

머시닝 센터에서 가공물에 의한 안내면 오차 개선에 관한 연구

홍 성 오(조선대 대학원), 조 규 재 (조선대)

A Study on Improvement Guide way using workpiece in the Machine center

Sung-oh Hong, Gyu-jae Cho

ABSTRACT

Recently the machining technique have been progressed rapidly according to developments of the product technique in the machine tool and new tools. But in the case of vertical machine center(VMC), to become visible there is the appearance of bending because of the structural problems of x-axis guide way, and this would effect directly on accuracy of form of the straightness, parallelism and flatness .

In this paper, I purpose to check the appearance of bending with the experiment and improve the working accuracy. Under the constant working conditions, the appearance of bending of x-axis guide way was measured to confirm the effectiveness of the compensation method in the vertical machine center(VMC). By using this method the results show that the accuracy of form of the straightness, parallelism and flatness could be reduced to 20% compared with ordinary method.

Key Words : Vertical Machine Center(수직형 머시닝 센터), Guide Way(안내면), Machine Tool (공작기계), straightness (진직도), parallelism(평행도), flatness(평면도),

1. 서 론

생산 가공기술의 향상과 더불어 공작기계의 수요가 확대되고 있으며, 오늘날 기계 가공에 있어서 공작 기계는 가장 기본적인 생산 설비로서 일반화되고, 자동화대응, 가공 정도의 향상, 납기 단축, 원가절감 등 다양한 목적으로 적용되고 있다. 공작기계에서 이송부는 가공 정밀도에 직접적인 관여를 하므로 가공물의 품질과 생산효율에 큰 영향을 미친다. 최근 각 산업의 생산품은 고기능, 경량화의 추세에 있고 이에 따라 다양한 재료가 개발되어 지고 있으며 제품의 정밀도에 대한 요구 수준이 점차 높아지고 있다. 공작기계 분야에서도 고생산성과 고정밀도를 갖춘 제품을 제작하기 위한 노력이 계속되어 지고 있다.

공작기계를 이용한 가공품 생산 중에 가공오차를 줄이는 것이 매우 중요한 일이며, 가공오차가 발생하는 데에는 여러 원인이 있을 수 있는데 그 중 대형 수직형 머시닝 센터에서 안내면 진직도 오차는 가공오차를 발생시키는 가장 중요한 원인 중 하나이다. 따라서 대형 수직형 머시닝 센터에서 안내면 진직도 오차를 평가하고 그 원인을 찾아서 보정하여 가공정밀도를 향상시키는 것은 공작물 가공 정밀도 향상에 필수적이다. 안내면 진직도 오차에 영향을 주는 인자로는 가공, 조립에 의한 오차, 새들의 강체변위와 강선 변형하는 경우, 중량 이동에 따른 구조의 강성변형에 의한 오차등을 들 수 있다. 안내면 진직도 오차에 대한 연구가 많이 있었다⁽¹⁾.

그러나 이들 선행연구자들의 연구는 볼 스크류 가공 오차에 해당하는 피치 거리 간격으로 안내면 오차를 연구하였고⁽²⁻⁴⁾, 직동 안내를 구성하는 요소들이 안내면 주는 영향에 대해 연구하였고⁽⁵⁾, 그 외에 많은 연구가 진행되고 있지만 실제 작업 현장에서는 다양한 형상과 중량을 가공하는 경우가 현실이다. 따라서 선행 연구자들이 연구한 내용들은 공작기계의 사양과 그 자체의 조립정도가 다르고, 다양한 형상과 중량을 가공해야 하기 때문에 적용하기는 쉽지 않아서 본 논문에서는 수직형 머시닝센터에서 가공 가능한 LM 가이드가 부착되는 대형 프레임류의 경우 LM가이드 조립 부분의 경우 필요로 하는 형상공차는 평면도, 평행도와 진직도로써 이와같은 형상공차를 만족시키기 위해 연마 공정을 추가하고 있어 가공비용 부담과 가공 경쟁력을 약화시키고 있다. 따라서 본 논문에서는 가공대상 부품을 가공하여 3차원 측정기를 이용해 측정된 값을 오차량으로 기준하여 본 논문에서 개발한 보정 프로그램을 이용하여 형상공차를 개선 하므로 연마공정을 삭제할 수 있는 방안을 제시하였다.

