

전력거래 방식에 기반한 VPP의 경제성 평가 모델에 관한 연구

왕중용^{*,**}, 현소영^{**}, 한형주^{**}, 김명훈^{**} 노대석^{*}

^{*}한국기술교육대학교 전기공학과, ^{**}한국전기산업연구원

e-mail: jywang@erik.re.kr

A Study on Economic Evaluation of Virtual Power Plant Based on the Power Trading Method

Jong-Yong Wang^{*,**}, So-Young Hyun^{**}, Hyeong-Ju Han^{**}, Myeong-Hoon Kim^{**}, Dae-Seok Rho^{*}

^{*}Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

^{**}Electrical Industry Research Institute of Korea (ERIK)

요약

VPP(virtual power plant)는 다양한 분산자원을 ICT(통신) 기술을 이용하여 하나의 발전소처럼 운영하는 통합관리 시스템으로서 현재 국내외적으로 앞으로 시장 가치가 기하급수적으로 증가할 전망이다. 따라서, 본 논문에서는 VPP의 운용특성을 제시하고, 신재생에너지 사업자 측면에서 VPP 방식의 도입에 대한 타당성을 평가하기 위하여, 전력거래 방식에 기반한 경제성평가 모델링을 제시한다. 이 모델링은 편익요소와 비용요소로 구성되는데, 편익요소는 신재생에너지의 전력량 요금, REC 판매비용 등을 고려한다. 또한, 비용요소는 신재생에너지 전원의 설치비용, 운용비용, 계량기 설치비용과 PPA(power purchase agreement) 방식과 VPP 방식에 따른 전력거래 중개수수료 등으로 구성된다. 상에서 제시한 전력거래 방식에 기반한 경제성 평가 모델링을 바탕으로 기존의 전력거래 방식인 PPA 방식과 VPP 방식에 대하여 경제성 평가를 수행한 결과, 태양광 전원의 연계용량에 관계 없이 PPA방식에 비해 경제성을 확보하기 어려우므로, 제도적인 개선이 필요함을 알 수 있다.

1. 서론

VPP는 다양한 분산자원을 ICT(통신) 기술을 이용하여 하나의 발전소처럼 운영하는 통합관리 시스템으로서 현재 국내외적으로 앞으로 시장 가치가 기하급수적으로 증가할 전망이다[1]. 따라서, 본 논문에서는 VPP의 운용특성을 제시하고, 신재생에너지 사업자 측면에서 VPP 방식의 도입에 대한 타당성을 평가하기 위하여, 전력거래 방식에 기반한 경제성평가 모델링을 수행한다. 이 모델링은 편익요소와 비용요소로 구성하고, 편익요소는 신재생에너지의 전력량 요금, REC 판매비용 등을 고려한다. 또한, 비용요소는 신재생에너지 전원의 설치비용, 운용비용, 계량기 설치비용과 PPA(power purchase agreement) 방식과 VPP 방식에 따른 전력거래 중개수수료 등으로 구성된다. 상에서 제시한 VPP의 경제성평가 모델링을 바탕으로 태양광전원의 용량에 따라 VPP 방식의 도입에 대한 타당성을 평가한 결과, 현재 적용하고 있는 전력거래 방식인 PPA 방식에 비해 경제성을 확보하기 어려우므로, 제도적인 개선이 필요함을 알 수 있다.

2. VPP의 운용특성

먼저, VPP의 구성은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, VPP는 신재생에너지 전원, 부하 자원, ESS 및 VPP 플랫폼으로 구성된다. VPP는 ICT 및 자동제어 기술을 활용하여 다양한 분산자원을 연결하고 하나의 발전소처럼 운영하는 시스템으로, 다양한 신재생에너지 전원으로부터 발전된 전력을 VPP 플랫폼을 이용하여 가정과 기업, 공공기관 등에 설치된 ESS에 저장하고, 계통운용 시스템으로부터 받은 정보를 바탕으로 필요에 따라 ESS를 충·방전하는 방식으로 운용된다. 이러한 VPP는 물리적으로 존재하는 발전소는 아니지만 하나의 발전소처럼 전력을 운용할 수 있으며, 신재생에너지 전원을 통합하여 운용함으로써 경제적인 가치를 창출할 수 있다[2].



