

PSCAD/EMTDC를 이용한 풍력발전시스템의 과도현상 시뮬레이션에 관한 연구

한상근*, 박민원**, 유인근*

*창원대학교, **차세대초전도응용기술개발사업단

Study on the Transient Phenomenon Simulation of Wind Power Generation System using PSCAD/EMTDC

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

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

Abstract - For the purpose of more effective simulation of the utility interactive WPGS(Wind Power Generation System), the SWRW (Simulation method for WPGS using Real Weather condition) is used in this paper, in which those of three topics for the WPGS simulation: user-friendly method, applicability to grid-connection and the utilization of the real weather conditions, are satisfied. The simulation of the WPGS using the real weather condition including components modeling of wind turbine system is achieved by introducing the interface method of a non-linear external parameter and FORTRAN using PSCAD/EMTDC.

The simulations of steady-state and transient -state are performed effectively by the introduced simulation method.

The generator output and current supplied into utility can be obtained by the steady-state simulation, and THD can be achieved by analyzing the results as well. The transient -state of the WPGS can be analyzed by the simulation results of over cut-out wind speed.

1. 서 론

풍력발전은 환경 문제, 화석연료고갈 문제 등으로 그 필요성이 점점 확대되어지고 있다. 일부 선진국에서는 이미 상용화되어 설비의 대용량화, Wind farm 조성 등에 대한 연구가 이루어지고 있다[1,2].

한편, 국내에서는 기술부족으로 해외 기술을 도입하여 그 설비에 대한 연구가 주를 이루었으나, 최근 국가적인 지원정책 등으로 다방면에서 연구가 이루어지고 있다.

그러나 풍력발전에 대한 연구는 연구비에 대한 부담으로 인해 연구속도가 지연되고 있다. 그러므로 다양한 종류의 풍력터빈, 발전기, 전력변환장치 등을 쉽게 모의할 수 있는 풍력발전시스템 시뮬레이터 개발이 연구자들 사이에 강력히 요구되어지고 있다[3].

본 논문에서는 이러한 요구를 충족시키기 위해 새로운 시뮬레이션법을 제안하고자 한다.

우선 사용자 측면에서 사용하기 쉽고, 기존시스템과의 연계가 가능하며, 실제 기상조건을 이용할 수 있는 Simulation method for Wind power generation system using Real Weather condition(SWRW)를 제안한다. 그림 1은 SWRW의 개념을 나타낸 것이다.

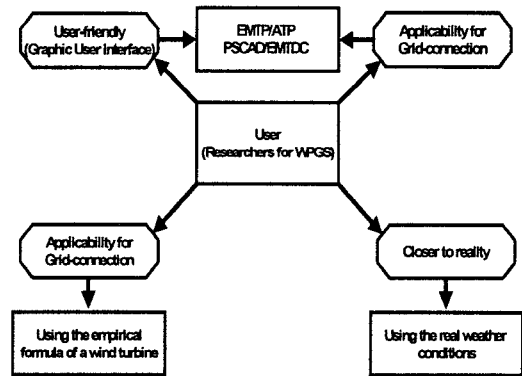


그림 1 SWRW의 개념적인 다이어그램

기존의 EMTDC를 이용한 풍력발전시스템 시뮬레이션은 임의의 풍력데이터를 이용하여 그 결과를 분석하는 방법을 이용하였다. 그 이유는 EMTD 타입의 프로그램은 실제 기상상태를 이용하는 것이 불가능하였기 때문이다. 그래서, 저자 등은 EMTDC를 이용한 비선형 외부 파라미터와 포트란언어와의 인터페이스 방법을 제안하고, 그 방법을 도입하여 실제 기상조건 데이터를 이용한 풍력발전시스템의 시뮬레이션이 가능하도록 하였다[4,5].

풍력터빈 컴포넌트는 피치제어 알고리즘과 원형 2차시스템을 이용한 관성 개념을 포함하는 모델을 EMTDC 상에서 사용할 수 있도록 새롭게 모델링하였다[6,7,8].