2. 이론적 배경

2.1 안내면의 진직도 오차

2.1.1 가공, 조립에 의한 오차

일반적으로 안내면의 경우 연마작업을 실시하지만 연마기계의 자체 오차와 가공물 설치에 따른 오차로 인한 진직도 오차가 발생하게 되고, 조립 및 설치 작업 중에 공작기계의 자체 하중에 의해 진직도 오차가 발생한다. 또한 공작기계의 안내면을 구성하는 프레임의 자체의 강성이 부족할 경우 시간이 변화함에 따라 프레임에 변형이 발생하여 안내면을 변형시켜, 이 변형량이 많은

경우 수직형 머시닝센터의 경우 X축 이송 안내면에 Z축 방향의 진직도 오차가 존재하고, 안내면의 ZX평면에서의 단면형상이 $Z = aX^2$ 로 나타낼 수 있으며, 안내면에서 h(mm)정도 Z방향으로 위치한 공작물에 있어서 병진오차

$$\vec{E}_x = (0, 0, aX^2) \text{ 이외에 회전오차 } b_x = 2aX$$

가 발생하게 된다.

따라서

$$\vec{E}_x = (0, 0, aX^2)$$

$$\vec{R}_x = (0, 2aX, 0)$$

로 되고, X축 이송에 의한 오차벡터는

$$\begin{aligned} \vec{C} &= -\vec{E}_x - \vec{R}_x \times \vec{AP}_w \\ &= (-2aX(\vec{AP}_w)_z, 0, -aX^2 + 2aX(\vec{AP}_w)_x) \end{aligned}$$

로된다. 여기에서 \vec{AP}_w 는 테이블 습동면 중심 A에서 공장물상의 점 P_w 까지의 위치벡터가 된다. 따라서 공작물이 테이블 중앙에 위치한다고 하면

$$\vec{AP}_w = (0, 0, h)$$

가 되고, 오차벡터로 나타내면,

$$\vec{C} = (-2ahX, 0, -aX^2)$$

가 된다. 이처럼 진직도 오차가 원인으로 나타나는 회전오차는 차수가 병진오차보다 1차가 낮은 것으로도 나타난다. 오차벡터 C를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta R = -2ahR\cos^2\theta - aR^2\sin\theta\cos^2\theta$$

2.1.2 중량의 이동에 따른 구조의 강성변형에 의한 오차

구조체는 강체라고 생각하지만, 실제에서는 이동중량의 영향에 의해 이송운동에 따라서 슬롯체와 안내면의 접촉부에서 강성변형이 생긴다. 새들과 Y축방향의 안내면과의 접촉부의 변형의 경우, 안내면간의 거리를 2L(mm), 테이블중량을 W(kgf), 접촉부의 접촉강성을 k(kgf/μm)라고 하면 테이블 중앙의 점의 늘어짐 ΔZ와 틀어진각 ψ은

$$\Delta Z_1 = -\frac{W}{2kL^2} X^2, \psi = -\frac{W}{2kL^2} X$$

가 된다. 테이블중앙에서 +X방향으로 Lx 떨어진 점의 늘어짐 ΔZ₂는

$$\Delta Z_2 = -\frac{W}{2kL^2} X^2 - \frac{W}{2kL^2} X \cdot L_x$$

로 되고 늘어진각은 중앙점과 같아진다. 이점에서 테이블축의 좌표를 취하여 설치하면

$$X = -X - L_x + ahL_x / (1 + ah)$$

에 의하여 좌표를 교환하고, X=0일때의 오차를 0이라고 하고,

$$e_{zx} = -\frac{W}{2kL^2} X(X + (1 - 2ah)L_x), b_x = \frac{W}{2kL^2} X$$

로 된다.

