

에너지 자립률을 고려한 마을형 마이크로그리드의 타당성 평가에 관한 연구

이나경*, 이에빈*, 김경화*, 최형석***, 노대석*
*한국기술교육대학교 전기공학과, ** (주)티팩토리
e-mail:naku9908@koreatech.ac.kr

Economic Evaluation Method of Community Micro-grid System Considering Self Energy Supply Rate

Na-Kyung Lee*, Ye-bin Lee*, Kyung-Hwa Kim*,
Hyoung-Seok Choi***, Dae-Seok Rho*

*Dept. of Electric Engineering, Korea University of Technology and Education

**TFactory Co.,Ltd,

요 약

최근, 지구규모적인 환경문제를 해결하기 위하여 신재생에너지 전원과 전기저장장치(energy storage system, ESS)의 도입뿐만 아니라, 마이크로그리드(micro-grid, MG)에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있는데, 전라남도에서는 지역 단위의 에너지 자립률 확보를 위한 마을형 MG의 실증 연구가 수행되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 MG 사업자 측면에서 에너지 자립률에 따라 신재생에너지 전원을 설치하여 마을형 MG를 운영하는 것에 대한 타당성을 평가하기 위하여, 비용과 편익요소로 구성된 경제성평가 모델링을 제시한다. 여기서, 비용요소는 신재생에너지 전원의 건설 및 운영비용으로 구성하고, 편익요소는 신재생에너지 발전량에 의하여 전기요금을 감축시키는 편익과 자가 소비 후 잉여 발전량을 바탕으로 전력거래 참여에 의하여 발생하는 편익, ESS의 충·방전에 의한 피크저감 편익으로 구성한다. 상기의 모델링을 바탕으로 마을형 MG의 경제성을 평가한 결과, 50%, 70%의 에너지 자립률을 갖는 마을형 MG의 B/C ratio가 13년, 17년째에 손익분기점을 넘어 순이익이 발생하지만, 100%의 마을형 MG의 B/C ratio는 경제성 평가기간(20년) 이내에 손익분기점이 발생하지 않아 신재생에너지 전원의 투자비에 의하여 경제성을 확보하기 어려움을 알 수 있다.

1. 서 론

최근, 지구규모적인 환경문제를 해결하기 위하여 신재생에너지 전원과 전기저장장치(energy storage system, ESS)의 도입뿐만 아니라, 마이크로그리드(micro-grid, MG)에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있는데, 전라남도에서는 지역 단위의 에너지 자립률 확보를 위한 마을형 MG의 실증 연구가 수행되고 있다[1]. 따라서, 본 논문에서는 MG 사업자 측면에서 에너지 자립률에 따라 신재생에너지 전원을 설치하여 마을형 MG를 운영하는 것에 대한 타당성을 평가하기 위하여, 비용과 편익요소로 구성된 경제성평가 모델링을 제시한다.

여기서, 비용요소는 신재생에너지 전원의 건설 및 운영비용으로 구성하고, 편익요소는 신재생에너지 발전량에 의하여 전기요금을 감축시키는 편익과 자가 소비 후 잉여 발전량을 바탕으로 전력거래 참여에 의하여 발생하는 편익, ESS의 충·방전에 의한 피크저감 편익으로 구성한다. 상기의 모델링을 바탕으로 마을형 MG의 경제성을 평가한 결과, 50%, 70%의

에너지 자립률을 갖는 마을형 MG의 B/C ratio가 13년, 17년째에 손익분기점을 넘어 순이익이 발생하지만, 100%의 마을형 MG의 B/C ratio는 경제성 평가기간(20년) 이내에 손익분기점이 발생하지 않아 신재생에너지 전원의 투자비에 의하여 경제성을 확보하기 어려움을 알 수 있다.

2. 마을형 마이크로그리드의 경제성 평가 모델링

2.1 비용요소 모델링

비용요소인 건설비와 운영비는 건설단가에 따라 결정되며, 기대수명이 서로 다른 설비에 대해서는 대상기간 동안의 교체와 기술진보에 따른 가격 하락을 고려한다[2].

