

PSCAD/EMTDC를 이용한 고창 시험 설비 단지 1.5MVA 풍력 시스템 모델 개발

윤동진·한병문·최영도*·전영수*·정병창**·정용호**
 명지대학교·전력연구원*·LS 산업**

Development of 1.5MVA wind power system model using PSCAD/EMTDC

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 study proposes a model of 1.5MVA wind power system in Go-chang field demonstration and performs simulation according to variable wind speed. 1.5MVA wind power system was verified by computer simulations with PSCAD/EMTDC software. Terminal voltage, grid voltage and active/reactive power can be observed through the simulation results.

는 SSFG, M·TR, 선로의 길이에 따른 특성을 모의하기 위한 선로모델, 전압보상을 목적으로 한 D-STATCOM 그리고 1.5MVA급 풍력 발전 모델로 구성되어 있다. 이 모델들은 22.9kv의 계통 전압 선로로 연결되어 있다. 향후 이렇게 구성된 고창 풍력 실증 단지는 풍력 발전에 따른 계통 영향뿐만 아니라 풍력 발전에 따른 Power Quality 대책, 풍력발전 시스템의 계통 영향평가 기준 보완, 향후 운영 방안 및 확대 적용 방안에 유용한 역할을 할 것으로 사료된다.

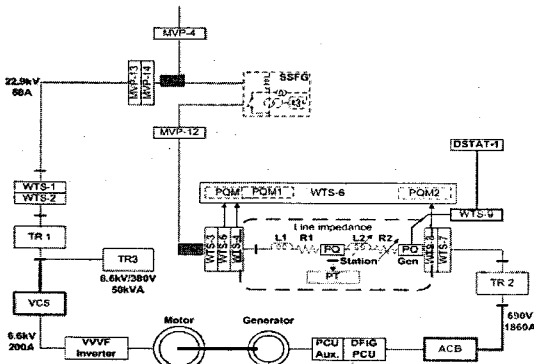
1. 서 론

신재생 에너지의 관심이 높아지는 가운데 풍력발전은 효율이나 단가의 측면에서 가장 효율적인 발전 형태라 불리어진다. 하지만 실증적인 연구가 활발히 이루어지고 있는 유럽 및 선진 국가들만 여러 가지 대규모 풍력 발전의 영향을 분석할 수 있는 시스템이 갖추어진 반면에 국내에서는 아직 대규모 풍력발전을 모의할 수 있는 시스템이 부족한 상황이다.

본 논문에서는 현재 고창에 설치되고 있는 1.5MVA 풍력 실증 단지를 PSCAD/EMTDC로 구현하고 가변적인 풍속에 따른 풍력 발전의 특성을 분석하였다. 시뮬레이션 수행에 따라 발전기 단자전압, 계통전압, 유효전력, 무효전력 등을 변동을 관찰할 수 있으며 1.5MVA 풍력 실증 단지의 완공 후 그 하드웨어 특성을 미리 예측하는 것이 가능하다.

