

## 양수풍차의 기동특성을 개선하기 위한 한가지 방법

김남철, 리화수

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《인민경제의 규모가 커지고 현대적인 과학기술수단들이 경제관리에 널리 리용되고있는 현실은 사회주의경제를 과학적인 방법론에 기초하여 관리운영할것을 요구하고있습니다.》  
(《김정일선집》 증보판 제10권 485페이지)

양수풍차에서는 기동때 풍차가 피스톤련결대와 양정되는 물무게와 실린더에서의 마찰을 극복하는데 충분한 회전모멘트를 내야 하므로 큰 기동모멘트가 요구된다. 이러한 리유로 하여 양수풍차는 큰 기동모멘트와 낮은 회전속도를 가진 여러날개저속풍차를 리용한다. 그러므로 양수풍차의 기동모멘트를 정확히 평가하고 그 특성을 개선하는것은 양수풍차의 성능과 리용률을 높이는데서 중요한 문제로 된다.

선행연구[1]에서는 작은 레이놀즈수에서 큰 마중각에 대한 여러가지 프로필들의 양력과 저항력을 모형화하는 방법을 제기하였으며 선행연구[2]에서는 큰 마중각에 대한 NACA 계열프로필들의 양력과 저항력에 대한 측정결과를 제기하였다.

또한 선행연구[3]에서는 소형풍력타빈의 기동모멘트를 평가하였다.

론문에서는 우선 프로펠라형풍차와 뿔프의 결합상태에서 양수풍차의 기동특성을 평가하였으며 양수풍차의 기동특성을 개선하기 위한 방안을 제키하고 실험을 통하여 타당성을 확증하였다.

### 1. 풍차의 기동모멘트특성평가

양수풍차는 정지상태에서 날개에 작용하는 항공력학적힘들에 의하여 생기는 항공력학적회전모멘트가 피스톤과 련결대무게에 의하여 생기는 정적힘과 피스톤실린더와 바킹사이의 마찰에 의하여 생기는 마찰힘을 비롯한 저항모멘트를 초과할 때에야 기동하게 된다.

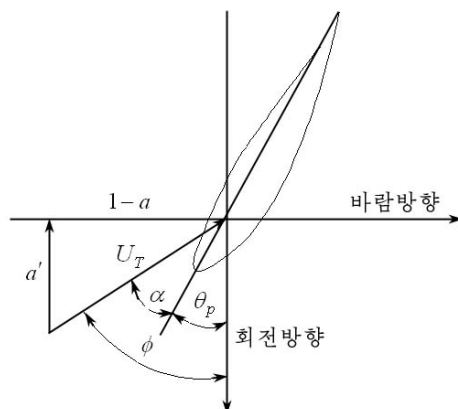


그림 1. 정지상태에서의 속도선도

반경이  $r$  인 날개요소에서의 속도선도는 그림 1과 같다.

정지날개에서 바람방향과 회전방향의 속도감응결수  $a$ ,  $a'$  는 작으므로 바람방향 및 회전방향의 속도들은 감소되지 않는다고 가정할수 있다.

따라서 정지상태에서 날개에는 회전방향속도가 존재하지 않는다고 볼수 있다.

때 날개요소에서 생기는 항공력학적모멘트  $M_a$ 에 대한 식은 다음과 같다.

$$\frac{dM_a}{dr} = \frac{1}{2} N \rho U_T^2 c (C_l \sin \phi - C_d \cos \phi) r \quad (1)$$

여기서  $C_l$ ,  $C_d$ 는 리용된 프로펠의 양력 및 저항계수,  $N$ 은 날개수,  $\rho$ 는 공기밀도,  $U_T$ 는 날개요소에서 바람속도,  $c$ 는 날개현의 길이,  $r$ 는 펌차의 회전축으로부터 날개요소까지의 거리이다.

$a$ ,  $a'$ 가 작다고 하면  $\phi \approx \pi/2$ ,  $\alpha = \pi/2 - \theta_p$ ,  $\sin \alpha \approx \cos \theta_p$ 이다. 즉 양력만이 정지날개에 대하여 회전모멘트를 일으킨다. 여기서  $\alpha$ 는 날개의 마중각,  $\theta_p$ 는 날개의 꼬임각이다.

결국 기동모멘트의 특성값들을 평가하기 위하여서는 프로펠의 양력특성들이 주어져야 한다.

