

태양전지의 가상구현을 위한 정전력제어에 관한 연구

최해룡, 이정민, 고재석, 유재현, 이승학*, 최규하
 건국대학교 전기공학과, *대덕대학 제어계측과

A Study on Contant Power Control for Virtual Implementation of Solar Cell

H.R. Choi, J.M. Lee, J.S. Gho, J.H. Yoo, S.H. Lee, G.H. Choe
 Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University

ABSTRACT

This paper proposes the virtual implementation of solar cell(VISC) for photovoltaic system. It is required to make operation condition of solar cell arrays where is the limit of time and space.

The main advantage of the simulator is its ability to simulate different types and sizes of arrays considering V-I characteristics of data sheet. The VISC with buck-boost converter can be used to study the short-term and long-term performances of PV cells. The simulator is a far more cost effective and reliable replacement for field and flight testing.

1. 서론

대체에너지원으로서의 태양광 에너지는 청정에너지이고 무한정한 양을 보유하고 있어 그 이용이 최근 크게 대두되고 있다. 태양광발전과 관련된 연구를 수행하는데 있어 태양전지의 설치를 위한 넓은 공간이 요구되며 아울러 태양광발전의 특성이 일사량과 온도변화에 따라서 크게 변화되므로 동일조건으로의 재현 또는 재실험이 불가능하다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로써 임의의 일사량 및 온도 등의 조건에 따라서 태양전지의 출력특성을 전기적으로 모의해낼 수 있는 전력변환시스템을 통하여 연구 목적에 부합하는 임의의 태양전지 어레이의 규모를 선택할 수 있다. 또한 다양한 조건의 설정에 따라 동일한 일사량과 온도 등의 실험환경을 재현할 수 있어 연구의 생산성 및 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있다. 전술한 특징을 갖는 전력변환장치는 최근 고도로 발전된 전력변환 기법과 프로세서제어의 기술적 조합으로 태양전지어레이의 가상적 구현을 가능하게 한다^[1].

따라서 본 논문에서는 고효율의 시뮬레이터를 위

한 기초 기술을 연구하고자 DC-DC 컨버터(Buck-boost Converter)를 이용한 태양전지의 가상 구현(VISC: Virtual Implementation of Solar Cell, 이하 VISC라고 함)장치를 개발하는데 있어 정전력제어특성에 관하여 고찰한다.

2. 가상구현 태양전지

2.1 기본개념

태양전지의 가상구현장치는 그림1과 같이 구성되며, 실제 태양전지의 특성을 측정하여 데이터로 저장하는 로깅시스템과 제어시스템, 태양전지의 전압, 전류를 출력하는 컨버터로 이루어진다. 전체 제어블럭은 그림2와 같으며, AC-DC 컨버터와 DC-DC 컨버터를 사용하여 상용전원으로부터 태양전지의 V-I 특성을 출력시킨다.

가상구현시스템은 태양전지의 운전조건을 만족하도록 여러 가지 모드를 설정할 수 있다. 각 모드를 그림3과 표1과 같이 나타낼 수 있고 실제 태양전지 특성 측정모드, 데이터 저장모드, 데이터 분석모드, 가상구현 모드로 구성된다.

