

평면 XY 스테이지용 공기베어링 안내면 오차 평가

황주호*, 박천홍(한국기계연구원), 김승우(한국과학기술원 기계공학과)

The evaluation of aerostatic guide-ways for planar XY stage

J.H. Hwang, C.H. Park (KIMM), S.W. Kim (Mechanical Eng. Dept., KAIST)

ABSTRACT

This paper describes estimation method for 2D position error of planar XY stage from measured profiles of guide-ways. The XY stage usually moves along its guide ways. The motion error of each stage has effect on 2D position errors of XY stages and affected mainly by profiles of guide-ways. To estimate 2D position error and flatness of stages, the profiles of guide-ways were measured and used in motion error estimation.

Key Words : Planar XY stage(평면 XY 스테이지), Guide-ways(안내면), two-dimensional position error(이차원 위치 오차), Flatness(평면도)

1. 서론

공기 베어링으로 지지되어 움직이는 평면 XY 스테이지의 이송 테이블은 안내면 위를 움직이기에 따라 운동오차가 생기며 이에 의하여 2 차원 평면 위를 움직이는 스테이지의 위치오차도 상당 부분을 영향을 받는다[1]. 따라서 측정된 안내면의 형상으로부터 공기베어링 스테이지의 안내면을 측정하여, 이로부터 스테이지의 오차를 예측 할 수 있다면 스테이지의 조립후 불량으로 인한 재가공의 수고를 줄일 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 각각의 베어링 패드에서 발생하는 공기압 반력의 모멘트 및 힘의 평형 식을 이용하여 측정된 안내면 형상오차로부터 스테이지의 운동오차를 예측하고 이로부터 평면 XY 스테이지의 2D 위치오차를 예측하는 방법을 제안하였다.

2. 2D 위치오차 예측 모델

실험에 사용된 스테이지는 Fig.1 와 같은 구조를 가지고 있으며 저중심 고속화 구조를 위해 H 형 구조로 되어 있다. 2 개의 리니어모터에 의해 구동되는 베이스 스테이지는 스캔(Y)방향으로 움직이며,

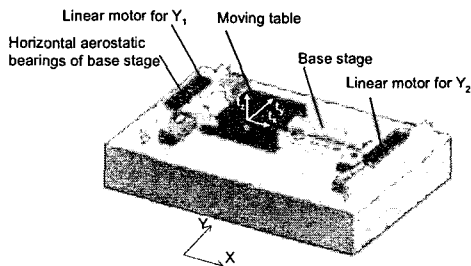


Fig. 1 Construction of planar XY stage

이송 테이블이 base stage 위를 스캔(X)방향으로 상대운동하여 움직인다.

Fig. 1 와 같은 구조를 갖는 평면 XY 스테이지의

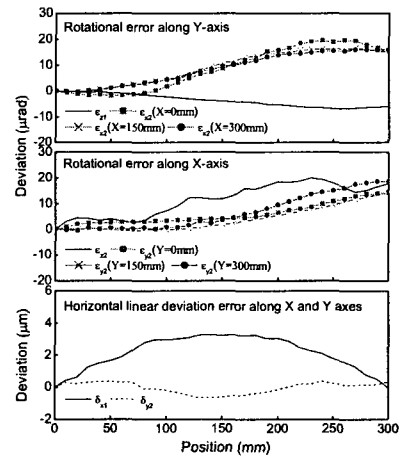


Fig. 2 Motion errors of the moving table

tx= 0, ty= 125

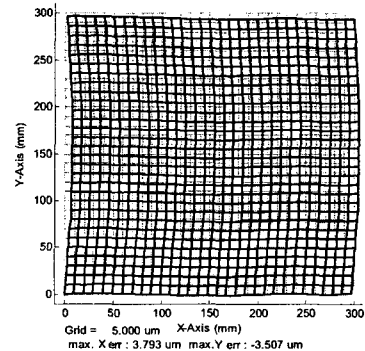


Fig. 3 Estimated 2D position error of stage

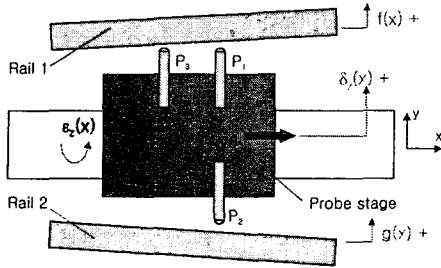


Fig. 4 Setup for measuring Profiles of guide-ways

경우 식 (1)와 같이 2D 오차가 모델링 된다.

$$\begin{bmatrix} \delta P_x(i, j) \\ \delta P_y(i, j) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -l_y(\epsilon_{z1}(j) + \epsilon_{z2}(i)) + l_x \epsilon_{y2}(i, j) + \delta x_1(j) + \delta x_2(i) \\ l_x(\epsilon_{z1}(j) + \epsilon_{z2}(i)) - l_y \epsilon_{x2}(i, j) + a_2(i) \epsilon_{z1}(j) + a_2(i) \theta_{12} + \delta y_1(j) + \delta y_2(i) \end{bmatrix} \quad (1)$$

레이저 간섭계의 각운동 및 진직도 측정 모듈을 이용하여 운동오차를 측정된 결과를 Fig. 2에, 이를 이용하여 예측한 2D 위치오차의 결과를 Fig. 3에 도시하였다. 이 예측의 유용성에 대하여 실험적 검증을 수행한 바 있다[1].

