

계통 연계 대관령 풍력실증단지에서의 전력 품질 모니터링

권혁준* 김광호* 장성일** 유능수*
*강원대학교, **서울대학교

A Power Quality Monitoring of The Grid-connected Wind Turbine in Daegwallyeong Test Site

H. J. Kwon K. H. Kim* S. I. Jang** N. S. Yoo*
*Kangwon National University **Seoul National University

Abstract - This paper describe the power quality monitoring results of the grid-connected wind turbine generator in Daegwallyeong Test Site. The power quality monitoring for grid-connected wind turbine generators are important to verify their performance as the grid-connected generators. In order to measure the impacts on the grid of wind turbine generator and evaluate the performance by analyzing electrical parameters, we equipped the power quality monitoring system in the real field of the Daegwallyeong test site. The developed monitoring system gathers information by remote access through the internet. The monitoring results and the detail explanation for the developed wind turbine monitoring system is presented in the study.

kW 영구자석형 동기발전기이다.

A. 풍력발전기 사양

대관령 풍력 발전 단지의 배전 계통에 연계된 풍력발전기는 증속기(gear box)가 제거된 직접 구동형 풍력발전기이며, 영구자석형 동기발전기를 사용함으로써 소형화 및 경량화의 특징을 가지고 있다. 또한 이 시스템은 AC-DC-AC 계통 연계 방식으로 기존 연계 계통에 미치는 영향을 최소화 시키는 특성을 가지고 있다. 발전기의 Blade 회전자 직경은 48m이고 허브까지의 높이는 46m이다. 전기적 특성의 일반적 사양은 표1과 같다.

표 1 계통 연계 풍력발전기의 사양

제조회사/모델명	JEUMONT / J48
정격출력	750 kW
시동풍속	3 m/s
정격풍속	13.5 m/s
정지풍속	25 m/s
한계풍속	70 m/s (5초간)
발전기 형식	영구자석형 동기발전기
냉각방식	수냉식
컨버터	AC/DC/AC, IGBT Vector제어 시스템
출력제어방식	가변속, stall 제어방식

1. 서 론

근래 들어서 증대하는 전력수요와 전력수급의 안정적 인 확보를 위하여 대규모 발전설비의 투자보다는 소규모 분산전원의 도입 및 설치가 대안으로 주목받고 있다. 특히 에너지 생산비용이 타 발전설비에 비하여 비교적 적은 풍력발전단지의 보급이 최근에 급격히 확대되고 있는 실정이다. 현재 전력계통에는 여러 가지 분산전원이 계통에 연계되어 운전되고 있고, 각각의 분산전원은 계통 연계 시 다양한 특성을 나타내므로 전력 품질에 대한 연구와 분석이 요구된다.[1] 특히 풍력발전기의 경우 풍황 조건에 따라 발전되는 전력량의 변화가 크므로 연계 계통 전압의 변동에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이에 계통에 대한 풍력발전기의 영향을 살펴보기 위하여 풍력발전기의 전력 품질의 모니터링이 필요하다.

본 연구에서는 대관령 실증단지에 설치된 풍력발전기의 전력 품질 모니터링 시스템과 측정된 전력 품질 결과를 제시하고자 한다. 대관령 풍력 실증단지에 설치된 전력 품질 모니터링 시스템은 일정한 주기를 기준으로 전압과 전류의 고조파 특성, 발전기 출력 특성, 플리커 지수 등 다양한 파라미터를 측정할 수 있다. 특히 대관령 풍력발전단지에서 측정된 정보들은 원격지에서 인터넷을 통하여 얻을 수 있으며, 전력품질 측정 장치의 재설정 등이 가능하다. 본 연구에서는 대관령 풍력발전단지에 설치된 인버터형 750 kW Jeumont J48 기종을 중심으로 전력 품질 모니터링 결과를 제시하였다.[2]

2. 본 론

2.1 풍력발전기 및 연계 배전 계통

본 논문에서는 전력계통 품질 해석 장비인 Power Recorder를 이용하여 22.9 kV 회계 변전소 배전 계통에 연계된 대관령 풍력실증단지에 설치된 발전기 1기의 전력 품질을 측정하였다. 풍력발전기는 Jeumont J48 750

B. 22.9 kV 연계 배전 계통

풍력발전단지가 연계 된 배전계통은 변전소 변압기 단락용량 100 MVA, 22.9 kV 계통으로서 ACSR 160 mm² 와 95 mm²의 배전선으로 구성되어 있다. 모선에는 서로 다른 부하 용량을 가진 5개의 간선들로 이루어져 있으며, 배전계통과 풍력발전기는 Y-Δ, 22900/690 V의 변압기로 결선되어 있다. 그림 1은 풍력발전기가 연계된 22.9 kV 대관령 배전계통의 단선도를 나타내고 있다.

