

다변풍속 적응형 Darrieus-Savonius 조합 수직축 풍력발전 시스템의 설계

論 文
45~2~3

A Design of Vertical Axis Wind Power Generating System Combined with Darrieus-Savonius for Adaptation of Variable Wind Speed

徐泳澤*·吳哲洙**
(Young-Taek Seo · Chul-Soo Oh)

Abstract - This paper presents a design of vertical axis Darrieus wind turbine combined with Savonius for wind-power generating system to be adapted for variable wind speed. The wind turbine consists of two troposkien- and four Savonius-blades. Darrieus turbine is designed with diameter 9.4[m], height 12.3[m], chord length 380[mm], tip speed ratio 5. Savonius turbine is designed with diameter 1.8[m], height 2[m], tip speed ratio 0.95. The design of turbine is laid for the main data of rated wind speed 10[m/s], turbine speed 101.4[rpm]. The generating power is estimated to maximum power 20[kW], and this is converted to commercial power line by means of three phase synchronous generator-inverter system. Generating system is designed for operation on VSVF(variable speed variable frequency) condition and constant voltage system.

Key Words : Vertical Axis wind Power Generating, Darrieus Savonius Variable wind Speed, Tip Speed Ratio

1. 서 론

20세기 후반기에 접어들면서 에너지 소비의 급증으로 인한 석탄, 석유등의 화석에너지 고갈에 대한 위기감은 미래 에너지 공급원 개발을 촉진시키는 계기가 되었다. 그 뿐만 아니라 화석에너지의 사용으로 인해 유발되는 대기환경오염문제는 또 하나의 지구생태계를 위협하는 새로운 문제점으로 등장 하였다. 이러한 문제점들이 도출되면서 대체에너지 개발에 대한 세계 각국의 관심은 매우 고조되고 있으며, 특히 풍력 및 태양력 등의 무공해 청정에너지 활용에 대한 연구는 21세기 대체에너지 개발의 주체가 되어 급속히 가속되고 있으며, 풍력의 경우 미국 및 유럽등지에서 대단위 풍력발전단지가 조성되어 상업용 전력공급원으로의 역할을 확고히 하고 있다.

본 논문에서는 국내 풍황조건에 적합한 중출력 풍력발전 시스템의 상용화 개발을 목적으로 하여, 터빈의 형태, 공기역학적 해석, 기계적설계 및 전기시스템구성등 풍력발전 시스템의 전체적인 구성에 대하여 논하였다.

특히, 풍력발전 시스템의 중추적 역할을 하는 터빈(turbine)의 형태에 대하여 중점적으로 연구하였으며, 입지로 선정된 포항시 대보면의 풍황조건을 분석하여 그 조건에 적당한 풍차를 Darrieus-Savonius 조합형 터빈으로 선정하여 각 설계 parameter를 제시하였으며, 제시된 parameter를 20kW급 풍력발전기에 적용하여 설계 및 제작후 실증운전하여 효율성을 입증하였다.

2. 풍황분석 및 시스템 설정

2.1 입지의 풍황분석

국내 풍황조건인 경우 일반적으로 내륙지방보다 해안선부근 혹은 도서지방이 훨씬 풍부한 풍력자원을 보유하고 있는 것으로 나타나고 있다.[1,5] 해안지방의 경우에도 완만한 해안선보다 돌출부분이 매우 풍부한 풍력자원을 지니고 있으나, 실제 이러한 조건에서는 풍향 및 풍속이 매우 불규칙하게 변화하여 이

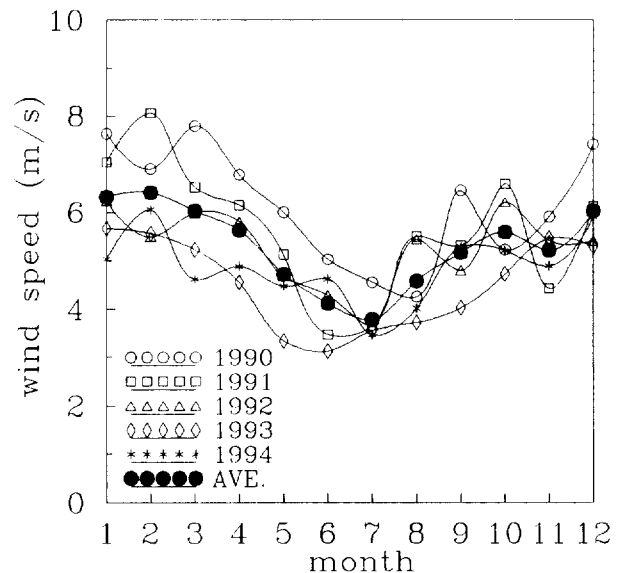


그림 1 대보의 평균풍속 분포도(1990-1994년)
Fig. 1 Mean wind speed distribution of Daebo(1990-1994)

*正會員: 慶北大學院 電氣工學科 博士課程
**正會員: 慶北大 工大 電子電氣工學部 副教授 · 工博
接受日字: 1995年 8月 23日
1次 修正: 1995年 11月 24日
2次 修正: 1995年 12月 20日

의 활용에 있어서 세심한 배려가 요구된다. 풍력발전기 설치 입지로 선정된 포항시 대보면 장기갑의 경우 최근 5년간의 년평균 풍속이 5.3[m/s] 이고, 이를 세부적으로 분석하면 년도별 풍속(그림 1), 시간대 누계곡선(그림 2) 및 풍속 및 에너지 분포도(그림 3)와 같다.

그림 3에서 풍력발전의 경제적 가동풍속을 5[m/s]~15[m/s]로 볼때 연간 이론적인 가동시간이 4500 시간임을 알 수 있고(그림 2) 이 풍속구간의 풍력자원 이용율은 51[%], 에너지 분포율 81[%](그림 3)가 되어 풍력자원 이용도가 높아 경제성이 높다고 전망된다.

