산업용 PCB 부품삽입 자동화 시스템 개발

Development of Automation System for Component Inserting of Industrial PCB

정 구 영, 윤 명 종, 박 창 석, 유 기 호*
(Gu-Young Jeong, Myoung-Jong Yoon, Chang-Seog Park, and Kee-Ho Yu)

Abstract : A automatic component inserting system for industrial PCB is developed in this paper. This system has not been developed in Korea. Most domestic companies produce PCB manually. This process requires highly-skilled staff. Therefor, we developed a PCB inserting system for automation of the process and improved productivity. There are four parts in this system; press, table, tool change and control part. A hybrid press cylinder with pneumatic and hydraulic is used in the press part. The table part consists of pneumatic actuators, stepping motors and ball-screw mechanism. In the tool change part, upper tools can be exchanged automatically for the inserting of various components. The control part consists of motor drivers, PLCs and power supply.

Keywords : industrial PCB, automation, stepping motor, pneumatic and hydraulic actuator, PLC

I. 서론

최근 고성능 전자기기 및 이동통신 시스템의 증가에 따라 전자 및 통신장비에 사용되는 각종 산업용 PCB(back plane, 그림 1)의 수요가 크게 늘고 있으며, 대량의 데이터를 전송해야 하는 필요성 때문에 다양한 형상을 가진 다량의 커넥터 및 부품이 삽입되고 있다. 산업용 PCB의 경우 커넥터 삽입부의 부식을 방지하고 기계적으로 안정성 있는 연결을 위하여 용접대신에 그림 2와 같은 기계적인 압력에 의하여 커넥터를 PCB에 삽입하고 있다. 커넥터 삽입 공정은 산업용 PCB위에 커넥터를 올려놓은 상태에서 아래쪽에 이를 지지할 수 있는 하부툴(PC board support, bottom tool)과 커넥터 위쪽에 상부툴(upper insertion tool)을 장착시킨 다음 상부 툴 윗면에 기계적인 압력을 가해 커넥터를 산업용 PCB에 삽입하는 순서로 되어 있으며, 이때 H 형태의 단면을 가진 커넥터 핀들의 기저부가 산업용 PCB의 핀공에 삽입되면서 기계적인 압력에 의해 커넥터 핀의 기저부 단면이 H 형태에서 θ 형태의 변형을 일으키며 강제 압입되어 강한 접점을 이루어 기계적 및 전기적인 결합을 하게 된다. 이와 같은 방법은 용접에 비하여 결함이 거의 없고 PCB에 대한 온도 부하도 없으며 양면 실장도 가능한 이점과 함께 전기적으로도 안정한 특성을 가지게 한다.

이와 같은 산업용 PCB 부품삽입 자동화 시스템은 국내에서는 개발되어 있지 않고, 외국의 경우 독일의 ERNI사나 미국의 FCI사 등이 자동화의 수준에 따른 다양한 모델을 개발하여 판매하고 있으나 그 가격이 기능에 따라 수천만

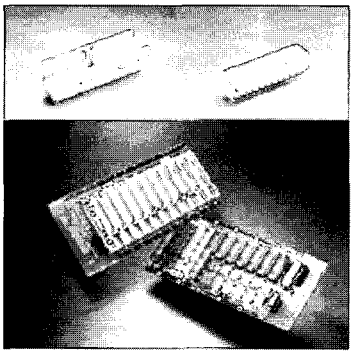

그림 1. 산업용 PCB 및 커넥터.
Fig. 1. Industrial PCB and connector.

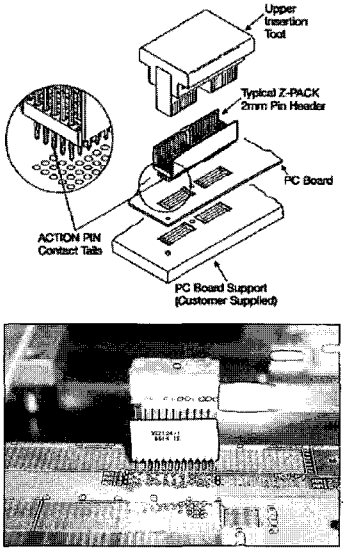

그림 2. 기계적 압력에 의한 PCB 커넥터 삽입.
Fig. 2. Connector insertion by mechanical pressure.

