

# 주변온도와 일사량을 고려한 PV Cell의 전기적 특성 분석

박현아<sup>1</sup>, 김효성<sup>†</sup>

## Analysis on Electrical Characteristics of PV Cells considering Ambient Temperature and Irradiance Level

Hyeonah Park<sup>1</sup> and Hyosung Kim<sup>†</sup>

### Abstract

When analyzing economic feasibility for installing a PV generation plant at a certain location, the prediction of possible annual power production at the site using the target PV panels should be conducted on the basis of the local weather data provided by a local weather forecasting office. In addition, the prediction of PV generating power under certain weather conditions is useful for fault diagnosis and performance evaluation of PV generation plants during actual operation. This study analyzes PV cell characteristics according to a variety of weather conditions, including ambient temperature and irradiance level. From the analysis and simulation results, this work establishes a proper model that can predict the output characteristics of PV cells under changes in weather conditions.

**Key words:** PV generation, Annual production estimation, PV cell characteristics, Weather conditions, Fault diagnosis, Performance evaluation.

### 1. 서 론

반도체를 사용한 PV Cell에는 결정형, 박막형 및 두 종류를 조합한 Tandem형 등 다양한 종류가 있으며, 각각의 재질에 따라 고유한 비선형적인 I-V 특성곡선을 갖는다. 상용 PV Cell의 효율은 약 10%~25%로 효율이 극히 낮으므로 특성을 잘 파악하여 성능을 극대화한 운전할 필요가 있다. PV Cell 제조사에서 제공하는 데이터시트에는 표준시험 조건(Standard Test Condition)인 일사량  $1000\text{W/m}^2$ , 주변온도  $25^\circ\text{C}$ , Air mass 1.5에 대한 출력특성 및 공칭운전 셀온도 조건(Nominal Operating Cell Temperature)인 일사량  $800\text{W/m}^2$ , 주변온도  $47^\circ\text{C}$ , Air mass 1.5에서의 출력특성을 제공한다. 그러나 실제로 외부현장에서 운전할 때 PV Cell은 통상적으로 다양한 PV Cell 온도 및 일사량 조건에서 운전되며, PV Cell의 온도는 주로 일사량과 주변온도, 풍속

등의 환경적 요인에 의해 결정된다<sup>[1]-[9]</sup>.

특히, PV Cell은 다른 반도체 소자와 같이 온도에 민감하다. PV Cell의 온도 증가에 의해 가장 영향 받는 인자는 발전전압이다. PV Cell의 발전전압은 온도에 반비례하는 특성이 있어 PV Cell의 온도 상승시 출력이 저하되는 주요 원인이 된다. 따라서, 이러한 환경적 요인을 통제할 수 없는 외부현장에서 제조사에서 제공하는 표준시험조건을 만족하는 PV Cell의 특성을 재현하는 실험결과를 도출하는 것은 불가능하다. 다시 말해, 제조사에서 제공하는 표준시험조건을 만족하는 PV Cell의 특성을 재현하기 위해서는 바람이 불지 않고, 공조장치에 의하여 PV Cell의 표면온도를 일정하게 유지하며, 인공조명에 의하여 일사량을 일정하게 유지하는 실험실 환경에서만 가능하다. 그러나 인공조명의 스펙트럼 분포는 자연광과 같을 수 없으므로 실제적인 PV Cell의 특성을 반영한 실험결과를 얻을 수는 없는 것이다.

실제적인 자연광 상태에서 PV Cell의 특성을 모델링하기 위해서는 태양광의 세기와 바람의 속도, 주변온도 및 습도 등의 날씨 환경에 따라 PV Cell의 표면온도가 어떻게 반응하는지에 대한 열적모델의 수립이 필요하다. 이와 같이 외부환경이 실제적으로 반영된 PV Cell 모델링을 할 수 있다면, 원하는 지역의 날씨정보에 대한 다양한 PV Cell의 종류에 따른 연간 발전량을 예측하여

Paper number: TKPE-2016-21-6-4

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

<sup>†</sup> Corresponding author: hyosung@kongju.ac.kr, Div. of Electrical, Electronic and Control Eng., Kongju National University  
Tel: +82-41-521-9167 Fax: +82-41-563-3689

<sup>1</sup> Ultrasonic R&D Lab, Durasonic Co., Ltd

Manuscript received Oct. 21, 2015; revised Jan. 6, 2016; accepted Oct. 4, 2016

— 본 논문은 2015년 전력전자학술대회 외부장학금 수혜논문임

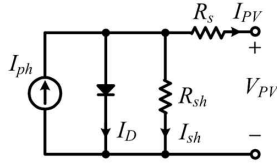


Fig. 1. Single-diode equivalent circuit of the PV Cell.

