

## RTDS를 이용한 3MW급 풍력 발전시스템 모델링에 관한 연구

박대진\*, 김영주\*, 모하마드 하산 알리\*, 박민원\*, 유인근\*  
국립 창원대학교 전기공학전문전공\*

### Modelling of 3MW wind power generation system using RTDS

Daejin Park\*, Youngju Kim\*, Mohd Hasan Ali\*, Minwon Park\*, In-Keun Yu\*  
\*Department of Electrical Engineering, Changwon National University, Korea

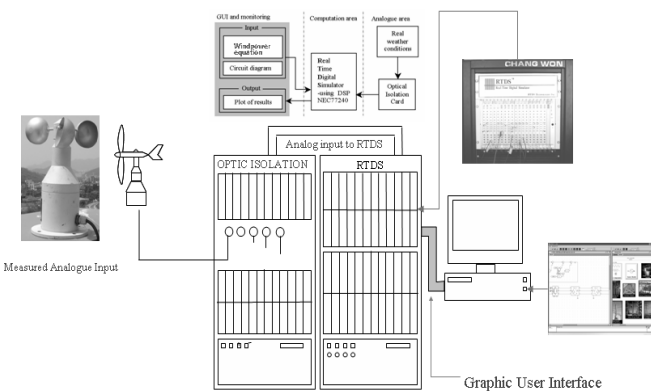
**Abstract** -This paper proposes a novel simulation method of grid connected 3MW wind power generation system using RTDS(Real Time Digital Simulator). RTDS can perform the simulation as well as the experiment in real time. Also for the purpose of accurate simulation, real wind velocity is measured by anemometer. So simulated wind velocity is applied to the simulation. And 3MW wind power generation system circuit is made by RSCAD.

#### 1. 서 론

대체에너지원 가운데 풍력발전은 효율이나 단가의 측면에서 가장 효율적인 발전 형태라 불리어진다. 하지만 현재 유럽 및 선진 국가들만이 상당부분 풍력발전 시스템을 이용하여 계통으로 전력을 공급하고 있는 실정이고 우리나라의 경우는 계통 연계 실적이 부진하다[1]. 본 논문에서는 실시간 풍속 Data를 적용하기 위하여 풍속계를 이용하여 측정된 실제 풍속을 풍력발전시스템 시뮬레이션에 적용하였다. 시뮬레이션에 사용되어진 RTDS는 전력시스템의 전자기적 과도현상을 모의하기 위한 Real Time Digital Simulator이다. RTDS는 실시간 계산이 가능한 고속의 프로세서들이 들어있는 하드웨어와 시뮬레이션을 모의하고 동작시키는 소프트웨어(RSCAD)가 결합된 형태이며, 실시간으로 지속적인 시뮬레이션 결과를 도출할 수 있다[2].

#### 2. 본 론

##### 2.1 실제 기상상태를 고려한 시스템 구성



<그림 1> 제안된 시뮬레이션 시스템의 구성

그림 1은 제안된 시뮬레이션의 구성도를 보여준다. 시뮬레이션은 RTDS의 Analog input port를 통하여 입력되어지는 실제 풍속 Data를 RTDS의 하드웨어를 통하여 RSCAD의 풍력터빈 회로에 적용되었다.

##### 2.2 풍력 터빈과 발전기 모델링

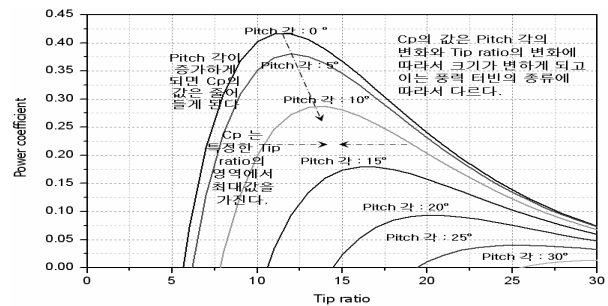
시뮬레이션에서 터빈은 Mod-2 wind turbine 모델을 사용하였다[3]. Mod-2 wind turbine은 수 MW 크기의 실제 풍력터빈으로 Gear box를 통하여 발전기에 연결된다. 표 1에 Mod-2 wind turbine의 실제 parameter를 나타내었다. 본 논문에서는 Mod-2 풍력터빈을 출력을 증가시켜 3MW Mod-2 wind turbine을 만들어 시뮬레이션 하였다.