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수 : 2005. 2. 21., 채택확정 : 2005. 9. 6.
정구영, 윤명종 : 전북대학교 대학원 메카트로닉스공학과
(jung902@chonbuk.ac.kr/mjyoon@chonbuk.ac.kr)
박창석 : (주)태성전자통신(cspark@taesung94.co.kr)
유기호 : 전북대학교 기계항공시스템공학부(yu@chonbuk.ac.kr)
※ 본 논문은 전북대학교 및 한국과학재단지정 메카트로닉스연구센터(RRC)에서 지원하여 연구하였음.

원에서 수억 원대에 이르는 고가의 장비이기 때문에 국내의 중소기업에서는 도입이 쉽지 않다[1,2]. 현재 국내에는 십여 개의 중소기업이 상기의 공정을 대부분 수동으로 작업하여 전자통신관련 대기업에 납품하고 있으나, 그 수요가 정보통신산업의 발달과 더불어 매년 증가 추세에 있어 생산 자동화가 절실히 필요한 상태이다.

본 연구에서는 기존의 수작업으로 이루어진 고난도이며 숙련이 필요한 산업용 PCB 부품삽입공정의 생산성 향상을 위해 저가의 자동화 시스템 개발을 목적으로 하고 있다. 개발된 산업용 PCB 부품삽입 자동화 시스템은 기계적 압입을 위한 프레스 기구부, PCB 기판의 정밀한 움직임을 위한 X-Y 이동 테이블, 다양한 형상을 가진 커넥터의 삽입을 위한 툴 교환부, 시스템의 제어 및 전원 공급을 위한 전장부 등 크게 4가지 부분으로 구성되어 있다. 프레스 기구부는 압입 공정 속도를 향상시키기 위하여 유압과 공압을 같이 사용하는 하이브리드 방식(booster)을 이용하였고 X-Y 이동 테이블은 볼-스크류(ball-screw) 메커니즘을 이용하여 설계 및 제작하였으며, 스텝모터를 이용하여 정밀한 위치결정을 수행하였다. 툴 교환부는 커넥터 형상에 따라 상부 툴(upper tool)을 교체할 수 있도록 공압 액추에이터와 볼-스크류 메커니즘 및 스텝모터를 이용하여 설계 및 제작하였으며 문제 발생시 작업중지 및 경고발생 등을 포함한 전체적인 시스템 구동을 위한 프로그래밍은 PLC를 이용하여 설계하였다[3-8].

II. 수작업에 의한 기존의 PCB 부품삽입공정

그림 3은 기존의 산업용 PCB 부품삽입공정을 수작업으로 하는 과정을 나타낸 그림이다. 커넥터를 PCB 기판에 기계적 압력으로 삽입하기 위해서 유압 프레스를 사용하였다. PCB 기판 및 커넥터의 지지를 위한 하부툴(bottom tool)과 PCB 기판의 이동을 돕는 가이드 레일(guide rail for PCB)위에 PCB 기판을 올려놓은 상태에서 커넥터 위에 상부툴(upper tool)을 장착시킨 후 유압 프레스를 작동시켜 커넥터를 압입 시키는 방식으로 숙련된 기술자는 적당한 삽입 압력 및 삽입 거리를 경험으로 터득하여 유압 프레스를 작동시킨다. 이러한 일련의 작업은 고난도의 작업이며 많은 경험을 갖고 있는 숙련된 기술자에 의해서만 이루어지고 있다. 이러한 수동 작업의 문제점은 작업에 참여하는 숙련자에 따라서 커넥터의 삽입 정도가 달라지며, 또한 숙련자의 정신적 신체적 상태에 따라서 작업의 불량률에 차이가 나게 된다. 즉, 숙련자들의 작업 시간이 늘어날수록 작업자의 단순 작업에 의한 피로가 누적되어 제품 불량에 의한 손실이 늘어나게 되며, 제품의 불량률을 낮추기 위하여 일일 작업 시간을 줄일 경우 납기일을 맞추지 못하는 문제가 발생하게 된다. 또한 숙련 노동자에 대한 의존도가 높아져 업체의 인력 확보문제가 발생하고 있다.

