

# 다리우스 풍차의 회전각에 따른 순간 토오크 해석

오 철수 권 순홍<sup>0</sup>

경북대학교 전기공학과

A Instantaneous Torque Analysis of the Darrieus Wind Turbine  
varying with the rotating Angle of blade

Chul-Soo Oh Soon-Hong Kwon

Dept. of Electrical Eng. Kyung-Pook Nat. Univ.

## Abstract

This paper deals with aerodynamic problems of the rotating blade of Darrieus wind turbine and its instantaneous torque. The instantaneous torque varying with the rotating angle of blade was obtained through resultant wind velocity, angle of attack, lift and drag coefficient. These are obtained from a given wing section, size and wind velocity.

## 1. 서론

풍력은 오래전부터 깨끗하고 풍부한 에너지원으로 인식되어 왔으며, 1차 세계대전 이후 항공기술의 발달과 더불어 수평축 프로펠러형 풍차가 소개되었고, 많은 종류의 수평축 풍차가 발전하였다. 현대의 풍력에너지에 대한 자국은 재생할 수 없는 화석에너지의 부족으로 인하여 증출력 풍력 터빈을 요구하게 되었고, 종래의 프로펠러형 풍력터빈은 그 한계가 있었다. 따라서, 최근에 다른 에너지원과 비교할때 경쟁력 있고, 경제성을 지닌 수직축 다리우스 풍차가 대두되었다.

본 논문은 다리우스 풍력발전시스템을 설계하는데 있어서 가장 기초가 되는 날개의 회전각의 변화에 따른 풍력 해석에 대하여 다루었다. 해석방법은 시뮬레이션을 통하여 주어진 날개의 단면형상과 크기, 그리고 풍속에 따른 회전날개에 대한 풍속, 양각(angle of attack), 양력 계수, 항력 계수를 구하여 풍차의 회전각에 따른 순간 토오크를 구하였다.

## 2. 다리우스 풍차의 개요

수직축 다리우스풍차는 기본적인 2가지 형태가 있으며

하나는 그림1.의 (a)에 나타난 날개를 구부려 만든 troposkien 형이고, 다른 하나는 그림 1.의 (b)에서의 같이 날개를 똑바로 세워 고정시킨 straight-blade 형이다.

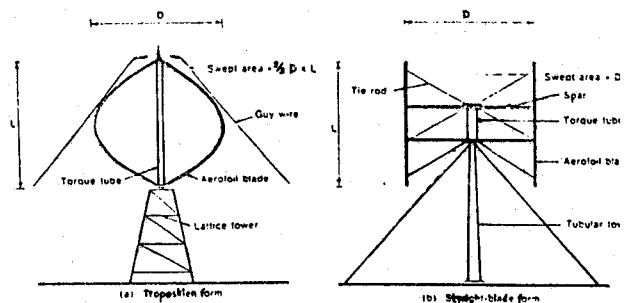


그림1. 다리우스풍차의 외형

troposkien 형의 날개의 경우에 원심력으로 인하여 bending moment를 거의 무시할 수 있다. 그리고 blade는 단지 장력만 받기 때문에 약한 날개 (blade) 를 사용할 수 있다. troposkien형으로 설계하면 회전면적 A는 그림에서 D와 L의 곱의 2/3정도이다. 하나 혹은 그 이상의 곡은 날개를 가진 straight-blade 형 다리우스 풍차는 torque tube에 지지대를 연결하고 그 위에 날개를 설치하였다. 이 형태는 원심부하가 큰 bending moment를 발생하기 때문에 날개를 고정시키기 위하여 지지대나 tie-rod가 필요하다. straight-blade형의 회전면적은  $D \times L$ 이며, 설치하기 쉽다는 장점이 있다. 이에 반해 troposkien 형은 bending stress 를 크게 받지 않고 spars나 tie-rods 가 필요없다는 장점이 있다. 본 논문에서는 straight-blade 형에 대하여 중점적으로 다루었다.

