

PSCAD/EMTDC를 이용한 동기기형 풍력 발전 시스템의 출력제어

한상근*, 박민원**, 유인근*
 *창원대학교, **차세대초전도응용기술개발사업단

Power Control of Synchronous Machine Type Wind Power System Using PSCAD/EMTDC

Sang-Geun Han*, Minwon Park**, In-Keun Yu*
 *Changwon National University, **CAST

Abstract - In recent years there has been a growing interest in renewable energy systems due to the environmental problem and the economic benefits of fuel savings. Such systems are usually connected to the existing power grid for "fuel displacement" purpose as well as of earning some "capacity credit". Wind power generation system(WPGS) is one of the most useful energy resource using natural environment.

So far, it was very difficult to simulate the dispersed generation system including WPGS using EMTP or EMTDC because the source of the dispersed generation system has a particular wind power characteristic equation.

In this paper, a novel simulation method of WPGS has proposed and a new wind turbine component for EMTDC is also developed. The wind power characteristic equation of wind turbine is used in order to realize the WPGS in EMTDC simulation.

And the real field data of weather conditions is interfaced to EMTDC using Fortran program interface method. Consequently the simulation of WPGS using field data is realized in this paper and shows acceptable results.

1. 서 론

현대 산업사회의 급속한 발달과 함께 에너지 소비의 빠른 증가는 석탄, 석유등의 화석에너지 고갈에 대한 위기감과 더불어, 화석에너지 사용으로 인한 환경 오염문제 등으로 인해, 환경 친화적이고 에너지원이 풍부한 대체 에너지 분야에 대한 관심이 세계 각국에서 고조되고 있다. 특히 풍력발전 시스템은 태양광, 태양열 발전시스템 등에 비해 발전단가가 낮고 출력 용량이 크기 때문에 더욱 각광받고 있다[1].

그러나, 연구 설비 투자의 과도한 부담으로 연구 속도가 늦춰지고 있는 것 또한 사실이다. 이에 대한 대책의 일환으로, 본 논문에서는 EMTP형 시뮬레이터를 이용한 분산형 전원시스템의 시뮬레이션법[2]을 이용하여 새로운 풍력 터빈의 모델링 방법을 제시하고자 한다.

EMTP 및 EMTDC에서는 풍력 터빈과 같은 특수한 컴포넌트에 대한 표현방법이 없으므로 풍력 특성방정식을 이용하여 풍력 터빈 컴포넌트가 개발된다면 풍력발전 시스템의 모의 실험이 EMTP 및 EMTDC 상에서 가능하게 된다. 이에 저자 등은 독특한 시뮬레이션 방법을 이용하여 EMTDC 상에서 풍력 터빈의 모델링을 가능하게 하였으며, 기상조건의 실제 데이터(풍속, 기압)를 시뮬레이션에서 이용가능하게 하였으며, 그 효용성을 입증하고자 한다.

2. 풍력 터빈의 특성

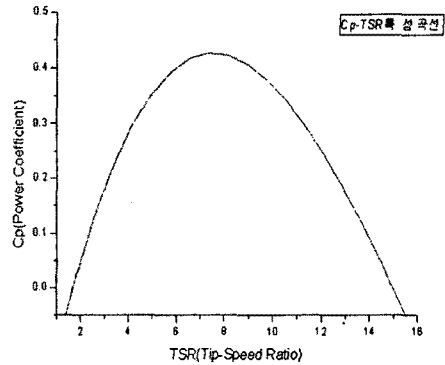


Fig. 1 Power Coefficient versus Tip-Speed Ratio

풍력 발전 시스템의 출력은 풍속과 TSR(Tip-Speed Ratio), Cp(Power Coefficient)에 의해 결정된다. 풍속에 의해 결정되어지는 Cp - TSR 특성곡선을 이용하여 출력을 제어하며, TSR은 풍속과 회전자 끝의 회전속도의 비율로 다음과 같이 나타낼수 있다[3].

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

ω_m : mechanical angular velocity of the rotor [rad/s]

v_m : wind speed [m/sec]

r : wind turbine rotor radius [m]

λ : Tip speed ratio

바람이 가지고 있는 전체 에너지 중에서 회전자가 입력받는 에너지의 비율을 출력계수 Cp라 하며 이론상 최대값은 Betz'법에 의해 0.59이나 실제 가능한 최대값은 0.44정도이며 일상적으로 평균 20% 이상이지만 그 값이 풍속에 의해 매우 가변적이다[1]. Cp는 λ 와 B의 함수로 표현된다.

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

B : blade pitch angle [deg]

풍력 터빈의 출력과 풍력 터빈에 의해 발생하는 토크는 각각 식(3)과 (4)와 같이 표현된다.

