

풍력발전시스템의 배전계통 연계운전 시 전력품질 해석

김응삼*, 노병권*, 추진부**, 장병태**, 이승학***
 한국전기연구소*, 한전전력연구원**, 대덕대학***

Power Quality Analysis of Wind Power System Embedded in Distribution Networks

Eung-Sang Kim*, Pyung-Kweon Roh*, Jin-Bu Chu**, Byung-Tae Chang**, Seung-Hak Lee***
 KERI*, KEPRI**, Dae-Duk College***

Abstract - This paper deals with electromagnetic transient modelling of wind power system embedded in distribution networks. Wind power system consists of induction generator, link reactor, distribution line, and controlled load unit. The introduction of embedded wind power system presents a new set of conditions to networks both with respect to power quantity needed to be transported and power quality such as sag, swell, very short interruption, and flicker. This paper investigates the transient behavior of voltage, frequency, and load flow in wind driven induction generation system embedded in distribution networks.

Keywords: Wind power system, Induction generator, Power quality, Sag, Swell, Flicker

1. 서 론

최근 지구환경 문제와 고유가 시대가 동시에 대두되면서 화석연료의 사용에 대한 억제 및 절약 운동이 진행되고 있고, 이러한 문제를 해결해 줄 수 있는 하나의 방법으로 대체에너지의 개발이 촉진되고 있다. 대체에너지 전환 중에서 가장 증가 속도가 빠른 풍력발전시스템은 현재 전세계적으로 약 3000MW 이상이 설치되어 있으며[1], 국내 또한 제주도, 전북 무안 및 울릉도 등지에 기 설치 및 설치를 추진 중에 있다. 기존 논문들은 풍력발전시스템의 정상특성, 즉 평균 풍속에 따른 발전기 출력, 전력조류, 전압변동, 주파수변동을 연구하여 왔다[2,3]. 이외에도, 배전계통에 풍력발전시스템을 연계운전하기 위해서는 기존 계통 내 수용가의 전력품질을 나쁘게 하지 않기 위한 순시전압강하 및 상승, 주파수변동을 포함한 전력품질을 사전에 분석하여 대책을 수립하는 것이 매우 중요하다[4]. 따라서, 본 논문에서는 이러한 문제를 검토하고자 유도발전기, 연계리액터, 배전선로, 가변부하장치 등을 EMTDC/PSCAD 모델링하였으며, 풍력발전시스템의 계통연계 시, 계통연계 운전 중 부하급변에 따른 전압 변동, 주파수 변동, 전력조류 변동 시 물레이션을 통하여 연계점에서의 전력품질을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 풍력발전시스템의 정상특성

풍력발전시스템은 상대적으로 부하가 작은 배전계통에 연계가 된다. 따라서 연계점에서 고장레벨도 상대적으로 낮다. 부하가 작은 반면 취약한 배전계통에 연계되기 때문에 연계점에서 전압왜곡 및 주파수변동을 포함한 전력품질이 나빠질 수 있다.

소형 풍력발전시스템은 구조상의 단순함과 동기검증의

불필요, 발전기 구동 장치에 제공하는 댐핑을 이유로 일반적으로 유도발전기를 사용한다. 유도발전기의 풍력발전시스템 구성 시 가장 큰 단점은 무효전력을 제어할 수 없다는 것이다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 역률조정커패시터를 연계시스템에 포함시키는데, 이로 인하여 유도발전시스템이 고립운전 될 때 자기여자에 의한 과전압이 발생하며 주파수도 상승하게 된다.

풍력발전설비의 출력은 블레이드를 회전시키는 풍속의 조정이 불가하므로 일정치 않다. 따라서, 풍력발전설비의 정상특성은 정격풍속의 아래에서 선형특성에 따라 최대 출력을 낼 수 있도록 조정되며, 정격풍속의 이상에서 스톱과 피치를 의하여 제한되어 일정출력을 내게 된다. 풍력발전설비의 순시특성은 풍속의 급작스런 변화에 의한 높은 주파수대의 변동을 가지게 되고 이것은 정격의 30%이상을 초과하기도 한다.

2.2 풍력발전시스템의 구성

소형풍력발전시스템은 구조상의 단순함, 동기검증의 불필요, 발전기에 제공하는 댐핑이 우수하기 때문에 유도발전기를 사용한다. 동기발전기는 주기를 가지고 블레이드가 타워를 통과할 때 발생하는 순간적인 토크 펄스를 제어하는 충분한 댐핑을 제공하지 못한다. 반면에 큰 슬립을 가진 유도 발전기는 주기적인 토크펄스를 제어할 수 있는 우수한 댐핑을 가지고 있다. 이러한 유도발전기를 포함한 풍력발전시스템은 그림 1과 같이 나타난다.