이들을 식을 이용한 변위량은

$$\Delta R = \frac{W}{2kL^2} hR \cos^2 \theta + \frac{W}{2kL^2} R \cos \theta \sin \theta (R \cos \theta + (1 - 2ah)L_x) \text{로 구할 수 있다.}$$

단 h(mm)는 Y축방향의 안내면으로부터의 거리이다.

3. 실험장치

3.1 실험 장치

실험장치는 수평형 머시닝센터에 비해 수직형 머

시닝센터가 X축 이송에 따른 변위량이 크게 나타나는 구조적인 특징 때문에 선택하였고, 실험장치의 최대 X축 이동량에 대해 직선안내부의 직선운동에 따른 변위량을 측정하였다. 본 실험장치의 주요 사양은 다음과 같다.

X-AXIS STROKE : 1700mm

Y-AXIS STROKE : 850mm

Z-AXIS STROKE : 750mm

Table : 1700mm × 850mm

먼저 수직형 머시닝센터 테이블의 좌우 이동에 따른 변화량을 찾기 위해 가공물을 장착하지 않은 상태에서 테이블 위에 스트레이트 마스타 게이지를 테이블 위에 설치하고 인디케이터를 헤드에 장착하고, 본 실험장치의 테이블 좌우 이동량이 1700mm 이므로 100mm 간격으로 수동 핸들 조작기를 사용하여 +X축 방향과 -X축 방향을 2회 반복해서 측정한 하였다.

또한 실험에 적용할 가공물과 비슷한 형상과 중량을 이용해 공작물 체결할 경우에서 변위량을 측정하였는데 측정방법은 동일하게 실시하였다.

본 실험에 적용된 가공물의 외형 크기는 1120mm*600mm*470mm(가로*세로*높이)이고, 중량은 550kgf이다. 또한 가공정도를 높이기 위해 고정 지그를 제작하여 사용하였다. 가공물의 가공순서는 일반적인 가공부분은 본 실험장치인 수직형 머시닝센터의 가공능력을 고려하여 황삭가공을 실시하고 형상공차를 필요로 하는 킨립부착면과 LM가이드 부착면은 사상용 전용 공구를 사용하였고 사상가공을 실시하였는데 가공물 FIXTURE에 의한 형상공차의 영향을 알아보기 위해 체결력에 변화를 다르게 하면서 가공을 실시하였고, 측정은 가공물의 형상, 크기와 중량 또한 측정

Data값의 신뢰성을 확보하기 위해 3차원 측정기를 사용하여 실시하였다.

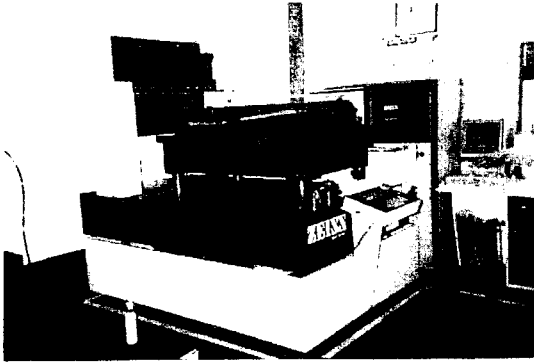


Fig. 1 Set-up for the measurement

3차원 측정기의 제원은 다음과 같다.

- MARKER : ZEISS
- MODEL : VMC 850
- CAPACITY : 850mm*1200mm*600mm

가공면에 대한 표면거칠기도 3차원 측정기를 이용하여 측정하고, 3차원 측정기를 이용한 형상공차의 측정데이터를 기준으로 본 논문에서 작성한 보정프로그램을 이용하여 보정을 실시한 후 동일한 방법으로 가공을 실시하여 측정을 실시하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1과 같은 측정된 가공물을 수직형 머시닝센터를 이용하여 컬럼과 LM 가이드 부착면에 대하여 가공을 실시하고 형상정도인 평면도, 진직도를 측정 한 결과는 다음과 같다.

