

태양광모듈의 모델링 및 성능해석 결과비교

소정훈*, 유병규*, 황혜미*, 유권중*, 최주엽**

A modeling and performance comparison of photovoltaic module

Jung-Hun So*, Byung-Gyu Yu*, Hye-Mi Hwang*, Gwon-Jong Yu*, Ju-Yeop Choi**
Korea Institute of Energy Research*, Kwangwoon University**

Abstract - The detailed modeling method of photovoltaic (PV) module are useful to perform detailed analysis of PV array performance for changing meteorological conditions, verify actual rated power of PV system sizing and, determine the optimal design of PV system and components. This paper investigates a modeling approach of PV module performance in terms of irradiance and temperature changes and compared measured with simulated value of PV modules.

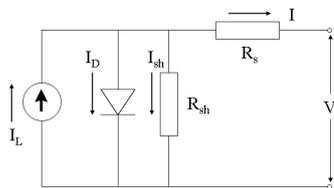
1. 서 론

21세기로 접어들면서 화석연료의 고갈 및 지구온난화 문제로 효율적인 에너지 이용기술과 안전하고 지속가능한 새로운 에너지원의 개발에 대한 관심이 전 세계적으로 확대되고 있다. 향후 국가경쟁력이 될 에너지의 안정적인 공급 및 확보를 위하여 자연에너지, 신에너지 및 재생 가능한 에너지원의 개발 및 보급이 본격적으로 시작되고 있다.[1,2] 특히 태양광을 중심으로 한 친환경적인 재생가능 에너지가 지구환경 문제의 해결 방안으로 이에 대한 기술개발이 본격적으로 진행되고 있다. PV(PV, Photovoltaic)시스템은 태양광모듈, PCS 등의 구성요소기기의 성능뿐만 아니라 일사강도 및 온도와 같은 환경변화에 따라서 발전 성능이 결정된다.[2] 실제 PV시스템의 손실저감을 통한 이용효율의 개선을 위해서는 신뢰성과 유효성을 가진 정량적인 평가분석 방법의 확립이 필요하다.[2,3] 본 논문에서는 국내에 설치 보급된 태양광모듈에 대해서 일사강도와 온도변화 등의 환경변화에 따른 발전성능을 예측할 수 있는 모델링 방법에 대해서 조사하였고 실제 측정값과 시뮬레이션 모델에 의한 예측치와 비교분석하여 모델링 방법의 신뢰성과 유효성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 태양전지 셀 및 태양광모듈 등가회로 모델

태양광모듈은 다수의 태양전지 셀을 직렬로 연결구성하여 실용적인 전압과 전류를 얻을 수 있는 발전장치이다. 태양광모듈은 태양광을 전기에너지로 변환하는 기능을 가진 최소단위인 태양전지 셀이 기본이 된다. 태양전지 셀은 p-n접합의 반도체소자로 구성되어 반도체 소자에 태양광이 입사되면 전기를 발생하는 광기전력 효과(Photovoltaic effect)를 이용한 것이다. 그림 1은 태양광의 입사시 광기전력 효과에 의한 태양전지 셀의 등가회로 모델을 보여준다.[4]



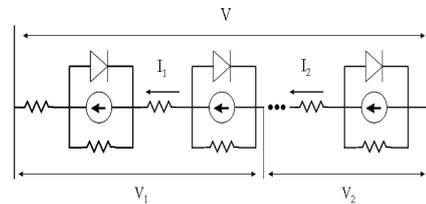
〈그림 1〉 태양전지 셀 등가회로 모델

그림 1의 태양전지의 출력전류 \$I\$는 온도 및 일사강도에 따른 5개의 파라미터에 의해서 수학적으로 계산된다. 일반적으로 실리콘 태양전지 셀의 경우 \$R_{sh} \gg R_s\$이므로 병렬저항 \$R_{sh}\$는 무한대로 가정할 수 있다. 이러한 조건에서 태양전지 셀의 출력전류 \$I\$는 다음의 식으로 나타낸다.

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

여기서 \$I_L\$은 광전류, \$I_o\$는 역포화전류, \$V\$는 태양전지 셀의 출력전압, \$A\$는 다이오드 곡선보정계수, \$R_s\$는 직렬저항 그리고 \$T_c\$는 표면온도이다.

그림 2는 태양광모듈의 등가회로 모델을 보여준다. 태양광모듈은 그림 1의 다수의 태양전지 셀의 등가회로 모델을 직렬 혹은 병렬로 연결 구성한 구조이다.



〈그림 2〉 태양광모듈 등가회로 모델

태양광모듈의 성능은 일반적으로 표준시험조건(STC, Standard test conditions)에서 평가한다. STC는 태양전지의 표면온도 25°C, 대기질량(AM, Air mass) 1.5이고 일사강도가 1kW/m²조건을 의미한다. 태양광모듈은 일사강도에 따른 출력전류와 출력전압의 특성이 I-V 특성은 비선형성을 가진다. 표면온도가 같고 일사강도가 변화하는 경우 단락전류는 일사강도에 비례하여 증가한다. 따라서 최대출력전력도 일사강도에 비례하여 증가한다. 반대로 일사강도가 같고 표면온도가 변화하는 경우 단락전류는 온도상승에 따라 비례하여 증가하지만 최대출력 전력은 온도상승에 반비례하여 감소된다.

