

태양광모듈용 전기적 회로변경 시험장치에 의한 운용 알고리즘에 관한 연구

김병목, 신건, 원종홍, 이수용, 노대석
한국기술교육대학교 전기전자통신공학부
e-mail:king917@koreatech.ac.kr

Operation Algorithm of Electrical Circuit Transfer Test Device for PV Module

Byung-Mok Kim, Jian Shen, Jong-Heung Won, Soo-Yong Lee, 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 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. 또한 태양의 위치 변화에 따라 주변 고층 건물 및 나무 등의 음영이 태양광 스트링을 가리게 되면 해당 스트링의 출력 손실이 발생할 수 있다. 이러한 환경으로 음영이 고정적으로 스트링에 발생하게 되면, 발전 가능한 시간이 적은 태양광 스트링은 큰 출력 손실을 갖게 된다. 따라서, 본 논문에서는 음영으로 인한 출력 손실을 감소시켜 출력 효율을 향상시키기 위하여, 와이어와 스위치에 의해 음영이 발생하지 않은 영역의 태양광모듈이 서로 연결되도록 회로 구성을 변경하는 태양광 스트링의 출력향상 알고리즘을 제안한다. 태양광 스트링, 와이어 및 절체스위치, 계통연계형 인버터로 구성된 태양광모듈용 회로변경 시험장치를 구현한다. 이를 바탕으로 제안한 방식에 의한 태양광전원의 특성을 분석한 결과, 음영이 발생되지 않은 부분은 정상적으로 동작할 수 있도록 스트링 회로를 변경하여, 음영이 발생한 모듈들을 그렇지 않은 모듈들과 분리시켜, 지속적으로 출력을 유지하여 태양광전원의 운용효율을 상당히 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

1. 서 론

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. 또한, 태양광전원에서는 운용상의 다양한 운전 장애요소와 경년열화 현상으로 발전능력이 저하되고 수명이 감소하고 있다. 이에 태양광전원의 운용효율을 향상하기 위한 다양한 운용기술 개발이 요구되고 있는 실정이다. 한편, 태양광전원은 필요한 발전량을 얻기 위해 태양광모듈을 직병렬로 조합하여 전체 시스템을 구성하는데, 일사량 및 온도에 따라 성능이 크게 좌우된다. 일부 태양광전원은 주변 환경을 고려하지 않고 설치되어 건물 또는 나무 등으로 인한 음영과 같은 특수한 상황에 의해 출력 전력의 손실이 발생한다. 또한, 태양의 위치 변화에 따라 주변 고층 건물 및 나무 등의 음영이 태양광 스트링을 가리게 되면 해당 스트

링의 출력 손실이 발생할 수 있다. 이러한 환경으로 음영이 고정적으로 스트링에 발생하게 되면, 발전 가능한 시간이 적은 태양광 스트링은 큰 출력 손실을 갖게 된다. 따라서, 본 논문에서는 음영으로 인한 출력 손실을 감소시켜 출력 효율을 향상시키기 위하여, 와이어와 스위치에 의해 음영이 발생하지 않은 영역의 태양광모듈이 서로 연결되도록 회로 구성을 변경하는 태양광 스트링의 출력향상 알고리즘을 제안한다. 태양광 스트링, 와이어 및 절체스위치, 계통연계형 인버터로 구성된 태양광모듈용 회로변경 시험장치를 구현한다. 이를 바탕으로 제안한 방식에 의한 태양광전원의 특성을 분석한 결과, 음영이 발생되지 않은 부분은 정상적으로 동작할 수 있도록 스트링 회로를 변경하여, 음영이 발생한 모듈들을 그렇지 않은 모듈들과 분리시켜, 지속적으로 출력을 유지하여 태양광전원의 운용효율을 상당히 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

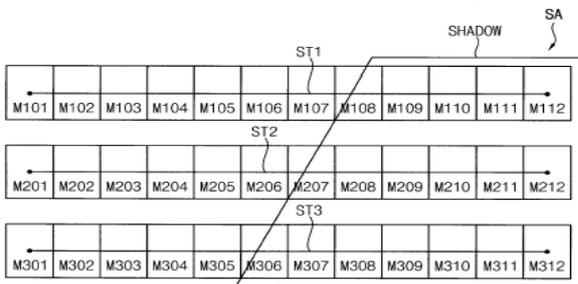
2. 전기적 회로변경장치의 운용 알고리즘

태양광 스트링은 태양의 위치 변화와 날씨 변화 및 나무 등으로 발생하는 음영에 의해 출력손실이 발생한다. 음영이 없는 정상상태에서, 부분음영이 스트링 전체 면적의 약 50[%] 이상 발생하면, 스트링을 구성하는 스트링 전압의 감소로 인하여 인버터가 동작을 정지하여 전체 출력이 0으로 되는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 음영이 발생할 경우, 와이어와 스위치를 이용하여 음영이 발생하지 않은 영역의 태양광모듈이 서로 연결되도록 회로 구성을 변경하는 태양광 스트링의 출력향상 알고리즘을 제시한다. 즉, 음영에 의한 태양광 스트링의 출력 손실을 최소화하여 전체시스템의 출력을 향상시키는 알고리즘은 다음과 같다.

