

## 풍속계와 Motor-Generator 세트를 이용한 DFIG 풍력발전시스템 하드웨어 시뮬레이터 개발

吳丞鎭\*, 車珉英\*, 金鍾元\*, 鄭鍾圭\*\*, 韓炳文†, 張秉勳\*\*\*

### Development of Hardware Simulator for DFIG Wind Power System Composed of Anemometer and Motor-Generator Set

Seung-Jin Oh, Min-Young Cha, Jong-Won Kim, Jong-Kyou Jeong  
Byung-Moon Han, and Byung-Hoon Chang

#### 요 약

본 연구에서는 풍력발전시스템의 다양한 특성들을 고려한 DFIG 풍력발전시스템 하드웨어 시뮬레이터를 개발하였다. 개발한 하드웨어 시뮬레이터는 유도전동기를 이용한 풍력터빈 모델과 이중여자 유도발전기 그리고 컨버터와 인버터로 구성된 Back-to-Back 컨버터로 구성되었다. 특히 풍력터빈 시뮬레이터는 풍속계를 이용하여 실시간으로 풍속을 측정하고 측정된 바람으로 블레이드의 특성을 모의하였다. DFIG 풍력발전 시뮬레이터에서 생산되는 전력은 MPPT 제어를 수행하는 MSC(Machine Side Converter)와 DC link 전압을 일정하게 제어하는 GSC(Grid Side Converter)에 의해 계통에 연계되어 운전한다. 제안하는 시스템은 PSCAD/EMTDC 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 하였으며, 축소모형실험을 통해서 성능을 검증하였다.

#### ABSTRACT

This paper describe development of a hardware simulator for the DFIG wind power system, which was designed considering wind characteristic, blade characteristic, and blade inertia compensation. The simulator consists of three major parts, such as wind turbine model using induction motor, doubly-fed induction generator, converter-inverter set, and control system. The turbine simulator generates torque and speed signals for a specific wind turbine with respect to the given wind speed which is detected by Anemometer. This torque and speed signals are scaled down to fit the input of 3.5kW DFIG. The MSC operates to track the maximum power point, and the GSC controls the active and reactive power supplied to the grid. The operational feasibility was verified through computer simulations with PSCAD/EMTDC. And the implementation feasibility was confirmed through experimental works with a hardware set-up.

**Key Words** : Anemometer, Motor-Generator set, DFIG(Doubly-Fed Induction Generator), Wind Turbine Simulator, MSC(Machine Side Converter), GSC(Grid Side Converter)

## 1. 서 론

산업사회의 급속한 발달로 인한 화석에너지의 고갈 문제와 각종 환경오염문제를 해결하기 위해서 20세기 중반 이후 대체에너지의 개발에 대한 관심이 집중되고 있다. 우리나라에서도 대체에너지에 의한 발전에 많은 관심이 집중되어 있다. 풍력발전은 대체에너지에 의한

†교신저자 : 정희원, 명지대 전기공학과 교수

E-mail : erichan@mju.ac.kr

\*학생회원, 명지대 전기공학과 석사과정

\*\*학생회원, 명지대 전기공학과 박사과정

\*\*\*정희원, 전력연구원 송배전연구소 책임연구원

접수일자 : 2010. 9. 10

1차 심사 : 2010. 10. 13

심사완료 : 2010. 10. 19

발전 중 가장 경제성이 있는 것으로 알려져 있어 국내에서도 많은 풍력발전기가 설치 운용되고 있고 또한 이에 관한 연구도 비교적 활발히 진행되고 있다.<sup>[1,2]</sup>

최근 생산되는 풍력발전 기종의 대부분이 고효율 운전과 기계적 스트레스의 저감을 위해 가변속 운전방식을 채택하고 있으며, 이를 위해 발전기의 가변 출력 전압, 주파수를 전력 계통의 전압, 주파수와 동기 시킬 수 있도록 제어하는 전력변환 장치가 필수적이다.<sup>[3]</sup>

가변속 운전방식을 채택하는 풍력발전기에는 크게 동기발전기를 사용하는 방식과 이중여자 유도형 풍력발전기를 사용하는 방식으로 나뉜다. 이중여자 유도형 풍력발전시스템(doubly-fed induction generator)은 권선형유도발전기를 사용하고, 고정자는 전력계통에 직접 연결하면서 회전자는 Back-to-Back 컨버터를 통해 계통에 연결되어 있다. 이 방식은 풍속에 따라 회전자의 속도가 변하더라도 일정한 전압과 주파수로 전력을 계통에 공급하는 것이 가능하므로 무효전력 보상을 위해 별도의 기기를 설치할 필요가 없다는 장점이 있다.<sup>[4,5]</sup>

풍력발전시스템의 특성을 모의분석하기 위해서는 실제 블레이드, 동력 전달부, 발전기, 전력변환기를 축소 모형으로 제작하여 풍동실험을 하는 것이 효과적이다. 그 동안 여러 연구자에 의해 다양한 풍력발전 하드웨어 시뮬레이터가 연구되어져 왔다.<sup>[6,7,8]</sup> 하지만 풍동시설의 크기를 고려할 때 수 kW급 이상 되는 모형은 공간 제약 때문에 실험이 어렵고 비용도 많이 소요된다. 이러한 문제점들 때문에 대부분의 풍력발전 시뮬레이터는 소프트웨어를 이용해서 개발되어 왔다.<sup>[9,10,11]</sup> 하지만 소프트웨어를 이용한 시뮬레이터는 자세한 동작특성을 모의할 수 없을 뿐 아니라, 보통 오프라인방식으로 동작된다.

