

400W 수직형 풍력발전시스템의 개발에 관한 연구

윤정필*, 최장균, 차인수

A Study on Development of Wind Power 400W Generation System with Vertical axis Type

Jeong-Phil Yoon, Jang-kyun Choi, In-Su Cha

Abstract

Need developments of substitute energy to solve problem of global warming by excess use of fossil energy, excess discharge of carbon dioxide. wind power generation system is all-important energy in next generation as clean energy. Environmental pollution of wind power generation system is not exhausted entirely. And, electric-power generation system cost is cheap than other energy. Wind Generation system that is supplied much present is most horizontality style blade structure. But, Horizontal style structure is serious noise and there is problem in stability of blade.

We designed special blade solve to this problem. And, manufactured vertical axis wind power generation system because using blade. Also, developed assistance power generator to increase driving efficiency ago wind power generation. We expect this devices that is such cover shortcoming of wind power generation system.

Key words

Wind power generation(풍력발전), clean energy(청정에너지), vertical type blade(수직형 블레이드)

* 동신대학교 대학원 전기전자공학과

■E-mail : 01196197917@naver.com ■Tel : (061)330-2860 ■Fax : (061)330-2860

Nomenclature

P_w : 풍력 에너지 총량 [W]
 V : 풍속 [m/sec]
 A : 통과면적 [m^2]
 ρ : 공기밀도 [kg/m^3]

1. 서론

신재생에너지 분야는 태양광, 태양열, 풍력, 지열, 소수력, 바이오 등 여러 가지 분야가 있으나 국내 실정에 적합한 에너지는 태양광, 풍력, 바이오 등의 세 가지로 압축할 수 있다. 그 중에서 풍력 발전의 경우 도서 산간지역, 해안 지역 등에 시범적으로 보급되어 운용되고 있다.

풍력 발전은 바람의 힘을 이용하여 블레이드를 회전 시켜 블

레이드의 운동 에너지를 전기에너지로 변환시켜 전력을 생산하는 발전 시스템이다. 풍력발전은 이산화탄소를 배출하지 않아 공해를 유발하지 않으며 자연적인 바람을 이용하기 때문에 발전비용이 추가적으로 발생하지 않는다. 또한, 타 에너지에 비하여 초기 설비비가 적어 많은 보급이 이뤄지고 있다.

우리나라에 보급된 풍력 발전 시스템은 대부분 수백 kW급의 중형 발전 시스템이며 블레이드가 지면과 수평을 이루는 수평축을 채택하고 있다. 많은 장점을 지닌 풍력 발전 시스템도 타 에너지와 마찬가지로 몇 가지 단점을 지니고 있다. 바람을 이용한 발전 방식이기 때문에 바람이 없는 날이나 일정한 풍속이 없을 경우 발전이 되지 않아 효율이 떨어진다는 점이다. 게다가 수평축 발전의 경우 발전시 날개의 회전으로 인한 소음이 심하며 태풍이나 돌풍에 블레이드가 떨어질 경우 안전성에 심각한 문제점이 있다는 것이다.¹⁾

본 논문에서는 이러한 수평축 풍력 발전 시스템의 단점을 보완하고 도시지역에 안전하고 깨끗한 에너지를 보급할 수 있는 특수 블레이드를 적용한 수직축 소형 풍력 발전 시스템을 제안하고자 한다.

2. 풍력에너지의 특성

풍력에너지의 크기는 바람의 속도와 밀접한 관계가 있다. 속도로 통과면적을 지나는 바람이 갖는 에너지의 총량은 다음과 같다.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho V^3 A \quad [W] \quad (1)$$