태양광발전소를 설치하기위한 사업타당성을 분석할 때 유용하게 사용될 수 있다. 또한 기 설치된 태양광발전소의 운전 중에 발생하는 사고로 인한 발전량의 저하를 실시간으로 빠르게 찾거나, 원인을 분석하여 문제를 해소하는 도구로 사용될 수 있다.

본 논문에서는 주변온도, 풍속, 일사량이 PV Cell의 동작 온도에 미치는 영향을 확인하고 그에 따른 출력의 변화를 분석하여, 날씨변화에 대하여 출력특성이 예측 가능한 PV Cell 모델을 수립한다.

## 2. 대기환경에 따른 PV Cell 동작 온도 특성

### 2.1 PV Cell의 전기적 등가회로 특성

PV Cell은 전기적으로 다이오드 상수( $I_0$ ,  $v_t$ )와 광전류원( $I_{ph}$ ) 그리고 직렬저항( $R_s$ ) 및 션트저항( $R_{sh}$ )의 5개 요소로 모델링이 가능하다. PV Cell 등가회로는 그림 1과 같으며, 등가회로를 기반으로 한 PV Cell의 전류 특성방정식은 식 (1)과 같다.

$$I_{PV} = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{V_{PV} + I_{PV} R_s}{n_s v_t}} - 1 \right) - \frac{V_{PV} + I_{PV} R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

$I_{ph}$ : Current generated by the incident light

$I_0$ : Diode saturation current

$R_{sh}$ : Cell parallel(shunt) resistance

$R_s$ : Cell series resistance

$n_s$ : Number of PV Cells connected in series

$v_t$ : Ideal unit Cell thermal voltage ( $=akT/q$ )

$a$ : diode quality (ideality) factor

$k$ : Boltzmann's constant( $1.381 \times 10^{-23}$ )

$q$ : Charge of the electron( $1.602 \times 10^{-19}$ )

$T$ : Kelvin Temperature at standard test condition( $=25+273.15$ )

PV Cell은 주변 환경에 따라 출력 특성이 변하게 되는데, 일사량과 온도에 특히 의존적이다. 식 (1)에서 볼 수 있듯이, 역포화전류  $I_0$ 는 온도함수인 열전압  $v_t$ 를 내포하고 있다. 따라서  $I_0$ 의 온도 의존성 때문에 PV Cell의 온도 증가에 의해 가장 영향을 받는 인자는 전압이다.

그림 2에 온도변화 및 일사량 변화에 따른 I-V 특성 곡선 변화를 나타낸다. 그림 2a)와 같이 일사량이 일정하고 온도가 변화하는 경우, PV Cell의 온도가 감소할수록  $V_{oc}$ 는 증가하지만  $I_{sc}$ 는 감소하는 경향이 있음을 알

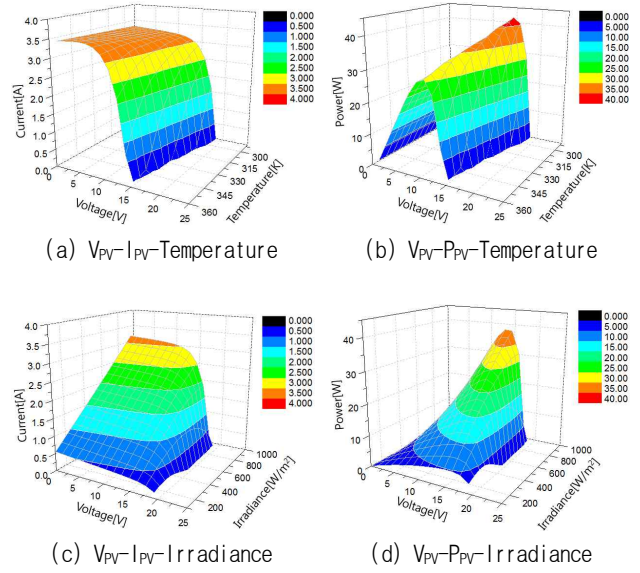


Fig. 2. Characteristic curve according to Temperature &amp; Irradiance.

