

리튬이온전지를 이용한 태양광전원의 운용효율향상장치의 제어 알고리즘에 관한 연구

박지현, 김병목, 이후동, 남양현, 노대석*
한국기술교육대학교 전기공학과

A Study on Control Algorithms of Efficiency Improvement Device for PV System Operation using Li-ion Battery

Ji-Hyun Park, Byung-Mok Kim, Hu-Dong Lee, Yang-Hyun Nam, Dae-Seok Rho*

Department of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약 최근 전 세계적으로 에너지 고갈과 기후변화 문제로 인하여, 재생 가능하고 친환경적인 태양광전원에 대한 관심이 증가되고 있다. 그러나, 이러한 태양광전원은 주변 환경에 따라 출력이 크게 변동되는데, 일부 모듈에만 음영이 발생하여도 태양광전원의 전체적인 운용 효율이 상당히 저하되는 문제점을 가지고 있다. 즉, 기존의 제어방식에서는 모듈을 직렬로 연결된 스트링들이 인버터에 연계되어 있으므로, 일부 모듈에 부분 음영이 발생하면 해당 스트링의 전압이 인버터의 동작전압범위를 벗어나게 되어, 해당 스트링이 인버터에서 탈락되는 문제점이 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 음영에 의하여 태양광 스트링이 인버터에서 탈락되는 것을 방지하기 위하여, 태양광스트링에 리튬이온전지를 연결한 태양광전원 운용효율 향상장치의 제어알고리즘을 제안한다. 또한, 전력전자 회로해석 상용 프로그램인 PSIM S/W를 이용하여 태양광스트링, 리튬이온전지, 계통연계형 인버터로 구성된 태양광전원의 운용효율향상장치의 모델링을 수행하여 운용 특성을 분석한 결과, 직렬로 연결된 리튬이온전지가 부분 음영에 의하여 전압 저하를 발생한 해당 스트링의 전압을 보상함으로써, 해당 스트링이 인버터에서 탈락되는 현상을 개선하여 태양광전원의 운용효율을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

Abstract Recently, the installation of PV systems has been increasing due to the worldwide interest in eco-friendly and renewable solar energy. On the other hand, the output power of PV systems is influenced strongly by the surrounding weather conditions. In addition, the entire operation efficiency of PV systems may be decreased considerably even if only some of the PV modules are in the shade. In other words, the existing control method at which strings with modules in series are connected to an inverter may be not operated in the case that the string voltage in partial shade is lower than the operating range of the grid connected inverter. To overcome these problems, this paper proposes an operation efficiency improvement device of a PV system using a Li-ion battery, which can compensate for the voltage of each string in the PV system when it is partially shaded. In addition, this paper presents the modeling of the operation efficiency improvement device, including PV strings, Li-ion battery and a 3-Phase grid inverter based on the PSIM S/W. From the simulation results, it was confirmed that the proposed control method can improve the operating efficiency of PV systems by compensating for the string voltage with partial shade.

Keywords : Grid connected Inverter, Li-ion battery, Operation efficiency improvement device, PSIM S/W, PV system, SOC

본 논문은 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 연구(No.20163010012310)와 한국에너지기술평가원의 연구(No.20172410100030)에 의하여 수행되었음.

*Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology and Education)

Tel: +82-41-560-1167 email: dsrho@koreatech.ac.kr

Received August 28, 2018

Revised September 14, 2018

Accepted October 5, 2018

Published October 31, 2018

1. 서 론

최근 전 세계적으로 에너지 고갈과 기후변화 문제로 인하여, 재생 가능하고 친환경적인 태양광전원에 대한 관심이 증가되고 있다. 또한, 국내에서도 2030년까지 신재생 에너지전원의 비중을 전체 에너지전원의 20%까지 확대하기 위하여, 정부의 지원 하에 지자체 및 발전사업자들을 중심으로 태양광전원의 설치가 큰 폭으로 증가되고 있다[1-5]. 그러나, 이러한 태양광전원은 주변 기후조건에 따라 출력이 크게 변동되는데, 일부 모듈에만 음영이 발생하여도 태양광전원의 전체적인 운용 효율이 저하되는 문제점을 가지고 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[6].

