2011년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2011. 7. 20 - 22

PSCAD/EMTDC를 이용한 풍력발전 연계계통에서의 정상상태 순시전압특성 해석

손준호*, 노대석*, 김찬혁**, 왕용필**
한국기술교육대학교*, 한국전기산업연구원**

Analysis of Steady-state Voltage Characteristics in Distribution System with Wind Power Using PSCAD/EMTDC

Joonho Son*, Daeseok Rho*, Chanhyeok Kim**, Yongpeel Wang**
Korea University of Technology and Education*, ERIK**

Abstract - 국가의 녹색성장 정책으로 풍력 및 태양광 등의 신·재생에너지가 배전계통에 지속적으로 연계 운용될 것이다. 하지만 태양광 및 풍력의 출력변동으로 배전계통 전압품질에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 여기에 더하여 부하특성에 의한 부하전류 변동 또한 전압문제에 직접적으로 영향을 미친다. 이에 따라 본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 통해 가장 많이 이용되고 있는 부하모델인 ZIP모델을 이용하여 각각의 부하특성과 3MW의 풍력이 배전계통 말단에 연계된 경우를 상정하여 풍속 3[m/s]에서 12[m/s]로 급속한 변동시, 순시전압 데이터와 계통연계가이드라인 의 순시전압변동 기준과 비교/분석을 통해 부하별 풍력발전의 전압변동특성을 해석하고자 한다.

1. 서 론

정부의 녹색성장 정책에 의하면 2030년까지 전체에너지전원 중 신재생에너지의 비중은 전체 에너지원의 7.6%를 차지할 전망이다. 그리고 2008년도 지식경제부의 신재생에너지전원 중 풍력의 보급전망은 2020년 37%, 2030년 42%이다. 현재 풍력은 배전계통에 전용선로에 주로 연계되어 실 계통에 미치는 영향은 미미하지만, 향후 3[MW]이상의 대규모 풍력발전이 일반 배전선로에 확대 운용되면 기존의 부하모델의 특징 및 역조류로 인해 정상상태에서 고압 및 저압 배선선로의 순시전압상승 및 강하와 같은 전압품질 문제를 야기할 수 있다.

2. 순시전압 변동 계통연계 기준

분산전원의 연계기준은 한전에서 제정하여 사용하고 있는 신 에너지 전원의 계통연계가이드라인(2006년 1월)에 근거한다. 세부적인 항목은 총 11개의 항목으로 분류되며, 본 논문에서는 순시전압변동을 기준으로 시뮬레이션을 분석하였다.

2.1 특고압 배전선로 연계지점의 순시전압 변동

특고압 배전선로에서 순시전압변동 분산형 전원 발전설비의 연계로 인한 특고압 계통의 상시 전압변동(30분 평균값)은 2%이하, 순시 전압변동(2초 이하)은 2%이하로 한다. 즉 분산형전원 발전설비의 빈번한 출력변동과 빈번한 병렬 분리에 의한 전압변동으로 인하여, 특고압 계통의 상시전압이 공급전압 변동범위(12,000~13,800V / 20,800~23,800V)를 벗어날 우려가 있다.

2.2 저압 배전선로 연계지점의 순시전압 변동

분산형 전원 발전설비의 연계로 인한 저압계통의 상시 전압변동(30분 평균값)은 3% 이하, 순시 전압변동(2초 이하)은 4%이하로 한다. 분산형 전원 발전설비의 출력변동 및 빈번한 병렬분리에 의한 전압변동으로 저압계통의 상시전압이 적정치(220 ± 13V, 380 ± 38V)를 벗어날 우려가 있다.

