

Performance Simulation Results for Photovoltaic Module Modeling

蘇 楨 訓^{*} · 兪 炳 圭^{*} · 黃 諶 美^{*} · 劉 權 鍾^{*} · 崔 宙 燁^{**}
 (Jung-Hun So · Byung-Gyu Yu · Hye-Mi Hwang · Gwon-Jong Yu · Ju-Yeop Choi)

Abstract - Photovoltaic (PV) modules operate over a large range of conditions but manufacturer's information is not sufficient to determine their overall performance. Designers need a reliable tool to predict energy production from a photovoltaic module under all conditions in order to make a sound decision. The modeling method of photovoltaic (PV) module are useful to perform detailed analysis of PV system 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 indicates a modeling approach of PV module performance in terms of meteorological conditions and identifies validity of PV modules modeling by comparing measured with simulated value.

Key Words : Photovoltaic, Performance, Modeling, Model parameter, Numerical analysis

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 시작되면서 미래에너지의 흐름은 신재생에너지의 시대로 전환될 것이다[1]. 특히 태양광발전(PV, Photovoltaic)을 중심으로 한 친환경적인 재생가능 에너지가 지구환경 문제의 해결 방안으로 급격하게 대두되면서 이에 대한 기술개발과 함께 이용보급이 전세계적으로 확대되고 있다. PV시스템은 실제 옥외에 설치되어 운전하기 때문에 PV모듈, PV용 인버터 등의 구성요소기기의 성능뿐만 아니라 일사강도 및 온도 등의 환경변화에 의해서 발전성능이 결정된다[1,2].

PV모듈은 일반적으로 표준시험조건(STC, Standard test conditions)인 일사강도 1kW/m^2 , 모듈표면온도 25°C , AM (Air mass) 1.5인 기준 스펙트럼에서 발전성능을 정격출력으로 결정된다. 실제 옥외에서는 일사강도를 받는 PV모듈의 온도는 맑은 날의 외기온도와 비교하면 $20^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 정도 높다. 또한 일사강도도 변화되므로 동일한 PV모듈에 대해서도 발전성능이 다르기 때문에 STC에서의 사양만으로는

태양광모듈의 발전성능을 예측하고 PV시스템의 운전시 발생하는 문제점을 정확하게 진단평가 하는 것은 매우 어렵다 [1]. 따라서 일사강도 및 온도 등의 환경변화에 대해서 PV모듈의 정교한 모델링을 통해서 발전성능을 예측할 수 있다면 PV시스템의 손실저감을 통한 이용효율의 개선, 설계구성의 최적화 및 다양화 복잡화되는 PV시스템의 신뢰성과 유효성을 가진 정량적인 진단평가 방법의 개발과 함께 성능과 품질을 보증할 수 있는 사후유지관리 기술의 확립이 가능하다[2,4,5].

본 논문에서는 국내에 실제 설치 보급된 5개의 PV모듈을 대상으로 하여 일사강도와 온도의 변화에 대해서 수치해석을 이용한 발전성능을 모의할 수 있는 정교한 모델링 방법을 제시하여 PV모듈의 사양, 발전성능 시험장치인 Solar Simulator에서 측정된 실측값과 성능모의한 예측값을 비교 분석하여 제시한 PV모듈 모델링 방법의 정밀도와 유효성을 확인하였다.

