

영구자석동기발전기 풍력시스템의 하드웨어 시뮬레이터 개발

論 文

57-6-7

Development of Hardware Simulator for PMSG Wind Power System

李斗榮* · 尹東珍** · 鄭鍾圭** · 梁承哲** · 韓炳文† · 宋丞鎬***
(Doo-Young Lee · Dong-Jin Yun · Jong-Kyou Jeong · Seung-Chul Yang ·
Byung-Moon Han · Seung-Ho Song)

Abstract - This paper describes development of hardware simulator for the PMSG 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, PMSG generator, converter-inverter set, and control system. The turbine simulator generates torque and speed signals for a specific wind turbine with respect to given wind speed. This torque and speed signals are scaled down to fit the input of 2kW PMSG. The PMSG-side converter operates to track the maximum power point, and the grid-side inverter controls the active and reactive power supplied to the grid. The operational feasibility was verified by computer simulations with PSCAD/EMTDC, and the implementation feasibility was confirmed through experimental works with a hardware set-up.

Key Words : PMSG(Permanent Magnet Synchronous Generator), Wind Turbine Simulator, Maximum Power Point, PSCAD/EMTDC, Hardware Simulator

1. 서 론

풍력발전시스템에서 사용되는 발전기에는 농형유도발전기, 권선형유도발전기, 그리고 영구자석동기발전기가 있는데 최근에는 가용풍속범위가 넓고 증속기가 필요 없는 영구자석동기발전기를 많이 사용하는 추세이다.[1]

풍력발전시스템은 에너지변환의 흐름에 따라 블레이드, 동력전달부, 발전기, 전력변환기로 구분 가능하다. 따라서 풍력발전시스템을 전력계통과 효율적으로 연계하기 위해서는 발전기와 전력변환기의 전기적 특성을 파악하고 블레이드와 동력전달부의 기계적 특성을 모의할 수 있어야 한다.[2]

풍력발전시스템의 특성을 모의분석하기 위해서는 실제 블레이드, 동력전달부, 발전기, 전력변환기를 축소형모형으로 제작하여 풍동실험을 하는 것이 효과적이다. 그러나 풍동시설의 크기를 고려할 때 수 kW급 이상 되는 모형은 공간 제약 때문에 실험이 어렵고 비용도 많이 소요된다. 따라서 전동기-발전기로 축소모형을 제작하고 블레이드의 터빈역할을 대신하여 전동기가 토크를 발전기에 공급하는 풍력발전시뮬레이터가 요구된다.[3,4]

그 동안 국내외에서는 소프트웨어를 이용한 다양한 풍력발전시뮬레이터가 개발되어 발표된 바 있고, 또한 모터-제너레이터세트로 구성된 하드웨어 시뮬레이터도 개발되어 발표된 바 있다. 그런데 기존에 개발된 소프트웨어 시뮬레이터는 영구자석동기발전기를 대상으로 하였으나, 하드웨어 시뮬레이터는 주로 농형유도발전기를 대상으로 하였다. 또한 기존에 개발된 시뮬레이터는 최대 전력점을 추종하는 기능이 미비된 점도 있다.[5,6]

본 논문에서는 제안하는 풍력발전시뮬레이터는 Nordex 1.5MVA의 영구자석동기발전기 풍력발전시스템을 대상으로 주어진 풍속에 대해 블레이드가 발전기에 공급하는 토크와 회전속도를 주속비를 고려하여 실시간으로 산출한다. 산출된 토크는 2kW 용량에 맞도록 스케일링 한 후 통신에 의해 유도전동기와 벡터드라이브로 보내져 영구자석동기발전기의 토크입력으로 공급된다. 이에 의해 발전기에서 생산된 교류 전력은 컨버터-인버터로 구성된 전력변환기를 통해 3상 220V 전력계통에 연계된다.[7,8]

풍력터빈의 특성을 모의하는데 PC를 사용하는 기존방법과는 달리 전용 DSP를 사용하여 가변풍속에 따른 터빈토크의 연산시간을 향상시켰고 산출된 토크 값을 RS232 통신을 이용하여 유도전동기와 벡터드라이브로 보내져 신속하게 발전기축에 해당 토크를 공급하도록 하여 기존 축소모형에서 고려할 수 없는 풍력터빈의 상세모의가 가능하며 다양한 정격의 풍력발전시스템의 특성분석이 가능하다.

† 교신저자, 正會員 : 明知大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
E-mail : erichan@mju.ac.kr

* 正會員 : LS 산전(주) 사업본부 근무

** 學生會員 : 明知大 學校 大學院

*** 正會員 : 光云大 學校 工大 電氣工學科 教授

接受日字 : 2008年 3月 18日

最終完了 : 2008年 4月 21日

2. 풍력발전시스템 모델링

2.1 블레이드 공기역학특성

풍속 V_{wind} 의 바람이 불 때, 풍속이 가지는 에너지는 식(1)과 같다

$$P_{blade} = \frac{1}{2} A \rho V_{wind}^3 C_p \quad (1)$$

여기에서 A 는 블레이드 회전단면적, ρ 는 공기밀도, V_{wind} 는 풍속이다.

풍속 V_{wind} 의 바람이 불 때, 블레이드가 받아들이는 운동 에너지는 출력계수(Power Coefficient) C_p 와 풍속의 3승에 비례한다. 이것은 일반적인 Fan 부하가 속도의 증가에 따라 속도의 제곱에 비례하는 토크-부하특성을 보이는 것과 마찬가지로 같다. 블레이드의 회전면에 흐르는 바람이 가지고 있는 에너지는 식(2)와 같다

$$P_{blade} = \frac{1}{2} A \rho V_{wind}^3 C_p \quad (2)$$

이 때 출력계수는 C_p 는 주속비(Tip speed ratio) λ 의 함수로서 바람이 가지는 에너지를 블레이드의 기계적 에너지로 바꾸어주는 비율이다. 주속비 λ 는 풍속과 회전속도의 비율로서 식(3)과 같이 정의한다.

$$\lambda = \frac{\omega_{blade} R_{blade}}{V_{wind}} \quad (3)$$

ω_{blade} : 블레이드의 회전 각속도
 R_{blade} : 블레이드의 회전 반경

그림 1은 λ 에 관한 함수 C_p 를 Matlab을 이용하여 확인한 것이다. λ 가 5.01일 때 C_p 는 최대출력 값인 0.323을 갖는다.

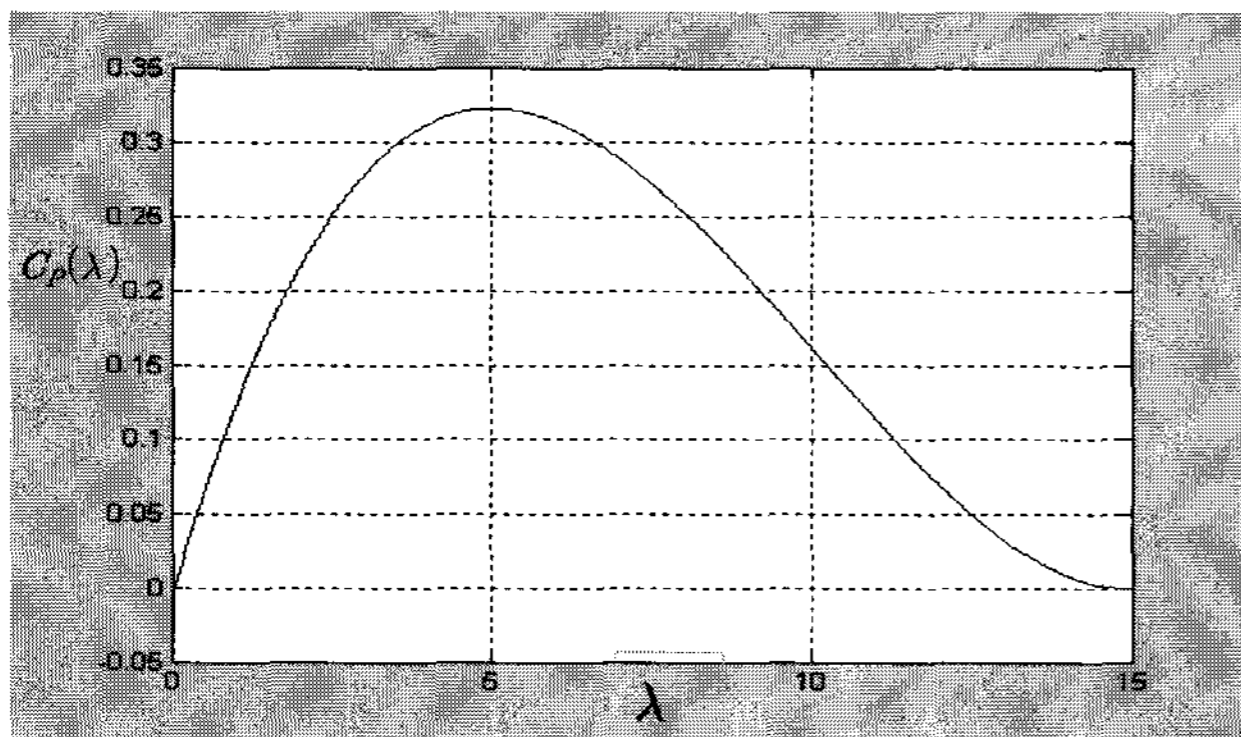


그림 1 주속비와 출력계수 곡선
 Fig 1 Tip Speed Ratio and Power Coefficient

블레이드에서 발전기에 공급하는 토크 T_{blade} 는 식(4)와 같다.

$$T_{blade} = \frac{P_{blade}}{\omega_{blade}} \quad (4)$$

2.2 블레이드 관성모델링

블레이드의 관성을 모의하기 위해서는 반지름이 34m인 블레이드의 중량을 알아야 관성을 모의할 수 있다[3]. 세계 여러 풍력발전 시스템의 사양 중 가장 유사한 시스템인 Nordex G70모델의 사양을 참조하였다. Nordex G70모델은 1.5MVA정격에 반지름 34m의 블레이드로 구성되어 있다. 또한 3개의 블레이드 총중량은 17.7 ton이다.

