

Gantry Type 공작기계의 CROSS RAIL Z축 처짐량 보상에 관한 연구

이민기*, 박진주+, 이응석++, 김남성++
(논문접수일 2011. 05. 04, 심사완료일 2011. 05. 30)

A Study on the Z axis Deflection Compensation of the Cross rail for Gantry type Machine tools

Min-Ki Lee*, Park-Jin Joo+, Eung-Suk Lee++, Nam-Sung Kim++

Abstract

Machine tools of Gantry type have been performing machine work as a moving machinery. In a large machine tools, the machinery is moving with bed and it is structurally unstable. When the objects are processed, machine tools gets loads in the direction of Z-axis. In other words, the machine tools which become bigger was performed by the trend of complexation. It made that the increased machine weight can't be passed over. In order to enhance manufacturing precision, it needs to compensate Z-axis deflection of weight for machine tools.

In this paper, Machine tools of Gantry type were miniaturized and deflection was measured by LVDT sensors. When deflection was measured, block mass weighted 50kg is moving on particular distance. Then, the displacement of fixed point and moving point is measured by recording telemeter.

Key Words : Machine tools(공작기계), Gantry Type(갠트리타입), Compensation(보정), Deflection(변위), LVDT(Linear variable differential transformer, 차동변위센서), Cross rail Z-axis(Z축 크로스 레일)

1. 서론

대형 공작기계는 대형 부품의 필요성이 대두되면서 인간의 다양한 욕구를 충족시키기 위해 개발되어지기 시작했다. 개발에 따른 복합화에 의해 공작기계의 구조는 복잡해지고 그 크기는 대형화되었다^(3,6).

대형 공작기계의 경우 크게 수평형과 수직형으로 분류할 수

있으며, 수직형의 경우 Gantry type의 공작기계가 있다.

Gantry Type의 공작기계는 Gantry가 Bed를 이송하면서 가공을 수행한다. 이 경우 Gantry가 Cross rail을 타고 이송하므로 구조적으로 안정적이지 못하고 가공시 가공 공작물의 무게 때문에 Cross rail의 처짐이 발생하게 된다. Cross rail의 처짐이 발생하게 되면 공작물의 Z축 형상에 직접적인 영향을 미치게 되며, 정밀도를 요하는 제품이 미세한 Z축 가공의 오차로

* 충북대학교 기계공학과 (eminki@korea.com)
주소: 361-763 충북 청주시 흥덕구 내수동로 52 충북대학교
+ 충북대학교 정밀기계공학과
++ 충북대학교 기계공학부

가공품질과 정확성이 떨어지게 된다. 가공의 정밀성을 높이기 위해서는 공작기계의 무게에 의한 Cross rail Z축 처짐량을 보상할 필요가 있다⁽⁵⁾.

일반적으로 Z축을 보상하는 방법에는 헤드를 움직이는 볼스크류 측면에 스케일을 설치하여 실시간으로 엔코더의 신호를 받아 거리를 보상하는 방법과 볼스크류의 피치를 측정용 레이저를 사용하여 계산된 거리를 보상하는 방법이 있다⁽⁷⁾.

본 연구에서는 Gantry type의 공작기계를 소형으로 모델링하였으며, Cross rail 오른쪽 끝과 이동하는 Mass block에 센서를 설치하여 고정점과 이동점에서의 처짐량을 측정하였다. 고정점에서의 처짐량을 통해 Mass block이 이동할 때 생기는 처짐량을 예상하여 그 처짐량을 보상하는 것이 이 연구의 목적이며, 처짐량을 예상하는데 있어서는 이론식과 CAE해석을 사용하였다. 처짐량을 보상하는 방법으로는 위에서 열거한 것과 같은 방법이 아닌 처짐량의 크기만큼 Cross rail을 위로 볼록하게 제작(crown)하는 방법을 제시한다.