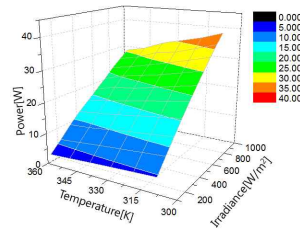


Fig. 3. Maximum power points according to irradiance level and temperature.

수 있다. 그러나 PV Cell의 온도에 대한  $I_{sc}$ 의 증가계수는  $V_{oc}$ 의 증가계수에 비하여 작아서 출력전력에 미치는 영향이 미미하므로 PV Cell의 온도가 감소하면 출력전력이 증가한다.

또한 온도가 일정하고 일사량이 변화하는 조건인 그림 2c)의 경우,  $I_{sc}$ 는 일사량이 감소함에 따라 비례하여 감소한다. 그러므로  $V_{oc}$ 는 PV Cell의 온도에 주로 영향을 받고,  $I_{sc}$ 는 일사량에 주로 영향을 받음을 알 수 있다.

### 2.2 대기 환경에 따른 PV Cell 동작 온도 산출

기존에 주변 환경에 따른 PV Cell의 동작온도  $T_{pv}$  변화에 대해 많은 연구가 이루어졌으며, 대표적인 모델 4가지를 식 (2)로부터 식 (5)에 보인다. 제시된 모델들은 단위면적당 일사량, 풍속, 주변온도, 시정수, 전압 온도 계수에 의해 동작 온도를 산출한다.<sup>[10]-[13]</sup> 이때, 모델들은 PV module의 설치조건이 45도 경사, AM 1.5라고 가정한다.

$$T_{pv} = \frac{h \cdot T_a + Irr(\alpha\tau - \eta_{STC} - \eta_{STC}\beta_0 T_{STC})}{h - \eta_{STC}\beta_0 Irr} \quad (2)$$

$$T_{pv} = T_a + \frac{Irr}{h + h_1v} \quad (3)$$

$$T_{pv} = T_a + \frac{0.32}{0.91 + 2v} Irr \quad (4)$$

$$T_{pv} = T_a + Irr \frac{T_{NOCT} - 20^\circ C}{800} \quad (5)$$

h[W/m<sup>2</sup>K]: 대류계수  $T_a$ [°C]: 주변온도  
 Irr[W/m<sup>2</sup>]: 일사량  $\alpha\tau$ : PV Cell 흡수율, 0.9로 가정  
 $\eta_{STC}$ : STC 효율  $\beta_0$ [°C<sup>-1</sup>]: 전압 온도계수  
 $T_{STC}$ : STC 온도(25°C) v[m/s]: 풍속  
 $T_{NOCT}$ : 공칭 온도(47°C)  $h_1$ [Ws/mK]: 풍속대류계수

### 2.2.1 Model 1의 대기 환경에 따른 PV Cell 동작 온도 산출

Model 1은 PV Cell의 효율을 PV Cell의 전기적 효율에 대한 모델과 PV Cell의 동작온도  $T_{PV}$  모델을 결합하였다. Model 1에서 PV Cell의 전기적 효율  $\eta$ 는 식 (6)과 같이 나타낸다.<sup>[10]</sup>

$$\eta = \eta_{STC} - \beta(T_{PV} - T_{ref}) \quad (6)$$

$\beta$ : 모듈의 전압온도계수  $T_{ref}$ : 기준 온도(25°C)

한편, PV Cell의 흡수율  $\alpha\tau$ 는 일사량에 대한 투과율  $\tau$ 와 흡수 계수  $\alpha$ 로 구성이 되며, 이 때 일사량에 따른 흡수율은 식 (7)과 같다.

$$\alpha\tau Irr = \eta Irr + h(T_{PV} - T_a) \quad (7)$$

식 (6)을 식 (7)에 대입하여  $T_{PV}$ 에 대해 전개하면 식 (2)와 같으며, 이 때  $\alpha\tau$ 는 0.9으로 수렴한다고 가정한다.