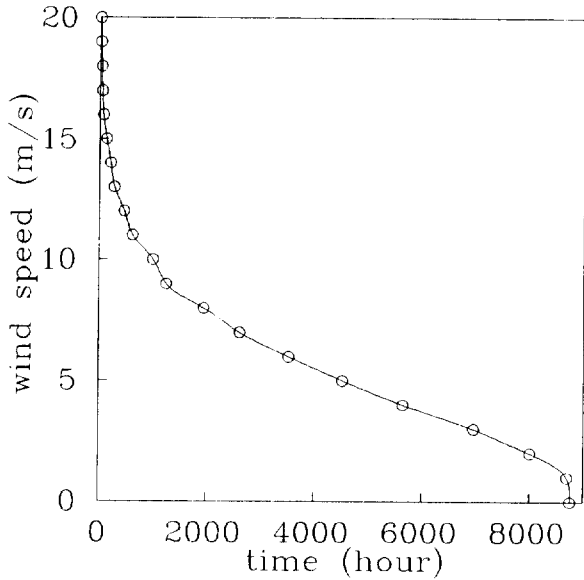


그림 2 년간 풍속분포
Fig. 2 Wind speed distribution of annual

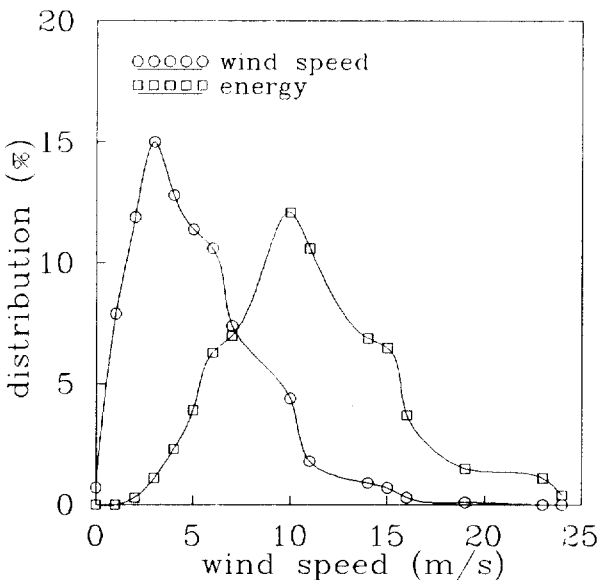


그림 3 대보의 풍속 및 에너지 분포
Fig. 3 Wind speed and energy distribution of Daebo

2.2 풍차형태 선정

풍력발전용으로 사용되는 풍차의 형태는 수평축(Horizontal Axis Wind Turbine)의 Propeller 형과 수직축(Vertical Axis Wind Turbine)의 Darrieus 형이 그 대다수를 차지하며, 입지로 선정된 지역의 풍황조건이 지리학적 여건으로 풍향 및 풍속의 변화가 심하게 나타나, 풍향에 따라 pitch angle을 조절하는 수평축 Propeller 형보다 풍향에 관계없이 운전이 가능한 수직축 Darrieus 터빈(turbine)의 적용이 유리하다는 판단을 하게 되어 Darrieus 형을 주 터빈으로 선정 하였다[2,7,11]. 그러나, 입지의 풍황조건이 매우 불규칙한 형태로 변하는 다변풍속의 조건이라 터빈의 형태가 Darrieus 단독일 경우 실속이 빈번할 뿐 아니라 터빈속도의 급변으로 인해 효율적인 발전이 어려워, 이러한 문제점을 개선하기 위해 보조용 Savonius 터빈을 Darrieus와 동일 축상에 조합한 형태로 구성하였다.

2.3 풍력발전 시스템의 구성

풍력발전기의 주 발전시스템은 그림 4와 같이 Darrieus wind 터빈-동기발전기-인버터 시스템으로 구성하였다. 터빈과 직결된 동기발전기와 동일 축상에 기동용 유도발전기를 커플링으로 직접연결하여 기동시 유도전동기의 발생토크에 의해 터빈을 가속시키고, 일정속도이상의 속도상승후 발전 mode 돌입속도에 도달시 유도전동기의 전원차단과 동시에 동기발전기에 여자투입으로 발전 mode가 완료된다.

인버터 내부구성이 정류기-DC Link-인버터로 되어 있기 때문에 발전기 주파수와 무관하게 인버터의 60Hz 게이트 신호로서 일정주파수 전력을 얻을 수 있어, 여자제어 가능한 발전기 회전수 범위내에서는 동기발전기의 회전수와 무관하게 전력을 얻을 수 있도록 설계하여 전력발생의 범위를 보다 넓게 하였다. 또한, 동기발전기 사용으로 인해 유도기와 달리 운전시 무효전력을 필요로 하지 않을뿐 아니라, 병렬운전시 모선전압으로 단자전압이 유지되면 여자전류의 조정에 의해 부하전류의 크기 및 위상을 조절하여 발생전력의 역률제어가 가능하게 된다. 발전 시스템은 가변속도-가변주파수(VSVF : Variable Speed Variable Frequency), 정전압 운전형태이며, 특히, 이 시스템의 경우 동기발전기의 가변속 운전에 의한 정전압제어가 요구되므로 이를 여자제어로 하여 SCR 위상제어 방식을 채택하였고, 이의 역할은 전압강하시 여자증가와 전압상승시 여자

