

## 수직축 Darrieus 풍력발전 시스템의 설계에 관한 기초연구

서영택\* 김기승 오철수  
경북대학교 전기공학과

### A Basic Study on the Design of Vertical Axis Darrieus Turbine for Wind-Power Generating System

Young-Taek Seo\* Gi-Seung Kim Chul-Soo Oh  
Dept. of Electrical Eng. Kyung-Pook Nat. Univ.

#### Abstract

This paper presents a design of vertical axis Darrieus wind turbine for wind-power generating system. The wind turbine consists of two troposkien blades, diameter is 10m approximately, and chord length 380mm, tip ratio speed 4.

The design of turbine is laid for the main data of rated wind speed 10m/s, turbine speed 78rpm, the generating power is estimated to 25kW, and this is converted to commercial power line by means of three phase synchronous generator-inverter system.

#### 1. 서 론

인류의 풍력 이용에 대한 역사는 기원전 200년 전부터 시작하여 지금까지 꾸준히 계속되어 왔으나, 19세기까지는 단순 회전력에 의한 동력원의 이용에 불과했다. 20세기 중반이후 각종 풍차의 개발이 가속화 되면서 그 이용범위의 확장과 더불어 새로운 에너지원으로서의 가능성에 대한 연구 또한 시작 되었다.<sup>(5)</sup> 20세기 후반에 닥친 몇차례의 에너지 파동을 겪으면서 석유, 석탄등의 화석에너지 고갈에 대한 위기감과 대체에너지 개발에 대한 필요성의 공감대가 형성됨과 동시에, 화석에너지의 사용으로 인해 유발되는 대기환경 오염문제 또한 지구생태계의 새로운 위기 상황으로 등장 하였다. 이러한 문제점들이 도출되면서 대체 에너지 개발에 대한 세계 각국의 관심은 매우 고조되고 있으며, 특히 풍력 및 태양력등의 청정에너지 활용의 무한한 가능성에 대한 연구는 대체에너지 개발의 주체가 되어 가속화 되고 있다.

본 논문은 증축력 풍력발전 시스템의 상용화 개발의 기초단계로, 국내 풍황에 적합한 수직축 Darrieus 풍차의 공기역학적 및 기계적설계 와 전기시스템구성을 그 목적으로하며, 6개의 후보지에서 수집된 각종 자료를 기초로 지역특성에 맞는 풍차의 구조 및 각종 Parameter를 선정하여 30 kW 급 풍력발전 시스템의 실제 제작 운영한 실례를 실증하고자 한다.

#### 2. 입지 및 풍차형태 설정

본 연구실에서는 입차적으로 한반도 남부 동해안 지역의 풍황을 증점 조사한 결과, 장기갑, 울릉, 울진등은 상당히 풍력자원이 풍부하며, 특히, 장기갑의 경우 그림 1에 나타난 바와 같이 년 평균 풍속이 5.6m/s 정도로, 국내의 어느 지점보다 우수한 풍황조건을 가지고 있어 영일군 대보면을 입지로 선정하였다.

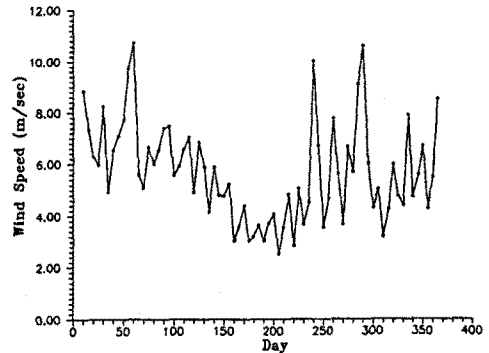


그림 1. 장기갑의 년 평균풍속 분포도(1991년)

또한 입지로 선정된 지역의 풍황조건이 지리학적 여건으로 계절에 따른 풍향의 변화가 매우 심하고, 풍속의 변화도 심하게 나타나 수직축 Darrieus 풍차의 적용에 유리하다는 판단을 하게 되어, 풍차의 형태를 Troposkien 형의 Darrieus Turbine으로 결정하였다.

