

2차원 프로브에 의한 NC공작기계의 운동 정밀도 측정 - 제2보 직선운동 정밀도 측정 -

전 언 찬*, 小山田 重德**, 堤 正臣***, 角田 潤一郎****

Measurement of Motion Accuracy by Two-dimensional Probe on NC Machine Tools - 2nd Report, Measurement of the Linear Motion Accuracy -

Eon Chan JEON*, Shigenori OYAMADA**, Masaomi TSUTSUMI***, Junichro KAKUTA****

ABSTRACT

This paper presented a linear motion accuracy by using two-dimensional probe with the master block and the square for NC machine tools. This measuring system could be measured motion error due to numerical control system. The results of measurement and simulation for motion error were similar, and so, this system had enough accuracy to measure a linear motion accuracy for NC machine tools.

The experimental results are as follows.

1. This measuring system could be measured motion error due to numerical control system.
2. The results of measurement and simulation for motion error were similar.
3. This measuring system had enough accuracy to measure a linear motion accuracy for NC machine tools.

Key Words : Linear Motion Accuracy(직선운동 정밀도), Two-dimensional Probe(2차원 프로브), Master Block(기준 블록), Square(직각 정규), NC Machine Tools(수치제어 공작기계), Motion Error (운동 오차), Waveness(물결 모양), Following Lag(추종 지연)

1. 서론

가공된 부품의 정밀도는 그것을 가공한 공작기계의 정밀도에 의해 좌우된다. 그렇기 때문에 고정밀도의 부품을 가공하기 위해서는 공작기계의 정밀도를 미리 평가하여

그 결과를 설계에 반영시킬 필요가 있다고 생각되며, 또한 공작기계의 정밀도를 측정하여 요구하는 정밀도가 충분히 나올 수 있다는 판단아래 제품을 가공하여야 한다.

국제표준화기구(ISO)나 일본공업규격(JIS)에서는 공작기계의 정밀도시험에 관한 내용을 규정해놓고 있다. 그

* 東亞大學校 工科大學 機械工學科
 ** 株式會社 Kubota
 *** 東京農工大學 工學部 機械SYSTEM 工學科
 **** Nisshinbo mechatronics 事業本部

가운데 정적 정밀도시험의 하나로서 직선운동의 기하학적인 정밀도, 예를 들면 직진도, 직각도, 평행도 및 평면도 등을 측정하도록 되어있다.⁽¹⁾⁽²⁾ 그러나 공작기계의 이송운동이 고속화되고 제품의 고정도화가 점차 강하게 요구됨에 따라 각 운동축의 기하학적인 정밀도를 단순히 측정하는 것만으로는 불충분하다고 생각된다.

특히 NC공작기계는 수치제어된 하나의 시스템으로서 정밀도를 평가해야 하며⁽³⁾ 이전의 기하학적인 운동 정밀도에 보간운동 정밀도까지 추가하여 평가할 필요가 있다고 생각된다.

직선보간운동 정밀도의 측정에는 전용 측정기가 없으며 ISO에서는 직각정규(square), 다이얼 게이지, 전기 마이크로메타 및 레이저 간섭계 등을 측정기로 규정해 놓고 있다.⁽¹⁾ 최근, 레이저 간섭계를 이용하여 NC공작기계의 직선보간운동시 위치오차의 측정에 관한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다.⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾ 이들은 측정항목마다 측정준비에서 완료까지 시간이 너무 많이 걸리고, 경우에 따라서는 측정에 높은 속도도가 필요하게 된다. 한편 레이저 간섭계를 이용한 위치오차의 자동측정 및 보정시스템도 개발되어 있다.⁽⁷⁾

Nakazawa 등⁽⁸⁾은 독자적으로 개발한 2차원 프로브(probe)를 이용하여 윤곽가공 정밀도를 측정하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 측정시 데이터의 입력방법에 문제가 있어서 측정된 궤적이 실제와 다르다는 연구보고가 있었다.⁽⁹⁾ 또한 직선의 방향변환부에 관한 것은 연구하지 않았다.