따라서 전동기-발전기로 축소모형을 제작하고 블레이드의 터빈역할을 대신하여 전동기가 토크를 발전기에 공급하는 풍력발전시뮬레이터가 요구된다.<sup>[12]</sup>

본 논문에서는 현재 전라북도 고창 지역에 설치되어 있는 전력품질 실증모의단지의 이중여자 풍력발전 시스템의 축소 모형을 제작하고 그 동작을 분석한 내용을 기술하고 있다. 특히, 풍력발전시스템의 특성을 모의하는데 있어서 풍속을 테이블 형식으로 입력하던 기존의 방식과는 다르게 풍속계에 의해 실시간으로 측정되는 풍속을 이용한 가상블레이드를 이용하여 풍력발전시스템의 특성을 상세하게 모의하였다.

## 2. 풍력발전시스템 모델링

### 2.1 풍력터빈시뮬레이터 블레이드 모델링

#### 2.1.1 블레이드 사양

풍력발전기의 정격 풍속은 설치 장소의 풍황 조건에 따라서 달라진다. 풍속이 낮은 지역에서는 10m/s가 정격 풍속이고, 풍속이 높은 지역에서는 15m/s를 정격 풍속으로 설계한다. 본 논문에서는 국내의 풍속 조건을 고려해서 11.5m/s에서 1,550kW를 출력하도록 설계하였다.

풍력발전 시뮬레이터의 설계를 위해 우선 상용화된 풍력발전기의 사양을 검토하였다. 정격용량이 1.5MW 이면서 사양이 자세히 공개되어있는 독일의 풍력 회사인 Nordex사의 S70모형을 참고로 하였다.

표 1은 Nordex사의 S70의 풍속, 출력, 그리고 에너지 변환 효율의 관계이다. 에너지 변환 효율은 출력계수(Power Coefficient)라고도 한다. 풍속 13m/s에서 1,500kW가 발전되지만, 풍력발전기의 출력계수는 10m/s에서 최댓값에 가깝고, 이후 풍속이 증가하면 출력계수는 낮아진다. 본 논문에서 개발한 시뮬레이터도 정격 풍속은 11.5m/s이지만, 9.5m/s에서 출력계수가 최대가 되고 풍속이 낮아지면 출력계수도 낮아지도록 설계하였다.

표 1 S70의 풍속, 출력, 출력계수  
Table 1 Wind Speed, Generating Power, Power Coefficient for S70

Wind Speed [m/s]	Power [kW]	$C_p$
4	24	0.159
5	87	0.295
6	190	0.373
7	329	0.407
8	531	0.440
9	736	0.428
10	1016	0.431
11	1284	0.409
12	1426	0.350
13	1500	0.290
14	1500	0.232
15	1500	0.189
16	1500	0.155
17	1500	0.130
18	1500	0.109
19	1500	0.093
20	1500	0.080

블레이드의 출력계수는 블레이드의 형상과 주속비  $\lambda$ , 피치각  $\theta$ 에 따라 달라지고, 이론적으로 최대 0.59까지 가능하며 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_p(\lambda, \theta) = C_1(C_2 - C_3\theta - C_4\theta^x - C_5)e^{-C_6\theta^r} \quad (1)$$

출력 계수의 각 항은 블레이드에 따라서 고유한 값을 갖는다. 본 논문에서는 다음 식 (2)와 같은 계수를 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 C_1 &= 0.223, \\
 C_2 &= 177.6/\lambda_i \\
 C_3 &= 0.4 \\
 C_4 &= 0 \\
 C_5 &= 5 \\
 C_6 &= 18.5/\lambda_i \\
 \frac{1}{\lambda_i} &= \frac{1}{\lambda + 0.08\theta} - \frac{0.035}{\theta^3 - 1}
 \end{aligned} \tag{2}$$

그림 1은 주속비에 따른 출력계수의 변동을 주어진 피치각에 따라 나타낸 곡선이다. 주속비에 대한 출력 계수의 변화는 피치각에 따라 바뀌는데 일반적으로 피치각이 0° 일 때 최대값을 얻을 수 있다.

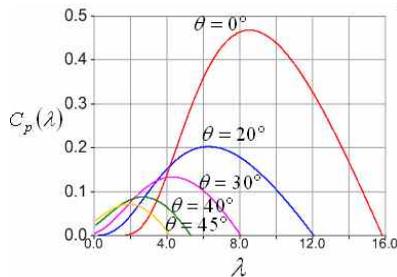


그림 1 주속비-출력계수 곡선  
Fig. 1 Cp - λ Curve

표 2 블레이드 설계 사양  
Table 2 Blade Design Specification

Part	Parameter	Description	
블레이드	출력특성	회전반경[m]	35
		정격풍속[m/s]	11.5
		최대출력계수	0.467828
		최대출력주속비	8.5324
		정격출력[kW]	1,550
		정격회전속도[rpm]	22.1155
	기동피치 제어	기동피치[deg]	45
		피치각[deg]	45-40-30-20-0 
		변환주속비	1.4-2.2-3.5-4.2
	피크제한 피치제어	시작풍속[m/s]	11.5
		피치변화율[deg/s]	4
관성	중량[ton]	17.7	
	블레이드축환산[kg · m <sup>2</sup> ]	3,746,000	
	발전기축환산[kg · m <sup>2</sup> ]	467.33	

표 2는 풍력발전 시뮬레이터에서 블레이드의 설계 사양을 나타낸 것이다.

