

수직축 풍력터빈의 유동해석에 관한 연구

A Study on Air Flow Analysis in Vertical-axis Wind Turbine

이 기 선* · 박 정 철†
 (Ki-Seon Lee · Jung-Cheul Park)

Abstract - This paper did basic study on the vertical-axis wind turbine. Namely, This paper was try to find the optimum conditions by using the ANSYS CFX simulation program through the changes of the main-blade angle and sub-blade angle. Main-blade Shape #4 angle 45 °compared to others Shape angle 0 ° was increased by 157.2[%] to 263.2[%] in the power output and was increased by 110[%] to 250[%] in the power coefficient. Also, when the Shape #5 Fin length of main-blade doubles, because the power output was 70.8[%] compared to Shape #1 and 27.5[%] compared to Shape #4, and the power coefficient was 60[%] compared to Shape #1 and 28.6[%] compared to Shape #4, the power output and the power efficiency were rather reduced. The output current of Shape #4 was increased 109.9[%] compared to Shape #1 and increased 250[%] compared to Shape #5, and The output voltage of Shape #4 was increased 22.5[%] compared to Shape #1 and increased 3.7[%] compared to Shape #4.

Key Words : Vertical-axis, Wind turbine, Main-blade, Sub-blade, The power coefficient

1. 서 론

우리가 사용하는 에너지의 대부분은 화력이나 원자력 등의 자원 소모적 에너지로 만들어지는 전기에너지를 사용하고 있으며, 그 에너지원들은 극히 제한적이고 점차 고갈되어 얼마 지나지 않아 다른 에너지원을 찾아야 할 것이다. 고유가 및 온난화 현상과 같은 다양한 환경문제로 인해 대체에너지 개발은 선택이 아닌 필수적인 요소가 되었다. 많은 대체에너지 중 태양에너지는 인류가 존재하는 한 절대 없어지지 않을 에너지원이며 친환경 재생에너지이다[1]. 재생에너지 중 풍력에너지는 무한정, 무공해의 바람을 이용하기 때문에 환경에 미치는 영향이 적고 국토를 효율적으로 이용할 수 있으며, 운전중 온실가스 배출 및 미세먼지 등의 유해물질이 없으므로 화석에너지 고갈에 대비한 대체에너지원으로 각광받는 에너지중의 하나이다. 풍력 발전기는 공기의 운동 에너지를 회전자의 공기역학적 특성을 이용하여 회전자를 회전시켜 회전운동에너지를 변환시키는 역할을 하는 것으로서, 회전자 축의 방향에 따라 수평축 터빈(Horizontal Axis Wind Turbine : HAWT) 방식과 수직축 터빈(Vertical Axis Wind Turbine : VAWT) 방식으로 나눌 수 있다[2].

수직축 풍력 터빈은 수평축 풍력터빈에 비해 몇가지 장점을 가지고 있다. 수직축 풍력터빈은 바람의 방향에 관계없이 운전 가능하기 때문에 구조적으로 간단하고 설치비용 또한

저렴하다. 또한 수직축 풍력터빈의 경우 낮은 회전속도에서도 정격출력으로 발전하기 때문에 미풍에서도 풍력발전이 가능하며 소음 역시 더 적다는 장점이 있다[3].

본 논문에서는 대상으로 하고 있는 수직축 풍력터빈에 대해 연구하였다. 즉 주 블레이드 각도와 보조 블레이드 각도를 변화주어서 ANSYS 유동해석 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 최적의 조건을 제시하고자 한다.

2. 본 론

본 논문에서 사용된 ANSYS CFD Modeling 주요절차를 그림 1에 나타냈다.

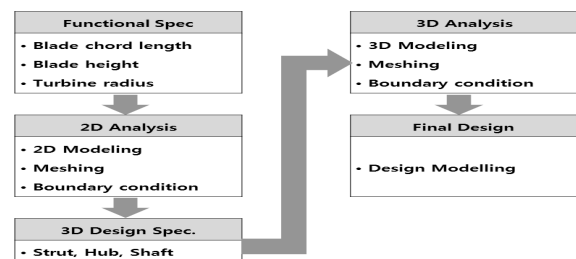


그림 1 ANSYS CFD Modeling 절차
 Fig. 1 ANSYS CFD Modeling procedure

그림 2는 주 블레이드와 주 블레이드에 부가된 Fin의 각도 및 크기의 형상을 표현한 것이다. Shape #1은 주 블레이드의 기본형상이며, 터빈 직경(D)은 7[m] 이고 주 블레이드와 Fin 사이의 각도(Open angle)는 90°, 주 블레이드 형상은 Fin Type, Fin 크기는 0.2[m] 이다. 그리고 보조 블레이드 각도는 45°, 풍속은 7[m/s]로 시뮬레이션 하였다.

