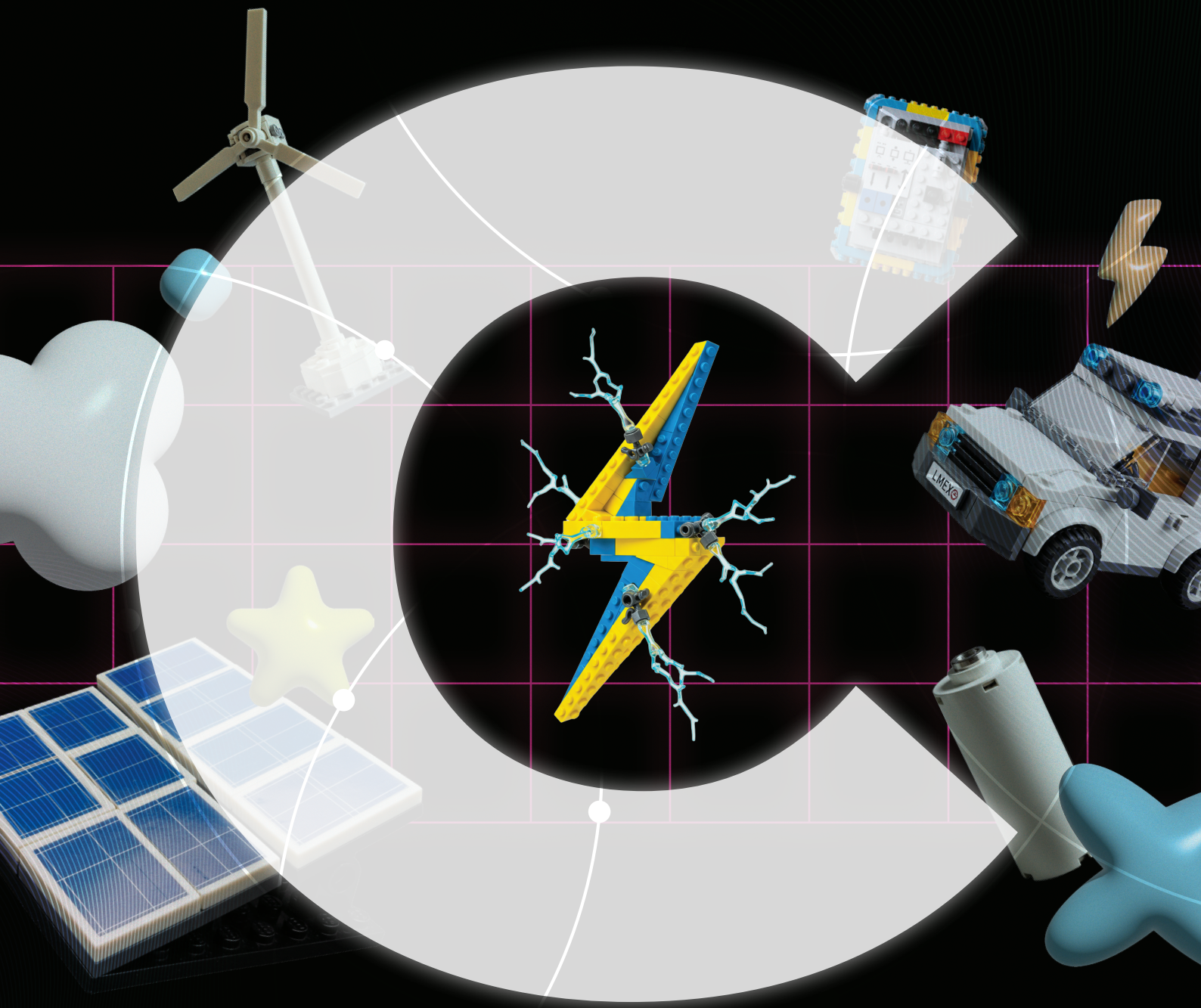
SFO°C
Solutions for Our Climate

° Report



재생에너지 기반 전력시스템으로의 전환: 가스발전소에서 가상발전소(VPP)로

SFO°C
Solutions for Our Climate

기후솔루션은 전 세계 온실가스 감축 및 올바른 에너지 전환을 위해 활동하는 비영리법인입니다.
리서치, 대외협력, 커뮤니케이션 등의 폭 넓은 방법으로 기후위기를 해결할 실질적 솔루션을 발굴하고,
실질적인 변화를 위한 움직임을 만들어 나갑니다.

발간월 2025년 8월

저자 임장혁 기후솔루션 전력시장계통팀 연구원 (janghyeok.lim@forourclimate.org)

도움주신 분 한가희 기후솔루션 전력시장계통팀 팀장 (gahee.han@forourclimate.org)
정은호 기후솔루션 수석자문위원 (eunho.cheong@forourclimate.org)

