

머시닝 센터에서 원운동정도 측정시스템의 개발 (Development of Measuring System of Circular Motion Accuracy in Machining Center)

김 영 석*, 남 궁 석**

Young Seuk Kim*, Suk Namgung**

Abstract

It is very important to test motion accuracy and performance of NC machine tools as they affect that of all other machines machined by them in industry.

In this paper, it has become possible to detect errors of linear displacement of radial direction for circular motion test using newly assembled magnetic type of linear scales so called Magnescale ball bar system, and to calculate time interval getting error motion data and revolution angle of circular motion in machining center using tick pulses come out from computer. And a set of error data gotten from test is expressed to a plot by computer treatment and to numerics of error motion by statistical treatment and results of test are compared with those of Renishaw ball bar system.

Keywords : Machining center(머시닝 센터), Circular motion test(원운동시험), Circular motion accuracy(원운동 정도), Circular motion error(원운동 오차), Error motion(오차운동)

1. 서 론

머시닝 센터의 운동정도와 성능은 산업현장에서 사용하는 다른 모든 기계들의 제작에 있어서, 그 정밀도와 성능 및 기능적인 품질에 영향을 미치는 것으로, 머시닝 센터의 성능과 정밀도의 향상을 위해서는, 측정기 자체에 대한 연구와 측정방법, 그리고 오차운동의 표현방법과 머시닝 센터의 운동정도 표시방법, 그리고 그 오차운동의 원인분석 및 머시닝 센터의 개선방향 등에 대해서

필수적으로 연구되어야 한다.

1982년 미국의 Bryan^(1,2)이 변위 측정용 센서로서 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)와 2개의 강구 및 영구자석을 사용한 TMBB(Telescoping Magnetic Ball Bar)법을 발표하여, 보울-바(Ball bar)에 의해 머시닝 센터의 원운동시의 운동오차를 감지해 내게 되었다.

1982년 스위스의 Knapp⁽³⁾는 2차원 변위계와 마스터링(Master ring)을 사용한 회전운동 시험법(Circular Test Method)을 발표하였다.

* 조선대학교 정밀기계공학과

** 충남대학교 기계공학과

일본의 Kakino^(4,5)의 DBB(Double Ball Bar)법은 TMBB법과 유사한 장치로서 봉(Bar)의 중간에 모아레형(Moire type)의 광전형 센서를 삽입하여 NC 공작기계의 원운동정도를 측정하는 것이다.

Burdekin⁽⁶⁾은 영국의 C.D.사에서 개발한 컨티셔 시스템(Conti-sure system)을 이용하여 연구논문을 내고 있는데, 이것은 컨티셔 링크(Contisure link)의 양단부에 머시닝 센터의 스피들축과 실험장치의 중심에 고정된 강구가 각각 들어 있고, 센서로는 LVDT를 사용하여 반경방향의 운동오차를 감지해내는 것이다.

일본의 Tsutsumi⁽⁷⁾는 전기적인 탐촉자(Electrical probe)로서 정전용량형의 커패시턴스 센서(Capacitance sensor)나 와전류형의 에디 커런트(Eddy current) 등과 로터리 엔코더(Rotary encoder)를 사용하여 반경방향의 변위와 로터리 엔코더의 회전각도로 원운동정도를 측정할 수 있는 r- θ 법(r- θ method)을 발표하였다.

Renishaw 보울-바 시스템은 영국의 Renishaw회사에서 개발한 것으로 TMBB법과 같이 보울-바의 양단에 강구가 자석에 의해 지지되어 원운동하는 것은 유사하나, 측정장치와 머시닝 센터의 스피들축의 중심정렬을 쉽게 할 수 있는 장점이 있다.

그러므로 본 연구에서는 원운동시험장치에 의한 오차를 최대한 줄이고, 머시닝 센터의 스피들축과 실험장치의 중심정렬을 정확하고 쉽게 하기 위하여, 강구와 자석, 그리고 3점 보울-시트를 사용하여 마그네스케일 보울-바(Magnescale ball bar)를 제작하였고, 또 실험장치 본체는 4개의 자유도를 갖는 보울-조인트(Ball-joint)와 고정구(Fixture)를 제작하였고, 컴퓨터에서 나오는 시각필스를 이용하여 측정을 위한 소프트웨어를 구성하였다. 그리하여, 측정장치와 머시닝센터, 그리고 오차 데이터의 채집과 분석을 위한 소프트웨어, 또한 측정결과를 그림으로 모델링하기 위한 컴퓨터와 플로터 및 레이저 프린터를 하나의 시스템으로 구성하여, 원운동오차를 측정하고, Renishaw 보울-바 측정시스템의 측정결과와 비교하여, 머시닝 센터의 성능시험을 보다 합리적으로 행하는 방법을 연구하려고 한다.