3. ZIP 모델

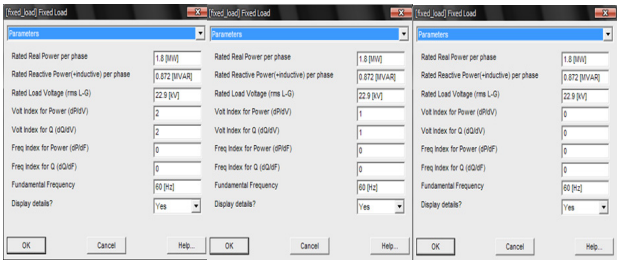
부하에서 쓰이는 유·무전력이 특별히 부하전압에 의존하는 부하들을 3가지형태로 표현할 수 있다. 임피던스(Constant Z)부하는 부하가 소비하는 전력이 전압의 제곱에 비례하여 변화하는 부하이다. 즉 전압이 저하함에 따라 그 제곱으로 소비 전력이 감소하며 전등 및 열부하가 이에 해당된다. 정전류(Constant I)부하가 소비하는 전력이 전압의 변화와 비례하여 변화하는 부하이다. 전압이 저하함에 따라 소비 전력도 비례적으로 감소하며 저항과 모터 장치가 이에 해당된다. 정 전력(Constant P) 부하는 부하가 소비하는 전력이 전압의 변화와 무관한 부하이다. 소비전압이 저하되면 소비전력은 변하지 않고 부하 전류가 증가하여 급격한 전압 강하특성을 보이며 이 부하는 조류계산 활용되지만, 큰 전압변동이나 과도안정화 해석하는데 문제가 있다. 상기의 3가지 부하를 일컬어 다항식 모델 또는 ZIP모델이라고 하며 식 (1)과 같이 표현된다. 즉 이 모델은 일정 어드미턴스, 전류, 전력의 합으로 표시하며, 주파수특성은 대개 1차식의 부가적인 표현으로 생략하여 전압에 대한 관계식만으로 표현한다. ZIP모델은 가장 많이 활용되고 있는 부하모델방법이며 만약부하에 대한 자세한 정보가 없다면 유효전력은 보통 정전류, 무효전력은 정임피던스에 의해서 표현된다. 실배전계통의 전체부하 중 정임피던스 부하 30%, 정전류 부하 20%, 정전력 부하 50%이다.

$$P = P_0[a_1(\frac{V}{V_o})^2 + a_2(\frac{V}{V_o}) + a_3]$$
$$Q = Q_0[a_4(\frac{V}{V_o})^2 + a_5(\frac{V}{V_o}) + a_6] \quad (1)$$

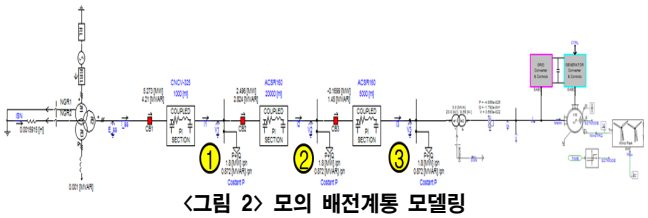
여기서, V_0, P_0, Q_0: 정격 전압, 정격 유·무효전력, $a_1 \sim a_6$: 부하계수, V, P, Q : 부하 전압, 부하에서 실제 소비하는 유·무효전력

4. PSCAD/EMTDC를 이용한 모델링

PSCAD를 이용한 ZIP모델 선정은 그림 1과 같다. PSCAD의 Fixed Load 소자를 이용하여 정임피던스는 $(\frac{dP}{dV})^2$, $(\frac{dQ}{dV})^2$ 정전류는 $(\frac{dP}{dV})^1$, $(\frac{dQ}{dV})^1$, 정정력은 $(\frac{dP}{dV})^0$, $(\frac{dQ}{dV})^0$으로 파라미터를 설정하였다. 그리고 피크부하를 제외한 오전8~11, 오후 16~19대의 평균부하로 1피더당 총 6[MW]의 부하를 선정하였다. 배전용 변전소, 배전선로, 3[MW]의 풍력발전 그림 2와 같이 모델링 하였으며 모델링 세부제원은 표 1과 같다.



<그림 1> ZIP모델(좌: 정임피던스, 중: 정전류, 우: 정전력)



<그림 2> 모의 배전계통 모델링

<표 1> 모의 배전계통 제원

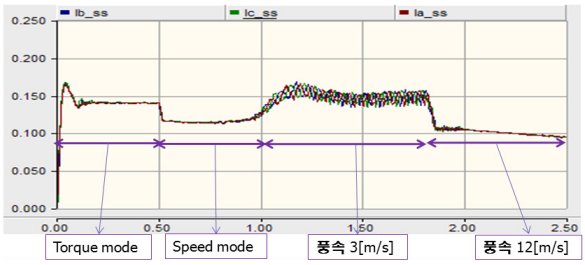
종 류		내 용
배전용 변전소		45[MVA]
계통 기준전압		22.9[kV]
역 률		0.9
배전선로		CNCV-325, ①지점 1[km], ACSR -160, ②지점 20[km], ACSR-160, ③지점 5[km]
ZIP 모델	Case 1	Constant Z ①,②,③지점 2[MVA]
	Case 2	Constant I ①,②,③지점 2[MVA]
	Case 3	Constant P ①,②,③지점 2[MVA]
풍 력		DFIG, 3[MW]

