

MW급 풍력발전기 LVRT/HVRT 시험장치의 제어 및 운영전략

남양현, 김병기, 김대진, 유경상, 윤승진, 김찬수
 한국에너지기술연구원 전력시스템연구팀
 e-mail:yh_nam@kier.re.kr

Control and Operation Strategy of LVRT/HVRT Test Facility on MW Scaled Wind Turbine

Yang-Hyun Nam, Byungki Kim, Dae-Jin Kim, Kyung-Sang Ryu,
 Seung-Jin Yoon and Chan-Su Kim
 System Convergence Laboratory, Korea Institute of Energy Research

요약

최근 세계 주요국들의 탄소중립 정책 발표에 따라 풍력발전기가 전세계적으로 활발히 보급되고 있다. 하지만 다수의 풍력발전기가 운전 중인 전력계통에서 일시적인 전압 편차에 의해 풍력발전기가 대규모로 탈락하게 된다면, 시스템 안전성에 위협이 될 수 있다. 이를 대비하기 위하여, 각 나라에서는 일시적인 고장 발생시에도 발전 유지기능을 만족할 것을 규정하고 있다. 따라서 본 논문에서는 대용량 풍력발전기의 LVRT/HVRT 성능을 평가하고, 신뢰성을 검증하기 위하여, LVRT/HVRT 시험장치의 운영전략을 제시하였다. IEC 61400-21-1에서 규정한 조건으로 LVRT/HVRT 시험장치를 이용하여 출력특성을 분석한 결과, 전압강하(상승)와 전압변동시간이 규정범위에 만족함을 확인하여 본 논문에서 제안한 시험장치의 운영전략의 유효성을 확인하였다.

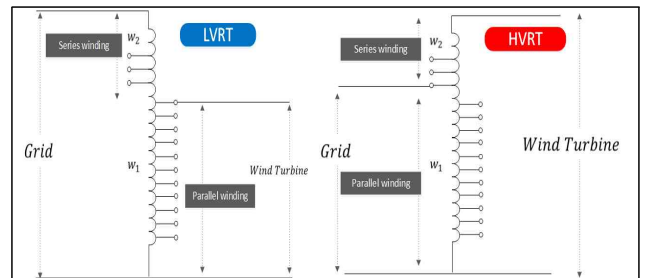
1. 서론

최근 세계 주요국들의 탄소중립 정책 발표에 따라 글로벌 풍력발전기 수요가 꾸준히 증가되고 있으며, 풍력발전기 개별 용량도 증가하는 추세이다. 우리나라도 정부의 그린뉴딜과 글로벌 친환경 기조에 따라 풍력발전 설비량이 점점 증가하고 있다. 하지만 다수의 풍력발전기가 운전 중인 전력계통에서 일시적인 전압편차에 의해 대규모로 풍력발전기가 탈락하게 된다면, 시스템 안정성에 위협이 될 수 있다. 이를 대비하기 위하여 계통운영상 안정성과 유연성이 보장되도록 각 나라에서는 계통연계 규정을 제시하고 있다. 특히, IEC 61400-21-1에서 풍력발전기가 일시적인 저전압 및 고전압 시 안정적인 연계운전을 유지할 수 있는 능력을 갖출 것을 권고하고 있다. 따라서 본 논문에서는 대용량 풍력발전기의 LVRT/HVRT 성능을 평가하고, 신뢰성을 검증하기 위하여, LVRT/HVRT 시험장치의 운영전략을 제시하였다. IEC 61400-21-1에서 규정한 조건으로 LVRT/HVRT 시험장치를 이용하여 출력특성을 분석한 결과, 전압강하(상승)와 전압변동시간이 규정범위에 만족함을 확인하여 본 논문에서 제안한 시험장치의 운영전략의 유효성을 확인하였다.

2. LVRT/HVRT 시험장치의 구성

2.1 단권변압기 방식에 의한 LVRT/HVRT 시험장치

단권변압기는 그림 1과 같이 하나의 권선으로 구성된 변압기로 중간 탭을 통해 직렬권선과 병렬권선으로 구분되며, 탭의 구성에 따라 입력전압을 승압 및 강압하여 출력할 수 있는 장점을 가진다. 또한, 단권변압기 기반 탭 변환 방식의 시험장치는 직렬 권선의 권수비 변환에 의해 전압 크기를 유연하게 조정이 가능한 장점을 가진다.