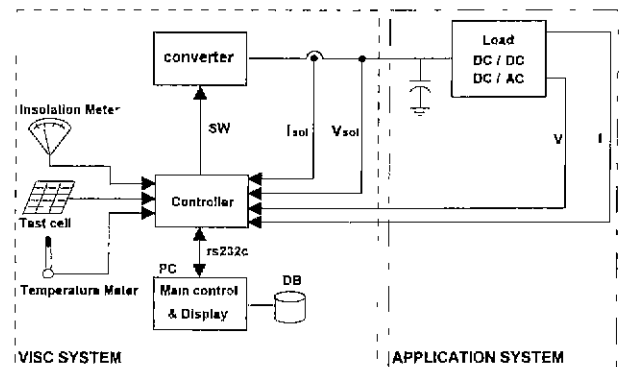


그림 1 태양전지의 가상 구현
 Fig. 1 Virtual implementation of solar cell

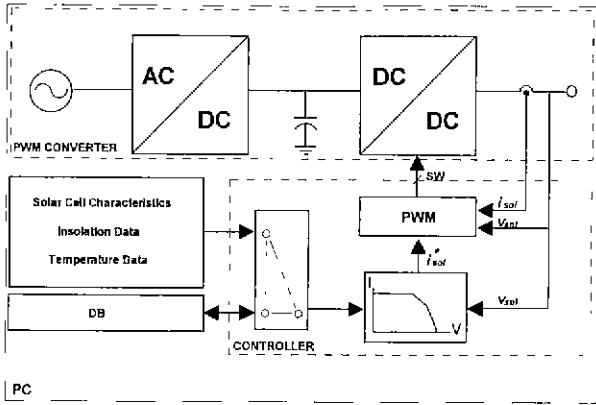


그림 2 VISC의 제어 블록도
Fig. 2 Control block of VISC

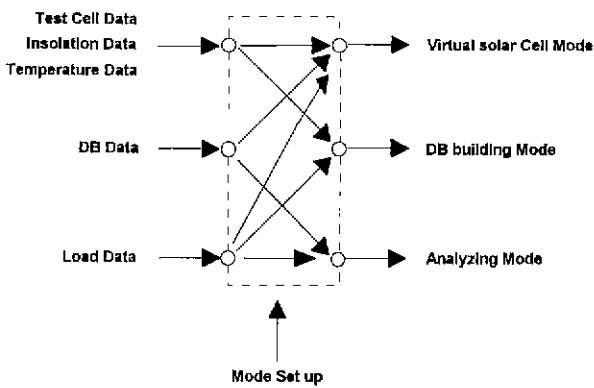


그림 3 시스템 운전 모드 설정 및 기능
Fig. 3 Function and setting up of system mode

표 1 VISC 운전 모드
table 1 VISC operation mode

VISC 운전 모드
· Test Cell의 온도, 일사량에 따른 V-I곡선 데이터베이스 구축 모드
· Test Cell로부터의 태양전지모델 추출 모드
· Test Cell구동에 의한 대규모 태양전지의 리얼타임 시뮬레이터 모드
· 데이터베이스화 되어있는 태양전지 출력특성을 이용한 시뮬레이터모드
· 실험조건변화의 시나리오에 의한 운전 모드
· 데이터 분석 모드

2.2 태양전지 수학적 모델

2.2.1 매개변수형 모델

태양전지(Solar Cell)는 광기전력효과(Photo-voltaic Effect)를 이용하여 태양의 복사에너지를 직접적으로 전기에너지로 변환시키는 반도체 소자로서 광조사(光照射)시 이상적인 수학적 모델의 출력 전압-전류 특성은 다음 식과 같이 된다. 이 식에서 알수 있는 바와 같이 태양전지는 전압제어-전류원의 특징이 있음을 발견할 수 있다.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

실제적인 태양전지의 모델은 직렬 저항 R_s 와 병렬 저항 R_{sh} 가 가해져 그림4와 같이 되고, 식(1)은 다음과 같이 등가화 할 수 있다.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R} \quad (2)$$

여기서, I : output current of the cell[A]

I_{ph} : light generated current[A]

I_0 : diode saturation current[A]

V : voltage across cell terminals[V]

T : temperature[K]

k : Boltzmann's constant[$1.3810^{-23} J/K$]

q : elementary charge[$1.60210^{-19} C$]

e : base for natural logarithm[2.71828]

R_s : series resistance[Ω]

R_{sh} : shunt resistance[Ω]

