

EMTP를 이용한 PV 시스템 특성 분석에 관한 연구

조해인, 여상민
성균관대학교

A Study on Analysis of the PV System Characteristics Using EMTP

Hae-In Cho, Sang-Min Yeo
Sungkyunkwan University

Abstract - 최근 전력계통 분야에서 계통 연계형 태양광 발전이 각광 받고 있다. 기존 연구에서는 태양광 발전을 간략히 모델링하여 계통의 실제 환경 변화에 따른 분석이 불가능 하였다. 따라서 실제 태양광 발전을 전력계통에 연계시 영향을 분석하기 위해 이를 모델링 하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 EMTP/MODELS를 사용하여 태양광 (Photovoltaic, PV) 발전기를 구현하고 그 특성을 분석하였다. 또한 실제 모듈의 데이터와 비교하여 그 타당성을 검증하였다.

그 특성을 분석하였다.

일반적인 경우, PV 발전기는 $N_{SG} \times N_{PG}$ 직-병렬 행렬로 결합된 PV 지상용 모듈로 만들어진다. 각 파라미터들은 단락전류 I_{scM} , 개방전압 V_{ocM} , 최대 전력 P_{maxM} , MPP 전류 I_{mM} , MPP 전압 V_{mM} , 단락전류와 개방전압에 대한 온도 상수, 직렬의 N_{SG} 행렬 모듈과 병렬의 N_{PG} 이다. 발전기 scale의 I-V 특성은 다음과 같다[1].

$$I_G = N_{PG} I_M \tag{1}$$

$$V_G = N_{SG} V_M \tag{2}$$

1. 서 론

지난 몇 년 전부터 계통 연계형 PV 시스템 연구가 각광받고 있다. 시스템 연구가 각광받고 있다. 신재생에너지는 이산화탄소의 방출을 감소시키는 것 이외에도, 화석연료에 대한 의존성을 줄일 수 있어 21세기 전력 생산의 중요한 부분을 차지하게 되었다. 이러한 배경 속에 다른 공해 물질의 방출 없이 전기를 생산하는 태양광 발전의 비중 또한 커지고 있다. PV 시스템은 역사적으로 대기권 밖, 혹은 고립된 지역의 독립형 시스템이 중요한 어플리케이션으로써 연구되었다[1]. 하지만 인버터와 PV 모듈과 같은 PV 시스템 요소들의 비용이 크게 하락하면서 계통 연계형 PV 시스템의 경제적, 실용적인 장점이 부각되었다. 이 외에도 인버터 성능 강화, 가장 전력소비가 많은 시간대에 전력을 생산할 수 있다는 장점 등으로 인해 PV 시스템이 계통에 연계되는 사례가 늘고 있다. 따라서 PV 시스템이 계통에 연계 시 미치는 영향 분석이 필요하다. 그러나 기존의 간략화 된 모델링으로는 실 계통에서 PV 시스템이 미치는 영향 해석은 불가능하다[2]. 따라서 본 논문에서는 PV 시스템의 상세한 모델링을 위하여 전력계통 과도현상 해석 프로그램인 EMTP/MODELS를 사용하였으며, PV 발전기와 시스템을 모델링하고 특성을 분석하여 기존 연구 결과와 비교하였다.

위와 같은 특성을 발전기에 응용하면 다음의 수식으로 표현할 수 있다.

$$I_G = N_{PG} I_{scM} - \frac{N_{PG} I_{scM}}{e} \frac{V_{ocM}}{N_s V_T} \left(e^{\frac{V_G + I_G R_{sM} N_{SG}}{n N_s N_{SG} V_T}} - 1 \right) \tag{3}$$

Fill Factor (FF)는 단락전류와 개방전압의 곱에 대한 최대 출력 P_{max} 의 비율로 정의된다. 이상적인 태양전지를 가정하면 근사적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$FF_0 = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{1 + v_{oc}} \tag{4}$$

계산된 FF_0 을 이용하면 모듈의 직렬 저항은 다음과 같이 계산된다.

$$R_{sM} = \frac{V_{ocM}}{I_{scM}} - \frac{P_{maxM}}{FF_{0M} I_{scM}^2} \tag{5}$$

같은 방법으로 최대 전력점의 좌표가 직-병렬 PV 발전기에서 계산될 수 있다.

