

다리우스 풍력터빈 발전기의 기동특성

이규용* 이우석** 서영택*** 오철수*
*경북대 전기공학과 **부산정보대학 ***구미1대학

Starting Characteristics of Darrieus Wind Turbine

Kyu-Yong Lee* Woo-Suk Lee** Young-Teak Seo *** Chul-Soo Oh*
*Kyungpook Nat. Univ. **Busan College of Info. ***Kumi College

Abstract - Wind-powered generator system converts wind energy into utilized electric energy. Wind power generator is classified into two categories, as horizontal or vertical axis turbine. The former is equipped with yawing mechanism which is subject to set the blade-face towards the wind direction. However, the latter does not need this mechanism, but this system needs a external power for starting.

This paper deals with the method how to overcome such trouble and with the analysis of the starting characteristic and a field test with a prototype of the Darrieus wind generator was performed.

1. 서 론

풍력발전기에 사용되는 터빈에는 수평축 프로펠러형 터빈과 수직축 다리우스형 터빈이 있다. 수평축 풍력발전기는 소용량에서 대용량에 이르기까지 그 범위가 넓지만 수직축 풍력발전기는 중출력 이하의 풍력발전에 사용된다. 수평축 풍력발전기는 날개의 면이 바람이 부는 방향으로 향해 있어야하며 이를 위해 pitch control 및 요잉(yawing control)이라는 메카니즘이 필수적이다.

그러나 수직축 풍력발전기는 바람의 방향과 무관하게 날개가 수직축을 중심으로 회전하므로 pitch control, yawing control 등의 장치가 요구되지 않으며 발전기 장치 등이 지상에 놓이는 장점을 가지고 있다. 그러므로 중출력 이하의 풍력발전에서는 구조적으로 수직축 풍력발전기가 수평축 풍력발전기에 비해 유리하다고 할 수 있다. 다리우스 터빈의 가동시 주속비가 낮은 구간에서는 구동토크가 미약하여 자기동이 어려우며 기동을 위해서는 외부 전원을 이용한 별도의 기동장치가 요구된다.

본 논문에서는 이 문제점들을 해석키 위해 실제작된 다리우스 터빈의 기동특성을 실험하고 이론적 규명을 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 풍력발전기의 개요

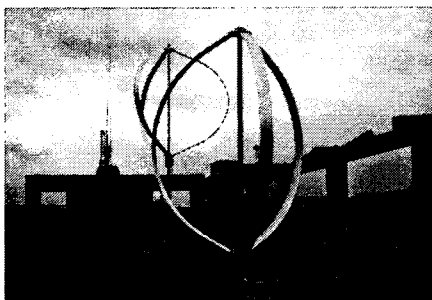


그림 1. 실제작된 다리우스 풍력발전기

제작한 수직축 풍력발전기 그림 1은 Turbine과 발전기 사이에 증속기(Gear)를 없애고, 직접구동(Direct drive) 방식을 채택하였으며 그림 1과 같다. 회전자는 영구자석 형으로 극수 12로 되어있으며, 고정자는 슬롯 36인 코어를 이용해 3상으로 발전되는 시스템을 택하였다. 발전기 정격 및 다리우스 터빈의 제원은 다음과 같다.

1)발전기 정격

정격출력	400 W
정격토크	20 Nm
정격속도	250 rpm
정격풍속	8 m/s
코일권선	3 상
상당코일수	22 turn
고정자두께	40 mm
극 수	12 극
고정자 슬롯	36 slot

2)다리우스 터빈의 제원

날 개 수	3
높 이	2.8 m
날개 무게	2.5 kg ×3
직 경	2.4 m
Chord 길이	0.12 m
Profile 두께	22 mm
Swept Area	4.5 m ²

