

# KEMRI 전력경제 REVIEW



Vol.316

이전 Review 보기

2025년 6월호

## ▶ Issue Paper

- ❖ 지역 유연성 시장의 해외 운영 사례 조사 및 시사점

## ▶ Research Activities

- ❖ 대용량 고객을 위한 전기요금 설계 시 고려사항
- ❖ 에너지 안보 위기 해결을 위한 일렉트로테크(Electrotech)

# 【 Highlight 】

## 1. 지역 유연성 주목 배경

- 급격한 재생에너지 발전 비중 확대와 전력 수요의 전기화로 인해 새로운 도전과제에 직면
  - (간헐성 및 변동성 증대) 태양광, 풍력 발전과 같이 기후 환경에 의존하는 재생 에너지는 출력의 불확실성과 변동성을 내포
  - (계통 혼잡) 재생에너지 확대와 전기화에 따른 전력 수요 증가는 배전 계통 내 역조류 발생, 전압 변동, 혼잡 및 선로 손실 증가와 같은 문제를 야기
  - (지역 유연성) 이러한 문제에 대한 효율적이고 신속한 대안으로, 배전 계통에 이미 연계되어 있거나 향후 연계 예정인 분산에너지자원(DER)의 유연성을 제고하고 이를 활용하는 전략에 주목

## 2. 해외 동향

- 지역 유연성 자원을 설비대체(NWA) 및 혼잡관리(전압관리) 솔루션으로 활용하기 위해 서비스 상품을 개발하고 거래시장(또는 플랫폼) 개설 추진
  - 일정 규모 이상의 DSO를 운영 중인 국가(英, 美)는 기존의 전력시장과 분리된 거래 체계를 도입, ‘배전망 지원’ 목적으로 DSO의 독점적 사용 형태를 보임
  - 반면, 다수의 DSO가 운영 중인 경우, 지역 유연성 시장이 기존 도매시장에 통합되어 TSO의 접근이 허용되며, 송배전망 혼잡관리에 지역 유연성 자원이 활용됨

구 분	영 국	프랑스	미 국	네덜란드	독 일
사 용 목 적	· 배전망 신설·보강 대체 및 이연(NWA) · 배전망 계획정전 및 고장정전 백업			송배전망 혼잡비용 저감	
계 약 형 태	용량 보상 기반의 <b>장기계약</b> (DSO 독점) ※ (최장 계약기간) 영국 7년, 프랑스 3년			<b>단기거래</b> (TSO&DSO 공동) ※ (독일) DSO 우선 사용	
시 장 형 태	독립시장 가격경쟁	가격규제		도매시장에 통합 (당일)	
운 영 주 체	제3자 (Piclo)	DSO		제3자 (증개) GOPACS (거래) ETPA	(거래) EPEX

## 3. 주요 시사점

- 지역 유연성 시장 도입목적 명확화 필요
  - 국내 실정에 맞는 지역 유연성 시장 설계를 위해서는 시장 도입 방식, 계약 기간, 기존 시장과의 관계, 정산 방식 등을 검토하고 결정되어야 함
- 최소 수익보장 등 유연한 제도 설계로 시장참여 유인책 마련
  - 초기의 지역 유연성 시장은 시장 이해도 부족, 불확실한 수익성 등으로 인해 사업자의 참여가 저조할 수 있어, 유연한 제도설계로 원활한 시장안착 유도 필요

# 【 목 차 】



## Issue Paper

### ■ 지역 유연성 시장의 해외 운영 사례 조사 및 시사점

- 허 훈 차장

I . 배경 .....	1
II . 해외 주요국의 지역 유연성 시장 운영 사례 .....	4
III . 해외 주요국 조사 결과 종합 .....	11
IV . 시사점 .....	12



## Research Activities

I . 대용량 고객을 위한 전기요금 설계 시 고려사항 .....	14
II . 에너지 안보 위기 해결을 위한 일렉트로테크(Electrotech) .....	18

## Research Issue : 지역 유연성 시장의 해외 운영 사례 조사 및 시사점

### I. 배경

- 국내 전력 시스템은 급격한 재생에너지 발전 비중 확대와 전력 수요의 전기화(전기차, 히트 펌프 등)로 인해 새로운 도전과제에 직면

○ (재생에너지의 간헐성 및 변동성 증대) 태양광, 풍력 발전과 같이 기후 환경에 의존하는 재생에너지는 출력의 불확실성과 변동성을 내포하고 있어, 전력 계통 운영자가 수급균형을 유지하고 주파수를 제어하는 데 어려움을 겪고 있음

○ (계통 혼잡 및 설비 용량 포화) 재생에너지 확대와 전기화에 따른 수요 증가는 배전 계통 내 역조류 발생, 전압 변동, 혼잡 및 선로 손실 증가와 같은 문제를 야기하며, 배전 계통 운영의 복잡성을 심화시킴\*

\* 제주 및 호남 지역에서는 재생에너지 출력제어가 빈번하게 발생

○ (전통적인 계통 보강 방식의 한계) 기존에는 송배전망 신설 또는 증설과 같은 인프라 확장 위주로 대응했으나, 이러한 방식은 막대한 건설 비용과 사회적 비용을 수반하며, 장기간의 시간 소요, 주민 민원 유발 등 장애요인에 직면

- 특정 시간대나 계절에 집중되는 재생에너지 발전 특성을 고려하여 설비 용량을 비례적으로 확장하는 것은 비용 효율적이지 않아 이를 대체할 수 있는 '유연성'이 주목받고 있음

\* 전력계통의 특정 구역에서 송배전망 사업자(T&DSO)가 필요로 하는 시점, 기간에 분산형 자원의 출력이나 부하의 수요를 조정하는 능력

○ 상기 이슈에 대한 효율적이고 신속한 대안으로, 배전 계통에 이미 연계되어 있거나 향후 연계 예정인 분산에너지 자원(DER)의 유연성을 높이고 이를 활용하는 방안에 주목

○ ESS, 수요 반응 등 지역 유연성이 지역망의 선로 혼잡, 전압 변동 등의 문제를 해결하는 데 기여하도록, 시장 메커니즘을 통해 지역 유연성에 금전적 가치를 부여하고 거래를 촉진

○ 해외 주요 전력망 회사는 배전단 분산자원의 유연성 발굴 및 상품화\*를 통해 분산 에너지 자원이 야기하는 문제에 대응하려고 노력 중

\* 사업자가 계통 운영자의 요청에 따라 유연성(출력감발, 수요반응 등)을 계통에 제공할 수 있도록 제도·시스템적 기반을 마련

### 연계망의 종류 및 서비스 제공 대상에 따른 분류

\* ①, ② 계통 유연성 자원 / ③ 지역 유연성 자원

① (<sup>T</sup>DER\*→TSO) 송전망 연계 유연성 자원이 송전계통(TSO)에 제공하는 유연성

\* 송전망(Transmission Line)에 연계되는 분산전원(Distributed Energy Resource)

- TSO가 전체 계통의 안정적인 수급균형을 유지하기 위해서는 수급균형 유연성(balancing flexibility)이 요구되며 도매전력시장의 상품으로 거래

② (<sup>D</sup>DER\*→TSO) 배전망 연계 유연성 자원이 송전계통(TSO)에 제공하는 유연성

\* 배전망(Distribution Line)에 연계되는 분산전원

- 배전단에서 전체 계통 단위의 수급균형을 위한 유연성을 제공하는 경우로 분산형 자원의 도매 전력시장 참여가 전제되어야 함

- 송전계통의 안정적인 운영을 위해 분산형 자원이 유연성을 제공하는 과정에서 발생할 수 있는 배전계통 내 문제를 해소하기 위해서는 TSO와 DSO 간 원활한 협조 운영(coordination) 체계 필요

③ (<sup>D</sup>DER→DSO) 배전망 연계 유연성 자원이 배전계통(DSO)에 제공하는 유연성

- 주로 배전계통의 전압제어, 선로혼잡 관리 및 손실 감소를 목적으로 하며 배전 계통 특정 구역에서 DSO가 필요로 하는 시점, 기간에 분산형 자원의 출력이나 수요를 조정하는 방식으로 구현

