

ANSYS 프로그램을 이용한 50kW급 풍력터빈에 관한 연구

이달호*, 박정철**

A Study of 50kW Wind Turbine by Using ANSYS Program

Dal-Ho Lee*, Jung-Cheul Park**

요약 본 논문에서는 ANSYS 유동해석 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 5kW와 50kW 수직축 풍력터빈에 대해 연구하였다. 5kW급 수직축 풍력터빈은 주 블레이드의 갯수와 보조 블레이드의 개수를 각각 30개로 하였고 주속비(TSR)를 0.2에서 0.6까지 변화를 주면서 전기적 특성을 분석하였다. 5kW급 수직축 풍력터빈의 전기적 특성을 기초로 하여 50kW급 수직축 풍력터빈을 설계 하였다. 5kW급 풍력발전은 주속비가 0.5일 때 9.5kW의 출력과 0.28의 효율이 최대로 나타났다. 출력전류(I_p)와 출력전압(E_p)을 계산한 결과, 주속비가 증가하면 출력전류(I_p)는 감소되고 출력전압(E_p)은 증가되는 것을 알 수가 있었다. 그리고 주속비를 변화주어도 5kW급 풍력발전은 5kW 이상 출력이 측정되었다. 주속비를 0.3부터 0.6까지 변화시켰을 때, 50kW급 풍력발전은 50kW 이상 출력되었다. 50kW급 풍력발전은 주속비가 0.4일 때, 출력은 58.37[kW]이고 효율은 0.318로 최대로 나타났으며, 제안한 50kW 풍력발전이 설계조건을 만족함을 확인하였다.

Abstract In this paper, the 5kW and 50kW vertical axis wind turbines were studied using the ANSYS flow analysis simulation program. The 5 kW vertical shaft wind turbine has 30 units of the number of main blades and sub-blades and the electrical characteristics were analyzed by changing the tip speed ratio (TSR) from 0.2 to 0.6. A 50kW vertical axis wind turbine was designed based on the electrical characteristics of a 5kW vertical axis wind turbine. When the tip speed ratio was 0.5, the 5 kW wind power generation showed the maximum output of 9.5 kW and the efficiency of 0.28. The calculation of the power current(I_p) and the power voltage(E_p) show that, as the tip speed ratio increases, the power current(I_p) decreases and the power voltage(E_p) increases. And even if the tip speed ratio was changed, 5kW wind power generation was measured for output of 5 kW or higher. When the tip speed ratio was changed from 0.3 to 0.6, 50 kW wind power generation was output more than 50 kW. When the tip speed ratio of 50kW wind power generation was 0.4, the output was 58.37 [kW] and the efficiency was 0.318, and it was confirmed that the proposed 50kW wind power generation satisfies the design conditions.

Key Words : ANSYS flow analysis simulation program, power voltage, power current, main blade, sub-blade, TSR, vertical axis wind turbines

