

싸보니우스수직축풍력양수기의 운동특성에 대한 연구

김남철, 홍명남

싸보니우스풍차에서 겹침비, 가로세로비, 프로필형태에 따르는 풍차의 출력특성변화와 피스톤뿔프를 비롯한 여러가지 형태의 뿔프들을 결합하여 양수에 리용하기 위한 연구[1, 2]가 많이 진행되었다.

선행연구[2]에서는 수직풍차의 회전운동을 뿔프의 왕복으로 전환시키기 위한 전동장치로서 치차전동 또는 피대전동과 크랭크장치를 결합하여 실현하였다.

론문에서는 원기둥의 한쪽 면이 경사진 회전체의 경사면과 그것의 회전축과 편심되게 설치한 피스톤대의 운동학적결합으로써 수직풍차의 회전운동을 뿔프의 왕복으로 전환시키기 위한 전동장치를 제안하고 그것의 운동특성을 고찰하였다.

1. 싸보니우스수직풍차의 항공력학적특성

1) 전동장치의 구조도식과 동작원리

제안된 전동장치의 구조도식을 그림 1에 보여주었다.

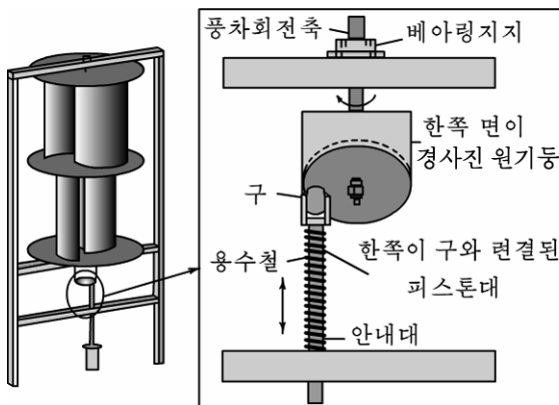


그림 1. 전동장치의 구조도식

그림 1에서 보는바와 같이 싸보니우스 수직풍차는 일정한 겹침을 가진 2개의 반원형날개로 된 S형형태의 두 회전자가 서로 수직이 되게 2단으로 설치되었다. 풍차의 회전축은 한쪽 면이 경사진 원기둥과 강하게 련결되어있으며 풍차의 회전축과 피스톤대는 편심되게 설치되어있다. 피스톤대의 한쪽 끝에 련결된 구는 용수철힘에 의하여 항상 원기둥의 경사면과 점접촉되어있다.

풍차가 회전할 때 회전축과 련결된 경사진 원기둥이 함께 돌아간다. 이때 피스톤대의 한쪽 끝에 설치된 구는 용수철힘에 의하여

원기둥의 경사면과 굴음접촉하면서 경사면우에서 굴러가게 된다. 동시에 피스톤대는 안내대에 의하여 왕복운동하게 된다. 즉 풍차의 회전운동은 피스톤대의 왕복운동으로 전환된다.

2) 싸보니우스수직풍차의 항공력학적특성

1단과 2단으로 된 싸보니우스수직풍차들에서 날개겹침이 항공력학적특성에 주는 영향에 관한 이론 및 실험적연구[1, 2]가 많이 진행되었다.

싸보니우스수직풍차의 출력특성은 다음과 같이 결정된다.

$$P_e = C_P \rho A V^3 / 2 \quad (1)$$

$$M_e = \frac{P_e}{\omega} \quad (2)$$

C_p 는 출력결수로서 끝속도비 $\lambda = \omega R/V$ 뿐만아니라 날개의 겹침비와 단수 및 배치에 관계된다. 2단($L_R/L_r=1.08$)으로 된 싸보니우스수직풍차에서 겹침 $C/D_B=0.36$ 인 경우에 풍차의 출력특성에 대한 실험결과는 그림 2에서 보여주었다.[3]

