

수직축 Wind-Turbine을 이용한 풍력발전 모델의 연구

명관범, 차득근  
동의대학교 전기공학과

A Study of Wind Energy Power Plants Models using V.A.W.T

Kwan-Bum Myoung, Duk-Geun Cha  
Dept. of Electrical Engineering, Dong-Eui University

**Abstract** - The wind turbine captures the wind's kinetic energy in a rotor consisting of two or more blades mechanically coupled to an electrical generator. In this paper is proposed models for wind energy power plants using V.A.W.T. and complex concepts using shapes of a half cylinder for blades. A familiar configuration for a drag-type wind machine is shown this paper. In this simple machine, kinetic energy in the wind is converted into mechanical energy in a vertical rotating shaft.

타낸다. 그림 1과 같은 Savonius Rotor의 출력 특성방정식은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Power = \frac{1}{2} \times \rho \times V^3 \times A \times E \times K \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \rho &= \text{공기밀도 [slug/ft}^3\text{]} = 0.0023[\text{slugs/ft}^3\text{}] \\ V &= \text{풍속[ft/sec] or [mile/h] mph} \\ A &= \text{회전체 swept 면적[ft}^2\text{]} \\ E &= \text{회전체 효율 TSR=0.8에서 } E = 0.15 \\ K &= V[\text{mile/h}]\text{로 주어진 풍속 } V\text{에서 watt로} \\ &\text{표시되는 전력계수 } K = 4.31 \end{aligned} \quad (2)$$

1. 서 론

산업혁명이후 산업화의 고도성장과 더불어 심각한 자연 파괴와 화석에너지의 개발과 사용에 따른 지구 온난화로 여러 가지 기상이변과 자연재해가 발생하고 있다. 이로 인해 대기오염에 대한 국제적 규제와 대체 에너지 개발에 대한 국제적 관심이 고조되고, 선진국에서는 상당히 앞선 기술을 가지고 대체에너지의 중요성을 실증하고 있다. 특히 풍력은 미래의 에너지원으로서 각광을 받으며 지속적인 연구를 수행하여 현재는 수 MW급의 대형 풍력발전 시스템이 실용화 단계에 있는 실정이다. 우리나라도 기후 변화 협약등 환경문제가 에너지 분야의 가장 큰 난제로 등장하면서 환경 친화적인 에너지원의 유효활용을 위한 관심이 고조되어 풍력발전에 대한 기술개발이 절실히 요구되고 있다.[1][2]

이러한 풍력에너지 기술의 분류는 여러 가지가 있으나 구조상으로 분류해보면 주 회전축이 지면에 대한 방향을 구분하여 수평축 풍력터빈(H.A.W.T : Horizontal Axis Wind Turbine)과 수직축 풍력터빈(V.A.W.T : Vertical Axis Wind Turbine)으로 분류되며, 또다시 수직축 풍력터빈은 Blade의 저항력(Drag Force)을 이용하는 사보니우스 터빈(Savonius Turbine)과 공기역학적 양력(Lift Force)을 이용하는 다리우스 터빈(Darius Turbine)으로 나누어진다.[3]

일반적으로 현재까지 연구 개발된 풍력터빈의 경우 수평축 터빈이 대다수를 이루고 있으나, 수평축 터빈의 경우 바람이 일정하게 불어주지 않고 자주 바뀌는 우리나라의 기후조건에서는 제 기능을 발휘하기 힘들며, 요(Yaw) 제어를 해준다 하더라도 너셀(Nacelle)에서부터 제어룸까지의 제어선들이 꼬이는 등 많은 문제점들이 발생하고 있다. 본 연구에서는 수직축 풍력 터빈에 대한 연구를 진행하였으며, 특히 하단에는 사보니우스 로터, 상단에는 바가지 모양의 로터를 장착하여 복합식의 수직축 터빈을 구성하고 터빈의 특성을 고찰하였다.

