

백시트 종류에 따른 태양전지 모듈의 방열 특성 평가

배수현¹⁾ · 오원욱²⁾ · 강윤목^{3)*} · 이해석^{3)*} · 김동환^{1,3)*}

¹⁾신소재공학과, 고려대학교, 서울특별시, 02841

²⁾융복합전자소재연구센터, 전자부품연구원, 성남시, 13509

³⁾그린스쿨대학원, 고려대학교, 서울특별시, 02841

Evaluation of Heat Transfer Characteristics of PV Module with Different Backsheet

Soohyun Bae¹⁾ · Wonwook Oh²⁾ · Yoonmook Kang^{3)*} · Hae-Seok Lee^{3)*} · Donghwan Kim^{1,3)*}

¹⁾Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea

²⁾Electronic Convergence Material & Device Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Seongnam 13509, Korea

³⁾KU-KIST Green School, Graduate School of Energy and Environment, Korea University, Seoul 02841, Korea

Received Mar 14, 2018 ; Revised Jun 9, 2018 ; Accepted June 11, 2018

ABSTRACT: When the PV module is illuminated in a high temperature region, solar cells are also exposed to the high temperature external environment. The operating temperature of the solar cell inside the module is increased, which causes the power drops. Various efforts have been made to reduce the operating temperature and compensate the power of solar cells according to the outdoor temperature such as installing of a cooling system. Researches have been also reported to lower the operating temperature of solar cells by improving the heat dissipation properties of the backsheet. In this study, we conducted a test to measure the internal temperature of each module components and the external temperature when the light was irradiated according to the surrounding temperature. Backsheets with different thermal conductivities were compared in the test. Finally, in order to explain the temperature difference between the solar cell and the outside of the module, we proposed an evaluation method of the heat transfer characteristics of photovoltaic modules with different backsheet.

Key words: Module, Solar cell, Backsheet, Heat dissipation, Operating temperature

Nomenclature

α : Heat transfer coefficient

H : Heat energy

R_{th} : Thermal resistivity

Subscript

PO : Polyolephene

RH : Relative humidity

TC : Thermocouple

1. 서론

태양광 에너지는 폭발적인 에너지 수요에 대응 할 수 있는 에너지 공급원 중 하나로 주목 받고 있다. 태양전지 모듈은 옥외에 설치되어 안정적인 전원 공급 장치로서의 역할을 수행하기 위해 25년 이상 장기간 동안 발전할 수 있는 내구성을 갖도록 만들어진다. 태양전지 모듈은 발전 시스템이 설치된 지역의 기후 조건에 따라 온도 및 일사량의 특성이 달라지고, 결국 시스템의 출력에도 영향을 받게 된다. 특히 고온의 환경에서 모듈이 동작할 경우 태양전지 소자의 동작 온도가 증가함에 따른 성능 저하로 인해 발전 시스템의 출력이 감소되는 문제가 있고, 장기적으로는 설치 후 모듈의 성능에 대한 신뢰성 및 장기 내구성의 문제가 발생할 수 있다. 온도에 따른 태양전지 및 모듈의 전기적 특성 변화에 관한 이론적 및 경험적 해석이 많이 연구되었고^{1,2)} 특히 실리콘 태양전지의 경우, 이론적으로 온도 상승에 따라 약 2.3 mV/°C의 전압이 감소하게 된다고 알려져 있다³⁾. 동작 온도

*Corresponding author: ddang@korea.ac.kr, lhseok@korea.ac.kr, solar@korea.ac.kr

상승으로 인한 효율 감소를 해결하기 위한 방안으로 태양전지의 온도를 낮추는 냉각시스템을 설치하는 방법 등의 온도에 따른 태양전지 효율 감소 저감을 위한 다양한 노력이 이루어지고 있다^{4,5)}. 본 연구에서는 고온 태양전지 모듈의 온도에 의한 발전량 저하의 원인 및 고온 기후에 적합한 태양전지 및 모듈을 평가할 수 있는 평가방안 및 기준 제시에 초점을 맞추었다. 모듈의 온도 특성 검증을 위해 간단한 구조의 실험이 설계되었다. 태양전지 및 모듈 외부의 온도의 차이를 두기 위하여 일반적 백시트 및 방열 기능이 향상된 백시트를 적용한 모듈을 사용하여 방열 특성 평가 방안을 제시하였다.

