

PSCAD/EMTDC를 이용한 태양광모듈용 출력개선장치의 모델링 및 운용 알고리즘에 관한 연구

전진택*, 박동명*, 박찬욱*, 임민규*, 노대석*

*한국기술교육대학교

e-mail:jinfind@koreatech.ac.kr

Operation Algorithm and modeling of Output Power Improvement Device for PV modules using PSCAD/EMTDC

Jin-Taek Jeon*, Dong-Myoung Park*, Chan-Wook Park*,
Min-Gyu Lim*, Dea-Seok Rho*

*Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약

최근, RE100과 신재생에너지 공급의무화(RPS) 정책을 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 태양광 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나게 되어, 인버터에서 탈락하는 현상이 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 음영에 의한 태양광전원용 인버터의 탈락을 방지하여, 운용효율을 향상시킬 수 있는 태양광 모듈용 출력개선장치와 운용 알고리즘을 제시하고, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 사용하여 태양광 모듈용 출력개선장치의 모델링을 수행한다. 이를 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 음영이 발생할 경우 제한한 운용 알고리즘에 의하여 태양광 스트링의 인버터 탈락을 방지함으로써 태양광 전체 시스템의 운용효율을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

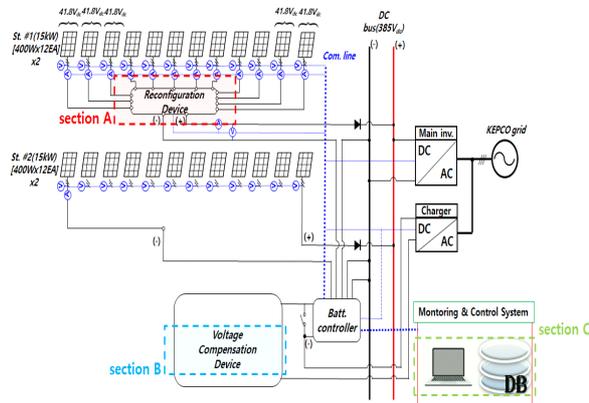
1. 서론

최근, 단기간 Net Zero 달성을 위해 수요 부분의 급속한 전기화 발생과 제10차 전력수급기본계획에 따라 변동성과 간헐성을 지닌 신재생에너지 설비 실효 용량 6.1GW(5.1%)에서 향후 14.5GW(10.0%) 수준으로 증가될 전망이다. 또한, 신재생에너지 중 태양광전원의 보급 현황은 2020년 5.5GW 정점 기록을 하였으며, 신규 설비 용량은 2030년까지 매년 2.5GW ~ 3.0GW 설치될 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 출력개선장치의 설치를 제안한다. 또한, 출력개선장치의 특성 시험을 통해 음영이 발생시 전압이 일정하게 보상되어 태양광전원의 운용효율이 향상됨을 알 수 있다.

2. 태양광모듈용 출력개선장치의 운용특성

2.1 태양광모듈용 출력개선장치의 구성

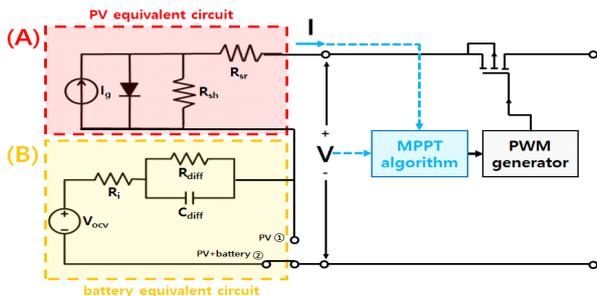
태양광모듈용 출력개선장치의 구성을 나타내면 그림 1과 같이 회로변경장치부, 전압보상장치부, 감시제어장치부로 구성된다. 여기서, section A는 회로변경장치부로 와이어 및 절체 스위치로 구성되며 음영이 발생한 스트링 중에서 두 개의 스트링 사이에 와이어를 연결하여 음영이 발생되지 않은 부분은 정상적으로 작동하도록 회로를 구성한다. 또한, section B는 전압보상장치부로 리튬이온전지와 충전기 등으로 구성되며 태양광모듈용 출력개선장치를 통해 음영이 발생하지 않은 태양광모듈로 회로를 재구성하여 스트링의 출력전압이 인버터의 동작전압보다 작을 경우, 각 스트링과 직렬로 연결된 태양광모듈용 전압보상장치는 인버터가 동작전압 범위에서 운용되도록 구성된다. 한편, section C는 모니터링부로 각 태양광스트링의 전압, 전류를 실시간으로 수집하여 회로변경장치부와 전압보상장치부를 제어한다.



