

# 컴퓨터 시뮬레이션과 실규모 하드웨어시뮬레이터를 이용한 계통연계 풍력발전의 응동특성 분석

**윤동진\***·한병문\*·최영도\*\*·전영수\*\*·정병창\*\*\*·정용호\*\*\*  
 명지대학교\*·전력연구원\*\*·LS 산전\*\*

## Dynamic Interaction Analysis of Interconnected Wind Power Generator using Computer Simulation and Real-Size Hardware Simulator

Dong-Jin Yun\*·Byung-Moon Han\*·Young-Do Choy\*\*·Young-Soo Jeon\*\*·Byoung-Chang Jeong\*\*\*·Yong-Ho Chung\*\*\*  
 Myongji University·Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)\*·LS industrial Systems Co, Ltb\*\*

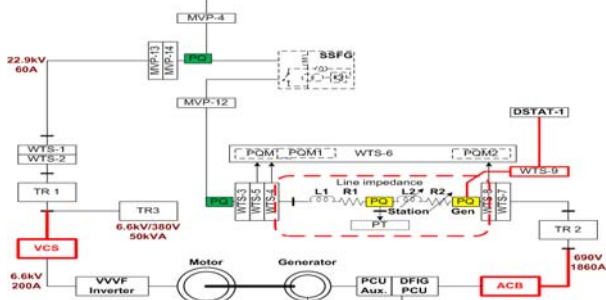
**Abstract** - This paper describes comparative analysis results about the dynamic interaction of interconnected wind power system using the actual-size hardware simulator and the simulation model with PSCAD/EMTDC. The hardware simulator, which is composed of 2.0MVA induction motor with drive system and 1.5MW doubly-fed induction generator, was built and tested in Go-Chang Test Site of KEPCO for analyzing the dynamic interaction with the interconnected distribution system. The operation of hardware simulator was verified through comparative analysis between experimental results and simulation results obtained by simulation model with PSCAD/EMTDC. The developed hardware simulator and simulation model could be effectively used for analyzing the dynamic interaction, which has various phenomena depending on the wind variation and the network state of interconnected power system.

### 1. 서 론

전력계통에 연계된 풍력발전은 풍속에 따라 불규칙한 출력을 나타내고 단락비가 낮은 곳에 위치할 경우 전력품질이나 신뢰도의 저하문제가 발생되기 쉽다. 또한 전력계통에서 발생하는 고장에 따른 제반문제를 야기한다. 그러나 계통에 연계된 실제 풍력발전을 가지고 설치위치의 풍향이나 계통특성에 따른 응동을 분석하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 풍력발전이 설치되는 곳에서 실측된 풍속데이터를 이용하거나, 임의의 풍속과 지속시간으로 실험을 하는 축소모형에 의한 분석이 일반적이다. 그러나 축소모형의 경우 실제적인 동적응동을 상세하게 분석하기에는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하고자 본 연구에서는 실제 풍력발전기의 용량과 동일한 발전기를 사용하고 풍력터빈은 풍속에 따른 다양한 특성을 모의할 수 있도록 발전기 용량보다 큰 전동기를 사용한 실규모 풍력발전시뮬레이터를 제작하고, 이 시뮬레이터를 이용하여 배전계통과 연계된 상태에서의 다양한 동적응동을 분석하였다. 본 연구에서 사용된 풍력발전시뮬레이터는 LS 산전이 제작하여 한국전력 고장시험장 전력품질실증단지에 설치하여 그곳 배전계통에 연계되어있다. 이 시뮬레이터는 Nordex S70 1.5MW 풍력발전을 모의할 수 있도록 풍력터빈은 2MVA 농형유도전동기로 그리고 발전기는 1.5MW 권선형유도발전기로 구성되어 있다. 본 논문에서는 Nordex S70 1.5MW 풍력발전과 같이 특정 풍력발전기가 설치된 임의의 장소를 가상하여 그곳에서 관측되는 여러 풍속에 따른 발전기의 출력변동과 배전계통의 다양한 조건에 따른 동적응동을 컴퓨터 시뮬레이션으로 분석한 결과와 개발된 하드웨어시뮬레이터를 가지고 실험적으로 분석한 결과를 비교한 내용을 기술하고 있다.[1][2]

