

지역적 특성을 고려한 소형 풍력발전시스템의 운전특성 분석

강병복^{*}, 임중열^{*}, 윤정필^{*}, 차인수^{*}
 동신대학교 전기전자공학부^{*}

A analysis on the operation characteristics of the wind power generation system for the geographical features

Byung-Bok Kang, Jung-Yeol Lim, Jung-Pil Yoon, In-Su Cha
 School of Electric & Electronic Eng. Dongshin University^{*}

Abstract - Currently there are very limited amounts of resources and serious amounts pollution.

Wind power generation system have an advantage of unlimited and unpolluted amount of energy resource.

In this paper, for the application of these characteristic and for the generation to be achieved regard of districts and geographical features the energy continuously.

The operation characteristics of system were analyzed through experiments for a trial product.

1. 서론

최근에 환경에 대한 세계적인 관심이 고조됨에 따라 인류 문명의 발달과정에서 가장 중요한 에너지원으로 인식되어 왔던 화석 연료가 환경 오염 물질의 주요 배출원으로 인식되면서 화석 연료에 대한 사용 제한의 필요성이 증대되고 있다. 또한, 생활 수준 향상 등에 따른 에너지 소비의 증가로 에너지는 환경 문제와 더불어 인류가 미래에 직면하게 될 가장 큰 문제로 인식되고 있다. 따라서 선진국을 포함한 여러 나라에서 풍력, 태양광, 조력, 파력 등의 자연 에너지 및 배탄올, BIOGAS 등을 포함한 환경 친화적인 에너지원의 개발 및 유효이용과 관련한 기술개발에 박차를 가하고 있으며, 특히 풍력은 미래의 에너지원으로서 각광을 받고 있으며 지속적인 연구를 수행하여 현재는 수 MW급의 대형 풍력발전시스템의 실용화 단계에 있는 실정이다. 풍력발전시스템은 거의 무한량이고 무공해의 깨끗한 에너지원인 풍력에너지를 실용 가능한 에너지의 한 형태로 변환시키는 시스템이라 할 수 있다. 한편, 우리 나라도 기후 변화 협약 등 환경 문제가 에너지 분야의 가장 큰 난제로 등장하면서 환경 친화적인 에너지원의 유효 활용을 위한 관심이 고조되면서 풍력발전에 대한 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

본 논문에서 적용된 발전기는 400[W]급으로 일반 가정이나 공공 장소 등 전력소모가 작은 부분에 사용하여 독립시스템인 아닌 소비 전원의 일부를 대체함으로써 대체 에너지 효과를 유발하고자 한다.

더불어 독립시스템으로써의 가능성을 타진하기 위하여 주변 환경변수에 따른 전압 전류 특성을 분석하고자 한다.

2. 풍력에너지 특성

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

$$P_w = \frac{1}{2} \rho C_p v^3 A \tag{1}$$

여기서, P_w : 풍력 에너지 총량 [W]

v : 풍속 [m/sec]

C_p : 풍력시스템의 출력 계수

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 출력계수, 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 출력계수 C_p 의 값은 회전자 및 운전상태에 따라 다르며 통상 0.35 ~ 0.5 정도의 값만을 갖게 된다. 또한, 풍력발전시스템의 경우 기계적인 에너지를 전달해 주는 전달장치의 효율 η_m 가 포함되어야 하므로 실제로 이용 가능한 동력 P_e 는 다음 식 (2)와 같다.

$$P_e = C_p \eta_m \eta_g P_w = C_p \eta_m \eta_g \frac{1}{2} \rho v^3 A \tag{2}$$

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, 중단풍속 v_s 에서 시스템의 보호를 위해 출력을 멈추게 된다. 그림 1은 일반적인 풍력발전시스템의 출력 특성모델을 보이고 있다.

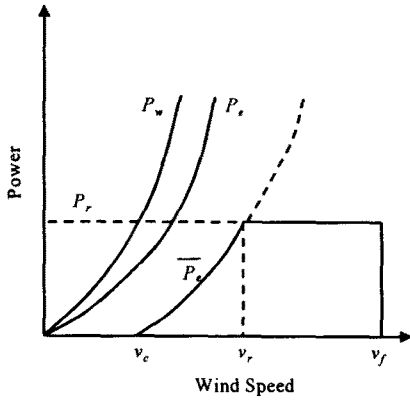


그림 1 풍력발전시스템의 출력 특성모델

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.