2. PV모듈 모델링

2.1 등가회로

PV모듈은 다수의 태양전지 셀을 직병렬로 연결구성하여 실용적인 전압과 전류를 얻을 수 있는 발전장치로 일사강도 및 온도변화에 따라서 발전성능이 결정된다. 태양빛을 전기에너지로 변환하는 기능을 가진 최소단위인 태양전지 셀이 기본이 된다. 태양전지 셀은 p-n접합의 반도체소자로 구성되어 반도체 소자에 태양광이 입사되면 반도체 내부에 새로운 전자와 정공이 발생하여 접합부 전계에 끌려 전자는 n측으로 정공은 p측으로 새로운 전류흐름이 생겨 접합부 양단의 전위차가 작아진다. 즉 반도체소자가 태양빛을 흡수하면 전기를 발생하는 원리인 광기전력 효과(Photovoltaic effect)를 이용한 것이다. 그림 1은 태양빛의 입사시 광기전

* 正 會 員 : 韓國에너지技術研究院 太陽光發電研究中心
 ** 正 會 員 : 光云大 電氣工學科 教授/工博
 † 교신저자, 正會員 : 韓國에너지技術研究院 太陽光發電研究中心/工博

E-mail : jhso@kier.re.kr

接受日字 : 2008年 6月 23日

最終完了 : 2008年 10月 14日

력 효과에 의한 태양광전지 셀의 등가회로를 보여준다[2,3].

그림에서 보면 태양전지 셀의 출력전류 I 는 5개의 모델파라미터에 의해서 계산할 수 있다. 태양전지 셀의 I-V 특성은 온도 및 일사강도의 변화에 따라서 모델 파라미터값도 일정하지 않고 변화한다.

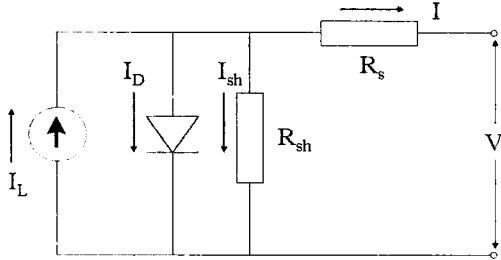


그림 1 태양전지 셀의 등가회로
Fig. 1 Equivalent circuit of solar cell

그림 1의 태양전지 셀의 등가회로에서 태양전지 셀의 출력전류 I 는 다음의 식으로 나타낸다.

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

$$A = N_s d_s k / q \quad (2)$$

여기서 I_L 은 광전류, I_o 는 역포화전류, V 는 태양전지 셀의 출력전압, A 는 다이오드 곡선보정계수, R_s 는 직렬저항, R_{sh} 는 병렬저항, T_c 는 표면온도, N_s 는 직렬개수, d_s 은 다이오드 이상계수, k 는 볼츠만 상수 그리고 q 는 전하량이다.

일반적으로 실리콘 태양전지 셀의 경우 $R_{sh} \gg R_s$ 이므로 R_{sh} 는 무한대로 가정할 수 있다. 이러한 조건에서 식 (1)의 태양전지 셀의 I-V 특성을 다시 표현하면 식 (3)로 나타낸다[3,4].

$$I = I_L - I_o \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{AT_c}\right) - 1 \right] \quad (3)$$

PV모듈은 태양전지 셀의 등가회로와 동일한 구조이며 일사강도와 온도의 변화에 따라서 I-V 특성곡선은 전기적으로 비선형성을 가진다. 표면온도가 같고 일사강도가 변화하는 경우 단락전류는 일사강도에 비례하여 증가하므로 최대출력 전력도 일사강도에 비례하여 증가한다. 반대로 일사강도가 같고 표면온도가 변화하는 경우 단락전류는 온도상승에 따라 비례하여 증가하지만 최대출력전력은 온도상승에 반비례하여 감소한다.

2.2 모델링 방법

일사강도 및 온도 변화시 PV모듈의 I-V 특성곡선은 식 (3)의 모델파라미터인 I_L , I_o , R_s , 그리고 A 에 결정되므로 STC에서 제시된 PV모듈의 단락전류 I_{sc} , 개방전압 V_{oc} , 최

대출력전류 I_{mp} , 그리고 최대출력전압 V_{mp} 를 적용하여 수치 해석에 의한 성능모의를 수행하여 I-V 특성곡선을 구한다.

