

Labview 기반의 태양광 어레이 시뮬레이터 구현

차한주, 신동욱, 김의중
충남대학교

Implementation of Solar Array Simulator based on Labview

Hanju Cha, Donguk Shin, Euijong Kim
Chungnam National University

Abstract - 본 논문은 정상상태에서의 태양광 PV 모듈의 출력특성을 가지며 일사량과 온도의 변화에 따라 가변하는 I-V 곡선의 특성을 나타내는 태양광 어레이 시뮬레이터의 제작에 관한 연구 결과이다. 본 시뮬레이터는 태양전지의 I-V 곡선상의 동작점을 실시간으로 표시하여, 가변하는 일사량과 온도를 설정하는 유저 인터페이스를 Labview 프로그램으로 구현하였으며 직류 프로 그래머블 전원장치(DC programmable power supply)를 GPIB로 연결하여 구현하였다. 정상 부하조건 뿐만 아니라 개방조건, 단락조건에서도 동작하는 태양전지 동작점 추적 알고리즘을 개발하였으며 실험을 통하여 제안한 알고리즘의 효용성을 확인하였다.

본 논문에서 사용된 모듈은 SHARP의 ND-181UIF로 최대 출력은 181W이며, 모델링에 사용된 수식은 다음과 같다.

$$I_{PV} = I_{ph} - I_0 (e^{q(V_{PV} + I_{PV}R_s)/nkT} - 1) \tag{1}$$

$$I_{ph} = I_{ph, T_{ref}} (1 + K_0 (T_w - T_{ref})) \tag{2}$$

$$I_{ph, T_{ref}} = G \times I_{sc, T_{ref}} \tag{3}$$

$$K_0 = (I_{sc, T_w} - I_{sc, T_{ref}}) / (T_w - T_{ref}) \tag{4}$$

$$I_0 = I_{0, T_{ref}} \times (T_w / T_{ref})^{3/n} \times e^{-qV_g/nk \times (1/T_w - 1/T_{ref})} \tag{5}$$

$$I_{0, T_{ref}} = I_{sc, T_{ref}} / (e^{qV_{oc, T_{ref}}/nkT_{ref}} - 1) \tag{6}$$

1. 서 론

최근 유가 상승으로 인한 경제적 부담과 온실 효과로 인한 지구 온난화 문제 등이 심각하게 대두되면서 신재생에너지에 관심이 집중되고 있다. 태양광 에너지는 각광받고 있는 무공해 에너지 자원으로, 여러 분야에서 다양한 실험이 행해지고 있다. 이러한 태양광 에너지에 관한 내용 중 많은 부분이 시뮬레이터로 표현되었는데, 태양전지의 특성을 나타내준 I-V 곡선이 그 결과이다. I-V 특성곡선은 일사량과 주위온도의 변화 등에 의해 크기와 모양이 바뀌고, PCS(Power Conditioning System)로 인해 동작점이 변화한다. 본 논문에서는 이러한 태양전지의 특성을 이용하여 일사량과 온도의 변화로 인해 생기는 I-V 특성곡선과 변화하는 동작점을 찾는 태양광 시뮬레이터를 제시해보았다. 그리고 Labview를 기반으로 한 GPIB 연결로 시뮬레이터와 파워 서플라이 간의 통신을 설정하고, PCS(Power Conditioning System) 대신 가변 저항을 연결하여 태양광 어레이 시뮬레이터를 구현하여 실험해 보았다.

- k : Boltzmann's constant
- G : Insolation
- V_{PV} : PV array output voltage
- K_0 : Temperature coefficient
- I_{ph} : Photo generated current
- T_w : Working temperature
- R_s : Cell series resistance
- T_{ref} : Reference temperature
- q : Electronic charge
- I_{sc} : Short circuit current
- n : Diode quality factor
- V_{oc} : Open circuit voltage

2. 태양전지 I-V 곡선 특성

2.1 태양전지 모델링 및 어레이 구성

태양전지의 등가회로는 Shockley 다이오드 등가 식에 기본을 두고 있으며, 단순화한 등가 회로는 다이오드와 전류원의 병렬구성과 같다. 태양전지 등가 모델에서 다이오드는 태양전지의 I-V 특성을 정의한다.[1]