2. 본 론

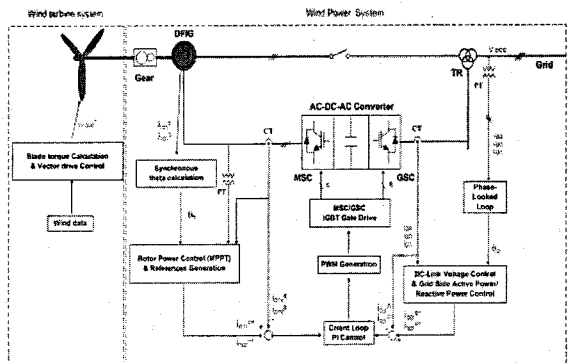
2.1 고창 풍력 실증 시험 단지



<그림 1> 고창 풍력 실증 시험 단지 구성도

<그림 1>은 고창 풍력 실증 시험 단지의 실제 구성도이다. 전체 시스템은 sag, swell, flicker를 일으킬 수 있

2.2 1.5MVA 풍력 발전시스템



<그림 2> 풍력 발전시스템 개념도

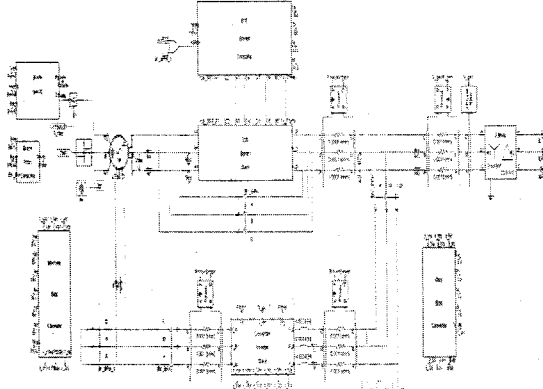
<그림 2>는 고창 풍력 실증 시험 단지에 설치된 풍력 발전시스템의 개념도이다. Wind turbine system은 실제 풍력 발전에 사용되고 있는 블레이드 모델을 기반으로 설계되어 있다. 그리고 Wind power system으로는 이중 여자유도발전기(DFIG)를 이용한 풍력 발전 시스템으로 구성되어 있다. 먼저 Wind turbine system에 실제 풍속 데이터를 입력하면 1.5MVA급의 가상 블레이드를 통해 P_{blade}를 생성하게 된다. 생성된 P_{blade}는 기어를 거쳐 이중 여자유도발전기를 통해 P_{gen}을 생성하게 되고 이는 다시 AC-DC-AC 컨버터를 통해 계통으로 보내진다[1].

이때 MSC(Machine side converter)는 이중여자유도발전기의 최대 출력점 제어와 유효전력을 제어하게 된다. 그리고 GSC(Grid side converter)는 AC-DC-AC 컨버터의 DC 링크단의 전압을 일정하게 제어하고 계통 전압의 위상과 크기에 맞추어 파워를 전달하는 역할을 하게 된다. 먼저, MSC에서 이중여자유도발전기에서 생성되는 출력을 그 풍속에 최대 출력력으로 제어하기 위해 이중 여자유도발전기의 자속을 측정하여 동기위상각을 계산한다. 계산된 이중여자유도발전기의 동기위상각을 기준으로 발전기의 회전각속도와 C_p(에너지 출력계수)를 최대로 유지하기 위한 회전각속도와 비교하여 i_{dmr}^{*}, i_{qmr}^{*}을

생성하고 이는 다시 전류제어와 d-q 역변환을 통해 PWM 신호를 생성하게 된다. GSC에서는 22.9kV의 3상 전압을 PLL(Phase Locked Loop)를 통해 동기 위상각 θ_g 를 구하게 된다. GSC에서는 이를 기준 각으로 하여 AC-DC-AC 컨버터의 DC 링크를 일정한 전압으로 제어하고 계통 전압의 위상과 크기를 맞추기 위한 i_{dgr}^* , i_{qgr}^* 을 생성하게 되고 이 역시 전류제어와 d-q 역변환을 통해 PWM 신호를 생성하게 된다.[2]

2.2.1 1.5MVA 풍력 발전 시스템 시뮬레이션 모델

<그림 3> PSCAD/EMTDC로 구현한 고향 실증 시험 단지의 풍력 발전시스템 시뮬레이션 모델이다. 그리고 표1은 시뮬레이션 회로정수를 표로 구성한 것이다.

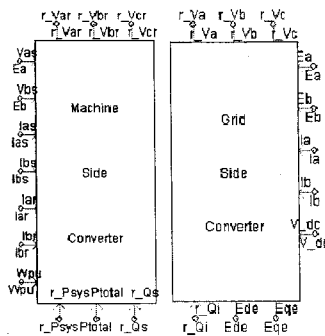


<그림 3> PSCAD/EMTDC를 이용한 시뮬레이션 모델

표 1 시뮬레이션 회로정수

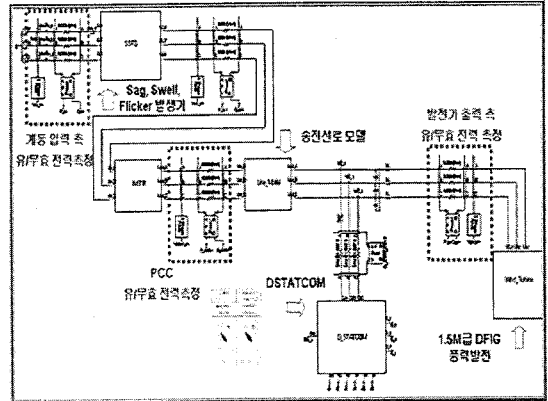
전원 전압	690V
전원 주파수	60Hz
발전기 정격	2000kW
발전기 정격 회전속도	1980rpm
발전기 극수	4극
계통연계용 리액터	0.4mH
MSC 정격출력	710 kVA
GSC 정격출력	400 kVA
DC 링크 정격전압	1200V
변압기 용량	3 MVA
변압비	22.9kV : 690V

<그림 3>의 Blade(pitch) 부분은 가상 블레이드를 모의한 부분으로 실제 블레이드의 관성과 토크를 생성하고 pitch 각에 의한 P_{blade} 를 조절하게 된다.