외국의 자동화 시스템의 경우 가격이 고가여서 국내 중소기업에서 쉽게 도입할 수 없다는 문제점과 함께, 수입하더라도 시스템에 관련된 모든 유지보수를 국외 업체에 맡겨야 함은 물론, 이러한 과정에서 국내 업체의 기술이 해외로 반출될 수도 있는 문제점이 있다. 따라서 국내 관련 기

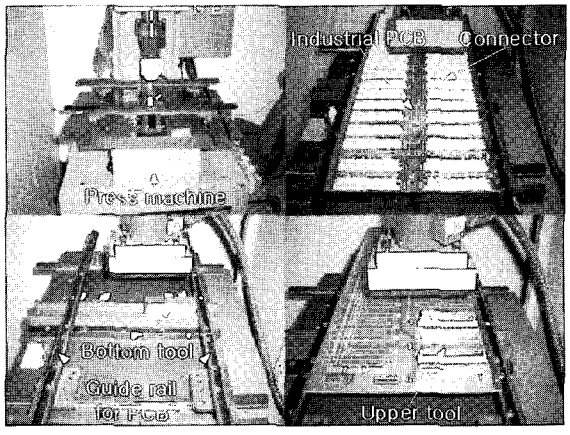

그림 3. 수작업에 의한 부품삽입공정.

Fig. 3. Process of connector insertion by manual operation.

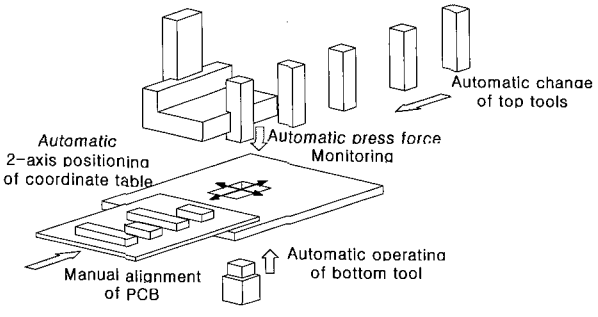

그림 4. 시스템 개념도.

Fig. 4. Schematic diagram of system.

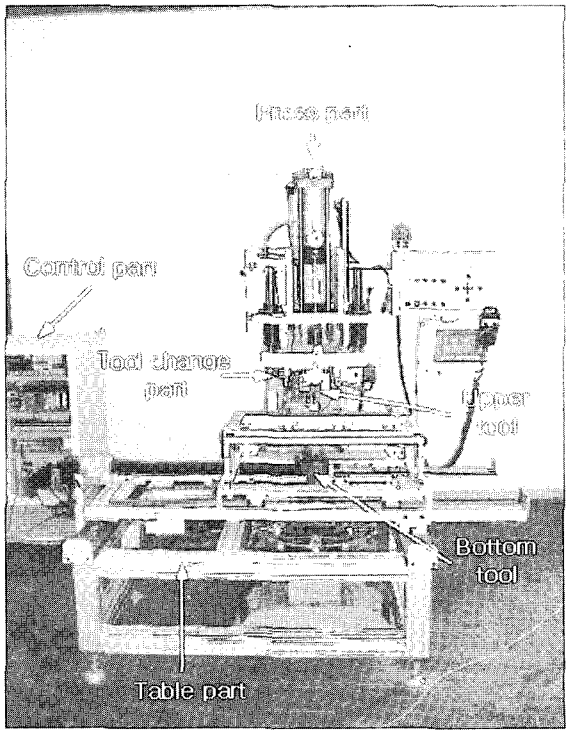

그림 5. 자동화 시스템 사진.

Fig. 5. Picture of automation system.

업에서 초보자도 쉽게 작업을 수행하여 생산성을 향상시킬 수 있는 방법이 필요하며, 이러한 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 기존의 수작업에 의해서 이루어진 일련의 PCB 부품삽입공정의 생산성 향상을 위해 산업용 PCB 부품삽입 자동화 시스템을 개발하였다.

III. 시스템 구성 및 공정 자동화

본 산업용 PCB 부품삽입 자동화 시스템은 기계적 압입을 위한 프레스 기구부, PCB 기판의 정밀한 움직임을 위한 X-Y 이동 테이블, 다양한 형상을 가진 커넥터의 삽입을 위한 툴 교환부, 시스템의 제어 및 전원 공급을 위한 전장부 등 크게 4가지 부분으로 구성되어 있다. 그림 4와 5는 각각 시스템의 개념도와 사진이다. 커넥터를 PCB 기판에 자동으로 삽입하는 과정에서 가장 중요한 부분은 압입을 위한 상부툴과 커넥터의 상부핀과의 결합 오류를 검출하는 것으로, 결합 오류가 발생한 상태에서 커넥터의 압입과정이 진행될 경우 커넥터의 파손 뿐만 아니라 PCB 기판의 파손을 초래할 수 있기 때문이다. 본 시스템에서는 이러한 결합 오류를 상부툴과 커넥터의 상부핀과의 부정확한 결합에서 발생하는 반력을 이용하여 검출하였으며, 이러한 기계적인 검출 방법은 단순하면서도 효과적으로 결합 오류를 검출 할 수 있다.

