

## 고출력 수직 듀얼 소형 풍력 발전기의 개발

박아현<sup>1</sup>, 백승재<sup>2</sup>, 강용수<sup>3</sup>, 강현<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>(주)엠이티솔루션, <sup>2</sup>한국해양과학기술원 해양ICT융합연구센터, <sup>3</sup>듀얼윈드

### Development of High-Power Vertical Dual Small Wind Generator

Ah Hyun Park<sup>1</sup>, Seungjae Baek<sup>2</sup>, Yong Soo Kang<sup>3</sup>, Hyoun Kang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>R&D Center, Marine Equipment Technology Solutions

<sup>2</sup>Maritime ICT R&D Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology

<sup>3</sup>Dual Wind

**요약** 본 논문에서는 해양 부이, 선박 조명 등 다양한 기기의 전력 공급을 위한 고출력 코어리스형 수직 듀얼 소형 풍력 발전기를 개발한다. 소형 풍력 발전기는 저렴한 설치 비용 및 유지보수 용이성, 저소음과 같은 다양한 장점이 있지만, 기존의 소형 풍력 발전기는 유효출력 제공을 위해 강한 바람이 필요하다. 따라서, 본 논문에서 제안한 코어리스형 수직 축 구조를 채택함으로써 상대적으로 약한 바람에서도 높은 풍력 발전 효율을 얻을 수 있다. 또한, 풍향의 영향을 덜 받도록 수직 이중 축 구조를 설계하고 서로 다른 방향으로 회전하는 상·하 분리된 팬 구조를 개발하여 기존 소형 풍력 발전기 대비 풍력 발전 효율 향상이 가능하다. 코어리스형 수직 듀얼 소형 풍력 발전기는 3D 프린팅, CNC 가공 및 회로 접속 과정을 통해 제작되었으며 성능 평가 결과, 기존 수직축 소형 풍력 발전기 대비 풍속 1 m/s에서 5 m/s 범위의 일반 도심 풍속에서 최대 150 %의 풍력 발전 효율이 향상됨을 확인하였다.

**Abstract** In this study, we developed dual high-power coreless vertical small wind generators that can be used for power supply of various devices. Small wind-power generators have various advantages such as relatively low installation costs, easy maintenance, and low noise, but other small wind-power generators require strong winds to obtain effective power. However, by adopting a coreless vertical structure, high wind power generation efficiency can be provided with relatively weak winds. In addition, it is possible to improve the efficiency of wind-power generation compared to other small wind-power generators by designing a vertical dual-axis structure to be less affected by wind direction, as well as upper and lower separated fan structures that rotate in reverse directions. The proposed generator was manufactured using 3D printing, a computer numerical control (CNC) process, and circuit connection. As a result of a performance evaluation, the wind power generation efficiency was improved by up to 150% compared to an existing vertical generator at a general urban wind-speed range of 1 to 5 m/s.

**Keywords** : Small Wind Generator, Wind Power Generation Efficiency, Vertical Dual Axis, Coreless-Type, Wind Speed

본 연구는 산업 통상부 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (1kWh급 이상 해수이차전지 단위모듈 적용 해양기기 제품 개발, PN91000)

\*Corresponding Author : Hyoun Kang(Korea Institute of Ocean Science and Technology)

email: hkang@kiost.ac.kr

Received August 11, 2022

Revised September 26, 2022

Accepted October 7, 2022

Published October 31, 2022

## 1. 서론

최근 화석연료의 고갈 및 친환경 에너지 수요의 증가로 인해 신재생 에너지에 관한 관심이 증가하고 있다. 특히, 풍력 발전은 화석연료나 천연가스의 발전 단계에 근접한 발전 효율로 인해 신재생 에너지원 중 가장 경쟁력이 높고, 뛰어난 경제성으로 인해 활발한 연구 개발이 진행 중이다.