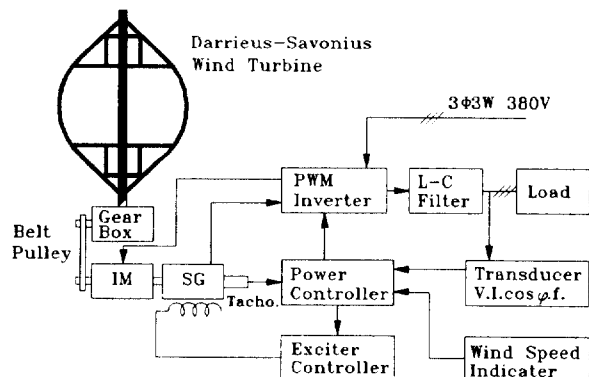


그림 4 풍력발전 시스템의 구성도
Fig. 4 Schematic of wind power generating system

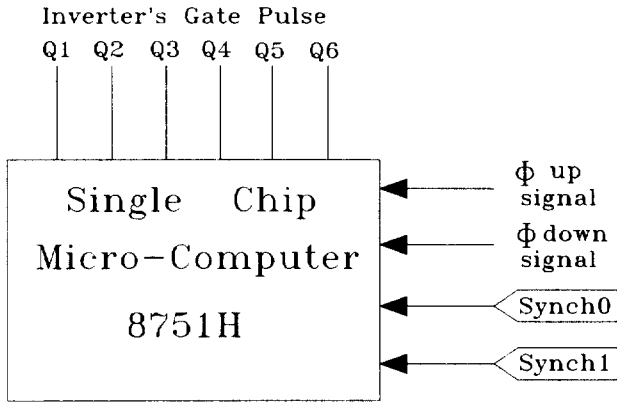


그림 5 PWM 인버터 제어부
Fig. 5 Controller of PWM inverter

감소를 신속히 동기발전기의 계자권선에 공급하는 것이며, 풍력발전 시스템의 경우 부하의 변화뿐만 아니라 풍속의 변화가 전압변화의 직접적인 함수이므로 이에 따른 여자제어 범위의 설정이 매우중요하다. 본 시스템에 장착한 여자전류 공급장치로 동기발전기가 정격전압을 유지하기 위해 허용되는 발전기 회전수 영역이 850[rpm]에서 1700[rpm] 범위가 됨을 알 수 있었다. 한편, 인버터 시스템의 설계는 가변주파수의 발전기 출력 전압을 직류전압으로 변환후 전압형 PWM 인버터에 의한 상용전원 변환방식으로 구성하였으며, 이때 인버터의 역할은 단순히 일정주파수의 상용전원변환에 그치지 않고 병렬운전시 모션전원과의 동기화 및 발생전력의 부하제어를 동시에 가능하도록 설계하였다. 인버터 제어부는 그림 5와 같이 구성하였으며 측정된 풍속, 전압, 전류, 역률등을 Transducer에 의해 디지털 신호로 변환후 동기화 및 부하제어용 신호로 활용하였다.

3. 풍력터빈 설계

3.1 공기역학적 해석

풍력발전기의 경우 풍력의 공기역학적 최대효율은 풍차의 형태 및 그 풍차에 적용된 주속비에 매우 민감하게 작용함을 알 수 있으며, Darrieus 터빈의 경우 주속비는 대개 4~6 정도에서 최대효율을 나타낸다[2,4,8]. 특히, Darrieus wind 터빈의 회전력은 양력(lift)과 항력(drag)의 비에 크게 의존되며, 주속비 3 이하의 저속도에서는 영각(α)이 크게되어 양력과 항력의 비가 낮아져 스스로 회전력을 발생하지 못한다[7,8]. 일정 방향의 풍속에 대한 Blade의 공기역학적인 작용을 살펴보면, 그림 6에서 날개축에 작용하는 합성속도(W)는 날개의 절대 회전속도($R\Omega$)와 풍속(v)의 벡터합으로 나타나며, 영각 α 또한 다음과 같이 구할 수 있다.

$$W = \sqrt{(R\Omega + v\cos\beta)^2 + (v\sin\beta)^2} \text{ [m/s]} \quad (1)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{v\sin\beta}{R\Omega + v\cos\beta} \text{ [deg]} \quad (2)$$

이 경우 날개가 합성속도 W인 유동속도에 놓이면 영각(α)의

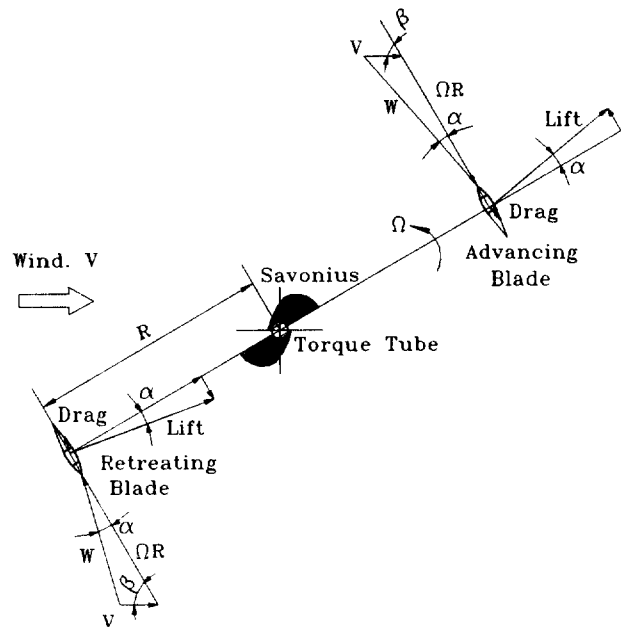


그림 6 Turbine blade의 공기역학
Fig. 6 Aerodynamics of turbine blade

합수인 양력과 항력이 발생하며, 이 두힘의 접선성분의 합력이 양의 부호, 즉 회전방향으로 작용하면 torque는 회전방향으로 발생하게 된다. 이때 발생하는 공기역학적인 각 작용력, 발생전력 및 torque는 다음과 같다.[1,8,11]

$$L(\alpha) = \frac{1}{2} C_l(\alpha)\rho v^2 A \text{ [N]} \quad (3)$$

$$D(\alpha) = \frac{1}{2} C_d(\alpha)\rho v^2 A \text{ [N]} \quad (4)$$

$$F = L\sin\alpha - D\cos\alpha \text{ [N]} \quad (5)$$

$$P = \frac{1}{2} C_p(\lambda)\rho v^3 A \text{ [W]} \quad (6)$$

$$T = \frac{1}{2} C_t(\lambda)\rho v^2 A \text{ [N.m]} \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{R\Omega}{v} \quad (8)$$

