

농형 유도발전기와 권선형 유도발전기의 특성비교

김찬기, 이원교, 임철규*
한전전력연구원, 한국중부발전(주)*

Comparison of Squirrel cage and Wound induction generator characteristics in Wind Power System

Chan-Ki Kim, Won-kyo Lee, Cheol-kyu Im*
KEPRI, KOMIPO*

ABSTRACT

Wind farms employs induction generators which are two type, one is Squirrel cage for fixed speed wind turbines and the other is Wound induction generator (doubly fed induction generator : DFIG) for variable speed wind turbines. this paper describes grid connection scheme of wind power system using two type induction generators and simulation results show the characteristics of two type induction generators.

1. 서 론

현재 많은 나라는 풍력을 지속가능한 에너지원으로 인식하고 있으며 풍력 발전의 설치 규모는 25GW를 초과하고 있다. 현재 존재하는 대부분의 풍력발전단지는 고정속 풍력 터빈에 사용되는 농형 유도발전기이다. 이러한 방식은 연계된 계통에 단락 등의 사고로 인해 전압 강하가 일어날 때 발전기의 발전 가능한 용량의 비율이 계통의 단락회로 비보다 매우 적다면 발전기에 과속이 유발된다^[1] 계통 호환성과 기계적 부하의 저감이라는 두 가지 측면을 고려하여 많은 거대한 풍력 터빈은 이중 권선형 유도 발전기(DFIG)를 채용하여 다양한 속도에서 작동 할 것으로 기대된다^[2]. 이중 권선형 유도 발전기는 일반적으로 유도 발전기의 회전자 측 회로에 AC-AC 컨버터를 사용하고 Scherbius 구동 방식을 사용하는 것이 제한된 속도 범위를 갖는 대용량 전력 응용 분야에 오랫동안 사용된 표준 구동 방식이다. 이때 전력 컨버터는 회전자 전력에 해당하는 정격이 필요하며, 토크와 회전자 여자전류를 독립적으로 제어하기 위한 벡터-제어 기법은 매우

잘 알려져 있다^[2]. 본 논문은 풍력발전설비의 핵심 부품으로 사용되고 있는 유도기의 특성에 관하여 농형 및 권선형 발전기에 대해 정리하고, 특히 이중 권선형 발전기의 수학적인 모델로서의 분석과 유도기 제어특성에 관한 사항에 대해 정리한다. 또한 두 가지 발전기에 대한 시뮬레이션을 수행하고 이에 대한 특성을 분석 한다.

2. 풍력발전 시스템의 분류

대체 에너지의 필요성이 대두되고 현실에서 대체 에너지원에 연결되는 발전기는 대부분 유도 발전기이다. 이때, 유도 발전기를 어떻게 제어하느냐에 따라 가격과 성능 그리고 효율이 결정되는데 현재까지 응용되고 있는 대체 에너지의 연계 방식을 정리하여 비교하면 표 1과 같다.

표 1 풍력 발전 시스템 분류
Table 1 classification of wind power systems

분류기준	시스템 형식
브레이드 제어	Pitch / Stall
기어의 유무	증속기어 / 기어리스
운전 속도	정속 운전 / 가변속 운전
발전기 종류	직류기 / 동기기 / 유도기
계통 연결	독립 / 계통연결(직입, 변환)

3. 유도발전기

3.1 농형 유도발전기

농형 유도 발전기를 사용한 풍력 터빈은 변압기를 사용하여 전력 시스템과 연계된다. 대부분의 농형 유도 발전기의 전압은 690V이며, 콘덴서를 이용하여 무효전력을 보상한다. 이때, 소모되는 무효전력은 풍력발전기 용량의 30%정도로 추정된다. 일반적인 농형 풍력발전기를 사용

한 풍력 터빈 시스템의 구성은 그림 1과 같다.

