

독립형 소형 풍력발전시스템 구성 및 운전특성

황인호

충북과학대학

Configuration and Operation characteristics of a Small stand-alone Wind Power Generation System

Inho Hwang

Chungbuk Provincial University of Science & Technology

ABSTRACT

Most of the present demand in the world is met by fossil and nuclear power plants. A small part is met by renewable energy technologies. Among the renewable power sources, wind and solar energy have experienced a remarkably rapid growth in the past 10 years.

Recently the utilization of wind power has been receiving close attention in this country, especially for the electrification of off-shore islands.

The objective of this study is to demonstrate a small wind energy system as a stand-alone power source.

1. 서 론

풍력 발전 시스템은 자연 에너지원에서 전기적 에너지를 얻는 발전 시스템으로, 에너지 획득 단계에서 공해 물질 배출이 없는 청정 에너지원으로 주목받고 있다. 풍력 발전 시스템은 기존의 발전 시스템과 많은 부분에서 유사하지만 몇몇 부분에서는 기존의 발전 시스템과는 상당한 차이를 보여주고 있다.

소형풍력발전기는 중대형기와는 다른 시스템 구조 및 기술로 분류되며 본 연구에 분석예정인 시스템은 소형이며 독립형시스템의 구조를 이룬다. 독립형 풍력발전시스템은 블레이드, 발전기, 컨트롤러, 배터리 및 인버터 등으로 구성되며 시스템의 적정한 조합은 시스템 효율 및 신뢰성에 직접적으로 관련된다 할 수 있다.^{[1][2]}

본 연구에서는 독립전원 형태의 소형 풍력발전 시스템을 실증하기 위하여 1kW급 풍력발전기의 설치 및 운전특성 분석을 바탕으로 소형풍력 발전기 기술의 개요, 개발 기술 정립, 소형 풍력발전기

운전특성 및 시험분석 등을 중심으로 기술하고자 한다.

2. 풍력발전기술

2.1 기술의 개요

풍력 발전 시스템은 블레이드의 형태, 발전기의 종류, 생산된 전력의 처리 방식에 따라서 다양하게 구분할 수 있다. 풍력 발전 시스템을 생산된 전력의 처리 방식에 따라서 구분하면 계통 연계형과 독립형으로 나눌 수 있으며 시스템의 용량이 커질수록 계통 연계 방식을 선호한다.

계통 연계형은 생산된 전력을 기존의 계통 선로에 공급하는 시스템으로 별도의 전력 저장 장치를 필요로 하지 않는다. 생산한 전력을 계통에 공급하기 때문에 독립형에 비해서 시스템 효율이 높다. 그러나 공급하는 전력의 전압과 주파수, 위상을 계통에 동기시키기 위해서 많은 장치를 필요로 한다.

독립형은 생산된 전력을 별도의 제한된 부하에 공급하는 시스템으로서 섬지역이나 산악지역 등 주로 고립되어 있는 부하에 전력을 공급하기 위해서 사용된다. 이 방식은 전력을 지속적으로 공급하기 위해서 전력 저장 장치나 별도의 발전 시스템을 필요로 하는 단점이 있다.

풍력 발전 시스템은 사용하는 발전기의 종류에 따라서 구분 할 수도 있다. 발전기는 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 장치로 출력 전압 및 구조적 특징에 의해서 직류기, 동기기 그리고 유도기로 나눌 수 있다.

직류 발전기는 풍력 발전의 시작 단계에서 사용되기 시작하였으며 최근에도 수 kW이하의 소형 시스템에서 사용되고 있다. 그러나 다른 발전기에 비하여 발전기의 단위 용량당 부피가 크고, 지속적인 유지 보수를 필요로 하기 때문에 발전 시스템이 대형으로 발전하면서 사용하지 않고 있다.

동기 발전기를 풍력 발전 시스템에 상용하는 경우 발전기 회전속도에 비례하는 출력 전압 주파수를 얻게 되므로 풍속의 낮은 경우 원하는 출력을 얻을 수 없게된다. 이런 문제를 해결하기 위해서 동기기를 사용한 풍력 발전 시스템에서는 일반적으로 컨버터-인버터를 사용한 전력변환방식을 채택하고 있다.