P_w 의 에너지는 회전자에 의해 기계적인 동력으로 변환되는데 이상적인 회전자 통과 유동의 경우 즉, 각 운동량의 변화가 없고 회전자 끝의 간섭흐름이 없는 경우 변환효율을 표시하는 동력계수 C_p 실제 회전자 흐름은 이상적인 가정상태와는 다르게 공기의 점성에 의한 각 운동량의 손실과 회전자 끝의 간섭흐름 및 앞서가는 회전자의 후류에 의한 영향 등에 의해 동력계수 C_p 의 값은 회전자 및 운전 상태에 따라 다르며 통상 0.35 ~ 0.5정도의 값을 갖게 된다. 또한, 풍력발전시스템의 경우 기계적인 에너지를 전달해 주는 전달 장치의 효율 η_m 가 포함되어야 하므로 실제로 이용 가능한 동력 P_e 는 식 (2)와 같다.

$$P_e = C_p \eta_m \eta_g P_w = C_p \eta_m \eta_g \frac{1}{2} \rho V^3 A \quad (2)$$

또한, 실제 풍력발전시스템의 운전 시에는 시스템의 기계적 관성, 마찰 및 전기적 손실 등에 의해 시동풍속 V_C 이상의 풍속에서만 시스템의 출력이 생산되기 시작하고 정격풍속 V_R 에서의 정격출력 P_R 까지 V^3 에 비례하여 출력을 나타내며, 그 이상의 풍속에서는 시스템의 출력이 일정하게 유지된다. 또, 중단풍속 V_F 에서 시스템의 보호를 위해 출력을 멈추게 된다.

따라서, 이상의 확률밀도 분포와 풍속이 V 일 때의 순간적인 에너지의 양을 표시하는 식 (1)에 의해 통과면적 A 를 지나는 바람의 평균 에너지 $\overline{P_w}$ 는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{P_w} &= \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty V^3 P(V) dV \\ &= \frac{1}{2} \rho A C^3 \Gamma(1 + \frac{3}{k}) \end{aligned} \quad (3)$$

또한, 회전자의 동력계수, 기계적 전달효율 및 발전효율 등이 포함되어 있는 식 (2)에 의해서 풍력발전시스템의 평균 풍력 에너지 $\overline{P_e}$ 는 식 (4)와 같다.

$$\overline{P_e} = \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \quad (4)$$

Fig. 1은 일반적인 풍력발전시스템의 출력 특성모델을 나타낸 것이다.

그러나 식 (4)에는 실제 시스템의 효율 등은 고려되었으나 평균 출력에너지에 영향을 미치는 시스템의 운전특성은 고려되어 있지 않으므로 실제의 시스템 운전특성을 모델화한 Fig. 1에 의해 풍력발전시스템의 실제 평균 출력에너지 P_e 는 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} \overline{P_e} &= \frac{1}{2} \rho A \int_{V_c}^{V_R} C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \\ &+ \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g V_R^3 \int_{V_R}^{V_F} P(V) dV \end{aligned} \quad (5)$$

즉, 시동풍속 V_C 에서 정격풍속 V_R 까지는 V^3 으로 증가하며, 동력계수 및 각 효율은 풍속과 회전자의 회전수에 관계하여 값이 결정되지만, 정격 풍속 V_R 에서 중단풍속 V_F 까지는 Fig. 1에서 보인 모델과 같이 풍력에너지가 일정하게 유지되므로 $C_p \eta_m$

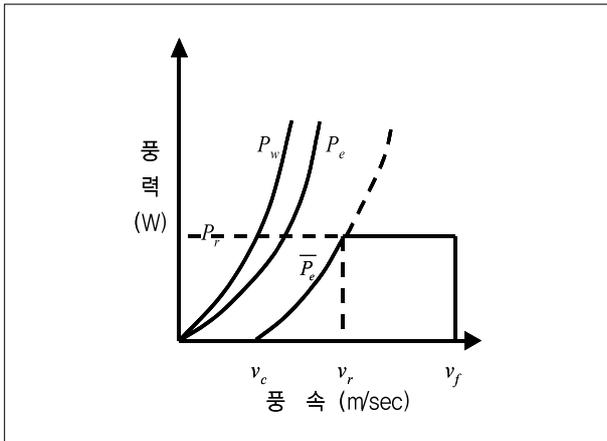


Fig. 1 Characteristics output of wind power generation system

$\eta_g V^3 R$ 의 값은 풍속 V 에 무관하게 일정한 값을 갖게 된다.^{2~7)}

3. 수직형 소형 풍력발전시스템

3.1 시스템 사양 및 구성

본 논문에서는 기존의 풍력발전시스템에 적용되던 수평축의 블레이드를 적용한 발전 방식이 아닌 수직축 블레이드를 적용한 소형 풍력발전 시스템을 제안하였다.

