

# 가상구현 태양전지 시스템을 위한 태양전지의 새로운 모델링

崔圭夏<sup>†</sup>, 鄭柄煥<sup>\*</sup>, 姜秉燾<sup>\*\*</sup>, 李明彦<sup>\*\*\*</sup>

## Analysis of New Solar Cell Model for the Virtual Implemented Solar Cell System

Gyu-Ha Choe, Byung-Hwan Jeong, Byoung-Hee Kang, and Myung-Un Lee

### 요 약

태양광발전시스템이 갖고 있는 전기적 출력특성이 일사량과 온도의 변화에 따라 크게 변화되므로 동일조건에서의 재현 또는 재실험이 불가능한 단점으로 실험적 분석에 대한 어려운 문제점을 갖고 있다. 태양광발전시스템의 실증적인 연구를 위하여 기후조건의 변화에도 실제 태양전지의 출력특성을 나타낼 수 있는 가상구현 시스템이 필요한데 이를 구현하기위한 기존의 이론적 모델은 온도와 일사량이 동시에 변화할 때 나타내지 못하는 약점이 있어 이를 보완하는 모델 연구가 우선적으로 필요하다. 따라서 본 논문에서는 태양전지 특성을 가상구현 할 수 있는 새로운 수학적 모델을 제안하였고 연구자가 원하는 특정조건이나 임의의 일사량과 온도에 대한 태양전지 특성을 가상구현 할 수 있음을 이론적 검토 및 시뮬레이션을 통하여 해석하였다. 또한 새로운 모델을 검증하기 위하여 태양전지 제조사의 데이터를 바탕으로 가상구현 태양전지 시스템을 실험해 비교해본 결과 최대전력점과 개방전압사이에서 5[%] 미만의 오차를 보여 태양전지 가상구현 시스템에 적용 타당성을 보였다.

### ABSTRACT

Particularly the photovoltaic systems are preferred because the output is extracted to the useful electric energy. However, the output characteristics of photovoltaic(PV) systems using solar cell or array depend on the weather conditions. The assistant equipment which emulates the solar cell characteristics that can be controlled arbitrarily by researcher is required to the researchers for reliable experimental data. To solve these problems, it is necessary to research a solar cell model of which output characteristics varied by setting the weather conditions such as insolation levels and temperatures. Therefore, this paper was presented that improved model which is based on interpolation model. To verified the improved model, it is confirmed using the simulation of MATLAB. Also, the experiment was performed by the characteristics of virtual implemented solar cell(VISC) system with the proposed solar cell model. It could be confirmed that there exists actual error within 5% between actual solar cell and VISC system.

**Key Words** : Solar Cell Model, Parametric Model, Interpolation Model, Improved Model for Virtual Implemented Solar Cell System

### 1. 서 론

태양전지는 태양에너지를 전기에너지로 변환하는 반도체 소자이다. 이러한 태양전지를 이용한 태양광발전은 에너지 변환과정에서 공해를 발생시키지 않고 화석 연료를 사용하는 다른 발전방식과 달리 대기오염이나 소음의 발생이 없는 무한·청정 대체에너지원으로 활용하기 위하여 연구개발이 가속화되고 있다<sup>[1-3]</sup>. 일반적으로 태양광발전시스템의 연구에는 크게 재료적 측면

