

공작기계용 공작물 자동 적재장치의 제어장치 설계 및 제작

안준환*, 김갑순*[#]

*경상대학교 제어계측공학과(ERI)

Design and Manufacture of a Machine Tool Control System for Workpiece Automatic Loading System

Jun-Hwan An* and Gab-Soon Kim*[#]

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

(Received 29 April 2019; received in revised form 5 May 2019; accepted 16 May 2019)

ABSTRACT

In this paper, we describe the design and manufacture of a control system for an automatic loading system that inserts and removes workpieces after machining. The control system was manufactured using DSP for high speed and consists of a power unit, a control unit, a communication unit, and a display unit. We connected the control system to the mechanical system of the automatic workpiece loader to test the characteristics, which allowed us to raise and lower the automatic workpiece loading system to the desired position. The successful test demonstrates that we can use the control system to control the workpiece automatic loading system.

Key Words : Control System(제어시스템), Circuit(회로), Workpiece Automatic Loading System(공작물 자동 로딩 시스템), Machine tool(공작기계)

1. 서 론

공작기계는 자동차 부품, 항공기 부품, 선박, 부품 등 각종 부품을 가공하는데 사용되는 기계장치이다. 이들 공작기계는 대부분 그들의 척에 가공 전 공작물을 넣어주면 자동으로 최종 부품까지 가공한다. 가공 전 공작물과 가공 후 공작물을 공작기계에 장착하고 탈착하는 것은 작업자가 수행하는 경우도 있고, 젠츄리 로봇, 산업용 로봇, 스카라

로봇 등이 수행하는 경우도 있다. 로봇들이 수행하는 경우에는 가공 전 공작물을 적재하는 자동 적재장치와 가공 후 공작물을 적재하는 자동 적재장치가 필요하다.

Lee^[1]은 CNC 선반에 부착된 젠츄리 로봇용 자동정렬 및 적재장치를 설계 및 제작하였다. 자동정렬 및 적재장치는 선반의 좌측과 우측에 각각 하나씩 설치되어 가공 전 공작물과 가공 후 공작물을 적재한다. 이 장치의 적재능력은 크기가 최대 $\varnothing 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 인 공작물 56개이고, 크기는 $2476\text{mm} \times 838\text{mm} \times 804\text{mm}$ 이고, 설치면적은 1대당 2.1m^2 로 크게 차지하는 단점이 있다. 이와 같은

Corresponding Author : gskim@gnu.ac.kr

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

문제점을 해결하기 위해서 본 논문의 저자는 새로운 구조의 공작물 자동 적재장치의 기계장치를 설계 및 제작하였고, 이 장치는 설치면적이 0.26m² 이하이고 최대 \varnothing 100mm×100mm인 공작물을 64개 적재할 수 있다. 이 자동 적재장치를 사용하기 위해서는 이것을 제어하는 제어장치가 필요하다.

