

거래방식을 고려한 가정용 에너지 프로슈머의 경제성평가에 관한 연구

김경화*, 이후동*, 최성문*, 원중흥*, 노대석*

*한국기술교육대학교 전기공학과

e-mail:kyunghwa316@koreatech.ac.kr

A Study on Economic Evaluation of Small Scale Energy Prosumer Based on Transaction Methods

Kyung-Hwa Kim*, Hu-Dong Lee*, Sung-Moon Choi*, Jong-Heung Won* and Dae-Seok Rho*

*Korea University of Technology and Education

요 약

최근, 정부에서는 신재생에너지 확대 정책 및 2030 에너지신산업 확산 전략을 수립하여 에너지 프로슈머의 도입을 확대하고 있다. 여기서, 에너지 프로슈머(prosumer)는 에너지를 직접 생산하면서 소비하여 생산한 전력을 자체 소비 및 잉여전력을 판매하는 주체로 정의할 수 있으며, 이러한 에너지 프로슈머의 전력거래 방식은 상계거래 방식, 중개거래 방식, 이웃 간 거래 방식, 등으로 분류할 수 있다. 하지만, 이러한 거래방식에 의한 제도 및 인센티브가 아직 명확하게 규정되지 않아, 에너지 프로슈머의 경제성을 확보하기 어려운 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 소규모 태양광전원 및 ESS의 설치가 설치된 가정용 에너지 프로슈머에 대하여 거래방식을 고려한 경제성평가 모델링을 제시한다. 이 모델링을 바탕으로 원금 균등상환 방식과 현재가치 환산법을 이용하여 경제성평가를 수행한 결과, 이웃 간 거래방식이 가장 경제적인 거래방식이며, 에너지 프로슈머가 경제성을 확보하기 위해서는 제도 및 인센티브의 개선이 필요함을 알 수 있었다.

1. 서 론

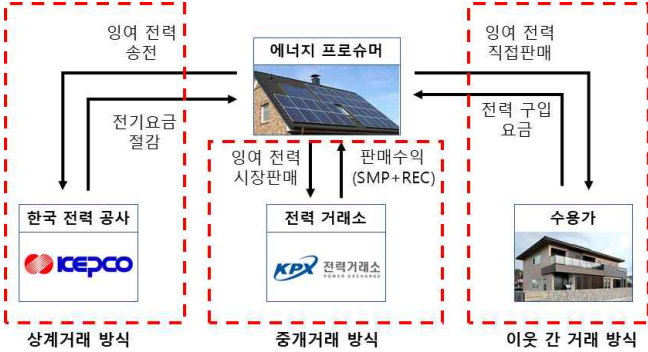
최근, 국내에서는 미세먼지와 같은 기후변화 문제로 인하여, 안전하고 친환경적인 에너지에 대한 관심이 높아짐에 따라, 신재생에너지 전원에 대한 사회적 요구가 지속적으로 증가되고 있다. 이에 따라, 정부에서는 신재생에너지 확대 정책 및 2030 에너지신산업 확산 전략을 수립하여 에너지 프로슈머의 도입을 확대하고 있다[1]. 여기서, 에너지 프로슈머(prosumer)는 생산자(producer)와 소비자(consumer)의 합성어로, 에너지를 직접 생산하면서 소비하여 생산한 전력을 자체 소비 및 잉여전력을 판매하는 주체 또는 전력시장을 통해 판매하는 주체로 정의할 수 있다. 이러한 에너지 프로슈머의 전력 거래방식은 상계거래, 중개거래, 이웃 간 거래방식으로 분류할 수 있다.하지만, 이러한 거래방식에 의한 제도 및 인센티브가 아직 명확하게 규정되지 않아, 에너지 프로슈머의 경제성을 확보하기 어려운 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 소규모 태양광전원 및 ESS의 설치가 설치된 가정용 에너지 프로슈머에 대하여 거래방식을 고려한 경제성평가 모델링을 제시한다. 이 모델링을 바탕으로 원금 균등상환 방식과 현재가치 환산법을 이용하여 경제성평가를 수행한 결과, 이웃 간 거래방식이 가장 경제적인 거래방식이며, 에너지 프로슈머가

경제성을 확보하기 위해서는 제도의 개선이 필요함을 알 수 있었다.

