

## 태양광 모듈의 블록연결에 따른 IV특성 시뮬레이션 및 실험

유병규<sup>1</sup>, 김의종<sup>1,2</sup>, 차한주<sup>2</sup>, 유권중<sup>1</sup>  
한국에너지기술연구원<sup>1</sup>, 충남대학교<sup>2</sup>

### Experiments and Simulations of Crossed-tied Configuration of Partial shaded PV Arrays

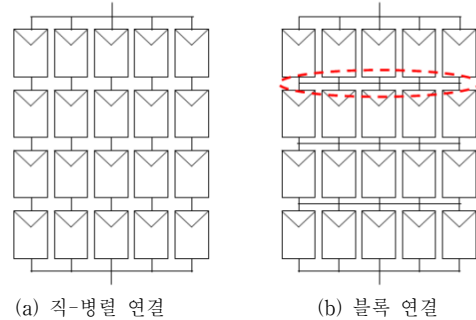
Byunggyu Yu<sup>1</sup>, Euijong Kim<sup>1,2</sup>, Hanju Cha<sup>2</sup>, Gwonjong Yu<sup>1</sup>  
Korea Institute of Energy Research<sup>1</sup>, Chungnam University<sup>2</sup>

**Abstract** - 태양광 모듈은 시스템에서 요구하는 전압과 전류를 공급하기 위하여 직·병렬연결을 통해 어레이를 구성한다. 그리고 태양광 어레이의 출력은 일사량과 온도에 의존적이며 또한 먼지와 같은 이물질에 의해 전력손실이 발생한다. 본 논문에서는 태양광 어레이에 국부적인 그림자 효과에 의해 전력손실이 발생하는 조건하에 태양광 모듈의 블록연결과 기존의 직렬-병렬 어레이 연결의 두 가지 연결법을 PSPICE를 이용한 시뮬레이션과 실험을 통해 비교 분석한다.

링의 모듈과 인접한 병렬 모듈을 전기적으로 연결한 것과 같다.

#### 1. 서 론

실제에 있어서 태양광 어레이는 태양전지의 직렬연결로 이루어진 모듈을 태양광 인버터가 요구하는 전압·전류의 정격에 맞추어 직렬 스트링군을 병렬로 연결하여 구성한다. 태양광 어레이의 성능은 일사량, 온도 그리고 바람에 크게 의존하며, 국부적인 먼지 및 이물질에 의해 또한 직렬 미스매치, 병렬 미스매치에 의해 전력손실이 발생한다. 이런 손실들을 고려하면 인버터의 정격보다 큰 규모로 어레이를 구성할 수밖에 없다. 이렇게 정격보다 큰 규모로 구성되는 어레이의 보상을 위한 방법으로 태양광어레이의 블록 연결을 생각해 볼 수 있다. 결론적으로 어레이의 블록 연결을 통해 전압과 전류 동작점의 증가를 통해 일반적인 연결법에 비해 손실을 감소시킬 수 있다. 본 논문에서는 국부적으로 그림자가 존재하는 조건에서의 태양광 어레이에 대해 PSPICE를 이용한 시뮬레이션과 실제 실험을 통해 블록연결법과 기존의 일반적인 연결법을 비교·분석한다. 또한 결론을 통해 앞으로의 연구방향에 대해서 생각해 본다.

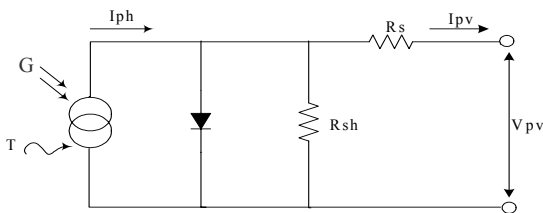


〈그림 2〉 어레이 블록 연결법

#### 2. 태양광 어레이 블록 연결법

##### 2.1 태양전지 모델링 및 어레이 블록 연결법

태양전지 등가회로는 그림 1과 같이 일사량에 의존적인 전류원과 포화전류를 나타내는 다이오드 그리고 병렬·직렬 저항으로 나타낼 수 있다.