이는 기존의 수평축 블레이드에서 발생하는 소음의 저감과 안전성 확보를 위한 것으로 제안된 시스템 사양은 표 1과 같다.

Fig. 2는 풍력발전 시스템과 보조전력발생장치 등을 통합한 전체 시스템 구성도를 나타낸 것이다. 구성도에서 보는 바와 같이 블레이드를 통하여 발생된 전력은 DC Generator를 거쳐

Table. 1 Spec. of vertical type wind power generation system

Type	Vertical Axis Wind Generation System
Rated Power	400 W
Working Range	<ul style="list-style-type: none"> • Cut-in wind speed : Less than 5m/s • Rated wind speed : 6~15 m/s • Cut-out wind speed : 25 m/s • maximum survival wind speed : 40m/s • planned fatigue lifetime : 10 year
Rotor Orientation	Darrieus type
Number of Blades	Four
Rated of rotation	0~500rpm a

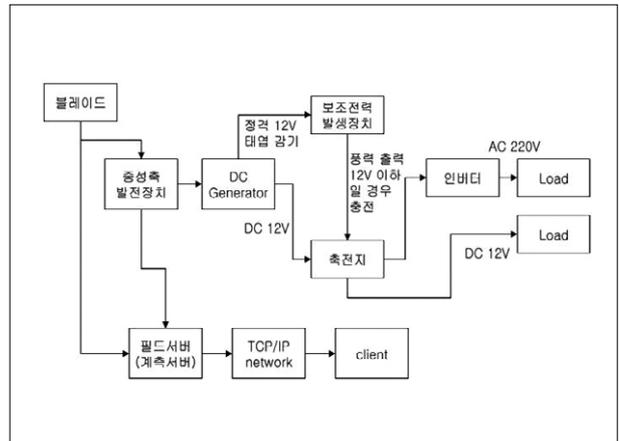


Fig. 2 Block diagram of system in this paper



Fig. 3 Vertical type wind power generation system

축전지에 저장되고 저장된 전력은 인버터를 통하여 부하에 공급되는 방식으로, 블레이드를 통하여 공급되는 DC 전력을 이용하여 고안된 보조전력발생장치의 태엽을 감아 전력을 저장하여 풍황 조건이 열악하여 블레이드 출력이 12V 이하로 떨어질 경우 전력을 보조하며, 블레이드의 회전이 적을 때 이를 보조하기 위한 중성축 발전 장치로 구성된다.

또한, 발전 시스템의 출력 특성을 측정하기 위하여 원거리 측정이 가능한 Web 모니터링 시스템을 추가 설치하였다.

설치된 수직형 풍력발전 시스템은 Fig. 3과 같이 가로, 세로 각각 70[cm], 높이 4.5[m]이며, 정격 출력은 400[W], 출력전압 12[V] 이다. 블레이드 수는 수직 곡선형 4개로 구성되어 있다. 뒷부분에 보이는 날개는 모니터링 시스템에서 비교 대상으로 한 수평축 풍력발전시스템의 블레이드 부분이다.

3.2 시스템 시뮬레이션

Fig. 4는 본 논문에서 구현된 수직형 소형 풍력발전시스템의 제어 흐름선도이다. 풍황조건이 양호할 때 수직형 소형 풍력발전 시스템에서 입력된 전압은 PIC로 제어되는 전압 비교 제어 유닛을 거쳐 축전지에 저장되고, 축전지의 전압은 인버터를 거쳐 부하에 공급된다. 또한, 축전지의 충전이 완료된 후의 발전된 잉여전압은 보조전력발생장치에 설치된 DC Motor를 기동하여 태업을 감아 보조전력발생이 가능하도록 한다.