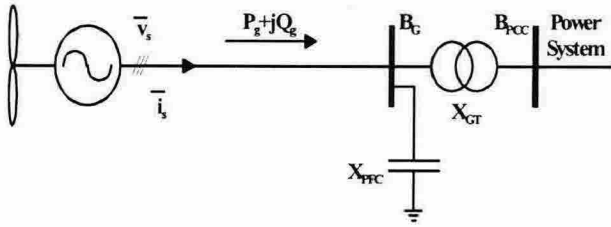


그림 1 농형 풍력 발전기를 사용한 풍력 터빈 시스템
Fig. 1 Basic configuration of wind turbine with squirrel cage induction generator

3.2 권선형 유도발전기

풍력발전단에 사용하는 권선형 유도전동기는 회전자 축 즉, 2차 축에 Back-to-Back 컨버터를 가지고 있으면서 동기속도 이하(Sub synchronous)의 속도에서나 동기속도 이상(Super synchronous)의 속도에서 유도발전기가 Interruption 없이 동작하게 한다.

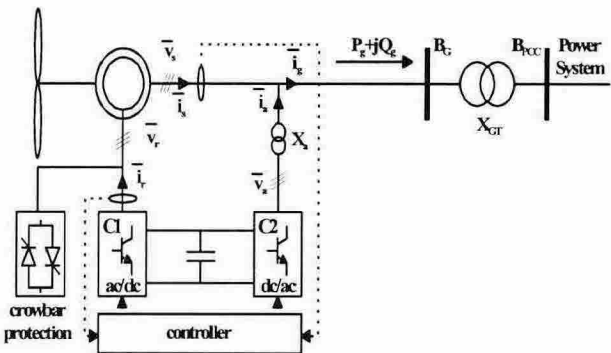


그림 2 권선형 풍력 발전기를 사용한 풍력 터빈 시스템
Fig. 2 Basic configuration of wind turbine with Wound induction generator

3.3 유도전동기 제어

유도기는 고정자-자속 벡터 위치가 d 축 기준인 동기적인 회전 dq 축 좌표에서 제어된다. 이러한 방법은, 전기적인 토크와 회전자의 여자전류를 분리하여 제어할 수 있다. 회전자축 PWM 컨버터는 구동을 제공하고 제어에는 고정자와 회전자 전류 및 고정자 전압과 회전자 위치의 측정이 필요하다. natural commutation 컨버터에서 구현되는 경우라면 로터에 유도되는 기전력은 알 필요가 없다. 고정자가 계통에 연결되어 있기 때문에, 고정자 저항의 영향이 적고, 고정자 자화 전류 i_{ms} 일정하다고 고려한다. 고정자-자속 기준 하에서, 토크와 dq 축 전압, 전류와 자속 (상당 AC값과 동일하도록 수치적으로 모두 축척)은 다음과 같이 쓸 수 있다^[2].

$$\lambda_s = \lambda_{ds} = L_o i_{ms} = L_s i_{ds} + L_o i_{dr}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{dr} &= \frac{L_o^2}{L_s} i_{ms} + \sigma L_r i_{dr} \\ \lambda_{qr} &= \sigma L_r i_{qr} \\ i_{qs} &= -\frac{L_o}{L_s} i_{qr} \\ v_{dr} &= R_r i_{dr} + \sigma L_r \frac{di_{dr}}{dt} - w_{slip} \sigma L_r i_{qr} \\ v_{qr} &= R_r i_{qr} + \sigma L_r \frac{di_{qr}}{dt} - w_{slip} (L_m i_{ms} + \sigma L_r i_{dr}) \\ T_e &= -3 \frac{P}{2} L_m i_{ms} i_{qr} \\ w_{slip} &= w_e - w_r \\ \sigma &= 1 - \frac{L_o^2}{L_s L_r} \\ L_m &= \frac{L_o^2}{L_s} \end{aligned} \quad (1)$$