### 자원 유형에 따른 유연성 분류

① (공급측 유연성) 분산 발전원과 ESS의 조합, 최적 운전 등을 통해 송배전 계통에 수급균형 유연성, 정전시 백업전원과 같은 서비스 제공

② (수요측 유연성) 일반적으로 수요반응(DR)을 통해 확보, 대규모 산업용 소비자를 대상으로 하는 수요반응 서비스는 상품화되어 이미 전력시장에서 거래

③ (계통측 유연성) 계통 토폴로지의 최적화를 통해 규정전압을 유지하고, 전력흐름을 균등하게 분배하는 능력으로, 주로 배전망의 공급능력을 향상시키는 데 활용

- 해외 주요국에서는 재생에너지 확산으로 인한 전력 계통의 유연성 확보 필요성을 인식하고, 이를 위해 ‘지역 유연성 시장’을 도입하여 운영

## 1. 유연성의 정의 및 범위

- (유연성, Flexibility) 계통 운영 조건의 가변적이고 예상하지 못한 변화에 대응하여 발전 출력 또는 소비 패턴을 조정할 수 있는 능력
  - (계통 유연성, System Flexibility) 송전 계통 운영자(TSO)가 전체 계통의 안정적인 수급 균형(주로 주파수 유지)을 위해 요구하는 유연성으로, 도매 전력시장에서 거래
  - (지역 유연성, Local Flexibility) 특정 지역에서 국지적으로 발생하는 전압 변동, 선로 혼잡, 망 제약 등의 문제 해결을 위해 배전 계통 운영자(DSO)가 요구하는 유연성으로 배전망에 연계된 분산 에너지 자원과 수요 자원이 주로 공급을 담당

### | 유연성 자원 구분 |

구분	(TSO 활용) 계통 유연성 자원	(DSO 활용) 지역 유연성 자원
정의	송전망에 연결되며 수요·출력 조절을 통해 <b>광역계통 신뢰도 유지 지원</b>	배전망에 연결되며 수요·출력 조절을 통해 <b>지역계통 안정적 운영 지원</b>
목적	송전망 주파수, 계통 수급균형 유지 등 계통의 안정적 운영	배전선로 과전류·전압, 전압변동 완화 등 지역망 제약 해소

## 2. 지역 유연성 시장의 이해관계자

- (유연성 공급자) 발전출력, 전력소비 패턴조정을 통해 계통에 유연성을 공급
  - (어그리게이터(Aggregator)) 태양광, 풍력, ESS, 전기차, 수요 반응 등 다양한 분산 에너지 자원을 모아 관리하고 운영하며 시장에 유연성을 제공
  - (분산 에너지 자원 고객 또는 프로슈머) 소형 태양광, ESS, 시간대별 소비량 조정이 가능한 소비자 등 개별 고객이 어그리게이터를 통해 시장에 참여
- (유연성 수요자) 유연성 서비스를 필요로 하고 구매하는 주체
  - (배전 계통 운영자, DSO) 해외 지역 유연성 시장에서 가장 중요한 구매자 중 하나로 배전망 내 역조류, 혼잡, 전압 상승 등의 문제를 해결하고 망 보강 투자를 지원 또는 대체하기 위해 유연성을 구매
  - (수급 균형 책임자) 전력의 공급과 수급 균형 확보에 대한 책임을 가지며, 불균형 패널티를 피하기 위해 유연성을 구매
  - (플랫폼) 수요를 발견하고 공급자에게 공지하며, 수요와 공급을 매칭하고(주로 가격 기준 경쟁 입찰), 공급자의 유연성 제공 실적에 따라 대금을 정산하는 역할을 수행

### 3. 지역 유연성 시장에서 제공하는 서비스 및 거래 상품

- (계획관점) 망 설비 신·증설 투자 이연 및 대체 목적으로 배전 계통 계획 단계에서 최적의 투자 시기가 될 때까지 투자를 연기하거나 완전히 대체
- (운영관점) 전력 수요 증가(수요 혼잡) 또는 재생에너지 지역 편중/대단지 발전(공급 혼잡)으로 인한 계통 과부하 위험을 유연성 자원 활용으로 해소

## II. 해외 주요국의 지역 유연성 시장 운영 사례

### ■ 국가별로 전력산업 구조, 직면한 이슈 등이 상이해 지역 유연성 활용 체계가 다양

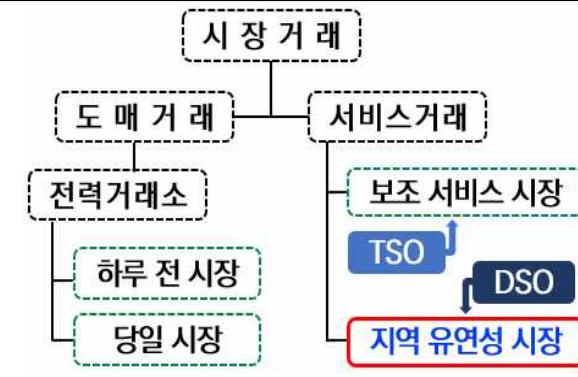
- (NWA/계획 중심) 영국, 미국, 프랑스는 주로 배전망 설비 대체 및 신·증설 투자 이연 등 망 용량 확보 및 투자 효율화를 목적으로 지역 유연성을 도입
  - 주로 장기간의 용량 계약 위주로 지역 유연성 상품이 구성되며, 독립된 서비스 시장 또는 플랫폼을 개설하여 유틸리티(DSO) 주도로 운영
- (실시간 혼잡 대응 중심) 네덜란드, 독일은 주로 상위 계통(송전망)의 혼잡 발생 시 실시간에 가까운 혼잡 관리를 목적으로 지역 유연성을 활용
  - 기존 도매 전력 시장(당일 시장)에 지역 유연성 시장을 포함하거나 독립 시장으로 운영하며, 단기 계약 위주로 유연성을 사용, TSO와 DSO 간 협력체계 연구 활발

### 1. 영 국

### ■ 배전단에 집중된 분산자원으로 인해 혼잡(설비부족)이 발생하는 경우, 이를 해소하기 위한 설비 증설을 대체 또는 이연할 목적으로 지역 유연성 자원을 활용

- 2017년 Ofgem\*은 ‘스마트 시스템 및 유연성 계획’\*\*의 일환으로 비용 효율적인 배전 네트워크 보강을 위해 지역 유연성 자원에 집중
  - \* (Office of Gas and Electricity Markets) 영국 전력 및 가스 시장 관련 독립규제기관
  - \*\* 고신뢰·유연 네트워크 구현을 위해 29가지 정책을 제언, 지역 유연성의 필요성 강조
- 유연성의 효율적이고 표준화된 모집·거래 체계를 마련하기 위해 기존의 도매시장과 분리된 지역 유연성 시장(Piclo\*)을 개설
  - \* DSO의 망 보강을 대체하거나 이연시킬 수 있는 지역 유연성 자원 모집 플랫폼으로, WPD(배전망 사업자)가 Ofgem의 자금지원을 받아 초기 모델을 개발

## | 英, 지역 유연성 시장 |



## | Piclo 화면 |



※ 총 10GW의 유연성 자원이 참여 중이며 전국적으로 약 1,200개의 희망 지역이 등록되어 있음

- DSO\*는 Piclo를 이용해 설비 증설 대체, 전기품질 유지 등에 필요한 지역 유연성 상품을 구매(장기계약)하고 거래 비용을 정산

\* 영국은 총 6개의 대형 배전망 사업자(평균 고객수 700만)가 전국 배전 네트워크를 운영

- 지역 배전망 유털리티는 건설·운영 계획수립 단계에서 지역 유연성 자원을 포함하여 비용 효율성이 가장 우수한 계획을 선정하고, 필요한 지역 유연성 정보(장소, 시기, 종류 등)를 Piclo에 등재
- 시장에서는 예측 가능한 상시 피크부하 대응을 위한 배전망 용량 확보, 비상시 백업 전원 마련을 통한 배전망 제약 대응 등 표준화된 지역 유연성 서비스(4종)가 거래되고, DSO는 해당 시장을 통해 서비스 제공자와 계약을 체결하고 사용 대가를 정산

