

## EMTP를 이용한 Solar Cell 특성 분석에 관한 연구

조해인\*, 여상민\*, 김철환\*  
성균관대학교\*

### A Study on Analysis of Solar Cell Characteristics Using EMTP

Hae-In Cho\*, Sang-Min Yeo\*, Chul-Hwan Kim\*  
Sungkyunkwan University\*

**Abstract** - 최근 태양광 발전을 전력계통에 연계하는 연구가 많이 진행되고 있다. 태양광 발전 시스템은 조사량과 온도의 변화와 같은 환경 요인에 의해 출력 특성이 달라지므로 이에 대한 연구와 계통에 미치는 영향 분석이 필요하다. 본 논문에서는 EMTP/MODELS를 사용하여 태양전지 내부 손실, 조사강도, 온도 조건을 고려한 Solar Cell의 특성을 구현하고 분석하였다. 또한 실제 Solar Cell 데이터와 비교하여 타당성을 검증하였다.

#### 1. 서 론

최근 전력계통에서는 친환경적 전력 생산에 대한 관심이 높아지면서 다양한 분산전원이 도입되고 있다. 태양광, 풍력, 조력, 연료전지 등 다양한 대체 에너지가 분산전원으로써 연구, 개발되고 있고 점점 사용량 또한 늘어가고 있다. 이 중에서도 태양광 발전은 무공해, 영구적인 사용, 태양전지의 긴 수명, 자동화에 용이함과 같은 이점 때문에 각광받고 있다. 기존의 태양광 발전은 가정용이나 소규모 부하 공급의 목적으로만 사용되어 왔다. 하지만 최근에는 보다 대용량화하여 전력계통에 연계하는 사례가 늘고 있다. 따라서 태양광 발전이 계통에 연계되었을 때 계통에 미치는 영향을 분석하는 것이 필요하다. 기존 연구의 경우 대부분 태양광 발전을 간략화 하여 모델링하여 태양광 발전 및 계통의 실제 환경 변화에 따른 영향 분석은 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 전력계통 과도현상 해석 프로그램인 EMTP/MODELS를 사용하여 Solar Cell의 실제 특성을 구현하고 기존의 연구 결과와 비교하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 Solar Cell I-V 특성[1]

태양 전지는 외부 온도와 조사강도에 의해 전지 온도가 상승하면 발전 전압이 떨어지는 특성을 갖고 있다. 출력 전류가 온도와 조사강도에 의존하기 때문에 이 요소들은 태양 전지 특성에서 아주 중요하다. 가장 기본적인 태양 전지의 등가 회로는 다음 그림 1과 같이 다이오드를 사용하여 나타낼 수 있다. 다이오드는 전지의 I-V 특성을 결정해준다[2]. 등가 회로에 대한 수식은 다음과 같다.

$$I = I_{sc} - I_0 \left[ e^{\frac{V+IR_s}{nkT}} - 1 \right] \quad (1)$$

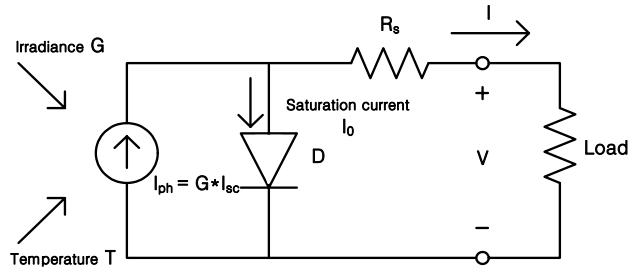
$I$  = 출력 전류[A],  $I_{sc}$  = 단락 회로 전류[A],  $I_0$  = 다이오드 역포화 전류[A],  $R_s$  = 내부 직렬 저항[Ω],  $V$  = 출력 전압[V],  $q$  = 전하량[C],  $n$  = 다이오드 이상 계수,  $k$  = Boltzmann 상수,  $T$  = 태양 전지 온도[K]이다. 조사강도가 변하면 출력 전류가 변하고, 그에 따라서 출력 전력도 변하게 된다. 출력 전류는 태양 전지로 비취지는 빛에 직접적으로 비례한다. 태양 전지가 받는 조사량은 날씨와 설치 각도, 위치 등에 영향을 받기 때문에 최적의 동작을 위해서는 조건에 따른 조사량의 고려가 필요하다[3]. 따라서 조사 강도를 고려한 광전류  $I_{ph}$ 는,