STC에서 단락시 I_o 는 매우 작아 거의 0이므로 I_{sc} 는 I_L 과 같다고 가정하면 I_{sc} 는 다음의 식으로 나타낸다.

$$I_L = I_{sc} \quad (4)$$

STC에서 개방시 I 는 0 이므로 식 (3)로부터 STC에서의 $I_{o,ref}$ 는 다음의 식으로 정의한다.

$$I_{o,ref} = \frac{I_L}{\left[\exp\left(\frac{V_{oc}}{AT_{c,ref}}\right) - 1 \right]} \quad (5)$$

여기서 $I_{o,ref}$ 는 STC에서의 PV모듈의 역포화전류이고 $T_{c,ref}$ 는 STC에서의 표면온도인 25°C이다.

PV모듈의 역포화 전류 I_o 는 재료특성과 온도와의 관계로 표현하면 다음의 식으로 나타낸다[4,5].

$$I_o = DT_c^3 \exp\left(-\frac{\epsilon_g}{AT_c}\right) \quad (6)$$

여기서 D 는 상수, ϵ_g 재료의 밴드갭 에너지이다.

식 (6)로부터 I_o 은 온도변화시의 비율로 계산되므로 D 는 고려하지 않는다. 따라서 I_o 는 온도와 식(5)에서 계산한 $I_{o,ref}$ 와의 관계로 부터 다음의 식으로 나타낸다[2-5].

$$I_o = I_{o,ref} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}}\right)^3 \times \exp\left[\left(\frac{\epsilon_g}{A}\right)\left(\frac{1}{T_{c,ref}} - \frac{1}{T_c}\right)\right] \quad (7)$$

STC에서 최대출력점(MPP, Maximum power point)에서의 I_{mp} 와 V_{mp} 를 식 (4)의 I_L 과 식 (5)의 $I_{o,ref}$ 와 함께 식 (3)에 대입하여 정리하면 R_s 는 다음의 식으로 나타낸다[3,4].

$$R_s = \frac{AT_{c,ref} \ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right) - V_{mp} + V_{oc}}{I_{mp}} \quad (8)$$

I_L 은 일사강도와 온도와의 관계로부터 결정되므로 다음의 식으로 나타낸다.

$$I_L = \left(\frac{G_T}{G_{T,ref}}\right) [I_{L,ref} + \mu_{I,sc}(T_c - T_{c,ref})] \quad (9)$$

여기서 G_T 는 일사강도, $G_{T,ref}$ 는 STC에서 일사강도인 1kW/m² 그리고 $\mu_{I,sc}$ 는 단락전류의 온도계수이다.

단락전류 온도계수 $\mu_{I,sc}$ 와 개방전압 온도계수 $\mu_{V,oc}$ 는 표준 일사강도에서 온도변화시 측정된 단락전류와 개방전압과의 관계로부터 다음의 식으로 나타낸다[3,5].

$$\mu_{I,sc} = \frac{dI_{sc}}{dT} = \frac{I_{sc}(T_2) - I_{sc}(T_1)}{T_2 - T_1} \quad (10)$$

$$\mu_{V,oc} = \frac{dV_{oc}}{dT} \cong \frac{V_{oc}(T_2) - V_{oc}(T_1)}{T_2 - T_1} \quad (11)$$

여기서 T_2, T_1 은 표준온도범위에서의 측정온도이다.

$\mu_{V,oc}$ 은 STC에서의 모델파라미터를 사용하면 다음의 식으로 나타낸다[4,5].

$$\mu_{V,oc} = A \left[\ln \left(\frac{I_{sc,ref}}{I_{o,ref}} \right) + \frac{T_c \mu_{I,sc}}{I_{sc,ref}} - \left(3 + \frac{\epsilon_g}{A} \right) \right] \quad (12)$$

