

## 블레이드 형태에 따른 소형 수직축 풍력발전기의 실험적 연구

이민구, 오훈, 박왈서\*  
원광대학교 전기공학과

### Experimental Study of Small Vertical Axis Wind Turbine according to Type of Blades

Min-Gu Lee, Hun Oh, Wal-Seo Park\*

Department of Electrical Engineering, Wonkwang University

**요 약** 풍력은 자원이 풍부하고, 끊임없이 재생되며, 공해물질 배출이 없어서 친환경적인 점에서 화석에너지 고갈 시에 대비한 유망한 대체 에너지원으로서 각광받는 에너지이다. 풍력발전기는 회전축의 방향에 따라 수평축 풍력발전기와 수직축 풍력발전기로 구분되며, 수직축은 발전효율이 낮은 단점이 있는 반면에 바람의 방향에 영향을 받지 않아 요잉 시스템이 필요가 없어 구조가 간단하고, 저 풍속에서도 풍력발전이 가능한 장점이 있어 현재 소형 수직축 풍력발전기가 주목받고 있다. 본 연구에서는 저 풍속에서도 발전 가능한 자이로밀형, 힌지형, 양문형의 블레이드 형태에 따른 소형 수직형 풍력발전기를 이용하여 1m/s~11m/s의 가변풍속에 따른 발전기의 출력전압 및 출력전류를 분석하였다. 연구결과 최대풍속 11m/s일 때 발전기 출력전압은 양문형 블레이드를 적용 시 자이로밀형 블레이드보다 67%, 힌지형 블레이드보다 9%가 증가되었으며, 발전기 출력전류는 양문형 블레이드를 적용 시 자이로밀형 블레이드보다 93%, 힌지형 블레이드보다 5%가 증가되었다. 본 연구를 통해 저풍속 및 고풍속에서의 발전이 용이한 양문형 블레이드의 우수한 출력특성과 실용화 가능성을 확인하였다.

**Abstract** Owing to the depletion of fossil energy, wind power is attracting attention as a promising environmentally friendly alternative energy source, because it is abundant, renewable, and non-polluting. Wind turbines are divided into horizontal axis wind turbines (HAWTs) and vertical axis wind turbines (VAWTs) according to the direction of the rotating shaft. VAWTs have a low power generation efficiency, but are not affected by the wind direction and, thus, no yaw system is required and their structure is simple. Small VAWTs are attracting much attention because they can generate power even at low wind speeds. In this study, the output voltages and output currents of small VAWTs with gyromill type, hinge type and double door type blades capable of generating power even at low wind speeds were analyzed at variable wind speeds in the range of 1~11 m/s. At the maximum wind speed of 11m/s, the application of the double door type blades achieved 67% and 9% higher wind turbine output voltages than that of the gyromill type and hinge type blades, respectively. As regards the wind turbine output currents, the application of the double door type blades gave rise to 93% and 5% higher results than that of the gyromill type and hinge type blades, respectively. Through this study, the excellent output characteristics and commercialization potential of the double door type blades, which can generate power both at low and high wind speeds, were confirmed.

**Keywords** : Double Door Type, Gyromill Type, Hinge Type, Output Characteristics, Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)

### 1. 서론

최근 화석에너지의 과도한 사용으로 다량의 이산화탄

소가 배출되어짐에 따라 지구의 평균 온도가 상승되어 열대야 현상, 집중호우 등의 이상기후가 발생하고 있다. 화석에너지 고갈 및 지구온난화를 해결하기 위한 대체

본 논문은 2017학년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행되었음.

\*Corresponding Author : Wal-Seo Park(Wonkwang Univ.)

Tel: +82-63-850-6890 email: wspark@wku.ac.kr

Received October 24, 2017

Revised November 8, 2017

Accepted December 8, 2017

Published December 31, 2017

에너지원 중 풍력발전은 사용범위가 광범위하고, 무제한 사용가능하며 공해물질 배출이 없는 청정에너지라는 점에서 각광받고 있다[1,2].

풍력발전은 바람의 운동에너지를 블레이드를 통해 기계적인 회전력으로 변환하고, 그 회전력으로 발전기를 통해 전기에너지를 생산하며[3,4] 풍력발전기는 회전축의 방향에 따라 수평축 풍력발전기(Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT)와 수직축 풍력발전기(Vertical Axis Wind Turbine, VAWT)로 구분된다[2,5,6].

