

초정밀 미세형상 가공기의 다축오차 측정 및 보정

Measurement and Compensation for Multi-axis Errors of a Ultra Precision Machine Tools for Generating Micro Patterns

*·#황주호, 송영찬, 송창규, 박천홍
 *·# J.H. Hwang (joocho@kimm.re.kr), Y.C. Song, C.K. Song, C.H. Park
 한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부

Key words : Multi-axis errors, Straightness error, Perpendicular error, Diagonal measurement

1. 서론

공작기계는 가공목적에 따라 다축을 가지고 공간상의 상대 운동을 하며 공작물을 가공하는데, 일반적으로 2 개 이상의 이송축을 가지고 있기 때문에 2 차원 평면 혹은 3 차원 공간상의 운동을 한다. 이때 2 개 이상의 이송축이 움직이며 가공을 하면 각 축의 위치오차 뿐만 아니라 진직도와 직각도 등이 다른 이송축에 영향을 주게되어 1 축 위치오차를 보정 후에도 큰 값의 평면오차를 일으키게 된다.

본 연구의 대상이 되는 3 개의 직선 축에 의하여 가공되는 시작품은 Z 축 방향으로 수백 μm 이하의 형상을 갖기 때문에 다축이 이루고 있는 오차는 주로 X 및 Y 의 오차에 의하여 생기게 된다. 이는 두 개의 X 및 Y 축이 움직이면서 발생하는 평면상의 오차가 된다. 따라서 각축의 위치결정정밀도, 수평방향 진직도와 직각도가 주요 오차의 원인이 된다. 이러한 오차를 검증하는 방법은 원호보간 방법이나 자가보정 방법등이 있으나, 전자는 측정 반복능과 기계의 반복능이 비슷하여 정밀한 측정이 힘들고 후자는 측정장치 구현도 복잡한 단점이 있어, ISO230-6 에서는 레이저 간섭계 등을 이용한 대각선 측정방법 (Diagonal measurement method)인 ISO 230-6 규격에 의하여 다축정밀도를 평가한다. 본 연구는 다축오차의 보정방법과 ISO 230-6 규격을 이용한 평가에 대하여 기술하였다.

2. 초정밀 미세형상 가공기의 구조

실험의 대상이 되는 4 축 초정밀 가공기의 전체 구조를 Fig.1 에 나타내었다. 기본적인 구조는 shaping, turning, milling 이 가능하도록 X, Y, Z, C 축의 4 축 구조를 가지고 있

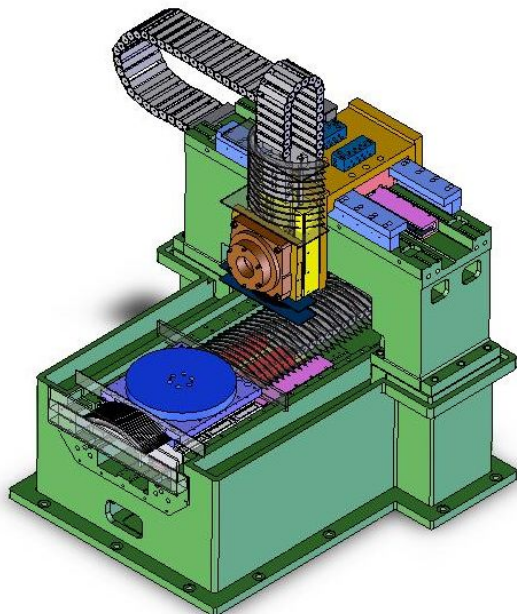


Fig. 1 Configuration of the 4 axis ultra precision machine

다. 가공기의 초정밀화 및 구조의 콤팩트화, 고강성화 등을 고려하여 모든 이송축 및 회전축의 베어링은 유정압 베어링을 사용하였으며, 직선 이송용 모터로는 coreless linear motor 를 사용하였다.

가공기의 면적은 $1,300 \times 1,800 \text{ mm}$ 이며, X 축 및 Y 축의 유효 stroke 는 각각 550 mm, 베드는 C 축 및 Y 축의 구조의 높이가 높아 주물 구조로 선정하였으며 공기스프링을 이용하여 4 점지지방식의 방진구조로 설계하였다. X 축상에 설치되는 Z 축의 무게는 약 70~80 kg 정도의 무게가 예상되며 리니어모터의 축방향 추력이 상대적으로 충분히 높지 않으므로 카운터밸런스를 설치하는 구조로 설계하였다. 각 이송축의 분해능은 기본 5 nm 에 1 nm 까지 확장 가능한 레이저스캐일(Sony 사)을 사용하였다.

