

에너지 산업의 변화와 분산에너지

서울대학교 공학전문대학원

김희집 객원교수

2022. 11. 10.

발표자 소개 – 김희집



- (주)에너아이디어 대표 (에너지 신규 사업 컨설팅)
- 현 서울대학교 공학전문대학원 객원교수 (강의: 에너지의 미래)
- (前) Accenture 컨설팅 26년 근무 (뉴욕 10년, 서울 16년)
- (前) Accenture 한국사무소 대표 및 아시아태평양 에너지산업 대표
- 현 산업부 중장기 에너지 정책 방향 총괄 및 시장 정책 위원
- 현 산업부 제 10차 전력수급계획위원회 위원
- 현 산업부 제 15차 가스수급계획위원회 위원
- 현 국무조정실 에너지 및 신소재 규제개선 분과위원장
- 현 전력시장 개편 실시간시장 설계위원회 위원
- 현 산업부 신재생에너지 사업타당성 평가 위원
- 현 에너지미래포럼 사무총장
- (前) 산업부 에너지 신산업 추진협의회 민간 위원장
- (前) 녹색성장위원회, 국가경제자문회의, 에너지위원회 위원
- 서울대학교 경영학 학사, 미국 University of Texas (Austin) MBA

목 차

1. 전력산업의 변화
2. 전력신산업의 등장
3. 분산에너지 특별법 소개
4. 제주도에 대한 제언

에너지 산업은 다음의 변화가 확실히 됩니다 – What we know for sure..

재생에너지의 폭발적인 증가

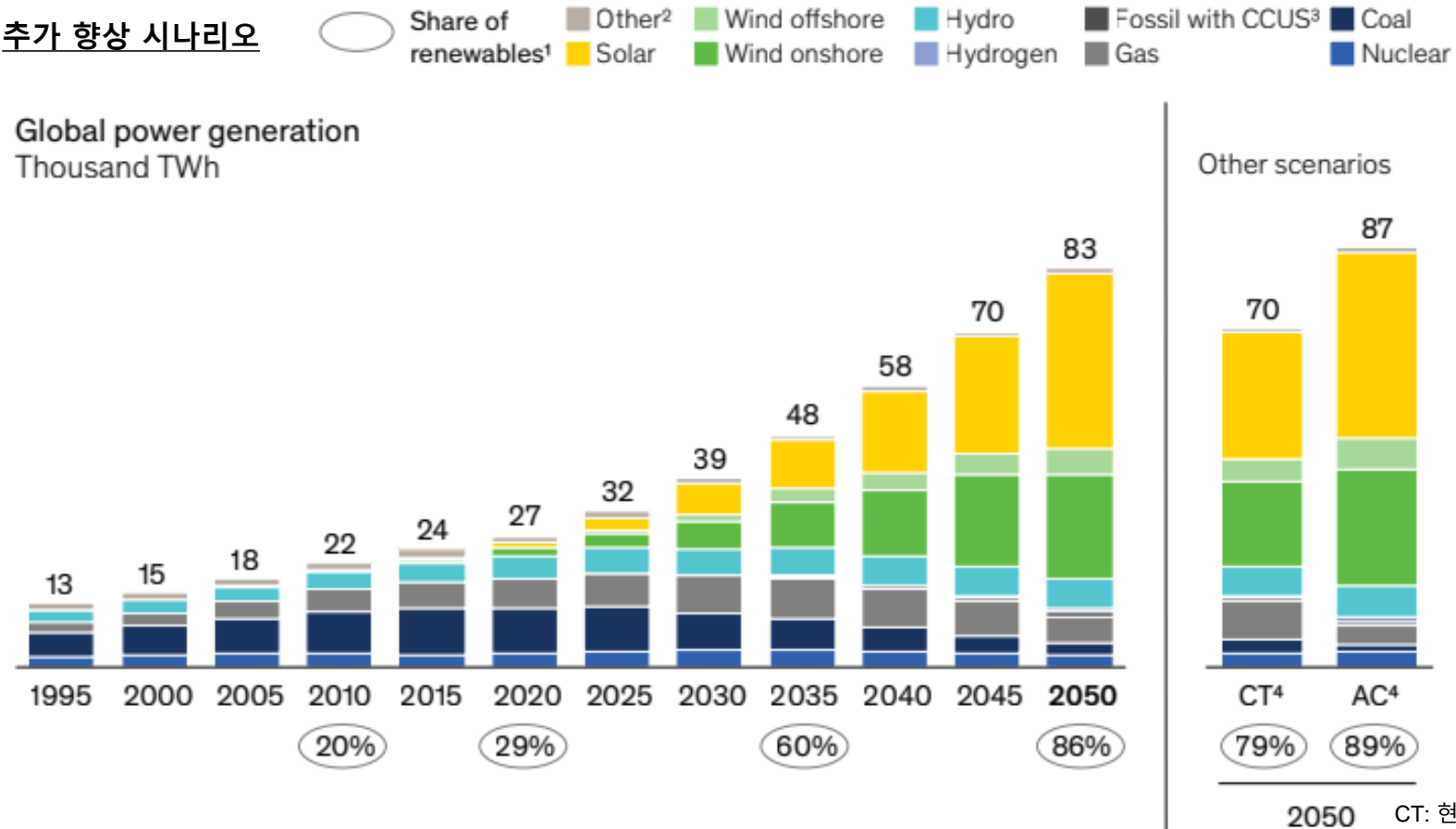
전기화 및 전기수요의 증가

유연성자원의 중요성 증대

전력시장의 재편

맥킨지는 2050년에 재생에너지가 전 세계 발전량의 상당부분을 차지할 것으로 예측하였습니다 – What we know for sure..