따라서, 본 논문에서는 태양광스트링이 음영에 의하여 인버터에서 탈락되는 것을 방지하기 위하여, 태양광스트링에 리튬이온전지를 직렬로 연결한 태양광전원 운용효율향상장치의 제어알고리즘을 제안한다. 또한, 전력전자 회로해석 상용 프로그램인 PSIM S/W를 이용하여 태양광스트링, 리튬이온전지, 계통연계형 인버터로 구성된 태양광전원의 운용효율향상장치의 모델링을 제시한다. 이를 바탕으로 제안한 태양광전원 운용효율향상장치의 특성을 분석한 결과, 연결된 리튬이온전지는 부분 음영에 의하여 전압 저하가 발생된 해당 스트링의 전압을 보상함으로써, 해당 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 유지하여, 태양광전원의 운용효율이 상당히 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

2. 태양광전원의 운용 특성

일반적으로 태양광전원은 태양광모듈을 직·병렬로 조합하여 전체 시스템을 구성하고, 여러 개의 스트링이 하나의 3상 인버터(3-Phase Inverter)에 연결되어 Fig. 1과 같이 운용되고 있다[7-9]. 그러나, 이러한 기존의 태양광전원은 운용 중 어느 한 모듈에 이상이 생길 경우, 해당 스트링의 전압 및 전류의 불균형에 의하여, 전체 출력이 감소될 수 있다.

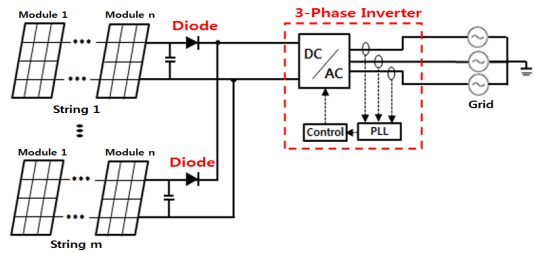


Fig. 1. Concept of existing PV system

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

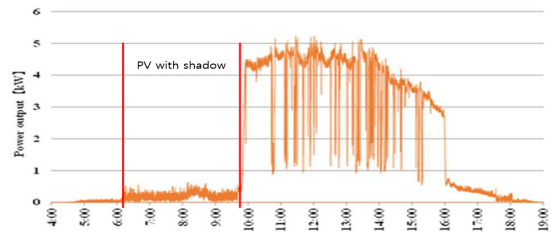


Fig. 2. Power characteristics of PV system by shadow

3. 리튬이온전지를 이용한 태양광전원 운용효율향상장치의 제어 알고리즘

3.1 태양광전원 운용효율향상장치 구성

태양광 스트링이 음영에 의하여 인버터에서 탈락되는 것을 방지하기 위하여, 태양광모듈에 리튬이온전지를 직렬로 연결한 태양광전원 운용효율향상장치를 Fig. 3과 같이 제안한다. 이 장치는 리튬이온전지와 충전기로 구성되며, 태양광스트링과 계통연계형 인버터 사이에 삽입되며, 음영에 의하여 전압 저하가 발생한 해당 스트링의 전압을 리튬이온전지가 다단탭 형태로 적정하게 전압을 보상하는 장치이다.

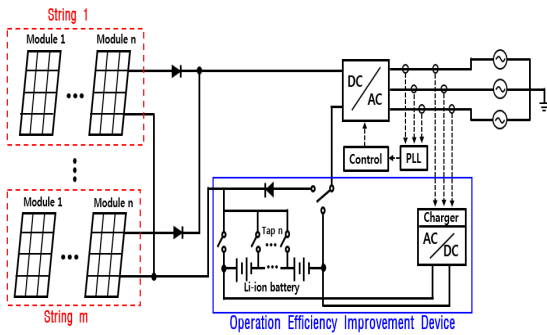


Fig. 3. Concept of operation efficiency improvement device in PV system

3.2 태양광전원 운용효율향상장치의 제어알고리즘

음영으로 인해 감소된 스트링의 전압을 리튬이온전지를 직렬로 연결하여 보상하는 태양광전원 운용효율향상장치의 제어 알고리즘을 구체적으로 나타내면 다음과 같다.

