

회로 변경 및 배터리를 이용한 태양광전원용 에너지 하베스팅 장치의 설계에 관한 연구

박동명, 이진호, 태동현, 전진택, 노대석
한국기술교육대학교
e-mail:pdos@chol.com

A Study on the Design of Energy Harvesting Device for PV Using Circuit Configuration and Battery

Dong-Myoung Park, Jin-ho Lee, Dong-Hyun Tae, Jin-Taek Jeon,
Dae-Seok Rho
Korea University of Technology and Education

요약

최근, 정부의 석탄발전소 감축 및 탄소 중립 정책에 따라 전력수급 문제를 해결하고자 그린 에너지원으로서의 전환정책이 지속적으로 추진되고 있다. 하지만, 태양광전원의 특성상 이동 설치가 어렵기 때문에 신축 건축물 및 자연환경의 변화에 따른 음영, 일사시간, 온도 등의 변화가 발생할 수 있으며, 염해, 먼지 등에 의하여 운용 효율이 저하될 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 태양광 전원의 스트링 전압이 인버터 운전 전압보다 작은 경우 태양광 모듈의 회로 변경 및 배터리의 모듈에 의하여 전압을 보상하고, 태양광 전원의 잉여 모듈을 사용하여 배터리를 충전하는 에너지 하베스팅 장치를 제안한다. 또한, 415[W] 모듈 8장의 1분 단위 24시간 측정 데이터를 기반으로 STC(Standard Test Condition)와 NMOP 조건에 따라 3.5kW급과 30kW급의 태양광 스트링/어레이 설계 방안을 제안한다. 본 연구에서 제시한 태양광 전원용 에너지 하베스팅 장치는 태양광전원 전체 설비를 이동 또는 재설치하지 않고, 운용 효율이 저하된 스트링 및 어레이에 적용하여 운용 효율을 향상시킬 수 있다.

1. 서론

최근, 정부의 석탄발전소 감축 및 탈 원전 정책에 따라 전력수급 문제를 해결하고자 그린 에너지원으로서의 전환정책이 지속적으로 추진하고 있다. 하지만, 태양광전원의 효율향상 및 신뢰성을 높이기 위해 연구하고 있지만, 에너지 효율 향상에는 한계를 보이고 있는 실정에서 새로운 접근 방식이 필요하다. 또한, 태양광전원의 특성상 이동 설치가 어려워, 신축 건축물 및 자연환경의 변화에 따른 음영, 일사시간, 온도 등의 변화가 발생할 수 있으며, 염해, 먼지 등에 의하여 운용 효율이 저하될 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 스트링 전압이 인버터 운전 시작 전압보다 작은 모듈 회로 변경 및 배터리를 투입하고, 잉여 모듈을 사용하여 배터리를 충전하는 배터리 충/방전 개념도를 제안한다. 또한, 415[W] 모듈 8장의 1분단위 24시간 측정 데이터를 기반으로 STC와 NMOP 조건에 따라 3.5kW급과 30kW급에 따른 태양광 스트링/어레이 설계 방안을 제안한다. 제안한 태양광 전원용 에너지 하베스팅 장치를 사용하면, 태양광전원 전체 설비를 이동 또는 재설치하지 않고 운용 효율이 저하된 스트링 및 어레이에 적용하여 운용 효율을 향상시킬 수 있다. 또한, 사용중인 연축 전지 및 리튬이온전지를 이용할 수 있어 유지보수 비용을 줄

일 수 있을 것으로 기대한다.

2. 태양광전원의 운용특성

2.1 태양광모듈 특성

일반적으로 태양광모듈의 특성은 STC(Standard Test Condition)와 NOCT(Nominal Operating Cell Temperature), NMOT(Nominal Module Operating Temperature)에 의하여 측정되고 있다. STC는 일사량 1000W/m², 셀 온도 25℃, 기압 1.5 상태에서 태양광모듈의 발전용량을 시험한 데이터를 기준으로 IEC 61215-1:2021 document에 의하여 시행되고 있다. 하지만, 태양광발전단지의 발전 조건은 시험실과 상이함으로, NMOT의 경우 일사량 800W/m², 셀 온도 20℃, 기압 1.5, 풍속 1m/s 상태에서 태양광모듈의 발전용량을 시험한 데이터를 기준으로 하고 있다. 또한, 고정형으로 설치되는 태양광전원은 태양의 입사 및 환경적 변환에 따라 운용 효율이 저하할 수 있으나, STC조건 하에 모듈 수량을 산정하여 설치하고 있다. 이는, STC 조건에서 스트링 및 어레이를 인버터 운용 조건에 맞도록 구성하여, 설치환경의 변화에 따라 인버터의 운전조건을 만족하지 못하는 경우가 발생한다. 아래 [표 1]과 같이 “L”사의

400[W]급 모듈의 STC와 NMOT의 출력은 약 20% 이상의 차이를 보이고 있다.