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

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

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

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

A : area swept by the rotor blades [m²]

ρ : air density [kg/m³]

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

P : air pressure

T : temperature on the absolute scale

R : gas constant

일반적으로 공기 밀도는 식 (6)과 같이 고도만을 변수로 갖는 간단한 식으로 나타낼수 있다

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

H_m : the site elevation in meters

ρ_0 : 1.225[kg/m³]

3. EMTDC를 이용한 풍력발전 시스템의 모델링

PSCAD/EMTDC 및 EMT/ATP Drawer의 경우는 전압원, 저항 및 발전기 등과 같은 컴포넌트를 팔레트 상에서 연결하여 컴파일한 후 컴파일을 통해 생성된 프로그램을 계산하여, 원하는 부분의 결과를 얻을수 있는 형식으로 되어 있다. 본 논문에서는 새로운 풍력 터빈 모델을 하나의 컴포넌트로 만들어 시뮬레이션상에서 이용하였다. 표 1에서 표현된 외부입력을 식 (4)에 대입하여 계산하고 그에 따른 계산 결과를 표 1의 출력 값으로 표현하였다.

Table. 1 Initial parameter of wind turbine model in EMTDC

Flow	Content
External input	Wind speed
	Pitch angle
	Air density
	Mechanical angular velocity of the rotor
Parameter input	Radius of the rotor
	Cut in wind speed
	Cut out wind speed
	Regular torque
Output	Output torque

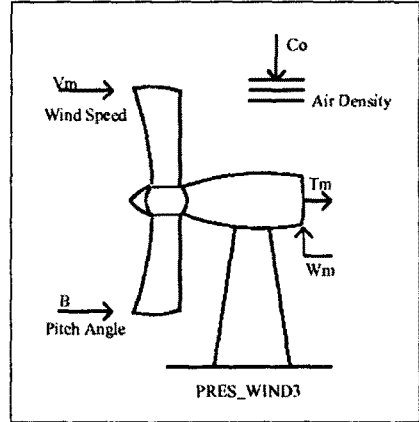


Fig. 2 New component of wind turbine in EMTDC

R	Radius of the Rotor	25.25	m
Wo	Mechanical Angular Velocity of the Rotor	2.8274	rad/s
CIWS	Cut in Wind Speed	3	m/s
COWS	Cut out Wind Speed	25	m/s
Tr	Regular Torque	79,000	Nm

Buttons: [?] [PROCEED] [CANCEL]

Fig. 3 Input parameters type of wind turbine model

Fig. 2는 실제 EMTDC의 Draft 상에서 표현된 풍력 터빈 컴포넌트의 외형이며, Fig. 3은 Fig 2에서 표현된 모델 Draft상에서 클릭하였을 때 나타나는 파라미터 입력의 외형이다. 여기서 풍속은 시뮬레이션 종료 시까지 시뮬레이션 샘플링 타임에 새로운 외부 파라미터 값으로 입력되며, 그 외의 입력 값은 초기치 변수로 입력된다. 이런 개념에 의해 풍력 터빈 자체에 대한 풍력특성 방정식을 EMTDC상에서 실제 기상 조건으로 시뮬레이션이 가능하게 되었다. 본 논문에서 제안한 새로운 개념의 풍력터빈 컴포넌트를 통하여 터빈의 용량 등을 다양하게 고려할 수 있는 시뮬레이션이 가능해졌을 뿐만 아니라, 풍력 발전 시스템 분야의 연구에 있어 비용절감과 연구기간을 단축시킬 수 있게 되었다.

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

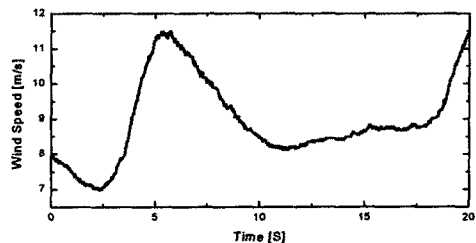


Fig. 4 Real data of wind speed

Table. 2 Input and output terminal of wind turbine

Co	Real air density
Vm	Real wind speed
Wm	Mechanical angular velocity
B	Pitch angle
Tm	Torque of turbine