3. 회전각에 따른 순간 토크 해석

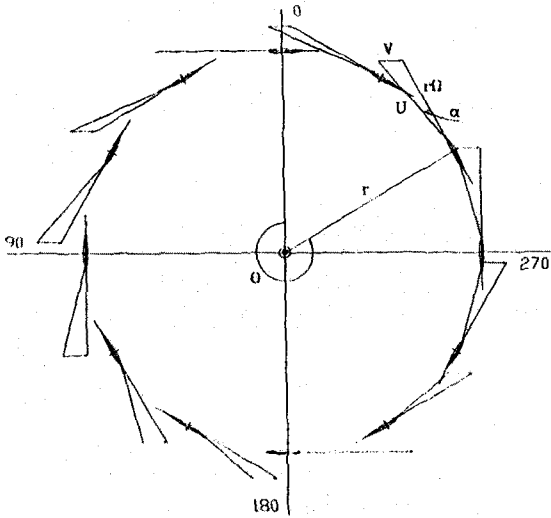


그림2. 다리우스 풍차의 회전날개단면

그림2는 왼쪽에서 오른쪽 방향의 풍향에서 다리우스풍차의 회전각  $\theta$ 에 대한 날개의 단면을 보여준다.  $r\Omega$ 는 날개의 회전속도이며,  $r$ 은 날개속의 반경이고,  $\Omega$ 는 각속도이다. 회전속도  $r\Omega$ 와 풍속  $V$ 를 벡터적으로 합성하면 날개축에 작용하는 합성속도  $U$ 와 영각  $\alpha$ (익면과 합성벡터가 이루는 각, angle of attack)를 얻을 수 있고, 회전각  $\theta$ 에 따른 합성속도  $U$ 와 영각  $\alpha$ 의 변화를 한눈에 볼 수 있다. 어떤 특정한 회전각  $\theta$ 에 대한 상세한 단면을 그림3에 나타내었다.

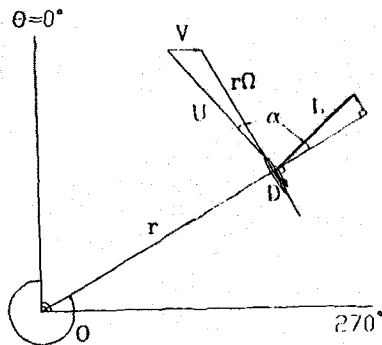


그림3. 상세도

날개가 합성풍속  $U$ 인 유동속에 놓이면 영각의 함수인 양력  $L$ (lift)과 항력  $D$ (drag)가 발생하며,  $L$ 과  $D$  그리고 토크  $T$ 와의 관계는 다음과 같다.

$$L = \frac{1}{2} \rho C_l U^2 S \quad (1)$$

$$D = \frac{1}{2} \rho C_d U^2 S \quad (2)$$

$$T = L \cos \alpha - D \sin \alpha \quad (3)$$

여기서  $\rho$  : 공기밀도

$C_l$  : 양력계수

$C_d$  : 항력계수

$S$  : 날개의 투영면적

양력과 항력은 바람으로 작용하는 속 성분의 힘과 전면으로 작용하는 접선 성분의 힘으로 분해할 수 있다. 양력의 전면 방향 성분이 항력을 증가하면 토크는 회전 방향으로 작용한다. 다리우스풍차는 높은 양력과 항력의 비에 의존한다. 즉, 날개속도  $r\Omega$ 가  $V$ 보다 아주 크다면 ( $r\Omega/V > 3$ ), 비교적 높은 양력과 항력의 비를 가지는 영각의 범위에서 날개는 움직이게 될 것이다. 날개의 속도가 풍속에 비해 낮은 회전속도에서는 날개의 영각이 크게 되어 움직이지 않게 된다. 따라서 시동장치를 필요로 한다.

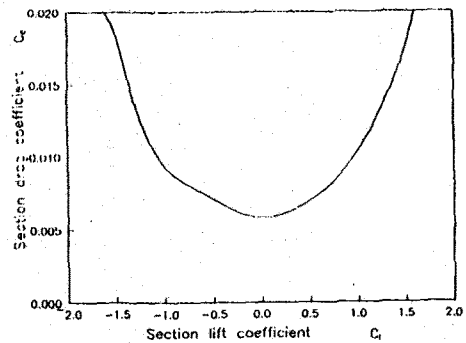
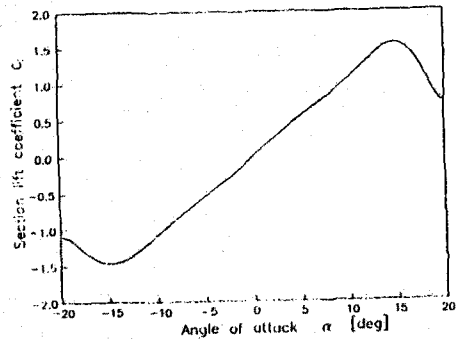


그림4. NACA 0012의 영각과  $C_l$ 과  $C_d$ 와의 관계

이미 날개의 여러단면형상에 대한 양력계수  $C_l$ 과 항력계수  $C_d$ 는 참고문헌 1에 조사되어 있으며, 본 논문은 NACA 0012에 대하여 생각 하였다. 영각에 따른  $C_l$ 과  $C_d$ 의 커브를 그림4에 나타내었다. 영각이  $\pm 13^\circ$  이상 이 되면 양력과 항력의 비가 감소하여 stall 이라는 좋지 못한 운전 상태에 이르게 된다. 영각이  $\pm 13^\circ$  를 넘지 않은 범위에서 운전하려면 속도비( $r\Omega/V$ )가 4이상 되어야 한다. 그림5는 속도비 4에서의 회전각에 따른 영각을 계산하여 나타내었으며, 영각은  $0 \sim \pm 13^\circ$  의 영역 내에 있다.

