

리튬이온 배터리를 이용한 가정용 태양광모듈의 출력 증폭장치의 구현 및 특성분석

태동현, 김병목, 이후동, 강갑석, 노대석*
한국기술교육대학교 전기공학과

A Study on Implementation of Power Regulation Device for Residential PV Module Using Li-ion Battery

Dong-Hyun Tae, Byung-Mok Kim, Hu-Dong Lee, Kab-Seok Kang, 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 신재생 에너지 전원에 대한 관심이 증가되고 있다. 그러나, 이러한 태양광전원은 주변 환경에 따라 출력이 크게 변동되는데, 일부 모듈에만 음영이 발생하여도 태양광 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나게 되고 인버터가 저전압 현상으로 인해 정지하여, 태양광전원의 전체적인 운용효율이 큰 폭으로 저하되는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 태양광 스트링이 음영에 의하여 인버터에서 탈락되는 것을 방지하기 위하여, 저하된 스트링 전압 크기만큼 다단 형태의 리튬이온 배터리 모듈을 직렬로 연결하여 전압저하분을 보상할 수 있는 태양광모듈 출력 증폭장치의 운용방안을 제시한다. 또한, 태양광 스트링, 태양광모듈의 출력 증폭장치, 계통연계형 인버터로 구성된 태양광모듈의 출력 증폭장치를 구현하여 운용특성을 분석한 결과, 직렬로 연결된 리튬이온 배터리가 부분 음영에 의하여 전압저하가 발생한 스트링의 전압을 출력 증폭장치의 리튬이온 배터리로 보상함으로써, 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 유지하여, 태양광전원의 운용효율을 향상시켜 본 연구의 유효성을 확인하였다.

Abstract Recently, renewable energy sources that are sustainable and eco-friendly are emerging as one of the solutions for energy exhaustion and climate change issues worldwide. However, the output characteristics of PV systems can be severely influenced by the environmental conditions. The overall operation efficiency of PV systems is sharply decreased due to shutdown of a grid-connected inverter for PV systems if there is partial shade on PV modules. In order to overcome the problems, this paper presents 3 operation modes of a power regulation device for PV modules, which can compensate a PV string voltage to be within the operation range of a grid-connected inverter by connecting Li-ion battery modules in series with PV modules. Also, we implemented a 2-kW scaled test device, which is composed of a PV string, power regulation device for a PV module, and a grid-connected inverter. We used it to evaluate operation characteristics of the power regulation device. From the test results based on the proposed test device, it was confirmed that the operation modes of the power regulation device are a practical tool to improve the operation efficiency of PV systems by preventing shutdown of a grid-connected inverter, even if partial shade occurs at PV modules.

Keywords : Grid-connected Inverter, Li-Ion Battery Module, Power Regulation Device, PV String, Operation Efficiency

본 논문은 2020년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구[S2854105]와 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 연구(No.20206910100090 & 20191210301940)를 지원받아 연구되었음.

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

Received April 16, 2021

Revised May 6, 2021

Accepted August 5, 2021

Published August 31, 2021

1. 서론

최근, 전 세계적으로 에너지 고갈과 기후변화 문제로 인하여, 재생 가능하고 친환경적인 신재생 에너지 전원에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히, IEA에 의하면 2040년까지 추가될 발전용량 9,000GW 중 재생에너지가 6,800GW에 달할 것으로 전망하고 있으며, 국내에서도 재생에너지 3020 이행계획 등 다양한 정부 지원 정책에 따라, 지자체 및 발전사업자들을 중심으로 태양광전원의 설치가 큰 폭으로 증대되고 있다[1-5]. 그러나, 이러한 태양광전원은 주변 기후조건에 따라 출력이 크게 변동되는데, 일부 모듈에만 음영이 발생하여도 인버터의 동작이 정지되어, 운용효율이 저하되는 문제점을 가지고 있다. 즉, 태양광전원에서는 모듈을 직렬로 연결한 스트링이 인버터에 연계되어 구성되므로, 일부 모듈에 부분 음영이 발생하면 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나게 되어, 스트링이 인버터에서 탈락되는 문제점이 발생할 수 있다[6,7].

