

MW급 태양광전원용 전력증폭장치의 경제성 평가 모델링에 관한 연구

전진택, 신건, 이후동, 노대석*
한국기술교육대학교 전기공학과

A Study on Economic Evaluation Modeling of Power Amplification Device for MW-scale PV System

Jin-Taek Jeon, Jian Shen, Hu-Dong Lee, Dae-Seok Rho*
Department of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약 최근, 태양광전원은 신재생에너지전원 중 설치비가 가장 낮고 설치기간이 짧기 때문에 많은 관심이 집중되고 있다. 하지만, 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 문제점에 대한 대응책으로 음영이 발생하지 않은 모듈로 스트링을 재구성하는 회로변경장치부와 리튬이온배터리를 이용하여 음영이 발생한 태양광모듈의 전압을 보상하는 전압 보상장치부로 구성된 전력증폭장치가 상용화되고 있는데, 이 장치에 의한 타당성 평가가 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 태양광전원용 전력증폭장치를 도입하는 경우, 발전량 개선율에 따라 경제성을 판단하기 위한 경제성평가 모델링을 제시하고, 이를 바탕으로 전력증폭장치의 설치 비용에 따른 ROI를 산출하여, 태양광전원용 전력증폭장치에 상용화 타당성 평가를 제안한다.

Abstract PV systems have been highlighted because of their low installation cost and short installation period compared to other renewable energy sources. Nevertheless, problems, such as significant variation of PV output and decline of overall operation efficiency, can occur, even if PV modules are partially shadowed. In particular, the PV string, which is composed of series-connected PV modules, can be disconnected from the inverter if the string voltage violates the operation voltage limit of the inverter due to a partial shadow on PV modules. To overcome those problems, a power amplification device composed of a circuit reconfiguration device section and voltage compensation device section has been commercialized, but a validity evaluation on this device is required. This paper presents an economic evaluation model for commercialization feasibility according to the output improvement rate when the power amplification device for a PV system is introduced. This paper also proposes a validity evaluation of a power amplification device for PV systems by calculating the ROI according to the installation cost and benefits.

Keywords : PV System, Economic Evaluation, Power Amplification Device

본 논문은 2020년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구(S2854105)와 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 연구(No.20206910100090)를 지원받아 연구되었음.

*Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology and Education)
email: dsrho@koreatech.ac.kr

Received June 15, 2021

Revised July 14, 2021

Accepted September 3, 2021

Published September 30, 2021

1. 서론

최근, 정부는 '재생에너지 3020 이행계획'에 따라 2030년까지 신재생에너지의 발전비중을 20% (20.1GW)까지 달성하는 것을 목표로 하고 있고, 날씨조건에 따른 발전효율의 저하를 감안하여 신재생 에너지의 설치용량을 63.8GW까지 늘리는 계획을 추진하고 있다[1]. 특히, 태양광전원은 기타 신재생에너지전원에 비해 설치비용이 가장 저렴하고 설치기간이 비교적 짧은다는 장점으로 인하여, 2030년까지 전체 신재생에너지 설치용량의 57%인 36.5GW까지 도입될 전망이다. 하지만, 태양광전원은 주변 기후조건과 설치 조건, 설치장소에 따라 출력 변동이 크게 일어날 수 있고, 태양광전원의 전체적인 운용 효율이 일부 모듈에서 발생한 음영으로 인해 저하되는 문제점이 보고되고 있다. 여기서, 태양광모듈의 출력저하를 야기시키는 음영은 대표적으로 일시적인 음영과 설치 장소에 따른 음영으로 분류될 수 있는데, 이러한 음영이 스트링을 구성하는 직렬 연결된 태양광모듈의 일부에 발생할 경우, 스트링전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나게 되고, 해당 스트링이 인버터에서 탈락하는 현상이 발생할 수 있다[2,3].

한편, 이러한 문제점에 대한 대응책으로 음영이 발생하지 않은 모듈로 스트링을 재구성하는 회로변경장치부와 리튬이온배터리를 이용하여 음영이 발생한 태양광모듈의 전압을 보상하는 전압보상장치부로 구성된 전력증폭장치가 개발되고 있는데, 이 장치의 상용화에 대한 타당성 평가가 요구되고 있다[4,6]. 따라서, 본 논문에서는 태양광전원용 전력증폭장치의 도입에 대한 타당성을 평가하기 위하여, 전력증폭장치의 설치비용과 운용비용을 고려한 비용요소와 전력량요금, REC요금 및 전력증폭장치에 의한 개선율에 따른 편익을 산정하기 위한 편익요소로 구성된 태양광전원용 전력증폭장치의 경제성평가 모델링을 제시한다. 또한, 산정된 비용 및 편익요소는 미래에 발생하는 가치이므로 현재까지 환산법을 이용하여 현재의 가치로 환산하여 평가한다. 한편, 제시한 모델링을 바탕으로, 전력증폭장치의 설치 비용에 따른 ROI를 산출하여 특성을 분석한 결과, 적정 초기 설치비용 및 발전량 개선율에 따라 전력증폭장치의 타당성을 평가할 수 있었다.

