

실계통을 토대로한 마이크로그리드에 태양광 발전시스템을 적용하기 위한 시뮬레이션 모델에 관한 연구

이계병*, 김성현**, 손광명**, 전인수***
 고려대학교*, 동의대학교**, 한국전력공사***

Study on the Simulation Model for applying PV Generation System to Micro-Grid based on Real Power System

Kye-B. Lee*, Sung-Hyun Kim**, Kwang M. Son**
 Korea University*, DongEui University**

Abstract - This paper deals with simulation model of the micro-grid system based on the real power system and applying PV generation system to micro-grid system.

PSCAD/EMTDC simulation model is developed for use in studying the effect of the dynamics of PV generation to the micro-grid system. Simulation results show that the addition of the PV system improves the voltage profile of the area. Case studies also show that power quality at the load side is improved via voltage compensation at the load bus.

1. 서 론

Micro-Grid는 모듈화된 소규모 분산 에너지원(Micro-Source or Distributed Energy Resources : DER)들이 수요지에서 전력 및 잉여 열 에너지를 생산하여 공급하는 새로운 개념의 소규모 전력시스템으로 utility-grid에 연계 혹은 분리되어 운전 가능한 전원시스템이다[1,2].

본 논문에서는 실계통을 토대로하여 마이크로그리드 시스템을 모델링 하였다. 샘플 마이크로그리드 시스템에 태양광 발전 시스템을 적용하여 전력품질 및 전압안정도에 미치는 영향을 분석 할 수 있는 시뮬레이션 모델에 관하여 연구하였다.

태양광 발전시스템의 투입 후, 계통으로부터 전달되는 전력을 감소시킴으로써 부하 말단 전압 보상을 보이고, 이로부터 전력 및 전압 품질을 비교하였다.

2. 본 론

2.1 실계통의 마이크로그리드 모델링

그림 1은 실계통을 토대로한 마이크로그리드 시스템을 나타낸 것이다. 그림 5의 계통도에서 각 선로 임피던스는 표 1과 같고, 부하의 임피던스는 표 2와 같다[3,4]. 그림 1에서 154[kV] 측(변압기 1차측)에서 전원측으로 바라본 테브낭(thevenin) 등가 임피던스와 테브낭 등가 전원은 각각 식 (1), (2)와 같다.

$$Z_{th} = 12.460 + j34.3657[\Omega] \tag{1}$$

$$V_{th} = 172.89[kV] \tag{2}$$

<표 1> 22.9kV 선로 임피던스

Symbol	임피던스[Ω]
Z ₁	4.5251 + j10.6152
Z ₂	1.0764 + j2.4260
Z ₃	0.3132 + j0.4961
Z ₄	1.0706 + j2.4517

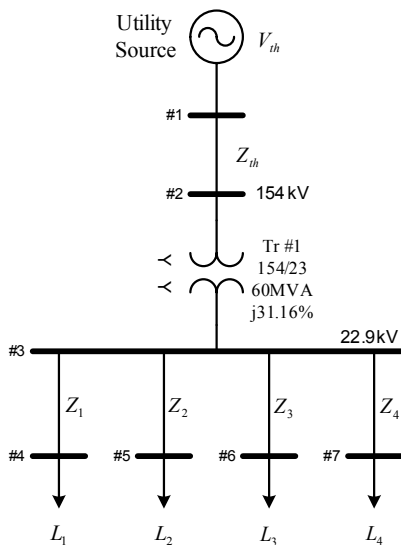
<표 2> 부하 임피던스

Symbol	임피던스[Ω]
Z _{L1}	49.8366 + j1.0892
Z _{L2}	55.2983 + j14.5915
Z _{L3}	45.3756 + j12.5941
Z _{L4}	65.8421 + j23.0956

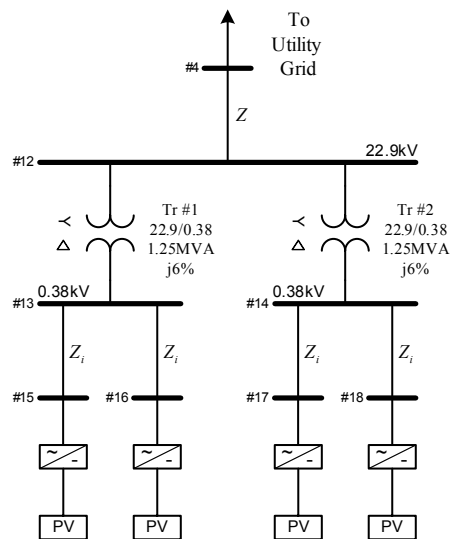
태양광 발전 시스템이 투입되는 곳은 그림 5에서 4번 모선이다. 4번 모선은 다른 모선에 비해 전원으로부터 거리가 많이 떨어져 있어서 표 1의 Z₁ 과 같이 비교적 큰 선로 임피던스를 가져서, 부하 말단 변압기 측 전압 강하가 심하게 나타난다. 이는 선로 손실의 심각함을 의미하고, 이 지역의 부하 증가에 대한 전압안정도 문제 등을 야기할 수 있음을 알 수 있다.

