2008년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2008. 7. 16 - 18

PSCAD/EMTDC에 의한 성산풍력발전단지의 모델링과 해석

김재홍*, 강보승*,김일환*,김세호*,오성보*,송기혁**,김영환***
제주대*, 제주전력변환소**,전력거래소***

Modeling and Analysis of Seongsan Wind Farm using PSCAD/EMTDC Program

Jae-Hong Kim*,Bo-Seung Kang*,Eel-Hwan Kim*,Sung-Bo Oh*,Ki-Heuk Song**, Young-Hwan Kim***
Cheju National University*, KOPEC**,KPX***

Abstract - 불확실한 출력 변화 특성을 갖는 풍력발전 설비가 제주지역에 크게 증가하고 있다. 이러한 증가는 풍력발전 설비가 연계된 선로에 전력의 품질을 떨어뜨릴 수 있는 가능성이 커진다. 성산 풍력발전단지는 2008년도 현재 기준으로 총 67[MW]의 풍력발전 용량이 180[KVA]의 설비용량을 갖는 성산변전소 22.9[kV] 배전선로에 접속된다. 이로 인하여 풍력발전의 출력변화에 따른 성산변전소의 배전선로에 나타나는 전력품질의 변화를 사전에 예측하고 검토할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 전력전자와 전력계통의 여러 가지 모델을 쉽게 해석 할 수 있는 PSCAD/EMTDC 프로그램을 이용하여 제주지역의 전 계통을 모델링하고 제주계통 부하용량이 320[MW] 기저 부하시 급격한 풍력발전 출력변화에 따른 성산변전소의 배전선로에 나타나는 전압과 주파수 변화에 대한 전력품질 특성을 시뮬레이션 결과를 통하여 나타내고자 한다.

1. 서 론

배럴당 $130이 넘는 고유가와 탄소가스 배출 의무 감축량 시대로 접어들면서 전 세계적으로 풍력발전에 대한 수요가 폭증하고 있다. 이 분야에서 유럽 국가들은 앞선 기술과 상용화로 많은 나라에 상용발전을 이룩하고 있다. 특히 독일과 덴마크는 이 분야에서 가장 앞서 있다. 이러한 추세에 부응하여 우리나라에도 신재생에너지 보급 확대를 위해 선진국에서 실시되고 있는 신재생에너지 의무 할당제(RPS, Renewable Portfolio Standards)제도를 도입하여 2012년도 부터 에너지 사업자에게 일정비율이상 신재생에너지로 공급하도록 하는 제도를 시행 할 예정이다. 뿐만 아니라 정부의 신재생에너지 발전차액 보전 제도로 인하여 풍력발전에 대한 관심과 설비증가가 큰 폭으로 증가하고 있다. 그러나 풍력발전은 우리나라에서 할 수 있는 지역이 크게 제주도와 대관령, 그리고 일부 몇 지역 정도로 국한되어 있다. 그 중에서도 특히 제주도는 풍속자원이 우리나라에서 가장 풍부하여 많은 발전사업자들이 제주지역에서 발전 사업을 원하고 있다. 그렇지만 제주지역 풍력발전을 할 수 있는 지역이 동부지역과 서부지역으로 국한되어 있다[1]. 그리고 제주지역의 계통은 육지에 비하여 설비나 부하용량 면에서 매우 작은 계통이다. 특히 제주지역의 동서부 지역들은 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]. 따라서 본 논문에서는 전력전자 시스템응용과 전력계통 해석을 하기가 쉬운 PSCAD/EMTDC 프로그램을 이용하여 150[MW]의 총 출력량을 갖는 연계선이 주파수 운전 모드로 작동하고 제주지역의 화력발전소 총 출력은 170 [MW]로 동작한다고 가정한다[4][5]. 이 때 제주의 총 부하는 320[MW] 기저 부하 일 때 성산 변전소에 연계하여 현재 운전하고 있거나 운전될 예정인 총 67[MW]가 성산변전소에 송전선로와 배전선로에 접속하여 운전하였을 때 급격한 풍력발전 출력변화에 따른 성산 변전소에 연계된 154[kV]송전선과 부하에 연계된 배전선의 전력품질 특성을 컴퓨터 해석을 통하여 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 제주지역의 전력계통 및 풍속 특징

