

Curtailment Solution : CAISO

김욱원

가천대학교 에너지 IT

2021.03.19

Why CAISO?

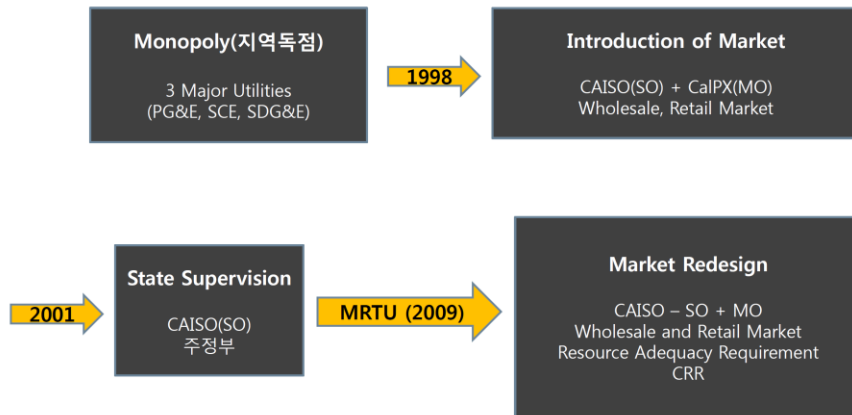


그림. CAISO 전력시장 제도의 변천

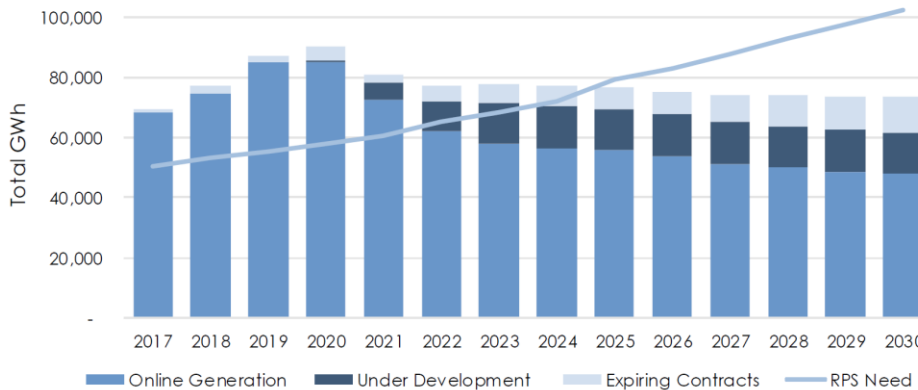


그림. CAISO의 RPS 목표

전력 시장 제도의 도입 시기

- 1997년까지는 3개 유틸리티의 독점
- 1998년에 구조개편과 시장도입(도매, 소매)
- 당시 시장은 pool과 bilateral market의 혼합 구조
- 시장 내적, 외적 요소로 전력위기 후 주정부 개입
- **2009년에 현재 형태의 시장 도입**
- CAISO가 SO와 MO를 동시에 겸하는 pool 구조 시장 체제

야심찬 재생에너지 계획

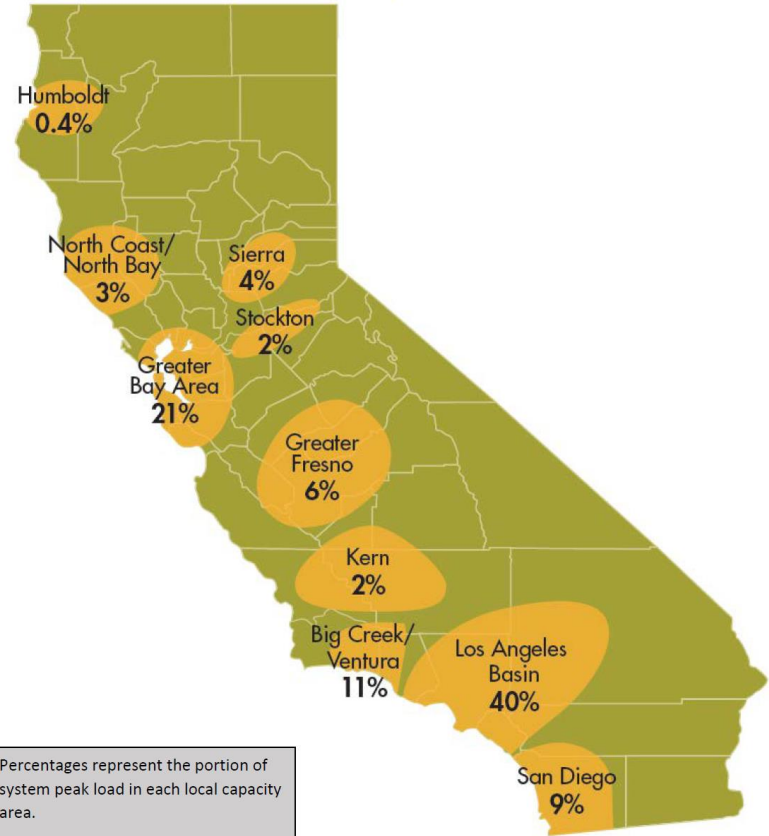
- 2019년 약 31%의 재생에너지 portfolio 달성
- 2030년 60%의 재생에너지 비중 목표

