



# KEMRI 전력경제 REVIEW



이전 Review 보기

Vol.311

2025년 1월호

## ▶ Issue Paper

- ❁ 전기차 유연성 자원화를 위한 국내외 스마트충방전(V2G) 시장 및 법·제도 분석

## ▶ Research Activities

- ❁ 2023년 글로벌 전력 부문 리뷰
- ❁ 해외 국가별 송배전 손실을 및 부하율

# 경영정책 기초연구과제 수요조사

한전 경영연구원은 미래의 다양한 전력산업 문제 해결에 기여할 수 있는  
지식 기반 마련을 위해 **경영정책 기초연구**를 수행하고 있습니다.

선제적인 정책연구 아젠다를 발굴할 수 있도록  
전력산업에 관한 다양한 연구 주제를 제안해주시면 감사드리겠습니다.

**제안기간** 2025. 2. 10.(월) ~ 2. 28.(금)

**제안대상** 에너지·전력산업에 관심있는 누구나

**제안방법** biz\_kemri@kepcoco.kr로 제안서 제출  
→ 제안서 양식: 한전 경영연구원 홈페이지 공지사항 참고

**제안내용** 에너지·전력 분야 융복합 주제, 전력산업  
분석 방법론 개발, 기초 데이터 구축 등

**문의처** 연구기획팀 정 담차장(☎061-345-3671)

이채홍 대리(☎061-345-3672)

2025. 2. 10 **월**

~ 2. 28 **금**



## 【 Highlight 】

### 1. V2G 개요

- (개념) V2G(Vehicle-to-Grid)는 전기차의 에너지저장장치(ESS)를 활용하여 전력망과 전기차 사이에 양방향 에너지 전송을 가능하게 하는 기술을 의미
- (역할) ① 재생에너지 및 분산자원 확대에 따라 전기차를 분산형 유연자원으로 활용, ② 전력망 투자를 지연 또는 대체하기 위한 방안인 NWA(Non-Wires Alternative) 중 하나로 활용, ③ 가상발전소(VPP: Virtual Power Plant)의 핵심 자원 중 하나로 활용
- (전망) 재생에너지 확대, V2G 관련 인프라 확대 및 기술 발달, 세계 주요 유틸리티들의 사업 추진 등으로 V2G 시장 확대 예상

### 2. 해외 V2G 자원거래 사례 및 정책

- (사업모델) V2G 자원은 전기차 소유주의 직접 거래를 통한 차익거래 또는 중개사업자를 활용한 도·소매시장 참여를 통해 차익거래, 주파수 조정 및 예비력 등 보조서비스, DR 등의 형태로 참여 가능
- (사업사례) 미국 PG&E는 전기차 소유주가 V2G 참여 시 전력망 안정화 기여에 따른 대가를 제공하며, 영국 Octopus Energy는 전기차 무료 충전 혜택 제공
- (정책) 재생에너지 확대에 대응한 전력시스템의 효율적 운영을 위해 전력망과 전기차 시스템 간의 통합(VGI)을 촉진하는 다양한 제도 및 정책을 도입 중
  - (제도 마련) 유연성 자원으로써 V2G 활용을 촉진하는 법안 제정, 정부 계획 공개
  - (실증사업) 상업화 가능성 파악을 위한 실증사업에 정부 자금 지원
  - (경제성 제고) 양방향 충전 인프라에 대한 보조금 지급, 방전 실적에 따른 인센티브 지급, V2G 자원의 거래 가능성 확대를 위한 충전요금제 개편 등 추진
  - (V2G 의무화) 전기차·충전기 등 관련 인프라에 V2G 기술 사용 의무화, V2G 시스템의 전력망 연계 프로세스 정립 등 요구 법안 제정

### 3. 국내 V2G 자원거래 정책

- (제도) '전기사업법' 개정('18.12)을 통해 V2G를 포함한 소규모 전력자원을 활용한 '소규모 전력중개사업'을 전기신사업으로 정의하여 최초로 법적 근거 마련
- (R&D) 산업부는 '3차 지능형전력망 기본계획'을 통해 V2G 관련 기술 개발 및 상용화 제도를 마련('23.2)하고, 다양한 실증사업을 위한 규제샌드박스를 승인('23.11)
- (규제) 21대 국회에서 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 개정안을 통해 전기차의 개념에 충·방전을 포함하는 법률이 발의('23.6)된 바 있으며, 이후 22대 국회에서 「재생에너지 3법」을 통해 재발의('24.7)

# 【 목 차 】

## Issue Paper

### ■ 전기차 유연성 자원화를 위한 국내외 스마트충방전(V2G) 시장 및 법·제도 분석

I. V2G 개요 .....	1
II. V2G 동향 및 전망 .....	2
III. V2G 자원거래 해외사례 및 관련 정책 .....	5
IV. 국내 V2G 자원거래 활성화를 위한 정책 동향 .....	14
V. 결론 및 시사점 .....	16

## Research Activities

I. 2023년 글로벌 전력 부문 리뷰 .....	19
II. 해외 국가별 송배전 손실률 및 부하율 .....	26



## Issue Paper: 전기차 유연성 자원화를 위한

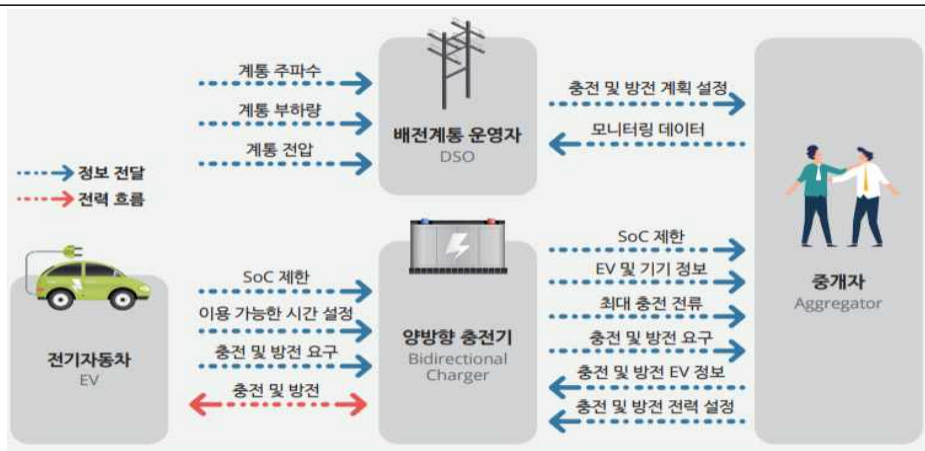
### 국내외 스마트충방전(V2G) 시장 및 법·제도 분석

#### I. V2G 개요

- [개념] V2G(Vehicle-to-Grid)는 전기차의 에너지저장장치(ESS)를 활용하여 전력망과 전기차 사이에 양방향 에너지 전송을 가능하게 하는 기술을 의미

○ V2G 시스템은 계통과 전기차의 조건을 모두 고려해 여러 단계를 거쳐 운영되며 크게 배전계통운영자(DSO: Distribution System Operator), 중개자(Aggregator), 양방향 충전장치(Bidirectional Charger), 전기차(EV: Electric Vehicle)로 구성

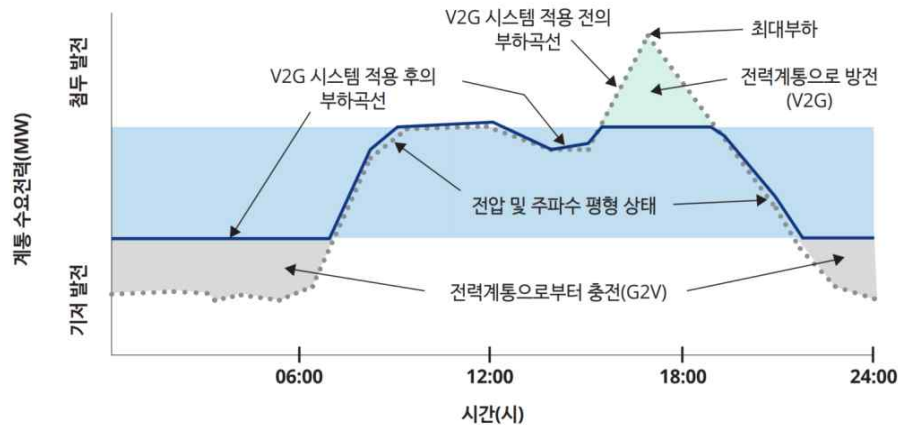
#### Ⅰ V2G 시스템 구성도 Ⅰ



\* 출처 : 김철환, V2G 적용 사례 및 국내 시설기준 제정 방향, 2015

- [역할 ① : 계통운영] 재생에너지 및 분산자원 확대에 따라 에너지저장장치의 필요성이 커질 것으로 예상되므로 전기차를 분산형 유연자원 중 하나로 활용 가능
  - (전력망 유연성 확보) 전력 수급 상황에 따른 전기차의 유연한 충전 및 방전을 통해 부하 평준화(Load Leveling), 주파수 및 전압조정(Regulation Service), 전력 예비력 공급(Spinning Reserves) 및 재생에너지 출력 안정화 등이 가능
  - (분산형 전원으로 활용) 전력공급이 부족한 지역/상황(단기 수요 급등, 발전기 또는 전력망 고장 등)에서 전력공급을 위해 분산형/비상 전원으로 V2G를 활용
- [역할 ② : 망 투자] 비전통적 송배전 솔루션(ESS, 에너지효율 등)을 활용해 전력망 투자를 지연 또는 대체하기 위한 방안인 NWA(Non-Wires Alternative) 중 하나로 V2G를 활용

## Ⅰ V2G 자원의 역할



\* 출처 : 이순정, 전력 계통 부하관리 및 전력품질 향상을 위한 V2G 협조제어 기법, 2016

### ■ [역할 ③ : 에너지산업] 계통 운영 측면에서의 역할 확대가 예상되는 가상발전소(VPP: Virtual Power Plant)의 핵심 자원 중 하나로 활용 가능

- V2G와 VPP를 연계한 에너지 정보 기반의 플랫폼을 통해 유연성 자원으로의 기능뿐 아니라 전력시장 예측에 기반한 차익거래를 통한 수익 확보도 가능

### ■ [해외 동향] 해외 주요국들은 V2G 사업의 활성화를 위한 법적 근거를 마련하여 실증·시범 사업을 진행 중이며, 일부 국가에서는 상업화를 추진 중

- 시간대별 전력소비 이동(Time shifting), 주파수 조정, 전압유지 등의 배전망 서비스 제공을 목표로 다양한 V2G 실증·시범 사업을 추진 중

