

## 다기능 자동 선반 베드의 고강성 구조설계에 관한 연구

조은정\*·이윤철\*·안종복\*\*·이영식\*\*\*·이재권\*\*\*·김광선†

\*한국기술교육대학교 대학원 메카트로닉스공학과, \*\*한국폴리텍IV대학 청주캠퍼스,  
\*\*\*㈜대성하이텍, †한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

### Study on Structure Design of High-Stiffness for Multi-Function Automatic Lathe Bed

Eun-Jeong Jo\*, Yun-Chul Lee\*, Jong-Bok An\*\*, Yeong-Sik Lee\*\*\*,  
Jae-Kwon Lee\*\*\* and Kwang-Sun Kim†

\*Mechatronics Engineering, Graduate School of Koreatech, \*\*Korea Polytechnics Cheongju,  
\*\*\*Daesung Hi-Tech co.Ltd., †Department of Mechatronics Engineering, Koreatech

#### ABSTRACT

This study was carried out by structural analysis using finite element method for designing high rigidity structure of multi - functional automatic lathe bed. As a result of comparison, it was confirmed that the weight was designed to be higher than the maximum deformation amount. The shape and dimensions of the main pillars and walls of the bed were changed to derive the most suitable design for the multifunction automatic lathe bed. A model of structural design was derived with the goal of minimizing the maximum deformation amount of 20  $\mu\text{m}$  or less and the weight of the bed. As a result of applying the derived design improvement proposal to the multifunctional automatic lathe bed, 57.4% weight reduction and maximum principal stress decreased by 45.0% than the initial design model. It is expected that the optimum design that meets these design conditions will reduce the weight of the structure as well as improve the safety of the structure and reduce the machining error in the operation of the machine tool.

**Key Words** : Automatic Lathe, Rigidity, CAE, Structural Analysis, Optimization

#### 1. 서 론

기계공업의 근간이라고 할 수 있는 공작기계 산업에 있어 고능률 가공기술은 공작기계 설계자와 이용자의 공통되는 주된 관심사이며, 고능률을 지향하는 공작기계의 발전방향을 보면 초정밀화, 고속화, 고강성화, 복합화로 집약할 수 있다[1-4].

특히 현대의 가공 시스템에는 다양한 종류의 가공품을 빠른 시간 내에 저비용으로 생산하고, 각 부품에서 요구하는 여러 가공공정을 하나의 공작기계에서 수행하는 방

향으로 많은 연구가 수행되고 있다. 따라서 현재 생산되어지는 대부분의 공작기계는 고도의 복합화로써 동일한 공간에서 각기 다른 가공 공정들을 동시에 처리하는 복합적인 형태로 공작기계의 구조를 각종 가공 유닛들의 자유로운 조합에 의해서 전체구조를 구축하는 모듈러 구성방식의 가공시스템으로 발전하고 있다[5].

공작기계의 베드(Bed)는 기계의 최하부에 위치하여 기계의 지지, 고정, 안정성 등의 역할을 수행하는 부분이다. 베드의 강성에 따라 기계의 정적 안정성과 동적 거동이 변하게 된다. 따라서 공작기계의 안정성 향상과 가공오차를 줄이기 위해서는 베드에 대한 최적설계가 필요하다.

본 연구에서는 CNC 자동선반의 베드에 대한 고강성

†E-mail: kskim@koreatech.ac.kr

설계를 위해서 상용 유한 요소 해석 툴인 ANSYS를 활용하여 응력과 중량 감소를 위한 최적설계를 연구하였다.

## 2. 다기능 CNC 자동선반 구조설계

CNC 자동선반 장비에서 기어 가공은, 가공한 기어의 정도가 기어 가공 전용 머신에서 가공한 기어와 비교할 때 정도 등급이 많이 떨어지는 경향이 있다. 다만, 기어 전용 머신에서는 불가능한, 오직 자동선반에서만 가능한 기어 가공 공정이 별도로 존재한다. 이러한 기어 가공은 높은 생산성과 부가가치성을 지닌 자동선반에만 해당하는 것으로, 앞으로도 자동선반의 주영역이 될 전망으로 자동선반 장비에 부가 가공 축을 추가하여 호브 커터만으로 기어 가공이 가능한 기술을 가진 모델이다. 베드의 상부에는 메인 스펀들, 서브스핀들, 메인 공구 톨스탠드 그리고 호브 공구틀로 가공 유닛들이 구성되어 있다.