디자인 최예진 기후솔루션 디자이너
네이처리듬

재생에너지 기반 전력시스템으로의 전환

가스발전소에서 가상발전소(VPP)로

목차

요약 4

I. 가상발전소를 통한 패러다임의 전환 7
1. 3가지 혁신 7
2. 2050 탄소중립 기여 9
3. 전력피크 대응 10
4. 높은 경제성 및 짧은 구축기간 11

II. 가상발전소 확대의 장벽 1: 대규모 가스발전소 전환 계획 12

III. 가상발전소 확대의 장벽 2: 불합리한 전력시장 보상제도 14
1. 용량요금 제도상 문제 14
2. 보조서비스 시장 개설 및 운영 15

IV. 가상발전소 확대의 장벽 3: 수요자원 통합을 가로막는 제도 16
1. 파편화된 수요자원 관련 제도 16
2. 전기차 자원 활성화를 가로막는 고시 17

V. 가상발전소 확대의 장벽 4: 인프라 미비 18
1. AMI 인프라 미비 18
2. 양방향 충전기 인프라 미비 19

VI. 가상발전소 확대의 장벽5: 독립적인 배전망운영자(DSO)의 부재 20

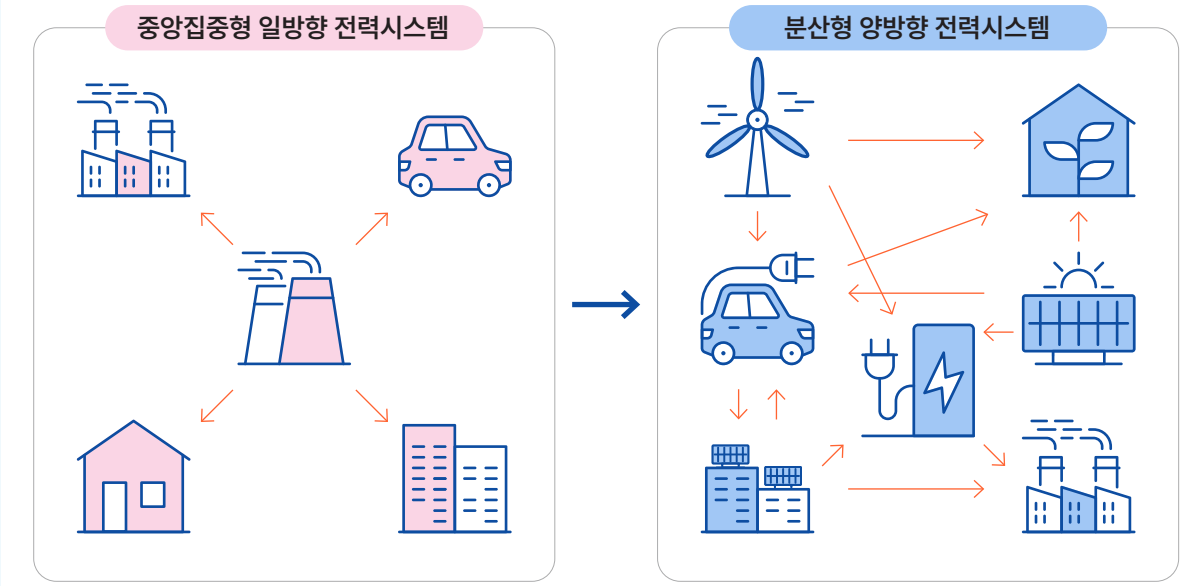
정책제언 21

부록 23

참고문헌 24

요약

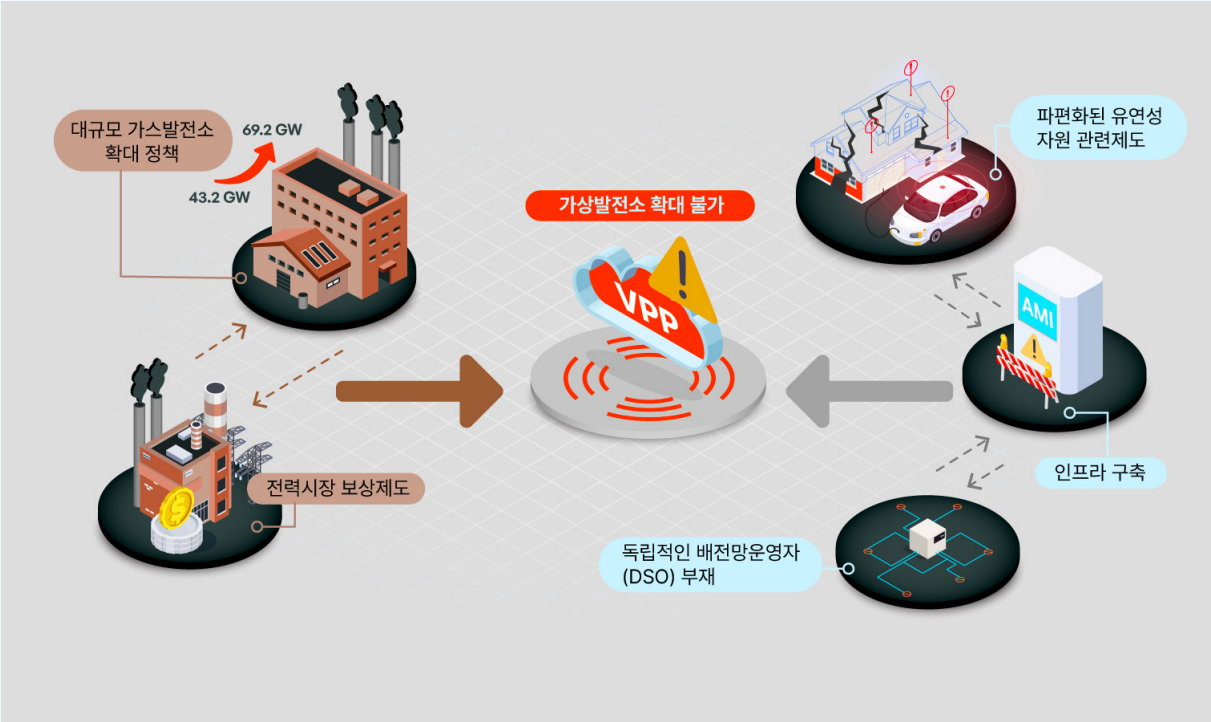
재생에너지 중심의 전력시스템을 구축하기 위해서는 현 대형 화력발전소 기반 중앙집중형 전력시스템에서 분산형 전력시스템으로의 패러다임 전환이 필요하다. 이러한 패러다임 전환의 중심에는 태양광 및 풍력발전과 에너지저장장치(ESS), 수요반응자원(Demand Response, DR)등의 분산형 유연성 자원을 통합·운영하며 전력시장에 입찰하는 가상발전소가 있다. 미국 에너지부는 2024년 기준 30GW 규모인 가상발전소를 2030년까지 약 80GW ~ 160GW까지 확대할 목표를 가지고 있을 정도로 앞으로 가상발전소는 더 중요해질 예정이다.[1]



그러나 한국 정부는 대형발전 기반의 중앙집중형 전력시스템에서 분산형 전력 시스템으로의 전환을 유인하는 정책을 충분히 마련하지 못하고 있다. 현 전력시장은 여전히 대형 화력발전의 운영 및 보상 중심으로 설계되어 있으며, 분산형 전원 확대에 적합한 시장 체계와 인프라 구축은 미비한 실정이다. 본 보고서는 '재생에너지 중심' 전력시스템으로 전환하는 데 필수적인 가상발전소의 확대를 저해하는 문제점을 진단하고, 이에 대한 해결방안을 제시한다.

1 U.S. Department of Energy, "Pathways to Commercial Liftoff: Virtual Power Plants 2025 Update", Jan 2025.

◦ 문제점



- **대규모 가스발전소 확대 정책**
  - 제10차 전력수급기본계획(전기본) 및 제11차 전기본에서의 대규모 가스발전소 설비 증설 계획으로 인해 국내 가스발전소 설비용량은 2023년 기준 43.2GW에서 2038년 69.2GW까지 확대되며, 중앙집중형 일방향 전력시스템이 지속될 전망임.

- **전력시장 보상제도**
  - 연료비가 높은 화력발전에 특화된 변동비 반영 시장(Cost Based Pool)으로 구성되어 연료비가 없는 재생에너지, ESS 및 DR 과 같은 유연성 자원의 가치가 적절히 평가되지 못함. 특히 가상발전소 보상에 중요한 다층적 보상제도가 부재하여, 용량, 보조서비스, 환경기여 등에 대한 보상이 부족함.

- **유연성 자원 관련제도**
  - DR 자원의 도매시장 참여가 제한되어 있으며, 최근 한전이 도입한 경쟁 제도(고객참여 부하차단 제도)는 DR 제도 대비 높은 동작보상금을 약속해 DR 시장 확대의 걸림돌로 작용하고 있음.
  - 산업통상자원부(산업부)고시 상 소규모 전력자원에 전기차가 포함되지 않아, 전기차 자원의 전력거래 가능 여부 불명확해 활용에 어려움이 있음.

▪ **인프라 구축**

- 한전의 AMI 설비가 성능기준에 미치지 못하고, 환경부의 전기차 충전기 양방향 기능 미비 등 인프라 부족이 VPP 확산의 걸림돌로 작용하고 있음.

▪ **독립적인 배전망운영자(DSO) 부재**

- 2024년 11월 한전이 DSO 출범식을 개최하며 DSO 역할 확대를 추진하고 있으나, 여전히 화력발전 자산 중심의 한전발전자회사를 소유하고 있어 분산형 전력시스템으로의 전환에 적극적일 유인이 부족하며, 이행상충 소지가 다분함.

◦ 해결방안

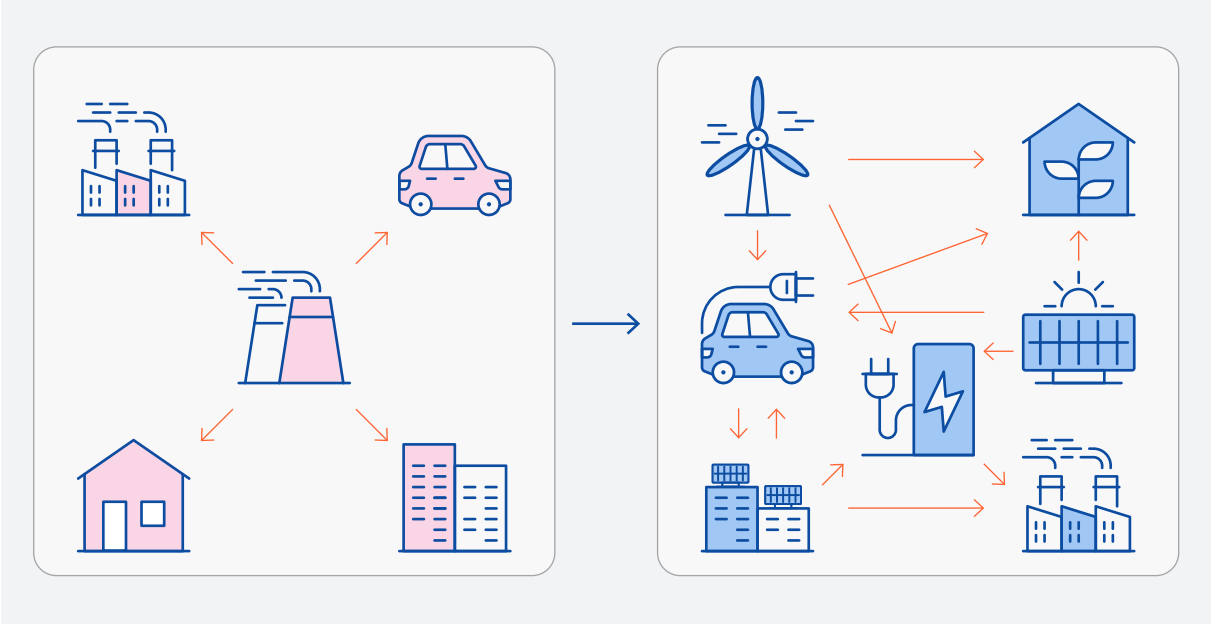
1	대규모 가스발전 확대 정책 취소
2	가상발전소에 대한 적절한 보상을 위한 전력시장 제도 개선
3	가상발전소 확대를 위한 인프라 구축 지원
4	독립적인 DSO 구축을 위한 전력시장 거버넌스 개선

