

# PSCAD/EMTDC를 이용한 30kW급 태양광전원용 회로변경장치 및 전압보상장치의 모델링에 관한 연구

전진택, 신건, 이수용, 왕종용, 노대석  
한국기술교육대학교 전기공학과  
e-mail:jinfind@koreatech.ac.kr

## A Modeling of Voltage Compensation and Reconfiguration Devices in 30kW PV System by Using the PSCAD/EMTDC

Jin-Taek Jeon, Jian Shen, Soo-Yong Lee, Jong-Yong Wang, Dea-Seok Rho  
Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

### 요약

최근, 2050 탄소중립 선언과 그린뉴딜 전략을 통해 기후 변화 대응과 경기부양을 동시에 달성하기 위하여 신재생에너지의 설치용량이 증대될 전망이다. 하지만 신재생에너지 중 태양광전원은 모듈을 직렬로 연결한 스트링들이 인버터에 연계되어 있어, 음영 및 낮은 일사량에 의해 태양광전원의 전압저하가 발생하면 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나게 되어, 스트링이 인버터에서 탈락하는 현상이 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 음영에 의한 태양광전원용 인버터의 탈락을 방지하여, 운용효율을 향상시킬 수 있는 태양광전원용 전압보상장치 및 회로변경장치를 제시하고, 배전계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 사용하여, 30kW급 태양광전원용 전압보상장치 및 회로변경장치의 모델링을 수행한다. 이를 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 음영이 발생할 경우 제안한 모델링이 태양광전원 스트링의 전압을 보상하여 인버터의 탈락을 방지할 수 있어, 태양광전원의 운용효율을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

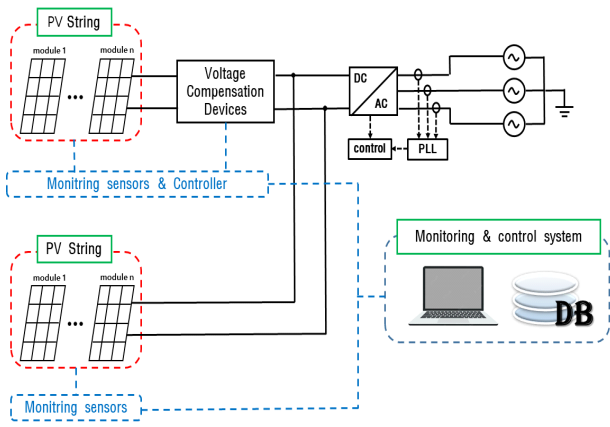
## 1. 서론

최근, 재생에너지 3020 목표범위 내에서 그린뉴딜을 통한 보급속도 가속화로 25년 태양광전원과 풍력발전의 중간목표인 29.9GW에서 42.7GW로 12.8GW의 상향 조정하여 향후 친환경 신재생에너지의 역할과 중요성이 더욱 증대될 전망이다. 하지만, 기존의 태양광전원 시스템은 여러 개의 스트링(어레이)이 DC 부스에 병렬로 접속되어 하나의 인버터에 연결되는 방식으로 구성되어, 일부 모듈에 음영이 발생하는 경우에 해당 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 미만으로 감소되어, 태양광전원 전체 시스템의 운용 효율이 저하될 가능성이 발생하고 있다. 따라서 본 논문에서는 인버터의 동작전압이 음영 외 여러 가지 요인으로 탈락되는 현상을 방지하는 방안과 태양광 발전량 따른 효율 비교 분석을 하고 태양광 발전의 효율적인 운용을 하기 위해 회로변경장치와 전압보상장치의 설치를 제안한다. 또한 회로변경장치와 전압보상장치의 특성 시험을 통해 음영이 발생시 전압이 일정하게 보상되어 태양광전원의 운용효율이 향상됨을 알 수 있다.