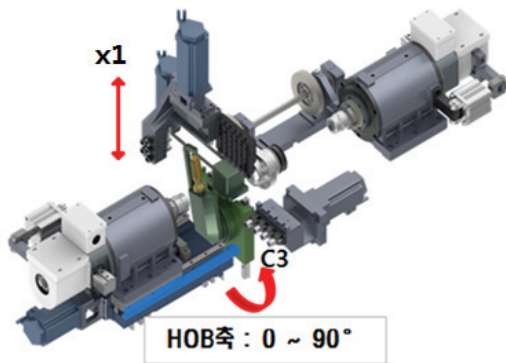


Fig. 1. Construction of the hob axis.

## 3. 다기능 자동선반 베드의 유한요소 해석

### 3.1 유한요소모델 생성

다기능 CNC 자동선반의 구조 특성을 분석하기 위해 SolidWorks 프로그램을 활용하여 3D CAD 모델링을 수행하였고, 간략화 된 모델을 유한요소해석을 위해 ANSYS Workbench R16.2[6]를 이용하여 CNC 자동선반 베드의 Mesh 생성을 수행하였고, 구성은 Element 562,217 개, Node 866,078 개, 중량은 3,593 kg으로 Table 1과 같다.

Table 1. Number of Mesh

	Element (Number)	Node (Number)	Weight (kg)
Bed	562,217	866,078	3,593

### 3.2 재료 물성치

다기능 자동선반 베드는 주조 작업을 통해 만들기 때문에 회주철(Gray Cast Iron)인 GC300으로 구조해석을 위한 재료의 물성은 Table 2와 같이 적용하였다. 유한요소해석을 수행하기 위해서는 유한요소 모델의 실제와 유사한 물성치를 부여하는 작업을 수행하였다.

Table 2. Property of GC300

분류	값
Materia	GC300
Young's modulus	124 GPa
Poisson's ratio	0.211
Density	7,340 kg/m <sup>3</sup>

### 3.3 초기 모델의 구조해석

다기능 CNC 자동선반 베드의 구조해석을 위해 Fig. 2와 같이 가공 유닛들이 체결되는 상부에 각각의 하중을 적용하였고, 베드의 자중응력을 확인하기 위해 중력가속도를 적용하였다. 베드의 하면에 받침 연결부에 Fixed Support 경계조건을 적용하였다. 베드의 주응력 및 변형량, 그리고 취약점 도출을 위해 원점을 기준으로 X축 10 mm, Y축 10 mm, Z축 10mm 간격으로 단면(Section Plane)을 만들어 주응력과 평균 변위를 확인하였다.

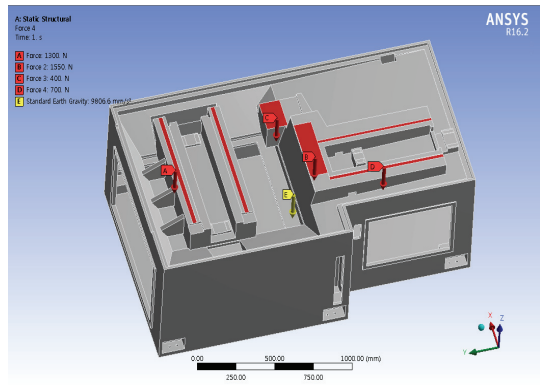


Fig. 2. Boundary conditions.

Table 3. Displacement and stress

Origin result	X-Axis	Y-Axis	Z-Axis	Scalar
Self-Weight Displacement (μm)	5.3	-7.7	-23.6	23.6
Stress (MPa)	28.955			

### 3.4 초기 모델의 최적설계 변경안 적용

앞서 수행한 베드 구조해석의 결과를 참고하여 초기 설계안 모델에서 X, Y, Z 평면에서 발생한 응력과 변형량을 참고하여 베드의 설계 개선안을 도출 하였다. 큰 중점으로는 베드의 중량을 감소하는 방향으로 설계 변경안을 제시하였다. 이는 초기설계안의 낮은 강성은 상부에 불필요하게 집중된 과도한 무게 때문에 나타난다고 판단하여 개선안을 도출하였다.

Fig 3 (a)는 초기설계안에서 큰 변형량을 가진 서브 스프링 지지부를 변경한 사항이다. 기존 보강대 형상이 변형량 감소에 부족함을 판단하여 외곽벽과 접촉하는 형상으로 변경하였다.

