

설계단계에서 공기정압베어링 회전테이블의 반경방향 회전정밀도 예측에 관한 연구

Numerical Simulation of Radial Rotational Error of Rotary Air Bearing Table

***심종엽, 황주호, 박천홍

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

한국기계연구원 초정밀기계시스템 연구실

Key words : Numerical Simulation, FDM, Air Bearing, Rotary Table, Transfer Function Method

1. 서론

공기정압 베어링을 이용한 회전 테이블 및 스피들은 무마찰 특성, 낮은 열발생 및 높은 수준의 회전정밀도의 특성으로 초정밀 가공기, 초정밀 측정기 및 초정밀 인택싱 테이블 등에 널리 사용되고 있다. 이러한 공기정압 베어링의 설계를 위하여는 베어링 간극에서의 공기유동 상태와 보상기 내부에서의 공기유동 특성을 계산하여야 한다. 이러한 계산을 위하여 레이놀즈 방정식을 FDM 방법 (Finite Differential Method)을 이용하여 간극 유동을 계산하며 보상기에서의 실험적 유동 관계식을 이용하게 된다. 일반적으로 공기베어링의 설계 시에 강성, 감쇄 및 부하능력 등을 계산하여 설계에 반영하며 스피들의 경우 베어링 간극 안정성도 시뮬레이션을 하게 된다. 본 논문에서는 설계 단계에서 공기베어링 회전 테이블의 회전운동 정밀도를 예측하기 위한 시뮬레이션 방법에 대하여 논하고자 한다.

2. 공기유동 해석 방법

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

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

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

3. 회전운동 정밀도 시뮬레이션

저널/쓰리스트/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.

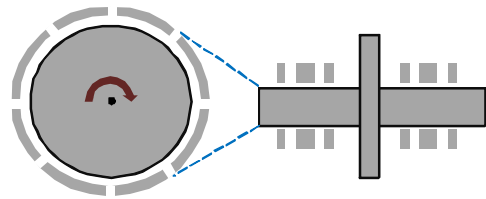


Fig. 1 Schematic view of air bearing journal

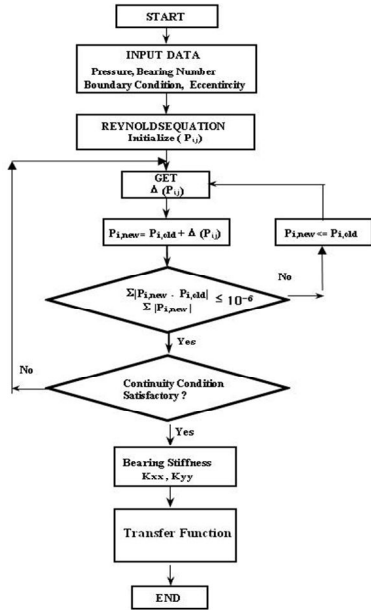


Fig. 2 Reynolds equation solving algorithm block diagram

이러한 회전운동 오차 시뮬레이션을 위하여는 한 회전에 따라 각각의 각도위치에서 모든 FDM 격자 영역의 레이놀즈 방정식을 계산하여야 한다. 이러한 계산은 많은 양의 계산을 요하므로 많은 계산 시간이 소요되고 설계 단계에서 저널/쓰러스트/베어링 면의 진원도, 평탄도 및 직각도 등의 가공오차 영향을 예측/평가하는 경우 어려움을 갖는다. 따라서, 본 논문에서는 전달함수법을 제안하여 공기베어링 회전테이블에서의 회전운동

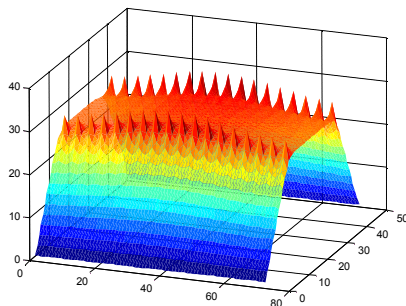


Fig. 3 Resulting pressure distribution when simulating stiffness of air bearing journal

오차를 빠르게 계산하고자 한다. 전달함수법은 형상 오차를 공간주파수 성분으로 나누어 각각의 공간주파수에 대한 회전오차 계산 전달함수를 구하는 것이다. 전달함수는 형상오차 단위에 대하여 진폭과 위상의 값을 가지게 된다. 전달함수법에 의하여 구해진 외력으로 회전정밀도 오차를 구하기 위하여 베어링의 강성값을 구한 FDM 해석 결과를 Fig. 3에 보이고 있다. Figure 4는 전달함수법을 검증하기 위하여 전체 회전에 대하여 FDM으로 해석한 결과와 전달함수를 이용하여 회전운동 오차를 계산한 결과를 보이고 있고 각 FDM 해석 점이 전달함수 이용 결과에 잘 일치함을 알 수 있다.

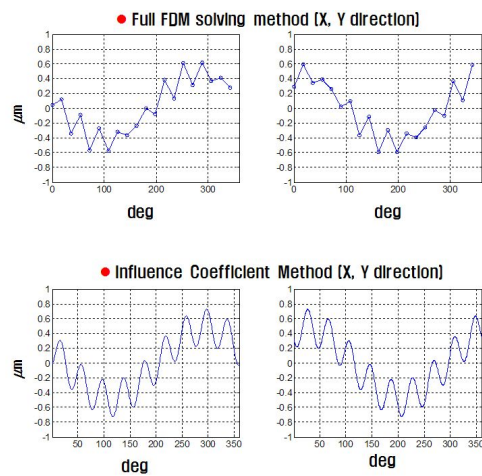


Fig. 4 Comparison between full FDM calculation and influence coefficient method for simulating radial rotational error

참고문헌

1. Shamoto, E., Park, C.H., Moriwaki, T., "Analysis and Improvement of Motion Accuracy of Hydrostatic Feed Table," CIRP Annals – Manufacturing Technology, **50**, 285-290, 2001.