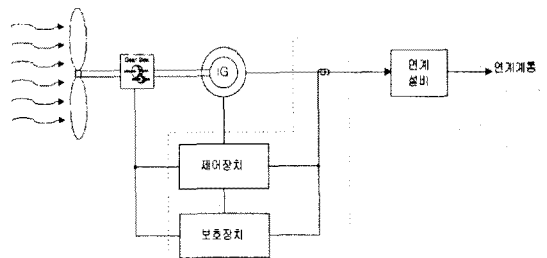


그림 1. 풍력발전시스템의 배전계통 연계

풍력발전설비의 제어기는 기계적 제어장치(피치각제어, 요각제어, 브레이크제어), 발전기의 제어·보호장치 및 교류계통과의 인터페이스에 필요한 연계설비로 구성된다. 연계설비의 구성은 계통연계보호장치(보호계전장치, 차단기, 개폐기), 변압기, 측정설비, 보상장치로 구성되어 계통과의 병렬운전을 안전하게 수행하게 한다.

2.3 풍력발전시스템의 배전계통 연계 모델링

본 논문에서 수행한 풍력발전시스템의 배전계통연계 모델은 그림 2와 같이 전력회사측 전원, 변압기 및 배전선로, 유도발전기, 연계리액터, 가변부하장치로 구성하였고, 풍력발전설비 배전계통연계를 위한 시험선로의 데이터는 표 1과 같다.

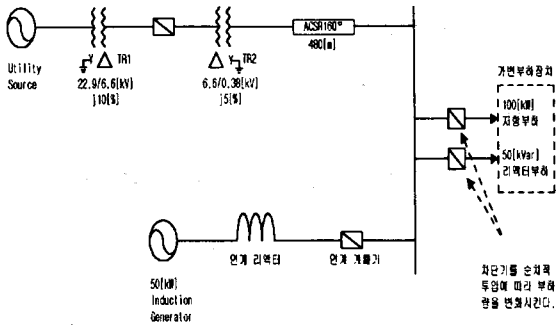


그림 2. 풍력발전시스템 배전계통연계모델

표 1. 배전계통연계 시험선로 데이터

변전소	임피던스	$\%Z_0$ [%]	11.6226+j60.4195
		$\%Z_1$ [%], $\%Z_2$ [%]	3.2561+j34.2347
변압기	TR1	전압 [kV]	22.9
		임피던스 [%]	j10
	TR2	전압 [kV]	6.6/0.38
		임피던스 [%]	j5
선로	가공선로 ACSR160[mm ²]	$\%Z_0$ [%]	11.99+j29.26
		$\%Z_1$ [%], $\%Z_2$ [%]	3.47+j7.46
		선로길이 [km]	0.48
부하	저항부하 [kW]	100	
	리액터부하 [kVar]	50	

2.3.1 유도발전기 모델링

풍력발전시스템의 발전기모델링에 사용된 유도발전기의 정격은 60Hz, 50kW(62.5kVA), 0.8pf, 380V이고 유도발전기 파라미터는 표 2로 설정하였으며 그림 3과 같이 배전계통에 연계된다.

표 2. 유도발전기 파라미터

유도발전기모델	SQC100
정격주파수	60Hz
정격출력	50kW(62.5kVA), 0.8pf
정격전압	380V
고정자저항	0.066 p.u.
회전자저항	0.298 p.u.
고정자누설리액턴스	0.046 p.u.
회전자누설리액턴스	0.105 p.u.
관성모우먼트	6.85595 MWs/MVA
기계적 댐핑상수	0.008 p.u.

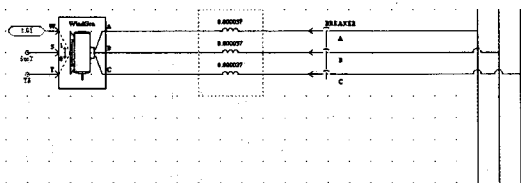


그림 3. 유도발전기 계통연계모델링

2.3.2 가변부하장치 모델링

다양한 배전계통부하의 크기와 역할을 고려하기 위하여 그림 4와 같이 저항과 리액턴스의 차단기 개폐 동작에 의하여 가변부하장치를 구성하여 신에너지전원연계실

증시험을 위한 실제시험장치를 모델링하였다.

