

소형수평풍차에서 방향판자중을 리용한 회전면편기식속도 조절기의 작용원리와 기본관계식결정

김래광, 박영철

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《풍력과 조수력, 생물질과 태양에너지에 의한 전력생산을 늘이며 자연에너지의 리용범위를 계속 확대하여야 합니다.》

우리는 방향판자중에 의한 방향타자전식극소형수평 풍차의 속도조절기에 대하여 연구하였다. 극소형수평 풍차에서는 방향타전체의 자중에 의한 경사돌쩌귀식속도조절기가 현재까지도 많이 리용되고있는데 구조상 제한성이 있다.[2, 3] 이러한 제한성으로부터 논문에서는 방향판자중에 의한 회전면편기식속도조절기를 제안하였다.

1. 구조 및 작용원리

풍차는 날개바퀴와 동체, 방향판이 타대에 고정되어있는 방향타, 지지탑으로 이루어진다. 날개바퀴와 동체의 회전축은 탑중심과 L_t 만큼 편기되어 설치되고 방향타대의 축선은 날개바퀴의 회전축선과 수평방향으로 각 γ_0 을 이루며 방향타대의 축주위로 회전할수 있게 풍차동체에 설치되어있다. 회전각은 θ 로 표시한다.(그림 1)

정격풍속이하($V \leq V_{정}$)에서는 방향판에 작용하는 항공력학적힘에 의한 모멘트가 크기때문에 날개바퀴회전면이 바람방향에 수직인 상태를 유지하게 된다. 정격풍속이상($V > V_{정}$)에서 풍차회전면을 탑축주위로 회전시키려는 모멘트가 방향판에 작용하는 항공력학적힘에 의한 모멘트보다 커지므로 풍차회전면이 바람방향에 수직인 평형상태를 벗어나 탑축주위로 γ 만큼 회전한다. 이와 동시에 방향판에 작용하는 항공력학적힘에 의한 타축주위로의 모멘트가 방향판의 중력에 의한 모멘트보다 커지기때문에 방향판은 어떤 일정한 각 θ 만큼 타대의 축선주위로 돌게 된다.

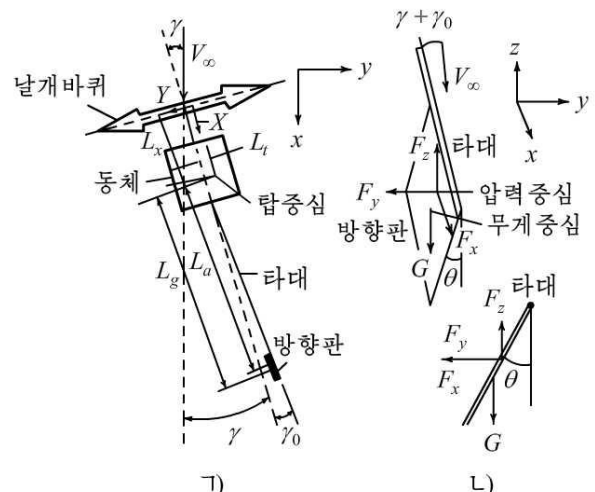


그림 1. 방향판자중을 리용한 회전면편기식 속도조절기의 원리도

T) $V_{\infty} \geq V_{정}$ 인 경우, L) 방향판에 작용하는 힘관계

2. 기본관계식결정

풍차에 작용하는 힘들을 구하면 다음과 같다.

우선 풍차날개바퀴에 작용하는 항공력학적힘은 다음과 같이 결정할수 있다.

$$Y = \bar{y} \pi R^2 \rho \frac{V_\infty^2}{2}, \quad X = \bar{x} \pi R^2 \rho \frac{V_\infty^2}{2} \quad (1)$$

여기서 R 는 풍차날개바퀴의 반경, ρ 는 공기밀도, V_∞ 는 바람속도, Y, X 는 날개바퀴회전면에 작용하는 접선 및 법선방향의 항공력학적힘, \bar{y}, \bar{x} 는 접선 및 법선힘결수들이다. R, ρ, V_∞ 는 상수이며 \bar{y}, \bar{x} 는 바람입사각 γ 에 따라 변하는 량인데 풍동실험을 통하여 결정할수 있다.

