

# ANSYS 프로그램을 이용한 풍력발전에 관한 연구

이달호\*, 박정철\*\*

## A Study of Wind Turbine by Using ANSYS Program

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

**요약** 본 논문은 주 블레이드를 V 형태로 설계하고 주 블레이드와 보조 블레이드의 매수를 변화시켜 최상의 설계조건을 확인하고자 한다. 출력과 효율은 주 블레이드 매수가 증가할수록 증가되었다. sample 2는 sample 1과 비교하면 출력이 50% 상승하였다. sample 3은 92.8%, sample 4는 114.2% 정도 상승하였으며, 효율은 sample 1과 비교하여 sample 2는 38.4%, sample 3과 sample 4는 각각 92.3%, 107.7% 상승하였다. 보조 블레이드 매수를 증가 할수록 출력과 효율이 증가되었다. sample 6은 sample 5와 비교하면 출력이 33.3% 증가하였고, sample 7은 42.1% 증가하였다. 효율은 sample 5와 비교하여 sample 6은 35.3%, sample 7은 47.1% 정도 증가되었다. 보조 블레이드와 주 블레이드를 각각 30매로 하였을 때(sample 8) 가장 높은 출력과 효율이 측정되었다. sample 8은 sample 4와 비교하면 출력은 5.6% 및 효율은 3.7% 증가하였다. sample 7과 비교하면 sample 8은 효율이 12% 및 출력이 17.3% 증가되었다.

**Abstract** This paper designed the main blade in V-shape and tried to identify the design conditions by changing the main blade number and sub-blade number. Power output and power coefficient increased as main blade number increased. Sample 2 shows a 50% increase in power output compared to sample1. Sample 3 and sample4 increased by 92.8% and 114.7%, respectively. Sample 2 shows a 38.4% increase in power coefficient compared to sample1. Sample 3 and sample4 increased by 92.3% and 107.7%, respectively. Power output and power coefficient increased as sub-blade number increased. Sample 6 shows a 33.3% increase in power output compared to sample 5 and Sample 7 increased by 42.1%. Compared to sample5, efficiency increased by 35.3% for sample 5 and 47.1% for sample 7. The highest power output and power coefficient were measured when main blade and sub-blade were each 30 number. Sample 8 increased power output by 5.6% and power efficiency by 3.7% compared to sample 4. Compared to sample 7, sample 8 increased power efficiency by 12% and power output by 17.3%.

**Key Words** : main blade, power output, power efficiency, sub-blade, V-shape

### 1. 서론

현재 사용되는 대부분의 에너지는 화력과 원자력을 이용하여 전기에너지를 사용하고 있으며, 이 에너지원은 극히 제한적이고 점점 고갈되므로 다른 에너지원을 모색해야 할 것이다. 온난화현상 및 고유가 시대와 같은 여러 변수가 많은 환경문제로 인하여 대체에너지 개발은 필수적인 요소가 되었다. 여러 종류의 대체에너지 중 풍력은 영위히 존재하는 에너지원이며 친환경

재생에너지이다. 풍력 발전기는 공기의 운동에너지를 회전자의 공기역학적 특성을 이용하여 회전을 회전시켜 회전운동에너지로 변환시키는 것이다. 일반적으로 회전자 축 방향에 따라 수직축 터빈(Vertical Axis Wind Turbine : VAWT) 방식과 수평축 터빈(Horizontal Axis Wind Turbine : HAWT) 방식으로 나누어진다[1,2].