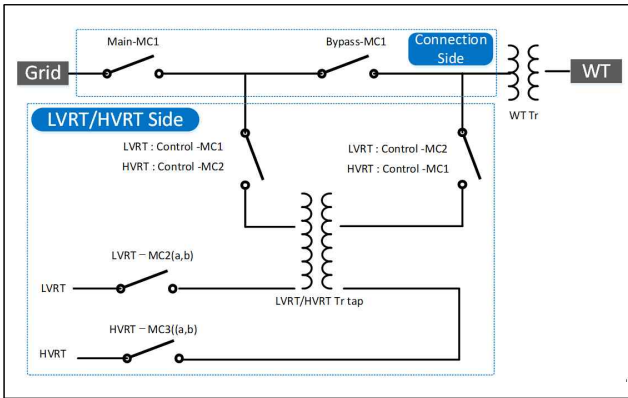


[그림 1] 단권변압기 방식의 LVRT/HVRT 시험장치

2.2 LVRT/HVRT 시험장치의 구성

LVRT/HVRT 시험장치를 운용하기 위해서, 저전압(LVRT)

시험과 과전압(HVRT) 시험에 따라 단권변압기의 배선방법을 변경하여야 한다. 본 논문에서는 풍력터빈이 계통에 연계되어 정상적으로 운전 중일 때, 저·고전압 시험이 이루어져야 하기 때문에, 다음과 같은 LVRT/HVRT 배선 방식을 고려한 운영 전략을 제안한다. 여기서 시험장치는 그림 2와 같이 계통과 풍력발전기 사이에 직접 연결되는 바이패스(Bypass-MC1) 차단기와 시험유형별로 적용되는 선택차단기 및 제어차단기로 구성된다.

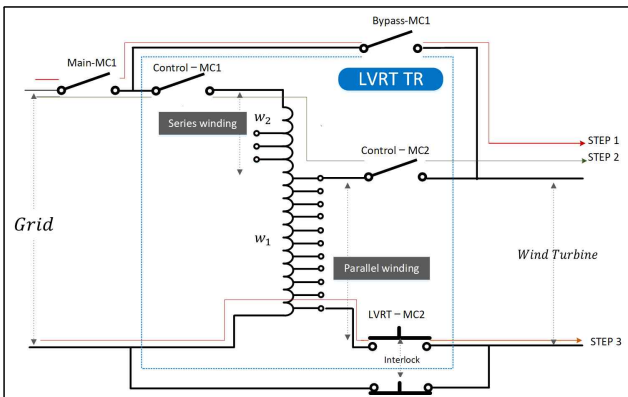


[그림 2] LVRT/HVRT 시험장비의 구성도

3. LVRT/HVRT 시험장치 제어 및 운영전략

3.1 LVRT 제어 및 운영전략

LVRT 특성시험을 수행하기 위해, 병렬권선과 직렬권선을 포함한 전체권선은 계통측에 연계되며, 전체권선 중 병렬권선은 풍력발전기 측에 연계된다. 제안된 연결 방법을 고려하여 풍력발전기가 정상적으로 발전하는 조건에서 LVRT 시험을 위한 동작 절차는 그림 3과 같이 총 3단계로 구성된다. 그리고 각 단계별 동작 전략은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 3] LVRT 시험의 운영 전략

(1) STEP 1: Main-MC1(주차단기)과 Bypass-MC1(바이패스차단기)이 Close되어 계통측과 풍력발전기측을 바이패스하여, 풍력발전기를 정상운전한다.

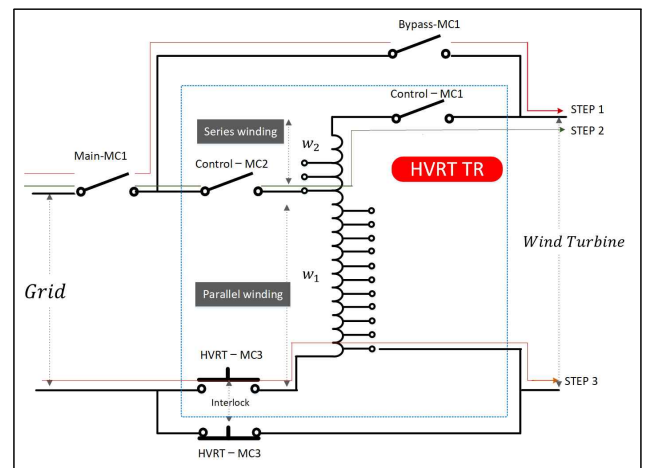
스차단기)이 Close되어 계통측과 풍력발전기측을 바이패스하여, 풍력발전기를 정상운전한다.

(2) STEP 2: control-MC1(계통측 선택차단기)과 control-MC2(WT측 선택차단기)가 Close 되어 시험장치를 계통과 병렬로 연결하고, Bypass-MC1를 Open하여, 시험장치의 탭이 연계된 계통과 풍력발전기 간 연결상태를 유지한다.

(3) STEP 3: 설정된 시간동안 LVRT-MC2가 동작하면서, LVRT-MC2의 b접점은 Open되며, 변압기측에 위치한 LVRT-MC2의 a접점 Close되어, 설정된 전압강하 탭에 의하여 목표하는 전압이 풍력발전기측에 발생된다. 설정된 시간이 종료되면 LVRT-MC2의 a접점은 다시 Open되며, LVRT-MC2의 b접점은 Close되어, 풍력발전기측 전압은 정상 전압으로 복귀한다.

