

진공환경용 공기베어링의 구동에 따른 압력증가 특성 Pressure Rise Characteristics Caused by Movement of Air Bearings in Vacuum

*#김경호¹, 송창규¹, 박천홍¹

*#G. Khim(gyungho@kimm.re.kr)¹, C.-K. Song¹, C.-H. Park¹

¹ 한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부

Key words : Air bearings, Vacuum, Pressure rise, Movement, Linear table, Rotary table

1. 서론

전자빔을 이용한 블루레이(Blu-ray) 디스크 마스터링 장비나 차세대 반도체 노광장비 등에서는 진공환경에서 시편의 정밀한 이송을 위한 초정밀 스테이지가 필요하다. 따라서 대부분은 정밀도가 뛰어난 공기베어링을 이용하여 초정밀 스테이지를 구성하고 있다. 진공환경에서의 공기베어링은 차동배기시스템을 적용함으로써 공기베어링으로부터의 누출량을 최소로 하여 전자빔을 사용하기에 충분히 낮은 압력을 유지하게 된다. 실험결과, 공기베어링이 정지해 있을 동안에는 진공챔버의 압력이 거의 변동없이 일정하게 유지되는 반면, 공기베어링의 구동이 발생하면 이에 따라 챔버의 압력이 증가하고, 베어링이 정지하면 다시 원상태로 압력이 회복되는 현상이 발생하였다. 저자 등은 공기베어링을 이용한 직선스테이지를 대상으로 하여 이에 대한 원인을 이론적으로 분석하고 실험을 통하여 일차적으로 검증한 바 있다¹. 그러나 이에 대한 검증을 보다 확실하게 하기 위해서는 이러한 압력증가현상이 거의 발생하지 않을 것으로 예상되는 회전스테이지에 대한 실험을 추가로 할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 이전 직선스테이지에서 얻은 압력증가 현상에 대한 결과를 간단히 정리하고, 회전스테이지에 대한 압력증가 실험을 추가로 수행하여 서로 비교 분석함으로써 공기베어링 구동시 발생하는 압력증가현상에 대한 원인을 보다 확실하게 하고자 하였다.

2. 공기베어링 구동시 발생하는 압력증가 현상 분석

Fig. 1은 다공질 공기베어링을 이용하여 구성된 단축 직선스테이지를 보여주고 있다. 공기베어링은 수직, 수평 모두 양면패드 사용된 박스형으로 구성되어 있으며, 총 3단계의 차동배기를 도입하여 진공도를 유지하였다. 1차 배기는 외부대기로의 자연배기이며, 2, 3차는 진공펌프를 이용한 강제배기로 구성하였다.

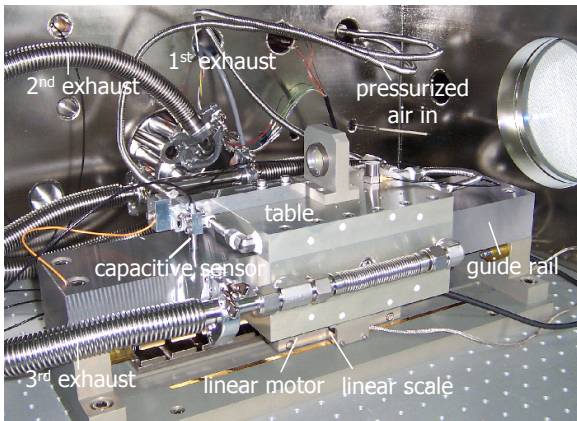


Fig. 1 Linear stage using air bearings

Fig. 2는 직선스테이지의 속도를 100 mm/s에서 300 mm/s로 증가시 발생하는 압력증가를 측정된 결과이다. 베어링이 정지시 유지된 초기 압력은 4.3×10^{-3} Pa이었으며, 속도가 증가함에 따라 압력증가현상은 크게 나타나고 있다.

속도가 300 mm/s인 경우, 3×10^{-4} Pa의 압력이 증가한 4.6×10^{-3} Pa로 이를 log 함수를 이용하여 나타내면 3% 정도 된다.

