
공무 국외출장 결과 보고서

[섹터커플링(P2X) 연구과제]

2023. 09.

smart
KPX 전기의 미래를 열어가는
전력거래소

수요자원시장팀

1. 출장 개요

- 출장기간 : '23.9.4(월) ~ '23.9.10(일)
- 출장지 : 덴마크
- 참석자 : 김은환 팀장, 송민호 주임
- 출장 목적
 - 해외 플러스DR 운영 사례 조사 및 시사점 도출
 - 섹터커플링(P2X) 수요자원의 시장참여 사례 및 메커니즘 연구

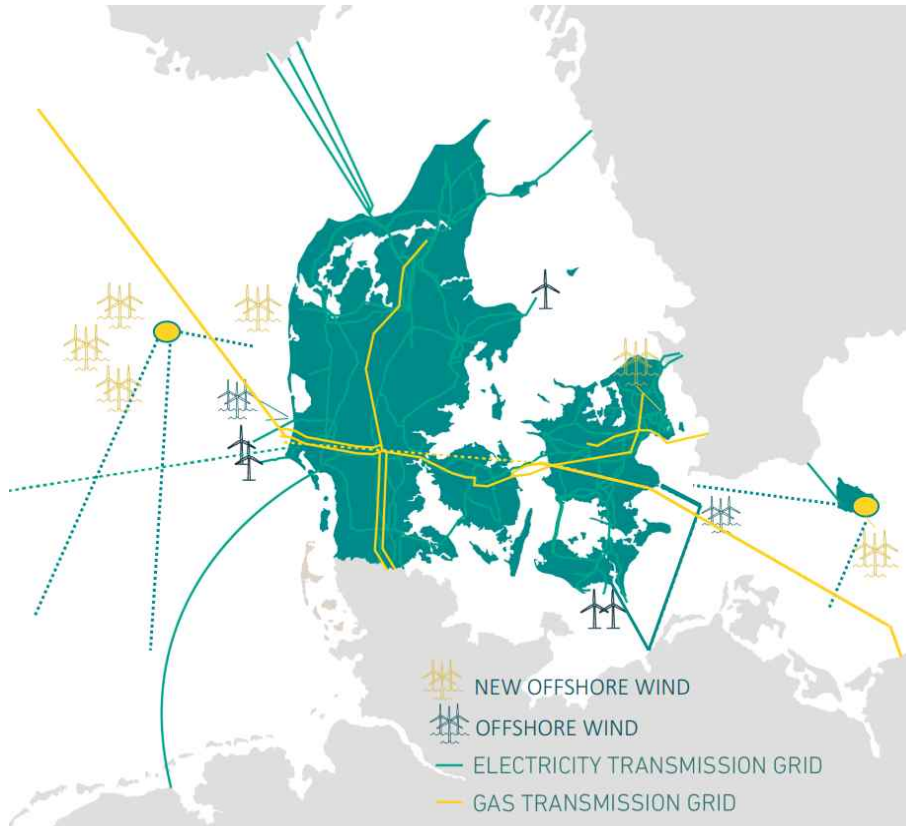
날짜	장소	내용
9/4(월)	국제선 이동	○ 인천 ⇒ 덴마크(빌룬드) 이동
	현지 이동	○ 덴마크(빌룬드) ⇒ 덴마크(프레데리시아)
9/5(화)	에네르기넷	○ 에네르기넷(TSO) 방문 및 워크샵 - 덴마크 전력계통, 전력산업 구조 이해 - 신재생 통합관리 체계(출력제어 등) ○ EV활용 에너지 종합 솔루션 업체 - EV 및 EV충전기 활용 수요관리 사례 - 수요자원의 전력시장 참여 사례 연구
9/6(수)	에네르기넷	○ 에네르기넷(TSO) 방문 및 워크샵 - 실시간 수급관리 및 시장운영 견학 - P2X 자원의 시장참여 관련 미팅
9/7(목)	Inopower	○ 전기보일러 제작업체 및 DH site 방문 - 전기보일러의 자원특성 파악 - P2Heat 자원의 시장 참여 사례 연구
9/8(금)	DEA (덴마크 에너지청)	○ 덴마크 에너지청 방문 - 덴마크 정부의 P2X 추진 동향 - P2X 자원을 활용한 신재생 수용성 강화 및 탄소중립 전략
9/9(토)	국제선 이동	○ 덴마크 ⇒ 인천
9/10(일)		

2. 주요 내용

□ 덴마크 전력시장(Energinet, 덴마크 국영 송전사(TSO) 방문)

○ 에네르기넷 소개

- 에네르기넷(Energinet)은 국영 TSO로써, 전력 송전망과 가스 송유관 일일(Day-to-Day), 장기(Long-term) 운영 및 개발을 주 미션으로 함



Energy island location, new OSW and connections *only illustrative*

07-09-2023

그림 1 덴마크 전력 송전망, 가스 송유관 개요

○ 에너지 전환(Green Transition)으로의 주요 수단 5가지

- 안정적이고 종합적인 에너지 계획
- TSO로서의 명확한 권한과 송전선로 증축
- 유연한 전력생산 및 전력계통 연계(Interconnectors)
- Regulation 기반 시장 및 전력시장
- 시장 및 운영의 디지털화

○ 덴마크 에너지 전환(Green Transition) 목표

- 2022 : 60% green VRE electricity, 40% biomethane
- 2030 : 100% green VRE electricity, 100% biomethane

