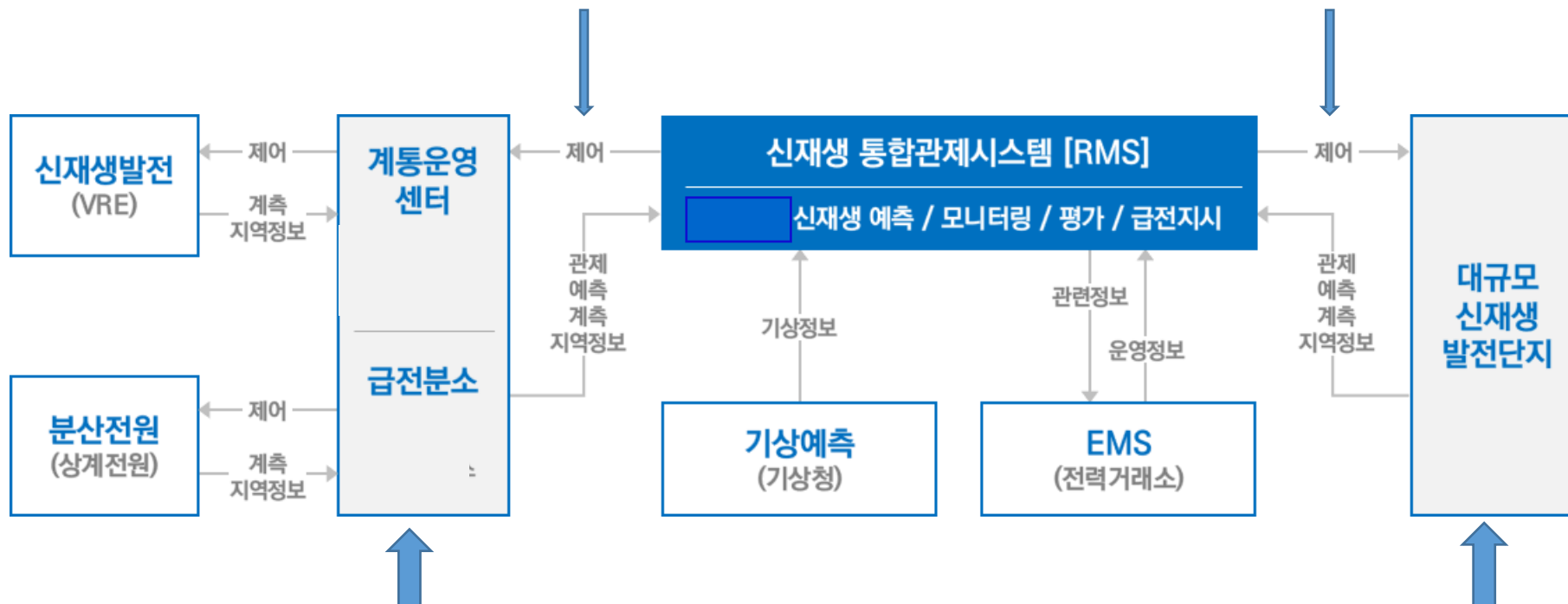
04 전력망운영은 고도화는 전력시장이 전제



05

전력망 운영 고도화 - 거래소

전력시장을 통한 발전, 및 수요의 유연성 확보 여부가 재생에너지의 수용성, 경제성을 결정



한전 : 망 중립성 문제

20Mw 이상은 거래소에서 직접 제어

06 전력산업 기능 분리를 통한 공정경쟁

- 에너지전환과 탄소중립은 단순히 재생에너지로 전원을 바꾼다는 의미가 아니다.
- 사회 전반의 모든 시스템이 바뀌어야 한다.
- 전력부문의 에너지전환 성공이 관건이다.
- 에너지전환은 전력산업기능분리, 공정한 경쟁없이 이룰 수 없다.
- 특히 송전망 회사는 분리 독립하여야 한다.
- 전력거래소는 전력망 운영시스템 고도화를 지속적으로 이루어야 한다.



1. 전력산업 기능 분리를 통한 공정경쟁이 관건

- 발전, 판매회사 겸업
- 전력망회사 분리 독립 – 망중립성 확보와 공용망 투자

2. 전력시장을 통한 경쟁 확보

- 도매시장의 시장가격정보 활용
- 소매시장을 통한 새로운 자원 확보
 - Demand aggregator
 - Service provider
 - VPP

