

RTDS를 이용한 계통연계형 풍력발전시스템 시뮬레이션에 관한 연구

김 종 현*, 박 민 원*, 유 인 근*
*창원대학교

Study on the Simulation of Grid Connection Type Wind Power System using RTDS

Jong-Hyun Kim*, Minwon Park*, In-Keun Yu*
*Changwon National University

Abstract - A tendency to erect more wind turbines can be observed in order to reduce the environmental consequences of electric power generation. As a result of this, in the near future, wind turbines may start to influence the behavior of electric power systems by interacting with conventional generation and loads. Therefore, wind turbine models that can be integrated into power system simulation software are needed.

In this paper, a model that can be used to represent all types of variable speed wind turbines in power system simulations is presented. Wind turbine characteristic equation of a wind turbine is implemented in the RTDS, and the real data of weather conditions are interfaced to the RTDS for the purpose of real time simulation of grid-connection wind power system.

The outcomes of the simulation demonstrate the effectiveness of the proposed simulation scheme in this paper. The results show that the cost effective verifying for the efficiency and stability of WPGS.

1. 서 론

현대 산업사회의 에너지 소비 증가에 따른 석탄, 석유등의 화석에너지 고갈에 대비하고, 화석에너지 사용으로 인한 환경 오염문제를 감소시키기 위해 환경 친화적이고 에너지원이 풍부한 대체에너지 분야에 대한 관심이 고조 되고 있으며, 특히 풍력발전시스템은 태양열, 태양광 발전시스템 등에 비해 발전단가가 낮고 출력 용량이 크기 때문에 더욱 각광받고 있다[1]. 일부 선진국에서는 풍력발전시스템이 이미 상용화되어 설비의 대용량화, wind farm 조성 등에 대한 연구가 이루어지고 있고[2], 국내에서는 해외 기술에 의한 일부 풍력발전설비를 설치하여 운전 중이며, 최근 국가적인 지원정책과 국내 연구자들의 관심 증대로 인해 풍력발전의 계통 연계, 역률 보상, 최대출력 제어에 대한 연구 등이 이루어지고 있다. 그러나, 풍력발전시스템에 대한 연구는 연구비에 대한 부담으로 인해 연구속도가 지연되고 있으므로, 다양한 종류의 풍력터빈, 발전기, 전력변환장치 등을 쉽게 모의할 수 있는 풍력발전시스템 시뮬레이터 개발이 연구자들 사이에 강력히 요구된다[3].

그러므로, 연구비용과 시간을 줄이며, 실제 설비와 근접한 결과를 얻을 수 있는 시뮬레이터의 필요성이 대두되고 있다. 따라서, 저자 등은 본 논문에서 실시간 시뮬레이터인 RTDS(Real Time Digital Simulator)를 이용한 풍력발전시스템의 계통연계 운전을 위한 실시간 시뮬레이션 방법을 제안하고자 한다[4, 5].

우선 RTDS 내에서 풍력터빈 특성방정식을 이용하여 풍력터빈을 구현하였고, 그때, 실제기상상태는 RTDS의 아날로그 입력 단자를 통해 RTDS에 입력된다. 본 논문

에서는 시뮬레이션의 출력으로 제안한 시뮬레이션 방법의 신뢰성을 증명할 것이다. 이 결과는 풍력발전시스템의 효율적이고, 안정적으로 다양한 조건에서의 손쉽게 시뮬레이션할 수 있음을 보여준다.

2. 실제 기상상태를 이용한 풍력발전시스템의 시뮬레이션 방법

2.1 풍력터빈의 특성방정식

풍력발전시스템의 출력은 풍속과 주속비(TSR: Tip-Speed Ratio), 출력계수(Cp: Power Coefficient)에 의해 결정된다. 풍속에 의해 결정되는 출력계수-주속비의 특성곡선은 그림 1과 같이 나타나며, 이것을 이용하여 출력 제어를 한다. 주속비는 풍속과 회전자 끝의 회전속도의 비율로 식(1)과 같이 나타낼 수 있다 [6].