〈그림 1〉 태양전지 등가 회로

모델링한 태양전지는 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

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

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

$$I_{ph, T_{ref}} = G \times I_{sc, T_{ref}} \quad (3)$$

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

$$I_0 = I_{0, T_{ref}} \times (T_w / T_{ref})^3 \times e^{-qV_{oc, T_{ref}}/nkT_{ref}} \times (1/T_w - 1/T_{ref}) \quad (5)$$

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

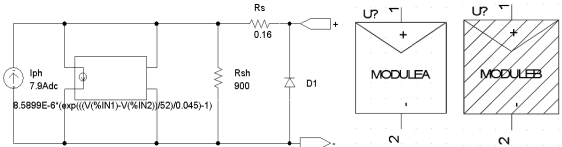
- $I_{PV}$  : PV array output current
- $V_{PV}$  : PV array output voltage
- $I_{ph}$  : photo generated current
- $R_s$  : cell series resistance
- $q$  : electronic charge
- $n$  : diode quality factor
- $k$  : Boltzmann's constant
- $G$  : insolation
- $K_0$  : temperature coefficient
- $T_w$  : working temperature
- $T_{ref}$  : reference temperature

그림 2는 태양광 어레이의 블록 연결법을 보여준다. 블록연결법은 일반적인 직렬 스트링군을 병렬 연결한 일반적인 어레이 구성에 각 스트

#### 2.2 PSPICE 시뮬레이션 및 실험

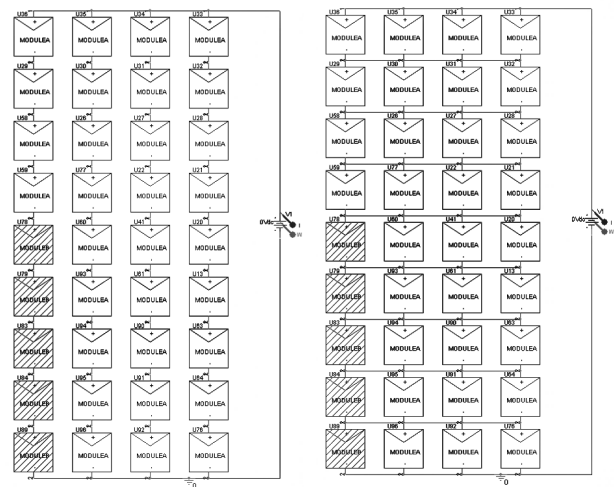
##### 2.2.1 PSPICE 시뮬레이션

시뮬레이션은 PSPICE를 이용하였으며 9직렬 4병렬의 6.5kW급 어레이로 구성하였다. 그림 3은 태양광 모듈의 등가 모델 그리고 PSPICE의 sub circuit model을 이용하여 구성된 모델이다. 모듈 등가모델에서 D1은 바이패스 다이오드가 내장 되어있음을 나타낸다. 그림 3에서 우측의 사선이 그려진 블록은 80%의 그림자 농도가 적용된 모듈이다.



〈그림 3〉 모듈 등가 모델 구성

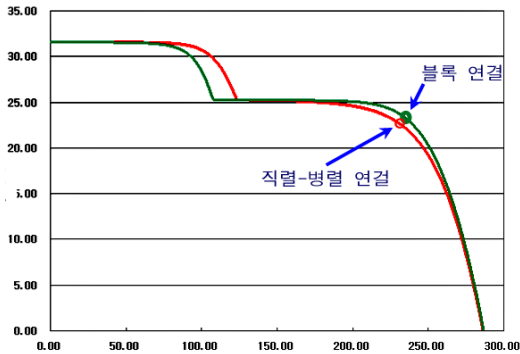
국부적인 그림자 효과 조건하에 일반적인 직·병렬 연결 어레이와 블록 연결한 어레이의 비교를 위해 STC조건인 모듈과 80%의 그림자 농도를 적용한 두 가지 모듈을 사용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 그림 4는 시뮬레이션을 위한 태양광 어레이의 두 가지 구성을 나타낸다. 국부적인 그림자 효과를 위해 앞서 설명한 두 가지 모듈을 사용하였다.



