전력시장과 수요자원제도 선진화를 위한 공무 국외출장 결과 보고

2025. 12.

전력신사업처
수요자원시장팀

Ⅰ 출장 개요

□ 기 간 : ‘25.11.30(일) ~ 12.4(목) [4박 5일]

□ 출장지 : 일본 도쿄

□ 방문기관 : TEPCO[지역송배전망사업자], Enel X JAPAN, 인코어드 JAPAN[수요관리사업자], OCCTO[광역망계통운영기관], JEPX[도매전력거래소]

□ 목적 : 수요반응 급전자원화 등 통합시장 설계와 수요자원 고도화를 위한 일본 전력산업 주요기관 방문

□ 출장자 : 전력거래소, 학계 실무자 5명

소 속	직 책	성 명
전력거래소	●●	정●●
	●●	김●●
광주과학기술원	●●	김●●
	●●●	지●●
	●●●	조●●

□ 세부일정

일 시	내 용	비 고
11.30(일)	□ 국내 이동 및 출국(나주 → 인천 → 도쿄)	OZ 106
12.1(월)	□ TEPCO Power Grid 방문 및 담당자 미팅	도 쿄
12.2(화)	□ Enel X JAPAN 방문 및 담당자 미팅 □ 인코어드 테크놀러지 JAPAN 방문 및 담당자 미팅	
12.3(수)	□ OCCTO 방문 및 담당자 미팅 □ JEPX 방문 및 담당자 미팅	
12.4(목)	□ 귀국 및 국내 이동(도쿄 → 김포 → 나주)	KE 2106

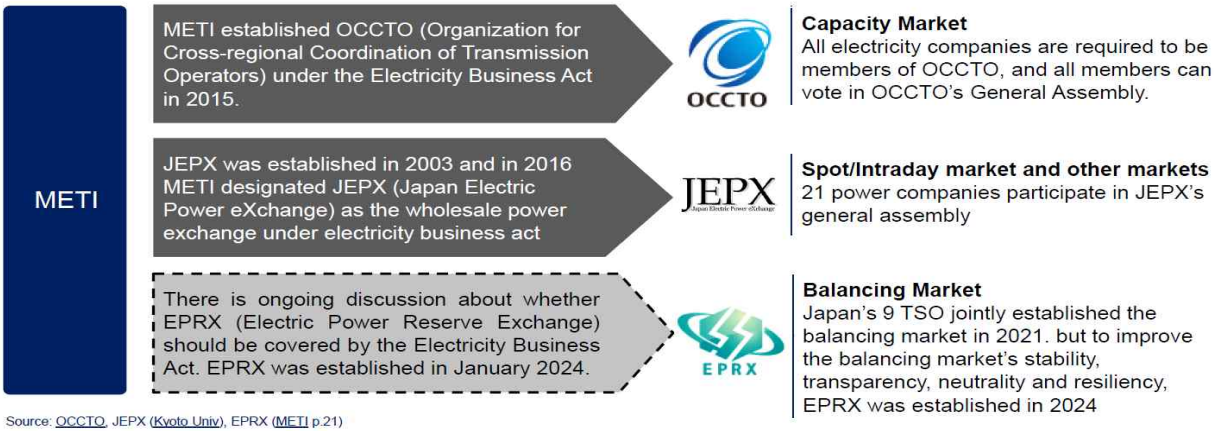
Ⅱ 출장 결과

1. 일본 전력시장 구성과 운영

□ Institutional Framework

○ 경제적 측면에서 민간 기업 활성화와 유연한 외연 확장을 촉진하며, 안정적이고 효율적인 에너지 공급 목적으로 산업과 경제 부문을 관할하는 METI와 계통 또는 시장을 운영하는 기관으로 구분

【 Institutional Framewok of JAPAN 】



Source: OCCTO, JEPX (Kyoto Univ), EPRX (METI p.21)

