

PV모듈에서 태양전지와 Interconnect회로의 구성이 I-V특성과 Hot Spot에 미치는 영향

이진섭*, 강기환**, 박지홍*, 유권종**, 안형근*, 한득영*

*건국대학교(jslee79@konkuk.ac.kr), **한국에너지기술연구원(ghkang@kier.re.kr),

The effect of I-V characteristic and hot-spot by solar cell and interconnection circuit in PV module

Lee, Jin-Seob*, Kang, Gi-Hwan**, Park, Chi-Hong*, Yu, Gwon-Jong**
Ahn, Hyung-Gun*, Han, Deuk-Young*

*Konkuk University(jslee79@konkuk.ac.kr),

**Korea Institute of Energy Research(ghkang@kier.re.kr),

Abstract

In this paper, we analyze the I-V curve and hot-spot phenomenon caused by solar cells' serial and parallel connected circuit. The mis-match loss of parallel interconnection with low Isc string decrease lower than serially interconnected one and temperature caused by hot-spot does. Also, mis-match loss of parallel interconnection with low Voc string increase more than serially interconnected one. The string having low Voc happened hot-spot phenomenon when open circuit. The bad solar cell in string gives reverse bias to good solar cell and make hot-spot phenomenon. If we consider the mis-match loss, when designing PV module and array, the efficiency of PV system might increase.

Keywords : Photovoltaic, I-V Curve, Hot Spot, Reverse Bias, Series Circuit, Parallel Circuit

1. 서 론

태양광발전시스템의 구성요소기술에서 가장 중요한 태양전지모듈은 발전소자로 사용되는 태양전지의 직·병렬 회로의 구성에 따라서 모듈의 전압과 전류가 결정된다. 하지만 셀의 파손, 제조공정상의 차이, 그림자, 낙엽, 새의 배설물, EVA Sheet의 변색, 국부적인 셀의 노화 등의 미스매치 현상에 대해서는 직·병렬 회로의 구성에 따라 모듈에 미치는 전기적 출력과 Hot Spot에 의한 모듈의 내구성에 큰 영향을 줄 것으로 예상된다. 또한, 태양광발전 Array에서의 직·병렬 회로 설계 시 이러한 미스매치에 의한 손실을 고려한다면 보다 많은 발전량을 생산할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 태양전지의 직·병렬 회로의 구성에 따라서 미스매치에 의한 I-V특성과 손실 그리고 현상을 비교하기 위하여 전류를 감소시킨 셀의 직렬연결과 병렬연결, 전압이 낮은 String의 병렬연결의 회로를 구성하여 이때 발생하는 Hot Spot 현상을 실험하였다.

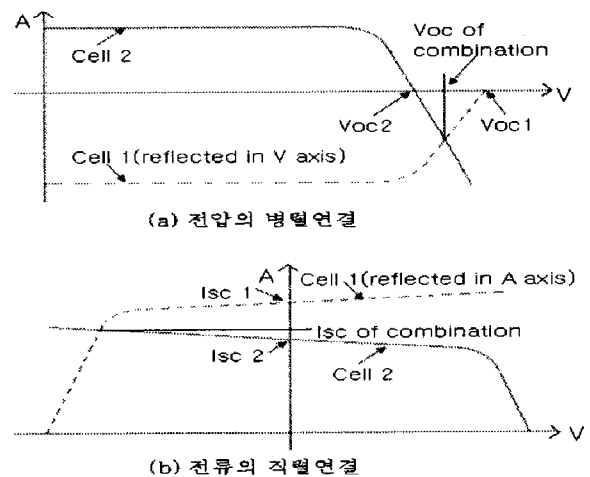
2. 태양전지모듈의 이론적 배경

태양전지모듈이란 여러 구성의 최소 단위로서 일사강도에 따라 전류특성이 변하게 되고, 온도에 따라서 전압특성이 변하게 된다. 또한, 태양전지의 면적에 따라 전류특성이 변하게 되고, 태양전지의 개수에 따라 전압이 결정되어 지게 된다. 즉, 직렬연결을 하게 되면 전압이 증가하게 되고 병렬연결은 전류가 증가하게 된다. 하지만, 병렬연결시의 합성전압과 직렬연결시의 합성전류는 다음의 그림에서 설명하고 있다.