그림 3은 주 블레이드에 대해 압력분포를 해석한 것으로

† Corresponding Author : Dept. of Electronic Engineering, Gachon University, Korea

E-mail : jcpark@gachon.ac.kr

* Electric & Control Engineering Division, Shinincheon Combined Cycle Power Plant, Korea

접수일자 : 2017년 7월 12일

수정일자 : 2017년 8월 28일

최종완료 : 2017년 11월 20일

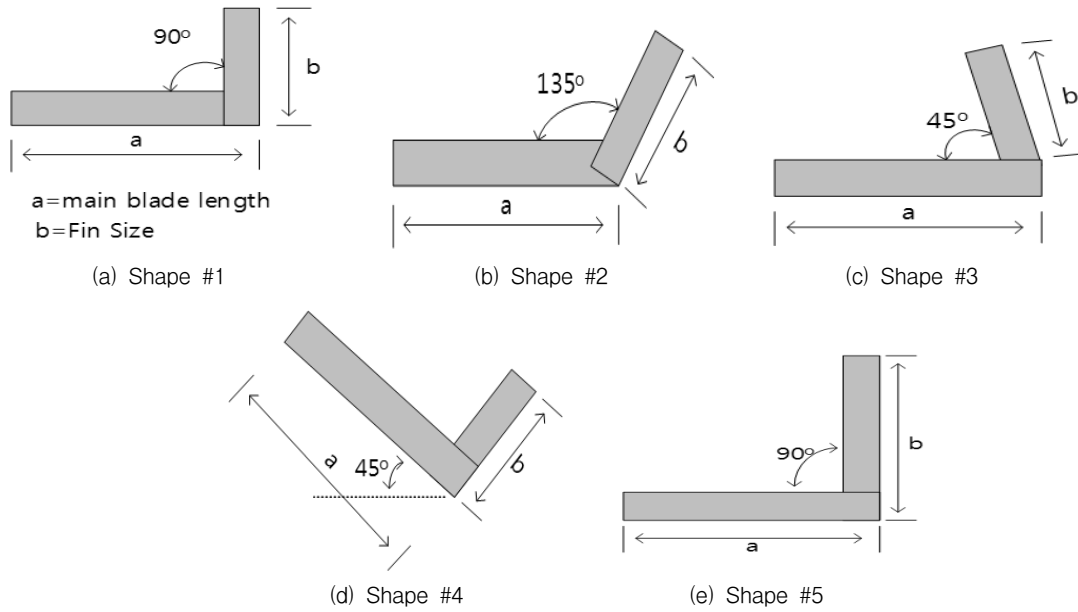


그림 2 주 블레이드와 Fin의 각도 및 크기 형상
 Fig. 2 Angle & size shapes of main-blades and Fin

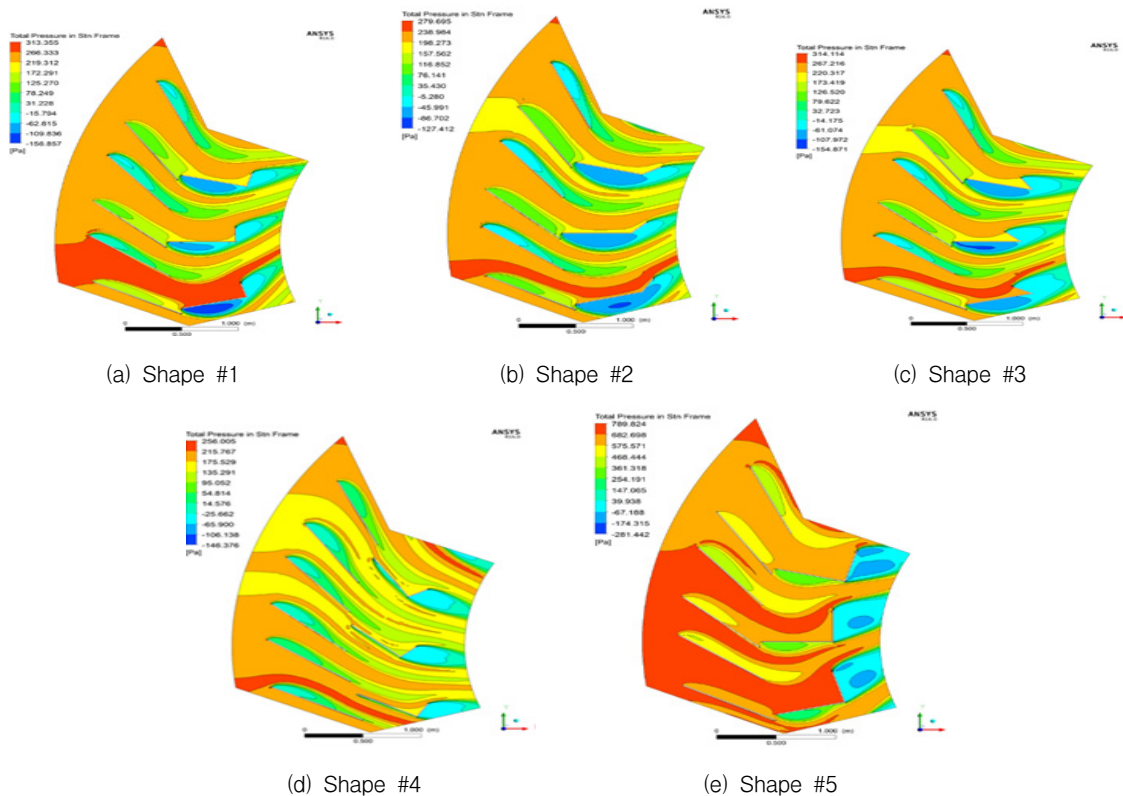


그림 3 압력분포해석
 Fig. 3 Analysis of fluid pressure distribution

높은 압력의 레벨을 의미하는 빨간색 및 주황색의 분포가 Shape #5에서 가장 많이 나타났고 그 뒤를 이어 계략적으로 Shape #1 > Shape #2 > Shape #3 > Shape #4 순으로 나타났다.

그림 4는 속도분포를 나타낸 것으로 빨간색은 가장 높은

풍속으로 최대 약 22[m/s]를 나타낸 것이고, 파란색은 매우 낮은 풍속을 의미한다. 속도변화가 유사하여 그림 패턴만으로는 구분하기가 쉽지 않으나, 특이한 점은 Shape #1, Shape #2, Shape #3, Shape #5의 입구 측 주 블레이드 후단 부에서 공기 방향이 상부로 향하고 있으나, Shape #4의 경