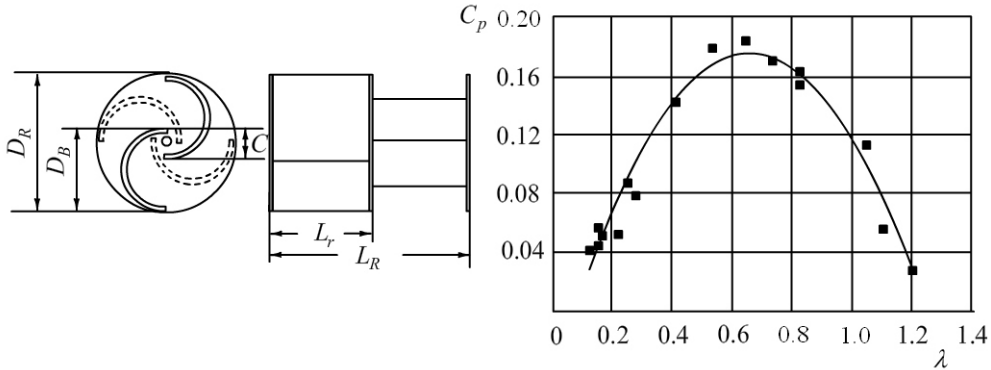


그림 2. 2단으로 된 싸보니우스수직풍차의 출력특성

이 경우에 회전자의 바람맞이면적 $A = L_R \times D_R = L_R \times (2 \times D_B - C)$, 최대출력결수는 끝속도비 $\lambda = 0.8-0.85$ 에서 $C_p=0.18$ 이다.

2. 싸보니우스수직풍력양수기의 피스톤뿔프런결대의 운동특성

풍차가 ω 의 각속도로 회전할 때 피스톤런결대는 한쪽 끝에 련결된 구와 원기둥의 경사면과의 접촉에 의해 왕복운동한다. $t=0$ 인 순간은 피스톤뿔프가 윗멧음점에 있을 때의 순간이다. 피스톤뿔프대의 병진변위 X 와 속도 V_p , 가속도 A_p 는 다음과 같이 표시할수 있다.

$$X_p = d_p \tan \beta (1 - \cos \omega t) \quad (3)$$

$$V_p = \dot{X}_p = d_p \omega \tan \beta \sin \omega t \quad (4)$$

$$A_p = \ddot{X}_p = d_p \omega^2 \tan \beta \cos \omega t \quad (5)$$

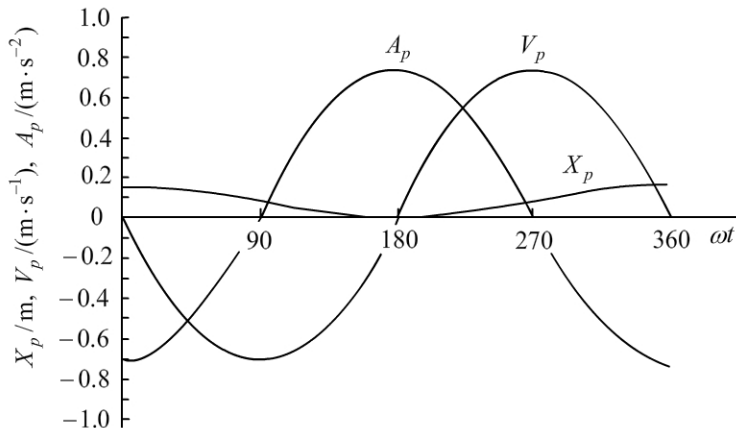


그림 3. 한 회전할 때 피스톤뿔프의 변위, 속도, 가속도의 변화

d_p 는 풍차의 회전축과 피스톤왕복대의 편심거리이다. 그림 3에는 직경 $D_R=0.6$, 끝 속도비 $\lambda=0.8$, 각속도 $\omega=10\text{rad/s}$ 인 싸보니우스수직풍차가 한 회전할 때 피스톤뿔프의 변위, 속도, 가속도의 변화를 보여주었다.

피스톤런결대의 안정성의 측면에서 볼 때 뿔프의 가속도와 중력가속도의 비가 1보다 작아야 한다. 즉 $k=A_{\max}/g<1$ 을 만족시켜야 한다.[4] 그림으로부터 알수 있는바와 같이 $k=A_{\max}/g=7.5/9.8=0.765<1$ 이므로 수직풍차의 작업의 안정성을 담보할수 있다.

