

가변관성 모의 기능을 가진 풍력터빈 시뮬레이터의 제어 알고리즘

鄭炳昌^{*}, 鄭世鍾^{**}, 宋丞鎬^{***}

Control Algorithm for Wind Turbine Simulator with Variable Inertia Emulation

Byoung-Chang Jeong, Se-Jong Jeong, and Seung-Ho Song

요 약

풍력 발전 시스템의 제어 알고리즘 개발 및 개발 제품의 성능 시험을 위해 회전자 블레이드를 대신하여 발전기 축에 토오크를 입력할 수 있는 풍력 발전기 시뮬레이터를 개발하였다. 제안된 알고리즘은 풍속의 변화에 따른 블레이드의 출력 토오크 변화를 실시간으로 계산하여 직류 전동기 구동을 위한 토오크 지령값으로 사용하며, 특히 회전자 블레이드의 관성이 일반적으로 전동기보다 매우 큰 점에 착안하여 가감속시 회전자 관성에 의한 영향을 고려할 수 있도록 설계되었다. 즉, 바람으로부터 획득하는 운동에너지 중에서 미리 회전자 블레이드 관성 모멘트에 저장/변환되는 에너지를 계산하여 나머지 성분만 발전기 축에 전달하도록 하여 실제로 커다란 관성체를 사용하지 않고도 효과적으로 회전자 블레이드와 발전기부의 동특성을 실제 상황에 가깝게 모의할 수 있다. 직류 전동기를 사용하여 풍속의 변화에 따른 풍력 터빈 시뮬레이터를 설계 제작하고, 시뮬레이션 및 실험을 통해 그 성능을 보였다.

ABSTRACT

A wind turbine simulator is developed for the emulation of variable input torque from the wind energy without actual rotor blades using motor-generator set. The torque command of dc motor is calculated from the characteristic equation of rotor blade during the change of wind speed. Especially the proposed control algorithm takes into account the fact that the moment of inertia of blade is much larger than that of driving motor. If you select the desired value of inertia, the stored/restored energy of the inertia during acceleration/deceleration can be compensated effectively resulting the only net torque is delivered to the generator. The simulator set-up has been designed and implemented using a dc motor and drive. Feasibility of the proposed algorithm is verified by computer simulations and experiments.

Key Words : Wind turbine simulator, Inertia emulation

* 정회원, 전북대학교 전기공학과 박사과정

E-mail : changwin@shinbico.com

** 정회원, 전북대학교 전기공학과 석사과정 졸업

*** 정회원, 전북대학교 전자정보공학부 조교수

접수일자 : 2002.10.21

1차심사 : 2002.12. 2

심사완료 : 2003. 5.14

1. 서 론

인류가 주요한 에너지원으로 사용하는 화석에너지가 고갈되면서, 화석에너지를 대체할 새로운 에너지를 찾기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히, 환경에 대한 관심이 증가하면서 풍력과 태양광, 그리고 연료 전지 등 대체 에너지원에 관심이 집중되고 있다. 그

중에서도 풍력 발전이 가장 실용화에 근접한 에너지원으로, 현재의 전력 생산 원가는 4¢/kWh로 기존의 화석에너지에 의한 생산원가와 비슷한 수준에 도달했다^[1].

최근의 풍력 발전 시스템에 대한 연구는 유도기를 사용한 대용량 풍력 발전 시스템이 주류를 이루고 있으며, 최근에 풍력 발전 시스템에 대한 연구가 급증하고 있다^{[1]-[3]}. 풍력 발전 시스템에 대한 연구가 증가하고 상용제품이 개발되면서, 풍력 발전 시스템의 제어 알고리즘을 개발하고, 개발된 상용 제품의 성능을 검증하고 효율 등을 측정하기 위하여 블레이드를 대신하여 바람에 의한 기계적 토오크를 공급할 수 있는 장치가 요구된다. 이러한 요구에 부응하여, 블레이드를 대신하여 토오크를 입력 할 수 있는 장치를 구현하고, 발전기를 연결하여 실제 풍력 발전 시스템을 축소된 시뮬레이터에 대한 연구가 있었다^{[4][5]}. 상기의 시뮬레이터에서는 직류기 또는 유도기를 사용하여 토오크를 입력할 수 있도록 하고, 입력할 토오크의 기준값은 설정한 블레이드를 기준으로 풍속과 전동기의 회전속도에 따라 결정하고 있다. 그러나 블레이드와 전동기의 관성이 다른 것을 고려하지 않았기 때문에, 시스템의 가감속시 동특성이 실제 회전자 블레이드와 다른 문제점이 있다.