수직축 풍력 터빈은 풍속의 방향과 무관하게 운전 가능하기 때문에 구조적으로 간단하고 설치비용이 저

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

\*\* Department of Electronic Engineering, Gachon University

Received May 29, 2018

Revised June 7, 2018

Accepted August 29, 2018

렵하다. 그리고 수직축 풍력터빈은 낮은 회전속도에서도 정격출력으로 전기를 발전시킬 수 있기 때문에 미풍에서도 풍력발전이 가능하고 소음도 적다는 장점이 있다[3]. 국내의 경우 바람 방향이 일정하지 않는 지역에서도 발전을 일정하게 공급할 수 있으며 제어가 가능한 시스템은 거의 없는 현실이다. 현재 수평축 프로펠러형은 바람 진동문제, 방향문제, 소음문제 등을 해결하는데 기술적 한계가 있으므로 수직축 블레이드 개발도 진행되고 있다. 기존의 직선형 에어호일형 블레이드에서 발전효율을 높이고 소음을 개선할 수 있는 비틀림 각, 누임 각, 휨 각을 가지는 곡선 형태의 블레이드 개발이 가속화될 전망이다. 현재까지 수직축 풍력터빈의 출력상승을 위해 많은 연구가 이루어지고 있으며 유동해석을 이용하여 아크형 날개를 적용한 항력식 수직축 소형 풍력터빈 발전 효율 변화 및 피치각 변화에 따른 최적의 설계변화에 대해 많은 연구를 진행하고 있다.[4,5] 본 논문에서는 수직축 풍력터빈에서 주 블레이드와 보조 블레이드의 매수를 변화시켜서 ANSYS 유동해석 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 최적의 조건을 제시하고자 한다.

## 2. 본 론

본 논문에서 이용되는 시뮬레이션은 여러 분야의 공학적 문제를 유한요소 해석법으로 풀이되는 ANSYS 프로그램을 이용하였으며, 이 ANSYS CFD는 CFX와 Fluent를 이용하여 문제 해결을 위해 다양한 결과를 얻을 수 있다[6]. 본 논문에서 이용된 ANSYS CFD 모델링 순서도를 그림 1에 나타냈다.

논문에 적용된 터빈 직경과 풍속은 각각 9[m], 10[m/s]로 하여 주 블레이드와 보조 블레이드 매수를 변화주어서 시뮬레이션을 하였다.

V-Shape 형태로 설계된 주 블레이드를 기반으로 보조 블레이드는 42개로 하고 주 블레이드를 12, 18, 24, 30개로 변경하여 최적의 블레이드 매수를 찾고자 하였다. 표1은 시뮬레이션에 이용되는 주 블레이드와 보조 블레이드의 매수를 나타냈고 그림 2는 주 블레이드와 보조블레이드 형상을 간략히 나타냈다.

그림 3은 sample 1 ~ sample 4에 대한 주 블레이드 형상에 대하여 유동해석 결과를 나타내었다.

sample 1 ~ sample 4에 대한 유동해석 결과를 분석해 보면, sample 1 ~ sample 4는 보조 블레이드의 매수가 주 블레이드 매수보다 상당히 많이 장착이 되어 있기 때문에 유동해석의 속도패턴을 분석한 것만으로는 어느 것이 우수한 설계인지 간단하게 평가할 수는 없었다.

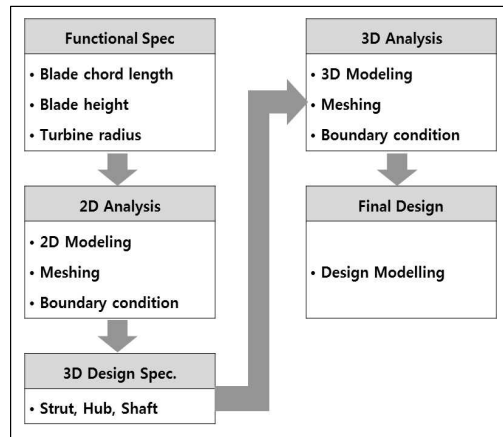


그림 1. ANSYS CFD 모델링  
Fig. 1. ANSYS CFD Modeling

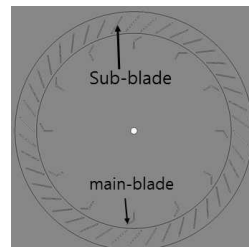


그림 2. 주, 보조 블레이드 형상  
Fig. 2. Shape of main, sub-blade

표 1. sample 1 ~ sample 4 주요 시뮬레이션 설계값  
Table 1. Major simulation design values for sample 1 ~ sample 4

	turbine diameter	wind speed	sub-blade number	main-blade number
sample 1	9[m]	10[m/s]	42	12
sample 2	9[m]	10[m/s]	42	18
sample 3	9[m]	10[m/s]	42	24
sample 4	9[m]	10[m/s]	42	30

그러나 sample 1 ~ sample 4의 시뮬레이션 결과에서 공기흐름이 어떻게 진행되는 것인지와 어느 부분에서의 속도가 빠르고 느린지를 확인이 가능하였다.

sample 1 및 sample 2에서, 주 블레이드의 입구 측 및 출구 측에서 블레이드에 공기 힘을 제대로 전달하지 못하고 출구 측으로 불안정하게 빠져나가면서 공기 역학적인 손실이 발생하는 것으로 나타남으로써 출력이 저하되는 것을 예상할 수 있다.

sample 3과 sample 4는 sample 1과 sample 2에 비하여 주 블레이드의 입구 측에서 공기가 큰 힘을 전달하고 출구 측 부분에는 공기가 안정되고 부드럽게 빠져나가는 것을 알 수가 있으며 특히 sample 4는 sample 3보다 공기흐름이 안정되어 출력이 더 상승될 것으로 예측할 수 있다.

