

태양전지 모듈의 바이패스 다이오드 동작 특성 분석

Operation Characteristics of Bypass Diode for PV Module

김승태¹, 박지홍¹, 강기환², 화이티루¹, 안형근^{1,a}, 유권중², 한득영¹

(Seungtae Kim¹, Chi-Hong Park¹, Gi-Hwan Kang², Waithiru C. K. Lawrence¹, Hyungkeun Ahn^{1,a}, Gwon-Jong Yu², and Deuk-Young Han¹)

Abstract

In this paper, an *I-V* characteristics of bypass diode has been studied by counting the shading effect in photovoltaic module. The shadow induces hot spot phenomenon in PV module due to the increase of resistance in the current path. Two different types of PV module with and without bypass diode were fabricated to expect maximum output power with an increasing shading rate of 5 % on the solar cell. Temperature distribution is also detected by shading the whole solar cell for the outdoor test. From the result, the bypass diode works properly over 60 % of shading per cell with constant output power. Maximum power generation in case of solar cell being totally shaded with bypass diode decreases 41.3 % compared with the one under STC(Standard Test Condition). On the other hand, the maximum output power of the module without bypass diode gradually decreases by showing hot spot phenomenon with the increase of shading ratio on the cell and finally indicates 95.5 % of power loss compared with the output under STC. Finally the module temperature measured increases around 10 °C higher than that under STC due to hot-spots which come from the condition without bypass diode. It has been therefore one of the main reasons for degrading the PV module and shortening the durability of the PV system.

Key Words : Hot spot, Bypass diode, Shading, PV modules

1. 서론

최근 계속되는 고유가와 기후변화협약에 따른 대체에너지의 관심이 증가하고 있으며, 이에 따라 정부의 신·재생에너지 보급사업도 증가되고 있다. 신·재생에너지 중 반영구적이고 유지보수비용이 적게 드는 태양광발전시스템에 정부와 기업들의 투자와 보급이 증가세를 보이고 있다. 태양광발전 시스템은 무공해 청정 자원인 태양빛을 전기에너지로 변환시키는 시스템으로써 수명은 20년 이상

으로 전기적 출력이 해마다 1 %의 감소세를 보이는 안정적인 전원 공급 장치이다. 태양광발전시스템을 구성하는 재료 중 가장 고가이면서 수명을 결정짓는 태양전지 모듈은 요구하는 전압·전류를 얻기 위해 태양전지를 직·병렬 연결한 집합이다. 태양광발전시스템의 수명은 20년을 보장하지만, 실제 외부에 설치되어 작동하는 경우에는 수명이 단축되는 경우가 발생한다. 수명을 단축시키는 원인을 살펴보면 태양전지, 솔더링, 라미네이션 등의 불량과 EVA(Ethylene Vinyl Acetate) Sheet의 백화현상, 태양전지 모듈의 습기침투, 전극의 산화 등 제조공정에서부터 설치 시 환경적인 요인까지 모든 과정에서 수명을 단축시키는 요소가 있음을 알 수가 있다[1].

따라서 본 논문에서는 태양전지 모듈의 수명 단축 원인을 환경적인 요인 중 그림자에 의해 발생하는

1. 건국대학교 전기공학과
(서울시 광진구 화양동 1)
2. 한국에너지기술연구원 태양광발전연구센터
a. Corresponding Author : hkahn@konkuk.ac.kr
접수일자 : 2007. 10. 4
1차 심사 : 2007. 12. 6
심사완료 : 2007. 12. 24

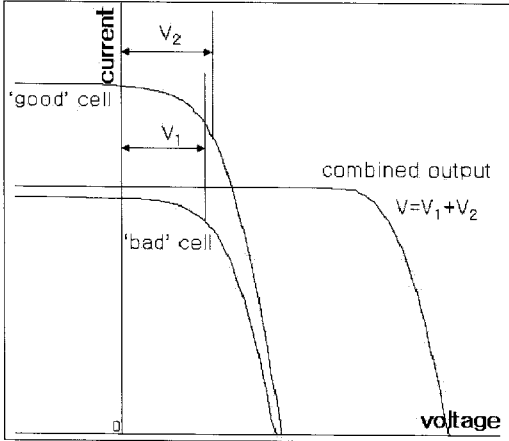


그림 1. 직렬 연결된 미스매치 태양전지가 전압에 미치는 영향.

Fig. 1. Series-connected mismatched cells and their effect on voltage.