2. 원운동오차의 측정원리

머시닝 센터에서 원운동정도의 측정원리^(4,5)는 Fig. 1에

서 보여주는 바와 같이, 원운동의 오차 또는 위치편차 $\Delta R(\Delta R_x, \Delta R_y, \Delta R_z)$ 는 실제 측정시에는 원운동정도 측정장치의 제약 때문에, 원운동의 반경을 $R(R_x, R_y, R_z)$ 라 하면, 원운동의 중심 $O(X_0, Y_0, Z_0)$ 에서 지령상의 원운동의 위치 $R(R_x, R_y, R_z)$ 와 원운동시에 머시닝 센터의 주 축선단의 반경방향의 실제 측정거리 $R'(R'_x, R'_y, R'_z)$ 와의 차로 다음식과 같이 표시된다.

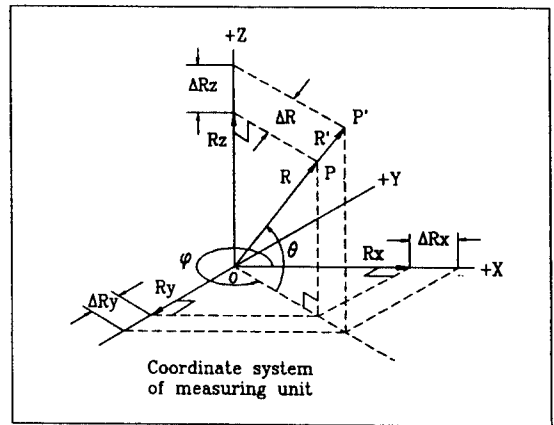


Fig. 1 Measuring principle of circular motion error

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

$$R' = R + \Delta R \quad (2)$$

여기서 $R(R_x, R_y, R_z)$: 원운동의 반경(mm)

$R'(R'_x, R'_y, R'_z)$: 측정장치에서 실제 측정 반경(mm)

$\Delta R(\Delta R_x, \Delta R_y, \Delta R_z)$: 원운동에서 반경방향의 오차(mm, 또는 μm)

그러므로, 각 X, Y 및 Z-축방향의 오차 또는 위치편차 $\Delta R_x, R_y$ 및 ΔR_z 는 각각 다음과 같다.

$$\Delta R_x = R'_x - R_x$$

$$\Delta R_y = R'_y - R_y \quad (3)$$

$$\Delta R_z = R'_z - R_z$$

여기에서 머시닝 센터의 지령상의 원운동의 반경을 $R(R_x, R_y, R_z)$ 라 하면, 각 X, Y 및 Z-축방향의 거리 R_x, R_y 및 R_z 는 다음과 같다.

$$R_x = R \cdot \cos\theta \cdot \cos\phi$$

$$R_y = R \cdot \cos\theta \cdot \sin\phi \quad (4)$$

$$R_z = R \cdot \sin\theta$$

여기서 θ : XY-평면에 대한 회전각(rad. 또는 deg.)

ψ : Z-축에 관한 회전각(rad. 또는 deg.)

또, 실제 측정된 반경을 $R'(R_x', R_y', R_z')$ 라 하면 각 X, Y 및 Z-축방향의 실제의 반경의 길이 R_x', R_y' 및 R_z' 는 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_x' &= R' \cdot \cos\theta \cdot \cos\psi \\ R_y' &= R' \cdot \cos\theta \cdot \sin\psi \\ R_z' &= R' \cdot \sin\theta \end{aligned} \quad (5)$$

그러나, 실제 측정시에는 원운동정도 측정장치와 센서의 길이상의 제약 때문에, 원운동의 반경방향의 오차 ΔR 를 측정하여 식 (2)에 의해 구한 데이터를 처리하여 그 오차운동의 궤적을 모델링하거나 진원도를 구하게 된다.