낮은 레이놀즈수대역에서 날개프로펠의 양력계수들을 모형화하기 위한 여러가지 방법들이 제기되었으며 선행연구[1]에 의하면 양력계수들을  $C_l = A \sin 2\alpha$ 와 같이 모형화할수 있다.

한편 가정으로부터  $a$ ,  $a' \ll 1$ 이므로  $U_T \approx (1-a)U \approx U$  ( $U$ 는 바람속도)로 볼수 있다.

따라서 방정식 (1)은  $\frac{dM_a}{dr} = \frac{1}{2} N \rho U^2 c r A \sin 2\alpha = \frac{1}{2} N \rho U^2 c r A \sin 2\theta_p$ 와 같이 된다.

위의 방정식에 대한 적분에 의하여 회전모멘트에 대한 다음의 식을 얻게 된다.

$$M_a = \frac{1}{2} N \rho U^2 \int_{r_h}^R A c r \sin(2\theta_p) dr \quad (2)$$

위의 적분식에서  $r_h$ 는 날개의 항공력학적프로필이 시작되는 자름면의 반경,  $R$ 는 회전자반경이다. 따라서 방정식 (2)를 리용하여 펌차의 기동특성을 평가할수 있다.

## 2. 양수펌차의 기동특성평가

일반적으로 양수펌차의 기동에 영향을 주는 기본힘들은 피스톤과 뿔프런결대무게에 의하여 생기는 정적힘  $F_g$ , 물체적에 의한 정적힘  $F_{ws}$ , 피스톤 실린더와 바킹사이의 마찰에 의하여 생기는 마찰힘  $F_{pf}$ , 배출관과 T관에서 물흐름에 의하여 생기는 마찰힘  $F_{frw}$ , 물체적의 관성힘  $F_{wa}$ 와 뿔프런결대의 관성힘  $F_{pra}$ 들이다.

한편 양수펌차가 기동할 때는 관성힘들과 관로에서의 저항, 물흐름에 의한 마찰힘들을 무시할수 있다. 결국 기동에 영향을 주는 힘들로서는  $F_g$ 와  $F_{pf}$ , 운동쌍들에서의 마찰, 안내장치들에서의 마찰 등을 포함한 마찰힘  $F_f$ , 항공력학적회전모멘트  $M_a$ 라고 가정할수 있다.

양수펌차의 기동모멘트를 평가하기 위한 도식은 그림 2와 같다.

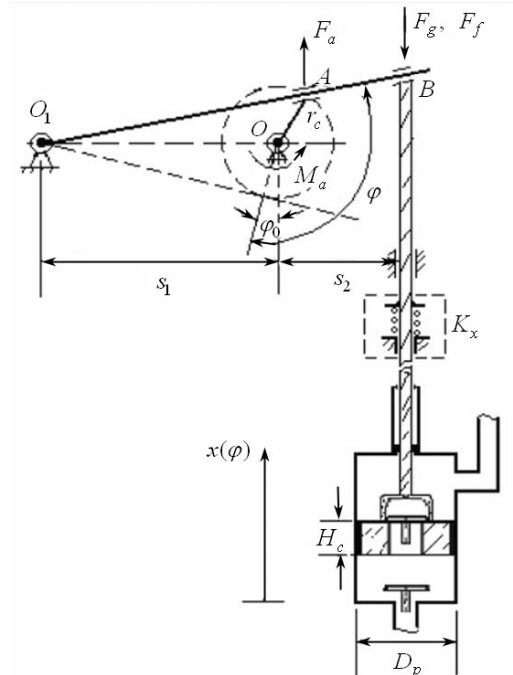


그림 2. 양수펌차의 기본운동도식

그림 2에서  $O$ 는 풍차의 회전축중심,  $O_1$ 은 크랭크지레대의 회전중심,  $r_c$ 는 크랭크팔의 길이,  $s_1, s_2$ 는 각각 크랭크지레대의 회전중심과 풍차의 회전중심까지의 거리와 풍차의 회전중심으로부터 피스톤런결대까지의 거리,  $A, B$ 는 각각 병진회전쌍,  $\varphi_0$  ( $t=0$ )은 피스톤뿔프가 아래밧음점에서의 크랭크팔의 위치각,  $\varphi$ 는 크랭크팔의 회전각이다.

그림 2에서 점선으로 표시한 부분은 용수철을 설치한 경우로서 이에 대하여서는 후에 논의하게 된다.

풍차가 회전할 때 피스톤런결대는 아래우로 병진운동을 하게 되며 결국 피스톤뿔프의 상하운동이 진행되게 된다.