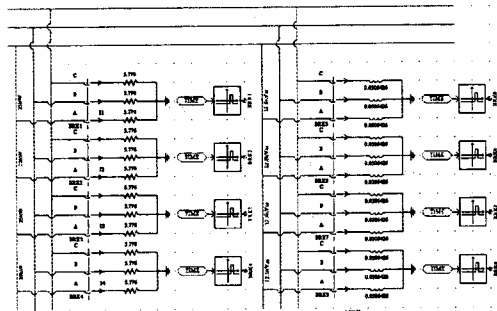


그림 4. 가변부하장치 모델링

2.4 풍력발전시스템 계통연계 및 분리 시 특성

풍력발전시스템의 계통연계 시, 연계점에서의 전압특성 및 주파수특성을 분석하기 위하여 그림 2의 풍력발전시스템 배전계통연계모델에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

2.4.1 전압변동

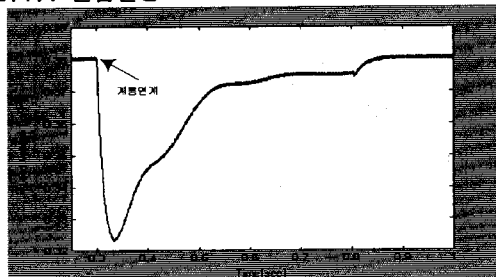


그림 5. 풍력발전시스템 계통연계 및 분리 시 전압변동

풍력발전시스템의 연계시간을 0.3초로 설정하고 전압변동을 모의하였으며 그림 5는 그림 2의 TR2 2차측, 즉 부하단에서 측정된 파형이다. 유도발전기는 자체의 여자전원이 없으면 계통을 여자전원으로 사용하므로 배전계통 연계 시 무효투입전류가 흐르게 되며 이러한 무효투입전류에 의하여 그림 5에서와 같이 순간전압강하가 나타나게 된다.

2.4.2 돌입전류

풍력발전시스템의 연계시간을 0.3초로 설정하고 그림 2의 TR2 2차측, 즉 부하단에서 측정된 전류파형은 그림 6으로 나타나며 최고 3배의 전류증가를 보인다.

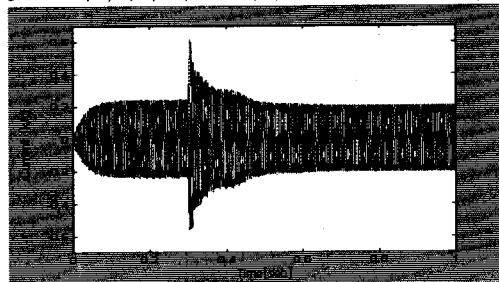


그림 6. 풍력발전시스템 연계 시 돌입전류

풍력발전시스템의 배전계통연계 시 과도상태에 발생하는 돌입전류는 변압기의 스위칭에 따른 돌입전류와 마찬가지로 매우 빠르고 큰 자속의 돌입전류에 의한 성분과 이보다 느리지만 동작속도로 유도발전기가 이동하면서 속도의 변화에 의한 과도성분으로 나누어진다. 이

러한 돌입전류를 억제하기 위하여 그림 7과 같은 전력 스위칭소자를 구성하여 발전기의 자속을 점차적으로 증가시키고 돌입전류를 제한하는 것이 필요하다.

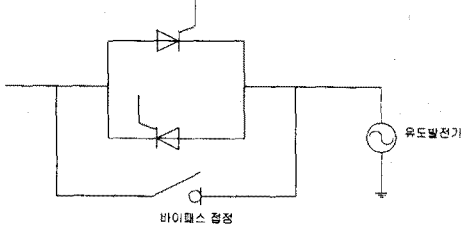


그림 7. 단상 돌입전류 제한 회로 구성

2.4.3 배전계통 연계 및 분리 시 전력조류

풍력발전시스템이 배전계통과 연계운전 시 전원 측의 유·무효 전력조류는 그림 8로 나타난다. 풍력발전시스템을 배전계통에 연계하였을 때 전원 측은 유효전력의 출력은 줄어들고, 무효전력의 출력은 늘어난다. 특히 무효전력은 연계 후 10사이클의 시간동안 급속히 증가하고 그 이후 감쇄하여 정상상태에 이르게 된다.

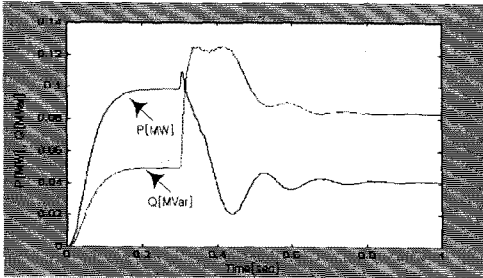


그림 7. 전원 측 유·무효 전력조류변동

풍력발전시스템인 유도발전기가 모의 배전계통과 연계 운전 시 발전기 정격을 출력하기 위해 기계적 토크를 1p.u.로 증가시켰을 때 발전기의 회전각속도는 그림 9와 같이 나타나고 0.3초에서 회전각속도가 증가하였다가 정상상태에 이르게 된다.

