

PSCAD/EMTDC를 이용한 풍력 발전 계통연계형 시뮬레이션

이상훈*, 구분길*, 이희태*, 이화석**, 박준호*
부산대학교*, 동의과학대학**

SIMULATION OF GRID-CONNECTED WIND ENERGY USING PSCAD/EMTDC

Sang-Hun Lee*, Bon-Gil Koo*, Hee-Tae Lee*, Hwa-Seok Lee**, June-Ho Park*
Pusan University*, Dong Eui Institute of Technology**

Abstract - 풍력발전 시스템의 원리를 이해하고, 대표적인 분산전원인 풍력발전 시스템을 전력계통에 연계시켜 그 특성을 모의, 분석할 수 있도록 전력계통 과도모의해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 사용하여 현재 사용하고 있는 풍력발전 시스템 그리고 연계계통을 고려하여 구성하였고, 이 분산전원 모델이 유효한지 보이기 위하여 출력파형을 보았다. 그리고 이 분산전원 모델을 연계계통내 보호계전시스템등과 같은 분산전원과 관련된 전반적인 연구분야에 유용하게 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서 론

기후체계에 대한 위협을 방지할 수 있도록 대기중의 온실가스 농도를 안정화시키기 위하여 채택된 기후변화 협약에 의거 의무강화를 위한 법적 장치인 교토의정서가 2005년 2월 발효가 되었다. 온실가스 배출량이 많은 우리에게는 범세계적 노력에 적극 대응한다는 의미에서 신재생에너지원 등 탄소 저배출형 기술개발에 적극 투자하는 것이 정책방안의 하나로 중요하게 인식되어 활발하게 전개되고 있다.

풍력발전시스템은 전력망 접속유무 여부에 따라 독립운전방식과 계통연계방식으로 구분된다. 독립운전 방식은 송배전선을 통해 상용 전력계통과 연결되지 않고 도서지역이나 산간지역과 같이 고립된 지역에서 수용가에 직접 전력을 공급하는 방식인데, 풍속의 가변특성으로 인해 출력이 변하여 풍력발전만으로 전체 부하를 항상 충족시킬 수 있는 것은 아니다. 따라서 안정적인 전력공급 측면이나 풍력자원의 포괄적인 활용측면에서 상용계통과 연계되어 초과하거나 부족한 전력을 계통으로 보내거나 계통으로부터 공급받을 수 있는 계통 연계방식이 요구되어 진다. 풍력발전의 효율적인 운용을 위하여 계통연계 방식이 필수적임에도 불구하고, 그 진전이 미비한 이유는 풍속의 가변성으로 인한 출력의 불규칙성으로 인해 주변 계통 수용가와 부하의 전압, 주파수 등의 전력품질에 악영향을 미칠 우려가 있고 기존의 전원에서 부하로의 일방향적인 계통구성이 전원과 부하가 혼재된 계통구성으로 바뀌어서 기존의 보호협조체제로 정확한 사고검출 및 차단이 어려울 수 있기 때문이다. 특히 계통에서 사고가 발생한 경우 풍력발전기가 사고 전류를 공급할 수 있기 때문에 사고의 검출이 어렵고 그만큼 복잡한 보호체계가 필요하다. 이러한 이유로 풍력발전기를 설치하기 이전에 계통에 도입된 풍력발전기가 전력 품질과 사고 특성에 미치는 영향을 분석하여야 한다.

본 논문은 분산전원의 종류인 풍력발전기에 대해 특징을 파악하고, 마이크로 그리드에 설치되는 풍력 발전 시뮬레이터를 설계/제작하기 이전에 컴퓨터로 모의하여 풍력발전기의 특성을 확인하는 것을 목표로 하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 PSCAD/EMTDC를 사용하여 수행하였다.

2. 본 론

2.1 풍력발전 원리

풍력발전이란 공기의 유동이 가진 운동에너지의 공기역학적 특성을 이용하여 회전자(rotor)를 회전시켜 기계적 에너지로 전기를 얻는 기술이다. 풍력발전기는 지면에 대한 회전축의 방향에 따라 수평형 및 수직형으로 분류되고, 주요 구성 요소로는 날개(blade)와 허브(hub)로 구성된 회전자와 회전을 증속하여 발전기를 구동시키는 증속장치(gear box), 발전기 및 각종 안전장치를 제어하는 제어장치, 유압 브레이크 장치와 전력 제어장치 및 지지대 등으로 구성된다.