1. 프레스 기구부

프레스 기구부는 세부적으로 압입작업만을 하는 프레스 실린더 부분과 커넥터를 PCB 기판에 효율적으로 삽입하는 삽입제어 기구부로 구성된다. 기존의 유압 프레스의 단점인 느린 동작 속도 문제를 해결하기 위하여 공압과 유압을 같이 사용하는 하이브리드형 프레스 장치를 사용하였다. 이 장치는 실질적인 커넥터의 삽입 작업(작업거리 : 약 8mm)에서만 유압 실린더를 작동시키고 그 외의 프레스 장치의 움직임은 공압 실린더를 작동시킴으로서 작업 속도를 향상시킬 수 있다. 삽입제어 기구부는 기존의 수작업으로 이루어진 PCB 부품삽입공정의 핵심으로 숙련된 기술자가 경험에 의해 작업을 수행하던 상부툴의 커넥터 삽입 및 커넥터의 PCB 기판 삽입 등의 일련의 공정을 자동화한 부분으로써 상부툴과 커넥터 핀과의 결합 오류 등을 검출하는 장치이다. 그림 6은 삽입제어 기구부의 개념도 및 사진을 나타낸다. 그림 6에서 A는 프레스 피스톤의 움직임을 감지하는 센서로써 회전형 엔코더(Koino co., KEN50, 600pulse/cycle)를 사용하였으며 정해진 위치만큼만 프레스 피스톤을 작동시킴으로써 과도한 움직임 및 기계적 압입으로 인해 발생할 수 있는 커넥터와 PCB 기판의 파손을 방지하는 역할을 한다. D는 커넥터를 양측에서 균일하게 눌러줌으로서 커넥터의 틀어짐을 바로잡는 장치로써 수작업으로 커넥터를 PCB 기판을 올려놓았을 경우 커넥터 핀과 PCB 기판이 서로 정확히 수직을 이루지 않아 커넥터 핀이 편향되게 삽입되는 것을 방지하는 기능을 가지고 있다.

B는 상부툴을 지지하는 툴홀더(tool holder)의 하사점을 조정하는 스톱퍼(stopper)로써 나사를 이용하여 기계적으로 쉽고 정확하게 조정하도록 하였으며 커넥터의 높이가 다를 경우 이를 보완하기 위한 장치이다. C는 툴홀더의 움직임

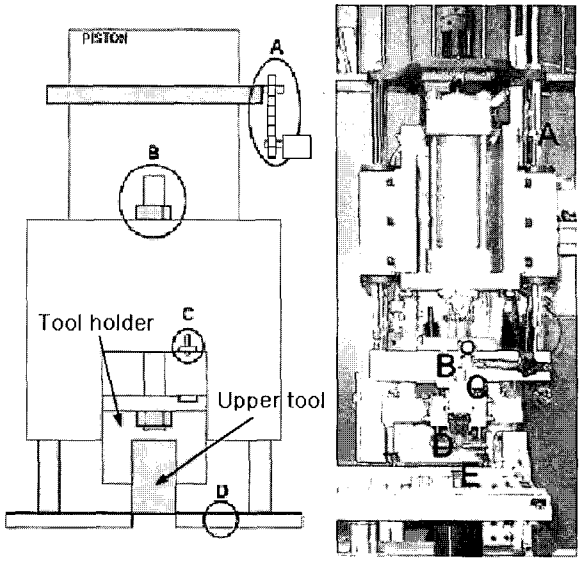

그림 6. 삽입제어 기구부 개념도 및 사진.

Fig. 6. Schematic diagram and picture of inserting control part.