풍력 발전은 풍력 에너지를 이용하여 블레이드를 회전시켜 기계적 에너지로 변환시킨 후, 이러한 기계적 에너지를 이용하여 발전기로 전기 에너지를 생성한다. 2000년대 초반 1~2 MW급 대형 풍력 발전기가 상용화된 이후, 지속적인 개발로 5 MW급 대형 풍력 발전기도 상용화되었다. 하지만 국내의 경우, 설치 조건의 제약, 높은 투자 비용, 소음/진동 발생, 환경 피해 및 유지보수의 어려움이 있다. 또한, 우리나라는 양질의 가용 풍속 확보가 어려워 대형 풍력 발전기 설치가 어렵다. 이로 인해, 최근 소형 풍력 발전기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-5]. 소형 풍력 발전기는 상대적으로 저렴한 설치 비용, 유지보수 용이성, 저소음 및 낮은 풍속에서도 효율적 발전이 가능하다는 장점이 있다.

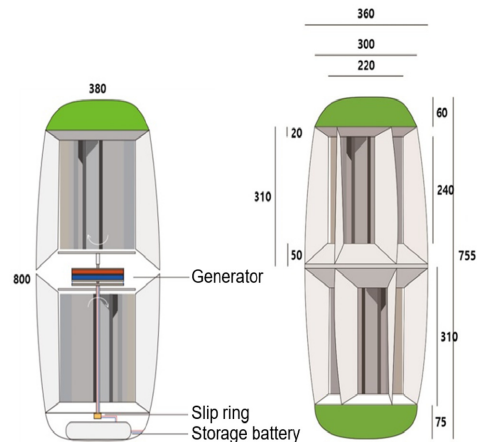
풍력 발전 시스템은 운전방식, 출력제어방식, 전력사용방식, 계통연계방식 및 회전축 방향 등에 따라 다양하게 분류된다. 특히, 풍력 발전기는 블레이드의 회전축 방향에 따라 수평축 풍력 발전기(Horizontal Axis Wind Turbine)와 수직축 풍력 발전기(Vertical Axis Wind Turbine)로 나눌 수 있다. 수평축 풍력 발전기는 타워 높이에 따라 양질의 풍력 자원을 얻을 수 있고, 발전 효율이 높아 대형 풍력 발전기에 주로 사용된다. 하지만 풍향의 영향을 받기 때문에 풍향 조절 시스템인 요잉(Yawing) 동작 장치가 필수적이다. 반면, 수직축 풍력 발전기는 에너지 변환 효율이 수평축 풍력 발전기에 비해 낮지만, 풍향의 영향을 덜 받아 요잉 동작 장치가 불필요하며 유지보수 및 우수한 접근성으로 인해 소형 풍력 발전기에 주로 사용된다.

본 논문에서는 낮은 풍속에서도 효율적 발전이 가능한 10 W~30 W급 소형 풍력 발전기를 제안한다. 낮은 풍속에서도 효율적 발전을 위해 냉각 및 소형화에 유리한 AFPM(Axial-Flux Permanent Magnet)구조를 사용한다[6-8]. AFPM 방식의 풍력 발전기는 직접 구동 특성으로 인해 간단한 구조화가 가능하며 동력 변화가 적어 에너지 변환 효율이 높다. AFPM 구조는 고정자와 회전자 자 디스크 형태로 되어 있으며, 공극 단면이 회전축과 직

교하는 형태이다. 이로 인해 공극 내에서는 축과 평행한 방향의 자속이 발생하여 단위 무게당 출력이 크고, 코어리스형으로 코킹 토크가 현저히 감소하여 효율이 증가된다. 따라서, 낮은 풍속에서도 전기 에너지 생성이 쉬운 코어리스형 AFPM 발전기를 기반으로, 팬을 수직 형태로 상하 배치하는 구조를 개발하여 풍력 발전 효율을 향상한다. 제안된 듀얼 소형 풍력 발전기는 3D 프린팅과 CNC 가공을 통해 실제 개발되었으며, 성능 평가 실험을 통해 기존 발전기 대비 풍력 발전 효율 향상이 가능함을 확인하였다.

