

# 각접촉 볼베어링의 내륜오차에 의한 회전정도 해석 Rotational Accuracy Simulation for Rotor Systems Due to Geometric Error in Inner Race of Angular Contact Ball Bearings

\*배규현<sup>1</sup>, 황주호<sup>2</sup>, #홍성욱<sup>3</sup>

\* G. H. Bae<sup>1</sup>, J. H. Hwang<sup>2</sup>, #S. W. Hong(swhong@kumoh.ac.kr)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>금오공과대학교 기전공학과, <sup>2</sup>한국기계연구원, <sup>3</sup>금오공과대학교 기계공학부

Key words : Angular contact ball bearing, Inner race, Outer race, Dynamic model, Stiffness

## 1. 서론

각접촉 볼베어링(Angular contact ball bearing)은 고속, 정밀성을 가지며 축방향과 경방향의 복합하중을 지지할 수 있는 장점이 있어 공작기계 스피ndl을 비롯한 다양한 회전체에 사용되고 있다.<sup>[1-2]</sup>

그러나 베어링을 억지끼워맞춤을 하거나 베어링에서 발생하는 열팽창, 그리고 축의 가공오차등이 베어링 특성에 영향을 미치기도 한다. 베어링이 회전정도에 미치는 영향에도 불구하고 베어링에 발생할 수 있는 형상오차에 의한 회전체 회전정도의 분석에 대해서는 연구가 많지 않은 실정이다. 본 논문에서는 각접촉 볼베어링의 내륜 형상오차에 의한 회전체 회전정도를 시뮬레이션하기 위한 방법을 제안하였고 그 사례를 예시하였다.

## 2. 형상오차에 의한 회전오차 모델링

각접촉 볼베어링의 내외륜 형상오차에 의한 가진력을 계산하기 위해서는 베어링 자체의 강성과 구름요소의 회전속도를 결정할 필요가 있다. 본 연구에서는 DeMul의 모델<sup>[2]</sup>을 이용한 베어링 강성 모델을 이용하여 관련 계산을 수행하였다.

내륜에 의한 가진력이 있을 때의 회전체 베어링계의 응답은 다음과 같은 식으로부터 얻을 수 있다.

$$\{q_0\} = \left\{ \begin{array}{l} -\lambda^2 \Omega^2 [M^{s+d}] + j\lambda \Omega^2 [G^{s+d}] \\ + j\lambda \Omega [C^b] + \{[K^s] + [K^b]\} \end{array} \right\}^{-1} \{f_0\}$$

여기서  $\Omega$ 는 회전속도, M, G, C, K는 질량, 자이로, 감쇠, 강성행렬이며, 위첨자 s, b는 회전축요소, 베어링 요소를 나타낸다.

$$\{q\} = \{q_0\} e^{j\lambda \Omega t} = \begin{Bmatrix} y_0 \\ z_0 \end{Bmatrix} e^{j\lambda \Omega t},$$

$$\{f\} = \{f_0\} e^{j\lambda \Omega t} = \begin{Bmatrix} f_y \\ f_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_{ir} \\ -j f_{ir} \end{Bmatrix} e^{j\lambda \Omega t}$$

이때,  $\lambda \Omega$ 는 가진주파수가 되며,  $\lambda$ 의 경우 베어링 볼의 자전 및 공전속도에 의하여 결정된다. 또,  $f_{ir}$ 은 내륜의 가진력이며, 가진력은 인가된 오차의 성분 중 일부의 주기성분이 그 크기를 결정한다. 특히, 구름요소의 개수를 Z라 할 때, 내륜의 형상오차 성분 중  $Z \pm 1$  성분이 진동을 발생시키며, 베어링의 강성에 비례하여 최종적인 가진력의 크기가 결정된다.

## 3. 회전정도 시뮬레이션

본 논문에서 대상으로 고려한 회전체는 Fig.1에 보여지는 스피ndl계이다. 두 쌍의 베어링이 대칭적으로 설치된 상태이다. 베어링 중 하나의 베어링에 형상오차를 가정하였다.

형상오차는 축을 타원형상 오차와 한쪽부분이 정현파형 돌기를 가진 경우를 가정하였다. 이 오차가 그대로 베어링 내륜의 형상오차로 나타난다고 가정하였으며 타원오타의 경우 최대 100 $\mu$ m, 정현파형 돌기의 경우 최대 10 $\mu$ m의 형상오차를 가지는 것으로 가정하였다.