2. 본 론

2.1 PV 시스템

계통 연계형 PV 시스템은 태양광으로부터 생산된 전기를 직접적으로 유틸리티 전력 계통에 공급한다. PV 시스템은 PV 발전기, 인버터, 전력제어장치, 부하 등으로 구성된다. PV 발전기는 태양 에너지를 DC 전기로 변환하는 PV 모듈의 어레이이다. 단일의 태양전지는 높은 전압 레벨에서 전력을 공급하기에 제한적인 전위차를 가진다. 개방전압이 태양전지 면적에 독립적이고 반도체 특성에 의해 제한적이기 때문이다[1]. 대부분의 태양광 어플리케이션들은 수십 V의 큰 전압이 요구된다. 그래서 PV 발전기에서는 생산된 전압을 일정 비율로 올리기 위해 태양전지를 직렬로 연결하는 것이 필수적이다[3]. 본 논문에서는 EMTP/MODELS로 PV 발전기를 구현하고

$$I_{mG} = N_{PG} \left(I_{mM} \frac{G}{G_r} + \left(\frac{dI_{scM}}{dT} \right) (T_{cell} - T_r) \right) \tag{6}$$

$$V_{mG} = N_{SG} \left(N_s V_T \ln \left(1 + \frac{I_{scM} - I_{mM}}{I_{scM}} \left(e^{\frac{V_{ocM}}{N_s V_T}} - 1 \right) \right) - I_{mM} R_{sM} \right) \tag{7}$$

수식 (6)을 scaling 법칙에 적용한 모듈 전류의 최대 전력 점은 다음과 같이 정의된다.

$$I_{mM} = \frac{I_{mG}}{N_{PG}} \tag{8}$$

그리고 단락 전류와 개방 전압은,

$$I_{scM} = I_{scMr} G + \left(\frac{dI_{scM}}{dT} \right) (T_{cell} - T_r) \quad (9)$$

$$V_{ocM} = V_{ocM} + \left(\frac{\partial V_{ocM}}{\partial T} \right)_G (T_{cell} - T_r) + V_T \ln \frac{I_{scM}}{I_{scMr}} \quad (10)$$

으로 계산되어 진다.

위와 같은 수식을 이용하여 (3)의 PV 발전기 전류 특성을 구할 수 있다.

2.2 PV 발전기 모델링

본 논문에서 사용한 태양 전지는 Siemens ST5 CIGS 이다. 선택한 태양 전지의 사양은 다음 표 1과 같고, 제 공된 태양 전지의 I-V 곡선은 다음 그림 1과 같다[4].

PV 어레이는 PV 모듈을 직-병렬로 연결하여 구성할 수 있다. 본 논문에서는 직렬 33개의 태양전지로 된 모듈을 모델링하고, 각 모듈을 2x5의 어레이로 구현하였다. 다음 그림 2는 10개의 모듈로 구성된 2x5의 어레이를 보여준다.

표 1. 태양 전지 사양[4]

Solar module ST5	
Electrical parameters	
Maximum power rating P_{max} [Wp]	5
Rated current I_{MPP} [A]	0.32
Rated voltage V_{MPP} [V]	15.6
Short circuit current I_{sc} [A]	0.37
Open circuit voltage V_{oc} [V]	21.0
Thermal parameters	
NOCT [°C]	47±2
Temp. coefficient: short-circuit current	0.13mA / °C
Temp. coefficient: open-circuit voltage	-0.1V / °C