5. 시뮬레이션 및 분석

풍력 시뮬레이션 조건은 표 2과 같이 선정하여 풍력발전의 유·무에 따른 Case 1(정임피던스 부하), Case 2(정전류부하), Case 3(정전력부하) 각각에 대해서 풍력발전이 풍속 3[m/s]에서 12[m/s]로 급속한 변동시 순시전압변동데이터를 수집/분석 하였다. 그림 3은 정임피던스 부하인 경우 배전용변전소에서 수집한 전류데이터이다. 1.8초 이후 풍속이 급속하게 증가하여 부하전류가 최대 60[A]까지 증가되었음을 알 수 있다.

〈표 2〉 풍력 시뮬레이션 조건

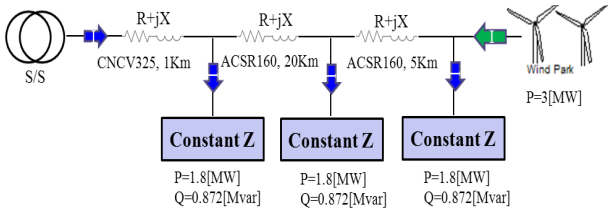
DFIG 용량	3[MW]
모드	0 ~ 0.5[s] -> Torque 0.5~ 1[s] -> Speed
정격 풍속	0 ~ 1.8[s] -> 3[m/s] 1.8 ~ 2.5[s] -> 12[m/s]



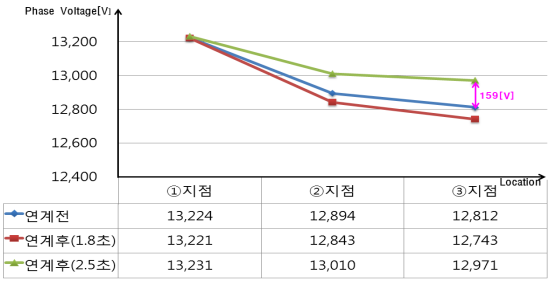
〈그림 3〉 3[MW] 풍력 연계시 전류 변동

5.1 Case 1(정임피던스 부하인 경우)

정임피던스 부하인 경우 그림 4의 모델계통에서 그림 5의 결과를 얻었다. 즉 연계전 전압보다 12[m/s]에서 159[V]의 전압상승을 보였다.



〈그림 4〉 Case 1 모델계통

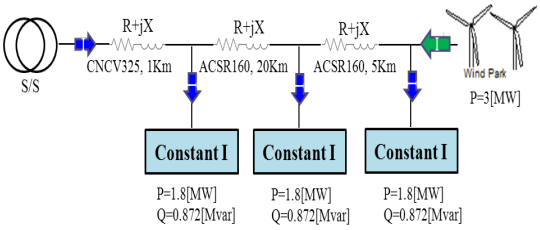


	①지점	②지점	③지점
연계전	13,224	12,894	12,812
연계후(1.8초)	13,221	12,843	12,743
연계후(2.5초)	13,231	13,010	12,971

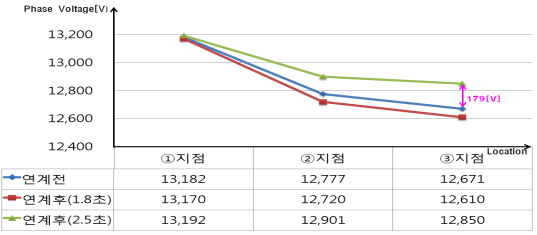
〈그림 5〉 Case 1 결과 그래프

5.2 Case 2(정전류 부하인 경우)

정전류 부하인 경우 그림 6의 모델계통에서 그림 7의 결과를 얻었다. 즉 연계전 전압보다 12[m/s]에서 179[V]의 전압상승을 보였다.