## 2. 설계 및 제작

소형 풍력 발전기의 효율 향상을 위하여, 본 연구에서는 코어리스형 AFPM 발전기를 기반으로 수직 듀얼 소형 풍력 발전기를 설계 및 제작하였다. 출력이 약한 기존의 소형 풍력 발전기의 한계점을 극복하기 위하여 수직 이중 축[9,10] 기술을 적용하였다. Fig. 1과 같이 상·하 두 개의 팬이 역방향으로 회전하도록 설계하였고, 효율 향상을 위한 날개형상을 디자인하였다. 블레이드는 8개로 풍량을 모아 블레이드의 회전율을 높이고, 회전 저항을 줄이기 위한 각도 (126도)로 설계하였다.



(a) Internal structure (b) External size (mm)

Fig. 1. Design of (a) internal structure and (b) external size for dual small wind generator.

본 논문에서 설계된 수직 듀얼 소형 풍력 발전기는 다음과 같은 과정을 통해 제작하였다. Fig. 2와 같이 외부 블레이드, 내부 블레이드, 상판 부분 및 하판 부분을 3D

프린팅과 CNC 가공을 통해 제작한다. 이후, 발전기의 본체 및 상·하판 부분을 도색 하고 발전기 부분과 본체를 조립한다. (Fig. 3) 마지막으로, Fig. 4와 같이 발전기 회로를 접속하고 PCB 회로를 제작한다. 최종적으로 발전기 구동 및 본체를 조립하여 수직 듀얼 소형 풍력 발전기 제작을 완성한다.

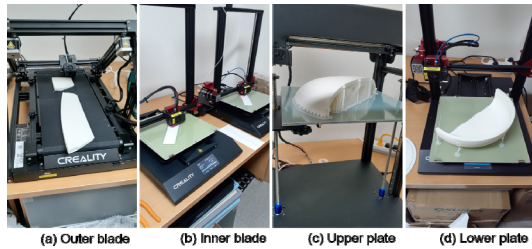


Fig. 2. Manufacturing process of dual small wind generator using 3D printing and CNC machining

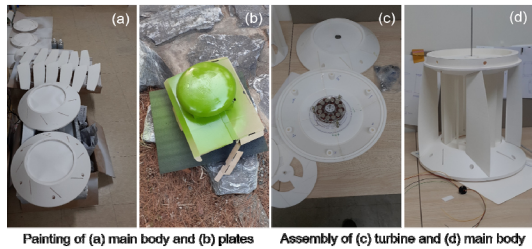


Fig. 3. Manufacturing process of dual small wind generator using printing and assembly.

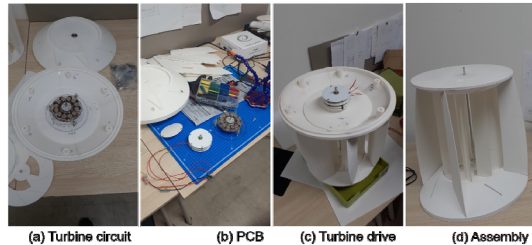


Fig. 4. Manufacturing process of dual small wind generator using PCB circuit and main body assembly.

### 3. 결과 및 고찰

본 논문에서 개발한 수직 듀얼 소형 풍력 발전기의 완성된 모습은 Fig. 5에서 확인 할 수 있다. 또한, 개발된 발전기의 제원은 Table 1에 나타났다. 발전 원리는 두 개의 터빈이 각각 다른 방향의 바람을 받아 상·하단 자석

이 있는 원판이 오른쪽으로 회전하고 중간 코일 부분이 왼쪽으로 회전한다. (Fig. 6) 이로 인해, 기존 풍력 발전기 두 배의 분당 회전수를 확보하여 3배의 전압(V), 2배의 전류(A)를 발생하여 4배 이상의 전력(W)을 생산한다.

