

Matlab을 이용한 PV모듈의 I-V시뮬레이션 관한 연구

홍종경*, 정태희*, 강기환**, 안형근*, 한득영*

*건국대학교 전기공학과, **한국에너지기술연구원

Study on I-V simulation for PV module with matlab

Hong, Jong-Kyoung* Jung, Tae-Hee* Kang, Gi-Hwan** Ahn, Hyung-keun*
Han, Deuk-Young*

*Dept. of Electrical Eng, Konkuk, University, **Korea Institute of Energy Research,

Abstract

This paper estimates numerically cells the electrical characteristics of the PV module with environmental changes such as shunt resistance, series resistance, temperature, irradiance. Series resistance R_s including diode characteristic resistance r_d is derived from the p-n junction diode model. I-V characteristics of this model with series resistance R_s are simulated on Matlab. Finally, theoretical I-V characteristics are compared with those of solar simulator. Those results agreed well within the manufacturer's maximum error range 3%

Keywords : PV 모듈(PV module), PV 모듈 출력 특성(Output Characteristics of PV module),
PV 시뮬레이션(Simulation of PV module)

1. 서 론

태양전지는 빛을 전기로 직접 바꾸어 주는 전자소자이다. 태양전지의 구조는 에미터인 n층과 베이스인 p층을 가지는 p-n접합 구조 이이다. 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 에너

지의 전자가 태양전지로부터 외부회로로 이동하게 된다. 이때 입사되는 광자의 에너지는 반도체의 대역폭보다 커야만 한다. 이러한 태양전지들을 직·병렬로 연결하여 제작하는 것을 PV 모듈이라 한다.

현재 PV 모듈은 Sun-simulator를 통해 전기적 출력 특성을 얻는다. 방식은 STC(Standard Test Condition)조건에서 측정하여 직렬저항 R_s , 병렬저항 R_{sh} , 개방전압 V_{OC} , 단락전류 I_{SC} , 출력 P_{max} 을 얻는다.

투고일자 : 2009년 3월 28일, 심사일자 : 2009년 4월 1일, 게재확정일자 : 2009년 7월 15일
교신전자 : 홍종경(jkddaeng82@empas.com)

Sun-simulator를 이용한 PV 모듈의 I-V 곡선은 기계내의 부하저항을 0에서 ∞까지 증가시킴으로써 출력 결과를 얻는다. 이는 물리적인 변화를 이용한 출력으로 이론적 접근 방식과는 상관이 없는 출력 결과이다. 하지만 기계의 부하 저항을 증가시키는 속도를 다이오드 이론식과 맞추게 타이밍을 조절하였으므로 이론적인 접근 방식과 유사한 결과를 보여주고 있으며, 정교한 Sun-simulator 일수록 그 오차가 적어진다. 이는 성능 평가용으로 현재 세계 여러 나라에서 인증시험을 할 때 사용하고 있다.

본 연구에서는 현재 인증시험용으로 사용되고 있는 Sun-simulator를 대신해 Matlab을 통해 다이오드의 이론식과 실험으로 얻어진 factor를 이용하여 PV 모듈의 전기적 출력을 모델링 하였다.

2. 본 론

2.1 태양전지 I-V 특성

2.1.1 일반적인 태양전지 I-V 관계식

일반적인 태양전지 I-V 관계식은 다이오드의 등가회로에 의해 다음과 나타낼 수 있다.[1]

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

태양전지가 이상적일 경우 식(1)와 같이 나타나지만, 실제로는 태양전지 내부의 병렬 저항 R_{sh} 와 직렬저항 R_s 가 존재한다. 병렬 저항은 태양전지 내부의 누설 저항을 나타내고, 직렬저항은 외적인 저항요소이다.[1]

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

식(2)은 저항성분을 포함한 식으로 그림 1

과 같은 등가회로를 갖는다. [1]