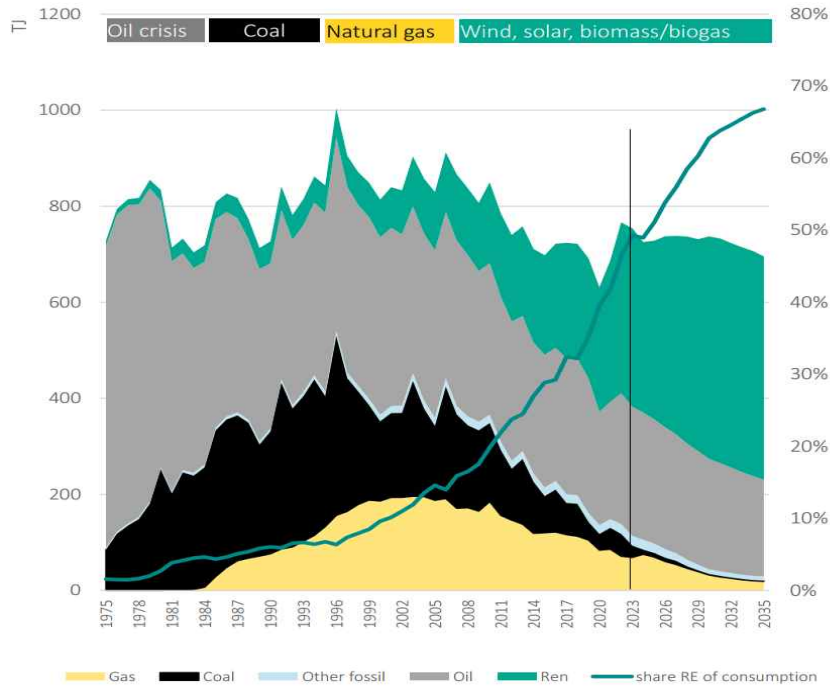


그림 2 덴마크 에너지 소비 구조

○ 전력 소매시장에서의 최종 소비자 가격을 활용한 유연성 확보

- 세금, 관세 등이 포함된 최종 소비자 가격에서 가격신호 형성

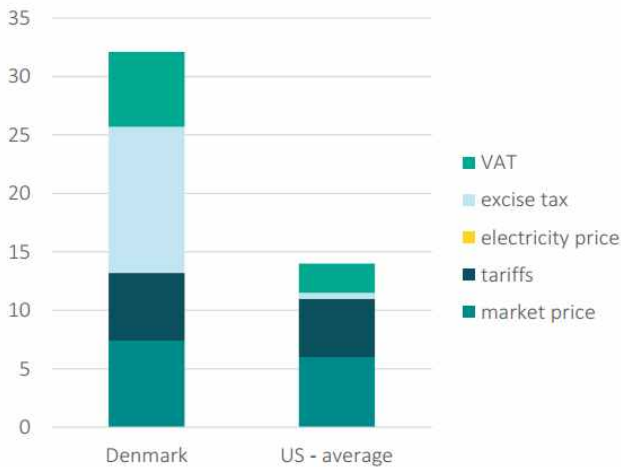


그림 3 최종 소비자 가격(USDc/kWh)

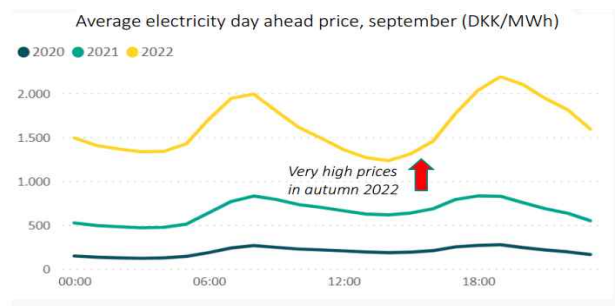
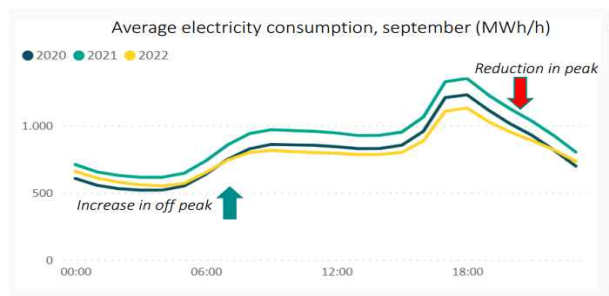


그림 4 평균 전력 소비량 및 하루전 시장가격

- 2021년 대비 2022년 전력 소비량 15% 감소
- 비교적 낮은 가격의 심야 및 정오 시간대로 전력 소비량 이전
- 덴마크의 모든 가정에 보급된 스마트 미터(시간단위 계량) 활용
- 시간대별 정산을 통해 소비자의 유연한 전력 사용 촉진

