

새로운 태양전지 모델을 이용한 태양전지 가상구현 시스템

정병환, 이상용, 오방원, 전운석, 최규하
건국대학교 전기공학과

Virtual-Implemented Solar Cell System with New Cell Model

Bjung-Hwan Jeong, Sang-Yong Lee, Bang-Won Oh, Yoon-Suk Jeon, Gyu-Ha Choe
Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University

Abstract - The output of solar cell or array depends on the weather conditions such as cell temperature and insolation level. If the output of the photovoltaic system would be regularly generated under any weather conditions, it is so easy to develop the inverter, its related system, and also control algorithm. This can be performed by the VISC(virtual-implemented solar cell) system studied in this paper. And a few I-V curves are provided by the manufacturers, and so any I-V value between the given curves is unknown. The new model for solar cell is proposed, which is based on the interpolation. Both simulation and experiment are executed to show the validity of the proposed VISC system.

1. 서 론

최근 대체에너지 시스템에 관한 관심과 수요가 크게 증가하고 있는 가운데 공기오염이 없고 무한한 에너지를 갖는 태양에너지 시스템은 미래의 주요한 대체 에너지원으로 각광받고 있다. 그러나 태양광발전시스템을 설치할 넓은 장소와 태양전지 재료비용이 많이 든다는 단점이 있다. 게다가 태양전지는 기후조건(특히, 온도와 일사량)에 따라 그 출력특성이 변하기 때문에 PV 시스템을 위한 제어 알고리즘과 이와 관련된 제어기를 개발하기 어렵다. 그러므로 일정조건에서 실험을 반복하거나 연구자가 원하는 특정조건에서의 실험을 하기가 불가능하다.^{[1][2]} 이러한 문제점을 해결하기 위해 태양광발전시스템을 연구하는데 있어서 태양전지의 특성을 가상구현할 수 있는 장치는 필요하다고 할 수 있다. 이러한 태양전지를 VISC(Virtual-Implemented Solar Cell)라 부르며 VISC는 실제 기후 조건과 무관하게 임의 일사량과 온도 level을 설정함으로써 출력을 조절할 수 있다. 본 논문에서는 제안한 VISC 시스템을 실제 태양전지의 새로운 수학적 모델을 이용하여 실험과 시뮬레이션을 수행하였고 제안된 VISC 시스템이 실제 태양전지의 출력을 나타냄을 검증하였다.

2. 새로운 태양전지 모델링

태양전지의 전기적 출력특성은 일사량이 증가함에 따라 출력전압과 출력전류가 증가하고 셀의 온도가 높아짐에 따라 출력전류는 증가하고 출력전압은 감소한다. 태양전지의 수학적 모델은 위에서 언급한 특성을 포함해야 한다. 수학적으로 모델링이 용이한 보간형 모델은 개방전압(Voc)과 단락전류(Isc), 최대전력점(Vmp, Imp)을 실측하여 모델링 하는 방법이다. 그러나 보간형 모델은 온도, 일사량 변화시 Voc, Isc, Vmp, Imp의 값이 어떻게 변하는지 알 수 없기 때문에 임의의 온도, 일사량에서 태양전지 특성을 구현할 수 없었다. 표 1은 SM-50을 단위모듈로 한 3[kw]급 태양광발전시스템의 일사량,

온도 변화 시에 태양전지 특성을 표로 작성한 것이다. 그림 1과 2에서 온도, 일사량 변화 시 전압, 전류가 선형적으로 변화 하는 것을 알 수 있으며 이런 선형적인 특성을 기반으로 기준 일사량 $S^*=100[mW/cm^2]$ 와 기준 온도 $T^*=25[^\circ C]$ 조건하에서 식 (1)이 유도된다.

$$\begin{aligned} V_{oc}(S, T) &= V_{oc}^* - (a_1 X(S^* - S)) - (a_2 X(T^* - T)) \\ I_{sc}(S, T) &= I_{sc}^* - (\beta_1(S^* - S)) - (\beta_2 X(T^* - T)) \\ V_{mp}(S, T) &= V_{mp}^* - (a_1 X(S^* - S)) - (a_2 X(T^* - T)) \\ I_{mp}(S, T) &= I_{mp}^* - (\beta_1 X(S^* - S)) - (\beta_2 X(T^* - T)) \end{aligned} \quad (1)$$

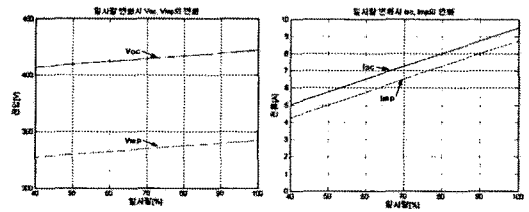
여기서 S^* : Reference insolation(100mW/cm2) S : Present insolation
 T^* : Reference temperature(25[^\circ C]) T : Present temperature
 a_1, a_2 : Voltage coefficient during insolation & temperature
 β_1, β_2 : Current coefficient during insolation & temperature
표 1. 3[kw]급 태양전지 여러개의 실제 I-V 값