[그림 1] VPP의 구성

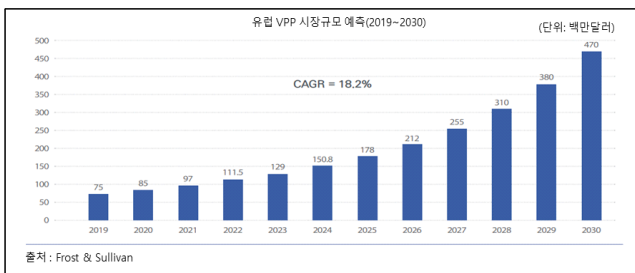
VPP의 국내외 시장 동향 및 전망을 살펴보면 먼저, 국내 시장은 현재 에너지 공기업 또는 공공기관을 중심으로 전력 계통을 효율적이면서 안정적으로 운영할 수 있는 VPP 구축 시범사업이 이루어지고 있음에 따라 시장을 추산 하기에는 아직 한계이다. 다만, VPP 시장의 핵심원천기술인 DER(distributed energy resource)을 기준으로 시장을 살펴보면, DER 관리 시스템 기술의 발전에 따라 VPP 자원 관리 시스템 시장에 긍정적인 영향과 동시에 수요의 증가를 가져올 수 있을 것이라 기대하며, 표 1과 같이 국내 시장의 경우, 그린뉴딜 등의 신재생에너지 중심의 정책을 펼치고 있음에 따라 2019년 30억 원에서 2026년 88억 원으로 급격히 증가할 전망이다. CAGR(compound annual growth rate, 연평균 성장률)은 약 23.9%를 확보할 수 있을 것으로 추정되며, 이에 따라 국내 VPP의 시장 규모는 급격하게 증가 할 것으로 예상된다.

[표 1] 국내 DER 관리시스템 시장 규모 추이

DER 관리 시스템 시장규모 추이									
(단위: 백만 달러)									
구분	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	CAGR(%)
세계시장 (Solar PV Units)	103.2	91.2	105	124.4	153.2	189.7	244.8	321.2	25.1
국내시장 (Solar PV Units)	2.58	2.28	2.52	2.97	3.62	4.45	5.68	7.38	23.9

출처 : MarketsandMarkets

신재생에너지가 가장 활성화된 유럽의 독일과 영국, 프랑스는 상업적으로 가시적인 VPP 시장 확보를 위하여 노력 중이다. 파리기후협약 등 제도적인 제약사항으로 신재생에너지 보급 정책이 확산되면서 에너지 수요 충족을 위한 VPP의 관심과 투자가 점차적으로 증가할 것으로 예상된다. 특히 관련 요소 기술인 엣지 컴퓨팅 및 전력량 예측 관련 어플리케이션 분야의 시장은 RES의 보급 증가와 인공지능(AI) 활용으로 그림 2와 같이 VPP의 시장 규모는 2019년 7,500만 달러에서 2030년 4억7,000만 달러로 성장할 것으로 예측된다. CAGR은 약 18.2%로 추정하며, 이에 따라 국의 VPP의 시장 규모는 폭발적으로 증가 할 것으로 예상된다[3].



[그림 2] 유럽 VPP 시장 규모 예측(2019~2030)

3. VPP의 경제성 평가 모델링

3.1 편익요소 모델링

VPP의 경제성 평가를 위한 편익요소는 신재생에너지의 전력량 요금, REC 판매비용으로 구성된다. 여기서, 신재생에너지의 전력량 요금은 식 (1)과 같이 전력 거래량과 전력거래단가에 선로손실률[%]을 고려하여 산정한다.

$$B_{SMP} = Q_{SMP} \cdot h \cdot P_{loss} \quad (1)$$

여기서, B_{SMP} : 신재생에너지 전력량요금(원), Q_{SMP} : 전력거래량(kWh), h : 전력거래단가(원/kWh), P_{loss} : 선로손실률(%)

한편, 신재생에너지의 REC요금은 신재생에너지의 발전량과 REC 가격, REC 가중치를 고려하여 식 (2)와 같이 산정한다. 여기서, REC 가중치는 신재생 에너지원별 발전원가 차이로 인하여, 신재생에너지의 종류, 용량, 설치장소 등을 고려하여 적용한다[4].

$$B_{REC} = \sum_{i=1}^m P_i \cdot REC_i \cdot k_i \quad (2)$$

여기서, B_{REC} : REC 요금(원), P_i : 신재생에너지의 발전량(MWh), REC_i : 신재생에너지의 REC 단가(원/MWh), k_i : 신재생에너지의 REC 가중치

3.2 비용요소 모델링

VPP의 경제성 평가를 위한 비용요소는 신재생에너지 전원의 설치비용, 계량기 설치비용, 운용비용, 전력거래 중개수수료 등으로 구분할 수 있다. 먼저 설치비용은 VPP 설비를 구축을 위하여 소요되는 총 비용을 말하며, 설치비용으로는 계량기 설치비용, 신재생에너지 전원 설치비용, PCS 및 배터리 설치비용으로 구성된다. 식 (3)과 같이 계량기 설치비용, 신재생에너지 전원, PCS 및 배터리 시스템의 설치단가에 MW 및 MWh 설치용량을 곱하여 산정한다.

