

# 지역유연성 시장(LFM) 활성화를 위한 선결사항

2024. 04. 25

한국전기연구원 정 구 형

## ▶ 전력계통 내 유연성 확대의 필요성

- 변동성 재생에너지(VRE) 확산에 따른 계통운영의 불확실성 심화
  - 수급불균형 해소를 위한 주파수 제어의 어려움으로 인해, 충분한 수준의 계통유연성(system flexibility) 확보 필요
- 수요측 분산형자원(DER) 증가로 인한 배전계통 운영의 복잡성 증가
  - 최종소비자에 대한 안정적인 전기공급을 목적으로 설계된 배전계통 내 역조류, 전압변동, 혼잡 및 손실 증가 등의 문제 발생
- 스마트그리드 기술과 결합된 DER 확산에 따른 전기사용자의 에너지 프로슈머(energy prosumer)화 확대
  - 전기사용자가 최적의 전기사용을 위해 스스로 소비 또는 발전패턴을 조정할 수 있는 능력 증대
- 전기화 기반의 섹터커플링(sector-coupling) 기술 도입
  - 전기·가스·열 등 에너지 부문 간 상호보완성을 통한 비용효과적인 유연성 제공 가능성 대두

## ▶ 지역유연성의 정의

- Type 1: 송전계통에서 TSO를 대상으로 제공하는 수급균형 유연성(balancing flexibility)
  - 도매전력시장의 보조서비스 상품(product)으로 거래
- Type 2: 배전계통에서 TSO를 대상으로 제공하는 수급균형 유연성
  - DER의 도매전력시장 참여 및 원활한 TSO-DSO 협조운영(coordination)이 필수
  - 도매전력시장 내 유연성 거래 메커니즘 개발의 중요한 동인
- Type 3: 배전계통에서 DSO를 대상으로 제공하는 지역유연성(local flexibility)
  - 배전계통의 전압제어, 혼잡관리 및 손실감소 등 안정적인 배전계통 운영을 목적으로 확보
  - 지역유연성은 배전계통 내 특정 노드에서 DSO가 필요로 하는 시점에 필요한 기간동안 DER의 출력을 조정하는 능력으로 정의
  - 지역유연성은 방향(증발/감발), 변화율(증/감발율), 투입기준 및 투입시점, 지속시간, 위치(배전계통 내 노드) 등의 5가지 속성을 포함

# 개념 및 정의

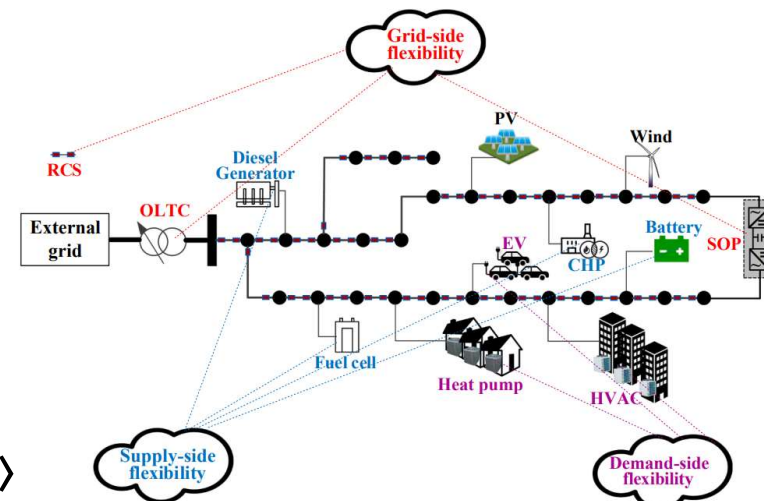
## ▶ 지역유연성의 유형

- 공급측 유연성(supply-side flexibility)
  - 다수의 DG와 ESS의 협조운전을 통해 제공
  - TSO-DSO 협조운전을 통해 송전계통 운영에 필요한 유연성(Type 2) 제공 가능성 확인
- 수요측 유연성(demand-side flexibility)
  - 전기사용자의 DR을 통해 확보하는 것이 일반적
  - 대규모 산업용 소비자를 대상으로 하는 DR 서비스는 이미 도매전력시장 내 주요 상품으로 거래·운영  
→ 히트펌프, HVAC, EV 등 전기사용자 소유의 제어가능 부하를 활용하여 지역유연성 확보 가능
- 계통측 유연성(grid-side flexibility)
  - 배전망의 물리적 특성(토폴로지 및 파라미터 등)을 조정하여 지역유연성 확보 가능
  - 배전망 재구성(network reconfiguration) 및 다양한 배전설비 직접 제어를 통해 배전계통의 공급능력 향상

