

풍력발전 계통연계시 선로정수에 따른 계통 영향 분석

최영도*, 광노홍*, 전영수*, 전동훈*, 한병문**, 윤동진**
 한전전력연구원*, 명지대학교**

Influence Analysis of Grid Connected Wind Power Generator by Line Constants

Young-Do Choy*, No-Hong Kwak*, Young-Soo Jeon*, Dong-Hoon Jeon*, Byung-Moon Han**, Dong-Jin Yun**
 Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)*, MyoungJi University**

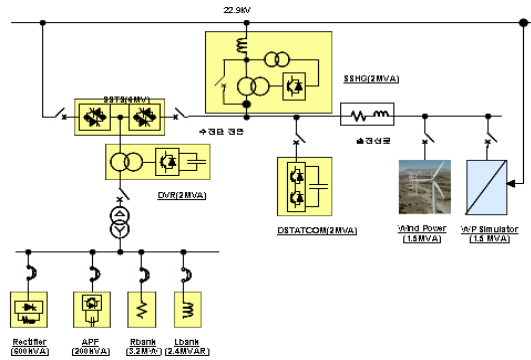
Abstract - 본 논문은 고장 전력품질 실증시험장에서 실 계통 연계를 위해 시험 중인 1.5M급 풍력발전 시뮬레이터의 선로정수를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모의하고 선로정수에 따른 풍력발전시스템이 계통에 미치는 영향을 분석하는데 중점을 두었다. 현재 고장에 설치되어있는 전력품질 실증시험장은 22.9kV 급전선에 SSTS(Synchronous Static Transfer Switch)의 한쪽 스위치로 직접 연결되어있으며 다른 한 쪽은 전력계통에서 발생하는 다양한 형태의 이벤트를 발생시키는 SSHG(Sag Swell Harmonics Generator)를 통하여 연결되어있다. 전력품질 향상기 기중 하나인 DVR(Dynamic Voltage Restorer)는 SSTS의 부하 쪽으로 직렬로 연결되어있으며 delta-woye 변압기를 통해 정류기 부하와 APF(Active Power Filter), 그리고 순저항부하와 유도성 부하가 연결되어 있고 또한 SSHG를 통하여 연결된 배전선에는 DSTATCOM(Distribution Static Compensator)가 병렬로 연결되어있다. 본 논문에서는 고장에 있는 풍력발전 시뮬레이터와 동일하게 PSCAD/EMTDC로 구성하였으며 선로정수를 모델링 하기 위해 선로모델을 10Km, 20Km, 30Km, 40Km로 설정하여 선로정수에 따른 계통영향을 분석하여 풍력발전 시뮬레이터에서 모의 가능한 선로정수 값을 제시한다.

