

풍력터빈시뮬레이터와 매트릭스 컨버터를 적용한 PMSG 풍력발전 시스템 모델 개발

논문

58-6-12

Development of PMSG Wind Power System Model using Wind Turbine Simulator and Matrix Converter

윤 동 진* · 한 병 문† · 차 한 주** · 이 옥 용*** · 최 남 섭§

(Dong-Jin Yun · Byung-Moon Han · Han-Ju Cha · Yulong Li · Nam-sup Choi)

Abstract - This paper describes a scaled model development of PMSG wind power system using wind turbine simulator and matrix converter. The wind turbine simulator, which consists of an induction motor with vector drive, calculates the output torque of a specific wind turbine using simulation software and sends the torque signal to the vector drive after scaling down the calculated value. The operational feasibility of interconnected PMSG system with matrix converter was verified by computer simulations with PSCAD/EMTDC software. The feasibility of hardware implementation was conformed by experimental works with a laboratory scaled-model of wind power system. The simulation and experimental results confirm that matrix converter can be effectively applied for the PMSG wind power system.

Key Words : Wind turbine, Matrix convter, PMSG wind power system, MPPT

1. 서 론

최근 신재생에너지에 대한 관심이 높아지면서 풍력 발전에 대한 연구 또한 활발하게 이루어지고 있다. 풍력발전시스템에서 사용되는 발전기에는 농형유도발전기, 권선형 유도발전기 그리고 영구자석동기발전기가 있는데 최근에는 가용 풍속범위가 넓고 증속기가 필요 없는 영구자석동기발전기를 많이 사용하고 있다.

Back-to-Back 컨버터는 영구자석동기발전기를 계통에 연계하는데 널리 사용되는데 이 컨버터는 교류-직류-교류 3단계 전력의 변환을 거치기 때문에 스위칭에 의한 손실로 변환효율이 낮고 DC 링크 단을 구성하는 커패시터로 인해 시스템 규모가 커지는 단점을 갖는다.

이에 반해 AC-AC 직접변환이 가능한 Matrix 컨버터는 DC 링크 커패시터를 필요로 하지 않으면서 전력의 양방향 전달이 가능하고, 상용 3상 AC 전원에서부터 직류변환 없이 가변전압, 가변주파수의 교류 출력을 얻을 수 있어 많은 관심을 받아 왔다. Matrix 컨버터는 입력과 출력에서의 정현파의 전류 특성이 필요하고, 고 신뢰성, 소형화가 요구되는 분야에서 현재 그 응용 범위가 확대되고 있다. [1]

본 논문에서는 AC-AC 직접변환이 가능한 Matrix 컨버터를 이용하여 PMSG 풍력발전 시스템을 계통에 연계하는

하드웨어 축소모델을 개발하였다. 또한 보다 정확한 분석을 위해 Nordex 1.5MW 풍력발전시스템의 블레이드의 기계적 특성을 모델링하는 Wind turbine simulator를 개발하고, 실제 풍력발전시스템에서 나타나는 제반특성을 모의할 수 있도록 모터-발전기 세트로 구성된 축소형 풍력발전 시뮬레이터를 개발하였다.

2. 풍력터빈 시뮬레이터

풍력터빈 시뮬레이터를 구현하기 위해서는 바람이 가지고 있는 운동에너지와 이로 인해 블레이드에서 생성되는 기계에너지의 수학적 관계에 대하여 파악해야 한다. 또한 블레이드와 발전기와의 관계를 풍력터빈 시뮬레이터와 발전기로 모의할 때 필요한 기계적 관계에 대해서도 접근이 이루어져야 한다.[2]

2.1. 블레이드 수학적 모델링

블레이드의 모델링을 위해 풍기가 가지고 있는 역학적 특성에 대해 수학적인 모델링을 하였다. 풍속 V_{wind} 의 바람이 불 때, 바람이 가지는 역학적 에너지는 다음 식(1)과 같다.

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

A 는 블레이드의 회전 단면적 $[m^2]$ 으로 $A = \pi R_{blade}^2$ 이고, ρ 는 공기의 밀도로 약 $1.225[kg/m^3]$ 을 나타낸다. 이 운동에너지를 이용하여 블레이드가 회전하고 블레이드는 다음 식 (2)와 같은 기계적 에너지를 생성한다.

† 교신저자, 정회원 : 명지대학교 공대 전기공학과 교수 · 공박
E-mail : erichan@mju.ac.kr

* 준 회원 : 명지대학교 대학원 석사과정

** 정 회원 : 충남대학교 공대 전기공학과 교수 · 공박

*** 정 회원 : 전남대학교 대학원 박사과정

§ 정 회원 : 전남대학교 공대 전기공학과 교수 · 공박

접수일자 : 2009년 2월 18일

최종완료 : 2009년 5월 2일

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

$C_p(\lambda)$ 는 에너지 출력계수(Power Coefficient)로서 공기가 가지고 있는 역학적 에너지가 블레이드를 거쳐 블레이드의 기계적 에너지로 변화할 때의 효율을 말한다. 따라서 $C_p(\lambda)$ 는 풍속과 블레이드의 회전속도의 비율인 주속비(λ)에 의해 변화하게 된다.

