

PSCAD/EMTDC를 이용한 고정속 풍력발전시스템 모델링 및 과도상태 안정화기법

김영주*, 박대진*, Mohd Hasan Ali**, 박민원*, 유인근*
 창원대학교*, Ryerson University**

Fixed speed wind power generation system modeling and transient state stabilization method using PSCAD/EMTDC

Youngju Kim*, Daejin Park*, Mohd Hasan Ali**, Minwon Park*, In-Keun Yu*
 Changwon National University*, Ryerson University**

Abstract - This paper describes a modeling of fixed speed wind power generation system which comprise of wind turbine, generator and grid. The wind turbine is based on MOD-2, which is IEEE standard wind turbine, and includes a component using wind turbine characteristic equation. Fixed speed induction generator is directly connected to grid, so the variation of wind speed has effects on the electrical torque and electrical output power. Therefore the power control mode pitch control system is necessary for aerodynamic control of the blades. But the power control mode does not operate at the fault condition. So it is required some methods to control the rotor speed at transient state for stabilization of wind power system.

In this paper, simulation model of a fixed speed wind power generation system based on the PSCAD/EMTDC is presented and implemented under the real weather conditions. Also, a new pitch control system is proposed to stabilize the wind power system at the fault condition. The validity of the stabilization method is demonstrated with the results produced through sets of simulation.

1. 서 론

풍력발전은 신재생에너지원 중 가장 높은 경제성과 기술 신뢰성을 확보한 차세대 산업성장 동력으로써 국제적인 환경규제에 능동적으로 대응할 수 있는 새로운 기술로 각광받고 있다[1]. 그 중 농형 유도발전기를 이용한 풍력발전시스템은 저가이며 시스템이 견고하여 유지 보수비용이 거의 필요 없으므로 경제적인 측면에서 매우 유리하다[2]. 하지만 풍력발전시스템은 풍속의 변화에 따른 출력 변화로 인해 계통에 크게 영향을 줄 뿐만 아니라 유도 발전기를 이용한 풍력발전시스템의 경우 과도상태시 많은 안정도 문제를 가지고 있다. 따라서 계통의 변화를 최소화하고, 풍력발전시스템을 포함한 전력 시스템의 고장발생시 일어나는 과도상태 해석 및 안정화 기법이 필요하다.

본 논문에서는 발전기의 출력변화를 최소화하기 위하여 정상상태시에는 파워 컨트롤모드 피치 제어시스템(Power control mode pitch control system)으로 동작하다가 과도상태시에는 회전자의 회전속도를 안정화시키기 위한 제어법으로써 스피드 컨트롤 피치 제어시스템을 제안하였고, 과도 상태 해석 프로그램으로 널리 사용되고 있는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 새롭게 제안된 안정화 기법을 포함한 풍력발전시스템을 모델링하였다.

2. 본 론

2.1 풍력터빈의 특성 방정식.

바람이 블레이드의 회전단면을 통과할 때 변환되는 기계적 회전 에너지는 바람이 가지고 있는 에너지와 출력계수(Power Coefficient : C_p)를 곱한 값으로 표현된다.

$$P_t = \frac{1}{2} A \rho v^3 C_p(\lambda) \quad (1)$$

여기서 A는 블레이드의 회전 단면적, ρ 는 공기밀도, v 는 풍속을 나타내며 기계적 회전 에너지는 식 (1)과 같이 풍속의 3승에 비례한다.

Mod-2 풍력터빈의 C_p 의 특성 방정식은 식 (2)로 나타낸다.

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

C_p 는 바람이 가지고 있는 전체 에너지 중에서 기계적 에너지로 변환되는 블레이드의 에너지 변환 효율으로써 풍속과 회전속도의 관계가 주요 변수가 되며 이러한 풍속과 회전속도의 관계를 주속비(Tip-speed ratio) λ 라 한다.

2.2 풍력발전시스템의 모델링

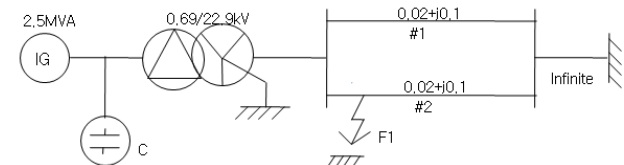
2.2.1 풍력터빈의 모델링

표 1은 PSCAD/EMTDC에서 구현되어진 IEEE 규정 Mod-2 풍력터빈의 파라미터 값을 나타낸다.[3]

<표 1> Mod-2 풍력터빈의 파라미터

Rated power	2.5 MW	Propeller type	Horizontal-Axis
Gear box	1 : 86	Rotor diameter	91.43 m
Cut-in speed	5.8 m/s	Cut-out speed	16 m/s

2.2.2 풍력발전시스템 모델링



<그림 1> 농형 유도발전기를 이용한 풍력발전시스템 및 연결 계통 단선도

그림 1은 시뮬레이션에 사용된 회로도이며, 농형 유도발전기는 항상 일정한 속도로 회전하여 고정속 (Fixed speed) 유도발전기라고도 한다.

