

풍력발전시뮬레이터의 LVRT기능 연구

최영도, 서철수, 윤기갑, 박상호
한국전력공사 전력연구원

A Study on LVRT Capability of Wind Power Simulator

Young-do Choy, Chul-soo Seo, Gi-gab Yoon, Sang-ho Park
KEPCO KEPRI

Abstract - 본 논문은 풍력발전기의 일반적인 LVRT범위에서 계통의 stability와 quality를 충분히 보장하지 못하는 경우에 해당하는 worst case를 제시하고 전원의 순간 저전압 발생 시나리오를 구성을 바탕으로 2MW급 풍력시뮬레이터를 통한 LVRT 시험을 진행하여 그 결과를 확인한다.

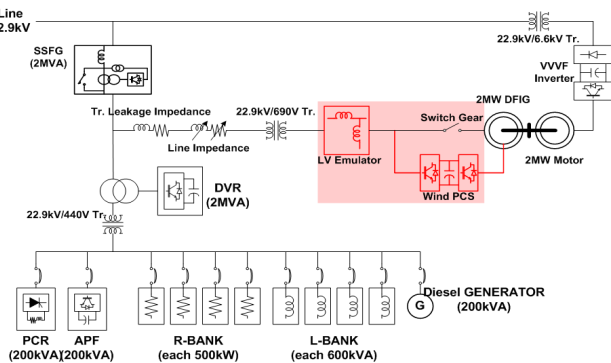
1. 서 론

신재생발전기(풍력발전기)를 전력계통에 연계하고자 하는 경우, 전력계통 운영자는 계통의 안정적인 운영을 위해서 발전기에서 출력되는 전압, 전류 및 주파수 등 여러 요소들의 제한값을 설정한다. 이를 Grid code라고 한다. Grid code의 주용 내용은 국가별과 지역별로 다르다. 풍력 발전기에 적용되는 Grid code는 크게 Static requirement와 Dynamic requirement로 나눌 수 있는데, 이 중 Static requirement는 풍력 발전기의 연속적인 운전에서 적용되는 요소들로 구성되며 전압 조정, 전압 품질, 역률제어, 유효전력 출력 제어, 주파수 및 Flicker 제어가 이에 해당한다. Dynamic requirement는 계통에서 사고가 발생하는 경우, 사고 발생동안 또는 이후에 적용되는 사항으로, Fault ride through capability와 Fault recovery capability가 이에 포함된다. 여기서 Static requirement는 별도의 언급이 없는 한, 풍력발전단지와 계통의 연계 기준점에서의 전력 교환 및 전압특성 등을 대상으로 하며, 이에 따라 개개의 풍력 발전기가 아닌 풍력 발전 단위로 적용된다. 이와는 반대로 Dynamic requirement는 각 풍력 발전기의 운전에 관련하여 제시된다. 전 세계적으로 이 dynamic requirement의 규정이 점점 강화되는 추세이고 심지어는 계통에서 사고 발생하였을 경우, 이를 복원할 수 있도록 무효전력 공급 능력을 요구하고 있다. 이에 본 논문은 계통에서 사고전압(평형 저전압 사고)이 발생했을 때 2MW DFIG-type 풍력발전기용 PCS의 저전압 사고극복(LVRT: Low Voltage Ride Through)기능에 대해서 시험하였고 결과를 확인한다.

2. 본 론

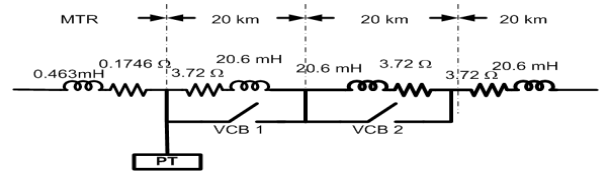
2.1 LV Emulator 시험회로 구성

전력품질 시험장에 설치된 풍력발전 시뮬레이터 회로는 그림 1과 같다. 전동기는 2MW, 6.6kV 농형 유도기를, 발전기는 2MW, 690V 권선형 유도기를 사용한다. 풍력발전용 PCS(Wind PCS)는 LS 산전에서 설치한 기존 제품의 결선을 해체하고, 효성에서 개발한 제품을 연결하였다. 또, 전력변환장치의 LVRT 기능 시험을 위하여 690V급 LV 모의장치(LV Emulator)를 시험회로에 추가하였다.



