

태양광전원용 운용효율향상장치의 경제성 평가 모델링에 관한 연구

진진택*, 최성문*, 마리토*, 김병목*, 노대석*
*한국기술교육대학교 전기공학과
e-mail:jinfind@koreatech.ac.kr

A Study on Economic Evaluation Modeling of Efficiency Improvement Device for PV System

Jin-Taek Jeon*, Seong-Moon Choi*, Marito Ferreira*, Byung-Mok Kim*, Dae-Seok Rho*
*Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요 약

태양광전원은 주변 기후조건에 따라 출력이 크게 변동되고, 일부 모듈에만 음영이 발생하여도 전체적인 운용 효율이 저하되는 문제점이 발생하고 있다. 즉, 태양광전원에서는 모듈을 직렬로 연결한 스트링들이 인버터에 연계되어 있으므로, 일부 모듈에 부분 음영이 발생하면 해당 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나게 되어, 해당 스트링이 인버터에서 탈락되는 현상이 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 태양광전원의 음영에 의한 전압 저하가 발생한 해당 스트링의 전압으로부터, 리튬이온전지를 이용하여 적정하게 전압을 보상하는 장치가 개발되고 있지만, 운용효율 향상률에 따른 경제성 평가가 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 태양광전원에 태양광전원용 운용효율향상장치를 적용하는 경우, 운용효율 개선율에 따라 경제적인 시기를 판단하기 위해 경제성평가 모델링을 제시한다. 이를 바탕으로 MW급 태양광전원을 기준으로 경제성을 평가한 결과, 운용효율 개선율에 따라 비용과 편익에 대한 ROI(return on investment)비율이 높아지는 시점을 구할 수 있으며, 태양광발전의 이용률이 낮은 지역에 태양광전원용 운용효율향상장치를 적용하면, 운용효율 개선율을 높일 수 있음을 확인하였다.

1. 서 론

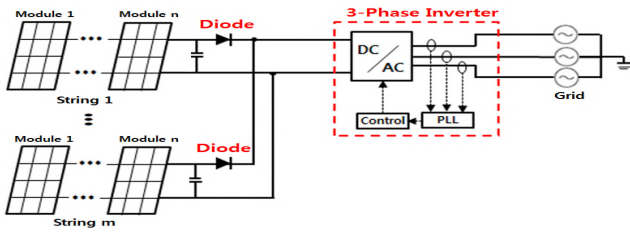
최근, 2030년까지 신재생 에너지전원의 비중을 전체 에너지전원의 20%까지 확대하는 정책이 적극적으로 추진되고 있어 20년이상 장기적으로 사용 가능한 태양광전원의 설치가 큰 폭으로 증가되고 있다. 하지만, 태양광전원은 주변 기후조건에 따라 출력이 크게 변동되고, 일부 모듈에만 음영이 발생하여도 태양광전원의 전체적인 운용 효율이 저하되는 문제점이 발생하고 있다. 즉, 태양광전원에서는 모듈을 직렬로 연결한 스트링들이 인버터에 연계되어 있으므로, 일부 모듈에 부분 음영이 발생하면 해당 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나게 되어, 해당 스트링이 인버터에서 탈락되는 문제점이 발생할 수 있다[1]. 이 문제점을 해결하기 위해, 태양광전원의 음영에 의한 전압 저하가 발생한 해당 스트링의 전압으로부터, 리튬이온전지로 적정하게 전압을 보상하는 장치가 제안되었지만[2], 출력 향상률에 따른 경제성 평가가 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 태양광전원에 태양광전원용 운용효율향상장치를 적용하는 경우, 출력량 개선율에 따라 경제적인 시기를 판단하기 위해 경제성평가 모델링을 제시한다.

다. 이를 바탕으로 MW급 태양광전원을 기준으로 경제성을 평가한 결과, 출력량 개선율에 따라 비용과 편익에 대한 비율이 높아지는 시점을 판단할 수 있으며, 태양광발전의 이용률이 낮은 지역에 태양광전원용 운용효율향상장치를 적용 적용하면, 출력개선율을 높일 수 있음을 확인하였다.

