

전력 거래방식을 고려한 에너지 프로슈머의 운용전략 및 경제성평가 모델링

김경화*, 한병길*, 황승욱**, 최익준*, 노대석*

*한국기술교육대학교 전기공학과

e-mail:kyunghwa316@koreatech.ac.kr

A Modeling of Operation Strategy and Economical Evaluation of Energy Prosumer Considering Power Transaction Methods

Kyung-Hwa Kim*, Byeong-Gill Han*, Seung-Wook Hwang**, Ik-Joon Choi* and Dae-Seok Rho*

*Korea University of Technology and Education

**Korea Testing and Research Institute

요약

최근, 정부가 신재생에너지 확대 정책 및 2030 에너지신산업 확산 전략을 수립함에 따라 에너지 프로슈머의 중요성이 증가하고 있다. 에너지 프로슈머의 전력 거래방식은 상계거래와 중계거래, 이웃 간 거래방식으로 분류할 수 있다. 여기서, 상계거래방식은 프로슈머가 계통으로부터 수전한 전력량에서 발전한 전력량을 차감하는 방식이고, 중계거래방식은 프로슈머가 생산한 전력량을 중개사업자를 통해 판매하는 방식이며, 이웃 간 거래방식은 프로슈머가 생산한 전력을 전기요금 부담이 큰 이웃에게 판매하는 방식이다. 하지만, REC(renewable energy certificates)요금의 하락과 태양광전원 연계용 ESS의 REC 가중치의 축소 등으로 에너지 프로슈머의 경제성을 확보하기 어려운 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 태양광전원과 ESS를 운용하는 에너지 프로슈머의 경제성을 향상시키기 위한 운용전략을 제시하고, 이를 바탕으로 거래방식을 고려한 경제성평가 모델링을 제안한다. 이 모델링과 운용전략을 바탕으로 현재가치 환산법과 원금 균등 상환방식을 이용하여 에너지 프로슈머의 경제성을 평가한 결과, 이웃 간 거래방식이 가장 경제적인 방식이며, 태양광전원의 용량이 증가할수록 편익이 증대됨을 알 수 있다.

1. 서론

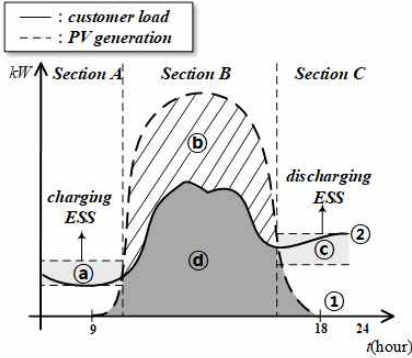
최근, 정부가 신재생에너지 확대 정책 및 2030 에너지신산업 확산 전략을 수립함에 따라 에너지 프로슈머의 중요성이 증가하고 있다. 에너지 프로슈머의 전력 거래방식은 상계거래와 중계거래, 이웃 간 거래방식으로 분류할 수 있다. 여기서, 상계거래방식은 프로슈머가 계통으로부터 수전한 전력량에서 발전한 전력량을 차감하는 방식이고, 중계거래방식은 프로슈머가 생산한 전력량을 중개사업자를 통해 판매하는 방식이며, 이웃 간 거래방식은 프로슈머가 생산한 전력을 전기요금 부담이 큰 이웃에게 판매하는 방식이다. 하지만, REC(renewable energy certificates)요금의 하락과 태양광전원 연계용 ESS의 REC 가중치의 축소 등으로 에너지 프로슈머의 경제성을 확보하기 어려운 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 태양광전원과 ESS를 운용하는 에너지 프로슈머의 경제성을 향상시키기 위한 운용전략을 제시하고, 이를 바탕으로 거래방식을 고려한 경제성평가 모델링을 제안한다. 이 모델링과 운용전략을 바탕으로 현재가치 환산법과 원금 균등 상환방식을 이용하여 에너지 프로슈머의 경제성을 평가한 결

과, 이웃 간 거래방식이 가장 경제적인 방식이며, 태양광전원의 용량이 증가할수록 편익이 증대됨을 알 수 있다.