2.2 전력품질의 모니터링 및 분석

본 절에서는 풍력발전기 1기에 대한 계통 연계 시 측정되어지는 전력 품질에 대한 모니터링 및 분석을 수행하였다. 이 때의 전력 품질 파라미터는 각 상의 전압, 전류, 발전량, 고조파 왜형률, 플리커 지수 등이다. [3][4]

A. 전력 품질 측정 시스템

대관령 풍력실증단지에 설치된 전력 품질 모니터링 장비는 IEC 61400-21 규정에 정의된 풍력발전기 전력 품질 지수들을 측정할 수 있는 장비이며 4 MB의 램과 하드드라이브를 내장하고 있어 일정기간 동안의 결과를 장시간 저장할 수 있다. PT (Potential Transformer) 입력

단자와 CT (Current Transformer) 입력단자가 각각 4, 5개가 설치되어 있으며 영상전류에 대한 결과도 모니터링이 가능하다. PT는 22900/110 V의 변압비를, CT는 50/5 A의 변류비를 가진다. 설치된 전력 품질 모니터링 장비는 인터넷을 이용하여 데이터의 취득 및 설정치 변경 등 다양한 작업들에 대한 원격제어가 가능하다.

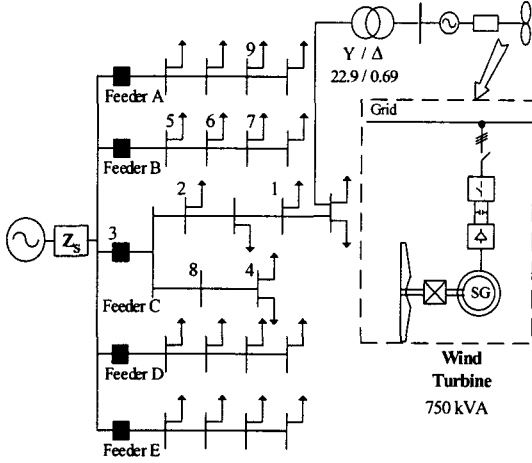


그림 1 풍력발전단지가 연계된 22.9 kV 배전계통 단선도

B. 전력 품질 측정

대관령 풍력실증단지에서 연계된 750 kW 인버터용 풍력 발전기의 전력 품질을 측정하기 위하여 22900/690 승압용 변압기의 2차측에 설치된 차단기의 양단에 CT와 PT를 설치하였다. 이들 전압, 전류의 정보는 연구동에 설치된 전력 품질 측정 장치의 입력으로 사용되며, 연구동에 설치된 컴퓨터를 통하여 제어하였다. 그림 3은 대관령 풍력 실증 단지에 모니터링 시스템의 구성도이다. 본 연구에서는 원격제어를 통하여 2004년 4월 2일부터 2004년 4월 26일까지의 실시간 데이터를 측정하였다. 측정된 데이터는 10분간의 평균 데이터로 분류하고, 풍력발전기의 정지 시에도 계통의 전력품질 데이터가 지속적으로 메모리에 저장되도록 설정하였다. 본 연구에서는 각 상의 실효치 전압과 전류, 피상전력, 유효전력, 무효전력, 전압과 전류의 고조파 왜형률(THD), 플리커 지수(P_{st} , P_{it})를 모니터링 하였다.[5]

C. 측정 결과 및 분석

그림 3과 같이 구성된 대관령 풍력 실증단지에서 측정된 인버터형 풍력발전기의 전력 품질 결과를 그림 4, 5, 6, 7에 제시하였다. 그림 3은 전력 품질 장치의 입력으로 사용되는 CT와 PT의 출력값으로 PT의 출력값은 변압기 1차측 전압 690 V로 환산한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 각 시각별 풍황 조건의 변화로 인하여 높은 전류의 변화율을 확인할 수 있다. 풍력발전기 연계점 전압도 발전기 출력이 증가함에 따라 상승하는 것을 알 수 있다.

