

가변 급기공 저널 베어링의 운전특성에 관한 실험

*노병후, 진기종, 김대곤
(주)알피엠텍 부설연구소

The Experiment on Operational Characteristics of Air Journal Bearings with Different Supply Holes

*B. H. Rho, K. J. Jin and D. G. Kim
R&D Center, RPMTECH Co. Ltd.

Key words : Air Journal Bearings, Different Supply Holes

1. 서론

최근 산업의 발달과 더불어 각종기기 장치의 다기능화, 소형화, 집적화로 회전기계의 효율이 증대되고 있으며, 고속 스핀들에 대한 필요성이 점차 커지고 있다. 공기 베어링은 볼 베어링이나 기름 베어링에 비하여 마찰에 의한 열 발생이 적으며, 환경적인 제약이 적어 방사능 환경에서도 사용이 가능하고, 표면 요철이나 형상 오차를 어느 정도 허용하며 운전 정밀도가 우수하기 때문에 정밀 공작기계 및 치과용 드릴 등 다양한 종류의 회전기계에서 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 공기베어링은 “휠 불안정성”이라 부르는 불안정 현상이 발생하며, 이것의 발생 시점이 축 베어링 시스템의 고속 한계로 되어 있다. 또한 베어링과 관련된 진동문제가 고속 회전 기계에서 빈번히 발생 하고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위한 다각적인 방법이 제안되고 연구되었다.

외부 가압 공기 저널 베어링의 안정화를 위한 여러 가지 연구가 수행 되었으며 다이어프램 또는 오링 등의 점탄성 지지 베어링, 안정화 케버티 기법, 로브 베어링, 슬롯 베어링, 능동제어 베어링 등과 같은 방법들이 제시되었다.[1-6] 이러한 베어링들은 종래의 진원형 외부 가압 공기 베어링에 비하여 보다 효율적이며 고속안정성이 우수한 장점이 있으나, 다이어프램 또는 오링 지지 베어링의 경우 재질뿐 아니라 형상에도 영향을 받아 최대 안정영역을 갖는 시스템을 구현하기 어려우며, 탄성 변형에 의하여 로터의 위치 정밀도를 신뢰하기 어렵다. 안정화 케버티 베어링은 케버티로 인해 베어링의 부하 지지능과 강성이 줄어드는 단점을 가지고 있으며 로브 및 슬롯 베어링은 형상 가공에 제약을 받아 제작 단가가 비싸다. 능동 제어 베어링은 회전 시스템의 동적, 정적 특성을 향상시킬 수 있으나, 축의 움직임을 제어하기 위한 센서 및 센서 컨트롤러와 같은 비싼 장비가 요구된다. 따라서 종래의 외부가압 형태의 진원형 베어링보다 고속 회전과 정밀 운전이 가능하며 제조원가를 고려한 실질적인 접근 방법이 필요하다.

휠 불안정성은 축 회전에 의한 동압 효과에 의해 발생하는 현상으로 동압 효과에 의해 축의 변위에 따라 발생하는 공기막 압력 발생 성분의 합력 방향이 축 변위의 방향과 어긋나게 됨으로써 축이 선회하게 되는데 기인한다. 그러므로 축 베어링 시스템의 안정성은 이 공기막 압력을 적당히 감소시킴으로써 향상시킬 수 있다. 이러한 목적으로 본 논문에서는 가변 급기공 저널 베어링을 제안하였으며, 이는 원주 방향의 홀 직경을 변화시킴으로써 베어링 틈새에 작용하는 압력분포를 적당히 바꾸어 줄 수 있으며, 이로 인하여 휠 불안정을 야기 시키는 공기막 압력 발생성분이 감소한다면 로터 베어링 시스템의 동특성 및 정특성이 향상될 수 있다. 더불어 운전 정밀도도 향상될 것이라 예상된다.

따라서 본 논문에서는 원주 방향의 서로 다른 급기공을 가진 저널 베어링을 제안하고, 실험적인 고찰을 통하여, 이의 운전특성을 알아보았다.