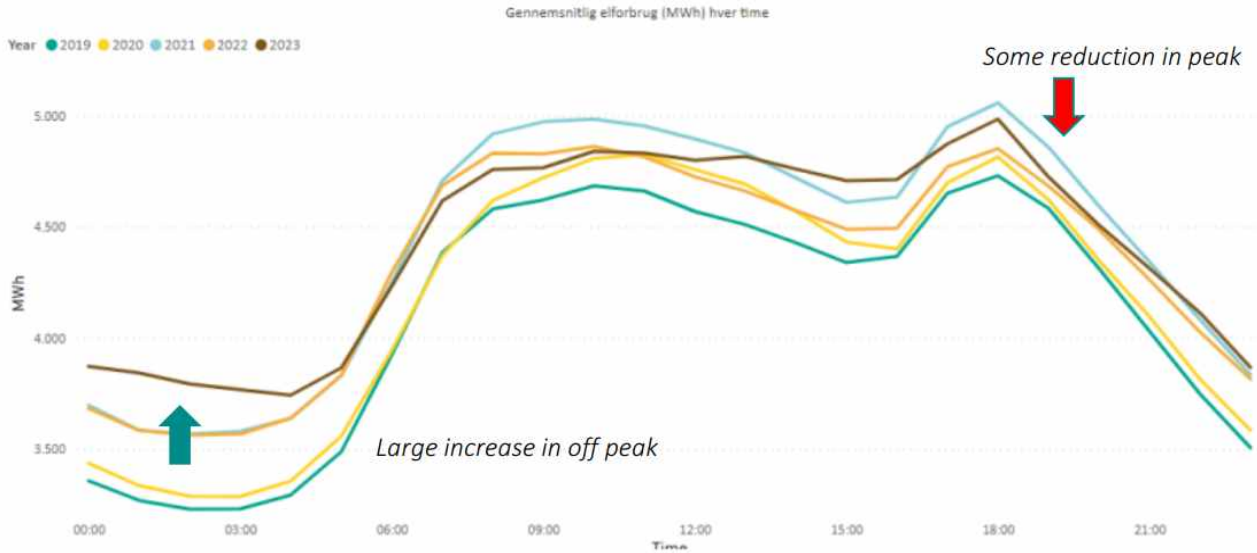


그림 5 2019 ~ 2023년 춘계 평균 전력사용량

- EV, Heat pump 등을 이용한 Off peak 시간대의 수요 대폭 증가

- 덴마크 전력소비자 70% 이상 시간단위 요금부과 중 (Billed by the hour)
- 덴마크 전력소비자가 직접 “MY POWER” 앱을 통해 시간대별 가격 확인

