

회전운동유닛 5 자유도 회전정밀도 예측 Estimation of 5 D.O.F rotational accuracy for rotary units

*#황주호¹, 심종엽¹, 박천홍¹

*#J. H. Hwang(jooho@kimm.re.kr)¹, J. Y. Shim¹, C.H. Park¹

¹ 한국기계연구원 초정밀기계시스템 연구실

Key words : Rotational accuracy, transfer function, roundness errors

1. 서론

회전 주축과 회전 테이블로 대표되는 회전 운동유닛은 축을 중심으로 그 둘레를 도는 기계유닛으로 회전운동을 발생하여 정석운동 혹은 회전위치결정을 일으킨다. 원하는 회전 운동을 제외한 원하지 않은 5 자유도의 오차에 해당하는 것이 회전정밀도인데 이는 주축의 경우 공작물의 형상오차 및 표면조도를 저하시켜 주축의 정밀등급의 표준으로 사용되고 있다.

이러한 회전정밀도는 샤프트의 베어링 접촉부의 형상오차, 베어링의 결함, 동력전달 요소 등의 외력의 변화에 따라 달라지게 된다. 설계자는 제작 단계에서, 베어링의 형식 선정, 공차, 구동기구의 영향 등을 경험에 의하여 선정하고 있으나 보다 이론적이고 체계화된 연구가 필요한 실정이다.

이러한 연구와 관련하여 주로 구름베어링에 대한 연구가 주를 이루고 있으며,¹ 회전정밀도의 측면보다는 진동성분에 대한 분석이 주를 이루고 있다. 본 연구에서는 회전 유닛의 운전중 회전정밀도 오차를 검증하는 방법에 대하여 기술하였다.

2. 5 자유도 운동오차 모델

회전유닛의 회전정밀도 모델을 만들기 위하여 fig. 1 에 보이는 바와 같이 n 개의 베

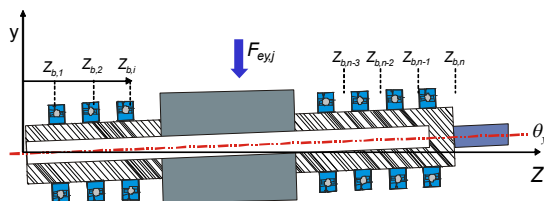


Fig. 1 Geometrical models of spindle

어링 열을 가지고 있을 때 다음과 같은 기하학적 관계를 갖는다.

$$\begin{aligned} \delta_{bxi} &= \delta_{bx1} + (z_{bi} - z_{b1}) \cdot \theta_y \\ \delta_{byi} &= \delta_{by1} + (z_{bi} - z_{b1}) \cdot \theta_x \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \delta_{bzi} &= \delta_z \\ \delta_x &= \delta_{bx1} + (z - z_{b1}) \cdot \theta_y \\ \delta_y &= \delta_{by1} + (z - z_{b1}) \cdot \theta_x \end{aligned} \quad (2)$$

여기에 회전축을 강체로 가정하고 힘의 방정식을 풀면 식(3)와 같이 나타내어 진다.

$$\begin{bmatrix} -\sum_{i=1}^n K_{x,i} & 0 & 0 & 0 & -\sum_{i=1}^n K_{x,i}(z_n - z_{b,i}) \\ 0 & -\sum_{i=1}^n K_{y,i} & 0 & \sum_{i=1}^n K_{y,i}(z_n - z_{b,i}) & 0 \\ 0 & 0 & -\sum_{i=1}^n K_{z,i} & 0 & 0 \\ 0 & \sum_{i=1}^n K_{y,i}(z_n - z_{b,i}) & \sum_{i=1}^n K_{x,i} \cdot y_{b,i} & -\sum_{i=1}^n K_{y,i}(z_n - z_{b,i})^2 & 0 \\ -\sum_{i=1}^n K_{x,i}(z_n - z_{b,i}) & 0 & \sum_{i=1}^n K_{x,i} \cdot x_{b,i} & 0 & -\sum_{i=1}^n K_{x,i}(z_n - z_{b,i})^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{bx1} \\ \delta_{by1} \\ \delta_z \\ \theta_x \\ \theta_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n f_{bx,i} \\ \sum_{i=1}^n f_{by,i} \\ \sum_{i=1}^n f_{bz,i} \\ -\sum_{i=1}^n f_{bx,i}(z_n - z_{b,i}) + \sum_{i=1}^n f_{bz,i} \cdot y_{b,i} \\ \sum_{i=1}^n f_{bx,i}(z_n - z_{b,i}) - \sum_{i=1}^n f_{bz,i} \cdot x_{b,i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^n f_{ax,j} \\ \sum_{j=1}^n f_{ay,j} \\ \sum_{j=1}^n f_{az,j} \\ -\sum_{j=1}^n f_{ax,j} z_{r,j} + \sum_{j=1}^n f_{az,j} y_{r,j} \\ \sum_{j=1}^n f_{ax,j} r_{r,j} - \sum_{j=1}^n f_{az,j} x_{r,j} \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 왼쪽변은 강성 매트릭스를 우측변 첫번째 항은 베어링 면의 형상오차에 의한 반력을 오른쪽 항은 동력기구에 의한 외력에 의한 것으로 모델이 되며, 이것을 각각 풀게 되면 축계의 5 자유도 운동오차를 구하게 되는 것이다.