2.3 풍력발전시스템의 안정화 기법

농형 유도발전기에 고장이 발생할 경우, 식 (3)의 스윙 방정식(Swing equation)에서 정상상태시 평형을 이루고 있던 기계적 토크와 전기적 토크의 균형이 무너져 가속 토크의 값이 증가하게 되어 발전기의 회전속도가 증가하게 된다.

$$T_a = T_m - T_e \quad (3)$$

T_a = Acceleration torque

T_m = Mechanical torque

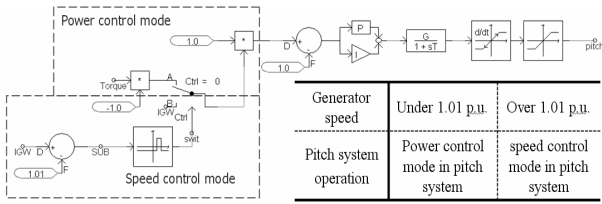
T_e = Electrical torque

계통의 고장 발생으로 인해 전기적 토크의 값이 급격하게 감소하면 농형 유도발전기의 출력전압도 급격하게 감소한다. 따라서 고장발생시 풍력발전시스템에 일어나는 과도현상을 안정화시키기 위하여 본 논문에서는 피치 제어시스템을 이용한 새로운 안정화 기법을 제안하였다.

2.4 제안된 피치 제어시스템의 모델링

기존의 피치 제어시스템은 가변하는 풍속에 대한 발전기의 출력을 일정하게 유지하기 위하여 터빈의 피치가 조절을 통해 발전기의 출력을 안정화 하는 파워 컨트롤모드를 사용하고 있다. 하지만 과도상태시 파워 컨트롤모드는 제대로 동작하지 않기 때문에 과도상태에서의 안정화 기법이 필요하다.

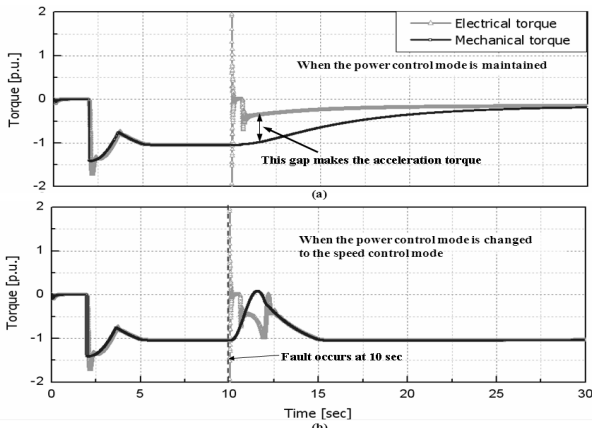
따라서 본 논문에서는 정상상태시 기존의 파워 컨트롤모드로 작동하다가 과도상태시에는 시스템의 안정화를 위하여 발전기의 회전자 속도를 일정하게 제어하는 스피드 컨트롤모드를 제안하였다. 제안된 알고리즘은 정상상태시 발전기의 출력을 안정화하기 위하여 파워 컨트롤모드로 피치각을 조절하고 과도상태시에는 회전자를 일정하게 하기 위하여 피치각 제어를 실시하도록 하였다.



〈그림 2〉 제안된 피치 제어시스템의 블록다이어그램

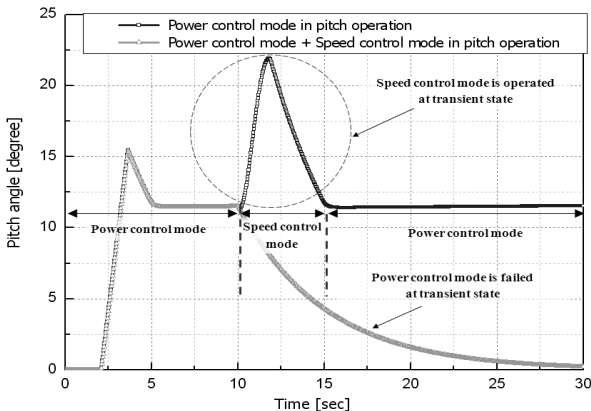
그림 2는 정상상태시 발전기의 출력의 변화를 최소화하기 위한 파워 컨트롤모드와 과도상태시 풍력발전시스템의 회전자 속도를 안정화시키기 위한 스피드 컨트롤모드가 결합된 제안된 피치 제어시스템의 블록다이어그램을 보여주고 있다. 이때 과도상태를 인지하기 위해 회전자의 속도를 검출하여 정격속도 범위 내에 있는지를 확인토록 한다.