I. 가상발전소를 통한 패러다임의 전환

1. 3가지 혁신

2050 탄소중립을 달성하기 위해서는 2023년 기준 5%에[2] 그치는 재생에너지(태양광 및 풍력발전) 비중을 급격하게 확대하여 2030년 최소 40%에 도달해야 한다.[3] 이처럼 재생에너지 기반 전력시스템을 구축하기 위해서는 현 대형 화력발전소 기반 중앙집중형 전력시스템에서 분산형 전력시스템으로의 패러다임 전환이 요구된다. 이러한 전환은 크게 3가지 혁신을 동반한다:

[혁신 1] 중앙집중형 일방향 전력시스템 → 분산형 양방향 전력시스템

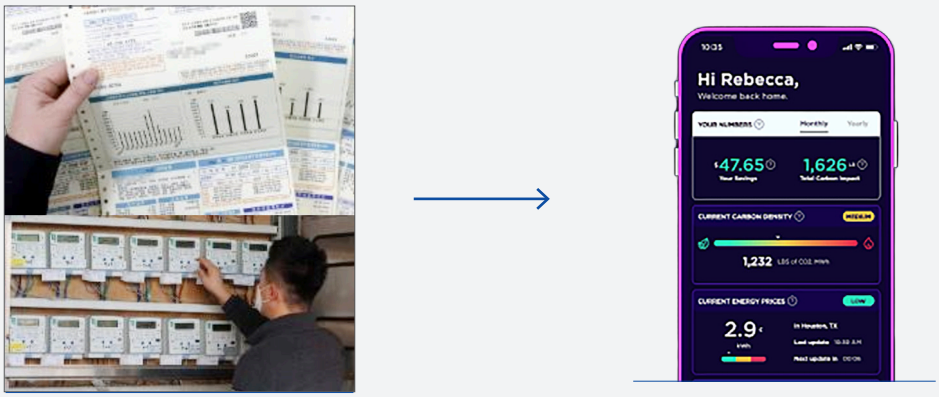


출처: 기후솔루션

2 Ember, Global Electricity Review 2024, 2024. 05. 08.

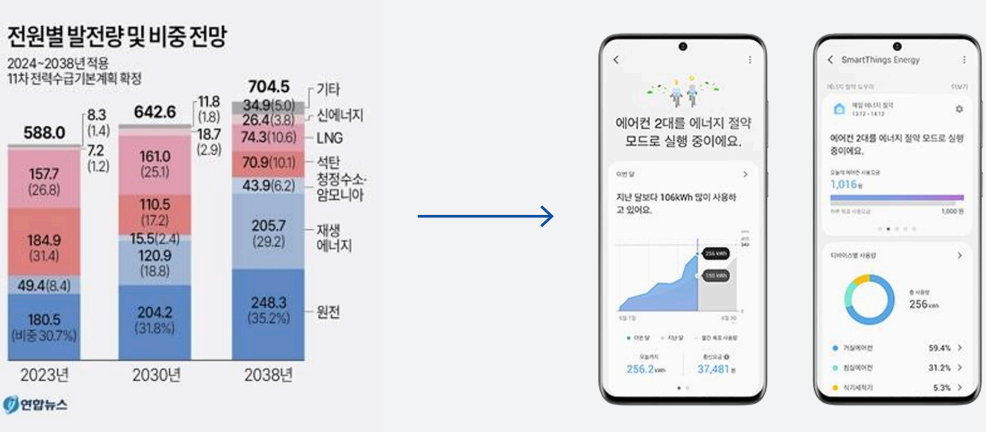
3 넥스트 그룹 et al. '대한민국 K-Map 2050 탄소중립 시나리오: 미래 세대와 한국 경제를 위한 보다 야심 찬 경로', 2022. 02. 09.

[혁신 2] 아날로그 기반 전력시스템 → IT 기반 전력시스템



출처: 옥토퍼스 에너지 & 매일경제

[혁신 3] 공급형 전력시스템 → 수요자원 확대에 기반한 수요 반응형 전력시스템

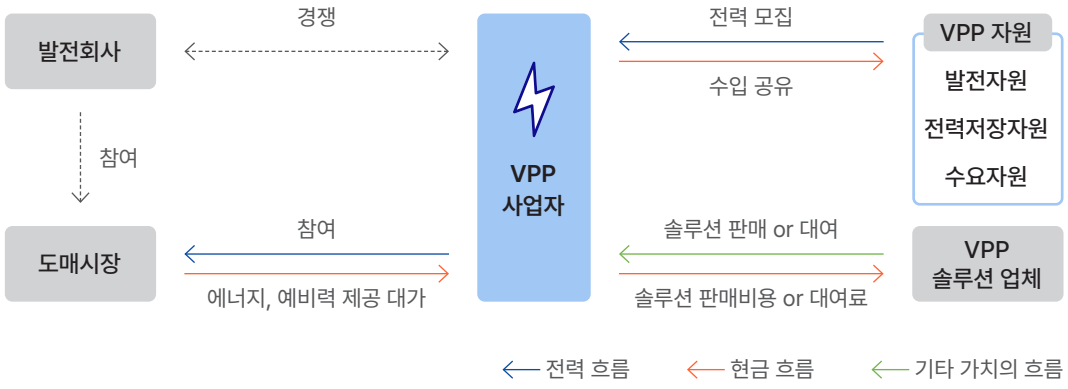


출처: 연합뉴스 & 삼성전자

가상발전소는 이러한 패러다임 전환에 핵심적인 역할을 한다. 다양한 종류의 분산형 자원(소규모 발전자원, 에너지저장장치, 수요자원 등)을 IoT 기술을 기반으로 분석, 연계 및 제어하여 계통에 기여할 뿐만 아니라, 분산형 자원의 운영과 도매시장 입찰 대행 등을 통해 개별 자원의 수익을 극대화함으로써 분산형 자원 확대와 시스템 변화에 기여한다.[4]

4 한국에너지정보재단, '통합발전소(VPP) 사업 모델과 글로벌시장 동향', https://www.e-policy.or.kr/web/lay1/bbs/S1T10C49/B/13/view.do?article_seq=3575, 2024.

[그림 1] VPP 사업의 기본 구조 개념도

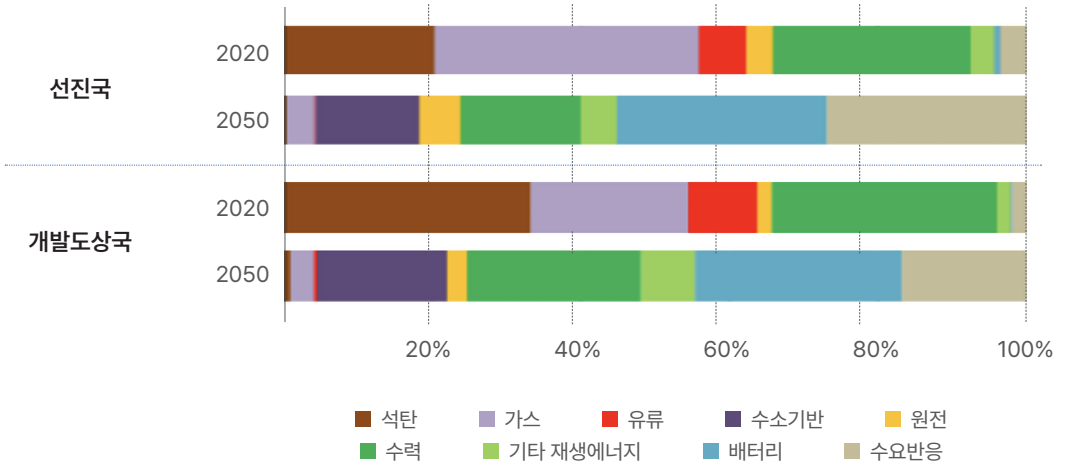


출처: 한국에너지정보재단

2. 2050 탄소중립 기여

국제에너지기구(IEA)에 따르면[5] 넷제로를 달성하기 위해 ESS와 DR자원의 역할은 계속 커져 **2050년에는 전력시스템에 필요한 유연성의 50% 이상을 담당하게 될 것이라고 예측했다(선진국 기준).**[6] 유연성 자원이 가스발전을 대체하여 시스템에 필요한 유연성을 충당하게 되면서 이러한 유연성 자원을 운영하는 가상발전소가 시스템의 핵심 축이 될 것으로 예상된다.

