

# DR 수용가를 고려한 수요형 VPP의 경제성평가 모델링에 관한 연구

왕종용\*\*\*, 원종홍\*, 이명근\*\*\*, 한병길\*, 노대석\*  
\*한국기술교육대학교 전기공학과, \*\*한국전기산업연구원  
e-mail: jywang@erik.re.kr

## A Study on Economic Evaluation Modeling of Demand Side Virtual Power Plant Considering DR Customer

Jong-Yong Wang\*\*\*, Jong-Heung Won\*, Myung-Geun Lee\*\*\*,  
Byeong-Gill Han\*, 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 기술을 이용하여 하나의 발전소처럼 운영하는 통합관리 시스템으로서 현재 국내외적으로 앞으로 시장 가치가 기하급수적으로 증가할 전망이다. 하지만, 이러한 VPP는 막대한 도입비용으로 인하여 상용화가 어려운 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 수요형 VPP의 운용특성을 제시하고, 중개사업자 측면에서 수요형 VPP 방식의 도입에 대한 타당성을 평가하기 위하여, DR 수용가를 고려한 경제성평가 모델링을 제시한다. 이 모델링은 편익요소와 비용요소로 구성되는데, 편익요소는 VPP 중개수수료와 DR 참여에 따른 수익을 고려한다. 또한, 비용요소는 센서 설치비와 VPP 클라우드 플랫폼 설치비로 구성된 설치비용, 운용비용, 통신비용 등으로 구성된다. 상기에서 제시한 수요형 VPP의 경제성 평가 모델링을 바탕으로 타당성을 평가한 결과, DR 수용가를 고려한 수요형 VPP는 경제성을 확보하기 어려우므로, 제도적인 개선이 필요함을 알 수 있다.

### 1. 서론

최근, 전세계적으로 RE100 및 탄소 제로화를 위하여, 신재생 에너지의 보급 확대 중요성이 대두되고 있는 가운데 신재생에너지의 간헐적인 발전 특성과 낮 시간대 발전량이 수요량보다 증가 되는 것이 원인이 되어 재생에너지의 발전 출력제한 횟수가 급증하고 있는 실정이다[1]. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 신재생에너지를 결합하여 운영하는 가상발전소(virtual power plant, VPP)의 도입을 통해 전력계통의 공급과 수요를 안정적으로 유지하기 위한 노력을 기울이고 있다.

따라서, 본 논문에서는 수요형 VPP의 구성 및 운용특성을 제시하고, 중개사업자 측면에서 수요형 VPP 방식의 도입에 대한 타당성을 평가하기 위한 경제성평가 모델링을 수행한다. 이 모델링은 편익요소와 비용요소로 구성되며, 편익요소는 VPP 중개수수료와 DR 참여에 따른 수익을 고려한다. 또한, 비용요소는 센서 설치비와 클라우드 플랫폼 비를 고려한 설치비용과 운용비용, 통신비용 등으로 구성된다. 상기에서

제시한 수요형 VPP의 경제성평가 모델링을 바탕으로 타당성을 평가한 결과, 수요형 VPP는 경제성을 확보하기 어려우므로, 제도적인 개선이 필요함을 알 수 있다.

### 2. 수요형 VPP의 운용특성

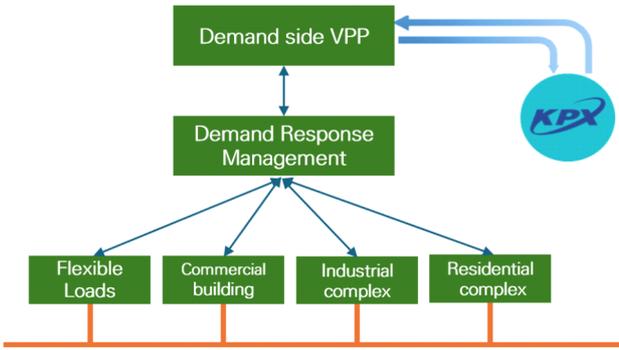
일반적으로 VPP는 다양한 분산자원을 ICT 기술을 이용하여 하나의 발전소처럼 운영하는 통합관리 시스템이다. 이러한 VPP는 자원 구성에 따라 표 1과 같이, 공급형 VPP, 수요형 VPP, 융합형 VPP로 구분할 수 있다[2]. 여기서, 공급형 VPP는 다양한 신재생에너지 전원 설비를 이용하여 하나의 발전소처럼 운용하며, 수요형 VPP는 발전설비의 추가 설치 없이 기존 발전설비를 활용하여 운용하고, 융합형 VPP는 공급형 VPP와 수요형 VPP를 이용하여 복합적으로 운용한다.