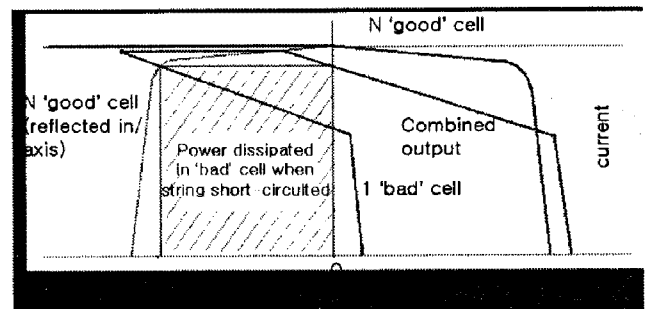
[그림 1]의 (a)는 전압 특성이 다른 두 셀을 병렬로 연결했을 경우의 합성 전압에 대한 그림으로서 전압 특성이 좋은 Cell 1의 I-V Curve를 x축 즉, 전압을 기준으로 회전을 한

I-V Curve와 전압 특성이 나쁜 Cell 2의 I-V Curve의 교차점 즉, $(V_{oc1} + V_{oc2} = 0)$ 이 병렬연결에서의 합성 개방전압이 된다.

[그림 1]의 (b)는 전류 특성이 다른 두 셀을 직렬로 연결했을 경우의 합성 전류에 대한 그림으로서 전류 특성이 좋은 Cell 1의 I-V Curve를 y축 즉, 전류를 기준으로 회전을 한 I-V Curve와 전류 특성이 나쁜 Cell 2의 I-V Curve의 교차점이 직렬연결에서의 합성 전류가 된다.



[그림 1] 회로의 직·병렬연결



[그림 2] 스트링 내에 불량한 태양전지의 모듈 출력량에 대한 영향

[그림 2]는 좋은 태양전지로 구성된 스트링 내에 불량한 태양전지의 모듈 출력량에 대한 영향을 보여준다. 또한, 한 개의 불량한 태양전지를 포함한 스트링에서는 불량한 태양전지는 좋은 태양전지를 거친 전류를 감소시키고 불량한 태양전지는 좋은 태양전지의 전압

발전 능력에 의해 역방향 바이어스 되며 열이 발생하게 된다. 이러한 현상을 Hot Spot 이라 한다.

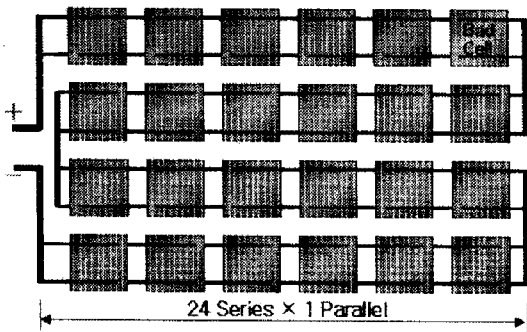
3. 실험장치 및 실험 방법

3.1 실험장치

본 실험에서 전기적 출력을 측정하기 위하여 PasanIIIb Sun simulator(Beval S.A)를 사용하여 STC조건(AM1.5, 25°C, 1kW/m²)에서 인공광원법에 의한 출력을 측정하였으며, ThermoCAM S60을 이용하여 열화현상을 촬영하였다.

3.2 실험방법

본 논문에서는 직·병렬 회로의 구성이 I-V특성과 Hot Spot에 미치는 영향에 대한 실험으로 총 4가지의 직·병렬 회로를 구성하였다.

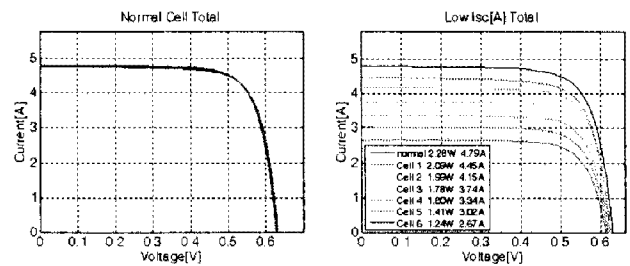


[그림 3] Isc를 감소시킨 셀의 직렬연결

[그림 3]은 Isc를 감소시킨 셀이 연결된 직렬회로에서의 I-V특성과 Hot Spot에 미치는 영향을 실험하기 위한 시료의 그림으로서 직·병렬에 따른 전기적 출력 특성을 측정하기 위하여 회로 구성이 용이하도록 라미네이션을 하지 않고 유리판 위에 셀을 Interconnection하여 측정하였다. 실험 방법은 Bad Cell 공간에 정상셀을 연결하여 측정 한 후 Isc를 감소시킨 불량셀을 순차적으로 교체해가며 I-V 특성을 측정하였다.

