

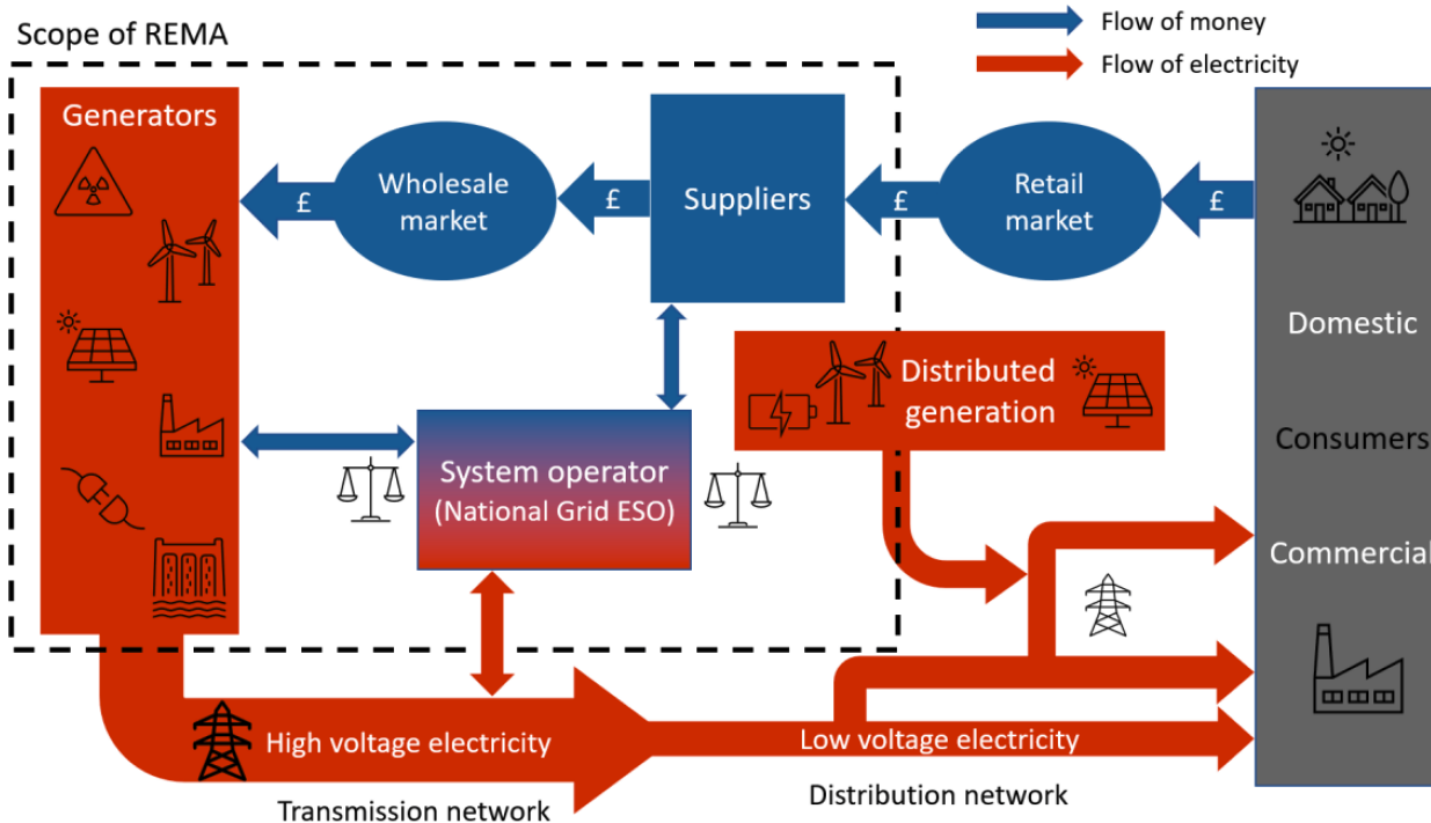
탄소중립을 위한
영국 전력시장의 전환
데이비드 쉽워스



영국 전력 시장 역사 및 맥락

- 1948년 - 영국/중앙 전력청에 의해 국유화된 전력 시스템
- 1958 - 중앙 전력 발전 위원회 산하로 중앙 집중화된 전력 시스템
- 1990 - 전력 시스템이 점진적으로 민영화되고 수직적으로 분리
- 2000년 - 가스 및 전기 시장 사무소(OFGEM) 설립
- 2001년 - 발전사와 공급업체 간의 쌍방 계약이 도입
- 2008년 - 탄소 목표, 재생에너지 의무화 및 스마트 미터링 법제화
- 2012 - 2020 북해 가스 개발로 대부분의 석탄 화력 발전 폐쇄
- 2013년 - 전력 시장 개혁:
 - 차액 결제 계약(CfD)
 - 용량 시장(CM)