수평축 풍력발전기는 대형화가 용이하고 발전효율이 높은 장점이 있는 반면에 바람의 방향에 따라 나셀(Nacelle)의 방향을 변화시켜주는 요잉(Yawing)시스템이 필요하다는 단점이 있다[7]. 이에 비해 수직축 풍력발전기는 바람의 방향에 관계없이 운전이 가능하기 때문에 요잉(Yawing)시스템이 필요하지 않아 구조가 단순하여 제작 및 유지보수가 용이할 뿐만 아니라 비용이 저렴한 장점이 있지만 수평축에 비해 발전효율이 떨어지는 단점이 있다[8,9].

이 중 최근 들어 소음이 거의 없고 저 풍속에서도 직접 발전이 가능한 독립형 소형 수직축 풍력발전기에 대한 관심이 증가하고 있으며[10], 그 중 단순한 형태로 실용화가 용이한 자이로밀형 수직축 풍력발전기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[11-13].

한편 조우석[14,15] 등은 200W급 자이로밀형 소형 수직축 풍력터빈 로터 블레이드의 형상설계 및 유동해석과, 유체-구조 연성 해석을 각각 수행하였고, 강덕훈[16] 등은 도시형 소형 수직축 풍력 발전기의 형태별 성능에 대한 실험적 고찰을 수행하였지만 자이로밀형(gyromill type), 힌지형(hinge type), 양문형(double door type) 블레이드에 대한 실험적 연구는 아직 수행된 적이 없다.

이 중 양문형의 경우, 저 풍속에서는 양쪽 문이 닫혀 있어 바람을 받는 면적이 넓어 가장 큰 토크가 발생하고, 중 풍속에서는 양쪽 문이 열려지기 시작하여 바람을 받는 면적이 조금씩 작아져 토크가 자동 조정되며, 강풍에서는 양쪽 문이 모두 열려져 회전 토크가 최소화 되는 특징을 갖고 있다. 이에 본 연구에서는 양문형 블레이드의 우수성을 검증하기 위해 블레이드 형태에 따른 자이로밀형, 힌지형, 양문형을 제작하였으며, 출력특성 실험을 수행하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구에 사용된 자이로밀형 수직축 풍력발전기 블레이드는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 블레이드 수는 총 3매이며, 블레이드의 재질은 나무를 사용하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 힌지형 및 양문형 수직축 풍력발전기 블레이드로 블레이드 수는 자이로밀형과 동일하게 총 3매이며, 블레이드 재질은 알루미늄판을 사용하였다. 힌지형은 각 블레이드의 중간에 경첩을 달아 제작하였으며, 양문형은 수직으로 세워진 두 개의 직사각판에서, 직사각판의 수직변 한 개씩을 마주보게 V자 형태로 놓고, V자형의 외각 쪽 직사각 판 면적에서 높이에 따르는 수평 길이의 중심부에 각각 수직 회전축을 고정하였다. V자형의 내각을 120~160도로 놓으며, V자형을 유지하도록 V자형의 외각 쪽 두 개의 직사각 평판 표면 사이를 스프링으로 각각 연결하였다.

풍력발전기는 최대출력 71W급의 스텝 모터(P22 NR x B-LNN-NS-00)에 결선을 바꾸어 모터가 발전기의 역할을 할 수 있도록 구성하였다. 풍속발생장치를 이용하여 최대 풍속이 12m/s가 되도록 구성하였으며, 블레이드의 효율을 향상시키기 위해 지상에서 170cm의 높이로 풍속발생장치와 블레이드의 높이를 일치시켰으며 발전기의 축은 90도가 맞추어 프레임에 고정시켰다. AD Power HPM-300A 측정 장비를 사용하여 풍속이 변화될 때 블레이드 형태에 따른 발전기의 출력전압 및 출력전류를 측정하였으며, 측정되어진 결과 값을 이용하여 출력전류를 계산하였다.