<sup>†</sup>교신저자 : 정회원, 건국대 전기공학과 교수

E-mail : ghchoe@konkuk.ac.kr

정회원, 건국대 전기공학과 박사수료

<sup>\*\*</sup>정회원, (주)케이텍기술 대표이사

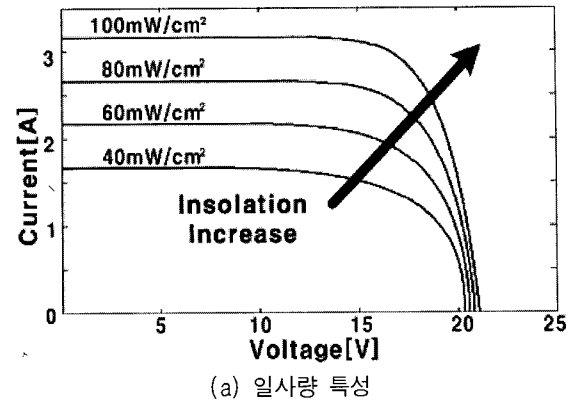
<sup>\*\*\*</sup>정회원, 서일대 전기과 겸임교수

접수일자 : 2006. 1. 4                      1차 심사 : 2006. 1. 13

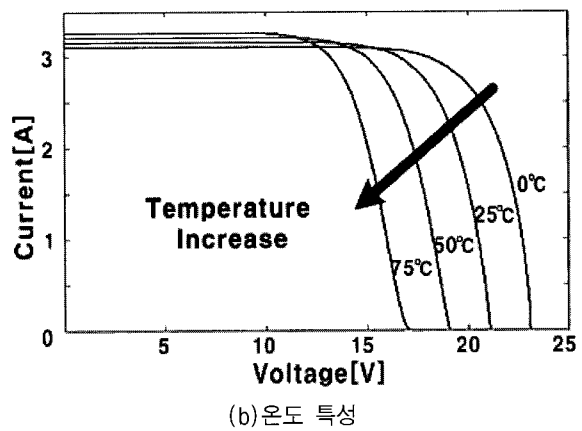
심사완료 : 2006. 1. 18

에서의 태양전지에 대한 연구와 응용적 측면에서의 전력변환에 대한 연구로 크게 구분할 수 있다. 태양전지의 경우 전기에너지 변환효율의 향상과 제조단가의 저하가 주관심이고 전력변환의 경우 전력변환회로와 최적제어기법을 통한 변환 효율 및 고성능화 등에 주된 관심이 되고 있다. 그러나 태양광발전에 관련된 연구를 수행하는 연구자들은 우선 태양전지를 설치할 수 있는 넓은 공간이 절대적으로 필요하고 또, 그 공간이 확보되었더라도 태양전지는 태양에너지의 조사상태, 즉 시시각각 변해가는 기상상태에 따라 발전량 및 동작점이 변동하기 때문에 특정 조건하에서의 재현 및 재실현이 쉽지 않다. 이 때문에 태양광발전시스템에 대한 실험적 검증 또는 재현이 어렵게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로서 임의의 일사량 및 온도 등의 조건에 따라서 태양전지의 출력특성을 전기적으로 모의해 낼 수 있는 전력변환시스템을 개발함으로써 연구자는 연구목적에 부합하는 임의의 태양전지 어레이의 규모를 선택할 수 있을 뿐만 아니라 기후조건 설정에 따라 동일한 일사량과 온도 등의 실험환경을 재현할 수 있어 연구의 생산성 및 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있다. 전술한 특징을 바탕으로 만들어진 전력변환장치를 태양전지 가상구현 장치 또는 시뮬레이터라고<sup>[3,7]</sup> 명명하고 있으며 최근 고도로 발전된 전력변환기법과 프로세서를 이용한 제어의 기술적 조합으로 태양전지어레이의 출력특성을 가상적으로 구현하게 한다<sup>[3]</sup>. 태양전지 가상구현 장치를 구현하기에 앞서 태양전지의 수학적 모델이 우선 요구되어진다. 그 이유는 시뮬레이터 내부에 태양전지에 대한 I-V 특성을 보유함으로써 임의의 조건에 대한 출력특성을 나타낼 수 있어야 하기 때문이다. 실제 태양전지를 구현하기 위한 모델이 몇 가지 있는데 크게 매개변수형 모델과 보간형 모델 두 가지가 널리 이용되고 있다<sup>[4]</sup>. 매개변수형 모델은 이미 널리 알려져 있으나 태양전지 각각의 파라미터를 구하기 어렵고 보간형 모델은 수식이 매우 간단하지만 일사량과 온도가 동시에 변하지 않는 단점이 있어 두 모델들은 태양전지 제조사에서 주어지는 한정적인 데이터로는 실제 다양한 일사량과 온도 조건 하에서의 태양전지 특성을 구현하기 어렵다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 태양전지 가상구현 장치를 구현하기 위한 기존의 태양전지 모델 중 간단한 보간형 모델을 바탕으로 온도와 일사량의 함수로 개선하여 다양한 일사량과 온도에 따른 실제 태양전지의 특성을 구현할 수 있도록 제안하였다. 또한 새로운 태양전지 모델을 실제 태양전지모델과 시뮬레이션을 통하여 비교 분석하였고 이를 검증하기 위하여 태양전지 가



(a) 일사량 특성



(b) 온도 특성

그림 1 태양전지의 전기적 출력특성  
Fig. 1 Electrical output characteristics of solar cell

상구현 장치에 적용하여 실험하였으며 실제 태양전지와 비교분석하여 태양전지 가상구현 장치에 적용하기 적합한 모델임을 검증하였다.

## 2. 태양전지 특성 및 모델

태양전지는 그림 1과 같이 태양전지의 표면온도와 일사량에 관련된 두 가지의 특성을 갖는데, 태양전지의 개방전압 [ $V_{oc}$ ]과 단락전류 [ $I_{sc}$ ]는 일사량 [ $S$ ] 증가에 따라 그 값이 증가하는 반면 온도 [ $T$ ] 증가에 따라 단락전류는 약간 증가하지만 개방전압은 큰 폭으로 감소하는 특성을 갖는다<sup>[2,3]</sup>. 이러한 태양전지의 출력특성을 가상 구현하기 위해서 태양전지의 수학적 모델이 필요한데 일반적으로 태양전지의 발전원리와 태양전지의 등가회로 모델을 통해 나온 매개변수형 모델과 태양전지의 출력특성의 기하학적 형태 또는 태양전지의 온도·일사량 변화에 따른 출력특성을 기본으로 한 보간형 모델의 두 가지가 있다.

표 1 매개변수형 모델과 보간형 모델의 비교  
Table 1 Comparison between parametric model and interpolation model

	매개변수형 모델	보간형 모델
수학적 모델	$I_O = I_{do} (\frac{T}{T_r})^3 \exp[\frac{qE_g}{B\kappa} (\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T})]$	$(\frac{V_{cell}}{V_{OC}})^m + (\frac{I_{cell}}{I_{SC}})^n = 1$
요구되는 변수	$I_{Ph}$ = 광기전류(A) $I_0$ = 역포화전류(A) $T$ = 대기온도 (K) $T_r$ = 셀 기준온도 $E_g$ = 반도체의 bandgap $e$ = base for natural logarithm(2.71828) $J_0$ = 단락전류 온도계수 $I_{OR}$ = $T_r$ 에서 다이오드 역포화전류[A]류 $A, B$ = 제조상수	$V_{OC}$ = 태양전지의 개방전압 [V] $I_{SC}$ = 태양전지의 단락전류 [A] $m$ = 전압 상수 $n$ = 전류 상수
모델의 장점	- 실제 태양전지에 출력을 비교적 정확하게 추종	- 요구되는 파라미터를 쉽게 구할 수 있어 태양전지출력특성 구현이 용이
모델의 단점	- 요구되는 파라미터를 구하기 쉽지 않음 - 온도와 일사량 동시변화 시 태양전지 출력특성의 구현의 어려움	- 매개변수형에 비하여 오차율이 다소 떨어짐 - 온도와 일사량 동시변화 시 태양전지 출력특성의 구현의 어려움

2.1 매개변수형 모델<sup>[5,6]</sup>

태양전지의 매개변수형 모델은 광기전력효과를 모델링한 것으로 그림 2에서와 같이 광기전력을 전류원으로 나타내고, 이와 역병렬로 다이오드를 연결하여 태양전지를 등가회로 할 수 있다. 이로부터 다음의 식과 같이 관계식들을 구하면 광기전류성분을 제외하면 다이오드 식과 매우 유사함을 알 수가 있다.