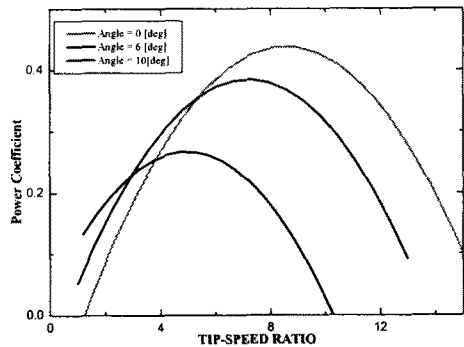


그림 1. 출력 계수 대 주속비

$$\lambda = \frac{r\omega_m}{v_m} \tag{1}$$

ω_m = 회전자의 기계적 각속도 [rad/s]

v_m = 풍속 [m/sec]

r = 회전자의 반지름 [m]

λ = 회전자 블레이드의 주속비

바람이 가지고 있는 전체 에너지 중에서 회전자가 입력받는 에너지의 비율을 출력계수 Cp라하며 이론상 최대 값은 Betz'법에 의해 0.59이나 실제 가능한 최대 값은 0.44정도이고, 일반적으로 평균 20%이상이지만 그 값은 풍속에 의해 매우 가변적이다. Cp는 λ 와 B의 함수로 표현된다[7].

$$C_p = (0.044 - 0.0167B) \sin\left[\frac{\pi(\lambda - 3)}{15 - 0.3B}\right] - 0.00184(\lambda - 3)B \quad (2)$$

B = 블레이드의 피치각 [deg]

풍력 터빈의 출력과 풍력 터빈에 의해 발생하는 토크는 다음과 같이 표현된다.

$$P_{wind} = \frac{1}{2} A \rho v_m^3 C_p(\lambda) \quad (3)$$

$$T_{wind} = \frac{P_{wind}}{\omega_m} = \frac{1}{2} A \rho C_p(\lambda) \frac{v_m^3}{\omega_m}$$

$$= \frac{1}{2} \rho A r \frac{C_p(\lambda)}{\lambda} v_m^2 = \frac{1}{2} \rho A r C_T(\lambda) v_m^2 \quad (4)$$

$$C_T(\lambda) = \frac{C_p(\lambda)}{\lambda} : \text{토크 계수}$$

A = 회전자의 회전반경 [m]

ρ = 공기밀도 [kg/m^3]

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (5)$$

P = 기압

T = 절대온도

R = 가스 상수

일반적으로 공기 밀도는 식 (6)과 같이 고도만을 변수로 갖는 간단한 식으로 나타낼 수 있다.

$$\rho = \rho_0 - 1.194 \cdot 10^{-4} \cdot H_m \quad (6)$$

H_m = 고도

$\rho_0 = 1.225 [kg/m^3]$

2.2 RTDS로의 실제 기상조건 연계

전력 시스템용 과도현상 디지털 시뮬레이션 툴을 이용한 풍력발전시스템 시뮬레이션의 경우는 실제 기상 조건을 모의한다는 것은 매우 어렵다. 그로 인해 기상조건 등의 외부 파라미터가 필요한 시뮬레이션의 경우 그 결과의 신뢰성은 비교적 낮다고 할 수 있다. 그러나 실제 기상 조건을 이용한 풍력발전시스템의 시뮬레이션은 풍속계를 RTDS의 아날로그 입력으로 연계하여 사용하면 실제 기상조건 모의가 가능하게 된다. 따라서 측정되어진 풍속의 아날로그 신호를 RTDS의 아날로그 입력으로 연계하여 시뮬레이션을 가능하게 한다. 그림 2는 측정된 아날로그 신호와 RTDS의 아날로그 입력의 연계를 보여주고 있다[8].

