

## 태양 전지 패널 어레이에서 최대전력점 검출

정지원, 안대천  
원광대학교, 원광대학교

### Detect Maximum Power Point in Solar Cell Panel Array

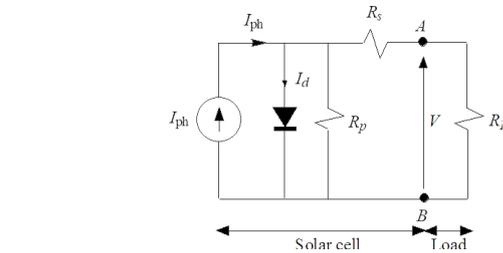
Ji-Won Jeong, Tae-Chon Ahn  
Wonkwang University, Wonkwang University

**Abstract** - 태양광 발전 시스템에서의 최대 전력점 추적(MPPT, Maximum Power Point Tracking)제어를 실험을 하기 위해 부분선형 다이오드 모델을 이용한 태블로 해석을 통해 태양광 발전 시스템의 태양전지 모듈의 특성을 시뮬레이션 하였다. 태양전지 모듈의 V-I 특성과 태양전지 패널을 직렬-병렬 어레이로 연결 시, 부분 그늘 문제(Partial Shading Problem)의 지역 최대 점(global peak)을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

을 만들게 되면, 태양전지를 구성하는 4가지 회로요소, 각각의 특성을 포함하는 하나의 회로요소로 만들 수 있어서 회로 해석 식을 줄일 수 있다.[3] 또한 영역을 더 세분화한 다-구분 선형을 이용하여 보다 현실에 흡사한 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있다. 하지만 구분 선형에 의해 구별된 영역에 비례하여 시뮬레이션 연산 속도가 느려지는 단점이 있기 때문에, 현실에 흡사하게 모사하지만 연산 속도를 늦출지, 간단히 모사하지만 연산 속도를 향상시킬지를 선택해야 한다.

### 1. 서 론

태양광발전은 표면에 입사되는 햇빛을 받아 광전효과(Photoelectric Effect)에 의해 빛 에너지를 직접 전지에너지로 변환하는 발전 장치이다. 물리적으로 화학변화를 동반하지 않기 때문에 환경 오염물질을 발생하지 않으며, 기계적 가동 부분이 없기 때문에 소음과 마찰에 의한 마모가 없어 내구성이 강하며 반영구적 수명을 갖고 있다. 이러한 장점으로 운전관리비를 최소화 할 수 있기 때문에 태양광 발전은 신재생에너지 자원 중 안정된 에너지원의 하나로 각광 받고 있다.



〈그림 1〉 태양전지의 등가회로

태양광 발전 시스템은 햇빛이 있는 주간에만 발전을 할 수 있기 때문에 일사시간에 최대한 발전을 해야 하며, 그 발전량은 계절, 시간, 기상 조건에 따라 변화하는 일사량에 따라 좌우 된다. 태양광 발전 시스템은 남향을 중심으로 위도가 같은 경사각을 이루고 건물이나 주변 사물에 의해 그늘에 가리지 않는 곳에 위치한다. 하지만 구름이나 좁은 공간에 설치된 태양전지 패널 간의 간섭에 의한 그림자 때문에 부분적으로 그늘이 저서 그늘이 진 위치 변화에 따라 최대 전력점이 매 순간 변할 수 있다. 태양전지 패널을 오직 직렬연결이나 병렬연결의 경우 지역 최대점이 존재하지 않아 태양전지의 최대 전력점을 찾기 수월하지만, 여러 개의 태양전지 패널을 오직 직렬 또는 병렬로 연결된 경우 전력변환기의 전압 정격이나 전류 정격이 한 쪽으로만 높아져 전력변환기 설계 및 제작에 어려움이 생긴다. 태양전지 패널을 직렬-병렬 격자 구조로 연결한 경우에는 여러 개의 지역 최대점이 나타날 수 있기 때문에 전역 최대 전력점을 찾기 어렵다. 하지만 직렬-병렬로 연결하는 태양전지 패널의 수를 조절하여, 태양전지 패널에서의 출력 전압 및 전류 정격을 조절하여 전력변환기를 수월하게 설계 제작 할 수 있다. 대규모 태양광 발전 시스템의 경우 직렬-병렬 연결이 전력변환기 설계에 용이하다. 대규모 태양광 발전 시스템에서 최대 전력점 추적 제어 실험을 위해 실제의 수백여개의 태양전지 패널로 구성된 태양광 발전 시스템을 이용하기엔 비용과 시간의 문제가 있어, 구분 선형 다이오드 모델을 회로요소로 사용한 회로를 태블로 해석법으로 해석하여 태양전지패널의 V-I특성과 직렬-병렬 어레이로 구성된 태양전지 발전 시스템의 V-I특성을 시뮬레이션하여 태양 전지 패널 어레이에서 최대 전력 점을 검출 하였다.[2]