[그림 2] 넷제로 시나리오에서 유연성 자원 구성



시간별 필요 유연성 자원 규모가 4배 확대되며 이에 대응하기 위해 배터리 및 수요반응 자원이 주요 유연성 자원 역할 수행

출처: IEA

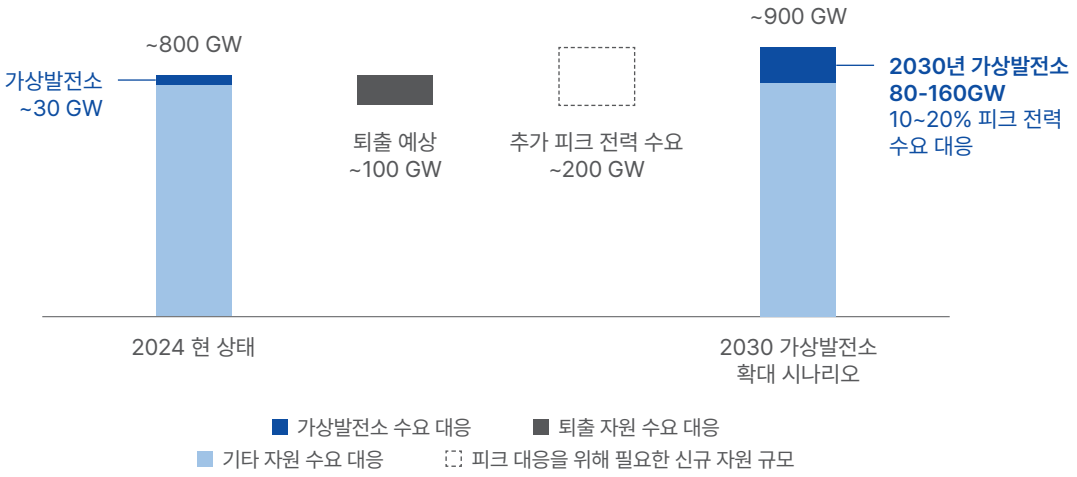
5 IEA, 'Net Zero by 2050, A Roadmap for the Global Energy Sector', Oct, 2021.

6 IEA에 따르면 전력믹스에서 태양광 및 풍력 비중은 60%가 넘으며 수력 등을 포함한 총 재생에너지 비중은 90%를 초과한다.

3. 전력피크 대응

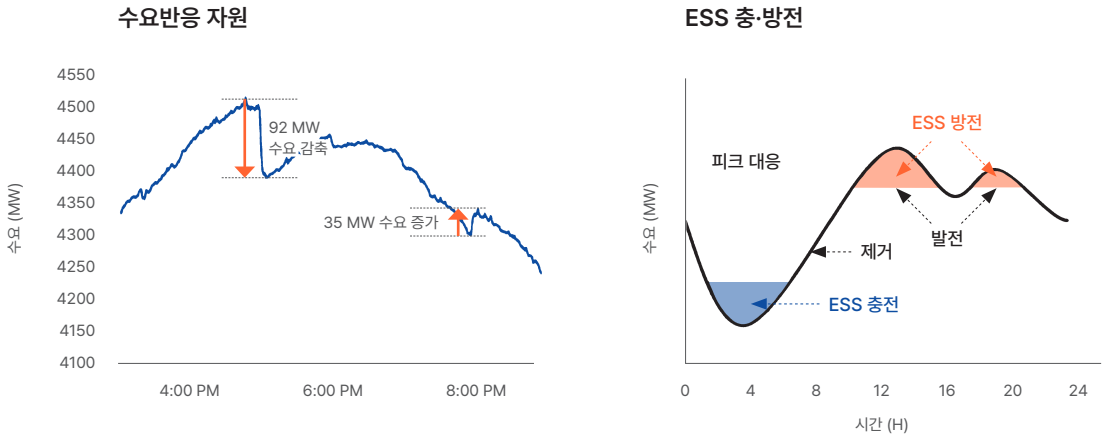
가상발전소는 전력피크 대응에 매우 효과적이다. 미국 에너지부에 따르면 2024년 기준 미국의 VPP 규모는 약 30GW 정도로, 시나리오에 따라 2030년까지 약 80GW ~ 160GW까지 성장할 것으로 예상된다. 이로 인해 전체 전력 피크의 10% ~ 20%를 감당할 것으로 전망했다.[7] 미국 북중부 캘리포니아 지역 유틸리티 기업인 PG&E는 현재 전력피크의 2% 정도를 VPP로 대응하고 있으나, 2030년까지 이 비중을 25%로 늘리는 목표를 가지고 있다.[8]

[그림 3] 미국 전력피크 수요



출처: 미국 에너지부

[그림 4] VPP를 통한 피크 대응 예시



출처: 미국 에너지부 & Muhammad et al.[9]

7 U.S. Department of Energy, "Pathways to Commercial Liftoff: Virtual Power Plants 2025 Update", Jan 2025.

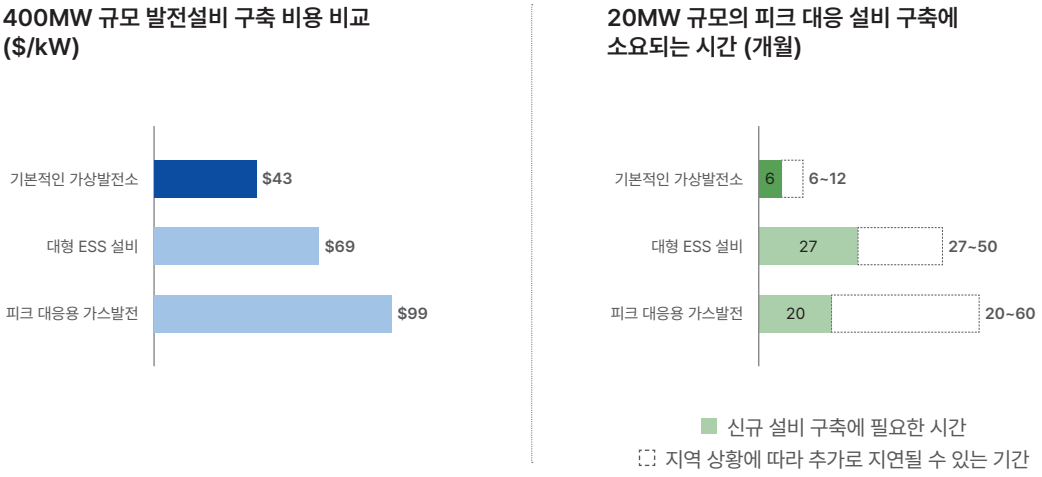
8 위의 책

9 Muhammad et al., 'A comprehensive state-of-the-art review of power conditioning systems for energy storage systems: Topology and control applications in power systems', 2022.

4. 높은 경제성 및 짧은 구축기간

이처럼 가상발전소의 역할이 빠르게 확대될 수 있는 이유는 기존 자원을 활용할 수 있기 때문이다. 400MW 추가 전력 수요를 충당하기 위해 VPP(스마트 가전, 스마트 온수기, 전기차 양방향 충전, 비계량 배터리, 수요 반응)를 활용하는 비용이 43$/kW로, 피크 대응용 가스발전소를 건설하여 운영하는 비용99$/kW보다 50% 이상 저렴한 것으로 나타났다.[10] 또한, 가스발전소 건설기간을 고려했을 때 기존 자원을 활용한 가상발전소가 더 빠르게 필요한 용량을 보급할 수 있다.[11]

[그림 5]



출처: 미국 에너지부

10 필요전력 400MW, 8760 시간 중 63시간의 피크 대응 시간 고려, 한번에 7시간까지 연속적인 전력수요 산정.

11 U.S. Department of Energy, “Pathways to Commercial Liftoff: Virtual Power Plants 2025 Update”, Jan 2025.

II. 가상발전소 확대의 장벽 1: 대규모 가스발전소 전환 계획

재생에너지 기반 전력시스템을 구축하기 위해서는 패러다임 전환이 필요함에도 국내 전력정책·시장·계통 모두 중앙집중형 시스템에서 탈피하지 못하고 있다. 이러한 상황에서 기존 중앙집중형 시스템을 고착화하는 화력발전소 확대에 재원이 집중되고 있는 실정이다.