Control Engineering^[2]는 CNC 공작기계를 제어하는 제어장치이고, 이것은 인간과 기계 인터페이스 및 컨트롤러 기능 향상으로 CNC의 고도의 그래픽과 개방형 아키텍처를 결합하여 애니메이션 그래픽 및 직관적인 운영자 및 프로그래밍 인터페이스를 함으로써 공작 기계 생산성을 향상시켰다. Yao^[3]는 CNC 아키텍처를 간소화하고 CNC 아키텍처 재구성 및 기능 재사용 성을 향상시키기 위해 보이지 않는 수치제어(INC: Invisible Numerical Control) 시스템이라는 새로운 유형의 CNC 시스템을 제안하였고, 이 INC 시스템은 프로젝트 센터, 모터 컨트롤러 및 모바일 터미널의 세 가지 하위 시스템으로 구성된다. KIMLA^[4]는 CNC 기계에 기계의 기능을 결정하는 제어 시스템을 장착하였고, 기본 시스템은 공구 경로 파일을 로드하고 가공을 활성화 할 수 있는 기능성만을 제공한다. 고급 시스템을 사용하면, 시뮬레이션이나 공구 경로 매개 변수 및 설정 변경과 같은 작업을 수행 할 수 있다. Proskuryakov^[5]는 CNC 선반의 절삭력을 자동으로 안정화 시키는 퍼지 로직의 사용을 소개하였다. 퍼지 제어기의 시뮬레이션은 절삭력의 자동 안정화에 대한 이러한 접근 방식이 절단 시스템 및 작업 환경의 특성에 불확정성이 있는 기존 장비의 가공 효율을 증가 시켰다. Cubas^[6] 거친 선삭 가공에서 절삭력 측정을 위한 힘 센서 공구 홀더의 측면에 부착 된 4 개의 변형 게이지를 사용하여 절삭력을 추정하였다. 힘 제어장치는 피드의 빠른 변화 때문에 피드 속도를 부드럽게 조정할 수 있었다. HMT^[7] 터닝 머신, 트윈 스피들, 머시닝 센터, 연삭기 및 프레스 용 아날로그 CNC 제어 장치를 제조한다. 이 고급 시스템은 프로그래머블 로직 컨트롤이 통합 된 마이크로프로세서 기반의 CNC 연속 경로 제어이다. Yusof^[8] ISO 14649 및 6983 코드를 해석하고 CNC 기계가 요구하는 내부 구조에 따라 해석 할 수 있

는 시스템을 개발하였다. 위치, 이송 속도, 공구, 스피들 등의 데이터를 해석하고, CNC 기계로 해석한다. 또한 사용자 정의 파일 구조에 따라 텍스트 및 XML 파일로 출력을 생성 할 수 있다. Petko^[9]는 CNC 시스템을 HMI (Human-Machine Interface)와 NCK (Numerical Control Kernel)의 두 가지 주요 부분으로 구성하였다. NCK는 보조 프로세서의 명령어와 부동 소수점 수에 대한 계산을 수행하는 2 개의 소프트웨어 유닛과 시스템을 통합하는 전용 하드웨어 블록으로 구성된다. 우선 기능 요구 사항은 모든 모듈에 대해 10 kHz의 샘플링 주파수이다. 이 논문의 또 다른 측면은 산술, 삼각 함수 및 기타 기능을 위한 코 프로세서 알고리즘의 실현이고, 이것은 G 코드로부터 생성된 궤적에 대한 계산 효율 및 최대 계산 오차의 결과를 보여준다. 지금까지 개발된 각종 제어 장치는 제어방법, 제어프로그램 등이 공작기계용 공작물 자동 적재장치를 제어할 수 없으므로 적합한 제어장치의 개발이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 공작기계용 공작물 자동 적재장치를 제어하기 위한 제어장치를 설계 및 제작하였다. 이를 위해 공작물 자동 적재장치의 기계장치에 구성에 대해 소개하고, 소프트웨어를 이용하여 제어장치의 회로도를 설계하며, PCB를 제작하였다. DSP(Digital Signal Processor) 등의 전자 부품을 제작된 PCB에 부착하여 제어장치를 제작한다. 그리고 제작된 제어장치를 공작물 자동 적재장치와 연결하여 특성실험을 실시한다.

2. 공작물 자동 적재장치의 제어장치 설계 및 제작

2.1 공작물 자동 적재장치의 기계장치 구성

Fig. 1은 공작기계용 공작물 자동 적재장치의 구성을 나타내고 있고, 이 적재장치는 몸체(body), 공작물 지지대 (workpiece support), 안내지지대 (guide support), 상하이동장치 (up-down movement system) 등으로 구성되어 있다. 몸체는 상용화된 알루미늄 프로파일을 볼트로 고정하여 제작하였고, 이것의 크기는 520mm×500mm×580mm이며, 알

