



신재생에너지 확대를 위한 전력시장제도

2019/01/17

홍익대학교

전영환

목 차

I. 재생에너지 확대에 따른 계통 안정화 문제

1. 해외의 사례
2. 3020 계획에 따른 국내의 문제점 분석

II. 재생에너지 확대와 전력시장

1. 재생에너지와 우리나라 전원믹스
2. 재생에너지 출력에 따른 SMP 변화
3. 재생에너지 증가 시 예비력 확보의 문제
4. ESS 인센티브 제도 - 실시간 SMP 연계 필요성

III. 결론

재생에너지 확대에 따른 계통 안정화 문제

1. 해외의 사례(1)

❖IEA에 의한 phase 구분

➤ 모든부하를 재생에너지로 공급하는 시점까지 발생할 수 있는 주요 이슈들을 고려하여 전력계통을 6단계로 구분

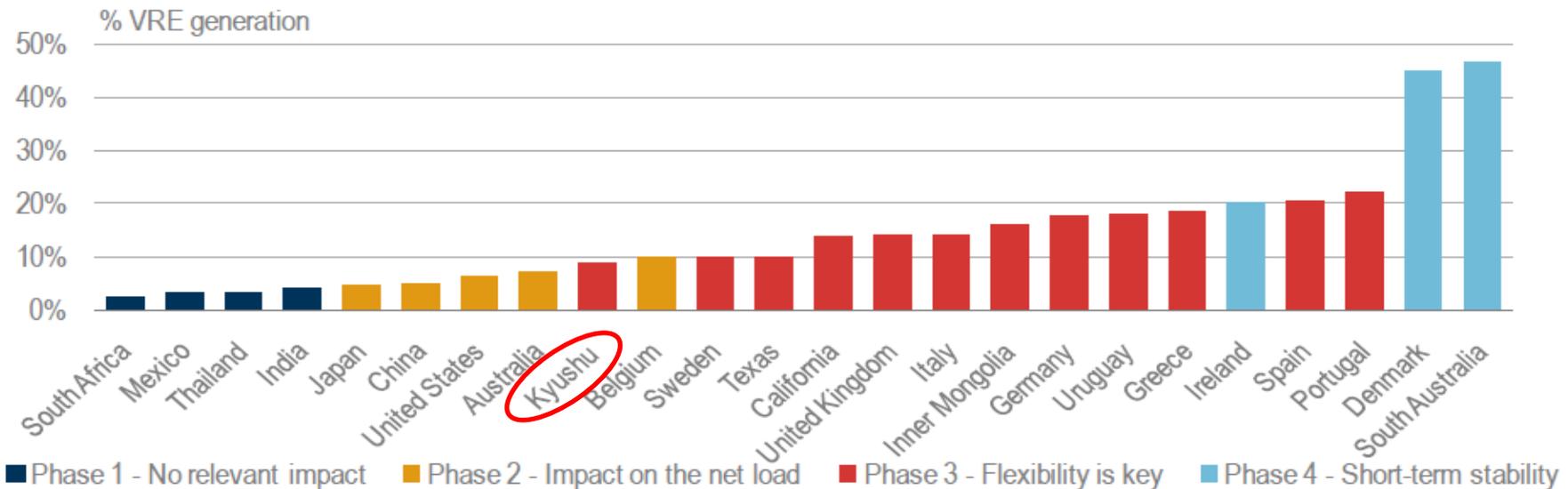
단계	전력계통 상태
Phase 1	<ul style="list-style-type: none"> 전력계통 수준에서 재생에너지(VRE)의 영향이 크지 않은 단계 재생에너지에 대한 영향이 국부적
Phase 2	<ul style="list-style-type: none"> 부하와 Net Load 사이에 뚜렷한 차이가 발생하는 단계 계통운영방법을 보다 향상시켜 기존 계통자원의 활용성을 높이면 전력계통 운영이 가능한 상태
Phase 3	<ul style="list-style-type: none"> 수급균형이 크게 흔들리는 단계 기존의 운영방법 및 계통자원 이상으로 전력계통 유연성에 대한 체계적 확보가 필요한 상태
Phase 4	<ul style="list-style-type: none"> 특정한 기간(수요가 낮고 재생에너지 출력이 높은 기간)에 재생에너지가 수요의 대부분을 공급하는 단계 전력계통을 안정적으로 운영하기 위해서는 운영 및 규제 방식에 대한 변화가 요구되는 상태
Phase 5	<ul style="list-style-type: none"> 별도의 조치 없이 재생에너지가 증가하면 전력공급이 수요보다 많아지는 Negative Net Load가 빈번히 발생하는 단계 일부 기간에서는 일반 발전기 없이 재생에너지를 통해 수요를 완전히 공급할 수 있으며, 재생에너지의 출력제한 위험이 증가하는 상태 재생에너지 출력이 높은 기간으로 수요를 전환하고 새로운 수요를 창출하는 문제가 대두될 수 있음
Phase 6	<ul style="list-style-type: none"> 재생에너지의 출력이 낮은 기간의 재생에너지 발전비중을 높이는 것이 주요한 문제인 단계 계절 저장(seasonal storage)과 수소와 같은 합성연료의 잠재성이 필요한 상태

I. 재생에너지 확대에 따른 계통안정화 문제

1. 해외의 사례(2)

❖ 국가별 phase 구분

- 재생에너지 발전 비중 및 전력계통 상황을 종합적으로 고려하여 단계를 구분
 - Ireland는 Spain과 재생에너지 발전 비중이 유사 → 섬나라인 Ireland의 전력계통이 더 심각
 - 한국은 Phase 2로 추정 → 주변국과의 연계가 없고 경직성 전원인 원자력 약 20GW의 존재로 단계가 빠르게 상승할 수 있음
- 지역적 특수성이 있는 경우 별도로 단계를 구분함



Note: Kyushu is a large island located in southwest Japan.

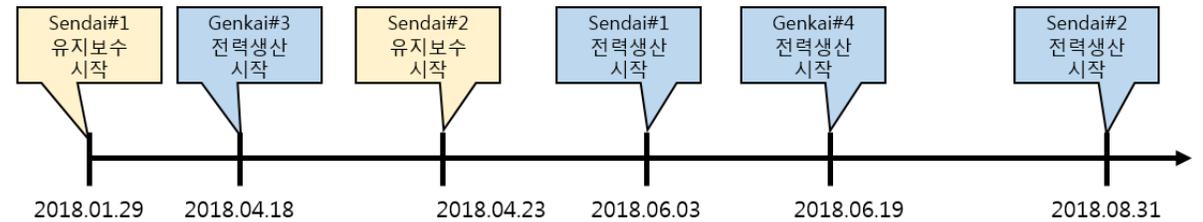
Source: Adapted from IEA (2017c), *Renewables 2017: Analysis and forecasts to 2022*.

재생에너지 확대에 따른 계통안정화 문제

1. 해외의 사례(3)

❖ 2018년 10월 13일 큐슈 전력 최초 본토 신재생 제어

- 10월 기준 경직성 전원인 원전 4기 동시 가동
- 재생에너지 설비(태양광, 풍력) 출력 증가
 - 9월 기준 설비용량 태양광 8,120MW, 풍력 500MW
 - 큐슈 지방의 일조량 증가
- 냉방 감소 및 공장가동 축소로 인한 수요 감소



큐슈 원자력 운전·정지 Time-line

⇒ 10월 13일 큐슈 전력 최초 본토 신재생 제어(430MW)

단위: [MW]

Generator	Reactor Type	Output [MW]	Commercial Operation	AGE	2018년										비고
					01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	
GENKAI#3	PWR	1,180	1994	24	[Blue arrow from 01 to 04, Red arrow from 04 to 10]										사가
GENKAI#4	PWR	1,180	1997	21	[Red arrow from 01 to 06, Blue arrow from 06 to 10]										사가
SENDAI#1	PWR	890	1984	34	[Blue arrow from 01 to 03, Red arrow from 03 to 06, Blue arrow from 06 to 10]										가고시마
SENDAI#2	PWR	890	1985	32	[Blue arrow from 01 to 04, Red arrow from 04 to 09, Blue arrow from 09 to 10]										가고시마
월별 설비용량					2,690	2,070	2,070	890	1,180	3,250	3,250	3,250	4,140	4,140	

