◆ 특집 ◆ 초대형 부품가공용 복합가공기 기술

# Gantry Type 대형 공작기계의 Cross Rail 설계 및 좌우 이송 편차에 관한 해석

## Analysis for the Cross Rail Design and the Zig-Zag Motional Error in Gantry Type Machine

이응석 [1,✉], 이민기 [1], 박종범 [1], 김남성 [1], 함준성 [1], 홍종승 [2], 김태성 [2]
Eung Suk Lee[1,✉], Min Ki Lee[1], Jong Bum Park[1], Nam Sung Kim[1], Jun Sung Ham[1], Jong Seung Hong[2] and Tae Sung Kim[2]

1 충북대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Chungbuk National Univ.)
2 ㈜남선기공 (Namsun Machinery Corporation.)
✉ Corresponding author: eungsuk@cbnu.ac.kr, Tel: 043-261-2442

Manuscript received: 2011.12.1 / Accepted: 2011.12.26

*Recently, the demands of the large scale machine tools gradually increase to machine the large parts, such as large scale crankshaft, yaw and pitch bearings for the wind power generator and the vehicle or aircraft components. But the high technology is necessary in order to develop the huge machine tools. Furthermore, the global market of it has been monopolized by a few companies. So, we need to develop the large scale machine tools and study its core technology to rush into the increasing market. In this study, we carried out the researches for the important core technology of a multi-tasking, machine tool; a large scale 5-axis machine tool of gantry type for multi-task machining. This study is focused on the design of large size gantry type multi-axis machine. In the case of large size of machine the cross rail deflection in the X-axis is significant. To reduce the deflection due to the eccentric spindle head, a special hollow type design in the cross rail with outside ram is adapted in this study. Also, the Zig-Zag motion in the Y-axis is inevitable with the gantry geometry, which is by the un-balancing, different motion at the left and the right columns moving. We tried to reduce the influence of Zig-Zag motion using FEM with different loading conditions at the left and the right side column.*

Key Words: 5-axis Machine (5 축 가공기), ANSYS (유한요소해석), Cross Rail(크로스 레일), Large Gantry Type Machine (대형 갠트리 타입 기계), Machine Tools(공작기계), Zig-Zag Motion(지그재그 운동)

## 1. 서론

공작기계는 모든 산업의 근간이 되는 기초산업으로써, 공작기계산업이 발전하여야만 제작 및 가공기술이 발달할 수 있다. 현재 우리나라에서도 대형 부품의 필요성이 대두되고 있어, 대형공작기계 개발의 국산화를 실현할 필요가 있다. 일반적인 대형 3 축 가공기는 국내에서 제작이 되고 있으나, 그 또한 Table 이동형으로 설치공간을 많이 차지하는 단점을 갖고 있으며, 가공 길이 방향으로의 확장성이 어려우므로 Gantry 형 5 축 가공기를 개발한다면, 설치공간이 Table 이동형에 비하여

1/2 로 축소될 뿐만 아니라, 가공 길이방향에 대한 확장이 용이하여 Table 이동형보다 저가로 제작이 가능하다. 대형 공작기계의 경우 크게 수평형과 수직형으로 분류할 수 있으며, 수직형의 경우 Gantry 형 공작기계가 있다. Gantry 형 공작기계는 Gantry 가 Bed 를 따라 절삭, 급송 이송하면서 가공을 수행한다. Ram 및 Saddle 등의 고하중 Head 가 Cross Rail 을 타고 이송하므로 구조적으로 안정적이지 못하고 가공시 Gantry 의 무게나 이송시 속도, 관성에 의해 Cross Rail 의 처짐과 Column 의 이송 오차가 발생하게 되며, 더불어 Yawing 과 Pitching 오차를 일으켜 공작물의 정밀도와 이송정밀도가 변화 하게 된다. 본 논문에서는 이때 발생하는 각도 오차 및 양쪽 Column 의 비슷한 무게로 인해 이송 중 발생하는 Zig-Zag motion 을 구조해석을 통하여 개선방안을 알아 보며 보다 변형에 강한 구조의 Cross Rail 을 설계하고 제작하기 위한 연구로 진행되었다.

## 2. 대형 Gantry 형 5 축 가공기 설계

대형복합형상 가공용 GANTRY 형 5 축 가공기는 30m 의 길이를 갖는 공작물을 가공할 수 있는 공작기계로써, 대형 5 축 가공 또는 일반적인 대형 공작물을 가공하는데 사용한다.