2. 에너지 프로슈머의 운용전략

태양광전원과 ESS를 운용하는 에너지 프로슈머의 경제성을 확보하기 위해, 본 논문에서는 그림 1과 같이 에너지 프로슈머의 운용전략을 제시한다. 여기서, 그림 1의 ①번 그래프는 에너지 프로슈머의 태양광전원의 일일 발전량을 나타낸 것이고, ②번 그래프는 일부하 곡선을 나타낸 것이다. 또한, Fig. 2의 section A는 오프피크 시간대로 ESS를 충전하는 구간을 나타내며, section B는 태양광전원의 시간대별 발전량이 부하 용량을 초과하여 태양광전원에 의하여 자가 소비를 하고, 잉여 발전량은 전력거래에 참여하는 구간이고, section C는 section A에서 충전한 ESS를 이용하여 수용가의 피크를 저감하는 방식으로 운용하는 구간이다. 한편, Fig.2의 ㉔영역은 ESS의 충전량을 나타내며, ㉕영역은 전력거래에 참가하는 전력량을 나타내고, ㉖영역은 피크저감을 위한 ESS의 방전량을 나타내며, ㉗영역은 자가 소비하는 태양광전원의 발

전량을 나타낸다. 상기와 같이, 프로슈머의 운용전략으로 1순위로 태양광전원의 발전량을 이용하여 전력거래에 참가하고, 2순위로 ESS의 충·방전에 의하여 수용가의 피크를 저감시켜 최대한의 경제성을 확보하도록 한다.



[그림 1] 에너지 프로슈머의 운용전략

3. 전력 거래방식을 고려한 에너지 프로슈머의 경제성평가 모델링

3.1 현재가치 환산법

경제성평가를 위한 비용과 편익의 요소는 미래에 발생하는 가치로서, 현재의 가치로 환산하여 평가해야 한다. 따라서, 본 논문에서는 식 (1)과 같이, 미래의 가치에 대하여 할인율을 적용한 현재가치 환산법(present worth method)을 이용하여 비용과 편익요소를 산정한다.

$$C_{pw} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{flow}(i)}{(1+d)^i} \quad (1)$$

여기서, C_{pw} : 현재가치로 환산된 금액(원), $C_{flow}(i)$: i 년도의 현금흐름(원), d : 할인율(%), i : 경제성평가 대상 년도, n : 연 단위 기간(15년)

3.2 비용요소 모델링

(1) 건설비용

건설비용은 태양광전원과 ESS를 설치하는데 소요되는 총 비용을 말하며, 식 (2)와 같이 건설단가(원/kW)와 신재생에너지 용량(kW)을 곱하여 산정한다.

$$C_{con} = C_{PV} \cdot Q_{PV} + C_{ESS} \cdot Q_{ESS} \quad (2)$$

여기서, C_{con} : 건설비용(원), C_{PV} : 태양광전원의 건설단가(원/kW), Q_{PV} : 태양광전원의 용량(kW), C_{ESS} : ESS의 건설단가

(원/kWh), Q_{ESS} : ESS의 용량(kWh)

(2) 운용비용

운용비용은 태양광전원, ESS와 BSMD를 운용할 때 발생하는 비용으로서, 식 (3)과 같이 초기 건설비용에 일정 비율을 곱하여 산정한다.

$$C_{oper} = \sum_{i=1}^n C_{con}(i) \cdot R_{oper} \quad (3)$$

여기서, C_{oper} : 총 운용비용(원), R_{oper} : 적용률(%), n : 경제성평가년도

3.3 편익요소 모델링

편익요소는 태양광전원 발전량을 자가 소비하여 전기요금을 감소시키는 편익과 자가 소비 후 잉여 발전량을 바탕으로 전력거래에 참여하여 발생하는 편익, ESS의 충·방전에 의한 피크저감 편익으로 구성된다. 먼저, 태양광전원 발전량을 자가 소비하여 전기요금을 감소시키는 편익은 식 (4)와 같이 자가 소비하는 태양광전원의 발전량에 전력량 요금을 곱하여 산정한다.