〈그림 6〉 Case 2 모델계통

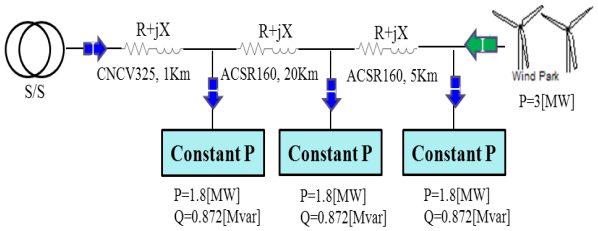


	①지점	②지점	③지점
연계전	13,182	12,777	12,671
연계후(1.8초)	13,170	12,720	12,610
연계후(2.5초)	13,192	12,901	12,850

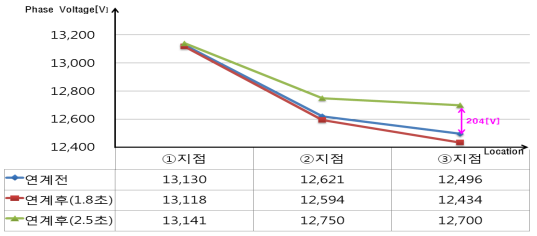
〈그림 7〉 Case 2 결과 그래프

5.3 Case 3(정정력 부하인 경우)

정전력 부하인 경우 그림 8의 모델계통에서 그림 9의 결과를 얻었다. 즉 연계전 전압보다 12[m/s]에서 204[V]의 전압상승을 보였다.



〈그림 8〉 Case 3 모델계통



	①지점	②지점	③지점
연계전	13,130	12,621	12,496
연계후(1.8초)	13,118	12,594	12,434
연계후(2.5초)	13,141	12,750	12,700

〈그림 9〉 Case 3 결과 그래프

5.4 종합분석

풍력연계전 전압강하는 정전력 > 정전류 > 정임피던스의 순으로 부하 연계지점의 전압이 강하되었다. 그리고 풍속이 3[m/s]->12[m/s]로 급격하게 변동할 때에는 정전력 > 정전류 > 정임피던스 순으로 부하 연계지점 전압이 급격하게 상승하였다. 정임피던스, 정전류, 정전력 부하 모두 한전 순시전압 연계기준인 264[V](13200[V]의 2[%])이내임으로 연계기준에는 충족하지만, 그러나 일본의 연계기준(순시전압변동률 1[%]이내)을 적용하면 ZIP모델 모두 132[V]이상이므로 연계가 불가능함을 알 수 있었다. 배전계통에 부하의 특성별로 3[MW]의 풍력을 고려하면 다음과 같다. 정임피던스 부하는 오전의 활동시간과 오후 가정부하 및 조명부하가 집중되는 일몰시간대 부하상승으로 쌍봉형의 곡선 형태인 주택용 부하와 전형적인 근무시간 부하형태로 심야, 주간부하로 형성되는 상업용 부하이다. 즉 동일한 부하용량에서 발생되는 부하전류는 다른 부하들보다 작기 때문에 실제 발생하는 전압강하는 작기 때문에 3[MW]이상의 풍력도 충분히 도입이 가능하다. 한편 정전류 부하인 경우, 동일한 부하용량에서 발생되는 부하전류는 정임피던스 부하 보다 크며 정전력 부하보다 작으므로 이 역시 계통상황에 따라 고려될 수 있다. 정전력 부하는 중·소규모의 제조업으로서 오전·오후의 쌍봉형 부하를 갖는 경공업 부하와 대규모 수용으로서 생산비 중 전력비비중이 높고 연속공정의 특성으로 고율요금의 주간가동 억제 저율요금의 심야가동이 증가하고 있는 중화학공업 부하이다. 이 부하는 동일한 부하용량에서 발생되는 부하전류는 다른 부하들보다 실제 발생하는 전압강하는 크게 되므로 3[MW]이상의 풍력발전이 도입될 수 없다. 한편, 배전계통의 부하특성이 정전력인 경우 풍력에 따른 계통전압의 과도한 변동으로 인하여 배전계통의 전압조정장치인 ULTC와 SVR의 동작횟수를 증가시킬 수 있음을 예상할 수 있다.

6. 결 론

상용소프트웨어인 PSCAD/EMTDC ZIP모델을 이용하여, 부하종류별로 3[MW]의 풍력이 배전계통 말단에 연계된 경우를 상정하여, 풍속이 3[m/s]에서 12[m/s]로 급격하게 변동하는 것을 상정하여, 부하종류별로 풍력발전의 출력변동에 따른 배전계통 순시전압 변동특성을 해석하여, 풍력발전 계통연계 조건을 평가하였다.

[참 고 문 헌]

[1] "분산전원 계통연계가이드라인", 한전, 2006.
[2] "분산전원 계통연계가이드라인", JEC'4201, 일본, 2002.4