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

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

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

그러나, 식 (4)에는 실제 시스템의 효율 등은 고려되었으나 평균 출력에너지에 영향을 미치는 시스템의 운전 특성은 고려되어 있지 않으므로 실제의 시스템 운전 특성을 모델화한 그림 1에 의해 풍력발전시스템의 실제 평균 풍력에너지 $\overline{P_e}$ 는 다음과 같다.

$$\overline{P_e} = \frac{1}{2} \rho A \int_{v_c}^{v_r} C_p \eta_m \eta_g v^3 P(v) dv + \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_g v_r^3 \int_{v_r}^{v_f} P(v) dv \quad (5)$$

즉, 시동풍속 v_c 에서 정격풍속 v_r 까지는 v^3 으로 증가하며, 동력계수 및 각 효율은 풍속 v 와 회전자의 회전수에 관계하여 값이 결정되지만, 정격 풍속 v_r 에서 종단풍속 v_f 까지는 그림 1에서 보인 모델과 같이 풍력 에너지가 일정하게 유지되므로 $C_p \eta_m \eta_g v_r^3$ 의 값은 풍속 v 에 무관하게 일정한 값을 갖게 된다.

식(6)은 이상적인 최대출력을 나타낸다.

$$P_r(\max) = \frac{8}{27} \rho V_w^3 A \quad (6)$$

식(7)은 실제 풍력 에너지를 나타낸다.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho V^3 A \quad (7)$$

풍차의 이론적인 효율은 다음과 같다.

$$\eta_A(\max) = \frac{P_r}{P_w} = \frac{16}{27} \approx 0.593 \quad (8)$$

즉, 이론적으로 풍차는 바람이 가지는 에너지의 59.6%를 사용할수 있다.

그림 2는 단위 면적을 통과하는 풍속과 최대에너지 사이의 관계를 보여주고 있다.

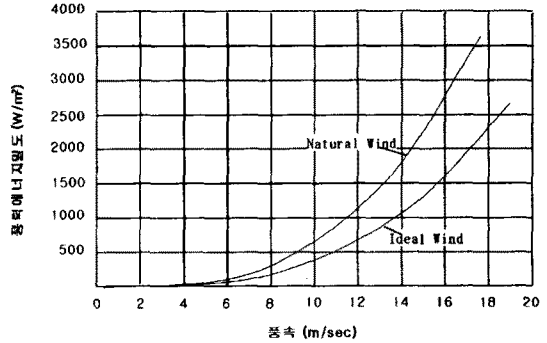


그림 2 풍력에너지 밀도

3. 시스템 구성

그림 3은 전체 시스템 구성도로서 풍력발전기, 인버터, 동력저장장치, 부하부로 구성되어 있다.

풍력발전기는 400[W]용으로서 반경 60[cm]으로 구성되어 있고, 출력은 400[W], 0 ~ 2000[rpm](풍속 12[m/s]시), 로터 효율은 $C_p=0.7$ 이다.

풍차는 복사열, 산바람, 상승기류를 고려하여 건물(4층) 옥상에 7.5m의 높이로 설치하였다.

기후의 변화에 따라 태양광이나 풍력을 활용할 수 없을 경우 풍력발전시스템에서 출력된 전압이 작더라도 배터리에 연속적으로 전압을 충전 시키도록 12[V]의 동력저장 장치를 추가로 설치 하였다.