2.2 기술개발 및 보급현황

국내의 풍력발전 및 풍력발전관련 기술개발 사업은 지난 70년대 후반부터 시작하여 초기 5kW급 이내의 낙도 및 오지지역용의 소형 풍력발전기 개발부터 시작된다. 초기 개발당시 풍력발전시스템에 대한 무관심 그리고 주변 기술력등의 미비로 그 발전 진행속도는 매우 미진하였으나, 90년대 이후 기존 화석에너지 사용에 따른 지구 온난화 현상 및 점진적인 화석에너지의 고갈에 따라 대체에너지 개발의 필요성을 인식하였으며, 특히 시범단지 조성 등의 계기로 중대형 풍력발전기의 국산화 개발에 관심이 고조되었다. 현재 정부의 적극적인 기술개발 사업등으로 750kW급 풍력발전시스템의 요소기술에 대한 연구가 수행중에 있다.

2000년 12월말 현재 전세계에 보급된 풍력발전기 규모는 총 17,706MW로 매년 25~30%의 성장률을 기록하고 있는데 비해 국내 시장은 국가 주도의 시범사업과 지역에너지사업을 통해 2001년 현재 국내에는 7.4MW의 풍력발전기가 보급되어 있다. 그러나 민간기업의 투자여부를 좌우하는 전력구매 가격이 기대치에 이르지 못해 활발한 민간투자가 이루어지지 못하여 정부의 한정된 예산 수준에서 연간 30~60억원 규모의 시장이 형성되어 왔다. 그러나 현재 추진 중인 대체에너지 지원법안의 전력구매 가격이 민간 투자를 유도할 수 있는 수준에서 산정될 것으로 보여 앞으로 시장 규모의 급속한 확대가 기대 된다.

2.3 소형 풍력발전기술

현재 전세계적으로 소형 풍력발전기를 생산하는 제작사는 약50여개 업체로서 100여개의 다양한 모델이 시판중에 있고, 세계 최대의 소형 풍력발전기 수요국인 중국에서는 내몽고 지역을 중심으로 수만여대의 소형 풍력발전기가 운전 중에 있다. 미국의 경우에는 1978년 PURPA 법률이 통과되면서 획기적으로 기술개발과 보급이 이루어져, 약 4,000여기의 소형 풍력발전기가 설치 운전 중에 있다.

소형 풍력발전 관련 기술도 80년대에 많은 제작사들이 기존의 DC발전기 이용 기술에서 영구자석을 이용한 영구자석형 AC 발전기 기술을 개발하면서 획기적인 전기를 마련하게 되었다. 이외에도 소형의 계통연계형 풍력발전기를 유럽지역에서 개발 보급하기도 하였으나, 기술적인 난제 및 가격상의 불리함에 의해 현재는 거의 개발되고 있지 않은 상태이다.

국내의 경우에는 1970년대의 유류파동이후 풍력발전 연구를 시작하였는데, 대부분 소형 풍력발전기로써 1975년도에 한국과학기술원(KAIS)에서 경기도 화성군 엇섬에 설치한 2kW급 풍력발전기가 국내 풍력발전기의 효시이며, 1990년대 이전까지 약20여대의 소형 풍력발전기(1~14kW)가 독립전원공급용으로서 연구개발의 시제품으로 또는 외국으로부터 도입하여 설치되었으나, 지속적인 지원부족이나 관리 소홀 등의 이유로 대부분 철거되어 뚜렷한 성과를 올리지 못한 상태이다.

그러나, 최근 정부의 농어촌전화촉진법에 의한 도서지역 전화사업은 50호 이상 80여개 도서에 대해서는 이미 완료되었으나, 현재 제한송전이나 미전화 도서로 남아있는 50호 미만의 102개 도서 1,320호에 대해서는 상시전원 공급을 위해 대체에너지 전원에 의한 전화사업의 검토가 진행되고 있어 소형풍력발전기가 독립형으로 또는 타전원과의 복합발전 형태로 활용될 가능성은 크다고 볼 수 있다.

표 1 국내 소형 풍력발전기 기술개발 현황

설치년도	용량(kW)	댓수	주관기관	제 작 사	설 치 장 소	비 고
1975.1.	2	1	KAIS	KAIS	경기 화성군 엇섬	최초(철거)
1979.12.	5	1	KIST/KIER	Electro GmbH	전북 옥구군 죽도	철거
1980.3.	10	1	KIST	MAN	전북 옥구군 개야도	철거
1984.6.	14	1	KAIST	MAN	제주 북제주군 월령리	철거
1990.3.	20	1	한국풍력발전기	JACOBS	전북 옥구군 신시도	가동 중지
1992.7.	20	1	KIST	KIST	제주 북제주군 월령리	철거
1998.10.	10	1	KIER	WEST-WIND	제주 북제주군 월령리	시험

