

PSCAD/EMTDC에 의한 직류연계선 오버홀시 제주계통의 전력품질 분석

강보승*, 김재홍*, 김일환*, 김세호*, 오성보*, 송기혁**
제주대학교*, KOPEC**

Power Quality Analysis of Jeju Power System during HVDC Overhaul using PSCAD/EMTDC

Bo-Seung Kang*, Jae-Hong Kim*, Eel-Hwan Kim*, Se-Ho Kim*, Seong-Bo Oh*, Kiheouk Song**
Cheju National University*, KOPEC**

ABSTRACT

This paper presents the modeling and power quality analysis of Jeju island power system connected with wind farm, and thermal power plant. It is for indicating the influence of wind farm operation in steady and transient state in Jeju island power system during the HVDC system overhaul period. For the computer simulation, three kinds of main item are modeled, which are 67[MW] wind farm, thermal power plant and Jeju power load. To analyze the influence of the wind power generation to the Jeju power system, two kinds of simulations are carried out by using the PSCAD/EMTDC program. One is the steady state operation under the variable speed wind, and the other is the transient state operation when all of wind farms in Jeju island are disconnected from the Jeju power grid instantaneously on the rated power output. With the comparison of these results, it is useful for analyzing the power quality of Jeju power system versus wind power generation.

1. 서론

풍력발전은 적은 설치면적에 비해 큰 에너지를 얻을 수 있다는 장점을 가지지만 반면에 설치할 수 있는 지역이 국한되기 때문에 우리나라에서 풍속자원이 풍부하여 설치할 수 있는 지역이 제주도, 대관령, 그 외 몇 곳의 일부지역 정도로 불과하다. 최근 많은 일반 사업자들이 정부의 신재생에너지 발전에 대한 발전차액 보전제도와 2012년 부터 선진국에서 실시되고 있는 신재생에너지 의무 할당제(RPS, Renewable Portfolio Standards)제도의 도입 때문에 풍력발전 사업에 관심이 그 어느 때 보다도 커지고 있다. 이러한 추세로 인하여 2008년 기준으로 제주도에는 풍력발전 사업을 허가 신청 용량이 227[MW]에 이르고 있다. 그 중에서도 한 일반 사업자가 제주시 동쪽 지역인 삼달 지역에 33[MW] 용량을 갖는 삼달 풍력발전 단지를 올해 이내에 조성하여 154[kV] 제주송전계통에 접속할 예정이다. 순차적으로 더 많은 업체들이 풍력 발전단지를 조성하여 발전사업을 할 예정이다.^[1] 그러나 제주지역의 계통은 육지에 비하여 설비나 부하용량 면에서 매우 작은 계통이다. 특히 제주지역의 동·서부 지역은 전력부하가 적은 지역으로 변전 설비용량이 크지

않다. 이러한 이유 때문에 풍력발전 접속 용량이 한정 될 수도 있고 또한 접속시 풍력발전의 급격한 출력변화에 따른 접속된 선로에 전력의 품질을 떨어뜨릴 가능성이 커진다.^{[2][3]} 그렇지만 현재 제주-해남간 설치되어 운영되고 있는 직류연계선의 속용성이 기존 발전기보다 훨씬 빠르기 때문에 풍력의 급격한 출력변화를 완충시킬 수 있는 필터 역할을 해서 제주계통의 전력품질 뿐만 아니라 안정성을 유지해 주고 있다. 하지만 매년 정기적으로 일정기간동안 직류연계선 오버홀을 시행하고 있다. 이 기간 동안 풍력발전의 출력변화를 완충하는 시스템이 없으므로 제주지역에 설치되어 있는 풍력발전단지의 출력 크기에 비례해서 제주계통의 전력품질과 안정성은 어떻게 되는지 검토할 필요가 있다.^{[4][5]} 따라서 본 논문에서는 전력전자시스템 응용과 전력계통 해석을 하기가 쉬운 PSCAD/EMTDC 프로그램을 이용하여, 2009년도에 제주계통의 기저부하가 약 330[MW]로 가정하고, 2008년 후반기에 완공되는 삼달 풍력발전단지가 본격 상업 운전된다고 본다.^{[6][7]} 또한 이 때 직류연계선이 오버홀을 하여 제주계통의 전원공급이 주로 화력발전소와 이루어질 때 제주지역에 산재되어 있는 총 67[MW] 용량의 풍력발전단지의 출력 변화에 대해 상산변전소에 연계된 송전선로와 배전선로의 전압과 주파수 변화 특성을 분석하고자 한다.