여기서,

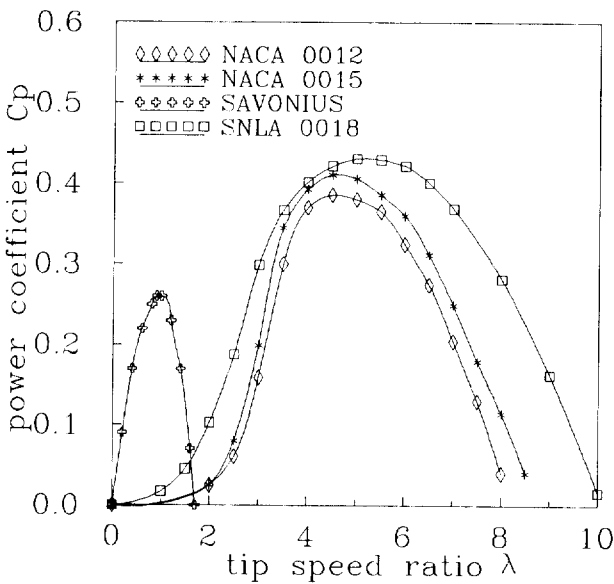
- C_l : 양력계수, C_d : 항력계수
- $L(\alpha)$: 영각 α 시의 양력, $D(\alpha)$: 영각 α 시의 항력
- F : 원주상의 접선 작용력[N]
- P : 발생전력[W], T : 터빈의 발생 torque[N.m],
- $C_p(\lambda)$: 주속비에 대한 출력계수, λ : 주속비,
- ρ : 공기밀도[kg/m³], v : 풍속[m/s],

- A : 터빈의 회전 단면적[m²],
- C_t(λ) : 주속비에 대한 추력계수,
- Ω : 터빈의 각속도[rad/s], R : 터빈의 반경[m]

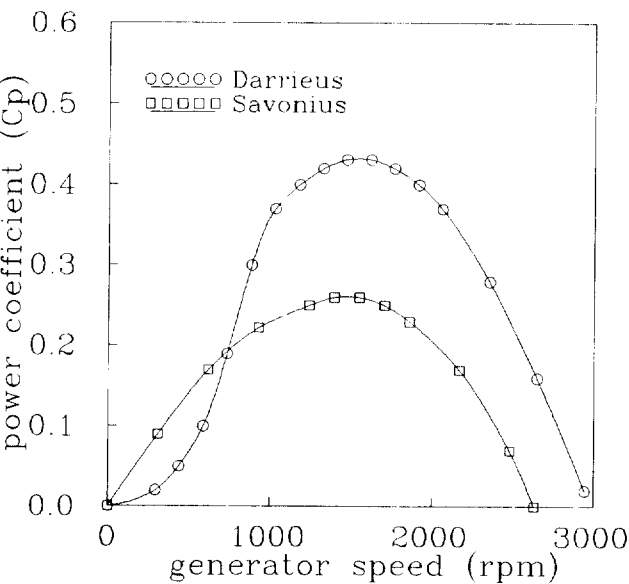
3.2 Blade chord 설계

풍력터빈의 경우 출력계수(C_p)는 풍차 및 blade의 형태에 따라 결정되며, blade의 선정 및 설계에 따라 터빈의 각종 parameter가 결정되고 발전기의 출력형태에도 직접적인 영향을 미치게 된다.

본 논문에서는 주 터빈의 blade 형태를 입지의 풍황조건에



(a) 각 blade의 출력계수



(b) 발전기 회전수에 대한 출력계수

그림 7 Blade의 출력계수

Fig. 7 Power coefficients of blade

SNLA-0018 type BLADE CHORD

unit : mm

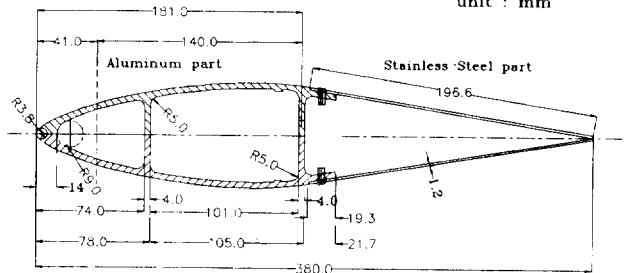


그림 8 SNLA-0018 blade chord

Fig. 8 SNLA-0018 blade chord

효율적으로 적용할 수 있는 SNLA0018(SNLA : Sandia Laboratories) 형으로 선정하였는데, 그림 7(a)에 나타난 바와 같이 과거 풍력터빈에 주로 적용된 타 Blade(NACA : National Advisory Committee for Aeronautics)에 비해 출력계수가 높을뿐 아니라 주속비 적용영역이 넓어 부하의 활용범위가 크지고, 풍속변화에 대한 터빈의 적용력이 상대적으로 높음을 알 수 있다.

그림 7(b)는 조합된 두 blade가 정격풍속에서 발전기 회전수에 대응하는 출력계수를 나타낸 것으로, Savonius가 Darrieus 스스로 출력을 발생시킬 수 없는 주속비 3이하의 저속도 영역에서 높은 회전력을 발생하여 Darrieus 터빈의 기동특성을 개선할 수 있음이 예측 된다. 한편, Darrieus에 의한 터빈의 속도가 과다하게 증가했을때 Savonius는 제동장치의 역할을 하여 속도상승을 억제하는 결과도 수반된다고 예측 된다. blade chord의 재질은 해변의 기후조건에 충분히 적용 가능하게 알루미늄(aluminum)/스텐(stainless) 강을 조합하여, 전단부분을 알루미늄 사출, 후단부분을 1.2[mm] 두께의 스텐 강관으로 그림 8과 같이 구성하였다.

