

다공질 공기 베어링의 강성 특성에 관한 실험 연구 An Experimental Study on Porous Air Bearing Stiffness Characteristics

정순철† · 이성혁* · 이재응* · 지홍규** · 이동진** · 류재형** · 최형길** · 김혁**
Soon Chul Jung, Seong Hyuk Lee, Jae Eung Lee, Hong Kyu Ji, Dong Jin Lee, Je Hyoung Ryu,
Hyoung Gil Choi, Hyuk Kim

Key Words : Porous Air Bearing(다공질 공기 베어링), Static Stiffness(정강성), Dynamic Stiffness(동강성)

ABSTRACT

In this paper, an experimental study on porous air bearing stiffness for ultra precision positioning system was performed. In general manufacturer provide bearing stiffness under specific air pressure, but the air pressure used in the field is different. Therefore it is necessary to know the stiffness of air bearing under the pressure used in the field. In order to know that, experimental device which can realize actual operating conditions was made. Using this device, static and dynamic stiffness of air bearing can be obtained. As a result, displacement error occurred around 1 μ m at recommended load.

1. 서론

다공질 공기 베어링은 여러 가지 장점으로 인하여 각종 산업기계에 널리 사용되고 있다. 다공질 공기 베어링의 강성은 주입 공기의 압력과 베어링과 가이드면 사이의 간극에 의하여 결정되는데 베어링 제작사에서는 특정 공급 압력 하에서 간극에 따른 강성만을 제공하고 있어 다른 공기 주입 압력을 사용하는 실제 현장에서는 공기 베어링의 강성을 정확히 파악할 수 없다. 이에 따라 다공질 공기 베어링의 강성 특성에 대한 실험적 연구가 많이 이루어져 왔다⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾. 그러나 기존 연구의 실험에서는 공기 베어링을 고정 시킨 후, 베어링 가이드 면에 해당하는 샤프트를 상하로 움직여서 강성측정을 시도하였다. 그러나 실제 시스템에 장착된 공기 베어링은 부하하중을 지지하면서 상하로 움직이므로 베어링을 고정 시킨 상태에서 구한 강성 값과는 특성이 다르게 나타날 수 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 실제 사용 환경을 구현 할 수 있는 실험장치를 제작하였으며, 이 실험 장치를 이용하여 다공질 공기 베어링의 압력을 변화시키면서 간극에 다른 동강성 및 정강성을 구하는 실험을 수행하였다.

2. 실험 장치 설계 및 제작

2.1 실험 장치 설계

다공질 공기 베어링의 정확한 강성 측정을 위해서는 공기 베어링 부상 후, 공기 베어링과 가이드면 사이 간극(air gap)의 평행도 유지가 필요하다. 공기 베어링이 기울어 지는 경우 베어링 각 부분의 간극이 서로 달라져 전체적인 강성이 변화하기 때문이다. 따라서 Fig. 1 과 같이 공기 저널 베어링으로 지지된 샤프트와 다공질공기 베어링 사이에 강구를 장착함으로써 공기 베어링을 가이드면과 항상 평행하게 유지할 수 있게 하였다.

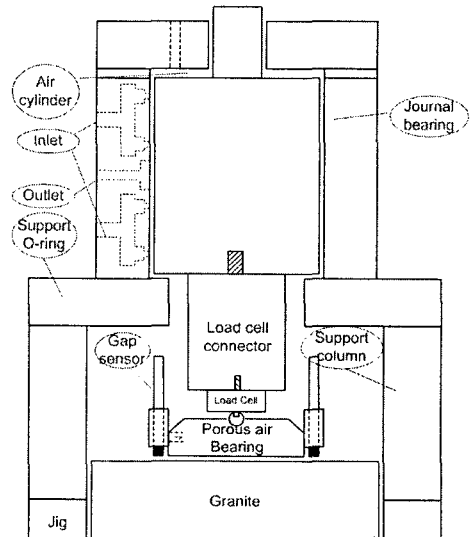


Fig. 1 Draft of experimental device

† 중앙대학교 기계공학부 대학원
E-mail : soonchul@nownuri.net
Tel : (02) 820-5284, Fax : (02) 814-9476
* 중앙대학교 기계공학부
** 삼성전자 메카트로닉스 연구소

