

# 다리우스 풍력터빈의 부하변동에 따른 속도제어

오철수

경북대학교 공과대학 전자전기공학부

## Speed Control of Darrieus Wind Turbine for Load-variation

Chulsoo Oh

School of Electronic and Electric Eng., Kyungpook N. University

### 요약

다리우스 풍력터빈의 속도설정을 터빈이 만드는 토크와 발전기가 요구하는 토크의 Balance를 통해 찾아낼 수 있음을 검토하였다. 풍속에 따른 속도-토크곡선에서 일정 $v$ 곡선과 일정 $P$ 곡선이 만나는 점이 터빈의 동작점으로 되며 이는 stable 및 instable이 될 수도 있다. 또한 풍속과 출력이 각각 변할 때 이 동작점이 어떻게 이동되는가 하는 점을 제시하였다.

**Abstract** - This paper is dealing with speed control of Darrieus Wind Turbine, which can be figured out from torque equation. The operating point of Darrieus Wind Turbine can be found from speed-torque curve, which is either stable or instable. The transfer of operating point due to variation of wind speed and generating power is shown in this paper.

### 1. 서론

풍력에너지를 전기에너지로 변환하는 장치를 풍력터빈(Wind Turbine)이라 하는데, 터빈의 축이 바람방향에 수직인 수직축 풍력터빈과 터빈의 축이 바람방향과 수평인 수평축 풍력터빈의 두 가지로 대별된다<sup>1)</sup>.

다리우스 터빈은 수직축풍차의 일종으로, 바람에 대한 날개의 양력 및 항력이 전회전각에 걸쳐 날개의 접선방향성분으로 분해된 힘이 만들어지며, 결과적으로 축에 회전력, 즉 토크를 얻는 풍차이다. 이는 수평축 프로펠러형과 형을 달리 하는 것으로 수평축풍차에 소요되는 pitch control, yaw control 등의 장치가 다리우스에서는 요구되지 않고 발전기 장치 등이 지상에 놓이는 장점이 있고 구조적 안정성이 있는 풍차이다<sup>2)</sup>.

다리우스 터빈의 정격속도를 산정하는 것과 속도상승을 얼마나 허용할 것인가 하는 것이 설계상 매우 중요한 과정이고, 이에 따라 구조적 강도, 축의 강도 등이 결정되는 중요한 파라메타이다. 이와 관련된 연구와 부하변동으로 인한 속도특성을 경북 영일만 대보면에 세운 20kW 시험용 풍력발전장치에 기준하여 고찰하여 보도록 하겠다.

## 2. 본론

### 2.1 다리우스 풍력터빈의 토크 기본식

다리우스 풍력터빈의 대표적인 형상이 Troposkien type인데, 이 구조의 장점은 날개가 굽힘하중(Bending Load)을 받지 않고 오직 순수한 인장력(Tension)만을 받게 되는 구조상의 특징이 있다<sup>1)</sup>. 따라서 이 구조가 주로 사용되고 있는데 대보면에 설치된 풍력터빈도 이런 형태로 되어 있고 그 열개가 그림 1과 같다.

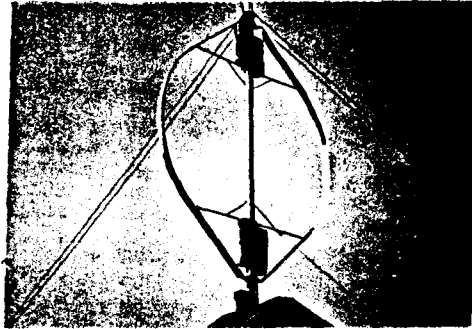


그림 1. 다리우스 풍력터빈의 형태

다리우스 풍력터빈의 출력은 날개를 맞는 회전면적, 풍속 및 출력계수 등에 따라 결정되고 그 식은 다음과 같다<sup>2)</sup>.

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p(\lambda) A v^3 \quad (1)$$

주속비(Tip Speed Ratio)  $\lambda$ 는 (2)식과 같이 정의된다. 출력계수  $C_p(\lambda)$ 는 날개단면에 따라 주속비  $\lambda$ 의 함수로 나타나며 알려진 Table에 의해 그 곡선이 결정된다<sup>2)</sup>.

$$\lambda = \frac{r\Omega}{v} \quad (2)$$

토크 T는  $P = \omega T$  및 (2)식과 (1)식으로부터 다음과 같이 유도된다<sup>2)</sup>.