루미늄 프로 파일의 재질은 A6N015-T5이고 크기는 40mm×40mm이다. 공작물 지지대는 공작물 지지봉(workpiece support bar), 공작물 받침대 등으로 구성되었고, 전체 크기는 470mm×470mm×80mm이다. 공작물 지지봉은 4개가 공작물 받침대에 나사로 고정되어 있고 공작물 직경과 높이가 최대 \varnothing 100mm×100mm를 4개 쌓을 수 있도록 설계되었다. 공작물 받침대는 크기가 470mm×470mm×20mm인 상판과 하판, 크기가 30mm×40mm×470mm인 보강블록으로 구성되었고, 상판과 하판 사이에 6개의 보강블록을 볼트로 고정하여 제작하였다. 안내지지대는 상부판, 하부판, 고정블록으로 구성되었고, 전체 크기는 520mm×500mm×90mm이며, 이것은 상부판과 하부판 사이에 4개의 고정블록을 볼트로 고정하여 제작하였다. 상부판과 하부판의 크기는 520mm×500mm×20mm이고, 하부판에는 2개의 볼나사 부쉬가 고정되었다.

상하이동장치는 기준판, 볼스크류, 안내봉, 상하이동모터, 타이밍벨트와 풀리, 적외선센서, 등으로 구성되었다. 기준판은 2개의 볼나사 부쉬가 고정되었고, 상하이동모터가 중앙에 고정되었으며, 크기가 520mm×500mm×20mm이다. 볼스크류는 상하이동모터의 양쪽으로 설치되어 있고, 안내봉은 상하이동판에 고정되어 있고, 이것은 상하이동판이 상하로 이동함에 따라 공작물 지지대를 상하로 이동시킨다. 상하이동모터는 타이밍벨트와 풀리를 이용하여 볼스크류를 회전시키는 역할을 하고, 모터의 모델은 V135이고, 용량 0.75kW, 감속비 10:1, 토크 320Nm, 회전수 180rpm이다. 타이밍벨트와 풀리는 모터가 회전하면 볼스크류를 회전시킨다. 적외선센서는 몸체의 상부와 하부에 부착되어 있고, 이 센서들은 상하이동모터가 각각 기준판과 안내지지대와 충돌하지 않도록 감지하는 역할을 한다.

본 논문의 공작물 자동 적재장치의 크기는 520mm×500mm×1196mm이었고, 설치면적은 0.26m² 이하이며, 최대 \varnothing 100mm×100mm인 공작물을 64개 적재할 수 있다. 이 장치는 Lee^[1]가 개발한 자동정렬 및 적재장치(크기: 2476mm×838mm×804mm, 적재수 : 56개)의 1대당 2.1m²로 보다 8배정도 적고, 공작물 적재 수도 8개 많다.

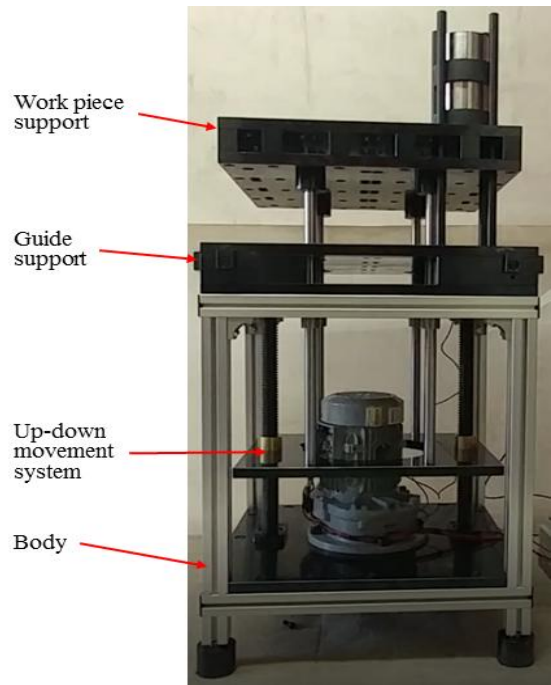


Fig. 1 Structure of workpiece automation loading system

그러므로 본 논문의 공작물 자동 적재장치는 설치면적이 적게 차지하고, 공작물 적재 수가 많은 장점을 가지고 있다. 공작물 자동 적재장치의 기계장치를 자동으로 동작시키기 위한 제어장치를 설계 및 제작이 필요하다.

