

리니어 스케일을 이용한 NC 선반의 직선 운동정도 측정

김영석[#], 김재열^{*}, 한지희^{**}, 정정표^{**}, 윤원주^{**}, 송인석^{***}

Measuring of Linear Motion Accuracy of NC Lathe using Linear Scales

Young Suk Kim[#], Jae Yeol Kim^{*}, Ji Hee Han^{**}, Jung Pyo Jung^{**}, Won Ju Yun^{**}, In Suk Song^{***}

ABSTRACT

It is very important to measure linear motion accuracy of NC lathe as it affects all other parts of machines machined by them in industries. If the motion accuracy of NC lathe is bad, the dimension accuracy and the change-ability of works will be bad in the assembly of machine parts.

In this paper, computer software systems are organized to measure linear motion of ATC(Automatic tool changer) on zx plane of NC lathe using two linear scales and the time pulses coming out from computer in order to get data at constant time intervals from the linear scales. And each sets of error data obtained from the test is discripted to plots and the results of linear motion errors are expressed as numerics by computer treatment.

Key Words : NC lathe(NC 선반), Linear motion accuracy(직선 운동정도), Linear motion errors(직선 운동오차), Error motion(오차운동), Linear scale(리니어 스케일)

1. 서론

급속도로 발전하고 있는 현대 산업기술과 더불어, 자동차 항공기, 공작기계, 가전제품, 반도체 등을 필두로 제품의 고기능화 및 고성능화를 위한 고정밀 부품가공에 대한 요구가 크게 증대되고 있다. 더욱이, 이들 정밀가공기계들이 현대 산업사회의 특성인 고생산성을 만족하기 위해서는 자동화 및 무인화지향이 필수가 되면서 장시간 사용에도 일정한 가공정도를 유지하는 것이 중요한 과제로 부각되고 있다.

NC 선반을 이용한 가공부품의 오차를 야기시키는 주요원인으로는 공작물의 설치작업에서 발생하는 오차나, 가공조건 설정에 의해 결정되는 가공작업자체의 오차, NC 선반의 이송부분과 기계구조물의 형상부분에서 발생하는 기하학적오차와 공작기계의 발열이나 주위의 온도변화에 따라서 야기되는 열변형 오차 등이다. 이들은 공작물의 설치조건 및 가공조건을 적정하게 선정한 경우에도 전체 가공공정에서 야기되는 가공오차의 70%정도를 점유한다.

그중에서도 가공정도에 지배적인 영향을 미치

* 주저자, 조선대학교 기전공학과(yusakim@chosun.ac.kr)
주소: 501-756 광주광역시 동구 서석동 375

조선대학교 교수

** 조선대학교 대학원

*** 조선대학교 기계시스템분석실

는 것이 NC 선반의 운동 정밀도이다. 운동 정밀도는 가공오차로 나타나게 되므로 운동 정밀도를 정확히 평가함과 아울러 그 오차 원인을 알아내는 것은 NC 선반의 가공정도를 향상시키기 위하여 매우 중요한 일이다.

이에 대한 대책으로, 가공오차의 발생원인을 제거함으로써 운동 정밀도 개선을 추구하는 오차 회피법(error avoidance method)과 가공오차를 예측·규명하고, 그 영향을 보상하는 오차규명 및 보상 제어법(error identification & compensation method)이 있다.

오차회피법에 의한 연구로는 대칭설계에 의한 방법, 열원을 분리하여 독립시키는 방법, 열변형의 영향을 감소시킬수 있는 재질을 선택하는 방법, 강제냉각에 의한 온도제어법등이 시도되고 있으나, 이러한 방법들은 대체로 경제적인 부담이 크고, 설계 및 생산기술등의 이유로 실용화에 많은 어려움이 있다.

오차규명 및 보상제어법은 현재까지 가장 많이 보고되고 있는 방법으로, 레이저간섭계나, 볼바시스템등을 사용한 오차규명법이 있으나, 이 방법들은 설치 및 방법이 매우 번거로운 뿐 아니라, 많은 소요시간과 함께 세심한 주의가 필요하다.

본 연구에서는 NC 선반의 직선 운동 정밀도 측정을 위해 광학식의 리니어 스케일(linear scale)을 사용하여, 운동 정밀도를 측정하는 직선 운동 정도의 측정시스템을 구축하고, 그 직선 운동 오차의 분석과 운동 오차를 그래프로 표현하는 소프트웨어 시스템을 구축하였다.