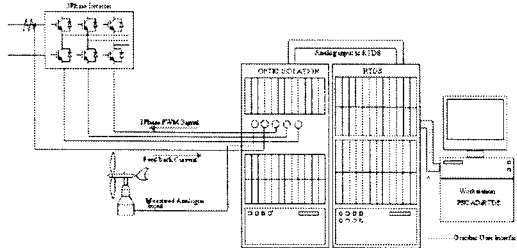


그림 2 측정된 아날로그 신호와 RTDS 아날로그입력의 연계

2.3 풍력발전시스템의 DC-AC Converter 모델링

그림 3은 실제 제작된 DC-AC Converter를 이용해 계통에 연계된 풍력발전시스템의 시뮬레이션 개념도를 보여준다. 본 논문에서는 실제 기상상태를 이용하여 계통

에 연계된 풍력발전시스템을 모의 하였다. 또한 피치제어를 통해 풍력발전시스템의 다양한 출력을 얻을 수도 있다. 그러므로 본 논문에서는 SWRW(Simulation method for WPGS using Real Weather Condition)의 적용 가능성을 보여준다.

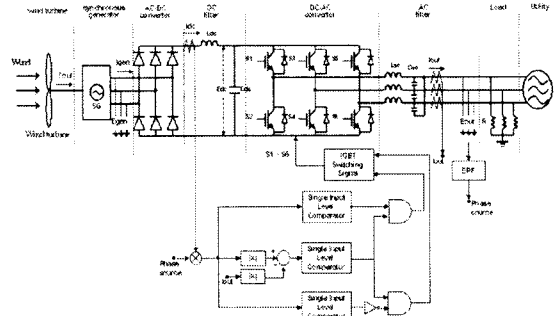


그림 3 계통 연계형 풍력발전시스템의 개념도

2.4 시뮬레이션

저자 등이 제안하는 풍력발전시스템의 시뮬레이션 방법은 다양한 조건에서 손쉽게 시뮬레이션할 수 있도록 하였으며, 표 1은 본 논문에서 실행한 시뮬레이션의 파라미터들을 나타내고, 이 값들은 RTDS내에서 모두 쉽게 바꿀 수 있도록 모델링하였다.

표 1에서 제시된 시뮬레이션 파라미터를 이용하여 모의 시뮬레이션은 수행되어졌고, 발전기의 출력은 유효전력만을 고려하였으며, 실제 설비에 적용시킬 경우에는 그에 맞추어 발전기를 설정할 수 있다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

Wind Turbine	Radius of turbine	24 [m]
	Rated power	750[kW]
	Cut-in wind speed	4 [m/s]
	Cut-out wind speed	21 [m/s]
	Rated wind speed	16 [m/s]
Utility	Rated capacity	750[kW]
	Rated voltage	6.6[kV]
	Rated current	37.88 [A]
	Rated frequency	60 [Hz]

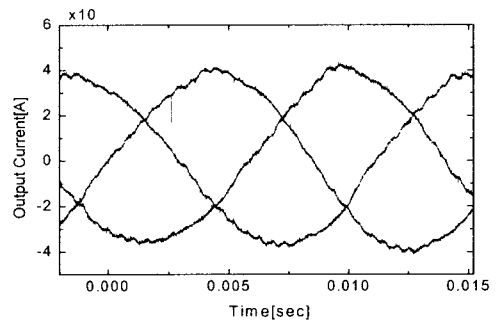


그림 4. 3phase DC-AC Converter 출력 전류

그림 4는 실제 제작된 3상 인버터의 출력전류를 보여 준다. 풍속의 변화에 대한 발전기 출력전류를 그림 5, 그림 6에 의해 분석 가능하다. 이러한 분석을 통해 풍력발전시스템의 에너지 흐름을 알 수 있을 뿐만 아니라, 설치 부지 선정에도 많은 도움을 줄 것이다. 또한, 피치제어와 같은 출력 제어하는 제어부도 제안된 시뮬레이션 방법에 제어 알고리즘을 첨가하여 그 결과에 대한 분석도 가능하다.