(a) different insolation level ($T^* = (25^\circ C)$)

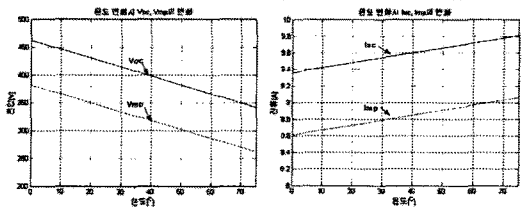
일사량[mW/cm ²]	Voc[V]	Isc[A]	Vmp[V]	Imp[A]
40	407	5.01	327	4.26
60	412	6.51	332	5.76
80	417	8.01	337	7.26
100	422	9.51	342	8.76

(b) different cell temperature ($S^* = (100 mW/cm^2)$)

온도[^\circ 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

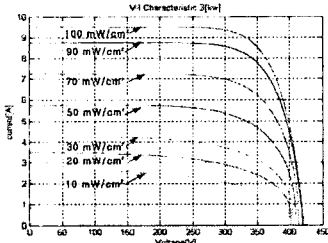


(a) The output voltage (b) The output current
그림 1 기준온도 25에서 일사량 변화시 출력전압-전류변동
Fig. 1 The variation of output voltage and current to different insolation at the standard temperature ($T^* = (25^\circ C)$)

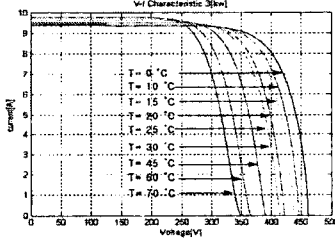


(a) The output voltage (b) The output current
그림 2 기준일사량 100mW/cm²에서 온도 변화시 출력전압-전류변동
Fig. 2 The variation of output voltage and current to different temperature at the standard insolation ($S^* = (100 mW/cm^2)$)

이때 V_{oc} , I_{sc} , V_{mp} , I_{mp} 각각의 관계는 일사량 S 와 온도 T 의 함수로써 표현된다. 식 (1)의 4개의 계수 α_1 , α_2 , β_1 , β_2 는 제조회사에서 제공되는 값이다. 그림 3의 (a)는 기준 일사량 S^* 에서 온도변화 시 I-V특성을 (b)는 기준온도 T^* 에서 일사량변화 시 I-V특성을 나타낸다. 그림 4의 (a)와 (b)는 제조회사에서 제공한 I-V특성과 비교할 때 측정오차는 3% 이내이다. 이것은 제안된 새로운 모델이 실제 태양전지의 특성과 거의 일치한다는 것을 입증한다. 또한 그림 4는 제안된 모델을 사용하여 서로 다른 기후조건 ①, ②, ③, ④에서 일사량과 온도가 동시에 변할 때 I-V특성을 나타낸다. 조건①은 일사량 $95[mW/cm^2]$ 와 온도 $30[^\circ C]$ 이상인 여름을 조건 ②, ③은 온도 $15\sim 20[^\circ C]$ 정도의 봄과 가을을 조건 ④는 $0[^\circ C]$ 이하의 겨울을 각각 의미한다.



(a) Temperature varied ($S^* = (100 mW/cm^2)$)



(b) Insolation varied ($T^* = (25^\circ C)$)

그림 3 제안한 모델에 의한 I-V 곡선
Fig. 3 The I-V curves obtained by the proposed model.

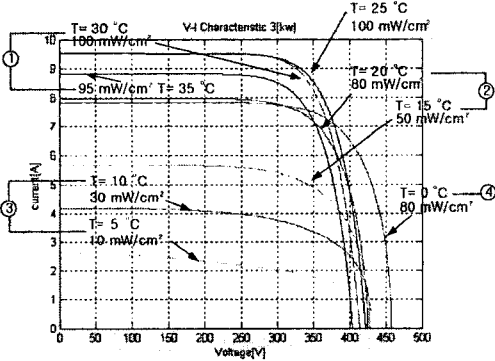


그림 4 온도, 일사량 변화시 I-V 출력 특성
Fig. 4 Various I-V characteristics to variations of both temperatures and insolation level.

