

독립형 소형 풍력발전 시스템에 관한 연구

김형길* 공정식** 서영택*** 오철수****

(주)서영테크* 서라벌대학** 구미1대학*** 경북대 전자전기공학부****

A Study of Stand Alone Small Wind Turbine Systems

Hyoung-Gil Kim* Jeong-Sik Kong** Young-Taek Seo*** Chul-Soo Oh****

*SEYOOUNG TECH **Sorabol College ***Kumi College ****Kyungpook National Univ.

Abstract - Small wind turbines are becoming a viable technology option to supply electricity to landowners. These systems provide energy security, produce relatively no environmental harm, and in an appropriate setting can be quite cost-competitive with traditional electricity options. This paper is dealing with the methods how to overcome such inconvenience and with the analysis of characteristic and a field test with a prototype of the stand alone wind turbine was performed. The method applies to small systems, equipped with a coreless axial-flux permanent magnet (AFPM) generator in the turbine, a dc-dc converter and batteries. The analysis concentrates on the effect of the load on the power-wind speed curve of the turbine. The system is designed for direct driven, coupled with turbine and generator with a rated power of 3kW.

1. 서 론

21세기에 접어들면서 에너지 소비의 급증으로 인한 석탄, 석유등의 화석에너지 고갈에 대한 위기감이 미래 에너지 공급원으로서의 풍력자원 개발을 촉진시키는 계기가 되었다. 그 뿐만 아니라 화석에너지의 사용으로 인해 유발되는 대기 환경 오염문제는 또 하나의 지구생태계를 위협하는 새로운 문제점으로 등장하면서 대체에너지 개발에 대한 세계 각국의 관심은 더욱 고조되고 있다. 일반적인 발전 시스템에 비하여 풍력은 발전단가가 높고, 바람 자원의 영향을 많이 받는 것이 단점으로 지적되어 왔으나, 발전단가를 줄이려고 각국에서 지속적인 연구가 진행된 결과 많은 성과를 이루었다. 최근 우리나라의 연구 동향은 도서 산간이나 계통에 접근이 용이 하지 않은 지역에 대체 에너지를 활용하는 방안을 연구 중이다.

본 연구에서는 년 평균 풍속이 4m/s이상이고 300kWh/월 부하를 사용하는 3kW급 독립형 소형 풍력 발전 시스템(stand alone small wind turbine system)을 제작하여 실증 실험을 하고 전기적 특성을 다룬다.

2. 본 론

2.1 풍력발전의 개요

바람을 이용하는 풍력발전은 풍속에 의해 발생된 풍력 에너지를 1차적으로 풍력터빈의 회전날개에 의해 기계적 에너지로 변환하고, 이 변환된 기계적 에너지를 이용하여 발전기의 회전자를 구동시켜 최종적으로 전기에너지를 출력시킨다.

풍력발전 시스템에서 단위 면적당 공기 역학적 출력과 이로부터 회전자축에 얻어지는 이상적인 기계적 출력은 다음과 같다.

$$\frac{P}{A} = 0.59 \frac{1}{2} \rho v^3 \quad [kW / m^2] \quad (1)$$

$$\frac{P}{A} = C_p(\lambda) \frac{1}{2} \rho v^3 \quad [kW / m^2] \quad (2)$$

(1)식에서 공기밀도 ρ 는 (1.25±0.04 kg/m³)의 실용값을 쓰는 것이 일반적이며, (2)식에서의 출력계수 $C_p(\lambda)$ 는 날개 단면의 형상에 의해 결정되며 그 최대값이 Betz 상수인 0.59를 넘지 못하며 주속비(λ)의 함수로 나타난다.

그림 1은 바람의 속도와 출력 곡선을 나타내는 그림으로 실제 풍력발전기에서는 일정속도 이상의 풍속이 되면 Blade의 Stall 혹은 Pitch 제어에 의해 출력을 제한하여 발전기를 보호하고 있다.

