

# CNC 선반용 공작물 자동 적재장치의 설계 및 제작

박재경\*, 김갑순\*<sup>#</sup>

\*경상대학교 제어계측공학과(ERI)

## Design and Manufacture of an Automatic Workpiece Loading Device for a CNC lathe

Jae-Kyung Park\* and Gab-Soon Kim\*<sup>#</sup>

\*Department of Control & Instrumentation Engineering, ERI, Gyeongsang National Univ.

(Received 17 March 2019; received in revised form 28 March 2019; accepted 3 April 2019)

### ABSTRACT

In this paper, we design a new automatic workpiece loading system for the loading and unloading of a workpiece for a CNC lathe. Conventional workpiece loading systems are bulky and require a large area when installed around a shelf. Therefore, an automatic loading system with small horizontal and vertical dimensions and a large loading capacity was designed. Structural analysis of the system was then carried out to assess the displacement and safety of the main components. Following this, the automatic loading system was manufactured according to the structural analysis results and conceptual design, and experiments characterizing the performance of the system were conducted. As a result, the automatic loading system was found to operate accurately and safely, meaning it can be used to load and unload workpieces for a CNC lathe.

**Key Words :** Workpiece Loading System(공작물 적재장치), Workpieces(공작물), CNC Lathe(CNC 선반), Structural Analysis(구조해석), Displacement(변위), Stress(응력)

### 1. 서 론

4차 산업혁명의 핵심인 스마트공장(smart factory)에서 CNC(Computer Numerical Control) 선반은 매우 중요한 구성요소 중에 하나이다. 이 선반은 공작물을 자동으로 가공하는 기계이고, 생산성을 향상시키기 위해 공작물을 선반의 척에 장착/loading)하고 탈착(unloading)하는 로봇이 있다. 이 로봇들은 갠츄리 로봇(gantry robot), 산업용 로봇

(industry robot), 스카라 로봇(scara robot) 등이 있다. 이들 로봇이 선반의 척에 장착과 탈착을 원활하게 수행하기 위해서는 가공전 공작물과 가공후 공작물을 지정된 위치에 적재하는 자동 적재장치가 필요하다.

Lee<sup>[1]</sup>는 선반에 부착된 갠츄리로봇을 이용하여 공작물을 장착과 탈착을 하기 위한 자동정렬 및 적재장치를 설계하였다. 이장치는 갠츄리 로봇이 잡을 수 있도록 정해진 위치에 공작물을 자동으로 위치시키는 기능과 직경이 100mm이고 높이가 100mm인 공작물을 56개를 적재 능력을 가지고 있으나 장치의 크기(2476×838×804mm)가 크다는

# Corresponding Author : [gskim@gnu.ac.kr](mailto:gskim@gnu.ac.kr)

Tel: +82-55-772-1745, Fax: +82-55-772-1749

단점을 가지고 있다. 즉, 이 자동정렬 및 적재장치는 하나의 선반에 가공전 공작물과 가공후 공작물을 위해 두 대가 설치되어야 하므로 넓은 설치공간이 필요한 단점을 가지고 있다. Kulkarni<sup>[2]</sup>는 스로틀벨브(throttle valve)의 소재를 CNC 선반에 자동으로 장착과 탈착하는 수행하여 생산성을 높이는 연구결과를 발표하였다. Park<sup>[3]</sup>는 슬라이드형 공작물 교황장치의 구조해석을 수행하였고, 그 결과를 토대로 제작하였다. Lee<sup>[4]</sup>는 센츄리 타입의 공작기계 가로보를 새롭게 고안하고 구조해석을 통해 설계하고 중앙점의 처짐을 계산하였다. Sawodny<sup>[5]</sup>은 고속 이송을 위한 겐츄리 로봇의 구조해석을 통해 설계하였다. Kim<sup>[6]</sup>은 고속으로 이동할 수 있는 3축 고속 고중량 이송로봇을 구조해석을 통해 설계하고 안정성을 분석하였다. Park<sup>[7]</sup>은 겐츄리 형태의 대형 공작기계의 구조를 구조해석을 통해 설계하였다. Yang<sup>[8]</sup>은 동적모델링을 통해 겐츄리 로봇의 진동을 시뮬레이션하였다. Jang<sup>[9]</sup>은 3축 직교로봇을 구조해석을 통해 설계하였다. Gomezacedo<sup>[10]</sup>는 구조해석을 통해 겐츄리 형태의 공작기계를 설계하였다. 지금까지 개발한 선반용 자동 적재장치는 크기가 크므로 설치면적이 넓게 소요되는 단점이 있으므로 이를 개선하기 위해 새로운 구조의 시스템 설계가 필요하다.

