

최대 전력 제어를 위한 PSPICE의 태양광 어레이 모델링

유권종^{**} 정명웅^{**} 강기환^{**} 송진수^{**} 노명근^{*} 성세진^{*} 홍성민^{***} 최규하^{***}
한국에너지기술연구소^{**} 충남대학교^{*} 삼성전자^{***} 전국대학교^{***}

Photovoltaic Array Modeling For MPPT Using PSPICE

Gwon-Jong Yu^{**} Myung-Wong Jung^{**} Gi-Hwan Kang^{**} Jin-Soo Song^{**}
Myong-Gun No^{*} Se-Jin Sung^{*} Sung-Min Hoog^{***}
Korea Institute of Energy Research^{**} ChungNam National University^{*}
Sam Sung Electronic co.^{***} Kon-Kuk University^{***}

Abstract: A detailed model of a photovoltaic array written in PSPICE is presented in this paper. It is likely that solar cell arrays in photovoltaic system is shadowed partly by clouds, buildings. By the effects of partial shadowing, not only the output power of solar cell arrays is decreased, but also shadowed cells are reversely biased and damaged in some cases. In this paper, by analyzing the output characteristics of solar cell arrays according to various shadow patterns, we investigate solar cell arrays connection of prevention the shadowing effects to the utmost.

1. 서 론

최근 지구 환경문제와 미래에너지원의 다원화에 대한 국제사회의 관심고조로부터 청정, 무한정한 태양광 발전은 대체에너지, 신에너지중에서도 꾸준한 연구개발의 성과에 의하여 가장 실용화에 근접하고 있어 미래에너지원으로 각광을 받고 있다. 태양광 발전시스템의 태양전지모듈을 직, 병렬 연결하여 용량에 맞게 구성하지만, 건물이나 구름 수목 등으로 인하여 태양전지 어레이의 일부에 그림자가 발생하면 부분적인 일사량의 불평형이 발생할 가능성이 있다. 이러한 불평형의 발생은 발전량의 저하, 변동 뿐만 아니라 일부 태양전지 모듈에 대한 과대한 역바이어스 전압을 발생시키 경우에 따라서는 태양전지 모듈의 소손과 파괴를 초래할 수가 있어 이에 대한 대책으로 태양전지 어레이 최적설계 및 역바이어스 방지 디아오드를 적절히 투입할 필요가 있다.

본 논문에서는 건물, 구름, 수목 등에 의한 부분적인 일사량 불평형의 영향을 최대한 억제하기 위하여 전자회로 시뮬레이션에 많이 사용되고 있는 PSPICE를 사용하여 태양전지 어레이의 최적구성을 위한 검토결과에 대하여 보고하고자 한다.

2. 태양전지 출력의 그림자에 의한 영향

태양광 발전시스템의 태양전지 어레이에 구름, 건물등과 같은 외부 영향으로 태양전지 모듈의 일부에 그림자가 발생하였을 경우 태양전지 어레이 전체의 출력은 변동이 생긴다. 그림1은 태양전지 출력의 그림자의 영향에 대하여 설명하기 위하여 셀3장을 직렬로 연결한 것으로 셀1장(셀A)에 그림자가 생겼다고 가정한 경우로서 셀1장의 발생광기전류를 4등분하고 직병렬저항을 무시할 때 전체적인 동가회로는 그림2와 같다. 여기에서 광기전류가 3/4으로 되는 경우 동가회로를 그림3에 보이고 있다. 이 동가회로로부터 발생되는 출력전류는 그림자가 없는 경우의 3/4으로 되는 것을 알 수 있다.

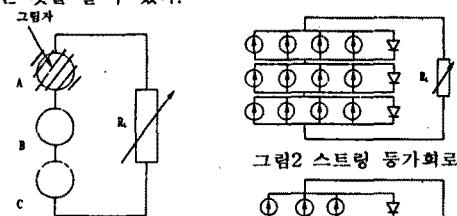


그림1 스트링 구성에

그림3 셀A에 그림자 →

발생시 스트링 등가회로

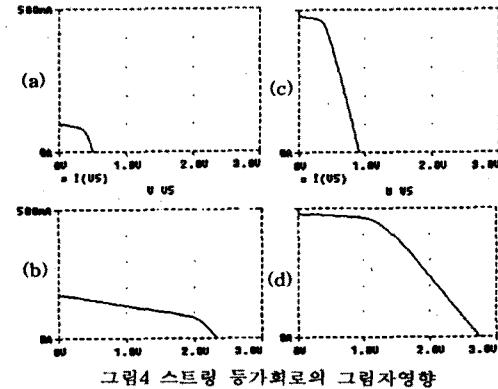


그림4 스트링 등가회로의 그림자영향

다음은 그림3의 부하저항을 개방상태로부터 감소시키는 경우에 각 셀에 생기는 전압에 대해 생각해 본다. 부하저항이 적당히 크고 모듈에 있어서 전류가 셀A의 광기전류보다도 작은 경우는 각 셀의 잉여전류는 등가회로상에는 각 셀의 다이오드부에 흐른다고 볼 수 있다. 그러므로 각 셀은 순바이어스 상태로 되는 것을 알 수 있다. 부하저항이 감소할 때, 셀B, C에 대한 전압은 변화가 없다. 그러나 부하전압은 부하저항의 감소에 따라 감소하기 때문에 괘루프전압의 합이 0이 되는 조건을 만족하기 위해 셀A에는 역바이어스 전압이 발생한다. 이 전압에 의해 솔라셀이 소손되거나 파괴되고, 출력전력은 감소하게 된다.