Summary of CAISO



캘리포니아와 CAISO

- 인구 : 39.5 million(2019기준)
- 주요 산업 : 과수원, 농업, 우주항공, 제조, 영화
- CPUC(California Public Utility Commission) 관할 구역이 75%
- POU(Publicly Owned Utilities)가 나머지 25%
- CPUC 관할 구역 중 메이저 유틸리티(PG&E, SDG&E, SCE)가 62%



Summary of CAISO

Year	Annual total energy (GWh)	Average load (MW)	% change	Annual peak load (MW)	% change
2017	227,749	26,002	0.0%	50,116	8.4%
2018	220,458	25,169	-3.2%	46,427	-7.4%
2019	214,955	24,541	-2.5%	44,301	-4.6%

그림. CAISO의 연도별 부하

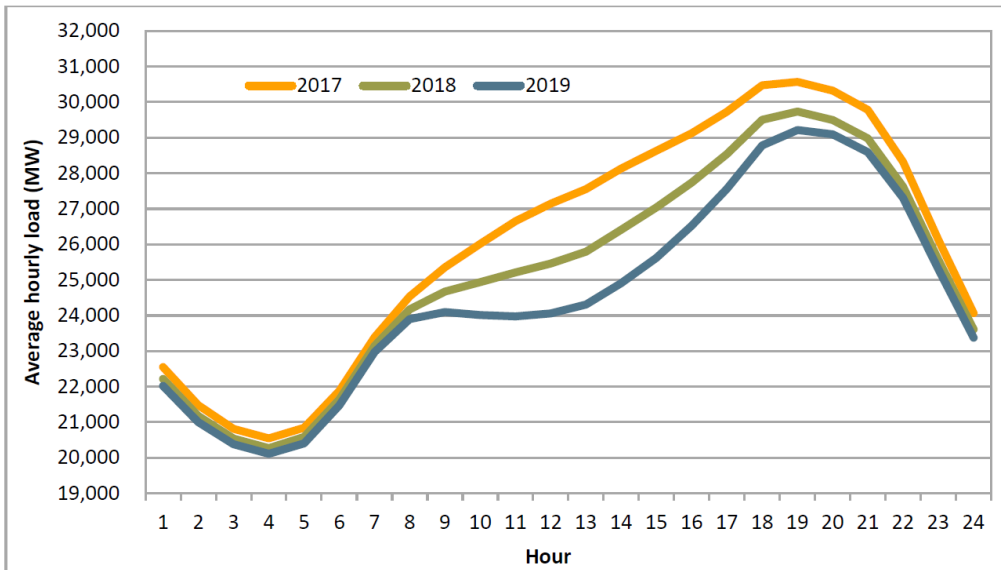