➡ 정상 운전 ➡ 유지 보수

*JAIF 일본 원자력산업협회

재생에너지 확대에 따른 계통안정화 문제

1. 해외의 사례(4)

❖ 2018년 큐슈 본토 재생에너지 출력제어 현황

➤ 유연성 자원인 양수의 펌핑모드와 연계선을 통한 역외송전 활용

1) 신재생에너지(태양광, 풍력) 설비 용량에 따라 매년 산정

참고: 9월 태양광 8,120MW 풍력 500MW

2) 최대 잉여전력 발생 시간의 지역 수요

3) 양수 발전소를 최대한 활용

4) 연계선(tie-line) 조류를 최대한 활용, 제어지역(Control Area) 외로 송전

5) 우선공급 규칙에 따라 화력발전 등을 최대한 제한

6) 당일 05시 기상 데이터를 기반으로 지역 수요와 재생에너지 출력을 검토

단위: [MW]

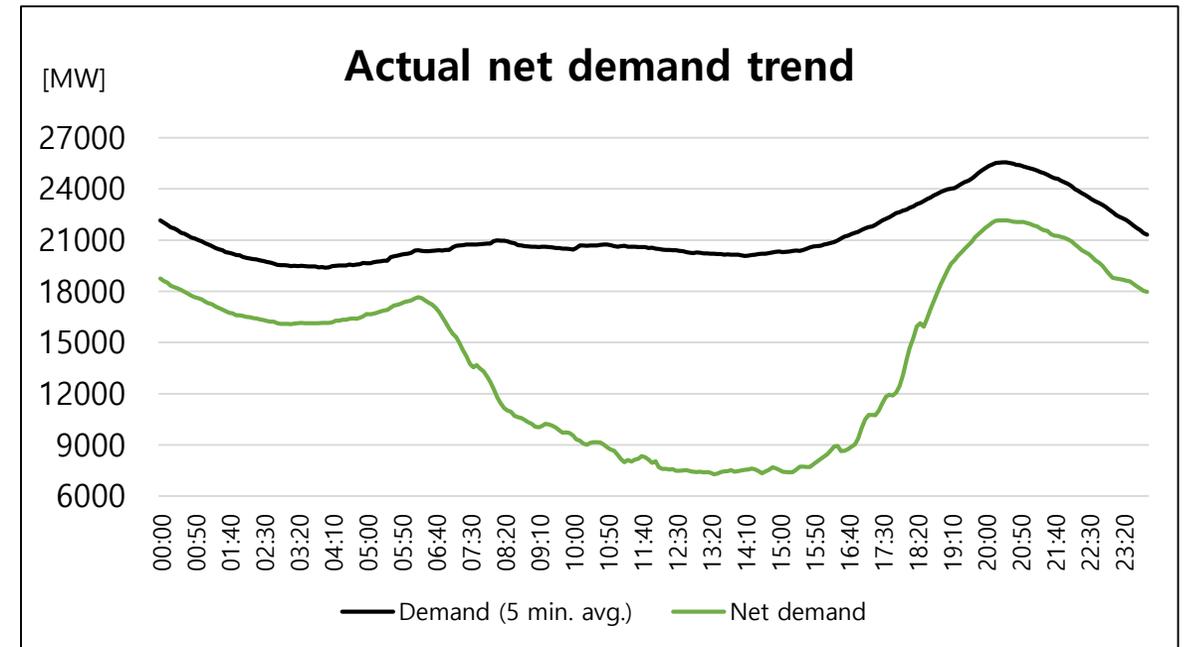
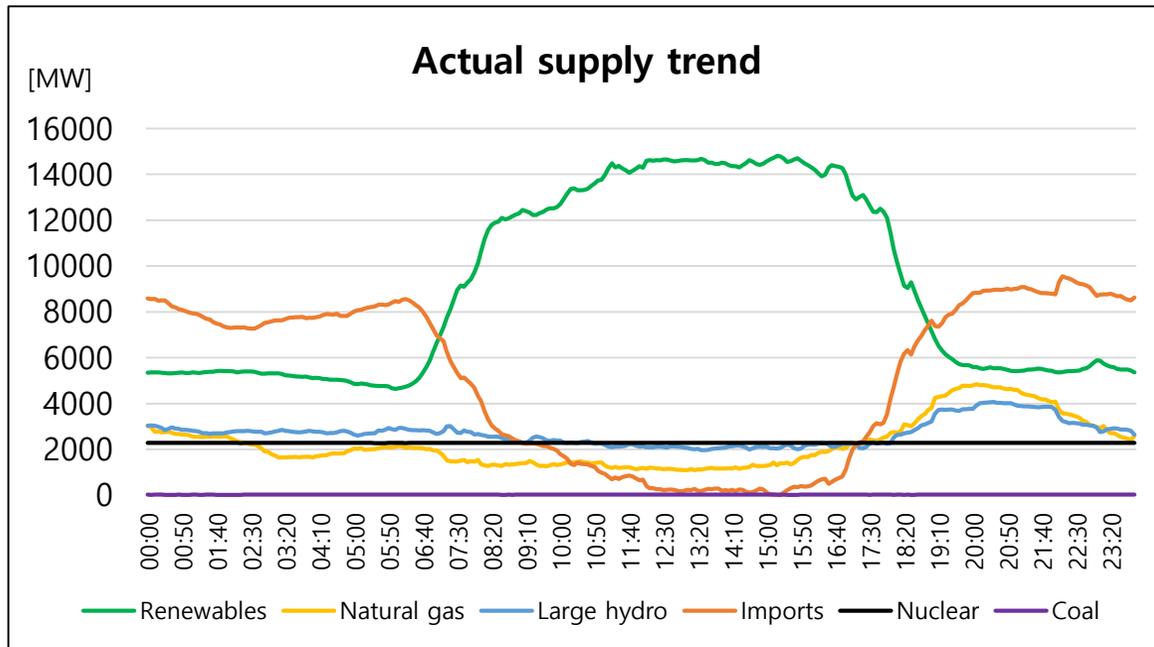
일련번호		1		2		3		4		5		6		7		8	
출력제어 내용	발신일	10/12 금 16시 (전날지시)	10/13 토 9시 (당일검토6)	10/13 토 16시 (전날지시)	10/14 일 9시 (당일검토)	10/19 금 16시 (전날지시)	10/20 토 9시 (당일검토)	10/20 토 16시 (전날지시)	10/21 일 9시 (당일검토)	11/2 금 16시 (전날지시)	11/3 토 9시 (당일검토)	11/3 토 16시 (전날지시)	11/4 일 9시 (당일검토)	11/9 금 16시 (전날지시)	11/10 토 9시 (당일검토)	11/10 토 16시 (전날지시)	11/11 토 9시 (당일검토)
	재생에너지 출력제어 기간	10/13 09시 ~ 16시		10/14 09시 ~ 16시		10/20 09시 ~ 16시		10/21 09시 ~ 16시		11/3 09시 ~ 16시		11/4 09시 ~ 16시		11/10 09시 ~ 16시		11/10 09시 ~ 16시	
	최대 잉여전력 발생시간	12:00 ~ 12:30		11:00 ~ 11:30		12:00 ~ 12:30		12:00 ~ 12:30		12:00 ~ 12:30		12:00 ~ 12:30		12:00 ~ 12:30		11:30 ~ 12:00	
	재생에너지 출력제어량1) [재생에너지 접속량 비율]	430 [7%]	430 [7%]	620 [11%]	710 [12%]	700 [12%]	700 [12%]	1,180 [19%]	1,180 [19%]	550 [15%]	550 [15%]	1,210 [21%]	1,210 [21%]	630 [11%]	810 [14%]	1,000 [18%]	1,000 [18%]
예상수급 상황	지역수요2), ①	8,280	8,280	7,580	7,360	8,060	8,060	7,280	7,280	7,460	7,460	6,960	6,960	7,770	7,770	7,160	7,160
	대용량 축전지 충전 · 양수 운전3), ②	2,260	2,260	2,260	2,260	2,260	2,260	2,260	2,260	2,260	2,260	2,260	2,260	2,260	2,260	2,260	2,260
	역외 송전4), ③	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	2,020	2,020	2,020	2,020	2,020	1,840	2,020	2,020
	소계 (①+②+③)	12,500	12,500	11,800	11,580	12,280	12,280	11,500	11,500	11,740	11,740	11,240	11,240	12,050	11,870	11,440	11,440
	공급력5), ④	12,930	12,930	12,420	12,290	12,980	12,980	12,680	12,680	12,290	12,290	12,450	12,450	12,680	12,680	12,440	12,440
	재생에너지 출력	5,950	5,950	5,550	5,420	6,100	6,100	5,900	5,900	5,610	5,610	5,720	5,720	5,860	5,860	5,630	5,630
	재생에너지 출력제어 요구량, ⑤ (⑤=①+②+③-④)	430	430	620	710	700	700	1,180	1,180	550	550	1,210	1,210	630	810	1,000	1,000