이전의 연구⁽¹⁰⁾에서는 2차원 프로브를 이용하여 NC공작기계의 원호보간운동 정밀도의 측정에 관하여 기술하였으나 본 논문에서는 이전의 연구에서의 측정시스템에 4각형의 마스터 블록(master block) 및 직각정규를 사용하여 직선보간운동 정밀도 및 직선의 방향변환부의 운동 정밀도를 측정하고, 또한 실제로 사용되고 있는 기계에 적용시켜 본 측정시스템의 유효성을 확인하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에서 사용한 실험장치는 Fig.1과 같으며 이것은 이전의 연구⁽¹⁰⁾에서 사용한 것과 같다. 다만 차이점은 원호보간운동 정밀도의 측정에는 기준원판을 사용하였지만 여기서는 정사각형의 마스터 블록과 직각정규를 사용하여 직선보간운동 정밀도를 측정하였다.

실험에 사용한 2차원 프로브(모델명 BIDIM-K)의 각종 사양은 Table 1과 같다. 스티러스(stylus)의 재질은 루비이며 전체길이 55.5mm, 시험편과 접촉하는 부분의 구의 직경 6mm인 것을 사용하였다. 그리고 앰프는 프리 앰프로서 본 실험에서의 증폭율은 약 24배로 하였으며, X방향 및 Y방향의 분해능은 양쪽 모두 0.1 μ m이다. 또한 저대역 필터(Low pass filter)는 2채널짜리로서 차단주파수는 30Hz이다. 그리고 A/D변환기는 컴퓨터 확장 슬롯 내장형으로서 2채널 12비트의 것을 사용하여 데이터 처리용 IBM 32비트 컴퓨터에 연결하였다.

그리고 실험에 사용한 마스터 블록과 직각정규의 형상

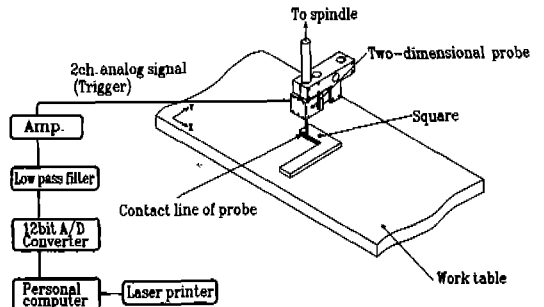


Fig. 1 Measuring system of linear interpolation on square

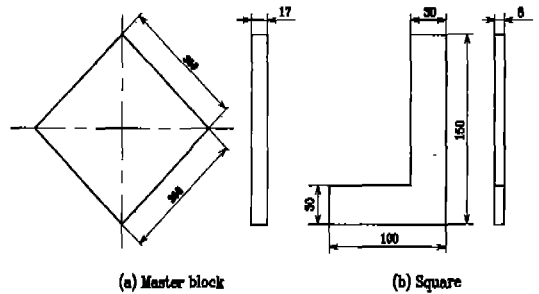


Fig. 2 Shape and dimensions of master block and square in used

Table 1 Specifications of 2-dimensional probe

Item	Specification
Model	BIDIM-K
Measurement range	± 1 mm
Measurement pressure	12g
Stylus material	Ruby
Stylus diameter	6mm
Repeating accuracy	<0.1 μ m

및 크기는 각각 Fig.2에 나타낸 바와 같으며 이들의 재질 및 특성은 Table 2에 나타낸 바와 같다.

Table 2 Material and characteristics of master block and square in used

	Master block	Square
Material	Ceramic	SM45C
Straightness	1.4 μ m	1.5 μ m
Squareness	1.0 μ m	1.2 μ m
Parallelism	1.9 μ m	2.1 μ m

2.2 실험방법

직선보간운동 정밀도의 측정에는 정사각형의 마스터 블록을, 그리고 직선의 방향변환부의 정밀도 측정에는 직각 정규를 각각 사용하였다. 여기서 방향변환부라 함은 직각 정규에서 직선의 방향이 직각으로 바뀌는 모서리 부분을 뜻한다.

2차원 프로브의 선단을 측정 대상물의 측면에 접촉시키고 직선보간운동시켰을 때 나타난 신호를 GP-IB로 연결된 컴퓨터에 입력시킨 다음 이것을 다시 Auto CAD상의 스크립트 파일(Script file)로 변환시켜 그 결과를 레이저 프린터로 출력시켰다.

