

풍속에 따른 수평형과 수직형 풍력발전기의 출력특성에 관한 분석

1)최장균, 2)차인수
 1)목포과학대학, 2)동신대학교

A analysis on the output characteristic of the horizontal and vertical wind turbine related to wind velocity

1)Jang-kyun Choi, 2)In-Su Cha
 1)Mokpo Science College 2)Dongshin Univ

ABSTRACT

The various wind turbines have been designed and developed for the century. The precision design of the blade and turbine system considering the wind circumstance is required for the high efficiency. In this paper, we investigated the output characteristics of the horizontal and vertical wind turbine related to the wind velocity. Furthermore we will intend to design the wind turbine blade adapted the urban wind circumstance.

1. 서론

신재생에너지 분야는 태양광, 태양열, 풍력, 지열, 소수력, 바이오 등 여러 가지 분야가 있으나 국내 실정에 적합한 에너지는 태양광, 풍력, 바이오등의 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 블레이드의 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.

풍력 발전 시스템은 발전 용량에 따라 대형, 중형, 소형으로 나뉘고, 블레이드 축의 방향에 따라 수직축, 수평축 발전으로 나뉜다. 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 회전에 의한 소음이 심하며 태풍이나 돌풍에 블레이드가 떨어질 경우 안전성에 심각한 문제점이 있다는 것이다.

본 논문에서는 이러한 수평축 풍력 발전 시스템의 단점을 보완한 수직축 소형 풍력발전 시스템을 제안하고, 풍속에 따른 기존 시스템과의 비교를 통하여 특성을 분석하고자 하였다.

2. 풍력발전

풍력 에너지의 크기는 바람의 속도와 밀접한 관계가 있다. 속도 V 로 통과면적 A 를 지나는 바람이 갖는 에너지의 총량은 다음과 같다.

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

여기서, P_w : 풍력 에너지 총량 [W]

V : 풍속 [m/sec]

A : 통과면적 [m²]

ρ : 공기밀도[kg/m³]

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 는 0.593임을 Betz가 밝힌 바 있으나, 실제 회전자의 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 값만을 갖게 된다. 또한, 풍력발전시스템의 경우 기계적인 에너지를 전달해 주는 전달 장치의 효율 η_m 가 포함되어야 하므로 실제로 이용 가능한 동력 P_e 는 다음 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 운전시에는 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, 종단풍속 V_F 에서 시스템의 보호를 위해 출력을 멈추게 된다. 그림 1은 일반적인 풍력발전시스템의 출력 특성모델을 보이고 있다.

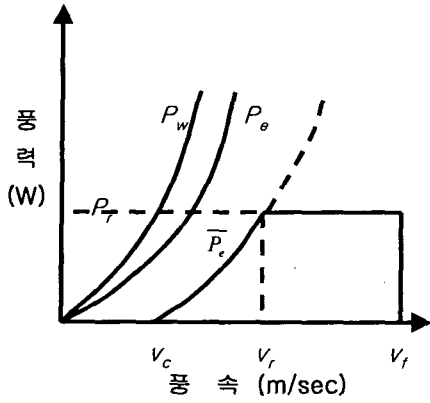


그림 1 풍력발전시스템의 출력 특성 모델

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 다음과 같다.

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

3. 시스템 구성

3.1 시스템 구성

본 논문에서 제안된 시스템 사양은 표 1과 같다.

그림 2는 풍력발전 시스템과 보조전력발생장치 등을 포함한 전체 시스템 구성도를 나타낸 것이다. 구성도에서 보는 바와 같이 블레이드를 통하여 발생된 전력은 DC Generator를 거쳐 축전지에 저장되고 저장된 전력은 인버터를 통하여 부하에 공급되는 방식으로, 블레이드를 통하여 공급되는 DC 전력을 이용하여 고안된 보조전력발생장치의 태엽을 감아 전력을 저장하여 풍황조건이 열악하여 블레이드 출력이 12V 이하로 떨어질 경우 전력을 보조하며, 블레이드의 회전이 적을 때 이를 보조하기 위한 증성축 발전 장치로 구성된다.

3.2 시스템 시뮬레이션

그림 3은 본 논문에서 구현된 수직형 소형 풍력발전시스템의 제어 흐름선도이다. 풍황조건이 좋을 때 수직형 소형 풍력발전 시스템에서 입력된 전압은 PIC로 제어되는 전압 비교 제어유닛을 거쳐 축전지에 저장되고, 축전지의 전압은 인버터를 거쳐 부하에 공급된다. 또한, 축전지의 충전이 완료된 후의 발전된 잉여전압은 보조전력발생장치에 설치된 DC Motor를 기동하여 태엽을 감아 보조전력발생이 가능하도록 한다.