## Ⅱ. V2G 동향 및 전망

### ■ 재생에너지 확대, V2G 관련 인프라 확대 및 기술 발달, 세계 주요 유틸리티들의 사업 추진 등으로 V2G 시장은 확대될 것으로 전망됨

#### 1 [전력시장 : 재생에너지 확대] 간헐성·변동성을 특징으로 하는 재생에너지 확대가 예상됨에 따라 전력망 안정성 확보를 위해 유연성 전원인 V2G의 필요성 증대

- (글로벌 발전량) 전 세계 재생에너지 발전량은 태양광, 풍력 등을 중심으로 2022년 8,599TWh에서 2050년 37,973TWh까지 확대될 전망(IEA STEPS 기준)
  - 특히, 2050년 탄소중립 달성(NZE 기준)을 위해 재생에너지 보급이 크게 증가하는 경우 (STEPS 대비 1.8배) 전력망 안정화 수단으로 V2G의 중요성도 더욱 증가할 전망

\* STEPS : 각 국가들의 현 정책 유지 시나리오. NZE : 2050년 글로벌 탄소중립 달성 시나리오



### ■ 글로벌 재생에너지 발전량 및 비중(단위: TWh) ■

구 분	2022	2030년		2050년		연평균 증가율('22~'50)	
		STEPS	NZE	STEPS	NZE	STEPS	NZE
태양광	1,291	5,405	8,177	17,220	31,237	9.7%	12.1%
풍력	2,125	5,229	7,070	11,801	23,442	6.3%	9.0%
재생e 발전량	8,599	16,915	22,532	37,973	68,430	5.4%	7.7%
재생e 비중	29.6%	47.2%	59.0%	70.3%	89.1%		-

\* 출처: IEA, World Energy Outlook 2023, 2023

○ (국내 설비) 제11차 전력수급기본계획(전기분) 실무안에서 2030년 '태양광 + 풍력' 설비 목표를 72.0GW로 제시했는데, 이는 2022년 실적(23.0GW)의 3.1배 규모이며, 제10차 전기분의 2030년 목표(69.8GW)보다 3.2% 증가한 수치

- 또한, 2038년까지 '태양광 + 풍력' 설비를 매년 6.6GW씩 증설하여 2022년 대비 약 5배 규모인 115.5GW의 설비를 설치하겠다는 목표 제시
- 「국가 탄소중립·녹색성장 기본계획」에 따라 NDC가 400만 톤 증가, 실무안 설비 계획 반영 시 목표 달성 가능

### ■ 2030 재생에너지 발전설비 목표치(단위: GW) ■

구 분	2022년	2030년	비 고
태양광	21.1	53.8	2.55배
풍 력	1.9	18.3	9.63배
태양광 + 풍력	23.0	72.0	3.13배

\* 출처: 산업부, 제11차 전력수급기본계획 실무안, 2024

○ (국내 발전량) 큰 폭의 신재생에너지 발전량 비중 확대('22년 9.2%→'38년 32.9%)가 예상되어 전력망의 안정적 운영을 위해 V2G 자원 활용에 대한 필요성 증가 예상

### ■ 발전량 및 발전비중(안) (단위: TWh, %) ■

구분	원전	석탄	LNG	신재생	수소 암모니아	기타	합계	탄소	무탄소
'30년 <sup>11차</sup>	204.2 (31.8%)	111.9 (17.4%)	160.8 (25.1%)	138.4 (21.6%)	15.5 (2.4%)	10.6 (1.7%)	641.4 (100%)	301.9 (47.1%)	339.4 (52.9%)
'38년 <sup>11차</sup>	249.7 (35.6%)	72.0 (10.3%)	78.1 (11.1%)	230.8 (32.9%)	38.5 (5.5%)	32.5 (4.6%)	701.7 (100%)	209.1 (29.8%)	492.6 (70.2%)

\* 출처: 산업부, 제11차 전력수급기본계획 실무안, 2024

\* 주) 무탄소에너지: 원전 + 신재생 + 수소·암모니아 - 연료전지·IGCC

**2 [인프라 ①: 전기차 확대] 전기차의 보급이 가속화될 것으로 전망됨에 따라 이동형 ESS인 전기차 배터리를 분산자원으로 활용할 수 있는 V2G 모델이 주목받고 있음**

- (글로벌) 2035년 전기차 보급 대수는 2023년 4,500만 대에서 11배 증가한 5억 2,500만 대에 이를 것으로 전망(STEPS 기준)

**2035년 글로벌 전기차 보급 전망**

시나리오	전기차 전망	연평균 증가율 ('23~'35)	전체 차량 중 전기차 비중
STEPS	5억 2,500만 대	23%	약 25%
APS	5억 8,500만 대	24%	약 30%
NZE	7억 9천만 대	27%	약 40%

\* 출처: IEA, Global EV Outlook 2024, 2024

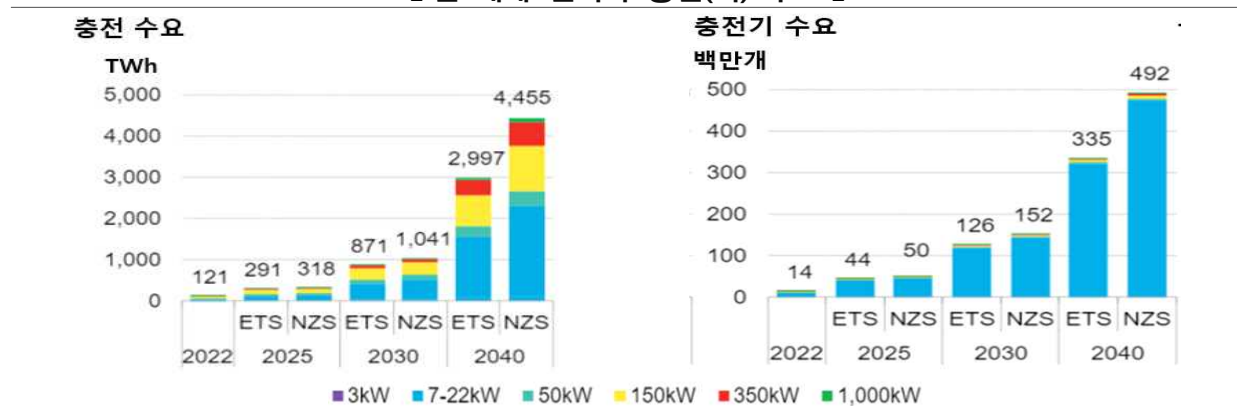
\* 주) APS: 각국 정부가 설정한 모든 에너지·기후 목표를 완전히 달성하는 시나리오

- (국내) ‘탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획’(’23.4)에서 2030 국가 온실가스 감축목표 상향\*에 따른 전기차 보급 목표 확대

- \* 2030년 BAU 대비 37% 감축(191.5백만 톤) → 2018년 총배출량 대비 약 40% 감축(291.0백만 톤)
- 내연차의 친환경차 전환·대체를 촉진하기 위해 전기차에 대한 구매보조금 지원·세제 감면 추진을 통한 전기차 보급 목표 확대(2030년까지 누적 기준 362 → 420만 대)
- 현재 전기차 보급은 개별 보조금 감소 등으로 일시 둔화하였으나 수송부문 탈탄소화, 충전 인프라 개선 등으로 장기적으로는 증가세가 이어질 전망

**3 [인프라 ②: EVC 확대] 전 세계 EVC 규모는 2022년 1,400만 개에서 2040년 최대 4.92억 개 ('22년 실적 대비 35배)로 증가가 전망됨에 따라 V2G 자원 활용을 위한 인프라 여건 개선 기대**

**전 세계 전기차 충전(기) 수요**



\* 출처: BNEF, EV Charging Outlook 2023 Grounds for Optimism, 2023

- \* 주1) ETS: 시장 메커니즘(경제성 등)에 의해 에너지 전환이 일어난다고 가정한 시나리오
- 주2) NZS: 2050년 탄소중립을 달성하기 위한 시나리오



- 2040년까지 신규 충전기 설치는 현재와 같이 완속 충전기(7~22kW)를 중심으로 이루어 지겠지만, 충전 수요에서 급속 충전기(50kW 이상)의 비중이 확대될 전망이므로 V2G 자원 활용 방식 변화(다수 완속 방전 → 소수 급속 방전 등)도 가능

#### 4 [기술: V2G 기술 발달] 기술 발전으로 인한 V2G 충전기 크기·비용 감소 및 기술 표준화 작업 등으로 인한 상용화 가능성 확대

- 다양한 제조업체의 전기차와 V2G 충전기 간의 호환성 확보를 위한 국제 표준화 작업을 통해 설비 간의 상호작용, 전력시스템과의 원활한 통신을 지원
  - 전력망에 EV 충전시스템을 통합시키고 EV와 EVC 간 연결 상태와 충전 수요, EV 이동 정보 등을 공유할 수 있도록 표준화 등(ISO 15118)
  - EV-EVC 간 통신 지원을 위해 V2G 시스템, 커넥터 유형 표준화 등(IEC 61851)

#### ■ V2G 설비 간 상호작용 및 전력시스템 통신에 대한 표준화 현황 ■

기관*	표준	표준화 내용
ISO	15118	양방향 전력 전송, EV-EVC 간 연결 및 분리 프로세스, 충전 스케줄 관련 표준
IEC	61851	EV-EVC 간의 인터페이스 및 EV 충전시스템의 안전성과 성능을 보장하는 표준
	63110	미터링 데이터 전송, 충·방전 승인 및 결제 표준 등 V2G 인프라 관리 국제 표준

