

# 태양전지 가상구현 장치를 위한 새로운 태양전지 모델링에 관한 연구

이병인, 류태규, 한정만, 최규하  
 건국대학교 전기공학과

## The New Modeling of Solar Cell for Virtual Implement Of Solar Cell

B.I. Lee, T.G. Ryu, J.M. Han, G.H. Choe  
 Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University

### ABSTRACT

A study on photovoltaic system has a lot of problems. Such as repetition experiment in the same condition, development of MPPT (Maximum Power Point Tracking) algorithm<sup>[1][2]</sup>, development of islanding detection algorithm and so forth. The reason is that solar cell output characteristics are varied by insolarion and surface temperature of solar cell. Therefore, the assistance equipment is required which emulates the solar cell characteristics. In this paper, propose the new modeling of solar cell and verify this modeling using MATLAB simulation. And experiment virtual implement of solar cell system using this modeling.

### 1. 서 론

태양광발전 시스템은 대체에너지로서 여러 나라에서 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 태양광발전 시스템을 연구하기 위해서는 태양광발전 시스템을 설치할 넓은 장소와 태양전지 재료비용이 많이 든다는 단점이 있다. 게다가 태양전지는 기후조건(특히, 온도와 일사량)에 따라 그 출력특성이 변하기 때문에 일정조건에서 실험을 반복하거나 연구자가 원하는 특정조건에서의 실험을 하기가 어렵다. 그렇기 때문에 태양광발전 시스템을 연구하는데 있어서 태양전지의 특성을 가상구현 할 수 있는 장치는 필수적이라고 할 수 있다. 그러나 이러한 태양전지 가상구현 장치를 위해서는 그에 따른 태양전지 특성을 수학적으로 모델링 할 수 있는 모델이 필요하게 된다. 그래서 본 논문에서는 좀 더 실제와 가까운 태양전지의 출력특성을 나타내고자 온도, 일사량 변화시에도 태양전지 출력특성을 나타

낼 수 있는 새로운 태양전지 모델링을 제안하였다. 그리고 이 모델링을 이용하여 태양전지 가상구현 장치에 적용함으로써 이 모델링의 타당성을 입증하고자 한다.

### 2. 기존의 태양전지 모델링

#### 2.1 매개변수형 모델<sup>[3]</sup>

매개변수형 태양전지 모델은 태양전지의 재료적 특성을 이용하여 모델링 한 것이다. 태양전지는 PN접합 다이오드로서 광기전력 효과에 의해 발생하는 전류를 등가회로 만들어 모델링 한 것이다. 그림 1은 태양전지의 등가회로를 나타내며 식 (1)은 이 태양전지의 매개변수형 모델을 나타낸다.

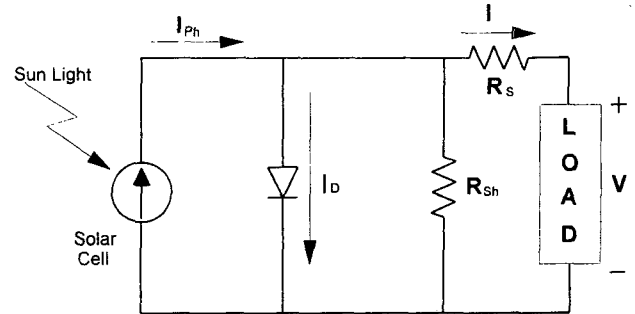


그림 1 태양전지 등가회로

Fig. 1 Equivalent circuit of solar cell

$$\begin{aligned}
 I &= I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \left[ e^{\frac{qV}{nKT}} - 1 \right] \\
 &= I_{ph} - N_A J_0 \left[ e^{\frac{qV}{AKTN}} - 1 \right] - \frac{V + IR}{R_{sh}} \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서,

- $I_{ph}$  : 광기전류
- $I_0$  : 다이오드 포화전류

$K$  : 볼츠만 상수 ( $1.3810 \times 10^{-23} J/K$ )  
 $q$  : 전하량 ( $1.602 \times 10^{-19} C$ )  
 $N_s, N_p$  : 태양전지 직렬·병렬 연결된 셀의 수  
 $R_s, R_{sh}$  : 직렬·병렬 저항