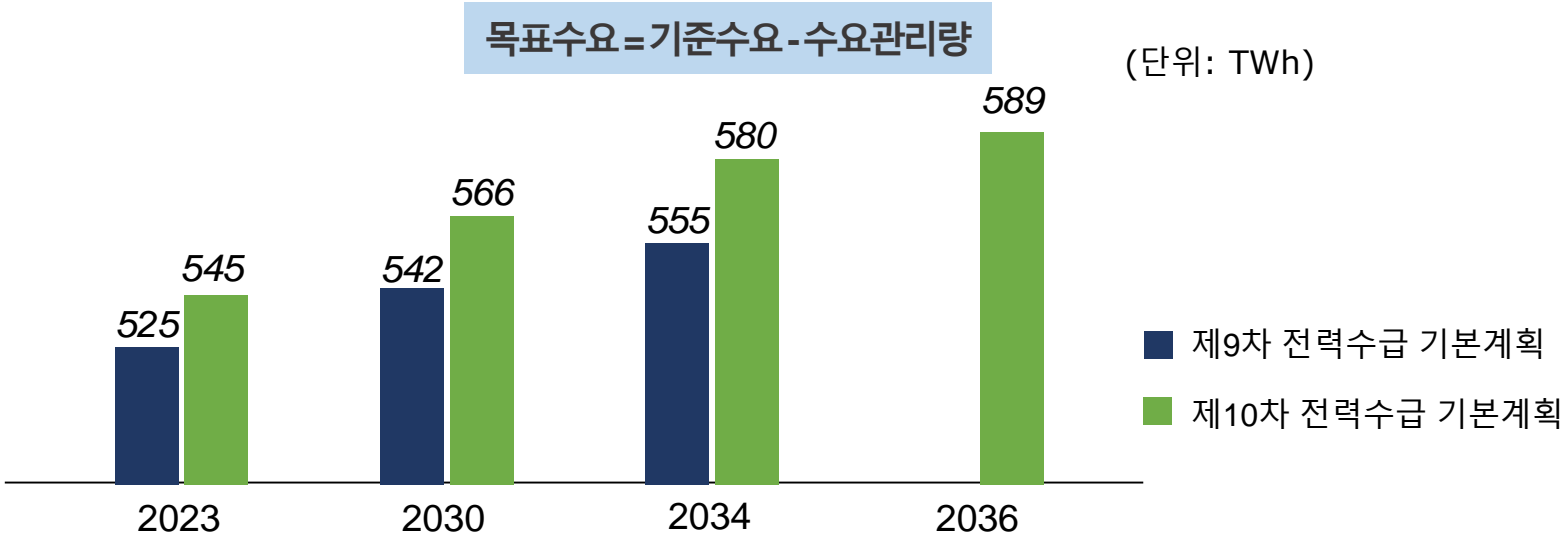
추가 향상 시나리오



- 예상 가능한 모든 시나리오에서 재생에너지가 발전 믹스를 주도하여 2050년에는 80-90%에 도달할 것으로 예상

대한민국 전기 수요는 상당히 증가할 것입니다 – What we know for sure..

전력수급 기본계획 전력수요(목표수요 기준) 전망 변화

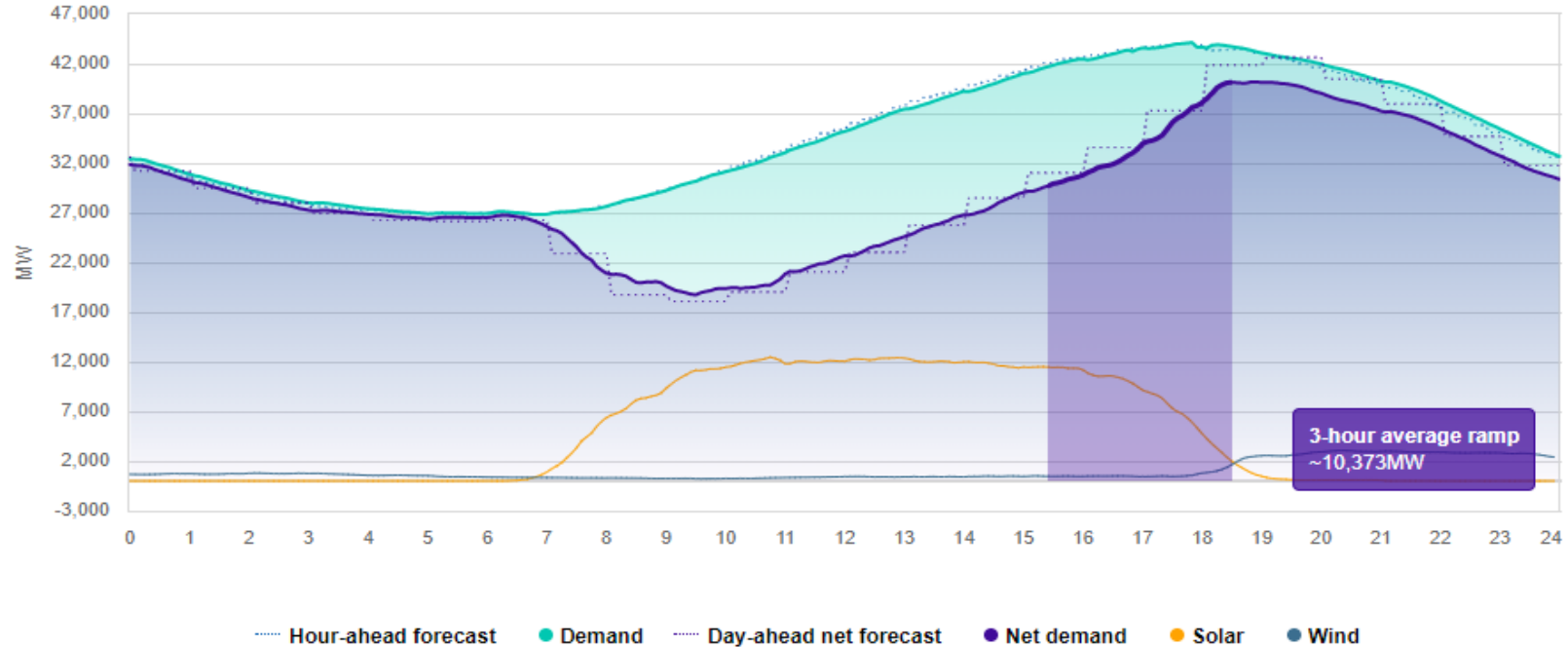


전력수급 기본계획		2023	2030	2034	2036
10차	전력소비량 (TWh)	544.9	565.6	579.8	589.1
	최대전력 (GW)	92.5	103.4	109.1	112.1
9차	전력소비량 (TWh)	525.1	542.3	554.8	-
	최대전력 (GW)	94.2	100.4	102.5	-

Source: 제10차 전력수급 기본계획 보도자료

대한민국도 재생에너지 확대에 따라 유연성자원이 더욱 필요합니다 – What we know for sure..