[표 1] "L"사 400W급 전기적 특성

	STC	MMOT
Maximim Power	415[W]	311[W]
MPP Voltage(Vmp)	41.80[V]	39.20[V]
MPP Current(Imp)	9.94[A]	7.95[A]
Open Circuit Voltage(Voc)	49.60[V]	46.8[V]
Short Circuit Current(Isc)	10.59[A]	8.50[A]

2.2 태양광모듈의 스트링 및 배터리 특성

태양광 인버터의 특성에 따라 스트링의 Vmp는 운전 시작 전압보다 높아야 하며, 개방전압보다 Voc가 낮아야 한다. 또한 스트링의 Isc는 최대전류보다 낮아야 하며, Vmp에서 Full Mppt 범위를 유지하도록 배열한다. [표2]는 "D"사의 30kW와 3.5kW 태양광인버터의 특성이다. 또한, 1kW기준으로 태양광전원용 연속전지와 ESS용 리튬이온전지의 특성을 분석하면 [표 3]과 같다.

[표 2] "D"사 용량별 태양광 인버터 특성

	30kW	3.5kW
동 작 범 위	280~980[V]	100~500[V]
운전시작전압	450[V]	160[V]
FULL MPPT 범위	480~800[V]	200~400[V]
정 격 전 압	630[V]	370[V]
개 방 전 압	1,000[V]	500[V]
최 대 전 류	30[A]	18[A]
입 력 단	9	2
MPPT 제어	3	1

[표 3] 배터리 특성

	1kW 연속	1kW 리튬이온
공칭전압	12[V]	50.4[V]
용 량	100[A]	25[A]
충전전압	14.4 ~ 14.8[V]	58.8[V]
충전전류	20[A]	15[A]

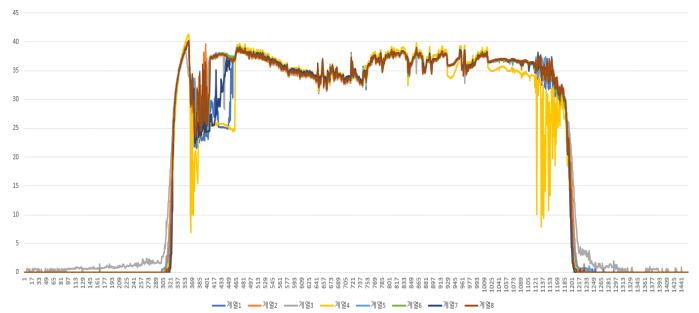
3. 에너지 하베스팅 장치의 설계

3.1 태양광 스트링의 회로 설계

3.5kW 태양광 인버터를 사용할 경우 Vmp기준 최소 160[V]를 초과하여야 하며, Voc기준 500[V] 미만으로 200~400[V]를 유지하여야 하므로, 최대전압은 STC기준으로 Voc가 49.6[V]를 적용하여 10장 미만이며, NMOP기준으로 Vmp가 41.8[V]를 적용하여 4장 이상으로 구성하여야 한다. 또한 30kW 태양광 인버터를 사용할 경우 Vmp기준 최소 450[V]를 초과하여야 하며, Voc기준 1,000[V] 미만으로 480~800[V]를 유지하여야 하므로, 최대전압은 STC기준으로 Voc가 49.6[V]를 적용하여 20장 미만이며, NMOP기준으로 Vmp가 41.8[V]를 적용하여 11장 이상으로 구성하여야 한다. 따라서, 3.5kW의 경우 태양광모듈 8장을 1개의 스트링으로 구성하면 STC 기준 3.32kW이며, NMOT 기준 2.488kW로 구성한다. 그러나, 30kW는 태양광모듈 20개를 1개의 스트링으로 구성하면 STC 기준 8.3kW이며, 3개의 스트링으로 구성하면 24.9kW이고, 4개의 스트링으로 구성하면 33.2kW이다. 즉, 30kW 인버터의 경우 415W 모듈 72개를 사용하면 29.88kW이나, 3개의 어레이로 구성하면 24개를 사용하고, 4개의 어레이로 구성하면 18개를 사용한다.

3.2 배터리 충전 회로 설계

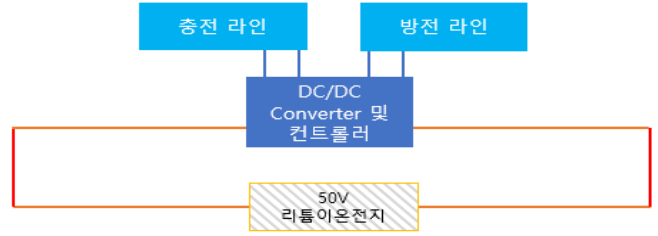
[그림 1]과 같이 8개의 모듈을 1분단위로 24시간 측정된 그래프이다. 모듈 1장으로 연속전지를 충전할 경우 2개를 직렬로 연결하여 충전이 가능하지만, 리튬이온의 경우 모듈 2장이 필요하며, 음영의 발생으로 바이패스 다이오드가 적용된 경우 모듈 전압이 감소되므로, 배터리에 저장하기 위해서는 DC/DC Converter를 사용하여야 한다.



