2007년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2007. 7. 18 - 20

소형 풍력의 과풍속 보호 장치에 관한 연구

김형길* 김철호* 서영택** 오철수***
(주)서영테크* 구미1대학** 경북대 전자전기공학부***

A study of overspeed-protection furling mechanism of Small Wind Turbine

Hyoung-Gil Kim* Chul-Ho Kim* Young-Taek Seo** Chul-Soo Oh***
*SEOYOUNG TECH **Kumi College ***Kyungpook National Univ.

Abstract -The wind power has been used steadily since long ago, but the importance of it has been faded because of the abundant and convenient fossil energy. Now, due to the energy crisis, experiencing the environmental problems etc, the necessity of using it growing bigger. Because the small wind turbines under a few kW grade has the merits of setting up with low costs by individuals, and get the energy saving effects that, it has the secured, separate markets from the range systems, and the developing of it is continuously proceeding. The small wind turbine system must have the output power regulating system for the over wind speed, to run steadily in the various wind speed environment. In case of the small wind turbine system, to prevent the breaking and for safety, at the over wind speed, additional system is required, and in most cases, output power is restricted by mechanical means.

In this paper, the furling system makes the tail and the head move to make the blades to the wind in slanted angle, restrict the output power at the over wind speed. In thesis, small prototype wind turbine is made, and analyzing the output power characteristics at the over wind speed, and to verify, through the logical study and tests.

1. 서 론

소형 풍력 발전은 대형 발전 시스템에 비하여 kW당 발전단가가 높아 경제성면에서 단점으로 지적되어 왔으나, 발전단가를 줄이기 위한 다양한 형태의 발전 장치가 각국에서 지속적인 연구가 진행 되었고 그 결과 많은 성과를 이루었다. 소형 풍력 발전기는 도서 산간이나 계통에 접근이 용이 하지 않은 지역 및 도시 근교에 설치되고 있다. 수 kW급 이하의 소형 풍력 발전기들은 저 비용으로 개인이 직접 설치하여 에너지 절약 효과를 느낄 수 있는 장점이 있기 때문에 대형 시스템과는 별도의 시장을 확보 하고 있으며, 지속적으로 기술 개발이 이루어지고 있다[1].

소형 풍력은 가변 풍속에서 안정적인 운전을 하기 위한 한계풍속 이상에서 출력제한 장치가 반드시 필요하다. 소형 풍력 발전기의 경우 한계풍속이상에서 시스템 고장 방지 및 안정성을 확보하기 위해서 부가적인 장치가 필요한데 대부분 기계적인 방법으로 출력을 제한하고 있다. 본 논문에서도 한계 풍속 이상에서 꼬리와 헤드가 이동하여 날개의 면이 바람 방향에 대해서 직교되지 않는 방향으로 이동하는 Side Furling System으로 Blade 중심축과 일정 간격(Offset)을 두고 꼬리 날개(Tail vane)가 위치하며 한계 풍속 15 m/s 이상에서 출력을 제한한다. 본 논문에서는 Prototype 소형 풍력 발전기를 제작하고, 한계 풍속에서 출력 제한에 대한 특성 해석을 하며 이론적 고찰과 실험을 통해 검증을 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 소형 풍력발전의 개요

바람을 이용하는 풍력발전은 풍속에 의해 발생된 풍력에너지를 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.

(1)식에서 로터 블레이드(Blade)의 유효면적(Swept Area) A, 공기밀도 ρ는 (1.25±0.04 kg/m^3)의 실용값을 쓰는 것이 일반적이며, (2)식에서의 출력계수 Cp(λ)는 블레이드 단면 형상에 의해 결정되며 그 최대값이 Betz 상수인 0.59를 넘지 못하며 주속비(λ)의 함수로 나타낸다. 바람의 운동에너지 중에서 최대 59%까지 전기에너지로 변환 될 수 있지만, 풍력발전기 날개와 기기의 효율을 고려하면 그 값은 더 낮아진다.

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

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

수평축 소형 풍력 시스템으로 타워, 로터 블레이드, 발전기, 요잉(Yawing)과 꼬리 날개(Tail vane)로 구성된다. 그림1은 블레이드 단면의 에어포일(Airfoil)을 나타낸다.

