

수직축 소형 풍력터빈 성능 향상을 위한 로터 형상 개선에 대한 연구

김찬종^a, 김재운^{a*}, 백인수^b, 김철진^c

A Study on the Improvement of the Rotor Shape for Improving Performance of Small Wind Turbine with Vertical Axis

C. J. Kim^a, J. U. Kim^{a*}, I. S. Paek^b, C. J. Kim^c

^a JEnergy Co, (24341) Gangwon-do Chuncheon Gangwon National University Road 1 Bodeumgwon No. 1003

^b Division of Advanced Mechanical Engineering, Kangwon National University, (24341) Gangwon-do Chuncheon Gangwon National University Road 1

^c Department of Advanced Mechanical Engineering, Kangwon National University, (24341) Gangwon-do Chuncheon Gangwon National University Road 1

Received 15 June 2017; Revised 23 August 2017; Accepted 24 August 2017

Abstract

This study was carried out to improve the performance of a vertical-axis micro wind turbine. It is unique in that it has two identical generators on both sides of the main shaft. Also it has a C shape frame to fix the generators and the main shaft firmly and to provide a connection to a tower.

Performance analysis of the wind turbine rotor was performed using Qblade, which is an analysis program for vertical axis wind turbines and freeware. Based on the analysis results, the blade airfoil, the chord length, and the rotor size were modified to improve the performance of the rotor. The modification was found to increase the performance of the wind turbine and to reach the targeted rated power.

Keywords: Small Wind Turbine, Vertical Wind Turbine, Performance Improvements, Airfoil, Blade, Wind Turbine Rotor

1. 서론

최근 미세먼지에 대한 관심이 증가함에 따라 신재생에너지원에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다. 그 중 풍력의 경우 다른 신재생에너지원에 비해 적은 토지 면적을 이용하며 높은 발전량을 얻을 수 있어 가장 큰 관심을 받고 있다. 이러한 추세를 바탕으로 세계풍력에너지협회(World Wind Energy Association, WWEA)의 Small Wind World Report 2015에 따르면 비록 2013년에는 세계 풍력 시장의 침체가 있었지만 2014년 이후부터는 다시 성장세로 돌아서며, 2015년부터 향후 2020년까지 꾸준히 성장할 것으로 예상하였다. 국내의 경우 2016년까지 풍력발전 누적 설비용량이 1GW를 돌파하였다.

이러한 추세에 맞추어 정부는 “신재생에너지보급(융·복합지원)사업” 및 규제완화를 통하여 풍력발전의 보급 및 시장 확대를 지원하고 있다.

확대 추세인 해외 및 국내의 풍력발전시장의 초점은 어디까지나 중형 혹은 대형 풍력발전기에 맞추어져 있으며 특히 국내의 경우 소형 풍력발전에 대한 관심이 낮은 실정이다. 소형 풍력의 경우 특히 태양광발전과 경쟁하고 있으며, 태양광 발전에 비해 기술성숙도가 낮은 것으로 판단된다. 그러므로 국내 소형 풍력발전의 시장 확대를 위해서는 기술성숙도를 높이는 것이 매우 중요하다.

기술성숙도 향상을 위한 성능 개선 방안을 모색하기 위해 본 연구는 국내 J사의 수직축 소형 풍력발전기를 대상으로 수직축 풍력터빈 전용 해석 프로그램을 기반으로 한 풍력발전기 로터 성능 분석을 수행하였다. 이를 통해 기존 모델의 문제점 및 한계점을 파악하였으며, 성능 분석을 토대로 목표 발전량을 얻을 수 있는 최적의 블레이드 익형(Blade Airfoil), 블레이드 길이(Blade Length), 로터 직경(Rotor Diameter) 등을 도출함으로써 개선방안을 모색하였다.

* Corresponding author. Tel.: +82-070-7165-6258
Fax: +82-070-7159-2486

E-mail address: jenergy00@naver.com (J. U. Kim).

2. 선행 연구

2.1 기존 소형 풍력발전기의 문제점

기존에 개발되어져온 소형 풍력발전기들은 구조가 복잡하며 제작이 어려운 수평축 풍력발전기보다 풍향 관계없이 발전 가능하며, 제작이 간단한 수직축 풍력 발전기가 선호되어져왔다¹⁾. 그러나 수직축 풍력발전기는 고속으로 회전할 경우 로터의 상부와 하부에서 토크 차이가 발생하여 진동이 강해져 내구성이 저하된다는 문제를 갖고 있다. 발전기의 진동은 제품의 내구성에 영향을 주는 중요한 요인이기 때문에 진동을 저감시킨다면 제품의 경쟁력은 크게 향상될 것으로 판단, 진동을 해결하기 위해 새로운 구조의 풍력터빈 디자인을 고안하였다. 이 디자인은 Fig. 1의 그림 (a)로 나타낸 개념설계도(Conceptual Drawing)과 같이 상단, 하단에 발전기를 설치한 것으로 개념설계도를 바탕으로 시제품(Prototype)을 제작하였으며 이는 Fig. 2의 그림 (b)와 같다.

