

기후위기에 대응하는 에너지 전략포럼
과총-원자력학회 공동포럼 ('20.10.06)

재생에너지 확산의 영향

- 전력계통의 신뢰도 유지의 난제 -

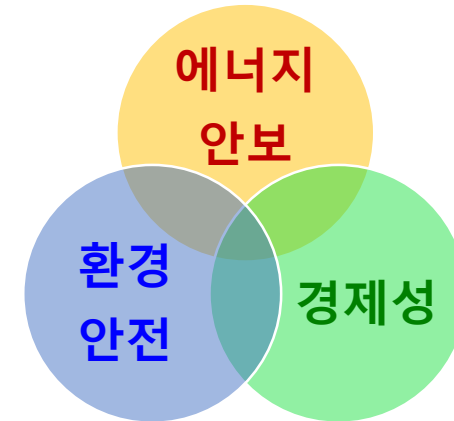
한국전기연구원

문 영 환

(yhmoon@keri.re.kr)

국가 에너지 정책

“값 싸고 품질 좋은 전기 ! ? ”



➤ 한 국

✓ 깨끗하고 안전한 에너지전환 로드맵 ('17.10)

- 재생에너지 3020 이행계획 ('17.12)
- 8차 전력수급기본계획 ('17.12)
- 3차 에너지기본계획 ('19.06)

➤ 미 국

- ① Access at **affordable prices**
- ② Improved **energy security and independence**
- ③ Greater **sustainability**
- ④ **Economic growth**

➤ 일본 “3E+S”

(4차 에너지기본계획, 2014)

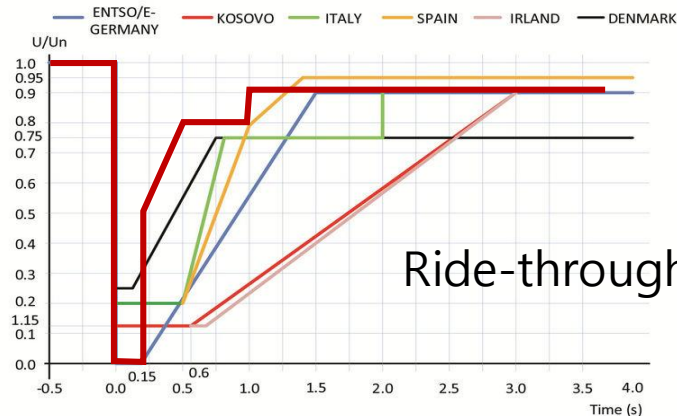
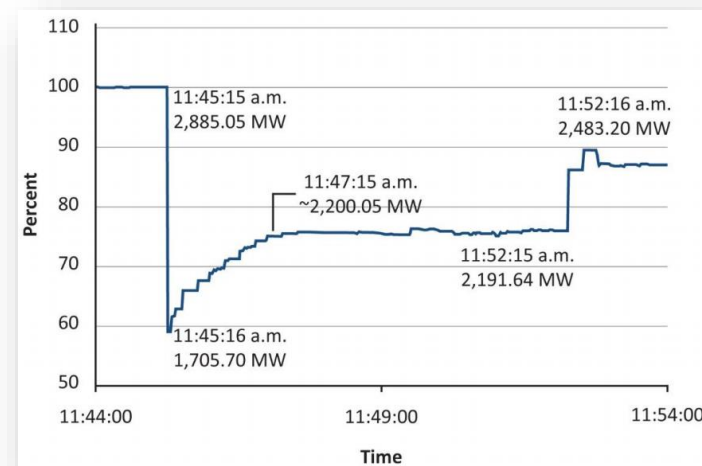
- ① **E**nergy security
- ② **E**conomic efficiency
- ③ **E**nvironmental protection
- ④ **S**afety (원전 발전비중 감축)

재생에너지 연계 전력계통의 도전

- ① 변동성 ➡ 예측오차 → 스케줄링/급전 비용의 증가
- ② 재생에너지는 인버터 기반 전원 ➡ 동기기 전력망의 심각한 변화
 - ✓ 계통 관성 감소 ➡ 동적과도현상이 커지고 빨라짐
 - ✓ 단락고장전류 감소 ➡ 고장감지 어려움
 - ➡ 계통 외란시 Ride-through 기능이 중요