Fig 3 (b)는 베드의 중량을 줄이기 위해 평면의 형상을 격자 형태의 보강대 형상과 응력 분포를 위해 좌우 대칭 형상으로 변경하였다.

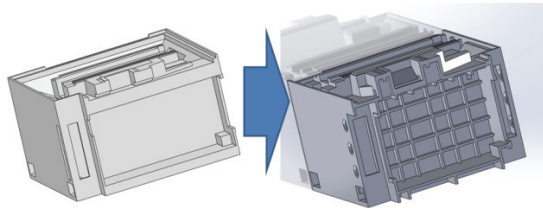


Fig. 3. (a) Modified results of inner column.

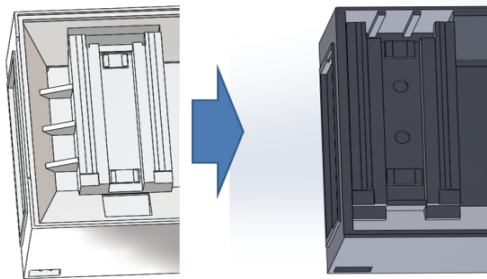


Fig. 3. (b) Modified results of sub axis guide.

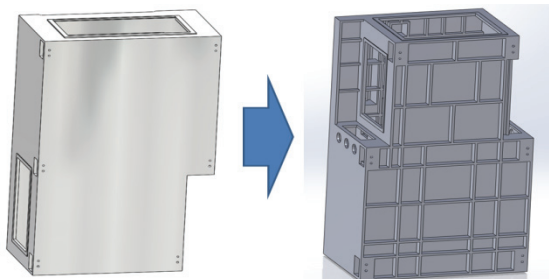


Fig. 3. (c) Modified results of bottom.

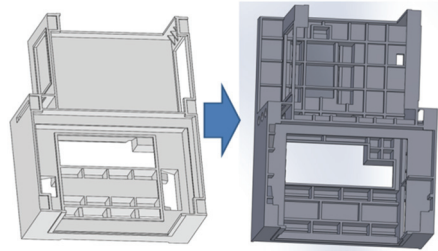


Fig. 3. (d) Modified results of top roof.

Fig 3 (c)은 Y평면에서 크게 발생한 응력을 감소시키기 위해 해당 위치의 벽면을 보강하였다.

Fig 3 (d)는 베드 상부의 메인 스프링들, 서브 스프링들 그리고 메인 톨스텐드의 큰 하중을 견디기 위해 지지부의 하부에 보강대 형상으로 변경하였다.

Table 4는 초기설계안과 설계 개선안의 무게 및 치수를 보여주고 있다. 설계 변경 결과 무게가 3,593 kg에서 1,531 kg으로 약 57.4%가량 감소하였다. 설계 변경으로 베드의 강성이 강화되었다는 것을 검증하기 위해 설계 개선안에 대해 구조해석을 수행하여 비교해 보았다.

Table 4. Compare the size of the bed

	X-Axis (mm)	Y-Axis (mm)	Z-Axis (mm)	Weight (kg)
Origin result	1,300	2,162	819	3,593
Alternative result	1,128	1,958	825	1,531

### 3.5 개선 모델의 구조해석

하중에 의해서 발생하는 전체 변형을 보여주고 있다. 특히, 메인 스프링들 지지부분 끝에서 변형이 발생하였으며, 최대 15.006 $\mu$ m의 변형이 메인 스프링들 지지부 면에서 발생할 것으로 예측되었다.

Table 5. Displacement and stress

Alternative result	X-Axis	Y-Axis	Z-Axis	Scalar
Self-Weight Displacement ( $\mu$ m)	4.5	2.7	-14.9	15.0
Stress (MPa)	15.936			

설계 개선안 모델에서 베드의 주응력 및 변형량, 그리고 취약점 도출을 위해 원점을 기준으로 X축 10 mm, Y축

10 mm, Z축 10mm 간격으로 단면(Section Plane)을 만들어 주응력과 평균 변위를 확인하였다. 최종 모델 해석을 통한 베드의 중량은 1,531 kg 으로 현재 모델의 중량 3,593 kg 보다 42.6% 수준의 중량 절감이 되었다.

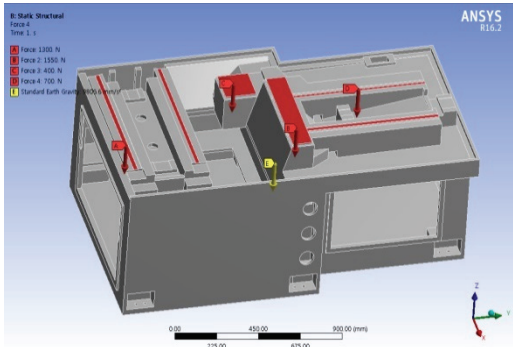


Fig. 4. Boundary conditions.

