

전력계통 운영 현안과 무탄소 전원 확대를 위한 제언

The status of power system & recommendations for CFE

2024. 5. 9

smart
KPX 전력거래소
KOREA POWER EXCHANGE

목 차

- I 전력계통 운영 현황
- II 전력계통 운영 패턴 변화
- III 미래주력전원에 대한 제언





I

전력계통 운영 현황

(전기사업법) 전력계통이란 ?

발전, 송배전, 소비에 이르기까지 전기의 원활한 흐름과 품질유지를 위하여 전기의 흐름을 통제·관리하는 체제



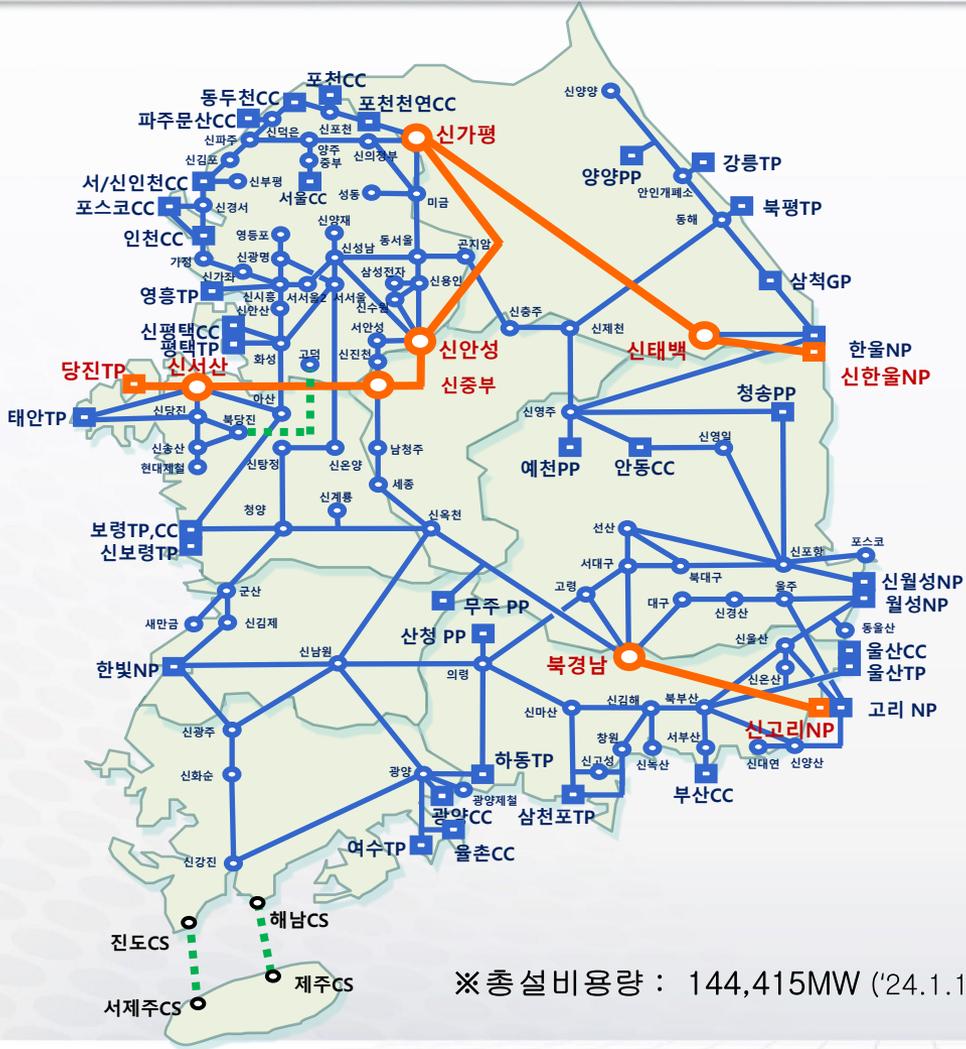
다양한 에너지 자원을 전기에너지로 변환

신재생, 수요반응자원 등 프로슈머(Prosumer) 확대

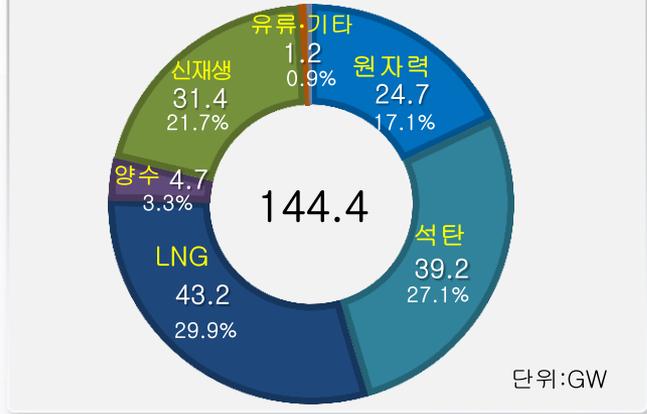
전력설비 현황



I. 전력계통 현황



연료원별

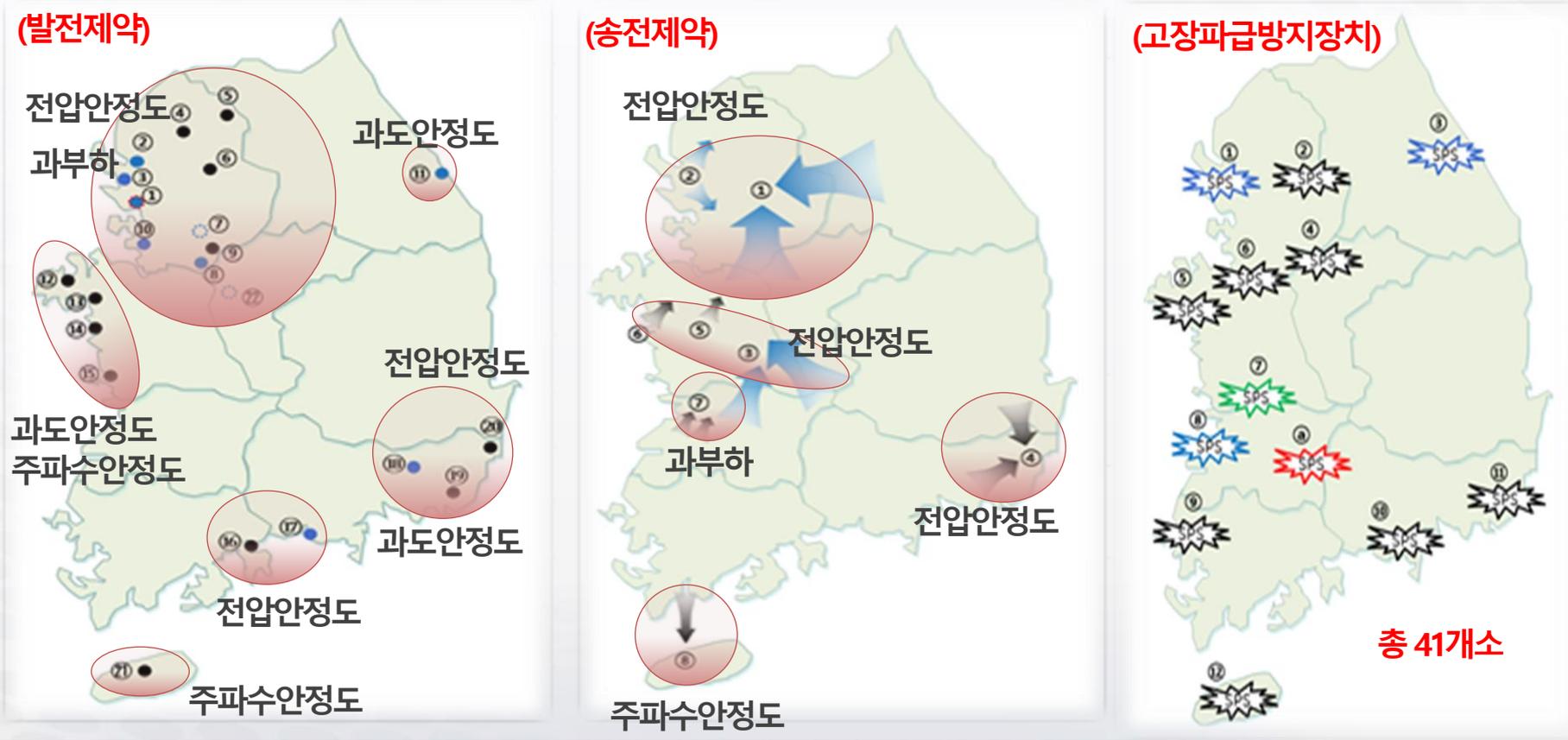


발전회사별