Fig.2는 단위크기의 오차가 있을 때 회전속도의 변화에 따른 응답의 크기를 센서위치별로

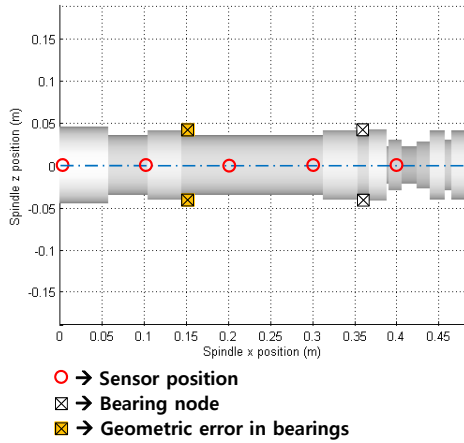


Fig. 1 Test spindle with angular contact ball bearings (7014)

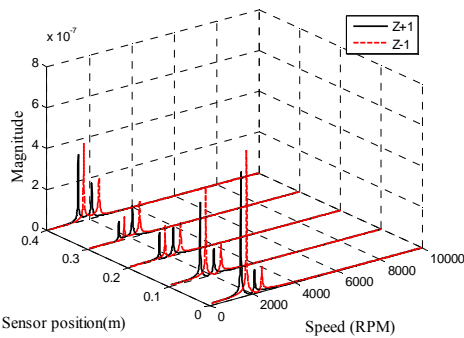


Fig. 2 3-D Response with the rotational speed and the sensor location varied by a unit input

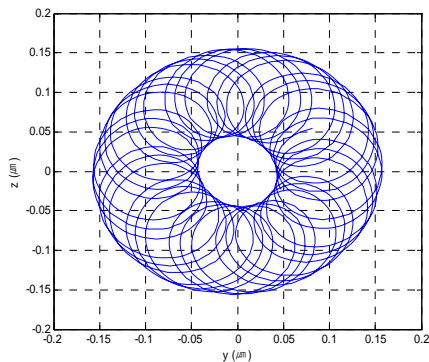


Fig. 3 Whirl orbit at 1460 rpm

구한 그림이며 Fig.3, 4 는 스피들 왼쪽 끝단에 서의 진동을 보여주고 있다. 베어링 가진에 의

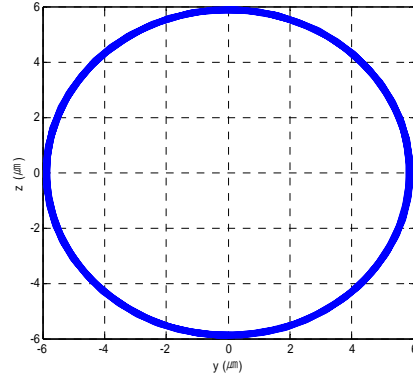


Fig. 4 Whirl orbit at 1460 rpm

한 주파수가 스피들계의 고유진동수와 일치하 는 경우 공진이 일어나 큰 진동이 있게 된다. Fig.3 에서 볼 수 있는 바와 같이 베어링 형상 오차에 의한 진동은 회전속도에 동기되지 않게 된다. 타원에 비하여 돌기의 오차를 가지는 경 우 상대적으로 진폭이 매우 큰 것을 볼 수 있 다.

#### 4. 결론

본 논문은 각접촉 볼베어링의 내륜형상 오 차가 있을 때 회전체의 회전정도를 계산하는 방법을 제시하였고, 그 해석결과를 예시하였다.

타원 오차에 비하여 돌기의 오차가 상대적 으로 큰 진동을 가지는 것을 알 수 있으며, 회 전체의 공진 위치에 있는 경우 회전정도에 큰 영향을 줄 것으로 보인다.

#### 후기

본 연구는 기계장비 정밀도 시뮬레이션 플 랫폼 기술 개발 사업의 연구비 지원에 의해 수 행되었습니다.

#### 참고문헌

1. Harris, T. A., Rolling Bearing Analysis, John Wiley & Sons, New York, 1990
2. Bae, G.H., Hwang, J.H., Hong, S.W., "A study on stiffness modeling for angular contact ball bearings," Proceedings of the 2010 KSPE Spring Conference, Jeju Ramada Hotel, Korea, 2010.