Table 1. Specifications of dual small wind generator

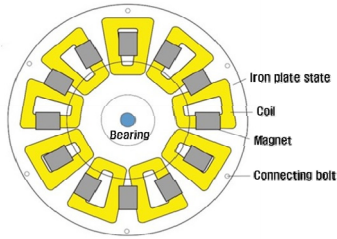
Spec.		
Standard	Size	380 mm×380 mm
	Weight	10 kg
Materials		Polycarbonate, Aluminum
Battery		Lithium-Ion Battery (3.7 V, 1000 mA)×20 EA
Out Power		5 V~18 V/200 mA~1800 mA (Electrical power 12 W~28 W) at wind speed 2 m/s~6 m/s



Fig. 5. Final product of dual small wind generator

풍력 발전량 테스트를 위해 개발된 수직 듀얼 소형 풍력 발전기와 100W급 기존 수직축 풍력 발전기의 풍량 테스트 실험을 Fig. 7과 같이 진행하였다. 풍속 측정은 디지털 풍속계 풍량 측정기를 이용하였다. Fig. 8은 풍력 발전량 비교를 위하여 풍속(m/s)에 따른 전압(V) 그래프를 나타낸다. 실험 결과, 전류가 200 mA로 일정 할 때 수직 듀얼 소형 풍력 발전기는 일반 도심 풍속 1 m/s~5 m/s 범위 구간에서 전압(V) 값을 통해 기존 수직축 풍력 발전기의 발전량 대비 30%~150%의 풍력 발전 효율이 향상됨을 확인 할 수 있었다.

(Plan view of coil and magnet)



(Cross-sectional view of coil and magnet)

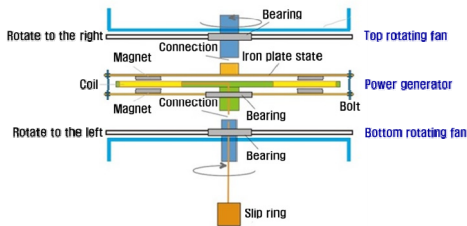


Fig. 6. Power generation principle of dual small wind generator

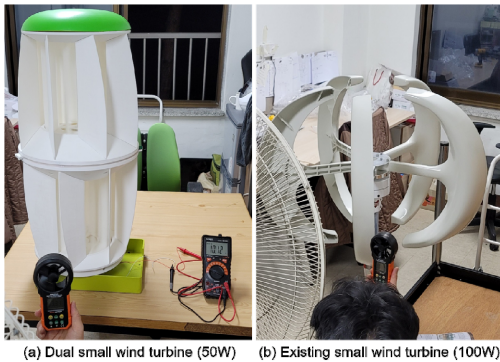


Fig. 7. Wind volume test of dual small wind generator

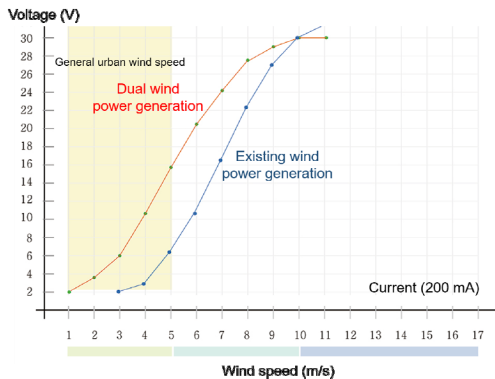


Fig. 8. Electricity generation graph of dual small wind generator compared to traditional wind generator

## 4. 결론

본 논문에서는 전력공급용으로 활용 가능한 고출력 코어리스형 수직 듀얼 소형 풍력 발전기를 개발했다. 출력이 약한 기존 소형 풍력 발전기의 한계점을 극복하기 위해 수직 이중 축 기술을 적용하여 수직 구조와 상·하 분리된 팬 구조를 설계하였다. 개발된 코어리스형 수직 듀얼 소형 풍력 발전기는 일반 도심 풍속 범위 구간에서 기존 풍력 발전기의 발전량 대비 30%~150%의 풍력 발전 효율 향상이 가능함을 확인하였다. 향후, 본 논문에서 개발된 수직 듀얼 소형 풍력 발전기를 활용하여 가로등, 해양 장비 및 도서 지역 전력 공급 등 다양한 어플리케이션에 적용하고, 가정용 발전기로 확장하여 신규 시장 확보를 수행할 예정이다.