2. 직선 운동정도 측정원리 및 구성

2.1 리니어 스케일 측정원리

장치의 기본구성은 스케일, 검출헤드, 분할 위음 회로로 구성되어 있다. 스케일은 빛을 투과 혹은 반사하는 부분과 못하는 부분이 똑같은 간격과 폭의 격자를 형성하고 있다. 검출헤드는 빛을 보내는 광원(LED 혹은 램프), 인덱스 슬릿(index slit), 투과하거나 반사된 빛을 검출하는 수광소자로 구성되어 있다. 인덱스 스케일은 이동방향의 빛을 검출하는 수광소자로 구성되어 있다. 인덱스 스케일은 이동 방향의 판정 및 분할을 할 수 있도록 하기 위하여 90° (1/4 피치) 위상 차이가 있는 신

호를 발생시킬 수 있는 구조로 되어 있다.

리니어 스케일의 변위 측정원리는 Fig. 1의 싱글 피일드 스캐닝(single-field scanning)을 갖는 장치는 측정신호를 발생하는 그레이팅에서 빛의 굴절을 이용하는 것으로, 광원과 집속렌즈 및 인덱스 그레이팅이 일체로 반사형의 긴 스케일과 상대운동을 하게 된다. 스케일이 움직일 때, 저순위의 빛의 파동은 고순위의 빛의 파동과 변위에 비례하여 중첩되고 간섭을 일으켜 위상 전이(phase shifts)를 일으키게 되고, 이 위상 전이(phase shifts)를 평가하여 변위를 측정하게 된다.

리니어 스케일은 간섭 스캐닝원리에 의해 수광소자에서 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 수광소자는 하이덴-하인 회사(Heidenhain co. Germany)의 엔코더(encoder) 특성을 갖는 2 개의 90° 위상 전이(phase shifted)된 신호를 가지고 3 개의 120° 위상 전이(phase shifted)된 신호를 발생한다.

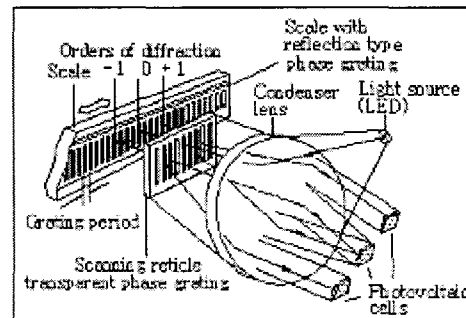


Fig. 1 Measuring principle of displacement by the linear scale with one single-field scanning

2.2 직선 운동정도 측정장치의 원리

NC 선반의 직선 운동정도 측정원리는 Fig. 2 에서 보여주는 바와 같이 가공물 좌표계에서 측정 시작점의 위치를 좌표계의 원점 (0, 0)으로 놓고, NC 선반의 ATC(automatic tool changer) 공구대의 직선 운동의 측정위치와 실제위치와의 차로 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta P = P'(x', z') - P(x, z) \quad (1)$$

여기서,

- $\Delta P = \Delta P(\Delta x, \Delta z)$: 직선 운동오차(μm 또는 mm)
- $P' = P'(x', z')$: 직선 운동후 실제위치(mm)
- $P = P(x, z)$: 직선 운동후 측정위치(mm)

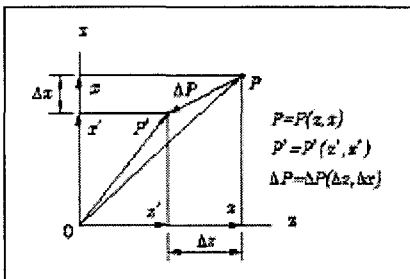


Fig. 2 Measuring principle of linear plane positioning

2.3 직선 운동정도 측정장치의 구성

직선운동 정도 측정장치는, NC 선반의 운동을 센서에 의해 감지하여 인터페이스 카드(Interface card)를 거쳐서 일정한 시간간격으로 컴퓨터에서 읽어 들이게 된다. 그리하여, 컴퓨터 프로그램에 의해 수치로 표시하고, 오차운동의 궤적을 화면으로 나타나게 되어 있다.

NC 선반에서 직선 운동 정도 측정장치의 구성은 Fig. 3에서 보여주는 바와 같이, 리니어 스케일을 L-bar 에 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 직선 운동을 하게 한다.