2.3 성능모의 프로그램

일사강도 및 온도 변화시 모델파라미터인 I_o, I_L, R_s 그리고 A 는 식 (4)- 식(9)으로부터 구할 수 있다. 태양광모듈의 모델링에 의한 성능모의 방법에는 수치해석방법과 분석모형을 이용한 모델파라미터 추정방법이 있다. 모델파라미터 추정방법은 간단하고 양호한 정밀도를 가지고 있지만 고려되어야 할 파라미터가 많기 때문에 범용성을 가지기 어렵다. 수치해석방법으로는 Newton-Laphson방법을 많이 사용하고 있으나 다양한 종류의 태양광모듈에 대해서는 정밀도가 떨어지므로 모델파라미터 추정방법과 병행하여 사용하고 있다. 본 논문에서는 수치해석방법인 4차 Runge-kutta 방법을 사용하여 태양광모듈의 사양정보만으로 간단하게 I-V특성곡선을 성능모의할 수 있고 양호한 정밀도와 범용성을 가진 모델링 방법을 사용하여 성능모의를 수행하였다[2,6].

그림 2는 범용 프로그램인 Labview을 사용하여 일사강도 및 온도변화시 PV모듈의 I-V 특성곡선을 모의하기 위해서 해석모형을 적용하여 설계한 성능모의 프로그램을 보여준다.

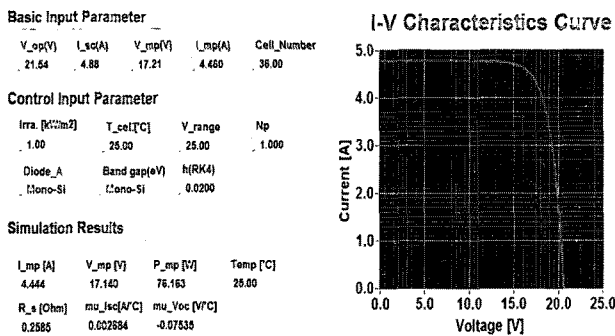


그림 2 PV모듈 성능모의 프로그램
Fig. 2 Simulation program of PV module

그림 3은 일사강도 및 온도변화시 PV모듈의 I-V 특성곡선을 모의하기 위해서 설계된 성능모의 프로그램을 사용하여 수치해석한 결과를 보여준다. 그림에서 보듯이 PV모듈은 온도 및 일사강도가 증가할수록 단락전류는 증가하지만 개방전압과 최대출력은 일사강도 및 온도에 반비례하여 감소한다.

3. PV모듈 성능모의 결과비교

3.1 성능모의 대상 PV모듈

그림 3은 본 논문에서 제시한 PV모듈의 모델링 방법을 이용한 성능모의 결과의 정밀도와 유효성을 검증하기 위해서 5개의 PV모듈에 대해서 성능모의한 결과를 비교분석하였다. 성능모의에 사용된 PV모듈의 세부사양과 모델파라미터를 정리하면 표 1과 같다. 표에서 제시된 사양은 STC에서의 PV모듈의 출력값이고 실리콘 다결정 혹은 단결정 태양전지 셀 36매를 직렬로 연결 구성하였고 정격출력은 53W급에서 80W급이다.