2. 실험 장치 및 방법

Fig. 1은 가변 급기공 저널 베어링의 형상과 급기홀의 위치를 개략적으로 보여주고 있다. X, Y 방향으로 서로 다른 직경을 가진 8개의 급기홀이 축을 중심으로 균일하게 분산되어 있으며

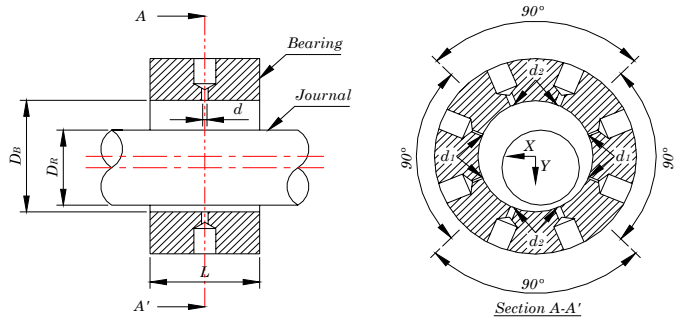


Fig. 1. Schematic diagram and coordinate system of the bearing with different supply holes

이들 급기홀에 의해 반경 방향으로 서로 다른 두 쌍의 강성 및 감쇠가 존재한다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 X, Y 방향으로 서로 다른 두 직경을 d_1, d_2 라 할 때, 이들의 비가 1 일 때가 종래의 저널베어링이며, $d_1 \neq d_2$ 일 때가 가변 급기공 베어링에 해당된다.

본 연구에서는 가변 급기공 저널 베어링의 운전 특성 실험을 하기 위하여 Fig. 2와 같은 실험 장치를 제작하였다. 실험 방법은 다음과 같다. 베어링에 공기를 주입하여 축을 부상시킨 후 축 상부에 있는 터빈 블레이드에 공기를 불어넣어 축을 회전 시킨다. 축의 회전 속도를 계속 증가시키며 축 중심의 궤적을 오실로스코프를 통하여 모니터링하며 동시에 일정한 시간 간격으로 데이터를 저장하고 후처리 과정을 통하여 실험결과를 정리하였다. 회전 속도를 측정하기 위하여 Tacho Sensor를 설치하였고 X, Y 궤적 및 모드의 변화하는 모습을 관찰하기 위하여 X, Y 방향으로 상, 하부에 4개의 센서를 설치하였다. 정확한 운전 특성을 알아보기 위하여 실험 전 로터에 대한 센서 캘리브레이션을 실시하여 실제 궤적을 구하기 위한 선형함수의 상수 근을 구하였으며 밸런싱 머신을 이용하여 불균형 질량을 제거하는 작업을 수행하였다.

