

Matlab을 통한 PV 모듈의 I-V 출력 특성 시뮬레이션

홍종경*, 정태희*, 류세환*, 원창섭*, 강기환**, 안형근*, 한득영*
 건국대학교 전기공학과*, 한국에너지기술연구원**

Simulation of I-V characteristics of a PV module in matlab

Jong-kyuon Hong*, Tae-hee Jung*, Se-Hwan Ryu*, Chang-sub Won*, Gi-Hwan Kang**, Hyungkeun Ahn* and Deuk-Young Han*
 Konkuk Univ*, Korea Institute of Energy Research**

Abstract : This paper describes a circuit based simulation model for a Photovoltaic(PV) cell in order to estimate the electrical behavior of the solar cell module with changes of environmental parameters such as shunt resistance, series resistance, temperature and irradiance. An accurate I-V model of PV module is presented based on the Shockley diode model. The general model was implemented on Matlab scrip file, and used irradiance and temperature as variables and outputs of the I-V characteristic. A typical PV module was used for the evaluation, and results was compared with reference taken directly from the manufacturer's published curves leading to excellent agreement with the theoretical prediction.

Key Words : PV module, matlab, I-V, solar cell

1. 서 론

현재 무한한 에너지를 가지는 청정 에너지중 하나인 태양광을 이용한 발전의 비중이 높아지고 있다. 태양광 발전에는 박막형 및 벌크형, 영료감응형 등이 있다. 본 논문에서는 태양광 발전에서 사용되는 PV 모듈 중 벌크형의 단결정 태양전지 모듈의 출력 특성을 Matlab을 이용하여 이론적인 I-V 출력 특성을 모델링하였으며, 실제 Sunsimulator에서 측정한 170W급 PV 모듈과 출력 특성을 비교하여 분석하였다.

2. PV 모듈과 모델링

2.1 PV 모듈

태양전지는 빛을 전기로 직접 바꾸어 주는 전자소자이다. 태양전지의 구조는 에미터인 n층과 베이스인 p층을 가지는 p-n접합 구조이다. 전기 에너지를 외부회로에 공급하는 과정을 보면 크게 두 과정으로 나눈다면, 첫째 태양광에 의해 태양전지 내에 전자-정공 쌍이 만들어지고 이는 보다 높은 에너지 상태로 이동하게 되고, 둘째 이러한 높은 에너지의 전자가 태양전지로부터 외부회로로 이동하게 된다. 이러한 태양전지들을 직·병렬로 연결하여 제작하는 것을 PV 모듈이라 한다.

2.2 태양전지 모델링

그림 1은 태양전지의 등가회로이다. 빛이 태양전지에 조사되면 전류 I_L 이 흐르게 되며, 다이오드 D 가 태양전지의 출력 특성을 결정하는데 근원이 된다. 병렬저항 R_{sh} 는 태양전지 내부의 저항으로 전압을 결정하며, 직렬저항 R_s 는 태양전지 내부의 저항과 외부요소 즉, Junction박스나 리본 등에 의해 값이 결정되어 진다. 본 연구에서는 출력 특성을 모델링 하는데 있어 아래의 요소들을 고려하였다.

· 역방향바이어스 포화전류 I_0 의 온도 의존성

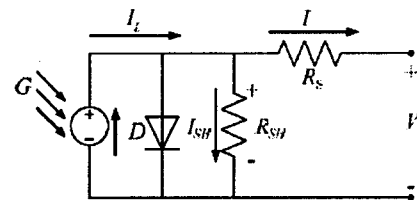


그림 1. 태양전지의 등가회로

- 광전류 I_{ph} 의 온도 의존성
- 태양전지의 직렬 연결된 개수와 면적에 따른 I_{sc}
- R_{sh} 에 의한 영향

이상적인 다이오드는 $R_{sh} = \infty$, $R_s = 0$ 이다. 입사광의 세기가 클 경우 $I_d \gg V/R_{sh}$ 로 되어, R_{sh} 의 영향은 나타나지 않는다고 한다. [1], [2], [4]

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

하지만 실제 태양전지 모듈에서는 R_{sh} 의 영향이 나타날 것으로 생각하여 식(2)를 사용하여 모델링을 하였다.

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

$$I_L = I_L(T_r) \times (1 + K(T_r - T_a)) \quad (3)$$

$$I_L(T_r) = I_{sc}(T_{r,nom}) \frac{G}{G_{(nom)}} \quad (4)$$

$$K = \frac{1}{I_{sc}} \frac{dI_{sc}}{dT} \quad (5)$$

$$= \frac{1}{I_{sc}} \frac{I_{sc}(T_a) - I_{sc}(T_r)}{T_a - T_r}$$

식(4)의 G 는 태양광의 일사강도를 나타내며 단위는 kW/m^2 , n 은 다이오드 factor이다. 다이오드의 질을 결정하는 요소로 n 은 1에서 2사이의 값을 가진다. 식(5)의 K 의 값은 실험값으로 온도가 $1^\circ C$ 상승 시 $0.00065[A]$ 의 전류 증가가 나타난다.[3]

2.3 측정 및 시뮬레이션

R_{sh} 의 유무에 따른 출력 특성을 비교하고 170W급 단결정 PV 모듈의 파라미터를 Sunsimulator로 측정하여 구해진 결과와 Matlab 모델과의 비교 분석을 실시하였다. 표 1은 170W 단결정 PV모듈의 파라미터를 보여준다.

