

새로운 태양전지 특성 모의 방법을 이용한 태양전지 시뮬레이터 연구

김상진*, 민병덕**, 이종필**, 김태진**, 유동욱**, 송의호*
 창원대학교*, 한국전기연구원**

Photovoltaic simulator using a novel photovoltaic simulation method

Sang-Jin Kim, Byung Duk Min, Jong-Pil Lee, Tae-Jin Kim, Dong-Wook You, Eui-Ho Song
 Changwon National University, KERI

ABSTRACT

급속하게 발전하는 태양광발전산업에 맞추어 태양광발전시스템의 시험단계에 필요한 태양전지의 전압-전류 특성을 가지는 태양전지 시뮬레이터는 필수적이다.

이를 위해 본 논문에서는 기존의 방법과 달리 태양전지 모듈의 표준시험 조건의 출력데이터와 주요 온도별, 광량별 데이터, 관계변수만을 가지고 온도와 광량의 변화에 따른 새로운 전류, 전압곡선 추출방법을 간단한 수식을 통해 해석하고, 하드웨어를 구성하여 다양한 조건에서 태양전지의 I-V Curve를 시뮬레이션 한다.

15kW급 태양전지 시뮬레이터의 시작품을 제작하여 실험을 통해 제안된 방법의 타당성을 검증한다.

1. 서 론

태양전지 시뮬레이터는 고가의 태양전지 모듈의 특성을 반영하는 뿐만 아니라, 태양광 발전시스템(Photovoltaic Power condition system)의 사전 시험운용에 반드시 필요한 장치이다.

태양전지 시뮬레이터를 운용하기 위해서는 태양전지 모듈의 전류-전압 특성을 가져야 한다. 태양전지 모듈의 전류-전압 특성을 가지기 위해서는 다양한 연구 방법이 진행되어 왔다. 본 논문에서는 복잡한 수식이 필요 없이 마이크로프로세서에 구현하기에 용이한 방법을 제시하고, 최소한의 데이터베이스 작업으로 테이블 추출시간의 절약과 데이터의 추출이 단속적이지 않고, 온도와 광량의 모든 동작영역에서 연속적으로 추출이 가능한 방법을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 Modeling of Photovoltaic Device

태양전지의 간단한 등가회로는 다이오드와 전류원이 병렬로 연결되어진 구조이다. 전류원은 태양광의 irradiation E 에 직접 비례하는 광전류 I_{ph} 를 발생시킨다. 태양전지의 p-n접합은 그림 1에서 보는 바와 같이 다이오드로 등가적으로 표현된다.

그림1의 등가회로로부터 태양전지 셀의 전류전압 특성곡선은 Kirchhoff's current law에 의해서 아래 수식과 같이 구할 수 있다.

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{V}{m \cdot V_T}\right) - 1 \right) \quad (1)$$

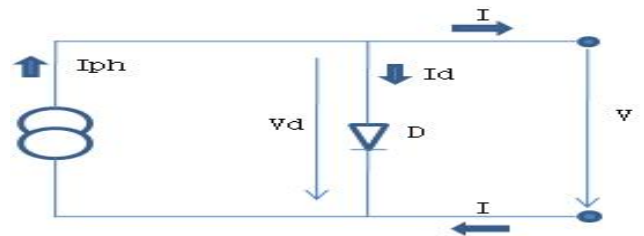


그림 1. 이상적인 태양전지 등가회로

I_{ph} : Photo current

I_D : Diode current

I_s : Diode reverse saturation current

m : Diode "ideally factor" $m = 1 \dots 5V_T$

Thermal voltage: $V_T = \frac{k \cdot T}{e}$; $V_T = 5,7mV$ at $25^\circ C$.

k : constant of Boltzmann $k = 1,380658 \cdot 10^{-23} JK^{-1}$

T : absolute temperature; $[T] = K$ (Kelvin) $0K = -273,15^\circ C$

e : charge of an electron $e = 1,60217733 \cdot 10^{-19} As$

이름에서 알 수 있듯이 간략화된 등가회로는 태양전지에서 전기적 과정을 최적으로 표현하지 못한다. 실제의 태양전지에서는 외부전극의 접촉저항에 의한 전압손실부분이 존재하게 된다. 이런 전압손실은 직렬저항 R_s 로 그림 2에서와 같이 표현될 수 있다. 또한 누설전류가 존재하므로 이는 병렬저항 R_p 로 표현할 수 있다.