〈표 1〉 Q.PRO245와 구분선형 태양전지 모듈의 태양전지 출력 특성 (Irradiation 1000w/m<sup>2</sup>, 25°C)

	단위	Q.PRO245	가상 모델
Nominal Power	P <sub>MAX</sub> [W]	245.317	245.859
Short Circuit Current	I <sub>SC</sub> [A]	8.52	8.5200
Open Circuit Voltage	V <sub>OC</sub> [V]	37.48	37.4800
Current at Maximum Power	I <sub>MPP</sub> [A]	8.03	7.9034
Voltage at Maximum Power	V <sub>MPP</sub> [V]	30.55	31.1080

### 2. 본 론

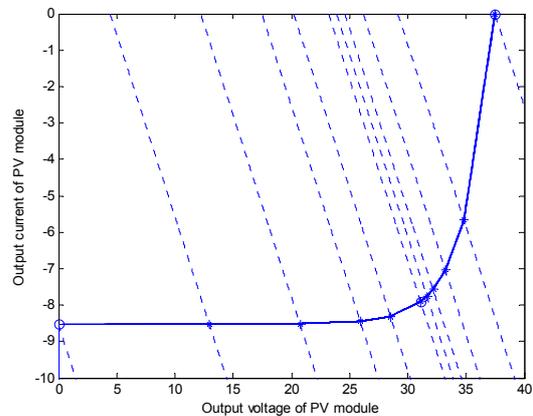
#### 2.1 태양전지 모델

태양전지는 반도체의 PN 접합부분에서 광전효과에 의해 발전을 한다. PN 접합으로 이루어진 태양전지는 다이오드이며 광전 효과에 의해 생성되는 전류(I<sub>ph</sub>)를 전류원으로, 태양전지 물질 내부에 전류 흐름을 방해하는 저항성분을 직렬 저항(R<sub>s</sub>)으로, 다이오드의 누설저항을 병렬저항(R<sub>p</sub>)으로 간략화 하여 등가 회로를 만들 수 있다. 태양전지 등가회로는 〈그림 1〉과 같다. [1]

#### 2.2 구분 선형 태양전지 모델

Q-Cells사의 태양전지 패널 Q.PRO245의 V-I 특성(조건: Irradiation 1000w/m<sup>2</sup>, 25°C)을 모델로 구분 선형 태양전지 모듈을 프로그램하였다. V-I 평면 위에 직선  $y = -(x - V_n) + I_n$ 으로 12개의 영역으로 구별한 구분 선형 태양전지 모델을 〈그림 2〉에 나타내었다.

태양전지 등가회로의 회로요소는 전류원, 다이오드, 직렬저항, 병렬저항으로 간단히 구성되어 있지만, 이 회로요소로 구성된 수백여개의 태양전지 패널이 직렬-병렬로 연결된 회로를 만들게 되면 시뮬레이션 해야 할 회로요소가 대단히 많아져 회로 해석 식이 증가하게 되며, 시뮬레이션 연산속도도 증가하게 된다. 또한 태양전지를 구성하는 4가지 회로요소의 값을 변경하여 원하는 태양전지 모듈의 출력 특성을 근사하게 만들기가 대단히 힘들다. 구분 선형(piecewise linear)으로 태양전지 모델