## 2.2 보간형 모델<sup>[4]</sup>

보간형 모델은 태양전지의 특성을 손쉽게 수학적으로 모델링하는 방법으로서, 태양전지의 개방전압 ( $V_{oc}$ )과 단락전류( $I_{sc}$ ), 최대전력점에서의 전압·전류( $V_{mp}, I_{mp}$ )를 통해 태양전지의 특성을 나타내는 것이다. 그러나 이 모델은 간단하게 태양전지 특성을 나타낼 수 있는 장점은 있지만 온도·일사량 변화시 태양전지 출력 특성을 나타내기 위해서는 그 때마다의  $V_{OC}, I_{SC}, V_{mp}, I_{mp}$  값을 알아야 하는 문제가 있다. 그렇기 때문에 온도·일사량에 따른 이들 데이터가 없다면 온도·일사량 변화에 따른 태양전지 출력특성을 나타내기가 어렵게 된다. 식 (2)는 보간형 태양전지 모델을 나타낸다.

$$\left(\frac{V_{cell}}{V_{OC}}\right)^m + \left(\frac{I_{cell}}{I_{SC}}\right)^n = 1$$

$$V_{mp} = V_{OC}^m \sqrt[n+m]{\frac{n}{n+m}}, I_{mp} = I_{SC}^n \sqrt[n+m]{\frac{m}{n+m}} \quad (2)$$

여기서,

$V_{cell}, I_{cell}$  : 태양전지의 출력전압·전류  
 $V_{mp}, I_{mp}$  : 최대전력점에서의 전압·전류  
 $V_{OC}, I_{SC}$  : 태양전지의 개방전압, 단락전류  
 $m, n$  : 전압상수, 전류상수

## 3. 새로운 태양전지 모델링

새로운 태양전지 모델은 기존의 태양전지 모델링에서 보간형 모델을 이용하여 모델링 하였다. 보간형 모델에서의 문제점은 온도·일사량 변화에 따라 데이터화된  $V_{OC}, I_{SC}, V_{mp}, I_{mp}$  값 이외에 곳에서는 태양전지 특성을 구현하기가 어렵다는 문제가 있었다. 그러나 새로운 태양전지 모델에서는  $V_{OC}, I_{SC}, V_{mp}, I_{mp}$  이들 값들을 온도·일사량변화에 따른 식으로 만듦으로서 데이터화 되어있지 않은 구간에서도 태양전지 출력특성을 구현 할 수 있도록 하였다. 식 (3)은  $V_{OC}, I_{SC}, V_{mp}, I_{mp}$  값들을 온도와 일사량의 함수로 나타낸 것이다.

$$V_{OC}(S, T) = V_{OC}^* - (\alpha_1 \times (S^* - S)) - (\alpha_2 \times (T^* - T))$$

$$I_{SC}(S, T) = I_{SC}^* - (\beta_1 \times (S^* - S)) - (\beta_2 \times (T^* - T))$$

$$V_{mp}(S, T) = V_{mp}^* - (\alpha_1 \times (S^* - S)) - (\alpha_2 \times (T^* - T))$$

$$I_{mp}(S, T) = I_{mp}^* - (\beta_1 \times (S^* - S)) - (\beta_2 \times (T^* - T))$$

여기서,

$V_{OC}^*$  : 기준일사량·온도에서 개방전압  
 $I_{SC}^*$  : 기준일사량·온도에서 단락전류  
 $V_{mp}^*$  : 기준일사량·온도에서 최대전압  
 $I_{mp}^*$  : 기준일사량·온도에서 최대전류  
 $S^*$  : 기준일사량 ( $100 mW/cm^2$ )  
 $T^*$  : 기준온도 ( $25^\circ C$ )  
 $\alpha_1, \beta_1$  : 일사량 변화시 전압·전류 계수  
 $\alpha_2, \beta_2$  : 온도 변화시 전압·전류 계수