바람에 의해 발전된 전류 전압은 풍속에 의해 가변하므로 전력변환장치를 사용하여 적정 전압 및 전류 크기로 변환하여 부하나 계통으로 공급해 주어야만 한다. 그러므로, 본 논문에서는 다이오드 정류기와 전류제어 전압 원인버터를 모델링하여 불안정한 전류를 정현적으로 만들어 계통에 연계하였다.

이러한 시뮬레이션법을 이용하여 계통연계형 풍력발전시스템의 정상 상태와 과도 상태를 모의 실험하였고, 그 결과를 분석하였다. 특히 풍력발전시스템이 동작 중일 때의 과도 현상 시뮬레이션은 아직 시도되지 않은 부분으로, 풍력발전시스템이 과도 상태일 경우 전력변환장치에서 나타나는 현상, 계통에 미치는 영향 등을 분석하였다.

2. 풍력발전시스템의 시뮬레이션법

풍력발전시스템에 관련된 시뮬레이터는 많은 연구자들

에 의해 계속 개발되어지고 있다. 그러나, 대부분의 시뮬레이터가 풍력터빈 구현을 위한 것이고, 시스템 전체를 모의할 수 있도록 개발된 것은 드물다. 또한, 실제 기상상태를 이용하고, 정상 상태 분석, 과도 상태 분석 등이 가능한 것은 더욱더 찾기가 힘들다.

따라서, 본 논문에서는 실제 기상조건을 입력으로 사용하고, 과도 현상 분석이 가능한 시뮬레이션법을 제안하고자한다.

2.1 EMTDC를 이용한 풍력터빈 모델링

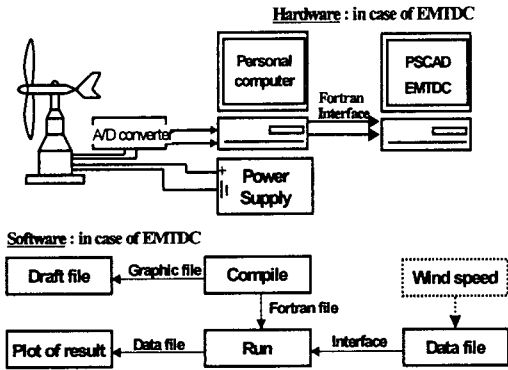


그림 2 실제 기상조건을 이용한 시뮬레이션의 개념도

EMTP와 EMTDC 등의 전력 시스템용 과도현상 디지털 시뮬레이션 도구를 이용한 풍력 발전시스템의 시뮬레이션의 경우는 실제의 기상 조건을 모의한다는 것은 불가능하다. 그로 인해 기상조건 등의 외부 파라미터가 필요한 시뮬레이션의 경우는 그 결과의 신뢰성은 비교적 낮다고 할 수 있다. 그러나, 그림 2의 개념도와 같이 EMTDC를 이용한 비선형 외부 파라미터와 포트란언어와의 인터페이스 방법을 도입함으로써 최초로 실제 기상 조건 데이터를 이용한 풍력발전시스템의 시뮬레이션이 가능하게 되었다.

