

# 각접촉 볼베어링의 강성 모델링에 관한 연구

## Modeling of stiffness coefficients for angular contact ball bearing

\*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, Stiffness coefficient, Axial preload, Radial load,

### 1. 서론

회전체는 동력을 사용하는 대부분의 분야에서 동력발생 및 전달을 위하여 널리 사용되고 있다. 회전체는 산업의 발전과 함께 고속화와 경량화가 꾸준히 진행되어 왔으며, 특히 고속환경에서의 활용을 위해 그 정밀도 또한 매우 중요한 요소로 취급되고 있다. 회전체를 구성하는 요소 중 베어링은 회전체의 무게와 외부하중을 지지하며 작은 마찰력으로 회전을 유지시켜 회전체의 고속화와 정밀도에 중요한 역할을 한다. 본 논문에서 고려하고 있는 각접촉 볼베어링(Angular contact ball bearing)은 고속, 정밀성을 가지며 축방향과 반경방향의 복합하중을 지지할 수 있는 장점이 있다.<sup>[1-2]</sup>

볼베어링은 회전체의 동적 특성에 크게 영향을 미치므로 정확한 특성을 파악할 필요가 있다. 회전체 동적 모델링에 있어 볼베어링은 축방향 및 반경방향의 강성으로 고려할 수 있으나 설치 및 운전조건에 따른 변화가 크기 때문에 이를 고려한 강성모델이 필요하다. 특히 본 연구에서 고려하고 있는 각접촉 볼베어링은 설치방법, 축에압, 반경방향중조건에 따라 그 특성이 달라진다.<sup>[1-2]</sup>

본 논문에서는 각접촉 볼베어링의 강성을 예측하기 위하여 모델링을 하였고 예압의 변화에 따른 효과를 계산하였으며 그 타당성을 검증하였다. 이를 위해 업체에서 제공하는 데이터와 Harris<sup>[1]</sup>의 식을 통해 얻어진 결과와 비교하였다. 또한 회전속도의 변화에 따른 강성의 변화를 살펴 보았다. 또한 상용의 베어링의 주어진 강성수치와 비교를 통하여 시뮬레이션을 검증하였다.

### 2. 각접촉 볼베어링의 강성 모델링

본 연구에서는 베어링의 강성을 구하기 위하여 DeMul의 모델<sup>[2]</sup>을 이용하였다. DeMul의 모델은 수정된 Harris 모델로 볼과 베어링 내 외륜 사이의 상호작용을 기반으로 식이 구성된다.<sup>[2]</sup> DeMul 모델의 시뮬레이션의 강성 계산결과와 비교를 위하여 Harris 모델로부터 강성을 계산하였다. Harris 모델의 경우 축방향 강성만을 그 대상으로 하였다.

본 논문에서 해석대상으로 NSK사의 70 계열 베어링으로 선택하였다. NSK사에서 제공하는 베어링 강성 데이터<sup>[3]</sup>와 본 연구에서 얻어진 계산결과를 비교함으로써 개발된 모델의 타당성을 검증하였다. 베어링의 볼과 내·외륜간의 접촉각이 15, 25, 30인 베어링을 계산하였으며 대상 베어링의 기본적인 기하학적인 치수정보는 Table 1과 같다.

### 3. 강성 해석결과

Fig. 1은 축에압을 변화시키는 경우의 베어링 축방향강성을 비교해서 보여주고 있다. 축방향강성의 경우 NSK에서 제공하는 데이터와 Harris 모델에서 계산된 결과를 같이 비교하였다. 접촉각이 작은 경우 모든 계산결과가 대체로 비슷한 추세를 보이고 있으나 접촉각이 커지면 DeMul의 식을 이용한 계산결과가 NSK의 결과와 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. Fig. 2에서는 DeMul의 모델을 이용한 반경방향강성과 NSK에서 제공한 결과를 비교하고 있다. 축방향과

마찬가지로 DeMul 모델을 이용한 결과가 NSK 제공 강성 데이터를 잘 예측할 수 있음을 보여주고 있다. 본 논문에서 제시한 7014 베어링 뿐만 아니라 다른 베어링에서도 대체로 유사한 특성을 보이고 있다. 따라서 DeMul의 모델이 베어링 제조업체에서 제공하는 데이터를 잘 묘사할 수 있는 것으로 판단된다.

계산결과로부터 알 수 있는 바와 같이 동일계열의 베어링에서 접촉각의 변화에 따라 강성이 달라지는데, 일반적으로 접촉각이 증가함에 따라 축방향강성(Axial stiffness)이 증가하며, 반경방향강성(Radial stiffness)은 감소하는 것을 알 수 있다.