정부는 10차 전력수급기본계획(전기본)에서 노후 석탄발전소 28기(14.1GW)를 500MW 단위의 LNG 발전소로 전환하는 계획을 발표했다. 11차 전기본에서도 신규 열병합발전 설비가 추가되면서 가스발전의 설비용량은 2023년 기준 43.2GW에서 2038년 69.2GW까지 확대될 예정이다.[12]

[표 1] 10차 전력수급기본계획 석탄발전소 LNG 전환계획

년도	설비명	대수	용량(MW)
2025~2036		28	14,120
2025	태안 #1	1	500
2026	태안 #2, 하동 #1, 보령 #5	3	1,500
2027	삼천포 #3, 4, 보령 #6, 하동 #2, 3	5	2,620
2028	삼천포 #5, 태안 #3, 하동 #4	3	1,500
2029	동해 #1, 2, 삼천포 #6, 태안 #4, 당진 #1, 2	6	2,400
2030	당진 #3, 4	2	1,000
2031	하동 #5, 6	2	1,000
2032	태안 #5, 6	2	1,000
2034	영흥 #1, 2	2	1,600
2036	당진 #5, 6	2	1,000

출처: 제10차 전력수급기본계획

신규 가스복합발전소를 재생에너지 전환에 필요한 백업 자원 및 유연성 자원으로 활용하겠다는 것이 정부의 계획이지만, 이러한 계획은 경제성이 부족하다. 28기의 신규 가스발전 전환에 소요되는 비용은 약 55조원에 달하며 2038년 기준 설비 이용률은 12% 수준에 불과하다. 이처럼 줄어드는 이용률로 인해 신규 가스발전소의 균등화 발전단가는 2025년 기준 kWh 당 261원에서 2036년 331원까지 상승할 전망이다.[13]

12 산업통상자원부, '11차 전력수급기본계획(2024 ~ 2038) 수정 공고', 2025. 03. 13.

13 기후솔루션 분석, 부록 1-1 참고.

특히 이러한 대규모 가스발전소 건설은 분산형 시스템 전환의 장벽으로 작용해 오히려 재생에너지 확대를 가로막는다.[14] 이미 재생에너지 비중이 18%를 달성한 제주 계통의 경우, 대형 LNG 복합발전소들이 Must-Run으로 지정되거나 높은 최소발전용량이 보장되어 전력수요가 낮은 시간에도 일정 수준 운영되고 있는 반면, 재생에너지는 출력제어를 받고 있다. 이런 가운데 제주에는 300MW 규모의 신규 가스발전소 건설이 추진되고 있어, 재생에너지 출력제어율이 심화될 것으로 예상된다.[15]

[표 2] '16 ~ '23년 제주 출력제어 횟수

연도	'16년	'17년	'18년	'19년	'20년	'21년	'22년	'23년
횟수	6회	14회	15회	46회	77회	64회	132회	181회

출처: 기후솔루션 재구성

[표 3] '23 ~ '36년 제주 출력제어 전망

(단위: %)

구분	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년
출력 제어율	1.08	0.00	0.07	0.77	2.20	4.42	8.12
구분	'30년	'31년	'32년	'33년	'34년	'35년	'36년
출력 제어율	18.98	25.54	25.06	24.99	24.83	24.65	24.57

출처: 제주도의회, 제주 에너지 정책 현황 및 과제, 2024

육지 계통에서도 지역별 재생에너지 출력제어가 심화되는 가운데, 대규모의 가스발전소 전환계획이 추진되고 있다. 재생에너지를 확대해야 하는 상황에서 재생에너지 발전은 제한하고 화석연료 건설 및 발전을 보장해주는 전력시스템을 유지하는 것은 잘못된 정책이다. 대규모 가스발전소의 추가 건설은 중단되어야 하며, 더 경제적이며 탄소배출이 없는 가상발전소로 빠르게 대체되어야 한다.

14 가스 복합화력발전소의 비교적 높은 최소발전용량(최소30~50%), 느린 출력 증감발, 그리고 느린 기동시간 등으로 인해 발생하는 문제임. 더 자세한 내용은 부록 참고.

15 재생에너지 입찰 제도를 통해 '출력제어'의 개념이 재생에너지의 출력감발의 개념으로 대체되었으나 근본적으로 가스발전과 재생에너지가 충돌하는 문제는 해결되지 않음. 추가적인 가스발전 건설 계획(300MW)은 재생에너지 확대의 큰 걸림돌로 작용할 것으로 보임.

III. 가상발전소 확대의 장벽 2: 불합리한 전력시장 보상제도

국내 전력시장은 여전히 화력발전기의 연료비와 고정비 보상해주기 위해 설계된 변동비 기반 시장[16] 및 용량요금 제도로 운영되고 있으며, 이를 통해 변동성이 대형화력발전기의 수익을 오랜 기간 안정적으로 보장해주고 있다. 반대로 연료비가 없는 분산형 발전원으로 이루어진 가상발전소의 가치는 제대로 평가되지 않아, 가상발전소 산업이 확대될 유인이 없는 상황이다. 특히 ESS 자원의 경우 집합자원으로 재생에너지와 함께 전력시장에 참여하고 있으나 유연성 제공에 따른 별도의 보상책이 전무하다.

1. 용량요금 제도상 문제

제주에서 2024년 개설된 재생에너지 입찰시장에서 가상발전소 사업자들은 입찰용량에 대한 용량요금을 받고 급전지시를 이행할 의무를 가진다.[17] 그런데 이 때 용량요금이 실효용량과 실제 입찰량, 그리고 발전용량 중 낮은 값을 기준으로 하기 때문에, 인정받는 용량이 제일 낮은 수치에 기반하여 산정된다. 이러한 용량 산정 과정은 사업자에게 이중 페널티를 부여하여 수익성을 악화시킨다.

[표 4] 제주 재생에너지 입찰시장 용량정산금 산정기준

출력시	출력제어 발생시
min (발전량, 입찰량, 실효용량) × 기준용량가격	min (입찰량, 실효용량) × 기준용량가격

출처: 전력거래소

또한 재생에너지 및 가상발전소 자원에 적용되는 용량요금은 가스발전소의 고정비를 기준으로 산정한 기준용량가격에 따라 결정되는데,[18] 재생에너지 및 ESS와 같이 비용구성, 기술성숙도, 그리고 설비수명이 다른 자원을 가스발전소 기준으로 보상하는 것은 근본적인 형평성 문제를 야기한다.

[표 5]

기준	가스발전	ESS
설비수명	30년 이상	10~15년[19]
기술성숙도	매우 높음	중간
변동비	높음 (높은 연료비 변동성)	없음
고정비	낮음	높음

16 온기운, '변동비 반영시장 도입 배경 및 현황', 2019. 11. 07. "우리나라 전력시장에서 변동비 반영의 의미는 전력시장의 가격(SMP)을 결정할 때 발전기들의 자유로운 가격입찰을 허용하지 않고 반드시 실제 변동비로 입찰해야 함을 의미함"

17 전력거래소, '전력시장 제도개선 제주 시범사업', 2024. 01. 26.
육지 계통에도 2025년 말 재생에너지 입찰시장이 도입될 예정임.

18 제주 지역의 경우 육지보다 높은 별도의 기준용량가격이 산정되지만 산정 기준이 모호한 상황임

19 한경, "리튬계열 설 자리 없어진다...차세대 ESS 유망 기업은", https://www.hankyung.com/article/202401042797i, 2024.01.

무엇보다 화력발전 대비 무탄소 전원들의 경쟁력이 높아지기 위해서는 보상제도에 탄소비용이 충분히 반영되어야 한다. 그러나 현재 국내 배출권거래제상 배출권의 가격은 톤당 1만원이하로,[20] 유럽의 탄소배출권 가격의 10분의 1수준이다.[21] 이런 상황에서 정부는 용량요금 산정 시 환경기여도를 고려하는 연료전환성과계수(FSF)를 2022년에 폐지하고 계통기여도만 반영하는 성과연동형용량가격계수(PCF)로 대체하면서 화력발전에 더 유리한 보상제도로 운영되고 있다.[22]

2. 보조서비스 시장 개설 및 운영

제주 계통에서는 보조서비스 시장의 개설로 다양한 보조서비스를 제공할 수 있는 ESS와 VPP 자원이 더 많은 보상이 받을 것으로 기대되었으나, 현재 현물시장에 참여하는 VPP 자원은 보조서비스 시장에 참여할 수 없다.

