

대단위 풍력발전단지에 의한 제주도의 과도안정도 특성에 관한 연구

윤동희, 김철우, 장길수
고려대학교 전기공학과

Effect of a large-scale wind farm on power system transient stability in Jeju-do

Dong-Hee Yoon, Chulwoo Kim, Gilsoo Jang
Department of Electrical Engineering, Korea University

Abstract - 전세계적으로 풍력발전은 많은 분산전원 가운데 가장 각광을 받고 있는 발전방식이다. 이미 많은 나라에서 풍력발전단지의 건설이 이루어졌으며 우리나라의 경우 제주 행원, 경북 영덕에 풍력발전단지가 건설되어 있다. 제주도의 경우 관광특구라는 특수성에 기인하여 친환경적인 풍력발전단지의 건설이 앞으로 계속 이어질 전망이다. 이러한 풍력발전단지는 기존의 발전원과 달리 간헐적인 출력특성을 가지고 있으며, 이러한 출력특성은 계통에 영향을 미치게 된다. 본 논문은 제주도 계통에서 대규모의 풍력발전단지가 주는 영향을 파악하고 풍력발전단지의 적정 용량 및 위치를 계통의 안정도 측면에서 고려해본다.

도의 계통 규모가 내륙에 비해 작기 때문에 대규모의 풍력발전단지가 건설되면 제주도 전체에 영향을 주게 되며, 이는 풍력발전단지 건설전에 반드시 검토할 사항이다. 또한 풍력발전의 입지에 풍향, 풍질등의 환경적인 조건과 더불어 전기적인 측면도 고려할 수 있다. 본 논문은 제주도 계통에 풍력발전단지가 주는 영향을 상정사를 통하여 검토하고, 송전손실을 고려한 최적의 풍력발전단지의 입지를 찾아본다.

1. 서 론

최근에 와서 유가상승, 화석에너지의 고갈문제로 인해 신재생 에너지에 대한 관심이 높아지는 추세에 있다. 비단 외국뿐만 아니라 우리나라의 경우도 세계적인 추세에 발맞추어 신재생에너지에 많은 관심을 보이고 있으며 다양한 신재생에너지가 개발되고 있다. 물론 아직까지 경제성의 측면에서 비교해보면 신재생에너지는 기존의 발전원과 비교했을때 경제성이 부족한 상태이다.

현재 신재생에너지를 이용한 발전방식중에서 가장 경제성을 갖추고 있는 발전원은 풍력을 이용한 발전이다. 태양력을 이용한 태양광이나 연료전지 등은 실용화 및 상업화 측면에서 풍력에 많이 뒤떨어져 있다. 외국의 경우 대단위 풍력발전단지가 상업운전을 하는 나라도 많으며 계속된 기술개발을 하고 있다. 유럽지역의 덴마크, 독일, 스페인 등의 나라에서는 이미 많은 풍력발전단지가 건설되어 있어 상업운전을 하고 있으며 그 기술수준도 높다. 풍력발전의 건설 추세는 점차적으로 대단위 풍력발전단지를 건설하려고 하며, 발전기 하나의 용량도 증가추세에 있다.

용량이 작은 풍력발전단지의 경우 배전단에 연결하여 사용하면 계통에 큰 영향을 주지 않는다. 그러나 상대적으로 작은 계통에 대규모 풍력발전단지를 건설하면, 그 영향은 무시할 수 없다. 풍력발전의 기술이 아무리 발달하여도, 바람의 간헐성에 의해 출력이 일정하지 않으며 인위적인 제어가 힘들기 때문이다. 풍력발전단지의 위치를 결정하려면 무엇보다도 일정한 바람이 부는 장소가 필요하다. 특히 평균 풍속 뿐 아니라 전체적으로 고른 풍속을 보이는 지역에 건설되어야 한다.

현재 우리나라의 경우는 영덕과 제주 행원등지에 풍력발전단지가 건설되어 있으나 모두 전용선로를 통하여 배전단에 연결되었다. 향후 대용량 풍력발전단지가 건설된다면 송전급 계통연계 또한 고려해볼만 하다.

제주도의 경우 관광특구인 만큼 화력, 원자력 발전이 건설되기 어려운 실정이다. 또한 바람이 많이 불기 때문에 이미 행원, 한경등에 풍력발전단지가 건설되어 있으며 향후 대규모 풍력발전단지의 건설이 예상된다. 제주

2. 본 론

2.1 모의환경 구성

2.1.1 제주도 계통

본 논문은 제주도 전력계통에 풍력발전단지가 설치되었을때의 영향을 평가하는데 목적이 있다. 차후에 이루어질 대규모 풍력발전단지의 건설을 대비하여 2011년 예상 제주도 전력계통을 이용하여 모의를 수행한다.