3.3 Turbine 설계

본 논문에서는 설계대상 풍력발전기를 정격풍속 10[m/s], 주속비 5, 최대 발생전력 20[kW]의 수직축 Darrieus 터빈으로 선정하여, Torque tube는 높이 12.3[m], 직경 318[mm], 두께 4.5[mm]의 스텐 강관을 사용하였고, blade의 회전반경을 4.7[m]로 하여 solidity(blade 수 x chord 길이/회전반경)를 0.16, 형상비(터빈 높이/blade 회전직경) 1.31의 two blade Troposkien 형으로 설계하였다. 또한 Savonius의 설치 위치는 Torque tube의 중심부에서 상하 3.9[m] 에서 5.9[m] 사이에 높이 2[m]의 크기로 하였으며, 이 위치에서의 Darrieus 터빈 기여도는 발생출력의 약 5[%] 정도에 해당하므로(4) 두 형태의 blade에 의한 상호 영향을 최소화 시킬 수 있다.

여기서, Darrieus의 반경이 R_d = 4.7[m]로 선정되었을때 Savonius의 반경을 얼마로 선정하느냐 하는 문제가 대두 된다. Darrieus와 Savonius는 동일축상에 있으므로 주속비 λ의 정의 식을 고쳐쓰면

$$R_s = R_d \frac{\lambda_s}{\lambda_d} \quad [m] \quad (9)$$

가 되고, 최대출력 발생시 R_d = 4.7[m], λ_d = 5가 되고, λ_s =

0.95를 적용하면 $R_s = 0.9[m]$ 가 도출된다. 그림 7(a)에서의 λ_s 를 정격풍속에서 터빈 회전수 n_T 및 발전기 회전수 n_G 로 환산하면

$$\Omega = \frac{v}{R} \lambda \text{ [rad/s]} \tag{10}$$

$$n_T = \frac{60\Omega}{2\pi} \text{ [rpm]} \tag{11}$$

$$n_G = \frac{(14.6 \times 60\Omega)}{2\pi} \text{ [rpm]} \tag{12}$$

의 관계식에 의해 그림 7(b)를 얻는다. 여기서, index s와 d는 각각 Savonius와 Darrieus를 나타낸다.

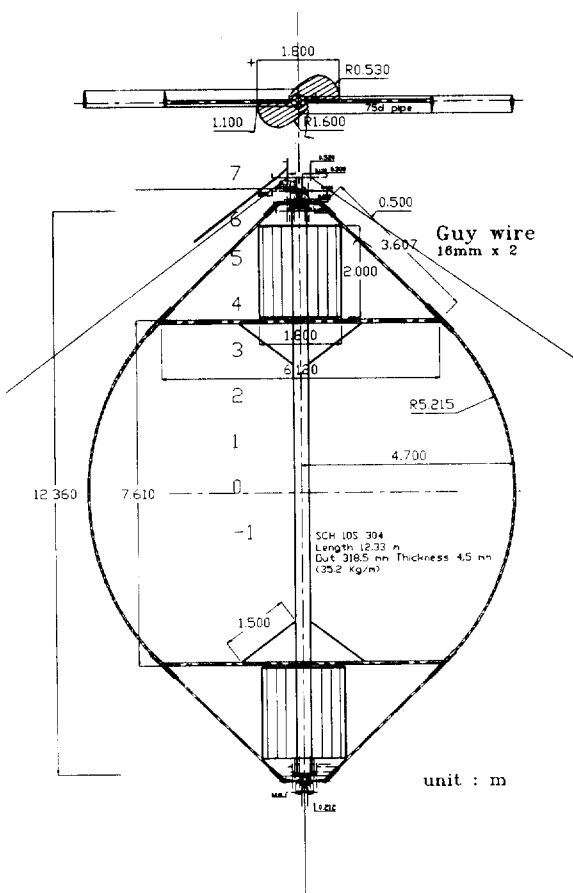
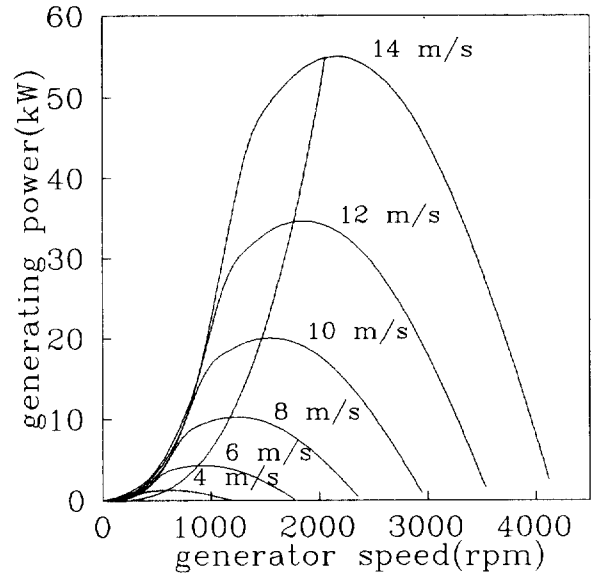
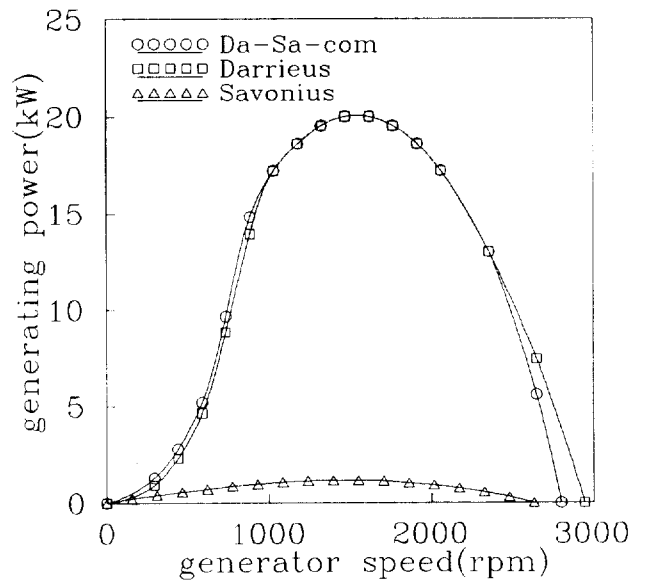


그림 9 조합형 터빈의 설계도
Fig. 9 Design of combined wind turbine

설계된 parameter를 적용한 풍력발전기의 각 풍속에서 발전기 회전수에 대한 Darrieus 터빈의 출력곡선은 그림 10(a)와 같이 분포되며, 풍속의 세제곱에 비례하는 출력이 발생됨을 알 수 있다. 그림 10(b)는 정격풍속에서 각 터빈의 출력분포곡선으로 조합형의 경우 주속비 3.5 이하에서는 Savonius가 Darrieus에 기동력을 제공하는 형태로, 정상운전영역인 4~7에서는 Darrieus에 의한 최적운전 형태로, 8 이상에서는 Savonius가 Darrieus의 속도를 억제하는 형태로 나타남을 예측할 수 있다.