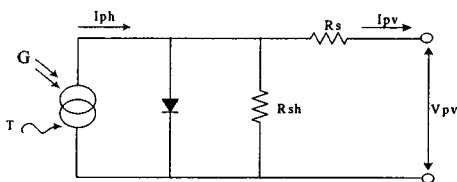


그림 1. 태양전지 등가 회로

위와 같은 모델을 기본으로 두고 25[°C]의 조건에 일사량을 0.6, 0.9[kW/m²] 놓고, 45[°C]의 조건에 일사량 0.7, 1[kW/m²]로 놓았다. 그 다음 태양광 어레이를 3kW 용량으로 기본 구성(Ns=9, Np=2)하여 조금 다르게 Ns(직렬)=8, Np(병렬)=1로 구성하여 실험하고 Matlab 시뮬레이션으로 그림 2의 파형을 구하였다. 그리고 출력 전류의 정확도를 높이기 위하여 Newton's Raphson method를 사용하였다. Matlab을 이용한 시뮬레이션의 결과와 실제 제품 사양서와 비교하여 전류의 오차 값에 직렬저항의 값을 가변시켜서 최대한 근접한 값으로 커브 조정을 하였다.

2.2 태양전지 I-V 곡선의 특성

일반적으로 태양전지는 태양전지의 표면 온도와 일사량의 두 함수인데, 태양전지의 개방전압(V_{oc})와 단락전류(I_{sc})는 일사량(G)의 증가에 따라 그 값이 증가하는 반면, 온도(T_w) 증가에 따라 단락전류는 약간 증가하지만 개방전압은 큰 폭으로 감소하는 특징을 가지고 있다.[2, 3] 그림 2를 보면 변화된 I-V 커브와 그 특성을 알 수 있다.

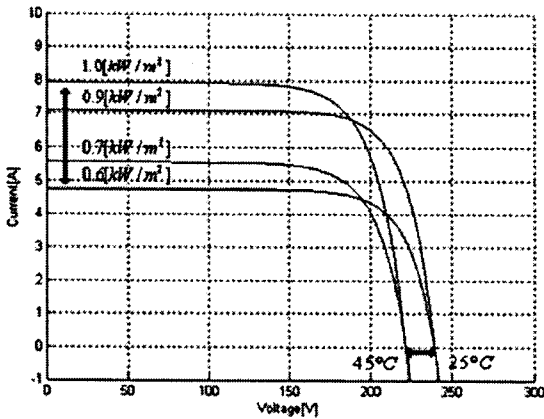


그림 2. Matlab을 이용한 모듈 시뮬레이션

3. 시뮬레이터 알고리즘 설명

3.1 Labview에서 사용한 알고리즘 구조

Labview는 두 개의 창과 세 개의 팔레트로 구성되어 있다. 두 개의 창은 프런트 패널과 블록 다이어그램이고 세 개의 팔레트는 컨트롤, 함수, 도구 팔레트이다. 여기서 프런트패널이란 시뮬레이터의 동작 화면에 해당하고 블록다이어그램은 프런트패널 부분을 실제로 동작하게 하는 프로그램의 창이라고 할 수 있다.

아래에서 설명 하는 3.2, 3.3의 순서도는 증가하는 부분과 시뮬레이터 증감 부분으로 나뉘는데 두 부분은 블록 다이어그램의 함수팔레트에서 찾을 수 있는 시퀀스구조를 사용하고 있다. 시퀀스구조를 쓴다는 것은 정해진 프로그램 중에서 앞에 나온 부분이 종료되어야 그 다음 부분으로 넘어간다는 것이다. 첫 논문 3장에서 설명하는 전체 알고리즘도 증가하는 부분의 순서도가 종료되어야지만 시뮬레이터의 증감 부분 순서도로 넘어간다. 그러므로 아래의 시퀀스구조는 Labview기반의 PV 시뮬레이터에서 가장 중요한 역할을 하고 있다고 할 수 있다.

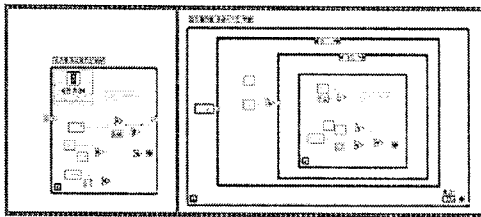


그림 3. 시퀀스구조의 블록다이어그램

3.2 초기화 순서도

초기화 순서도를 살펴보면, 시뮬레이터를 동작시키고 전류(I_{ref})값을 $0.02[A]$ 증가 시킨다. 그 후 V_{pv} 값을 측정하고 I_{pv} 값을 계산하는데, 만약 $I_{pv} < 0$ 일 경우 개방전압 (V_{oc})이 출력되고, $I_{pv} > I_{sc}$ 일 경우 단락전류(I_{sc})가 출력된다. 이 두 개의 조건이 다 거짓일 경우에 다음으로 넘어가는데, $|I_{pv} - I_{ref}| > ErrorI$ 가 거짓일 경우, 다시 I_{ref} 값을 $0.02[A]$ 증가 시키는 과정을 반복한다. 이러한 순차적인 과정을 통하여 참이 될 때까지 동작하고 오차 ($ErrorI$)가 $0.2[A]$ 이하 일 때 I_{ref} 값을 유지하고 초기화 과정을 마친다.