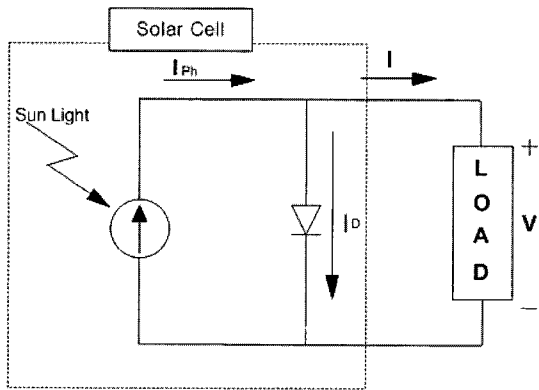


그림 2 태양전지의 등가회로 모델  
Fig. 2 The equivalent circuit of solar cell

$$I = I_{ph} - I_D \tag{1}$$

$$I_{ph} = I_{SC} \cdot S + J_0 (T - T_r) \tag{2}$$

$$I_D = I_0 \cdot \exp(\frac{qV}{A\kappa T}) \tag{3}$$

$$I_0 = I_{do} (\frac{T}{T_r})^3 \exp[\frac{qE_g}{B\kappa} (\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T})] \tag{4}$$

여기서,  $I_{ph}$ 는 광기전류이고  $I_D$ 는 다이오드전류이며  $J_0$ 는 온도계수이고  $q$ 는 전하량(= $1.62 \times 10^{-19}$ )[C]이며  $\kappa$ 는 볼츠만상수(= $1.38 \times 10^{-23}$ )[J/K]이고  $T$ 는 절대온도[°K]이며  $I_{do}$ 는  $T_r$ 에서 다이오드 역포화전류이고  $T_r$ 는 태양전지의 동작 기준온도[°K]이며  $E_g$ 는 다이오드의 에너지밴드갭(= $1.1eV$ )이고  $A$ 와  $B$ 는 전지 고유상수들을 나타낸다. 위와 같이 매개변수형 모델을 성립하기 위해서 10개 이상의 태양전지의 소자특성에 관련된 많은 변수를 필요로 한다. 태양전지 제조사에서는 자세한 데이터를 제공하지 않기 때문에 매개변수형 모델을 적용하는데 많은 어려움이 있다.

2.2 보간형 모델<sup>[7,8]</sup>

보간형 모델은 태양전지의 I-V 특성곡선으로부터 구할 수 있고, 비선형 연립방정식을 통해 다음과 같이 정리 된다.

$$\left(\frac{V_{cell}}{V_{OC}}\right)^m + \left(\frac{I_{cell}}{I_{SC}}\right)^n = 1 \tag{7}$$

여기서,  $V_{cell}$ 는 태양전지의 출력전압이며  $I_{cell}$ 은 태양전지의 출력전류이고  $m$ 은 전압상수이며  $n$ 은 전류상수이다. 보간형 모델에서  $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$ 의 값은 식 (8)과 식 (9)와 같이 구해지며

$$V_{mp} = V_{OC}^m \sqrt[n+m]{\frac{n}{n+m}} \tag{8}$$

$$I_{mp} = I_{SC}^n \sqrt[n+m]{\frac{m}{n+m}} \tag{9}$$

여기서 구한  $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$ 의 식을  $m$ ,  $n$ 에 관하여 정리하면 식 (10)과 식 (11)처럼 된다.

$$V_{OC} \left(\frac{n}{n+m}\right)^{\frac{1}{m}} - V_{mp} = 0 \tag{10}$$

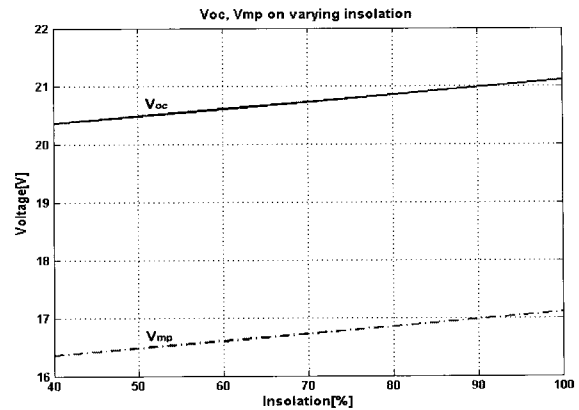
$$I_{SC} \left(\frac{m}{n+m}\right)^{\frac{1}{n}} - I_{mp} = 0 \tag{11}$$

표 1은 보간형 모델과 매개변수형 모델을 수식적으로 간략하게 비교한 것이다. 보간형 모델은 매개변수형 모델보다 요구되는 변수가 상대적으로 적고 각각의 온도와 일사량 변화시 특성을 쉽게 나타낼 수 있다는 장점을 가지고 있지만 매개변수형 모델에 비하여 오차율이 다소 떨어질 뿐만 아니라 보간형 모델 역시 제조사에서 주어지는 데이터 없이는 구현이 어렵고 실제 기상 조건에서와 같이 다양한 온도와 일사량 동시 변화시 특성을 구현하기 어렵다는 단점을 가진다.

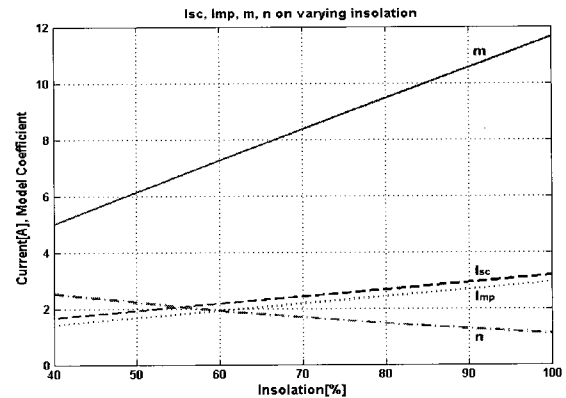
### 3. 새로운 태양전지 모델

매개변수형과 보간형 모델은 온도와 일사량의 변화시 태양전지 출력특성이 어떻게 변화하는지 알 수 없기 때문에 임의의 온도, 일사량에서 태양전지의 출력특성을 구현할 수가 없었다. 이러한 기존 모델의 단점을 보완하여 어떠한 기상조건에서도 태양전지의 출력특성을 구현할 수 있는 새로운 모델을 제안하였다. 새로운 태양전지 모델을 구현하기 위하여 본 논문에서는 S사의 SM-50을 단위 모듈로 한 일사량 변화 및 온도 변화에 따른 태양전지의 전기적 출력을 기준으로 하였다.

