

태양광 시스템의 모델링과 시뮬레이션

송호빈¹, 조문택¹, 황락훈¹, 서영수², 한경희³, 김은기³, 김영준³, 이충식⁴

¹*대원과학대학, ²**세명대학교, ³***명지대학교, ⁴****국립 공주대학교

Modelling and Simulation of PV System

Ho-Bin Song¹, Moon-Taek Cho¹, Lak-Hoon Hwang¹, Yong-Soo Seo²,

Kyung-Hee Han³, Eun-Gi Kim³, Young-Chun Kim³, Chung-Sik Lee⁴

¹*Dae-Won Science College, ²**Se-Myung Univ., ³***Myong-Ji Univ., ⁴****Kong-Ju National Univ.

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

현대 사회에서 가장 많이 사용되고 있는 에너지원의 하나인 전기에너지에는 대부분이 화력발전이나 원자력 발전에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 이러한 에너지원들은 기존의 발전으로서는 미래의 에너지원으로써 의문시되고 있다.

이에 대한 대책으로 선진 각국에서는 대체 에너지 개발을 추진하고 있는데, 그 중에서도 공해가 없으며 무한한 태양에너지를 이용한 태양광 발전 시스템이 각광받고 있다.^{[1][2]}

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

태양광 발전 시스템은 시스템 부품의 성능을 물론이고 일사량 강도, 사용온도, 열부하 분포, 열매체 순환량 등에 따라 효율변화가 크며 보조열원과의 연계 및 제어방법 등 시스템 설계시 신중하게 고려되어야 할 중요한 여러 가지 요소들이 복잡하게 관련되어 있기 때문에 태양광 발전 시스템을 대체로 설계한다는 것은 여간 어려운 기술이 아니다.^{[3][4]}

따라서 본 논문에서는 범용적인 시뮬레이터인 PSPICE를 이용하여 태양광 발전 시스템의 일부를 모델링 하였으며, 태양광 시스템의 기본적인 설계문제나 크기, 해석 등을 해결하기 위해 사용했다. 또한 태양전지 단락회로의 간략화된 PSPICE 모델링을 양자 효율과 스펙트럼 응답의 기본개념을 이용하여 나타냈으며, 직·병렬 저항, 방사도, 온도와 공간방열에 대한 것을 PSPICE로 라이브러리화 하였다.

이러한 태양광 발전 시스템의 PSPICE 모델링에 의한 결과들을 이용하여 보다 효과적인 장치들을 만들 수 있을 것으로 사료된다.

2. 단락회로 전류에 대한 Pspice 모델

Pspice 단락회로 모델은 전압제어 전압원을 이용하여 구현된다. 다음과 같은 값을 갖는 실리콘 태양전지를 고려한다.

$$\text{emitter thickness } W_e = 0.3\text{mm},$$

$$\text{base thickness } W_b = 300\mu\text{m},$$

$$L_p = 0.43\mu\text{m}, S_e = 2 \times 10^5 \text{ cm/s},$$

$$D_p = 3.4\text{cm}^2/\text{s}, L_n = 162\mu\text{m},$$

$$S_b = 1000\text{cm/s}, D_n = 36.33\text{cm}^2/\text{s}$$

시뮬레이션 분석 시간은 $1.2[\mu\text{s}]$ 으로 한다. PWL 파일의 정의로부터 알 수 있는데, 시간의 단위 μs 는 파장의 단위 nm 을 지정한다. 10%의 반사 계수의 값은 모든 파장에서 일정하다. 결과는 Fig. 1에 나타내었다.

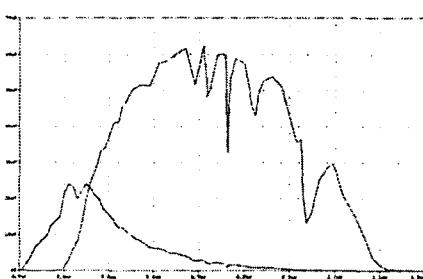


Fig. 1. 에미터와 베이스에 대한 스펙트럼 단락회로 밀도.

AM1.5 스펙트럼에서 대기의 흡수 대역은 전류 응답을 바꾸고, Fig. 1에 있는 대응하는 파장을 제거한다. base 요소는 짧은 파장을 제외한 대부분의 파장에 있는 전체 전류에 주 성분의 대부분이 기여한다. 짧은 파장에서는 emitter 층의 기여가 우세하다.