3. 원운동정도 측정시스템의 구성

원운동정도 측정 시스템의 전체적인 계통도는 Fig. 2에서 보는 바와 같이, 리니어 스케일(Linear scale)은 원

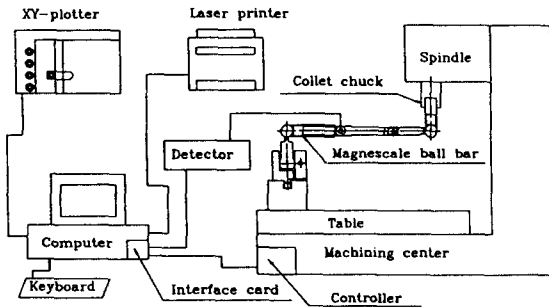


Fig. 2 Schematic diagram of measuring system

운동시의 반경방향의 직선변위를 감지하고, 여기에서 감지된 오차의 량은 감지기(Detector)를 통하여 인터페이스 카드를 거쳐 컴퓨터로 입력된다. 한편 오차의 궤적을 그림으로 모델링하기 위한 회전각은 컴퓨터에서 1초에 18.2개가 나오는 틱(Tick)수를 받아 들여 회전각도를 산출한다. 여기에서 얻어진 데이터는 컴퓨터에서 분석 프로그램과 데이터 변환 프로그램에 의해 변환되어 오차의 분석과 원운동 오차궤적을 컴퓨터 화면이나 레이저 프린터 또는 XY-플로터로 출력된다. 컴퓨터와 머시닝

센터는 RS-232C로 접속되고 머시닝 센터 구동용의 NC 프로그램이 전송된다.

원운동정도 측정에 사용한 실험장치 본체는 Fig. 3에서 보는 바와 같이, 강구(Steel ball) B와 3점 보울-시트(3 Point Ball Seat) A의 중간에 리니어 스케일(Linear scale)을 삽입하고, 자석 A, B에 의해 지지되어 원운동을 할 수 있게 되어 있다. 여기에서 보울-조인트는 4개의

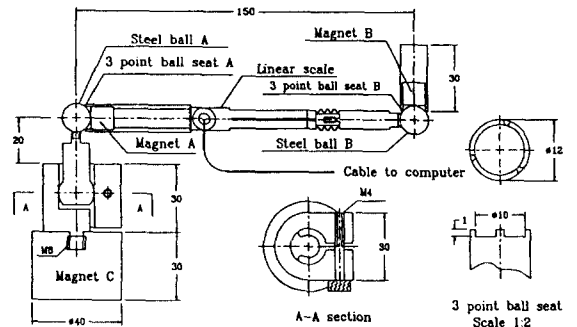


Fig. 3 Measuring unit of circular motion accuracy

자유도를 가지고 있어서, 머시닝 센터 스피indle축의 3점 보울-시트에 강구 B가 접촉되어 정확한 중심정렬이 이루어지도록 하였다.

리니어 스케일(Linear scale)은 Fig. 4에서 보는 바와 같이, 자석형으로 특수 재질의 봉에 치밀한 자성체가 박혀 있어, 축방향으로 미동하면서 오차의 변위량을, 헤드(head)에서 전기적인 A, B상의 신호로 받아 들여, 감지기에서 이 A, B상의 신호를 조합하여 $0.5\mu\text{m}$ 의 분해능을 출력하게 되어 있다.

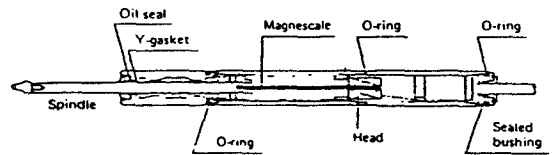


Fig. 4 Linear scale : DA100-005A(Sony, Japan)

원운동정도 측정 시스템의 구성에 사용한 실험기기들의 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of parts for circular motion test

[1] Linear scale

Model, Maker	DA100-005A, Sony(Japan)
Measurement Range	5.2mm
Measuring error	0.002mm

[2] Detector

Model, Maker	MD20A, Sony(Japan)
Resolution	0.5 μ m
Power requirement	DC+5V(±5%)
Output phase	A·B or Up/Down

[3] Magnet, A, B

Size(Dia. × Length)	ϕ 10 × 10mm
Magnetic Force	60N

[4] Magnet C

Model, Maker	KM-04C, Kanetec(Japan)
Magnetic Force	30N
Size(Dia × Height)	ϕ 30 × 25mm

[5] Steel Ball A, B

Diameter, Mker	ϕ 1/2", NTN(Japan)
Sphericity	0.05 μ m

[6] Adhesive

Epoxy bond, Maker	S-208, Devcon(U.S.A)
-------------------	----------------------

[7] Machining center

Model, Maker	VMC-650, Whachon(Korea)
Controller	FANUC 0M
Basic Length Unit	0.001mm

[8] Fixture

Material	Acetal
----------	--------

[9] 3 point ball seat

Material	Chromium Brass
----------	----------------

Table 2 에서는 마그네스케일 보울-바에 의한 측정결과와 비교하기 위하여 사용한 Renishaw 보울-바 변환기의 제원을 요약한 것이다.

