

PV 시스템에 대한 PSPICE 모델링과 시뮬레이션

백동현*, 송호빈** 정형용***

경원대학교*, (주)휴스컴**, 한국전력기술인협회***

PSPICE Modelling and Simulation about PV System

Dong-Hyun Baek*, Ho-Bin Song **, Hyung-Yong Jung***

Kyungwon University*, HUSCOM Co **, Korea Electric Engineers Association

Abstract - Many photovoltaic (PV) systems are being developed and installed. For a PV developer, simulations are required before the experimental testing. However, most simulation tools do not offer data libraries for PV systems, so that some Institutes who try to use such software will be in difficulty. In this paper, simulations of performance and stability have been carried out using the software PSPICE. In this paper, the modelling of solar cell arrays, photovoltaic modules, PV generators, batteries and drive systems is carried out based on mathematical equivalence circuits and available data, and the models are converted into a data library for PSPICE that is user friendly. System variations can be modeled by simple parameter variation. To verify the accuracy of the simulation library, various models were run and compared to known systems.

1. 서 론

지구 온난화와 자원고갈 등의 문제는 화력발전 및 원자력 발전 등에 의존하는 전기 에너지의 생산은 미래의 에너지원으로써 의문시되고 있다. 이에 대한 대책으로 선진 각국에서는 태양광, 풍력, 지열 등의 대체 에너지 개발을 추진하고 있다. 이 중 공해가 없으며 무한한 태양에너지를 이용한 태양광 발전 시스템이 각광받고 있으며 공급이 급속히 증가하고 있다.

태양광 발전 시스템은 다른 대체 에너지원에 비해 경제적이고 에너지 절감효과가 크다. 또한 약간의 기술 보완으로 쉽게 적용이 가능하며, 신뢰성만 확보된다면 일부 분야는 정부의 지원 없이도 보급이 가능할 정도이다.

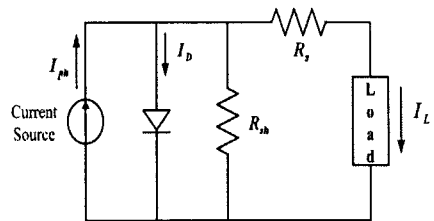
태양광 발전 시스템은 시스템 부품의 성능은 물론이고 일사량 강도, 사용온도, 열부하 분포, 열매체 순환량 등에 따라 효율변화가 크다. 그러나 보조열원과의 연계 및 제어방법 등 시스템 설계 시 신중하게 고려되어야 할 중요한 여러 가지 요소들이 복잡하게 관련되어 있다. 태양광 발전 시스템을 사용자 입장에서 손쉽게 사용할 수 있을 수 있지만 시스템을 제대로 설계하여야 하는 개발자 및 연구원 입장에서는 제대로 된 시스템을 설계한다는 것은 쉽지 않다.^{[1][2]}

특히 태양광 발전 시스템은 광량 등의 주변여건에 따른 특성 변화가 크므로 실제 시스템을 구성하기에 앞서 모의실험인 시뮬레이션이 필수 불가결하지만, 시스템의 안전 점검 및 유지 보수 등에 따른 문제 해결에도 많은 도움을 준다. 그러나 태양광 발전 시스템에 대한 전용 시뮬레이터들이 없으므로, 개발자는 C언어를 이용하거나 전기 시뮬레이션 툴을 응용하여 많은 수고를 하여야 하는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 태양광 시스템의 기본적인 설계 문제나 크기, 해석 등을 해결하기 위해 범용적인 시뮬레이터인 PSPICE를 이용하여 태양광 발전 시스템의 일부를 모델링 하였다. 또한 태양전지 단락회로의 간략화된 PSPICE 모델링을 양자 효율과 스펙트럼 응답의 기본개념을 이용하여 나타냈으며, 직·병렬 저항, 방사도, 온도와 공간방열에 대한 것을 PSPICE로 라이브러리화 하였다. 태양광 발전 시스템의 PSPICE 모델링에 의한 결과들을 이용하여 보다 효과적인 장치들을 만들고 유지보수하는데 손쉽게 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 본 론