1. 서 론

최근에 덴마크, 독일 등 북유럽 국가를 주축으로 빠른 속도로 발전하고 있는 풍력발전 산업의 큰 변화는 단위 용량 및 풍력단지 설비규모가 커지고 있고 풍력발전 제조사들마다 앞 다투어 MW급 대형 풍력발전기를 시운전, 출시하고 있으며 현재 단위용량 5MW 풍력발전기의 상용화로 이에 따른 초대형 풍력발전기에 대한 연구 활동이 활발하게 진행 중에 있다. 풍력발전시스템은 다른 분산전원보다 계통에 큰 영향을 미치는 설비이므로 대규모 풍력발전단지 대부분은 지리적 여건상 풍력에너지를 얻기가 용이한 산간 고지대나 해안가 등에 위치하고 있고, 계통연계 지점이 전로의 말단인 경우가 많아 계통연계 시 전압관리 및 전력품질의 관리 등 계통운영상의 여러 가지 문제점을 야기한다. 풍력발전설비가 비교적 큰 규모로 도입된 계통은 기존의 부하만이 존재하는 계통과는 달리 부하와 전원이 혼재되어 운용되는 형태로 되기 때문에 풍력단지와 같은 대규모의 발전설비가 한 선로에 집중적으로 도입되는 경우 풍력단지 도입계획 및 운용시에 발생이 예상되는 문제점을 검토, 분석하여 계통연계 시의 대책이 필요하기도 하다. 풍력에너지 개발 및 보급 활성화를 위한 일환으로 고장의 전력품질 실증시험장은 실 계통영향 평가를 위해 풍력발전 시뮬레이터를 추가 설치하여 풍력발전시스템에 의한 계통영향 분석 및 이벤트 발생시 풍력발전시스템에 미치는 영향 등을 분석 및 평가하는데 활용된다. 고장에 설치중인 풍력발전 시뮬레이터의 구성은 크게 블레이드 에뮬레이터와 발전기 세트 로 구성된다. 블레이드 에뮬레이터(blade emulator)는 블레이드의 동특성을 모의하고 그 결과를 전동기에서 구현하여 발전기에 토크를 공급하고 가상 블레이드(virtual blade)에서는 1.5MVA급 블레이드를 가정하여 외부에서 입력되는 풍속과 시스템의 회전속도에 따라서 블레이드의 토크를 계산한다. VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)인버터는 가상 블레이드의 토크 지령에 따라서 전동기의 토크를 제어하고 발전기 세트(generator set)는 권선형 유도기와 유도기를 제어하는 전력변환 장치로 구성된다. 본 논문에서는 실 계통 연계를 위해 시험 중인 1.5M급 풍력발전 시뮬레이터의 선로정수를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모의하고 선로정수에 따른 풍력발전시스템이 계통에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 본 론

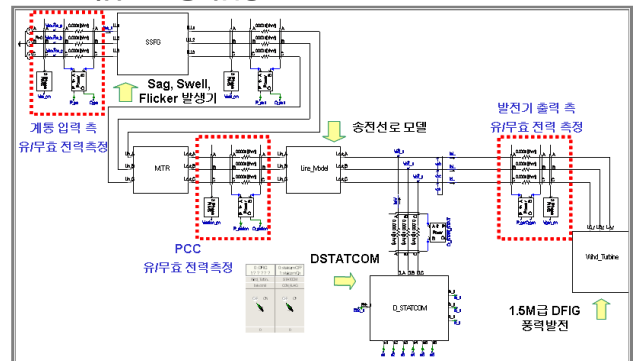
2.1 풍력발전 시뮬레이터 구성



<그림 1> 전력품질 실증시험장 구성도

고장 전력품질 실증 시험장내에 풍력발전 시뮬레이터를 설치·운전하여 다양한 형태의 기후변화 조건 및 외란 사고 등을 통해 풍력발전 시스템이 계통에 미치는 체계적인 영향 평가 분석자료 확보 및 관련 기술을 습득할 예정이며, 전력품질 시험장의 구성은 그림 1과 같다. 고장의 전력품질 실증시험장에서 실제계통영향 평가를 위해 추가 설치 시험하고 있는 풍력발전 시뮬레이터의 구성 요소들은 다음과 같다. 풍속 데이터를 VVVF 인버터 구동에 필요한 지령데이터로 변환하는 Wind Turbine 시뮬레이터, Wind Turbine 시뮬레이터로부터 받은 지령치 만큼의 출력을 발생하며 MG Set의 전동기와 더불어 풍력 발전시스템의 Blade에 해당되는 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 인버터, 풍력발전 시스템 내부에 설치된 발전기 운전을 모의하기 위해 설치/운전되는 MG Set, Double Fed 방식의 풍력 시스템을 모의하기 위한 PCU(Power Conditioner Unit)로 구성되어 있다.