2. 태양광전원의 운용 특성

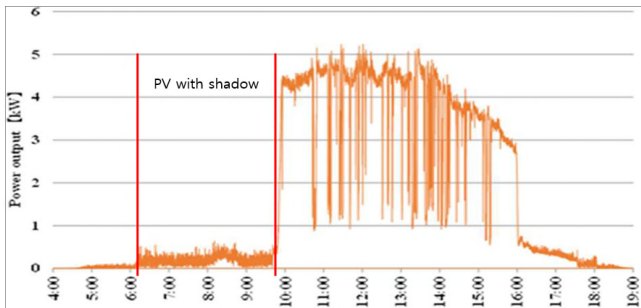
일반적으로 태양광전원은 그림 1과 같이 태양광모듈을 직·병렬로 조합하여 전체 시스템을 구성하고, 여러 개의 스트링이 하나의 3상 인버터에 연결되어 운용되고 있다[3]. 그러나, 이러한 구성의 태양광전원은 운용 중 어느 한 모듈에 이상이 생길 경우, 해당 스트링의 전압 및 전류의 불균형에 의하여, 전체 출력이 감소될 수 있다. 또한, 태양광전원은 태양의 위치 변화나 구름 및 나무 등으로 발생하는 음영에 의해 출력 손실이 발생한다. 특히, 일부 모듈에 부분 음영이 발생하면 해당 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나 해당 스트링이 인버터로부터 탈락되고, 해당 스트링의 출력은 0[W]로 감소하게 되어, 태양광전원의 전체적인 운용효율이 저하

되는 현상이 발생할 수 있다.



[그림 1] 태양광전원의 일반적인 구성

여기서, 그림 2는 실제 설치된 태양광전원의 운용데이터로서, 부분 음영에 의하여 06시부터 10시 사이에 태양광전원의 출력이 0[W]로 감소하는 문제점이 발생하는 것을 알 수 있다.

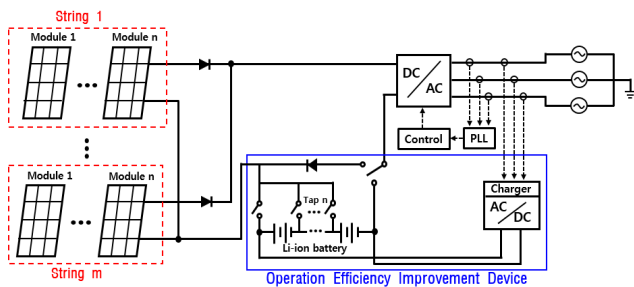


[그림 2] 부분음영에 의한 태양광전원 운용 특성

3. 태양광전원용 운용효율향상장치의 경제성평가 모델링

3.1 태양광전원용 운용효율향상장치의 구성

태양광 스트링이 음영에 의하여 인버터에서 탈락되는 것을 방지하기 위한 태양광전원의 운용효율향상장치의 구성은 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 이 장치는 리튬이온전지와 충전기로 구성되며, 태양광스트링과 계통연계형 인버터 사이에 설치되어, 음영에 의한 전압 저하가 발생한 해당 스트링의 전압을 리튬이온전지가 다단 탭 형태로 적절하게 전압을 보상하는 장치이다.



[그림 3] 태양광전원 운용효율향상장치의 구성

3.2 비용요소 모델링

3.2.1 운용효율향상장치 비용

운용효율향상장치의 비용은 식 (2)와 같이, 배터리비용, BMS 비용, AC/DC 충전기 비용으로 구성된다. 여기서, 배터리 비용은 교체연도와 할인율을 고려하여 배터리 용량에 대하여 kWh로 단가로 산정되고, BMS 비용은 운용효율향상 장치 비용의 일정비율을 곱하여 산정한다. 또한, AC/DC 충전기의 비용은 충전기 용량에 대하여 kW 단가로 산정된다.

$$C_{cid} = C_{batt} \cdot Q_{batt} \cdot [1 + (1-d)^x] + C_{chg} \cdot Q_{chg} + C_{bms} \quad (2)$$

여기서, C_{cid} : 운용효율향상장치 비용(원), C_{batt} : 배터리 모듈단가(원/kWh), Q_{batt} : 배터리 용량(kWh), d : 할인율(%), x : 교체연도(년), C_{chg} : AC/DC 충전기 비용, Q_{chg} : AC/DC 충전기 용량, C_{bms} : BMS 비용

3.2.2 운영비용

운영비용은 태양광전원과 운용효율향상장치를 운영할 때 발생하는 비용으로서, 식 (3)과 같이 태양광전원의 건설비용과 운용효율향상장치 비용의 합에 일정 값을 곱하여 산정한다.

$$C_{oper}(y) = (C_{pv} + C_{cid}) \cdot R_{op} \quad (3)$$

여기서, $C_{oper}(y)$: 해당연도의 운영비용(원), y : 해당연도, R_{op} : 운용비율(%)