[Step 1] 인버터의 최소 및 최대 동작전압범위(V_{min}^{inv} , V_{max}^{inv})와 리튬이온전지의 최소 운용범위인 SOC(SOC_{min})를 상정하고, 태양광스트링 전체 개수(i_{max}) 및 태양광전원의 전체 운용시간(t_{max})을 설정한다.

[Step 2] 리튬이온전지의 SOC($SOC_{bat}(t)$)가 최소 운용범위인 SOC(SOC_{min})보다 작은 경우에는 리튬이온전지의 충전을 수행하고 큰 경우에는 [Step 3]으로 이동한다.

[Step 3] 해당 스트링($V_{str}(i, t)$)의 전압이 인버터 최대 동작전압을 초과하면, 리튬이온전지를 차단시키고, 해당 스트링의 전압이 인버터 최대 동작전압(V_{max}^{inv})보다 작으면, [Step 4]로 이동한다.

[Step 4] 해당 스트링의 전압이 인버터의 최소 동작전압(V_{min}^{inv})보다 작으면, [Step 5]로 이동하고, 큰 경우에는 [Step 6]으로 이동한다.

[Step 5] 해당 스트링의 전압이 인버터 최소 동작전압범위보다 작으면, 감소된 스트링의 전압의 크기에

따라 리튬이온전지의 적절한 탭 전압($V_{tap}(t)$)을 선택하여, 해당 스트링의 전압을 보상하고 [Step 2]로 돌아간다.

[Step 6] 설정한 태양광스트링 전체 개수(i_{max}) 및 전체 운용시간(t_{max})에 도달하면 반복을 종료한다.

상기의 절차를 플로우차트로 나타내면 Fig. 4와 같다.

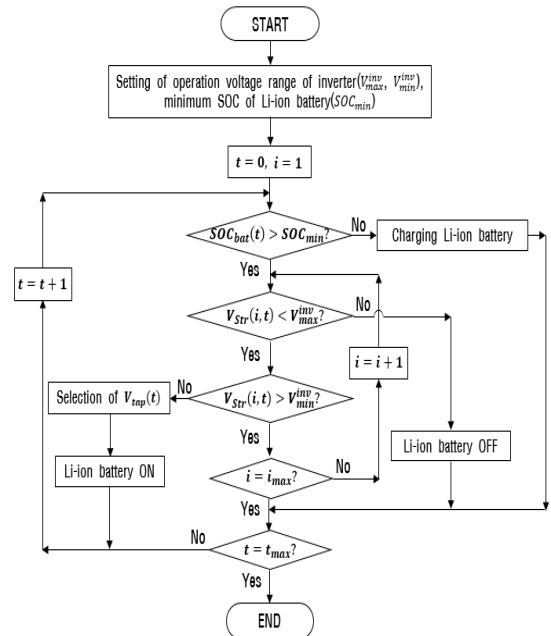


Fig. 4. Control algorithm of operation efficiency improvement device in PV system

4. 리튬이온전지를 이용한 태양광전원 운용효율향상장치의 모델링

4.1 태양광스트링의 모델링

정격출력 250[W]의 태양광모듈 8개를 직렬로 연결한 2[kW] 급의 스트링을 2 병렬로 인버터에 연결한 총 4[kW] 급의 태양광전원을 PSIM S/W를 이용하여 모델링하면 Fig. 5와 같다. 여기서, 태양광모듈의 다양한 특성을 나타내기 위하여, 각 모듈의 출력을 결정하는 일사량 및 온도 제어소자를 구성한다.

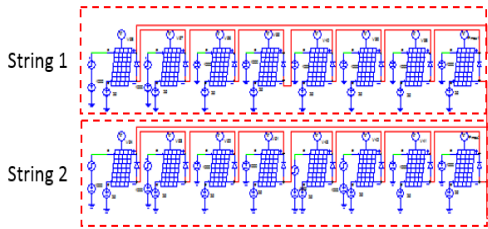


Fig. 5. Modeling of PV string

4.2 리튬이온전지의 모델링

음영에 의하여 발생하는 태양광 스트링의 탈락을 방지하기 위하여, 본 논문에서 제시한 제어 알고리즘을 바탕으로 리튬이온전지 모듈을 모델링하면 Fig. 6과 같다. 이 그림에서와 같이, 리튬이온전지는 제어 스위치와 바이패스 다이오드에 의하여 적절한 탭 전압이 결정되도록 구성한다.

