

## 다층형 블레이드를 적용한 소형 풍력발전기의 출력특성

이민구, 박왈서\*  
원광대학교 전기공학과

### Output Characteristics of Small Wind Power Generator Applying Multi-Layered Blade

Min-Gu Lee, Wal-Seo Park\*

Department of Electrical Engineering, Wonkwang University

**요약** 최근 화석연료의 사용으로 인한 연료고갈 및 환경문제가 대두되고 있으며 이를 해결하기 위한 대체에너지 개발이 시급한 실정이다. 풍력에너지는 대체에너지 중 지속적으로 무제한 사용할 수 있고 공해물질 배출이 없는 청정에너지로 각광 받고 있다. 풍력발전은 바람에너지가 로터 블레이드를 통해서 운동에너지로 변환되고 다시 발전기를 통해서 전기에너지를 발생시키는 에너지 변환기술이며, 풍력발전기의 중요부품인 블레이드의 설계 및 제작은 매우 중요한 요소이지만, 우리나라는 이에 대한 기초자료 및 핵심기술 등이 부족하여 아직도 중요부품들을 외국에서 수입하여 사용하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 저 풍속에서도 발전 가능한 다층형 구조의 블레이드를 소형풍력발전기에 적용하여 풍속 및 블레이드 개수에 따른 발전기의 출력특성을 분석하였다. 연구결과, 최대풍속 8m/s일 때 블레이드 3개를 적용하면 블레이드를 1개 및 2개를 적용했을 때보다 발전기 출력전압은 33% 및 18%로 증가되었고, 발전기 출력전류는 33% 및 15%로 증가되었으며 발전기 RPM은 23% 및 13%로 증가되었다. 본 연구에서 다층형 구조의 블레이드를 소형풍력발전기에 적용한 결과 발전기의 출력특성이 향상되었고 저 풍속에서도 전기에너지의 수집이 가능함을 확인하였다.

**Abstract** Fuel depletion and environmental problems due to the use of fossil fuels have been worsening of late, and the development of alternative energy sources is urgently required to address these problems. Among the alternative energy sources, wind energy is attracting much attention as a clean energy source, because it can be used unlimitedly without any pollutant emissions. In wind power generation, wind energy is converted to kinetic energy through rotor blades and this kinetic energy is converted to electric energy through generators. The design and manufacturing of the blades, which are the major parts of wind power generators, are very important, but South Korea still lacks the requisite basic data and key technologies and, therefore, has to import the blades from overseas. In this study, multi-layered blades capable of generating power at low wind speeds were applied to a small wind power generator and the output characteristics of the generator according to the wind speed and the number of blades were analyzed. As a result, at the maximum wind speed of 8m/s, the application of three blades achieved up to 33% and 18% higher generator output voltage, up to 33% and 15% higher generator output current, and up to 23% and 13% higher generator RPM than the application of one or two blades, respectively. In this study, the application of multi-layered blades to a small wind power generator was shown to improve the output characteristics of the generator and make the collection of electric power possible even at low wind speeds.

**Keywords** : Horizontal Axis Wind Turbine(HAWT), Multi-Layered Blade, Output Current, Output Voltage, Small Wind Power Generator

본 논문은 2016학년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행되었음.

\*Corresponding Author : Wal-Seo Park(Wonkwang Univ.)

Tel: +82-63-850-6890 email: wspark@wku.ac.kr

Received October 16, 2017

Revised (1st October 31, 2017, 2nd November 2, 2017)

Accepted November 3, 2017

Published November 30, 2017

## 1. 서론

최근 우리 사회는 화석연료의 사용으로 인한 지구에너지의 고갈 및 환경오염 등의 문제가 발생되고 있으며 이를 해결하는 방안으로 그린화를 목적으로 소형 풍력발전시스템에 대한 관심이 증가하고 있다[1-4].

세계 최대의 NGO 중 하나인 그린피스에서는 향후 신재생에너지의 1순위를 풍력발전으로 내세우고 있으며 최근 유럽이나 미국 등에서는 건물에 적용 가능한 소형 풍력발전시스템의 보급이 크게 유행하고 있다[5,6].

현재 국내 풍력발전기의 현황으로 대형풍력발전기는 설치비가 고가이며, 12m/s 이상의 정격풍속을 요구함에 따라 내륙에서의 풍력발전의 설치는 어려운 상황이다 [7]. 반면에 소형 풍력발전기의 경우 설치비가 저가이고 시공기간 및 보수기간이 짧아 최근에는 미풍에도 기동되는 소형풍력터빈이 개발되어지고 있다[8,9].

풍력발전용 블레이드는 바람의 운동에너지를 기계적 회전에너지로 변환하여 발전기를 구동시키는 핵심부품이기 때문에 블레이드의 설계 및 제작은 매우 어려운 과제이며 중요한 요소이다[10-12].

