

# 이차전지를 이용한 태양광전원용 전압보상장치의 운용 방안에 관한 연구

김병목\*, 태동현\*, 이후동\*, 신건\*, 노대석\*

\*한국기술교육대학교

e-mail:king917@koreatech.ac.kr

## A Study on Operation Method of Voltage Compensation Device for PV System Using Secondary Battery

Byung-Mok Kim\*, Dong-Hyun Tae\*, Hu-Dong Lee\*, Shen Jian\*, Dae-Seok Rho\*

\*Korean University of Technology and Education

### 요 약

최근, 우리나라에서는 2030년까지 신재생에너지의 비중을 전체 발전량의 20[%]인 63.8[GW]까지 확대하기 위하여 다양한 정책 및 제도가 추진되고 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 전압보상장치의 운용방안을 제시한다. 또한, 전력계통 상용해석 소프트웨어인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 태양광모듈의 전압보상장치를 모델링하고, 이를 바탕으로 2kW급 전압보상장치용 시험장치를 구현한다. 한편 모델링과 시험장치에 의하여 전압보상장치의 운용특성을 분석한 결과, 직렬로 연결된 리튬이온 배터리가 부분 음영에 의하여 전압저하가 발생된 스트링의 전압을 보상함으로써, 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 유지하여, 태양광전원의 운용효율을 향상시켜 본 연구의 유효성을 확인하였다.

### 1. 서론

최근, 우리나라에서는 2030년까지 신재생에너지의 비중을 전체 발전량의 20[%]인 63.8[GW]까지 확대하기 위하여 다양한 정책 및 제도가 추진되고 있다. 그러나, 이러한 태양광전원은 주변 기후조건에 따라 출력이 크게 변동되는데, 일부 모듈에만 음영이 발생하여도 인버터의 동작이 정지되어, 운용효율이 저하되는 문제점을 가지고 있다. 즉, 태양광전원은 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.

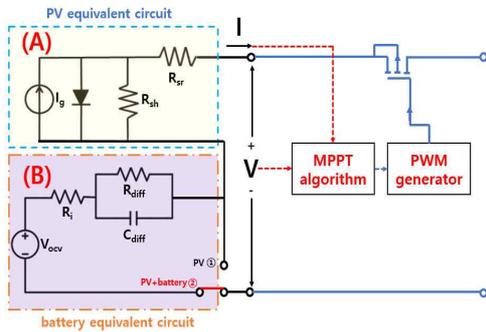
따라서, 본 논문에서는 태양광 스트링이 음영에 의하여 인버터에서 탈락되는 것을 방지하기 위하여, 저하된 스트링 전압 크기만큼 다단형태의 리튬이온 배터리 모듈을 직렬로 연결하여 전압저하분을 보상할 수 있는 태양광모듈 전압보상장치의 운용방안을 제시한다. 즉, 이 운용모드는 3가지 방식으

로 구분되는데, 첫 번째는 스트링의 전압이 인버터의 동작범위 이내를 유지하는 정상상태 운용모드, 두 번째는 태양광모듈의 일부가 음영으로 인해 스트링의 전압이 인버터의 동작범위를 벗어나는 경우, 인버터가 탈락하는 현상을 방지하기 위해 태양광모듈의 전압보상장치에 의하여 전압저하분을 보상하는 주 동작모드, 그리고 세 번째는 배터리 모듈부의 SOC가 설정치 미만인 경우, AC 상용계통으로부터 전압보상장치의 배터리 모듈부를 충전하는 운용모드이다. 또한, 태양광전원용 전압보상장치는 태양광모듈과 배터리를 직렬로 연결하여 구성되므로, 배터리는 태양광모듈의 동작특성을 추종하여 방전한다. 따라서, 계통연계형 인버터는 태양광모듈 뿐만 아니라, 배터리의 특성까지 고려하여 MPPT 제어를 수행하게 된다. 한편, 전력계통 상용해석 소프트웨어인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 전압보상을 위한 배터리팩과 충전기로 구성된 태양광전원용 전압보상장치의 모델링을 수행한다. 그리고, 제시한 모델링을 바탕으로, 배터리팩과 충전기, BMS로 구성된 2kW급 태양광전원용 전압보상장치를 구현한다. 이에 따라, 제안한 태양광전원용 전압보상장치의 운