한편 작은 관성의 전동기를 사용하여 거대한 관성 부하의 동특성을 모의하는 방법도 연구되어 왔다. 예를 들어 철도 차량용 견인전동기의 부하시험을 위해서 철도 차량의 거대 관성을 모의할 수 있는 모의 관성 부하시험기가 그러한 예이다^[6]. 이때, 관성대신 사용된 전동기는 단순히 설정된 초기의 관성으로서의 역할만 수행하는 수동적 입장이 된다.

본 논문에서는 바람에너지를 기계적 운동에너지로 바꾸는 회전자 블레이드의 능동적 기능과 이때 실제 사이즈 회전자 블레이드의 큰 관성 값을 모의하는 수동적인 기능을 동시에 구현하는 풍력터빈 시뮬레이터 제어 알고리즘을 개발하였다.

시뮬레이터는 크게 블레이드의 토오크 입력을 대체할 전동기와 풍력 발전기로 사용하는 유도기, 그리고 각각의 제어기로 구성된다. 시뮬레이터에 대한 기존의 논문과는 달리 블레이드의 관성이 전동기의 관성과 다른 것을 고려하였다. 풍속이 증가 할 때, 블레이드의 큰 관성에 의하여 회전속도가 서서히 증가하는 것을 모의하기 위하여 블레이드에서 기계적 에너지로 변환되는 토오크에서 커다란 관성체의 가속에 필요한 토오크를 제외한 나머지를 발전기 축에 전달하도록 하였다. 또, 풍속이 감소 할 때, 블레이드에서 변환되는 에

너지는 감소하지만 관성이 큰 블레이드가 가지고 있는 에너지에 의해서 회전속도가 서서히 감소하는 것을 모의 할 수 있도록 블레이드의 회전에너지 변화량을 포함한 토오크를 발전기의 축에 전달하도록 하였다. 위와 같이 전동기를 제어함으로써 블레이드의 동특성을 보다 정확하게 모의할 수 있게 되었다. 그 결과 풍력 발전 시스템의 개발과 성능 시험 등에 필요한, 블레이드에 의한 토오크 입력을 모의할 수 있는 시스템을 구현할 수 있게 되었다.

2. 블레이드의 모델링 및 구현

2.1 블레이드의 모델링

일반적으로 풍속 V_{wind} 로 바람이 불 때, 블레이드에서 변환하는 에너지 풍속의 3제곱에 비례하고, 출력계수(power coefficient) C_p 에 비례한다. 블레이드에서 입력되는 에너지 P_{wind} 는 다음과 같다^[2-5].

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

여기서, A 는 블레이드의 회전 단면적 $[m^2]$, ρ 는 공기의 밀도로 평균 대기 조건에서 약 $1.25 [kg/m^3]$ 이다. 그리고, 입력되는 에너지가 식 (1)과 같이 주어질 때, 블레이드의 토오크 입력 T_{wind} 는 회전속도 ω_{blade} 에 반비례하여 다음과 같다.

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

여기서, 블레이드의 출력계수 C_p 의 계산에 주의하여야 한다. 출력 계수는 풍속 V_{wind} 의 바람이 가지고 있는 전체 에너지 중에서 블레이드에서 기계적 에너지로 변환되는 에너지의 비율을 의미한다. 출력계수는 블레이드의 형상이나 길이 등에 따라서 달라지지만, 동일한 블레이드에서도 풍속과 블레이드의 회전속도의 비율인 주속비 (TSR : Tip Speed Ratio) λ 에 따라 변한다. 주속비는 다음과 같다.

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

여기서 R_{blade} 는 블레이드의 회전반경을 의미한다.

출력 계수는 특정 주속비에서 최대값을 보이며, 주속비에 대한 함수로 모델링 할 수 있다. 본 논문에서는 식 (4)와 같이 출력계수에 대한 3차 함수로 모델링 하였으며, 그림 1에서 그래프로 보여주고 있다.

