

무연 솔더 제거를 위한 디지털 디솔더링 시스템 구현

오갑석^{1*}

¹동명대학교 전자공학과

Implementation of Digital Desoldering System for Removing Lead-free Solder

Kabsuk-Oh^{1*}

¹Dept. of Electronics Engineering, Tongmyong University

요약 본 논문은 무연 솔더를 제거하기 위한 디지털 디솔더링 시스템에 관하여 다룬다. 땀납의 모재가 유연납에서 무연납으로 변화된 작업환경에 대처하고, 설정온도에 빠르게 수렴하며 연속작업이 가능한 디솔더링 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 디솔더링 스테이션과 디솔더링건으로 구성되며, PID 온도제어를 위한 주변회로는 8bit MCU를 중심으로 설계하였다. 제안 시스템의 성능을 확인하기 위하여 동종의 수입품과 성능을 비교한 결과, 제안시스템은 기존 시스템에 비해 작업온도 도달시간은 11초 빠르며, 리플온도의 변화량은 1.5℃ 적고, 열 회복율은 약 0.14℃/초 빠르게 나타남을 확인 하였다.

Abstract This paper deals with a digital Desoldering system for removing lead-free solder. We proposed a Desoldering system that is to cope with the changed work environment of the solder materials changing from lead solder to lead-free solder, we can be quickly stable to the set temperature, and continuous operation is possible. Proposed system consists of a Desoldering station and a Desoldering gun. For the PID temperature control, we designed the 8bit MCU peripheral circuit. We had a few experiments to confirm the performance of the proposed system, and compared with the specification of same kind of imports. As a result, proposed system than the imported products showed good performance as follows: the time to reach operating temperature is 11 seconds faster, ripple temperature variation is 1.5℃ lower, temperature recovery rate is about 0.14 ℃/sec faster.

Key Words : Desoldering system, Lead-free Solder, Microprocessor, PCB, PID Controller

1. 서론

솔더링 관련 장비는 크게 인쇄회로 기판과 전자부품 리드 핀의 접합을 담당하는 솔더링 시스템과 PCB와 전자 부품간의 접합에 사용된 솔더를 제거하는 디솔더링 시스템으로 대별할 수 있다. 솔더링/디솔더링 작업의 모재는 Sn(70%)+Pb(30%)의 조성비를 갖는 유연납과 Sn(96.5%)+Ag(0.5%)+Cu (3%)의 조성비를 갖는 무연납(lead-free solder)이 있으며, 최근 환경오염 문제와 인체 건강 문제에 관심이 고조됨에 따라 납 성분을 함유하고

있는 유연납을 대체할 무연납이 개발되고 있다[1,2]. 이와 함께 디솔더링 관련 장비는 히터와 센서를 포함하는 디솔더링건과 노즐의 온도제어 기능을 포함한 스테이션으로 구성되며, 스테이션은 아날로그형에서 디지털형으로 발전하고 있다[3,4].

본 연구의 대상인 디솔더링 시스템은 PCB와 전자부품의 리드프레임 사이의 접합에 사용된 모재를 제거하는데 사용되며, 기존의 가전제품, 정밀 고가의 로봇 시스템, PDA를 비롯한 모바일 폰 시스템 등 PCB를 사용하는 조립작업에서 발생하는 수리(Repair) 공정 혹은 터치업

본 논문은 교육과학기술부·지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다.

*교신저자 : 오갑석(oks@tu.ac.kr)

접수일 11년 11월 04일

수정일 (1차 11년 11월 28일, 2차 11년 12월 15일)