또한, 수요형 VPP의 구성은 그림 1과 같이, 수요반응 자원들을 활용하여 피크부하에 대응함으로써 전력수요를 줄일 수 있다. 한편, 발전설비의 추가 설치 없이 기존 발전설비의 예비발전량과 DR 수용가 등의 유연자원을 활용할 수 있으며, 전력수요를 감소시켜 전력요금을 절감하고, 수요반응을 통하여

전력시장에 참여할 수 있다. 하지만, 수요형 VPP는 높은 투자비용과 개인 정보의 노출 등으로 인한 단점으로 인해 경제적인 타당성평가가 필요한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 수요형 VPP 중개사업자 측면에서 수요형 VPP 방식의 도입에 대한 타당성을 평가하기 위한 경제성평가 모델링을 제시한다.

[표 1] 자원 구성에 따른 VPP 구성

	공급형	수요형	융합형
특징	다중 DER을 이용한 중개거래 시장 참여	DR을 활용해 피크부하 대응	전력 수요/공급으로 양방향성 운영가능
장점	DER 계통연계 용이 단순한 제어 운영구조	전력요금 저감효과 수요반응 자원시장 참여	전력 안정화에 기여 계통연계 용이
단점	전력안정화 기여 無	높은 투자비용	높은 투자비용
구성			



[그림 1] 수요형 VPP의 구성

### 3. DR 수용가를 고려한 수요형 VPP의 경제성평가 모델링

#### 3.1 비용요소 모델링

수요형 VPP의 경제성평가를 위한 비용요소는 센서 설치비와 클라우드 플랫폼 비로 구성된 설치비용과 운용비용, 통신 비용 등으로 구분할 수 있다.

##### 3.1.1 설치비용

설치비용은 센서 설치비와 클라우드 플랫폼 설치비로 구분할 수 있다. 여기서, 센서 설치비는 식 (1)과 같이 수용가 부하용량에 센서 설치 단가 및 일정 비율을 고려하여 산정하고, VPP 클라우드 플랫폼 설치비는 식 (2)와 같이 수용가 부하용량에 클라우드 플랫폼 설치단가 및 일정 비율을 곱하여 산정한다.

$$C_{sensor} = Q_{load} \times UC_{sensor} \times r_{sensor} \quad (1)$$

$$C_{plat} = Q_{load} \times UC_{plat} \times r_{plat} \quad (2)$$

여기서,  $C_{sensor}$  : 센서 설치비[won],  $Q_{load}$  : 수용가 부하용량 [kW],  $UC_{sensor}$  : 센서 설치 단가[won/kW],  $r_{sensor}$  : 센서 설치 비율[%],  $C_{plat}$  : VPP 클라우드 플랫폼 설치비[won],  $UC_{plat}$  : 클라우드 플랫폼 설치단가[won/kW],  $r_{plat}$  : 클라우드 플랫폼 설치 비율[%]

##### 3.1.2 운용비용

운용비용은 식 (3)과 같이, VPP 클라우드 플랫폼 비용의 일정 비율과 물가상승률을 적용한다.

$$C_{oper} = C_{plat} \times r_{oper} \times r_{inf} \quad (3)$$

여기서,  $C_{oper}$  : 운용비용 [won],  $C_{plat}$  : VPP 클라우드 플랫폼 비용 [won],  $r_{oper}$  : 운용비용 산정비율[%],  $r_{inf}$  : 물가상승률 [%]

##### 3.1.3 통신비용

통신비용은 식 (4)와 같이, VPP 클라우드 플랫폼 비용에 일정 비율과 물가상승률을 적용하여 산정한다.

$$C_{comm} = C_{plat} \times r_{comm} \times r_{inf} \quad (4)$$

여기서,  $C_{comm}$  : 통신비용 [won],  $r_{comm}$  : 통신비용 산정 비율[%]

#### 3.2 편익요소 모델링

VPP의 경제성평가를 위한 편익요소는 VPP 중개수수료와 DR 참여요금으로 구성된다.