\* ISO: 국제표준화기구, IEC: 국제전기기술위원회

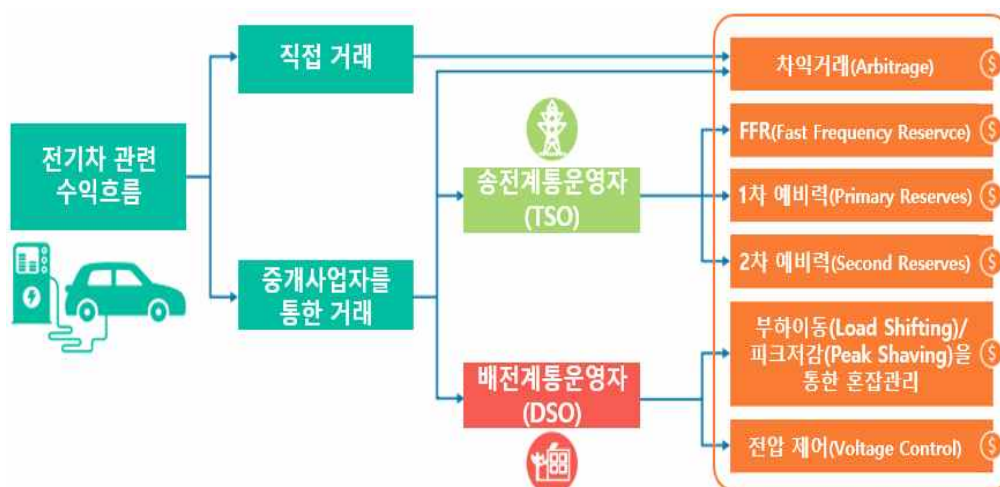
### III. V2G 자원거래 해외사례 및 관련 정책

#### 1. V2G 자원거래 모델 개요

- V2G 자원은 전기차 소유주의 직접 거래를 통한 차익거래 또는 중개사업자를 활용한 도·소매 시장 참여 차익거래, 주파수 조정 및 예비력 등 보조서비스, DR 등의 형태로 참여 가능
  - (전기차 소유주) 직접 거래 또는 중개사업자를 통한 간접 거래가 가능하며, 경부하 시 충전 후 요금이 높은 최대부하 시 방전하는 차익거래로 수익 확보 가능
    - TOU 요금제 등을 활용해 전기차를 충 · 방전함으로써 전기요금 절감이 가능하며, 중개사업자에게 V2G 자원을 대여 후 수익을 공유
  - (전기차 충전사업자) 전기차 충전용 전력을 판매하고, V2G 플랫폼 기반의 충 · 방전 스케줄링 서비스 제공을 통해 에너지 관리 및 방전 전력을 모집
    - 전력 판매뿐 아니라 방전 전력을 모집함으로써 VPP 중개사업자 역할도 가능

- **(VPP 중개사업자)** V2G 자원 등을 모집해 거대한 분산 전원의 역할을 하며, 모집 자원으로 도·소매 시장에 참여하여 예비력 자원 및 혼잡관리 등에 활용
  - 모집한 V2G 자원을 활용해 도·소매시장에 참여하여 전기차 소유주와 수익 공유
- **(전력사/DSO)** 전기차 충·방전을 통해 부하이동, 피크저감 등 특정 지역 내 수급 균형 유지와 전압 관리 등에 활용하며 설비투자 회피·지연 등에도 기여
  - 전력공급 서비스(예비력, 수급균형), 송배전 서비스(혼잡 완화, 투자 회피) 등을 제공
- **(ISO/TSO/DSO)** ISO/TSO는 V2G를 주파수 조정 및 예비력 자원 등으로, DSO는 부하이동, 피크저감 및 전압 제어 등의 자원으로 활용 가능

### Ⅱ V2G 수익 흐름 Ⅱ



\* 출처 : IRENA, Innovation Outlook: Smart Charging for Electric Vehicles, 2019

## 2. 주요국의 V2G 자원거래 모델 및 사업추진 사례

### 가. 미 국 (PG&E)

- **[자원 거래]** ① '전기차 소유주 - PG&E' 간의 직접 거래와 ② '전기차 소유주 - VPP 서비스 제공자(예: Tesla) - PG&E' 간의 간접 거래 등 2가지 형태의 거래가 가능하며, 모두 도매시장을 거치지 않고 지역 내 전력망 안정화에 기여

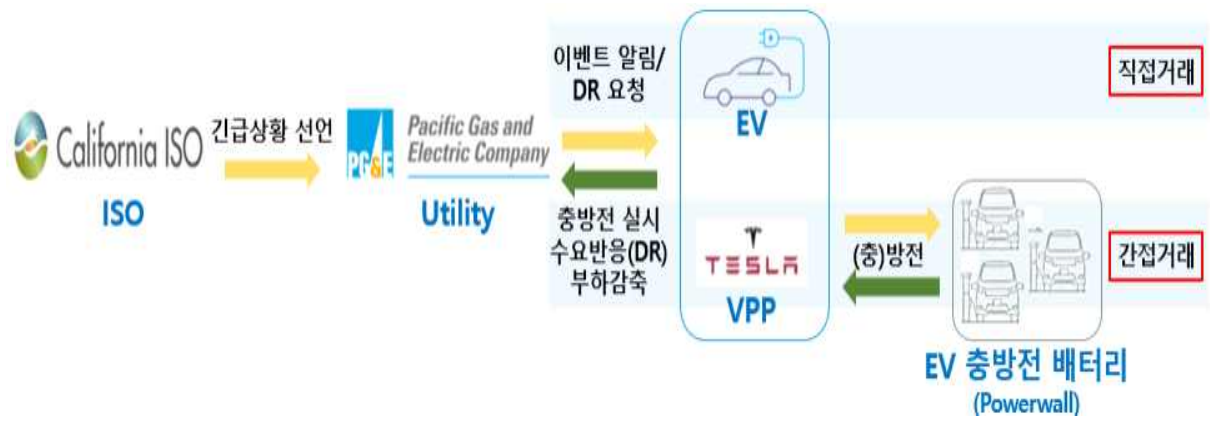
- **(직접 거래)** 전기차 소유주는 PG&E에 등록하고, ELRP(긴급부하감소프로그램)\*에 참여해 CAISO의 이벤트(정전 등) 선포 시 수급균형을 위해 일시적으로 전력을 공급

\* Emergency Load Reduction Program : 캘리포니아 공공서비스위원회(CPUC)가 '21년에 도입한 5개년 DR 프로그램으로 5~10월 중 오후 4~9시 사이에 일일 1~5시간 및 1년간 최대 60시간의 이벤트 발령 가능

- (간접 거래) Tesla는 VPP 사업자로서 V2G 자원을 모집 및 활용하여 ELRP 프로그램에 참여하고('24.3 이후는 DSGS(수요측전력망지원)\*) 전력망에 전기차 전력을 공급

\* Demand Side Grid Support : 폭염, 산불 등 전력수급 비상상황에 대비하여 수요감축, 예비전원 등 전략적 예비력 확보를 위한 프로그램으로 발령시간, 조건 등은 ELRP와 유사하나 보상 방식을 다양화

### PG&E의 V2G 자원거래 모델



- [수익 구조] 전기차 소유주는 직접 거래 또는 VPP를 통한 간접 거래를 통해 DR 프로그램(ELRP/ DSGS)에 참여하고 전력망 안정화 기여에 따른 보상을 획득

- (직접 거래) 요금이 저렴할 때 충전하여 충전비용을 절감하고, 피크 수요 시 방전하여 kWh당 최대 2달러(DR 보상에 해당)의 인센티브를 받음
- (조건) PG&E TOU 요금제 고객으로 이벤트 1회당 최소 25kW로 1시간 이상 방전 가능할 것

### PG&E의 V2G 직접 거래(ELRP) 인센티브 조건

구 분	조 건
주거용	- PG&E 서비스 구역 내 거주 고객 - ELRP의 A.5 그룹에 속하는 고객(EV 및 VGI Aggregators)
상업용	
마이크로 그리드(MG)용	- 공공 안전 전원 차단(Public Safety Power Shutoffs) 대상 고객으로 MG에 연결된 EV 및 충전기를 사용하는 PG&E 고객

\* 출처: PG&E

\* 주: VGI(Vehicle Grid Integration): 전기차-전력망 통합시스템

- (간접 거래) 개별 전기차는 Aggregator(Tesla)와 계약하여 VPP 자원으로 활용되며 Aggregator는 각 전기차의 부하 감소 기여도를 기반으로 연간 1회 크레딧 제공(App을 통해 전환 신청 시 현금으로 지급 가능)
- (조건) 전기차 소유주는 ① PG&E의 고객이어야 하며, ② 다른 DR 혹은 VPP 프로그램에 등록되어 있지 않아야 함

■ PG&E사의 V2G 간접 거래(Tesla 중개) 참여에 따른 인센티브(크레딧) 사례 ■

구 분	대 상	성과 인센티브		
ELRP	주거용	kWh당 2달러	최대 2,175달러 제공	
	상업용		최대 3,625달러 제공	
	MG		최대 5,000달러 제공 (주거/상업용 인센티브와 중복 수령 가능)	
구 분	월	4시간 참여(달러/kW)	3시간 참여(달러/kW)	2시간 참여(달러/kW)
DSGS	5월	9.00	8.10	6.75
	⋮	⋮	⋮	⋮
	10월	10.50	9.45	7.88
	전체(5월~10월) 총합	82.80	74.52	62.10

\* 출처: PG&E, California Energy Commission 웹사이트, 2024

- (유틸리티) EVC/VPP 사업자들을 DR(ELRP, DSGS) 프로그램에 참여시킴으로써 계통 안정화를 이루고 발전소 및 전력망 투자를 회피, 지연하여 비용절감 효과 추구

## 나. 영 국(Octopus Energy)

- [자원 거래] 전기차 소유주는 Octopus Energy의 V2G 요금제(Octopus Power Pack) 가입을 통해 에너지관리 플랫폼(Kraken)에 연결되고, NESO(National Grid Electricity System Operator)의 전력 수급균형 신호에 따라 전기차를 충·방전

### Kraken(에너지관리 플랫폼)

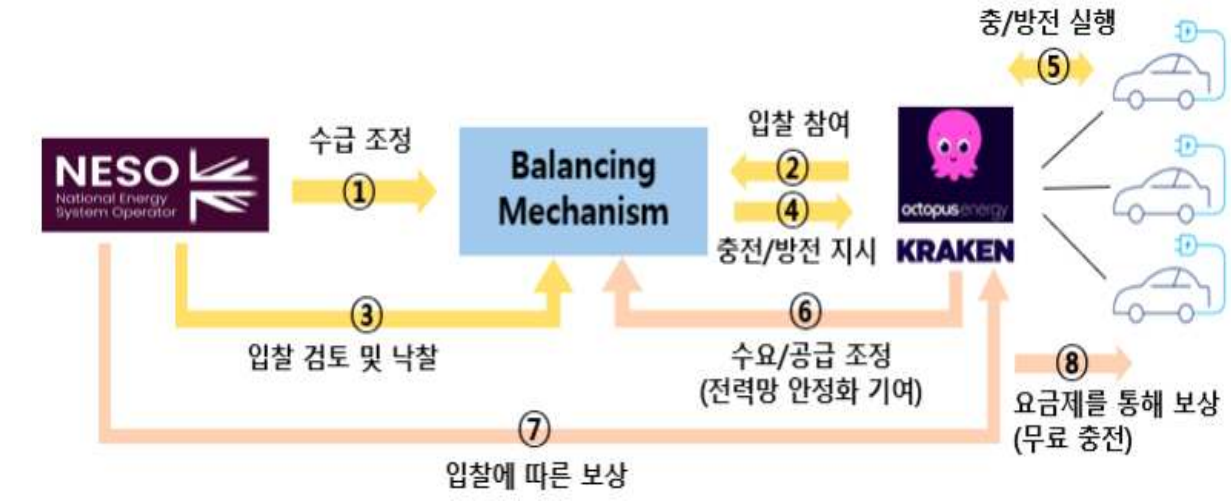
- (개요) 모회사 Octopus Energy Group이 전력망 안정화, AI 플랫폼 활용한 에너지산업 확대, 스마트그리드 지원 등을 위해 개발한 에너지관리플랫폼
- (V2G 활용) AI·데이터 기반의 플랫폼(Kraken)을 중심으로 V2G를 포함하여 다양한 분산에너지 자원들을 통합하여 하나의 가상발전소로 운영(VPP)

