

태양광전원용 회로변경장치 및 전압보상장치의 태양광 발전량 효율특성에 관한 연구

전진택, 최성문, 유현상, 이나경, 노대석
한국기술교육대학교 전기공학과
e-mail:jinfind@koreatech.ac.kr

A Study on the Efficiency Characteristics of Circuit Configuration and Voltage Compensation Devices in PV System

Jin-Taek Jeon, Sung-Moon Choi, Hyun-Sang You,
Na-Kyung Lee, 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 음영 외 여러 가지 요인으로 인버터가 탈락되는 현상을 방지하고 태양광전원의 운용효율을 향상시킬 수 있는 회로변경장치와 전압보상장치를 제안한다. 여기서, 회로변경장치는 와이어와 절체스위치, 전압보상장치는 PLC, 릴레이, 배터리 모듈로 구성된다. 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 있다.

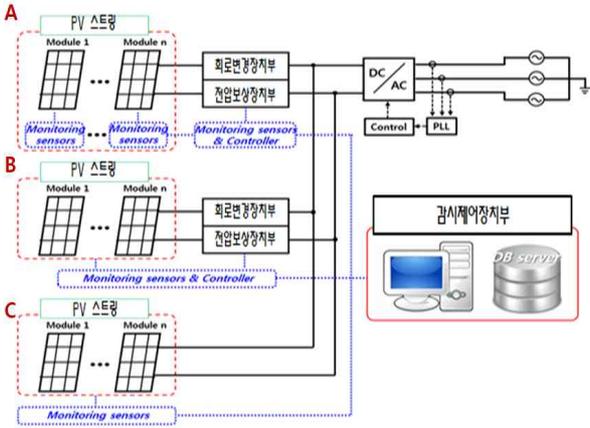
1. 서론

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 구성

태양광 전원 전체구성도는 회로변경장치부, 전압보상장치부, 감시제어장치부로 구성된다. 태양광 모듈은 그림 1과 같이 6개의 스트링(A, B, C)으로 구성하여 1개의 스트링에 12장의 태양광모듈을 설치한다. 여기서, A 시험장치는 태양광 전원용 회로변경장치와 전압보상장치가 각각 100%로 적용되며, B 시험장치는 회로변경장치와 전압보상장치가 각각 50%, C 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 태양광모듈로 회로를 재구성하여 스트링의 출력전압이 인버터의 동작전압보다 작을 경우, 각 스트링과 직렬로 연결된 태양광전원용 전압보상장치는 인버터가 동작전압 범위에서 운용되도록 구성된다.

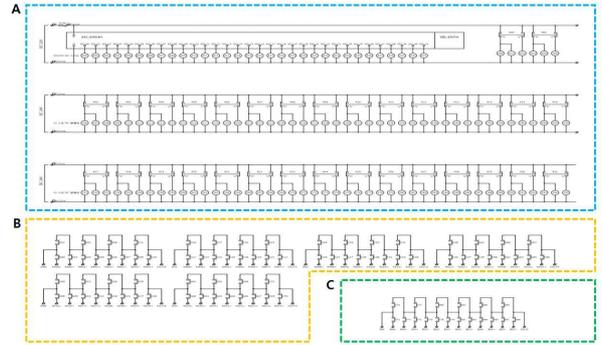


[그림 1] 태양광 전체 구성도

3. 태양광전원용 회로변경장치 및 전압보상장치의 구현

태양광전원용 회로변경장치 및 전압보상장치의 구성도를 나타내면 그림 2와 같은데 A는 PLC 및 릴레이부, B는 컨택터부, C는 전압보상장치부이다. 여기서, PLC부는 400W급 태양광 모듈을 제어할 수 있도록 구성하며, 4개의 모듈은 1개의 블록으로 연결한다. 또한, 1개의 모듈은 +와 -로 2개의 DC릴레이로 구성하며, 바이패스를 위해 1개의 DC릴레이로 설계한다. 한편, PLC의 기계적/전기적 내구도를 감안하여, 정상상태에서는 PLC의 출력을 “0”으로 설계하고, 이상 상태에서 PLC의 출력을 “1”로 산정한다. 한편, 컨택터부의 배열은 태양광 모듈 1개당 +, -, 바이패스로 구성되며, 태양광 모듈 4장에 대하여 1개의 블록으로 구성한다. 즉, 3kW급 모듈의 경우 400W급 8장을 사용하고, 10kW급의 경우 24장의 모듈을 이용하여, 소용량 및 중용량 태양광전원에서 적용이 가능하도록 한다. 또한, 전압보상장치는 전압, 전류 범위설계 및 보호설계가 요구되는데, 먼저 전압범위 설계 시 30kW급 최적회로 제어장치에서 태양광모듈 전기적/기계적 특성에 의하여, 리튬이온전지의 전압범위는 사용 모듈의 STC 조건의 V_{mp} 와 NMOT 조건의 V_{mp} 사이의 값을 적용한다. 한편, 30kW급 회로 제어장치에 사용되는 태양광모듈을 기준으로 V_{mp} 는 39Vdc ~ 49.6Vdc로 설계한다. 또한, 전류 범위 설계 시 30kW급 최적회로 제어장치에서 태양광모듈 전기적/기계적 특성에 의하여, 리튬이온전지의 전압범위는 사용 모듈의 STC 조건의 I_{mp} 와 최대 보상시간 사이의 값을 적용하며, 30kW급 회로 제어장치에 사용되는 태양광모듈을 기준으로 I_{mp} 는 90A를 최대값으로 설계하고, 음영이 2시간 정도 지속되므로 2h를 적용하고, DOD를 80%로 설정하여 25Ah로 설계한다. 또한 보호 설계 시 리튬이온전지의 과충전, 과방전, 과전류, 단락, 고온보호 및 셀밸런싱 기능의 Advanced BMS가 적용된 컨트