□ 전력시장 구조개편

○ 1999년, 소매 자유화를 시작으로 도매시장과 광역계통 및 수급 임밸런스를 관리하는 담당 기관을 설립하고 부문간 경쟁체제 도입

【 Marktet History 】

연 도	세부 내용
1999	Retail liberalization begins(≧ 2MW users, ~30% demand)
2003	**JEPX wholesale market launched**
2011	Fukushima accident, all nucler offline, fossil imports surge
2012	FIT introduced → 70GW renewables by 2022, mainly solar PV
2015	**OCCTO(grid coordinator) established**
2016	Full retail liberazation(~85m custtomers), 400+ new retailers
2017	**Capacity Market design starts after supply shocks**
2020	T&D legal unbundling. 1st Capacity Auction (~160GW, clearing up to 엔14,138/kW, price cap)
2021	**Balancing Market starts(Tertiary-2 only) Balancing Market expands to Tertiary-1(April/2022)**
2023	1st Long-Term Decarbonization Capacity Auction(LTDA) (~4GW awarded : 1.1GW BESS, 0.6GW pumped hydro, 1.3GW nuclear uprates, 0.8GW LNG upgrades)
2024	**Balancing Market expands to full program(Primary/Secondary I&II/Tertiary I&II)**
2030	46% GHC, 36~38% Re, 20% nuclear, 41% fossil
2035	Phase out of inefficient coal, full EV adoption, carbon pricing possible
2040	73% GHC, 40~50% Re, ~20% nuclear, 30~40% fossil
2050	Net Zero GHC, 100% carbon neutral elecricity mix

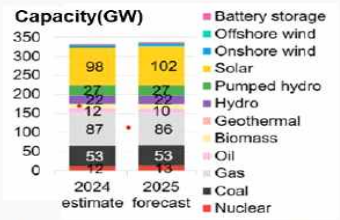
□ Market overview and competitor landscape

ㅇ (Large, liberalized power market) 2016년, 소매 완전 자유화 이후, 2020년 법적인 구속력 해제로 729개 소매업자가 등록('24년 기준)

ㅇ (Balancing Market) 2024년, 단계별 예비력을 세분화하여 모집하는 예비력시장이 개설되어 용량시장과 하루전 시장 및 임밸런스를 동시에 참여하고 관리

ㅇ (Market Size) 용량시장 규모는 약 1.6trillion엔이며, 밸런싱시장은 약 211billion엔(이 중 Tertiary-ll 규모는 약 47.25billion엔 수준)

【 General Infromation of Market competition 】

Country Generation Mix	Regulatory framework	Historical Prices/volumes
•**Today's mix (FY2023 actual generation): DR is 1%**  **2030 target mix (policy): RE 36–38%** (about **150 GW solar**, **10 GW onshore wind**, **10 GW offshore**), **Nuclear 20–22%**, **Fossil ~41%** with coal phased down and ammonia co-firing. •**2040 draft outlook: RE 40–50%**, **Nuclear ~20%**, **Fossil 30–40%** with CCS/ammonia; **offshore wind 30–45 GW** (vision **10 GW by 2030**) as the main new zero-carbon pillar	•**Governance**: METI designs rules; OCCTO oversees the capacity framework; JEPX operates spot/intraday; EPRX (est. Jan-2024) operates the balancing market. All power companies are OCCTO members with voting rights. •**Capacity Market**: **Uniform-price, zonal** auction; **T-4** main auction with top-ups as needed. **DR eligible with a cap ~6.4 GW (~4% of total)**. •**LTDA**: **20-year fixed capacity revenue**; recent rounds awarded **~1.3–1.4 GW of BESS**; parameters under review. •**Balancing Market (EPRX)**: Five reserve products live (Primary, Secondary I/II, Tertiary I/II); aggregators incl. DR can participate; strict telemetry, testing, and settlement requirements. •**Simultaneous participation**: DA(day ahead)/ID(Intraday) – Balancing–Capacity rules under discussion, **targeting FY2028**. •**Liberalization milestones**: Retail fully liberalized in 2016; legal T&D unbundling in 2020	•**Capacity price trend (VWAP, main auctions)**: **€23.07/kW → €31.75/kW → €53.22/kW → ~€72.29/kW (DY2028)**; first auction reached **~€94.25/kW** in a price-cap region; **Tokyo ~€91.23/kW** in the latest round. •**Procured volume (latest)**: **~166 GW**.