 - 탄소 배출권 가격 지원 메커니즘
 - 발전기에 대한 최소 배출 성능 기준
- 2022 - 전력 시장 계약(REMA) 검토 - 진행 중
- 2023 - 에너지법: '한 세대 만에 최대 규모의 에너지 법안'

GB 전기 시스템: 전력 시장 계약 검토

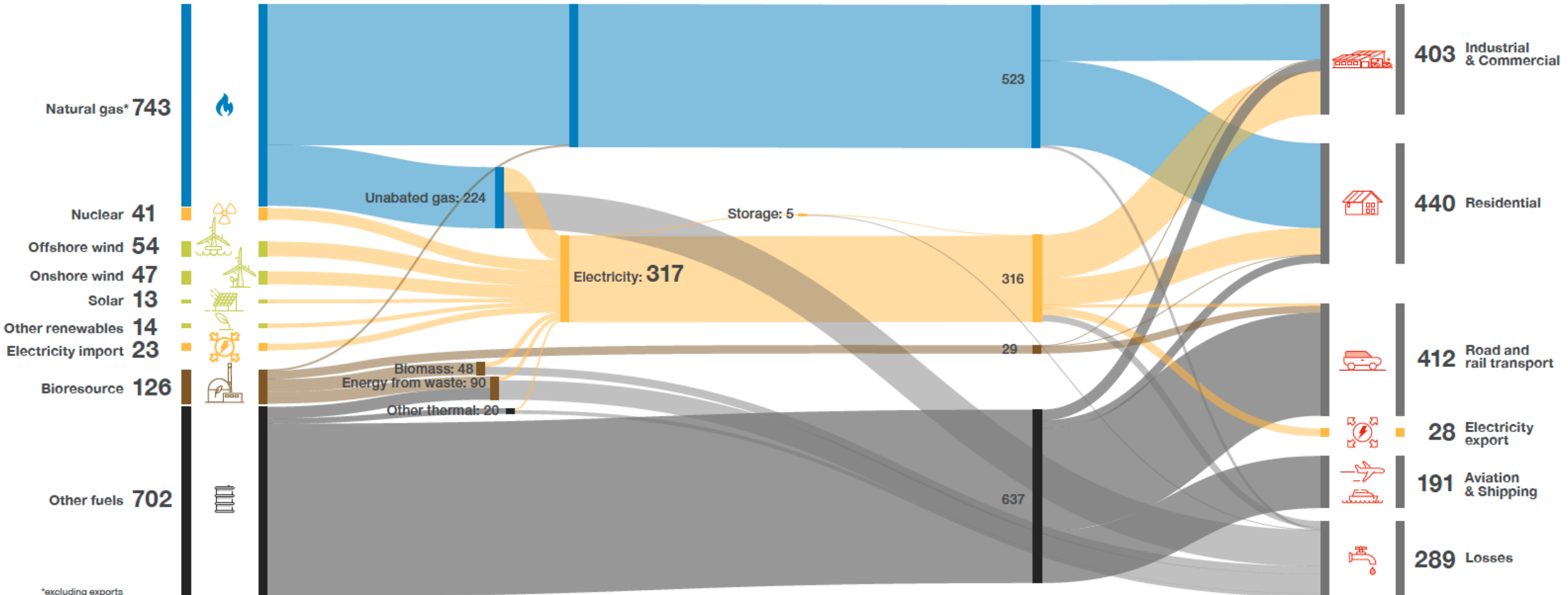


- 대형 발전기는 도매시장, 전력 구매 계약, 차액 계약 등을 통해 대금을 지급
- 소규모 세대가 유통망에 직접 공급
- 공급업체는 도매 시장에서 구매하거나 발전 업체로부터 직접 구매. 공급업체는 소매 시장을 통해 소비자에게 판매
- 네트워크 운영자는 사용자에게 네트워크 연결 및 사용에 대한 요금을 부과
- 시스템 운영자는 모든 당사자와 협력하여 실시간 시스템 운영성을 보장