2. 제주계통 모델링과 해석

2.1 제주계통의 모델링

제주계통은 크게 네 가지 부분으로 구성되어 있다고 볼 수 있다. 첫째는 전원 공급원인 화력 발전소이고, 두 번째는 계통 부하, 3번째는 제주와 해남사이에 연계된 직류연계선이고 마지막은 제주도처에 산재되어 있는 신재생 에너지원이다. 화력 발전소는 제주화력발전소에 40[MW] 짜리 내연기관이 1대, 79[MW] 짜리 스팀발전기가 2대로 구성되어 있다. 남제주화력 발전소에는 100[MW] 스팀발전기 2대, 10[MW] 짜리 내연기관이 4대, 한림발전소에는 41[MW] 가스발전기 2대와 스팀발전기 1대로 구성되어 있다. 이들 발전소는 크게 스팀발전기와 가스발전기 그리고 디젤내연기관으로 구성되어 있다고 볼 수 있다. PSCAD로 이들 발전기들을 모델링 할 때는 구성요소를 동기발전기, 여자기, 가버너로 구성되도록 하였다. 이들 구성요소는 라이브러리가 제공되고 하지만 일부는 제공되지 않고 있다. 제공되지 않는 요소는 제공되는 라이브러리에 가장 근접하게 등가화해서 해석을 하였다. 신재생에너지의 모델링은 제주지역에서 가장 큰 비중과 계통에 큰 영향을 주고 있는 풍력발전을 대

표로 해서 모델링을 구현한다. 모델링을 구현하기 위해서 제주 지역에 설치되어 운용되고 있는 풍력발전 시스템을 살펴보면 한국에너지기술연구원에서 월정연구기지에 설치 되어 운용되고 있는 1.5[MW] 시스템을 제외하고는 덴마크의 Vestas 회사에서 전량 수입되어 설치되었다. 또한 시스템은 블레이드 제어방식이 스톱 제어나 피치제어 형태로 구성되어 있으며, 용량은 225[kW]에서 부터 3[MW] 까지 다양한 형태로 되어 있다. 이러한 형태를 전부 실제 데이터를 가지고 모델링하는 것은 많은 시간과 노력이 필요할 뿐더러 정확한 해석이 어렵다. 그리고 제주계통 측면에서 보면 1개의 풍력발전 시스템 출력이 나오는 것이 아니라 여러 시스템의 출력이 하나로 모여져서 단지 출력으로 계통에 공급되기 때문에 제주 전 계통을 모델링하여 여러 가지의 과도 특성이나 정상상태 특성을 해석하는 경우에는 모든 시스템을 가지고 해석하는 것 보다는 대표적인 시스템을 하나 선정하여 풍력발전 시스템을 모델링하고 이를 이용하여 단지를 모델링하는 것이 효과적으로 볼 수 있다. 그래서 본 논문에서는 한경 풍력발전단지에 설치되어 운용되고 있는 NEG-MICON 사의 1.5[MW] 시스템을 모델로 정하여 2007년 1월부터 2007년 2월 까지 실제 출력된 측정 데이터를 가지고 풍속에 대해 유효전력과 무효전력의 출력 특성 곡선을 작성하고 이를 이용하여 풍속에 대한 토오크를 출력하는 모델 시스템을 구현한다. 이때 풍력발전단지의 모델링은 2008년도를 기준으로 해서 현재 상업 운전되고 있는 시스템과 2008년도 말 상업운전 예정인 풍력발전 단지를 모델로 정하였다. 이들 모델로는 약 10 [MW]의 행원풍력단지, 21 [MW]의 한경풍력단지, 1.7[MW]의 신창풍력단지, 33 [MW]의 삼달 풍력단지, 에너지기술연구원의 1.5 [MW] 시스템들이다. 부하는 제주 전 지역의 10개소 변전소 배전선로에 역률이 0.98이 되고 배전선로 당 약 15 [MW] 가 되도록 했다. 이를 통하여 제주 전계통의 부하용량이 2009년도 기저 부하로 예상되는 약 330 [MW] 가 되도록 설정 했다. 그 이유는 직류연계선이 오버홀 하는 기간 동안에 풍력발전단지의 출력이 제주 계통에 가장 큰 영향을 끼칠 수 있는 줄 수 있는 부하용량이 기저부하일 때이기 때문이다. 송전선로와 변전소의 파라메타는 실제 측정되거나 회사에서 제공되는 데이터 값을 이용하였다. 그림 1은 이러한 모델링 방법을 이용하여 PSCAD/EMTDC 프로그램으로 나타낸 것이다. 이 그림에서 발전소에 빨간색으로 표기된 것은 운전되는 시스템이고 파란색으로 표기된 것은 동작하지 않는 시스템이다.

