

VPP(Virtual Power Plant)

■ **[개념]** ICT 기술을 기반으로 소규모 태양광, 연료전지 등 분산자원을 모아 통합 관리하는 가상발전소



[그림1] VPP의 구성 (출처: KERI)

■ **[유형]** 운영 목적 및 구성 자원에 따라 2가지 유형으로 분류

○ 운영 목적

- (CVPP) 시장에 참여하여 전력거래 및 수익 창출이 목적, 수급 균형에 기여
- (TVPP) 전압·주파수 제어 등 배전계통 안정화가 목적, 계통 운영 보조

* CVPP: Commercial Virtual Power Plant, TVPP: Technical Virtual Power Plant

○ 구성 자원

- (수요형) DR, EE(에너지효율) 등 수요자원을 활용하여 전력 사용 절감에 기여
- (공급형) 신재생 등 발전자원을 모집하여 에너지 및 보조서비스 시장에 참여

일본 - 미야코지마 가상발전소 설립(2021~)

■ [배경] 신재생에너지 수용성 확대를 통한 지방정부의 친환경 정책 추진

- 미야코지마 섬의 에너지자립률 개선을 위한 지자체 중심 노력 전개*
 - '08년 친환경 섬 선언 이후 '11년 스마트 지역사회 실증 프로젝트 도입
 - '50년까지 미야코지마 지역의 에너지자립률을 48.9%로 제고할 계획**
- * 에너지자립률: 에너지효율 지표 중의 하나로, 1차에너지 소비량 대비 1차에너지 생산량의 비율을 의미
- ** '15년 2.99% → '30년 22.1% → '50년 48.9%

■ [개요] Tesla, 오키나와현 미야코지마 지역에 가상발전소 설립

- 가정용 배터리를 구축하여 비상시 가정에 백업 전력 제공
 - '21년부터 300여 대 이상의 Tesla사 가정용 배터리(Powerwall) 설치
 - '23년까지 600개의 장치를 설치하여 '24년까지 오키나와 전역으로 확대할 예정이며 일본 내 최대 상업용 가상발전소가 될 것으로 보임
 - 태풍 피해가 빈번한 미야코지마 지역의 정전 방지 및 전력망 안정에 기여할 것으로 예상
 - 주택의 옥상 태양광과 배터리를 연계하여 VPP 자원으로 활용
 - Miyakojima Mirai Energy(전력회사)는 10개의 공공주택 단지에 태양광 발전 설비(1217kW)를 무상으로 설치
 - 잉여 전력 구입 및 온수 판매, 에너지 설비 유지보수 등의 EaaS* 제공
- * EaaS(Energy as a Service): 에너지(전력) 분야의 서비스화로, 서비스 공급업체가 설비(장치) 또는 기술의 소유권을 가지고 고객은 장비와 기술의 기능 및 서비스에 대해 비용을 지불하는 형태의 사업모델
- Tesla는 상기 프로젝트에 기반하여 주택의 태양광 패널과 배터리(Powerwall)를 연계하여 가정의 잉여전력을 활용한 VPP사업 추진

독일 - FRESH Project(2019~2024)

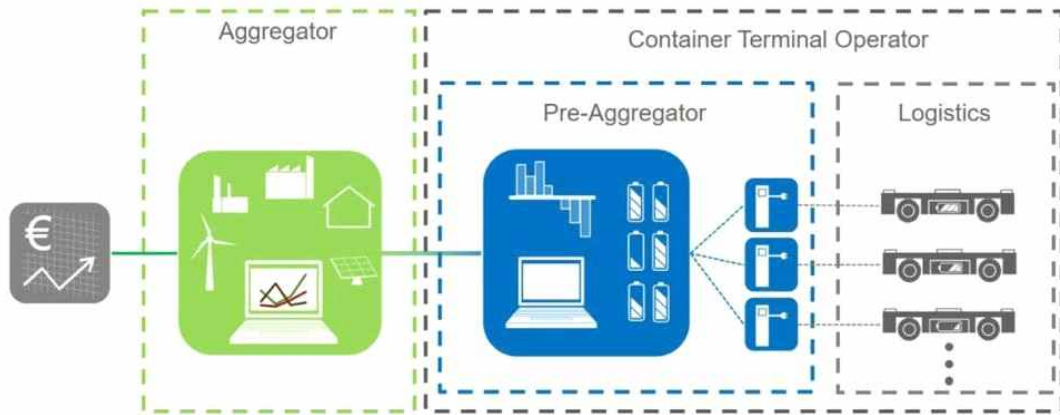
■ **[배경]** 전기자동차를 활용한 새로운 보조 서비스의 가능성 증가