- Visibility : 계통 정밀 관찰의 필요성 증대
- T&D 계획과 운영 – 정밀한 계통 모델링 중요
- 에너지저장장치 ➡ 효과 극대화

산불 선로 고장 → 1,200 MW 태양광 전원의 차단의 영향 (Southern California 8/16/2016 Event)



Ride-through 특성

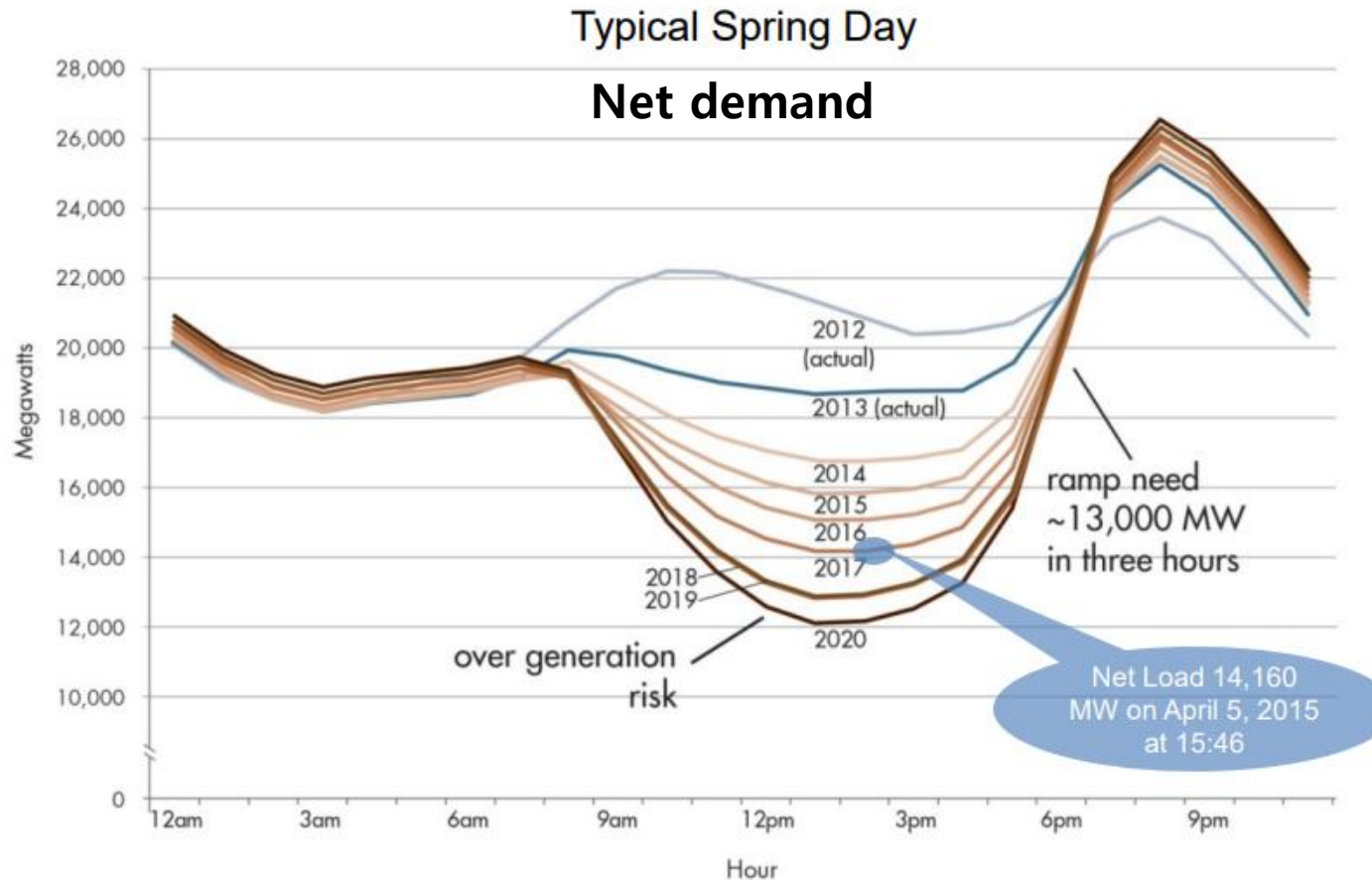
재생에너지 확산의 영향과 사례

• 국내외 고장 사례

- ① '06. 10. 04 유럽 정전: 계통고장 발생 후 풍력플랜트 부적절한 재접속으로 주파수 상승 (계통복구에 송전-배전 협조 중요성)
- ② '16. 09. 28 호주 지역정전: 폭풍에 의한 연속된 계통고장으로 인한 풍력단지의 Ride-through 실패
- ③ '16. 08. 16 미국 남캘리포니아 : 산불로 송전선 차단 – 1,200 MW 태양광 플랜트 정지 (인버터 동시 정지와 출력 미복귀)
- ④ '19. 08. 09 영국 정전 : 낙뢰로 송전선 차단 – 가스발전소와 해상풍력단지 및 배전망 발전기 정지 (1,300+500 MW) 손실 – 40여 분 동안 지역 정전
- ⑤ '20. 03. 28 한국 : 805 MW 석탄화력발전기 정지로 주파수 59.8 Hz 저하→ 태양광 발전기 추가 탈락 (추정) – 계통 주파수가 최저 59.67 Hz로 저하 (예상 보다 큰 주파수 저하는 상당한 계통 관성의 감소 증거)
- ⑥ '20. 08. 14~15 미국 캘리포니아 순환정전 : 폭염에 의해 일몰 후 태양광 급감 및 냉방수요 지속 – 예비력 부족이 원인

