

# PSCAD/EMTDC를 이용한 가정용 태양광모듈의 출력증폭장치의 모델링에 관한 연구

김병목\*, 황소연\*, 진진택\*, 최성문\*, 노대석\*

\*한국기술교육대학교

e-mail:king917@koreatech.ac.kr

## A Study on Modeling of Power Regulation Device for Residential PV Module Using PSCAD/EMTDC

Byung-Mok Kim\*, So-Yeon Hwang\*, Jin-Taek Jeon\*, Sung-Moon Choi\*, Dae-Seok Rho\*

\*Korean University of Technology and Education

### 요약

최근, 우리나라에서는 2030년까지 신재생에너지의 비중을 전체 발전량의 20[%]인 63.8[GW]까지 확대하기 위하여 정책 및 제도가 활발하게 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 출력 증폭장치의 특성을 제시한다. 또한, PSCAD/EMTDC를 이용해 태양광 스트링, 태양광모듈의 출력 증폭장치, 계통연계형 인버터로 구성된 태양광모듈의 출력향상 장치를 모델링하여 운용특성을 분석한 결과, 직렬로 연결된 리튬이온 배터리가 부분 음영에 의하여 전압저하가 발생된 스트링의 전압을 리튬이온 배터리로 보상함으로써, 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 유지하여, 태양광전원의 운용효율을 향상시켜 본 연구의 유효성을 확인하였다.

### 1. 서론

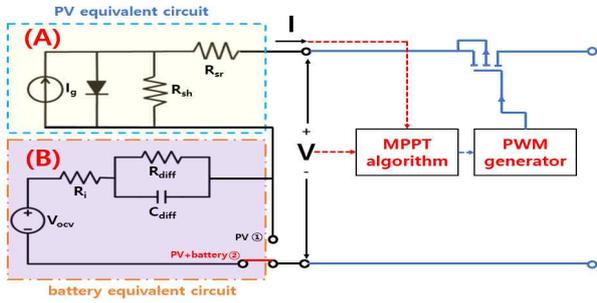
최근, 우리나라에서는 2030년까지 신재생에너지의 비중을 전체 발전량의 20[%]인 63.8[GW]까지 확대하기 위하여 정책 및 제도가 추진되고 있다. 그러나, 이러한 태양광전원은 주변 기후조건에 따라 출력이 크게 변동되는데, 일부 모듈에만 음영이 발생하여도 인버터의 동작이 정지되어, 운용효율이 저하되는 문제점을 가지고 있다. 즉, 태양광전원에서는 모듈을 직렬로 연결한 스트링이 인버터에 연계되어 구성되므로, 일부 모듈에 부분 음영이 발생하면 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나게 되어, 스트링이 인버터에서 탈락되는 문제점이 발생할 수 있다.

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 특성을 제시한다. 또한, PSCAD/EMTDC를 이용해 태양광 스트링, 태양광모듈의 출력 증폭장치, 계통연계형 인버터로 구성된 태양광모듈의 출력향상 장치를 모델링하여 운용특성을 분석한 결과, 직렬로 연결된 리튬이온 배터리가 부

분 음영에 의하여 전압저하가 발생된 스트링의 전압을 리튬이온 배터리로 보상함으로써, 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 유지하여, 태양광전원의 운용효율을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

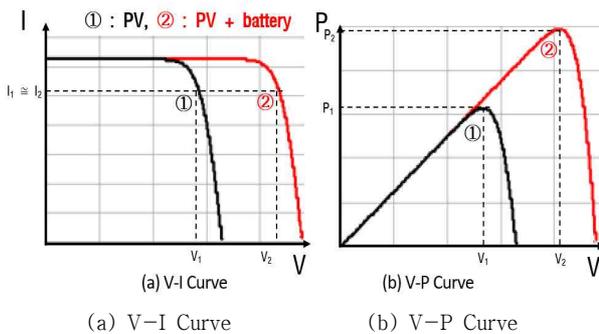
### 2. 가정용 태양광모듈의 출력 증폭장치의 운용특성

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 그림1과 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] PV 모듈용 출력 증폭장치의 MPPT 제어 회로

상기의 제어회로에 따른 MPPT 출력특성은 그림 2와 같으며, 그림 2 (a)는 V-I 특성, Fig. 5 (b)는 V-P 특성을 나타낸다. 먼저, 그림 2 (a)의 ①번 곡선은 태양광 모듈만을 고려한 MPPT 특성을 나타내며, ②번 곡선은 태양광모듈과 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, 그림 2(b)와 같이 태양광 모듈만 고려한 출력 곡선(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.



