

## 풍력발전시스템의 단독운전을 위한 실시간 시뮬레이션 방법

한상근\*, 박민원\*\*, 유인근\*

\*창원대학교, \*\*차세대초전도용융기술개발사업단

### Real Time Simulation Method for Stand-Alone of Wind Power Generation System

Sang-Geun Han\*, Minwon Park\*\*, In-Keun Yu\*

\*Changwon National University, \*\*Center for Applied Superconductivity Technology

**Abstract** - A real time simulation method for the stand-alone Wind Power Generation System (WPGS) based on the real-time digital simulator (RTDS) is proposed in this paper for the simulations under the real weather conditions. The wind turbine characteristic equation of a wind turbine is reconstructed in the RTDS, and then the real data of weather conditions are interfaced to the RTDS through the analogue input ports of the RTDS. 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 the WPGS.

### 1. 서 론

현재 지구상의 상황은 시시각각 변화하는 불안한 국제 정세에 따라 국제 유가의 변동시기 및 폭을 예측할 수 없는 상황에 이르렀고, 향후의 화석연료 고갈에 대비한 에너지원의 다변화와 국제 기후변화 협약 등 국제적인 환경규제에 능동적으로 대처하기 위해 대체 에너지 분야에 많은 국가적인 투자가 이루어지고 있다[1,2]. 특히 풍력발전시스템은 설비의 대용량화 및 관련기술 발전으로 인해 대체에너지 중에서도 연평균 50%이상의 급속한 성장을 이루고 있는 분야이다. 또한, 국가에서도 정책적으로 연구개발에 많은 지원을 하고 있다. 그러나 국내 풍력발전시스템은 선진국에 비해 많이 낙후되어 있는 것이 현실이다[3-5]. 특히, 풍력발전시스템의 설비(풍력터빈, 발전기, 타워 등)는 비용의 부담이 크고, 설치기간 또한 길기 때문에 이에 대한 연구는 상당히 어렵다[6]. 그러므로, 연구비용과 기간을 줄이며, 실제 설비와 근접한 결과를 얻기 위해 저자 등은 실시간 시뮬레이터인 RTDS (Real Time Digital Simulator)를 이용한 풍력발전시스템의 단독운전을 위한 실시간 시뮬레이션 방법을 제안하고자 한다[7,8].

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

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

### 2. RTDS 시뮬레이션

#### 2.1 시뮬레이터의 구성

풍력터빈의 시뮬레이션을 RTDS를 이용하여 수행할

경우 풍력터빈 컴포넌트는 풍력터빈 특성방정식에 의해 표현하여야 한다. 풍력발전시스템의 출력은 풍속과 주속비( $\lambda$ ), 출력계수( $C_p$ )에 의해 결정된다. 이때 출력계수는 풍력에너지 중 터빈이 이용하는 에너지의 비율이며, 최대 값은 약 0.44이다. 일반적으로 약 0.2 이상에서 터빈이 동작하지만, 근래 제어기술의 발전으로 최대출력을 유지하도록 터빈의 제어가 가능하게 되었다. 풍력터빈의 특성은 식 (1)~(5)와 같이 출력토크 특성방정식으로 표현할 수 있다[9].

$$T_{wind} = \frac{P_{wind}}{W_m} = \frac{1}{2} A \rho C_p(\lambda) \frac{V_w^3}{W_m} = \frac{1}{2} \rho A r \frac{C_p(\lambda)}{\lambda} = \frac{1}{2} \rho A r C_T(\lambda) V_w^2 \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{r v_m}{v_w} \quad (2)$$

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

$$P_{wind} = \frac{1}{2} A \rho V_m^3 C_p(\lambda) \quad (4)$$

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

$\omega_m$  = mechanical angular velocity of the rotor [rad/s]

$v_m$  = wind speed [m/sec]

$r$  = wind turbine rotor radius [m]

$\lambda$  = Tip speed ratio

$B$  = blade pitch angle [deg]

$A$  = area swept by the rotor blades [ $m^2$ ]

$C_T(\lambda) = \frac{C_p(\lambda)}{\lambda}$  : torque coefficient.

