

# 공작물 적재를 위한 자동정렬 및 적재장치의 설계 및 제작

이재경\*, 최명철\*\*, 김갑순\*\*\*,#

\*경상대학교 지능형메카트로닉스공학과, \*\* (주)성우, \*\*\*경상대학교 제어계측공학과(ERI)

## Design and Fabrication of an Automatic Alignment and Loading System for Workpieces

Jae-Kyung Lee\*, Myung-Chul Choi\*\*, and Gab-Soon Kim\*\*\*,#

\*Department of Intelligent Mechatronics Engineering, Gyeongsang National Univ.,

\*\*SUNGWOO CO. LTD.,

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

(Received 10 April 2018; received in revised form 14 April 2018; accepted 4 May 2018)

### ABSTRACT

This paper describes the design and fabrication of an automatic alignment and loading system for workpieces. To move a workpiece to a chucking position of a machine tool using a gantry robot, an automatic aligning device is required to load the workpiece before machining and automatically align them. The automatic alignment system was conceptually designed, and the structural analysis was performed for the main parts such as the top plate, center support, front and back support, and support shaft. Based on the structural analysis results, the size of these structures was determined. The automatic alignment system was manufactured, and the vertical movement characteristics of the workpiece up-and-down movement device and the rotation characteristics of the workpiece rotation device were experimentally examined. The result has confirmed that they operate normally.

**Key Words :** Automatic Alignment and Loading System(자동정렬 및 적재장치), Workpiece(공작물), Finite Element Method(유한요소법), Displacement(변위), Stress(응력)

### 1. 서 론

공작기계는 자동차산업, 조선산업 등 다양한 산업에서 그들의 부품을 가공하는데 유용하게 사용된다. 최근 공작기계 중에는 가공 전 공작물을 척에 고정하고 자동으로 가공하는 CNC(Computer

Numerical Control) 선반 등이 국내외에서 생산되고 있다. 이와 같이 자동으로 공작물을 가공하는 공작기계는 척에서 가공 전 공작물과 가공 후 공작물을 착탈/loading)과 탈착(unloading)을 수행하는 로봇이 있다. 6축 산업용 로봇(industry robot)과 스카라 로봇(scara robot)은 공작기계 앞에 위치해 공작물의 착탈과 탈착을 수행하고, 갠츄리 로봇(gantry robot)은 구조상 공작기계의 양측면에 가공 전 공작물과 가공 후 공작물을 적재하는 적재함을 놓고 운용한

# Corresponding Author : gskim@gnu.ac.kr

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

다. 본 논문에서 설계하고자 하는 것은 자동선반의 공작물 착탈과 탈착을 수행할 수 있는 자동정렬 및 적재장치다. 이 자동정렬 및 적재장치는 자동선반의 좌측에 위치하고 다수의 가공 전 공작물이 겐츨리 로봇이 이 공작물을 잡을 수 있도록 지정된 위치로 항상 자동으로 정렬되어야 한다. 본 논문에서 설계하고자 하는 자동정렬 및 적재장치는 연구개발된 사례가 적어 유사문헌을 분석한다.

Guk<sup>[1]</sup>는 부품 자동정렬기의 응용제안절차를 제안하고 이러한 응용절차에 컴퓨터를 응용하기 위하여 부품과 정렬기에 대한 데이터 베이스 설계 내용을 제안하였다. Colombo<sup>[2]</sup>는 산업용 홀로닉 제조시스템(industrial holonic manufacturing systems)의 지능 제어 플랫폼을 설계 및 제작하였다. Kulkarni<sup>[3]</sup>는 CNC 선반을 이용하여 스로틀밸브(throttle valve)를 가공시 자동장착과 탈착(automatic loading and unloading)로 생산성을 향상시키는 연구를 수행하였다. Park<sup>[4]</sup>는 공작물 교환 장치의 구조해석을 위하여 다각적인 방법을 동원하여 제품의 구조해석을 하여 머시닝 센터에 이용할 수 있는 슬라이드형 공작물 교환장치를 설계하였다.

