

풍력발전기를 이용한 전압 안정도 향상에 관한 연구

김형택, 김세호, 강명석
제주대학교

A Study on Improving Voltage Stability using WTGs

Hyoeng Taek Kim, Se Ho Kim, Myeong Seok Kang
Jeju National University

ABSTRACT

전력 계통에서 풍력발전기 용량의 증가는 계통운영자에게 계통 신뢰도 및 안정도 유지를 위한 새로운 방법론을 제시하게 한다. 풍력발전기의 불확실성과 가변성은 고스란히 계통에 영향을 끼치며, 계통 운영자는 이로 인해 변화되는 계통 상황을 분석하고 계통 신뢰도 유지를 위한 적절한 기준과 장치를 마련해야 할 것이다.

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 풍력발전기의 용량에 따라 변화되는 선로의 무효전력 및 모선 전압을 검토하고 풍력발전기 전기제어 시스템에서의 제어방식에 따라 계통에 미치는 영향을 평가하였다.

1. 서론

풍력발전기는 풍속변화에 따라 발전량이 결정되기 때문에 기존 화력발전기와 달리 전력시장의 급전지령에 응할 수 없다. 풍속의 가변적인 특징을 갖는 풍력발전기는 계통과 연계되었을 때 이러한 특징을 고스란히 반영하게 된다. 풍력발전기의 출력 변화는 계통 주파수와 모선 전압 변동을 유발하여 계통이 불안정하게 된다. 따라서 적절한 풍력발전기 계통연계 기준이 제시되어 계통안정운영을 위한 방안이 모색되어야 할 것이다.^[1]

2. 본론

풍력발전기는 비급전원으로 기존 화력발전기와 달리 수요의 요구에 따라 전력공급이 불가능하다. 따라서 계통운영자 입장에서 풍력발전기는 발전원이 아닌 부하로 여기어 급전계획을 수립하게 된다. 즉, 풍력발전기의 출력변동량을 기존 화력발전기가 부담하도록 발전계획을 수립하게 된다. 현재까지 전력계통에서 풍력발전이 차지하는 비율이 낮기 때문에 계통에 미치는 영향력이 크지 않지만, 향후 대규모 풍력단지가 조성된다면 그 영향력은 더욱 커질 것이다. 또한 풍력발전기의 출력변동은 계통 주파수 및 인근 모선전압의 변동을 유발하여 신뢰도와 전력 품질을 저하시킨다. 계통 신뢰도 및 전력품질 향상을 위해서는 풍력발전기의 유효전력 제어를 통해 출력변동률을 줄이거나 적절한 무효전력 공급 장치가 요구된다.^[3] 무효전력은 유효전력과 달리 송전선 등을 흐를 때 생기는 손실이 크기 때문에 제어 지점과 가까운 근방에서만 효과가 있다. 풍력발전기 인근 모선 전압의 안정도 유지를 위해서는 풍력발전기로부터 계통에

적절한 무효전력을 공급해야 할 것이다.

2.1 풍력발전기를 포함하는 전력계통

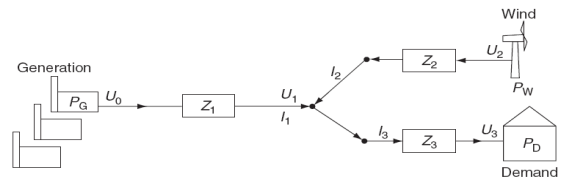


그림 1 풍력발전을 포함하는 계통도

$$P_G = P_D + P_L - P_W \quad (1)$$

$$P_L = \text{electrical losses} \in \text{the impedances } Z_1 - Z_3;$$

그림 1은 풍력발전기가 연계된 전력 계통도를 간략히 나타낸 것이다. 풍력발전기로부터의 출력 P_W 가 변동되는 만큼 I_2 가 가변되며, I_3 와 I_2 의 차만큼 I_1 은 다시 가변된다. 따라서 계통 접속점에서의 전압 U_1 은 I_1 에 의해 변동되며, 이는 Z_1 에 따라 전압강하 정도가 결정된다. 여기서 Z_1 가 작다면 부하 측 전압 U_3 는 풍력발전의 변동성과 다소 독립적이게 된다. 결국 선로의 임피던스 ($Z_1 - Z_3$)에 따라 풍력의 변동성으로 인해 계통에 미치는 영향이 달라진다.^[2]

다음은 풍력발전기의 출력변동에 따라, 인근 모선전압의 안정도 문제를 해결하기 위한 방법을 나타낸 것이다.