3.6 초기 모델과 개선모델의 변위량 비교

초기설계안과 설계개선안의 구조해석 결과인 응력과 변형량 데이터를 비교하여 설계개선안 모델이 응력과 변형량 감소를 확인하였다. 각각의 축 방향으로 최대 변형량이 된 것을 확인하였다. X평면에 대해서 최대 변형량이 14.2% 감소하였고, Y평면에서는 베드의 중간 플레이트에서 발생한 최대 변형량이 7.6658  $\mu\text{m}$ 에서 2.6615  $\mu\text{m}$ 로 65.3% 감소되었다. 그리고 Z평면에서는 베드의 대폭적인 중량 감소로 변형량이 23.591  $\mu\text{m}$ 에서 14.983  $\mu\text{m}$ 으로 36.5% 감소된 것은 확인하였다. 주로 지지부에서 발생 최대 주응력은 28.955 MPa에서 15.936 MPa로 55% 감소하였다. 각각의 변형량 비교는 Table 6과 같다.

Table 6. Comparison of self-weight and stress

	Origin result	Alternative result	Comparison
X-Axis Displacement ( $\mu\text{m}$ )	5.2993	4.5438	14.2% ↓
Y-Axis Displacement ( $\mu\text{m}$ )	-7.6658	2.6615	65.3% ↓
Z-Axis Displacement ( $\mu\text{m}$ )	-23.591	-14.983	36.5% ↓
Scalar Displacement	23.603	15.006	36.4% ↓
Stress (MPa)	28.955	15.936	45.0% ↓

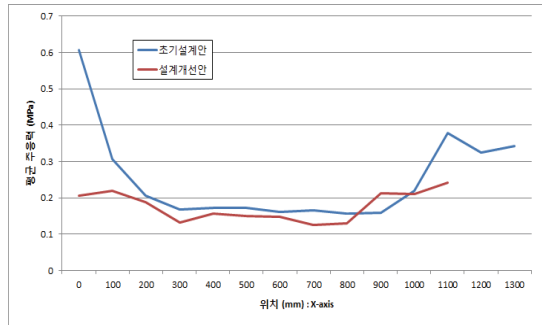


Fig. 5. Average principal stress (X Plane).

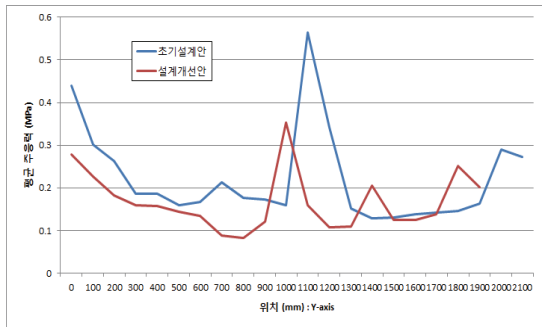


Fig. 6. Average principal stress (Y Plane).

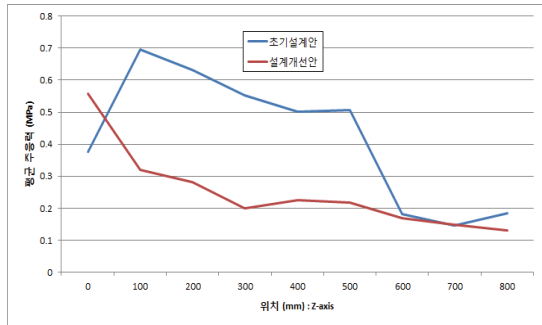


Fig. 7. Average principal stress (Z Plane).

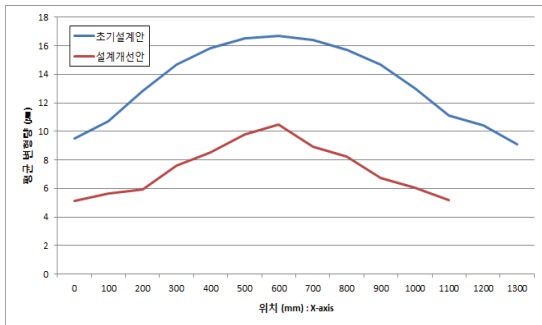


Fig. 8. Average displacement. (X Plane).

