

재생에너지를 넘어  
**제로 에너지**  
시대가 온다



재생에너지를 넘어  
**제로 에너지**  
시대가 온다

이민호 미국변호사

# 재생에너지를 넘어 제로 에너지 시대가 온다

발행일 | 2024년 5월 23일

지은이 | 이민호

펴낸이 | 한건희

펴낸곳 | 주식회사 부크크

출판사등록 | 2014.07.15.(제2014-16호)

주 소 | 서울특별시 금천구 가산디지털1로 119 SK트윈타워 A동 305호

전 화 | 1670-8316

이메일 | info@bookk.co.kr

ISBN | 979-11-410-8632-9

[www.bookk.co.kr](http://www.bookk.co.kr)

© 이민호, 2024

본 책은 저작자의 지적 재산으로서 무단 전재와 복제를 금합니다.

## 프롤로그

2030년 어느 날 아침 풍경

“아침 식사 중 색다른 알람 소리가 울린다. 시계를 보니, 오늘 드디어 제로 에너지를 달성했다는 알람이 뜬다. 내가 내야 할 전기 요금이 0이라는 뜻이다. 따져보니, 새로 나온 에너지 통합 관리 서비스를 시작한 지 3개월째 되는 날이다. 서비스 첫날 시계에 앱을 설치하자마자, 집안의 모든 전자기기와 내 전기자동차가 자동으로 등록되었다. 내 에너지 효율 점수는 76점. 70점 이상부터 전기회사로부터 쿠폰이 오는데, 3개월째 전기차 무료 충전 쿠폰을 받고 있다.

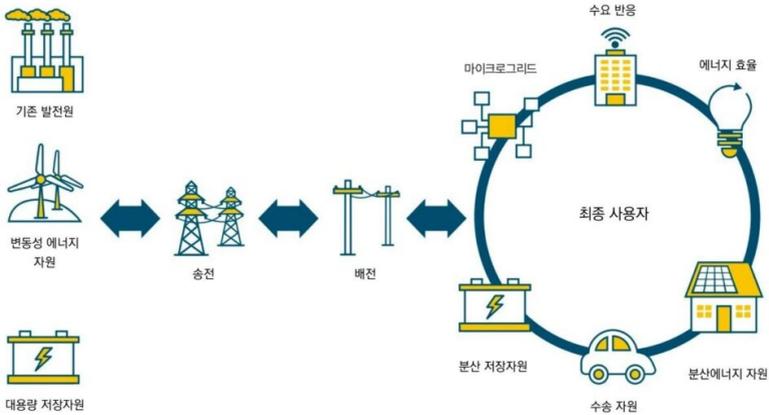
그때부터 나는 제로 에너지를 달성하기 위해서 노력했다. 우선 전기자동차를 아파트 전기 공급원으로 등록했다. 3가지 전기차 옵션 중 하나였다. 다른 두 옵션은 도매시장 연결 또는 전력회사 연결이었다. 이 서비스는 전기차를 오래 주차해 놓는 경우 유리했다. 나는 주중에는 저녁에 충전해야 하고, 주말에만 주차하기 때문에 아파트에 공급되는 전력이 비싼 시간(우리 전력회사는 시간대별 다른 요금을 적용)에 앱에서 ‘팔기’를 누르면 내 전기차에서 블록체인 기술을 통해 아파트에 전력을 공급하는 옵션 3을 선택했다. 가끔 이때 번 포인트로 아파트의 다른 사람에게서 충전 전력을 사기도 한다.

집에서 사용하는 전기는 전기차가 번 포인트로 사기도 하고, 내가 투정한 마을 태양광 발전소에서 발생한 포인트로 사기도 했다. 그래도 전기 요금이 나오는 상황이 2개월 지속되었다. 방법을 찾아보다가, 에너지 효율이 90점 이상인 집은 에너지 효율에 가격을 매겨 전력 요금 할인이 된다는 사실을 알았다. 우선 옛날 방식 전구와 충전기를 바꿨다. 그래도 10점이 모자라는 상황. 전력회사 앱에서 새로운 스마트 홈 온도 및 전력 소비 조절기를 설치하면 효율 점수를 10점 인정해 준다는 광고가 떴다. 바로 가입하고 설치했다. 그 후 한 달. 드디어 아침에 전기 요금이 0원이 되었다는 알람이 뜬 것이었다. 한 가지 더 놀라운 점은 스마트 조절기의 옵션을 ‘자율조절’로 전환하면, 전기 가격이 높을 때 전력 및 열 사용을 줄이고 포인트를 쌓는다는 점이었다. 다음 달에는 오히려 남는 포인트가 발생할 것 같아 기분이 좋다.”

## 세계는 전력분야 혁신 진행 중

위 짧은 이야기는 허구가 아니다. 2022년 9월 독일의 뮌헨 공과대학은 유명한 가정용 배터리 기업인 소넨 (Sonnen)사와 함께 지붕에서 생산된 전기를 저장하고 이웃 간에 사고파는 것이 가능한지를 실험했다. 소넨에 따르면, 일곱 가정을 대상으로 진행된 실험에서 각 가정에 연결된 가정용 배터리와 전기차는 지붕에서 생산된 전력을 저장 및 판매하게 해주고, 블록체인 기술은 가정 간 전력의 매매를 도와준다. 소넨은 이를 통해 전력망의 높은 수요를 줄이고 전력 계통의 혼잡을 (Constraints) 방지할 수 있다고 발표했다. 더 나아가 회사는 더 많은 이웃들을 소프트웨어에 가상으로 연결하여 위기 상황에 대응하고, 예비 전력을 제공할 수 있는 VPP (Virtual Power Plant, 소비자가 생산한 전력을 모아 발전소의 기능을 함) 망을 구상하고 있다. 소넨사는 현재 독일을 넘어 미국 캘리포니아에서 VPP를 통해 도매 시장과 소매 시장에 직접 참여하는 실험을 하고 있다.

VPP 사업이라고 하면, 테슬라가 빠질 수 없다. 자동차 기업인 테슬라가 웬 전력 사업이냐고 반문할지 모르겠다. 하지만, 테슬라는 오래전부터 전력 회사가 되기를 갈망했다. 이미 텍사스에서 경쟁 소매 전력회사 (우리로 치면 한국 전력)로 등록해 놓고 테슬라 가정용 배터리인 파워월의 전력을 모아 판매하는 계획을 짜고 있다. 캘리포니아에서는 이미 설치된 가정용 배터리를 통합했다. 이것은 위기 시 대응 전력으로 사용되고 있는데, 지난해 여름 전력 위기 시 이미 4,500 가정의 배터리 33MW를 위기대응 자원으로 공급해 MWh 당 \$2,000의 보상을 받았다. 여기에 더해, 최근 유명해진 지붕 태양광 업체 Sunrun은 캘리포니아 소매 전력회사와 VPP 계약을 체결했는데, 30MW의 지붕 태양광을 상시 예비 전력으로 사용하는 대신 가정당 \$750불 선지급에 스마트 온도 조절기를 지급하는 조건이었다.



새롭게 떠오르는 21세기 전기 양방향 공급 흐름 새롭게 부상하는 21세기 전력망은 유연성 향상, 시스템 효율성 향상, 에너지 소비 감소, 소비자 옵션 및 가치 증가를 가능하게 하는 반응성 자원, 스토리지, 마이크로 그리드 및 기타 기술을 통합할 것이다.

© Quadrennial Energy Review

비단 이들 나라 뿐 아니라 호주에서도 얼마 전 흥미로운 뉴스가 나왔다. 호주 남부의 어느 와이너리에서 전기차를 전력망에 연결해 전기 요금을 전혀 내지 않았다는 소식이었다. 와이너리 주인은 처음에 연간 \$6,000이 넘는 전기 요금을 절약하기 위해 양조장 지붕에 태양광을 설치했다. 이것은 바로 \$4,000을 절감하게 도와줬다. 하지만, 그는 더 욕심을 내서 지역 전력회사에 전기차를 전력망에 연결해 전기를 팔 수 있도록 청원을 했다. 결과적으로 이 청원이 받아들여지면서 그는 전기 요금을 완전히 없앴을 뿐만 아니라, 연간 \$2,500을 벌게 되었다. 이러한 기술을 V2G (Vehicle to Grid)라고 부르는데, 미국 유수의 자동차 회사들이 이 기술을 적용하기 위해 별도의 에너지 회사를 세우고 있는 실정이다.

## 에너지 민주화

이렇듯 분산전원과 에너지 탈집중화 및 탈규제화는 새로운 전력 생산의 주체로 소비자들을 등장시킨다. 세계는 재생에너지를 넘어 분산된 에너지의 지

혜로운 사용을 위해 머리를 모으고 있다. 우리나라 소비자들에게는 다소 생소한 개념이지만 수요 반응 (Demand Response), 수요 관리 (Demand Side Management, DSM), 에너지 효율 (Energy Efficiency), 마이크로그리드, V2G 등의 개념은 이제 선진국 전력 서비스의 기본이 되고 있다. 그리고 이러한 기술의 저변에는 에너지 민주화라는 거대한 흐름이 만들어지고 있다. 민주주의 사회에서 누구나 주권을 가지고 권력을 행사하듯, 에너지 분야에서도 누구나 자가 발전을 하고 에너지 소비를 통제하는 시대가 다가오고 있는 것이다. 이에 모두에게 부여되는 이 권력을 소수가 독점하지 않게 하기 위해서, 에너지 분야의 흐름과 신재생 발전의 전반을 이해하는 것은 현대사회를 사는 모든이의 숙명이 아닐까 하는 생각에서 글을 쓰게 되었다.

저자 이민호 미국변호사

# Contents

프롤로그	6
Contents	10
1. IRA, 미리 사온 내일	12
1.1.미국은 재생에너지로 완전히 전환.....	12
1.2.바이든은 다 계획이 있구나!.....	19
1.3.신재생 100%, 전세계 에너지 전환은 가능할까? .....	27
1.4.미국 EPA 가 움직인다, 탄소를 잡아라!.....	35
1.5.프랑스, 모든 주차장에 지붕태양광 의무화 .....	43
1.6.독일은 어쩌려고 그러지? 탈원전 그 이후.....	48
1.7.영국의 전기화 전략 .....	61
2. 재생에너지의 가능성	72
2.1.재생에너지가 도매전력시장에 미치는 영향 .....	72
2.2.소매전력시장에서 100% 재생에너지 전력 사기.....	78
2.3.옥토퍼스 에너지, 한국에 올 수 있을까? - DSO.....	89
2.4.재생에너지의 경제성 지표 LCOE .....	100
2.5.RE100, 미국 회사들은 어떻게 달성할까? .....	108

2.6.수소 에너지 방향성, 핵심은 Storage .....	122
2.7.배터리의 역할과 경제성.....	133
<b>3. 재생에너지가 넘어야할 산</b>	<b>155</b>
3.1.신뢰도 전쟁? 신재생 전쟁? FERC는 왜 싸울까? .....	155
3.2.태양광 & Duck Curve .....	163
3.3.태양광에 빈부격차 문제가 있다? .....	171
3.4.기후 변화 그리고 전력망 신뢰도 .....	179
3.5.원전과 신재생 잘못된 만남? .....	189
3.6.재생에너지는 송전망 없으면 꺾이다? .....	196
3.7.대안은 없을까?.....	206
<b>4. 다가올 양방향 에너지 시대</b>	<b>217</b>
4.1.소비자 에너지 관리, 미국은 오바마 시절 준비 .....	217
4.2.캘리포니아, 탄소 중립의 성지가 되나?.....	223
4.3.마을기업이 가상발전소를 운영? VPP 큰 그림은?.....	231
4.4.유연성 서비스가 뭐지?.....	242
4.5.테슬라는 왜 한전이 되려할까? .....	250
4.6.에너지 효율, 이제 돈이 된다!.....	259
4.7.수요 반응 어그리게이터.....	264

4.8.테슬라는 왜 배터리 사업을 할까? .....	271
4.9.수소는 재생 에너지를 위한 전력 저장 자원! .....	277
<b>5. 소비자 전원관리 이제 시작</b> .....	<b>281</b>
5.1.분산 전원 관리의 어려움.....	281
5.2.히타치의 변신! 미래는 Grid Edge Solution 으로! .....	287
5.3.셸의 변신은 무죄 .....	296
5.4.도대체, VPP란 무엇인가? 돈 되는 VPP 만들기! .....	301
5.5.Voltus 는 SPAC 상장에 성공할 수 있을까?.....	310
5.6.Samsung v. Google, 에너지 효율 어디로 가나? .....	316
5.7.한전은 왜 이런거 안하나 몰라? .....	324
5.8.네이버 각 세종, 구글처럼 할 수 있을까?.....	330
<b>6. 전기차는 발전소</b> .....	<b>338</b>
6.1.전기차에서 전기를 판다.....	338
6.2.전기차 충전, 어디까지 해 봤니? .....	344
6.3.V2G, 전기차 무료 충전의 시대가 열렸다!.....	352
6.4.현대차, 테슬라 NACS 그리고 데이터 전쟁! .....	361
6.5.한전이 전기자동차를 리스한다고? .....	371
6.6.폐배터리 재활용 왜 하나? .....	375

# 1. IRA, 미리 사온 내일

## 1.1. 미국은 재생에너지로 완전히 전환

**최** 근 세계 각국은 유엔기후변화협약 당사국 총회 Conference of the Parties of the UNFCCC, COP 에서 기후 위기에 대한 각국의 대응 현황을 상세히 공유한다. 이에 맞춰 주요 유엔 산하 기관들은 기후 붕괴에 가까운 세계의 현실에 대한 보고서를 발표했다. ‘유엔 환경청 UNEP’의 최근 보고서는 “1.5도 상승 억제에 대한 신뢰할 수 있는 경로가 존재하지 않는다” 고 밝혔으며 탄소 배출 감소에 대한 부족한 진전으로, 기후 위기의 악영향을 막는 유일한 방법은 “사회의 급격한 대응방향 변화” 라고 했다. ‘유엔 기후 기구 WMO’도 2030년까지 기간을 둔 기후 행동에 대한 약속이 완전히 이행 되더라도 지구온난화가 약 2.5도 상승한다는 것을 의미하며, 이는 전 세계를 파국적인 기후 붕괴로 몰아가는 수준이라고 했다. 2021년 11월 글래스고에서 열린 COP 26 회의에서 약속한 내용에 대해 소수의 국가만이 계획을 강화했다고 발표했다.