## | Piclo에서 거래되는 유연성 서비스 |

구분	(상시) 배전망 용량 확보		(비상시) 배전망 제약 대응	
	계획적 혼잡해소	공급지장 회피	사후 혼잡해소	공급지장 회피
이용 목적	설비증강 회피 (피크수요 저감)	계획된 정전 등 공급지장 예방	배전망 이상시 발생할 수 있는 공급지장(량) 회피 및 저감	
이용 시간	계획된 시간 (예. 매일 13시~)	필요한 경우 (예. OO일 13시~)	배전망 설비고장 발생 이후 (이용 15분 전 공지)	
최소 용량	10kW	50kW	10kW	50kW
대가	이용요금* (파운드/MWh)	가용요금** (파운드/MW)	가용요금 (파운드/MW)	이용요금 (파운드/MWh)

\* 이용요금(Utilization payment) : 실제 에너지를 전력 계통에 공급한 것에 대한 대가

\*\* 가용요금(Availability payment) : 계약을 맺은 지역 유연성 용량에 대한 대가. 이용요금에 추가됨

- 처음에는 규제기관의 감독 아래 DSO가 해당 시장을 운영하였으나, 참여 자원 증가에 따른 복잡성 가중, 중립성 이슈 부각으로 인해 현재는 제3의 독립기관이 운영

## 2. 미국

- 미국은 노후한 송배전 설비를 업그레이드하고 분산자원이 야기하는 문제에 비용 효율적으로 대응할 수 있는 NWA<sup>\*</sup>로 활용할 수 있는 지역 유연성 시장에 주목

\* 전력망 건설 대안(Non-Wire Alternatives) : 송배전망, 변전소 등 전력설비의 물리적인 보강 없이 기존 전력망 보강에 준하는 효과를 가지는 보완 기술·제도

- 송배전 설비 증설에 필요한 과도한 투자비는 망사업자에 부담으로 작용
- 규제기관은 망사업자의 비용 효율적인 설비 투자를 유도하기 위해 의무적으로 NWA를 고려하도록 하고 유틸리티는 분산 자원 모집을 위한 전용 플랫폼·제도 운영
- 배전회사는 자체적인 입찰 기반의 지역 유연성 자원모집 플랫폼을 개설하여 운영하고 정부는 규제를 통해 공정한 거래 질서를 확립하기 위해 노력

- PG&E(캘리포니아 송배전 회사)는 지역 유연성을 고려해 장기 배전망 계획<sup>\*</sup>을 수립하며, 필요한 유연성 자원을 자체 플랫폼을 통해 모집
 

\* (DIDF, Distribution Investment Deferral Framework) 캘리포니아 주정부는 배전회사의 '장기 배전망 계획' 검토에 유연성 자원의 활용 수준을 평가
- SCE(남부 캘리포니아 배전회사)는 상용 자산관리 프로그램(Power Advocate)을 사용하여 유연성 자원을 모집하고 계약을 체결

### | SCE 모집대상 (출처. SCE '23. 9 공고) |

Project Description	Location(s) of Need(s)	Distribution Service Required	Operating Date	Cost of Traditional Mitigation (\$)	Max 10-year Capacity Need (MW)	Max 10-year Energy Need (MWh)
New 프로젝트 개요 at Valley Substation	Ethanac 12kV Jerry 12kV	Capacity	6/1/2026	2.59M	4.0	17.9
Upgrade 2 Transformers at Washington Substation	배전망 위치 66/12 kV	Capacity	6/1/2026	4.14M	12.1	69.1
Upgrade Transformer at Vail Substation	Vail 66/12 kV	필요 자원	6/1/2026	2.14M	15.0	76.9
New Transformer at Aqueduct Substation	Aqueduct 115/12 kV	Capacity	5/1/2026	4.88M	3.4	23.3
New 12kV Circuit at Chino Substation	Phantom 12kV	Capacity	5/1/2026	보강 비용	필요 용량(MW)/에너지(MWh)	
New 12kV Circuit at Mira Loma Substation	Danish 12kV	Capacity	6/1/2026	3.85M		

※ 10년 이내 피크부하가 한계 전송용량을 초과할 것으로 예상되는 배전망에 대해 감축이 필요한 용량, 참여를 위한 최소 기술 요구 조건 등을 공지

### 3. 프랑스

- 프랑스는 배전망 운영자가 시장 메커니즘을 통해 지역 유연성을 활성화하는 등 배전망 설비 신·증설의 비용 효율적인 대안으로 지역 유연성에 주목
  - 프랑스 에너지법 322-9조에 따르면 배전망 사업자는 지역 유연성을 활용했을 때 망 계획·건설의 비용 효율성 개선이 가능할 것으로 판단되는 프로젝트 정보(위치, 용량, 기간 등)를 공개해야 함('19년)
  - Enedis\*는 내부 보고서\*\*를 통해 지역 유연성의 사용 사례를 소개하고 향후 배전망의 비용 효율성을 개선하기 위해 유연성 활용 계획을 발표
    - \* 프랑스 국토 95%에 해당하는 배전망을 관리하는 DSO(EDF의 자회사)
    - \*\* 「에너지 전환 및 배전 네트워크 성능을 제공하는 유연성('19)」에 따르면 전력망 투자 대체·이연을 통해 2030년까지 최대 24,000유로/MW의 가치를 창출할 수 있음
- 영국의 Piclo와 유사한 목적의 지역 유연성 입찰 거래 플랫폼 운영 중
  - DSO는 지역 유연성의 시장 참여기회를 해당 플랫폼에 공개하고 시장 참여자의 입찰건을 평가, 기준 충족 시 유연성 공급자와 사용계약
  - 아직은 초기 단계로 시장에 참여하는 지역 유연성이 많지 않아 지금까지 계약 체결 실적이 3건에 불과함. DSO가 해당 플랫폼을 직접 운영
    - ※ 프랑스는 ‘강건한 배전망’을 보유하고 있는 것으로 알려져 있어 지역 유연성 자원의 시장 참여기회가 많지 않고, 시장에 참여하더라도 계통 유연성(TSO 운영) 시장에 비해 경제적인 이득이 부족하다는 분석 결과가 존재함
  - \* 망이 충분하여 고장 등 외란으로 인한 영향이 적고 전송 능력에 여유가 있음을 의미

#### | 지역 유연성 거래 플랫폼 |



(공고예시)

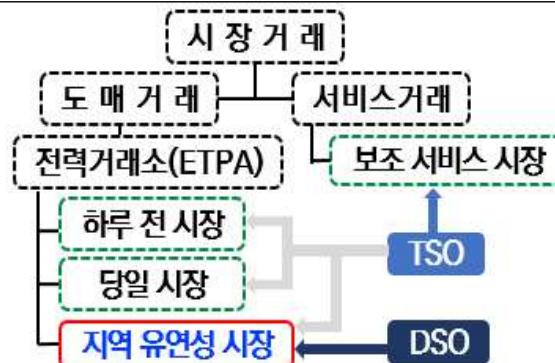
- 지역/기간 : OO/3년
- 유연성 : 상향 (증발 또는 수요반응)
- 이용기간 : 9월~5월 매일
- 이용시간 : 오전 2시~오전 11시
- 최소전력 (동작시간) : 0.5MW(30분)

