

대관령 풍력실증단지의 동기/유도발전기 전력품질 분석

김현한 (한국수자원공사), 정종찬, 기우봉, 이규삼, 김광호 (강원대학교)

The Analysis of Power Quality for the Synchro/Asynchro Generation System in Dae kwan Ryung Actual Wind Farm

Kim, Hyun-Han(Korea Water Resource Corporation)

Jeong, Jong-Chan. Ki, Woo-Bong, Lee Kue-Sam, Kim, Kwang-Ho (Kangwon National University Engineering

Abstract - Wind power plant is based on the wind energy so the active power is frequently changed and connected to grid according with wind condition. These characteristics are bed effect to distribution line. On this reserch, we want to analyze the quality of electric power synchro/asynchronous generation system in Dae Kwan Ryung wind farm. The contents of analysis are active/reactive power variation and total demand distortion and transiency and sag/swell phenomena. we hope this research can contribute to the power quality improvement.

1. 서 론

풍력발전은 바람의 에너지를 전기에너지로 변환시키는 발전시스템으로 바람의 세기에 따라 출력의 변화가 심할 뿐만아니라 계통에 병입 및 분리가 빈번한 특성이 있어 어느 분산형 전원보다 계통에 미치는 영향이 큰 발전시스템이다. 특히 풍력발전 단지는 대부분 지리적 여건상 바람의 에너지를 얻기 용이한 산간 고지대나 해안가 등에 위치하고 있을 뿐만아니라 계통 연계지점이 대부분 배전선로의 말단에 위치하고 있어 풍력발전기의 급격한 출력 변동이 배전선로의 전력 품질에 여러 가지 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 논문에서는 풍력발전설비의 전력 품질을 분석함으로써 계통에 연계될 경우 전력 품질에 미칠 수 있는 영향을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 동기발전기 시스템

대관령풍력실증단지에 설치된 동기발전기는 영구자석을 이용한 동기발전기로 용량은 750kW이다. 동기발전기의 경우 교류계통과 직접 연계하는 AC링크 방식은 발전기 출력단자의 전력이 계통의 주파수, 전압, 위상과 완전히 동기화하기 때문에 기동시 과도현상이 없을 뿐만아니라 계통의 주파수 변동과 연계하여 출력을 제어할 수 있다. 그러나 풍력발전기의 경우 바람의 급격한 변동이 동기탈조 등의 문제점을 발생시킬 수 있기 때문에 풍력발전의 동기발전기는 대부분 그림 1과 같이 발전기 출력을 정류기를 이용하여 동기화 시켜 계통에 연계시키는 DC링크 방식이 많이 사용된다. 따라서 DC링크 방식은 고정익의 소형 풍차나 다극발전기를 이용한 증속기가 없는 직결식 풍차 등으로 채용되고 있는 가변속 풍차에 주로 사용된다. 그러나 영구자석용 동기발전기는 계통 전력이 상실되더라도 계속해서 전력을 계통에 공급하는 고립운전의 가능성이 있으므로 이에 대한 대책이 필요하다.