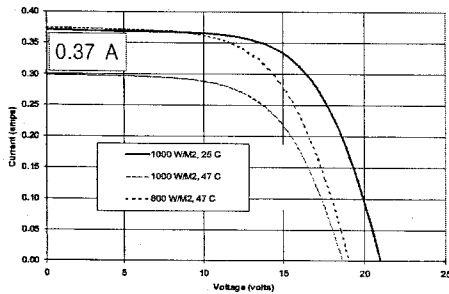


그림 1. ST5의 I-V 특성[4]

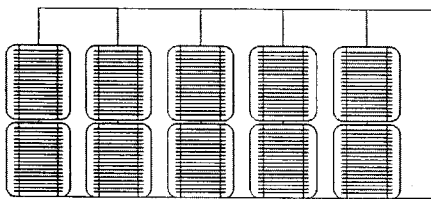


그림 2. 2x5 어레이

EMTP/MODELS를 이용하여 모듈 한 개의 I-V 곡선을 모델링한 결과는 다음 그림 3과 같다. 이것은 그림 2의 실제 곡선과 비교하여 거의 일치하는 결과로써 EMT P/MODELS를 이용한 태양전지의 구현과 시뮬레이션이 잘 수행되었음을 확인할 수 있다. 이를 바탕으로 2x5의 어레이를 모델링하여 I-V 곡선과 최대 전력, FF를 분석 하였다.

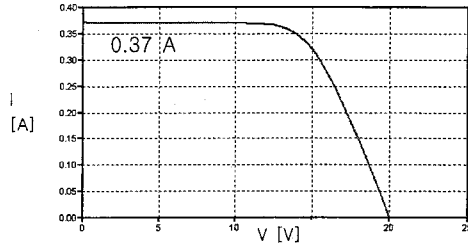


그림 3. EMTP/MODELS로 구현한 ST5 모듈의 I-V 특성

부하로 최대 전력을 보내기 위해 최대 전력 점의 좌표를 계산하였다. 다음 그림 4는 수식 (6)과 (7)로 계산된 최대 전력 점의 좌표 1.584A와 30.36V를 보여준다.

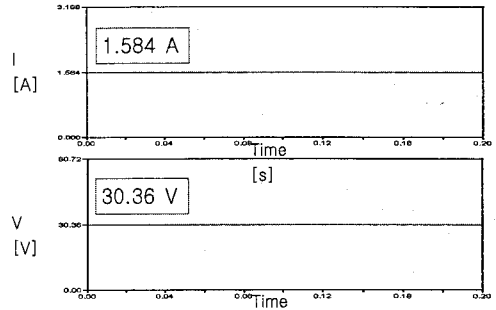


그림 4. 최대 전력 점에서의 I와 V

다음 그림 5에서는 계산된 좌표에서의 VxI와 실제 출력 전력을 비교해보았다. 실제 I-V가 최대가 되는 지점과 전압과 전류로 계산된 값들의 차이가 미미하였다. 회로에 흐르는 전류와 전압 값들의 곱으로 나타난 전력의 최대 값은 49.09W, 계산된 최대 전력 지점 값은 48.08W으로 차이가 미미하였다. 수식에 의해 나온 전압 30.36V 근처에서 최대 전력을 생산하는 것을 확인할 수 있었다.

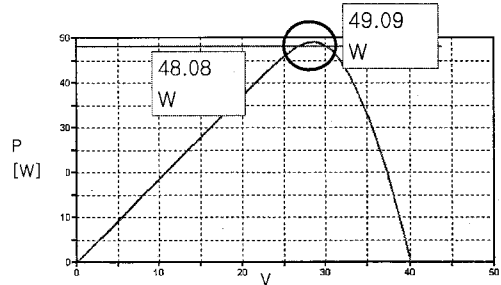


그림 5. 최대 전력 모의V결과와 계산값 비교

태양전지와 같이 PV 발전기에서도 조사량에 따른 I-V 곡선이 나타나는지 확인하였다. 다음 그림 6은 조사량에 따른 I-V 곡선 EMTP 모의 결과이다. 그림 3을 통해 단일의 모듈이 0.37A의 전류를 나타낸 것과 비교하면, 2x5 어레이는 식 (1)로 나타난 scaling 법칙에 따라 단일 모듈의 5배인 1.85A의 전류가 측정되었다. 조사량 조건을 1000W/m², 750W/m², 500W/m², 250W/m²으로 달리하여 비교해본 결과, 조사량에 비례해 I-V 곡선이 확연히 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