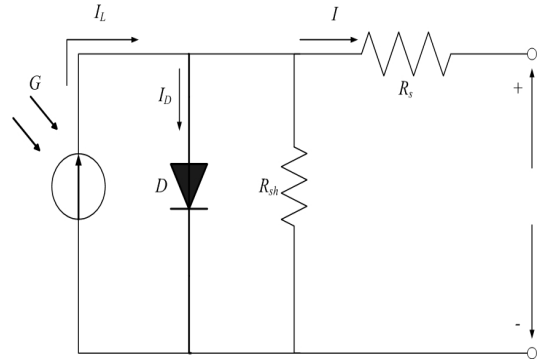


그림 1. 태양전지 등가회로

2.1.2 온도 보정

태양전지는 반도체 소자로 온도에 의한 영향이 크다. 온도가 증가하게 되면 전류는 상승하게 되지만, 전압은 감소하게 된다.[2,3]

우선 온도에 의한 전류의 변화를 적용시키기 위해 아래와 같이 나타낼 수 있다.[2,3]

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

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

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

K 는 상수로 온도 증가에 따른 전류의 상승률에서 나타내었다. T_r 기준온도(Temperature reference)를 나타내며 300K의 값을 갖고, T_a 는 변화된 온도를 나타낸다.

2.1.3 직렬 저항 R_s

직렬저항의 경우 기존의 방법은 입사되는 광도의 세기에 변화를 주어 I-V관계에 의해 표현한다.[4]

그림 2의 I-V 곡선 상에서 임의의 두 점을 택하면

$$V_{out.1} + I_{out.1}R_s = V_{out.2} + I_{out.2}R_s \quad (6)$$

가 얻어진다. 이것을 이용하여 저항을 구하게 되면 다음과 같다.

$$R_s = -\frac{V_{out.1} - V_{out.2}}{I_{out.1} - I_{out.2}} = -\frac{\Delta V}{\Delta I} \quad (7)$$

이 되어 R_s 값을 구할 수 있다.[4]

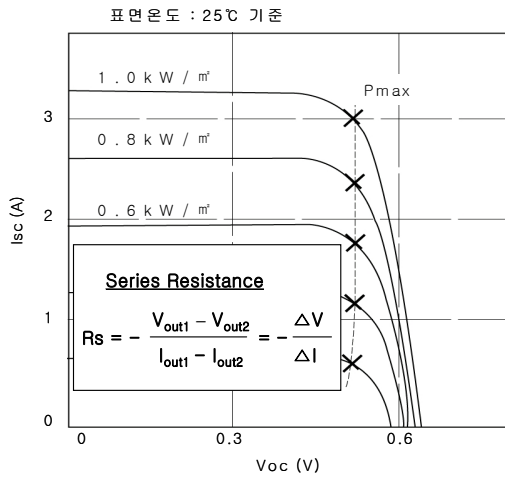


그림 2. 일사강도를 이용한 R_s 측정

태양전지의 직렬저항이 특성에 미치는 영향은 V_{oc} 에는 거의 변화가 없으나 곡선률이 급격히 감소하게 되고 직렬저항에 의한 전압강하가 순방향 바이어스 상태로 되어 암전류 I_d 를 증가시키므로 단락전류가 감소한다.

2.2 이론적 접근 방식

2.2.1 다이오드 내부저항 r_d

기존의 방식은 Sun-simulator를 이용한 출력된 결과로 R_s 를 구하였지만, 이론적인 접근을 위해서 본 논문에서는 등가회로의 다이오드 D 를 다시 다이오드의 등가회로로 나타내어 다이오드 자체의 특성 저항인 r_d 를 이용한 7단결정 PV 모듈의 직렬저항 R_s 로 표현할 수 있다.[4]

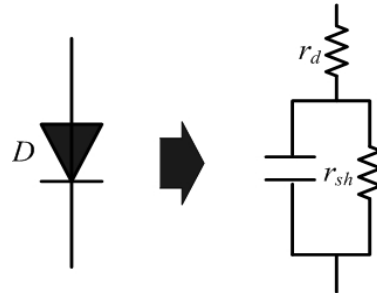


그림 3. 다이오드 등가회로

r_{sh} 의 경우 다이오드 내부의 병렬저항으로 누설 전류가 없다고 한다면 PV 모듈은 r_d 만을 고려하여 유도할 수 있다. 다이오드의 내부저항 r_d 는 아래의 식으로부터 표현된다.

$$r_d = \frac{dV}{dI} = \frac{kT}{qI} = \frac{kT}{q \times I_0 \left(\exp\left(q \frac{V_{oc}}{n k T}\right) - 1 \right)} \quad (8)$$

N_s 는 셀의 개수를 나타낸다.