Fig. 2는 공작물 자동 적재장치의 제어장치 블록도를 나타내고 있고, 제어부, 전원부, 통신부, 표시부 등으로 구분되어 있다. 제어부는 DSP (Digital Signal Processor: TMS320F2812)를 사용하여 빠르게 신호를 주고 받도록 하였다. 전원부는 레귤레이터를 이용하여 전압을 5V, 3.3V, 1.8V, 1.65V로 변환 시키는 역할을 하고, 통신부는 모터, 컴퓨터 등과 통신하기 위해 RS-485, CAN, BOOT 등을 구성하였으며, 표시부는 LCD, 스위치 등으로 구성하였다. Fig. 3은 공작물 자동적재장치의 회로도를 나타내고 있다. 제어장치의 DSP 회로도는 마이크로프로세서의 일종으로 모델 TMS320F2812이며, 150MHz 클럭속도, 12bit 16채널 ADC, 통신 포트인 CAN, McBSP, 구동전원 3.3V, 1.8V이다.

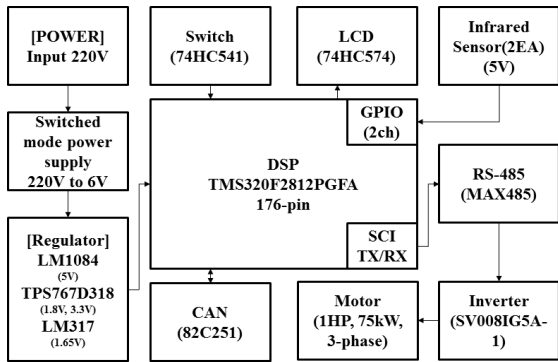
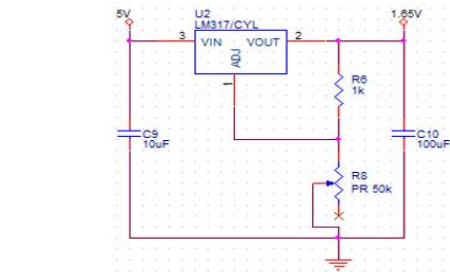


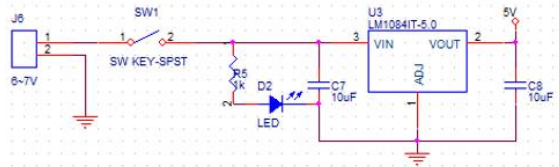
Fig. 2 Block diagram of controller of workpiece automation loading system

DSP는 I/O포트를 이용하여 스위치 신호와 적외선 센서 신호를 받고, 송신포트를 이용하여 모터 구동 펄스를 송신하며, CAN 통신포트를 이용하여 컴퓨터 혹은 외부 제어장치와 정보를 주고 받는다. Fig. 3의 (a)-(c)는 제어장치의 전원부 회로도를 나타내고 있고, (a)는 레귤레이터 LM1084, 커패시터 등으로 구성되어 있고, 직류전압 6~7V를 5V로 변환하는 회로도이다. (b)는 레귤레이터 LM317, 저항, 커패시터 등으로 구성되어 있고, 5V를 1.65V로 변환하는 회로도이며, (c)는 레귤레이터 TPS767 D318, 저항, 커패시터 등으로 구성되어 있고, 5V를 3.3V와 1.8V로 변환하는 회로도이다. 이와 같이 변환된 3.3V, 1.8V, 1.65.V는 DSP를 구동하기 위한 전원으로 사용되고, 5V는 각각의 레귤레이터와 적외선센서 회로 등에 공급된다.