[그림 4]의 (a)는 정상셀 24EA의 I-V Curve로서 사양을 보면 Pmax는 2.28W, Voc는 0.6V, Isc는 4.75A~4.80A로서 균일도 0.752%의 전류 특성을 가지고 있으며, Fill Factor는 75.5%~76.0%로서 셀 24EA의 사양이 거의 동일한 5인치 단결정 셀을 선정하여 시료를 제작하였다.

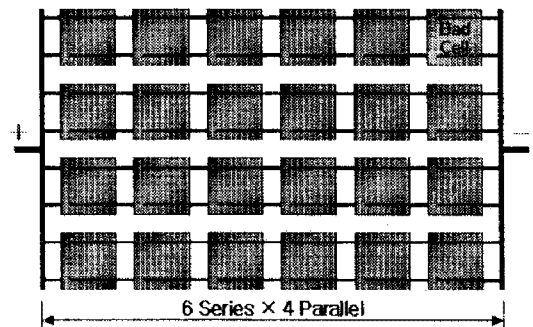
[그림 4]의 (b)는 Isc를 감소시킨 불량셀에 대한 I-V Curve로서 그림에서 보는 바와 같이 Isc(A)가 감소함에 따라 전기적 출력이 감소하는 것을 볼 수 있다.



(a) 정상셀

(b) Isc 감소셀

[그림 4] 정상셀과 Isc를 감소시킨 셀의 I-V Curve

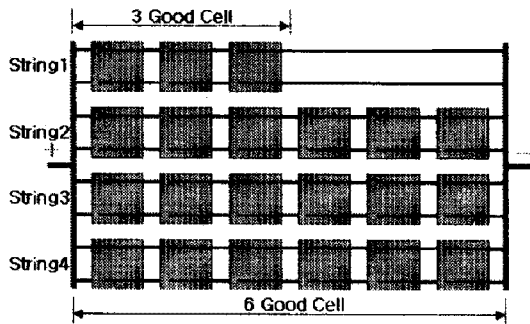


[그림 5] Isc를 감소시킨 셀의 병렬연결

[그림 5]는 Isc를 감소시킨 셀이 연결된 병렬회로에서의 I-V특성과 Hot Spot에 미치는 영향을 실험하기 위한 시료의 그림으로 6개의 정상셀이 직렬로 연결된 3개의 스트링과 5개의 정상셀에 1개의 Isc를 감소시킨 불량셀이 연결된 1개의 스트링이 병렬로 연결된 시료이다. 실험 방법은 Isc를 감소시킨 셀의 직렬연결 실험과 같은 방법으로 실험하였다.

[그림 6]은 Voc가 낮은 스트링의 병렬연결

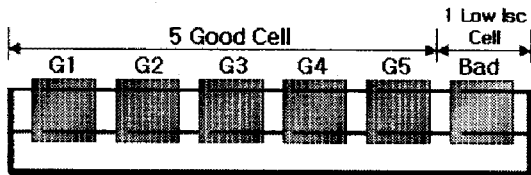
에서의 I-V특성과 Hot Spot에 미치는 영향을 실험하기 위한 시료의 그림으로서 Voc가 낮은 셀의 특성과 같게 하기 위하여 6개의 정상셀이 연결된 스트링 3개와 3개의 정상셀이 연결된 스트링 1개를 병렬로 연결하여 실험하였다.



[그림 6] Voc가 낮은 스트링의 병렬연결

[그림 7]은 스트링 내에서 불량한 태양전지에 의한 Hot Spot현상이 있을 때의 역방향 바이어스를 실험하기 위한 시료의 그림으로서 스트링의 양 단자를 단락 시켜 실험하였다.