[그림 1] 태양광모듈용 출력개선장치의 구성도

2.2 태양광모듈용 출력개선장치의 운용특성

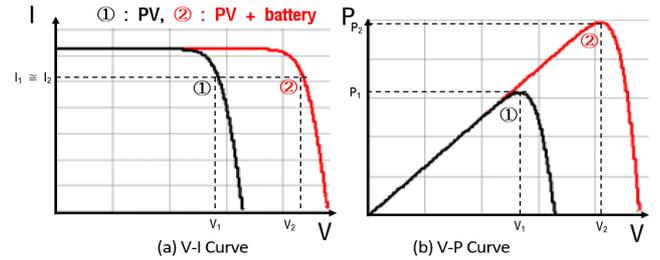
상기에서 제시한 태양광모듈용 출력개선장치는 태양광모듈과 배터리를 직렬로 연결하여 구성되므로, DC/AC 변환을 위한 계통연계형 인버터는 태양광모듈 뿐만 아니라, 배터리의 특성까지 고려하여 MPPT 제어를 수행하게 된다. 즉, 태양광모듈용 출력개선장치의 MPPT 제어회로는 그림 2와 같으며, 여기서 태양광모듈만 연계된 경우, 인버터는 (A) 회로구성에 의한 MPPT 제어를 수행하고, 배터리가 추가되는 경우에는 (B) 회로구성까지 동시에 고려하여 MPPT 제어를 수행하게 된다.



[그림 2] 태양광모듈용 출력개선장치의 MPPT 제어 회로

상기의 제어회로에 따른 MPPT 출력특성은 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 3 (a)는 V-I 특성, 그림 3 (b)는 V-P 특성을 나타낸다. 먼저, 그림 3 (a)의 ①번 곡선은 태양광 모듈만을 고려한 MPPT 특성이며, ②번 곡선은 태양광모듈용 출력개선장치의 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 3(b)와 같이 태양광 모듈만 고려한 출력곡선(①)과 에너지 하베스팅 장치를 고려한 출력곡선(②)의 특성이 매우 유사한 형태이므로, 배터리는 직렬 연결된 태양광전원의 동작특성을 추종하여 방전하는 것을 알 수 있다. 따라서, 태양광모듈만으로 운용되는 기존의 방법과 달리, 본 논문에서 제안한 장치가 연결된 경우, 계통연계형 인버터는

태양광모듈과 배터리의 특성을 동시에 고려하여 MPPT 제어를 수행하며, 배터리가 보상하는 전압만큼 태양광전원의 효율이 상승되는 것을 알 수 있다.