$$I_{ph} = G \cdot I_{sc} \quad (2)$$

으로 계산된다. 여기서  $G$ 는 조사강도( $1G=1000W/m^2$ )이다. 태양 전지의 온도에 따라 단락 회로 전류가 변하므로 기준 온도에 따른 단락 회로 전류는 다음과 같이 표현된다.

$$I_{sc}|_T = I_{sc}|_{T_{ref}} \cdot [1 + a(T - T_{ref})] \quad (3)$$

여기서  $a = I_{sc}$ 의 온도 상승수[%/°C]이다. 기준 온도에 대한 다이오드 역포화 전류  $I_0$ 와 특정 온도에서의 역포화 전류는 비례 관계에 있다.



〈그림 1〉 태양 전지 등가회로

$$I_0 = \frac{I_{sc}}{\left( e^{\frac{V_{oc}}{nkT}} - 1 \right)} \quad (4)$$

$$I_0|_T = I_0|_{T_{ref}} \cdot \left( \frac{T}{T_{ref}} \right)^{\frac{3}{n}} \cdot e^{\frac{-q}{nk} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)} \quad (5)$$

등가 회로에 대한 (1)의 전류 식을 풀기 위해서 뉴턴의 근사법을 사용하여 해를 구하여야 한다[3]. 이에 따라 식 (1)을 풀면 다음 식 (2)와 같이 재귀 방정식으로 표현된다.

$$I_{n+1} = I_n - \frac{I_{ph} - I_n - I_0 \left[ e^{\frac{V+IR_s}{nkT}} - 1 \right]}{-1 - I_0 \left( \frac{q \cdot R_s}{nkT} \right) e^{\frac{V+IR_s}{nkT}}} \quad (6)$$

그림 1의 직렬 저항  $R_s$ 는 태양 전지 내부에서 전력의 손실을 일으키는 큰 원인이다[3]. 태양 전지를 직렬로 연결하면 직렬 저항은 전지의 수만큼 비례해서 증가하게 된다. 이에 따라서도 I-V 곡선이 변하기 때문에 태양 전지 모델링 시 충분히 고려해 주어야 한다. 직렬 저항은  $V_{oc}$  주변에서의 곡선의 기울기와 관련되어 계산된다. 직렬 저항  $R_s$ 는 다음 식 (7)과 같다.

$$R_s = - \frac{dV}{dI} \Big|_{V_{oc}} - \frac{nkT}{qI_0 e^{\frac{V_{oc}}{nkT}}} \quad (7)$$

회로 내부에 병렬 저항 성분도 존재하지만 한 개의 모듈에서는 직렬 저항 성분보다 효과는 너무 미미하다. 따라서 본 논문에서는 병렬 저항을  $\infty$ 로 놓고, 영향이 없는 것으로 간주해 계산한다.