2022년 영국 공급 및 수요(1763 TWh)

- 총 에너지의 82%가 화석 에너지 기반
- 벡터 간 상호 작용이 거의 없음

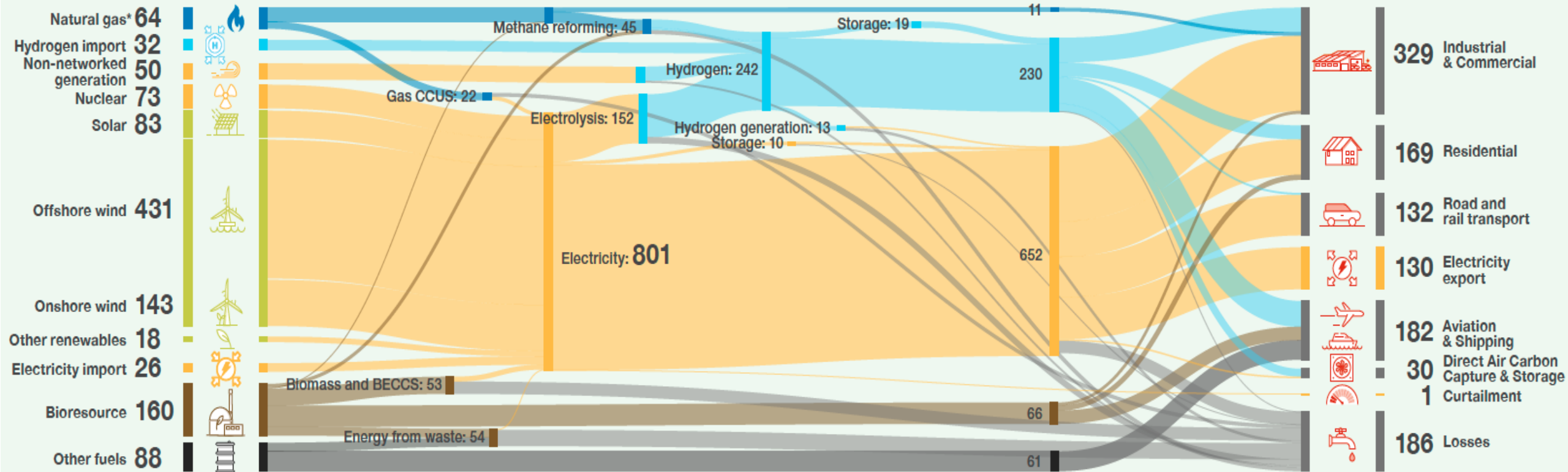
[참고: ESO 2023 'FES in five' 요약]



ESO 'Leading the Way' 2050 시나리오(1167 TWh)

- 높은 수요 유연성 및 벡터 간 상호 작용
- 난방용 친환경 전기 및 수소
- 잔여 배출량의 직접 공기 탄소 포집 및 저장

[참고: ESO 2023 'FES in five' 요약]



ESO 미래 에너지 시나리오

정책 및 제공

- 투자 불확실성 감소에 집중
- 히트 펌프 흡수 가속화. 난방용 H2 결정.
- 네거티브 배출 기술 선택 및 회계 프레임워크.

시장과 유연성

- 시장 개혁을 통한 분산된 유연성
- 운송 수단의 전기화 및 스마트 충전 및 V2G 지원
- 실시간 위치 가격 신호를 생성하여 유연성 지원

소비자 및 디지털화

- 투명성을 통한 신뢰 구축 및 소비자 가치 창출
- 디지털화 및 혁신을 통한 소비자 참여 촉진
- 국내 에너지 효율성 가속화

인프라 및 시스템

- 중앙 집중식 계획을 통한 전략적 네트워크 투자
- RE 배포를 가속화하기 위한 연결 개혁
- 시스템 전체의 편익을 위한 대규모 전력수요의 전략적 입지선정