SM-50 데이터를 바탕으로 그림 3에서는 표준온도에서 일사량 변화 시에 따른 전압, 전류 및 계수 변동



(a)



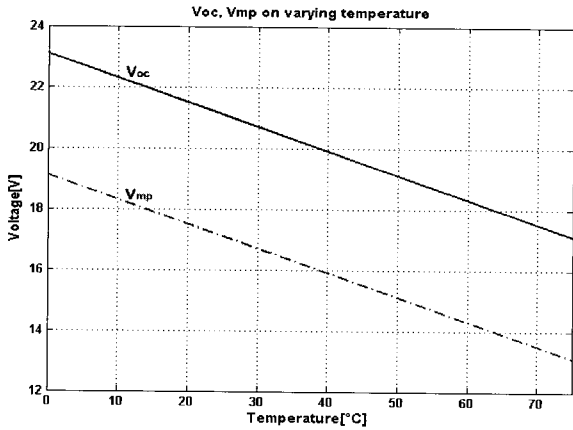
(b)

그림 3 표준온도에서 일사량변화에 따른 전압, 전류 출력변동

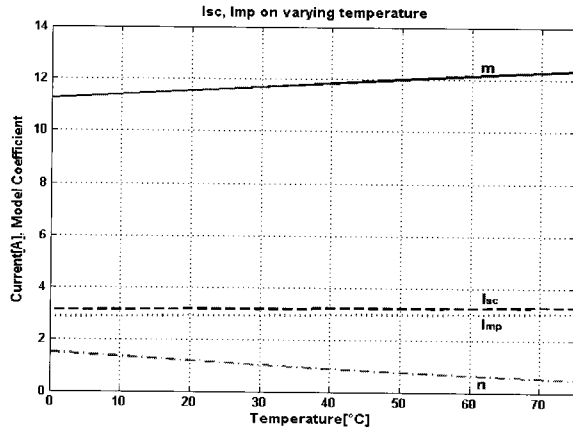
Fig. 3 The variation of output voltage and current to different insulations at the standard temperature

나타낸 것이고 그림 4에서는 기준일사량에서 온도 변화 시에 따른 전압, 전류 및 계수 변동을 나타낸 것이다. 그림 3과 4의 그래프 상에서 전압과 전류의 변화를 보면 각각의 온도 일사량변화 시 일관되게 변화하는 것을 볼 수 있다. 그러나 그림 3과 4의 그래프는 제조사에서 주어지는 한정적인 실제 데이터 값에 의해 나온 그래프이므로 실제 데이터 값 이외의 태양전지의 전압, 전류 변화를 알 수 없기 때문에 일정한 변화라고 보기 어렵다. 또한 태양전지 가상구현을 위해서는 어떠한 기상조건에서도 태양전지의 출력특성의 구현이 가능한 즉 온도와 일사량 동시변화에서도 적용이 가능한 태양전지 모델을 만들려면 제조사에서 주어지는 데이터 값들도 알고 있어야 하지만 제조사에서 주어진 데이터 이외의 값들도 알고 있어야 한다.

이러한 데이터는 제조사에서 제공을 하지 않기 때문



(a)



(b)

그림 4 기준일사량에서 온도변화에 따른 전압, 전류 출력변동

Fig. 4 The variation of output voltage and current to different temperature at the standard insolation

에 본 논문에서는 실제 데이터 사이의 출력들을 보간 방법으로 추론해 내어 기존의 태양전지 모델과는 달리 온도와 일사량 동시 변화 시에서도 태양전지 출력특성을 구현할 수 있도록 보간법을 써서 제안하였다. 보간법이란 어떤 함수  $f(x)$ 에 대하여 어떠한 간격을 가지는 2개 이상의 변수  $x_i(i=1,2,3 \dots n)$ 에 대한 함수값  $f(x_i)$ 가 알려져 있을 경우 그 사이에 존재하는 미지의  $x$ 에 대한 함수 값을 추정하는 해석방법을 말하는데 이를 근사적으로 나타내면 식 (12)와 같다.

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} (x - x_0) \quad (12)$$

식 (12)를 바탕으로 그림 3과 4의 그래프를 이용하여 기준온도, 일사량에서의 각각의 변화되는 값을 식으로 나타낼 경우 기준 일사량  $[S^*]$ 과 기준 온도  $[T^*]$ 에서의 개방전압  $V_{oc}$  성분은 식 (13)과 식 (14)로 각각 표현되어질 수 있다.

$$V_{oc}(S) = V_{oc,S}^* - \alpha_1 (S^* - S) \quad (13)$$

$$V_{oc}(T) = V_{oc,T}^* - \alpha_2 (T^* - T) \quad (14)$$

여기서,  $\alpha_1 = \frac{\Delta V_{oc}}{\Delta S}$  : 일사량변화 시 전압계수

$$\alpha_2 = \frac{\Delta V_{oc}}{\Delta T} : 온도변화 시 전압계수$$

식 (13)과 식 (14)를 하나로 합쳐보면 식 (15)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{oc}(S, T) = V_{oc,S}^* - \alpha_1 (S^* - S) + V_{oc,T}^* - \alpha_2 (T^* - T) \quad (15)$$

여기서  $S$ 와  $T$ 는 각각 태양광발전시스템 연구자가 알고자 하는 일사량과 온도이다. 기준일사량  $(S^*)$ 과 기준온도  $(T^*)$ 의 값은  $100[\text{mW}/\text{cm}^2]$ ,  $25[^\circ\text{C}]$ 으로 고정이다. 그러므로 식 (15)는 식 (16)으로 정리할 수 있다.

$$-V_{oc}^* + V_{oc} = \alpha_1 (S - S^*) + \alpha_2 (T - T^*) \quad (16)$$

위와 같은 과정을  $I_{sc}$ ,  $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$ ,  $m$ ,  $n$ 에도 반복하면 식 (17)과 같이 온도와 일사량을 동시에 변화시킬 수 있는 태양전지 모델을 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} f_{vo} &= \alpha_1 A + \alpha_2 B \\ f_{is} &= \beta_1 A + \beta_2 B \\ f_{vm} &= \alpha_1 A + \alpha_2 B \\ f_{im} &= \beta_1 A + \beta_2 B \\ f_{mc} &= \gamma_1 A + \gamma_2 B \\ f_{nc} &= \delta_1 A + \delta_2 B \end{aligned} \quad (17)$$