2.2 컴퓨터해석 및 결과고찰

제주에 설치되어 운용되고 있는 직류연계선은 제주계통의 부하가 연중 가장 적은 시기를 예상해서 약 2 주일 정도 하고 있다. 2007년도에는 제주계통의 기저부하가 약 310 [MW] 이고 2008년에는 약 320[MW]를 예상하고 있다. 이 기간중에는 남제주화력 100[MW] 용량의 기력 3,4호기, 10[MW] 용량의 내연 1~4 호기, 제주화력 79[MW] 용량의 기력 2,3호기, 40[MW]의 내연 발전기와 105[MW]의 한림복합 발전기가 작동된다. 본 논문에서는 2009년도에 제주계통의 기저부하가 330[MW] 정도로 예상하고 남제주 내연 1~4 호기를 빼고 운전되도록 하였다. 그 이유는 이 시스템들이 조만간 철거될 예정이기 때문이다. 컴퓨터 해석에서 풍력발전 단지의 출력은 한경지역에 21[MW], 성산포 지역에 44.5 [MW]의 용량이 되도록 하였다. 이것은 2008년도를 기준으로 상업운전을 하기 때문이다.

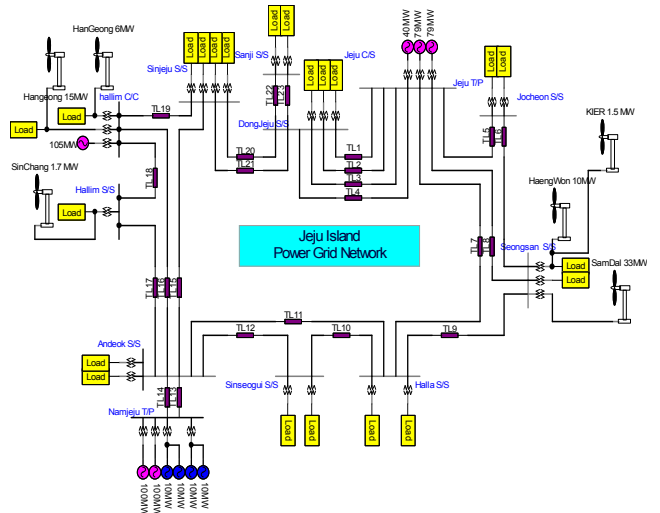


그림 1 제주계통의 PSCAD 모델
Fig. 1 PSCAD model of Jeju power system

풍력발전단지의 출력이 제주계통의 전력품질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 풍력발전단지가 설치된 지역에 따라 그림 2와 같은 가변속 풍속을 인가하였다. 가변풍속 모델링시 행원지역은 평균 풍속이 13[m/s], 신창지역은 11[m/s], 삼달지역은 10[m/s] 그리고 한경지역은 10[m/s]를 기준으로 하여 모델링을 하였다. 가변 풍속에 대해 풍력발전단지의 출력변화에 따른 제주계통의 전력 품질을 분석하기 위하여 풍력발전 시스템의 용량이 가장 많이 접속된 성산변전소 22.9[kV]의 배전선로와 154[kV]의 송전선에 연계된 전압과 주파수 특성을 나타내고자 한다. 뿐만 아니라 제주지역 풍력발전단지의 최대출력 용량이 순간적으로 차단되었을 때 화력발전소의 응답특성, 성산 변전소의 전압과 주파수 특성을 나타낸다.