그림. CAISO의 시간별 평균 부하

수요는 전반적인 감소세

- 피크 수요 감소는 날씨 영향이 지배적
- 평균부하의 감소 이유는 여러가지
 - 에너지 효율 향상
 - Behind the meter 태양광

Summary of CAISO

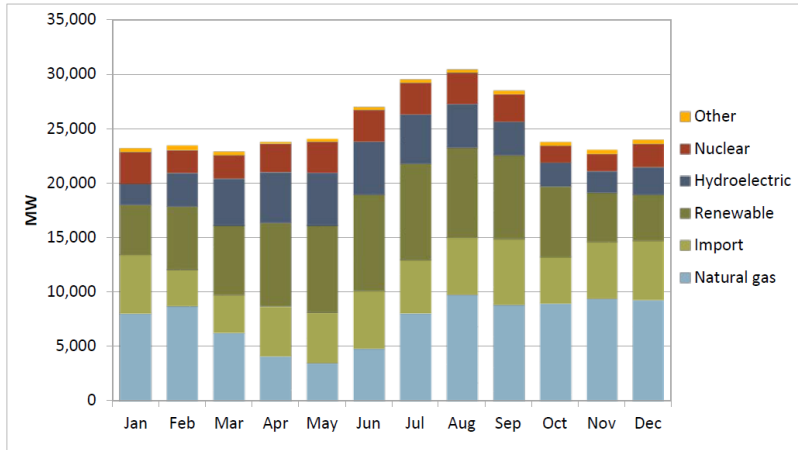


그림. CAISO의 연료별 발전(2019년 월 평균)

Generation and Net Load

- 수력발전은 재생에너지와 별개로 구분
- 2019년 재생에너지 27%, 수력발전 14%로 합이 41%
- 천연가스의 비중이 조금씩 줄어들며 그 비중을 재생에너지(주로 태양광)가 차지
- 원자력 발전은 꾸준히 10%를 유지
- 순부하는 꾸준히 감소

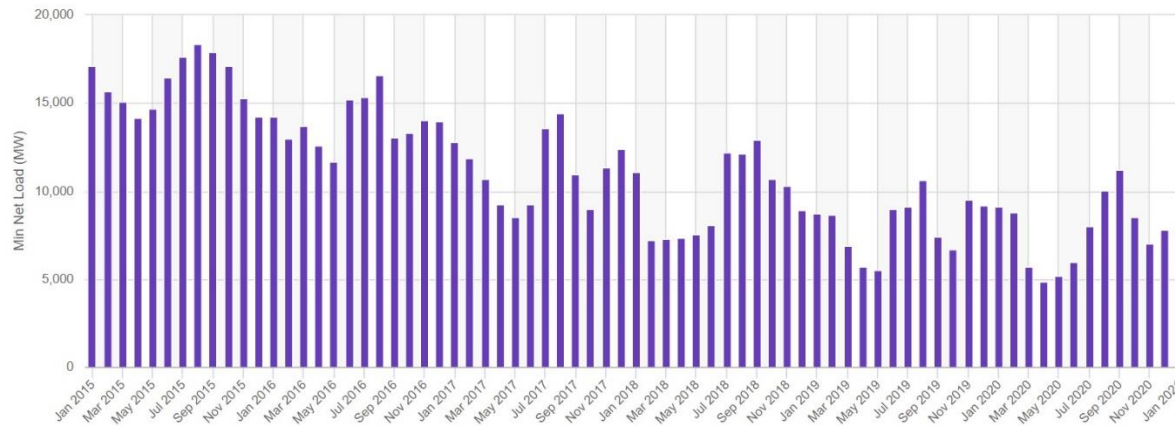


그림. CAISO의 월별 minimum net load 변화

Summary of CAISO

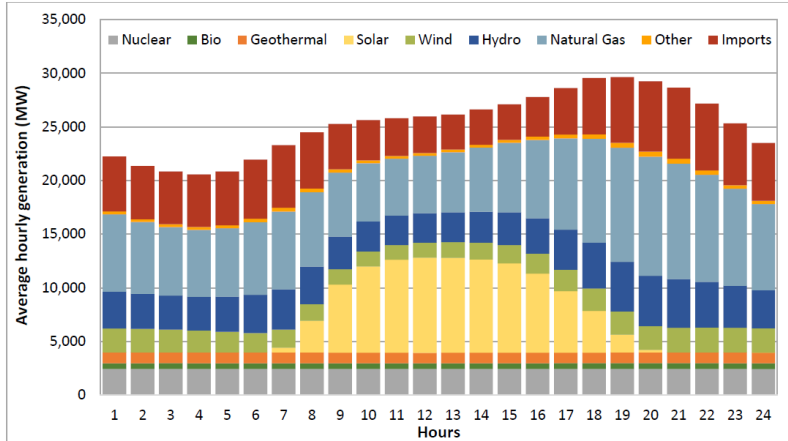


그림. CAISO의 연료별 발전 누적(2019년 시간 평균)