여기서  $\beta_1 = \frac{\Delta I_{sc}}{\Delta S}$  : 일사량변화 시 전류계수

$$\beta_2 = \frac{\Delta I_{SC}}{\Delta T} : \text{온도변화 시 전류계수}$$

$$\gamma_1 = \frac{\Delta I_{SC}}{\Delta T} : \text{일사량변화 시 } m \text{ 계수}$$

$$\gamma_2 = \frac{\Delta I_{SC}}{\Delta T} : \text{온도변화 시 } m \text{ 계수}$$

$$\delta_1 = \frac{\Delta I_{SC}}{\Delta T} : \text{일사량변화 시 } n \text{ 계수}$$

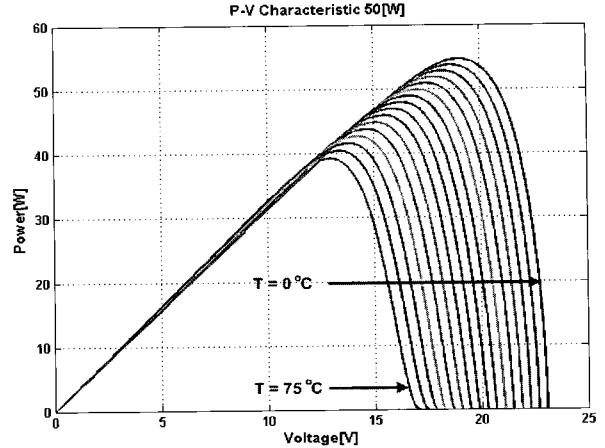
$$\delta_2 = \frac{\Delta I_{SC}}{\Delta T} : \text{온도변화 시 } n \text{ 계수}$$

식 (17)을 통해 온도와 일사량의 변화를 적용하여 나타나는 태양전지의 변수  $V_{OC}$ ,  $I_{SC}$ ,  $m$ ,  $n$  으로부터 이들을 기존의 보간형 모델에 적용하면 각각 모델들의 단점을 해결할 수가 있다. 태양전지 제조사에서 제공하는 제한적인 데이터에서도 연구자가 원하는 기상조건에서의 태양전지의 출력특성을 구현할 수 있다. 즉, 식 (17)을 기존의 보간형 모델 식 (7)에 대입하면 식 (18)과 같이 온도와 일사량에 관한 식으로 나타낼 수 있다.

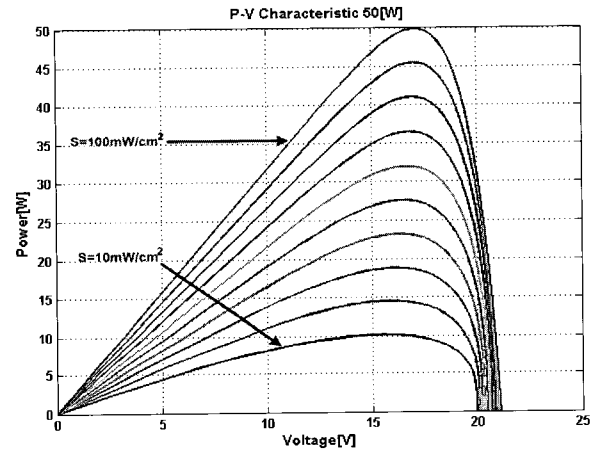
$$\left(\frac{V}{V_{OC}^* + \alpha_1 A + \alpha_2 B}\right)^{m^* + \gamma_1 A + \gamma_2 B} + \left(\frac{I}{I_{SC}^* + \beta_1 A + \beta_2 B}\right)^{n^* + \delta_1 A + \delta_2 B} = 1 \quad (18)$$

#### 4. 해석 및 특성비교

새로운 태양전지의 수학적 모델을 적용하여 시뮬레이션한 결과 그림 5에서 (a)는 온도변화에 따른 다양한 I-V 특성곡선, (b)는 일사량변화에 따른 I-V 특성곡선을 각각 보여주고 있다. 이 I-V 특성곡선은 태양전지 제조사에서 제공하는 기본데이터보다 미세한 온도 일사량 변화에서도 출력특성 구현이 가능하며 그래프 상에서 온도는 5[°C] 단위로, 일사량은 10[mW/cm<sup>2</sup>] 단위로 증가하였을 때를 각각 나타내고 있으나 조건에 따라 더욱 세밀하게 구할 수도 있다. 그림 6에서는 기존의 태양전지 모델이 구현하기 어려웠던 임의의 온도와 일사량 동시변화 조건에서도 태양전지의 전기적 출력특성이 구현됨을 보여주고 있는데 ①은 봄과 가을 ②는 태양전지 출력특성이 가장 잘 나타나는 여름 그리고 ③은 겨울을 계절별로 나타내어 보았다. 그리고 그림 7에서는 실제 태양광발전시스템에 적용되고 있는 단위 모듈의 원본데이터와 새로운 모델의 오차율을 확



(a)



(b)

그림 5 새로운 모델을 이용한 온도일사량 각각 변화시 P-V 특성곡선

Fig. 5 The variation of output voltage and current using improved model to different insolation at the standard temperature

인하기 위하여 SM-50 원본데이터와 새로운 태양전지 모델을 기준온도 시 일사량이 변화할 때와 기준일사량 시 온도가 변화할 때를 각각 비교해 보았다. 그 결과 단락전류와 최대전력점 사이구간 (태양전지의 전류원 구간)에서는 차이가 거의 없으나 최대전력점과 개방전압 사이인 전압원 구간에서는 온도와 일사량 조건에 따라 오차가 존재하지만 오차율이 3%미만이어서 실제 태양전지 전기적인 출력특성에 잘 추종함을 확인할 수 있다. 따라서 새로운 모델은 사용자가 원하는 다양한 기상조건에서도 태양전지 특성을 구현할 수 있음을 확인하였다. 그림 8에서는 다양한 제조사의 태양전지 모

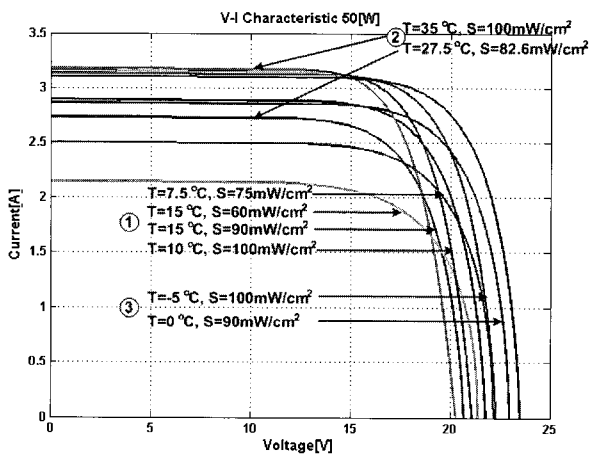


그림 6 새로운 모델을 사용하여 온도·일사량 동시변동 시 I-V 특성

Fig. 6 Various I-V characteristics using improved model when both temperature and insolation levels are varied

