

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

박동명, 전진택, 신건, 박찬욱, 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-Taek Jeon, Jian Shen, Chan-Wook Park, Dae-Seok Rho
Korea University of Technology and Education

요약

최근, 정부의 석탄발전소 감축 및 탈 원전 정책에 따라 전력수급 문제를 해결하고자 그린 에너지원으로서의 전환정책이 지속적으로 추진하고 있다. 하지만, 태양광모듈의 유지보수 및 경년열화로 인한 국내 태양광전원의 발전량 손실에 따라 초기 발전량 대비 효율감소가 발생하고 있어, 이에 대한 대비책이 시급한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 음영으로 인한 출력 손실을 감소시키고 효율을 향상시키기 위하여, 회로 변경장치 및 배터리를 이용한 태양광전원용 에너지 하베스팅 장치의 설계방안을 제안한다. 여기서, 회로 변경장치는 태양광 스트링, 와이어 및 절체스위치, 계통연계형 인버터로 구성되며, 음영이 발생하지 않은 태양광모듈을 연결한다. 또한, 배터리는 PLC부, 릴레이부, 배터리 모듈로 구성되며, 음영이 발생한 모듈의 전압을 보상하여 효율을 증가시킬 수 있다. 상기의 내용을 바탕으로 태양광전원에 음영이 발생할 경우 태양광전원용 인버터가 최소동작 전압에서 벗어나지 않도록 전압을 보상할 수 있고, 태양광전원의 운용효율을 향상시킬 수 있는 태양광전원용 에너지 하베스팅 장치를 구성할 수 있음을 알 수 있었다.

1. 서론

최근, 정부의 석탄발전소 감축 및 탈 원전 정책에 따라 전력수급 문제를 해결하고자 그린 에너지원으로서의 전환정책이 지속적으로 추진하고 있다. 하지만, 태양전지 모듈에 도달하는 태양광 에너지로부터 태양광전원 시스템을 거쳐 변환되는 교류전력까지 약 25[%]의 손실이 존재한다고 알려져 있다. 태양광 발전 시스템의 에너지 효율향상 및 원가 절감을 위해 국내의 민간/공공 단체에서는 각 모듈(Cell/PCS/ESS) 단위의 발전효율 향상에 집중하고 있지만, 모듈 단위로의 태양광 에너지 효율 향상에는 한계를 보이고 있는 실정에서 태양광 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 새로운 접근 방식이 필요하다. 또한, 태양광모듈의 유지보수 및 경년열화로 인한 국내 태양광발전 시스템의 발전량손실을 추정해 보면, 초기 발전량 대비 매년 3.7[%]의 손실이 발생(다수의 보고서에서 제시)하고 있으므로 이에 대한 대비책이 시급한 실정이다. 특히, 태양광전원의 특성상 기후조건(음영, 일사량, 온도 등)의 영향을 많이 받고, 환경적인 요인(염해, 먼지 등)에 의하여 발전 출력이 제한을 받아 운용 효율이 저하될 수 있다. 아울러, 기존의 태양광전원 시스템은 여러 개의 스트링(어레이)이 DC 부스에 병렬로 접속되어 하나의 인버터에 연결되

는 방식으로 구성되어, 일부 모듈에 음영이 발생하는 경우에 해당 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 미만으로 감소되어, 해당 스트링의 전력이 인버터를 통해 전력 계통으로 전송되지 못하는 문제점이 발생하여, 태양광전원 전체 시스템의 운용 효율이 저하될 가능성이 발생하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 회로 변경 및 배터리를 이용한 태양광 전원용 에너지 하베스팅 장치의 설계방안을 제안한다. 즉, 환경변화에 따라 음영이 발생할 경우, 모듈의 회로를 변경하고, 잉여 모듈 및 저하 모듈은 ESS에 저장하여, 태양광 전원의 손실을 저감한다.