본 논문에서는 가공전 공작물 혹은 가공후 공작물을 안전하게 적재할 수 있을 뿐만 아니라 크기가 작은 새로운 구조의 자동 적재장치를 설계 및 제작한다. 자동 적재장치에 공작물을 적재 하였을 때를 기준으로 적재장치의 구조를 해석 하였고, 구조해석 결과를 토대로 주요부품의 크기를 결정하였다. 그리고 자동 적재장치를 제작 하였고, 제작된 장치를 동작 특성실험을 실시하였다.

## 2. CNC 선반용 자동 적재장치 설계

### 2.1 CNC 선반용 자동 적재장치의 기본 원리

본 논문에서의 자동 적재장치는 직경이 100mm 이고 높이가 100mm인 공작물을 최대 64개까지 적재할 수 있고, 전체 크기를 520×500×1196mm로

설계한다. Fig. 1은 선반용 공작물 자동 적재장치의 개념도를 나타내고 있다. 자동 적재장치는 몸체(body), 공작물 지지봉(workpiece support bar), 공작물 받침대(workpiece holder), 받침대 지지대(holder support), 공작물 상하이동모터(workpiece up-down motor), 상하이동판(up-down moving plate), 타이밍 벨트폴리(timing belt and pulley), 볼나사(ball screw), 안내봉(guide bar), 위치조정기(positioner) 등으로 구성된다. 몸체는 육각프레임, 상부고정판, 하부고정판, 받침대 지지대블록, 정지블록 등으로 구성되었고, 육각프레임은 재질이 알루미늄 A6N015-T5이고, 크기가 40×40mm인 상용화된 프로파일로 크기가 520×500×580mm가 되도록 볼트로 고정하여 제작하였다. 하부고정 판은 하부 프로파일 위에 고정되고, 볼나사의 하부회전블록과 타이밍 벨트폴리가 고정된다.

상부고정판은 상부 프로파일 위에 고정되고, 볼나사의 상부회전블록, 안내봉의 볼부쉬가 고정되며, 받침대 지지블록이 고정된다.

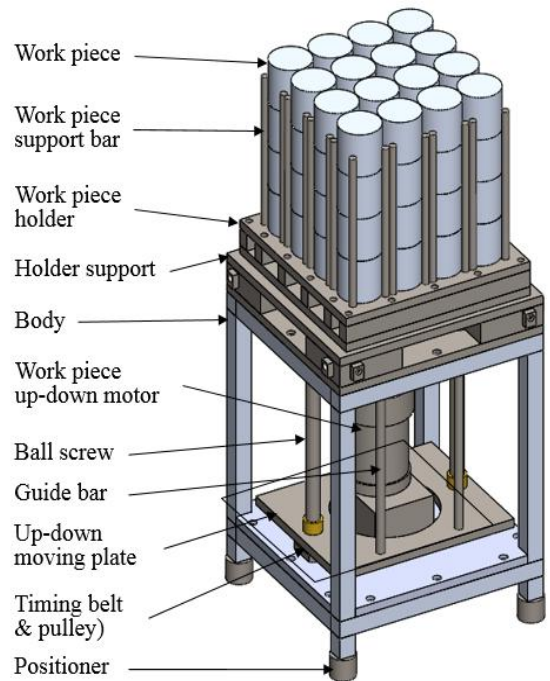


Fig. 1 Basic principle of automatic loading system

받침대 지지대블록은 상부고정판 위에 고정되고, 받침대 지지대를 지지한다. 정지블록은 받침대 지지대 블록에 2개씩 고정되어 있고, 받침대 지지대가 정확한 위치에 위치하도록 안내하는 역할을 한다.