\* Enedis는 필요한 유연성의 요구량, 동작시간, 계약기간 등과 함께 구매 희망 구역을 공개

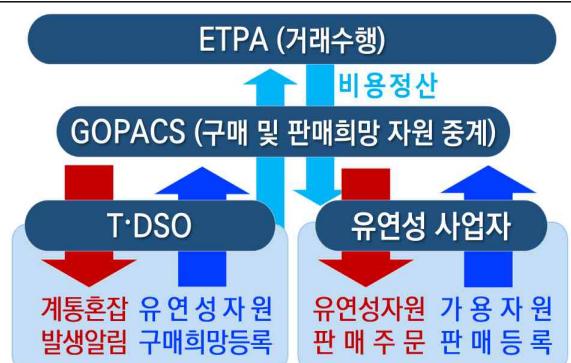
#### 4. 네덜란드

- 특정 지역의 배전망에 집중된 EVC, 태양광 발전원은 송배전망 혼잡 이슈를 야기하여 과도한 혼잡비용을 유발하므로 이에 비용 효율적으로 대응하기 위해 지역 유연성 자원에 집중
  - ENTSO-E\*는 지속 증가하는 대규모 재생에너지와 급증하는 데이터 센터 및 EVC 충전 부하 등 전기화 추세에 현재의 네트워크 및 시장 체계로는 대응이 어려울 것이라고 경고 하였으며, 이에 네덜란드의 전력망 유틸리티는 지역 유연성 시장 도입을 추진
    - \* (European Network of Transmission System Operators for Electricity) 유럽의 전력망 운영자 협의체, 유럽 전역의 전력 계통의 안정성과 효율성을 관리
  - 네덜란드의 TSO, DSO는 네트워크 혼잡을 사전에 예측, 해결하기 위해 송배전망 혼잡관리 도구(GOPACS\*)를 개발·운영('19년)
    - \* (Grid Operators Platform for Congestion Solutions) 특정 구역에서 송배전망의 용량 초과를 계산·예측하고 필요한 유연성 자원을 제시·모집하는 플랫폼
  - 네덜란드 TSO와 DSO는 GOPACS를 이용해 실시간으로 혼잡이 발생할 것으로 예측되는 계통을 파악하고, 필요 유연성 구매 계획을 공지\*, 플랫폼은 TSO·DSO와 판매 희망 자원을 중계하며, 실제 거래는 거래소(ETPA\*\*)에서 수행
    - \* 전력망 운영자는 유연성이 필요한 시점 기준 6시간 전에 유연성 구매 계획을 발표
    - \*\* (Energy Trading Platform Amsterdam) 암스테르담 지역전력거래 플랫폼
  - 혼잡이 발생(예측)하면 유틸리티는 필요 유연성 구매 희망 접수, 동시에 정상 지역의 판매희망 사업자를 모집하여 혼잡 완화 및 수급 균형 유지에 활용
    - ※ 일반적으로 판매가격이 구매가격보다 높게 형성되어 차액은 요청자(망운영자)가 부담
  - 제약이 발생할 때 최대한 실시간에 가깝게 유연성을 확보하기 위해 기존 시장 플랫폼인 ETPA의 당일 시장에 GOPACS 플랫폼을 연계

#### | 네덜란드, 지역 유연성 시장 |



#### | GOPACS 동작 예시 |



- 실시간에 가깝게 유연성을 확보하기 위해 당일 시장에서 거래 가능한 ‘혼잡관리 상품(3종)’을 구성

#### ■ GOPACS에서 거래되는 혼잡관리 상품(3종) ■

구 분	주요 내용
재급전 입찰 (당일)	혼잡으로 인해 당일 전송수요를 제한해야 하는 경우 발전량 및 소비량을 실시간으로 조정하기 위한 서비스
재급전 의무 입찰 (당일)	계약기간 및 합의 조건에 따라 GOPACS에서 급전 요청이 있는 경우 즉시 입찰을 의무적으로 제출
용량제한계약 (요청 시 대응)	사전에 합의된 시간에 계약된 용량으로 전송 제한

- **GOPACS는 독립된 전력시장 운영자가 운영하고 있으며 해당 시장을 통해 TSO와 DSO는 공동으로 유연성을 조달**

- 약 500개의 유연성 공급자가 플랫폼에 등록 후 활동하고 있으며, 주로 60MW 미만의 용량을 가진 상업, 주거시설의 수요자원 중심

#### ■ 사용된 유연성 서비스 실적 ('21년) ■

구 분	TenneT (TSO)	Liander (DSO)	Enexis (DSO)
활성화된 유연성 총규모 (MWh)	142,997.6	111.3	24.8
총비용 (천 유로)	45,014	52	16
활성화된 유연성 평균비용 (유로/MWh)	314.8	467.2	645.2

- Liander 등 DSO의 MWh당 유연성 조달 비용은 TSO(TenneT) 대비 1.5배 이상인데, 이는 배전망의 전기적 연계성이 낮아 DSO가 제약해소에 도움을 줄 수 있는 유연성 자원을 선택할 수 있는 폭이 넓지 않기 때문임
- 다양한 유연성 자원의 시장 참여를 유도하기 위해 거래 플랫폼을 EPEX SPOT\*으로 확장('23.9) 후 활성화 추진 중

\* EPEX SPOT(통합 유럽 전력거래소) 13개국의 전력시장(당일 전력시장 포함)을 운영

## 5. 독일

- 주요 발전지역(북부)과 소비지역(남부) 간의 거리가 멀고 설비증설 자연으로 인한 출력제한이 빈번하게 발생하여 보상 등 혼잡 관리 비용 급증
  - 2021년 기준 출력제한에 따른 보상 청구액은 2020년 대비 약 4,600만 유로가 증가한 8억 700만 유로로 지속적인 증가 추세
  - 설비보강, 증설을 통한 혼잡 대응으로 과도한 투자비가 유발\*됨에 따라 혼잡 관리 비용을 감축하기 위해 지역 유연성 시장 메커니즘 도입
- \* 독일 네트워크청은 2028년까지 배전망 투자에 약 111억 유로가 필요한 것으로 전망
- 지역 유연성 시장을 도매시장(EPEX SPOT)에 포함시키고 TSO와 DSO는 필요시 시장에 참여한 지역 유연성 자원(20kV 이하)과 계약
  - ※ 영국이 기존의 도매시장이 아닌 독립된 서비스 시장 플랫폼(Piclo)을 도입한 것과 차이 존재
  - 배전계통 혼잡 관리뿐만 아니라 송전계통 혼잡관리\*에도 지역 유연성 자원을 이용할 수 있으므로 TSO(TenneT)도 유연성 구매자로서 참가
  - \* 2021년 DSO가 내린 배전단 재생에너지 출력제한 조치(3.6TWh)의 73%가 송전 제약에 기인
  - 네덜란드와는 달리 지역 유연성 자원을 DSO가 우선적으로 활용할 수 있도록 하고, 사용계획이 없는 자원은 TSO 시장에 개방
  - 지역 유연성 시장 영역은 현재 20kV 변전소 단위로 구분되어 설정, 운영되고 있으며, 혼잡 발생 지역이 늘어남에 따라 지역 유연성 시장 운영 지역도 증가 추세
  - ※ 현재 23개 지역시장 운영 중
- 특정 계통 운영자가 입찰·낙찰 내역 등 데이터를 독점하는 것을 예방하기 위해 플랫폼(SDSP\*)을 통해 관리·감독
  - \* (Smart Data and Service Platform) 독일 정부가 개발한 데이터 활용 및 관리 플랫폼
  - 독일은 새로운 플랫폼 개발을 통해 ‘지역 유연성 시장’ 도입을 추진했던 영국 (Piclo), 네덜란드(GOPACS)와 달리 운영 중이던 도매시장 기반으로 지역 유연성 시장에 접근하고 있으며 ‘정부차원의 추가적인 규제를 통해 소수 유연성 공급업체의 독과점 제한, 전략적인 지역 유연성 가격 인상(Inc-Dec gaming\*) 행위를 감독
  - \* 재생에너지 발전사업자가 의도적으로 발전량을 증가시켜 혼잡을 유발한 후 높은 가격으로 유연성 제공