따라서, 본 논문에서는 태양광 스트링이 음영에 의하여 인버터에서 탈락되는 것을 방지하기 위하여, 저하된 스트링 전압 크기만큼 다단형태의 리튬이온 배터리 모듈을 직렬로 연결하여 전압저하분을 보상할 수 있는 태양광모듈 출력 증폭장치의 운용방안을 제시한다. 또한, 태양광 스트링, 태양광모듈의 출력 증폭장치, 계통연계형 인버터로 구성된 태양광모듈의 출력 증폭장치를 구현한다. 이를 바탕으로 제안한 태양광모듈 출력 증폭장치의 운용특성을 분석한 결과, 부분 음영에 의하여 전압저하가 발생된 태양광 스트링의 전압을 출력 증폭장치의 리튬이온 배터리 모듈로 보상함으로써, 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 발생하여, 태양광전원의 운용효율을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

2. 가정용 태양광모듈의 출력 증폭장치의

운용모드

2.1 태양광모듈의 출력 증폭장치의 운용모드

일반적으로, 태양광전원은 태양의 위치 변화나 구름 및 나무 등으로 발생하는 음영에 의해 출력 손실이 발생한다[7]. 특히, 일부 태양광모듈에 부분 음영이 발생하면 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나 인버터로부터 탈락되고, 스트링의 출력은 0[W]로 감소하게

되어, 태양광전원의 전체적인 운용효율이 저하되는 현상이 발생할 수 있다. 하지만, 이러한 부분 음영에 의한 태양광모듈의 운용효율 저하 현상을 방지하는 방안이 제시되고 있지 않아, 이에 대한 대책이 필요한 실정이다[8-10].

따라서 본 논문에서는 태양광 스트링이 음영에 의하여 인버터에서 탈락되는 것을 방지하기 위하여, 태양광모듈에 리튬이온 배터리를 직렬로 연결한 가정용 태양광모듈 출력 증폭장치를 제안한다. 이 장치는 배터리 모듈부와 충전기로 구성되고, 태양광 스트링과 계통연계형 인버터 사이에 직렬로 삽입되며, 음영에 의하여 전압저하가 발생할 경우, 태양광 스트링의 전압을 다단형태의 배터리 모듈부가 적절하게 전압을 보상하는 역할을 수행한다. 특히, 가정용 태양광모듈에 적용되므로, 비교적 작은 용량의 배터리를 통해 태양광모듈 전체의 출력을 증폭시킬 수 있는 장점이 있다.

먼저, Fig. 1은 스트링의 전압이 인버터의 동작범위 이내를 유지하여, 정상적인 상태에서의 태양광발전 운용모드를 나타낸다. 여기서, 태양광모듈의 출력 증폭장치는 바이패스 모드에 의해 동작하지 않고, 태양광 스트링의 출력은 인버터를 통해 계통으로 전달된다. 또한, Fig. 2는 태양광모듈의 일부가 음영으로 인해 스트링의 전압이 인버터의 동작범위를 벗어나는 경우, 인버터가 탈락하는 현상을 방지하기 위해, 태양광모듈의 출력 증폭장치에 의하여 전압저하분을 보상하는 운용모드이다. 여기서, 태양광모듈의 출력 증폭장치는 저하된 스트링 전압 크기만큼 다단형태의 배터리 모듈부를 직렬로 연결하여 전압저하분을 보상하여, 태양광모듈의 출력과 배터리의 보상된 출력을 인버터를 통해 계통으로 전달한다. 한편, Fig. 3은 배터리 모듈부의 SOC가 설정치 미만인 경우, AC 상용계통으로부터 태양광모듈용 출력 증폭장치의 배터리 모듈부에 충전하는 운용모드이다. 여기서, 태양광모듈용 출력 증폭장치는 방전된 배터리 모듈부에 대하여, 충전기를 이용해 배터리 모듈별 SOC에 따라 개별적으로 충전한다.