3.3 편익요소 모델링

3.3.1 전력량요금

전력량 요금(SMP, system marginal price)은 발전사업자가 태양광전원의 발전량에 대해 전기판매사업자에게 받는 전력판매 요금으로서, 식 (4)와 같이 해당연도의 태양광전원 발전량과 전력거래단가를 곱하여 산정한다. 여기서, 해당연도의 태양광전원 발전량은 식 (5)와 같이 태양광전원의 용량, 이용률을 고려하여 산정한다.

$$B_{SMP}(y) = SMP(y) \cdot G_{PV}(y) \quad (4)$$

$$G_{PV}(y) = 8760 \cdot Q_{PV} \cdot U_{PV} \cdot (1-d)^{y-1} \quad (5)$$

여기서, $B_{SMP}(y)$: 해당연도의 SMP 요금(원), $SMP(y)$: 해당연도 태양광전원의 전력거래단가(원/kWh), $G_{PV}(y)$: 해당연도 태양광전원의 발전량(kWh), U_{PV} : 태양광전원의 이용률(%)

3.3.2 태양광전원의 REC 요금

태양광전원의 REC(renewable energy certificate) 요금은 발전량에 비례하여 발전사업자가 받는 인센티브 요금으로서, 해당연도의 태양광전원의 발전량과 REC 단가, 가중치를 고려하여, 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_{REC}(y) = REC(y) \cdot WF_{REC} \cdot G_{PV}(y) \quad (6)$$

여기서, $B_{REC}(y)$: 해당연도의 REC 요금(원), $REC(y)$: 해당연도의 태양광전원의 REC 단가(원/kWh), WF_{REC} : 태양광전원의 REC 가중치

3.4 현재가치 환산법

경제성평가를 위한 비용과 편익은 미래에 발생하는 가치로서, 식 (7)과 같이 해당연도에 대하여 할인율을 적용하여 현재의 가치로 환산한다.

$$C_{PW} = \sum_1^n \frac{C_{flow}}{(1+r)^n} \quad (7)$$

여기서, C_{PW} : 현재가치, n : 기간, r : 할인율, C_{flow} : 해당연도의 현금흐름

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 경제성평가 조건

태양광전원에 태양광전원용 운용효율향상장치를 적용하는 것에 대해 출력량 개선율에 따라 경제적인 시기를 판단하기 위하여, MW급 태양광전원을 기준으로 경제성평가를 수행하였다. 초기건설 비용은 에너지경제연구원에서 공시한 사업용 태양광전원용 운용효율향상장치의 초기 비용(152,000천원/kW)을 기준으로 하며, 경제성평가 기간은 20년으로 상정한다.

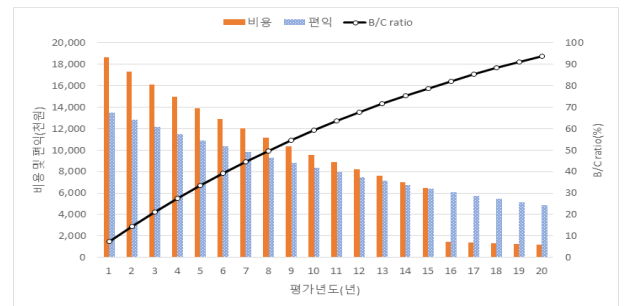
[표 1] 태양광전원용 운용효율향상장치의 경제성평가 조건

항 목	내 용
평가기간[년]	20
운용비용[%]	2.319
태양광전원 이용율[%]	15
운용효율향상장치 비용[MW/천원]	152,000
태양광 발전의 출력량 개선율[%]	1~3
할인율[%]	5.5
이자율[%]	3.46
SMP 가격[원/kWh]	90.74
REC 가격[원/kWh]	63.57
상환기간[년]	15
상환방식	원금균등상환방식

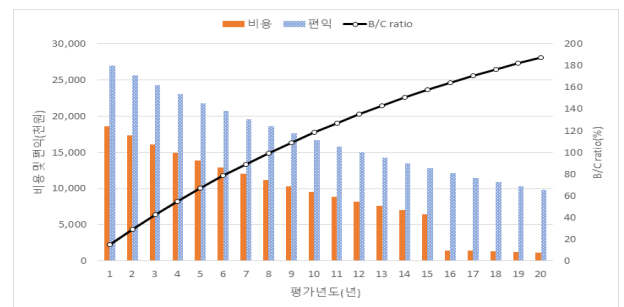
여기서, 초기 건설비에 대하여 15년 동안 균등 상환하는 것으로 가정한다. 또한, 은행에서 대출을 받아 투자한 경우에 대하여, 은행에서 차입하는 이자율은 3.46[%], 매년 운영비는 초기 건설비의 2.1319[%], 할인율은 5.5[%]로 적용하였다. 한편, 한국에너지공단에서 공시한 'RPS 고정가격계약제도'에 따라, REC+SMP 고정가격은 154.31[원/kWh]로 산정한다.

