

저 풍속 발전 시스템 구현에 관한 연구

지명국[†] · 공태우* · 배철환* · 정한식** · 정효민**

A Study on the realization of Low Wind Generation

Myoung-Kuk Ji, Tae-Woo Kong, Chul-Whan Bae, Han-Shik Chung and
Hyo-Min Jeong

Key Words: Low Wind(저 풍속), Wind Power Generation(풍력발전), Fluctuation(변동)

Abstract

The recent technology of Wind Power Generation in the world is rapidly developed better than the past time. The extra-large wind power generation system of the MW-class and the large wind power generation system of the hundreds kW-class were developed and became for common use. So, this paper is basic experiment for wind power generation at low wind, and aimed for small wind power generation system.

기호설명

A : 회전자 면적 [W]
 D : 회전자 직경 [ft²]
 K : Energy Pattern factor
 P : 최대 에너지량 [W]
 P_m : 유용한 풍력 [W]
 P_w : 풍력에너지 [W]
 t : 시간 [hr.]
 V : 풍속 [m/hr.]
 ρ : 공기 밀도 [kg/ft³]
 $M.P.$: 측정점 [cm]
 $M.V.$: 측정시간 [sec]

$O.V.$: 출력 voltage [V]

1. 서론

바람은 태양에 의한 지구표면의 불균일한 가열에 의해서 발생한다. 지구의 적도 부근은 다른 지역보다 많이 가열되어 적도지방과 극지방의 온도차이는 극지방으로부터 적도 쪽으로의 찬 공기의 유동을 일으킨다. 이러한 현상은 국지적으로도 발생하게 된다. 바다나 호수 주변의 공기와 육지 주변의 공기의 낮과 밤 동안의 가열과 냉각 속도의 차이는 바람을 발생하며 산과 계곡의 경우에도 낮과 밤 동안의 불균일한 가열과 냉각은 국지적인 바람을 생성한다.⁽¹⁾

1854년 Daniel Halladay가 우물의 Pumping을 위해 풍력을 이용한 이래로 관계용 펌프, 곡식을 찧는 농기구, 염전에서 해수를 끌어올리는 기구, 전력발생용 등으로 이용하여 왔다. 전력발생용으로는 1930년대에서부터 응용하였으나 석탄, 석유 등의 화석연료가 많이 쓰이면서 그 이용율이 저하되었다.⁽²⁾

[†] 경상대학교 대학원
 E-mail : mkji73@naver.com
 TEL : (055)646-4766 FAX : (055)640-3188

* 경상대학교 대학원

** 경상대학교 수송기계공학부, 해양산업연구소

우리나라에서 풍력에너지, 특히 발전 가능성에 관심을 갖기 시작한 것은 전 세계적으로 유류 파동이 일어난 1974년경부터인데 삼면이 바다로 된 우리나라의 경우 풍력의 이용범위가 매우 넓게 분포되어 있으며 자원조건상 화석연료가 절대 부족한 우리나라로서는 이의 이용이 활발히 이루어져야 하겠다. 2001년 현재 OECD 가입국 중에서 CO₂ 배출 증가율이 1위 국가로 나타나는 등 우리나라는 여전히 CO₂의 과다 배출 국가이다.^{(6),(7)}

태양에너지로부터 변환되는 풍력 에너지에 의해서 이론적으로 공급될 수 있는 에너지의 양은 연간 5.3×10⁸GWh로 추정되고 있는데 화석연료와 달리 대기 오염이나 공해물질 배출과 같이 생태계를 파괴하지 않는 clean energy로서 어느 곳이나 산재되어 있는 풍력에너지를 대체에너지로 활용하기 위한 세계 각국의 노력은 당연하다 하겠다.

특히 최근 들어 전 세계적으로 풍력발전 기술이 급속도로 발달하여 미국 등 여러 나라에서 MW급의 초대형 풍력발전시스템이 개발되었으며 수백 KW급의 대형 풍력발전시스템이 상용화되어 대량 보급되는 등 풍력발전시스템의 신뢰성과 경제성이 과거보다 한층 향상되었다.⁽³⁻⁵⁾ 이에 본 연구에서는 일반 수용가에는 그 사용이 극히 제한되어 있는 풍력발전시스템을 소형화와 이동성을 고려한 소규모의 풍력에도 작동 가능하게 구성하여 소규모 풍력발전시스템에 대한 실현가능성 확인과 동시에 대규모 발전시스템으로의 확대를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 풍력에너지의 계산

바람이 불 때 바람에 의한 동압(Dynamic pressure)에 체적유량을 곱하면 다음 (1)식으로 된다. 즉,

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

이 된다. 이 식에서 P_w는 Watt로 표시된다.