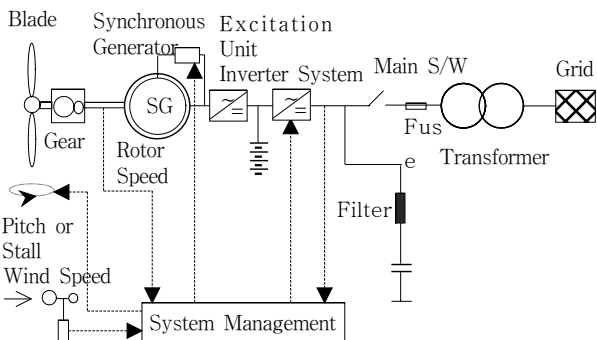


그림 1 동기발전기 시스템도

2.2 유도발전기 시스템

유도발전기는 동기발전기에 비해 조속기와 여자기 같은 주변정치가 없어 유지보수가 편리하며 주변환경에 크게 영향을 받지 않아 열악한 환경에 적용하기 쉬운 반면 여자전류를 계통으로부터 공급 받기 때문에 계통전원 상실시 단독 운전이 불가능하여 계통 순간 정전시에도 발전기가 정지되어 가동률이 낮아지는 특징이 있다. 유도발전기 원리는 유도전동기와 같으며 다만 회전자 속도가 계통주파수의 회전자계 보다 빠르게 회전하여 부(-)의 슬립이 될 경우 전력을 계통으로 공급하는 원리이며 회전자 슬립의 증가에 따라 출력이 변한다. 따라서 통상적으로 유도발전기의 회전자 속도는 동기속도 보다 약10%정도 빠르게 회전하도록 되어 있으며 풍력발전기의 경우 블레이드의 피치(Pitch) 또는 스톨(Stall)제어를 통하여 풍속에 대한 최대 출력을 얻을 수 있도록 설계되어 있다. 그리고 농형 유도발전기는 권선형 발전기에 비해 간단하고 경제적이며 튼튼하다는 장점을 가지고 있으나 좁은 영역의 회전자 속도에서만 전력을 생산할 수 있다는 단점이 있는 반면 권선형 유도발전기는 회전자 권선에 연결된 외부저항의 제어를 통하여 -10%슬립 이상까지 동작영역을 확장할 수 있는 특징이 있어 풍력발전기에 주로 사용된다.

2.2.1 직결식 및 Double Fed식 유도발전기

대관령에 설치된 Vestas (V47-660kW)발전기는 직결식 유도발전기이며 동작원리로 시동풍속(4m/s)이상이 되면 주 차단기가 동작하여 계통에 연계되고 시동풍속 이하에서는 계통에서 분리되도록 되어 있다. 계통연계 이후 부터는 풍속에 따라 출력이 변하며 유도기기 특성상 발생하는 기동시 돌입전류에 대한 영향을 저감하기 위하여 Soft Start 방식을 주로 사용한다. 그러나 대관령풍력실증단지의 유도발전기는 그림 2와 같이 Double Fed형식으로서 고정자 회로는 계통과 직접 연결하고 회전자 회로에는 Inverter를 이용하여 가변 주파수/전압을 인가함으로써 계통 주파수(60Hz)보다 낮게 회전자계 주파수를 제어 할 수 있도록 시스템을 구성함에 따라 시동속도 이하에서도 회전자의 속도가 동기속도 보다 빠르게 인식되어 발전이 가능하도록 하는 시스템이며 등가회로는 그림 3과 같다.

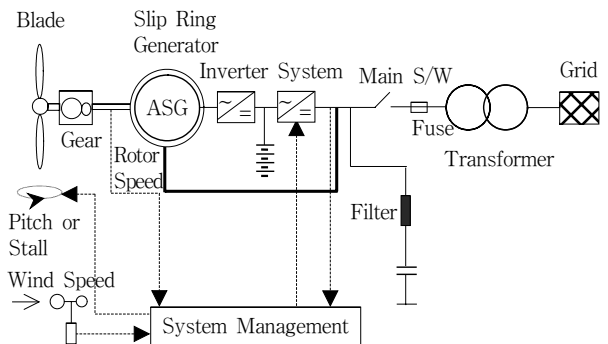
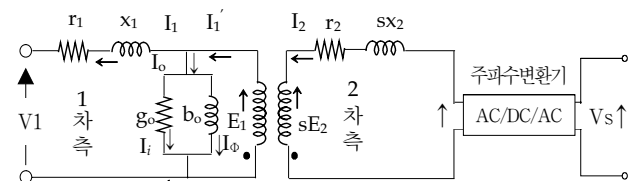


그림 2 Double Fed 유도발전기 시스템



(발전기 : S<0 전동기 : S>0)

그림 3 Double Fed Asynchronous Generator 등가회로

2.3 풍력발전기 전력품질 분석

본 논문에서는 대관령 실증풍력단지를 모델로 전력품질을 분석하였으며 측정은 2006.11부터 2007.4월 기간 동안 수행하였다. 분석내용은 발전기의 기동/정지 횟수와 유효/무효전력의 변동을 측정하였다. 그리고 전력품질의 중요한 요소인 고조파 함유율 및 주파수 변화를 측정하였으며 전압/전류 및 무효전력과 역률에 대해서는 배전계통측과 비교 측정하였고 발전기 운전중 나타나는 순시전압강하(Sag/Swell) 및 전압/전류 과도현상에 대해서도 조사 분석 하였다.