게재확정일 12년 01월 05일

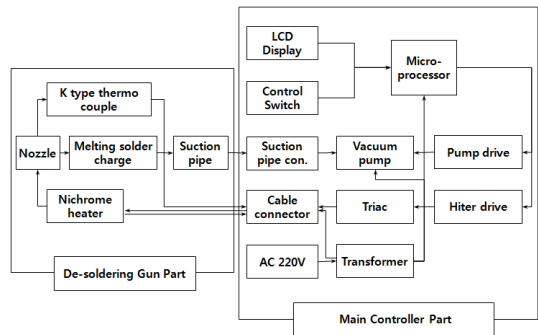
(Touch-up) 공정과 A/S에 이르기까지 다양한 분야에서 그 수요가 증대되고 있다. 수동형의 디솔더링 장비는 진공펌프를 탑재한 아날로그형으로 발전하면서 디솔더링건과 스테이션으로 분리되었으며, 아날로그형의 스테이션은 정확한 온도설정이 곤란하여 정밀제어가 어려운 단점을 가지고 있었다. 그리고 설정 온도와 무관하게 ON-OFF 제어로 동작하는 시스템은 온도가 낮은 상태에서 동작할 경우 완전히 용융되지 않은 솔더를 흡입하게 되어 PCB에 솔더가 잔존하여 리드프레임 제거가 곤란하고, 온도가 높은 상태에서 동작할 경우에는 솔더가 접합되어 있는 PCB의 동박(Copper) 또는 패턴(Pattern)까지 박리되어 작업 대상품이 파손될 수도 있다. 그리고 아날로그형 시스템은 작업온도가 250℃인 유연납 작업을 대상으로 하였으나, 최근 이러한 아날로그형의 단점을 보완하여 보다 정밀한 작업에 대응하도록 성능을 개선하여 사용온도가 350℃인 무연납 작업에 적용되고 있다[3,4].

따라서 디지털형 디솔더링 시스템은 저탄소 녹색 성장에 필수적으로 요구되는 무연납을 350℃ 이상의 고온으로 용융 시키고, 대상품이 손상되지 않도록 설정온도 연계형 제어를 설계하여야 하며, 설정온도까지 빠르게 수렴하는 기능, 디솔더링 작업시 모재로 방출된 열을 빠르게 회복 하는 기능, 정상상태에서 리플온도의 변화가 적은 성능을 가져야 한다. 이러한 성능을 충족시키기 위하여 PWM 제어방식의 온도제어[5]와 고주파 제어 기법[6]에서 트라이앵글 위상제어를 위한 PID 제어 기법[3]에 이르기까지 다양한 연구가 수행되고 있다. 그러나 참고문헌[3]의 영점검출 회로는 양(+)의 반주기 시작점만 검출하고 음(-)의 반주기 시작점은 유추함으로써 정현파의 전위상을 제어하지 못하는 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 개선된 영점검출 회로를 제시함으로써 트라이앵글의 전위상을 제어할 수 있음을 보인다. 이러한 제어를 구현하기 위하여 산업현장에서는 다양한 유형의 마이크로프로세서를 사용하고 있지만[7-9], 본 연구에서는 부품의 신속한 수급을 고려하여 국내 마이크로프로세서 생산업체인 어보브반도체(ABOV)의 범용 LCD 드라이브를 갖는 8051 계열의 8bit MCU 인 MC96F6632L을 중심으로 lead-free A/S 작업 전용의 디지털 디솔더링건 및 컨트롤러를 구현하여 시제품을 개발하고자 한다.

제안 시스템은 크게 H/W와 S/W로 나눌 수 있으며, H/W는 설정기 입력, 정현파 영점(Zero cross) 검출, 온도 센서 증폭, 주문제작한 LCD 및 진공펌프 등으로 구성되며, S/W의 주요 기능은 디솔더링건 노즐의 PID 온도 제어를 비롯한 각종 입출력 제어 기법이 적용되었다.

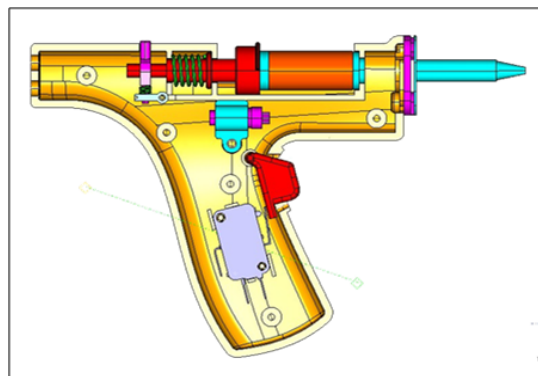
2. 시스템 설계 및 구현

제안한 시스템은 그림 1과 같이 니크롬 히터로 노즐을 가열하여 온도센서(K-type thermo couple)의 값을 피드백하고, 용융된 솔더를 흡입하는 관으로 구성된 디솔더링건부와 마이컴(MC96F6632L)의 입출력 제어를 담당하는 메인 제어부로 구성하였다.