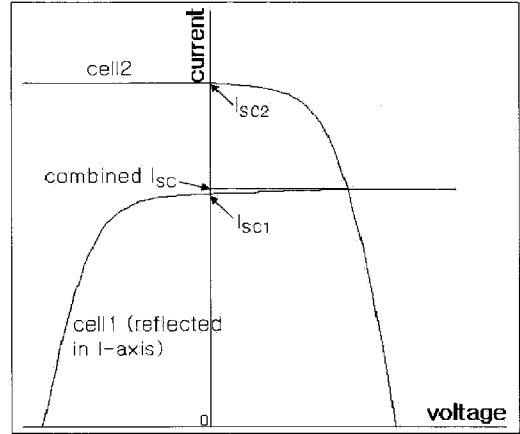


그림 2. 직렬 연결된 미스매치 태양전지의 합성 전류(I_{sc}).

Fig. 2. Calculation of the combined I_{sc} for series-connected mismatched cells.

햇스팟(태양전지 모듈에 조사되는 햇빛이 국부적으로 가려지거나, 태양전지의 특성 편차나 일부 태양전지의 결함과 특성 열화, 또는 결선 등의 모듈 회로 결함으로 인한 출력 불균형 때문에 역 바이어스가 발생하여 모듈 온도가 국부적으로 상승하는 현상)에 대해 연구하였고, 이를 위해 실제 사용되고 있는 모듈과 같이 bypass diode의 유·무에 따라 태양전지 모듈을 제작하여 전기적 출력 손실, 온도 분포, bypass diode의 동작을 중심으로 연구하였다.

2. 태양전지 모듈의 전기적 특성

태양전지 모듈을 구성하는 태양전지는 낮은 전압 특성을 갖기 때문에 수십 장을 직렬로 연결하여 구성한다. 직렬로 연결되어 있기 때문에 높은 전압을 얻을 수 있지만, 그 중 하나의 태양전지라도 낮은 전류 특성을 가진다면 나머지의 태양전지도 낮은 전류 특성을 따라가게 되고 결과적으로 출력도 낮아지게 된다. 그러한 동작 원리를 살펴보면 그림 1 및 그림 2와 같다.

합성전압은 그림 1과 같이 V_1 과 V_2 의 합으로 구성되는데, 합성전류는 그림 2와 같이 높은 전류와 낮은 전류 특성을 갖는 태양전지의 $I-V$ 특성 그래프에서 I (전류)축을 기준으로 낮은 전류 특성을 갖는 태양전지의 $I-V$ 특성 그래프를 대칭이동 시켜준 후에 그때의 교차점이 태양전지 모듈의 합성전류(I_{sc})가 된다. 즉, $V_1 + V_2 = 0$ 일 때이다. 그리고

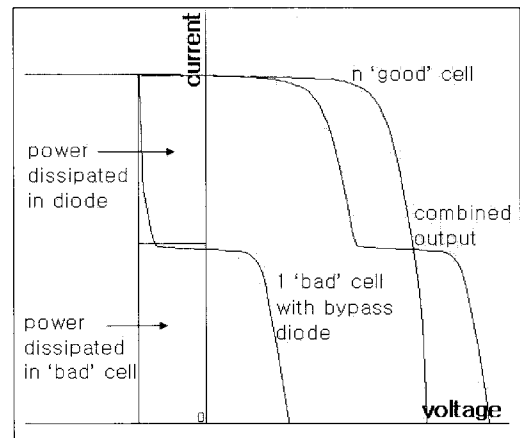


그림 3. 바이패스 다이오드가 불량 태양전지의 총 출력에 미치는 영향.

Fig. 3. Effect of bypass diode on total output of inferior solar cells.

그림자에 의해 햇스팟이 발생하고 bypass diode가 동작했을 경우의 출력 값의 결정은 그림 3과 같다.

회로의 구성이 단락 되었을 때 불량 태양전지와 바이패스 다이오드에서 소모되는 전류는 양호한 태양전지에서의 출력과 동일하다. 이와 같은 동작 상태에서는 전류 값의 감소와 bypass diode를 통해서 전류가 흐르기 때문에 출력 값의 감소가 발생한다[2].