□ Capacity Market

ㅇ OCCTO가 운영하는 용량시장은 단일가격 기반의, 4년 기간의 물량을 미리 매집하는 계약 방식의 선도시장임(main auction held T-4, followed by a T-1 auction)

ㅇ 발전원, 저장장치, DR 등 모든 자원은 같은 시장가격으로 지불

ㅇ 수요자원 용량은 6.4GW 한도로 모집되며, 약 4% 비중을 차지하는데, 무결성을 보장하기 위해 순가격을 입찰해야 함

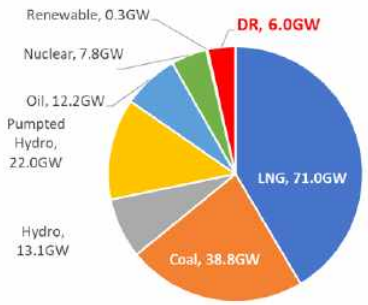
ㅇ 경매시장은 매년 160~170GW 수준으로 열리며, 화력과 수력이 대부분 비중을 차지하고 저장장치와 DR은 점진적 증가추세

ㅇ Clearing price는 24년도를 정점으로 25년 하락하였음

【 General Information of Capacity Market 】

Portion of Source	Capacity Market T-4 Historical Information

Awarded capacity in Capacity main auction by Technology and auction year. DR ≈1%



Capacity Market T-4 Historical information

(JPY162/€)	DY2024	DY2025	DY2026	DY2027	DY2028	DY2029
Target Capacity GW	177GW	177GW	178GW	184GW	186GW	189GW
Procured MW	168GW	165GW	163GW	167GW	166GW	TBD
Final Price (Weighted Average Price)	€94.25/kW	€23.07/kW	€31.75/kW	€53.22/kW	€72.29/kW	TBD
Cap on DR	4.73GW	4.75GW	6.36GW	6.42GW	6.42GW	6.42GW
Procured DR MW	4.2GW	4.75GW	5.90GW	6.00GW	6.00GW	TBD
Potential DR bid	Bid 4.2GW	Bid 5.66GW	Up to 7.2GW	Up to 7.2GW	Up to 7.2GW	Up to 7.2GW

□ Balancing Market

○ 시장조달 수용성을 향상하여 TSO가 안정적 수급균형을 유지토록 하는 것을 목적으로 하며, Tertiary-ll('21년)와 Tertiary-l('22년)을 순차 개설하고 '24년 모든 부문에 대해서 거래를 개시

○ 예비력시장을 운영하는 EPRX에서 화력, 양수, 배터리 및 DR 등 다양한 밸런싱 요소를 거래하고 판매

○ 상품별 응답·지속시간을 세부적으로 규정하고 있으며, 주간시장에서 Tertiary-1를 월~화 14시에, 하루전 시장에서 Tertiary-ll를 12~14시에 입찰하여 15시에 마감

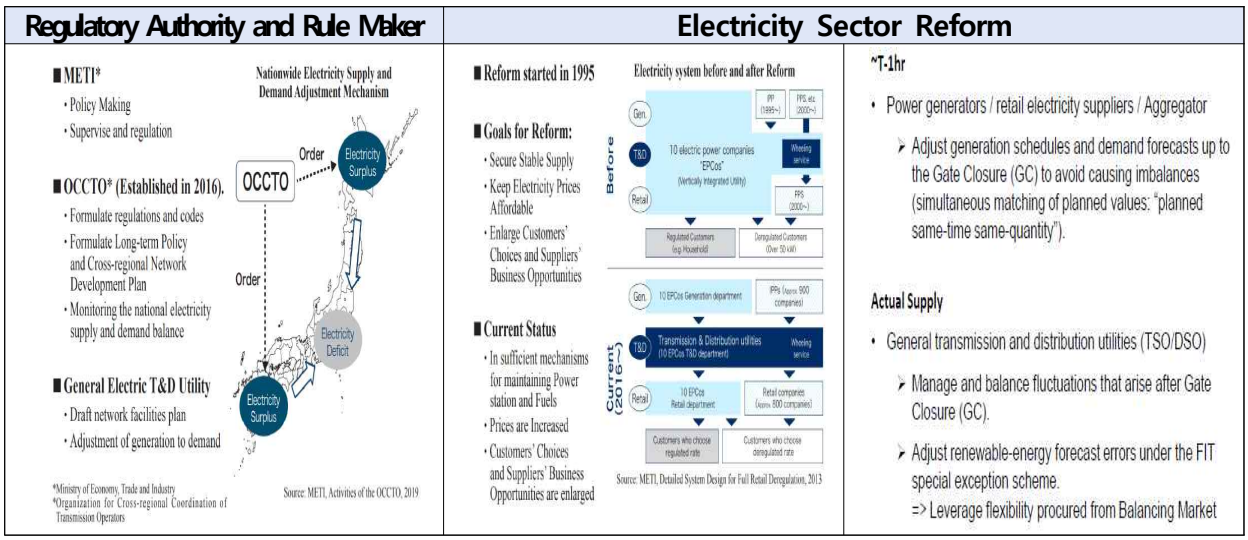
○ 조달 물량은 수요를 만족하는 수준까지 가격순으로 거래되며, 상·하향 예비력별 책정된 가격과 계량된 에너지에 따라 정산

