

영구자석형 동기기를 이용한 WIND TURBINE SYSTEM 시뮬레이션 모델 구현에 관한 연구

권 정 민, 김 정 훈, 이 흥 희
울산대학교

Simulation Model of Wind Turbine System Using Permanent Magnet Synchronous Machine

Jeong Min Kwon, Jung Hun Kim, Hong Hee Lee
University of Ulsan

ABSTRACT

최근 신재생 에너지로 풍력 발전 시스템이 중요시 되고 있다. 이에 본 논문에서는 풍력발전 시스템의 Wind Turbine System을 영구자석형 동기기를 이용하여 시뮬레이션 모델을 구현하였다. 시뮬레이션 모델은 회전자 모델, MPPT 알고리즘, 영구자석형 동기(PMSM) 등으로 구성되어 있다. Wind Blade Rotor의 유체역학적 특성 및 가감속 제어전략을 이용하여 Wind Turbine System의 특성을 시뮬레이션 할 수 있도록 하였다.

본 연구 결과는 이후 영구자석형 동기기를 이용한 풍력발전기의 기초 자료로서 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서 론

최근 에너지를 다양화하고, 에너지의 안정적인 공급, 에너지 구조의 환경 친화적 전환 및 온실가스 배출의 저감을 목적으로 하는 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법이 시행되면서 대규모 풍력발전 단지 건설이 활발히 이루어지고 있다.^[1]

중전 PMSM을 이용한 기어리스(Gearless or Direct drive) 방식의 풍력 발전기는 로터의 회전속도가 발전기의 회전속도가 되기 때문에 인버터에서 제어 가능한 주파수를 만들기 위해서는 발전기의 극수가 기어타입(Geared type)보다 훨씬 증가하여야 한다. 결국 이로 인하여 발전기의 사이즈가 커져야 되며 그로인한 발전기의 가격이 고가인 단점으로 사용되지 않았다. 그러나 기술의 발전으로 인해 PMSM의 가격이 낮아졌고 인버터를 사용함으로써 계통연계에 안정성을 확보 할 수 있으며, 발전기의 회전속도를 가변 할 수 있기 때문에 효율이 최대가 되는 회전속도로 제어하여 효율을 향상시킬 수 있다. 또한 기어박스가 없기 때문에 유지보수가 기어드 타입(Geared Type)보다 용이한 장점으로 대용량 풍력발전 시스템에 본격적으로 적용되기 시작하고 있다.

풍력 발전기의 효율적인 제어를 위한 여러 테스트에 있어 제어 대상을 실제 풍력 발전기로 하는 것은 공간, 시간, 비용적 측면에서 어려움이 있다. 이에 제어 대상을 모의하기 위한 방법 중 하나로 기존의 M-G 세트를 사용함으로써 블레이드의 토오크를 모의하거나 관성을 모의하여 실제 풍력 발전기의 특성을 구현 하는 것이다. 또한 풍력 발전기 효율을 높이기 위해서는 바람의 파워를 최대한 이용하는 최대 파워 출력은 기본적

인 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어에 입각한 블레이드의 속도제어 기법을 사용해야만 한다.

본 논문에서는 Matlab Simulink를 이용하여 풍력 발전기의 블레이드 특성을 모의 할 수 있는 시뮬레이션 모델 및 Wind Turbine System의 시뮬레이션 모델을 이용하여 가감속 풍속에 따른 MPPT 방식의 출력 특성에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 풍력터빈 모델링

본 장에서는 시뮬레이션 모델을 구현하기 위하여 풍력 터빈의 구성요소인 블레이드 회전자 모델링, PMSM Machine 및 MPPT 알고리즘에 대하여 알아본다.

2.1 회전자 모델링

바람으로부터 풍력터빈의 회전자에서 추출되는 에너지는 식(1)으로 표현된다.^[2]

$$P_o = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p \quad (1)$$

단, P_o : 회전자에서 추출되는 에너지 [W]

ρ : 공기 밀도 [kg/m³]

A : 블레이드의 회전 단면적 [m²]

V : 바람의 속도 [m/s]

C_p : 회전자의 출력계수 또는 회전자 효율

회전자 출력계수인 C_p 는 블레이드 입력 풍속과 출력 풍속 간의 비로 나타낼 수 있다. 또한 C_p 는 터빈의 회전속도와 바람의 속도에 의해 변화된다. 이를 주속비(Tip Speed Ratio)라고 하며 식(2)로 표현할 수 있다.

$$TSR = \frac{wR}{V} \quad (2)$$

단, w : 터빈의 회전자 각속도

R : 블레이드의 반경

V : 풍속

식(1)과 식(2)을 이용하여 회전자에서 발생하는 기계적 에너지를 다시 표현하면 식(3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$P_o = \frac{1}{2} \rho A \left(\frac{wR}{TSR} \right)^3 C_p \quad (3)$$