리니어 스케일은 자석형으로, 코발트-크롬 합

금의 스패터(Spatter)막에 치밀한 자성체가 박혀 있어 직선 변위량을 헤드에서 전기적인 A, B 상의 신호로 받아 들어, 감지기(Detector)에서 A, B 상을 조합하여 0.5 μm 의 분해능을 출력하게 되어 있다.

Table 1 과 2 는 직선 운동정도 측정 시스템 구성에 사용된 리니어 스케일과 PC 카드의 제원이다. 여기에서 보면, 리니어 스케일의 분해능은 0.1 이고, PC 계수 카드(PC counter card)는 2 채널의 사인파(sine wave)를 1 Vpp 로 입력하여 1024-배(1024-fold)할 수 있도록 되어 있다.

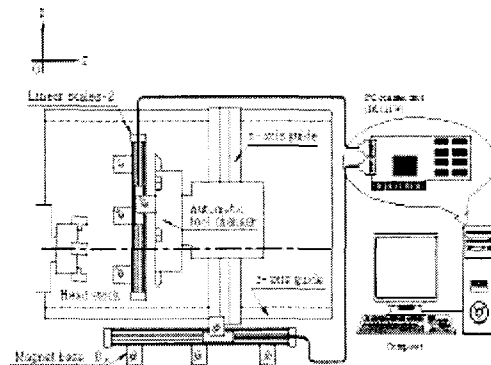


Fig. 3 Setting of linear scales on NC lathe

Table 1. Specification of linear scale
(Model: LF 183, Heidenhain co., Germany)

Items	Specifications
Measuring standard	DIADUR phase grating on steel
Grating period:	8 μm
Thermal expansion coefficient:	$\alpha_{therm} \approx 10 \text{ ppm} / K$
Output signals/ Signal periods	$\sim 1 \text{ Vpp} / 4 \mu m$
Accuracy grades	$\pm 2 \mu m (\pm 0.00008 \text{ in.})$
Recomm'd meas. steps	1 μm to 0.1 μm
Measuring lengths	ML340 mm(13.4 in.) ML540 mm(21.3 in.)
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×~1 Vpp
Signal subdivision (Signal period : meas. step)	Up to 1024-fold
Max. input frequency	400 kHz
Counter (per channel)	32 bits
Driver software	Turbo Pascal

4. 직선운동 정도 측정방법

NC 선반에서 직선 운동정도 측정방법은 Fig. 4에서 보여주는 바와 같이, NC 선반의 ATC 공구대의 이동부분에 리니어 스케일을 부착을 시킨 후 일정하게 직선 운동을 하게 하였다.

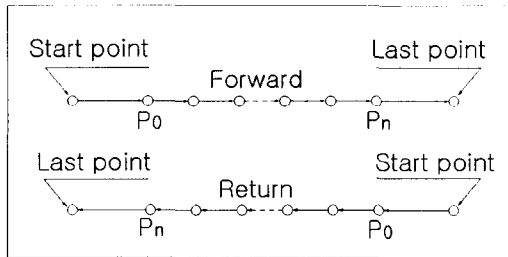


Fig. 4 Method of linear motion

Fig. 4에서 P₀ 점은 NC 선반의 ATC 공구대의 직선 운동의 시작점이고 P_n 점은 직선 운동이 끝나는 점이고, n 은 측정 데이터의 총 수이다. 직선 운동의 P_i (i = 1,2,...,n) 점에서의 직선 운동 오차 ΔP_i(Δx_i, Δz_i) 는 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta P_i = P'_i - P_i \quad (i = 1,2,\dots,n) \quad (2)$$

여기에서

$$\Delta P_i = \Delta P_i(\Delta x_i, \Delta z_i) : i \text{ 점의 직선 운동오차} \quad (\mu m \text{ 또는 } mm)$$

$$P_i = P_i(x_i, z_i) : i \text{ 점의 측정위치}(mm)$$

$$P'_i = P'_i(x'_i, z'_i) : i \text{ 점의 실제위치}(mm)$$

i=1,2,...,n : 직선운동의 측정점

또한, NC 선반에서 각 축 방향의 직선 운동오차는 다음과 같다.

$$\Delta x_i = x'_i - x_i \quad (i = 1,2,\dots,n) \quad (3)$$

$$\Delta z_i = z'_i - z_i \quad (i = 1,2,\dots,n) \quad (4)$$

여기에서,

Δx_i : x 축 방향의 i 점의 직선운동 오차 (μm 또는 mm)