## 4. 시뮬레이션

새로운 태양전지 모델은 기존의 모델링에서 보간형 모델의 문제점을 보완하여 만들어진 모델로 식 (2)와 식 (3)을 이용하여 태양전지 특성을 구현하게 된다. 이 새로운 태양전지 모델을 태양전지가 상구현 장치에 적용하기 전에 MATLAB을 통해 태양전지 모델출력을 검증하여 보았다. 우선 식 (3)에서 온도·일사량 변화시 전압·전류 계수를 구하기 위해 삼성전자의 SM-50 태양전지의 기본 데이터를 사용하였다. 표 1과 표 2는 SM-50 태양전지를 단위 셀로 하여 본 연구실에서 보유하고 있는 3[kw] 태양광발전 시스템의 온도·일사량 변화시  $V_{OC}, I_{SC}, V_{mp}, I_{mp}$  값들을 나타낸 것이다. 이 값을 이용하여 새로운 태양전지 모델의 전압·전류 계수를 구할 수 있다. 그림 2와 그림 3은 새로운 태양전지 모델을 통해 여러 가지 온도·일사량에서 태양전지 V-I 특성곡선을 구현 한 것이다.

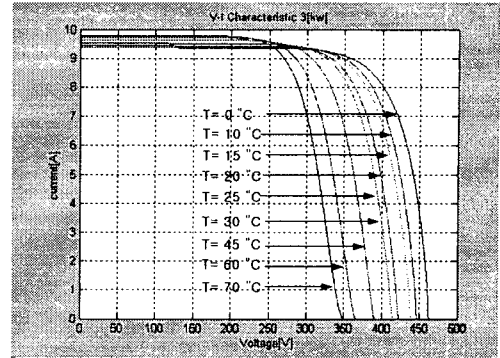
표 1 기준온도 ( $25^\circ C$ ) 에서 일사량 변화시 출력특성  
Table 1 3[kw] PV system output characteristic of varying insolation at reference temperature

일사량 [mW/cm <sup>2</sup> ]	Voc [V]	Isc [A]	Vmp [V]	Imp [A]
40	407	5.01	327	4.26
60	412	6.51	332	5.76
80	417	8.01	337	7.26
100	422	9.51	342	8.76

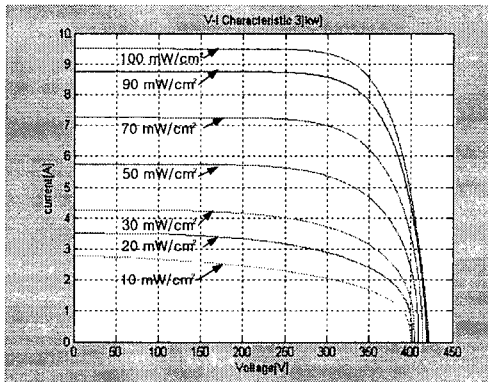
표 2 기준일사량 ( $100\text{ mW/cm}^2$ ) 에서 온도 변화시 출력특성

Table 2 3[kw] PV system output characteristic of varying temperature at reference insolation

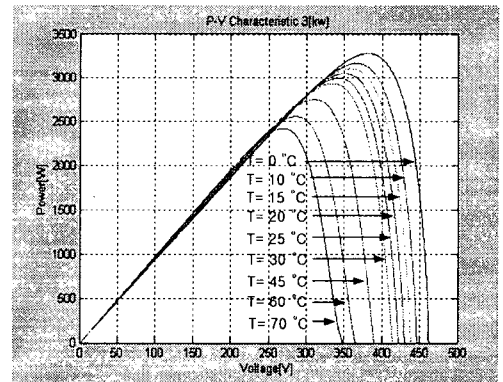
온도 [°C]	Voc [V]	Isc [A]	Vmp [V]	Imp [A]
0	462	9.36	382	8.61
25	422	9.51	342	8.76
50	382	9.66	302	8.91
75	342	9.81	262	9.06