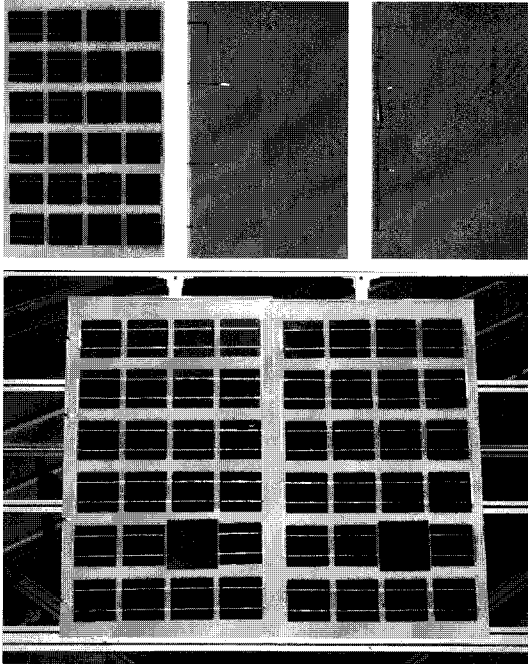


그림 4. 제작된 태양전지 모듈과 그림자에 의한 영향 실험.

Fig. 4. Shading effect experiment for the fabricated PV modules.

3. 실험

3.1 실험방법

본 연구를 위해 bypass diode 유·무에 따라 그림 4와 같이 동일한 출력특성을 갖는 태양전지로 모듈을 제작하였고, 실험 전·후의 출력특성을 비교하기 위해 각각 태양전지 모듈의 초기 parameter는 STC(Standard Test Condition)[AM 1.5, 25 °C, 1 kW/m²] 조건에서 측정한 결과가 표 1에 나타나 있다. 그림자에 의한 영향을 알아보기 위해 그림 4의 태양전지 모듈에서 빨간 점이 위치한 한 장의 태양전지에 그림자 비율을 5 % / cell 씩 증가시키면서 출력 특성을 관찰하였다. 그리고 핫스팟에 의한 온도변화를 관찰하기 위하여 한 장의 태양전지에 그림자 비율을 100 % / cell 로 하고 옥외에 설치하여 실험하였다.

3.2 실험장치

태양전지 모듈의 전기적 출력 특성을 STC 조건에서 비교하기 위해 인공광원을 이용한 Belval사의 'Pasan IIIb sun simulator' 를 사용하였다. 실제 동작

표 1. 태양전지 모듈 파라미터.

Table 1. Parameters of PV module.

(a) bypass diode 無

Irrad.[W/m ²]	T[°C]	Isc[A]	Voc[V]	Pmax[W]	FF[%]
1000	25	5.11	14.3	53.8	73.6

(b) bypass diode 有

Irrad.[W/m ²]	T[°C]	Isc[A]	Voc[V]	Pmax[W]	FF[%]
1000	25	5.16	14.2	53.3	72.7

상태를 가정하여 태양전지 모듈의 출력 단자를 단락시켜 최대 가혹 조건을 만든 후 옥외 설치하여 그림자에 의한 핫스팟 현상에 따른 태양전지 모듈의 전·후면 온도를 관찰하였다. 전면 온도를 관찰하기 위하여 FLIR사의 적외선 열화상 카메라 'ThermaCAM S60' 을 사용하였고, 후면 온도를 관찰하기 위하여 TC 센서를 부착하여 측정하는 GRAPHTEC 사의 'GL450'을 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

옥외에서 출력 단자를 단락시킨 후 각각의 태양전지에 그림자 비율을 100 % / cell 로 하고 10분 후에 적외선 열화상 카메라 'ThermaCAM S60' 을 사용하여 온도 분포를 관찰한 것이 그림 5에 나타나 있다.

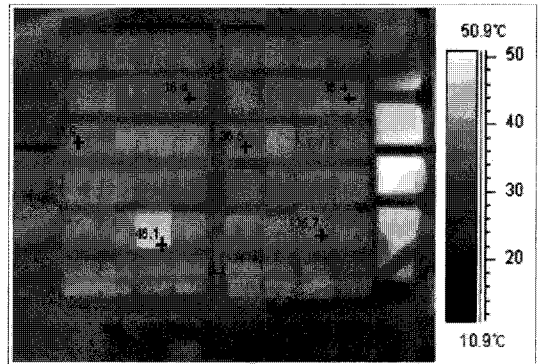


그림 5. 옥외 설치 시 그림자 영향에 의한 태양전지 모듈의 온도 분포.

Fig. 5. Distribution of module temperature caused by shadow effect for outdoor system.