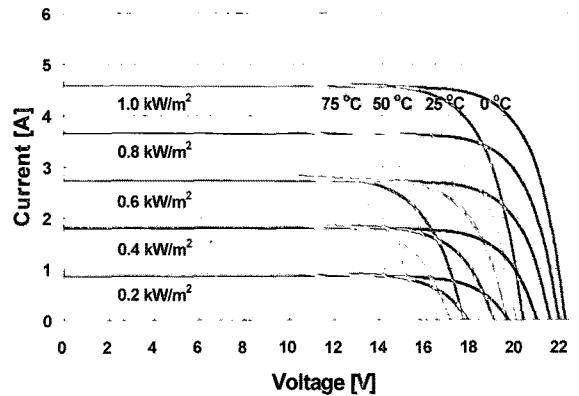


그림 3 PV모듈 I-V 특성곡선
Fig. 3 I-V Characteristics curves of PV module

표 1 성능해석에 적용된 PV모듈
Table 1 PV module for performance simulation

| 항목 | PV_M1 | PV_M2 | PV_M3 | PV_M4 | PV_M5 |
|--------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| P_{mp} (W) | 77 | 53 | 68 | 75 | 80 |
| V_{oc} (V) | 21.54 | 21.7 | 21.2 | 21.8 | 22.1 |
| I_{sc} (A) | 4.88 | 3.35 | 4.7 | 4.75 | 4.8 |
| V_{mp} (V) | 17.21 | 17.4 | 16.2 | 17.3 | 17.6 |
| I_{mp} (A) | 4.46 | 3.05 | 4.23 | 4.35 | 4.55 |
| Cell type | 다결정 | 단결정 | 단결정 | 다결정 | 다결정 |
| d_l | 1.4 | 1.35 | 1.35 | 1.4 | 1.4 |
| N_s | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| k | 1.36×10^{-23} | | | | |
| q | 1.60×10^{-19} | | | | |
| ϵ_0 | 1.14 | 1.12 | 1.12 | 1.14 | 1.14 |

PV모듈의 성능모의 결과를 비교분석 하기위해서 사용된 잔차는 다음의 식으로 나타낸다.

$$R_{PV} = \frac{|P_{PV,STC(Meas)} - P_{PV,Esti}|}{P_{PV,STC(Meas)}} \quad (13)$$

여기서 R_{PV} 는 잔차, $P_{PV,STC(Meas)}$ 는 PV모듈의 사양 혹은 실측값, $P_{PV,Esti}$ 는 성능모의한 예측값이다.

3.2 성능모의 결과비교

그림 4는 표 1의 PV모듈의 사양과 제시한 모델링과 함께 성능모의한 예측값인 P_{mp} , V_{mp} 및 I_{mp} 의 잔차를 보여준다.

그림에서 보면 PV_M1에서 PV_M4의 경우 P_{mp} , V_{mp} 및 I_{mp} 에 대한 잔차는 모두 1% 이하로 정확하게 예측함으로써 제시한 모델링 방법의 정밀도와 유효성을 확인하였다. PV_M5의 경우는 P_{mp} 의 잔차는 0.01%이나 V_{mp} 와 I_{mp} 는 잔차가 3.8%이상으로 다른 4개의 PV모듈과 비교해서 잔차가 크다. 이것은 PV모듈의 사양정보의 오류나 제조상의 결함으로 최대전압과 전류가 사양서에서 제시한 출력값을 가지지 못한다는 것을 고려할 수 있다. 따라서 PV_M5의 V_{mp} 와 I_{mp} 의 잔차가 큰 원인을 조사하기 위해서 PV모듈의 발전 성능 시험장치인 Solar Simulator를 사용하여 STC에서 측정된 PV모듈의 실측값을 적용하여 성능모의한 결과에 대해서 비교분석하였다.

그림 5는 Solar Simulator를 사용하여 5개 PV모듈을 STC에서 측정한 실측값과 성능모의한 예측값사이의 P_{mp} , V_{mp} 및 I_{mp} 의 잔차를 보여준다. 그림에서 보듯이 실측값과 예측값의 잔차가 5개의 PV모듈 모두 1%이하로 사양서에 의한 성능모의 결과보다 잔차가 작다는 것을 확인하였다.