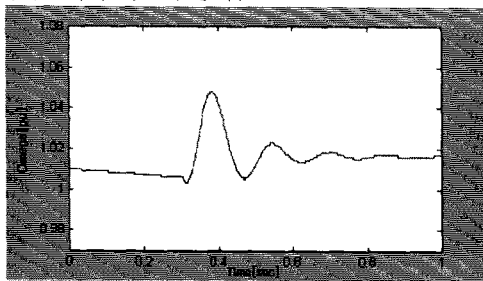


그림 9. 유도발전기 회전각속도 변동

2.5 풍력발전시스템 연계운전 중 부하급변 시 특성

풍력발전시스템이 배전계통에 연계운전하고 있을 때, 부하의 급작스런 변동에 의한 연계점에서 전압특성 및 주파수특성을 분석하기 위하여 그림 4의 가변부하장치를 그림 2와 같이 연결하고 처음 1초간은 50kW, 25kVar의 부하로 운전하다가 0.3초에 풍력발전시스템을 배전계통에 연계시키고 1초 후에 부하가 100kW, 50kVar의 부하로 변동하였을 때 전압 및 전류, 발전기 회전각속도를 분석하였다.

2.5.1 전압변동

그림 10과 같이 부하가 증가함에 따라 부하전류의 갑작스런 증가에 의해 전압강하가 발생한다는 것을 알 수 있었으며 전력스위칭소자에 의해 제어되는 용량성리액턴

스에 의해 전압강하를 보상할 수 있다.

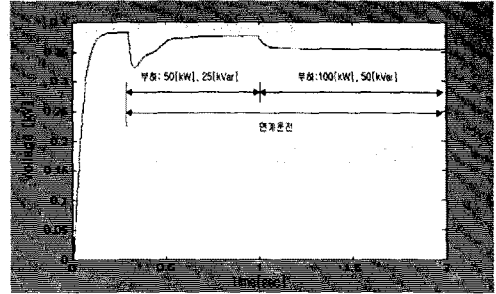


그림 10. 연계운전 중 부하급변 시 전압변동

2.5.2 부하전류변동

풍력발전시스템이 배전계통과 연계운전 중 부하가 급변하였을 때 전원 측 부하전류는 그림 11과 같이 상승한다. 그림 11의 부하전류에 의하여 그림 10과 같이 과도 상태에서 전압강하가 발생한다. 또한, 부하전류의 증가 분은 대부분 전원 측에서 부담한다.

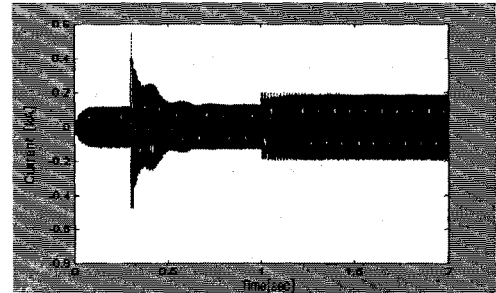


그림 11. 부하급변 시 전원 측 부하전류변동

2.5.3 유도발전기 회전각속도 변동

그림 11에서와 같이 부하의 증가 분을 대부분 계통 전원 측에서 부담하므로, 부하증가에 따른 풍력발전시스템의 회전각속도에는 변동이 없다.

3. 결 론

풍력발전시스템의 계통연계를 위해서는 기존 배전계통 내 수용가의 전압변동, 주파수변동과 같은 전력품질을 저하시키지 않도록 하여야 한다. 따라서, 본 논문에서는 풍력발전시스템의 계통연계에 따른 연계점에서의 전력 품질을 분석하기 위하여 풍력발전시스템의 배전계통연계를 모델링하고 계통연계 및 부하급변 시 전압 및 주파수변동을 모의하였다. 계통연계 시 돌입전류에 의한 순시전압강하가 나타나며 이의 제어를 위해서는 그림 7과 같은 돌입전류를 제한하는 회로의 도입 및 역률보상커패시터의 도입이 요구된다. 계통연계 시뮬레이션 결과에서 회전자슬립이 정격슬립으로 이동하면서 발전기 회전각속도의 변동을 볼 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- (1)N. Jenkins, "Engineering wind farms", Power Engineering Journal, pp.53-60, April 1993
- (2)Zaininger Engineering Company, "Electrical Behavior of Wind Power Stations", EPRI AP-5220 Project 1996-24 Final Report, June 1987
- (3)David H. Henry, Gary L. Johnson, "Distributions of Daily Extreme Winds and Wind Turbine Operation", IEEE Trans. on Energy conversion, Vol.EC-1, No.2, June 1986
- (4)N. Jenkins, "Embedded generation", Power Engineering Journal, pp.145-150, June 1995