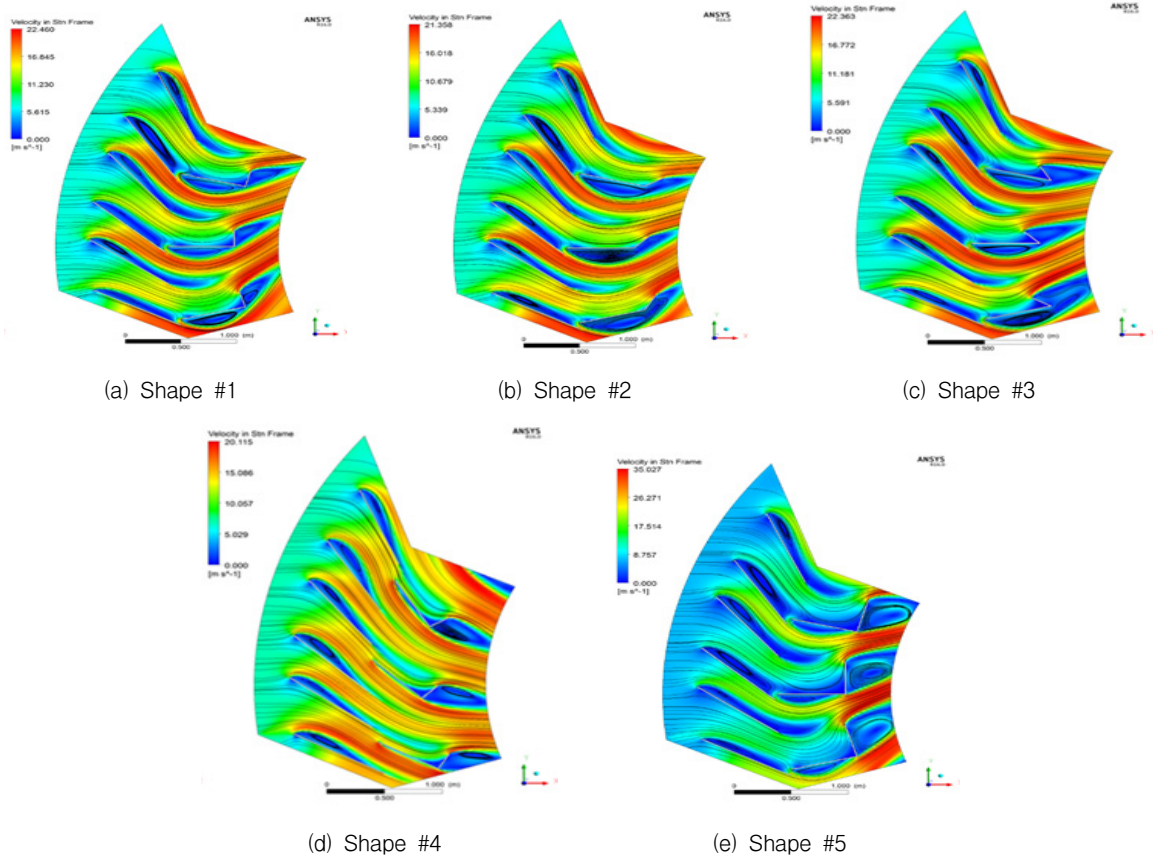


그림 4 속도분포해석

Fig. 4 Analysis of velocity distribution

표 1 Shape #1 ~ Shape #5 주 블레이드 설계값

Table 1 Design values of main blade for Shape #1 ~ Shape #5

	main blade			
	length [cm]	angle	Fin length [cm]	Open angle
Shape #1	60	0°	20	90°
Shape #2	60	0°	20	135°
Shape #3	60	0°	20	45°
Shape #4	60	45°	20	90°
Shape #5	60	0°	40	90°

우는 주 블레이드 후단부에서 공기 방향이 하부로 향하고 있다는 것을 확인할 수 있다.

결과적으로, 높은 속도가 더 높은 에너지가 전달 될 수 있기 때문에 각 블레이드로 높은 풍속이 들어올 경우에도 높은 에너지가 전달될 수 있을 것이며, 보조 블레이드 및 주 블레이드에 의해 풍속이 증가될 경우에도 높은 에너지를 전달할 수 있을 것이다[4].

그림 5는 토크값을 분석한 것으로 주 블레이드 입구측 토크의 크기의 안정화 시점인 40초 이후를 기준으로 할 경우, Shape #5의 토크값이 8,400[Nm] 으로 가장 높고 나타났다. Shape #4는 블레이드에 힘이 전달되지 못하고 통과되어 가장 낮게 나타난 것을 알 수가 있었다.

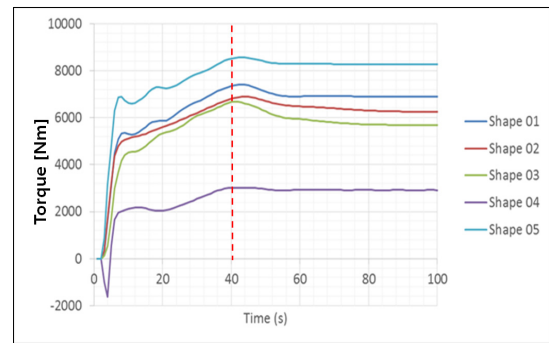


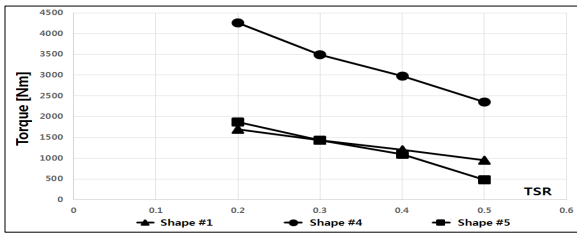
그림 5 Shape #1 ~ Shape #5 토크값 결과

Fig. 5 Results of Shape #1 ~ Shape #5 torque value

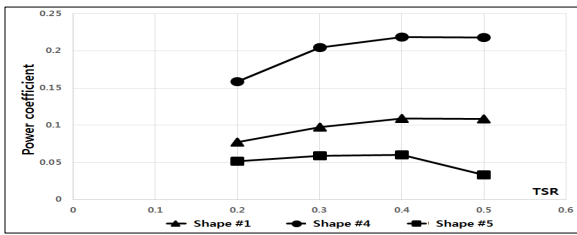
그림 6은 주 블레이드와 보조 블레이드 형상이 모두 갖춰진 수직축 풍력터빈의 상태에서 시뮬레이션을 실시하여 토크, 효율, 출력(P), 출력전압(Ep), 출력전류(Ip)의 결과를 나타낸 것이다. 시뮬레이션 대상은 토크가 가장 높았던 Shape #5와 가장 낮았던 Shape #4 그리고 기본형상인 Shape #1 이며, TSR 0.2 ~ 0.5 범위에서 실시하였다.