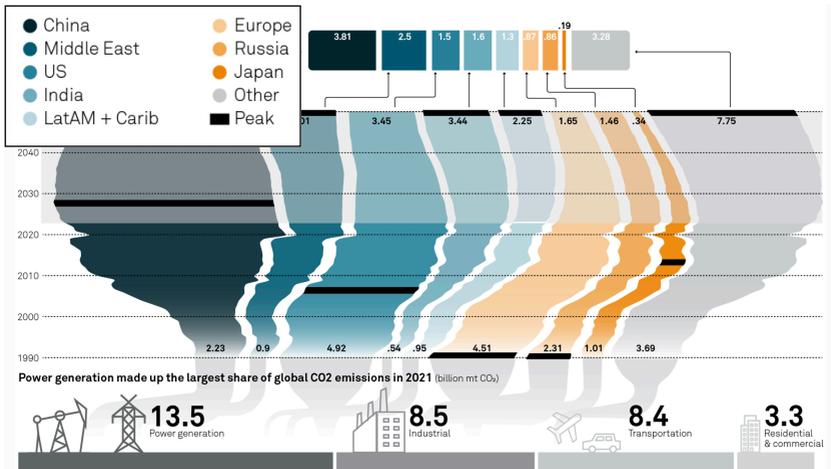


그림 1. COP 27 에서 논의된 대륙별 탄소 배출량 (출처: S&P Global)

## 인플레이션 감소법 통과

이러한 기후위기 상황에서, 미국은 특별한 주목을 받았는데 **인플레이션 감소법 Inflation Reduction Act, IRA** 의 통과로 전문가들은 향후 10년동안 미국의 탄소 배출량을 40% 까지 낮출 것으로 전망한다. [Guardian] IRA는 만료가 임박한 신재생 세액공제를 최대 20년 동안 연장하는데서 시작되며, 이 조항만으로도 1,200억 달러 이상의 지원을 한다.

### SPENDING AND TAX BREAKS

#### ENERGY AND CLIMATE \$385B

Clean manufacturing tax credits <b>\$40B</b>	Clean electricity grants and loans <b>\$30B</b>	Other energy and climate tax credits and spending <b>\$235B</b>
Clean energy technology <b>\$30B</b>	Clean agriculture funding <b>\$30B</b>	
	Clean vehicle manufacturing <b>\$20B</b>	

그림 2. IRA 분야별 지원금 (출처: Washingtonpost)

지원 방식은 다양하다. 우선 **에너지부 Department of Energy, DOE** 및 **환경청 Environmental Protection Agency, EPA** 등 연방정부를 통한 자금지원이 있다. 그리고 국세청 Internal Revenue Service, IRS 를 통한 세액 감면 및 세제 혜택이 있다. 그리고 추가로 **에너지부 Department of Energy, DOE** 의 대출 프로그램을 통한 직접 또는 간접 지원 (대출 보증) 방식이 있다. 이를 다 합치면 위 표와 같이 3850억불의 거대한 지원액이 된다.

또한, 태양광, 풍력, 수소, 배터리와 같은 재생에너지 세액공제로 전력 유틸리티 (한전과 같은 전력공급회사) 가 계속 투자하면서도 수익을 높일 수 있는 지원책을 크게 확장했다. 새로운 법은 또한 청정에너지 설비를 건설하는 전

력 유틸리티가 에너지 산업과 관련이 없는 다른 회사나 월스트리트 투자자에게 세액 감면의 상당 부분을 직접 판매할 수 있도록 허용한다. 미국의 이렇게 어마어마한 지원책은 각 나라에 자극제가 되기에 충분했다.

## 바이든의 전략

2015년 모든 국가가 기후행동에 참여하고 온실가스 감축목표를 제출하기로 한 **파리 기후 협약 Paris Agreement** 이 체결된 이후에도 미온적이었던 미국의 대응은 바이든의 취임이후 급격히 변했다. 마침 상하원을 점령한 민주당은 절호의 기회를 맞은 듯 움직였다. 우선 **바이든은 2021년 2월 24일 행정명령으로 취임 100일 안에** 제조업, 특히 배터리와 반도체 산업을 살리기 위한 대책을 마련하라고 지시한다. 이에 따라 만들어진 보고서에는 우리나라가 지금 큰 관심을 가지고 있는 배터리 분야 지원책이 이미 들어가 있었다.

### BUILDING RESILIENT SUPPLY CHAINS, REVITALIZING AMERICAN MANUFACTURING, AND FOSTERING BROAD-BASED GROWTH

100-Day Reviews under Executive Order 14017

June 2021

그림 3. 취임 100일 제조업 전략 보고서

- ❖ **미국산 고용량 전지를 사용한 완제품 수요 자극**
  - (운송) 연방 차량 및 학교 버스 등 전기차로 전환
  - (운송) 소비자 구매 리베이트 및 세금 공제 제공 (현재 관심 내용)
  - (운송) 전국의 EV 충전 인프라 지원
  - (유틸리티) 배터리 저장에 대한 연방 조달을 가속화
  - (유틸리티) 배터리 단독 자원을 포함하도록 세액 공제를 확대
  - (유틸리티) 재생 에너지 저장을 지원하기 위한 송전 규제 개혁
- ❖ **주요 고급 배터리 광물에 대한 책임 공급 체계를 강화**
  - 리튬의 채굴 지원 및 자원별 투자 전략 마련
  - 재활용 또는 비재래식 자원에서 니켈 및 코발트 회수
  - 글로벌 자원 생산을 확대 및 공급 접근성을 향상 위한 글로벌 동맹국 협력
- ❖ **지속 가능한 국내 배터리 소재, 배터리 셀, 배터리 팩 생산 촉진**
  - 보조금 제도, 세금 공제 및 연방 조달계약 형태의 정부 재정 지원/투자 확대
  - 에너지부의 ATVM (최신기술 차량 관리 대출) 프로그램 활용
  - 배터리 셀 및 관련 재료 가공 공급망 중소기업 지원 프로그램 가동

해당 보고서를 바탕으로 연방 정부는 'Federal Consortium for Advanced Batteries (FCAB)' 라는 부처 간 협의체를 만들어 배터리 산업을 위한 전략을 짜게 된다. 여기서 바이든 정부는 현실을 직시하게 된다. 우선 미국은 중동에서의 에너지 패권을 잃고 있었다. 사우디는 더 이상 미국의 입김에 따라 움직여 주지 않았다. 그리고 재생에너지 관련 자원시장 및 제조업은 이미 중국에 점령되어 있었다. 태양광 패널 및 풍력 터빈에 쓰이는 알루미늄, 구리, 은, 실리콘에서 부터 배터리에 쓰이는 코발트, 리튬, 망간까지 새로운 에너지 시대의 자원은 중국이 많은 부분 생산

및 소비를 독점하고 있었다. [AEI] 이에 미국은 새로운 에너지 시대의 자원 전쟁에 뛰어들기 위해 전열을 정비해야 했다. 우선 국내 자원 선별 및 생산 독려, 에너지 제조업 분야 국내 생산 독려, 신기술 개발을 통한 기존 자원을 사용하지 않는 에너지 기술 개발 (코발트, 니켈 등이 없는 배터리, SMR, 수소 등), 전 세계 재생에너지 및 인프라 투자 지원 등을 통해 중국의 발걸음을 막고자 하고 있다.

그리고 이러한 다양한 전략의 종자돈을 마련하기 위한 출발점이 바로

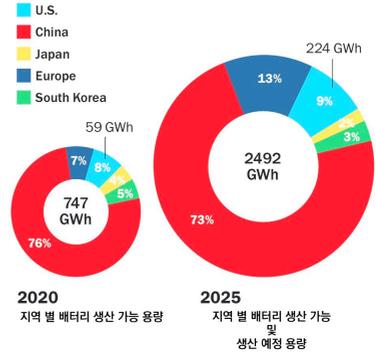


그림 4. 배터리 제조업 전망 (출처: FCAB)

IRA 법안이었다. 이 법안은 미국의 이상과 실리가 복합적으로 작용하는 법안임과 동시에 화석에너지 시대의 패러다임이 완전히 전환되는 계기가 되는 법안이다. 이러한 전환을 위해 싸워온 많은 정치 세력 및 시민 사회의

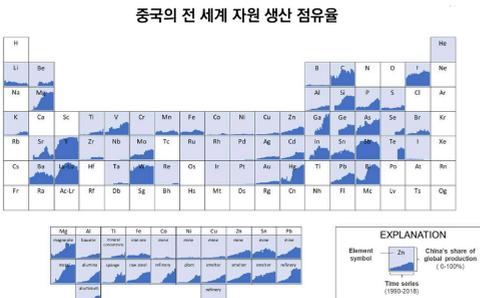


그림 5. 중국의 자원 점유율 (출처:취임 100일 보고서)

오랜 경험이 녹아있기 때문에 그 내용도 방대하고, 사안별로 그 의미가 굉장히 깊다. 무엇보다 미국 전력시장의 급격한 전환을 기대하고 있는 법안이기 때문에 전력 유틸리티들이 손해를 보지 않으면서도 의지적으로 발전원 전환을 할 수 있도록하는 인센티브가 법안 곳곳에 세밀하게 녹아 있다.

아쉽게도 미국에서 **인플레이션 감소법 Inflation Reduction Act** 을 제정했다는 뉴스는 우리에게 큰 감흥을 주지 못했다. 적어도 한국 전기차가 보조금 지급 대상에서 제외되었다는 소식이 나오기 전까지는 말이다. 그리고 아직도 이 법이 제정되기 전과 후 무슨일이 일어나고 있는지 알려진 바가 별로 없다. 그러나 미국과 전 세계는 이 법으로 인해 한바탕 흥역을 치르고 있다. 선진국이라면 너나 할 것 없이 재생 에너지 목표를 달성하기 위해 질주하고 있는 현실에서, 재생 에너지 시장의 수요를 미국이 빨아들이게 되면 나머지 국가들이 질식할 위험이 있기 때문이다.

## IRA 제정의 이상

우선 중국은 자국에 적대적인 이 법의 제정을 내심 반가워했다. 그 동안 약 15년 간 전방위적인 투자로 전세계 자원 발굴 및 재생에너지 제조업을 부흥시킨 중국의 정책이 맞았다는 방증이기 때문이었다. [Atlantic] 그러나 동시에 미국의 자국 보호주의적인 정책이 발효되기 시작하면서 즉각 반발하기 시작했다. 중국 신장 지역에서 생산된 태양광 모듈 및 해당 지역의 재료로 생산된 모듈도 ‘위구르 강제노동 보호법 Uyghur Forced Labor Protection Act’에 의해 미국 향구에 묶여 있고, 중국산 배터리는 미국에서 판매할 수 없으며, 반도체 관련 주요 기술들이 중국에 수출되는 길이 막혀있고, 동맹들이 주요 생산장비를 중국에 수출하지 못하게 설득하고 있다. 중국은 WTO에 미국을 제소하기까지 했다. [FT]

유럽은 크게 반발했다. 미국의 보호무역주의적인 조치로 인해 EU 역내 제조업의 기반을 흔들다는 우려가 쏟아져 나왔다. 그러나 미국은 백악관 고위 관리가 공개적으로 IRA 의 이상은 재생에너지의 기반을 닦는 것이라고 역설하며, 이를 통해 시장의 파이가 커지면 유럽과 미국 모두 이익을 공유할 수 있

을 것이라 밝혔다. [Politico] 프랑스는 이에 반발하면서도, 내심 원자력에 대한 우호적인 법안에 반응하여 다시금 원자력 르네상스를 이루고자 하지만 [Washingtonpost] EU는 미국과 같은 단일 세제 혜택을 부여할 수 없는 역내 구조와 공적자금을 모으기에는 이미 코로나 대응에 너무 많은 지출을 한 상황이다. [FT2]