그림 2에서 보는바와 같이 피스톤뿔프는  $(0, \pi+2\varphi_0)$  구간에서 위로,  $(\pi+2\varphi_0, 2\pi)$  구간에서 아래로 운동하게 된다.

양수풍차는 점  $O_1$ 에 대한 풍차날개바퀴의 항공력학적힘에 의한 모멘트가  $B$ 에 작용하는  $F_g$ 와  $F_f$ 에 의한 모멘트보다 클 때 기동하게 된다.

풍차의 항공력학적모멘트  $M_a$ 를 운동쌍  $A$ 에 작용하는 힘  $F_a$ 로 환산할수 있으며 그것의 크기는  $F_a = \frac{M_a}{r_c}$ , 방향은 크랭크팔에 수직이다.

이 힘에 의한 점  $O_1$ 에 대한 모멘트는  $M_1 = F_a \sin \varphi (s_1 + r_c \sin \varphi)$ 와 같이 표시할수 있다. 한편 운동쌍  $B$ 에 작용하는 힘들인  $F_g$ 와  $F_f$ 에 의한 점  $O_1$ 에 대한 모멘트는

$$M_2 = (F_f + F_g)(s_1 + s_2) \quad (\text{웃행정에서}), \quad M_2 = (F_f - F_g)(s_1 + s_2) \quad (\text{아래행정에서}).$$

따라서 양수풍차가 기동하자면  $M_1 > M_2$ 의 조건을 만족시켜야 한다.

웃식에서 피스톤실린더와 바킹사이에 작용하는 마찰힘은  $F_{pf} = \frac{\mu \pi D_p H_c F_g}{A_p - A_{pr}}$ 와 같다. 여기서  $\mu$ 는 마찰계수,  $H_c$ 는 바킹의 높이,  $A_p, A_{pr}$ 는 각각 피스톤실린더와 런결대의 자름면면적이다. 이외에 마찰력  $F_f$ 에는 전동장치의 운동쌍들과 안내장치들에서의 마찰 등이 포함된다.

이때 양수풍차를 기동시키는데 요구되는 모멘트는 다음과 같이 표시할수 있다.

$$M = \frac{(F_g + F_f)(s_1 + s_2)r_c \sin \varphi}{s_1 + r_c \sin \varphi} \quad (\text{웃행정에서}), \quad M = \frac{(F_f - F_g)(s_1 + s_2)r_c \sin \varphi}{s_1 + r_c \sin \varphi} \quad (\text{아래행정에서})$$

양수풍차 《룡남산-풍양-3.0》에 대한 계산 및 측정값들은 그림 3과 같다.

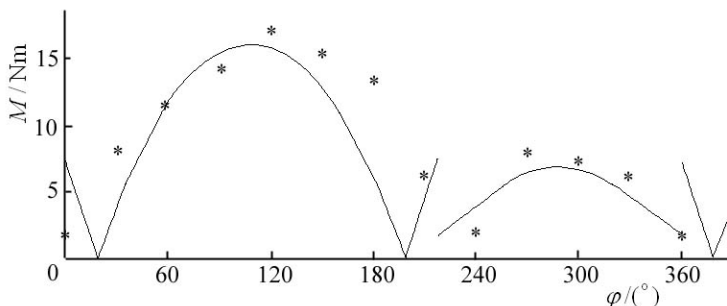


그림 3. 피스톤뿔프의 한주기사이에 요구되는 기동모멘트의 변화특성  
— 계산값, \* 측정값

그림 3에서  $\varphi=0\sim 217.38^\circ$  ( $\varphi_0=18.69^\circ$ )는 피스톤의 윗행정구간,  $\varphi=217.38\sim 360^\circ$ 는 피스톤의 아래행정이다.

그림 3에서 보는바와 같이 피스톤의 윗행정과 아래행정의 중간위치에서 기동모멘트들이 크게 나타난다. 그중에서도 윗행정에서 요구되는 기동모멘트는 16Nm로서 아래행정보다 2배정도 더 크며 이것은 바람속도 4m/s에서 풍차의 항공력학적모멘트에 해당되는 값이다.

우리는 양수풍차의 기동특성을 개선하기 위하여 피스톤련결대에 용수철(그림 2에서 점선으로 표시한 부분)을 설치함으로써 기동모멘트가 가장 큰 윗행정의 중간위치에서의 모멘트를 감소시켰다.