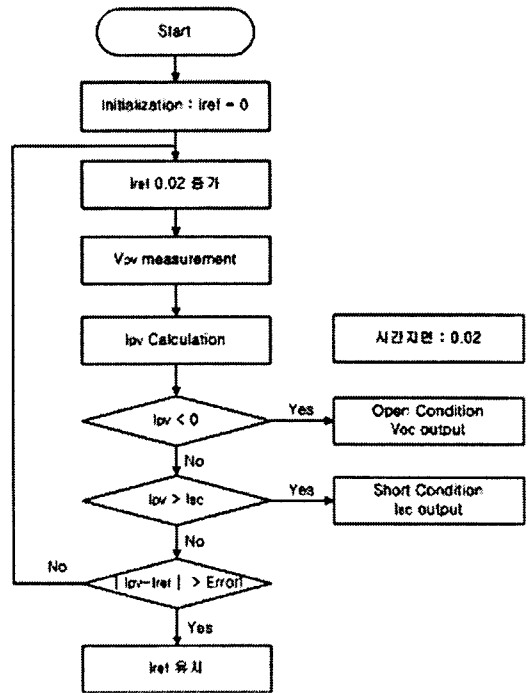


그림 4. 초기화 순서도

3.3 정상운전 순서도

그림 5는 초기화 과정 이후의 정상운전 상태의 순서도이다. 이 부분이 실제로 PV 시뮬레이터의 중요 부분이라고 할 수 있다. 초기화 과정이 끝난 후에 I_{ref} 가 저항의 변화로 인해 오차가 변하는 것을 탐지하고 동작하여 다시 올바른 출력 값을 찾아가는 부분이다. 이 때 오차 값의 변화가 없으면 계속 그 정지 상태의 전류를 내보내 주고 I_{pv} 값이 I_{ref} 보다 클 경우 I_{ref} 를 증가시키고 오차가 $0.2[A]$ 이하인 경우 정지 한다. 그와 반대로 I_{pv} 값보다 I_{ref} 가 클 경우 I_{ref} 를 감소시키고 오차가 $0.2[A]$ 이하인 경우 정지 한다.

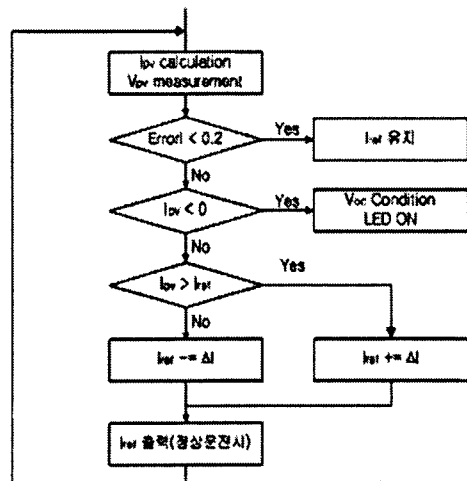


그림 5 정상운전 순서도

이렇게 그림4, 5의 순서도로 인해 시뮬레이터가 어떻게 동작하는 지를 확인할 수 있었다.

4. 구현 및 실험결과

4.1 PV 시뮬레이터의 동작화면

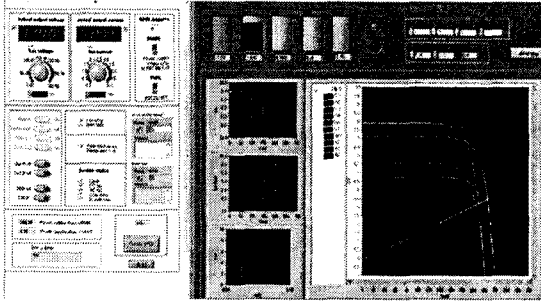


그림 6. PV 시뮬레이터 동작화면

동작화면은 시뮬레이터 제어부와 I-V 곡선과 동작점 표시부로 나뉘어져 있다. 왼쪽의 Controller 부분은 파워 서플라이의 시뮬레이터 제어부 Demo버전인데 실행하는 입력단자의 배열 및 전체 디자인 부분을 바꿨다. 앞에서의 나왔듯이 이 부분에서 GPIB통신을 하고 시뮬레이터 알고리즘 부분으로 인해 증가, 감소하는 등의 작동을 한다. 그리고 오른쪽의 시뮬레이터 동작화면은 전류와 전압의 동작과 출력점 및 그의 궤적 등을 보여준다.