### 2.1.2 가상 블레이드

블레이드는 공기의 운동 에너지 중에서 일부를 기계적 회전에너지로 변환하는 역할을 한다. 그림 2와 같이 회전반경이  $R_{blade}$  인 블레이드에 풍속  $V_{wind}$  인 바람이 불어올 때 블레이드의 회전 단면을 통과하는 공기가 가지는 운동 에너지  $P_{wind}$  는 식 (3)과 같다.

$$P_{wind} = \frac{1}{2} A \rho V_{wind}^3 \text{ [W]} \tag{3}$$

$A$ 는 블레이드의 회전 단면적[m<sup>2</sup>]으로  $A = \pi R_{blade}^2$  이고  $\rho$ 는 공기의 밀도로 약 1.225[kg/m<sup>3</sup>]이다.

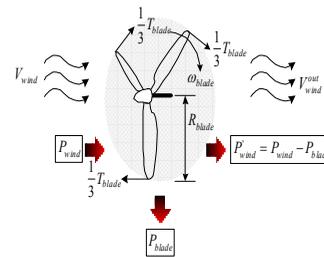


그림 2 블레이드의 에너지 변환  
Fig. 2 Energy Conversion of Blade

공기가 가지는 운동 에너지가 식 (3)과 같을 때, 블레이드에서 변환되는 기계적 에너지는 식 (3)에 블레이드의 출력계수를 곱해서 계산할 수 있다. 블레이드의 출력계수는 식 (2)에서 정리하였고 블레이드에서 변환된 기계적 에너지를 블레이드의 출력  $P_{blade}$  라고 표시하면 식 (4)와 같다.

$$P_{blade} = \frac{1}{2} A \rho V_{wind}^3 C_p(\lambda) \text{ [W]} \tag{4}$$

여기서, 풍속과 주속비의 관계는 식 (5)와 같다.

$$\lambda = \frac{\omega_{blade} R_{blade}}{V_{wind}} \tag{5}$$

식 (5)를 식 (4)에 대입하여 정리하면 식 (6)과 같다.

$$P_{blade} = \frac{1}{2} A \rho V_{wind}^3 C_p(\lambda, \theta) \left( \frac{\omega_{blade} R_{blade}}{\lambda} \right)^3 \text{ [W]} \tag{6}$$

그림 2에서와 같이, 바람이 가지고 있는 에너지의 일부를 블레이드에서 흡수하기 때문에 블레이드를 통과한 바람이 가지고 있는 에너지는  $P'_{wind}$ 가 된다. 블레이드의 출력은 발전기에 토크 형태로 공급된다. 블레이드의 토크  $T_{blade}$ 는 식 (7)과 같다.

$$T_{blade} = \frac{P_{blade}}{\omega_{blade}} \text{ [Nm]} \quad (7)$$

블레이드의 토크가 기어를 통해서 발전기에 공급될 때 발전기의 회전축에 작용하는 토크  $T'_{blade}$ 는 식 (8)과 같다.

$$T'_{blade} = \frac{1}{GR} T_{blade} \text{ [Nm]} \quad (8)$$

$GR$ 은 블레이드와 발전기 사이에 위치한 증속 기어의 증속 비율이다. 식 (8)에 식 (4)와 식 (7)을 대입하여 정리하면 발전기의 회전축에 작용하는 블레이드의 토크는 식 (9)와 같다.

$$T'_{blade} = \frac{A\rho}{2GR} C_p(\lambda, \theta) V_{wind}^3 \frac{1}{\omega_{blade}} \text{ [Nm]} \quad (9)$$

## 2.2 풍력터빈 시뮬레이터

### 2.2.1 풍속계

본 논문에서 제안하는 풍력터빈 시뮬레이터에서는 풍속의 값을 수치로 입력하는 것이 아니고 디지털 풍속계에서 실시간으로 측정되는 풍속의 값을 터빈의 토크 계산에 사용하였다. 그림 3은 실시간 풍속에 의해 가상 블레이드에서 생성하는 토크 값을 풍력터빈 시뮬레이터가 적용된 모터에 맞게 스케일링하는 모터 토크 산출 알고리즘 관계를 보여준다. 실측 풍속 데이터를 통해 1.5MW의 풍력발전시스템의 블레이드에 의한 토크 입력을 2kW의 풍력발전 시스템의 발전기 토크 입력으로 변환하고 이중여자 유도형 풍력발전기의 회전 속도  $\omega_{DFIG}$ 는 스케일링을 통해  $\omega_{blade}$ 로 변환된다. 실시간으로 측정되는 풍속과 블레이드의 반경을 이용하여 주속비를 계산하고 계산된 주속비와 피치각을 이용하여 출력계수를 계산한다. 이 값을 이용하여 블레이드의 출력과 토크를 구하고 스케일링하여 2kW 이중여자 유도형 풍력발전기에 적합한 토크를 산출하게 된다. 이렇게 산출된 토크는 전동기-발전기 세트에 구성된 시뮬레이터의 모터 구동용 벡터드라이브에 RS232C 통신을 이용하여 전달된다.