Table 2. Specification of Renishaw ball bar transducer

Nominal length	150mm
Range of travel	±2.5mm
Measurement range	±1mm
Sensor, Resolution	LVDT, ±0.1 μ m
Maker	Renishaw co. ltd.(England)

4. 원운동정도의 측정방법

원운동정도 측정은 머시닝 센터의 회전운동에서 일정한 회전각 또는 시간간격으로 반경방향의 운동오차를 읽어 들이는 것으로, 머시닝 센터의 운동정도를 평가할 수 있는 대표적인 방법이라고 할 수 있다.

원운동정도 측정은 머시닝 센터 스핀들축을 원운동의 측정장치 중심에 있는 보울-조인트와 정확히 3점 보울-시트와 자석에 의해 중심정렬을 행한 후, 회전중심에서 회전반경 만큼 이동시켜 원운동을 행하게 한다.

원운동의 경로는 Fig. 5에서 보는 바와 같이, XY-평면에서는 1.5회전시켜 1회전하는 동안의 데이터를 채집하고, ZX-평면과 ZY-평면에서는 190°회전시켜 180°회전하는 동안의 데이터를 채집하도록 되어 있다. 그러므로, XY-평면에서는 처음과 마지막 90°회전, 그리고, ZX-평면 및 ZY-평면에서는 처음과 마지막 5°회전하는 동안은 데이터를 얻지 않는 공회전을 하게 된다. 이것은 테이블의 회전운동의 처음 시작과 마지막 정지시의 데이터들을 제외시키기 위한 것으로, 테이블은 보통 안내면 상에서 유막위에 부유된 상태에서 이송이 진행되지만, 처음 시작과 마지막 정지시에는 유막이 파괴되어 고체접촉을 하기 때문에 불안정한 데이터들이 얻어질 수 있기 때문이다.

측정 데이터를 얻는 시간간격은 컴퓨터에서 나오는 틱(Ticks)수를 초기화하여, 머시닝 센터의 테이블이 m회전하는 동안의 틱수와 데이터를 얻는 시간간격 및 회전각의 산출은 다음과 같이 계산한다.

$$t_c = m \times 18.2 \times \pi \times D \times 60/f \quad (6)$$

$$t_g = t_c/n \quad (7)$$

$$\phi_j = m \times 2\pi \times j/n \quad (8)$$

여기서 t_c : 머시닝 센터의 테이블이 m 회전하는 동안의 턱수 (ticks)
 m : 회전수
 D : 원운동의 직경(mm)
 f : 머시닝 센터의 테이블의 이송속도(mm/min)
 t_g : 데이터를 얻는 시간간격(ticks)
 n : 총 샘플수
 j : 샘플점($j=1\sim n$)
 ϕ_j : j 샘플점의 회전각(radian)

그리하여 XY-평면상에서는 Fig. 5(a)에서 보는 바와 같이, 반경 150 mm의 회전운동의 경우에는 테이블을 원운동의 회전중심에서 Y-축 방향으로 148.5 mm 이동시켜 두고, 컴퓨터의 프로그램을 가동시킨 후 측정을 시작한다. 그리하여 시계방향의 회전운동에서는 A점에서 시작하여 B점까지는 컴퓨터에 머시닝 센터의 회전운동의 시작을 알리는 신호로 사용하기 위한 것으로, 원운동의 반경 150.00mm까지 이동한 후 회전운동을 시작하며, C점에서 데이터를 얻기 시작하여 1회전 하는 동안의 데이터를 채집하도록 컴퓨터 프로그램이 구성되어 있고, F점에서 회전운동을 완료한다. 한편, 반시계방향의 회전에서는 F 점에서 시작하여 그 역순으로 A점에서 회전운동을 완료한다.

