

PSCAD/EMTDC를 이용한 풍력발전 시스템 모델 개발

김영주*, 박대진*, 모하마드 하산 알리*, 박민원*, 유인근*
국립 창원대학교 전기공학전문전공*

Development of wind power generator system model using PSCAD/EMTDC

Youngju Kim*, Daejin Park*, Mohd Hasan Ali*, Minwon Park*, In-Keun Yu*
Department of Electrical Engineering, Changwon National University, Korea *

Abstract - Wind power generation system based on the PSCAD/EMTD is proposed in this paper for the simulations under the real weather conditions. Real field data of weather condition is interfaced to PSCAD/EMTDC using Fortran program interfaced method. And a new turbine component is developed using characteristic equation of a wind turbine and pitch angle control algorism

The generator output and current supplied into utility can be obtained by the transient analysis using PSCAD/EMTDC.

1. 서 론

풍력발전 시스템은 기존의 화석연료나 우라늄 등을 이용한 발전방식과는 달리 무한정의 청정에너지인 바람을 동력원으로 하는 무공해 에너지원으로써 열 공해나 대기오염 그리고 방사능 누출 등과 같은 환경오염 문제가 없고 대체 에너지원 중 가장 경제성이 높다. 뿐만 아니라 풍력발전 시스템은 구조나 설치 등이 간단하여 운영 및 관리가 용이하고 무인화 및 자동화 운전이 가능하기 때문에 도입이 비약적으로 증가하고 있다. 또한 풍력발전은 그 기술이 이미 상용화 단계까지 축적되어 왔고 국가적인 지원정책도 활발히 진행되고 있는 실정이다[1]. 그러나 풍력발전 시스템에 대한 연구는 연구비에 대한 부담으로 인해 연구 속도가 지연되고 있으므로, 풍력 터빈 발전기의 종류, 설비 용량 등을 쉽게 모의할 수 있는 풍력발전 시스템 시뮬레이터 개발이 연구자들 사이에 강력히 요구된다[2].

본 논문에서는 이에 대한 대책으로써 전력 시스템 해석 프로그램으로 널리 사용되고 있는 PSCAD/EMTDC를 이용한 풍력발전 시스템 모델링 방법을 제시하고자 한다. PSCAD/EMTDC를 이용한 비선형 외부 파라미터와 포트란언어와의 인터페이스를 통해 실제 기상조건 데이터를 이용한 풍력발전 시스템을 시뮬레이션 하였다.

2. 본 론

2.1 풍력터빈의 특성방정식

풍력발전 시스템에서 풍속을 기계적인 힘으로의 변환을 위하여 풍력터빈이 사용되어지게 된다. 여기서 풍속과 풍력터빈 blade의 회전속도의 비를 Tip ratio라고 한다.

$$\lambda = \frac{Rw}{v_w} \quad (1)$$

여기서 ω 는 회전자의 기계적 각속도를 나타내고 v_w 은 풍속을 나타내며 R은 풍력 터빈의 반지름이다.

$$C_p = 1/2(\lambda - 0.022\beta^2 - 5.6)e^{-0.17\lambda} \quad (2)$$

풍력터빈에 사용된 Tip ratio(λ)와 블레이드의 pitch angle(β)의 함수로 결정되는 C_p 는 식 (2)와 같이 표현된다. C_p 는 풍력터빈의 종류에 따라 고유한 값을 가지고 풍력터빈의 토크 출력에 영향을 준다. 그리고 Pitch angle이 증가 할수록 C_p 값이 작아지고, 특정한 Tip ratio의 값에서 최대 C_p 값을 가지게 된다.

$$P_t = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v_w^3 C_p(\lambda) \quad (3)$$

풍력터빈의 출력 에너지는 식 (3)과 같이 계산된다. 여기서 ρ 는 공기밀도를 나타낸다. 풍력터빈에 의해 발생된 발생토크 T_t 는

식 (4)와 같이 풍속이 강할수록 많은 출력을 내게 된다.

$$T_t = \frac{P_t}{\omega_m} = \frac{1}{2} \rho A C_p(\lambda) \frac{V_m^3}{\omega_m} = \frac{1}{2} \rho A r \frac{C_p(\lambda)}{\lambda} V_m^2 \quad (4)$$

시뮬레이션에서 터빈은 Mod-2 wind turbine 모델을 사용하였다. Mod-2 wind turbine은 수 MW 크기의 실제 풍력 터빈으로 Gear box를 통하여 발전기에 연결된다. 표 1에 Mod-2 wind turbine의 parameter를 나타내었다. 본 논문에서는 Mod-2 풍력터빈을 출력을 증가시켜 3MW Mod-2 풍력터빈을 만들어 시뮬레이션 하였다[3].