재생에너지 확대에 따른 계통안정화 문제

1. 해외의 사례(6)

❖ CA ISO duck curve 현상

- 2018년 4월 28일 **주말** Net load 7,274MW 기록(출처: CA ISO)
- 원자력발전기 출력 2,280MW으로 최대출력으로 운전



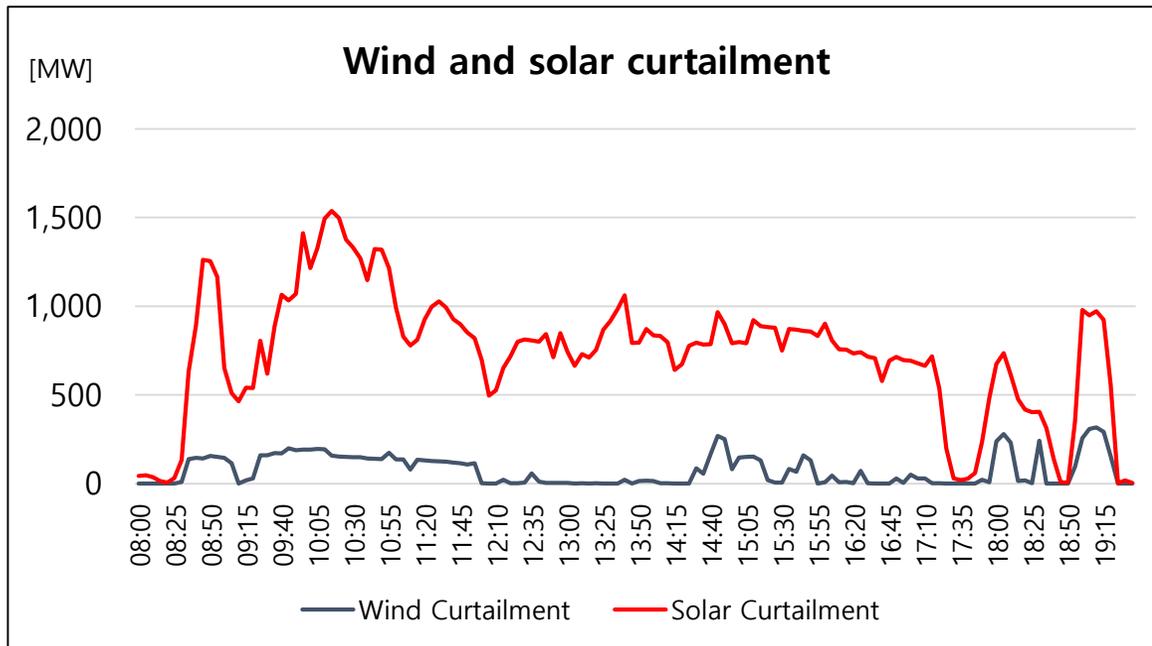
재생에너지 확대에 따른 계통안정화 문제

1. 해외의 사례(7)

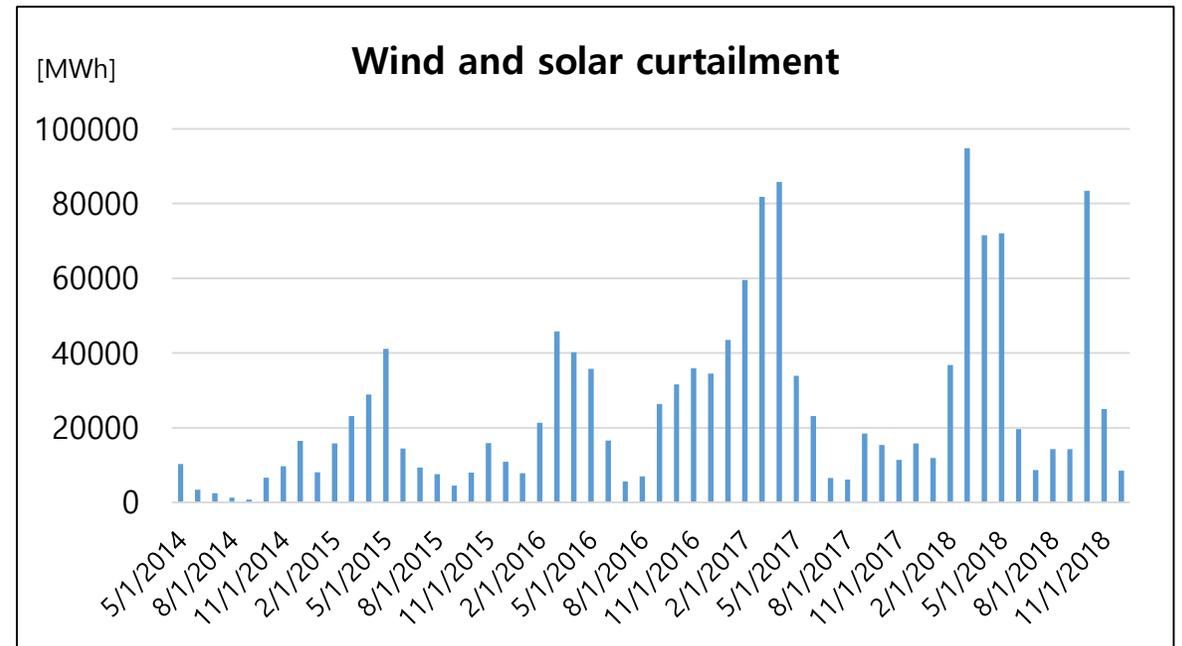
❖ CA ISO에서 재생에너지 출력 제한

- 2018년 4월 28일 기준으로 최대 curtailment량 1,536MW 기록
- 수년간 curtailment 에너지량 지속적으로 증가(2014년 ~ 2018년)

<CA ISO 2018년 4월 28일 curtailment 크기, MW>



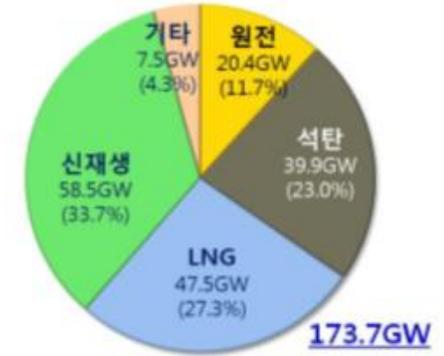
<CA ISO 월간(2014~2018년) curtailment 량, MWh>