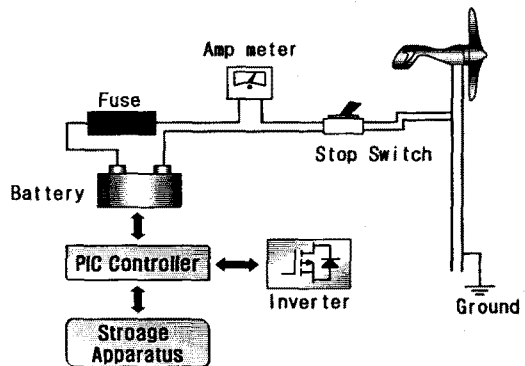


그림 3 시스템 구성도

풍력발전시스템의 출력 전압이 12[V] 이상이 되면 배터리의 충전과 더불어 동력저장장치의 DC모터가 태업을 감는 동작을 병행하면서 인버터를 통해서 부하를 작동시킨다. 반대로 12[V] 미만이 되면 태업이 풀리면서 소형발전기가 동작하여 축전지에 충전시켜서 부하를 작동시킨다.

이때 DC모터를 이용해 태업을 감는 시간은 약 2분 정도이

고, 동력저장장치를 통해 발전되는 시간은 약 2시간 정도이다.

그림 4는 동력저장장치를 이용한 복합발전 보상 시스템의 블록선도를 나타냈다. 입력전압 V_i 가 PIC에서 전압을 비교기에서 감지하여 12[V] 이상이 되면 축전지에 충전과 동시에 DC 모터를 동작시켜 태엽을 감아두고 인버터를 통해서 부하를 동작시킨다. 그리고, 축전지의 전압이 12[V]미만으로 떨어지거나 풍속이 작아지면 태엽이 풀리면서 DC Generator가 동작하여 축전지 충전과 동시에 부하를 구동시킨다.

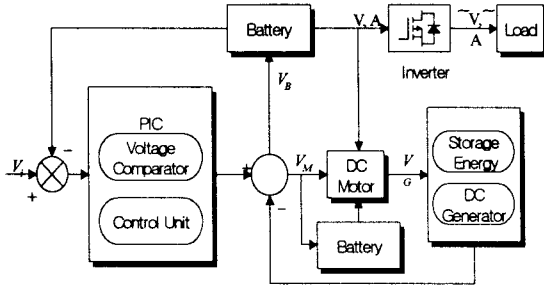


그림 4 시스템 블록선도

그림 5는 동력저장 장치부를 보여주고 있다.

태엽 구동부는 DC Motor(TD8025G-12, 12[V], 2.5[A], 25[W], 300[rpm])와 Gear Motor(S8KA60B, 50[rpm])로 구성됐으며, 제어부는 PIC(Peripheral Interface Controller)를 적용하여 기상 조건이 불안정하게되어 풍력발전시스템을 이용하지 못할 경우에 동력저장장치를 이용하도록 프로그래밍 하였다.

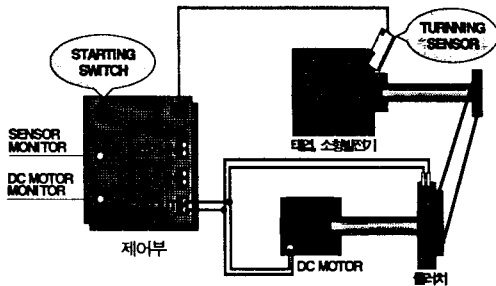


그림 5 동력저장장치부

그림 6은 풍력발전시스템의 풍속에 따른 출력 특성을 보여주고 있다.

시동 풍속은 3[m/sec]이고, 풍속의 증가에 따라 선형적으로 출력은 증가하며 최대 출력은 600[W]이다.

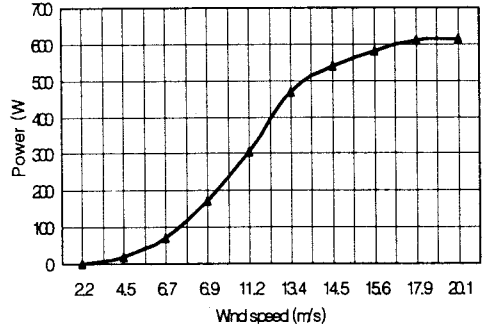


그림 6 풍속에 따른 출력 특성

4. 실험 고찰

그림 7은 풍속에 따른 출력 전력의 변화를 시뮬레이션한 파형이다.

출력 전력이 풍속에 따라 선형적으로 증가한다는 것을 알 수 있으며, 풍속이 약 12.5[m/sec]일 경우에 정격 풍속 400[W]가 발전된다는 것을 알 수 있었다.