제주지역은 좁은 지역이면서도 다양한 종류의 발전원을 가지고 있다. 기간 발전 시스템으로 제주화력의 디젤발전과 스팀발전, 남제주발전소의 디젤과 스팀발전, 한림발전소의 스팀과 가스발전 그리고 육지 계통과 연계된 직류고압 송전 시스템이다. 뿐만 아니라 최근에는 신재생에너지에 의해 풍력발전, 태양광발전, 그리고 폐기물 가스 발전 등 다양한 종류의 분산전원이 운영되고 있다. 2007년 제주지역의 총부하중 약 40 [%] 정도인 150 [MW]는 연계선에서 부담하고, 나머지는 기간발전소와 분산형 전원에서 공급하고 있다. 이런 제주지역의 부하특성은 제주지역이 청정지역인 관계로 큰 공장설비가 없고 관광과 연계된 설비와 농수축산분야 그리고 가정용 부하로 이루어지고 있다. 이런 부하 특성은 최대부하와 기저 부하와의 차가 큰 특성을 가진다. 2007년도에는 최대부하와 기저부하의 차가 약 270 [MW[정도로 기저부하인 약 310[MW] 의 0.9 배 정도를 나타내고 있다. 또한 제주지역이 관광산업이 발전함에 따라 이에 따른 설비가 증가할거라고 예상되고 있고 기저부하와 최대부하사이의 차가 점점 커질 것 이라고 예상되고 있다. 또한 제주지역은 동부지역과 서부지역이 년 평균 풍속이 약 7[m/s] 정도로 나타나고 있어 많은 발전사업자들이 풍력발전 사업을 원하고 있다 2008년 현재 건설중이거나 인허가를 얻어 제주지역에서 발전사업을 할려고 하는 총용량은 약 220[MW] 정도 되고 있다. 이는 계통안정도 측면에서 봤을 때는 문제를 야기 시킬 가능성을 내포하고 있다. 그래서 최근 제주지역에서 풍력발전에 대한 한계용량 문제와 계통안정도를 이룰수 있는 다양한 방안에 대해서 문제가 대두되었다. 이러한 문제는 결국 제주계통이 취약성에 기인한 것으로 볼 수 있어 여기에 대한 다양한 대책을 고려할 필요성이 있다.

2.2 모델링과 해석

제주계통에는 크게 세 지역의 화력발전소와 육지계통과 연계된 한곳의 HVDC 시스템 7 군데의 풍력발전단지 그리고 12 군데 154[kV] 가 연계되어 있는 변전소가 있다. 송전선로는 환상만 이중 구조로 되어 있으며 철탑과 지중선로로 되어 있다. 부하는 역률이 약 0.97를 갖는 단순 RL 부하가지며 전체 계통의 부하용량은 약 320 [MW] 부하를 모델로 구성하였다. 이러한 제주계통을 모델링하기 위해서 PSCAD/EMTDC 프로그램을 이용하였으며 기존의 PSS/E 프로그램에서 사용되었던 실제 제주계통의 데이터를 사용하였다[5][6].

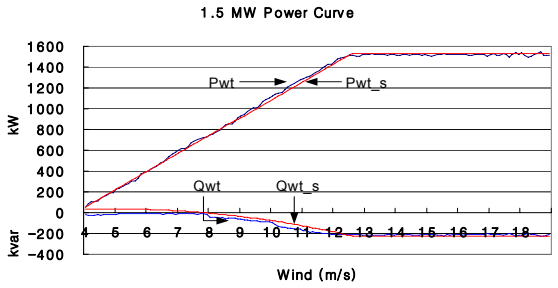
2.2.1 풍력발전단지 모델링

제주지역의 풍력발전 단지에 설치되어 운용되고 있는 시스템들은 한국에너지기술연구원에서 월정연구기지에 설치되어 있는 1.5[MW] 시스템을 제외하고는 덴마크의 Vestas 회사에서 전량 수입되어 설치되었다. 또한 시스템의 용량들은 스톨형태와 피치제어 형태로 용량은 225[kW]에서 부터 3[MW] 까지 다양한 형태로 되어 있다. 이러한 형태를 전부 실제 데이터를 가지고 모델링하는 것은 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 NEGMICON 사의 1.5[MW] 시스템을 모델로 정하여 2007년 1월부터 2007년 2월 까지 실제 출력된 측정 데이타를 가지고 풍속에 대해 유효전력과 무효전력의 출력 특성 곡선을 작성하고 이를 이용하여 풍속에 대한 토오크를 출력하는 모델 시스템을 구현한다. 그림 1은 실제 측정해서 얻은 출력 값과 모델 시스템을 모델링해서 컴퓨터 해석한 결과 값을 0.1 [m/s] 간격으로 나타낸 것이다.