2.2 다리우스 풍력발전 일반

다리우스 터빈의 정격속도를 산정하는 것과 이의 속도 상승을 얼마나 허용할 것인가 하는 것이 설계상 매우 중요한 과정이고, 이에 따라 구조적 강도, 축의 강도 등이 결정되는 중요한 파라메타이다. 일반적으로 풍력터빈 출력 P는 날개가 맞는 회전면적 A, 풍속 v 및 출력계수 Cp(λ), 공기밀도 ρ, 날개의 주속비(Tip Speed Ratio) λ등에 따라 날개에서 받는 공기역학적 출력 P_{air}과 발전기 출력단의 출력 P_{gen}이 결정된다.

$$\lambda = \frac{rw}{v} \tag{1}$$

$$P_{air} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \tag{2}$$

$$P_{gen} = \frac{1}{2} \eta \rho C_p(\lambda) A v^3 \tag{3}$$

$$T = \frac{1}{2} \rho A r^3 \frac{C_p(\lambda)}{\lambda^3} w^3 \tag{4}$$

위의 제원으로 구한 풍력터빈의 발전기 축 속도에 대한 토크 T 및 출력 P_{gen}은 아래 그림 2, 3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 각 풍속마다 날개가 낼 수 있는 최대 토크 및 최대 출력이 존재한다.

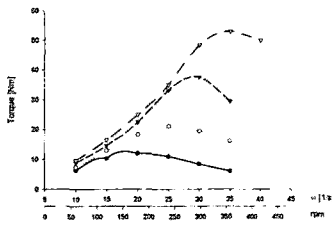


그림 2. 속도 대 토크

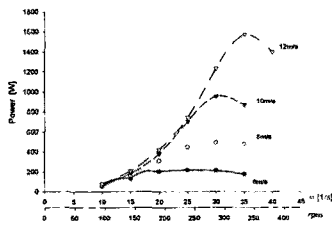


그림 3. 속도 대 출력

2.3 다리우스 풍력터빈 순간토크

다리우스 풍력터빈의 회전각에 따른 순간 토크를 공기역학적 측면에서 살펴보면 회전각을 θ 라하고 0° 에서 360° 회전한다. 터빈의 날개가 바람방향으로 있을 때 회전각 0° 라 하고 반대방향으로 있을 때 회전각 180° 로 정의한다. 날개의 중앙선(Chord angle)이 바람방향과 이루는 각을 영각 α (Angle of Attack)이라 하며 그림4와 같다.

날개가 회전할 때는 양력과 항력이 날개에 영향을 미치며 회전각 θ 에 대한 날개의 단면을 그림5에 나타내었다. ω 은 날개의 회전 속도이며, r 은 날개축의 반경이고, Ω 은 각속도이다. 회전속도 ω 와 풍속 v 를 벡터적으로 합성하면 날개축에 작용하는 합성속도 U 와 영각 α 를 얻을 수 있다. 날개가 합성풍속 U 인 유동속에 놓이면 영각의 함수인 양력 L (Lift)와 항력 D (Drag)가 발생한다.

L, D 를 계산함에 있어 양력계수, 항력계수가 필요한데 본 실험에서 적용한 날개단면 형상이 NACA0018이므로 이에 대한 계수의 값을 [3], [4]에서 참조하여 터빈 제원에 적용하였으며, 날개 당 터빈의 회전각에 따라 풍속 6m/s, 8m/s의 순시토크를 그림 6에 나타내었다.