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

ω_{blade} : 블레이드의 회전 각속도

R_{blade} : 블레이드의 회전자 반경

이러한 출력계수는 블레이드의 설계에 따라 달라지며 피치각 제어가 없는 블레이드를 가정할 경우 임의의 블레이드의 출력계수는 식(4)와 같이 근사화 할 수 있다

$$C_p(\lambda) = a_3 \lambda^3 + a_2 \lambda^2 + a_1 \lambda + a_0 \quad (4)$$

계수 a_x 는 각 블레이드마다 가지고 있는 고유계수이다.

발전기가 회전을 개시하여 주속비가 점점 커지면 블레이드의 출력계수, 즉 출력효율이 증가하다가 어느 속도 이상으로 빨리 회전하게 되면 효율이 떨어지게 된다. 최대 출력점 제어는 출력효율이 가장 높은 점을 유지하는 제어로서 본 논문에서 모델링의 대상으로 정한 Nordex 1.5[MW] 블레이드에서는 $\lambda=5.01$ 일 때 $C_p(\lambda)$ 가 약 0.323으로 출력효율이 가장 높은 최대 출력점이 된다.

바람의 역학적 에너지가 블레이드를 회전시켜 생성된 에너지를 블레이드의 회전속도로 나누어 주면 실제적으로 블레이드가 발전기에 전달하는 토크값(T_{blade})이 아래 식과 같이 계산된다.

$$T_{blade} = \frac{P_{blade}}{\omega_{blade}} \quad (5)$$

그림 1은 지금까지 언급한 주어진 풍속과 블레이드에서 발생하는 토크의 수학적 관계를 도출하는 과정을 블록선도를 나타낸 것이다.

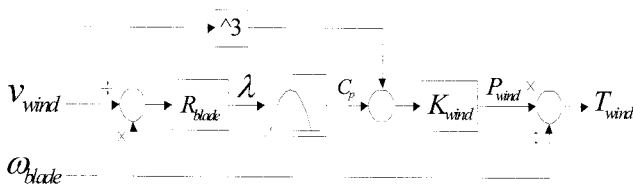


그림 1 풍력터빈의 특성분석도
Fig. 1 Diagram for Wind Turbine Characteristic Analysis.

2.2 블레이드 관성모델링

블레이드의 실제특성을 모의하기 위해 사용하고 있는 대상은 Nordex 풍력발전 모델 S70으로 하였다. Nordex S70은 1.5[MW] 정격에 반지름 34[m]의 블레이드로 구성되어 있으며 3개의 블레이드의 총중량은 17.7 [ton]이다.

블레이드가 회전할 때 각 부분의 관성이 다르기 때문에 무게 중심점을 기준에서 부터 3개의 구간을 나누어 관성을 구하였다. 블레이드의 전체 관성은 식(6) 과 같다

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

그림 2는 실제 블레이드를 사용한 경우와 풍력터빈 시뮬레이터를 사용한 경우의 동특성을 구현하기 위한 모델이다.

그림 2(a)의 Rotor-블레이드의 경우 블레이드토크 T_{blade} 는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

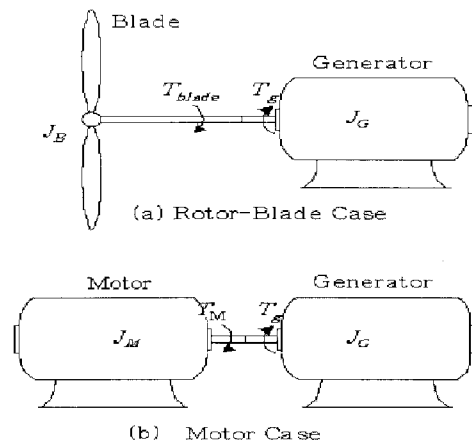


그림 2 블레이드의 동특성 구현 모델
Fig. 2 Blade Model for Dynamic Characteristic Analysis.

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

블레이드를 대체하여 전동기를 사용한 경우는 그림 2(b)의 Motor Case를 나타내며 풍력터빈 시뮬레이터가 발전기에 공급해주는 토크 T_M 은 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

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

그림 2의 두 가지의 case의 동특성이 같다고 전제하면 두 case 사이에는 식 (9)와 같은 관계가 형성된다.

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

3. 매트릭스컨버터

3.1 동작특성

매트릭스 컨버터는 수동소자를 사용하지 않고 입력과 출력을 직접 연결하도록 구성되는 양방향 전력반도체 스위치의 배열로만 이루어진다. 이렇게 구성된 매트릭스 컨버터는 출력 전압의 주파수와 크기, 입력 측의 역률을 가변 할 수 있으며 또한, 매트릭스 컨버터의 내부에 수동소자를 포함하지 않거나 컨버터 내부에 수동소자의 사용을 적극 제한함으로써 일반적인 DC 링크와 커다란 DC 커패시터를 갖는 AC-DC-AC 간접변환과 비교하였을 때 수명이 상대적으로 길고 효율을 높이는 것이 가능하다.