Lee<sup>[5]</sup>는 겐츨리 형태(gantry type)의 공작기계의 가로보(cross rail)를 모델링하였고, 오른쪽 끝과 이동하는 블록에 센서를 설치하여 고정점과 이동점에서의 처짐량을 측정하였다. Park<sup>[6]</sup>은 대형 겐츨리 형태(gantry type) 공작기계의 구조를 설계하기 위하여 질삭력 300N, 진동수 120Hz의 조건을 소프트웨어에 입력하여 구조해석을 실시하였다. Kim<sup>[7]</sup>은 겐츨리 로봇의 고속 이동을 위해 진동에 대해 분석하였고, 추종오차를 감소시키기 위해 시간지연을 보상하기 위한 필터를 제안하였다. Cho<sup>[8]</sup>는 겐츨리 로봇을 동적모델링하여 흔들림을 파악하였고, 시뮬레이션을 실시하였다. Kim<sup>[9]</sup>은 3축 고속 고중량 이송 로봇이 고속으로 이동할 때, 동역학 해석을 통해 안정성분석을 실시하였다. Jang<sup>[10]</sup>은 직교좌표계 3축의 겐츨리 로더에 부착할 수 있는 3자유도 형태의 관절형 로봇에 관한 해석을 실시하였다.

본 논문에서는 가공 전 소재를 자동으로 정렬하는 공작기계 부착용 가공소재 적재를 위한 자동정렬 및 적재장치를 모델링하였고, 구조해석을 수행하였으며, 이를 토대로 설계 및 제작하였다. 자동정

렬 및 적재장치를 3차원으로 개념 설계하였고, 자동적재장치에 가공 전 소재를 최대로 적재하였을 때를 기준으로 구조해석 소프트웨어를 이용하여 주요부품의 변위와 응력을 해석하였다. 그리고 이것들을 토대로 자동정렬 및 적재장치의 주요부품의 크기를 결정하였다.

## 2. 공작기계 부착용 자동정렬 및 적재장치 설계

### 2.1 공작기계 부착용 자동정렬 및 적재장치의 기본 원리

겐츨리 로봇을 이용하여 CNC 공작기계(선반)에 공작물을 자동으로 투입(장착)하기 위해서는 가공소재를 적재하고 자동으로 정렬하는 자동정렬 및 적재장치가 필요하다. 이 장치는 직경이 76mm~100mm인 공작물 50개 이상을 적재할 수 있도록 설계하는 것을 목표로 한다. Fig. 1은 CNC 선반의 가공소재 적재를 위한 자동정렬 및 적재장치의 모델링 및 개념도를 나타내고 있다. 가공소재 적재를 위한 자동정렬 및 적재장치는 몸체(body), 공작물(workpiece), 공작물 회전장치(workpiece rotation system), 공작물 회전모터(workpiece rotation motor), 공작물 상하이동장치(workpiece up-down system), 공작물 상하이동모터(workpiece up-down motor), 공작물 고정장치(workpiece fixture system) 등으로 구성된다.

몸체는 공작물, 공작물 회전장치, 공작물 회전모터, 공작물 상하이동장치, 공작물 상하이동모터, 공작물 고정장치 등을 지지할 수 있도록 설계해야 하고, 크기가 2476×838×804mm이다. 상부에는 공작물 회전장치가 부착되고, 공작물 회전장치 위에 공작물 고정장치가 부착되며, 하부에는 공작물 상하이동장치, 공작물 상하이동모터, 공작물 회전모터 등이 고정된다. 공작물 고정장치는 공작물의 직경 76~100mm를 장착할 수 있고, 공작물 회전장치에 고정되어 있으며, 총 14개이다. 그리고 1개의 공작물 고정장치는 4개의 공작물을 장착할 수 있고, 3개의 봉이 공작물을 지지하며 공작물의 직경에 따라 3개의 봉이 반경방향으로 늘어나고 줄어들 수

있도록 설계하였다. 공작물 회전장치는 14개의 공작물 고정장치를 고정하고 그림의 앞 열의 가장 좌측 위치에 로봇이 공작물을 가지고 갈 수 있도록 회전시키는 역할을 수행한다. 회전은 체인과 공작물 회전모터에 의해 이루어진다.

공작물 회전모터는 공작물 회전장치를 회전시키는데 사용된다. 공작물 상하이동장치는 볼스크류와 고정기구 등으로 구성되었고, 공작물 상하이동모터의 회전에 의해 공작물 고정장치가 상하로 공작물의 길이 만큼 이동되며, 볼스크류 1회전 당 공작물 고정장치가 상하로 10mm 이동한다. 공작물 상하이동모터는 공작물 상하이동장치의 볼스크류를 회전시키는데 사용된다.