Energy Act 2023

- **National Energy System Operator(NESO):**
 - '전체 시스템' 계획 역량.
 - 전기 시스템 운영.
- **가스 및 전력 시장 규제청(Ofgem)**
 - 소관업무에 탄소중립 추가
 - 에너지산업 기준 거버넌스 구조 개혁;
 - 에너지시장 개혁 입법;
- **탄소 포집 사용 및 저장(CCUS)**
 - 경제적인 인허가 체제 구축
- **수소**
 - 수소 난방 시험;
 - 수소 부과금;
- **열**
 - 저탄소 열을 위한 시장 메커니즘
 - 열 네트워크에 대한 규정
- **유연성**
 - 에너지 스마트 기기 관련 규정
 - 전력부하 제어 인허가
- **효율성**
 - 건물 에너지 규정 개정
 - 새로운 '에너지 절약 기회 제도 '
- **원전**
 - '위대한 영국 원자력' 설립

현재 진행 중인 논쟁: 전력시장 구조 분할

계약 조건

- 재생에너지는 건설비용이 높고, 운영비용이 저렴하며, 간헐적
- 원전은 건설비용이 높고, 운영 비용이 저렴하며, 유연성 결여
- 화석연료는 구축비용 저렴, 운영비용이 비싸며, 유연

드라이버

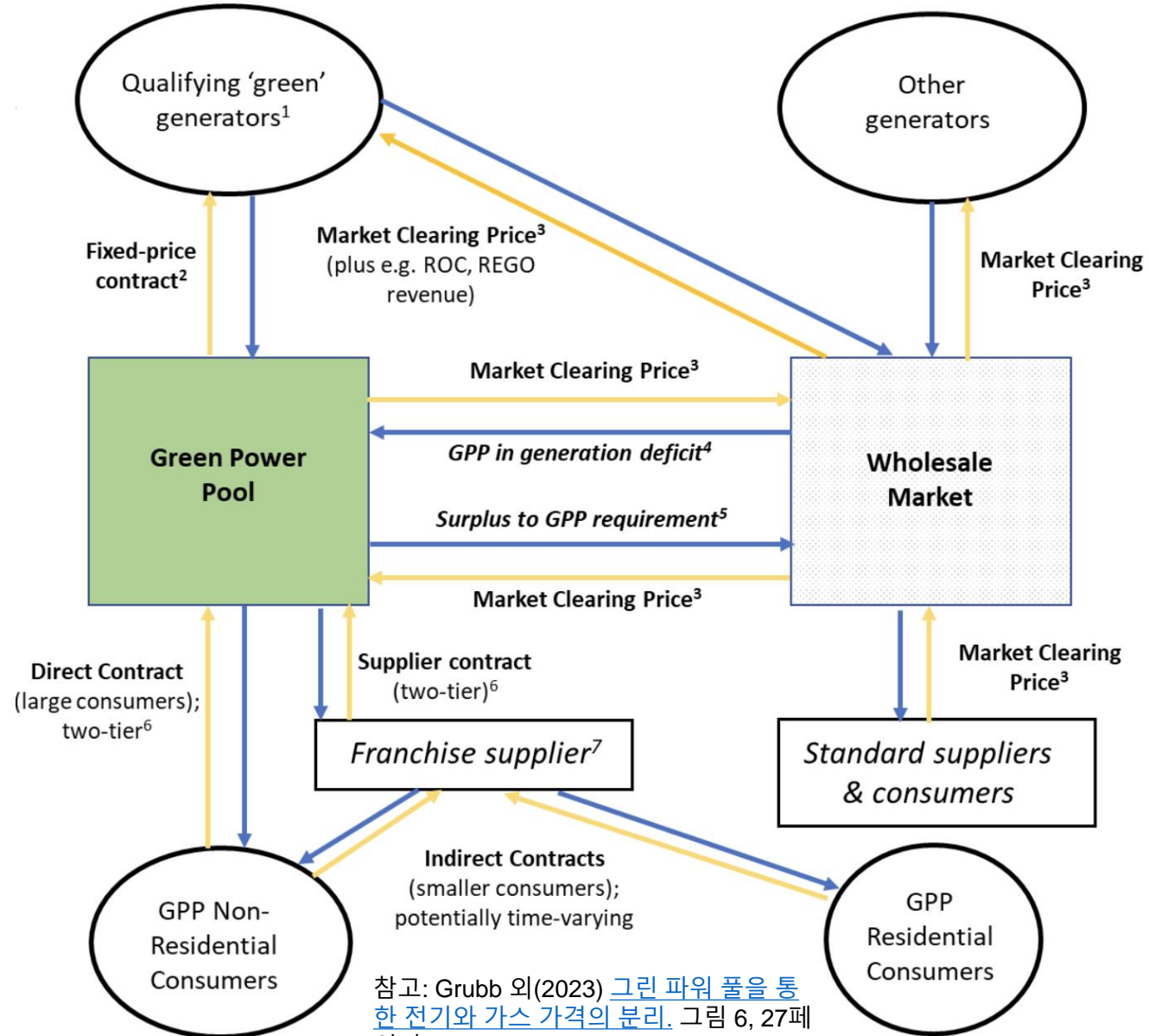
- 영국 도매 시장은 한계 가격을 기준으로 운영
- 가스가격 폭등으로 2022년 도매가격 £100 -> 500/MWh 폭등
- 2022년 CfD 재생 가능 에너지 가격은 £35 -> 50/MWh