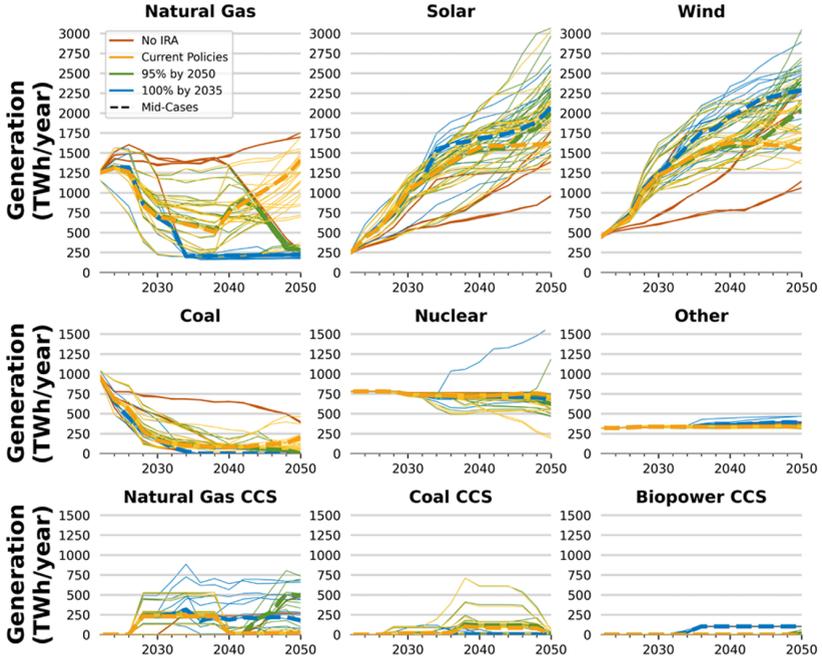


그림 5. IRA 적용 후 미국 발전용량 전망 (출처: NREL)

그러나, 한편으로 이 법은 오래 전 엘고어 부통령이 ‘불편한 진실 Inconvenient Truth’ 라는 다큐멘터리를 통해 역설했던 기후 위기에 대한 미국의 최종적인 답변이었다. 통과된 법률은 너무 관대해서 일부 베테랑 법인세 변호사들조차 놀랄 정도로 공제액이 컸다. 세금 감면액의 상당 부분이 (전력 유틸리티들이 투명하게 비용을 전가한다면) 전기 요금을 통해 소비자에게 지원될 것이기

때문에 전력 유틸리티의 수익도 줄지 않으면서, 재생에너지도 증가하고 소비자들도 세금을 통해 전기요금을 낮추는 윈윈 구조이다. [NYtimes] 미국의 유명한 공공 연구기관인 NREL 은 2035년도까지 재생에너지가 최상의 경우 70%를 차지할 것이라 전망했다. [NREL] 바야흐로 미국은 재생에너지 시대로 완전히 전환했다고 할 수 있다.

## 참고자료

[Guardian] <https://www.theguardian.com/environment/2022/oct/27/world-close-to-irreversible-climate-breakdown-warn-major-studies>

[AEI] <https://www.aei.org/op-eds/the-green-energy-revolution-will-make-the-world-more-dangerous/>

[Atlantic] <https://www.theatlantic.com/science/archive/2022/08/inflation-reduction-act-america-world-diplomacy/671293/>

[FT] <https://www.ft.com/content/4eaedee4-5267-4e3a-b9da-5d2bb6f356ee>

[Politico] [https://subscriber.politicopro.com/article/2022/11/u-s-to-eu-jump-in-the-clean-energy-subsidy-game-00071047?mc\\_cid=e723533565&mc\\_eid=c6794ece1c](https://subscriber.politicopro.com/article/2022/11/u-s-to-eu-jump-in-the-clean-energy-subsidy-game-00071047?mc_cid=e723533565&mc_eid=c6794ece1c)

[Washingtonpost] <https://www.washingtonpost.com/world/2022/11/29/macron-us-state-visit-nuclear-france/>

[FT2] <https://www.ft.com/content/9978a911-c898-4d0c-b641-fcfc0cf029>

[NYtimes] <https://www.nytimes.com/2022/11/29/us/politics/electric-utilities-biden-climate-bill.html>

[NREL] <https://www.nrel.gov/analysis/100-percent-clean-electricity-by-2035-study.html>

## 2. 재생에너지의 가능성

### 2.1. 재생에너지가 도매전력시장에 미치는 영향

**정**기적으로 재생에너지를 비판하고자 언론을 도배하는 내용이 있다. 원전보다 비싼 태양광을 한전이 우선 구매해 주고 있어서, 문제가 심각하다는 내용이다. 내용을 자세히 보자.

11일 한국전력거래소에 따르면, 한전이 태양광 발전업체에서 전기를 사들이는 구매 단가는 올 1~5월 평균 kWh(킬로와트시)당 171원으로 원전(42원)의 4배를 웃돌고 있다. 이런 상황인데도 한전은 원전보다 4배 비싼 태양광으로 만든 전기를 우선 구매하고 있다. Jun 12, 2023



chosun.com

<https://www.chosun.com> > economy > 2023/06/12 ;

**원전보다 4배 비싼데...태양광 무조건 사주는 한전 - 조선일보**

신문은 여기에 더해 “올 들어 원전 감발(출력 감소)로 인한 단순 비용만 20 억원이 넘는다. 탈원전을 LNG로 대체하면서 2030년까지 예상되는 47조원 손실에 더해 숨어 있던 청구서인 셈이다.”라고 재생에너지를 비난하고 있다.

#### 급전 순위 효과 Merit Order Effect

기사 내용대로라면, 전력을 구매할 때 태양광 생산 전력이 비싼데도 사고 있다는 내용이다. 당연히 그런 시장이라면 문제가 있을 것이다. 그러나, 기사 내용에는 오류가 있다. 설명하자면, 우선 시장이 전력을 구매할 때 시장은 발전원을 가리지 않는다. 전력 구매의 기본 원칙은 ‘전력을 생산하는데 드는 비용’이 낮은 발전원부터 우선적으로 생산을 시작하는 것이다. 여기에 건설 비용은 고려되지 않는다. (연료 및 운영 유지 보수 비용, 즉 변동비를 반영하는데 주로 연료비용 Start-up Cost, 무부하비용 Minimum Load Cost, 에너지 입찰가 Energy Offer 세 가지를 반영하나 해외는 이를 기준으로 하나 입찰가는 자유롭게 정하는 경쟁

입찰시장) 이 순서를 **급전 순위 Merit Order** 라고 한다. 그리고 시간별로 수요를 최종적으로 감당하는 발전원의 가격으로 모든 발전소가 수익을 얻는다. (가격 설정 범위 별로 한국은 System Marginal Price (SMP), 미국은 Locational Marginal Price (LMP), 유럽은 Zonal Marginal Price (ZMP/LMP)) 아래 프랑스의 급전 순위를 보면 많은 원전을 제치고 재생에너지가 1 순위에 있다. 이유는 재생에너지는 연료가 들지 않기 때문이다. 이러한 급전 원칙은 신재생의 유무와 상관없이 가장 경제적인 것으로 동의되고 유지되어 왔다.

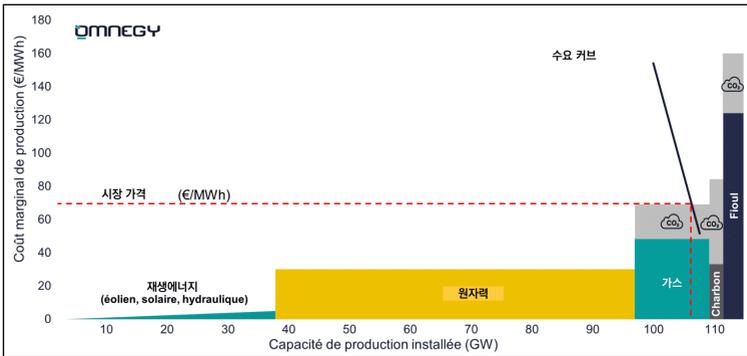


그림 1. 프랑스 급전 순위 (Merit Order, 출처: Omnegy)

여기에 더해 재생에너지가 많아지면 **급전 순위 효과 Merit Order Effect** 라는 개념이 적용된다. 즉, 아래 그림과 같이 재생에너지가 기저에 많이 생산될수록 비싼 발전원의 급전 순위가 밀리면서 도매 가격이 싸지는 효과이다. 물론, 재생에너지가 집중적으로 전력을 생산하는 시간에 (특히, 태양광) 적용될 수 있지만 전체적으로 도매 가격에 분명한 영향을 미친다. 따라서 재생에너지가 늘어나면 전력 가격이 싸지는 효과가 있을 수 있다. (단,

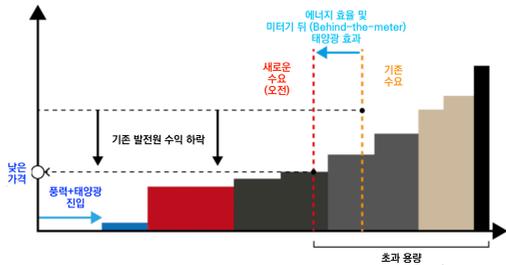


그림 2. 재생에너지 급전순위 효과 및 지붕태양광 수요감소 효과 (출처: Pikpng)

구매가의 소매 가격 반영은 각 나라마다 방식이 다름) 달리 이야기 하면, 순전히 시장 가격의 측면에서 봤을 때 재생에너지의 긍정적인 효과는 무시하고, 재생에너지가 생산되는 시간대의 SMP (낮 시간대 높을 수밖에 없음) 와 원전이 밤낮 돌아가면서 받는 SMP 를 단순평균으로 비교 한다는 것은 불가능한 것이다. 아래 <표 1>은 전력거래소에서 매달 발표하는 평균구매단가이다. 우리나라 태양광은 시장에 참여하지 않지만 기저에 공급된다. 따라서, SMP가 가장 비싼 낮시간에 생산되므로 평균구매단가가 높을 수밖에 없는 것이다. 그러므로 재생에너지를 사지 않는다고 해서 SMP 가 싸지는 것이 아니다. 오히려 비싸질 것이다.

(단위:원/kWh)

기간	원자력	유연탄	무연탄	유류	LNG	양수	신재생							
							연료전지	석탄가스화	태양	풍력	수력	해양	바이오	폐기물
2023/07	67.7	160.0	163.7	440.0	204.0	259.0	150.7	165.1	167.0	149.7	164.9	143.0	209.8	0.0
2023/06	38.9	142.8	165.5	376.0	191.9	227.2	147.1	0.0	162.4	145.6	169.3	138.9	190.4	0.0
2023/05	34.6	137.2	151.5	338.8	184.2	206.6	141.6	0.0	149.6	140.5	157.4	137.5	182.1	0.0
2023/04	37.0	143.9	187.5	285.3	197.5	197.2	155.9	0.0	156.4	156.7	170.2	155.8	197.1	0.0
2023/03	50.5	176.4	229.8	310.4	270.5	316.7	212.3	0.0	213.5	211.3	240.6	214.0	246.9	0.0
2023/02	43.7	152.7	173.6	314.9	289.2	252.8	161.2	0.0	165.4	173.6	175.9	161.2	222.9	0.0
2023/01	44.0	156.8	175.5	356.2	277.8	244.0	159.2	174.1	162.4	168.1	175.4	158.9	215.1	0.0

표1. 연료원별 정산단가 (※ 정산단가 산정시 전력거래대금에서 RPS의무이행비용정산금 및 배출권거래비용정산금은 제외, 출처: 전력거래소)

## 유럽 에너지위기와 전력 가격

물론 재생에너지와 관련한 문제가 있다. 아래 그림과 같이 최근 가스 가격의 상승으로 인해 유럽에서 발생한 현상은, 재생에너지의 증가에도 불구하고 전력가격이 높은 시간대에 전력 가격이 가스가격에 연동되어 평균 전력가격이 오르는 것이다. 이는 일시적인 현상이긴 하지만, 가스 가격 변동의 위험이 상존하는 상황에서 언제 전력 가격이 또 널뛰기를 하게 될지 모르는 상황이다. 하지만, 여기서 재생에너지가 태양과 바람에 의존하는 간헐성 Intermittency 으로 태양이 지는 저녁에 갑자기 많은 가스발전기를 켜야하는 점이 가격 불안정성의 유일한 원인이라 부르는 것은 적절치 않다. 이것은 복잡한 것이, 프랑스가 원전의 반을 돌리지 못한 2022년도에도 신재생이

44%의 전력을 생산한 독일의 전력 가격은 가스 가격 충격을 제외하고 안정적이었고 (북쪽의 수력발전 도움 등) 심지어 수입보다 수출을 더 많이 하기까지 했다. [Reuters] 어떠한 한가지 결론을 낼 수 없는 것이다.



이에 대한 대안으로 영국과 호주는 여러가지 고민을 했다. 영국 정부는 각 발전원이 전력 시장에 입찰한 가격대로 수익을 받아가는 **입찰가정산제 Pay-as-bid** 방식을 고려해 보았다. 도매가격이 가스 가격으로 인해 높아지는 경우 나머지 발전원이 비정상적으로 높은 수익을 가져가게 되므로, 각각의 발전원이 입찰 가격으로만 정산을 받아가게 하려는 의도가 있다. 그러나 아래 그림과 같이 시장이 왜곡될 수 있고, 대형 발전원의 **시장 영향력 Market Power** 으로 인한 시장 교란이 발생해 도매가격이 상승할 가능성이 높다.