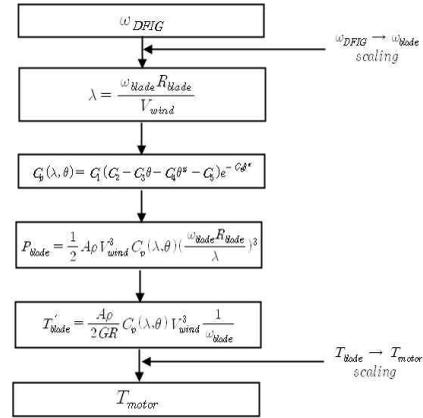


그림 3 모터토크 산출 알고리즘  
Fig. 3 Motor Torque Calculation Algorithm

표 3은 회전속도로부터 토크를 산출하는 알고리즘에서 1.5MW의 풍력발전시스템을 2kW의 축소모형으로 변환하는데 필요한 스케일링 정수를 보여준다.

표 3 스케일링 파라미터  
Table 3 Scaling Parameter

	1.5MW 풍력터빈시스템	2kW 풍력터빈	Scaling
$\omega$ [rad/s]	1.191588	125.66	0.01525
rpm	18,2925	1200	65.6
$\tau$ [N · m]	783049.2862	15.915	49200.44

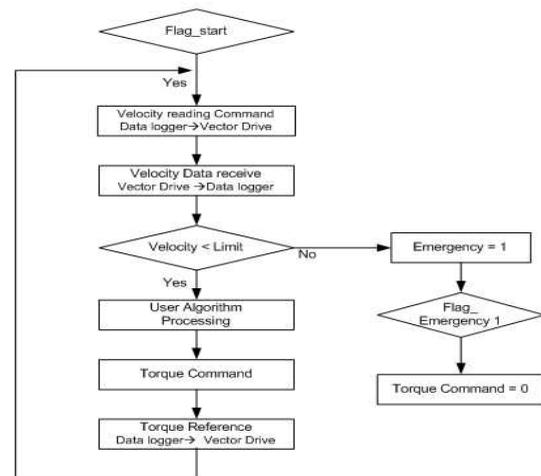


그림 4 토크신호 통신 알고리즘  
Fig. 4 Communication Algorithm for Torque Signal

앞에서 설명한 토크 산출 알고리즘은 풍속계와 벡터 드라이브를 연결해주는 data logger에서 처리한다.

풍속계에서는 가변되는 풍속을 0.05sec마다 측정하여 블레이드에서 생성된 기준 토크 신호를 만든다. 생성된 기준 토크 신호는 그림 4에 나타난 순서도에 의해 모터구동용 벡터드라이브에 RS232C 통신을 이용하여 총 40byte를 송수신한다.

### 2.2.2 시뮬레이터 구현

본 논문에서 제안하는 이중여자 유도형 풍력발전 시뮬레이터는 그림 5와 같다. 블레이드의 동특성을 모의하는 가상 블레이드는 앞에서 설명한 것과 동일하다. 발전기는 권선형 유도기를 사용하였으며, 회전자에 전력변환기를 연결하였다. 일반적인 풍력발전기에서 전력변환기의 제어기는 발전기의전류 제어를 담당하고 발전기의 유·무효전력의 제어는 상위 제어기에서 담당한다. 그러나 본 논문에서는 실제 풍력발전기와 동일한 유·무효전력 제어기를 전력변환기에 구현하였다.

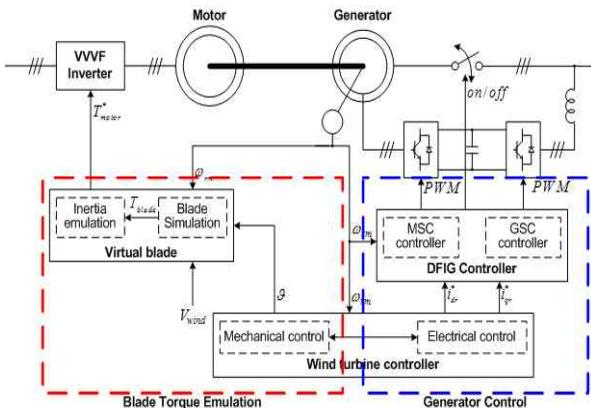


그림 5 이중여자 유도형 풍력발전시뮬레이터의 구성  
Fig. 5 Simulator structure for Doubly-Fed Induction Generator with Wind Turbine

### 2.2.3 풍력발전기 제어

그림 6은 이중여자 유도형 풍력발전기의 전력변환기 제어 블록도를 나타낸 것이다.<sup>[12]</sup> 전력변환기의 제어기는 크게 두 부분으로 나눌 수가 있는데 이중여자 유도형 시스템의 회전자측에 위치한 Machine Side Converter(MSC)와 계통측에 위치한 Grid Side Converter(GSC)로 나눌 수가 있다.