3. 직선축의 공간 정밀도 평가

미세형상 가공기는 3 개의 직선축중 수십 μm 의 높이를 갖는 미세형상을 가공하기 때문에 높이의 변화가 작아서 3 축중 XY 축이 이루고 있는 평면에 관한 오차가 주를 이룬다. 이차원 (2D) 오차는 두개의 축이 이루고 있는 상대 이동에 대하여 1 축의 1D 위치결정 정밀도, 수평방향 진직도 및 직각도에 의하여 나타나게 된다. 두개의 축이 이루는 X 및 Y 축이 이루는 관계를 식으로 나타내면 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \delta P_x(i, j) \\ \delta P_y(i, j) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta P_{x1D}(i) + \delta_x(j) \\ \delta P_{y1D}(j) + a_2(i)\theta_{xy} + \delta_y(i) \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, $\delta p_x(i,j)$ 는 x 방향의 오차 $\delta p_y(i,j)$ 는 y 방향의 2 차원 평면상의 오차이며, $\delta p_{x1D}(i)$ 는 X 축의 1 차원 위치오

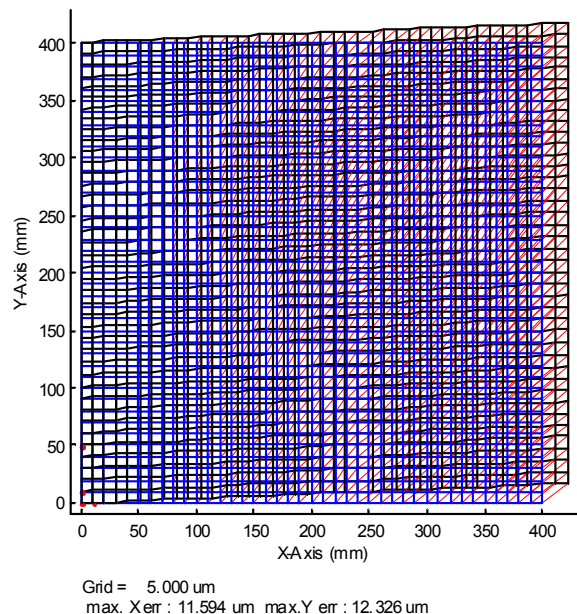


Fig. 2 Estimated 2D position errors on the XY surface

차, $\delta p_{y1D}(j)$ 는 Y 축의 1 차원 위치오차, δ_x 는 Y 축에 의한 운동오차, δ_y 는 x 축에 의한 운동오차, θ_{xy} 는 직각도 오차가 된다.

두축에 의하여 생기는 2D 오차는 평면의 꼭지점을 연결하는 2 개의 대각선에 대하여 ISO230-6 에 의하여 대각오차를 측정하여 Fig. 3 에 보이는 바와 같은 설치를 통하여 평가 할 수 있다. Fig. 4 와 같은 결과가 두 축의 1D 위치오차, 진직도 및 직각도에 의하여 나타남을 관찰할 수 있다.

그림에서 실선은 3 회 측정된 값의 실제 평균이며 Fig.2 의 예측된 오차의 대각방향의 위치오차를 원 및 사각 기호로 표시하여 나타내었다. 예측 값과 실 측정 값이 유사한 크기와 형태를 보이지만 일 부 오차가 생기는 주요 이유는 예측을 위한 측정은 테이블의 가운데에서 한 반면 대각측정은 기계 행정크기의 이유로 테이블의 모서리 쪽에서 측정 하였기 때문이다.

각 축의 1D 위치결정 정밀도는 ISO230-2 규격에 의하여 측정 및 분석이 가능하며 각축의 위치오차의 평균 값을 보정하였으며 수평방향의 진직도는 직교한 축의 진직도오차에 해당하는 테이블의 변위만큼 움직여 보정을 수행하였다.

보정을 수행하면서 측정된 1D 위치오차, 진직도 오차, 직각도 오차를 식(1)에 입력으로 하여 구하여진 예측된 2D 위치오차를 Fig. 5 에 도시하였다. 예측된 값은 그림에 보이는 바와 같이 1 μm 이하 수준의 오차 결과를 보이지만, 대각선 측정에 의하여 Fig. 6 에 보이는 바와 같이 검증하여보