3. 독립형 소형 풍력시스템 구성 및 설치

제작 설치된 소형 풍력발전기는 1 kW 시스템으로 블레이드, 발전기, 제어기, 축전지, 주탑, 및 인버터 등으로 구성되는 독립형으로 설계되어 있다. 제어기는 풍력발전기의 교류출력을 직류로 변환하여 축전지 및 인버터에 공급할 뿐 아니라 과충전·과방전 방지 등 전체 시스템의 제어기능을 수행한다. 축전지는 바람이 없는 날을 대비하기 위한 전력저장의 목적으로 설치되었고, 50Ah 밀폐형 연축전지 4개를 24V 직병렬로 연결하였다. 주요 구성 기기별 시스템 구성은 표 2와 같다.

표 3은 국내에서 제작된 1kW 풍력발전기의 주요 제작 사양을 나타낸 것으로 시동풍속은 2.8 m/s 이고 최대풍속은 10.5m/s이며 이때 발생하는 최대전력은 1.06 kW이다. 그림 1은 건물 옥상에 설치된 풍력발전기 모습을 보여준다.

표 2 독립형 풍력발전시스템 개요

기기별	구성내역
풍력발전기	1kW(동기발전기 type)
pole	7.5M
제어장치	충전기(1kw) 및 시스템 제어
축전지	밀폐형 연축전지 50Ah x 4
인버터	1kW(입력 DC24V, 출력 AC220V)
부하장치	저항부하(800W)



그림 1 소형 풍력발전시스템 설치 전경
Fig. 1 View of a small wind power system

표 3 풍력발전기 규격

항 목	제작사양
회전날개 직경	1.06 M
회전반경	3.53 M
회전 날개수	3 개
정격전력	222 W
정격풍속	10 m/s
최대전력	1000 W
최대풍속	10.05 m/s
시동풍속	2.8 m/s
출력전압	24 V

4. 시험 운전 결과

설치후 약 10개월 이상의 장기 시험운전을 통하여 시스템의 성능 및 운전 신뢰성을 검토하였다. 시험운전기간 동안 기계적인 고장이라던가 특별한 트러블이 발생하지 않아 독립형 시스템으로서 전체적인 시스템의 운전 신뢰성은 상당히 안정적인 것으로 확인되었다.

그림 2는 1kW 풍력발전기의 출력특성곡선으로 풍황에 따른 출력 측정값을 plotting한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 약 3m/s 이상의 풍속에서 충전이 가능한 것으로 측정되었고 전체적인 출력특성은 제작사양에 미치지 못하는 것으로 나타났는데 이는 축전지가 있는 독립형 시스템이기 때문에 감소한 것으로 보인다.

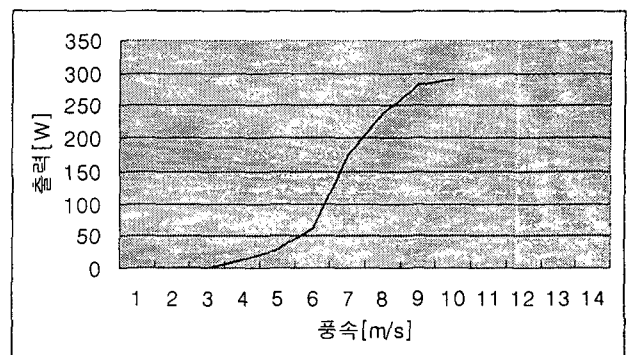


그림 2 출력곡선
Fig. 2 Output curve

그림 3은 풍력발전기에서 나오는 교류출력전압과 출력전류 파형을 측정된 것이다. 대칭 3상 교류출력이 동기발전기로부터 출력됨을 볼 수 있다.

그림 4, 5는 발전출력에 따른 선간전압 및 전류파형으로 저출력에서는 정현파 출력의 교류가 발생하지만 출력이 증가함에 따라 전압 전류 파형의 왜곡이 심해지는 것

으로 측정되었다. 또한 이로 인하여 직류측에도 전압전류의 리플이 커짐을 확인할수 있었다.

그림 6은 발전기 출력전압의 전압파형 및 FFT 분석 결과이다. 교류출력전압의 주파수는 출력에 따라 20~30Hz 범위에서 변동하였고 출력이 증가하면 주파수도 약 30Hz 정도로 증가하였다.