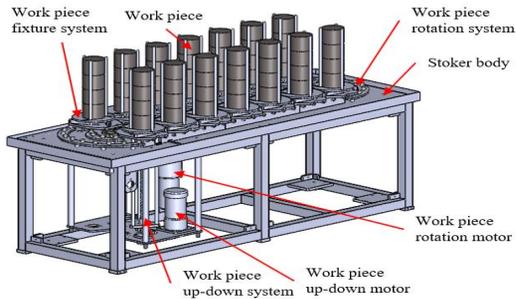


Fig. 1 Basic principle of automatic alignment and loading system

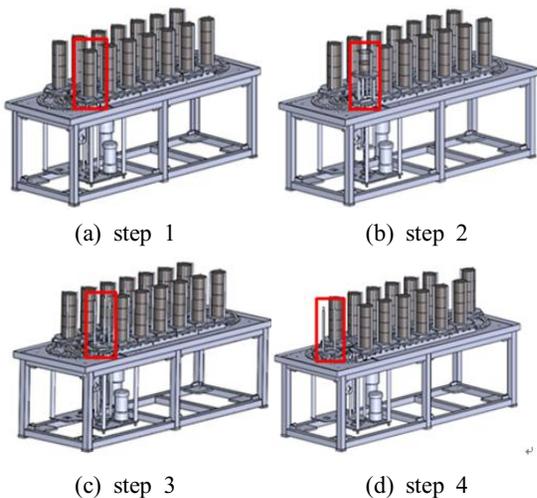


Fig. 2 Moving path of automatic alignment and loading system

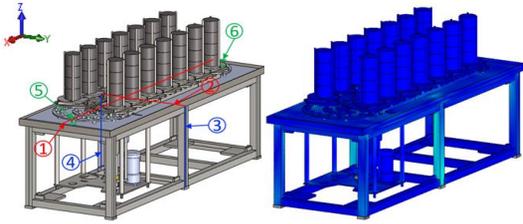
## 2.2 공작기계 부착용 자동정렬 및 적재장치의 시뮬레이션

Fig. 2는 CNC 선반의 가공소재 적재를 위한 자동정렬 및 적재장치의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 그림의 (a)는 가공소재를 완전히 적제한 모습, (b)는 겐츨리 로봇이 가공소재 2 개를 가지고 간 후 공작물 고정장치가 가공소재 높이만큼 이동한 모습, (c)는 겐츨리 로봇이 가공소재 4 개를 가지고 간 후 공작물 고정장치가 원위치로 복귀한 모습, (d)는 공작물 회전장치가 공작물 고정장치를 1 개 스텝 회전한 모습을 나타내고 있다.

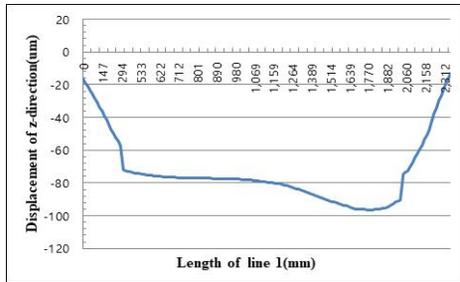
## 2.3 공작기계 부착용 자동정렬 및 적재장치의 구조해석

자동정렬 및 적재장치는 공작물의 최대직경 100mm를 공작물 고정장치에 4 개를 고정하고, 이 고정장치를 14 개를 회전장치에 부착하여 총 56 개의 공작물을 내장할 수 있도록 구성하였다. 이것을 위해 자동정렬 및 적재장치 구조의 크기는 가로, 세로, 높이가 각각 2370mm, 800mm, 725mm로 결정하였고, 구조물 위에 고정되는 상판의 크기는 2370×800×25mm로 결정하였다. 그리고 자동정렬 및 적재장치를 구성하고 있는 부품의 안전성을 검증하기 위해 구조해석을 실시하였다. 자동정렬 및 적재장치의 안전을 위해 주요 부품의 처짐은 100μm 이하, 응력은 2000N/cm<sup>2</sup> 이하로 결정하였다.