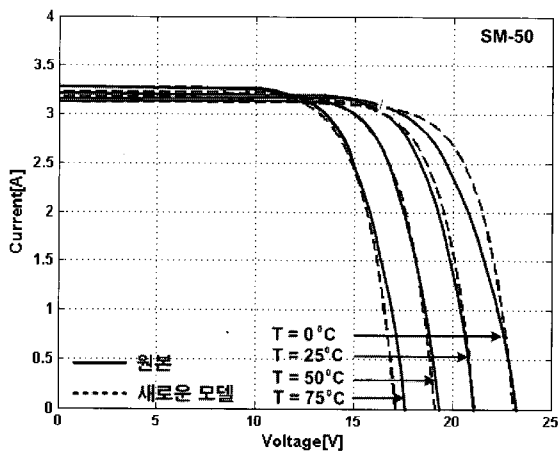


그림 7 SM-50 원본데이터와 비교

Fig. 7 The comparison of Sm-50 data and improved model

들에 새로운 모델을 적용하기 위하여 국내 제품이 아닌 국외 제품의 단위모듈에 새로운 모델을 적용하여 원본데이터와 비교해 보았다. 적용된 제품은 미국 B사의 SX-50이며 정격출력이 50[W]급이다. 이를 새로운 모델링에 적용하여 기준온도 기준일사량에서의 시뮬레이션 결과 원본데이터와 새로운 모델과의 오차율을 분석한 결과 최대전력점 부분에서 1.5%로 오차율이 가장 크게 나타났다. 이러한 오차율이 각각 다른 이유는 각 제조사 마다 태양전지 단위 모듈의 정격출력전력은 같을지 모르나 일사량이나 온도에 따른 태양전지의 전류

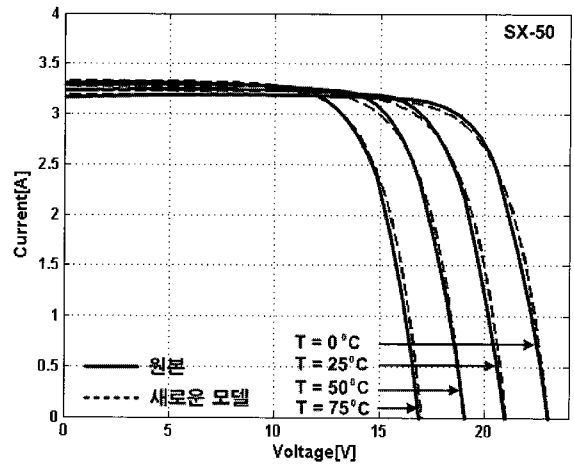


그림 8 SX-50 원본데이터와 비교

Fig. 8 The comparison of SX-50 data and improved model

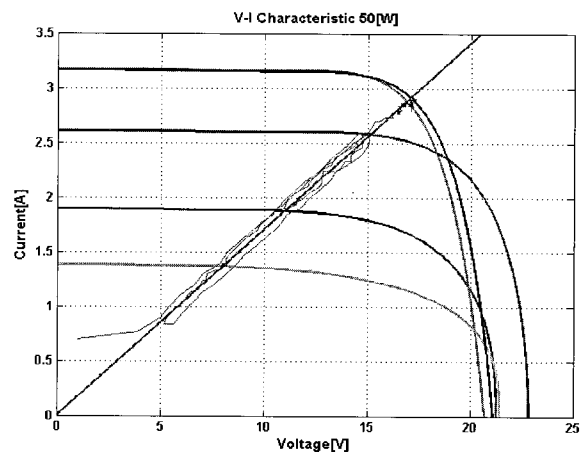
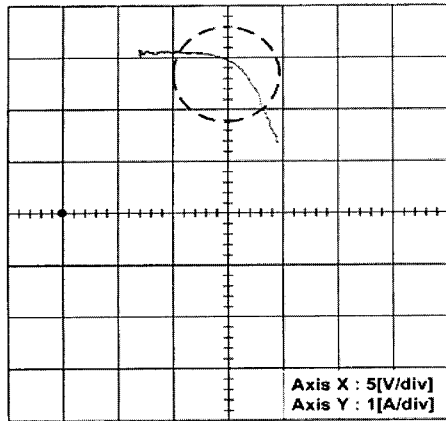


그림 9 고정부하시 온도·일사량 변화에 따른 태양전지 출력 추종

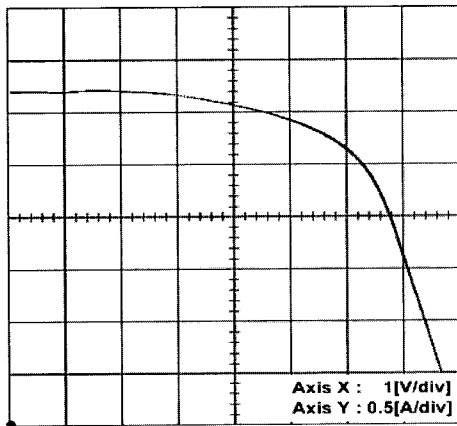
Fig. 9 Trajectories of PV output under different temperature and insolation

및 전압출력이 조금씩 다르기 때문에 발생하는 것이다.

또한 제조사마다 태양전지의 출력특성을 SM-50처럼 온도 및 일사량이 각각 변할 때 실제 데이터를 제공하는 제조사가 있는 반면에 SX-50처럼 어느 한쪽만 제공하는 제조사도 있다. 이처럼 제조사가 제공하는 태양전지 출력특성의 데이터만을 갖고 각 제조사의 태양전지 출력특성을 나타내는 오차율이 3% 이하라면 제안한 새로운 모델이 태양전지 가상구현 시스템에 적용 가능한 모델임의 타당성을 보인다. 그림 9에서는 기준온도, 기준일사량에서 최대전력점 부하인 5.86[Ω]으로 고정된 상태에서 온도와 일사량변화에 따른 태양전지 특성곡



(a)



(b)

그림 10 기준온도 일사량에서의 V-I 특성곡선  
Fig. 10 Electrical output characteristics at the standard condition

선과 부하선이 만나는 지점에서 새로운 모델이 태양전지의 출력을 추종하는 것을 나타내고 있다. 태양전지의 출력이 부하와 같이 선형적으로 나타나지 않고 여러곡선으로 나타나는 것은 변화하는 온도와 일사량에 따른 태양전지의 출력이 부하선과 만나는 지점을 찾아가는 도중의 전압과 전류의 값들이다.