다음으로 평판인 방향타판의 압력중심에 작용하는 항공력학적힘은 다음과 같다.

$$F_x = \frac{1}{2} \rho K_u^2 V_\infty^2 S C_x, \quad F_y = \frac{1}{2} \rho K_u^2 V_\infty^2 S C_y, \quad F_z = \frac{1}{2} \rho K_u^2 V_\infty^2 S C_z \quad (2)$$

여기서 F_x, F_y, F_z 는 각각 방향타판의 압력중심에 작용하는 x, y, z 방향의 항공력학적힘 성분들이며 C_x, C_y, C_z 는 항공력학적결수들인데 방향판에 들어오는 바람의 입사각 $\gamma + \gamma_0$ 과 방향판의 자전각 θ 에 따라 변하는 량이다. 그리고 S 는 방향판의 면적이고 K_u 는 바람이 풍차날개를 통과하면서 손실된 바람에네르기와 관계되는 결수로서 실험적으로 $K_u = (1-e)/(1+e)$ (e 는 0.3~0.4)로 취한다.

위의 힘들에서 풍차의 탑중심에 대한 모멘트를 발생시키는 힘들은 X, Y, F_x, F_y 이며 방향타대의 축에 대한 모멘트를 발생시키는 힘들은 F_z 와 방향판의 자중 G 이다.

풍차가 어떤 풍속에서 평형을 유지하자면 탑중심에 대한 날개바퀴와 방향타에 작용하는 힘들에 의한 모멘트들의 합이 령으로 되어야 한다.

탑중심에 대하여 날개바퀴회전면에 작용하는 항공력학적힘에 의한 모멘트는 다음과 같이 표시된다.

$$M_{t,y} = \bar{y} \pi R^2 \frac{\rho V_\infty^2}{2} l_x + \bar{x} \pi R^2 \frac{\rho V_\infty^2}{2} (l_t + a) = [Y l_x + X (l_t + a)] \pi R^2 \frac{\rho V_\infty^2}{2} \quad (3)$$

여기서 l_t 는 날개바퀴회전축과 탑축사이의 편기거리, l_x 는 날개바퀴회전면과 탑축사이의 거리, a 는 날개바퀴회전면의 중심으로부터 항공력학적힘의 작용점까지의 거리이다.

식 (2)에서 탑중심에 대하여 모멘트를 발생시키는 힘은 F_x, F_y 이다.

이 힘들을 방향타대의 축선에 수직인 성분들로 분해하면 다음과 같이 표시된다.

$$P_{tail} = F_y \cos(\gamma + \gamma_0) + F_x \sin(\gamma + \gamma_0) \quad (4)$$

여기서 γ_0 은 방향타대의 축선과 날개바퀴축선사이의 초기설치각, γ 는 바람방향과 편기된 날개바퀴축선사이의 각이다.

탑축중심으로부터 방향판의 항공력학적중심까지의 거리가 L_a 이므로 방향판에 작용하는 항공력학적힘에 의한 탑축주위모멘트는 다음과 같이 표시된다.

$$M_{tail} = P_{tail} L_a = [F_y \cos(\gamma + \gamma_0) + F_x \sin(\gamma + \gamma_0)] L_a \quad (5)$$

따라서 풍차가 일정한 풍속에 대하여 평형을 유지하기 위한 탑축주위모멘트평형식은 다음과 같다.

$$[\bar{Y} l_x + \bar{X} (l_t \pm a)] \pi R^2 \frac{\rho V^2}{2} = [F_y \cos(\gamma + \gamma_0) + F_x \sin(\gamma + \gamma_0)] L_a \quad (6)$$

방향타판이 일정한 각 θ 로 회전한 경우 방향타대의 축선주위로 판의 자중에 의하여 생성되는 복귀력모멘트는 $M_g = GR_g \sin \theta$ (여기서 G, R_g 는 각각 방향판의 자중 및 타대 축선으로부터 판의 무게중심까지의 거리)이다.

