

배전계통에 연계된 풍력발전기 운영특성 분석

김현한*, 김광호*, 전정표*, 옥연호**, 곽희진**, 장진승**
 강원대학교*, 한국수자원공사**

Power Quality Analysis of Wind Power System interconnected with Distribution Networks

Hyun-Han Kim*, Kwang-Ho Kim*, Jung-Pou Jun*, Yeon-Ho Ok**, Hee-Jin Kwak**, Jin-Seung Jang**
 Kangwon National University*, K Water**

Abstract - Recently the wind turbine generating systems are increasing world widely. This type of systems will change the nation's energy environment which largely depends on the fossil fuels. It will also bring new problems to the power industry and the customers. The expected problem is the voltage and frequency stability of the power distribution network, when a wind turbine generating system is connected to the line. It becomes necessary and important to evaluate their impact on the electrical network stability. This paper shows the electrical data measurement and analysis of a inductive wind turbine generator affecting the power quality problem of the distribution line.

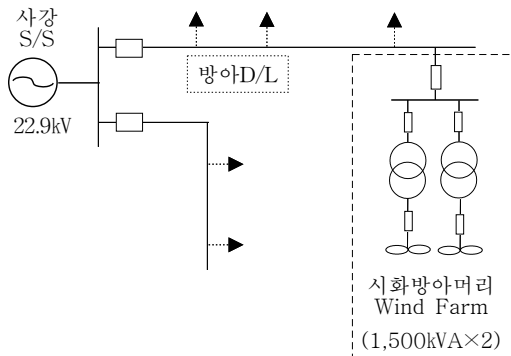
1. 서 론

저탄소 녹색성장의 실현을 위한 신·재생 에너지원 중 풍력발전기의 보급은 최근 급속히 증가하고 있으며, 발전시스템을 위한 제반기술력 향상과 무공해 에너지원이라는 관점에서 과거의 도서지역 위주의 독립전원에서 벗어나 현재는 대형 풍력단지를 기반으로 기존 전력시스템과 연계되어 생산된 전력을 계통으로 공급하는 형태로 발전되고 있다. 그러나 이러한 풍력발전기의 계통연계는 원자력, 화력 및 대수력 중심의 단방향 조류만을 허용하던 기존배전 시스템에 보호, 운영 및 관리등에 여러 가지 새로운 영향을 미치고 있다. 특히 풍력발전은 풍력에너지를 전기에너지로 변환시키기 때문에 풍속과 풍량에 따라 급격한 출력 변동 및 빈번한 계통 병입으로 어느 분산형 전원보다 선로에 미치는 영향이 크다. 또한 풍력발전단지는 대부분 지리적 여건상 바람의 에너지를 얻기가 용이한 산간 고지대나 해안가등에 위치하고 있어 계통연계 지점이 배전선로의 말단인 경우가 많아 계통연계시 전압변동, 플리커 등 전기품질에 영향을 초래할 가능성이 있다. 따라서 본 논문에서는 풍력발전기가 배전선로에 연계운영 될 때 운영특성과 계통 연계특성 및 풍력발전기의 출력변동으로 인한 계통영향 등을 측정 분석하였다.

2. 본 론

2.1 배전계통 구성

대부도 시화방아머리에 설치된 풍력발전기는 <그림1>과 같이 각 발전기의 전용 변압기를 통하여 한전 사강변전소 방아D/L을 이용하여 송전하고 있으며 변전소로부터 약40km정도 떨어져 있다. 이 배전선로의 최대부하는 약12.3MW이며, 부하율은 58.8%~69.2%정도이다.