- 배터리 에너지 시스템은 유연성 자원으로써 재생에너지 통합 및 안정적 계통 운영에 기여할 수 있는 잠재력 보유
- 운송 시스템의 전기화 측면에서 Battery-electricity transportation은 VPP 구성 자원으로써 **에너지 시장에 보조서비스를 제공할 수 있음**

■ **[개요]** 함부르크 항구의 물류차(EV)를 활용한 VPP 실증 사업

- **무인운반차(AGV)*의 유연성을 활용하여 FCR 제공****
 - 최대 220kW 총방전 속도와 18개의 전기충전소를 사용할 시 이론적으로 최대 4MW의 부하 잠재력을 제공할 수 있음
 - AGV는 양방향 충전이 가능하므로 물류 작업에서 일시적으로 분리한 후 충전소에 연결하여 전력 공급 가능
- * 무인운반차(AGV): 대형 컨테이너선의 하역 및 적재 작업을 수행하는 자동운전차로 대다수 디젤 차량이었으나 현재는 배터리 전기시스템으로 교체되고 있음
- ** FCR(Frequency containment reserve): 주파수 제어 예비력
- **FCR은 전력 수급 불균형을 단기적으로 보상하기 위한 예비력으로, 독일 TSO가 운영하는 플랫폼을 통해 입찰됨**
 - FCR의 신뢰성 요구 사항을 충족하기 위해 재생에너지, 기존 발전기 등 기타 부하 자원과 결합된 형태로 판매
 - 현재 FCR은 하루의 듀레이션을 가지며 이틀 전(D-2)에 거래됨

■ [구조] Aggregator, Pre-Aggregator 등으로 구성



[그림2] FCR 제공 단계

- (Aggregator) 독일 TSO가 운영하는 입찰 플랫폼에 참여하여 보조서비스 판매
 - 독일의 대표적 VPP 업체인 Next Kraftwerke가 담당하며 시장 입찰에 참여
- (Pre-Aggregator) 소규모 유연성 자원을 관리하여 중개사업자(Aggregator)에 전달
 - FlexMan이 해당 역할을 수행하며 시장에 직접적인 접근 권한은 없음

■ (FlexMan) Flexibility Management System

- (개념) AGV 감독 및 제어를 통해 유연성을 관리하는 시스템
- (방식) 하루 전 계획을 통해 물류차가 제공할 수 있는 유연성의 규모 결정
 - 운송 수요 예측 및 시장 정보를 바탕으로 VPP(Aggregator)에 사용 가능한 유연성 자원량 정보를 전송
 - VPP가 FCR 입찰에 참여한 결과, 특정 AGV가 선택되면 FlexMan 시스템이 물류차의 충전을 위한 신호 전달
 - 터미널의 물류시스템에 미치는 영향을 최소화하기 위해 AGV가 충전소에 연결되어있는 동안 FCR 제공

호주 - Ausgrid 배터리 VPP 실증(2019~2022)