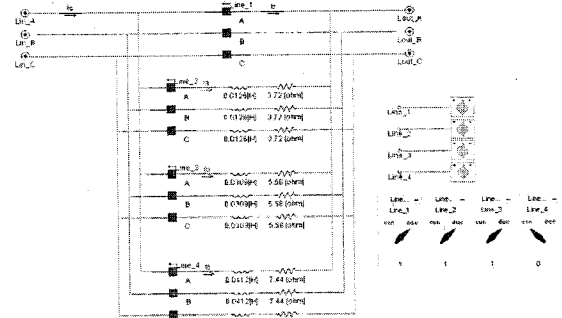
<그림 4> MSC/GSC controller 모델

<그림 4>는 AC-DC-AC converter를 제어하는 MSC와 GSC의 control block이다. 각각 풍력발전의 최대 출력점 제어와 DC 링크 전압 제어를 수행하게 된다.



<그림 5> 고향 풍력 실증 시험 단위 시뮬레이션 모델

<그림 5>는 <그림 1>의 고향 풍력 실증 시험 단지를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 구현한 것이다. 고향 풍력 실증 시험 단지와 마찬가지로 SSFG, M-TR, Line Model, D-STATCOM, Wind power system으로 구성되어 있다. D-STATCOM은 약 1Mvar의 무효전력을 보상할 수 있으며 Line Model은 20, 30, 40km의 선로 길이를 모의할 수 있도록 하였다.

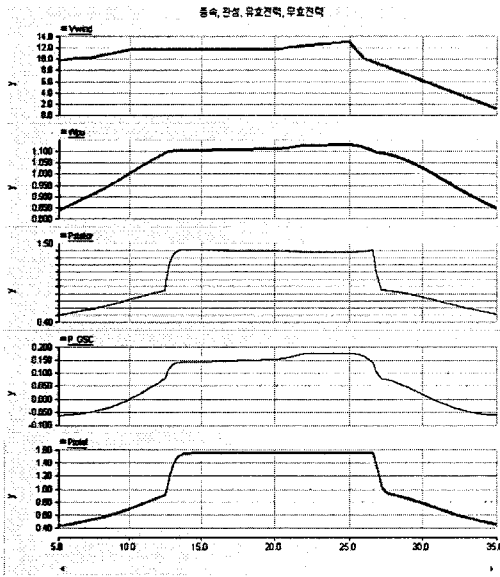


<그림 6> 선로 모델

표 2. 시뮬레이션 시나리오

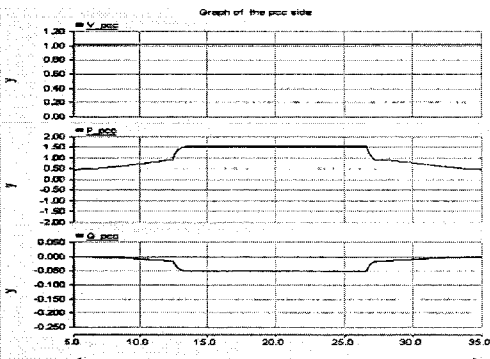
시뮬레이션 시간	Wind Speed
0sec	8 m/sec
1 sec	8 m/sec
6 sec	10 m/sec
7 sec	10 m/sec
10 sec	11.5 m/sec
20 sec	11.5 m/sec
21 sec	12 m/sec
25 sec	13 m/sec
26 sec	10 m/sec
28 sec	8 m/sec

시뮬레이션 수행시간 총 35sec으로 하였으며 표3의 풍속데이터로 가변되는 풍속에서 그 영향을 관찰하였다. 세요. 선로는 40km이고 D-STATCOM과 SSFG는 동작시키지 않았다. 그림 7은 풍속에 따른 이중역자 유도발전기의 회전자의 각속도와 고정자/회전자 측의 유효전력 그리고 계통으로 보내지는 전체 유효전력을 나타낸 것이다.