2. 실험 방법

Fig. 1은 개략적인 시험 방법을 묘사하고 있다. 광 조사 이후의 태양전지 및 모듈의 온도 측정을 위하여 모듈 내부 및 모듈 후면의 온도 측정이 가능한 태양전지 구조의 샘플을 제작하였다. 제작된 모듈은 1장의 6 inch 단결정 실리콘 태양전지를 사용하였다. 실험에 사용된 태양전지는 모두 aluminum BSF를 갖는 동일한 구조의 상용 태양전지로 초기 효율은 18% (±0.2%)의 값을 가진다. 모듈 구성 시 충전재료는 Polyolephene (PO)를 사용하였다. 전면의 유리는 일반적인 모듈에 사용되는 저철분 강화 유리를 사용하였다. 열 전달 계수(α)가 서로 다른 두 종류의 백시트가 사용되었다. 사용된 백시트의 열 전달 계수는 Table 1과 같다. 모듈은 라미네이션 하였고, 태양전지의 온도를 측정하기 위하여 태양전지와 PO 사이에 TC, 모듈의 후면 온도를 측정하기 위하여 백시트 아래에 TC를 부착하였다. 온도 및 습도 분위기에 따른 광 조사 이후 위치 별 온도를 측정하기 위하여 광 조사가 가능한 항온 항습 챔버가 사용되었다(Solar Environmental Test Chamber, ATLAS, Amreca). 챔버 내부 면적은 약 4 m²으로 광 조사 및 실험의 재현성을 위하여 동일한 높이, 동일한 위치에 태양전지 모듈을 위치하여 실험을 진행하였다. 온도 및 습도는 태양전지가 실제로 구동하는 범위 내에서 설계가 되었고, 25%RH

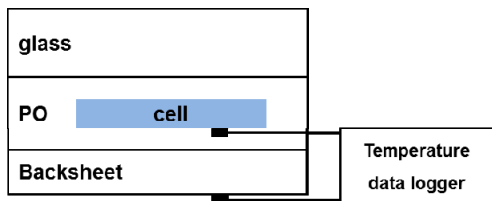


Fig. 1. Schematic test structure for measuring temperature of module components

Table 1. Heat transfer coefficient of backsheets

	α (W/mK)
A backsheet	0.02
B backsheet	1.0

로 습도를 고정한 상태에서 온도를 25°C / 45°C / 65°C로 변화시키며 실험을 진행하였다. 모듈 내부 온도가 평형 상태에 도달하도록 주어진 온도 및 습도 환경에서 1 Sun (100 mW/m²) 에너지를 갖는 광조사 후 30분간 유지 이후 측정을 진행하였다. 광조사 시 태양전지 양 전극은 서로 개방된 상태로 시험이 종료될때까지 유지되었다. 안정화 시간 이후 1200초간 1초 단위의 온도 데이터 로거를 통하여 온도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 외부 온도에 따른 방열 특성 평가 결과

Table 2는 광 조사 온도 시험 결과이다. B 백시트를 적용할 경우 외부 온도가 25°C로 유지되는 환경에서 광 조사 시 모듈 내부 태양전지의 온도는 A 백시트를 적용할 경우에 비하여 약 0.6°C 낮았다. 외부 환경을 45°C, 65°C로 유지할 경우 태양전지의 온도는 각각 1.3°C, 1.0°C 차이가 있었다. 평균적으로 B 백시트로 제작된 모듈 내부의 태양전지 온도는 1°C 정도 낮은 결과를 확인하였다.

태양전지와 백시트 사이의 온도 차이는 태양전지 후면에서 백시트 표면까지의 열 전달의 기전력으로 작용된다. 그리고 모듈 후면 백시트로 전달된 열은 외부 공기에 의한 대류 및 전도를 통하여 방출되고, 이 값을 외부로 방출되는 열 에너지(H)로 계산을 하였다(식 1). Table 2에서 확인할 수 있듯 계산된 H 값을 통하여 동일 외부 환경 조건에서 일반 백시트에 비해 B 백시트가 방출하는 열이 더 많음을 확인할 수 있었다. 다음으로 온도가 평형에 도달했을 경우를 가정하고, 앞에서 계산된 방출 열량과 태양전지/백시트 사이의 온도차를 사용해 백시트의 열저항(R_{th})을 계산하였다(식 2).