일반적으로 X/Y/Z 의 직선이동 3 축과 A/C 선회축을 갖는 Head 로 구성되어 있으며, Table 이동형이 아닌 Gantry 형으로 Table 은 고정되고 기타 기계 전체가 이동하는 방식을 채용한다.

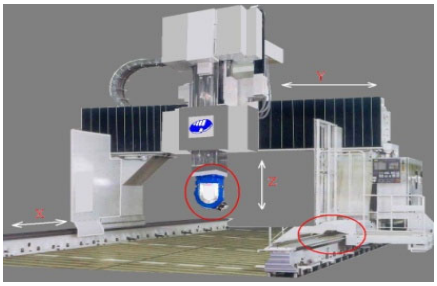

Fig. 1 General large gantry type 5-axis multi-working machine

Table 1 Maximum Stroke Chart

| | X | Y | Z |
|---|---|---|---|
| Stroke | 31,000mm | 4,130mm | 1,500mm |

Table 2 Spindle Head Maximum Stroke Chart

| | A | C |
|---|---|---|
| Stroke | ±110° | ±360° |

## 3. Cross Rail 강성 구조설계

### 3.1 Cross Rail 1 차 설계

현재 개발중인 대형 복합형상 가공용 Gantry 형 5 축 가공기의 Cross Rail 구조해석을 위해 CATIA V5R18 을 이용하여 실제품과 1:1 Scale 로 모델링 하였다.

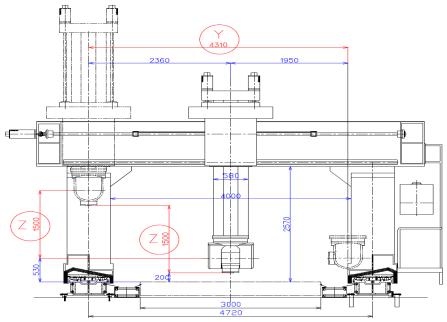

Fig. 2 Design of large gantry type 5-axis multi-working process machine

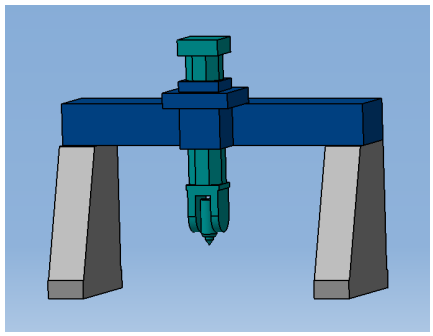

Fig. 3 Simple 3D Modeling (1:1 scale, CATIA)

해석결과에 큰 영향을 주지 않는 범위에서의 소형 부품을 제외하고 구조물을 단순화 하였고, Ram 은 Cross Rail 의 앞부분에 고정되어 이동하는 방식으로 설계하였다.

Ansys 12.1 을 사용하여 Ram 을 Cross Rail 의 중간에 위치시켜 해석한 결과 Z 축(Cross Rail 의 수직방향)으로 최대 0.093mm 의 변형과, Ram 이 Cross Rail 의 앞부분에 위치하여 Y 축(Gantry 이송방향)으로도 0.060mm 의 변형이 일어났다.[7]

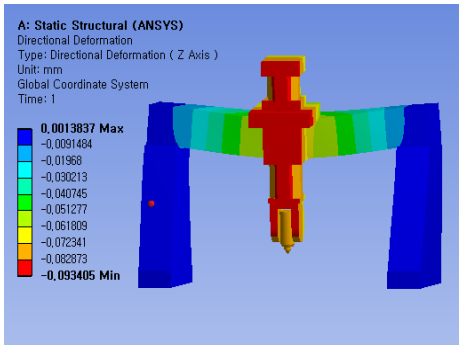


Fig. 4 Analysis of the 1st design of Cross Rail using FEM

1 차 Cross Rail 은 시간의 경과와 더불어 자중에 의해 하부측으로 휨이 발생하고 앞쪽으로 Ram 이 기울어지는 변형이 생기는 단점이 있다. 즉 구성용 부분품의 하중과 Cross Rail 자중으로 인하여 변형이 많이 발생하는 취약한 구조를 보였다.

