

시뮬레이션을 통한 수직축 풍력발전에 관한 연구

박정철*, 원우연**

A Study of Vertical Axis Wind Turbine by Simulation

Jung-Cheul Park*, Woo-Yeon Won**

요약 본 논문에서 주 블레이드를 V 형태로 설계하고 주 블레이드 각도와 풍속을 변화시켜 최상의 설계조건을 확인하고자 하였다. 주 블레이드 open angle을 120° 유지하고, 각도를 30°로 변화시킨 sample2와 60°로 변화시킨 sample3를 비교 하였을 때, sample2는 출력이 3.8[kW], 효율은 0.12로 측정되었고 sample3은 출력이 6.0[kW] 효율은 0.18로 측정되었다. 즉 sample3은 sample2보다 출력이 58%, 효율이 50% 상승되었다. 그리고 주 블레이드 open angle 120°, 각도를 60°로 고정 하여 풍속을 7[m/s]일 때 출력이 6.0[kW]으로 효율은 0.18로 측정되었고, 풍속을 10[m/s]로 변화 주었을 때 출력은 7.7[kW], 효율은 0.23으로 측정되었다. 즉 풍속이 높았을 때 출력은 28%, 효율은 83%가 상승되었다. 또한 sample4는 sample2보다 출력에서 103%, 효율에서 92%가 더 상승하였다.

Abstract This paper designed the main blade in V-shape and tried to identify the best design conditions by changing the main blade angle and wind speed. When the main blade open angle was maintained at 120° and the sample2 with an angle changed by 30° was compared with the sample3 changed by 60°, the power output of sample2 was 3.8[kW], the power coefficient was 0.12, and the power output of sample3 was 6.0[kW], the power coefficient was measured as 0.18. So the power output of sample 3 was 58% higher than that of sample2, and the power coefficient was increased by 50%. The power coefficient was 0.18 and the wind speed was changed to 10[m/s] at 6.0[kW] at wind speed of 7[m/s] by fixing main blade open angle of 120° and angle of 60°. The output was measured at 7.7[kW] and the power coefficient at 0.23. When the wind speed was high, the power output increased by 28% and the power coefficient increased by 83%. Also, sample4 was 103% higher in output and 92% more in efficiency than sample2.

Key Words : FEM(Finite element method), V-shape Blade, Vertical Axis Wind Turbine, Wind turbine, Wind power

1. 서론

현재 환경문제 및 자원고갈로 인하여 신재생 에너지 분야에 대한 관심이 크게 증가하였다. 신재생에너지인 풍력, 태양광, 태양열, 지열, 수력 등에 대해 많은 연구가 진행 중이다. 신재생에너지 중 풍력에너지는 무한정이며 무공해인 바람을 이용하므로 우리 환경에 미치는 영향이 미비하고 국토를 효율적으로 사용할 수 있다. 풍력 발전기는 공기의 운동에너지를

이용하여 회전자를 회전시켜 회전운동에너지를 변환시키는 역할을 하는 것이다. 회전자 축 방향에 의해 수평축 터빈(Horizontal Axis Wind Turbine : HAWT)과 수직축 터빈(Vertical Axis Wind Turbine : VAWT)으로 나뉘어진다[1,2]. VAWT 방식은 HAWT 방식 보다 효율이 떨어지고 작동범위가 작다는 단점은 있으나 풍향 추적 장치가 필요 없으므로 구조가 간단하고 설치비용이 저렴하다. 또한 수

*Department of Electronic Engineering, Gachon University

**Corresponding Author : Korea Polytechnic III College (www77@kopo.ac.kr)

Received March 08, 2018

Revised March 19, 2018

Accepted June 18, 2018

직축 풍력터빈의 경우 낮은 회전속도에서도 정격출력으로 발전하기 때문에 미풍에서도 풍력발전이 가능하며 소음 역시 더 적다는 장점이 있다[3]. 대표적으로 항력을 이용한 Savonius 풍력터빈과 양력을 이용한 Darrieus 풍력터빈이 있다[4,5,6]. 현재까지 HAWT의 출력상승을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 아크형 날개를 적용한 항력식 수직축 소형 풍력터빈의 형상을 변화시키는 것과 피치각 변화를 주므로써 이에 따른 유동해석을 통하여 최상의 형상설계에 대한 연구방향을 제시하였다[7,8] 본 논문에서는 주 블레이드 각도와 풍속을 변화주어서 ANSYS 유동해석 프로그램을 이용하여 최적의 조건을 제시하고자 한다.