3. 안내면 형상 측정

안내면 레일의 측정에 대한 개략도를 Fig. 4에 도시하였다. 양면 패드형의 공기베어링 스테이지의 경우 2개의 레일에 의한 상대 형상을 측정하기 위하여 3개의 변위 센서와 각운동 센서 및 이를 장착하여 안내면 방향으로 움직이면서 스캔하는 센서 스테이지를 이용하여 식 (2)에 의하여 측정이 가능하다[2].

$$\begin{aligned} f(x_i) &\approx f_d(x_i) = m_1(x_i) - m_3(x_i) + f_d(x_{i-1}) + l \epsilon_z(x_i) \\ g_d(x_i) &\approx f_d(x_i) - (m_1(x_i) + m_2(x_i)) \end{aligned} \quad (2)$$

4. 스테이지 오차 예측

안내면의 형상을 따라 스테이지가 움직이면 지지 에어 베어링은 안내면의 형상에 따라 새로운 힘의 평형 점으로 움직여서 위치 하도록 되어 있고

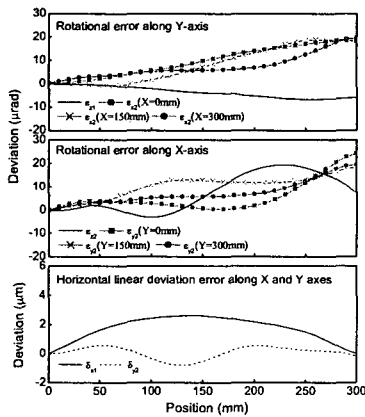


Fig. 5 Estimated motion errors of the moving table

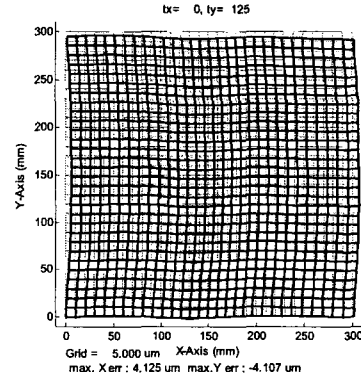


Fig. 6 Estimated 2D position error of stage

이를 이용하여 베어링의 반력 및 모멘트 반력의 힘의 평형을 이용하여 각 패드의 반력을 구하도록 하면 스테이지의 운동오차를 구할 수 있다. 이의 해석을 위하여 전달 함수를 이용한 운동오차 해석 방법을 사용하였으며 식 (3)에 의하여 구하여 지고 베어링의 반력은 FDM을 이용하여 해석 한다[3].

$$z(x) = \frac{1}{K_0 m} \sum_{i=1}^m f_e(x + X_{ci}) \quad (3)$$

$$\theta(x) = \frac{12}{K_0 m(m^2 - 1)^2} \sum_{i=1}^m \{f_e(x + X_{ci})(X_{ci} - R_i(x + X_{ci}))\}$$

식(3)에 3 절의 내용으로부터 구한 레일의 형상 오차 값을 이용하여 예상한 스테이지의 운동오차는 Fig. 5와 같으며 이로부터 구한 2D 오차를 Fig. 6에 도시하였다. 최대 오차가 4.125µm/4.107µm 수준으로 실 측정 값의 0.6µm 정도의 오차를 보이며 그 형태 또한 유사함을 알 수 있다. 이상으로부터 레일의 형상 오차를 측정하여 운동오차를 예측하고 이로부터 2D 위치오차를 예측하는 방법은 매우 효과적임을 알 수 있다.

참고문헌

1. Jooho Hwang, Chun-Hong Park, Chan-Hong Lee, Seung-Woo Kim, "Estimation and correction method for the two-dimensional position errors of a planar XY stage based on motion error measurements," I. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 46, pp. 801 - 810, 2006.
2. Jooho Hwang, Chun-Hong Park, Wei Gao, Seung-Woo Kim, "A three-probe method for measuring parallelism and straightness of a pair of rails for ultra precision machine tools," Proceedings of ASPE 2005 Annual meeting, pp.315-18, 2005
3. C.H. Park and H. Lee, "Motion Error Analysis of the Porous Air Bearing Stage Using the Transfer Function," J. of KSPE Vol. 21, No. 7, 2004, pp. 185-194