육지의 경우 보조서비스 시장이 아닌 보조서비스 제도에 따라 보상을 제공하고 있지만 보조서비스 단가 산정 과정에 문제가 있다. 현 보조서비스 정산 단가는 보조서비스 활용이 많아질수록 단가가 내려가는 방식으로 산정되고 있다. 시장원칙에 따른다면 보조서비스 수요가 클수록 정산 단가가 상승하여 ESS 및 VPP 자원이 보다 적극적으로 참여할 유인이 제공되어야 하지만, 현 보상제도에서는 이러한 보상책이 전혀 마련되어 있지 않다.[23]

(예시)	2025년 1차 주파수제어서비스 정산단가 = 2025년 1차 주파수제어서비스 정산금 배정액 / 2024년 1차 주파수제어서비스량

출처: 전력거래소

추가적으로 ESS를 포함한 VPP 자원들은 화력발전 보다 더 빠른 초속응성예비력을 제공하여 재생에너지 변동성을 보완할 수 있지만 이에 대한 보상 또한 없는 상황이다. 호주의 시장운영자(AEMO)가 2021년부터 초속응성 상향 및 하향 주파수 조정 시장을 도입하여 적극적으로 유연성 자원을 보상하는 것과 전혀 다른 양상이다.[24]

20 배출권시장 정보플랫폼, '시세조회', https://ets.krx.co.kr/contents/ETS/03/03010000/ETS03010000.jsp, 2025. 07.

21 International Carbon Action Partnership, "EU Emissions Trading System (EU ETS)", https://icapcarbonaction.com/en/ets/eu-emissions-trading-system-eu-ets, 2025. 07.

22 전력거래소, 붙임 1. 전력시장 운영규칙 개정 내용, 2022. 05. 31.

23 전력거래소, 비용평가세부운영규정(전문)_250627, 2025.06.27.

24 AEMO, "Fast Frequency Response", https://aemo.com.au/initiatives/major-programs/nem-reform-program/nem-reform-program-initiatives/fast-frequency-response, n.d.

IV. 가상발전소 확대의 장벽 3: 수요자원 통합을 가로막는 제도

1. 파편화된 수요자원 관련 제도

제주 계통에서 시행중인 재생에너지 입찰제도를 통해 가상발전소 사업자들은 재생에너지 자원을 단독으로 또는 ESS와 연계하여 입찰하고, 현물시장에서 이에 대한 보상을 받는다. 그러나 가상발전소를 구성하는 주요한 자원인 DR자원의 경우 별도의 시장을 통해 운영되고 있어, 가상발전소에 통합되어 입찰할 수 없다.[25]

또한 주파수 문제 발생 시 실시간으로 수요를 감축하는 Fast DR 제도가 전력거래소에 의해 운영되고 있는 상황에서, 2024년 4월 5일 한전이 동일한 고객을 대상으로 '고객참여 부하차단 제도'[26]를 도입하면서 가상발전소 핵심자원인 수요자원의 확대에 제동이 걸렸다.

Fast DR의 경우 전력수요가 많은 설비를 네트워크 기반으로 제어하는 시스템을 기반으로 운영되는 반면, 한전의 제도는 한 사업장의 전력을 물리적으로 원천 차단한다는 점에서 DR제도에 비해 지속적인 발동이 어렵고, 아날로그 방식에 불과해 가상발전소에 통합되어 운영되지 못한다.

[표 6] 고객참여 부하차단 제도와 'Fast DR' 제도 비교

구분	고객참여 부하차단 제도	Fast DR
기준주파수 (동작시간)	**59.55Hz** 2초내 안전 변전소내 고객차단기 개방	**1단계 5985Hz, 2단계 59.85Hz** 10초내 고객 분전반 차단기 개방
운영시간	**상시** 365일, 24시간	**매일 9시간 운영** 365일, 9~18시
문영주체	**한전 직접운영** 운영수수료 없음	**전력거래소(수요관리사업자)** 운영수수료 연 100만원 ↓
차단방식 (감축시간)	**한전 차단기를 통한 일괄 차단** 최소 10분, 1회	**부하별 선택적 차단 가능** 최소 10분, 1회
보상금	**운명보상금** 1,320원/kW-1년 **동작보상금** 98,400원/kW-1회	**운영보상금** 1,320원/KW-1년 **동작보상금** 6,600원/KW-1회

출처: 한국전력공사

25 전력거래소, 전력시장 운영규칙 전문 (250409), 2025. 04. 09.

26 이재용 기자, "한전, '고객참여 부하차단 제도' 시행으로 '24년 하반기 구입전력비 2000억원 절감", 2025. 03. 20.
"전력계통 고장으로 주파수 하락 시 한전과 사전에 계약된 고객의 부하를 긴급 차단해 불안정한 계통을 신속하게 회복시키는 전력계통 안정화 제도.

그림 2에서 보았듯이 전력시장의 유연성 확충에 DR의 역할은 핵심적이다. 그런데 한전의 고객참여 부하차단 제도는 Fast DR 제도 대비 무려 15배 가까이 되는 동작 보상금을 약속하고 있는 상황이여서 DR사업 확대에 심각한 악영향을 미칠 가능성이 높다. 한전이 유일한 판매사업자로써 시장 지배적 지위를 남용하여 가상발전소의 확대를 가로막고 있는 실정이다.[27]

2. 전기차 자원 활성화를 가로막는 고시

전기차를 ESS로 활용하는 V2G의 경우 산업통상자원부 고시[28]상 전기차가 소규모 전력자원에 포함되어 있지 않아 전력거래 가능 여부가 불명확하다. 전기차 보급이 빠르게 늘어나고 있는 상황에서 이미 존재하는 전기차 자원들을 ESS로 활용할 수 있도록 고시 변경이 필요한 상황이다.[29]

27 이상복, '계통기여 불구 DR 보상 줄이고 한전은 유사시장 따로 운영', https://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=321180, 2025. 07. 07.

28 산업통상자원부고시 제2023-7호 '소규모전력중개사업 표준약관' 제2조3호 '소규모전력자원'에 전기차가 포함되어 있지 않아 전기차 전력의 거래 가능 여부가 불확실한 상황임

29 한전경영연구원, KEMRI 전력경제 Review Vol. 311, 2025년 1월.

V. 가상발전소 확대의 장벽 4: 인프라 미비

2011년 정부는 '지능형 전력망의 구축 및 이용촉진에 관한 법률'을 제정하여 가상발전소 사업의 기반이 되는 지능형 전력망 구축을 추진해 왔으나, 비용 절감에만 집중한 결과 VPP 활성화를 위한 인프라가 제대로 구축되지 못했다.

1. AMI 인프라 미비

성공적인 VPP 활성화와 분산형 전력시스템으로의 전환은 IoT 기술을 통한 데이터 확보에 기반한다. AMI는 전력 데이터를 실시간으로 정밀하게 수집하고 조정하는 설비로 VPP 사업자와 전력 시스템 운영자의 자원운영 고도화에 활용된다. 한국전력(한전)은 지능형전력망 기본계획에 따라 2010년부터 총 7차에 거친 AMI 보급사업을 진행해 왔는데, 그 과정에서 많은 문제들이 발생했다.

[표 7]

2010~2011	1차 구축에 사용된 PLC 칩이 추후 운용될 예정인 AMI와 호환되지 않는 문제 발생[30]
2013~2015	한전 PLC 칩 통신기술 특허침해로 소송 당해 사업 중단[31]
2014	국정원의 AMI 관련 보안 취약성 문제제기로 보급 중단[32]
2019	국감에서 계량기 64만대 리콜 문제 제기[33]
2021	일부 계량기의 LTE 모뎀 악성코드 전염으로 일시 먹통사태 발생[34]

출처: 기후솔루션 재구성

우여곡절 끝에 AMI 보급 사업은 완료되었으나, 보급된 AMI 계량기 중 하나인 E타입 계량기의 경우 온라인 펌웨어 업그레이드 기능이 없어 스마트 설비라고 보기 어렵다. VPP 사업 활성화 등 전력 시스템 고도화를 위해 AMI에는 새로운 기능들이 지속적으로 추가되어야 하지만, IoT 기능이 탑재되어 있지 않아 불가능하다.[35] 이뿐만 아니라 보급된 AMI 모두 고도화된 VPP 운영에 필요한 실시간 계량기능이 없고[36] 2022년 기준 AMI 정기 검침 성공률 또한 97.4% 밖에 되지 않

30 전기신문, '한전, 100억 규모 PLC모뎀 단가입찰 취소', https://www.electimes.com/news/articleView.html?idxno=85176, 2011. 05. 25.

31 전자신문, "한전·한전KDN vs 젤라인', 국책사업 소송분쟁', https://www.etnews.com/201401100252?m=1, 2014. 01. 13.

32 뉴스핌, '[국감2017] 한전, 1조7000억 AMI 사업 보안 취약…"해킹 위협 심각"', https://www.newspim.com/news/view/20171023000030, 2017. 10. 23.

33 AI Times, [심층취재] 한전 AMI 사업 10년 성적표, "AMI계량기 64만대 리콜 477억 손실", https://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=120339, 2019. 11. 04.