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

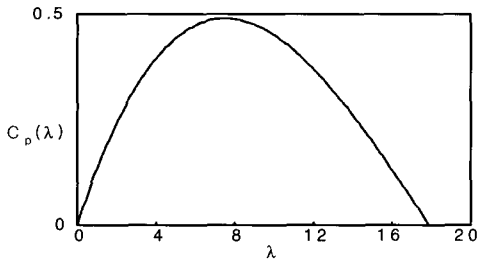


그림 1 출력 계수와 주속비
Fig. 1 Power coefficient and tip speed ratio

2.2 직류기에 의한 블레이드의 구현

식 (2)와 같이 구한 블레이드의 입력 토오르크를 구현하기 위하여 기계적 장치가 필요하며, 본 논문에서는 직류 전동기를 사용하였다. 그러나, 직류 전동기와 블레이드의 관성 크기가 다르므로, 풍속이 변동할 때, 발전기의 회전속도의 변동 특성이 달라지게 된다. 특히, 동일한 에너지가 입력되어도, 회전가속도가 다르다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 그림 2와 같이 직류 전동기를 사용한 경우와 블레이드를 사용한 경우를 고려하기로 한다. 그림 2에서 J_B 는 기어박스의 관성까지를 고려하여 발전기 축에서 환산한 블레이드의 등가 관성, J_M 은 직류 전동기의 관성, J_G 는 발전기의 관성, T_b 는 블레이드의 토오르크, T_m 은 직류 전동기의 토오르크, T_g 는 발전기의 토오르크이다.

그림 2에서 블레이드를 사용하였을 때 시스템의 토오르크 관계식을 구하면 다음과 같다.

$$T_b = (J_B + J_G) \frac{d\omega_{blade}}{dt} + T_g \quad (5)$$

같은 방법으로 직류 전동기를 사용한 경우 토오르크 관계식을 구하면 다음과 같다.

$$T_m = (J_M + J_G) \frac{d\omega_{motor}}{dt} + T_g \quad (6)$$

그리고, 블레이드를 사용한 경우와 전동기를 사용한

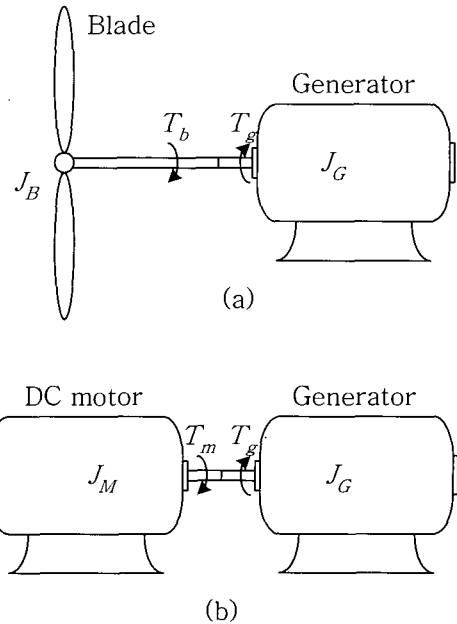


그림 2 시뮬레이터의 관성과 토오르크

- (a) 블레이드를 사용한 경우
- (b) 직류 전동기를 사용한 경우

Fig. 2 Inertia and torque of simulator

- (a) Real blade case
- (b) DC motor case

경우 동일한 동특성을 보인다고 가정하고, (5)와 (6)을 정리하면 직류 전동기에서 실제 구현해야 할 토오르크를 계산할 수 있다.

$$T_m = T_b - (J_B - J_M) \frac{d\omega_{motor}}{dt} = T_b - T_{comp} \quad (7)$$

식 (7)은 블레이드의 동특성을 모의하기 위하여 직류 전동기의 토오르크 기준값을 계산하는 식으로 사용된다. 풍속이 증가할 경우를 생각하면, 전동기에서 구현해야 할 토오르크는 블레이드 입력 토오르크에 비하여 작아진다. 반대로 풍속이 감소할 경우에는 블레이드 입력 토오르크와 블레이드의 회전에너지 변화량에 비례하는 토오르크를 더한 토오르크를 전동기에서 구현해야 한다. 이때, 풍속이 감소할 때, 전동기에서 구현해야 할 토오르크가 최대값을 갖게 되며 그 값은 식 (7)을 사용하여 구할 수 있다. 전동기를 선정할 때, 풍속이 감소할 때 전동기가 구현해야 할 토오르크를 고려해야 한다. 대략적으로 전동기의 정격이 발전기 정격의 2배면 풍속의 가·감속에 따른 블레이드의 동특성을 모의할 수 있을 것이다.

이때, 속도에 포함된 잡음이 식 (7)의 미분에 영향을 미치는 것을 주의해야 한다. 본 논문에서는 속도 미분에서 잡음의 영향을 제거하기 위하여 미분과 저역 통과 필터 함수를 결합하여 식 (8)과 같은 대역 통과 필터를 사용하였다^[7].

$$\dot{\omega}_{blade} = \frac{\omega_n^2 s}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \omega_{blade} \quad (8)$$

식 (8)에서 통과 대역은 전동기의 속도 제어 특성을 고려해야 하며, ζ 와 ω_n 에 의해서 결정된다. ζ 는 필터 출력의 안정성을 위해서 1보다 크게 선정한다. 그러나, $\zeta \gg 1$ 일 경우 식 (8)의 통과대역이 넓어져서 필터를 사용한 효과를 상쇄하게 된다. 이러한 문제로, $10 > \zeta > 1$ 의 범위가 적당하다. 또, ω_n 도 필터의 통과대역과 ζ 와의 관계를 고려하여 선정한다.