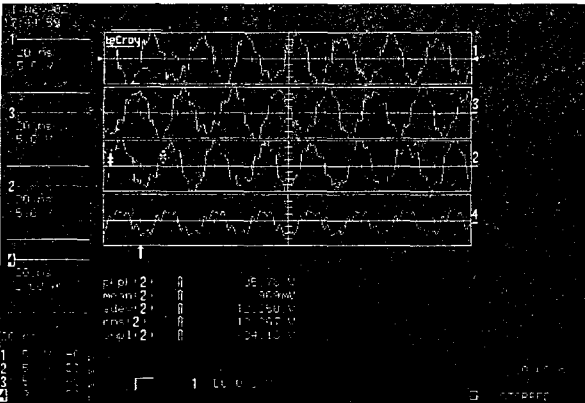


그림 3 3상 출력전압 및 전류 파형
Fig. 3 Waveform of 3 phase output

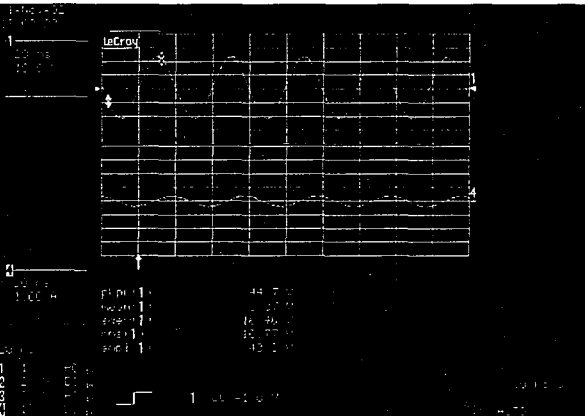


그림 4 출력전압 · 전류 파형(16V, 0.24A)
Fig. 4 Output waveform(16V, 0.24A)

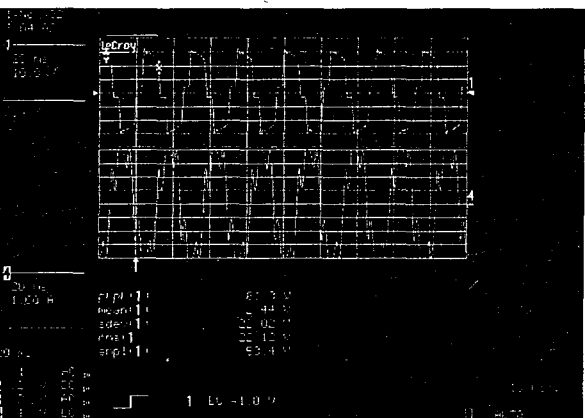


그림 5 출력전압 · 전류 파형(22V, 4A)
Fig. 5 Output waveform(22V, 4A)

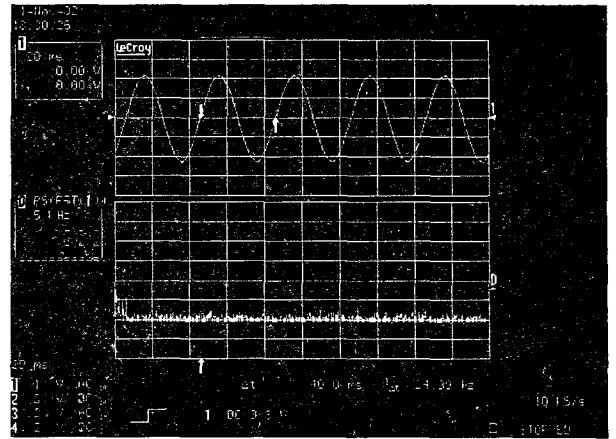


그림 6 출력전압과 FFT(f=24.99Hz)
Fig. 6 Output voltage and FFT(f=24.99Hz)

5. 결 론

소형 풍력발전시스템의 독립전원으로서의 활용가능성을 실증하기 위하여 1kW급 시스템의 제작 설치 및 시험 운전을 통한 운전 결과를 분석하였다. 풍황조건에 따라 출력파형의 변화가 심하고 출력특성은 일부 제작사양에 미치지 못한 것으로 나타났으나, 전체적으로 시스템 동작 자체는 안정한 특성을 보인 것으로 분석되었다.

향후 소형 풍력발전기의 보급을 확대하기 위해서는 저가의 연계형 시스템 개발을 통해 도서지역의 디젤이나 태양광발전시스템과의 연계방안 등도 고려되어야 할 것이다.

이 논문은 충북과학대학의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] “소형수평축 풍차 및 풍력발전시스템 개발에 관한 연구,” 한전 전력연구원, 1989.
- [2] M. R. Patel “Wind and Solar Power Systems,” CRC Press, 1999.
- [3] IEA, “Wind Energy Annual Report,” 1999.