

풍력발전시스템 시뮬레이션을 위한 MATLAB/Simulink 기반 라이브러리 개발

이국선*, 이형민*, 백주훈*, 송승호*
광운대학교

Integrated Wind Turbine System Simulation Software based on MATLAB/Simulink

Kooksun Lee*, Hyoungmin Lee*, Juhoon Back*, Seung Ho Song*
Kwangwoon University*

ABSTRACT

본 논문에서는 풍력 발전 시스템의 시뮬레이션을 위한 MATLAB/Simulink 기반의 소프트웨어를 개발 하였다. 풍력 발전 시스템을 6가지의 주요 요소 (바람, 기계 요소, 전기 기기, 제어, 전력 변환기, 기타 요소)로 분류 하여 라이브러리를 개발 하였고 각각의 모델들은 해당하는 대수방정식 혹은 미분방정식으로 표현하여 구현하였다. 최근 대형화 되고 있는 풍력 터빈의 추이를 고려하여 대형의 풍력 터빈에서 사용되는 개별 피치 제어 모델을 선형화 하여 구현하였다. 또한, 상태 변수가 많은 전기기기 모델들은 미리 컴파일 된 형태의 모델을 추가함으로써 빠른 속도로 시뮬레이션이 가능하다.

1. 서론

전통적인 주 에너지원인 석유, 석탄을 이용한 화석 연료는 환경오염과 고갈의 문제로 새로운 대체 에너지 보급이 시급하다. 세계 각국에서도 이러한 문제를 인식하고, 다양한 대체 에너지원이 개발 되고 있다. 특히 풍력의 경우 최근 폭발적인 성장세를 보이고 있다. 이러한 시점에서 97% 이상의 에너지원을 해외에서 수입하고 있는 우리나라의 개발 연구는 비산유국으로서 에너지 자립을 위해 반드시 필요함에도 불구하고, 독자적인 원천기술력과 소프트웨어의 부족으로 제어계통, 블레이드, 피치 교정 등의 핵심 제어 기술은 수입에 의존하고 있다^{[1][2]}.

특히, 시스템 테스트를 위한 시뮬레이션 소프트웨어의 경우 대부분이 고가의 외국 제품이고, 배우기 쉽지 않아 전체 시스템을 구현하는데 어려움이 있다. 국내 풍력발전시스템 기술이 아직 시작단계라는 점을 고려할 때, 보다 배우기 쉽고 알고리즘의 테스트가 용이한 통합 시뮬레이션 툴의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 아·공학 분야에서 폭넓게 사용되고 있는 MATLAB/Simulink를 기반으로 풍력발전시스템에 대한 통합 시뮬레이션 소프트웨어를 개발하였다. 사용자는 제공하는 라이브러리들을 이용하여 간단하게 풍력 시스템을 구성하여 테스트 해 볼 수 있다.

2. 시뮬레이션 소프트웨어 구성

풍력발전시스템 통합 시뮬레이션 소프트웨어는 크게 6종류의 요소로 구성되어 있다. 바람을 생성할 수 있는 바람 모델 (Wind Models), 출력계수를 계산하고 블레이드의 회전에 따라 바람에서 얻은 에너지를 기계적인 에너지로 변환하는 기계 요

소(Mechanical Components), 기계적인 에너지에서 전기 에너지를 얻을 수 있는 전기 기기(Electrical Machinery), 전력의 제어나 전력 조정을 위해 다른 형태로 전력을 변환시켜주는 전력 변환기(Power Converters), 풍력발전 시스템을 제어하기 위한 PI 제어기 및 유·무효 전력 제어기를 포함하는 제어기들, 그리고 전원과 계통, 변환, 케이블, 계측기 등으로 이루어진 기타 모델(Common Models)로 구성되어 있다.