2. 본론

본 논문에서 이용되는 시뮬레이션은 다양한 공학적 문제를 유한요소 해석법으로 풀이되는 ANSYS 프로그램을 사용하였으며, 이 ANSYS CFD는 CFX와 Fluent를 이용하여 문제 해결을 위해 다양한 결과를 얻을 수 있다[9]. 그림 1은 본 논문에서 이용된 ANSYS CFD 모델링 순서도를 나타낸 것이다.

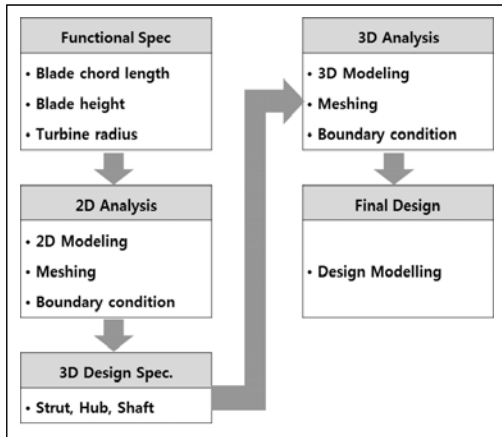
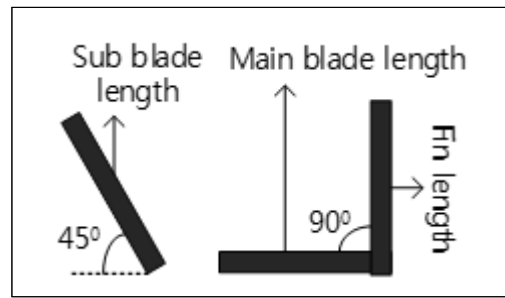


그림 1. ANSYS CFD 모델링
Fig. 1. ANSYS CFD Modeling

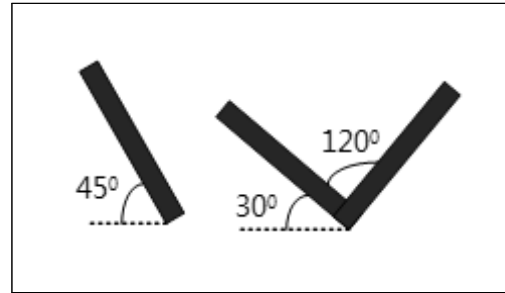
본 논문에서 적용된 터빈 직경은 9[m]이며, 그림 2에서 나타낸 것과 같이 V 형태를 V₁, V₂로 구분하였다. sample1은 주 블레이드 Open angle은 90° 보조 블

레이드 각도는 45°로 설계하였다. sample2,3은 주 블레이드 Open angle은 120°로 하였으며 보조 블레이드 각도는 45° 및 주 블레이드 각도를 30°로 설계되었다. sample4는 주 블레이드 Open angle은 120°, 보조 블레이드 각도는 45° 및 주 블레이드 각도를 30°로 설계되었다. 모든 sample의 주 블레이드길이와 핀 길이 및 보조블레이드길이는 동일하게 설계하였다.

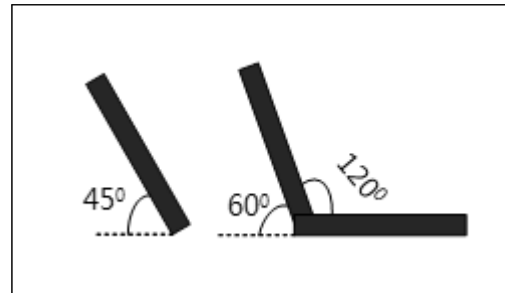
표1은 sample1 ~ sample4의 설계 조건값을 나타냈다.



a. sample1



b. sample2, 3(V₁)



c. sample4(V₂)

그림 2. 주, 보조 블레이드 형상
Fig. 2. Shape of main blade and sub blade

sample1~sample4의 출력성능을 비교하기 위해 V_1 및 V_2 의 형태로 설계된 주 블레이드를 풍속 7[m/s]로 시뮬레이션 하여 어떤 형태의 주 블레이드가 높은 출력 특성을 나타내는지 실험하였다.