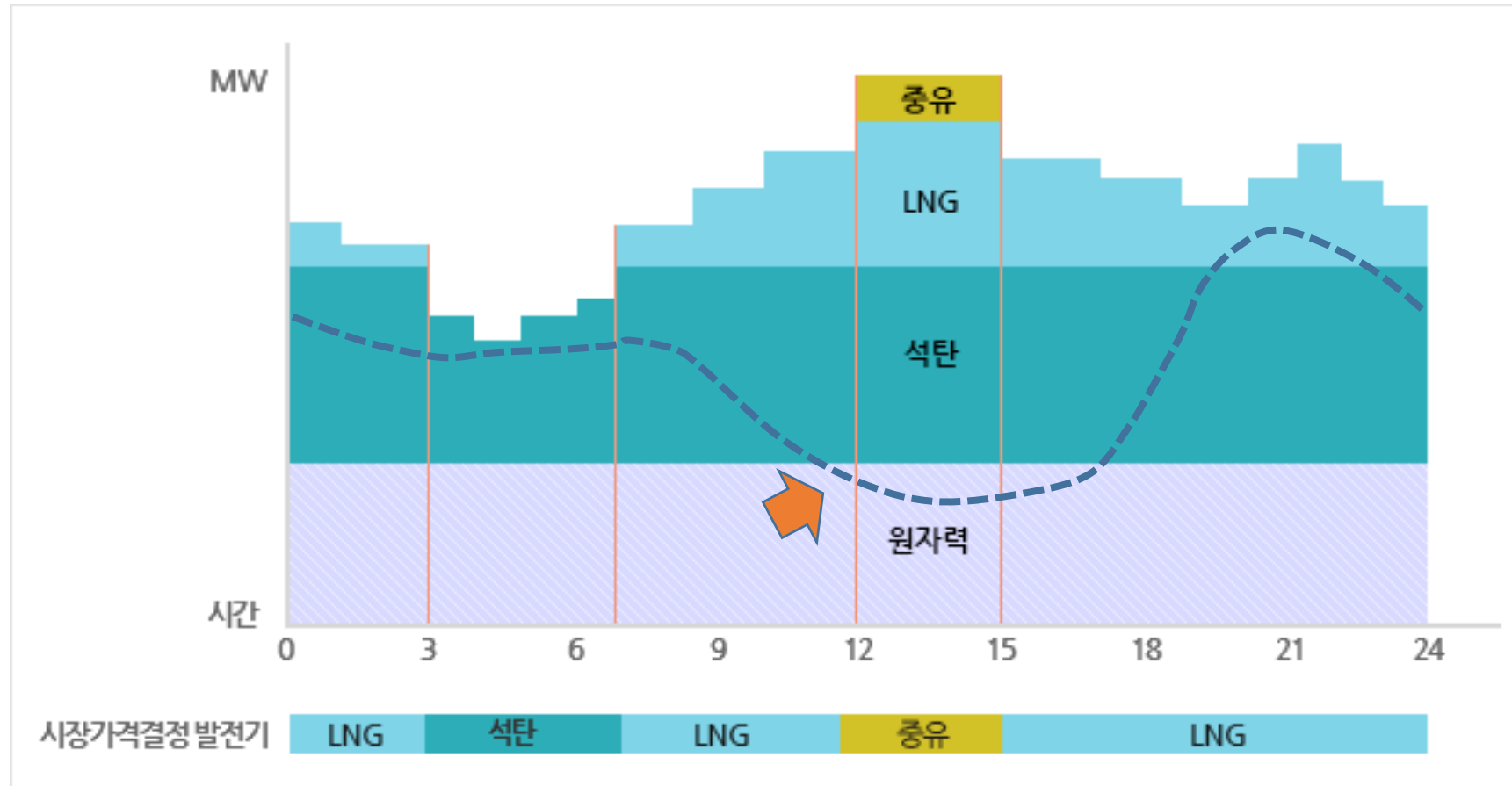
재생에너지 증가와 Net Demand* 변화

* Net demand= Demand – (solar+wind)