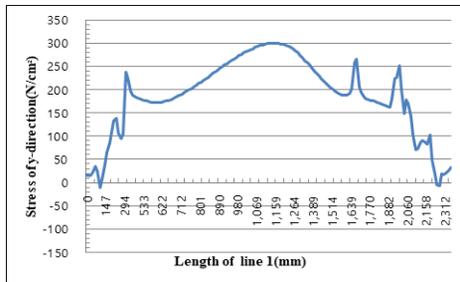
Fig. 3은 자동정렬 및 적재장치의 구조해석결과를 나타내고 있다. (a)는 가공소재 적재를 위한 자동정렬의 조립도와 응력 및 변위해석 라인(구조적으로 취약지점으로 판단된 부품의 부분)을 나타내고, (b)는 구조해석결과를 나타내고 있다. 구조해석을 위한 조건은 10kg 무게의 가공 전 공작물 56 개, 총 560kg 과 모든 부품의 재질에 따른 자중이 가해지도록 설정하였다. (a)에서 선①은 상판(크기: 2370×800×25mm)의 가로 중심선, 선②는 중앙 세로 지지대 중심선, 선③은 앞 지지대 중심선, 선④는 뒤 지지대 중심선, 선⑤는 좌측 받침축 원호선, 선⑥은 우측 받침축 원호선을 구조해석 결과를 그래프로 나타낸 것이다.



(a) Analysis lines (b) Structural analysis result  
**Fig. 3 Structural analysis result of automatic alignment and loading system**



(a) z-direction displacement



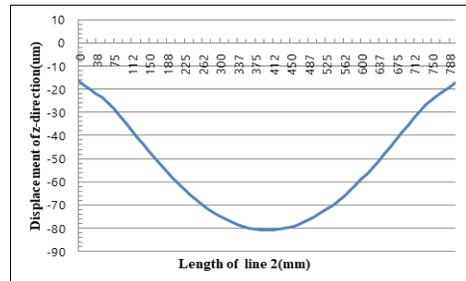
(b) y-axis stress

**Fig. 4 Graph of displacement and stress of line ①**

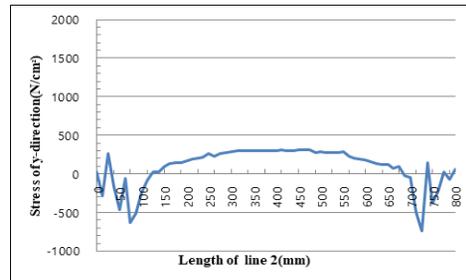
Fig. 4는 상판의 가로 중심선 ①의 변위와 응력 해석 결과를 나타내고 있다. Fig. 4의 (a)는 z축 변위는 시작위치(x=0)에서 -16.3um로 시작하여 454mm에서 -72.1um까지 급격히 증가한 후 1945mm 위치에서 서서히 -90.6um까지 감소하고 그 이후에 끝 지점에서 급격히 -12.9um로 감소하였다. 이것은 상판에 가공 전 공작물이 위치해있는 부분은 z방향으로 크게 감소하였고 가장자리 부분에는 변위가 발생되지 않았기 때문이다. 그리고 x축의 변위는 각각 -3.4um이내이었고, y축의 변위는 0.0um정도이

었다. 이것은 공작물이 좌우 대칭으로 배치되었으므로 y방향으로는 자중이 거의 작용되지 않기 때문이다. Fig. 4의 (b)는 y방향 응력은 x=1150mm 지점에서 최대응력 300N/cm<sup>2</sup>으로 나타났고, 시작지점과 끝 지점에서 0N/cm<sup>2</sup>에 가까운 응력이 나타났다. 이것은 공작물이 중앙선 x축을 중심으로 좌우로 정렬되어 있고, 공작물 상하이송장치의 모터의 위치가 상판의 x=1740mm, y=400mm지점이고 상하이송장치의 수평이송장치의 모터 위치가 x=1600mm, y=200mm지점이기 때문에 그들의 자중이 -z축으로 작용하기 때문이다. 그리고 x방향 응력은 ±130N/cm<sup>2</sup>내외로 나타났고, z방향 응력은 ±40N/cm<sup>2</sup>내외로 나타났다.