2.2.2 PV Module에서의 직렬저항 R_s 유도

직렬 연결된 PV모듈을 등가회로로 나타낸다면 그림 4와 같다. 본 논문에서는 그림 5와 같은 방법으로 접근하였다.

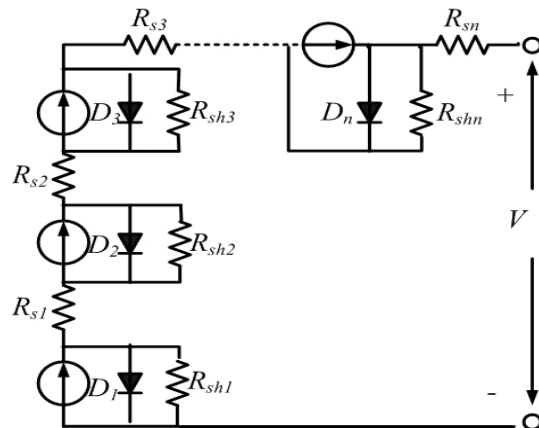


그림 4. n개의 cell이 직렬연결된 PV module 등가회로

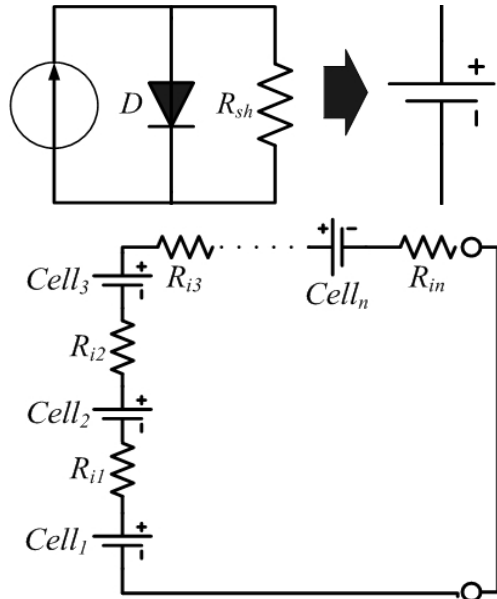


그림 5. 전압원으로 변환한 등가회로

그림 5와 같이 각각의 태양전지를 전압원으로 바꾸어 회로를 구성하면 다이오드내부 저항 R_s 의 경우 외부 contact 저항 요소를 포함하지 않는 r_d 만이 고려되었지만, 전압원으로 해석하게 되면서 외부 직렬저항 요소인 R_i (Interconnection resistance)를 포함시킬 수 있게 된다. 식(9)은 다이오드 내부저항 r_d 와 태양전지사이의 연결저항 R_i 의 합의 수식으로 표현이 가능하므로써 모듈의 최종 직렬저항을 나타내고 있다.

$$R_s = (R_i + r_d) \times N_s \quad (9)$$

최종적으로 모듈의 이론식은 식 (10)과 같다.

$$I_M = I_{LM} - I_{0M} \left[\exp\left(\frac{q(V_M + I_M R_s)}{n k T} \right) - 1 \right] - \frac{V_M + I_M R_s}{R_{shM}}$$

$$\ast R_{shM} = R_{sh} \quad (10)$$

3. 측정 및 시뮬레이션

시뮬레이션과 비교를 위해 Sun-simulator 를 사용하여 170W, 190W급 단결정 PV 모듈을 측정하였으며, 표 1. 에서는 출력 파라미터를 보여주고 있다.