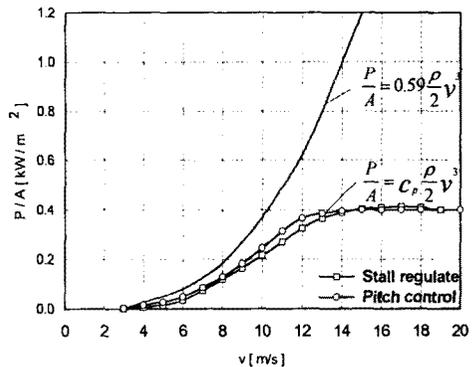


그림 1. 풍력 터빈에 의한 출력 곡선

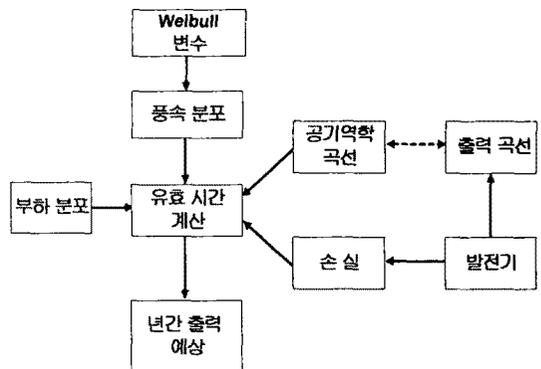


그림 2. 독립형 풍력 발전 설계

2.2 독립형 소형 풍력발전

풍력 발전 설계시 블레이드의 공기역학의 출력 곡선과 발전기의 출력이 일치 하지 않으면 풍속에 대한 정격 출력 및 로터의 회전수가 변한다. Weibull 빈도 함수 k 는 설치 장소에 따라서 다른 값을 적용한다. 일반적으로 내륙에서는 1.4-2.5, 해상에서는 이보다 높은 2.5-3.5를 적용한다. 독립형(stand-alone system)은 계통연계(grid connected system)와 달리 에너지를 저장 할 수 있는 배터리(battery)가 필요하다. 배터리 에너지의 크기는 설치 장소의 연간 풍속에 대한 부하의 크기 및 사용 시간에 따라서 크기를 선택한다.

그림 2는 독립형 풍력 설계 흐름도 이고 그림 3은 3kW 독립형 풍력 발전 시스템 구성도 이다. 풍력발전기는 로터의 회전축을 기준으로 수직축 풍력발전기와 프로펠러형의 수평축 풍력발전기로 구분할 수 있는데, 현재는 2또는3 블레이드(blade) 형의 수평축 풍력발전기가 주류를 이루고 있다. 소형풍력에서 타워의 형태는 자립형(Free standing)과 지선형(Guyed 방식이며, 설치가 쉽고 저가의 지선형 방식이 대부분 사용 하고 있다. 타워의 설치는 높이에 따라서 풍속의 분포가 변하게 되고 주변의 환경 및 지표면의 거칠기에 따라서 출력이 달라 질수 있다. 타워의 높이가 낮아지면 지표면의 공기의 난류의 영향을 받을 수 있으며, 표면이 거칠면 거칠수록 공기의 저항이 커지게 된다. 그림 4는 수평축 소형 풍력 시스템으로 타워, 로터, 발전기, 요잉(Yawing)과 꼬리(Tail)로 구성 되며, 한계 풍속(cut out wind speed)이상에서 풍력 발전기의 파손을 방지를 위해서 부가적인 장치가 필요하다.

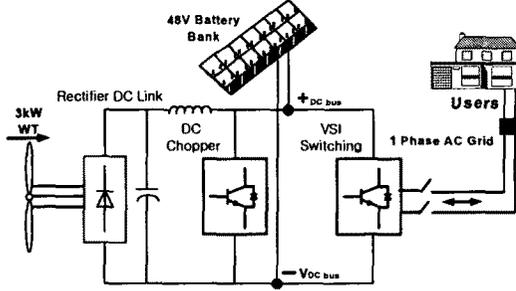


그림 3. 3kW 독립형 풍력 발전 시스템

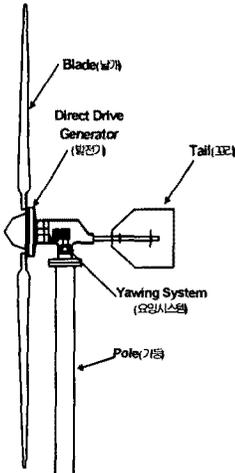


그림 4. 소형 풍력 발전기

2.3 직접 구동형 발전기

축 방향자속 영구자석(Axial Flux Permanent Magnet) 발전기의 구조는 축 방향 길이가 짧고, 반경방향이 상대적으로 큰 디스크 형태이다. 또한 축이 고정되어 있고,

디스크의 외부가 회전자로 동작하는 아웃로터(outer rotor) 방식이다. 따라서 수평축 블레이드를 디스크 회전자에 직접 부착하는 직접 구동형(direct driven) 발전기를 구현할 수 있다. 블레이드에서 발전기 회전자로 이어지는 중간 동력변환 장치가 없기 때문에 에너지변환 효율이 상대적으로 높다. 그림 5-6은 본 논문에 적용한 Prototype 발전기와 부하 특성 곡선으로 정격 회전수 300rpm에서 3.4kW이다.