제안된 관성차이분 가감속 토크 보상 알고리즘을 사용하여 블레이드의 동특성을 구현하기 위한 제어 블록도를 그림 3에서 보여주고 있다. 풍속 V_{wind} 는 외부에서 입력하고 있다. 블레이드와 발전기를 연결하는 기어비를 1:1로 가정하면 블레이드의 회전속도와 전동기의 회전속도가 동일하므로 전동기의 회전속도를 측정하여 블레이드의 회전속도로 사용하고 있다. 그리고, 기어에 의한 기계적 손실을 무시할 경우 블레이드에 입력되는 토크가 발전기에 전달되므로, 블록도와 같이 식 (2), (7) 그리고 (8)을 사용하여 전동기에서 구현해야 할 토크를 구하고 있다.

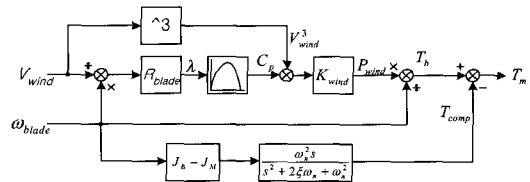


그림 3 전동기 토크 기준값 계산
Fig. 3 Torque reference calculation of DC motor

3. 시뮬레이터 설계 및 구현

제안한 제어 알고리즘을 검증하기 위하여 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다. 전체 시스템 구성도는 그림 4와 같다. 역병렬 사이리스터를 사용하여 직류 전동기에 인가하는 전압을 제어하고 있다. 이때, 전동기 제어기는 외부에서 풍속 입력을 받고, 회전속도를 측정하여 전동기에서 구현할 토크를 계산한다. 발전기는 컨버터를 통하여 제어되며, 속도 기준값은 블레이드에서 입력받는 에너지가 최대가 되도록 풍속에 비례한다. 그리고, 계통 연계 인버터가 직류단 전압을 일정하게 유지하면서 발전한 전력을 계통에 공급하고 있다.

3.1 시뮬레이션

시뮬레이션 블록은 그림 5와 같고, 사용한 파라미터는 표 1에서 보여주고 있다. 시뮬레이션은 Matlab Simulink를 사용하였으며, 시뮬레이션 모델은 크게 직류 전동기와 제어기, 유도 발전기와 제어기, 그리고,