시험 방법은 스트링의 G1~G6까지 각각의 전압을 측정하여 실제 발전 상태에서 불량한 태양전지에 걸리는 역방향 바이어스를 측정하였다.

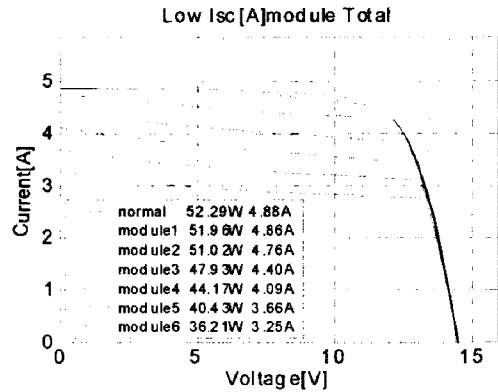


[그림 7] 스트링 내에 불량한 태양전지의 역방향 바이어스

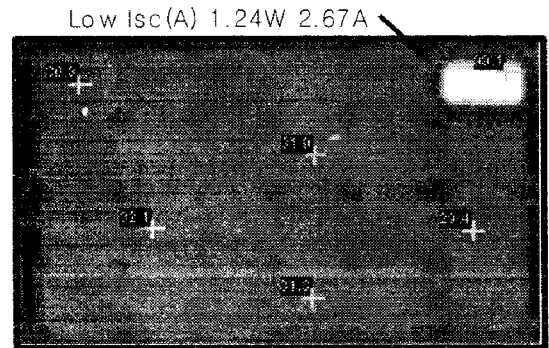
또한, 태양전지의 직·병렬 회로 구성에 따른 모듈의 Hot Spot현상을 관찰하기 위하여 일사강도가 1000W/m² 이상 되는 맑은 날 태양과 수직이 된 상태에서 최대 부하 상태인 두 출력 단자를 단락 시켜 5분간 태양에 노출시킨 후 열화상 카메라(ThermaCAM)를 이용하여 열화현상을 촬영하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 Isc를 감소시킨 셀의 직렬연결



[그림 8] Isc를 감소시킨 셀의 직렬연결 I-V Curve



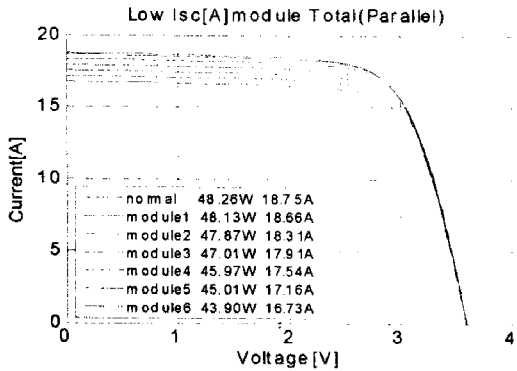
[그림 9] Isc를 감소시킨 셀의 직렬연결 Hot Spot

[그림 8]은 Isc를 감소시킨 셀이 직렬로 연결된 모듈의 전기적 출력 결과로서 2.28(W)의 출력과 4.79(A)의 Isc에서 6장의 셀에 걸쳐 1.24(W)의 출력과 2.67(A)의 Isc로 각각 1.04(W)와 2.12(A)로 급격히 감소시킨 셀의 연결에 의해 24EA셀의 모듈에서 16.08(W)의 출력과 1.63(A)의 Isc가 감소함으로서 단위 셀 1장의 전류 감소에 의해 모듈 전체 출력이 큰 폭으로 감소하였다.

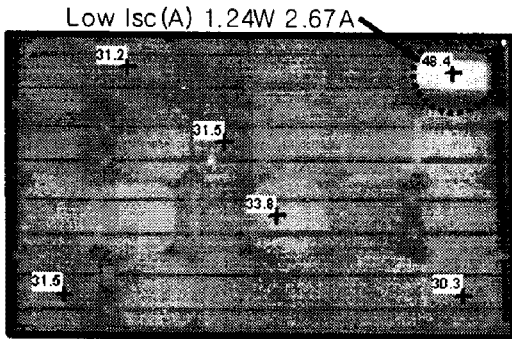
[그림 9]는 가장 낮은 2.67(A)의 셀이 연결된 모듈의 열화현상 실험으로서 Isc(A)의 감소에 따라 24EA셀 모듈에서 전기적 출력이 크게 감소했던 결과와 같이 Hot Spot 현상이 발생하였다. Hot Spot이 발생한 셀은

약 100°C 가까이 온도가 도달 하면서 정상 셀에 비해 약 70°C의 차이를 보였다.