#### 3. 풍력발전 시스템의 구성

풍력발전기의 System 구성은 동기발전기-인버터 System이며, 이 System의 장점은 Turbine과 직결된 동기발전기의 회전수와 무관하게 전력을 얻을 수 있으며, 이를 일정주파수로 바꾸어 상용전원을 얻기 위해 전압형 PWM 인버터를 사용하였다.

Darrieus Wind Turbine은 자기동이 아니기 때문에 외부에서

기동을 시켜주어야 하므로, 기동용 유도전동기를 발전기와 직렬로 장치하였다.

System의 제어는 Power Controller로 이루어 지는데, 풍속, 출력전압 및 주파수등 각종 파라미터를 측정하여, 측정된 데이터를 Transducer로 디지털신호로 변환하여 마이크로 프로세서로 제어한다.

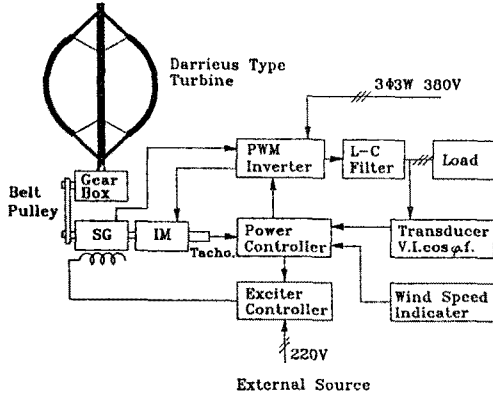


그림 2. 풍력발전 시스템의 구성도

#### 4. 풍차설계

풍력발전기의 경우 풍력의 공기역학적 최대효율은 59% 정도이고, Propeller 형의 경우 50%, Darrieus 형의 경우 40% 정도이나 실제로는 이에 미치지 못하는 실정이다.

풍력에 의한 발생전력 및 Torque는 다음과 같으며 풍속에 매우 민감하게 작용함을 알 수 있다.

$$P = 1/2 C_p(\lambda) \rho v^3 A (W) \quad (1)$$

$$T = 1/2 C_t(\lambda) \rho v^2 A (N.m) \quad (2)$$

$$\lambda = r\Omega/v \quad (3)$$

여기서 P : 발생전력, T : Turbine Torque(N.m),

$C_p(\lambda)$  : 주속비에 대한 동력계수,  $\lambda$  : 주속비,

$\rho$  : 공기밀도( $kg/m^3$ ),  $v$  : 풍속(m/s),

A : Turbine의 회전 단면적( $m^2$ ),

$C_t(\lambda)$  : 주속비에 대한 추력계수,

$\Omega$  : Turbine 각속도(rad/s), r : Turbine 반경(m)

동력계수  $C_p$ 의 값은 주속비  $\lambda$ 에 많은 영향을 받으므로 Turbine 설계시 풍차의 최대출력을 낼 수 있는 값으로 주속비가 선정되어야 한다.

본 논문에서는 설계대상 풍력발전기를 기준풍속 10m/s, 주속비 4, 발생전력 25kW의 수직축 Darrieus 풍차로 선정하였고, 풍차의 형태는 bending stress의 영향이 적은 Troposkien 형으로 선정하였다.

