

## NC 선반의 평면 운동정도 측정장치의 개발

김영석<sup>#</sup>, 한지희<sup>\*</sup>, 정정표<sup>\*</sup>, 윤원주<sup>\*</sup>, 송인석<sup>\*\*</sup>

### Development of Plane Motion Accuracy Measurement Unit of NC Lathe

Young Seuk Kim<sup>#</sup>, Ji Hee Han<sup>\*</sup>, Jung Pyo Jung<sup>\*</sup>, Won Ju Yun<sup>\*</sup>, In Suk Song<sup>\*\*</sup>

#### ABSTRACT

Measurements of linear motion accuracy for one axis of NC lathe have achieved with laser interferometer system, but measurement of plane motion accuracy for two axes on zx-plane of NC lathe have not achieved with the above system. Therefore in this study, measuring unit system is organized using two optical linear scales in order to acquire error data during of plane motion of ATC(Automatic Tool Changer) of NC lathe by reading zx-plane coordinates.

Two optical linear scales of measuring unit are fixed on zx-plane of NC lathe, and moving part of the scales are fixed to the ATC and then error motion data of z, x-coordinates of the ATC are received from the scales through the PC counter card inserted in computer at constant time intervals using tick pulses coming out from computer.

And then, error motion data files acquired from measuring are saved in computer memory and the aspect of plane motion are modeled to plots, and range of the error data, means, average deviations, and standard deviations etc. are calculated by means of statistical treatments using computer programs.

**Key Words** : NC lathe(NC 선반), Plane motion accuracy(평면 운동정도), Plane motion error(평면 운동오차), Error motion(오차운동), Linear scale(리니어 스케일)

#### 1. 서론

NC 선반의 평면 운동정도는 각종 기계부품의 가공에 있어서 부품의 정밀도와 성능에 영향을 주는 매우 중요한 사항으로, 그 평면 운동정도의 측정과 연구는 NC 선반의 품질향상을 위하여 지속적으로 연구할 필요가 있다.

NC 선반의 평면 운동정도 측정에 관한 연구 [1],[2],[3]는 정밀도가 높은 마스터 피스(master piece)

를 가공하여 여기에 2 차원 프로우브( 2D probe)를 접촉시켜 그 운동정도를 측정하는 것으로, 이 방법은 마스터 피스와 프로우브의 접촉에 의한 정밀도에 영향을 받게 된다.

NC 선반의 평면 운동정도 측정을 위해 광학식의 리니어 스케일(linear scale)과, PC 계수카드(PC counter card), 그리고 컴퓨터와 프로그램을 이용하여, 평면 운동정도의 측정 시스템을 구축하고, 그 평면 운동오차의 통계적인 분석과 그 오차운동을

접수일: 2003년 7월 30일; 게재승인일: 2004년 4월 9일

# 교신저자: 조선대학교 기계공학과

E-mail ysakim@chosun.ac.kr Tel. (062) 230-7013

\* 조선대학교 대학원

\*\* 조선대학교 기계시스템분석실

그림으로 표현하는 소프트웨어 시스템을 구축하였다.

## 2. 리니어 스케일의 측정원리

싱글 피일드 스캐닝(single-field scanning)을 갖는 리니어 스케일의 변위 측정원리는, Fig. 1 에서 보여주는 바와 같이, 측정신호를 발생하는 그레이팅에서 빛의 굴절을 이용하는 것으로, 광원과 집속렌즈 및 인덱스 그레이팅이 일체로 반사형의 긴 스케일과 상대운동을 하게 된다. 스케일이 움직일 때, 저 순위(lower order)의 빛의 파동은 고 순위(higher order)의 빛의 파동과 변위에 비례하여 중첩되고 간섭을 일으켜 위상전이(phase shifts)를 일으키게 되고, 이 위상전이(phase shifts)를 평가하여 변위를 측정하게 된다.