용방안을 분석한 결과, 시험장치 및 시뮬레이션 결과 모두 부분 음영에 의한 전압저하분에 대하여, 리튬이온 배터리 모듈로 보상함으로써, 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 발생하여, 태양광전원의 운용효율을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

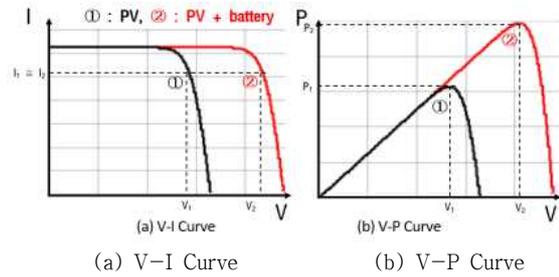
### 2. 태양광모듈용 전압보상장치의 메커니즘

태양광모듈의 전압보상장치는 태양광모듈과 배터리를 직렬로 연결하여 구성되므로, DC/AC 변환을 위한 계통연계형 인버터는 태양광모듈 뿐만 아니라, 배터리의 특성까지 고려하여 MPPT 제어를 수행하게 된다. 즉, 태양광모듈용 전압보상장치의 MPPT 제어회로는 그림 1과 같으며, 여기서 태양광모듈만 연계된 경우, 인버터는 (A) 회로구성에 의한 MPPT 제어를 수행하고, 배터리가 추가되는 경우에는 (B) 회로구성까지 동시에 고려하여 MPPT 제어를 수행하게 된다.



[그림 1] 태양광모듈 전압보상장치의 MPPT 제어 회로

상기의 제어회로에 따른 MPPT 출력특성은 그림 2와 같으며, 그림 2 (a)는 V-I 특성, 그림 2 (b)는 V-P 특성을 나타낸다. 먼저, 그림 2 (a)의 ①번 곡선은 태양광 모듈만을 고려한 MPPT 특성을 나타내며, ②번 곡선은 태양광모듈과 전압보상장치를 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, 그림 2 (b)와 같이 태양광 모듈만 고려한 출력곡선(①)과 태양광모듈과 전압보상장치를 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 전압보상장치가 연결된 경우, PV용 인버터는 태양광모듈과 배터리의 특성을 동시에 고려하여 MPPT 제어를 수행하며, 배터리가 보상하는 전압만큼 태양광모듈의 출력이 증폭되는 것을 알 수 있다.

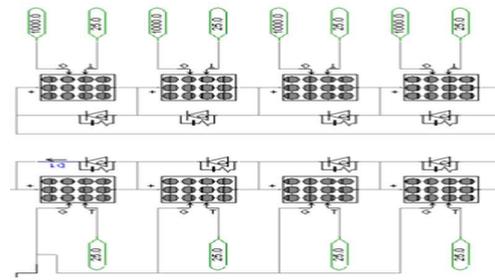


[그림 2] 태양광모듈 전압보상장치의 전류 및 출력 특성

### 3. PSCAD/EMTDC를 이용한 가정용 태양광모듈의 전압보상장치의 모델링

#### 3.1 태양광 모듈부

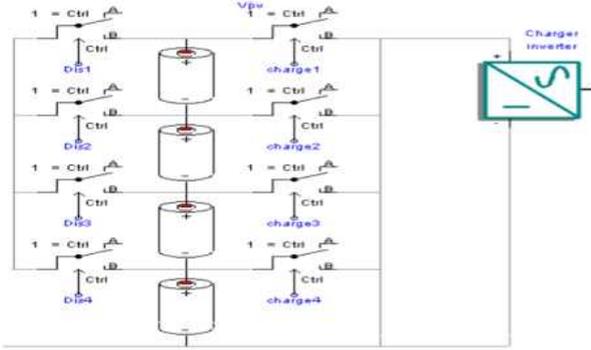
태양광모듈은 60개의 태양전지 셀과 3개의 바이패스 다이오드로 구성되며, 20개의 셀마다 하나의 다이오드가 설치되어 있다. 또한, 그림 3과 같이 PSCAD/EMTDC를 이용하여 2[kW]급 태양광 스트링을 250[W]급 태양광모듈 8개를 직렬로 연결하여 구성한다.