(a) Darrieus 터빈의 출력



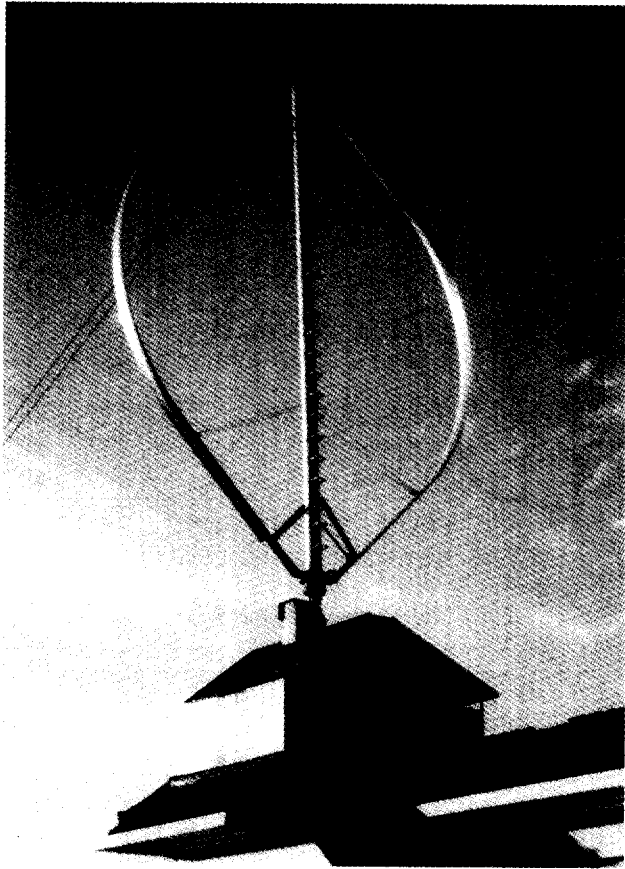
(b) 정격풍속시 예상 출력

그림 10 풍속의 변화에 따른 출력
Fig. 10 Generating power by wind speed

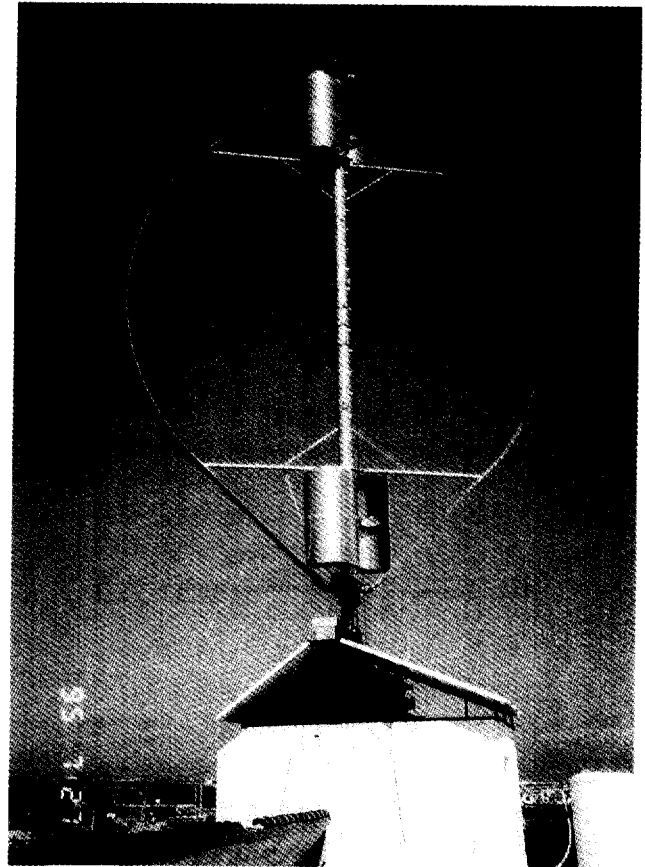
3.4 동력전달장치 설계

동력전달장치의 구성은 Torque tube에서 발생된 회전력을 효과적으로 발전기 회전축으로 전달할 수 있도록 설계되어야 한다.

중속기는 헬리컬 기어(중속비 6.5)와 벨트 풀리(belt pulley, 중속비 2.28) 복합의 실 중속비 14.6로 구성하였으며, 정격용량 25[kVA], 정격전압 220V/127V의 3상 4선식 6극 동기발전기 축에 연결하여, 정격풍속시 터빈 회전수 101.4[rpm], 발전기 회전수 1480[rpm]으로 설계하였다. 비상운전용 제동장치는 유압식 제동장치로 선정하여 Torque tube와 기어박스(gear box)