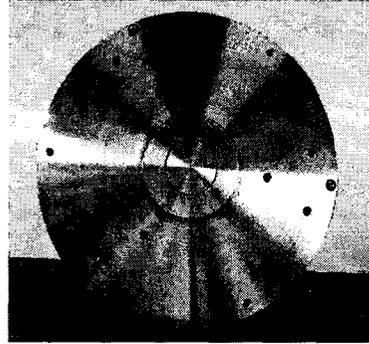


그림 5. AFPM 발전기

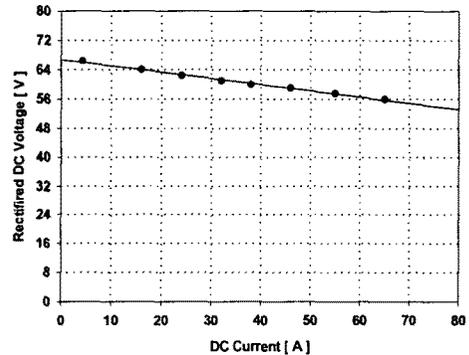


그림 6. 발전기 부하 특성(3.4kW-300rpm)

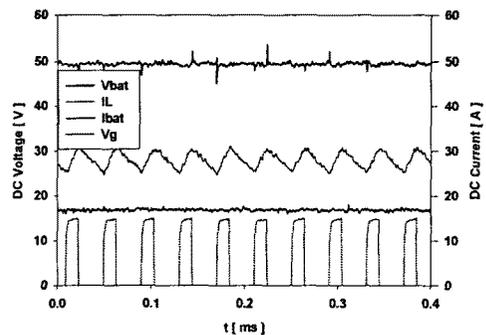


그림 7. DC-DC 컨버터의 배터리 충전

2.4 DC/DC Converter

독립형 소형 풍력발전기는 AC-DC 변환장치를 사용하여 축전지에 에너지를 저장하여 사용한다. 풍력발전기는 바람의 특성상 정격풍속 이하에서 운전되

는 시간이 많다. 따라서 정격풍속 이하의 바람에서 최대 출력(Maximum Energy Capture)을 얻기 위한 DC-컨버터의 제어가 중요하다. DC-DC 컨버터는 48V 배터리 충전용으로 설계하였고, 낮은 풍속에서해서는 발전기의 정류전압이 배터리 단자 전압보다 낮으므로 Boost 컨버터로 동작하게 하여, 풍속이 상대적으로 낮은 영역에서도 Duty ratio의 크기를 제어하여 충전이 가능하게 하였다. 그림 7은 컨버터를 통해서 Battery 충전시 Duty ratio에 따른 인덕터 전류 및 충전 전류를 나타내고 있다.

2.5 시제품 제작 및 결과

본 연구를 수행하기 위해 3kW급 Prototype 풍력발전 시스템을 제작하였으며 독립형 풍력발전용을 이용하여 발생된 전력을 배터리에 저장 인버터(inverter)를 통해서 가동용 부하를 사용하여 실증 실험을 하였다. 발전기는 3상 24극의 영구 자석형 Coreless형의 AFPM 발전기이며 무게는 60Kg이다. 로터 블레이드(blade)는 Whisper-500 2blade이며, 로터 허브(hub)를 제작하여 4.8m로 확장하여 사용하였으며 설치 타워의 근접한 곳에 풍향 풍속 장치(NRG)를 설치하여 바람 자원을 측정하였다. 설치 장소는 강원도 평창군 동강에 위치한다(그림 8).

그림 9는 실증 실험의 결과로서 독립형 풍력 발전기의 풍속에 대한 출력을 나타낸다. 독립형인 경우 배터리 과충전시 시스템을 보호 하고 출력을 소비해야 함으로써 추가적인 부하를 연결하여 사용하여야 한다.