공작물 지지봉은 가공전 공작물 혹은 가공후 공작물이 정확한 위치를 유지하도록 하는 역할을 하고, 4개의 봉이 1줄의 공작물을 지지한다. 공작물 받침대는 상부판, 하부판, 고정블록 등으로 구성되어 있고, 상부판과 하부판 사이에 고정블록을 배치하고 볼트로 고정하여 일체형으로 제작하였다. 상부판에는 공작물 지지봉이 고정되고, 하부판은 받침대 지지대 위에 놓인다. 받침대 지지대는 상부에는 공작물 받침대를 지지하고, 이것은 몸체의 받침대 지지블록위에 놓인다. 공작물 상하이동 모터는 모델 V135이고, 이것의 사양인 용량 0.75kW, 감속비 10:1, 토크 320Nm, 회전수 180rpm, 무게 19kg이다. 상하이동판은 안내봉의 하부가 고정되고, 볼나사 부쉬가 고정되며, 볼나사가 회전함에 따라 상하로 이동된다. 타이밍 벨트 풀리는 몸체의 하부 고정판에 고정되어 있고, 상하이동모터의 회전에 따라 볼나사를 회전시킨다. 볼나사는 상부 고정판과 하부고정판 사이에 위치해 있고, 상하 이동모터에 의해 회전되고, 상하이동판을 이동 시킨다. 안내봉은 상하이동판에 고정되고, 받침대 지지대를 밀어서 상하로 이동시킨다.

위치조정기는 몸체의 육각 프레임의 하부와 고정되고, 공작물 받침대가 수평이 되도록 조정 하는데 사용된다.

## 2.2 자동 적재장치의 시뮬레이션

Fig. 2는 선반의 공작물을 적재하기 위한 자동 적재장치의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. Fig. 2의 (a)는 공작물 64개 모두를 적재한 모습을 나타내고 있고, 이 위치는 로봇이 선반에 가공전 공작물을 넣기 위해 잡는 위치 혹은 가공후 공작물을 놓는 위치이며, 로봇이 공작물을 이동시키는 순서는 앞줄을 화살표 방향으로 이동시키고 두 번째, 세 번째, 네 번째 줄 순서이다. Fig. 2의 (b)~(d)는 공작물을 각각 1~3층을 이동시킨 후 공

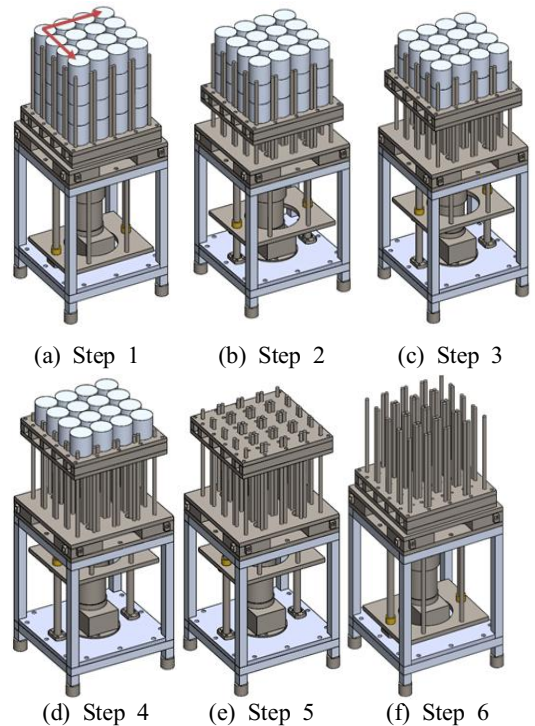
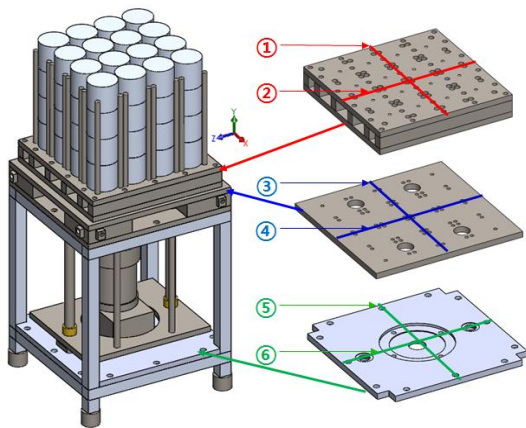