〈표 1〉 Mod-2 Wind turbine parameter

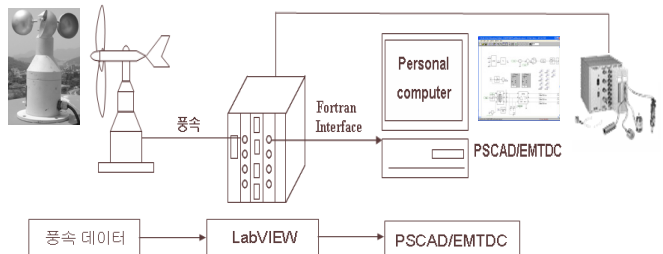
| | | | |
|--------------|--------|----------------|----------|
| 용량 | 2.5 MW | 프로펠러 형태 | 수평축 프로펠러 |
| Gear box | 1:86 | Rotor diameter | 91.43m |
| Cur-in speed | 5.8m/s | Cut-out speed | 16m/s |

2.2 풍력시스템에서의 유도발전기

시뮬레이션을 위하여 회전기는 Squirrel cage 유도발전기를 사용하였다. Squirrel cage 유도 발전기는 항상 일정한 속도로 회전하므로 Fixed speed 유도발전기라고 불리기도 한다.

$$\text{Slip ratio} = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100[\%] \quad (5)$$

여기서 N_s 와 N_r 은 Stator의 회전속도와 Rotor의 회전속도를 나타낸다. 식 (5)에서 유도발전기는 Stator의 속도가 Rotor의 속도보다 빨라서 Slip ratio가 Negative 값이 되고, 무효전력 성분의 공급이 공급되어야 동작을 할 수 있다. 따라서 계통으로부터 무효전력 성분을 공급받게 되고, 무효전력 성분을 보상하기 위하여 계통의 말단부에 Capacitor bank가 설치되게 된다. 그리고 Squirrel cage 유도발전기는 다른 Wound rotor type 유도발전기나 동기 발전기와는 달리 AC/DC converter나 여자기 없이 계통에 직접 연결할 수 있다.

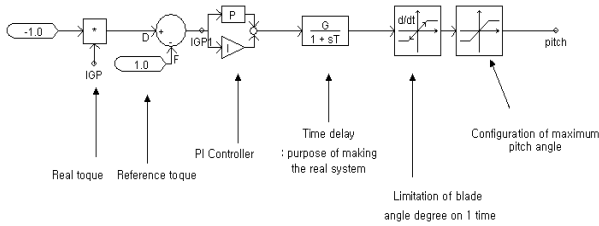


〈그림 1〉 풍력발전 시스템 시뮬레이션 개념도

2.3 EMTDC를 이용한 풍력발전 시스템 모델링

본 논문에서는 실제 풍속을 측정하여 풍력터빈 Component에 입력하였다. 이 때 토크 T_t 가 Squirrel cage 유도 발전기에 입력된다. 풍속이 변화하게 되면 출력 토크가 변화하게 되어서 유도발전기의 출력 또한 변하게 된다. 하지만 풍력발전 시스템을 계통의 연결하기 위해서는 일정한 출력이 요구되어진다. 따라서 출

력을 일정하게 제어 하는 방법 중 Pitch angle control을 사용하였다. Pitch angle control은 날개의 회전면에 대해 각 날개의 Pitch angle을 조절하여 터빈에 가해지는 입력을 기계적으로 제한한다. 또한 Cut-in speed와 Cut-out speed를 적용하여 실제 시스템과 동일한 풍력터빈 Component를 제작하였다.



〈그림 2〉 Mod-2 피치각 제어방법

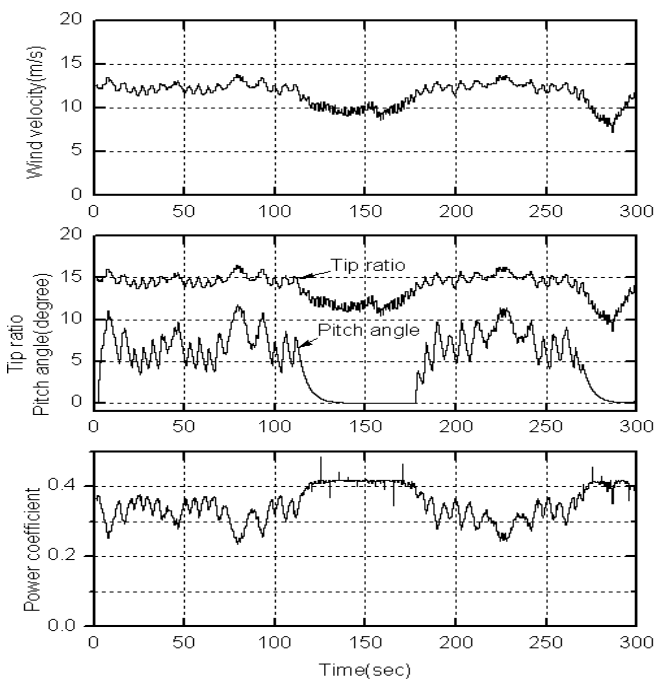
2.4 풍력발전 시스템 출력 안정 기법

〈표 2〉 Pitch control parameter

| | | | |
|--------|-----|---------------|-----|
| P Gain | 500 | 초당 허용 피치각 변화량 | 10° |
| I Gain | 0.3 | 최대 피치각 | 90° |