$\rho$  = air density [ $kg/m^3$ ]

$P$  = air pressure

$T$  = temperature on the absolute scale

$R$  = gas constant

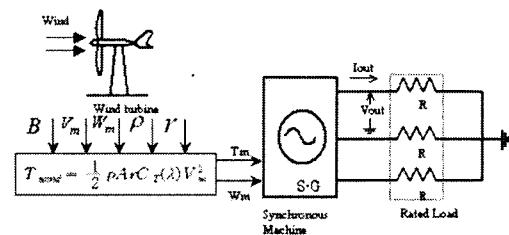


그림 1 풍력터빈의 시뮬레이션 개념도

그림 1은 풍력터빈의 시뮬레이션 개념도를 나타낸 것이다. 여기서  $I_{out}$ 은 동기기의 출력 전류이고,  $V_{out}$ 은 출력 전압,  $R$ 은 정격 부하이다.

## 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 사용한다면 실제 기상조건 모의가 가능하게 된다. 따라서 측정되어진 풍속의 아날로그 신호를 RTDS의 아날로그 입력으로 연계하여 시뮬레이션을 가능하게 한다. 그림 2는 측정된 아날로그 신호와 RTDS의 아날로그입력의 연계를 보여주고 있다.

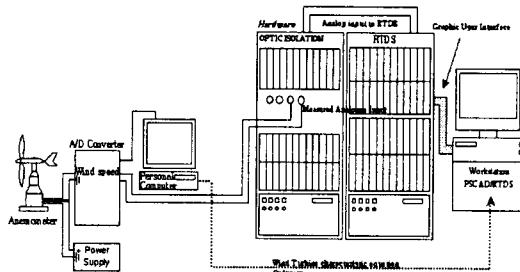


그림 2 측정된 아날로그 신호와 RTDS 아날로그입력의 연계

## 2.3 풍속 데이터의 변환

풍력발전시스템의 시뮬레이션을 하기 위해서는 풍속계로부터 풍속에 관한 정보를 RTDS 아날로그 입력단자로 입력하여야 한다. 일반적으로 풣속계의 출력은 펄스파로서 RTDS 아날로그 입력단자로 입력되는 값은 5[V] ON-OFF 신호이고, 이 값의 주파수를 RTDS내에서 풣속값으로 변환시켜주어야만 한다.

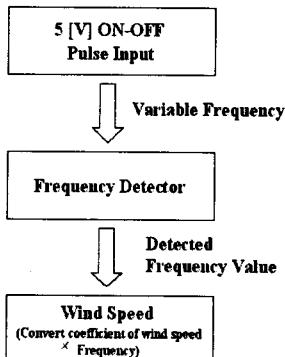


그림 3 풣속 변환 알고리즘

그림 3은 5[V] 입력을 풣속으로 변환시키는 알고리즘을 나타낸 것이다. 풣속계에서 출력되는 값은 풣속에 따라 주파수가 변하는 ON-OFF 펄스 신호이고, 이때의 주파수가 풣속을 나타내므로, RTDS로 입력된 이 신호

의 주파수를 RTDS 내의 제어 컴포넌트들을 이용하여 검출해낸다. 이렇게 검출된 주파수는 풣속 변환 계수에 의해 풣속으로 변환된다. 이때 풣속 변환 계수는 풣속계 종류에 따라 다양하며, 이 값은 풣속계 data-sheet에서 주어진다.

