

NC 선반의 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정에 관한 연구

김영석*, 송인석⁺, 정정표⁺⁺, 한지희⁺⁺, 윤원주⁺⁺

(논문접수일 2002. 11. 4, 심사완료일 2003. 3. 3)

A Study on Measurement of Linear Cycle Plane Positioning Accuracy of NC Lathe

Young-Seuk Kim*, In-Suk Song⁺, Jung-Pyo Jung⁺⁺, Ji-Hee Han⁺⁺, Won-ju Youn⁺⁺

Abstract

It is very important to measure linear cycle plane positioning accuracy of NC lathe as it affects all other parts of machines machined by them in industries. If the plane positioning 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 cycle plane positioning displacements 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 cycle plane positioning errors are expressed as numerics by computer treatment.

Key Words : Positioning(위치결정), Plane Positioning Accuracy(평면 위치결정 정도), Linear Cycle(리니어 사이클), Linear Scale(리니어 스케일), NC Lathe(NC 선반)

1. 서론

현대의 산업기술이 고도로 발달해감에 따라 NC 선반은 높은 생산성과 높은 가공 정밀도등의 성능을 요구하고 있다. 이러한 고성능의 NC 선반에 의해 기계부품을 가공함에 있어 그 가공오차는 제품의 정밀도와 성능 및 품질에 영향을 미치는 것으로, 이러한 가공오차를 줄이는 것은 매우 중요

하다고 볼 수 있다. 그러므로, NC 선반의 평면 위치결정 정도의 측정방법, 그리고 위치결정 오차 데이터의 표현방법과 그 위치결정 오차 데이터의 원인분석 및 나아가 NC 선반의 성능을 개선하는 방법등이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 본다.

NC 선반에서 각 축의 직선 사이클 위치결정 정도 측정은 레이저 간섭계 시스템에 의해 측정하고 있으나 설치와 측

* 주저자, 조선대학교 기계공학부 (ysakim@chosun.ac.kr)

주소: 501-756 광주광역시 동구 서석동 375

+ 조선대학교 대학원 정밀기계공학과

++ 조선대학교 대학원 포항산업과학연구원

정이 어려운 점이 있으며, 레이저 간섭계 시스템에 의한 평면 위치결정 정도 측정은 현재까지 불가능한 것으로 알려져 있다. 이와 같이, 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정은 아직까지 측정하는 장비와 측정 시스템이 구축되지 않은 실정이다⁽¹⁾⁻⁽³⁾.

본 연구에서는 NC 선반의 직선 사이클 평면 위치결정 정도의 측정을 위해 광학식의 리니어 스케일(linear scale)을 사용하여 측정 시스템을 구축하고, 측정을 위한 컴퓨터 소프트웨어 및 그 위치결정 오차 데이터의 분석과 그 위치결정 오차 데이터를 그림으로 표현하는 소프트웨어 시스템을 구성하였다.

2. 평면 위치결정 정도 측정원리

NC 선반의 평면 위치결정 정도 측정원리⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾는 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 가공물 좌표계에서 측정 시작점의 위치를 좌표계의 원점 (0, 0)으로 놓고, NC 선반의 ATC (automatic tool changer) 공구대의 평면 위치결정의 목표 위치 $P(x, z)$ 와 평면 위치결정후의 실제위치 $P'(x', z')$ 와의 차로 다음과 같이 정의한다.

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

여기에서,

$\Delta P = \Delta P(\Delta x, \Delta z)$: 평면 위치결정 오차 또는 위치편차 (μm 또는 mm)

$P = P(x, z)$: 평면 위치결정의 목표위치(mm)

$P' = P'(x', z')$: 평면 위치결정후의 실제위치(mm)

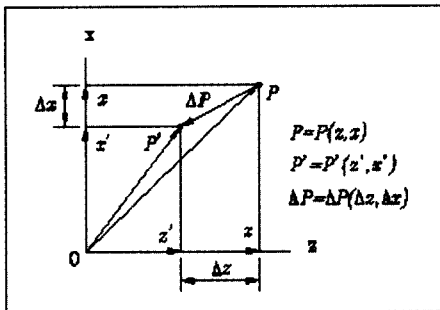


Fig. 1 Measuring principle of linear plane positioning

또, NC 선반에서 x축 방향과 z축 방향의 평면 위치결정 오차 또는 위치편차는 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta x = x' - x \quad (2)$$

$$\Delta z = z' - z \quad (3)$$

여기에서,

Δx : x축 방향의 위치결정 오차 또는 위치편차 (μm 또는 mm)

Δz : z축 방향의 위치결정 오차 또는 위치편차 (μm 또는 mm)

x : x축 방향의 목표위치(mm)

z : z축 방향의 목표위치(mm)

x' : x축 방향의 실제위치(mm)

z' : z축 방향의 실제위치(mm)

