

로봇을 이용한 진동납땜 시스템 개발

박종오·남도현·정성중·윤갑영

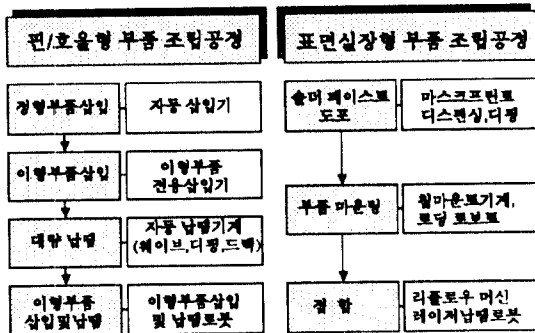
한국과학기술연구원 한양대학교

한양대학교 교수

1. 머리말

전자부품조립 라인의 특징으로서 매우 높은 노동 집약적인 생산 공정을 들 수 있다. 계속적인 수요팽창과 치열한 국제경쟁 상황에서 생산 합리화 및 자동화를 통한 원가절감 및 생산성 향상 노력 또한 치열하다. 전자제품의 수명 단축에 따른 복합제품 생산을 또 하나의 특징으로 들 수 있다. 인쇄회로기판 조립라인의 생산 합리화 방법으로써 조립공정 방식의 변화(예, 표면실장화)와 조립공정의 고속화(자동화기기)를 대표적으로 들 수 있다. 표 1은 핀/호울형과 표면실장형 부품 간의 일반적인 조립공정 순서와 각 공정들의 대표적인 자동화 기술을 비교한 것이다.

표 1 핀/호울형과 표면실장형 부품조립라인 및 자동화 기술의 비교



핀/호울형 부품조립 라인에서 일반 정형 부품은 자동삽입기와 자동납땜 기계에 의한 고속 대량 생산 방식으로 처리되어 매우 높은 자동화율을 보이고 있다. 그러나 이형 부품은 부품의 다양성 및 상대적으로 낮은 수량으로 인해 주로 수작업으로 삽입 및 납땜공정이 수행되고 있다. 이 부분이 조립 라인의 병목현상을 이루고 있다. 본 공정의 납땜은 개별납땜 방식이다. 한국과학기술연구원 CAD/CAM실에서는 핀/호울형 이형부품의 로봇을 이용한 유연성 삽입 및 자동납땜 기술(FISC: flexible insertion and soldering cell)을 개발하고 있다. 표면실장형 부품조립 라인에서 대량납땜 방식으로 리플로우 방식을 들 수 있고 개별납땜 방식으로 레이저납땜 로봇을 들 수 있다. 표면실장용 레이저는 주로 Nd-YAG 레이저로 광화이버와 결합하여 사용되나 설치비가 아직 고가이다. 그리고 크림형태의 납에 국한되어 있다. 납땜속도는 약 15초/칩 정도이다.

2. 로봇 이용 납땜 자동화

로봇을 이용한 납땜자동화 시스템은 일반 수작업 납땜공정을 로봇이 대신하는 개념으로서 로봇 플랜지에 납땜공구를 부착하고 납땜공정을 제어하는 공구제어기가 있고 이 제어기는 로봇 제어기와 연결되어 있다. 최근 본 자동화 시스템의 산업계 수요가 확장하는 추세이다. 여기서는 로봇 이용 납땜자동화 시스템의 구성