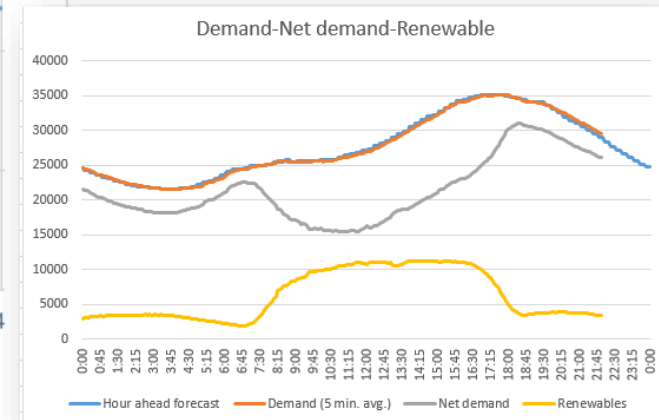
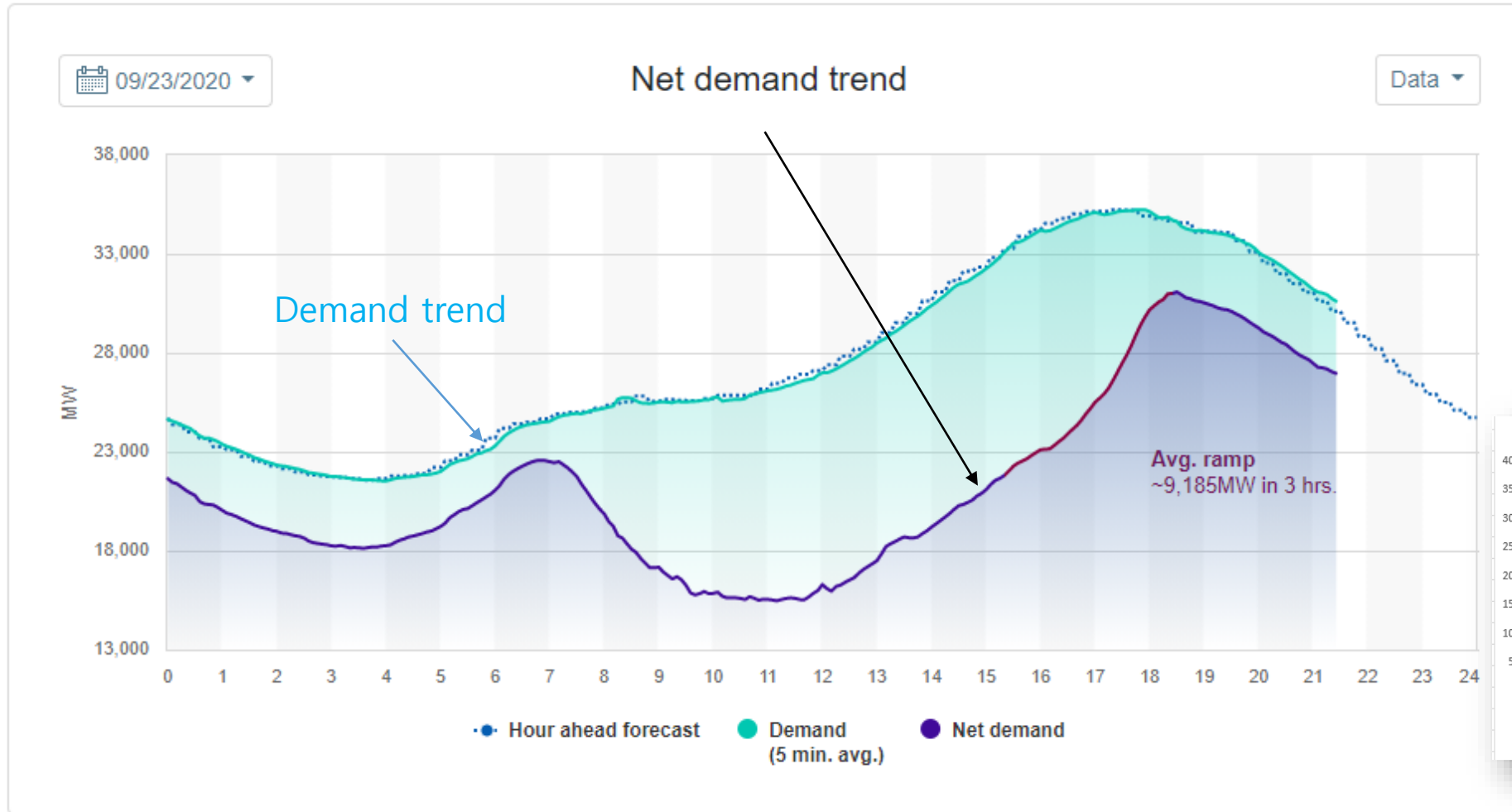