따라서 본 연구에서는 풍력을 이용한 출력특성을 향상시키기 위하여 기존에 사용되어지고 있는 1층의 블레이드에 2층과 3층을 추가로 적용한 다층형 구조의 소형 풍력발전기를 제안하였으며, 풍속에 따른 발전기의 출력특성을 분석하였다. 이를 통하여 블레이드 설계의 타당성과 풍력발전기의 상용화 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 실험 방법

다층형 구조의 블레이드를 적용한 소형풍력발전기의 실험시스템은 Fig. 1과 같이 구성하였다.

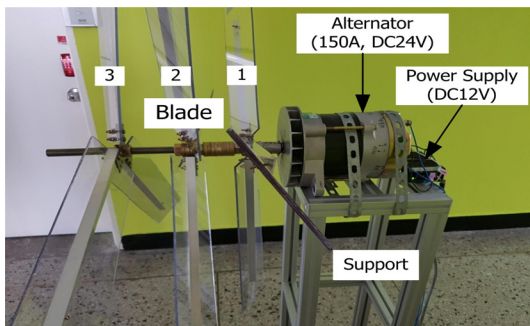


Fig. 1. Configuration of experimental system

발전기는 자동차용 발전기(150A, DC24V)를 사용하였고, 발전기의 계자권선의 전압은 전원공급기를 통하여 DC12V를 인가하였다. 발전기는 지상으로부터 150cm의 높이로 고정하여 풍속측정이 용이하도록 하였다. 프로펠러 형 블레이드는 길이 50cm, 넓이 12cm 크기의 아크릴로 제작하였으며 120도의 각도로 3매를 조합하였다.

조합되어진 블레이드는 총 3개를 제작하였으며 각각의 블레이드 설치에 따라 풍속을 인가한 후 발전기의 출력전압, 출력전류 및 RPM을 측정하였다. AD Power HPM-300A 측정 장비를 이용하여 발전기의 출력전압 및 출력전류를 측정하였으며, B사의 RPM 측정기를 이용하여 발전기 회전수를 측정하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 발전기 출력전압 측정

Fig. 2는 풍속이 변화될 때 블레이드 개수에 따른 발전기의 출력전압을 측정한 데이터이다. 블레이드 1개를 적용한 결과 풍속 1m/s~4m/s까지는 출력전압이 측정되지 않았으며 풍속 5m/s~8m/s일 때 0.4V~1.5V의 출력전압이 측정되었다. 블레이드 2개를 적용한 결과 풍속 1m/s~2m/s까지는 출력전압이 측정되지 않았으며 풍속 3m/s~8m/s일 때 0.5V~1.5V의 출력전압이 측정되었다.

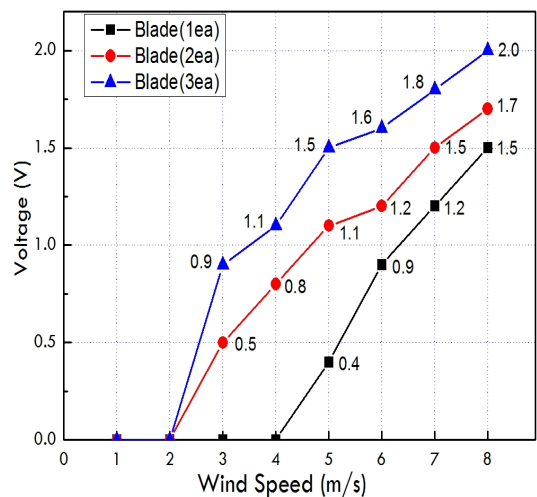


Fig. 2. Generator output voltage according to wind speed

또한 블레이드 3개를 적용한 결과 블레이드 2개를 적용한 결과와 동일하게 풍속 1m/s~2m/s까지는 출력전압이 측정되지 않았으며 풍속 3m/s~8m/s일 때 1.1V~2.0V의 출력전압이 측정되었다. 블레이드 개수에 따른 발전기 출력전압을 비교한 결과 최대풍속 8m/s일 때 블레이드 3개를 적용하게 되면 블레이드 1개 및 2개를 적용하였을 때보다 각각 33% 및 18%의 발전기 출력전압이 증가되었다.