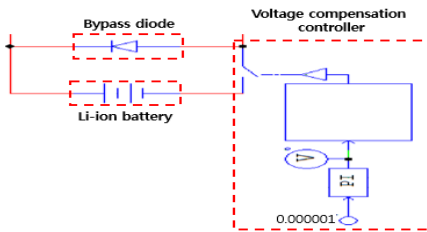
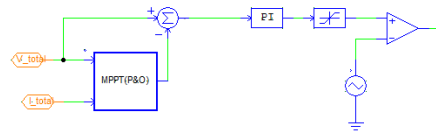


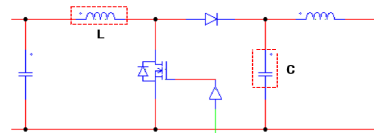
Fig. 6. Modeling of Li-ion battery

4.3 계통연계형 인버터의 모델링

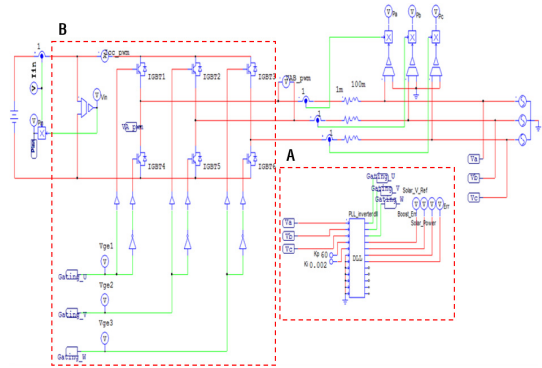
PSIM S/W를 이용하여 MPPT 제어기 및 안정화 회로, PLL 제어기로 구성된 3상 계통연계형 인버터를 모델링하면 Fig. 7과 같다[10-11]. 여기서, Fig. 7(a)는 태양광전원의 최대출력을 추종하는 MPPT 제어기이며, Fig. 7(b)는 출력 맥동을 저감시키기 위한 안정화 회로이다. 또한, Fig. 7(c)의 A부분에서는 계통의 선간전압 및 계통위상을 입력받아 C언어 기반(DLL)으로 구성된 PLL 제어기를 통해 6개의 IGBT의 스위칭 신호를 결정하고, Fig. 7(c)의 B부분은 3상 계통연계형 인버터를 통해 스트링에서 발생한 DC 전력을 3상 AC 전력으로 변환하여 계통으로 전달하며, 변환된 출력은 계통의 위상을 추종하게 된다.



(a) MPPT control circuit



(b) Stabilization circuit



(c) PLL control circuit

Fig. 7. Modeling of 3-phase inverter

4.4 전체 시스템의 모델링

상기에서 제시한 모델링을 바탕으로 태양광 스트링, 리튬이온전지, 인버터 제어기(MPPT 제어, 안정화회로, PLL 제어)로 구성된 태양광전원의 운용효율향상장치를 나타내면 Fig. 8과 같다.

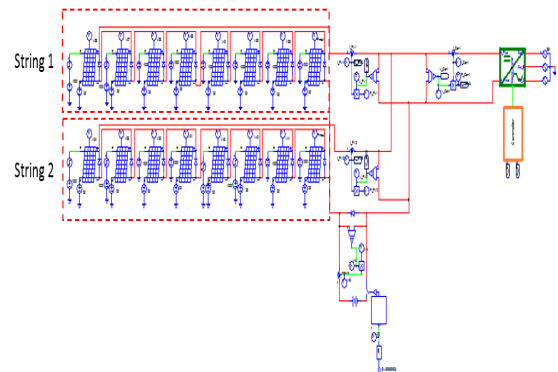


Fig. 8. Modeling of operation efficiency improvement device in PV system

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

5.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서 제안한 태양광전원의 운용효율향상장치의 유용성을 확인하기 위하여, PSIM S/W를 이용하여 기존 태양광전원 제어방식과 제안한 태양광전원 제어방식의 운용 특성을 비교 분석한다. 태양광전원 및 리튬이온전지의 운용조건 및 설정치는 Table 1과 같으며, 여기서, 음영이 스트링 면적의 50% 이상 발생하면, 스트링의 전압이 인버터의 동작전압범위를 벗어나는 것으로 상정한다. 한편, Fig. 3과 같이, 정격출력 250[W]의 태양광모듈 8개를 직렬로 연결한 2[kW] 급의 스트링을 2 병렬로 인버터에 연결한 총 4[kW] 급의 태양광전원을 모의하였다. 여기서, 대상으로 한 태양광모듈의 사양은 Table 2와 같다.