[그림 3] 태양광 모듈부 모델링

#### 3.2 태양광모듈용 전압보상장치부

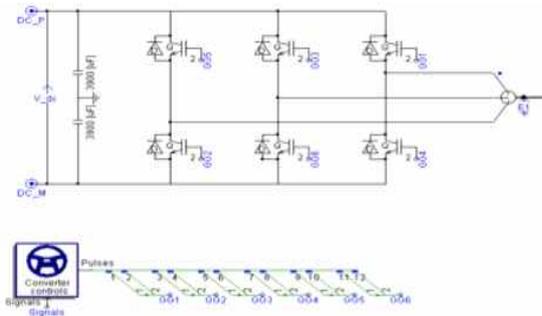
태양광모듈의 전압보상장치부는 그림 4와 같이 전압보상을 위한 배터리팩과 AC전원 계통으로부터 배터리의 충전을 위한 충전기로 구성된다. 여기서, 배터리팩은 PSCAD/EMTDC 라이브러리 내 리튬이온전지를 이용하며, 153[Wh]급 4직렬의 모듈로 구성하여 총 612[Wh]의 용량을 가진다. 또한, 전압보상장치부는 부분 음영으로 인해 태양광모듈의 전압이 저하되는 경우, 배터리의 방전을 통해 태양광전원이 발전을 지속할 수 있도록 회로를 제어한다.



[그림 4] 태양광모듈 전압보상장치부 모델링

### 3.3 계통연계형 인버터부

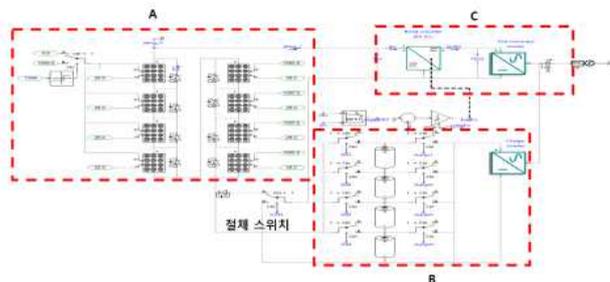
계통연계형 인버터부의 모델링은 그림 5와 같이 나타낼 수 있으며, PWM으로부터 나온 6개의 스위칭 신호에 의하여 태양광전원에서 생성된 DC 출력을 120°의 위상차를 갖는 3상의 AC출력으로 변환시킨다. 또한, 일사량이나 태양광 모듈의 탈락 등으로 인해 입력되는 전압 및 전류가 변동되더라도 인버터는 PLL 제어를 통해 계통의 위상을 추종하도록 한다.



[그림 5] 계통연계형 인버터부 모델링

### 3.4 전체 시스템

상기의 내용을 바탕으로 태양광 모듈부, 전압보상장치부, 계통연계형 인버터부로 구성된 전체 시스템을 나타내면 그림 6과 같다. 여기서, 그림 6의 A부분은 태양광 모듈부, B부분은 전압보상장치부, 그리고 C부분은 계통연계형 인버터부로 구성된다.



[그림 6] 태양광모듈의 전압보상장치 모델링

## 4. 시뮬레이션 및 시험 결과분석

### 4.1 시뮬레이션 및 시험 조건

본 논문에서 제안한 가정용 태양광모듈 전압보상장치의 운용특성을 확인하기 위하여, 여기서는 앞에서 구현한 시험장치를 이용하여 부분음영 발생 시, 전압보상장치가 없는 방식(Case I ~ Case III)과, 전압보상장치를 통해 전압저하분을 보상하는 방식(Case IV ~ Case XI)의 운용특성을 비교 분석한다. 음영 발생 면적에 따른 리튬이온 배터리의 운용조건은 표 1과 같이 상정하며, 6개의 Case별로 약 10분간 지속하여 시험을 수행한다.