2.2 시제품 제작 결과

시제품의 제작 결과 타워에 해당하는 ㄷ자형 로터 고정부의 경우 용접 결합에 의한 구조의 열 변형으로 상단, 하단 발전기의 축 정렬에 어려움이 있는 것을 확인하였다. 시제품의 로터 암(Rotor Arm)과 블레이드의 결합은 리벳을 이용하였다. 이는 로터 회전 진동에 따라 큰 유격을 보이며 소음과 진동을 발생시켰다. 로터, 발전기, 컨트롤러 등의 부품들을 해외 수입하여 조립 제작한 결과 로터 성능과 발전기 성능 간에 큰 차이가 있는 것을 시제품의 제작 결과 확인할 수 있었으며, 시제품의 성능 개선을 위해 구조설계 개선 및 블레이드 공력해석, 발전기 성능 해석이 필요한 것을 확인하였다.



(a) Conceptual Design

(b) Prototype

Fig. 1 Wind Turbine Design

3. 본 론

3.1 대상 풍력발전기

대상 풍력발전기는 J사의 30W급 소형 풍력발전기로 형상은 Fig. 2의 (b)와 같은 H 다리우스 형 이다. 블레이드 수는 5개이며 로터

상, 하부에 각 15W급 발전기가 설치되어있다. 제품 스펙과 설계 기준은 아래의 Table 1에 제시되어있다. 표에 제시된 바와 같이 대상 풍력발전기의 정격풍속(Rated Wind Power)은 10m/s이며 정격출력(Rated Power)은 30W이다.

Table 1 Technical Specification

Rated Power	30W
Rated Wind Speed	10m/s
Cut-in Wind Speed	3m/s
Cut-out Wind Speed	15m/s
Blade Length	0.52m
Chord Length	0.078m
Rotor Diameter	0.52m
Blade	5pcs Aluminum ally
Battery Capacity	2pcs 7AH/12VDC

3.2 대상 풍력발전기 로터 성능 해석

본 연구에서는 대상 소형 풍력발전기의 로터 성능을 해석하기 위하여 프리웨어(Freeware) 프로그램인 Qblade를 사용하였다. 여기서 사용된 익형은 대상 풍력발전기의 익형으로 제조사로부터 익형 정보를 제공받지 못하여 구매한 제품의 디지털 사진을 통해 익형 형상을 추출하였다. 추출한 익형 형상과 실제 풍력발전기의 로터를 측정하여 구한 블레이드 길이, 코드 길이, 로터 직경을 이용하여 모델링을 수행하였다^{2,3)}. 모델링한 풍력발전기 로터를 시뮬레이션하기 위해 풍력 터빈 블레이드(Wind Turbine Blade)용 공기역학이 적용된 B. Montgomerie 극 외삽 방법을 이용하였다.

Fig. 2에는 Qblade로 예측한 대상 풍력발전기의 출력성능이 제시되어있다. 여기서 로터 출력 예측 값은 로터의 회전 속도가 발전기 회전 속도 범위인 100~400 RPM 으로 제어될 때 예측되는 최대 출력의 출력곡선으로 발전기 손실, 배터리 손실은 고려되지 않은 값이다. 시뮬레이션 결과 대상터빈의 현재 로터성능으로는 정격출력에 도달하지 못함을 확인할 수 있다.

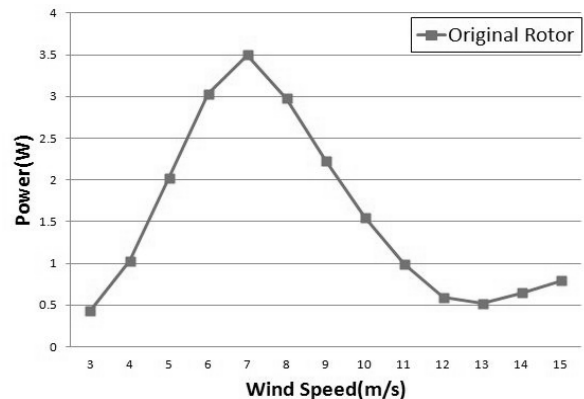


Fig. 2 Original Rotor Power Curve

3.3 풍력발전기 로터 성능 개선

기존의 풍력발전기 로터 성능이 정격출력에 도달하지 못하므로 로터의 형상 변경을 통해 풍력발전기의 성능을 개선 하여야한다.