또한 저널 베어링은 공기 베어링과 샤프트의 수직 방향 상하 운동시 저항을 최소화 하는 기능을 수행한다. 다공질 공기베어링이 하중을 받아 간극이 감소하여 강성이 변화하는 상황을 구현하기 위하여 저널 베어링의 위쪽에 공기 실린더를 부착하여 공기압을 높여 줌으로써 샤프트 아래에 부착된 다공질 공기 베어링에 하중을 가할 수 있게 하였다.

그런데 고압의 공기에 의하여 발생하는 하중은 실험 장치의 변형을 유발하는데 실험 장치의 변형은 실험과정에 영향을 줄 수 있다. 따라서 이러한 영향을 고려하여 최대 변형이 2 μ m 가 넘지 않도록 실험 장치 설계 변수 결정을 위한 해석을 수행하였다. 해석결과 지지부 O-링 두께 30mm, 외경 255mm, 기둥 두께 30mm로 제작하였다.

2.2 실험장치 제작

저널 베어링은 직경 0.3mm 노즐이 실린더 내부 4 열로 가공 되었으며, 1 열당 12 개의 노즐이 제작되었다. 공기 흡입구는 2 열로 제작되었으며, 공기 흡입구 1 열이 2 열의 노즐에 공기를 주입한다. 공기 배기구는 3 열로 가공되었으며 1 열당 4 개의 공기 배출구를 가진다. 공기 실린더와 가장 가까운 곳에 위치한 공기 배기구는 공기 실린더의 공기 누출이 최소화 되도록 제작되었으며, 에어 실린더에는 압력계를 부착하여 압력 변화를 관찰할 수 있도록 하였다. 공기 베어링의 작용하는 하중을 측정하기 위한 로드셀은 DACELL 사의 CMM2 모델을 이용하였다.

또한 공기 베어링의 간극 측정을 위해서 갭 센서를 이용하는데 이를 위하여 공기 베어링을 감싸는 지그를 제작하여 갭 센서를 장착하였다. 이와 같은 지그를 이용하여 지그의 세 개의 홈에 갭 센서를 끼워 맞추는 후 에어 베어링에 부착 볼팅 조임으로 고정하였다.

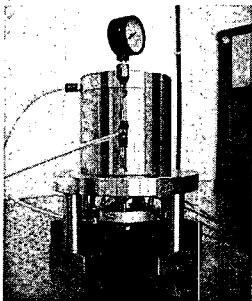


Fig. 2 Experimental Setup

이러한 방법으로 공기 베어링에 갭 센서를 직접 부착하는 경우 하중에 의해 실험 장치의 변형이 발생한다 하더라도 에어 베어링 간극 측정에 영향을 받지 않는다. Fig.2 는 제작된 실험 장치를 나타낸다.

3. 공기 베어링의 강성 실험

3.1 정강성 실험

공기 베어링의 정강성 실험은 공기 베어링에 3 개의 갭 센서를 부착 후, 갭 센서의 신호를 데이터 수집 장치(data acquisition board)를 이용하여 획득하였다. 데이터 수집 장치는 IOtech 사의 wavebook512 모델을 이용하였고, 획득된 신호는 eZ-anlyst 프로그램을 이용하여 분석하였으며, 갭 센서는 ADE technologies 사의 4810 모델을 사용하였다. Fig.3 은 실험에 사용된 갭 센서와 데이터 수집 장치를 나타낸다.