2. 태양광전원의 운용특성

일반적으로, 태양광전원은 Fig. 1과 같이 태양광모듈

을 직, 병렬로 조합하여 전체 시스템을 구성하고, 여러 개의 스트링이 하나의 3상 인버터에 연결되어 운용되고 있다[3]. 그러나, 일부 태양광모듈에 문제가 발생할 경우, 해당 스트링의 전압 및 전류의 불균형으로 인하여, Fig. 2와 같이 전체 태양광전원의 출력이 감소할 수 있다. 또한, 태양광모듈의 출력저하를 야기시키는 음영은 대표적으로 일시적인 음영과 설치 장소에 따른 음영으로 분류될 수 있다.

여기서, 일시적인 음영은 황사, 구름, 새의 배설물, 매연, 낙엽, 눈 등에 의해 간헐적으로 발생할 수 있고, 지역 또는 계절에 따라 상이하다. 또한, 설치장소에 따른 음영은 Fig. 3과 같이 건물 또는 안테나, 피뢰침, 지붕, 어레이 간격 등으로 인해 음영이 반복적으로 발생할 수 있는데, 이는 음영에 의해 발생하는 손실 중 대부분을 차지한다. 한편, 이처럼 태양광모듈에 음영이 발생할 경우, 모듈의 출력전류는 음영에 가려진 셀의 전류로 제한되므로, 모듈 전체의 출력이 감소한다. 따라서, 본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하기 위한 태양광전원용 전력증폭장치에 대하여, 설치여부에 따른 타당성을 평가하기 위하여 경제성 평가 모델링을 제시한다[7].

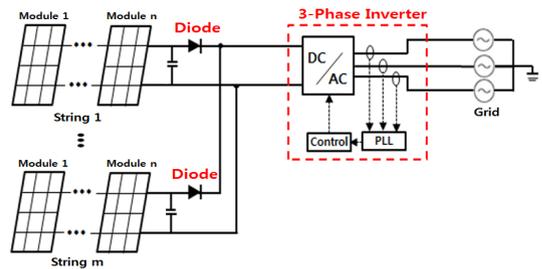


Fig. 1. General configuration of PV system

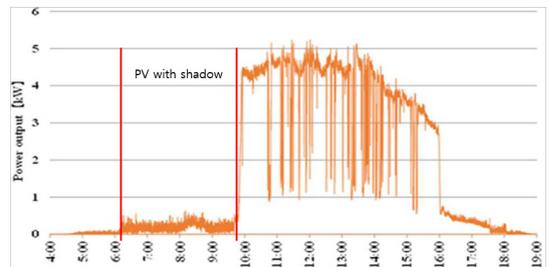


Fig. 2. Operation characteristics of PV system by partial shadow

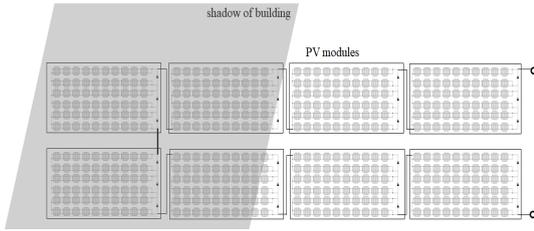


Fig. 3. PV modules with shadow of building

3. 태양광전원용 전력증폭장치의 구성

3.1 전력증폭장치의 구성

태양광전원용 전력증폭장치는 Fig. 4와 같이 회로변경장치부, 전압보상장치부, 감시제어장치부, 등으로 구성된다. 여기서, 회로변경장치부는 스위칭소자로 구성되며, 전압보상장치부는 리튬이온전지와 충전기등으로 구성된다. 또한, 감시제어장치부는 태양광모듈과 환경데이터 등을 실시간으로 수집 및 분석하고 스위칭소자와 리튬이온전지를 감시, 제어하여, 태양광전원부의 출력전압이 인버터 운용범위보다 낮을 경우, 회로변경 또는 전압보상을 수행하여 태양광전원의 운용효율을 향상 시킨다.