2. 실험

2.1 실험 장치

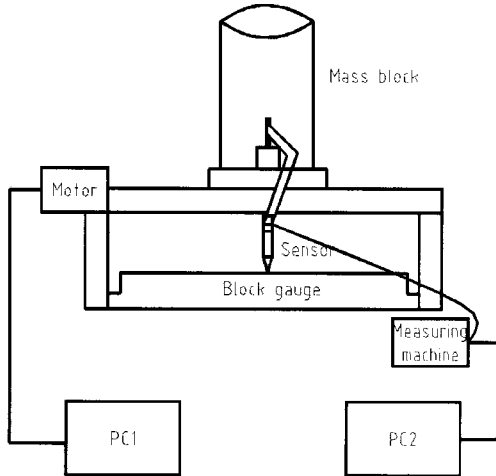


Fig. 1 Schematic diagram for Deflection of the Cross Rail

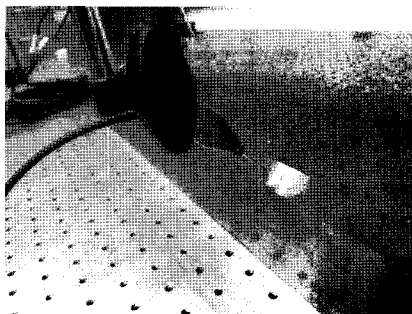


Fig. 2 The straightness measurement of block gauge

처짐량 측정을 위해 LVDT센서를 Mass block과 Cross rail 끝에 고정시켰으며 센서의 데이터 수집을 위해 측정용 계측기에 연결하였다. 또한, 측정되어 출력되는 계측기의 아날로그 신호를 PC로 입력하기 위해 A/D컨버터를 사용하였으며, 실험 장치에 대한 모식도는 Fig. 1과 같다.

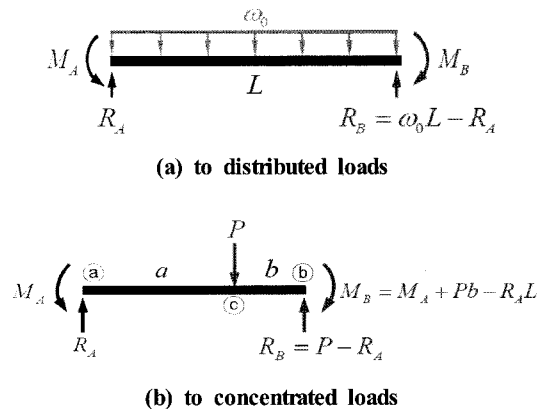
2.2 실험 방법

실험 초기에 Mass block의 순수한 처짐량을 측정하기 위해 제작된 Block gauge의 진직도를 측정한다. 이는 Cross rail이 완전하게 수평을 이룰 수는 없기 때문에 약간의 처짐을 보상하고 순수한 Mass block의 처짐량만을 측정하기 위함이다. 진직도 측정값은 이동점과 고정점에서의 Mass block의 처짐량을 진직도 값에서 제거함으로써 순수한 처짐량을 계산하는데 사용되었으며, 무부하 상태에서 측정되어졌다. 그리고 Cross rail 오른쪽 끝에 센서를 설치하여 고정점에서의 처짐량을 측정한 후 Mass block에 센서를 설치하여 이동점에서의 처짐량을 측정한다. 측정되어지는 구간은 400mm이며 Z축(spindle)이 왼쪽에서 오른쪽으로 이동할 때의 처짐량을 측정하는 것이다. 두 개의 처짐량은 동시에 측정되어지지 않고 개별적으로 같은 조건하에 측정되어졌다.

3. 이론식

측정된 처짐량의 실험값에 정확성을 부여하기 위해 이론식을 유도해보았다. Cross Rail의 양끝이 고정되어 있으므로 양단 고정이라고 가정하고, 자체 무게에 의해 분포하중을 받고 있다. Moving block과 Mass block에 의한 하중은 집중하중으로 보고 중첩법을 사용하기 위해 Fig. 3 (a)와 Fig. 3 (b)와 같이 FBD를 도식하였다^(1,2).

Fig. 3 (a)의 반력과 모멘트의 계산결과는 다음과 같고, 미지의 힘을 모두 구했으므로 처짐량은 다음과 같이 구할 수 있다.