고려하는 블레이드가 그림 2에 나타나 있고 몇 가지 가정을 하였다.

- 첫째 블레이드는 3개로 구성되며 개당 5.9[ton], 전체 17.7[ton]이다.
- 둘째 블레이드를 3개의 구간으로 구분하였다.
- 셋째 각 구간의 무게 중심점은 회전중심축으로부터 1/3 지점에 위치한다.
- 관성의 기본공식인 $J = mR^2$ 을 적용한다.
 m = 물체의 중량
 R = 물체의 회전반경

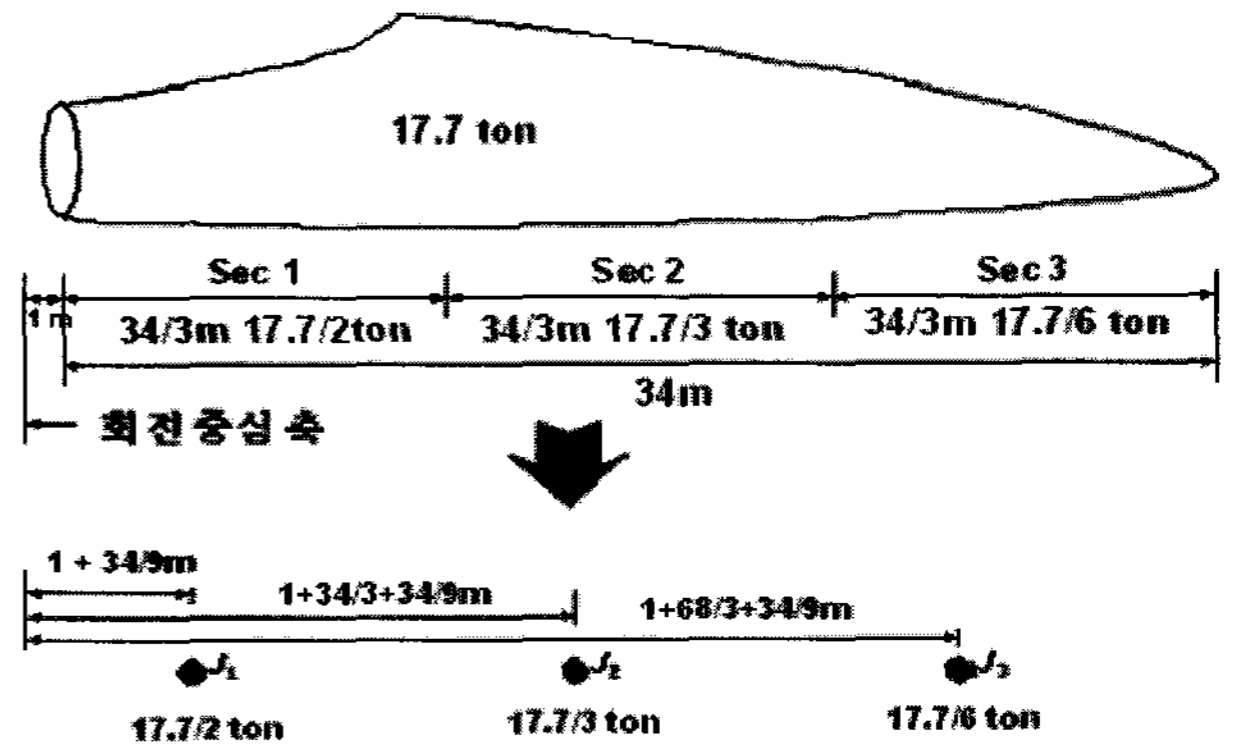


그림 2 블레이드의 관성계산을 위한 등가중량
 Fig. 2 Weight for Blade Inertia Calculation

이상과 같이 가정을 하였을 경우 블레이드 각 부분의 관성은 식(5)와 같다.

$$\begin{aligned} J_1 &= \frac{17.7}{2} \times 1000 \times \left(1 + \frac{34}{9}\right)^2 = 202000 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2\text{]} \\ J_2 &= \frac{17.7}{3} \times 1000 \times \left(1 + \frac{34}{3} + \frac{34}{9}\right)^2 = 1531000 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2\text{]} \\ J_3 &= \frac{17.7}{6} \times 1000 \times \left(1 + \frac{68}{3} + \frac{34}{9}\right)^2 = 2222000 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2\text{]} \end{aligned} \quad (5)$$

블레이드의 전체 관성은 식(6)과 같다

$$J_{blade} = J_1 + J_2 + J_3 = 3955000 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2\text{]} \quad (6)$$

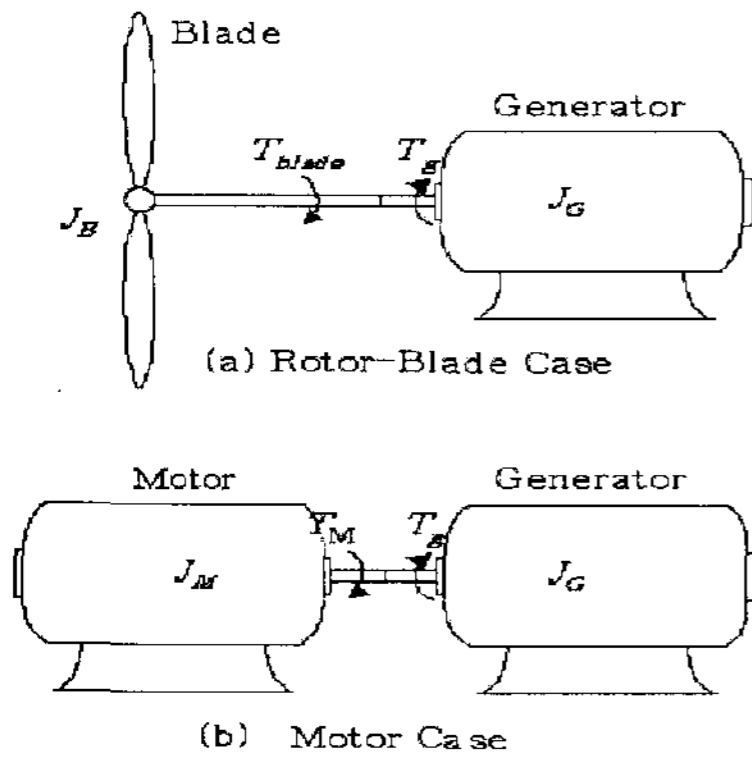


그림 3 블레이드 동특성 구현 모델
Fig 3 Blade Dynamic Characteristic Model

실제 블레이드를 사용한 경우 그림 3(a)와 같이 나타낼 수 있다. 그 때 블레이드의 토크 T_{blade} 는 식(7)과 같이 나타낼 수 있다[4].

$$T_{blade} = (J_B + J_G) \frac{d\omega_{blade}}{dt} + T_g \quad (7)$$

블레이드를 대체하여 전동기를 사용한 경우는 그림 3(b)와 같이 나타낼 수 있다. 이 때 전동기에서 공급해주어야 할 토크 T_M 은 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_M = (J_M + J_G) \frac{d\omega}{dt} + T_g \quad (8)$$

만약 전동기와 블레이드의 동특성이 같다면 식(7)과 식(8)을 이용하여 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_{blade} \\ T_M &= T_{blade} - (J_B - J_M) \frac{d\omega}{dt} \\ &= T_{blade} - T_{comp} \end{aligned} \quad (9)$$

실제 하드웨어에서 전동기 관성은 매우 작으므로 J_M 은 무시할 수 있다.