* California ISO 참조 (www.caiso.com)

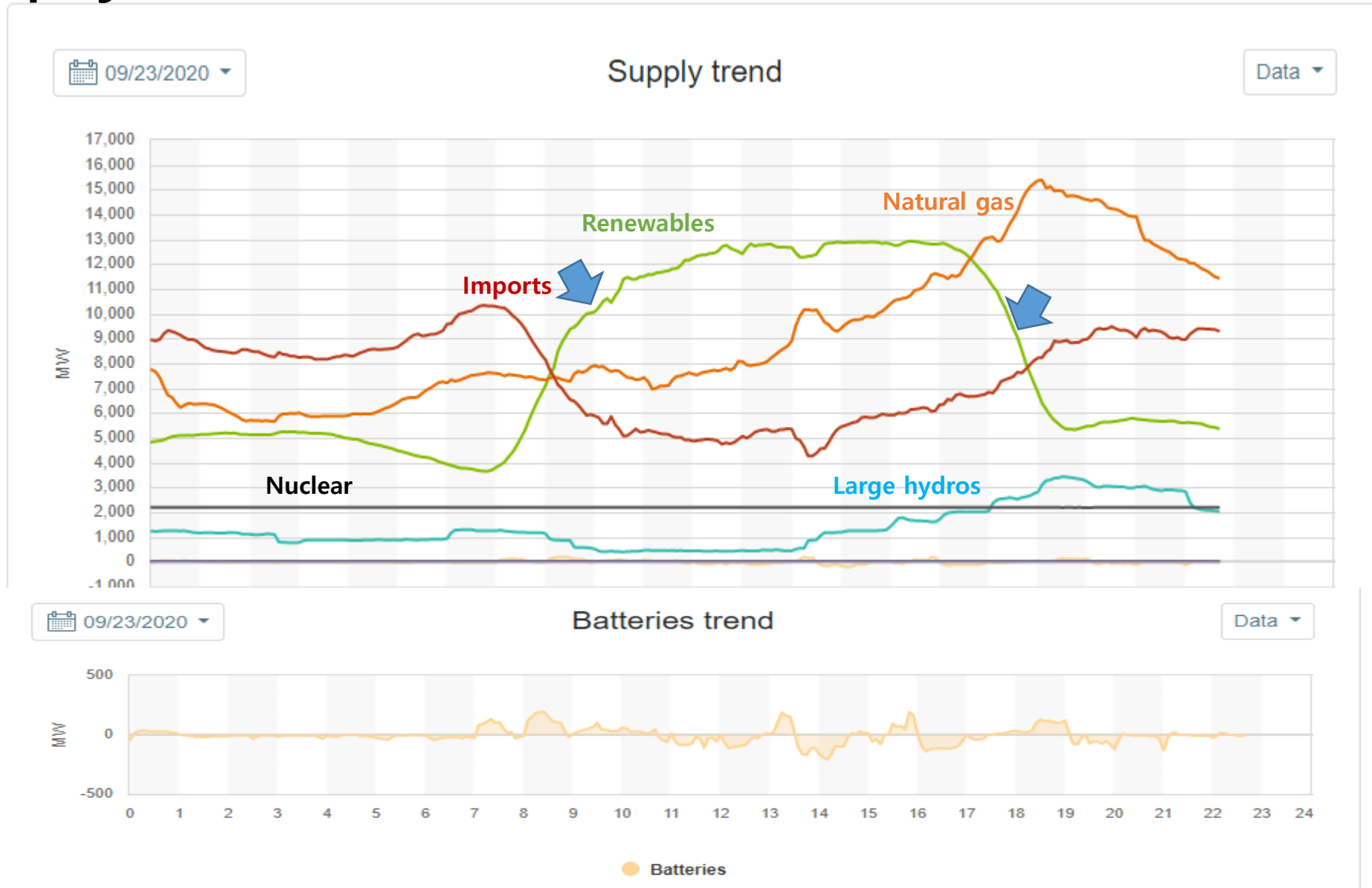
최소 Net demand → 원자력 감발 ?