### 2. 본 론

#### 2.1 고장 풍력 실증 시험 단지.

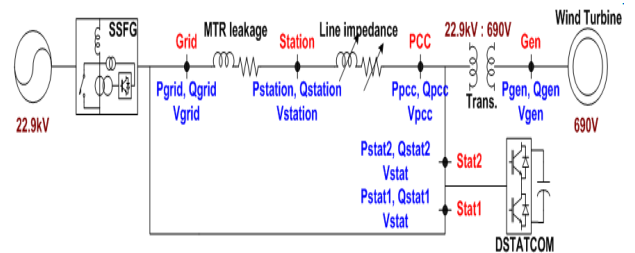


〈그림 1〉 고장 풍력 실증 시험 단지 구성도

〈그림 1〉은 풍력발전 시스템과 배전계통의 동적응동을 분석하기 위해 고장 시험장 전력품질실증단지에 설치한 풍력발전시뮬레이터의 전체회로 구성을 나타낸 것이다. 변전소에서 공급되는 22.9kV 전압은 배전계통에 발생 가능한 Sag, Swell, Flicker 등의 전압외란을 모의할 수 있도록 제작된 SSFG(Sag-Swell-Flicker Generator)를 통하여 선로의 길이에 따라 저항과 리액턴스 값으로 나타낸 모의선로에 공급된다. 한편 제작된 풍력발전시뮬레이터는 모의선로 끝단에 연결된다. 이 시뮬레이터는 DFIG 방식과 직입기동 방식으로 풍력발전 시스템을 모의할 수 있도록 하였다. 또한 직입기동 방식으로 동작할 때 소비되는 무효전력으로 인한 전압강하를 보상하기 위해 D-STATCOM이 설치되어 있다.

#### 2.2 계통연계 동적응동 분석

〈그림 2〉는 앞의 실증시스템의 구성을 회로도도 나타내고 동적특성분석에 필요한 각 측정 점을 나타낸 것이다. 이 회로도에는 실제 풍력발전이 설치 될 곳의 회로적 특성을 최대한 반영할 수 있도록 설계되어 있고, 풍력발전시뮬레이터를 시험하면서 중요지점의 전력품질을 측정할 수 있다.



〈그림 2〉 동적응동 분석을 위한 측정 포인트

본 연구에서 풍력발전시뮬레이터의 동적응동을 분석하기 위해 채택한 시뮬레이션 및 실험 시나리오는 표 1에 보인 바와 같이 3가지 경우를 가상하여 구성되어있다.

첫째, 풍력발전기를 가변 풍속에서 운전하는 경우로 배전선로의 길이를 40km 로 가정하여 시뮬레이션 하였다. 가변 풍속에서 풍력발전기의 유효전력은 발전량 제어방식에 따라 동작하고 연계점의 무효전력은 단위역률로 제어한다.

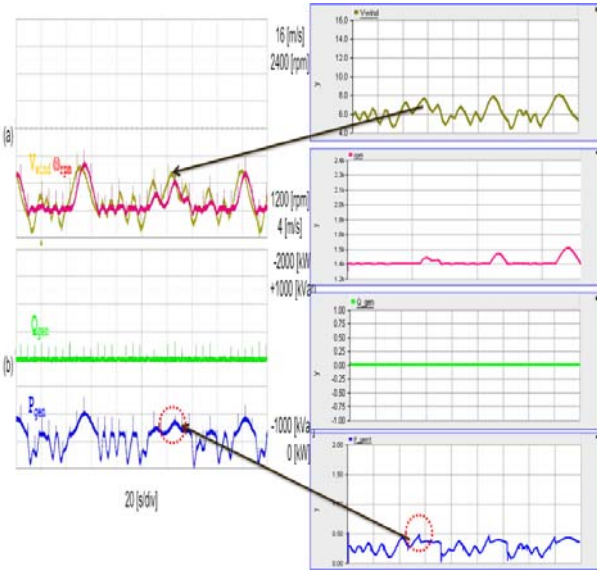
둘째, SSFG에 의해 전원 공급전압이 30% Sag가 발생한 경우를 가정하여 계통영향을 분석 하였다. 이때 풍속은 9m/s로 설정하였으며, 배전선로의 길이는 20km 로 가정하였다.