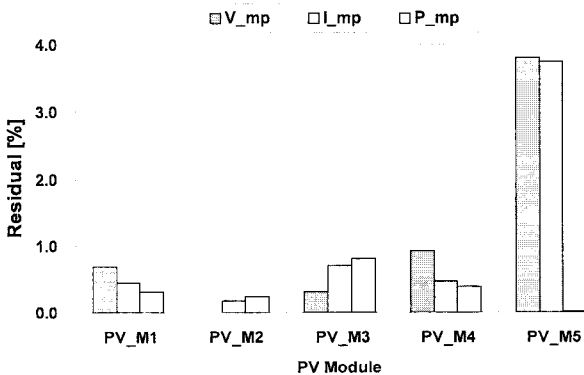


그림 4 PV모듈 잔차 (사양서)

Fig. 4 Residuals of PV module (Specified value)

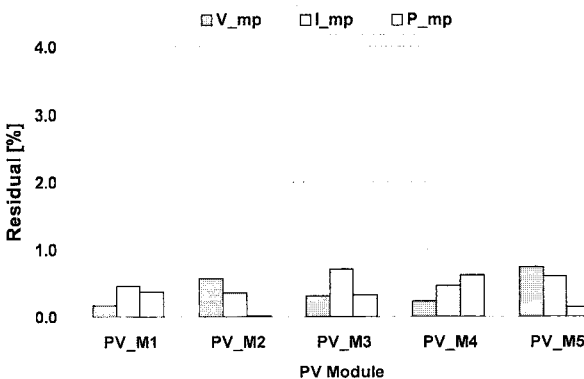


그림 5 PV모듈 잔차 (실측값)

Fig. 5 Residuals of PV module (Measured Value)

PV모듈의 성능모의 결과로부터 본 논문에서 제시한 모델링 방법은 PV모듈의 발전 성능을 정확하게 예측한다는 것을

확인하였고 실제 PV시스템에서의 성능저하 및 발생손실 등의 정량적인 성능진단에 있어서도 정밀도와 유효성을 가질 수 있다.

STC에서 PV모듈의 사양, 실측값과 성능모의한 예측값과의 잔차를 종합적으로 정리하면 표 2와 표 3과 같다.

표 2 PV모듈의 성능모의 결과비교 (사양서)

Table 2 Performance comparison results of PV module (Specified value)

| 사양서 | PV_M1 | PV_M2 | PV_M3 | PV_M4 | PV_M5 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P_{mp} (W) | 77 | 53 | 68 | 75 | 80 |
| V_{mp} (V) | 17.21 | 17.4 | 16.2 | 17.3 | 17.6 |
| I_{mp} (A) | 4.46 | 3.05 | 4.23 | 4.35 | 4.55 |
| 예측값 | PV_M1 | PV_M2 | PV_M3 | PV_M4 | PV_M5 |
| P_{mp} (W) | 76.99 | 53.2 | 69.0 | 75.54 | 80.07 |
| V_{mp} (V) | 17.33 | 17.4 | 16.15 | 17.46 | 18.27 |
| I_{mp} (A) | 4.44 | 3.06 | 4.26 | 4.33 | 4.38 |
| 잔차 | PV_M1 | PV_M2 | PV_M3 | PV_M4 | PV_M5 |
| P_{mp} (%) | 0.31 | 0.24 | 0.82 | 0.38 | 0.01 |
| V_{mp} (%) | 0.69 | 0.00 | 0.31 | 0.92 | 3.81 |
| I_{mp} (%) | 0.45 | 0.16 | 0.71 | 0.46 | 3.74 |

표 3 PV모듈의 성능모의 결과비교 (실측값)

Table 3 Performance comparison results of PV module (Measured Value)