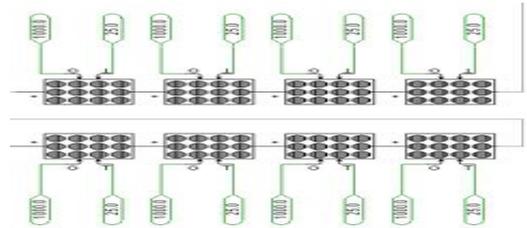
[그림 2] PV 모듈용 출력 증폭장치의 전류 및 출력 특성

### 3. 리튬이온 배터리를 이용한 가정용 태양광모듈의 출력 증폭장치의 모델링

#### 3.1 태양광 스트링

태양광모듈은 60개의 태양전지 셀과 3개의 바이패스 다이오드로 구성되며, 20개의 셀마다 하나의 다이오드가 설치되어 있다. 또한, 그림 3과 같이 PSCAD/EMTDC를 이용하여

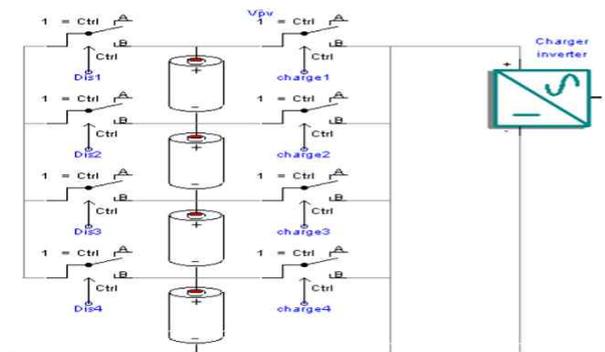
2[kW]급 태양광 스트링을 250[W]급 태양광모듈 8개를 직렬로 연결하여 구성하였다.



[그림 3] 2kW급 태양광 스트링 모델링

#### 3.2 태양광모듈의 출력 증폭장치

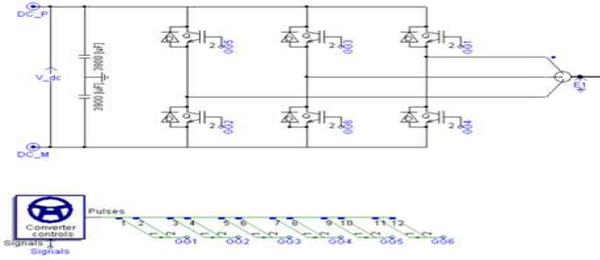
태양광모듈의 출력 증폭장치 모델링은 그림 4와 같이 전압 보상을 위한 배터리팩과 AC전원 계통으로부터 배터리의 충전을 위한 충전기, 그리고 이를 감시하고 안전하게 제어하기 위한 BMS(battery management system)로 구성한다. 여기서, 배터리팩은 153[Wh]급 4직렬의 모듈로 구성하고 총 612[Wh]의 용량을 가진다. 또한, BMS는 각 모듈에 연결된 센서로부터 전압, 전류, 온도 등을 측정하여, 배터리의 SOC(state of charge)를 평가하거나, 부분 음영으로 인해 태양광모듈의 전압이 저하되는 경우,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



[그림 5] 태양광모듈 출력 증폭장치 모델링

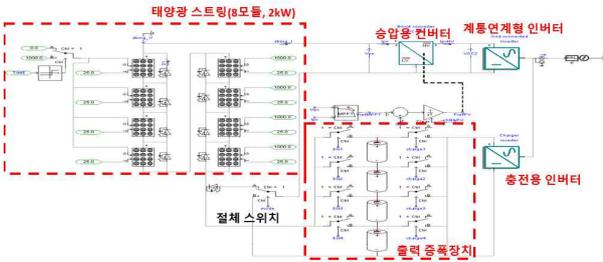
#### 3.3 계통연계형 인버터

계통연계형 인버터 모델링은 그림 5와 같이, 입력 Filter, DC/DC Booster, IGBT, 출력 Reactor, 등으로 구성되며, 입력 전압을 DC/DC Booster로 승압하고, 3상 380[V]의 AC로 변환해 전력계통과 연계되도록 구현한다. 한편, 일사량이나 태양광 모듈의 탈락 등으로 인해 입력되는 전압 및 전류가 변동되더라도 인버터는 PLL 제어를 통해 계통의 위상을 추종하도록 한다.