## 2. 태양광전원용 회로변경장치 및 전압보상장치의 운용특성

### 2.1 회로변경장치 및 전압보상장치의 구성

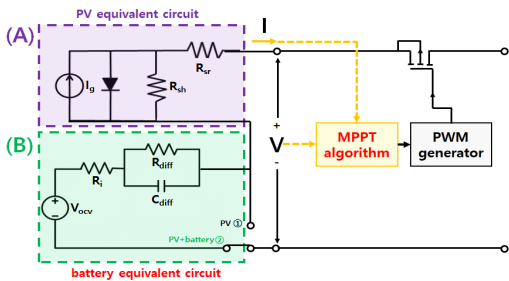
태양광 전원 전체구성도는 회로변경장치, 전압보상장치부, 감시제어장치부로 구성된다. 태양광 모듈은 그림 1과 같이 6개의 스트링(A, B)으로 구성하여 1개의 스트링에 12장의 태양광모듈을 설치한다. 여기서, A 시험장치는 태양광 전원용 회로변경장치와 전압보상장치가 각각 100%로 적용되며, B 시험장치는 회로변경장치와 전압보상장치가 설치되지 않은 기존의 방식으로 구성한다. 여기서 회로변경장치는 와이어 및 절체스위치로 구성되며 음영이 발생한 스트링 중에서 두 개의 스트링 사이에 와이어를 연결하여 음영이 발생되지 않은 부분은 정상적으로 작동하도록 회로를 구성한다. 또한, 전압보상장치는 리튬이온전지와 충전기 등으로 구성되며 태양광전원용 회로변경장치를 통해 음영이 발생하지 않은 태양광 모듈로 회로를 재구성하여 스트링의 출력전압이 인버터의 동작전압보다 작을 경우, 각 스트링과 직렬로 연결된 태양광전원용 전압보상장치는 인버터가 동작전압 범위에서 운용되도록 구성된다.



[그림 1] 태양광전원용 회로변경장치 및 전압보상장치 구성도

2.2 회로변경장치 및 전압보상장치의 운용특성

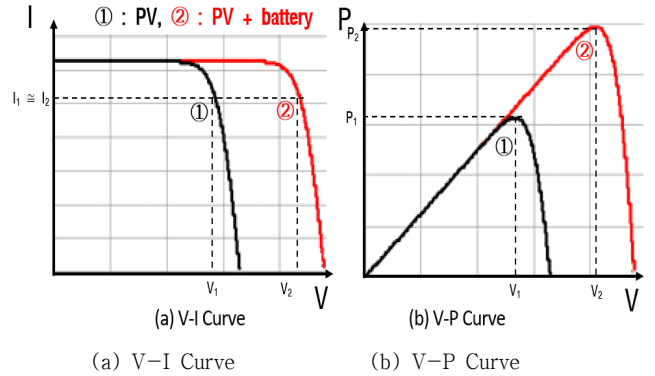
상기에서 제시한 태양광모듈의 출력 증폭장치는 태양광모듈과 배터리를 직렬로 연결하여 구성되므로, DC/AC 변환을 위한 계통연계형 인버터는 태양광모듈 뿐만 아니라, 배터리의 특성까지 고려하여 MPPT 제어를 수행하게 된다. 즉, 태양광모듈용 회로변경장치 및 전압보상장치의 MPPT 제어회로는 그림 2와 같으며, 여기서 태양광모듈만 연계된 경우, 인버터는 (A) 회로구성에 의한 MPPT 제어를 수행하고, 배터리가 추가되는 경우에는 (B) 회로구성까지 동시에 고려하여 MPPT 제어를 수행하게 된다.



[그림 2] PV 모듈용 회로변경장치 및 전압보상장치의 MPPT 제어 회로

상기의 제어회로에 따른 MPPT 출력특성은 그림 3과 같으며, 그림 3 (a)는 V-I 특성, Fig. 3 (b)는 V-P 특성을 나타낸다. 먼저, 그림 3 (a)의 ①번 곡선은 태양광 모듈만을 고려한 MPPT 특성을 나타내며, ②번 곡선은 태양광모듈과 회로변경장치와 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 회로변경장치와 전압보상장치를 고려한 출력곡선(②)의 특성이 매우 유사한 형태이므로, 배터리는 직렬 연결된 태양광전원의 동작특성을 추종하여 방전하는 것을 알 수 있다. 따라서, 태양광모듈만으로 운

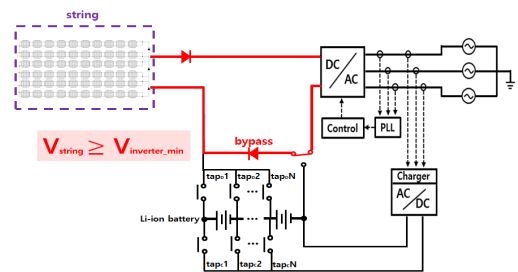
용되는 기존의 방법과 달리, 본 연구에서 제안한 전압보상장치 및 회로변경장치가 연결된 경우, PV용 인버터는 태양광모듈과 배터리의 특성을 동시에 고려하여 MPPT 제어를 수행하며, 배터리가 보상하는 전압만큼 태양광전원의 효율이 상승되는 것을 알 수 있다.