▶ 독립계통, 대규모 단지화, 단위기의 대용량화, 다중 연계, 송전제약 다수

✓ (발전제약) **전국 20개소**, 서해안, 동해안 등 발전량 제약(발전기 출력수준, 운전대수)



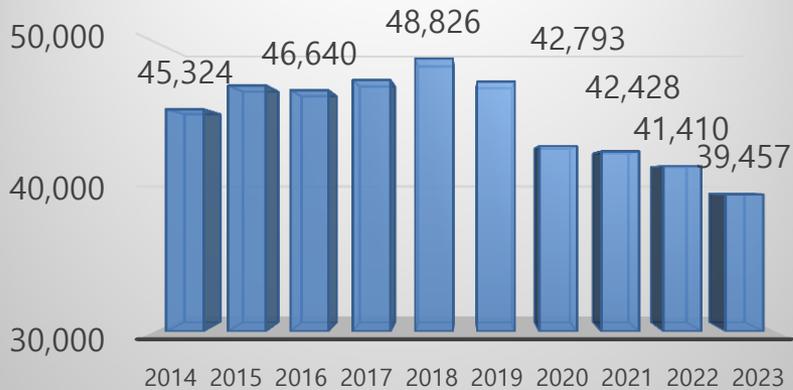
✓ (송전제약) **전국 8개소**, 대규모 발전단지, 수도권 용통선로, 호남-충청 제약 등



안정적인 계통운영의 역할을 한 중앙급전발전기의 감소, 계통운영 제어 자원 감소

중앙급전발전기 Scheduled, Central Dispatch	대수(대)	용량(MW)	비중
비중앙급전발전기 Non-Scheduled, Self Dispatch	412	112,104	79.6%
	121,941	28,654	20.4%

과거 10년 봄철 최소수요 (13시 기준)



과거 20년 비중앙급전발전기 설비용량 추이



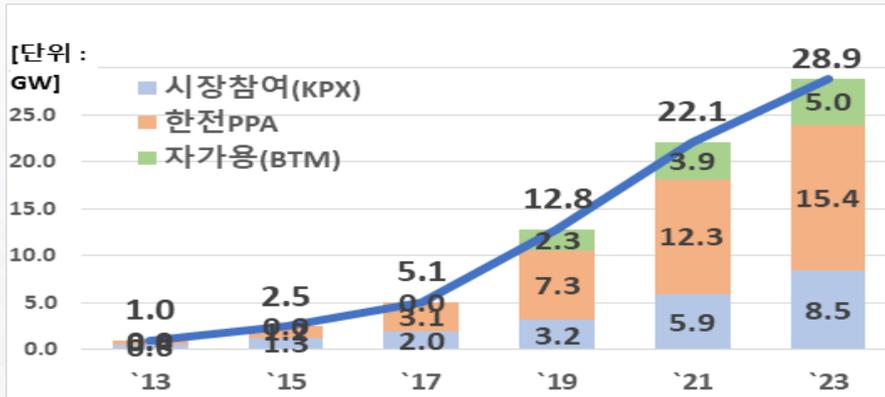
▶ 더불어, 실시간 출력제어(자동발전) 불가능한 중앙급전(원자력, 제약 발전기) 증가