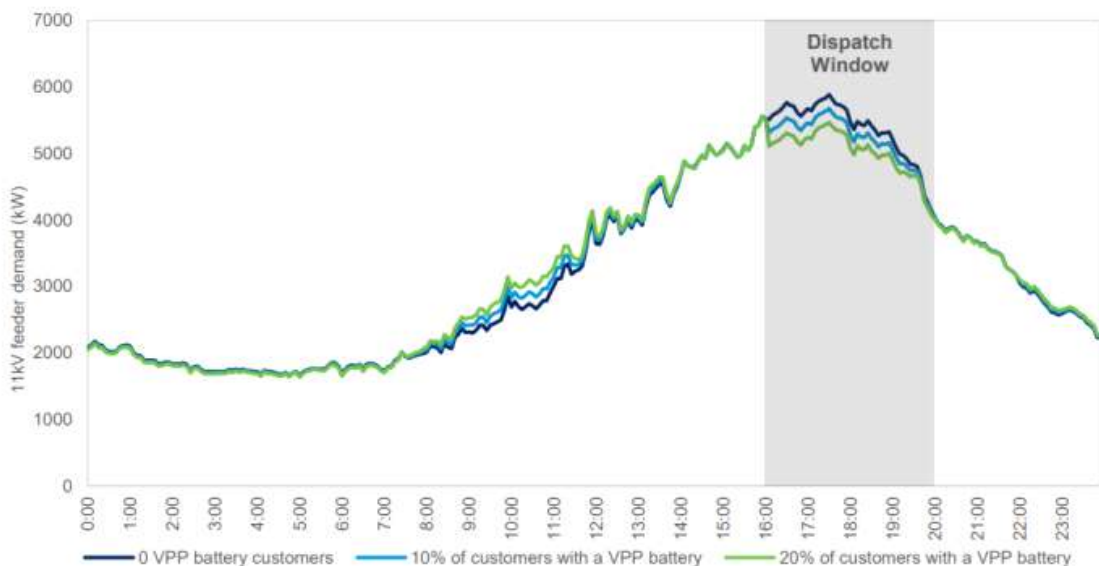
■ [배경] 송배전망 투자 회피를 위한 VPP 잠재력 발굴

- 고객 전기요금 및 망 투자비용 절감을 위한 유연한 그리드 서비스의 필요성 증가
- Ausgrid의 수요관리 혁신프로그램의 일부로서 동하계 피크수요 감축 및 에너지 효율 제고를 위해 VPP 실증사업 시행

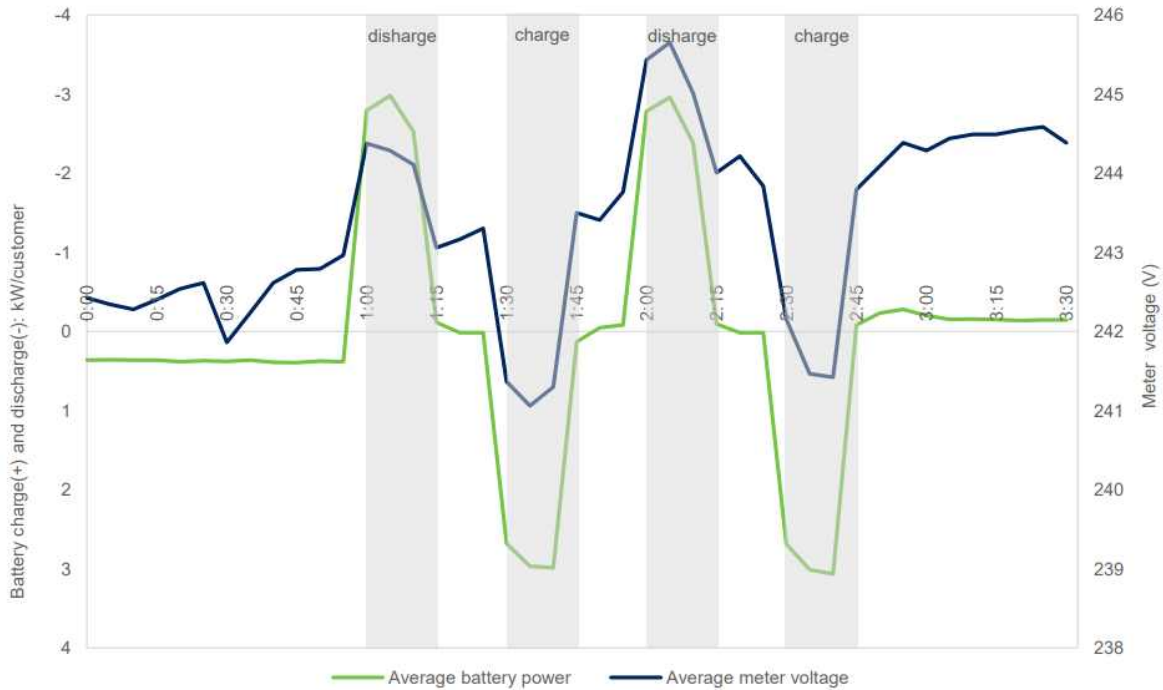
■ [개요] 가정용 ESS를 통한 피크 수요 감축 및 전압 조정 효과 실증