표 1은 3kW급 독립형 소형 풍력 발전 시스템 사양이다.

표 1. Prototype 독립형 풍력 발전기 사양

Generator	3 phase permanent magnet
Rated power	3 kW
Rotor diameter	4.8 m(2blade)
Blade material	Carbon Fiber
Cut in wind speed	2.8 m/s
Rated wind speed	10 m/s
Gear ratio	Direct driven
Yaw system	Tail van(brush)
Turbine brake	Short circuit on generator
Tower height	12 m
Battery	48V-1000Ah
DC-converter	Battery charge
Inverter	220Vac/60Hz

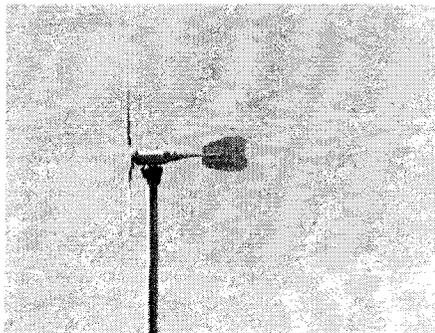


그림 8 3kW-독립형 풍력 발전기(강원도-평창)

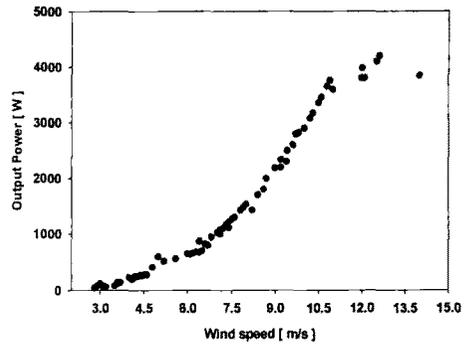


그림 9. 실증 실험(풍속-출력)

3. 결 론

본 논문에서는 우리나라와 같이 바람자원이 낮은 지역에 적합한 독립형 소형 풍력 발전기를 제작 하여 전기적 특성 실험을 하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 수평축 풍력발전기에 기어 없는 직접구동(Direct driven)방식을 채용함으로써 구조를 간략화 시키고 전체적인 효율을 높일 수 있었다.
- 2) 낮은 풍속 영역에서도 Boost 컨버터를 적용하여 넓은 속도 영역 에서 Battery 충전함으로써 Peak Power Capture를 구현 할 수 있다.
- 3) 독립형 소형 풍력 발전의 효율적인 이용 측면에서 정격 풍속을 10m/s 낮게 설계였고, 한계 풍속(cut out wind speed)이상에서 풍력 발전기의 파손을 방지할 위해서 추가적인 장치를 설치하였다.
- 4) 실증 실험을 통해서 연간 풍속 4m/s 이상인 지역에서는 독립형 풍력 시스템 적용 가능성을 확인 하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. David Richardson, Gerald M. Mcnerney, "Wind Energy Systems," Proceedings of the IEEE, Vol. 81, No. 3, pp.378-388, March 1993.
- [2] E. Mujjadi, I.E. McKenna, "Power quality issues in a hybrid power system", Industry Applications, IEEE Transactions on, Vol ume 38, Issue 3, pp. 803-809 May/June 2002.
- [3] B.J. Chalmers, E. Spooner, "An axial-flux permanent-magnet generator for a gearless wind energy system", Energy Conversion, IEEE Transactions on, Volume 14, Issue 2 , pp. 251 -257 Jun 1 999.
- [4] F. Crescimbin, F. Carricchi, L. Solero, B.J. Chalmers, E. Spooner, Wu Wei, "Electrical equipment for a combined wind/PV isolated generating system", Opportunities and Advances in International Electric Power Generation, International Conference on (Conf. Publ. No. 419), pp. 59 -64. 18-20 Mar 1996.
- [5] P. Lampola, J. Perho, "Electromagnetic analysis of a low-speed permanent-magnet wind generator", Opportunities and Advances in International Electric Power Generation, International Conference on (Conf. Publ. No. 419) , pp. 55 -58. 18-20 Mar 1996.
- [6] T.F. Chan, Lie-Tong Yan, L.L. Lai, "Performance of a three-phase AC generator with inset NdFeB permanent-magnet rotor", Electric Machines and Drives Conference, 2000. IEMDC 2001. IE EE International , p. 652 - 657 2001.