### 2.2.2 Model 2의 대기 환경에 따른 PV Cell 동작 온도 산출

Model 2의 경우, 모듈내의 중심 PV Cell, 모서리 PV Cell간의 온도차에 중점을 둔다<sup>[11]</sup>. 실제로 Model 2의 저자는 PV Cell의 평균 온도차를 확인하기 위하여 2006년 11월 첫 주에 7개의 PV module에 대하여 온도를 측정하였으며 표 1에 그 데이터를 나타낸다.

낮에는 7개의 PV Module 중 6개가 양의 변화를 나타냄으로써 모서리 PV Cell이 중심 PV Cell보다 온도가 낮은 경향을 명확히 알 수 있다. 또한 PV Cell의 모듈을 예측하기 위해서 일반적으로 약 2°K의 PV Cell간의 온도차가 발생함을 알 수 있다.

밤에는 7개의 PV Module 중 5개가 양의 변화를 나타내며, 온도 차이의 RMS는 0.26±0.1°K가 발생한다. 따라서 일반적으로 밤에는 PV Cell간에 온도가 평준화 되어 온도차가 없다고 볼 수 있다.

$T_{PV}$ 를 합리적으로 산출하기 위하여 풍속의 영향을 고려하고 대류 계수 h를 매개변수로 하여 근사치를 계산하게 된다. 그에 따라서 식 (3)와 같이  $T_{PV}$ 를 계산한다.

TABLE I  
 AVERAGE DIFFERENCES AND RMS BETWEEN THE CENTER-CELL AND CORNER-CELL TEMPERATURES

Module No.	T <sub>center</sub> -T <sub>corner</sub> [K]		RMS T <sub>difference</sub> [K]	
	Day	Night	Day	Night
1	-0.08	+0.20	1.99	0.26
2	+1.37	+0.08	2.26	0.25
3	+0.31	+0.18	1.84	0.26
4	+0.99	+0.29	2.01	0.36
5	+1.54	-0.12	2.25	0.25
6	+1.12	-0.02	2.09	0.23
7	+1.37	+0.00	1.97	0.21
Average	+0.94	+0.09	2.06	0.26

### 2.2.3 Model 3의 대기 환경에 따른 PV Cell 동작 온도 산출

Model 3은 PV Cell의 전기적효율인  $\eta/\eta_{ref}$ 의 비율에 따라 PV Cell의 동작온도가 변한다고 전개를 한다<sup>[12]</sup>. 일반적으로 전기적효율  $\eta_{ref}$ 와 전압온도계수  $\beta_{ref}$ 의 값은 PV Cell의 제조사에서 제공하는 데이터시트에 명시가 되어있지만, 데이터시트의 값들은 flash test를 거쳐 얻어지므로 오차가 발생하게 된다. 온도계수의 실제 값은 PV Cell 재료 뿐 아니라  $T_{ref}$ 에도 의존적이다. 따라서 식 (9)와 같이 온도계수를 구하게 된다.

$T_0$ 는 PV Cell의 전기적 효율이 0이 되는 온도로 높은 온도이며, 결정형 PV Cell의 경우  $T_0$ 는 270°C이다.

$$\eta = \eta_{ref} [1 - \beta_{ref}(T_a - T_{ref})] \quad (8)$$

$$\beta_{ref} = \frac{1}{T_0 - T_{ref}} \quad (9)$$

식 (8)의 PV Cell의 전기적 효율을 이용하여  $T_{PV}$ 를 산출하면 식 (4)와 같으며, 이때  $\eta_{ref}$ 는 0.12,  $\beta_{ref}$ 는 0.0045°C<sup>-1</sup>로 가정한다.