위 식(1)에서 바람이 t 시간 불었다면 얻을 수 있는 전력량 P_w[Wh]는

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

가 된다. 또 1927년 Betz에 의해 이론상 풍력의 최대추출량은 59.3%라는 것이 밝혀져 있으므로 (1)식으로부터 바람의 유용한 풍력은

$$P_m = 0.0031 A V^3 \quad (3)$$

이 되며 편의상 풍력 회전자의 직경(=D)으로 나타내면

$$P_m = 0.0024 D^2 V^3 \quad (4)$$

가 된다. 이 식에서 또 고려되어야 할 점은 변환 효율이다. 아주 이상적으로 설계된 회전자의 효율은 유용한 에너지의 70%를 받을 수 있으며, 회전자와 발전기 사이의 기계적 연결이 아주 잘 되어 있을 경우의 효율은 95%이고, 마지막으로 발전기 자체의 효율(최대효율 75%)을 고려하여 계산하면 (0.7×0.95×0.75=0.5) 풍력발전의 최대효율은 50%가 된다. 그러므로 (4)식으로부터 실제로 이용 할 수 있는 최대 에너지량은

$$P = 0.0024 \cdot 0.5 D^2 V^3 = 0.0012 D^2 V^3 \quad (5)$$

이 된다. 이 식에 바람이 분 시간을 곱하면 바람으로부터 생기는 에너지량이 되며 또한 실제 에너지 fluctuation을 고려하여 Energy Pattern factor (=K)를 고려하여야 할 것이다. 이 K는 다음과 같이 정의된다.

$$K = \frac{\text{fluctuating되는 Wind Energy}}{\text{평균풍속으로 계산된 에너지}}$$

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험 장치의 구성

본 연구를 진행하기 위하여 소형 풍력 발전 시스템을 구축하여 실험을 행하였다. 풍력 발전 시

시스템은 풍속 발생장치, 풍동, 풍력 발생 회전자, 발전기, 축전지 그리고 Volt 및 Amperemeter, LED전극으로 구성하였다. 그리고, 실험데이터를 측정하기 위한 계측장비들은 풍속계(풍속, 온도, 습도 동시 측정)와 회전 속도계를 이용하였고 이 계측기들을 사용하여 풍속, 온도, 습도, 회전수(RPM)를 측정하였다. 또한, 기상청에서 제공하는 기상정보를 시간별로 수집하여 실제 측정값과 비교 검토하였으며, 최종 검토는 5월 22일 오전 10시부터 오후 10까지 4층 높이의 건물 옥상에서 실제 측정을 수행하였다. 구성한 소형 풍력 발전 시스템으로 행한 측정값들은 다음과 같다.

- (1) 풍속 발생장치의 최대 및 최소 값에서의 각 위치에 따른 풍력 발생 회전자의 풍속 및 출력 voltage 측정
- (2) LED 작동시의 voltage 측정
- (3) (1), (2), (3)에서 Amperemeter 출력 값 측정
- (4) 각 측정에서의 입·출력 측의 RPM 측정
- (5) 자연상태의 자료로 실험 구현 및 결과 도출

실험 장치는 실내에서 실험이 가능하도록 구성하였고 풍속 발생 장치는 풍속의 가변성을 확보하기 위하여 이동이 가능하도록 설치하였다. 또한, 풍속의 일정한 방향성을 확보하기 위하여 직경 40cm, 길이 80cm의 풍동을 설치하였다. 풍력 발생 회전자를 풍속 발생 장치의 대응점에 위치시키고 벨트 풀리를 이용하여 발전기를 설치하였다. 그리고 여유전력의 축전을 위하여 12V 배터리를 설치하였으며 발전량의 확인을 위하여 Voltage 및 Amperemeter를 설치하였다. 마지막으로 발전량을 가시화하기 위하여 LED 전극을 설치하였으며 입출력 단자를 설치하였다.

3.2 실험 및 결과

소형 풍력 발전 시스템의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 그림 2는 실험 장치의 실제 모형이다.