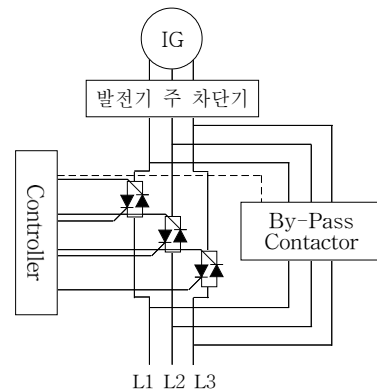


<그림 1> 배전계통도

2.1.1 시화방아머리 풍력발전기

풍력발전기는 운영특성과 계통 연계특성의 적합도에 따라 여러 가지

형태로 채용되어 왔으나 일반적으로 풍력발전기는 풍속과 풍량 등 기후 조건의 변화에 따라 큰 출력 변화를 나타내므로 풍향 변화에 대하여 안정된 전력을 생산할 수 있고 구조가 간단하며 견고한 유도기 형태의 발전기들이 현재 가장 많이 보급되어 있다. 유도발전기는 전원에서 공급되는 고정자권선의 교류전류에 의한 전자유도작용에 의해 회전자에 교류기전력이 유기되며 이 회전자가 고정자 교류전류의 회전자계보다 빨리 회전하면 유도발전기로 동작하게 된다. 따라서 유도발전기는 단독운전이 안되며 반드시 계통과 연결되어 있어야만 발전이 가능하게 된다. 그러나 유도발전기는 동기발전기에 비하여 조속기와 여자기 같은 주변장치가 없어 매우 간단한 형태로 구성되어 있지만 회전자의 여자전류는 결과적으로 계통으로부터 전자유도현상에 의하여 공급받기 때문에 배전계통에 연계되는 순간 계통에 과도현상이 발생한다. 따라서 시화방아머리에 설치된 풍력발전기는 이러한 과도현상을 억제하기 위하여 동기속도 부근에서 발전기를 계통에 점진적으로 연결시켜주는 Soft Cut-in 시스템을 적용하였다. <그림2>는 Soft Cut-in 시스템의 회로도이다. 회전자의 속도가 동기속도의 98%에 도달하면 발전기 주 차단기를 Close시키고 회전자 속도가 98% 이상으로 계속 증가하면 Thyristor의 점호각을 서서히 감소시키고 동기속도에 도달하면 Thyristor의 점호각을 0으로 제어하여 풍력발전기를 계통에 연계하고 이후 Bypass-contactor를 Close시켜 전력계통에 전기적인 과도현상을 최소화 시켜준다. 이와 같은 Soft Cut-in 기법을 이용하면 농형유도발전기의 경우 계통연계시 배전계통에 나타나는 과도현상을 크게 감소시킬 수 있다.



<그림 2> Soft Cut-In 회로도

시화방아머리 풍력발전기는 한전 변전소로부터 약40km정도 이격되어 있는 배전선로 말단부에 설치되어 있으며 배전선로의 최대부하는 약12MW로 선로 용량이 거의 포화 상태이며 부하율은 약60% 정도이다. 특히 Peak 부하가 24시부터 03시까지 심야에 발생하는 특징이 있어 중부하시 선로의 전압관리에 어려움이 있다. 시화방아머리 방아D/L 배전선로에 연계운영중인 풍력발전기는 Soft Cut-In 방식의 유도발전기이며 설비 사양은 <표 1>과 같다.

<표 1> 풍력발전기 사양

Model	HJWT1500/77
정격출력	1,500kW
로터직경	77m
정격전압	690V
발전기형식	농형유도발전기
정격속도	1,832 rpm

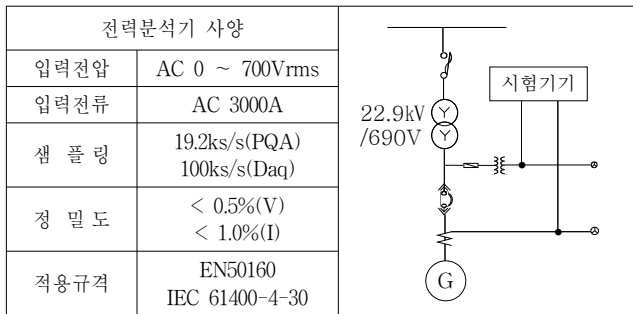
2.2 전력품질 측정

양질의 전력생산을 위하여 분산전원의 전력품질을 측정하는 것은 전력회사의 공급신뢰도 향상 뿐만 아니라 전기 사용 기기들의 고장을 예방하여 사용자들의 불편을 해소하기 위하여 수행된다. 이런 관점에서 풍력발전기의 전력품질측정은 풍력에 의해 발생하는 전력의 질을 평가하는 것으로 전력품질 저하의 여러 가지 요인들을 정확히 측정/분석하는 것은 매우 중요한 일이며 측정 사항은 일반적으로 <표 2>와 같다.

