

태양광 스트링용 다기능 접속장치의 운용특성에 관한 연구

박동명*, 김윤호*, 장형안*, 왕종용*, 노대석*

*한국기술교육대학교

e-mail:pdos@chol.com

A Study on the Operation Characteristics of Multi-functional Connection Device for PV String

Dong-Myoung Park*, Yun-Ho Kim*, Hyeong-An Jang*, Jong-Yong Wang*,
Dae-Seok Rho*

*Korea University of Technology and Education

요 약

최근, 신재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령의 제15조에 의거, 건축비의 5% 이상에서 예상 에너지사용 대비 일정비율로 변화함에 따라, 태양광 발전 시스템의 유지관리 방법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히, 태양광 전원을 설치하는 경우, 운용환경에 따라 일부 태양광 모듈에 음영이 발생할 수 있다. 이러한 조건으로 인하여, 인버터 운전 개시 전압보다 태양광 어레이의 전압이 낮으면 인버터가 정지되며, 정지 시간 동안 생산되는 전력은 개방 전압으로 손실된다. 따라서, 본 논문에서는 환경변화로 발생한 음영지역의 모듈에서 생산되는 전력을 회수하는 태양광 스트링용 다기능 접속장치를 제안한다. 즉, 충전 스위치부, DC/DC converter부, 배터리부 등으로 구성된 태양광 스트링용 다기능 접속장치를 구현하고, 잉여 전력을 배터리에 저장할 수 있는 운용방안을 제안한다. 상기에서 제시한 태양광 스트링용 다기능 접속장치를 바탕으로 시험을 수행한 결과, 태양광-어레이의 전압이 인버터의 운전 전압보다 낮아 계통 연계가 정지되면 음영이 발생한 모듈에서 생산되는 전력을 배터리에 저장하고, 다시 인버터가 계통에 연계되면 충전이 종료되어, 태양광 스트링용 다기능 접속장치의 유효성을 확인할 수 있다.

1. 서 론

신재생에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 제12조 제2항 및 동법 시행령 제15조 제1항 제1호에 의거하여 의무대상과 공급의무비율이 확대되었다. 또한, 의무기준의 경우 기존 건축비의 5%이상에서 예상 에너지 사용량 대비 일정 비율 이상으로 변경됨에 따라 운용중인 신재생에너지 및 재생에너지의 유지관리 방법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나, 태양광 발전의 경우 모듈 진단 및 관리에대한 연구는 활발히 이루어지고 있으나, 인버터 계통연계 기준 미만에서 발생하는 에너지 손실에 대한 연구는 미흡한 상황이다. 대표적인 에너지 손실로는 음영으로 인하여 인버터 운전 시작 전압보다 어레이 전압이 낮을 경우, 태양광 인버터는 발전을 정지하고, 운전 시작 전압을 만족하면 정상 운전을 재개한다.

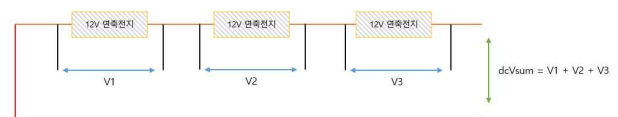
따라서, 본 논문에서는 계통 연계 정지 상태에서 잉여 전력을 배터리에 저장할 수 있는 태양광 스트링용 다기능 접속장치를 제안하고, 이를 운용할 수 있는 운용방안을 제안한다. 상기에서 제시한 태양광 스트링용 다기능 접속장치를 바탕으로 시험을 수행한 결과, 계통 연계 정지로 인해 손실되는 전력을 배터리에 효과

적으로 저장할 수 있음을 알 수 있다.

