

하드웨어 시뮬레이터를 이용한 계통 연계형 풍력발전시스템의 LVRT 동작 모의 및 동특성 분석

이재욱, 한병문, 윤영두
명지대학교

LVRT Capability Simulation & Dynamic Performance Analysis for grid tied Wind Power Generator using Hardware Simulator

Jae Wook Lee, Byung Moon Han, Young Doo Yoon
Myongji University

ABSTRACT

본 논문에서는 계통 전압 사고 상황에서 계통 연계형 풍력 발전 시스템이 만족시켜야 할 LVRT(Low Voltage Ride Through) 동작 모의 및 동특성을 분석하였다. 제작한 시뮬레이터는 유도전동기를 이용한 풍력터빈 모델과 영구자석 동기 발전기 그리고 컨버터와 인버터로 구성된 Back to Back Converter를 통해 계통과 연계되는 구조를 가지고 있다. 계통과 연계되는 부분에 슬라이더스와 변압기 그리고 IGBT를 이용해 계통의 사고를 모의할 수 있는 계통 전압사고 모의 장치를 제작하여 연결하였으며, 이 계통 전압사고 모의 장치는 A, B, C 각 상을 독립적으로 제작해 다양한 계통사고를 모의할 수 있도록 구성하였다. 하드웨어 시뮬레이터와 제안된 계통 전압 사고 모의 장치 분석을 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션을 실시하였고 하드웨어 실험을 통해 그 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

풍력발전은 그린에너지 산업 중 하나로 화석 연료의 고갈로 인한 유가 상승과 청정연료수요가 맞물려 증가기적으로 발전하게 될 사업이다. 국내에서도 서·남해 해상 풍력발전단지 조성 사업을 추진하는 등 지리적으로 제한적인 지상 여건을 벗어나 해상 풍력발전 단지를 조성함으로써 그 설치 용량과 단지의 규모를 확장해 나가고 있다. 이렇듯 풍력발전이 증가함에 따라 대규모 풍력발전단지가 계통에 미치는 영향 분석 및 대책 수립이 필요하다. 실제 풍력 터빈을 활용하여 영향분석을 하기에는 공간, 비용, 시간적으로 제한되는 사항이 많다. 따라서 M G (Motor Generator) Set으로 구성된 하드웨어 시뮬레이터를 이용하면 이러한 문제점을 해결하면서 풍력발전시스템의 다양한 계통 영향 분석이 가능하다.

본 논문에서는 이러한 하드웨어 시뮬레이터를 이용하여 계통연계규정 상황에서의 풍력발전시스템의 동특성 분석을 실시하고자 하였다. 계통의 사고 상황을 모의하기 위한 계통 전압 사고 모의 장치를 제작해 다양한 사고를 모의할 수 있도록 구성하였으며, 이를 통해 LVRT 동작을 모의하고 동특성을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 풍력터빈 시뮬레이터

풍력터빈 시뮬레이터의 구성도는 그림 1과 같다.

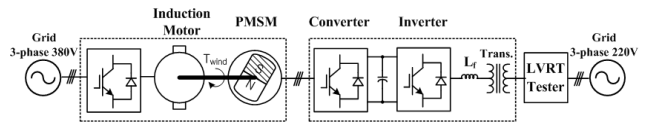


Fig. 1 Configuration of PMSG Wind Power Generator System

실제 풍력 발전 시스템에서의 블레이드 역할을 하는 Induction Motor와 전동기의 토크를 가상 블레이드에서 계산된 토크 기준 값으로 제어하기 위한 모터 드라이브, 그리고 영구자석 동기 발전기, 이렇게 3가지가 M G set형태로 구성되어 있고, 이 M G Set의 출력이 컨버터와 인버터로 구성된 Back to Back Converter를 통해 계통에 연계되는 형태를 가지고 있다. 추가적으로 계통과 연계되는 부분에 LVRT Tester라고 하는 계통 전압사고 모의 장치를 두어 LV(Low Voltage)동작을 모의할 수 있도록 구성하였다. LVRT Tester 내부 구조도는 다음 그림 2와 같다.