2.3 데이터 처리방법

측정길이를 L (mm), 이송속도를 F (mm/min), 그리고 샘플링 수를 N이라 하면 샘플링시간 t는 다음과 같이 된다.

$$\Delta t = \frac{L}{F/60} \times \frac{1}{N} \text{ (sec)} \quad (1)$$

이와 같이 하여 데이터의 샘플링시간 Δt 를 산출하여 이것을 샘플링 클럭(sampling clock)으로 하고 트리거가 걸린 다음부터는 Δt 시간마다 한점씩 샘플링하도록 되어 있다.

이후의 데이터 처리방법은 원호보간운동의 데이터 처리 방법⁽¹⁰⁾과 같으며 2차원의 변위 D_x 및 D_y 를 1차원의 변위 D로 변환시켜 데이터 수와 변위와의 관계를 그래프로 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 직선보간운동 정밀도의 측정

직선보간운동 정밀도를 측정하기 위하여 머시닝 센터의

테이블 위에 마스터 블록을 고정시키고 여기에 스티러스를 접촉시켜 직선보간시켰다. 이송속도를 1000 mm/min으로 한 결과의 값을 Fig.3에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 ①변과 ③변의 운동계측은 마스터 블록과 거의 일치하고 있으나 ②변과 ④변의 운동계측은 방향(각도)이 한쪽으로 치우쳐 있으며 진직도도 각각 7.4 μ m 및 11.4 μ m로 매우 크게 나타났다. 이송속도를 변화시켜 측정한 경우에도 각도오차는 이송속도의 크기에 비례하여 나타났으며, 이것은 기계의 기하학적인 오차가 주된 원인이라고 생각된다.

②변과 ④변에 나타난 물결모양(waviness)은 일정한

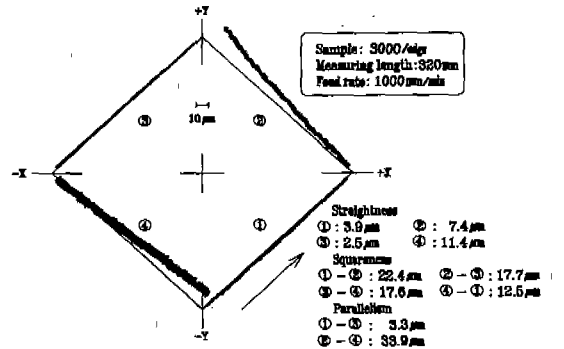


Fig. 3 Measurement of linear motion accuracy for master block

간격을 이루고 있으며 각 변에서의 크기는 비슷하게 나타났다. 그래서 각 변의 진직도와 이송속도와의 관계를 조사하였으며 ④변에서의 측정결과를 나타내면 Fig.4와 같다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 진직도는 이송속도와 관계가 있으며, 물결모양은 이송속도가 증가함에 따라서 증가하고 있다. 그리고 물결모양은 이송속도가 4000 mm/min이상이 되면 이송속도가 증가함에 따라서 급격하게 증가하고 있음을 알 수 있다.

따라서 물결모양이 생기는 원인은 기계의 기하학적인 오차가 아니고 NC공작기계의 제어계에 의한 것이라고 생각된다. 그래서 NC제어계의 파라미터를 조정하였으며 그 결과를 표시하면 Fig.5와 같다. NC제어계의 파라미터를 조정하기 전의 Fig.3과 비교하면 물결모양의 크기가 매우 작아졌다. 특히 ④변의 물결모양의 크기는 50% 정도로 작아졌다. 그러나 여전히 일정한 간격과 크기의 물결모양이 존재하므로 또 다른 제어계의 파라미터의 조