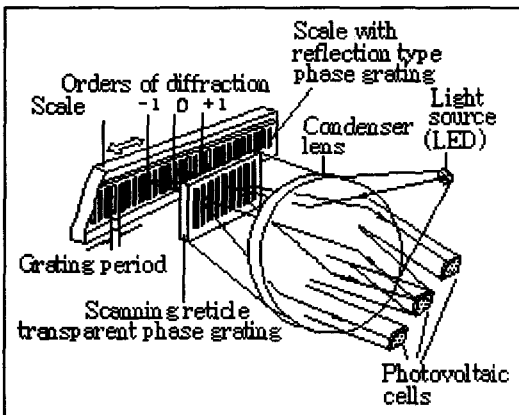


Fig. 1 Measuring principle of displacement of linear scale with one single-field scanning

리니어 스케일은 간섭 스캐닝원리에 의해 수광 소자에서 신호를 발생시키는 것으로, 스캐닝 레티클(reticle)은 굴절된 빛의 성분을 발생하고 중첩시키는 투명한 위상 그레이팅(phase grating)으로 되어 있다. 긴 스케일은 반사형의 위상 그레이팅(phase grating)으로 되어 있고, 광원은 LED(light emitting diode)와 집속렌즈로 된 장치이다.

현재 스케일에서 반사된 빛 성분들은 그들의 위상 위치(phase positions)에서 거리정보를 포함하고 있고, 인덱스 그레이팅에서 간섭을 초래한다. 그 결과로서 얻어지는 빛의 변조에 의해 수광 소

자는 하이덴-하인 회사(Heidenhain co. Germany)의 엔코더(encoder) 특성을 갖는 2 개의 90° 위상전이(phase shifted)된 신호를 가지고 3 개의 120° 위상전이(phase shifted)된 신호를 발생한다.

## 3. 평면 운동정도 측정원리

NC 선반의 평면 운동정도 측정원리는 Fig. 2 에서 보여주는 바와 같이 가공물 좌표계에서 측정 시작점의 위치를 좌표계의 원점을 O(0,0)로 놓고, NC 선반의 ATC(automatic tool changer) 공구대의 평면운동의 지령위치와 실제 위치와의 차로 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta M_i = M_i' - M_i \quad (1)$$

여기에서,  $\Delta M_i = \Delta M_i(\Delta z_i, \Delta x_i)$ : zx 평면상의  $i$  점의 평면 운동오차( $\mu\text{m}$  또는  $\text{mm}$ )

$M_i' = M_i'(z_i', x_i')$ : 실제 측정위치( $\text{mm}$ )

$M_i = M_i(z_i, x_i)$ : 지령상의 위치( $\text{mm}$ )

평면 운동정도 측정에서 얻어진  $n$  개의 위치 데이터에서  $z, x$  축 방향의 목표거리를 각각  $Z, X$  라 하고,  $i(i=1, 2, \dots, n-1, n)$  점의 실제 측정거리를 각각  $z_i', x_i'$  라 하면, 각 축 방향의 운동오차  $\Delta z_i, \Delta x_i'$ 는 다음과 같이 구한다.

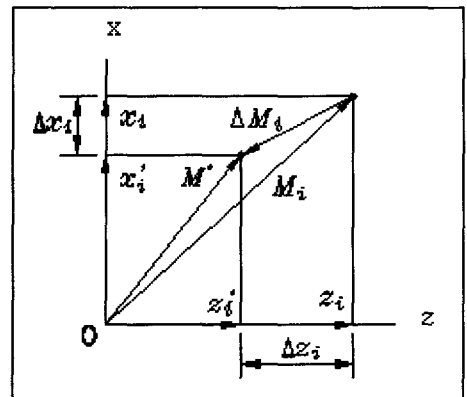


Fig. 2 Measuring principle of linear motion error

$$\Delta z_i = z_i - Z \times \frac{i}{n} \quad (2)$$

$$\Delta x_i = x_i - X \times \frac{i}{n} \quad (3)$$

여기에서,

$\Delta z_i$ : z 축 방향의  $i$  점의 평면 운동오차( $\mu m$ )

$\Delta x_i$ : x 축 방향의  $i$  점의 평면 운동오차( $\mu m$ )

#### 4. 평면 운동정도 측정장치의 구성

NC 선반에서 평면 운동정도 측정장치의 구성은 Fig. 3에서 보여주는 바와 같이, 리니어 스케일을 L-bar에 고정시키고 NC 선반의 x 축 방향과 z 축 방향으로 두 개의 리니어 스케일이 서로 수직이 되도록 마그네트 베이스(magnet base)로 고정시킨다. 다음에 x 축 방향의 리니어 스케일과 z 축 방향의 리니어 스케일의 가동부분을 NC 선반의 ATC 공구대의 일부에 마그네트 베이스로 부착시켜 ATC 공구대와 같이 평면운동을 하게 한다.

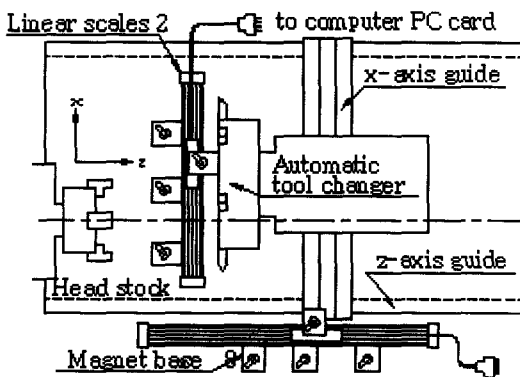


Fig. 3 Organization of measuring unit system

Table 1 과 Table 2 는 평면 운동정도 측정 시스템의 구성에 사용된 리니어 스케일과 PC 카드의 사양이다. 여기에서 보면, 리니어 스케일의 분해능은 0.1 이고, PC 계수 카드(PC counter card)는 2 채널의 사인파(sine wave)를 1 Vpp로 받아들여 1024-배(1024-fold)할 수 있도록 되어 있다.

Table 1 Specification of linear scale

(Model: LF 183, Heidenhain co., Germany)

Items	Specifications
Measuring standard	DIADUR phase grating on steel
Grating period:	8 $\mu m$
Thermal expansion coefficient:	$\alpha_{therm} \approx 10 ppm / K$
Output signals/ Signal periods	$\sim 1 V_{pp}$ / 4 $\mu m$
Accuracy grades	$\pm 2 \mu m (\pm 0.00008 in.) / 1m$
Recommended Measuring steps	1 $\mu m$ to 0.1 $\mu m$
Power supply	5V $\pm$ 5% / <150 mA (with terminating resistor $Z_0 = 120 \Omega$ )

Table 2 Specifications of PC counter card

(Model: IK 121V, Heidenhain co., Germany)

Item	Specifications
Signal inputs	2 $\times$ ~1 Vpp
Signal subdivision (Signal period : measuring step)	Up to 1024-fold
Max. input frequency	400 kHz
Counter (per channel)	32 bits
Driver software	Turbo Pascal

#### 5. 평면운동 경로

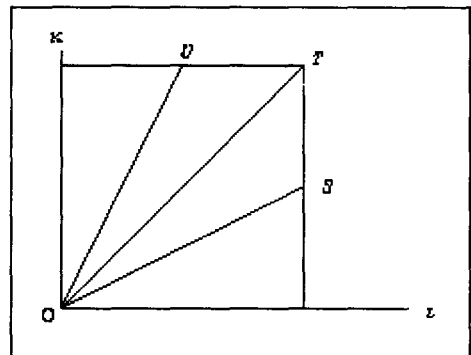


Fig. 4 Paths of linear motion of ATC

NC 선반에서 평면 운동정도 측정방법은 Fig. 4에서 보여주는 바와 같이, NC 선반의 ATC 공구대를  $zx$  좌표계에서 각각  $OT$ ,  $OS$ ,  $OU$  그리고 역으로  $TO$ ,  $SO$ ,  $UO$ 의 경로를 직선운동하게 하여 그 실제위치를 일정한 시간 간격으로 컴퓨터에서 받아들이게 하였다.

### 6. 데이터 획득용 소프트웨어 구성

NC 선반에서 평면운동의 위치 데이터를 얻는 방법은 시작점에서 목표위치까지 지령한 이송속도로 지령한 거리를 운동하면서 위치 데이터를 컴퓨터로 출력하여 저장한다. 여기서, 두 축의 리니어 스케일은 평면운동시의 평면운동의 변위에 따라 전기적 펄스를 보내고 PC 계수카드를 통해 컴퓨터로 읽어 들인다.

Fig. 5의 플로우 차트를 보면 먼저 측정 데이터를 얻는 컴퓨터 프로그램을 가동시켜 데이터 파일을 열어 놓고, IK 121V PC 카드를 영(zero)으로 초기화하여 둔다. 다음 총 직선운동 거리에 해당하는 시간을 틱수(ticks)를 구하여 두고, 측정의 종료를 위하여 사용한다.