1. 서론

EU 이사회는 재생에너지 지침 개정(Revised Renewable Energy Directive)을 위한 3자 협

상에서 2030년까지 최종에너지 소비 중 재생에너지 비중 목표치를 27%에서 32%까지 확대하기로 하였고 미국 캘리포니아주는 2045년까지

*,** Department of Electronic Engineering, Gachon University

** Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Gachon University (jcpark@gachon.ac.kr)

Received May 17, 2022

Revised June 03, 2022

Accepted June 03, 2022

100% 재생에너지로 충당토록 하는 법안을 마련하고 있다. 한국은 2030년까지 전체발전량의 비중을 20%까지 확대하는 “재생에너지 3020정책”을 추진 중이다[1]. 풍력발전은 바람 즉, 공기의 운동에너지에 의해 전력이 생산되므로 발전시간의 제약이 없으며 태양광에 비해 출력단위 면적이 1/4로 작아 공간적 제약에 있어서도 태양광 발전에 비해 유리하다. 태양광과 풍력발전의 연간 평균 전력량을 비교하면 태양광은 약 15%, 풍력발전은 약 25%의 전력생산을 한다. 이것은 태양광은 태양빛이 있는 동안만 발전하고 풍력발전은 24시간 발전 가능한 것이다. 풍력발전은 회전자 축 방향에 따라 수직축 터빈(Vertical Axis Wind Turbine : VAWT) 방식과 수평축 터빈(Horizontal Axis Wind Turbine : HAWT)방식으로 나누어진다. 수직축 풍력 터빈은 수평축 터빈보다 풍속의 방향과 무관하게 발전이 되기 때문에 구조적으로 간단하고 설치비용이 저렴하며 낮은 회전속도에서도 정격출력으로 전기를 발전시킬 수 있기 때문에 미풍에서도 풍력발전이 가능하고 소음도 적다는 장점이 있다 [2,3]. 국내의 경우 바람 방향이 일정하지 않는 지역에서도 발전을 일정하게 공급할 수 있으며 제어가 가능한 시스템은 거의 없는 현실이다. 현재 수평축 프로펠러형은 소음문제, 방향문제, 바람 진동문제 등을 해결하는데 기술적 한계가 있으므로 수직축 블레이드개발이 진행되고 있다 [4,5] 기존의 직선형 에어 호일형 블레이드에서 발전효율을 높이고 소음을 개선할 수 있는 비틀림 각, 누임 각, 휨 각을 가지는 곡선 형태의 블레이드 개발이 가속화될 전망이다. 현재까지 수직축 풍력터빈의 고출력을 위해 많은 연구가 이루어지고 있으며 ANSYS 프로그램을 이용하여 아크형 날개를 적용한 항력식 수직축 소형 풍력터빈 발전 효율 변화 및 피치각 변화에 따른 최적의 설계변화에 대해 많은 연구를 진행하고 있다 [6,7]. 본 논문에서는 5kW급 수직축 풍력터빈에서 주 블레이드와 보조 블레이드의 매수를 30매로 하여 ANSYS 유동해석 시뮬레이션 프로그램

을 이용하여 출력과 효율을 측정하고 이것을 기초로 하여 50kW급 설계사항을 제시하여 전기적 특성을 관찰하고자 한다.

2. 실험방법

본 논문에서 유한요소 해석법으로 풀이되는 ANSYS 프로그램을 이용하였다. 이 ANSYS CFD는 CFX와 Fluent를 이용하여 공기흐름, 출력, 효율 등을 얻을 수 있다[8,9]. 본 논문에서 사용된 ANSYS CFD 모델링 절차를 그림 1에 나타냈다.

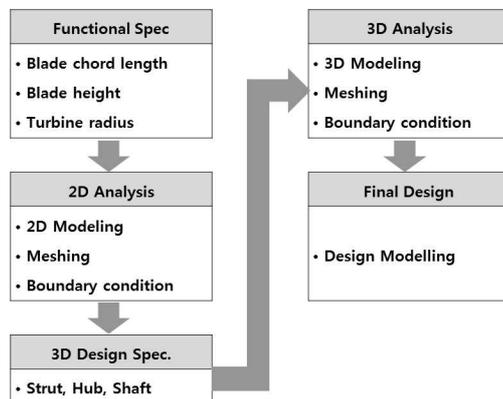


그림 1. ANSYS CFD Modeling 절차
Fig. 1. ANSYS CFD Modeling procedure.

주속비(TSR, Tip Speed Ratio)란 풍력터빈의 성능을 나타내기 위한 것으로 공기 유입속도에 대한 블레이드 회전으로 인한 상대속도의 비율을 의미한다. 터빈의 작동상태를 나타낼 때 사용하는 무차원 수인 주속비(λ)는 블레이드 선단속도와 풍속의 비라고 하며 주 블레이드의 비틀림각을 의미하는 피치각을 제어하지 않는다는 가정하에 식(1)과 같이 표시된다. 나타냈다[10].

$$TSR = \lambda = \frac{V}{v} = \frac{R\omega}{v} = \frac{2\pi f R}{v} \quad (1)$$

여기서, V : 터빈 로터 선단 속도[m/s], R :

터빈 블레이드 반지름[m], w : 터빈 블레이드 선단 각속도[rad/s], n : 터빈 로터 회전수 [rpm], v [m/s] : 바람의 속도(풍속)

효율은 풍차의 성능을 표현하는 것으로 풍차 블레이드 회전면적으로 유입되는 풍력에너지에 대한 기계적 에너지 변환 비율을 의미하며, 식 (2)로 나타냈다[10].

$$C_p = \frac{P_{max}}{P_w} = \frac{\frac{8}{27}Av^3}{\frac{1}{2}\rho Av^3} \quad (2)$$

여기서, ρ : 공기밀도[kg/m^3] , v : 풍속 [m/s], A : 터빈의 면적 [m^2]

출력전류(I_p)는 다음의 식(3)과 같으며, 출력전압(E_p)은 식(4)로 계산된다.

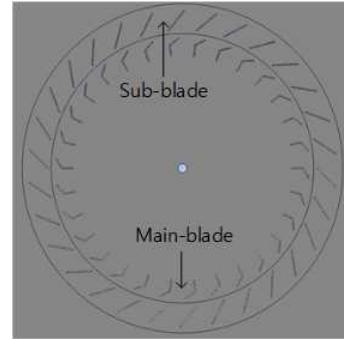
$$I_p = \frac{1}{3} \frac{\rho\pi R^3}{p\lambda_{pm} \cdot \lambda(v)} C_p(v) \cdot v^2 [A] \quad (3)$$

$$E_p = \frac{\eta P_{(T-G)}}{3I_p} [V] \quad (4)$$

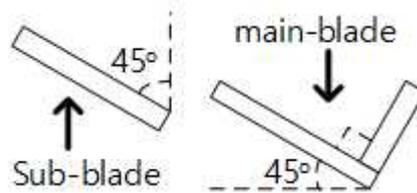
여기서, R : 로터 반지름, $\eta = 94\%$, $p \cdot \lambda_{pm}$: Back EMF constant, $\lambda(v)$: 주속비

본 논문에서는 그림 2(a)에 나타낸 것처럼 V-shape 형태로 설계된 주 블레이드를 기반으로 주 블레이드와 보조 블레이드를 각각 30매로 하였다. 그림 2(b)에 나타낸 것처럼 주 블레이드는 45° , open angle은 90° , 폭은 0.6[m], 길이는 4[m], 두께는 0.005[m]로 설계되었고, 보조 블레이드는 45° , 폭은 0.9[m], 길이는 6[m], 두께는 0.005[m]로 설계하였다. 터빈 직경은 9[m], 풍속은 10[m/s]로 설계조건으로 설정하여

시뮬레이션을 실시하여 주속비(TSR, Tip Speed Ratio)를 0.2에서 0.6까지 변화를 주어 출력전력, 효율을 계산하였다.



(a) shape



(b) angle

그림 2. 블레이드 형상
Fig. 2 Blade shape.

3. 결과 및 고찰

실험방법에서 제시된 것처럼 터빈 직경은 9[m], 풍속은 10[m/s]로 실험한 결과를 그림3에 나타내었다. 그 결과, 그림 3은 유동해석 결과를 나타낸 것으로 공기의 흐름이 아주 안정적이라는 것을 볼 수 있으며 보조 블레이드를 통과한 공기는 속도를 증가시켜서 회절 없이 더 큰 힘을 입구 측 주 블레이드에 힘을 전달하고 출구 측 주 블레이드에도 안정적이고 부드럽게 힘을 전달하고 통과함을 보여준다. 전반적인 공기의 흐름은 터빈이 회전하는 방향과 같은 방향으로 회전하는 것을 알 수 있으며 터빈 하부 및 터빈 출구 부분에서 양의 회전 모멘트로 작용한다는 것

을 확인할 수 있다.

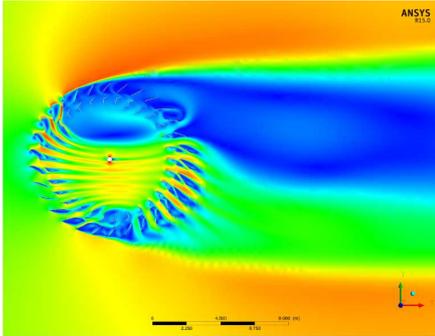
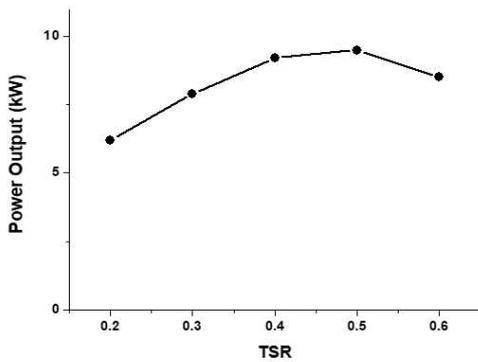
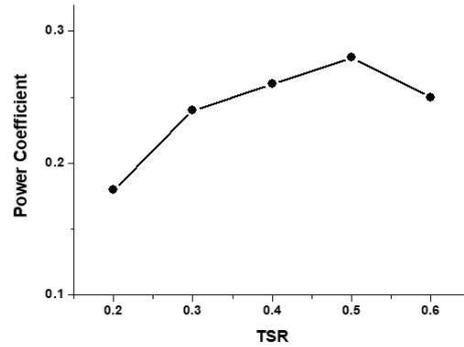


그림 3. 유동해석
Fig. 3. Air flow analysis

주속비를 0.2 ~ 0.6 까지 변화 주었을 때 출력과 효율을 계산한 결과를 그림 4에 도시하였다. 주속비가 0.5일 때, 9.5kW의 출력과 0.28의 효율로 최대치를 보였다. 그리고 출력전류(I_p)와 출력전압(E_p)을 계산한 결과값을 표 1에 제시하였다. 이로부터 출력전류(I_p)는 주속비가 증가하면 감소되고 출력전압(E_p)은 증가되는 것을 알 수가 있었다. 결론적으로 주 블레이드와 보조 블레이드 매수를 30개로 한 설계조건이 주속비가 0.2 이상 증가되어도 5KW 이상 출력이 되어 설계조건이 만족하는 것을 알 수가 있었다.



(a) 출력(P)



(b) 효율(C_p)

그림 4. 출력 및 효율 결과

Fig. 4. Results for power and power coefficient
(a) power result (b) power coefficient result

표 1. 출력전압과 출력전류

Table 1. Output voltage and output current

| TSR. | C_p | I_p [A] | E_p [V] |
|------|-------|-----------|-----------|
| 0.2 | 0.18 | 153.19 | 12.70 |
| 0.3 | 0.24 | 130.72 | 18.99 |
| 0.4 | 0.26 | 106.21 | 27.24 |
| 0.5 | 0.28 | 91.50 | 32.68 |
| 0.6 | 0.25 | 68.08 | 39.47 |

이상의 결과를 바탕으로 50kW급으로 설계한 후 출력이 50kW를 달성되는지를 시뮬레이션 하였다. 설계한 50kW급 풍력터빈의 사양은 표2와 같다. 그림 5에 나타낸 것과 같이 주 블레이드 두께는 4cm, 주 블레이드 길이는 75cm, 보조 블레이드의 두께는 5cm로 선택하였고, 주 블레이드와 보조블레이드 합이 30매인 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

표 2. 50[kW]급 풍력터빈 사양

Table 2. Specification of 50[kW] class wind turbine

| | Specification |
|----------------------------|---------------|
| turbine diameter | 15[m] |
| turbine height | 15[m] |
| wind speed | 11[m/s] |
| The quantity of sub-blade | 30 |
| The quantity of main-blade | 30 |