[그림 1] 제안된 시스템의 구성도
[Fig. 1] Configuration of proposed system

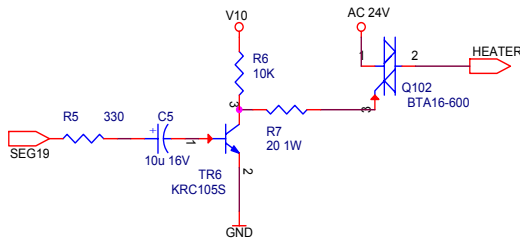
디솔더링건은 작업자 환경을 고려하여 그림 2와 같이 권총형으로 설계하였다. 디솔더링 스테이션과 탈착이 용이하도록 링형 7핀 콘넥터를 선택하여 노즐 가열용 전원 2핀, 온도센서 2핀, 스위치 접점 2핀, 접지 1핀으로 구성하였으며, 솔더흡입 파이프는 진공펌프 관과 별도로 연결하였다. 동파이프에 500 μ m로 철 도금한 관형 노즐은 내경 1mm과 외경 8mm사이 약 8 Ω 니크롬히터, K형 열전대 센서를 매입한 일체형으로 별도 탈착이 가능하도록 구성하였다.



[그림 2] 디솔더링건의 구성도
[Fig. 2] Configuration of de-soldering gun

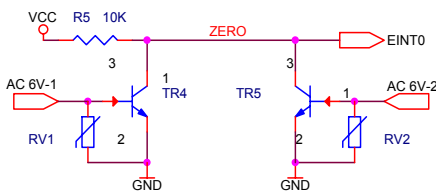
메인 제어기의 MCU는 LCD 모듈 디바이스 제어기능을 갖는 것으로, ATmel사의 ATmega329PV보다 납기가 빠르고 단가도 저렴한 ABOV사의 MC96F6632L을 채택하였으며, 8MHz에서 동작하도록 주변회로를 설계하였다. UP, DOWN, SET의 기능을 갖는 3개의 설정기와 온도센서의 입력은 ADC 기능을 갖는 AN[0:3]을 사용하였으며, 정현파의 영점 검출은 EINT0을, 트라이액 게이트 신호는 SEG19를, 진공펌프 제어신호는 VCL2를 사용하였다. 그리고 온 칩 디버깅(On chip debug)을 위해 DSCL과 SADA를 사용하였으며, LCD의 정보를 표시하기 위해 SEG[2:18]을 사용하고 공통단자는 COM[0:1]과 SEG[0:1]을 사용하였다. 주요 회로 설계 결과는 다음과 같다.

디술더런건의 노즐에 삽입된 니크롬 히터에 AC 24V/70W의 제어된 에너지를 공급하기 위해 사용되는 트라이액(16A, 600V) 구동 회로는 그림 3과 같으며, 정현파 전원의 반주기내에 트리거 신호를 발생시켜 위상을 제어할 수 있도록 하였다.



[그림 3] 트라이액 구동 회로
[Fig. 3] Triac driver circuit

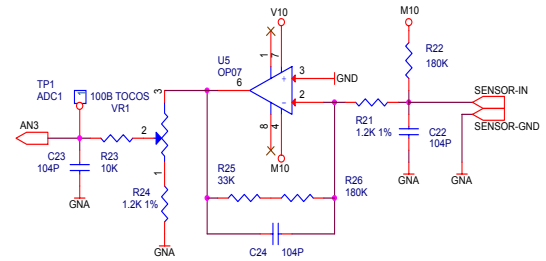
영점 검출은 그림 4와 같이 트랜스포머의 유도 기전력의 양의 반주기와 음의 반주기에서 트라이액 게이트의 트리거링 시작점을 검출하도록 회로를 설계하였으며, 영점 출력은 MCU의 EINT0에 입력되도록 하였다.