매트릭스 컨버터의 9개의 양방향 스위치의 제어신호를 발생하는 변조방법에 대하여는 최근까지도 venturini 변조방법, 공간벡터 변조방법, 직접 전류 제어법 등 여러 가지 방법들이 연구되어져 왔다. 하지만 이러한 변조방법은 제안된 방법에 비해 연산 과정이 복잡하고, 많은 테이블을 필요로 하는 단점을 가진다.

본 논문에서는 이러한 단점을 피하기 위해 캐리어를 이용한 매트릭스 변조 방법[4]을 사용하였다. 이 방법은 캐리어를 이용하여 각 상의 스위칭 상태를 바로 구할 수 있고, 스위칭 상태에서 직접 게이팅 신호를 얻을 수 있으므로 그 구현이 간단하다는 장점을 가지고 있다. 또한 캐리어를 이용하므로, 매트릭스 컨버터의 변조 방법을 직관적으로 이해하기 쉽다.[5]

3.2 캐리어를 이용한 변조

캐리어를 이용한 매트릭스 변조 방법은 두 가지 자유도를 이용하여 매트릭스 컨버터의 출력전압을 합성하고 입력 측의 역률을 단위 역률로 제어한다. 첫 번째 자유도인 옵셋 전압은 매트릭스 컨버터의 출력 전압을 합성하기 위해서 사용된다.

그림 3은 매트릭스 컨버터의 전압과 전류 모델을 나타낸다.

먼저, 입력 전원의 3개의 선간 전압 중 크기가 큰 2개의 선간 전압을 스위칭 주기 안에서 사용한다. 이렇게 하면, 스위칭 주기 안에서 3개의 상을 전부 이용하게 되고 결국, 모든 3개의 상에 전류가 흐르게 된다.

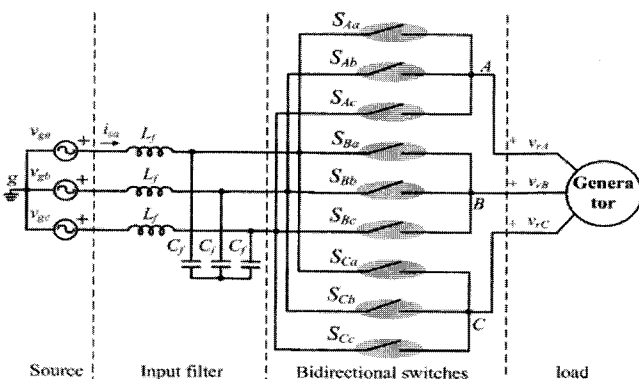
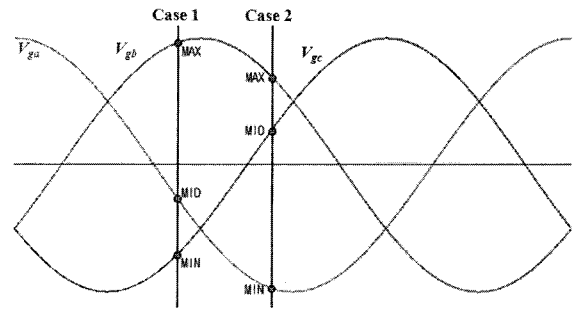


그림 3 매트릭스 컨버터의 동작원리

Fig. 3 Operation of Matrix Converter

2 개의 선간 전압을 이용할 경우 다음 그림 4처럼 두 가지 경우가 생기게 된다.

가장 큰 선간 전압을 MAX-MIN라 하면,



> Case 1. MAX - MID > MID - MIN

> Case 2. MAX - MID < MID - MIN

그림 4 매트릭스 컨버터의 모듈레이션 신호

Fig. 4 Modulation Signal for Matrix Converter.

그림 4와 같이 case1, case2로 나눈 이유는 아래의 파형처럼 가장 큰 선간 전압 MAX-MIN을 제외한 나머지 두 선간전압이 크기의 대소에 따라 스위칭 패턴이 달라지기 때문이다.

- Vga, Vgb, Vgc : 입력 상 전압
MAX=maximum(Vga, Vgb, Vgc)
MID=middle(Vga, Vgb, Vgc)
MIN=minimum(Vga, Vgb, Vgc)
- Vas*, Vbs*, Vcs* : 출력 상 전압 지령
max=maximum(Vas*, Vbs*, Vcs*)
min=minimum(Vas*, Vbs*, Vcs*)
 - 옵셋 전압 : Vsn1, Vsn2
Vsn1 : T1 기간의 옵셋 전압
Vsn2 : T2 기간의 옵셋 전압
- 폴 전압 지령 : Van1*, Van2*, Vbn1*, Vbn2*, Vcn1*, Vcn2*
Van1*=Vas*+Vsn1 : T1 기간의 a상 폴 전압 지령
Van2*=Vas*+Vsn2 : T2 기간의 a상 폴 전압 지령
Vbn1*=Vbs*+Vsn1 : T1 기간의 b상 폴 전압 지령
Vbn2*=Vbs*+Vsn2 : T2 기간의 b상 폴 전압 지령
Vcn1*=Vcs*+Vsn1 : T1 기간의 c상 폴 전압 지령
Vcn2*=Vcs*+Vsn2 : T2 기간의 c상 폴 전압 지령

그림 5는 선간전압 MAX-MID를 제외한 나머지 두 가지 선간전압에 따른 스위칭 패턴을 나타낸 것이다. (a) case 1 경우는 MAX-MID>MID-MIN일 경우의 스위칭 패턴을 나타내며, MAX-MID<MID-MIN일 경우의 스위칭 패턴은 (b) case 2와 같다. 위의 스위칭 패턴을 이용하여 기존에 전압원 컨버터에서 사용되는 “옵셋 전압을 이용한 전압 변조 방법”과 동일한 방법으로 출력 전압의 지령을 구할 수 있다.