$$\begin{aligned}
 H_{total} &= H_{Convection} + H_{Radiation} \\
 &= h(T_{BS} - T_{ambient}) + \sigma \varepsilon (T_{BS}^4 - T_{ambient}^4)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서, $H_{Convection}$: 대류 열에너지, $H_{Radiation}$: 복사 열에너지, h : 공기열전달계수, T_{BS} : BS 온도 $T_{ambient}$: 외부온도, σ : 스테판볼츠만상수, ε : 열방사율

Table 2. Temperature of module components under illumination at different temperature

Chamber Temp.	25°C	45°C	65°C	25°C	45°C	65°C
	A Backsheet			B Backsheet		
Cell	45.0	63.9	83.5	44.4	62.6	82.5
BS	32.1	51.0	71.2	35.3	53.5	73.9
Δ cell-BS	12.9	12.9	12.3	9.1	9.1	8.6
Heat (W/m ² K)	153	144	149	223	201	213
R_{th} (K/Wm ²)	0.09	0.09	0.08	0.04	0.05	0.04

$$R_{th} = (T_{BS} - T_{ambi}) / Q = \Delta T / H_{tot} \quad (2)$$

계산된 모듈의 열저항 수치를 확인하면(Table 2) 같은 PO 봉지재를 적용하였을 경우 열전도가 높은 B 백시트를 적용한 모듈이 열저항이 더 낮음을 확인할 수 있다. 광조사 시 태양전지가 동작하면서 모듈 내부 온도가 상승하지만, 열저항이 낮은 모듈을 사용할 경우 외부로 유출되는 열량이 커 평형 상태에 도달할 경우 태양전지의 온도가 더 낮음을 확인할 수 있다.

앞에서 계산된 태양전지의 온도 변화를 토대로 60개의 태양전지가 직렬로 연결된 모듈에서 방열 특성이 개선된 백시트를 적용하여 모듈을 제작할 경우 태양전지의 온도가 1°C 낮아질 수 있고 동일한 모듈에서 약 120 mV 정도의 개방 전압 상승 효과를 기대할 수 있다고 예상할 수 있다. 본 실험에서는 기 판매되는 재료를 사용하여 방열 평가 시험을 진행하여 방열 효과가 두드러지게 확인되지는 않았다. 하지만 실험 결과를 토대로 방열 특성 개선을 위해서는 1. 백시트의 열전도도 향상 & 열저항 감소 2. 모듈 구조 개선 등을 통한 후면에서의 열 방사 특성 향상이 중요할 것으로 판단된다.

3.2 방열 특성 평가 방안

Fig. 2는 외부 온도에 대하여 평형에 도달한 모듈 내부의 온도 분포를 보여주는 모식도이다. 두 물질의 접합이 이상적인 경우 열의 흐름에 따라서 계면에서 동일한 온도가 유지가 된다. 하지만 모듈 내부의 구조는 이중 물질이 서로 라미네이션에 의해 불균일하게 접합된 구조이므로 계면의 병렬 열 저항에 의한 온도

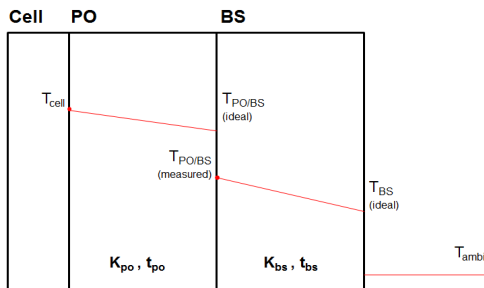


Fig. 2. Temperature gradient inside of module

Table 3. Multiple experiments results

	Test 1 25°C	Test 1 45°C	Test 2 25°C	Test 2 45°C
T _{cell}	45.00	63.90	44.43	62.55
T _{PO/BS,calculated}	44.70	63.62	44.00	62.16
T _{PO/BS,measured}	41.09	60.05	40.58	58.79
ΔT _{1(cal-meas)}	3.61	3.57	3.42	3.37
T _{BS,calculated}	40.88	59.85	40.13	58.38
T _{BS,measured}	32.12	51	35.33	53.46
ΔT _{2(cal-meas)}	8.76	8.85	4.80	4.92

손실이 크게 발생하게 되고, 이론적으로 계산된 계면 온도와 실제 측정된 계면 온도에 차이가 발생하게 된다. 따라서 방열 특성 평가를 위한 온도 측정 시 결과의 타당성을 살펴보기 위한 지표로 물질의 열전달 식에 의해 계산된 이론적 계면 온도와 실제 TC로 측정된 값의 차이를 의미하는 ΔT_(ideal-meas) 값을 확인하는 방법을 제안하였다. 계면 온도는 PO, BS의 α 값을 토대로 계산되었다.