Fig. 2 Moving path of automatic loading system

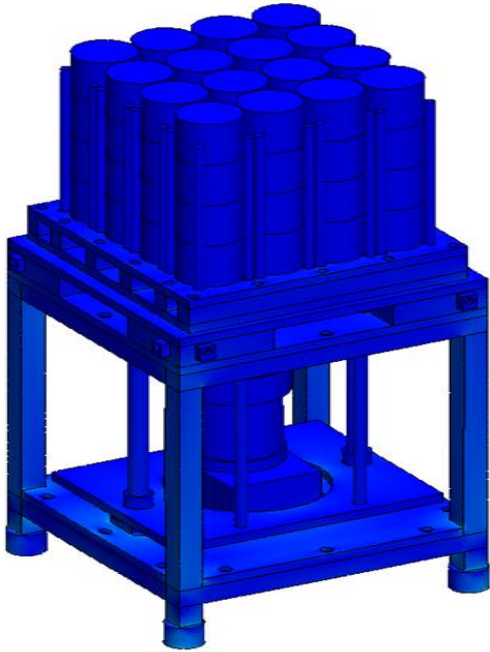
작물 받침대가 공작물 높이만큼 이동한 모습, (e)는 공작물을 모두 이송시킨 모습, (f)는 공작물 받침대를 최하위로 이동시킨 모습을 나타내고 있다. Fig. 2에서 나타낸 것과 같이 자동 적재장치의 시뮬레이션 결과는 각 단계로 정확하게 움직였으므로 부품들 간의 간섭 등이 없는 것으로 나타났고, 이에 따라 구조해석을 실시하여 주요부품의 크기를 결정해도 될 것으로 판단된다.

## 2.3 자동 적재장치의 구조해석

자동적재장치를 안전하기 설계하기 위한 중요한 부분을 선정하여 구조해석을 실시하였다. 중요한 부분은 몸체의 하부고정판, 공작물 받침대, 받침대 지지대로 결정하였고, 로봇이 공작물을 잡을 때의 정밀정확도 등을 고려하여 각 부품의 변위(처짐)은 10um이내가 되도록 설계하고, 안전율은 최소 3배 이상으로 한다. Fig. 3은 자동 적재장치의 구조해석결과를 나타내고 있다.



(a) Structural analysis lines



(b) Structural analysis result

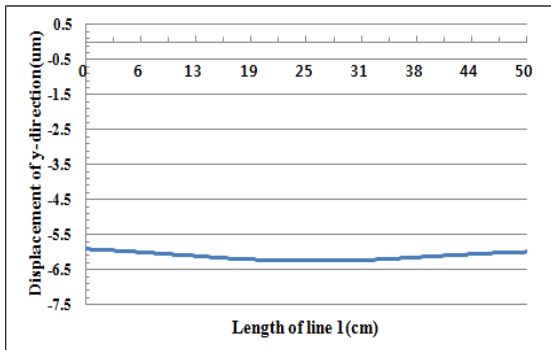
**Fig. 3 Structural analysis result of automatic loading system**

Fig. 3의 (a)는 구조해석을 위해 선정된 부품과 구조해석결과를 나타내기 위한 선을 나타내고 있고, 첫 번째 부품은 공작물 받침대의 가로와 세로 중심선 ①과 ②, 두번째 부품은 받침대 지지대의 가로와 세로의 중심선 ③과 ④, 세번째 부품은 몸

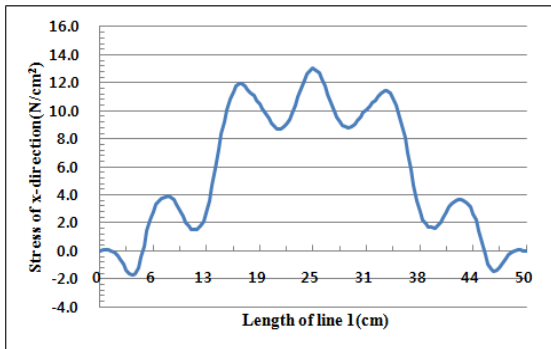
체의 하부고정판의 가로와 세로 중심선 ⑤와 ⑥을 각각 나내고 있다. 구조해석결과를 나타내기 위한 선을 각 부품의 중심선으로 나타낸 것은 중심선상에서 응력과 처짐이 크게 발생되기 때문이다. Fig. 3의 (b)는 자동 적재장치의 구조해석으로 변형된 모습을 나타내고 있다. 구조해석은 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 직경 100mm, 높이 100mm인 크기의 공작물 64개를 적재하고, 공작물 및 적재장치의 모든 부품의 재질을 소프트웨어에 대입하여 자중의 무게가 각 부품에 작용되도록 하여 실시하였다. 구조해석 조건은 6kg 무게의 가공 전 가공소재 64개, 총 384kg과 모든 부품의 재질에 따른 자중이 가해지고, -y축 방향으로 중력을 설정하였으며. 메시 조건은 요소 크기 7.08111mm, 총 절점수 3,273,131개, 총 요소수는 2,181,340의 고품질 메시 조건을 적용하였다.