Fig. 3 Positioning accuracy of the X and Y axes

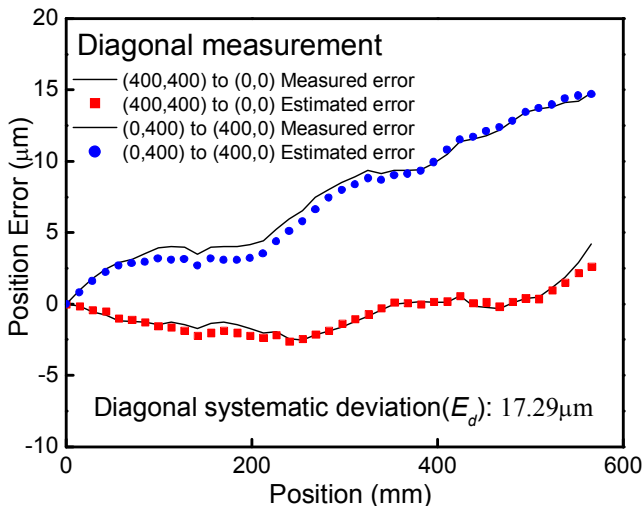


Fig. 4 Diagonal measurement results before compensation

면 1.44 μm 의 대각오차를 보임을 알 수 있다. 오차의 원인은 Fig. 4 에서와 마찬가지로 이유로 예상된다. 이상의 방법을 통하여 대각오차 17.29 μm 의 것을 1.44 μm 수준으로 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

회전테이블은 Y 축 테이블 위에 장착되어 있으며 회전의 중심이 X 및 Y 축에 대하여 수직을 이루고 있어야 한다. 현재 회전축을 측정할 수 있는 방법은 알려져 있지 않으며, 가공후의 평면의 형상을 측정하여 그 값을 구하는 방법등을 사용하고 있다. 향후 이러한 측정방법 및 보정방법에 대하여 연구할 계획이다.

4. 결론

초정밀 미세형상 가공기의 다축오차에 기인하는 2D 오차를 각축의 1D 위치오차, 직각도오차 및 진직도 오차를 보정하여 구현하는 것을 제시하였다. 이의 검증은 대각오차 측정방법을 통하여 검증하였으며 보정하는 방법을 제시하였으며, 대각오차 17.29 μm 의 것을 1.44 μm 수준으로 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. Hwang, J., Park, C., Lee, C. and Kim, C., "Estimation and correction method for the two-dimensional position errors of a planar XY stage based on motion error measurements," International Journal of Machine Tools and Manufacture, 46, pp. 801-810, 2006.

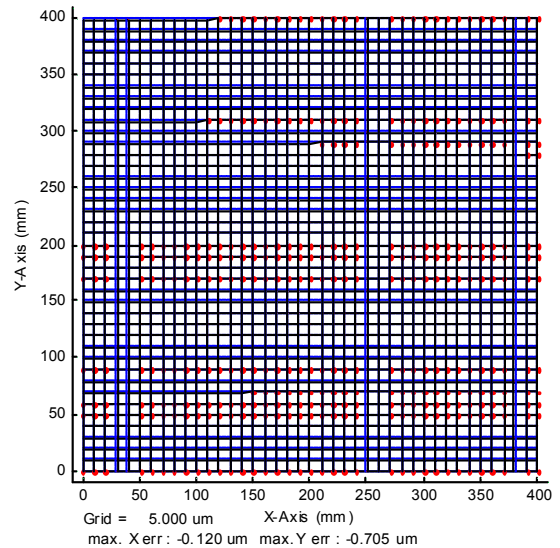


Fig. 5 Estimated 2D positioning error after compensation

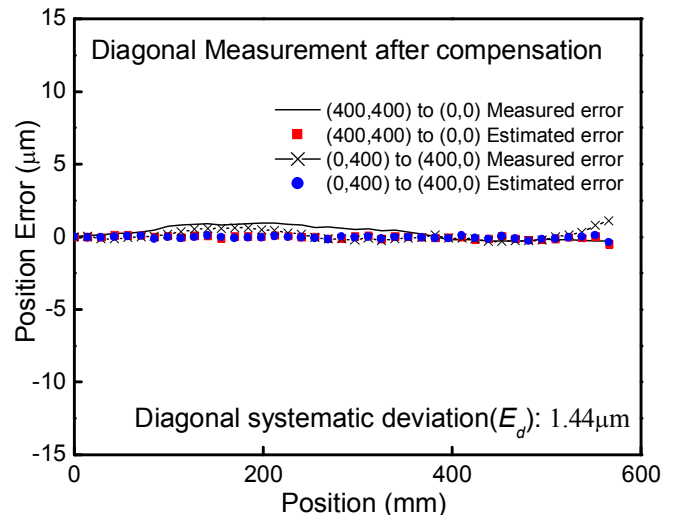


Fig. 6 Diagonal measurement results after compensation