2.3.1 유효/무효전력 변동 및 기동빈도

대관령풍력실증단지의 영구자석형동기발전기와 유도발전기의 출력 Data는 강원대학교 전력계통에너지 연구실에 설치된 원격감시시스템 (ION Enterprise 5.5)으로 측정하였다.

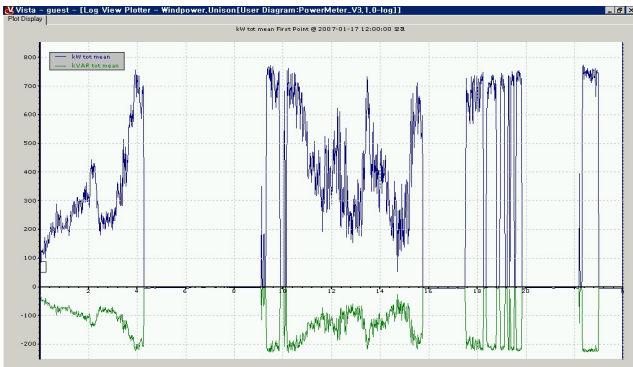


그림 4 유효/무효전력 변동현황

그림 4의 출력값은 동기발전기의 유효/무효전력의 출력값이며 유효전력의 출력변화 정도를 살펴보면 연속 운전시간에도 50kW에서 정격출력인 750kW까지 매우 급하게 변화하고 있을 뿐만 아니라 기동/정지의 회수도 하루 평균 약10회~25회 정도로 많이 나타나고 있다. 이것은 풍력발전기의 설치위치가 산간지방과 같이 지형이 매우 복잡한 곳에 설치될 경우 평지나 해안가 보다 상대적으로 큰 난류를 발생 시킬 수 있는데 이것이 급한 출력변동 및 기동/정지의 유발 원인으로 분석되고 있다. 이러한 전력품질 환경이 배전계통에 미치는 영향을 살펴보면 대용량 배전계통에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 되어있으나 도서지역과 같이 단독 선로를 운영하는 곳이나 심야 때 계통 부하가 적을 경우 전압강하 또는 Flicker 발생으로 전력품질에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 따라서 특고압 계통의 상시 전압이 계통의 공급전압 변동범위를 벗어날 우려가 있을 때는 발전설비의 출력전압을 조정하여 전압의 변동을 억제하고 병렬 분리의 빈도를 저감하는 대책을 실시하여야 한다. 이렇게 해서도 대응이 불가능할 경우에는 한류리액터의 설치, 배전선로를 증강하거나 전압선로에 의한 연계 또는 단락용량이 큰 상위전압의 계통에 연결한다.

2.3.2 전압/전류 과도현상

풍력발전기가 계통에 투입되고 정상적으로 전력을 생산하고 있는 동안 전압 및 전류에 나타나는 과도현상이 그림 5와 같이 측정되었으며 이때 출력은 약 90kW정도였다. 측정기간동안 이러한 과도현상은 약 10회/월 정도로 측정되었으나 이로 인하여 발전기 트립 현상은 없었으며 과도현상 지속시간은 대부분 1/2Cycle 이내로서 전압과 전류 파형에 동시에 나타난다.