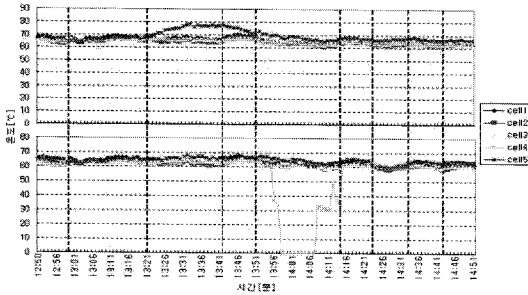


그림 6. 옥외 설치 시 그림자 영향에 의한 태양전지 모듈의 시간 흐름에 따른 온도 변화.
Fig. 6. Temperature variation with time by shading effect for outdoor system.

왼쪽의 bypass diode가 없는 모듈의 경우에는 그림자가 있는 태양전지의 온도가 태양전지 모듈의 평균 온도 분포보다 약 10 °C 높은 온도가 측정되었으며, 그림에서 오른쪽의 bypass diode가 있는 태양전지 모듈의 온도 분포는 전체적으로 균일하게 측정되었다. Bypass diode가 없는 태양전지 모듈의 경우 온도가 높은 이유는 태양전지가 발전을 하지 않고 저항성분으로 작용하여 발열작용을 하기 때문이다. 이런 현상이 오래 지속될 경우 태양전지 모듈의 노화를 가속시키는 핫스팟 현상이 발생하고 나아가 수명을 단축시키는 원인으로 작용한다. 이는 태양전지 모듈의 수명에 치명적인 해를 끼치게 된다[3].

그림자의 유·무에 따라 시간적인 흐름에 의한 온도 분포를 'GL450'을 사용하여 관찰한 것이 그림 6에 나타나있다. 관찰시간이 13:21~13:41 까지 태양전지에 그림자 비율을 cell 4에 100 % / cell 로 유지했고, 그 외의 시간에는 그림자를 제거하였다. Bypass diode가 있는 모듈의 경우에는 일정하게 유지되는 반면, bypass diode가 없는 태양전지 모듈의 경우에는 그림자가 생겼을 경우 약 10 °C 이상 높아짐을 알 수 있다. 13:51~14:16 사이에 cell 4의 온도가 0 °C 로 된 것은 부착했던 TC센서가 분리되면서 burn out 되어 발생한 경우이다.

그림 5와 그림 6에서 측정된 온도 값의 차이는 옥외 실험을 했기 때문에 항상 같은 조건을 만족할 수가 없었다. 그리고 적외선 열화상 카메라의 경우에 유리 표면의 방사율을 확인해야 했는데 그러하지 못했지만, 표면의 전체적인 온도 분포의 추이를 알아보기 위함이다. 반면, TC센서를 이용한 'GL450'의 경우는 태양전지 모듈에서 5개의 셀의 온도 값을 정확하게 측정할 수 있었다.

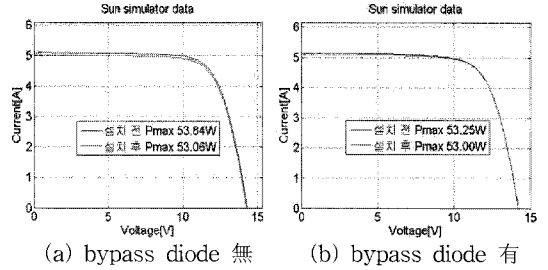


그림 7. 옥외 설치 전·후에 인공광원을 이용한 STC 조건에서 측정된 I-V 특성 그래프.
Fig. 7. I-V characteristics of the module before and after outdoor installation using solar simulator under STC condition.

옥외 설치 전·후에 인공광원을 이용한 sun simulator를 사용하여 STC 조건에서 측정된 I-V 특성 그래프가 그림 7에 나타나 있다. 옥외 설치 전·후의 Pmax 값을 보면 bypass diode가 있는 모듈은 초기 값 대비 0.47 %의 감소를 보인 반면, bypass diode가 없는 태양전지 모듈은 초기 값 대비 1.45 %의 감소를 보였다. 계측기의 오차가 0.5 % 임을 감안한다면 bypass diode가 없는 태양전지 모듈이 그림자에 의한 핫스팟의 영향으로 태양전지 모듈의 출력이 감소함을 알 수 있다[4].