2.2 전력품질 실증시험장 PSCAD/EMTDC 모델



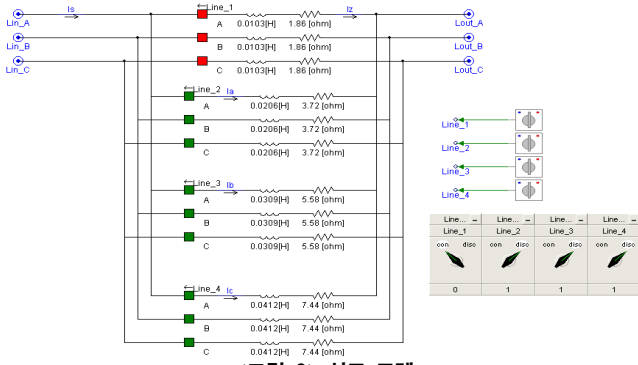
<그림 2> PSCAD/EMTDC 전체 회로도

<그림 2>는 전력품질 실증 시험장을 PSCAD/EMTDC로 구현한 모델이다. 계통 입력 측은 22.9kV 모선과 연결되어 있으며 이는 실제 고장 전력품질 실증시험장에 설치되어 있는 SSFG(Sag, Swell, Flicker Generator), 선로모델, D-STATCOM, Wind_Turbine으로 구성되어있다. 선로모델을 <그림 3>과 같이 22.9kV 선로에서 실제 사용되고 있는 선

로 정수 값을 기초로 하여 그림과 같이 선택 스위치를 두어 PSCAD/EMTDC로 모의 할 수 있도록 하였다.

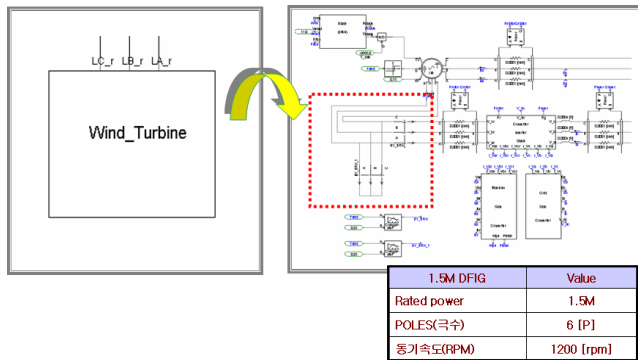
〈표 1〉 22.9 kV의 선로 정수 (ACSROC-160 사용시)

선로의 길이	저항	인덕턴스
10 [km]	1.86 [Ω]	10.3 [mH]
20 [km]	3.72 [Ω]	20.6 [mH]
30 [km]	5.58 [Ω]	30.9 [mH]
40 [km]	7.44 [Ω]	41.2 [mH]



〈그림 3〉 선로 모델

Wind_turbine 모델은 이중여자유도발전기를 이용한 풍력 발전 모델을 기초로 하여 사용을 하였고, 또 이를 회전자 축의 권선을 단락 시키는 방법으로 선택스위치를 두어 농형유도발전기로도 사용할 수 있도록 모의를 하였다. <그림 4>의 빨간 점선으로 표시한 부분이 회전자 권선의 단락이 이루어지는 부분이다.

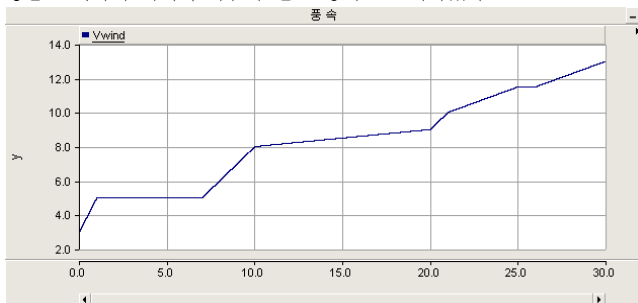


〈그림 4〉 Wind_turbine 모델

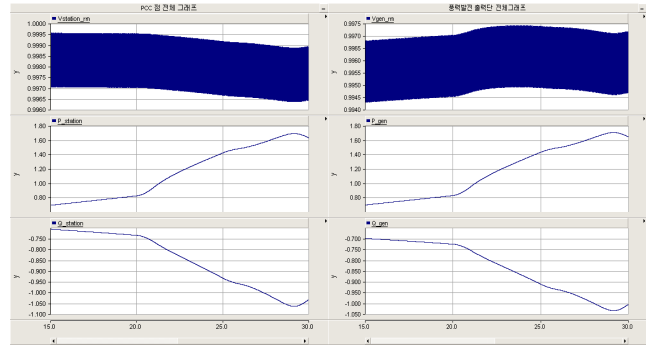
본 논문에서는 농형유도발전기가 계통 연계 시 선로 정수에 따라 계통에 나타나는 영향에 대해 분석하였다.