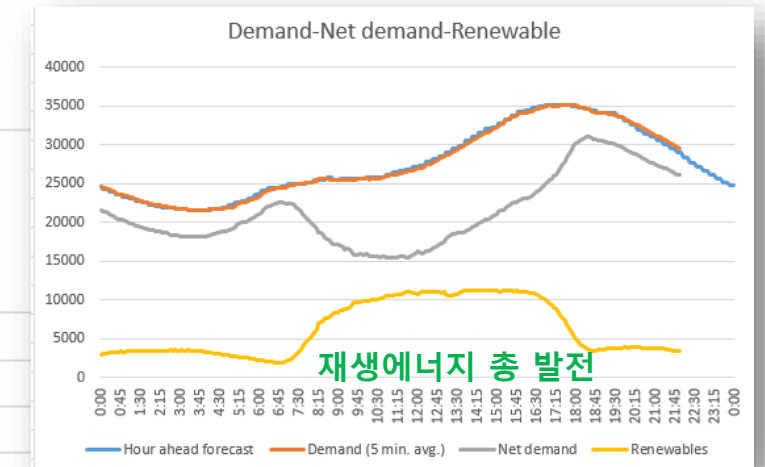
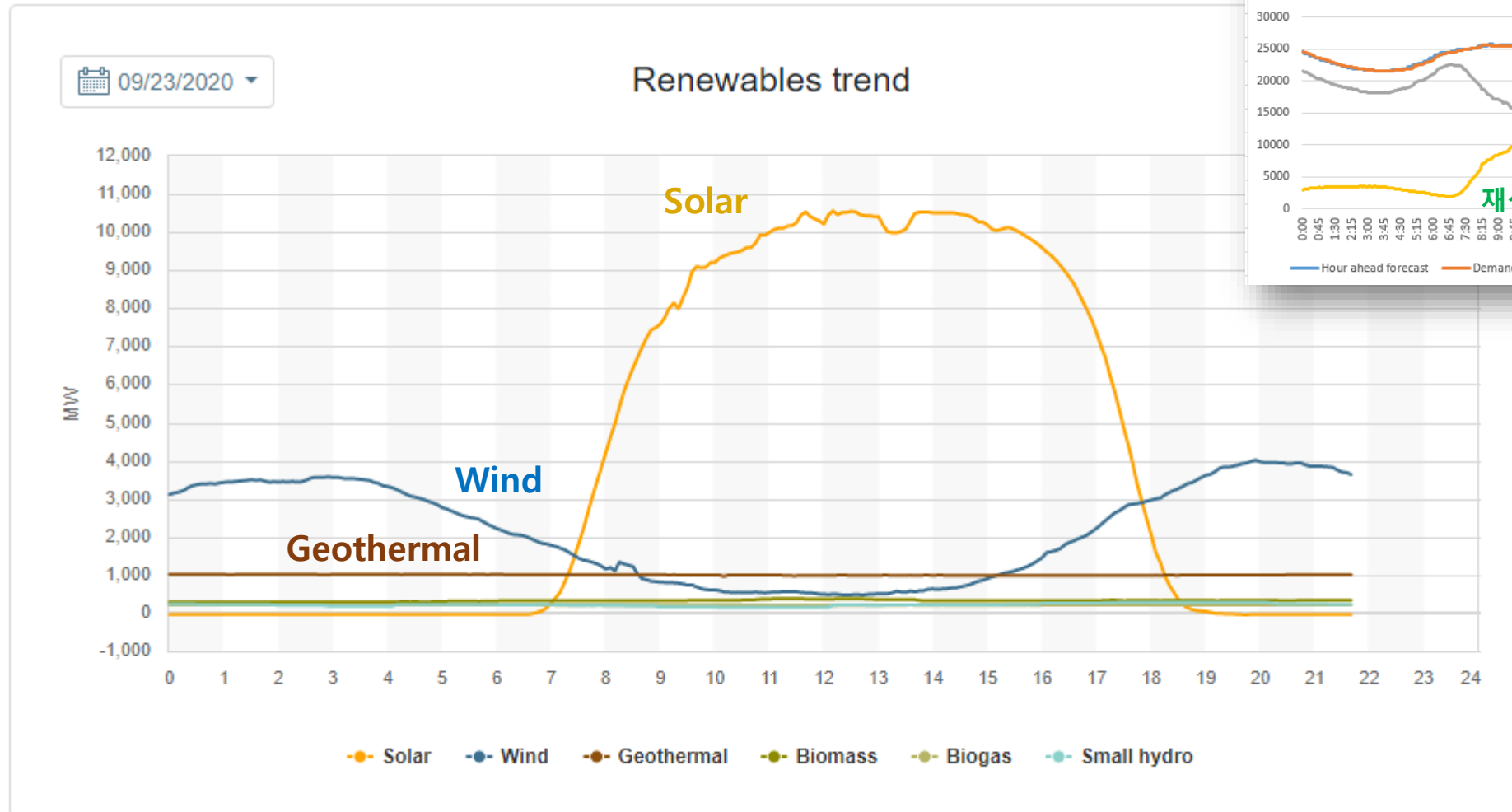
California ISO : Demand & Net Demand