롤러를 선정하였으며, 리튬이온용 50.4V 25Ah용 BMS를 적용한다.

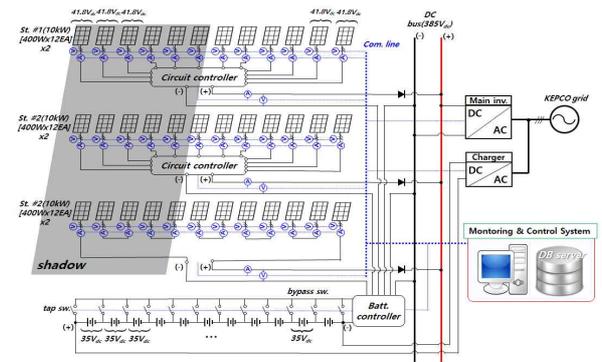


[그림 2] 회로변경장치 구성도

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시험조건

30kW급 태양광전원용 회로변경장치 및 전압보상장치의 운용 특성을 분석하기 위하여, 1개의 스트링에 12장의 모듈을 설치하고, DC/DC 컨버터 1개당 2개의 스트링을 그림 4의 (a)와 같이 72장의 태양광모듈에 연결한다. 또한, 그림 4의 (b)와 같이 음영 장치는 그늘막을 사용하여 적용한다.



(a) 음영구간 선정



(b) 그늘막 설치

[그림 3] 음영구간 조건

4.2 태양광 발전량에 따른 회로변경장치 및 전압보

상장치의 효율특성

4.2.1 저출력시 효율특성

2022년 8월 22일에 측정된 태양광전원의 발전량을 나타내면 그림 4와 표 1과 같다. 여기서, 2022년 8월 10일 측정된 발전량보다는 낮게 발전한 날이며, 30분 동안 음영이 발생하여 회로변경장치와 전압보상장치가 적용된 A 시험장치와 B 시험장치는 발전하고 있으나 C 시험장치는 발전하지 않는 것을 알 수 있다. 한편, C 시험장치의 누적발전량은 2.39kW이고, A 시험장치의 누적발전량은 4.69kW, B 시험장치의 누적발전량은 5.53kW이다. 따라서, 태양광전원용 회로변경장치 및 전압보상장치에 의하여 C 시험장치의 기준 A 시험장치는 약 96.23%이며, B 시험장치는 131.38%로 향상됨을 알 수 있다.



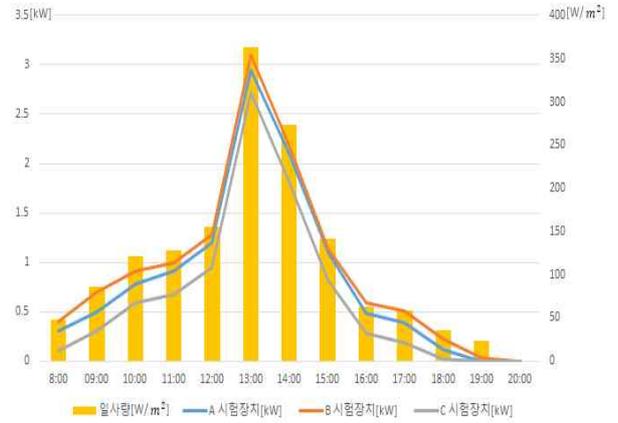
[그림 4] 8월22일 태양광전원특성

[표 1] 8월 22일 태양광전원특성

시간	A 시험장치 [kW]	B 시험장치 [kW]	C 시험장치 [kW]	일사량 [w/m^2]
14:39	1.06	1.06	0.86	82.6
14:49	1.37	1.76	0	90.01
14:59	1.34	1.68	0	89.52
15:09	0.93	1.05	1.53	70.04
합계	4.69	5.53	2.39	-

4.2.2 중출력시 효율특성

2022년 8월 10일에 측정된 태양광전원의 발전량은 그림 5와 표 2와 같다. 2022년 8월 1일 측정된 발전량보다는 낮게 발전한 날이다. 여기서, C 시험장치의 누적발전량은 8.46kW이고, A 시험장치의 누적발전량은 10.82kW, B 시험장치의 누적발전량은 12.07kW이다. 따라서, 태양광전원용 회로변경장치 및 전압보상장치에 의하여 C 시험장치의 기준으로 A 시험장치는 약 27.89%이며, B 시험장치는 42.65%로 향상됨을 알 수 있다.