Fig. 2는 수직형 머시닝센터에서 중량에 의한 X축 이송량에 따른 ZX평면의 변위량을 알아보기 위해 상하면이 연마작업된 가공물과 동일한 형상과 중량의 지그를 사용하여 X축 테이블을 이송시키면서 주축대 테이블의 변화량을 나타낸 결과로써 가로축은 테이블의 이송량을 나타내고

있고 세로축은 ZX평면의 변위량을 나타내고 있다. X축의 원점을 기준으로 1600mm 이동한 지점을 0으로 셋팅하면 900mm 이송된 지점에서 42 μ m, 원점에서는 69 μ m의 변화량을 나타내고 있다. 2회를 반복해서 변화량을 비교해 보면 동일한 변화량과 기울기를 나타내고 있고, 원점에 근접할 수록 변화량이 크게 나타나고 있다.

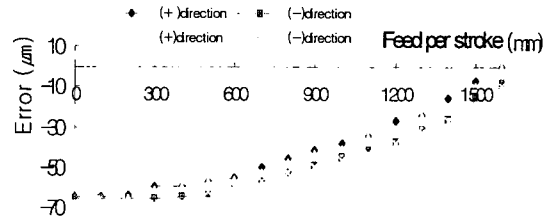


Fig. 2 The measured displacement relative to the feed per stroke of x-axis by workpiece

Fig. 1과 같은 가공물을 가공하는데 황삭 공정만 진행할 경우 가공면과 형상정도에 영향을 최소화 하고 개선된 가공면을 얻기 위해 사상 전용 공구를 사용하여 측정 한 결과를 Fig. 3과 같이 나타내고 있다.

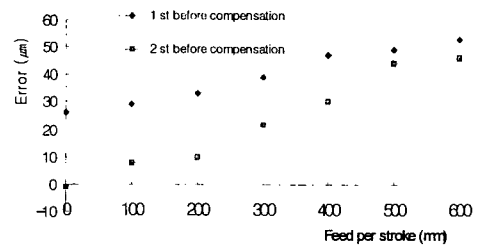


Fig. 3 The measured displacement relative to the feed per stroke of x-axis by measuring device

본 실험에서 적용한 가공물은 탭핑센터에 사용되는 베이스로써 컬럼이 부착되는 부분을 기준으로 LM 부착면을 3차원 측정기를 이용해 측정 한 DATA로 가로축은 가공면의 시작점에서의 이송량이고 세로축은 이송량에 따른 LM가이드 부착면의 평면도를 나타내고 있으며, 동일한 조건으로 수량 2개를 측정 한 결과를 나타내고 있는데 이송량의 증가에 따라 평면도의 오차량이 증가하

고 있는데 이는 Fig. 2에서 알 수 있듯이 X축의 테이블이 중앙점에서 정방향 원점에 접근함으로 테이블 자체의 변형과 가공물 중량의 합성으로 오차량이 나타내고 있다고 사료된다.

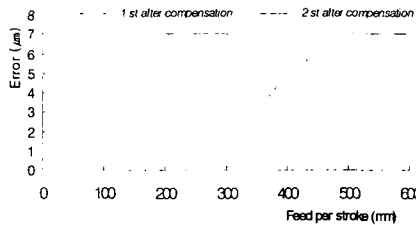


Fig. 4 The measured displacement relative to the feed per stroke of x-axis by measuring device

Fig. 4는 Fig.3에서의 측정 DATA를 기초로 하여 이송 거리를 기준으로 이송량에 따른 오차량을 보정함으로써 Fig. 4와 같은 결과를 얻을 수 있는데 수량 2개를 보정 프로그램을 적용하여 평면도를 7 μ m, 5 μ m으로 형상정도를 개선할 수 있음을 알 수 있다.

