

풍력양수기의 회전수조절장치의 합리적인 설계정수결정방법

김남철, 리학명

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《선진과학기술을 받아들이기 위한 사업을 적극적으로 벌려야 하겠습니다.

선진과학기술을 받아들이는것은 나라의 과학기술을 빨리 발전시키기 위한 중요한 방도의 하나로 됩니다.》(《김정일선집》 증보판 제15권 499~500페이지)

풍력양수기에서 회전자의 과속회전을 방지하기 위한 회전수조절장치의 설계는 풍차의 안전한 운영을 담보하기 위한 중요한 문제이다. 그러므로 풍차의 회전수조절장치에 대한 연구들이 많이 진행되였다.

높은 바람속도에서 회전자의 회전속도의 제한은 날개수가 많은 저속형소형풍차에서 그것의 축방향힘이 2~3날개풍차에 비하여 크기때문에 매우 중요한 문제의 하나로 된다.

대부분의 소형풍차들에서는 회전자축의 탑중심으로부터의 편심 및 보조타, 날개설치각 변화에 의한 조절방식들이 널리 리용되고있다.[1, 2]

론문에서는 풍력양수기에서 회전자축의 탑중심으로부터의 편심과 보조타를 결합한 회전수조절방법을 제기하고 회전수조절장치의 합리적인 설계정수들을 결정하는 방법을 논의하였다.

1. 회전자축의 탑중심으로부터의 편심과 보조타를 결합한 회전수조절방법

회전자축의 탑중심으로부터의 편심과 보조타를 결합한 회전수조절장치의 도식은 그림 1과 같다.

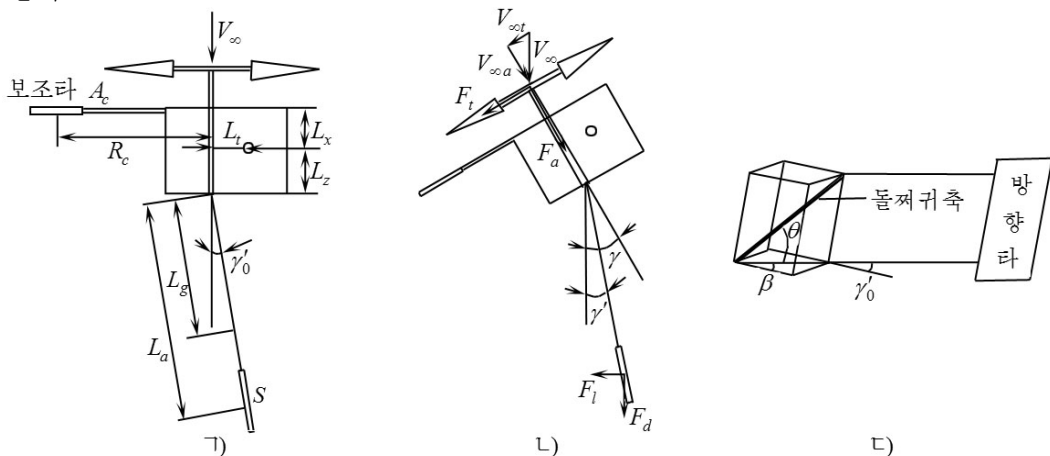


그림 1. 회전면기울임에 의한 회전수제한장치

ㄱ) $V_\infty > V_{\text{정}}$ 인 경우, ㄴ) $V_\infty < V_{\text{정}}$ 인 경우, ㄷ) 돌쩌귀축의 공간경사각

그림 1에서 보는바와 같이 풍차의 회전자축은 탑중심으로부터 거리 L_t 로 편기되어있고 회전자의 뒤쪽에 보조타가 설치되어있다. 방향타의 돌쩌귀축은 공간적으로 경사져있으며 방향타대는 회전자축과 각도 γ'_0 로 경사져있다.

정격바람속도 V_R 이하에서 회전자와 보조타에 작용하는 항공력학적힘들의 탑중심에 대한 모멘트들은 방향타에 작용하는 항공력학적힘들의 모멘트와 평형을 이루므로 회전자축이 바람방향과 일치되게 된다.

한편 방향타돌쩌귀에 관하여 방향타돌쩌귀축의 공간경사로 하여 생기는 방향타자중에 의한 복귀모멘트는 방향타에 작용하는 항공력학적힘들에 의한 모멘트들보다 크므로 회전자축과 방향타대는 일정한 각도 γ'_0 로 유지되게 된다.

정격바람속도이상에서는 탑중심에 대한 회전자와 보조타에 작용하는 항공력학적힘에 의한 모멘트는 방향타에 작용하는 항공력학적힘들에 의한 모멘트들보다 커지면서 회전자가 탑중심주위로 회전하게 되어 회전자축이 바람방향으로부터 리탈되게 된다.