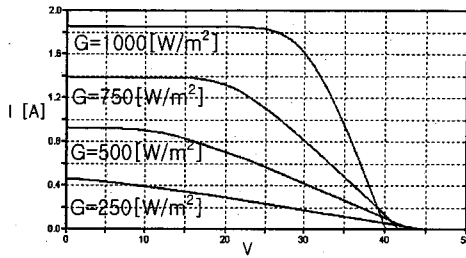


그림 6. 조사량에 따른 I-W곡선 모의 결과

조사량을 고려하여 1000W/m^2 , 750W/m^2 , 500W/m^2 , 250W/m^2 의 조건에서 전력을 측정 한 결과가 다음 그림 7에 나타나 있다. 전력 측정 시 최대 전력 점의 전압, 전류가 모두 조사량에 비례하여, 전력은 조사량에 따라 더 큰 폭으로 변화하였다.

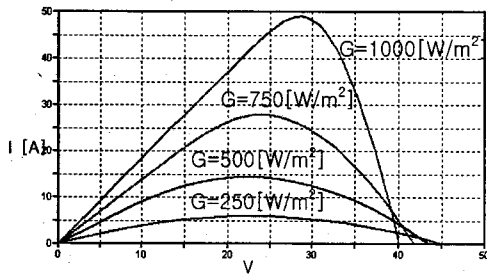


그림 7. 조사량에 따른 [전력] 모의 결과

Fill Factor는 태양 전지로서의 I-V 곡선의 질을 나타내는 인수이며, 내부 직-병렬 저항과 다이오드 인자에 좌우된다. 다음 그림 8은 EMTP/MODELS로 계산된 FF를 보여준다. MODELS 안에서 계산된 단락 전류와 개방 전압으로 FF를 구할 수 있다. ST5의 시뮬레이션에서 모듈의 효율을 나타내는 FF는 0.8315로 측정되었다.

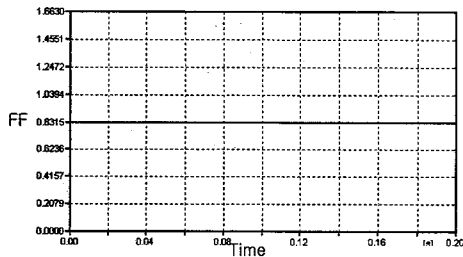


그림 8. Fill Factor [s]

3. 결 론

본 논문에서는 EMTP/MODELS를 이용하여 태양광 시스템을 모델링하고, 태양광 발전기의 최대 전력 점, 조사량에 따른 I(V) 특성과 전력, Fill Factor 등을 분석하였다. PV 어레이의 직-병렬 상수에 따라 전류, 전압, 전력이 단일 모듈의 값과 비례하여 증가하였다. 그에 따른 최대 전력 점과 I(V) 특성을 확인하고, 참고한 실제 모듈 데이터와 비교함으로써 EMTP/MODELS를 이용한 태양광 모델링이 올바르게 수행되었음을 알 수 있었다. 향후에는 본 논문에서 구현한 태양광 발전기를 토대로 실 계통에 태양광을 연계했을 때의 영향과 그 특성을 모의해 볼 예정이다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부의 출연금으로 수행한 특성화대학원사업의 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Luis Castañer, Santiago Silvestre "Modelling Photovoltaic Systems Using PSpice", John Wiley & Sons Ltd, 2002.
- [2] 조해인, 여상민, 김철환, "EMTP를 이용한 Solar Cell 특성 분석에 관한 연구", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, 2008. 7. 16-18
- [3] 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.
- [4] <http://www.siemenssolar.com>, Siemens Solar Module ST5 Datasheet", 2000