### 5. 가상구현 시스템의 운전실험

본 논문에서 제안한 새로운 태양전지 모델을 검증하기 위하여 스텝다운 토폴로지를 사용한 태양전지 가상구현 시스템에 적용해 보았다. 태양전지 출력특성을 보기 위하여 X축은 전압 Y축은 전류로 나타내었다. 실제 전압과 전류를 X-Y좌표 상으로 보면 한 점으로 나타

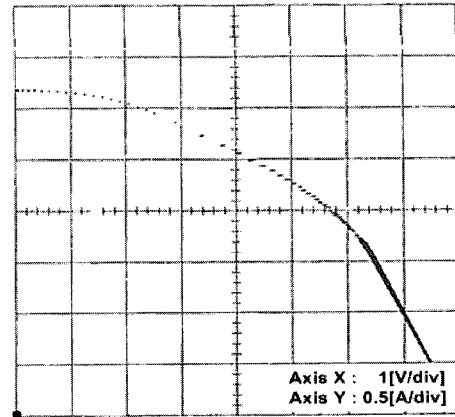


그림 11 50[°C], 100[mW/cm²]에서의 V-I 특성곡선  
Fig. 11 Electrical output characteristics at the 50[°C], 100[mW/cm²]

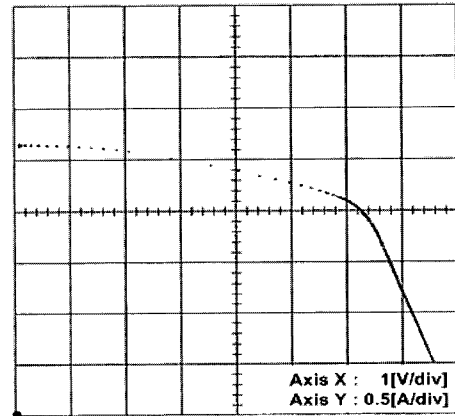


그림 12 25[°C], 80[mW/cm²]에서의 V-I 특성곡선  
Fig. 12 Electrical output characteristics at the 25[°C], 80[mW/cm²]

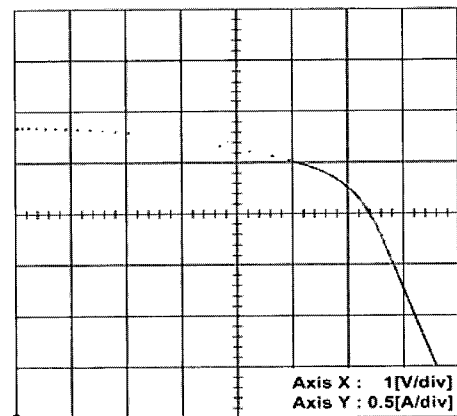


그림 13 20[°C], 85[mW/cm²]에서의 V-I 특성곡선  
Fig. 13 Electrical output characteristics at the 20[°C], 85[mW/cm²]



나져서 V-I 곡선을 보기 어렵다. 따라서 그림 10(a)에서는 기준온도 기준일사량일 때 태양전지 특성곡선을 나타내기 위하여 전자부하를 이용하여 V-I 특성곡선을 나타내었다. 그림 10(a)의 결과를 제조사에서 제공하는 실제 데이터 및 제안한 모델링을 이용하여 시뮬레이션 결과와 비교 분석해본 결과 3%이내의 오차율을 보이고 있다. 그러나 그림 10(a)의 최대전력점 부분을 확대하여 나타낸 것이 그림 10(b)인데 태양전지 V-I 곡선 시스템에서 정전류구간과 최대전력점 구간의 제어는 실제 태양전지의 전기적 특성과 같이 모의되고 있으나 정전압구간에서 4.73%의 오차율을 보인다. 그림 10(b)부터 그림 13까지의  $\cdot$ 은 0[A], 12[V]를 나타낸다. 그림 11은 기후조건이 온도 50[°C]와 일사량 100[mW/cm<sup>2</sup>]일 때의 특성곡선의 최대전력점 부분을 나타낸 것이다. 그림 12는 그림 11의 반대개념인 기후조건이 온도 25[°C]와 일사량 80[mW/cm<sup>2</sup>]인 온도고정 일사량 변동시의 곡선을 나타낸 것이다. 그리고 그림 13에서는 새로운 모델이 기존의 태양전지 모델의 단점을 개선한 온도와 일사량을 동시 변화시킨 20[°C]와 85[mW/cm<sup>2</sup>]일 때의 태양전지 출력특성 곡선을 나타내었으며 제안한 태양전지 모델이 태양전지 가상구현을 위한 모델로 적합함을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 다양한 온도와 일사량 변화에 따른 태양전지 출력특성 구현을 위한 기존의 모델에서의 문제점을 개선하였다. 매개변수형 모델은 태양전지 소자 특성을 바탕으로 만들어진 식이므로 신뢰성을 보장받고 있지만 모델을 세우기 위해서는 많은 데이터를 필요로 하는 단점이 있었다. 보간형 모델은 쉽게 태양전지의 출력특성을 구현 할 수 있는 장점이 있지만 보간형 모델 식 자체에는 온도와 일사량에 관한 변수가 없기 때문에 제조사에 제공된 일정한 데이터 안에서만 태양전지의 출력특성을 구현 할 수가 있었다. 이러한 단점을 본 논문에서 제안한 새로운 태양전지 모델은 개방전압, 단락전류, 최대전력점에서의 전압, 전류를 온도, 일사량에 관한 함수로 나타냄으로서 다양한 임의의 온도, 일사량에서도 태양전지 출력 특성을 구현 할 수 있도록 하였을 뿐만 아니라 국내 태양전지 제조사의 실제 데이터와 새로운 모델의 오차율을 비교해본 결과 최대 4.73%의 오차율을 나타냄으로서 태양전지 가상구현 시스템에 적용 가능한 타당성을 검증하였다.