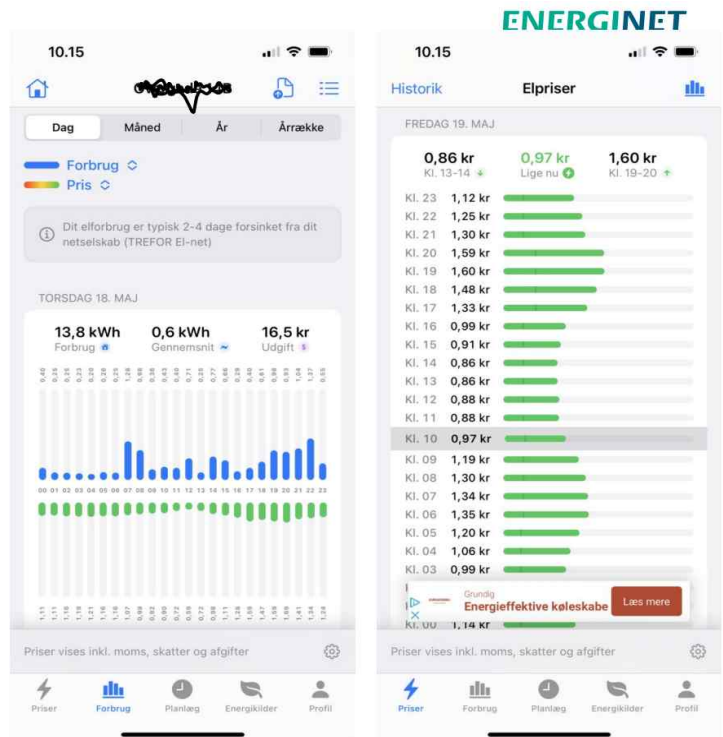


그림 6 덴마크 Min Strøm(My Power) 앱 화면

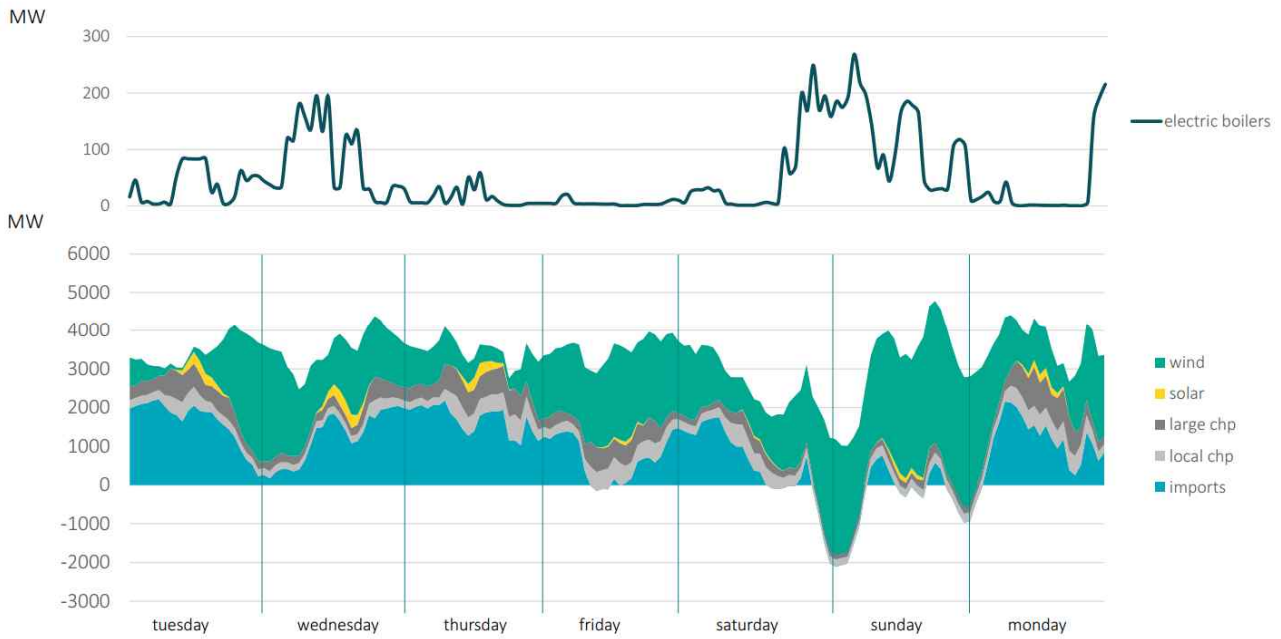


그림 7 전력 시장가격을 반영한 Power to Heat 활용 유연성 확보 예시

○ Balance Market

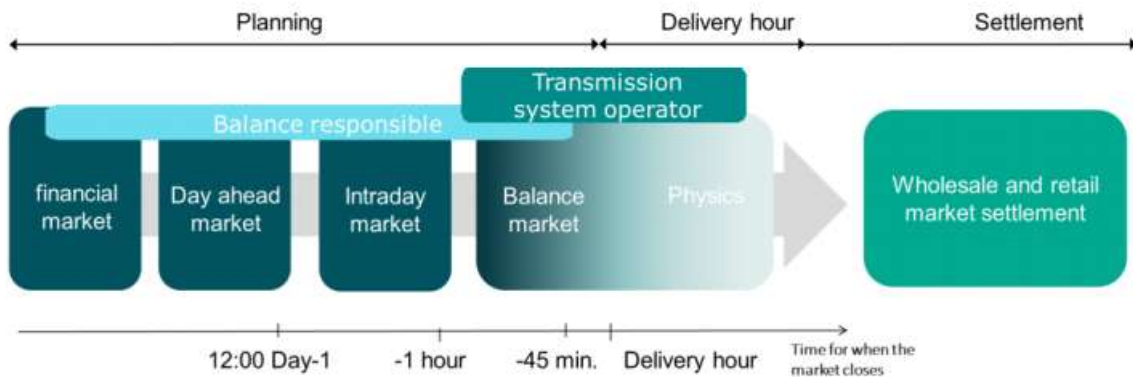


그림 8 덴마크 전력시장의 시간순 개요

- 덴마크 전력시장에서는 하루전 시장(Day ahead market), 당일시장 (Intraday market)과 실제 거래 시간 간의 변동성 및 오차에 대응하기 위한 Balance Market을 운영하고 있음
- Balance responsible는 전력 소비자와 생산자 양쪽에 모두 해당되며, 집합자원으로 Balance market에 참여하는 경우 일별 소비량(또는 발전량)과 그 비용을 예측하여 시장에 참여 가능

○ 보조서비스 참여 자원의 정의

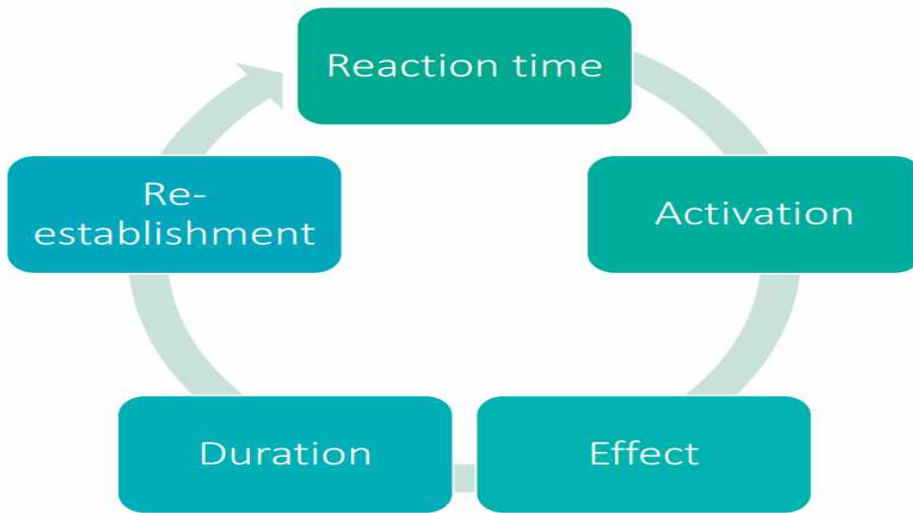


그림 9 보조서비스 참여 자원 정의 5요소

- 보조서비스 참여 자원 정의 5요소

- Reaction time : 자원의 반응 시작 속도(민감도)
- Activation : 자원의 반응 소요 시간
- Effect : 자원 활용 효과(자원의 용량)
- Duration : 자원의 활용 주기
- Re-establishment : 재사용 가능 소요시간(Restore)

- 자원의 특성에 따른 구분

DK1 (West Denmark)			
A / S	Full Form	반응속도	자원용량
FCR	Frequency Containment Reserve	↑	↓
aFRR	Automatic Frequency Restoration Reserve		
mFRR	Manual Frequency Restoration Reserve		
DK2 (East Denmark)			
A / S	Full Form	반응속도	자원용량
FFR	Fast Frequency Reserve	↑	↓
FCR-D	Frequency Containment Reserve-(Disturbance)		
FCR-N	Frequency Containment Reserve-(Normal)		
aFRR	Automatic Frequency Restoration Reserve		
mFRR	Manual Frequency Restoration Reserve		

표 1 보조서비스 시장 자원의 구분(DK1, DK2)