4.2 태양광전원용 운용효율향상장치의 경제성평가

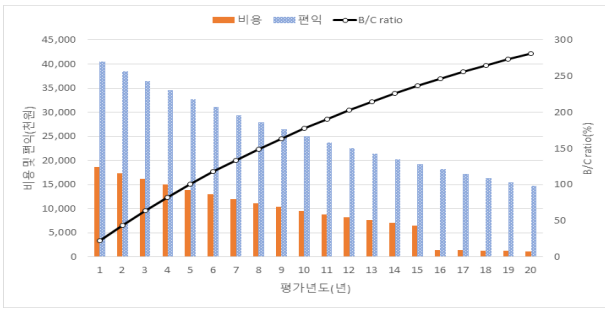
태양광전원에 태양광전원용 운용효율향상장치를 적용하는 것에 대해 출력량 개선율에 따른 비용, 편익 산정 및 B/C ratio를 현재가치로 환산과 나타내면 그림 4와 같다. 여기서, 그림 4의 (a)는 출력량 개선율을 1%로 상정한 경우와 B/C인 것을, 그림 4의(b)는 출력량 개선율이 2%인 경우와 B/C인 것을, 그림 4의 (c)는 출력량 개선율을 3%로 상정한 경우 B/C를 나타낸다. 또한, 출력량 개선율이 1%, 2%, 3% 경우에 대해 15년도 이후에 비용이 급격히 하락하는 것은 차입금 상환이 완료되고 운영비가 발생하기 때문이다. 한편, 그림 4의 (a)와 같이 출력량 개선율이 1%인 경우에 대하여, 누적된 비용이 누적된 편익보다 높아 20년도 까지도 B/C ratio가 100%보다 낮음을 알 수 있다. 또한, 그림 4의 (b)와 같이 출력량이 출력량 개선율이 2%인 경우에 대하여, 9년도 이후에 B/C ratio가 100[%]보다 높음을 알 수 있고, 그림 4의 (c)와 같이 출력량이 출력량 개선율이 3%인 경우에 대하여, 5년도 이후에 B/C ratio가 100[%]보다 높음을 알 수 있다. 따라서, 태양광전원용 운용효율향상장치의 출력량 개선율을 고려하여 경제적인 시기를 판단할 수 있다.



(a) 출력량 개선율이 1%인 경우



(b) 출력량 개선율이 2%인 경우



(c) 출력량 개선율이 3%인 경우

[그림 4] 출력량 개선율에 따른 비용과 편익 산정 및 B/C

5. 결 론

본 논문에서는 태양광전원에 태양광전원용 운용효율향상 장치를 적용하는 경우, 출력량 개선율에 따라 경제적인 시기를 판단하기 위해 경제성평가 모델링을 제시한다. 이를 바탕으로 MW급 태양광전원을 기준으로 경제성을 평가한 결과, 출력량이 출력량 개선율에 따라 비용과 편익에 대한 비율이 100[%]보다 높아지는 시기를 판단할 수 있었다. 따라서, 태양광발전의 이용률이 낮은 지역에 태양광전원용 운용효율향상 장치를 적용 적용하면, 출력개선율을 높일 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임. [S2854105]

참고문헌

- [1] D. H. Tae, J. B. Park, M. Y. Kim, S. S. Choi, C. H. Kim, D. S. Rho, "A Study on the Efficiency Improvement Method of Photovoltaic System Using DC-DC Voltage Regulator", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 17, No. 7 pp. 704-712, 2016
- [2] 박지현, 김병목, 이후동, 남양현, 노대석, "리튬이온전지를 이용한 태양광전원의 운용효율향상장치의 제어 알고리즘에 관한 연구", 산학기술학회 논문지, 제 19권 10호, pp. 590-597, 10월, 2018년.
- [3] C. H. Yoo, I. Y. Chung, S. S. Hong, B. J. Jang, "Rule-based Coordination Algorithms for Improving Energy Efficiency of PV-Battery Hybrid System", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 61, No. 12, pp. 1791-1800, 2012