풍력발전기의 성능을 높이기 위한 로터의 형상 변경 요소로는 블레이드의 길이, 로터 직경, 익형형상 등을 고려할 수 있다^{4,5)}. 그러나 대상 풍력발전기의 구조상 로터 직경이 커지면 C자형 로터 고정부에 걸리는 부하가 커지기 때문에 로터 직경을 키우는 것에는 제한이 있다. 또한, 블레이드의 길이를 증가시키는 것은 발전기간 거리가 멀어지게 되어, 이 때 생기는 발전기간 토크 불균형으로 내구성이 떨어지는 문제가 생긴다. 따라서 로터 직경을 0.7m, 블레이드 길이를 0.7m로 상한값을 설정하고 영역 내에서 길이를 조절하였으며, 익형형상 개선을 통해 풍력발전기의 로터 성능 개선을 진행하였다. 성능 개선을 위한 형상 변경 요소는 로터 직경, 블레이드 길이 같이 상한값이 정해지지 않은 익형 형상, 코드 길이를 시작으로 블레이드 길이, 로터 직경의 순으로 변경하며 시뮬레이션을 수행하였다.

기존의 익형은 좌우 비대칭 형상으로 입력 풍향에 대해 블레이드의 공력성능이 블레이드의 회전 위치에 따라 영향을 많이 받았다. 블레이드의 공력성능을 개선하기 위해 대상터빈의 익형을 입력 풍향에 대해 영향이 적어 수직축 풍력발전기에서 일반적으로 사용되는 대칭형 익형인 NACA0018로 변경하였다(Fig. 3)⁶⁻⁸⁾.

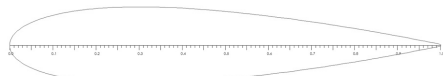


Fig. 3 NACA0018 Airfoil

Fig. 4는 익형만 개선한 기존로터의 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 결과 최대출력이 기존의 풍력발전기 로터보다 향상된 것을 확인할 수 있었으나, 아직 목표 성능에 도달하지 못하므로 로터 크기의 최적화가 필요한 것을 확인할 수 있다.

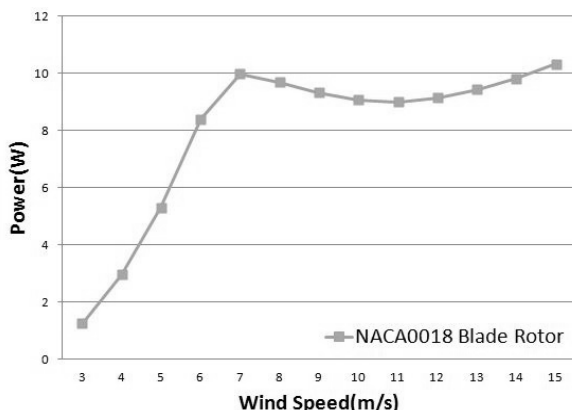


Fig. 4 NACA0018 Rotor Power Curve

Table 2는 기존의 풍력발전기 로터 제원과 성능 개선을 진행하며 변화시킨 로터 제원이다. 앞서 제안한 로터 직경 0.7m, 블레이드 길이 0.7m로 상한값을 주었다. 코드 길이는 0.1m 이상이 될 경우 블레이드의 두께가 두꺼워 블레이드 수를 줄여야하는 필요가 생기며, 블레이드 수를 줄이면 목표 RPM 영역 이상의 RPM 영역에서 발전하기 때문에 상한값을 0.1m로 선정하였다.

Table 2 Wind Turbine Elements

Original Rotor		Modified Rotor	
Blade Length	0.52m	Blade Length	0.52m ~ 0.7m
Chord Length	0.078m	Chord Length	0.078m ~ 0.1m
Rotor Diameter	0.52m	Rotor Diameter	0.52m ~ 0.7m

각 변경 요소들의 크기 변화에 따른 시뮬레이션 결과를 확인한 결과 각 변경 요소들은 블레이드 익형의 경우 NACA0018, 로터 직경 0.62m, 블레이드 길이 0.7m, 코드 길이 0.08m에서 최적화되었으며, 목표한 10m/s에서의 최대 출력이 목표 출력에 도달함을 확인할 수 있었다(Fig. 5).