시뮬레이션에 사용된 출력 계수는 0.7이고 공기밀도는 0.0012 kg/m³이며, 회전자의 유효선회 면적은 1.21 m²이다.

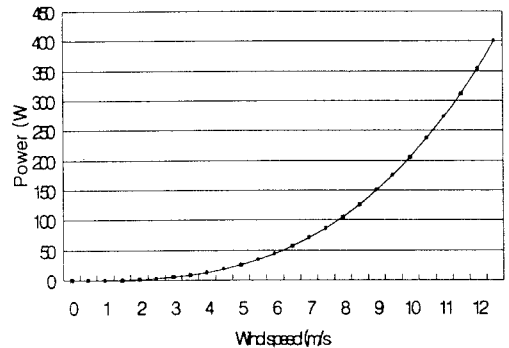


그림 7 풍속에 따른 출력 특성

그림 8은 풍속에 의한 발전기의 동작 전압, 전류 파형을 보여주고 있다.

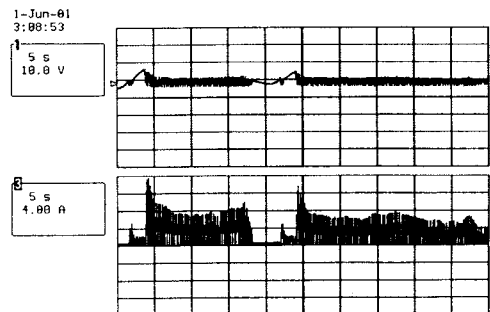


그림 8 풍력발전기의 동작 전압, 전류 특성

그림 9는 동력저장장치와 풍력발전기의 구동 특성 전압을 비교하고 있다. 동력저장장치는 풍력발전기 출력 전압이 12[V] 이하로 떨어지면 구동한다는 것을 알 수 있다.

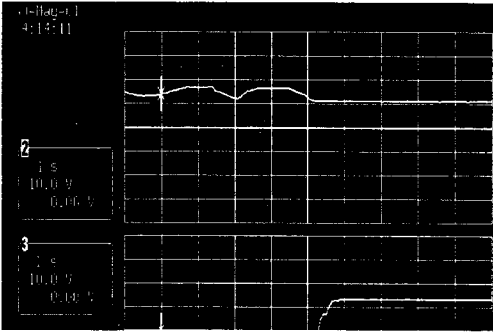


그림 9 동력저장장치와 풍력발전기의 구동 특성 전압

그림 10과 11은 전라남도 나주시의 5월과 달별 최대 풍속을 보여주고 있다.

기상 조건에 따라 풍속이 변화함을 알 수 있다.

기상조건이 좋지 않을 경우, 풍력발전기는 거의 동작하지 않게 되고 동력저장장치가 동작하게 된다.

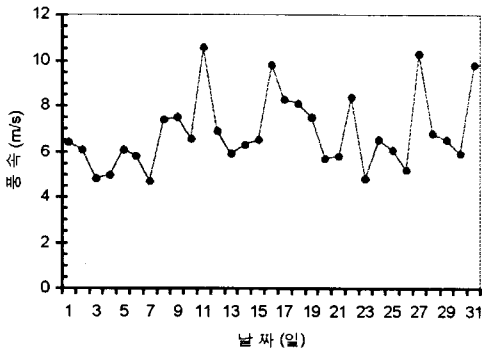


그림 10 5월달 최대 풍속(나주시)

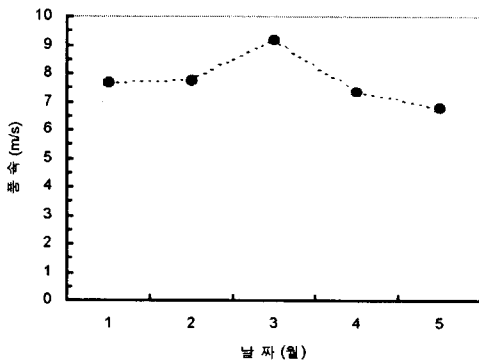
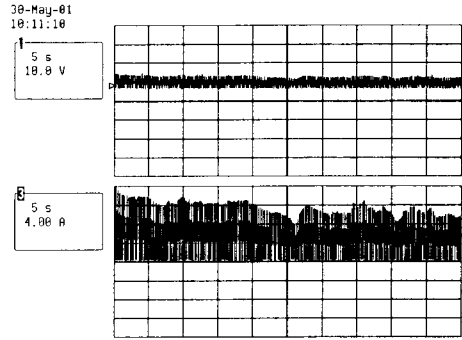