(a) to distributed loads

(b) to concentrated loads

Fig. 3 FBD of Beam

$$R_A = \frac{w_0 l}{2}, R_B = \frac{w_0 l}{2} \quad (1)$$

$$M_A = \frac{w_0 l^2}{12}, M_B = \frac{w_0 l^2}{12} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{w_0 l^2 x^2}{24EI} \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \quad (3)$$

Fig. 3 (b)의 반력 및 모멘트, 처짐량은 다음과 같다.

$$R_A = \frac{Pb^2(3l-2b)}{l^3}, R_B = P - R_A \quad (4)$$

$$M_A = \frac{Pb^2(l-b)}{l^2}, M_B = M_A + Pb - R_A l \quad (5)$$

$$\delta = \frac{Pb^2 x^2}{6lEI} \left[\frac{3a}{l} - \frac{(3a+b)}{l^2} x \right] \quad 0 < x < a \quad (6)$$

위 식(1~6)을 중첩법을 이용해 Cross rail에 걸리는 반력과 모멘트, 처짐량을 구하면 다음과 같다.

$$R_A' = \frac{w_0 l}{2} + \frac{Pb^2(3l-2b)}{l^3} \quad (7)$$

$$R_B' = \frac{w_0 l}{2} + P - \frac{Pb^2(3l-2b)}{l^3} \quad (8)$$

$$M_A' = \frac{w_0 l^2}{12} + \frac{Pb^2(l-b)}{l^2} \quad (9)$$

$$M_B' = \frac{w_0 l^2}{12} + \frac{Pb^2(l-b)}{l^2} + Pb - \frac{Pb^2(3l-2b)}{l^3} l \quad (10)$$

$$\delta' = \frac{w_0 l^2 x^2}{24EI} \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 + \frac{Pb^2 x^2}{6lEI} \left[\frac{3a}{l} - \frac{(3a+b)}{l^2} x \right] \quad (11)$$

식 (11)의 이론적 처짐량은 실제 처짐량과 비교되며, 처짐량을 예측하는데 도움이 될 것이다.

4. CAE 해석

실제 모델을 단순화하는 과정에서 LM guide를 제거하였고 Moving block을 원하는 이동거리만큼 이동시켜 해석을 수행

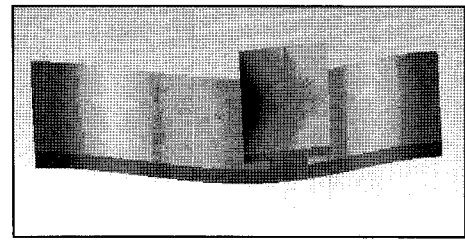


Fig. 4 Analysis of Cross Rail using FEM method

Table 1 Mechanical properties of material

material	Young's Module [GPa]	Possion's Ratio	Density [kg/m ³]
Aluminum	71	0.33	2770
Steel	200	0.3	7850

하였다. LM guide를 제거한 이유는 LM guide 밑에 부착된 MC가 탄성이므로 처짐량을 완화시켜 실제 처짐량과 차이가 나는 것을 고려했기 때문이다.

경계 조건으로는 볼팅에 의해 고정되는 지점에 전방향 이송 및 회전이 없도록 구속하였고, Mass block의 하중을 LM guide와 접촉하는 면적에 분포하중으로 고려하여 부하했다. 양단고정보라는 경계조건을 적용하였으며 Moving block에 집중하중을 가하였다. 해석시 사용된 물성치는 Table. 1과 같으며, Fig. 4는 Moving block이 300mm를 이동하였을 때 Deformation의 결과이다.

5. 실험 결과

실험 초기 무부하 상태에서 측정된 Cross rail의 진직도 측정결과는 Fig. 5와 같으며 이 값은 실험값의 기준이 된다.

Fig. 6은 측정구간을 100mm 간격으로 나누어 집중하중의 위치를 변경하며 실험한 결과로써, 이론식을 통해 얻은 값과 CAE 해석값, 그리고 실험결과를 비교한 표는 Table. 2와 같다.