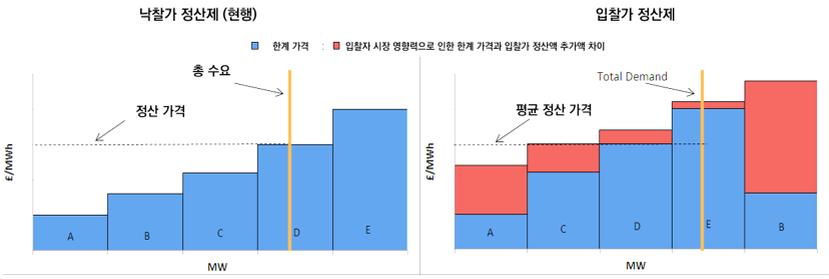


그림 3. 입찰가 정산제 (Pay as Bid) 적용시 문제점 (출처: Ofgem)

호주의 경우는 전통 발전원과 재생에너지의 도매 시장을 분리하려는 노력이 있었다. 그러나 여기에도 재생에너지가 분리되고 남은 시장에서 대형 발전사의 **시장 영향력 Market Power** 으로 인한 시장 교란 문제와 재생에너지 시장이 시장 기능을 하기위한 기본 수요량 및 공급량의 부족 등을 이유로 진행이 어려워지고 있다. [FTI Consulting]

## 해결책 그리고 원전

현재로서는 어떠한 변수가 발생하더라도 **급전 순위 Merit Order** 기반의 경제급전방식이 가장 합리적이라고 볼 수 있다. 다만, 유럽에서처럼 **황재 Windfall** 를 막기위해 각 발전원별로 마진을 제한하는 방법이나, 차라리 가스 가격을 낮추는 방법 등이 제한적으로 사용될 수도 있다. [FFE] 여기서 제한적이라는 말은, 일반적으로 특정 발전원에 SMP 한계를 정하는 것은 매우 바람직하지 않기 때문이다. 이 경우 발전원의 수익 예측에 기반한 경제성 및 금융상환 가능성 등의 가정을 무너뜨림으로서, 기존 발전원에도 문제가 발생할 뿐더러, 추후 진입할 사업도 불안정성을 안고 사업하기는 힘들게 되기 때문이다. 이는 궁극적으로 재생에너지에 가장 불리한데, 생산 가능 시간의 제약에 민감한데다 수익의 제약이 발생하는 것은 재앙이기 때문이다. (더해서, 유럽은 시장이 선물시장 위주로 움직이기 때문에 가격 제한에 애로사항이 있음. 또한, 많은 사업주들은 헷지 상품을 사용하기 때문에 관련이 없는 경우도 있음) **하지만, 이 경우도 에너지 위기 때는 기존의 수익을 보장하는 선에서 제한이 가능해 보인다.**

그러면 원전을 어떻게 해야 할까? 시스템을 바꿀 수 없다면, 원전은 계속 재생에너지에 순위를 침범당하고 생산이 줄어들 수밖에 없다. 그렇다고 위의 기사처럼 신재생을

사지 말자는 것은 시장 논리를 무시한 발상이다. 결국은 시장 논리하에서 어떻게 원전을 활용할 수 있을가의 문제다. 프랑스의 경우는 재생에너지의 간헐

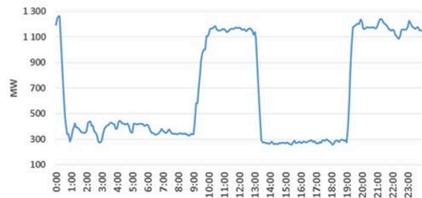


그림 4. 프랑스 원전의 증감발 대응능력 (출처: NREL)

성에 대비해 원전을 빠르게 대응할 수 있는 자원으로 **증감발 대응 Flexible Ramping** 능력을 갖춰 사용하고 있으나, 이것은 우리나라 원전 설계와는 맞지 않는다. 그렇다면, 출력감소가 필요할 경우 원전에서 수소를 만들거나 전력이 많이 필요한 시설 운영 (글에서는 해수담수화)을 하는 방법 [Stanford], 아니면 재생에너지의 저장을 용이하게 지원하는 방법이나 재생에너지 피크 생산 시간에 원전 출력을 유지할 수 있도록 하는 **수요 측 대응 자원 Demand Side Management Resources** 개발 등의 기존 시장을 인정하면서도 대응 할 수 있는 방법을 개발해야 할 것이다.

## 참고자료

[Omnegy] “Comment se forme le prix de l’électricité sur le marché de gros ? La mécanique du « merit order »” Omnegy, <https://omnegy.com/la-mecanique-du-merit-order/>

[Reuters] Vera Eckert, Tom Sims. “Even in crisis, Germany extends power exports to neighbours.” Reuters, January 6, 2023. <https://www.reuters.com/business/energy/even-crisis-germany-extends-power-exports-neighbours-2023-01-05>

[그림 5] “Pay-as-bid or pay-as-clear pricing for energy balancing services in the Balancing Mechanism.” Ofgem, <https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/docs/2012/10/pay-as-bid-or-pay-as-clear-presentation.pdf>

[FTI Consulting] “Energy Brief: Are Two Energy Markets Better Than One?” FTI Consulting, <https://www.fticonsulting.com/insights/articles/energy-brief-two-energy-markets-better-one>

[FFE] “Merit order shifts and their impact on the electricity price.” FFE, <https://www.ffe.de/en/publications/merit-order-shifts-and-their-impact-on-the-electricity-price/>

[Stanford] Justin Aborn, Ejeong Baik, et al. “An Assessment of the Diablo Canyon Nuclear Plant for Zero-Carbon Electricity, Desalination, and Hydrogen Production.” (2021), <https://drive.google.com/file/d/1RcWmKwqgzvlgllh0BB2s5cA6ajuVJLzt/view>

[그림 6] Dr. Rita Baranwal, “Flexible Nuclear Energy for Clean Energy Systems.” NREL/TP-6A50-77088 September 2020. <https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/77088.pdf>

### 3. 재생에너지가 넘어야 할 산

#### 3.1. 신뢰도 전쟁? 신재생 전쟁? FERC는 왜 싸울까?

**최** 근 미국 EPA에서는 1.3장에 언급했듯이 심상치 않은 정책적 변화가 감지된다. 새로운 법안의 공포 절차 개시로 석탄 및 가스 발전이 탄소 포집 장치 (CCS) 없이 생존하기 힘든 상황이 되고있다. [Nature] 정계는 곧 두 가지 의견으로 나뉘어 싸우게 된다. 민주당 쪽에서는 기후변화 대응을 위해 하루빨리 석탄 및 화석연료 발전을 퇴역시켜야 한다는 의견이고, 공화당 쪽에서는 재생 에너지의 증가율보다 화석연료 발전이 생각보다 빠른 퇴역을 하고 있는 점을 문제 삼고 있다.

#### 싸움의 시작

**석** 탄을 주 수입원으로 하고 있는 주들인 와이오밍과 웨스트버지니아의 상원 의원인 존 바라소와 조 맨친 의원은 바로 핵심 문제인 전력망 신뢰도 문제를 지적하기 시작했다. 이를 위해 북미 전력신뢰도공사 NERC의 사장과 PJM 독립시스템 운영자 ISO 사장을 불러 화석연료 발전의 빠른 퇴역이 전력망 신뢰도에 얼마나 부정적인 영향을 미치는지 증언하게 했다.

청문회 이후 각 이해관계자는 각자 들고 싶은 말만을 정리해 전달하기 시작했다. 석탄을 지지하는 시민단체는 청문회에서 ‘급전 가능한 발전원의 빠른 퇴역으로 심각한 전력망 신뢰도의 하락을 예상하고 있다며, 석탄의 퇴역에 대한 대안을 마련해야 한다’는 의견을 냈다. [Countoncoal]

그러나, 공공기관답게 전력신뢰도공사 NERC 나 PJM 은 정치적 치우침이 없는 다양한 의견을 낸 것이 사실이다. 우선 전력신뢰도공사 NERC 의 사



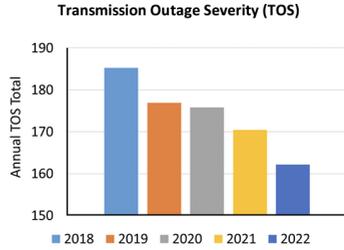
Full Committee Hearing to Examine the Reliability and Resiliency of Electric Services in the U.S. In Light of Recent Reliability Assessments and Alerts

그림 1. 미국 상원 홈페이지 청문회 알림

장인 제임스 롭은 화석 발전원이 빠르게 퇴역하게 되면 신뢰도에 문제가 생긴다는 점과, 현재의 재생에너지 증가에 맞추어 어떻게 신뢰도 기준 및 지원을 변경해 가야 하는지를 발표했다. 여기에 자신의 지휘하에 최근까지 신뢰도 수준이 얼마나 좋아졌는지 깨알 같은 자랑을 하기도 했다. 그는 다음 네 가지 이슈에 대해서 다뤘다.

- ❖ 발전원 조합의 빠르고 종종 무질서한 변화
- ❖ 기존 전통발전원이 은퇴함에 따른 대체 자원의 성능 문제
- ❖ 더 빈번히 발생하는 광범위하고 장기간의 극한 기상 요건
- ❖ 그리드 탄력성과 깨끗한 에너지 미래를 지원하기 위해 필요한 새로운 에너지 인프라의 개발이 늦어지는 것과 동시에 전기화로 인한 수요 증가 발생

PJM의 경우는 좀 더 광범위한 분석 자료를 들고나왔다. 실제로 이슈의 핵심에 있는 시장이기 때문에 현재의 위기 상황을 세밀하게 분석해 온 것이다. 그러나, 핵심은 역시 재생에너지가 문제라는 것이 아니라, 화석 발전원을 대체하기 위한 재생에너지는 1:1로 매칭되지 않으니 송전망 연결 지연으로 대기하고 있는 재생에너지와 스토리지 문제를 빠르게 개선해야 한다는 점이였다. 그리고 생각보다 빠르게 화석 발전이 퇴역하면 신뢰도 문제가 생길 수 있으므로, 송전망 확충 계획을 지원하고 용량 시장의 개선을 통한 속도 조절이 필요하다는 것이였다.



Source: 2023 State of Reliability (to be published June 2023)

그림 2. PJM 시장에서 정전 횟수 (출처: PJM)

PJM Queued Capacity (Nameplate as of April 1, 2023)

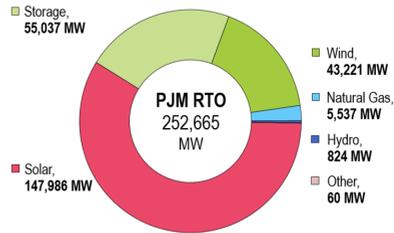


그림 3. PJM 송전접속 대기용량 (PJM)

그 다음 순서는 연방에너지규제위원회 FERC 의 차례였다. 미국 하원에서는 신뢰도 문제의 핵심 조직인 연방에너지규제위원회 FERC 를 불러 이 문제에 대해 청문을 시작했다. FERC는 행정부 내 독립 조직이면서 동시에 행정수장이 5명으로 3:2의 비율로 서로 다른 당에서 임명되는 것이 특징이다. 즉, 양당의 정책을 반영하여 전력 정책을 이끌어 간다.

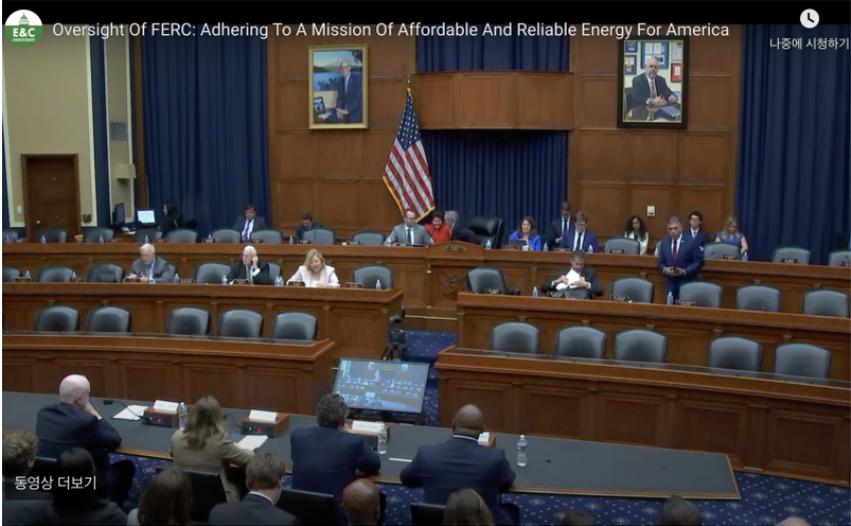


그림 4. 미국 상원 청문회 장면 (출처: 미국 하원 유튜브)

이들의 의견은 크게 보면 전력 신뢰도의 문제를 다루고 있지만, NERC나 PJM 수장과 다르게 각자의 주장이 명확하고 서로 다르다. 아래 내용처럼 민주당은 기후 변화로 인한 신뢰도의 문제와 이를 해결하기 위한 재생에너지 송전망의 확충 문제를 이야기한다. 반대로 공화당은 화석연료의 빠른 퇴역을 문제 삼는다. 그리고 공화당 위원들이 공통으로 지적하는 문제가 있다. 바로, 용량 시장에 문제가 있다는 점이다. 이들은 용량 시장을 화석 연료의 퇴역의 핵심 원인으로 지적한다.