4.2 Isc를 감소시킨 셀의 병렬연결



[그림 10] Isc를 감소시킨 셀의 병렬연결 I-V Curve

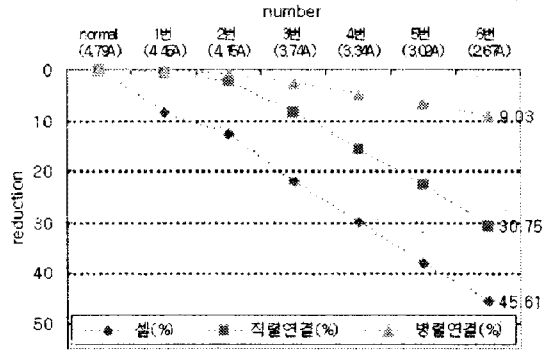


[그림 11] Isc를 감소시킨 셀의 병렬연결 Hot Spot

[그림 10]은 Isc를 감소시킨 셀이 병렬로 연결된 모듈의 전기적 출력 결과로서 2.28(W)의 출력과 4.79(A)의 Isc에서 6장의 셀에 걸쳐 1.24(W)의 출력과 2.67(A)의 Isc로 각각 1.04(W)와 2.12(A)로 급격히 감소시킨 셀의 연결에 의해 24EA 셀의 모듈에서 4.36(W)의 출력과 2.02(A)의 Isc가 감소함으로서 Isc를 감소시킨 셀의 직렬연결에서의 출력감소에 비해 전기적 손실이 적은 것을 알 수 있다.

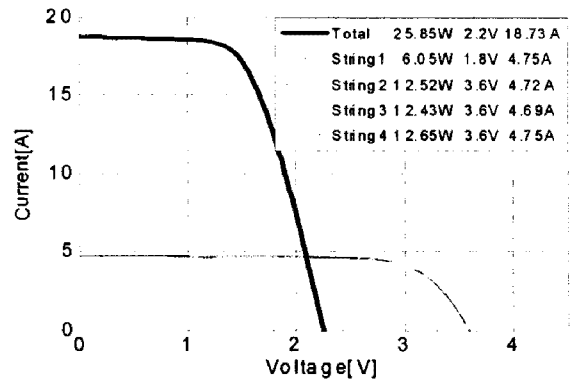
[그림 11]은 가장 낮은 2.67(A)의 셀이 연결된 모듈의 열화현상 실험결과로서 Hot Spot이 발생한 셀은 50°C 가까이 온도가 도달 하면서 정상셀에 비해 약 20°C의 차이를 보

이며 Isc를 감소시킨 셀의 직렬연결의 열화 현상에 비해 낮은 온도의 열화 현상이 발생하였다. [그림 12는] Isc를 감소시킨 셀이 연결된 모듈의 직·병렬 회로의 출력 감소비율을 나타낸 그래프로서 직렬회로의 출력 감소를 30.75%에 비해 병렬회로의 출력 감소율은 현저히 감소하였다.