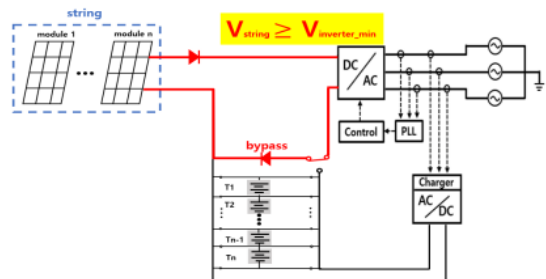


Fig. 1. Normal operation mode of PV system

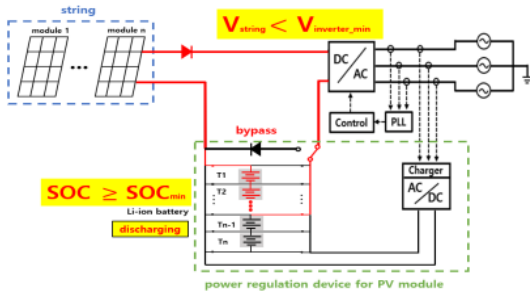


Fig. 2. Main operation mode of power regulation device for PV module

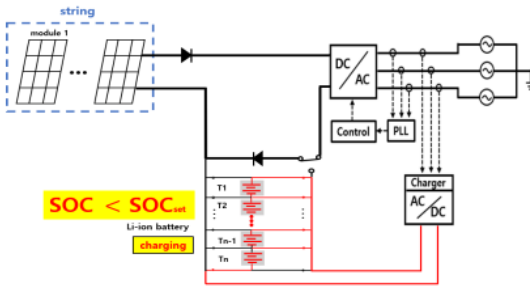


Fig. 3. Charging mode of power regulation device for PV module

2.2 태양광모듈의 출력 증폭장치의 운용특성

상기에서 제시한 태양광모듈의 출력 증폭장치는 태양광모듈과 배터리를 직렬로 연결하여 구성되므로, DC/AC 변환을 위한 계통연계형 인버터는 태양광모듈 뿐만 아니라, 배터리의 특성까지 고려하여 MPPT 제어를 수행하게 된다. 즉, 태양광모듈용 출력 증폭장치의 MPPT 제어회로는 Fig. 4와 같으며, 여기서 태양광모듈만 연계된 경우, 인버터는 (A) 회로구성에 의한 MPPT 제어를 수행하고, 배터리가 추가되는 경우에는 (B) 회로 구성까지 동시에 고려하여 MPPT 제어를 수행하게 된다.

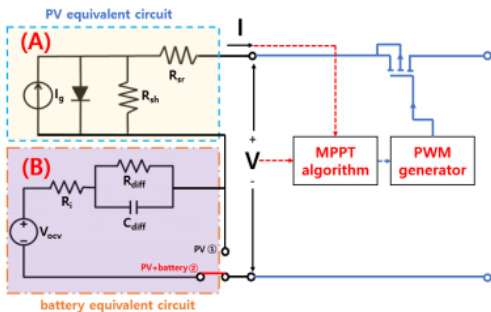


Fig. 4. MPPT control circuit of power regulation device for PV module

상기의 제어회로에 따른 MPPT 출력특성은 Fig. 5와 같으며, Fig. 5 (a)는 V-I 특성, Fig. 5 (b)는 V-P 특성을 나타낸다. 먼저, Fig. 5 (a)의 ①번 곡선은 태양광 모듈만을 고려한 MPPT 특성을 나타내며, ②번 곡선은 태양광 모듈과 출력 증폭장치를 고려한 MPPT 특성을 나타내는데, ①에서 ②로 변경될 때 최대출력점의 전류는 거의 변하지 않지만, 최대출력점의 전압은 배터리의 출력 전압 ($V_2 - V_1$)만큼 증가함을 알 수 있다. 또한, Fig. 5 (b)와 같이 태양광 모듈만 고려한 출력곡선(①)과 태양광모듈과 출력 증폭장치를 고려한 출력곡선(②)의 특성이 매우 유사한 형태이므로, 배터리는 직렬 연결된 태양광모듈의 동작특성을 추종하여 방전하는 것을 알 수 있다. 따라서, 태양광모듈만으로 운용되는 기존의 방법과 달리, 본 연구에서 제안한 출력 증폭장치가 연결된 경우, PV용 인버터는 태양광모듈과 배터리의 특성을 동시에 고려하여 MPPT 제어를 수행하며, 배터리가 보상하는 전압만큼 태양광모듈의 출력이 증폭되는 것을 알 수 있다.

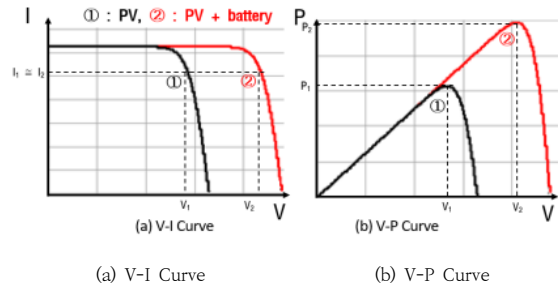


Fig. 5. Current and output characteristics of power regulation device for PV module

3. 리튬이온 배터리를 이용한 가정용 태양광모듈의 출력 증폭장치 구현

3.1 태양광 스트링

태양광모듈은 60개의 태양전지 셀과 3개의 바이패스 다이오드로 구성되며, 20개의 셀마다 하나의 다이오드가 설치되어 있다. 또한, Fig. 6과 같이 2[kW]급 태양광 스트링은 250[W]급 태양광모듈 8개를 직렬로 연결하여 구성하며, 각 태양광모듈의 전기적 특성은 Table 1과 같다.