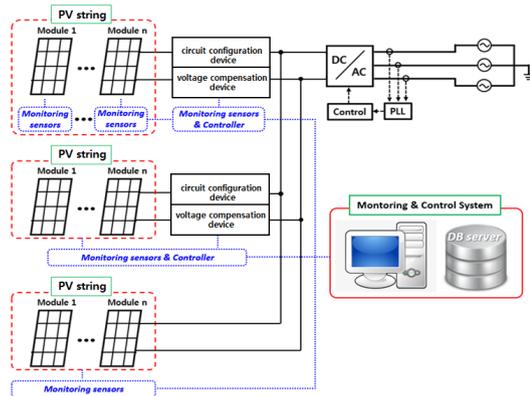


Fig. 4. Composition of Power Amplification Device for PV System

3.2 회로변경장치부

회로변경장치부는 태양광전원의 회로변경을 위한 와이어 및 절체스위치의 구성도를 나타내면 Fig. 5와 같다. 이 그림에서와 같이, 음영이 발생한 스트링 중에서 두 개의 스트링 사이에 와이어를 연결하여 음영이 발생되지 않은 부분은 정상적으로 작동하도록 회로를 구성한다.

또한, 정상상태의 모듈과 음영이 발생한 모듈을 분리시키기 위하여, 각 태양광스트링의 중간지점에 절체스위치를 설치한다[5].

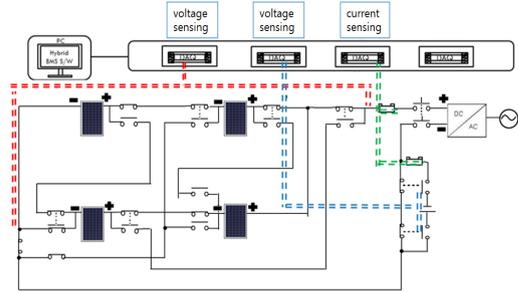


Fig. 5. Circuit reconfiguration device for PV system

3.3 전압보상장치부

태양광전원용 전압보상장치부는 Fig. 6과 같이 리튬이온전지, 충전기 및 스위칭 소자들로 구성되는데, 태양광전원용 회로변경장치를 이용하여 음영이 발생하지 않은 태양광모듈로 회로를 재구성하여도 스트링의 출력전압이 인버터의 동작전압보다 작을 경우, 각 스트링과 직렬로 연결된 태양광전원용 전압보상장치부는 인버터가 동작전압 범위에서 운용되도록 전압을 보상한다.

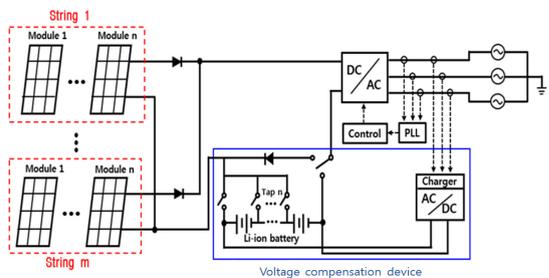


Fig. 6. Voltage compensation Device for PV System

3.4 감시제어장치부

감시제어장치부는 Labview S/W를 이용하여 상기에 서 구현한 태양광전원부, 회로변경장치부, 전압보상장치부의 상태정보와 전반적인 전압증폭장치의 운용모드를 사용자가 쉽게 확인할 수 있도록, Fig. 7과 같이 HMI 메인화면 메뉴로 구성한다. 이 그림에서와 같이, 감시제어장치부의 메인화면에서는 태양광전원부의 발전량, 회로변경장치부의 접점제어, 전압보상장치부의 배터리팩의 SOC, SOH 등과 충전기의 출력, 충전 예상시간, 등을 나

타낸다. 한편, 전압보상장치부의 배터리팩에서 이상상황이 발생할 경우, 회로변경장치부의 회로를 안전하게 차단하고, 적색 경고등을 점등하여 사용자가 적절한 조치를 취할 수 있도록 상태알림 기능을 제공한다.