〈그림 2〉 Q.PRO245를 모델로 한 구분 선형 태양전지 모델과 영역 구별 선

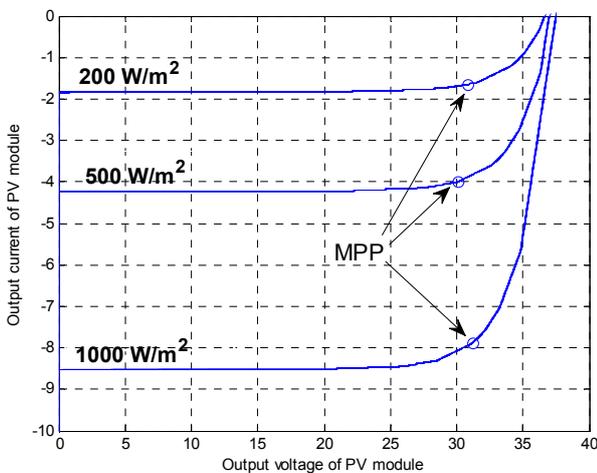
$P_{MAX}$ 인 점을 기준으로 전 후 V-I특성 곡선의 변화가 크기 때문에 곡선의 변화가 큰 곳은 더 잘게 세분화해서 선형화하여, 가상의 태양전지 모델이 실제의 태양전지모델의 V-I 비선형 특성 곡선을 근사하게 모사할 수 있게 하다. 구분 선형 영역을 구별한 식은 아래와 같다.[4]

```

if i+ m*v>=I0+ m*V0 Line0;
elseif i+ m*v>=I1+ m*V1 Line1;
elseif i+ m*v>=I2+ m*V2 Line2;
:
:
:
elseif i+ m*v>=I10+ m*V10 Line10;
else Line11;

```

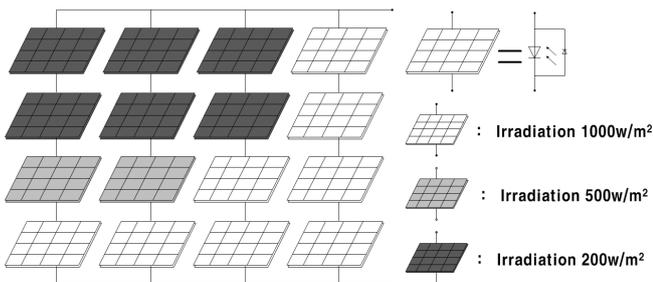
태양전지는 일사량에 따라 V-I특성이 변화하며 그에 따라 발전량 역시 달라진다. Q.PRO245의 데이터스펙에 명시된 세 가지 조건 - 1000w/m<sup>2</sup>, 500w/m<sup>2</sup>, 200w/m<sup>2</sup> - 일사량 일 경우의 V-I특성 그래프를 참조하여 구분 선형 태양전지 모델 역시 입력되는 세 가지 조건에 따라 변화하도록 제작 하였다. 입력된 3 가지 일사량의 변화에 따라 해당 일사량의 V-I특성을 모사한 구분 선형 태양전지 모델의 그래프를 <그림 3>에 그렸다.



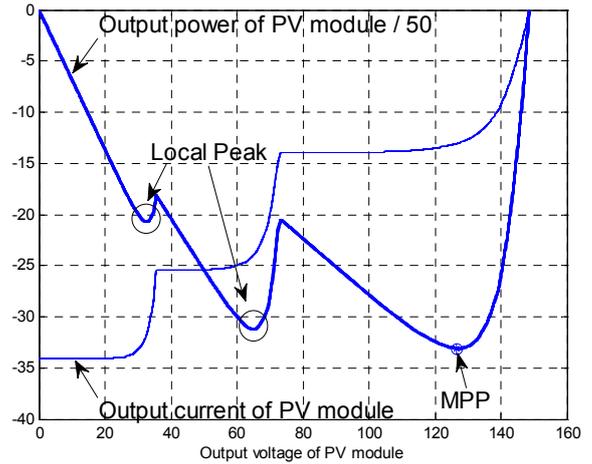
<그림 3> 3가지 일사량 변화에 따라 변화하는 V-I 특성을 모사한 모델

### 2.3 태양전지 패널 직-병렬 어레이시 V-I특성

구분선형 태양전지 모델에 바이패스 다이오드를 병렬로 삽입하여 구분선형다이오드 모델과 바이패스 다이오드가 한 쌍을 이루는 패널이 되도록 하였다. 직렬로 연결된 태양전지 어레이에서 바이패스 다이오드를 삽입하지 않은 경우, 실제의 실험에서는 역전류에 의해 태양전지 패널에서 열에 의해 열점(Heat point) 현상이 일어 날 수 있으며, 시뮬레이션 상으로는 태양전지가 다이오드 역할을 하여 역전압을 차단하기 때문에 생성되는 전류가 매우 줄어들게 된다. 태양전지와 바이패스 다이오드 한 쌍으로 구성된 태양전지패널을 <그림 4>와 같이 4x4 직렬-병렬 어레이로 연결 하여 가상의 태양전지 발전 시스템을 만들었다. 그들이 쬐을 때의 상황을 임의로 만들기 위해 7개의 태양전지 패널에 빛 조사량 조건을 200W/m<sup>2</sup>로 변경 후 시뮬레이션 한 결과를 <그림 5>에 나타 내었다.