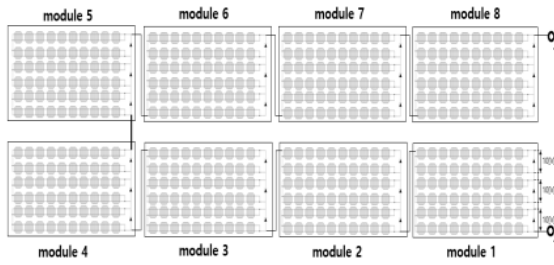


Fig. 6. Configuration of 2kW-scaled PV string

Table 1. Specifications of PV module

items	contents
rated power (P_{max})	250[W]
Pmax voltage (V_{mp})	30.8[V]
Pmax current (I_{mp})	8.14[A]
open circuit voltage(V_{oc})	37.5[V]
short circuit current(I_{sc})	8.67[A]

3.2 태양광모듈의 출력 증폭장치

태양광모듈의 출력 증폭장치는 Fig. 7과 같이 전압보상을 위한 배터리팩과 AC전원 계통으로부터 배터리의 충전을 위한 충전기, 그리고 이를 감시하고 안전하게 제어하기 위한 BMS(battery management system)로 구성한다. 여기서, 배터리팩은 153[Wh]급 4직렬의 모듈로 구성하고 총 612[Wh]의 용량을 가지며, 상세한 사양은 Table 2와 같다. 또한, BMS는 각 모듈에 연결된 센서로부터 전압, 전류, 온도 등을 측정하여, 배터리의 SOC(state of charge)를 평가하거나, 부분 음영으로 인해 태양광모듈의 전압이 저하되는 경우, 배터리의 방전을 통해 태양광전원이 발전을 지속할 수 있도록 회로를 제어한다.

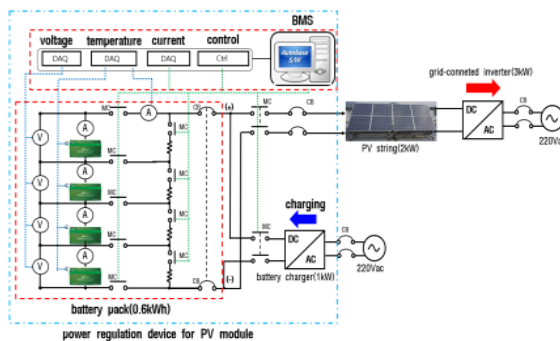


Fig. 7. Configuration of power regulation device for PV module

Table 2. Specifications of Li-ion battery module

items	specifications	
	modules	pack(4S)
capacity	153[Wh] (6[Ah])	612[Wh] (24[Ah])
nominal voltage	25.6[V]	102.4[V]
operation voltage	18~29.2[V]	18~116.8[V]
weight	<1.3[kg]	<5.2[kg]

3.3 계통연계형 인버터

계통연계형 인버터는 Fig. 8과 같이, 입력 Filter, DC/DC Booster, IGBT, 출력 Reactor, 등으로 구성되며, 입력전압을 DC/DC Booster로 승압하고, 3상 380[V]의 AC로 변환해 전력계통과 연계되도록 구현한다. 또한, 입력전압의 범위는 115~500[V]이고, 정격용량은 3[kW]이며, 상세한 사양은 Table 3과 같다. 한편, 일사량이나 태양광 모듈의 탈락 등으로 인해 입력되는 전압 및 전류가 변동되더라도 인버터는 PLL 제어를 통해 계통의 위상을 추종하도록 한다.

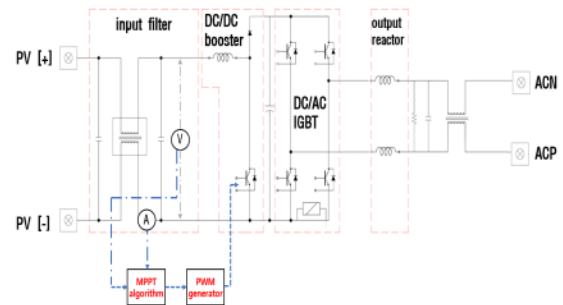


Fig. 8. Configuration of grid-connected inverter

Table 3. Specifications of grid-connected inverter

items	contents
input	voltage operating range DC 115V ~ 500V
output	rated capacity 3kW
	rated voltage 380V +10%/-12%
	frequency fluctuation rate 60Hz +0.5Hz/-0.7Hz
	MPPT control type perturb & observe
	waveform distortion at output stage 5% or less
	overload capability 110% 10 minutes
	load power factor more than 0.95
	rated efficiency more than 96%

상기의 태양광 스트링, 태양광모듈의 출력 증폭장치, 계통연계형 인버터로 구성된 전체 시스템은 Fig. 9와 같다.

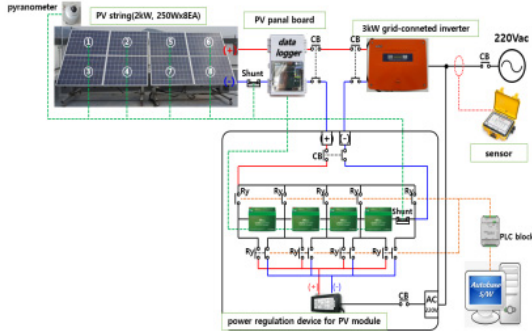


Fig. 9. Configuration of entire system of power regulation device for PV module

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시험 조건

본 논문에서 제안한 가정용 태양광모듈 출력 증폭장치의 운용특성을 확인하기 위하여, 여기서는 3장에서 구현한 시험장치를 이용하여 부분음영 발생 시, 출력 증폭장치가 없는 방식(Case I ~ Case III)과, 출력 증폭장치를 통해 전압저하분을 보상하는 방식(Case IV ~ Case XI)의 운용특성을 비교 분석한다. 음영 발생 면적에 따른 리튬이온 배터리의 운용조건은 Table 4와 같이 상정하며, 6개의 Case별로 약 10분간 지속하여 시험을 수행한다.