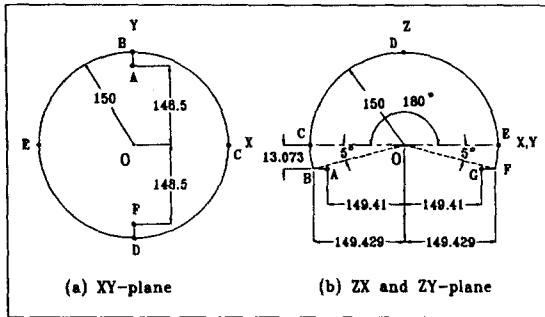


Fig. 5 Paths of circular motion test

ZX(또는 ZY)-평면상에서는 Fig. 5(b)에서 보는 바와 같이, 시계방향의 회전운동에서는 테이블을 원운동의 회전중심에서 X(또는 Y)-축방향으로 149.41mm, Z-축방향으로 -13.073mm 이동시켜 두고, A점에서 B점까지는 컴퓨터에 머시닝 센터의 회전운동의 시작을 알리는 신호로 사용하기 위한 것으로, B점에서 시작하여 190°회전시키면서, C점에서 데이터를 얻기 시작하여 D점을 거쳐 E점 까지 180°회전하는 동안의 데이터를 채집하도록 되어 있고, F점을 지나 G점에서 회전운동을 완료한다. 또한, 반시계 방향의 회전운동에서는 G점에서 시작하여 그 역순으로 A점에서 회전운동을 완료한다.

원운동정도 측정장치와 머시닝 센터의 스피indle축의 중심정렬에는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 자석 C를 머시닝

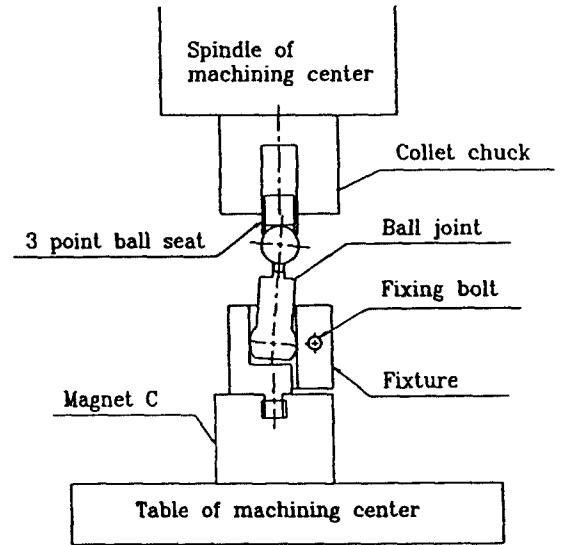


Fig. 6 Centering of measuring units and spindle of machining center

센터의 테이블위에 부착시켜 고정시키고, 고정용 볼트를 풀어 보울-조인트가 자유롭게 움직일 수 있도록 한 후, 머시닝 센터의 테이블과 스피indle을 이동시켜 스피indle축의 3점 보울-시트와 보울-조인트의 강구 A를 자석에 의해 접촉시킨다. 다음에 고정용 볼트를 죄어 보울-조인트를 고정시키고, 스피indle축을 Z-축 방향으로 10 mm 을

려 보울-조인트와 스피들 축의 3점 보울-시트를 분리 시킨 후, Fig. 5의 A점에 이동시켜 측정한다.

5. 측정 데이터의 처리

원운동정도 측정에서 얻어진 데이터들도 컴퓨터의 메모리에 저장되고, 다시 그 편위중심을 구하여 편심을 제거한 후, 진원도와 통계적인 분석을 하고, 평면 좌표계상의 좌표값으로 변환하여 그림으로 모델링하게 된다.