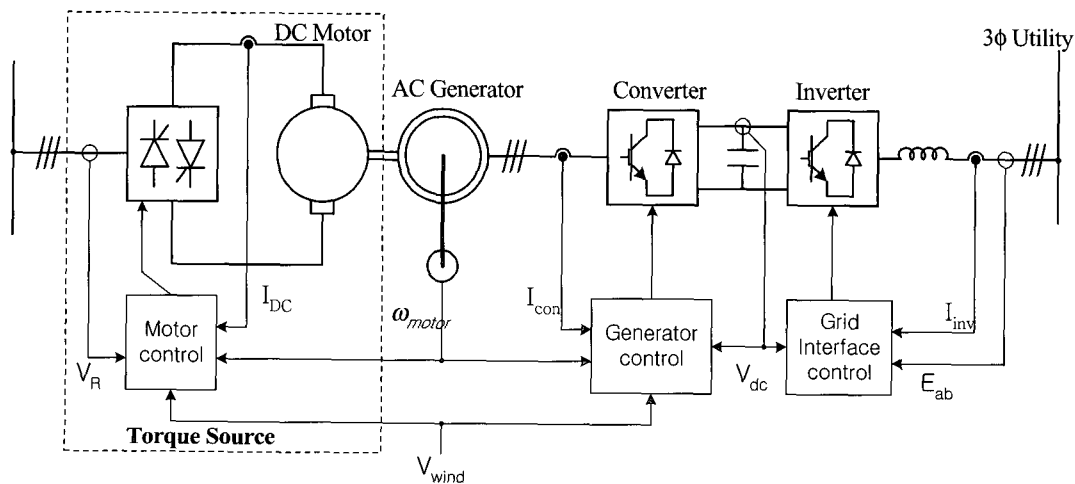


그림 4 제안된 풍력 발전 시뮬레이터의 구성도
Fig. 4 Configuration of wind-turbine simulator

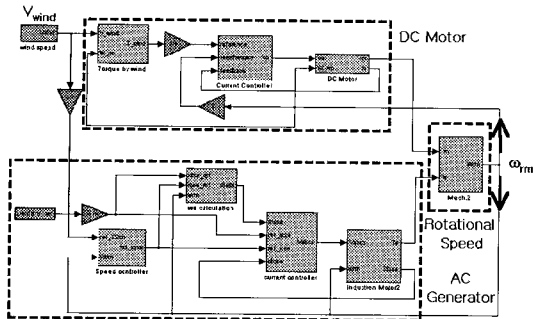


그림 5 시뮬레이션 블록도
Fig. 5 Simulation block diagram

표 1 시뮬레이터 파라미터
Table 1 Parameter of simulator

블레이드	직류 전동기	유도 발전기
$R_{blade}=1.6m$	$P=5500W$	$P=3000W$
$C_{p,max}=0.49$	$V=220V$	$V=220V$
$J_B=0.6kg \cdot m^2$	$\omega_{rate}=1750rpm$	$p=4$
	$J_M=0.03kg \cdot m^2$	$J_G=0.018kg \cdot m^2$

직류 전동기와 유도 발전기의 토크에서 회전속도를 계산하는 부분으로 구성된다. 직류 전동기와 제어기는 그림 5의 상단에 위치하며, 외부에서 풍속을 입력받고, 회전속도를 측정하여 전동기에서 구현해야 할 토크를 계산하여 직류 전동기 토크 제어의 기준값으로 사용한다. 유도 발전기와 제어기는 그림 5의 하단에 위치하며 외부에서 풍속을 입력받아서 발전기의 회전속도 제어기 기준값으로 사용하고 있다. 그리고, 전동기와 발전기는 토크를 외부에 출력하여 두가지 토크에 의하여 시스템의 회전속도를 계산하고 있다.

시뮬레이션은 풍속이 4m/sec에서 10m/sec로 변동하는 것을 가정하였다. 그리고, 블레이드의 관성이 전동기의 관성과 같은 경우와 20배 큰 경우 각각에서 진행하였다.

그림 6은 블레이드의 관성과 전동기의 관성이 같은 경우의 시뮬레이션 결과이다. (a)와 같이 풍속이 4m/sec에서 10m/sec로 증가하면, (b)와 같이 전동기의 회전속도가 변동하는 것을 보여주고 있다. 이때, 블레이드에 입력되는 토크는 (c)와 같이 변동한다. 앞에서 설명한 것과 같이, 정상상태에서 블레이드에 입력되는 토크는 블레이드의 입력 에너지, 즉 풍속의 세

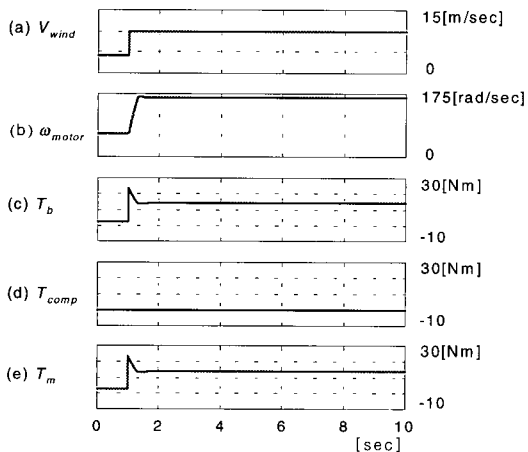


그림 6 제어 알고리즘 시뮬레이션 결과($J_B=J_M$)
(a) 풍속 V_{wind} (b) 전동기 회전속도 ω_{motor}
(c) 블레이드 토크 T_b
(d) 보상 토크 T_{comp}
(e) 전동기 토크 T_m
Fig. 6 Simulation result of control algorithm($J_B=J_M$)
(a) Wind speed V_{wind}
(b) Rotational speed ω_{motor}
(c) Blade input torque T_b
(d) Compensation torque T_{comp}
(e) Motor torque T_m

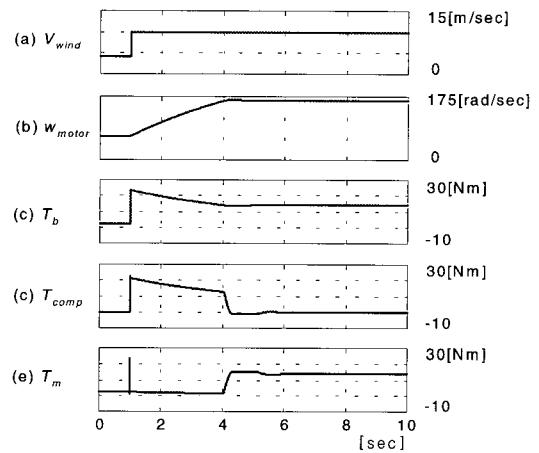


그림 7 제어 알고리즘 시뮬레이션 결과($J_B=20J_M$)
(a) 풍속 V_{wind} (b) 전동기 회전속도 ω_{motor}
(c) 블레이드 토크 T_b
(d) 보상 토크 T_{comp}
(e) 전동기 토크 T_m
Fig. 7 Simulation result of control algorithm($J_B=20J_M$)
(a) Wind speed V_{wind}
(b) Rotational speed ω_{motor}
(c) Blade input torque T_b
(d) Compensation torque T_{comp}
(e) Motor torque T_m