(a) V-I Curve (b) V-P Curve

[그림 3] 태양광모듈용 출력개선장치의 전류 및 출력 특성

2.3 태양광모듈용 출력개선장치의 운용모드

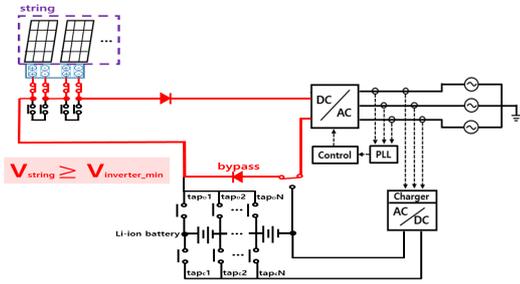
태양광모듈용 출력개선장치의 운용모드를 나타내면 그림 4와 같다. 여기서, 그림 4(a)는 태양광스트링의 전압이 인버터의 동작범위 이내를 유지하여, 정상적인 상태에서의 태양광발전 운용모드를 나타낸다. 즉, 태양광모듈용 출력개선장치는 바이패스 모드에 의해 동작하지 않고, 태양광 스트링의 출력은 인버터를 통해 계통으로 전달된다. 또한, 그림 4(b)는 태양광전원의 일부가 음영으로 인해 스트링의 전압이 인버터의 동작범위를 벗어나는 경우, 인버터가 탈락하는 현상을 방지하기 위해, 태양광모듈용 출력개선장치를 이용하여 전압저하분을 보상하는 운용모드이다. 먼저, 식 (1)을 만족하는 회로변경용 스트링수(n)를 산정하여 이를 직렬로 회로변경을 수행한다. 또한, 회로변경후 남은 저전압 스트링이 존재한다면 저전압 스트링에 식 (2)를 바탕으로 구한 전압보상장치부의 배터리 탭을 직렬로 연결하여 전압을 보상한다.

$$V_{inv_min} \leq \sum_{i'=1}^n V_{str}(i',t) \leq V_{inv_max} \quad (1)$$

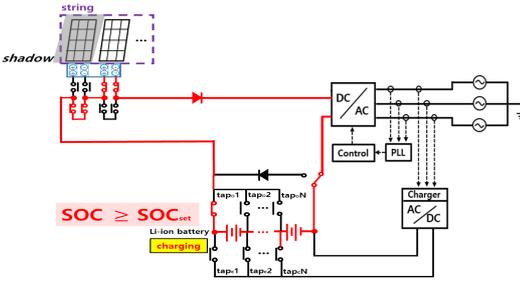
$$V_{tap} > V_{inv_min} - \sum_{i'=1}^{i'-n} V_{str}(i',t) \quad (2)$$

여기서, V_{inv_min} : 인버터 최소동작전압[V], $V_{str}(i',t)$: 저전압 스트링의 전압[V], V_{inv_max} : 인버터 최대동작전압[V], V_{tap} : 전압보상장치부 탭전압[V], n : 저전압 스트링의 수

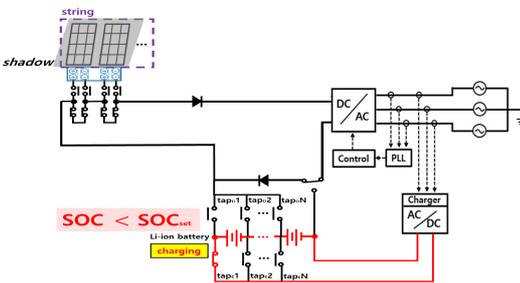
한편, 그림 4(c)는 배터리 모듈부의 SOC가 설정치 미만인 경우, AC 상용계통으로부터 태양광모듈용 출력개선장치의 배터리 모듈부에 충전하는 운용모드이다. 즉, 방전된 전압보상장치부에 대하여, 충전기를 이용해 배터리 모듈별 SOC에 따라 개별적으로 충전한다.



(a) 출력개선편장치의 정상상태 운용모드



(b) 출력개선편장치의 주 운용모드



(c) 출력개선편장치의 충전모드

[그림 4] 태양광모듈용 출력개선편장치의 운용모드

3. 태양광모듈용 출력개선편장치의 운용 알고리즘

상기에서 제시한 태양광모듈용 출력개선편장치의 운용특성을 바탕으로 알고리즘을 구체적으로 나타내면 다음과 같다.

[step 1] 인버터 최소동작 전압, 인버터 최대동작전압, PV 스트링의 수, 배터리 모듈의 최대전압, 운용시간, 등 태양광전원 시스템의 데이터를 입력한다.

[step 2] 모든 태양광 모듈의 스트링(i)에 대하여 스트링전압 ($V_{str}(i, t)$)이 인버터 최소동작전압 (V_{inv_min})의 상한치보다 작으면, 저전압 스트링의 수(i')를 1개씩 증가시키고, PV 스트링의 수 만큼 해당과정을 반복하여 저전압 PV 스트링수를 산정한다.

[step 3] 산정된 저전압 스트링 수가 0이면 [step 7]로 진행하

고 0이 아니면, [step 4]로 진행한다.