2.3 풍력터빈 시뮬레이터

앞의 두절에서 설명한 블레이드의 공기역학적 특성과 기계적 특성을 바탕으로 주어진 풍속에 대해 발전기에 전달하는 토크를 Nordex사 1.5 MVA 영구자석동기발전기 풍력발전시스템의 풍력터빈 시뮬레이터를 개발하였다. 그림 5는 주어진 풍속에 대해 토크를 산출하는 알고리즘을 순서도로 나타낸 것이다. 영구자석동기발전기의 회전속도는 스케일링을 통하여 블레이드의 회전속도로 변환되고, 풍속과 블레이드의 반경을 가지고 주속비를 구한다. 구해진 주속비를 가지고 3차 함수로 모델링된 출력계수를 구하고 이 값으로 블

레이드의 출력과 토크를 구하고 이 값을 스케일링을 하여 2kW 영구자석동기발전기에 적합한 토크를 산출한다. 이렇게 산출된 모터-제너레이터세트로 구성된 시뮬레이터의 모터구동용 벡터드라이브에 통신으로 전달한다. 표 1은 모터 토크 산출알고리즘의 스케일링 정수를 나타낸 것이다.

표 1 스케일링 파라미터

Table 1 Scaling Parameter

	1.5MVA 풍력터빈시스템	2kW 풍력터빈	scaling
ω [rad/se]	1.91558	125.66	0.01525
rpm	18.2925	1200	
τ [N · m]	783049.2862	15.915	49200.44

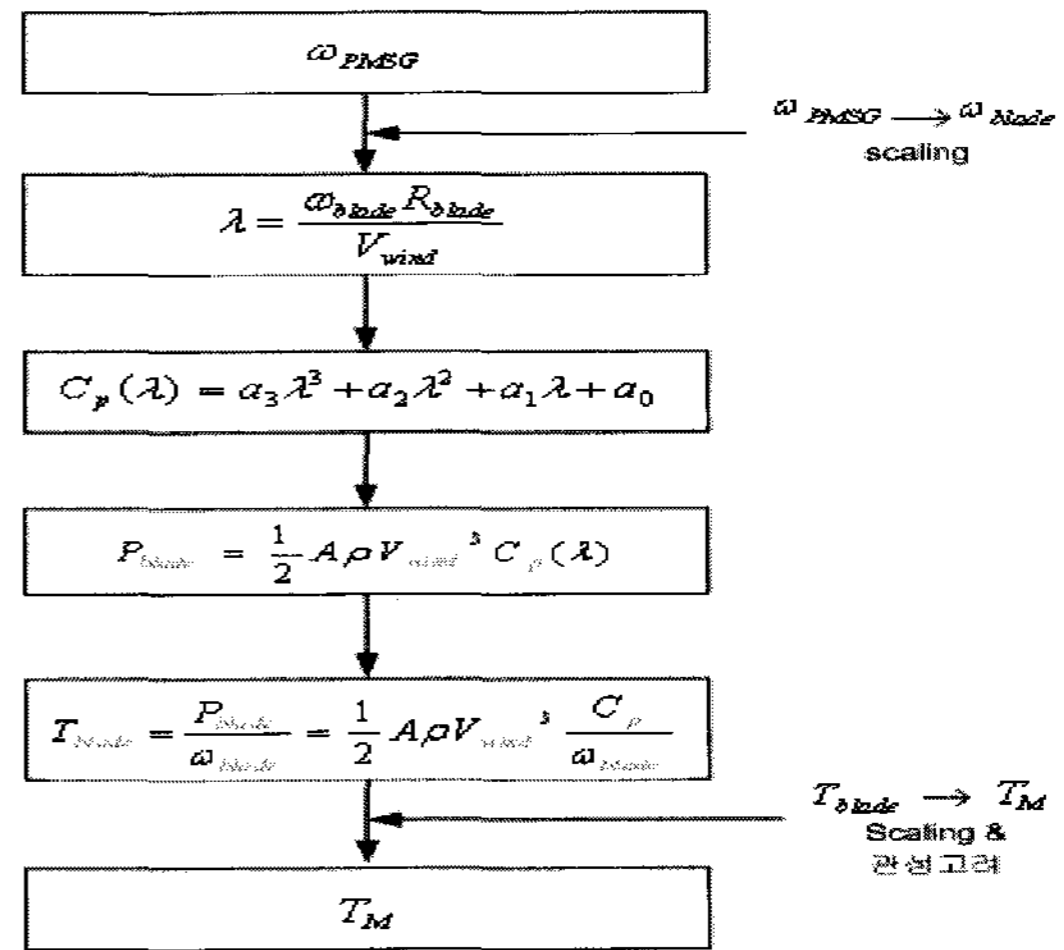


그림 4 모터토크 산출 알고리즘

Fig 4 Motor Torque Calculation Algorithm

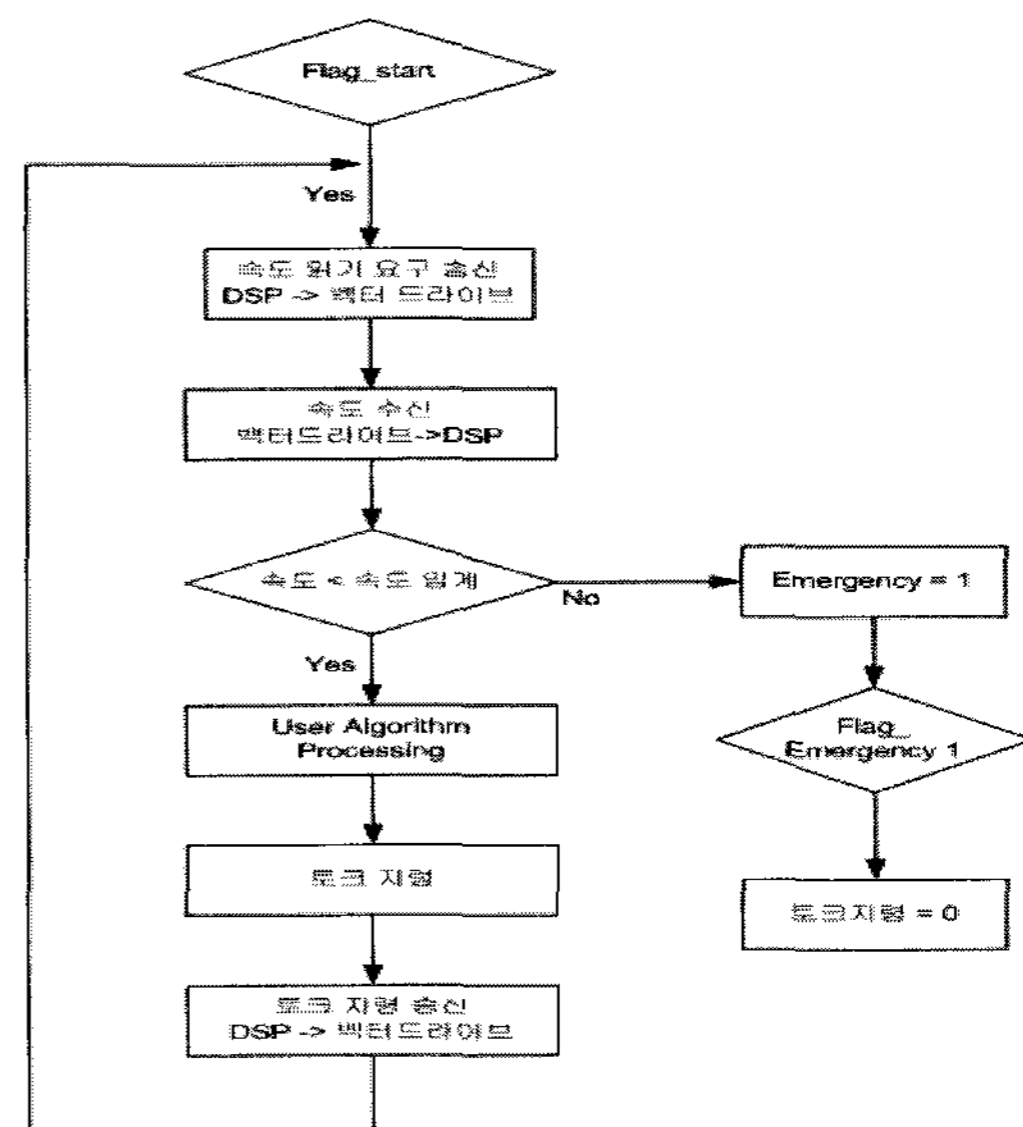


그림 5 토크신호 통신 알고리즘

Fig 5 Communication Algorithm for Torque Signal

이상에서 설명한 토크산출 알고리즘은 TMS320vc33 DSP 보드 상에서 리얼타임으로 동작하고 계산된 토크신호는 그림 5에 나타낸 순서도에 의해 모터구동용 벡터드라이브에 RS-232 통신을 이용하여 총 40byte를 송수신한다. 통신 속도는 19200bps, 통신시간은 통신의 지연을 고려하여 25msec로 설정하였다. 모든 데이터의 송수신은 16진수 이루어진다. 풍력터빈 시뮬레이터의 DSP와 벡터 드라이브가 통신을 시작하게 되면 DSP는 벡터드라이브에 전동기의 속도 요구를 송신한다. 송신요구가 수행되면 DSP는 전동기의 회전속도를 수신 받고, 수신된 전동기의 회전속도가 임계치 이상이 되면 EMERGENCY 알고리즘을 수행하여 토크의 지령은 0이 되고 전동기의 회전속도는 0이 된다. 회전속도가 임계치보다 작으면 풍속데이터에 따른 1.5MVA의 풍력터빈토크는 3kW 전동기에 맞도록 스케일링하여 입력토크 지령을 만든다. 이렇게 만들어진 전동기의 입력토크는 벡터 드라이브로 송신되어 전동기는 이에 따라 회전한다.