표 1. sample1~sample4 주요 설계값
Table 1. Major design values of sample1~sample4

	Shape	wind speed	turbine diameter	sub blade angle	main blade	
					angle	Open angle
sp1		7[m/s]	9[m]	45°	0°	90°
sp2	V_1	7[m/s]	9[m]	45°	30°	120°
sp3	V_2	7[m/s]	9[m]	45°	60°	120°
sp4	V_2	10[m/s]	9[m]	45°	60°	120°

그리고 sample3과 sample4는 풍속을 각각 7[m/s], 10[m/s]에서 시뮬레이션을 통해 출력 특성을 측정하였다.

그림3은 유동해석 결과를 나타냈다. sample1은 공기가 회전자를 안정적으로 통과하지 못하여, 회전자 왼쪽 아랫부분에서 회절이 발생되었다. 이것은 공기가 입구부분의 주 블레이드를 관통하면서 공기 방향이 회전자 윗부분으로 향하여 공기역학적 손실이 발생되었고, 출구부분의 주 블레이드도 입구부분의 공기 방향에 의해 공기흐름이 불안정적으로 분산되어 음의 회전 모멘트를 발생시켰다. sample2는 sample3과 동일하게 보조 블레이드를 관통한 공기가 압축되어 주 블레이드에 잘 전달하지만 회전자 아랫부분에서 회절이 조금 발생하여 주 블레이드를 관통하는 공기가 터빈 회전자 내부에서 sample3과 약간 다른 공기흐름을 나타냈다. 이것은 공기 방향이 주 블레이드를 통과한 후 터빈의 회전 방향과 반대 방향으로 움직여서 터빈 출구에서 주 블레이드의 회전을 저해하는 음의 회전 모멘트로 작용하여 공기역학적인 손실을 발생시킨 것으로 예상된다.

sample3은 보조 블레이드를 관통한 공기는 속도가 증가되어 큰 힘으로 주 블레이드에 전달하는 것이다. 보조 블레이드를 관통한 후, 공기흐름이 터빈회전 방향과 동일한 방향으로 회전한 것을 알 수 있었다. 공

기는 모든 영역에서 주 블레이드로의 힘이 sample2보다 더 잘 전달된 것을 확인되었다. 공기회전방향에 따라 터빈이 회전하므로 양의 회전 모멘트로 작동되었다고 예측 할 수 있다. sample4는 sample3과 같은 형태이며 단지 풍속을 7[m/s]에서 10[m/s]로 변화시킨 것으로 sample3과 거의 일치한 것으로 측정되었다.

그림 4는 효율과 출력 측정치를 나타냈다. sample3은 sample2에 비해 효율과 출력에서 각각 50%, 58% 증가하여 V_2 의 형태가 효율 및 출력이 증가된 것을 확인하였다. sample4는 sample3과 동일한 구조이고 풍속을 7[m/s]에서 10[m/s]로 변화준 것으로 sample3보다 효율은 28%, 출력은 22% 더 증가하였다.

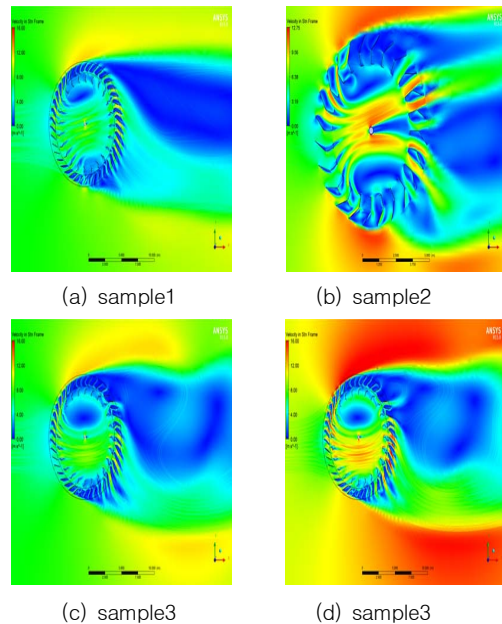


그림 3. 유동해석
Fig. 3. Air flow analysis

그리고 sample2 형태에 주 블레이드 각도를 30°에서 60°로 변화시킨 sample4는 sample2보다 효율은 92%, 출력은 103% 증가하였다.