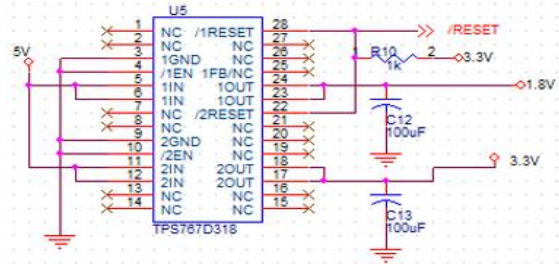
Fig. 3의 (d)는 제어장치의 통신부 회로도를 나타내고 있고, RS-485 시리얼 통신 회로도는 Max485 소자, 저항, 커패시터 등으로 구성되어 있다. 이것은 DSP의 SCI-RX/TXB 핀과 RS-485 드라이버 소자인 MAX485 송수신핀이 연결되어 상하이동 모터를 동작시키는 인버터와의 통신하는데 사용된다. RS-485통신은 한 쪽이 송신하는 동안 다른 쪽에서는 수신하는 통신 방식인 반 이중(half-duplex)이며, RS-485통신이 가능한 장치 간의 N:N통신 Multi-Drop 방식으로 최대 32대까지 통신이 가능하다. CAN 통신 회로도는 DSP의 CAN-RX/TX핀과 CAN 드라이버 소자인 82C251의 송수신핀이 연결되어 컴퓨터나 외부 제어장치와



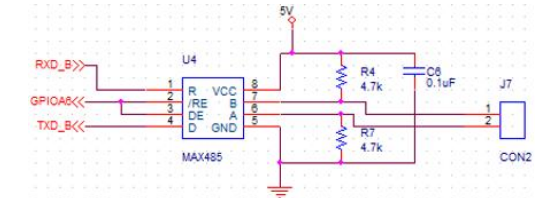
(a) 1.65V power circuit



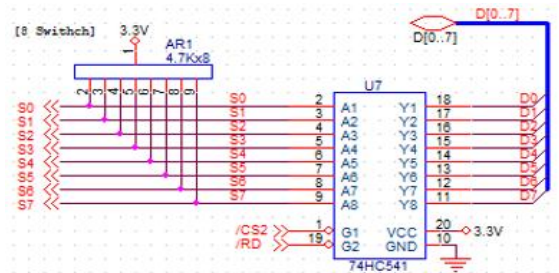
(b) 5V power circuit



(c) 3.3V and 1.8V power circuit



(d) CAN circuit



(e) Switch circuit

Fig. 3 Controller circuit of workpiece automation loading system

통신하기 위해 사용되며, 특히 스마트 공장을 구성할 때 사용할 수 있도록 준비하였다. LCD부 회로도도 LCD, 74HC574 소자, 저항, 가변저항 등으로 구성되어 있다. Fig. 3의 (e)는 스위치부 회로도를 나타내고 있고, 이것은 74HC541, 어레이 저항 등으로 구성되었으며, 이 스위치는 각각 프로그램을 이용하여 적재장치의 초기상태, 상하운동, 긴급상황 정지 등을 동작 시킨다. 적외선센서 회로도도 74LVC4245 소자 등으로 구성되어 있다. 적외선센서는 3.3V로 동작되는 74LVC4245 소자를 이용하여 총 2개를 사용하고, 모델은 SEN0019, 측정거리는 3cm~80cm, 사용전압 5V이며, 상하 이동판의 상부와 하부위치를 감지하는 역할을 한다.

Fig. 4는 공작물 자동 적재장치의 제어장치 레이아웃(layout) 회로도를 나타내고 있다. 이것의 배선층은 총 4층으로 구성되고, 가로와 세로의 크기는 130mm×100mm이며, 각 모서리에 위치한 홀은 $\varnothing 3$ 의 크기로 124mm×9.6mm의 간격으로 위치한다. 부품의 배치는 배선이 복잡한 제어부 DSP를 중심으로 우측 상단에 전원부를 배치하였고, 좌측 상단에 각 통신부를 배치하였으며, 외부 장치와 연결되는 포트들은 외곽으로 배치하였다. 그리고 LCD와 스위치들은 좌측 하단에 배치하였고, 노이즈를 줄이기 위해 앞면과 뒷면에는 절연층을 생성하였다.