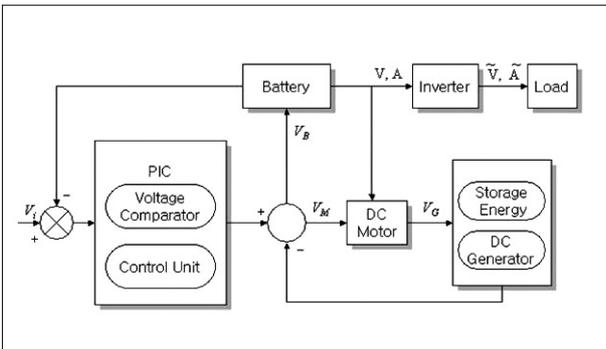


Fig. 4 Flow chart of control parts

풍황조건이 열악하여 발전된 전압이 12V 이하로 떨어질 경우 전압 비교 제어유닛에서 이를 감지하여 배터리의 전압을 충전하여 부하에 공급되는 전압을 유지하도록 제어한다.

Fig. 5는 풍력발전시스템의 출력을 Math-metica를 사용하여 시뮬레이션하고 Origin으로 나타낸 특성곡선이다.

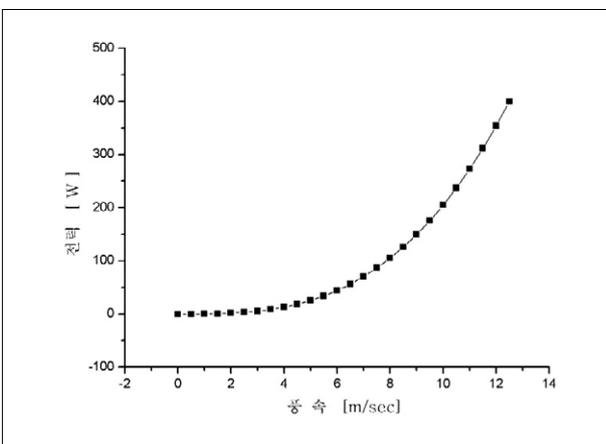


Fig. 5 Results of simulation

사용된 수식은 다음과 같다. 바람으로부터 얻을 수 있는 전기적 에너지는 다음과 같다.

$$P_e = C_p \eta_m \eta_g P_w = C_p \eta_m \eta_g \frac{1}{2} \rho V^3 A \quad (6)$$

풍력발전시스템의 평균 풍력에너지 \bar{P}'_e 는 다음 관계에 의해 표시되어 진다.

$$\begin{aligned} \bar{P}'_e &= \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \\ \bar{P}'_e &= \frac{1}{2} \rho A \int_{V_c}^{V_r} C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \\ &+ \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g V_r^3 \int_{V_r}^{V_f} P(V) dV \end{aligned} \quad (7)$$

시동풍속에서 정격풍속까지는 V^3 으로 증가하며, 동력계수 및 각 효율은 풍속 V 와 회전자의 회전수에 관계하여 값이 결정되지만, 정격풍속에서 중단풍속까지는 풍력에너지가 일정하게 유지되므로 $C_p \eta_m \eta_g V_r^3$ 의 값은 풍속 V 에 무관하게 일정한 값을 갖게 된다.

특성식에서 $C_p \eta_m \eta_g$ 는 풍속, 회전자 회전수 및 형태 등에 의해 변하게 되지만 계산의 편의를 위해 $C_p=0.4$, $\eta_m=0.9$, $\eta_g=0.9$ 로 하여 $C_p \eta_m \eta_g$ 는 0.32로 일정한 상수 값으로 보고 공기밀도는 표준상태 1.225[kg/m³], 회전자의 유효 선회 면적은 1.21[m²]로 설정하였다. 기동 풍속은 2.7 [m/s]에서 전력이 생산되고, 풍속이 선형적으로 증가하면서 풍속이 12.5 [m/s]일 때 정격출력인 400[W]에 도달됨을 알 수 있다.