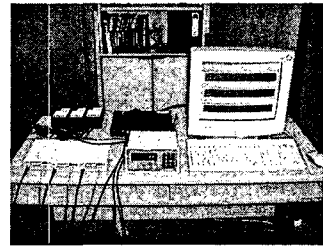


Fig.3 Data acquisition system

공기 베어링의 정강성 실험은 먼저 공기 베어링 부상전의 갭 센서 값을 측정한 다음 공기 베어링을 부상 시킨 후, 10kg 단위로 변화시키면서 각각의 경우에서의 간극을 측정하였다. 그러므로 실제 간극 변화는 부상 후 측정된 값에서 부상 전 측정된 값을 빼줌으로써 구할 수 있다. 하중의 변화시킬 때는 점차 증가하는 경우와 감소하는 경우, 랜덤하게 적용하는 경우 등 세 가지 조건으로 실험을 수행하였으며, 각 조건에서 두 번의 실험을 반복함으로써 총 6 번의 실험을 수행하였다. 공기 베어링의 공기 주입 압력은 베어링 제작사 제공 강성과의 비교를 위해 0.41MPa, 0.55MPa 과 실제 사용 압력인 0.5MPa 의 세 가지 경우를 적용하였다. 공기 주입 압력 0.41MPa 과 0.55MPa 과의 실험 결과는 다음 Fig.4, 5 와 같다.

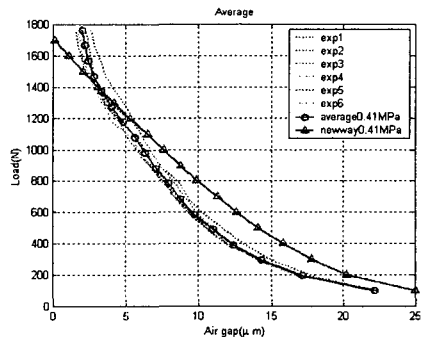


Fig. 4 Static load capacity (0.41MPa)

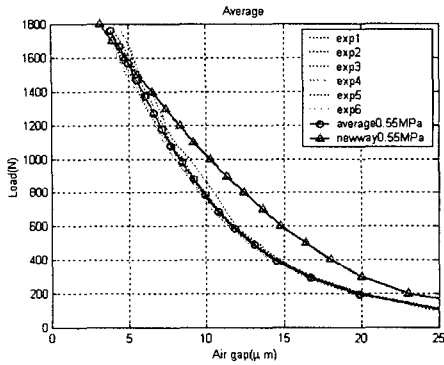


Fig. 5 Static load capacity(0.55MPa)

위 결과는 6 번의 실험과 그 평균을 나타내며, 그 평균을 제작사 제공 데이터와 비교하였다. 그 결과 작은 하중구간에서는 제작사 제공 강성 보다 실험 결과가 낮게 나타났으며, 큰 하중구간에서는 실험 결과가 높게 나타남을 알 수 있었으며 하중을 증가시키면서 측정된 경우와 감소시키면서 측정된 경우, 랜덤하게 변화시키면서 측정된 경우 모두 큰 차이를 나타내지 않음을 알 수 있었다. 또한 제작사가 제시한 공기 베어링 사용시 추천 하중(ideal load)인 1110N 에서의 간극 오차는 약 0.9~1.5 μm 임을 확인할 수 있다.

위 실험 결과를 커브 피팅(curve fitting)하여 얻은 하중 능력 곡선(load capacity curve)을 미분하면 강성 곡선(stiffness curve)을 구할 수 있는데 Fig. 6 은 각 주입 압력에 따른 강성 곡선을 나타낸다.