1. 임피던스 Z_1 와 Z_3 를 작게 하여 풍력발전기의 변동에 의한 계통 접속점의 전압 변동을 최소화 한다.
2. U_1 와 U_3 인근에 제어 가능한 변압기를 설치하여 전압을 제어 하거나 전압을 제어할 수 있는 전력용 콘덴서나 분로 리액턴스를 인근 모선에 설치한다.
3. 풍력발전기로부터 계통으로 무효전력을 공급하여 모선 전압 변동을 최소화 한다.^[2]

2.2 모의 계통

풍력발전기의 출력변화에 따라 계통에 미치는 영향을 분석하기 위해 다음 두 가지 case에 대해 검토하였다.

CASE 1 : 부하에 대한 선로의 무효전력 및 전압 검토
(풍력발전기 역률 1로 운전한다고 가정)

CASE 2 : 풍속 변화에 따라 변화되는 출력에 대해 무효전력 공급 유·무의 따라 선로의 무효전력 손실 및 전압 검토

표1은 PSCAD/EMTDC를 이용한 모의 계통 실험의 풍력발전 용량 및 부하조건을 나타낸 것이다. 같은 조건하에 두 가지 case에 대해 검토되므로 선로 정수의 크기에는 큰 의미를 부여하지 않는다. 그림2는 모의실험을 위한 계통도를 나타낸다. 풍력발전기의 출력변화에 대한 계통 영향을 분석하기 위해서 선로에는 무효전력 공급을 위한 장치는 배제되었다.

표 1 풍력발전 용량 및 부하조건

풍력발전용량(pf=0.835)		부하(pf=0.96)	
P(MW)	Q(Mvar)	P(MW)	Q(Mvar)
10	5.50	20	5.83
30	16.51	60	17.50
50	27.51	100	29.17
70	38.52	140	40.84

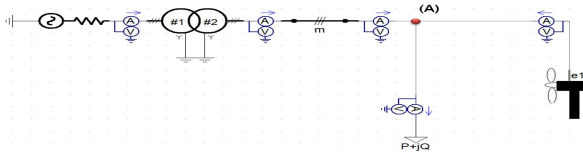


그림 2 모의 계통도

2.3 시뮬레이션 결과

풍력발전기의 무효전력 공급 유·무에 따라 계통에 미치는 영향과 가변풍속에 따라 변화하는 전압과 무효전력 손실을 각각 분석하였다. 그림3,4는 풍력발전기 용량별 선로의 임피던스에 의한 무효전력 손실을 나타낸 것이다. 풍력발전기가 무효전력을 계통으로 공급할 경우, 선로 임피던스로 인한 무효전력 손실을 보상하여 전압 변동이 줄어든다. 하지만 풍력발전기가 무효전력을 공급하지 않을 경우, 다른 전원에서부터 선로의 무효전력 손실분을 모두 부담하므로 그림2에서 A지점의 전압은 저하하게 된다.

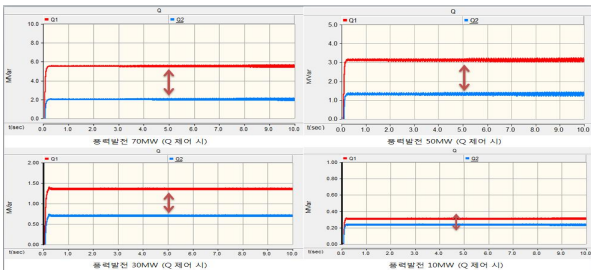


그림 3 풍력발전 용량별 선로 무효전력 (Q 제어 시)