3.2 HVRT 제어 및 운영전략

HVRT 특성시험을 수행하기 위해, 회로는 LVRT와 반대로 배선됩니다. 즉, 전체권선 중 병렬권선은 그리드측에 연계되며, 병렬권선과 직렬권선을 포함한 전체권선은 풍력발전기 측에 연계된다. 앞서 언급한 바와 같이 풍력발전기가 정상적으로 발전하는 조건에서 HVRT 시험의 동작순서는 그림 4와 같이 총 3단계로 구성된다. 그리고 각 단계별 동작전략은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 4] HVRT 시험의 운영 전략

(1) STEP 1: Main-MC1(주차단기)과 Bypass-MC1(바이패스차단기)이 Close되어 계통측과 풍력발전기측을 바이패스하여, 풍력발전기를 정상운전한다.

(2) STEP 2: control-MC1(WT측 선택차단기)과 control-

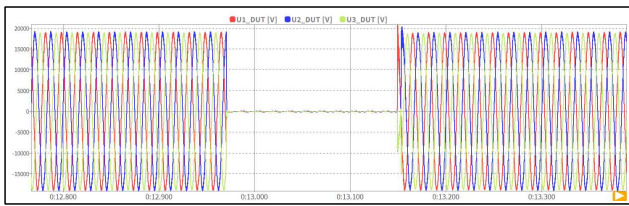
MC2(Grid측 선택차단기)가 Close 되어 시험장치를 계통과 병렬로 연결하고, Bypass-MC1를 Open하여, 시험장치의 탭이 연계된 계통과 풍력발전기간 연결상태를 유지한다.

(3) STEP 3: 설정된 시간동안 HVRT-MC3가 동작하면서, HVRT-MC3의 b접점은 Open되며, 변압기측에 위치한 HVRT-MC3의 a접점 Close되어, 설정된 전압상승 탭에 의하여 목표하는 전압이 풍력발전기측에 발생된다. 설정된 시간이 종료되면 HVRT-MC3의 a접점은 다시 Open되며, HVRT-MC3의 b접점은 Close되어, 풍력발전기측 전압은 정상 전압으로 복귀한다.

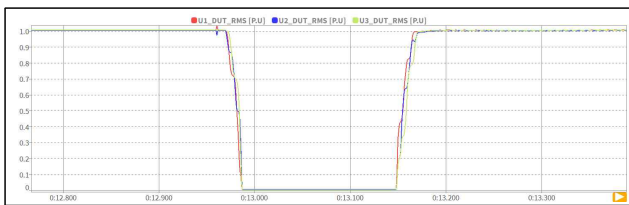
4. 실험 결과

4.1 LVRT 시험장치 특성분석

본 논문에서 제안한 운영전략의 유효성을 확인하기 위하여, LVRT/HVRT 시험장치를 이용하여 IEC-61400-21에서 제시하는 LVRT/HVRT 특성시험을 수행하였다. 저전압 0pu, 전압강하 지속시간 150ms의 LVRT 특성시험을 수행한 결과는 그림 5와 같다. 여기서 (a)는 3상 전압강하의 순시파형, (b)는 3상 전압강하의 RMS값으로 성능시험 전압값의 결과를 나타낸다. 시험결과 모든 3상 전압에서 0pu, 전압강하 지속시간은 160ms로 모든결과가 IEC-61400-21 규정범위에 만족함을 확인하였다.



(a) 3상 순시전압



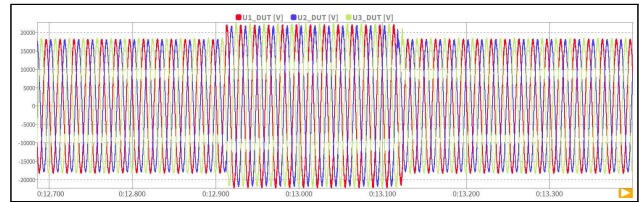
(b) 3상 RMS 전압

[그림 5] LVRT 시험장치 특성분석

4.2 HVRT 시험장치 특성분석

제안한 운영전략을 적용하여, 고전압 1.15pu, 전압상승 지속시간 150ms의 HVRT 특성시험을 수행한 결과는

그림 6과 같다. 여기서 (a)는 3상 전압강하의 순시파형, (b)는 3상 전압강하의 RMS값으로 성능시험 전압값의 결과를 나타낸다. 시험결과 R상은 1.14pu, S상은 1.13, T상은 1.15pu, 전압상승 지속시간은 163ms로 모든결과가 IEC- 61400-21 규정범위에 만족함을 확인하였다.



(a) 3상 순시전압



(b) 3상 RMS 전압

[그림 6] LVRT 시험장치 특성분석

5. 결론

본 논문에서는 대용량 풍력발전기의 LVRT/HVRT 성능을 평가하고, 신뢰성을 검증하기 위하여, LVRT/HVRT 시험장치 제어 및 운영전략을 제시하였다. 이를 바탕으로 LVRT/HVRT 시험을 수행하여 출력특성을 분석한 결과, 전압강하(상승)과 전압변동시간이 IEC 61400-21-1 규정범위에 만족함을 확인하여 LVRT/HVRT 시험장치 제어 및 운영전략의 유효성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회 선형 융합연구사업 (No. CPS22131-100)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 김병기, 김대진, 유경상, 남양현, 김찬수. "대용량 풍력발전기의 동적성능평가를 위한 전압변동 시험장치 개발." 한국태양에너지학회 학술대회논문집 . (2021): 278-278.