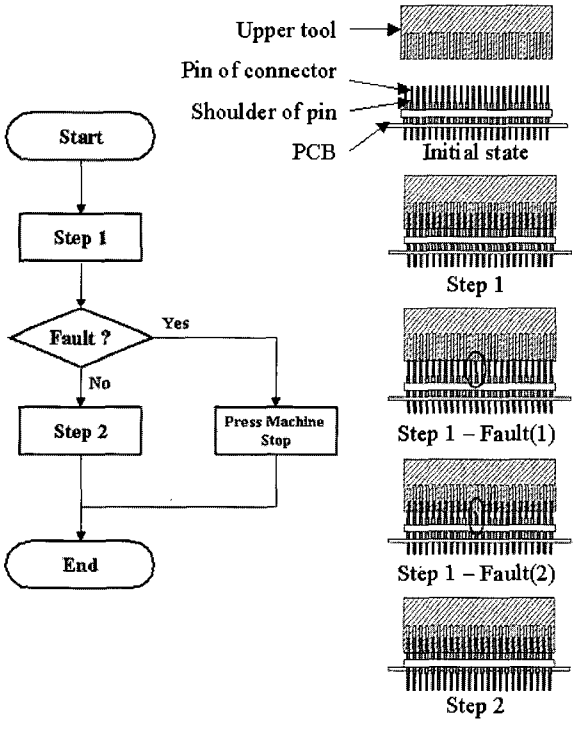

그림 7. 삽입제어 기구부 작동 순서도.

Fig. 7. Operating flowchart of inserting control part.

을 감지하는 포토센서(SICK co., V12)로서 커넥터 핀에 상부툴이 잘못 삽입되었을 경우 동작하도록 하였다. 즉, A에서 검출한 프레스 실린더의 움직임에서 정해진 공정(움직임)이 끝나기 전에 포토센서에서 신호(툴홀더와의 거리변화)를 검출할 경우 그것은 핀과 상부툴의 결합에 오류가 발생했음을 나타낸다. 그리고 E는 하부툴이다.

삽입제어기구부에서 툴홀더의 하부에는 상부툴을 끼울 수 있도록 된 홈이 형성되어 있고, 툴홀더는 툴홀더삽입홈

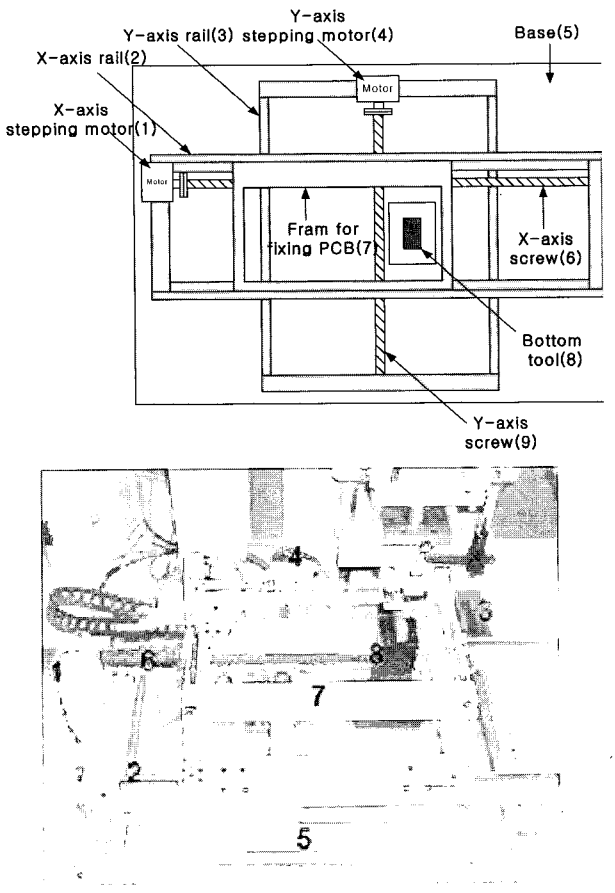

그림 8. 테이블 기구부 개념도 및 사진.

Fig. 8. Schematic diagram and picture of table part.

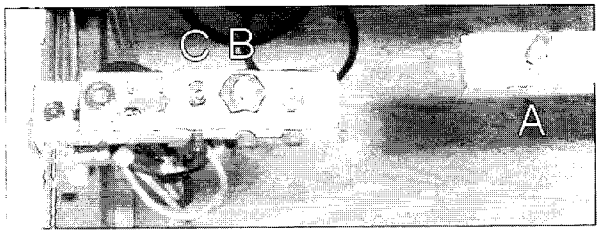

그림 9. 원점복귀를 위한 근접센서.

Fig. 9. Precision proximity sensor for returning to starting point.