T1 구간에서의 옵셋 전압은 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

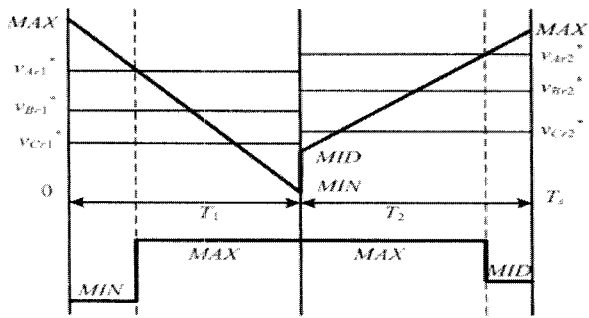
$$V_{sn1} = \frac{(MAX + MIN) - (max + min)}{2} \quad (10)$$

T2 구간의 윗셋 전압은 다음과 같이 구할 수 있다. T2 구간에 case 1인 경우 식 (11)를 이용한다. case 2인 경우에는 식 (12)를 이용한다.

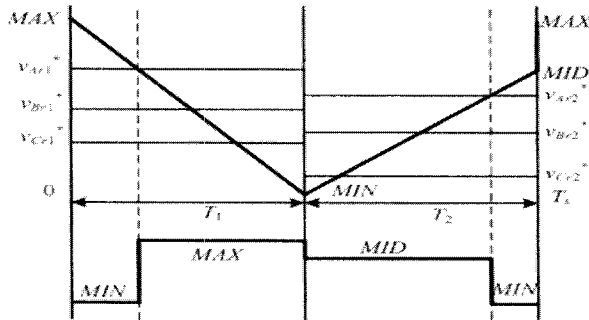
$$V_{sn2} = \frac{(MAX + MID) - (\max + \min)}{2} \quad (11)$$

$$V_{sn2} = \frac{(MID + MIN) - (\max + \min)}{2} \quad (12)$$

이렇게 구한 윗셋 전압 V_{sn1} , V_{sn2} 를 가지고 각 상의 상전압 지령치를 구하게 된다.



(a) case 1 경우



(b) case 2 경우

그림 5 캐리어를 이용한 매트릭스 변조 방법의 스위칭 패턴
Fig. 5 Switching Pattern of Carrier-Based Modulation.

두 번째 자유도인 스위칭 시간을 이용하여 입력 측의 역률을 단위 역률로 제어한다. 다음은 T1과 T2의 스위칭 시간을 식으로 나타낸 것이다.

$$T_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin\left(\beta'_i + \frac{2\pi}{3}\right) \cos(\beta_i) T_s \quad (13)$$

$$T_2 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin(\beta'_i) \cos\left(\beta_i - \frac{\pi}{3}\right) T_s \quad (14)$$

여기서 β'_i 는 T1과 T2를 결정하는 요소로 입력 전압의

위상각(β_i)에 따라 식 (15)에 의해 계산되는 것이다. 즉, 입력 전압의 위상각(β_i)에 따라 β'_i 를 계산하고 이를 이용하여 스위칭 시간을 결정함으로써 최종적으로 입력 측의 역률을 단위 역률로 제어할 수 있게 된다.

$$\beta'_i = \frac{1}{6} \cos^{-1}(\cos(6\beta_i)) \quad (15)$$

아래의 그림은 입력 전압의 위상각(β_i)과 식(15)를 통해 계산된 β'_i 와의 관계를 나타낸 것이다.

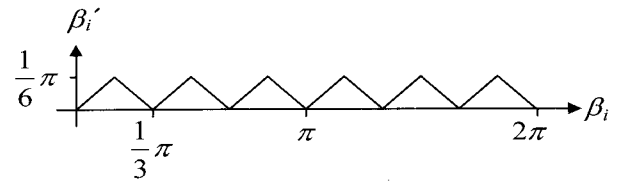


그림 6 β_i 와 β'_i 의 관계

Fig. 6 Relationship between β_i and β'_i

4. 제안하는 PMSG 풍력발전 시스템

그림 7은 본 논문에서 제안하는 매트릭스 컨버터를 이용한 PMSG 풍력발전시스템의 전체 구성을 도시화 한 것이다. 시스템의 구성은 크게 3 부분으로 나눌 수 있다. 풍력터빈 시뮬레이터를 이용한 가상블레이드 부분, Matrix converter를 이용한 PMSG 풍력발전 시스템 그리고 계통과 연결하기 위한 변압기로 구성되어 있다.