[표 1] 시험 조건

	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	51.3	5/8 of string
	VII	25.6	
	VIII	76.8	6/8 of string
	IX	51.2	
	X	100	7/8 of string
	XI	76.8	

### 4.2 시험장치 및 모델링에 의한 비교 분석

상기의 시험장치 및 모델링에 의하여 태양광 스트링의 운용특성을 비교하면 표 2와 같다. 한편, 음영이 스트링 면적의 5/8(Case IV ~ Case VII) 정도까지 발생할 경우, 기존의 방식에서는 스트링의 출력이 0[W]로 감소하지만, 본 연구에서 제안한 전압보상장치의 리튬이온 배터리 모듈을 2개를 투입하여 시험장치 결과로 인버터 전압 134V와 시뮬레이션 결과로 인버터 전압 133.8V가 되어 모든 결과가 인버터의 최소 동작 전압(125V) 이상을 유지할 수 있어 태양광 출력을 유지할 수 있다. 또한 음영이 스트링 면적의 6/8, 7/8(Case IV ~ Case XI)의 음영이 발생하면, 기존에 방식에서는 출력이 0[W]로 감소하지만, 리튬이온 배터리 모듈을 3개 및 4개를 투입하여 태양광 출력을 계속 유지할 수 있음을 시험장치 결과와 시뮬레이션 결과 모두 전압을 보상하여, 기존의 제어방식에 비하여 상당한 폭으로 운용효율을 개선시킬 수 있음을 알 수 있다. 스트링 전압과 배터리 전압은 일치하는데, 전력의 경우 전류의 변동으로 인해 오차가 발생하나 오차율이 3%정도로 크지 않아 유사함을 확인하였다. 따라서, 시험장치에 의한 결과와 시뮬레이션에 의한 결과가 유사함을 알 수 있어, 본 논문

에서 수행한 시뮬레이션의 유효성을 확인하였다.

[표 2] 전압보상장치에 의한 태양광 스트링의 운용특성

case	string voltage[V]		string output[W]		battery voltage[V]		battery output[W]		inverter input voltage[V]		비고
	H/W	S/W	H/W	S/W	H/W	S/W	H/W	S/W	H/W	S/W	
IV	246	245	1,640	1804	0	0	0	0	246	245	
V	117	117	821	901	0	0	0	0	117	117	
VI	82.8	81.5	563.6	645.9	51.2	52.3	400.8	417.9	134	133.8	
VII	82.8	81.5	563.6	645.9	25.6	26.2	200.4	209	108.4	107.7	인버터 탈락
VIII	52.2	49.4	365.5	424	76.8	76.8	520.9	614	129	126.2	
IX	52.2	49.4	365.5	424	38.4	38.4	260.5	307	90.6	87.8	인버터 탈락
X	19.6	18.5	126.8	154.4	102.4	100	715.3	799.7	122	118.5	
XI	19.6	18.5	126.8	154.4	51.2	50	357.7	399.9	70.8	68.5	인버터 탈락

### 5. 결 론

본 논문에서는 음영으로 인해 감소된 스트링의 전압만큼 다단형태의 배터리 모듈부를 직렬로 연결하여 전압저하분을 보상할 수 있는 태양광모듈의 전압보상장치를 제시하고, 이에 대한 모델링 및 시험장치 구현을 통해, 기존 태양광전원의 제어방식과 제안한 태양광전원 제어방식의 운용특성을 비교 분석한다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기존 태양광전원의 제어방식에서는 음영이 스트링 면적의 5/8만큼 발생(Case III)하면 시험장치 및 시뮬레이션 모두 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 전압보상장치를 이용하여 시험한 결과, 음영이 스트링 면적의 5/8만큼 발생하면, 제어 장치에 의하여 리튬이온 배터리 2대가 투입(Case VI)되어, 시험장치의 인버터의 입력전압은 134[V]로 회복되고, 인버터의 출력도 964.4[W]로 상승하게 된다. 또한 시뮬레이션 결과에서도 인버터의 입력전압은 133.8[V]로 회복되고, 인버터의 출력도 1,063.8[W]로 상승하게 된다. 따라서, 시험장치 및 시뮬레이션 결과 모두 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 유지하여, 기존의 제어방식에 비하여 운용효율이 향상됨을 알 수 있다.

(3) 제안한 방식에 의하면, 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.

#### 참고문헌

[1] 김병목, 태동현, 이진호, 이세연, 노대석. “태양광모듈용 출력증폭장치의 운용 메커니즘에 관한 연구”, 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회, 2021년.

[2] 태동현, 김병목, 이후동, 강갑석, 노대석. “리튬이온 배터리를 이용한 가정용 태양광모듈의 출력 증폭장치의 구현 및 특성분석” Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 22, No. 8 pp. 17-25, 2021

[3] 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