

## 지역적 특성을 고려한 소형 풍력발전의 운전특성에 관한 연구 (I)

강병복\*, 이기재\*, 김민\*, 차인수\*\*

\* 동신대학교 대학원 전기전자공학과

\*\* 동신대학교 전기전자공학부

### A study on the characteristics of the small wind power generation for the geographical features

Byung-Bog Kang\*, Gi-Je Lee\*, Min Kim\*, In-Su Cha\*\*

\* Dept. of Electrical & Electronics Eng. Graduate School of Dongshin Uni.

\*\* Dept. of Electrical & Electronics Eng. Dongshin Uni.

#### 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 메탄올, 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 논문에서는 750 [KW] 대전력을 얻는 풍력 발전기 개발이 목적이 아니라 용량이 400[W]로써 일반 가정이나 공공 장소에서 적은 전력을 이용하여 대체 에너지 효과를 충분히 이룰 수 있는 소형 풍력발전기의 전압 특성을 분석하고자 한다.

#### 2. 풍력에너지의 특성

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

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

여기서,  $P_w$  : 풍력 에너지 총량 [W]

$v$  : 풍속 [m/sec]

$C_p$  : 풍력시스템의 출력 계수

$A$  : 통과면적 [ $m^2$ ]

$\rho$  : 공기밀도[kg/ $m^3$ ]

$P_w$ 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 운

전상태에 따라 다르며 통상 0.35 ~ 0.5 정도의 값만을 갖게 된다. 또한, 풍력발전시스템의 경우 기계적인 에너지를 전달해 주는 전달장치의 효율  $\eta_m$ 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, 중단풍속  $v_F$ 에서 시스템의 보호를 위해 출력을 멈추게 된다. 그림 1은 일반적인 풍력발전시스템의 출력 특성모델을 보이고 있다.

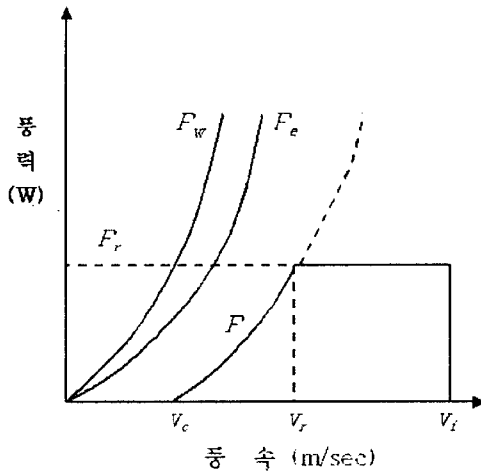


그림 1 풍력발전시스템의 출력 특성모델  
Fig. 1 Output characteristic model of wind generation system

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.

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

또한, 회전자의 동력계수, 기계적 전달효율 및 발전효율 등이 포함되어 있는 식 (2)에 의해서 풍력발전시스템

의 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 운전특성은 고려되어 있지 않으므로 실제의 시스템 운전특성을 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 중단풍속  $v_F$ 까지는 그림 1에서 보인 모델과 같이 풍력에너지가 일정하게 유지되므로  $C_p \eta_m \eta_g v_R^3$ 의 값은 풍속  $v$ 에 무관하게 일정한 값을 갖게 된다.

### 3. 풍력발전시스템 특성

본 논문에서 사용된 풍력발전시스템은 풍력발전기, 인버터, 부하부로 구성되어 있다.

풍력발전기는 400[W]용으로서 반경 60[cm]으로 구성되어 있으며, 날개의 재질은 Wood-Epoxy를 사용하고, 풍차의 회전 속도는 풍차 발전기의 효율을 증대시키고 소음 발생을 줄이기 위해 400[W] 출력에 맞게 0 ~ 2000[rpm](풍속 12[m/s]시), 로터 효율은  $C_p=0.7$ 로 하며, 발전기는 400[W] 동기-브러시리스-영구자석형-1 $\phi$ 상으로 구성하였다.

풍력 발전기는 페루프 시스템으로 운전되기 때문에 무인 운전이 가능하고 시스템을 스스로 보호할 수 있는 안전 장치로서 전기제어 시스템은 안전하게 운전 될 수 있도록 설계하였다.

### 4. 실험 결과 및 고찰

그림 2는 풍력발전시스템의 풍속 특성을 보여주고 있다. 풍속이 2.7m/sec에서 발전기가 구동되고 풍속이 증가함에 따라 그 출력이 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

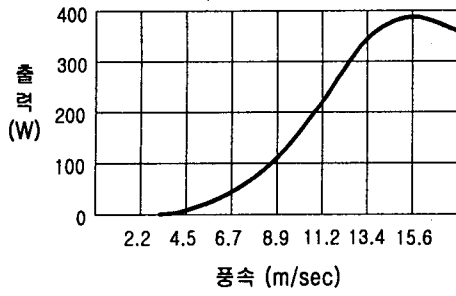
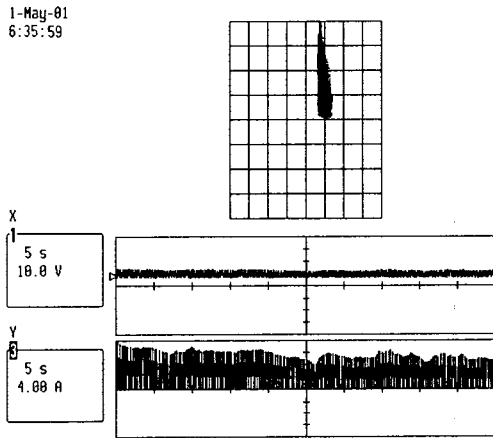