일반적으로 수평축 발전기는 보통 3개의 로터 블레이드를 사용하고 날개 끝 속도비(Tip speed ratio)는 5~8이며 에어포일은 종전에 NACA 계열을 그대로 사용하거나 개선하여 사용하였는데, 최근에는 풍력발전 전용으로 개발된 여러 가지 에어포일들이 사용된다. 수평축 로터 블레이드는 항력과 양력을 이용해서 회전력을 얻기 때문에 무게, 강도, 표면처리에 따라서 특성이 달라 질 수 있다.

그림 1. 소형 수평축 블레이드 단면 형상(Airfoil)

2.2 꼬리 날개에 의한 출력 제한(Furling System)

한계 풍속(Over wind speed)이상에서 대형 풍력발전기에서는 일정속도 이상의 풍속이 되면 Blade의 Stall 혹은 Pitch 제어에 의해 출력을 제한하여 발전기를 보호하고 있다. 소형 풍력 발전기의 경우 한계풍속이상에서 시스템 고장 방지 및 안전을 위해서 부가적인 장치가 필요한데 대부분 기계적인 방법으로 출력을 제한하고 있다[3].

그림 2는 공기역학에 의한 실-풍속(Ua)시 날개(Vane) 받음각(θ_a)에 의한 꼬리(Tail)의 이동 방향을 도시 하고 있다. 실-풍속에 대한 꼬리 날개의 운동 방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ddot{\theta} + 2\zeta\omega_n\dot{\theta} + \omega_n^2\theta = \omega_n^2\theta_w \tag{3}$$

여기서, θ-요잉각(Yawing angle), θ_w-풍향에 대한 고정각, ω_n은 꼬리날개의 고유주파수(rad/s), ζ-제동비(Damping ratio)이다.

ω_n과 ζ값은 (4), (5)식으로 나타낼 수 있다.

$$\omega_n = U\sqrt{\frac{\rho r A K}{2I}} \quad (4) \qquad \zeta = \sqrt{\frac{\rho r^3 A K}{8I}} \quad (5)$$

r는 요잉 축에서 꼬리날개 중심까지의 거리, A-날개의 면적, I-꼬리날개의 관성모멘트, K는 날개의 경사도 이다.
식 (4)에서 꼬리 날개의 고유주파수는 풍속(U)에 비례한다는 것을 알 수 있다.

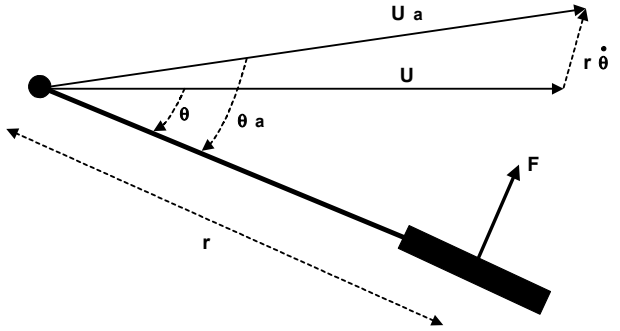

그림 2. 풍속에 대한 꼬리 날개의 이동 방향

2.3 소형 풍력 발전기 특성 실험

소형 풍력 발전 기술 개발의 핵심요소는 낮은 풍속에서 에너지 변환 효율이 높은 시스템 설계 기술, 한계풍속 이상에서 출력제한 방법, 배터리(Battery)에 효율적인 충전 기술이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 블레이드의 직경이 다소 커지는 것을 감수 하더라도 가능한 낮은 정격 풍속을 갖도록 설계 하였다. 그러나 이와 같이 설계된 블레이드가 과풍속에서 작동하는 경우 출력에 의해 발전기 등의 시스템에 2차적인 문제가 발생할 수 있기 때문에 적절한 출력제어 방법을 고려하여야 한다.

꼬리 날개(Tail vane)에 의한 한계 풍속시 출력을 제한하는 장치로서 정격 풍속이하에서는 회전축에 의한 이격거리(Offset)에 의해서 요잉(Yawing)은 정상적인 동작을 하며 풍속이 증가하여 회전축의 힘보다 꼬리 날개의 관성이 크게 됨으로 꼬리 날개가 나셀(Nacelle)쪽으로 이동하여 접히게 됨으로써 수평축 날개의 면이 바람 방향에 대해서 직교 되지 않는 방향으로 설계 하였다.