먼저, 회전자측 컨버터는 간접벡터제어 방법을 이용하여 고정자의 전압과 전류를 이용한 고정자의 자속을

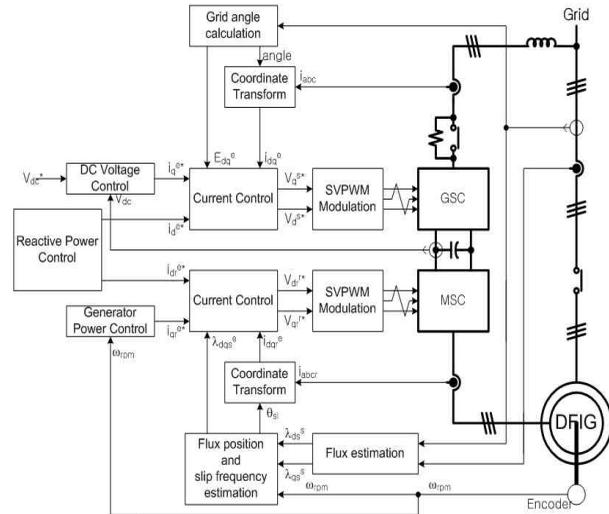


그림 6 이중여자 유도형 풍력발전기 제어기  
Fig. 6 Controller of Doubly-fed Induction Generator System for Wind Turbine

추정하고 이를 기반으로 하여 동기 위상각을 추출한다. 추출된 동기위상각은 고정자와 회전자 사이의 슬립을 고려하여 회전자의 제어 기준각을 구한다. 구해진 기준각은 회전자 컨버터 제어의 기준 위상각이 된다. 이 기준각을 기반으로 회전자의 컨버터는 이중여자 유도형 발전기의 발전량을 제어하게 된다. 이중여자 유도형 발전기에서 풍속에 의해 발전되는 발전량을 최대 출력점으로 제어하기 위한 기준전류를 생성하고 전류제어기를 통해 실제 전류가 기준전류를 추종할 수 있도록 한다. 이 과정에서 생성된 전압지령치는 PWM 신호를 통해 구현된다.

다음으로 계통측 컨버터는 계통 전압의 위상각을 계산하고 직류단 전압제어, 무효전력 제어 그리고 전류제어를 수행하게 된다. 계통의 상전압을 PLL(Phase-Locked-Loop)을 이용하여 동기위상각을 추출한다. 이 추출된 동기위상각은 계통측 컨버터 전체 시스템의 기준 위상각이 되고 d-q변환과 전류제어 등에 사용되게 된다. 계통측 컨버터에서는 이중여자 유도형 발전기에서 생성되는 전력을 손실 없이 계통에 전달하는 역할을 하게 된다. 이중여자 유도형 발전기에서 생성되는 전력을 손실 없이 계통에 전달하기 위해 계통 측 컨버터의 DC-Link 전압을 일정하게 유지하는 역할을 한다.

## 3. 축소형 풍력발전 시뮬레이터

풍속계와 모터-제너레이터 세트로 구성된 풍력발전

시뮬레이터는 그림 7에 보인 바와 같이 하드웨어로 제작하고 하드웨어 실험을 실시하였다. 풍속에 따른 풍력발전시스템의 특성모의는 실제 풍속계를 이용하여 풍속을 측정하였고 풍속계의 Data logger와 벡터드라이브는 통신을 이용하여 회전속도와 토크의 지령치를 송수신 한다.

이중여자 유도형 풍력발전기 제어용 Back-to-Back 컨버터 시스템은 DC-link를 사이에 두고 인버터는 권

표 4 시스템 설계 파라미터  
Table 4 System Design Parameter

Part	Parameter	Value
연계계통	전압	220[V]
	주파수	60 [Hz]
인버터-컨버터 세트	컨버터 용량	10 [kVA]
	인버터 용량	10 [kVA]
	직류 캐패시터	3400 [ $\mu$ F]
	스위칭 주파수	10 [kHz]
연계용 리액터	연계용 리액터	2.5 [mH]
계통연계용 변압기	권수비	65:220
	용량	10 [kVA]
Induction Motor	누설 임피던스	1.5 [%]
	정격용량	7.5 [kW]
	극수	6 [P]
	정격회전속도	1750 [rpm]
Induction Generator	변압비	220/380 [V]
	정격용량	3.7 [kW]
	극수	6 [P]
	정격회전속도	1130 [rpm]
	변압비	220/380 [V]

선형 유도기의 회전자와 연결되고 컨버터는 계통과 연결되는 구조로 되어있다. 양측 연계노드에는 제어 를 위한 전압검출기와 전류검출기, 신속한 투입 및 절체를 위한 MC(Magnetic Contactor)와 스위치로 구성되어 있다.

표 4는 이중여자 유도형 풍력발전시스템의 하드웨어 축소모형 시스템의 각 파라미터를 나타내고 있다. 이중여자 유도형 풍력발전시스템의 발전기는 3.7kW급으로 6극으로 구성되어 있으며 동기속도는 1200rpm이다.

그림 8은 연구실 옥상에 설치된 풍속계를 이용하여 실시간으로 실제 풍속 데이터를 입력 받고 앞에서 설명한 모터토크 산출 알고리즘과 토크신호 통신 알고리즘에 따라 풍력발전 시스템을 가동하였을 때의 결과를 보여준다. 실제 풍속을 이용하였을 때 Cp가 일정하게 제어되면서 최대출력점제어가 원활히 이루어지는 것을 확인 할 수 있었다.