[Step 1] 태양광 스트링이 설치된 주변 환경(건물, 나무 등) 및 계절에 따라, 태양광 스트링에 발생하는 음영의 면적과 음영이 발생하는 시간대를 분석한다.

[Step 2] [Step 1]에서 분석한 데이터를 바탕으로, 태양광 전원의 출력 손실이 크게 발생하는 시간대와 음영이 발생한 모듈을 산정하고, 적절한 전압이 발생하는 회로 구성을 제시한다.

[Step 3] [Step 2]에서 제시한 회로구성에 대하여, 음영이 발생할 경우 크로스 와이어(CW)와 스위치(SW1, SW2, SW3)를 이용하여 그림 1과 같이 회로 구성을 변경한다. 즉, 스트링의 회로 변경은 음영이 발생한 스트링 중에서 음영이 발생하지 않은 모듈 사이에 스위치와 크로스 와이어(CW)를 연결하여 음영이 발생하지 않은 부분의 모듈을 정상적으로 동작할 수 있도록 스트링 회로를 구성한다.



[그림 1] 태양광 스트링 회로 구성

[Step 4] 태양광 스트링의 입력 전압을 분석하여 인버터 동작 전압 범위를 벗어나면, [Step 3]과 같이 회로 변경을 통하여 태양광 전원의 출력을 향상시킨다.

3. 4kW급 태양광모듈 회로변경장치의 구현

3.1 태양광모듈 및 스트링 구성

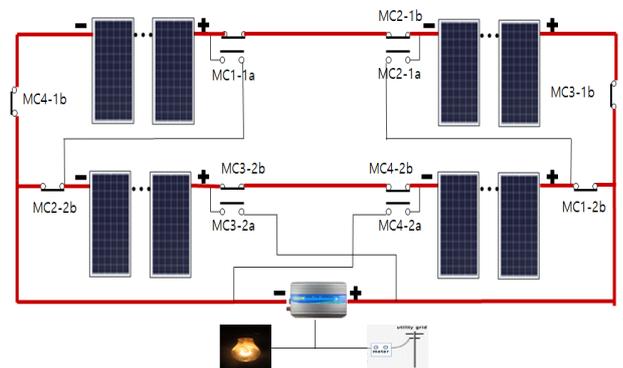
태양광모듈은 60개의 태양전지 셀과 3개의 바이패스 다이오드로 구성되며, 20개의 셀마다 하나의 다이오드가 설치되어 있다. 2[kW]급 태양광 스트링은 250[W] 태양광모듈 8개를 직렬로 연결하여 구성하며, 4[kW]급 태양광 전원은 2개의 스트링을 병렬로 연결하여 구성한다. 표 1은 시스템 구현에 사용된 태양광모듈의 전기적 특성을 나타낸 것이다.

[표 1] 태양광모듈 사양

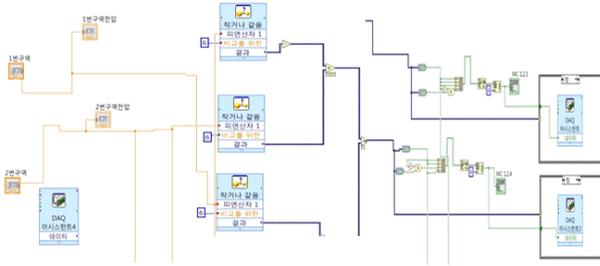
항목	사양
정격 전력 (P _{MAX})	250[W]
P _{MAX} 전압(V _{mp})	30.8[V]
P _{MAX} 전류 (I _{mp})	8.14[A]
개방 전압(V _{oc})	37.5[V]
개방 전류(I _{sc})	8.67[A]

3.2 회로변경장치 구성

태양광전원의 회로변경을 위한 와이어 및 절체스위치의 구성도를 나타내면 그림 2와 같다. 이 그림에서와 같이, 음영이 발생한 스트링 중에서 두 개의 스트링 사이에 와이어를 연결하여 음영이 발생되지 않은 부분은 정상적으로 작동하도록 회로를 구성한다. 또한, 정상상태의 모듈과 음영이 발생한 모듈을 분리시키기 위하여, 각 태양광스트링의 중간지점에 절체스위치를 설치한다. 한편, Labview S/W를 이용하여, 회로 절체를 위한 스위치의 제어블록도를 나타내면 그림 3과 같다.