3. 리니어 스케일의 변위 측정원리

리니어 스케일의 변위 측정원리는 Fig. 2의 싱글 필드 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 전이를 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

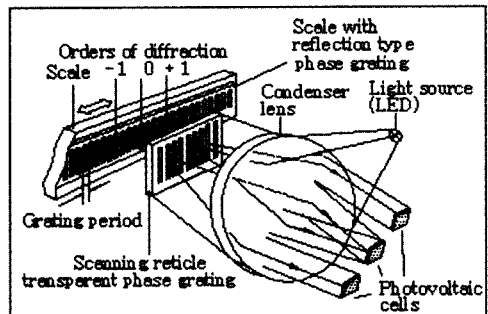


Fig. 2 Measuring principle of displacement by the linear scale with one single-field scanning

(phase grating)으로 되어 있다. 긴 스케일은 반사형의 위상 그레이팅으로 되어 있고, 광원은 LED(light emitting diode)와 집속렌즈로 된 장치이다.

간섭 스케닝은 굴절의 순서로 0와 +1, 그리고 -1의 3개의 빔성분이 인덱스 그레이팅(index grating)에서 발생한다. 이 빔성분들은 스케일의 위상 그레이팅에서 다시 한번 굴절의 0순서가 제거된 점에서 굴절된다.

현재 스케일에서 반사된 순서의 +1과 -1의 빔성분들은 그들의 위상 위치(phase positions)에서 거리정보를 포함하고 있고, 인덱스 그레이팅에서 간섭을 초래한다. 그 결과로서 얻어지는 빔의 변조에 의해 수광소자는 3개의 하이덴-하인 회사(Heidenhain co.)의 엔코더(encoder) 특성을 갖는 2개의 90°위상 전이된 신호를 가지고 3개의 120°위상 전이(phase shifted)된 신호를 발생한다.

4. 평면 위치결정 정도 측정장치의 구성

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

그리하여 리니어 스케일에서 나오는 전기적 신호를 PC 계수 카드(PC counter card)에서 받아들여 수치화하여 오차 데이터를 컴퓨터에서 읽어 들이게 한다.

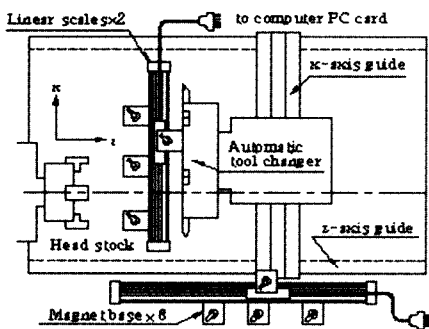


Fig. 3 Setting of linear scales on NC lathe

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

Items	Specifications
Measuring standard	DIADUR phase grating on steel
Grating period:	8 μ m
Thermal expansion coefficient:	$\alpha_{therm} = 10$ ppm/K
Output signals/Signal periods	~ 1 Vpp/ 4 μ m
Accuracy grades	$\pm 2\mu\text{m} (\pm 0.00008 \text{ in.})$
Recomm'd meas. steps	1 μ m to 0.1 μ m
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 \times ~ 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

Table 1과 2는 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정 시스템 구성에 사용된 리니어 스케일과 PC 카드의 제원이다. 여기에서 보면, 리니어 스케일의 분해능은 0.1 μ m이고, PC 계수 카드(PC counter card)는 2 채널의 사인파(sine wave)를 1 Vpp로 입력하여 1024-배(1024-fold)할 수 있도록 되어 있다.

5. 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정방법

NC 선반에서 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정방법은 Fig. 4에서 보여주는 바와 같이, NC 선반의 ATC 공구대를 일정한 간격으로 위치결정 운동을 하게 하여 반환점을 거쳐 다시 시작점으로 귀환하도록 한다. 그리하여, 각 목표

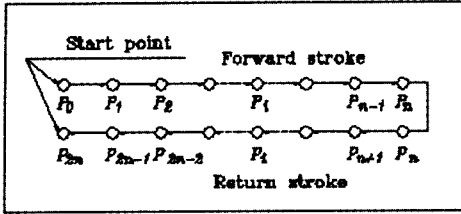


Fig. 4 Methods of linear cycle plane positioning

점의 실제위치를 리니어 스케일에 의해 측정하여 그 위치결정 오차운동을 수치로 표현하고 그림으로 묘사하여 분석하는 것이다. 이 실험에서는 10 mm씩 이동하고 8초간 정지하여 정지중에 오차 데이터를 받아들일도록 하였다. 그리하여, 100 mm를 전진한 후 다시 시작점으로 돌아오도록 하였다.