2. 태양광 스트링용 다기능 접속장치의 구현

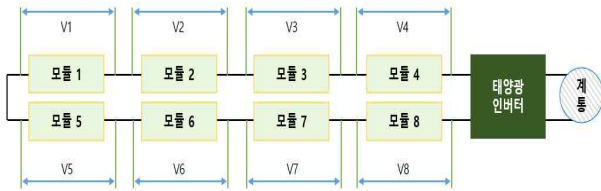
2.1 충전부

그림 1과 같이 12V 연축전지 3개를 직렬로 연결하여 전압을 측정하면 dcV_{sum} 은 1번 연축전지 전압 $V1$ 과 2번 연축전지 전압 $V2$ 그리고 3번 연축전지 전압 $V3$ 의 합과 같다. 또한, 각 연축전지의 전압을 개별 측정할 경우 각 연축전지별 전압을 $V1$, $V2$, $V3$ 으로 사용할 수 있다.



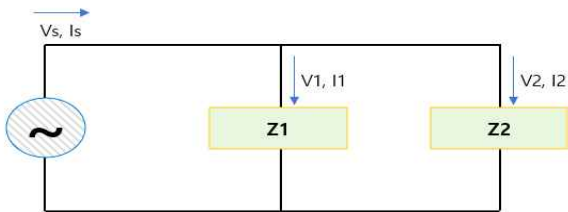
[그림 1] 12V 연축전지 직렬 접속 전압 측정 예시도

상기의 전기이론을 3kW 태양광 발전 설비에 적용하면 그림 2와 같다.



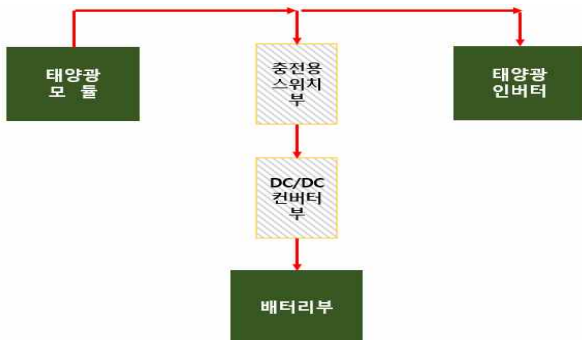
[그림 2] 3kW 태양광 발전 설비 전압 측정 예시도

태양광 인버터에 입력되는 dcV_{sum} 은 각 모듈의 dcV_n 의 합이며, 각 모듈의 dcV 는 모듈의 STC(standard test condition) 또는 NMOP(nominal module operating temperature)에 따른 V_{oc} (open circuit voltage)이거나 V_{mp} (maximum power voltage)로 측정할 수 있다. 또한, 그림 3과 같은 병렬 회로에서 $V_s = V_1 = V_2$ 이며, $I_s = I_1 + I_2$ 이므로 Z1과 Z2의 크기에 따라 전류가 변화하지만, 전압은 동일함을 알 수 있다.



[그림 3] 병렬 부하 전압 및 전류 측정 예시도

따라서, 그림 4와 같이 태양광 모듈과 태양광 인버터 사이에 병렬로 충전용 스위치부를 사용하여 연계 절체 없이 구성할 수 있다.



[그림 4] 충전 스위치부 구성도

2.2 DC/DC Converter 및 배터리부

표 1은 250[W] 태양광 모듈의 전기적 특성이다. 여기서, V_{oc} 는 37.5[Vdc]이고, V_{mp} 는 30.8[Vdc]이며, I_{mp} (maximum power current)는 8.14[Adc]이다. 그러나, V_{mp} 와 I_{mp} 는 STC 조건으로 NMOP로 환산하면, 모듈 1장당 12V 연축전지 1개를 10[Adc]로 충전할 수 있도록 구성한다.

[표 1] 250W 태양광 모듈의 전기적 특성

구 분	특 성
정 격 용 량	250W
최 대 전 압 (V_{mp})	30.8V
최 대 전 류 (I_{mp})	8.14A
단 락 전 류 (I_{sc})	8.67A
개 방 전 압 (V_{oc})	37.5V
효 율	15.03%
온도에 따른 전기적 특성	-0.429%/°C

또한, 12V 연축전지는 일반적으로 0.2~0.25 C-rate로 사용시 최대 효율임으로, 10[A]로 충전하여야 함으로 0.2 C-rate를 적용하면 12[Vdc] 50[Ah]를 사용한다.