태양광 발전 및 이용률 현황

I. 전력계통 현황

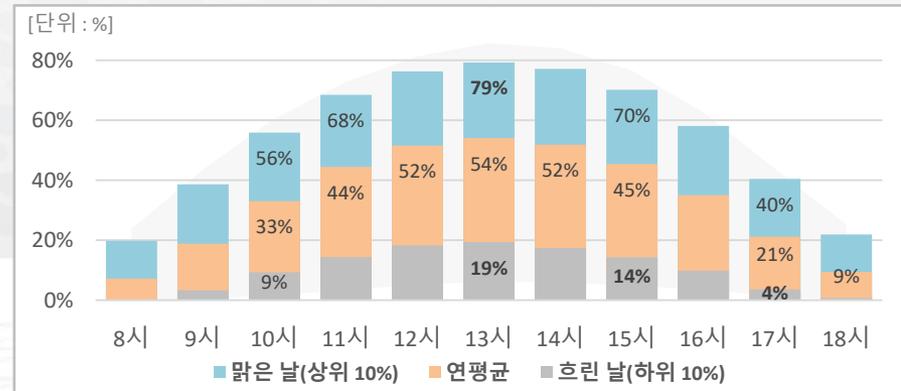
☑ 낮은 봄-가을철 태양광 이용률이 최고수준(약 80%)으로 전체 발전량 중 30% 초과

▶ 태양광 설비용량

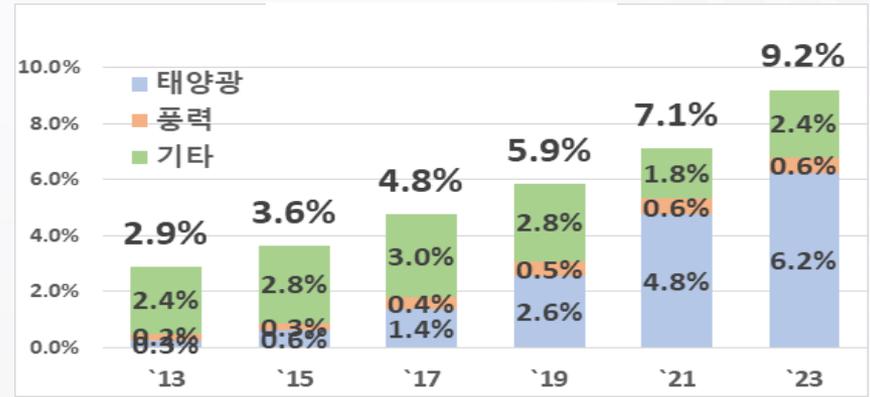


※ 자가용은 거래소 자체 추정 결과 반영

▶ 태양광 이용률 ('22.01.01~'22.12.31)

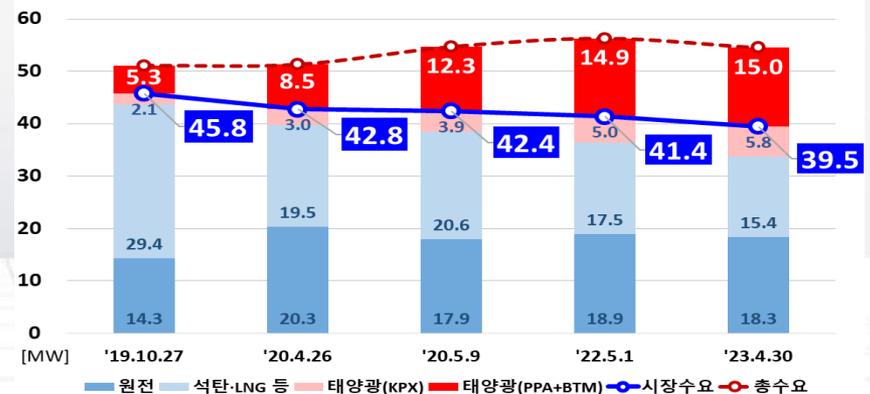


▶ 재생e 발전량 비중



※ 태양광: 전력시장 + 한전PPA + 자가용, ※ 기타: 수력 + 해양에너지 + 바이오

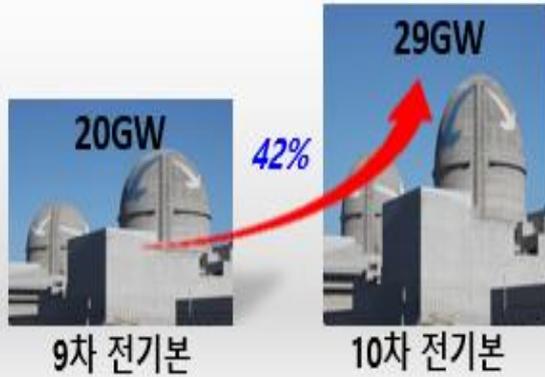
▶ 최근 5년간 최소수요 (명절제외) 실적



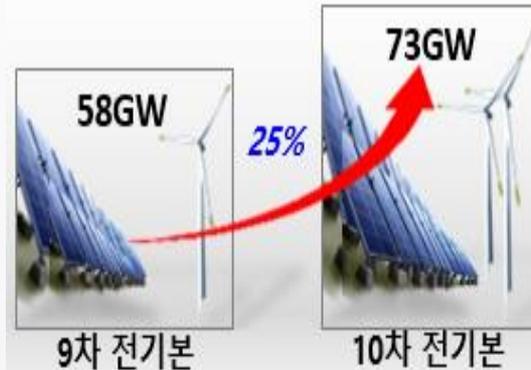


- ✓ 제 10차 전력수급기본계획 : 실현가능하고 균형 잡힌 전원 믹스
- ✓ 원전의 활용, 합리적인 재생e(원전 ↑, 신재생e ↑, 석탄 ↓)

2030년 원전 계획



2030년 신재생에너지 계획



11차 전기본

연도	구분	원자력	석탄	LNG	신재생	수소 암모니아	기타	계
'30년	발전량	201.7	122.5	142.4	134.1	13.0	8.1	621.8
	비중	32.4%	19.7%	22.9%	21.6%	2.1%	1.3%	100%
'36년	발전량	230.7	95.9	62.3	204.4	47.4	26.6	667.3
	비중	34.6%	14.4%	9.3%	30.6%	7.1%	4.0%	100%