- 바람 모델 (Wind Models)
- 기계 요소 (Mechanical Components)
- 전기 기기 (Electrical Machinery)
- 전력 변환기 (Power Converters)
- 제어 (Control)
- 기타 모델 (Common Models)

2.1 바람 모델 (Wind Models)

풍력 발전기의 동력원인 바람을 생성해주는 모델들을 포함하고 있다. 그림 1과 같이 매트랩 s function 기능을 이용하여 풍속이 변하는 시간, 풍속을 사용자가 자유롭게 조정하여 입력할 수 있도록 구현 되었다. 이 외에도 Kaimal 필터를 이용하여 노이즈를 고려한 바람 모델들과, 선형적으로 증가·감소하거나 일정 값을 유지하는 구간을 갖는 풍속 모델들이 구현되어 있다.

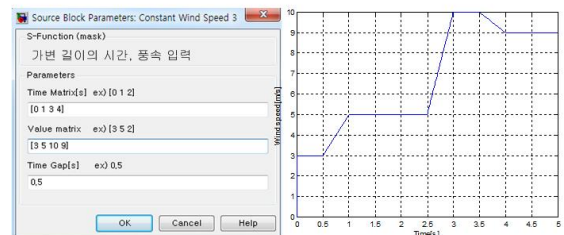


그림 1 가변 입력의 풍속 모델

2.2 기계 요소 (Mechanical Components)

기계 요소는 크게 바람에너지로부터 기계적인 토크를 발생시키는 모델, 블레이드 피치각 구동기에 대한 모델, 그리고 드라이브 트레인 모델들로 구성되어 있다. 토크 모델은 문헌에서 많이 인용되는 해석적인 모델, look up 테이블 형태로 주어진 모델 등 다양한 C_p , C_q 모델이 포함되어 있다. 블레이드 피치각 구동기는 1차 모델이 구현되어 있고, 드라이브 트레인은 로터

와 기어박스, 발전기의 three mass 모델과 이를 축소한 two mass, one mass 모델들이 구현되어 있다.

특히, 최근 대형화 되는 풍력 발전기의 추이를 고려하여 개별 피치각 제어 테스트를 위한 선형화 5 DOF IPC(Individual Pitch Control) 모델이 그림 2와 같이 구현되어 있다.

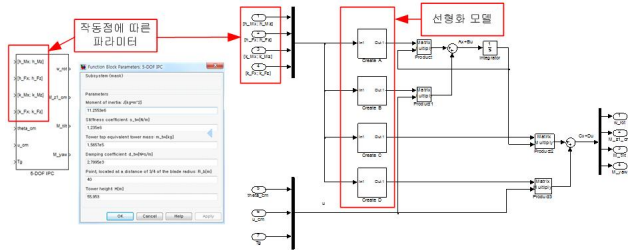


그림 2 5 DOF IPC 블록

풍력터빈의 개별 피치각, θ^{cm} 은 실제로 회전에 의한 비선형 성분들을 포함하게 된다. 수식 1의 변환(Coleman transform)을 이용하여 수식 2와 같은 회전 성분이 없는 선형시스템으로 만들 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = [P] \begin{bmatrix} \theta_1^{cm} \\ \theta_2^{cm} \\ \theta_3^{cm} \end{bmatrix}, \quad [P] = \begin{bmatrix} 1 & \sin\psi_1(t) & \cos\psi_1(t) \\ 1 & \sin\psi_2(t) & \cos\psi_2(t) \\ 1 & \sin\psi_3(t) & \cos\psi_3(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \dot{x} &= [A]x + [B]u \\ y &= [C]x + [D]u \end{aligned} \quad (2)$$

시스템의 행렬 [A],[B],[C],[D]는 수식 3과 같이 선형화에 의한 작동점에서 얻어진 파라미터들을 포함한다. 이 파라미터들은 피치각, 블레이드 풍속, 발전기 토크에 의하여 변화하게 되므로 구현된 모델에서는 외부에서 변화시킬 수 있도록 설계하였다. IPC에 대한 자세한 내용은 참고문헌을 참조한다^[3].