[그림 4] 영점 검출 회로도
[Fig. 4] Zero-cross circuit

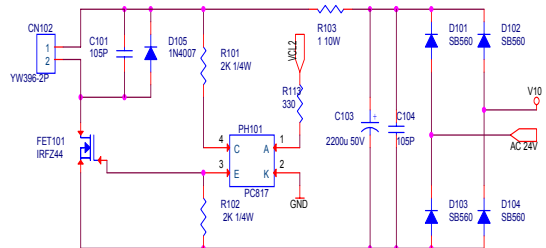
제안 시스템의 온도센서는 Thermocouple Temperature Sensor의 K형으로 온도의 변화가 -100°C~ 1000°C일 때 출력 전압은 -3.5mV~45.1mV의 기전력을 가지며 비선형

성을 갖는다. 온도 센서 증폭 회로는 그림 5와 같이 차동 입력 연산증폭기의 비반전 입력은 GND에 연결하고, 온도 센서의 출력은 반전 입력에 연결하여 온도 센서의 값을 약 170배 증폭하였다. 시스템의 작업온도는 통상 350°C이므로 이를 기준으로 마이크로프로세서 A/D 변환기의 입력을 2.4V가 되게 조정할 수 있도록 설계하였으며, 소프트웨어에서 비선형성을 갖는 온도값을 보상하였다.



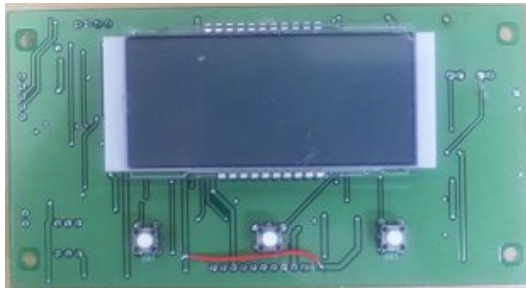
[그림 5] 온도 센서 증폭 회로
[Fig. 5] Temperature sensor amplifier circuit

진공펌프는 DC 24V, 3A, 650mmHG의 성능을 갖도록 주문 제작하였으며, 이를 제어하기 위한 회로는 그림 6과 같이 AC 24V를 정류하여 전원을 공급하고, 마이크로프로세서의 제어신호는 포토커플러를 이용하여 절연되게 설계하였다.



[그림 6] 진공펌프 구동 회로
[Fig. 6] Vacuum pump driver circuit

LCD 회로는 4개의 공통단자와 16개의 데이터 단자로 구성되어 62개의 발광 소자를 제어할 수 있도록 구현하였다. 이와 같이 설계된 회로를 메인부와 출력부로 나누어 PCB로 제작하였으며 그림 7에 나타내었다.



(a) 메인보드(표시부)
(a) Main board(display part)



(b) 메인보드(MCU부)
(b) Main board(MCU part)



(c) 출력부(전)
(c) Output part(F)



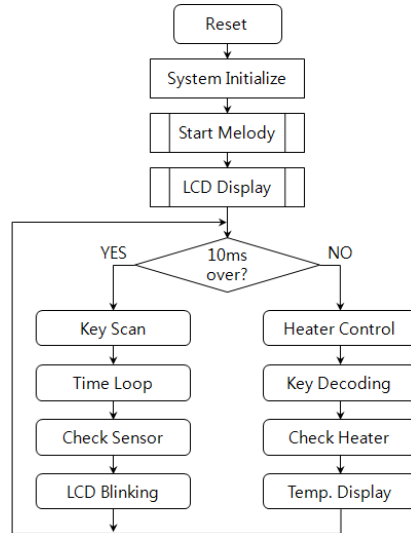
(d) 출력부(후)
(d) Output part(B)

[그림 7] PCB 제작 사진
[Fig. 7] PCB production photos

3. S/W 설계 및 구현

시스템 구현에 사용된 MCU 모델은 ABOV사의 MC96F6632L로서 Keil-C로 컴파일 하였으며, 다운로드를 위해 전용의 OCD interface H/W를 이용하였다. 소프트웨어 설계의 주요 입력 항목은 3개의 키 인식 및 온도 센서와 히터의 단락 인식이고, 주요 내부 처리 항목은 입력에 따른 처리로서 타이머 인터럽트 기반의 열 제어를 위한 알고리즘 구현과 각종 오류 처리이고, 주요 출력 항목은 내부처리에 따른 LCD에 해당 값 표시 및 출력제어로서 그림 8의 흐름도에 나타내었으며, 상세내용은 다음

과 같다.