2.2 태양광 발전 시스템

태양광 발전 시스템을 실계통에 적용한 시뮬레이션 모델을 PSCAD/EMTDC에서 모델링하였다. 태양광 전지는 현대 중공업에서 공급하고 있는 HiS-M200SF의 모델을 이용하였다.



<그림 1> 양산지역 배전 계통도의 단선도



<그림 2> 태양광 발전 시스템의 구성

태양광 발전 시스템의 전력변환기는 전압원형 인버터[5]만을 채용한

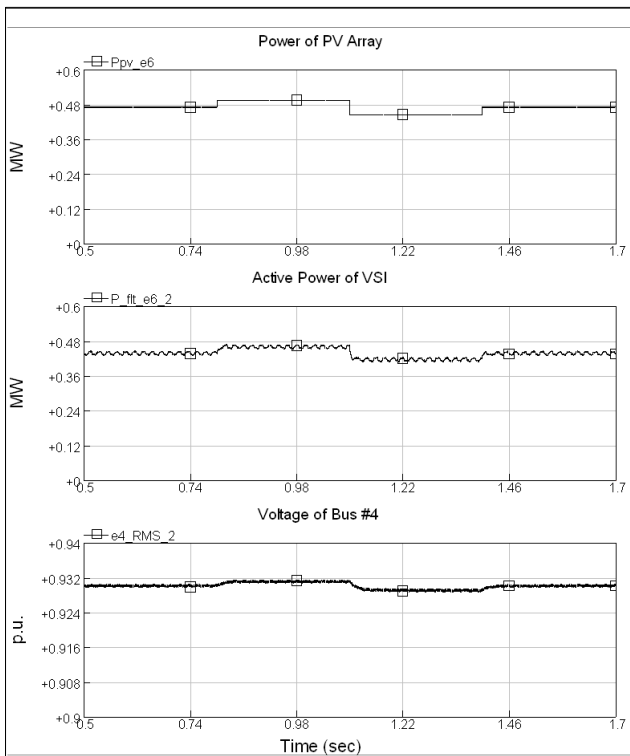
방식을 채택하였다. 이는 높은 용량에 대한 DC/DC 컨버터가 현실적으로 어렵기 때문이다[6]. 태양광 발전 시스템의 인버터 제어기는 인버터의 출력 전류를 제어하는 비간섭 전류 제어기를 이용하였고[7], 이의 지령치를 결정하는 외부제어기는 태양광 전지의 MPPT를 위해 DC 링크 전압을 제어[8]하기 위한 전류 지령치를 결정한다.

태양광 발전 시스템의 전체 용량을 2[MW]로 구성하기 위해서 단위 태양광 발전 모듈은 4개로 병렬 운전되고 단위 태양광 발전 모듈 2개당 하나의 변압기를 통하여 계통에 연계된다. 이러한 태양광 발전 시스템을 그림 2에 나타내었다. 태양광 발전 시스템은 실제 적용되기 위해서 많은 공간이 필요할 것이다. 따라서 산 중턱 정도 설치되는 것을 상정하여 태양광 발전 시스템과 4번 모선 사이 거리를 500[m]로 하여, 선로 임피던스를 $Z=0.1422+j0.3351[\Omega]$ 로 고려하였다. 4번 모선은 22.9[kV]의 배전선로로 태양광 발전 시스템이 적용되기 위해서는 꽤 높은 전압이 필요하다. 따라서 태양광 발전 시스템의 출력이 변압기를 통하여 투입되게 하였다. 태양광 발전 시스템의 변압기는 0.38/22.9[kV], %Z = j6.0, 1.25[MVA]로 하였다.

그림 2에서 각 태양광 발전 모듈은 계통과 연계되기 위해 계통연계 인덕터 Z_g 가 필요하다[5,6]. 계통연계 인덕터는 태양광 발전 모듈의 인버터와 계통을 연결하고 인버터가 인덕터 전류를 제어하여 태양광 발전 모듈의 전력을 제어할 수 있게 해준다[5,6]. 계통연계 인덕터는 0.25[mH]로 하였다.

