

대기온도에 따른 태양전지 모듈의 열적 특성에 관한 연구

김종필*, 전충환**, 장영준***

*부산대학교 대학원 기계공학과(kjfeel@pusan.ac.kr),
**부산대학교 기계공학부, 대학전력연구센터(chjeon@pusan.ac.kr),
***부산대학교 기계공학부(changyj@pusan.ac.kr)

Effects of Ambient Temperature on the Thermal Characteristics of Photovoltaic Modules

Kim, Jong-Pil*, Jeon, Chung-Hwan**, Chang, Young-June***

*Dept. of Mechanical Eng., Pusan National University(kjfeel@pusan.ac.kr),
**School of Mechanical Eng., Pusan National University, Pusan Clean Coal Center(chjeon@pusan.ac.kr),
***School of Mechanical Eng., Pusan National University(changyj@pusan.ac.kr)

Abstract

The photovoltaic modules are affected by heat. The hotter the PV module, the lower the power output, then the life time will be short. If the cell temperature rises above a certain limit the encapsulating materials can be damaged, and this will degrade the performance of the PV module. This paper presents that the PV module temperature can be estimated by using thermal analysis programs, and demonstrates the thermal characteristics of the PV module.

Keywords : Photovoltaic Module(PV module, 태양전지 모듈), Thermal Characteristics(열적 특성), Power Drop(출력저하), Ambient Temperature(대기온도), Simulation(시뮬레이션)

기 호 설 명

V : PV cell terminal voltage
 I : PV cell terminal current
 I_L : photogenerated current
 I_o : saturation current of the diode
 n : diode quality factor

I_{sc} : short circuit current
 V_{oc} : open circuit voltage
 R_s : PV cell series resistance
 R_{sh} : PV cell shunt resistance
 T : ambient temperature
 G : irradiation
 V_g : band gap voltage
 k : Boltzmann's constant
 q : electronic charge

접수일자 : 2008년 10월 31일, 심사완료일자:2009년 00월 00일
교신저자 : 전충환(chjeon@pusan.ac.kr)

1. 서 론

태양광 발전은 반도체의 광기전력 효과를 이용하여 태양으로부터 발생하는 빛에너지를 전기에너지로 변환하는 전력변환 및 제어 기술을 말한다. 하지만 태양에너지는 빛에너지뿐만 아니라 열에너지도 포함하고 있어 태양전지 모듈의 수명 및 출력에 적지 않은 영향을 미치고 있다¹⁾.

비, 바람, 눈 등 다양한 기후의 외부 환경에 노출되어 전력을 생산하는 태양전지 모듈의 수명은 약 20년으로 반영구적으로 사용 가능한 장점이 있다. 하지만 태양전지 모듈의 수명에 영향을 주는 것은 열화(Hot Spot) 현상이 대표적이라 할 수 있다²⁾³⁾. 이는 모듈 내부에서 발생하는 열적 현상으로서, 구조적으로 균열이 발생하거나 지속적인 스트레스에 의한 파괴로 접촉저항이 증가하게 되며, 시간이 지날수록 심화되어 모듈의 수명을 단축시키는 결과를 초래한다.

또한 실리콘 태양전지 모듈에 입사되는 태양의 열에너지로 인해 내부 온도가 상승할수록 출력은 감소한다⁴⁾⁵⁾. 일반적으로 온도 1°C 상승시 약 0.5%의 출력이 감소한다고 알려져 있다⁶⁾. 출력의 감소는 에너지 변환효율의 감소를 의미한다⁷⁾.

따라서 영상과 영하의 대기온도에서 태양전지 모듈이 노출되었을 때 전기적 특성은 어떻게 나타나는지 Matlab 프로그램을 통해 수치적으로 확인하고, 어느 부분에서 얼마 정도의 온도가 상승하는지 ANSYS 열해석 프로그램을 통해 열적 특성을 구조적으로 확인해보았다.

2. 대기온도 변화에 따른 출력 특성

태양전지 모듈의 출력 특성 해석은 태양에너지가 입사할 경우 대기온도가 상승하고 하강함에 따라 어떠한 전기적인 특성을 나타내는지 확인하기 위함이다.

태양전지 모듈의 대기온도 변화에 따른 출력 특성은 I-V 특성곡선을 통해 확인할 수 있다. 그 해석 과정은 먼저 태양전지의 등가회로를 모델링한 후 Matlab을 이용해 임의의 대기온도에 따른 출력 특성을 확인하였다.