2.4 발전기측 컨버터 제어

풍력 발전시스템에서 가변풍속 하에서 블레이드의 회전속도를 λ 가 5.01로 일정하게 유지되도록 제어 한다면 블레이드의 출력계수는 0.323으로 최대가 되고 블레이드의 기계적 출력은 최대가 된다.

식(10)에서 블레이드의 각속도 ω_{blade} 는 풍력터빈 시뮬레이터의 알고리즘에 의해 ω_{PMSG} 로 스케일링 된다. 가변풍속 하에 스케일링 된 ω_{PMSG} 가 일정하도록 발전기측 컨버터가 능동적으로 전류제어를 한다면 λ 는 일정하게 유지된다. 그림 6은 발전기 측 컨버터의 전류제어 블록도이다.

$$\lambda = \frac{\omega_{blade} R_{blade}}{V_{wind}} \quad (10)$$

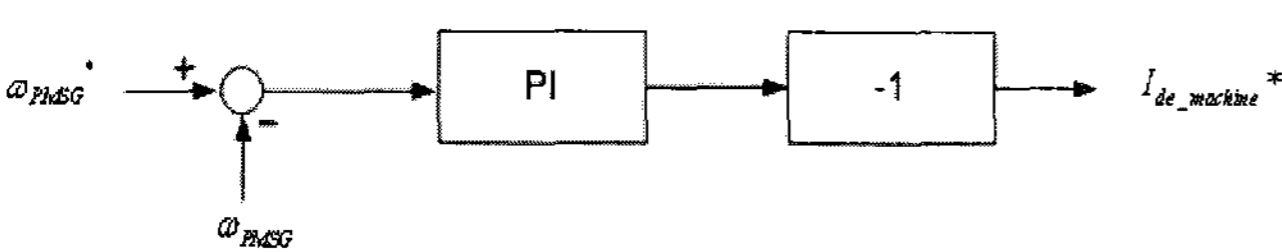


그림 6 컨버터의 d축 전류 제어
Fig. 6 Converter d-axis Current Control

ω_{PMSG}^* 와 ω_{PMSG} 의 오차는 PI 제어기를 거쳐 발전기측 컨버터의 기준 d축 전류를 생성한다. 여기서 측정하는 전류의 방향으로 인해 -1을 곱하여 부호는 반대로 하였다.

2.5 계통측 인버터 제어

계통측 인버터는 발전기측 컨버터에서 DC링크 커패시터에 입력하는 전력이 계통으로 출력되는 전력보다 클 경우 DC링크 커패시터에 걸리는 전압은 상승하게 된다, 반면에 발전기 측 컨버터에서 DC링크 커패시터에 입력하는 전력이 계통으로 출력되는 전력보다 작다면 DC링크 커패시터에 걸리는 전압은 감소한다. 따라서 DC링크 커패시터에 걸리는 전류가 일정하다면 발전기측 컨버터에서 DC링크 커패시터로 입력되는 전력은 계통으로 모두 출력될 것이다. 그러므

로 계통측 인버터는 DC링크에 걸리는 전압을 일정하게 유지하도록 전류제어를 수행한다.

그림 7은 DC링크 전압 제어 블록도이다. DC링크에 걸리는 전압의 지령치와 실측치의 차는 PI 제어기를 통해 계통측 인버터의 d축 전류 지령치를 생성한다. 발전기측 컨버터와 마찬가지로 전류의 방향으로 인해 -1을 곱하여 부호는 반대로 하였다.

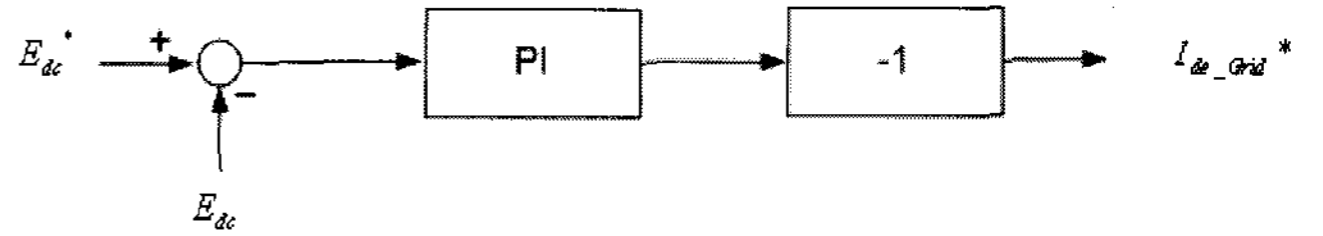


그림 7 DC 링크 전압 제어
Fig. 7 DC link Voltage Control

3. 시뮬레이션

그림 8은 고안하는 풍력발전시뮬레이터의 특성을 분석하기 위해 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링한 전체시스템 구성도이다. 이 모델에서는 Nordex 1.5MVA 풍력발전시스템의 블레이드가 주어진 풍속에서 생성하는 토크를 산출하고 이를 2kW 영구자석동기발전기에 적합하도록 스케일링한 후 발전기에서 출력되는 전력을 계통에 연계하도록 구성되어 있다. 이 구성도에서 영구자석동기발전기, 변압기, 전원, 컨버터-인버터세트, PWM발생부는 PSCAD/EMTDC에서 제공하는 라이브러리를 사용하였다. 그러나 풍력터빈시뮬레이터와 디지털제어기는 C 언어로 직접 프로그램한 사용자정의 모델을 이용하였다. 표 2는 시뮬레이션에서 사용한 회로정수를 나타내고 있다.

표 2 시뮬레이션 회로정수

Table 2 Circuit Parameters of Simulation Model

전원 전압	220V
전원 주파수	60Hz
계통연계형 리액터	2.5mH
R_{blade} (블레이드의 길이)	34 m
ρ	1.225 kg/m^3
λ	5.01
C_p	0.323
발전기 정격	2kW
발전기 정격 회전속도	1200rpm
발전기 극수	6극
변압기 용량	
변압비	380 v : 3 8 0 v
DC 링크 커패시터	$2200\mu F$

터빈시뮬레이터와 디지털제어기는 실질적으로는 시뮬레이션 상에서 하나의 모듈로 구성되어 있고 모듈의 왼쪽 단자들은 검출 파라미터와 지령들로 구성되어 있고 오른쪽 단자들은 PWM 발생을 위한 기준전압 신호와 내부변수 관찰

