

## 머시닝 센터에서 하중이 위치결정정밀도에 미치는 영향

이 승 수\* · 김 민 주\* · 김 순 경\*\* · 전 언 찬\*\*\*

### The effect on the position precision by load in M.C.

Seung-Soo Lee\* · Min Ju Kim\* · Soon Kyung Kim\*\* · Eon-Chan Jeon\*\*\*

#### Abstract

As the accuracy of manufactured goods needed high-accuracy processing has made the efficiency of NC and measurment technology develop, the innovation of machine tools has influence the development of the semi-conductor and optical technology.

We can mention that a traction role of the acceleration for the development like that depends on the development of the measurement technics - Stylus instrument method, STM, SEM, Laser interferometer method - which are used for measuring the movement accuracy of machine tools. The movement error factors in movement accuracy are expressed as yaw, roll, and pitch etc. Machining center has 21 movement error factors including of 3 axes joint errors because that has 3 axes and has been measured as the standard of the unloaded condition until now inspite of getting static, dynamic, and servo-gain errors in the case of expending the error range.

Therefore, this study tries to measure position accuracy according to loading on the X-Y table of the machining center.

#### 1. 서론

초정밀가공이 요구되는 제품의 정밀도에 따라 NC의 성능과 측정기술의 발전이 있었고, 이에 따른 공작기계의 성능은 날이 갈수록 가속화되고 그 영향에 의해 반도체 및 광학기술은 눈부시게 발전하였다. 이와 같은 발전의 가속화의 견인역할은 측정기술의 발전이 전적으로 뒷받침하고 있다고 해도 과언이 아닐 것이다. 이런 측정기술로는 Stylus instrument method, STM<sup>5)</sup>, SEM<sup>6)</sup>, 광간섭법<sup>16)</sup>등이 있다. 이런 방법을 이용하여 공작기계의 운동정밀도를 측정한다.

운동정밀도에서는 한 축의 운동오차요소<sup>3)</sup>인 요(yaw), 롤(roll), 피치(pitch) 등으로 나타낼 수 있는데 공작기계중 머시닝센터의 경우는 3축이므로 운동오차요인은 축간결합오차 3개를 포함하여 총 21가지의 오차가 있고, 오차의 범위를 확대할 경우 준정적, 동적, 진동 및 서보계인오차와 같은 NC구동시스템오차까지 있으며 준정적오차인 기하학적오차와 열변형오차 등

을 연구하는 팀으로는 국내에서는 대표적으로 서울대 박희재교수팀<sup>2)</sup>이 있고 여러 대학의 연구실<sup>7,8)</sup>에서 수행 중에 있으며, 국외로는 일본 동경농공대 提正臣교수팀<sup>4)</sup> 및 여러 국가의 연구소에서 연구가 진행중이다. 이와 같은 연구는 머시닝 센터의 경우 기계적 강성에 대한 문제는 고려하지 않은 점이 있다.

따라서 본 연구는 하중을 머시닝센터의 X-Y테이블에 가했을 경우 하중에 따른 X-Y테이블의 위치정밀도를 측정하여, 하중이 머시닝센터의 위치정밀도에 미치는 영향을 조사하였고 수직방향으로 처지는 각도 또한 측정하였다.

#### 2. 이론적 해석

##### 2.1 레이저 간섭계

##### 2.1.1 레이저 간섭계를 이용한 거리 측정의 원리

레이저 측정기에 의한 미소거리의 측정원리를 Fig. 1에 나타내었다. 광원은 파장 안정화 He-Ne 레이저로부터 주파수가  $f_1$ ,  $f_2$ 로 서로 약간 다르고 그 편광면이 서로 직교하는 2개의 직선 편광광이 사출된다. 기준 비트신호를 얻기 위해 광속분리기(Beam splitter) BS로 광속의 일부분을 반사시키고 이를 광

\* 동아대 대학원 기계공학과

\*\* 동의공업전문대학 자동차학과

\*\*\* 동아대 기계공학과

검출기 D1에 입사시켜 두 주파수 차이 ( $f_1 - f_2 = 2.204\text{MHz}$ )의 비트신호를 검출하고 증폭과정을 거친후 주파수 카운터에서 계수된다. 한편 광속 분리를 통과하여 반사경이 부착된 간섭계 (Interferometer)로 향한 빔은 간섭계에서 편광방향에 대응하여 투과광( $f_2$ 성분)과 반사광( $f_1$ 성분)으로 분리되어 반사광은 C2(반사경)에서 반사되고, 투과광은 C1(간섭계)에서 반사된 후 광속은 서로 합쳐져서 광소자 D2에 입사된다. 이때 C2를 속도  $V$ 로 이동시키면 주파수  $f_1$ 의 빔은 도플러 효과(Doppler shift)에 의해  $f_1 + \Delta f_1$ 으로 변조되고, 이렇게 바뀐 주파수  $f_1 + \Delta f_1$ 과  $f_2$ 사이에서 맥놀이(beat)가 일어나 이 비트주파수  $|f_1 + \Delta f_1 - f_2|$ 이 광소자 D2에서 검출된다. 여기서 검출된 신호는 증폭과정을 거쳐 주파수 카운터에서 계수된 후 기준 비트신호  $|f_1 + \Delta f_1|$ 와 비교하여 차이  $\Delta f_1$ 을 구한다.