<표 1> Mod-2 wind turbine parameter

프로펠러 형태	수평축 프로펠러	Cut-in speed	5.8m/s
Rated power	2.5MW	Cut-out speed	16m/s
Gear box	1:86	Rotor diameter	91.43m

$$C_p = 1/2(\lambda - 0.022\beta^2 - 5.6)e^{-0.17\lambda} \quad (1)$$

Mod-2 wind turbine의  $C_p$  특성 방정식은 식 (1)로 나타낸다. 여기서  $\lambda$ 는 풍력터빈의 Tip ratio,  $\beta$ 는 Pitch 각을 나타내고,  $C_p$ 는 Tip ratio와  $\beta$ 의 값에 의해서 그림 2와 같이 나타내어진다.



<그림 2> Mod-2 Wind turbine의  $C_p$ - $\lambda$ 곡선

$$T_w = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 v_w^2 C_p(\lambda, \beta) / \omega \quad (3)$$

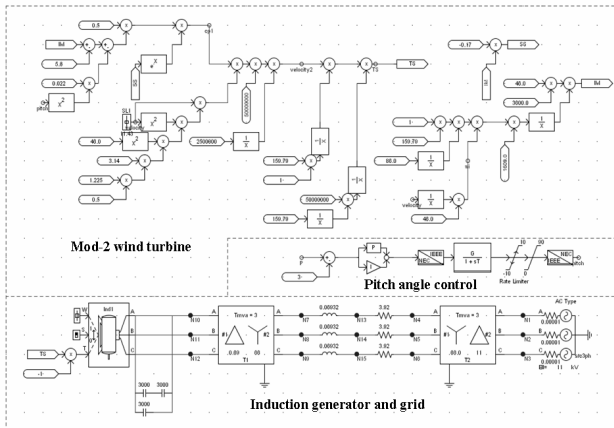
식 (2)는 풍력터빈의 Toque 출력 식이며, 여기서  $\rho$ 는 공기 밀도,  $R$ 은 터빈 로터의 반경을 나타낸다.  $v_w$ 는 풍속을 나타내고  $\omega$ 는 터빈의 회전 각속도를 나타낸다[4].

시뮬레이션을 위하여 회전기는 Squirrel cage 유도발전기를 사용하였다. Squirrel cage 유도발전기는 항상 일정한 속도로 회전하므로 Fixed speed 유도발전기라고 불리며, 풍속이 변하더라도 항상 일정한 속도로 회전하게 된다. 유도발전기는 Stator의 속도가 Rotor의 속도보다 빨라서 Slip ratio가 Negative 값이 되고 무효전력이 공급되어야 동작을 할 수 있다. 따라서 계통으로부터 무효전력 성분을 공급받게 되고, 무효 전력 성분을 보상하기 위하여 계통의 말단부에 Capacitor bank가 설치되게 된다. 그리고 Squirrel cage 유도발전기는 다른 Wound rotor type 유도발전기나 동기발전기와는 달리 AC/DC converter나 여자기 없이 계통에 직접 연결할 수 있다.