3. 피스톤런결대에 작용하는 힘

피스톤런결대에 작용하는 힘들은 기본적으로 물체적에 의한 정적힘 F_{ws} 와 피스톤과 런결대질량에 의한 정적힘 F_{prs} , 피스톤실린더와 바킹사이의 마찰에 의하여 생기는 마찰힘 F_{pf} , 관로에서 물흐름에 의하여 생기는 마찰힘 F_{frw} , 물체적의 관성힘 F_{wa} 와 피스톤런결대의 관성힘 F_{prs} 들이다. 풍차의 회전모멘트를 피스톤대의 한쪽 끝에 련결된 구와 원기둥의 경사면과의 접촉점에 작용하는 힘으로 환산하면 $F_B=M_a/d_p$ 이다. 한편 피스톤실린더와 바킹사이의 마찰힘, 용수철힘 등을 비롯하여 피스톤런결대에 작용하는 힘을 F_p 라고 할 때 풍력양수기가 동작하자면 $\mu F_B \geq F_p$ 이여야 한다. 한편 용수철힘은 피스톤실린더와 바킹사이의 마찰힘과 물체적에 의한 정적힘, 피스톤과 런결대질량에 의한 정적힘들의 합보다 작지 말아야 한다. ($F_s \geq F_p$)

물체적과 피스톤, 런결대질량에 의한 정적힘들은 다음과 같이 표시된다.

$$F_{ws} = \rho_w \cdot g \cdot H \cdot S_h, \quad F_{prs} = g \cdot (M_r + M_p) \quad (6)$$

여기서 ρ_w 는 물의 밀도, g 는 중력가속도, H 는 양정, S_h 는 배출관의 자름면적이며 M_p 와 M_r 는 각각 피스톤과 런결대의 질량이다.

관에서 물흐름에 의한 마찰힘 F_{frw} 는 다음의 식으로 주어진다.[4]

$$F_{frw} = \Delta p(S_p - S_{pr}), \quad \Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 \quad (7)$$

Δp_1 은 관런결부에서 수두손실로서 $\Delta p_1 = Z_1 \rho_w \cdot (V_e^2/2)$ 로 표시할수 있다. $Z_1 = Z_1 + Z_2$ 로서 총수두손실결수이다. Z_1 은 관런결부에서 수두손실결수로서 $Z_1 = K \cdot \left[1 - \left(\frac{D_h}{D_p} \right)^2 \right]^2$ 로 표시할수 있다.[3] 여기서 S_r 는 피스톤런결대의 자름면적, K 는 관벽의 거치름높이, D_p 는 피스톤의 직경, D_h 는 배출관의 직경, Z_2 는 T런결부에서 국부수두손실결수로서 $Z_2 = 20f_t$ 로 표시할수 있다. 여기서 f_t 는 마찰결수이다.

Δp_2 는 관에서의 압력손실로서

$$\Delta p_2 = \left(\frac{F \cdot H}{D_h} \right) \cdot \left(\rho_w \frac{V_e^2}{2} \right)$$

으로 표시할수 있다. 여기서 F 는 흐름마찰결수로서 미끈한 관에서 $F = 0.316/\text{Re}^{1/4}$ ($\text{Re} = V_e D_h / \rho_w$) 로, V_e 는 관에서의 물흐름속도로서 $V_e = Q/(S_p - S_h)$, $Q = \eta_{vp} V_p (S_p - S_r)$ 로

표시할수 있다. 판에서 물흐름에 의한 마찰힘 F_{frw} 의 피스톤런결대에 주는 영향은 피스톤뿔프의 아래행정에서는 무시할수 있다.

물체적의 관성힘과 피스톤런결대의 관성힘은 다음과 같이 표시할수 있다.

$$F_{wa} = \rho_w \cdot H \cdot S_h A_p, \quad F_{pra} = (M_r + M_p) \cdot A_p \quad (8)$$

피스톤실린더와 바킹사이에 작용하는 마찰힘은 다음과 같다.[4]

웃행정에서

$$F_{pf} = \frac{\mu\pi D_p H_c (F_{prs} + F_{pra} + F_{wa} + F_{ws} + F_{frw})}{(A_p - A_{pr})} \quad (9)$$

아래행정에서

$$F_{pf} = \frac{\mu\pi D_p H_c (F_{prs} + F_{pra})}{(A_p - A_{pr})} \quad (10)$$

양수풍차를 기동시키는데 요구되는 힘과 모멘트는 다음과 같이 표시할수 있다.