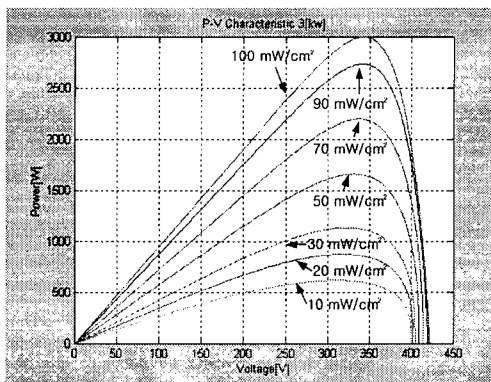
(a) 온도 변화시 V-I 출력특성  
(a) V-I output characteristic at varying temperature



(a) 일사량 변화시 V-I 출력특성  
(a) V-I output characteristic at varying insolation



(b) 온도 변화시 P-V 출력특성  
(b) P-V output characteristic at varying temperature



(b) 일사량 변화시 P-V 출력특성  
(b) P-V output characteristic at varying insolation

그림 2 기준온도 ( $25^\circ\text{C}$ ) 에서 일사량 변화시 3[kw] 태양광발전 시스템의 출력특성

Fig. 2 3[kw] PV system output characteristic graph of varying insolation at reference temperature

그림 3 기준일사량 ( $100\text{ mW/cm}^2$ ) 에서 온도 변화시 3[kw] 태양광 발전 시스템의 출력특성

Fig. 3 3[kw] PV system output characteristic graph of varying temperature at reference insolation

## 5. 태양전지 가상구현 장치<sup>[5]</sup>를 통한 실험

새로운 태양전지 모델의 검증을 위해서 본 연구실에서 개발한 태양전지 가상구현 장치(VISC: Virtual Implement of Solar Cell)를 이용하여 그 출력특성을 확인해 보았다. VISC 시스템<sup>[5]</sup>은 3[kw] 태양광발전 시스템의 사양에 맞추어 설계되어 있으며 Buck 컨버터와 DSP제어보드로 이루어져 있다. 그림 4는 VISC 시스템의 회로구성을 나타내고 있다. 새로운 모델을 적용한 VISC 시스템에서는 계통연계를 위해 전류제어방법을 택하였다. 표 3은 VISC 시스템의 설계사양을 나타내고 그림 5는 기준온도·일사량에서의 최대전력점 부하( $39.75\Omega$ )에서 부하를 증가( $53\Omega$ )시킬 때 출력 파형을 나타내며 표 4는 이때의 출력 특성을 정리한 것이다.

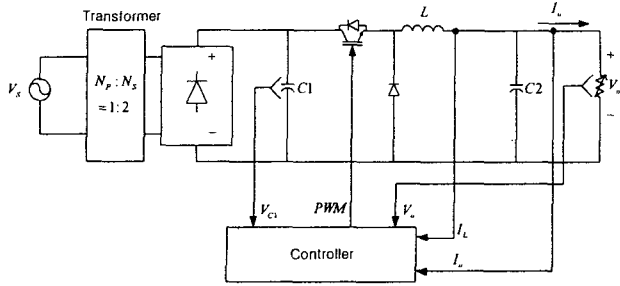


그림 4 VISC 시스템 회로도  
Fig. 4 VISC system circuit

표 3 VISC system 설계사양  
Table 3 VISC system design spec

입력 전압	620 [V]
출력 전압	450 [V] (MAX)
L	3.0 [mH]
C2	220 [uF]
스위칭 주파수	20 [kHz]