이로부터 방향판의 자중에 의한 복귀력모멘트와 방향판에 작용하는 항공력학적힘에 의한 모멘트평형방정식은 다음과 같다.

$$M_g - R_a F_z \sin \theta \pm M_f = [F_y \cos(\gamma + \gamma_0) + F_x \sin(\gamma + \gamma_0)] R_a \cos \theta \quad (7)$$

여기서 R_a 는 방향타대의 축선으로부터 압력중심까지의 거리이며 M_f 는 방향타대의 회전지지부에서의 마찰모멘트이다. 회전지지부에서 굴음베어링을 리용하므로 마찰모멘트를 무시하면 다음식이 얻어진다.

$$GR_g \sin \theta - R_a F_z \sin \theta = [F_y \cos(\gamma + \gamma_0) + F_x \sin(\gamma + \gamma_0)] R_a \cos \theta \quad (8)$$

식 (6)과 (8)을 리용하여 방향판의 자중을 리용한 회전면편기식속도조절기의 합리적인 설계정수들을 결정할수 있다.

3. 계산 및 결과분석

정격풍속 10m/s 에서 출력이 1 000W인 3날개수평풍차에서 방향타자중을 리용하는 속도조절기에 대하여 계산한다.

경험적인 조절요소의 초기자료들은 다음과 같다.

날개회전면으로부터 탑중심까지의 거리: $l_x = 0.108\text{m}$

날개회전축과 탑중심의 편기거리: $l_t = 0.06\text{m}$

탑중심으로부터 방향판의 압력중심까지의 거리: $L_a = 1.45\text{m}$

방향타대의 축선으로부터 방향판의 압력중심까지의 거리: $R_a = 0.3\text{m}$

위의 초기값들을 리용하여 방향판의 면적과 탑축선으로부터 방향판의 압력중심까지의 거리를 변화시키면서 속도조절가능한 초기설치각과 방향판자전각을 결정하고 소요중량모멘트를 구하자.

풍차의 회전면에 작용하는 힘에 대한 결수들은 선행연구[1]의 실험값을 리용한다.

모멘트평형방정식 (6)과 (8)로부터 초기설치각 γ_0 에 대한 방향판의 자전각과 질량변화를 얻을수 있다.(그림 2) 그림 2의 ㄱ)와 ㄴ)는 정격풍속 10m/s 에서 방향판의 면적과 탑축으로부터 방향판의 압력중심까지의 거리를 변화시킬 때 초기설치각에 따르는 방향판의 자전각변화를 보여주었다. 이 관계는 식 (8)로부터 결정된다.

그림 2의 ㄴ)와 ㄷ)는 정격풍속 10m/s 에서 방향판의 면적과 탑축으로부터 방향판의 압력중심까지의 거리를 변화시킬 때 초기설치각에 따라 앞에서 구한 방향판자전각을 보장하기 위한 방향타의 질량을 보여주었다. 그림에서와 같이 방향판의 면적이 작고 탑축으로부터 방향판의 압력중심까지의 거리가 작을수록 평형이 이루어지는 최소초기설치각이 커진다는것을 알수 있다. 또한 방향판의 면적이 크고 탑축으로부터 방향판의 압력중심까지의 거리가 길어지면 같은 초기설치각에서 균형이 이루어지기 위하여 방향판자전각이 더 커야 한다는것을 알수 있다.