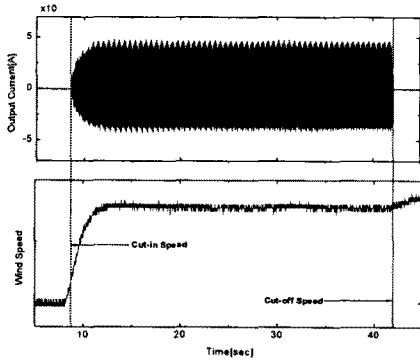


그림 5. 풍속에 의한 cut-in & cut-off

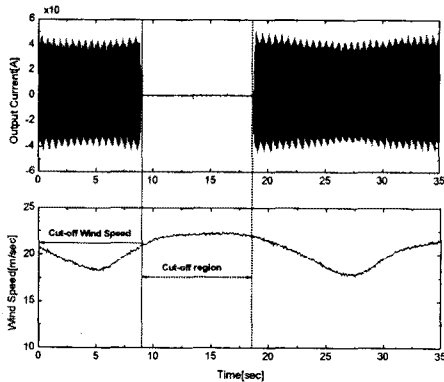


그림 6. 가변하는 풍속에서 출력전류

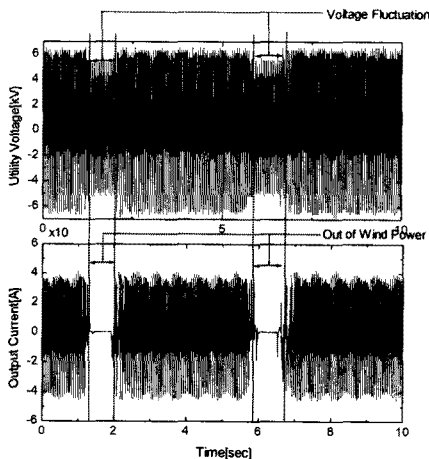


그림 7. cut-out 시 계통에 미치는 영향

그림 7은 풍속이 갑자기 상승하여 cut-out된 경우 계통전압에 미치는 영향을 보여준다. 이것은 갑자기 가변

하는 풍속에서 풍력발전시스템의 출력과 그때의 계통전압의 변화와 같은 시스템의 과도현상을 분석하는데 사용될 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 계통연계형 풍력발전시스템의 새로운 실시간 시뮬레이션 방법을 제안하고, 시뮬레이션 수행결과 분석을 통해 그 효용성을 입증하였다.

저자 등이 제안한 시뮬레이션 방법의 특징으로는 우선, RTDS내에서 풍력터빈 특성방정식을 이용하여 풍력터빈 모델을 구성하였고, 실제 기상조건을 실제와 유사하게 만들기 위해 RTDS의 아날로그 입력에 연결하였다. 또한 계통연계를 모의하기 위하여 실제로 3상 인버터를 구성하였다. 이러한 시뮬레이션 방법을 이용하여 풍력의 변화에 따른 에너지 변화의 분석과 전압 변동에 대한 분석도 수행하였다.

시뮬레이션 결과는 제안된 RTDS를 기초로 한 시뮬레이션 설계가 효과적임을 증명하였고, RTDS를 이용한 풍력발전시스템의 효과적인 시뮬레이션을 할 수 있음은 물론 기타 다양한 제어설계도 가능하다는 것을 입증하였다.

본 연구는 산업자원부(KESRI:02340-17)지원과 창원대학교 지식기반기계 부품소재 연구개발 클러스터 사업단의 지원에 의해 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] Mukund R. Patel, "Wind and Solar Power System", CRC Press. pp. 35-69, 1999
- [2] Jose Luis Rodriguez-Amenedo, Santiago Arnalte, Juan Carlos Burgos, "Automatic Generation Control of a Wind Farm With Variable Speed Wind Turbines", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 17, No. 2, pp. 279-284, 1999
- [3] 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, pp.161-165, 2002
- [4] Minwon Park, "A Novel Simulation Method for PV Power Generation System using Real Field Weather Condition and its Application", Trans. IEE of Japan, Vol. 121-B, No. 1, pp. 1499-1505, 2001
- [5] M. Park, B.T. Kim and I.K. Yu, "A study on the simulation scheme for utility interactive PV generation system", 2001 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp 13-18, 2001
- [6] Eduard Muljadi, "Pitch-Controlled Variable-Speed Wind Turbine Generation", IEEE Trans. on Industry Applications Vol. 37, No.1, pp. 240-246, 2001
- [7] R. Chedid, "Intelligent Control of a Class of Wind Energy Conversion System", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 14, No. 4., pp. 1597-1604, 1999
- [8] "RTDS Manual", Manitoba HVDC Research Centre, 1995.