- (1단계) 태양광 배터리를 활용한 1MW 가상발전소 시험
 - (대상) Reposit Power의 배터리관리시스템(BMS)을 설치한 고객
 - 배터리 방전을 통한 전력망 공급에 대해 금전적 인센티브를 제공하여 고객의 에너지 요금 절감에 기여(연간 135 AUD)
- (2단계) VPP 소프트웨어 회사와의 협력을 통한 VPP 실증 규모 확대
 - Evergen, ShineHub와 협력하여 가정용 배터리를 활용한 피크전력 저감 효과 및 전압 관리를 위한 보조자원 기능 실증

Figure 4 - Projected VPP impact on 11kV feeder 80923 at Kurri zone for the dispatch on 28 Jan 2020



[그림3] 적정 규모의 VPP 고객 확보 시 피크수요 절감 효과 입증



[그림4] ESS 총방전에 따른 전압 변화 효과 검증

○ (3단계) VPP 성능 최적화 및 신규 기능 시험

- (규모) 750여 고객이 참여하였으며 3.4MW 배터리 전력과 7.3MMh 저장용량 보유
- (사전 충전) BMS를 통해 배터리 충전 상태를 모니터링하고, 피크수요를 피하여 급전 이전에 배터리를 자동으로 충전하는 기능
- (동적 급전) 고정된 출력을 제공하는 수동적인 방식에서 나아가 부하 프로필에 따라 출력값을 조정하는 동적 급전 방식(dynamic dispatch)
- (전압 관리) Feed in Management(FiM)* 의 효율성 및 신뢰성 검증, 인버터 개량 및 역률 조절을 통한 계통 전압 관리 능력 시험

* FiM: 수급 균형, 전압 유지 등을 위해 태양광 인버터의 출력을 관리·조절하는 기능

중국 - VPP 발전 단계 및 국가 실증 사업

■ **(VPP 발전 단계)** 중국의 VPP는 전력시장의 성숙도, 분산전원의 등장, 가변적인 신재생에너지의 공급 등 외부 조건에 따라 3단계로 분류

- (초기 단계 | 2015년~2020년) 정부와 PDC(Power Dispatch Center) 주관으로 DR사업자, 중개사업자, 재생에너지 및 에너지저장장치를 소유하고 있는 사업자, EV충전사업자들을 모집하여 VPP를 구성하고, 각 지역의 연구개발기관과 국영 전력망 회사에서 시범 운영
- (상용화 단계 | 2019년~현재) 현물시장과 보조서비스 시장이 성숙해짐에 따라 VPP는 이러한 전력시장에 참여가 가능해지고, 더 많은 수익을 내기 위해 더욱 시장화됨. 정부 주도하에서 시장참여형으로 변모하는 단계이나 VPP의 주요 운영기관은 전력망 회사가 담당
- (자율운영 단계 | 미래) 정부 기관의 영향력이 줄어들면서 여러 자원을 묶어 전력수급 균형과 에너지 절감, 전력 교환 등 다양한 서비스가 가능한 ‘전문적인 VPP 운영자’의 등장

■ **(VPP 실증 사업)** 중국의 VPP 서비스는 ‘초기 단계’에서 ‘상용화 단계(보조서비스 시장에서 입찰 참여)’로 넘어가는 과도기이며 현재 중국에는 두 가지 유형의 VPP가 있음