Fig. 5는 중앙 세로 지지대 중심선 ②의 변위와 응력해석 결과를 나타내고 있다. Fig. 5의 (a)는 z축 변위는 시작위치(y=0mm)에서 -16.3um, 중앙위치(y=400mm)에서 -80.7um, 끝 위치(y=800mm)에서 -17.2um이었으며, 이것은 상판 중앙부분에 가공 전 공작물 등이 위치에 있어 그들의 자중이 가해지기 때문이다. 그리고 x축 변위는 전 위치에서 -2.6um 정도이었고, y축 변위는 -2.0um이내이었다.

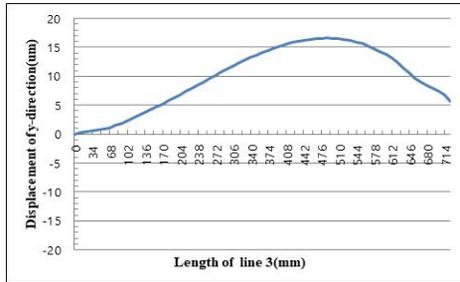


(a) z-direction displacement

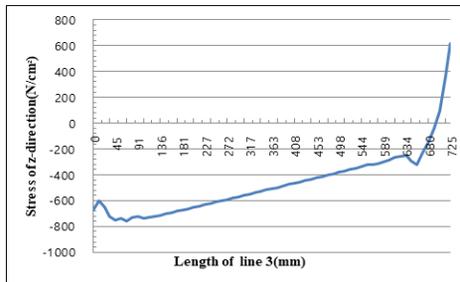


(b) y-axis stress

**Fig. 5 Graph of displacement and stress of line ②**



(a) y-direction displacement



(b) z-axis stress

Fig. 6 Graph of displacement and stress of line ③ and ④

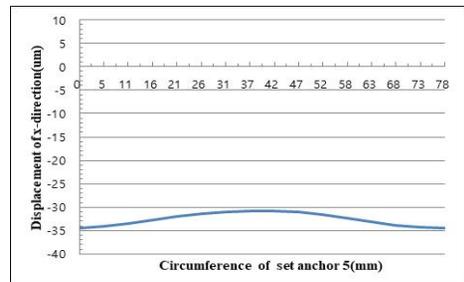
Fig. 5의 (b)는 y방향 응력은 y=0~100mm 지점과 y=700~800mm 지점에서  $\pm 700\text{N/cm}^2$  내외로 나타났고, 중앙부분은  $300\text{N/cm}^2$  정도로 나타났다. 이것은 앞과 뒤가 중앙지지대로 지지되어있고, 공작물 상하이송 장치의 모터의 위치가 상판의 x=1600mm, y=200mm 지점이고 상하이송장치의 수평이송장치의 모터 위치가 x=1740mm, y=400mm 지점에 고정되어 들의 자중이 z방향으로 가해졌기 때문이다. 그리고 x방향 응력은  $\pm 400\text{N/cm}^2$  내외로 나타났고, z방향 응력은  $\pm 420\text{N/cm}^2$  내외로 나타났다.

Fig. 6은 앞 지지대 중심선 ③의 변위와 응력해석 결과를 나타내고 있고, 뒤 지지대 중심선 ④의 변위와 응력해석 결과는 선③과 비슷함으로 나타내지 않는다. Fig. 6의 (a)는 y축 변위는 시작위치에서 0.0um, 680mm 위치에서 -17.7um, 끝 위치에서 -17.3um로 감소하다 감소하는 현상을 나타내고 있다. Fig. 6의 (b)는 z방향 응력은 y=68mm 지점에서 최대응력  $-757\text{N/cm}^2$ 이고 그 이후에는 점점  $0\text{N/cm}^2$ 에 가까워지며 끝 지점에서  $616\text{N/cm}^2$ 이 나타났다. 이것은 상판의 중앙부분에 위치한 공작물의 자중이

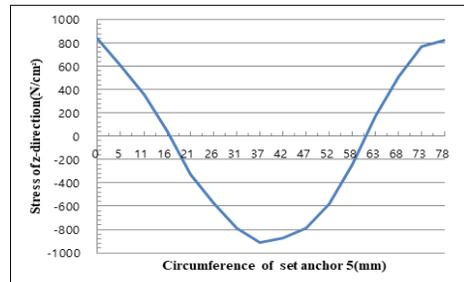
-z방향으로 작용하였기 때문이다. 그리고 x방향 응력은  $\pm 50\text{N/cm}^2$  내외로 나타났고, y방향 응력은 전 구간에서  $\pm 2\text{N/cm}^2$  내외로 나타났다.