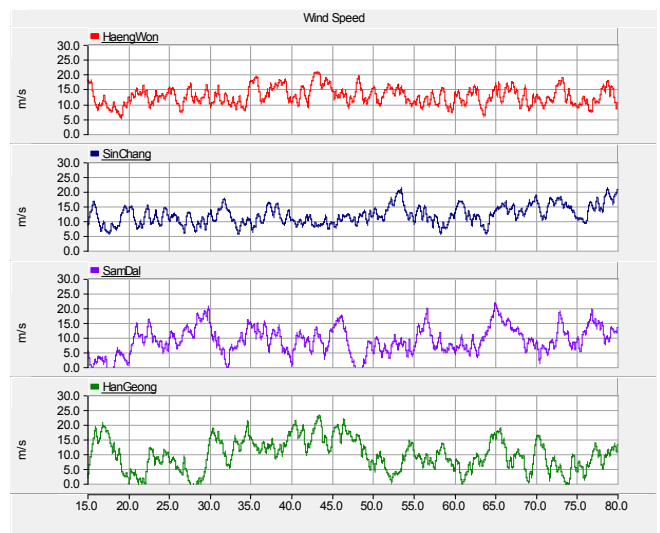


그림 2 각 풍력발전단지의 가변 풍속
Fig. 2 Variable speed wind at the wind farms in Jeju

그림 3은 가변풍속에 따라 각 풍력발전 단지의 출력과 46초 때 모든 풍력발전 시스템을 차단 시켰을 때의 결과들이다.

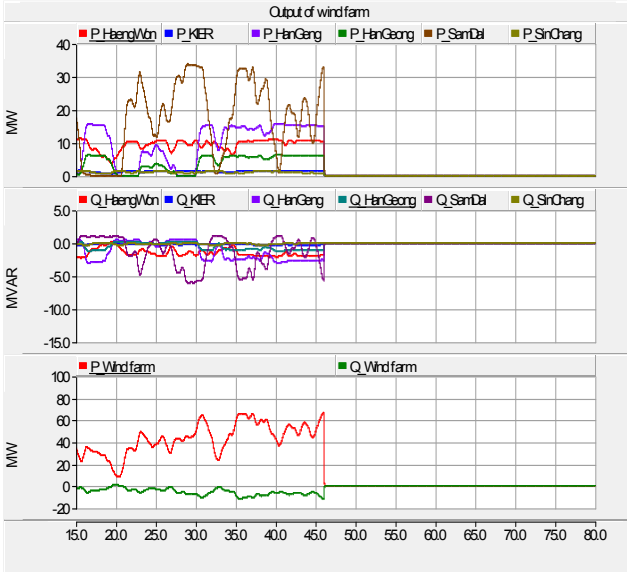


그림 3 가변속에 따른 풍력발전단지 출력
Fig. 3 Simulation results of wind farm output versus variable speed wind

이 결과에서 보면 각각의 가변 풍속에 대해서 급격한 출력 변화가 나타나지만 전체 출력으로 보았을 때 출력의 변화가 단일 단지보다 작게 나타나고 있다. 이것은 전체출력의 변화율이 줄어드는 필터링 효과가 나타나고 있다. 그림 4는 그림3과 같은 조건으로 운전되고 있을 때, 제주의 각 화력발전소 출력을 나타내고 있다. 이 결과에서 보면 풍력발전단지의 출력변화에 따라 각 발전소의 출력도 따라 변하고 있다. 여기서 제주화력 40[MW] 내연발전소가 가장 늦은 응답 특성을 나타내고 있다.

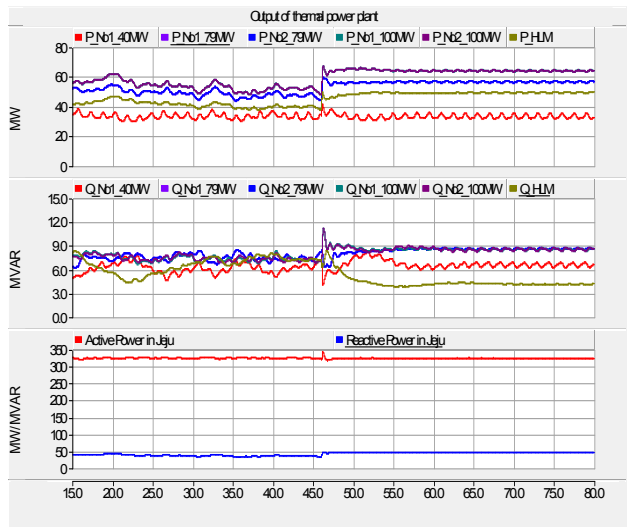


그림 4 풍력발전단지의 출력변화에 따른 화력발전소 출력 특성
Fig. 4 Simulation results of thermal power plant output versus variable wind power generation