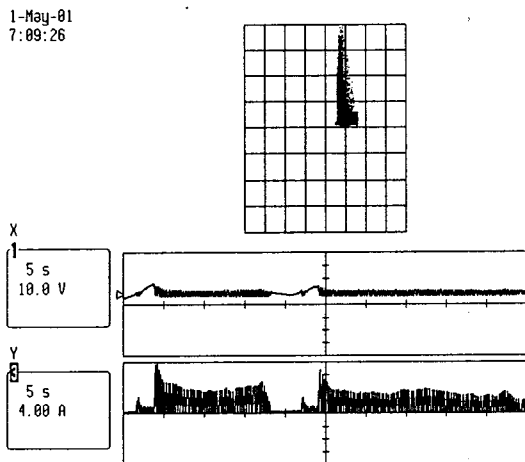
그림 2 풍력발전시스템의 풍속 특성  
Fig. 2 Wind speed characteristic of wind generation system

그림 3은 풍력발전기의 출력 전압, 전류 전력계적을 시간대별로 보여주고 있다.

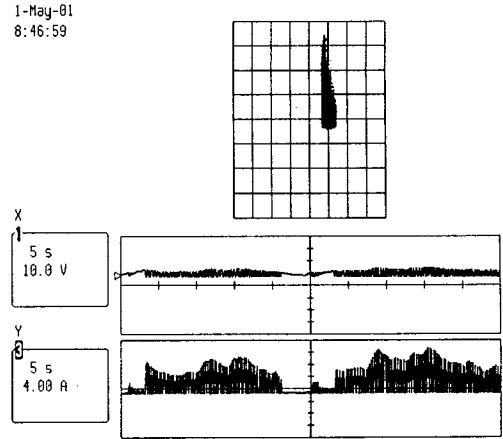
풍향과 풍속에 따라 전압과 전류값이 변화됨을 알 수 있다. 특히 풍향이 바뀌에 따라 순간적으로 전압과 전류값이 감소되는 특성을 알 수 있었다.



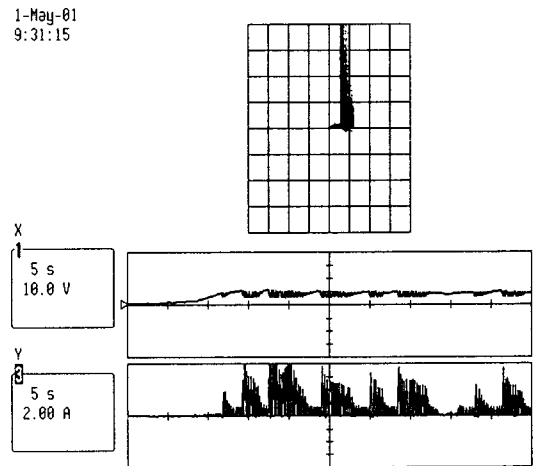
(a) 6시



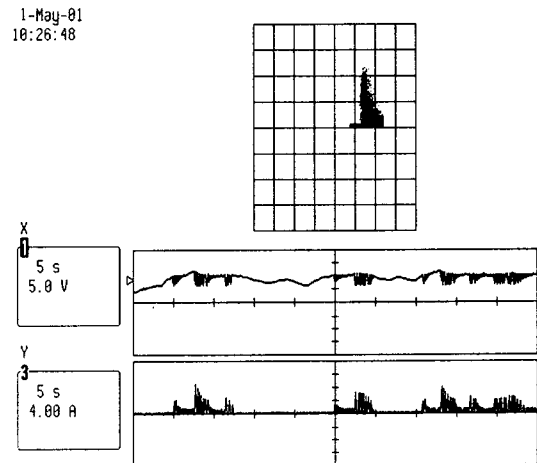
(b) 7시



(c) 8시



(d) 9시



(e) 10시

그림 3 풍력발전기의 출력 파형  
Fig. 3 The output wave of wind generation system according to time

## 5. 결 론

풍력발전시스템의 출력이 시간별로 큰 차이가 있음을 알수 있었다. 이것은 풍력발전시스템의 출력이 풍속의 상승에 비례하고 증감하기 때문이다.

이것을 고려하여, 작업이나 타 시스템과 연계하여 발전한다면 보다 효율적으로 에너지를 공급할 수 있으리라 생각된다.

더불어, 지속적인 발전을 위해서는 이에 따른 보조발전시스템이 도입되어야 하며, 차후 높은 효율의 에너지 변환을 갖는 시스템을 구현하여 일반가정, 도서 벽지 및 오지의 환경오염원의 정화 전원공급용과 같이 소규모 전력수요처에 보급하고자 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박경호, 김동목, 최영후, 이택식, 이동규, "풍력자원 조사 및 분석 (I)", 한국동력자원연구소, 1989. 12.
- [2] 박경호, 김동목, 유승원, 최영후, "풍력자원 조사 및 분석 (III)", 한국동력자원연구소, 1991. 12.
- [3] 오철수, 김기승, "풍력발전시스템의 인버터 위상제어를 통한 전력제어", 전자기술연구지, vol. 16, no. 2, 1995.
- [4] Dr. H. Abramovich, "Vertical Axis Wind Turbine a Survey and Bibliography", Wind Eng.(UK), Vol. 11, No. 6, pp. 334~343, 1987.
- [5] M. Yamamoto and O. Motoyoshi, "Active and Reactive Power Control for Doubly fed Wound Roto Induction Generator", IEEE Trans, Power Electronics, vol. 6, no. 4, pp. 624~629, 1991.