$$B_{elec} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P_{PV,consum}(i,j) \cdot C_{elec}(i,j)) \quad (4)$$

여기서, B_{elec} : 전기요금 감소에 의한 편익(원), $P_{PV,consum}(i,j)$: 월평균 자가 소비하는 태양광전원 발전량(kWh), $C_{elec}(i,j)$: 전력량 요금(원/kWh), j : 경제성평가 대상 개월, m : 월 단위 기간(12개월)

또한, 자가 소비 후 태양광전원의 잉여 발전량을 바탕으로 전력거래에 참여하여 발생하는 편익은 시간대별 발전량에서 시간대별 부하량을 차감하여 산정하며 거래방식에 따라 다르게 나타낼 수 있다. 먼저, 상계거래방식의 편익은 전력량요금과 동일한 가격으로 태양광전원의 잉여 발전량을 판매하여 발생하는 것으로, 식 (5)과 같이 자가 소비 후 발생하는 잉여 발전량에 전력량요금을 곱하여 산정한다.

$$B_{off} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P_{PV,surplus}(i,j) \cdot C_{elec}(i,j)) \quad (5)$$

여기서, B_{off} : 상계거래방식에 의한 편익(원), $P_{PV,surplus}(i,j)$: 월평균 태양광전원 잉여 발전량(kWh), $C_{elec}(i,j)$: 전력량 요금(원/kWh)

한편, 중개거래방식의 편익은 태양광전원의 잉여발전량에 대해 전력량 요금과 REC 요금으로 구성되며, 식 (6)과 같이 REC 요금에 태양광전원의 가중치를 곱한 값과 계통 한계 가격을 합하여 태양광전원의 잉여 발전량을 곱하여 산정한다.

$$B_{br} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ER_{REC}(i,j) \cdot WF + ER_{SMP}(i,j) \cdot P_{PV,surplus}(i,j)) \quad (6)$$

여기서, B_{br} : 중개거래방식에 의한 편익(원), $ER_{REC}(i,j)$: REC 단가(원/kW), WF : 태양광전원의 REC 가중치, $ER_{SMP}(i,j)$: 계통 한계 가격(원/kWh)

또한, 이웃 간 거래방식의 편익은 주변 수용가에 잉여 발전량을 판매하여 얻는 것으로, 식 (7)과 같이 태양광전원의 잉여 발전량에 대해 일정한 단가를 곱하여 구한다.

$$B_{P2P} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ER_{P2P} \cdot P_{PV,surplus}(i,j)) \quad (7)$$

여기서, B_{P2P} : 이웃 간 거래방식에 의한 편익(원), ER_{P2P} : 이웃 간 거래 시 단가(원/kWh)

한편, ESS의 충·방전에 의한 피크저감 편익은 피크전력의 감소에 따라 계약 전력요금의 하락으로 인하여 발생하는 것으로, 식 (8)와 같이 계약 전력요금에 ESS에 의해 감소하는 피크전력을 곱하여 산정한다.

$$B_{peak} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{base}(i,j) \cdot P_{ESS,peak} \quad (8)$$

여기서, B_{peak} : 피크저감 편익(원), $C_{base}(i,j)$: 계약 전력요금(원/kW), $P_{ESS,peak}$: ESS에 의해 감소하는 피크전력(kW)

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 조건

제안한 운용전략 및 모델링을 바탕으로 에너지 프로슈머의 경제성을 평가하기 위한 시뮬레이션 조건은 Table 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 태양광전원의 용량은 50kW와 100kW인 경우로 나누어 경제성평가를 수행하며, ESS 용량은 50kWh로 상정하고, 태양광전원 및 ESS에 대한 설치비용은 각각 1,300(천원/kW), 700(천원/kWh)을 적용한다. 여기서, 설치비용은 15년 동안 원금을 균등 상환하는 것으로 가정하며, 은행에서 차입하는 이자율은 3.46%, 연간 운영비는 초기

설치비의 2.13%, 할인율은 5.5%를 적용한다. 또한, SMP는 2020년도 평균 단가인 68.52(원/kWh), REC요금은 2020년도 평균가격인 42.27(원/kWh)을 적용하며, 이웃 간 거래방식의 거래단가는 300(원/kWh)로 상정한다.