## 2.4 시뮬레이션 결과

저자 등이 제안하는 풣력발전시스템의 시뮬레이션 방법은 다양한 조건에서 손쉽게 실험할 수 있도록 하였으며, 표 1은 본 논문에서 실행한 시뮬레이션의 파라미터들을 나타내고, 이 값들은 RTDS내에서 모두 바꿀 수 있다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

풍력터빈	터빈 지름	24 [m]
	정격출력	750 [kW]
	저차단풍속	4 [m/s]
	고차단풍속	25 [m/s]
전력시스템	정격풍속	16 [m/s]
	정격용량	750 [kW]
	정격전압	6.6 [kV]
	정격전류	37.88 [A]
	정격주파수	60 [Hz]

표 1에서 제시된 시뮬레이션 파라미터를 이용하여 모든 시뮬레이션은 수행되어졌고, 이때 풣속은 그림 4와 같이 나타나며, 그 때의 풣력 터빈의 출력토크와 발전기 출력전력은 각각 그림 4, 그림 5와 같다. 발전기의 출력은 유효전력만을 고려하였으며, 실제 설비에 적용시킬 경우에는 그에 맞도록 발전기를 설정할 수 있다.

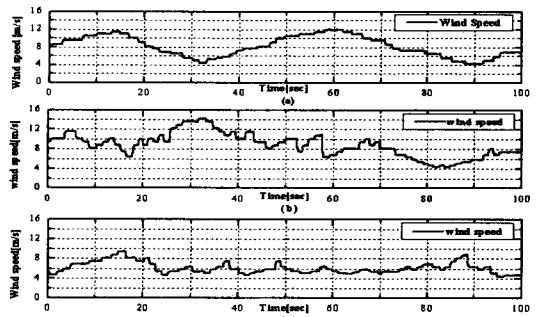


그림 4 풣속계로 측정하여 RTDS로 출력한 풣속

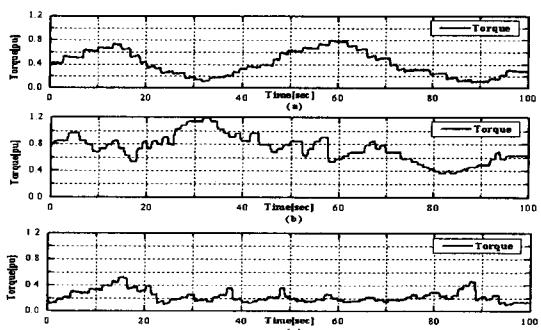


그림 5 풣력터빈의 출력토크

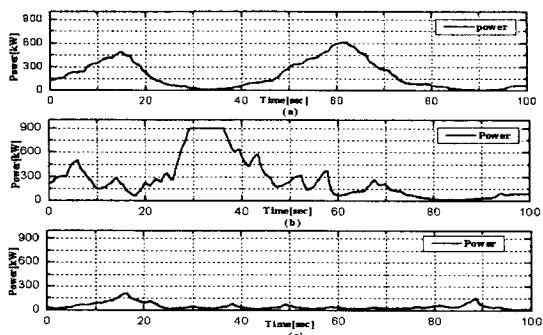


그림 6 발전기 출력 전력

그림 6은 풍력터빈의 출력 토크를 받은 발전기의 출력 전력을 나타내며, 여기에서 발전기 역률은 1.0으로 하여 유효전력만을 고려하였다.

본 논문에서는 풍속의 변화에 대한 풍력터빈의 출력과 발전기 출력을 그림 4, 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, 페치제어와 같은 출력 제어하는 제어부도 제안된 시뮬레이션 방법에 제어 알고리즘을 참가하여 그 결과에 대한 분석도 가능하다.

그림 7과 그림 8은 발전기 A상의 전압과 전류를 나타낸 것이다. 이 시뮬레이션은 발전기 출력 전력을 분석하기 위한 시뮬레이션과 달리 짧은 시간동안 시뮬레이션을 하였다. 이는 바람의 변화에 대한 전압, 전류의 변화를 보기 위함으로 차후 풍력발전시스템의 과도상태 해석할 경우에도 사용될 것이다.