각각의 모듈에 그림자 비율을 5 % / cell 씩 증가시키면서 측정된 Vmp, Imp 및 I-V 특성 그래프가 그림 8과 그림 9에 나타나있다. 그림자 비율이 55 % / cell 까지 두 모듈의 Imp 값이 비슷하게 감소하여 출력 값도 비슷하게 감소하고 있다. 하지만, 그림자 비율이 60 % / cell 부터 100 % / cell

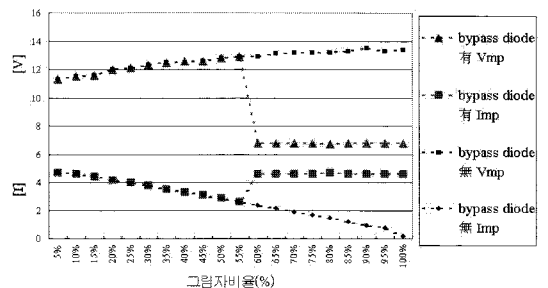
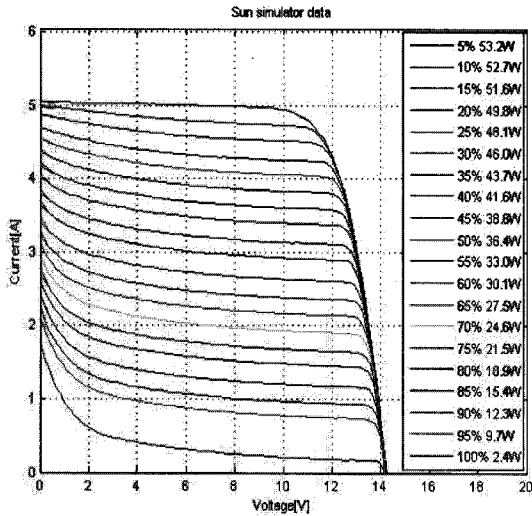
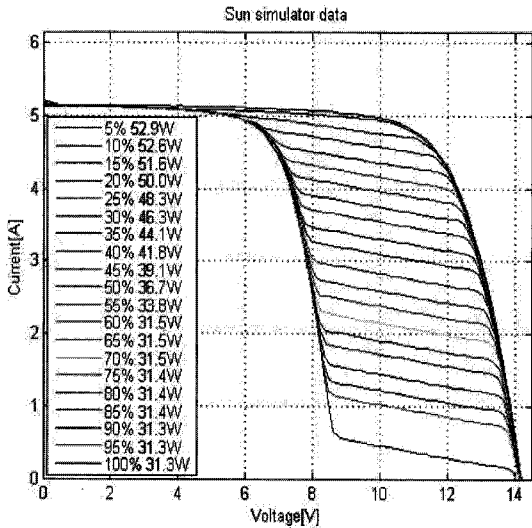


그림 8. 그림자 비율(%)과 bypass diode 유·무에 따른 태양전지 모듈의 Vmp, Imp 값의 변화.
Fig. 8. Vmp and Imp variation with shading ratio(%) with and without bypass diode.



(a) bypass diode 無



(b) bypass diode 有

그림 9. 그림자 비율(%)과 bypass diode 유·무에 따른 I-V 특성그래프.

Fig. 9. I-V characteristics with shading ratio (%) with and without bypass diode.

로 증가할 경우에는 bypass diode가 없는 모듈은 Imp 값이 계속 감소하여 출력 값이 2.4 W 까지 감소하지만, bypass diode가 있는 모듈은 Imp 값이 초기 값과 비슷한 값으로 유지되면서 출력 값이 31.3 W 정도로 유지되며 bypass diode가 동작하기 시작함을 알 수 있다.

그림자 비율이 60 % / cell 이상 될 경우에 bypass diode가 있는 모듈은 태양전지가 발전소자가

표 2. 그림자에 의한 Pmax.

Table 2. Pmax by shadow effect.

	0 %/cell Pmax[W]	100 %/cell Pmax[W]	감소율(%)
bypass diode 無	53.8	2.4	95.5
bypass diode 有	53.3	31.3	41.3

아닌 저항소자로 작동하면서 역방향바이어스가 유기되어 bypass diode를 turn on 시켜주고 동작을 시작하게 된다[5]. 그림자에 의한 출력 값을 그림자 비율이 0 % / cell 과 100 % / cell 을 비교해보면 출력 감소율은 표 2와 같다.