3. 태양전지 모델

태양전지의 Pspice 모델 등가회로는 이상적 다이오드와 이상적 전류원에 기초한 태양전지의 이상적 동작에 기인하여 묘사되었으며 Fig. 2에 나타내었다.^[5]

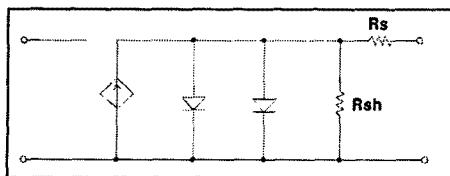


Fig.2. 제한한 태양전지 모델

3.1. 태양전지 모델의 직렬 저항의 효과

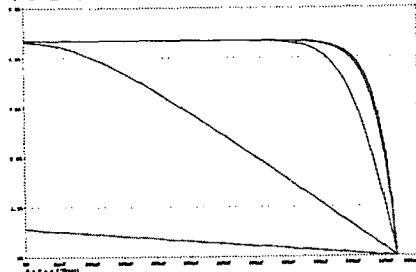


Fig.3. 직렬저항에 대한 V-I 특성 곡선

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 3에 나타내었다. Fig. 3에서 직렬 저항의 증가에 따라 V-I 특성에 커다란 차이를 볼 수 있는데, 단락회로 전류와 충전계수의 특별한 값에 의해 현격히 줄일 수 있다.

단락회로일 때 단락회로 전류의 값은 광전류 I_L 과 같지 않다. 전압과 전류의 관계식에서 $V = 0$ 로 다시 쓰면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$I_{sc} = I_L - I_0(e^{\frac{V}{nV_T}} - 1) - I_{02}(e^{\frac{V}{2V_T}} - 1) - \frac{I_{sc}R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

개방회로 전압은 식 (1)에서 $I_{sc} = 0$ 으로 놓고 얻을 수 있다.

$$0 = I_L - I_0(e^{\frac{V}{nV_T}} - 1) - I_{02}(e^{\frac{V}{2V_T}} - 1) - \frac{I_{sc}R_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

식 (2)에서 세 번째 항과 네 번째 항을 무시하면 개방회로 전압은 다음과 같이 주어진다.

$$V_{oc} = nV_T \ln\left(1 + \frac{I_{sc}}{I_0}\right) \quad (3)$$

3.2. 태양전지 모델에서 shunt 저항의 효과

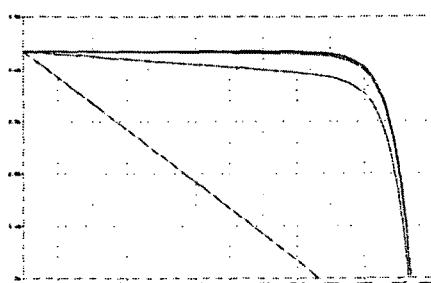


Fig.4. shunt에 대한 V-I 특성.

shunt 저항이 0.1Ω , 1Ω , 10Ω , 100Ω , 1000Ω ,

10000Ω 으로 변할 때의 시뮬레이션 결과 곡형을 Fig. 4에 나타내었다. 이것은 병렬 저항이 매우 작은 값을 갖지 않는 한 없앨 수 있으며, 개방회로 전압은 단지 매우 약간만 변화된다.

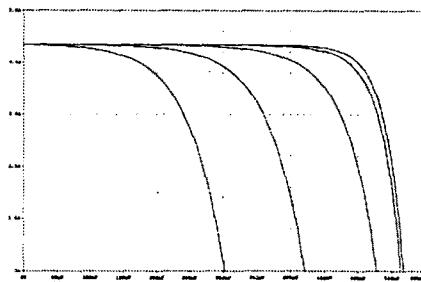


Fig.5. 재결합 다이오드에 대한 V-I 특성

3.3. 재결합 다이오드의 효과

재결합 다이오드가 중요해 질 때 개방 회로 전압은 저하된다. 이것을 Fig. 5에 나타내었는데 재결합 다이오드의 효과를 제거하기 위하여 병렬 저항은 높은 값으로, 직렬 저항은 낮은 값으로 설정하였다.

3.4. 온도의 영향

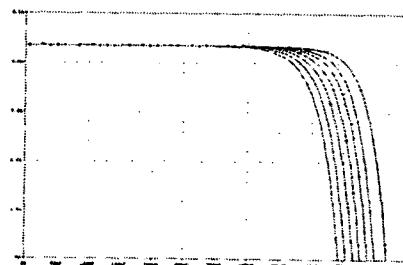


Fig.6. 온도에 대한 V-I 특성

온도가 27°C , 35°C , 40°C , 45°C , 50°C , 55°C , 60°C 로 변할 때의 시뮬레이션 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

3.5. 태양전지의 직렬연결

태양전지의 직렬연결은 같은 조도에 기인한 단락회로 전류와 같은 동일한 값을 갖고, 직렬과 병렬 저항의 동일한 값을 갖는다. 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

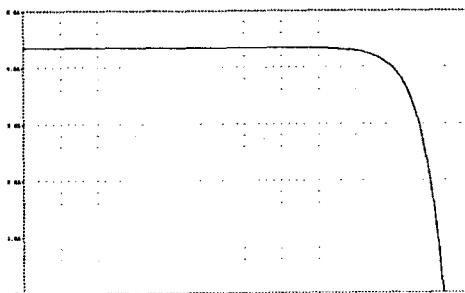


Fig.7.