(a) Darrieus 단독형



(b) Darrieus-Savonius 조합형

그림 11 20kW 풍력발전 시스템

Fig. 11 20kW wind power generating system

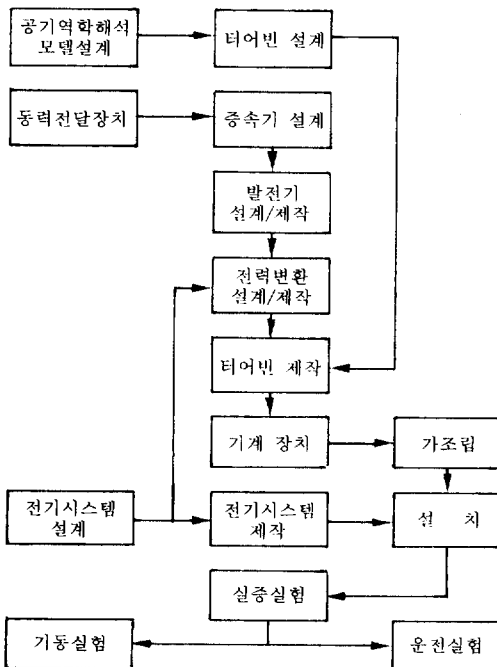


그림 12 시스템 설계 흐름도

Fig. 12 Flow chart of system design

연결 부분에 장착하였으며, 운전의 형태에 따라 유압의 조정에 의해 제동력을 조절할 수 있도록 하였다.

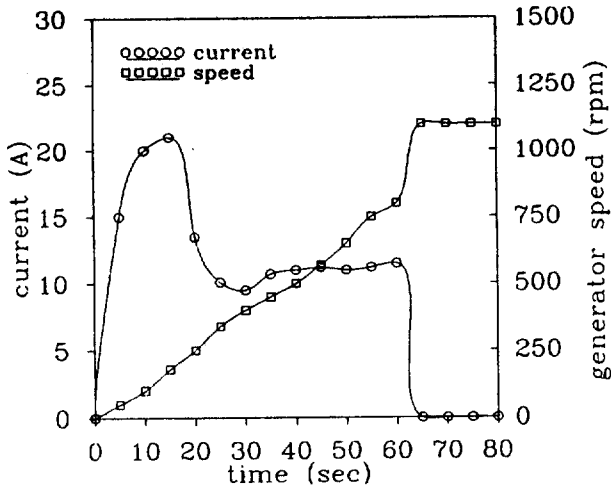
이상과 같이 설계된 각 부분을 종합한 시스템 설계 과정을 전체 흐름도로 나타내면 그림 12와 같다.

4. 실험 및 결과 고찰

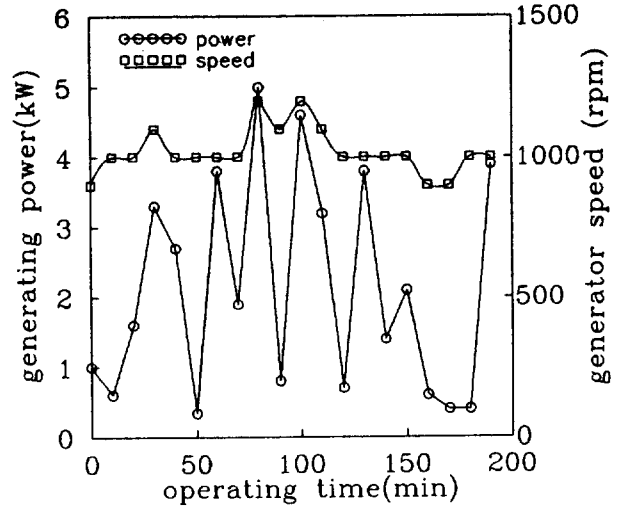
실험은 기동실험과 운전실험 두 단계로 나누어 하였으며, 이를 먼저 Darrieus 단독형으로 나중에 Savonius를 보완 설치하여 수행하였다. 이때 기동실험은 인버터를 기동 mode로 투입하여 7.5[kW] 8극 3상 유도전동기로 발전기속도 870rpm 까지 가속시키며 그 과정에서 기동전류를 측정하였고, 기동후 발전 mode로 전환하여 발전 mode의 유지에 들어가면 발전운전 실험을 하였다. 풍속 5[m/s]에서 이루어진 기동상황을 단독형과 조합형에서 비교하여 기동전류 및 발전기 회전수를 그림 13에 나타내었다.

여기에서 알 수 있는 바는

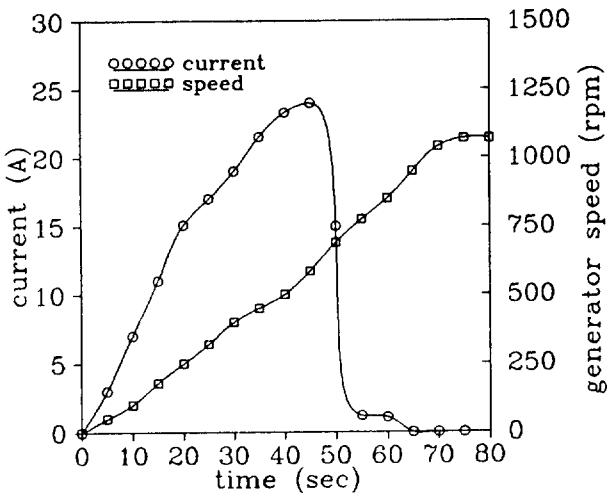
- (1) 기동시간이 조합형에서 적게 소요됨을 알 수 있고
- (2) 조합형의 경우 낮은 회전수대에서 전류가 단독형인 경우보다 느리게 상승하는 이유는 Savonius blade가 바람의 항력에 따른 부하로 작용하기 때문이고
- (3) 단독형에서 중간 회전수대에서 전류가 지속적으로 흘러