<그림 1> 전력품질실증시험장 시험회로

시험 설비의 주전원은 전력품질 시험장 외부에서 22.9kV의 전압으로 공급된다. 전동기를 구동하기 위한 전원은 변압기에서 6.6kV로 강압하여 VVVF인버터에 공급된다. VVVF 인버터는 Multi-level 방식으로, 회생 제동이 불가능하여, 계통에서 전동기 방향으로만 유효 전력을 공급할 수 있다. 시험 회로를 변경하기 이전에 VVVF 인버터는 전동기의 회전속도를 제어한다. 발전기의 주전원은 SSFG를 통해서 공급된다. SSFG는 계통에서 발생 가능한 Sag, Swell, 그리고 Flicker를 모의할 수 있는 장비이다. Sag, Swell, Flicker를 모의하지 않을 경우 SSFG는 by-pass 처리한다. SSFG 다음에는 송전선로를 모의하기 위한 임피던스가 위치한다. 발전기의 정격 전압이 690V이므로 변압기를 사용하여 22.9kV를 강압한다.

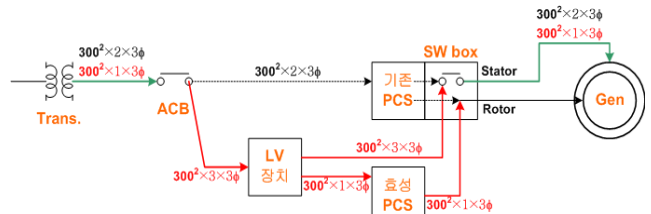


<그림 2> 선로임피던스의 구조

고장 KEPCO PT 센터 시험설비의 송전선로 모의 임피던스는 그림 2에서와 같이 154kV급 변압기의 누설 임피던스를 모의한 Tr. Leakage Impedance(0.174Ω+4.63mH)와 154kV급 송전선의 임피던스를 모의한 선로임피던스(3.72Ω+20.6mH)로 구성된다. 이 선로임피던스는 풍력발전기의 출력 변동이 계통에 미치는 영향을 극대화시키기 위해서 임피던스중에서 저항 성분을 정상적인 값의 1000배로 설정하였다. 높게 설계되어 있는 선로임피던스로 인하여 풍력발전기에서 공급하는 전류의 크기와 LV %의 크기가 증가 할수록 계통전압과 발전기단 사이의 위상차는 점점 더 커지게 되고 또한 주파수의 변동이 발생한다. 이 위상차의 커짐과 주파수 변동으로 인하여 계통측 컨버터(GSC)의 PLL의 과도상태에 따른 전류의 크기가 크게 상승하게 되는 결과를 야기하였다. 향후, 현재 설계되어 있는 선로 임피던스의 크기를 실제 선로 임피던스로 수정할 필요가 있다.

2.2 LV Emulator 시험설비 배선공사 구성

그림 3은 시험 설비에 대한 배선 공사 범위이다. 녹색으로 표시된 부분은 기존에 1.5MW기준으로 설치된 배선으로 2MW급 발전기 시험을 위해서 300 스퀘어 전선 1가닥을 보강하였다. 붉은색으로 표시된 부분은 이번 시험을 위해서 신규로 설치되는 배선이다.