### III. 해외 주요국 지역 유연성 시장 운영 사례 조사 결과 종합

#### NWAs 목적의 지역 유연성 (영국, 미국, 프랑스)

- 영국, 미국, 프랑스는 지역 유연성 자원을 배전망 계획 단계부터 고려하며, 투자 효율화를 위한 배전망 설비 대안 목적으로 사용
  - 송배전회사 통합 구조의 미국, 프랑스와 대형 DSO를 운영하고 있는 영국은 기존의 전력시장과 독립된 지역 유연성 자원 거래 체계를 개발하는 등 유틸리티가 주도하는 장기계약 기반의 지역 유연성 자원 활용 체계를 구축
  - DSO(또는 제3자\*)는 기존의 도매시장에서 독립된 서비스 시장(플랫폼)을 개발·운영하고 있으며, TSO는 지역 유연성 자원을 제한적으로 활용
    - \* (프랑스, 미국) DSO 주도의 시장 운영, (영국) 도입 초기에는 DSO가 운영, 현재는 제3자가 운영
  - 지역 유연성 시장에서는 장기 용량계약 중심으로 지역 유연성 상품이 거래되고 있으며, 지역 유틸리티는 지역 유연성을 배전망 계획의 주요 단위자원으로 활용하기 위해 시장에 참여
- 지역 유연성 자원을 배전망 계획의 주요 자원으로 사용하기 위해서는 정확한 수요예측과 함께 유연성 운영 기술이 확보되어야 하므로 충분한 규모의 조직과 전력 설비 운영 경험 필요
  - 대형 배전망 회사 체계를 가지고 있는 국가를 중심으로 장기 계획 기반의 지역 유연성 활용 모델을 운영하고 있음
  - 다만, 국가별로 지역 유연성 자원 시장의 운영 주체는 자원의 활용 용이성, 시장 성숙도에 따라 상이하며, 기술 발전, 제도적 지원과 함께 지역 유연성 자원의 활용 편익이 커지면서 DSO에서 독립한 운영 체계 도입에 대한 필요성 증가

#### 실시간 혼잡대응 목적의 지역 유연성 (네덜란드, 독일)

- 네덜란드, 독일과 같이 TSO와 분리된 다수의 소규모 DSO 체계를 운영 중인 국가는 기존 도매 전력시장(당일)에 지역 유연성 시장을 포함시키고 제약 발생 시 실시간에 가깝게 대응하기 위해 단기계약 위주로 지역 유연성 사용
  - 송배전망 회사가 분리되어 있는 경우, DSO는 전용 검토 프로그램(GOPACS 등)을 이용해 발생 가능한 혼잡 상황을 검토\*하며, 지역 유연성의 가격과 거래량은 시장 메커니즘에 따라 결정됨
    - \* 배전단의 지역 유연성을 활성화하면 송전단에서 제약 조건을 위반할 수가 있고 반대의 상황도 발생할 수 있어 TSO와 DSO간 조정·협력(Coordination) 기능 수행

- 해당 국가에서는 다수의 소규모\* DSO가 배전망을 운영하고 있어 지역 유연성 자원을 고려한 장기 배전망 건설·운영 계획 수립이 곤란, 기존 도매시장의 기능을 확장하여 지역 유연성 자원을 계통 서비스 자원으로 활용

\* 소규모 지역별 배전망 사업자를 포함하며 독일은 약 900개, 네덜란드는 10개 이상의 배전망 사업자가 존재

#### IV. 시사점

- 지역 유연성 시장도입 검토에 있어 국내 지역망이 당면한 시급한 현안에 대한 분석과 대응 방법에 대한 검토가 선결되어야 함
  - 제주와 함께 호남권을 중심으로 재생에너지 출력제어가 증가하고 있으며, 분산 에너지의 배전 연계 수요가 지속 증가할 것으로 예상
  - 이에 대응하기 위해 비용 효율적인 지역망 보강 계획과 송배전망 혼잡 대응 방안이 동시에 마련되어야 하며, 지역 유연성 시장 도입 필요성도 검토되어야 함
  - 지역 유연성 시장 도입이 결정된다면 시장 도입에 따른 편익을 극대화할 수 있는 시장 설계 필요
- 시장 도입 목적에 따라 서비스 종류 및 계약 형태 등 시장 운영 방법 결정
  - 배전망 보강 대체 등 NWA 목적의 경우 DSO 또는 제 3자가 운영하는 전용 플랫폼을 개설하여 장기 용량 계약 중심으로 시장 운영
    - T&D 통합구조인 프랑스(DSO가 플랫폼 운영)와 유사하게 국내의 플랫폼을 운영하는 것도 가능하나, 정보의 비대칭성, 불투명성에 대한 우려가 있을 수 있어 운영 주체에 대한 면밀한 검토 필요
  - 지역 유연성의 사용 목적이 주로 혼잡 대응인 경우 실시간에 가까운 유연성 확보 체계를 구축하기 위해 지역 유연성 시장을 기존의 도매시장에 포함시켜 운영
  - 다만, 가격경쟁 체계에서는 수요를 충족할 만큼의 자원 유동성이 확보되지 않거나, 시장 운영 경험 부족으로 인해 가격 불안정이 발생하는 등 비효율성이 나타날 수 있으므로, 이를 회피할 수 있는 방안 검토 필요
- 도입 초기의 지역 유연성 시장은 시장 이해도 부족, 불확실한 수익성 등 유연성 사업자의 참여가 저조할 수 있어, 유연한 제도설계로 원활한 시장운영 유도 필요

## 【참고문헌】

- ▶ 에너지경제연구원, 신재생에너지 보급 확산을 대비한 전력계통 유연성 강화방안 연구, 2017
- ▶ 전력거래소, "전력시장 제도개선 제주 시범사업(전력시장 개선 방향 설명회)", 2024.
- ▶ 한국전기연구원, "지역 유연성 시장의 국내 도입 시사점 도출 및 제도 설계 연구", 2023.
- ▶ CAISO, Real-time imbalance energy offset(RTIEO), 2011
- ▶ California Public Utilities Commission, Distribution planning, <https://www.cpuc.ca.gov/industries-and-topics/electrical-energy/infrastructure/distribution-planning>
- ▶ ENTSO-E, ENTSO-E POSITION ON THE REVIEW OF THE RENEWABLE ENERGY DIRECTIVE, 2016
- ▶ EPRI, Demand flexibility for grid reliability and resilience: considerations for successful grid operation, 2022
- ▶ EPRI, Integrating Non-Wires Alternatives into Utility Planning: 2023
- ▶ EPRI Research Guide, 2023
- ▶ EU, "Directive 2019/944 on common rules for the internal electricity market", 2019
- ▶ GOPACS, Session 2: Markets and platforms for grid/flexibility services - TSO-DSO cooperation, 2022
- ▶ IRENA, Innovation landscape for a renewable-powered future, 2019
- ▶ Piclo, <https://picloflex.com/>
- ▶ Power circle, Local flexibility markets, 2022.04
- ▶ SCE, 2023 Distribution Investment Deferral Framework RFO, 2023.09
- ▶ U.S. Department of energy, Maintaining reliability in the modern power system, 2016
- ▶ Wang, Qin, and Bri-Mathias Hodge. "Enhancing power system operational flexibility with flexible ramping products: A review.", 2016
- ▶ Xcel Energy, Cost-Benefit Analysis of Non-Wires Alternatives, 2022

작성자 : 한전 경영연구원 허 훈 차장

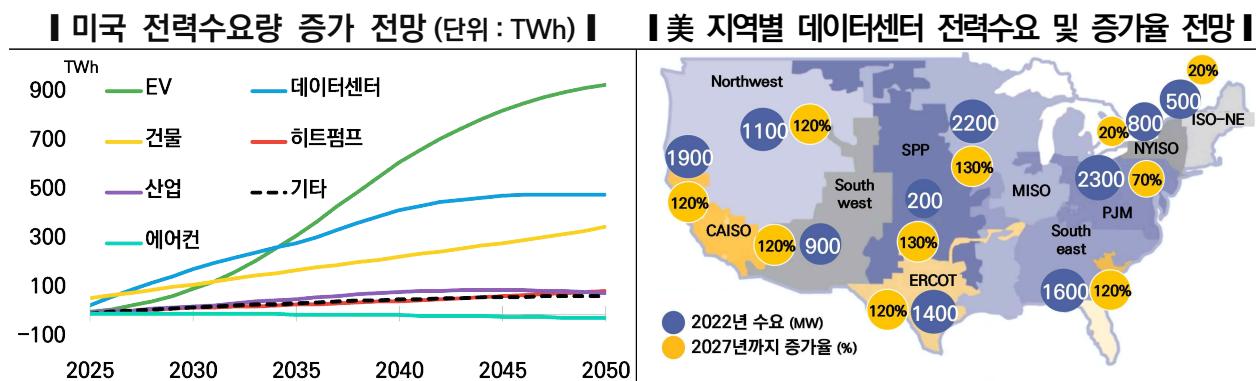
## Research Activities I : 대용량 고객을 위한 전기요금 설계 시 고려사항