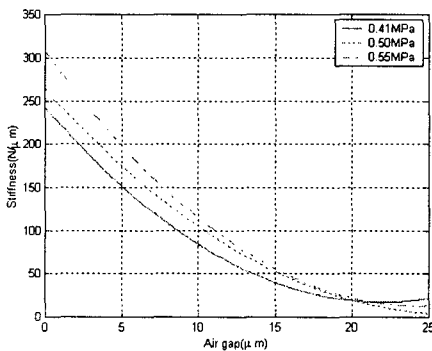


Fig. 6 Static stiffness curve

3.2 동강성 실험

공기 베어링의 동강성 실험은 공기 베어링을 부상시킨 후, 임팩트해머를 이용하여 샤프트를 가진하여 그 진동 신호를 획득하였다. 진동 신호는 갭 센서를 이용하여 변위 신호를 측정하였으며, 측정된 신호로부터 변위 신호의 주기(τ)와 대수

감소율(logarithmic decrement)을 측정하였다. 측정된 값으로부터 시스템의 고유진동수를 구한 후 이 고유진동수를 이용하여 공기 베어링의 강성을 계산하였다. 공기 베어링 동강성 실험은 정강성 실험과 마찬가지로 0.41MPa, 0.50MPa, 0.55MPa 의 세 가지 공급 압력에 대하여 실험하였으며, 각 압력 별로 하중을 10kg 단위로 증가시키며 각 하중에 대한 베어링의 동강성을 계산하였다. Fig.7,8 은 공기 주입 압력 0.41MPa 과 0.55MPa 에서 각 하중에서의 진동 변위 신호를 나타낸다.

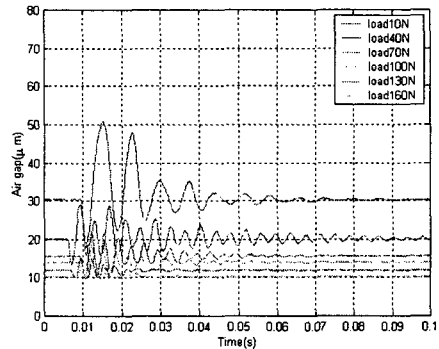


Fig. 7 Vibration signal(0.41MPa)

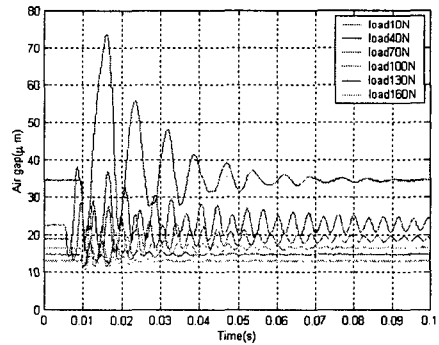


Fig. 8 Vibration signal(0.55MPa)

위 데이터를 이용하여 공기 베어링의 동강성을 계산하면 Fig. 9, 10 과 같다.

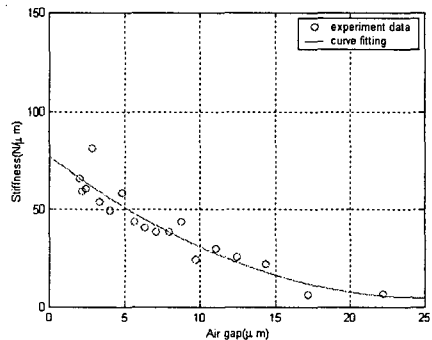


Fig. 9 Dynamic stiffness(0.41MPa)

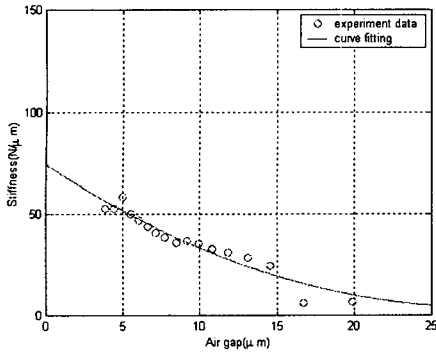


Fig. 10 Dynamic stiffness(0.55MPa)

위 결과를 보면 공기 베어링 공급 압력이 변화하더라도 공기 베어링의 동강성은 변화가 크지 않음을 알 수 있었다.

정강성 실험과 동강성 실험에서 얻어진 결과를 각 압력별로 비교하면 Fig. 11, 12 와 같다.

