

## 마이크로그리드에서 태양광 발전의 출력변동에 따른 전압변동 분석

정준명, 이순정, 오윤식, 서훈철, 김철환  
성균관대학교

### Analysis of Voltage Regulation by Output Variation of PV Generation on Microgrid

Jun-Myeong Jeong, Soon-Jeong Lee, Yun-Sik Oh, Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim  
Sungkyunkwan University

**Abstract** - 태양광 발전은 에너지원이 무한하고 환경오염 물질을 배출하지 않는 장점을 갖기 때문에 현재 많은 연구가 진행되고 있는 분야이다. 그러나 태양광 발전은 온도와 조사량 등의 기상 조건에 따라 출력이 달라지는 문제점이 존재하며, 특히 독립형 시스템에서 더 큰 출력 변동이 일어나게 된다. 본 논문에서는 EMTP를 이용하여 마이크로그리드를 모델링 한 후 기상 조건의 변화에 따른 태양광 발전 출력 변동에 대한 전압 변동을 분석하였다.

광 array의 전압을 계산하기 위하여 직렬로 연결된 cell의 수를 식 (1)에 의하여 얻어진 출력전압에 곱하면 된다. Array의 전류는 병렬로 연결된 cell을 통하여 흐르는 전류의 합이다. 따라서 식 (1)에서 하나의 cell의 출력 전류  $I_c$ 는 array의 전류를 병렬로 연결된 cell의 수로 나눔으로써 구할 수 있다.

#### 1. 서 론

최근 화석 연료의 자원 고갈, 가격 상승, 환경오염 문제로 인하여 태양광, 풍력, 연료전지 등 신재생에너지의 사용이 주목을 받고 있다. 특히 태양광 발전은 에너지원이 청정하고 무제한적이며 시스템의 유지보수가 용이하고 긴 수명을 갖는 장점이 있다. 태양광 발전은 미래의 각광받는 신재생 에너지이지만 에너지 밀도가 낮고 인버터가 필요하며 조사량이나 온도 등의 기상 조건에 따라 발전량이 급변하는 단점이 있다. 태양광 발전의 출력 변동에 따른 전압 변동은 전력 품질에 문제를 야기하므로 출력 전압 변동을 저감 시킬 필요가 있다.

본 논문에서는 기상 조건에 따른 태양광 발전의 출력 변동에 대한 전압 변동의 대책을 수립하기 위해 출력 변동에 따른 전압 변동을 분석하였다. EMTP를 이용하여 조사량과 온도 조건을 변화시켜 마이크로그리드에서 전압 변동에 대해 분석하였다.

#### 2.2 조사량 및 온도의 영향[1]

식 (1)의  $I_c$ 는 어떤 특정 cell의 동작 온도  $T_c$  및 이에 대응하는 조사량  $S_c$ 에서 유효한 값이다. 온도와 조사량이 변한다면 태양광 array의 출력전압 및 전류 또한 이에 따라 변할 것이다. 따라서 온도와 조사량의 변화에 대한 영향이 최종 태양광 array 모델에 포함되어야 한다.

이를 위하여, 식 (1)을 기지의 동작온도  $T_c$ 와 조사량  $S_c$ 에 대한 기준 값으로 가정한다. cell의 동작온도는 조사량 및 온도의 함수로서 나타난다. 따라서 온도  $T_c$ 가 임의의 온도  $T_x$ 로 변할 때 영향은 cell의 출력전압 및 태양광 전류에 대한 온도계수  $C_{TV}$ 와  $C_{TI}$ 에 의하여 다음 식 (2), (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{TV} = 1 + \beta_T(T_c - T_x) \quad (2)$$

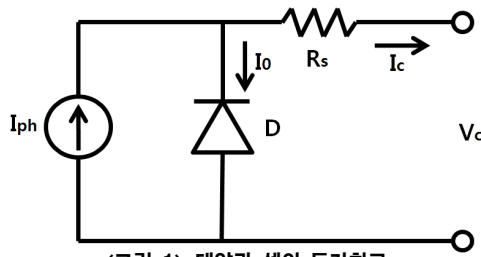
$$C_{TI} = 1 + \frac{\gamma_T}{S_C}(T_x - T_c) \quad (3)$$

여기서,  $\beta_T = 0.004$ ,  $\gamma_T = 0.06$ ,  $T_x$  = 새로운 온도

#### 2. 태양광발전

##### 2.1 태양광 Array[1]

태양광 Array는 태양광 cell의 직렬과 병렬 결합이다. 태양광 cell의 등가회로는 다음 그림 1과 같다. 그림 1에서 태양광 cell의 출력전압은 다음 식 (1)과 같다.