그림 11 달별 최대 풍속 (나주시)

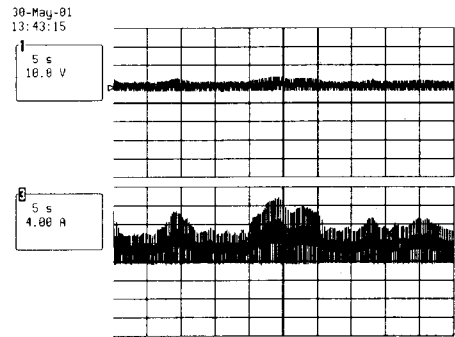
그림 12는 풍력발전시스템의 시간에 따른 출력 전압, 전류

파형을 보여주고 있다.

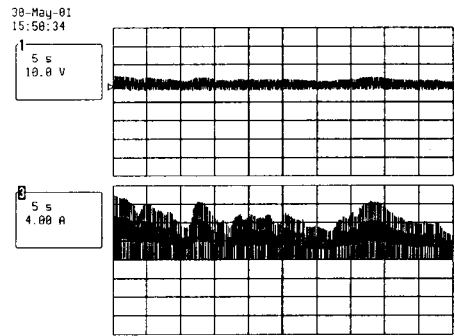
기상조건(풍향, 풍속 등)에 따라 전압과 전류가 일정하게 유지됨을 알 수 있다.



(a) 10시



(b) 13시



(c) 15시

그림 12 시간에 따른 풍력발전시스템의 출력 파형

5. 결론

기존의 풍력발전시스템은 풍속이 감소되면 블레이드가 저속으로 회전하기 때문에 보조발전의 도움이 없이는 자가 발전이 어려워져 한정된 풍속 조건에서만 작동이 가능하며, 풍속의 특성 때문에 풍력에너지의 이용효율이 대부분 매우 낮다는 문제점이 있다. 그러나, 이와 같은 종래의 문제점을 해결하고 지역이나 지형에 크게 구애됨이 없이 시스템을 운용할 수 있도록 동력저장장치를 추가함으로써 풍속의 저하로 발전이 어려워지면 소형발전기를

동작시켜 얻어진 에너지를 축전지에 저장하여 부하에 전력을 연속적으로 공급하도록 하였다.

본 논문에서 제안된 동력저장장치를 적용한 풍력발전시스템은 실험결과 풍속이 3[m/s] 이하인 경우에도 동력저장장치가 작동하여 소형발전기에서 출력된 에너지를 축전지에 축전시켜 지속적인 에너지를 부하에 공급할 수 있었다. 향후 실증 실험 연구를 통하여 일반가정, 도서벽지 및 오지에 독립적인 소규모 발전시스템을 보급하여 청정에너지 효율적인 이용 및 전력수요에 이바지하고자 한다.

6. 참고문헌

- [1] L. A. Schienbein and D. J. Malcolm, "Design performance and economics of 50kW vertical axis wind turbine", *J. of Solar Energy Engineering*, vol. 105, no. 11, pp. 418-423, 1983.
- [2] Z. Salameh, D. Taylor, "Step-Up Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays", *Solar Energy*, Vol. 44, No. 1, pp. 57-61, 1990.
- [3] Victorio Arcidiacono, Sando Corsi, Luciano Lambri, "Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Power Plants", *IEEE*, pp. 507-512, 1982.
- [4] Randall C. Maydew and Paul C. Kimas. "Aerodynamic performance of vertical and horizontal axis turbine". *J. of Energy(USA)*, vol 5, no. 3, pp. 189-190, 1981.
- [5] De Vries, "Fluid Dynamic Aspect of Wind Energy Conversion, Advisory Group for Aerospace Research & Development", AGARD-AG-243, 1979.