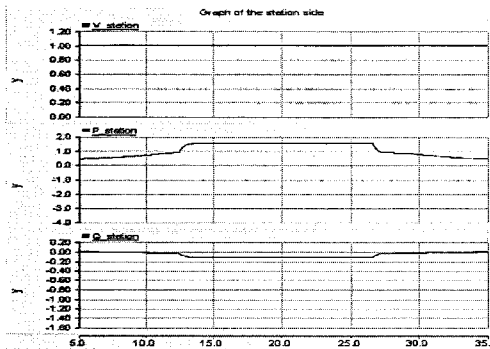


<그림 7> 이중여자유도발전기의 풍속, 각속도, 유효전력

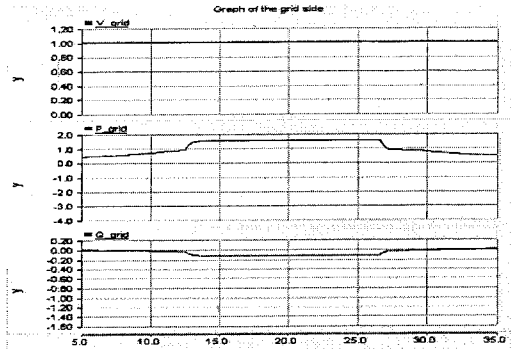
V_{wind} 는 풍속, W_{pu} 는 회전자속, P_{stator} 는 고정자의 유효전력, P_{gsc} 는 회전자의 유효전력, P_{total} 는 전체 유효전력을 나타낸다. 고정자의 유효전력과 회전자의 유효전력의 합이 전체 유효전력과 동일함을 알 수가 있다. 또한 이중여자유도발전기의 특징인 동기속도 이상의 속도에서 회전자의 유효전력이 계통으로 보내지는 것을 확인할 수 있다.



(a) 계통 전압(RMS), 유효전력, 무효전력(PCC point)



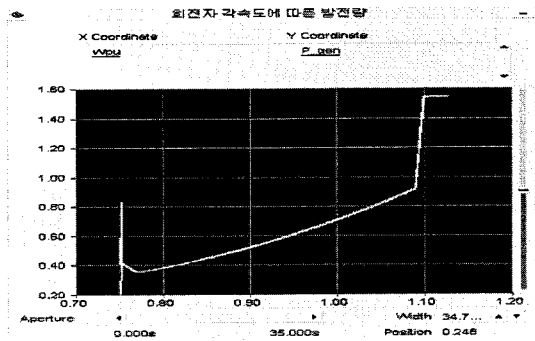
(b) 계통 전압(RMS), 유효전력, 무효전력(Station point)



(b) 계통 전압(RMS), 유효전력, 무효전력(grid point)

<그림 8> 이중여자유도발전기의 풍속, 각속도, 유효전력

계통전압은 RMS 측정기를 이용하여 22.9kV을 기준으로 하여 측정하였다. 또한 각 지점의 유효/무효전력을 측정함으로써 선로의 길이의 영향등에 따른 유효/무효전력의 영향도 파악할 수 있다. <그림 9>는 회전자 각속도에 따른 발전량을 그래프로 나타낸 것이다. 발전량이 300kW서 1.5MW까지 최대출력제어를 하지만 그 이상에서는 발전기의 보호를 위해 발전량을 제한하는 것을 볼 수 있다.



<그림 9> 회전자 각속도에 따른 발전량 그래프

3. 결 론

본 논문에서는 고창 풍력 실증 시험 단지를 시뮬레이션 툴인 PSCAD/BMTDC를 이용하여 모델링하였다. 이중여자유도발전기를 이용한 풍력 발전 시스템을 구현하였고 이를 가변되는 풍속으로 운전하여 발생하는 유효/무효전력의 영향을 살펴봤다. 향후 고창 풍력 실증 시험 단지가 완공이 되면 시뮬레이션 특성과 하드웨어 특성을 비교/분석하여 대규모 풍력발전 시스템이 계통에 미치는 영향을 효과적으로 분석할 수 있을 것이라 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 정병창, 권태화, 송승호, 김일환 "회전자속 PWM 인버터-컨버터를 사용한 이중여자 유도형 풍력 발전기의 계통 투입 알고리즘," 전기학회논문지 Vol.52, No.10, pp.529-534, 2003.
- [2] 이동근, 한병문, 최남섭, 최영도 "매트릭스컨버터와 이중여자유도발전기를 사용한 풍력발전시스템", 전기학회논문지 57권 6호 pp 985-993, 2008