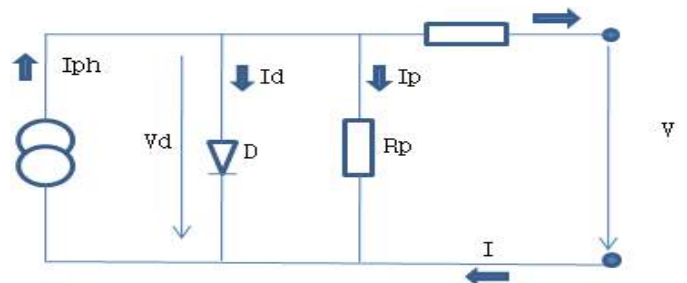


그림 2. 실제적인 태양전지 등가회로

Kirchhoff's current law를 이용하여 수식을 전개하면 아래와 같은 수식이 얻어진다.

$$0 = I_{ph} - I_D - I_p - I \quad \text{여기서}$$

$$I_p = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (2)$$

$$0 = I_{ph} - I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{V + I \cdot R_s}{m \cdot V_t}\right) - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} - I \quad (3)$$

2.2 Novel simulation Method of PV Characteristics

본 논문에서 제안하는 방법에서 요구되는 데이터들은 다음과 같다.

- 표준 시험 조건(Standard Test condition, 1000 W/m², 25°C)에서 측정된 태양전지의 전류-전압 특성 데이터
- 사양서의 주요 온도별 개방전압 V_{oc} 와 단락전류 I_{sc}
- 사양서의 주요 광량별 개방전압 V_{oc} 와 단락전류 I_{sc}

들을 확보하여 관계 함수를 이끌어 낸다.

표준 시험 조건상에서의 데이터는 태양전지의 전류-전압 특성 곡선의 함수 데이터로 수식의 형태가 아닌 $x-y$ 평면의 점들의 집합 형태로 확보하게 되고, 점들의 데이터들은 세밀하게 확보하면 할수록 오차는 더욱 줄어든다.

표 1은 사양서에서 제공되는 데이터들을 바탕으로 주요 온도와 광량별 최대 개방전압 V_{oc} 와 최대 단락전류 I_{sc} 의 데이터들을 정리한 것이다.

광량 (W/m ²)	온도 25 °C		temp (°C)	광량 1000W/m ²	
	I_{sc}	V_{oc}		I_{sc}	V_{oc}
1000	5.554	51.62	75	5.61	45.3
800	4.451	51.17	50	5.57	48.4
600	3.335	50.47	25	5.554	51.62
400	2.232	49.52	0	5.51	55
200	1.118	48.11	Model : HIP-215NHE5, Sanyo		

표 1. 주요 지점별 최대 개방전압과 최대 단락전류

이와 같은 데이터들을 바탕으로 온도와 광량의 변화에 따른 함수관계를 찾아 그림 3과 같은 방법을 통하여 주변 온도와 광량에 대한 출력 전류를 생성하게 된다.

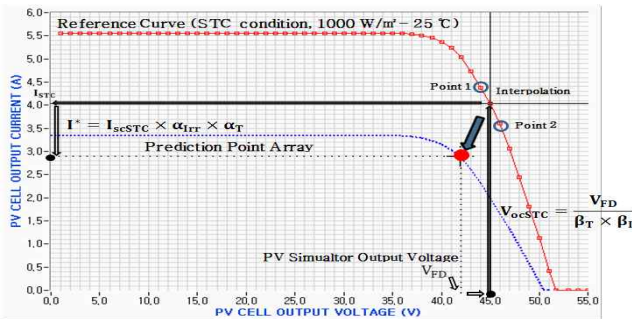


그림 3 제안한 태양전지 특성 모의 방법

태양전지 시뮬레이터의 입력으로는 주위 온도, 주위 광량과 태양전지 시뮬레이터의 피드백 전압을 입력요소로 선정한다.

주위 온도와 광량은 주위 환경에 적합한 특성을 갖기 위한 관계 변수의 연산요소이며, 태양전지 시뮬레이터의 피드백 전

압은 태양전지 시뮬레이터의 전류-전압 특성을 나타내는 시뮬레이터의 최대 출력전류를 선정하기 위한 값으로 사용된다.