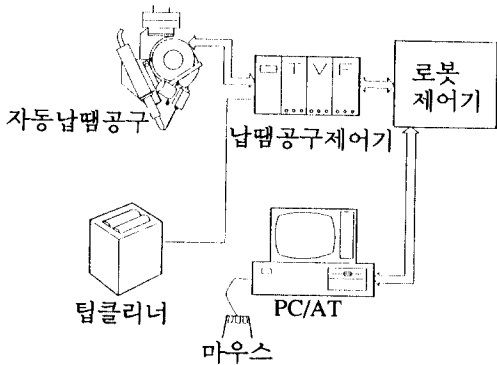


그림 1 로봇 이용 납땜자동화 시스템

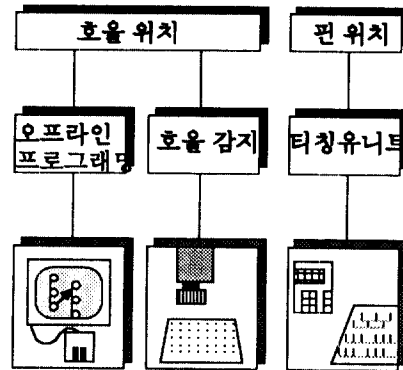


그림 2 로봇에의 납땜 위치 입력 방식

및 기능 그리고 문제점을 분석하였다.

2.1 시스템의 구성

보통 납땜공구, 공구제어기, 로봇 및 로봇 제어기 그리고 청소장치로 구성되어 있다. 그림 1에서 일반적인 납땜 자동화용 로봇 시스템의 구성요소들을 보여준다.

납땜공구에는 핀/패드 가열 기구, 땀납 와이어 공급 기구, 공정 감시 기능 등이 집적되어 있고 공구제어기는 납땜 공정 제어 기능 및 로봇 제어기와의 신호 교환 기능을 가진다. 납땜

공정 입력 방법은 다양하나 본 연구실에서 개발된 시스템의 변수입력방식은 표 2와 같다.

납땜 위치 입력은 그림 2와 같이 3종류로 분류할 수 있다. 주로 핀위치를 입력시키나 인쇄 회로기판 제작시의 호울위치 자료를 로봇의 오프라인 프로그래밍 기술을 이용하여 사용할 수 있다.

핀/패드 가열 기구는 전기인두, 고온기체, 가스화염 그리고 새로운 방식으로 레이저 빔을 들 수 있다. 생산성을 고려할 때 가열시간 및 온도 제어 기능이 중요한 기준이 된다. 그러나 경제성까지를 고려하면 전기인두 방식이 최적합하다. 레이저 빔의 핀/패드형 납땀에의 응용은 무엇보다도 고출력 파워 레이저 개발이 선행되어야 한다.

로봇 제어기와 연결되어 납땀공정을 제어하는 공기 제어기의 기능 및 각 처리방식을 요약하면 표 3과 같다.

표 2 납땀 공정 변수 입력 방식

입력 방법	납땀매개변수
로봇제어기에서 수치 입력	예열 시간 후열 시간 땀납 이송시간
공구제어기에서 수치 입력	땀납 이송속도 가열 온도 진동 진폭 진동 주파수 가압력
납땀 전 선택	땀납 플럭스 성분 팁 형상

표 3 공구 제어기의 기능 및 방식

온도 제어	땀납이송 제어	진동 제어	가압력 제어	공정 모니터링
온도 표시 자동/수동 전환 수동온도조절 3개 온도 기억/선택	이송율 표시 자동/수동 전환 이송방 제어 3개 이송방 기억/선택 이송시간 표시 수동이송모드	진폭 표시 자동/수동 전환 수동진폭 조절 3진폭 기억 주파수 표시 수동 조절 3개 주파수 기억/선택	3방향 가압력 표시 3개 가압력 기억/선택 X 2방향 가압력 표시 3개 가압력 기억/선택 Z	납땀 위치 땀납 유무 땀납/팁 접촉 편서어칭

기준 방식	가열시간	온도제어	로봇집적성	경비
전기인두	●	●	●	●
고온 가스플라즈마	○	●	●	●
가스 화염	●	○	○	●
레이저 빔	●	●	●	○

● 적합
● 보통
○ 부적합

그림 3 핀/패드 가열 방식의 비교

납땀공구를 핸들링하는 로봇은 보통 인쇄 회로기판의 경우에는 4자유도가 요구되며 모터기판 같은 경우에는 납땀시에 보간경로기능이 추가된다. 로봇 제어기의 요구 기능으로서 단순 납땀 작업에는 불필요하나 오프라인 프로그래밍이나 위치제어기능이 요구되는 경우에는 이에 상응하는 로봇 언어와 기능이 추가 필요하다.