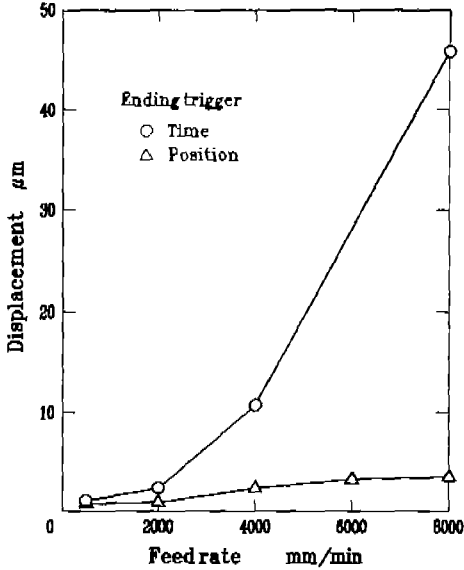


Fig. 4 Relation between feedrate and displacement of straightness

조건에 따라서 NC 파라미터를 자주 바꿀뿐만 아니라 정기적인 보수작업이 잘 이루어지지 않는 반면 B 기계는 공작기계를 생산하는 회사에서 부품의 마무리가공에 사용하는 기계로서 정기적인 점검 및 보수작업을 하고 있다. 이들 두 기계의 사양을 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Specifications of A and B machining center

Specifications	A machine	B machine
Model	HITACHI SEIKI VK 45	TOSHIBA BMC - 50E
NC controller	SEICOS III	FANUC 6M
Spindle speed(rpm)	L 60 ~ 8,000	22 ~ 2,250
	H 120 ~ 12,000	45 ~ 4,500
Spindle taper	JIS 7/24 taper NO. 40	JIS 7/24 taper NO. 40
X axis stroke(mm)	560	700
Y axis stroke(mm)	410	400
Z axis stroke(mm)	410	500
Feed rate(mm/min)	1 ~ 5,000	1 ~ 5,000
Power(kW)	AC 7.5/5.5	AC 11/7.5
Position accuracy (mm)	±0.005	± 0.005

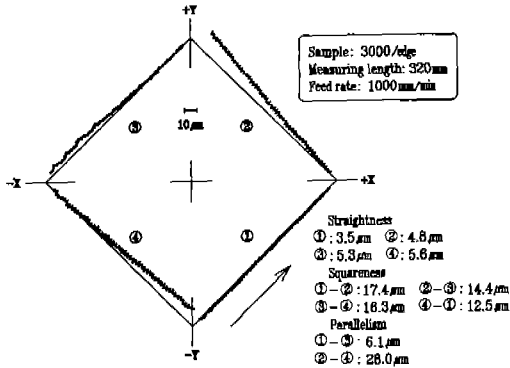


Fig. 5 Results for adjustment of NC parameter on measurement of linear motion accuracy

이들 두 기계의 직선보간운동 정밀도를 측정한 결과는 Fig.6과 같이 나타났다. 그림(a)에서 ②번에 각도오차가 크게 나타났으며 이것은 기계의 기하학적인 오차가 원인이라고 생각된다. ①번과 ③번의 직선보간운동 정밀도는 양호한 반면 ②번과 ④번의 것은 불량하게 나타났는데 이것은 ②번과 ④번의 운동방향의 강성이 낮기 때문이라고 생각된다. 또한 ②번의 각도오차는 이송속도를 증가시킬수록 크게 나타났다. 한편 그림 (b)에서는 진직도, 직각도 및 평행도 등이 수μm으로 나타나서 기계의 기하학적인 오차는 거의 없다고 생각되며 또한 NC 제어계에 기인하는 오차도 검출되지 않았다. 따라서 B 기계의 직선보간운동 정밀도는 매우 양호하다고 할 수 있다.

정이 필요하다고 생각된다. 이상에서와 같이 본 측정시스템은 NC제어계에 기인한다고 생각되는 운동오차의 측정도 가능함을 알 수 있다.