[그림 2] 태양광모듈 회로변경장치 구현



[그림 3] Labview S/W를 이용한 감시제어장치 구현

3.3 계통연계형 인버터의 사양

4kW 인버터의 주요 사양은 표 2와 같다. 스트링별 동작 전압 범위는 DC 130~700[V]이고, 출력전압은 AC 380[V]이다. 또한, 주파수 변동률은 60Hz의 +0.5Hz, -0.7Hz이며 출력의 파형 왜곡은 5%이하로 구성 되어있다.

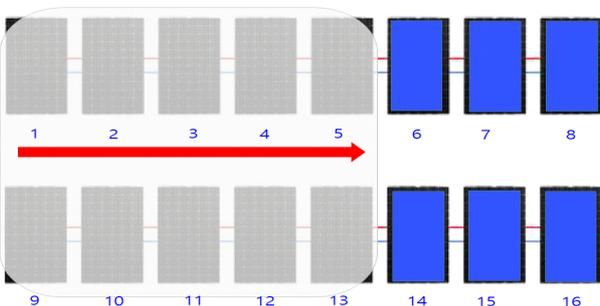
[표 2] 태양광 인버터 사양

	항목	사양
입력	운용전압 범위	DC 130V ~ 700V
	정격 용량	4kW
출력	정격 전압	380V
	주파수 변동률	60Hz +0.5Hz, -0.7Hz
	출력의 파형 왜곡	5%이하
	과출력 용량	110% 10분
	부하 역률	0.98이상
	정격 효율	95%이상

4. 시험장치 결과 및 분석

4.1 시험조건

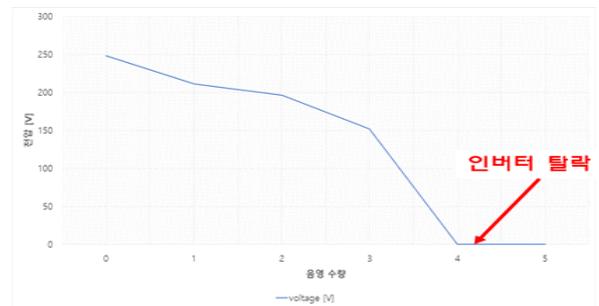
본 논문에서 제안한 태양광 전원의 회로변경에 의한 출력 향상 알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여, 시험 조건은 그림 4와 같이 좌측에서 우측 방향으로, 순서대로 음영이 발생된 것이다



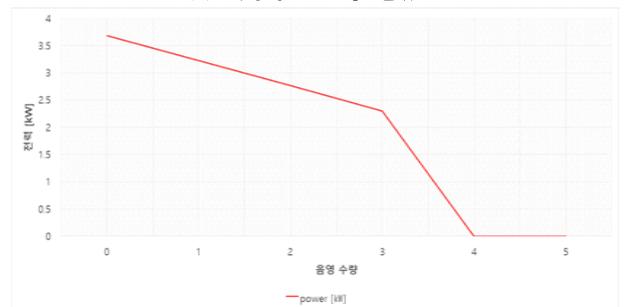
[그림 4] 좌측에서 우측 방향으로 음영이 발생된 경우

4.2 회로변경장치가 없는 경우의 운용특성

그림 4의 시뮬레이션 조건을 바탕으로 모듈에 음영이 좌에서 우로 순서대로 발생된 경우, 태양광 스트링의 전압 및 출력 특성을 나타내면 그림 5와 같다. 여기서 그림 5(a)는 태양광 스트링의 전압이고 그림 5(b)는 태양광 스트링의 전력을 나타낸다. 그림 5(a)는 태양광모듈 좌측에서 우측으로 1개씩 3개의 모듈까지 음영이 발생된 경우이며, 이때 태양광 스트링의 전압은 246[V]에서 216[V], 185[V], 154[V]까지 감소되고, 4개의 모듈까지 음영이 발생되면 태양광 인버터의 탈락전압인 130[V] 이하까지 감소되어 인버터가 정지되는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 5(b)와 같이 태양광 스트링의 출력도 전압과 동일한 특성을 나타낼 수 있다.