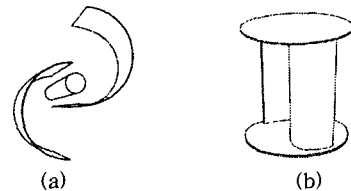


그림 1 Savonius rotor의 날개모양(a) 및 조립형태(b)

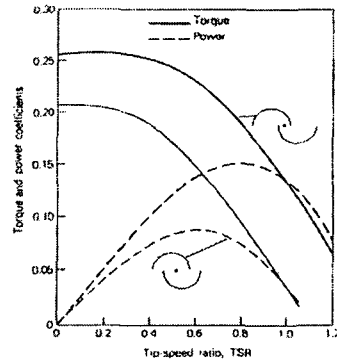


그림 2 2개의 S회전체에 대한 특성곡선

본 연구에 적용된 S 회전체의 폭이 약 2.4[m] 높이는 1.5[m]이므로 면적  $A = 7.87[\text{ft}] \times 4.92[\text{ft}] = 38.72[\text{ft}^2]$  이 된다. 식 (2)에서의 각 변수 값을 구해보면 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \rho &= 0.0023 [\text{slugs/ft}^3] \\ E &= 0.15 \text{ (그림 2 참조)} \\ K &= 4.31 \end{aligned}$$

2. 향력식 Wind Turbine의 설계

2.1 Savonius 방식 Turbine의 설계 예

그림 1의 (a)(b)는 Savonius Rotor의 날개 모양 및 저속에서의 회전자 기능을 개선하기 위한 Tip Plate를 나

풍속  $V=12 [\text{m/s}]$ 에서 최대값을 출력할 수 있는 것으로 예상하고 기계적 효율과 발전기 효율을 적용한 효율 값 0.9를 적용하면 실제 전력 발생량은 식 (3)과 같이나

타낼 수 있다.

$$P_s = \frac{1}{2} \times 0.0023 [\text{slugs/ft}^3] \times 38.72 [\text{mph}] \times 38.72 [\text{ft}^2] \times 0.15 \times 4.31 \times 0.9 = 509.96 [\text{W}] \quad (3)$$

## 2.2 Half Cylinder 형상을 가진 Turbine의 설계 예

그림 3은 반원통 방식 Turbine의 한 예를 보여주고 있다.

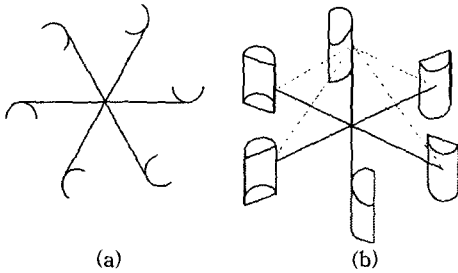


그림 3 Half Cylinder 형상 날개모양(a) 및 조립형태(b)

본 연구에 적용된 Half Cylinder 형상 하나의 무게는 약 27[kg], 지름 700[mm], 길이 1250[mm]이며 풍속 12[m/s](로터 회전수 20회전)에서 최대값을 출력한다고 가정하여, 로터 하나를 예로 들어 실제 에너지를 구해보면 식 (4)와 같다.[4]

$$\begin{aligned} I &= mr^2 = 27 \times 1.5^2 = 60.75 \\ w &= (2 \times 3.14) / 3 = 2.09 \\ L &= I \times w = 60.75 \times 2.09 = 127 \\ \tau &= dL/dt = 127 / 3 = 42.33 \\ P &= \tau \times w = 42.33 \times 2.09 = 88.47 [\text{W}] \end{aligned} \quad (4)$$

$I$ : 관성모멘트,  $w$ : 각속도,  $L$ : 관성모멘트 운동량  
 $\tau$ : 뉴턴제2법칙에 의한 돌림힘  $P$ : 일률

그러므로 효율을 적용한 일률은 식 (5)와 같다.

$$P_D = 88.47 (\text{1개 블레이드}) \times 6 (\text{총 블레이드수}) \times 0.9 (\text{효율}) = 447.47 [\text{W}] \quad (5)$$

## 2.3 복합식 수직축 Wind Turbine

2.3과 2.4에서 설계된 Savonius 터빈과 Half Cylinder 터빈을 동일축 상에 上, 下로 배치하여 본 연구에서 제안한 복합식 수직축 Wind Turbine을 구성하였다. 복합식의 에너지의 경우 Savonius 터빈과 Half Cylinder 각 터빈의 합으로 표현되므로 풍속 12[m/s]에서 복합식 수직축 Wind Turbine이 낼 수 있는 총 에너지는 식 (6)과 같으며 제안된 터빈의 형상은 그림 4와 같다.

$$P_{total} = P_s + P_D = 987.43 [\text{W}] \quad (6)$$

## 2.4 시스템 구성

제어부 와 전력변환부의 구성은 그림 5와 같다. 무부하시 발전기의 과속 방지 및 중단풍속에 이르렀을 경우

와 기타 필요한 상황에서 발전기를 수동으로 정지시킬 수 있는 직류 브레이크, 80C196KC20 제어보드, 축전지 단자전압이 13.8 [V] 이상일 경우 축전지의 충전을 멈추게 하는 과충전 방지장치, 풍속측정을 위한 DC Tacho Generator, 축전지의 전원을 교류로 변환하기 위한 인버터 및 시스템의 상태를 표시하는 LCD등으로 구성 하였다. 발전기는 200[W]급의 직류발전기를 사용하였으며, 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 직류 발전기 파라미터