2.3 제어부

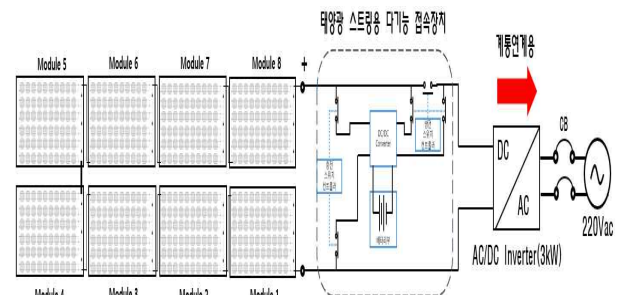
표 2는 3.5kW 태양광 인버터의 전기적 특성이다. 여기서, 운전 시작 전압은 200[Vdc]이고, 전압 범위는 100~500[Vdc]임을 알 수 있다. 따라서, 200[Vdc]에서 운전이 시작되고, 100[Vdc]까지 유지되다 100[Vdc] 미만에서 정지한다. 그러므로, 계통 연계 중 전류가 0[Aac]이고 입력 전압이 20~200[Vdc]이면 충전용 스위치부를 동작하고, 계통 연계 전류가 0[Aac]보다 크면 충전용 스위치부를 정지한다.

[표 2] 3.5kW 태양광 인버터의 전기적 특성

구 분	특 성
전 압 범 위	100~500V
운전 시작 전압	200V
정 격 전 압	350V

2.4 전체 시스템 구성

태양광 스트링용 다기능 접속장치는 그림 5와 같다. 이 장치는 제어부, 충전 및 방전용 스위치부, DC/DC 컨버터 등으로 구성된다.



[그림 5] 태양광 스트링용 다기능 접속장치의 구성

3. 시험 결과 및 분석

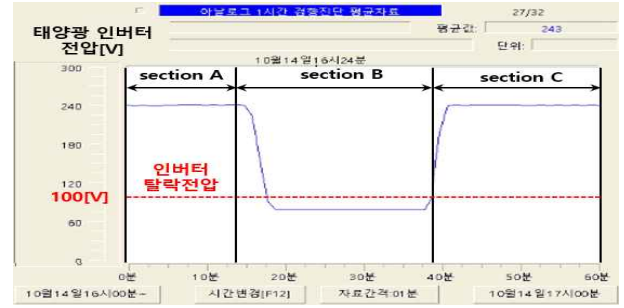
3.1 시험 조건

본 논문에서 제안한 태양광 스트링용 다기능 접속장치는 표 1과 같은 사양의 태양광 모듈 8장과 연결하고, 표 2와 같은 사양의 태양광 인버터에 연계하여 시험을 수행한다. 또한, 시험 방법은 정상상태에서 태양광 모듈에 인위적인 음영을 발생시키고, 배터리의 전압이 배터리 연계 조건 미만에서 충전 스위치부의 동작 상태를 측정하며, 인위적인 음영을 제거한 후 정상상태 복귀한다. 이때, 태양광 인버터의 입력 정보와 출력 정보, 배터리의 단자 전압을 측정하여 분석한다.