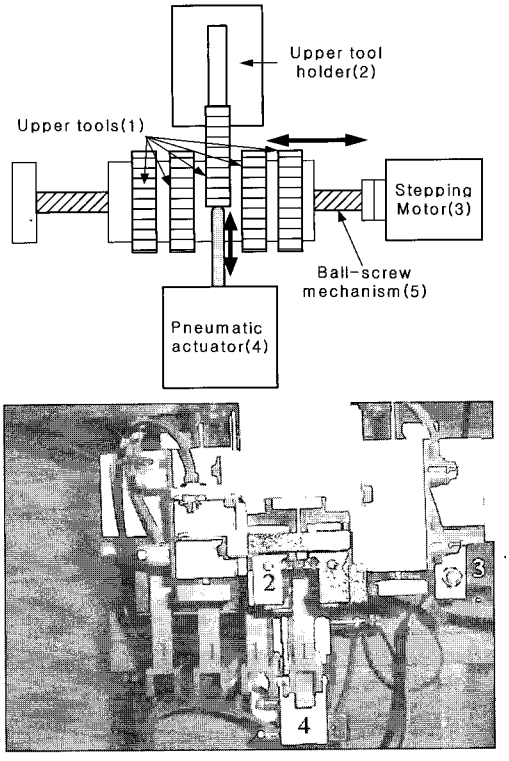

그림 10. 툴 교환부 개념도 및 사진.

Fig. 10. Schematic diagram and picture of tool change part.

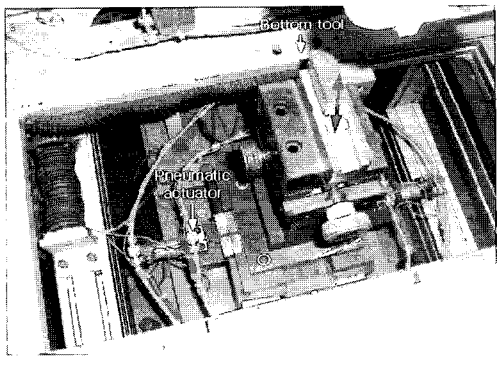

그림 11. 하부툴 사진.

Fig. 11. Picture of bottom tool.

(C와 툴홀더 사이) 내에서 자중에 의해 자유롭게 유동할 수 있도록 되어 있으며 툴홀더 축의 상단에 스톱퍼(B)를 결합하여 상부툴의 돌출 길이를 조정할 수 있는 구조로 되어있다. 또한 상부툴에 커넥터 핀이 잘 못 끼워졌을 경우 포토 센서(C)가 이를 감지하여 삽입 동작을 종료하고 툴홀더가 완충작용을 하여 PCB 및 커넥터의 훼손을 사전에 예방할 수 있도록 하였다.

삽입제어 기구부의 작동 순서를 그림 7에 나타내었다. 초기의 작업위치에 산업용 PCB와 커넥터 및 상부툴이 놓이면, 상부툴이 초기위치(initial state)에서 커넥터 핀의 어깨부분(H 형태로 이루어진 커넥터핀의 기저부)까지 하강하는 1단계(step 1)가 이루어진다. 이때 피스톤 실린더는 하사점에 약간 못미친 상태이며, 이상이 없을 경우 상부툴에 힘이 가해져 커넥터 핀을 기판에 삽입하는 작업(step 2)이다.

그러나 상부툴과 커넥터 핀의 결합에 오류가 생길 경우 (step 1-fault(1)(2)) 툴홀더(그림 6 참조)가 완충작용을 하여 PCB로 전해지는 힘을 흡수(수축)하여 포토센서(그림 6의 C 참조)에 의해 툴홀더와의 거리변화가 감지되어 fault 신호를 발생시켜 삽입 작업을 중지시키게 된다. 이러한 일련의 과정을 통하여 기존의 고난도 및 숙련된 기술자에 의해서만 이루어지던 PCB 부품 삽입 작업을 비숙련자도 작업을 할 수 있도록 저가의 자동화 시스템을 개발하였다.

2. 테이블 기구부

PCB의 정밀한 이동을 자동화하기 위하여 스텝모터 (oriental motor Co., AS66AA, torque-1.2N · m, resolution-0.36° /pulse)에 의한 회전을 직선운동으로 변환해주는 볼-스크류

(pitch-5mm) 메커니즘과 가이드 레일을 이용하여 그림 8과 같은 X-Y 이동 테이블 기구부를 설계 및 제작하였다. X-Y 이동 테이블 기구부를 구동 및 제어하기 위하여 PLC 전용 위치결정모듈(LG산전, G4F-PP3O, 3축 제어)을 전장부에 장착하였으며 X축과 Y축 이동을 동시에 수행할 수 있어 PCB 이동 시간 감소에 의해 전체 작업시간을 단축하도록 자동화 하였다. PCB 이동시 발생할 수 있는 오차 범위는 0.005mm 이내이다. 초기 작업위치 및 작업완료 후 원점복귀를 위하여 근접센서(건흥전기, KPX-D04-X8E1M, 검출거리-0.8mm)를 X, Y축에 각각 장착하였으며 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 움직이는 테이블의 위치(A)를 고정되어 있는 B와 C에서 각각 검출하며 원점복귀는 2단계로 작동 된다.