Table 4. Test conditions

	Case	Li-ion battery terminal voltage [V]	shadow area
existing method	I	0	without shadow
	II		4/8 of string
	III		5/8 of string
proposed method	IV	0	without shadow
	V		4/8 of string
	VI		5/8 of string
	VII	51.2	5/8 of string
	VIII	25.6	
	IX	76.8	6/8 of string
	X	51.2	
	XI	102.4	
		76.8	7/8 of string

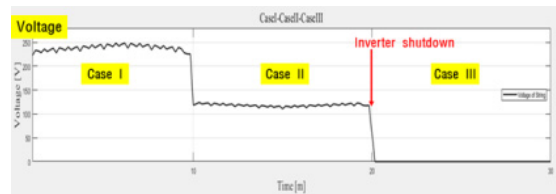
한편, 일부 모듈에 부분 음영이 발생하여 태양광 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나는 현상을 모의하기 위하여, 본 논문에서는 스트링에 차단막이(폼보드)를 사용하여, Fig. 10과 같이 부분 음영을 가상적으로 발생시킨다.



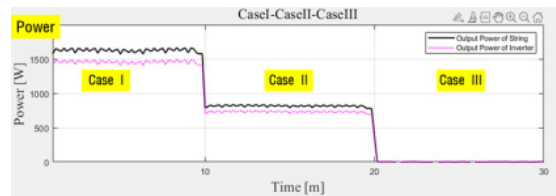
Fig. 10. Shading conditions of PV string

4.2 출력 증폭장치가 없는 경우(Case I ~ Case III)의 특성 분석

음영이 발생하는 경우, 태양광 모듈의 운용효율에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 출력 증폭장치가 없는 경우(Case I ~ Case III)에 의한 태양광전원 전압 및 출력 특성을 나타내면 Fig. 11과 같다. 여기서, Fig. 11 (a)는 음영에 따른 스트링의 전압 변동특성을 나타낸 것이고, Fig. 11 (b)는 스트링의 출력과 인버터의 출력 변동특성을 나타낸 것이다. 즉, 그림 11 (a), (b)의 Case I과 같이 음영이 발생되지 않은 경우, 스트링의 전압은 246[V], 스트링의 출력은 1,640[W]가 발생된다.



(a) Voltage of string



(b) Output of string and inverter

Fig. 11. Output characteristics of PV string with existing method(Case I ~ Case III)

하지만, 그림 11 (a), (b)의 Case II와 같이, 음영이 스트링 면적의 50%만큼 발생하면 스트링 전압은 117[V], 스트링 출력은 821[W]로 감소하고, Case III와 같이 음영이 스트링 면적의 5/8만큼 발생하면 스트링의 전압은 인버터의 최소 동작전압범위(115[V])를 벗어나, 인버터의 동작이 정지되어 출력은 0[W]로 감소하게 된다. 따라서, 부분 음영으로 인하여 스트링은 인버터로부터 탈락되고, 태양광전원의 운용효율이 감소하게 됨을 알 수 있다.

4.3 태양광모듈 출력 증폭장치의 특성 분석

상기와 같이 부분음영에 의한 태양광 스트링의 탈락을 방지하기 위하여, 본 논문에서 제안한 태양광모듈 출력 증폭장치의 운용특성을 나타내면 Fig. 12와 같다. 여기서, Fig. 12 (a)는 음영에 따른 스트링의 전압, Fig. 12 (b)는 스트링의 출력과 인버터의 출력을 나타낸다. 즉, 그림 12 (a), (b)의 Case IV와 같이 음영이 발생하지 않은 경우, 태양광 스트링의 전압은 246[V], 스트링의 출력은 1,640[W]정도 유지되지만, 그림 12 (a), (b)의 Case V와 같이 음영이 스트링 면적의 50%정도 발생하면, 스트링의 전압 및 출력은 118[V], 823[W]로 감소됨을 알 수 있다.