풍동내의 풍속 발생 장치의 위치를 가변 함으로써 풍속의 강도를 조절하였다. 풍속 발생 장치의 가변 위치점은 풍력 발생 회전자와 풍속 발생 장치간의 이동 가능 범위 내에서 12cm의 등간격

으로 각각 12cm, 24cm, 36cm, 48cm, 55cm로 하여 실험을 행하였다. 여기서, 마지막 등분을 7cm로 한 이유는 풍속 발생 장치가 풍동의 끝에 위치하므로 유입 유량이 일정하지 않아 동일한 조건의 값을 획득 할 수 없기 때문이다. 이때의 풍속 발생 장치의 풍속은 최대 7.1m/s, 최소 4.8m/s이고 회전수(RPM)는 최대 2150RPM, 최소 1568RPM으로 측정되었다. 표 1과 2는 풍속 발생 장치의 최대 및 최소풍속 하에서 풍력 발생 회전자 측에서 측정한 풍속과 출력 Volt를 측정한 결과를 정리한 것이다.

표 1과 2에서 알 수 있듯이 최저 10V에서 최대 42.5V까지의 출력이 발생되는 것을 알 수 있다. 이로서 일반적인 실생활에 사용하는 12V~24Volt의 출력이 충분히 확보됨을 확인할 수 있었다. 또한, 자동차의 경우 일반 승용 자동차의 배터리가 12V~15Volt 정도의 용량임을 감안한다면 충분한 발전 가능성이 확인되었다.

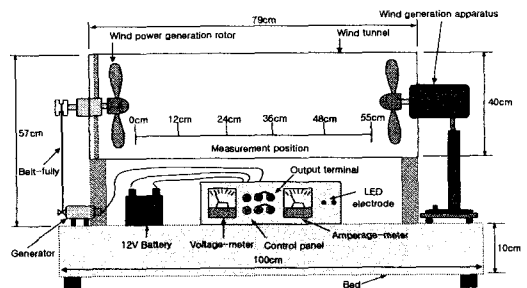


Fig. 1 Schematic diagram of experiment apparatus.

표 3과 표 4는 풍속 발생 장치의 최대 및 최소 회전수(RPM)에서 풍력 발생 회전자의 출력 회전수(RPM)와 풍속을 나타내고 있다.

표 3에서 풍속 발생 장치 최대 풍속에서 풍력 발생 회전자의 출력 회전수는 최대 760RPM에서 최소 322RPM으로 나타났다. 각각의 위치에서의 회전수 차이는 약 100RPM 정도로 나타났다.

표 4는 최소 풍속에서의 출력 값들을 나타내고 있는데 이는 표 3과 거의 비슷한 경향을 보이고 있으며 최대 회전수는 540RPM으로 나타났고 최소 회전수는 186RPM으로 측정되었다.

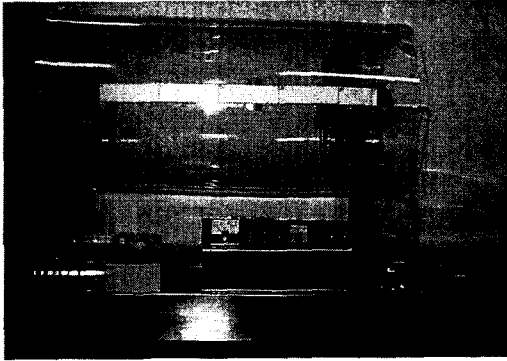


Fig. 2 Experiment apparatus of Small size wind power generation.

Table 1. Wind and output voltage of wind power generation rotor of the maximum RPM.

M. P.	Wind	O. V.
0cm	2.57m/s	42.5V
12cm	2.45m/s	37.5V
24cm	1.83m/s	32.5V
36cm	1.39m/s	25V
48cm	1.2m/s	20.5V
55cm	1.06m/s	18.2V

표 5는 자연상태에서 실측한 풍속과 회전수에 의한 풍력 발생 회전자의 회전수와 출력 volt 값을 나타내고 있다. 자연상태의 측정값은 오전 10시부터 3시간 간격으로 22시까지 측정된 값을 사용하였다. 표 5에서 보듯이 본 연구의 대상인 소형 풍력 발전시스템의 풍속 발생 장치의 회전수와 거의 동일한 영역에서 풍속이 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 여기서, 출력 volt 영역을 살펴보면 최대 42.5V에서 최소 24.1V의 영역 내의 발전량을 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 본 연구의 대상인 소형 풍력 발전시스템의 측정 위치에 따른 출력 volt를 도시하고 있다. 그림에서 최대 회전수와 최소 회전수 사이의 관계가 일정한 비율로 상승하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 4는 자연상태의 실측자료를 토대로 출력 선도를 도시하였다. Fig. 5는 소형 풍력 발생 회전자를 이용하여 발전을 하여 volt와 ampere를 측정하여 도시한 것이다.

Table 2. Wind and output voltage of wind power generation rotor of the minimum RPM.