2. 태양광전원의 운용특성

2.1 태양광전원 스트링 특성

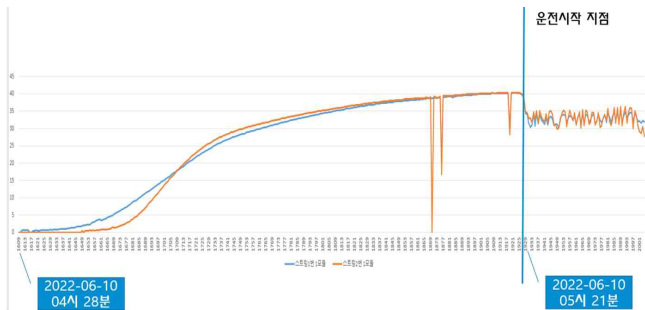
태양광전원 시스템의 설치 공간을 확대하기 위하여, 공장, 지붕, 건물의 옥상은 물론 주차공간을 활용하는 사례가 늘고 있다. 이 중, 주차공간을 활용할 경우, 주변의 건축물 및 가로수에 의한 음영에 의한 태양광전원 스트링의 특성은 표 1과 같다. 여기서, 여기서, 1, 2, 3, 5, 6번 스트링은 가로수의 영향을 직접 받는 부분이며, 11, 12번 스트링은 시스템 용량 50kW를 맞추기 위하여 연결된 스트링이다.

[표 1] 스트링별 전압 및 전류

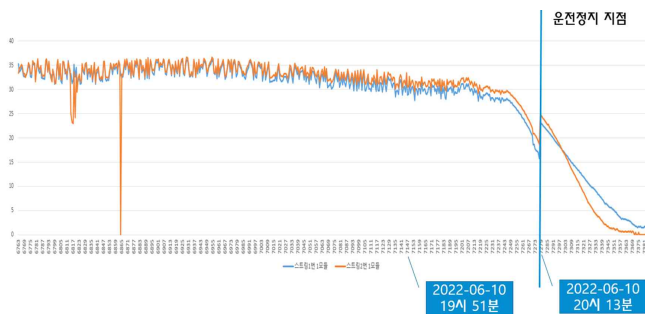
번호	전압	전류	번호	전압	전류
1	0.0	7.9	7	482.8	6.6
2	0.0	8.0	8	479.2	6.9
3	0.0	7.9	9	486.2	7.5
4	485.3	7.9	10	485.3	6.9
5	0.3	7.9	11	262.1	0.0
6	0.0	6.5	12	92.4	0.0

2.2 태양광모듈 특성

태양광모듈의 특성을 분석하기 위하여 기상청에서 제시한 평택시 진위면의 일출, 일몰 시간을 나타내면 그림 1과 같다. 여기서 그림 1의 (a)는 05시 11분부터 전압이 상승하여 태양광전원용 인버터의 운전조건을 만족함을 알 수 있다. 그러나 그림 1의 (b)와 같이 20시 13분에 태양광전원용 인버터가 태양광전원 저전압에 의해 스트링으로부터 탈락하여 개방전압이 측정됨을 알 수 있다.



(a) 일출 특성분석



(b) 일몰 특성분석
[그림 1] 모듈의 특성분석

2.3 태양광모듈의 바이패스 다이오드 특성

일반적으로 태양광모듈의 출력은 일사량과 온도에 큰 영향을 받는다. 태양광모듈은 태양전지 다수를 직렬로 조합하여 구성되며, 이 태양광모듈을 구성하는 태양전지 중 하나라도 이상이 발생하는 경우 출력 손실을 초래한다. 즉, 이상이 발생한 전지의 단락전류(Isc)는 감소하고, 직렬회로 특성에 의하여 이상이 발생한 태양전지의 단락전류가 제한되어 전