Fig. 4의 (a)는 공작물 받침대의 ①의 위치에서 y축 변위를 나타낸 것이고, 시작위치, 중앙위치, 끝위치의 변위는 각각  $-5.912\mu\text{m}$ ,  $-6.248\mu\text{m}$ ,  $-5.991\mu\text{m}$ 이내이었으며, 변위는 중앙위치에서 가장 크게 발생되었다. 이것은 공작물 받침대 아래의 150~350mm 부근에 지지하는 부품이 없기 때문이다. 그리고 x축 변위와 z축 변위는 모두  $0.0909\text{mm}$  이내로 y축 변위보다 매우 작았다.

Fig. 4의 (b)는 공작물 받침대의 ①의 위치에서 x축 응력을 나타낸 것이고, x축 응력은 최대  $13\text{N/cm}^2$  이하였고, 시작위치와 끝 위치에서는 응력이 거의  $0\text{N/cm}^2$  근처이었고, 중앙위치에서 최대 응력이 발생하였으며, 응력이 증가와 감소를 반복하는 현상을 나타내고 있다. 이러한 현상은 공작물 받침대 아래 부분 150~350mm 위치에 지지해주는 부품이 없고, 상부판과 하부판 사이에 고정블록이 6개 위치해 있기 때문이다. y축 응력은  $-0.0890\sim 0.0789\text{N/cm}^2$  이내로 미소하게 발생하였고, z축 응력은 상부판과 하부판 사이에 고정블록이 있는 부분과 없는 부분에서 x축의 응력과 같이 증가와 감소를 반복하는 경향을 보이고 있고 그것의 값은  $8.1\sim 13.9\text{N/cm}^2$  이내이었다. 공작물 받침대의 ②의 위치에서의 변위와 응력은 ①의 그것들과 거의 비슷한 경향을 보였고, 최대 변위와 응력은 각각  $-6.248\mu\text{m}$ 와  $13.2\text{N/cm}^2$  이내이었다.



(a) y-direction displacement



(b) x-axis stress

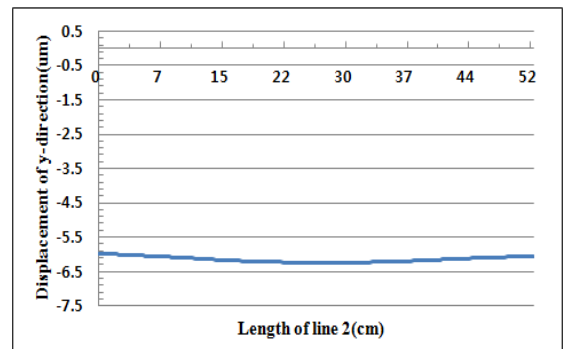
Fig. 4 Graph of displacement and stress of line ①

구조해석 결과, 공작물 받침대의 변위는 7um이 내이었고, 응력은 14N/cm<sup>2</sup> 이 내이였으므로 공작물 받침대의 재질(SM45C)의 인장강도 68670N/cm<sup>2</sup>과 비교하여 매우 낮으므로 안전한 것으로 판단된다. 응력이 매우 여유가 있도록 설계한 것은 공작물 받침대의 중앙에서의 변위를 10um이내를 만족하게 하기 위해서다. 구조해석 결과를 토대로 결정된 공작물 받침대의 전체 크기는 470×470×80mm 이고, 상부판과 하부판의 두께는 각각 20mm이며, 고정블록의 크기는 30×40×470mm이었다.

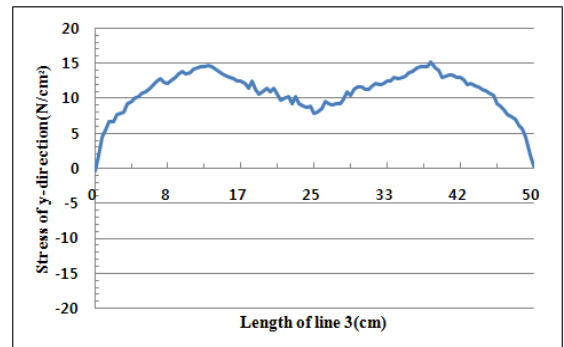
Fig. 5의 (a)는 받침대 지지대의 ③의 위치에서 y축 변위를 나타낸 것이고, 시작위치, 중앙위치, 끝위치의 변위는 각각 -5.553um, -5.719um, -5.536um이내이었으며, 변위는 중앙위치에서 가장 크게 발생되었다. 그리고 x축 변위와 z축 변위는 모두 0.1502um이내로 y축 변위보다 매우 작았다. Fig. 5의 (b)는 받침대 지지대의 ③의 위치에서 x