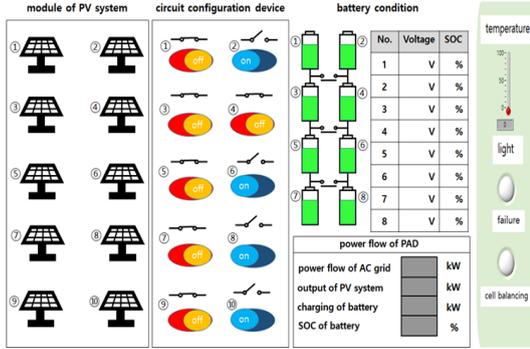


Fig. 7. HMI of monitoring and control system in Power Amplification Device

4. 태양광전원용 전력증폭장치의

경제성 평가 모델링

4.1 비용요소 모델링

4.1.1 전력증폭장치 설비비용

전력증폭장치 비용은 회로변경장치부와 전력보상장치부, 감시제어장치부로 구성되며 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 먼저, 회로변경장치부의 비용은 식 (1)의 1항과 같이, 절체스위치비용과 설치되는 개수를 고려하여 산정한다. 또한, 전력보상장치부의 비용은 식 (1)의 2항~ 4항과 같이, 배터리비용, AC/DC 충전기 비용, BMS 비용으로 구성된다. 여기서, 식 (1)의 2항은 배터리에 대한 비용으로 kWh 단가로 나타내며, 초기 배터리 비용과 y 년도에 발생하는 교체비용에 대하여 할인율을 고려하여 산정한다. 식 (1)의 3항은 AC/DC 충전기의 비용으로 충전기 용량에 대하여 kW 단가로 산정하며, 4항은 배터리의 BMS 비용으로 배터리 비용의 일정 비율을 고려하여 산정한다. 한편 감시제어장치부의 비용은 식 (1)의 5항과 같이 센서류를 포함한 운용소프트웨어비용으로 구성된다 [8].

$$C_{regul} = C_{cir} + C_{bat} \cdot Q_{bat} \cdot [1 + (1-d)^y] + C_{chg} \cdot Q_{chg} + C_{bms} + C_{remot} \quad (1)$$

여기서, C_{regul} : 전력증폭장치비, C_{cir} : 회로변경장치부 비용(원), C_{bat} : 배터리 모듈단가(원/kWh), Q_{bat} : 배터리 모듈 용량(kWh), d : 할인율(%), y : 교체연도(년), C_{chg} : AC/DC 충전기 비용(원), Q_{chg} : AC/DC 충전기 용량(원/kWh), C_{bms} : BMS 비용(원), C_{remot} : 감시제어장치비용

4.1.2 운용비용

운용비용은 태양광전원용 전력증폭장치를 운용할 때 발생하는 비용으로서, 식 (2)와 같이 초기 설치비용의 일정비율로 산정한다.

$$C_{oper} = \sum_{i=1}^n C_{regul}(i) \cdot R_{oper} \quad (2)$$

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

4.2 편익요소 모델링

4.2.1 전력량요금

전력량 요금은 발전사업자가 태양광전원의 발전량에 대해 전기판매사업자에게 받는 전력판매 요금으로서, 식 (3)과 같이 태양광전원의 월평균 발전량에 전력거래단가(SMP)를 곱하여 산정한다. 여기서, 태양광전원의 월평균 발전량은 식 (4)와 같이 태양광전원의 설비용량에 이용률과 월간 운용시간을 곱하여 산정한다[9].

$$B_{SMP} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ER_{SMP}(i,j) \cdot P_{PV,m}) \quad (3)$$

$$P_{PV,m} = k \cdot Q_{PV} \cdot U_{PV} \quad (4)$$

여기서, B_{SMP} : 총 전력량요금(원), $ER_{SMP}(i,j)$: 전력거래단가(원/kWh), i : 대상년도, j : 개월, $P_{PV,m}$: 태양광전원의 월평균 발전량(kWh), k : 월간 운용시간(720 시간), Q_{PV} : 태양광전원의 설비용량(kWh), U_{PV} : 태양광전원의 이용률(%)

4.2.2 태양광전원의 REC 요금

태양광전원의 REC(renewable energy certificate) 요금은 발전량에 비례하여 발전사업자가 받는 인센티브 요금으로서, 해당 월의 태양광전원 발전량과 REC 단가, 가중치를 고려하여, 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다[10].

$$B_{REC} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ER_{REC}(i,j) \cdot WF(i,j) \cdot P_{PV,m}) \quad (5)$$

여기서, B_{REC} : 총 태양광전원 REC 요금(원), $ER_{REC}(i,j)$: REC 단가(원/kW), $WF(i,j)$: 태양광전원의 REC 가중치

4.2.3 전력증폭장치에 의한 발전량 증가분의 편익

전력증폭장치에 의한 발전량 증가분의 편익은 식 (6) 과 같이 전력량요금과 REC 요금을 고려하여 산정한다.