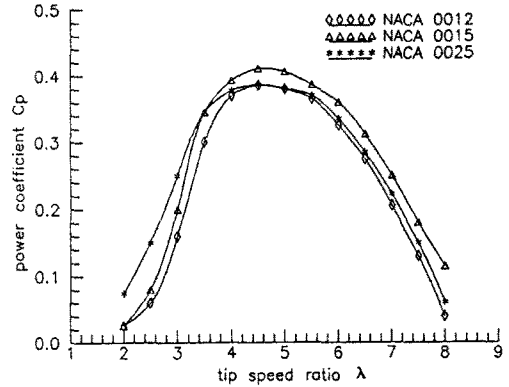


그림 3. 주속비에 대한  $C_p$

Torque Tube는 높이 12.34m, 직경 318mm, 두께 4.5mm의 Stainless 강관을 사용하였고, Turbine은 회전반경 4.85m의 Two Blade Type이며, 주속비 4~5에서 동력계수( $C_p$ )가 최대치 0.4정도로 나타나는 것으로 선정하였으며, Blade 현의 길이 380mm, 재질은 Aluminum/Stainless 강을 복합하여 사용하였다.

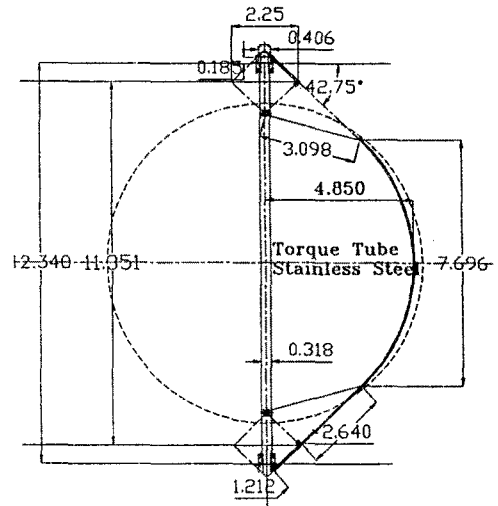


그림 4. Wind Turbine의 일개도

동력전달장치의 구성은 Torque Tube 속에 변속비 6.7의 증속 Gear를 직접 연결하고, 이 축과 직각방향으로 증속비 2.3의 Belt Pulley를 정격용량 25kVA, 정격전압 220V/127V의 3상4선식 6극 동기발전기 축에 연결하여, 총 증속비 15.4, 정격풍속 10 m/s시 Turbine의 회전수 78rpm, 발전기 회전수 1200rpm으로 설계하였다.

그림 5 및 그림 6은 동력전달장치의 설계도와 설치 완료된 풍력발전기이다.