입력받은 태양전지 시뮬레이터의 피드백 전압은 온도와 광량의 전압 변환계수(β_T, β_{Irr})를 구하여 곱하게 된다.

본 논문에서는 온도와 광량에 대한 전압의 변환관계를 역으로 활용하여, 태양전지 시뮬레이터의 피드백 전압을 온도와 광량의 전압 변환 계수(β_T, β_{Irr})를 선정하여, 표준 시험 조건의 단자 전압 V_{ocSTC} 로 변환한다.

$$V_{ocSTC} = \frac{V_{FD}}{\beta_T \beta_{Irr}} \quad (4)$$

광량의 변화에 따른 전압의 변화는 주요 구간별 데이터들을 참조하여 각 구간별 계수를 선정하여 적용하였다. 구간별로 같은 전압변환계수를 가지지 않고, 다른 전압변환계수를 가지므로써, 종래의 방법보다는 적은 오차로 값을 선정 할 수 있다.

온도와 광량의 전압변환계수에 의해서 구해진 표준 시험 조건의 개방전압 V_{ocSTC} 는 표준시험조건에 획득한 전류-전압 특성 데이터와 보간법(interpolation)을 통하여 해당 V_{ocSTC} 에서의 최대 출력전류 I_{scSTC} 를 얻게 된다.

태양전지 시뮬레이터의 피드백 전압을 입력받아, 입력 온도와 광량에 대한 전압 변환계수와의 연산과 표준 시험 조건 데이터들과 보간법을 통하여 획득한 최대출력전류 I_{scSTC} 는 온도와 광량에 대한 전류변환계수와의 연산을 통하여 태양전지 시뮬레이터의 입력 온도와 광량에 대한 값으로 변환되어, 최종 출력인 최대 출력전류 지령치(I^*)를 얻게 된다.

입력 온도와 광량에 대한 전류 변환 계수는 각 항목에 대한 세부 관계식을 정리하여 얻어진 식 (3)에서 유추할 수 있다.

온도와 광량에 대한 전류 변환 계수는 광량에 대해서는 기준 광량과 입력된 광량의 비율에 의해 선형적인 특성을 가지고, 온도에 대해서는 기준 온도와 입력 온도의 차이에 단락전류 온도계수 J 의 값을 곱셈연산하여 최종 출력전류가 변환되는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 전압 변환 계수와 마찬가지로의 방법으로 온도와 광량에 대한 전류 변환 계수 α_T, α_{Irr} 를 선정하여 표준 시험 조건에서의 최대 출력전류 I_{scSTC} 와의 곱셈연산을 통하여 최종 출력명령인, 태양전지 시뮬레이터의 피드백 전압(V_{FD})의 최대 출력전류 지령치 I^* 가 선정된다.

$$I^* = I_{scSTC} \alpha_T \alpha_{Irr} \quad (5)$$

본 논문에서 제안한 태양전지 시뮬레이터의 운용을 위한 태양전지 특성 모의방법을 통하여 태양전지 시뮬레이터의 피드백 전압(V_{FD})으로부터 최대 출력전류 지령치 I^* 는 태양전지 시뮬레이터의 출력전류와 비교하여 DC/DC의 PWM 신호로 변환되어 최종 출력전류를 최대 출력전류 지령치 I^* 가 되도록 제어하게 된다.

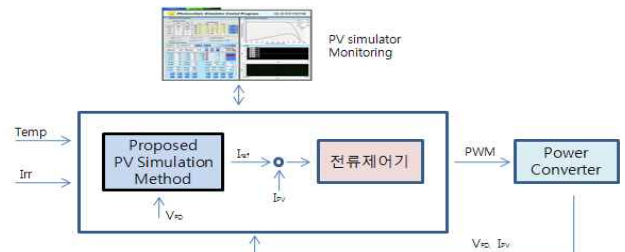


그림 4. 태양전지의 시뮬레이터 구성

2.3 Proposed PV Simulator

본 논문에서 제안된 방법으로 구성되는 PV Simulator는 ZVS Full-bridge type 방식을 이용하여 검증하였다. PV simulator에서의 Converter의 사양은 표2에서 나타내었으며, Converter의 Topology는 input-parallel-output-series(IPOS)로 구성되어 있다. PV simulator에서의 입력300V에 대한 출력은 0~700V이며 그림6은 입력 100V일때 출력 400V의 특성을 보여 준다.