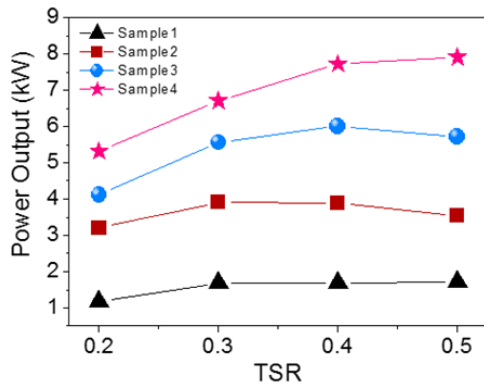
sample2 및 sample3은 주속비(TSR) 0.4에서 최고 효율과 출력이 나타났으나, 주속비(TSR) 0.5일 때 sample1과 sample2 및 sample3은 출력과 효율이 감소하였고 sample4는 출력이 8.2[kW] 효율은 25%

으로 증가한 것이 확인되었다.

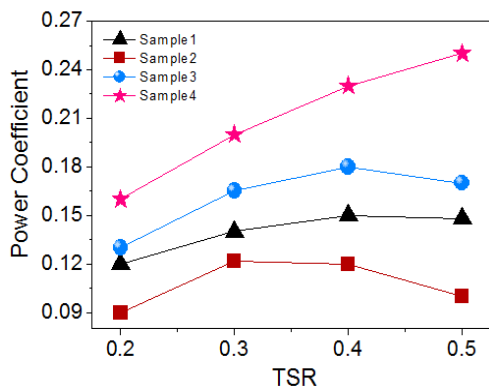
결론적으로 V_2 형태에서 공기 흐름이 V_1 에 비해 주 블레이드에 큰 힘이 전달되어 효율과 출력이 증가된 것으로 확인되었다. 주속비(TSR) 0.4에서 효율과 출력값을 표 2에 나타냈다.

표 2. 효율과 출력
nt and Power output values

	wind speed(v)	TSR	power output(P)	power coefficient(C_p)
sp1	7[m/s]	0.4	1.7[kW]	0.15
sp2	7[m/s]	0.4	3.8[kW]	0.12
sp3	7[m/s]	0.4	6.0[kW]	0.18
sp4	10[m/s]	0.4	7.7[kW]	0.23



(a) power result



(b) power coefficient result

그림 4. 출력 및 효율 결과
Fig. 4. Results for power output and power coefficient

식 1과 식 2를 이용하여 sample1 ~ sample4의 출력전류 및 출력 전압값을 산출하여 표 3에 나타냈다.

$$i_q = \frac{1}{3} \frac{\rho \pi R^3}{p \lambda_{pm} \cdot \lambda(v)} C_p(v) \cdot v^2 [A] \dots (1)$$

$$E_p = \frac{\eta P_{(T-G)}}{3 I_p} [V] \dots (2)$$

여기서, ρ (공기밀도) = $1.225 [kg/m^3]$, v (풍속) = $7 [m/s]$ 및 $10 [m/s]$, 로터 반지름 $R = 4.5 [m]$, $P_{(T-G)} =$ 출력(P), $\eta = 94 [\%]$, $p \cdot \lambda_{pm} =$ Back EMF constant = 71.5 값을 적용하였다.

sample2는 sample3보다 출력전류(I_p) 및 출력전압(E_p)이 작은 값이 측정되었다. 그리고, 풍속 10[m/s]의 경우인 sample4는 다른 3가지 sample들 중 출력전류(I_p)가 증가되었고, 출력은 출력전압(E_p)와 출력전류(I_p)의 곱이므로 sample4의 출력전류가 다른 sample들의 값보다 크기 때문에 출력전압(E_p)은 적게 나타났다.