Supply trend



Renewables trend



CAISO는 어떻게 '07년 개기일식을 관리하였나?

- 당시 1,900 여개 미국 태양광 발전플랜트
- 18 GW : 56~78% 태양광 차폐로 영향
- 전력회사 4.3 GW, 지붕태양광 1.3 GW
- CAISO의 실제 손실은 3.4 GW (10:22 am)
- 태양광 증·감발 속도 : 70 MW/min
☞ 구름이 끼는 일출/일몰 때와 비슷한 수준
- 조치사항:
 - ✓ 급 출력조정 가능 수력발전기와 가스발전기 대기
 - ✓ 인근 지역계통에서 전력 융통
 - ✓ 전력저장장치 활용
 - ✓ 수요관리
- 개기일식 진행 3시간 동안 예비력 800~1000 MW 확보 (통
- Sacramento 전력회사 : 예비력 2배로 증대
- 수요관리 (Nest 설치고객) : 1 GW 감축

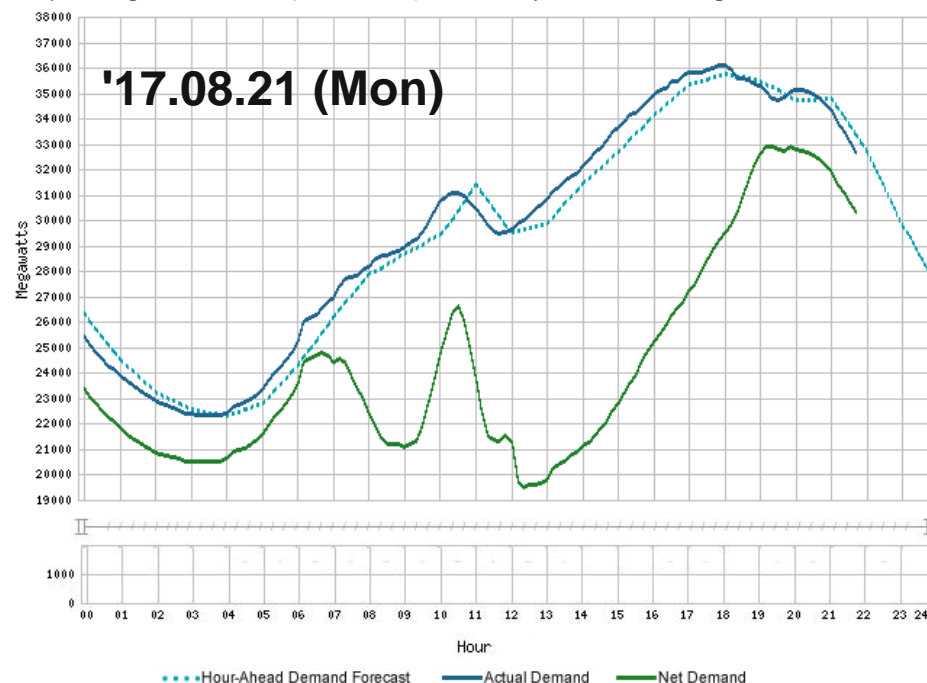
Net Demand

The net demand curve depicts the variability in demand and supply that the ISO must counter balance to maintain grid reliability. Net demand is calculated by taking the actual demand and subtracting the electricity produced by variable generation resources, wind and solar, that are directly connected to the ISO grid.

Higher levels of variable electricity generation increases the ISO operational need for resources with the technological flexibility to start and stop quickly, and maintain output for set periods of time, so we can match supply and demand at all times.