[그림 5] 계통연계형 인버터 모델링

상기의 태양광 스트링, 태양광모듈의 출력 증폭장치, 계통연계형 인버터로 구성된 시뮬레이션 모델링은 그림 6과 같다.



[그림 6] 전체 시스템 모델링

### 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

#### 4.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서 제안한 가정용 태양광모듈 출력 증폭장치의 운용특성을 확인하기 위하여, 여기서는 3장에서 구현한 모델링을 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 표 1과 같이 상정하며, 모델링을 바탕으로 6개의 Case에 대해 시뮬레이션을 수행한다.

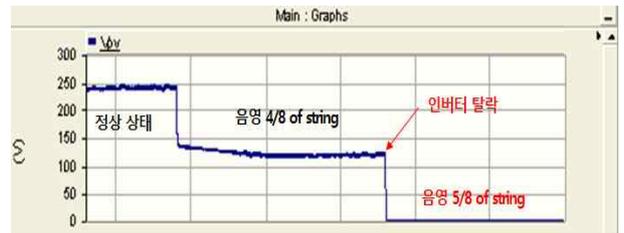
[표 1] 시뮬레이션 조건

	Case	리튬이온전지 단자전압 [V]	음영 영역
기존의 방식	I	0	without shadow
	II		4/8 of string
	III		5/8 of string
제안한 방식	IV	0	without shadow
	V		4/8 of string
	VI	51.2	5/8 of string
	VII	25.6	
	VIII	76.8	6/8 of string
	IX	51.2	
	X	102.4	7/8 of string
	XI	76.8	

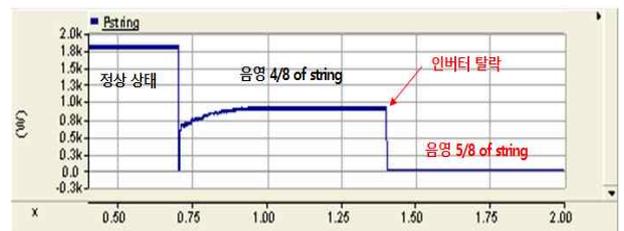
#### 4.2 기존의 태양광전원 출력특성

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 그림 7과 같다. 여기서, 그림 7 (a)는 음영에 따른 스트링의 전압 변동특성을 나타낸 것이고, 그림 7 (b)는 스트링의 출력과 인버터의 출력 변동특성을 나타낸 것이다. 즉, 그림 7 (a), (b)의 Case I은 음영이 발생되지 않은 경우, 스트링의 전압은 245[V], 스트링의 출력은 1,804[W]가 발생된다.

하지만, 그림 7 (a), (b)의 Case II 경우, 음영이 스트링 면적의 50%만큼 발생하면 스트링 전압은 117[V], 스트링 출력은 901[W]로 감소하고, Case III 경우 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.



(a) 스트링의 전압



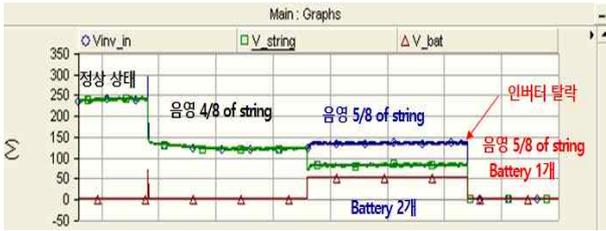
(b) 스트링의 출력

[그림 7] 기존방식의 태양광 스트링의 출력특성(Case I ~ Case III)