##### 2.3 풍력발전 시스템 출력 안정 기법

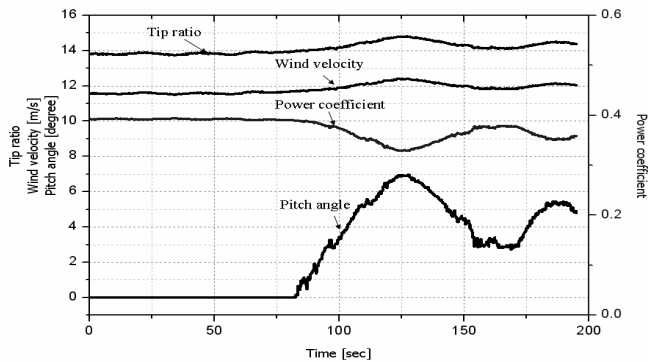
풍속이 변할 때 풍력발전 시스템이 계통에 연결되면, 풍력발전 시스템의 출력이 진동하게 되어 시스템이 불안정해진다. 따라서 풍력발전 시스템에서는 출력을 일정하게 유지하기 위하여 터빈의 Pitch 각을 조정하여 출력을 제어하게 되고 풍속이 정적 풍속보다 높을 경우에도 일정한 출력을 낼 수 있도록 하였다.

RSCAD에서 Pitch angle control을 적용하기 위하여 본 시스템에서는 PI제어를 사용하였다. 그리고 실제 시스템에서 Pitch 각의 초당 최대 변화각도 10°를 고려하고, 피치각의 한계 각도인 90°를 넘지 않도록 설계하여 시뮬레이션 하였다[5]. 그림 3은 RSCAD에서 구현된 3MW 풍력발전 시스템 Circuit diagram을 보여준다.



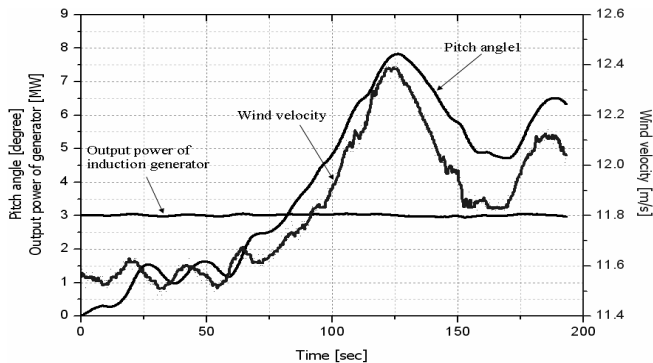
**<그림 3> RSCAD에서 풍력발전시스템 Circuit diagram**

**3. 실험 결과**

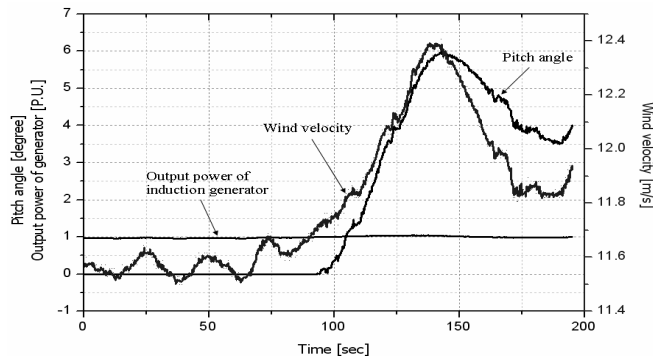


**<그림 4> 풍속의 변화에 따른 Power coefficient의 변화**

그림 4는 풍속의 변화에 따른 풍력터빈의 Parameter 변화를 보여준다. 여기서 풍속이 변함에 따라 Tip ratio와 Pitch angle이 변화하여 Power coefficient가 결정된다.