<그림 4> 태양전지 패널 어레이



<그림 5> 태양전지 패널 어레이 V-I특성

태양전지 패널에 그들이 가리움으로 인해  $V_{OC}$ 는 크게 변하지 않지만  $I_{SC}$ 가 큰 폭으로 변하여 MPP(Maximum Power Point)역시 큰 폭으로 변함을 <그림 3>의 V-I곡선에서 확인할 수 있다. 이는 빛의 조사량에 따라 광전효과에 의해 생성되는 전류원  $I_{ph}$ 의 변화에 기인한다. 빛의 조사량에 따라 큰 폭으로 변하는 태양전지의 전류원 성분 때문에 태양전지 패널 어레이에 그들이 부분적으로 가리워 저서 어레이의 V-I특성곡선에서  $V_{OC}$ 는 크게 변하지 않았지만 전류가 큰 폭으로 변화한다. 전압에 따른 전류가 큰 폭으로 변하기 때문에 태양전지 패널 어레이에서 MPP의 위치가 변하며 전압에 따른 전류의 변화가 큰 폭으로 변한 구간 안에서 지역 극대점을 확인할 수 있다.[5][6]

### 3. 결 론

태양전지 패널 Q.PRO245의 데이터스펙에 기술된 특성을 구분선형 다이오드 모델을 이용하여 매우 근사하게 모사할 수 있다. Q.PRO245의 특성을 모사한 구분 선형 태양전지 모델의 특성은  $P_{MAX}=245.859W$ ,  $I_{SC}=8.52A$ ,  $V_{OC}=37.48V$ ,  $I_{MPP}=7.9034A$ ,  $V_{MPP}=31.108V$ 으로, Q.PRO245 데이터스펙에 명시된 태양전지 모델과 출력 특성의 차이는  $I_{MPP}$ 의 경우 1.60%,  $V_{MPP}$ 의 경우 1.79%,  $P_{MAX}$ 의 경우 +0.22%차이로 출력 특성이 매우 근사했다. 구분선형 다이오드 모델과 바이패스 다이오드로 구성된 회로를 테블로 해석법으로 해석하여 태양전지 직렬-병렬 어레이에 부분적 그들이 쬐을 때의 파워 특성 곡선에서 지역 최대점과 최대전력점을 시뮬레이션을 통해 확인 할 수 있고 그 위치 경향을 시뮬레이션을 통해 파악 할 수 있다.

### [참 고 문 헌]

[1] Lei, P. ; Li, Y. ; Seem, J. ; , "SA novel topology for solving the partial shading problem in photovoltaic power generation system", Power Electronics and Motion Control Conference, 2009. IPEMC '09. IEEE 6th International, 17-20 May 2009

[2] Hachtel, G. ; Brayton, R. ; Gustavson, F. ; , "The Sparse Tableau Approach to Network Analysis and Design", IEEE Transactions On Circuit Theory, vol. CT-18, no. 1, pp.101-113, January 1971

[3] Pejovic, P. ; Maksimovic, D. ; , "An algorithm for solving piecewise-linear networks that include elements with discontinuous characteristics", IEEE Transactions on Circuits and Systems-1: Fundamental Theory and Applications, vol. 43, no. 6, pp. 453-460, June 1996

[4] 박인규, "정류기 회로 시뮬레이션을 위한 구분적 선형 다이오드 모델의 스위칭 방식", 공업기술개발연구지, 제27권, pp. 37-44, 2007

[5] Patel, H. ; Agarwal, V. ; , "Maximum Power Point Tracking Scheme for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, no. 4, pp. 1689-1698, April 2008

[6] Kazmi, S. ; Goto, H. ; Ichinokura, O. ; Hai-Jiao Guo ; , "An improved and very efficient MPPT controller for PV systems subjected to rapidly varying atmospheric conditions and partial shading", Power Engineering Conference, 2009. AUPEC 2009. Australasian Universities, 27-30 Sept. 2009