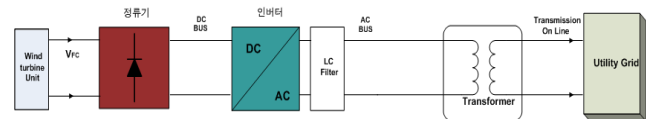
풍력발전은 어느 곳이나 산재되어 있는 무공해, 무한정의 바람을 이용하므로 환경에 미치는 영향이 거의 없고, 국토를 효율적으로 이용할 수 있으며, 대규모 발전 단지의 경우에는 발전 단지도 기존의 발전 방식과 경쟁 가능한 수준의 신 에너지 발전 기술이다. 또한 풍력발전 단지의 면적 중에서 실제로 이용되는 면적은 풍력발전기의 기초부, 도로, 계측, 및 중앙제어실 등으로 전체 단지 면적의 1%에 불과하며, 나머지 99%의 면적은 목축, 농업 등의 다른 용도로 이용할 수 있다. 네덜란드에서는 이

미 오래 전부터 풍차를 동력으로 이용하였으며, 최근 미국이나 독일 등에서 풍력을 이용한 발전기가 지역주민들에게 전기를 공급하고 있다.

최근 들어 전 세계적으로 풍력발전 관련 기술이 급격히 발전하여 미국을 비롯한 유럽 등 많은 선진국가에서 대형 풍력발전시스템의 개발과 풍력 발전단지 건설에 관한 사업이 활발하게 진행되고 있으며, 이에 대한 경제성과 신뢰도는 과거 1970년대보다 더욱 급진적으로 발전되어 21세기 들어서는 기존의 발전방식과 대등한 경쟁관계로 전개될 전망이다.

2.2 전체 시스템 구성

계통연계형 풍력발전시스템의 전체 구성은 그림 1과 같다. 고정 피치각을 갖는 풍력터빈, 동기발전기, 정류기, 인버터 및 구내부하로 구성되며, 이는 연계변압기를 통하여 배전망에 연계되어 있다. 풍력발전기는 일반 유도발전기가 아닌 다극형 동기발전기로서, 발전기 측은 기어박스 없이 로터와 직접 물려 있다. 풍력터빈이 동기발전기를 회전시키며 동기발전기에 설치된 여자기는 DC link의 전압이 일정 수준 이상이 되도록 한다. 끊임없이 변하는 풍속에 의한 동기발전기 고르지 못한 출력은 정류기를 통하여 직류로 변환되고, 이 직류 출력은 IGBT 스위치를 사용한 전압원 인버터에 의해 일정한 전압크기와 주파수를 갖는 교류출력으로 변환된다. 이 전압원인버터는 변동하는 풍속 또는 구내 접속부하의 변동에 대하여 전체 풍력발전시스템의 유효전력출력 및 무효 전력출력을 제어한다. 교류 출력의 고조파를 저감하기 위해 인버터 후단의 필터가 사용된다. 이렇게 변환된 풍력발전의 교류출력은 일부 구내부하를 담당하고 일부는 연계변압기를 통해 송입되어 배전망으로 공급된다. 본 논문에서는 풍력발전이 접속된 계통은 그 용량이 풍력발전 정격용량에 비해 매우 커서 풍력발전 출력의 변동에 의해 전압 및 주파수가 동요되지 않는 무한모션으로 고려한다.



〈그림 1〉 전체 시스템 구성

2.3 풍력발전 특성

블레이드는 바람의 유동에너지를 회전에너지로 변환하여 발전기에 공급한다. 풍속 V_{wind} 의 바람이 블레이드의 회전 단면을 통과 할 때 갖는 에너지 P_{wind} 는 식 (1)과 같다.

$$P_{wind} = \frac{1}{2} A \rho V_{wind}^3 \quad [W] \quad (1)$$

여기서 A는 블레이드 회전 단면적, ρ 는 공기 밀도, V_{wind} 는 풍속이다.

바람이 가지는 에너지 P_{wind} 중에서 기계적 에너지로 변환되는 에너지의 비율을 출력계수(Power Coefficient)라고 하며 C_p 로 표현한다. 또한 풍속과 회전속도의 관계는 주속비(Tip Speed Ratio)라고 하며 λ 로 표현하고, 식 (2)와 같다.

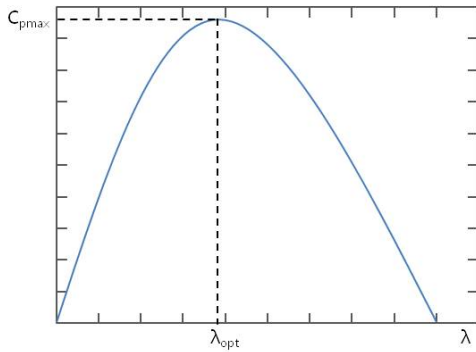
$$\lambda = \frac{w_{blade} R_{blade}}{V_{wind}} \quad (2)$$

여기서 w_{blade} 는 블레이드의 회전 각속도, R_{blade} 는 블레이드의 회전자 반경이다.