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{1}{2} \rho A r^3 \frac{C_p(\lambda)}{\lambda^3} \Omega^2 \\
 &= \frac{1}{2} \rho A r^3 C_p'(\lambda) \Omega^2 \\
 &= tkq \cdot C_p'(\lambda) \Omega^2 \quad [kN]
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$tkq = \frac{1}{2} \rho A r^3 = 4.49k \quad \text{at } r=4.6m, A=75m^2, \rho=1.23kg/m^3$$

$$C_p'(\lambda) = \frac{C_p}{\lambda^3} \times 10^3 \tag{4}$$

따라서 주어진 다리우스 터빈의 형상이 결정되면 (3)식의 토크는  $C_p'(\lambda)$ ,  $\Omega$  만으로 결정된다. 이제  $C_p'(\lambda)$ 의 값을 C 프로그램의 array 값으로 주고 주어진 풍속에 따라 그 값을 취하도록 하여 발전기 회전수 n 에 따른 풍속별 토크 및 출력곡선을 나타내면 그림 2와 같다.

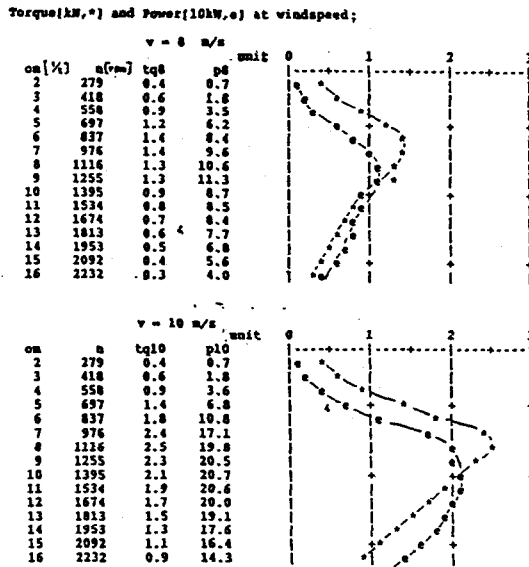


그림 2. 풍속 v = 8, 10 m/s 일때 토크 및 출력곡선

### 2.2 다리우스 풍력터빈의 출력곡선

위 그림에서  $\omega$ 를  $n$ 으로 대치하고  $\omega$ 에 따른 토크곡선을 풍속 6~14m/s로 확대하면 그림 3과 같다. 곡선의 plot은 풍속에 따라 '6' = 6 m/s, '8' = 8 m/s, '10' = 10 m/s, '12' = 12 m/s, '14' = 14 m/s로 그려져 있음에 유의해야 할 것이다. 이 graph에서 풍력터빈의 속도가 결정되는 동작점을 구하기 위해 일정출력 곡선  $P = \omega T = \text{const.}$ , 즉 5, 10, 20, 30, 40kW을 삽입하여 보았다. 발전기에서 일정출력이 만들어진다면 위 일정부하곡선을 따라 터빈은 움직여야 할 것이고 이와 만나는 점에서 터빈의 속도가 결정될 것이다.