3.2 실제 기계에의 적용

본 측정시스템의 신뢰도를 확인하기 위하여 지금까지 실험에 전혀 사용하지 않았던 두대의 머시닝 센터를 이용하여 직선보간운동 정밀도를 측정하여 보았다. A 기계는 주로 가공 및 측정실험에 사용되는 머시닝 센터로서 실험

3.3 방향변환부의 직선보간운동 정밀도 측정

직각정규를 테이블에 고정시키고 2차원 프로브를 직각정규의 내측면에 접촉시켜 직선보간운동 정밀도를 측정하였다. 여기서 측정한 데이터 가운데 방향변환부 부근의 변위를 나타내면 Fig.7과 같다. 그림에서와 같이 X축 방향의 변위는 전반부에서, 그리고 Y축 방향의 변위는 후반부에서 매우 크게 나타났다. 이것은 프로브와 직각정규의 마찰에 의한 영향이라고 생각된다. 또한 방향변환부에서 돌기(projection)가 나타났는데 이것은 기하학적인 오차.

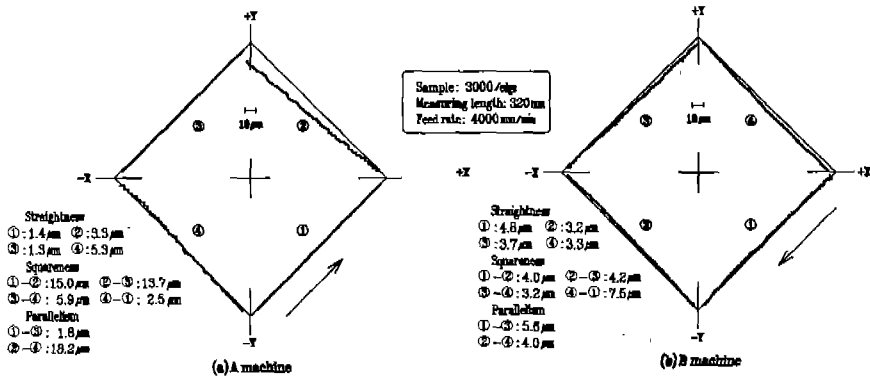


Fig. 6 Measurement of linear motion accuracy for machining center

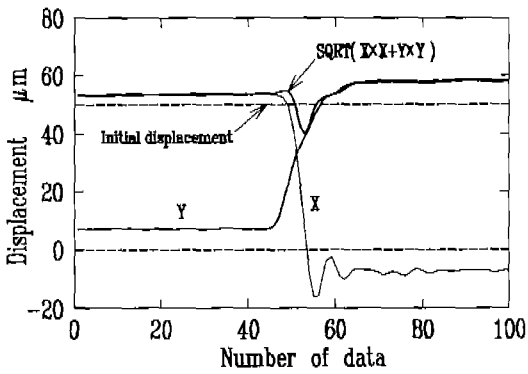


Fig. 7 Variation of displacement for corner on square (Feedrate:200mm/min)

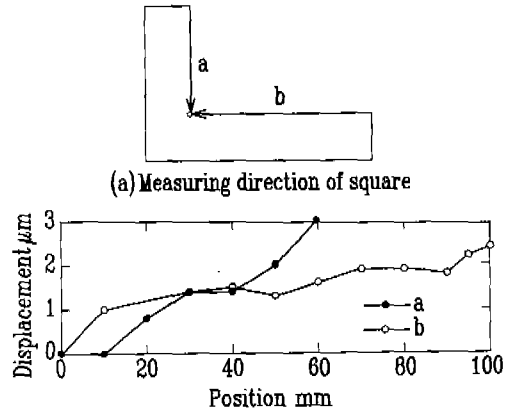


Fig. 8 Measuring direction and displacement of square

직각정규의 형상오차 또는 데이터 처리상의 오차라고 생각된다. 여기서 나타난 돌기가 직각정규의 형상오차에 기인하는가를 알기 위하여 직각정규의 내측면을 전기미크로메터로 측정하였다. 측정방향은 Fig.8(a)에 나타낸 바와 같이 직각정규의 방향변환부를 향하여 a와 b로 나타낸 방향으로 하였으며 그 결과를 Fig.8(b)에 나타내었다. 그림에서와 같이 직각정규의 내측면의 진직도는 X축 및 Y축 방향 모두 3 μ m 이내로 나타났다. 이로 미루어볼 때 위에서 나타난 돌기는 직각정규의 형상오차에 기인하여 나타난 것이 아님을 알 수 있다. 본 측정시스템에서는 초기변위량을 50 μ m 부여하여 데이터를 처리하기 때문에 50 μ m에 상당하는 변위는 기계적인 오차로 나타난다.