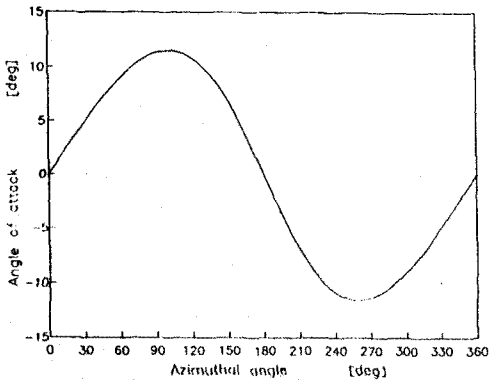


그림5. 속도비 4에서의 회전각에 따른 영각

회전각  $\theta$ 에 따른 순간 토크는 위에서 계산한 영각에 따른  $C_l$ 과  $C_d$ 를 그림4에서 구한후, 식(1)과 (2)를 사용하여 양력  $L$ 과 항력  $D$ 를 구하고, 식(3)을 사용하여 구한다.

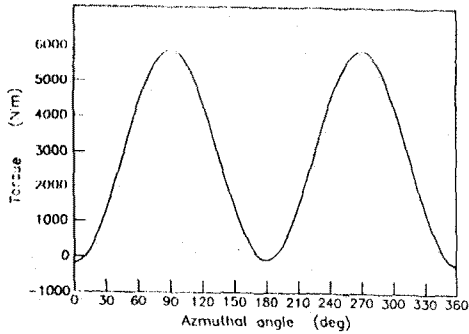


그림6. 10m 다리우스 풍차의 회전각에 따른 토크

그림6은 실제로 날개단면이 NACA 0012이고, 익현이 0.5m이고, 회전면적이 10m x 10m인 straight-blade형 풍차가 8 m/s의 풍속에서 70 rpm으로 회전할때의 회전각에 따른 토크를 계산하였다. 이 그래프는 다리우스풍차의 대표적인 토크 형태임을 보여준다.

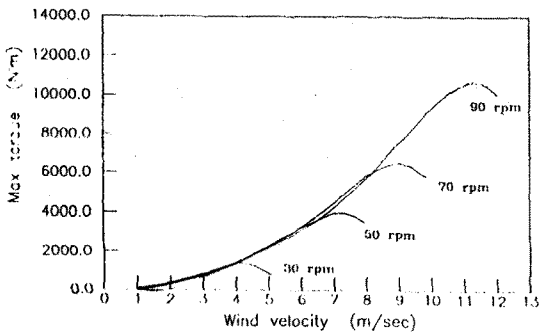


그림7. 10m 다리우스 풍차의 회전속도에 따른 최대 토크와 풍속과의 관계

그림7은 위에 적용된 다리우스풍차의 회전속도에 따른 최대 토크와 풍속과의 관계를 나타내었는데, 각각의 회전속도에 따라 풍속변화에 대한 토크는 일정풍속에서 감소함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서 다리우스풍차의 회전각에 따른 토크 특성을 이론적으로 규명 되었고, 이 연구결과를 바탕으로 본 연구실에서는 실제모형제작 설계에 적용시켜, 시뮬레이션을 추진중에 있으며, 이는 대체에너지 개발에 상당한 기여가 될것으로 기대되는 바이다.

#### 참고 문헌

1. IRA H. ABBOTT & ALBERT E. VON DOENHOFF, "Theory of Wing Sections", DOVER PUBLICATIONS, INC, 1959.
2. D. J. De Renzo, "Wind Power, Recent Development", Noyes Data Corporation, 1979.
3. M. L. ROBINSON, "The Darrieus wind turbine for electrical power generation", Aeronautical Journal, pp244~255, June, 1981.
4. D. M. Eggleston & F. S. Stoddard, "Wind Turbine Engineering Design", Van Nostrand Reinhold Co., N.Y., 1987.
5. Schlichting and Truckenbrodt, "Aerodynamics of the Airplane", McGraw-Hill International Book Co., 1979.
6. 이춘식의, "소형 수평축 풍차 및 풍력발전시스템 개발에 관한 연구", 한전기술연구원, 1990.12.