풍속에 따른 풍력발전기의 출력특성에 관한 연구

최장균, 차인수
[1]목포과학대학, [2]동신대학교

A study on the output characteristic of the wind turbine related to the wind velocity

[1]Jang-Kyun Choi, [2]In-Su Cha
[1]Mokpo Science College, [2]Dongshin Univ.

Abstract - The wind turbines of various designs have been manufactured and operated for many years. The design considering the wind circumstance is required for the high efficient wind turbine, because the efficiency and characteristics of the wind turbines depends on the designs and structure of it's system. In this paper, a analysis on the output characteristic of the wind turbine according to wind velocity was performed. The results of the analysis data is desired to be used on the high efficient blade design.

1. 서 론

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.

본 논문에서는 이러한 수평축의 문제점을 분석하고 소형 발전의 대안으로 수직축 풍력발전을 제안하고자 400W 소형 풍력발전기 2기를 각각 설치하여 한 대는 수직형으로, 한 대는 수평형으로 설치하여 동일한 장소에서 실험을 수행하였으며, 풍속의 변화에 따른 시스템의 출력 특성을 분석하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 풍력 에너지

풍력 에너지의 크기는 바람의 속도와 밀접한 관계가 있다. 속도 V로 통과면적 A를 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]

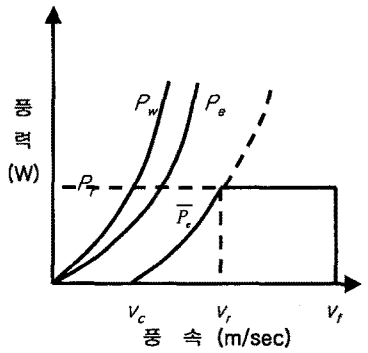
A : 통과면적 [㎡]

ρ : 공기밀도[kg/㎥]

P_w의 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_p는 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_p의 값은 회전자 및 운전상태에 따라 다르며 통상 0.35~0.5정도의 값만을 갖게 된다. 또한, 풍력발전시스템의 경우 기계적인 에너지를 전달해 주는 전달 장치의 효율 η_m가 포함되어야 하므로 실제로 이용 가능한 동력 P_e는 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_c이상의 풍속에서만 시스템의 출력이 생산되기 시작하고 정격풍속 V_R에서의 정격출력 P_R까지 V^3에 비례하여 출력을 나타내며, 그 이상의 풍속에서는 시스템의 출력이 일정하게 유지된다. 또, 종단풍속 V_F에서 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 V일 때의 순간적인 에너지의 양을 표시하는 식 (1)에 의해 통과면적 A를 지나는 바람의 평균 에너지 $\overline{P_w}$는 다음과 같다.

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

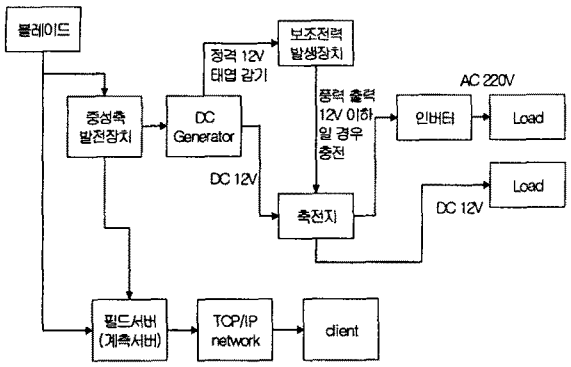
2.2 시스템 구성

논문에서 제안된 시스템 사양은 표 1과 같다.

〈표 1〉 수직형 풍력발전 시스템 사양

Type	Vertical Axis Wind Generation System
Rated Power	400 W
Working Range	○ 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

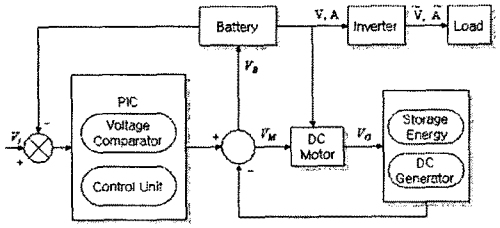
그림 2는 풍력발전 시스템과 보조전력발생장치 등을 통합한 전체 시스템 구성도를 나타낸 것이다.