Table 1. Simulation conditions

	Case	Li-ion battery terminal voltage [V]	Shadow area
Existing method	1	0	Without shadow
	2	0	2/8 of string
	3	0	4/8 of string
Proposed method	4	0	Without shadow
	5	0	2/8 of string
	6	30	4/8 of string

Table 2. Specifications of a PV module

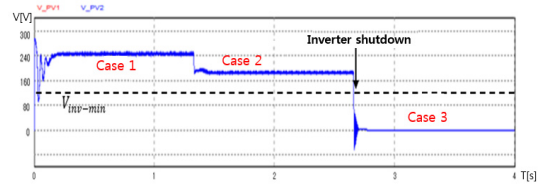
Rated power (P_{max})	250[W]
Voltage at Pmax (V_{mp})	30.8[V]
Current at Pmax (I_{mp})	8.14[A]
Open-circuit voltage (V_{oc})	37.5[V]
Short-circuit current (I_{sc})	8.67[A]

5.2 기존 제어방식에 의한 특성 분석

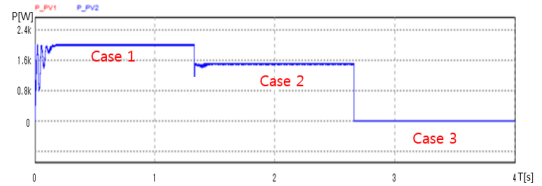
여기서는 태양광전원에 발생된 음영이 운용효율에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 기존 제어방식에 의한 태양광전원 전압 및 출력 특성을 분석하였다. 즉, 스트링에 부분 음영이 발생하는 경우, 전절에서 제시한 모델링을 바탕으로 태양광전원의 전압 및 출력 특성을 나타내면 Fig. 9와 같다. 여기서, Fig. 9(a)는 음영에 따른 스트링별 전압, Fig. 9(b)는 스트링별 출력을 나타낸다. 이 그림에서와 같이, 음영이 발생되지 않은 경우(Case 1) 스트

링의 전압은 246[V], 스트링의 출력은 제조사의 태양광모듈 사양과 같이 2[kW]로 유지된다.

하지만, 스트링에 부분 음영이 발생함에 따라, 스트링의 전압 및 출력은 변동하게 된다. 즉, 음영이 스트링 면적의 25%가 발생(Case 2)하면 스트링 전압은 183[V], 스트링 출력은 1,590[W]로 저하되고, 음영이 스트링 면적의 50%가 발생(Case 3)하면 스트링의 전압은 인버터의 최소 동작전압범위($V_{min}^{inv} : 130[V]$)를 벗어나, 해당 스트링 전압은 0[V], 출력은 0[W]로 감소하게 된다. 따라서, 부분 음영으로 인하여 해당 스트링은 인버터로부터 탈락되고, 태양광전원의 운용효율이 감소하게 됨을 알 수 있었다.



(a) Voltage characteristics according to shadow area



(b) Power characteristics according to shadow area

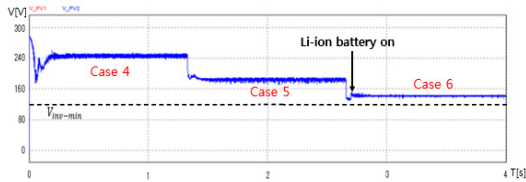
Fig. 9. Operation characteristics of existing method

