태양광 발전 연계 계통에서 전력품질 분석

정미라, 이순정, 서훈철, 김철환
성균관대학교

An Analysis of the Power Quality in Distribution System with Photovoltaic System

Mi-Ra Jung, Soon-Jeong Lee, Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - 태양광 발전 시스템은 환경오염을 최소화하고 배전선에 손실을 줄이는 등 여러 가지 이점으로 최근 전력계통 분야에서 계통 연계형 태양광 발전이 각광 받고 있다. 따라서 실제 태양광 발전을 전력계통에 연계하였을 경우의 영향을 분석하기 위해 이를 모델링하고 분석하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 EMTP를 이용하여 태양광(Photovoltaic, PV) 발전을 모델링한 후, 태양광 발전의 연계 위치 및 용량을 변화시켜 전력품질을 분석하였다.

1. 서 론

태양광 발전은 영구적이고 친환경적인 에너지를 생산하는 에너지원으로서 세계적인 관심을 받고 있으며 앞으로도 더 많은 투자와 연구가 진행될 것으로 예상된다. 이러한 태양광 발전이 계통에 연계되었을 때 전력품질 등 다양한 문제에 영향을 끼치므로 태양광 발전의 계통 연계 시 발생하는 전력품질 문제의 분석은 반드시 필요한 사항이다[1-4].

본 논문에서는 태양광 발전의 계통 연계시 전력품질을 분석하였다. 태양광 발전은 EMTP를 이용하여 모델링 하였다. 태양광 발전의 연계 위치와 용량을 다양하게 변화시켜 모의 하였으며, 측정 지점에 따른 전압 크기의 변화를 분석하였다.

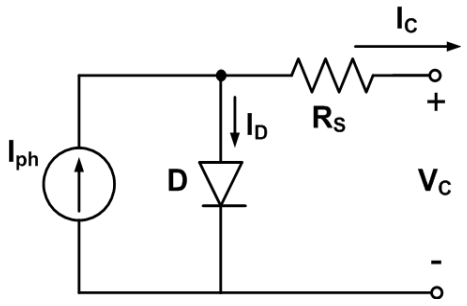
2. 전력품질

전력품질의 주된 관심사항으로 순시전압강하(Sag), 순시전압상승(Swell), 고조파(Harmonic) 등이 있다. 일반적으로 전압강하는 정격주파수에 0.5 cycle에서 1분 정도까지의 지속시간 동안 전압 실효치의 0.1~0.9 p.u.의 강하를 말하며, 0.5 cycle에서 30 cycle 정도의 지속시간을 가지는 전압강하를 순시전압강하라 한다. 또한, 단기간 전압상승은 정격주파수에서 0.5 cycle에서 1분 정도의 지속시간으로 전압크기가 실효치 기준 1.1~1.8 p.u.의 전압 증가를 말하며, 순시전압상승은 0.5 cycle에서 30 cycle 정도의 지속시간을 가지는 것을 말한다. 마지막으로, 왜곡된 파형의 성분에서, 기본 주파수의 정수배를 고조파라고 한다. 본 논문에서는 이러한 사항 중 순시전압강하에 대하여 분석하였다.

3. 태양광 모델링

3.1 태양광 셀의 등가회로[1-3]

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



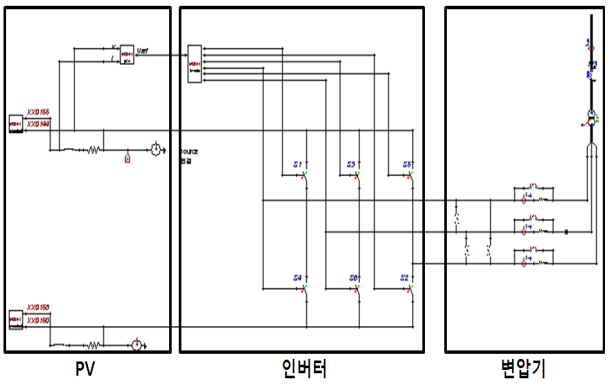
〈그림 1〉 부하를 포함한 태양광 발전의 간단한 등가회로

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

e : electric charge($1.602 \times 10^{-19} C$)
k : Boltzmann 상수($1.38 \times 10^{-23} J/K$)
I_C : 셀의 출력전류(A)
I_{ph} : 태양광전류, 조사량 및 온도함수($5A$)
I_0 : 다이오드의 역포화 전류($0.0002A$)
R_S : 셀의 직렬 저항(0.001Ω)
T_C : 셀의 동작 온도(20℃)
V_C : 셀의 출력 전압(V)