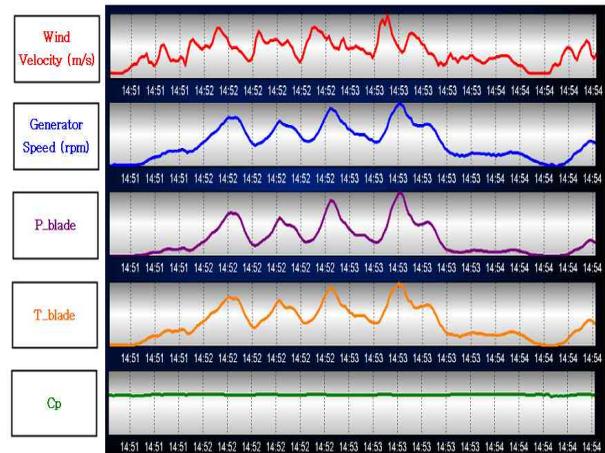


그림 8 실제 풍속 데이터를 적용한 DFIG 속도와 블레이드 출력, 토크, Cp  
Fig. 8 DFIG rpm, Blade torque, Cp based on real wind data

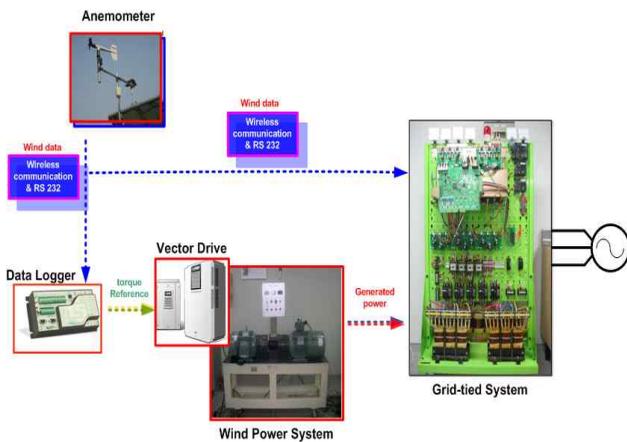


그림 7 하드웨어 시스템 구성  
Fig. 7 Hardware System Configuration

그림 9, 10, 11은 발전기의 회전속도에 따른 회전자 전력 및 회전자 전류, 고정자 전압의 변화를 시뮬레이션과 하드웨어 결과로 보여주고 있다.

우선 고정자는 계통과 연계되어 있기 때문에 고정자의 전압과 주파수는 회전자의 회전속도와 무관하게 전압의 변동없이 일정함을 아래의 그림에서 확인할 수 있다. 반면에 회전자와 고정자의 전력 및 회전자 전류는 회전자의 회전속도에 따라 변동하게 된다. 위 그림 7에서와 같이 축소된 이중여자 유도형 풍력발전시스템은 6극으로 동기속도는 약 1200rpm으로 그림 9와 같

이 동기속도 이하인 900rpm으로 회전 시에는 계통에서 회전자로 전력이 공급되기 때문에 회전자 전력은 계속적으로 회전자측에 전력을 공급하는 형태가 된다. 회전자의 속도가 동기속도와 같을 때는 슬립이 0이 되므로 이론상으로는 회전자 전류의 주파수가 0이 되고 회전자 전력도 0이어야 하지만 그림 10과 같이 실제 하드웨어 결과에서와 같이 동기속도인 1200rpm 부근에서 발전기에서의 손실에 의하여 회전자측에 전력을 공급하는 형태가 됨을 확인할 수 있다. 회전자의 속도가 증가하여 동기속도 이상인 1400rpm에서는 그림 11에서와 같이 회전자측에서 계통으로 회전자 전력이 공급되고 있음을 확인할 수 있다.

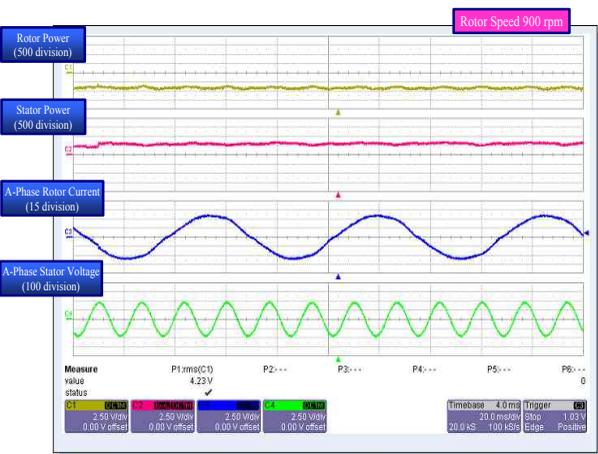
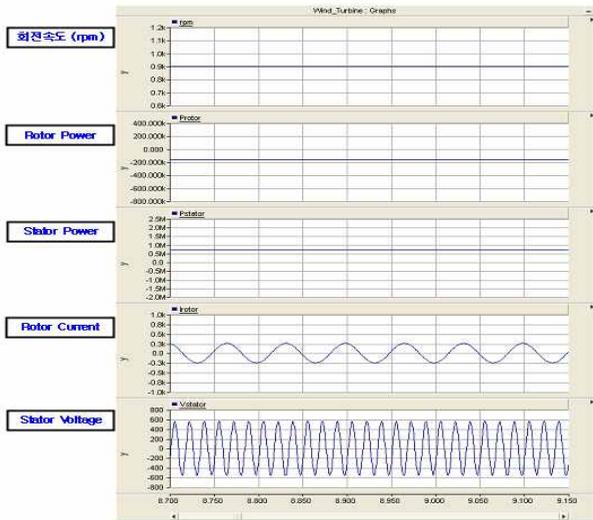