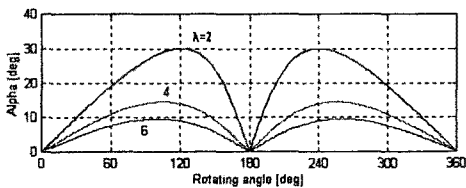


그림 4. 회전각에 따른 영각

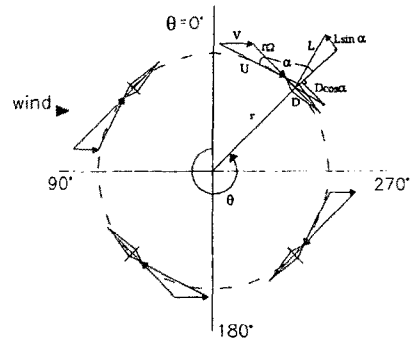
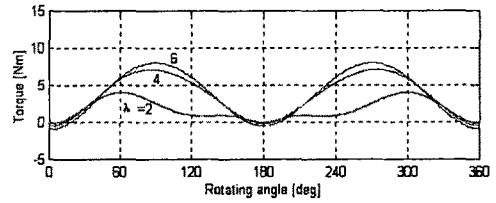
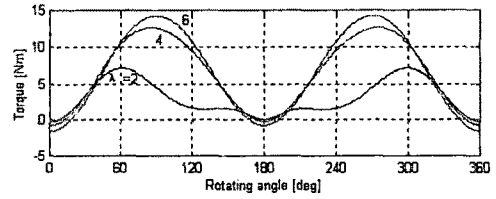


그림 5. 다리우스 풍력터빈의 단면



a) 풍속6m/s



b) 풍속8m/s

그림 6. 회전각에 따른 풍속의 순시토크

토크는 풍속의 제곱에 비례하므로 풍속의 변화에 민감하게 반응함을 알 수 있으며 Darrieus 풍력터빈의 기동시에는 $\omega=0$ 이니 λ 가 아주 낮고 이로 인해 주속비가 낮은 구간에서는 구동토크가 미약하여 자기동(Self Starting)이 어렵다는 것을 알 수 있다.

2.4 기동과 탈조방지

자기동의 어려움을 해결기 위해 외부전원을 이용하였으며, 회전관성 모멘트 J 를 가진 회전체가 속도 w 에 이를 때까지의 회전운동에너지는 다음과 같다.

$$E = \frac{1}{2} J w^2 \quad (5)$$

식 (1)을 식 (6)에 대입하면 다음과 같다.

$$E = \frac{J}{2r^2} v^2 \lambda^2 \quad (6)$$

이 식에서는 Darrieus 풍력터빈이 일정 풍속에서 공기역학적인 힘으로 스스로 가속될 수 있는 상태까지 필요한 에너지를 나타내며 그 에너지를 전동기 모드로 투입한다. 전동기에 투입된 총 전기에너지 E 는 다음과 같다.

$$E = \frac{1}{2} P t_s \quad (7)$$

Darrieus 풍력발전기가 기본속도까지 상승기 위해서는 식 (6)과 식 (7)이 등가가 되어야 하며 기동시간을 계산하면 다음과 같다.

풍속 8m/s에서 $\omega=25$ 1/s 로 가정한다. 1)식에 의해 주속비 $\lambda=4$ 이다. Darrieus 터빈의 관성모멘트 $J=11$ Nms²

과 평균입력 $P=400W$ 를 적용하였을 때 기동시간 $t_s=20$ 초로 계산된다. 다리우스 풍력발전기를 비교 분석하면 기동시 보조동력이 필요하며 이를 위해 발전기를 전동기로 돌려 $\omega=25$ 1/s 정도되게 돌려주는 주어야 한다. 이의 소요 시간은 20~25초 정도이며, 소요되는 전력은 극히 미미하다.

토크는 그림 7과 같이 나타나며 중요한 사실은 토크가 $\sin\delta$ 에 비례하며 δ 는 회전자 위치각을 나타낸다.

무부하에서는 $\delta=0$ 이며 발전기의 상업용 정상운전에서는 δ 가 45° 정도이다. δ 가 90° 일 때는 탈출토크(Pullout Torque)로 불리는 최대 토크가 되어 동기를 유지하지 못하게 된다.

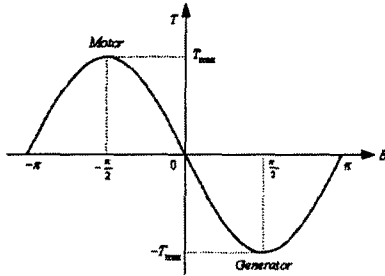


그림 7. 토크곡선

2.5 실험

Darrieus Turbin의 기동시 발전기 모드에서 전동기 모드로 바꾸기 위해 PWM 인버터를 연결하여 구동하였으며, 발전기는 12극 동기발전기이므로 주파수의 10배에 해당하는 rpm으로 운전하게 된다. 정격속도가 250 rpm에 해당하는 발전기 전원의 주파수는 25Hz가 된다.