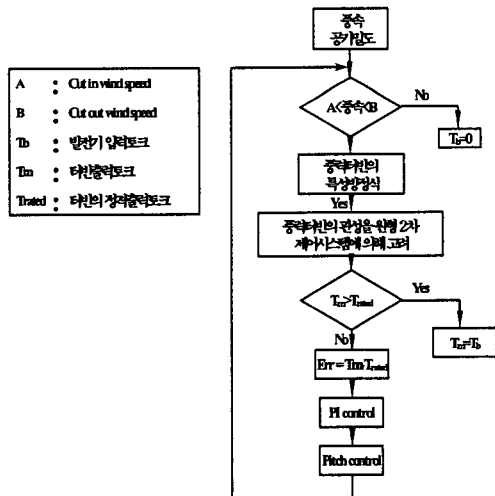


그림 3 피치각 제어 알고리즘

동기발전기를 사용한 풍력발전시스템에서 풍력터빈의 회전속도가 동기발전기의 동기속도보다 일정시간이상 빠르게 회전한다면 동기발전기는 소손될 것이다. 그러므로, 바람이 정격풍속이상으로 불 때 풍력터빈의 회전속도를 제어해 주어야만 한다. 이에 대한 대책으로, 본 논문에서는 풍속에 대해 블레이드의 피치각을 제어하여 풍력터빈의 회전속도를 동기속도로 유지시켜 주었다. 또한, 원형2차 시스템을 사용하여 풍력터빈의 관성을 고려하였다. 그림 3은 풍속에 대한 피치각 제어를 나타낸 제어알고리즘이다. 풍속과 공기밀도를 외부에서 입력받아 풍력터빈의 특성방정식을 통해 풍력터빈의 출력토크를 구한다. 이때 풍속이 cut in wind speed 보다 약할 경우 풍력터빈은 회전하지 않도록 설정하였고, 풍속이 cut out wind speed 보다 강할 경우 블레이드의 피치각을 급격히 증가시켜 터빈을 정지시킨다.

풍력터빈의 회전속도가 동기속도를 유지시키기 위해 동기발전기에 입력되는 토크가 정격토크 이상일 경우 정격토크와 비교하여 그 오차를 PI제어기를 통해 피치각을 제어한다. 이로써, 풍력터빈의 회전속도는 동기발전기의 허용범위 내에서 동작을 할 것이다.

2.2 풍력터빈의 시뮬레이션

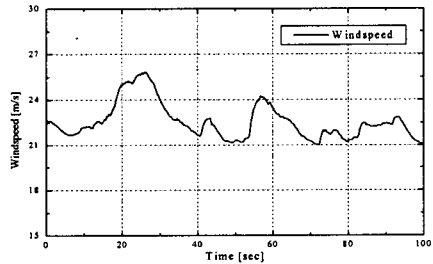


그림 4 100초 동안 측정된 실제 풍속 데이터

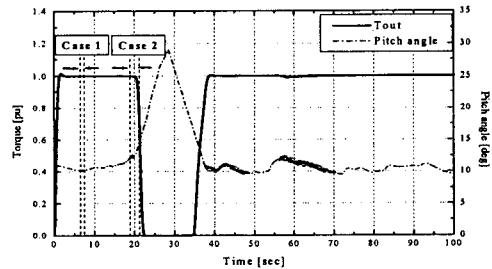


그림 5 피치각 제어 알고리즘에 의해 제어된 블레이드의 피치각과 풍력 터빈의 출력토크

그림 4는 본 논문에서 제안한 실제 기상상태를 이용한 풍력발전시스템의 시뮬레이션법으로 풍력터빈 컴포넌트에 입력하기 위해 100초 동안 측정된 실제 풍속 데이터이다. 이 데이터는 cut-out wind speed 이상일 경우 발생하는 과도현상을 분석하기 위해 바람이 아주 강한 날의 풍속을 측정된 것이다. 풍속이 cut-out wind speed 이상일

경우 그림 5과 같이 피치각이 급격히 상승되어 풍력터빈의 출력토크가 0이 되어 터빈이 정지함을 알 수 있다. 이때, T_{out} 은 풍력터빈의 출력토크를 나타내며, Pitch angle은 블레이드의 피치각을 나타낸 것이다.

블레이드의 피치각은 물리적인 동작을 하므로 cut-out wind speed이상일 경우 갑자기 변하지 않고 그림 5에서와 같이 일정 속도로 증가하고 감소함을 알 수 있으며 이로 인해, 풍력터빈은 갑자기 멈추지 않고 일정시간이 지난 뒤에 동작을 멈추게 된다.

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

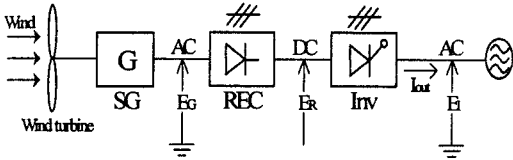


그림 6 풍력발전시스템의 시뮬레이션 구성도

그림 6는 본 논문에서 모의한 풍력발전시스템의 시뮬레이션 구성도이다. 풍력터빈 컴포넌트는 풍속을 입력받아 토크를 발생시킨다. 이때 측정된 토크는 정격토크와 비교하여 오차를 검출하고, 이 오차값을 PI제어하여 블레이드의 피치각으로 입력한다.