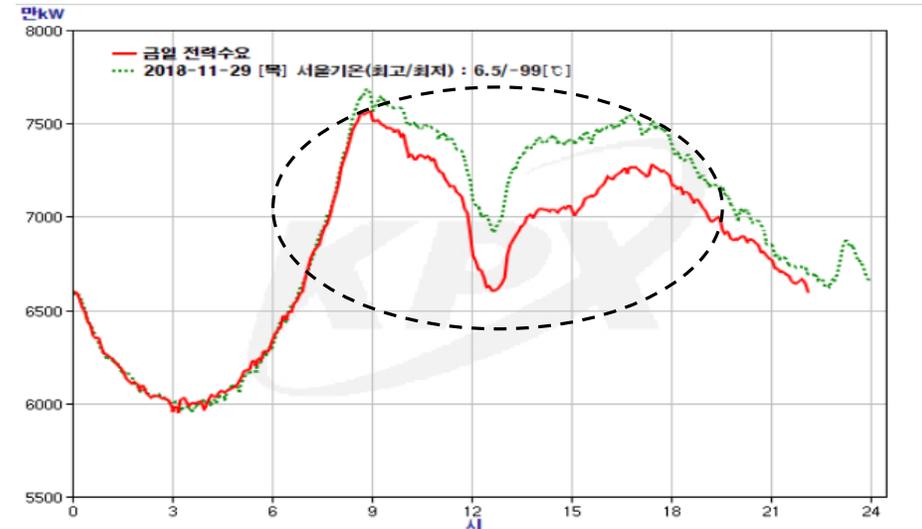
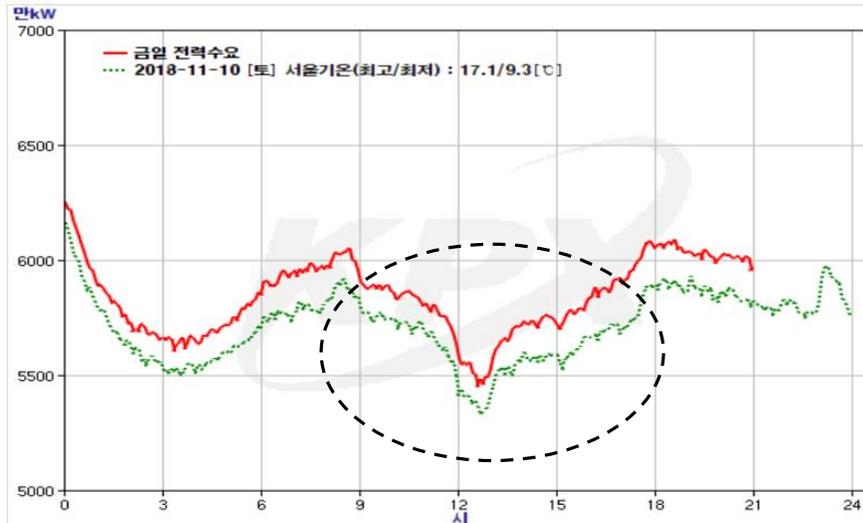
재생에너지 확대에 따른 계통안정화 문제

2. 3020 계획에 따른 국내의 문제점 분석(1)

- '30년 전체 발전량의 20%를 신재생에너지로 발전
 - "재생에너지 3020 정책", "제8차 전력수급 기본계획"
- '30년 신재생발전원 설비용량 약 58.5GW (자가용 제외)
 - 이 중 태양광 33.5GW, 풍력 17.7GW로 약 51.2GW의 변동성 전원 투입
- 2018년 국내 전력계통 Duck Curve 현상 발생
 - 2018년 11월 17일(주말), 2018년 11월 30일(평일)



2030년 발전설비 구성 현황(제8차 전력수급 기본계획)



Ⅰ 재생에너지 확대와 전력시장

1. 신재생 출력 제한 보상의 문제

- 현재 보상의 규정이 없이 재생에너지가 지속적으로 증가하고 있음
- 우리나라도 조만간 출력조정이 예상됨
- 재생에너지에 출력제한 보상에 대한 규정이 필요함

일본의 경우

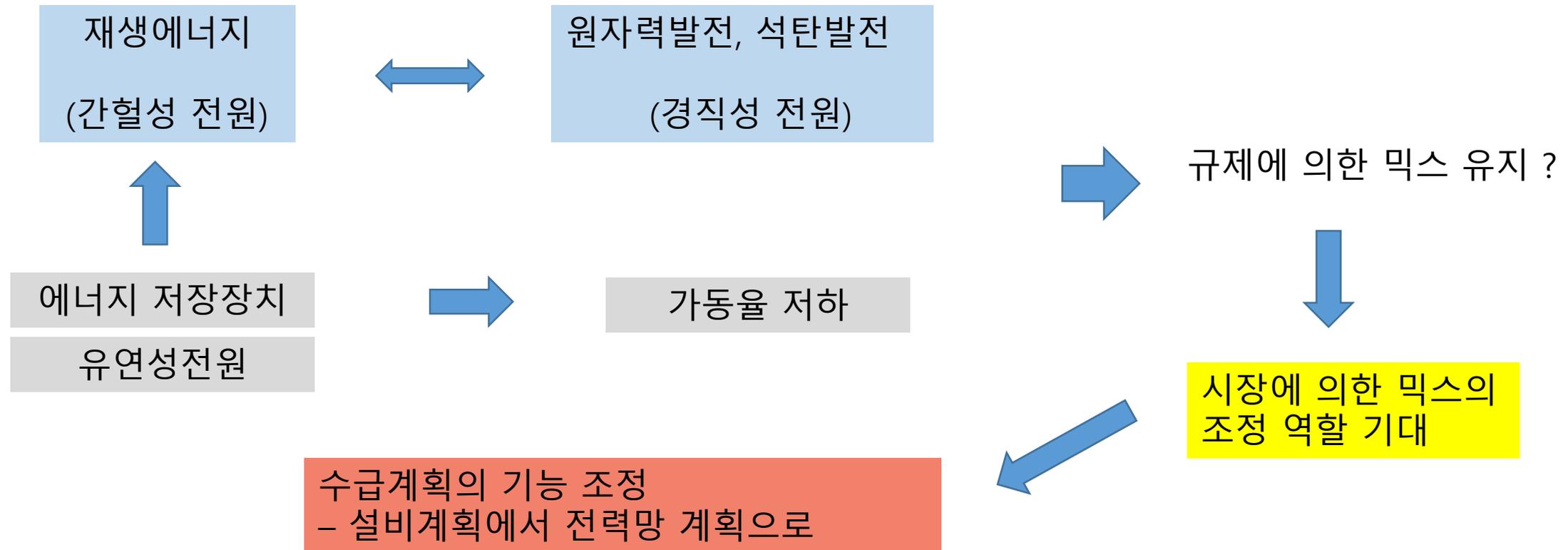
- 계통접속한계 이내 접속용량 : 30일 룰 적용
- 계통접속한계 이상 접속용량 : 무제한 무보상 룰 적용

재생에너지 출력제한에 대한 보상 규정 마련 시급

II 재생에너지 확대와 전력시장

2. 에너지와 우리나라 전원 믹스

- 경직성 전원인 원자력 발전(20Mw정도)와 기동정지 시간이 긴 석탄 발전소가 많음
- 재생에너지의 증가에 따라 원자력과 석탄 발전소의 가동율 저하
- 설비의 효율성 문제, 원자력발전기와 석탄 발전기의 수익성 저하