[표 1] 경제성평가 조건

항 목	적용 지표
태양광 전원 용량[kW]	50 100
ESS 용량[kW]/[kWh]	20/50
태양광 전원 설치 비용[천원/kW]	1,300
ESS 설치 비용[천원/kWh]	700
초기 투자비용 상환 기간[년]	15
운용비[%]	2.319
할인율[%]	5.5
이자율[%]	4.29
SMP(2020년 연평균)[원/kWh]	68.52
REC(2020년 연평균)[원/kWh]	42.27
태양광전원 공급인증서 가중치	1.2

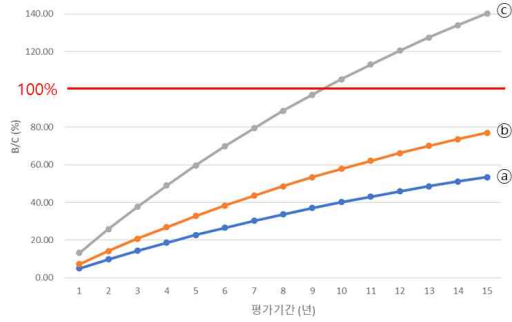
4.2 운용전략을 고려한 에너지 프로슈머의 경제성평가

표 2는 50kW의 태양광전원과 50kWh의 ESS를 운용하는 에너지 프로슈머의 편익과 비용에 대한 B/C ratio(benefit-cost ratio)를 나타낸 것이다. 여기서, 상계거래방식으로 전력거래에 참여하는 경우와 중개거래방식으로 전력거래에 참여하는 경우의 B/C ratio는 최종년도를 기준으로 각각 53.5%, 77.06%로 산정되어, 편익이 설치비용보다 작아서 경제성이 없지만, 이웃 간 거래방식의 B/C ratio는 140.36%로 산정되어, 경제성이 있음을 알 수 있고, B/C ratio가 10년째부터 100%를 초과하여 순이익이 발생하는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 2는 표 2의 B/C ratio의 특성을 그래프로 나타낸 것으로, 그림 2의 곡선 ①, ②, ③은 각각 상계거래방식, 중개거래방식, 이웃 간 거래방식의 B/C ratio를 나타낸다.

[표 2] 태양광전원이 50kW인 경우의 편익비용 특성

year	B/C ratio [%]		
	상계거래방식	중개거래방식	이웃 간 거래방식
1	5.05	7.28	13.25
2	9.84	14.17	25.82
3	14.38	20.71	37.73
4	18.68	26.91	49.02
5	22.76	32.78	59.72
6	26.62	38.35	69.86
7	30.29	43.63	79.47
8	33.76	48.63	88.58
9	37.05	53.37	97.22
10	40.17	57.87	105.41
11	43.13	62.13	113.17
12	45.93	66.17	120.52
13	48.59	70.00	127.49
14	51.11	73.62	134.10