| 측정값 | PV_M1 | PV_M2 | PV_M3 | PV_M4 | PV_M5 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P_{mp} (W) | 74.39 | 49.55 | 68.43 | 72.45 | 77.87 |
| V_{mp} (V) | 17.30 | 17.51 | 16.10 | 16.85 | 17.44 |
| I_{mp} (A) | 4.30 | 2.83 | 4.25 | 4.30 | 4.47 |
| 예측값 | PV_M1 | PV_M2 | PV_M3 | PV_M4 | PV_M5 |
| P_{mp} (W) | 74.67 | 49.56 | 68.65 | 72.90 | 77.98 |
| V_{mp} (V) | 17.27 | 17.41 | 16.05 | 16.89 | 17.57 |
| I_{mp} (A) | 4.32 | 2.84 | 4.28 | 4.32 | 4.44 |
| 잔차 | PV_M1 | PV_M2 | PV_M3 | PV_M4 | PV_M5 |
| P_{mp} (%) | 0.37 | 0.01 | 0.32 | 0.61 | 0.14 |
| V_{mp} (%) | 0.17 | 0.57 | 0.31 | 0.24 | 0.74 |
| I_{mp} (%) | 0.46 | 0.35 | 0.71 | 0.46 | 0.60 |

그림 6과 7은 STC에서 일사강도와 온도변화시 PV모듈의 사양과 성능모의한 예측값과의 잔차를 비교분석한 결과를 보여준다. 비교대상 모델은 Shell solar사의 70W급 단결정 PV모듈인 SP70을 적용하였다. 그림에서 보면 온도가 $-25^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 로 변화시 P_{mp} , V_{mp} 및 I_{mp} 의 잔차가 모두 0.8% 이하이고 일사강도 $1000\text{W}/\text{m}^2 \sim 600\text{W}/\text{m}^2$ 로 변화시 P_{mp} , V_{mp} 및 I_{mp} 의 잔차가 모두 1.0%이하이다. 또한 STC에서 Shell solar사의 CIS 박막모듈인 ST40(40W급)와 Uni-solar

의 아몰퍼스 박막모듈인 US-64(64W급)의 사양과 성능모의 한 예측값과의 잔차를 비교분석한 결과 ST40의 P_{mp} , V_{mp} 및 I_{mp} 의 잔차는 각각 0.1%, 1.2%와 1.1%이고 US-64의 P_{mp} , V_{mp} 및 I_{mp} 의 잔차는 각각 0.2%, 0.2% 그리고 0.5%이다. 본 논문에서 제시한 모델링 방법은 일사강도 및 온도 변화에 대해서도 PV모듈의 발전성능을 정확하게 예측한다는 것을 확인하였다.

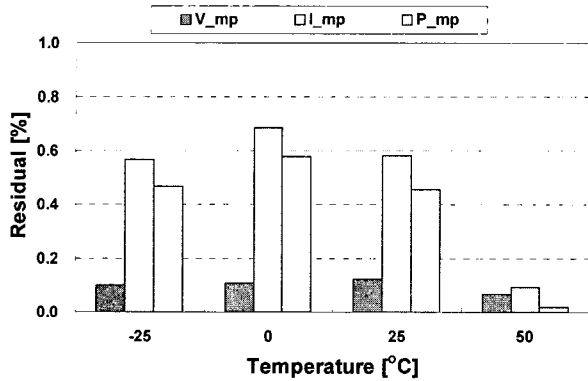


그림 6 온도변화시 PV모듈 성능모의 결과 비교
Fig. 6 Performance comparison results of PV module for temperature change

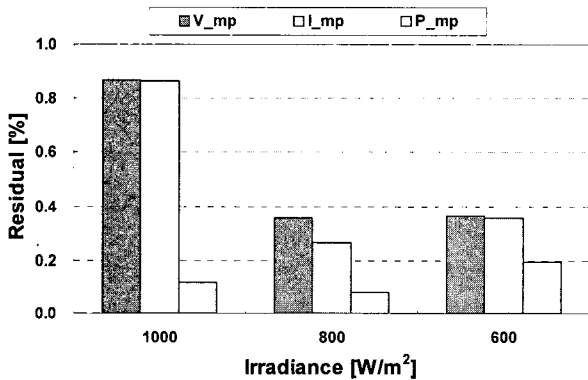


그림 7 일사강도 변화시 PV모듈 성능모의 결과 비교
Fig. 7 Performance comparison results of PV module for irradiance change