II

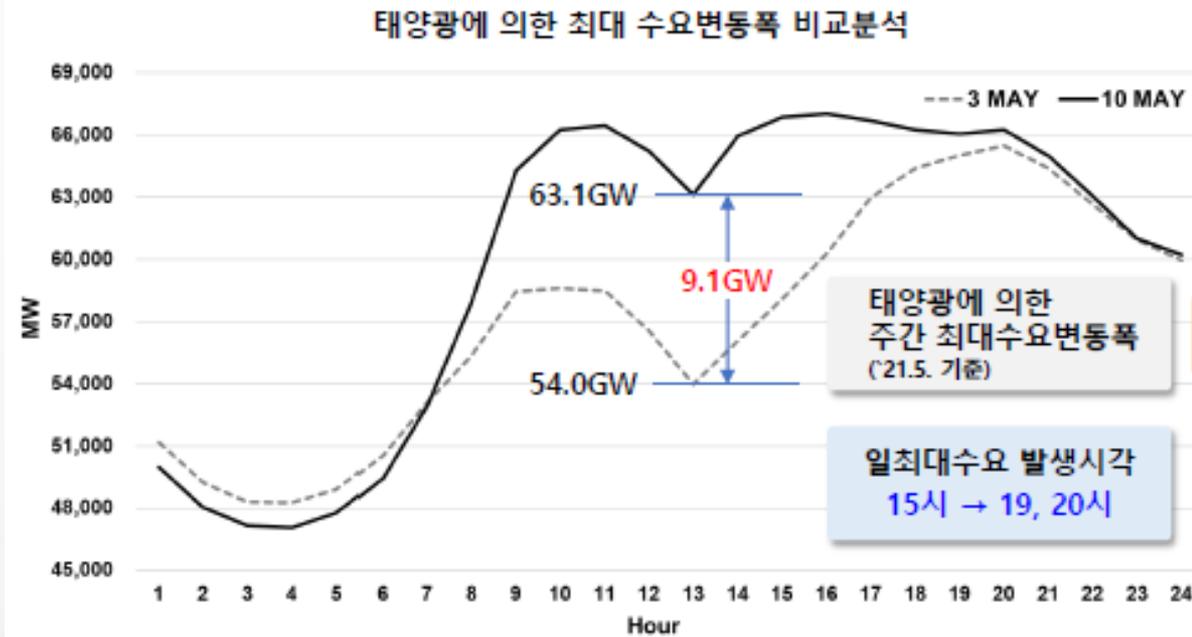
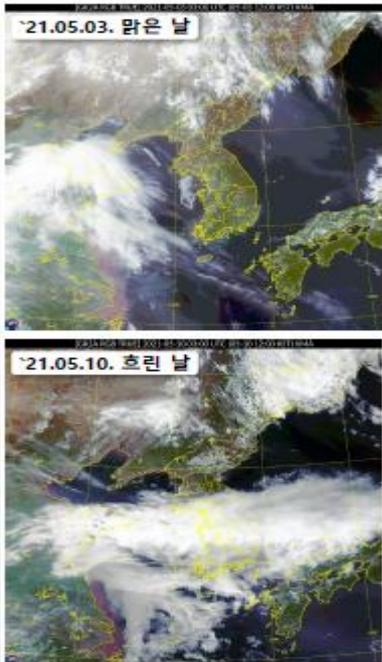
전력계통 운영 패턴 변화



기상 ⇔ 재생e ⇔ 전력수요 변동성 심화

Ⅱ. 전력계통 운영패턴 변화

☑ 태양광 출력에 따른 수요 변동성 심화, 재생E 확대에 의한 지속적인 수요급감



- ☑ Duck Curve 현상 심화로 실시간 수급 Balancing 곤란, 빈번한 발전기 기동·정지 발생
- ☑ 봄·가을 경부하기간 경직성전원(신재생, 원전 등) 증가로 원자력 출력감발 필요



재생에너지 증가로 전통발전기의 운영패턴 급변

석탄화력도 1일 기동정지(DSS) 운전 준비
열병합도 AGC 시험...전통발전사들은 진땀



발전기 운영 어떻게 바뀌고 있나

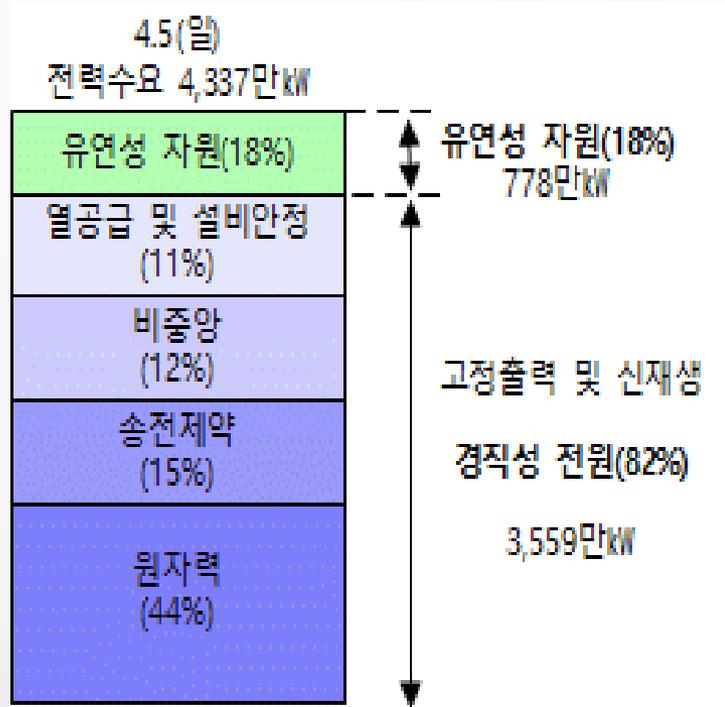
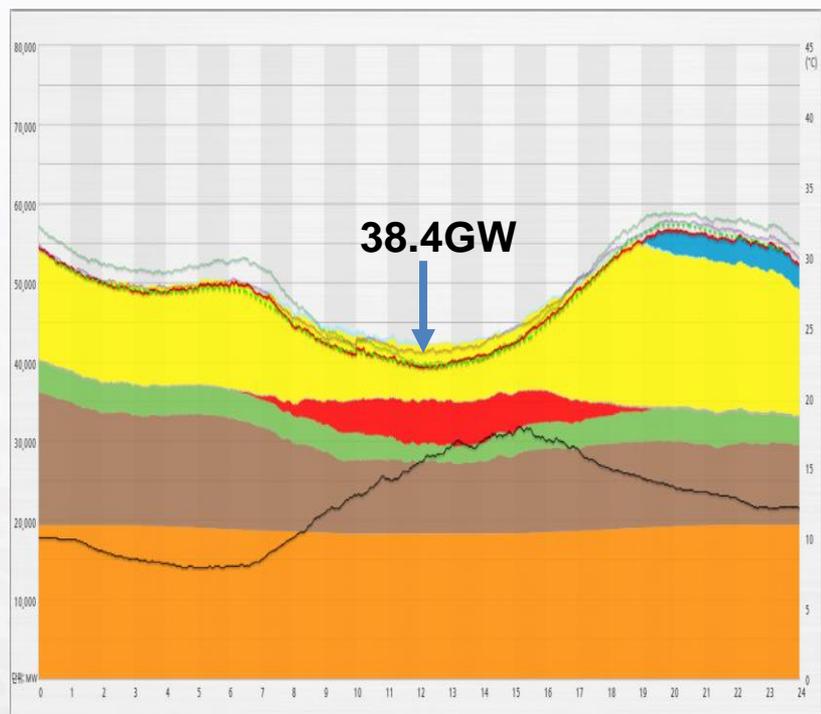
구분	2018	2019	2020	2021	2022	2023
태양광 설비용량(GW)	8.6	12.8	17.8	22.1	26.2	30.3
풍력 출력제어(제주)	15	46	77	64	98	+α
복합 서인천C/C 하루 2회 기동/정지	36	62	151	273	243	+α
열병합(열+전기) AGC운전						
원자력 감발(설, 추석)						
석탄 일일정지						
양수 신뢰도 양수추가(양수+펌핑)						