2.2.2 성산 변전소 모델링

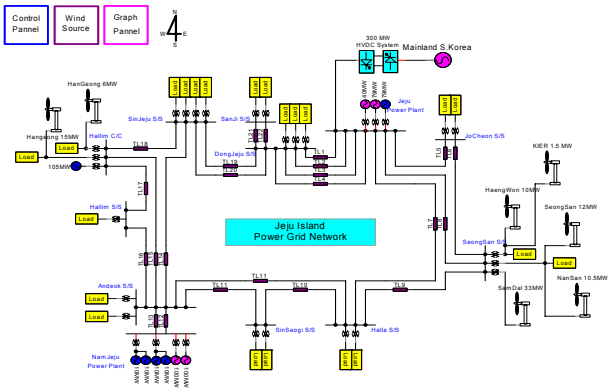
성산 변전소가 위치한 지역은 제주의 동부지역으로 제주계통에서 말단 부하에 속한다고 볼 수 있다. 여기에 연계된 송전 선로는 154[kV] 정격전압을 갖는 3 곳에서 연계되어 있다. 첫 번째는 긍장 33.1[km]를

갖는 북성 TL, 금장 24 [km] 를 갖는 조천성산 TL, 마지막으로 금장 46.6 [km]를 갖는 한성TL이 연계되어 있다. 이들 송전선로를 PSCAD로 모델링하는 것은 이 프로그램에서 제공하고 있는 송전선 라이브러리를 이용하는데 그 중에서도 sequence components 방법을 이용하였다.



<그림 1> 모델 시스템의 출력 특성 곡선

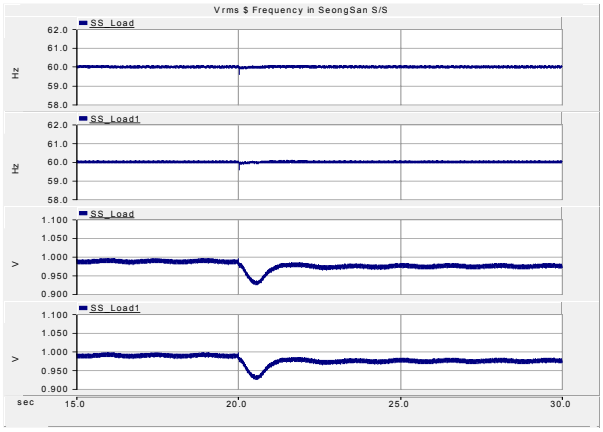
성산변전소에는 1 BANK 용량이 60/40 [MVA] 이고 전압 권수비가 154/23 이며, YYD 결선으로 구성된 변압기가 3 BANK 즉 180 [KVA] 용량을 갖도록 되어 있으며 1 Bank 는 예비용으로 되어 있어서 평상시에는 No.1, No2 BANK 만 사용되고 있다. No.1 에는 온평, 삼달, 송당, 정의 D/L 과 전용선로에 의해 10[MW] 용량의 행원풍력, 한국에너지기술연구원의 1.5[MW] 시스템이 현재 접속되어 운전되고 있다. 그리고 부하용량은 매시간 다르므로 정확한 값을 얻는 것이 쉽지 않다. 그래서 본 논문에서는 부하변동 값이 대략 10~30 [MW]정도를 가지므로 이를 바탕으로 하여 22.95+5.4j [MW] 로 모델링 하였다. No.2 에는 성산, 만장, 난산, 종달, 신풍 D/L이 접속되어 있으며 No.1에서와 같이 해서 25.5+5.4j [MW]로 모델링하였다. 그리고 이 BANK 에는 성산풍력 12 [MW], 난산풍력 10.5[MW] 가 접속될 예정이다. 올해 성산지역근처의 삼달지역에 한신에너지가 33[MW] 단지를 조성하여 154 [kV]송전선에 직접 연계하여 가동할 예정이다. 그림 2는 해석을 위해 성산변전소에 접속되는 풍력발전단지와 이를 포함한 제주전체 계통의 PSCAD/EMTDC 모델을 나타낸 것이다.