Duck Curve



- 재생에너지의 확대에 특정 시간에 출력제한 등의 전력 계통 제약 발생
- 전력 계통의 안정적인 운영을 위해 ESS, DR, 가스피커 등의 유연성 자원 확보 필요

제10차 전력수급 기본계획에서 재생에너지와 원자력의 경직성 전원 발전비중을 늘리기로 하였으며 유연성 분산자원의 필요성에 대하여 강조하였습니다

2022.8 현황

- **발전량 비중**
 - 원자력 27%
 - 재생에너지 7.5%
- **총 RE설비 27GW**
 - 태양광 20GW
 - 풍력 1.7GW

9차 전력수급 기본계획

- **2030 발전량 비중 목표**
 - 원자력 25%
 - 재생에너지 20.8%
- **2030 설비목표**
 - 원자력 20.4 GW
 - 재생에너지 58 GW
- **2034 설비목표**
 - 원자력 19.4GW
 - 재생에너지 78GW

10차 전력수급 기본계획

- **2030 발전량 비중 목표**
 - 원자력 32.8%
 - 재생에너지 21.5%
- **2030 설비목표**
 - 원자력 28.9GW
 - 재생에너지 72GW
- **2036 설비목표**
 - 원자력 31.7GW
 - 재생에너지 107GW

- 제 10차 전기분을 통해 재생에너지 확대 수용성을 위한 저장장치 등 유연성 백업설비 및 계통안정화 설비의 신규 확충 필요 제시

대한민국 전력 시장은 재생에너지 확대를 위하여 새로운 제도를 도입하고자 하며 특히 제주도에서 사전 실시하고자 합니다

- 실계통 기반 하루전시장 개설
- RE100 직접PPA
- 플러스DR (제주도), 주파수DR

- 실시간 및 보조서비스 시장 (전국)
- 재생에너지 통합 관제 시스템구축
- 장기계약시장 도입 예정

2021

2022

2023

2024

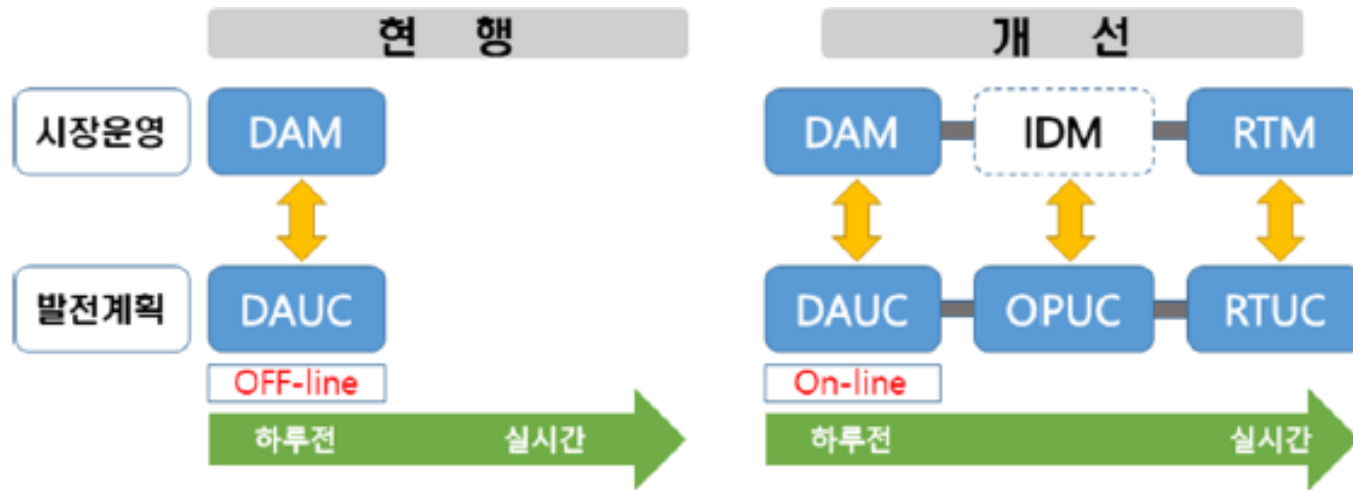
2025

- 중개거래 제도 시행
- 재생에너지 발전량 예측제도

- 실시간 및 보조서비스 시장 (제주도)
- 재생에너지 입찰시장, 통합발전소(VPP) (제주도)