2.5 과도상태 해석



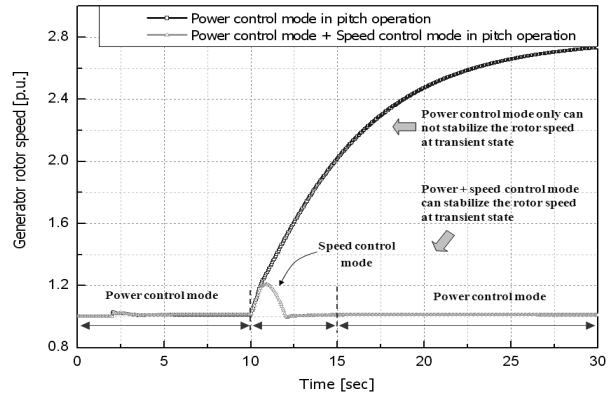
〈그림 3〉 과도상태시 유도발전기의 토크 (a) 파워 컨트롤모드만 적용되었을 경우 (b) 제안된 제어법이 적용되었을 경우

그림 3은 과도상태시(그림 1의 F1에 3상 단락사고 발생) 발전기의 기계적 토크와 전기적 토크를 보여준다. 그림 3(a)에서 계통에 고장이 발생하였을 경우 파워 컨트롤모드만이 동작하면, 전기적인 토크가 급속하게 감소하지만 기계적인 토크는 서서히 감소하게 되어 식 (3)에 의해 전기적인 토크와 기계적인 토크의 차이만큼 가속 토크가 증가하게 된다. 하지만 고장상태시 제안된 피치 제어시스템이 적용되었을 경우, 그림 3(b)에서와 같이 발전기의 전기적인 토크와 기계적인 토크가 안정화 되는 것을 볼 수 있다.



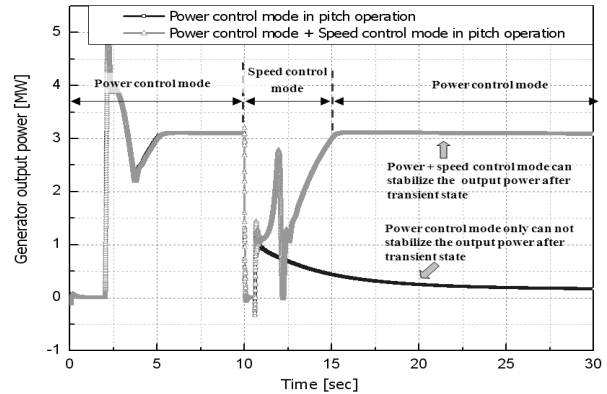
〈그림 4〉 과도 상태시 풍력터빈의 피치각 동작

그림 4에서 정상상태시 피치 제어시스템은 발전기의 변화를 최소화하기 위하여 파워 컨트롤모드로 동작되어진다(3~10sec). 하지만 계통에 고장이 발생하게 되면 발전기의 출력이 감소하여 파워 컨트롤모드는 동작하지 않게 된다. 이 경우 파워 컨트롤모드를 대신해서 스피드 컨트롤모드가 동작하여 풍력발전시스템을 안정화시킬 수 있다. 그리고 스피드 컨트롤모드로 시스템이 안정화되어지면 다시 발전기의 출력을 안정화시키기 위하여 파워 컨트롤모드가 동작되어진다.



〈그림 5〉 과도상태시 발전기의 회전속도

그림 5는 과도상태시 발전기의 회전속도를 보여준다. 그림 5에서 과도상태시 파워 컨트롤모드만이 적용되었을 경우, 발전기의 회전속도는 계속적으로 증가하게 된다. 하지만 스피드 컨트롤모드가 과도상태시 적용되었을 경우 발전기의 회전속도가 안정화 되는 것을 볼 수 있다.



〈그림 6〉 과도상태시 발전기의 출력

그림 6은 과도상태시 발전기의 출력을 보여준다. 계통에 고장이 발생하면 전기적인 토크가 급격히 감소함에 따라 발전기의 단자전압(Terminal voltage)이 급격하게 감소하여 발전기의 출력 또한 감소하게 된다. 하지만 과도상태시 스피드 컨트롤모드가 적용되면 발전기의 출력이 안정화되는 것을 볼 수 있다.

3. 결 론

PSCAD/EMTDC를 이용하여 농형 유도발전기를 이용한 풍력발전시스템을 모델링하였고, 과도상태시 풍력발전시스템의 안정도 해석을 하였다. 기존의 피치 제어시스템은 파워 컨트롤모드를 사용하여 발전기의 출력 변화를 최소화하도록 동작되지만, 이 시스템은 과도상태시에는 동작하지 않는다. 하지만 제안된 피치 제어시스템은 정상상태시에는 파워 컨트롤모드를 통해 발전기의 출력을 최소화하고, 과도상태시 스피드 컨트롤모드로 풍력발전시스템을 안정화시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구는 (주)두산중공업의 지원을 통한 BK21 사업 및 교육과학기술부·지식경제부의 산학협력중심대학육성사업을 통해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] Hyeung-Gyun Kim, Dong-Choon Lee, and Jul-Ki Seok, "Grid-Connected Variable Speed Wind Power Generation System Using Cage-Type Induction Generators", 전력전자학회, 2004.
 [2] L. H. Hansen, L. Helle, and F. Blaabjerg, "Conceptual survey of generators and power electronics for wind turbines", Technical Report, Roskilde, Denmark, Dec. 2001.
 [3] P. M. Anderson & A. Bose, "Stability Simulation of Wind turbine Systems", *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, PAS-102(12), December 1983, 3791-3795.