즉, 초기 작업 및 작업이 완료된 후 원점(C)과 인접한 위치(B)로 테이블(A)을 이동 시킨 후 B에서 A를 검출하였을 경우 테이블의 이동 속도를 감속 시켜 C에 A가 위치했을 때 테이블의 이동을 멈추게 함으로써 정확한 원점복귀가 이루어지도록 했다. 원점의 위치는 테이블의 오른쪽 위를 채택하였다. 또한 작업 중 안전 확보를 위하여 리미트 스위치를 장착하였다.

3. 툴 교환부

PCB 커넥터의 다양한 형상에 맞는 상부툴의 교환이 요구되므로 최대 5가지 종류의 상부툴을 교환할 수 있는 툴 교환부를 공압 액추에이터와 스텝모터(oriental motor Co., RK564AA, torque-0.5N · m, resolution-0.72°/pulse) 및 볼-스크류 메커니즘을 이용하여 자동화 하였고 그림 10에 툴 교환부 개념도 및 사진을 나타내었다. 툴 교환부의 구동 및 제어는 테이블 기구부에 사용한 PLC 전용 위치결정모듈을 같이 사용하였다.

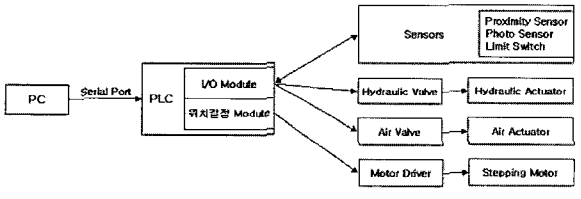

그림 12. 제어부 블록도.

Fig. 12. Block diagram of control part.

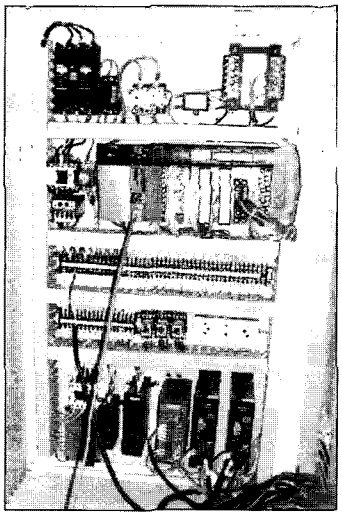

그림 13. 전기 및 제어부 사진.

Fig. 13. Picture of electric and control part.

하부툴의 경우 PCB 이동시 발생할 수 있는 테이블 기구부와의 간섭 및 이동 시간의 최소화를 위하여 공압 액추에이터를 사용하여 상하방향으로 작동할 수 있도록 설계 및 제작하였으며 그림 11에 나타내었다.

4. 전장부

전장부는 시스템의 제어 및 전원 공급을 위한 부분으로써 PLC(LG산전, GM4-PA2A, GM4-CPUA, G4I-D22A, G4Q-RY2A, G4H-DR2A, G4F-PP3O)와 스텝모터 드라이버(Driver)등으로 구성되어 있으며 제어부의 블록도를 그림 12에 나타내었으며, 그림 13은 전장부 사진을 나타내었다. 작업자가 PCB 종류에 따른 작업내용을 전용 프로그램(GMWIN application, APM software package, GUI 환경)으로 PC상에서 작성하여 PLC에 씨리얼 포트(serial port)를 이용하여 전송하면 PLC는 작성된 프로그램을 바탕으로 자동부품삽입공정을 수행하게 된다. 이때 PLC는 스탭모터 제어를 위한 펄스 생성, 유압 및 공압 액추에이터의 동작을 위한 신호 생성, 센서를 이용한 시스템의 동작 감시 등을 수행한다.