변형이 발생하면 이는 곧 가공정밀도와 연계되므로 정밀도 저하를 가져오게 되고 그에 따라 가공품의 신뢰성을 떨어뜨리는 주요 요인이 된다.[1]

### 3.2 Cross Rail 2 차 설계

Fig. 5 에서 1 차 Cross Rail 을 개선한 2 차 Cross Rail 은 Ram 을 앞뒤에서 감싸 지지하는 방식으로 설계하였다.

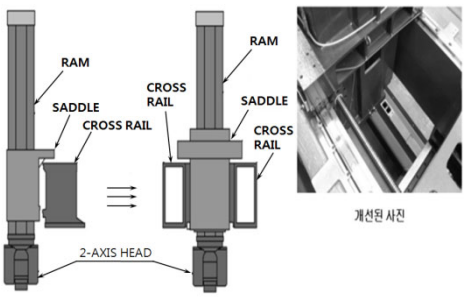


Fig. 5 Design change of Cross Rail

2 차 Cross Rail 의 FEM 결과 Z 축으로 0.052mm 와 Y 축으로 0.010mm 의 변형으로 1 차 Cross Rail 과 비교하여 자중에 의한 변형이 적고 안정적인 정밀도를 유지할 수 있는 구조로 개선되었음을 보였다. 실제 업체의 설계조건인 Z 축방향 0.04mm 처짐량에 근접한 결과를 얻었다.

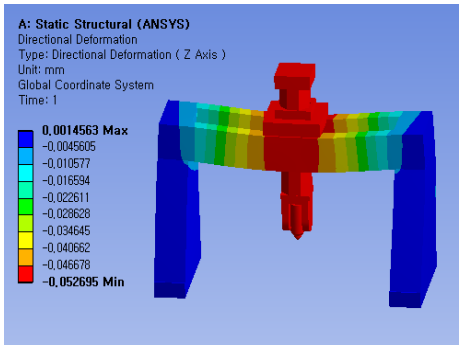


Fig. 6 Analysis of Cross Rail using FEM method

### 3.3 Cross Rail 3 차 설계 및 해석

2 차 Cross Rail 에서 Z 축 방향으로의 변형을 줄이기 위해 Cross Rail 의 상단부에 Crown 을 주어 모델링 하였다.

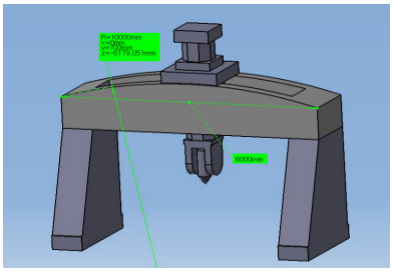

Fig. 7 Cross Rail with crown modeling

2 차 Cross Rail 에서 Z 축 방향으로의 변형을 줄이기 위해 Cross Rail 의 상단부에 Crown 을 주어 모델링 하였다.

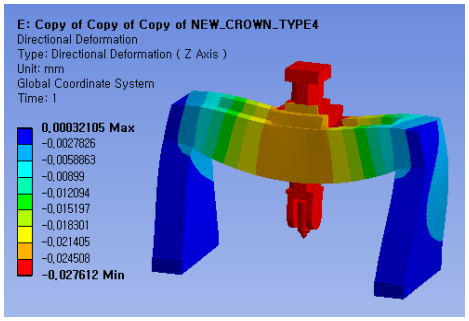


Fig. 8 Analysis for the final Cross Rail with crown design using FEM

FEM 결과 1,2 차 Model 과 비교하여 Z 축 방향으로의 변형이 0.027mm 로 크게 감소 하였으나

Cross Rail 의 Crown 형상은 Ram 이 이동함에 있어서 추가로 복잡한 제어 조건을 필요하게 된다.

해석결과는 실제 업체의 설계조건인 0.04mm 처짐량 이하로 개선된 것으로 보인다.

## 4. Gantry 의 이송시 좌우 이동 편차 개선

Gantry 의 이송시 각도 오차 및 양쪽 Column 의 비슷한 무게로 인한 좌우 Column 의 이송 오차가 Zig-Zag motion 을 일으키게 한다.[8]

설계한 대형 복합형상 가공용 Gantry 형 5 축 가공기의 Y 축 방향 최대 이송속도는 20m/min 이다.