한편, 컴퓨터에서는 1 초에 18.2 개의 시각 펄스가 나오는 데, 이것을 이용하여 리니어 스케일에서 측정 데이터를 일정한 시간 간격으로 받아들이게 된다. 측정 데이터를 얻는 시간 간격은 컴퓨터에서 나오는 틱(ticks)수로서 1  $\rightarrow$  2 틱 간격으로 측정 데이터를 얻는다.

다음에 NC 선반의 프로그램을 가동시켜 ATC 공구대가 0.01 mm 이동하면 현재시각을 틱수로 읽어 들이고 종료시각을 계산하고 20 틱을 지연하여 처음 10 mm 정도의 구간에는 측정 데이터를 얻지 않는다. 측정 데이터는 일정한 시간간격으로 읽어 들여 파일로 저장하게 된다.

본 실험에서는 NC 선반을 가동시켜 ATC 공구대를 한 축이 120mm 이동시켜 처음 10mm 와 마지막 10mm 이동하는 동안에는 측정 데이터를 얻지 않고, 중간의 100mm 이동하는 동안에만 측정 데이터를 받아들이게 되어 있다. 이것은 시작과 마지막 정지시의 이송속도의 변화구간을 제외시켜 일정한 이송속도일 때의 오차운동의 변화양상을 측정하기 위한 것이다.

### 7. 측정결과 분석

평면 운동정도 측정 데이터는 파일로서 저장 이 되고, 식 (2), (3)에 의해 구한 위치 데이터의 파일은 Fig. 6, 7 및 8에서 보는 바와 같이, 계측기 자체의 오차를 제거하기 위해 데이터의 경향제거(trend removal)와 표준화 처리(data standardization)를 한 후, 각 축의 평면 운동오차의 최대값(max. error), 최소값(min. error), 평균(mean), 분산(variance), 평균편차(average deviation), 표준편차(standard deviation), 공분산(covariance), 그리고, 선형 상관계수(linear correlation coefficient)등을 구하고, 평면 운동오차의 변동양상을 그림으로 모델링하게 된다. 여기에서, 평면 운동오차의 최대값, 최소값, 평균, 분산, 평균편차, 표준편차, 그리고 공분산등은 그 절대값이 작을수록 오차 데이터는 양호한 것으로 평가할 수 있고, 선형 상관계수는 -1 과 +1 사이의 값을 가지며, 측정 데이터가 완전한 선형 관계를 가지면 61 이 되고, 비선형 또는 산만해지면 0 에 가까워지는 계수이다.