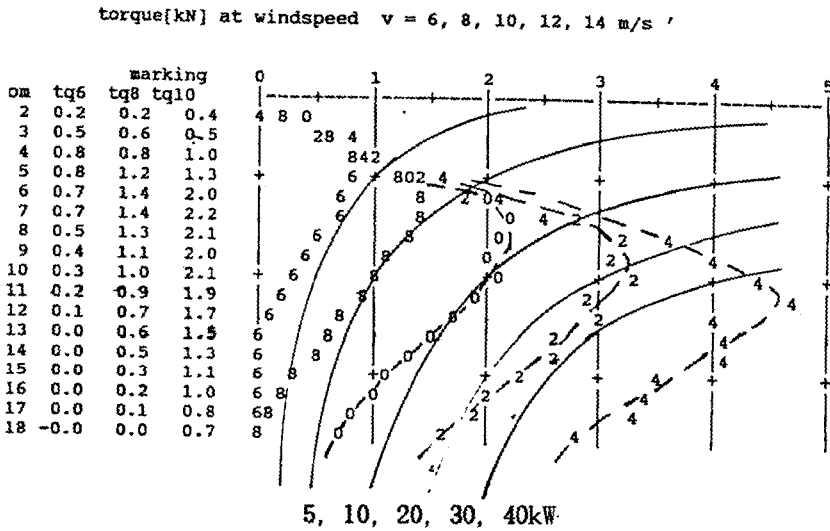


그림 3. 풍속  $v = 6 \sim 14 \text{ m/s}$  일때 변화에 따른 토크곡선

### 2.3 다리우스 풍력터빈의 속도특성

다리우스 풍력터빈의 속도동작점을 알아보기 위해 그림 3의 일부분을 그림 4와 같이 확대하여 도식하였다. 일정 $v$ 곡선과 일정 $P$ 곡선이 만나는 점 A가 터빈속도의 동작점이다. 이 두 곡선이 만나는 점은 A이외에 D도 있으나 D는 instable이고 A는 stable로 볼 수 있다. 풍속이  $v_1$ 으로 고정이고 발전기출력이  $P_2$ 로 증가되었을때 동작점 A는 B로 움직이며 터빈은 감속이 되고 B 또한 stable이다. 이제 풍속이  $v_2$ 로 증가되고 출력이  $P_1$ 로 고정일때 동작점 A는 C로 움직이고 터빈은 가속되고 C 또한 stable이다.

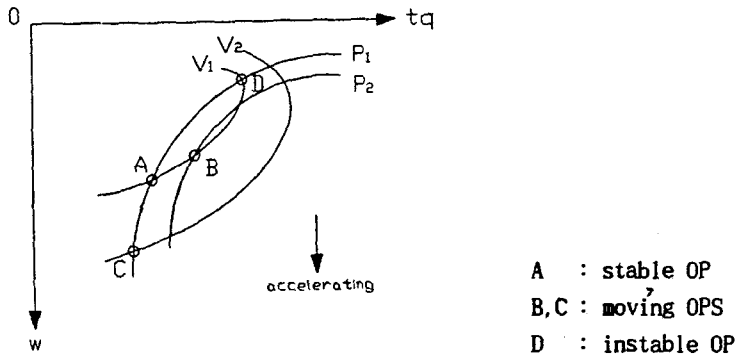


그림 4. 부하변동에 따른 속도변화

#### 2.4 발전기출력의 속도에 따른 변화

앞의 그림 3에서 발전기의 일정출력곡선을 가정하였다. 그러나 현실적으로는 이 곡선이 다소 달라질 것이고<sup>3)</sup> 어떻게 달라지느냐 함을 아래의 세 발전기 유형에 따라 검토함이 요구되는데 그 개요는 다음과 같다.

- 동기발전기 : 발전기 자속포화 참작
- 농형유도발전기 : 속도범위가 적으므로 검토대상에서 제외
- 권선형유도발전기 : Slip Recovery Control 참작

### 3. 결론

다리우스 풍력터빈의 속도가 설정되는 상황을 터빈이 만드는 토크와 발전기가 요구하는 토크의 Balance를 통해 찾아낼 수 있음을 검토하였다. 그림 3의 풍속에 따른 속도-토크곡선에서 일정 $v$ 곡선과 일정 $P$ 곡선이 만나는 점이 터빈의 동작점으로 되며 이는 stable 및 instable이 될 수도 있다. 또한 풍속과 출력이 각각 변할 때 이 동작점이 어떻게 이동되는가 하는 점을 제시하였다.

#### 참고문헌

1. 유능수, 다리우스 풍력터빈의 성능예측에 대한 연구, 한국항공우주학회지, 제 20권 1호, 1992. 3.
2. 오철수, 강창수, 권순홍, 동해안 지역에 적합한 풍력발전시스템에 관한 조사, 전기학회지 41권 10호, pp 3~9, 1992, 10.
3. Raina, G, et. al., Variable Speed Wind Energy Conversion using Synchronous Machine, IEEE Trans. on AES, vol. 21, No.1, Jan, 1985.