따라서 회전자와 보조타에 작용하는 항공력학적힘들이 감소되어 회전자의 회전수증가가 제한되게 된다.

또한 방향타돌쩌귀회전중심에 대한 방향타자중에 의한 복귀력모멘트와 방향타에 작용하는 항공력학적힘들은 새로운 위치 γ' 에서 서로 평형을 이루게 된다.

회전수조절장치의 설계에서 탑중심으로부터 회전자의 편심거리들인 L_x, L_t , 방향타돌쩌귀축의 경사각 θ, β , 방향타면적 S 와 그것의 대길이 L , 보조타의 면적 A_c 와 그것의 대길이 R_c 등 각이한 파라메터들을 합리적으로 결정하여야 한다.

1) 회전자가 탑중심주위로 선회할 때 회전자에 작용하는 항공력학적힘들
날개요소에 작용하는 항공력학적힘들은 다음과 같이 표시된다.[3]

$$dFa = \rho W^2 (C_l \cos \phi + C_d \sin \phi) NCdrd\eta / 4\pi \quad (1)$$

$$dQ = r \cdot dFt = \rho W^2 (C_l \sin \phi - C_d \cos \phi) NCdrd\eta / 4\pi \quad (2)$$

여기서 η 는 회전자의 회전각, r 는 회전자축으로부터 날개요소까지의 거리, dr 는 날개요소길이, N 은 날개수, W 는 날개요소에서 상대속도, C 는 날개현의 길이, C_l, C_d 는 각각 날개프로필의 양력 및 저항력계수, ϕ 는 날개요소의 국부흐름각, ρ 는 공기밀도이다.

한편 날개요소운동량리론으로부터

$$dFa = 2\rho V_\infty^2 \cos^2 \gamma a_1 (1 - a_1) Frd\eta dr, \quad (3)$$

$$dQ = 2\rho V_\infty \cos \gamma a_2 (1 - a_1) F\Omega r^3 d\eta dr. \quad (4)$$

여기서 V_∞ 는 자유흐름속도, F 는 프란틀의 끝손실계수, Ω 는 회전자의 회전각속도, γ 는 회전자축과 바람방향사이의 각, a_1, a_2 는 각각 바람방향과 회전방향의 속도감응계수들이다.

방정식 (1)–(4)로부터 다음의 식들이 성립된다.

$$a_1 / (1 - a_1) = NC(C_l \cos \phi + C_d \sin \phi) / (8\pi r F \sin^2 \phi) \quad (5)$$

$$a_2 / (1 + a_2) = NC(C_l \sin \phi - C_d \cos \phi) / (8\pi r F \sin \phi \cos \phi) \quad (6)$$

식 (5)와 식 (6)의 오른쪽을 각각 A_0, B_0 이라고 하면

$$a_1 = A_0 / (1 + A_0), \quad a_2 = B_0 / (1 - B_0), \quad F = (2/\pi) \arccos(e^{-f}), \quad f = N(R - r) / 2r \sin \phi.$$

$\gamma > 0$ 일 때 다음과 같다.

$$W = \sqrt{V_\infty^2 \cos^2 \gamma (1-a)^2 + [\Omega r(1+a_2) - V_\infty \sin \gamma \cos \eta]^2}, \quad \phi = \tan^{-1} \left(\frac{V_\infty \cos \gamma (1-a_1)}{\Omega r(1+a_2) - V_\infty \sin \gamma \cos \eta} \right).$$

a_1, a_2 를 구하는 순서는 다음과 같다.

속도감응결수들의 초기값 $a'_1, a'_2 \rightarrow W, \phi \rightarrow R_e, \alpha \rightarrow C_l, C_d \rightarrow F, A_0, B_0 \rightarrow a_1, a_2$ 를 결정하면 식 (1)–(4)로부터 회전자에 작용하는 항공력학적힘들인 F_a, F_t 를 결정할수 있다.

2) 방향타돌쩌귀축에 작용하는 힘모멘트

방향타에 작용하는 항공력학적힘은 근사적으로 다음과 같다.

$$F_{lp} = \rho K_u^2 V_\infty^2 S C_{lp} / 2, \quad F_{dp} = \rho K_u^2 V_\infty^2 S C_{dp} / 2$$

$$C_{lp} = K_p \sin \gamma' \cos^2 \gamma' + \pi \cos \gamma' \sin^2 \gamma', \quad C_{dp} = C_{lp} \tan \gamma', \quad K_p \approx 0.98AR + 0.62$$

여기서 K_u 는 방향타에서의 속도감응결수, C_{lp}, C_{dp} 는 방향타의 양력 및 저항력결수, AR 는 방향타의 가로 및 세로비이다.[2]

방향타돌쩌귀축에 대하여 방향타자중이 일으키는 복귀력모멘트는

$$M_g = GL_g \cos \theta \sin(\beta + \gamma - \gamma').$$

여기서 G 와 L_g 는 방향타대를 포함한 방향타의 무게와 돌쩌귀축으로부터 그것의 무게중심까지의 거리이다.