- (전기차-유틸리티) Octopus Energy는 에너지관리 플랫폼(Kraken)을 통해 경부하 시 전기차를 저렴하게 충전하고, 필요 시(NESO의 방전신호 수신) 방전시켜 전기차 자원을 활용
- (유틸리티-ESO) NESO(계통운영자)는 Balancing Mechanism(BM)\*을 통해 수급을 조정하고, BM에 연계된 Kraken의 급전 등 신호에 따라 전기차를 충·방전

\* 실시간 전력 수급균형 유지를 위한 온라인 경매로, 참여자들이 제출한 내용(초과수요 또는 초과발전 발생 시 참여자들의 발전량 및 소비량 조정에 대한 용량 및 가격 입찰)을 검토 및 낙찰시켜 전력수급 조절

- Kraken은 전력 소비와 발전량 데이터를 실시간으로 수집하고, 시장 가격 변동을 분석해 BM 입찰 참여를 최적화하며, 낙찰 결과에 따라 충·방전 시행

## Octopus Energy의 Kraken을 통한 V2G 자원거래



- [수익 구조] 전기차 고객은 방전 대가로 전기차 무료 충전(=에너지비용 절감)이 가능하며, NESO는 밸런싱 비용 절감 등 전체적인 전력시스템 운영 비용 절감 가능

○ (전기차 소유주) 'Octopus Power Pack' 요금제 가입 시 기존 요금제(주택용 TOU)와 결합해 방전량에 상응하는 충전 비용을 차감함으로써 에너지비용을 절감

- (수익) Power Pack 가입 고객은 변동요금제(Flexible Octopus)\* 및 스마트 충전요금제(Intelligent Octopus Go)\*\* 대비 각각 연간 £ 880, £ 180 요금 절감\*\*\* 가능

\* 도매시장 가격을 반영해 오프피크 또는 재생에너지 과잉 공급 시 요금이 낮고, 피크 시 요금이 높은 요금제

\*\* 오프피크 시(23:30-05:30) 7.5p(약 130원)/kWh에 전기차 충전이 가능한 요금제

\*\*\* 연간 전기차를 10,000마일 주행하고 에너지 사용량이 4,100kWh인 주택용 고객을 전제로 산정한 값

- (조건) 전기차를 월 170시간 이상 충전기에 연결(Octopus가 Kraken을 통해 자유롭게 전기차를 충·방전 제어할 수 있도록 하는 대기 상태를 의미)해야 하며, 월 333kWh 미만까지 충전할 수 있으나, 해당 조건을 반복적으로 위반 시 요금제가 해지됨

### Octopus Energy의 Power Pack 가입조건

충전기(EVC)	양방향 충전기(현재 1개 모델(Wallbox Quasar 1) 활용 가능) 설치
전기차(EV)	Nissan Leaf, Nissan e-NV200, Mitsubishi Outlander PHEV
미터링	플랫폼과 연결될 수 있는 스마트미터
DNO(배전망운영자)로부터의 승인	G99* 인증서 (지역 배전망에 전력 공급 허가, DNO에 따라 £300~750 비용 소요)
충전 및 주행에 관한 의무사항	월 최소 170시간(일평균 5.7시간) 충전기에 연결 및 월 충전량 333kWh 미만(약 1,700km 주행 가능) 유지

\* 출처: Octopus Energy

\* 16A(3.68kW) 이상의 모든 통합 마이크로 발전 및 ESS에 대한 연결 절차

- **(유틸리티)** Octopus Energy\*는 Kraken을 활용하여 모집한 전기차 충·방전 전력으로 BM (Balancing Mechanism)에 참여한 실적에 따른 보상을 받음

\* 소규모 전기차 자원을 모집하여 도매시장에서 거래하는 VPP 사업자와 동일한 역할을 수행

- (수익) BM에 제시한 가격과 용량에 따라 NESO가 지급

- **(NESO)** 전력망 안정화에 V2G 자원을 활용해 NESO의 밸런싱 비용(운영비) 감소\*

\* 2030년까지 영국에서 운행될 것으로 예상되는 전기차 1,000만 대가 모두 V2G에 참여한다면 약 1억 파운드의 전력망 밸런싱 비용을 절감할 수 있을 것으로 예측

### 3. 주요국의 V2G 활성화 정책

#### 가. 제도적 기반 마련

- 중앙 정부 또는 주·지방 정부 차원에서 재생에너지 및 분산전원 확대에 따라 계통운영의 효율성 제고를 위해 전기차의 활용을 확대하는 법 제정 및 정책 발표

- **(미국)** 연방정부는 V2G 기술을 탑재한 전기 스쿨버스를 장려하고 V2G 자원을 활용해 전력망 안정성 개선을 위한 법안(Bidirectional Act, S.1548)을 발의('23.5월)

- (캘리포니아주) 공공서비스위원회(CPUC)는 VGI 촉진 전략 수립 요구 법안 제정(SB 676, '19년), 분산자원-전력망 간 상호 연결을 위한 요구사항(Rule 21) 개정('20년) 등을 통해 유틸리티들의 VGI 활성화를 유도

- (메릴랜드주) 분산 재생에너지 통합 및 차량 전기화 법안(DRIVE, '24.5월)을 통해 V2G, ESS, 가정용 PV 등을 통합하는 분산에너지원 가상발전소(VPP) 구축을 촉진

- **(영국)** 수송부문의 탈탄소화와 에너지·전력망의 효율적 운영, 전기차 충전의 경제성·편의성 제고 등을 위해 Taking charge: the electric vehicle infrastructure strategy('22년), Electric vehicle smart charging plan('23년) 등 정부 계획 발표

- NESO는 '미래 에너지 시나리오(FES)\*'에서 V2G를 유연성 자원에 포함하였으며, 주택용 EVC를 활용한 V2G 확대 로드맵 제시('23년)

\* Future Energy Scenario(FES): 2050년 넷제로 달성을 위한 국가 전력 계획 전망을 담은 시나리오로, 2030년 DR 구성에 20GW의 V2G를 포함하고, 2050년 국가 전체 필요 발전설비 용량(285~385GW) 중 38GW를 550만 대의 전기차를 활용하여 조달한다는 계획을 제시



## 나. R&D : 기술 표준화 및 실증사업

### ■ [실증사업 지원] V2G 기술 개발 및 상용화를 위한 실증사업에 자금 지원

- (미국) 운행 스케줄이 일정한 전기버스 등을 활용한 프로젝트를 우선적으로 추진
  - (캘리포니아주) 에너지위원회(CEC)는 LA 지역의 전기 스쿨버스를 사용한 전력망 복원력 강화 V2G 프로젝트\*에 3백만 달러의 보조금 지원을 발표('24.3)
  - \* 20대 이상의 스쿨버스(전기버스 제조사 Lion Electric)를 V2G 충전기(자동차 및 전기차/충전기 제조사 BorgWarner)와 V2G SW(V2X 솔루션 기업 Fermata Energy)를 통해 전력망에 연결할 예정
- (영국) V2G 기술 개발 및 상업화 가능성 파악을 위해 대규모 정부 자금을 투입했으며, 전력 거래 활성화를 위해 유틸리티 주도로 V2G Pilot Test를 실시 중

### ■ 영국 주요 V2G 프로젝트 자금 지원 ■

연 도	프로젝트
2018	21개의 V2G 프로젝트에 약 3천만 파운드 지원, EDF, Octopus Energy 등이 참여
2018	영국 정부는 에너지 관련 사업자들의 Powerloop 프로젝트에 3백만 파운드 지원, EV 리스, V2G 충전기 설치, V2G TOU 요금제 및 관련 App 개발을 수행
2022	'22~'24년 V2X 혁신 프로그램에 1,260만 파운드 지원

\* 출처: BNEF, Get Paid to Charge with V2G, 2021

## 다. 경제성 제고 : 시장참여, 인센티브 및 보조금, 충전 요금제

### ■ [시장참여 허용] 소규모 에너지원의 보급 확산 및 수익 창출을 위해 전기차, ESS 등을 분산 에너지자원(DER)으로 분류하고 제도개선을 통해 시장참여를 허용

- (미국) 연방정부는 FERC Order 2222 개정('20년)을 통해 중개사업자가 모집한 분산자원\*의 미국 전력 도매시장 참여를 허용
  - \* 배전계통 또는 BTM단의 재생에너지, 전기차, ESS, DR 등 다양한 자원으로 구성되며 용량 제한을 두지 않음
- (영국) 정부는 GB Implementation Plan('19년)을 통해 기존 유틸리티로 제한되던 전력도매시장 참여 자격을 DER 중개사업자(Aggregator)로 확대
  - 중개사업자는 ESS, 전기차, DR 등의 소규모 분산자원을 모집해 전력시장에 참여 가능

### ■ [성과기반 인센티브] 전기차의 충·방전 성과에 기반한 인센티브 제공을 통해 전기차 소유주의 적극적인 충·방전을 유도하고 전력계통 유연성 강화에 기여

- (미국) 전기차의 V2G 활성화를 유도하고, 전력망 안정화를 위한 유연자원으로 활용하기 위해 방전 성과에 대한 인센티브를 지급(주 정부 재원 활용 DR 프로그램과 연계)

- (캘리포니아州) 폭염, 산불 등의 발생이 잦은 비상 기간(5~10월) 동안 안정적 전력망 운영을 위해 부하 감소 및 백업 발전 제공자에게 DR 성과에 대한 인센티브 지급

### ■ 캘리포니아州의 V2G 성과 인센티브 프로그램 요약 ■

프로그램	지원 내용	성과 인센티브
ELRP	전력망의 긴급 상황 시 부하 감소에 기여한 전력 제공자(EV 등)에게 인센티브를 제공	kWh당 2달러
DSGS	전력망 안정화를 위해 EV를 포함한 수요측 자원의 전력 소비·공급에 대한 인센티브를 제공	용량·시간별 차등 지급

- [보조금 지급] V2G 관련 인프라 초기 비용 부담 완화를 위해 정부 자원 등을 활용하여 구매·설치 보조금 등을 지원함으로써 양방향 충전이 가능한 인프라(EV/EVC) 보급 확대 유인