전력거래소는 15분 주기의 실시간 시장 개설을 진행하고 있으며, `23년 제주도를 시작으로 `25년 전국에 도입 예정입니다

실시간 시장

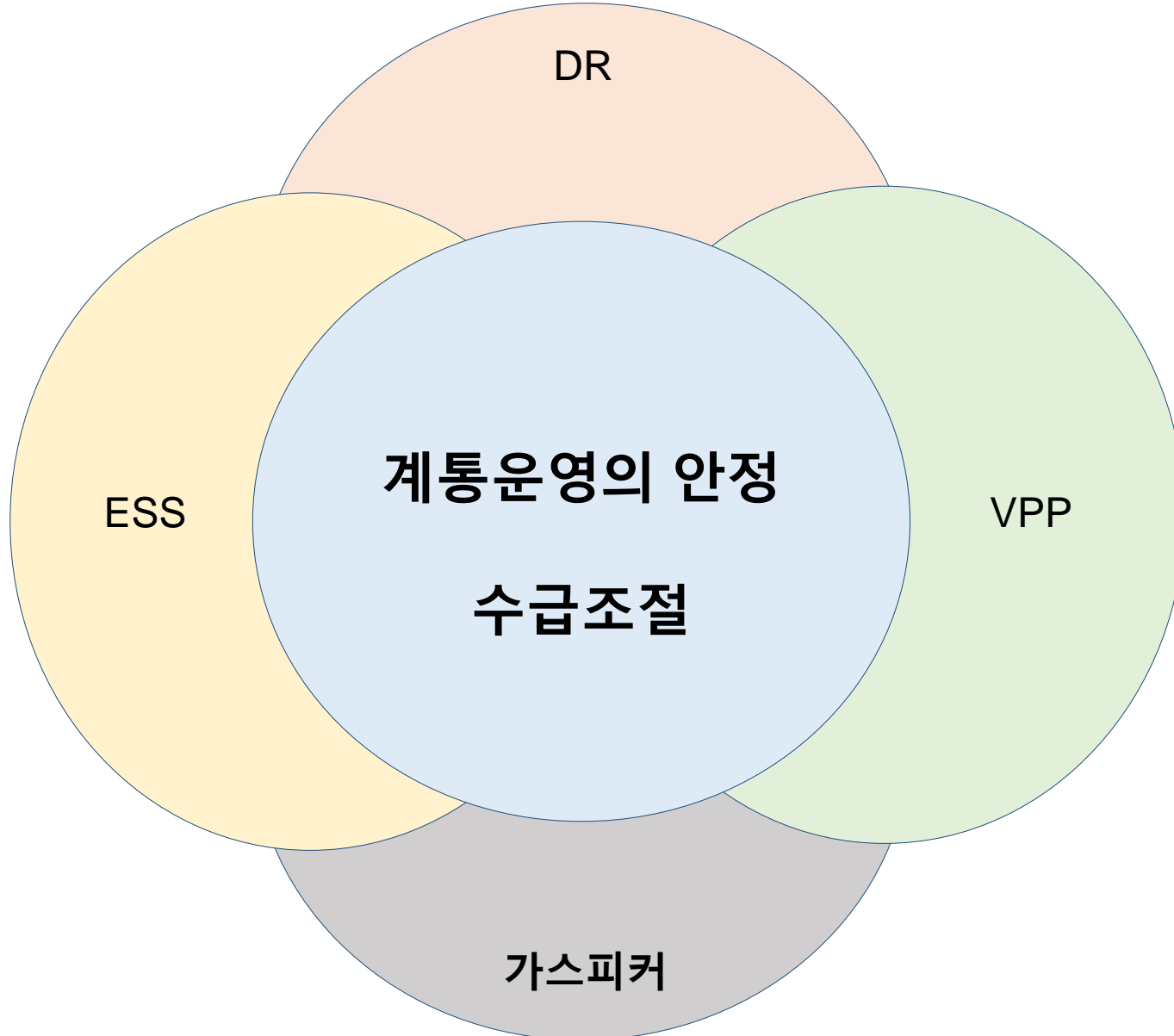


- 하루전시장과 실시간시장으로 구성하고, 추후 재생에너지 비중에 따라 당일 시장 도입 고려
 - 하루전시장은 1시간, 실시간시장은 15분 주기로 운영될 것으로 예상됨
 - 발전사업자에게 밸런싱 책무를 부과하여 급전 불이행에 따른 페널티 별도 마련 예정
 - 실시간 시장의 도입을 통해 실시간 전력 가격을 책정하여 재생에너지 입찰제도, 보조서비스 등의 정산 기반 마련

목 차

1. 전력산업의 변화
2. 전력신산업의 등장
3. 분산에너지 특별법 소개
4. 제주도에 대한 제언

유연성 자원의 각 사업은 궁극적으로 계통 운영의 안정과 수급조절을 위한
기능으로 디지털 플랫폼을 기반으로 Converge 할 것으로 예상됩니다

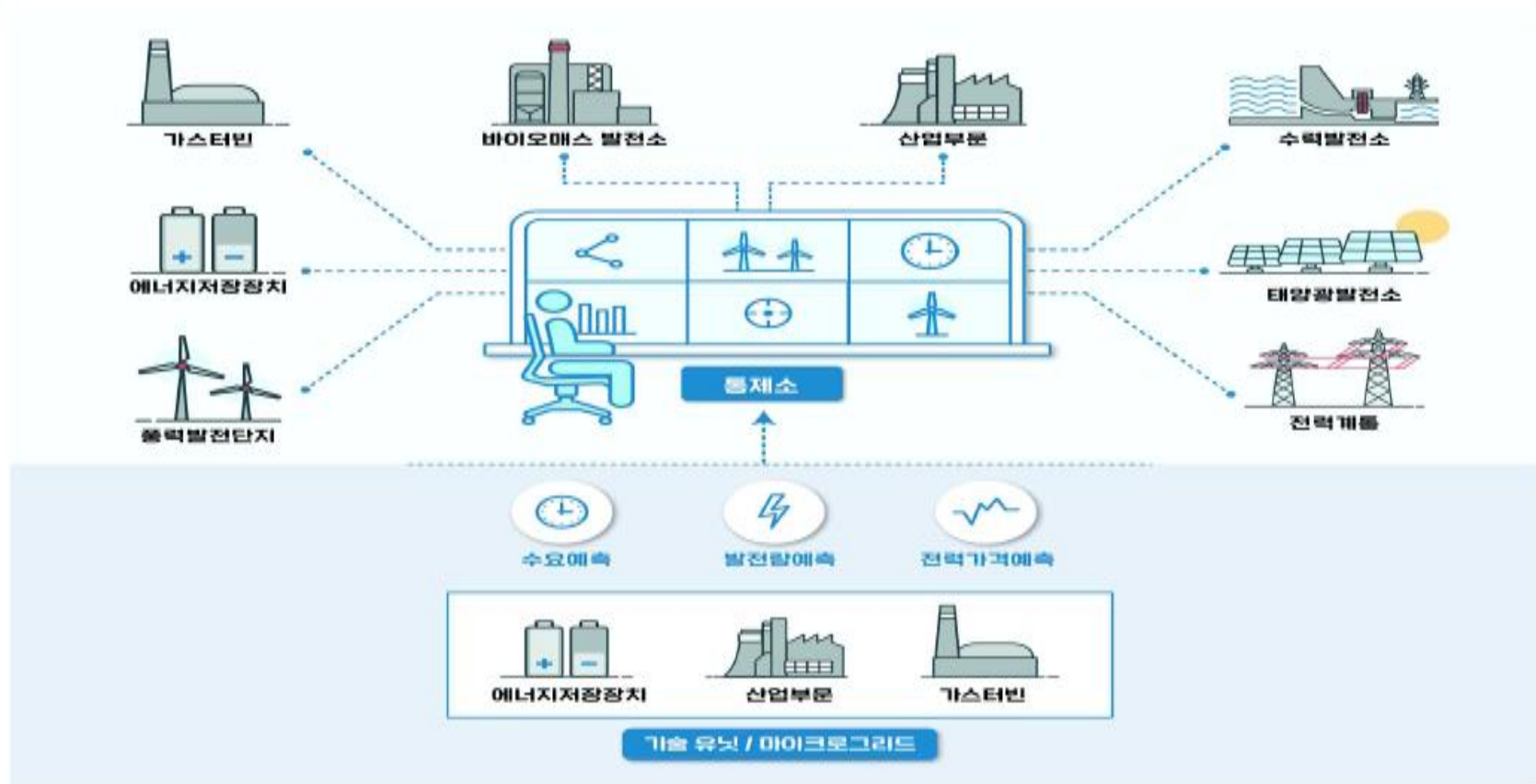


전력 산업은 재생에너지의 변동성을 억제하는 역량을 기반으로 하는 다양한 사업 기회가 발생할 것으로 예측됩니다

1. **수요관리(DR)사업:** 전력의 수요와 공급이 불일치할 때 수요를 조절하는 사업으로 향후 플러스DR, 주파수(Fast)DR 시장이 새롭게 열리며 재생에너지의 출력을 조절하는 기능이 더욱 중요해질 것으로 예상됨
2. **소규모 전력중개거래/가상발전소(VPP):** 태양광, 풍력, ESS 등의 분산에너지 자원을 모아 하나의 발전원으로 통합 관리하며 거래하는 사업으로 예측 및 밸런싱 등을 수행하여 계통의 안정을 도모하는 것. 현재 분산에너지 자원을 모집하여 20MW 초과 집합자원형태 로 발전량을 예측하고 거래를 대행하는 사업
3. **보조서비스시장 유연성자원:** 보조서비스시장은 전력 수급균형, 전력계통의 물리적 안정성 확보, 전기품질 유지 및 전력시장에서의 원활한 거래를 위한 제도이며, 재생에너지 간헐성에 대비하여 순간적으로 전력을 공급하는 유연성자원 사업기회가 유망
4. **재생에너지 및 RE100:** 100% 재생에너지 전력 사용을 약속한 기업을 대상으로 재생에너지를 공급하는 사업으로 최근 전력 직거래를 허용하는 직접PPA 방식이 추가되어 활성화되고 있음