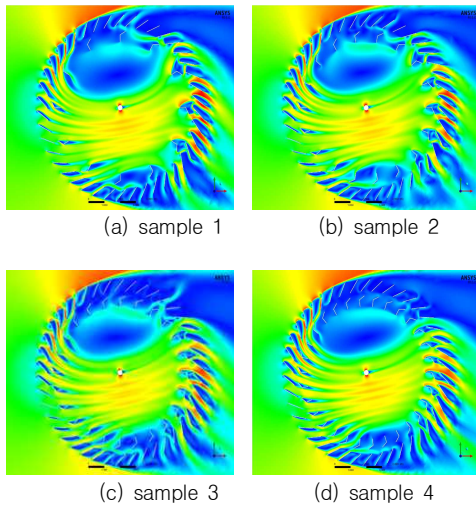
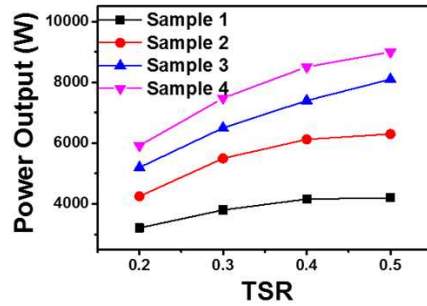
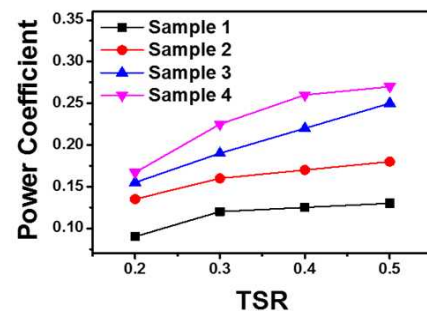


그림 3. 유동해석 결과  
Fig. 3. results of Air flow analysis

sample 1 ~ sample 4 형상을 시뮬레이션에 의한 효율 및 출력의 결과는 그림 4에 나타냈다. 주 블레이드 매수를 18, 24, 30개로 하였을 때, 출력 5[kW]를 넘었다. 출력 5[kW] 대비 sample 2는 26%, sample 3은 62%, sample 4은 80%를 초과함을 표 2에서 확인하였다.



(a) power output(P)



(b) power coefficient( $C_p$ )

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

sample 1 ~ sample 4의 결과에서는 주속비(TSR) 0.5에서 효율과 출력의 최댓값으로 나타났다. 그 결과를 표 2에 나타내었다. sample 1 ~ sample 4의 결과에서 동일한 주속비에서 효율과 출력의 최댓값이 일정하지 않고 변화하는 이유는 주 블레이드의 피치각이 고정되었다고 했을 때, 공기속도와 블레이드의 회전속도가 연관된다. 그래서 출력계수를 결정하는 주요변수는 공기속도와 블레이드 회전속도이므로 주속비에 따라 출력계수가 변한다.

표 2의 결과에서는 sample 1 대비 sample 2 ~ sample 4까지의 출력은 각각 50%, 92.8%, 114.2%로 증가하였으며 효율은 각각 38.4%, 92.3%, 107.7%로 증가되었다.

표 2. sample 1 ~ sample 4 시뮬레이션 결과 값  
Table 2. Simulation result values for sample 1 ~ sample 4

	wind speed	TSR	power output	power coefficient
sample 1	10[m/s]	0.5	4.2[kW]	0.13
sample 2	10[m/s]	0.5	6.3[kW]	0.18
sample 3	10[m/s]	0.5	8.1[kW]	0.25
sample 4	10[m/s]	0.5	9.0[kW]	0.27

(식 1)과 (식 2)를 이용하여 sample 1 ~ sample 4의 출력전류 및 출력전압을 계산하여 표 3에 나타냈다.

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

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

여기서, 로터 반지름 R = 4.5[m], v(풍속) = 10 [m/s], ρ(공기밀도) = 1.225[kg/m³], P(T-G) = 출력(P), η = 94%, p · λ<sub>pm</sub> = Back EMF constant = 71.5 값을 적용하였다[7,8]. C<sub>p</sub>(v) 및 λ(v)는 표 2의 결과값을 적용하였다.