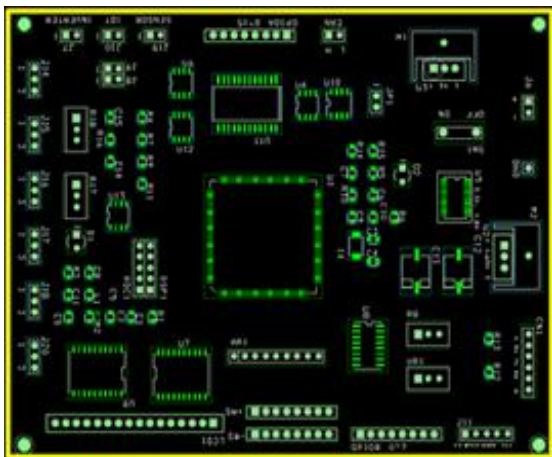


Fig. 4 Controller layout circuit of workpiece automation loading system

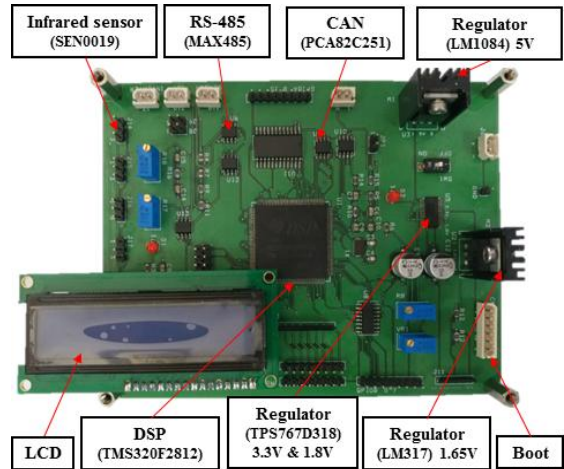


Fig. 5 Manufactured controller of workpiece automation loading system

2.2 공작물 자동 적재장치의 제어장치 제작

Fig. 5는 제작된 공작물 자동 적재장치의 제어장치를 나타내고 있다. 제어장치는 Fig. 2의 공작물 자동 적재장치의 제어장치 블록도에서 설명한 것과 같이 제작하였고, 전원부, 제어부, 통신부, 표시부 등의 기본 실험에서 안전하게 동작되었다. 제작된 제어장치를 공작물 자동 적재장치의 기계장치와 연결하여 특성실험을 실시해야 한다.

3. 공작물 자동 적재장치의 특성실험

Fig. 6은 공작물 자동 적재장치의 실험장치를 나타내고 있고, 이것은 자동적재장치의 기계장치, 제어장치, 모터드라이브 등으로 구성되었다. 제어장치를 이용하여 기계장치가 정상대로 동작되는지를 확인하기 위한 자체 실험을 수동으로 실시하였다. 제작된 공작물 자동 적재장치가 실제로 가공 전 공작물과 가공 후 공작물을 적재하고, 순차적으로 상승과 하강하기 위한 제어 흐름도를 작성해야 하고, 프로그램을 제작해야 한다. Fig. 7은 공작물 자동 적재장치의 제어 흐름도를 나타내고 있고, Fig. 7의 (a)는 가공 전 공작물을 적재한 초기상태에서부터 로봇이 1층~4층 공작물을 공작기계로 모두 장착할 때까지 제어되는 제어흐름도이다.