Fig. 1. Gyromill type



Fig. 2. Hinge type

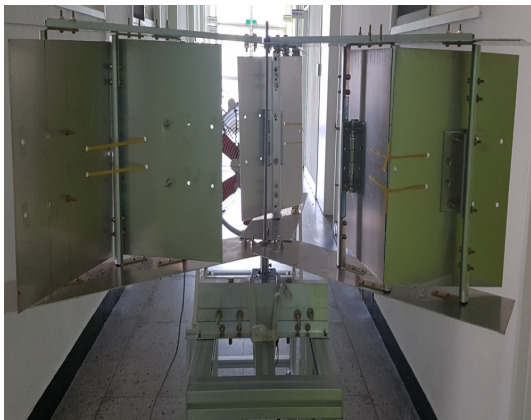


Fig. 3. Double door type

### 3. 실험 결과

#### 3.1 발전기 출력전압 데이터

Fig. 4는 풍속이 변화될 때 블레이드 형태에 따른 발전기의 출력전압을 측정된 데이터이다. 자이로밀형의 경우 풍속 1m/s~4m/s까지는 출력전압이 측정되지 않았으며, 풍속 5m/s~11m/s일 때 0.8V~2.1V의 출력전압이 측정되었다. 힌지형의 경우 풍속 1m/s~2m/s까지는 출력전압이 측정되지 않았으며, 풍속 3m/s~11m/s일 때 1.1V~3.2V의 출력전압이 측정되었다. 양문형의 경우 힌지형 블레이드와 동일하게 풍속 1m/s~2m/s까지는 출력전압이 측정되지 않았으며, 풍속 3m/s~11m/s일 때 1.1V~3.5V의 출력전압이 측정되었다.

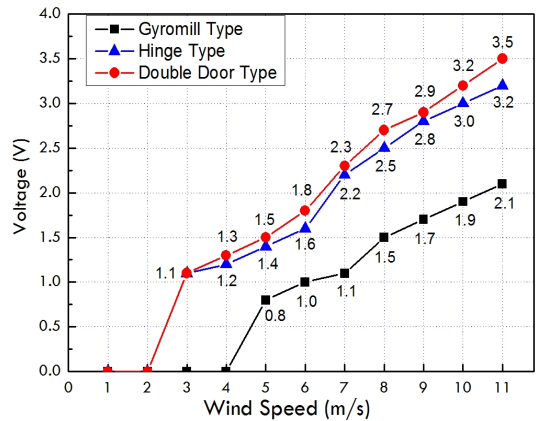


Fig. 4. Generator output voltage according to wind speed

#### 3.2 발전기 출력전류 데이터

Fig. 5는 풍속이 변화될 때 블레이드 형태에 따른 발전기의 출력전류를 측정된 데이터이다. 자이로밀형의 경우 풍속 1m/s~4m/s까지는 출력전류가 측정되지 않았으며, 풍속 5m/s~11m/s일 때 18mA~43mA의 출력전류가 측정되었다. 힌지형의 경우 풍속 1m/s~2m/s까지는 출력전류가 측정되지 않았으며, 풍속 3m/s~11m/s일 때 22mA~79mA의 출력전류가 측정되었다. 양문형의 경우 힌지형 블레이드와 동일하게 풍속 1m/s~2m/s까지는 출력전류가 측정되지 않았으며, 풍속 3m/s~11m/s일 때 27mA~83mA의 출력전류가 측정되었다.

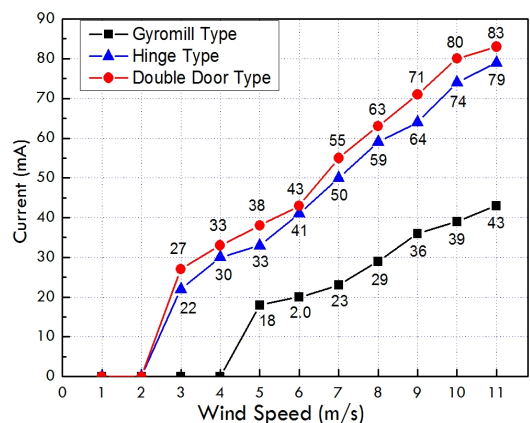


Fig. 5. Generator output current according to wind speed

#### 3.3 발전기 출력전력 데이터

Fig. 6은 풍속이 변화될 때 블레이드 형태에 따라 측

정되어진 발전기의 출력전압 및 출력전류를 계산한 데이터이다. 자이로밀형의 경우 풍속 5m/s~11m/s일 때 14.4mW~90.3mW의 출력전력이 계산되어졌다. 힌지형의 경우 풍속 3m/s~11m/s일 때 24.2mW~252.8mW의 출력전력이 계산되어졌다. 양문형의 경우 풍속 3m/s~11m/s일 때 29.7mW~290.5mW의 출력전력이 계산되어졌다.