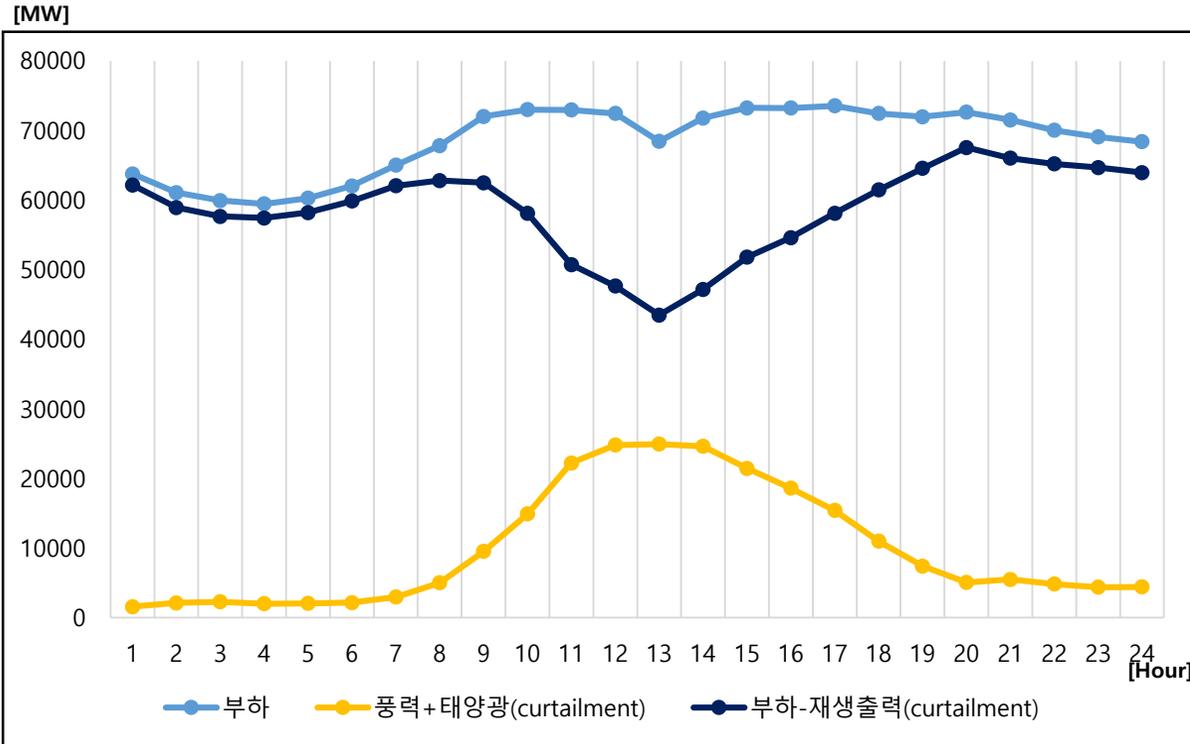


II 재생에너지 확대와 전력시장

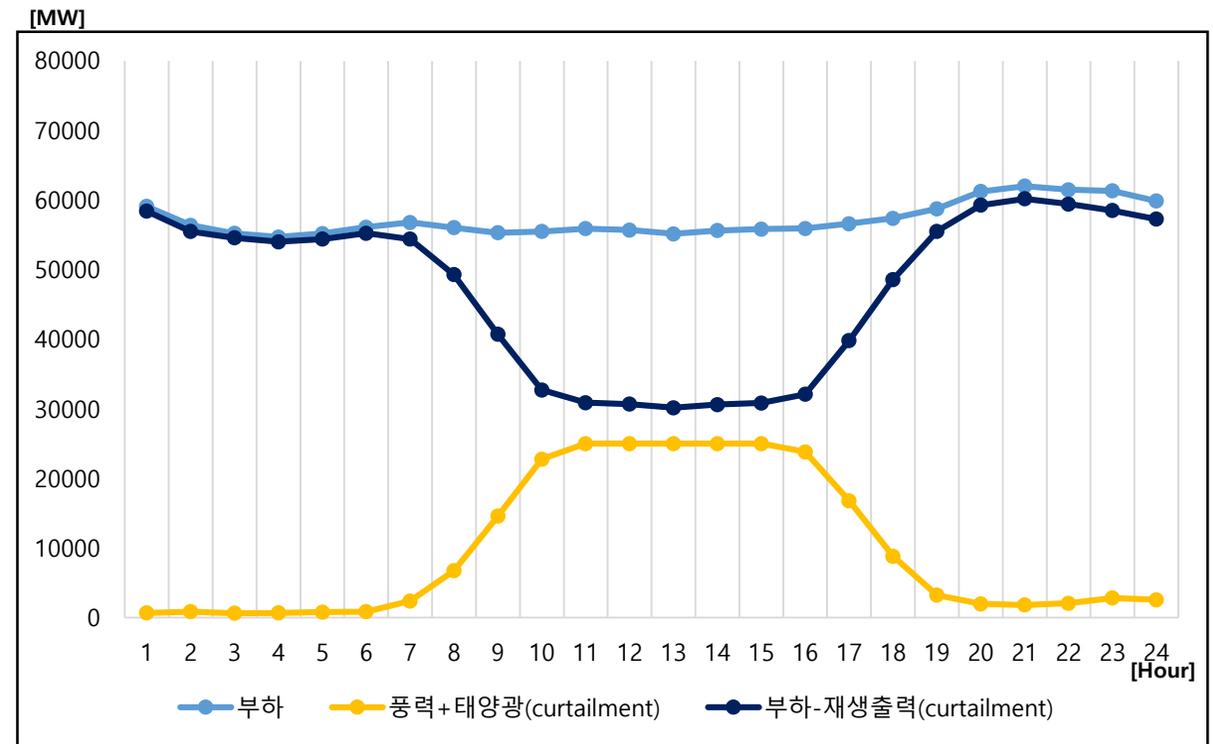
❖ 2030년 봄철 평일, 주말 Load

➤ 신재생 출력제한 25GW 적용

[봄철 평일 Load]

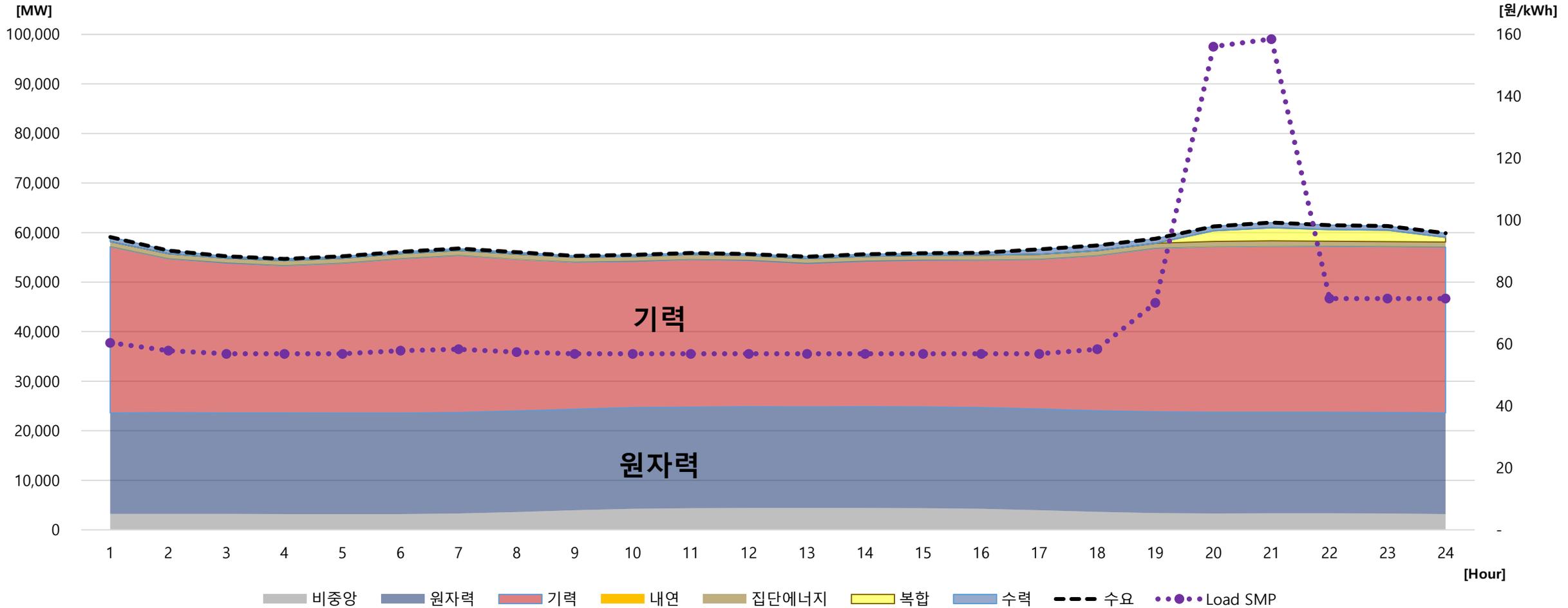


[봄철 주말 Load]