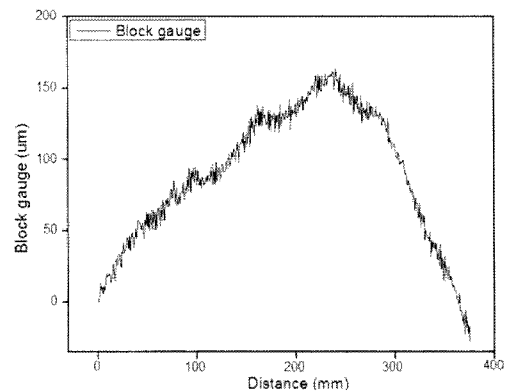


Fig. 5 Results of cross rail's straightness for unload

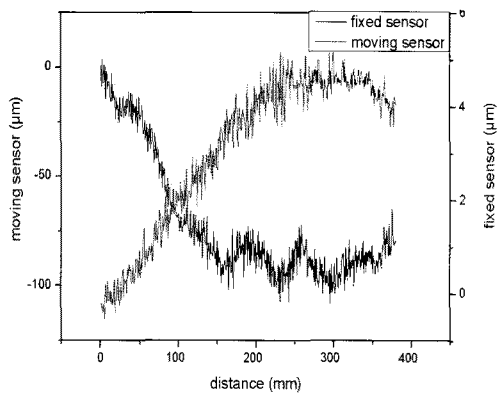


Fig. 6 Results of cross rail's deflection for load

Table 2 Compared test results

측정위치	실험	이론식	CAE	고정점
100mm	0.9 μm	4 μm	38 μm	2 μm
200mm	67 μm	5 μm	57 μm	92 μm
300mm	90 μm	4 μm	58 μm	29 μm
400mm	80 μm	2 μm	52 μm	30 μm

Table. 2에 도시된 실험 치짐량은 실제 치짐량에서 진직도 측정값을 제거한 값으로, Block gauge가 평평하다고 가정하면 Fig. 5의 결과로부터 Cross rail이 위로 변형되어 있다는 사실을 알 수 있다. Cross rail이 위로 변형됨으로써 Mass block을 올려놓았을 때 위로 변형된 Cross rail의 크기만큼 치짐량이 보상되어 측정값이 적게 나온 것으로 판단된다. 또한 실험값과 비교할 때, 이론식과 CAE로부터 얻은 결과값이 상당한 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이것은 분포하중 값을 편의상 1로 두고 계산한 것과 이 두 개의 값이 진변형량이 아닌 공칭변형량을 계산함으로써 치짐값이 도출된 것으로 판단된다.

6. 결론

미세하지만 소형으로 모델링된 Gantry type의 공작기계는

아래로 치지며, 대형의 공작기계의 경우는 이보다 많은 치짐량이 예상된다. 본 논문에서는 고정점에서의 변위측정을 통해 이동하는 Mass block의 치짐을 예상하고 그 값을 보상하는 것을 목표로 하였다. 이 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Block gauge의 진직도 측정결과 Cross rail이 위로 변형되어 있기 때문에 Mass block의 치짐량이 원래의 치짐량보다 적게 나온 것을 알 수 있었다.
- (2) 위 결과로 Cross rail이 위로 제작되어져 있을 경우 치짐량이 보상된다는 것을 알 수 있다.

따라서 Z축 치짐을 보상하는 방법에 하나로 가공기계의 하중의 크기에 따른 치짐량만큼 Cross rail을 위로 가공(crown)하는 방법을 제시하였다.

참고 문헌

- (1) James M. G., 2004, *SI Mechanics of Material*, Intervention, pp. 632~640.
- (2) Seo, C. M., Kim, M. S, and Kim, K. N., 1996, *The New Edition Mechanics of Material*, Cheongmungak, pp. 241~303.
- (3) Phillip, F. O., and Jairo, M, 2005, *Manufacturing Processes and Systems*, Cheongmungak, pp. 241~303.
- (4) Taesung eng., 2009, *Selected Problems for ANSYS Users*, Taesung software & engineering.
- (5) Yun, B. J., Yu, J. H., Yu, H. Y., and Woo Y. W., 2007, *The New Edition Precision Engineering*, Wonchang, pp. 4~6.
- (6) Park G. S., 2003, "The Latest Technology and Development Way hereafter in Domestic and Foreign," *KSMTE*, Vol. 12, No. 2, pp. 4~82.
- (7) Lee, E. S., 2001, "A Study on a Location Precision Measurement of NC Machine Tools," *KSMTE*, Vol. 10, No. 3, pp. 2~77.