5.3 태양광전원 운용효율향상장치의 특성 분석

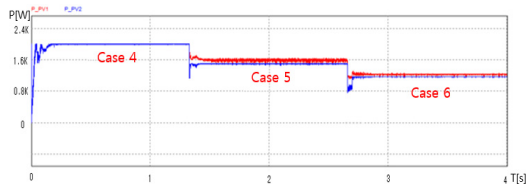
상기의 음영에 의하여 발생하는 태양광 스트링의 탈락을 방지하기 위하여, 본 논문에서 제시한 제어 알고리즘과 PSIM S/W 모델링을 바탕으로 리튬이온전지를 이용한 운용효율향상장치의 운용 특성을 나타내면 Fig. 10과 같다. 즉, Fig. 10(a)는 부분 음영에 따른 스트링별 전압, Fig. 10(b)는 스트링별 출력을 나타낸다. 여기서, 음영이 발생되지 않은 태양광 스트링(Case 4)의 전압은 250[V], 출력은 2[kW]로 기존의 제어방식과 동일하게 유지되고, 음영이 스트링 면적의 25%가 발생(Case 5)하면 스트링의 전압은 185[V], 출력은 1,608[W]로 저하된다.

또한, 음영이 스트링의 면적의 50%가 발생(Case 6)하면, 초기에 스트링 전압 및 출력은 순간적으로 감소되지만, 제어 장치에 의하여 리튬이온전지가 투입되면 해당

스트링의 전압은 153[V]로 회복되고, 출력도 1,333[W]로 상승하게 된다. 따라서, 본 논문에서 제안한 운용효율 향상장치는 음영에 의해 해당 스트링 전압이 순간적으로 감소하지만 리튬이온전지에 의하여 전압이 보상되어, 해당 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 유지하여, 기존의 제어 방식에 비하여 운용효율이 향상됨을 알 수 있었다.



(a) Voltage characteristics according to shadow area



(b) Power characteristics according to shadow area

Fig. 10. Operation characteristics of proposed method

5.4 종합분석

기존의 제어 방식과 제안한 제어 방식에 의한 태양광전원의 운용특성을 비교하기 위하여, 음영이 발생된 스트링의 면적과 리튬이온전지의 보상전압을 파라미터로 하여, 태양광전원의 스트링 전압 및 출력특성을 나타내면 Table 3과 같다.

Table 3. Comparison result

Shadow area	Existing method		Proposed method		
	Output P[W]	String V[V]	Output P[W]	String V[V]	Terminal V[V]
Without shadow	2,000	246	2,000	246	0
1/8 of string	1,844	212	1,871	215	0
2/8 of string	1,590	183	1,608	185	0
3/8 of string	1,344	154	1,356	156	0
4/8 of string	0	0	1,333	153	30
5/8 of string	0	0	1,314	151	60
6/8 of string	0	0	1,313	150	90

Table 3과 같이, 음영이 해당 스트링 면적의 50% 이상 발생하면, 기존의 제어방식에서는 스트링의 출력이 0[W]로 감소하지만, 제안한 제어방식에서는 스트링의 출력이 약 67%로 개선됨을 알 수 있었다. 여기서, 음영이 태양광 스트링의 50%가 발생하면 하나의 리튬이온전지 모듈이 투입되어 전압이 보상되고, 62.5%와 75%의 음영이 발생하면, 리튬이온전지 모듈이 2개, 3개로 단계별로 투입되어 전압을 보상하게 된다. 따라서, 제안한 방식은 음영의 정도에 따라 리튬이온전지 모듈의 전압을 단계별로 투입하여, 태양광전원의 운용효율을 향상시킬 수 있으며, 기존의 제어방식에 비하여 상당한 폭으로 운용효율을 개선시킬 수 있음을 확인하였다.