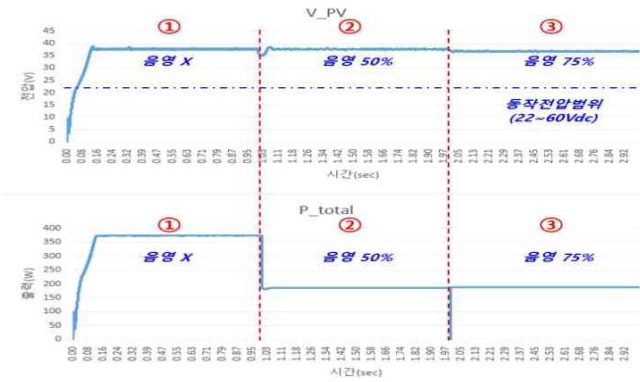
체 발전량이 감소하게 된다. 또한, 이상이 발생한 전지는 발전원이 아닌 부하로 동작하게 되어, 열점현상에 의한 모듈의 파손 및 열화현상을 발생시킨다. 상기의 현상을 방지하기 위해 현재 상용화된 태양광모듈에는 바이패스 다이오드를 설치하여 발전량손실을 최소화시키고 모듈의 열화현상을 감소시키고 있다. 한편, 현재 주로 사용되고 있는 250[W]급 태양광모듈에는 60여개의 태양전지와 3개의 바이패스 다이오드로 구성되어 있는데, 하나의 바이패스 다이오드가 20개의 태양전지를 담당하고 있다. 따라서 태양광모듈의 기본 구성에 의하여 음영이 생기는 방향에 따라 손실전력의 크기가 변화하여 모듈의 출력 성능을 좌우하게 된다[1].

2.4 태양광 스트링의 회로 구성

태양의 위치 변화에 따라 주변 고층 건물 및 나무 등에 의하여 태양광 스트링에 음영이 발생하게 되면 스트링에 출력 손실이 발생한다. 실제로 고층 건물로 인해 특정한 시간대에서 부분적으로 음영이 발생하여, 고정적인 출력의 손실을 발생시키고 있다. 또한, 태양광 스트링에 발생하는 음영의 면적이 증가하게 되면 스트링 전체 출력이 감소하게 되고, 출력의 감소량은 음영의 영향을 받는 태양광 모듈의 개수와 같지만, 일정 개수 이상의 모듈이 음영으로 인해 전압이 감소하면, 해당스트링 출력전압이 감소하여 인버터의 최소 동작전압범위를 벗어날 가능성이 있다. 즉, 음영의 영향을 받는 모듈의 증가로 인하여 인버터의 최소동작 전압범위를 벗어나게 되면 어레이 절반의 모듈이 정상적으로 동작하지만, 인버터가 정지하여 어레이의 전체출력이 0이 되어 출력손실이 발생하게 된다.

2.5 태양광 모듈의 전압 및 출력 특성

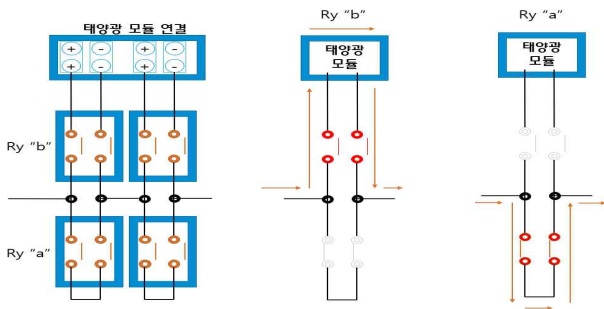
태양광전원 측 전압 및 출력특성을 나타내면 그림 2과 같다. 여기서, 음영이 발생되지 않은 경우는 그림 2의 ①부분과 같이, 스트링 전압은 37.2[V], 출력은 364.8[W]이다. 또한, 음영이 태양광모듈의 전체면적의 50%가 발생한 경우는 그림 3의 ②와 같고, 태양광의 스트링 전압 및 출력은 음영으로 인해 순간적으로 감소되지만, 회로변경에 의해 음영이 없는 부분의 모듈끼리 스트링을 구성하게 되므로, 스트링의 전압 및 출력은 각각 35.8[V], 183.4[W]로 유지된다. 한편, 태양광모듈의 전체 면적의 75% 음영이 발생한 경우는 그림 2의 ③과 같은데, 제어 장치에 의해 리튬이온전지가 투입되어 전압 및 출력은 순간적으로 감소되지만, 전압은 36.1[V], 출력은 리튬이온전지의 방전에 의해 188.1[W]로 유지된다[2].