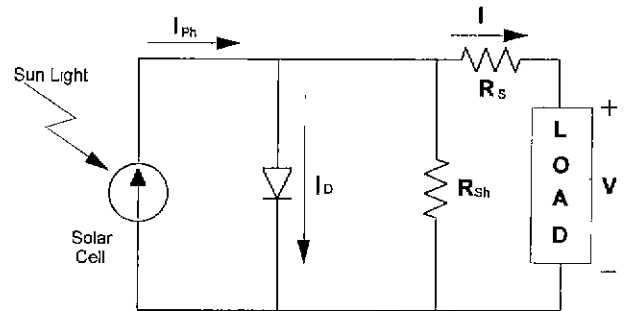


그림 4 태양전지의 등가회로
Fig. 4 Equivalent circuit of solar cell

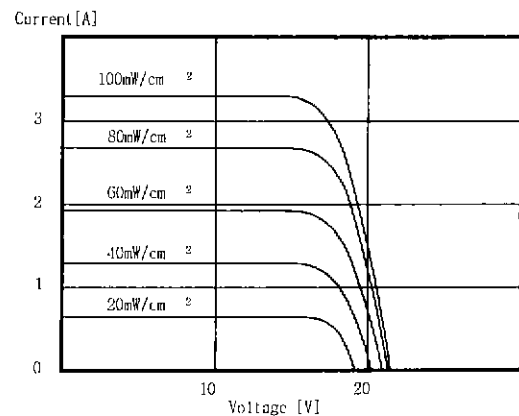


그림 5 태양전지의 일사량에 따른 출력특성
Fig. 5 Solar cell output characteristics with varying radiation

그림5는 일사량에 따른 태양전지의 출력의 변화를 보여주고 있으며 그림6은 온도에 따른 개방전압의 변화추이를 보여준다. 일사량의 변화시 태양전지의 개방전압은 큰 변동이 없는 반면 출력전류가 크게 변화하고 있고, 셀 표면의 온도 변화시는 개방전압이 크게 변화되고 있음을 알 수 있다. 즉, 태

양전지의 출력은 온도와 일사량에 의해서 변화되며 시뮬레이터는 이러한 온도와 일사량의 데이터를 갖고 있어야 한다. 또한 현재의 온도 및 일사량에 의한 실시간 시뮬레이터 기능을 하고자 할 때는 온도계와 일사량계가 반드시 필요함을 알 수 있다.

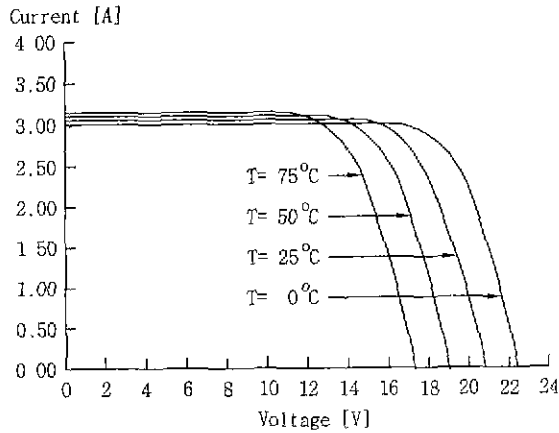


그림 6 태양전지의 온도에 따른 출력특성
Fig. 6 Solar cell output characteristics with varying surface temperature

2.2.2 보간형 모델

본 모델은 매개변수형 모델에서 요구하는 태양전지의 여러 가지 상수에 관한 정보가 부족할 때, 태양전지의 개방전압(V_{oc})과 단락전류(I_{sc})에 관한 정보만으로 모델의 비선형 특성곡선을 추종할 수 있다. 이러한 근사화 기법은 최대출력 추종 조건을 만족시키며 식(3)과 같이 표현된다.^[3] 여기에서 V_{cell} 과 I_{cell} 은 태양전지의 출력측 전압과 전류이다.

$$\left(\frac{V_{cell}}{V_{oc}}\right)^m + \left(\frac{I_{cell}}{I_{sc}}\right)^n = 1 \quad (3)$$

$$V_{cell} = V_{oc} \sqrt[n+m]{\frac{n}{n+m}} \quad (4)$$

$$I_{cell} = I_{sc} \sqrt[n+m]{\frac{m}{n+m}} \quad (5)$$

3. VISC 설계 및 평가

3.1 Buck-boost 컨버터

가상구현장치는 소용량의 단위셀로부터 대용량 태양전지모듈까지 모의할수 있도록 Buck-boost 컨버터를 이용하여 출력전압의 범위를 확장시킬 수 있다. 입출력 전압의 관계는 식(6)로 표현되며, 식(7)은 경계조건하에서의 내부 인덕턴스를 나타낸다. 식(8)는 컨버터 직류단의 전압맥동률을 나타내며, 이러한 관계식으로부터 Buck-boos 컨버터가 설계된다.