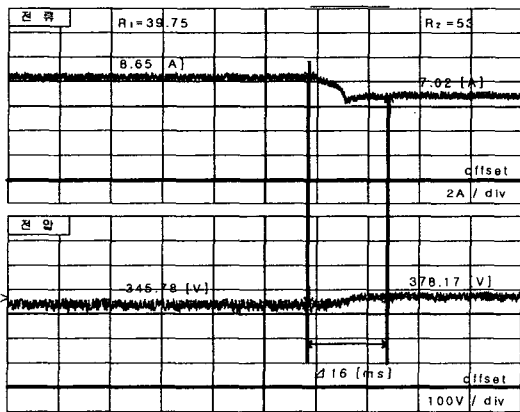


그림 5 VISC 시스템 출력파형  
Fig. 5 VISC system output characteristic waveform

표 4 VISC system 출력특성  
Table 4 VISC system output characteristic

	태양전지 출력		VISC 시스템 출력	
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
V	345.0	374.0	345.78	378.17
I	8.67	7.05	8.65	7.02

이러한 VISC 시스템을 이용하여 새로운 모델의 타당성을 입증하기 위해서 그림 6과 같이 온도·일사량

변화시 고정부하에서 그 출력특성을 확인해 보았다. 그림 6은 온도·일사량 변화시 태양전지의 V-I 출력 특성을 나타내고 그림 6에서 부하(39.75Ω)선과 만나는 곳(번호 ①, ②, ③, ④, ⑤)에서의 출력점에서 실험을 하였다. 그림 7은 그림 6에서의 조건에 따라 고정부하에서 온도·일사량 변화시 VISC의 출력을 데이터로 저장하여 MATLAB으로 나타낸 것이다. 표 5는 VISC 시스템의 실제 출력과 새로운 모델에 의한 출력을 비교하여 나타낸 것이다.

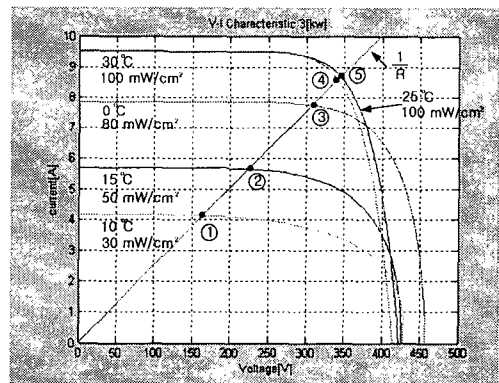


그림 6 온도 일사량 변화시 태양전지의 V-I 출력특성  
Fig. 6 Solar cell V-I output characteristic when the temperature and insolation are varied

표 5 온도·일사량 변화시 모델 출력과 VISC system 출력특성 비교

Table 5 Comparison of model output characteristic and VISC system output characteristic when the temperature and insolation are varied

온도 (°C)	일사량 (mW/cm <sup>2</sup> )	모델 출력		VISC 시스템 출력			
		V[V]	I[A]	V[V]	ΔV[V]	I[A]	ΔI[A]
10	30	164.0	4.12	104	3	3.14	0.4
15	50	224.47	5.64	219	5	5.7	0.1
0	80	307.84	7.74	303	5	6.2	0.08
30	100	341.15	8.58	346	6	8.4	0.1
25	100	345.0	8.67	342	8	8.6	0.4