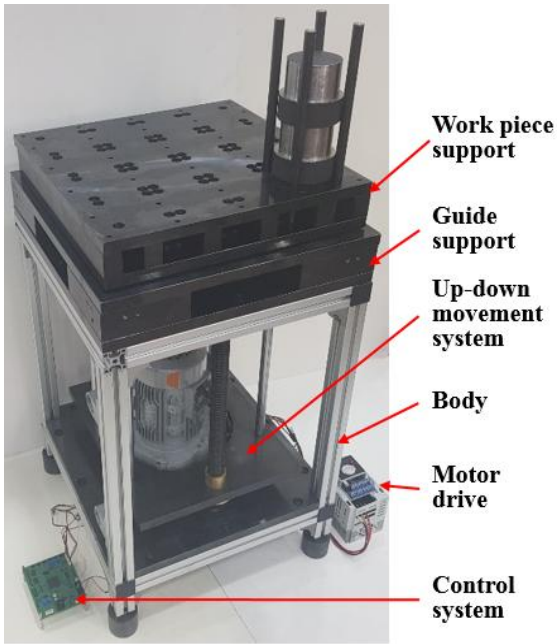
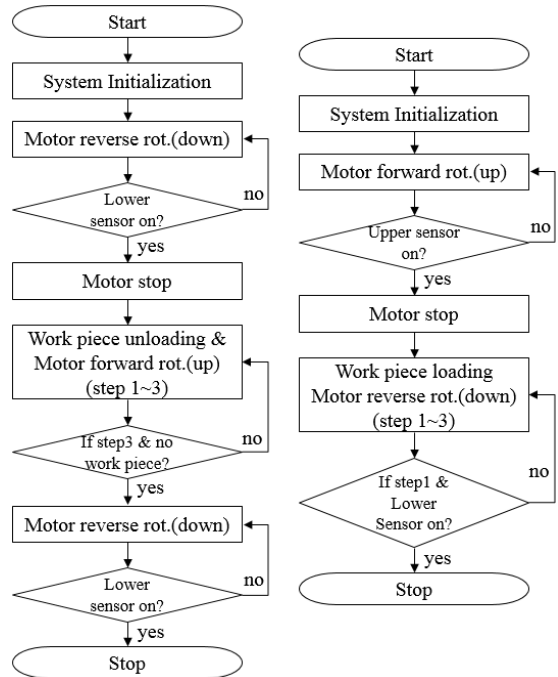


Fig. 6 Experimental apparatus of workpiece automation loading system

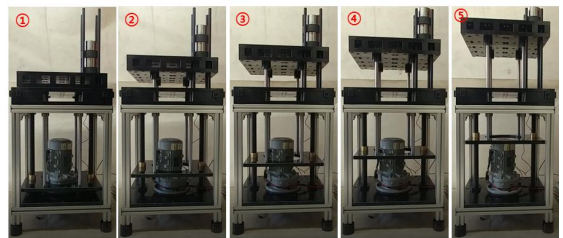
이것의 동작은 먼저 제어장치를 초기화하고, 모터를 역회전하여 상하이동판을 아래로 하강시키며, 하부 적외선센서가 동작되면 모터를 정지시킨다. 이 상태가 로봇이 가공전 공작물을 잡아가는 위치인 초기상태이다. 로봇이 가공전 공작물 4층의 16개를 모두 이동시키면, 모터가 정회전하여 1개 단계만큼 상하이동판을 상승시킨다. 이와 같은 동작으로 최종단계까지 상승시키고, 가공전 공작물이 모두 이동되었을 때, 모터가 역방향으로 회전하여 상하이동판이 아래로 이동되며 하부 적외선센서가 동작되면 모터를 중지시킨다.

Fig. 7의 (b)는 로봇이 가공후 공작물을 탈착하여 4층부터 3층, 2층, 1층까지 적재할 때까지 제어되는 제어흐름도이다. 먼저 제어장치를 초기화시키고, 모터를 정회전시켜 상하이동판을 상부 적외선센서가 동작될 때까지 상승시킨다. 로봇이 최상층에 16개의 가공후 공작물을 적재하면 1개단계만큼 상하이동판을 하강시키고, 이와 같은 동작을 최하층까지 반복한 후 64개의 가공후 공작물을 모두 적재하면 제어장치의 모든 동작을 정지한다.