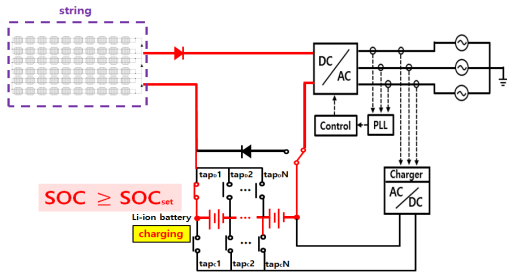
[그림 3] PV 모듈용 회로변경장치와 전압보상장치의 전류 및 출력 특성

2.3 회로변경장치 및 전압보상장치의 운용모드

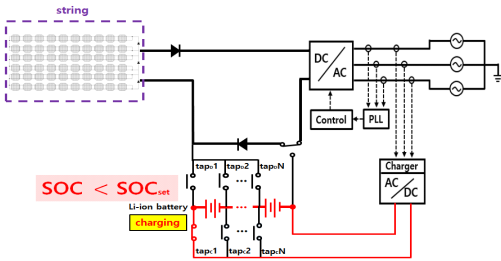
그림 4는 스트링의 전압이 인버터의 동작범위 이내를 유지하여, 정상적인 상태에서의 태양광발전 운용모드를 나타낸다. 여기서, 태양광전원용 전압보상장치는 바이패스 모드에 의해 동작하지 않고, 태양광 스트링의 출력은 인버터를 통해 계통으로 전달된다. 또한, 그림 5는 태양광전원의 일부가 음영으로 인해 스트링의 전압이 인버터의 동작범위를 벗어나는 경우, 인버터가 탈락하는 현상을 방지하기 위해, 태양광전원용 전압보상장치에 의하여 전압저하분을 보상하는 운용모드이다. 여기서, 태양광전원용 전압보상장치는 저하된 스트링 전압 크기만큼 다단형태의 배터리 모듈부를 직렬로 연결하여 전압저하분을 보상하여, 태양광전원의 출력과 배터리의 보상된 출력을 인버터를 통해 계통으로 전달한다. 한편, 그림 6은 배터리 모듈부의 SOC가 설정치 미만인 경우, AC 상용계통으로부터 태양광모듈용 전압보상장치의 배터리 모듈부에 충전하는 운용모드이다. 여기서, 태양광모듈용 전압보상장치는 방전된 배터리 모듈부에 대하여, 충전기를 이용해 배터리 모듈별 SOC에 따라 개별적으로 충전한다.