그림 5는 성산변전소의 전압과 주파수 변화 특성을 나타내고 있다. 여기서 풍력발전단지의 출력 변화에 배전선로의 전압은 크게 변화가 없지만 주파수는 최대 ± 0.4 [Hz]의 진동폭을 나타내고 있어서 이에 대한 대비책이 요구되어 진다.

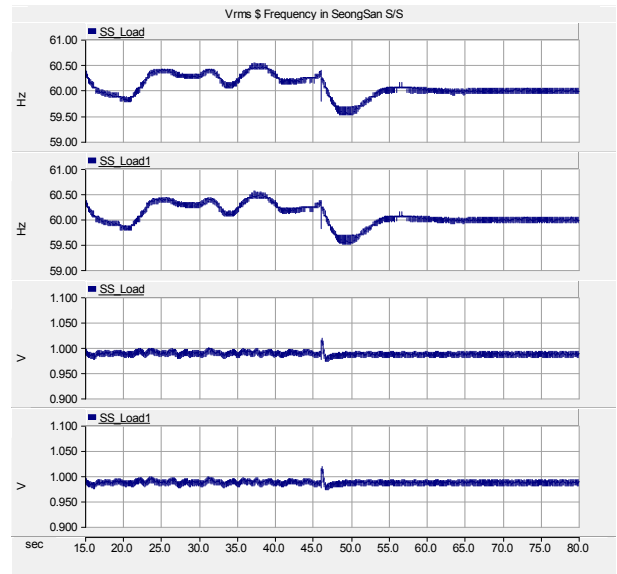


그림 5 배전선로의 부하전압과 주파수 특성
Fig. 5 Characteristics of load voltage & frequency in the distributed line at Seongsan S/S

3. 결론

이상과 같은 컴퓨터 해석 결과들을 토대로 직류연계선의 오버홀 기간 동안에는 67[MW]의 용량을 갖는 제주지역 풍력발전 단지의 급격한 출력변동을 완충하는 시스템이 존재하지 않으므로 제주계통의 전압과 주파수의 품질이 크게 떨어뜨리고 있음을 나타내고 있다. 특히 계통선의 주파수 변동이 크게 나타나고 있기 때문에 이에 대한 정확한 원인과 해결책을 검토할 필요가 있을 것으로 사료된다. 이와 같이 본 논문에서 사용한 모델링 기법을 이용하면 풍력발전단지 건설시 접속되는 계통의 전원품질을 분석하는데 유익하게 도움되리라 기대된다.

참고 문헌

- [1] 제주특별자치도, 제주특별자치도 지역에너지계획보고서, 2007.12.
- [2] 한국전력거래소, 제주지역 비중앙급전 발전기 품질측정 및 계통영향분석 연구 보고서, 2005.4.
- [3] Kwang Y. Lee, Se-Ho Kim, Eel-Hwan Kim, Ho-Chan Kim, "Fuel Cell as an Alternative Distributed Generation Source under Deregulated Power System," KIEE Trans. B, Vol. 55A, No. 12, pp. 561-568, 2006.
- [4] Oplimpo Anaya-Lara and F. Michael Hughes, "Influence of Windfarms on Power System Dynamic and Transient Stability," Wind Engineering, Vol. 30, No. 2, pp. 107-123, 2006.
- [5] Anca D. Hansen, Poul Sorensen, Florin Lov and Frede Blaabjerg, "Initialisation of Grid-Connected Wind Turbine Models in Power System Simulations", Wind Engineering, Vol. 27, No. 1, pp. 21-38, 2003.
- [6] PSCAD/EMTDC Manual, 2006.
- [7] HVDC Light Topology, ABB Handbook, 1999.