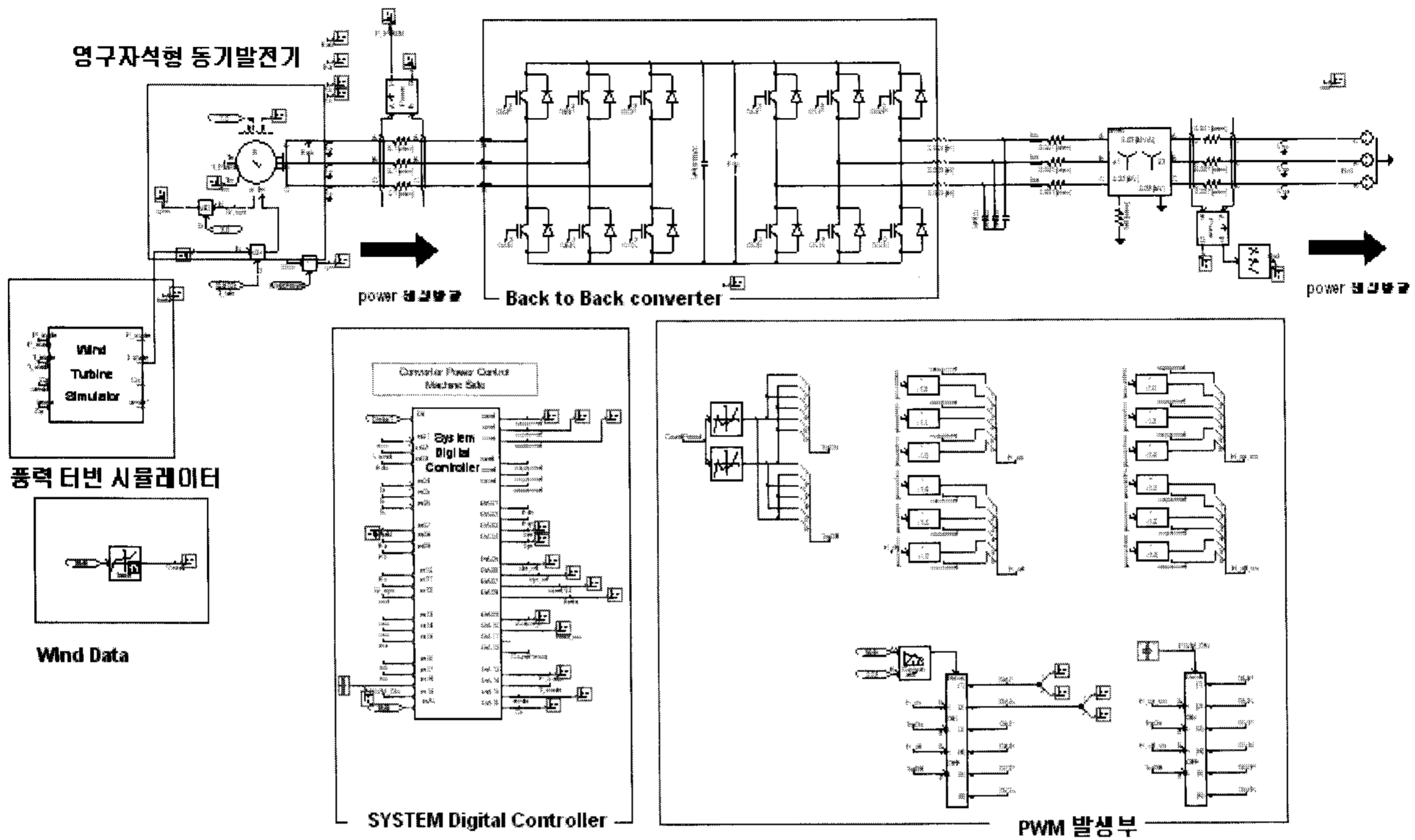


그림 8 EMTDC/PSCAD 시뮬레이션 모형
 Fig. 8 EMTDC/PSCAD Simulation Model

단자로 구성되어있다. 이 모듈 내에서 풍속에 따른 1.5MVA 풍력발전의 토크 입력을 2kW 풍력발전의 토크입력으로 변환된다. 발전기측 컨버터는 최적 운전점에서 운전하도록 전류 제어를 수행하고 계통측 인버터는 DC 링크 전압제어, 역률제어를 수행한다. 오른쪽 상단 6개 단자의 신호는 인버터-컨버터 세트의 PWM발생 기준파형으로 출력된다. 시뮬레이션은 표 3과 같은 시나리오로 실시하였다.

표 3 시뮬레이션 시나리오
 Table 3 Simulation scenario

시뮬레이션 시간	Wind Speed
0sec	0 m/sec
0.05 sec	3 m/sec
2.5 sec	8 m/sec
5 sec	8 m/sec
7.5 sec	10 m/sec
10 sec	10 m/sec
12.5 sec	13 m/sec
15 sec	13 m/sec
17.5 sec	9 m/sec
20 sec	9 m/sec

그림 9는 풍속에 따라 1.5MVA 영구자석풍력발전 시스템의 블레이드에서 발생하는 토크와 출력, 그리고 회전속도를 나타낸 것이다. 여기에서 블레이드의 발생전력은 풍속에 3승에 비례하며, 최대 풍속 13[m/s]에서 약 1.5MW에 도달하는 것을 알 수 있다. 이렇게 생성된 토크와 회전속도는 2kW

발전기의 입력토크와 회전속도로 스케일링된다.

그림 10은 주어진 풍속에 따라 발전기측 컨버터가 전류제어를 통해 C_p 가 최대인 값을 유지하면서 발전기가 최대출력을 발생하도록 운전됨을 알 수 있다.

그림 11은 DC 링크 전압을 일정하게 유지한 상태에서 2kW의 영구자석동기발전기에서 발생하는 유효전력이 계통으로 전달됨을 나타낸 것이다. 최대 풍속 13[m/s]에서 영구자석동기발전기는 2kW의 전력을 발생하고 스위칭의 손실을 제외한 나머지 전력이 계통으로 유입된다.

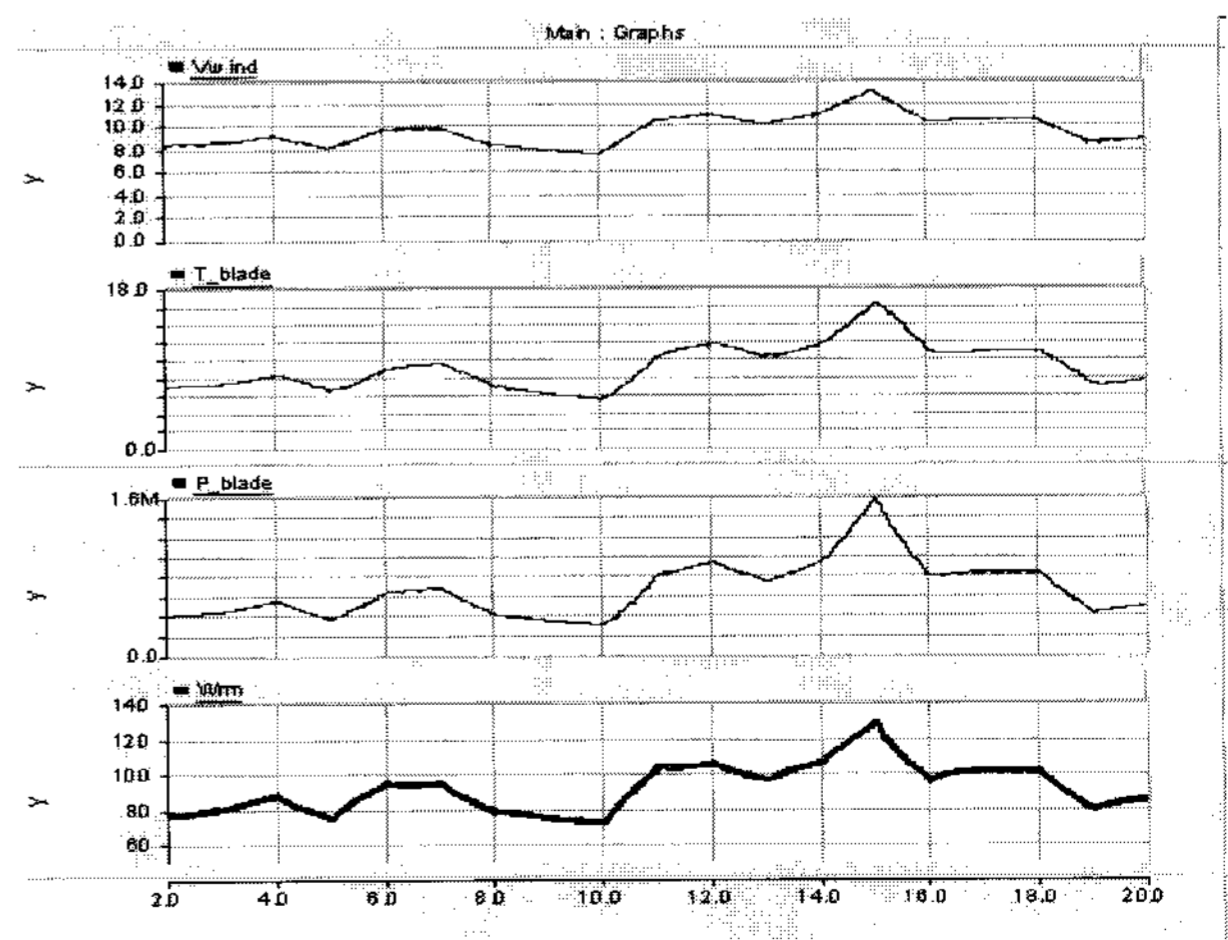


그림 9 풍속에 따른 풍력터빈의 토크, 출력, 회전속도
 Fig. 9 Torque, Power, and Speed for Wind Velocity