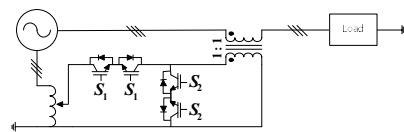


Fig. 2 Configuration of LVRT Tester

제안한 전압사고 모의 장치는 슬라이더스와 IGBT, 그리고 변압기로 구성된 형태로 A, B, C 각 상을 독립적으로 제작해 다양한 계통사고를 모의할 수 있도록 구성하였다. 정상시에는 스위치 $S_1 \Rightarrow OFF$, $S_2 \Rightarrow ON$ 상태로 전압강하가 발생하지 않지만, $S_1 \Rightarrow ON$, $S_2 \Rightarrow OFF$ 상태로 변경하게 되면 Sag모드가 되어 1:1변압기를 통해 슬라이더스에 걸린 전압만큼 전압강하가 발생하는 동작원리를 가지고 있다.

2.2 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션

하드웨어 시뮬레이터와 제안된 계통 전압사고 모의장치 분석을 위해 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션의 구성은 그림 3과 같다. 가상 블레이드 데이터를 이용하여 블레이드 모델을 구현하였으며, 블레이드 모델에서 발전기에 직접 토크를 공

급하도록 하였다. 권선형 동기기의 계자에 일정한 전압을 인가하는 방식으로 영구자석 동기기의 특성을 구현하였고 나머지 구성은 앞서 설명한 구조와 동일하게 구현하였다.

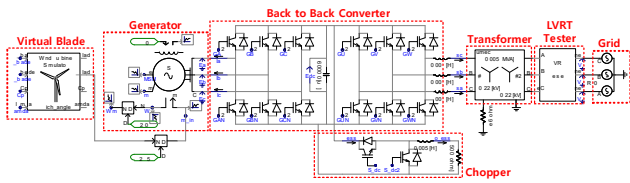


Fig. 3 Simulator Configuration for PMSG Wind Turbine using PSCAD/EMTDC

2.3 시뮬레이션 결과

기본적인 풍력발전 시뮬레이터 동작은 검증이 된 상태에서 LVRT Tester를 이용해 전압강하를 발생시켰을 때의 동특성을 살펴보았다. GSC(Grid Side Converter)에서 DC_Link 전압을 일정하게 제어해 주고 있는 상태에서 사고가 발생하였을 때, GSC에서의 일정전압제어가 무너지게 된다. 한편 M G Set에서 발전된 에너지는 계속해서 DC_Link로 주입이 되기 때문에 DC_Link전압이 계속해서 상승하게 된다. 그림 4의 (a)는 이때의 상승전압 파형을 나타낸다. (b)는 회전좌표계 유효전압 성분을 나타내며, (d)파형은 계통의 각 상전압 Va, Vb, Vc값을 겹쳐놓은 결과 파형이다. (c)는 사고 시에 초퍼를 이용하여 에너지를 소비해 줌으로써 DC_Link전압이 (a)그림과 같이 상승하지 않고 일정하게 제어되는 파형결과를 보여준다.

실제 LVRT 전압 규정선을 보면 100% 전압 사고 발생 후 시뮬레이션에서 구현한 기울기와 같이 일정한 기울기를 가지고 복전 하도록 구성되어 있다. 이 100% 전압 사고 구간 및 복전 기울기는 각 나라마다 차이가 있다. 본 시뮬레이션에서는 2s에 100%전압 사고를 발생 시켰고 4.15s부터 5.5s까지 일정한 기울기를 가지며 복전 하도록 시뮬레이션을 구성하였다.