그림4에서 (a)는 그림자 발생시 셀A의 I-V특성, (b)는 셀A에 그림자 발생시 모듈의 I-V특성, (c)는 셀A의 I-V특성, (d)는 셀A에 그림자가 없을 때 모듈의 I-V특성이다.

3. 태양전지 어레이 모델링

3.1 솔라셀 등가회로

태양전지의 한 소자당의 등가회로는 그림5와 같이 근사적으로 표현할 수 있고, 전압·전류관계식은 다음과 같이 나타낸다.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q(V + Ir_s)}{nkT} \right\} - 1 \right] - \frac{(V + Ir_s)}{r_{sh}} - 1$$

I_{ph} : 광기전류, n : 다이오드 성능지수, k : 블쓰만 상수, T : 절대온도, I_0 : 역포화전류

3.2 솔라모듈 및 어레이의 모델링

솔라모듈 및 어레이의 모델링을 하는데 있어서 솔라셀(솔라모듈) 수십개를 직렬로 연결하기 때문에 이에 대한 광기전류, 전압특성, 저抵抗, 별렬저항등을 계산에 의하여 솔라셀 등가회로에 대입함으로써 솔라모듈 및 어레이를 모델링할 수 있다. 그림5는 태양광 모듈 및 어레이의 동작특성을 설명하기 위해 사용하는 PSPICE 모델을 나타낸 것이다. 여기에서는 온도보정과의 관계를 고려하였다. 기본적으로 태양광 모듈 및 어레이의 I-V특성을 결정하는

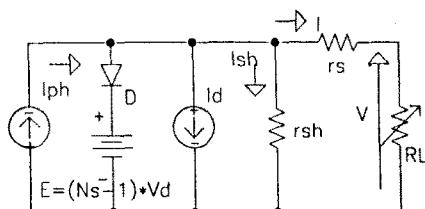


그림5. PV 어레이의 모델

데, 다음과 같은 두개의 방정식을 사용한다.

$$I_{ph} = \{I_{sc}S_N + I(T_c - T_r)\}N_p \quad 2)$$

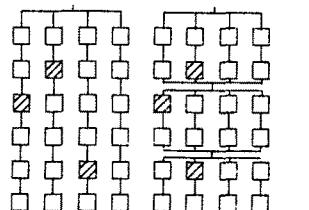
$$I_D = \left[I_0 \left\{ \exp \left(\frac{qV_L}{AkTN_S} \right) - 1 \right\} \right] N_p \quad 3)$$

여기에서 I_{ph} : 광기전류(A), S_N : 표준 솔라일사(기본적으로 $1000W/m^2$), I : 단락회로 전류온도계수(A/K), I_0 : 다이오드 전류(A), I_D : 역포화전류(A), A : manufacturer 상수, T_c : 셀 동작온도, T_r : 셀 reference 온도, N_p : 병렬셀의 수(m), N_S : 직렬셀의 수(n)이다.

4. 부분적인 그림자 영향을 방지하는 어레이 구성법

그림자의 영향으로 인한 종합출력저하의 억제, 모듈의 소손과 파괴방지를 위해 블록분할과 블록단위에 바이пас스다이오드를 투입하는 방법이 있다. 그림6은 블록분할방법의 예를 나타내고 있다. (a)는 1-1 블록분할이고, (b)는 3-1 블록분할이다. 그림중의 사선부분은 그림자가 생겼다고 하면, (a)에서의 전체출력은 균일한 조사시의 1/4이 되고, (b)에서의 전체출력은 균일한 조사시의 3/4이 된다. 이와같이 적당한 블록분할은 그림자가 생기는 모듈단위수를 줄이는 효과가 있기 때문에 어레이 출력저하를 방지할 수 있다.

한편 바이어스 다이오드는 기본적으로 셀, 모듈, 혹은 블록단위에 접속되어, 부분적인 그림자의 발생시 셀에 과대하게 걸리는 역전압을 방지하는 효과를 갖는다.



(a) 1-1 블록분할 (b) 3-1 블록분할

그림6. 블록분할 방법의 예

5. PSPICE에 의한 시뮬레이션

본 논문에서는 전자회로 시뮬레이션에 사용되는 PSPICE를 이용하여 태양전지 셀, 모듈, 어레이를 전자회로적으로 등가회로를 구성하여 모델링을 하였으며, 실제 계통연계형 태양광 발전시스템의 3KW급의 태양전지 어레이의 최적구성을 위한 블록분할 방법에 대하여 비교검토를 하였다. 본 연구에서 사용한 태양전지 모듈은 (주)삼성전자 SM-50의 모델의 제품을 사용하여 구성하였으며 SM-50의 사양을 표1과 같이 나타내고 있다.