2.1.1 건설비용

건설비용은 MG를 건설하는데 소요되는 총 비용을 말하며, 식 (1)과 같이 건설단가(원/kW)와 신재생에너지 용량(kW)을 곱하여 산정하며, 특히 ESS는 다른 신재생에너지 전원에 비하여 기대수명이 짧으므로, 교체에 대한 비용을 추가로 고려

한다.

$$C_{con} = \sum_{k=1}^m UC_{con,k} \cdot Q_k \quad (1)$$

여기서, C_{con} : 건설비용(원), k : 신재생에너지 전원의 종류, m : 신재생에너지 전원의 수, $UC_{con,k}$: k 전원의 건설단가(원/kW), Q_k : k 전원의 용량(kW)

2.1.2. 운영비용

일반적으로 발전소 운영비용은 연료비, 감가상각비, 지급수수료, 수선유지비, 기타비용 등으로 구성되며, 매년 소모되는 운영비는 식 (2)와 같이 초기 건설비용에 해당연도의 에너지원별 운영비의 평균값을 곱하여 산정한다.

$$C_{oper}(y) = C_{con} \cdot \left(\frac{\sum_{k=1}^m DG_{oper,k}(y)}{m} \right) \quad (2)$$

여기서, $C_{oper}(y)$: 해당연도의 운영비(원), $DG_{oper,k}(y)$: 해당연도의 k 전원의 운영비

2.2 편익요소 모델링

편익요소는 신재생에너지 발전량에 의하여 전기요금을 감축시키는 편익과 자가 소비 후 잉여 발전량을 바탕으로 전력거래 참여에 의하여 발생하는 편익, ESS의 충·방전에 의한 피크저감 편익으로 구성된다.

2.2.1. 신재생에너지 전원의 전기요금 감축 편익

신재생에너지 전원 발전량에 의해 전기요금을 감축시키는 편익은 식 (3)과 같이 자가 소비하는 신재생에너지 전원의 발전량에 전력량요금을 곱하여 산정한다.

$$B_{elec} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (P_k(i,j) \cdot C_{elec}(i,j)) \quad (3)$$

여기서, B_{elec} : 전기요금 감소에 의한 편익(원), $P_k(i,j)$: 월평균 자가 소비하는 k 전원 발전량(kWh), $C_{elec}(i,j)$: 전력량 요금(원/kWh), i : 경제성평가 대상 년도, j : 경제성평가 대상 개월, l : 월 단위 기간(12개월), n : 연 단위 기간

2.2.2. 신재생에너지 전원의 잉여 발전량 전력거래 편익
자가 소비 후 신재생에너지 전원의 잉여 발전량을 바탕으로 전력거래 참여에 의하여 발생하는 편익은 시간대별 발전량에서 시간대별 부하량을 차감하여 산정하며, 식 (4)와 같이 REC 요금에 태양광전원의 가중치를 곱한 값과 계통한계가격(system marginal price, SMP)을 합하여 태양광전원의 잉여 발전량을 곱하여 산정한다.

$$B_{br} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ER_{REC}(i,j) \cdot WF + ER_{SMP}(i,j)) \cdot P_{PV,surplus}(i,j) \quad (4)$$

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

2.2.3. ESS의 충·방전에 의한 피크저감 편익

ESS의 충·방전에 의한 피크저감 편익은 피크전력의 감소에 따라 계약 전력요금의 하락으로 인하여 발생하는 것으로, 식 (5)와 같이 계약 전력요금에 ESS에 의해 감소하는 피크전력을 곱하여 산정한다.

$$B_{peak} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{contract}(i,j) \cdot P_{ESS,peak} \quad (5)$$

여기서, B_{peak} : 피크저감으로 인한 편익(won), $C_{contract}(i,j)$: 계약 전력요금(won/kW), $P_{ESS,peak}$: ESS로 피크저감하는 전력(kW)

2.3 현재가치 환산법

경제성평가를 위한 비용과 편익의 요소는 미래에 발생하는 가치로서, 현재의 가치로 환산하여 평가해야 한다. 따라서, 본 논문에서는 식 (6)과 같이, 미래의 가치에 대하여 할인율을 적용한 현재가치 환산법(present worth method)을 이용하여 비용과 편익요소를 산정한다.

$$C_{pw} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{flow}(i)}{(1+d)^i} \quad (6)$$

여기서, C_{pw} : 현재가치로 환산된 금액(원), $C_{flow}(i)$: i 년도의 현금흐름(원), d : 할인율(%)