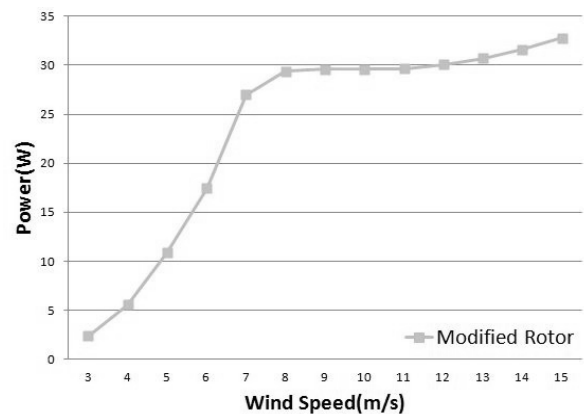


Fig. 5 Modified Rotor Power Curve

4. 결론

본 연구에서는 국내 J사의 30W 소형 수직축 풍력발전기의 공력 성능 해석과 이를 바탕으로 한 풍력발전기 로터 성능 개선을 위한 블레이드 최적화가 수행되었다. 연구는 수직축 풍력발전기 해석 프로그램인 QBlade를 이용하여 대상 풍력발전기의 성능해석 및 분석이 진행되었다. 대상 풍력발전기를 모델링하기 위하여 상용 블레이드를 이용하여 익형을 추출하였다. 추출한 익형과 블레이드의 제원 및 대상 풍력발전기의 제원을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다.

시뮬레이션을 진행한 결과 기존의 풍력발전기의 경우 최대 출력이 7m/s에서 3.5W로 초기 설계 목표치의 1/10의 수준인 것을 확인하였다. 로터의 출력 성능을 개선하기 위해 수직축 풍력터빈에서 일반적으로 사용하는 NACA0018 익형으로 로터를 개선한 후 시뮬레이션 한 결과 최대 출력이 7m/s에서 10W로 확인되었다. 익형 변화 전과 비교하였을 때 약 3배의 성능향상이 있었으나 출력이 설계 목표치의 1/3의 수준이기 때문에 로터 크기의 최적화를 진행하였다. 최적화 결과 로터 직경 0.62m, Blade Length 0.7m에서 목표 성능인 정격풍속 10m/s에서 30W의 출력을 확인할 수 있었다.

그러나 시뮬레이션 결과는 실제 풍력발전기에서 발생하는 기계적 손실 및 발전기 손실은 고려되지 않았다. 또한, 발전기 성능이 고려되지 않았으므로 실제 발전기의 성능실험의 결과를 바탕으로한 로터 설계 변경이 필요하다.

본 연구를 통해 제안된 풍력발전기 로터는 향후 기존 수직축 초소형 풍력발전기 로터 형상을 대체할 수 있을 것으로 예상되며, 이는 국내 소형풍력발전기의 해외 경쟁력 향상에 이바지할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

(NO.20153030023610)

References

- [1] Kim Dong-keon, Jong Yoon-keum, Soon Hyun-yoon, 2006, Structure Design and Experimental of the Drag Force Type Vertical Axis Wind Turbine, The Korean Society of Mechanical Engineers B, 30:3, 278-286.
- [2] Habtamu Beri, Yingxue Yao, 2011, Double Multiple Stream Tube Model and Numerical Analysis of Vertical Axis Wind Turbine, Energy and Power Engineering, 2011, 3, 262-270.
- [3] Asress Mulugeta Biadgo, Aleksandar Simonovic, Dragan Komarov, Slobodan Stupar, 2013, Numerical and Analytical Investigation of Vertical Axis Wind Turbine, FME Transactions, 2013, 41, 49-58.
- [4] Cho Woo-seok, Kim Hyun-su, Choi Young-do, 2013, 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, 37:2, 170-177.
- [5] Gong, C. D., Lee, H. S., Kim, M. W., Lee, K. S., 2010, Study on Design, Manufacturing and Structural Test of 500W Class Vertical Axis Wind Turbine Blade, Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Science, 2010, 212-215.
- [6] Lee, H. J., Lee, D. J., 2015, A Study on Aerodynamic Characteristics of Vertical Axis Wind Turbine Rotor Blade, Korean Society for Computational Fluids Engineering, 2015, 34-36.
- [7] Shin Jee-young, Son Young-seok, Cha Duk-guen, Lee Cheol-gyun, Hwang I-cheol, 2006, Aerodynamic Characteristics of a Vertical Axis Wind Turbine Blade, Journal of The Korean Society of Marine Engineering, 30:8, 877-884.
- [8] Kim Cheol-wan, Cho Tae-hwan, 2011, Aerodynamic Design and Performance Prediction of Wind Turbine Blade, The Korean Society of Propulsion Engineers. 677-681.