이 논문은 2005학년도 건국대학교의 지원에 의하여 연구되었음

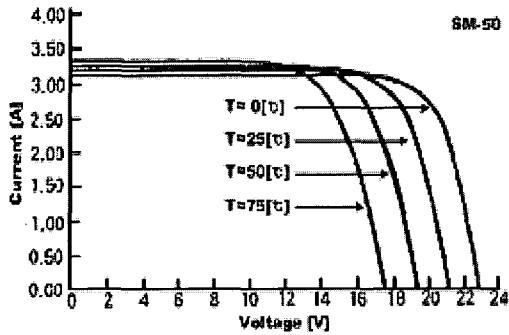
## 참 고 문 헌

- [1] Chihchiang Hua, Jongrong Lin, Chihming Shen, "Implementation of a DSP-Controlled Photovoltaic System with Peak Power Tracking", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 45, pp. 99-107, 1998.
- [2] Martin A. Green, "Solar Cells Operating Principles, Technology, and System Application", pp.79-101, Prentice-Hall, Inc., April. 1982.
- [3] Qingrong Zeng, Pinggang Song, Liuchen Chang, "A Photovoltaic Simulator Based on DC Chopper", IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vol. 1, pp. 257-261, 2002.
- [4] Byung-Hwan Jeong, Byung-Hee Kang, Gyu-Ha Choe, "Virtual-Implemented Solar Cell System with new cell Model", IEEE 34<sup>th</sup> Annual Power Electronics Specialist Conference, Vol. 3, pp. 736-740, 2003.
- [5] Mring L. Deblasio R. Tomko T, "An advanced PV system simulator to demonstrate the performance of advanced PV cells and devices", Proceeding of 16th IEEE PV Specialists Conference, pp. 199-204, 1982.
- [6] F. Nakanishi, T. Ikegami, K. Ebihara, S. Kuriyama, Y. Shoitai, "Modeling and Operation of a 10kW Photovoltaic Power Generator using Equivalent Electric Circuit Method", Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE , 15-22 Sept. 2000.
- [7] Y. Iida, Y. Fuchikami and Y. Neda, "Analysis of step-up chopper with photovoltaic array", IEEE Japan Annual Meeting, Vol.4, No.841, pp.4-180, 1999.
- [8] M. Matsui, T. Kitano, De-hong Xu, Zhong-ging Yang, "A New Maximum Photovoltaic Power Tracking Control Scheme Based on Power Equilibrium at DC Link", IEEE 34<sup>th</sup> Industrial Applications Conference, Vol. 2, pp. 804-809, 1999.

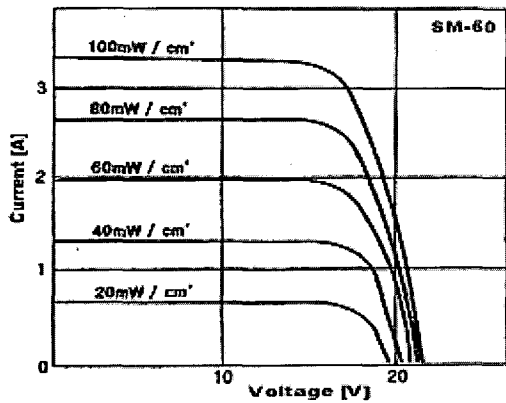
## 부 록

국내제품 태양전지 단위모듈 SM-50과 국외제품 SX-50 데이터시트를 그림 14와 그림 15에 각각 나타내었다. 앞서 시뮬레이션에서 언급한대로 SX-50은 온도변화에 따른 태양전지 특성곡선만을 나타내고 있다. 그리고 표 2와 표 3은 각 제조사의 50[W]급 단위모듈의 데이터를 나타내고

있으며 각 제조사마다 태양전지의 개방전압, 단락전류, 최대전압, 최대전류가 조금씩 차이가 있는 것을 알 수 있다.



(a) 온도 변화



(b) 일사량 변화

그림 14 SM-50 데이터시트  
Fig. 14 Datasheet of SM-50

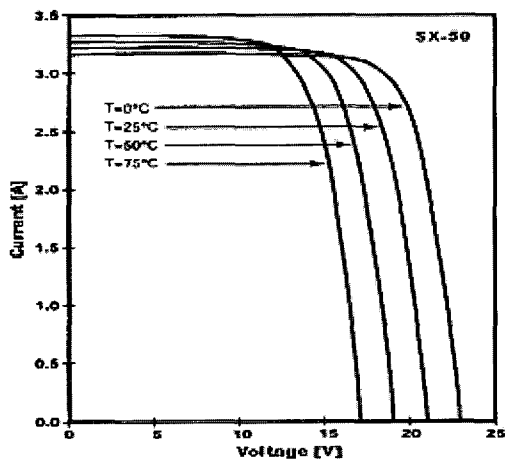


그림 15 SX-50 데이터시트  
Fig. 15 Datasheet of SX-50

표 2 SM-50 전압, 전류 데이터  
Table 2 Voltage & Current data of SM-50

(a) 일사량변동에 따른 변화

일사량[mW/cm <sup>2</sup> ]	Voc[V]	Isc[A]	Vmp[V]	Imp[A]
40	20.35	1.67	16.35	1.42
60	20.6	2.17	16.6	1.92
80	20.85	2.67	16.85	2.42
100	21.1	3.17	17.1	2.92

(b) 온도변동에 따른 변화

온도[°C]	Voc[V]	Isc[A]	Vmp[V]	Imp[A]
0	23.1	3.12	19.1	2.87
25	21.1	3.17	17.1	2.92
50	19.1	3.22	15.1	2.97
75	17.1	3.27	13.1	3.02

표 3 SX-50 전압, 전류 데이터  
Table 3 Voltage & Current data of SX-50

온도변동에 따른 변화

온도[°C]	Voc[V]	Isc[A]	Vmp[V]	Imp[A]
0	23	3.18	18.8	2.92
25	21	3.23	16.8	2.97
50	19	3.28	14.8	3.02
75	17	3.33	12.8	3.07

## 저 자 소 개



### 최규하(崔圭夏)

1955년 7월 24일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1987년~1988년 미국 오레곤주립대 Post-Doc. 1997년~1998년 건국대 연구처장. 2002~2004년 건국대 교무처장. 현재 건국대 전기공학과 교수 및 에너지전자기술연구소장. 당 학회 부회장.



**정병환(鄭柄煥)**

1978년 11월 1일생. 2001년 경성대 공대 전기공학과 졸업. 2003년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 박사수료. 현재 기초전력연구원 연구원.



**강병희(姜秉喜)**

1966년 9월 19일생. 1993년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1995년~1998년 삼성종합기술원 전문연구원. 현재 (주)케이팩신기술 대표이사.



**이명언(李明彦)**

1960년 6월 11일생. 1983년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 서일대 전기과 겸임교수.