3.3 모니터링 시스템

기존 수평형 풍력 발전 시스템과 수직형 풍력 발전 시스템의 정확한 출력특성 비교를 위해서는 모니터링 시스템이 필수적이다. 본 논문에서는 원격모니터링을 위한 Tool로 NI LabVIEW를 사용하였다. 모니터링 시스템의 구현을 위하여 NI의 Compact Field Point(CFP-2010)와 전압, 전류 트랜듀서를 사용하였으며, 원격지 측정 결과를 확인하기 위하여 Pentium 4급의 일반 PC를 설치하였다.

Fig. 6은 수평형 풍력발전 시스템과 수직형 풍력발전시스템의 비교 모니터링을 위해 프로그래밍 된 내부 계측 흐름선도를

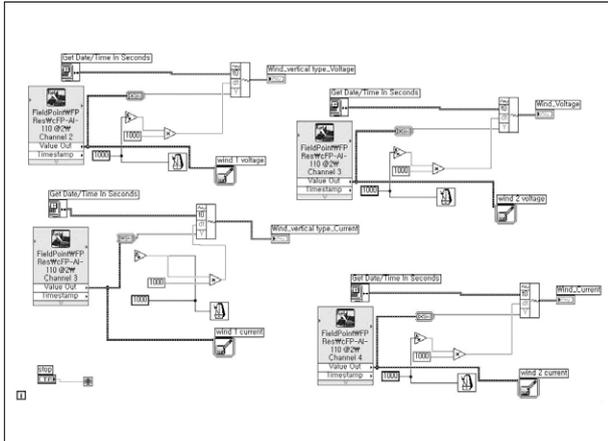


Fig. 6 Flow charts of measure/signal

나타낸 것이다. 전압/전류 측정을 위해 4채널로 구성된 입력부와 실시간 처리를 위한 날짜/시간 입력부, 샘플링 주기 설정을 위한 샘플링 제어부, 측정된 데이터의 저장을 위한 데이터 저장부로 각기 구성되어 있다.

Fig. 7과 Fig. 8은 각각 풍속 2[m/s], 11[m/s]일 때의 전압/전류를 모니터링 한 것으로서, 각 그림의 위쪽 2개는 수직형 전압/전류 파형, 아래쪽 2개는 수평형 전압/전류 파형을 나타낸다. 풍향조건은 수시로 변하는 바 모니터링 간격은 5[sec]로 실시간 표시되게 하였다. 설치된 위치에 따른 풍향조건의 차이점은 있으나, 그림에서 보는 바와 같이 풍속이 2[m/s]로 열악할 때는 수직형과 수평형 둘다 부하와 연결되어 초기 구동이 약하여 시스템 출력값이 0.5[V], 0.02[A]대로 차이가 미미하였으나, 풍속이 11[m/s] 일때는 수직형 11.4[V], 11.2[A], 수평형 11.2[V], 9.8[A]로 수직형 풍력발전 시스템의 출력이 더 높음을 알 수 있다.

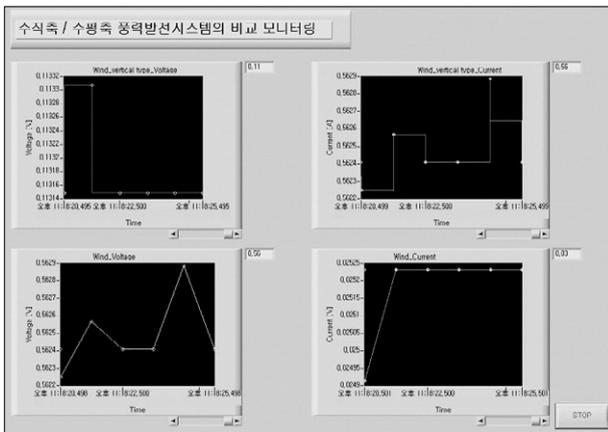


Fig. 7 Main display of monitoring system for vertical/horizontal axis wind power generation (wind speed = 2 (m/s))