[그림 8] 소프트웨어 흐름도
[Fig. 8] Software flow chart

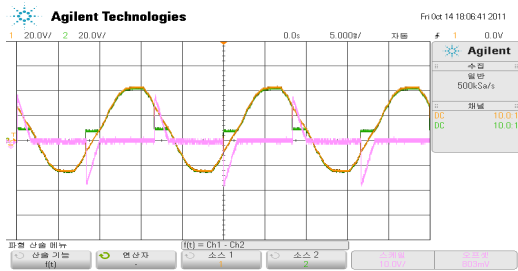
Key Scan은 UP, DOWN, SET 버튼에 해당하는 코드를 처리하고, 해당 버튼에 대한 처리는 Key Decoding에서 처리 한다. Time Loop는 현재 온도를 표시하면서 sleep 시간에 진입하면 슬립시간을 표시하고, sleep 시간이 경과하면 히터 가열을 종료한다. Check Sensor에서는 디솔더링건의 스위치를 인지하는 플래그가 설정되면 진공펌프 동작 신호를 출력하고, 노즐의 과열 방지를 위해 센서 온도가 600°C 이상이면, 오류메시지와 함께 히팅을 종료한다. Check Heater에서는 히팅 사이클이 30회 이상 일 경우 히터 개방 플래그가 설정되어 있으면 히터 가열을 종료한다. LCD Blinking에서는 히터 오류, 센서 오류, 전원 이상, 슬립모드에 대한 해당 문자를 표시한다.

한 주기의 정현파에서 2회의 영점 검출 인터럽트와 타이머 인터럽트를 이용함으로써 트라이앵글의 전 위상각을 다음과 같이 제어할 수 있다. 시스템의 클록 주파수는 8MHz이므로 T1CR에 8분주 프리스케일러를 적용하고 T1DRH에 82를 적용하여 83μsec에 한번 씩 인터럽트가 발생하도록 하였다. 제어 대상인 교류전원은 60Hz이므로 반주기에 해당하는 약 8.33msec 구간에서 100회의 트라이앵글 게이트의 구동 포인트를 갖는다. 설정온도에 빠른 수렴과 리플변화의 최소화를 위하여 산업현장에서 많이 사용되는 식(1)과 같은 PID제어기를 설계하였고[10,11], 계수는 지글러-니콜스의 튜닝법을 사용하여 $K_p = 6$, $K_i = 3$, $K_d = 3$ 으로 결정하였다[12]. 여기서 $\Delta e(t)$ 는

현재온도와 설정온도의 차이이다.

$$\begin{aligned} \Delta e(t) &= cur(t) - ref(t) \\ u(t) &= K_P[\Delta e(t) + \Delta e(t-1)] \\ &\quad + K_I \Delta e(t) \\ &\quad + K_D[cur(t) - ref(t)] \end{aligned} \quad (1)$$

설정온도가 100°C로 안정화 되었을 경우 PID 제어기에 의해 부하에 인가된 파형은 OSC를 이용하여 정현파와 트라이앵글 출력의 차이를 구해 그림 9에 나타내었다.