표 3의 결과값에서 출력전류(I<sub>p</sub>)는 출력(P)값에 비례하고 주 블레이드 매수가 증가 할수록 상승하였다. 출력 전압(E<sub>p</sub>)은 sample 2의 조건일 때 33.54[V]로 가장 크고 sample 1이 30.96[V]로 가장 낮게 측정되었다

표 4의 설계값으로 주 블레이드 매수를 24개로 고정하고 보조 블레이드 매수를 18, 30, 42개로 변경하여 시뮬레이션을 실시하였다.

주 블레이드를 24매로 고정한 후, 보조 블레이드 매수를 변경한 sample 5 ~ sample 7의 유동해석 결

과를 그림 5 (a) ~ (c)에 나타냈다.

sample 5는 보조 블레이드의 수가 가장 적기 때문에 공기 흐름이 터빈 입구에서 많이 회절 되고 주 블레이드의 입구 측 및 출구 측에서 공기역학적인 손실이 발생되어 회전 모멘트는 음으로 작용하고, 전체적으로 공기 흐름이 불안정하게 형성되어 출력이 낮게 측정될 것으로 예상 할 수 있다.

표 3. sample 1~sample 4 출력전류와 전압 산출결과  
Table 3. Calculation results of output current and voltage for sample 1 ~ sample 4

	power coefficient t(C <sub>p</sub> )	power output (P)	output current (I <sub>p</sub> )	output voltage (E <sub>p</sub> )
sample 1	0.13	4.2[kW]	42.50 [A]	30.96[V]
sample 2	0.18	6.3[kW]	58.85 [A]	33.54[V]
sample 3	0.25	8.1[kW]	81.74 [A]	31.04[V]
sample 4	0.27	9.0[kW]	88.28 [A]	31.96[V]

표 4. sample 5 ~ sample 7 주요 시뮬레이션 설계값  
Table 4. Simulation result values for sample 5 ~ sample 7

	turbine diameter	wind speed	sub-blade number	main-blade number
sample 5	9[m]	10[m/s]	18	24
sample 6	9[m]	10[m/s]	30	24
sample 7	9[m]	10[m/s]	42	24

sample 6과 sample 7에서는 공기는 보조 블레이드를 통과하면서 속도가 증가되어 회절 없이 큰 힘을 주 블레이드 입구 측에 전달하고 출구 측 주 블레이드에도 안정적으로 힘을 전달하고 통과한다. 그러므로 전체적인 공기 흐름방향은 터빈 회전 방향과 동일한 방향으로 회전하는 것을 알 수 있다. 특히, sample 7의 유동해석 결과를 보면 보조 블레이드 수량이 sample 5 ~ sample 7 중에서 가장 많기 때문에 sample 6보다 터빈 밑부분과 출구 부분에서 회전 모멘트는 큰 양

(+)으로 작용한다고 할 수 있다.

그림 6은 sample 5 ~ sample 7의 효율 및 출력을 계산한 것으로 출력이 5[kW] 이상으로 측정된 것을 확인 되었다. 출력 5[kW] 대비 sample 5는 14%, sample 6은 52%, sample 7은 62%를 초과함을 표 5에서 확인하였다.

그림 6에서 나타낸 sample 5 ~ sample 7의 출력 및 효율 결과에서 sample 5는 TSR 0.4에서 최댓값으로 나타났고 TSR 0.5에서는 감소하는 것으로 나타났다. sample 6 및 sample 7에서는 TSR 0.5에서 효율과 출력이 최댓값으로 측정되었다. 표 5는 sample 5 ~ sample 7의 결과값을 나타내었다.