##### 3.2.1 VPP 중개수수료

VPP 중개수수료는 식 (5)와 같이, DR 참여용량과 SMP 그리고 중개수수료 비율을 고려하여 산정한다.

$$B_{VPP} = C_{DR} \times SMP \times r_{VPP} \quad (5)$$

여기서,  $B_{VPP}$  : VPP 중개수수료 [won],  $C_{DR}$  : DR 참여용량 [kWh],  $SMP$  :전력량 요금[won/kWh],  $r_{VPP}$  : VPP 중개수수료 비율[%]

##### 3.2.2 DR 참여에 따른 수익

수요자원 거래 시장의 참여수익은 식 (6)과 같이, 고정기본정산금, 의무 감축실적금, 차등기본정산금, 자발적 실적금으

로 구성된다. 여기서, 고정기본정산금은 식 (7)과 같이, 의무 감축용량과 연간 기본정산금 단가를 곱하여 산정하며, 의무 감축실적금은 식 (8)과 같이, 연간 기본정산금 단가와 감축시간에 SMP를 곱하여 산정한다. 또한, 차등기본 정산금은 식 (9)와 같이, 의무 감축용량과 연간 기본정산금 단가와 곱하여 산정하며, 자발적 실적금은 식 (10)과 같이, 낙찰용량, 낙찰시간과 SMP를 곱하여 편익을 산정한다[3].

$$B_{DR} = B_{fix} + B_{ob} + B_{diff} + B_{vol} \quad (6)$$

$$B_{fix} = Q_{red} + P_{ann} \quad (7)$$

$$B_{ob} = Q_{red} \times t_{red} \times SMP \quad (8)$$

$$B_{diff} = Q_{red} \times P_{ann} \quad (9)$$

$$B_{vol} = Q_{bid} \times t_{bid} \times SMP \quad (10)$$

여기서,  $B_{DR}$ : DR 참여에 따른 수익[won],  $B_{fix}$ : 고정기본 정산금[won],  $B_{ob}$ : 의무 감축실적금[won],  $B_{diff}$ : 차등기본 정산금[won],  $B_{vol}$ : 자발적 실적금[won],  $Q_{red}$ : 의무 감축용량 [kW],  $P_{ann}$ : 연간 기본정산금 단가[won/kWh],  $t_{red}$ : 감축시간,  $Q_{bid}$ : 낙찰용량[kW],  $t_{bid}$ : 낙찰시간[hour]

### 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 비용 및 편익요소를 식 (11)과 같이, 미래의 가치에 할인율을 적용한 현재가치 환산법을 이용하여 비용 및 편익요소를 동일한 시점의 가치로 산정하여 경제성을 평가한다.

$$PW = \sum_{t=1}^n \frac{CF}{(1+r)^t} \quad (11)$$

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

## 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

### 4.1 시뮬레이션 조건

DR 수용가를 고려한 수요형 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. 또한, VPP에 참여하는 DR 수용가의 용량은 2[MW]로 상정하며, VPP의 설치 비용, 운용 비용, 통신 비용은 각각 수용가 부하의 15[%], 클라우드 플랫폼 설치비의 15[%], 클라우드 플랫폼 비용의 2.5[%]로 고려한다. 또한, 수요형 VPP의 중개사업자의 중개수수료는 25%, 30%, 35%를 고려하여 ROI를 분석한다. 한편, DR 참여요금을 산정하기 위한 파라미터는 표 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 의무 감축용량은 VPP에 참여하는 수용가 용량의 20[%]인 400[kW]로 상정하고, 연 감축시간은 40시간, 의무 감축 시간은 2시간으로 고려하여 산정한다.

[표 2] 경제성평가 시뮬레이션 조건

항 목		내 역
경제성평가 기간		20
할인율(%)		5.5
물가상승률(%)		3
DR 수용가 용량(MW)		2
비용 요소	투자비용(%)	수용가 부하의 15[%]
	운용비용(%)	클라우드 플랫폼 설치비의 15[%]
	통신비용(%)	클라우드 플랫폼 비용의 2.5[%]
편익 요소	중개수수료(%)	25%, 30%, 35%

[표 3] DR 참여수익 파라미터

항 목	내 역
의무 감축용량(kW)	400
고정 기본정산금(원/kW)	27,000
연감축시간(hour)	40
SMP(원/kWh)	248
연간차등정산금단가(원/kW)	18,860
의무 감축시간(hour)	2

4.2 DR 수용가를 고려한 수요형 VPP의 경제성평가  
 상에서 제시한 VPP의 경제성평가 조건을 바탕으로 중개수수료에 따른 수요형 VPP의 경제성평가를 수행한 결과를 나타내면 그림 2와 같다. 여기서, 그림 4의 (a)와 (b), (c)는 각각 중개수수료를 25%, 30%, 35%를 적용한 경우의 ROI를 나타낸다. 먼저, 그림 2(a)와 같이 중개수수료 25%를 적용한 경우, ROI는 13년으로 나타나는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 2