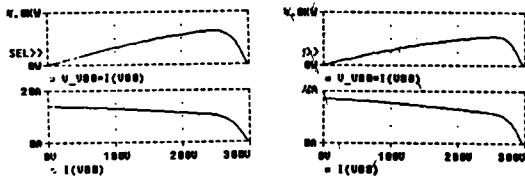
설정 SM-50	Simulation	Manufacturer	% Error
개방회로전압	21.50V	21.76V	1.19
단락회로전류	3.59A	3.42A	4.73
최대출력	51.90W	50.00W	3.66
최대출력전압	16.70V	17.10V	2.34
최대출력전류	3.10A	2.92A	5.80

표1. SM-50 사양과 시뮬레이션 결과

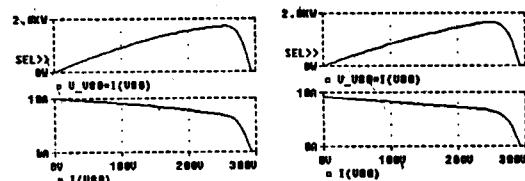
표2는 태양전지 모듈 56매를 이용하여 블록분할에 따른 그림자영향을 분석한 결과를 나타내고 있으며, 이 결과를

블록 분할 (m-n)	50%의 그림자 농도에서의 그림자 면적				80%의 그림자 농도에서의 그림자 면적			
	5%	10%	25%	32%	5%	10%	25%	32%
14-2	80.7	70	57.3	55.5	64.7	45.4	23.8	21.6
7-2	80.7	74	57.9	55.5	64.7	62.5	23.2	20.9
7-1	87.5	74.9	59	56.4	72.6	49	25	21.5
5-2	80.7	73	57.3	55.7	64.7	48	22.4	21
5-1	86.6	74	58.2	56.9	71.5	48.7	23	22

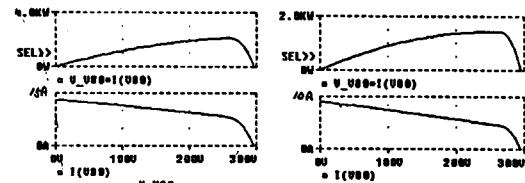
표2. 3KW 어레이의 그림자 영향비교
이용하여 본 논문에서는 최대출력을 얻을 수 있으며 그림자 영향이 적은 7-1의 블록분할 방법을 선택하여 태양전지 어레이를 구성하였다. 표2에서 m-n은 블록분할 방법을 나타내었으며, 그림자의 농도와 면적을 고려한 출력을 배분율로 표시하였다. 그림7은 7-1 블록분할의 그림자 농도가 50%와 80%일 때 각각의 그림자 면적에 대한 시뮬레이션 결과이다.



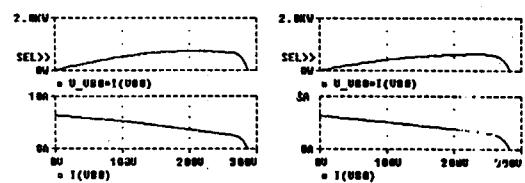
a) 그림자면적 5% b) 그림자면적 10%
(a) 그림자농도 50%



a) 그림자면적 25% b) 그림자면적 32%
(b) 그림자농도 50%



a) 그림자면적 5% b) 그림자면적 10%
(c) 그림자농도 80%



a) 그림자면적 25% b) 그림자면적 32%
(d) 그림자농도 80%

그림7 7-1 블록분할 예

6. 결론

본 논문에서는 태양광발전 시스템의 태양전지 모듈과 어레이를 구성하는데 건물, 구름 등에 의한 어레이 일부분에 생기는 그림자에 의한 일사량의 불평형이 발생하는 출력변동, 소손, 파괴 등에 대한 대책에 대하여 명확하게 하였으며 또한 태양전지 어레이 최적 구성에 대하여 기술하였다. 이러한 결과를 PSPICE를 이용하여 태양전지 셀, 모듈, 어레이에 대하여 모델링을 하였고, 실제 3KW급 계통연계형 태양광발전 시스템의 어레이에 적용하여 분석결과의 타당함을 보였다.

참고 문헌

- 1) Konishi Tanaka, Etsuo Sakoguchi; [Simulated Power Source Based on Dynamic Characteristics of Solar Cell], 平成4年 일본 전기화학 산업용융부문 전국대회 논문집 NO77.
- 2) M. A. Green; [Solar Cell: Operating Principles, Technology, and System Applications], 1982.
- 3) R. Katan, V. Agelidis and C. Nayar; [PSPICE Simulation of Photovoltaic Arrays], International Journal Electrical Engineering Education, October 1995.
- 4) 유권중외; [전력 Peak Cut를 위한 주택용 태양광 발전 시스템의 에어콘 개발(III)], 전력연구원, 1995. 9
- 5) Muhammad H. Rashid; [SPICE for Circuits and Electronics Using PSPICE], Prentice-Hall international, Inc
- 6) H. S. Rauschenbach; [Solar Cell Array Design Handbook], p.52-p74, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY.