

설계 단계에서의 공기정압 베어링 회전테이블 성능계산/평가에 관한 연구

On the Performance Prediction/Assessment of Aerostatic Bearing Rotational Table

##심종엽, 황주호, 박천홍

##J. Y. Shim (jyshim@kimm.re.kr), J.H. Hwang, C.H. Park

한국기계연구원 초정밀시스템 연구실

Key words : Aerostatic Bearing, FDM, Rotary Table, Transfer Function Method, Performance Simulation

1. 서론

공기정압 베어링을 이용한 회전 테이블 및 스핀들은 무마찰 특성, 낮은 열발생 및 높은 수준의 회전정밀도의 특성으로 초정밀 가공기, 초정밀 측정기 및 초정밀 인덱싱 테이블 등에 널리 사용되고 있다. 공기정압 베어링 테이블/스핀들의 주요 성능은 정강성, 동강성 및 부하능력 등이 있으나 초정밀 가공분야에서는 회전운동 정밀도의 성능도 중요한 지표가 된다.

본 논문에서는 공기정압 베어링 테이블/스핀들의 강성, 회전운동 정밀도 등 성능예측 및 실험적 평가에 관하여 논하고자 한다.

2. 공기정압 베어링 성능 계산/평가

베어링 간극에서의 유동 및 보상기 관계식을 동시에 해석하기 위하여 레이놀즈 방정식을 계산하여야 한다. 본 논문에서는 FDM 방법을 이용하여 보상기 관계식과 연립하여 계산하게 되는데 수식 (1)의 무차원화된 레이놀즈 방정식과 급기부 연속방정식을 이용한다.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial X} \left(H^3 P \frac{\partial P}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(H^3 P \frac{\partial P}{\partial Y} \right) &= \Lambda \frac{\partial}{\partial X} (PH) \\ K_s P_s HQ &= \oint (2\bar{\Lambda}PH - H^3 \nabla P^2) \cdot n dL \end{aligned} \right. \quad (1)$$

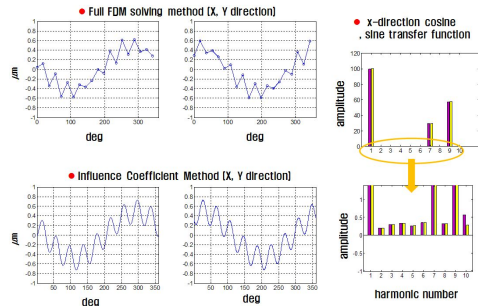


Fig. 1 Comparison between full FDM calculation and influence coefficient method for simulating radial rotational error

ADI (Alternating-Direction Implicit) 방법을 이용하여 FDM 방정식을 계산하였으며 시간 항을 추가하여 시간에 따른 압력분포의 변화를 계산할 수 있다.

저널/쓰러스트/베어링 면에 진원도, 평탄도 및 직각도 등의 가공오차가 있을 경우 간극이 회전각도에 따라 영향을 받음으로써 공기베어링 회전테이블이 회전하는 경우 회전운동 오차의 발단 원인이 된다. 따라서, 가공 형상오차가 있을 경우 각각의 각도 위치에 따른 압력분포를 구하여 테이블에 가해지는 외력이 구해지면 회전테이블의 가공오차에 의한 반경방향 회전오차를 구할 수 있다. 또한, 전달함수법을 이용하여 FDM 계산시간을 감소시켜 빠른 시간에 회전정밀도 오차를 계산할 수 있는 방법을 제안하였다.

3. 결론

설계단계에서 공기정압 베어링 테이블/스핀들의 성능을 예측하기 위하여 베어링 내 유체흐름의 시뮬레이션에 대하여 논하였고 그의 결과로 성능치를 예측할 수 있었으며 5 축 회전운동오차 측정 시스템 및 진원도 측정기를 이용하여 실험적 고찰을 통하여 성능 예측법의 타당성을 검토하였다.

참고문헌

1. Shamoto, E., Park, C.H., Moriwaki, T., "Analysis and Improvement of Motion Accuracy of Hydrostatic Feed Table," CIRC Annals - Manufacturing Technology, **50**, 285-290, 2001.
2. Czolczynski, K., "Rotordynamics of Gas-Lubricated Journal Bearing Systems," Springer Press, 1999.

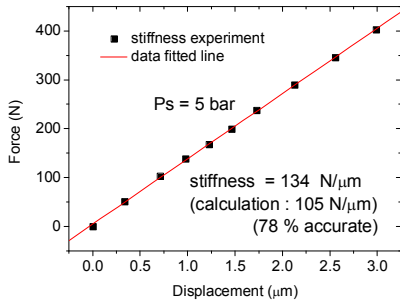


Fig. 2 Aerostatic bearing spindle journal stiffness experimental result with simulation data

Figure 2 에는 공기정압베어링 스피들 실험결과를 보이고 있다. 실험장치에는 베어링 강성실험을 위한 가압장치 및 정전용량형 센서 시그가 적용되었으며 회전정밀도 측정을 위한 3 축 슬라이드 가이드 스테이지도 적용되었다. 5 bar 의 공급압력에 대하여 시뮬레이션에 의한 강성값은 105 N/μm 로 예측된다.

회전계의 회전운동 정밀도를 측정하기 위하여 5 축 오차 움직임을 측정할 수 있는 double-ball target 을 준비하고 정전용량형 센서 5 개를 이용하여 측정하게 된다. 측정에 사용된 장비는 Lion Precision 사의 제품을 사용하였으며 Fig. 3 에 실험장치를 보이고 있다. 또한, 회전 축과 베어링의 가공오차를 측정하기 위하여 Kosaka Lab.사의 장비를 이용하여 측정하였다. 공기베어링 회전계의 시뮬레이터, 진원도 측정결과를 이용하여 성능을 예측하고 실험적으로 측정된 결과와 비교/분석을 진행하게 된다.

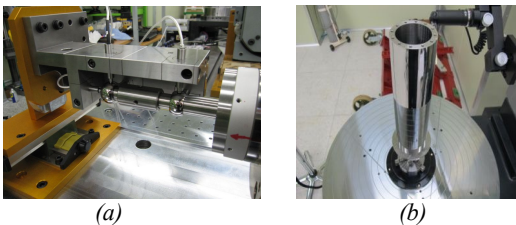


Fig. 3 (a) Five-DOF rotational accuracy measuring experiment (b) spindle shaft roundness measurement