ANCILLARY SERVICES THE TECHNOLOGIES WHO DELIVER

ENERGINET



그림 10 덴마크 보조서비스 자원의 구성 예시

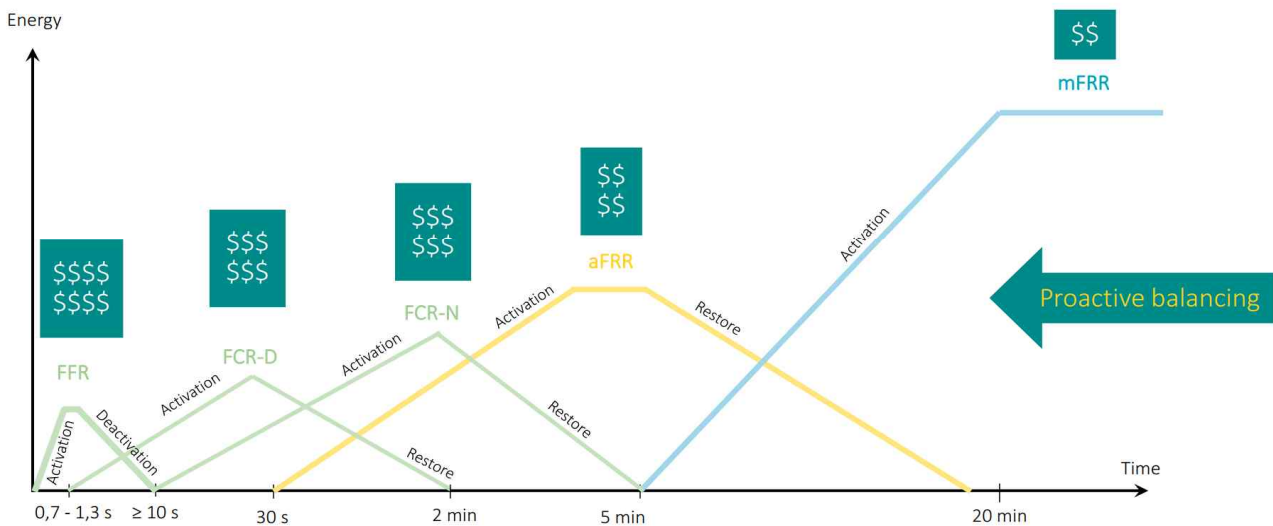


그림 11 보조서비스 자원의 동작 예시

○ Regulating Power Market

- Up, Down reserve에 대해 자발적 입찰을 진행
- 에네르기넷은 Regulating Power Market에서 Up regulation과 Down regulation(mFRR)을 확보(구매)함
- 이때 입찰 최소단위는 5MW이며, Activation time은 최소 15분 이내
- 운영시간 기준 45분 이전에 입찰시장은 닫힘

- mFRR의 입찰 명단은 NOIS(Nordic Operational Information System)에 모이게 됨

NOIS list (shows mFRR bids)

Grid: last refresh 20:57:10, day 11. maj 2020, hour 20-21

	Tick	Ear Mark	Target Price	Accumulated / MW	Price / EUR	Price / DKK	Amount / MW	ELSP OT Area
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	842	11,00	82,05	28	NO4
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	814	10,90	81,30	73	SE2
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	741	10,84	80,88	10	NO5
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	731	10,84	80,88	13	NO2
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	718	10,84	80,88	40	NO4
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	678	10,50	78,32	11	NO1
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	667	10,50	78,32	113	SE1
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	554	10,50	78,32	149	NO2
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	405	10,00	74,59	10	SE2
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	395	9,94	74,14	15	NO2
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	380	9,94	74,14	12	NO5
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	368	9,90	73,84	59	SE1
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	309	9,50	70,86	15	SE2
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	294	9,50	70,86	92	NO2
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	202	9,50	70,86	26	SE2
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	176	9,40	70,11	63	SE1
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	113	9,40	70,11	11	SE1
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	102	9,10	67,88	36	SE1
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	66	9,00	67,13	16	NO3
U	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50	9,00	67,13	40	NO4
p	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10	8,70	64,89	10	SE1
D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-6	15,00	111,8	-6	F1
o	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-38	12,80	95,47	-32	SE3
w	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-48	11,00	82,05	-10	SE3
n	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-86	10,40	77,57	-38	SE3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-101	8,00	59,67	-15	SE3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-111	7,70	57,43	-10	SE1
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-121	7,23	53,93	-10	SE2
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-131	7,00	52,21	-10	NO3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-184	7,00	52,21	-53	NO5
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-194	6,61	49,33	-10	SE1
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-267	6,33	47,18	-73	NO2
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-281	6,00	44,75	-14	NO3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-420	6,00	44,75	-139	NO5
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-550	5,50	41,02	-130	NO5
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-563	5,42	40,44	-13	NO2

그림 12 mFRR 입찰 화면 예시 (NOIS 입찰 명단)

○ 덴마크 전력시장의 마이너스 가격(Negative Price)

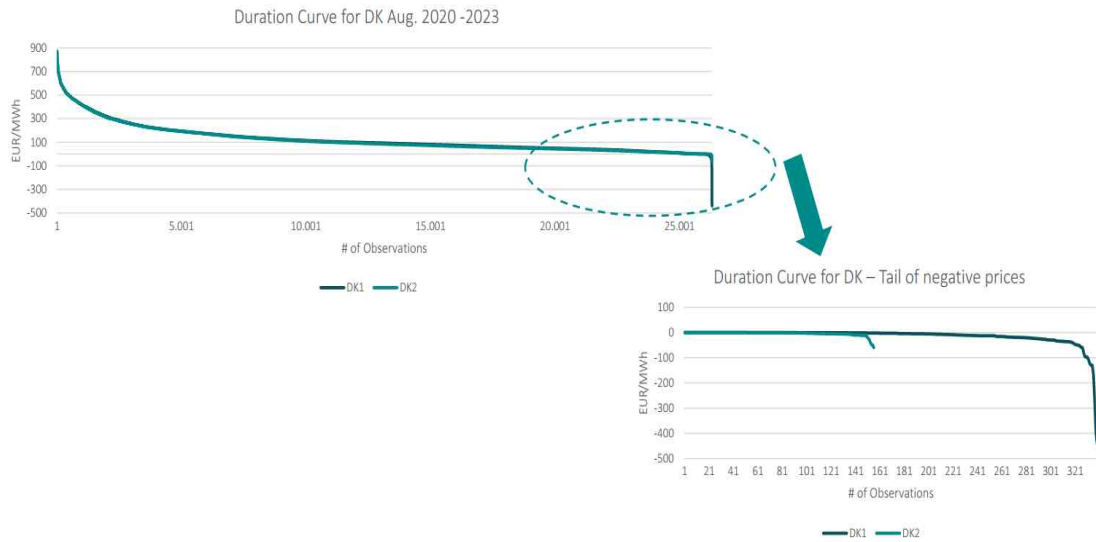


그림 13 덴마크 마이너스 가격 사례

- 덴마크 전력시장에서의 마이너스 가격 발생 원인으로는
 - 다양한 태양광 보급 보조금 사업으로 가정용 자가 태양광 발전이 널리 보급되었으며, 마이너스 가격에 노출되지 않음
 - 몇몇 친환경 에너지 발전 사업자의 경우 적은 마이너스 가격이 형성된 시간대에는 Green certificates 거래를 통해 수익을 낼 수 있어서 가격신호에도 불구하고 발전을 유지함
 - 화력발전의 경우, 불필요한 기동 비용을 피하고자 마이너스 가격에서도 낮은 부하로 운전을 유지하여 가격이 상승할 때까지 운전을 유지하기도 함