$$B_{regul} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [ER_{SMP}(i,j) + ER_{REC}(i,j)] \cdot P_{\Delta}(i,j) \quad (6)$$

여기서, B_{regul} : 전력증폭장치에 의한 발전량 증가분의 편익, $P_{\Delta}(i,j)$: 전력증폭장치에 의한 발전량 증가율

4.3 현재가치 환산법

경제성평가를 위한 비용과 편익의 요소는 미래에 발생하는 가치로서, 현재의 가치로 환산하여 평가해야 한다. 따라서, 본 논문에서는 식 (7)과 같이, 미래의 가치에 대하여 할인율을 적용한 현재가치 환산법(present worth method)을 이용하여 비용과 편익요소를 산정한다.

$$C_{pw} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{flow,i}}{(1+d)^i} \quad (7)$$

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

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

5.1 경제성평가 조건

제안한 모델링을 바탕으로 태양광전원용 전력증폭장치의 경제성을 평가하기 위한 조건은 Table 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 전력증폭장치의 설치비용은 15년 동안 원금을 균등 상환하는 것으로 가정하며, 은행에서 차입하는 이자율은 3.46%, 연간 운용비는 초기 설치비의 2.319%, 할인율은 5.5[%]로 상정한다.[6] 또한, 태양광전원의 SMP는 2020년도 평균 단가인 68.52[원/kWh], REC요금은 2020년도 평균가격인 42.27[원/kWh]을 적용한다[6]. 한편, 전력증폭장치의 설치비용은 MW당 150,000천원으로 상정하고, 기술의 진보에 따

른 가격하락을 반영하여 120,000(천원/MW), 90,000(천원/MW), 80,000(천원/MW)의 비용을 상정한다.

Table 1. Economic evaluation conditions for power amplification for PV system

parameters	contents
evaluation year[year]	20
power amplification device cost [thousand won/MW]	80,000
	90,000
	120,000
	150,000
utilization rate of the output of PV system[%]	15
discount rate[%]	5.5
interest rate[%]	3.46
price of SMP[won/kWh]	68.52
price of REC[won/kWh]	42.27
period of repayment[year]	15

5.2 태양광전원용 전력증폭장치의 특성분석

5.2.1 태양광전원의 발전량을 1% 개선한 경우

1MW급 태양광전원을 기준으로 전력증폭장치를 도입하여 발전량을 1% 개선한 경우에 대하여, 상기의 경제성 평가 조건을 바탕으로 경제성 평가기간(20년) 동안의 비용을 산정하면 Table 2와 같다. 이 Table에서와 같이, 건설비용은 원금과 이자를 합하여 약 1억 2천만원, 운용비용은 약 3천 5백만원이 산출되고, 건설비용과 운용비용을 합하여 현재가치로 환산하면, 약 1억 4천만원의 비용이 발생한다. 또한, 편익은 SMP 및 REC 단가에 따라 산정하면 Table 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, SMP 요금은 약 3억 6천만원, REC 요금은 약 2억 2천만원이고, 현재가치로 환산한 결과, 약 3억 6천 7백만원의 총 편익이 발생함을 알 수 있다.

Table 2. Cost Characteristic of Power Amplification device

year	construction cost [thousand won]			operation cost [thousand won]	present value [thousand won]
	principal	repayment	interest		
1	5,333	0	2,768	1,720	9,821
2	5,333	5,333	2,583	1,720	9,134
3	5,333	10,667	2,399	1,720	8,492
4	5,333	16,000	2,214	1,720	7,893
5	5,333	21,333	2,030	1,720	7,332
6	5,333	26,667	1,845	1,720	6,809
7	5,333	32,000	1,661	1,720	6,320
8	5,333	37,333	1,476	1,720	5,864
9	5,333	42,667	1,292	1,720	5,438
10	5,333	48,000	1,107	1,720	5,040

11	5.333	53.333	923	1,720	4,669
12	5.333	58.667	738	1,720	4,324
13	5.333	64.000	554	1,720	4,001
14	5.333	69.333	369	1,720	3,701
15	5.333	74.667	185	1,720	3,420
16	0	80,000	0	1,720	770
17	0	0	0	1,720	730
18	0	0	0	1,720	692
19	0	0	0	1,720	656
20	0	0	0	1,720	622
total	80,000	80,000	22,144	34,400	95,729