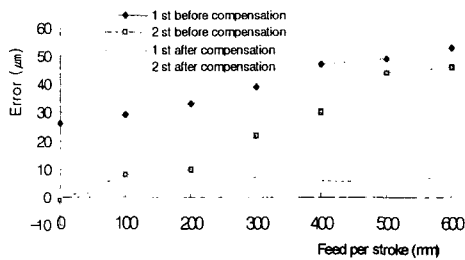


Fig. 5 The measured compensation displacement relative to the feed per stroke of x-axis by measuring device

Fig. 5는 실험 결과를 쉽게 표현하기 위해 보정 프로그램을 적용한 전후의 결과를 종합하여 표현했는데 보정의 효과를 나타내고 있다. 보정 전 LM가이드 부착면의 평면도 25 μ m를 7 μ m으로, 40 μ m를 5 μ m으로 개선할 수 있었다.

Fig. 6는 LM가이드 부착면의 가공 거칠기를 3차원 측정기를 이용해 측정된 결과를 나타내고 있다.

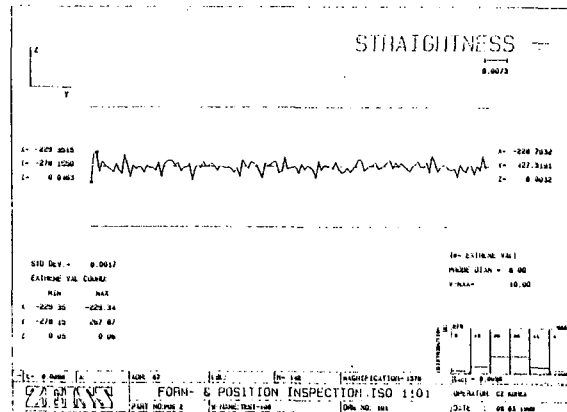


Fig. 6 The measured surface roughness by measuring device

5. 결론

수직형 머시닝센터에서 가공물의 중량에 의한 테이블의 좌우 이동에 따른 형상정도인 평면도, 진직도 변위량을 가공지그를 통해 실험하고, 가공을 실시하여 X축 테이블의 위치에 따른 오차량을 예측하고 그 값을 기초로 개발 프로그램을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 수직형 머시닝센터에서 X축 가공시 가공 중량이 형상정도에 영향을 주고 있어 이를 개선할 필요가 있음을 알 수 있었다.
- 2) 1)의 개선 내용으로는 테이블 이송에 관계되는 안내면의 구조적인 변경과 형상정도의 오차량의 보정이 필요함을 알 수 있었다.
- 3) 실험 결과를 기초로 하여 종래의 평면도 오차량 25 μ m를 본 실험 연구에서 제시한 프로그램을 적용하여 20%로 감소시킬 수 있었다.

참고문헌

1. 安井 誠, “工作機械の直線運動誤差の測定法に關する研究”、精密機械, Vol. 48 No. 2, pp. 85 - 90, 1982.
2. Jiro Otsuka, Shigeo Fukada, “A Study of Thermal Expansion of Ball Screw - In

- Case of Constant Preload", JSPE, Vol. 50, No. 4, pp. 646 - 651, 1984.
3. Toshio Sata, Yoshimi Takeuchi, "Control of the Thermal Deformation of a Machine Tool(1st Report) - Rapid Stabilization of a Machine Tool before Working", JSPE, Vol. 41, No. 6, pp. 592 - 597, 1975.
 4. 홍성오, 조규재, 김재열, "CNC 선반에서 불 나사 열변형에 따른 위치결절 정도 개선에 관한 연구", 한국공작기계학회지. 제8권, 제1호, pp.45-51, 1999.
 5. Yamaguchi, "Influence of Ball Screws and Slide Ways on Positioning Accuracy", NSK Technical Journal, No. 650, 1989.