셋째, 풍력발전 시스템의 방식을 직입기동방식으로 설정하고 풍속에 따른 풍력발전기의 기본 동작을 분석하였다.

〈표 1〉 응동 특성 분석 시나리오.

사례	발전방식	풍속	전압상태	목적
1	DFIG	가변	정상	풍력발전기의 기본 동작 분석
2		일정	3상 sag	풍력발전기의 Sag에 의한 동적응동 분석
3	직입기동 (농형)	가변	정상	풍력발전기의 기본 동작 분석

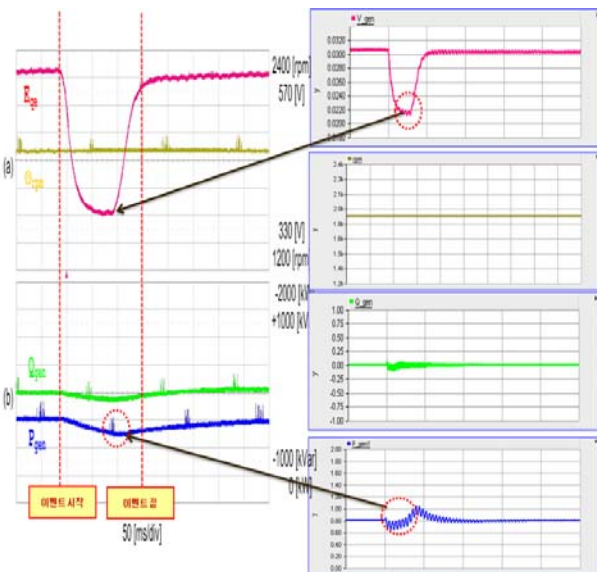
<그림 3>은 사례 1을 시뮬레이션 한 결과로 풍력발전기의 기본 동작을 관측하는 것을 목적으로 한다. <그림 3>의 왼쪽은 실제 하드웨어에서 오실로스코프를 이용하여 측정한 파형이고 오른쪽은 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모의한 결과 파형이다.[3][4]



<그림 3> 풍력발전의 기본동작 분석 (사례 1)

<그림 3>에서 노란색은 풍속을 나타내고 빨간색은 발전기의 회전속도, 녹색은 무효전력 그리고 파란색은 유효전력을 나타내고 있다. <그림 3(a)>에 보인 것처럼 풍속이 변동할 때 풍력발전기의 경우 블레이드에서 변환된 기계적 에너지 일부가 다시 블레이드의 회전에너지로 변환된다. 즉, 풍속이 급격하게 변화하여도 발전기의 유효전력은 서서히 변동하고, 블레이드의 기계적 출력과 발전기 유효전력의 차이만큼 회전속도가 변동한다. 이와 같은 현상은 PSCAD/EMTDC로 모의한 시뮬레이션 결과에서도 유사하게 확인된다.[2]