<그림 2> 풍력발전 시스템 구성도

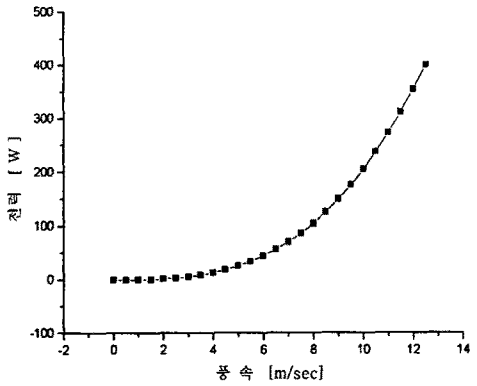
2.3 시스템 시뮬레이션

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.



<그림 3> 풍력발전 시스템 제어 흐름선도

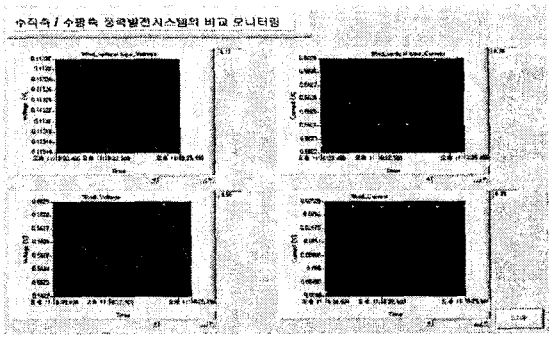
그림 4는 풍력발전시스템의 출력을 Mathmetica를 사용하여 시뮬레이션하고 Origin으로 나타낸 특성곡선으로 나타낸 것이다. 기동 풍속은 2.7 [m/s]에서 전력이 생산되고, 풍속이 선형적으로 증가하면서 풍속이 12.5 [m/s]일 때 정격출력인 400[W]에 도달됨을 알 수 있다.



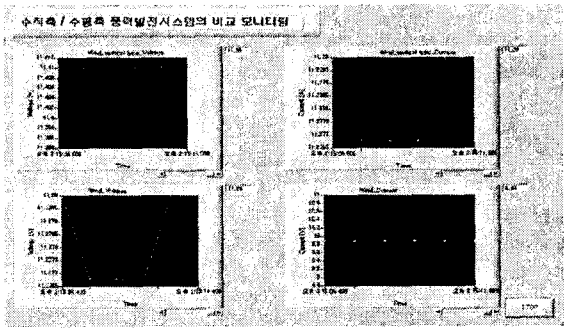
<그림 4> 시뮬레이션 결과 파형

3. 실험 결과

그림 5와 그림 6은 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. 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 풍속= 2 [m/s]



<그림 6> 수직축/수평축 풍력발전시스템의 비교 풍속=11[m/s]

4. 결 론

본 논문에서는 400W 소형 풍력발전시스템 2기를 각각 수직형과 수평형 블레이드를 설치하고 이를 동일 장소에 설치하여 풍속에 따른 출력 특성을 분석하고자 하였다.
설치된 시스템에서 출력된 값을 실시간으로 모니터링 하여 분석한 결과 풍속의 변화에 따른 출력의 효율은 수평축에 비하여 수직축의 효율이 일부 높은 것을 알 수 있었다. 하지만, 본 실험에서 바람을 받는 면적이 넓은 수직축 블레이드의 조건과 재질 등의 주변요건에 대한 명확한 분석은 수행하지 못하였다.
현재 수직축과 수평축의 명확한 실험 분석을 위하여 블레이드의 재설계가 이뤄지고 있으며, 차후 논문을 통해 그 결과를 보고하고자 한다.

[참 고 문 헌]

[1] R. J. Templine, "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.