### 2.2.4 Model 4의 대기 환경에 따른 PV Cell 동작 온도 산출

Model 4는 가장 일반적인 방법으로 NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)를 이용한다<sup>[13]</sup>. NOCT 값은 보통 PV Cell의 제조사에서 제공하는 데이터시트에 주어지며, 통상적으로 풍속 1m/s, AM 1.5, 주변온도 20°C, 일사량 800W/m<sup>2</sup> 조건에서 계산된다. Model 4의 경우 식 (5)와 같이 PV Cell의 동작온도는 주변온도  $T_a$ 에 따라 변하게 되며, 이 때 모듈 전면의 온도가 균일하고, 복사열은 무시되며, PV Cell과 유리사이의 온도 차이를 무시한다는 가설 하에 사용 가능하다.

TABLE II  
MANUFACTURER DATASHEET OF KC200GT(Cr-Si type) SPECIMEN

Parameter	Isc[A]	Voc[V]	IMPP[A]	VMPP[V]	PMPP[W]
Value	8.21	32.9	7.61	26.3	200.143

TABLE III  
USED PARAMETERS IN MATLAB SIMULATION

Parameter	h [W/m <sup>2</sup> K]	$\eta_{STC}$	$\beta$ [°C <sup>-1</sup> ]	v [m/s]	NOCT [°C]
Value	25.3	0.12	0.0045	1	47

TABLE IV  
PV CELL OPERATING TEMPERATURES ACCORDING TO IRRADIANCE LEVEL (AMBIENT TEMPERATURE IS CONSTANT AT 25°C)

Irradiance [W/m <sup>2</sup> ]	PV Cell operation temperature [°C]				Standard Deviation [%]
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
200	32.15	31.39	32.18	31.75	0.32
400	39.35	37.78	39.37	38.5	0.66
600	46.62	44.17	46.55	45.25	1.01
800	53.95	50.65	53.73	52	1.35
1000	61.35	56.95	60.91	58.75	1.77

### 3. 동작온도에 따른 PV 출력 특성

제시된 4가지 모델에 대해 시뮬레이션을 통하여 검증 을 하기 위해 Villalva에 의하여 공개적으로 사용된 결정형 PV Cell KC200GT의 데이터에 대하여 동작온도 특성을 확인하였다. KC200GT는 표 2의 사양을 가지며 [14], 시뮬레이션에 사용된 데이터는 표 3과 같다. 이 때,  $\alpha\tau$ 는 0.9로 수렴한다고 가정한다.

그림 4 및 표 4에 KC200GT에 대하여 주변온도를 25°C로 고정하고 일사량에 따른 변화를 나타낸다. 표에서 보듯이 낮은 일사량에 대하여 Model들은  $T_{PV}$ 의 표준편차가 작지만, 일사량이 높아질수록  $T_{PV}$ 의 표준편차가 커지는 것을 알 수 있다.

또한, 일반적으로 PV Cell의 동작온도는 PV Cell 제조사에서 제공하는 25°C를 사용하지만, 그림 4에서 알 수 있듯이, 주변 환경의 영향에 의하여 PV Cell의 동작온도  $T_{PV}$ 는 최대 61.35°C까지 증가함을 알 수 있다.

표 4에 제시된 PV Cell 동작온도를 사용하여 I-V 특성곡선을 나타내면 그림 5와 같다. 주변 온도가 25°C로 고정되어있고 일사량만 변화하는 조건이므로  $I_{sc}$ 는 일사량에 비례하여 감소하고,  $V_{oc}$  역시 일사량이 감소함에 따라 소폭 감소하는 것이 일반적이지만, 주변 환경이 적용되면 일사량이 감소할수록 반대로  $V_{oc}$ 가 증가함을 알 수 있다.

또한, 그림 5에서 일사량이 증가함에 따라 I-V 특성곡선이 다소 왜곡됨을 알 수 있다. 따라서, 단순히 STC 조건에서  $V_{oc}$ 의 온도계수를 결정하여 적용하는 PV Cell

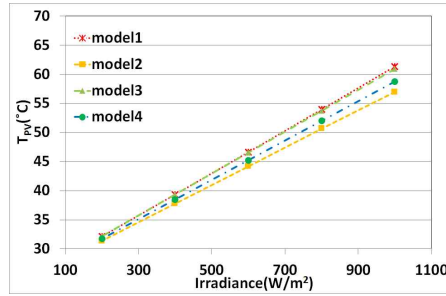


Fig. 4. PV Cell operating temperatures according to irradiance level (ambient temperature is constant at 25°C).