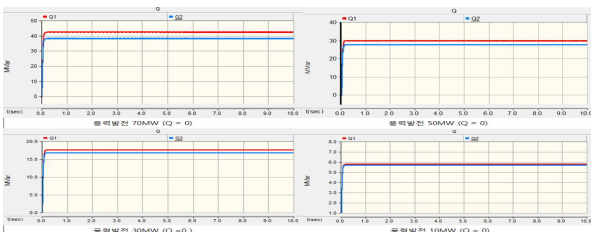


그림 4 풍력발전 용량별 선로 무효전력 (Q=0)

그림 5는 풍력발전기(70MW)의 무효전력 공급 유·무에 따라 변화하는 모선전압 곡선을 나타낸 것이다. 무효전력을 공급하지 않을 경우 모선전압이 22.20kV로 기준 전압(22.9kV)을 크게 벗어나지만, 무효전력을 계통 측으로 공급할 경우 전압이 22.83kV로 기준전압을 크게 벗어나지 않았다.

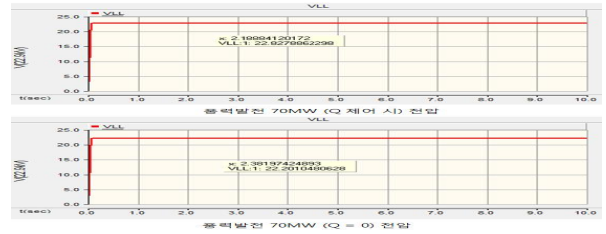


그림 5 풍력발전(70MW)의 무효전력 공급 유무에 따른 전압 곡선

그림 6는 가변 풍속으로 인해 변화되는 풍력발전량이 계통에 미치는 영향을 분석한 것이다. 풍력발전기의 무효전력은 역률 0.835~0.95(지상, 진상)의 범위에서 제어되도록 구성하였으며, 모선전압은 풍력발전기로부터 공급되는 무효전력에 비하여 기준 전압(22.9kV)에 가깝게 유지되었다. 이와 달리 풍력발전기가 계통 측으로 무효전력을 공급하지 않을 경우, 모선 전압 변동은 크게 나타났다. 이는 풍력발전기의 출력변화로 인해 A지점으로 흘러가는 전류가 변하게 되며, 그로 인해 부하 측으로 흐르는 전류가 변하여 A지점의 전압이 변동되는 것이다.

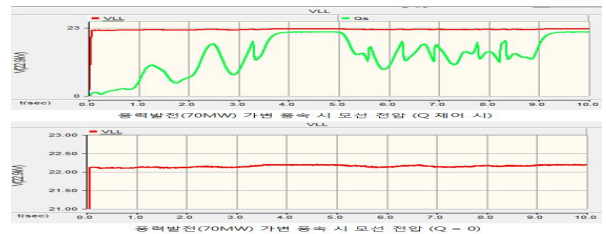


그림 6 가변 풍속 시 풍력발전(70MW)에 대한 모선 전압

3. 결론

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 가상 계통을 구현하고 풍력발전기 용량별 선로의 무효전력 및 전압 변화를 검토하였다. 실험결과 무효전력을 공급할 경우 선로의 임피던스에 의한 전압 강하 현상을 방지할 수 있었으며, 가변 풍속으로 인해 변화되는 풍력발전량으로 인한 계통 영향을 최소화 할 수 있었다.

본 논문의 실험결과로부터 풍력발전기의 적절한 무효전력 공급은 풍력단지 인근 모선전압의 안정도 향상에 기여할 것으로 기대된다.

이 논문은 지식경제부 한국에너지평가원 풍력특성화대학원 인력양성사원의 지원을 받아 연구한 논문입니다.

참고 문헌

- [1] 최영도 외 4명, “제주계통 풍력발전단지의 무효전력특성 분석”, Vol6, 6 25page, 2010.6.21
- [2] Thomas Ackermann “Wind Power in Power Systems”, John Wiley & Sons, Ltd
- [3] 문승일, “제주도 풍력발전의 한계운전 용량 산정과 활성화 방안”, 전기의 세계, 제57권 제 4호, pp67 73, 2008