또한, 음영이 스트링 면적의 5/8만큼 발생하면 인버터의 동작이 정지되어 출력이 0[W]로 감소하지만, Fig. 12 (a), (b)의 Case VI와 같이 본 연구에서 제안한 출력 증폭장치의 리튬이온 배터리 모듈 2대를 투입하면, 태양광 스트링의 전압은 74.8[V]로 감소되지만, 리튬이온 배터리 모듈이 51.2[V]만큼 전압을 보상하여, 인버터의 입력 전압은 134[V]까지 회복하게 된다. 따라서, 태양광 스트링의 출력은 563.6[W], 리튬이온 배터리 모듈의 출력은 400.8[W]가 발생하여, 인버터 입력 측 전력은 두 값을 합산한 964.4[W]가 발생된다. 즉, 리튬이온 배터리 모듈에 의하여 전압이 보상되어, 태양광 스트링이 저전압 현상으로 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 발생하여, 기존의 제어방식에 비하여 운용효율이 향상됨을 알 수 있다.

한편, Fig. 12 (a), (b)의 Case VII과 같이, 음영이 스트링 면적의 5/8만큼 발생하고, 리튬이온 배터리 모듈을 1대만 투입하는 경우, 배터리 모듈이 태양광 스트링 전압을 충분히 보상하지 못하여, 인버터의 최소 동작전압범위(115[V])를 벗어나, 인버터가 동작을 정지하여 출력은 0[W]로 감소하게 됨을 알 수 있다. 즉, 태양광 스트링 전압을 충분하게 보상할 수 있는 배터리 용량이 필요함을 알 수 있다.

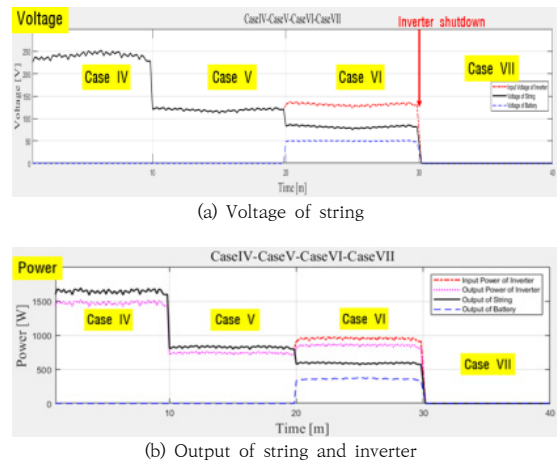


Fig. 12. Output characteristics of PV string with proposed method(Case IV ~ Case VII)

한편, Fig. 13 (a)는 음영에 따른 스트링의 전압, Fig. 13 (b)는 스트링의 출력과 인버터의 출력을 나타내며, Case IV, Case V의 경우, Fig. 12 (a), (b)의 Case IV, Case V와 동일한 특성이 나타남을 알 수 있다. 또한, 음영이 스트링 면적의 6/8만큼 발생하면 인버터의 동작이 정지되어 출력이 0[W]로 감소하지만, Fig. 13 (a), (b)의 Case VIII와 같이 본 연구에서 제안한 출력 증폭장치의 리튬이온 배터리 모듈 3대를 투입하면, 태양광 스트링의 전압은 52.2[V]로 감소되지만, 리튬이온 배터리 모듈이 76.8[V]만큼 전압을 보상하여, 인버터의 입력전압은 129[V]까지 회복하게 된다. 따라서, 태양광 스트링의 출력은 365.5[W], 리튬이온 배터리 모듈의 출력은 520.9[W]가 발생하여, 인버터 입력 측 전력은 두 값을 합산한 886.4[W]가 발생된다. 즉, 리튬이온 배터리 모듈에 의하여 전압이 보상되어, 태양광 스트링이 저전압 현상으로 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 발생하여, 기존의 제어방식에 비하여 운용효율이 향상됨을 알 수 있다.

한편, Fig. 13 (a), (b)의 Case IX와 같이, 음영이 스트링 면적의 6/8만큼 발생하고, 리튬이온 배터리 모듈을 2대만 투입하는 경우, 배터리 모듈이 태양광 스트링 전압을 충분히 보상하지 못하여, 인버터의 최소 동작전압범위(115[V])를 벗어나, 인버터가 동작을 정지하여 출력은 0[W]로 감소하게 됨을 알 수 있다. 즉, 태양광 스트링 전압을 충분하게 보상할 수 있는 배터리 용량이 필요함을 알 수 있다.

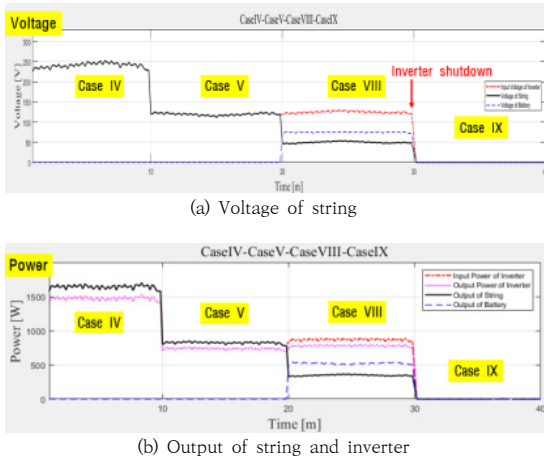


Fig. 13. Output characteristics of PV string with proposed method(Case IV ~ Case IX)