C_p 는 블레이드의 특성 계수로서 일반적으로 λ 에 따라서 그림 2와 같은 모양의 관계를 갖는다. 그림 2에서 보이는 바와 같이 C_p 는 $\lambda = \lambda_{opt}$ 에서 최대값 C_{p-max} 를 갖고, λ 로 표현하기도 한다. 식 (1)에 $C_p(\lambda)$ 를 곱하면 블레이드에서 변환하는 기계적 출력 P_{blade} 를 식 (3)과 같이 구할 수 있고, 식 (2)를 대입하여 정리하면 식 (4)와 같다.

$$P_{blade} = \frac{1}{2} A \rho V_{wind}^3 C_p(\lambda) \quad [W] \quad (3)$$

$$P_{blade} = \frac{1}{2} A \rho \left(\frac{w_{blade} R_{blade}}{\lambda} \right)^3 C_p(\lambda) \quad [W] \quad (4)$$

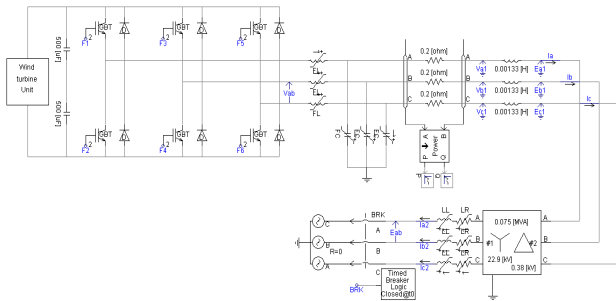


<그림 2> 주속비(λ)와 출력계수 (C_p)곡선

블레이드에서 발전기에 공급하는 출력은 토오크의 형태로 전달되며, 공급하는 토오크 T_{blade} 는 식 (5)와 같다.

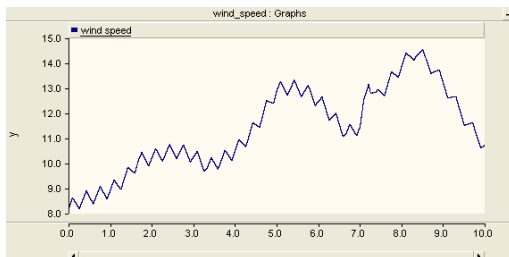
$$T_{blade} = \frac{P_{blade}}{w_{blade}} \quad [Nm] \quad (5)$$

2.4 계통연계 모의 및 결과 고찰

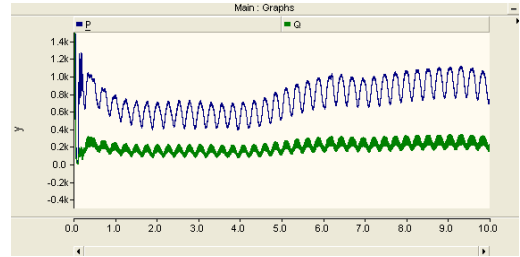


<그림 3> 계통연계된 풍력발전시스템

다음 그림 5에서 풍속의 변화에 따른 계통에 공급되는 발전기의 유·무효 전력을 확인해 볼 수 있다.



<그림 4> 시간에 따른 풍속의 변화



<그림 5> 풍력발전기의 유·무효전력 출력

3. 결 론

본 논문에서는 대표적인 분산전원인 풍력발전 시스템을 전력계통에 연계시켜 그 특성을 모의, 분석할 수 있도록 전력계통 과도모의해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 사용하여 현재 사용하고 있는 풍력발전 시스템 그리고 연계계통을 고려하여 구성하였고, 이 분산전원 모델이 유효한지 보이기 위하여 출력과형을 보였다. 그리고 이 분산전원 모델을 연계계통내 보호계전시스템등과 같은 분산전원과 관련된 전반적인 연구분야에 유용하게 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20104010100670)

[참 고 문 헌]

- [1] 김술기, 김응상, “계통연계형 가변속 풍력 발전방식의 PSCAD/EMTDC 모의 및 해석”, 대한전기학회 논문지, 8호, 제52B권, pp. 413-419, 2003.
- [2] 한상근, 박민원, 유인근, “PSCAD/EMTDC를 이용한 풍력시스템의 새로운 시뮬레이션 방법에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지, 6호, 제52A권, pp. 307-315, 2003.
- [3] 정병찬, 정세종, 송승호, 노도환, 김동용, “가변관성 모의 기능을 가진 풍력 발전기 시뮬레이터의 제어알고리즘”, 대한전기학회 학술대회, pp. 170-173, 2002.
- [4] 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.
- [5] J.G. Slootweg, W.L. Kling, “Is the answer blowing in the wind?”, IEEE, Power & Energy Magazine, Vol. 1, Issue 6, pp. 26-33, Nov.-Dec. 2003.