<표 1> 2011년 제주도 전력계통 개요

발전기	모선	부하량(MW)
18	31	688.9

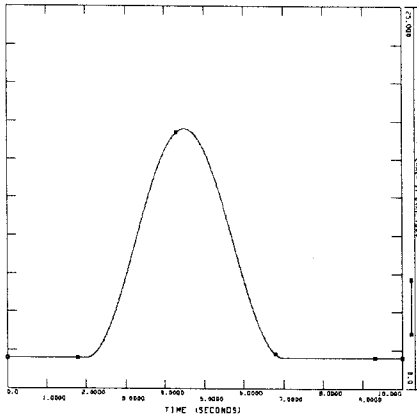
2.1.2 풍력발전기 모델

본 모의는 Shaw Power Technologies, Inc(구 PTD)의 PSS/E ver 30을 이용하여 수행되었다. 풍력발전 모의를 위하여 PSS/E에서 제공하는 풍력발전기 모듈을 사용하여 모의를 수행하였다. 사용된 풍력모듈은 GE사의 3.6MW급 풍력발전기를 바탕으로 만들어진 모델이다. 모듈을 이용하여 풍력발전기를 계통에 설치하게 되면 새로운 모선을 만들어 그 모선에 풍력발전기가 모두 연결되는 형태를 가진다. 발전기의 정출력인 3.6MW를 위해서는 최소 12m/s의 바람의 필요하며, 그 이하의 풍속에서는 발전량이 감소하게 된다.

2.2 모의 시나리오

2.2.1 시나리오 1

첫 번째 모의 방법은 바람의 풍력발전기 설치 후 바람의 변동에 따른 계통의 영향을 파악하는 것이다. 정출력이 나오는 풍속인 12m/s 이상에서는 계통에 영향을 주지 않는다. 풍력발전의 불안정한 측면을 모의하기 위하여 정격풍속에 미치지 못하는 5m/s의 풍속에서 돌풍이 5초간 불고 다시 5m/s의 풍속으로 돌아오는 바람을 이용하여 모의를 수행하였다. 사용된 풍속은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 모의에 사용된 바람형태

바람의 변동에 대한 영향을 모의하기 위해 선택한 모션은 성산모션을 선택하였다. 성산모션의 경우 현재 상업운전중인 행원풍력발전단지과 근접해있고, 향후 풍력발전단지가 들어설 가능성이 높기 때문이다. 시나리오 1에서는 성산모션에 풍력발전단지의 용량을 <표 2>와 같이 설치하여 바람의 변동에 따른 계통의 변화를 살펴본다.

<표 2> 풍력발전기 투입량

풍력발전기	용량(정격기준)
10기	36MW
20기	72MW
30기	108MW
40기	144MW

2.2.2 시나리오 2

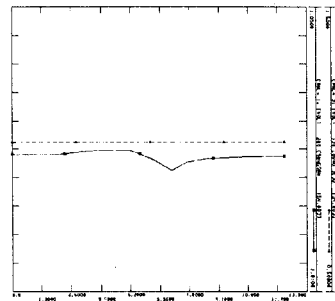
두 번째 시나리오는 풍력발전단지의 계통탈락을 고려한 상정사고를 이용하여 영향을 파악해본다. 풍력발전의 특성상 출력이 굉장히 변동적이며, 바람이 적을 경우 발전을 멈출 가능성도 있기 때문에 이러한 상정사고를 통하여 계통에 미치는 영향을 파악할 필요가 있다. 시나리오 1과 마찬가지로 <표 2>와 같이 풍력발전기를 투입한 후, 정상상태에서 풍력발전기를 탈락시켜 그 영향을 파악해본다.

2.2.2 시나리오 3

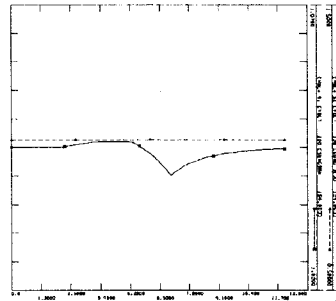
풍력발전단지의 입지는 여러 요건을 고려해야 한다. 우선적으로 고려해야 할 사항은 당연히 바람에 관련된 환경적인 측면이다. 이에 덧붙여 풍력발전단지의 계통방입으로 인한 송전손실을 고려해볼 필요성이 있다. 본 논문에서는 '성산', '한라', '표선', '신서귀', '동제주'의 총 5개의 버스에 36MW급의 풍력발전단지를 설치하여 각각의 경우에 대한 송전손실을 비교하여 전기적 측면에서 확인할 수 있는 최적의 입지를 찾아본다.