Table 3. Benefit Characteristic of Power Amplification device

year	Benefit [thousand won]		present value [thousand won]
	price of SMP	price of REC	
1	18,007	11,109	29,116
2	18,007	11,109	27,598
3	18,007	11,109	26,159
4	18,007	11,109	24,795
5	18,007	11,109	23,503
6	18,007	11,109	22,277
7	18,007	11,109	21,116
8	18,007	11,109	20,015
9	18,007	11,109	18,972
10	18,007	11,109	17,983
11	18,007	11,109	17,045
12	18,007	11,109	16,157
13	18,007	11,109	15,314
14	18,007	11,109	14,516
15	18,007	11,109	13,759
16	18,007	11,109	13,042
17	18,007	11,109	12,362
18	18,007	11,109	11,717
19	18,007	11,109	11,107
20	18,007	11,109	10,528
total	360,141	222,171	367,080

한편, Table 4는 전력증폭장치를 도입하여 태양광전원의 발전량을 1% 개선한 경우, 4개의 초기 설치비용에 대한 편익비율(B/C ratio, benefit-cost ratio)을 나타낸 것이다. 여기서, 전력증폭장치의 초기 설치비용이 120,000(천원/MW) 및 150,000(천원/MW)인 경우, 경제성 평가 최종년도의 편익비율이 각각 85%, 68%로 산정되어, 전력증폭장치에 의한 편익이 설치비용보다 낮아 경제적이지 않지만, 초기 설치비용이 80,000(천원/MW), 90,000(천원/MW)인 경우에는 각각 128%, 114%로 산정되며, 설치 후 14년도, 17년도에서 B/C ratio가 100%를 초과하여 순이익이 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서, 전력증폭장치를 도입하여 태양광전원의 발전량을 1% 개선하는 경우, 향후 전력증폭장치의 가격하락을 고려해도 사업 타당성 측면에서, 본 연구에서

제안한 전력증폭장치가 경제적이지 않음을 알 수 있다. 한편, Table 4의 4가지 설치비용에 대하여 ROI특성을 나타내면, Fig. 8과 같다.

Table 4. ROI Characteristic 1% of output improvement in PV system

year	construction [thousand won]			
	80,000	90,000	120,000	150,000
1	10	9	7	5
2	20	18	13	11
3	29	26	19	15
4	37	33	25	20
5	46	41	30	24
6	53	47	36	28
7	61	54	41	32
8	68	60	45	36
9	74	66	50	40
10	81	72	54	43
11	87	77	58	46
12	92	82	61	49
13	98	87	65	52
14	103	91	68	55
15	107	95	72	57
16	112	99	75	60
17	116	103	77	62
18	120	107	80	64
19	124	110	83	66
20	128	114	85	68

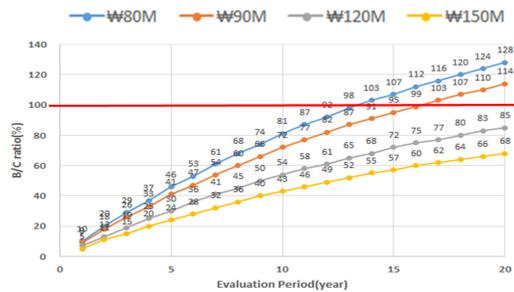


Fig. 8. B/C ratio characteristics with 1% output improvement rate in PV system

5.2.2 태양광발전의 출력량을 2% 개선한 경우

Fig. 9와 Table 5는 전력증폭장치를 도입하여 태양광전원의 발전량을 2% 개선한 경우, 4개의 초기 설치비용에 대한 B/C ratio 특성을 나타낸 것이다. 여기서, 전력증폭장치의 초기 설치비용이 80,000(천원/MW), 90,000(천원/MW), 120,000(천원/MW), 150,000(천원/MW)인 경우, 최종년도에서의 편익비율이 각각 256%, 227%, 170%, 136%로 산정되고, ROI 기간은 각각 6년, 7년, 10년, 13년이며, B/C ratio가 100%를 초과하여 순이익이 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서, 전력증폭장

치를 도입하여 태양광전원의 발전량을 2% 개선하는 경우, 향후 전력증폭장치의 가격하락을 고려하면 사업 타당성 측면에서, 전력증폭장치의 설치비용이 120,000(천원/MW) 이하일 경우에 경제적임을 알 수 있다.