피치각 제어가 된 출력 토크와 회전속도는 발전기로 입력되어 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환시킨다. 발전기에서 AC전압을 발생시키는데 이것은 풍속의 영향을 직접적으로 받기 때문에 전력계통에 연계시키거나 단독운전으로 사용하기 위해서는 전력변환장치가 필요하다.

본 논문에서는 계통연계형 풍력발전시스템의 정상상태와 과도상태를 시뮬레이션하여 비교하였다. 표1은 본 논문에서 실행한 시뮬레이션의 파라미터를 나타낸다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

	Short-term simulation	
	정상 상태	과도 상태
시뮬레이션 구간	Case1	Case2
Duration of run [sec]	0.1	1
EMTDC time step [μsec]	10	10
PSCAD time stem [μsec]	400	400

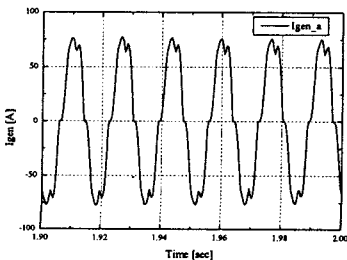


그림 7 Case1에서의 발전기(SG)의 출력 전류

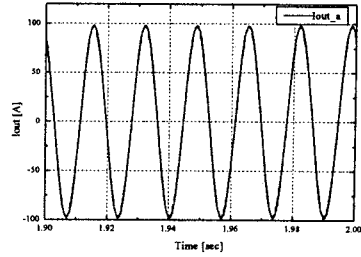


그림 8 Case1에서의 인버터(INV) 출력 전류

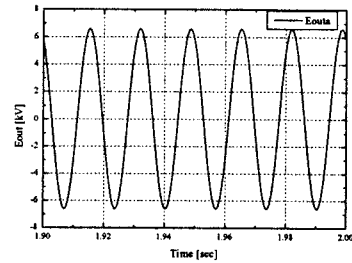


그림 9 Case 1에서의 계통전압

본 논문에서는 Short-term 시뮬레이션을 통해 풍력발전시스템이 계통에 미치는 영향을 알아보았다. 그림 7은 발전기(SG)의 출력 전류로서 정류기(REC)와 리액턴스의 영향으로 그림과 같이 찌그러지게 된다. 그림 8은 인버터(INV)의 출력 전류를 나타낸 것이며, 그림과 같이 깨끗한 정현파 전류를 계통으로 공급하는 것을 알 수 있다. 이때 측정된 출력 전류의 THD가 아주 작았으므로 본 논문에서 사용한 전류제어 전압원 인버터의 모델링이 풍력발전시스템에 적합함을 알 수 있었다.

그림 9는 계통전압으로서 풍력발전시스템과 같은 분산형 전원에 비해 그 용량이 크기 때문에 항상 정현파 전압을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

또한, 이와 같은 시뮬레이션을 통하여 풍력발전시스템의 적절한 파라미터 추출을 손쉬운 방법으로 할 수 있게 되었다.

그림 10은 풍속이 cut-out wind speed이상일 경우 발전기의 출력 전류를 나타낸 것이다. cut-out wind speed이상이면 블레이드의 피치각이 커져 출력토크가 감소하고 풍력터빈도 정지하게 된다. 그러므로 발전기의 출력은 줄어들다가 거의 0인 상태가 되고 그때의 인버터 출력은 그림 11과 같이 나타난다. Cut-out wind speed 이상일 경우 계통으로 공급되는 전력이 급격히 줄어들기 때문에 그 영향으로 계통의 전압이 흔들린다. 이러한 과도 상태에서의 계통전압은 그림 12와 같이 나타나며, 이때의 전압강하는 ΔV만큼 일어나는 것을 확인할 수 있다.