Table 1 Essential geometry information for bearing (NSK7014)

	Unit		Unit
Inner diameter	70mm	Ball diameter	11.9mm
Outer diameter	110mm	Ball number	20
Pitch diameter	90mm	Contact angle	15/25/30
Curvature percentage : $f_i$	0.5199	Curvature percentage : $f_o$	0.5199

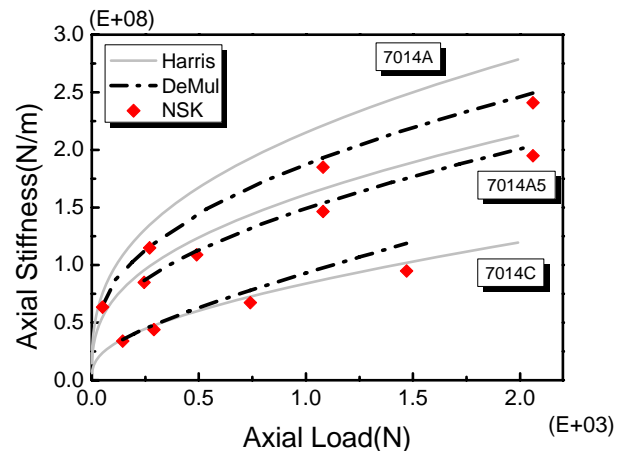


Fig. 1 Axial stiffness of angular contact ball bearing (NSK7010) subjected to axial preload

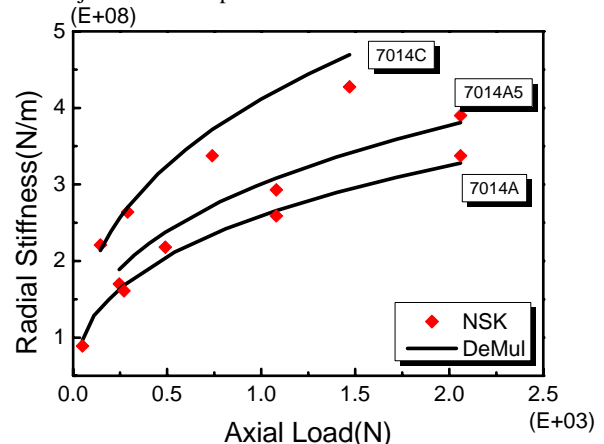


Fig. 2 Radial stiffness of angular contact ball bearing (NSK7010) subjected to axial preload

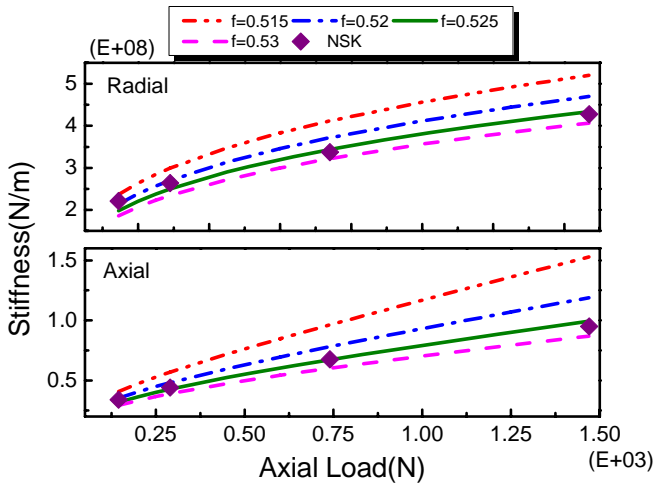


Fig. 3 Change of stiffness coefficients w.r.t. curvature radius change (NSK7014C)

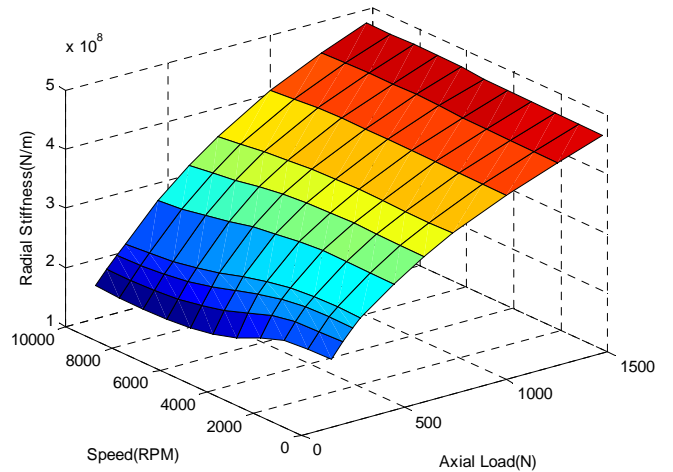


Fig. 5 Radial stiffness of angular contact ball bearing (NSK7014C) subjected to axial preload and rotational speed