$V_\infty > V_{\text{정}}$ 일 때 방향타는 돌쩌귀축주위로 회전하며 새로운 각 γ' 에서 복귀력모멘트와 항공력학적힘모멘트는 평형을 이루게 된다. 즉 다음식을 얻을수 있다.

$$M_g \pm M_f = L_a (F_{lp} \cos \gamma' + F_{dp} \sin \gamma') \quad (7)$$

여기서 M_f 은 방향타돌쩌귀에서의 마찰모멘트이다.

방정식 (7)로부터 새로운 평형각 γ' 를 구할수 있다.

2. 회전수조절장치의 합리적인 설계정수결정

V_∞ 가 $V_{\text{정}}$ 보다 커지자마자 장치는 동작을 시작한다.

매 바람속도밀에서 탑중심에 대한 모멘트들은 평형상태에 놓인다.

$$M_0 = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 \pm M_7 = 0 \quad (8)$$

여기서 M_1, M_2 는 회전자의 항공력학적힘모멘트들로서 그 표시는 다음과 같다.

$$M_1 = F_a L_x, \quad M_2 = F_t L_t \quad (9)$$

보조타에 작용하는 항공력학적모멘트는 $M_3 = \frac{1}{2} C_N \rho V^2 A_c R_c$ 와 같다. C_N 은 보조타에 작용하는 항공력학적힘결수이다. M_4, M_5 는 방향타에 작용하는 항공력학적힘이 탑회전중심에 대하여 일으키는 모멘트로서 그것의 합은 다음과 같다.

$$M_4 + M_5 = (F_d \cos \gamma - F_l \sin \gamma) L_t - (F_d \sin \gamma + F_l \cos \gamma) L_z \quad (10)$$

M_6 은 방향타자중의 탑중심에 대한 모멘트로서 다음과 같다.

$$M_6 = -GL_g \cos \theta \sin(\beta + \gamma - \gamma') \sin \theta \cos(\gamma - \gamma') \quad (11)$$

M_7 은 탑중심에 대한 마찰모멘트이다.

식 (9)–(11)들을 식 (8)에 대입하면 다음과 같다.

$$M_0 = F_d L_x + F_l l_t + \frac{1}{2} C_N \rho V^2 A_c R_c + (F_d \cos \gamma - F_\gamma \sin \gamma) L_t - L_z (F_d \sin \gamma \cos \gamma + F_l \cos \gamma) - GL_g \cos \theta \sin(\beta + \gamma - \gamma') \sin \theta \cos(\gamma - \gamma') \pm M_7 = 0$$

이 회전수제한기구에 대하여 $\sum_{\substack{\gamma=0 \\ \Delta=50}}^{75} |M_0| \Rightarrow \min$ 이 되도록 설계정수들을 결정할수 있다.

론문에서 논의되는 풍력양수기인 경우 $L_x = 0.22\text{m}$, $L_t = 0.06\text{m}$, $L_z = 0.18\text{m}$ 일 때의 계산 결과는 다음과 같다.

$$S = 0.7\text{m}^2, \gamma'_0 = 13^\circ, \theta = 80^\circ, \beta = 8^\circ, A_c = 0.34\text{m}^2, R_c = 1.58\text{m}$$

운영실험에 의하면 우에서 결정된 설계정수들을 가진 회전수조절장치는 7m/s의 바람 속도에서 회전수조절이 시작되며 14m/s에서 회전자가 80°까지 접하여 회전자의 과속회전이 방지된다.

맺는 말

날개수가 많은 풍력양수기의 경우에 회전자축의 편심과 측면타를 결합한 조절방식을 이용하면 풍차의 회전수를 원만하게 조절할수 있다.

제안된 방법의 타당성은 풍력양수기에 대한 운영실험을 통하여 확증되었다.

참고 문헌

- [1] D. Wood; Small Wind Turbines, Analysis, Design, and Application, Springer, 146~155, 2011.
- [2] 陈云程; 风力机设计与应用, 上海科学技术出版社, 182~198, 1991.
- [3] 院志坤; 太阳能学报, 9, 4, 352, 1988.

주체104(2015)년 7월 5일 원고접수

Determination Method of the Reasonable Design Parameters of the Speed Control Device in a Wind Pump

Kim Nam Chol, Ri Hak Myong

The prevention of the over-speed of the rotor in high wind speed has particular importance in the multi-bladed small wind turbines with high solidity. In this paper we suggested an approach to the determination of the reasonable design parameters of the speed control device combing with an eccentricity of the rotor axis from the tower centre and auxiliary vane and verified the validity of the suggested method by the operational experiment about the wind pump.

Key word: speed control device