M. P.	Wind	O. V.
0cm	2.11m/s	30.3V
12cm	1.75m/s	25.3V
24cm	1.4m/s	22.2V
36cm	1.01m/s	16V
48cm	0.8m/s	12.2V
55cm	0.77m/s	10V

Table 3 The RPM of input and output at the maximum wind.

Input RPM	Output RPM	
	0cm	760RPM
2150RPM(Mean)	12cm	655RPM
	24cm	560RPM
	36cm	450RPM
	48cm	356RPM
	55cm	322RPM

표 6은 Fig. 5 값을 도표화한 것으로 풍력 발생 회전자에 의해서 발생한 전류와 전압을 나타낸다.

표 7은 표 6에서 구한 값을 이용하여 전력을 구한 것이다. 표 7에서 최대 회전수나 최소 회전수 모두 풍력 발생 회전자와 풍속 발생 장치와의 간격이 가장 가까운 0cm일 때보다 12cm 떨어진 지점에서 가장 높은 전력을 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 이는 자연상태의 경우와는 조금 틀린 것이 풍동 내에 있기 때문에 장치간의 입출력 풍량의 마찰에 의한 것으로 사료된다.

본 연구에서 전기적 전력으로는 최대 회전수에서 풍력 발생 회전자와 풍속 발생 장치간의 간격이 12cm일 때 338[W]로 나타났다.

표 8은 앞에서 언급된 풍력 에너지를 계산하는 식(1)에 의해 구해진 가용 풍력 에너지량을 나타내고 있다. 단위 면적당 시간당의 에너지량으로 가장 높은 값은 최대 회전수에서 8.04[W]로 나타났다.

Fig. 6은 표 8에서 구한 풍력 에너지를 도시화한 것이다. 최대 약 8.04Watt에서 0.29Watt 정도의 출력을 나타내고 있다. 마지막 55cm 지점에서 출력이 증가하는 이유는 풍동의 끝에 풍속 발생 장치가 위치함으로 유입공기량이 급격히 증가하여 나타나는 현상이다.

Table 4. The RPM of input and output at the minimum wind.

Input RPM	Output RPM	
1568RPM(Mean)	0cm	540RPM
	12cm	450RPM
	24cm	350RPM
	36cm	260RPM
	48cm	210RPM
	55cm	186RPM

Table 5. Output voltage with measured wind and RPM at the outdoor.

M.T.	Wind	Temp.	Hu.	RPM	O.V.
10:00	3.04m/s	18.1°C	78.8%	750RPM	42.5V
13:00	1.37m/s	18.5°C	79.2%	430RPM	24.1V
16:00	3.27m/s	18.8°C	73.1%	765RPM	43V
19:00	2.28m/s	17.9°C	78.2%	485RPM	27.2V
22:00	1.51m/s	17.5°C	83.7%	440RPM	25.1V

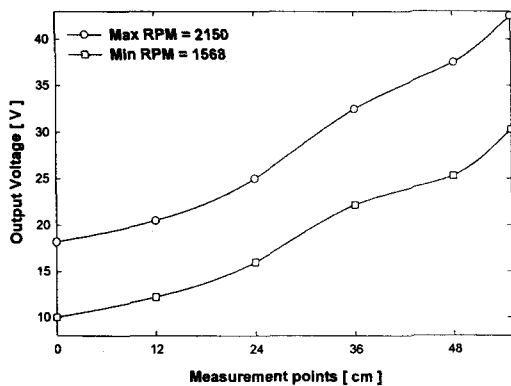


Fig. 3 Distributions of output performance of small wind power system by the measurement points.

Table 6. Output performance of wind power rotor.

M.P.	Max RPM		Min RPM	
	V	A	V	A
0cm	12	25	5	12.5
12cm	13	26	6	15
24cm	9	20	4	10
36cm	8	17.5	3	10
48cm	7.8	17.5	2.6	10
55cm	6.2	15	2.4	7.5

Table 7. Electrical electric power of the wind power generation system.

M.P.	Max RPM	Min RPM
	P	P
0cm	300[W]	62.5[W]
12cm	338[W]	90[W]
24cm	180[W]	40[W]
36cm	140[W]	30[W]
48cm	136.5[W]	26[W]
55cm	93[W]	18[W]

Table 8. The wind energy of the wind power generation system.