3. 새로운 태양전지 모델링에 의한 VISC 시스템

VISC system은 그림 5에서처럼 PWM converter, DSP controller, Data acquisition, Data logger등 주요 4부분으로 구성된다. VISC의 동작은 다음과 같다. 실제온도와 일사량을 센싱부로부터 센싱하여 얻어진 signal은 부하로부터 feedback된 signal과 함께 DSP controller로 보내지고 최종 control signal은 DC-DC

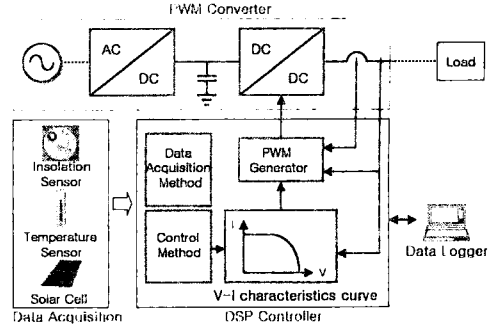


그림 5 제안한 새로운 모델링에 의한 VISC 시스템 구조
Fig. 5 The VISC system configuration with the proposed new model.

컨버터에서 발생된다. control signal이 새로운 태양전지 (VISC)에서 발생되기 때문에 DC-DC 컨버터는 실제 태양전지와 같은 I-V특성을 갖는다. power 컨버터는 diode 정류기와 buck 컨버터로 구성된다. PC와 DSP로 구성되는 Controller는 센싱부로부터 전송된 데이터를 저장하고 출력조건을 조절하여 컨버터의 gate signal을 적절히 조절함으로써 동작을 직접적으로 control 한다. 데이터 logger는 RS422 통신을 통해 센싱된 많은 기후 데이터를 저장한다. 3[kw] 태양전지 어레이의 I-V특성을 나타내는 그림 6에서 임의의 point ①, ②, ③은 선택되고 기준 온도와 일사량($25[^\circ C]$, $100[mW/cm^2]$)에서 MPP(Maximum power point) ①에서 순간적으로 ②로 이동하고 다시 ③으로 동작점을 이동 시켰을 때의 VISC system의 응답을 그림 7에 나타내었으며 이는 point ①, ②, ③에 관련된 세 종류의 reference 전류를 따라서 출력전압이 추증함을 나타낸다.

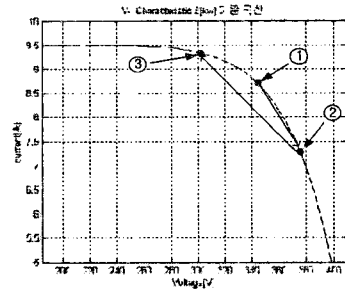
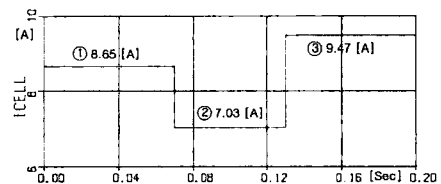
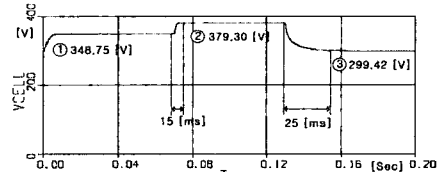


그림 6 기준온도, 일사량에서 I-V특성을 비교하기 위한 세 점을 지정
Fig. 6 Three points chosen for comparing I-V characteristics under standard temperature and insolation($25[^\circ C]$, $100[mW/cm^2]$).



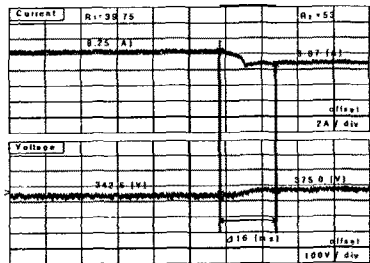
(a) Reference current at the point ①, ② and ③



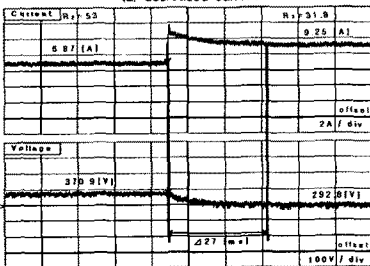
(b) Output voltage obtained at point ①, ② and ③
그림 7 순간적인 변화에 따른 VISC 시스템의 출력응답
Fig. 7 The output response of VISC system to abrupt changes.