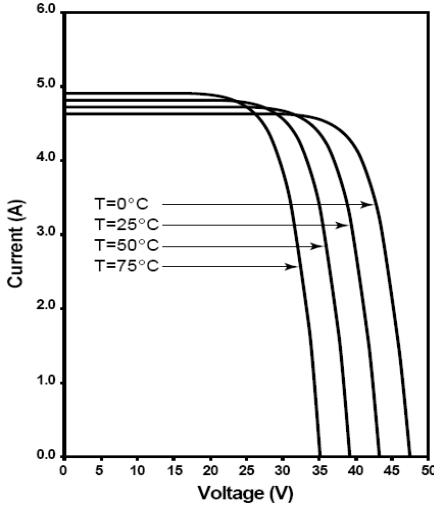
##### 2.2 태양 전지 모듈(PV module) 모델링

본 논문에서 사용한 모듈의 특성은 기존의 BP Solar BP SX 150S 모듈의 것을 사용하였다. 선택한 모듈의 사양은 다음 표 1과 같다. 그리고 주어진 모듈 온도에 따른 I-V 곡선은 다음 그림 2와 같다[4].

모듈은 태양 전지를 직렬로 연결하여 구성할 수 있다. 태양 전지를 직렬로 연결하면 모듈의 전류는 태양 전지의 전류와 동일하고, 출력 전압은 각 전지 전압의 합이 된다. 따라서 태양 전지 모듈의 계산은 태양 전지와 거의 같다. 모듈에서는 개방 회로 전압을 전지의 개수로 나누어 계산하면 된다. 본 논문에서는 72개 cell의 모듈을 구현하였다.

<표 1> 태양 전지 모듈의 사양

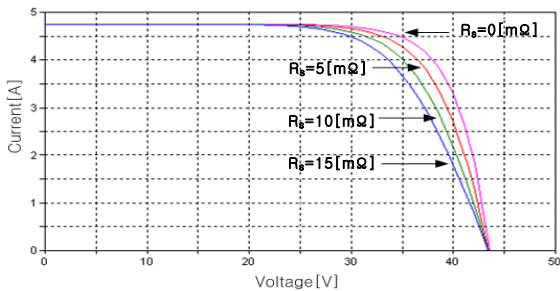
Maximum Power	150[W]
Voltage at $P_{max}$ ( $V_{mp}$ )	34.5[V]
Current at $P_{max}$ ( $I_{mp}$ )	4.35[A]
Open-circuit voltage ( $V_{oc}$ )	43.5[V]
Short-circuit current ( $I_{sc}$ )	4.75[A]
Temperature coefficient of $I_{sc}$	$0.065 \pm 0.015[\%/^{\circ}\text{C}]$



<그림 2> BP SX 150S의 온도에 따른 I-V 특성 곡선 (1000[W/m<sup>2</sup>])

2.2.1 EMTP를 이용한 태양 전지 모듈 모델링

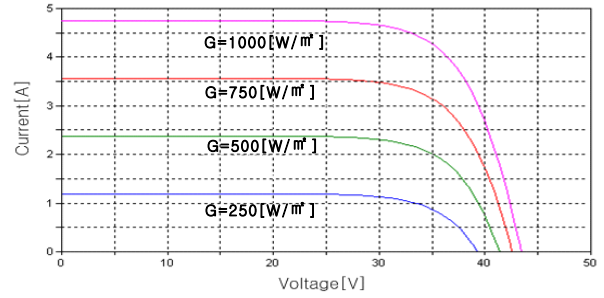
직렬 저항의 효과를 알아보기 위해 조사강도는 1000[W/m<sup>2</sup>],  $R_s$ 는 5.1[mΩ]로 온도 이외의 조건을 동일하게 유지하여 I-V 특성을 살펴보았다. 다음 그림 3의 그래프에서 직렬 저항의 크기가 커질수록 같은 전압에서의 전류가 줄어드는 것을 볼 수 있다.