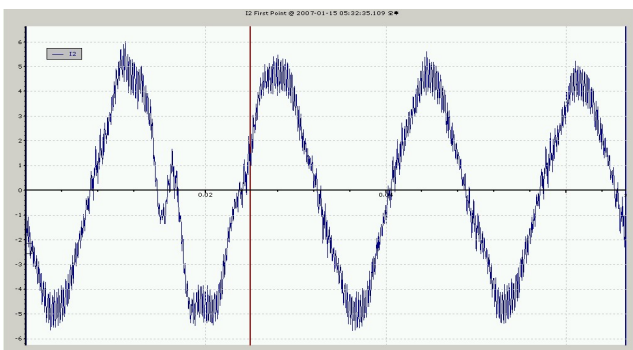


그림 5 전류 과도현상

2.3.3 순시전압강하(Voltage Sag)

순시전압강하시 파형은 그림 6과 같으며 발생 원인은 전력계통의 송배전선로에 낙뢰, 단락, 지락등 기타 사고가 발생하여 보호계전기 동작으로 고장이 제거되기까지 주로 발생한다.

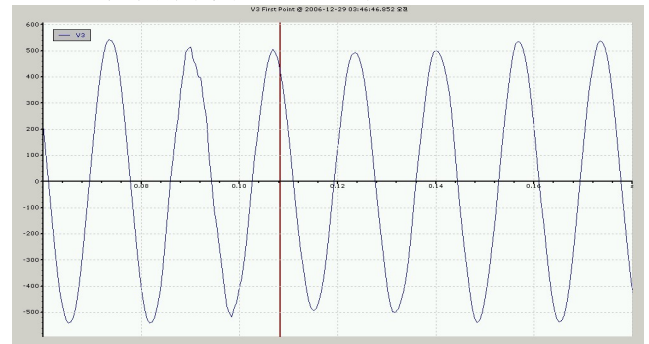


그림 6 Voltage Sag 파형

2.3.2 고조파

발전중 계통에 나타나는 전류 고조파의 종합 왜형률(TDD)은 각 차수별로 다르게 제한되고 있다. 본 측정기간동안 발생한 전류고조파 각 차수별 제한기준을 하회하고 있는 것으로 분석되었다. 또한 10분 평균한 40차까지의 종합 전류왜형률 또한 5%를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

3. 결 론

풍력발전기의 전력은 바람의 에너지를 이용하기 때문에 바람의 환경에 따라 출력 변화가 심하며 기동/정지 빈도가 많은 특징이 있다. 따라서 계통연계시 연계선로의 특성을 충분히 고려하여야 한다. 그렇지 못할 경우에는 배전선로 환경에 따라서 풍력발전기 운영이 오히려 배전계통의 전력품질 저하를 초래하여 풍력발전의 고유의 장점을 충분히 활용하지 못하는 물론 원활한 계통운영에도 지장을 초래 할 수 있다. 본 논문에서 제시한 대관령풍력실증단지의 전력품질 분석 내용에 따르면 이 기간 풍황의 변화에 따라 풍력발전기 출력이 다소 변동하였고, 기동/정지 빈도수도 적지 않아, 대용량의 배전계통에는 큰 영향이 없지만 도서지역과 같이 배전계통이 없이 단독선로를 이용하는 지역이나 심야와 같이 배전계통의 용량이 적을 경우에는 급격한 출력 변동이 전압 및 주파수의 변동을 수반할 수 있어 전력 품질에 나쁜 영향을 미칠 수 있음을 증명 하였다. 고조파의 종합왜형률(THD)의 경우, 측정기간중에는 각 차수별 전류왜형률이 제한범위를 넘지 않았으나, 향후 차수별 제어를 통해 전력품질의 안정화를 도모하는 것이 적절할 것으로 판단되었다. 풍력발전기 운전중 나타나는 순시전압강하(Sag/Swell) 발생 및 전압/전류의 과도현상이 1/2Cycle 정도 발생되었으나 운영에는 큰 지장이 없는 것으로 분석되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 풍력발전 계통연계 기술지침 및 연계선로 운영기준 제정에 관한 연구(산업자원부 2004.8)
- [2] IEEE 519 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System 1992
- [3] 소수력발전소 계통보호방안. (한국수자원공사 발전사업처 2003.12)
- [4] 비접지계통 전기설비 구성방안 연구(한국수자원공사 에너지사업처 2004.11)
- [5] 한국전력공사 계통운영처 『타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호 업무지침』 1996년 8월
- [6] Z.Lubosny Wind Turbine Operation in Electric Power Systems(Advanced Modeling) 2003