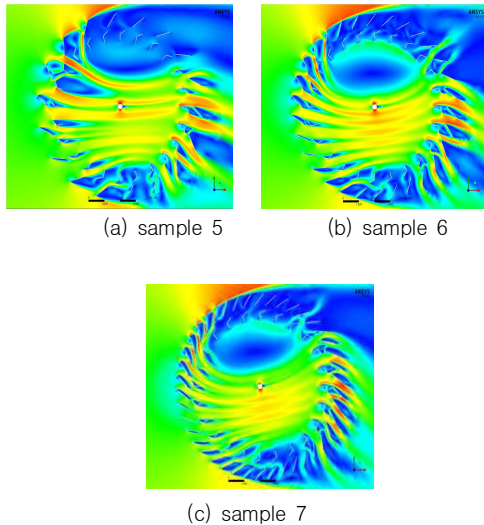


그림 5. 유동해석 결과  
Fig. 5. results of Air flow analysis

그림 6에서 나타낸 sample 5 ~ sample 7의 출력 및 효율 결과에서 sample 5는 TSR 0.4에서 최댓값으로 나타났고 TSR 0.5에서는 감소하는 것으로 나타났다. sample 6 및 sample 7에서는 TSR 0.5에서 효율과 출력이 최댓값으로 측정되었다. 표 5는 sample 5 ~ sample 7의 결과값을 나타내었다.

표 5의 결과에서 출력값은 sample 5 대비 sample 6은 33.3%, sample 7은 42.1% 정도 증가하였고, 효율값은 sample 5 대비 sample 6은 35.3%, sample 7은 47.0% 정도 증가하였다.

표 4 및 표5와 (식 1) 및 (식 2)를 이용하여 sample 5 ~ sample 7의 출력전류 및 출력전압 결과를 표 6에 나타냈다.

표 6에서 보조 블레이드 매수가 증가할수록 출력전류( $I_p$ )는 증가되었고 출력전압( $E_p$ )의 크기는 sample 6 > sample 7 > sample 5로 나타났다.

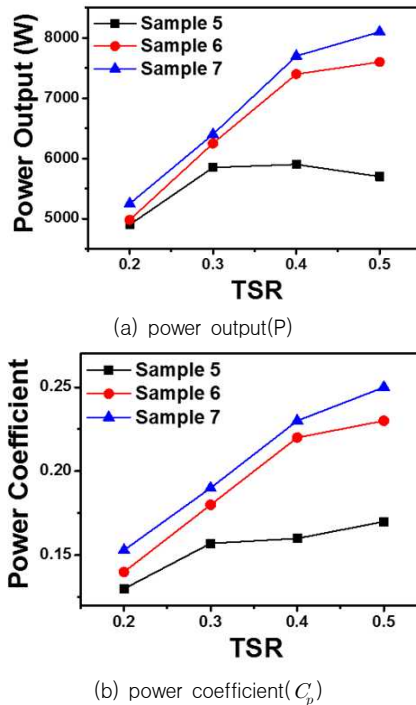


그림 6. sample 5 ~ sample 7 출력 및 효율 결과  
Fig. 6. Results for power and power coefficient of sample 5 ~ sample 7

표 5. sample 5 ~ sample 7 시뮬레이션 결과값  
Table 5. Simulation result values for sample 5 ~ sample 7

	wind speed	TSR	power output (P)	power coefficient ( $C_p$ )
sample 5	10[m/s]	0.4	5.7[kW]	0.17
sample 6	10[m/s]	0.5	7.6[kW]	0.23
sample 7	10[m/s]	0.5	8.1[kW]	0.25

표 6의 결과값을 기본으로 하고 주 블레이드와 보조 블레이드 매수를 각각 30개로 변경한 sample 8의 유동해석을 그림 7에 나타냈다.

표 6. sample 5 ~ sample 7 출력전류와 전압 산출결과  
Table 6. Calculation results of output current and voltage for sample 5 ~ sample 7

	power coefficient ( $C_p$ )	power output (P)	output current ( $I_p$ )	output voltage ( $E_p$ )
sample 5	0.17	5.7[kW]	69.48 [A]	25.70 [V]
sample 6	0.23	7.6[kW]	75.20 [A]	31.66 [V]
sample 7	0.25	8.1[kW]	81.74 [A]	31.04 [V]

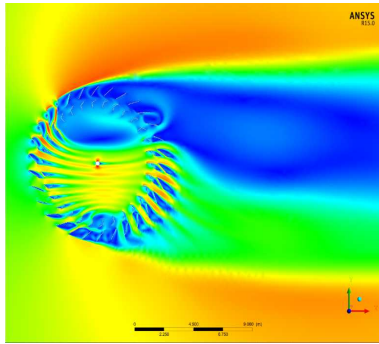
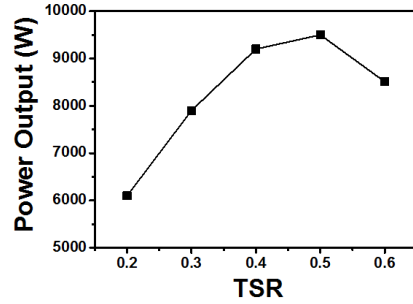