**자료** Electricity Rate Designs for Large Loads: Evolving Practices and Opportunities  
(Lawrence Berkeley National Lab 외, 2025.1) 외 3건

### 1 대용량 고객 전용 전기 요금제 도입 배경 및 목적

- [배경] 제조업의 자동화, 히트펌프·EV 보급 확대 등으로 인해 전력수요가 증가 하는 가운데 데이터센터 등 대용량 고객이 늘면서 전력수급에 어려움 가중
  - (전기화 확대) 블룸버그는 2024년 이후 전기화 영향에 따른 미국 전력수요량 증가분을 2030년까지 482TWh(12%), 2050년까지 2,030TWh(49%)<sup>\*\*</sup>로 전망
 

\* \*\* 괄호 안의 수치는 2024년 대비 해당 연도의 전력 수요량 증가율
  - (데이터센터 증가) NERC는 2018년 78TWh(미국 총 전력소비량의 1.9%)였던 미국의 데이터센터 전력수요가 2023년 176TWh(4.4%, 2018년 대비 2.3배↑)로 증가했으며, 2028년에는 325~580TWh(6.7~12.0%, 2018년 대비 4.2~7.4배↑)에 이를 것으로 전망



※ 출처 : BNEF, New Energy Outlook 2025, 2025.4

※ 출처 : NERC, 2024 Long-term Reliability Assessment, 2024.12

- [목적] 유틸리티 및 규제당국 등은 전용 요금제 도입을 통해 대용량 고객을 효율적으로 관리함으로써 전력산업의 안정성 및 경제성을 향상하고자 함

- (유틸리티) 전력수급을 안정적으로 관리하고 수익성을 확보할 수 있도록 요금제를 설계
  - ‘전력수요 > 전력공급’일 경우에는 전압·주파수 유지 및 예비력 확보가 어려우며, ‘전력수요 < 전력공급’ 발생 시에는 발전, 송배전설비 등의 이용률 하락으로 경제적 손실 야기
- (규제당국) 전력수급 불확실성 증가(BTM 지원\*, 전력 조달방식 다양화 등), 신기술 도입(SMR, BESS) 등으로 비용이 증가할 수 있어, 관련 비용을 원인유발자에게公正 배분되도록 관리·감독
 

\* BTM (Behind-The-Meter) 지원: 전기소비자 측의 사용을 목적으로 단일주체가 소유한 건물/시설 내에 설치된 분산에너지를 가리키며, 이는 전력 생산, 저장, 사용 및 효율 개선 등 다양한 방식으로 구성될 수 있음

## ② 대용량 고객 대상 전기 요금제 설계 시 고려사항

- 대용량 고객의 전력수요 증가는 향후 전력산업에 큰 영향을 미칠 것으로 예상  
(2024~2030년 美 전력수요량 증가분 482TWh 중 데이터센터 비중은 37.6%)
  - 대용량 고객에게 안정적으로 전력을 공급하기 위해서는 전력품질 관리시스템(주파수, 전압 변동 제어) 강화, 발전소, 송변전 선로 및 변전소 확충 등 막대한 투자가 필요
  - 이러한 투자는 유ти리티의 요금체계 및 판매수익, 도매시장가격 결정 등에 영향을 미침
- 따라서 유ти리티의 재무 리스크를 최소화함과 동시에 전력산업에도 긍정적 영향을 미치도록 대용량 고객 대상 요금제를 설계하는 것이 중요
  - 유ти리티는 대용량 고객 대상 요금제 운영을 통해 전력 수급 균형을 유지하고, 전력망을 안정적으로 관리함으로써 일반 고객에게 과도한 비용이 전가되는 상황을 방지할 수 있음
  - 또한 대용량 고객이 소유한 BTM 자원을 효율적으로 이용(예. 유ти리티 접근 허용)하여 추가적인 전력 설비 건설을 회피함으로써 사회적 비용을 절감할 수 있고, 관련 신기술 지원을 통해 전력산업 활성화를 유도할 수 있음

### 유ти리티 재무 리스크 최소화를 위한 고려사항

- [자격 요건] 유ти리티는 대용량 고객과의 합리적 비용 배분을 통해 재무위험을 완화할 수 있으며, 이를 위해 요금 적용 대상을 명확하게 구분해야 함
  - (최소부하 기준) NV Energy社는 5MW 이상, Xcel Energy社는 2MW (기존고객) 및 10MW (신규고객) 이상 고객을 대용량 고객으로 정의하고 전용 요금제를 적용
  - (특정고객 대상) Ohio Power社, Montana-Dakota Utilities社는 데이터센터 전용 요금제를 운영
- [고객 수요 관리] 계약 용량은 유ти리티의 발·송·배전설비 투자 시 고려되는 최대 수요에 영향을 미치므로, 효율적 설비 운영, 비용 최소화를 위한 고객 수요 관리가 중요
  - (패널티 적용) Ohio Power社는 데이터센터가 계약용량 미만으로 전력 사용 시 비용 회수를 위한 최소 요금을 지불하도록 하고 초과 사용 시에는 전력공급 중단 가능

- 유틸리티는 계약(요금제)을 통해 AI 개발단계 등에 따라 전력수요가 급변<sup>\*</sup>할 가능성이 있는 데이터센터 고객의 용량 및 전력 사용량을 사전에 통제하는 방안이 필요

\* AI는 기획 → 개발 → 학습 → 모델 배포 등의 단계를 거쳐 개발되며, 각 단계별 전기소비량 비중은 개발 10%, 학습 30%, 모델 배포 60%임 (예경연, 2025.3)

- 이 중 가장 많은 전기소비량 비중을 차지하는 모델 배포 이후의 경우, AI 사용고객이 급증함에 따라 전기소비량을 정확히 예측하기 어려운 상황임 (Chat-GPT 이용고객은 '24.12월 3억명 → '25.4월 8억명으로 급증)

- (직접구매 옵션 적용) Black Hills Energy社의 경우 35MW를 초과한 전력용량을 보유한 고객에게 도매시장에서 직접 전력을 구매하도록 함

□ [계약 기간] 대용량 고객이 계약을 조기 해지할 경우 유틸리티 수입 감소 위험이 증가하므로, 이를 혜징하기 위해 정부 또는 유틸리티가 이탈 부담금 (exit fee)를 부과하는 방안이 필요

- PG&E社, SCE社의 주 사업지역인 캘리포니아주는 장기계약, 설비투자 등으로 인해 既발생된 전력구매 관련 비용을 이탈 고객에게 부담금으로 부과하는 PCIA<sup>\*</sup>를 운영 중

\* PCIA (Power Charge Indifference Adjustment)는 전원믹스 유틸리티 포트폴리오 가치 변화를 고려하여 매년 해당 고객이 이탈 전 사용하였던 요금제에 따라 차등 산정되는 이탈 부담금을 징수

- Indiana Michigan Power社는 고객이 계약을 조기 해지 시 잔여 계약기간 동안, Ohio Power社는 3년간(잔여 계약 기간과 무관) 최소 요금을 부과할 계획

□ [고객 유인] 유틸리티는 수요 변동에 대응할 수 있도록 유연하게 설계된 요금제를 통해 사업 초기 전력수요의 불확실성<sup>\*</sup>을 우려하는 대용량 고객을 유인할 수 있음

\* 고객이 전력수요 증가에 대비해 자신의 수요보다 큰 용량으로 계약하면 초기에 사용량에 비해 과도한 비용을 지불해야 하며, 자신의 수요에 맞춰 계약했는데 이후 전력수요가 증가하면 계약을 변경해야 함