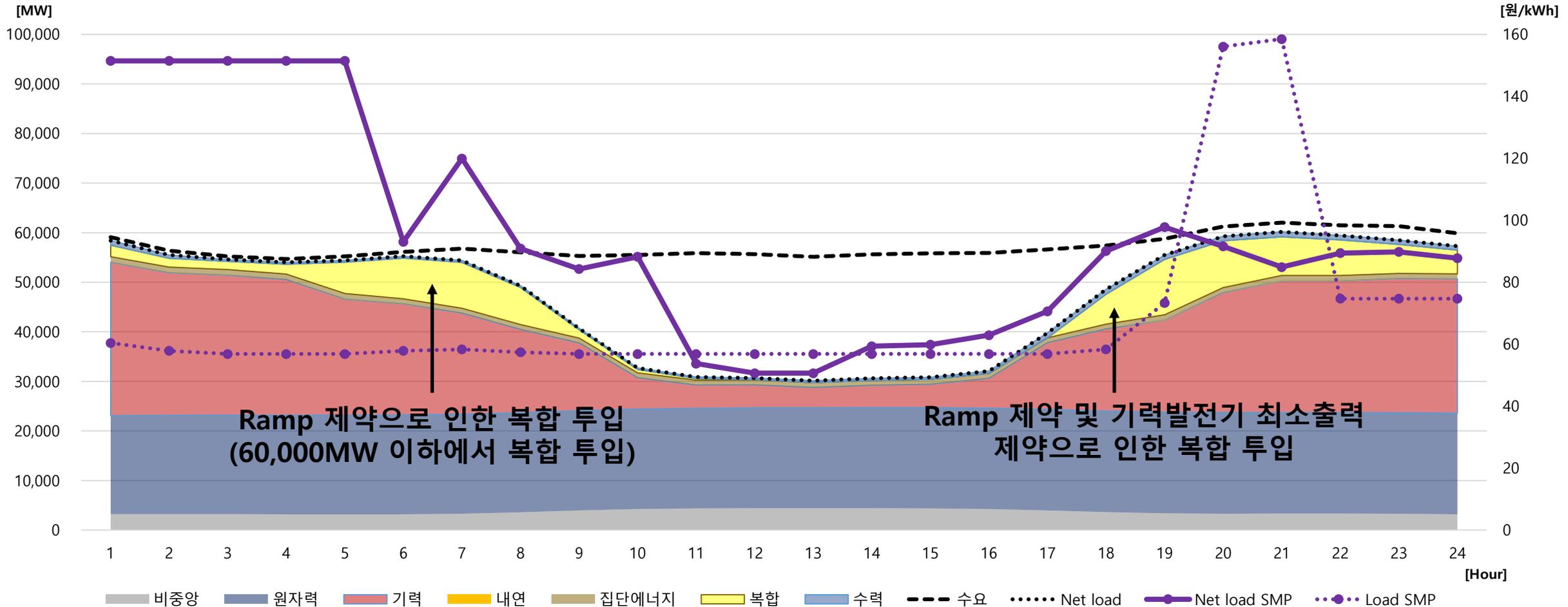
II 재생에너지 확대와 전력시장

❖ 2030년 봄철 주말 SMP(신재생 출력 0)



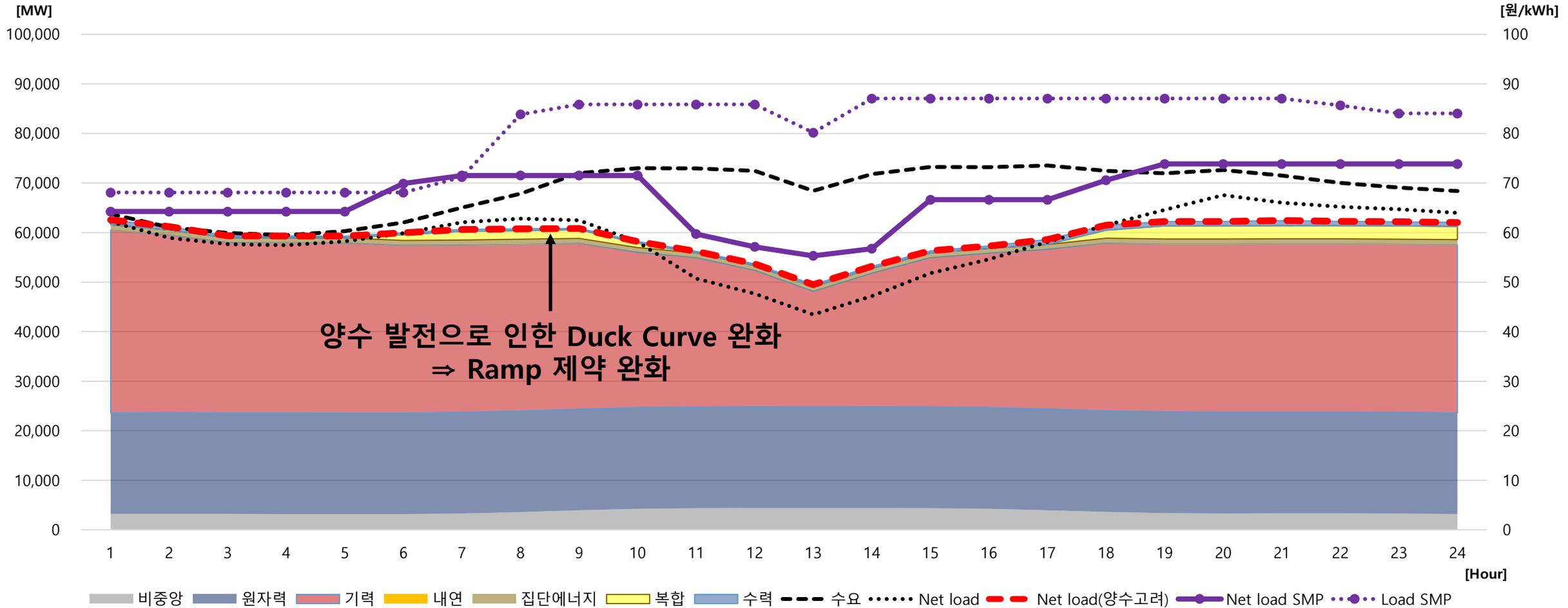
II 재생에너지 확대와 전력시장

❖ 2030년 봄철 주말 SMP (신재생 출력 있는 경우)



II 재생에너지 확대와 전력시장

❖ 2030년 봄철 평일 양수 고려 시 SMP



II 재생에너지 확대와 전력시장

3. 신재생 출력에 따른 SMP 변화

- ▶ 신재생 출력이 증가함에 따라 SMP 하락
 - Net Load 감소로 인해 SMP가 감소함

- ▶ 신재생출력이 일정 범위 이상 증가 시 Ramp 제약으로 인한 SMP 상승
 - 신재생 출력 증가 시 Net Load의 Ramp 상승
 - Ramp 제약으로 인해 속응성을 갖춘 복합발전기가 투입됨
 - 주로 부하가 낮고 신재생 출력이 높은 날 발생

- ▶ 신재생 출력이 증가하는 경우 양수 투입 시 SMP 안정 효과 발생
 - 양수발전의 펌핑 및 발전으로 인한 Net Load 평활화
 - 가격결정발전계획에서 양수 고려 시 Ramp 제약 일부 해소 가능