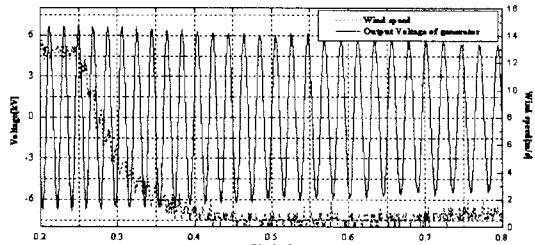


그림 7 발전기 출력 전압

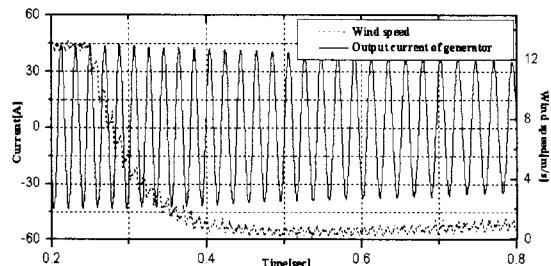


그림 8 발전기 출력 전류

그림 7은 풍속이 줄어들 때 발전기의 출력 전압을 나타낸 것이다. 풍속이 줄어들면 풍력터빈의 출력 토크가 줄어들기 때문에 출력전압의 크기와 주파수가 낮아진다. 그러므로, 풍력발전시스템의 전원을 이용하기 위해서는 다른 보조 전원이 필요하다.

본 논문에서는 발전기 출력을 직접 부하에 연결한 단독운전형 풍력발전시스템의 시뮬레이션을 수행하였다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 실제 기상조건을 이용한 풍력발전시스템의 새로운 실시간 시뮬레이션 방법을 제안하였으며, 여러 경우의 시뮬레이션을 통해 본 방법의 유용성 및 신뢰성을 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. 이러한 시뮬레이션 방법을 이용하여 풍력의 변화에 따른 에너지 변화의 분석과 전압 변동에 대한 분석도 수행하였다.

시뮬레이션 결과를 통하여 제안된 RTDS를 기초로 한 시뮬레이션 설계가 효과적임을 증명하였고, RTDS를 이용한 풍력발전시스템의 효과적인 시뮬레이션 할 수 있음을 물론 기타 다양한 제어설계도 가능하다는 것을 입증하였다.

향후, 계통연계형 풍력발전시스템을 시뮬레이션 하기 위해서는 전력변환장치의 시뮬레이션이 필요하다. 그러나 RTDS내에는 전력변환장치를 구성하는데 필요한 일부 소자가 부족하므로 RTDS내에서의 전력변환장치 구성에 제약이 따른다. 이에 대한 방안으로 저자 등은 현재, 하드웨어로 인버터를 구성하여 RTDS와 연계하는 방법에 대해 연구 중이다.

본 연구는 산업자원부(기초전력공학공동연구소:02-지역-01)지원과 과학기술부·한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터 및 2002년도 에너지기술 학술진흥사업의 일부지원에 의해 수행되었음.

### (참 고 문 헌)

- [1] Mukund R. Patel, "Wind and Solar Power System", CRC Press, pp. 35-69, 1999
- [2] 김진훈, "세계에 부는 풍력발전", The proceeding of KIEE, Vol. 52, No. 1, 2003
- [3] Saifur Rahman, "Green Power : What is it and where can you find it?", IEEE Power & energy, vol.1 No. 1, pp30-37, January/ February, 2003
- [4] "Recommendations for Achieving Canada's Wind Energy Potential", Canadian Wind Energy Association, June, 2001
- [5] "전라북도 지역의 풍력발전단지 건설 타당성 조사 연구", 전라북도, 2000
- [6] J. G. Slootweg, S. W. H. de Haan, H. Polinder, W. L. Kling, "General model for representing variable speed wind turbines in power system dynamics simulations", IEEE Transactions on power systems, Vol. 18, NO. 1, February, 2003
- [7] "RTDS Manual", Manitoba HVDC Research Centre, 1995
- [8] 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, Nov., 2001
- [9] 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