[그림 4] 태양광발전의 정상상태 운용모드



[그림 5] 태양광모듈 전압보상장치의 주 운용모드

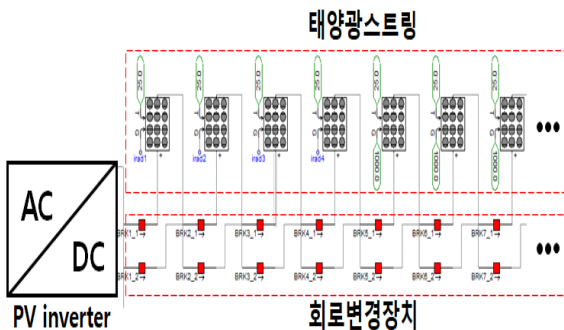


[그림 6] 태양광모듈 전압보상장치의 충전모드

### 3. PSCAD/EMTDC를 이용한 30kW급 태양광전원용 전압보상장치 및 회로변경장치 모델링

#### 3.1 태양광스트링 및 회로변경장치 모델링

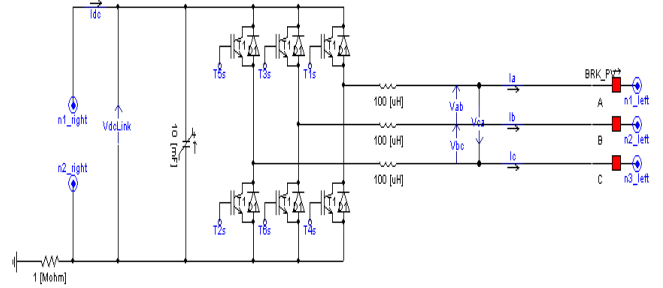
태양광모듈은 60개의 태양전지 셀과 3개의 바이패스 다이오드로 구성되며, 20개의 셀마다 하나의 다이오드가 설치되어 있다. 또한, 배전계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 그림 7과 같이 400[W]급 태양광모듈을 직병렬로 연결하여 30kW급 태양광 스트링을 구성한다. 또한, 음영이 발생한 경우, 음영이 발생되지 않은 부분은 정상적으로 작동하도록 회로를 구성하는데, 정상상태의 모듈과 음영이 발생한 모듈을 분리시키기 위하여, 각 태양광 스트링의 중간지점에 회로 변경 스위치를 설치한다.



[그림 7] 태양광 스트링 모델링

#### 3.2 태양광전원용 인버터 모델링

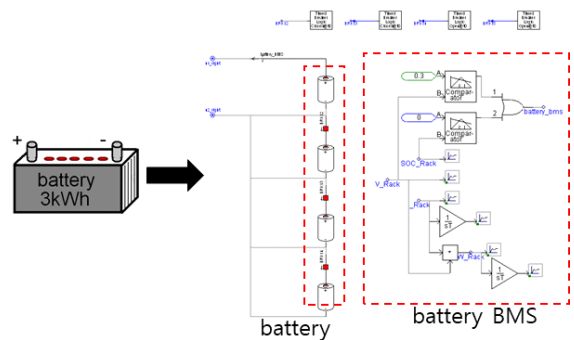
태양광전원용 인버터 모델링은 그림 8과 같이, 입력 Filter, IGBT, 등으로 구성되며, 3상 380[V]의 AC로 변환해 전력계통과 연계되도록 구현한다. 또한, 일사량이나 태양광 모듈의 탈락 등으로 인해 입력되는 전압 및 전류가 변동되더라도 인버터는 PLL 제어를 통해 계통의 위상을 추종하도록 한다.



[그림 8] 태양광전원용 인버터 모델링

#### 3.3 전압보상장치 모델링

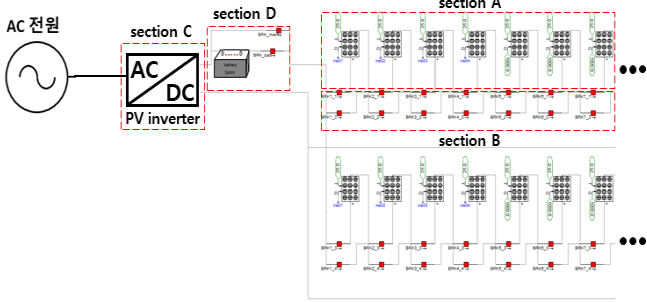
태양광전원 전압보상 및 음영 발생장치의 모델링을 나타내면 그림 9와 같다. 전압보상을 위한 배터리와 이를 감시하고 안전하게 제어하기 위한 BMS(battery management system)로 구성한다. 여기서, 배터리팩은 3[kWh]급 모듈로 구성하고 모듈에 음영이 발생하면 배터리가 투입되어 전압을 보상한다. 또한, BMS는 각 모듈에 연결된 센서로부터 전압, 전류, 온도 등을 측정하여, 배터리의 SOC(state of charge)를 평가하여, 안전하게 전압보상장치를 운용할 수 있다.



[그림 9] 태양광전원용 전압보상장치의 모델링

#### 3.4 전체 시스템 모델링

상기의 내용을 종합하여, 30kW급 태양광전원용 전압보상장치 및 회로변경장치의 전체 시스템을 나타내면 그림 10과 같다. 여기서, section A는 태양광스트링, section B는 회로변경장치이며, section C는 태양광전원용 인버터, section D는 전압보상장치를 나타낸다.



[그림 10] 전압보상장치의 모델링

## 4. 시험 결과 및 분석

### 4.1 시험조건

30kW급 태양광전원용 회로변경장치 및 전압보상장치 모델링의 운용 특성을 분석하기 위하여 표 1과 같이 시뮬레이션 조건을 상정한다.