2.3 모의 결과

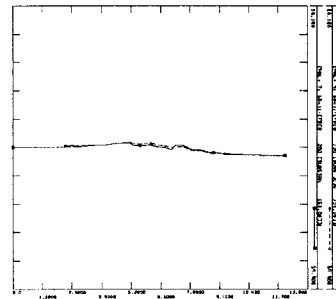
2.3.1 결과 - 시나리오 1



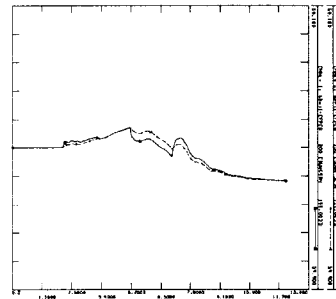
<그림 2> 풍력 36MW 전압



<그림 3> 풍력 144MW 전압



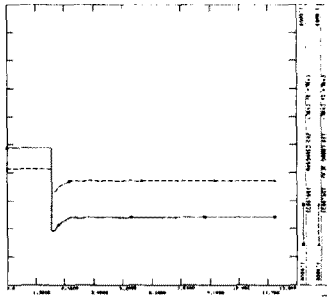
<그림 4> 풍력 36MW 주파수



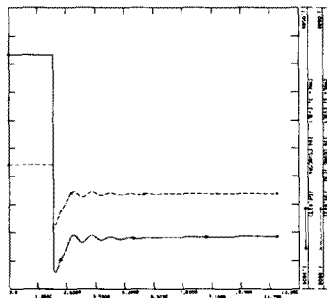
<그림 5> 풍력 144MW 주파수

결과를 살펴보면 정출력이 나오지 않는 풍속 5m/s로 시작하여 돌풍이 불고난 후의 전압과 주파수를 나타내고 있다. 집선은 제주도에서 부하가 많은 지역중의 하나인 동제주 모선의 전압 및 주파수를 나타내며 실선은 풍력발전기가 설치되는 성산모션을 나타낸다. 결과를 살펴보면 돌풍에 의하여 영향을 받는 것이 보이며, 용량에 커짐에 따라 그 영향이 증가하는 것을 볼 수 있다.

2.3.2 결과 - 시나리오 2



<그림 7> 36MW 풍력발전 탈락



<그림 8> 144MW 풍력발전 탈락

<그림 7>과 <그림 8>은 일정 크기의 풍력발전량을 계통에서 탈락시켰을때의 전압을 보여준다. 시나리오 1과 마찬가지로 점선은 동제주 모선, 실선은 성산 모선을 나타낸다. 144MW 용량의 계통 탈락은 제주도 전체 발전량의 상당부분을 차지하기 때문에 그 영향을 무시할 수 없다. 향후 제주도의 풍력발전 비율을 높이는 경우, 풍력발전단지의 발전량을 신뢰할 수 있는가의 문제가 고려되어야 할 것이다. 풍력발전단지의 출력이 갑자기 낮아지면, 그에 대한 영향을 기존의 발전원이 감당해야 하기 때문이다.

2.3.3 결과 - 시나리오 3

시나리오 3의 모의 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 송전손실 비교

풍력발전기 투입위치	송전손실	
	유효전력(MW)	무효전력(MVAR)
한라	8.14	449.14
표선	7.98	448.78
신서귀	8.22	449.2
성산	7.64	447.75
동제주	8.44	440.2

같은 용량의 풍력발전량을 투입하더라도 제주도 계통의 송전손실에는 차이가 존재한다. 송전손실분이 큰 편은 아니지만 36MW의 투입시에 얻은 결과이기 때문에 향후 대규모의 풍력발전단지가 투입이 된다면 풍력발전단지의 입지에 하나의 참고사항으로 고려할 수 있을 것이다.

3. 결 론

지금까지 풍력발전의 투입으로 인한 제주도 계통의 영향에 대하여 알아보았다. 모의를 통하여 36MW의 풍력발전단지에서부터 144MW의 풍력발전단지까지 모의를 수행하였으며, 바람에 의한 변동 및 풍력발전단지의 탈락이라는 상정사고를 고려하여 모의를 수행하고 결과를 살펴보았다. 36MW급의 풍력발전단지는 기존의 제주도 계통의 발전량에 비하여 용량이 작기 때문에 영향이 미미하였다. 그러나 144MW의 경우 주파수나 전압이 약간 저하되는 경향을 보였기 때문에 향후 제주도의 풍력발전 건설에 있어 계통에 대한 영향을 고려해야 함을 보여준다. 또한 시나리오 3에서는 36MW급의 풍력발전량을 이용하여 5가지 경우의 송전손실을 계산하고, 손실에 따른 풍력발전단지의 최적입지를 계산해보았다. 비록 용량이 작아 큰 손실의 차는 보이지 않았으나 풍력발전단지의 입지에 참고할만한 자료가 될 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] P. Gardner, "Wetwork connection of large wind turbines," International Power Generation Journal, Vol. 18, pp. 58-63, 1995.
 [2] Reza, M.; Schavemaker, P.H.; Sloopweg, J.G.; Kling, W. L.; van der Sluis, L.; "Impacts of distributed generation penetration levels on power systems transient stability" Power Engineering Society General Meeting, 2004. IEEE , 6-10 June 2004
 [3] PSS/E 30, On-line Documentation, Power Technologies, inc.,
 [4] Usaola, J.; Ledesma, P.; Rodriguez, J.M.; Fernandez, J.L.; Beato, D.; Iturbe, R.; Wilhelmi, J.R.; "Transient stability studies in grids with great wind power penetration. Modelling issues and operation requirements", Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE , Volume: 3 , 13-17 July 2003
 [5] P. Kundur, Power system stability and control, New York, US: McGraw-Hill, Inc., 1994.