같은 크기의 태양전지라면 전압 값이 일정하므로 전류 값에 따라 출력 값이 결정되는데, 태양전지의 전류 값은 일사량에 비례한다. 그림자에 의한 출력 값과 일사량의 변화에 의한 출력 값을 비교하기 위해 일사량을 1000 W/m² 부터 50 W/m² 까지 5 % 씩 감소시키면서 출력 값을 측정한 것이 그림 10에 나타나있다.

Bypass diode가 동작하는 시점의 출력 값과 비교하면 일사량이 600 W/m² 일 때와 비슷하다. 즉, 일사량을 1000 W/m² 를 기준으로 태양전지 모듈에 그림자가 생겼을 경우에는 태양빛의 이용률이 bypass diode가 있는 태양전지 모듈은 60 % 가

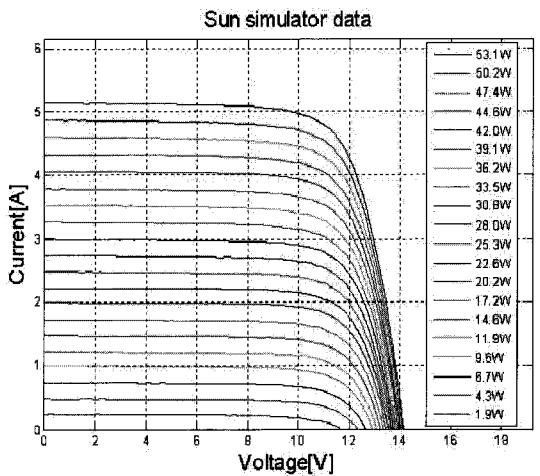


그림 10. 일사량 변화에 따른 I-V 특성그래프.

Fig. 10. I-V characteristics with the variation of light intensity.

되고, bypass diode가 없는 태양전지 모듈은 60 % 이하가 됨을 알 수 있다.

5. 결 론

태양전지 모듈에서 수명 단축 원인을 환경적인 요인 중 그림자에 의해 발생하는 핫스팟의 영향에 의한 전기적인 특성을 고려하여 연구하였다. 그 결과 태양전지 모듈에서 bypass diode는 한 장의 태양전지에 그림자의 비율이 60 % / cell 이상일 때부터 동작하기 시작하였고, 핫스팟을 제거해주는 역할을 하였다. 그러나 bypass diode가 없는 모듈은 bypass diode가 있는 모듈과 비교해 볼 때 태양전지에 그림자 현상이 발생하면 그림자의 비율에 비례하는 전기적인 출력감소가 관찰 되었다. 또한, 그림자가 생긴 부분의 태양전지의 온도가 태양전지 모듈의 평균 온도 보다 약 10 °C 높게 측정되었다. 이는 모듈의 노화를 촉진시키는 원인으로 태양전지의 수명을 단축시키게 되며, 정도가 심한 경우에는 EVA Sheet 및 Back Sheet가 타는 현상도 발생하게 될 것이다. 또한 태양전지 모듈은 효율이 14 % ~ 16 % 인 발전 시스템으로써 이러한 효율도 STC 조건에서 가능하다. 낮은 효율의 발전 시스템을 보다 유용하게 사용하려면, bypass diode가 전압강하를 야기하지만 장기적이고 전체적인 측면에선 꼭 필요한 소자임을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 신재생에너지기술개발사업의 일환 (2005-N-PV03-P-02)으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] G.-H. Kang, H. K. Ahn, D.-Y. Han, and G.-J. Yu, "Consideration of electrical properties in field-aged photovoltaic module", J. of KIEEME (in Korean), Vol. 17, No. 12, p. 1289, 2004.
- [2] Wenham, Stuart R., Green, Martin A., and Watt, Muriel, "Applied Photovoltaics", Earthscan, p. 75, 2007.
- [3] M. C. Alonso-Garica, J. M. Ruiz, and F. Chenlo, "Experimental study of mismatch and shading effects in the I-V characteristic of a photovoltaic module", Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 90, Iss. 3, p. 329, 2006.
- [4] 박지홍, 강기환, 화이트루 로렌스, 안형근, 유권중, 한득영, "태양전지 셀의 열화와 직렬저항의 변화에 따른 태양전지 모듈의 특성 해석, 한국전기전자재료학회 2006학계학술대회논문집, p. 28, 2006.
- [5] H. Oldenkamp, "Detailed analysis of currents in PV-shunts", 2002.