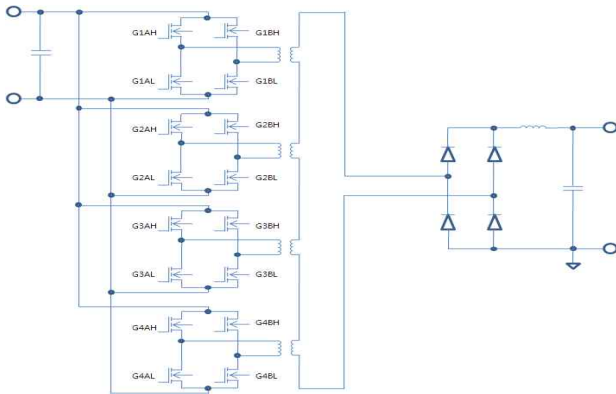


그림 5. 제안된 PV simulator Converter

Item	Description
PV output voltage	0~700V
Topology	4 Input parallel output series connected ZVS full bridge
Switching frequency	33.333kHz
Rated power	15kW
Maximum current	23A @670V
Power Device	MOSFET(IXKN75N60C)

표 2. PV simulator의 DC/DC converter Specification

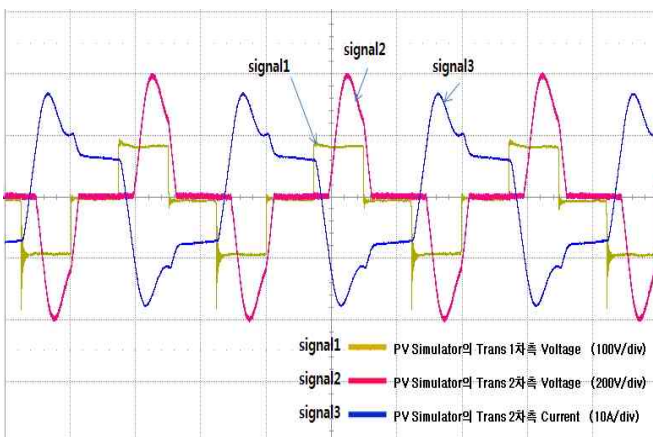


그림 6. 입력100V일때의 출력특성

3. 결 론

본 논문에서는 태양전지 시뮬레이터의 운용을 목적으로 기존에 제시되었던 복잡한 수식과 많은 양의 태양전지 데이터를 확보하는 방법 등의 단점을 보완하고자, 표준 시험 조건의 전류-전압 특성곡선 데이터와 광량과 주위 온도의 주요구간별 I_{sc} , V_{oc} 값을 획득하고, 관련 계수들을 바탕으로 새롭게 제어 방법을 제안하였다.

본 논문에서 제안한 제어방법은 기존의 복잡한 수식연산이 주요 요소간의 관계로 간단하게 표현되며, 이로 인하여 마이크로프로세서로 구현하기가 간단하게 된다. 또한, 특성곡선의 데이터베이스 작업량이 현저히 줄어들게 되어, 프로세서의 메모리 용량을 작게 차지하는 효과를 얻을 수 있다. 또한, 데이터의 추출이 단순적이지 않고, 광량과 주위온도의 모든 동작영역에서 연속으로 추출이 가능하다는 장점이 있다.

향후 연구방향에서는 제안된 방법을 이용하여 태양전지 시뮬레이터(PV simulator)의 출력특성과 광량, 온도변화에 대한 시뮬레이터 적용 실증 연구가 진행되어 질 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J.P.Lee, B.D.Min, T.J.Kim, D.W.Yoo and B.K.Lee, "A Novel Topology for Photovoltaic Series Connected DC/DC Converter with High Efficiency Under Wide Load Range", IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol.55, No.7, pp 2655-2663, July, 2008
- [2] B.D.Min, J.p.Lee, T.J.Kim, D.W.Yoo and C.Y.Won, "A New Topology for Grid-Connected Photovoltaic System Using Converter with Flat Efficiency Curve for All Load Range", Power Electronics Specialists Conference, 2007, PESC 2007, IEEE 17-21, pp.1250-1254, Jun. 2007
- [3] J.J.Kim "A Novel Simulation Method of PV Characteristic Curve for PV Simulator", Dec.2007
- [4] 박이준, 강기환, 송진수, 엄영창, "기준전지법가 태양전지 출력 특성의 측정", 한국에너지기술연구소