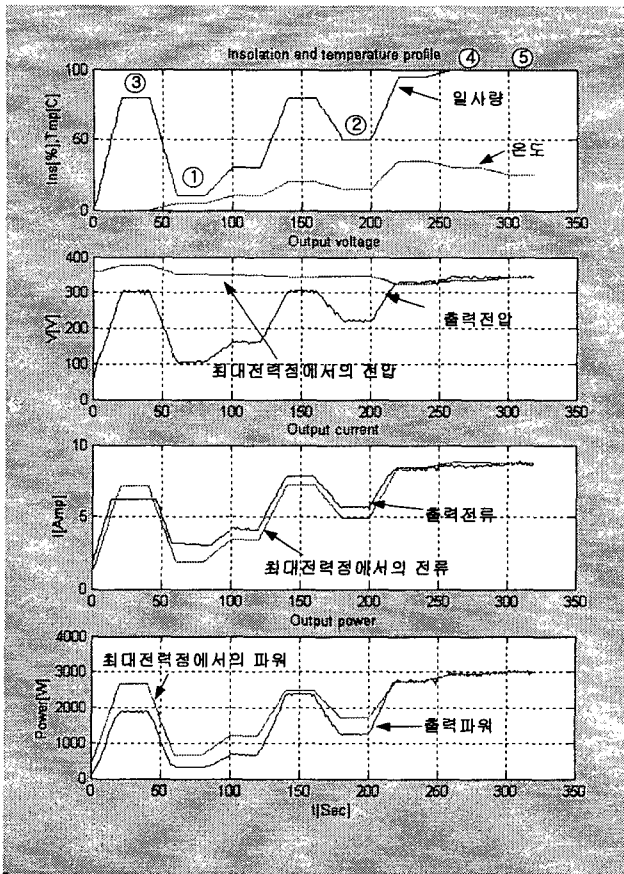


그림 7 온도·일사량 변화시 VISC 시스템 출력  
 Fig. 7 VISC system output characteristic when the temperature and insolation are varied

## 6. 결 론

본 논문에서는 제안한 새로운 태양전지 모델을 검증하기 위해 시뮬레이션과 태양전지 가상구현 장치를 이용하여 실험을 하였다. 시뮬레이션에서는 태양전지 기본특성과 같이 일사량이 증가하면 전압·전류가 모두 증가하여 출력이 증가하는 것을 확인할 수 있었고 온도가 증가하면 전류는 증가하지만 전압이 상대적으로 많이 감소하기 때문에 전체적인 출력이 감소하는 것을 확인할 수가 있었다.

새로운 모델을 적용한 VISC 시스템의 실험에 있어서, 기준온도·일사량 실험에서 실제 태양전지와 같은 출력을 나타내는 것을 확인할 수 있었고 동특성 또한 16[ms]로 좋게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 온도·일사량 변화시, 모델에 의한 출력과 VISC 시스템의 출력 비교 실험에 있어서는 낮은 일사량과 온도에서는(①구간) 큰 오차를 보이지만 다른 구간에서는 오차가 전압은 0.05% 이내, 전류는 0.015% 이내로 출력특성이 매우 우수한 것을 확인할 수가 있었다. ①구간에서 오차가 크게 나타나는 것은 이곳에서의 출력이 태양광발전 시스템의 운전점(최대 전력점 부근)에서의 출력이 아니라 정전류 구간에서의 출력 이어서 그 제어가 어렵다는 것을 확인 할 수가 있었다.

향후 연구에 있어서는 좀 더 정확한 제어를 위하여 여러 제어방법에 따른 태양전지 가상구현 장치에 대한 연구가 필요 할 것이며 여러 가지 태양전지에 따른 특성을 기본으로 실험이 이루어져야 할 것이다. 그리고 이 시스템을 실제 계통연계형 시스템과 연결하여 실험함으로써 태양광발전 시스템의 연구의 폭을 넓히고 그 특성을 검증해야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Lilington D., Kukulka J., Mason A., Sanchez J. "Optimization of silicon 8cm×8cm wrap through space station cells for on orbit operation". In Proceedings of 20th IEEE PV Specialists Conference, pp. 934-204, 1988.
- [2] Mikihiko Matsui., Tatsuya Kitano., De-hong Xu., Zhong-qing. "A New Maximum Photovoltaic Power Tracking Control scheme Based on Power Equilibrium at DC Link". Conference Record of the 1999 IEEE , Vol. 2 , pp. 804-809, 1999.
- [3] Mrig L., DeBlasio R., O'Sullivan G. A., Tomko T. "An advanced PV system simulator to demonstrate the performance of advanced PV cells and devices", Proceeding of 16th IEEE PV Specialists Conference, San Diego, pp. 199-204, 1982.
- [4] Y. Iida, Y. Fuchikami and Y. Neba "Analysis of step-up chopper with photovoltaic array", IEEE Japan Annual Meeting Vol. 4, No. 841, pp. 4/180, 19.
- [5] 유재현 "태양전지의 전기전 출력특성을 갖는 PWM 컨버터의 설계 및 제어" 석사학위 졸업논문 2002.2.