Table 5. ROI Characteristic 2% of output improvement in PV system

year	construction [thousand won]			
	80,000	90,000	120,000	150,000
1	20	18	14	11
2	39	35	26	21
3	58	51	38	31
4	75	67	50	40
5	91	81	61	49
6	107	95	71	57
7	122	108	81	65
8	136	120	90	72
9	149	132	99	79
10	161	143	107	86
11	173	154	115	92
12	184	164	123	98
13	195	173	130	104
14	205	182	137	109
15	215	191	143	115
16	224	199	149	119
17	232	207	155	124
18	241	214	160	128
19	248	221	166	132
20	256	227	170	136

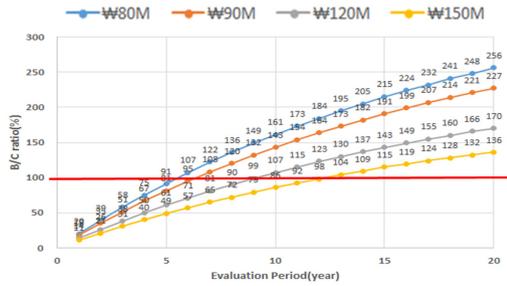


Fig. 9. B/C ratio characteristics with 2% output improvement rate in PV system

5.2.3 태양광발전의 출력량을 3% 개선한 경우

전력증폭장치를 도입하여 태양광전원의 발전량을 3% 개선한 경우, 4개의 초기 설치비용에 대한 B/C ratio 특성을 나타내면 Fig. 10과 Table 6과 같다. 여기서, 전력증폭장치의 초기 설치비용이 80,000(천원/MW), 90,000(천원/MW), 120,000(천원/MW), 150,000(천원/MW)인 경우, 최종년도에서의 B/C ratio는 각각 383%, 341%, 256%, 205%로 산정되고, ROI 기간은 각각 4년, 4년, 6년, 8년이며, B/C ratio가 100%를 초과

하여 순이익이 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서, 전력증폭장치를 도입하여 태양광전원의 발전량을 3% 개선하는 경우, 전력증폭장치의 설치비용이 150,000(천원/MW) 이하이면, 제안한 전력증폭장치의 도입이 경제적임을 알 수 있다.

Table 6. ROI Characteristic 3% of output improvement in PV system

year	construction [thousand won]			
	80,000	90,000	120,000	150,000
1	30	27	20	16
2	59	53	39	32
3	87	77	58	46
4	112	100	75	60
5	137	122	91	73
6	160	142	107	85
7	182	162	122	97
8	203	181	136	108
9	223	198	149	119
10	242	215	161	129
11	260	231	173	138
12	277	246	184	147
13	293	260	195	156
14	308	274	205	164
15	322	286	215	172
16	336	298	224	179
17	349	310	232	186
18	361	321	241	192
19	372	331	248	199
20	383	341	256	205

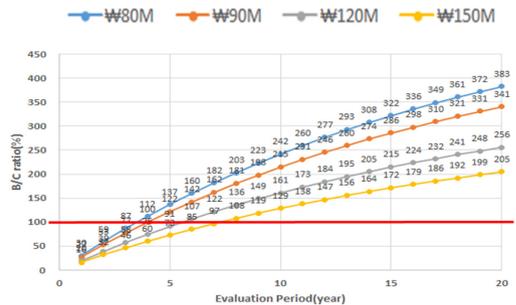


Fig. 10. B/C ratio characteristics with 3% output improvement rate in PV system

5.2.4 종합분석

태양광발전의 출력량 개선율을 고려하여 전력증폭장치에 따른 비용에 대한 편익비율(B/C Ratio)를 종합하면 Table 7과 같이 나타낼 수 있다. 이 Table에서와 같이 태양광발전 출력에 따른 손익분기점(ROI=1)은 전력증폭장치의 설치 비용과 출력량 개선율에 따라 변동됨을 알 수 있다. 즉, 전력증폭장치를 도입하여 태양광전원의

발전량이 2% 정도 개선되는 경우, 120,000(천원/MW) 이하의 전력증폭장치를 도입하면, 타당성 측면(ROI, 8년)에서 적합하고, 3%의 발전량이 개선되는 경우에는 150,000(천원/MW) 이하의 전력증폭장치를 도입해도 타당성 측면에서 우수함을 알 수 있다.