축 응력을 나타낸 것이고, 시작위치에서 0N/cm<sup>2</sup>이었고, 150mm위치에서 최대응력인 15.2N/cm<sup>2</sup>이었으며 그 후 감소하였다. 그리고 다시 350mm위치에서 최대응력이 발생하고 다시 0N/cm<sup>2</sup>으로 감소하였다. 이것은 받침대 지지대 150mm와 350mm 위치에 직경 50mm 홀이 각각 2개씩 있기 때문이다. y축 응력은 -16.6~5.6N/cm<sup>2</sup> 이내로 발생하였고, z축 응력은 -1.3~7.4N/cm<sup>2</sup> 이내로 응력의 급격한 증가 및 감소를 나타내고 있다. 받침대 지지대의 ④의 위치에서의 최대 변위와 응력은 각각 -5.885um와 -36.4N/cm<sup>2</sup> 이내이었다.

구조해석 결과, 받침대 지지대의 변위는 6um이 내이었고, 응력은 36.4N/cm<sup>2</sup> 이 내이였으므로 공작물 받침대의 재질(SM45C)의 인장강도 68670N/cm<sup>2</sup>과 비교하여 매우 낮으므로 안전한 것으로 판단된다. 구조해석 결과를 토대로 결정된 받침대 지지대의 크기는 520×500×20mm이었다.

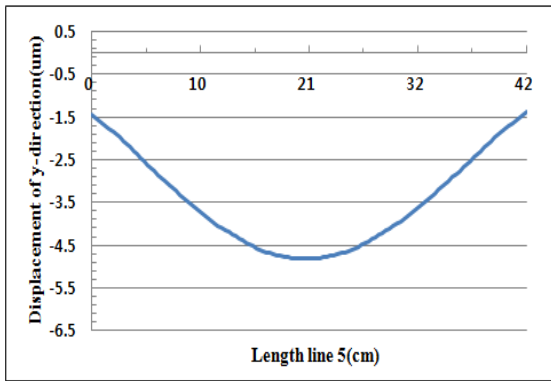


(a) y-direction displacement

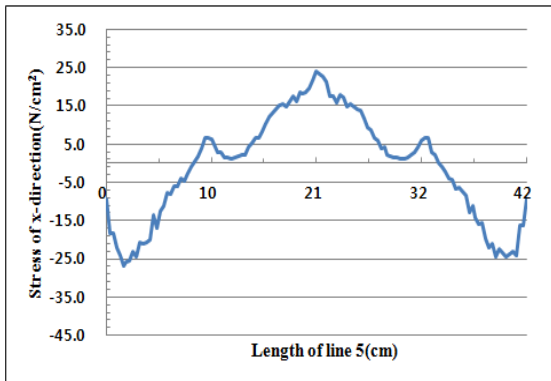


(b) x-axis stress

Fig. 5 Graph of displacement and stress of line ③



(a) y-direction displacement



(b) x-axis stress

Fig. 6 Graph of displacement and stress of line ⑤

Fig. 6의 (a)는 몸체의 하부고정판의 ⑤의 위치에서 y축 변위를 나타낸 것이고, 시작위치, 중앙위치, 끝 위치의 변위는 각각  $-1.440\mu\text{m}$ ,  $-4.821\mu\text{m}$ ,  $-1.386\mu\text{m}$ 이내이었으며, 변위는 중앙위치에서 가장 크게 발생되었다. 그리고 x축 변위와 z축 변위는 모두  $-0.0715\mu\text{m}$ 이내로 y축 변위보다 매우 작았다. Fig. 6의 (b)는 하부고정판의 ⑤의 위치에서 x축 응력을 나타낸 것이고, 응력분포는  $-26.7\sim 23.2\text{N/cm}^2$  이내이었고, 공작물 상하이동 모터가 위치한 지점에서 가장 크게 발생되었다. y축 응력은  $-38.3\sim 5.7\text{N/cm}^2$  이내로 발생하였고, z축 응력은  $-29.7\sim 15.0\text{N/cm}^2$  이내이었다. 하부고정판의 ⑥의 위치에서의 최대 변위와 응력은 각각  $-6.332\mu\text{m}$ 와  $-63.8\text{N/cm}^2$  이내이었다.