2.3 시뮬레이션 모의 결과

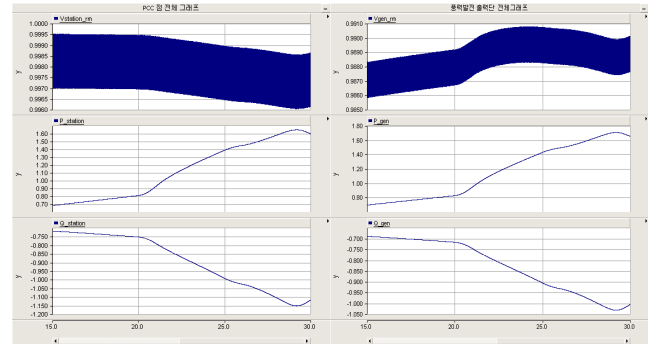
풍속은 <그림 5>와 같은 형태로 모의하였다. 풍속을 다음과 같이 모의한 이유는 풍속의 전 구간에서 풍력발전시스템의 계통 연계 시 그 영향을 분석하기 위해서 다음과 같은 형태로 모의하였다.



〈그림 5〉 시뮬레이션 풍속



〈그림 6〉 PCC점과 풍력발전 출력단 계통 전압, 유/무효 전력 (10km 선로정수일 때)



〈그림 7〉 PCC점과 풍력발전 출력단 계통 전압, 유/무효 전력 (40km 선로정수일 때)

<그림 6>, <그림 7>은 각각 10km, 40km의 선로정수를 가지고 시뮬레이션을 모의하였을 때 PCC점과 풍력 발전 출력단의 계통 전압과 유/무효전력을 나타낸 것이다. 먼저, PCC점에서는 농형유도발전기의 출력량이 높아짐에 따라 이에 따른 무효전력의 소비의 증가로 인한 계통전압이 저하되는 현상이 나타난다. 이 특성은 선로의 길이가 길수록 잘 나타나게 되는데 이 이유는 선로의 길이가 길수록 무효전력 특성에 관여하는 선로정수의 인덕턴스 값이 증가하기 때문이다. 마찬가지로 풍력발전 출력 단에서도 유효전력의 특성에 따른 계통전압의 변화가 나타나는데 이 역시 선로정수의 인덕턴스가 클 수록 잘 나타나는 것을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문은 전력품질 실증시험장에 설치 될 풍력발전 시뮬레이터의 선로정수를 모의하기 위하여 10Km, 20Km, 30Km, 40Km의 각각의 선로정수에 따라 전력계통의 영향을 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 L값이 충분히 커짐에 따라 시뮬레이션 특성이 잘 모의 되었고 그 결과는 풍력발전 시뮬레이터에 연계 될 선로정수를 결정하는데 중요한 자료가 될 것이라고 사료된다. 향후 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 결과 데이터와 풍력발전 시뮬레이터의 실측 파형을 비교분석하여 풍력발전기 운전특성의 타당성 및 신뢰성을 검증하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Dr. Eggaert, S. Franko, "Innovative Variable Speed Drive for Doubly Fed Wind Turbine Application," 2002 Global Wind Power Conference, July 2002.
- [2] 한병문, 이병규, 전영수, 이광열, "유도발전기식 풍력발전시스템의 STATCOM 적용 타당성 분석", 대한전기학회 논문지, 53A권 6호, pp.309-315, 2004년 6월.
- [3] Chad Abbey, Geza Joos, "Optimal Reactive Power Allocation in a Wind Powered Doubly-Fed Induction Generator," 2004 IEEE Power Engineering General Meeting, pp. 1492-1496, June 2004.