제곱에 비례하고, 회전속도에는 반비례한다. 그리고, 회전속도는 풍속에 비례하도록 제어하므로, 결국 정상 상태에서의 토오크는 풍속의 제곱에 비례하게 된다. (d)는 블레이드의 관성과 전동기의 관성이 다른 것을 보상하기 위한 토오크로, 두 관성이 같으므로 보상 토오크는 0이다. (e)는 전동기에서 구현해야 할 토오크로, 블레이드에 입력되는 토오크에서 보상 토오크를 제외한 것이다.

그림 7은 블레이드의 관성이 전동기 관성에 비하여 20배 큰 경우의 시뮬레이션 결과이다. (a)에서 보여주고 있는 것과 같이, 그림 6에서와 동일하게 풍속이 4m/sec에서 10m/sec로 증가하지만, 블레이드의 관성이 전동기 관성의 20배이므로 회전속도는 (b)와 같이 서서히 증가한다. 블레이드에 입력되는 토오크는 (c)와 같이 계산되지만, 블레이드의 동특성을 모의하기 위하여 (d)와 같은 보상 토오크가 계산된다. 그래서, 실제 전동기에서는 (e)와 같이, 블레이드에 입력되는 토오크에서 보상 토오크를 제외한 나머지 토오크를 구현한다. 그림 6의 (e)와 비교하면, 풍속과 회전속도가 일정하게 유지되면, 블레이드의 관성에 관계없이 일정한 토오크를 직류 전동기에서 구현한다. 그러나, 회전속도가 증가하는 구간에서는 블레이드에 입력되는 토오크에 비교하여 상당히 작은 값을 전동기에서 구현하고 있다.

3.2 실험

제안한 알고리즘을 실험을 통하여 확인하기 위하여, 그림 8과 같이 구성도에 따라 시뮬레이터를 제작하였다. 제작한 시뮬레이터를 사용하여 제안한 알고리즘에 대한 실험을 수행하였으며, 실험 결과는 그림 9, 그림 10, 그리고 그림 11에서 보여주고 있다.

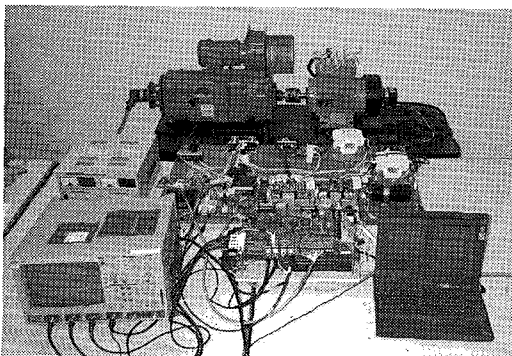


그림 8 구성된 시뮬레이터 사진
Fig. 8 Picture of simulator

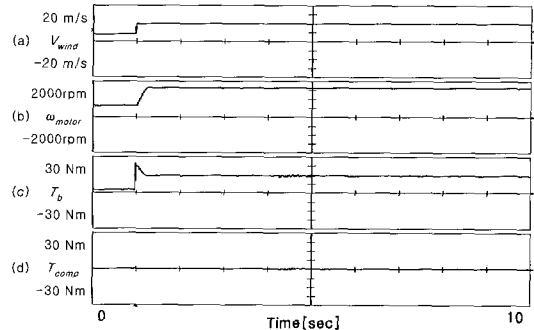


그림 9 제어 알고리즘 실험 결과 ($J_b=J_M$)
(a) 풍속[m/s] (b) 전동기 회전속도[rpm]
(c) 블레이드 토오크[Nm] (d) 보상 토오크[Nm]

Fig. 9 Experimental result ($J_b=J_M$)
(a) Wind speed[m] (b) Rotational speed[rpm]
(c) Blade input torque[Nm]
(d) Compensation torque[Nm]