$$C_{vpp} = C_{meter} + (C_{res} \cdot Q_{res} + C_{pcs} \cdot Q_{pcs} + C_{batt} \cdot Q_{batt}) \quad (3)$$

여기서, C_{VPP} : VPP의 총 설치비용(원), C_{meter} : 계량기 설치 비용(원), C_{res} : 신재생에너지 전원 설치단가(원/MW), Q_{res} : 신재생에너지 전원의 설치용량(MW), C_{pcs} : PCS의 설치단가(원/MW), Q_{pcs} : PCS의 설치용량(MW), C_{batt} : 배터

리 시스템의 설치단가(원/MWh), Q_{batt} : 배터리 시스템의 설치용량(MWh)

운영비용은 VPP운영 시, 발생하는 연간 운영비용으로서, 식 (4)와 같이 신재생에너지 전원 및 ESS의 연간 운영비용, 그리고 VPP 및 PPA 방식의 전력량 중개 수수료가 있다. 신재생에너지 전원 및 ESS의 연간 운영비용은 설치비용(설치단가와 설치용량의 곱), 운영비 적용비율 및 물가상승률을 고려하여 산정하며, VPP 전력량 중개 수수료는 신재생에너지 전원의 연간 발전량에 VPP 중개 수수료를 곱하여 산정한다.

$$C_{oper} = \sum_{i=1}^n [(C_{res} \cdot Q_{res} + C_{batt} \cdot Q_{batt}) \cdot r_{oper} \cdot (1+r_{i.n.f}(i))^{i-1}] + (C_{res.yaer} \cdot \lambda) \quad (4)$$

여기서, C_{oper} : 총 운영비용(원), C_{res} : 신재생에너지 전원 설치단가(원/MW), Q_{res} : 신재생에너지 전원의 설치용량(MW), C_{batt} : 배터리 시스템의 설치단가(원/MWh), Q_{pcs} : PCS의 설치용량(MW), r_{oper} : 운영비 적용비율(%), $r_{i.n.f}(i)$: 물가상승률(%), i : 경제성 평가년도, n : 최종 평가년도, $C_{res.yaer}$: 신재생에너지 전원의 연간 발전량(kWh), λ : VPP 중개 수수료[5원/kWh]

3.3 현재가치 환산법

경제성평가를 위한 비용과 편익의 요소는 미래에 발생할 가치로, 시간의 흐름에 따른 기회비용인 시간가치가 포함되어 있어 현재의 가치로 환산하여 평가해야 한다. 따라서, 본 논문에서는 VPP의 비용 및 편익요소를 식 (5)와 같이, 미래의 가치에 할인율을 적용한 현재가치 환산법을 이용하여 비용 및 편익요소를 동일한 시점의 가치로 산정하여 경제성을 평가한다.

$$PW = \sum_{t=1}^n \frac{CF}{(1+r)^t} \quad (5)$$

여기서, PW : 현재가치(원), CF : 현금흐름(원), n : 기간(years), r : 할인율(%)

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 조건

VPP의 경제성을 평가하기 위한 시뮬레이션 조건은 표 2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 경제성평가 기간은 20년을 적용하고, 미래의 가치에 대한 할인율과 물가상승률은 각각 5.5%와 3%로 상정한다. 신재생에너지 전원 운영비는 설치비용의 2.5%를 적용한다. 또한, 기존 PPA 방식과 VPP 방식의 경제

성 평가 분석을 수행하기 위한 거래방식별 파라미터는 표 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 계량기 설치 비용은 각각 210,000(원), 4,000,000(원)으로 적용하였으며, 각 방식에 대한 수수료는 PPA 방식은 40(원/kWh), VPP 방식은 전력량요금의 15%로 상정한다.