<그림 1> 태양광 셀의 등가회로

$$V_c = \frac{AkT_c}{e} \ln\left(\frac{I_{ph} + I_0 - I_c}{I_0}\right) - R_s I_c \quad (1)$$

여기서, e: electronic charge( $1.602 \times 10^{-19}C$ )  
k: Boltzmann constant( $1.38 \times 10^{-23}J/K$ )  
 $I_c$ : cell의 출력전류(A)  
 $I_{ph}$ : 태양광 전류, 조사량 및 온도의 함수(5A)  
 $I_0$ : 다이오드의 역포화 전류(0.0002A)  
 $R_s$ : cell의 직렬 저항(0.001 $\Omega$ )  
 $T_c$ : cell의 동작 온도(20 $^{\circ}C$ )  
 $V_c$ : cell의 출력 전압(V)

A는 curve fitting factor로서 식 (1)에 의하여 얻어진 cell의 I-V 특성을 시험에 의하여 얻어진 실제 특성으로 조정하기 위하여 사용된다. 식 (1)은 하나의 태양광 cell의 출력전압을 나타낸다. 따라서 전체 태양

대기온도가 변하지 않더라도 조사량은 구름 및 햇볕에 따라 변할 수 있다. 조사량에서의 변화는 태양광 전류 및 cell의 동작온도에서의 변화를 유발한다. 조사량이  $S_{x1}$ 에서  $S_{x2}$ 로 증가한다면, cell의 동작온도와 태양광 전류는 각각  $T_{x1}$ 에서  $T_{x2}$ 로,  $I_{ph1}$ 에서  $I_{ph2}$ 로 증가하게 된다. 이러한 변화는 식 (4)와 (5)의 조사량에 대한 계수  $C_{SV}$ 와  $C_{SI}$ 를 이용하여 표현할 수 있다.

$$C_{SV} = 1 + \beta_T \alpha_S(S_x - S_C) \quad (4)$$

$$C_{SI} = 1 + \frac{1}{S_C}(S_x - S_C) \quad (5)$$

여기서  $S_x$ 는 새로운 조사량

$\alpha_S$ 는 조사량의 변화로 인한 cell의 동작온도 변화의 기울기를 나타내는 것으로, 0.2로 설정하였다.

새로운 온도  $T_x$  및 조사량  $S_x$ 에 대하여 위에서 정의한 4개의 계수  $C_{TV}$ ,  $C_{TI}$ ,  $C_{SV}$ ,  $C_{SI}$ 를 이용하여 새로운 cell의 출력전압  $V_{CX}$  및 태양광 전류를  $I_{phx}$ 를 다음 식 (6)과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_{CX} &= C_{TV} C_{SV} V_C \\ I_{phx} &= C_{TI} C_{SI} I_{ph} \end{aligned} \quad (6)$$

#### 3. 전압변동률

전압변동률(Voltage Regulation)은 부하가 무부하에서 전부하로 변할 때 수전단 측의 전압 변동으로 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{percent VR} = \frac{|V_{RNL}| - |V_{RFL}|}{|V_{RFL}|} \times 100 \quad (7)$$

percent VR: 전압변동률  
 $|V_{RNL}|$ : 무부하시 수전단 측의 전압  
 $|V_{RFL}|$ : 전부하시 수전단 측의 전압

이 식을 기반으로 다음과 같이 전압변동률을 구하였다.

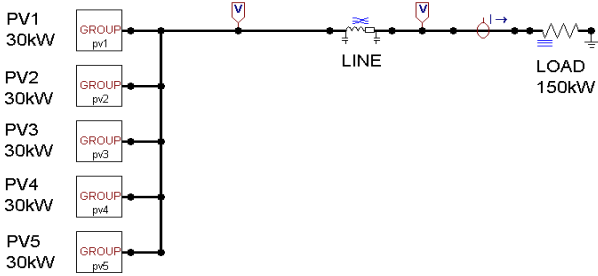
$$\Delta V = \left| \frac{V_0 - V}{V} \right| \times 100$$

$V_0$ : 기준 전압 (380V)  
 $V$ : 실제 전압

#### 4. 시뮬레이션

##### 4.1 계통 모델

독립형 태양광 발전 모델은 그림 2와 같다. 각각의 PV array의 출력은 30kW이고 5개의 array를 병렬 연결하여 150kW의 출력을 나타내도록 설정하였다. 조사량과 온도를 변화시키며 출력전압을 측정하였고, 이때의 전압변동을 계산하였다.



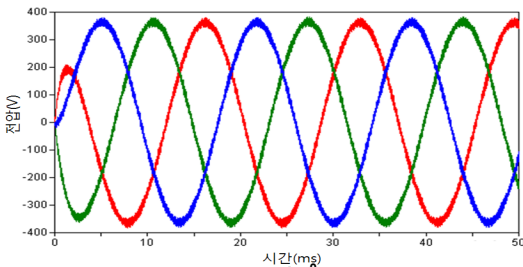
<그림 2> 독립형 태양광 발전 모델링

##### 4.2 시뮬레이션 조건

태양광 발전의 출력 변동에 따른 전압 변동을 알아보기 위해 기준 조사량을 300W/m<sup>2</sup>, 기준 온도를 20℃로 설정하고 조사량과 온도를 변화시켜 보았다. 조사량은 100W/m<sup>2</sup>부터 500W/m<sup>2</sup>까지 100W/m<sup>2</sup> 단위로 변화시켰으며, 온도는 0℃부터 40℃까지 10℃ 단위로 변화시켰다.