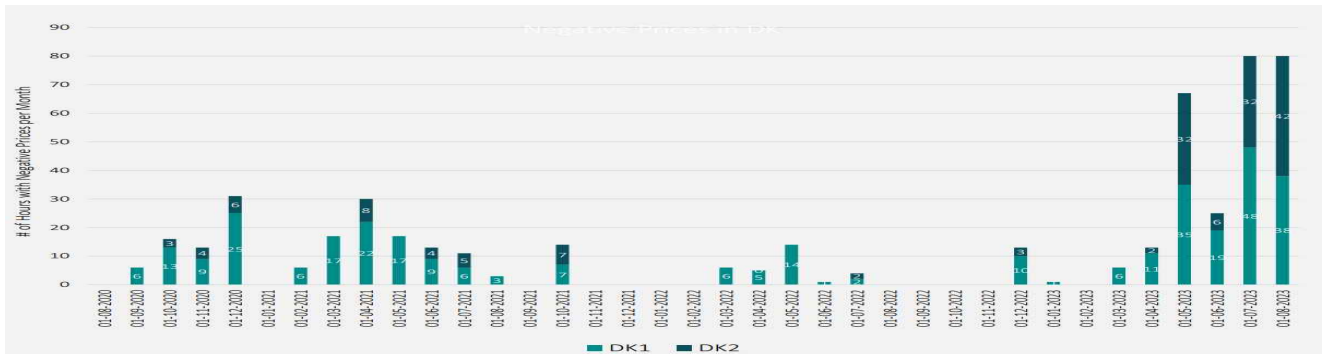


그림 14 DK1, DK2의 마이너스 가격 발생 시간

○ 풍력, 태양광 출력제어(Curtailment)

- 덴마크의 풍력, 태양광 출력제어는 전체 생산의 1% 수준
- 관련 법에 따라, 출력제어 관련 에네르기넷은 아래와 같이 수행함
 - 예정되어있지 않은 계통 혼잡으로 인한 출력제어에 대한 보상
 - 출력제어 이후 합리적 시간 내 전력생산 재개
 - 출력제어 보상은 시장가격과 전력생산 예측을 근거로 산정함
- 출력제어 및 시장 가격 경감을 위한 에네르기넷의 대응
 - 배전망 운영자와의 협업을 통한 능동적 계통 계획 수립
 - 디지털화 및 예측을 통한 그리드 활용 최적화
 - 시장기반 tool 사용을 통해 경제적으로 효율적이지 않은 상황을 제한하고 행정 비용을 절감

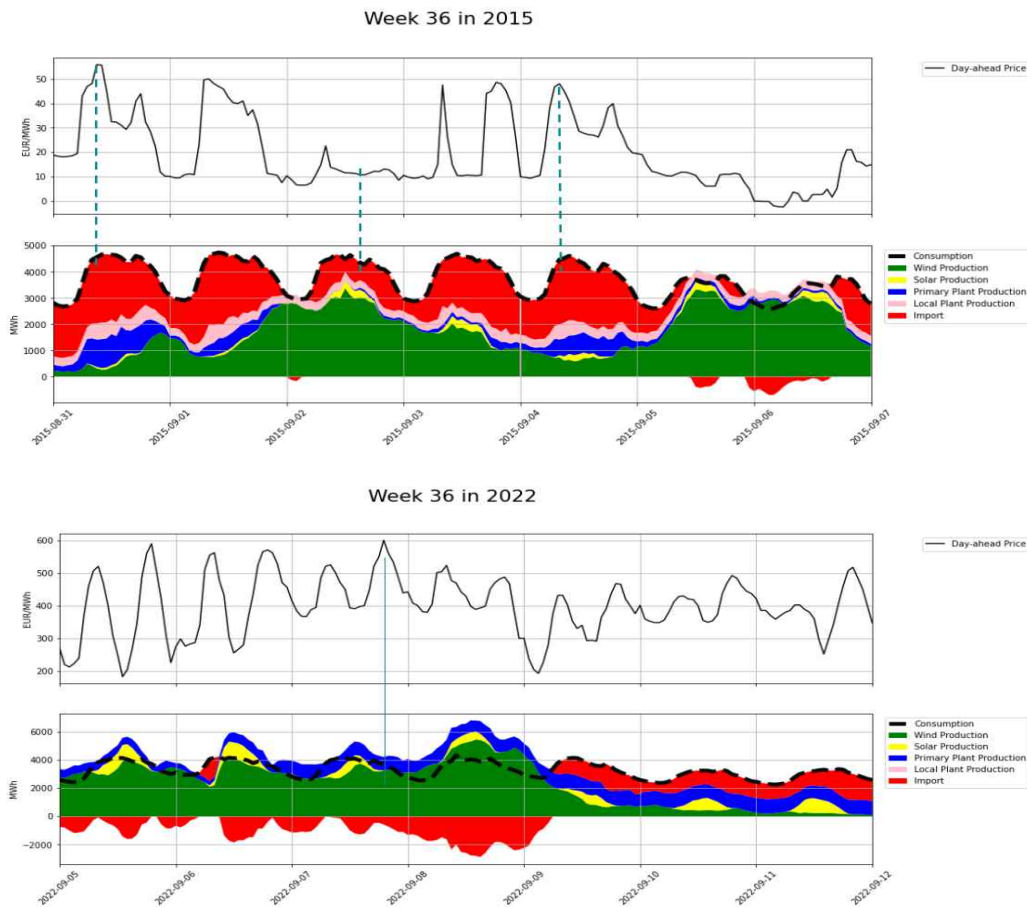


그림 15 하루전 시장 가격 및 수급 균형(DK1, 2015, 2022)