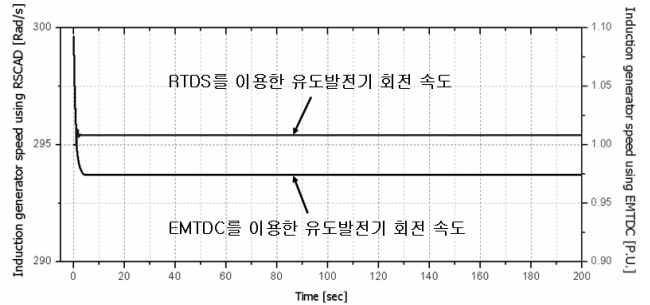
(a) RTDS를 이용한 3MW 풍력발전 시스템 결과



(b) EMTDC를 이용한 3MW 풍력발전 시스템 결과

**<그림 5> 풍속의 변화에 따른 Pitch 각의 변화와 유도 발전기의 출력**

그림 5는 RTDS/RSCAD와 EMTDC에서 구현한 결과 파형을 보여준다. EMTDC는 실제 풍속을 실시간으로 입력할 수 없기 때문에 측정되어진 풍속 데이터 값이 EMTDC 풍력 Turbine에 입력되었다. 풍력발전 시스템에서는 풍속이 강할수록 풍력 터빈의 토크가 증가하지만 계통의 연계를 위해서는 발전기의 일정한 출력이 요구된다. 따라서 터빈의 Pitch 각을 조절하여 일정한 출력을 낼 수 있도록 하였다. 그림 5의 결과로부터 EMTDC와 RSCAD에서 구현한 시뮬레이션이 거의 일치함을 알 수 있다. 여기서 EMTDC와 RSCAD의 결과 파형에서의 차이는 시뮬레이션 Component의 Parameter 입력 차이 때문이다.



**<그림 6> Squirrel cage 유도 발전기의 회전속도**

그림 6에서 RTDS를 이용한 풍력발전 시스템에서 유도발전기의 회전속도를 보여준다. 또한 EMTDC의 결과와 RTDS의 실험 결과를 비교하여 나타내었다. 본 시뮬레이션에서 사용한 Squirrel cage 유도발전기는 고정속 발전기로서 풍속이 변하여도 발전기의 회전속도는 변하지 않는 것을 볼 수 있다.

**4. 결 론**

본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 Squirrel cage 유도발전기를 모의 계통회로에 연결 하였다. 그리고 풍속이 변함에 따라서 풍력발전시스템의 출력을 일정하게 유지하기 위하여 Pitch angle control을 사용하여 일정출력제어를 하였고, 풍속이 너무 낮거나 높을 경우 풍력발전 시스템의 출력이 정지하도록 제어하였다. 따라서 실제 시스템과 유사한 시스템 개발을 위하여 실시간 풍속 데이터를 적용 할 수 있는 RTDS를 이용한 3MW 풍력발전 시스템을 개발하였다. 이는 실시간 풍속계를 이용하여 모의 풍력발전 시스템 계통 해석이 가능하게 되었다. 향후 Wound rotor 유도발전기 및 영구자석형 발전기등 여러 형태의 발전기 이용한 풍력발전 시스템을 연구할 것이며, 풍력발전 시스템이 계통에 연계되었을 때 일어날 수 있는 과도현상에 대하여 분석할 것이다. 또한 풍력발전 시스템이 정격 풍속 이하로 운전할 경우 생기는 부족한 전력을 보상하기 위하여 SMES와 STATCOM과 같은 장치를 풍력발전 시스템에 연계하여 연구할 것이다.

**감사의 글**

본 연구는 (주)두산중공업의 지원에 의하여 수행된 것임

**[참 고 문 헌]**

[1] "Global wind energy outlook 2006" Global Wind Energy council. 2006 september  
 [2] J.-H. Kim, M. Park, D.-J. Park, J.-J. Kang, J. Cho, K.-D. Sim, and I.-K. Yu, "Development of a Real-Time Simulation Method for the utility Application of Superconducting Power Devices (PART 1: HTS Power cable), Journal of the Korean Institute of Electronic Material Engineers, Vol. 19, No.11, p. 105 5, November 2006.  
 [3] Wasynczuk, T. man, J. P. Sullivan, "DYNAMIC BEHAVIOR OF A CLASS OF WIND TURBINE GENERATORS DURING RANDOM WIND FLUCTUATIONS", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, pp2837-2845 No. 6 June 1981  
 [4] J.-H. Kim, M. Park, and I.-k. Yu, "Real time Digital Simulation Method for Wind Power Generation System using RTDS", IASTED, Energy and Power system 2005  
 [5] M. H. Ali, T. Murata, and J. Tamura, "Minimization of Fluctuations of Line Power and Terminal Voltage of Wind Generator by Fuzzy Logic-Controlled SMES," International Review of Electrical Engineering (IREE), Vol 1, No. 4, pp. 559-566, October 2006.