한편, Fig. 14 (a)는 음영에 따른 스트링의 전압, Fig. 14 (b)는 스트링의 출력과 인버터의 출력을 나타내며, Case IV, Case V의 경우, Fig. 12 (a), (b)의 Case IV, Case V와 동일한 특성이 나타남을 알 수 있다. 또한, 음영이 스트링 면적의 7/8만큼 발생하면 인버터의 동작이 정지되어 출력이 0[W]로 감소하지만, Fig. 14 (a), (b)의 Case X와 같이 본 연구에서 제안한 출력 증폭장치의 리튬이온 배터리 모듈 4대를 투입하면, 태양광 스트링의 전압은 19.6[V]로 감소되지만, 리튬이온 배터리 모듈이 102.4[V]만큼 전압을 보상하여, 인버터의 입력전압은 122[V]까지 회복하게 된다. 따라서, 태양광 스트링의 출력은 126.8[W], 리튬이온 배터리 모듈의 출력은 715.3[W]가 발생하여, 인버터 입력 측 전력은 두 값을 합산한 842.1[W]가 발생된다. 즉, 리튬이온 배터리 모듈에 의하여 전압이 보상되어, 태양광 스트링이 저전압 현상으로 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 발생하여, 기존의 제어방식에 비하여 운용효율이 향상됨을 알 수 있다.

한편, Fig. 14 (a), (b)의 Case XI과 같이, 음영이 스트링 면적의 7/8만큼 발생하고, 리튬이온 배터리 모듈을 3대만 투입하는 경우, 배터리 모듈이 태양광 스트링 전압을 충분히 보상하지 못하여, 인버터의 최소 동작전압범위 (115[V])를 벗어나, 인버터가 동작을 정지하여 출력은 0[W]로 감소하게 됨을 알 수 있다. 즉, 태양광 스트링 전압을 충분히 보상할 수 있는 배터리 용량이 필요함을 알 수 있다.

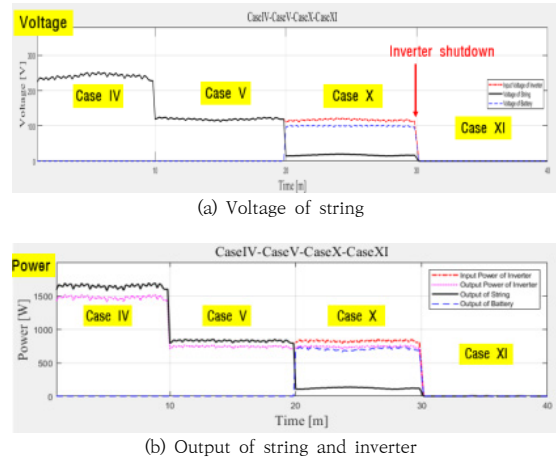


Fig. 14. Output characteristics of PV string with proposed method(Case X ~ Case XI)

4.4 종합분석

태양광모듈 출력 증폭장치가 없는 기존의 방식과, 본 연구에서 제안한 출력 증폭장치에 의한 전압 보상방식의 운용특성을 비교하기 위하여, 음영이 발생된 태양광 스트링의 면적과 리튬이온 배터리의 보상전압을 파라메타로 하여, 태양광전원의 스트링 및 리튬이온 배터리 전압 및 출력특성을 나타내면 Table 5와 같다. 이 표에서와 같이, 음영이 스트링 면적의 5/8 정도가 발생하면, 기존의 방식에서는 스트링의 출력이 0[W]로 감소하지만, 본 연구에서 제안한 출력 증폭장치의 리튬이온 배터리 모듈 2대를 투입하면 태양광 스트링의 출력은 397.93[W]이고, 리튬이온 배터리 모듈의 출력은 400.8[W]정도 발생

Table 5. Comparison results

items		shadow area				
		without	4/8	5/8	6/8	7/8
existing method	string voltage[V]	246	117	0	0	0
	string output[W]	1,640	821	0	0	0
proposed method	string voltage[V]	246	117	82.8	52.2	19.6
	battery voltage[V]	0	0	51.2	76.8	102.4
	inverter input voltage[V]	246	117	134	129	122
	string output[W]	1,640	821	563.6	365.5	126.8
	battery output[W]	0	0	400.8	520.9	715.3
	inverter input power[W]	1,640	821	964.4	886.4	842.1