Generation Variation

- 태양광 발전 프로파일이 다른 발전기 출력 변화를 야기
- 주로 가스 발전기(그리고 수입)를 통해 태양광 변동성을 감당

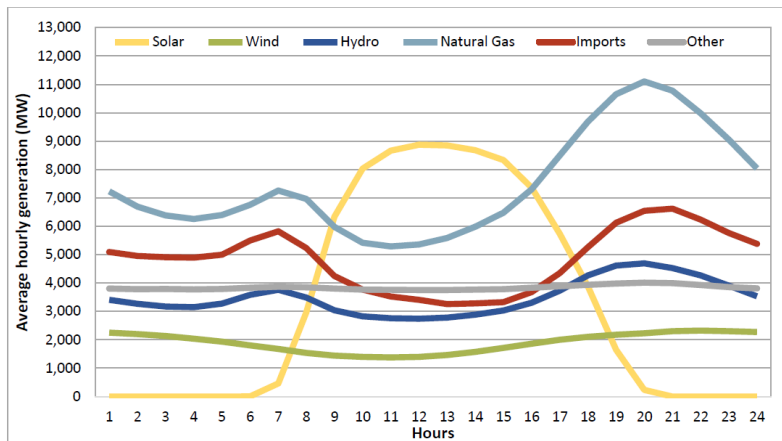


그림. CAISO의 연료별 발전(2019년 시간 평균)

Summary of CAISO

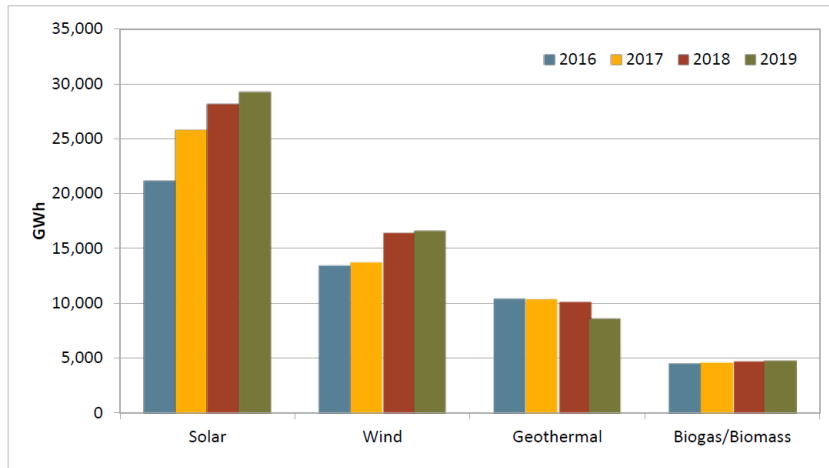


그림. CAISO의 연도별 재생에너지 발전량

Generation Variation

- 태양광 발전 프로파일이 다른 발전기 출력 변화를 야기
- 주로 가스 발전기(그리고 수입)를 통해 태양광 변동성을 감당

그림. CAISO의 연료별 발전(2019년 시간 평균)