그림 8. 실험 Set

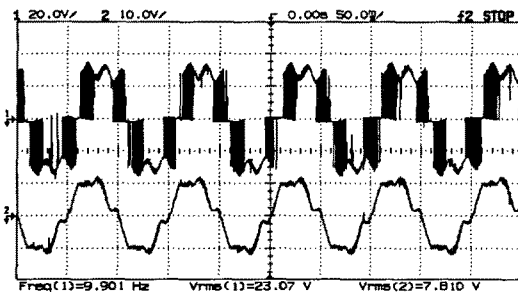


그림 9. 발전기 기동 전압과 전류

터빈 날개의 축이 발전기에 직결된 상태에서 인버터로 구동시켜 10Hz에서의 PWM 전압과 전류는 그림 9와 같다.

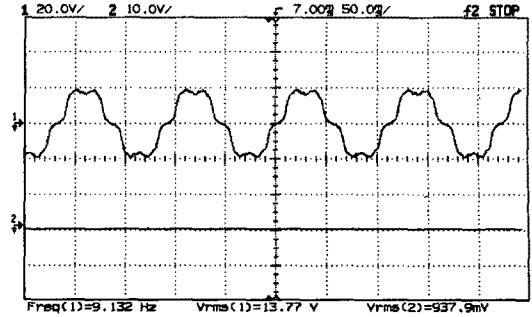


그림 10. 발전기 유기기전력 파형

발전기 유기기전력 파형은 풍력발전기를 전동기로 일 정속도 회전시키다가 인버터 전원을 차단하여 속도 유지 상태에서 전압을 측정하여 관찰하였다. 그림 10은 100 rpm에서의 유기기전력 파형이다.

3. 결 론

본 논문에서는 잣은 요잉(Yawing), Pitch control을 해야 하는 수평축보다 바람의 방향에 영향을 받지 않는 수직축 풍력발전기 적합성을 알고 발전기와 날개를 제작하였으며, Darrieus 터빈을 시뮬레이션하고, 풍속에 따른 토크 및 기동특성 실험을 수행하였으며 다음과 같은 결과를 도출 할 수 있었다.

Darrieus 풍력발전기에 Direct drive 방식을 채택함으로써 구조가 간략화 되었으며, 전체적인 효율을 높일 수 있었고 날개는 120° 간격으로 3개 설치되었다.

Darrieus 터빈의 회전각에 따른 영각과 풍속에 따른 순간토크는 주속비를 변수로 하여 구하였다.

주속비가 낮은 구간에서는 구동토크가 미약하여 자기동이 어려웠으며 이를 위해 외부 전원을 인가하여 정격속도의 절반까지 올릴 수 있었다. 외부 전원은 PWM 인버터를 이용하여 발전기를 전동기로 활용하는 방법으로 구현하였다.

기동과정에서 기동전동기의 토크가 회전자 위치각이 45° 정도가 유지되도록 한정하여야 한다.

최대토크를 얻기 위해서는 회전자 위치각 δ 가 90° 일 경우이지만, 이 경우에는 탈출토크라는 최대 토크가 되어 동기를 유지하지 못한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 오철수, "다리우스 풍력터빈의 부하변동에 따른 속도제어", 한국에너지공학회지, 제4권3호, 1995.
- [2] Chulsoo Oh et al, "Comparison and Promotion of Wind Power Generation Systems for Korean market", ISREE-8, Orlando, USA, 2002.
- [3] 권순홍, "풍력발전을 위한 다리우스풍차의 파라미터 선정 및 해석", 경북대 석사학위 논문, p.5, 1992.
- [4] Mukund R. Patel, "Wind and Solar Power Systems", CRC press, p.35~40, 1999.
- [5] 김철호, 공경식, 오철수, "가변속과 일정속 풍력발전시스템의 출력제어", 에너지공학회지, 제9권2호, 2000.
- [6] 오철수, "새로운 경향의 電氣機械", p.181, 1997.