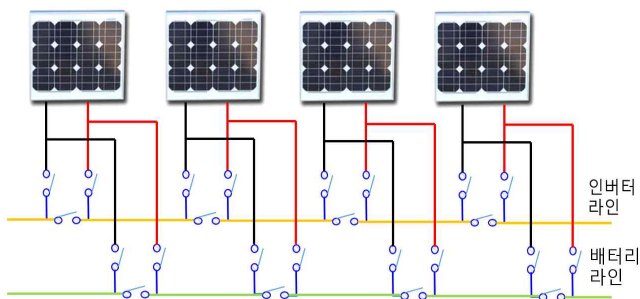
[그림 2] 태양광 모듈의 전압 및 출력 특성

3. 에너지 하베스팅 장치의 설계

3.1 회로 변경을 이용한 에너지 하베스팅 장치 설계
일반적으로 모듈간 연결의 편의성을 위하여 정선박스 위치를 구조물 프레임 방향으로 배치함으로, 인버터용 회로 제어장치는 모듈 4장용으로 설계한다. 또한, 인버터의 MPPT 범위를 고려하여 직렬 연결 회로수를 선정함으로, 상기의 표 1에서 제시한 스트링 11, 12번과 같이 규정전압 이하로 저하시 연결 회로수를 변경할 수 있도록 설계한다. 따라서, 그림 3과 같이 정상적인 태양광모듈은 스트링에 연결하고, 출력이 감소한 태양광모듈은 스트링에서 분리한다. 한편, 그림 4와 같이 스트링에서 분리된 모듈은 배터리 라인에 연계한다.



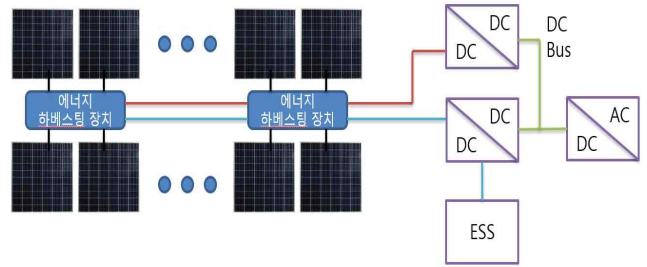
[그림 3] 커넥터 개념도



[그림 4] 회로 제어장치 개념도

3.2 ESS를 이용한 에너지 하베스팅 장치 설계

ESS용 회로 제어장치는 직렬 연결 회로수보다 작을 경우 배터리를 충전할 수 있도록 설계한다. 따라서, 그림 5의 배터리 라인은 ESS 충방전용 DC/DC converter를 사용하여 충전하고, DC/AC inverter로 방전한다. 이는, inverter MPPT 조건을 만족하지 않을 경우, ESS에 충전하고, 출력 요청에 의하여 방전한다.



[그림 5] 에너지 하베스팅 장치 개념도

4. 결 론

본 논문에서는 음영으로 인한 출력 손실을 감소시키고 효율을 향상시키기 위하여, 회로 변경장치 및 전압보상장치를 이용한 태양광 전원용 에너지 하베스팅 장치의 설계방안을 제안한다. 여기서, 회로 변경장치는 태양광 스트링, 와이어 및 절체스위치, 계통연계형 인버터로 구성되며, 음영이 발생하지 않은 태양광모듈을 연결한다. 또한, 전압보상장치는 PLC부, 릴레이부, 배터리 모듈로 구성되며, 음영이 발생한 모듈의 전압을 보상하여 효율을 증가시킬 수 있다. 상기의 내용을 바탕으로 음영이 발생할 경우 태양광전원의 인버터가 운용한계 전압에서 벗어나지 않도록 전압을 보상할 수 있고, 태양광전원의 운용효율을 향상시킬 수 있는 태양광 전원용 에너지 하베스팅 장치를 설계할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 정중윤, “태양광모듈의 모델링 및 성능향상을 위한 최적 구성방안에 관한 연구”, 산학기술학회논문지, 제 17 권 5 호, pp. 723-730, 5월, 2016년.
- [2] 최성문, “태양광모듈 및 리튬이온전지를 이용한 전기자동차용 스마트 전기에너지 공급장치 구현”, 대한전기학회 학술대회논문지, pp. 857-858, 7월, 2020년.