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 출력특성 비교 실험

Fig. 9는 본 논문에서 제안한 수직형 소형 풍력발전 시스템의 운전 특성을 모니터링 시스템의 운용을 통하여 측정 저장된 데이터를 Origin S/W를 이용하여 출력한 것이다. 풍향조건이 일정치 않은 기상 특성상 출력의 변화가 심한 풍력발전 시스템

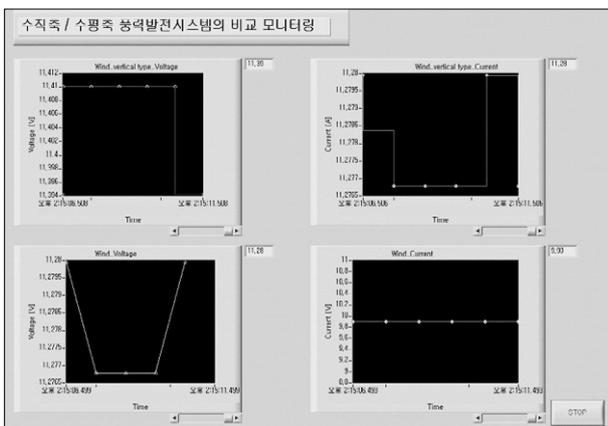


Fig. 8 Main display of monitoring system for vertical/horizontal axis wind power generation (wind speed = 11 (m/s))

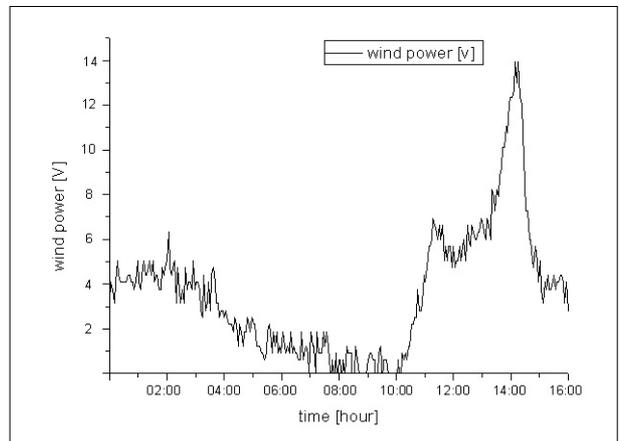
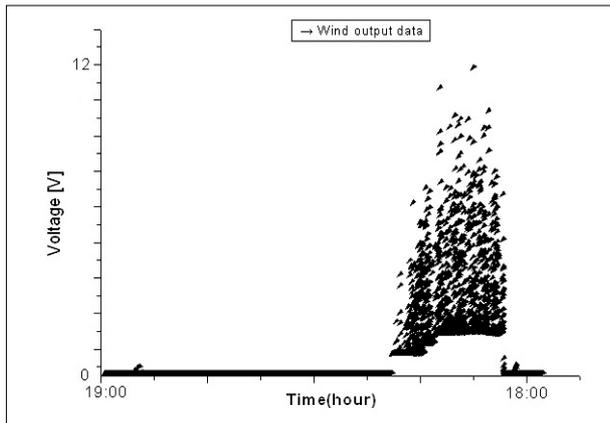
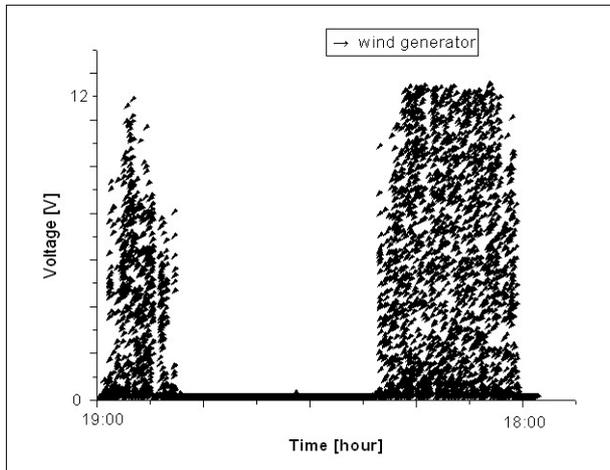


Fig. 9 Output voltage of vertical type wind power generation system



(a) Horizontal axis type



(b) Vertical axis type

Fig. 10 compare horizontal axis with vertical axis type wind power generation system(voltage output)

템의 특성을 나타내고 있다.