하여, 전체적으로 964.4[W]가 발생하여 운용효율이 개선됨을 알 수 있다. 또한, 음영이 스트링 면적의 6/8과 7/8의 음영이 발생하면, 기존에 방식에서는 출력이 0[W]로 감소하지만, 리튬이온 배터리 모듈을 3개, 4개를 투입하여 전압을 보상하면 각각 886.4[W], 842.1[W]의 출력이 발생하여, 기존의 제어방식에 비하여 상당한 폭으로 운용효율을 개선시킬 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 음영으로 인해 감소된 스트링의 전압만큼 다단형태의 배터리 모듈부를 직렬로 연결하여 전압저하분을 보상할 수 있는 태양광모듈의 출력 증폭장치를 제안하고, 시험장치를 구현하여 기존 태양광전원의 제어 방식과 제안한 태양광전원 제어방식의 운용특성을 비교 분석하였다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기존 태양광전원의 제어방식에서는 음영이 스트링 면적의 5/8만큼 발생(Case III)하면 스트링의 전압은 인버터의 최소 동작전압 범위(115[V])를 벗어나, 스트링은 인버터로부터 탈락되어 해당 출력은 0[W]로 감소하게 된다. 따라서, 부분 음영으로 인하여 태양광전원의 운용효율이 크게 감소하게 됨을 알 수 있다.
- (2) 제안한 태양광모듈의 출력 증폭장치를 이용하여 시험한 결과, 음영이 스트링 면적의 5/8만큼 발생하면, 제어 장치에 의하여 리튬이온 배터리 2대가 투입(Case VI)되어, 인버터의 입력전압은 134[V]로 회복되고, 인버터의 출력도 964.4[W]로 상승하게 된다. 따라서, 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 유지하여, 기존의 제어방식에 비하여 운용효율이 향상됨을 알 수 있다.
- (3) 제안한 방식에 의하면, 음영이 태양광 스트링의 5/8만큼 발생하면 두 개의 리튬이온 배터리 모듈이 투입되어 전압이 보상되고, 6/8과 7/8의 음영이 발생하면, 리튬이온 배터리 모듈이 3개, 4개로 단계별로 투입되어 전압을 보상하게 된다. 따라서, 제안한 방식은 음영의 정도에 따라 리튬이온 배터리 모듈의 전압을 단계별로 투입하여, 태양광전원의 운용효율을 큰 폭으로 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

References

- [1] Ministry of Trade, Industry and Energy, Renewable Energy 3020 Plan, <https://www.etrans.or.kr/policy/04.php>, 2017
- [2] 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>
- [3] 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>
- [4] 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>
- [5] Korea Energy Information Communication Center, Global energy policy trends, 2021
<https://www.etrans.or.kr/policy/01.php>
- [6] Byung-Mok Kim, Hu-Dong Lee, Dong-Hyun Tae, and Dae-Seok Rho. "A Study on Output Enhancement Method of PV Array Using Electrical Circuit Reconfiguration Algorithm." Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society 21, no. 8, pp. 9-17, August 31, 2020
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.8.9>
- [7] Dong-Hyun Tae, Park, Jae-Beom, Kim, Mi-Young, Choi, Sungsik, Kim, Chanhyeok, and Rho, Daeseok. "A Study on the Efficiency Improvement Method of Photovoltaic System Using DC-DC Voltage Regulator, Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society 21, 17, no. 7, pp. 704-12, July 31, 2016
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.7.704>
- [8] Seungkyu Ock, Oh 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, 2012.2.
http://ksci.kisti.re.kr/search/article/articleView.ksci?articleBean.atclMgmtNo=BDCHBX_2014_v13n4_43
- [9] Jung-Hyun Kim, Gwang-Seob Kim, Kyo-Beum Lee, "A Sensorless MPPT Control Using an Adaptive Neuro-Fuzzy Logic for PV Battery Chargers", The Korean Institute of Power Electronics, 35(2), pp. 43-52, 2015.4
DOI: <https://doi.org/10.6113/TKPE.2013.18.4.349>
- [10] Y. S. Hong, C. S. Kim, B.J. Yun, "A Management Method for Solar Photovoltaic Power Generation System Using Intelligence", The Journal of The Institute of Webcasting, Internet Television and

Telecommunication vol. 6 no. 2, pp. 35-41, 2006
http://www.ijbc.kr/bbs/board.php?bo_table=collection_paper&wr_id=1420&page=3

태 동 현(Dong-Hyun Tae)

[정회원]



- 2014년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2016년 8월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2019년 9월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 마이크로그리드

강 갑 석(Kab-Seok Kang)

[정회원]



- 2011년 8월 : 숭실대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 2019년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기공학과(박사수료)
- 1997년 6월 ~ 2017년 5월 : 한국폴리텍대학 스마트전기와 교수
- 2017년 6월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 스마트전기와 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전기안전, 전기설비

김 병 목(Byung-Mok Kim)

[준회원]



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

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 2차전지

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[중신회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/선임연구원

- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석

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>

전력 및 배전계통, 신재생에너지, 전기저장장치