15	53.50	77.06	140.36
----	-------	-------	--------

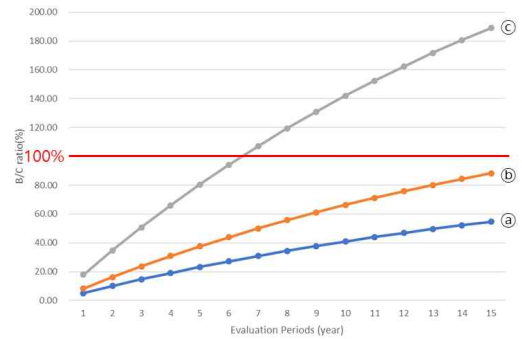


[그림 2] 태양광전원이 50kW인 경우의 편익비율 특성

한편, 표 3은 100kW의 태양광전원과 50kWh의 ESS를 운영하는 에너지 프로슈머의 편익과 비용에 대한 B/C ratio(benefit-cost ratio)를 나타낸 것이다. 여기서, 상계거래방식으로 전력거래에 참여하는 경우와 중개거래방식으로 전력거래에 참여하는 경우의 B/C ratio는 최종년도를 기준으로 각각 54.6%, 88.24%로 산정되어, 편익이 설치비용보다 작아서 경제성이 없지만, 이웃 간 거래방식의 B/C ratio는 189.12%로 산정되어, 경제성이 있음을 알 수 있고, B/C ratio가 10년째부터 100%를 초과하여 순이익이 발생하는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 3은 표 3의 B/C ratio의 특성을 그래프로 나타낸 것으로, 그림 3의 곡선 (a), (b), (c)는 각각 상계거래방식, 중개거래방식, 이웃 간 거래방식의 B/C ratio를 나타낸다. 또한, 50kW의 태양광전원을 설치하는 경우보다 100kW의 태양광전원을 설치하는 경우, 상계거래방식의 B/C ratio는 1.1%, 중개거래방식은 11.18%, 이웃 간 거래방식은 48.76% 증가하여, 본 논문에서 제안한 운용전략이 효과적임을 알 수 있으며, 이웃 간 거래방식이 태양광전원 용량의 증가에 따라 가장 많은 편익을 확보할 수 있음을 알 수 있다.

[표 3] 태양광전원이 100kW인 경우의 편익비율 특성

year	B/C ratio [%]		
	상계거래방식	중개거래방식	이웃 간 거래방식
1	5.16	8.33	17.86
2	10.04	16.23	34.79
3	14.68	23.72	50.83
4	19.07	30.81	66.04
5	23.23	37.54	80.46
6	27.18	43.92	94.12
7	30.91	49.96	107.07
8	34.46	55.69	119.35
9	37.82	61.12	130.99
10	41.00	66.26	142.02
11	44.02	71.14	152.47
12	46.88	75.77	162.38
13	49.60	80.15	171.77
14	52.17	84.30	180.68
15	54.60	88.24	189.12



[그림 3] 태양광전원이 100kW인 경우의 편익비율 특성

5. 결 론

본 논문에서는 50kW의 태양광전원과 50kWh의 ESS를 운영하는 에너지 프로슈머에 대하여, 상계거래방식으로 전력거래에 참여하는 경우와 중개거래방식으로 전력거래에 참여하는 경우의 B/C ratio는 최종년도를 기준으로 각각 53.5%, 77.06%로 산정되어, 편익이 설치비용보다 작아서 경제성이 없지만, 이웃 간 거래방식의 B/C ratio는 140.36%로 산정되어, 경제성이 있음을 알 수 있고, B/C ratio가 10년째부터 100%를 초과하여 순이익이 발생함을 알 수 있다. 100kW의 태양광전원과 50kWh의 ESS를 운영하는 에너지 프로슈머에 대하여, 상계거래방식으로 전력거래에 참여하는 경우와 중개거래방식으로 전력거래에 참여하는 경우의 B/C ratio는 최종년도를 기준으로 각각 54.6%, 88.24%로 산정되어, 편익이 설치비용보다 작아서 경제성이 없지만, 이웃 간 거래방식의 B/C ratio는 189.12%로 산정되어, 경제성이 있음을 알 수 있고, B/C ratio가 7년째부터 100%를 초과하여 순이익이 발생함을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.20191210301940)와 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(P0008458, 2021년 산업혁신인재성장 지원사업)로서, 관계 부처에게 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 이효석, “에너지 프로슈머 제도를 고려한 태양광 주택의 전력거래 유형별 수익성 비교에 관한 연구”, 상명대학교 대학원, pp 11-18, 2020. 2