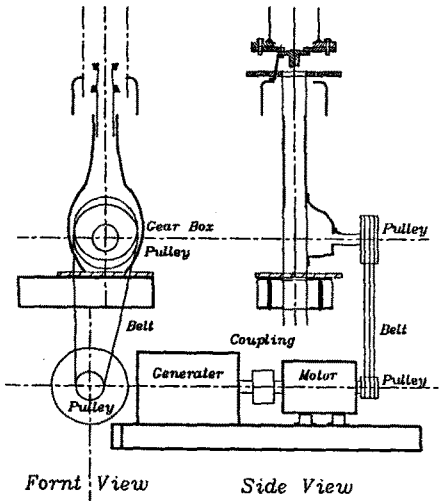


그림 5. 동력전달장치의 설계도

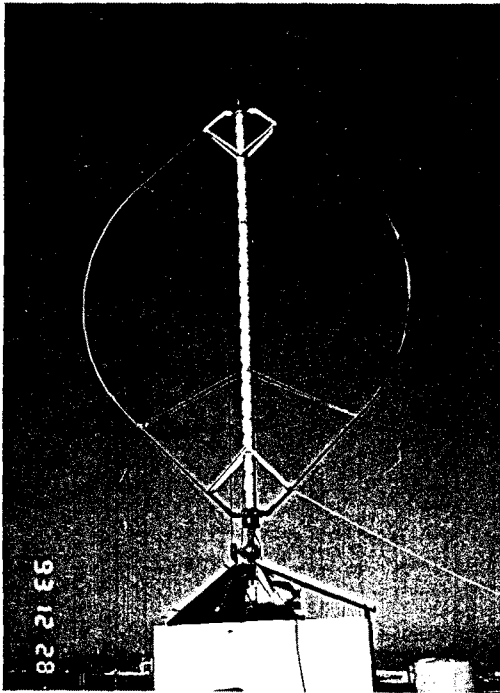


그림 6. 25kW 풍력발전기 완성도

### 5. 운전실험

풍력발전 시스템은 일반적으로 독립 운전방식과 계통연계용 운전방식의 두 형태로 분류할 수 있으나, 국내의 풍력에너지 분포 상태로는 독립 운전방식은 어렵다고 판단되며, 본 논문에서는 계통연계용 운전방식에 그 목적을 두었다.

Turbine의 기동은 3상 PWM 전압형 인버터로 구동되는 가변속

8극 7.5kW 3상유도전동기로 기동되도록 하였다.

풍속이 Starting up 값 이상이 되면 인버터에 의해 전동기에 전원이 투입되고 40초 정도로 선정된 기동시간후 자력발전으로 돌입되도록 하였고, 인버터는 전동기 기동 Mode에서 발생전력 제어 Mode로 전환되며, 그 제어대상은 전압 및 주파수이다.

기동 Mode에서 발생전력제어 Mode로의 전환은 풍속 4.5m/s 정도에서 가능하였으며, 이로써 풍력발전의 역할을 수행할 수 있게 되었다.

그림 7은 Turbine 기동시 발전기 회전수 및 기동전류의 변화를 나타낸다.

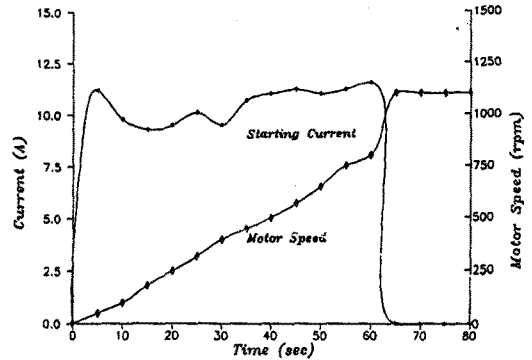


그림 7. 풍력발전기의 기동특성

### 6. 결 론

과거 국내의 풍황조건이 풍력에너지 활용차원에서 미흡한 것으로 인식되어 왔으나, 일부지역의 경우 지형적인 조건으로 인해 상당히 양호한 풍력자원을 가지고 있는 것으로 나타났다.

본 논문에서는 국내 풍력발전의 상용화에 따른 기본설계와 공기역학적 및 기계적 설계를 제시하였으며, 공기역학적 설계는 주속비에 따른  $C_p$ 를 되도록 크게하여야 하며, 기계적 설계에서는 풍속의 변화에도 불구하고 높은 동력계수  $C_p$ 를 발전기축에 전달하는 관점에 역점을 두어야 한다고 할 수 있다.

나아가서 운용적 측면으로 살펴본 전기 System을 다루었는데, 국내의 풍황조건상 풍력이용적 측면에서 독립운전방식은 어렵다고 판단되며, 계통연계운전방식이 보다 효율적인 방식이 될 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

1. 오철수, 강창수, 권순홍, "동해안지역에 적합한 풍력발전 시스템에 관한 조사", 전기학회지 41권 10호, pp.3~9, 1992.
2. 유농수, "다리우스 풍력터빈의 성능에측에 대한 연구", 한국항공우주학회지 제 40권 제 1호, 1992.
3. M. Erwis, H.B. Ertan, E. Akpinar, F. Uigut, "Autonomous wind energy conversion system with a simple controller for maximum-power transfer", IEE Proceedings-B, Vol. 139, No. 5, pp. 1618~1623 September 1992.
4. D. J. De Renzo, "Wind Power Recent Development", Noyes Data Corporation, 1979.
5. M. L. Robinson, "The Darrieus wind turbine for electrical power generation", Aeronautical Journal, pp.244~255, June 1981.