Fig. 4에서 $P_0 = P_{2n}$ 점은 NC 선반의 ATC 공구대의 위치결정 운동의 시작점이고 또 마지막 귀환점이 되기도 한다. 일반적으로 평면 위치결정 운동의 P_i ($i=1, 2, \dots, n, n+1, \dots, 2n$) 점에서의 직선 사이클 평면 위치결정 오차 또는 위치편차 $\Delta P_i (\Delta x_i, \Delta z_i)$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta P_i = P'_i - P_i, \quad (i=1, \dots, n, n+1, \dots, 2n) \quad (4)$$

여기에서,

$\Delta P_i = \Delta P_i (\Delta x_i, \Delta z_i)$: i 점의 위치결정 오차 또는 위치편차 (μm 또는 mm),

$P_i = P_i(x_i, z_i)$: i 점의 목표위치(mm)

$P'_i = P'_i(x'_i, z'_i)$: i 점의 실제위치(mm)

$i=1, 2, \dots, n$: 전진 사이클의 목표점

$i=n+1, n+2, \dots, 2n$: 귀환 사이클의 목표점

또한, NC 선반에서 각 축 방향의 직선 사이클 평면 위치결정 오차 또는 위치편차는 다음과 같다.

$$\Delta x'_i = x_i - x_i, \quad (i=1, 2, \dots, n, n+1, \dots, 2n) \quad (5)$$

$$\Delta z'_i = z_i - z_i, \quad (i=1, 2, \dots, n, n+1, \dots, 2n) \quad (6)$$

여기에서,

Δx_i : x축 방향의 i 점의 위치결정 오차 또는 위치편차 (μm 또는 mm)

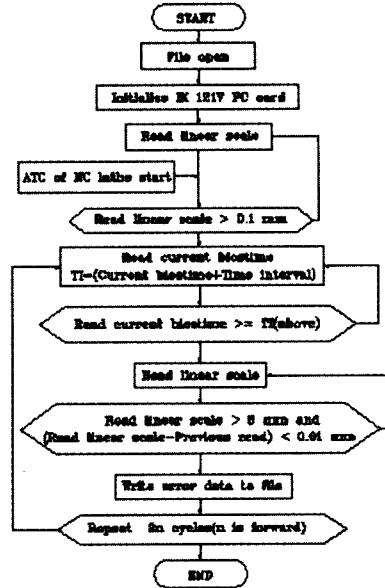


Fig. 5 Flow chart for linear cycle plane positioning accuracy test

Δz_i : z축 방향의 i 점의 위치결정 오차 또는 위치편차 (μm 또는 mm)

x_i : x축 방향의 i 점의 목표위치(mm)

x'_i : x축 방향의 i 점의 실제위치(mm)

z_i : z축 방향의 i 점의 목표위치(mm)

z'_i : z축 방향의 i 점의 실제위치(mm)

NC 선반에서 직선 사이클 평면 위치결정의 오차 데이터를 얻는 방법은 Fig. 5의 플로우 차트에서 보여주는 바와 같이, 먼저, 데이터를 얻을 수 있는 컴퓨터 프로그램을 가동시켜 리니어 스케일의 시작점을 영(0)으로 초기화하고, 측정 데이터를 받아들일 준비를 한 후, NC 선반을 가동시켜 ATC 공구대의 이동량이 0.1 mm 이상이 되면 위치 데이터를 받아들이기 시작한다.

한편, 컴퓨터에서는 1초에 18.2개의 시각 펄스가 나오는데, 이것을 이용하여 리니어 스케일에서 측정 데이터를 일정한 시간간격으로 받아 들인다. 그리하여 ATC 공구대가 위치결정 후 정지중에 위치결정 오차 데이터를 판별하여 컴퓨터의 메모리에 저장하게 한다.

위치결정 오차 데이터를 판별하는 방법은 사이클의 각각의 목표점의 4/5 이상을 이동했는가를 판단하고 또, 정지중

에는 위치 데이터의 값이 거의 일정하기 때문에 현재 읽어 들인 데이터와 바로 전에 읽어 들인 데이터의 차가 0.01 mm 이하가 되면 측정값으로 간주하도록 소프트웨어를 구성하였다.

6. 측정 데이터의 처리

직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정에서 얻어진 위치결정 오차 데이터는 전진방향과 귀환방향의 위치결정 오차 데이터의 변동양상을 zx 좌표평면에 그림으로 나타내고, 각 목표위치의 위치결정 편차값을 좌표값으로 표기하도록 구성하였다.