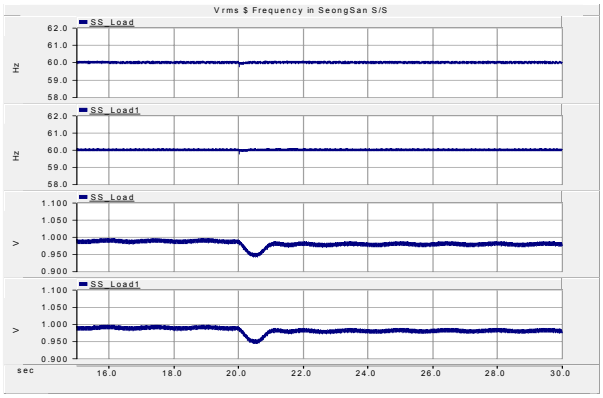
<그림 2> 제주계통의 PSCAD/EMTDC 모델

2.3 해석 결과와 고찰

제주계통이 기저부하로 운전되고 분산전원 출력이 최대로 될 때 전력품질이 가장 영향을 크게 받을 가능성이 커진다. 이러한 이유로 해서 본 논문에서는 제주계통의 기저 부하가 약 320[MW] 일 때 성산변전소에 접속되어 운전되거나 운전될 예정인 약 67[MW] 풍력발전시스템과 성산변전소 그리고 이 변전소에 연계된 송전선로와 부하에 대한 PSCAD 모델링을 구현하고, 풍속이 정격풍속이상으로 불어 풍력발전 단지의 출력이 최대로 될 때 성산변전소에 연계된 풍력발전 시스템이 동시에 차단되었을 때와 남제주화력 100[MW] 1기가 고장으로 트립되었을 때를 가정하여 성산변전소의 배전선로와 연계된 송전선로의 전압과 주파수 변화 특성을 해석하고 분석한다. 그림 3은 성산변전소에 접속되어 있는 모든 풍력발전 시스템이 정격풍속 이상에서 최대 출력을 발생하고 있을 때 사고에 의해 동시에 차단되었을 때의 배전선로에 나타나고 있는 전압과 주파수 변화 특성을 나타낸 것이다. 이 결과에서 보면 주파수는 거의 변동이 없고 전압은 약 1.5 [sec] 약 0.06[pu]의 변화를 나타내고 있다. 그리고 차단 후 배전선로에 나타나고 있는 전압이 이전 정상상태에서 보다 약 0.01[pu] 정도 떨어지고 있음을 나타내고 있다. 이는 풍력발전단지의 유효전력 출력이 감소한 것으로 볼 수가 있다.



<그림 3> 풍력발전단지 차단시 전압과 주파수 특성



<그림 4> 100[MW] 발전소 차단시 전압과 주파수 특성

그림 4는 100[MW] 남제주화력 1기가 순간 정지되었을 때의 성산변전소 배전선로에 나타나는 전압과 주파수 특성을 나타낸 것이다. 이 결과에서 보면 주파수는 영향이 거의 없으나 전압은 약0.04[pu] 변화를 나타내고 있다. 이는 앞선 결과보다 전압변화가 적음을 나타내고 있다. 이는 응답특성이 아주 빠른 HVDC 시스템이 출력변화를 보상한 결과로 볼 수가 있다.

3. 결 론

이상과 같은 해석결과를 토대로 성산변전소에 접속되거나 접속될 67[MW] 풍력발전단지의 용량이 순간 차단되거나 제주지역의 1기의 화력발전소가 차단되어도 성산변전소의 배전선로에 나타나는 주파수는 크게 영향을 안 받는 것으로 나타나고 있다. 전압변동은 풍력발전단지 출력이 차단되었을 때가 화력발전 1기가 차단되었을 때 보다 더 크게 변동 되고 있음을 나타내고 있다. 이상과 같은 결과를 통해서 본 논문에서 사용한 모델링방법을 이용하면 풍력발전단지를 건설하고자 할 때 사전 계통영향평가 하는데 유익할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1] Kwang Y. Lee, Se-Ho Kim, Eel-Hwan Kim, Ho-Chan Kim, “Fuel Cell as an Alternative Distributed Generation Source under Deregurated Power System,” KIEE Trans. B, Vol. 55A, No. 12, pp. 561-568, 2006.

[2] 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.

[3] salman K.Anita L.J.Teo, “Windmill modeling Consideration and Factors Influencing the Stability of a Grid-Connected Wind Power-Based Embedded Generator”, IEEE Trans. On Power Systems,Vol.18, No.2, May, pp 793-802, 2003.

[4] 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.

[5] PSCAD/EMTDC Mannual, 2006.

[6] HVDC Light Topology, ABB Handbook, 1999.