Curtailment Solution

CAISO

Curtailment Solution: CAISO

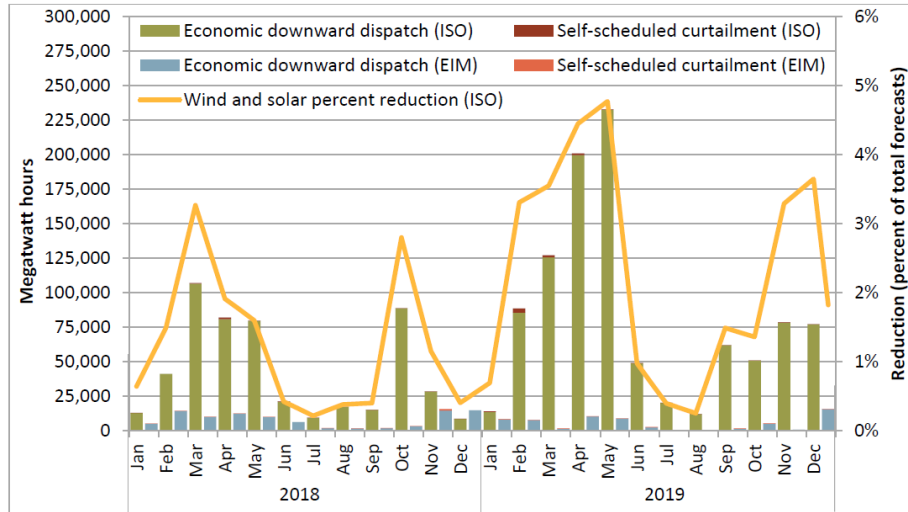


그림. CAISO의 월별 재생에너지 curtailment

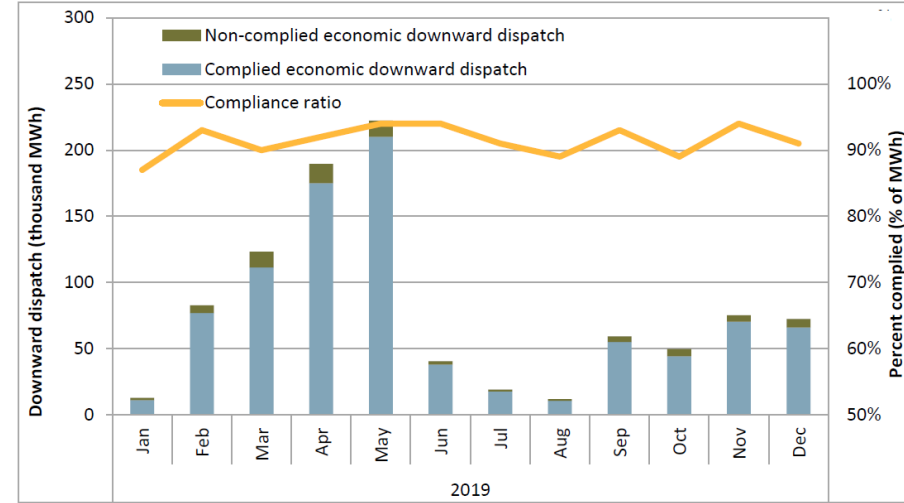


그림. CAISO 태양광의 curtailment 지시 이행률

Renewable Curtailment

- 2018년에 비해 2019년의 거의 모든 월에서 curtailment양 증가
- 2018년은 1.19%, 2020년에는 2.24%
- 2019년 부하가 전체적으로 줄어드는 반면에 재생에너지 설비는 증가한 것이 주 요인
- price floor인 -\$150/MWh의 가격도 간혹 등장
- 풍력발전보다 태양광 발전의 curtailment가 더 큼

Curtailment Solution: CAISO

Curtailed MWh YTD by Month - 12/30/2020

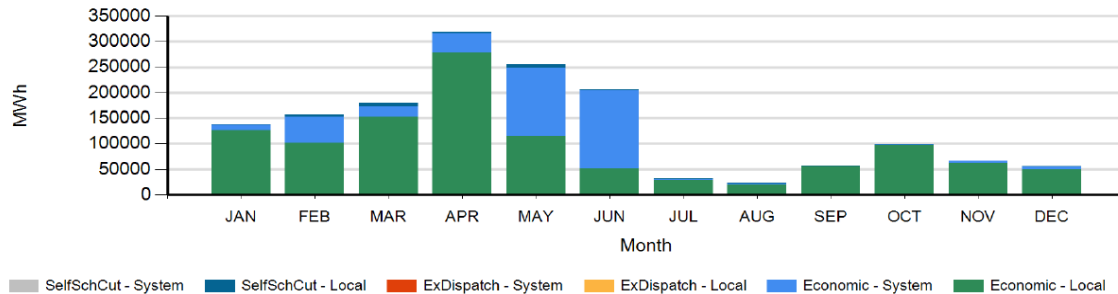


그림. CAISO의 curtailment 종류와 월별 크기(2020년)

Curtailed MWh YTD by Hour - 12/30/2020

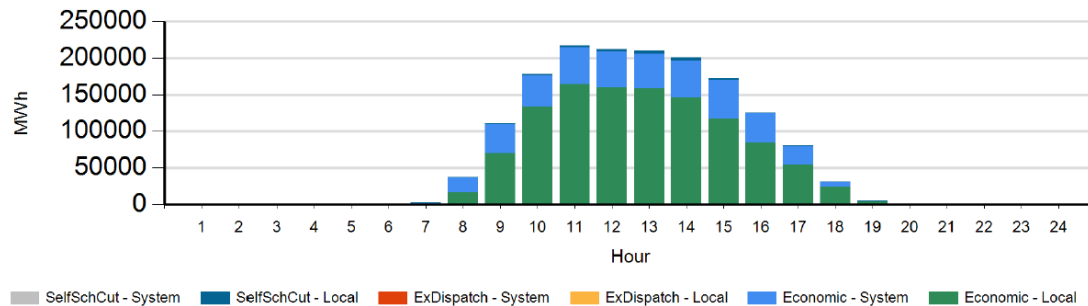


그림. CAISO의 curtailment 종류와 시간별 크기(2020년)