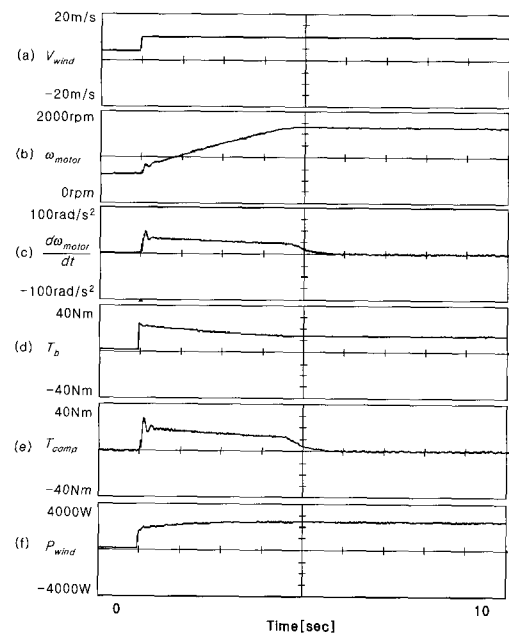


그림 10 제어 알고리즘 실험 결과 ($J_b=20J_M$)
(a) 풍속[m/s] (b) 전동기 회전속도[rpm]
(c) 회전 가속도[rad/s²] (d) 블레이드 토오크[Nm]
(e) 보상 토오크[Nm] (f) 블레이드 입력 에너지[W]

Fig. 10 Experimental result ($J_b=20J_M$)
(a) Wind speed[m/s] (b) Rotational speed[rpm]
(c) Rotational acceleration[rad/s²]
(d) Blade input torque[Nm]
(e) Compensation torque[Nm]
(f) Blade input power[W]

그림 8에서 그림의 상단에 위치한 것은 풍력 발전 시스템을 구현하기 위한 직류 전동기와 유도 발전기이다. 왼쪽에 위치한 것이 직류 전동기로, 직류 전동기와 발전기에서 각각 회전속도를 측정하고 있다. 오른쪽에 위치한 것은 유도 발전기이다. 발전기에 비하여 직류 전동기의 정격 전력이 더 큰 것을 사용하여, 풍속이 감소할 때, 블레이드의 회전에너지 변화량을 전동기에서 구현 할 수 있도록 하였다. 직류 전동기와 유도 발전기의 파라미터는 표 1과 같다. 그림의 중앙에는 유도 발전기의 고정자측을 제어하기 위한 컨버터와 계통 연계 인버터, 그리고 둘을 동시에 제어하는 제어기가 위치한다. 컨버터는 풍속에 따라 발전기의 회전속도를 제어하여 블레이드에 의한 입력 전력이 최대가 되도록 제어한다.

그림 9에서는 블레이드의 관성이 전동기의 관성과 동일한 경우 실험 결과로, 그림 6에서 보여주고 있는 시뮬레이션 결과와 동일한 결과를 확인할 수 있다. 풍속이 (a)와 같이 4m/sec에서 10m/sec로 증가할 때, 전동기 회전속도의 변화를 (b)에서 보여주고 있다. 그리고 (c)에서는 블레이드에 입력되는 토크를 보여주고 있다. 시뮬레이션에서 설명한 것과 같이 정상상태에서 블레이드에 입력되는 토크는 풍속의 제곱에 비례한다. 풍속이 4m/sec에서 블레이드에 입력되는 토크는 약 2.5Nm정도이고, 풍속이 10m/sec에서는 약 15Nm로 풍속의 제곱비 6.25에 근접한 수치를 보이고 있다. 블레이드의 관성과 전동기의 관성이 동일하므로, 보상토크는 (d)와 같이 0이 되고, 전동기에서는 (c)와 같은 토크를 구현하게 된다.

그림 10에서는 블레이드 관성이 전동기 관성에 비하여 20배 큰 경우 실험 결과를 보여주고 있다. 풍속이 그림 9와 동일하게 증가할 때, 회전속도는 (b)와 같이 서서히 증가하게 되며, 이때 회전 가속도를 (c)에서 보여주고 있다. 속도에 포함된 잡음이 속도 미분에 영향을 주는 것을 배제하기 위하여 속도 미분에 저역통과 필터를 결합하여 사용하기 때문에, 속도의 빠른 변동은 검출하지 못한다. 이러한 이유로, 속도가 변동하는 초기에는 관성차에 의한 토크를 정확하게 보상하지 못하였다. 토크 보상 특성은 앞에서 설명한 것과 같이 미분기와 결합된 저역통과 필터의 계수를 적절히 선정하는 것에 의해서 최적화 할 수 있으며, 본 논문에서는 실험을 통하여 $\zeta=6.32$, $\omega_n=31.62$ [rad]로 결정하였다. 블레이드에 입력되는 토크는 (d)와 같이 변동하지만, 블레이드의 관성과 전동기의 관성이 다르므로, (e)와 같이 계산된다. 실제 전동기에서 구현하는 토크는 (d)에서 (e)를 제외한 나머지 토크를 구현

하고 있다. (f)에서는 이때, 블레이드에 입력되는 파워를 보여주고 있다.