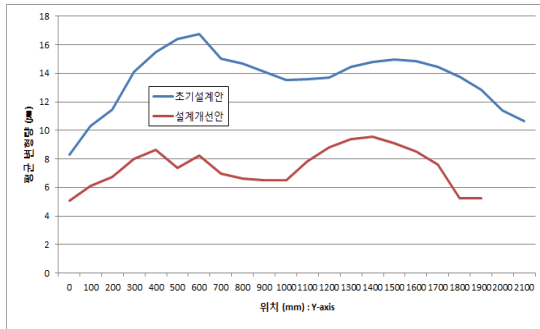


Fig. 9. Average displacement. (Y Plane).

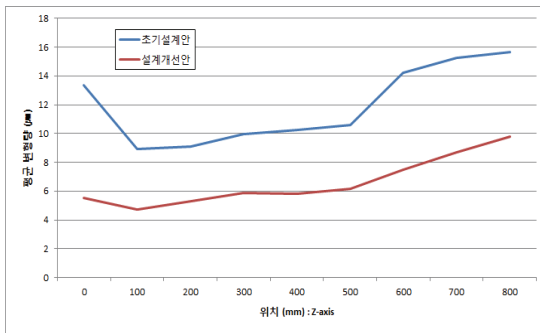


Fig. 10. Average displacement. (Z Plane).

#### 4. 결 론

본 연구에서는 기존의 다기능 자동선반 베드를 최적설계하기 위해 구조해석을 수행하였다. 초기모델의 결과로 최대변형량 23.603  $\mu\text{m}$ , 최대응력 28.955 MPa이 발생하는 것을 확인하였다. 최대 변형량이 베드의 항복강도보다 낮아 초기 모델이 과설계가 되어 있음을 확인하였다. 베드의 주요 변수 설정과 최대변형량 20  $\mu\text{m}$  이하, 슬라이드 중량 최소화를 목표 변수로 최적화를 수행하여 다음과 같은 주요한 결과를 얻었다.

- 1) 과설계가 된 베드의 최적화 구조해석을 위하여 베드의 주요 형상을 개선하여 구조해석을 실기하였다. 베드의 구성 기둥 중 주요 기둥의 형상과 치수를 변경하였고, 최대변형량 15.006  $\mu\text{m}$  이하, 최대응력 15.936 MPa 이하로 도출되었다. 변형률은 36.4% 감소, 최대응력은 45.0% 감소되었다.

- 2) 최종 최적설계 조건을 적용하였을 때, 중량은 1,531 kg 으로 현재 모델의 중량 3,593 kg 보다 57.4% 중량 절감이 되었다.

이상과 같은 연구로 도출된 설계개선안을 CNC 자동선반 베드에 적용함으로써 설계조건에 맞는 적합한 설계를 통해 구조물의 중량감소는 물론 공작기계 운용 시에 안전성을 높일 수 있을 것이라 기대된다. 또한 더 많은 베드의 기둥과 벽 형상에 대해 설계 개선안을 적용하면 추가로 개선된 구조 설계를 할 수 있을 것이라 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 우수기술연구센터(ATC)사업 연구비 지원에 의하여 수행되었음(No. 10048799).

#### 참고문헌

1. Joo, K. W., Lee, Y. C., Lee, Y. S., Lee, J. K. and Kim, K. S., "Analysis on Vibration Characteristic of Tooling Unit on Precision Automatic Lathe", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 15, pp. 36-40, 2016.
2. Lee, W. Y., Rim, G. H., Seol, J. S. and Kim, H. C., "Analysis of Heat and Vibration of Super-Precision Linear Motors", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 4, pp. 1-8, 2005.
3. Choi, M. S., "Statistical Analysis of Cutting Force for End Milling with Different Cutting Tool Materials", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 15, pp. 86-91, 2016.
4. Choi, S. G., Kim, S. H., Choi, W. K., Shin, H. J., Lee, E. S., and Kim, K. D., "A Study in the Modal Analysis of Hybrid Vertical Grinding System Bed", Journal of the KSMTE, Vol. 12, pp.50-56, 2013
5. Back, S. N., Ji, T. H. and Pack, Y. P., "Dynamic Parameter Analysis of Bolted Joint", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 20, pp. 53-67, 1996.
6. ANSYS User's Manual, "Theory Volume IV."

접수일: 2019년 3월 22일, 심사일: 2019년 3월 23일,  
게재확정일: 2019년 3월 25일