3.2 EMTP를 이용한 태양광 발전 모델링

태양광 발전 모델은 위의 태양광 셀의 등가회로를 바탕으로 EMTP를 이용하여 모델링하였으며, 다음 그림 2와 같다. PV 부분은 그림 1의 등가회로를 기반으로 EMTP/MODELS를 이용하여 모델링하였다. 인버터 부분은 PWM(Pulse Width Modulation) 부분 및 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 부분은 EMTP/MODELS를 이용하여 모델링하였다. 변압기 부분은 Δ-Y 변압기를 이용하여 모델링하였다.



〈그림 2〉 태양광 발전 모델

4. 시뮬레이션

4.1 계통 모델

태양광 발전이 연계될 계통은 한전의 실 계통으로 참고문헌 [1]에 나타나있다. 태양광은 계통의 변전소 측, 중간 지점, 말단부에 연계하였다.

4.2 시뮬레이션 조건

태양광 발전을 변전소 측, 중간 지점, 말단에 연계시켜 각 지점에서 전압 변화를 측정하여 태양광 발전이 연계되지 않은 경우와 비교해보았다.

또한, 태양광 발전의 용량을 150kW, 300kW, 450kW로 변화시키면서 각 지점에서 전압 변화를 측정하여 태양광 발전의 용량과 전압 변화의 관계를 분석해보았다.

4.3 시뮬레이션 결과

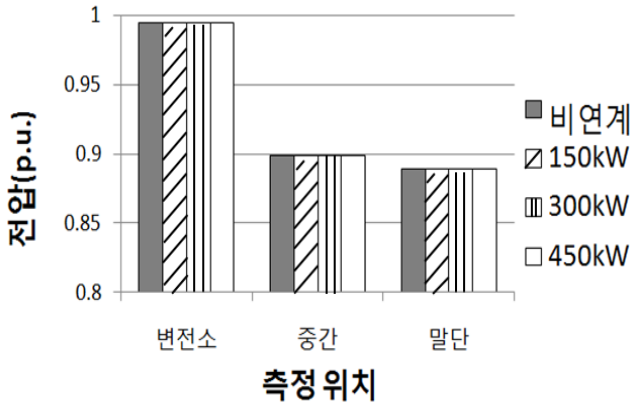
각 지점에서 측정한 태양광 발전의 연계 위치와 용량에 따른 전압의 p.u.값은 다음 표 1과 같다.

〈표 1〉 태양광 발전의 연계 위치와 용량에 따른 전압과 p.u.값

연계 위치	용량 [kW]	측정 위치	실효치 [kV]	p.u.
변전소	150	변전소	13.148	0.994
		중간	11.884	0.899
		말단	11.752	0.889
	300	변전소	13.148	0.994
		중간	11.884	0.899
		말단	11.752	0.889
	450	변전소	13.148	0.994
		중간	11.884	0.899
		말단	11.752	0.889
중간	150	변전소	13.146	0.994
		중간	11.933	0.903
		말단	11.788	0.892
	300	변전소	13.145	0.994
		중간	11.983	0.906
		말단	11.830	0.895
	450	변전소	13.144	0.994
		중간	12.035	0.910
		말단	11.877	0.898
말단	150	변전소	13.147	0.994
		중간	11.920	0.902
		말단	11.811	0.893
	300	변전소	13.146	0.994
		중간	11.958	0.904
		말단	11.877	0.898
	450	변전소	13.145	0.994
		중간	11.999	0.908
		말단	11.948	0.904
비연계		변전소	13.148	0.994
		중간	11.884	0.899
		말단	11.752	0.889

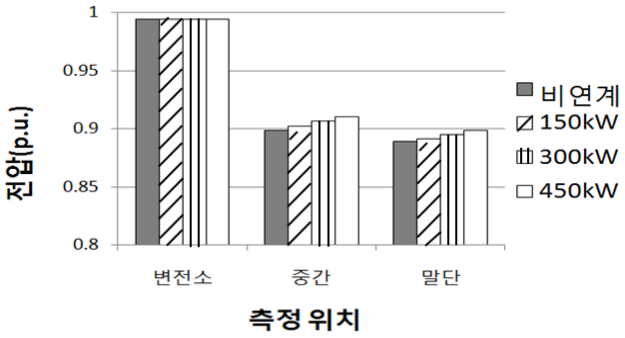
4.4 결과 분석

다음 그림 3은 태양광 발전을 변전소 측에 연계시킨 경우 태양광 발전 용량과 측정 위치에 따른 전압의 p.u.값을 나타낸 것이다. 태양광 발전을 변전소 측에 연계한 경우 태양광 발전 용량과 측정 위치에 따라 p.u.값은 정확하게 일치한다.