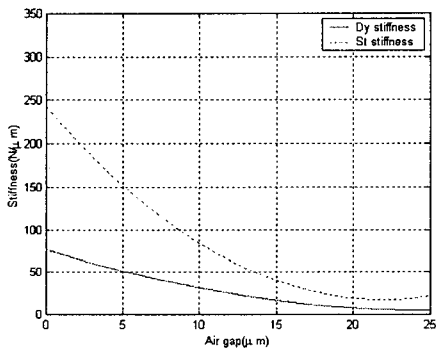


Fig. 11 Comparison dynamic & static stiffness(0.41MPa)

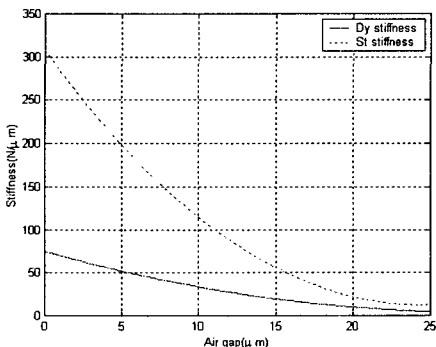


Fig. 12 Comparison dynamic & static stiffness(0.55MPa)

위 결과를 종합하여 보면 정강성 값에 비하여 동강성 값이 1/3 정도로서 차이가 많이 나는 것을 볼 수 있었다. 이는 다공질 공기베어링이 상하로

진동 함으로서 다공질 재료 내부 뿐만 아니라 간극에서도 공기의 유동특성이 정적인 경우와 많이 다르기 때문에 나타나는 현상이라고 볼 수 있다.

4. 결 론

공기 베어링의 정강성 실험 결과 작은 하중구간에서는 제작사 제공 강성 보다 실험 결과가 낮게 나타났으며, 큰 하중구간에서는 실험 결과가 높게 나타남을 알 수 있다. 제작사가 제시한 공기 베어링 사용 권장하중(ideal load)인 1110N(0.41MPa)에서의 간극 오차는 약 $0.9\mu\text{m}$ 으로 나타났다. 또한 하중을 증가시키면서 측정한 경우와 감소시키면서 측정한 경우, 랜덤하게 변화시키면서 측정한 경우 모두 큰 차이를 나타내지 않음을 알 수 있다 공기 주입 압력을 증가시킬 경우 공기 베어링의 정강성은 증가하였으며, 하중 능력 곡선의 형태는 동일하게 나타났다.

공기 베어링의 동강성 실험 결과 공기 베어링 공기 주입 압력이 변화하더라도 공기 베어링의 동강성은 크게 변하지 않음을 알 수 있었으며 정강성 값에 비하여 동강성 값이 1/3 정도로 낮게 나타남을 알 수 있다. 이는 베어링 내부와 간극에서 공기의 유동특성이 정적인 경우와 많이 다르기 때문에 나타나는 현상이라고 볼 수 있다

참 고 문 헌

- (1) A. Andrisano, A. Maggiore and V. Parenti Castelli, 1981, " Experimental Analysis of the dynamic behaviour of externally pressurized porous thrust bearing" , 8th International GAS BEARING SYMPOSIUM, pp.311~322
- (2) H.S.Chang, Z.S.Wang and D.C.Sun, 1983, " An experimental investigation of the stability of externally pressurized gas-lubricated porous thrust bearings" , Journal of Lubrication Technology, Vol. 105, pp. 630~637
- (3) Changzhi Cui and Kyosuke Ono, 1997, " Theoretical and experimental investigation of an externally pressurized porous annular thrust gas bearing and its optimal design" , Journal of Tribology, Vol. 119, pp. 486~492
- (4) S.Yoshimoto and K.Kohno, 2001, " Static and dynamic characteristics of aerostatic circular porous thrust bearings(Effect of the shape of the air supply area), Journal of Tribology, Vol. 123, pp. 501~508