M.P.	Max RPM	Min RPM
	P _w	P _w
0cm	8.04[W]	3.33[W]
12cm	6.37[W]	2.16[W]
24cm	3.04[W]	1.27[W]
36cm	1.37[W]	0.49[W]
48cm	0.78[W]	0.29[W]
55cm	0.88[W]	0.49[W]

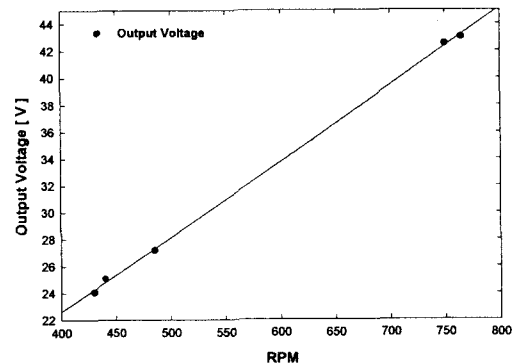


Fig. 4 Distribution of output at the outdoor.

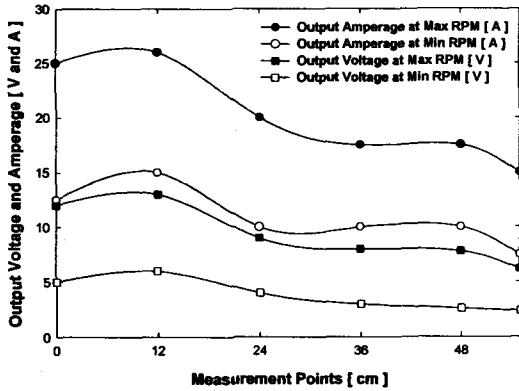


Fig. 5 Distributions of output volt and ampere.

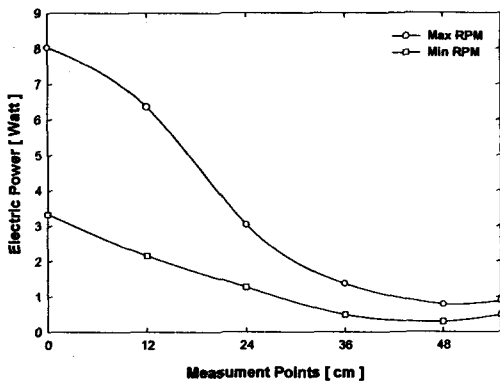


Fig. 6 Distributions of electric power of small wind power generation system.

4. 결론

- 1) 우리나라의 풍력에너지 밀도를 분석한 결과 서남해안의 경우 평균 풍속은 약 4 ~ 5m/s 이상으로 풍력에너지 밀도는 80 ~ 190 w/m²로 나타나서 풍력 이용의 가능성이 높게 평가되었다.
- 2) 풍속 발생기, 풍력 발생 프로펠러, 발전기 등으로 구성된 소형 풍력 발전기를 개발하였으며 풍속 발생기의 속도는 4.85m/s ~ 7.1m/s로서 실제 자연상태에서 사용 가능성을 확인

하였다.

- 3) 개발한 휴대용 풍력 발전기의 성능 평가 결과 풍속 7.1m/s에서 42.5V의 출력이 발생 하였으며 축전, 점등 등이 가능하였다.
- 4) 개발한 소형 풍력 발전기의 풍속에 따른 출력 선도를 개발하였다.
- 5) 소형 풍력 발전시스템의 풍력에너지량은 최대 8.04[W]로 나타났으며 전기적 전력은 338[W]로 평가되었다.

후 기

본 연구는 2001년도 두뇌한국21사업에 의해 지원되었습니다. 관계자 분들께 감사를 포함합니다.

참고문헌

- (1) 김광호, 최항철, 2001, "풍력에너지의 이용", 대한설비공학회, 설비저널, 제30권, 제1호, pp.25~31.
- (2) 신동열, 1979, "풍력발전 기술고찰", 태양에너지학회, 태양에너지, 제2권, 1호, pp.20~25.
- (3) Thomas Ackermann and Lennart Soder, 2000, "Wind energy technology and current status : a review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4, pp.315~374.
- (4) 전춘생, 박기남, 임응춘, 1992, "풍력을 위한 소용량 EGD 발전기에 관한 기초적 연구", 태양에너지학회, Solar Energy, Vol.12, No.3, pp.126~136.
- (5) 김정환 외 3, 2001, "풍력발전용 모험터빈에 관한 기초적연구", 대한기계학회, 춘계학술대회논문집 D, pp.1014~1019.
- (6) 이정오 외, 1975, "풍력 이용에 관한 종합 연구", 과학기술처, STF-74-2.
- (7) Rene Spee and Shibashis Bhowmik, 1995, "Novel control strategies for variable-speed doubly fed wind power generation systems", Renewable Energy, Vol.6, No.8, pp.907~915.