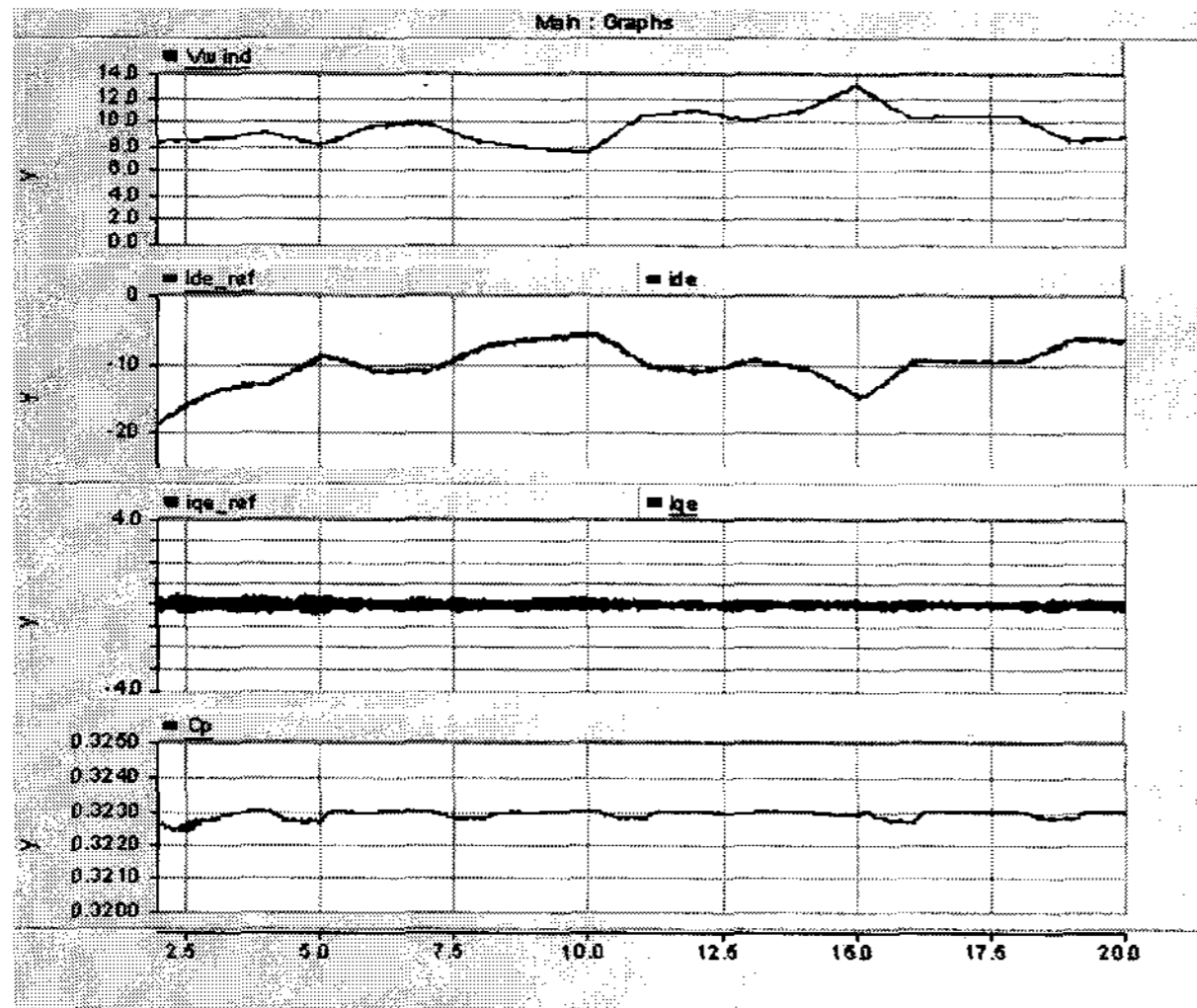


그림 10 발전기측 컨버터 전류제어
Fig. 10 Generator-side Converter Current Control

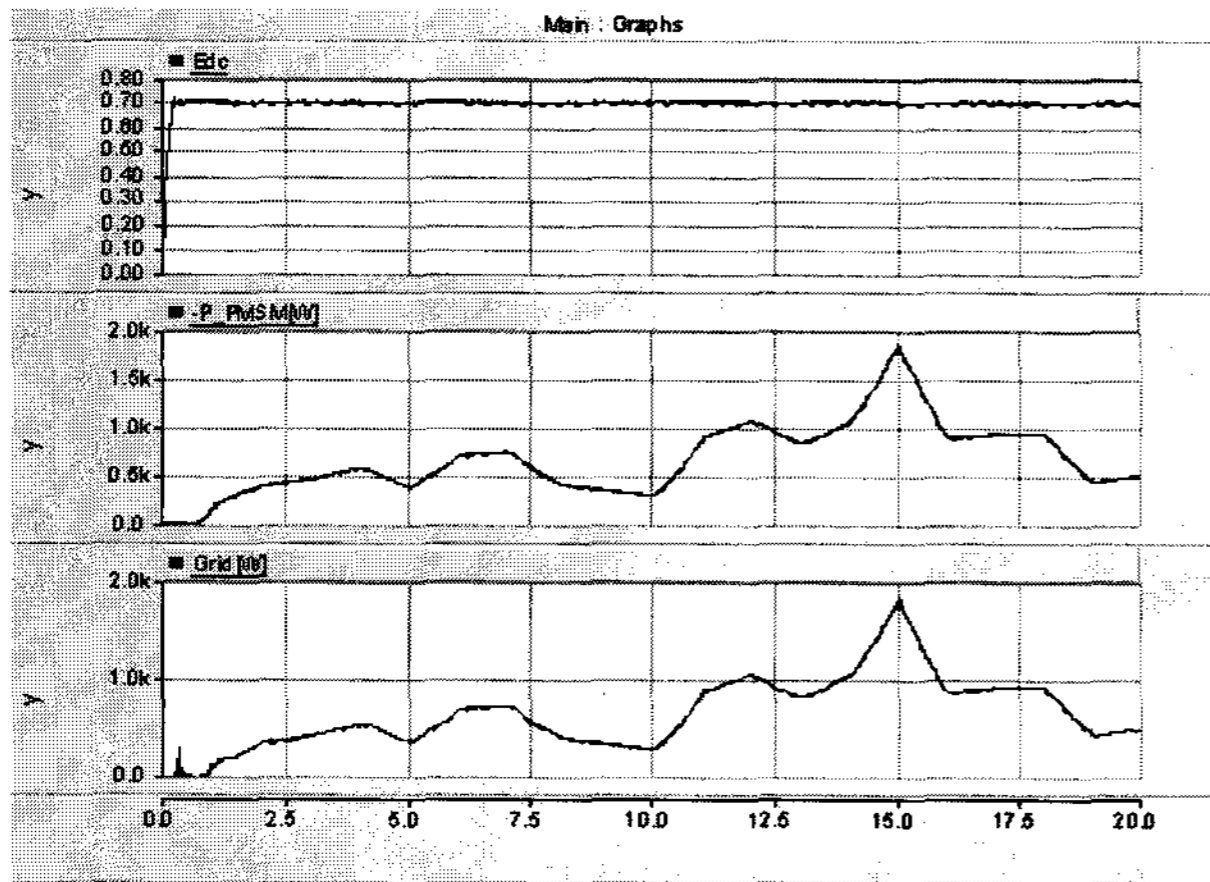


그림 11 발전기의 유효전력과 계통의 유효전력
Fig. 11 Generator Active Power and Grid Active Power

4. 하드웨어 시뮬레이터

PSCAD/EMTDC로 확인한 내용을 바탕으로 모터-제너레이터로 구성된 풍력발전시뮬레이터를 그림 12에 보인 바와 같이 하드웨어를 제작하고 실험을 실시하였다. 하드웨어 실험에 사용된 회로정수는 표 4와 같다. 풍속에 따른 풍력터빈의 특성모의는 DSP를 사용하였고, DSP와 벡터드라이브는 통신을 이용하여 회전속도와 토크의 지령치를 송수신한다. 유도전동기와 영구자석동기발전기로 구성된 모터-제너레이터는 컨버터-인버터 세트에 계통에 연계된다. 풍속은 가능한 실측에 가까운 값을 사용하였다.

그림 13에서 풍속이 최대 13m/sec 일 때 블레이드에 의해 발생하는 출력은 1.5MW가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이 1.5MW의 출력은 시뮬레이터로 제작된 영구자석동기발전기에는 2kW로 스케일링하여 공급한다. 또한 이때 주속비에 의한 출력계수 C_p 는 최대출력 값인 0.323으로 유지된다.