또한 시뮬레이션을 통해 각각의 변동 요소들에 의한 출력 변화를 살펴보았다.

표 1. 170W, 190W 단결정 PV 모듈의 출력 파라미터

모듈	I_{rr} (sun)	T [°C]	I_{sc}	V_{oc}	I_{mp}	V_{mp}	P_{max} [W]	N_s
170w	1	25	5.19A	44.3V	4.78A	36.1V	172.27W	72
190w	1	25	7.78A	32.3V	7.4 A	25.8V	191.03W	54

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

그림6.은 직렬저항 성분 중 cell의 특성 저항의 변화에 따른 출력 변화를 보여주고 있다. 이론적으로 직렬저항을 살펴보면 그 값이 점점 커짐에 따라서 전류의 감소가 동반이 된다. 하지만 본 논문에서 제시한 모델의 시뮬레이션 결과 직렬저항의 증가에 의해 PV 모듈의 출력이 감소되는 것은 관찰 되었지만 전류의 감소가 나타나지 않는 한계점을 가지고 있는 것이 확인되었다.

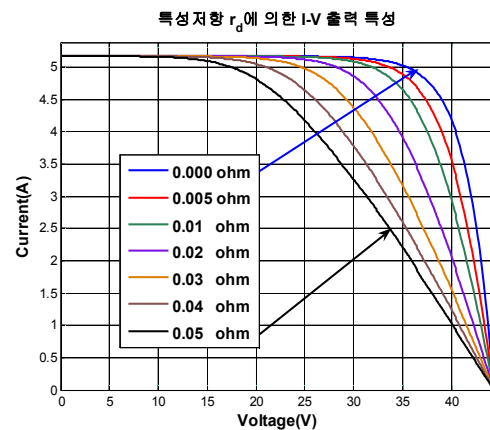


그림 6. r_d 에 의한 I-V 출력 특성 변화

그림 7, 8은 R_{sh} 의 유무에 따른 출력 차이와 R_{sh} 에 의한 PV 모듈의 출력 변화를 보여주고 있다.

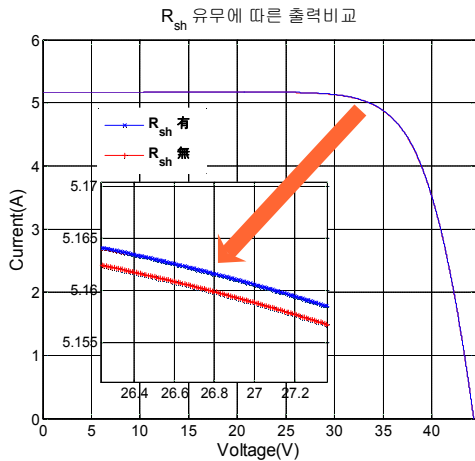


그림 7. R_{sh} 유무에 따른 출력 비교

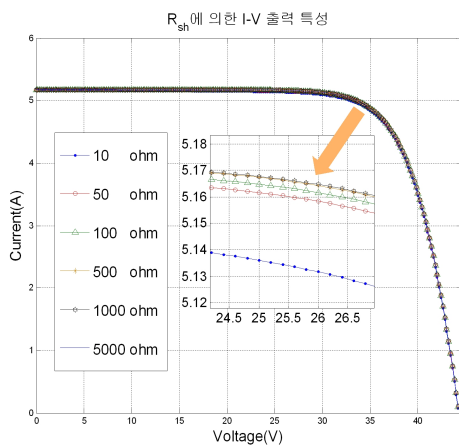


그림 8. R_{sh} 변화에 따른 출력 비교

그림 9, 10은 Sun-simulator를 이용하여 측정한 170W, 190W급 단결정 PV 모듈의 I-V 특성과 식(9)을 고려하여 Matlab을 이용한 I-V 시뮬레이션 결과를 비교한 그림이다. 출력의 비교 결과 3% 미만의 오차만을 가지는 정확한 모델이 되었다는 것을 확인 할 수 있다.