Curtailment Solution: CAISO

용어

- 국내에서 curtailment를 지칭하는 용어 : 삭감, 출력제한, 출력제약, 임의감발, 임의감축, 발전량 제한
- 가장 많이 사용되는 용어는 **출력제한**
- 스마트그리드 용어사전에서는 삭감

정의

- 대체로 계통운영자의 필요(수급균형, 계통신뢰도)로 인해 재생에너지 발전출력을 제약해서 운전하도록 급전지시하는 것 또는 그 양을 의미
- 해외에서는 경우에 따라 용어를 세분화에서 사용(curtailment의 발생원인 또는 curtailment 방법에 따라)
- curtailment 용어의 정의는 curtailment의 주체나 책임 등을 포함할 수 있기 때문에 중요

CAISO의 정의

- “the difference between actual production and the forecast when actual production is less than the forecast”
- “실제발전량이 예측값보다 적을 때, 예측값과 실제발전량의 차이“
- 즉, CAISO의 정의는 불확실성으로 인해 예측이 필요한 재생에너지(태양광과 풍력)만이 curtailment 대상임을 의미
- 또한 curtailment 양을 명확하게 산정할 수 있는 정의(단, 어떤 예측값을 사용할 것인지 명확히 할 필요)

Curtailment Solution: CAISO

Curtailment의 대분류

1. Economic Curtailment

: 시장에서 에너지의 낮은 또는 마이너스 가격에 의한 조절

2. self-scheduled cuts

: 양자간거래의 self-scheduled 발전량의 조절(넓게 보면 양자거래도 시장의 범위에 포함)

3. Manual Curtailment

: ISO가 예외적으로 강제하는 dispatch 명령에 의한 curtailment

Curtailment의 소분류

1. Economic – Local : Market dispatch of generators with economic bids to mitigate local congestion

2. Economic – System : Market dispatch of generators with economic bids to mitigate system-wide oversupply

3. SelfSchCut – Local : Market dispatch of self-schedules to mitigate local congestion

4. SelfSchCut – System : Market dispatch of self-schedules to mitigate system-wide oversupply

5. ExDispatch – Local : Exceptional dispatch to mitigate load congestion

6. ExDispatch – System : Exceptional dispatch to mitigate system-wide oversupply

Curtailment Solution: CAISO

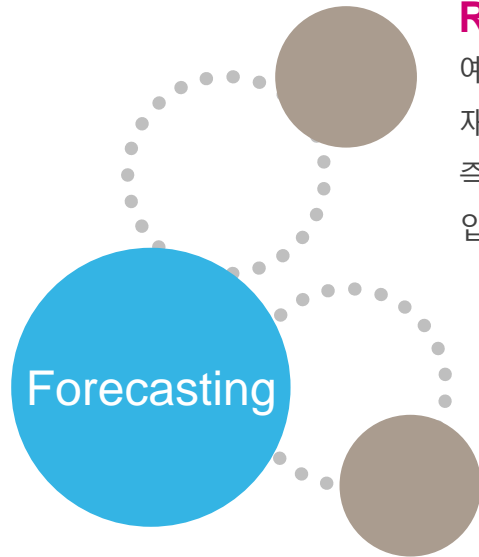
Curtailment의 순서

- 시장에서의 curtailment(앞서 1,2번 포함)를 최우선적으로 수행
시장에서 해결되지 않았을 때 계통신뢰도 등을 이유로 강제적이고 추가적인 curtailment가 필요할 때만 3번을 수행

Curtailment 양

- economic bid를 활용한 market solution에 의한 curtailment가 거의 대부분
- SO의 manual dispatch는 없거나 매우 작은 양