도매 시장 분할 솔루션

- CfD가격에 (간헐성 전력 사용이 가능한) 'as-available' 시장과 한계도매가격에 (급전가능전력의) 'on-demand' 시장으로 분리
- 재생 에너지를 국가 또는 지역 '녹색전력 풀'에 통합하여 간헐성을 완화하고 낮은 CfD 가격을 유지

위험

- 세계 어떤 국가에서도 시도되지 않음
- 불확실성으로 인해 투자가 둔화될 위험
- 'as-available'/녹색전력 풀 시장에서 에너지가 부족하면, 소비자는 여전히 도매시장에 노출



현재 진행중 논쟁: 지역별 한계 에너지 가격 체계

드라이버

- 간헐적 재생 에너지 및 네트워크 제약 증가.
- 2012년 이후 밸런싱 시장은 국가 수요의 5%에서 50%로 성장
- 2030년대에는 균형조정 비용이 연간 20~25억 파운드 증가할 것으로 예상

제약 조건

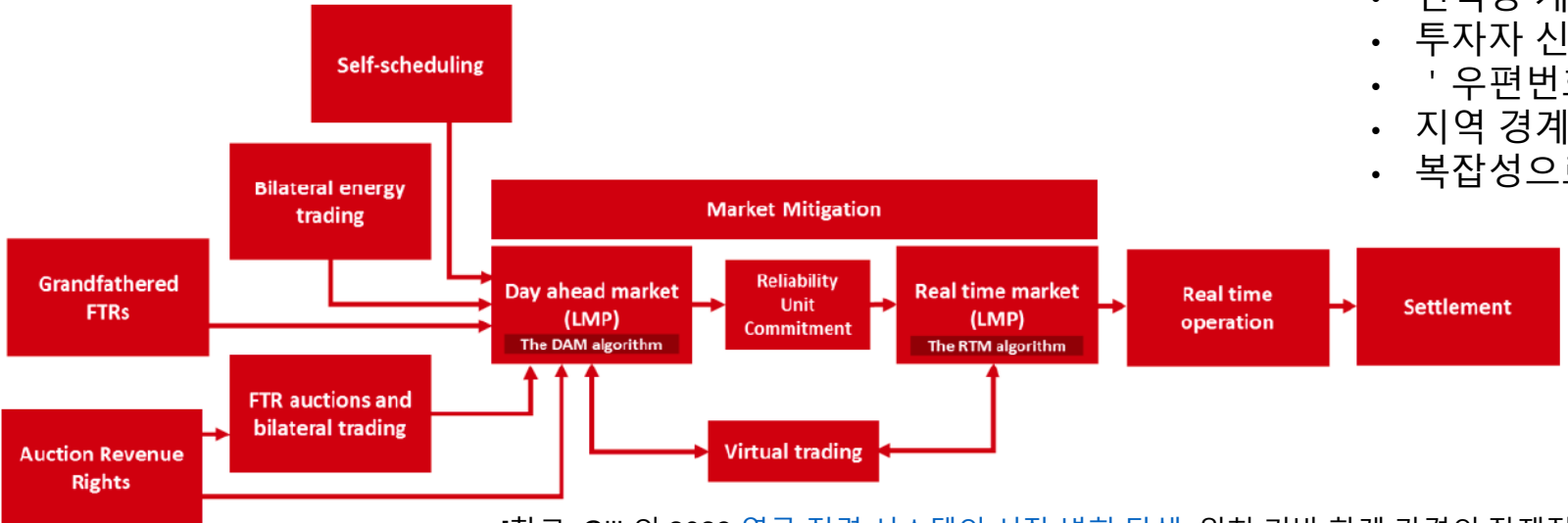
- 기존의 배전 및 송전망 이용요금은 효과적인 위치 투자 신호를 제공하지 못함(영국은 이미 송배전 이용요금 지역별로 차등부과)