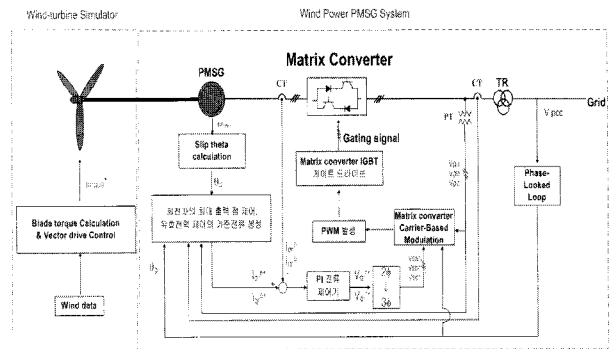


그림 7 제안된 PMSG 풍력발전 시스템의 구성도

Fig. 7 Configuration of Proposed PMSG Wind Power System.

먼저, 앞에서 설명한 Wind turbine model을 이용한 가상 blade를 통하여 PMSG 풍력 발전 시스템에 T_{blade} 를 공급한다. 공급된 T_{blade} 으로 인해 PMSG가 발전 동작을 하게 된다. 이때 매트릭스 컨버터의 제어부에서는 PMSG의 동기 위상각을 계산하여 최대 출력점 제어를 위한 기준전류지령을 생성한다. 생성된 기준전류지령은 실제 전류와 함께 PI 전류제어기, d-q 역변환을 거쳐 원하는 기준 상전압 지령으로 다시 생성된다. 기준 상전압 지령은 앞에서 설명한 캐리

어를 이용한 매트릭스 변조 방법을 통해 PWM 신호를 생성하고 이는 매트릭스 컨버터의 IGBT 게이트 드라이브를 거쳐 매트릭스 컨버터의 9개의 스위치에 신호를 인가하게 된다. 최대 출력점 제어를 통해 출력된 에너지는 변압기를 통해 계통에 전달된다.

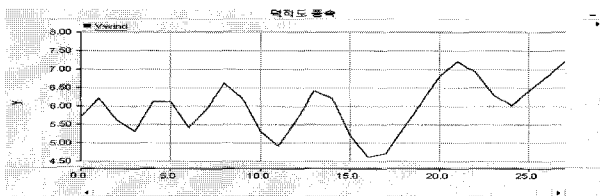
앞의 제어 블록도를 바탕으로 매트릭스 컨버터를 이용한 PMSG 풍력발전 시스템을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링 하였다. 표 1은 시뮬레이션에서 사용한 회로정수를 나타내고 있다.

표 1 시뮬레이션 회로정수

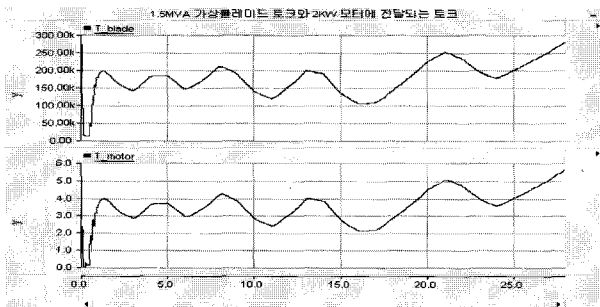
Table 1 Circuit Parameters of Simulation Model

전원 전압	220V
전원 주파수	60Hz
필터 커패시터	100[uF]
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	1800rpm
발전기 극수	4극
변압기 용량	0.005 MVA
변압비	220V: 220V

PSCAD/EMTDC로 구성된 모델은 PMSG 풍력 발전기, 매트릭스 컨버터, 계통연계 변압기를 기본적 구성으로 하고 있으며 제어기 부분은 Wind turbine 부분, C 코드로 구현되는 reference generation 부분 그리고 캐리어를 이용한 매트릭스 변조 부분으로 나누어 구성했다.



(a) 풍속 데이터



(b) 1.5MW급 가상블레이드와 2kW 모터 토크

그림 8 풍속에 따른 1.5MW급 블레이드와 2kW 모터의 출력 토크

Fig. 8 Output Torque of 1.5MW blade and 2kw Motor w.r.t. Wind Speed

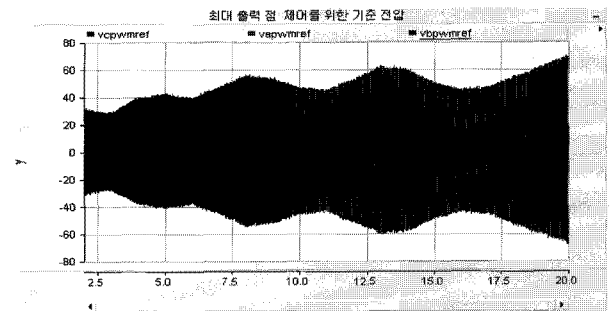
시뮬레이션에서 사용된 풍속은 덕적도 지역의 실제 풍속으로 구성한 것이며 그림 8의 (a)와 같이 나타난다.