$G[kW/m^2]$	$T[^\circ C]$	$I_{sc}[A]$	$V_{oc}[V]$	$I_{mp}[A]$	$V_{mp}[V]$	$P_{max}[W]$
1	25	5.19	44.3	4.78	36.1	172.27

표 1. 170W 단결정 PV 모듈 출력 특성 파라미터

3. 결과 및 고찰

입사강도의 세기를 $1kW/m^2$ 로 주어주고 R_{sh} 의 영향을 그림 2에서 보여주고 있다.

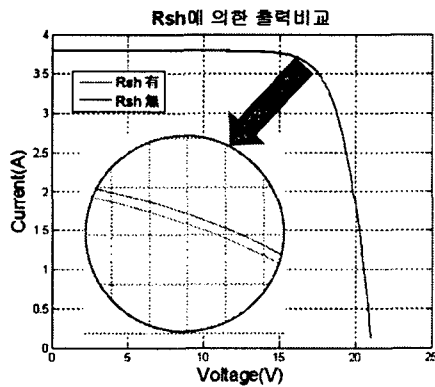


그림 2. R_{sh} 유무에 따른 출력비교

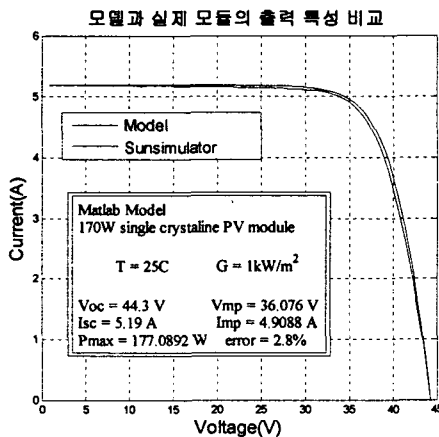


그림 3. 모델과 실제 측정 데이터의 출력 특성 비교

그림 3은 Matlab 모델의 시뮬레이션 결과와 Sunsimulator의 결과를 보여주고 있다. 시뮬레이션의 경우 동일한 STC 조건을 주었으며, 실제 모듈의 P_{max} 보다 $4.82W$ 높은 2.8% 의 오차를 갖는 결과를 얻었다.

이 모델을 이용하여 온도에 따른 출력 특성을 예측한 결과가 그림 4에 나타난다.

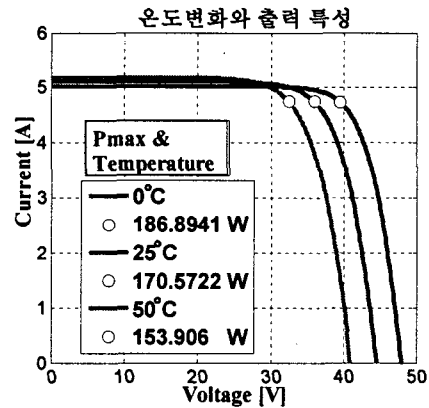


그림 4. Matlab 모델을 이용한 온도 변화에 대한 출력 특성

본 연구를 통하여 입사광의 세기가 큰 경우라도 병렬저항 R_{sh} 의 영향이 나타난다는 것을 확인하였으며, 온도변화에 따른 전류 및 전압의 변화를 확인 할 수 있었다. 차후 태양 전지 내부의 도핑농도와 온도변화에 따른 특성 변화의 연구가 진행된다면 오차를 더욱 줄일 수 있을 것이다.

4. 결론

본 논문에서는 Matlab을 이용하여 PV 모듈을 시뮬레이션 할 수 있는 모델을 제시하였다. 결과적으로 R_{sh} 가 출력 특성에 영향을 주는 것을 확인 하였으며, STC 조건에서의 실제 PV 모듈의 전기적 출력 특성과 2.8% 오차를 가지는 결과를 얻었다. 이 모델의 장점은 I_{sc} 와 V_{oc} 를 알 수 있다면 모듈의 출력 특성을 예측 할 수 있으며, 실제 동작하고 있는 PV 모듈의 온도를 측정 하여 동작 시간대의 I-V 출력을 예측 할 수 있다는 것이다.

참고 문헌

- [1] G. Walker, "Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model", Journal of Electrical & Electronics Engineering, Australia, IEAust, Vol. 21, No. 1, p. 49-56, 2001.
- [2] J. A. Gow, C. D. Manning "Development of a photovoltaic array model for use in powerelectronics simulation studies", IEE Proceedings on Electric Power Applications, vol. 146, no. 2, p.193-200, 1999.
- [3] S. R. Wenham, M. A. Green, M. E. Watt and R. Corkish, "applied PHOTOVOLTAICS", EARTHSCAN, 2007
- [4] 이재형, 임동건, 이준신, "태양전지 원론", 홍릉과학 출판사, 2005