

볼베어링 내부 공기유동의 곡률효과 분석

Analysis of Curvature Effects on Flow Field Inside a Ball Bearing

*오일석¹, #김동주¹, 홍성욱², 김경진³

*I.-S. Oh¹, #D. Kim¹(kdj@kumoh.ac.kr), S.-W. Hong², K. Kim³

¹금오공과대학교 기계공학과, ²금오공과대학교 기전공학과, ³금오공과대학교 기계시스템공학과

Key words : Ball Bearing, CFD Analysis, Airflow, Curvature Effects

1. 서론

볼베어링은 큰 하중을 받으며 고속회전 상태에서 구름요소와 내외륜 사이에 상당한 마찰열이 발생하는데, 이를 적절히 방출하지 못하면 베어링의 온도 상승을 야기할 수 있고 결국은 베어링 수명이나 신뢰성 등에 악영향을 미칠 수 있다[1]. 따라서 베어링의 온도를 예측하는 것은 중요하다. 베어링에서 발생하는 마찰열은 축과 하우징으로의 열전도나 공기 및 윤활유 유동에 기인한 대류열 전달 등의 여러 경로로 방출된다. 이러한 열방출 과정을 해석하기 위한 여러 시도가 있었으나 대부분은 실험식에 의존하여 왔다[2,3].

본 연구에서는 베어링 내의 대류열전달 효과를 분석하기 위한 기초연구로서 내부 공기유동에 대한 CFD 해석을 수행하였다. 특히 현재까지 내외륜 곡률이 유동장 형성에 어떠한 영향을 주는지에 대한 연구는 수행된 적이 없었다. 이에 본 연구에서는 베어링 내외륜 곡률이 볼베어링 내부의 유동장에 미치는 영향을 전산해석을 통해 분석하였다.

2. 수치해석 방법

볼 베어링의 내부 형상은 내외륜과 구름요소, 그리고 케이지 등으로 이루어지지만 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 케이지를 제외하여 단순화한 모델을 고려하였다. 또한, 구름요소의 공전운동을 유도하기 위해 존재하는 내외륜의 축방향 곡률은 고려하지 않았다. 본 연구에서는 호칭번호 7008 각접촉 볼베어링(angular contact ball bearing)을 대상으로 하였다. 내부레이스 직경(d_i)과 외부레이스 직경(d_o)은 각각 46.332, 61.668 mm이며 폭은 15 mm이다. 구름요소의 직경(D)은 7.938 mm이며, 구름요소의 개수(Z)는 17개이다.

구름요소가 베어링 내부공간에 대해 주기적으로 배치되기에 해석대상 영역을 구름요소 한 개,

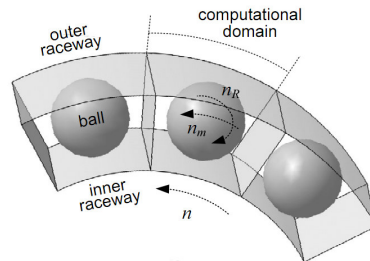


Fig. 1 Simplified geometry and computational domain for flow simulations inside the ball bearing

즉 $360^\circ/Z$ 각도에 해당하는 공간으로 제한하였다. 내륜은 축 회전속도 n ($n = 10,000$ rpm)으로 회전하며, 외륜은 정지되어 있다. 한편, 구름요소는 자전운동과 공전운동을 동시에 하며, 공전속도(n_m) 및 자전속도(n_R)는 각각 다음과 같다.

$$n_m = n(1 - \gamma)/2, \quad n_R = n(1 - \gamma^2)/2\gamma$$

여기서, γ 는 D/d_m 이며, d_m 은 $(d_i + d_o)/2$ 이다.

한편, 유동장에 대한 곡률 효과를 분석하기 위해 구름요소가 축의 회전에 따라 공전하는 대신 직선운동을 하는 경우에 대해서도 해석을 수행하였다. 이때, 구름요소의 직선운동 속도는 공전하는 선속도와 동일하며, 내륜 및 외륜에 해당하는 평면 벽의 길이는 베어링의 내외륜 원주 길이의 평균값으로 같다고 가정하였다. 기타 언급하지 않은 형상 및 경계조건 등은 공전하는 경우와 가급적 동일하게 정의하였다. 참고로 구름요소가 직선운동을 하는 경우는 곡률 반경이 무한대에 해당한다.

해석을 위해 본 연구에서는 상용 CFD 패키지인 FLUENT를 이용하였고, 3차원 비압축성 유동을 고려하였다. 고속회전임을 고려하여 난류유동을 가정하고, k- ϵ 난류모델을 사용하였다. 기타 자세한 수치해석 방법은 참고문헌[4]에 나타나 있다.