먼저, 위의 풍속 변화에 따라 풍력터빈시뮬레이터 모델에서 1.5MW급의 블레이드의 토크값을 산출하고 이를 2kW급 모터에서 생성하는 토크 값으로 scale down하여 PMSG 풍력 시스템에 전달하게 된다.

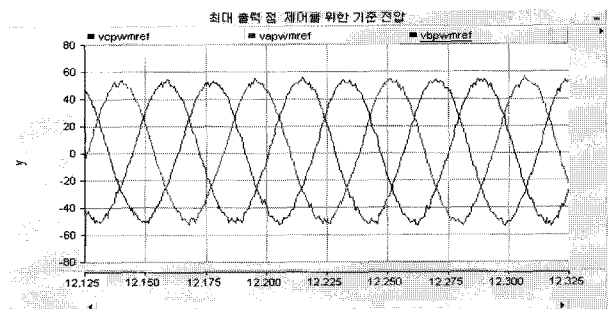
그림 8의 (b)의 T_blade는 1.5MW에서 생성되는 토크 파형이고 T_motor는 2kW 모터에서 생성되는 토크 파형을 나타낸다.

PMSG에 전달되는 풍력에너지를 최대 출력으로 제어하기 위해 최대 출력 점 제어를 수행하게 되는데 먼저, 제어의 기준점을 얻기 위해 PMSG의 동기 위상각을 PMSG의 회전속도를 기반으로 하여 추출하게 된다.

동기위상각을 추출한 다음 이를 기반으로 d-q 변환과 전류제어, 3상 역변환을 수행하여 매트릭스 컨버터가 최대 출력 제어를 수행하기 위해 그림 9와 같이 3상 기준 전압을 생성한다.



(a) 3상 기준 전압 전체 파형



(b) 3상 기준 전압 확대 파형

그림 9 최대출력점 제어를 위한 3상 기준 전압

Fig. 9 3-phase Voltage Reference for MPPT Control

생성된 3상 기준전압을 이용하여 앞에서 설명한 캐리어를 이용한 매트릭스 컨버터 변조방법을 이용하여 매트릭스 컨버터에 게이트 신호를 인가하게 된다.

그림 10에서 풍속에 따라 Matrix converter를 이용한 PMSG 풍력발전시스템이 출력하는 유효전력은 풍속과 유사한 형태로 변동함을 알 수 있다. 또한 최대 출력점 제어를 수행한 결과로 C_p 가 0.323 으로 고정되고 있고 λ 또한 5.01로 유지되는 것을 확인할 수 있다.

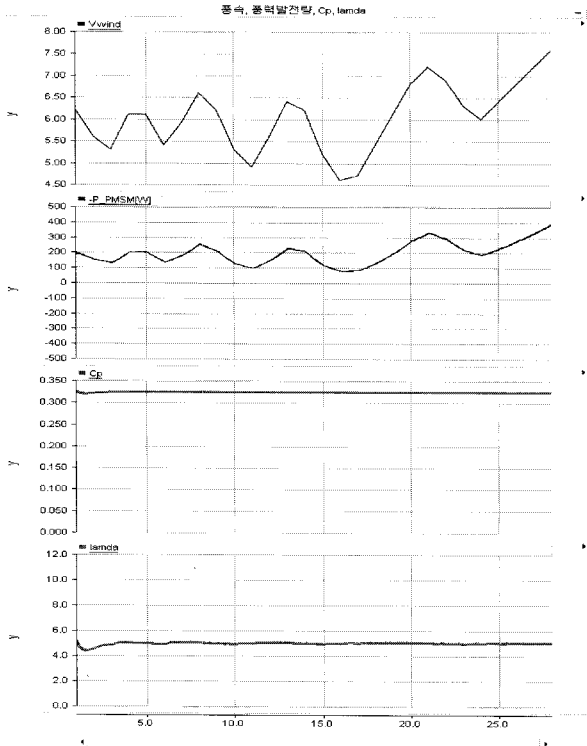


그림 10 풍속에 따른 발전기의 유효전력, C_p , λ
 Fig. 10 Generated Active power, C_p and λ w.r.t. Wind Speed

5. 하드웨어 실험

제안하는 시스템의 하드웨어구현 가능성을 확인하기 위해 수행한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 하드웨어 시스템을 구성하였다. 하드웨어 구성은 시뮬레이션 모델 구성과 동일하게 Wind turbine simulator와 PMSG로 구성된 PMSG Wind power system과 계통 연결 전력변환기로 Matrix converter를 이용하였다. 매트릭스 컨버터와 제어기는 별도의 판넬에 제작하였다. 제어기는 32bit Floating-point DSP 인 TMS320vc33을 사용하였다.

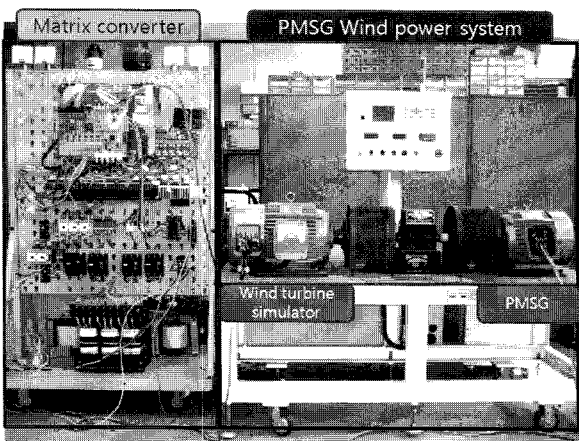


그림 11 하드웨어 시스템 실험 모델.
 Fig. 11 Hardware system model.