타 입	직류 발전기
전 압	60[V]
전 류	5[A]
정격 속도	580[rpm]
정격 전력	300[W]

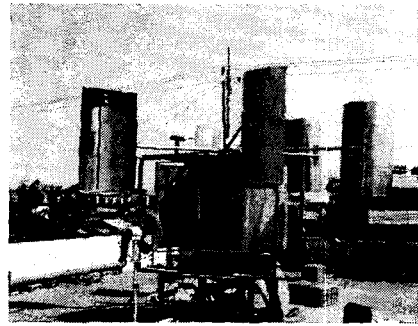


그림 4 제안된 복합식 수직축 Wind Turbine의 형상

직류 브레이크의 전원은 축전지에 연결하지 않고 한전 계통에 연결하였다. 만약 축전지에 연결하였을 경우 축전지의 전원이 충분하지 못한 상태에서 인버터를 통하여 직류 브레이크에 전원이 공급된다면 브레이크가 동작하지 않아 플랜트에 이상을 야기할 수 있으므로 한전계통의 220[V] 전원을 사용하였다. 발전기에서 생산된 전력을 저장하기 위하여 12[V] 45[AH] 납 축전지 2개를 병렬로 연결하였고, 축전지는 다이오드 정류기를 통하여 발전기와 접속된다.

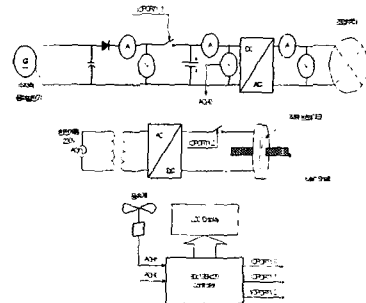


그림 5 제어부 및 전력 변환부 구성

제어부의 주된 동작은 풍속을 측정함으로써 이루어지게 된다. 또한 풍속에 따라 축전지의 충전·보호장치를 동작시키도록 하였다. 축전지에 저장된 직류 12[V]의 전원을 교류 220[V]로 변환하기 위하여 용량 1[kVA]의 상용인버터를 설치하여 풍력발전기 제어부의 전원과 500[W] 조명부하의 전원으로 활용할 수 있도록 설계 하였다.

### 3. 실험결과

풍력발전기의 설치 지역 주변은 평야지역으로서 높이 3 [m] 이상에 돌출된 장애물이 없으며 지면으로부터 터빈의 높이는 약 3 [m]이다. 본 실험은 기상조건에 따라 많은 변수가 작용하는 실험으로서 기상조건의 애로점이 따른다. 그래서 본 실험은 최대 풍속 4 [m/s](블레이드면에 수직으로 부딪히는 중단 풍속)의 바람을 일으키는 송풍기를 설치하여 복합식 수직축 풍력발전기의 기동특성을 고찰하였다.

그림 6은 발전기의 출력단 DC 링크단에 200[W] 20[Ω]의 순수 저항부하를 연결하고, 7[m/s]의 바람이 나오는 송풍기를 가동하였을 경우 발전기에서 발전되는 출력전압, 출력전류를 측정된 파형이다.

1.5~3[m/s]의 자연풍의 영향을 받아 다소 유동적인 출력을 보이거나 발전기의 출력전압은 약 50[V], 출력전류는 약 2.5[A]로 약 125[W]의 소비전력을 나타내었다.

그림 7은 발전기를 정지하고 7[m/s]의 송풍기를 강제 기동하여 측정된 발전기의 출력전압과 출력전류를 나타낸 그림이다. 발전기가 정상상태에 이르기까지 25초 동안 상태를 관찰하였으며 출력전압 및 출력전류는 상당한 리플을 동반함을 알 수 있다. 송풍기의 바람이 블레이드에 작용하면서 블레이드의 반대편에는 저항으로 작용하기 때문에 약간의 리플을 동반하게 된다.