표 3. sample1~sample4 출력전류 및 출력전압 측정 결과
Table 3. Calculation results of output current and output voltage for sample1~sample4

	output current(I_p)	output voltage(E_p)
sample1	9.42[A]	31.93[V]
sample2	24.02[A]	49.56[V]
sample3	36.04[A]	52.17[V]
sample4	94.00[A]	25.67[V]

3. 결론

본 논문에서 V 형태의 주 블레이드를 적용하고 풍속, 각도, open angle을 변경하여 시뮬레이션 한 결

과는 다음과 같다.

- (1) V 형태의 주 블레이드에서 보조 블레이드 각도를 45° 그리고 풍속을 7[m/s]로 하였을 때, V₁ 형태에 비해 V₂ 형태는 효율과 출력이 더 증가하였다. 즉 sample2와 비교하여 sample3은 출력에서 58%, 효율에서 50%가 더 상승하였다.
 - (2) V₂ 형태를 풍속을 10[m/s] 변화 주었을 때, 풍속이 클수록 효율 및 출력 우수하다. 즉 sample3과 비교하여 sample4는 효율에서 28%, 출력에서 22% 상승하였다.
 - (3) V₁에서 V₂로 형태를 변경한 후 풍속을 높였을 때, 효율과 출력이 우수하다. 즉 sample2와 비교하여 sample4는 출력에서 103%, 효율에서 92%가 더 상승하였다.
- 결론적으로 “V” 형태의 주 블레이드 적용과 풍속 변화를 통해 sample4가 효율과 출력이 우수하다는 것을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] Shin, J. Y., Son, Y .S., Cha, D. G., Lee, C.H.Hwang,I.C. “Aerodynamic characteristics of a vertical axis wind turbine blade” Journal of the Korean Society of Marine Engineering Vol.30, No.8, pp.877-884 Procedia 61, pp. 1275-1278. 2006,
- [2] Kim, D. K., Kim, M. K., Cha , D. K., Yoon , S. H., Yang , C. J., “Design of Drag-type Vertical Axis Miniature Wind Turbine Using Arc Shaped Blade” The KSFM Journal of Fluid Machinery Vol.9, No.2, pp.7-12, 2006
- [3]Park,C.,Park,G.S.,W.G.,S.H.,“Numerical Analysis of Wind Turbine of Drag Force Type with chang of Blade Number and Pitch Angle”Journal of the Koera Society of Computational Fluids Engineering Vol.10, pp. 61-64, 2004
- [4] Moutsoglou,A,“Performance Tests of a Benesh Wind Turbine Rotor and a Savonius Rotor,” Wind Engineerin , Vol.19,No.6,pp.349-362, 1995
- [5] Mojola,O.O. and Onsasnys,O.E., “Performance Testing of a Savonius Windmill Rotor in Shear Flows” Journal of Wind Engineering, Vol.8, No.2, p.109,1984
- [6] Menet.J. L.,“A Double-Step Savonius Rotor for Local Production of Electricity : a Design Study Renewable Energy” Fuel and Energy Abstracts, Vol. 29,issue,pp. 1843-1862,2004
- [7] Ryu I.H,Kim J.H,Kim B.G., LeeK. S., Yang. C.J,“A

- Study on Vertical Axis Wind Turbine Performance in Different Blade Shapes, Korean Society for Fluid Mchinery, summer symposium, pp.29-33, 2016
- [8] Kim, J. H., Kim, J .B., Oh, Y. L., , “Performance Prediction of Wind Power Turbine by CFD Analysis” Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers Vol.37, No.4, pp.423-429, 2013
- [9] Jung,C.P.,“A Study of Vertical Axis Wind Turbine”Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol.10,No.5 pp.389-395,2017

저자약력

박 정 철(Jung-Cheul Park)



- 1983년 명지대학교 전자공학과 학사
- 1892년 명지대학교 전자공학과 석사
- 2000년 명지대학교 전자공학과 공학박사
- 2007년 ~ 현재 : 가천대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

신재생에너지

원 우 연(Woo-Yeon Won)



- 2003년 가천대학교 전기공학과 학사
- 2006년 가천대학교 전기전자공학과 석사
- 2017년 가천대학교 IT융합과 박사 수료
- 2016년 ~ 현재 : 한국폴리텍III대학 전기과 교수

<관심분야>

신재생에너지