IV. 결론

본 연구에서는 기존의 수작업으로 이루어진 고난도이며 숙련이 필요한 산업용 PCB의 기계적 압입에 의한 부품삽입공정을 자동화 하였다. 이와 같은 자동화 시스템을 개발함으로써 숙련된 기술자의 오랜 경험과 감각에 의존하던 부품삽입공정을 초보자도 쉽게 수행할 수 있게 되었다. 숙련자의 경우 커넥터의 수와 종류에 따라 차이가 있지만 보통 1분 이내에 삽입 공정이 마무리되는 반면에 개발된 시스템은 3분정도에서 삽입 공정을 마무리 하였다. 이는 숙련자의 경우 압입 과정에서 여러 개의 상부툴을 이용하여 다수의 커넥터를 한 번의 유압 프레싱에 의하여 압입하기 때문이다. 작업 시간의 차이에도 불구하고 본 시스템은 24시간 압입 작업이 가능하여 작업 참여자에 따른 불량률의 증가가 없기 때문에 생산성 향상에 기여한다.

표 1은 현재 산업용 PCB 부품 자동 삽입 시스템의 대표적인 제작 회사인 ERNI사의 EPCⅡ 모델과 본 논문에서 개발한 시스템을 비교한 것으로 개발된 자동화 시스템은 고가의 관련 수입 장비를 대체할 수 있는 성능이며 국산화로 인한 경제적인 파급효과도 기대할 수 있으리라 생각된다.

표 1. 개발된 시스템과 EPCⅡ와의 비교.

Table 1. Comparison between EPCⅡ and developed system.

	ERNI사 EPCⅡ	개발된 시스템
작업 가능한 PCB 크기	500㎜×500㎜	450㎜×340㎜
상부 툴 개수	5개	5개
작업 속도	20 press / min	15 press / min
시스템 크기	Length : 1860㎜ Width : 1850㎜ Height : 2168㎜	Length : 1800㎜ Width : 1900㎜ Height : 2100㎜

참고문헌

[1] ERNI 사 홈페이지, http://www.erni.com/

[2] FCI 사 홈페이지, http://www.bergelect.com/

[3] C. Peshek and M. Mellish, "Recent developments and future trends in PLC programming languages and programming tools for real-time control," *Cement Industry Technical Conference, 1993. Record of Conference Papers., 35th IEEEI,* pp. 23-27, May, 1993.

[4] B. Kang and K. Cho, "Design of PLCs for automated industrial systems based on discrete event models," *Industrial Electronics, 2001. Proceedings. ISIE 2001. IEEE International Symposium on,* vol. 3, pp. 12-16, June, 2001.

[5] M. Rihar and G. Godena, "Automation of specification process for PLC control systems software," *Emerging Technologies and Factory Automation, 1999. Proceedings. ETFA '99. 1999 7th IEEE International Conference on,* vol. 2, pp. 18-21, Oct, 1999.

[6] K. Erickson, "Programmable logic controllers," *Potentials, IEEE,* vol. 15, Issue. 1, pp. 14-17, Feb, 1996.

[7] LG산전연수원, *GLOFA-GM GMWIN,* LG산전, 서울, 2001.

[8] 김호동, PLC 원리와 응용, 기한재, 서울, 2000.

[9] 윤명종, 정구영, 박창석, 유기호, "산업용 PCB 자동부품 삽입 시스템 개발," 제어·자동화·시스템공학회 전북제주지부학술회의, vol. 7, no. 1, pp. 107-110, 2004.

정 구 영

2000년 2월 전북대 항공우주공학과 졸업. 2002년 2월 전북대 메카트로닉스 석사. 현재 전북대학교 대학원 메카트로닉스공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 원격진단시스템, 시스템 제어 및 응용, 모델링.

박 창 석

1987년 전북대학교 정밀기계공학과 졸업. 현재 (주)태성전자통신 대표, 관심분야는 전자통신, 제어 및 메카트로닉스.

윤 명 종

1974년 12월 13일생. 2000년 전북대학교 항공우주공학과 졸업. 2002년 동 대학원 메카트로닉스공학과 석사. 2003년 3월~현재 동 대학원 박사과정 재학중. 관심분야는 촉각센싱 및 제시, 로보틱스.

유 기 호

1962년 8월 1일생. 1987년 전북대학교 정밀기계공학과 졸업. 1990년 동 대학원 기계공학과 석사. 1994년 일본 Tohoku 대학 박사. 1994년 4월~1997년 8월 동 대학 Research Associate. 1997년 9월~1998년 2월 한국과학기술원 연구원. 1998년 3월~현재 전북대학교 기계항공시스템공학부 부교수. 관심분야는 촉각센싱 및 제시, 원격제어, 원격진료. 메카트로닉스.