# 개념 및 정의

## 지역유연성 시장의 개념

- DSO는 다양한 방식으로 지역유연성 확보 가능
  - 규제 기반(Rule-based): 관련 규칙/규정을 통해 배전망 내 DER을 대상으로 일정 수준의 유연성 제공 의무 부여
  - 비용 기반(Cost-based ): 계약 또는 요금제를 기반으로 사전에 유연성 자원을 확보하고, 유연성 공급에 소요된 비용을 고정가격으로 보상
  - 시장 기반(Market-based): 거래 플랫폼을 통해 유연성 공급과 수요를 매칭(matching)



〈배전계통 내 지역유연성 공급방식〉

(\*) 출처: X. Jin 외 (2020)

## ▶ 지역유연성 시장의 개념

- 시장 기반 접근방식의 핵심은 최종소비자를 가격신호(price signal)에 노출시키는 것임
  - 가격변동성에 기인한 시장위험(market risk)은 최종소비자가 스스로 자신의 전기 사용패턴을 최적화하도록 유인 → 결과적으로, DER을 이용한 수요측 유연성을 향상시키는 요인으로 작용
- 지역유연성 거래는 DER 소유자의 수익성 제고 기회를 제공
  - 이를 통해, 자발적인 DER 투자 확대를 유인
- 지역유연성 시장(Local Flexibility Market, LFM)은 대표적인 시장 기반의 지역유연성 확보 메커니즘
  - LFM은 지리적으로 제한된 지역 내에서 유연성을 상품으로 거래하는 유연성 거래 플랫폼을 의미
  - 향후 DER 확산에 대응하여, DSO의 효율적인 계통운동을 지원하는 일종의 비증설대안(Non-wire Alternative, NWA)으로 고려 → DER의 대규모 확대에 대응하여, 최근 유럽을 중심으로 시장을 기반으로 하는 지역유연성 확보 메커니즘의 도입을 적극적으로 추진

## ▶ LFM 참여자

- DSO

- DSO는 배전계통 운영과 배전망 보강 지연/회피 등의 배전계통 계획 관점에서 지역유연성 확보 필요  
→ LFM 내 유연성 구매자로 참여

- 에너지 프로슈머/집합관리사업자(aggregator)

- 에너지 프로슈머는 DER을 이용하여 자신의 전기사용 및 발전패턴을 조정 → LFM 내 유연성 공급자로 참여
- 단, LFM 운영의 효율성 확보와 개별 DER 및 에너지 프로슈머의 유연성 잠재력 극대화를 위해서는 다수의 DER을 통합하여 하나의 집합자원으로 관리하는 것이 유리 → 집합관리사업자는 전력 및 유연성 시장에서 이를 거래하고자 하는 에너지 프로슈머를 모집하여 통합/관리하는 서비스를 제공

- **LFM 운영자(LFM Operator)**

- LFM 운영자는 시장참여자에 대해 유연성 거래 플랫폼을 제공하며, 지역유연성 거래에 대한 공급/수요입찰 수집, 가격 및 거래량 결정과 정산 기능을 수행
- LFM은 제3의 독립기관/단체가 운영할 수 있으며, DSO가 LFM 운영자의 역할 병행도 가능
- 단, DSO가 LFM 운영자 역할을 병행하는 경우에는 지역유연성 구매자로서 DSO의 시장지배력 행사에 대한 감시/규제 메커니즘 마련을 통한 LFM 운영의 중립성 및 공정성 확보가 매우 중요