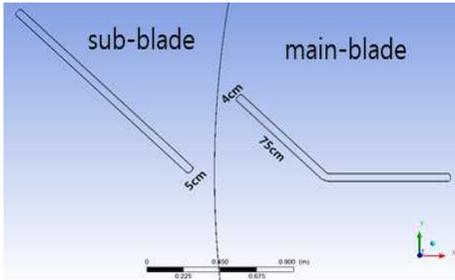


그림 5. 블레이드 형상
Fig. 5. Blade shape

그림 6의 유동해석 결과를 살펴보면, 빨간색 색상 패턴이 블레이드 입구측 및 출구측에서 균등하게 많이 나타나고 있으며 보조 블레이드를 통과한 공기의 속도가 증가되어 회절없이 더 큰 힘을 입구측 주 블레이드에 힘을 전달하고 회전자를 거쳐서 출구측 주 블레이드에도 안정적인고 부드럽게 힘을 전달한 후 보조 블레이드를 지나 출구측을 통과하고 있는 것을 볼 수 있으며 터빈 하부 및 터빈 출구 부분에서 양의 회전 모멘트로 작용하여 출력 증대에 크게 기여한다고 할 수 있다.

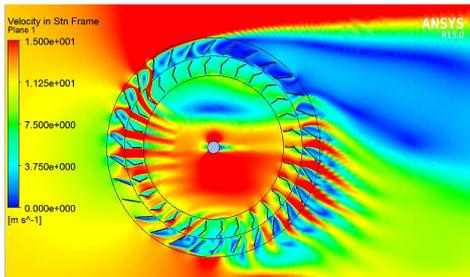
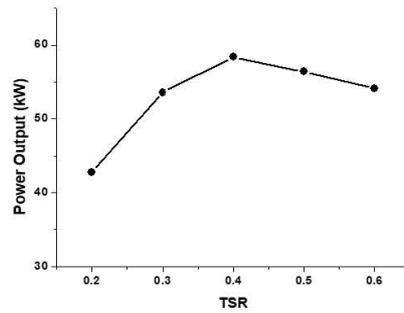


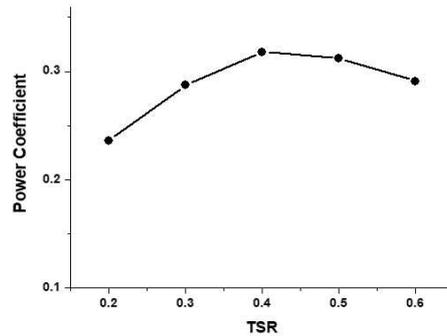
그림 6. 유동해석
Fig. 6. Air flow analysis

그림 7은 조속비를 0.2에서 0.6까지 변화를 주어 출력과 효율을 측정하여 나타낸 것으로 조속비가 0.3에서 0.6까지 모두 50[kW]가 초과되었음을 확인 할 수 있었다. 최대 출력은 조속비가 0.4일 때 58.37[kW], 효율은 0.318로 나타났다. 그리고 출력전류와 출력전압을 계산하여 표 3에

나타냈다. 조속비가 0.4일 때 출력전류는 727.7[A], 출력전압은 25.1[V]로 계산되었다. 결론적으로 제시한 50kW급 설계사양을 시뮬레이션 한 결과, 조속비가 0.3이상부터 출력이 50kW 이상 측정되어 표2에 나타난 설계사양이 만족됨을 알 수가 있었다.



(a) 출력(P)



(b) 효율(C_p)

그림 7. 효율, 출력 결과

Fig. 7. Results of power, power coefficient

표 3. 50kW의 출력전압과 출력전류

Table 3. Output voltage and output current of 50kW

| TSR. | Cp | Ip[A] | Ep[V] |
|------|-------|---------|-------|
| 0.2 | 0.236 | 1080.16 | 12.43 |
| 0.3 | 0.287 | 875.73 | 19.18 |
| 0.4 | 0.318 | 727.73 | 25.13 |
| 0.5 | 0.312 | 571.21 | 30.97 |
| 0.6 | 0.291 | 443.96 | 38.24 |

4. 결론

본 논문에서는 5kW급 수직축 풍력터빈에서 주 블레이드와 보조 블레이드의 매수를 30매로 하여 주속비를 변화시키면서 ANSYS 유동해석 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 출력과 효율을 구하고 이것을 기초로 하여 50kW급 설계사항을 제시하여 전기적 특성을 관찰하였다.