○ (미국) V2G 활성화를 위해 州별로 관련 인프라(EV/EVC) 구매·설치 보조금을 지급

- (캘리포니아州) 에너지위원회(CEC) 및 PG&E는 V2G 활성화를 위해 州정부 재원으로 양방향 충전 EV/EVC 등에 구매·설치 보조금을 지급

### ■ 캘리포니아州의 EV/EVC 보조금 ■

구 분		보조금(기기당)		목표
에너지위원회 (BUILD 프로그램)	V2G EVSE*		1,000달러**	-
PG&E	E V	최대 100kW 방전 가능 EV	1,800달러	-
		전기버스	기기당 3,150달러	-
		대형 전기버스	6,560달러	-
	E V C	주거용	\$2,500(우선지역 \$3,000)	V2G EVC 1,000개 설치
		상업용	(50kW↓) 최대 \$2,500(우선지역 \$3,000) (50kW↑) 최대 \$4,500(우선지역 \$5,000)	중대형 EV V2G 충전기 200개 설치

\* 전기차 공급 장비(Electric Vehicle Supply Equipment) : 전기차 충전을 위한 인프라 및 구성요소를 의미하며 H/W 및 S/W를 모두 포함. 예) 전기차 충전기

\*\* ENERGY STAR 인증을 받았거나, CALeMP 적합장비목록에 속하고 국가공인시험소(NRTL) 인증을 받은 경우

○ (영국) 정부 및 에너지 기업들은 V2G 충전기 보급 확대 및 전기차 소유주들의 적극적인 충·방전 참여 유인을 위해 정부 자원 등을 활용하여 설치 지원 및 보조금을 제공

- 정부와 Nissan은 파트너십을 통해 영국 전역에 1,000개의 V2G 충전소 설치('18년)
- 에너지기업들은 V2G 실증 프로젝트 참여자들에게 인센티브 및 설비 등 지급

■ [충전 요금제] V2G 자원을 분산자원의 하나로 활용하기 위해 TOU 충전 요금제를 시행해 V2G 자원거래의 경제성 제고

- (미국) 전기차 자원을 활용한 안정적인 전력망 운영을 위해 전기차의 효율적인 충전 및 방전을 유도할 수 있는 TOU 요금제를 시행
  - (메릴랜드주) 경부하 시간에 전기차 충전 유도를 위해 유틸리티를 대상으로 공공서비스 위원회(PSC)에 하나 이상의 TOU 요금제 제출('25.7) 및 시행('28.1)을 요구(HB 1256)
  - (델라웨어주) V2G 전력(역송)에 대해 Net Metering 크레딧을 제공하며, 다음 달 전기요금에서 차감할 수 있도록 허용

■ 델라웨어주 DPL의 계시별 전기차 충전 요금 ■

유틸리티	부 하	시 간	계 절	충전 요금(원/kWh)
DPL	최대부하 (월~금)	10:00~21:00	여름(6~9월)	160.63
		09:00~20:00	겨울(10~5월)	156.00
	경부하 (요일 구분 없음)	21:00~10:00	여름(6~9월)	56.52
		20:00~09:00	겨울(10~5월)	63.88

\* 출처: V2G 실증분석을 통한 활성화 방안 연구, 기초전력연구원, 2016

- (영국) 2019년 FiT 폐지 후 SEG\*가 도입되어 소규모 저탄소 전력 생산자는 전력망에 공급하는 전력에 대해 선택한 요금제(TOU)에 기반한 보상을 받아 수익성 제고
  - \* Smart Export Guarantee: 대형 공급업체들은 다양한 SEG 요금제를 제시하고 소규모 청정전력발전기(5MW↓)가 실제 전력망으로 공급하는 전력에 대한 매입 가격(역송전력에 대한 보상)을 결정하도록 함
  - SEG 요금제는 시간대에 따라 요금이 다르므로 자가용 태양광 보유자 등은 잉여 전력을 전기차(ESS)에 충전 후 보상 가격이 높은 최대부하 시 방전시켜 수익성을 향상

라. 규제 : 기술 도입 의무화, 계통연계 규정 마련 등

■ [기술 도입 의무화] EV/EVC의 양방향 충전 기술 탑재 의무화 법안 마련

- (미국, 캘리포니아주) 2030년 이후 주 내에 판매되는 EV 및 EVSE에 V2G 기술 사용을 의무화하는 법안(SB 233)이 통과('24.8월)되어 2030년부터 적용 예정

■ [계통연계 규정 마련] 주의회는 법안 제정을 통해 PUC(주 공공서비스위원회) 등에게 V2G 시스템의 전력망 연계 프로세스 수립을 위한 관련 규정 제정을 요구

- (미국, 메릴랜드주) 2025년 5월까지 PUC에 양방향 충전기의 신속한 계통연계 기준을 마련하도록 규정한 미국 최초의 V2G 활성화 법안(HB 1256)이 통과됨('24.4월)

## IV. 국내 V2G 자원거래 활성화를 위한 정책 동향

### 1. 제도적 기반 마련

- ‘전기사업법’ 개정(‘18.12)을 통해 V2G 등 소규모 전력자원을 활용한 ‘소규모전력중개사업’을 전기신사업으로 정의하여 최초로 법적 근거 마련
  - 동법 제2조12의6호다목과 전기사업법시행령 제1조의3에서 ‘소규모전력자원’을 정의하고 신에너지 및 재생에너지 설비, 전기저장장치와 함께 전기차를 포함
  - 다만, 산업통상자원부고시 제2023-7호 ‘소규모전력중개사업 표준약관’ 제2조3호 ‘소규모 전력자원’에는 전기차가 포함되어 있지 않아 전기차 전력의 거래 가능 여부는 불확실

### 2. R&D: 기술 표준화 및 실증사업

#### 가. 기술 표준화

- 산업부는 ‘3차 지능형전력망 기본계획’을 통해 V2G 관련 기술 개발 및 상용화 제도 마련 추진
  - 3차 지능형전력망 기본계획(‘23~’27년): 전력공급의 유연성 강화를 위해 전기차의 스마트 충·방전 사업모델 개발 및 V2G 제도 도입 기반 마련을 추진 과제로 제시
    - V2G 기술의 시장 상용화를 위해 사업자·자원 분류, 성능 기준 등 근거·규정(소규모 전력중개시장 집합자원에 V2G 포함) 마련 및 정산 요금제 등 제도 설계
  - 3차 지능형전력망 기본계획 하에 ‘2024년 지능형전력망 시행계획’을 발표하여 ‘전기차를 활용한 유연성 자원 개발’ 추진 전략을 제시
    - 변동성·간헐성을 특징으로 하는 재생에너지의 출력제어를 완화하기 위해 전기차를 활용한 VPP 사업모델 개발 및 V2G 실증을 추진

#### Ⅰ 전기차 활용한 VGI 사업모델 개념도 Ⅰ



\* 출처 : 산업부, 2024년도 지능형전력망 시행계획, 2024

- **(VPP 운영 지원)** 통합발전소(VPP) 참여시장 운영시스템 구축 및 제도 신속 도입을 위한 실제 계통 기반의 기술 개발 추진('23.4월~'26.12월)
- **(표준화 시스템 개발)** 전기차를 유연성 자원으로 활용하기 위해 EVC 사업자와 VPP 사업자 간 표준화된 정보연계 규격 및 시장거래모델 개발
  - 전력거래 참여를 위해 국제 표준에 기반한 전기차-충전시스템 VGI의 적합성·상호 운용성 평가시스템 개발 및 시험인증 체계 구축('23.7월~'26.3월)

## 나. 실증사업 사례

- **[산업부] 전기차 플랫폼을 이용한 개인 간 전력거래 실증을 위해 규제샌드박스 승인('23.11)**

### Ⅰ 규제샌드박스 통한 실증사업 계획 Ⅰ

구 분	수행기업	사업 내용	현행 전기사업법	특례 내용
V2X	현대차·기아	양방향 충전 기술을 통해 V2G, V2H, V2B 서비스 실증	전기차를 매개로 한 전력판매 기준 미비	EV에 발전 자원의 지위 일시 부여
V2V 기반 EV 플랫폼	티비유·기아	다른 전기차에 전력 공급하는 EV 플랫폼 서비스 실증	EV 저장 전력은 전력시장 통해서만 거래 가능	플랫폼을 통한 전력판매 일시 허용

- **[한국중부발전] 전기차의 배터리를 에너지저장 시스템 및 VPP로 활용하는 에너지 플랫폼 사업을 위해 한국공항공사와 V2G 사업 업무협약 체결('23.3)**

- 전력 피크와 여행 성수기가 겹치는 기간에 공항 내에 장기 주차되어 있고, 입·출차 스케줄이 예상 가능한 전기차를 활용하여 출력제한 문제가 빈번하게 발생하는 제주지역 계통안정 도모

- **[제주에너지공사] 한국에너지기술평가원에서 공고한 'VPP 통합플랫폼 개발 및 실증' 사업을 제주에너지공사가 주관하는 내용의 협약 체결('23.5~)**

- 재생에너지 확대에 대응하고 안정적인 전력계통 운영을 위해 소규모 분산에너지 자원(V2G 포함)과 ICT 기술을 융합한 가상발전소(VPP)를 운영하고, 동시에 전력 거래도 가능한 한국형 VPP 모델 개발을 추진

- **[현대건설] 'SDV(Software Defined Vehicle : 소프트웨어로 하드웨어를 제어·관리하는 자동차) 연계 V2G 기술을 활용한 대규모 EV 수요자원화 기술 및 서비스 생태계 구축' 실증연구 추진 ('24.5~)**

- 2028년까지 4년간 약 1,500기 이상의 충·방전기를 설치해 V2G 실증을 수행하고, SDV의 소프트웨어를 활용하여 전기차 소유주가 자율적으로 충·방전 플랫폼을 이용하도록 유도

### 3. 규제: 설치 의무화

- 21대 국회에서 2025년부터 일부 전기차 충전설비에 대해 V2G 기술 적용을 의무화하는 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 개정안을 발의(‘23.6월)하였으나 회기종료로 자동 폐기된 사례가 있으며, 이후 22대 국회에서 「재생에너지 3법」을 통해 재발의(‘24.7월)
  - (환경친화적자동차법) 현행법은 전기차의 정의를 ‘충전 받은 전기에너지를 동력원으로 사용하는 차’라 정의하고 있으나, 환경친화적자동차법은 ① ‘방전’까지를 포함하는 전기차에 대한 재정의, ② 양방향 충·방전 설비 설치 의무화 등의 내용을 담고 있음
  - (재생에너지 3법\*) 전기차의 ‘이동형 ESS’화 시대를 만들기 위한 법적 근거 마련이 핵심으로, ① 국내에서 판매되는 전기차에 대한 양방향 충전 기능 의무화, ② 일부 완속 전기차 충전시설의 양방향 충전설비 설치 의무화 등의 내용을 담고 있음
- \* 「재생에너지 3법」은 신·재생에너지 분리법, 그린수소 지원법, 전기차 양방향충전 의무화법으로 구성