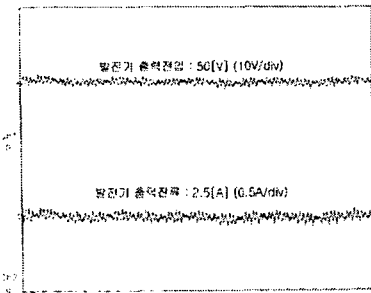


그림 6 7[m/s] 풍속에서 출력전압, 전류

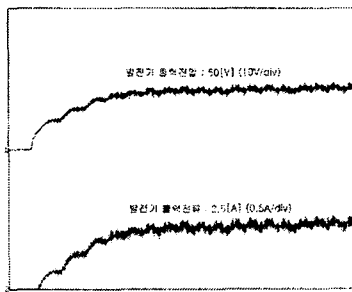


그림 7 기동직후 출력전압, 전류

그림 8은 인버터에 500[W] 조명부하를 연결하였을 경우의 인버터 출력전류와 전압 파형이다. 인버터는 양방향 전압 스위칭 PWM파를 출력하며, 출력전압의 실효치는 215[V], 60[Hz]이며, 출력전류는 약 2.8[A]이다. 그리고 백열전구를 부하로 사용하였으므로, 전압과 동위상을 나타낸다

### 4. 결 론

본 연구에서는 항력식 수직축 풍력 발전 시스템을 제

작하여 풍속 약 7[m/s]의 풍속을 가지는 송풍기를 이용하여 발전기의 출력을 알아보았으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

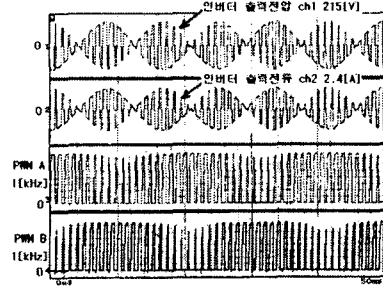


그림 8 인버터 출력전압, 전류

1. 자연풍을 이용할 수 없는 한계로 인하여 송풍기에 의존하여 실험을 진행하였으므로 송풍기 바람이 닿는 부분이 블레이드 6개중 하나에만 집중적으로 닿는 문제점이 발생하였다. 그 이유로 인해 이론식과 동일한 실험결과는 도출해 낼 수 없었으나 차후 실험 환경 개선이 이루어진다면 만족할 만한 결과를 기대해도 좋을 것이다.

2. 제안된 수직축 풍력모델의 12[m/s]에서 최대 이론 출력은 약 1[kW]에 가깝다. 하지만 본 실험에서 7[m/s]의 풍속에서는 125[W]의 출력을 나타내었다. 강제송풍과 중단풍속의 저하 및 바람이 블레이드에 끌고루 닿지 못해 출력의 저하를 가져오는 것으로 사료되나 풍속의 세제곱에 비례하는 출력식(4[m/s]에서 약 198[W])을 고려하고, 오차를 고려하면 거의 정격 출력을 낸다고 사료되며 차후 실험에는 향상된 결과를 도출할 수 있을 것이다.

3. 축전지의 전원으로 인버터를 가동하여 조명부하를 점등하는 용도로 쓰여 진다면 적합할 것으로 사료된다.

4. 자연풍에 의한 영향으로 출력이 감소하며, Half Cylinder 로터의 경우 장방향으로 뻗어나가는 구조를 가지므로 관성의 영향을 많이 받는다. 그러므로 로터의 고속회전을 방해하여 특정 회전속도 이상은 기대하기 어려우므로 증속기의 선택이 중요함을 알 수 있다.

이상의 결과에서 볼 때, 본 연구 시스템은 발전기의 개발, 증속기의 설계가 완벽하게 이루어질 때 이론적인 출력에 가까운 실 출력을 낼 수 있을 것으로 예상되며, 풍력 터빈의 전력발생 특성을 개선시키기 위한 연구가 더욱더 요구된다.

본 연구는 기초전력공학 공동연구소 전력산업 연구개발 사업지원에 의해 연구 되었음

### [참 고 문 헌]

- [1] 강병복, 임중열, 윤정필, 차인수, "소형 풍력발전시스템의 보상 운전에 관한 연구", 전력전자학회 추계 학술대회 논문집, 2001.
- [2] 임중열, 이정일, 정학수, 차인수, "동력저장장치를 이용한 풍력·태양광 복합발전시스템의 특성분석", 전력전자 하계 학술대회 논문집, pp.58~62, 2001.
- [3] 박제성, "수직축 Wind Turbine을 이용한 풍력발전 시스템에 관한 연구", 동의대학교 공학석사학위논문, pp.1~2, 2003.
- [4] 장경애·윤달호등, "일반물리학", 도서출판 상학당, 2002