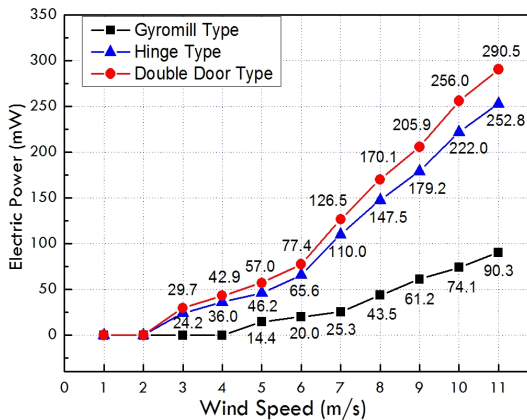


Fig. 6. Generator Output Electric Power according to wind speed

### 3.4 분석 및 고찰

최대풍속 11m/s일 때 블레이드 형태에 따른 발전기 출력전압을 측정된 결과, 양문형의 경우 자이로밀형보다 67%의 증가율로 다소 큰 차이를 보였으나, 힌지형보다는 9%의 증가율로 미세한 차이를 보였다. 최대풍속 11m/s일 때 블레이드 형태에 따른 발전기 출력전류를 측정된 결과, 양문형의 경우 자이로밀형 블레이드보다 93%의 증가율로 다소 큰 차이를 나타내었으나, 힌지형 보다는 5%의 증가율로 미세한 차이를 보였다. 최대풍속 11m/s일 때 출력전력을 계산한 결과, 양문형의 경우 자이로밀형보다 222%의 증가율로 다소 큰 차이를 나타내었으나, 힌지형 보다는 15%의 증가율로 미세한 차이를 보였다. 양문형과 힌지형의 경우 자이로밀형보다 블레이드의 면적이 넓어 풍력발전이 용이하기 때문에 출력특성이 증가되었다고 판단되어진다. 또한 양문형은 저 풍속에서는 넓은 면적의 두 개의 사각 판이 풍력을 받아 미풍에서도 발전이 가능하고, 풍속이 증가할수록 사각 판의 사이가 벌어져 풍력을 받는 면적이 좁아지게 되어 고 풍속에서도 안정된 출력이 가능하다고 판단되어진다. 이

를 통해 양문형 블레이드를 적용하면 자이로밀형 및 힌지형 블레이드를 적용했을 때보다 출력이 증가됨을 확인하였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 자이로밀형, 힌지형, 양문형의 블레이드를 적용한 소형 수직축 풍력발전기의 출력특성을 분석하였고, 그 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 블레이드 형태에 따른 출력특성을 분석한 결과 자이로밀형은 풍속이 최소 5m/s 이상이 되어야만 발전기 출력특성이 나타났지만, 힌지형과 양문형은 최소 2m/s 이상이 되면 발전기 출력특성이 나타났다.
- 2) 최대풍속 11m/s일 때 출력전압을 측정된 결과 자이로밀형은 2.1V, 힌지형은 3.2V, 양문형은 3.5V의 출력전압이 측정되었다.
- 3) 최대풍속 11m/s일 때 출력전류를 측정된 결과 자이로밀형은 43mA, 힌지형은 79mA, 양문형은 83mA의 출력전류가 측정되었다.
- 4) 본 연구를 통해 양문형 블레이드를 적용하면 자이로밀형 및 힌지형보다 발전기 출력특성이 개선됨을 확인하였고, 본 연구 자료는 추후 소형 수직축 풍력발전기 설계 및 제작에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## References

- [1] B. K. Kim, Y. H. Kim, W. S. Song, S. B. Lee, S. K. Nam, S. M. Kim, "An Experimental Study on the Performance of the Vertical-Axis Wind Turbine", The KSFJ Journal of Fluid Machinery, vol. 10, no. 3, pp. 17-24, June, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5293/KFMA.2007.10.3.017>
- [2] J. H. Kim, I. H. Ryu, B. G. Kim, C. J. Yang, "A Study on the Vertical Axis Wind Turbine Performance in Different Blade Shapes", The KSFJ Journal of Fluid Machinery, vol. 20, no. 4, pp. 25-30, August, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5293/kfma.2017.20.4.025>
- [3] D. S. Choi, "Structural Analysis and Design of Small Wind Turbine Blade", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, vol. 14, no. 1, pp. 85-91, February, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.14775/ksmpe.2015.14.1.085>
- [4] K. S. So, C. W. Choi, D. C. Lee, K. W. Kang,