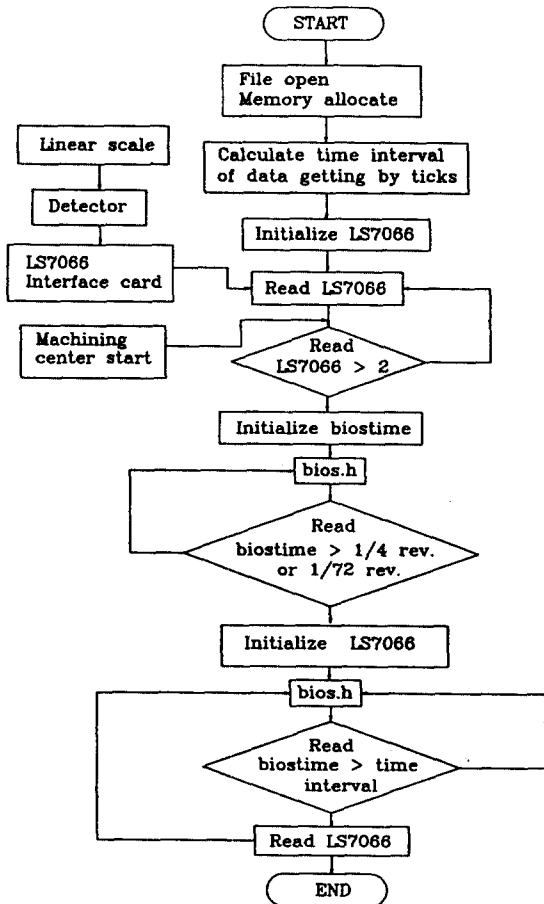


Fig. 7 Flow chart of circular motion test

5.1 측정 데이터의 채집

원운동정도 시험에서 측정 데이터를 얻는 컴퓨터 프로그램의 플로우 차트는 Fig. 7과 같다. 여기에서 리니어 스케일의 초기화는 현재위치를 0로 셋트하는 것이고, 머시닝 센터의 시작 버튼을 누르면 리니어 스케일의 변위를 인터페이스 카-드의 디코더(Decoder)에서 2진화 10진수(BCD: Binary coded decimal)로 읽어 들여 10진수로 변환하여 컴퓨터의 메모리에 저장하게 된다. XY-평면에서는 1회전 동안의 측정 데이터를 얻고, ZX 및 ZY-평면에서는 실험장치상의 제약으로 1/2회전하는 동안의 측정 데이터를 얻어서 그림으로 모델링하고 분석하게 된다. 원운동정도 시험에서 측정 데이터의 총 샘플수는 XY-평면에서는 약 3000을 넘지 않도록 하고, ZX 및 ZY- 평면에서는 약 1500을 넘지 않도록 샘플링 시간간격을 조정한다. 그러나 최소 샘플링 시간간격은 1 턱이하로 할 수는 없다.

5.2 측정 데이터의 통계적 처리

원운동정도 시험에서 얻어진 오차곡선은 여러가지 원인에 의해, 그 오차운동의 궤적은 기준 좌표계의 중심에서 편심이 되어 있는데, 그 원인은 첫째 측정장치 중심에서 머시닝 센터의 회전 반경값 만큼 정 확히 위치결정을 하지 못한 경우, 둘째 측정기 자체의 부정 확한 제작 및 조립에 의한 편심, 특히 보울-바의 진직도 및 보울-바의 중심선과 강구 중심과의 어긋남에 의한 편심, 셋째 측정장치 중심과 NC공작기계의 스피들축의 중심이 어긋나 있는 경우로 대별할 수 있다.

실험중에 얻어진 데이터들은 파일(file)로서 컴퓨터 메모리에 저장되고, 편심을 제거한 후 분석프로그램에 의해 처리되어 진원도를 표시하게 되는 데, 이와같은 편심을 제거하기 위하여 최소 제곱중 심법에 의하여 편위중심을 구하여 편심을 제거하여, 편위중심점에서 최대원과 최소원의 반경의 차이로 진원도를 표시하였다.

최소제곱중심법은 모든 샘플점들의 오차값들을 기록지의 중심을 기준으로 XY-좌표상의 편위중심점을 다음과 같이 구하여 각각 X-축 편위중심(Center off X)과 Y-축 편위중심(Center off Y)으로 표시하였고, 진원도는 편 위중심에서 최대원과 최소원의 반경의 차이로 구하거나, 리니어 스케일의 초기치보다 큰 쪽을 양(+)의 오차, 작은 쪽을 음(-)의 오차로 정하여 각각의 최대오차의 절

대값을 더하여 진원도(Circularity)로 표시하였다. 여기에서 ZX-평면 및 ZY-평면에 대해서도 같은 방법으로 구하게 된다.

$$a = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n y_j = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n R_j' \cdot \cos\theta_j \quad (9)$$

$$b = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n x_j = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n R_j' \cdot \sin\theta_j \quad (10)$$

$$\theta_j = 2\pi \cdot j/n \quad (11)$$

$$R_j' = R + \Delta R_j \quad (12)$$

여기서 j: 각 샘플점의 위치값(j = 1 ~ n)

n: 총 샘플수

a: X-축의 편위중심(mm, 또는 μm)

b: Y-축의 편위중심(mm, 또는 μm)

R: 원운동의 반경(mm)

x_j: j샘플점의 X-좌표값(mm)

y_j: j샘플점의 Y-좌표값(mm)

R_j': 각 샘플점의 실측 반경(mm)

ΔR_j: 각 샘플점의 오차(μm)

θ_j: 각 샘플점의 회전각(rad.)