그러나 프로브의 선단은 둥글고 직각정규의 방향변환부는 직각으로 되어있기 때문에 Fig.9에서 빗금친 부분은

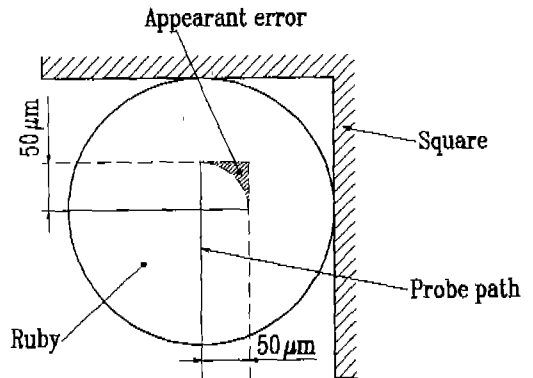


Fig. 9 Visual indication of apparent error

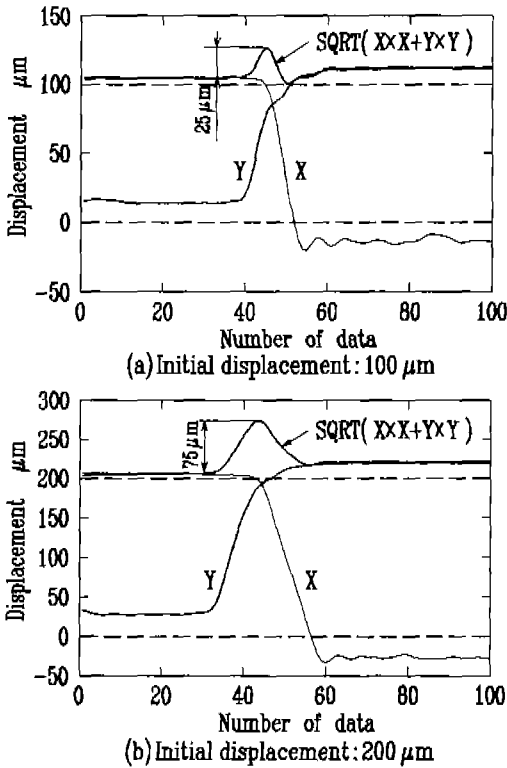


Fig. 10 Displacement of X-Y direction (Feedrate:200mm/min)

오차로서 남게 되므로 방향변환부에서의 오차는 50 μ m 이상이 된다. 앞에서 나타난 돌기에 빚금친 부분의 오차가 포함되어 있다고 하면 초기변위량을 크게하면 빚금 친 부분과 돌기도 크게 나타날 것이다.

그래서 초기변위량을 100 및 200 μ m로 변환시키고 이송속도도 200 및 500 mm/min으로 변화시켜 같은 실험을 하였다. 그 가운데 대표적인 예를 Fig.10에 나타내었다. Fig.10에서는 초기변위량이 100 및 200 μ m일 때 약 25 및 70 μ m의 돌기가 각각 윗쪽으로 나타나 있다. 그러므로 빚금친 부분의 크기가 증가함에 따라서 돌기가 커짐을 의미하며, 돌기가 검출되는 위치는 방향변환부임을 알 수 있다.

3.4 방향변환부의 시뮬레이션

본 측정시스템을 이용하여 직선의 방향변환부를 측정 한 결과의 신뢰성을 확인하기 위하여 머시닝센터에서 직선 보간운동에 관한 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션

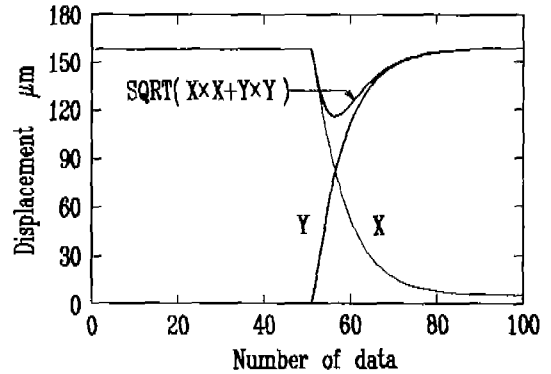


Fig. 11 Simulation in linear motion (Feedrate:200mm/min)

의 결과는 NC의 지령치에 관한 기계의 지연 즉, 추종지연(following lag)을 나타내며 X축 및 Y축 방향의 1차원의 변위는 지령치에 대한 추종량을 표시한다.