그런데  $\Delta f_1$ 은 도플러 효과에 따라 발생한 변조량 이므로 도플러 효과에서의 주파수와 속도에 대한 관계식은 식(1)과 같다.

$$\Delta f_1 = \frac{2Vf_1}{c} \quad (1)$$

여기서  $c$ 는 빛의 속도(Beam speed)이다. 그리고 미소거리  $L$ 은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L = \int_0^t V dt = \int_0^t \frac{c}{2f_1} \Delta f_1 dt \quad (2)$$

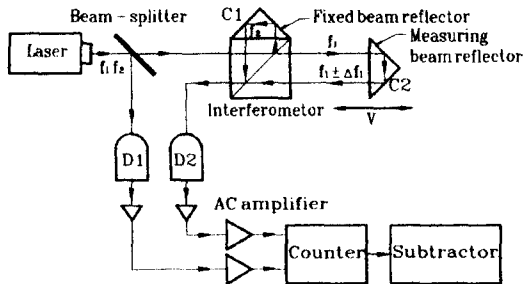


Fig. 1 Principle of a laser interferometer applying to the measurement of differential distance

## 2.1.2 대기(온도, 습도, 기압)의 변화에 의한 레이저 간섭계의 오차

레이저 간섭계는 기온이  $1^\circ\text{C}$ 변화할 때, 기압이  $2.5\text{mmHg}$  변화할 때 그리고, 상대습도의 측정오차가 30% 변화할 때 측정길이의 변화는  $1\mu\text{m}$ 정도이다. 즉, 측정 장소의 공기온도, 습도, 구성성분, 기압의 변화는 공기의 굴절률 변화를 유발하여 측정정밀도에 직결되는 레이저 파장의 변화를 일으키고, 또한 피측정물체를 신축시키므로 이를 보정할 필요가 있다. 굴절과 파장의 관계식에서

$$n_0 \lambda_0 = n \lambda \quad (3)$$

여기서,  $n_0$  : 진공중의 굴절률

$\lambda_0$  : 진공중의 파장

$n$  : 측정 매질중의 굴절률

$\lambda$  : 측정 매질중의 파장

으로 나타내어진다. 여기서  $n_0 = 1$ 이므로

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (4)$$

이다.

## 2.1.3 여현오차(Cosine error)

측정물의 운동 축과 레이저 광속이 평행되게 정렬되지 않고 어떤 각을 이룰 때 레이저에 의해 측정된 값과 실제 거리가 같게 되지 않는다. 이때 생기는 오차가 이루는 각  $\theta$ 의 코사인에 비례하기 때문에 코사인오차라 부른다. 측정시 이 코사인오차의 효과를 줄이도록 정렬을 하여야 한다. Fig.2에서와 같이 측정된 길이  $L$ 은

$$L = L_s \cos \theta \quad (5)$$

이고 여기서  $L$ 은 측정된 거리이고,  $L_s$ 는 스케일의 거리이며,  $\theta$ 는 여현오차에 의해 발생된 각도이다. 식(5)에서 볼 수 있듯이 여현오차는  $\theta$ 와  $L$ 에 비례하는 오차로 작은 거리를 측정할 때는 문제가 되지 않으나 긴 거리를 측정할 때는 정확한 광속 정렬이 필요하다.

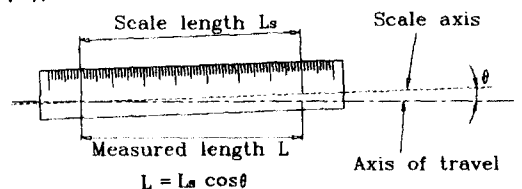


Fig. 2 Schematic of cosine error

## 2.2 밀링머신의 준정적오차

밀링머신의 준정적 오차성분은 3축공작기계의 오차 성분과 동일하다. 즉, 3축에 대한 길이방향의 오차와 축에 대한 각오차 및 축간 결합오차를 포함하여 총 21개의 오차가 존재하는 것으로 밝혀지고 있다. 그리고 본 실험에서는 무부하상태가 아닌 부하상태에서의 오차를 검출하고자 한다. 부하상태의 오차로 가장 유력한 오차 성분을 발생시키는 힘은 Fig. 3에 나타냈었다.