그러므로 진원도는 다음과 같이 표시한다.

$$\text{Cir} = |(+\Delta R_c)\text{max}| + |(-\Delta R_c)\text{min}| \quad (13)$$

여기서 Cir: 편위중심에서의 진원도(μm)

|(+ΔR_c)max|: 편위중심에서 최대 오차의 절대값(μm)

|(-ΔR_c)min|: 편위중심에서 최소 오차의 절대값(μm)

그러나, 원운동정도 시험에서 오차 데이터의 편위중심을 구하여 편심을 제거하기 위한 오차 데이터의 처리방법이 이론적으로 정립된 것이 없어서, 기술적인 방법으로 처리해야 하므로, 여기에 편 심량이 큰 경우에는 그 편심에 의한 오차가 데이터의 처리결과에 영향을 미치게 된다. 그러므로 가능한 편심이 일어나지 않도록 측정기의 제작과 중심정렬, 그리고 원운동의 반경만큼 정확히 위치결정하는 것이 대단히 중요한 문제라고 할 수 있다.

6. 실험결과 및 고찰

머시닝 센터의 원운동오차는 원운동 궤적의 편심이 제거된 후, 진원도를 구하고, 다시 그림으로 모델링하게 된다. 그리하여, 머시닝센터의 이송량을 변화 시켜 가면서 얻어진 실험결과를 Table 3과 같다.

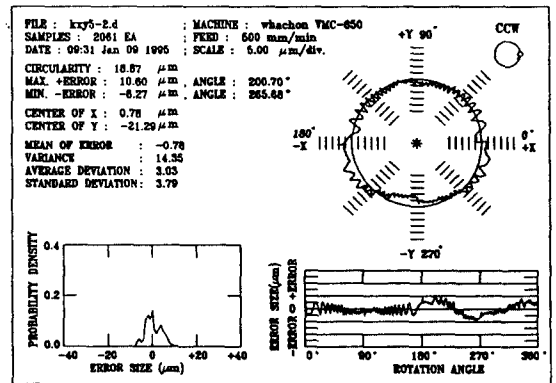
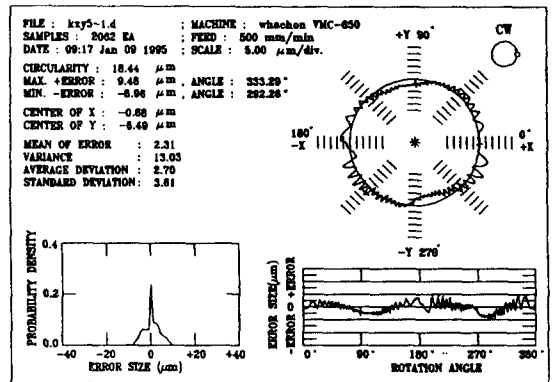


Fig. 8 Results and analysis of circular motion test for XY-plane(Feed : 500 mm/min)

Table 3과 Fig. 8에서 보여 주는 바와 같이, 마그네스 케일 보울-바 시스템에 의한 측정결과와 Renishaw 보울-바 시스템의 측정결과를 비교하면, 진원도의 크기에 있어서 마그네스케일 보울-바에 의한 측정결과와 Renishaw 보울-바 시스템의 측정결과를 비교하면 XY

-평면에서는 0.1~3.6 μ m 정도 ZX-평면에서는 0.1~4.8 μ m 정도, 그리고 ZY-평면에서는 5.0~8.9 μ m 정도의 차이가 나타나고 있다. 대체로 XY-평면과 ZX-평면에서는 큰 차이가 없으나, ZY-평면에서는 약간 크게 나타나고 있는 데, 이것은 측정기의 제작과 조립에 의한 오차가 포함되어 있을 수 있고, 측정을 위한 원운동의 반경만큼 위치결정할 때 원운동의 반경이 서로 약간씩 달라서 측정 데이터 전반에 걸쳐서 편심이 될 수 있다. 또한, 이와 같은 편심을 제거하는 완벽한 방법이 아직 없기 때문에 편심을 제거하는 방법에서 차이가 날 수 있다. 또 실험에 사용한 머시닝 센터는 시계방향과 반시계방향의 진원도와 오차운동의 궤적이 다른 것은, 본 실험에 사용한 머시닝 센터는 양방향의 동일성이 좋지 않다는 것을 나타내고 있다.