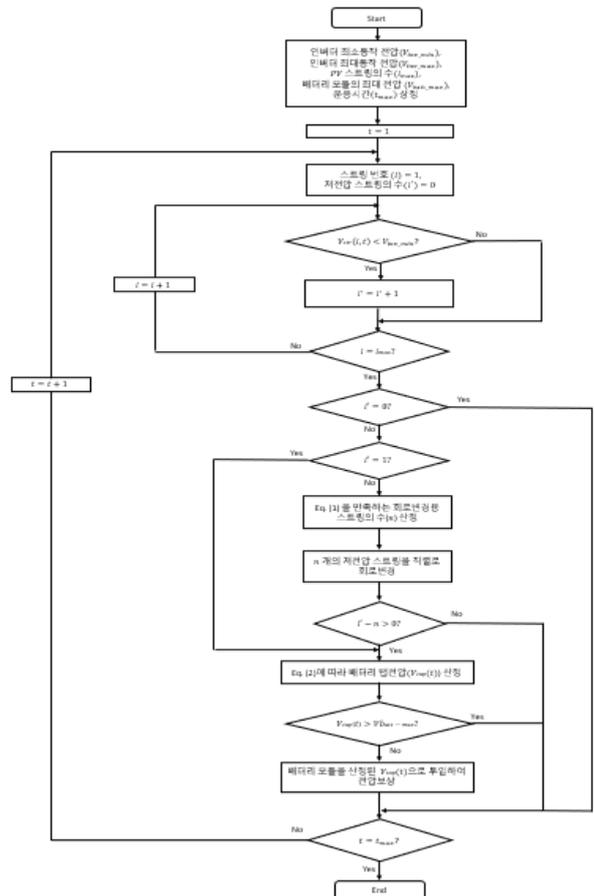
[step 4] 저압 스트링의 수(i')의 개수가 1이면 [step 5]으로 이동하고, 아니면 식 (1)을 만족하는 회로변경 스트링의 수 (n)을 산정하고, 회로변경을 수행한다.

[step 5] 저압 스트링을 회로변경한 후 남은 저압 스트링의 수(i')가 회로변경용 스트링의 수(n)보다 크다면 식 (2)에 따라 배터리 탭전압 $V_{tap}(t)$ 을 산정하며, 크지 않다면 다음 시간대로 진행한다.

[step 6] [step 5]에서 산정된 배터리 탭전압 ($V_{tap}(t)$)이 배터리 최대전압 (V_{bat_max})보다 크다면 다음 시간대로 진행하고, 작다면 배터리 모듈을 선정된 탭전압 ($V_{tap}(t)$)으로 투입하여 전압을 보상한다.

[step 7] 운용시간이 전체 운용시간(t_{max})을 만족할 때까지 해당과정을 반복하고 만족하면 모든 알고리즘을 종료한다.

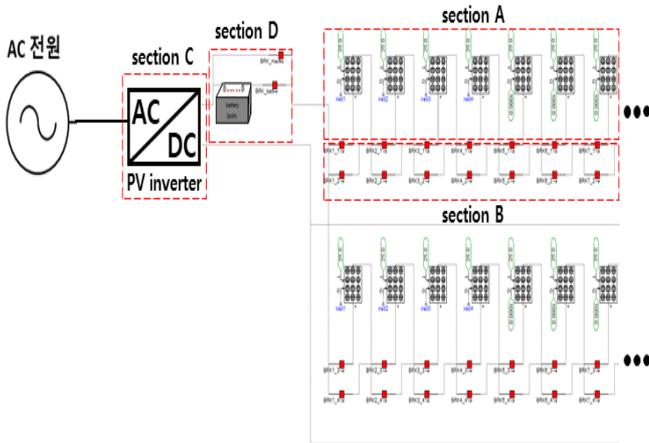
상기의 절차를 플로우차트로 나타내면 그림 5와 같다.