그림 5는 모니터링 기간에서의 유효전력과 무효전력 및 피상전력에 대한 결과 값이다. 그림에서와 같이 전류 증가와 유사한 패턴으로 전력의 변화가 발생하는 것을 알 수 있다. 발전기의 유효전력이 발생하지 않을 경우에도 대략 10 kVar을 발전기에서 소비하는 것을 볼 수 있다. 실증 단지에 설치된 발전기는 모니터링 기간에 최대 310 kW까지 발전하였다.

그림 6와 7은 풍력발전기의 품질 정도를 평가하는 파

라미터를 모니터링한 결과이다. 본 연구에서는 전력 품질 평가용 파라미터로 전압과 전류 고조파 왜형률 및 플리커 지수를 선택하였다. 전압 고조파 왜형률의 경우 2% 이하로 매우 작은 운전 특성을 나타내었는데, 이 결과는 분산전원 연계 규정에서 설정하고 있는 고조파 왜형률 5%보다 훨씬 작은 결과를 보였다. 풍력실증연구 단지에 설치된 풍력발전기는 인버팅 기법으로 SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation)을 사용하여 계통에 대한 고조파의 영향을 크게 감소시키는 것을 알 수 있다. 반면, 전류 고조파 왜형률은 출력변동에 관계없이 매우 큰 변동을 나타내었다.