2. 에너지 프로슈머의 거래방식

에너지 프로슈머가 생산한 전력을 바탕으로 거래하는 방식은 상계거래, 중개거래, 이웃 간 거래방식으로 분류할 수 있으며, 이를 그림으로 나타내면 그림 1과 같다. 여기서, 상계거래 방식은 에너지 프로슈머가 태양광 등의 발전설비를 통해 생산한 전력량만큼을 수전받은 용량에서 상계처리하는 방식이다. 한편, 중개거래 방식은 프로슈머가 생산한 전력량을 직접 또는 중개거래 사업자를 통해 전력시장에 참가하여 판매하는 방식이다. 또한, 이웃 간 거래방식은 프로슈머가 생산한 전력을 중개거래 사업자, 전력거래소, 등을 통하지 않고 전기요금 부담이 큰 이웃에게 판매하는 방식이다. 하지만, 상계거래 방식의 경우는 상계처리하지 못한 전력이 지속적으로 발생하고 있으며, 중개거래 방식의 경우는 REC(renewable energy certificate) 단가의 하락, 태양광연계형 ESS에 부여하던 REC가중치의 일몰, 등으로 인해 경제성을 확보하기 어려운 실정이다. 한편, 이웃 간 거래방식의 경우는 누진제가 3단계로 축

소되고, 재생에너지 발전단가가 전력요금보다 비싼 상황 등으로 인해 실질적으로 활성화되지 못하는 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 거래방식에 따른 경제성평가 모델링을 제시하고, 이를 바탕으로 경제성평가를 수행한다.



[그림 1] 에너지 프로슈머의 거래방식

3. 가정용 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

3.2 비용요소 모델링

비용요소는 태양광전원 및 ESS의 건설비용과 운용비용으로 구성되며, 건설비용과 운용비용은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

(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 태양광전원과 ESS를 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 : 경제성 평가년도

3.3 편익요소 모델링

편익요소는 ESS로 인한 편익과 자가소비 후 남은 태양광전원 발전용량을 자가소비하여 발생하는 전기요금의 감소분으로 인한 편익, 자가소비 후 잉여 발전량을 거래하여 발생하는 편익으로 구성된다. 여기서, ESS로 인한 편익은 식 (4)와 같이, 충전시간과 방전시간의 전력량 요금 차이에 ESS의 용량을 곱하여 산정한다.

$$B_{ESS} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (C_{dis}(i,j) - C_{char}(i,j)) \cdot Q_{ESS} \quad (4)$$

여기서, B_{ESS} : ESS에 의한 편익(원), $C_{dis}(i,j)$: ESS 방전 시의 전력량 요금(원/kWh), $C_{char}(i,j)$: ESS 충전 시의 전력량 요금(원/kWh), j : 개월, Q_{ESS} : ESS의 용량(kWh)

한편, 전기요금의 감소분으로 인한 편익은 태양광전원의 발전량을 자가 소비하여 발생하는 편익으로, 식 (5)와 같이 태양광전원이 없을 시의 전기요금과 태양광전원의 발전량을 자가소비한 후의 전기요금의 차이로 산정한다.

$$B_{cost} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (C_{no}(i,j) - C_{with}(i,j)) \quad (5)$$

여기서, B_{cost} : 전기요금 감소분으로 인한 편익(원), $C_{no}(i,j)$: 태양광전원이 없을 때의 전기요금(원), $C_{with}(i,j)$: 발전량을 자가소비한 후의 전기요금(원)

또한, 자가소비 후 태양광전원의 잉여 발전량을 거래하여 발생하는 편익은 발전용량에서 부하용량을 제외한 용량으로

산정하며 거래방식에 따라 다르게 나타낸다. 각 거래방식에 따른 전력거래에 의한 편익은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

(1) 상계거래 방식

상계거래 방식의 편익은 전력량요금과 동일한 가격으로 태양광전원의 잉여 발전량을 판매하는 방식으로, 식 (6)과 같이 자가소비 후 발생하는 잉여 발전량에 전력량요금을 곱하여 산정한다.

$$B_{off} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P_{PV,m}(i,j) \cdot C_f(i,j)) \quad (6)$$

여기서, B_{off} : 상계거래 방식에 의한 편익, $P_{PV,m}(i,j)$: 월평균 태양광전원 잉여 발전량, $C_f(i,j)$: 전력량 요금(원/kWh)

(2) 중개거래 방식

중개거래 방식의 편익은 에너지 프로슈머가 태양광전원의 발전량에 대해 전기판매 사업자에게 받는 전력량 요금과 발전량에 비례하여 발전사업자가 받는 REC 요금으로 구성되며, 식 (7)과 같이 전력량요금과 REC 요금에 태양광전원의 가중치를 곱한 값을 합하여 태양광전원의 잉여 발전량을 곱하여 산정한다.