2.1 태양전지의 특성



<그림 1> 태양전지의 등가회로

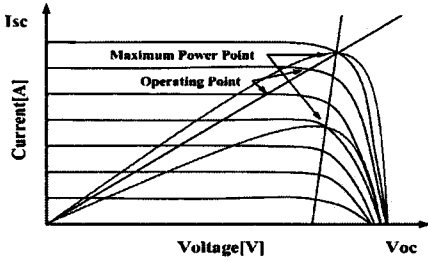
<그림 1>은 광기전력 효과(Photovoltaic Effect)를 이용한 태양전지의 등가 회로이다. 여기서, 전류원 I_{ph} 는 광기전전류로 표현되며 R_{sh} 와 R_s 는 각각 셀의 병렬저항 및 직렬저항이다. 이상적인 경우, 광 투사시의 전압 전류관계는 식 (1)과 같이 된다.

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

그러나, 실제로는 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 가 가해져서 <그림 2>와 같이 되고, 전류는 식 (2)와 같이 된다.

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

여기서 I는 출력전류, I_{ph} 는 광전류, I_D 는 다이오드 포화전류, n은 다이오드 성능 지수, K는 볼츠만 상수, T는 절대온도 q는 전하량, R_{sh} 는 병렬저항, R_s 는 직렬저항, V는 부하전압이며 이를 전압 전류 특성곡선으로 나타내며 <그림 2>와 같이 된다.



<그림 2> 태양전지의 전압, 전류곡선

<그림 2>에서 개방전압 V_{oc} , 단락전류 I_{sc} , 곡선인자 F F 등 3개의 변수는 에너지 변환효율과 관련되는 파라미터로서, 개방전압은 식 (3)과 같이 된다.

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_D} + 1\right) \quad (3)$$

또한, 단락전류는 식 (4)와 같이 된다.

$$I_{sc} = I_{ph} - I_D \left[\exp\left(\frac{qIR_s}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (4)$$

태양전지의 곡선인자는 식 (5)로 정의된다.

$$FF = \frac{(V_m \times I_m)}{(V_{oc} \times I_{sc})} \quad (5)$$

여기서 V_m 은 태양전지의 최대출력전압, I_m 은 최대출력전류이다. 태양전지의 에너지 변환효율은 태양전지에서 얻을 수 있는 최대의 전기 에너지를 입사광 에너지로 나눈 값으로 식 (6)과 같다.

$$\eta = \frac{V_m \times I_m}{P_i} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{P_i} \times FF \quad (6)$$

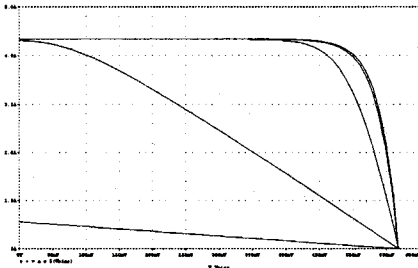
여기서 P_i 는 입사된 태양광 에너지이다.

위의 식들로부터, 보다 많은 태양광 발전을 위해서는 태양전지로부터 출력되는 개방전압과 단락전류가 얼마나 최대 출력전압과 최대 출력전류에 가깝게 출력되도록 설계하느냐에 따라서 태양광 발전 성능이 달라진다는 것을 알 수 있다.

2.2 태양전지 모델

태양전지의 PSPICE모델 등가회로는 이상적 다이오드와 이상적 전류원에 기초한 태양전지의 이상적 동작에 기인하여 묘사되었으며 <그림 1>에 나타내었다.^[3]