이것은 본 측정시스템의 결과와 다르게 나타나기 때문에 이것을 2차원의 변위로 변환시켜 나타낸 것이 Fig.11이다. 여기서 나타난 시뮬레이션 결과와 측정결과를 비교하면, 초기변위량이 50 μ m이고 이송속도가 200 mm/min 일 때는 비슷한 경향을 나타내었으나 초기변위량과 이송속도를 증가시켰을 때는 잘 맞지 않았다. 이에 관한 원인으로서는 측정치에는 빚금친 부분의 오차가 포함되어 있기 때문이며, 또한 이송속도가 증가하면 증가할 수록 추종지연량이 커져서 이 값이 초기변위량보다 커지기 때문이라고 생각된다. 따라서 이들의 원인을 파악하여 제거하면 본 측정시스템을 사용하여 직선의 방향변환부에 있어서 기계의 추종지연을 측정하여 표시할 수가 있다고 생각된다.

4. 결론

일반적으로 원운동 정밀도에 많이 이용되는 2차원 프로브를 이용하여 NC공작기계의 직선 및 그 방향변환부의 보간운동 정밀도를 측정하였다. 직선보간운동 정밀도의 측정에는 4각형의 마스터 블록을, 그리고 직선의 방향변환부의 운동 정밀도 측정에는 직각정규를 이용하여 실험을 하였으며, 본 실험에서 얻어진 결과를 종합하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 측정시스템을 이용하여 NC제어계에 기인하는 운동오차를 측정할 수 있었다.

2. 직선의 방향변환부에 관한 운동 정밀도의 측정결과와 시뮬레이션 결과는 비슷한 경향을 나타내었다.
3. 본 측정시스템을 이용하여 직선 및 그 방향변환부의 보간운동 정밀도를 측정하여 본 결과, 본 측정시스템의 신뢰성을 확인할 수 있었다.
4. 원운동측정 시스템에 마스터 블록 및 직각정류를 이용하여 직선운동 및 직선의 방향변환부에 관한 정밀도를 측정할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. ISO 230-1, "Acceptance cord for machine tools, part 1, Geometric accuracy of machines operating under no-load or finishing conditions", 1992.
2. JIS B6191, "Machine tools-Geometric accuracy tests and practical tests-Test method", 1993.
3. Tsutsumi, M., "Evaluation of Performance of NC Machine Tools", APEC-HURDIT TRAINING PROJECT FOR INDUSTRY TECHNOLOGY-Innovation of Production System in Manufacturing Industry-, 1993.
4. 廣田 康宏, "數値制御工作機械の位置決め精度向上に関する研究", 東京農工大學 卒業論文, 1994.
5. Steinmetz, C.R., "Sub-micron Position Measurement and Control on Precision Machine Tools with Laser Interferometry", Precision Engineering, vol.12, No.1, pp. 12~24, 1990.
6. Teimel, A., "Technology and Applications of Grating Interferometers in Highprecision Measurement", Precision Engineering, vol.14, No.3, pp. 147~154, 1992.
7. 이상운, 박준호, 조선휘, 김문상, "수치제어 공작기계의 위치오차 측정 및 보정시스템 개발", 대한기계학회 논문집, vol.17, No.6, pp.1431~1440, 1993.
8. 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.
9. 小山田 重徳, "2次元ProbeによるNC工作機械の運動精度測定方法", 東京農工大學 卒業論文, 1994.
10. 전 언찬, 小山田 重徳, 堤 正臣, "2차원 프로브에 의한 NC공작기계의 운동정밀도 측정 (제1보, 원호보간운동 정밀도 측정)", 한국정밀공학회지, vol.13, No.3, pp. 56~62, 1996.