3. Simulation 적용

지지베어링의 영향에 의한 수식은 다음 식(5)에 의하여 정의된다. 베어링 운동 면의 형상오차의 공간주파수에 따라 용형을 주는 전달함

수에 의하여 베어링 반력에 영향을 주는 정도를 나타낸 것이다.

$$f_e(\theta) = \sum_{k=1}^{\infty} TF(2\pi \cdot k)(a_k \cos 2\pi \cdot k + b_k \sin 2\pi \cdot k) \quad (4)$$

상대운동을 하는 베어링 면을 전달함수로 나타내며 이것은 구름베어링, 유정압베어링과 같이 베어링의 종류에 따라 달라지게 되며 $TF(2\pi k)$ 가 베어링의 형태에 따라 나타내는 특징을 보이게 된다. Fig. 2는 NSK 6204Z 각접촉 볼베어링의 전달함수를 보여주고 있다.

실험의 단순화를 위하여 Fig. 3에 보이는 바와 같이 스프링들에 적용을 한 경우에 대하여 예측을 수행 하였다. 오차는 Fig. 4에 나타낸 바와 같으며, 이를 적용하여 구한 오차는 Fig. 5과 같다.

외부하중에 의한 영향을 살펴보기 위하여 벨트/풀리 방식이 작용한 경우에 대학 적용하중을 식(6)와 같이 가정하였으며 이를 적용하

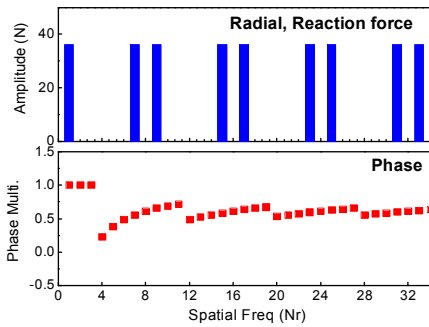


Fig. 2 Influence coefficient of NSK 6204Z bearing

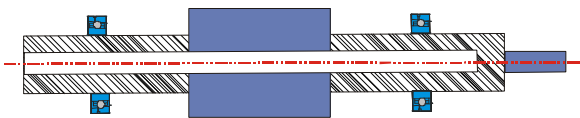


Fig. 3 Application example for the spindle

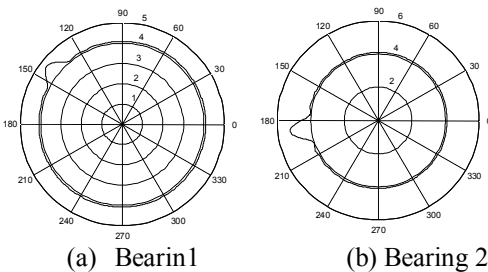


Fig. 4 Profile errors of the shaft

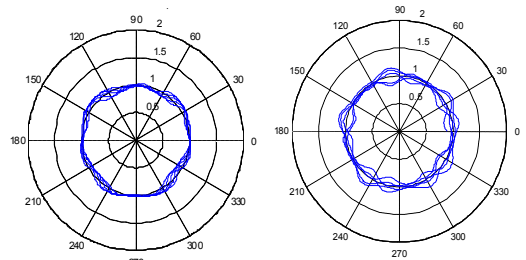
였을 때의 결과를 Fig. 6에 도시하였다.

$$F_{ey} = 24 \cos(\phi) + 2.4 \cos(50\phi) \quad (5)$$

이상으로부터 적용한 방식이 회전정밀도 예측에 유용함을 알 수 있다.

참고문헌

1. Shamoto, E., Park, C.-H., "Analysis and Improvement of Motion Accuracy of Hydrostatic Feed Table," Annals of the CIRP, 59, 285-290, 2001.
2. Jang, G and Jeong, S.-W., " Vibration analysis of a rotating system due to the effect of ball bearing waviness," Journal of sound and vibration, 269, 709-726, 2002



(a) Radial error (b) Axial error

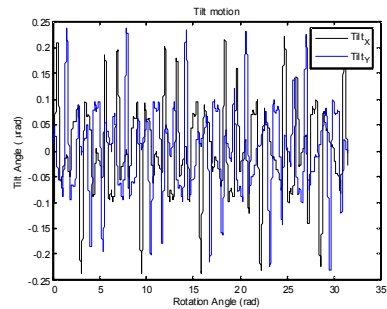


Fig. 5 Rotational errors of a ball bearing spindle

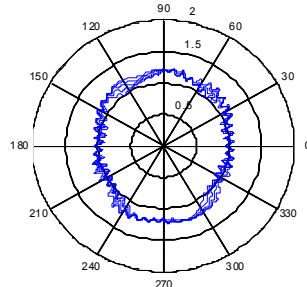


Fig. 6 Rotational errors of a ball bearing spindle driven by belt and pulley system