【 General Information of Capacity Market 】

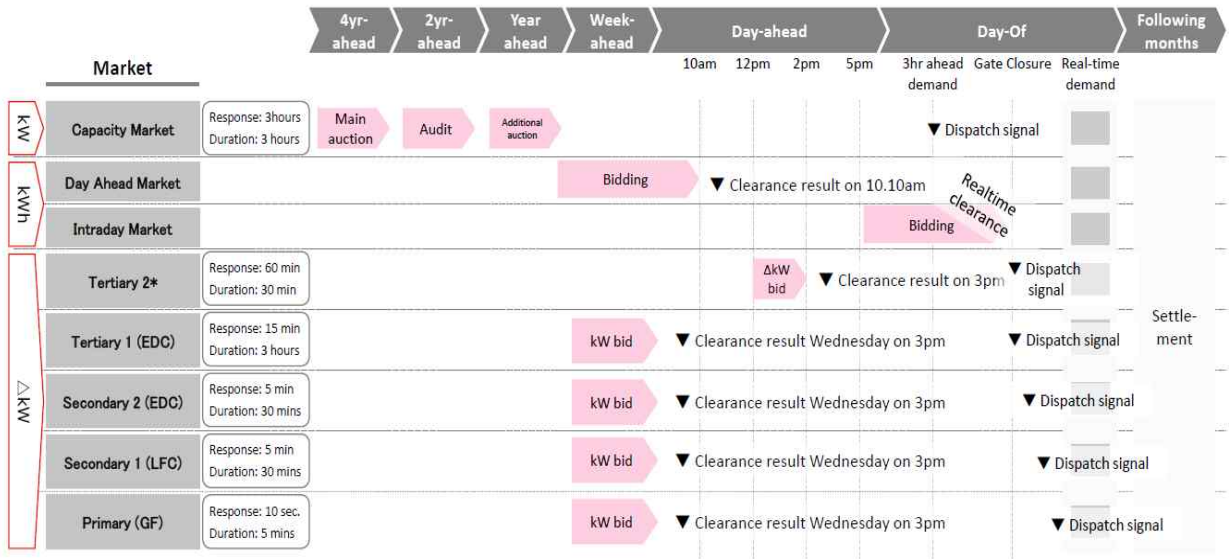
상 품	System role	Response time	Continuation	Typical resources
Primary Control	Very short-fluctuations & contingencies	≦10s	≧5min	Thermal, BESS, DR
Secondary-l	Short-cycle fluctuations & contingencies	≦5min	≧30min	Thermal, BESS, DR
Secondary-ll	Long-cycle forecast error	≦5min	≧30min	Thermal, BESS
Tertiary-l	Load/RES forecast error & trips	≦15min	3h block	Thermal, others
Tertiary-ll	FIT-special RES forecast error	≦60min	30 min block	Thermal, DR, others

○ 주간시장에서 공급 물량이 부족할 때 발생하는 가격spike를 해소하기 위해 Tertiary-ll를 기준으로 price cap를 정하고 있으며, Composite/Primary/Secondary : 엔19.51 per ΔkW·30min(=weighted avg 3σ), Secondary-ll/Tertiary-l : 엔7.21 per ΔkW·30min(=avg + 1σ) 한도로 운영하는데, Tertiary-ll는 별도 cap를 운영하지 않음