구조해석 결과, 받침대 지지대의 변위는  $7\mu\text{m}$ 이내이었고, 응력은  $-63.8\text{N/cm}^2$  이내이었으므로 공작물 받침대의 재질(SM45C)의 인장강도  $68670\text{N/cm}^2$ 과 비교하여 매우 낮으므로 안전한 것으로 판단된다. 구조해석 결과를 토대로 결정된 하부고정판의 크기는  $520\times 500\times 20\text{mm}$ 이었다.

### 3. 자동 적재장치 제작과 특성실험

Fig. 7은 제작된 자동 적재장치를 나타내고 있고, 이것은 구조해석 결과를 토대로 Fig. 1에서 나타낸 자동 적재장치의 개념도와 같이 제작되었다. 자동 적재장치는 몸체, 공작물 지지봉, 공작물 받침대, 받침대 지지대, 공작물 상하이동모터, 상하이동판, 타이밍 벨트 풀리, 볼 나사, 안내봉, 위치조정기 등으로 구성되었다. 공작물 지지봉은 총 64개를 제작해야 하나 우선 1세트인 4개만 제작하였다. 자동 적재장치의 동작은 우선, 공작물을 수직으로 적재하기 위해서는 위치조정기를 조절하여 받침대 지지대를 수평으로 맞추고, 공작물 상하이동 모터를 동작시키면, 타이밍 벨트 풀리가 회전한다. 이에 따라 볼 나사가 회전하면, 상하이동판이 상승 혹은 하강하게 되고, 상하이동판에 고정된 4개의 안내봉이 공작물 받침대를 상승 혹은 하강시킨다. 그러면 공작물이 정해진 위치로 상승 및 하강하게 된다.

본 논문에서 제작한 자동 적재장치는 크기가  $520\times 500\times 1196\text{mm}$ 로 Lee<sup>[1]</sup>가 제작한 적재장치의 크기  $2476\times 838\times 804\text{mm}$  보다 매우 작다. 특히, 설치면적을 차지하는 가로와 세로의 크기로 계산한 면적은 본 논문의 적재장치가 약 8배 작다. 그러므로 본 논문에서 제작한 자동 적재장치는 설치면적이 적게 차지하고 적재량이 많으므로 기존에 설치된 선반뿐만 아니라 새롭게 설치되는 선반에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 8은 자동 적재장치의 상승 특성실험을 실시한 결과를 나타내고 있고, (a)는 초기위치, (b)는 공작물 높이의 2배로 상승한 모습을 나타내고 있다. 특성실험 결과, 정확한 위치로 상승과 하강하는 것을 확인하였다.

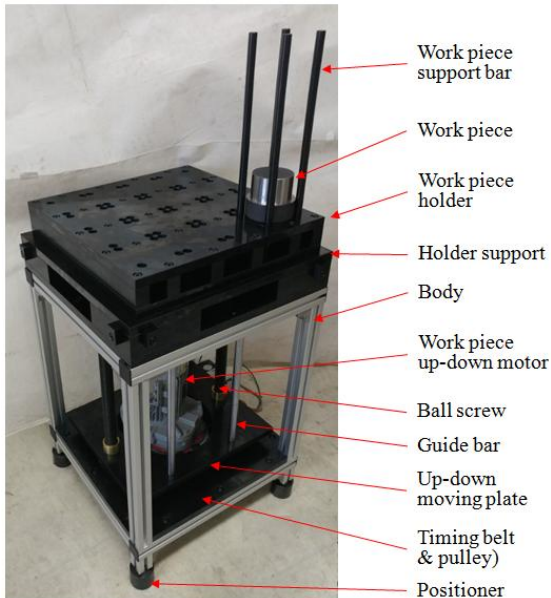
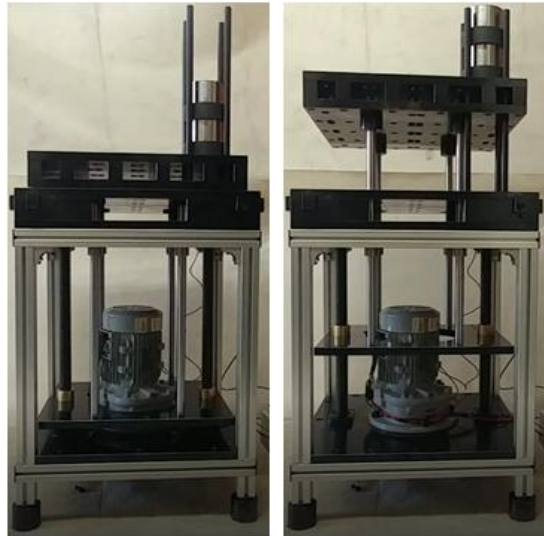