그림 9 회전속도 900rpm일 때 Rotor, Stator의 전력 및 Rotor전류, Stator전압  
Fig. 9 Rotor and Stator power, Rotor Current, Stator Voltage at 1000rpm

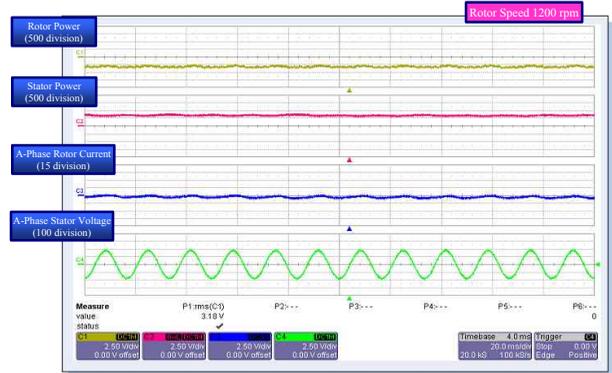
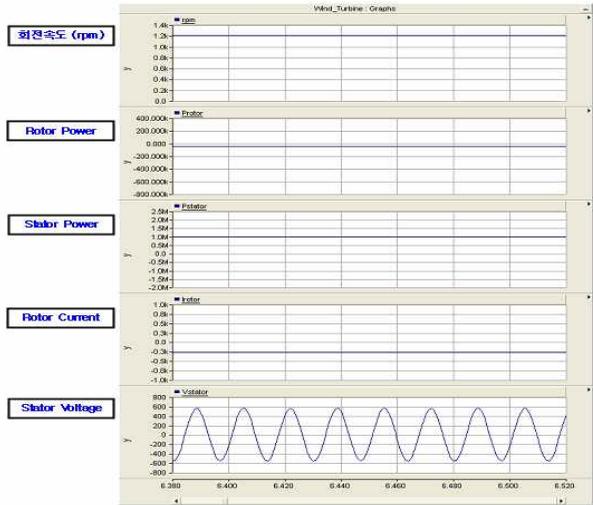
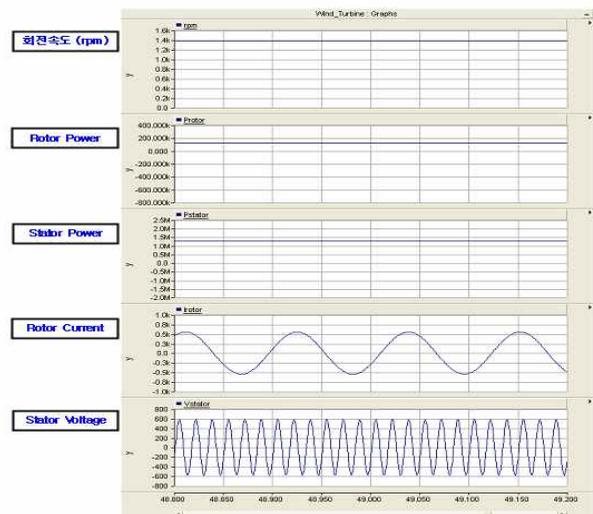


그림 10 회전속도 1200rpm일 때 Rotor, Stator의 전력 및 Rotor전류, Stator전압  
Fig. 10 Rotor and Stator power, Rotor Current, Stator Voltage at 1200rpm



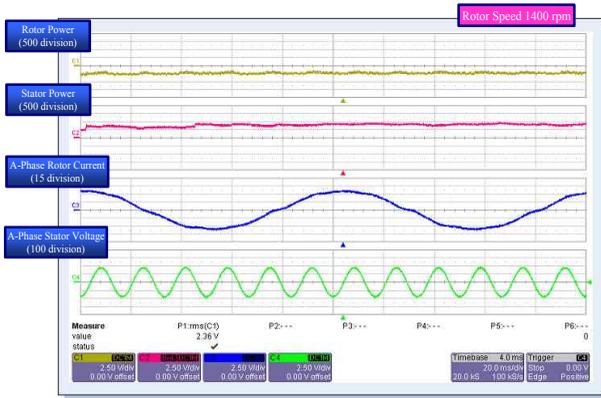


그림 11 회전속도 1400rpm일 때 Rotor, Stator의 전력 및 Rotor전류, Stator전압

Fig. 11 Rotor and Stator power, Rotor Current, Stator Voltage at 1400rpm

#### 4. 결 론

본 논문은 이중여자 유도형 풍력발전기로 계통에 연계된 풍력발전시스템의 제반특성을 분석하는 하드웨어 시뮬레이터에 대해 기술하고 있다. 개발된 하드웨어 시뮬레이터는 실시간 풍속을 이용한 풍속계와 농형유도전동기로 풍력터빈의 기계적 특성을 모의하고 터빈의 회전력에 따라 전력을 생산하는 이중여자 유도형 발전기, 그리고 생산된 전력을 계통에 연계하는 Back-to-Back 컨버터 세트로 구성되어 있다.