3. 사례 연구

태양광 발전 시스템의 적용 전, 후를 비교하기 위해 1, 3, 4번 모선의 유효 및 무효전력과 1~7번 모선의 전압 크기를 표 3, 4에 나타내었다. 표 3, 2에서 일사량 및 온도는 각각 1000[W/m²], 25°C이다.



〈그림 3〉 태양광 발전 시스템의 출력 특성과 4번 모선 전압의 변동

표 3의 결과에서 투입 후 계통으로부터 공급되는 유효전력이 감소된 것을 알 수 있고, 유효전력 감소에 대한 무효전력 감소도 있음을 알 수 있다. 표 4의 결과에서 투입 전 4번 모선 전압은 다른 모선 전압에 비해 매우 낮다. 이 경우 가벼운 선로사고 또는 부하의 증가로 인해 전압 붕괴(voltage collapse) 문제 등의 가능성이 있을 수 있다. 태양광 발전 시스템의 투입 후, 계통으로부터 공급되는 전력의 감소로 인한 선로 전압 강하가 감소되어 투입된 모선의 전압이 보상됨을 관찰할 수 있다.

태양광 발전 시스템의 동특성에 따른 계통의 영향을 평가하기 위해 일사량 변화에 따른 태양광 발전 시스템의 출력 특성과 연계된 모선의 전압 변동을 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서의 일사량 변동은 표 5와 같고, 온도는 25°C일 때이다.

일사량 변동에 대한 4번 모선의 전압 변동은 0.004[p.u.] 미만으로 부

하 측에 영향을 미치지 못할 것으로 사료된다.

〈표 3〉 태양광 발전 시스템의 투입 전, 후 유효 및 무효전력

Bus No.		#1	#3	#4
투입 전	P[MW]	36.77	36.02	8.559
	Q[MVAr]	21.05	10.45	0.189
투입 후	P[MW]	35.36	34.68	9.113
	Q[MVAr]	19.92	10.08	0.199

〈표 4〉 태양광 발전 시스템의 투입 전, 후 모선 전압

Bus No.	#1	#2	#3	#4
투입 전[p.u.]	1.123	1.079	1.011	0.906
투입 후[p.u.]	1.123	1.081	1.017	0.930
Bus No.	#5	#6	#7	
투입 전[p.u.]	0.981	1.002	0.984	
투입 후[p.u.]	0.987	1.007	0.990	

〈표 5〉 일사량 변화

시간[sec]	일사량[W/m ²]
0.5	950
0.8	1000
1.1	900
1.4	950

3. 결론

본 논문에서는 실제 계통을 토대로한 마이크로그리드 시스템을 모델링하고 태양광 발전시스템을 적용하여 그 효과를 검토하였다. 마이크로그리드 시스템 및 태양광 발전시스템은 PSCAD/EMTDC의 시뮬레이션 모델로 개발되었다.

전기적으로 멀리 떨어진 부하 모선에 태양광 발전 시스템을 투입하여 전력을 공급함으로써 선로 전압강하를 감소시켜 부하 말단전압이 개선됨을 보였다. 모델링된 계통 및 태양광 발전시스템 규모에서 기후변화에 따른 태양광 발전시스템의 동특성이 연계된 모선 전압에 미치는 정도가 0.004[p.u.] 미만으로 나타났고, 이는 부하에 영향을 미치지 못할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] R. H. Lasseter, P. Piagi, "Providing Premium Power through Distributed Resources", Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 1437-1445, Jan 4-7 2000.
- [2] 손광명, 이계병, 홍준희, "PSCAD/EMTDC를 이용한 마이크로그리드의 시뮬레이션 모델 개발", 대한전기학회 논문지, 56권, 3호, pp. 457-464, 2007. 3.
- [3] 한진 배전처, "배전 설계기준 및 표준 규격서", 한국전력공사, 2006.
- [4] 한진 배전처, "배전 보호 기술서", 한국전력공사, 1995.
- [5] 김슬기, 전진홍, 김웅상, "PSCAD/EMTDC를 이용한 계통연계형 태양광발전 시스템의 모델링 및 모의 해석", 대한전기학회 논문지, 제 54A권, 제3호, pp. 107-116, 2005. 3.
- [6] 민병덕, 이종필, 김태진, 유동욱, "PV용 고압연계 대용량 PSC기술" 전력전자 학회지, 제11권, 제6호, pp. 46-49, 2006. 12.
- [7] T. M. Rowan, R. J. Kerkman, "A New Synchronous Current Regulator and an Analysis of Current-Regulated PWM Inverters", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-22, No.4, pp. 678-690, Jul./Aug. 1986.
- [8] 김용균, 최중우, 김홍근, "계통연계형 태양광 발전 인버터의 디지털 제어", 대한전기학회 2004년도 하계학술대회 논문지, pp. 1161-1165, 2004. 7.