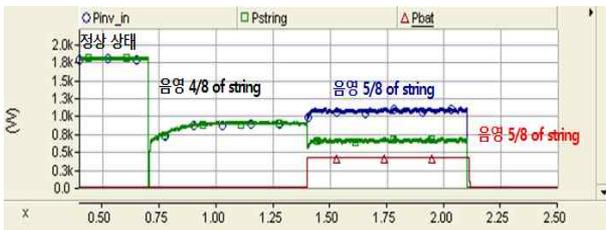
#### 4.3 제안한 태양광전원용 출력증폭장치의 특성

태양광모듈 출력 증폭장치를 이용한 시험 조건 중에 대표적으로 Case IV ~ Case VII의 운용특성을 나타내면 그림 8과 같다. 그림 8 (a) 그래프는 음영에 따른 스트링의 전압, 그림 8 (b)는 스트링의 출력과 인버터의 출력을 나타낸다. 여기서, 음영이 스트링 면적의 5/8만큼 발생하고, 제어 장치에 의하여 리튬이온배터리 2대가 투입(Case VI)되면, 리튬이온배터리에 의하여 전압이 보상되어, 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 유지함을 알 수 있다. 하지만 리튬이온배터리 1대가 투입(Case VI)되면, 스트링의 전압은 인버터

의 최소 동작전압범위(115[V])를 벗어나, 인버터의 동작이 정지되어 출력은 0[W]로 감소하게 된다. 그럼으로 인버터 최소 전압 이상 전압을 유지할 수 있는 만큼의 리튬이온배터리의 투입이 필요하다.



(a) 스트링의 전압



(b) 스트링의 출력

[그림 9] 기존방식의 태양광 스트링의 출력특성(Case IV ~ Case VII)

상기와 동일한 방식으로 기존의 방식과, 제안한 방식의 운용특성을 비교하기 위하여, 음영이 발생된 스트링의 면적과 리튬이온배터리의 보상전압을 파라메타로 하여, 태양광전원의 스트링 및 리튬이온배터리 전압 및 출력특성을 나타내면 표 2와 같다.

[표 2] 기존의 방식과 제안한 방식의 출력 특성 비교 결과

항목		음영 면적				
		without	4/8	5/8	6/8	7/8
기존의 방식	스트링 전압[V]	245	117	0	0	0
	스트링 출력[W]	1804	901	0	0	0
제안한 방식	스트링 전압[V]	245	117	81.5	49.4	18.5
	배터리 전압[V]	0	0	52.3	76.8	100.0
	인버터 입력측 전압[V]	245	117	133.8	126.2	118.5
	스트링 출력[W]	1804	901	645.9	424.0	150.4
	배터리 출력[W]	0	0	417.9	614.0	799.7
	인버터 입력측 전력[W]	1804	901	1063.8	1038.0	950.1

여기서, 음영이 스트링 면적의 5/8만큼 발생하면, 기존의 방식에서는 스트링의 출력이 0[W]로 감소하지만, 제안한 방식에서는 리튬이온배터리의 출력이 417.9[W]이고, 태양광 스

트링과 리튬이온배터리 출력의 합은 1063.8[W]로 개선됨을 알 수 있었다. 즉, 음영이 태양광 스트링의 5/8만큼 발생하면 2개의 리튬이온배터리가 투입되어 52.3[V]의 전압이 보상되고, 6/8과 7/8의 음영이 발생하면, 리튬이온배터리가 3개, 4개로 단계별로 각각 76.8[V], 100.0[V]가 투입되어 태양광 스트링 전압을 보상하게 된다. 따라서, 제안한 방식은 음영의 정도에 따라 리튬이온배터리를 단계별로 투입하여, 기존의 방식에 비해 태양광전원의 운용효율을 상당히 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 음영으로 인해 감소된 스트링의 전압을 리튬이온배터리를 연결하여 보상하는 태양광모듈의 출력 증폭 장치를 제안하고, 시뮬레이션 모델링하였다. 이에 대해 분석한 결과, 제안한 방식은 음영의 정도에 따라 리튬이온배터리를 단계별로 투입하여 태양광 모듈의 전압저하분을 보상함으로써, 기존의 방식에 비해 제한된 방식에서 태양광전원의 운용효율을 상당히 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

### 감사의 글

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

### 참고문헌

- [1] 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
- [2] 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