<표 2> 전력품질 측정 데이터

구분	항목
Trend	전압, 전류, 주파수, 전력, 역률, 불평형률
Event	순시전압변동, 저전압, 과전압, 주파수변동
Wave	3상전압, 전류파형
Harmonics	50차 각 차수별 크기

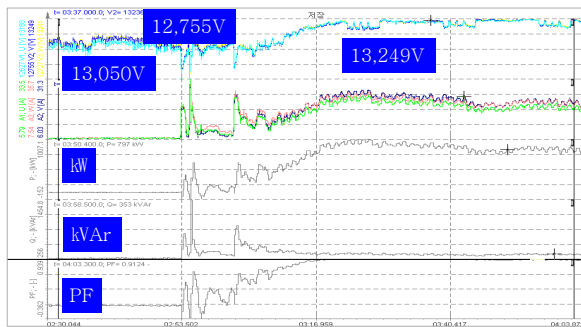
시화방아머리 풍력발전기의 전력품질 측정은 <그림 3>과 같이 발전기 출력단자와 변압기 사이 CT/PT에서 측정하였다.



<그림 3> 전력품질 측정위치 및 전력분석기 사양

2.2.1 계통연계시 과도현상

유도발전기는 여자전원을 계통으로부터 공급받아 발전하기 때문에 배전계통 연계시 여자돌입전류가 흐르게 되며 이러한 여자돌입전류에 의하여 전압강하가 나타나게 된다. 그리고 과도상태에 발생하는 돌입전류는 매우 빠르고 큰 자속의 돌입전류에 의한 성분과 이보다 느리지만 동작슬림으로 유도발전기 속도의 변화에 의해 발생하는 과도성분으로 나누어진다. 이러한 돌입전류를 억제하기 위하여 농형유도발전기의 경우 Soft Cut-in 방식이 적용된다. <그림 4>는 시화방아머리 풍력발전기를 계통에 연계할 때 연계점에서의 과도현상(전압,전류)을 부하대별로 측정 한 예이다. 측정결과 풍력발전기가 계통에 연계되기전 22.9kV선로의 전압이 약 13,050V 정도로 정격전압(13,220V)보다 약 1.3% 정도 낮은 전압을 유지하고 있었음. 그러나 계통에 연계되는 순간 전압은 12,755V로 약 295V(2.2%) 정도의 전압강하가 발생하였으나 발전기 정격전압 대비 96.5%로 양호한 특성을 나타내고 있어 Soft Cut-in 기법을 통한 계통연계는 돌입전류로 인한 전압강하 현상이 적은 것을 알 수 있었으며, 계통에 연계된 이후 풍력발전기의 출력 증가에 따라 계통전압이 13,249V로 약 1.5% 정도 증가됨을 측정하였다.



<그림 4> 계통연계시 과도현상(전압/전류)

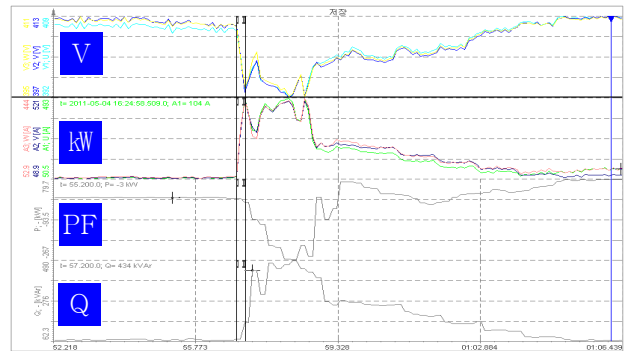
계통연계 운전중 전압/전류/주파수/고조파 및 전압불평형 계수를 측정 한 결과 <표 3>과 같이 전압은 풍력터빈의 출력단자에서 10분 평균 데이터로 측정 398V~424V로 공칭값의 $\pm 10\%$ 이내로 측정되었으며, 계통주파수는 공칭주파수의 $\pm 1\%$ (59.4~60.6Hz) 이내로 양호하게 나타났다. 또한 전압불평형 계수는 1.45%로 2%미만의 양호한 특성을 보이고 있다. 배전선로 용량에 비해 풍력발전기의 용량이 상대적으로 적기 때문에 계통연계 이후 배전계통의 풍력발전기에 의해 주파수가 변동된다고 판단하기에는 무리가 있다. 그러나 풍력발전기의 출력이 저출력에서 고