Fig. 10은 Fig. 9와 동일시간대에 모니터링 시스템을 통하여 측정된 수평형 풍력발전 시스템과 수직형 풍력발전 시스템의 출력을 비교한 그래프이다.

Fig. 10(a)는 기존의 400[W] 수평형 풍력발전 시스템, Fig. 10(b)는 본 논문에서 제안된 수직형 소형 풍력발전 시스템의 출력 곡선이다. 그림의 점은 10초 간격으로 측정된 데이터를 점으로 나타내어 분포하게 한 것이다. 그림에서와 같이 수직형 소형 풍력발전 시스템은 수평형에 비하여 높은 운전 효율을 보였다.

4.2 소음 비교 측정 실험

기존 설치된 수평형 풍력 발전시스템과 본 논문에서 제안된 수직형 소형 풍력 발전 시스템에서 발생하는 소음의 비교실험을 위하여 RION 사의 sound level meter 인 NA-29E를 사용하였다.

소음 측정 시험 순서는 건물 상부에 설치된 수직형/수평형 풍력발전기를 대상으로 하여 발전기로부터 5m 떨어진 곳, 건물 4층 사무실내 등 3개의 측정기준을 설정하였다. 이는 외부에서 구동되는 풍력발전기의 소음 측정과 실내에서 들리는 소음에 대한 것을 측정하기 위한 것이다. 측정 결과 Fig. 11과 같이 기존의 수평형 풍력발전시스템의 소음이 새로이 설치된 수직형 풍력발전 시스템보다 평균 15db 정도 높은 소음을 발생하고 있는 것으로 측정되었다. 이는 본 논문에서 제안된 수직형 풍력발전 시스템이 소음 발생 저감면에서 기존 수평형 시스템보다 우수하다는 것을 보여주고 있다.

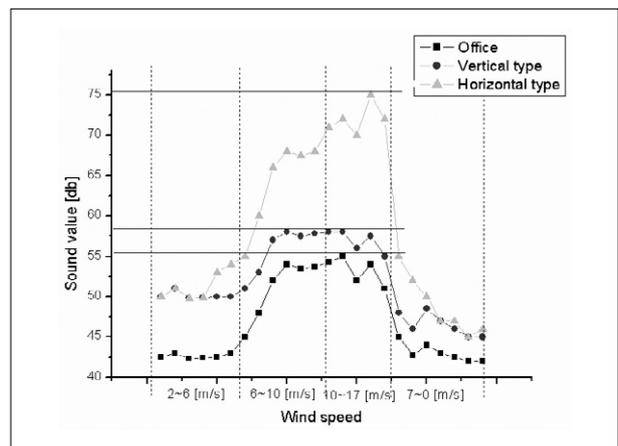


Fig. 11 Measurement results of system operation noise (compare vertical type with horizontal type)

4.3 인버터 특성 실험

본 논문에서 제안된 수직형 소형 풍력발전 시스템은 인버터를 통해서 전압, 전류가 부하에 공급된다. Fig. 12는 220V, 180W 부하를 사용하여 인버터의 출력을 측정된 결과이다. 여기에서, 인버터 입력은 12V, 출력은 60Hz, 180V, 0.8A 정도의 전압이 출력되어 정상적인 전원공급이 이뤄지고 있음을 알 수 있다.