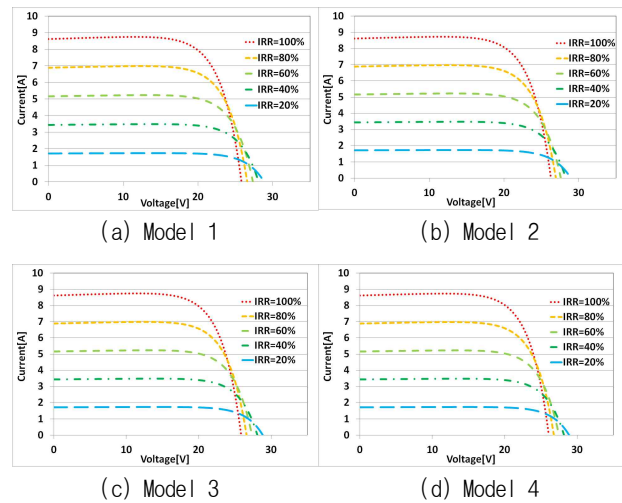


Fig. 5. I-V characteristic curve according to irradiance level (ambient temperature is constant at 25°C).

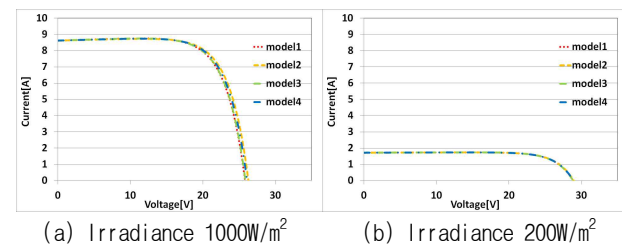


Fig. 6. Comparison I-V characteristic curve according to irradiance level (ambient temperature is constant at 25°C).

모델은 실제 현장에 적용하기에는 부적합하며, 제한하는 열적모델이 필요함을 알 수 있다.

그림 6에 4가지 모델에 대하여 일사량 조건에 따른 I-V 특성곡선 비교를 나타낸다. 그림 6(a)와 같이 일사량 1000W/m<sup>2</sup> 조건에서 모델에 따라 약간의 차이가 있으나 거의 유사한 특성곡선이 구현된다. 그림 6(b)와 같이 일사량 200W/m<sup>2</sup> 조건에서는 4가지 모델의 특성곡선이 일치한다.

### 4. 결론

본 논문에서는 결정형 PV Cell에 대하여 PV Cell 동작온도 모델을 이용하여 외부 날씨환경에 대한 동작온

도를 예측함으로써 그에 따른 출력 특성을 분석하였다. PV Cell 동작온도에 영향을 미치는 요소는 모듈의 구조, 각 구조의 물성치, 습도 등 다양한 요소가 있지만, 본 논문에서는 우선 PV Cell 온도에 가장 큰 영향을 미치는 날씨환경인 주변온도와 일사량을 고려를 하였다.

기존 PV Cell 모델에서는 대부분 주변온도가 25°C, 일사량이 1000W/m<sup>2</sup> 일 때 PV Cell 온도는 주변온도를 유지하는 것으로 가정하였다. 하지만 시뮬레이션 결과, 실제의 자연환경에서는 STC조건에서 PV Cell의 동작온도가 25°C에 비하여 최저 58.75°C에서 최대 61.35°C까지 증가함을 알 수 있었다. 또한,  $I_{sc}$ 는 일사량에 비례하고  $V_{oc}$ 는 온도에 반비례하지만, 일사량에 의한 PV Cell의 온도 증가량이 무시 가능한 정도의 작은 값이 아니므로, 일사량이 증가함에 따라  $V_{oc}$ 가 감소하는 추가적인 요인이 있음을 알 수 있었다. 이러한 요인은 PV cell 모델링의 정확도를 결정짓는 주요한 원인이 되므로 실제적인 자연광에 대한 PV cell 모델에 반드시 고려되어야 한다.