2.2 문제점 분석

이상 일반적인 로봇 이용 납땀자동화 시스템이 설명됐다. 그러나, 문제점으로서 느린 납땀 속도 즉 낮은 생산성과 매우 제한된 공구기능으로 인해 오차발생의 경우와 정밀제어가 요구될 때의 납땀품질의 불확실성을 들 수 있다. 납땀속도의 문제는 무엇보다 수작업 형태를 그대로 로봇에 대치했을 뿐 로봇에 적합한 자동 납땀 방식을 고려 안 한 결과이다. 고로 여기서 이 개념에 맞추어 새로이 개발된 방식을 소개한다.

3. 로봇 이용 진동납땀 시스템 개발

생산성을 향상시키기 위한 방법으로 다음과 같은 방향을 분석할 필요가 있다. 우선 로봇 경로의 최적화, 납땀 공정의 최적화, 납땀공구의 개선 그리고 진동납땀 방식의 개발을 들 수 있다.

첫 3가지 방식으로는 획기적인 향상을 기대할 수 없다. 여기서는 로봇에 적합한 납땀 기술의 하나로서 진동방식을 추가한 공정개발과 그 실험결과를 소개한다.

원리
로봇이용 자동납땀기술에서 땀납이송공정중 비교적 낮은 범위의 진폭과 주파수를 가진 추가 진동운동을 납땀공구가 수행함

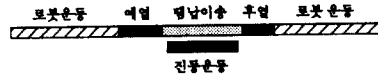


그림 4 로봇 이용 자동납땀 방식의 원리

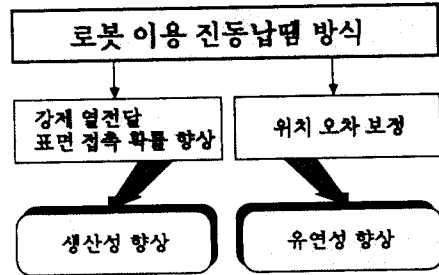


그림 5 진동납땀 방식의 효과

3.1 원리

진동납땀 방식은 그림 4에 설명되어 있다. 사이클 타임은 로봇 이동 공정과 납땀공정으로 분류되며 납땀공정은 예열공정, 땀납 와이어 공급공정, 후열공정으로 세분된다. 진동운동은 땀납 와이어 공급공정에서 추가된다. 이 방식의 효과를 요약하면 그림 5와 같다.

3.2 진동 모듈의 개발

납땀공구에 진동운동을 주기 위해 팀에 진동 발생기를 부착하였다. 다양한 방식이 있으나

표 4 진동 발생기의 종류 및 특징

진동 발생기	솔레노이드 자석		종류
	기계식	비기계식	
경량 소형 적합한 진폭/주파수 범위 적합한 출력 범위 좋은 제어성	솔레노이드 자석	솔레노이드 자석	대기 변속
	전자식, 자동	전자식, 자동	주파수 입력
	기계식, 수동	전자식, 자동	진폭 입력

솔레노이드 자석방식이 본 시스템에 적합한 성능을 제공한다. 본 실험에서는 개폐식 및 비례식을 사용하였으며 각기의 특징은 표 4와 같다.