산업부의 분산에너지 활성화 추진전략에 따라 2025년부터 40MW이하의 다양한 유연성 자원이 통합발전소를 통해 거래되기 시작할 것으로 예상됩니다

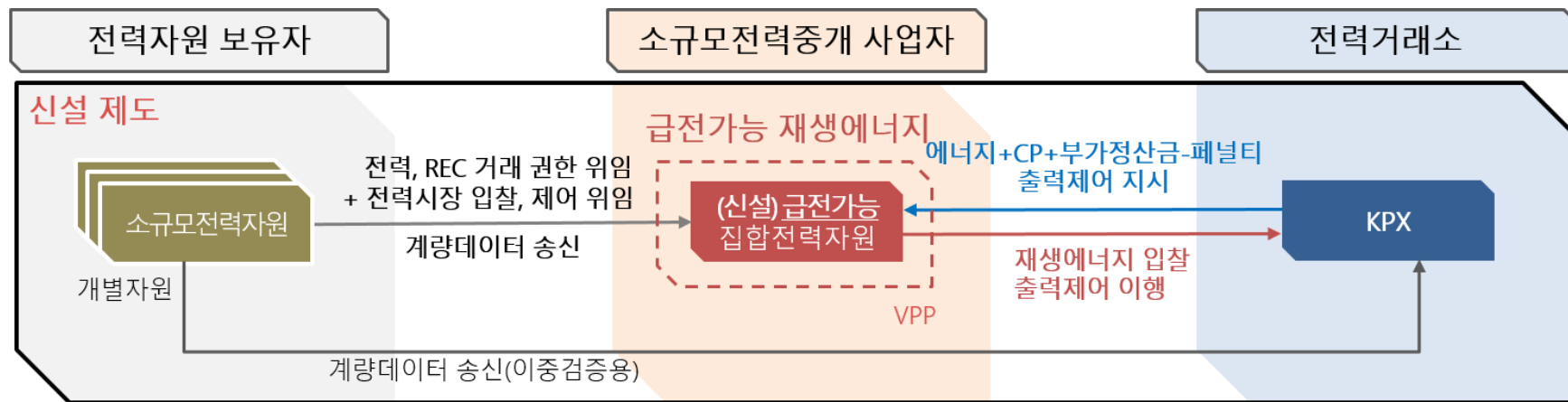
한국형 통합발전소 모델



출처: 분산에너지 활성화 추진전략

전력거래소는 재생에너지 입찰제도를 통해 디지털로 VPP의 전력거래가 가능하도록 제도를 설계 중이며, '23년 제주도에서 먼저 시행될 예정입니다

재생에너지 입찰제도 안

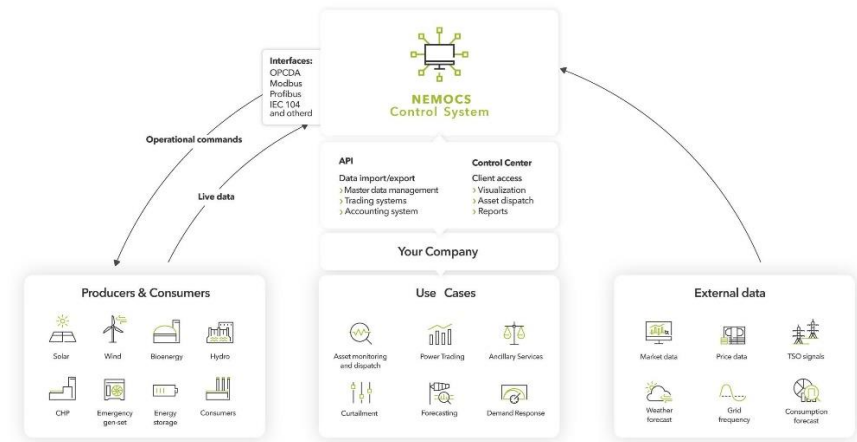


출처: 전력거래소

- 전력시장 입찰 참여를 통해 발전기와 동일하게 정산금을 지급해 재생에너지의 수익성 제고
 - 기존에 지급되지 않았던 부가정산금 및 용량정산금 지급
 - 용량정산금의 경우 공급신뢰도 기여 정도에 따라 차등 지급 (예: ESS 연계 시 높은 용량정산금 지급)
 - 보조서비스 정산금은 적용 여부 검토 중

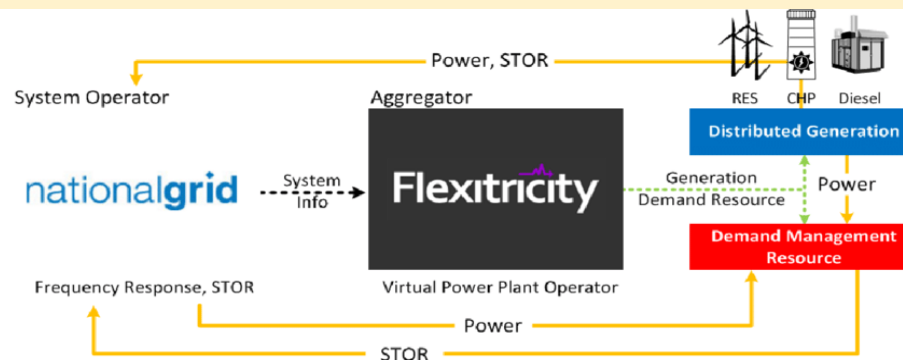
유연성 기반 VPP사업 – Next Kraftwerke(독일)

- 가상발전사업자
 - 분산에너지 중심의 공급형 VPP 사업을 운영하고 있으며 에너지 선물·현물시장에서 거래 중
 - 2020년 매출은 595 million 유로이며 이익률은 2~4%
 - 2021년 초 Shell에 인수 됨
- 분산형 자원을 취합(Aggregation)하여 통합운영
 - 전체 13,012개 자원을 운영하고 있으며 태양광 19%, 바이오매스 8%, 수력 1%, 육상풍력 62%, 해상풍력 9%, 기타 1%로 자원을 구성함
- 수익구조
 - 재생에너지 사업자들의 전력판매를 대행하고 부가되는 Balancing Responsibility를 대행
 - 위탁판매를 통해 판매수입의 10~15% 수수료를 받는 구조



유연성 기반 VPP사업 – Flexitricity(영국)

- 영국의 VLP (Virtual Lead Party)
 - 영국 최초로 Balancing Mechanism (BM) 거래를 완료한 사업자
 - 2020년 분산형 ESS를 집합하여 National Grid ESO (electricity system operator)의 BM에 참여
- 운영현황
 - 15개 BMU (Balancing Mechanism Units)를 통해 NGESO의 에너지 및 밸런싱 시장 참여
 - VLP 참여자원은 ESS 및 DSR 자원으로 구성되며 공급자원으로 확장 중
- 서비스 모델
 - BM에 VLP로 참여하여 밸런싱 서비스를 제공하는 것을 기본 전략으로 함
 - 수요형 VPP 사업을 중심으로 에너지시장 및 보조서비스 (FR, BM, STOR, 용량시장 등) 참여
 - ※ STOR (short term operating reserve, 단기운영예비력)
 - EV.energy사와 제휴하여 EV 10,000대로 60MW 이상 용량을 확보하여 BM 참여 계획 발표