Table 7. The break-even point with output improvement rate in PV system

cost of power amplification device [thousand won]	break-even point with output improvement rates(year) (ROI = 1)		
	1[%]	2[%]	3[%]
80,000	14	6	4
90,000	17	7	4
120,000	26	9	6
150,000	36	12	7

6. 결론

본 논문에서는 태양광전원용 전력증폭장치를 적용하는 경우, 출력량 개선율에 따라 경제성을 판단하기 위한 경제성평가 모델링을 제시한다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 태양광 전원용 전력증폭장치의 효율을 1[%] 개선을 했을 경우에 대하여 B/C ratio를 선정하면, 전력증폭장치가 8천만원일 경우 14년도, 9천만원일 경우 17년도에 100%에 도달하지만, 1억 2천만원과 1억 5천만원인 경우에는 평가대상기한 내에 도달하지 않아 경제성이 희박함을 알 수 있다.
- (2) 태양광 전원용 전력증폭장치의 효율을 2[%] 개선을 했을 경우에 대하여 B/C ratio를 선정하면, 전력증폭장치가 8천만원일 경우 6년도, 9천만원일 경우 7년도, 1억 2천만원과 1억 5천만원인 경우는 각각 9년도, 12년도에 100% 도달하여 경제적임을 알 수 있다.
- (3) 태양광 전원용 전력증폭장치의 효율을 3[%] 개선을 했을 경우에 대하여 B/C ratio를 선정하면, 전력증폭장치가 8천만원과 9천만원일 경우 4년도, 1억 2천만원과 1억 5천만원인 경우는 각각 6년도, 7년도에 100[%]를 초과하여 경제적임을 알 수 있다.
- (4) 종합적으로 분석하면, 전력증폭장치를 도입하여

태양광전원의 발전량이 2% 정도 개선되는 경우, 120,000(천원/MW) 이하의 전력증폭장치를 도입하면, 타당성 측면(ROI, 8년)에서 적합하고, 3%의 발전량이 개선되는 경우에는 150,000(천원/MW) 이하의 전력증폭장치를 도입해도 타당성 측면에서 우수함을 알 수 있다.

References

- [1] Ministry of Trade, Industry and Energy, "Third Energy Master Plan", Korea, 6, 2019.
URL: https://www.motie.go.kr/common/download.do?fid=bs&bbs_cd_n=81&bbs_seq_n=161753&file_seq_n=1.
- [2] Dae Hwan Shin, "The Study of Power Generation Performance According to Shading of Photovoltaic System with CIGS Module", AFORE, 44-45.
<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE09327255>
- [3] Ankhzaya BAATARBILEG, "A STUDY ON EFFECT OF SHADING ON PHOTOVOLTAIC MODULE", AFORE, 125-125.
<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07279018>
- [4] Byung-Mok Kim, "A Study on Output Enhancement Method of PV Array Using Electrical Circuit Reconfiguration Algorithm", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 21, No. 8 pp. 9-17, 2020
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.8.9>
- [5] Park, Ji-Hyun, "A Study on Control Algorithms of Efficiency Improvement Device for PV System Operation using Li-ion Battery" Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 21, No. 8 pp. 9-17, 2020
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.10.590>
- [6] Park, Ji-Hyun, "A Study on Control Algorithms of Efficiency Improvement Device for PV System Operation using Li-ion Battery" Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 19, No. 10 pp. 590-597, 2018
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.10.590>
- [7] Kang-Hoon Koh, "The Operating Characteristics Analysis of Utility Interactive PV Power Generation System", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 17.No 6,pp. 23~30 September 2003
<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE00703099>
- [8] Sung-Moon Choi, "Implementation and Economic Evaluation of Movable PowerSupply Device for Electric Vehicle" Journal of Korea

Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 21, No. 12 pp. 77-86, 2020
 DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.12.77>

- [9] Chan-Ho Moon, "Economic Evaluation and Sensitivity Analysis of Solar PV Generation Business from the Perspective of Solar PV Generation Owners according to Fluctuation Scenarios of SMP and the Price of REC", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2020) 34(10) : 36 ~ 44
 DOI: <http://doi.org/10.5207/JIEIE.2020.34.10.036>
- [10] Korea Power Exchange, Price of SMP & REC.
 URL: https://der.kmos.kr/info/smp_market.do

전 진 택(Jin-Taek Jeon)

[준회원]



- 2009년 2월 : 청주대학교 전자공학과 (공학사)
- 2012년 8월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2020년 9월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 마이크로그리드, ESS

신 건(Jian Shen)

[정회원]



- 2011년 2월 : 한국기술교육대학교 기계공학과 (공학사)
- 2017년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2021년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, MVDC, 신재생 에너지, micro-grid, ESS

이 후 동(Hu-Dong Lee)

[정회원]



- 2016년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2018년 8월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, 보호협조, 신재생에너지, 마이크로그리드

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[종신회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국 전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전계통, 분산전원연계, 전력품질해석