그림 7. sample 8의 유동해석  
Fig. 7. Air flow analysis for sample 8

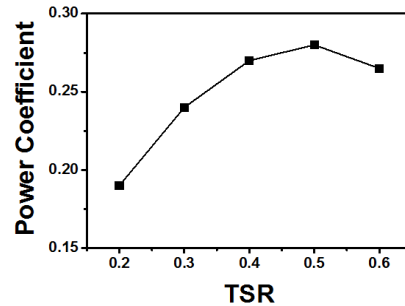
그림 7의 sample 8의 유동해석 결과를 살펴보면, 보조 블레이드의 매수가 18개인 sample 5와 비교하면 공기 흐름이 안정적인 것을 알 수 있었다. 주 블레이드 매수가 42개인 sample 7과 처럼 공기 흐름은 유사하다고 할 수 있다. 공기속도는 보조 블레이드를 통과한 공기 속도는 증가되고 회전없이 더 큰 힘을 입구측 주 블레이드에 힘을 전달하고 출구측 주 블레이드에도 안정적이고 큰 힘을 전달되는 것을 예측 할 수 있다.

전체적으로 공기 흐름은 터빈 회전 방향과 같은 방향으로 회전하며 터빈 밀부분과 출구 부분에서 회전 모멘트는 양(+)으로 작용한다는 것을 확인할 수 있다.

그림 8에서 확인하면 TSR 0.5에서 최대의 효율과 출력이 나타났으며, TSR 0.5에서의 효율은 28, 출력은 9.5[kW]으로 측정되었다.



(a) power output(P)



(b) power coefficient( $C_p$ )

그림 8. sample 8 출력 및 효율 결과  
Fig. 8. Results for power and power coefficient of sample 8

### 3. 결론

본 논문은 터빈 직경 및 풍속이 동일한 상황에서 V 형태의 주 블레이드와 보조블레이드의 매수를 변경하여 시뮬레이션한 결과는 다음과 같다.

1. 주 블레이드 매수를 증가할수록 효율과 출력이 향상되었다. 효율은 sample 1과 비교하여 sample 2는 38.4%, sample 3은 92.3%, sample 4는 107.7% 정도 상승하였고 출력은 sample 1과 비교하여 sample 2는 50%, sample 3은 92.8%, sample 4는 114.2% 정도 상승하였다.

2. 보조 블레이드 매수가 증가 될수록 효율과 출력

이 증가되었다. 효율은 sample 5와 비교하여 sample 6은 35.3%, sample 7은 47.1% 정도 상승하였으며, 출력은 sample 5와 비교하여 sample 6은 33.3%, sample 7는 42.1% 정도 상승하였다.

3. 주 블레이드와 보조 블레이드를 30매로 하였을 때 효율과 출력이 최대로 나타났다. 주 블레이드 매수를 증가 했을 때 효율과 출력값이 최대로 측정된 sample 4와 비교하면 sample 8은 효율이 3.7%, 출력이 5.6% 증가하였고, 보조 블레이드 매수를 증가 했을 때 효율과 출력값이 최대로 측정된 sample 7과 비교 할 경우 sample 8은 효율이 12%, 출력이 17.3% 증가 하였다.

결론적으로 현장에서 최적의 효율과 출력을 도출하기 위해서 본 논문을 기초로 하여 최적의 주 블레이드와 보조블레이드 매수를 결정할 필요가 있다.

## REFERENCES

- [1] Shin, J. Y., Son, Y .S., Cha, D. G., Lee,C.H.H wang,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 change of Blade Number and Pitch Angle”Journal of the Koera Society of Computational Fluids Engineering Vol.10, pp. 61-64, 2004
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 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.
- [8] Khan, M.A, P. Pillay, "Design of a PM Wind Generator, Optimised for Energy Cature over a Wide operating Range", Electric Machines and Drives IEEE, pp.1504, May 15, 2005.

## 저자약력

### 이 달 호(Dal-Ho Lee)



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

<관심분야> 시스템 식별, 필터링 기법, INS 응용, Data Hiding

### 박 정 철(Jung-Cheul Park)

[정회원]



- 1983년: 명지대학교 전자공학과(공학사)
- 1892년: 명지대학교 전자공학과(공학석사)
- 2000년: 명지대학교 전자공학과(공학박사)
- 2007년~현재: 가천대학교 전자공학과 교수

<관심분야> 신재생에너지