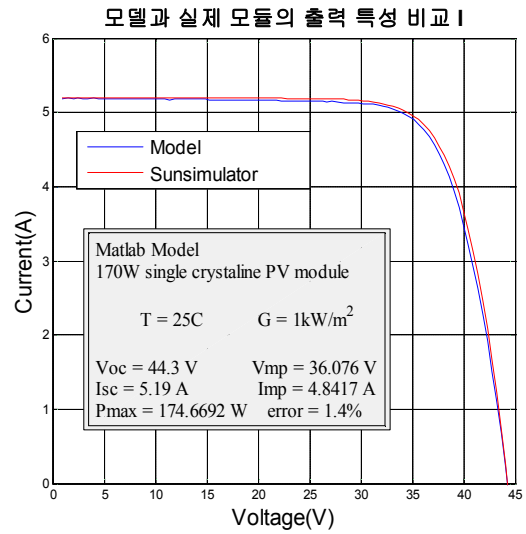


그림 9. 170W PV 모듈과의 출력 특성 비교

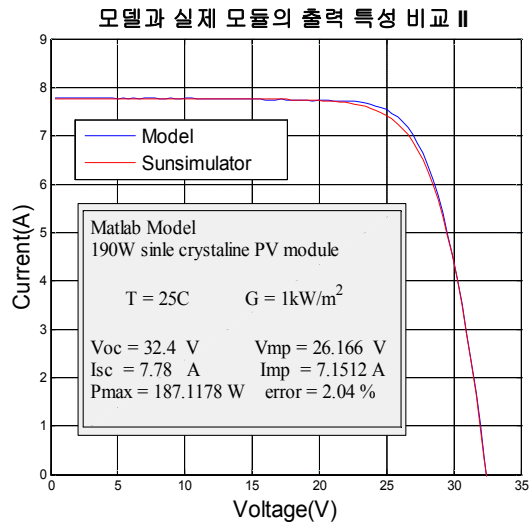


그림 10. 190W PV 모듈과의 출력 특성 비교

Matlab을 사용하여 실제 Sun-simulator와 비교를 해본 결과 매우 우수한 결과를 얻었다. Sun-simulator의 경우 다이오드식이 아닌 부하저항을 0에서부터 ∞ 로 증가시켜 I-V curve를 나타낸다. 하지만 p-n 접합 다이오드로부터 접근한 결과도 실제 출력과 비슷한 출력 결과를 얻을 수 있었다는 것은 이론적인 접근으로도 PV 모듈의 출력 특성에 대해 분석

이 가능하다는 것을 보여준다.

INTERSCIENCE PUBLICATION, 2002

5. 결 론

본 논문은 Sun-simulator의 측정 없이 제작된 단결정 PV 모듈의 전기적 출력 특성을 Matlab 프로그램을 이용하여 simulation을 통해 예측 할 수 있는 것에 관한 연구이다.

Matlab을 이용한 simulation의 정확도를 알아보기 위해 실제 170W, 190W 급 단결정 PV 모듈을 Sun-simulator로 측정하였으며, 이 결과 데이터를 본 연구의 simulation결과와 비교 분석하여 3%미만의 오차를 갖는 출력 결과를 얻을 수 있었다. 결론적으로 본 논문의 시뮬레이션을 통하여 단결정 PV 모듈의 출력 특성을 예측 하고 분석할 수 있으며, 유용하게 사용될 것이라고 생각한다.

참 고 문 헌

1. S. R. Wenham, M. A. Green, M. E. Watt and R. Corkish, "applied PHOTOVOLTAICS", EARTHSCAN, 2007
2. 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.
3. 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.
4. 이준신, 김경해 "Solar cell Engineering 태양전지공학" 도서출판 그린, 2007
5. Robert F. Pierret, "Semiconductor Device Fundamentals", Addison Wesley, 1997
6. Luis Castaner, Santiago Silvestre, "Modelling Photovoltaic systems using PSpice", WILEY-