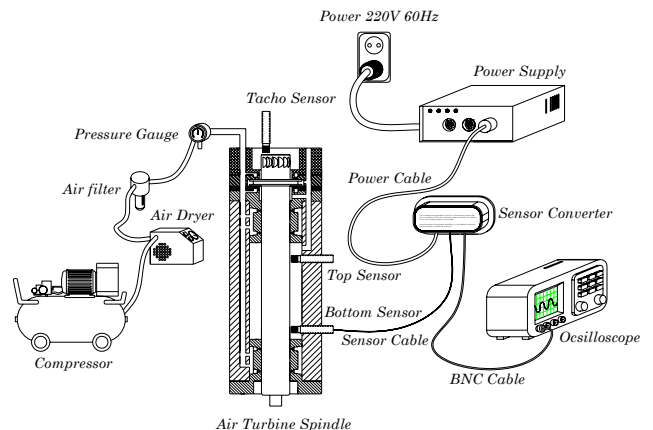


Fig. 2 Configuration of experimental and measurement apparatus

3. 실험결과 및 고찰

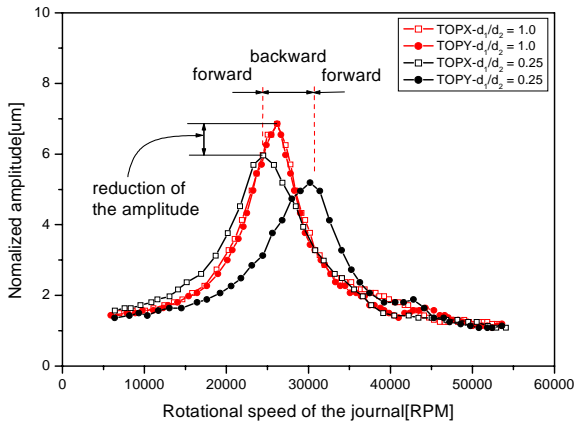


Fig. 3. Unbalance responses

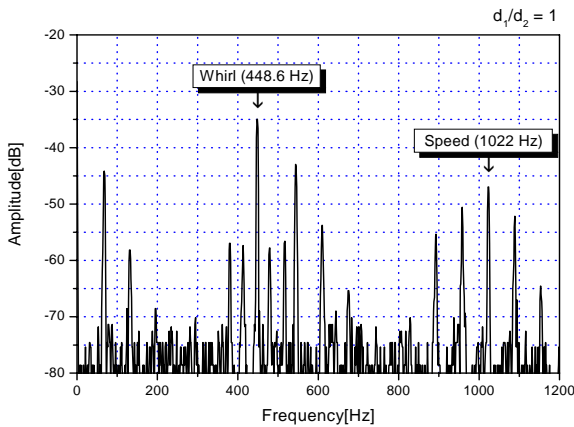


Fig. 4. Whirl frequency of conventional air journal bearing

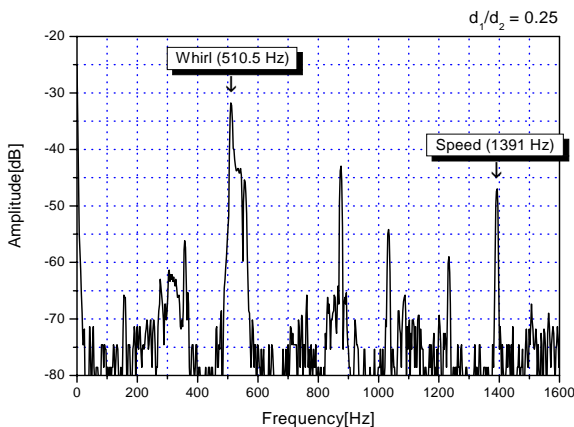


Fig. 5. Whirl frequency of air journal bearing with different supply holes

본 연구에서는 $d_1/d_2 = 1.0$ 인 종래의 공기저널 베어링과 $d_1/d_2 = 0.25$ 인 가변 급기공 저널 베어링에 대한 특성실험을 수행하였으며, 이들 베어링에 대한 운전정밀도는 Fig. 3에 나타내었다. 기존의 저널 베어링의 경우 X, Y의 진동특성이 비슷한 경향을 보이고 있다. 가변 급기공 저널 베어링의 경우 두개의 서로 다른 급기공으로 인해 두개의 공진점이 나타나며, 이 공진점에서의 진동진폭은 종래 베어링에 비하여 감소함을 보여주고 있다. 또한 가변 급기공 베어링의 경우, 첫 번째 공진점에서는 forward에서 backward로, 두 번째 공진점에서는 backward에서 forward로의 회전 모드 변화

를 뚜렷이 관찰할 수 있었다. 이는 가변 급기공으로 인한 동역학적 특성으로 볼 수 있으며, 이로 인하여 운전 정밀도의 향상을 가져왔다고 판단된다.

Fig. 4~5는 기존의 저널 베어링과 가변 급기공 저널 베어링의 불안정 개시 속도에서의 휠 주파수를 나타내고 있다. 가변 급기공 저널 베어링의 경우 불안정 개시 속도가 기존 저널 베어링에 비하여 27% 상승하였고, 휠비는 7% 감소하였다. 이는 서로 다른 급기공을 사용함으로써 적절한 감쇠력이 축 회전 시 발생한 공기막 압력을 상쇄시켜 불안정 개시 속도의 상승효과를 가져왔다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 회전기계의 고속 안정성 향상을 위하여 가변 급기공 저널 베어링을 제시하였으며 이의 운전 특성 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 가변 급기공 베어링은 고속영역에서 휠 불안정성을 효과적으로 억제함으로써, 안전한계속도를 증가 시킨다.

둘째, 가변 급기공 베어링은 회전체 베어링 시스템의 운전 정밀도를 향상시킬 수 있다.

후기

본 연구는 중소기업청 기술혁신사업(과제번호 : S0101197)의 연구비 지원으로 수행 되었습니다.

참고문헌

1. Whitley, S., "Nuclear application of gas bearings," Proceedings of the Southampton University Gas Bearing Symposium, Paper 5, 1965.
2. Yoshimoto, S., "Improvement of static characteristics of an aero-static journal bearing using the elastic deformation of an O-ring," Tribology International, Vol. 20, No. 5, 290-296, 1978.
3. Mori, A. and Mori, H., "An application of pneumatic phase shifting to stabilization of externally pressurized journal gas bearing," ASME Journal of lubrication Technology, Vol. 95, 33-41, 1973.
4. Kim, K. M. and Kim, K. W., "An analytical study on the rotational accuracy of externally pressurized air journal bearing," JSME International Journal, Series III, Vol. 35, No. 3, 485-492, 1992.
5. Park, J. K. and Kim, K. W., "Stability analyses and experiments of spindle system using new type of slot-restricted gas journal bearings," Tribology International, Vol.37, 451-462, 2004.
6. Lee, J. B. and Kim, K. W., "Effects of synchronous vibration of bearing on stability of externally pressurized air journal bearings," ASME Journal of Tribology, Vol. 121, 830-825, 1999.