Fig. 7은 좌측 받침축(직경  $\phi 25\text{mm}$ ) 원호선(x축이 처음 만나는 지점이 시작점이고 시계반대방향으로 회전하여 다시 시작점과 만남) ⑤의 변위와 응력해석 결과를 나타내고 있고, 우측 받침축(직경  $\phi 25$ ) 원호선 ⑥의 변위와 응력해석 결과는 선⑤과 비슷하므로 나타내지 않는다.

Fig. 7의 (a)는 z축 변위는 시작점과 끝점의 위치에서 가장 큰  $-34.5\mu\text{m}$ 이고 반대위치(180도)에서 가장 작은  $-30.78\mu\text{m}$ 이고, 이것은 중앙부분에 공작물이 위치해 있으므로 공작물 등의 자중이 -x방향으로 당기기 때문이다. 그리고 x축 변위는 원주 전 위치에서  $-4.4\mu\text{m}$  정도이었고, y축 변위는 원주 전 위치에서  $-0.2\mu\text{m}$  정도이었다. Fig. 7의 (b)는 z방향 응력은 원호의 시작지점과 끝 지점에서  $822\sim 840\text{N/cm}^2$ 로 나타났으며, 180도 부근에서  $-908\text{N/cm}^2$  정도로 나타났다. 이것은 중앙부분에 공작물이 위치해 있으므로 공작물 등의 자중이 -x방향으로 당기기 때문



(a) z-direction displacement



(b) z-axis stress

Fig. 7 Graph of displacement and stress of line ⑤ and ⑥

이다. 그리고 x방향 응력은  $-200\sim 232\text{N/cm}^2$  이내로 나타났고, y방향 응력은  $-417\text{N/cm}^2$  이내로 나타났다.

구조해석 결과, 상판은 ①중앙 가로 지지대 중심선의 최대응력은  $300\text{N/cm}^2$ 이었으므로 상판재질(SS400)의 인장강도  $105000\text{N/cm}^2$ 보다 매우 작아 안정한 것으로 나타났으며, 최대변위는  $-90.6\mu\text{m}$ 로 매우 작게 발생되었다. 지지대는 ②중앙 세로 지지대 중심선, ③앞 지지대 중심선, ④뒤 지지대 중심선의 최대응력은  $1700\text{N/cm}^2$ 이었으므로 지지대의 재질(SS400)의 인장강도  $105000\text{N/cm}^2$ 보다 매우 작아 안정한 것으로 나타났으며, 최대변위는  $-80.7\mu\text{m}$ 로 매우 작게 나타났다. 받침축은 ⑤좌측 받침축 원호선, ⑥우측 받침축 원호선의 최대응력은  $-908\text{N/cm}^2$ 이었으므로 받침축의 재질(SS400)의 인장강도  $105000\text{N/cm}^2$ 보다 매우 작아 안정한 것으로 나타났으며, 최대변위는  $-34.5\mu\text{m}$ 로 매우 작게 발생되었다. 이 결과는 목표한 처짐  $100\mu\text{m}$ 이하와 응력  $2000\text{N/cm}^2$ 이하로 설계되었다. 그러므로 자동정렬 및 적재장치의 핵심부품인 상판, 중앙 지지대, 앞 지지대, 뒤 지지대는 매우 안전한 것으로 판단된다.

구조해석 결과로 결정된 전체 크기는  $2476\times 838\times 804\text{mm}$ , 상판의 크기는  $2370\times 800\times 25\text{mm}$ , 중앙 세로 지지대의 크기는  $60\times 60\times 3.2\text{mm}$  크기의 사각중공빔이고 길이는  $800\text{mm}$ , 앞과 뒤 지지대의 크기는  $60\times 60\times 3.2\text{mm}$  크기의 사각중공빔이고 길이는  $725\text{mm}$ , 받침축의 크기는 외경이  $\phi 25\text{mm}$ , 내경이  $\phi 6.6\text{mm}$ , 높이가  $23.5\text{mm}$ 로 결정되었다.