$$\begin{bmatrix} M_{z,i} \\ F_{x,i} \\ M_{x,i} \\ F_{z,i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{Mz} & k_{Mz} \\ h_{Fx} & k_{Fx} \\ h_{Mx} & k_{Mx} \\ h_{Fz} & k_{Fz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{fli} \\ \theta_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.3 전기 기기 (Electrical Machinery)

전기 기기는 현재 풍력 발전시스템에서 사용되고 있는 농형/권선형 유도기, 돌극형/영구자석형 동기기에 대한 dq모델과 3상 모델이 포함되어 있다. 또한, 과도상태를 무시한 저차모델, 정상상태 모델 등 특별한 모델이 포함되어 있다. 자세한 수학적 모델은 참고문헌^{[4][5][6]}을 참조한다. 특히, 많은 상태 변수를 갖는 전기기기의 특성을 고려하여 C S function을 사용한 동적 링크 라이브러리형태(dll)의 모델을 구현하였다. 측정 결과 시뮬레이션 속도가 3~6배 빨라짐을 확인할 수 있었다.

2.4 전력 변환기 (Power Converter Models)

스위칭 함수를 기반으로 한 파워 컨버터 모델들로 구성되어 있다. 3상 다이오드 브릿지 정류기와 Six step 방식의 전압 소스 컨버터(VSC)가 구현되어 있고, VSC의 PWM 변조 방식으로는 정현파 PWM과 공간벡터 PWM이 구현되어 있다.

2.5 제어 (Control)

본 소프트웨어에는 많이 사용되는 누적 방지(anti windup) 기능을 포함한 PI 제어기와 이중역자 유도발전기에서의 유도 전력 제어기를 포함하고 있다^[6].

2.6 기타 모델들 (Common Models)

기초적이거나 많이 사용되는 각종 변환, 그리고 계통 모델, 라인 모델 등을 포함한다.

3. 시뮬레이션

제안한 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 그림 3과 같은 풍력발전시스템을 구현하였다.

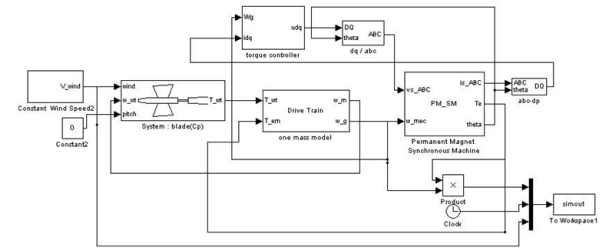


그림 3 2[MW]급 PMSG 풍력발전 시스템 시뮬레이션

4. 결론

제안된 시뮬레이션 소프트웨어는 풍력발전시스템을 6개의 주요 요소로 나누어 라이브러리 형태로 구현되었다. 또한, 5 DOF IPC 선형화 모델을 이용한 대형의 풍력발전시스템의 개별피치제어를 테스트할 수 있다. 소프트웨어를 이용하여 2[MW]급 풍력시스템을 구현하여 효율성을 검증하였다. 본 소프트웨어는 "http://windenergy.kr"을 통해 공개 되어있다.

본 연구는 2012(3차년도)년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20093021020030)

참고 문헌

- [1] 모영환, "풍력산업의 정책동향과 과제", 대한설비공학회 설비저널, Vol. 38, No. 7, pp. 8-13, Jul., 2009
- [2] 황병선 외, "최신풍력터빈의 이해", 아진, 2009
- [3] K. Selvam, S.Kanev, J.W. van Wingerden, T. van Engelen, and M. Verhaegen, "Feedback feedforward individual pitch control for wind turbine load reduction", International Journal of Robust and Nonlinear Control, 2008
- [4] 설승기, "전기기기 제어론", 홍릉과학출판사, 2009
- [5] F. Iov, A.D. Hansen, P. Sorensen, and F. Blaabjerg, "Wind Turbine Blockset in Matlab/Simulink General Overview and Description of the Models", Aalborg University, 2004
- [6] F.D. Bianchi, H.D. Battista, and R.J. Mantz, "Wind Turbine Control Systems Principles, Modelling and Gain Scheduling Design", Springer, 2007