그림 11에서는 동일한 풍속 조건에서 블레이드의 관성에 따라 회전속도가 달라지는 것을 보여주고 있다. 풍속은 (a)와 같이 4m/sec에서 10m/sec로 변동한다. 그리고, 블레이드의 관성이 전동기 관성의 5배, 10배, 20배일 때, 회전속도의 변화를 (b)에서 보여주고 있다. 블레이드의 관성에 관계없이 블레이드에 입력되는 토크의 크기는 유사한 값을 갖는다. 그러나, 블레이드의 관성을 구현하기 위한 보상 토크에 의하여 실제 전동기에서 구현하는 토크가 달라지고, 회전속도가 달라지게 된다.

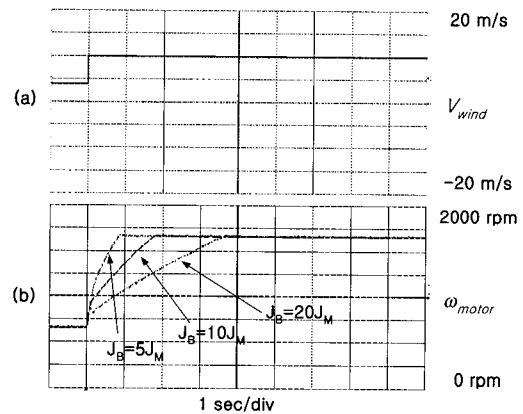


그림 11 블레이드의 관성에 따른 가속도 변화
(a) 풍속[m/s]
(b) 회전속도[rpm]

Fig. 11 Acceleration at different blade inertia
(a) Wind speed[m/s]
(b) Rotational speed[rpm]

4. 결 론

본 논문에서는 회전자 블레이드를 대신하여 풍속에 변화에 따른 에너지 입력량을 조절하는 시뮬레이터를 설계·제작하였다. 특히 실제 회전자 블레이드의 큰 관성값을 작은 관성의 전동기로 모의 할 수 있도록 제어 알고리즘을 구성하여 회전자 블레이드의 동특성을 실제 상황에 가깝게 모의할 수 있게 하였다. 제안된 알고리즘을 포함한 시뮬레이터는 앞으로 풍력 발전 시스템의 제어 알고리즘 개발, 성능시험 및 효율 측정 등 다양한 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후 연구과제로는 속도 변동에 따른 시스템의 마찰 손실 성분을 파악하여 효과적으로 보상하면 더욱 정확한 시스템 동특성 모의가 가능할 것으로 생각된다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학
공동연구소 주관으로 수행된 과제임.

참 고 문 헌

- [1] <http://www.windpower.org>
- [2] Shibashis Bhowmik, Rene Spee, Johan H. R. Enslin, "Performance Optimization for Doubly Fed Wind Power Generation Systems", IEEE Tr. Industry Application, Vol. 35, No. 4, pp. 949~958, 1999.
- [3] 김철호, 공정식, 오철수, "가변속과 일정속 풍력발전시스템의 출력제어", 한국에너지공학회지, 제9권 제2호, pp. 117~122, 2000.
- [4] 정병창, 송승호, 노도환, 김동용, "풍력 터어빈 모의 실험을 위한 가변 토크 입력형 시뮬레이터", 대한전기학회 논문지, Vol. 51, No. 8, pp. 467~474, 2002.
- [5] L. Chang, R. Doraiswami, T. Boutot, H. Kojabadi, "Development of a Wind Turbine Simulator for Wind Energy Conversion Systems", Electrical and Computer Engineering, 2000 Canadian Conference on, Vol. 1, pp. 550~554, 2000.
- [6] 배분호, 설승기, "전동차 조합시험을 위한 전기적 관성부하에 대한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 433~435, 1999.
- [7] Seung-Ho Song, Seung-Ki Sul, "A New Tension Controller for Continuous Strip Processing Line", IEEE Tr. Industry Applications, Vol. 36, No. 2, pp. 633~639, 2000.

저 자 소 개



정병창(鄭炳昌)

1976년 1월 26일생. 1998년 전북대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



정세종(鄭世鍾)

1975년 12월생. 2001년 전북대 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).



송승호(宋丞鎬)

1968년 8월 27일생. 1991년 서울대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학부 졸업(박사). 1992년~1995년 포스콘 기술연구소 연구원. 2000년~현재 전북대학교 전자정보공학부 조교수. 당 학회 학술위원.