34 전기신문, (단독)지난해 한전 AMI망 악성코드에 뚫려…LTE모뎀 '일시먹통', https://www.electimes.com/news/articleView.html?idxno=309971, 2022. 10. 18.

35 AMI의 양방향 소통 기능은 2009년에 이미 미국전기공업협회(NEMA)에 의해 표준화되었지만 한전은 2010년부터 E타입 계량기를 보급해왔다.

36 DM POWER, 전력량계, http://www.dmpower.kr/product/list?ca_id=1010, n.d.

아 성능이 매우 떨어지는 실정이다.[37]

이처럼 AMI 설비의 성능의 한계가 소규모 분산형 자원의 시장 참여의 장벽으로 작용하지 않도록, AMI 교체를 진행하는 한편 분산형 자원을 위한 완화된 계량 기준을 마련하는 조치가 필요하다.

2. 양방향 충전기 인프라 미비

환경부에서 보급해온 전기차 충전기 또한 전기차를 ESS로 활용(V2G)하기 위해 필수적인 양방향 충전 기능이 없어, 전기차의 가상발전소 자원화를 가로막고 있다.

2025년 5월 기준 국내 전기차 대수는 총 75만대이며 전국에 보급된 충전기는 약 41만 7천대이다.[38] 전기차들의 스마트 충전 시스템 구축은 상당한 비용절감 효과를 낼 수 있음에도[39] 지금까지 환경부에서 지원하는 충전기 사업은 모두 단방향 충전기 위주로 구축되어왔다.

그나마 2035년까지 운행차량의 40%를 전기차로 전환하는 목표를 가지고 있는 제주도에서는 시범사업을 통해 현대차·한전·전력거래소·동서발전이 2028년까지 1500기 이상의 양방향 충전기를 보급하는 사업을 진행하고 있지만 여전히 턱없이 부족한 수준이다.[40]

37 산업통상자원부, '제3차 지능형전력망 기본계획', 2023. 02. 14.

38 차지인포, 통계정보, https://chargeinfo.ksga.org/front/statistics/evCar, n.d.

39 인디아나폴리스시의 고객 500,000명을 관리하는 유틸리티 기업 AES Indiana는 지역의 전기차 확대를 미리 예측하고 이에 기반하여 스마트 충전 시스템과 실시간 충전 요금제 등을 도입할 경우 10년 동안 전력 시스템 업그레이드 비용 약 1억달러(1350억원)를 회피할 수 있다는 결과를 도출하였다.

40 전기신문, (61주년 창간 기획) 전기차, 스마트 그리드로 ② 대한민국, V2G 선진국으로, 2025. 05. 21

VI. 가상발전소 확대의 장벽 5: 독립적인 배전망운영자(DSO)의 부재

현재까지 계통운영은 전력거래소가 시스템운영자(ISO)로서 송전망 위주로 운영되어 왔다. 반면 배전망운영자(DSO)가 부재하여 배전단 가상발전소 운영에 필요한 데이터 공개 및 그리드코드 표준화 등이 이뤄지지 못하였다.[41] 이로 인해 송전선로 대체 기술(NWA)로서 VPP의 활용 및 보상정책 도입이 원활하게 진행되지 못했다.

2024년에 분산에너지 활성화 특별법에 따라 배전사업자에게 배전망 관리의무가 부여되면서 한전은 2024년 11월 공식적으로 배전망운영자(DSO)로서 출범하고, 관련 역할 확대를 추진하고 있다. 이러한 노력의 일환으로 한전은 DSO-MD(배전망운영자-시장&배전)센터를 제주에 설립하고 LG에너지솔루션의 VPP 플랫폼과 연계하여 배전망 연계 ESS 운영을 통한 배전선로 피크 저감효과 등을 확인하고 있다.[42]

이처럼 DSO를 통한 그리드코드 표준화와 독립적인 계통운영기관(ISO)와의 데이터 통합은 가상발전소 확산에 필수적이다. 그러나 한전이 현재의 전력시장 구조를 유지하면서 DSO 역할까지 수행하는 것에는 이해상충 소지가 다분하다. 한전은 중앙집중형 발전기 중심의 6개 발전자회사를 소유하고 판매시장을 독점하고 있어, 자사의 입지와 수익을 저해할 수 있는 재생에너지 확대에 적극적으로 나설 유인이 부족하다. 근본적인 전력시장 거버넌스가 개선되지 않는 한 분산형 전력시스템으로의 전환이 지연될 수 있다.

41 이상복, "전력거래소·한전 전력망 데이터 뒤늦게 통합 추진", 2025. 06. 26.

42 ZDNet Korea, "한전, 분산에너지 활성화 위한 'DSO-MD 제주센터' 개소", 2025. 01. 09.

정책제언

1. 가스발전 확장정책

- 석탄발전 LNG 전환 정책 전면 취소

  - 석탄발전 28기를 LNG로 전환하는 정책은 경제성이 부족하고 탄소중립에도 역행하며, 분산형 전력 시스템으로의 전환을 저해하므로 전면 철회되어야 함.

2. 시장제도개편

- 용량요금 제도 개선

  - 제주 재생에너지 입찰시장에서 이중 페널티로 작용하고 있는 용량 산정기준을 개편하여 가상발전소 자원의 용량가치를 합리적으로 인정해야 함.

  - 단기적으로 배출권거래제 상 현저히 낮은 탄소가격으로 인하여 탈탄소화 유인이 부재함으로 용량요금 산정 과정에 환경기여도를 재도입 및 강화하여 에너지 전환 유인을 제공하여야 함.

  - '유연성을 고려한 용량시장'으로의 전환을 통해 유연성 자원의 가치를 시장이 결정할 수 있도록 해야 함. 대표적인 예로 캘리포니아 주의 CAISO는 '자원 적정성' 프로그램을 통해 유연성 자원의 적정 규모를 산정하고, 이를 경쟁입찰 방식으로 조달하는 시장을 운영하고 있음.[43]

- 보조서비스 시장 개편 및 확대

  - 가상발전소 자원이 계통 운영에 기여하고 그 가치에 대한 보상을 적절하게 받을 수 있도록 보조서비스 시장 참여를 가능하게 해야 함.

  - 보조서비스 시장을 육지로 확대하고, 초속응성 보조서비스에 대한 보상을 강화하여 가상발전소 확대를 유도해야 함.

43 CAISO, 'Final Flexible Capacity Needs Assessment for 2026', 05. 13. 2025.

▪ 파편화된 유연성 자원 제도 정비

- 수요자원의 도매시장 입찰 허용 및 전기차 자원의 전력거래 허용을 통해 가상발전소 확대를 위한 제도적 기반을 마련해야 함.

- 시대착오적인 '고객참여 부하차단 제도'를 폐지하고, 수요반응 자원 활용을 극대화하는 등 시장 매커니즘을 활성화해야 함.

3. VPP 활성화를 위한 인프라 구축

- 전기차 충전기 보급사업을 양방향 충전기 기반으로 전환 해야함.

- 성능 미달 AMI 교체사업을 진행하는 한편 VPP 자원들의 계량 기준을 완화해 시장 진입 장벽을 낮추어야 함. 미국의 시장운영자들은 아래와 같이 다양한 방법을 통해 분산형 자원의 시장진입 장벽을 낮추고 있음.

[표 8]

방법	차용한 시장운영자
① 보조계량방식(submetering) 허용 배터리 인버터, 전자제품 등등 분산형 자원에 이미 설치된 계량기를 활용하도록 허용	CASIO (캘리포니아) NYISO (뉴욕) MISO (중부) SPP (남서부)
② 샘플링(sampling) 계량 허용 개별 분산형 자원의 계량 값이 아닌 일부 자원의 계량 값을 샘플로 활용하여 계량 값 제출 가능	CASIO (캘리포니아) NYISO (뉴욕) SPP (남서부) PJM(펜실베니아 등)
③ 소규모 자원 스마트미터 설치의무 면제 보조서비스를 제공하지 않는 10MW 이하의 자원의 경우 스마트 미터 설치 없이 시장 입찰 가능	PJM(펜실베니아 등)