Δz_i : z 축 방향의 i 점의 직선운동 오차 (μm 또는 mm)

x_i : x 축 방향의 i 점의 목표위치(mm)

x'_i : x 축 방향의 i 점의 실제위치(mm)

z_i : z 축 방향의 i 점의 목표위치(mm)

z'_i : z 축 방향의 i 점의 실제위치(mm)

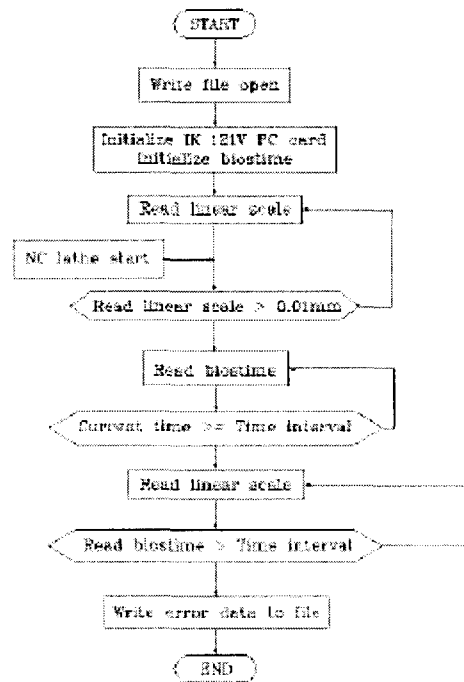


Fig. 5 Flow chart for data acquisition of linear motion accuracy test

NC 선반에서 직선 운동의 오차 데이터를 얻는 방법은 시작점에서 목표위치까지 일정한 운동속도로 이동하여 리니어 스케일의 전 측정거리를 이동하면서 오차 데이터를 컴퓨터로 출력하여 저장한다. 여기서, 리니어 스케일은 직선 운동시의 직선 변위에 따라 전기적 펄스를 보내고 인터페이스 카드를 통해 컴퓨터로 읽어 들인다.

한편, 컴퓨터에서는 1 초에 18.2 개의 시각 펄스가 나오는 데, 이것을 이용하여 리니어 스케일에서 측정 데이터를 일정한 시간간격으로 받아 들인다.

측정 데이터를 얻는 시간 간격은 컴퓨터에서 나오는 틱(ticks)수로서 1~2 틱 간격으로 측정 데이터를 얻는다.

본 실험에서는 NC 선반을 가동시켜 ATC 공구대가 120mm 이동시켜 처음 10mm 와 나중 10mm 이동하는 동안에는 측정 데이터를 얻지 않는다. 그러므로, 중간 100mm 이동하는 동안에만 측정 데이터를 얻게 되어있다.

4. 측정 데이터 처리

직선 운동정도 측정에서 얻어진 직선 운동 오차 데이터의 변동양상을 zx 좌표평면에 그림으로 나타내고, 각 측정위치의 직선 운동 오차값을 좌표값으로 표기하도록 구성하였다.

NC 선반에서 직선 운동정도 측정에서 45°의 각도로 NC 선반이 직선 운동을 하였을 때 직선 운동의 오차 $\Delta P_i = (\Delta x_i, \Delta z_i)$ 은 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta P_i = \sqrt{(\Delta x_i)^2 + (\Delta z_i)^2} \quad (5)$$

여기에서,

ΔP_i : 시작점의 직선 운동오차(μm 또는 mm)

$\Delta x_i, \Delta z_i$: x 축 방향과 z 축 방향의 직선 운동오차로 각각 다음과 같이 구한다.

$$\Delta x_i = x'_i - x_i \quad (6)$$

$$\Delta z_i = z'_i - z_i \quad (7)$$

Δx_i : x 축 방향의 i 점의 직선 운동오차 (μm 또는 mm)

Δz_i : z 축 방향의 i 점의 직선 운동오차 (μm 또는 mm)

x_i : x 축 방향의 i 점의 측정위치(mm)

z_i : z 축 방향의 i 점의 측정위치(mm)

x'_i : x 축 방향의 i 점의 실제위치(mm)

z'_i : z 축 방향의 i 점의 실제위치(mm)

여기에서, x_i, z_i 은 다음과 같이 구한다.

$$x_i = 100 \times \frac{i}{n}, \quad z_i = 100 \times \frac{i}{n} \quad (8)$$

오차 데이터의 파일을 만들어, 분석용 프로그램에 의해 직선 운동오차의 최대 변동범위와 변동폭 그리고 평균, 분산, 평균편차, 표준편차, 등을 구하고, 직선 운동오차의 변동양상을 그래프로 모델링하게 했다.