## V. 결론 및 시사점

- 해외 주요국은 재생에너지 등의 확대에 대응한 전력시스템의 효율적 운영을 위해 전력망과 전기차 시스템 간의 통합(VGI)을 촉진하는 다양한 제도 및 정책들을 도입 중
  - (제도 마련) 전력망의 안정적·효율적 운영을 위해 유연성 자원으로서 V2G 활용을 촉진하는 법안을 제정하거나 관련 정부 계획을 공개하여 시장에 명확한 신호 제시
  - (실증사업) V2G 기술 개발과 표준화뿐만 아니라 상업화 가능성을 파악을 위해 전기차 및 충전기 제조사, 관련 SW 개발사, 전력회사 등이 참여하는 다양한 실증사업 진행 중
  - (경제성 제고) 해외에서도 아직까지 V2G 거래의 경제성 확보에 어려움이 있어 양방향 충전 인프라에 대한 보조금 지급, 방전 실적에 따른 인센티브 지급, V2G 자원의 거래 가능성 확대를 위한 충전요금제 개편 등을 추진 중
  - (V2G 의무화) 미국 일부 州에서 전기차, 충전기 등 관련 인프라에 V2G 기술 사용을 의무화하고 V2G 시스템의 전력망 연계 프로세스 정립 등을 요구하는 법안 통과
- 국내의 경우도 V2G 도입을 위한 제도 마련과 기술 실증 등에 박차를 가하고 있으며, 향후 재생에너지 및 전기차 확대에 대비하여 V2G 자원의 확대 및 효과적 활용을 위한 정책 마련과 전력사, 전기차 및 충전기 제조사 등 이해관계자들의 협력이 필요할 전망



- **(단기)** V2G 거래 활성화에 대한 시장 참여자들의 공감대 형성을 위해 V2G 자원의 시장 참여 관련 제도를 개편 및 고도화하고, 서비스와 비즈니스모델에 대한 실증을 병행
  - V2G 자원이 소규모전력중개사업에 참여할 수 있도록 관련 규정 개정, V2G 서비스 실증을 통해 경제성 확보를 위한 인센티브 지급 필요성, 방법 및 적정 수준 등 검토
- **(중장기)** V2G 거래의 상업화를 위한 제도·기술·사업적 측면의 기반 조성이 완료되면 본격 제도 도입과 함께 V2G 자원 활용 활성화를 위한 인프라 확보와 충전요금제 개편, 적정 보조금 및 인센티브 지급 등 경제성 확보를 위한 조치 실행 등

## 【참고문헌】

- 김철환(2015), V2G 적용 사례 및 국내 시설기준 제정 방향
- 딜로이트(2021), 미래의 전기차와 충전소: V2G에서 가상발전소(VPP)로의 통합 모델
- 산업통상자원부(2024), 2024년도 지능형전력망 시행계획
- 신한투자증권(2023.6), 대체투자분석: VPP, V2G와 미래 에너지산업
- 이순정(2016), 전력 계통 부하관리 및 전력품질 향상을 위한 V2G 협조제어 기법
- 한국에너지공단(2024.6), 에너지 이슈 브리핑: 제11차 전력수급 기본계획
- BNEF(2021), Get Paid to Charge with V2G
- BNEF(2021), Vehicle-to-Grid: Big Opportunities, Big Challenges
- BNEF(2023), EV Charging Outlook 2023 Grounds for Optimism
- BNEF(2024), Vehicle-to-Grid Tech Inches Close to Commercialization
- BUILD(2023), Bi-Directional Electric Vehicle Supply Equipment
- California Energy Commission(2022), Demand Side Grid Support(DSGS) Program Guidelines
- Department for Business, Energy & Industrial Strategy(2020.7) GB Implementation Plan
- Energy Saving Trust(2022), Powerloop Vehicle-to-Grid Trial
- ESO&Octopus Energy Group(2023.6), Powerloop: Trialling Vehicle-to-Grid Technology
- Guidehouse(2023), UK Roadmap for Residential Vehicle-to-Grid(V2G)
- IRENA(2019), Innovation Outlook: Smart Charging for Electric Vehicles
- SEPA(2023.9), The State of Bidirectional Charging in 2023
- SmartEn(2023), Assessment of the Regulatory Framework of Bidirectional EV Charging in Europe
- VP3(2024), Virtual Power Plant Flipbook

작성자 : 한전 경영연구원 김준형 수석연구원  
배유진 선임연구원  
박주연 일반연구원

## Research Activities I : 2023년 글로벌 전력 부문 리뷰

자료 Global Electricity Review 2024 (EMBER, 2024.5)

## 1 전력 부문 탄소 배출량

□ 2023년 글로벌 전력 부문에서의 탄소 배출량은 역대 최고 수준이었으나, 탄소 집약도는 집계기 시작된 2000년 이후 최저치를 기록

- 2023년 전력 부문 탄소 배출량은 14,153MtCO<sub>2</sub>로 2022년 대비 135MtCO<sub>2</sub>(약 1%) 증가하였으며, 탄소 배출량이 많은 국가는 중국(39%), 미국(11%), 인도(9.9%) 순
  - 중국의 탄소 배출량은 5,491MtCO<sub>2</sub>으로, 탄소배출의 95%는 석탄 발전에 기인
- 2023년 전력 부문 탄소 집약도는 480gCO<sub>2</sub>/kWh를 기록했으며, 인도(713gCO<sub>2</sub>/kWh), 중국(581gCO<sub>2</sub>/kWh), 일본(485gCO<sub>2</sub>/kWh) 3개국은 글로벌 평균치를 상회
  - 특히 인도와 중국의 석탄 발전량 비중은 각각 75%, 60%에 달함
- 우리나라의 2023년 1인당 탄소 배출량은 5.1tCO<sub>2</sub>로 전 세계 최고 수준을 기록
  - 글로벌 평균 1인당 탄소 배출량은 1.8tCO<sub>2</sub>이며, 우리나라는 미국(4.7tCO<sub>2</sub>), 일본 및 중국(각 3.9tCO<sub>2</sub>)뿐만 아니라 인도(1.0tCO<sub>2</sub>) 보다 높음

2023년 주요국 탄소 집약도 및 1인당 탄소 배출량



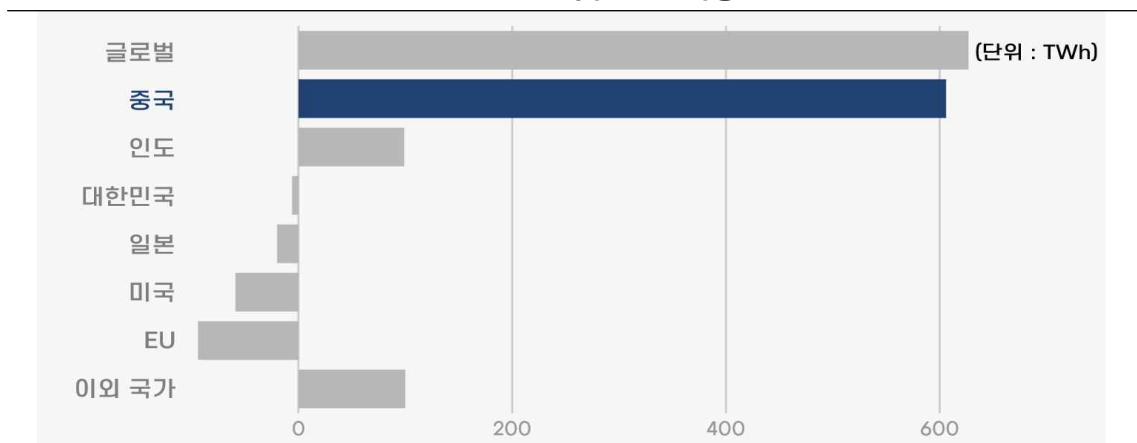
□ 전력 부문 탄소 배출량 증가율은 둔화하고, 탄소 집약도는 감소 추세

- 2000년 글로벌 탄소 배출량은 7,911MtCO<sub>2</sub>였으며 2023년까지의 연평균 증가율은 2.6%였으나, 2022년과 2023년 증가율은 각각 1.5%, 1.0%로 대폭 감소
- 탄소 집약도는 2007년에 547gCO<sub>2</sub>/kWh로 정점을 기록한 이후 지속하여 감소 중

## 2 전력수요

- 2023년 전 세계 전력수요는 2022년 대비 627TWh(약 2.2%) 증가하였으며, 이는 대부분 중국과 개발도상국의 수요 증가에 따른 것으로 분석됨
  - OECD 국가의 전력수요는 산업용 전력 소비 감소, 온화한 날씨, 에너지 효율 향상 등 다양한 요인이 복합적으로 작용하며 전년 대비 감소
  - 중국의 경우 코로나19 봉쇄 조치를 완화한 이후 경제 활동이 늘어났을 뿐만 아니라, 4분기에 평년보다 추운 날씨로 인해 전력수요가 큰 폭으로 증가

■ 2023년 전력수요 변화량 ■



- 전기차, 히트 펌프 및 에어컨 보급 확대, 데이터센터 증가에 따른 전력수요 증가분은 352TWh로 2023년 전력수요 증가분(627TWh)의 약 56%를 차지
  - 2023년 전기차와 히트펌프의 증가로 인해 전년 대비 0.6%의 신규 전력수요가 발생하였으며, 이는 2023년 전체 신규 전력 수요의 27%에 해당
    - 전기차의 전력수요 증가분은 2022년 대비 약 50% 증가한 72TWh\*이며, 히트펌프의 수요 증가분은 100TWh로 2022년(103TWh)과 비슷한 수준
    - \* 72TWh를 내연기관 자동차에서 사용되는 에너지로 환산하면 26만 배럴 이상의 석유에 해당
  - 냉방 전력과 데이터센터의 전력수요 증가량은 각각 약 90TWh를 기록하였으며, 이는 2022년 총 전력수요의 0.3%에 해당
    - 에어컨의 연평균 전력수요 증가율(약 4%)이 현재와 같은 추세를 유지한다면, 2030년 에어컨의 전력수요는 현재 대비 730TWh가 증가하는데, 이는 브라질의 연간 전력수요와 비슷함
    - 2019년 이후 데이터센터의 연평균 전력수요 증가율은 17%를 기록하고 있으며, 데이터 센터의 전력수요는 향후 3년 이내에 현재의 약 2배인 1,050TWh까지 늘어날 것으로 전망