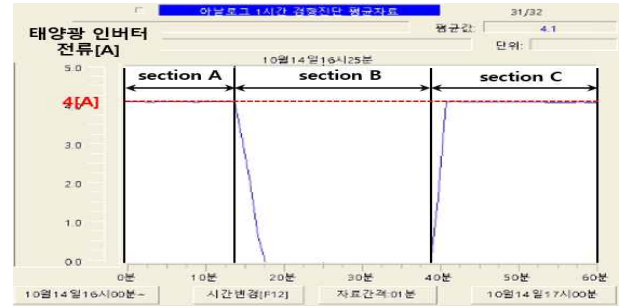
3.2 태양광 스트링용 다기능 접속장치의 운용특성

상기의 시험 조건을 바탕으로 태양광 스트링용 다기능 접속장치의 운용특성을 나타내면 그림 6과 같다. 그림 6의 (a)는 인버터에 공급되는 태양광 어레이 전압특성으로, section A는 다기능 접속장치와 연결된 상태에서 인버터 동작전압인 $200[V_{dc}]$ 이상으로 계통 연계구간이고, section B는 태양광 모듈에 음영이 발생하여 $100[V_{dc}]$ 이하로 유지되는 구간이며, section C는 음영이 해소되어 계통 연계 회복 상태를 나타낸다. 그리고, 그림 6의 (b)는 계통측 전류특성으로, 제어부에서 운용 알고리즘을 수행하기 위한 기준 전류로 사용한다. 여기서, section A는 계통 연계 중으로 $4[A_{ac}]$ 인 정상 상태이고, section B는 그림 6의 (a)와 같이 운전 전압 미만인 대기모드로 계통측 전류가 $0[A_{ac}]$ 인 구간이며, section C는 태양광 인버터의 운전 시작 전압이 충족되어 계통측 전류가 $4[A_{ac}]$ 로 회복된 구간을 나타낸다.

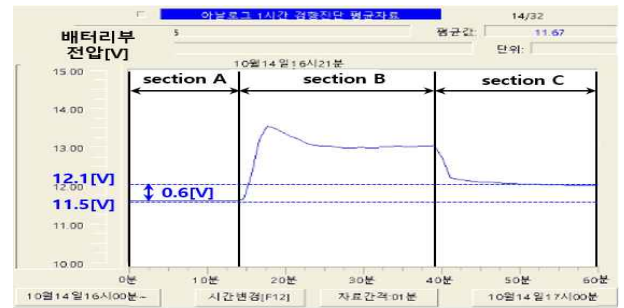
한편, 그림 6의 (c)는 배터리 단자측 전압특성으로, 충/방전 조건으로 사용한다. 여기서, section A는 계통연계 정상 상태에서 배터리 단자의 개방전압이고, section B는 그림 6의 (b)와 같이 계통측 전류가 $0[A_{ac}]$ 임으로, 정상 발전 모듈의 에너지를 저장하는 구간으로, 단자 전압이 상승하고 있으며, section C는 그림 6의 (b)와 같이 계통측 전류가 $0[A_{ac}]$ 이상임으로 배터리 충전이 종료된 구간이다. 즉, section B와 같이 태양광 어레이의 전압이 인버터의 운전 시작 전압보다 낮을 경우, 계통측 전류는 $0[A_{ac}]$ 로 태양광 어레이의 에너지가 손실되지만, 태양광 스트링용 다기능 접속장치를 운용하여 손실 에너지를 배터리에 저장할 수 있음을 확인하였다. 또한, 운용 실시간 데이터는 태양광 인버터에서 제공되는 기본 전력 정보를 사용함으로써 별도의 데이터로거 없이 운용이 가능함을 확인하였다.



(a) 태양광 인버터의 전압특성



(b) 태양광 인버터의 전류특성



(c) 배터리부의 전압특성

[그림 6] 태양광 스트링용 다기능 접속장치의 운용특성

4. 결 론

본 논문에서는 인버터의 대기 모드에서 잉여 전력을 배터리에 저장할 수 있는 태양광 스트링용 다기능 접속장치를 제안하고, 이를 운용할 수 있는 방안을 제안한다. 상기에서 제시한 태양광 스트링용 다기능 접속장치를 바탕으로 시험을 수행한 결과, 데이터 로거와 PLC 등과 같은 별도의 장치를 추가하지 않고, 태양광 인버터의 통신 정보를 사용하여 인버터 대기 모드에서 손실되는 전력을 배터리에 효과적으로 저장할 수 있음을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] 박동명, “태양광 회로구성 및 리튬이온 전지를 이용한 태양광 전원 효율향상장치 개발”, 중소기업기술혁신개발사업, 2020.07.15. ~ 2022.07.16.
- [2] 박동명, “회로 변경 및 배터리를 이용한 태양광 전원용 에너지 하베스팅 장치의 설계에 관한 연구”, 2024년도 한국산학기술학회 춘계학술대회, pp. 1-3, 2024.05.