최저수요 기록 경신과 경직성 전원 역전

II. 전력계통 운영패턴 변화

- 연중 최저 전력수요 : 명절 연휴 → 봄철 주말('22~)
- 봄. 가을철 低수요, 高발전 현상 심화 → 공급과잉 리스크(국지적, 광역적)



['23. 10.1일(日) 전력수급 실적]

경직성전원과 유연성전원의 역전('20.4.5)

* '23년 최저수요는 최고 수요(94.5GW) 대비 41%인 38.4GW 기록(10.1일)

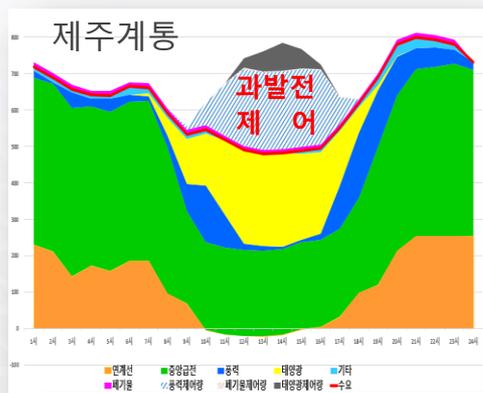


비중앙 급전발전기로의 출력제어 확대

II. 전력계통 운영패턴 변화

재생e 확대에 따라 '15년부터 제주 발생, '23년부터 육지로 확대

공급과잉

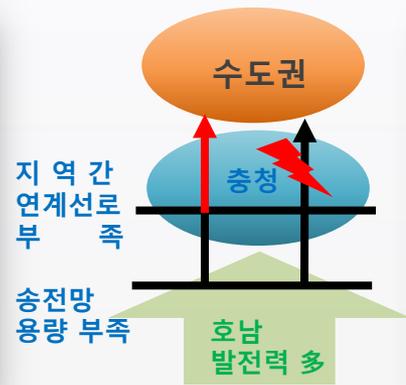


System

정상시

비중앙 급전발전기

송전제약

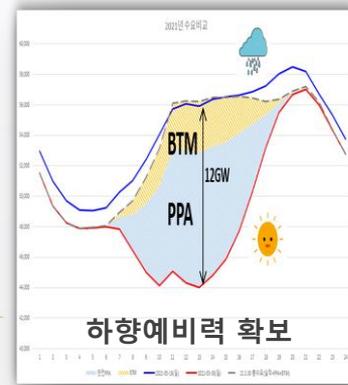


Local

상정고장시

해당 지역내 비중앙 급전발전기

계통안정화



System

정상시

원자력, 제약중앙 비중앙 급전발전기

계통안정화

재생E 밀집지역

LVRT, LFRT
미보유 인버터
태風, 燃 탈락

전압보상
성능 미보유
태風, 燃 과다

V

계통수용 한계량(전압, 주파수) 초과

Local

상정고장시

해당 지역내 성능 미구비 태. 風, 燃

계통이 취약해지면, 출력제어 사유가 복합적으로 동시 발생



▶ 발전량 감축

- ✓ 중앙급전발전기 출력최소화 및 정지, 원전 정비일정 조정, 석탄단지 운전 최소화, 공공 자가용 태양광 정지, 비중앙(신재생e) 출력제한

▶ 수요량 증대

- ✓ 양수 정비일정 조정(펌핑활용), 플러스DR 확대(자발적 수요반응 제도), 신재생연계형 ESS 충전시간 조정

▶ 계통불안정 개선

- ✓ 고장 수용한계량 향상(계통안정화용 ESS활용, Fast -DR추가확보, 고객 참여 부하차단 제도 도입), 인버터 성능개선, 유연송전설비(Facts) 보강

☑ 저장장치(ESS, 양수) 및 송전망 보강, P2X와 재생e 입찰 시장이 Master Key



✓ 발전기는 중앙화, 전력망은 대체화, 설비, 기술, 제도, 시장의 4박자

중앙급전
발전기

비중앙급전
발전기

전력망 건설



NWAS 기술
(Non-Wire Alternatives)

- ✓ Non-Firm Connection
- ✓ Dynamic Line Rating
- ✓ Demand Response
- ✓ ESS, FACTS, Synchro Condensator....