NC 선반에서 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정에서 최대 위치결정 오차값과 최소 위치결정 오차값을 찾아서 표시하고, 또, 시작점의 귀환 오차 또는 귀환 위치편차 $\Delta P_{2n}(\Delta x_{2n}, \Delta z_{2n})$ 은 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta P_{2n} = P'_{2n} - P_{2n} \tag{7}$$

여기에서,

ΔP_{2n} : 시작점 귀환오차 또는 시작점 귀환 위치편차 (μ m 또는 mm)

P_{2n} : 평면상의 2n 점의 목표위치(mm)

P'_{2n} : 평면상의 2n 점의 실제위치(mm)

x축 방향과 z축 방향의 직선 사이클 평면 위치결정 오차 또는 귀환 위치편차는 각각 다음과 같다.

$$\Delta x_{2n} = x'_{2n} - x_{2n} \tag{8}$$

$$\Delta z_{2n} = z'_{2n} - z_{2n} \tag{9}$$

여기에서,

Δx_{2n} : x축 방향의 위치결정 오차 또는 위치편차 (μ m 또는 mm)

Δz_{2n} : z축 방향의 2n 점의 위치결정 오차 또는 위치편차 (μ m 또는 mm)

x_{2n} : x축 방향의 2n 점의 목표위치(mm)

x'_{2n} : x축 방향의 2n 점의 실제위치(mm)

z_{2n} : z축 방향의 2n 점의 목표위치(mm)

z'_{2n} : z축 방향의 2n 점의 실제위치(mm)

Fig. 6의 (3)의 그림에서 직선 사이클 평면 위치결정의 목표점에서 위치편차값들은 μ m 단위로 확대하여 zx 평면상에서 나타내고 있다. 특히, 귀환 사이클의 목표점 (0,0) 위치에서는 시작점 귀환오차를 나타내고 있다.

Fig. 7은 Fig. 6의 일부를 확대하여 평면 위치결정의 목표위치와 평면 위치결정의 위치편차와의 관계를 보여주는 것으로, \circ 표로 표시된 $P_1, P_2, \dots, P_{10}, \dots, P_{20}$ 점들은 직선 사이클 평면 위치결정의 목표점들이고, \times 표로 표시된 $P'_1, P'_2, \dots, P'_{10}, \dots, P'_{20}$ 점들은 ATC 공구대의 실제 위치결정점들을 나타낸다. 따라서, P_0 점은 ATC 공구대의 시작점이고, P_1 점은 첫 번째 목표위치로 그 위치편차는 zx 평면상에서 $\Delta P_1(-27.5, -19.3) \mu$ m를 나타내고 있고, P_2 점은 두 번째 목표위치로 그 위치편차는 zx 평면상에서 $\Delta P_2(-28.1, -15.8) \mu$ m를 나타내고 있다. 또, 시작점 $P_0(=P_{20})$ 에 대한 귀환 위치편차는 $\Delta P_{20}(14.0, 16.6)$

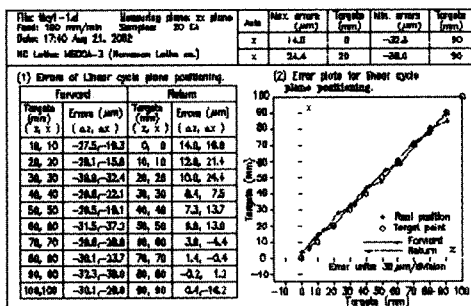


Fig. 6 Results of linear cycle plane accuracy test of NC lathe

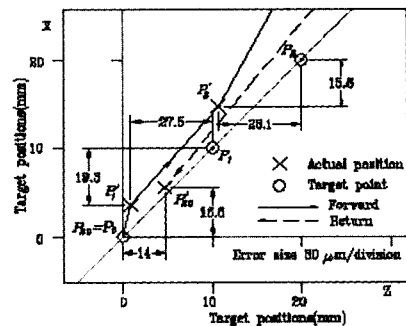


Fig. 7 Matching methods of targets and plane positioning errors

μm 를 나타내고 있다. 그러므로, \times 표는 각 위치결정점의 목표점에서의 실제위치를 보여주는 것이다.

7. 결론

NC 선반에서 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정에서 얻어진 데이터를 분석하고 결론을 요약하면 아래와 같다.

- (1) 광학식 리니어 스케일 측정 시스템을 이용하여 NC 선반의 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정을 위한 측정 시스템을 구축하고, 그 위치편차를 측정하였다.
- (2) NC 선반의 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정에서 얻어진 위치편차 데이터는 컴퓨터 프로그램에 의해 그 위치편차의 양상을 그림으로 모델링하였고, 또한, 각 사이클 구간의 위치편차 데이터를 표로 구하였다.

후 기

이 논문은 2001년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구 되었음.

참고 문헌

- (1) Knapp, W. and Wirtx, A., 1988, "Accuracy of Length Measurement and Positioning(Statical Measurement and Contouring Mode)", *CIRP*, Vol. 37, pp. 551 ~ 514.
- (2) Nakazawa, H. and Ito, K., 1978, "Measurement System of Contouring Accuracy of NC Machine Tools", *Bulletin of the JSPE*. Vol. 12, No. 4, pp. 189 ~ 194.
- (3) Kwon, H. D. and 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.