[그림 12] Isc를 감소시킨 셀의 직·병렬 회로에서의 출력 감소율

4.3 Voc가 낮은 스트링의 병렬연결



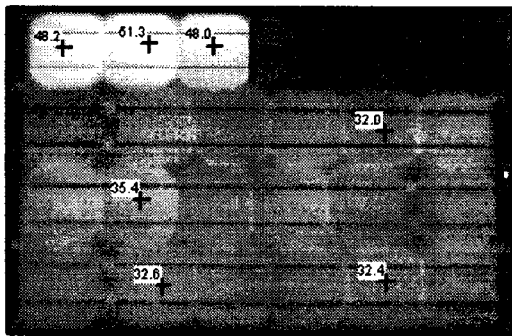
[그림 13] Voc가 낮은 스트링의 병렬연결 I-V Curve

[그림 13]은 Voc가 낮은 스트링이 병렬로 연결된 모듈의 전기적 출력 결과로서 Voc 1.8V의 1스트링과 Voc 3.6V의 3스트링이 병렬로 연결된 모듈에서 전기적 출력이 25.85W, Voc는 2.2V로서 Voc가 낮은 불량셀의 병렬 연결에서는 전기적 출력이 현저히 감소하게 되었다. 다시 말하면 Isc의 감소는 직렬 회로에서 큰 영향을 주며 Voc의 감소는 병렬 회로에서 큰 영향을 주게 되는 것이

다.

또한, I_{sc} 를 감소시킨 셀은 직렬연결에서 양 단자를 단락 시켰을 경우에 Hot Spot현상이 발생하지만 V_{oc} 가 낮은 셀은 병렬연결에서 양 단자를 개방시킨 경우에 Hot Spot현상이 발생하게 된다.

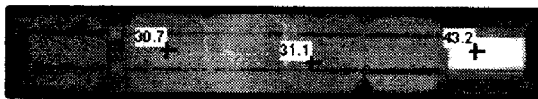
[그림 14]는 V_{oc} 가 낮은 스트링의 병렬연결에서의 Hot Spot현상을 보여주고 있다.



[그림 14] V_{oc} 가 낮은 스트링의 병렬연결 Hot Spot

4.4 Hot Spot현상과 역방향 바이어스

스트링 내에 불량한 태양전지가 연결되어 있으면 [그림 15]에서와 같이 Hot Spot 현상이 발생하게 된다. 이는 불량한 태양전지의 출력 특성에 의해 모듈 회로에서의 출력이 결정되어 지기 때문에 좋은 태양전지의 출력은 오히려 소모하게 되는 것이다.



[그림 15] 스트링내 불량한 태양전지의 Hot Spot

불량한 태양전지는 좋은 태양전지의 전압 발전 능력에 역방향 바이어스 되며 표1에서 증명하고 있다. 표1은 일사강도 $1\text{kW}/\text{m}^2$ 이상의 맑은 날 시료를 태양과 직교 하도록 설치한 한 후 온도에 따른 정확한 전압 측정을 하기 위하여 Hot Spot현상이 충분히 발생하도록 노출 시킨 후 태양전지 각각의 전압을 측정하였다.

표 1 역방향 바이어스

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Total
전압	0.520	0.515	0.500	0.510	0.505	-2.533	0

5. 결 론

본 논문에서는 태양전지의 직·병렬 회로의 구성에 따라서 미스매치에 의한 I-V특성과 Hot Spot현상을 분석하기 위한 실험으로서 I_{sc} 를 감소시킨 셀의 직렬연결과 병렬연결의 실험결과 병렬연결에서 미스매치에 의한 전기적 손실이 감소하였고, Hot Spot에 의한 온도의 상승이 감소하게 되었다.

또한, V_{oc} 가 낮은 스트링의 병렬연결 실험결과 병렬연결에서 미스매치에 의한 전기적 손실이 직렬연결에서의 전기적 손실에 비해 더 증가하였다. V_{oc} 가 낮은 스트링의 병렬연결에서는 단자의 개방 상태에서 Hot Spot현상이 발생하였다. 스트링내의 불량한 태양전지는 좋은 태양전지의 전압 발전 능력에 역방향 바이어스 되며 이때 Hot Spot현상이 발생하게 된다.

실제 모듈이나 Array의 설계 시 이러한 미스매치에 의한 손실을 고려한다면 시스템의 효율을 증가시킬 수 있을 것으로 기대 된다.

참고문헌

1. 이진섭외, "PV모듈에서 불량셀에 의한 전기적 출력 특성 분석", 한국태양에너지학회 추계학술대회 논문집, 2007
2. Wilson, K.; De Ceuster, D.; Sinton, R.A.; "Measuring the Effect of Cell Mismatch on Module Output", IEEE 4th World Conference on Volume 1, 2006
3. Wohlgemuth, J.; Herrmann, W.; "Hot spot tests for crystalline silicon modules", Conference Record of the Thirty-first IEEE, 2005