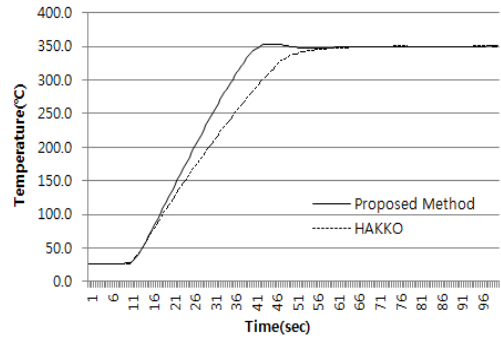


[그림 9] 부하에 인가된 파형
[Fig. 9] Waveform applied to the load

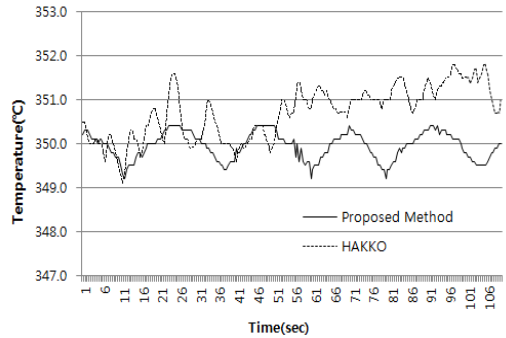
4. 실험결과 및 검토

동일 조건의 실험을 위해 두 시스템 모두 모재가 직접 접촉되는 노즐끝단에 K형 열전대를 용접하고, 220V 60Hz의 전원을 공급하여 제안시스템과 기존시스템[4]의 오프셋을 조절하여 설정온도를 350°C로하였다. 설정온도까지 상승시간, 전원 인가후 5분후의 리플온도 변화 및 무부하 디솔더링 작업시 온도의 변화에 대하여 0.5초 단위로 측정된 실험 결과를 각각 그림 10, 그림 11, 그림 12에 나타내었다.

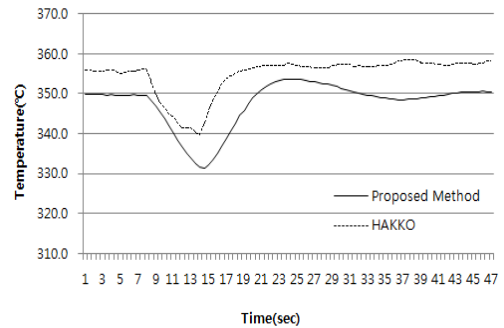
먼저 그림 10의 설정온도까지 상승시간 실험 결과, 27°C에서 350°C까지 상승하는데 제안시스템은 34초가 소요되었고, 기존시스템은 45초가 소요되어 제안방법이 11초 빠르게 도달하였다. 다음으로 전원을 인가한 다음 5분이 경과된 시점에 측정된 리플온도 변화 측정 결과를 그림 11에 나타내었으며, 제안시스템은 349.2°C에서 350.7°C까지 1.5°C의 온도 변화를 보인 반면 기존시스템은 349.1°C에서 352.1°C까지 3°C의 온도 변화를 보여 제안시스템의 리플온도 변화가 1.5°C 적었다.



[그림 10] 온도 상승시간 실험 결과
[Fig. 10] Experimental results of rising time



[그림 11] 리플온도 측정 결과
[Fig. 11] Ripple temperature measurement result



[그림 12] 디솔더링 작업에서 온도 변화
[Fig. 12] Desoldering operation temp. change

그리고 무부하 조건하에서 1회의 흡입 작업을 하였을 경우 온도 변화를 그림 12에 나타내었다. 제안시스템은 349.6°C에서 6.5초 후 331.4°C까지 온도가 하강하였고 다시 350.0°C까지 상승하는데 6초가 소요되어 2.80°C/초의 열 손실과 3.10°C/초의 열 회복을 보였으며, 기존시스템은 356.1°C에서 6초 후 339.8°C까지 온도가 하강하였고

였고 다시 356.1℃까지 상승하는데 5.5초가 소요되어 2.72℃/초의 열 손실과 2.96℃/초의 열 회복을 보여 제안 시스템의 온도 손실율은 약 0.08℃/초 빠르며 온도 회복율은 약 0.14℃/초 빠르게 나타났다. 이상의 측정 결과를 표 1에 나타내었다.

[표 1] 측정 결과 비교

[Table 1] Compare the measurement results

구 분	제안시스템	기존시스템[4]
작업온도도달시간(초)	34	45
리플온도 변화(℃)	1.5	3
작업시 열 회복율(℃/초)	3.10	2.96
작업시 열 손실율(℃/초)	2.80	2.72

측정 결과 비교표에 나타내었듯이 제안시스템은 기존 시스템에 비해 작업온도 도달시간, 리플온도 변화량, 작업시 초당 열회복 온도 모두 기존시스템보다 향상되었음을 알 수 있다. 그리고 제안시스템의 작업시 열 손실율이 높은 이유는 진공펌프의 흡입력을 높이기 위하여 기존시스템보다 30mmHg 크게 설계하였기 때문이라 사료된다. 또한 3가지 온도 측정 결과 그래프 모두에서 기존시스템의 리플온도 변화보다 제안시스템의 리플온도 변화가 안정적으로 나타남을 알 수 있다. 이는 본 논문에서 제안한 영점검출 회로의 보완에 따른 결과라 사료된다.