- (초기 단계 VPP) 지자체에서 운영하는 수요반응(DR) 시장에 참여
- (상용화 단계 VPP) 지역 보조서비스 시장에서 DR 서비스 제공

대부분의 VPP는 수요반응(DR)시장에 참여하고, 2021년 4월까지 총 13개 지역에서 수요반응(DR)플랫폼을 구축하였음



[그림 5] VPP 실증 사업 수행 도시

- (선전시 VPP) '22년 8월 26일 중국 선전시에 VPP 관리 센터 개원
 - 중국은 전기를 보다 효율적으로 분배하기 위하여 상하이, 허베이, 산시, 산둥에 VPP를 건설하는 시범 프로젝트를 시작하였고, 선전에 새로 출범한 VPP는 870,000kW 용량을 끌어올 수 있으며 이는 대형 석탄 발전소의 설치 용량과 동일함
 - 정부 주도하에 VPP 개발과 도입이 이루어지고 있으며, 화웨이 같은 민간 기업의 기술 및 장비 지원과 함께 국영 전력망 회사가 구현하는 형태로 진행 중
 - 북부 허베이성과 같은 몇몇 프로젝트를 제외하고, 엄격하게 규제되는 전력 산업에서 VPP는 독립적인 시장 참여자로 취급되지 않고 있음
 - 선전시 VPP에서는 소형발전소에서 발생하는 잉여 전력을 재분배하고 보조서비스를 제공하며, 전력망 운영의 안정성을 향상하라는 지시에 신속한 대응이 가능함



[그림 6] 중국 선전시 가상발전소(VPP) 관리 센터 전경

미국 - VPP 시장 참여

- **[제도]** 2020년 9월 “FERC Order 2222” 시행으로 중개사업자가 모집한 분산자원이 도매시장에 참여할 수 있도록 제도 개선
 - 변동성 재생에너지, 열병합, ESS, DR, 에너지효율화(EE), 전기자동차(EV) 등 다양한 소규모 에너지를 분산자원으로 고려함
 - 시장 참여 능력이 있는데도 소규모이기 때문에 시장에 참여하지 못했던 분산자원은 중개사업자를 통해 도매시장에 참여 가능
 - VPP 또한 석탄, 석유, 천연가스 등 전통적인 대규모 발전원과 도매 전력시장에서 경쟁 가능

- **[Sunrun社 VPP]** 태양광 발전, 배터리 저장 서비스 업체인 Sunrun사는 ISO-NE의 제13차 FCA(Forward Capacity Auction)*에서 VPP가 전력 공급 계약을 체결한 최초의 사례
 - * FCA: 운영 기간 3년 전에 개최되는 선도 시장으로 전력 공급 용량에 대한 약정 가능
 - FCA 당시 6년만의 최저가격인 \$3.80/kW-month로 용량 가격이 체결됨
 - 가정용 태양광 및 배터리 시스템으로 구성된 Sunrun사의 New England VPP는 2022년 6월부터 8월까지 1.8GWh 이상의 전력을 그리드에 공급

- **[Tesla社 VPP]** Tesla는 캘리포니아 전력회사인 PG&E, SCE와 주택용 태양광 패널 및 배터리 통합 제품인 Powerwall을 통한 VPP 참여 프로그램을 진행하여 모집 용량 50MW를 달성(2022년 9월 기준)
 - 캘리포니아에 있는 5,000가구 이상이 Tesla사 VPP에 참여하고 있으며, CAISO의 발령에 응동하는 VPP 참여자에게는 kWh당 \$2 보상을 제공

참고문헌

1. European Commission, Flexibility for Resilience (How can flexibility support power grids resilience? (2022)
2. Energy Informatics, Flexibility management and provision of balancing services with battery–electric automated guided vehicles in the Hamburg container terminal Altenwerder (2020)
3. Newsroom Global, Sustainable Solar Power Solution on a Remote Japanese Island Creates an Affluent Life in the Present with Eye on 2050 (2020)
4. Ausgrid, Ausgrid's Virtual Power Plant Progress Report (2020, 2021)
5. INTEGRAL Co.,Ltd, Demand Response, VPP and V2G in China (2022)
6. Sunrun Inc. Sunrun Activates Nation's First Residential Virtual Power Plant in Wholesale Market (2022)