##### 4.3 시뮬레이션 결과 및 검토

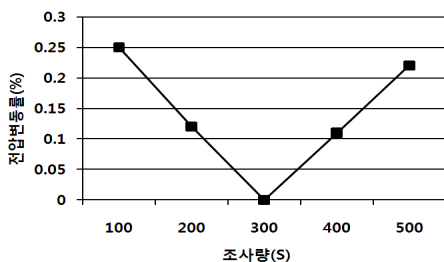
그림 3은 기준 조사량(S=300W/m<sup>2</sup>)과 기준 온도(T=20℃)에서의 출력 전압파형이다. 이때의 출력은 150kW이고 전압은 380V이다. 표 1은 기준 온도를 20℃로 설정하고 조사량을 변동시킨 경우의 시뮬레이션 결과이다. 100W/m<sup>2</sup>씩 변할 때 마다 약 12%의 전압 변동이 발생한다. 또한 조사량이 적을수록 출력 전압이 낮아지며, 조사량이 커질수록 출력전압이 커지는 것을 알 수 있다.



<그림 3> T=20℃, S=300W/m<sup>2</sup>에서의 출력 전압 파형

<표 1> 조사량 변화에 따른 전압 변동률 (T=20℃)

조사량 (W/m <sup>2</sup> )	전압 (V)	V <sub>0</sub> -V	ΔV/V <sub>0</sub>
100	285	95	0.25
200	336	44	0.12
300	381	1	0.00
400	422	42	0.11
500	463	83	0.22



<그림 4> 조사량 변화에 따른 전압 변동률

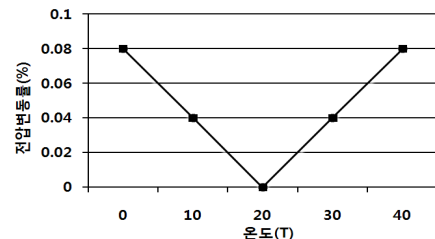
그림 4는 조사량이 변동할 때의 전압변동률을 나타낸 그래프이다. 조사량의 변동 폭이 클수록 출력 전압의 변화량도 커져 전압 변동률이 더욱 커지는 것을 알 수 있다.

다음으로, 표 2는 기준 조사량이 300W/m<sup>2</sup>일 때 온도 변동 시 시뮬레이션 결과이다. 기준인 온도가 20℃일 때 380V의 출력 전압은 표 2와 같이 온도가 10℃씩 변할 때 마다 4%의 전압 변동이 발생한다. 또한 온도가 낮을수록 출력 전압이 커지고 온도가 높을수록 출력 전압이 작아지는 것을 알 수 있다.

<표 2> 온도 변화에 따른 전압 변동률 (S=300W/m<sup>2</sup>)

온도 (℃)	전압 (V)	V <sub>0</sub> -V	ΔV/V <sub>0</sub>
0	410	30	0.08
10	395	15	0.04
20	381	1	0.00
30	365	15	0.04
40	350	30	0.08

그림 5는 온도가 변화할 때의 전압 변동률이다. 온도의 변화 폭이 클수록 출력 전압의 변화도 커져 전압 변동률이 더욱 커지는 것을 알 수 있다.



<그림 5> 온도 변화에 따른 전압 변동률

즉, 조사량과 온도가 변하면 태양광 발전 시스템에서 출력 변동이 발생하여 전압 변동이 발생한다. 조사량과 온도 변화 실험 결과를 비교하였을 때, 조사량 변화가 온도 변화에 비해 전압 변동에 더 큰 영향을 준다는 것을 확인할 수 있다.

#### 5. 결 론

본 논문에서는 마이크로그리드에서 태양광 발전의 출력 변동에 따른 전압 변동을 EMTF를 이용하여 분석하였다. 태양광 발전의 출력 변동은 조사량과 온도 등의 기상 조건에 따라 달라지므로 시뮬레이션에서도 조사량과 온도를 변화시켜가며 전압 변동을 분석하였다. 결론적으로 조사량과 온도의 변화가 커질수록 전압 변동도 커지는 결과를 확인할 수 있었다.

본 논문에서 도출된 결과는 향후 태양광 발전의 기상 조건에 따른 전압 변동 저감 대책을 수립하는데 있어 적용 가능 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

(No. 20103060130010)

#### [참 고 문 헌]

- [1] 서훈철, 윤영민, 김선룡, 이시봉, "Matlab/Simulink를 이용한 계통형 계형 태양광발전 모델링", 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, pp. 92-94, 2008
- [2] Manoj Datta, Tomonobu Senjyu, Atsushi Yona, Toshihasa Funabashi, Chul-Hwan Kim, "A Coordinated Control Method for Leveling PV Output Power Fluctuations of PV-Diesel Hybrid Systems Connected to Isolated Power Utility", IEEE Transactions in energy conversion, vol. 34, 153-162, 2009
- [3] DANIEL W. HART, "PSpice를 활용한 전력전자공학", 인터비전, pp.377-405, 2002