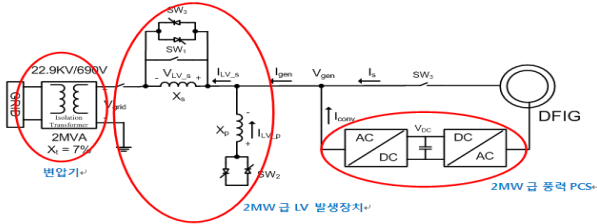


<그림 3> 시험 설비 배선 공사

2.3 LVRT 기능시험 회로도

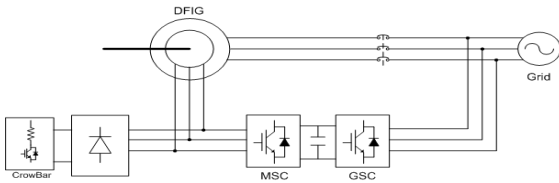
그림 4는 제작된 LV장치를 사용하여 풍력PCS(Power Conditioning System)의 LVRT기능을 시험하기 위한 전체적인

단선도를 나타낸다. 22900[V]를 690[V]로 변환하는 변압기, 690[V]발전단 전압을 강하시키기 위한 LV 발생장치와 2MW급 풍력PCS 및 DFIG타입의 발전기로 구성한다.



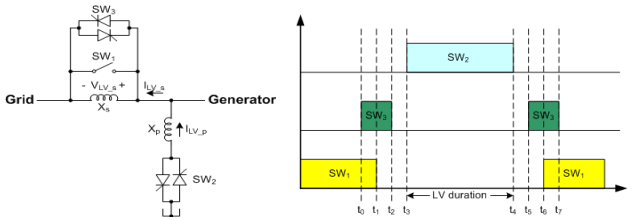
〈그림 4〉 LVRT 기능시험 단선도

2.4 LV모의 계통 연계시험



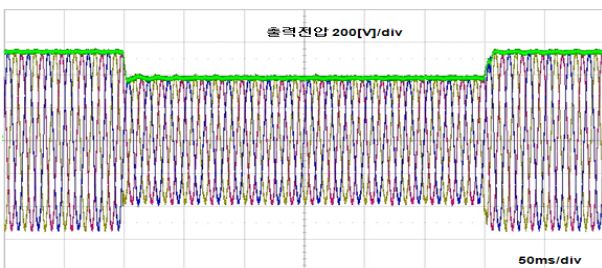
〈그림 5〉 회전자 과전류 보호를 위한 Crowbar회로

그림 5는 LV발생 시 계통과 지속적으로 연계하면서 무효전류 공급과 발전기 회전자 축 컨버터를 보호하기 위한 Crowbar회로이다. 회전자축에 3상 다이오드 정류기를 연결하고 정류기 출력 양단을 전력스위치(IGBT)와 저항으로 연결된 구조이다. 발전량 제어모드에서는 유효전력과 무효전력을 상위 제어기에서 요구하는 조건으로 운전하며 정격전압의 10% 이상 강하하고 컨버터 전류가 정격이상으로 상승했는지 감지한다. Crowbar 제어모드는 직류단 전압과 회전자 전류가 설정값 이상으로 상승했을 경우 Crowbar 스위치 ON, 설정 값 이하로 떨어졌을 경우 OFF시킨다.

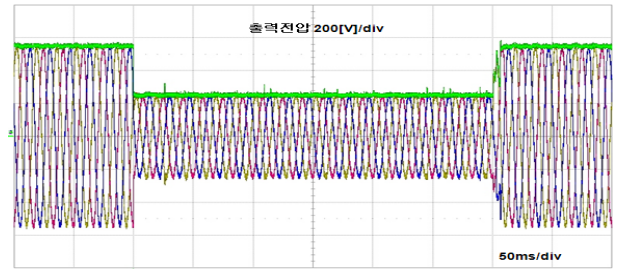


〈그림 6〉 LV 모의장치 구성도

계통(Grid)에서 입력된 690V 전압을 직렬 임피던스(X_s)와 병렬 임피던스(X_p)에서 분압하여 발전기에 공급한다. 강하시키려는 전압의 크기에 따라서 직렬 임피던스와 병렬 임피던스의 크기를 조정한다. 스위치는 직렬 리액터 단락을 위해서 SW_1 과 SW_3 를 사용한다. SW_1 과 SW_3 는 저압을 모의하지 않는 경우에 도통되고 저압을 모의하는 경우에 개방된다. SW_1 은 기계적 접점으로 동작하고 SW_1 과 SW_3 는 반도체 스위치를 사용하였다. 병렬 리액터의 도통을 위해서 반도체 스위치인 SW_2 를 사용한다. 저압을 모의할 때 SW_2 를 도통시킨다. 그림 6은 LV 모의장치 구성도에서 LV장치의 성능을 시험하기 위해서 2MW급 풍력 PCS를 개방하여 LV 20%에 대한 그림 7과 같은 결과를 얻었고 LV 50%에 대해서 그림 8과 같은 결과를 얻었다.