분산(Variance)은 오차 데이터의 변화폭의 상대적인 표현이라고 할 수 있고, 표준편차(Standard deviation)는 분산의 제곱근으로 계산되는 것으로, 평균(Mean)에 대한 오차들의 편차의 정도를 나타낸다. 또한, 평균편차(Average deviation)는 평균에 대한 오차데이터의 편차의 절대값의 총합을 샘플 수로 나눈 것으로, 표준편차는 약간 추상적인 개념인 데 반하여 평균편차는 보다 더 실제적인 편차 값이다.

5. 측정 결과

직선 운동정도 측정에서 얻어진 측정 데이터들은 파일로서 컴퓨터 메모리에 저장되고 직선 운동오차 데이터를 식 (6) (7)에 의해 구하여 그림으로 나타나게 된다. 그리하여 직선 운동오차의 최대 변동범위와 분산등의 변동양상을 분석하게 된다.

본 실험에서는 NC 선반이 시작점에서 오차 데이터를 측정하지 않고 실험을 하였으므로, 측정 시작점에서 백래시의 오차 데이터가 측정되지 않았으므로 보다 정확한 직선 운동오차 데이터를 측정 하였다.

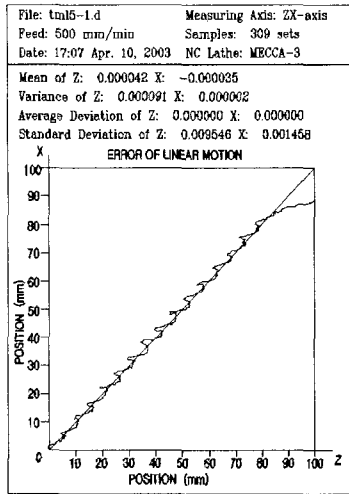


Fig. 6 Results of linear motion accuracy test of NC lathe

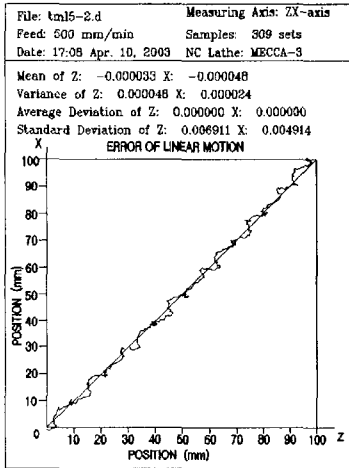


Fig. 7 Results of linear motion accuracy test of NC lathe

Fig. 6, 7 은 리니어 스케일로 측정된 직선 운동 오차 데이터를 모델링한 것이다. Fig. 6 은 전진 운동오차를 나타낸 것이고, Fig. 7 은 복귀 운동오차를 나타낸 것이다.

5. 결론

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

- 1) 광학식 리니어 스케일 측정 시스템을 이용

하여 NC 선반의 직선 운동정도 측정을 위한 측정 시스템을 구축하고, 그 직선 운동오차를 측정하는 소프트웨어를 개발하였다.

- 2) NC 선반의 직선 운동정도 측정에서 얻어진 오차 데이터는 컴퓨터 프로그램에 의해 그 운동오차의 양상을 그림으로 모델링하였고, 또한, 오차 데이터를 평균, 분산, 표준편차, 평균편차등을 구하였다.

참고 문헌

1. W. Knapp, A.Wirtx, 1988, "Accuracy of Length Measurement and Positioning(Statical Measurement and Contouring Mode)", CIRP, Vol. 37, pp. 551- 514.
2. Nakazawa. H, Ito. K, 1978, easurement System of Contouring Accuracy of NC Machine Tools", Bulletin of the JSPE. Vol. 12, No. 4, pp.189-194.
3. H. D. Kwon, Burdekin, 1996, "Development and Application of a System for Evaluating the Feed-drive Errors on Computer Numerically Controlled Machine Tools", Precision Engineering, Vol. 19 pp. 133-140.9.
4. ISO 230-1(DIS:1992) Acceptance code of machine tools, part 1, Geometric accuracy of machines operating under no-load or finishing conditions.