【 Regulatory Authority and Rule Maker & Electricity Sector Reform 】



【 Bidding and adding process 】



2. TEPCO 방문 및 담당자 미팅

■ 기관명칭 : TEPCO Group (동경전력그룹, Tokyo Electric Power Company)
■ 설립연도 : 1951.5.1.
■ 사업영역 : 발전, 송전, 배전, 판매, 지역 계통운영 등 수직통합 전력회사로 운영 중이며, 후쿠시마 원전 사고이후 전력 자유화 정책에 따라 지주회사 체계로 재편
○ 지주회사 : TEPCO Holdings ○ 발전 : TEPCO Fuel & Power
○ 신재생 : TEPCO Renewable Power ○ 송·배전, 지역 계통운영 : TEPCO Power Grid
○ 판매 : TEPCO Energy Partner

□ 지역수급 균형을 위한 역할 및 조치

ㅇ 시장 조달과 자체 조달 두 가지 방법으로 자원 조달

- 자체조달 : 자체소유 발전원의 스케쥴링을 통한 수급불균형 대응
- 시장조달 : 자체조달 부족분에 대해서 권역별 TSO가 참여하는 밸런싱 시장에서 과부족분 구매 혹은 OCCTO 관제시스템과 연계 운영하나, OCCTO의 LCC에서 제어 수행

□ 장·내외 수급확보를 위한 발전원 및 수요자원 비중

ㅇ 수급운영을 위한 밸런싱시장에서 예비력 상품으로 구매

- Single Pricing 형태의 상품을 주 단위로 확보

□ 밸런싱시장에서 수요자원 비중

ㅇ 비중이 높지 않으며, 매우 적은 수준으로 참여 중

□ 재생e 증가에 따른 수급조정 필요성과 수요자원 역할 여부

ㅇ 지역별 특성 차이로 수급조정 필요여부가 서로 다름

- 도쿄권역과 비교하여 규슈 지역이 재생e 증가로 인한 혼잡도가 높으며, 반복되는 혼잡으로 연계지역간 HVDC 증설계획 검토

□ 수요자원 상품·서비스별 가격책정 여부

ㅇ EPRX가 운영하는 예비력 상품체계에 맞춰 시장가격으로 구매

□ 다른 지역 송전망 사업자간 협력체계

ㅇ OCCTO, JEPX, EPRX 등과 같은 기관(시장)을 통해 다른 지역의 송전망 사업자와 거래

3. Enel X JAPAN 방문 및 담당자 미팅

■ 기관명칭 : Enel X JAPNA
■ 설립연도 : 2013~14(EnerNOC 수요관리사업 인수)
■ 사업영역
- ○ 수요반응사업 : 대규모 전력수용가를 집합(감축가능전력)을 하여 전력 사용을 제어 및 감축하고, 전력도매시장에 자원을 제공
- ○ VPP 사업 : 여러 지역에 분산된 DR, ESS, 재생에너지를 클라우드 기반 플랫폼으로 통합 제어하여, 하나의 발전소처럼 주파수조정 시장 등에 참여하여 에너지 비용 최적화를 통한 수익 창출 사업 수행

□ 사업자의 수요반응자원 활용 여부

ㅇ 수요반응이 가능한 고객을 모아 자원을 구성하여 용량시장, 에너지 시장, 보조서비스시장에 참여

※ 약 1,678MW(27.97%) 등록용량 기준으로 Market Share에 참여 중

□ 수요관리사업의 주 수익원 발생 시장

ㅇ 용량시장 및 에너지시장에서 주 수익이 발생하며, 밸런싱 시장에는 거의 참여하지 않음

□ 수요자원연계 플랫폼(VPP, DER, V2G)의 활성화 수준

ㅇ 자사의 글로벌 에너지 플랫폼을 바탕으로 자원 적극 매집 운영

□ 용량시장 참여 자원의 의무조건 이행 여부

ㅇ 전력망사업자 등으로부터 Dispatch 요청이 오면 수행해야하는 의무가 있음

□ 용량시장(4년단위)에서 자원 매집 방식과 기준부하 방식

ㅇ 4년 동안 자원 구성은 변하여도 무관하나, 입찰 용량만큼 물량을 준비해야하며, 기본적인 평균 방법(Average Method) 활용

4. 인코어드 JAPAN 방문 및 담당자 미팅

■ 기관명칭 : ENCORED JAPNA
■ 설립연도 : 2015
■ 사업영역
  ◦ 에너지 데이터 분석 및 플랫폼 운영
  ◦ 전력 소매 및 유틸리티 대상 B2B/B2C 솔루션 제공
  ◦ 소규모 부하 중심 수요자원 기술 제공 등