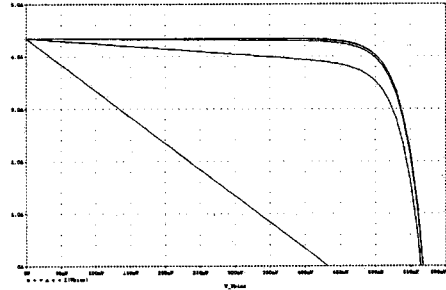
2.2.1 태양전지 모델의 직렬 저항의 효과



<그림 3> 직렬저항에 대한 V-I 특성 곡선

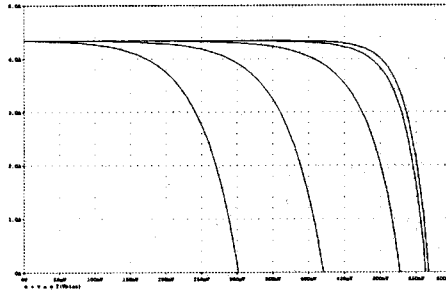
조도와 온도의 조건은 동일하게 하고 직렬 저항 값을 $1[\Omega]$, $0.1[\Omega]$, $0.01[\Omega]$, $0.001[\Omega]$, $0.0001[\Omega]$ 로 가변 하였을 경우의 시뮬레이션 결과를 <그림 3>에 나타내었다. <그림 3>에서 직렬 저항의 증가에 따라 V-I 특성에 커다란 차이를 볼 수 있는데, 단락회로 전류와 충전계수의 특별한 값에 의해 현저히 줄일 수 있다.

2.2.2 태양전지 모델에서 shunt 저항의 효과



<그림 4> shunt에 대한 V-I 특성

shunt 저항이 $0.1[\Omega]$, $1[\Omega]$, $10[\Omega]$, $100[\Omega]$, $1,000[\Omega]$, $10,000[\Omega]$ 로 변할 때의 시뮬레이션 결과 파형을 <그림 4>에 나타내었다. 이것은 병렬 저항이 매우 큰 값을 갖지 않는 한 없앨 수 있으며, 개방회로 전압은 약간만 변화된다.

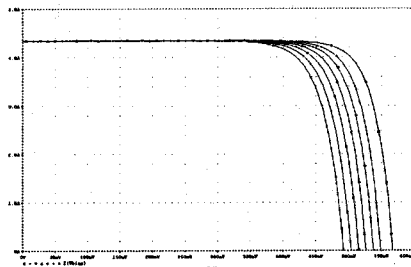


<그림 5> 재결합 다이오드에 대한 V-I 특성

2.2.3 재결합 다이오드의 효과

재결합 다이오드가 중요해 질 때 개방회로 전압은 저하되며 <그림 5>에 나타낸다. 재결합 다이오드의 효과를 제거하기 위하여 병렬저항은 높은 값으로, 직렬 저항은 낮은 값으로 선정하였다.

2.2.4 온도의 영향



<그림 6> 온도에 대한 V-I 특성

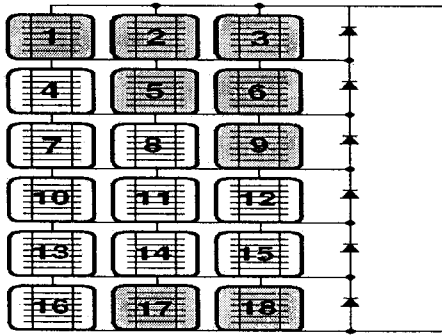
온도가 27[°C], 35[°C], 40[°C], 45[°C], 50[°C], 55[°C], 60[°C]로 변할 때의 시뮬레이션 결과를 <그림 6>에 나타내었다.

2.3 태양전지 모델의 응용

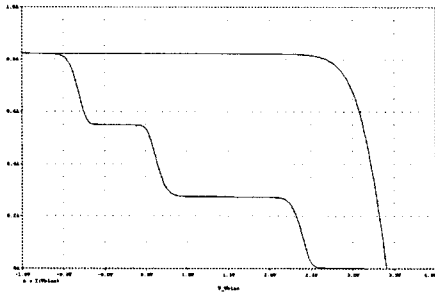
<그림 7>과 같이 18개의 셀이 배열되어 있고 몇 개의 셀이 그림자로 가려 있는 경우를 고려해 보자. 각 셀의 조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{area} &= 8[\text{cm}^2] \\ J_o &= 1 \times 10^{-11} \\ J_{sc} &= 0.0343[\text{A}/\text{cm}^2] \\ R_{sh} &= 1000[\Omega] \\ R_s &= 0.1[\Omega] \end{aligned}$$

그림자에 가려진 셀의 조도는 0으로 가정한다. 부분적으로 가려진 배열과 전혀 가려지지 않은 배열의 V-I 특성의 비교 파형을 <그림 8>에 나타내었다.