### 3.2 발전기 출력전류 측정

Fig. 3은 풍속이 변화될 때 블레이드 개수에 따른 발전기의 출력전류를 측정된 데이터이다. 블레이드 1개를 적용한 결과 풍속 1m/s~4m/s까지는 출력전류가 측정되지 않았으며 풍속 5m/s~8m/s일 때 10mA~32mA의 출력전류가 측정되었다. 블레이드 2개를 적용한 결과 풍속 1m/s~2m/s까지는 출력전류가 측정되지 않았으며 풍속 3m/s~8m/s일 때 12mA~37mA의 출력전류가 측정되었다. 또한 블레이드 3개를 적용한 결과 블레이드 2개를 적용한 결과와 동일하게 풍속 1m/s~2m/s까지는 출력전류가 측정되지 않았으며 풍속 3m/s~8m/s일 때 14mA~42.5mA의 출력전류가 측정되었다. 블레이드 개수에 따른 발전기 출력전류를 비교한 결과 최대풍속 8m/s일 때 블레이드 3개를 적용하게 되면 블레이드 1개 및 2개를 적용하였을 때보다 각각 33% 및 15%의 발전기 출력전류가 증가되었다.

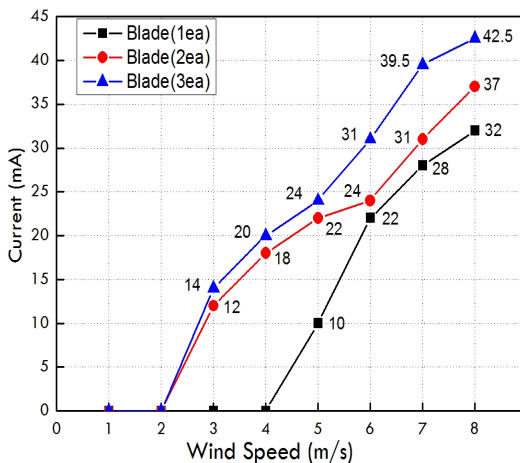


Fig. 3. Generator output current according to wind speed

### 3.3 발전기 RPM 측정

Fig. 4는 풍속이 변화될 때 블레이드 개수에 따른 발전기의 RPM을 측정된 데이터이다. 블레이드 1개를 적용한 결과 풍속 1m/s~4m/s까지는 RPM이 측정되지 않았으며 풍속 5m/s~8m/s일 때 40회~110회의 RPM이 측정되었다. 블레이드 2개를 적용한 결과 풍속 1m/s~2m/s까지는 RPM이 측정되지 않았으며 풍속 3m/s~8m/s일 때 45회~120회의 RPM이 측정되었다. 또한 블레이드 3개를 적용한 결과 블레이드 2개를 적용한 결과와 동일하게 풍속 1m/s~2m/s까지는 RPM이 측정되지 않았으며 풍속 3m/s~8m/s일 때 75회~135회의 RPM이 측정되었다. 블레이드 개수에 따른 발전기 RPM을 비교한 결과 최대풍속 8m/s일 때 블레이드 3개를 적용하게 되면 블레이드 1개 및 2개를 적용하였을 때보다 각각 23% 및 13%의 발전기 RPM이 증가되었다.

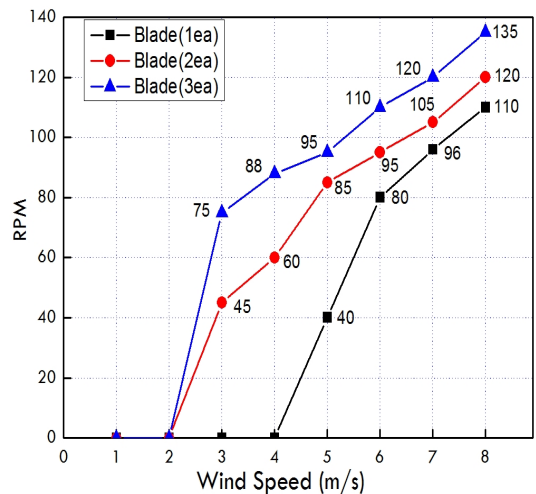


Fig. 4. Generator RPM according to wind speed

### 3.4 분석 및 고찰

소형 풍력발전기는 대형 풍력발전기에 비하여 저 풍속의 낮은 곳에 설치하므로, 기존의 1층의 블레이드를 갖는 소형 풍력발전기는 투자 대비 회수율이 낮아 거의 보급되지 않으므로 본 논문에서는 풍력의 이용률을 높이는 데 목적을 두었다.