RE100은 기업이 전력의 100%를 태양광, 풍력, 수력 등 재생에너지로 충당하는 제도로 대한민국에서는 현재 여섯 가지 이행수단이 있습니다

1	녹색프리미엄	전기소비자가 기존 전기요금과 별도의 녹색프리미엄을 한전에 납부하여 재생에너지 전기를 구매하는 제도
2	REC 구매	재생에너지 사용 실적인 REC를 직접 구매하는 방식으로 RE100 참여 기업들이 가장 많이 사용하는 방법
3	제3자 PPA	한전 중개로 발전사업자와 전기소비자간 합의 가격으로 재생에너지 전력거래계약을 체결하고, 망이용료와 부가정산금 등의 가격 추가 부과
4	재생에너지 사업 지분 참여	RE100 참여 기업이 재생에너지 발전사업에 투자하고, 투자비중만큼 재생에너지 사용을 인정받는 방식
5	재생에너지 자가설비	RE100 참여 기업이 직접 자가 소유의 재생에너지 설비를 설치하고 생산된 전력을 직접 사용해 재생에너지 사용 실적을 인정받는 방식
6	직접 PPA	직접 PPA는 발전사업자와 전기 소비자가 별도의 중개자 없이 직접 거래하는 방식으로 중개비용이 발생하지 않으나, 망이용료와 부가정산금 추가 부과

대기업들의 RE100 참여가 더욱 확대되고 있어, 재생에너지 수요가 점차 증가될 것으로 예상됩니다

국내 직접 PPA 계약 사례



AMORE PACIFIC

- SK E&S는 아모레퍼시픽에게 20년간 5MW 태양광 전력 공급



- SK E&S는 SK specialty에게 20년간 50MW 태양광 전력 공급

글로벌 RE100 최근 참여

SAMSUNG

- 2050년까지 RE100 달성 선언 (전력사용량 25.8TWh로 글로벌 IT제조사 중 1위)

NAVER

- 2040년까지 RE100 달성 선언 (전력사용량 455GWh)

전력계통의 안정적 운영 및 수급조절의 역할을 수행할 유연성 자원에는 다음의 네 가지가 유력합니다

DR

DR은 전력의 수요와 공급이 불일치할 때 수요를 조절하는 사업

사업으로 향후 플러스DR, 주파수(Fast)DR 시장이 새롭게 열리며 재생에너지의 출력을 조절하는 기능이 더욱 중요해질 것으로 예상됨

ESS

ESS는 재생에너지 발전량이 많은 시간대에 싼 가격의 전력을 충전하고 전력 가격이 높은 시간대에 전력을 방전하여 수익을 올리는 사업모델

향후 전력거래소는 계통안정을 위하여 `23년도 제주도 시범사업을 시작으로 ESS 중앙계약시장 도입을 통하여 계통의 ESS 확대를 계획하고 있음

통합발전소(VPP)

VPP는 에너지 시장과 보조서비스 시장에 참여하여 수익을 올릴 수 있는 것으로 예상됨

VPP사업자는 보조서비스시장에서 예비력을 제공하고 주파수 조정 역할을 수행하여 보상을 받을 것으로 예상됨

가스피커 발전소

LNG/LPG를 연료로 쓰는 소규모 가스피커 발전소는 주파수조정이 어렵거나 공급이 부족하거나 전력요금이 좋은 피크요금 때에 긴급히 전력을 공급하여 수익을 얻음

가스피커 운영자는 향후 보조서비스시장이 개설되어 전력수요가 일시적으로 급등할 경우 전력거래소로부터 급전지시를 받아 수익을 창출함

동서발전은 캘리포니아에서 Red Bluff, Chowchilla 가스피커 발전소를 운영 중이며 이익률은 10% 수준으로 추정됩니다

Red Bluff (45MW) 가스발전소 전경



Chowchilla (49MW) 가스발전소 전경



출처: Red Bluff, Chowchilla 가스발전소 부지 실사

- 동서발전은 가스피커 발전소 2개소를 인수하여 운영 중에 있으며, 해당 발전소들은 미국 캘리포니아 전력거래소 보조서비스 시장에 참여 중임

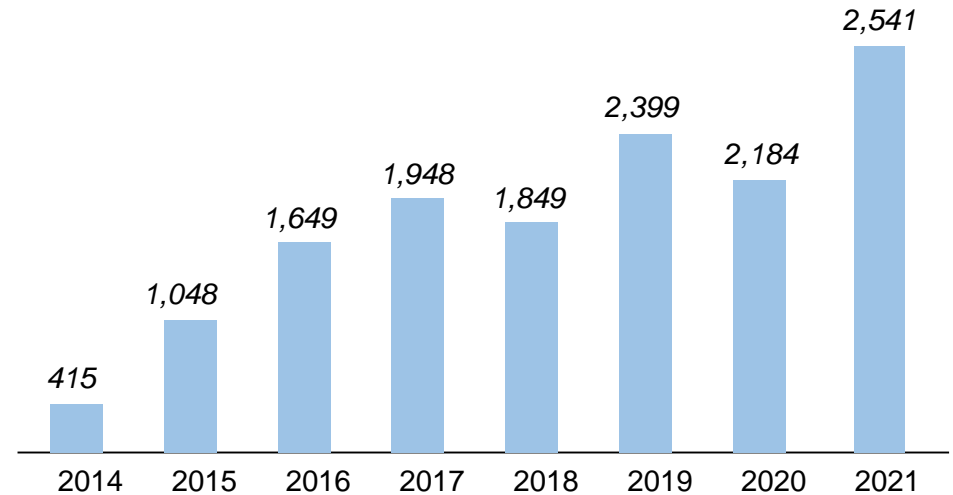
수요자원 거래시장은 2014년 개설 이후 현재 2,500억 원 규모이며, 향후 플러스 DR, 주파수 DR 등 새로운 서비스가 도입되어 추가적인 성장이 예상됩니다

수요관리 사업 연도별 참여 현황



출처: 수요자원거래시장 운영정보, KPX

수요관리 사업 거래시장규모 (단위 억 원)