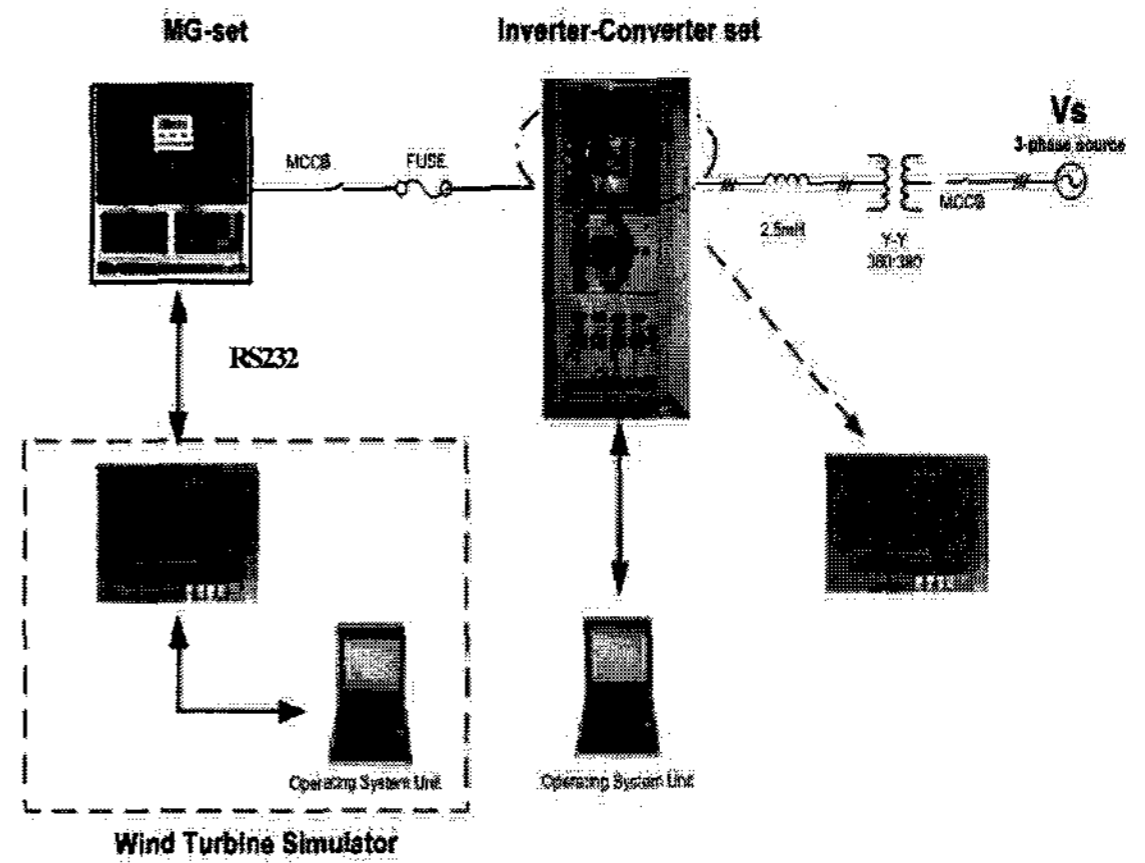


그림 12 하드웨어 시스템 구성
Fig. 12 Hardware System Configuration

표 4 하드웨어 회로정수

Table 4 Hardware Circuit Parameter

연계 계통	전압	220V
	주파수	60Hz
인버터 컨버터 set	컨버터용량	20kVA
	인버터용량	20kVA
	직류캐패시터	3700 μ F
	스위칭 주파수	10kHz
연계용 리액터		2.5mH
계통연계용 변압기	권수비	380:380
	용량	20kVA
MG-set	모터 정격용량	7.5kW
	모터 정격회전속도	1750 rpm
	발전기 정격용량	3.7kW
	발전기 정격속도	1130 rpm

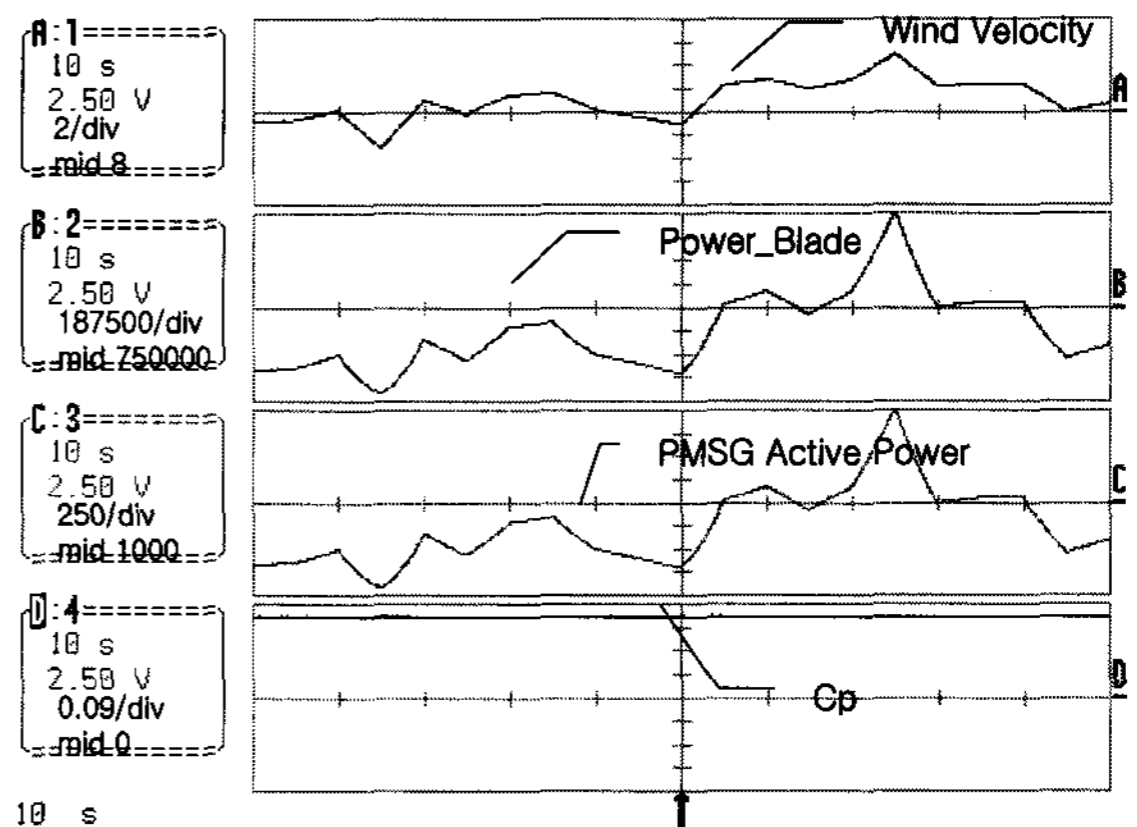


그림 13 블레이드출력, PMSG 유효전력, 출력계수
Fig. 13 Blade Power, PMSG Active Power, and C_p

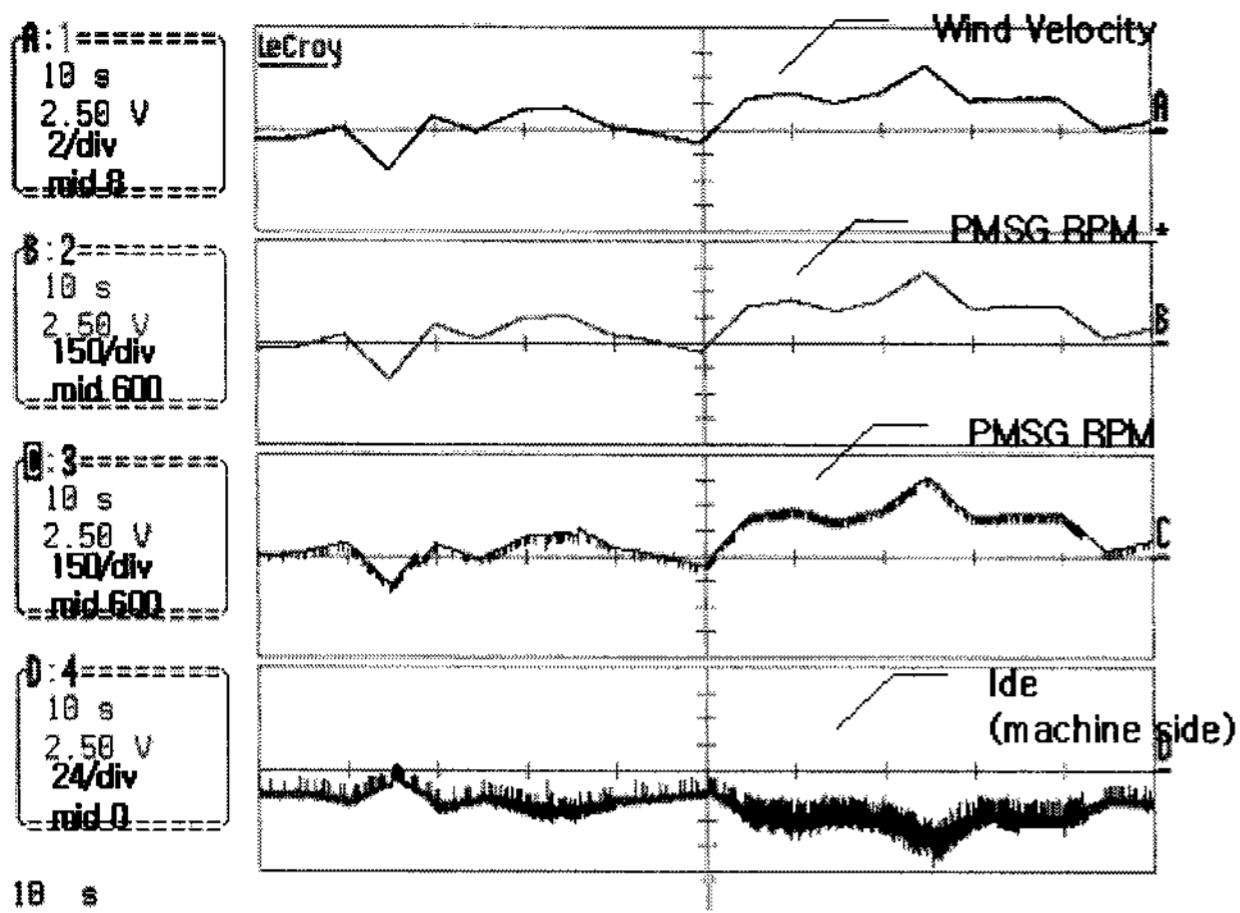


그림 14 동기발전기 속도, 지령치, 실측값, 유효전력
 Fig 14 PMSG reference RPM reference, RPM, and Active Current

그림 14에서는 발전기가 최대출력 점에서 운전되도록 전류제어를 수행하는 것을 확인하였다. 발전기측 컨버터가 가변풍속에 따라 전류를 제어하여 ω 를 능동적으로 제어하면 발전기는 항상 최대출력 점에서 동작하게 된다.