[그림 1] 24시간 모듈의 특성분석

30kW 태양광 인버터에 스트링별 12장의 모듈을 사용하여 6개의 스트링으로 구성하고, 2개의 스트링을 1개의 어레이로 구성하면, 스트링별 STC 기준 Voc는 595.2[V]이며, NMOP 기준 Vmp는 470.4[V]로 운전은 가능하지만, 음영 발생시 운전시작전압 미만이 발생할 수 있다. 또한, 스트링별 18장의

모듈을 사용하여 4개의 어레이로 구성하면, 스트링별 STC 기준 V_{oc} 는 892.8[V]이며, NMOP 기준 V_{mp} 는 705.6[V]로 Full MPPT 범위에 만족한다. 즉, 정상상태의 모듈이 18장 중 12장 이상이면 태양광 인버터의 정상 운전이 가능하며, 9장 이상 12장 미만일 경우 배터리를 연결하며, 모듈 1장당 리튬이온전지 1개가 필요하며, 연속전지의 경우 36[V] 기준 1세트로 연결한다. 그리고, 9장 미만의 스트링이 1개일 경우 모듈 2개를 직렬로 연결하고 DC/DC Converter에 연결하여 충전하며, 9장 미만의 스트링이 2개일 경우 회로 변경하여 인버터에 연결한다. 3.5kW 태양광 인버터에 스트링별 8장의 모듈을 사용하여 1개의 스트링으로 구성하면, 3장 이상 5장 미만일 경우 배터리를 연결하고, 3장 미만일 경우 배터리에 충전한다.



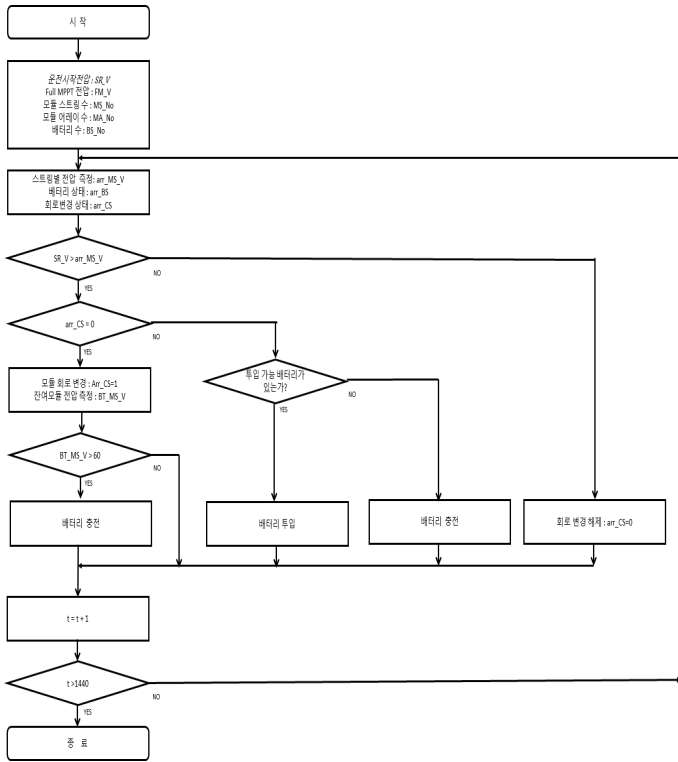
(b) 리튬이온전지 충/방전 개념도
[그림 3] 30kW급 배터리 충/방전 개념도

4. 결 론

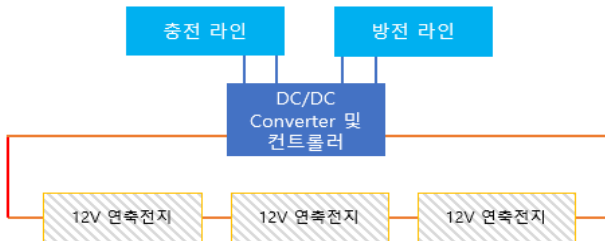
본 논문에서는 스트링 전압이 인버터 운전 시작 전압보다 작은 모듈 회로 변경 및 배터리를 투입하고, 잉여 모듈을 사용하여 배터리를 충전하는 배터리 충/방전 개념도를 제안하였다. 또한, 415[W] 모듈 8장의 1분단위 24시간 측정 데이터를 기반으로 STC조건과 NMOP조건에 따라 3.5kW급과 30kW급에 따른 스트링/어레이 설계 방안을 제안하였다. 즉, 태양광전원 전체 설비를 재 설치하는 것이 아닌, 운용 효율이 저하된 스트링 및 어레이에 적용이 가능하고, 사용중인 연속전지 및 리튬이온전지를 이용할 수 있어 유지보수 비용을 줄일수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] “Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1: Test requirements”, IEC 61215-1:2021.
- [2] 정중윤, “태양광모듈의 모델링 및 성능향상을 위한 최적 구성방안에 관한 연구”, 산학기술학회논문지, 제 17 권 5 호, pp. 723-730, 5월, 2016년.
- [3] 최성문, “태양광모듈 및 리튬이온전지를 이용한 전기자동차용 스마트 전기에너지 공급장치 구현”, 대한전기학회 학술대회논문지, pp. 857-858, 7월, 2020년.



[그림 2] 30kW급 배터리 충/방전 플로차트



(a) 연속전지 충/방전 개념도