5kW급 풍력발전은 주속비를 0.2 ~ 0.6 까지 변화 주었을 때 주속비가 0.5에서 9.5kW의 출력과 0.28의 효율이 최대로 나타났다. 출력전류(I_p)와 출력전압(E_p)을 계산한 결과, 주속비가 증가하면 출력전류(I_p)는 감소되고 출력전압(E_p)은 증가되는 것을 알 수가 있었다. 결론적으로 주 블레이드와 보조 블레이드 매수를 30개로 한 설계조건이 주속비가 0.2 이상 부터 5KW 이상 출력이 되어 설계조건이 만족하는 것을 알 수가 있었다.

50kW급 풍력발전은 주속비가 0.3부터 출력이 50kW 이상 발전되는 것을 확인 할 수 있었으며 최대 출력은 주속비가 0.4일 때 58.37[kW], 효율은 0.318로 최대로 나타났다. 결론적으로 제시한 50kW급 설계사항이 우수한 것으로 판단된다.

본 논문에서 얻어진 결과를 바탕으로 50kW급 풍력발전 설계사항을 고찰하면 보다 성능이 우수한 50kW급 풍력발전의 제작이 가능할 것이다.

REFERENCES

- [1] H. S. Lee, K.H. Kim, H. S. Kim, J. H. Park, "The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 69, no. 8, pp. 1157~1164, 2020
- [2] D. K. Kim, M. K. Kim, D. K. Cha, S. H. Yoon, C. J. Yang, "Design of Drag-type Vertical Axis Miniature Wind Turbine Using Arc Shaped Blade" The KSFJ Journal of Fluid Machinery Vol.9, No.2, pp.7-12, 2006
- [3] C. Park, G. S. Park, "Numerical Analysis of Wind Turbine of Drag Force Type with change of Blade Number and Pitch Angle" Journal of the Korea Society of Computational Fluids Engineering Vol.10, pp. 61-64, 2004
- [4] Ministry of Trade, Industry and Energy, "Development and Implementation of Optimal Design System for Electric Machines and Power Apparatus. (400kVA power transformer, 500kW wind generator, 5MW PM type electric machine)", Dong-A University, Korea Electrical Engineering & Science Research Institute, R-2007-2-060, pp. 75-82, 2010.3.31.
- [5] M. A. Khan, P. Pillay, "Design of a PM Wind Generator, Optimised for Energy Capture over a Wide operating Range", Electric Machines and Drives IEEE, pp.1504, May 15, 2005.
- [6] I. H. Ryu, J. H. Kim, B. G. Kim, K. S. Lee, C. J. Yang, "A Study on Vertical Axis Wind Turbine Performance in Different Blade Shapes", Korean Society for Fluid Machinery, summer symposium, pp.29-33, 2016
- [7] J. H. Kim, J. B. Kim, Y. L. Oh, "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
- [8] J.C.Park, "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
- [9] D.H. Lee, J. C. Park, "A Study of Wind Turbine by Using ANSYS Program" Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol.11 No.5, pp. 565~571, 2018
- [10] R. Magdi, M. R. Adam, "Wind Turbines Theory - The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio", Fundamental and Advanced Topics in Wind Power, Vol.20, pp.27-33, 2011.

저자약력

이 달 호(Dal-Ho Lee)

[정회원]



- 1982년 서울대학교 제어계측공학과 공학사
- 1985년 서울대학교 제어계측공학과 공학석사
- 1992년 서울대학교 제어계측공학과 공학박사
- 1992년~현재 가천대학교 전자공학과 교수

〈관심분야〉 시스템 식별, 신재생에너지

박 정 철(Jung-Chuel Park)

[정회원]



- 1983년 명지대학교 전자공학과 공학사
- 1992년 명지대학교 전자공학과 공학석사
- 2000년 명지대학교 전자공학과 공학박사
- 2007년 ~현재 가천대학교 전자공학과 교수

〈관심분야〉 신재생에너지