2.2 태양광모듈 모델링

그림 1과 2로부터 태양광모듈의 출력전력 \$I\$는 Kirchoff 전류 법칙에 의해서 다음의 식으로 나타낸다.[4]

$$I = I_L - I_D \quad (2)$$

광전류 \$I_L\$은 일사강도와 온도에 비례한다. 따라서 STC에서의 \$I_L\$은 다음의 식으로 나타낸다.

$$I_L = \left(\frac{G_T}{G_{T,ref}} \right) [I_{L,ref} + \mu_{I,sc}(T_c - T_{c,ref})] \quad (3)$$

여기서 \$T_c\$는 표면온도, \$T_{c,ref}\$는 STC에서의 모듈온도인 25°C이다. \$G_{T,ref}\$는 STC에서 일사강도이고, \$G_T\$는 일사강도, \$\mu_{I,sc}\$는 단락전류의 온도계수, \$\epsilon\$는 밴드갭 에너지이다.

광전류와 역포화전류는 온도에 따라서 변화하므로 온도변화시 STC에서 역포화전류 \$I_o\$는 다음의 식으로 표현할 수 있다.[4,5]

$$I_o = I_{o,ref} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}} \right)^3 \times \exp\left[\left(\frac{\epsilon}{A} \right) \left(1 - \frac{T_{c,ref}}{T_c} \right) \right] \quad (4)$$

단락전류 온도계수 \$\mu_{I,sc}\$와 개방전압 온도계수 \$\mu_{V,oc}\$는 표준일사강도에서 측정된 값을 사용하면 다음의 식에서 얻을 수 있다.

$$\mu_{I,sc} = \frac{dI_{sc}}{dT} \cong \frac{I_{sc}(T_2) - I_{sc}(T_1)}{T_2 - T_1} \quad (5)$$

$$\mu_{V_{oc}} = \frac{dV_{oc}}{dT} \cong \frac{V_{oc}(T_2) - V_{oc}(T_1)}{T_2 - T_1} \quad (6)$$

여기서 T_2, T_1 은 표준온도범위에서의 측정온도이다.
다이오드 곡선보정계수 A 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

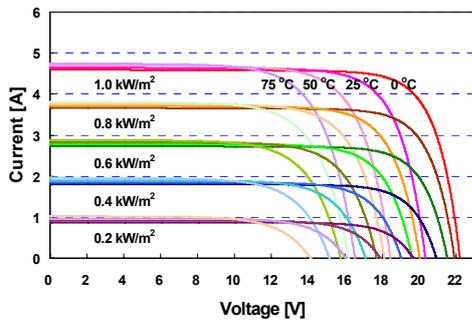
$$A = \frac{A_{ref} T_c}{T_{c,ref}} \quad (7)$$

$$A_{ref} = \frac{\mu_{V_{oc}} T_{c,ref} - V_{oc,ref} + \epsilon N_s}{\frac{\mu_{I_{sc}} T_{c,ref}}{I_{L,ref}} - 3} \quad (8)$$

STC에서의 태양광모듈의 개방전압 V_{oc} , 단락전류 I_{sc} , 최대출력전류 I_{mp} , 최대출력전압 V_{mp} , 단락전류 온도계수 $\mu_{I_{sc}}$ 그리고 개방전압 온도계수 $\mu_{V_{oc}}$ 를 사용하여 식(3), 식(4), 식(7)과 식(8)을 적용하면 일사강도 및 온도 변화에 따른 I_L, I_o 그리고 A 를 얻을 수 있다.

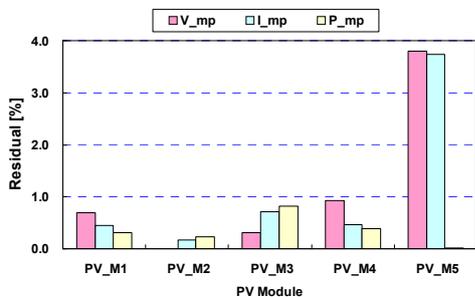
2.3 태양광모듈 성능해석 결과비교

그림 3은 태양광모듈의 등가회로 모델로부터 식(1)~식(8)을 이용하여 모델링하여 수치해석방법을 적용한 시뮬레이션한 결과인 일사강도 및 온도변화에 따른 태양광모듈의 I-V 특성곡선을 보여준다. 그림에서 보듯이 태양광모듈은 온도 및 일사강도가 증가할수록 단락전류는 조금 증가하지만 개방전압과 최대출력은 온도에 반비례하여 떨어진다.