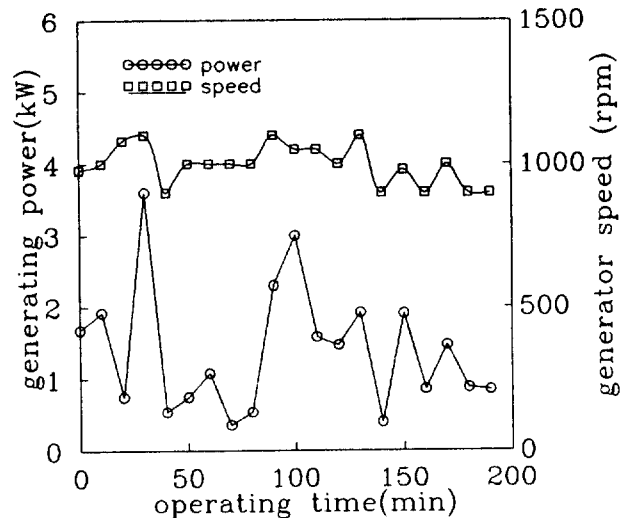
(a) Darrieus 단독형



(a) Darrieus 단독형



(b) Darrieus-Savonius 조합형



(b) Darrieus-Savonius 조합형

그림 13 풍력발전기의 기동특성

Fig. 13 Starting characteristics of wind power generator

토크를 주는데 비해, 조합형에서는 그 회전수대에서 전류가 급격히 감소하여 1[A] 정도에서 유지되었는데, 이는 구동토크의 역작용으로 Savonius가 토크를 발생하기 때문인 것으로 귀결된다.

다음으로 두 형태의 운전실험을 비교하여 출력과 회전수를 그림 14에 나타내었다. 그림 14(a)는 Darrieus 단독형에서 풍속 4~8[m/s]의 변화에서 발생전력을 나타낸 그림이다. 그림 14(b)는 조합형의 경우 풍속 3~7[m/s]의 변화에서 발생전력을 나타낸 그림이다. 그림 14(a)에서 풍속의 변화에 따른 발생전력이 변화는 직접적으로 나타나는 반면, 그림 14(b)에서는 발생전력의 변화가 완만하게 추이함을 알 수 있고 이는 Savonius의 에너지 축적효과에 의한 영향으로 생각된다. 한편 정부하시 운전속도가 약 10[%] 정도 감소함을 알 수 있었고 이는 Savonius의 터빈속도 상승에 대한 제동효과가 있음을 나타낸다. 또한, 단독형의 경우 풍속 3.5[m/s] 정도에서 실속으로 정지되었으나,

그림 14 풍력발전기의 출력특성

Fig. 14 Output characteristics of wind power generator

조합형의 경우 풍속 2.5[m/s] 정도까지 발전 mode의 유지가 가능하였으며 운전의 안정성이 크게 향상 되었음을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 다변풍속의 풍황조건에 적용할 수 있는 풍차로 Darrieus- Savonius 조합형 수직축 풍력터빈을 제시하였다. 제시된 풍력시스템의 각 Parameter를 적용하여 20[kW] 급의 풍력발전 시스템을 설계 및 제작 운전하여 본 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) Darrieus의 약점인 자력기동이 되지않는 점을 보완하여 보다 낮은 풍속에서 발전 mode로 투입시킬 수 있었다. 즉, 풍속 4.5[m/s]에서 4[m/s]로 낮아졌다.

(2) Savonius에 의해 발생된 회전력으로 인해 낮은 주속비에서 발전 mode로의 전환이 가능하였고, 풍속이 낮아졌을때 실속이 되지 않았으며 풍속 2.5[m/s]까지 발전 mode가 유지되었다.

(3) 풍속의 급변으로 인한 터빈속도의 변화를 Savonius가 완충시켜 운전의 안정성을 향상시켰다.

(4) 경부하시 터빈속도가 일정 주속비 이상으로 상승시 Savonius가 제동역할을 하게되어 속도상승을 억제하는 효과를 얻었다.

이상의 결과로 Darrieus-Savonius 조합형 풍력발전 시스템이 Darrieus 단독 풍력발전 시스템의 경우보다 풍황조건이 불규칙한 다변풍속 조건에 대한 적응력이 뛰어난을 알 수 있었다. 앞으로 장기적인 운전시험을 거쳐 풍황 및 운전해석의 경험을 축적한다면, 국내 풍력발전의 상용화 시기를 앞당길 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 1992~1994년도 에너지자원기술개발센터 지원의 (주)한국화이바 위탁과제의 일환으로 이루어 졌음을 밝히며 관계기관에 감사의 뜻을 전한다.

참 고 문 헌

[1] 오철수, 강창수, 권순홍, "동해안지역에 적합한 풍력발전 시스템에 관한 조사," 전기학회지 제41권 제10호, pp.3~9, 1992.

[2] 유능수, "다리우스 풍력터빈의 성능예측에 대한 연구," 한국항공우주 학회지 제 40권 제 1호, pp.80~94, 1992.
 [3] 오철수, 서영택, 김기승, "수직축 Darrieus 풍력발전시스템의 설계에 관한 기초연구," 1994년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A권, pp.82~84, 1994.
 [4] 김광호, 수직축 풍력 발전기의 특성 해석, 한국과학원 석사학위 논문, 1979.
 [5] 박경호, 김건훈, 조덕기, 전홍석, "국내의 풍력자원 분포특성분석," 한국에너지공학회지 제3권 2호, pp.187~192, 1994.
 [6] M.Ermis, 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.
 [7] D. J. De Renzo, Wind Power Recent Development, Noyes Data Corporation, 1979.
 [8] M. L. Robinson, "The Darrieus wind turbine for electrical power generation," Aeronautical Journal, pp.244~255, June 1981.
 [9] H. L. Nakra, Benoit Dube, "Slip Power Recovery Induction Generators for Large Vertical Axis Wind Turbines," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 3, No. 4, pp.733~737, December 1988.
 [10] John J. Bertin, Michael L. Smith, Aerodynamics for Engineers, Prentice-Hall Inc. 1989.
 [11] D. Lé Gouriérés, Wind Power Plants Theory and Design, PERGAMON PRESS, 1982.

저 자 소 개



서영택 (徐泳澤)

1958년 8월 10일생. 1989년 경북산업대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정



오철수 (吳哲洙)

1938년 8월 26일생. 1963년 독일 Stuttgart 공대 전기공학과 졸업. 1966년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1966년~1972년 독일 Siemens사 근무. 1973년~1978년 단국대 공대 전기공학과 조교수. 1984년~현재 경북대 공대 전자전기공학부 부교수. 당학회 평의원