

## 결정질 실리콘 태양전지 모듈의 온도 상승에 따른 효율변화특성

박지홍, 강기환\*, 안형근, 유권중\*, 한득영  
 건국대학교, 한국에너지기술연구원\*

### Temperature Study of the Efficiency in single-crystalline Photovoltaic Module

Chi-Hong Park, Gi-Hwan Kang\*, HyungKeun Ahn, Gwon-Jong Yu\*, Deuk-Young Han  
 Konkuk University, Korea Institute of Energy Research\*

**Abstract :** It is well known that the efficiency of photovoltaic modules decreases with an increase of temperature. In this paper, both efficiency and maximum power(Pm) variation with temperature are investigated using numerical simulation. Various carrier transport mechanisms and several recombination parameters of all the cell materials are taken into account. The theoretical result are compared with the reference data and they are shown to agree quite well over a wide range of temperatures.

**Key Words :** PV module, PV module efficiency, Temperature dependence

#### 1. 서 론

태양광 발전에서 가장 기본이 되며 핵심적인 부품인 태양전지 모듈은 외부에 노출되어있으면서 여러 가지 환경적인 영향을 받게 되는데, 이중 몇 가지 요인에 의해 태양전지 모듈의 온도가 변화하게 되고 이러한 태양전지 모듈의 온도 변화는 곧바로 효율의 변화로 이어지며 온도가 증가함에 따라서 효율이 감소하게 된다. 이는 태양전지 모듈을 구성하고 있는 태양전지 셀의 효율이 온도의 증가에 따라 크게 변화하는데서 비롯되는데, 본 논문에서는 태양전지 모듈의 효율이 온도에 의해 얼마나 변화하는가를 셀의 효율변화를 바탕으로 이론적으로 접근하였으며, 최대 개방전압 및 최대 전력이 온도에 따라서 어떻게 변화되는지 여러 온도 변수 추출을 통하여 접근하였다.

#### 2. 이론적 해석

태양광 입사에 따른 태양전지 모듈의 기본적인 전류-전압 특성은 그림 1과 같다.  $V_{oc}$ 는 개방전압을 나타내며,  $I_{sc}$ 는 단락전류,  $V_m$ ,  $I_m$ 은 최대전력시의 전압 전류이다.

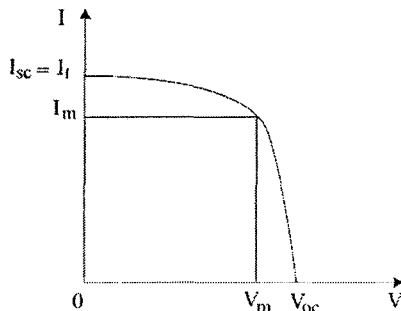


그림 1. 태양전지모듈의 전류-전압특성

온도에 따른 효율의 변화를 관찰하기 위하여 먼저 효율의 식에서 온도에 의해 변화하는 파라미터를 정의해야하

는데, 도핑농도와 입사광량 등의 값을 제외하고 거의 모든 파라미터가 온도에 의해 변화하는 변수이며 이를 이용하여 온도에 따른 효율을 계산하였다. 본 논문에서는 온도에 의해 변화하는 모든 파라미터를 온도의 함수로 정의하여 사용하였다. 식 (1)과 (2)는 최대전력 시 전류와 전압을 나타내는 식이며 식 (2)는 Lambert's W함수를 사용하여 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$I_m = I_s \frac{q}{kT} V_m \exp\left(\frac{qV_m}{kT}\right) \quad (1)$$

$$V_m = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{\frac{I_L}{I_s} + 1}{1 + \frac{qV_m}{kT}}\right) \quad (2)$$

$$V_m = \frac{kT \left( \text{lambertw}\left(\exp\left(\frac{V_{oc}q + kT}{kT}\right)\right) - 1 \right)}{q} \quad (3)$$

기본적인 태양전지의 효율에 관한 식은 식 4와 같다.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{V_m I_m}{P_{in}} = \frac{V_m^2 I_s q \exp\left(\frac{qV_m}{kT}\right)}{kT P_{in}} \quad (4)$$

식 (4)의 효율의 결과 식에서  $P_{in}$ 은 입사되는 태양광의 전력을 의미하며, 본 논문에서는 입사되는 태양광의 전력을  $1000 \text{ W/m}^2$ 로 하여 모듈에 입사되는 전력을 계산하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

시뮬레이션에 적용된 모듈은  $125\text{mm} \times 125\text{mm}$  크기의 단결정 실리콘 셀 72개가 직렬로 연결된 모듈로서 최대전력이  $165\text{W}$ 인 모듈이다. 이는 시판되는 Shell Solar의 Ultra 165 모델을 기준으로 하였으며, Ultra 165 모델의 모듈은  $P_m$ 은  $165\text{W}$ ,  $V_{oc}$ 는  $44.5\text{V}$ ,  $V_m$ 은  $35\text{V}$ ,  $I_m$  값은  $4.72\text{A}$ 를 가

지고 있는 모듈이다.