2.1 태양전지 모듈의 모델링

태양전지 모듈의 모델링은 J.A.Gow와 C.D.Manning이 소개한 방법을 참고하였다^{8),9)}.

실리콘 태양전지 모듈은 태양전지를 단위로 구성하고 있어서 시뮬레이션 하기 위해서는 태양전지의 등가회로를 그림 1과 같이 표현한다.

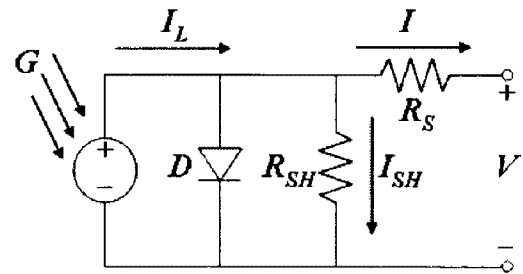


그림 1. 태양전지의 등가회로

태양전지의 등가회로는 한 개의 다이오드와 직렬저항과 병렬저항으로 구성되며 태양전지 표면에 태양광이 입사되어 광기전력효과를 이용한다는 것을 보여주며 다음과 같은 관계식으로 표현된다.

$$I = I_L - I_o (e^{q(V + IR_s)/nkT} - 1) \quad (1)$$

$$I_L = I_{L(T_1)} (1 + K_o (T - T_1)) \quad (2)$$

$$I_{L(T_1)} = G^* I_{sc(T_1, ref)} / G_{(ref)} \quad (3)$$

$$K_o = (I_{sc(T_2)} - I_{sc(T_1)}) / (T_2 - T_1) \quad (4)$$

$$I_o = I_{o(T_1)} * (T/T_1)^{3/n*} (e^{-qV_g/nk*(1/T - 1/T_1)}) \quad (5)$$

$$I_o(T_1) = I_{sc}(T_1) / (e^{qV_{oc}(T_1)/nkT_1} - 1) \quad (6)$$

$$R_s = -dV/dI_{V_{oc}} - 1/X_V \quad (7)$$

$$X_V = I_o(T_1) * q/nkT_1 * (e^{qV_{oc}(T_1)/nkT_1}) \quad (8)$$

모델링된 태양전지 모듈은 표 1의 전기적 특성을 갖는 국내 K사의 KD-6125 제품을 사용하여 Matlab으로 시뮬레이션하였다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 태양전지 모듈

모델명	KD-6125
Wp	125 W
Vmp	17.2 V
Imp	7.3 A
Voc	21.6 V
Isc	8.05 A
온도계수(Pmax)	-0.455 %/°C
온도계수(Voc)	-0.34 %/°C
온도계수(Isc)	0.076 %/°C
태양전지 개수	36 장

2.2 대기온도변화에 따른 출력특성

임의의 대기온도변화에 따른 시뮬레이션된 I-V 특성은 그림 2와 같다. 여기서 일사량은 1000W/m² 로 일정하게 유지하면서 대기온도변화를 각각 -20°C, -10°C, 0°C, 25°C, 40°C 의 변화를 주면서 시뮬레이션하였다.

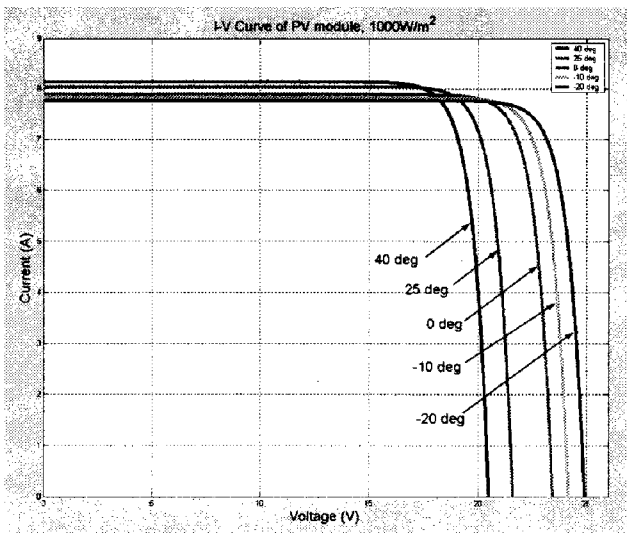


그림 2. 대기온도변화에 따른 I-V 특성

시뮬레이션 결과, 단락전류(Isc)는 대기온도가 상승함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있고, 개방전압(Voc)는 대기온도가 하강함에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 출력 값은 태양전지에서 발생된 전류와 전압의 값으로 알 수 있는데 그림 2를 통해 온도가 상승함에 따라 출력 값도 감소함을 알 수 있다.