민주당 FERC 위원	공화당 FERC 위원
<p>Phillips (의장) - 2023.1.4 바이든 임명</p> <p>"저는 항상 그리고 반드시 가장 중요한 일인 신뢰도부터 시작하겠습니다. 우리 국가의 전기 시스템 신뢰성에는 전례 없는 도전이 있습니다. 외국과 국내의 주체들이 매일 사이버 방어력을 시험하고 있습니다. 그리드에 대한 물리적 위협이 증가하고 있습니다. 그리고 국내 전체에 걸쳐 다양한 종류의 극한 기상이 고객들에게 전력 공급에 위협을 가하고 있습니다...제 두 번째 우선순위는 송전은 신뢰성을 보장하는 필수적인 요소입니다. 송전은 전력 시스템의 신뢰성을 유지하는 데 중요한 역할을 하며, 동시에 새로운 자원의 연결을 용이하게 합니다. 또한 전력 송전망은 에너지 안전성을 더욱 향상시키고 국가 전력망을 강화하는 데 기여합니다."</p>	<p>Danly - 이전 의장</p> <p>"이러한 시장 외곽 요인의 대부분은 주로 주-연방 정부의 보조금 및 재정정책으로부터 비롯되며, 급전 제어가 불가능한 풍력 및 태양 발전 설비의 도입을 촉진하거나 화석 연료 발전 설비를 최대한 빠른 시일 내에 폐업시키기 위해 공공 정책이 설계되었습니다... 재생 에너지 발전 설비에 대한 보조금은 매우 수익성이 높아져, 입찰 경매에 참여할 때 실제 비용이 아닌 제로 가격을 제시할 수 있습니다. 이에 따라 만들어진 시장 신뢰는 이러한 새로운 자원들이 무료로 구축될 수 있다는 것이며, 따라서 전력 비용도 무료라는 것입니다. 이는 물론 사실이 아니며, 불가피한 결과로 시장 전반에 걸쳐 가격 억제가 발생합니다."</p>
<p>Clements</p> <p>우리의 에너지 시스템은 겨울 폭풍, 폭염, 가뭄, 허리케인 및 산불과 같은 새로운 극한 기상 도전에 직면하고 있습니다... FERC 에서 우리의 명확한 책임은 모든 미국인을 위한 신뢰성과 가격이 저렴한 에너지를 추구하는 것입니다. 오늘 FERC가 최근에 취한 신뢰성과 가격 저렴성을 향상시키기 위한 조치들과 토지 소유자 및 환경 정의 공동체와의 관여를 강화하기 위한 노력을 강조하겠습니다.</p>	<p>Christie</p> <p>"요약하면, 핵심적인 위협은 다음과 같습니다. 많은 유용한 수명을 가진 가동 가능한 발전 자원들이 너무 빠르고 많이 은퇴하여 전력 공급을 유지하는 능력에 위협을 가하고 있습니다. 일반적으로 문제는 풍력 및 태양광과 같은 간헐적 자원의 추가가 아니라, 특히 석탄과 가스와의 가동 가능한 자원의 너무 빠른 감소입니다."</p>

(출처: 미국 하원, <https://democrats-energycommerce.house.gov/committee-activity/hearings/hearing-on-oversight-of-ferc-adhering-to-a-mission-of-affordable-and/>)

## 용량 요금의 문제점

대체 용량 요금 시장이 왜 화석 발전원의 퇴역과 연관되어 있는 걸까? 한국에서 용량 요금을 보는 시각은 기본적으로 SMP 시장의 변동비 보전으로는 부족한 발전소 투자 요금을 메우기 위한 보전 요금 정산 방식으로 생각하는 경향이 있다. 그러나 미국에서의 용량 요금은 시장에서 운영되고 이 시장은 투자비 보전뿐만 아니라 전력망의 예비력 및 신뢰도를 확보하는 목적을 가지고 있다. 우리나라와 달리 미국은 PJM과 같은 전력 시장 운영자가 용량

시장에서 확보할 목표 예비력 요청기준 Reliability Requirement 을 정한 후 여  
기서부터 추가 용량에 대한 각 전력 시장 자체 모델을 통해 수요 곡선을 형성  
한다. 이때 공급 곡선이 중요한데, 입찰 시 이미 공개된 수요 곡선을 바탕으로  
각 발전원은 투자 및 운영비 보전 (원리금 상환 포함)을 위해 에너지와 보조  
서비스 요금을 제외한 필요 수익을 자유롭게 계산해 입찰할 수 있다. 그리고  
공급 곡선에서 결정된 가격을 낙찰받은 모든 입찰자가 동일하게 용량 요금을  
받게 된다.

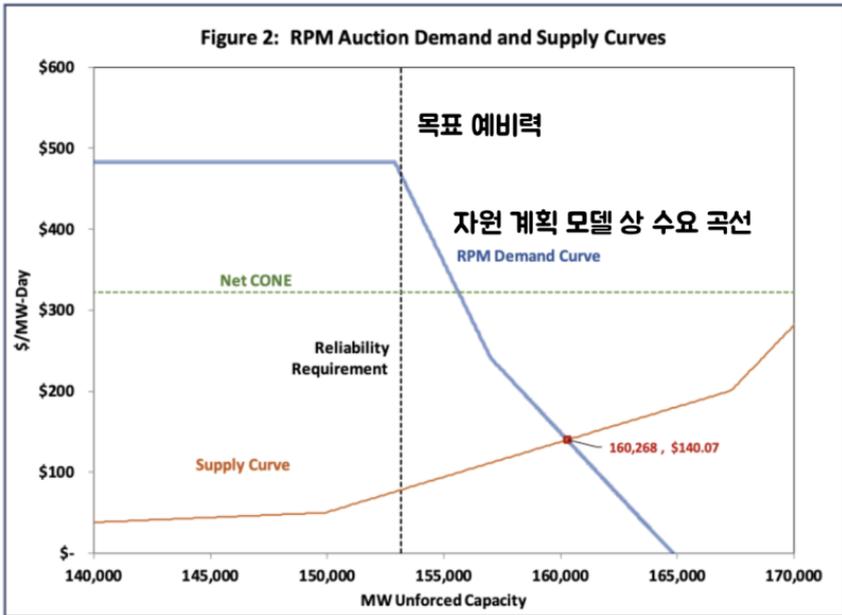


그림 5. PJM 용량요금 수요 공급 곡선 예시 (출처: Wilson Energy Economics )

문제는 여기에 재생에너지나 원자력 발전이 보조금을 포함시키지 않고  
(IRA 보조금 등) 입찰해서 사실상 투자 및 운영에 필요한 금액을 에너지 요금  
및 보조 서비스 요금으로 다 보전 받으면서도, 용량 입찰에 0원 입찰을 함으로  
써 용량 요금 가격을 낮추게 된다는 점이였다. 이 문제 때문에 각 시장은 보조  
금을 받은 특정 발전원이 최소 입찰 가격 규칙 MOPR 을 지켜 입찰하도록 요

구하게 된다. 하지만 최근 PJM 시장에서는 이러한 최저 요금이 사실상 무효화되는 결정이 있었다. 이 부분에서 재생에너지 세력과 화석연료 세력의 싸움이 진행 중이다. 이는 양당 간의 싸움으로 번지고 있는 상황이고 실제 재생에너지를 지지하는 시민단체들은 오래전부터 PJM이 불필요하게 많은 용량을 시장에서 낙찰시켜서 소비자의 주머니를 털고 있다고 주장하고 있었다. [Wilson] 현재, 이러한 주장이 PJM에 상당히 반영되고 있는 현실이다.



**2023/2024 RPM Base Residual Auction Results**

Figure 2 – Base Residual Auction Resource Clearing Prices

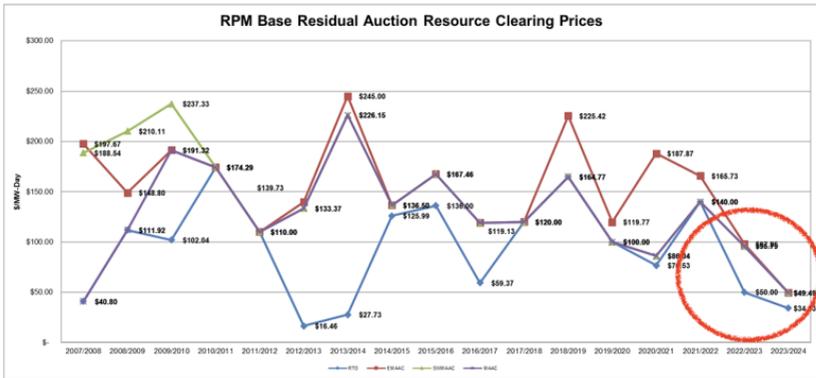


그림 6. PJM 용량 입찰 결과표 (출처: PJM)

그리고 결과는 위와 같은 용량 요금의 급격한 감소다. 최소 입찰 가격 규칙 MOPR 이슈로 인해 상당 기간 지연되었던 용량 입찰 (통상 3년 전 진행) 가격은 보조금 대상 발전원이 자유로운 가격으로 입찰하게 되면서 지속해서 떨어지고 있다. 문제는 이것이 석탄과 가스 발전에 미치는 영향이다. 특히 가스 발전의 경우 셰일가스 영향으로 최근에 매우 많이 진입해 있는 상황이지만 원리금 상환 조건에 용량 요금의 기준이 정해져 있기 때문에, 용량 요금이 일정 기준에 미달하면 금융 계약에 의해 여러 가지 악조건을 수용해야 한다. 가장 큰 것은 배당 중지이다. 그리고 이로 인해, 새로운 발전원의 금융은 상당한 영향을 받게 된다. 퇴역을 앞둔 발전원들도 마찬가지이다. 보통 신규 전원의

수익에서 용량 요금이 10~15%를 차지한다면, 오래된 발전원들은 수익의 훨씬 많은 부분을 용량 요금에 의존한다. 때문에 요금의 하락은 퇴역 결정을 앞당기게 된다. 공화당 FERC 위원들은 바로 이 부분을 지적하고 있다.

## 향후 방향

그러면 민주당 FERC 위원들은 어떤 생각을 가지고 있을까? 이는 최근 용량 입찰을 지연하더라도 용량 시장을 개선하자는 결정과정에서 드러난다. 논의의 시작은 언급한 PJM의 용량 가격 하락 문제 및 겨울폭풍 Elliot으로 인한 화석 발전원 정지에 대한 용량 증대 필요성으로 시작되었다. [Utilitydive] 대부분의 위원은 당분간 가스복합 발전의 지원이 필요하다는 생각이고 가스 파이프라인의 확장을 지원한다. 그러나, 4명 중 민주당의 Clements 위원은 반대 의견으로, 더 이상 용량 시장을 지연하는 행위를 해서는 안 되며 이는 시장 참여자의 예측성을 떨어뜨리고 계속 시장을 불안정하게 만들어 용량 시장의 주요 기능을 망칠 수 있다고 경고한다. 공인으로서 재생에너지를 특별히 지지하지는 않지만, 그녀는 재생에너지 시민단체에서 오랫동안 변호사로 있었고 공화당으로부터 공격도 받는다.

그러나 한 가지 이해되는 점은, 지난 겨울 PJM에서 용량 시장 참여 화석 발전원들이 제대로 작동하지 않아 엄청난 벌금을 내게 되었다는 점이다. 용량 요금은 낙찰 발전원에게 그 급전 상태와 상관없이 매일 계산되지만, 주요 시기에 급전 요청에 응하지 못하면 바로 큰 벌금을 낸다. 위기 상황에 대응하지 못하는 발전원을 더 끌어들이기 위해 시장을 수정하는 것은 옳지 않을 수 있는 것이다. Clements 위원은 오히려 다른 시장과의 송전망 연결 사업을 추진할 것을 요청한다. [Spglobal]

미국은 이미 재생에너지 시대로 들어갔다. 모든 시장 참여자들이 재생에너지를 부정하지는 않는다. 다만, 적절한 발전원의 균형을 잡지 않고 급작스러운 기저발전원의 퇴역을 원하지는 않는다. 또한, 그만큼 에너지 분야의 혁신 과제들이 충분히 성장하도록 지원하는 일 (특히, 송전망 확충 및 재생에너지 접속 지연 문제 해결)에 대한 요구도 많다. 이것을 조화시키기 위한 정치적인

노력이 활발하게 이루어지고 있는 상황에, 현재 용량 시장은 중요한 자리를 차지하고 있다. 이것이 어떤 방향으로 해결될지 지켜봐야하겠다.

## 참고자료

[Nature] <https://www.nature.com/articles/d41586-023-01825-0>

[Countoncoal] <https://www.countoncoal.org/2023/06/congress-zemes-in-on-epas-grid-reliability-crisis/>

[Wilson] James F. Wilson, Over-Procurement of Generating Capacity in PJM: Causes and Consequences Prepared For Sierra Club Natural Resources Defense Council, <https://www.sierraclub.org/sites/default/files/blog/Wilson%20Overprocurement%20of%20Capacity%20in%20PJM.PDF>

[Utilitydive] <https://www.utilitydive.com/news/ferc-pjm-capacity-auction-delay-schedule/652656>

[Spglobal] <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/joint-inquiry-finds-same-3-causes-driving-us-generator-outages-in-extreme-cold-76195520>

## 4. 다가올 양방향 에너지 시대

### 4.1. 소비자 에너지 관리, 미국은 오바마 시절 준비

여러분은 기후 위기를 경고하던 2006 년도 앨 고어 전 부통령의 다큐멘터리 ‘불편한 진실’을 기억할 것이다. 비록 대통령에 당선되지는 못했지만, 그의 기후 변화에 대한 경고는 부시 대통령에게도 영향을 미쳤고, 더 나아가 오바마 대통령이 에너지 정책을 펴는데 큰 밑거름이 되었다.