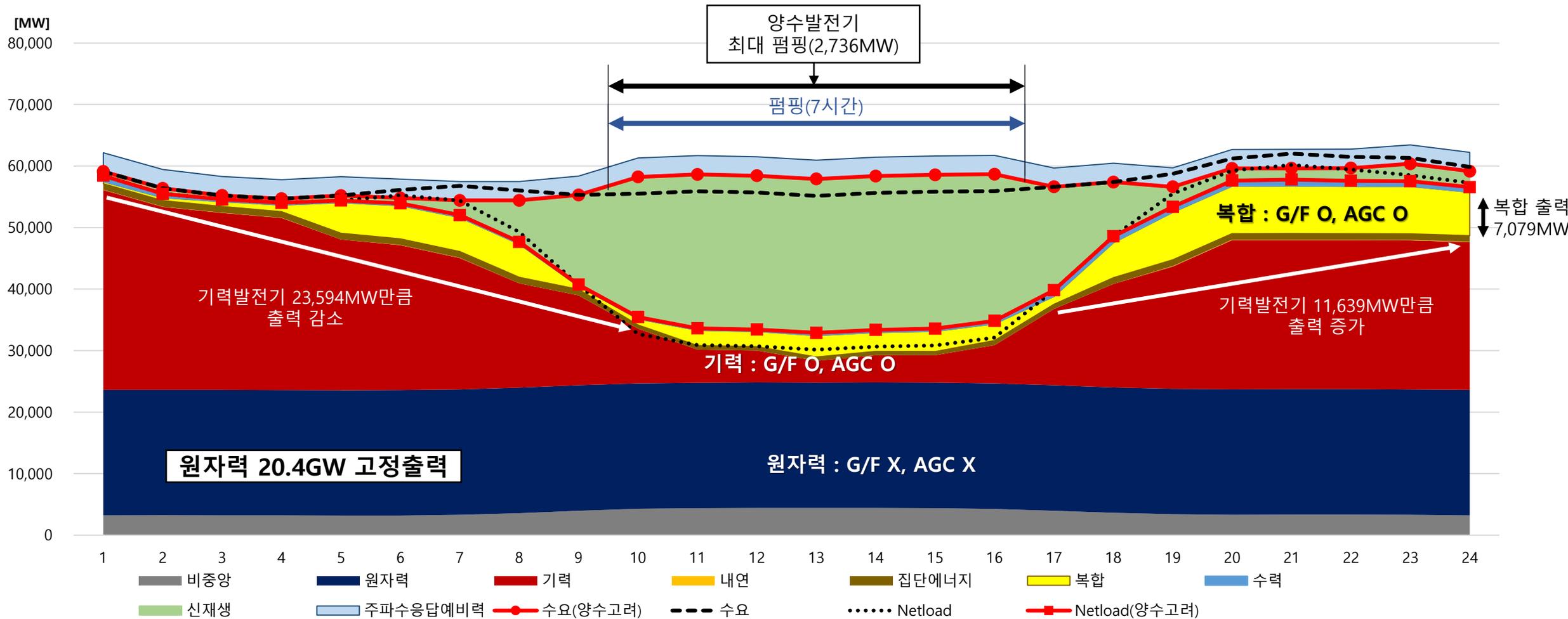
SMP의 불안정
및 장기적인 하
락 예상
-> 계약에 의한
시장의 안정화
필요