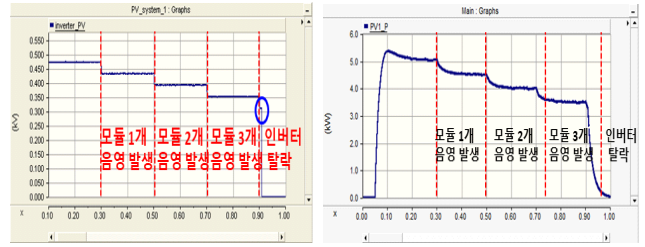
[표 1] 시험조건

item	contents	
PV module	$P_{max}$ [W]	400
	$V_{oc}$ [V]	42
	$I_{sc}$ [A]	8.67
	$V_{mp}$ [V]	35
	$I_{mp}$ [A]	8
PV inverter	pick-up voltage[V]	300
	rated voltage[V]	630
	open voltage[V]	1,000

### 4.2 태양광전원용 전압보상장치 및 회로변경장치 운용특성

음영이 발생하는 경우, 태양광 모듈의 운용효율에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 전압보상장치가 없는 경우에 대하여 태양광전원용 인버터의 전압 및 출력 특성을 나타내면 그림 11과 같다. 여기서, 그림 11 (a)는 음영에 따른 스트링의 전압 변동특성을 나타내는데, 태양광 모듈에 순차적으로 음영이 발생하게 되면 전압이 감소하다가 4번째 모듈에 음영이 지게되면 전압이 0[V]로 감소하여 인버터가 탈락됨을 알 수 있다. 이에 따라 그림 11 (b)와 같이 태양광 인버터의 출력도 점차 감소하다가 탈락함을 알 수 있다. 한편, 태양광전원용 전압보상장치를 사용하는 경우 태양광전원용 인버터의 전압 및 출력 특성을 나타내면 그림 12와 같다. 여기서, 그림 12의 (a)와 같이 태양광전원용 전압보상장치를 사용하게 되면 3번째 음영이 발생 후 전압이 보상되어, 태양광전원용 인버터가 탈락되지 않고 운용됨을 알 수 있다. 이에 따라 그림 12의 (b)와 같이 태양광 인버터의 출력도 0으로 감소하지 않고 정상적으로 운용되어, 음영이 발생하더라도 태양광전원용 인버터가

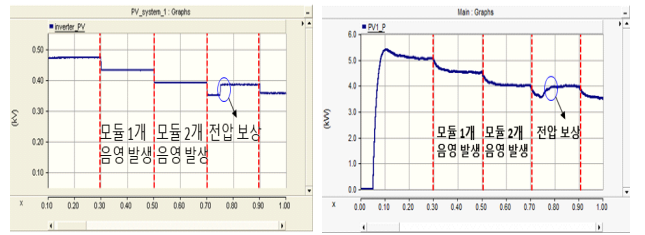
탈락하지 않아 태양광전원의 효율이 상승함을 알 수 있다.



(a) 인버터의 전압

(b) 인버터의 출력

[그림 11] 음영 발생시 기존의 PV 인버터의 전압 및 출력 특성



(a) 인버터의 전압

(b) 인버터의 출력

[그림 12] 전압보상장치에 의한 PV 인버터 전압 및 출력 특성

## 5. 결론

본 논문에서는 음영 외 여러 가지 요인으로 인버터가 탈락되는 현상을 방지하고 태양광전원의 운용효율을 향상시킬 수 있는 회로변경장치와 전압보상장치를 제안한다. 또한, A 시험장치는 태양광 전원용 회로변경장치와 전압보상장치가 각각 100%로 적용되며, B 시험장치는 회로변경장치와 전압보상장치가 설치되지 않은 기존의 방식으로 구성한다. 이를 바탕으로 태양광전원용 회로변경장치와 전압보상장치의 운용 특성을 분석한 결과, 음영이 발생할 경우, 제안한 장치가 태양광전원의 인버터의 운용한계 전압을 보상하여, 인버터의 탈락을 방지할 수 있어 태양광전원의 운용효율을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] 한국에너지공단, “제5차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획”, 보도자료, 2020.12.
- [2] 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