솔루션

- 'Zonal' 모델은 네트워크 제약조건에 따라 각각 자체 도매시장을 갖춘 광역지역에 적용 (2025~2040년 150억파운드 절감효과)
- 'Nodal' 모델('위치 한계 가격')은 송전/배전 인터페이스 그리드 공급 지점을 기반으로 하는 보다 세분화된 모델 (2025~2040년 기간 310억 파운드 절감효과)

위험

- 규제 및 기술 복잡성 증가
- 수익 불확실성 및 투자 위험 증가
- 진입 장벽 및 거래 비용 생성
- 전력망 개발로 인해 지역별 가격이 변경될 수 있음
- 투자자 신뢰 및 자본 비용에 미치는 영향
- '우편번호 복권' 이 혜택에 미치는 영향
- 지역 경계를 업데이트할 때 사용자에게 불확실성 발생
- 복잡성으로 인해 단기적으로 탈탄소화가 지연될 위험



[참고: Gill 외 2023 영국 전력 시스템의 시장 변화 탐색: 위치 기반 한계 가격의 잠재적 영향]

Figure 8: Key elements of a typical LMP market [참고: 탐 앤 워커 2023 전력 시장 개혁 PN-694.]

구조적 문제에 대한 혁신적인 솔루션

- 위치별 경쟁 DSR 조달을 위한 피클로플렉스 수요반응 시장 플랫폼
- 실시간 그리드 관성 및 강도 측정을 위한 리액티브 테크놀로지의 Grid-Sonar™ 슈퍼커패시터



[URL: <https://picoflex.com/>]