Fig. 7 Manufactured automatic loading system

물을 적재할 수 있는 새로운 구조의 선반용 공작물 자동 적재장치를 설계 및 제작하였다. 새로운 방법의 자동 적재장치를 고안하였고, 이것의 중요 부품의 크기를 결정하기 위해 구조해석을 실시하였다. 구조해석결과, 주요부품인 공작물 받침대, 받침대 지지대, 하부고정판의 최대변위(처짐)는 10 $\mu$ m이하이었고, 강도도 충분하므로 안전한 것으로 판단되었으며, 주요부품의 크기를 결정하였다. 개념설계 및 구조해석 결과를 토대로 전체 크기가 520×500×1196mm인 선반용 공작물 자동 적재장치를 제작하였다. 적재장치의 설치면적은 0.26m<sup>2</sup>이 내로 공장에 설치된 선반 및 새롭게 설치되는 선반을 위해 설치면적을 적게 차지하는 장점을 가지고 있다. 제작한 자동 적재장치를 특성실험한 결과, 정확한 위치로 안전하게 동작되었다.

따라서 본 논문에서 개발한 선반용 공작물 자동 적재장치는 선반에서 가공전 공작물과 가공후 공작물을 적재하고 로봇이 잡아 이동시키기 위하여 사용될 수 있을 것으로 판단된다.



(a) Initial location (b) Two-step up location

Fig. 8 Characteristic test of the automatic loading system

#### 4. 결론

본 논문에서는 가공 전 공작물과 가공 후 공작

#### 후 기

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역신산업선도인력양성사업 성과임(No. 2016H1D5 A1909809).

#### REFERENCES

1. Lee, J. K., Choi, M.C. and Kim, G. S., "Design and Fabrication of an Automatic Alignment and Loading System for Workpieces", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 3, pp.134~140, 2018.
2. Kulkarni, R., Shivakumar, S. and Krao, R., "Productivity Improvement on a CNC Lathe by Automatic Loading and Unloading of Throttle Valve Component", International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 2, No. 12, pp. 1~7, 2011.

3. Park, H. M., Jun, J. U. and Lee, S. J., "Design of Slide-Type Automatic Pallet Changer for M/C by Simulation", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 6, pp. 111~121, 2015.
4. Lee, M. K., Joo, P. J., Lee, E. S. and Kim, N. S., "A Study on the Z axis Defection Compensation of the Cross rail for Gantry type Machine tools", The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 20, No.3, pp. 357-360, 2011.
5. Sawodny, O., Aschemann, H. and Lahres, S., "An automated gantry crane as a large workspace robot", Control Engineering Practice, Vol. 10, No. 12, pp. 1323~1338, 2002.
6. Kim, J. D., Cho, C. S., Kim, B. S., Kim, K. H. and Park, K. J., "A Study on the safety of high-speed and heavy-duty 3 axis gantry robot," Korean Society Of Precision Engineering, Annual Spring Conference vol. 1, pp. 337-338, 2011.
7. Park, J. B. and Lee, E. S., "Dynamic Structure Analysis for the Large Gantry Type Machine Tool", The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, The International Conference on Manufacturing Technology Engineers, pp. 201, 2012.
8. Yang, J. B., Jiang, L. J., and Chen, D. C., "Dynamic modelling and control of a rotating Euler-Bernoulli beam", Journal of Sound and Vibration, Vol. 274, No. 3-5, pp. 863~875, 2004.
9. Jang, U. I., Noh, M. S., Jeong, S. H. and Hong, D. S., "Static and Dynamic Analysis for 3Axis Articulated Robot for Gantry System", Korean Society Of Precision Engineering, Annual Fall Conference, pp. 503-504, 2008.
10. Gomez-Acedo, E., Olarra, A., Lopez, L. N., "A method for thermal characterization and modeling of large gantry-type machine tools", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 62, No. 9-12, pp. 875~886, 2012.