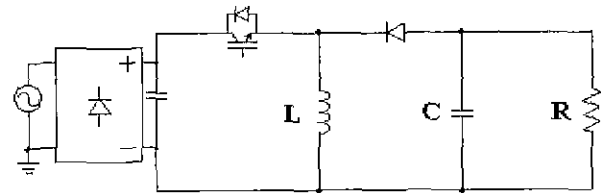


그림 7 승·강압 컨버터
Fig. 7 Buck-boost Converter

$$\frac{V_a}{V_s} = \frac{D}{1-D} \sqrt{\frac{L_c}{L}} \quad (6)$$

$$L_c = \frac{RD^2 V_s^2}{2f_s V_a^2} = \frac{R(1-D)^2}{2f_s} \quad (7)$$

$$\Delta v_c = \frac{I_a t_{on}}{C} = \frac{I_a DT}{C} \quad (8)$$

여기서, V_s : Input DC voltage[V]

V_a : Output voltage[V]

D : Duty ratio

L : Inductance[H]

L_c : Critical inductance[H]

R : Load[Ω]

f_s : Switching frequency[Hz]

C : Capacitance[F]

I_a : Load current[A]

3.2 시뮬레이션 및 결과

SOLAREX사의 MSX-50의 전기적 특성은 표2와 같다.

표 2 SOLREX MSX-50 사양
table 2 SOLREX MSX-50 specification

- 최대전력(Pmax) 50W
- 최대전력 전압(Vmp) 17.1V
- 최대전력 전류(Imp) 2.92A
- 단락전류(Isc) 3.17A
- 개방전압(Vc) 21.1V

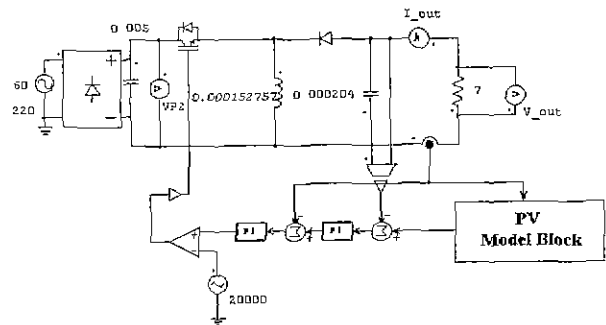


그림 8 VISC 구성도
Fig. 8 VISC Configuration

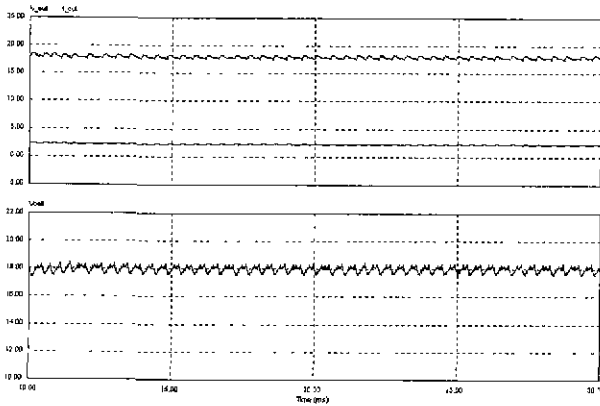


그림 9 시뮬레이션에 의한 태양전지 출력파형
Fig. 9 Solar cell output by simulation

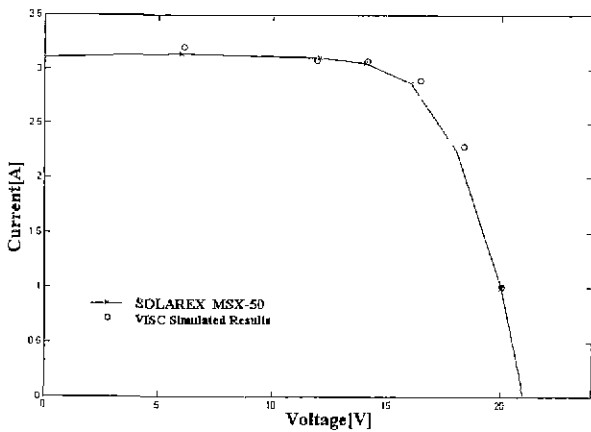


그림 10 태양전지(SOLAREX MSX-50)의 V-I 특성비교
Fig. 10 Comparison of V-I characteristics for solar cell (SOLAREX MSX-50)