진동발생기를 장착한 진동 모듈의 외관은 그림 6과 같다. 로봇과 핀/패드 간의 위치 관계

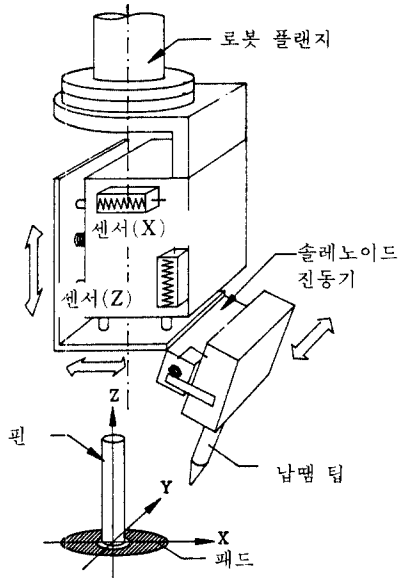


그림 6 진동 모듈

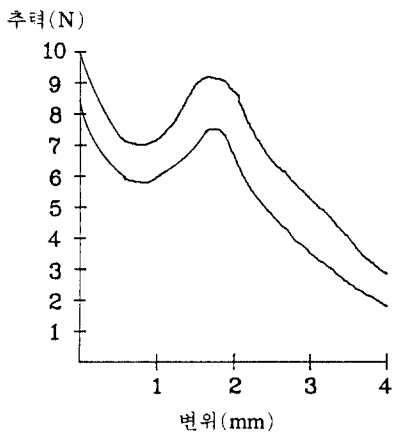


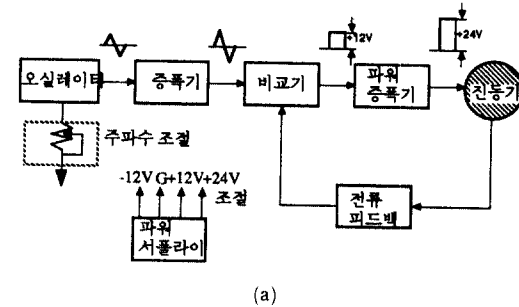
그림 7 개폐식 솔레노이드 자석의 변위대 추력 관계

는 다음과 같다. 로봇의 핀 접근 방향은 Y 방향이며 예열을 위한 가압공정 방향은 X, Z 방향이다. 진동 방향은 Y 방향에서 이루어진다. X, Z 방향의 센서는 가압력 측정 및 제어에 사용된다.

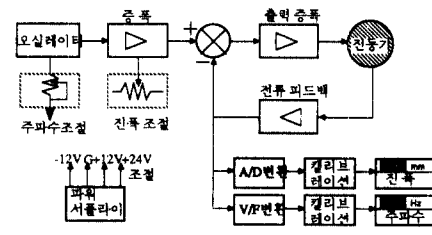
솔레노이드 자석의 운동 범위와 최대 추력과 상관계는 그림 7에 나타나 있다.

진동운동은 공구 제어기에서 제어 가능하며 진폭과 주파수의 최적치를 프로그래밍시키고 로봇 제어기에서 출력시켜 사용된다. 개폐식과 비례형 솔레노이드 자석의 제어 회로는 그림 8에 나타나 있다.

본 시스템은 필요한 진폭 및 주파수 범위 내



(a)



(b)

그림 8 솔레노이드 자석의 제어 블럭 다이어그램

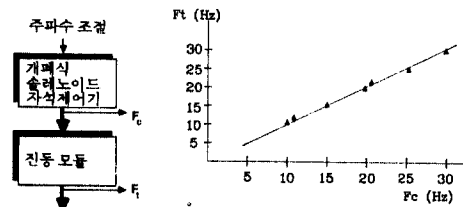


그림 9 제어부와 작동부에서의 출력 주파수 관계

에서의 안정성을 보여주고 있다. 그림 9는 제어 회로에서의 출력 주파수와 실제 납땜에서의 출력 주파수의 상관관계를 보여준다. 30Hz 까지 1:1 관계를 유지하고 있다.

3.3 영향분석

본 실험에서는 개발된 진동방식에 의한 자동 납땜 결과를 분석하고 기존 납땜 방식과의 비교 그리고 진동 납땜 방식에서의 특징들을 실험을 통해 해석하였다. 결과는 시각에 의해 품질검사를 하였으며 이상적인 납땜 접합의 단면은 그림 10과 같다.