- **수급균형책임자(Balance Responsible Party, BRP)**

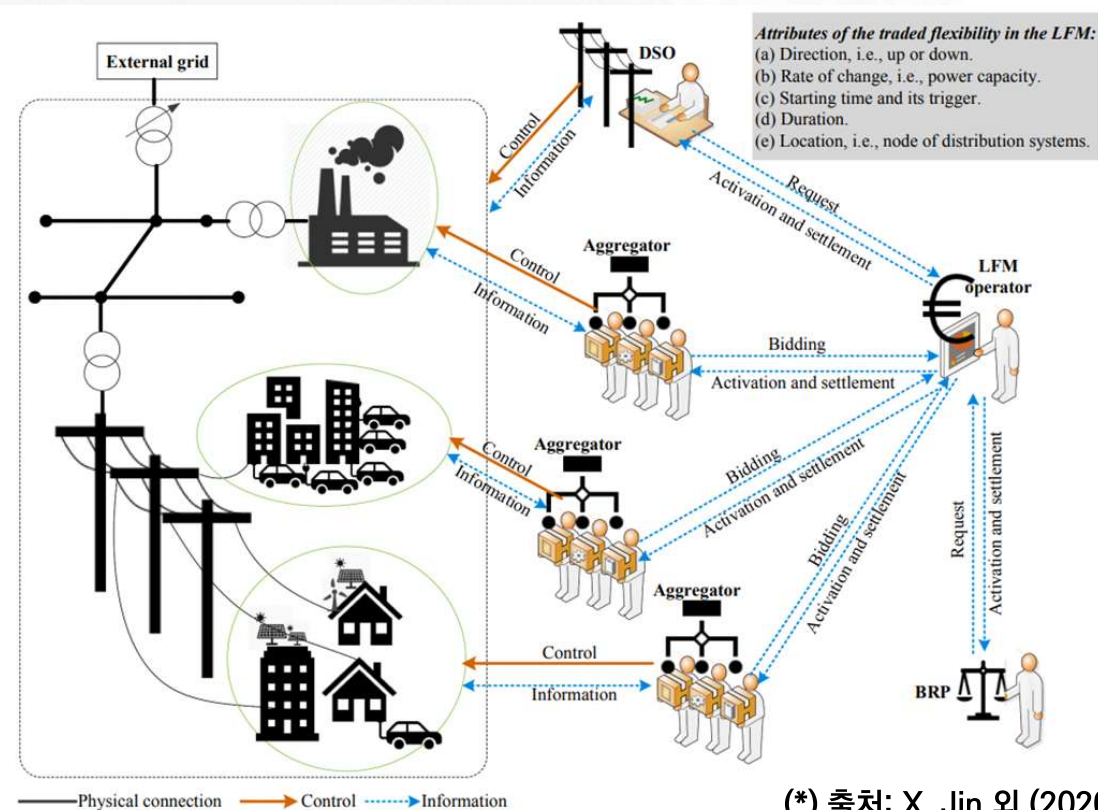
- BRP는 송전계통 내 하나 또는 다수의 접속점의 전력수급균형 유지에 대한 책임이 있는 민간사업자
- BRP는 자사 고객(balancing group)신의 수급균형 의무를 이행하기 위해 유연성을 확보해야 할 필요가 있으며, 이를 위해 LFM 내 유연성 구매자로 참여
- 단, 우리나라와 같이 BRP 제도가 존재하지 않는 국가 및 지역에서는 DSO가 LFM의 유일한 유연성 구매자로 참여

# 지역유연성 시장구조

## ▶ LFM 거래절차

- LFM의 세부적인 거래절차는 해당 시장의 규정 및 시장설계안에 따라 차이
  - 일반적으로, 입찰/청산단계(contract and bidding process), 이행단계(activation process), 정산단계(settlement process)로 구성

〈LFM 구조 및 거래절차〉



(\*) 출처: X. Jin 외 (2020)

# 지역유연성 시장 활성화를 위한 선결조건

## ▶ LFM 설계시 고려사항

- 시장거래는 동일한 재화에 대해 서로 다른 가치를 갖는 경우에 발생
  - 시장거래 활성화를 위해서는 해당 시장이 매우 유동적(market liquidity)이어야 함 → 이는 지역유연성 거래 의사가 있는 시장참여자가 LFM 내 충분히 존재해야 함을 의미
- 시장가격을 결정하는 메커니즘은 안정적이어야 함
  - 모든 시장참여자에게 시장 상황에 대한 종합적이고 왜곡되지 않은 정보 전달이 필수 → 투명한 가격결정 메커니즘의 설계는 시장참여자가 LFM 운영의 공정성을 확신할 수 있는 요인으로 작용
- 시장참여자의 비차별적인 참여 보장
  - 이는 LFM 참여자원에 대한 기술중립성 확보를 의미 → 모든 시장참여자에게 동등한 시장 참여기회를 제공하기 위한 전제조건
- 매우 낮은 수준의 LFM 거래비용 달성
  - 낮은 거래비용은 LFM 참여자의 진입장벽을 완화하는 요인으로 작용 → LFM 내 거래상품 및 규정 표준화를 통해 거래비용 감소 달성 가능
- 시장청산 실패에 대한 대응수단 마련
  - LFM은 유연성 가용량 부족 및 유연성 공급자 부족으로 인해 청산되지 않을 가능성 존재 → DSO는 시장청산 실패 가능성을 고려하여, 비상시 계통운영 절차(부하차단, 출력제어, 배전망 재구성 등) 마련 필요