TSR 0.4를 기준으로 했을 때, Shape #4는 주 블레이드가 기존 형상에 비해 힘을 많이 받으며 출구 측에서 저항이 더 적기 때문에 Shape #1, Shape #5에 비하여 토크는 2973 [Nm], 효율 0.21, 출력전류(Ip) 19.78[A], 출력전압(Ep)

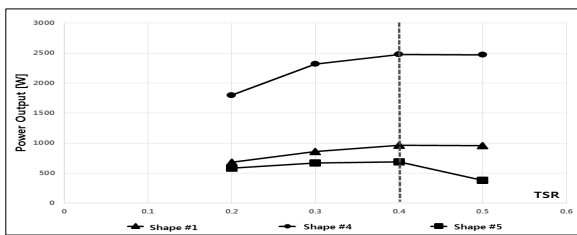
39.12[V], 출력(P) 2.47[kW]로 가장 높게 측정되었다.



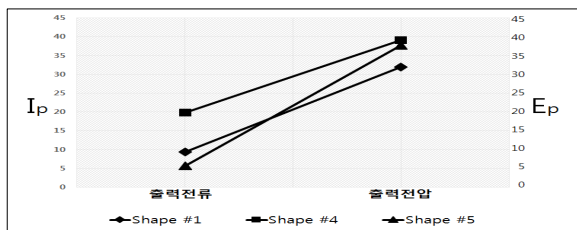
(a) Torque



(b) power coefficient



(c) power output



(d) output current(Ip), output voltage(Ep)

그림 6 Shape #1, Shape #4, Shape #5 토크, 효율, 출력, 출력전류 및 출력전압 결과

Fig. 6 Results for torque and power coefficient and power of Shape #1, Shape #4, Shape #5
 (a) Shape #1, Shape #4, Shape #5 Torque result (b) Shape #1, Shape #4, Shape #5 power coefficient result (c) Shape #1, Shape #4, Shape #5 Power output result (d) output current, output voltage results

3. 결 론

본 논문은 수직축 풍력터빈에 대한 기초 연구를 하였으며 즉 주 블레이드 각도와 보조 블레이드 각도를 변화 주어서 ANSYS 유동해석 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 최적의 조건을 찾아가 하였다.

1. 주 블레이드 형상이 기본형상의 0°각도 보다는 각도 45°로 변경한 Fin Type 블레이드에서 출력 및 효율이 더 상승했다. 즉 주 블레이드 각도를 45°로 변경한 Shape #4가 주 블레이드 각도를 0°로 한 나머지 Shape 들 보다 출력은 157.2% ~ 263.2% 더 증가하고, 효율은 110% ~ 250% 더 증가했다.
2. 주 블레이드의 Fin 크기를 기본길이 보다 2배 크게(b →2b) 변경한 Shape #5의 출력은 Shape #1에 비해 70.8%, Shape #4에 비해 27.5% 정도 수준이었으며, 효율은 Shape #1에 비해 60%, Shape #4에 비해 28.6% 정도 수준으로 출력 및 효율이 오히려 감소되었다.
3. 주 블레이드의 Open angle을 90°로 유지한 상태에서 주 블레이드 각도와 보조 블레이드 각도가 모두 45°로 동일하게 할 경우, 즉 Shape #4가 Shape #1의 0.96[kW] 및 Shape #5의 0.68[kW]에 비해 2.47[kW]로 출력이 가장 높았다.
4. Shape #4는 Shape #1과 Shape #5에 비해 출력전류가 각각 109.9%, 250%가 더 증가하였고 출력전압도 각각 22.5%, 3.7%가 더 증가하였다.

본 논문에서 제시한 최종 설계 사양의 시뮬레이션 시험 결과를 적용하여 풍력발전시스템을 개발하여 상용화 한다면 최적의 출력과 우수한 효율을 생산할 것으로 기대된다.

References

- [1] Sooyoung Jun, Sangwon Park, Hojun Song, "Assessment of GHG Emission Reduction Potential in Extension of Nuclear and Renewable Energy Electricity Generation," *Journal of Energy Engineering*, vol. 18, no. 3, pp. 191-202, 2009.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.

저 자 소 개



이 기 선(Ki-Seon Lee)

2002년 8월 인천대학교 전자공학과 학사
2011년 8월 한양대학교 전기공학과 석사
2017년 8월 가천대학교 전기공학과 박사
1995년 12월 ~ 현재 한국남부발전(주)
신인천발전본부 근무
<관심분야 : 광전소자>



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>