제안하는 PV Cell의 온도특성 연구는 실시간으로 변화하는 날씨환경에 대해 PV Cell의 출력특성을 예측함으로써 태양광발전소의 정확한 성능평가에 활용이 될 수 있을 것이다. 향후 연구로 주변환경에 대해 전기적 등가회로로 구현을 하여 시뮬레이션으로 PV Cell의 출력특성을 예측하는 연구를 수행 할 예정이다. 또한 더 정확한 PV Cell의 동작온도를 찾기 위해, PV 모듈의 구조를 파악하고 그에 따른 열 해석이 이루어져야 할 것이다<sup>[15]</sup>.

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (No.2016R1D1A3B01008279)

## References

- [1] C. Schwingshackl, M. Petitta, J. E. Wagner, G. Belluardo, D. Moser, M. Castelli, M. Zebisch, and A. Tetzlaff, "Wind effect on PV module temperature: Analysis of different techniques for an accurate estimation," *Energy Procedia*, pp. 77-86, 2013.
- [2] T. R. Lookingbill and D. L. Urban, "Spatial estimation of air temperature differences for landscape-scale studies in montane environments," *Agricultural and Forest Meteorology*, pp. 141-151, 2003.
- [3] S. Kurtz, K. Whitfield, D. Miller, J. Joyce, J. Wohlgemuth, M. Kempe, and T. Zgonena, "Evaluation of high-temperature exposure of photovoltaic modules," *In Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2009 34th IEEE* pp. 2399-2404, June 2009.
- [4] S. Armstrong and W. G. Hurley, "A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions," *Applied Thermal Engineering*, pp. 1488-1495, 2010.
- [5] M. Koehl, M. Heck, S. Wiesmeier, and J. Wirth, "Modeling of the nominal operating cell temperature based on outdoor weathering," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, pp. 1638-1646, 2011.
- [6] E. Skoplaki, A. G. Boudouvis, and J. A. Palyvos, "A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, pp. 1393-1402, 2008.
- [7] A. D. Jones and C. P. Underwood, "A thermal model for photovoltaic systems," *Solar energy*, pp. 349-359, 2001.
- [8] E. Skoplaki and J. A. Palyvos, "Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations," *Renewable Energy*, pp. 23-29, 2009.
- [9] M. C. Alonso garcia and J. L. Balenzategui, "Estimation of photovoltaic module yearly temperature and performance based on nominal operation cell temperature calculations," *Renewable Energy*, pp. 1997-2010, 2004.
- [10] M. Mattei and G. Notton, "Calculation of the polycrystalline PV module temperature using a simple method of energy balance," *Renewable Energy* 2006, Vol. 31, pp. 553-567, 2006.
- [11] D. Faiman, "Assessing the outdoor operating temperature of photovoltaic modules," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications 2008*, Vol. 16, pp. 307 - 315, 2008.
- [12] E. Skoplaki and J. Palyvos, "On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations," *Solar Energy* 2009, Vol. 83, pp. 614-624, 2009.
- [13] International Standard IEC 61215, Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules - Design Qualification and Type Approval Second Edition 2005, Apr. 2005.
- [14] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, "Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays," *IEEE Trans. on P.E*, Vol. 24, No. 5, pp. 1198-1208, May 2009.
- [15] J. P. Kim, C. H. Jeon, and Y. J. Chang, "Effects of ambient temperature on the thermal characteristics of photovoltaic modules," *The Korean Solar Energy Society*, pp. 48-53, 2008.



### 박현아(朴炫娥)

1990년 11월 6일생. 2013년 공주대 전기전자 제어공학부 졸업. 2015년 동 대학원 전기전자 제어공학과 졸업(석사). 2016년 동 대학원 전기전자제어공학과 박사과정 중퇴. 2016년 현재 (주)듀라스닉 Ultrasonic R&D LAB 재직 중.



### 김호성(金孝城)

1958년 10월 20일생. 1981년 서울대 전기공학 학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 충북대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996년~1997년 일본 오가야 마대학 방문교수. 1999년~2000년 덴마크 연구부교수. 1987년~현재 공주대 전기전자

제어공학부 교수.