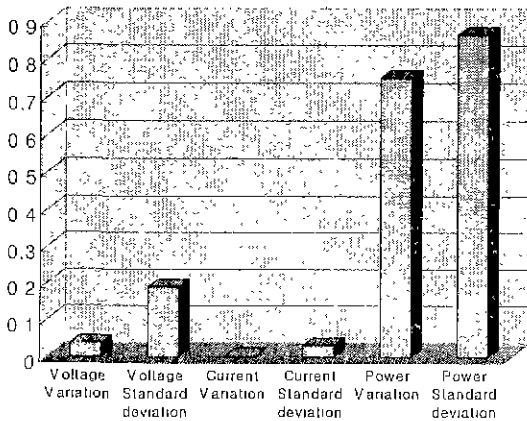


그림 11 전압, 전류, 전력의 분산 및 표준편차
Fig. 11 Variation and standard deviation of voltage current, power

그림9는 SOLAREX MSX-50의 태양전지 데이터 ($V_{cell} = 18[V]$, $I_{cell} = 2.25[A]$)를 구현한 결과이다. 먼저 Matlab을 통해 $m(=0.9101)$, $n(=5.849)$ 계

수를 얻고, 이를 그림8의 PV 모델 블록에 대입함으로써 태양전지의 기준전압, 전류를 만들게 된다. Psim에 의한 Buck-boost 컨버터의 태양전지 가상 구현이 실제 데이터와 유사함을 확인할 수 있다. 그림10에서 6개의 실제데이터와 가상구현 결과를 비교하였으며 정확도 평가를 위한 전압, 전류, 전력에 대한 분산 및 표준편차는 그림11과 같다.

4. 결론

본 논문에서는 넓은 범위의 운전조건을 갖는 태양전지 가상구현장치를 제안하였다. 먼저 태양전지의 수학적 모델에 관하여 고찰하였고 그 모델로부터 얻어진 태양전지의 기준 전압전류를 계산하여 buck-boost 컨버터의 정출력제어 특성을 확인하였다. 이를 통하여 다양한 종류의 태양전지를 구현할 수 있고 또한 태양광발전에 관하여 연구를 수행하는데 있어 공간과 시간의 제약을 극복 할 수 있다. 향후연구과제로 태양전지의 출력특성에 영향을 미치는 일사량과 온도조건에 관한 가상구현이 수행되어야 한다.

이 논문은 에너지관리공단 학술진흥사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Kame Khouzam, Keith Hoffman, "Real Time Simulation of Photovoltaic Modules", Solar Energy, Vol. 56, PP 521-526, 1996.
- [2] Katsumi Ohniwa, Tadao Fujimaki, "Simulator for photovoltaic Solar Cell Module", T.IEE Japan, Vol 110, No 4, PP 361-367, 1990.
- [3] Y.Iida, Y. Fuchikami and Y.Neba, "Analysis of step-up chopper circuit with photovoltaic arrays", IEE Japan Annual Meeting, Vol 4, No 841, PP 4/180, 1998.
- [3] Chihchng Hua, Chihming Shen, Jongrong Lin, "Implementation of a DSP-Controlled Photovoltaic System with Peak Power Tracking", IEEE Trans on Industrial Electronics, Vol 45, No 1, PP 99-107, 1998.
- [4] J.Merten, J.M.Asensi, "Improved Equivalent Circuit and Analytical Model for Amorphous Silicon Solar Cells and Modules", IEEE Trans. of Electron Device, Vol. 45, No. 2, Feb. 1998.
- [5] Mikihiko Matsui, Tatsuya Kitano, "A new maximum photovoltaic power Tracking Control Scheme Based on Power Equilibrium at DC link," Proceeding of IEEE Industry Application Meeting, Vol.2, 1999, pp804-809