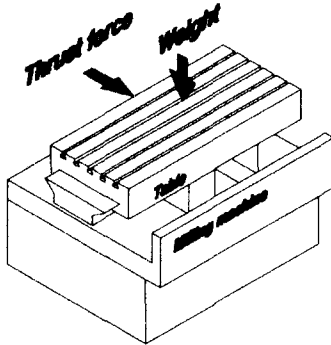


Fig. 3 The expected error factors of X-Y table on the loaded condition

Fig. 3에서 보는 것과 같이 머시닝 센터로 절삭가공 시 공작물의 하중에 의한 테이블의 휨이 예측될 수 있다.

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 실험장치

본 실험의 실험장치는 Fig. 4에 나타낸 것과 같고 사용된 M/C는 기아중공업의 KV35C이고 재원은 Table 1에 나타내었고 측정장비로 사용된 레이저장비의 성능은 Table 2에 나타내었다.

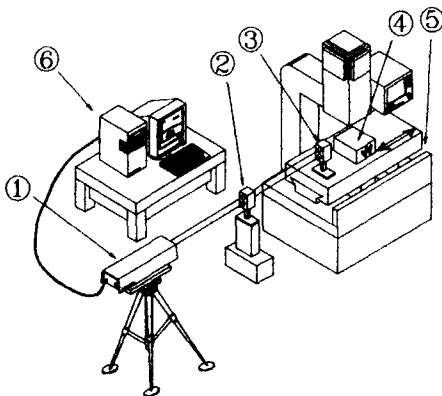


Fig. 4 Schematic of measurement system

Table 1 The Spec. of Machining Center's Table

Item	Spec
1. Stroke of X axis	600mm
2. Stroke of Y axis	450mm
3. Allowable Load	300kg

Table 2 The displacement of laser interferometer

Item	displacement
Resolution	10nm (normal)
Accuracy	±1.5ppm in air
Range	40m (standard)
Max velocity	±0.7m/sec

### 3.2 실험방법

우선 3.1에서 기술한 실험장치를 이용하여 머시닝 센터의 X-Y테이블에 레이저측정장비의 리니어키트를 장치한 후 무부하 상태에서 머시닝 센터를 시운전한다. 그리고 40kg, 60kg, 80kg, 100kg의 추를 X-Y테이블 위에 올려놓은 상태에서 0mm 에서 600mm까지 위치정밀도의 경우는 50mm 간격으로 하중 및 배분력에 의한 각도의 경우는 100mm 간격으로 3회왕복운동을 실시하여 위치정밀도 및 각도오차에 대한 값을 얻었다.

## 4. 실험결과 및 고찰

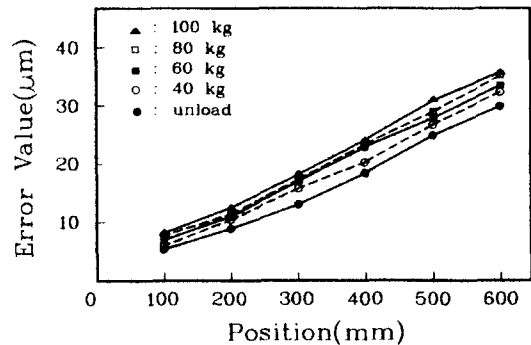
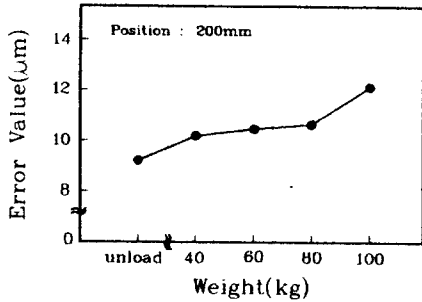


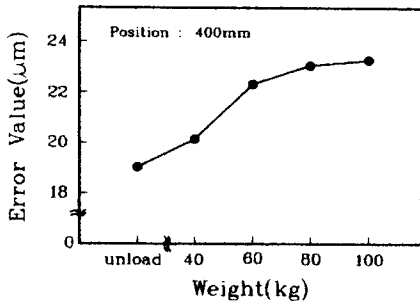
Fig. 5 The position error of X-Y table on the loaded condition

Fig. 5는 머시닝 센터의 X-Y테이블 위에 무게추를 올려놓은 상태에서 측정시작점을 0mm 에서 600mm까지 3회반복운동을시켰을 때 얻은 테이블의 위치정밀도를 나타낸 것으로 하중의 증가에 따라 위치정밀도가

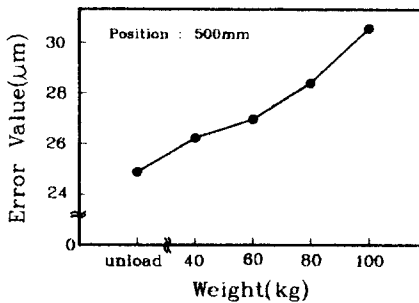
각지점별로 증가하는 경향과 각하중별에 대한 위치별 오차의 변화폭이 증가하는 현상을 볼 수가 있다. 이와 같은 경향은 X-Y테이블의 리드스크류가 하중에 따라 열팽창하였기 때문에 일어나는 현상으로 판단되어지고, 직선형태의 증가는 누적된 오차의 결과로 판단된다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 6 Position errors according to weight at 100,300,500mm measurement position.