Curtailment Solution: CAISO



재생에너지 사업자

Renewable Forecasting

예측값을 활용한 시장입찰을 통해 이윤 최대화

재생에너지 발전사업자가 시장에서 **입찰한 발전량에 대해 물리적 책임**

즉, 입찰한 양보다 부족할 경우 현물시장에서 사거나,

입찰한 양보다 발전량이 많을 경우 현물시장에서 팔거나 curtailment 필요

CAISO

Renewable & Load Forecasting

수요와 재생에너지 예측을 통한 **수급 균형 책임**

예측값 변동에 따라 현물시장을 운영

공급부족일 경우, 수요로 입찰하여 발전사업자의 supply bid to increase energy 사용

과잉공급일 경우, 발전사업자의 supply bid to decrease energy를 사용

시장 솔루션만으로 해결 불가능할 경우 manual dispatch를 사용

Curtailment Solution: CAISO

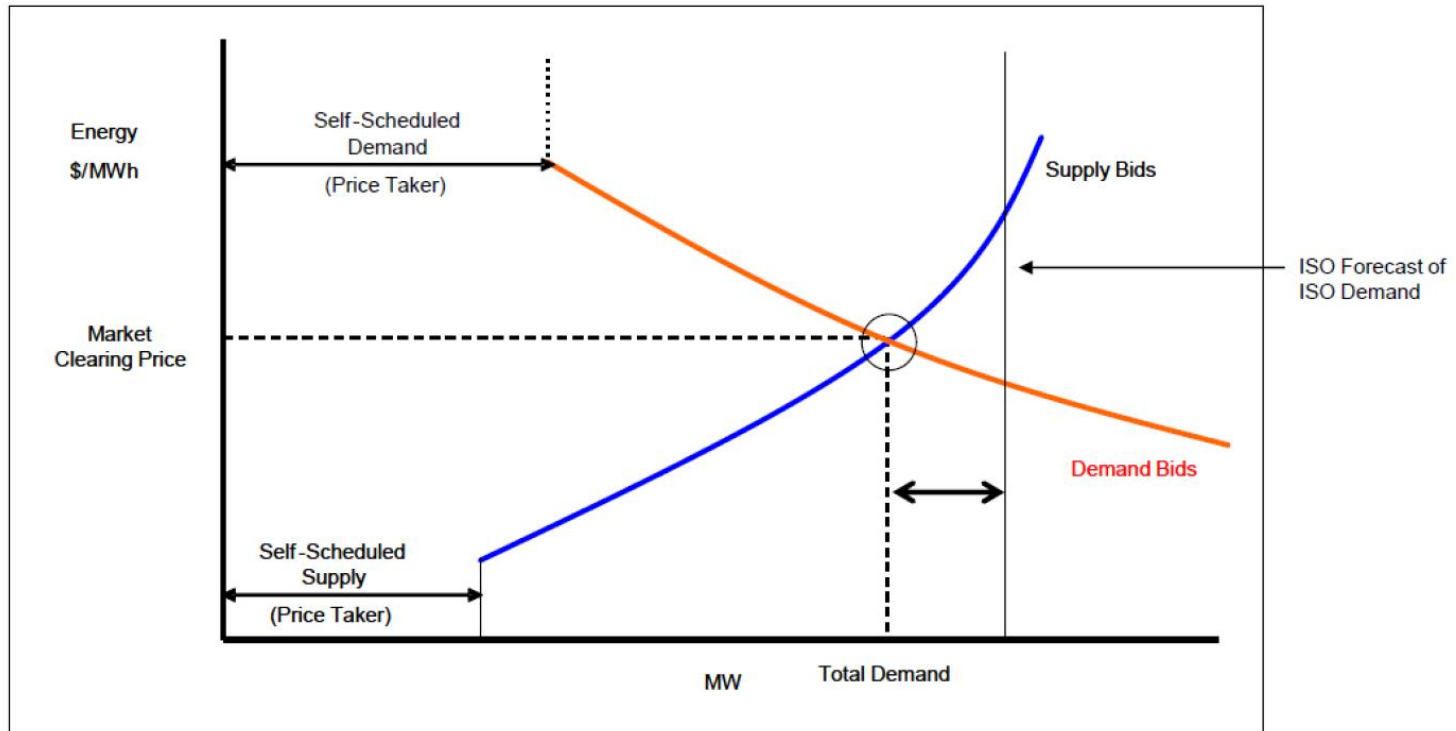


그림. CAISO 전력시장의 pricing mechanism

Curtailment Solution: CAISO

CAISO의 curtailment solution

재생에너지 발전사업자

1. 재생에너지 발전사업자는 예측량을 토대로 하루전 시장에 입찰
2. 시장에서 낙찰받은 발전량 공급에 물리적 책임
3. 하루 전 예측값의 불확실성을 실시간 시장에서 해소할 수 있음