4. 실험 결과

본 논문에서는 제안된 VISC 시스템이 실제 태양전지의 출력을 나타냄을 검증하기 위해 VISC system의 출력 특성에 이용하여 수행되었다. 그림 8에서 MP(Maximum Point) point ①은 point ②로 이동 후 다시 point ③으로 각각 순간적으로 이동했을 때 VISC system의 응답 특성을 나타낸 것이다. 실험을 통해 rising time과 falling time은 각각 16[ms]와 27[ms]를 얻었으며 이 값들은 그림 7에서의 시뮬레이션 결과와 거의 유사함을 확인하였다. 응답 error 비교를 위해 point ①, ②, ③에서 새로운 수학적 모델의 시뮬레이션 된 출력, VISC system의 출력 그리고 태양전지 어레이의 실제 3[kw]의 출력을 각각 측정하여 표 2에 정리하였다. 표 2에서 볼 수 있듯이 세 경우의 비교 오차는 약 3%이내임을 확인할 수 있다. 위 결과는 일정 온도와 일사량 조건하에서 부하와 전류가 변할 때 VISC system의 출력 특성을 보여 준다. VISC system의 dynamic 특성을 알아보기 위해 고정부하(39.75[Ω], MP(Maximum Point)) 또는 고정 전류에서 온도와 일사량 조건이 변할 때를 가정했다. 그림 9는 VISC system의 출력 point가 load line(1/R; 1/39.75)와 만나는 point ①, ②, ③, ④, ⑤를 나타낸다. 그림 10은 그림 8에서처럼 rising edge와 falling edge시 시간지연 때문에 I-V특성 값이 load line 상을 궤도(trajjectory)를 그리며 약3% 이내의 오차를 가지며 이동하는 것을 나타낸다. 따라서 실험결과로부터 온도와 일사량뿐만 아니라 부하가 동시에 순간적 변한다하더라도 VISC system의 빠른 동작 특성은 실제 태양전지와 동일한 특성을 갖는다는 것이 입증되었다.



(a) decreased current



(b) increased current

그림 8 기준온도, 일사량에서 부하변동에 따른 VISC 시스템의 출력전압
Fig. 8 The VISC system output voltage to load changes under standard temperature and insolation(25 [°C],100[mW/cm²])

표 2 부하변동시 VISC 시스템의 출력
Table 2 VISC system output voltage and current

	태양전지의 출력		시뮬레이션 출력		VISC 시스템의 출력	
	전압[V]	전류[A]	전압[V]	전류[A]	전압[V]	전류[A]
① R = 39.7 [Ω] (최대 전력점)	345.78	8.65	343.75	8.65	342.6	8.43
					ΔV=1.5	ΔI=0.2
② R = 53 [Ω]	378.71	7.03	379.30	7.03	375.0	6.87
					ΔV=2.5	ΔI=0.2
③ R = 31.8 [Ω]	301.36	9.47	299.42	9.47	300.0	9.12
					ΔV=4.0	ΔI=0.2

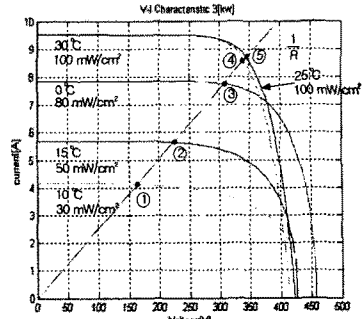


그림 9 VISC 시스템의 고정부하에서 온도·일사량 변화시 출력점
Fig. 9 VISC system output point on the constant load when the temperature and insolation is varied.

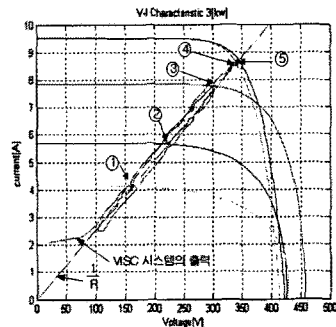


그림 10 고정부하에서 온도·일사량 변화에 따른 VISC 시스템의 출력 V-I 곡선
Fig. 10 VISC system V-I curve on the constant load when the temperature and insolation is varied.

3. 결론

VISC(Virtual-Implemented Solar Cell) system 은 태양전지를 다양한 기후(온도, 일사량) 조건에 제한 받지 않고 동작하도록 하기 위해 연구되었다. 태양전지를 위한 새로운 모델은 VISC system의 더 개선된 출력특성을 얻기 위해 제안 되었다. 이러한 새로운 모델을 위해 기준 온도와 일사량(온도 25[°C], 100[mW/cm²])을 설정하였다. 제안된 모델의 타당성을 확인하기 위해 온도와 일사량 그리고 부하를 넓은 범위에서 순간적으로 변화시켰다. 그러나 VISC system의 출력은 매우 속응성 빨라 거의 일치하는 값으로 reference 값을 추종했다. 실제 태양전지와 VISC system과의 오차는 약 3% 이내가 된다는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 본 논문에서 시뮬레이션 된 결과와 실험결과는 거의 일치하고 제안된 모델의 타당성을 검증할 수 있었다.

[참고 문헌]

- [1] Fred C Treble, "Generating Electricity from The Sun" pp.103-124, Oct 1990
- [2] Martin A. Green "Solar Cells Operating Principles, Technology, and System Application", pp 79-101, April. 1982
- [3] Robert F. Pierret, "Semiconductor Device Fundamentals", pp.195-368, March. 1996
- [4] S. M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices" 2nd Edition, pp.790-835, 1981
- [5] 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