[표 2] 경제성 평가 시뮬레이션 조건

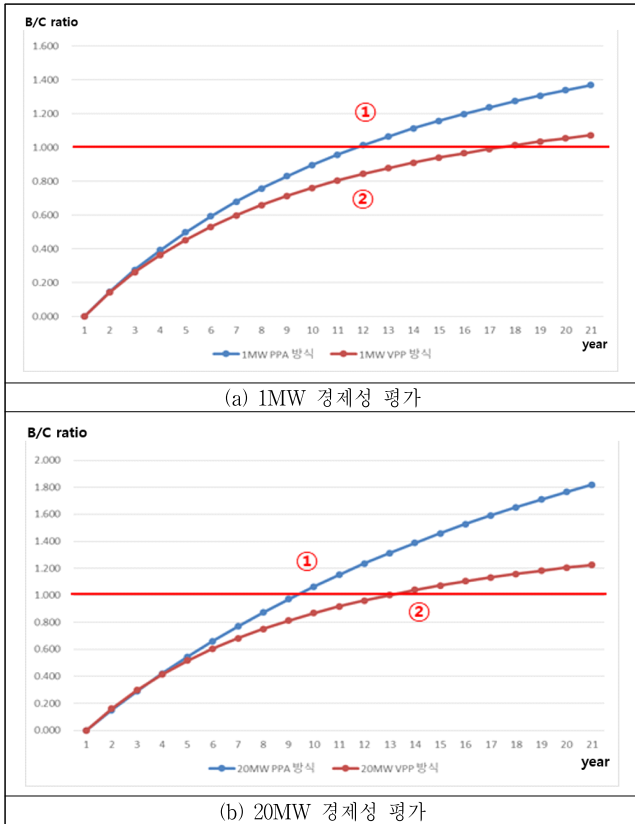
경제성 분석 파라미터		
항목		내역
SMP(원/kWh)	PPA	260
	VPP	286
REC(원/kWh)		57.88
상환기간(평가기간)년		20
할인율(%)		5.5
물가상승률(%)		3
신재생에너지 전원 운영비(%)		2.5

[표 3] PPA 및 VPP 방식 파라미터

PPA 및 VPP 방식 파라미터		
항목		내역
계량기(천원)	PPA	210
	VPP	4,000
PPA 방식 수수료(원/kWh)		40
VPP 방식 수수료(%)		전력량요금의 15%

4.2 태양광전원 연계용량에 따른 VPP의 경제성 평가

상기의 4.1의 경제성 평가 조건을 바탕으로 태양광 전원의 연계용량에 따라 VPP의 경제성 평가를 수행한 결과는 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 4(a)와 (b)는 각각 1MW와 20MW의 태양광 전원이 연계되는 경우를 나타낸다. 또한, 각 그림의 ①번과 ②번 그래프는 각각 PPA 방식과 VPP 방식의 B/C ratio를 나타낸다. 그림 4(a)와 같이, 1MW의 태양광 전원이 연계되는 경우, 기존의 전력거래 방식인 PPA 방식의 B/C ratio는 약 1.37로 산정되지만, VPP 방식의 B/C ratio는 약 1.07로 산정되어 상대적으로 경제성을 확보하기 어려움을 알 수 있다. 또한, 그림 4(b)와 같이, 20MW의 태양광 전원이 연계되는 경우, 기존의 전력거래 방식인 PPA 방식의 B/C ratio는 약 1.82로 산정되지만, VPP 방식의 B/C ratio는 약 1.23으로 산정되어 상대적으로 경제성을 확보하기 어려움을 알 수 있다. 따라서, 전력거래 방식에 기반하여 기존의 전력거래 방식인 PPA 방식과 VPP 방식에 대하여 경제성 평가를 수행한 결과, 태양광 전원의 연계용량에 관계 없이 PPA 방식에 비해 경제성을 확보하기 어려우므로, 제도적인 개선이 필요함을 알 수 있다.



[그림 4] PPA와 VPP 방식의 경제성 평가 시뮬레이션 결과

- 기학회 하계학술대회 논문집, 2023년 7월“
- [3] ASTI Market Insight VPP(가상발전소)”, 2022-028, 한국 과학기술정보연구원
 - [4] 이민행, 최성문, 노성은, 이진호, 노대석, “신재생에너지의 출력제한 개선을 위한 대규모 VPL의 경제성평가에 관한 연구”, 2023년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2023년 7월

5. 결 론

본 논문에서는 VPP의 운용특성을 제시하고, 신재생에너지 사업자 측면에서 현재 적용하고 있는 전력거래 방식인 PPA 방식과 비교한 경제성 평가를 수행하였다. 즉, 새로운 전력거래 방식인 VPP 도입에 대한 타당성을 평가하기 위하여, 편익요소와 비용요소로 이루어진 VPP의 경제성 평가 모델링을 편익요소와 비용요소를 고려하여 수행하였다. 여기서, 편익요소는 신재생에너지의 전력량 요금, REC 판매비용 등으로 구성되었고, 비용요소는 신재생에너지 전원의 설치비용, 운용비용, 계량기 설치비용과 PPA 방식과 VPP 방식에 따른 전력거래 중개수수료 등을 고려하였다. 상기에서 제시한 VPP의 경제성 평가 모델링을 바탕으로 VPP의 도입에 대한 타당성을 평가한 결과, 기존 전력 거래 방식인 PPA 방식에 비해 경제성을 확보하기 어려우므로, 제도적인 개선이 필요함을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 한교범, 황인태, “VPP를 위한 인공지능 기술 동향, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2022년 7월
- [2] 이지원, 조동일 외 8인, “배전계통 전압 변동을 고려한 VPP 자원 운영 알고리즘에 관한 연구”, 2023년도 대한전