- ✓ 최소출력 범위확대
- ✓ 탄력운전
- ✓ 유연성능 기반 CP보상

- ✓ 중앙급전 규제
- ✓ 준중앙급전제도화
- ✓ 재생e입찰시장

중앙화 전환
(Dispatchable
Resource)



Ⅲ

미래 주력전원에 대한 제언





✓ 無 연료 : 에너지 수입의존도 95%, 국가 총 수입액의 25%

✓ 無 연계망 : Energy Island, 러-우 전쟁 사례

✓ 無 시장신호 : 민간중심의 歐美와는 다른 시장, 요금규제, BZ모델 제약

주력자원
(원자력, 재생e)

✓ 多 원전 : 세계 5위, 에너지 안보 정책, 확보된 중요한 선택지

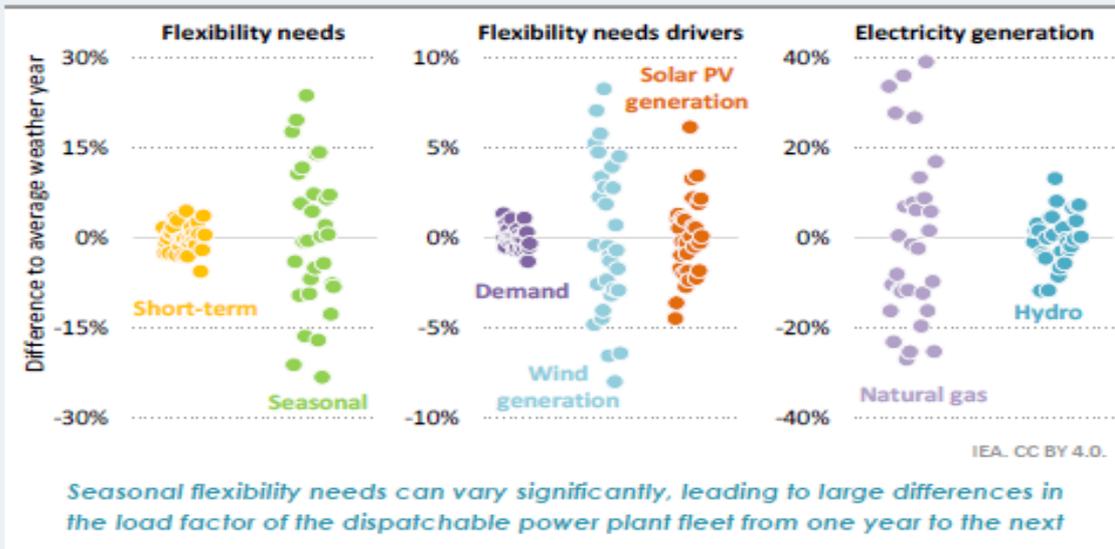
✓ 多 산과 바다 : 해상풍력, 양수발전(해수양수, 소규모 양수) 잠재자원

✓ 多 기술력 : ESS, 수소발전시장, AI, IT, 인적자원, 시공능력...

Flexibility Needs in the Future(IEA)

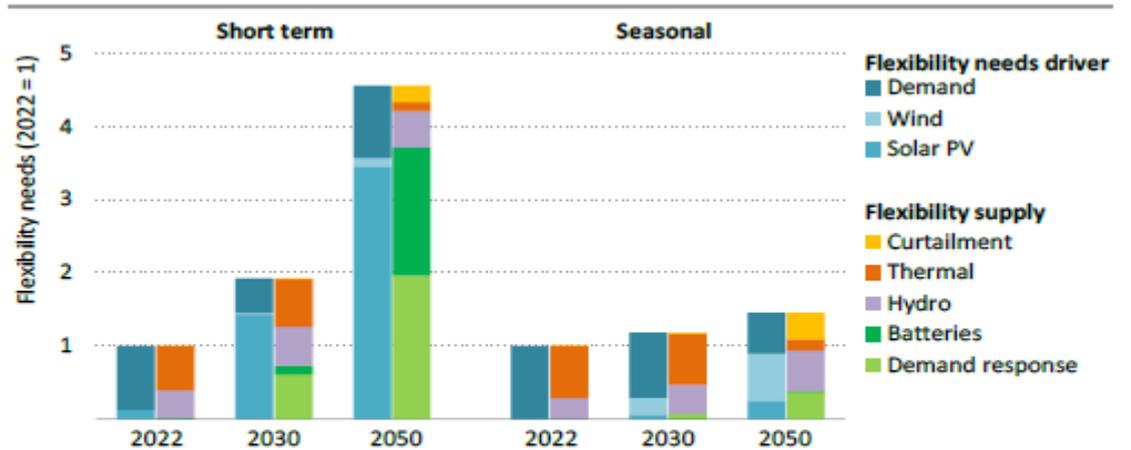


Ⅲ. 미래주력전원에 대한 제언



출처 : IEA World Energy Outlook2023 (유럽사례)