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

3.1 시뮬레이션 조건

3.1.1 경제성 평가 시뮬레이션 조건

상기에서 제시한 경제성 평가 모델링을 바탕으로, 에너지 자립률을 고려한 마을형 MG의 도입 타당성을 평가하기 위한 파라미터 조건을 나타내면 표 1과 같다. 여기서, 대출받은 원금은 20년 동안 매년 균등 상환하는 방식으로 가정하고, 은행의 이자율과 미래의 가치에 대한 할인율, 물가상승률은 각각 4.6[%], 5.5[%]와 3[%]로 상정하며, ESS의 배터리 내용 연수는 10년으로 상정한다.

[표 1] MG 경제성 평가 조건

항 목	내 역
경제성 평가기간[년]	20
이자율[%]	4.6
할인율[%]	5.5
물가 상승률[%]	3
PCS 내용 연수[년]	20
배터리 내용 연수[년]	10

한편, 에너지 자립률에 따른 상정 시나리오는 표 2과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, Case I~Case III은 에너지 자립률이 각각 50%, 70%, 100%인 경우이며, 연간 발전량은 표 3의 실증 사이트를 대상으로 하여 산정한 값을 나타낸다.

[표 2] MG 경제성 평가 시나리오

시나리오	에너지 자립률[%]	연간 발전량[MWh]
Case I	50	17,551
Case II	70	24,571
Case III	100	35,101

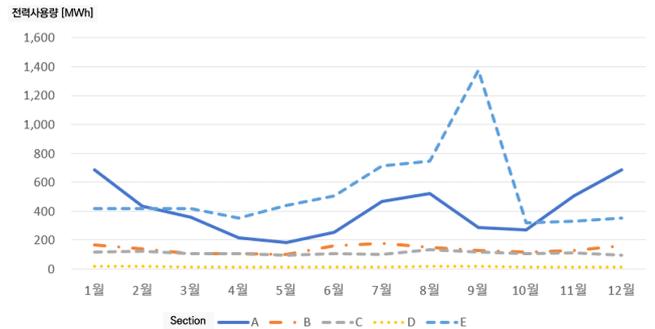
3.1.2 비용과 편익 요소별 시뮬레이션 조건

에너지 자립률에 따른 MG의 경제성을 평가하기 위한 비용요소별 조건은 에너지경제연구원에서 제시한 내용을 바탕으로 표 6-8과 같이 상정하며, 신재생에너지 전원의 운영비는 건설비용의 1.6%를 적용한다[3].

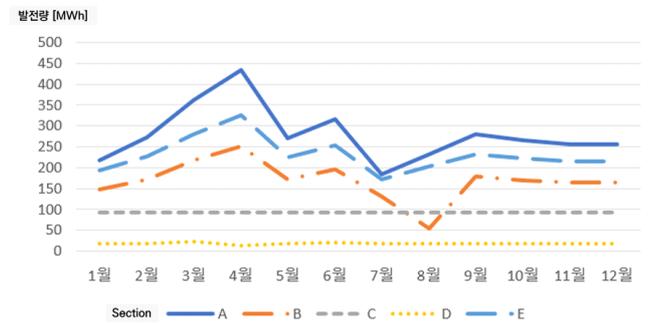
[표 3] 비용 요소별 단가 조건

항 목	구 분	내 역	
		100kW	1,617
태양광전원	건설비[천원/kW]	1MW	1,432
		3MW	1,355
		PCS[천원/kW]	60
ESS	배터리[천원/kWh]	400	
		건설비[천원/kW]	2,178
연료전지	건설비[천원/kW]	2,200	

한편, 신재생에너지 발전량에 의하여 전기요금을 감축시키는 편익과 ESS의 충·방전에 의한 피크저감 편익은 그림 1과 그림 2와 같이 실증 사이트 Section별 월간 전력사용량과 발전량을 바탕으로, 표 4의 Section별 계약용량 및 종별에 따른 한전의 전기요금을 적용하여 산정한다. 또한, 자가 소비 후 잉여 발전량을 바탕으로 전력거래 참여에 의하여 발생하는 편익을 구하기 위한 SMP 단가는 전력거래소의 전력통계정보 시스템에서 공시한 2023년도 육지 평균 금액인 167[원/kWh]을 적용하고, REC 요금은 78.8[원/kWh]으로 상정한다.