수평축 날개의 회전축과 요잉(Yawing) 축과 이격거리(Offset)는 30mm이며, 꼬리날개는 수직축으로 10°에서 20°의 범위의 기울기는 갖는 날개를 제작 하였다. 꼬리날개의 길이는 블레이드 직경의 0.6배로 제작을 하였다. 회전수평축 날개는 직경이 2.1m이고 Prototype AFPM 발전기 정격 750W를 사용하였다. 전력 변환은 컨버터(AC-DC)에서 24V 배터리(Battery)로 충전을 하며 저 풍속에서도 충전이 가능하게 DC-DC 컨버터를 설계 하였다.

<표 1> 500W급 소형 풍력 발전기 사양

Generator	3Φ permanent magnet
Rated power	500 W@ 9-10 m/s
Max output	750 W
Cut in	3 m/s
Rated speed	360 rpm-low noise
Furling	Offset/Mechanical tail
Rotor Dia.	2.1 m
NO SLIP RING	

표 1은 500W 풍력 발전기 사양이다. 실험을 통해서 수평축 블레이드의 정격 풍속에서 회전수는 360rpm이며, 풍속 3m/s에서부터 출력이 발생되는 것을 확인 하였다. 그림 3는 실증 실험 결과 풍속에 대한 출력 특성 곡선이다. 정격 풍속은 9-10m/s, 최대 출력은 750W-15m/s이며 한계풍속 이상에서는 기계적인 장치에 의하여 출력이 제한된다. 직접구동 AFPM 발전기를 사용하였고 특징은 Slip Ring을 제거하여 타워 상부 Yawing 장치를 최대한 간략화 하여 무게를 줄였다. 그림 4는 Prototype 500W 소형 풍력 발전기를 나타내고 있다. 실증 실험을 통해서 독립형 소형 풍력 발전 시스템은 연간 풍속 4m/s 이상인 지역에서 적용 가능성을 확인 하였다.

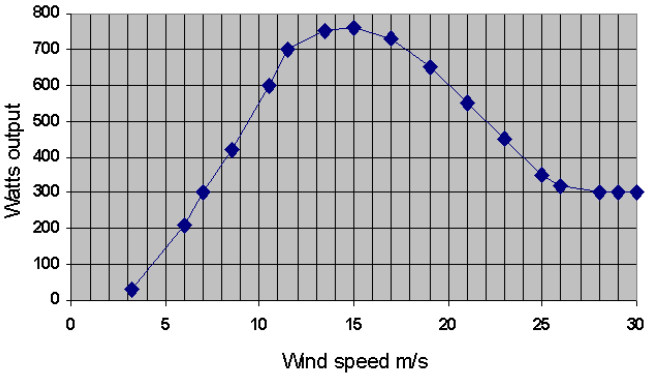

그림 3. 풍속 vs. 출력

그림 4. 소형 풍력 발전기-500W

3. 결 론

본 연구는 소형 풍력 발전 시스템 보호 장치로써 한계 풍속 이상에서 꼬리 날개를 이용한 실용적이며 안정적인 운전을 갖기 위한 기계적 출력 제어(Furling System) 방법을 제시 하였다.

정격 출력 500W(풍속10m/s)의 시스템에 적용하여 실증 실험을 수행하여 타당성을 검증 하였다. 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 정격 풍속 이하에서 로터 블레이드 축과 꼬리의 이격 거리(Offset) 때문에 꼬리 날개의 받음각은 최소가 된다. 꼬리 날개는 요잉(Yawing)의해서 바람의 방향에 따라서 정상적으로 동작을 한다.

2) 한계 풍속 이상에서는 꼬리 날개를 수직축 면으로 적절한 받음각에 의해서 날개가 나셀 쪽으로 이동하여 접히게 됨으로써 출력을 제어한다.

[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. Muljadi, H.E. McKenna, "Power quality issues in a hybrid power system", Industry Applications, IEEE Transactions on, Volume 38, Issue 3, pp. 803-809 May 2002.

[3]Bechly, M.E., Gutierrez, H., Streiner, S., Wood, D.H "Modelling the Yaw Behaviour of Small Wind Turbines", Wind Engineering, 26, 4, pp. 223-239.(2002)

[4]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 1999.