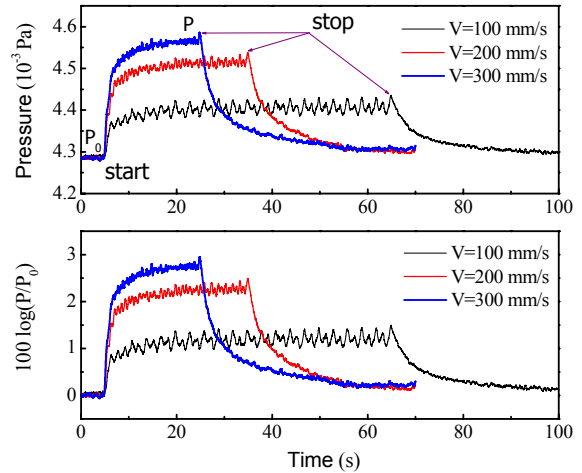


Fig. 2 Pressure rise while linear stage is moving

저자 등은 이에 대한 원인으로 3가지를 가정하여 각각에 대하여 이론적, 실험적으로 분석하였다. 첫째, 베어링 구동시 가속도에 의한 스테이지의 흔들림으로 간극의 변화가 발생하고 이에 따라 누출량 및 챔버 압력이 증가한다는 가정은 실험결과 거의 영향이 없음이 밝혀졌다. 즉, 가속도를 변화시켜가며 스테이지에 임의로 간극의 변화를 준 후에도 챔버의 압력증가는 무시할만 한 수준이었다. 둘째, 베어링의 구동에 의한 동압효과(dynamic pressure)로 압력이 증가한다는 것으로, 이론적인 해석결과 속도에 따른 압력증가현상이 나타났으며, 실험결과 또한 Fig. 2에서 보는 바와 같이 나타나고 있다. 셋째, 베어링이 정지시에 가이드 레일 표면에 부착되어 있던 공기분자들이 베어링이 구동하면서 갑작스레 외부에 노출되어 방출되는 현상으로써, 이에 대한 검증을 위하여 재질이 다른 두개의 레일을 준비하여 실험을 진행하였다. 하나는 일반적인 SM45C 재료이며, 다른 하나는 공기분자와의 친화력이 없는 질화티타늄(TiN)을 증착시킨 재료이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이, 질화티타늄을 코팅한 가이드 레일 사용시 압력증가가 적게 발생한 것을 알 수 있다. 그러나 베어링 구동에 따른 동압에 의한 압력증가와 가이드 레일에서의 기체방출에 의한 영향이 동시에 나타나므로 이 둘을 정확히 구분짓기는 불가능하였다.

참고로 Fig. 4는 기저압력(P_0)에 따른 압력증가현상을 실험한 결과로써, 베어링이 처음 정지시에 유지하던 압력을 기저압력으로 정의하였다. 기저압력이 낮아질수록 베어링 구동에 따른 압력증가가 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이는 고진공 환경으로 갈수록 베어링 구동에 따른 압력증가 현상이 큰 문제로 작용할 수 있다는 것을 의미한다.

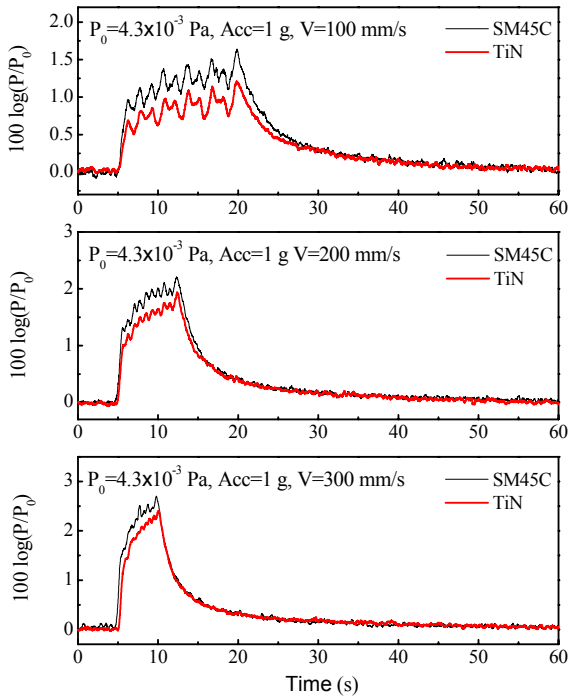


Fig. 3 Pressure rise with the guide rail surface

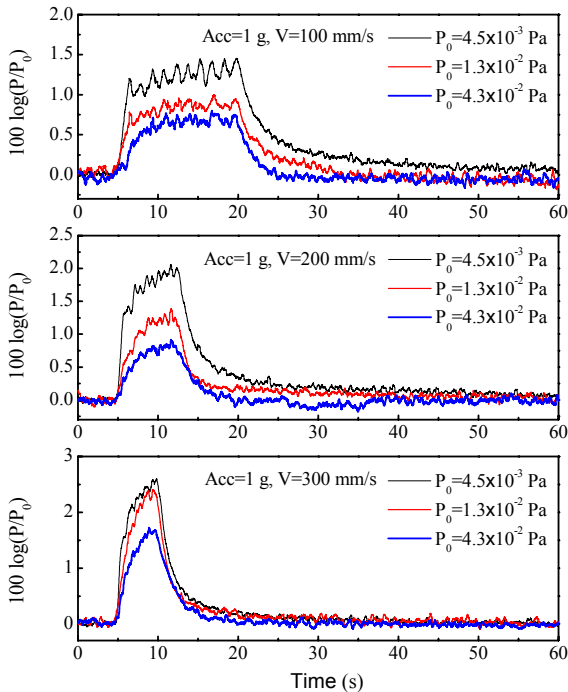


Fig. 4 Pressure rise with base pressure

공기베어링을 이용한 직선스테이지 실험결과, 구동시 발생하는 압력증가현상은 동압효과 및 가이드 표면에서의 기체방출에 의한 영향이 동시에 나타난다고 볼 수 있다. 따라서 위와 같은 현상이 거의 발생하지 않을 것으로 예상되는 회전스테이지에 대해서 같은 실험을 수행한다면 보다 명확히 알 수 있을 것이다.