6. 결론

본 논문에서는 음영으로 인해 감소된 스트링의 전압을 리튬이온전지를 연결하여 보상하는 태양광전원 운용효율향상장치의 제어알고리즘을 제안하고, PSIM S/W를 이용하여 기존 태양광전원의 제어방식과 제안한 태양광전원 제어방식의 운용 특성을 비교 분석하였다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기존 태양광전원의 제어방식에서는 음영이 스트링 면적의 50%가 발생(Case 3)하면 스트링의 전압은 인버터의 최소 동작전압 범위(V_{min}^{inv} : 130[V])를 벗어나, 해당 스트링은 인버터로부터 탈락되어 해당 출력은 0[W]로 감소하게 된다. 따라서, 부분 음영으로 인하여 태양광전원의 운용효율이 감소하게 됨을 알 수 있었다.
- (2) 제안한 태양광전원의 운용효율향상장치를 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 음영이 해당 스트링 면적의 50%가 발생하면, 초기에 스트링 전압 및 출력은 순간적으로 감소되지만, 제어 장치에 의하여 리튬이온전지가 투입되면 해당 스트링의 전압은 153[V]로 회복되고, 출력도 1,333[W]로 상승하게 된다. 따라서, 해당 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 유지하여, 기존의 제어 방식에 비하여 운용효율이 향상됨을 알 수 있었다.
- (3) 제안한 방식에 의하면, 음영이 해당 스트링의

50%가 발생하면 하나의 리튬이온전지 모듈이 투입되어 전압이 보상되고, 62.5%와 75%의 음영이 발생하면, 리튬이온전지 모듈이 2개, 3개로 단계별로 투입되어 전압을 보상하게 된다. 따라서, 제안한 방식은 음영의 정도에 따라 리튬이온전지 모듈의 전압을 단계별로 투입하여, 태양광전원의 운용효율을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] S. J Ku, S. H Yoon, "Willingness to pay for renewable energy investment in Korea: A choice experiment study", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, No. 8, pp. 2196-2201, 2010
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.013>
- [2] S. J Ku, S. H Yoon, "The Electrical Characteristics of The Modules According to The Environment of The Floating Photovoltaic System", *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, Vol. 31, No.5, pp. 283-289 2018
DOI: <http://doi.org/10.4313/JKEM.2018.31.5.283>
- [3] H. T Kim, S. S Jhang, "Key Technologies for Stabilization of Power System for Successful Achievement of 3020 Renewable Energy Policy", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers* Vol. 67, No. 2, pp. 149-157, 2018
DOI: <http://doi.org/10.5370/KIEE.2018.67.2.149>
- [4] Ministry of Trade, Industry and Energy, *Renewable Energy 3020Plan*, <https://www.gov.kr/portal/ntnadm/News/1279625>, 2017
- [5] B.K Kim, K. S Ryu, C. H Kim, D. S Rho, "A Study on the Customer Voltage Characteristic of Distribution System with Large Scale PV", *Trans. KIEE*. Vol. 62, pp. 29-36 No.1, 2013
DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2012.62.1.029>
- [6] 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
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.7.704>
- [7] 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
DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2012.61.12.1791>
- [8] S. K Ock, O. Yang, "A Study on the New MPPT Control Method for Grid-connected PV Generation System", *Journal of Korean Institute of Information Technology* 10(2), pp. 28-35, 2012
DOI: <http://uci.or.kr/G704-001947.2012.10.2.027>
- [9] Y. S Lee, N. I Kim, S. W Jeong, J. H Gim, "Comparison of MPPT Control Method Characteristic for Stand-alone PV System", *The Korean Institute of Electrical Engineers* Vol. 61, No. 1, pp. 75-79, 2012
DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2012.61.1.075>
- [10] W. J Lee, H. S Jo, H. J Lee, H. J Cha, "Seamless Transfer Operation Between Grid-connected and Stand-Along Mode in the Three-phase Inverter", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers* Vol. 62, No. 2, pp. 201-207, 2013
DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2013.62.2.201>
- [11] Y. S Oh, K. J Cho, M. S Kim, J. S Kim, S. B Kang, C. H Kim, Y. J Lee, Y. T Ko, "Modeling of Practical Photovoltaic Generation System using Controllable Current Source based Inverter", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers* Vol. 65, No. 8, pp. 1340-1346, 2016
DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.8.1340>

박 지 현(Ji-Hyun Park)

[준회원]



- 2017년 2월 : 청주대학교 태양광에너지공학과(공학사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 석사과정 재학 중

<관심분야>

신재생에너지, 전력계통, 마이크로그리드

김 병 목(Byung-Mok Kim)

[정회원]



- 2011년 3월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2013년 8월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 2차전지

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, 신재생에너지, 마이크로그리드

남 양 현(Yang-Hyun Nam)

[정회원]



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

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 마이크로그리드

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[정회원]



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

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석