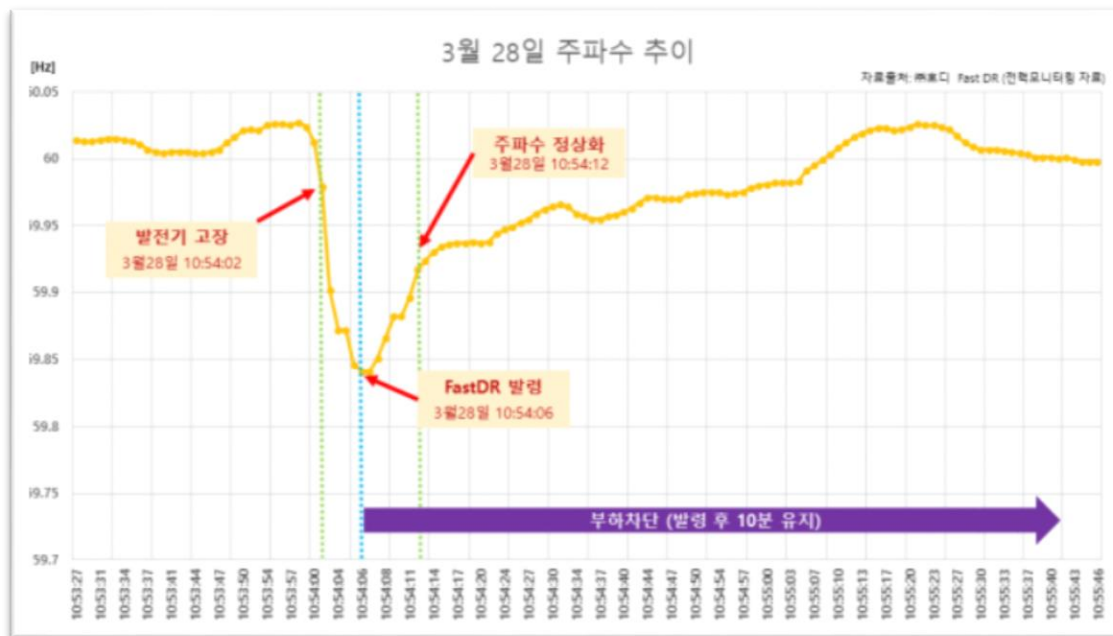


출처: 2021 전력시장통계, KPX

- 2021년 11월 수요자원거래시장 현황 및 운영정보에 따르면 수요자원의 등록용량은 4,656MW 수준이며 현재 약 30개사가 수요관리사업자로 참여
- 2014년 415억에서 2021년 2,541억 원 규모로 성장

신서천화력 사례에서 나타나듯 갑작스러운 출력 변동성에 대응하는 속응성 자원으로 주파수DR은 큰 효과를 낼 수 있습니다

주파수(Fast) DR 효과 사례 – 신서천화력 탈락 (2022년 3월 28일)



- 신서천화력이 시운전 중 불시 탈락으로 주파수 하락
- 주파수 변동으로 태양광 자동 탈락
- 4초 후 Fast DR 발령
 - 1분간 620MW 규모 부하차단 (현대 제철 등)
 - 이후 6분간 210MW 규모 추가 차단
- Fast DR을 통해 수요를 줄여 주파수 안정화

그리드위즈는 제주에서 전기차 충전을 활용한 플러스 DR 사업을 진행하고 있습니다

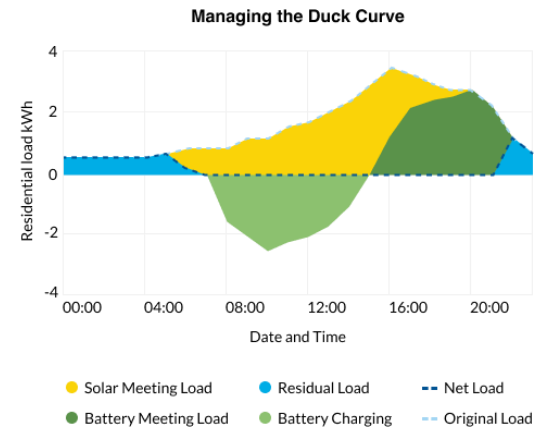
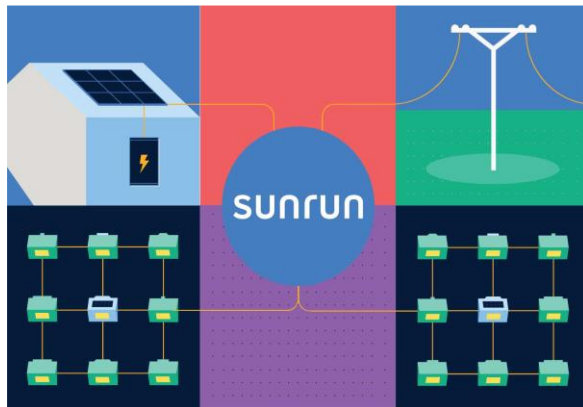
플러스 DR 사례 - 제주 전기차 충전 활용 사업 (그리드위즈-스카이블루)



- 재생에너지 과다로 출력제한 발생 시 발령
 - 사업 참여자에게 안내 문자 발송
 - 플러스DR 시간 : 12월 7일 11시~15시
 - 출력제한이 과다한 지역의 충전소 안내
 - 혜택: kWh당 50원 환급
 - 전기차 충전을 통해 전력수요 증가로 출력제한 완화
-
- 그리드위즈는 한국전력공사와 업무협약을 맺고 제주도 소유 공용충전기 총 521기(급속 282, 완속 239)를 활용하여 플러스DR을 운영 중
 - 제주도의 전기차 보급률은 전국 평균 0.9% 대비 월등히 높은 6.5% 수준으로 플러스 DR로 전기차를 ESS로 활용 가능

에너지 서비스사업 - Sunrun(미국)

- 태양광 보급사업에서 시작하여 ESS와 DR을 결합한 서비스 공급
 - 캘리포니아주 샌프란시스코에 위치하며 2015년 나스닥 상장
 - 가정용 태양광 및 배터리 저장장치 (Brightbox)와 에너지 서비스를 판매
- 운영현황
 - 2021년 현재 630,441 고객 보유, 총 PV 용량 4,467 M, 평균 잔여계약기간 17.3년
 - 2020년 매출은 \$922 million
- 서비스 모델
 - PV 및 ESS를 다양한 계약방식으로 제공 (판매/리스 등) : 평균 20년 계약
 - 분산형 ESS 기반 선도용량시장 최초참여 (New England ISO): 20MW (5,000가구 용량)



목 차

1. 전력산업의 변화
2. 전력신산업의 등장
3. 분산에너지 특별법 소개
4. 제주도에 대한 제언

산업부는 분산에너지 특별법 제정을 준비하고 있습니다

분산에너지 특별법 ('21.7 발의 후 국회 계류 중)

재생에너지 등 분산에너지의 확대에 전력의 수요·공급 체계가 변화하고 현행제도와의 괴리가 발생하여 이를 해결하고 재생에너지 보급을 늘리기 위한 특별법