그리고 2013년 오바마는 대통령령으로 향후 미국 에너지 정책의 기반이 되는 대규모 에너지 정책 검토 보고서인 **4개년 에너지 정책 백서 Quadrennial Energy Review, QER** (이후, QER 백서)를 집필하도록 지시한다. 비록 결과물은 오바마 정권 마지막달에 발표되었지만, 해당 문서는 에너지 분야 전문가를 총동원해서 작성했고 미국의 미래 에너지 정책의 기초를 제시하고 있다. [DOE]

트럼프 정부가 112개에 달하는 환경 관련 규칙으로 오바마 시대 정책을 변경했어도, 모든 주는 이미 기존 에너지 정책의 변화된 흐름을 따라 움직이고 있었다. 그리고 무엇보다 신재생 발전원의 가격이 훨씬 빠르게 떨어져서 석탄 발전소는 예정대로 문을 닫고 있었다. [NPR]

그리고 바이든 시대에 미국은 드디어 최종적으로 역사적인 에너지 법안인 **인플레이션 감축법 Inflation Reduction Act, IRA** 을 발표한다. 그리고 놀랍게도 수년 전 발표된 해당 QER 백서의 내용은 최근의 **인프라 투자 법안 Infrastructure Investment and Jobs Act, IIJA** 과 함께 미국의 에너지 정책의 미래를 결정할 법안에 고스란히 반영된다. 그러면 오바마 정권 백서의 핵심 내용은 무엇일까?

#### 오바마 에너지 정책 보고서 내용

먼저 해당 백서는 전력 분야의 돌이킬 수 없는 현황을 다음과 같이 정리한다.

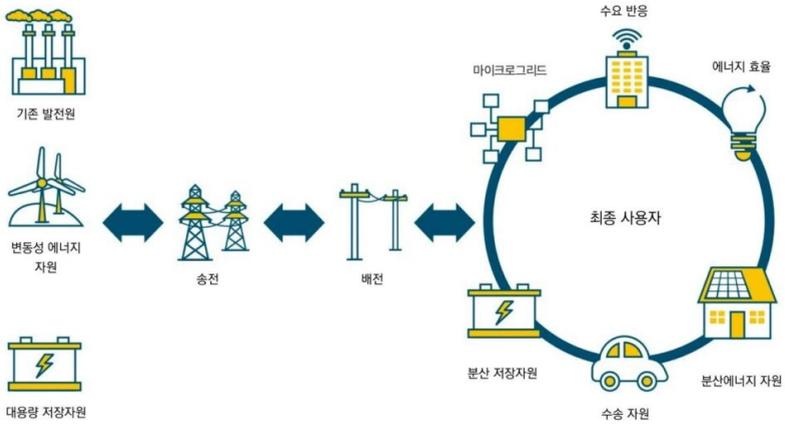


그림 1. 새롭게 떠오르는 21세기 전기 양방향 공급 흐름 새롭게 부상하는 21세기 전력망은 유연성 향상, 시스템 효율성 향상, 에너지 소비 감소, 소비자 옵션 및 가치 증가를 가능하게 하는 반응성 자원, 스토리지, 마이크로 그리드 및 기타 기술을 통합할 것이다. (출처: Quadrennial Energy Review)

- 사물인터넷과 디지털화의 중요성 증대
- 생산성 증가와 부하 증가 (전력 수요) 감소
- 전력 시스템의 탈 탄소화
- 국가 안보의 취약성 증가
- 백업 발전원의 중요성 증대 (정전 대응 자원의 중요성)
- IT와 전력 시스템 간 연계성 증대
- 스마트 그리드 (그리드 정보 통신의 혁신을 통한 비용 감소와 망신뢰도 증대)
- 중앙 집중적 발전원에서, 분산화되고 변동성 있는 발전원으로 변경
- 전력 시스템의 노후화
- 스마트 그리드와 디지털화를 통한 양방향 전력 흐름을 통제 (소비자 측 변수의 관리)
- 소비자들의 전력 시장 참여 (부하 Load로서의 소비자에서 그리드 참여자로의 신분 변화)
- 새로운 전력 분야 흐름에 맞는 숙련노동자 필요
- 극한 날씨에 대응할 수 있는 전력망 관리 필요

이러한 변화의 핵심은 아래 표로 잘 요약되어 있다. 소비자도 전력을 생산하고 전력의 수요를 관리할 수 있는 스마트 그리드 시대가 되면서, 전력 관리자와 소비자 양쪽에서 그리드를 관리하는 양방향 신뢰도 관리가 전력망 관리의 핵심 과제가 되고 있는 것이다. 이에 따라, 백서는 76가지 정책 제안을 하는데 이 내용이 바이든 정부의 새로운 방향의 중심으로 떠오르고 있는 것이다.

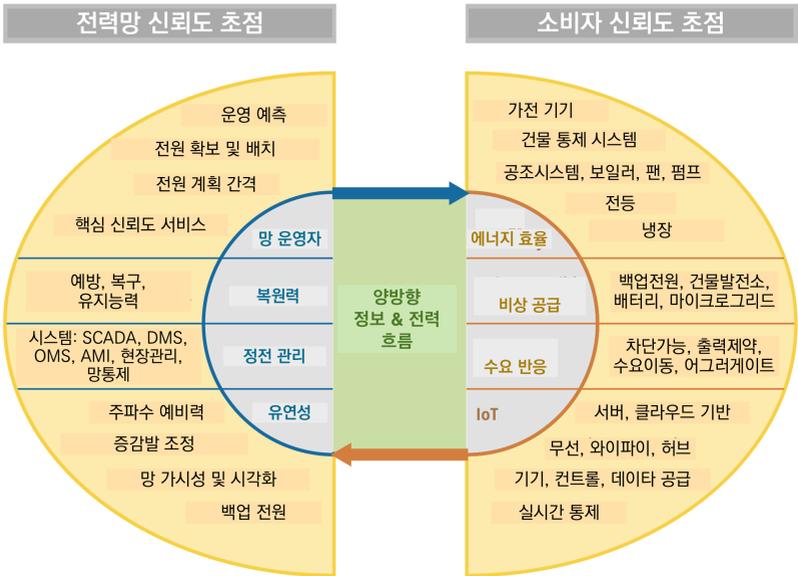


그림 2. 양방향 에너지 및 정보의 흐름도 (출처: Quadrennial Energy Review)

## 바이든의 마이 웨이?

이번에 바이든은 전기차를 미국에서 생산하는 데 초점을 맞췄다. 왜 그럴까? 당연히 미국 내 제조업을 살리는 제스처는 정치적으로 중요한 수사일 수 있다. 그러나 좀 더 살펴보면 전기차는 미국의 에너지 혁신과 안보의 중심에서 있다.

오전에 아파트 지하 주차장에서 있는 차의 대수를 세어보자. 그리고 이 차들을 세워두는 동안 핸드폰으로 간단히 조정하여 차 배터리를 발전소로 등록할 수 있다면 어떨지 상상해 보라. 위 그림에서 보듯 바이든의 에너지 정책에는 이와 같은 용도로 쓰이는 EV가 중요한 부분이다. 더 나아가 에너지 수율을 핸드폰에서 점검하고, 가장 수요가 적을 때 빨래와 건조 그리고 식기 세척을 해서 전기 요금이 확 줄어든다면 어떨까?

알뜰폰에 가입해서 핸드폰 가격을 확 줄이는 것처럼, 알뜰 전기회사에 가입해서 전기 요금을 줄일 수 있다면 어떨까? 내가 사는 시에서 협상을 해서 가장 싼 재생에너지 발전소의 요금을 1년간 쓸 수 있다면 어떨까? 우리 아파트가 효율적인 전력 관리 장치를 정부 지원을 통해 설치해서 매달 일정 금액의 전기 요금을 차감한다면 어떨까? 우리 아파트 옥상과 유희공간에 설치된 태양광으로 전기를 팔아 수익을 낸다면? 심지어 전력회사가 전기차를 살수 있도록 지원해 준다면?

실제로 이런 서비스를 하고 있는 회사가 있다. 바로 영국의 옥토퍼스 에너지이다. 시작한지 얼마 안 되었음에도 영국에서 2위 전력회사로 성장했다. 이 회사는 일반 전력회사와 정반대로 ‘소비자 요금이 0원이 되게 하겠다!’는 목표를 가지고 있다. 참고로 영국은 핸드폰 서비스처럼 전력 서비스 회사를 선택할 수 있다. 그리고 앨 고어 전 부통령의 투자회사는 이 회사에 6억 불을 투자했다.



그림 3. 옥토퍼스 에너지의 다양한 서비스 (출처: 옥토퍼스 에너지 홈페이지)

## 소비자 에너지 구매 제로 시대 서서히 도래

더불어 미국 전력 시장에서 협동조합의 역할은 무시 못 할 수준에 올라섰다. 미국 배전 회사의 12%는 **협동조합 Cooperatives** 으로 운영된다. 사기업이 정착하지 못한 지역 중 공공기관이 배전을 시행하지 않는 지역을 커버하는 것이다. 이들은 단순히 도매시장의 전력 가격을 그대로 전달하면서 수수료를 받는 형태를 취하지만, 지역 사회에 뿌리박고 지역민의 요구사항을 반영해 회사를 운영한다.



표 1. 미국내 전력 공급원 비율 (민간회사, 공공회사, 협동조합 순, 출처: EIA)

더불어, 신규 신재생 발전원에서 협동조합을 비롯한 시민 참여형 사업인 **커뮤니티 솔라 및 풍력 Community Solar and Wind** 은 빠르게 증가하고 있으며, 협동조합을 비롯 시민단체들은 연방 **에너지위원회 FERC** 및 주정부 공공 유틸리티 위원회 **PUC** 의 법률 제정 절차에 적극 참여하여 로펌을 통해 **이해관계자 의견 Stakeholder Input** 을 매우 활발하게 제출하고 있으며, 의견은 충실하게 논의되고 반영된다. [Cooperative]

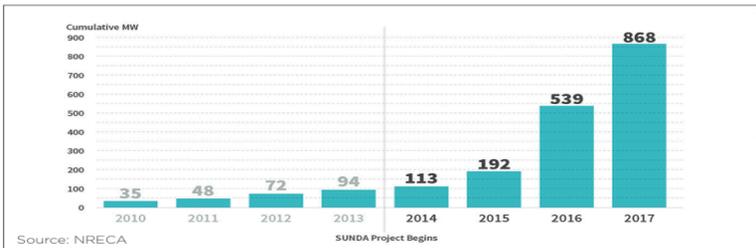


FIGURE 1: Cumulative increase in cooperative solar energy capacity nationwide. Co-ops own or purchase more than nine times as much solar energy as they did in 2013.

표 2. 커뮤니티 솔라 증가 현황 (출처: NRECA)

## 우리나라의 전력 시장 방향성

우리나라는 이러한 혁신을 이루어 낼 수 있을까? 정부가 새로운 시대의 흐름을 이해하고, 국민에게 에너지 시장 변화의 지혜를 물어야 한다. 에너지 시장의 정보를 공개하고, 시장의 변화에 맞춰 투명성을 키울 수 있어야 한다. 한전의 적자를 회복시키려면 전력 가격을 현실화 해야하고, 여기에는 모두의 지혜를 모을 협의체가 필요하다. 많은 태양광 사업자들의 의견을 듣고 그들이 정책 결정에 어떻게 참여하게 하도록 고민해야 한다. 외국 커뮤니티 태양광 및 풍력 개발 사례를 연구하고, 협동조합이든 개인사업자든 적극적인 전력 시장 참여의 문을 열어야 한다. 피할 수 없는 양방향 전력 생산 시대에 정부가 어떻게 시장 참여자들이 공정한 무대에서 경쟁할 수 있게 하는가를 고민해야 한다.