출처: 미국 에너지부

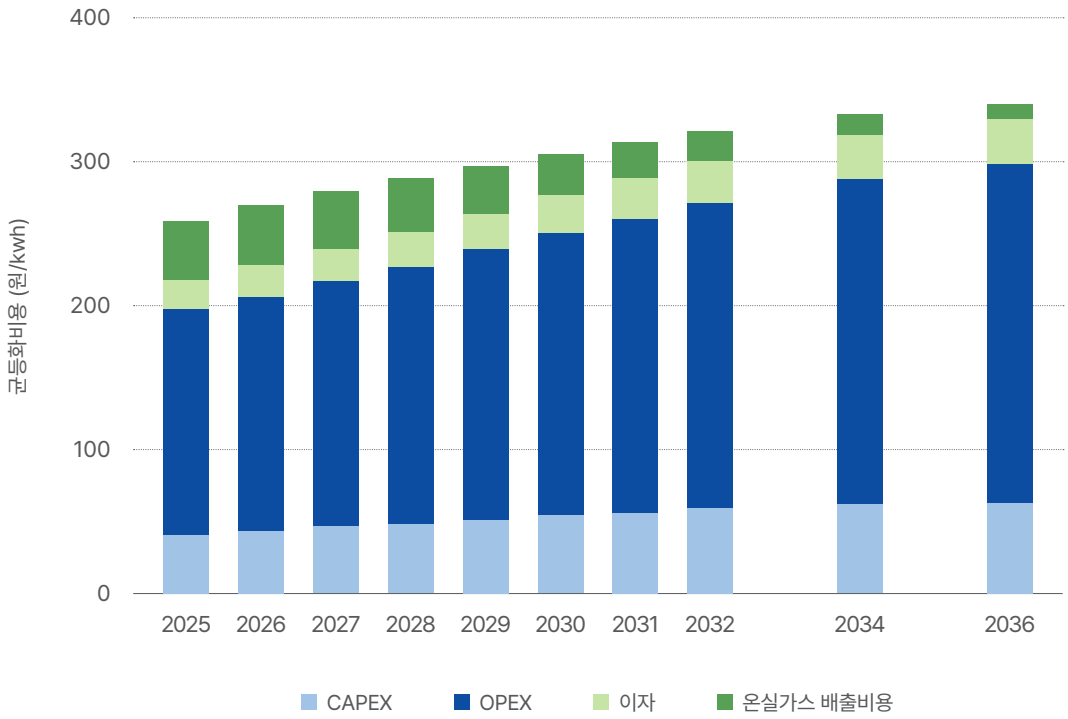
4. 독립적인 DSO 구축

- 한전이 독립적인 배전망운영자로써 VPP 및 재생에너지 확대에 기여하기 위해, 발전·판매 부문으로부터 송배전 부문의 재무분리를 이행하는 등 전력시장 거버넌스 개선이 필요함.

- 독립적 배전계통운영자(DSO)를 설립하고 적시에 VPP와 같은 계통유연화 기술이 확충될 수 있도록 DSO의 책임·권한을 명확히 규정해야 함.

부록

1-1. 11차 전기본 기반, 석탄에서 가스발전 전환 발전소들의 균등화 발전단가 예측



출처: 기후솔루션 분석

1-2. 가스발전의 기술적 특성

Property	가스터빈 발전소	가스복합 발전소
보급형 발전소		
최소 발전용량	40-50 %	40-50 %
평균 출력 변화율	8-12 %	2-4 %
열간 기동시간	5-11 min	60-90 min
냉간 기동시간	5-11 min	3-4 h
고급형 발전소		
최소 발전용량	20-50 %	30-40 %(20% with SC)
평균 출력 변화율	10-15 %	4-8 %
열간 기동시간	5-10 min	30-40 min
냉간 기동시간	5-10 min	2-3 h

출처: 국재재생에너지기구

참고문헌

1. U.S. Department of Energy, "Pathways to Commercial Liftoff: Virtual Power Plants 2025 Update", Jan 2025.
2. Ember, Global Electricity Review 2024, 2024. 05. 08.
3. 기후솔루션 & 매릴랜드 대학교 "한국 국내탈탄소화를 위한 적극적인 감축 (High Ambition)경로 분석", 2025. 04. 23.
4. 한국에너지정보재단, '통합발전소(VPP) 사업 모델과 글로벌시장 동향', https://www.e-policy.or.kr/web/lay1/bbs/S1T10C49/B/13/view.do?article_seq=3575, 2024.
5. IEA, 'Net Zero by 2050, A Roadmap for the Global Energy Sector', Oct, 2021.
6. U.S. Department of Energy, "Pathways to Commercial Liftoff: Virtual Power Plants 2025 Update", Jan 2025.
7. Muhammad et al., 'A comprehensive state-of-the-art review of power conditioning systems for energy storage systems: Topology and control applications in power systems', 2022.
8. U.S. Department of Energy, "Pathways to Commercial Liftoff: Virtual Power Plants 2025 Update", Jan 2025.
9. 산업통상자원부, '11차 전력수급기본계획(2024 ~ 2038) 수정 공고', 2025. 03. 13.
10. 온기운, '변동비 반영시장 도입 배경 및 현황', 2019. 11. 07.
11. 한경, "리튬계열 설 자리 없어진다...차세대 ESS 유망 기업은", https://www.hankyung.com/article/202401042797i, 2024.01.
12. 배출권시장 정보플랫폼, '시세조회', https://ets.krx.co.kr/contents/ETS/03/03010000/ETS03010000.jsp, 2025. 07.
13. International Carbon Action Partnership, "EU Emissions Trading System (EU ETS)", https://icapcarbonaction.com/en/ets/eu-emissions-trading-system-eu-ets, 2025. 07.
14. 전력거래소, 붙임 1. 전력시장 운영규칙 개정 내용, 2022. 05. 31.
15. 전력거래소, 비용평가세부운영규정(전문)_250627, 2025.06.27.
16. AEMO, "Fast Frequency Response", https://aemo.com.au/initiatives/major-programs/nem-reform-program/nem-reform-program-initiatives/fast-frequency-response, n.d.
17. 전력거래소, 전력시장 운영규칙 전문 (250409), 2025. 04. 09.
18. 이상복, '계통기여 불구 DR 보상 줄이고 한전은 유사시장 따로 운영', https://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=321180, 2025. 07. 07.
19. 산업통상자원부고시 제2023-7호 '소규모전력중개사업 표준약관' 제2조3호
20. 한전경영연구원, KEMRI 전력경제 Review Vol. 311, 2025년 1월.
21. 전기신문, '한전, 100억 규모 PLC모뎀 단가입찰 취소', https://www.electimes.com/news/articleView.html?idxno=85176, 2011. 05. 25.
22. 전자신문, "한전·한전KDN vs 젤라인', 국책사업 소송분쟁', https://www.etnews.com/201401100252?m=1, 2014. 01. 13.
23. 뉴스핌, '[국감2017] 한전, 1조7000억 AMI 사업 보안 취약..."해킹 위협 심각"', https://www.newspim.com/news/view/20171023000030, 2017. 10. 23.
24. AI Times, [심층취재] 한전 AMI 사업 10년 성적표, "AMI계량기 64만대 리콜 477억 손실", https://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=120339, 2019. 11. 04.
25. 전기신문, (단독)지난해 한전 AMI망 악성코드에 뚫려...LTE모뎀 '일시먹통', https://www.electimes.com/news/articleView.html?idxno=309971, 2022. 10. 18.
26. DM POWER, 전력량계, http://www.dmpower.kr/product/list?ca_id=1010, n.d.
27. 산업통상자원부, '제3차 지능형전력망 기본계획', 2023. 02. 14.
28. 차지인포, 통계정보, https://chargeinfo.ksga.org/front/statistics/evCar, n.d.
29. 전기신문, (61주년 창간 기획) 전기차, 스마트 그리드로 ② 대한민국, V2G 선진국으로, 2025. 05. 21

30. 이상복, "전력거래소·한전 전력망 데이터 뒤늦게 통합 추진", 2025. 06. 26.

31. ZDNet Korea, "한전, 분산에너지 활성화 위한 'DSO-MD 제주센터' 개소", 2025. 01. 09.

32. CAISO, 'Final Flexible Capacity Needs Assessment for 2026', 05. 13. 2025.

SFO°C
Solutions for Our Climate

재생에너지 기반 전력시스템으로의 전환: 가스발전소에서 가상발전소(VPP)로

발간월	2025년 8월

저자	임장혁 기후솔루션 전력시장계통팀 연구원 (janghyeok.lim@forourclimate.org)
도움주신 분	한가희 기후솔루션 전력시장계통팀 팀장 (gahee.han@forourclimate.org) 정은호 기후솔루션 수석자문위원 (eunho.cheong@forourclimate.org)
디자인	최예진 기후솔루션 디자이너 Nature Rhythm

기후솔루션은 전 세계 온실가스 감축 및 올바른 에너지 전환을 위해 활동하는 비영리법인입니다.
리서치, 법률, 대외 협력, 커뮤니케이션 등의 폭넓은 방법으로 기후위기를 해결할 실질적 솔루션을 발굴하고,
근본적인 변화를 위한 움직임을 만들어 나갑니다.