다층형 블레이드의 출력특성 향상을 위하여 항력형의 블레이드를 제작하였으며, 1, 2, 3층으로 블레이드 개수를 증가시키며 실험을 수행하였다. 1층 블레이드를 적용할 때보다 2층 블레이드를 적용하였을 때 출력 증가

하며, 2층 블레이드를 적용할 때보다 3층 블레이드를 적용하였을 때가 출력이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 블레이드를 다층으로 적용하면 1층 블레이드에서 동력화하지 못한 풍력을 2층과 3층 블레이드에서 동력화가 가능되기 때문에 출력이 증가함을 알 수 있다. 이와 같은 결과는, 다층 블레이드는 저 풍속에서 풍력의 이용률을 증가시키므로 소형 풍력발전기의 출력특성 향상에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구는 다층 구조의 블레이드를 소형 풍력발전기에 적용하여 발전기 출력 향상 및 상용화 가능성을 검토하기 위하여 실험을 수행하였으며 그 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

풍속에 따른 발전기 출력특성을 분석한 결과 블레이드 1개를 적용 시 풍속이 최소 5m/s 이상이 되어야만 발전기 출력특성이 나타났지만 블레이드 2개 및 3개를 적용 시 풍속이 최소 2m/s 이상이 되면 발전기 출력특성이 나타났다. 또한 최대풍속 8m/s일 때 블레이드 3개를 적용하게 되면 블레이드 1개를 적용했을 때 보다 출력전압 33%, 출력전류 33%, RPM 23%가 증가되었다. 연구 결과 블레이드 3개를 적용하게 되면 저 풍속에서도 전기에너지의 수집이 가능함을 확인하였다.

본 연구에서 얻어진 결과를 통해 다층 구조의 블레이드가 소형풍력발전기의 출력향상에 적합함을 확인하였고, 다층형 블레이드의 보완 및 최적설계를 수행한다면, 향후 저 풍속에도 효율적인 소형 풍력발전기를 개발 및 제작할 수 있을 것이다.

#### References

[1] Y. S. Lee, J. Y. Kim, "Small Wind Turbine Installed at the University Building Rooftop for Green Energy Utilization", *New & Renewable Energy*, vol. 10, no. 3, pp. 14-21, September, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7849/ksnre.2014.10.3.014>

[2] J. C. Park, N. H. Kyung, "A Study on the Application of Small Wind Power System in Apartment Housing", *Journal of the Korean Solar Energy Society*, vol. 23, no. 2, pp. 21-34, June, 2003.

[3] Y. S. Song, W. K. Han, J. S. Jung, H. S. Lim, S. K. Cho, T. H. Jeon, "A Study on Generator Temperature

and Power Converter Efficiency according to change of Wind Velocity", *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 29, no. 7, pp. 8-13, July, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2015.29.7.008>

[4] S. Y. Kim, H. S. Choi, J. H. Eum, "An Analysis of Building-connected Wind Turbines according to Changes of Environmental and Energy Policy", *New & Renewable Energy*, vol. 12, no. 2, pp.12-19, June, 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7849/ksnre.2016.06.12.2.12>

[5] Y. S. Lee, J. Y. Kim, "Generation Efficiency Characteristics of Small Wind Power for Green Energy Utilization", *Appl. Chem. Eng.*, vol. 26, no. 4, pp. 489-494 August, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.14478/ace.2015.1063>

[6] K. P. You, Y. M. Kim, "Evaluating the Output of Small-size Wind Power Generators Using Weibull Data", *Journal of the Korean Solar Energy Society*, vol. 32, no. 2, pp. 95-104, April, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.7836/kses.2012.32.2.095>

[7] Small and Medium Business Administration, *The Wind Energy Market Technical Report*, Daejeon, Korea, 2009.

[8] A. N. Celik, "Energy output estimation for Small-scale wind power generators using Weibull-representative wind data." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 91, pp. 693-707, 2003.  
DOI: [http://doi.org/10.1016/S0167-6105\(02\)00471-3](http://doi.org/10.1016/S0167-6105(02)00471-3)

[9] H. J. Yun, "Green Power Generation with Urban Small-Scale Wind Turbines", *New Physics: Sae Mulli*, vol. 66, no. 9, pp. 1190-1199, September, 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3938/NPSM.66.1190>

[10] D. S. Choi, "Structural Analysis and Design of Small Wind Turbine Blade", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, vol. 14, no. 1, pp. 85-91, February, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.14775/ksmpe.2015.14.1.085>

[11] C. H. Park, C. H. Lee, J. W. Moon, S. J. Kim, "Test and Method for Measuring of Small Wind Generator Performance", *Conference of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, pp. 100-100, April, 2017.

[12] J. Y. Yoon, I. S. Paek, N. S. Yoo, "Development of an aerodynamic design program for a small wind turbine blade", *Journal of the Korean Solar Energy Society*, vol. 33, no. 1, pp. 40-47, February, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7836/kses.2013.33.1.040>

---

**이 민 구**(Min-Gu Lee)

[정회원]



- 2016년 2월 : 한밭대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 대학원 전기공학과 박사과정

<관심분야>  
재생에너지, 전기화재

---

**박 왈 서**(Wal-Seo Park)

[정회원]



- 1985년 2월 : 조선대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1994년 9월 ~ 현재 : 원광대학교 전기공학과 교수

<관심분야>  
재생에너지, 변환장치개발