2개 셀을 직렬 연결한 경우의 V-I 특성

3.6. 태양전지의 병렬연결

Fig. 8은 두 개의 셀을 각각 조도가 다른 상태로 설정하였을 경우의 V-I 특성을 나타내고 있다. 조도는 각각 1000W/m^2 와 700W/m^2 으로 하였다.

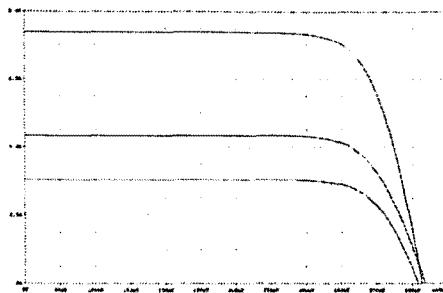


Fig.8. 2개 셀 병렬 연결시 V-I 특성(각기 다른 조도)

3.7. 태양전지 모델의 응용 예

Fig. 9와 같이 18개의 셀이 배열되어 있고 몇 개의 셀이 그림자로 가려 있는 경우를 고려해 보자. 각 셀의 조건은 다음과 같다.

$$area = 8cm^2, J_0 = 1 \times 10^{-11},$$

$$J_{sc} = 0.0343A/cm^2,$$

$$R_{sh} = 1000\Omega, R_s = 0.1\Omega$$

그림자에 가려진 셀의 조도는 0으로 가정한다. 부분적으로 가려진 배열과 전혀 가려지지 않은 배열의 v-i 특성의 비교 과정을 Fig. 10에 나타내었다.

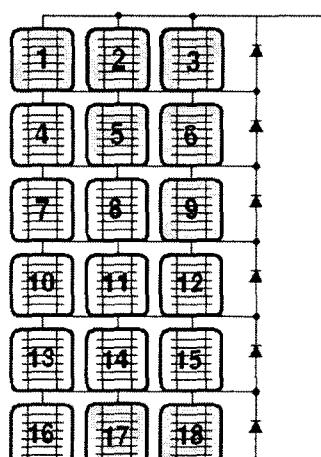


Fig.9. 18개 태양전지의 배열 모델

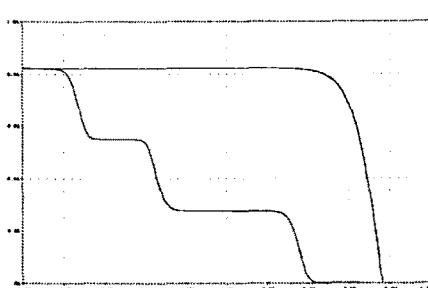


Fig.10. V-I 특성의 비교

충분하게 빛을 받을 때의 배열의 V-I 특성곡선은 그림자의 영향에 의해 협격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 만약 bypass 다이오드가 없이 사용된다면 직렬 연결중의 하나가 완전히 가려짐에 기인하여 전체 출력 전력은 0이 될 것이다. 그러므로 bypass 다이오드의 사용이 약간은 유용하다. 결과는 Fig 11에 나타내었다.

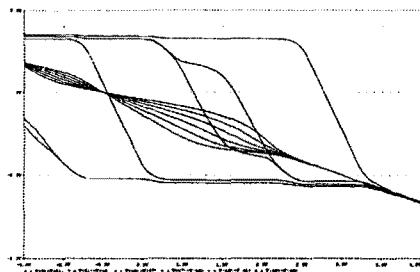


Fig.11. 18개 태양전지의 전압 강하

4. 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 논문에서 간단하고, 안정되게 PV 시스템에 대한 시뮬레이션을 수행 할 수 있도록 PV시스템에 사용되는 각종 모델들을 라이브러리화 하였다.

우선 PV 시스템의 컴퓨터 모델을 구성하였고, 양자효과의 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.

[참 고 문 헌]

- [1] Gueymard, C., "The Sun's Total and Spectral Irradiance for Solar Energy Application and Solar Radiation Models", Solar Energy, Vol.76, Issue.4, April, 2004, pp.423-453
- [2] Collins, D.G., and W.G.Blaettner, M.B.Wells, H.G.Horak,"Backward Monte Carlo Calculation of Polarization Characteristics of the Radiation Emerging from Spherical Shell Atmospheres", Applied Optics, Vol.11, Nov.1972, pp.2684-2696.
- [3] F.Lasnier and T.G. Ang, Photovoltaic Engineering Handbook. Boston, MA:Adam Hilger, 1990, pp.209-216.
- [4] 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
- [5] Bird, R.E. and R.L. Hulstrom, L.J.Lewis, "Terrestrial Solar Spectral Date Sets", Solar Energy, vol.30, 1983, pp.563