방향판면적이 커지고 탑축으로부터 방향판의 압력중심까지의 거리가 커질수록 같은 방향판자전각조건에서 더 많은 모멘트가 발생한다. 따라서 평형이 이루어지기 위하여 위의

량들이 큰 경우는 작은 경우에 비하여 방향판자전각이 커져야 한다는것이다. 그림 2의 γ_0 , ρ)는 이와 같은 방향판자전각을 보장하기 위하여 방향판이 가져야 할 중력모멘트가 더 커야 한다는것을 보여준다.

얻어진 결과들은 설계의 초기단계에서 방향판의 면적과 탑축에서 방향판중심까지의 거리를 결정하는데 리용할수 있다.

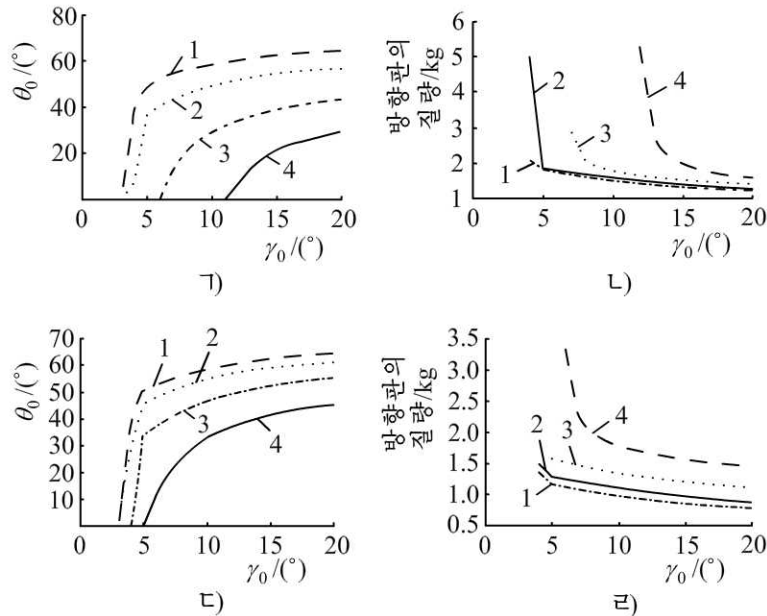


그림 2. 초기설치각 γ_0 에 대한 방향판의 자전각과 질량변화

γ_0 , ρ)에서 1-4는 각각 $S=0.20F$, $S=0.16F$, $S=0.12F$, $S=0.10F$ 인 경우,
 ρ , ρ)에서 1-4는 각각 $L_a=2.1m$, $L_a=1.9m$, $L_a=1.6m$, $L_a=1.3m$ 인 경우

맺는 말

방향판의 면적이 지내 크면 방향판의 초기자전각이 커지고 조절에 리용될수 있는 여유가 작아지며 구조적견지에서도 불합리하므로 방향판면적은 풍차회전면적의 10~12% 범위에서 선택하는것이 합리적이다. 또한 초기설치각은 10° 정도로 설정할수 있다. 탑축으로부터 방향판의 압력중심까지의 거리도 지내 크면 요구되는 방향판자전각이 커져 조절할수 있는 여유가 작아지므로 1.3m로 선택하는것이 합리적이다. 그러므로 그에 대응하는 방향판의 질량은 1.5~2kg범위에서 선택할수 있다.

참고 문헌

- [1] 조원련 등; 풍차의 속도조절, 김일성종합대학출판사, 41~55, 주제94(2005).
- [2] Xu Zhao et al.; Renewable Energy, 146, 1, 2020.
- [3] Oliver Probst et al.; Applied Energy, 87, 2278, 2010.

Decision of Action Principle and the Basic Relationships of Furling System Using Empty Weight of the Traverse Plate in a Small Horizontal Wind Turbine

Kim Thae Gwang, Pak Yong Chol

In this paper, a furling system is proposed using the empty weight of the traverse plate in a small horizontal wind turbine, the mechanical properties and the basic relationships are presented, and the appropriate design parameters of the regulators are determined.

Keyword: small wind turbine