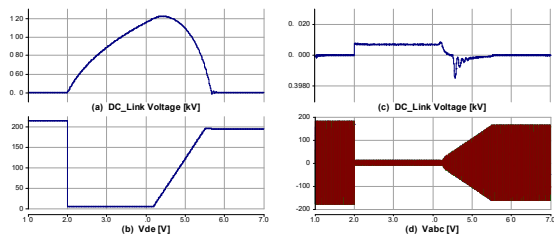


Fig. 4 Simulation results waveform

2.4 풍력발전 시뮬레이터

시뮬레이션 결과를 토대로 하드웨어를 제작하였다. 제작한 풍력발전 시뮬레이터는 그림 5와 같다. M G Set은 블레이드를 대신하기 위한 모터 드라이브와 전동기, 그리고 영구자석형 동기발전기로 구성되어 있다. 그리고 뒤쪽으로 Back to Back Converter가 구성되어 있으며, 이 PCS를 통하여 발전기에서 발전된 에너지가 계통에 연계된다. 그림 오른쪽의 LVRT Tester는 이 계통연계 지점에서의 계통 전압사고 모의 장치이다. LVRT Tester는 총 3층으로 설계하였으며, 1층은 1:1 변압기, 2층은 슬라이타스, 3층은 IGBT와 제어부로 구성하였다. 전압사고 모의 시 DC_Link의 전압을 제어해주기 위한 초퍼는 LVRT Tester 3층에 같이 구성을 하였으며 PCS 앞쪽에 보이는 초퍼 저항으로 계통 사고시 M G Set에서 넘어오는 에너지를 소모할 수 있도록 시스템을 제작하였다.

를 소모할 수 있도록 시스템을 제작하였다.

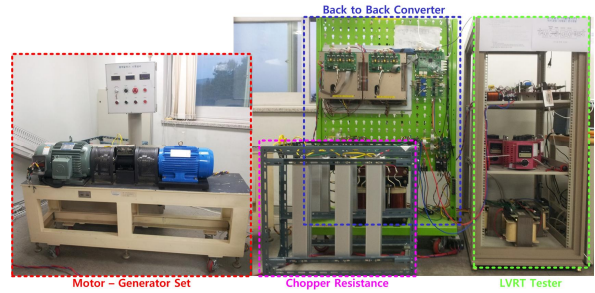


Fig. 5 Structure for Wind Power Generation Simulator

2.5 실험 결과

그림 6은 풍력발전 시뮬레이터 실험결과 파형이다. (a)는 계통 사고 시 DC_Link전압이 상승하는 파형이다. 실험에서는 안정성을 고려해 430[V]가 되면 차단기를 동작 시키고 PWM동작을 정지시켰다. (b)는 계통전압 사고 시에 초퍼를 동작시킴으로 일정전압(420[V])을 유지하는 파형이다. (c)는 초퍼 동작 시 초퍼에 흐르는 전류파형을 나타낸 것이고, (d)는 계통 상전압 Va파형이다. 실험결과 시뮬레이션 결과와 동일한 결과를 확인할 수 있었다.

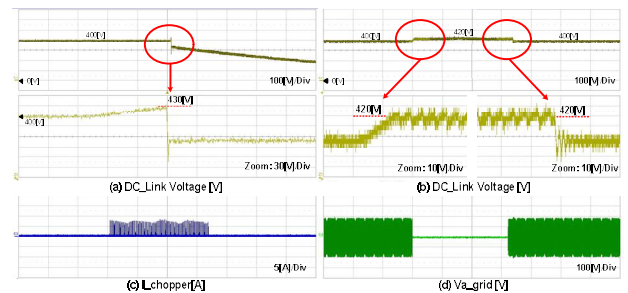


Fig. 6 Experimental results waveform

3. 결론

하드웨어 시뮬레이터를 이용하여 계통 연계형 풍력발전시스템의 LVRT 동작 모의 및 동특성을 분석하였다. PSCAD를 사용하여 시뮬레이션을 실시하였으며, 계통 전압 사고 모의 장치 등 실제 하드웨어 시뮬레이터 제작 및 실험결과를 토대로 그 타당성을 검증하였다.

본 연구는 2011년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20113010020030)입니다.

참고 문헌

- [1] Grid Code, E.ON Netz GmbH, Bayreuth, Germany, Apr.2006
- [2] 오승진, 차민영, 김중원, 정종규, 한병문, 장병훈 "풍속계와 Motor Generator 세트를 이용한 DFIG 풍력발전시스템 하드웨어 시뮬레이터 개발", 전력전자학회 논문지 Vol. 16 No. 1, Feb. 2011.