아래행정에서

$$M = (F_f + F_s - F_g) d_p = (F_f + k(x_0 + d_p \sin \beta \sin \omega t) - F_g) d_p \quad (0 < \omega t < \pi) \quad (11)$$

웃행정에서

$$M = (F_s - F_g - F_f) d_p = (k(x_0 + d_p \sin \beta \sin \omega t) - F_g - F_f) d_p \quad (\pi < \omega t < 2\pi) \quad (12)$$

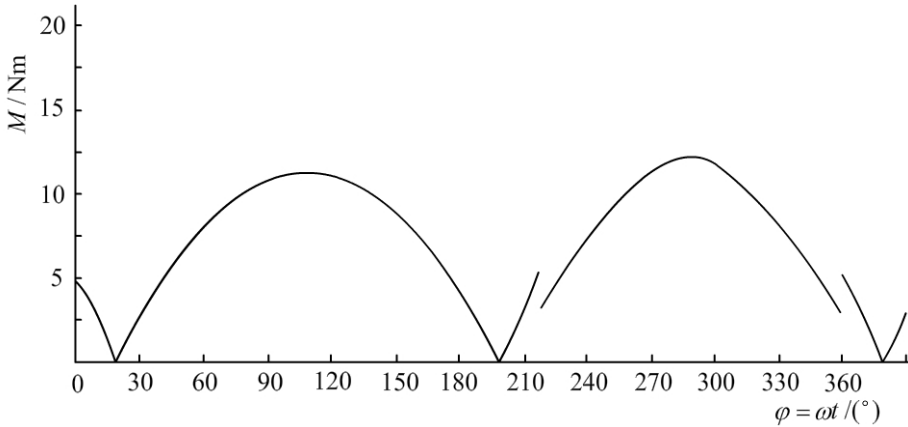


그림 4. 피스톤뿔프의 한주기사이에 요구되는 기동모멘트의 변화특성

직경 $D_R=0.6$, 끝속도비 $\lambda=0.8$, 각속도 $\omega=10\text{rad/s}$ 인 싸보니우스수직풍차의 경우에 피스톤뿔프의 한주기사이에 요구되는 기동모멘트의 변화특성을 그림 4에 주었다.

그림 4에서는 피스톤의 웃행정과 아래행정의 중간위치에서 기동모멘트들은 크게 차이가 없으며 그중에서도 아래행정에서 요구되는 기동모멘트가 12.25Nm 정도로서 웃행정보다 약간 크며 이것은 바람속도 3.0m/s에서 풍차의 항공력학적모멘트에 해당되는 값이다.

맺는 말

원기둥의 한쪽 면이 경사진 회전체의 경사면과 그것의 회전축과 편심되게 설치한 피스톤대의 운동학적결합으로써 싸보니우스수직축풍차의 회전운동을 뿔프의 왕복으로 전환

시키기 위한 전동장치를 제안하고 그것의 운동특성을 평가하였다. 피스톤런결대의 안정성의 측면에서 볼 때 뿔프의 가속도와 중력가속도의 비가 $k = A_{\max} / g = 7.5 / 9.8 = 0.765 < 1$ 이므로 작업의 안정성을 담보할수 있다. 또한 피스톤의 윗행정과 아래행정의 중간위치에서 기동모멘트들은 크게 차이가 없으며 그중에서도 아래행정에서 요구되는 기동모멘트가 12.3Nm 정도로서 윗행정보다 약간 크며 이것은 바람속도 3.0m/s 에서 풍차의 항공력학적 모멘트에 해당되는 값이다.

참 고 문 헌

- [1] R. D. Gandhi.; International Journal of Engineering and Technical Research, 3, 12, 61, 2015.
- [2] V. Prasad.; International Research Journal of Engineering and Technology, 3, 12, 1433, 2016.
- [3] M. Nakajima.; Journal of Fluid Science and Technology, 3, 3, 410, 2008.
- [4] K. Benfarhat.; Rev. energy. Ren., 8, 73, 2005.

주체107(2018)년 3월 10일 원고접수

Study on the Kinematic Behaviours of the Savonius-Type Vertical Axis Wind Pump

Kim Nam Chol, Hong Myong Nam

We suggested a transmission mechanism of the Savonius-type vertical axis wind pump which the upper end of the piston pump rod is kinematically combined with an inclined plane of the lower end of the rotor axis and estimated the kinematic behaviours and the starting characteristic of the wind pump.

Key words: Savonius-type vertical axis wind pump, starting characteristic, piston pump