출력으로 변동될 경우 전압변동을 살펴보면 물론 배전계통의 부하량에 따라 크기는 상대적으로 저출력에서는 계통전압이 강하되고 고출력에서는 유효전력의 공급이 커지므로 계통의 전압은 상승한다.

<표 3> 연계운영중 전압/주파수 측정

측정시간	전압[V] (10분 평균치)	기준(V)	주파수[Hz] (10분 평균치)	기준(Hz)
22:00 ~ 08:00	최대	418	60.041	60±2%
	최소	398		
08:00 ~ 18:00	최대	421	60.045	(61.2Hz ~ 58.8Hz)
	최소	402		
18:00 ~ 22:00	최대	424	60.005	
	최소	409		
전압 불평형계수	1.12%	2%미만	1% 미만	

유효/무효전력 및 역률을 측정해보면 <그림 5>와 같으며 무효전력은 계통연계후 4.5 Cycle동안 급격하게 증가하지만 계통연계 이후 정상상태에 이르게 되며 유효전력의 변동에 비례해서 증감하게 된다. 시화방아머리 풍력발전기는 역률개선용 콘덴서가 설치되어 있어 풍력발전기가 계통에 병입되면 콘덴서가 투입되어 정상적인 역률을 유지하게 된다.



<그림 5> 계통연계시 유/무효전력

시화방아머리 풍력발전기의 풍향에 따른 출력변동 특성을 살펴보면 해안가에 위치한 관계로 돌풍과 같은 급격한 풍속 변동은 없으나 기동임계 풍속에서 계통병입용 차단기가 빈번하게 동작하게 되는데 이 경우 전압강하가 빈번하게 발생되기 때문에 계통전압관리에 어려움이 있다. 풍력발전기 운영중 전압고조파 THD는 약 3.7%로 기준값 5% 이내로 정상적으로 측정되었다.

3. 결 론

분산형 전원 배전계통 연계 기술기준에 따르면 분산형 전원의 연계로 인하여 특고압 배전계통의 상시전압변동률 및 순시전압변동률이 각각 2%를 초과하지 않도록 규정하고 있다. 그러나 농형 유도발전기를 사용하는 풍력발전기의 경우 계통연계시 여자돌입전류로 인한 전압강하 현상이 배전계통에 영향을 미치게 된다. 따라서 풍력발전시스템의 계통연계를 위해서는 여러 가지 전력품질 항목중 전압변동으로 인하여 기존 배전계통내 수용가 피해를 주지 않도록 하여야 한다. 본 논문에서는 풍력발전시스템이 배전선로에 연계되었을 경우 연계점에서의 전력품질을 분석하였는데 계통연계시 돌입전류에 의한 순시전압강하 현상에 대해서는 Soft Cut-in 방식을 적용하여 여자돌입전류를 제어함으로써 전압강하 현상이 완화되는 것으로 측정되었으며 계통병입 이후에는 풍력발전기의 출력 증가에 따라 선로 전압이 상승함으로써 계통 말단의 전압강하 현상을 일정부분 보상해주는 역할을 하는 것으로 분석되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 장성일,정정찬,최정환,박제영,김광호, “ 농형 풍력 유도발전기의 운전 특성에 관한 연구”대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2002
- [2] 옥연호 외 3명 “분산형 전원의 계통전압 상승 현상 분석” 전력계통 연구회 춘계학술대회 논문 2010.5
- [3] Fengquan Zhou, Geza Joos, Senior Member, IEEE and Chad Abbey, “ Voltage Stability in Weak Connection Wind Farm” 2005
- [4] IEC : Wind Turbine Generator Systems IEC 61400-21 Part 21 : Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines, 2001