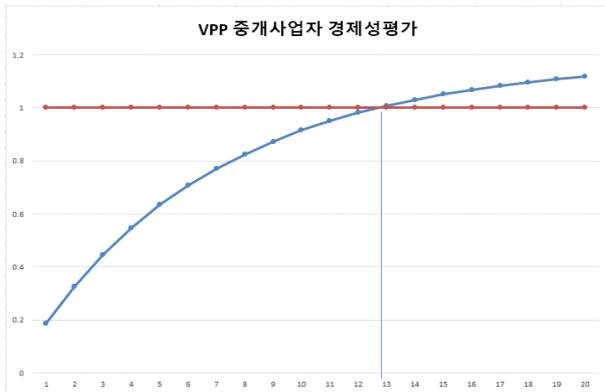
의 (b)와 같이, 30%의 중개수수료를 적용하는 경우, ROI는 10년으로 나타나는 것을 알 수 있다. 한편, 그림 2(c)와 같이, 중개수수료 35%를 적용한 경우, VPP 중개사업자의 ROI는 8년으로 산정되어 투자비용을 회수할 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 중개사업자 측면에서 수요형 VPP 경제성평가를 수행한 결과, 경제성을 확보하기 위해서는 35% 이상의 중개수수료를 적용해야 함을 알 수 있다. 또한, DR 수용가를 고려한 수요형 VPP에 대하여, VPP 중개사업자가 경제성을 확보하기 어려우므로, 제도적인 개선이 필요함을 알 수 있다.

## 5. 결 론

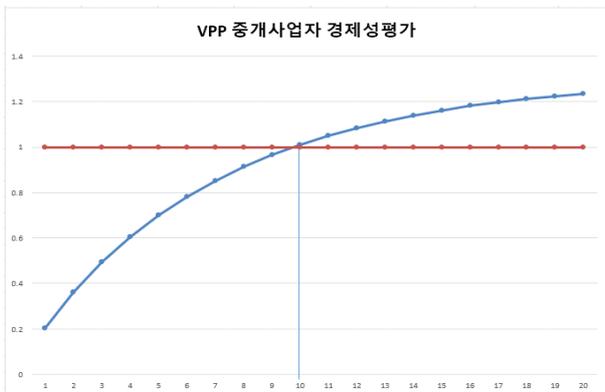
본 논문에서는 수요형 VPP의 운용특성을 제시하고, 중개사업자 측면에서 수요형 VPP 방식의 도입에 대한 타당성을 평가하기 위한 경제성평가 모델링을 수행한다. 이 모델링은 편익요소와 비용요소로 구성되며, 편익요소는 VPP 중개수수료와 DR 참여에 따른 수익을 고려한다. 또한, 비용요소는 센서 설치비와 클라우드 플랫폼 비를 고려한 설치비용과 운용비용, 통신비용 등으로 구성된다. 상기에서 제시한 수요형 VPP의 경제성평가 모델링을 바탕으로 타당성을 평가한 결과, 수요형 VPP는 경제성을 확보하기 어려우므로, 제도적인 개선이 필요함을 알 수 있다.

### 참고문헌

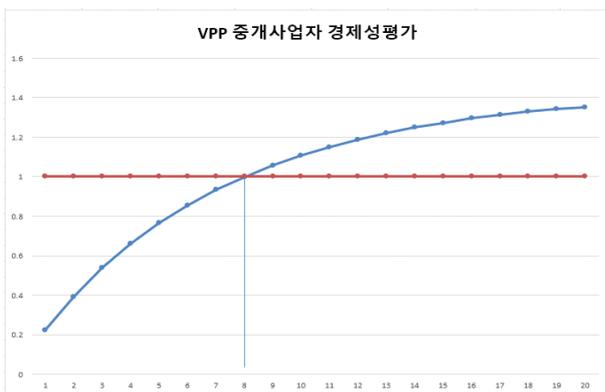
- [1] 최성문, 김지명, 김윤호, 유현상, 유경상, 노대석, “신재생 에너지 출력 제한 개선을 위한 VPL의 최적 용량 산정 방안에 관한 연구”, 산학기술학회논문지, 제 24권 제11호, pp. 441-451, 11월, 2023년  
DOI : <https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.11.441>
- [2] 이중선, 남양현, 윤승진, 김찬수, 유경상, 김대진, 김병기, “융합형 가상발전소 기술개발을 위한 계통모델 및 운영 특성에 관한 연구”, 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회, pp.366-367, 10월, 2023년
- [3] 원중홍, 유현상, 최성문, 김지명, 노대석, “DR과 피크저감을 고려한 ESS의 운용 알고리즘에 관한 연구”, 산학기술학회 논문지, pp. 116-124, 제24권, 제8호, 8월, 2023년  
DOI : <https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.8.116>



(a) 중개수수료 25% 적용



(b) 중개수수료 30% 적용



(c) 중개수수료 35% 적용

[그림 2] 중개 수수료에 따른 수요형 VPP의 ROI 특성