○ 경제적, 효율적 출력제어 관리(또는 회피)를 위해 보장되어야 할 3가지 이슈

1) 정보관리시스템은 가격 효율화를 위해서 많은양의 가격정보 및 발전기 정보를 취급할 수 있어야 함

- 시장에서의 가격정보는 분산화되어있지만, 중앙에서 관리되고 있음

2) 가격형성은 실제 전력소비, 전력생산에 대응하고 경제적으로 올바른 인센티브 제공을 위해 유연해야 한다.

- 시간 해상도는 단기적인 전력 시스템 변화에 대응하기 위해 충분히 높아야 함

- 가격은 충분한 유연성으로 시장의 내부에서 결정되어야 하며, 수요와 공급의 균형을 잡는 평형 가격으로 마이너스 가격을 허용해야 함

3) 모든 발전기들은 동일 출처의 전력가격을 향하고, 시장 참여자들은 모두 공통된 단일 시장의 구성이어야 함

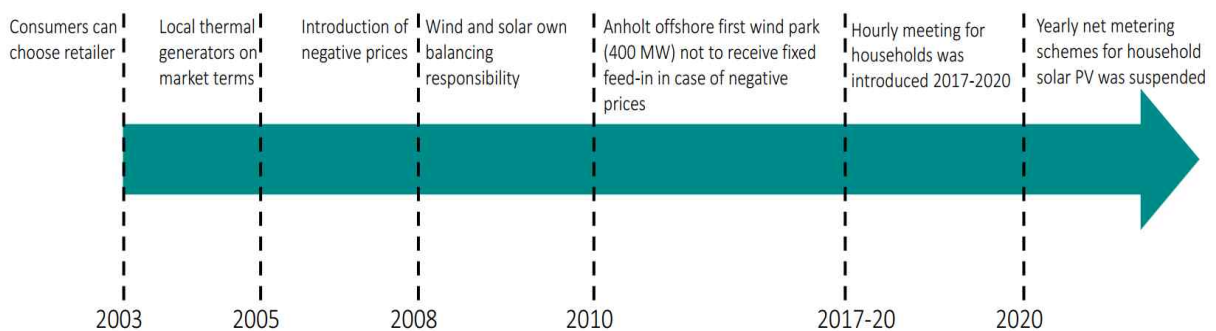


그림 18 덴마크 전력분야 유연성의 발전 흐름

□ 전기보일러 자원 특성 및 시장참여 사례(INOPOWER 방문)

- 전기보일러 부하조작은 전극을 활용한 물 가열 원리로 동작
 - 간헐적 가동 및 정지에도 기계적 데미지 無

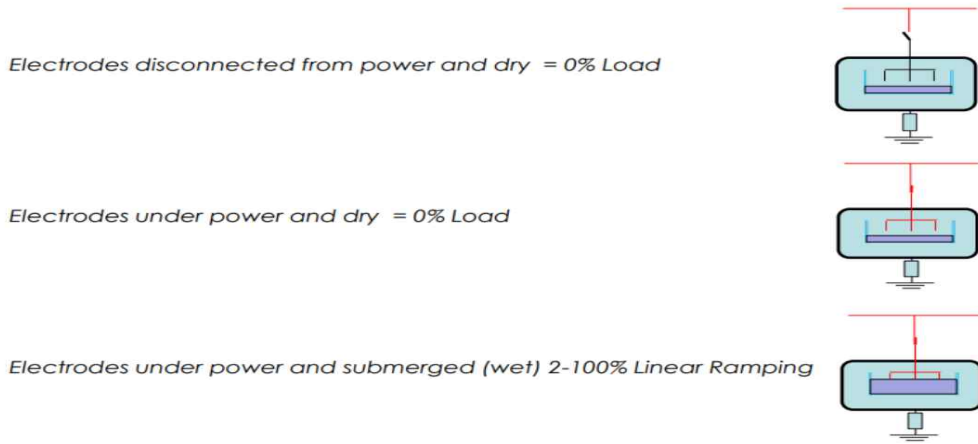


그림 19 Inopower사의 P2Heat 시스템 원리

○ P2Heat 자원의 시장참여 사례 조사

- Power Grid Balancing(Ancillary Services) 시장에 참여 중

- DK1 : FCR, aFRR, mFRR
- DK2 : FCR-D, FCR-N, FRR, aFRR, mFRR
- DK1, DK2의 모든 자원의 동작 특성 조건에 부합하여 필요에 따라 모두 참여 가능