회전자에서 발생하는 에너지는 영구자석형 동기기(PMSM)로 토오크의 형태로 전달된다. 입력되는 토오크는 식 (4)과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{rotor} = \frac{P_o}{w} \quad (4)$$

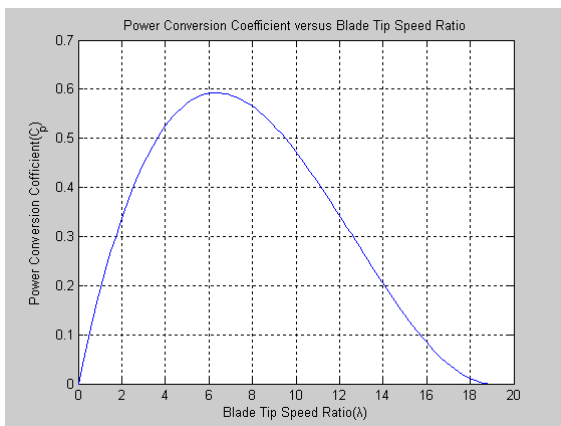


그림 1 출력계수 (C_p)와 주속비 (TSR) 곡선
Fig 1 Power conversion coefficient versus Blade Tip Speed ratio

2.2 MPPT 알고리즘

풍속이 일정할 때, 식(1)로부터 풍력 터빈 시스템에서 생성할 수 있는 최대 에너지는 출력계수 (C_p)에 비례한다는 것을 알 수 있다. 따라서 그림 1에서 보인 것과 같이 C_p 가 최대값을 가지는 주속비(TSR)를 유지하도록 제어를 수행하여야 한다.

주속비를 유지하기 위한 영구자석형 동기기(PMSM)의 속도 지령치를 (2)식을 이용하여 다시 표현하면 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$w_d = \frac{TSR \times V}{R} \quad (5)$$

식(5)에 의해 풍속의 변화에 따라 운전속도 지령치를 바꿔줌으로써 최대 전력 추종이 가능하도록 제어하는 기법이다.

2.2 영구자석형 동기기

영구자석형 동기기(PMSM)는 구조가 간단하고 계자 손실이 없다. 따라서 전체 적인 시스템 효율이 증가하고 구조가 간단해진다.^[3] 그러나 발전되는 전압과 주파수는 회전 속도에 비례해서 달라지므로 전력변환 회로를 이용하여 계통으로 연결되어야만 한다.

2. 시뮬레이션

본 장에서는 Matlab Simulink 기반의 회전자의 시뮬레이션 모델과 전체 시스템의 시뮬레이션 모델을 소개하고 시뮬레이션한다. 풍속 데이터는 가변으로 하였고 발전기 모델은 850kW급 풍력 터빈 시스템을 이용하였다. 영구자석형 동기기(PMSM)를 사용하였기 때문에 기어리스 형태이다. 또한 제어를 위한 알고리즘은 MPPT 알고리즘을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

2.1 시뮬레이션 모델

그림 2는 회전자의 관성에 대한 보상기능을 가진 토오크 출력을 모의하기 위한 회전자 모델을 보여주고 있다. 회전자 모델은 식(3), 식(4), 식(5) 및 [4], [5], [6]을 이용하여 구현하였다.

본 모델은 풍속 및 속도 값을 받아들여 회전자에서 생성되는 에너지에 따른 회전자의 토오크와 DC 전동기에서 생성되는 토오크의 출력을 계산하는 역할을 한다.

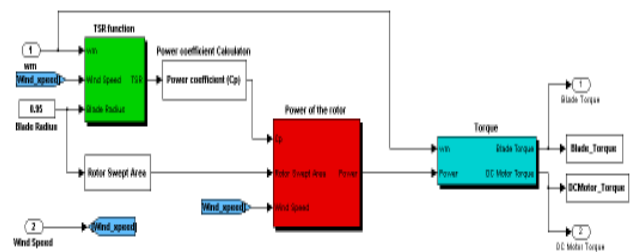


그림 2 회전자 모델
Fig 2 Wind Blade Rotor Model

그림 3은 영구자석형 동기기(PMSM)를 이용한 Wind Turbine System의 모델을 보여준다. 본 모델은 시스템 전체에 대한 모델로써 풍속을 받아들이고 회전자 모델에서 출력된 토오크와 영구자석형 동기기(PMSM)의 속도 지령치를 생성하고 속도제어를 수행하도록 되어있다.