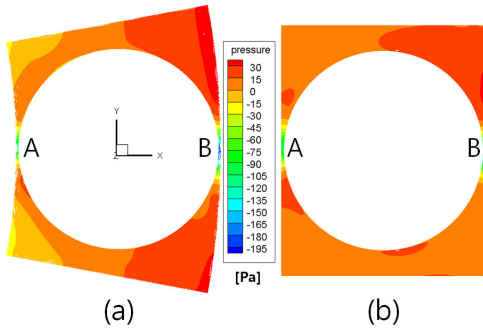


Fig. 2 Contours of static pressure on $z=0$ plane:
(a) $d_m = 54.0\text{ mm}$; (b) $d_m = \infty$

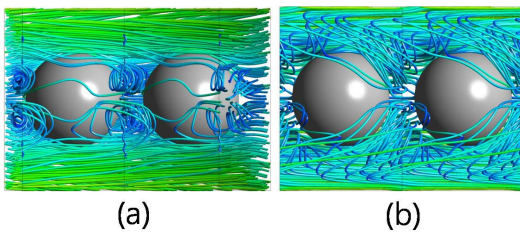


Fig. 3 Streamline patterns viewed from the spindle axis:
(a) $d_m = 54.0\text{ mm}$; (b) $d_m = \infty$

3. 해석결과

Fig. 2는 $z = 0$ 단면에서의 압력분포를 대기압에 대한 상대압력으로 나타낸 것이다. 내외륜의 곡률에 상관없이 내륜 및 외륜과 구름요소의 접촉점인 A와 B 근처에서 압력이 급격히 감소한다. 하지만, 곡률이 있는 경우(Fig. 2a)에 외륜 쪽 B 근처의 압력이 내륜 쪽 A 근처보다 더 낮지만, 곡률이 없는 경우(Fig. 2b)에는 A와 B 근처의 압력이 매우 유사하다. 또한, 베어링 내부 공간에 전체적으로 존재하는 압력구배가 곡률이 없는 직선 운동의 경우에는 상대적으로 감소한다.

Fig. 3은 베어링의 축 중심에서 바라본 3차원 유선을 나타낸 것으로 구름요소는 우측에서 좌측으로 움직인다. 곡률이 있는 경우(Fig. 3a), 두 구름요소 사이 공간에서 작은 와류 쌍(vortex pair)을 관찰할 수 있다. 한편, 곡률이 없는 경우(Fig. 3b)에는 와류 쌍의 크기가 상대적으로 크고, 특히 내륜 벽면에 전체적으로 넓게 분포하고 있다.

한편, 베어링의 측면($z = \pm 7.5\text{ mm}$) 경계에서 발생하는 공기의 유입 및 유출의 특징 또한 곡률에 따라 달라진다. 곡률이 있는 경우에는 공기가 주로

내륜 쪽에서 유입되어 베어링 내부에 체류하다가 최종적으로 외륜 쪽으로 유출된다. 반면, 곡률이 없는 경우에는 공기의 유입 및 유출 패턴이 보다 복잡해져 공기의 유출이 외륜 쪽뿐만 아니라 내륜 쪽에서도 발생한다. 또한, 곡률이 있는 경우, 공기 유입량 및 유출량은 곡률이 없는 경우에 비해 약 3배 증가한다.

4. 결론

본 연구에서는 고속으로 회전하는 볼베어링에서 내외륜의 곡률에 따른 공기 유동의 특성 변화를 이해하기 위해 전산해석을 수행하였다. 이를 위해 구름요소가 공전하는 경우뿐만 아니라 직선운동을 하는 경우를 함께 해석하여 속도장, 압력장 및 3차원 유선 등을 비교 분석하였다. 해석결과 곡률은 내륜과 외륜의 상대적인 압력 차이를 증가시키는 경향이 있었다. 또한, 곡률의 존재는 베어링 내부 공간에서 발생하는 3차원 보텍스 구조와 측면 경계에서 발생하는 공기의 유출입 특성을 변화시켰다. 하지만, 내외륜 및 구름요소의 접촉점 근처에서 발견되는 저압 영역의 존재, 구름요소 사이에서 발견되는 3차원 와류 쌍의 발생 등은 곡률의 유무에 상관없이 관찰되었다.

후기

본 연구는 지식경제부에서 지원하는 “기계정밀도 시뮬레이션 플랫폼 기술개발”사업의 과제로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Stolarski, T. A., “Tribology in Machine Design,” Butterworth-Heinemann, 1990.
2. Harris, T. A., “Rolling Bearing Analysis,” 4th Edition, John Wiley & Sons, 2001.
3. Bossmanns, B. and Tu, J. F., “A Thermal Model for High Speed Motorized Spindles,” International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 39, No. 9, pp. 1345-1366, 1999.
4. Kim, D., Oh, I.-S., Hong, S.-W., and Kim, K., “A Computational Investigation of Airflow Structures Inside a Ball Bearing at High-Speed Rotation,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 28, No. 6, pp. 745-750, 2011.