고정자 자속 각은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \lambda_{\alpha s} &= \int (v_{\alpha s} - R_s i_{\alpha s}) dt \\ \lambda_{\beta s} &= \int (v_{\beta s} - R_s i_{\beta s}) dt \\ \theta_s &= \tan^{-1} \frac{\lambda_{\beta s}}{\lambda_{\alpha s}} \end{aligned} \quad (2)$$

여기에서 θ_s 는 고정자-자속 위치이다. 수식 2의 적분기는 0.5 Hz cutoff 주파수와 직류 offset을 없애기 위한 1Hz 주파수를 갖는 이산 통과대역 필터(digital passband filter)를 사용하여 해결할 수 있다. 수식 1로부터 토크는 i_{qr} 에 비례한다. 그리고 v_{qr} 을 사용하여 제어된다. 회전자 여자 전류 i_{dr} 은 v_{dr} 을 사용하여 제어된다. 모든 무효전력이 고정자에 의해 기기에 공급된다고 가정하면, i_{dr}^* 은 0으로 설정될 것이다.

그림 3는 기기 제어를 위한 도식화된 블록 다이어그램을 나타낸다. 지령 q 축 회전자 전류는 외부 속도-제어 루프 혹은 기기에 인가된 지령 토크로부터 구해진다.

dq 회전자 기기 전류의 제어를 위해서 수식 1의 회전자-전압 방정식으로부터 우리는 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} v'_{dr} &= R_r i_{dr} + \sigma L_r \frac{di_{dr}}{dt} \\ v'_{qr} &= R_r i_{qr} + \sigma L_r \frac{di_{qr}}{dt} \end{aligned} \quad (3)$$

i_{dr} 과 i_{qr} 의 오차는 PI 제어기에 의해 처리되어 각각

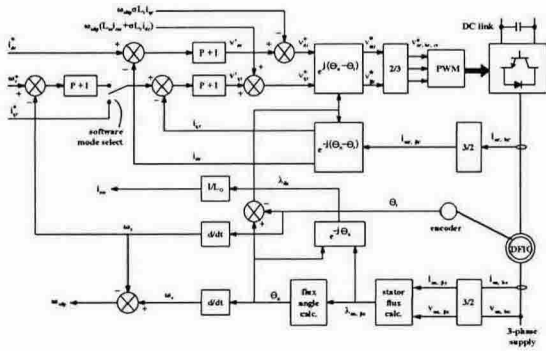


그림 3 DFIG를 위한 벡터-제어 구조
Fig. 3 Vector-control structure for DFIG

v_{dr} 과 v_{qr} 로 주어진다.

$$\begin{aligned} v_{dr}^* &= v'_{dr} - \omega_{slip} \sigma L_r I_{qr} \\ v_{qr}^* &= v'_{qr} - \omega_{slip} (L_m i_{ms} + \sigma L_r I_{dr}) \end{aligned} \quad (4)$$

이러한 전류를 확실하게 효과적으로 추종하기 위해 보상 조건을 v_{dr} 과 v_{qr} 에 더하여 식(4)와 같이 지령 전압 v_{dr}^* , v_{qr}^* 을 얻는다.

4. 유도발전기의 시뮬레이션 결과

4.1 유도발전기 시뮬레이션

4극의 2MW 유도 발전기의 터빈과 제어 모델에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 권선형 유도발전기의 동작 특성을 관찰하기 위해 기기의 단자 모션을 무한 모션으로 모델링 하였으며 결과는 기본 값의 단위법으로 나타난다.