CAISO

4. 실시간 시장에서 공급과잉이 예상될 경우, CAISO는 발전사업자가 제출한 decremental bid를 활용
5. 모든 decremental bid를 활용해도 공급과잉이 해소되지 않으면, 공급과잉을 선언
6. 실시간시장에서 발전사업자로부터 네거티브 가격으로 decremental bid를 받음
7. 네거티브 가격의 decremental bid로도 공급과잉이 해소되지 않을 경우, CAISO는 self-scheduled cut을 실시
8. 그래도 공급과잉이 해소되지 않을 경우 exceptional dispatch라고 부르는 manual dispatch를 실시하여 발전량 강제적 조정

CAISO 전력시장과 curtailment solution의 의미

1. 시장 입찰을 통해 재생에너지 불확실성에 대한 1차적 책임은 재생에너지 발전사업자가 가짐
2. 불확실성을 해소할 수 있는 현물시장 제도를 가지고 있음
3. 공급과잉으로 인한 네거티브 가격은 잉여에너지를 저장할 수 있는 에너지저장설비에 투자에 대한 가격신호를 제공

Curtailment Solution: CAISO

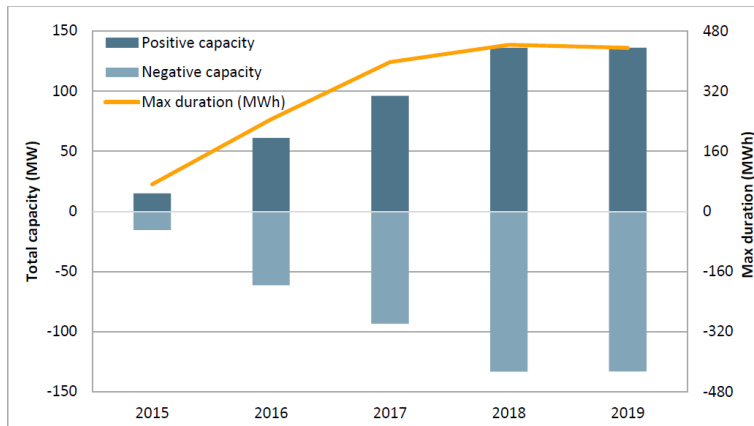


그림. 배터리의 CAISO 전력시장 참여(연도별)

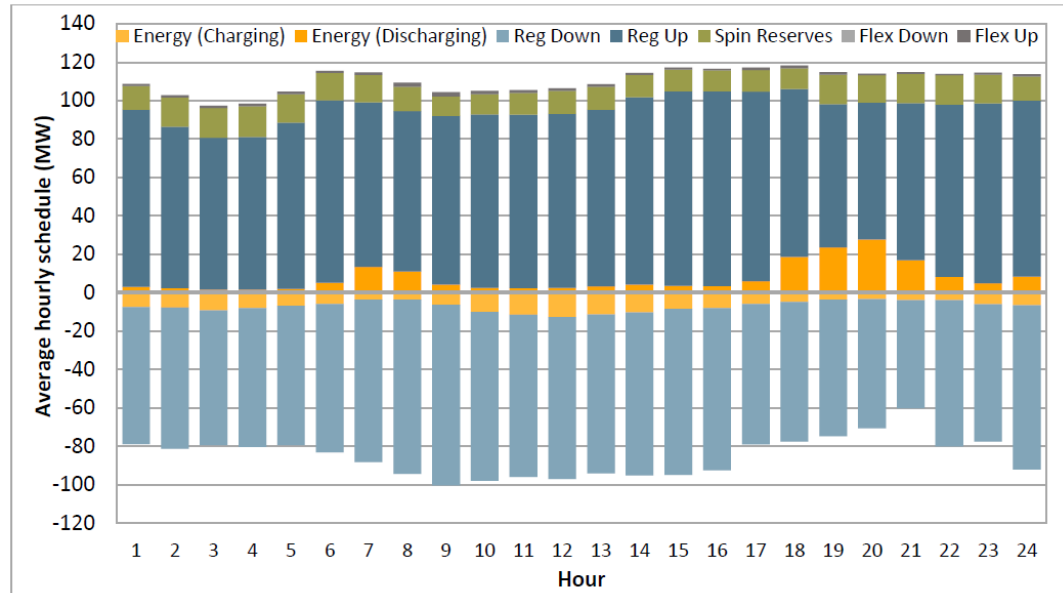


그림. 시간대별 배터리 운용(2019년)

THE
END