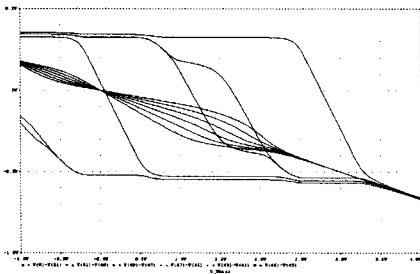


<그림 7> 18개 태양전지의 배열 모델



<그림 8> V-I 특성의 비교

충분하게 빛을 받을 때 태양전지 배열의 V-I 특성곡선은 그림자의 영향에 의해 현저히 감소하는 것을 볼 수 있다. 만약 bypass 다이오드 없이 사용된다면 직렬 연결 중의 하나가 완전히 가려짐에 기인하여 전체 출력 전력은 0이 될 것이다. 그러므로 bypass 다이오드의 사용이 약간은 유용하고 결과는 <그림 9>와 같다.



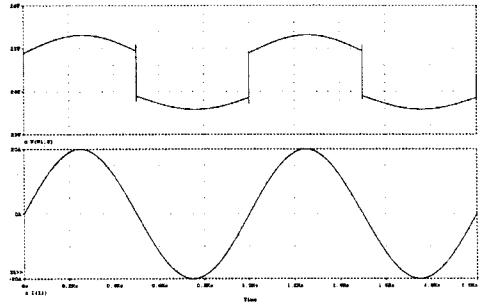
<그림 9> 18개 태양전지의 전압 강하

2.4 BATTERY 모델

배터리 모델은 PSPICE 초기 모델을 이용하여 Lasnier와 Tang이 기술한 수식을 기초로 하여 최신 버전으로 개정하여 사용하였다.

전기적 배터리 모델은 저항에 직렬 연결된 전압원으로 구성된다. 전압원과 저항의 값은 주어진 시간에 동작하는 배터리 동작 모드에 달려있다.

<그림 10>은 입, 출력 전류와 전압의 값을 나타내고 있다. 충전/방전의 배터리 모드는 전류가 영점을 지날 때 정확한 전압의 변화로 확인할 수 있다.



<그림 10> 배터리의 전압과 전류

3. 결 론

PV 개발자에게 시뮬레이션은 실험 전에 반드시 요구된다. 그러나, 대부분의 시뮬레이션 툴은 PV 시스템에 대한 데이터 라이브러리를 제공하지 않으므로 소프트웨어를 사용하기에 어려움이 따른다. 그러므로 이 논문에서는 간단하고, 안정되게 PV 시스템에 대한 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 PV시스템에 사용되는 각종 모델들을 라이브러리화 하였다.

이를 위해 PV 시스템의 컴퓨터 모델을 구성하였고, 양자효과와 기본 개념에 기초한 태양전지의 단락회로 전류의 간략화 된 PSPICE 모델을 구성하였다. 그리고 직렬 저항과 shunt 저항, 조도, 온도, 스펙트럼 복사의 효과를 묘사하여 Pspice 모델을 개발하고, 시뮬레이션을 통해 동작의 특성을 확인하였다.

[참고 문헌]

- [1] F.Lasnier and T.G. Ang, Photovoltaic Engineering Handbook. Boston, MA:Adam Hilger, 1990, pp.209-216.
- [2] A.W.Bett, in Next Generation Photovoltaic High efficiency through full spectrum utilization, edited by A. Marti and A. Luque (institute of Physics Publishing, 2004), pp.64-88
- [3] Bird, R.E. and R.L. Hulstrom, L.J.Lewis, "Terrestrial Solar Spectral Data Sets", Solar Energy, vol.30, 1983, pp.563
- [4] 백동현, 서영수, 조문택, Pspice를 이용한 유도전동기 모델링과 전력변환 시뮬레이션, 대한전기학회지, 1997.
- [5] 백동현, 한경희, 이상집, 태양광 발전시스템을 이용한 유도동용 형광램프의 점등에 관한 연구, 한국화재소방학회 논문지 Vol.14, No.1, 2000.