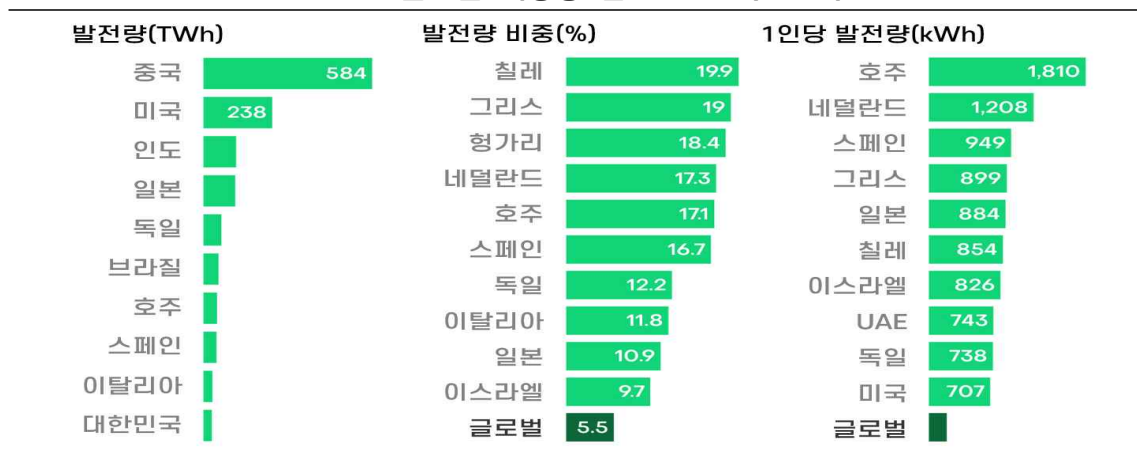
### 3 발전원별 발전량

**1 재생에너지** : 태양광과 풍력 발전량이 급격하게 증가하면서, 2023년 글로벌 재생에너지 발전량 비중이 처음으로 30%에 도달

□ **(태양광)** 2023년 태양광 발전량은 전년 대비 23%(307TWh) 증가한 1,631TWh를 기록, 전체 발전량의 5.5%를 차지하면서 중국을 중심으로 꾸준한 증가세를 유지

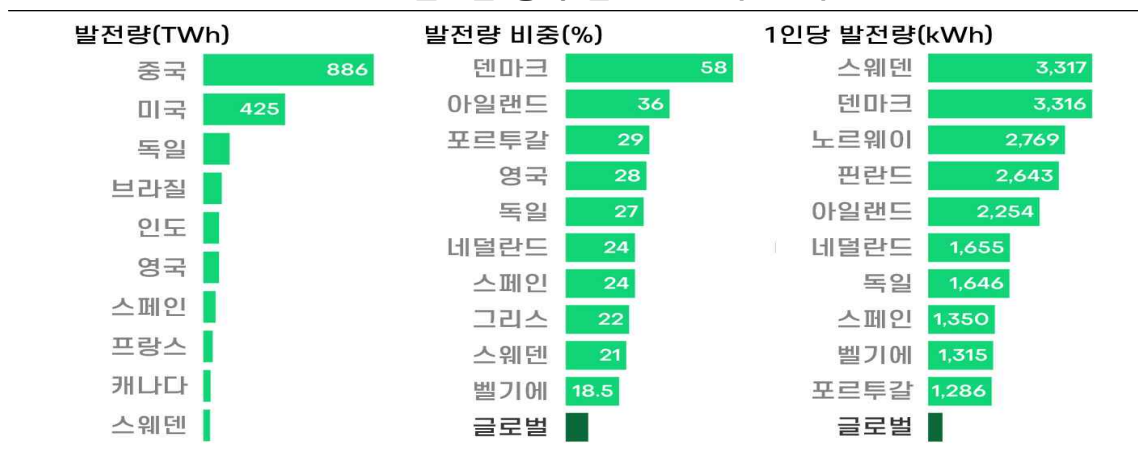
- 최근 태양광 발전의 성장은 중국이 주도하고 있으며, 2023년 중국의 태양광 발전량은 584TWh로, 238TWh인 미국을 제치고 가장 많은 발전량을 기록
- 또한, 글로벌 태양광 발전량 증가분인 307TWh 중 약 51%인 156TWh가 중국에서 발생하는 등 태양광 부문에서 중국의 성장세가 매우 두드러짐
- 2023년 월별 태양광 발전량은 2022년보다 항상 많았으며, 특히 8월 태양광 발전량은 월간 최고인 159TWh를 기록하여 전년 동월 대비 28% 높았으며, 이전 월간 최고 발전량이었던 2022년 7월의 129TWh보다 23%나 많았음
- 전 세계적인 태양광 발전의 급성장은 발전비용 감소와도 관계가 있는데, 2010년부터 2020년까지 발전비용이 87% 감소하였으며, 이에 2023년 태양광 발전량은 2015년 대비 6배, 2019년 대비 2배로 늘어남
- IEA의 탄소 중립 시나리오에 따르면, 2030년 글로벌 태양광 발전량은 현재 대비 5배 이상인 8,316TWh이며, 이는 발전량 비중으로 약 22%에 해당하고, 향후 더욱 빠른 보급 확대가 필요함을 의미함

■ 2023년 글로벌 태양광 발전 관련 주요 지표 ■



- **(풍력)** 2023년 전 세계 풍력 발전량은 전년 대비 9.8%(206TWh) 늘어난 2,304TWh로 총 발전량의 7.8%를 차지하였으며, 태양광과 마찬가지로 중국이 시장을 선도
- 2023년 중국의 풍력 발전량은 886TWh로 미국(2위, 425TWh)과 독일(3위, 137TWh)을 압도하였으며, 2023년 신규 풍력 발전량 206TWh 중 123TWh(약 60%)가 중국에서 발생
  - 전 세계에서 풍력 발전량 비중이 가장 높은 국가는 덴마크로 약 58%이며, 아일랜드(36%), 포르투갈(29%), 영국(28%), 독일(27%)도 풍력 발전 비중이 높은 것으로 나타남
  - 2015년 이후 풍력 발전량은 약 3배로 늘어났으나, 탄소 중립을 위해서는 2030년까지 7,070TWh의 풍력 발전량이 필요하며, 이는 전체 발전량 대비 18.5%를 차지하고, 현재 보급 속도 대비 약 2배 증가해야 함

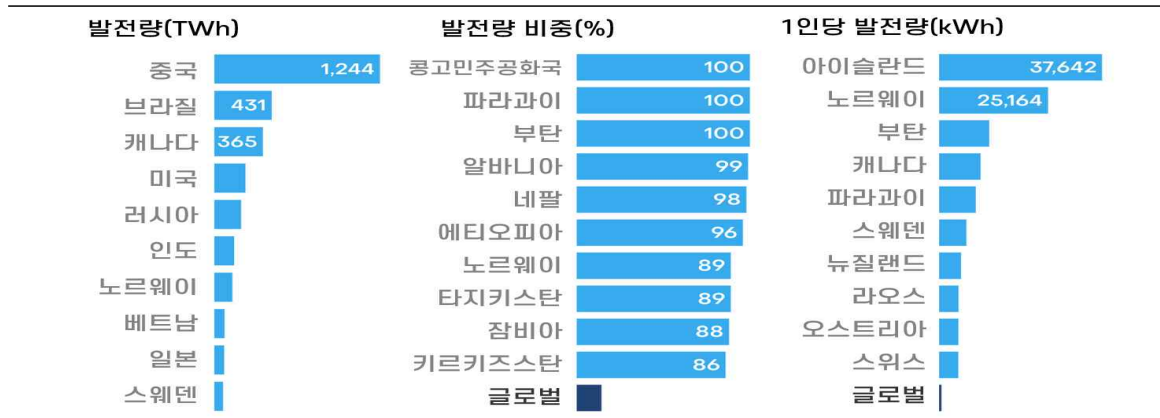
■ 2023년 글로벌 풍력 발전 관련 주요 지표 ■



- **(수력)** 2023년 글로벌 수력 발전량은 4,210TWh로 전체 발전량의 14%를 차지하고, 여전히 비중이 가장 큰 청정에너지였으나, 극심한 가뭄으로 인해 사상 최저 발전량을 기록
- 2023년 수력 발전량이 가장 많은 국가는 1,244TWh를 생산한 중국이며, 수력 발전량 비중이 약 60%에 달하는 브라질(431TWh)과 캐나다(365TWh)보다 많음
  - 그러나, 전 세계적인 가뭄이 수력 발전량에 영향을 미쳐 2023년 발전량은 2022년과 비교하여 88TWh 감소하였는데, 이중 약 67%(59TWh)는 중국에서 발생
  - 콩고민주공화국, 파라과이, 부탄은 국가 전력의 100%를 수력 발전으로 충당하고 있으며, 알바니아(99%), 네팔(98%), 에티오피아(96%)도 수력 발전에 의존
  - IEA의 탄소 중립 시나리오에 따르면, 2030년 수력 발전량은 5,507TWh로 연평균 증가율이 2.9%에 달하여 현재 대비 2배 속도로 보급이 필요



## 2023년 글로벌 수력 발전 관련 주요 지표

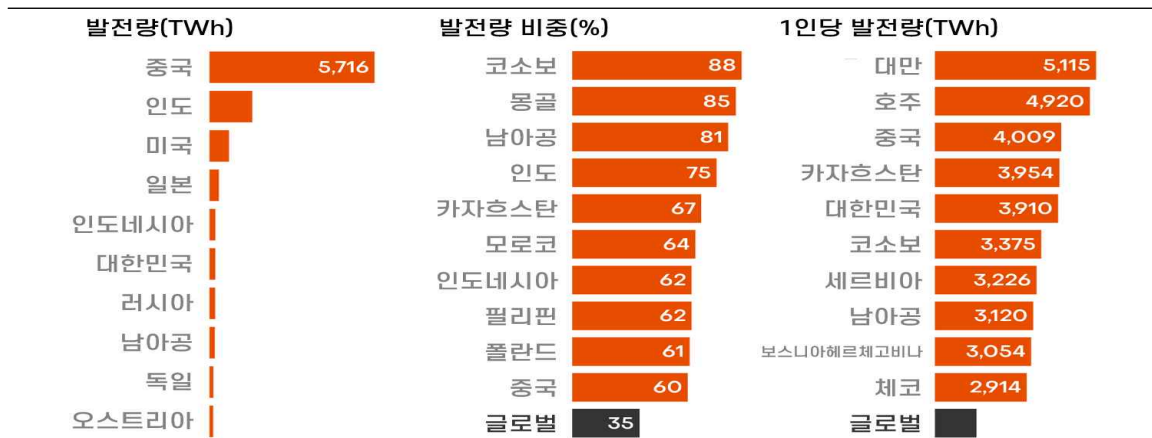


**2 화석연료** : 최근 발전량 비중이 감소하는 추세를 보이고 있으나, 2023년 발전량 비중은 여전히 높은 수준(61%)을 유지하고 있으며, 발전량은 사상 최고치에 도달

□ (석탄) 2023년 글로벌 석탄 발전량은 총 발전량의 약 35%인 10,434TWh에 달했으며, 이중 5,716TWh(약 55%)는 중국에서 생산됨