## 참고자료

[DOE] <https://www.energy.gov/policy/ger-first-installment-document-library>

[NPR] <https://www.npr.org/2019/06/19/733800856/trump-administration-weakens-climate-plan-to-help-coal-plants-stay-open>

[Cooperative] <https://www.cooperative.com/programs-services/government-relations/Pages/Legislative-Issues.aspx>

## 5. 소비자 전원관리 이제 시작

### 5.1. 분산 전원 관리의 어려움

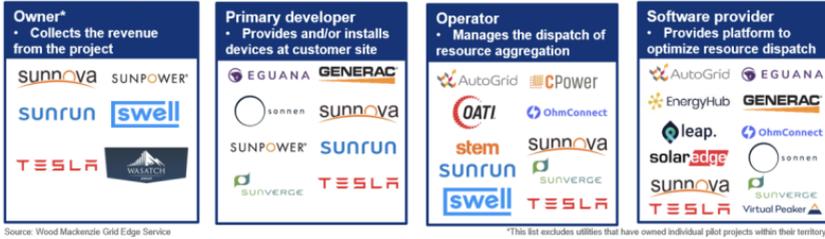
지난장에서 텍사스에서 전력 판매 사업을 시작한 테슬라에 대해서 썼다. 텍사스로 본사를 이전한 이후, 테슬라는 텍사스의 불안정한 그리드를 보충하는 가정용 배터리 공급을 통해 개인들이 전력 자립을 도모하고 궁극적으로 남은 전력을 모아 그리드에 공급하게 하려는 계획을 세웠다. 특히, 지난 순환정전 이후 에너지 자립을 원하는 개인이 많아졌기 때문에 현재 텍사스의 ‘지붕태양광 + 배터리’의 인기는 매우 높다. 여기에 대규모 스토리지 단지 (Megapack Battery Project) 를 미국 곳곳에 준공하고 있는 상황 (현재 건설 포함 81개소) 에서, 이들 전원을 종합하여 그리드에 참여하기 위한 법률적인 기반을 만드는 작업은 매우 중요하다. 현재, 테슬라는 우선적으로 아직까지 텍사스 주 정부 차원에서 진행한 적이 없는 Net Metering 법안을 제안하고 있다. [Electrek]

#### VPP의 현실

이러한 법안 변경의 목표는 분명하다. 테슬라는 VPP 사업을 통해 전원 공급사업을 하고자 하고 있다. 즉, 발전사업 및 도매전력공급 사업을 **사용자 End-user** 단에서 해결하여 전력 시장의 혁명을 도모하는 것이다. 이는 테슬라가 ERCOT 에 제출한 문서에 명확하게 제시되어 있다. 더욱이 테슬라 홈페이지에는 Powerwall 스토리지 사용자들의 VPP 기술 테스트 참여를 독려하고 있는데, 이는 사전 기술 테스트의 일환으로 약간의 전력 요금 상승의 댓가로 참여자에게 \$40의 기프트 카드를 제공하고 있다. 텍사스는 이러한 사업의 적격지인데, 이미 VPP 사업이 허가된 California 에서도 전력망 신뢰도를 위해 신규 도매공급 사업자를 제한하고 있기 때문이다. [CPUC] 즉, 이미 VPP 사업의 일괄 공급 체계를 완성한 테슬라로서는 (아래 그림, 소유, 개발, 운영, 모집

플랫폼에 모두 참여) 전력 사업자 등록이 용이한 텍사스를 찾을 수밖에 없는 상황인 것이다.

### National competitive landscape for residential energy-storage VPPs



VPP 분야별 리더 회사들 (출처: Wood Mackenzie)

테슬라의 경우 이미 호주에서 이러한 사업 모델의 수익성을 확인한 바 있다. 최근 연구에 의하면 테슬라와 협업한 Energy Locals 만이 큰 수익을 얻었다. [Gabrielle] 연구결과는 현실이 그리 낙관적 않음을 보여주고 있긴 하다. 실제 주로 수익을 얻은 부분은 FCAS (Frequency Control and Ancillary Services, 주파수 조정 및 보조서비스) 였는데, 특히 최근의 호주 전력망 사고로 인한 단전과 그에 따른 보조서비스 제공 수익이 큰 역할을 했지만 이러한

VPP Retailer/Aggregator (Capacity at End of Demonstrations)	FCAS Market Revenue September 2019 – January 2021
Energy Locals (16MW)	\$2,200,000
AGL (6MW)	\$99,000
Simply Energy (4MW)	\$85,000
Sonnen (1MW)	\$2,000
Shine Hub (1MW)	\$180
Energy Locals (Solar SG/Members Energy) (1MW x2)	\$0
Hydro Tasmania (1MW)	\$0

서비스에 준비되지 않은 타 업체들은 큰 수익을 내지는 못했다. 더불어, VPP 전력 판매 자체 수익은 \$300/MWh 이상 일 때만 위 표의 3개의 업체에서 참여할 수 있었는데 가장 반응성이 좋은 VPP 만이 해당 기간 중 39% 정도 반응할 수 있었다.

해당 연구에서 VPP 참여 가정에 대한 보상은, (1) 월 또는 분기별 스토리지 접근료 지급, (2) 5년 동안 설치비 면제, (3) 고정 요금제 (\$49~\$69) 등이 있었다. 그리고, 이에 더해 호주 각 주별 FiT 제도에 따른 보상도 있었고, 수요반응 자원에 참여한 경우 연간 \$250의 보상도 있었다. 또한 더 급진적으로는 'Buy Now, Pay Later' 조건으로 고정 전기 요금제 상품도 있었다. 어찌하였든, 해당 연구는 가정당 연간 \$200의 전기 요금 절감이 있다고 발표했다. 이 수준은 실망스러운데 가정에서 태양광 발전 전력을 저장해서 피크시 사용하는 것보다 더 적기 때문이었다. 다만 이러한 결과에도 호주의 각 VPP 사업자들은 자가 VPP 용량을 늘려 시장을 키우는 작업을 하고 있는데, 향후 참여 발전원의 증가와 시장의 확대를 예상하기 때문이다.

동일한 상황은 New York 에서도 일어나고 있다. 아직 VPP 사업이 걸음마인 대부분의 주에서 FERC Order 2222에 의한 소매 수준 VPP의 도매 용량 시장 참여 (그리고 이에 따른 입찰 참여)는 점차 가시화 되고 있는데, 아직은 시작단계이기 때문에 가정당 연간 \$190 정도의 VPP 수익을 예상하고 있다. [PV Magazine] 하지만, PJM 이나 MISO 등 다른 시장은 각각 2025년과 2030년까지 VPP 의 시장 참여를 미루고 있다. 최근에 FERC 에 제출된 각 ISO의 Order 2222 이행 정책 평가에 의하면 (ISONE의 Order 2222 이행 계획에 대한 Voltus라는 VPP 모집 사업자의 이의 제기 문서) CAISO 와 NYISO 가 가장 분산자원에 유리한 정책을 내고 있다. [Voltus]

현실적으로 VPP의 수익원은 보조서비스와 용량 요금일 가능성이 높기에 각 ISO 의 정책적 의지가 매우 중요하다. 그러나 현실적으로 가장 빠른 주파수 대응 자원조차 대용량 배터리나 대형 발전원으로 충분해 보이는 상황에서 어떠한 정책적인 대안이 있을지 지켜볼 필요가 있다.

### FERC Order 2222란?

FERC 관할 지역의 전력망 운영자가 집계된 **분산전원 DER** 을 도매 시장에 참여 시키도록 요구하는 명령. 그리드 운영자와 분산전원 수집자 **Aggregator** 에 대한 요구 사항이 많다. 분산형 태양광 개발자는 2222 Order 에 대해 5가지 사항에 주의를 기울여야 한다.

- ❖ FERC는 DER의 최소 크기 요구 사항을 100kW로 유지
- ❖ FERC는 주에 대해 "옵트아웃"을 제공하지 않음. (의무적 참여)
- ❖ FERC는 서비스의 이중 계산을 피하기 위한 요구 사항이 있음 (소매와 도매에 이중참여 방지)
- ❖ FERC는 위치 요구 사항에 대한 투명성을 제공 (태양광 등 발전원 위치 등록)
- ❖ FERC는 배전 유틸리티의 역할을 명확히 함. (기존 Aggregator 및 분산자원 도매 판매 이력 확인)

(출처: <https://www.renewableenergyworld.com/solar/ferc-order-2222-on-distributed-energy-resource-aggregation-is-good-news-for-distributed-solar/#gref>)

### Aggregator 란?

가상 발전소 VPP 를 구성하기 위한 소규모 발전원을 모집하는 사업체 또는 기관. 각각의 소규모 발전원 (Distributed Energy Resources)을 모아서 전통적인 발전소 처럼 규모의 경제를 일으키고자 하는 회사나 기관이 모은 전원으로 시장에 참여해서 용량, 부하공급, 보조 서비스 공급 등을 담당한다. 가상 발전소는 최신 IT 시스템을 활용해 날씨, 도매가격, 공급 및 소비 패턴 등을 분석해 수익을 최대화 한다. 특히 공급과 수요 양측면에서 활용할 수 있다는 장점이 있어, 수요 반응 (Demand Response) 자원으로 활용도 가능하다. 이 경우, 저녁 시간 피크 타임에 적절한 수요 조정이 가능해 가스발전 등의 추가 발전을 막는 기능도 한다. 또한, 공급이 적절히 조합될 경우 예비력 대응 또는 긴급 대응 부하로 사용할 수 있어 수익 극대화와 더불어 신재생 에너지로 인한 부하 변동에도 대응 가능하다.

### Community Choice Aggregation란?

미국에서 진행되는 광범위한 프로그램으로, 주로 소규모 정부 (시, 타운쉽 단위) 주도로 이루어 지는 전력 수요자 모집이다. 대부분의 배전이 자유화 된 시장에서 가능하며, 시 수준의 구매력을 바탕으로 더 나은 조건을 제시하는 배전 공급사 (Retail Energy Provider) 를 경쟁입찰 등을 통해 선정한다. 시 단위 구매력으로는 전력 가격을 낮출 수 있을 뿐만 아니라, 신재생 에너지 구매 등을 선택할 수도 있기에 에너지 자치를 할 수 있게 한다. 행정 단위에 거주하는 시민은 시가 결정하면 누구나 가입되게 되지만, 개개 가정별로 탈퇴 (opt out) 할 수 있고, 이 경우 그 지역의 다른 배전 서비스를 받을 수 있다. 그러나, 여전히 전기 요금은 송전망 관리 회사의 이름으로 오고, 미터기도 전통적인 송전망 관리 회사가 관리한다.

## 미국이 당면한 문제

현재 많은 배전사들은 분산 전원의 모음을 일괄 부하로 허용하기 위해 기존 도구와 프로세스를 사전에 자동화하고 있다. 이런 유틸리티에는 상호 연결에 대한 규칙이 있기 때문에 유틸리티가 FERC Order 2222를 별도로 준수하려면 새로운 도구 또는 프로세스가 필요하다. 현재 MISO 시장의 경우 부하가 모이는 노드 간의 **다중 노드 집합 Multi-nodal Aggregations** 이 허용되지 않기 때문에 오히려 시장 시스템에 분산 전원의 볼륨 및 확장성 영향이 미미해서 우려하고 있다고 부정적인 의견을 펴고 있다. [Renewable World]

하지만 분산 전원은 배전망에 신뢰성과 경제성을 제공하기 때문에 모든 주 유틸리티 위원회가 지원한다. 또한 Voltus 와 같은 VPP 신규 사업자들은 이 시장을 열기 위해 다양한 방법으로 의견을 표출하고 있다. (예, Voltus는 MISO에 Order 2222를 신속히 이행할 것을 청원하였고, Google, Sunrun, Tesla 및 AEE(Advanced Energy Economy) 및 AEMA(Advanced Energy Management Alliance) 등이 지지) Greentech Media 에 의하면 향후 분산전원이 도매 시장에 참여하기 위해서 다음과 같은 문제가 예상된다. [Greentech]

### 관할권 문제

**수요반응 Demand Response**을 도매 시장에 개방한 Order 741 및 745와 에너지 저장장치에 대한 Order 841을 포함해, Order 2222는 전력 시스템의 소매 측면에 대한 권한을 연방으로 확장한 FERC Order 중 최신이다. 이것은 결과적으로 주 및 지역의 배전 권한의 일부를 연방에 넘기는 것으로 차츰 주 정부의 이행 거부권을 인정하지 않고 있다. 향후 각 주정부는 이로 인한 권력의 충돌에 대해 분쟁에 나설 수도 있다.

### 기술적 과제

분산 전원이 도매 시장에 접근하기 위해서는 시스템에 대규모 업그레이드가 필요하다. 특히 캘리포니아에 분산 전원이 비율이 가장 높은 이유로 상당한 투자가 시작되고 있는데, 이는 결국 소비자의 전기 요금 상승을 가져올 가

능성이 있다. 다만 그동안 각 시장은 Order 841에 의해 배터리가 도매 시장에 참여하는 기술적인 지원을 해 왔기 때문에 연속선 상에서 이루어질 경우 최적화된 투자가 이루어질 수 있다.

### 경제적 도전

그동안 파일럿 프로그램으로 진행되었던 VPP 는 그다지 소비자들에게 유리한 경제적인 옵션을 제공하지 못했다. 때문에, 도매 시장에 참여할수 있는지 여부는 소매 시장에서의 전력 가격, 상계 제도, 도매 추가 수익 (수요 반응, 배터리 보조 서비스, 용량 요금 등) 등이 종합적으로 고려되어야 한다. 특히 그동안 시장이 형성된 배터리 **집합 Aggregation** 이 각 주에서 형성한 규칙 (예, NYISO 에서 소매 및 도매 이중 참여 모델)이 중요하다.