그림 15는 풍력발전기가 계통과 연계된 점에서 측정된 A상 전압과 A상전류, 인버터를 통해 공급되는 유효전력의 크기를 나타낸 것이다. 이때 DC링크전압은 일정하게 유지되고 계통으로 유입되는 전력의 역률은 1로 제어되는 것을 확인하였다.

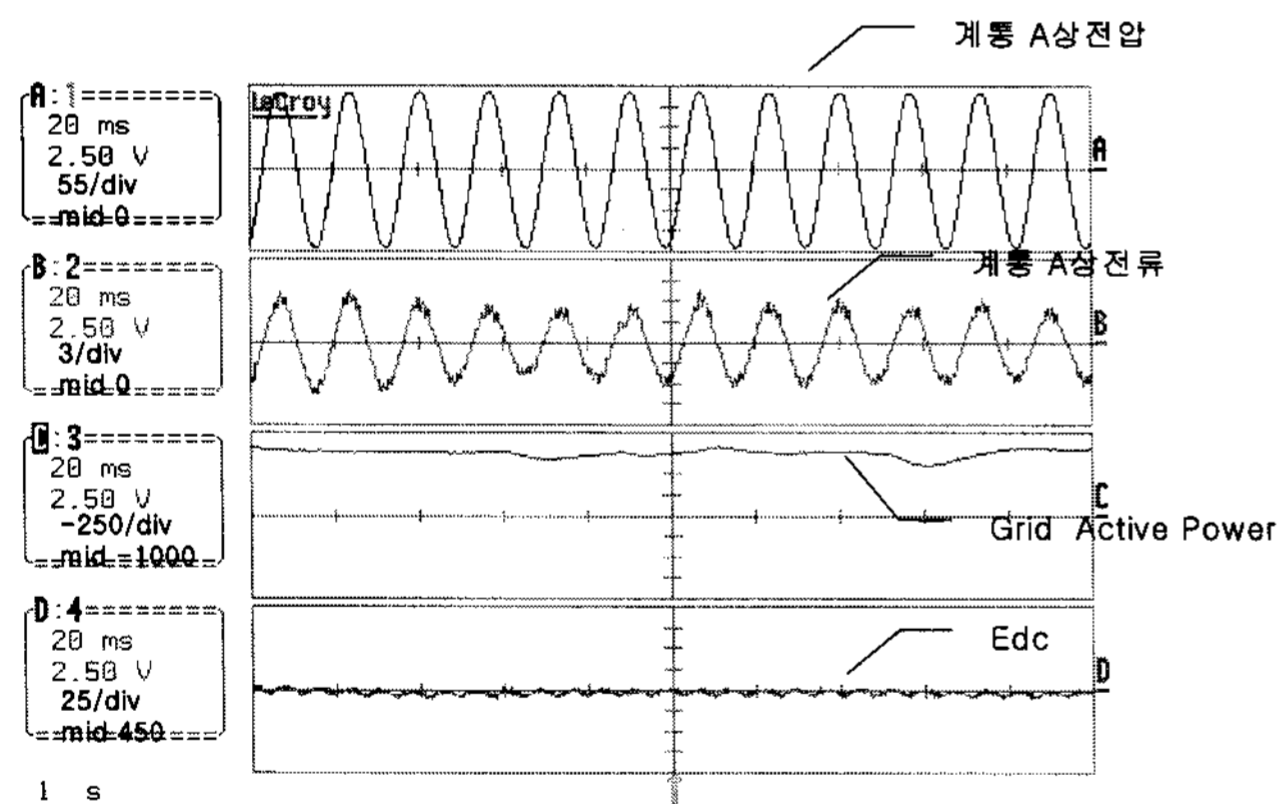


그림 15 A상 전압, A상 전류, 유효전력, DC링크전압
 Fig. 15 Phase A Voltage, Phase A Current, Active Power, DC link Voltage

5. 결 론

본 논문은 영구자석동기발전기로 계통에 연계된 풍력발전 시스템의 제반특성을 분석하는 하드웨어시뮬레이터에 대해 기술하고 있다. 개발된 하드웨어 시뮬레이터는 풍력터빈의 기계적 특성을 모의하는 농형유도전동기와 터빈의 회전력에 따라 전력을 생산하는 영구자석 동기발전기, 그리고 생산된 전력을 계통에 연계하는 컨버터-인버터세트로 구성되어 있다.

개발된 시뮬레이터는 DSP TMS320vc33에 내장된 터빈 시뮬레이션 소프트웨어모듈을 이용해 주어진 풍속에 대해 특정 풍력발전기의 터빈이 발생하는 토크와 회전속도를 계산한다. 계산된 토크와 회전속도는 유도전동기의 정격에 맞도록 크기를 조절한 후 통신으로 드라이브에 공급하여 풍력터빈의 기계적 특성을 모사한다. 또한 영구자석동기발전기에서 발생하는 교류전력은 컨버터를 통해 직류전력으로 그리고 다시 인버터를 통해 최대 전력점을 추적하면서 전력계통과 연계되어 동작한다.

현재 실험을 통한 검증에는 Nordex사 1.5MVA의 풍력발전시스템에 대해 주어진 풍속에 대해 블레이드가 발생하는 토크와 회전속도를 DSP 상에서 산출하여 2kW 영구자석동기발전기에 맞도록 토크와 회전속도로 축소한다. 계통연계에 사용되는 컨버터-인버터세트에서 컨버터는 주속비에 의한 C_p 계수를 일정하게 유지함으로써 최적의 운전 점에서 발전기가 동작하도록 전류제어를 수행하고, 인버터는 DC 링크 전압제어와 계통의 역률을 제어한다.

본 논문에서 개발한 풍력발전시뮬레이터는 다양한 용량의 영구자석동기발전기 풍력발전시스템의 기계적, 전기적 특성을 모의 가능하고 부동소수점 연산이 가능한 고성능 DSP를 사용함으로써 리얼타임 모의가 가능하다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 결과물입니다.

참 고 문 헌

- [1] Z. Chen and E. Spooner, "Grid Interface Options for Variable-speed, Permanent-Magnet Generators", IEE Proc. of Electrical Power Application, Vol. 145, No. 4, July 1998.
- [2] Siegfried Heier, "Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems", John Wiley & Sons, 1998.
- [3] 정병창, 송승호, 노도환, 김동용, "풍력터빈 모의 실험을 위한 가변 토크 입력형 시뮬레이터", 대한전기학회 논문지, 51B권 8호, pp.467-474, 2002
- [4] 김정재, 송승호, "영구자석형 동기기에 의한 가변속 풍력발전 시스템의 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 모델 개발" 전력전자학회 논문지 제 10권 5호, 2005년 12월
- [5] R. Wai, C. Lin, Y. Chang, "Novel Maximum Power Extraction Algorithm for PMSG Wind Generation System", IET Electrical Power Application, Vol. 1, No. 2, March, 2007.
- [6] M. Chinchilla, S. Arnaltes, C. Burgos, "Control of Permanent-Magnet Generators Applied to Variable-Speed Wind-Energy Systems Connected to the Grid", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 21, No. 1, March 2006.
- [7] K. Tan and S. Islam, "Optimum Control Strategies

in Energy Conversion of PMSG Wind Turbine System without Mechanical Sensor", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 19, No. 2, June 2004.

- [8] M. Yin, G. Li, M. Zhou, C. Zhao, "Modeling of the Wind Turbine With a Permanent Magnet Synchronous Generator for Integration", IEEE PES General Meeting, 24-28 June 2007

저 자 소 개



이 두 영 (李斗榮)

1980년 12월 23일생.
2006년 명지대 전기공학과 졸업.
2008년 명지대 대학원 전기공학과 석사
LS 산전(주) 사업본부 근무



윤 동 진 (尹東珍)

1981년 11월 5일생.
2008년 명지대 전기공학과 졸업.
2008년 동 대학원 전기공학과 입학
Tel : 031-335-6563
Fax : 031-321-0271
E-mail : dongjin@mju.ac.kr



정 종 규 (鄭鍾圭)

1981년 3월 21일생.
2008년 명지대 전기공학과 졸업.
2008년 동 대학원 전기공학과 입학
Tel : 031-335-6563
Fax : 031-321-0271
E-mail : jjuk486@mju.ac.kr



양 승 철 (梁承哲)

1981년 12월 22일생.
2007년 명지대 전기공학과 졸업.
2008년 동 대학원 전기공학과 입학
Tel : 031-335-6563
Fax : 031-321-0271
E-mail : chulyi@mju.ac.kr



한 병 문 (韓炳文)

1953년 7월 5일생.
1976년 서울대 전기공학과 졸업.
1988년 미 아리조나주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사).
1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박).
미 Westinghouse중앙연구소 선임연구원.
현재 명지대 전기공학과 교수
Tel : 031-330-6366
Fax : 031-321-0271
E-mail : erichan@mju.ac.kr



송 승 호 (宋丞鎬)

1968년 8월 27일생.
1991년 서울대 전기공학과 졸업.
1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)
1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박)
현재 광운대 전기공학과 조교수
Tel : 031-330-6366
Fax : 031-321-0271
E-mail : erichan@mju.ac.kr