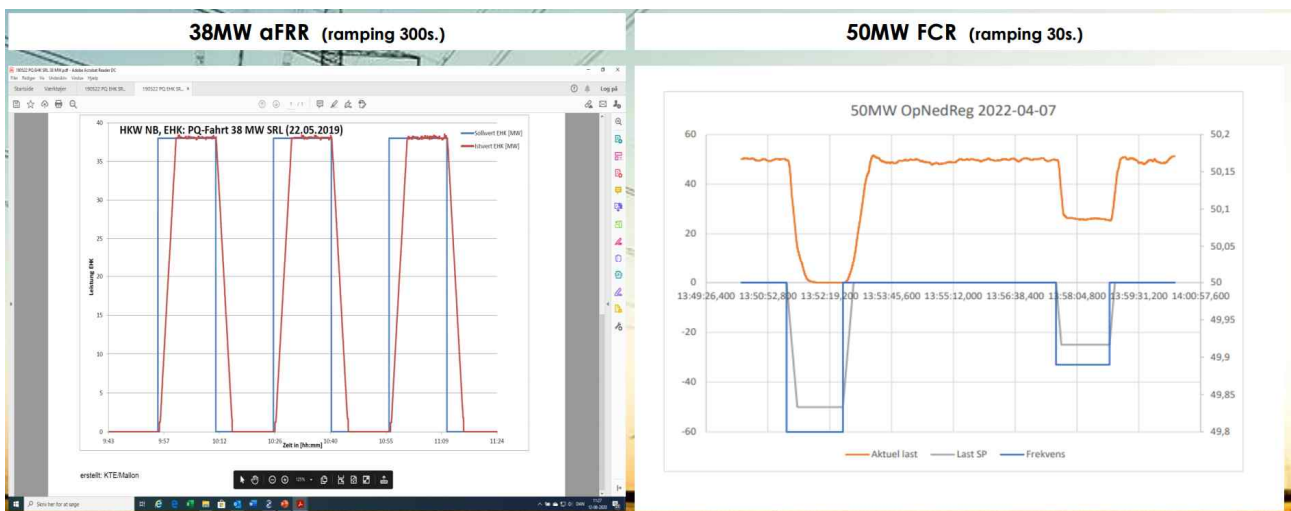


그림 20 보조서비스시장 참여를 위한 자원 동작특성 조건 시험화면

□ 덴마크 전력망에서의 수요반응(DEA, 덴마크 에너지청 방문)

○ 유연성 확보를 위한 3가지 방법

1) 요금(Tariff)를 이용한 간접적 방법

- TOU(Time-of-use) 계시별 계통 요금 적용
- 겨울과 여름에 각각 다른 요금 적용
- 각 그리드 회사마다 다르지만, 동일한 방법론으로 계산됨

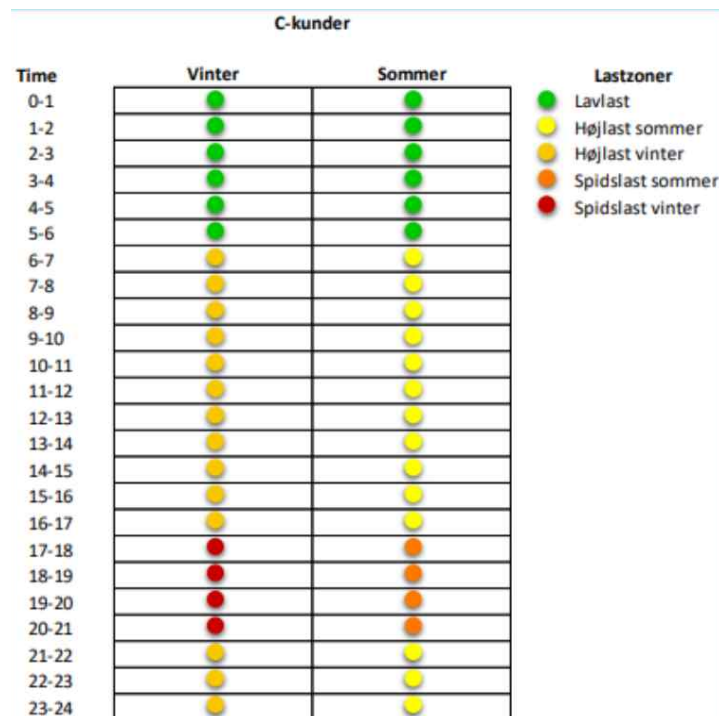


그림 21 계시별 계통 요금(Tariff) 예시

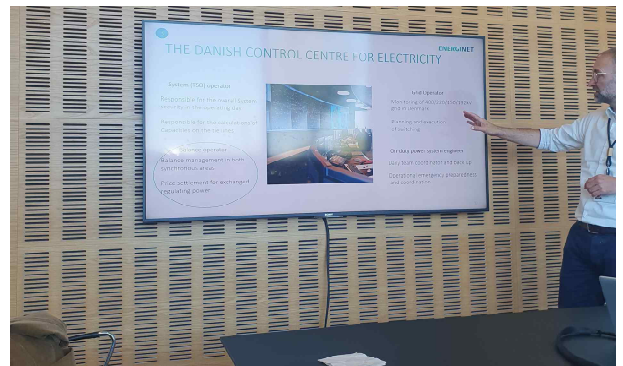
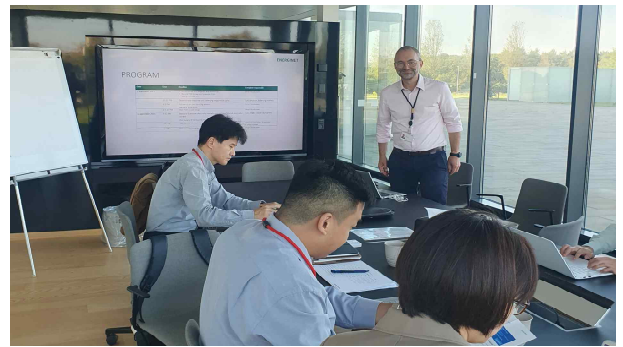
2) 차단가능 부하 고객과의 상호 계약

- 중·고압 접속 고객 대상으로 DSO 수준에서 체결 가능
- 그리드 회사가 지역 내 혼잡 분제를 겪을 경우, 고객의 전력 공급을 일시 중단
- 그리드 연결 비용이 거의 0원으로 감소함
- 에네르기넷은 송전망 요금 할인 방법을 덴마크 국립 규제기관 (NRA, National Regulatory Authority)에 제출함

3) 시장 기반 유연성 서비스(A/S 등)

3 주요 사진

① Energinet



② Inopower(eBoiler), Aalborg Forsyning(Utility, District Heating)





③ DEA