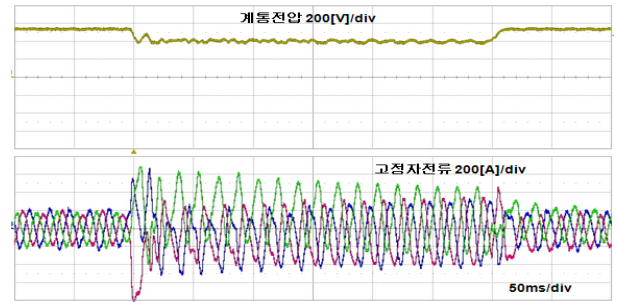


〈그림 7〉 LV 20% 시험결과



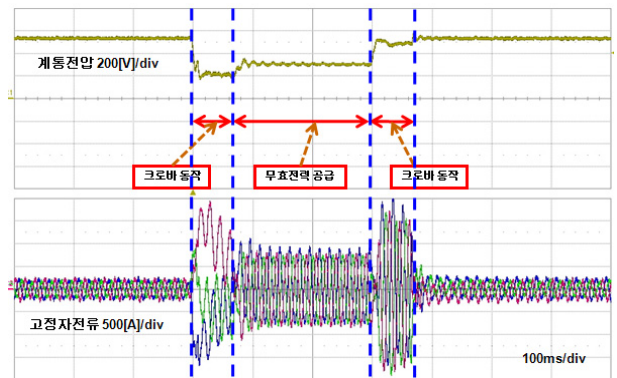
〈그림 8〉 LV 50% 시험결과

그림 9는 발전량 10%에서 LV 15%사고를 발생시켰을 경우 고정자 전류를 보인다. LV 20%에서는 고정자 전류는 정격이하에 머물러 있고 회전자 전류의 정격 역시 정격이하에 머물러 있기 때문에 Crowbar동작 없이 컨버터 제어만으로 극복(ride through)할 수 있음을 확인할 수 있다.



〈그림 9〉 LV 20%, 발전량 10%에서 고정자 전류 시험결과

그림 10은 발전량 10%에서 LV 30%사고를 발생시켰을 경우 고정자 전류를 보인다. LV 15%와는 다르게 LV 50%에서는 고정자 전류와 회전자 전류가 정격이상으로 상승하기 때문에 위에서 설명한 LV 상황에서의 모드별로 동작함을 확인할 수 있다. 또한 LV 상황에서 계통으로 무효전력을 공급함으로써 계통전압의 상승함을 확인할 수 있다.



〈그림 10〉 LV 50%, 발전량 10%에서 고정자 전류 시험결과

3. 결론

본 논문은 계통에서 사고전압(평형 저전압 사고)이 발생했을 때 2MW DFIG-type 풍력발전기용 PCS의 저전압 사고극복(LVRT: Low Voltage Ride Through)기능에 대해서 시험하였고 그 결과를 확인하였다. LVRT 시험 과정에서 선로 모의용 임피던스의 영향에 의해서 사고를 모의한 순간 풍력발전기에 공급되는 전압의 위상이 급변하는 문제가 발생하였다. 전압 위상이 급변하는 사고는 실제 사고에서는 극히 드문 경우이다. 위상 급변 문제를 해결하기 위해서는 선로 모의용 임피던스 값을 현실화하거나 선로 모의용 임피던스를 제거해야 할 것으로 사료된다.

[참고 문헌]

[1] Low voltage ride-thru technology, GE brochure, 2004.
 [2] Iov, F., Hansen, A.D., Sørensen, P., Cutululis, N.A., Mapping of grid faults and grid codes, Risø report, Risø-R-1617(EN), 2007.