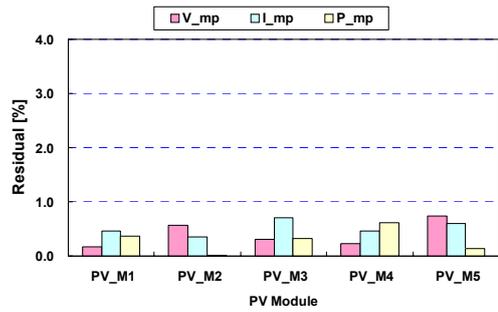
<그림 3> 태양광모듈 I-V 특성곡선

그림 4는 본 논문에서 제시한 태양광모듈의 모델링방법의 신뢰성과 유효성을 조사하기 위해서 STC조건에서 제조사별 태양광모듈의 사양서와 시뮬레이션 모델을 사용한 예측값의 간차를 비교한 결과를 보여준다. 비교 분석에 사용된 태양광모듈은 5개 모델로 단결정 혹은 다결정 실리콘 태양전지 36개를 직렬연결로 구성되고 공칭출력전력은 53W에서 80W까지의 범위를 가진다. 그림에서 보듯이 PV_M1에서 PV_M4경우 최대출력전압, 전류 및 전력의 간차는 1%이하로 비교적 정확하게 예측한다. PV_M5의 경우는 다른 태양광모듈과 비교해서 간차가 크다는 것을 알 수 있다. 간차가 크면 PV시스템의 정량적인 평가분석 결과에 있어 오류가 발생할 수 있다.



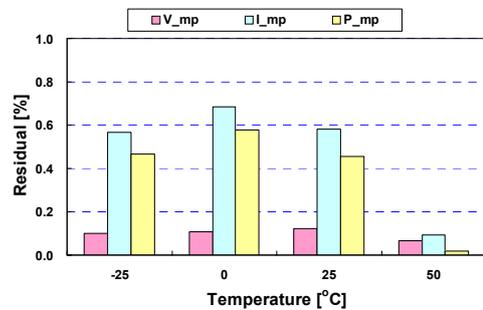
<그림 4> 태양광모듈 성능해석 결과비교(사양서)

그림 5는 성능시험장치를 이용하여 STC에서 측정된 태양광모듈의 실측값과 시뮬레이션 모델에 의한 예측값사이의 간차를 비교한 결과를 보여준다. 그림에서 보듯이 비교대상인 태양광모듈의 간차가 1%이하로 사양서에 의한 비교결과보다 더 정확하게 예측한다는 것을 알 수 있다.



<그림 5> 태양광모듈 성능해석 결과비교(실측값)

그림 6은 일사강도 1kW/m2에서 온도변화에 따른 태양광모듈의 사양서와 시뮬레이션 모델을 사용한 예측값의 간차를 비교한 결과를 보여준다. 적용모델은 Shell 70으로 비교 분석결과 온도변화시 간차가 모두 0.8%이하로 온도변화에 대해서 태양광모듈의 발전성능을 정확하게 예측할 수 있다는 것을 확인하였다. 이러한 결과로부터 다양한 일사강도 및 온도변화에 따른 태양광모듈의 성능을 해석할 수 있는 모델링 방법의 신뢰성과 유효성을 확인하였다.



<그림 6> 온도변화시 태양광모듈 성능해석 결과비교

3. 결 론

국내에 다양한 PV시스템들 존재하지만 설치환경 및 설계시공에 따라서 발전성능은 변화된다. 따라서 PV시스템의 성능특성을 정량적인 값으로 나타내기 위한 모델링 및 평가분석방법의 개발이 요구된다. 본 논문에서는 신뢰성과 정확성을 가진 정량적인 평가분석방법 개발의 첫 단계로 일사강도와 온도변화에 따른 태양광모듈의 모델링을 통해서 성능해석을 수행하였고 이에 대한 결과비교를 통해서 적용가능성에 대해서 비교 검토하였다.

후 기

본 논문은 지식경제부 신·재생에너지기술개발사업의 일환으로 (2006-N-PV12-P-04)의 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 소정훈, 정영석, 유병규, 유권중, 최주엽, "PV시스템 최적화를 위한 손실요인 분석", 전력전자학회 논문집, 11권 1호, pp. 22-28, 2006
- [2] 소정훈, 유병규, 황혜미, 유권중, 최주엽, "50kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 성능모니터링 결과 및 평가분석", 한국태양에너지학회 논문집, 27권 2호, pp.29-35, 2007
- [3] N. M. Pearsall, H. Scholz, T. Zdanowicz and C. Reise, "PV system assesment in performance - toward maximum system output", 22nd European PSEC, pp.2574-2579, 2006.
- [4] R. Chenni, M. Makhlouf, T. Kerbache and A. Bouzid "A detailed modeling method for photovoltaic cells", Energy, Vol. 32, issue 9, pp.1724-1730, 2007.
- [5] J. A. Duffie and W. A. Beckman, "Solar engineering of thermal process", Wiley-Interscience Pub. second edition, pp.768-787, 1991.