

케이지를 고려한 볼 베어링내 공기유동 해석 Simulation of Airflow Inside a Ball Bearing with Cage

*김동주¹, 오일석¹, #홍성욱², 배규현², 김경진³

*D. Kim¹, I.-S. Oh¹, #S.-W. Hong(swhong@kumoh.ac.kr)², K. H. Bae², K. Kim³

¹금오공과대학교 기계공학과, ²금오공과대학교 기전공학과, ³금오공과대학교 기계시스템공학과

Key words : Ball Bearing, Cage, CFD Analysis, Airflow

1. 서론

볼베어링은 큰 하중을 받거나 고속회전 상태에서 구름요소와 내외륧 사이에 많은 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 예측하여 그 온도가 적절한 범위 내에 유지되도록 함이 중요하다.

베어링에서 발생하는 마찰열은 내외륧을 통한 축과 하우징으로의 열전도나 공기 및 윤활유 유동에 기인한 대류열전달 등의 여러 경로로 방출된다. 이러한 열방출 과정을 해석하기 위한 여러 시도가 있었으나 대부분은 실험식에 의존하여 왔다[2,3]. 특히, 공기유동에 의한 대류열전달 계산은 경험식을 이용한 단순한 해석에 의존해오고 있다.

국내외적으로 베어링 내부의 공기유동 및 대류열전달에 관한 심층적인 연구가 진행된 바가 없었으나, 최근 들어 본 연구자들은 베어링 내 구름요소와 내외륧 사이의 공기유동 특성을 전산유체역학적 해석기법을 이용하여 연구를 진행한 바 있다[4]. 하지만, 이전의 연구에서는 베어링 내부를 단순화한 모델에서 케이지를 고려하지 않았기에, 본 논문에서는 케이지를 고려하여 실제에 좀 더 가까운 모델에 대해 연구를 수행한다.

2. 수치해석 방법

볼 베어링 내부의 형상은 내외륧과 구름요소, 그리고 구름요소의 간격을 유지시키기 위한 케이지 등으로 이루어진다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 구름요소를 중심으로 내외륧 및 케이지를 포함한 모델을 고려하였다. 단, 구름요소의 공전운동을 유도하기 위해 존재하는 내외륧의 축방향 곡률은 고려하지 않았다.

본 논문에서는 각접촉 볼베어링(angular contact ball bearing)인 호칭번호 7218 베어링을 대상으로 하였다. 내부레이스 직경(d_i)과 외부레이스 직경(d_o)은 각각 102.79, 147.73 mm이며 폭은 33.71 mm이다. 구름요소의 직경(D)은 22.23 mm이며, 구름요소의 개수(Z)는 16개이다.

구름요소가 베어링 내부공간에 대해 주기적으로 배치된다는 점을 이용하여 해석대상 영역을 구름요소 한 개, 즉 $360^\circ/Z$ 각도에 해당하는 공간으로 제한하였다. 내륧은 축 회전속도 $n(= 5,000 \sim 20,000 \text{ rpm})$ 으로 회전하며, 외륧은 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, 피치직경 d_m 은 $(d_i + d_o)/2$ 로 정의된다.

본 연구에서는 상용 CFD 해석 프로그램인 FLUENT를 이용하였으며, 3차원 비압축성 정상상태 유동을 고려하였다. 고속회전임을 고려하여 난류유동을 가정하였고, k- ϵ 난류모델을 사용하였다. 기타 자세한 수치해석 방법은 참고문헌[4]에 나타나 있다.

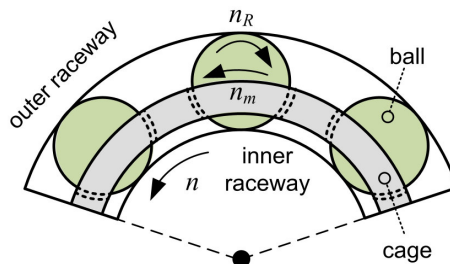


Fig. 1 Schematic of simplified bearing geometry.

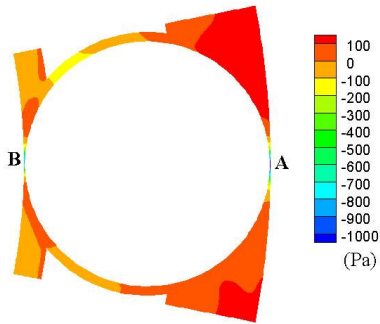


Fig. 2 Contours of pressure on the $z = 0$ plane.

3. 해석 결과

Fig. 2는 $n = 10,000$ rpm일 때 $z = 0$ 단면에서의 압력분포를 대기압에 대한 상대압력으로 나타낸 그림이다. 전체적으로 외륜 쪽의 압력이 내륜 쪽보다 상대적으로 높고, 외륜 및 내륜과 구름요소의 접촉점인 A와 B 근처에서 압력이 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 특징은 케이지를 고려하지 않은 모델에서 관찰된 해석결과와 정성적으로 유사하다. 한편, $z = 0$ 단면에서 멀어질수록 공기의 압력은 대기압에 가까워진다.

구름요소 주위의 유동 구조를 이해하기 위해 Fig. 3과 같이 볼의 공전방향에 수직인 $y = 0$ 단면에서의 유선을 살펴보았다. 그림에서 볼과 케이지에 해당하는 고체 영역은 흰색으로 표시되어 있고, 유체 영역의 색상은 z 방향 속도성분을 나타낸다. 우선 공기가 베어링 안쪽으로 유입되는 위치를 살펴보면, 전체적으로 내륜 쪽에서 유입되어 외륜 쪽으로 나가는 것을 알 수 있다. 특히, 케이지와 내륜 사이에서 유입된 공기는 케이지와 볼 사이 공간을 통해 볼 표면 근처로 이동한다. 따라서 윤활 및 냉각을 위한 오일 미스트(oil mist)를 케이지와 내륜 사이의 공간으로 분사하는 것이 좋을 것이라 판단된다. 한편, 케이지와 외륜 사이 공간에서는 케이지에 가까운 쪽에서는 공기가 유입되지만 외륜 쪽에서는 유출되며, 이러한 공기 흐름에 따라 V_1 과 같이 회전하는 유동 패턴이 형성된다.

4. 결론

본 논문에서는 고속으로 회전하는 베어링 내부의 공기 유동에 대해 수치해석을 수행하였으며, 실제 베어링에 가깝도록 케이지를 고려한 모델의

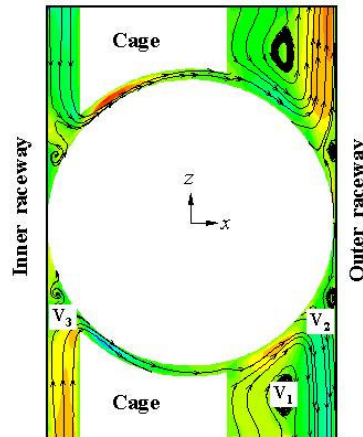


Fig. 3 Streamlines and velocity(u_z) contours on the $y = 0$ plane.

연구대상으로 하였다. 해석결과 외륜 쪽의 압력이 내륜 쪽에 비해 높았고, 이는 케이지를 고려하지 않은 해석결과와 정성적으로 유사하였다. 한편, 속도 분포를 분석한 결과 베어링으로 유입되는 공기는 내륜 쪽에서 발견되는 것을 알 수 있었다. 특히, 내륜과 케이지 사이의 공간으로 유입된 공기는 볼 주변으로 흘러 들어가므로 오일 미스트를 분사하기에 좋은 위치로 판단된다.

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 (accepted), 2011.