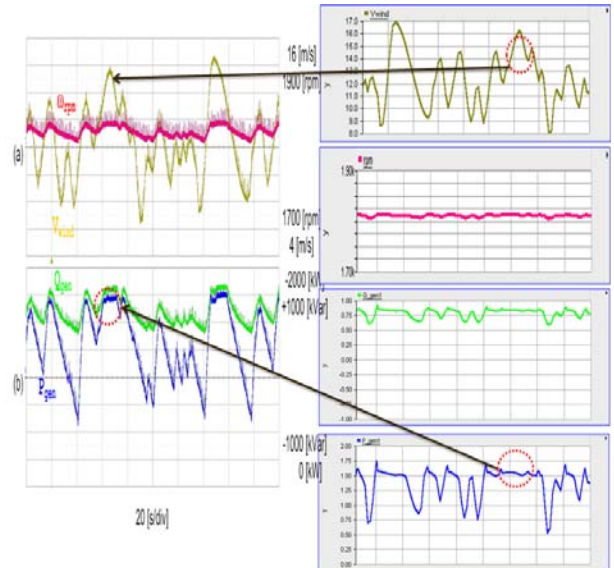
<그림 4>는 사례 2에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과로 계통에서 3상 voltage sag가 발생했을 때 풍력발전기의 전압과 출력 특성을 나타내고 있다. 이 시나리오에서는 계통에서의 사고 또는 기타 요인에 의해서 발생한 전압 변동이 풍력발전기에 미치는 영향을 관측하는 목적으로 모의하였다.



<그림 4> 전압 Sag에 대한 동적응답 분석 (사례 2)

계통에 3상 voltage sag가 발생했을 때 풍력발전 시스템의 유효·무효 출력량에 영향을 가져오게 되는 것을 확인할 수 있다.

<그림 5>는 사례 3에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과로 풍력발전 시스템이 직입기동방식으로 동작할 때 가변 풍속에 대한 풍력발전기의 기본 동작 분석을 모의한 결과이다. 가변된 풍속에 따라 생산되는 유효·무효 전력이 실제 하드웨어 모형이나 시뮬레이션 모델과 유사하게 나타남을 확인할 수 있다. 이때 DFIG 풍력 발전 시스템으로 모의했던 것과 달리 직입기동 발전 방식(농형)에서는 발전기가 계통에서 무효전력을 소비하게 되므로 무효전력 변동분에 있어서 DFIG 풍력발전 시스템은 0으로 제어가 되고 직입기동 발전방식(농형)에서는 발전기에서는 발전량에 따라 무효전력이 소비되는 것을 확인할 수 있다.



<그림 5> 풍력발전의 기본동작 분석 (사례 3)

### 3. 결 론

본 연구에서는 실제 풍력발전기의 용량과 동일한 발전기를 사용하고 풍력터빈은 풍속에 따른 다양한 특성을 모의할 수 있도록 발전기 용량보다 큰 전동기를 사용한 실규모 풍력발전시뮬레이터를 제작하고, 이 시뮬레이터를 이용하여 배전계통과 연계된 상태에서의 다양한 동적응답을 분석하였다.

본 연구에서 사용된 풍력발전시뮬레이터는 Nordex S70 1.5MW 풍력발전을 모의할 수 있도록 풍력터빈은 2MVA 농형유도전동기로 그리고 발전기는 1.5MW 권선형유도발전기로 구성되어 있고 LS 산전이 제작하여 한전고창시험장에 설치되어 있다.

본 논문에서는 특정 풍력발전기가 설치된 입의 장소를 가상하여 그곳에서 관측되는 다양한 풍속에 따른 발전기의 출력변동과 배전계통의 다양한 조건에 따른 동적응답을 실험적으로 분석하는 하드웨어시뮬레이터의 동작을 확인하기 위하여 PSCAD/EMTDC로 시뮬레이션 모델을 개발하여 비교한 분석한 내용을 기술하였다.

본 논문은 지식경제부의 에너지자원협력양성사업의 지원으로 명지대학교 분산전원복합응용연구센터를 통해 수행 되었습니다

### [참 고 문 헌]

- [1] 국가에너지 기본계획(안), 지식경제부& 에너지경제연구원, 2008.
- [2] IEEE1547. IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System. 2003.
- [3] 송승호, 정병창 "이중역자 유도형 가변속 풍력발전기 제어 기술," 전력전자학회지, Vol. 11. No. 11, pp. 19-25 2006년.
- [4] 이두영, 윤동진, 정종규, 양승철, 한병문, 송승호 "영구자석동기발전기 풍력시스템의 하드웨어 시뮬레이터 개발", 대한전기학회 논문지, 57B 권 6호, pp.951-958, 2008