- Ohio Power社는 운영 초기에는 전력수요가 낮지만 시간이 지날수록 수요가 점진적으로 증가하는 데이터센터의 특성을 반영한 요금제를 제시했으며, 계약 초기 4년 동안 전력 수요가 계약용량의 일정 비율 이상<sup>\*</sup>이라면 해당 요금제를 유지할 수 있도록 함

\* (계약 1년차) 전체 계약용량의 50% → (2년차) 65% → (3년차) 80% → (4년차) 90% 이상

□ [신용 등급] 대용량 고객에게 전력을 공급하기 위해 투자되는 설비, O&M 관련 비용이 미회수될 경우를 대비하여 대용량 고객에 대한 신용 또한 고려해야 함

- Ohio Power社, Indiana Michigan Power社는 전용 요금제 참여를 희망하는 대용량 고객에게 S&P A- 혹은 Moody's A3\* 이상의 신용등급을 요구
  - \* S&P와 Moody's 모두 투자적격 등급을 크게 4개(Prime, Hight, Upper medium, Lower medium)로 나누는데 S&P의 A-와 Moody's의 A3 이상이면 Upper medium으로 분류됨)
- 고객이 해당 신용등급 기준을 충족하지 못할 경우 유틸리티는 전기요금 미회수 위험을 회피하기 위해 담보나 보증을 확보한 후에 전력공급 계약을 체결

### 전력산업 편의 극대화를 위한 고려사항

- [BTM 자원 활용] 요금제 설계 시 대용량 고객의 전기요금을 절감하고, 부하관리 운영 등에 대용량 고객의 BTM 자원을 활용할 수 있는 방안 고려
  - (전기요금 절감) PG&E社는 자가발전 보유 고객을 대상으로 발전량만큼 상계 후 요금을 납부할 수 있는 E-NEM(net-metering) 요금제를 운영
    - 유틸리티는 고객의 자가 발전량과 연계된 전력구매 비용과 전력망 투자 비용을 절감할 수 있으나, 자가발전 패턴을 고려한 전력 부족분 공급, 자가발전 정비 · 고장에 대비한 전력공급 등(PG&E社 standby 요금제 가입 필요) 안정적 망 관리를 위해 고려해야 할 요소는 증가
  - (부하관리 활용) Ohio Power社, Black Hills Energy社는 전력수급 비상 시 부하관리에 활용하기 위해 유틸리티가 고객의 BTM · 백업 자원을 직접 제어하는 옵션을 요금제에 추가
- [신기술 지원] 경제성이 낮아 보급이 지연되고 있는 신기술을 활성화하기 위해 대용량 고객이 신기술을 통해 생산한 전력을 구매할 수 있도록 지원
  - PUCN<sup>\*</sup>은 신기술 상용화 지원 목적으로 NV Energy社와 Google이 첨단 지열발전에 대해 他 재생에너지보다 높은 단가로 직접구매계약을 맺을 수 있도록 허용<sup>\*\*</sup>(구체적인 단가는 비공개)
    - \* PUCN (Public Utilities Commission of Nevada) : 네바다주 공공 서비스 유틸리티들을 규제·감독하는 기관
    - \*\* 네바다주에서는 유틸리티를 통한 전력구매만 가능하며, 직접구매계약은 원칙적으로 불가능함

작성자 : 한전 경영연구원 정해영 선임연구원

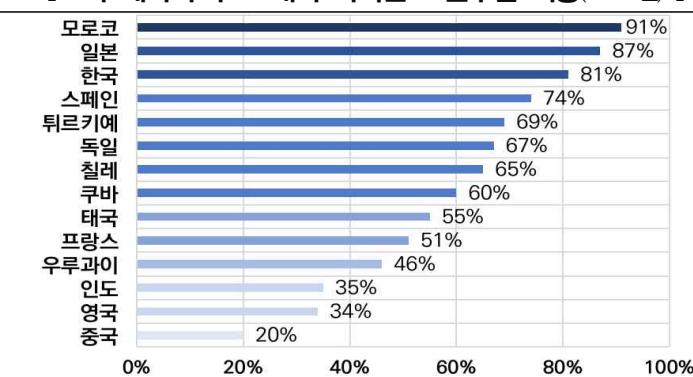
## Research Activities II : 에너지 안보 위기 해결을 위한 일렉트로테크(Electrotech)

자료 Energy Security in an Insecure World (EMBER, 2025.4)

### 1 화석연료 수입 의존과 에너지 안보

- 화석연료 수입국의 연료 수입량이 갈수록 증가하고 있는 가운데 매장량의 지역적 편차로 인해 전 세계적으로 화석연료 수입 의존도가 높아지고 있음
  - 2022년 1차 에너지 사용량 중 화석연료가 3분의 1 이상을 차지했고, 같은 해 화석연료 총수입량은 1960년의 12배에 달했으며 연료 수입에 지출된 비용은 1.8조 달러에 이른다.
  - 일부 국가들이 화석연료 수출을 주도하는 반면, 모로코, 일본 등 다수의 국가들은 화석연료 조달을 위해 수입에 의존하고 있음
- 팍스 아메리카나(미국 주도의 평화)의 쇠퇴, 지역 간 갈등 증가, 격화되는 관세 전쟁으로 세계 무역이 큰 위험을 마주함에 따라 화석연료 공급망도 불안정한 상황임
  - 블룸버그 이코노믹스에 따르면, 글로벌 무역 정책의 불확실성을 나타내는 지표인 TPU\*가 미국 트럼프 집권 이후부터 전례 없는 수준으로 폭등함
  - \* Trade Policy Uncertainty index : 신문 기사의 관련 키워드 빈도 등을 기반으로 무역 정책 불확실성을 정량적으로 계산한 지표
  - 대부분의 화석연료는 운송 시 수에즈 운하, 호르무즈 해협, 말라카 해협과 같은 해상 요충지를 통과해야 하므로 지정학적 불안정성에 노출되는 특성을 가짐
- 화석연료 수입이 중단되면, 수입 의존도가 높은 국가의 산업과 경제는 마비되고 국가 안보는 심각한 위협에 직면하게 됨

■ 1차 에너지 수요 대비 화석연료 순수입 비중(2022년) ■



■ 무역 정책 불확실성 지표(TPU) ■



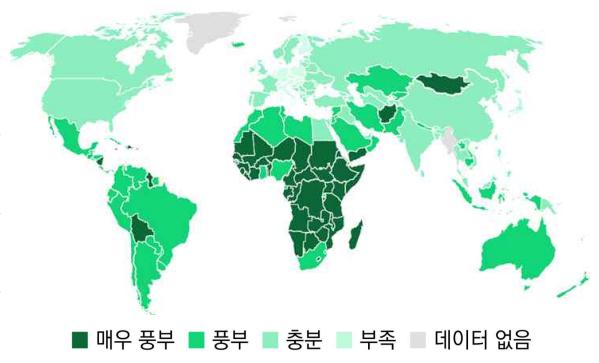
## 2 일렉트로테크(Electrotech)를 활용한 새로운 에너지 안보 전략