새로운 가치

대용량 에너지저
장장치의 시장가
격 안정화 효과

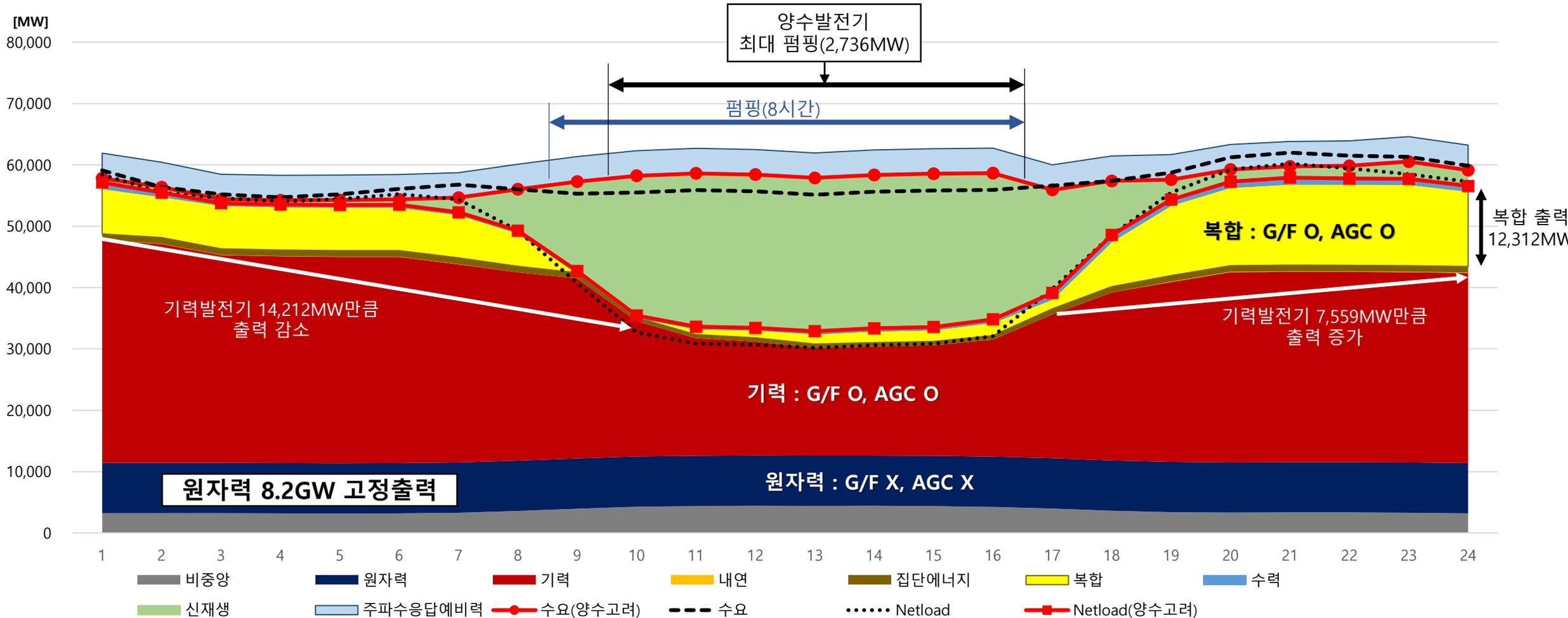
II 재생에너지 확대와 전력시장

❖ 봄철 주말, 신재생 출력제한 25GW, 양수 2.5GW 활용, 원자력 20.4GW



II 재생에너지 확대와 전력시장

❖ 봄철 주말, 신재생 출력제한 25GW, 양수 2.5GW 활용, 원자력 8.2GW, 신재생 1분 변동성 G/F 1GW



II 재생에너지 확대와 전력시장

❖ 예비력 적용 - 전원 믹스에서 큰 변화

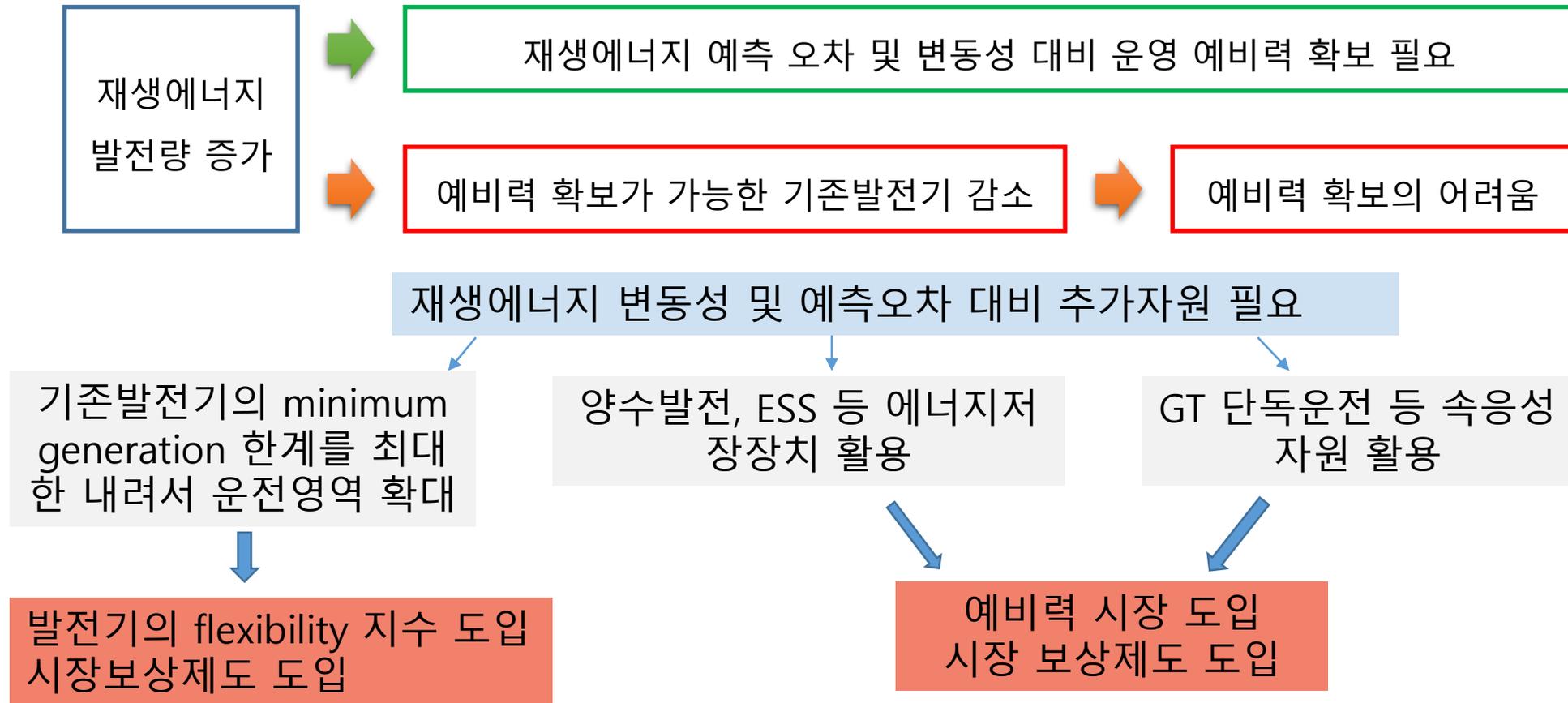
운영예비력		확보량(MW)	기준
1차 주파수응답	G/F 및 BESS	1,000	N-1 상정고장
2차 주파수응답	AGC	1,400	N-1 상정고장
	AGC	670	부하 5 분 변동량
Quick Start	AGC 대체량	1,400	N-1 상정고장
	BESS 대체량	800	BESS 한계용량
	수요예측 오차 대비	2,000	실시간 수요예측 오차
합계		7,270	

*ESS 유효용량을 고려한 주파수 조정 예비력 확보에 관한 연구(KPX)

- 1차 주파수응답 예비력
 - 발전기의 조속기응답과 BESS의 주파수응답 (N-1 상정고장)
- 2차 주파수응답 예비력
 - 발전기 탈락 후 정상상태 주파수(60Hz)로 회복 (N-1 상정고장)
 - 5분 부하 변동량에 대한 AGC 예비력
- Quick Start 예비력
 - AGC 소모 후 백업량 (N-1 상정고장)
 - 1차 주파수응답용 BESS 백업량
 - 실시간 수요예측 오차 대비

II 재생에너지 확대와 전력시장

4. 재생에너지 증가 시 예비력 확보의 문제



II 재생에너지 확대와 전력시장

5. ESS 인센티브제도 – 실시간 SMP 연계 필요성

제도	전기공급약관(기본)의 특례 에너지저장장치(ESS) 전기요금 할인
인센티브	<ul style="list-style-type: none"> 기본요금 할인 <ul style="list-style-type: none"> 할인금액 : 평균 최대수요전력 감축량 X 기본요금 단가 전력량요금 할인 <ul style="list-style-type: none"> 경부하시간대 ESS 충전을 위하여 사용한 전력량에 대하여 50% 할인
적용기간	<ul style="list-style-type: none"> 기본요금 할인 : 2026.03.31 까지 전력량요금 할인 : 2020.12.31 까지

제도	신재생에너지 공급의무화제도 및 연료혼합의무화제도 관리 운영지침
인센티브	<ul style="list-style-type: none"> ESS설비의 REC 가중치 부여 <ul style="list-style-type: none"> RPS대상 태양광설비와 연계된 ESS설비의 경우 태양광설비로부터 10시부터 16시까지 시간대에 충전하여 그 외 시간대에 방전하는 전력량에 한하여 적용 2018, 2019 가중치 5 / 2020 가중치 4
적용기간	<ul style="list-style-type: none"> 설치년도부터 15년 보장

↓

최대부하 시간대 **방전** 유도



↓

최대부하 시간대 **충전** 유도

- 전력계통 운영 관점에서 국내 유연성 자원의 효율적인 활용 필요
- Duck Curve 현상 발생 시 최대부하시간대의 Net Load가 경부하시간대의 Net Load보다 더 낮아짐
 - ESS가 최대부하시간대에 방전하는 경우 계통의 안정적인 운영을 저해할 수 있음
 - 재생에너지 확대에 따른 Peak Shaving ESS의 제도개선 필요 – 실시간 시장 연계 필요

II 재생에너지 확대와 전력시장

6. RE100 구현 – 소비자 선택권

- 현재 전세계 150 여개 글로벌 기업이 선언
- 삼성, LG 등 국내 글로벌 기업에 대한 재생에너지 공급 지원

소비자 직접구매 - PPA

직접발전

인증서 구입

녹색요금제



시장 제도개선

세제 혜택

II 재생에너지 확대와 전력시장 - 요약

- ❖ 재생에너지 출력제한
 - 보상제도
- ❖ SMP의 불안정
 - 계약제도 도입
- ❖ 기존발전기의 minimum generation 한계 확대
 - 시장에서 효율저하 보상, flexibility 지수 도입(?)
- ❖ 양수발전, ESS 등 에너지저장장치와 GT 단독운전 등
 - 예비력시장 도입
- ❖ ESS peak shaving 활용 인센티브
 - 실시간 시장 연계
- ❖ RE 100 구현 지원
 - 시장제도, 세제 혜택
 - 직접구매(PPA), 직접투자, 인증서구입, 녹색요금제 등

II 결론

❖ 재생에너지 확대 정책과 시장제도

- 계통안정화를 위한 기술적 대책에는 시장제도의 뒷받침이 있어야 함
- 시장제도의 선진화는 기술적인 해결책을 쉽게 할 수 있음



시장제도의 개선 없이는 재생에너지 확대 정책은 성공하기 어려움

❖ 신재생의 증가로 전원믹스에 큰 변화가 발생하고 있으나 이에 대한 종합적인 대책이 없음

- 6차 전력수급기본계획에서는 다수의 기저설비 건설을 추진
- 8차에서는 2030 정책에 따라 재생에너지의 보급이 크게 증가하여



설비에비율 과다, 장기적인 전원구성에 대한 검토 필요

❖ 현재 효율만이 가격 결정의 요소가 되어 신재생의 변동성을 대비할 수 있는 설비에 대한 장기적인 설비투자가 왜곡되고 있음



합리적인 시장제도 ?

❖ 신재생의 변동성을 대처하기 위해서는 보다 정교한 시장운영이 필요

- 신재생의 실시간 변동성이 가격에 반영되지 못함
- DR, ESS 등 다양한 전력시장의 참여 자원의 효율적 운영



실시간 전력시장 도입

- 실시간 기동정지계획으로 실시간 재생에너지 변동성을 반영

❖ 계통운영의 효율성과 투명성

- 계통운영에서 발생하는 여러 제약은 외부에 공개되지 않음
- 신재생의 입지 및 송전망계획이 효율적으로 연계하기에 어려움



계통의 기술적 정보 및 제약 정보 공개

❖ 정부의 역할을 명확화

- 수급계획의 기능조정



규제에서 시장으로 !!

감사합니다