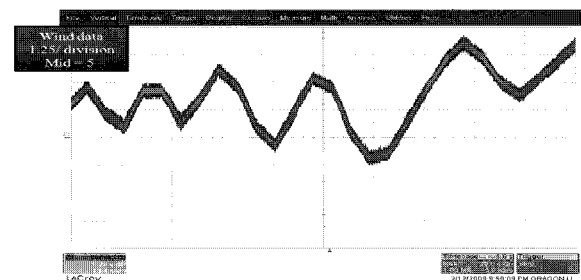
표 2 하드웨어 회로정수

Table 2 Circuit Parameters of Hardware Model

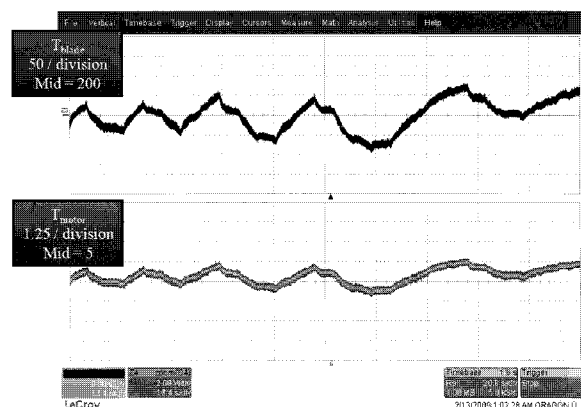
PMSG	정격 전력	3.7 kW
	정격 전압(V)	220/380
	정격 전류(A)	17/10
	RPM	1800
	극 수	4
변압기	용량(KVA)	5
	변압비	220/220 (Y-Y)
계통	전원 전압(V)	220(L-L)

그림 11과 표 2는 하드웨어 실험 모델의 전체 모습과 하드웨어 회로정수를 나타낸다.

그림 12의 (a) 풍속은 시뮬레이션 모델 수행 때 사용하였던 덕적도 지역의 풍속을 그대로 이용하였다.



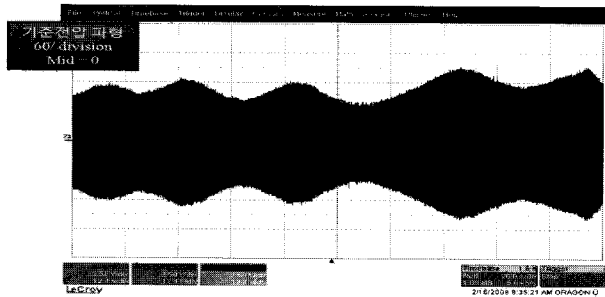
(a) 풍속 데이터



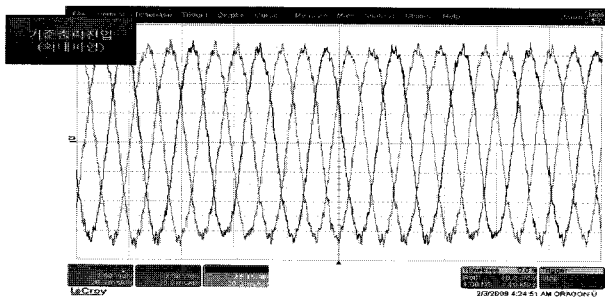
(b) 1.5MW 가상블레이드와 2kw 모터의 토크

그림 12 풍속에 따른 블레이드와 모터의 생성토크(실험)
 Fig. 12 Generated Torque for 1.5MW Blade and 2kw Motor w.r.t. Wind Speed(Experiment)

그림 12에서 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 풍속에 따라 1.5MW급 가상블레이드와 2kW급 모터에서 생성되는 토크 값이 변화되는 것을 확인할 수 있다. 먼저 제어를 수행하기 위해 하드웨어 실험에서도 마찬가지로 PMSG의 회전자의 속도를 통해 동기 위상각을 추출한다. 이를 제어 기준으로 하여 d-q 변환과 전류제어를 수행, 최대출력을 유지하기 위한 기준전압 신호를 생성한다.



(a) 3상 기준 전압 파형



(b) 3상 기준 전압 확대 파형

그림 13 최대출력점 제어를 위한 3상 기준 전압(실험)
Fig. 13 3-phase Voltage Reference for MPPT Control (Experiment)

그림 13은 하드웨어 DSP에서 구현된 기준 전압 신호이다. 기준 전압 신호는 풍속에 따라 변화하는 PMSG의 회전 속도에 따라 달라진다. 매트릭스 컨버터는 이 기준 전압 신호를 통해 PMSG의 출력을 제어하게 된다.