- 전통적인 에너지 안보 전략은 화석연료 수입의 다각화이지만, 이러한 전략에도 불구하고 지속적인 화석연료 수입과 공급 불확실성이라는 리스크는 상존함
  - (지속적인 수입) 대부분의 국가는 에너지 수요 총족에 필요한 화석연료를 자급자족하지 못해 일회성으로 소모되는 화석연료의 지속적 사용을 위해 수입에 의존해야 함
  - (공급 불확실성) 다수의 공급업체 및 적절한 예비 물량 확보, 합리적인 가격과 원활한 수송 등 다양한 조건 중 하나라도 만족하지 못하면 화석연료 공급이 불안정해질 수 있음
- 최근에는 수입 다각화에서 더 나아가 수입 자체를 줄임으로써 근본적으로 에너지 안보를 강화할 수 있는 ‘일렉트로테크(Electrotech)’가 새로운 대안으로 떠오르고 있음
  - 일렉트로테크는 전력 공급(Supply), 연결(Connections), 수요(Demand) 측면에서 혁신적인 변화를 일으키는 기술을 총칭함
    - (공급) 기존 화석연료 발전기를 풍력, 태양광 등 재생에너지로 대체해 전력을 생산함
    - (연결) 단순한 전력 전송을 넘어, 계통 유연성 증대를 위해 배터리 저장장치를 이용하거나 새로운 송전방식인 HVDC 기술을 활용하는 등 더 효율적인 전력수송 방법을 적용
    - (수요) 전기차, 히트펌프 등을 활용한 수요의 전기화<sup>\*</sup>로 에너지 소비 방식을 변화시킴
- \* 전기화(Electrification) : 최종 에너지 소비를 화석연료가 아닌 전기로 대체함을 의미
- 일렉트로테크를 활용하면 전 세계적으로 화석연료 순수입이 70% 감축되어 연간 약 1.3조 달러의 비용이 절감되며, 연료 수입 다각화의 한계점을 보완할 수 있음
  - (풍부한 자원) 전 세계 재생에너지 잠재량이 화석연료의 120배 이상이라는 연구 결과도 존재하며, 일렉트로테크를 활용하면 대부분의 국가에서 자체적인 에너지 수요 총족이 가능
  - (낮은 수입 의존도) 매번 공급망 불확실성과 연료비 변동 위험에 노출되는 수입 다각화 전략과 달리, 일렉트로테크 활용 시 한 번의 설비 투자로 수입 의존도를 줄일 수 있음

■ 에너지 안보 전략의 비교 ■

■ 글로벌 재생에너지 잠재력 (2022) ■

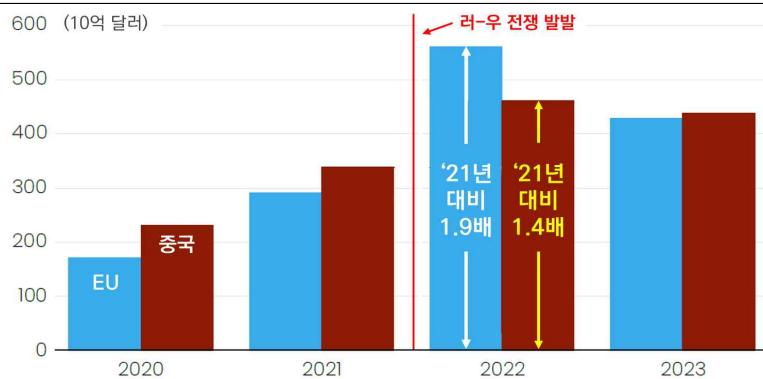
구분	수입 다각화	일렉트로테크
장기적인 가격 안정성	불안정	안정적
타 국가 의존성	매우 의존	약간 의존
연료 비축 필요성	많은 물량 필요	거의 필요 없음
지속 가능성	낮음	높음



### ③ 중국의 일렉트로테크 선도 사례

- 중국은 일렉트로테크의 핵심 전략인 재생에너지를 활용한 전력 생산, 최종 에너지 소비의 전기화를 활용해 화석연료 수입 의존도를 낮추고 있음
  - 중국은 태양광과 풍력 확대라는 장기 전략을 통해 2010년부터 재생에너지의 비중을 급격히 늘렸으며, 2020년 이후 중국 전체 발전량 중 재생에너지가 약 18%를 차지함
  - 1990년 중국의 최종 에너지 수요 중 전기가 차지하는 비중은 10% 미만이었으나, 전기화를 기반으로 비중이 꾸준히 상승해 2020년경에는 약 30%에 이른
  - 러-우 전쟁이 발발한 2022년 글로벌 화석연료 비용이 급등한 바 있으며, 중국은 이러한 리스크를 회피하기 위해 일렉트로테크를 적극적으로 활용하는 국가 중 하나임

| EU와 중국의 연간 화석연료 수입액 |



- 중국이 일렉트로테크 개발을 선도하고 관련 산업의 자국 생산능력을 확대하면서, 관련 산업은 2024년 중국 GDP 성장에 26%가량 기여한 것으로 분석됨

- 일렉트로테크 분야 중에서도 특히 태양광 발전기 모듈, 풍력 발전기 나셀\*, 배터리 셀의 부문에서 중국의 비중이 점차 증가하고 있음

\* 나셀(Nacelle) : 풍력발전기의 날개와 연결되어 발전기와 인버터 등의 장비를 담는 구조물

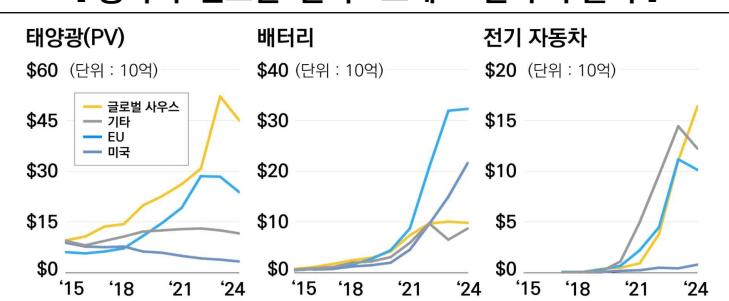
- 중국은 자국에서 생산한 일렉트로테크 설비를 EU, 미국 등 여러 국가에 수출해 왔으며, 특히 글로벌 사우스\* 지역으로의 수출을 확대하면서 영향력을 강화하고 있음

\* 글로벌 사우스(Global South) : 주로 남반구 또는 북반구 저위도에 위치한 개발도상국을 지칭하는 용어

| 중국의 일렉트로테크 설비 생산 추세 |



| 중국의 연도별 일렉트로테크 설비 수출액 |



## 4 에너지 자립을 위한 과제

- 일렉트로테크를 통해 에너지 자립을 이루고 글로벌 패권을 차지하려는 중국을 참고하여 다른 국가들도 다양한 편익을 제공하는 일렉트로테크에 주목할 필요가 있음
  - 중국은 일렉트로테크 전략으로 화석연료 수입 의존도를 줄이고, 경제적·지정학적 이익을 창출하며, 글로벌 사우스 국가들과 협력해 전 세계적으로 영향력을 확대하고 있음
  - 종합 에너지 전략인 일렉트로테크는 에너지 안보 강화뿐만 아니라 로봇, AI, 드론 등 많은 전력을 소비하는 미래 유망 산업의 경쟁력 확보에 기여할 수 있음
- 일렉트로테크를 적극 활용해 화석연료 수입 의존에서 벗어나고, 자국의 역량을 강화함으로써 완전한 에너지 자립에 다가갈 수 있음
  - 일렉트로테크 관련 부품이나 기술 수입에 대한 불안정성은 화석연료보다 현저히 낮음
    - 그 예시로, 내연기관 차량의 연료인 휘발유를 정제하는 정유시설과 전기차에 공급할 전기를 생산하는 태양광 발전기의 설비 수명은 약 30년 정도로 비슷하지만, 정유시설은 운용 기간 중 화석연료 수입에 의존해야 하는 반면 태양광 발전기는 그렇지 않음
  - 그러나 일렉트로테크를 활용하더라도 노후화된 설비나 기술 개선을 위해 간헐적인 수입이 필요하므로 자체 기술 및 부품 개발, 그를 위한 투자 확대, 관련 산업에 대한 규제 완화 등이 수반되어야 함

작성자 : 한전 경영연구원 임수빈 일반연구원

## KEMRI 전력경제 Review 2025년 6월호 (Vol.316)

---

발행일 2025. 7. 15.

발행인 원장 강민석

편집인 경영연구원 편집위원회  
편집장 책임연구원 원동규(☎국선 : 02-3456-5490 / 사선 : 021-5490)  
편집위원 선임연구원 김범규(☎국선 : 02-3456-5491 / 사선 : 021-5491)

홈페이지 [www.kepco.co.kr/KEMRI](http://www.kepco.co.kr/KEMRI)

문의처 경영연구원 연구기획팀(☎국선 : 02-3456-5490~1 / 사선 : 021-5490~1)

---

※ 한국전력 경영연구원의 사전 동의 없이 본 보고서의 내용을 무단 전재하거나 제 3자에게 배포하는 것을 금합니다.