□ 소매사업을 통한 위험관리 여부

○ 기저 수요(물량)를 높은 비중의 쌍무 계약으로 확보하여 LNG 가격 폭등과 같은 외부변수를 적절하게 관리

□ 수요반응의 소매사업 운영 경제성

○ 전력 소매업자는 용량시장 비용 지불 책임이 있어 프로그램 운영 유인이 존재

- 해당 연도의 최대전력 시간에 소매업자별 전력 사용량을 기준으로 용량시장 비용을 배분하고 있음

□ 소매시장에서의 DR 프로그램 운영 현황

○ 상업용 부하(냉장고・에어컨)를 활용한 소매 프로그램 운영 중

- 전력사용을 시각적으로 보여주는 APP을 운영 중이나, 효과가 높지는 않음

□ 부하 평탄화(Demand Balancing)를 위한 자원 운영 현황

○ 데이터센터 내 ESS 설치를 통한 최적운영으로 수익 창출을 통한 비용회수 여부 검토 중

5. OCCTO 방문 및 담당자 미팅

■ 기관명칭 : OCCTO(광역망계통운영기관)
■ 설립연도 : 2015.4.1
■ 사업영역 : 광역 전력공급의 안정적 운영
■ 감독기관
  ◦ METI : 정관 승인, 사업계획 및 예산승인과 감독 역할
  ◦ 전력가스시장 감시위원회 : 중립성, 공정성, 적정한 거래 감시

□ 권역별 수급 균형 조정 방법

○ 10개의 TSO가 지역 수급을 책임지며, 권역별 과(부족)량을 ERPX가 운영하는 밸런싱 시장에서 거래

□ 하루 전 시장 가격과 지역 간 연계선로 관리의 관련성

○ 하루 전 시장가격은 지역 연계선 선로 혼잡을 고려한 하루 전 시장가격으로 산출하며, OCCTO↔JEPX간 지역연계선로 정보 공유가 이루어지고 지역 內 전력 초과(부족)분이 연계선을 통해 전달됨

□ 장내·외 수급확보를 위한 발전기 및 수요자원 운영 비중

○ 발전원 중심으로 수급확보가 이루어지며, 수요자원 비중이 유의미할 수준으로 크지 않음(매우 적음)

□ 기관 고유의 역할과 역무

○ 광역계통 운영과 선도 시장 운영 등을 주로 담당

□ 직접적인 수급조절을 위한 제어역할의 수행 여부

○ 기본적으로 각 TSO가 지역 수급밸런싱을 책임지며, TSO가 관할 지역 수급조절에 어려움이 있을 경우 OCCTO의 조정을 통한 수급조절을 수행하나 의무적인 지시 권한은 없음

6. JEPX 방문 및 담당자 미팅

■ 기관명칭 : JEPX(도매전력거래시장)
■ 설립연도 : 2003.11.28
■ 사업영역 : Spot시장(Day Ahead 하루 전 시장), Intraday(당일) 시장, Forward(선도) 시장 운영

□ JEPX의 시장 운영 구조

ㅇ 유럽형 전력시장 모형을 반영한 것으로, 유럽 전력 통합 전력시장 가격결정 알고리즘인 유포메니아 기반의 모형을 탑재

□ JEPX의 거래 수수료 부과 방식

ㅇ 0.022엔/kWh로 운영되며, 발전과 수요측에 동등하게 부과

□ JEPX의 시장 규모 현황

ㅇ 전체 일본전력량의 30% 수준을 하루전 및 실시간 시장에서 거래

□ 하루전 시장과 당일시장 운영의 차이

ㅇ 유럽시장의 모형을 기본으로 하며 지역별 단일 가격으로 운영

□ JEPX 운영시장의 예비력 반영 여부

ㅇ 예비력을 고려하지 않는 에너지 시장만을 거래하며 예비력은 별도 시장에서 거래

□ 시장의 가격산출 방식

ㅇ 유럽 경매의 입·낙찰 구조로 pay as bid(discriminatory pricing) 형태

□ 시장 운영의 Time resolution

ㅇ balancing 시장 전 개설되며, 하루에 대해서 30분 단위의 48개 구간으로 거래

□ Price cap 여부

ㅇ Imbalance 비용을 고려하여 price cap을 METI에서 결정