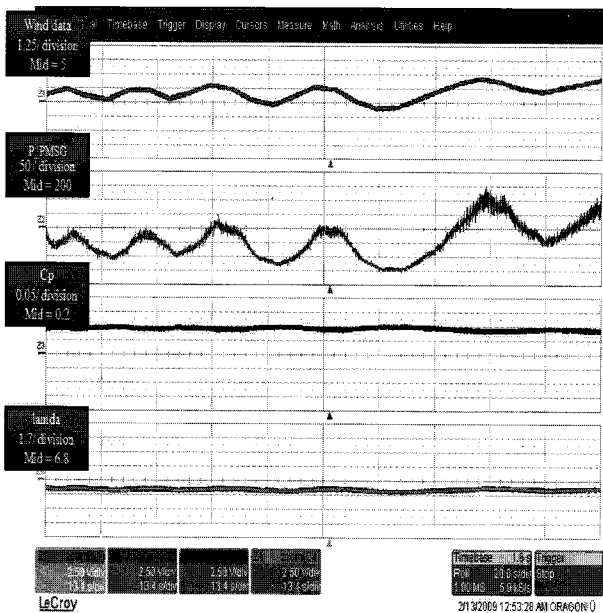


그림 14 풍속에 따른 발전기의 유효전력, C_p , λ (실험)
Fig. 14 Generated Active power, C_p and λ w.r.t. Wind Speed(Experiment)

그림 14는 매트릭스 컨버터를 이용한 PMSG 풍력발전 시스템 하드웨어 실험 파형이다. 시뮬레이션 결과와 동일하게 풍속에 따라 PMSG 풍력발전 시스템에서 발전되는 유효전력량이 변화하게 된다. 또한 최대 출력점 제어를 수행하는 결과로 C_p 가 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 PMSG wind power system을 AC-AC 직 접변환이 가능한 Matrix converter와 연계한 모델을 제시하여 기본특성 분석을 위한 이론적 검토를 실시하고 이를 바탕으로 시뮬레이션 모델과 하드웨어 모델을 개발하여 동작과 성능을 확인하였다.

또한 풍력 발전 시스템의 보다 정확한 동특성을 분석하기 위해 실제 블레이드를 모델링한 wind turbine simulator와 연계하여 시스템의 특성을 분석하였다.

제안하는 매트릭스 컨버터를 이용한 PMSG 풍력발전 시스템은 기존의 AC-DC-AC 변환 컨버터에 비해 DC-Link 제거로 인한 시스템의 효율향상과 시스템의 소형화가 가능하다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부 지원으로 수행한 “IT 기반의 대용량 전력수송 제어시스템”과 에너지자원인력양성사업의 결과물입니다.

참 고 문 헌

- [1] 차한주, “매트릭스 컨버터 개발 동향” 2005. 6. 전력전 자학회지 제 10권 제 3호
- [2] 이두영, 윤동진, 정종규, 양승철, 한병문, 송승호 “영구 자석동기발전기 풍력시스템의 하드웨어 시뮬레이터 개발”, 대한전기학회 논문지, 57B권 6호, pp. 951-958, 2008
- [3] 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, March 2003.
- [4] Yulong Li, Nam-Sup Choi*, Byung-Moon Han, Kyoung Min Kim, Buhm Lee, and Jun-Hyub Park, “Direct Duty Ratio Pulse Width Modulation Method for Matrix Converters”, International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 6, no. 5, pp. 660-669, 2008
- [5] S. Pinto, L. Aparicio, and P. Esteves, “Direct Controlled Matrix Converters in Variable Speed Wind Energy Generation Systems”, International Conference on Power Engineering 2007, Setubal, Portugal, pp. 654-659, April 12-14, 2007.

저 자 소 개



윤 동 진 (尹 東 珍)

1981년 11월 5일생.
2008년 명지대 전기공학과 졸업.
2008년 동 대학원 전기공학과 입학.
Tel : 031-335-6563
Fax : 031-330-6816
E-mail : dongjinis@mju.ac.kr



리 위 룡 (李 玉 龍)

1982년 8월 14일생.
2004년 8월 중국 북경석유화학대학교 전자통신공학과 졸업.
2006년 전남대학교 전기공학과 졸업(석사).
2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사).
현재 현대중공업 연구원



한 병 문 (韓 炳 文)

1976년 서울대 전기공학과 졸업.
1988년 미 아리조나 주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사).
1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박).
미 Westinghouse 중앙연구소 선임연구원
현재 명지대학교 전기공학과 교수
Tel : 031-330-6366
Fax : 031-330-6816
E-mail : erichan@mju.ac.kr



최 남 섬 (崔 南 燮)

1963년 3월 5일생.
1987년 고려대 전기공학과 졸업.
1989년 KAIST 전기 및 전기공학과 졸업(석사)
1994년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공박)
1995년~현재 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터공학부 교수



차 한 주 (車 翰 周)

1965년 11월 20일생.
1988년 서울대 전기공학과 졸업.
1990년 포항공대 전자전기공학과 졸업(석사).
2004년 미국 Texas A&M University, College station 졸업(박사).
1990~2001년 LG산전 연구소 책임연구원.
2005년 ~ 현재 충남대학교 전기정보통신공학부 전기전공 조교수.