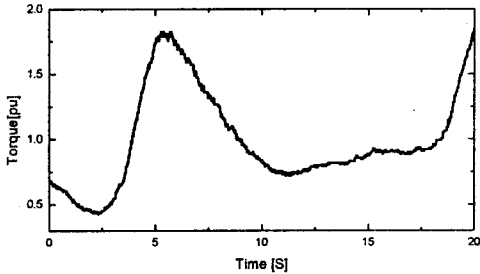


Fig. 5 Torque of simulated wind turbine without pitch angle control

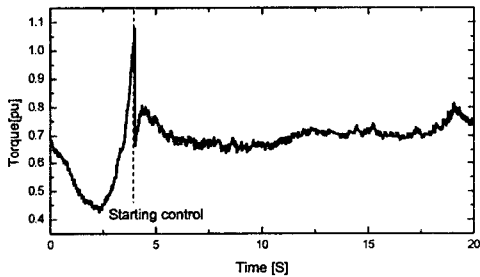


Fig. 6 Torque of simulated wind turbine with pitch angle control

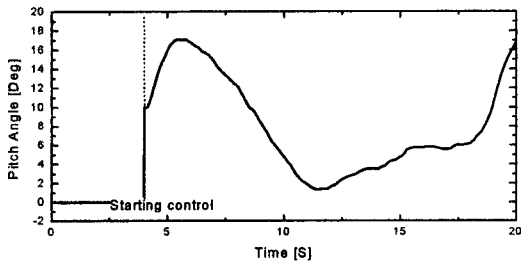


Fig. 7 Controlled pitch angle of wind power system

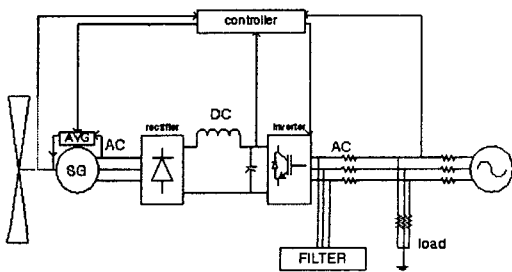


Fig. 8 Simulated total wind power system

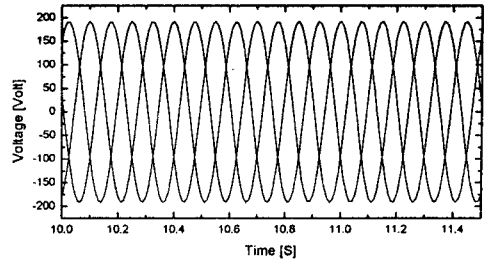


Fig. 9 Output voltage of synchronous generator

새롭게 제안한 컴포넌트에 실제 풍속 데이터를 입력하여 풍속의 변화에 대한 출력토크의 변화를 측정하였으며, Fig. 4는 20초간 측정된 실제 풍속 데이터이다. 풍력터빈 파라미터에 실제 풍속 데이터와 기압 데이터 등 외부 파라미터를 입력할 수 있도록 컴포넌트를 구성하여 풍력터빈 컴포넌트에 실제 기상상태를 사용할 수 있게 하였다.

이 컴포넌트에 의한 피치각 제어가 없는 200(kW)급 풍력 터빈을 시뮬레이션한 출력값은 Fig. 5와 같이 나타나고, 이때의 입력 파라미터들은 Fig. 3과 같다. Fig. 6은 피치각 제어를 이용한 풍력 발전시스템의 일정 토크제어를 나타낸다. 사용된 피치각 제어는 기준 정격토크에 대한 출력토크의 오차를 피드백 받아 결정되는 피치각에 의해 출력 토크를 일정하게 제어한다. 또한 Fig. 7은 제어된 피치각을 나타낸다.

Fig. 8은 풍력 발전 시스템을 나타내는 개념도로서 풍력 터빈과 동기 발전기에 의해 발전된 전력을 컨버터와 인버터를 거쳐 계통에 연계한 것이다. Fig. 9는 피치각 제어로 인해 일정해진 출력토크를 동기 발전기에 입력하여, 얻은 발전기의 출력 전압을 나타낸다. 정형적으로 나타난 출력값을 얻었다.

5. 결 론

본 논문에서는 풍력터빈 모델을 EMTDC의 단일 컴포넌트로서 실현시켰으며, 실제 기상조건(풍속, 공기밀도) 등을 EMTDC상에서 시뮬레이션 가능토록 하였다. 또한 풍력 터빈의 출력토크를 제어하고 동기 발전기의 안정적인 입력으로 풍력 발전 시스템의 모델링을 하였다. 풍력을 이용한 분산형 전원 시스템의 실험을 위해서는 지금까지 많은 양의 설비 투자비 및 운영비가 불가피하였고, 시스템의 규모는 바꿀 수 없는 실정에 있었다. 그러나, 본 논문에서 제안된 풍력터빈 모델을 EMTDC 상에서 시뮬레이션 가능하게 함으로써, 실제 값과 일치하는 풍력 발전 시스템의 시뮬레이션을 적은 투자비로서 가능하게 되었으며, 이는 풍력발전 시스템에 관한 연구개발의 활성화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다

(참 고 문 헌)

- [1] Mukund R. Patel, "Wind and Solar Power System", IEEE Transactions on Energy Conversion, CRC Press, pp35-69, 1999
- [2] 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, Nov., 2001
- [3] Bogdan S. Borowy, "Dynamic Response of Stand-Alone Wind Energy Conversion System with Battery Energy Storage to a Wind Gust", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 12, No. 1, pp73-78, 1997