4.2 실험 결과

장비를 그림 7과 같이 장치해주고 GPIB 통신으로 프린트패널의 시뮬레이터 제어부를 동작시킨다. 여기서 파워 서플라이에 부하로 연결된 저항은 65-125[Ω]까지 가변할 수 있다.

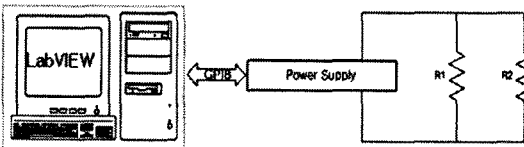


그림 7. 장비 연결

그런 다음 Labview의 프린트패널에서 시뮬레이터의 변수 값 중 일사량을 $0.6[kW/m^2]$, 온도(T_w)를 $25[^\circ C]$ 로 놓고 저항을 약 $65[\Omega]$ 으로 놓고, PV 시뮬레이터를 동작시켜 보았다. 앞에서 나온 시뮬레이터 순서도에서 설명했듯이 처음 시퀀스부분이 일정하게 증가하다가 정지하는 모습을 그림 8로 확인할 수 있다.

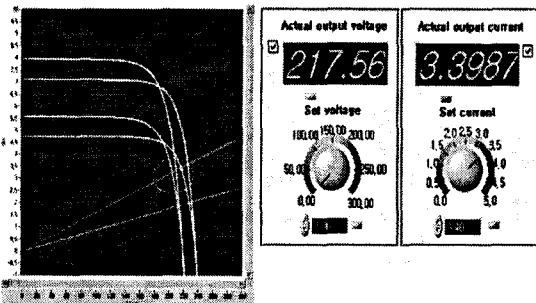


그림 8. 초기화 동작

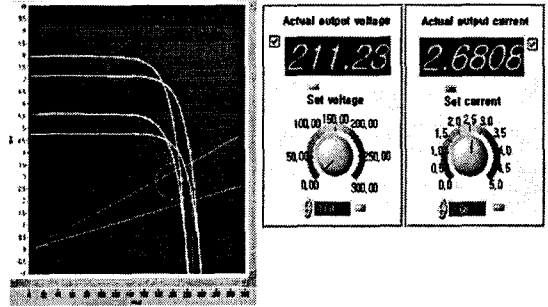


그림 9. 정상운전 동작

컨트롤러부분의 수치도 전압이 $217.56[V]$ 에 전류가 $3.3987[A]$ 로 동작하고 있다. 이것을 태양광 PCS로 보자면 일사량과 온도가 변화하지 않은 기본 상태로 볼 수 있다.

그림 8의 상태에서 다시 일사량을 $1[kW/m^2]$ 로 바꾸고 온도를 $45[^\circ C]$ 로 바꿔준다. 그 후 저항을 약 $80[\Omega]$ 정도로 조정해서 동작시켜 보면 그림 9와 같이 동작점이 변화한다. 그림 9를 보면 변화하면서 생긴 출력점과 동작의 궤적이 확인할 수 있다. 실제로 태양광 PCS에서 이러한 변화가 생겼을 것을 가상으로 표현한 것인데 이 변화에 맞춰 시뮬레이터와 파워서플라이도 전압이 $211.23[V]$ 전류가 $2.6808[A]$ 로 출력되는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 태양광 PV 모듈의 출력특성을 가지며 일사량과 온도의 변화에 따라 가변하고 I-V 곡선의 특성을 나타내는 태양광 어레이 시뮬레이터를 Labview 프로그램으로 구현하였으며 실제 상황과 비슷하게 변수 등을 변화시켜 그에 관한 실험결과를 확인하였다.

향후 연구방향으로는 PCS가 변화하는 실제의 속도와 서로 대응할 수 있게 시뮬레이터의 속도를 제어하고 실제 태양광 실험 장비와 Labview 기반의 태양광 어레이 시뮬레이터를 적용한 실증 연구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. A. Gow, C. D. Manning, "Development of a photovoltaic array model for use in powerelectronics simulation studies", IEE Proceedings on Electric Power Applications, vol. 146, no. 2, p. 193-200, March 1999.
- [2] Mattin 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] 김의중 외 5명 "일사량 급변에 따른 태양광시스템의 MPPT 알고리즘 비교 분석", 대한전기학회 학계 학술대회 논문집(CD) 2007.07
- [5] 박두영, "Labview 컴퓨터 기반의 제어와 계측(한글판)", Ohm사, 2006, November.