- **통합발전소**
 - 일정 규모 이상의 분산에너지 통합하여 시장에 참여하는 제도로 재생에너지 입찰제도를 통해 관련 제도를 만들고 있음
- **배전망운영자**
 - 배전 계통에 연결된 분산에너지에 대한 제어와 급전을 시행하는 배전망 운영자 제도 도입
- **분산에너지 특구**
 - 분산에너지 비중이 높은 지역을 지정하여 VPP, 배전망운영자 등 혁신 제도 실증과 전력거래 특례 등 규제완화 조치 추진
- **분산에너지 설치 의무**
 - 신규 에너지 다소비시설의 소유자, 택지·도시개발사업자에게 일정 용량의 분산에너지를 설치하도록 의무화

분산에너지 활성화 법제 마련 필요성

❁ 분산에너지 활성화 특별법의 발의배경

● "정의에 기반한 에너지의 정책 필요"

- 지역적 정의: 지역간 전력생산과 사용의 편익과 손익에 대한 형평성 요구 증대
- 전과정의 정의: 발전-송전-배전-사용의 전과정에서 발생하는 비용이 전기요금에 반영할 수 있는 시스템 필요
- 국가과제와 연계를 통한 국가공동체 정의: 국가과제로 균형발전의 수단으로 분산에너지 활성화 정책 정립

● "에너지신산업의 육성"이행

- 위기를 기회로: 재생에너지 확대, 송전망을 건설하지 않는 전력공급, 에너지신산업의 육성(통합발전, ESS기반 사업, 전력거래의 혁신 등)
- 새정부 에너지정책방향에 에너지 신산업 육성을 위하여 분산전원과 관련한 에너지 신산업 육성을 세부 계획으로 제시하고 있음
- 에너지전환 등 에너지정책 변화에 적절하게 대응하기 위한 방안으로 분산에너지를 활성화 할 필요성이 있음

분산에너지 활성화 법제화 관련 문제

❁ 분산에너지 활성화 제도 필요성

- 분산에너지 편익에 대한 보상 미비
 - 그동안 분산에너지는 지속 증가하여 왔으나, 그에 대한 인센티브는 재생에너지 등 일부에만 편중되어 실질적인 분산편익에 대한 보상은 미비함
 - 해외에서도 소형 열병합 중심의 지원을 추진* 중에 있음을 감안하면, CHP 등의 분산편익에 대한 **합리적인 보상체계가 필요함**
- * (미국 뉴저지) 프로젝트당 약 30%, 3백만불 상한으로 소형 열병합 건설비 지원
(독일) 열병합발전법 제정, 열병합발전 우선매입 의무 및 지원금 제도 규정
- 재생에너지 발전 비중 증가에 따른 계통 안정성 및 변동성 증가로 인한 출력제어 문제 발생 → 재생에너지와 **기존 인프라·제도와의 통합**을 통한 문제 해결 모색
- 지역별 에너지 자립 요구 증가, BUT 지역 차원의 분산에너지 구축 역량 부족 → 지역 단위 관리체계, 지역 특구를 통한 거래 특례제도 도입 등으로 **에너지 新시장·新사업 창출**, 에너지 자립 강화

분산에너지 활성화를 위한 특별법(안)

❁ 분산에너지 활성화를 위한 특별법(안) 주요 내용

분산에너지활성화 지원사업

- 분산에너지 사업의 사회적경제적 지원: 편익보상(열병합발전소의 편익보상
 - 보조·용자: 기술개발, 전문인력양성, 국제협력 등 지원
 - 분산에너지 사업 등에 대한 기금의 투자 : 분산에너지에 투자
 - 조세의 감면
 - 국유재산·공유재산의 대부·사용 등
 - 전문인력의 양성
 - 분산에너지 관련 통계의 작성
 - 국제협력과 해외시장 진출 지원 등
 - 사회적 공감대 확대
 - 종합정보관리시스템의 구축·운영
 - 중앙에 분산에너지진흥센터의 지정 등
 - 지역에 분산에너지지원센터의 설치
-

목 차

1. 전력산업의 변화
2. 전력신산업의 등장
3. 분산에너지 특별법 소개
4. 제주도에 대한 제언

목표

“제주도가 전력신산업의 중심지역으로 도약”

세부 목표

1. 제주도 기업이 육성되어 전국을 대상으로 사업 수행
2. 제주도에 전력신산업 IT인프라 구축
3. 제주도 인재의 전력신산업 핵심 인력화
4. 제주도 에너지의 합리적 발전

제주도에 대한 성공요소 제언

제주도 전력 신사업의 주요성공 요소

중앙 정부의
적극적인 협조 획득

- 산업부 분산에너지과, 전력산업과, 전력시장과와 긴밀한 협의 필요

안정적이고 효율적인
IT 인프라를
제주도에 구축

- 전력신산업의 IT인프라를 제주도 내에 구축하고 향후 활용하도록 유도

제주도청,
제주에너지공사,
제주대학교 등의
협력

- 제주도청, 제주에너지공사, 제주대학교 및 제주 기업 의 원팀 노력
- 전력신산업 기업의 제주도 유치 및 창업 유도

전력신산업 인재
육성

- 제주도의 전력신산업 인재 육성
- 전력신산업 인재의 제주도 유치

제주도는 제주형 분산에너지 특구 지정을 위해 '제주형 가치보상체계 도입방안' 연구용역을 수행하였습니다

분산에너지특별법은 국회서 낮잠... 결국 투트랙 전략 쓰는 제주

태양광발전 출력제어 올해 22회 발생

제주형 분산에너지 특구 지정 시급

관련법 국회 계류...제주특별법과 병행추진 검토

오 지사“글로벌 탄소중립 메카 조성위해 분산에너지 힘쓸 것”



출처: 서울신문 (오영훈 제주도지사가 제주형 분산에너지 특구 계획을 수립하기 위한 연구 용역 중간보고회에 참석)

제주형 가치보상체계 도입방안 연구용역 주요 내용 - 사단법인 넥스트

김성환 의원이 발의한 분산에너지 활성화 특별법(안)의 통과에 대비하여 지자체의 분산에너지 특화 지역 계획 수립 및 특례적용 가능 부분의 사전 검토 수행



- **국내외 전력시장 현황 및 단계별 정책추진방안 분석**
 - 현행 전력시장제도 지속 운영 시 예상되는 문제점 도출
- **전력시장 개선을 위한 가치보상체계 기반 마련**
 - 보조서비스 시장 개설로 P2G, P2H, ESS 등 참여보장 및 정산체계 마련
 - 급전가능한 VPP 시범사업 구축과 용량요금 도입방안 모색
 - 신재생에너지 발전 패턴을 고려한 실시간, 수요관리형 선택요금 도입
- **재생에너지 기반 전력거래를 위한 관련제도개선안 도출**
 - 특구 지정을 통한 전력시장 운영규칙 내 특례 적용사항 등 발굴

경청해 주셔서 감사합니다



김희집

hjkimcello@gmail.com

EnerIdea
Excellent Service