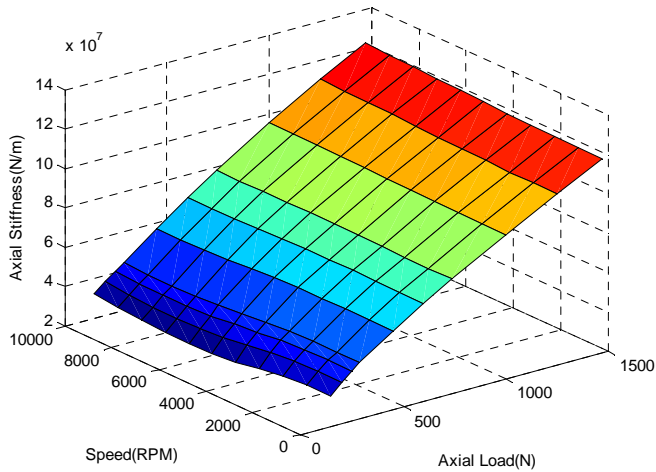


Fig. 4 Axial stiffness of angular contact ball bearing (NSK7014C) subjected to axial preload and rotational speed

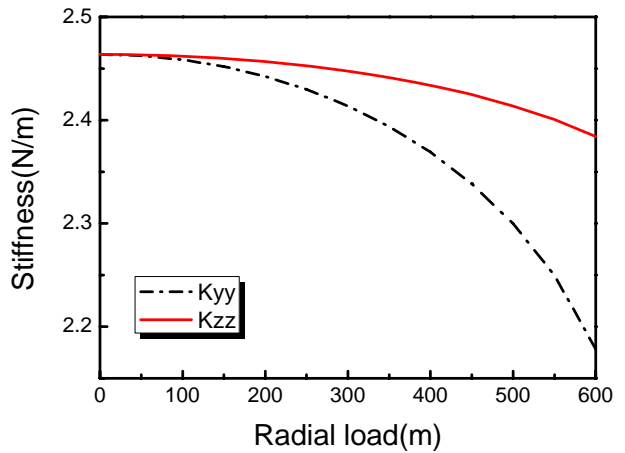


Fig. 6 Radial stiffness of angular contact ball bearing (NSK7014C) subjected to radial load

한편, 베어링의 특성계산에 있어 베어링의 기하학적 정보가 매우 중요한 영향을 미치게 된다. 특히 베어링 내외륜 그루브(Groove)의 곡률이 접촉면에 크게 영향을 미치게 되므로 큰 영향을 미치게 된다. 내외륜 곡률의 변화에 따른 강성의 변화를 Fig. 3 에 도시하였다. 곡률의 변화에 따라 계산된 강성의 차이를 볼 수 있다. 곡률비가 증가함에 따라 강성이 감소하는 것을 알 수 있다. 베어링 내외륜의 곡률 정보는 일반적인 사용자에게는 제공되지 않는 데이터로서 이 정보들을 정확하게 파악하는 것이 계산결과의 정확도에 크게 영향을 미침을 알 수 있다.

Figs. 4 와 5 에는 회전속도에 따른 강성의 변화를 살펴본다. 축예압, 속도 변화 따른 강성을 각각의 축으로 하여 결과를 도시하였다. 속도가 증가함에 따라 강성이 감소하는 것을 알 수 있다. 예압이 증가함에 따라 속도 증가에 따른 강성의 변화가 작아지는 것을 볼 수 있다. 비교적 큰 예압이 가해지는 경우 속도변화에 의한 강성변화가 전체강성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 파악된다.

Fig. 6 에는 반경방향 하중이 인가된 경우의 강성을 보여주고 있다. 축예압은 정위치예압으로 9 $\mu$ m 를 인가하였다. 반경방향 하중이 증가할수록 강성이 감소하는 결과를 얻을 수가 있었다. 특히, 반경방향 하중이 가해지는 y 방향의 강성이 더 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 변화는 회전체의 수직 수평 특성이 달라지는 비등방성 (Anisotropy)을 야기하게 되므로 회전체의 진동양상을 복잡하게 한다.

#### 4. 요약 및 결론

본 논문은 각접촉 볼베어링의 강성을 모델링하고 이를 기초로 강성을 계산하였다. 계산결과의 검증을 위해 제조업체에서 제공하는 데이터와 기존의 계산 공식을 이용한 결과를 비교하였다. 베어링의 곡률변화에 따른 민감도 분석을 통해 내부형상이 결과에 미치는 영향을 분석하였다. 축예압, 회전속도 및 반경방향 하중에 따른 축방향 강성 및 반경방향 강성을 계산하였으며 강성의 추세를 검토하였다. 개발된 베어링 모델은 베어링 특성을 분석하고 회전체를 설계하는 데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 후기

본 연구는 기계장비 정밀도 시뮬레이션 플랫폼 기술 개발 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- Harris, T. A., "Rolling Bearing Analysis," John Wiley & Sons, New York, 1990
- DeMul, J. M., Vree, J. M. and Maas, D. A., "Equilibrium and Associated Load Distribution in Ball and Roller Bearings Loaded in Five Degrees of Freedom While Neglecting Friction-Part I: General Theory and Application to Ball Bearings," ASME Journal of Tribology, Vol. 111, No. 1, pp.142-148, 1989.
- NSK, "Super Precision Bearing Catalog," NSK, 2003