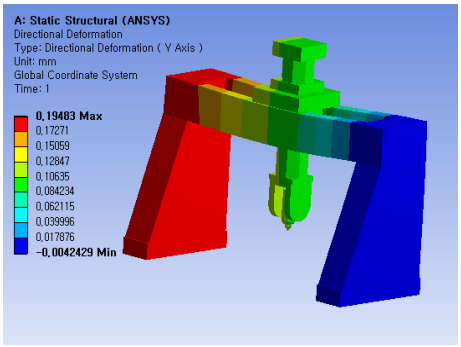


Fig. 9 Analysis due to the Zig-Zag motion (Y-axis) in Gantry machine

$$s = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \qquad (1)$$

한쪽 Column 은 고정시키고 다른 한쪽은 Y 축 방향으로만 Free 하게 두고 전체 Body 에 Gantry 최대 이송속도 20m/min 을 등가속도 운동으로 가정하고 식(1)로부터 구하여진 가속도 600mm/s$^2$ 를 주어 FEM 결과 Y 축 방향으로 0.19mm 의 변형이 발생하여서 최대 이송속도 에서의 Zig-Zag Motion 을 가정하였다.

Zig-Zag Motion 을 개선하기 위한 방법으로 하중을 더하여 주는 것으로서, 추가 하중의 위치를 바꾸어 가며 해석한 결과 Fig. 10 과 같이 고정시킨 Column 부분에 하중을 더하여 주는 것으로 변형이, 즉 Gantry 의 좌우 이동 편차가 0.19mm 로 줄어듦을 확인하였다.

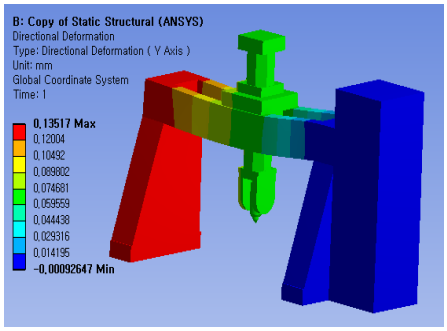


Fig. 10 Analysis due to the Zig-Zag motion with a load added in Gantry machine

## 5. 결론

최종적인 Ram 양쪽으로 중공축 모양의 설계된 Cross Rail 의 형상은 구조해석 결과에서 처짐량이 기준치에 벗어나지 않는 것으로 확인되었고, 해당 업체에서 실제 제작시 설계에 반영할 것으로 보인다. Y 축에 Rack Pinion 구조를 사용한 Gantry 형 의 대형공작기계의 Zig-Zag 운동은 피할 수 없는 현상이며, 본 연구에서 가정된 가속도 조건과 한쪽 편심으로 하중을 가한 경우의 해석 결과에서 보면, 좌우 동형의 하중이 없는 설계보다 Zig-Zag 현상 (Y 축 변형) 량이 현저하게 상당히 줄어듦을 보이며, 이 결과는 실제 제작 시 좌우의 무게 설계를 변경하여 최소의 Zig-Zag 운동이 되도록 할 수 있을 것으로 보인다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 중 “고정밀 대형복합형상 가공용 GANTRY 형 5 축 가공기 개발” 과제의 일환으로 연구되었습니다.

## 참고문헌

1. Zhao, Y. S., Dong, X. J., Guo, T. N. and Yang, W. T., “The Deformation Analysis about Guide Way Contact of Large Span and Heavy Load Cross-Rail,” Applied Mechanics and Materials, Vol. 26-28, pp. 93-97, 2010.
2. Wuhan Heavy Machine Tool Group Co. Ltd., NC Traveling-Gantry Drilling Machine With Multi-Head, Aeronautical Manufacturing Technology, Vol. 5, pp. 99-102, 2010.

3. Wend, Z. Y., Hu, S. H., Zhang, N. N., Ding, H. G. and You, H. H., “Dynamic Analysis of CNC Gantry Surface Grinder by Finite Element Method,” Digital Design and Manufacturing Technology, Part 1, pp. 339-343, 2010.
4. Gere, J. M., “Mechanics of material,” Cengage Learning, pp. 632-640, 701-720, 2004.
5. ISO 230-2, “Acceptance code for machine tools Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled machine tools,” 1998.
6. Lee, E. S., “A Study on a Lacation Precision Measurement of NC Machine tools,” J. of KSMTE, Vol. 10, No. 3, pp. 6-17. 2001.
7. Taesung Eng., “Selected Problems for ANSYS Users,” Taesung Software & Engineering, 2009.
8. Park, K. T., Kim, D. H., Park, C. H., Han, D. H. and Hong, S. J., “A Study on CAE Integrated Design of Gantry Crane,” Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 720-725, 2001.