$$B_{br} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ER_{REC}(i,j) \cdot WF + ER_{SMP}(i,j)) \cdot P_{PV,m}(i,j) \quad (7)$$

여기서, B_{br} : 중개거래 방식에 의한 편익, $ER_{REC}(i,j)$: REC 단가(원/kWh), WF : 태양광전원의 REC 가중치, $ER_{SMP}(i,j)$: 전력량 요금(원/kWh)

(3) 이웃 간 거래방식

이웃 간 거래방식의 편익은 누진 단계로 부담이 심한 주변 수용가에 잉여 발전량을 판매하여 얻는 방식으로, 식 (8)과 같이 태양광전원의 잉여 발전량에 대해 일정한 단가를 곱하여 구한다.

$$B_{P2P} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ER_{P2P} \cdot P_{PV,m}(i,j)) \quad (8)$$

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

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 조건

가정용 에너지 프로슈머의 거래방식별 경제성평가를 위한 적용지표를 나타내면 표 1과 같다. 여기서, 태양광전원의 용량은 6kW, ESS용량은 10kWh/10kW로 상정하며, 경제성평가 수행 기간은 15년으로, 대출받은 원금을 15년간 매년 동일하게 지불하는 원금 균등 상환방식을 적용하고, 은행의 이자율과 미래의 가치에 대한 할인율은 각각 4.29%와 5.5%로 상정한다. 또한, 경제성평가는 거래방식별로 나누어 수행하며, 태양광전원의 발전량에서 부하를 제외한 잉여 발전량을 바탕으로 산정한다. 한편, 전기요금은 주택용 저압 요금제를 바탕으로 경제성평가를 수행한다.

[표 1] 경제성평가 조건

항 목	내 용
태양광 전원 용량	6 (kW)
ESS 용량	10(kWh)/10(kW)
태양광 전원 설치 비용	1,500 (천원/kWh)
ESS 설치 비용	650 (천원/kWh)
건설비용 상환 기간	15 (년)
운영비	2.5 (%)
할인율	5.5 (%)
이자율	4.29 (%)
비용 상환방식	원금 균등 상환
SMP(2020년 기준)	65.75 (원/kWh)
REC(2020년 기준)	47.4 (원/kWh)
태양광전원 공급인증서 가중치	1.2

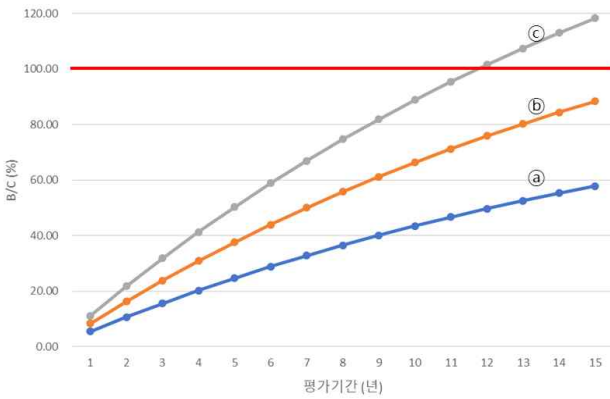
4.2 거래방식을 고려한 가정용 에너지 프로슈머의 경제성평가

4.1절의 경제성평가 조건을 바탕으로 가정용 에너지 프로슈머에 대하여 경제성평가를 수행한 결과를 거래방식별로 나타내면 다음과 같다.

(1) 상계거래 방식

그림 3은 태양광전원의 잉여 발전량을 이용하여 상계거래 방식을 바탕으로 경제성평가를 수행한 결과의 B/C ratio를 나타낸 것이며, 여기서, 상계거래 시의 거래단가는 각각 ㉠는 누진 1단계, ㉡는 누진 2단계, ㉢는 누진 3단계의 전력량요금을 기준으로 경제성평가를 수행한 결과이다. 이 그림에서와 같이, ㉠와 ㉡의 경우, 경제성평가 기간인 15년도에 B/C ratio가