5. 결론

본 논문에서는 무연 솔더를 모제로 하는 땀납을 제거하기 위하여 디솔더링 스테이션과 디솔더링건으로 구성되는 디지털 디솔더링 시스템을 구현하였다. 기존의 트라이액 위상 제어 기법에서 전 위상을 제어하기 곤란한 영점검출 회로를 보완하였으며, 제안 시스템의 성능을 확인하기 위하여 시판되고 있는 외국 제품과의 성능을 비교한 결과 제안시스템은 기존시스템에 비해 작업온도 도달시간은 11초 빨랐으며, 리플온도의 변화량은 1.5℃ 적었으며 작업시 초당 열 회복율은 약 0.14℃ 빠르게 나타남을 확인 하였다.

향후 수출을 위해 다양한 전원과 전원주파수를 고려한 제품 개발을 계속 할 예정이며, 보다 우선하여 미려한 외관 디자인을 적용한 신제품을 출시할 예정이다.

References

- [1] J. H. Huang, et al, "A dislocation model of shear fatigue damage and life prediction of SMT solder joints under thermal cycles", *Microelectronics and Reliability*, Vol. 33, Issue 4, pp. 535-542, March, 1993.
- [2] M. Gronalt, et al, "A heuristic for component switching on SMT placement machines", *International Journal of Production Economics*, Vol. 53, Issue 2, pp. 181-190, November, 1997.
- [3] Kab-suk Oh, "Development of digital Solder Station Based on PID Controller", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 11, No. 3, pp. 866-872, March, 2010.
- [4] HAKKO, "http://www.hakko.com/english/products/hakko_fm204.html", October, 2011.
- [5] Yang-Ki An and Dong-han Yoon, "Design and Fabrication of then Digital Iron Using the Micro-processor", *The Institute of Electronics Engineers of Korea - System and Control*, Vol. 38, No. 5, pp. 33-41, September, 2001.
- [6] Kee-Young Park, "Processing and System] Hardware Realization of Low Consumption High Frequency Soldering Iron System", *The Institute of Electronics Engineers of Korea - IE*, Vol. 41, No. 2, pp. 43-48, June, 2004.
- [7] Ho-ik Jun, Hyun-Seob Cho, "Design of Digital Correction Circuits Using Microprocessor", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 12, No. 5, PP. 2291 -2293, May, 2011.
- [8] Won Ki Jung, Young Suk Kim, "Development of a Micronutrient acupuncture point treatment equipment", *Journal of the Korea Academia- Industrial Cooperation Society*, Vol. 11, No. 8 pp. 2958-2962, August, 2010.
- [9] Ji-Min Yoon, Chae-Young Lim, Kyung-Ho Kim, "A Study of Baby Sleeping Positions Sensing and Safety Band Using an Accelerometer", *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 15, No. 6, PP. 11-18, June, 2010.
- [10] Yun-Hyung Lee, Gang-Gyoo Jin, Myung-Ok So, "Simple Tuning Methods of PID Controller for Integrating Processes with Time Delay", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 32, No. 2, PP. 211-379, March, 2008.
- [11] Soo-Lyong Lee, et al, "PID Control of Unstable Processes with Time Delay", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 33, No. 5, PP. 637-777, July, 2009.

- [12] Katsuhiko Ogata, "Modern Control Engineering Second Edition", pp. 592-605, Prentice Hall, 1990.
-

오 갑 석(Kab-Suk Oh)

[종신회원]



- 1998년 9월 : 동경공업대학 종합이공학연구과 (공학박사)
- 2006년 2월 ~ 현재 : 동명대학교 전자공학과 부교수

<관심분야>

소프트컴퓨팅, 자동제어, 임베디드시스템