(a) 태양광 스트링 전압



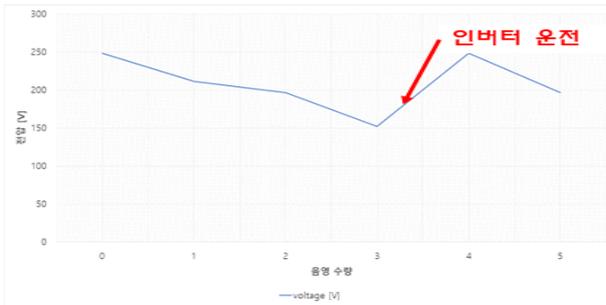
(b) 태양광 스트링 출력

[그림 5] 태양광 스트링 전압 및 출력 특성

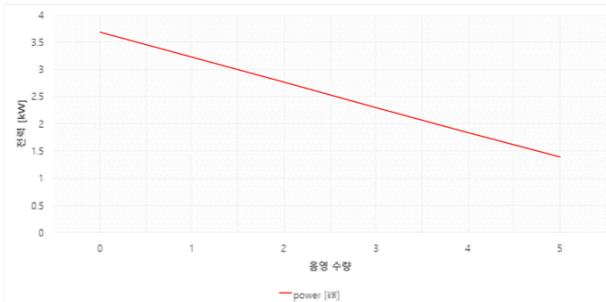
4.3 회로변경장치에 의한 태양광전원의 운용특성

그림 6-1의 시뮬레이션 조건을 바탕으로 모듈에 음영이 좌에서 우로 순서대로 발생된 경우 태양광 스트링의 전압 및 출력 특성을 나타내면 그림 6과 같다. 여기서 그림 6(a)는 태양광 스트링의 전압이고 그림 6-6(b)는 태양광 스트링의 전력을 나타낸다. 그림 6(a)는 태양광모듈 좌측에서 우측으로 1개씩 3개의 모듈까지 음영이 발생된 경우, 태양광 스트링의 전압은 248[V]에서 211[V], 196[V], 151[V]까지 감소되고, 4개의 모듈까지 음영이 발생되면 절체스위치가 동작하여 태양광모듈이 248[V]로 회복되어, 인버터의 운전이 가능함을 알 수 있다. 즉 기존에 운용방식에서는 인버터의 탈락전압인 130[V]

이하까지 감소되어 인버터가 정지되지만, 본 연구에서 제안한 방식은 인버터의 운전이 지속되어, 태양광 전원의 운용효율을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 또한, 그림 6(b)와 같이 태양광 스트링의 출력도 전압과 동일한 특성을 나타낼 수 있다.



(a) 태양광 스트링 전압



(b) 태양광 스트링 출력

[그림 6] 태양광 스트링 전압 및 출력 특성

4.4 종합 분석

기존의 운영방식과 제안한 운영방식에 의한 태양광전원의 운용특성을 비교하기 위하여, 음영이 발생된 스트링 수를 파라미터로 하여, 태양광전원의 스트링 전압, 전력을 나타내면 표 6과 같다.

[표 3] 종합 분석표

음영 영역	기존 운영방식		제안한 운영방식	
	전압 [V]	출력 [kW]	전압 [V]	출력 [kW]
	장치	장치	장치	장치
0	248.1	3.684	248.1	3.684
1/8	211.0	3.228	211.0	3.228
2/8	196.4	2.764	196.4	2.764
3/8	151.8	2.300	151.8	2.300
4/8	0	0	248.1	1.842
5/8	0	0	196.2	1.388

5. 결 론

1)

본 논문에서는 음영으로 인해 감소된 스트링의 전압을 전기적 회로구성에 의한 태양광 스트링의 출력향상방식을 제안하고, 시험장치를 이용하여 기존 태양광전원의 운전방식과 제안한 태양광전원 운영방식을 비교 분석하였다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기존 태양광전원의 운영방식에서는 음영이 스트링 면적의 50%가 발생하면 스트링의 전압은 인버터의 최소 동작 전압 범위 130[V]를 벗어나, 해당 스트링은 인버터로부터 탈락되어 해당 출력은 0[W]로 감소함을 확인하였다. 따라서 음영으로 인하여 태양광전원의 운용효율이 감소하게 됨을 알 수 있었다.

(2) 제안한 태양광전원 운영방식을 이용하여 시험을 수행한 결과, 음영이 해당 스트링 면적의 50%가 발생하면, 초기에 스트링 전압 및 출력은 순간적으로 감소되지만, 절체 스위치로 인하여 스트링의 전압은 248[V]로 회복되고, 출력은 1.842[W]가 됨을 확인하였다. 따라서 해당 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 유지하여, 기존의 운영방식에 비하여 운용효율이 향상됨을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.20206910100090)로서, 관계 부처에게 감사드립니다.

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, Byung-Mok Kim, Hu-Dong Lee, Kab-Seok Kang, Dae-Seok Rho, "A Study on Implementation of Power Regulation Device for Residential PV Module Using Li-ion Battery" Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society 21, no. 8, pp. 17 - 25, August 31, 2021

[3] 김병목 "절체 스위치를 이용한 태양광 어레이의 출력향상 방안"에 관한 연구, 산학 춘계학술대회, 2019년