이 경우에 용수철의 복귀힘은 아래행정에서는 저항모멘트로 되지만 윗행정에서는 힘  $F_g$ 와  $F_f$ 의 작용효과를 감소시킨다.

이때 양수풍차를 기동시키는데 요구되는 모멘트는 다음과 같다.

$$M = (F_g + F_f - kx(\varphi)) \frac{(s_1 + s_2)r_c \sin \varphi}{s_1 + r_c \sin \varphi} \quad (\text{윗행정에서})$$

$$M = (F_f - F_g + kx(\varphi)) \frac{(s_1 + s_2)r_c \sin \varphi}{s_1 + r_c \sin \varphi} \quad (\text{아래행정에서})$$

여기서  $x = x_0 - \frac{a_0 \cos \varphi}{s_1 + r_c \sin \varphi}$ ,  $x_0 = \frac{s_1 + s_2}{\sqrt{s_1^2 - r_c^2}}$ ,  $a_0 = (s_1 + s_2)r_c$ 이다.

용수철을 설치한 경우에 양수풍차 《룡남산-풍양-3.0》에 대한 계산 및 측정값들은 그림 4와 같다.

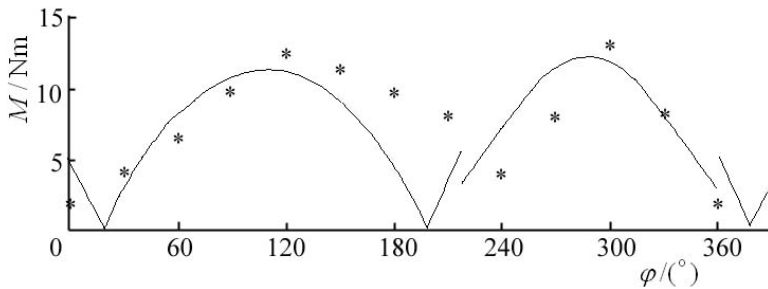


그림 4. 용수철을 설치한 경우 피스톤뽑프의 한주기사이에  
요구되는 기동모멘트의 변화특성  
— 계산값, \* 측정값

그림 4에서 보는바와 같이 용수철을 리용한 경우에 피스톤의 윗행정과 아래행정의 중간위치에서 기동모멘트들은 크게 차이가 없다. 그중에서도 아래행정에서 요구되는 기동모멘트가 12.25Nm 정도로서 윗행정보다 약간 크며 이것은 바람속도 3.5m/s에서 풍차의 항공력학적모멘트에 해당되는 값이다. 즉 양수풍차의 기동바람속도가 4m/s로부터 3.5m/s로 낮아졌다는것을 의미하며 이것은 양수풍차 《룡남산-풍양-3.0》의 현지운영실험을 통하여 확증되었다.

## 맺는말

양수풍차에서 뿔프런결대에 용수철을 설치하지 않은 경우에 뿔프의 윗행정과 아래행정의 중간위치들에서의 기동모멘트가 다른 위치들에 비하여 가장 크게 되며 그가운데서도 윗행정에서의 기동모멘트가 아래행정에서보다 훨씬 크다. 그러나 용수철을 설치한 경우에 뿔프의 윗행정과 아래행정의 중간위치들에서의 기동모멘트가 큰 차이가 없을뿐아니라 용수철을 설치하지 않은 경우의 최대기동모멘트보다 현저히 작아지게 되어 결국 양수풍차의 기동바람속도가 일정한 정도로 작아지게 된다.

양수풍차 《룡남산—풍양—3.0》에 대한 현지실험에 의하면 기동바람속도가 4m/s로부터 3.5m/s로 감소(약 12%)되었다.

## 참고문헌

- [1] Z. J. Wang; Annu. Rev. Fluid. Mech., 37, 183, 2005.
- [2] C. Ostowari et al.; Wind Engineering, 9, 149, 1985.
- [3] D. Wood; Small Wind Turbines, Analysis, Springer, 105~112, 2011.

주체103(2014)년 10월 5일 원고접수

### A Method to Improve the Starting Behaviour of a Wind Pump

*Kim Nam Chol, Ri Hwa Su*

The correct estimation of the starting torque is an important problem for evaluating the performance and effectivity of a wind pump. In this paper we considered the starting torque of a wind pump under the combination condition of the rotor and piston pump. Also we suggested a method to improve the starting behavior and verified the validity of the method by the experiment.

Key words: starting torque, wind pump, piston pump