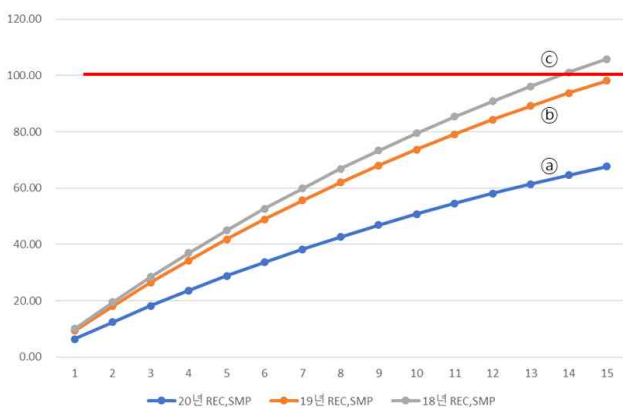
각각 57.86%, 88.42%로 투자 비용을 회수할 수 없으나, ㉔의 경우 12년도에 B/C ratio가 101.63%에 도달하고, 15년도에 118.36%까지 상승하여, 투자 비용을 회수할 수 있음을 알 수 있다.



[그림 2] 상계거래 방식의 거래단가별 B/C ratio

(2) 중개거래 방식

그림 3은 태양광전원의 잉여 발전량을 이용하여 중개거래 방식을 바탕으로 경제성평가를 수행한 결과의 B/C ratio를 나타낸 것이며, 여기서, 중개거래 시의 거래단가는 각각 ㉓는 2020년, ㉔는 2018년, ㉕는 2017년의 연평균 REC 및 SMP 단가를 기준으로 경제성평가를 수행한 결과이다. 이 그림에서와 같이, ㉓와 ㉔의 경우, 경제성평가 기간인 15년도에 B/C ratio가 각각 67.72%, 98.16%로 투자 비용을 회수할 수 없으나, ㉕의 경우 14년도에 B/C ratio가 101.12%에 도달하고, 15년도에 105.84%까지 상승하여, 투자 비용을 회수할 수 있음을 알 수 있다.

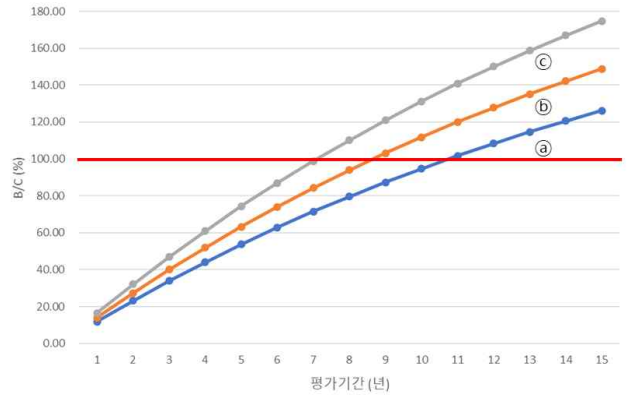


[그림 3] 중개거래 방식의 거래단가별 B/C ratio

(3) 이웃 간 거래방식

그림 4는 태양광전원의 잉여 발전량을 이용하여 이웃 간 거래방식을 바탕으로 경제성평가를 수행한 결과의 B/C ratio를 나타낸 것이며, 여기서, 이웃 간 거래 시의 거래단가는 각

각 ㉓는 300원, ㉔는 370원, ㉕는 450원을 기준으로 경제성평가를 수행한 결과이다. 이 그림에서와 같이, B/C ratio는 ㉓의 경우 10년에 101.78%, ㉔의 경우 9년에 103.1%, ㉕의 경우 8년에 110.25%에 도달하여 투자 비용을 회수할 수 있으며, 경제성평가 기간인 15년도에 B/C ratio가 각각 ㉓는 126.24%, ㉔는 148.85%, ㉕는 174.69%까지 상승함을 알 수 있다.



[그림 4] 이웃 간 거래방식의 거래단가별 B/C ratio

5. 결 론

본 논문에서는 가정용 에너지 프로슈머가 태양광전원의 발전량을 자가소비한 후, 잉여 발전량을 이용하여 전력거래에 참여하였을 때의 경제성을 평가하기 위하여, 거래방식에 따라 비용요소와 편익요소로 구성된 경제성평가 모델링을 제시하였다. 이 모델링을 바탕으로 원금 균등 상환방식과 현재가치 환산법을 이용하여 경제성평가를 수행한 결과, 중개거래 방식이 가장 경제성을 확보하기 어렵고, 이웃 간 거래방식이 가장 경제적임을 확인하였으며, 에너지 프로슈머가 경제성을 확보하기 위해서는 거래방식에 따른 제도의 개선이 필요함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.20191210301940)와 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(F0008458, 2021년 산업혁신인재성장지원사업)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.