Table 3. Results of circular motion test (Circularity : μ m)

(a) Magnescale ball-bar system (CW)

Feed(mm/min)		100	200	300	400	500
XY-plane	CW	20.67	19.25	18.11	18.16	18.44
	CCW	24.15	23.98	22.09	22.24	18.87
ZX-plane	CW	30.01	27.67	25.63	23.22	21.65
	CCW	28.92	25.47	21.74	18.61	19.07
ZY-plane	CW	25.54	23.82	23.02	22.37	21.88
	CCW	25.56	26.85	30.80	30.05	29.97

(b) Renishaw ball-bar system

Feed(mm/min)		100	200	300	400	500
XY-plane	CW	19.2	18.6	16.8	18.6	17.3
	CCW	25.5	24.0	22.8	22.6	22.4
ZX-plane	CW	30.2	25.3	23.5	22.2	19.0
	CCW	33.3	24.3	19.2	17.1	14.2
ZY-plane	CW	17.8	16.8	15.9	14.0	12.9
	CCW	16.7	18.2	24.0	24.9	24.9

7. 결 론

머시닝 센터에서 원운동정도 측정장치의 제작 및 측정 시스템의 구성, 그리고 원운동정도 측정실험에서 얻어진

데이터를 분석하고, Renishaw 보올-바 시스템의 측정결과와 비교하여, 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 머시닝 센터의 원운동시험에서, 오차 데이터의 편위중심을 구하여 편심을 제거하는 완벽한 방법이 없기 때문에, 불량한 데이터의 오차가 진원도와 분석결과에 전파되므로, 머시닝 센터와 실험장치의 정확한 중심정렬이 필요하고, 또 회전반경만큼 이동할 때, 높은 정밀도의 위치결정이 필수적이다.

(2) 원운동정도 측정실험에서, Magnescale 보올-바 시스템과 Renishaw 보올-바 시스템의 측정결과는, 진원도에 있어서 XY-평면과 ZX-평면에서는 대체로 비슷한 결과를 나타내고 있으나, ZY-평면에서는 약간 큰 차이를 나타내고 있는 데, 이것은 Y-축의 구동계의 한 구간에서 불안정한 흔들림이 원운동의 반경만큼 위치결정할 때 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

(3) 머시닝 센터의 원운동시험에서, 컴퓨터의 턱수를 이용하여 오차 데이터를 샘플링하는 것은, 샘플링 수가 일정하지 않아 오차 데이터의 처리결과에 약간의 영향을 미칠 수 있다.

(4) 본 원운동시험에 사용한 머시닝 센터는 시계방향과 반시계방향의 진원도와 오차운동의 궤적에서 차이가 나타나고, 또 동일 조건의 원운동에서 진원도가 약간 다른 것은, 제작된 기계부품의 양방향 동일성과 호환성에서 그 적부성이 재고되어야 한다.

참 고 문 헌

- (1) J. B. Bryan, "A Simple Method for Testing Measuring Machine and Machine Tools", Part 1, Principles and Applications, Precision Engineering, vol.4, no.2, pp. 61 - 63, Apr. 1982
- (2) J. B. Bryan, "A Simple Method for Testing Measuring Machine and Machine Tools", (Part 2, Construction and details), Precision Engineering, vol. 4, no. 3, pp. 125 - 128, Jul. 1982
- (3) W. Knapp, "Test of the Three-dimensional Uncertainty of Machine Tools and Measuring Machines and its Application to the Machine Errors", Ann. CIRP, 32-1, pp. 459-462, 1982
- (4) Yoshiaki Kakino, Yukitoshi Ihara, Aketoshi Kamei and

- Toru Ise, "NC工作機械の運動精度に関する研究(第1報) -DBB法による運動誤差の測定と評価-", 精密工學會誌 52-7, pp. 85-90, 1986
- (5) DBB法によるNC工作機械の精度評價法, 垣野義昭, 井原之敏, 藻原章翁, REALiZE INC., 1990
- (6) M. Burdekin, W. Jywe, "Application of Contisure for the Verification of Contouring Performance of Precision machines." 6th International Precision Engineering Conf., Brounschweig, Germany, 1991
- (7) M. Tsutsumi, Koji Sakai and J. S. Kim, "A New Measuring Method of Circular Movement of NC Machine Tools- Develope-ment of Alternative Method for Standardization -" Trans. of JSME, 58C-545, pp. 271-276, 1992