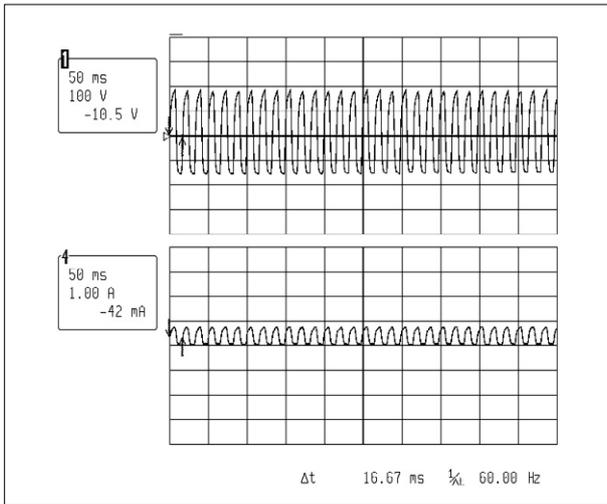


Fig. 12 Output voltage & current of inverter

5. 결론

본 논문에서 제안된 수직축 블레이드를 적용한 풍력발전시스템은 기존 수평축 풍력발전시스템의 문제점인 소음저감 및 안전성 확보를 위하여 구축된 시스템으로서 발전의 효율적 운전을 위하여 기존의 수평축 풍력발전 시스템에 비해 풍량을 받을 수 있는 면적이 넓어지고, 소음이 저감된 새로운 개념의 시스템이다.

자체 설계 구현한 LabVIEW를 이용한 모니터링 시스템의 운용을 통해 측정 분석한 결과 본 논문에서 제안된 400[W] 수직형 소형 풍력발전 시스템은 기존 같은 용량의 수평축 풍력발전 시스템에 비해 동일한 풍황조건에서 보다 높은 효율을 나타냈으며, 발전 시스템 운전시 발생하는 소음 또한 수평축 풍력발전 시스템에 비해 평균 15[db] 이하의 저소음을 유지했다.

또한, 발전된 DC 전압은 인버터를 통하여 정상적으로 부하에 공급되고, 이를 통해 시스템의 전체적인 운전이 정상적으로 이뤄지고 있음을 확인할 수 있었다.

현재 개발된 모델은 400[W]급 1기로 시스템을 실용화하기 위해서는 시제품으로 제작된 수직형 소형 풍력발전 시스템의 블레이드 재질 및 출력 안정화에 대한 추가 연구가 필요하며 이를 위해 최적화 연구에 주력하고 있다.

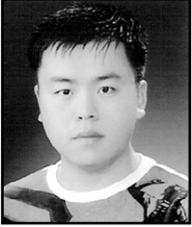
후기

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발사업 R-2003-B-123 과제지원에 의해 수행되었습니다.

References

- (1) 김기범외, 1999, 추계학술대회 "750kW급 수평축 풍력발전용 복합재 회전날개의 구조시험을 통한 설계 개선에 관한 연구", 한국항공우주학회
- (2) 이철형, 신동렬, 조명제, 1985, "풍속자료에 의한 국내 풍력가용량산정", Solar Energy, vol. 5, no. 2.
- (3) 박경호, 김동목, 최영후, 이택식, 이동규, 1989, "풍력자원 조사 및 분석 (I)", 한국동력자원연구소
- (4) 박경호, 김동목, 유승원, 최영후, 1991, "풍력자원 조사 및 분석 (III)", 한국동력자원연구소
- (5) R. J. Templin, 1974, "Aerodynamic performance theory for the NRC vertical-axis wind turbine", National Research & Council Canada, Laboratory Technical Report, LTR-LA-160.
- (6) B. G. Newman, 1980, "Multiple actuator-disc theory for wind turbines", J. of Wind Engineering & Industry Aerodynamics, vol. 24, no. 3, pp. 215-225.
- (7) R. E. Wilson and S. N. Walker, 1983, "Fixed wake theory for vertical axis wind turbine, J. of Fluids Engineering", vol. 105, pp. 389-393.

윤정필



현재 : 동신대학교 대학원 전기전자공학과
(E-mail : 01196197917@naver.com)

최장균



현재 : 동신대학교 대학원 전기전자공학과
(E-mail : photovoltaic@lycos.co.kr)

차인수



현재 : 동신대학교 수소에너지학과
(E-mail : ischa@dsu.ac.kr)