<그림 3> 직렬 저항에 따른 I-V 특성 EMTP 시뮬레이션 (1000[W/m<sup>2</sup>, 25°C])

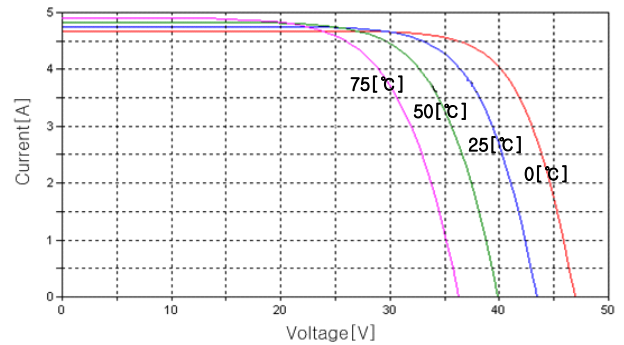
직렬성분이 존재하면 내부 저항이 0[Ω]인 이상적인 상태에 비해 전류가 작아,  $P=V \cdot I$ 에 따라 출력 전력도 작아지게 된다. 태양 전지를 직렬로 연결하여 모듈을 구성할 때 저항도 전지 수에 비례하여 증가하고, 저항에 의한 손실도 증가한다.

다음 그림 4는 조사강도에 따른 I-V 특성에 대한 모의 결과를 보인 것이다. 그림 4를 통해 조사강도가 작아질수록 출력 전류와 출력 전압 모두가 큰 폭으로 작아지는 것을 확인할 수 있다. 정오 부근에 태양의 조사강도가 가장 강할 때는 출력 전력도 최대가 될 수 있으며, 비가 내리거나 흐려지는 등의 날씨 변화와 시간에 따라 조사량이 줄어들면 출력 전류도 크게 줄어들게 된다.



<그림 4> 조사강도에 따른 I-V 특성 EMTP 시뮬레이션 (25°C)

온도는 태양 전지의 전기적인 특성에 큰 영향을 미친다. 다음 그림 5는 외부 온도에 의해 출력 전압, 전류 모두 영향을 받아 I-V 특성이 변하는 것을 보여준다. 모듈의 온도가 상승하면 전류는 조금씩 증가하지만, 출력 전압이 큰 폭으로 감소하는 것을 볼 수 있다. EMTP로 구현한 모듈은 그림 2에서 보여준 실제 참고한 모듈의 I-V 곡선 측정치와 거의 비슷한 결과를 보여주었다.



<그림 5> 온도에 따른 I-V 특성 EMTP 시뮬레이션 (1000[W/m<sup>2</sup>,  $R_s=5.1[\text{m}\Omega]$ )

3. 결 론

본 논문에서는 EMTP/MODELS를 이용하여 Solar Cell의 저항 손실, 조사강도, 온도에 의한 특성을 분석하였다. 직렬 저항이 늘어날수록 같은 전압에서의 전류가 감소하였고, 조사강도가 감소할수록 전류가 큰 폭으로 감소하는 것을 볼 수 있었다. 또한 모듈 온도의 증가에 따라 출력 전압이 감소하는 결과가 나타났다. 이는 실제 측정된 모듈의 I-V 특성 곡선과 거의 일치하는 결과이다. 이러한 결과를 통해 본 논문에서 구현한 EMTP/MODELS를 이용한 Solar Cell의 모델링은 올바르게 수행되었음을 알 수 있다. 향후에는 본 논문에서 계산한 결과를 토대로 Solar Cell의 최대 전력 점을 찾는 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 알고리즘을 EMTP를 통해 구현해 볼 예정이다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부의 출연금으로 수행한 특성화대학원사업의 연구 결과입니다.

[참 고 문 헌]

[1] Akihiro Oi, "DESIGN AND SIMULATION OF PHOTOVOLTAIC WATER PUMPING SYSTEM", M.S. Thesis, California Polytechnic State University, 2005.  
 [2] Geoff Walker, "Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model", Journal of Electrical & Electronics Engineering, Australia, Vol.21, No.1, pp.49-56, 2001.  
 [3] Luis Castañer, Santiago Silvestre "Modelling Photovoltaic Systems Using PSpice", John Wiley & Sons Ltd, 2002.  
 [4] BP Solar BP SX150 - 150W Multi-crystalline Photovoltaic Module Datasheet, 2001.