4. 결 론

PV시스템은 동일한 PV모듈 및 PV용 인버터를 사용하더라도 설치환경 및 설계시공에 따라서 발전성능은 변화된다. 따라서 다양화 복잡화 되는 PV시스템의 성능특성을 정량적인 값으로 제시하기 위해서는 모델링과 진단평가 기술의 개발이 무엇보다도 중요하다. 본 논문에서는 신뢰성을 가진 진단평가 기술개발을 위해서 일사강도와 온도변화시 PV모듈의 발전성능을 해석할 수 있는 정교한 모델링과 함께 수치해석에 의한 성능모의 결과를 비교분석하여 제시한 모델링 방법의 정밀도와 유효성을 확인하였다.

PV시스템의 발생손실인 그늘과 미스매치는 시스템의 성능저하 뿐만 아니라 심각한 문제점의 주요 원인이 되므로

이에 대한 모델링과 진단평가 기법에 대해서 향후 연구할 계획이다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- [1] 소정훈, 정영석, 유병규, 유권중, 최주엽, "PV시스템 최적화를 위한 손실요인 분석", 전력전자학회 논문지, Vol. 11, No. 4. pp22-28, 2006.
- [2] W. Desoto, S. A. Klein and W.A. Beckman, "Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance", Solar Energy, Volume 80, Issue 1, Pages 78-88, 2006
- [3] Q. Kou, S. A. Klein and W. A. Beckman, "A method for estimating the long-term performance of direct-coupled PV pumping systems", Solar Energy, Volume 64, Issues 1-3, pp 33-40, 1998
- [4] R. Chenni, M. Makhlof, T. Kerbache and A. Bouzidura, "A detailed modeling method for photovoltaic cells", Energy, Volume 32, Issues 9, 1 pp 1724-1730, 2007.
- [5] J. D. Modol, Y. G. Yohanis and B. Norton, "Comparison of measured and predicted long term performance of grid a connected photovoltaic system", Energy Conversion and Management, Volume 48, Issue 4, pp 1065-1080, 2007.
- [6] W. H. Press, B. P. Flannery, S. A. Teukolsky and W. T. Vetterling, "Numerical Recipes in C : The Art of Scientific Computing", Cambridge University Press, 2nd Edition, pp. 710 - 715, 1992.

저 자 소 개



소 정 훈 (蘇 楨 訓)

1970년 5월 4일생. 1994년 영남대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 광운대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996년~현재 한국에너지기술연구원 태양광 발전연구센터 선임연구원.

Tel : 042-860-3371

Fax : 042-860-3739

E-mail : jhso@kier.re.kr



유 병 규 (兪炳圭)

1976년 8월 31일생. 2002년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 한국과학기술원 대학원 전자전산학과 졸업(석사). 2004년~현재 한국에너지기술연구원 태양광 발전연구센터 연구원.

Tel : 042-860-3411

E-mail : bgyuyu@kier.re.kr



황 혜 미 (黃 諤 美)

1979년 7월 9일생. 2002년 강원대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 강원대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년~현재 한국에너지기술연구원 태양광발전연구센터 연구원.

Tel : 042-860-3319

E-mail : hyemi@kier.re.kr



유 권 중 (劉 權 鍾)

1954년 8월 5일생. 1982년 조선대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1985년 일본 KOBE대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동대학원 전기공학과 졸업(공학). 1990년~현재 한국에너지기술연구원 태양광발전연구센터 센터장.

Tel : 042-860-3417

E-mail : y-gj@kier.re.kr



최 주 엽 (崔 宙 燁)

1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1990년 Texas Univ. 졸업(석사). 1994년 Virginia Tech. Elec. Eng. 졸업(공학). 1995년~1999년 한국과학기술연구원 지능제어연구센터 선임연구원. 2000년~현재 방운대 전기공학과 조교수.

Tel : 02-940-5143

E-mail : juyeop@daisy.kwangwoon.ac.kr