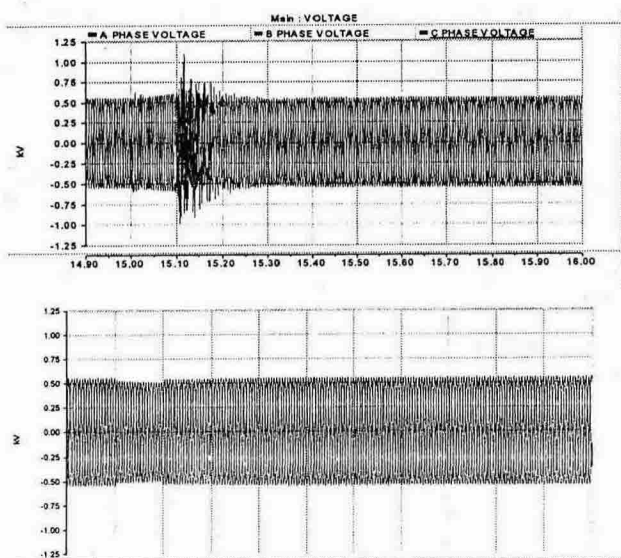


그림 4 고정자 출력 전압 (위: 농형 아래:권선형)
Fig. 4 stator output voltage (Squirrel cage, DFIG)

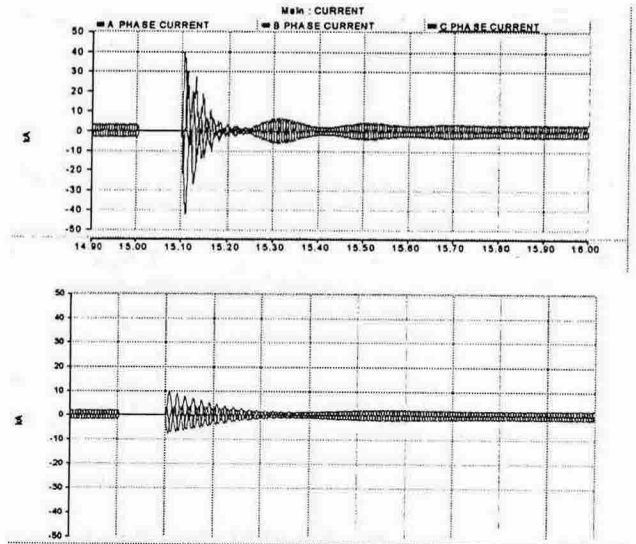


그림 5 고정자 출력 전류 (위: 농형 아래:권선형)
Fig. 5 stator output current (Squirrel cage, DFIG)

그림 4와 5는 유도발전기 풍력 터빈이 정상적으로 동작하다가 15초 부근에서 6cycle(0.1초)의 차단기 동작에 의한 외란이 발생했을 때의 각각의 발전기의 고정자 측 출력 전압과 전류의 과도 상태이다. 두 배 이상의 과전압과 8배 이상의 과전류가 발생하는 농형 발전기에 비해 권선형 발전기의 변동 폭이 적은 것을 확인 할 수 있으며 과도상태에서 빠르게 정상상태로 동작하는 것을 확인 할 수 있다.

5. 결론

유도발전기 풍력 터빈의 모델링에 관해 설명을 했으며 전력 시스템의 외란이 발생하는 동안 성능 비교를 했다. 두기기는 단지 회전자 전압이 (단락 회로 이거나 전압이 인가된)다를 뿐 하나의 수식의 세트에 표현이 된다. 시뮬레이션 결과는 권선형 유도발전기 모델이 계통의 안정도를 증대 시키는 것을 보여준다. 풍력 단지의 단자 전압의 제어는 계통의 정상상태 안정도의 제한요소를 개선시키고 연계된 풍력 발전 단지의 용량을 증대 시킨다.

참고 문헌

- [1] AKHMATOV, V., KNUDSEN, H., NIELSEN, A.H., PEDERSEN, J.K., and POULSEN, N.K.: "A dynamic stability limit of gridconnected induction generators". Presented at the IASTED International Conference on Power and energy systems, 19th-22nd September 2000, Marbella, Spain.
- [2] S. Muller, M. Deicke, and R.W. De Doncker, "Doubly fed induction generator systems for wind turbines," IEEE Ind. Applicat. Mag., pp. 26 - 33, May/June 2002.