### 참고자료

[Electrek] <https://electrek.co/2022/05/23/tesla-lobbies-solar-batteries-participate-texas-energy-market/>

[CPUC] <https://www.cpuc.ca.gov/industries-and-topics/electrical-energy/electric-costs/learn-more-about-costs-and-rates>

[Gabrielle] Gabrielle Kuiper, Virtual Power Plants are Leveraging Australian Consumer Investment in Rooftop Solar. <https://electra.cigre.org/322-june-2022/technology-e2e/virtual-power-plants-are-leveraging-australian-consumer-investment-in-rooftop-solar.html>

[PV Magazine] <https://pv-magazine-usa.com/2022/06/10/new-york-distributed-storage-owners-could-soon-earn-money-in-wholesale-markets/>

[Voltus] [https://elibrary.ferc.gov/eLibrary/filelist?accession\\_number=20220401-5501&optimized=false](https://elibrary.ferc.gov/eLibrary/filelist?accession_number=20220401-5501&optimized=false)

[Renewable World] <https://www.renewableenergyworld.com/solar/miso-surprises-with-ferc-order-2222-implementation-date/#gref>

[Greentech] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/4-big-challenges-to-fercs-plan-to-open-energy-markets-to-distributed-energy>

## 6. 전기차는 발전소

### 6.1. 전기차에서 전기를 판다

V2G라 불리는 전기차 배터리를 통한 전력 시장 참여가 차츰 사람들의 관심을 얻고 있다. 전기차를 이용하여 도로안전, 교통효율, 에너지 절약, 행인 감시 등 차량과 주변기기 사이 정보통신, 전력교환, 안전 등의 분야에 사용하는 것을 V2X (Vehicle-to-Everything) 라고 한다. 그리고 특별히 전기차로 전력망과 전기 양방향으로 전송하는 것을 V2G (Vehicle-to-Grid) 라고 부른다. 최근 호주의 한 포도원에서 지붕 태양광과 전기차 배터리를 사용하여, 전력 요금을 전혀 내지 않고 심지어 매년 2,500불 이상의 수익을 낸다는 뉴스가 나왔다. [Nissan] 이는 V2G가 이제 실용화 단계에 들어갔다는 것을 의미한다. 그러면 새롭게 열린 이 시장에 대해 고려할 사항들이 무엇인지 알아보겠다.

#### 분산전원, 전력망 관리 과제 증가

현재 테슬라를 비롯한 많은 배전회사 (참고로, 테슬라는 이미 2021년 텍사스에 전력 판매 회사로 등록) 들은 각 가정의 저전압 공급망 관리에 힘을 쏟고 있다. 이는 태양광 및 가정용 배터리 저장을 포함한 분산에너지 자원 DER의 증가를 통해, 사용자 전력망에 급격한 변화가 생기고 있기 때문이다. 더군다나, 2020년에만 300만 대가 판매된 EV는 또 다른 과제를 낳고 있다. EV는 2027년에 글로벌 시장에 2억 3,390만대로 급증할 것으로 예상된다. 그러면 전력 수요는 현재 대로 증가한다면, 배전회사가 25% 이상 전력을 더 공급해야 한다. [Itron] 시골까지 전기차 충전소를 마련하는 작업 또한 매우 어려운 어려운 일임이 틀림없다.

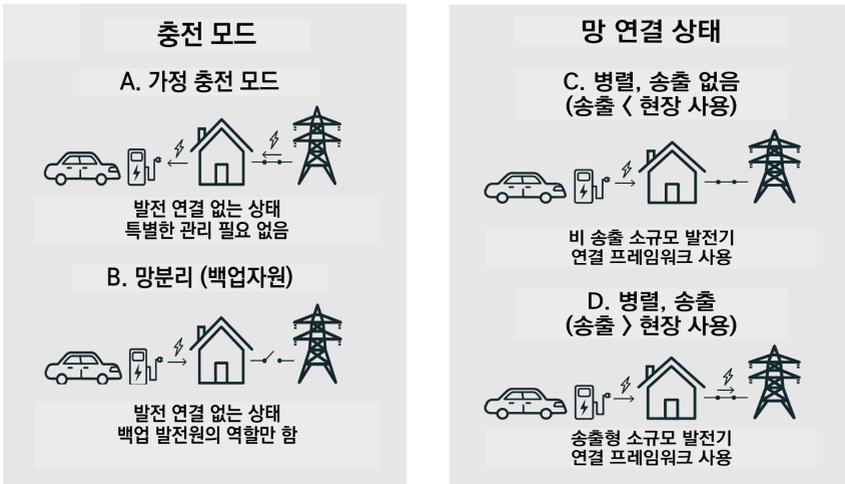
그러나, 반대로 다양한 기회가 생기고 있다. 스마트 그리드, 스마트 미터 및 양방향 전기차 충전장치 등을 통해 생성되는 다양한 정보를 분산 원 인텔리전스 Distributed Intelligence, 사용자 데이터 공유, 그리드 개방 등의 개념으

로 통합하면, 고객의 참여를 강화하고 새로운 수익을 창출할 기회가 생기는 것이다. 이를 위한 배전회사들의 준비는 활발히 진행되고 있다. 실시간 분산 자원 정보를 고객에게 공유함으로써 ‘고객의 소비 패턴 변화’ 및 ‘그리드 참여’를 활성화시키는 경우 전력 수요를 다이내믹하게 조정할 수 있기 때문이다.

## 전기자동차, 발전소 기능을 갖추다!

현재 전기차 시장에서는 양방향 충전 기능을 지원하는 전기차가 점점 늘어나고 있다. 이를 통해 전기차를 우리 집 발전소로 사용하려는 시도도 증가하고 있다. Sunrun과 제휴한 새로운 Ford, SunPower 와 제휴한 General Motors, Fermata Energy 와 제휴한 Nissan LEAF, 그리고 여러 스쿨버스 제조업체와 Nuvve의 제휴 등 많은 회사가 V2G 기능을 제공하려고 시도하고 있다. 이는 2022년 말까지 캘리포니아 에서만 Nissan LEAF 및 Ford F-150 Lightning 차량이 500MW의 용량 수준이 되어, 동일한 용량의 가스 피커 발전소 수준으로 성장하기 때문이다. [Veloz] 아래의 D에 해당한다.

### EV 사용 방식 분류 (출처: [VGIC])



각 주의 배전회사는 EV를 망과 조화시키기 위해 새로운 요금 및 보상 제도를 만들고 있다. 우선 **계시별 요금제 Time of Use** 가 있다. 즉, 시간별로 변동하는 도매전력 요금을 가정용 요금에 연동하여 소비자들이 전력 가격에 따라 전력 사용을 제어하고, 전기가 가장 싼 구간에 전기차를 충전하고 전기가 가장 비싼 구간에 전기차의 전기를 가정에서 사용하도록 하는 방식이다. 그리고, 캘리포니아나 텍사스같이 최근 기후 변화에 영향을 많이 받는 주들은 긴급 수요 반응 정책 (예, 캘리포니아 **비상 부하 감축 프로그램 ELRP**) 을 통해 각 가정의 배터리를 통해 비상상황에 공급하는 전력 자원에 대한 보상을 제공하고 있다. [CAISO] 또한, 캘리포니아 배전회사인 PG&E는 1,000명의 고객을 V2G 공급자로 등록하고 피크 시간대에 전기차로 전력을 사용하거나 전력망에 수출하는 기능에 대해 최대 5,175달러를 지불하는 파일럿 프로그램도 시작했다. 매사추세츠에서 제정한 **클린 피크 에너지 표준 Clean Peak Energy Standard** 은 전기차 소유자가 민간 **어그리게이터 Aggregator** 를 통해 EV 배터리를 등록할 수 있도록 준비중이다. [Vgiccouncil]

이러한 제도를 사용하는 가장 빠른 움직임은 학교 쪽에서 일어나고 있다. 스쿨버스는 운행 시간이 짧기 때문이다. 라모나 통합 교육구 Ramona Unified School District 는 V2G 플랫폼 업체인 Nuvve 와 협력하여 상용 V2G 프로젝트를 시행하고 있다. 이미 언급한 캘리포니아 **비상 수요 감축 프로그램 ELRP** 에 참여함으로써 이 지역의 SDG&E 배전 유틸리티의 고객은 kWh 당 2달러를 받을 수 있고 이 스쿨버스는 전력 판매 및 수요 반응으로 버스당 연간 최대 7,200 달러를 절감한다. 여기에, 거의 10억 달러에 가까운 바이든 행정부의 IRA 보조금으로 미국은 전기 스쿨버스로의 전환 (클린 스쿨버스 리베이트 프로그램) 이 빠르게 일어나고 있다. [NBCsandiego]



그림 1. Distributed Intelligence\* 에 대한 설명 (출처: Itron)

\* **분산 지능** Distributed Intelligence 은 그리드의 가장자리 Grid Edge 에서 세부 데이터를 안전하고 개방적인 플랫폼과 결합해 분산 에너지 시스템 가시성을 증진. 옛 지 컴퓨팅 능력을 갖춘 분산 지능은 분산 수준의 결정을 실시간으로 효율적이고 효과적으로 내리며, 그러한 반응이 적재적소에서 이루어진다.

## 향후 과제

현재 가장 필요한 것은 V2G가 가능한 충전 시스템을 설치하는 것이다. 이를 위한 기술적, 제도적 지원이 필요하다. 먼저 각 배전 유틸리티가 **분산 자원 인텔리전스** Distributed Intelligence 를 통해 분산 자원의 통합 및 채택을 가지화하고, 새로운 방식으로 고객과 소통할 준비를 해야한다. 또한, 각 전기차 소유자의 직접적인 민원을 대응해야 하기 때문에 배전회사 및 공무원들의 사전 지식 및 규정이 필요하다. 그리고, 분산 에너지 자원으로서는 자동차 배터리는 가스 피커 발전소와 같은 기능을 하기 때문에 각 소비자가 피크 시간대에 에너지 또는 보조서비스를 판매할 수 있는 시스템이 갖추어져야 한다. 배전망에서의 전력 및 서비스 판매가 가능하기 위해서는 생각보다 많은 시간이 걸릴 수 있다. 호주의 경우 언급된 포도원 소유자는 3년을 기다려서 전력망에 판매를 개시할 수 있었다.

마지막으로 미국의 V2G 협력을 위한 단체인 Vehicle Grid Integration Council 에서 시스템 관리자에게 내놓은 5가지 권장사항을 정리해 본다.

1. 분산 에너지 자원에 대한 알림, 승인 또는 상호 연결 경로가 존재하는 경우 V2G 양방향 충전 시스템을 위한 새로운 프로세스를 생성할 필요가 없다.

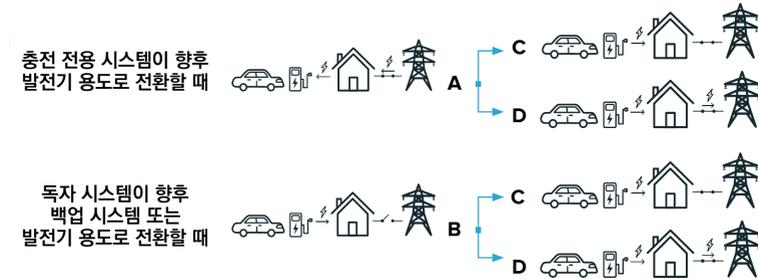


2. 각 발전원 구성에 대한 적절한 프로세스, 기술 요구 사항, 양식, 일정, 확정 문서 및 요금 체계가 명확하고 쉽게 액세스할 수 있어야 한다. 전문 엔지

니어(PE)가 인증해야 하는 발전 계획 또는 단선 다이어그램에 대한 모든 요구 사항은 프로세스 초기에 전달되어야 한다.

3. **그리드 병렬 시스템 Grid-parallel System** 은 적절한 장비가 설치되어 있는 경우 정전 중에 고립 모드에서 작동하는 것을 금지해서는 안 된다.

4. 유동적인 프로세스 진입 지점은 그리드와 고객을 위한 V2G 양방향 충전 가치를 여는데 매우 중요하다. 장비의 설치 시, 구성에 대해 통지 및 승인 후 구성의 변경에 대해 추가 통지 및 승인을 구할 수 있어야 한다.



5. 상대적으로 작은 V2G 양방향 충전 시스템이 대형 발전기 인터커넥션 프로세스로 부적절하게 라우팅 되지 않도록 상호 연결을 위한 크기 임계값을 다시 검토할 필요가 있다.

6. 정부가 아닌, 제3자를 통해 분쟁을 중재하는 분쟁 해결 절차를 사용해야 한다.

7. 인터커넥션 타임라인 데이터는 공공에 게시되고 구성별로 세분화되어야 한다.

8. 배전 엔지니어가 표준 구성에 대한 경험을 쌓음에 따라, 사이트 평가가 필요한 모든 구성은 가상 검사로 전환되어야 하며 궁극적으로 알림 전용 접근 방식으로 전환되어야 한다.

9. 개발 중인 표준과 저비용 안전 장비를 사용하는 V2G AC 시스템 (차량 탑재 인버터 기능) 을 승인하기 위한 표준이 확정 채택되기 전에 중간 경로를 설정해야 한다.

## 참고자료

[Nissan] <https://www.nissan.com.au/about-nissan/news-and-events/news/2022/Dec/the-vehicle-to-grid-revolution-ha-arrived-in-australia.html>

[Itron] <https://www.itron.com/na/resources-page/resourcefulness-report>

[Veloz] <https://www.veloz.org/ev-market-report/>

[VGIC] <https://static1.squarespace.com/static/5dcde7af8ed96b403d8aeb70/t/62fd4c3cfc19490ee68d71eb/1660767294489/VGIC-Special-Initiative-2022.pdf>

[CAISO] <https://www.cpuc.ca.gov/industries-and-topics/electrical-energy/electric-costs/demand-response-dr/emergency-load-reduction-program>

[Vgicouncil] <https://www.vgicouncil.org/articles#/find/nearest?fuel=ELEC>

[NBCsandiego] <https://www.nbcсандiego.com/news/local/sdgc-partners-with-cajon-valley-school-district-on-vehicle-to-grid-project-for-electric-school-buses/3008413/>