아래 그림은 시뮬레이션 결과를 보여주는 그림으로 그림 2는 온도의 증가에 따라 개방 전압이 감소하는 모습을 나타내고 있으며, 이 같은 감소는 태양전지 모듈의 온도가 증가함에 따라 역방향 누설전류( $I_s$ )가 증가하여 발생하게 되고 이것으로 인해 결국 최대 전력이 감소하게 되면서 모듈의 효율이 감소하게 된다. 그림 3은 온도에 따른 최대 전력의 변화를 보여주고 있다. 최대전력 또한 온도가 증가하면서 감소하는 특성을 보이고 있다. 그림 4는 온도의 증가에 따라 효율이 감소하는 특성을 나타내고 있다.

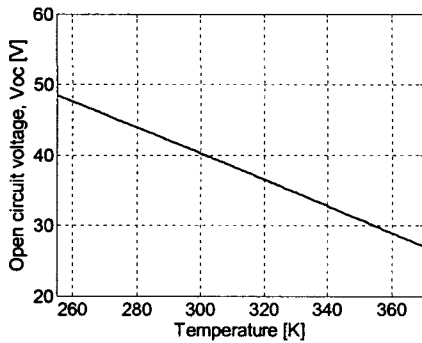


그림 2. 온도에 따른 태양전지 모듈의 개방 전압

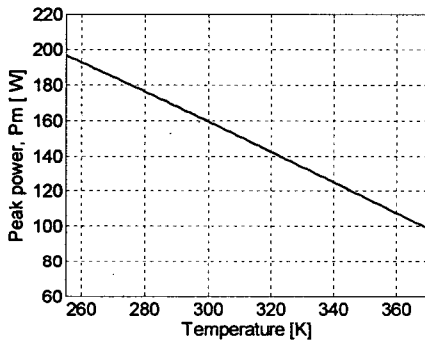


그림 3. 온도에 따른 태양전지 모듈의 최대전력

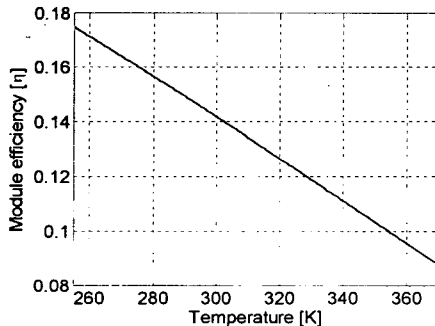


그림 4. 온도에 따른 태양전지 모듈의 효율

그림 5는 기준으로 삼은 모듈의 온도에 따른 최대전력과 본 논문에서의 이론식을 이용한 시뮬레이션 한 결과를 normalize 하여 보여주고 있는데 상당히 일치하는 모습을 보여주고 있다. 그림에서 보이는 오차부분은 셀들이 직렬

연결 되면서 발생할 수 있는 접촉 저항 등의 증가에 의해 출력이 감소하기 때문이라고 사료된다.

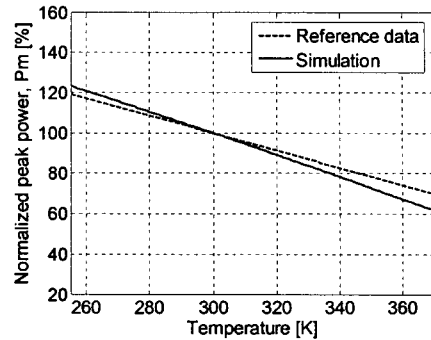


그림 5. Reference data와 비교한 개방전압

#### 4. 결론

본 논문에서는 태양전지모듈의 온도가 증가함에 따라 그 효율이 어떻게 변화하는가를 이론적으로 접근하였으며 온도가 변화하면서 발생할 수 있는 여러 파라미터의 변화를 예측하고 이를 참조하여 온도변화에 쉽게 대응할 수 있는 효율 식을 찾아내는데 그 목적이 있다. 논문에서 제시한 수식을 이용한 시뮬레이션 결과와 Reference 값과 비교하여 볼 때 비교적 잘 일치 하는 결과를 보이고 있으며 향후 모듈내부의 저항성분까지 고려된 효율변화의 연구가 필요하겠다.

#### 참고 문헌

- [1] David Meneses-Rodriguez, Paul P. Horley, Jesús González-Hernández, Yuri V. Vorobiev and Peter N. Gorley, "Photovoltaic solar cells performance at elevated temperatures" Solar Energy, Volume 78, Issue 2, P. 243-250, February 2005.
- [2] Kawamura, H. et al., "Simulation of I-V characteristics of a PV module with shaded PV cells", Solar Energy Materials and Solar Cells, 75, (3-4), P. 613-621, 2003.
- [3] E. Radziemska, "The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells", Renewable Energy, Volume 28, Issue 1, P. 1-12, January 2003.
- [4] Puksec, J.D., "The influence of temperature on lifetime" , Electrotechnical Conference, 1998. MELECON 98., 9th Mediterranean Volume 1 P. 349 - 353, 18-20 May 1998.
- [5] Dobrescu, D.; Rusu, A., "Temperature study of the carrier lifetime in solar cells with one dominant trap energy level". Semiconductor Conference., International Volume 2. P. 619 - 622, 9-12 Oct. 1996.