최적 진폭 및 주파수 범위는 각 핀/패드 형상에 따라 변화하나 이제까지 실험한 결과의 최적 범위를 단순화시킨다면

진폭 : 0.1~0.7mm

주파수 : 10~28Hz

납땜 속도의 향상 평균치 : 16~35%

위치 오차 자동 보정 범위 : 0.2~0.6mm

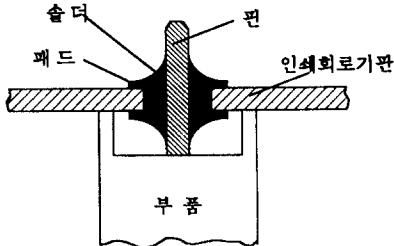


그림 10 이상적인 납땜 접합 형태

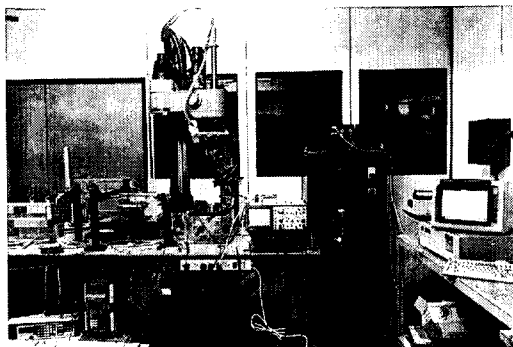


그림 11 진동납땜 모듈 성능 실험

진폭의 영향으로서 최적화되지 못한 변수 입력에서는 냉땀 집합과 과소 웨팅(wetting)을 들 수 있다. 주파수의 부적합치 입력에서는 과다 땀납 집합, 웨팅 불가, 냉땀 집합의 결과를 초래한다.

진동방식은 기존방식에서의 최적 매개 변수에 영향을 끼치며 예를 들면 최적 가압력 범위를 대폭 감소시킨다. 이는 납땜 공구 수명의 향상 효과를 가져온다. 그외 온도범위, 땀납 와이어 공급속도 및 시간의 변화를 들 수 있다. 그림 11은 개발된 진동납땜 모듈의 실험 장면을 보여준다.

4. 납땜 로봇 시스템의 유연성 향상 기술

기존 로봇용 납땜 공구 시스템은 간단한 기계적인 구조와 단순한 기능으로 인해 그 용도 범위도 한정되어 있다. 정밀 자동 납땜을 위해서 그 기능 향상이 필수적이다. 우선 납땜 위치 오차 발생시 그 영향은 부정확한 납땀점과 가압력의 변화를 초래한다. 납땀 위치 오차 발생 원인은 그림 12와 같이 분석된다.

납땀 위치 인식은 기존 시스템에는 집적되어 있지 않고 있으며 그 방식을 분류하면 다음과 같이 요약될 수 있다. 비교에서 광화이버 방식이 간편성 및 경비면에서 우월하다.