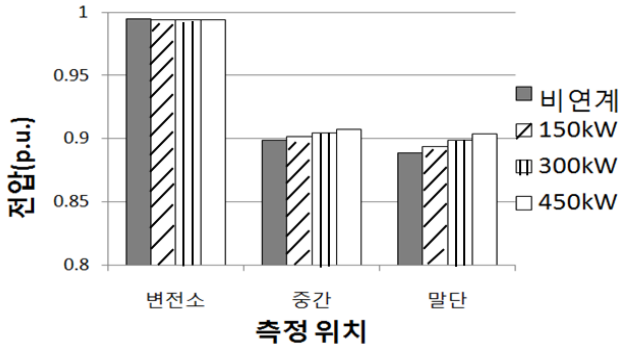
〈그림 3〉 태양광 발전을 계통의 변전소 측에 연계시킨 경우 측정 위치와 용량에 따른 전압의 p.u.값

다음 그림 4는 태양광 발전을 중간 지점에 연계시킨 경우 태양광 발전의 용량과 측정 위치에 따른 전압의 p.u.값을 나타낸 것이다. 측정 위치에 따른 각 용량의 p.u.값을 평균하여 분석한 결과, 태양광 발전이 연계되지 않은 경우에 비하여 중간 지점에서 p.u.값이 0.008, 말단부에서 0.006이 상승하였다. 또한, 용량에 따른 각 측정 위치에서의 전압을 평균하여 분석한 결과, 용량이 150kW인 태양광 발전을 연계하였을 경우 p.u.값이 0.002, 300kW인 경우 0.004, 450kW인 경우 0.006이 상승하였다.



〈그림 4〉 태양광 발전을 계통의 중간 지점에 연계시킨 경우 측정 위치와 용량에 따른 전압의 p.u.값

다음 그림 5는 태양광 발전을 말단부에 연계시킨 경우 태양광 발전의 용량과 측정 위치에 따른 전압의 p.u.값을 나타낸 것이다. 측정 위치에 따른 각 용량의 p.u.값을 평균하여 분석한 결과, 태양광 발전이 연계되지 않은 경우에 비하여 중간 지점에서 p.u.값이 0.006, 말단부에서 0.009가 상승하였다. 또한, 용량에 따른 각 측정 위치에서의 전압을 평균하여 분석한 결과, 용량이 150kW인 태양광 발전을 연계시켰을 경우 p.u.값이 0.002, 300kW인 경우 0.005, 450kW인 경우 0.008이 상승하였다.



〈그림 5〉 태양광 발전을 계통의 말단부에 연계시킨 경우 측정 위치와 용량에 따른 전압의 p.u.값

5. 결 론

본 논문에서는 EMTP를 이용하여 태양광 발전이 연계된 배전계통을 모델링하여, 태양광 발전이 연계된 지점에 따른 전압 변동을 측정하여 전력품질을 분석해보았다. 태양광 발전의 연계 위치 및 용량을 변화시켜 voltage sag를 분석하였다. 그 결과, 태양광 발전 연계 시 계통의 중간부 및 말단부에서 voltage sag가 다소 줄어듦을 확인할 수 있다.

감사의 글

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

(*No. 20103060130010*)

[참 고 문 헌]

[1] 서훈철, 김철환, 윤영민, "태양광 연계 계통의 저전압 보호 기준 정립", 2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2009.7.14-17

[2] 조해인, 여상민, "EMTP를 이용한 PV 시스템 특성 분석에 관한 연구", 2008년도 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, 2008.11.7

[3] 서훈철, 윤영민, 김선룡, 이시봉, "Matlab/Simulink를 이용한 계통연계형 태양광발전 모델링", 2008년도 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, 2008.11.7

[4] Kyungsoo Lee, Hirotaka Koizumi, Kosuke Kurokawa, "Voltage Sag/Swell Controller by Means of D-UPFC in the Distribution System", Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference, May 2006