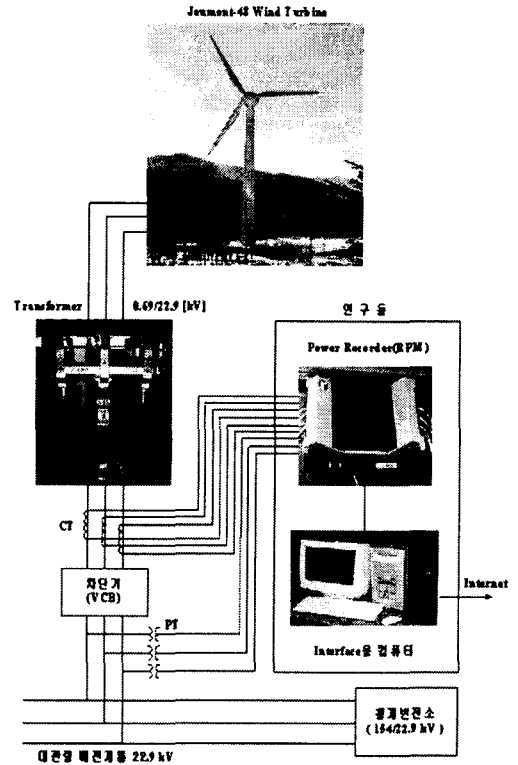


그림 2 22.9 kV 계통에 연계된 풍력발전 모니터링 시스템 단선도

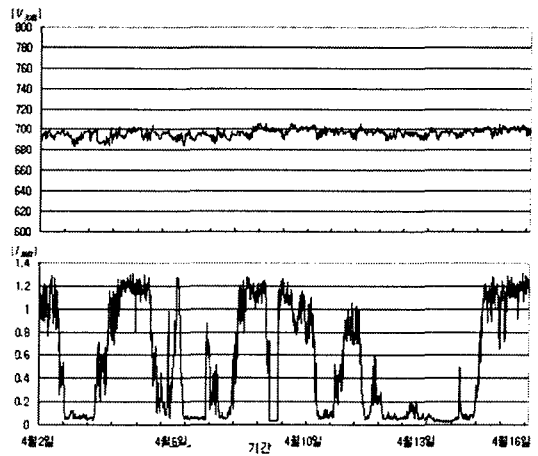


그림 3 풍력발전기의 연계점 전압 및 출력전류

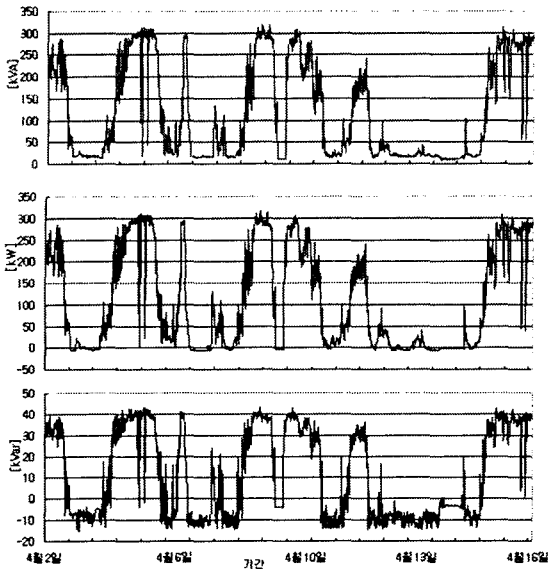


그림 5 풍력발전기의 출력 : 피상전력, 유효전력, 무효전력

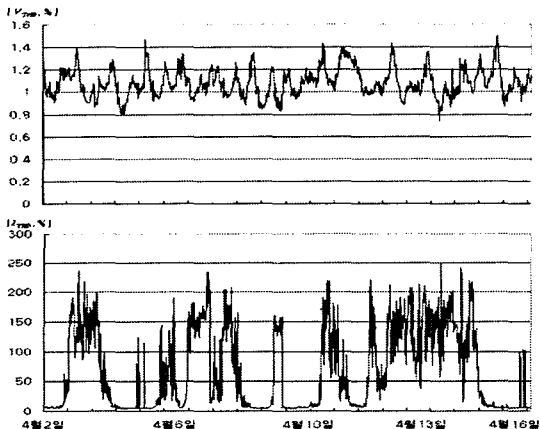


그림 6 풍력발전기의 전압, 전류 왜형률

그림 7은 IEC 868 규정에 따른 플리커 지수로서 10분간의 측정주기를 갖는 Short Term Flicker지수 P_{st} 와 120분의 측정주기에서 연속적인 P_{st} 를 이용한 Long Term Flicker지수 P_{lt} 를 나타낸다. P_{st} 와 P_{lt} 는 전압 변동 정도를 나타내는 지수로서 8.8 Hz를 기준으로 일정기간 동안의 분당 전압변동 횟수 및 크기를 이용하여 계산되어진다. IEC 규정에서 고전압 배전계통과 송전계통에 연계하는 풍력발전 설비의 한계 플리커 지수 P_{st} 는 0.35이하이고, P_{lt} 는 0.25이하이다. 그림에서 알 수 있듯이 대관령 풍력 실증단지에서 설치된 발전기는 플리커가 한계값 이하로 측정되어 계통 영향의 정도가 작을 것으로 나타났다.[6]

3. 결 론

본 연구에서는 대관령 실증단지에서 설치된 풍력발전기의 전력 품질 모니터링 시스템과 측정된 전력 품질 결과를 제시하였다. 대관령 풍력 실증단지에서 설치된 전력 품질 모니터링 시스템은 일정한 주기를 기준으로 전압과 전류의 고조파 특성, 발전기 출력 특성, 플리커 지수 등

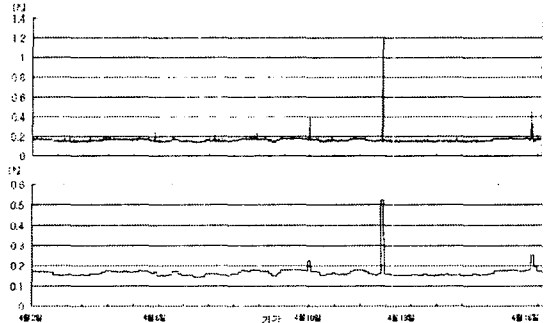


그림 7 풍력발전기의 플리커 지수

다양한 파라미터를 측정할 수 있다. 특히 대관령 풍력발전단지에서 측정된 정보들은 원거리에서 인터넷을 통하여 얻을 수 있으며, 전력품질 측정 장치의 재설정 등이 가능하다. 본 연구에서는 대관령 풍력발전단지에서 설치된 인버터형 750 kW Jeumont J48 기종을 중심으로 전력 품질 모니터링 결과를 제시하였다. 모니터링 결과 발전기 출력이 증가함에 따라 연계 전압의 상승이 측정되었으며 전압 고조파의 경우 분산전원 연계 규정에 부합됨을 알 수 있었다. 측정된 플리커 지수들은 풍력발전단지의 계통 영향을 살펴보는 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단의 풍력발전시스템의 실증연구단지 조성 및 실증에 대한 연구사업을 통해 이루어 졌으며 이에 감사를 드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Philip P. Barker, Robert W. de Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part1-Radial Distribution Systems." IEEE, No. 0-7803-6420-1/00, 2000.
- [2] Roger C. Duran, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty "Electrical Power Systems Quality" McGraw-Hill, 2002
- [3] IEEE Standards 1159-1995 "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electrical Power Quality"
- [4] Vestas Wind Systems A/S, "Technical report of wind turbine generators " 2001.
- [5] CEI/IEC 61400-21 "Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines"
- [6] CEI/IEC Standards 61000-4-15 "Flickermeter-Functional and design specifications"