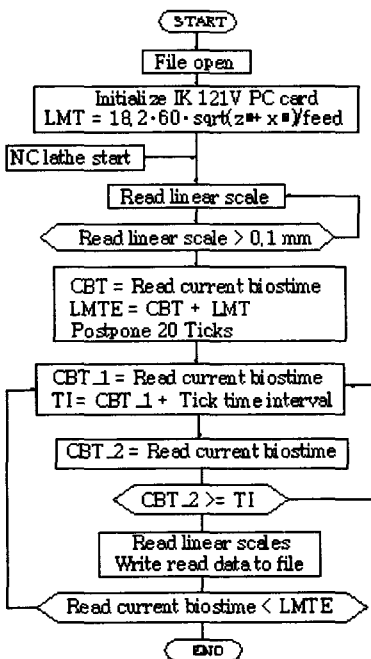


Fig. 5 Flow chart for data acquisition of linear motion accuracy test

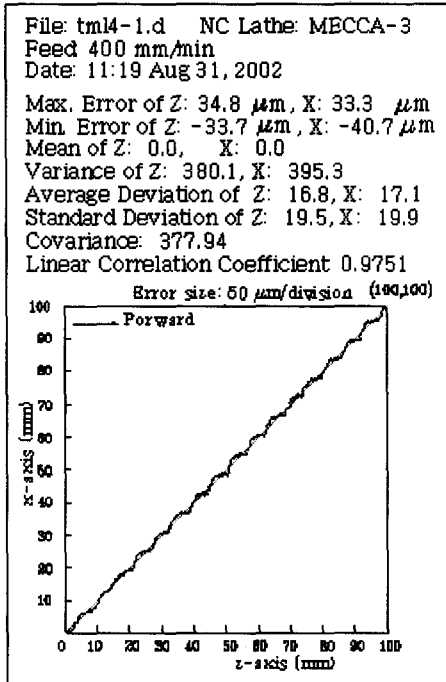


Fig. 6 Results of linear motion accuracy test of NC lathe

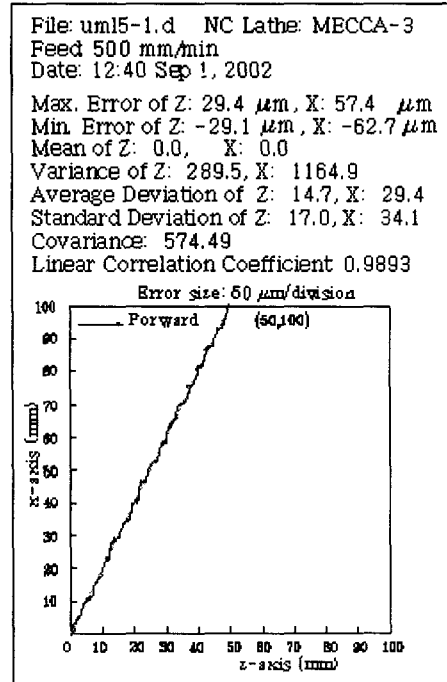


Fig. 8 Results of linear motion accuracy test of NC lathe

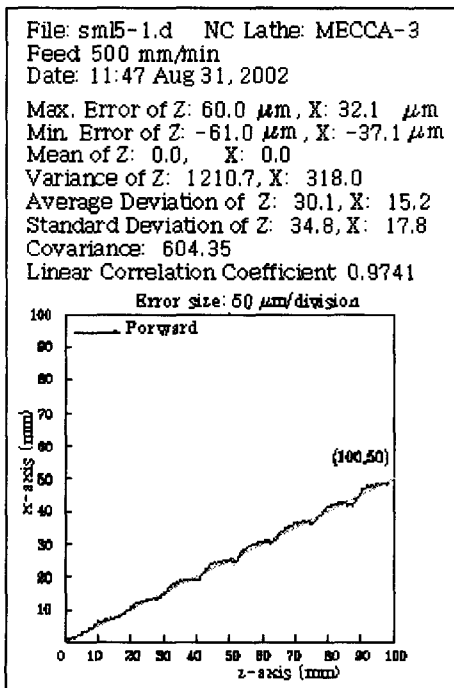


Fig. 7 Results of linear motion accuracy test of NC lathe

Fig. 6, 7, 8 은  $zx$  평면상의 좌표 점  $(0,0)$  에서 시작하여 각각  $(z,x) = (100,100)$ ,  $(z,x) = (100,50)$ ,  $(z,x) = (50,100)$  점까지의 평면 운동중에 얻어진 데이터를 분석하고 그림으로 모델링한 것이다.

## 8. 결론

NC 선반에서 평면 운동정도 측정에서 얻어진 데이터를 분석하고 결론을 요약하면 아래와 같다.

- 1) 광학식 리니어 스케일 측정 시스템을 이용하여 NC 선반의 평면 운동정도 측정을 위한 측정 시스템을 구축하고, 그 평면 운동오차를 측정하는 소프트웨어를 개발하였다.
- 2) NC 선반의 평면 운동정도 측정에서 얻어진 위치 데이터는 컴퓨터 프로그램에 의해 그 오차운동의 양상을 그림으로 모델링하였고, 각 축의 오차의 최대값과 최소값, 그리고 평균, 분산, 표준편차, 평균편차, 공분산 및 선형 상관계수 등을 구하여 수치적으로 비교할 수 있도록 하였다.

## 후기

이 논문은 2002 년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

### 참고문헌

1. Knapp, W., Wirtx, A., "Accuracy of Length Measurement and Positioning(Statical Measurement and Contouring Mode)," CIRP, Vol. 37, pp. 551- 514, 1988.
2. Nakazawa, H., Ito, K., "Measurement System of Contouring Accuracy of NC Machine Tools," Bulletin of the JSPE. Vol. 12, No. 4, pp. 189-194, 1978.
3. Kwon, H. D., Burdekin, "Development and Application of a System for Evaluating the Feed-drive Errors on Computer Numerically Controlled Machine Tools," Precision Engineering, Vol. 19 pp. 133-140, 1996.