- 계통운영자관점에서 의미
- 풍력/태양광이 주요인
 - 수요반응, ESS, 양수로 대응
 - 출력제한도 주요 운영 수단

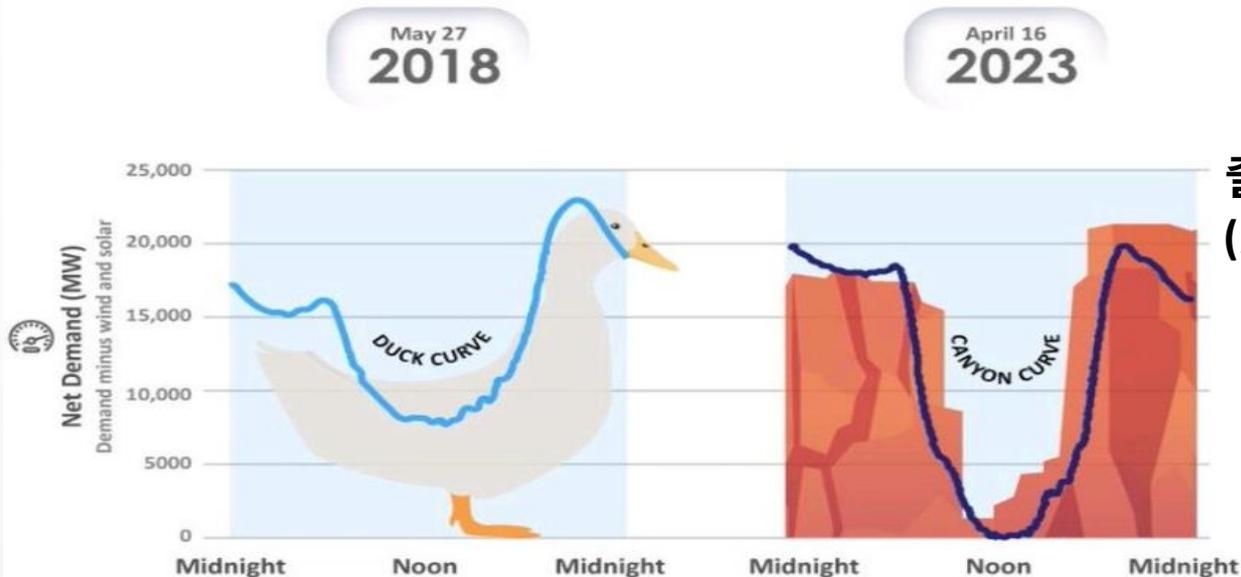


Short-term needs increase significantly, mainly due to solar PV, with batteries and demand response emerging as crucial suppliers of flexibility; seasonal needs rise less sharply

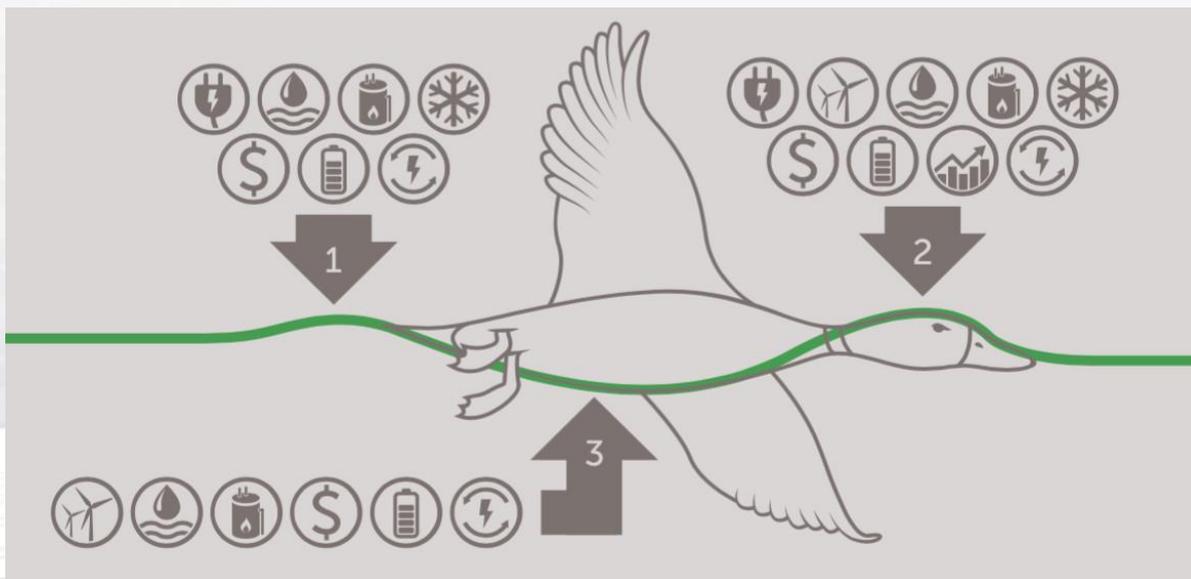
IEA. CC BY 4.0.

RE & Power System(美, CA)

Ⅲ. 미래주력전원에 대한 제언



출처 : EPRI, 2023
(美 중앙전력연구소)



Flattening the "duck curve" to get more renewable energy on the grid



Bloomberg

European Nuclear Plants Put Out of Work by Green Power Surge

- French, Spanish electricity prices have plunged to near zero
- Renewable energy's share in Europe to increase with EU target

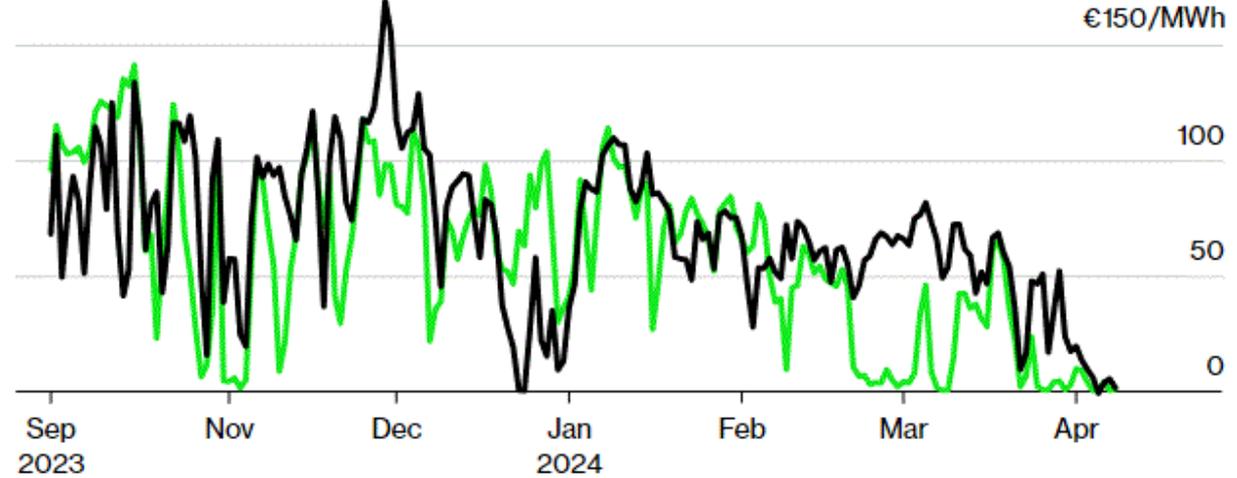
By [Lars Paulsson](#), [Francois De Beaupuy](#), and [Thomas Gualtieri](#)