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

표 1 수직형 풍력발전 시스템 사양

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-ouit 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

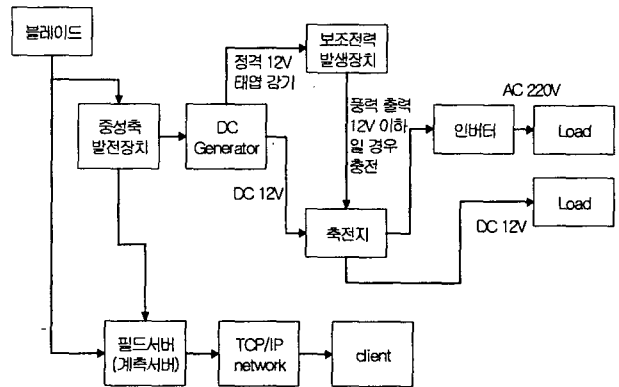


그림 2 수직형 풍력발전 시스템 구성도

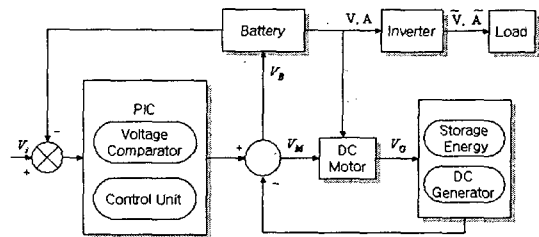


그림 3 수직형 풍력발전 시스템 제어 흐름선도

그림 4는 풍력발전시스템의 출력을 Mathematica를 사용하여 시뮬레이션하고 Origin으로 나타낸 특성곡선으로써 사용된 수식은 다음과 같다. 바람으로부터 얻을 수 있는 전기적 에너지는 다음과 같다.

$$P_e = C_p n_m n_g P_w = C_p n_m n_g \frac{1}{2} \rho V^3 A \quad (4)$$

$$\overline{P_e} = \frac{1}{2} \rho A \int_0^{\infty} C_p n_m n_g V^3 P(V) dV$$

$$\overline{P_c} = \frac{1}{2} \rho A \int_{V_c}^{V_r} C_p \eta_m \eta_g V^3 P(V) dV \quad (5)$$

$$+ \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g V_r^3 \int_{V_c}^{V_f} P(V) dV$$

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 $1.225[\text{kg}/\text{m}^3]$, 회전자의 유효 선회 면적은 $1.21[\text{m}^2]$ 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.

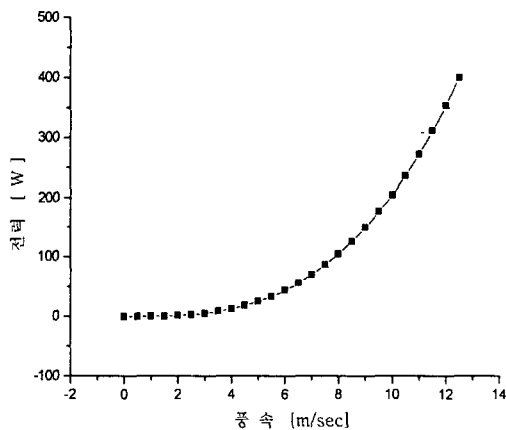


그림 4 시뮬레이션 결과 파형

3. 실험 결과

그림 9과 그림 10은 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. 풍황조건은 수시로 변하는 바 모니터링 간격은 5[sec]로 실시간 표시되게 하였다. 설치된 위치에 따른 풍황조건의 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.

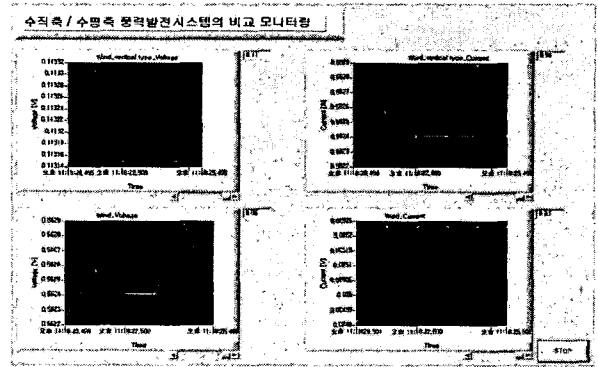


그림 5 수직축/수평축 풍력발전시스템의 비교 모니터링 메인화면 (풍속= 2 [m/s])

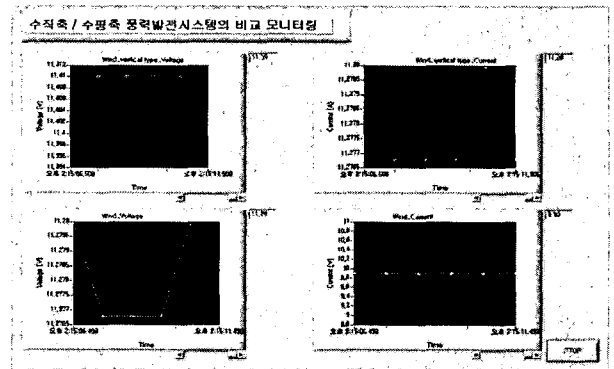


그림 6 수직축/수평축 풍력발전시스템의 비교 모니터링 메인화면 (풍속=11[m/s])

4. 결론

본 논문에서 제안된 수직축 블레이드를 적용한 풍력발전시스템은 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, 시스템의 전체적인 운전이 정상적으로 이뤄지고 있음을 확인할 수 있었다.

현재 블레이드 재질 및 출력 안정화에 대한 추가 연구가 필요하며 이를 위해 최적화 연구에 주력하고 있다.

참고 문헌

- [1] R. J. Templin, "Aerodynamic performance theory for the NRC vertical-axis wind turbine", National Research & Council Canada, Laboratory Technical Report, LTR-LA-160, 1974.
- [2] B. G. Newman, "Multiple actuator-disc theory for wind turbines", J. of Wind Engineering & Industry Aerodynamics, vol. 24, no. 3, pp. 215-225, 1980.
- [3] R. E. Wilson and S. N. Walker, "Fixed wake theory for vertical axis wind turbine, J. of Fluids Engineering", vol. 105, pp. 389-393, 1983.