- 2023년 석탄 발전량은 2022년 대비 146TWh 증가했는데, 중국(+319TWh)과 인도(+100TWh)에서 크게 증가하였으며 미국(△156TWh)과 EU(△113TWh)에서는 감소
- 2023년 상반기 주요국의 가뭄으로 인해 수력 발전량이 감소하면서 석탄 발전량이 크게 증가하였으며, 하반기에는 중국의 수력 발전량이 회복되며 석탄 발전량은 감소
- 석탄 발전량 비중은 2013년 정점인 41%를 기록한 후 감소세가 유지되고 있으며, 특히 미국의 석탄 발전량 비중은 2015년 33%에서 2023년 16%로 대폭 감소
- IEA 탄소 중립 시나리오에 따르면, 2040년까지 석탄 발전을 완전히 퇴출하여야 하며, 2030년 발전량을 현재의 절반 수준인 5,144TWh까지 줄여야 함(발전량 비중은 14%)

## 2023년 글로벌 석탄 발전 관련 주요 지표



□ (가스) 2023년 글로벌 가스 발전량은 2022년 대비 53TWh 증가한 6,634TWh로 사상 최고치를 기록하였으나, 증가 폭은 역대 최소수준

- 가스 발전량이 가장 많은 국가는 1,802TWh를 기록한 미국이며, 이는 2022년 대비 115TWh 늘어났고, 전 세계 증가량의 2배 이상 수준
  - 반면, 일본( $\Delta$ 27TWh), 영국( $\Delta$ 24TWh), 이탈리아( $\Delta$ 23TWh), 스페인( $\Delta$ 23TWh)에서는 높은 가스 가격과 전력수요 감소 등으로 인해 가스 발전량이 소폭 감소함
- 2023년 전 세계의 가스 발전량 비중은 2022년 대비 0.3%p 감소한 22.5%를 기록
  - 카타르, 투르크메니스탄 및 바레인(100%), 알제리(99%), 트리니다드토바고(99%), 튀니지(97%), 오만(96%)도 가스 발전량 비중이 절대적
- IEA의 탄소 중립 시나리오에 따르면, 2030년 가스 발전량은 2023년 대비 10% 감소한 6,007TWh이며, 발전량 비중은 16%까지 감소할 것으로 전망됨

#### ■ 2023년 글로벌 가스 발전 관련 주요 지표 ■



**3 원자력** : 2023년 원자력 발전량은 2,686TWh로 2022년 대비 46TWh 증가하였으나, 발전량 비중은 9.1%를 유지

□ 2023년 원자력 발전량은 2000년 대비 145TWh 늘어났으나, 동기간 글로벌 전력 수요가 2배 가까이 늘어나면서 원전이 차지하는 비중은 대폭 감소(16.6%→9.1%)

- 2023년 원자력 발전량이 가장 많았던 국가는 미국(775TWh)이었으며, 뒤로 중국(435TWh), 프랑스(336TWh), 러시아(217TWh), 대한민국(181TWh) 순

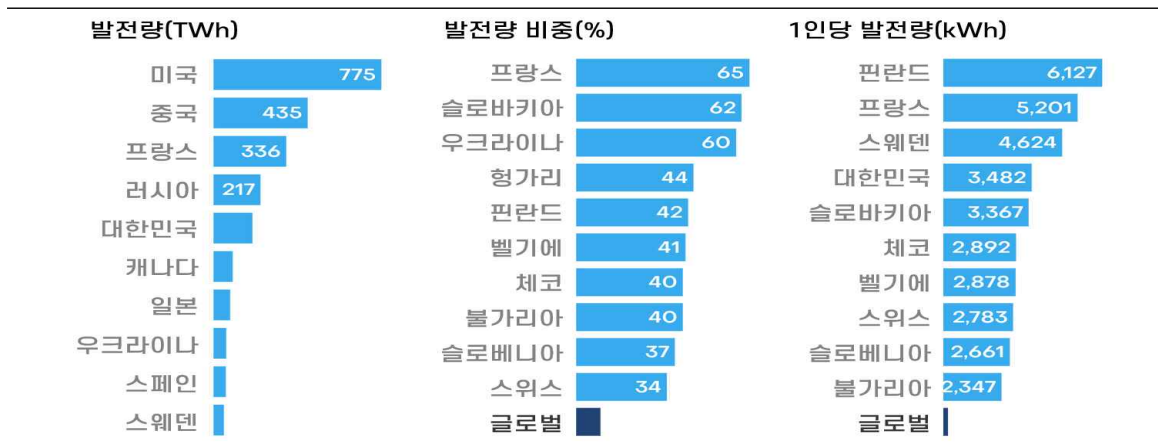
□ 최근 일부 유럽 국가에서의 탈원전 정책 시행, 프랑스와 일본의 원전 유지 기조, 중국의 원전 확대 등이 혼재하면서 글로벌 원전 시장에서 국가별 변동성이 확대되는 추세

- 2015~2023년 아시아(UAE, 일본, 중국)지역은 신규 원자로를 가동하여 원자력 발전량 비중이 늘어났으나, 유럽은 독일의 탈원전 정책\* 등의 영향으로 큰 폭의 감소세를 보임
- \* 탈원전 정책을 완료함에 따라 원자력 발전량이 26TWh 줄면서 전년 대비 가장 큰 폭으로 감소

□ IEA의 탄소 중립 시나리오에 따르면, 2030년 원자력 발전량은 3,936TWh로 예상되며, 이를 위해 현재 대비 3배 이상의 성장 속도\*가 요구됨

\* 2023년 원자력 발전량 증가율은 1.8% 수준이나, 2030년 목표 달성을 위해서는 4.9% 필요

### ■ 2023년 글로벌 원자력 발전 관련 주요 지표 ■



작성자 : 한전 경영연구원 이순정 선임연구원

## Research Activities Ⅱ : 해외 국가별 송배전 손실률 및 부하율

- 부하율과 송배전 손실률은 전력시스템 효율성 지표로, 일본 해외전력조사회에서 「해외전력 사업통계」 발간을 통해 주요국의 지표를 제공해 왔으나 '23.11월 통계 발간을 중단함
- 이에 따라 국내 전력시스템의 효율성 관리 등을 위해 일본 해외전력조사회의 지표 산정 방식과 출처를 동일하게 이용하여 송배전 손실률과 부하율 관련 통계를 발간함
- 일본 해외전력조사회에서 제시하는 국가별 출처에서 데이터 취득이 불가능한 경우, 과거 연도의 지표를 인용하거나 다른 출처를 이용함

## 1 송배전 손실률

- 국내 송전망에 공급되는 전력량과 송배전망에서 발생하는 전력 손실의 비율로, 송배전 손실률이 낮을수록 송배전망 관리의 효율성이 높다는 것을 의미

송배전 손실률 (%) : 송배전 손실량 (MWh) / 송전단 전력량 (MWh) × 100

일본	중국	미국	이탈리아	캐나다
4.8% ('22년)	4.8% ('22년)	4.9% ('23년)	6.0% ('23년)	6.5% ('23년)
스웨덴	프랑스 <sup>1)</sup>	영국	독일	
7.1% ('23년)	7.9% ('23년)	9.6% ('23년)	13.6% ('22년)	

1) 해외전력사업통계의 프랑스 지표 출처(RTE, Electricity Review)에서 데이터를 제공 중단하여, IEA 자료를 인용함.

## 2 부하율

- 연간 최대전력에 대한 평균전력의 비율로, 부하율이 높을수록 수요관리의 효율성이 높다는 것을 의미

부하율 (%) : 평균전력 (MW) / 최대전력 (MW) × 100

영국	미국	캐나다	스웨덴
64.6% ('23년)	63.0% ('23년)	61.9% ('23년)	61.0% ('23년)
프랑스	일본	호주 <sup>1)</sup>	이탈리아
60.4% ('23년)	59.8% ('22년)	54.6% ('23년)	45.3% ('23년)

1) 본 수치는 호주 7개 지역별 부하율의 가중평균이며, 7개 지역별 부하율의 산술평균 시 55.4%임.

## 1. 송배전 손실률

- ▶ (일본) 일본 경제산업성 자원에너지청, 전기사업편람
- ▶ (미국) EEI(Edison Electric Institute), Statistical Yearbook
- ▶ (캐나다) Statistics Canada 홈페이지
- ▶ (영국) Digest of UK Energy Statistics(DUKES) Annual data for UK
- ▶ (프랑스) IEA(International Energy Agency), Monthly electricity statistics
- ▶ (독일) UN(United Nations), UN Energy Statistics Yearbook
- ▶ (이탈리아) Terna, Dati Statistici sull'energia elettrica in Italia
- ▶ (중국) 중국전력 기업 연합회, 중국 전력통계연감
- ▶ (스웨덴) Statistikmyndigheten SCB(Statistics Sweden) 홈페이지

## 2. 부하율

- ▶ (일본) 일본 경제산업성 자원에너지청, 전기사업편람
- ▶ (미국) ①EEI(Edison Electric Institute), Statistical Yearbook, ②NERC(North American Electric Reliability Corporation), Electricity Supply and Demand
- ▶ (캐나다) NERC(North American Electric Reliability Corporation), Electricity Supply and Demand
- ▶ (영국) BEIS(Department for Business, Energy & Industrial Strategy), Digest of UK Energy Statistics(DUKES)
- ▶ (프랑스) RTE(Réseau de Transport d'Électricité), Electricity Review
- ▶ (이탈리아) Terna S.p.A, ①Dati provvisori d'esercizio, ②Dati Statistici sull'energia elettrica
- ▶ (호주) AEC(Australian Energy Council), Electricity Gas Australia
- ▶ (스웨덴) ①Svenska Kraftnät 홈페이지, ②Statistikmyndigheten SCB(Statistics Sweden) 홈페이지

## KEMRI 전력경제 Review 2025년 1월호 (Vol.311)

---

발행일        2025. 2. 17.

발행인        원장 강민석

편집인        경영연구원 편집위원회  
                 편 집 장   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.