3. 대기온도 변화에 따른 열적 특성

태양전지 모듈의 열적인 특성 해석은 태양 에너지가 입사할 경우 대기온도의 변화에 따라 모듈의 온도가 어느 부분에서 얼마 정도의 온도가 상승하는지를 알아보기 위함이다.

이를 위해 열전달 해석 프로그램인 ANSYS 를 사용하여 태양전지 모듈의 일부분에 대한 열적 특성을 구조적으로 해석하였다.

열적 특성 해석을 수행하는 과정은 태양전지 모듈의 구조를 모델링한 후 각 구조별 물성치를 설정하고 대기 온도에 따른 구조별 열적 온도 분포를 확인하였다.

3.1 태양전지 모듈의 구조 모델링

일반적으로 상용화된 태양전지 모듈은 외부환경으로부터 보호하기 위해 저철분 강화유리와 충전재인 EVA Sheet, Back Sheet, 프레임재 그리고 실리콘 태양전지로 구성된다. 또한 적절한 용량의 출력을 생산하기 위해 여러개의 태양전지의 전·후면에 전극을 연결해 모듈의 구조를 형성한다.

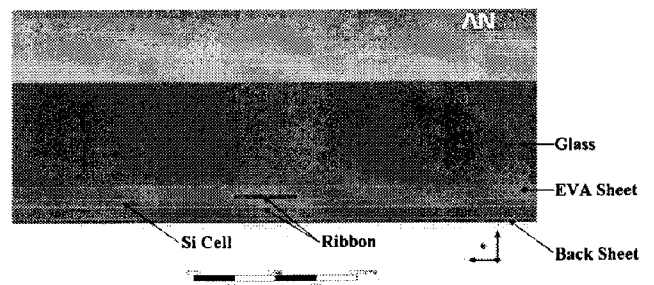


그림 3. 열해석을 위한 태양전지 모듈의 부분구조

태양전지 모듈의 열해석을 위해 사용한 모듈의 부분 구조는 그림 3과 같이 기본적으로 사용하는 Back Sheet 형태의 모듈로서 Glass, EVA Sheet, Ribbon, Si Cell, Back Sheet으로 이루어졌다.

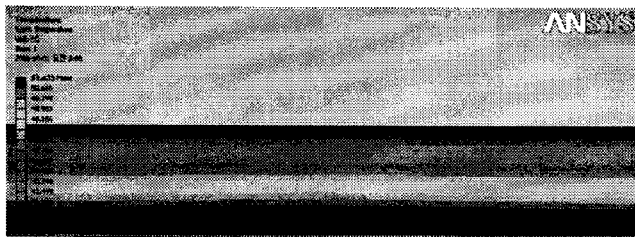
열해석에 사용한 각 구조의 두께는 표 2와 같다.

표 2. 시뮬레이션에 사용된 태양전지 모듈

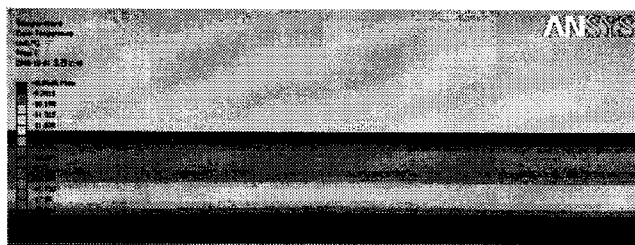
구조	두께
Glass	3.00 mm
EVA Sheet	0.40 mm
Si Cell	0.20 mm
Ribbon	0.20 mm
Back Sheet	0.15 mm

3.1 대기온도변화에 따른 열적특성

태양전지 모듈의 열적 특성을 해석하기 위해 해선 비, 바람, 눈 등 여러 가지 외부 환경을 고려 할 수 있겠지만 여기선 대기온도의 변화에 따른 모듈 내부온도의 변화만을 고려하였다.