서로 다른 모듈에 대해 2회 광조사 온도 측정 실험을 반복하였고, 그 결과를 Table 3에 나타내었다.

시험 결과를 살펴보면 태양전지와 PO가 라미네이션이 되어 있는 계면에서는 두 번의 테스트 모두 유사한 ΔT_{1(cal-meas)} 값을 확인할 수 있다. ΔT_{1(cal-meas)} 값은 PO 봉지재의 측정된 α 값을 바탕으로 계산되었고, 절대적인 수치를 의미하지는 않는다. α 값의 정확한 측정을 통해 ΔT_{1(cal-meas)}은 변화될 수 있다. 하지만 이 결과를 토대로 라미네이션에 의한 병렬 계면 열저항 및 이에 의한 온도 손실은 동일하다고 할 수 있다. 반면 백시트에서의 ΔT_{2(cal-meas)} 값은 동일한 BS를 사용하였음에도 불구하고 실험 별 차이를 보이고 있다. 이를 통하여 백시트의 ΔT_{2(ideal-meas)} 값이 모듈의 온도 측정 결과의 정확도를 판단하는 지표가 될 수 있다고 할 수 있다. BS의 정확한 방열 특성 및 모듈 온도 평가를 위해서는 동일한 실험 환경(동일한 광 세기, 온도 및 습도 등)에서 유사한 ΔT_{2(ideal-meas)} 값이 측정되는 여부를 확인할 필요가 있다. 주요하게는 후면의 온도를 정확하게 측정하는 것이 중요하고 TC의 정확한 부착이 필요하다. 대부분의 모듈 환경 시험 시 온도 측정은 TC를 모듈 후면부(BS)에 부착하여 측정하고 있다. 앞의 결론을 토대로 정확한 모듈 온도 측정을 위해서는 동일한 조건에서 ΔT_{2(ideal-meas)}를 확인할 필요가 있다.

다음으로 모듈 부수 재료의 물성(열전도도, 열용량)을 정확하게 측정하고 제시한 방열특성 평가 방법을 시행할 경우, 특히 모듈 후면의 온도를 정확하게 측정할 경우, 태양전지의 온도를 역으로 예측할 수 있는 방법이 가능할 것으로 생각된다. 기존의 후면 측정 온도와 제품의 출력에 대한 온도 계수를 토대로 간접적으로 모듈 내부의 태양전지 온도를 예측하는 방식이 아니라 본 연구에서 제시한 방법을 토대로 모듈 구성 요소의 물성 값을 적용하여 내부 태양전지의 온도를 예측할 수 있고, 모듈의 출력 또한 예측 가능하다는 장점이 있을 것으로 예상된다.

4. 결론

본 연구에서는 일반적인 구조의 태양전지 모듈의 방열 특성 평가를 진행하였다. 서로 다른 백시트 종류에 따른 모듈 내부 구성 요소의 온도 측정을 통해 열량 및 열저항 계산을 통해 구성 요소에 따른 모듈 내부 태양전지 온도 감소 효과를 설명하였다. 다음으로 열전도도 값을 토대로 모듈 구성 요소들의 온도를 계산하고 실제 측정 결과와 비교함으로써 정확한 모듈의 온도 측정

방법 및 방열 특성 평가에 대한 방안을 제안하였다.

후 기

본 연구는 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (No. 20173010012970).

References

1. E. Skoplaki, J. A. Palyvos, "On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations", *Solar Energy*, Vol. 83, No. 5, pp. 614-624, 2009.
2. S. Dubey, J. N. Sarvaiya, B. Seshadri, "Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world - A Review", *Energy Procedia*, Vol. 33, pp. 311-321, 2013.
3. M. A. Green, "Solar Cells", Prentice-Hall, 1982.
4. S. Odeh, M. Behnia, "Improving photovoltaic module efficiency using water cooling", *Heat Transfer Engineering*, Vol. 30, No. 6, pp. 499-505, 2009.
5. A. Makki, S. Omer, H. Sabir, "Advancements in hybrid photovoltaic systems for enhanced solar cells performance", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 41, pp. 658-684, 2015.