## 후기

본 연구는 산업 통상부 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (1kWh급 이상 해수이차전지 단위모듈 적용 해양기 제품개발, PN91000)

## References

- [1] A. Rosenberg, S. Selvaraj, A. Sharma, "A novel dual-rotor turbine for increased wind energy capture", *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 524, pp. 012078-012088, Jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/524/1/012078>
- [2] P. D. Clausen, D. H. Wood, "Recent advances in small wind turbine technology", *Wind Engineering*, Vol. 24, pp. 189-201, May 2000. DOI: <https://doi.org/10.1260/0309524001495558>
- [3] O. Ozgener, "A small wind turbine system (SWTS) application and its performance analysis", *Energy Conversion and Management*, Vol. 47, pp. 1326-1337, Oct. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.08.014>
- [4] M.-G. Lee, H. Oh, W.-S. Park, "Experimental study of small vertical axis wind turbine according to type of blades", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 18, pp. 88-92, Dec. 2017. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.12.88>
- [5] M.-G. Lee, W.-S. Park, "Output characteristics of small wind power generator applying multi-layered blade", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 18, pp. 663-667, Nov. 2017.

DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.11.663>

- [6] D.-W. Chung, Y.-M. You, "Design and performance analysis of coreless axial-flux permanent-magnet generator for small wind turbines", *Journal of Magnetism*, Vol. 19(3), pp. 273-281, Sep. 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.4283/JMAG.2014.19.3.273>
- [7] B. J. Chalmers, W. Wu, "An axial flux permanent magnet generator for a gearless wind energy system", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 14, pp. 251-257, Jun. 1999.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/60.766991>
- [8] T.-U. Jung, J.-S. Cho, "Electromagnetic structural design analysis and performance improvement of AFPM generator for small wind turbine", *Journal of Magnetism*, Vol. 16, pp. 374-378, Dec. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.4283/JMAG.2011.16.4.374>
- [9] T. S. No, J.-E. Kim, J. H. Moon, S. J. Kim, "Modeling, control, and simulation of dual rotor wind turbine generator system", *Renewable Energy*, Vol. 32, pp. 2124-2132, Oct. 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.01.019>
- [10] R. Howell, N. Qin, J. Edwards, N. Durrani, "Wind tunnel and numerical study of a small vertical axis wind turbine", *Renewable Energy*, Vol. 35, pp. 412-422, Feb. 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.025>

---

**박 아 현(Ah Hyun Park)**

[정회원]



- 2011년 2월 : 전북대학교 반도체 화학공학부 (공학석사)
- 2015년 8월 : 전북대학교 반도체 화학공학부 (공학박사)
- 2019년 5월 ~ 2021년 4월 : 한국기계연구원 연구원
- 2021년 5월 ~ 현재 : ㈜엠이티솔루션 선임연구원

<관심분야>

반도체소자, 박막공학

---

**백 승 재(Seungjae Baek)**

[정회원]



- 2007년 2월 : 단국대학교 컴퓨터 과학 (이학석사)
- 2010년 2월 : 단국대학교 컴퓨터 공학 (공학박사)
- 2011년 6월 : ㈜프롬나이(벤처 창업)
- 2013년 9월 : Univ' of Pitt Post- doc.
- 2016년 2월 : 단국대학교 조교수
- 2016년 7월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 책임연구원

<관심분야>

운영체제, 스토리지 시스템, 시스템소프트웨어

---

**강 용 수(Yong-Soo Kang)**

[정회원]



- 1989년 2월 : 울산대학교 산업디자인학과 (디자인학사)
- 1989년 3월 ~ 1998년 2월 : 현대그룹 금강기획근무
- 2000년 3월 ~ 2014년 10월 : 파스컴 디자인회사 근무
- 2020년 5월 ~ 현재 : 듀얼윈드 대표

<관심분야>

혁신경영, 신재생에너지, 산업디자인

---

**강 현(Hyoun Kang)**

[정회원]



- 2012년 8월 : 단국대학교 대학원 지반공학전공 (공학석사)
- 2014년 5월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 재직

<관심분야>

지반공학, 해양지반조사, 해양구조물