Competitions

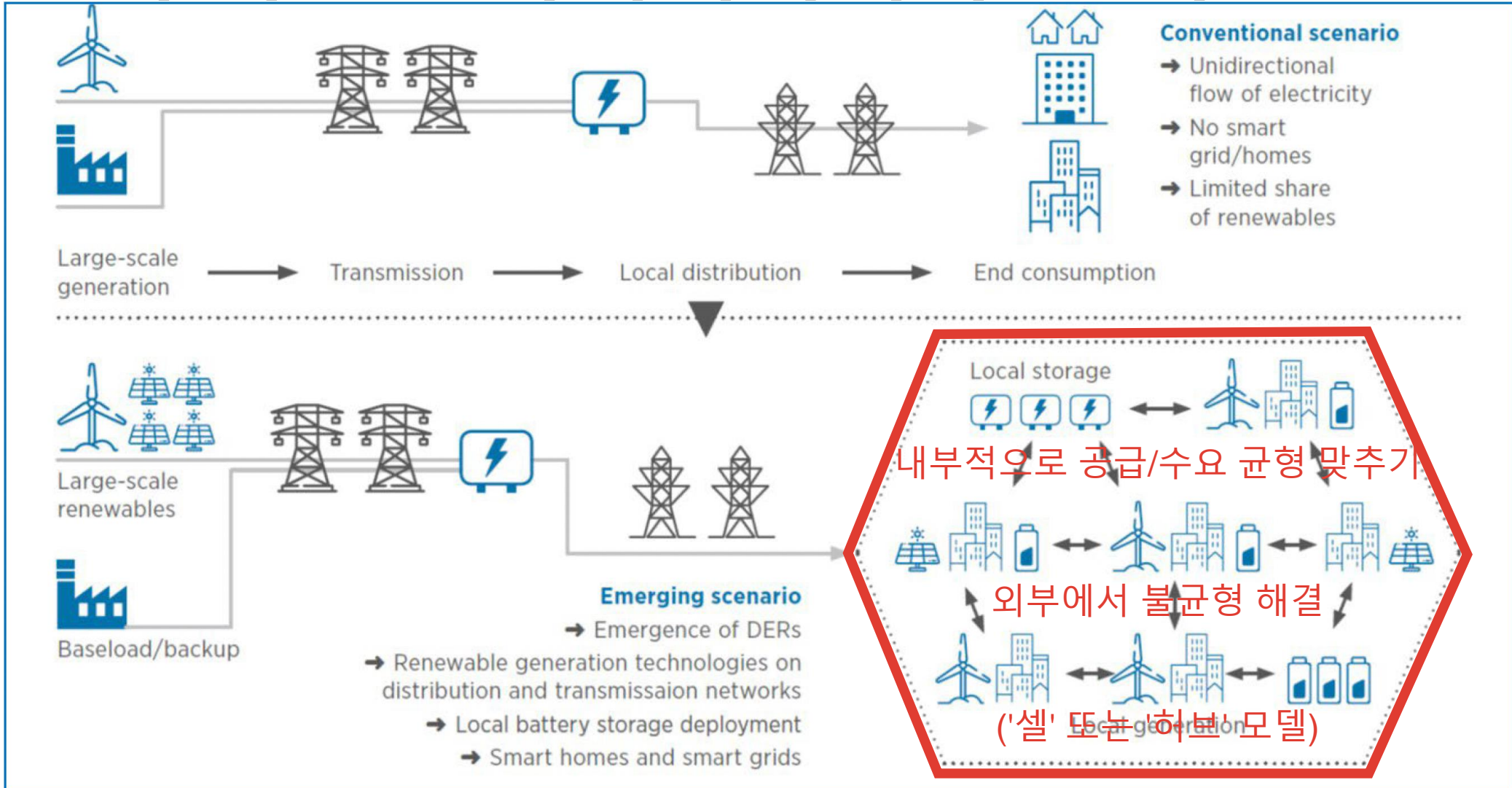
Location	Action	Time Left
110A LOANINGHILL RD	Add assets	4 years left
26 CASTLE AVENUE	Add assets	4 years left
ABATTOIR	Add assets	4 years left
ABBOTSFERRY PK	Add assets	4 years left
ABBOTSHILL	Add assets	4 years left
ABERGELE - PENSARN	Add assets	4 years left

Competitions on Pico Flex

Network	Active	Closed
UK Power Networks	0	2277
SP ENERGY NETWORKS	1704	3969
electricity north west	0	315
nationalgridESO	1	278

Read more about UKPN | Read more about SPEN | Read more about ENWL | Read more about NGENSO

전력 시스템 아키텍처의 주요 역할



[참조: 호주 국가 전력 시장을 위한 GPST 전력 시스템 아키텍처 기준 2023 p.93]

신속한 전체 시스템 혁신 지원: 영국에서 개인적으로 관찰한 10가지 사항

1. **효율성:** 규범적으로 규제되고 분리된 민간 에너지 시스템은 경제적으로는 효율적이지만 전체 시스템의 변화를 이끌어내는데 비효과적
2. **통합:** 전체 시스템 구조의 변화에는 적절한 전력 시스템 아키텍처를 기반으로 하고 규제 및 시장 개혁을 포함한 전체 시스템 전략 필요
3. **규제:** 규제 당국은 처방과 입력이 아닌 원칙과 결과를 파악해야 함
4. **혁신:** 장기적인 구조적 과제를 파악하고 이를 해결하기 위한 혁신에 유인 제공 필요
5. **디지털화:** 에너지 시스템 데이터는 혁신을 촉진하기 위해 기본적으로 공개되어야 함
6. **평가:** 의도하지 않았던 결과를 포착하고 수정하려면 모니터링과 평가가 통합적이고 지속적이며 거의 실시간으로 이루어져야 함
7. **위험:** 변화가 빠를수록 정부와 업계가 수용하고 관리해야 할 위험도 증가
8. **형평성:** 에너지 정책과 사회 정책을 분리하되, 공적 담론에서 이를 연계
9. **유연성:** 안정성을 위한 직접 부하 제어와 비용 효율적인 확장을 위한 시장 모두 필요
10. **견고성:** 우아하게 실패하는 사이버 물리 전력 시스템 아키텍처 필요