(a) 대기온도 40°C



(b) 대기온도 -20°C

그림 4. 대기온도에 따른 모듈의 열분포

그림 4는 대기온도에 변화에 따른 태양전지 모듈의 열분포를 보여준다. 그림 4(a)는 대기온도가 40°C일 경우 발열 반응이 일어나지 않는 전면의 Glass는 대기온도를 유지하지만, 내부의 전기에너지를 생성하는 태양전지와 전류가 흐르는 전극부분인 Ribbon 부분은 51°C 이상의 열이 발생하는 것을 알 수 있다.

마찬가지로 그림 4(b)는 대기온도가 -20°C일 경우 태양전지와 전극부분에서는 -8°C 이상으로 대기온도보다 높은 온도가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

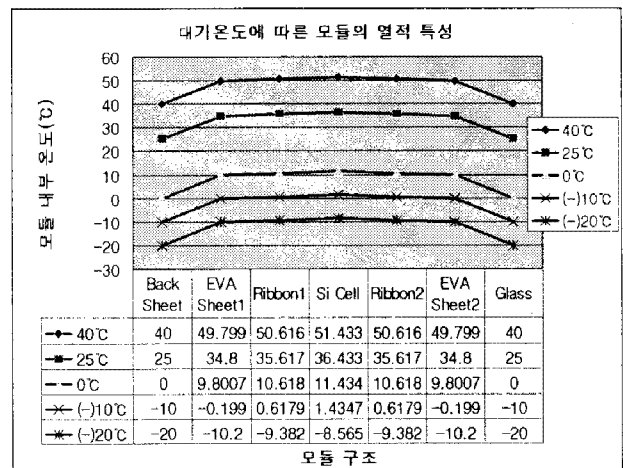


그림 5. 대기온도에 따른 모듈의 열적 특성

그림 5는 그림 4와 같은 열해석 프로그램을 통한 결과로서, 대기온도가 각각 25°C, 0°C, -10°C, -20°C일 경우 태양전지와 전극부분에서는 최고 36°C, 11°C, 1°C, -8°C 이상의 대기온도보다 높은 온도가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

컴퓨터 시뮬레이션 프로그램과 열전달 해석 프로그램을 사용하여 영화에서 영상으로의 대기온도 변화에 따른 태양전지 모듈의 열적 특성을 수치적, 구조적으로 해석하였다.

사용한 해석 프로그램은 정확한 예측을 하

기 위해서는 한계가 있을 것이다. 여러 가지 모듈의 구조적인 차이와 각 구조의 물성치 값의 차이, 수시로 변화하는 대기온도, 습도, 바람 등의 기후 및 환경적인 차이 등이 그 요소라 할 수 있다.

태양에너지가 태양전지 모듈에 입사해서 발전을 하고 모듈 내부 온도가 상승하는 구조적인 열해석과 출력 해석은 예측할 수 있을 것이다.

따라서 태양전지 모듈의 외부 환경적인 조건에 따른 수치적인 출력 특성과 구조별 열적 특성을 파악하면 태양전지 모듈의 수명 단축 문제를 해결하고 출력을 향상 시켜 모듈의 효율을 개선시킬 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. France Lasnier and Tony Gan Ang, Photovoltaic Engineering Handbook, CRC Press(Taylor & Fancis Group), 1989, pp. 92-97.
2. H.L.Macomber, Solar Electricity, John Wiley & Sons, 1994, pp. 84-85.
3. Tomas Markvart, The Handbook of Photovoltaic Applications, The Fairmont Press, Inc., 1986, pp. 72-73.
4. Simon Roberts, Solar Electricity, Prentice Hall, 1991, pp. 25-26.
5. H. S. Rauschenbach, Solar Cell Array Design Handbook, Van Nostrand Rrinhold Company, 1980, pp. 173-175.
6. W.D.Johnston, Jr., Solar Voltaic Cells, Marcel Dekker, Inc. New York and Basel, 1980, pp. 68-71.
7. Roger A. Messenger, Photovoltaic System Engineering, CRC Press, 2004, pp. 47-52.
8. J.A.Gow, C.D.Manning, Develepment of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies, IEE Proceedings on Electric Power Applications,

vol. 146, no.2, 1999, pp. 193-200.

9. G.Walker, Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model, journal of Electrical & Electronics Engineering, Austalia, IEAust, vol.21,no.1, 2001, pp.49-56.