(A) 직렬-병렬 연결 (B) 블록 연결

〈그림 4〉 어레이 구성

시뮬레이션은 PSPICE의 DC sweep기능을 이용하였으며 0[V]에서 개방 전압까지의 IV커브를 구하였다. 어레이의 두 가지 구성에 대한 IV커브를 그림 5에 나타내었다.

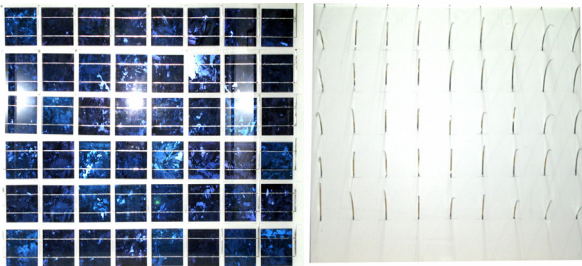


〈그림 5〉 시뮬레이션 결과

블록 연결한 어레이는 최대 전력점에서 230.8[V], 33.75[A], 5.4815[kW]의 동작점과 출력을 가지며, 일반적인 직렬-병렬 연결 어레이는 227.8[V], 23.006[A]의 동작점과 5.2408[kW]의 출력을 얻었다. 결국 블록 연결은 직렬-병렬 연결보다 전체 출력의 약 3.7%만큼 손실이 적음을 알 수 있다.

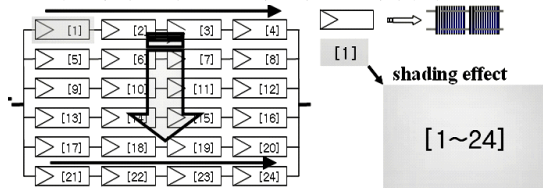
2.2.2 실험

시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 태양전지를 이용하여 어레이를 구성하여 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 태양전지는 5인치 다결정 셀이며 2장의 태양전지를 직렬로 연결(태양전지 한 장의 출력전압이 바이패스 다이오드의 동작전압보다 낮다)하여 하나의 모듈과 같이 생각하여 4 직렬 6병렬로 구성하였다. 그림 6은 제작한 어레이의 전면과 후면을 나타내며 후면에 바이패스 다이오드를 연결하였으며 블록연결 실험을 위한 버스바가 보인다. 출력은 100[W]급이다



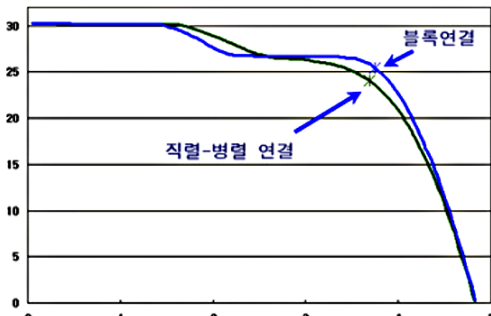
〈그림 6〉 실험을 위한 태양광 어레이

그림 7은 실험 절차 및 방법을 나타낸다. 1번 모듈에서 24번 모듈까지 80% 농도의 그림자 효과를 주면서 실험을 실시하였다.



〈그림 7〉 실험 절차

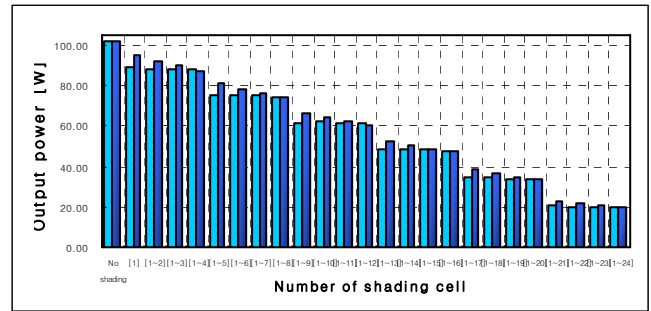
실험은 PASAN Sun Simulator를 이용하였으며 그림 8은 1에서 2까지의 모듈에 그림자 효과를 주었을때의 실험 결과를 나타낸다.