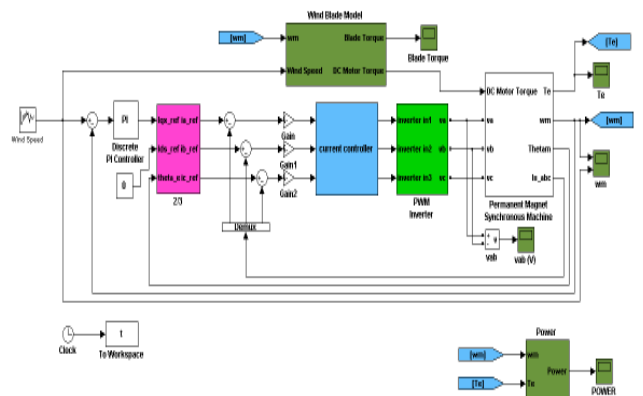


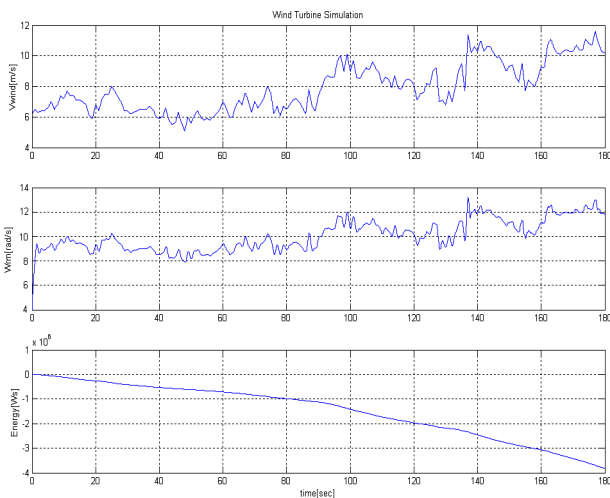
그림 3 PMSM을 이용한 Wind Turbine System 모델
Fig 3 Wind Turbine System Model using PMSM machine

표 1은 본 시뮬레이션 모델에서 사용한 전체 시스템의 시뮬레이션 파라미터를 보여준다.

표 1 시뮬레이션 모델을 위한 파라미터
Table 1 The parameter for Simulation model

Parameters	Value
Rated Power	850[kW]
Rated rpm	25[rpm]
Rated Torque	325[Nm]
poles	84[kgm ²]
Moment of inertia	686090
Rotor radius	25[m]
Inertia time constant	5.53[s]

그림 4는 MPPT 알고리즘을 이용한 제어방식으로 시뮬레이션을 수행한 결과를 보여준다. 첫 번째 그래프는 풍속을 나타낸 것이고 두 번째 그래프는 영구자석형 동기(PMSM)에서 검출한 동기기의 속도이다. 마지막으로 세 번째 그래프는 시간에 따른 영구자석형 동기(PMSM)에서 출력되는 에너지를 표현하고 있다. 앞에서 언급하였듯이 영구자석형 동기(PMSM)를 이용한 Wind Turbine System은 기어리스 형태이기 때문에 풍속이 곧 영구자석형 동기(PMSM)의 속도와 일치한다. 그림에서 볼 수 있듯이 영구자석형 동기(PMSM)의 속도는 풍속을 추적하는 형태를 나타내고 있다.



3. 결론

본 논문에서는 Matlab Simulink를 기반으로 영구자석형 동기발전기(PMSM)를 이용한 Wind Turbine System의 시뮬레이션 모델을 모델링 및 시뮬레이션을 수행하였고 MPPT 제어 알고리즘에 의한 Wind Turbine의 회전속도 및 출력 에너지에 대한 시뮬레이션 결과를 보였다. 구현된 시뮬레이션 모델은 추

후 전력계통 보호 및 제어 알고리즘 분석에 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] <http://www.klaw.go.kr-CNT2-LawContent-MCNT2Search.jsp>
- [2] Mukund R. Patel, Wind and Solar Power Systems, CRC Press, 1999.
- [3] 설승기, 전기기기제어론, 브레인 코리아, pp. 221-223, 2002
- [4] 정병창, 정세중, 송승호, 노도환, 김동용, "가변관성 모의 기능을 가진 풍력 발전기 시뮬레이터의 제어알고리즘", 2002 대한전기학회 학술대회, pp170-173,2002
- [5] Ezzeldin S. Abdin, wilson Xu, "Control Design and Dynamic Performance Analysis of a Wind Turbine-Induction Generator Unit", IEEE TRANS On ENERGY CONVERSION, VOL. 15, NO. 1, MARCH 2000
- [6] A.G.Gonzalez Rodriguez, M.Burgos Payan, "PSCAD Based Simulation of the Connection of A Wind Generator to the Network", IEEE Power Tech Proceedings, VOL. 4 page 6, 2001