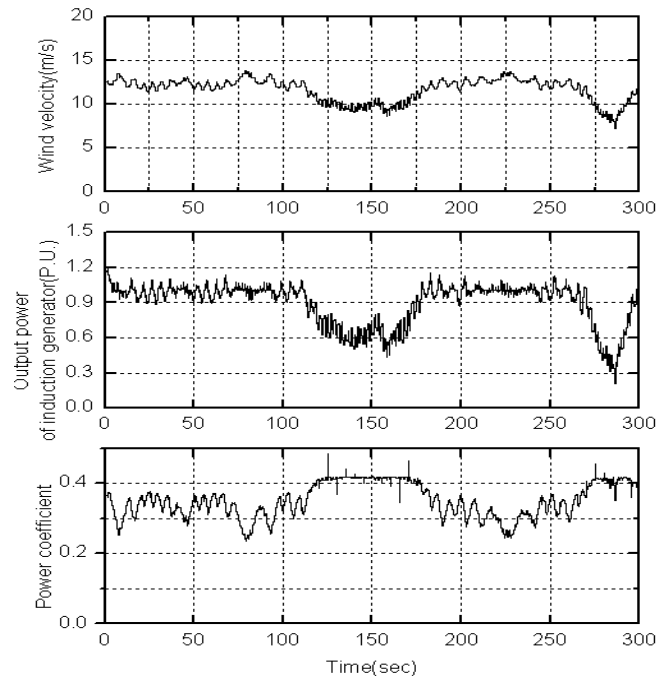
본 논문에서 pitch angle control 알고리즘은 풍력터빈의 출력 토크를 피드백 받아 PI 제어를 사용해 pitch angle을 제어하는 방식이다. 풍속이 변할 때 Pitch angle이 관성으로 인하여 즉시 반응할 수 없는 것을 가정하여 Time delay를 주었고, Mod-2 풍력 터빈의 초당 최대 pitch angle 변화가 10도인 것을 적용하여 Pitch angle control을 하였다[4].

3. 시뮬레이션 결과



〈그림 3〉 풍속의 변화에 따른 Tip ratio와 Pitch angle의 변화

그림 3은 풍속의 변화에 의한 Tip ratio와 Pitch angle의 변화를 나타내며 2개의 parameter값의 변화로 인한 C_p 의 변화를 보여준다. 풍속이 13m/s에서 10m/s로 감소할 경우 Tip ratio는 감소하지만 Pitch angle의 값이 작아져서 C_p 의 값은 증가하게 된다. 이와 같이 pitch angle은 Tip ratio와 pitch angle의 변화로 결정되어진다는 것을 알 수 있다. 또한 터빈 정격출력속도 11.8m/s 이하에서는 Pitch angle이 0°가 되어서 출력을 최대로 낼 수 있도록 한다.



〈그림 4〉 풍속의 변화에 따른 Generator의 출력 변화

그림 4은 풍속이 변할 경우 C_p 의 변화와 유도 발전기의 출력을 나타 내었다. 풍속이 감소할 경우 C_p 의 값은 증가 하지만 풍력발전 시스템의 출력에 크게 영향을 미치는 풍속이 감소하므로 발전기의 출력이 줄어들게 된다. 따라서 일정한 출력을 내기 위해서는 풍속이 낮을 경우 Energy storage system으로부터 Compensation이 필요하다.

4. 결 론

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 풍력터빈 특성 방정식을 이용하여 풍력터빈을 모델링하고, 실제 기상조건을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 또한 입력 토크가 변화하더라도 일정한 속도로 회전하는 유도 발전기를 사용하였다.

본 논문에서 제안한 시뮬레이션 결과를 통해 Pitch angle은 Tip ratio와 pitch angle의 변화로 결정되어진다는 것을 알 수 있다. 또한 풍속이 감소할 경우 풍력발전 시스템의 출력에 크게 영향을 미치는 풍속이 감소하므로 일정한 출력을 내기 위해서는 풍속이 낮을 경우 Energy storage system으로부터 Compensation이 필요함을 확인할 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 실제 값과 일치하는 풍력 발전 시스템의 시뮬레이션을 가능하게 하였으며 이는 풍력발전시스템의 연구에 있어 크게 기여할 뿐만 아니라 비용절감의 효과까지 기대 할 수 있을 것이라 예상된다.

감사의 글

본 연구는 (주)두산중공업의 지원에 의하여 수행된 것임

[참 고 문 헌]

- [1] Mukund R. Patel, "Wind and Solar Power System", CRC Press, pp35-69, 1999.
- [2] Sang-Geun Han, Minwon Park, In-Keun Yu, "Study on the simulation for synchronous generator typed wind power system using PSCAD/EMTDC", ICEE, Vol. 1, pp161-16, 2002
- [3] Wasynczuk, T. man, J. P. Sullivan, "DYNAMIC BEHAVIOR OF A CLASS OF WIND TURBINE GENERATORS DURING RANDOM WIND FLUCTUATIONS", IEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, pp2837-2845 No. 6 June 1981
- [4] M. H. Ali, T. Murata, and J. Tamura, "Minimization of Fluctuations Line Power and Terminal Voltage of Wind Generator by Fuzzy Logic-Controlled SMES", *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, Vol 1, No.4, pp.559-566, October 2006.