“Structural Optimization for Hybrid Vertical-Axis Wind Turbine Blade using Response Surface Method”, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A, vol. 37, no. 11, pp. 1331-1337, November, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2013.37.11.1331>

[5] H. Y. Jung, Y. H. Choi, Y. W. Lee, Y. D. Kim, “Effect on the Starting Characteristics of the Vertical Axis Wind Turbine with various Airfoil shapes”, Proceedings of the KFMA Annual Meeting, pp. 406-407, December, 2009.

[6] C. W. Choi, J. W. Jin, K. W. Kang, “Structural Optimization for Small Scale Vertical-Axis Wind Turbine Blade using Response Surface Method”, The KSFM Journal of Fluid Machinery, vol. 16, no. 4, pp. 22-27, August, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5293/kfma.2013.16.4.022>

[7] C. H. Hong, S. H. Seo, “Basic Experiment Using Taguchi method for Vertical Wind Turbine with Wind-shield”, Journal of Ocean Engineering and Technology, vol. 25, no. 3, pp. 86-90, June, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5574/KSOE.2011.25.3.085>

[8] D. H. Kim, H. C. Choi, J. W. Lee, G. J. Ryu, S. B. Kim, K. W. Kim, H. W. Nam, M. G. Lee, “Aerodynamic and Structural Design of 6kW Class Vertical-Axis Wind Turbine”, The KSFM Journal of Fluid Machinery, vol. 14, no. 2, pp. 52-58, April, 2011. DOI: [10.5293/KFMA.2011.14.2.052](http://dx.doi.org/10.5293/KFMA.2011.14.2.052)

[9] S. H. Kim, G. S. Lee, C. U. Cheong, “Numerical analysis on the flow noise characteristics of 300W Savonius-type vertical-axis wind turbines”, Conference of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 725-730, October, 2012.

[10] H. G. Jeong, S. H. Lee, S. D. Kwon, “Effect of Blockage Ratio on Wind Tunnel Testing of Small Vertical-Axis Wind Turbines”, Journal of the Korean Solar Energy Society, vol. 34, no. 3, pp. 98-106, June, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.7836/kses.2014.34.3.098>

[11] M. Islam, D. S. K. Ting, A. Fartaj, “Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 12, no. 4, pp. 1087-1109, May, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.023>

[12] P. Gulve, S. B. Barve "Design and Construction of Vertical Axis Wind Turbine," International Journal of Mechanical Engineering and Technology, vol. 5, no. 10, pp. 148-155, October, 2014.

[13] S. Eriksson, H. Bernhoff, M. Leijon, "Evaluation of different turbine concepts for wind power," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 12, no. 5, pp. 1419-1434, June, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.017>

[14] W. S. Cho, H. S. Kim, Y. D. Choi, “Shape design and flow analysis on a 200W-class gyromill type vertical axis wind turbine rotor blade”, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 37, no. 2, pp. 170-177, March, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2013.37.2.170>

[15] W. S. Cho, Y. D. Choi, H. S. Kim, “Fluid-structure interaction analysis on a low speed 200W-class gyromill type vertical axis wind turbine rotor blade”, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 37, no.

4, pp. 344-350, May, 2013.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2013.37.4.344>

[16] D. H. Kang, W. S. Shin, J. H. Lee “Experimental study on the performance of urban small vertical wind turbine with different types”, The KSFM Journal of Fluid Machinery, vol. 17, no. 6, pp. 64-68, December, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5293/kfma.2014.17.6.064>

**이 민 구 (Min-Gu Lee)**

[정회원]



- 2016년 2월 : 한밭대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 대학원 전기공학과 박사과정

<관심분야>  
재생에너지, 전기화재

**오 훈 (Hun Oh)**

[정회원]



- 1993년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 8월 : 원광대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 2011년 10월 ~ 현재 : 원광대학교 전기공학과 조교수

<관심분야>  
재생에너지, 전기안전 진단, 계측기 개발

**박 왈 서 (Wal-Seo Park)**

[정회원]



- 1985년 2월 : 조선대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1994년 9월 ~ 현재 : 원광대학교 전기공학과 교수

<관심분야>  
재생에너지, 변환장치 개발