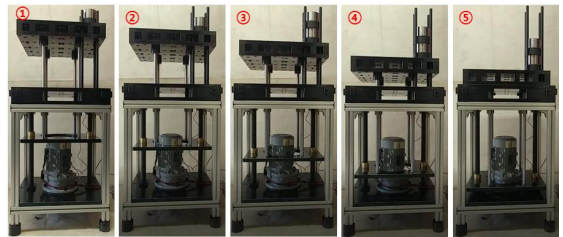


(a) Before processing (b) After processing

Fig. 7 Controller flowchart of workpiece automation loading system



(a) Up movement



(b) Down movement

Fig. 8 Characteristic results of workpiece automation loading system

Fig. 7의 제어 흐름도에 따라 C언어를 이용하여 공작물 자동 적재장치의 제어를 위한 제어프로그램을 제작하였다. Fig. 8은 공작물 자동 적재장치의 특성실험 결과를 나타내고 있고, (a)는 가공전 공작물이 초기상태 ①에서부터 최종단계 ⑤까지 상승한 모습을 나타내고 있으며, (b)는 가공후 공작물이 최종단계 ①에서부터 초기단계 ⑤까지 하강한 모습을 나타내고 있다. Fig. 8의 (a)와 같은 상승과정과 (b)와 같은 하강과정을 20회 반복 실험을 실시하였고, 그 결과 원활하게 동작되었다.

4. 결 론

본 논문에서는 가공전 공작물 혹은 가공후 공작물을 적재할 수 있는 자동 적재장치를 제어할 수 있는 제어장치를 설계 및 제작하였다. 제어장치의 회로도도 DSP 등의 전자부품으로 설계되었고, PCB를 제작하였고, PCB에 전자부품을 부착하여 제어장치를 제작하였다. 제작된 제어장치를 공작물 자동 적재장치의 기계장치에 연결하여 특성 실험을 실시하였고, 그 결과 안전하게 상승과 하강하는 것을 확인하였다. 그러므로 본 논문에서 개발한 제어장치는 공작물 자동 적재장치를 동작 시키는데 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 추후 연구에서는 가공전 공작물과 가공후 공작물을 위한 자동 적재장치를 공작기계 앞에 설치하고 로봇을 이용하여 공작기계에 장착과 탈착하는 특성 실험을 실시하는 것이다.

후 기

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 지원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역 신산업 선도인력양성사업 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. Control Engineering, "Machine tool controllers, HMIs add efficiency," Control Engineering, <https://www.controleng.com/articles/machine-tool-controllers-hmis-add-efficiency/>.

3. Yao, Y., Liu, M., Du, J. and Zhou, L., "Design of a machine tool control system for function reconfiguration and reuse in network environment," Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 56, pp. 117~126, 2019.

4. KIMLA, "CNC control system," KIMLA, <http://www.kimla.pl/en/CNCcontrolsystem>.

5. Proskuryakov, N. A., Nekrasov, R. Yu., Starikov, A. I., Solove'ev, I. V., Barbyshev, B. V., and Tempel, Yu. A., "Fuzzy Controllers in the Adaptive Control System of a CNC Lathe," Russian Engineering Research, Vol. 38, No. 3, pp. 220~222, 2018.

6. Cubas, J., Leoro, J., Reyes, D., and Yeh, S. S., "Cutting Force Monitoring and Control System for CNC Lathe Machines," 2016 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Banff, Alberta, Canada, pp. 184~188, 2016.

7. HMT, "CNC Control Systems," HMT, <http://www.Hmtmachinetools.com/cnc-control-systems.htm>.

8. Yusof, Y., and Latif, K., "New Interpretation Module for Open Architecture Control Based CNC Systems," ScienceDirect, Vol. 26, pp. 729~734, 2015.

9. Petko, M., Gac, K., Góra, G., Karpel, G., Ochonski, J., and Kobus, K., "CNC system of the 5-axis hybrid robot for milling," Mechatronics, Vol. 37, pp. 89~99, 2016.