Fig. 5 는 실험에 사용한 회전스테이지를 보여주고 있으며, 직선스테이지와 마찬가지로 총 3 단계의 차동배기를 사용하였다. Fig. 6 은 회전스테이지의 속도를 100 rpm 에서 300 rpm 으로 증가시키면서 압력증가 특성을 측정 한 것이다. 회전속도가 빨라짐에 따라 압력이 다소 증가하고는 있지만, 속도가 300 rpm 이라 하더라도 챔버 압력은 겨우 8×10^{-6} Pa 정도만 증가하고 있으며, log 함수를 이용한 표현법에서도 겨우 0.5 %만 증가했을 뿐이다. 회전속도 300 rpm 는 대략

900 mm/s 의 선속도에 해당하는 것으로 직선스테이지의 구동속도와 비교해 볼 때 매우 빠른 속도이다. 그럼에도 Fig. 2 의 직선스테이지 실험결과와 비교해 볼 때 압력증가가 매우 작게 발생한 것을 알 수 있다. 더군다나 베어링이 정지시 처음 유지한 압력인 기저압력이 7.6×10^{-4} Pa 로써 직선스테이지의 4.3×10^{-3} Pa 보다도 한 order 정도 낮은데, Fig. 4 의 결과에 따르면 기저압력이 낮으면 압력증가현상이 더 크게 발생해야 함에도 불구하고 압력증가가 거의 0.5 %만 발생한 것을 볼때, 회전스테이지에서의 압력증가는 직선스테이지와 비교하면 거의 무시할만한 수준이라는 것을 알 수 있다. 이것으로부터 위에서 압력증가 현상의 원인으로 설명된 2 가지가 보다 명확히 검증된 것으로 판단된다.

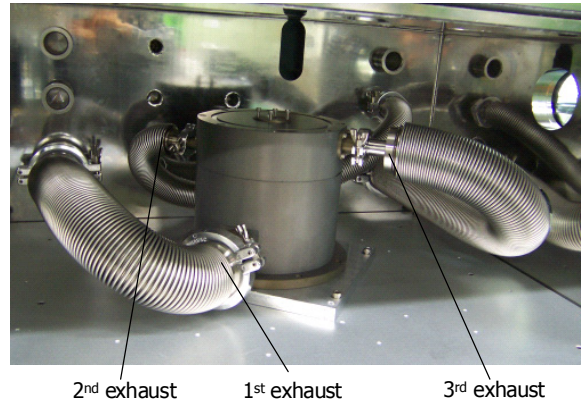


Fig. 5 Rotary stage using air bearings

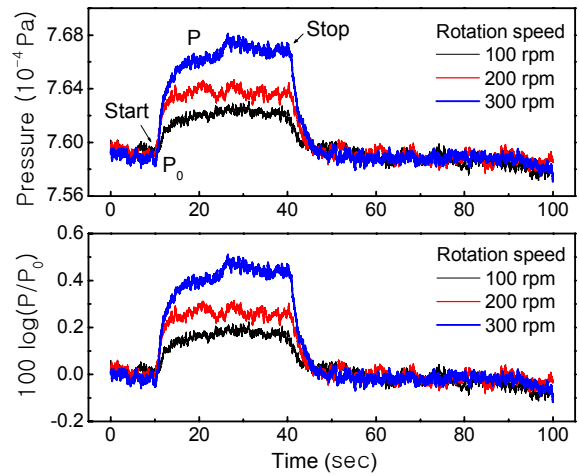


Fig. 6 Pressure rise while rotary stage is moving

3. 결론

진공환경에서 공기베어링 구동시 발생하는 압력증가현상을 직선스테이지와 회전스테이지에 대한 실험을 통해 분석해 보았다. 압력증가현상은 속도에 따른 동압효과 및 가이드 레일의 표면에서 발생하는 기체방출에 의한 효과가 복합적으로 작용한 결과로써 발생한 것으로, 따라서 회전스테이지보다는 직선스테이지에서의 압력증가 현상이 훨씬 크게 발생하고 있다. 또한 이러한 압력증가 현상은 저진공보다는 고진공에서 보다 크게 나타나고 있다.

참고문헌

1. Khim, G, Park, C. H., Lee, H., and Kim, S. W., "Analysis of additional leakage resulting from the feeding motion of a vacuum-compatible air bearing stage," Vacuum, Vol. 81, No. 4, pp. 466-474, 2006.