본 논문에서 제안하는 풍력발전시뮬레이터는 다양한 용량의 이중여자 유도형 풍력발전기 풍력발전시스템의 기계적, 전기적 특성을 모의 가능하고 실시간으로 측정되는 풍속에 의한 가상 블레이드 토크 산출이 가능하기 때문에 실시간 모의가 가능하다. 이는 향후 실시간 풍력 발전 시스템을 연구하기 위한 다양한 실험에 도움이 되리라고 생각된다.

#### 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원(2009T100100522) 주관으로 수행된 과제임.

#### 참 고 문 헌

[1] 이우석, “이중여자 유도발전기의 정출력·최적역률 운전”, *전력전자학회 논문지*, Vol. 14, No. 4, pp. 31-38,

2000, July.

[2] 김철호, 서영택, 오철수, “이중여자 유도발전기의 회전자 여자에 따른 출력해석”, *대한전기학회 논문지*, Vol. 52B, No.7, pp. 299-306, July.

[3] 신수철, 유재성, 홍정기, 송승호, “DFIG의 고정자 계통 연계시 인덕턴스 변동을 고려한 최적 전류제어”, *전력전자학회 2008년도 추계학술대회 논문집*, pp. 202-205, 2008. 10.

[4] chad Abbey, Geza Joos, “Optimal Reactive Power Allocation in a Wind Powered Doubly-Fed Induction Generator”, 2004 IEEE Monteiro, S. Devadas, and B. Lin, “A Methodology for Efficient Estimation of Switching Activity in Sequential Logic Circuits”, *ACM/IEEE Design Automation Conf.*, pp. 12-17, 1994.

[5] Rajib Datta, V. T. Ranganathan, “A Method of Tracking the peak Power Points for a Variable Speed Wind Energy Conversion System”, *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. 18. No. 1, pp. 163-168, 2003, March.

[6] S. Mueller, M. Deicke, and R. De Doncker, “Adjustable Speed Generators for Wind Turbines for Doubly-Fed Induction Machines and 4-Quadrant IGBT Converters Linked to the Rotor”, *IEEE IAS 2000 Conference*, Vol. 4, pp. 2249-2254, 2000.

[7] M. Chinchilla, S. Arnaltes, and J. Burgos, “Laboratory Set-up for Wind Turbine Emulation”, *IEEE ICIT 2004 Conference*, Vol. 1, pp. 553-557, 2004.

[8] B. Rabelo, W. Hofmann, and M. Glueck, “Emulation of the Static and Dynamic behavior of a Wind-Turbine with a DC-machine”, *IEEE PESC 2004 Conference*, Vol. 3, pp. 2107-2112, 2004.

[9] A. Rodriguez, M. Paydin, and C. Mitchell, “PSCAD based Simulation of the interconnection of a wind generator to the network”, *IEEE Power Tech 2001 Conference*, Vol. 4, 2001, September.

[10] C. Nichita, D. Luca, B. Dakyo, and E. Ceanga, “Large band Simulation of the Wind Speed for Real Time Wind Turbine Simulator”, *IEEE Transaction On Energy Conversion*, Vol. 17, No. 4, pp. 523-529, 2002, December.

[11] M. Yin, G. Li, M. Zhou, and C. Zhao, “Modeling of the Wind Turbine with a Permanent Magnet Synchronous Generator for Integration”, *IEEE PES 2007 General Meeting*, 2007, June 24-28.

[12] 정병창, 송승호, 노도환, 김동용, “풍력터빈 모의 실험을 위한 가변 토크 입력형 시뮬레이터”, *대한전기학회 논문지*, 51B권 8호, pp. 467-474, 2002.

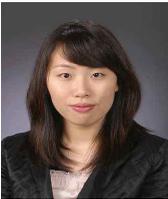
[13] 정병창, 송승호, 심동준, “가변 풍속시 운전모드 전환을 고려한 이중여자 유도형 풍력발전기의 시뮬레이터”, *전력전자학회 논문지*, 제11권, 제4호, pp. 349-360, 2006. 8.

저 자 소 개



**오승진(吳丞鎭)**

1983년 2월 15일생. 2009년 명지대 전기공학과 졸업. 동 대학원 전기공학과 석사과정.



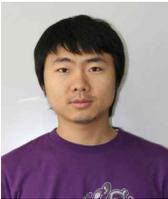
**차민영(車珉英)**

1987년 1월 1일생. 2009년 명지대 전기공학과 졸업. 동 대학원 전기공학과 석사과정.



**김종원(金鍾元)**

1983년 10월 24일생. 2010년 명지대 전기공학과 졸업. 동 대학원 전기공학과 석사과정.



**정종규(鄭鍾圭)**

1981년 3월 21일생. 2008년 명지대 전기공학과 졸업. 2010년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 동 대학원 전기공학과 박사과정.



**한병문(韓炳文)**

1976년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 미 아리조나 주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1992년~1993년 미 Westinghouse 중앙연구소 선임연구원.

1996년~현재 명지대 전기공학과 교수. 당 학회 회장.



**장병훈(張秉勳)**

1964년 3월 21일생. 1989년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 한전 전력연구원 송배전연구소 책임연구원.