[그림 1] 실증 사이트 Section별 월간 전력사용량 특성



[그림 2] 실증 사이트 Section별 월간 발전량 특성

[표 4] 실증 사이트 Section별 계약 용량·종별

항 목		내 역
Section A	계약용량	1,500[kW], 2,250[kW]
	계약종별	일반용 전력(을)
Section B	계약용량	700[kW], 950[kW]
	계약종별	일반용 전력(을)
Section C	계약용량	4.5[kW]
	계약종별	일반용 전력(을)
Section D	계약용량	51[kW], 17[kW]
	계약종별	주택용 전력, 일반용(갑) 저압
Section E	계약용량	1,750[kW]
	계약종별	일반용 전력(을)

4. 결 론

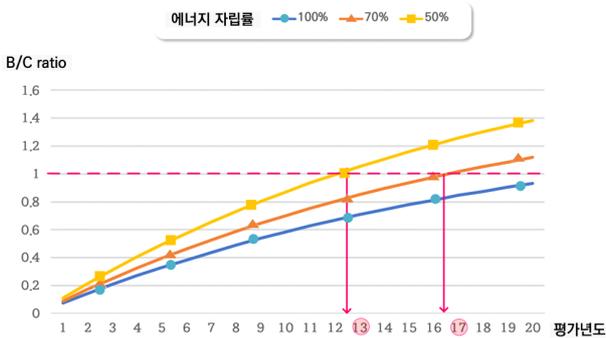
본 논문에서는 MG 사업자 측면에서 에너지 자립률에 따라 신재생에너지 전원을 설치하여 마을형 MG를 운영하는 것에 대한 타당성을 평가하기 위하여, 비용과 편익요소로 구성된 경제성평가 모델링을 제시한다. 여기서, 비용요소는 신재생에너지 전원의 건설 및 운영비용으로 구성하고, 편익요소는 신재생에너지 발전량에 의하여 전기요금을 감축시키는 편익과 자가 소비 후 잉여 발전량을 바탕으로 전력거래 참여에 의하여 발생하는 편익, ESS의 충·방전에 의한 피크저감 편익으로 구성한다. 상기의 모델링을 바탕으로 마을형 MG의 경제성을 평가한 결과, 50%, 70%의 에너지 자립률을 갖는 마을형 MG의 B/C ratio가 13년, 17년째에 손익분기점을 넘어 순이익이 발생하지만, 100%의 마을형 MG의 B/C ratio는 경제성 평가기간(20년) 이내에 손익분기점이 발생하지 않아 신재생에너지 전원의 투자비에 의하여 경제성을 확보하기 어려움을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] 이나경, 김지명, 김경화, 김윤호, 이일무, 노대석, “계통연계형 마을단위 마이크로그리드의 보호협조 운용방안에 관한 연구”, 한국산학기술학회 논문지, Vol. 25, no.1 pp804-814, 2024
- [2] 이후동, 김기영, 김미성, 노대석 “태양광전원 수용을 위한 MVDC 배전망의 경제성평가 모델링에 관한 연구”, 산학기술학회, vol.22, no.3, pp.1-12. 2021.
- [3] 에너지경제연구원, “재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE)전망 시스템 구축 및 운영(4/5)”, 2023.12.

3.2 타당성 평가

상기에서 제시한 경제성 평가 모델링을 바탕으로, 에너지 자립률 50%, 70%, 100%의 마을형 MG를 운영하는 사업자의 투자회수기간을 평가하기 위하여, 연간 발생하는 편익의 누적금액을 총 투자비용으로 나누어 MG의 편익비(benefit-cost ratio, B/C ratio)를 산정하여 분석한 결과를 나타내면 그림 3과 같다. 여기서, 50%, 70%의 에너지 자립률을 갖는 마을형 MG의 B/C ratio가 13년, 17년째에 손익분기점을 넘어 순이익이 발생하지만, 100%의 마을형 MG의 B/C ratio는 경제성 평가기간(20년) 이내에 손익분기점이 발생하지 않아 신재생에너지 전원의 투자비에 의하여 경제성을 확보하기 어려움을 알 수 있다.



[그림 3] 에너지 자립률을 고려한 마을형 MG의 경제성 평가