Fig. 6은 측정지점 100, 300, 500mm에서의 하중에 따른 위치오차를 나타낸 것으로 하중의 증가에 따라

위치오차의 값도 선형적으로 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 특히 Fig. 6의 (a)는 측정원점에서 100mm에 위치한 지점을 나타낸 것으로 무부하시의 약 5 $\mu$ m의 오차를 나타내었고, 100kg의 부하를 걸었을 경우는 약 8.3 $\mu$ m의 오차를 나타내었다. 그리고 (b)는 무부하시의 약 13 $\mu$ m의 오차를 나타내었고, 100kg의 부하를 걸었을 경우는 약 18 $\mu$ m의 오차를 나타내었다. 또한 (c)는 무부하시의 약 25 $\mu$ m의 오차를 나타내었고, 100kg의 부하를 걸었을 경우는 약 31 $\mu$ m의 오차를 나타내었다. 이와 같이 측정지점의 위치증가에 따라 오차의 값이 증가하는 것은 열변형에 의한 오차가 누적된 상태에서 측정된 것으로 판단되어진다.

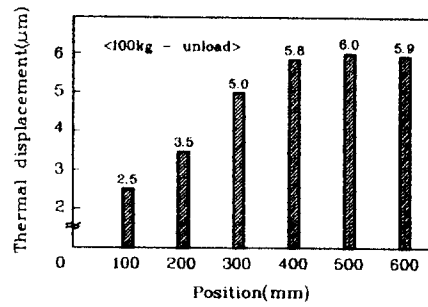


Fig. 7 Thermal displacement according to each position

Fig. 7은 하중이 100kg일때에서 무부하시의 오차를 뺀 값을 각각의 측정 위치에 따라서 표시한 것으로 그림에서 보는 것과 같이 측정 위치의 증가에 따라 일정하게 증가하다가 측정지점이 400mm인 지점부터 측정지점이 600mm인 지점까지 일정한 분포를 그리는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 리드스크류의 온도상승과 대기에 의한 냉각이 동시에 일어나기 때문에 더 이상의 온도 상승이 일어나지 않은 것으로 판단되어진다.

### 5. 결론

머시닝센터에 하중을 개입할 경우 X-Y테이블의 위치정밀도를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 머시닝센터의 X-Y테이블의 구동시 하중에 의하여 리드스크류의 열팽창에 의한 직선운동의 정밀도오차가 측정원점의 100mm에서는 약 5~8.3 $\mu$ m 정도가 발생되었고, 500mm인 지점에서는 약 25~31 $\mu$ m 정

도의 오차를 측정할 수 있었다.

2. 측정지점의 증가에 따라 오차가 증가하는 원인은 열변형이 지속적으로 누적된 결과로 판단된다.

3. 부무하에서 하중이 100kg인 경우를 뺀 오차의 값이 400mm 측정지점 이상에서는 대기의 공냉작용에 의하여 일정한 값을 나타내었다.

#### <참고문헌>

1. 안근식, 장경영, 문희관 “공간섭법을 이용한 절대높이 측정 정밀도 향상에 관한 연구”, 大韓精密工學會秋季學術大會論文集, 1994, pp. 493~498
2. 문준희, 김영삼, 박희재, 주종남 “기구불바를 이용한 가공기계의 정밀도 평가 및 향상 기술 개발”, 대한기계학회 추계학술대회논문집, 1996, pp.693~700
3. 박준호 “정밀측정시스템공학”, 야정출판사, 1993, pp. 205~206
4. 全彦燦, 廣田康宏, 堤正臣, 周曉光 “CNC工作機械の位置決め精度向上に關する研究”, 日本精密工學會 第1回學生會員講演會講演論文集, 1994, pp.95~98
5. 市ノ川竹男, “SEMとSTMの複合機”, 精密工學會誌, pp. 1835~1840, 1987. 12
6. 植木正明, 大岩彰, “ヘテロダイン干涉法による油マノメータの液位差の精密測定”, 精密工學會誌, vol. 58, No. 1, pp. 120~126, 1992
7. 홍성오, 김병철 “CNC 선반에서 BALL SCREW의 열변위 보정에 관한 연구”, 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, 1994, pp. 181~186
8. 홍성오, 조규재 “불나사 열변형에 따른 반복정밀도 개선에 관한 연구”, 한국공작기계기술학회추계학술대회논문집, 1997, pp. 31~36