이 방식의 사용은 납땀 전 입력된 납땀 위치

납땀 위치 오차 원인

- 기판 포지셔닝 오차
- 기판 드릴링 오차
- 로봇트 정밀도/
반복 정밀도 오차
- 핀 포지셔닝 오차

그림 12 로봇 이용 납땀시 위치오차 발생 원인

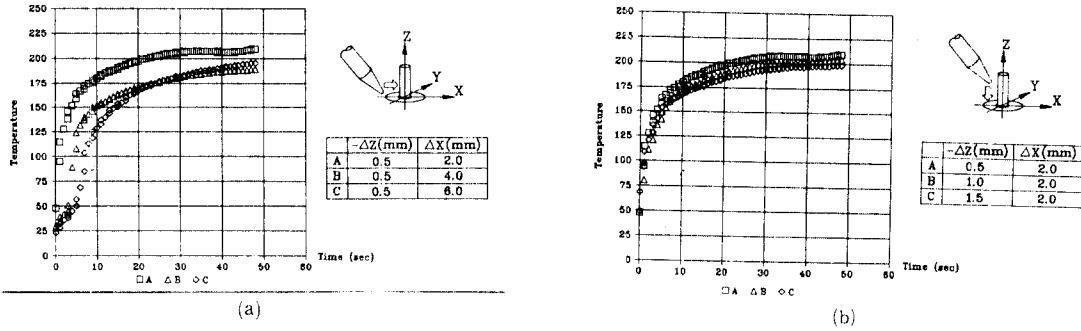


그림 13 가압력 변화와 열전달률과의 관계

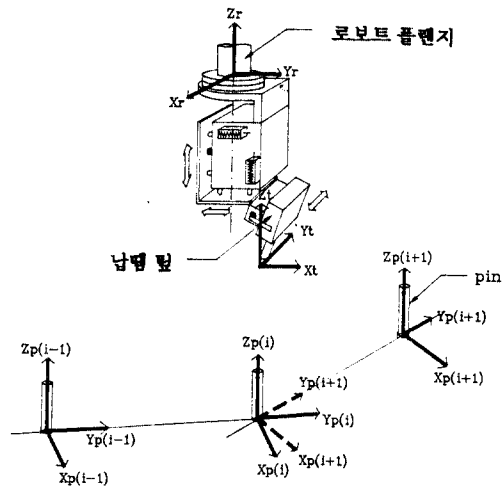
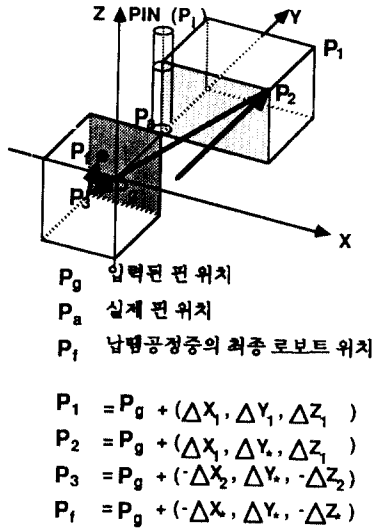


그림 15 납땜 로봇 시스템의 좌표계

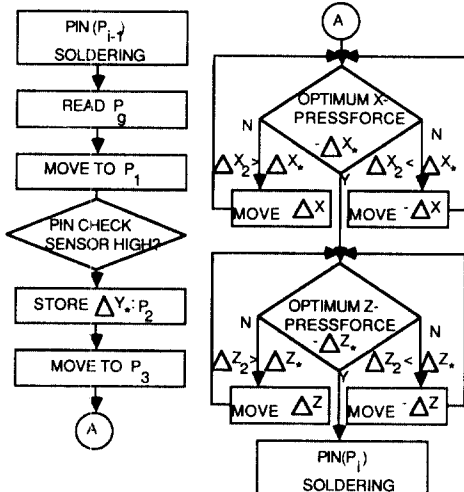


그림 14 위치 오차 교정 알고리즘

교정에 유용하다. 위치 오차에 의한 가압력의 변화는 납땜 품질에 영향을 끼친다. 일반적으로 가압력과 함께 열전달률이 향상되나 핀/패드 간에 존재하는 간격의 영향, 핀의 탄성 등의 요인에 의해 열전달이 방해되며 결국 각 핀/패드 배치에 따라 최적 가압력 유지가 요구된다. 그림 13은 X, Z 방향의 변위에 따른 열전달률의 비교를 보여준다.

그림 14는 로봇 이용 납땜자동화 시스템에서 핀 위치 오차 교정 및 가압력 제어 알고리즘을 제시하고 있다. 그림 15는 사용되는 좌표계를 보여주고 있다.