[Click here to learn how flexible resources help renewable integration.](#)

[Learn how we are greening the grid](#)



* Duke 전력회사의 경우 일식 발생 전에 태양광발전소에 일정하게 감소토록 요청하고 가스발전기에는 일정하게 증발토록 요청

재생에너지 출력변동과 대책

1. 계통운영자는 재생에너지 확대에 도전 직면

- ✓ 배전망에 다수 내포된 비계량 태양광/풍력 (BTM)
- ✓ 재생에너지 발전력 과다로 출력 감축(Curtailment)
- ✓ 발전기 탈락 시 빠른 계통 주파수 저하로 재생에너지의 정지
- ✓ 산불로 인한 대규모 태양광 발전단지 전체 정지
- ✓ 전력망 고장 시 전압 불안정에 의한 발전단지 보호 정지 (Ride-through 범위 이탈)

2. 대응 방안

- 재생에너지의 변동성과 불확실성 → 태양광/풍력 출력 예측 기술
- 전력망 인프라구조, 계통운영 관행, 발전구성, 규제구조 검토
- 유연성 증대:
 - 1) 제도 변경 – 당일/실시간 시장 운영
 - 2) 계통운영 – 주파수 반응 고속 예비력 확보
 - 3) 에너지 저장장치 활용 – 양수발전, 배터리 저장, 압축공기저장
 - 4) 수요측 유연 – 수요반응 확대
 - 5) 출력 조정 발전기 – 유연성 증대

결언 – 재생에너지와 신뢰도 유지

- 재생에너지 확산/수용을 위한 **제도 개선/강화** 시급
 - ✓ 전력계통 신뢰도 고시 ☞ 국가적 중요성에서 법률에 의한 “신뢰도기구” 설립 필요 (KINS 사례)
 - ✓ 전력시장규칙 ☞ 전력시장 제도 개선 필수
 - ✓ 송배전망 접속규정 ☞ 명확한 Ride-through 규정 검증 필요

- 스마트그리드 기술의 확대 적용
 - 미래 전력계통의 설계, 통합, 운전, 관리 및 최적화 기술 솔루션 개발
 - **예비력** 확충이 중요 – 고속/유연 발전 (양수/가스발전), 수요관리/반응, ESS/V2G, 압축공기저장
 - 전력계통 모델링/모의해석 기술 향상 필수 (PSSE, EMT 프로그램 활용)