[그림 5] 8월10일 태양광전원특성

[표 2] 8월 10일 태양광전원특성

시간	A 시험장치 [kW]	B 시험장치 [kW]	C 시험장치 [kW]	일사량 [w/m^2]
08:00	0.3	0.4	0.1	48.27
09:00	0.5	0.7	0.3	85.13
10:00	0.78	0.91	0.59	121.48
11:00	0.91	1	0.67	127.92
12:00	1.2	1.28	0.95	155.17
13:00	2.95	3.1	2.72	363.58
14:00	2.1	2.19	1.82	273.15
15:00	1.1	1.14	0.82	40.88
16:00	0.48	0.59	0.28	62.65
17:00	0.39	0.51	0.19	58.86
18:00	0.11	0.22	0.02	35.73
19:00	0	0.028	0	22.64
20:00	0	0	0	0
합계	10.82	12.068	8.46	-

4.2.3 고출력시 효율특성

본 논문에서 구축한 회로변경장치와 전압보상장치에 의하여 2022년 8월 1일에 측정된 태양광전원의 발전량은 그림 6와 표 3과 같다. 여기서, 시간별 측정된 태양광전원의 발전량은 1분의 6번 측정된 값의 평균값을 나타내고 회로변경장치와 전압보상장치가 100%로 적용된 A 시험장치의 누적 발전량은 34.01kW이고 회로변경장치와 전압보상장치가 50%로 적용된 B 시험장치의 누적 발전량은 35.45kW이다. 그리고 회로변경장치와 전압보상장치가 적용되지 않은 C 시험장치는 31.2kW로 산정된다. 따라서, 태양광전원용 회로변경장치 및 전압보상장치에 의하여 C 시험장치의 기준으로 A 시험장치는 약 9%이며, B 시험장치는 13.62%로 향상됨을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 음영 외 여러 가지 요인으로 인버터가 탈락 되는 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 각각 50%, C 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.

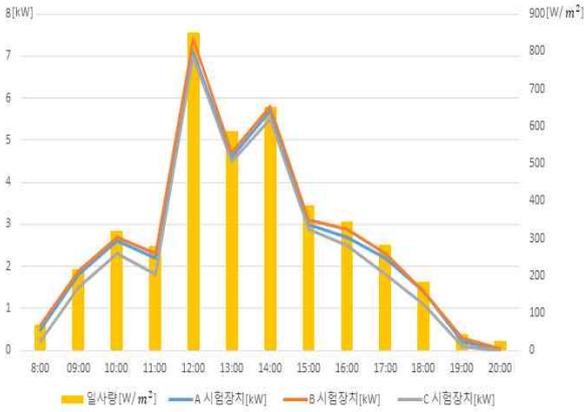
참고문헌

[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

[3] Ministry of Trade, Industry and Energy, Renewable Energy 3020 Plan, <https://www.etrans.or.kr/policy/04.php>, 2017

[4] 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



[그림 6] 8월1일 태양광전원특성

[표 3] 8월1일 태양광전원특성

시간	A 시험장치 [kW]	B 시험장치 [kW]	C 시험장치 [kW]	일사량 [w/m ²]
08:00	0.5	0.6	0.2	68.41
09:00	1.8	1.9	1.5	218.06
10:00	2.6	2.7	2.3	319.31
11:00	2.2	2.3	1.8	280.42
12:00	7.1	7.4	7.0	850.05
13:00	4.6	4.7	4.5	586.18
14:00	5.7	5.8	5.5	651.35
15:00	3.0	3.1	2.9	388.44
16:00	2.7	2.9	2.5	343.53
17:00	2.2	2.3	1.8	281.76
18:00	1.4	1.4	1.1	184.4
19:00	0.2	0.3	0.1	43.99
20:00	0.01	0.05	0.0	23.97
합계	34.01	35.45	34.2	-

4.2.4 종합분석

상기의 내용을 종합하여 태양광전원용 회로변경장치 및 전압보상장치의 운용특성을 분석한 결과, A 시험장치 보다 B 시험장치의 효율이 높은 것을 알 수 있는데, A 시험장치는 음영에 영향을 받지 않는 모듈까지 제어회로가 구성되어 있지만, B 시험장치의 경우 음영에 직접적으로 영향을 받는 모듈에 제어회로가 구성되어 있으므로 A 시험장치는 모든 조건에서 제어회로가 동작하여 손실이 발생한다. 그러나 B 시험장치의 경우, 직접적인 음영에 대해서만 동작함으로 전력 손실이 발생하지 않아, 발전량이 A 시험장치보다 높게 발생하는 것을 알 수 있다.