### 3. 자동정렬 및 적재장치 제작 및 특성실험

Fig. 8은 제작된 가공소재 적재를 위한 자동정렬 및 적재장치를 나타내고 있다. (a)는 실제 사용 방향을 중심으로 정면에서 촬영한 사진을 나타내고 있고, (b)는 우측에서 촬영한 사진을 나타내고 있다.

Fig. 9는 제작된 가공소재 적재를 위한 자동정렬 및 적재장치의 특성실험 결과를 나타내고 있고, (a)는 공작물 2개를 공작물 상하이동장치 위에 놓인 초기 상태, (b)는 공작물 상하이동장치의 1단



(a) Front view (b) right side view

Fig. 8 Manufactured automatic alignment and loading system

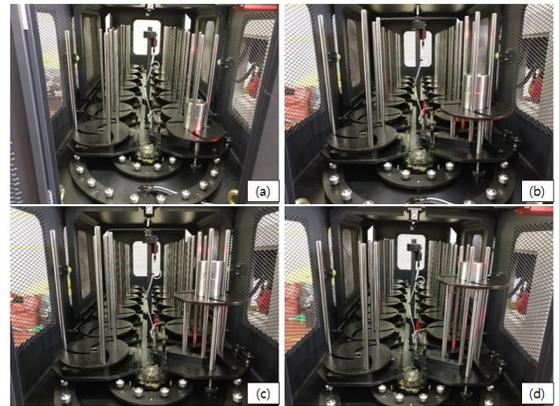


Fig. 9 Characteristic test of the automatic alignment and loading system

계 상승상태, (c)는 공작물 상하이동장치의 2단계 상승상태, (d)는 공작물 상하이동장치 3단계 상승상태이고 가공 전 공작물을 4축 켄츄리 로봇이 가지고 간 모습이다. 제작된 가공소재 적재를 위한 자동정렬 및 적재장치의 공작물 상하이동장치의 상하이동은 정상대로 움직임을 확인하였다. 그리고 공작물 회전장치의 회전 특성실험을 실시한 결과 안전하게 회전하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 가공 전 소재를 자동으로 정렬하는 공작기계 부착용 가공소재 적재를 위한 자동정렬 및 적재장치를 구조해석하고, 이를 토대로 설

계 및 제작하였다. 구조해석 결과, 처짐이 100 $\mu$ m 이하와 응력이 2000N/cm<sup>2</sup>이하로 설계되어 모두 안전한 것으로 판단된다. 구조해석 결과를 토대로 전체 크기는 2476×838×804mm, 상판의 크기는 2370×800×25mm 등 주요부품의 크기가 결정되었다. 자동정렬 및 적재장치의 특성실험결과, 공작물 고정장치의 상하이동 및 공작물 회전정치의 회전이 원활하게 동작되었으므로 공작기계에 부착하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 후 기

“이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역 신산업선도인력양성사업 성과임(No. 2016H1D5 A1909809).”

## REFERENCES

1. GuK, G. H. and Park, Y. T., “Planning of Part Feeder and Design of a Data Base for Part Feeder Planning System,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 19, No. 7, pp. 116-124, 2002.
2. Colombo, A. W., “An agent-based intelligent control platform for industrial holonic manufacturing systems,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, No. 1, pp. 322-337, 2006.
3. 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, 2011.
4. 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.
5. Lee, M. K., Joo, P. J., Lee, E. S. and Kim, N.S., “A Study on the Z axis Deflection 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.
6. Park, J. B. and Lee, E. S., “Dynamic Structure Analysis for the Large Gantry Type Machine Tool,” The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, pp. 201, 2012.
7. Kim, J. D., Cho, C. S., Lee, H. J., Shin, C. B. and Park, C. H., “A Study on the Motion Analysis and Lead-Filter Design for High Speed/Accuracy Movement of Gantry Robot,” Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 23, No. 3, pp. 145-146, 2017.
8. Cho, C. J., Park, D. J., Yang, J. S. and Koo, Y. M., “A Study on Dynamic Modeling and Vibration Analysis of Gantry Robot,” The Korea Society of Industrial Application, Vol. 17, No. 4, pp. 211-216, 2014.
9. 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.
10. 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 Fall Conference, pp. 503-504, 2008.