2024년 4월 9일 at 오후 2:00

Save

Power Price Plunge

French day-ahead / Spanish day-ahead



Source: EPEX, OMIE

Nuclear Power Plants in Spring (FR, SP)

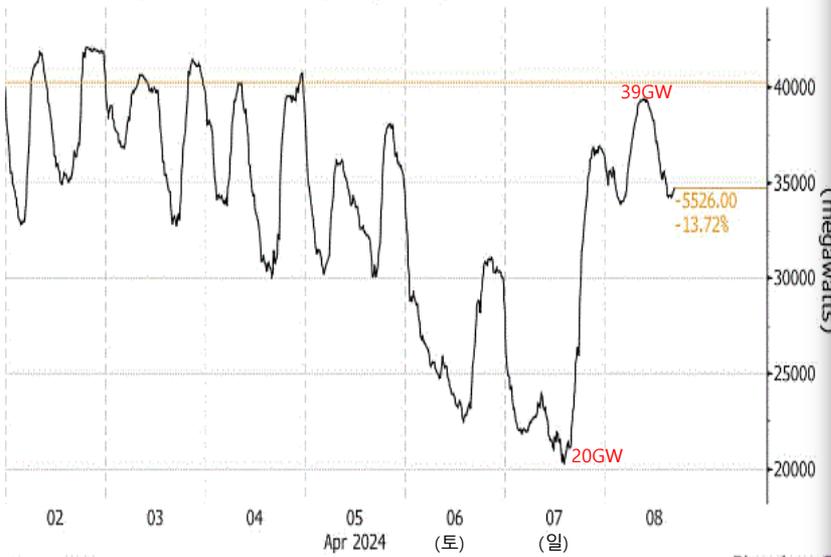
Ⅲ. 미래주력전원에 대한 제언



Electricite de France SA, which is just getting its fleet of nuclear plants back on track after years of lengthy outages for repairs and checks, has already had to reduce output and halt plants, or extend stoppages. Over the weekend, the firm idled half a dozen plants as prices turned negative.

To the south in Spain, electricity prices for Friday plunged to the lowest level since 2013 and have barely settled above zero for weeks. The country's Asco I and Asco 2 reactors cut output on a regular basis in the past five weeks. In the Nordic region, operators are also curbing output more often.

French Nuclear Production Swings
EDF trims output as renewables push power prices lower

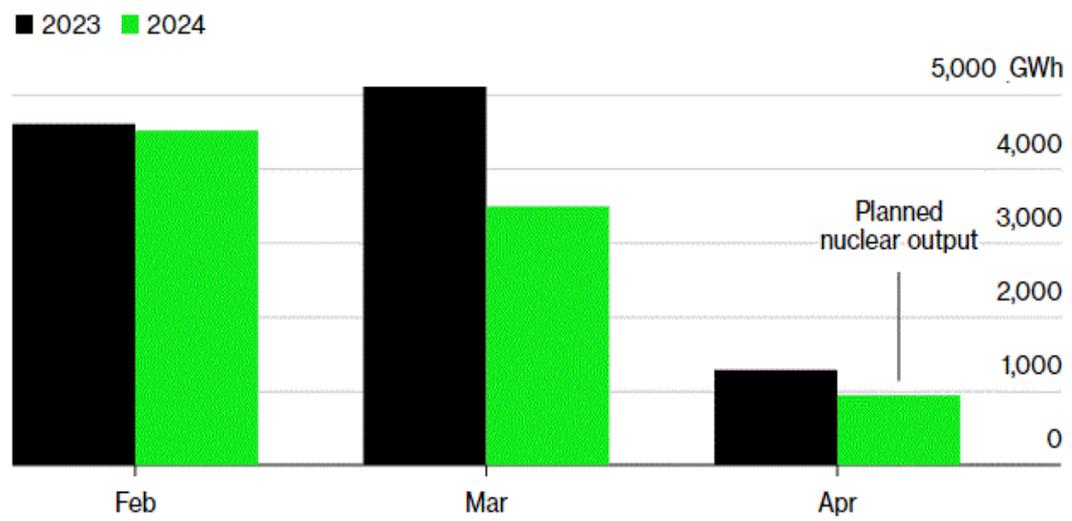


Source: RTE

Bloomberg

Spanish Nuclear Power Output Has Dropped Year-on-Year

Monthly nuclear power output



Source: Red Electrica



국내 최신원전 기술특성

Ⅲ. 미래주력전원에 대한 제언

☑ 전력시장에 등록된 기동, 정지 관련 기술성능

구분	설비용량 (MW)	준공년도	제작사(발전기)	제작사(터빈)	제작사(보일러)	노형
AAA#2	1,400.0	2023	두산에너빌리티	두산에너빌리티	두산에너빌리티	APR1400
BBB#1	1,400.0	2021	두산에너빌리티	두산에너빌리티	두산에너빌리티	APR1400

항목	최대발전용량 (MW)	최소발전용량 (MW)	평상시		비상시	
			출력증가율 (MW/min)	출력감소율 (MW/min)	출력증가율 (MW/min)	출력감소율 (MW/min)
AAA#2	1,356.5	1,150.0(84.8%)	0.8 (3%/h)	0.8 (3%/h)	0.8 (3%/h)	2.5(10%/h)
BBB#1	1,443.7	1,150.0(80.0%)	0.8 (3%/h)	0.8 (3%/h)	0.8 (3%/h)	2.5(10%/h)

항목	출력안정화 시간 (hh:mm)	기동소요시간 (hh:mm)	최소발전용량 도달시간 (hh:mm)	계통분리시간 (hh:mm)	최소운전시간 (hh:mm)	최소정지시간 (hh:mm)
AAA#2	50:00	108:00	25:12	07:40	08:00	12:00
BBB#1	50:00	108:00	25:12	07:40	08:00	12:00

경청해 주셔서 감사합니다.