# 지역유연성 시장 활성화를 위한 선결조건

## ▶ LFM 활성화를 위한 선결조건

- DSO의 역할 확대

- 미래 배전계통 운영방식은 배전망 관리가 아닌 최적 운영 관점으로 접근 → 이는 DSO가 배전계통의 안정적인 운영에 대한 책임뿐만 아니라 DER 연계 및 이용에 대해서도 더욱 능동적인 역할을 수행해야 함을 의미
  - DSO의 역할과 책임에 대한 법/제도적 근거 마련 필요
  - 지역유연성 서비스와 관련된 명확한 기술기준 및 DER 계통연계 및 운영기준(grid code) 개발
- 배전망 이용자에 대한 비차별적인 접속 및 이용을 보장하기 위해 DSO는 여전히 규제대상으로 유지되는 한편, DER 최적 이용 및 지역유연성 가치 실현을 위해서는 배전계통 보강 및 지능형 배전망으로의 전환에 필요한 대규모 설비투자 수반
  - 성과기준 규제(Performance-Based Regulation, PBR)를 통해, DSO가 혁신적인 배전계통 운영 추진 유인과 동시에 적극적인 DER 활용으로 경제적 효율성 향상을 달성할 수 있는 기반 마련 필요
  - DSO의 효율적인 배전계통 및 LFM 통합운영 보장시, DSO 운영비용 감소 및 DER 최적 이용을 통해 시장참여자의 거래비용 절감과 시장 진입장벽 완화에 기여 가능 → 독립적인 시장운영자 기능을 전제

# 지역유연성 시장 활성화를 위한 선결조건

- 집합관리사업자의 기능 강화
  - DER 통합운영은 DSO에 대한 충분한 가시성 및 제어가능성 제공이 가능하며, 유연성 자원으로서 DER의 가치를 강화할 수 있는 동인으로 작용
    - 규모의 경제를 통한 DER의 유연성 공급비용 및 거래비용 절감 가능
  - 집합관리사업자의 LFM 참여를 활성화하기 위해서는 유연성 자원에 대한 기술중립성 보장 필요
    - 다양한 유형의 유연성 기술에 대해 동등한 LFM 참여기회 제공을 통해 LFM 운영의 공정성 확보와 동시에, 집합관리사업자가 가장 효율적인 유연성 기술을 선택하도록 유인 → DER 기술의 발전 및 비용경쟁력 제고를 통한 지속적인 DER 확산 도모
    - LFM의 가격신호가 집합관리사업자에 대해 충분한 경제적 유인 제공이 가능해야만 DER의 유연성 공급 잠재력 실현이 가능
    - DER 통합운영에 대한 명확한 기술기준 확립 선행 필수 → DSO와 집합관리사업자의 이해관계가 상충하지 않도록 충분한 사전 논의 필요

# 지역유연성 시장 활성화를 위한 선결조건

- TSO-DSO 협조운영체계 정립
  - LFM이 효율적인 지역유연성 확보 메커니즘으로 기능하기 위해서는 TSO-DSO 협조운영체계를 통해 송/배전계통을 포함한 전력계통 전반의 실시간 운영 절차 개발 필요
    - DER 운영과 관련하여 서로 다른 계통연계 및 운영기준을 보유한 TSO와 DSO의 이해관계가 상충되는 상황이 발생할 가능성에 대해 유의
    - 결과적으로, DER의 급전자원화를 위해서는 TSO-DSO 협조운영체계 정립을 통해 송전 및 배전계통을 별개가 아닌 하나의 통합된 시스템으로 고려하는 것이 필요
  - DER의 급전자원화와 이를 가능하게 하는 TSO-DSO 협조운영체계 및 송/배전계통 운영기준의 설계는 TSO 및 DSO에 대한 DER 가용능력의 가시성 확보와 상호 간의 원활한 데이터 교환을 전제
    - DSO는 DER 운영 관련 데이터를 수집하고 이를 TSO 및 DER 소유자 또는 집합관리사업자와 공유하는 데이터 교환 플랫폼의 역할 수행
    - TSO는 DSO와 협력하여 송전계통 운영과 관련된 DER 가용수준의 가시성 확보 및 출력관리 기준을 결정하고 송전혼잡 및 송전계통 제약 관련 정보를 DSO와 공유함으로써, DER에 대한 TSO의 급전지시 이행과 배전계통의 안정적인 운영이 양립할 수 있도록 협조

# 지역유연성 시장 활성화를 위한 선결조건

- 스마트그리드 구현

- LFM 운영을 위한 기술적 기반으로, 스마트그리드 구현은 필수적인 요소

- AMI는 계통운영자와 DER 간 양방향 통신과 실시간 정보교환을 가능하게 하는 스마트그리드 및 이를 기반으로 하는 LFM 구현을 위한 가장 기본적인 요소기술
    - DEMS는 DER과 DSO 간 상호작용을 강화함으로써, 유연성 자원으로서 DER의 가치를 제고할 수 있는 기술적 기반을 제공 → 미래 배전계통의 안정적인 운영을 위해서는 배전계통 또한 송전계통과 동일한 수준의 양방향 전력조류 감시 및 DER에 대한 능동적인 제어를 가능하게 하는 제어/관리기술의 고도화가 절대적
    - LFM 운영과 관련된 데이터(big data)의 표준화는 LFM 운영에 필요한 각종 정보 생성 및 공유의 효율성 향상 및 이에 따른 LFM 운영비용과 시장참여자의 거래비용을 절감하는 요인으로 작용

*Thank you.*



\* 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 한국전기연구원의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.