Case 1과 Case 2의 시뮬레이션 결과에 의해 본 논문에서 제안한 시뮬레이션법으로 정상 상태뿐만 아니라 과도 상태에서 풍력발전시스템이 계통에 미치는 영향, 시스템 자체에서 일어나는 현상 등에 대해 알 수 있었고, 실제 설비에서 일어나는 현상들을 그대로 구현할 수 있었다.

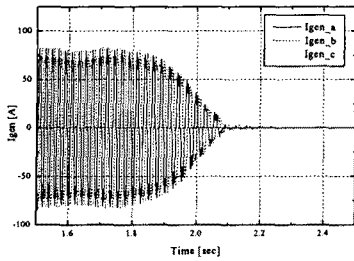


그림 10 Case 2에서의 발전기(SG) 출력 전류

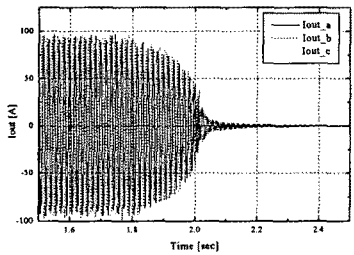


그림 11 Case 2에서의 인버터(INV) 출력 전류

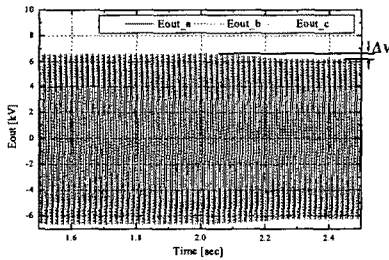


그림 12 Case 2에서의 계통전압

4. 결 론

본 논문에서는 풍력발전시스템의 새로운 시뮬레이션 방법을 제안하였고, 제안한 시뮬레이션법을 이용하여 정상 상태와 과도 상태 시뮬레이션을 하였으며, 그 효율성을 입증할 수 있었다. 특히, EMTDC를 이용한 비선형 외부 파라미터와 포트란언어와의 인터페이스 방법을 도입함으로써 최초로 실제 기상조건 데이터를 이용한 풍력발전시스템의 시뮬레이션을 가능하게 하였다.

본 논문에서 정상 상태 시뮬레이션의 결과를 통해 풍력발전시스템이 계통에 미치는 영향을 분석할 수 있었고, 시뮬레이션을 위해 모델링한 전력변환장치의 적절성도 확인할 수 있었다. 또한 풍력발전시스템에 필요한 파라미터를 손쉽게 추출할 수 있게 되었다.

그리고, 과도현상 시뮬레이션을 통해 풍력발전시스템이 과도 상태일 경우 계통에 미치는 영향과 전력변환장치에서 일어나는 현상을 분석할 수 있었다.

이런 시뮬레이션에 의해 풍력발전시스템을 계통에 연계 하였을 때 발생할 수 있는 문제점들을 찾아낼 수 있으며, 그에 대한 해결방법도 구하기가 용이할 것이다.

특히, 계통의 용량이 작은 지역에서 풍력발전시스템을 연계하였을 때 발생하는 전압변동과 같은 현상의 모의가 가능할 것이다.

본 논문에서 제안한 시뮬레이션법에 의해 풍력 발전시스템의 용량과 풍력터빈의 제어방법을 자유롭게 변화시키면서 다양한 시뮬레이션이 가능하게 되었으며, 이는 관련 분야의 연구에 크게 기여하게 될 것이다.

현재 정격풍속이하에서의 제어알고리즘 등에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 태양광발전시스템과 같이 계통에 연계시킨 복합발전시스템에 대해서도 연구중이다.

본 연구는 기초전력공학공동연구소 및 과학기술부·한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

(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, JUNE, 1999.
- [3] Sang-Geun Han, Minwon Park, In-Keun Yu, "Study on the simulation for synchronous generator type 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, Nov., 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, June, 2001.
- [6] Eduard Mujadi, "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] 한상근, 박민원, 유인근, "실제 데이터를 이용한 가변속 풍력발전시스템의 시뮬레이션", 대한전기학회 하계학술대회, pp. 1342-1344, 2002.