〈그림 8〉 실험 결과

시험 결과에서 블록연결은 3.749[V], 25.451[A], 95.4[W]의 출력을 나타내며 직렬-병렬 연결은 3.686[V], 24.086[A], 88.78[W]의 출력을 나타내었다. 앞에서 시뮬레이션 결과와 같이 블록연결이 더 높은 출력을 나타

내고 있다. 실험에서는 전체 출력의 약 6%만큼 직렬-병렬 연결보다 손실이 적게 나타났다. 그림 9는 전체 실험에 대한 결과를 나타낸다.



〈그림 9〉 실험 결과 비교

좌측의 막대 그래프는 직렬-병렬 연결에 대한 출력이며 우측의 막대 그래프는 블록 연결에 대한 출력결과이다. 오차를 고려하여 전체적으로 보았을 때 블록 연결법에 대한 출력이 우세함을 보여준다.

3. 결 론

앞에서 일반적으로 태양광 어레이를 구성하는 직렬-병렬 연결법과 각 스트링의 모듈을 병렬로 연결하는 블록연결법에 대해 PSPICE를 이용한 시뮬레이션과 실제 태양전지 2장을 모듈과 같이 생각한 어레이를 구성하여 그림자 영향아래 시험을 실시하였다. 결과는 블록 연결법의 전압과 전류 동작점이 모두 증가하였으며 손실도 적게 나타났다. IV커브를 비교하였을 때 최대전력점에서 태양전지의 직렬저항이 줄어든 것과 같은 효과를 얻었다. 즉, 병렬 연결법으로 인해 그림자 효과를 어느정도 감소시켰다고 볼 수 있다. 하지만 병렬 연결법은 DC연결을 증가 시키며 어레이의 연결을 복잡하게 한다고 볼 수 있다. 따라서 전체적인 병렬연결보다는 n직렬 연결된 모듈에 대해 병렬 연결을 하든지 혹은 n개의 스트링으로 나누어서 병렬 연결을 하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 이에 대해서 앞으로 연구해볼 과제이다.

[참 고 문 헌]

[1] 유권중, "PV시스템의 태양전지 어레이 구성법(2)", 1997년 12월  
 [2] Abete, A.; Barbisio, E.; Cane, F.; Demartini, P., "Analysis of photovoltaic modules with protection diodes in presence of mismatching", Photovoltaic Specialists Conference, 1990., Conference Record of the Twenty First IEEE, 21-25 May 1990 Page(s):1005 - 1010 vol.2  
 [3] Candela, R.; di Dio, V.; Sanseverino, E. Riva; Romano, P., "Reconfiguration techniques of partial shaded PV systems for the maximization of electrical energy production", Clean Electrical Power, 2007. ICCEP '07. International Conference on 21-23 May 2007 Page(s):716 - 719  
 [4] Ghali, F.M.A.; Syam, F.A.; Abdelaziz, M.M., "Analysis of interconnected configuration in PV arrays under fault condition", Circuits and Systems, 2003. MWSCAS '03. Proceedings of the 46th IEEE International Midwest Symposium on Volume 3, 27-30 Dec. 2003 Page(s):1095 - 1099 Vol. 3  
 [5] N.K. Gautam, N.D. Kaushika, "Network analysis of fault-tolerant solar photovoltaic arrays", Solar Energy Materials & Solar Cells (2001) 25 - 42  
 [6] NALIN K.; GAUTAM and N.D. KAUSHIKA, "Reliability evaluation of solar photovoltaic arrays", Solar Energy (2002) 129 - 141