[그림 5] 태양광모듈용 출력개선편장치의 운용알고리즘

4. PSCAD/EMTDC를 이용한 태양광모듈용 출력개선편장치의 모델링

PSCAD/EMTDC를 이용하여 태양광모듈용 출력개선편장치의 모델링을 나타내면 그림 10과 같다. 여기서, section A는 태양광모듈부, section B는 회로변경장치부이며, section C는 태양광모듈용 인버터부, section D는 전압보상장치부를 나타낸다.



[그림 6] 태양광모듈용 출력개선편장치의 모델링

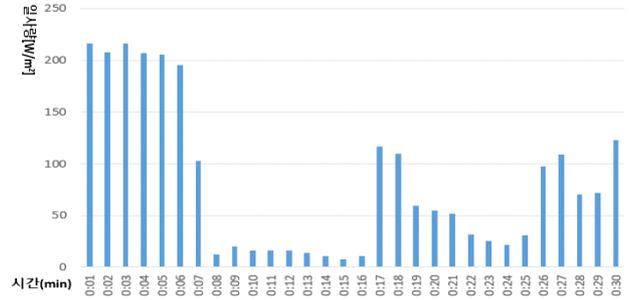
5. 시뮬레이션 결과 및 분석

5.1 시뮬레이션 조건

태양광모듈용 출력개선편장치의 운용특성을 평가하기 위하여 표 1과 같이 시뮬레이션 조건을 상정한다. 또한, 그림 7은 30분간 측정된 태양광 일사량을 나타낸다.

[표 1] 시뮬레이션 조건

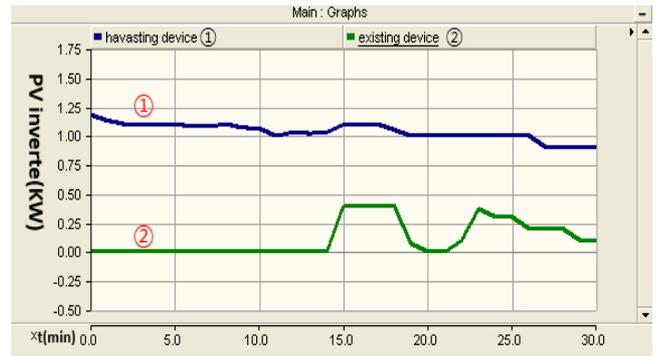
| item | | contents |
|---------|--------------------|----------|
| PV 모듈 | P_{max} [W] | 400 |
| | V_{oc} [V] | 42 |
| | I_{sc} [A] | 8.67 |
| | V_{mp} [V] | 35 |
| | I_{mp} [A] | 8 |
| PV 인버터 | pick-up voltage[V] | 300 |
| | rated voltage[V] | 630 |
| | open voltage[V] | 1,000 |
| 출력개선편장치 | operation time[h] | 0.5 |



[그림 7] 태양광 일사량

5.2 출력개선편장치에 의한 태양광전원 운용특성

음영이 발생하는 경우, 태양광전원의 운용효율에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 상기의 시뮬레이션 조건을 바탕으로 출력개선편장치의 운용특성을 나타내면 그림 8과 같다. 여기서, 그림 8의 ①번 그래프는 기본 방식의 태양광전원의 출력을 나타내는데, 음영으로 인해 태양광전원에 적용되는 일사량이 감소되어, 태양광인버터의 출력이 많이 감소됨을 알 수 있다. 하지만, 그림 8의 ②번 그래프와 같이 본 논문에서 제안한 태양광모듈용 출력개선편장치를 적용하게 되면 음영에 의해 태양광전원에 적용되는 일사량이 감소되어도, 배터리가 전압저하분을 보상하여 출력이 개선됨을 알 수 있다.



[그림 8] 태양광모듈용 출력개선편장치의 운용특성

6. 결 론

본 논문에서는 음영 외 여러 가지 요인으로 인버터가 탈락되는 현상을 방지하고 태양광전원의 운용효율을 향상시킬 수 있는 출력개선편장치를 제안한다. 이를 바탕으로 태양광모듈용 출력개선편장치의 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.

[1] Energy Storage System Industry Development Strategy, Ministry of Trade, Industry and Energy, pp. 6, 2023.