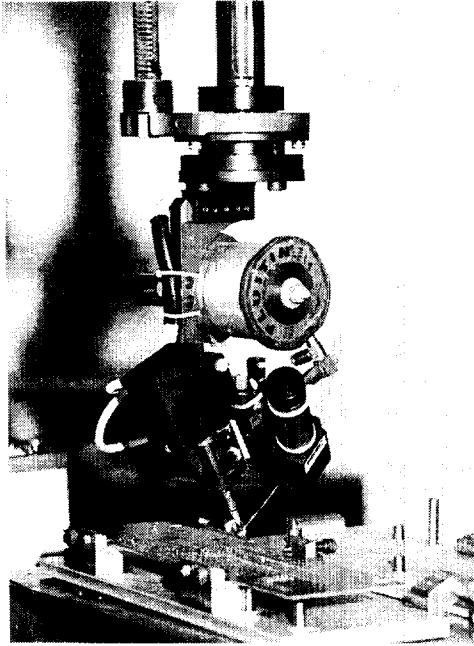


그림 16 로봇용 자동납땜 공구

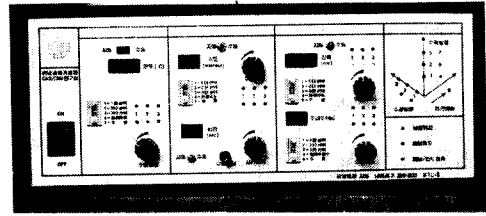


그림 17 납땜 공구 제어기

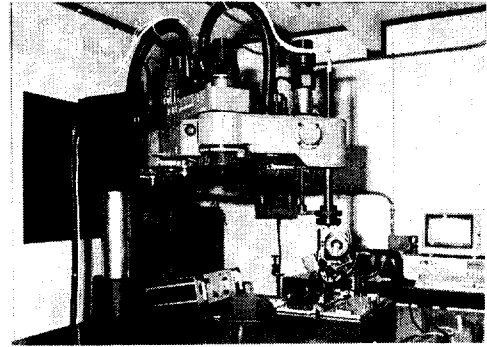


그림 18 KIST 납땜 로봇 셀

5. 맺음 말

로봇을 이용한 납땜자동화 시스템은 현재 산업계에서의 수요가 크게 일고 있다. 기존납땜 로봇 시스템은 느린 납땜 속도와 제한된 납땜 공구 기능으로 인해 그 응용범위의 확산을 저해하고 있다. 여기서는 로봇에 맞는 자동납땜용 공구 시스템(robotonomic tool system)이 개발되었다. 우선 그 특징으로서 진동납땜 공정을 개발하였으며 평균 25%의 생산속도 향상을 기하였다. 일정범위에서의 위치 오차 보정 기능을 가지고 있다. 위치 오차는 납땜점 오차와 가압력 오차를 초래하며 이는 납땜 품질의 신뢰도를 저하시킨다. 여기서 핀 오차 보정 및 납땜 가압력 최적화 공정을 추가한 유연성이 향상된 자동납땜 시스템을 개발하였다. 이는 정밀 자동납땜 로봇 시스템으로 그 응용범위를 확장시켰다. 그림 16은 개발된 납땜 공구 외관

을 보여주고 있으며 그림 17은 납땜 공구 제어기의 외관을 보여주고 있다. 그림 18은 KIST 납땜 로봇 셀의 외관이다.

참고 문헌

- (1) 박종오, 이춘식, 1988, "Mechatronics 및 Robot 기술 개발", 과학기술처 보고서 (2U46-3355-2).
- (2) Manko, H., 1986, "Soldering Handbook for Printed Circuits and Surface Mounting", Van Nostrand Reinhold Co.
- (3) 박종오, 이종원, 이춘식, 1989, "Spingler, Warnecke, Consideration on the Productivity and Flexibility in Automatic Soldering with Industrial Robots", ISIR.
- (4) 이종원, 박종오, 이대엽, 1988, "로봇을 이용한 납땜자동화 시스템의 개발", KACC.