한국산학기술학회논문지
Vol. 11, No. 3, pp. 866-872, 2010

PID 제어기를 이용한 전기인두기의 온도 제어 시스템 개발

오갑석[1*]
[1]동명대학교 전자공학과

Development of Digital Solder Station Based on PID Controller

Kab-suk Oh[1*]
[1]**Dept. of Electronics Engineering, Tongmyong University**

요 약 본 논문에서는 전기인두기(soldering iron)의 히터에 공급되는 전압을 제어하여 안정적인 전원을 공급하는 PID 제어기를 이용한 전기인두기의 온도 제어 시스템을 개발하였다. 제안 시스템은 사용자가 설정한 온도에 빠르게 수렴하고, 외부 요인에 의한 열 손실을 빠르게 회복하도록 PID 제어기를 설계하였다. Ziegler- Nichols의 튜닝방법에 의해 설계된 PID 제어기는 히터에 인가되는 AC 24V 전원의 위상을 제어하기 위해 설정온도와 인두기의 현재 온도를 이용하여 트라이악의 구동 타이밍을 결정한다. 또한 그래픽 LCD를 내장하여 현재 인두의 온도 및 설정온도, 작업 진행 시간 등을 표시하는 기능을 부여하였으며, 작업을 하지 않는 휴지시간에는 적정온도로 낮추어 소비전력 감소와 인두팁의 수명연장을 고려하였다.
제안 방법의 성능을 확인하기 위하여 25℃의 실내에서 두 가지 실험을 실시하였다. 먼저 200℃, 300℃, 400℃, 480℃에 도달하는 시간 실험에서는 각각 12초, 12초, 16초, 18초씩 소요되어 기존의 방법보다 설정온도에 도달하는 시간이 단축됨을 확인하였다. 다음으로 300℃, 400℃, 480℃의 정상상태에서 부하 실험에서는 각각 3.8℃, 4.1℃, 4.5℃의 온도가 감소되어 기존의 방법보다 온도 편차가 적음을 확인 하였다.

Abstract In this paper, we developed a digital soldering station based on PID controller, which supply stable power by controlling the current of heater of soldering iron. The proposed system designed PID controller to converge quickly to the set up temperature by user, and regain the lost of heat by external factors quickly. PID controller, designed by Ziegler-Nichols' tuning method, decides triac's trigger timing using setting temperature and present temperature to control the phase of AC 24V power that supply to the heater. Also, we give the function that shows present temperature and setting temperature of iron, and working time by graphic LCD. And during the rest time, we decided the power saving and extension of iron tip by dropping to the optimal temperature.
Two experiments had implemented in 25℃ laboratory to confirm the performance of proposed method. The first experiment took 12sec, 13sec, 16sec, 18sec, reaching to 200℃, 300℃, 400℃, 480℃ respectively which result showed shorten of rising time than previous method. In the loading experiment of 300℃, 400℃, 480℃ steady state showed temperature drop of 3.8℃, 4.1℃, 4.5℃ which result showed the low temperature deviation than previous method.

Key Words : Digital Soldering Station, PID Controller, Phase Control, Microprocessor, Triac

1. 서론

오늘날 대부분의 산업 분야에서 사용되는 전자부품들이 갈수록 소형화, 박판화되는 추세에 따라 실장 기술이 날로 발전되고 있으며, 실장에 소요되는 PCB(Printed Circuit Board)도 정밀하고 소형화된 부품들이 장착될 수 있도록 디자인되고 있다. 이러한 관점에서 볼 때 표면 실장 기술은 전자 산업에서 주요 분야중의 하나이며, 선진 외국에서는 1980년대 획기적인 표면실장기술의 개발로 표면 실장 적층복합부품으로 국소화하기에 이르렀다

*교신저자 : 오갑석(oks@tu.ac.kr)
접수일 10년 02월 15일 수정일 10년 03월 11일 게재확정일 10년 03월 18일

[1-3]. 이에 따라 PCB상에 실장된 소형 부품의 조립 및 수리를 위해 사용되는 전기인두기의 성능도 점차 개선되고 있다.

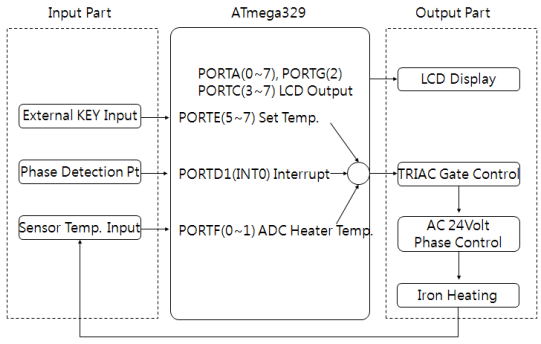
전기인두기는 전자부품의 리드프레임과 PCB간의 상호 접합을 주목적으로 하고 있으며, 이에 수반되는 땜납은 Sn-Pb 합금이 전자제품 조립 및 실장에 널리 이용되어왔다. 그러나 Sn-Pb 합금은 Pb 성분에 의한 환경오염과 인체건강에 대한 우려 때문에 사용을 제한하거나 금지하고 있다. 이와 같은 규제에 대응하여 Sn-Pb 합금을 대체할 무연땜납으로 Sn-Ag, Sn-Bi, Sn-In 등의 공정 조성에 제3원소를 첨가하여 미세조직 및 융점, 물성을 개선하고 있다[4-6]. 이러한 무연땜납이 C-MOS 및 SMD(Surface Mounted Device) 타입의 소자를 대상으로 하는 제품의 생산 및 수리에 사용되어짐에 따라 이에 대응하는 무연납용 전기인두기의 개발이 요구되고 있다.

전기인두기는 팁의 온도 변화가 심할 경우 땜 불량으로 인한 생산성 감소 문제와 반도체 소자의 성능에 영향을 미치는 문제가 발생한다. 최근 이러한 문제를 해결하기 위하여 전기인두기에 전원을 공급하는 장치인 스테이션과 온도센서를 내장한 인두기를 분리하는 추세이다. 스테이션 분리형 인두기의 기본 요건은 설정온도로 수렴이 빨라야하며, 충분한 축적 열량으로 연속 부하 작업이나 주위 환경에 따른 온도 변화가 적어야 한다. 이러한 요건을 충족시키기 위하여 PWM 방식의 온도제어[7]과 고주파 제어[8] 기법을 적용한 연구가 있다. 그러나 설정온도에 보다 빠른 수렴과 정상상태에서의 온도편차를 줄이기 위해 본 연구에서는 PID 제어기법[9]와 트라이액을 이용한 위상제어[10]을 고려하고자 한다.

산업현장에서 사용되는 8bit 마이크로프로세서는 수십 Kbyte 이상의 메모리를 내장하고, 입출력, 아날로그 디지털 변환 등 다양한 기능을 갖추고 있어 제어기 탑재가 수월하므로 본 논문에서는 ATmega329 프로세서를 기반으로 인두기에 안정적인 열량을 공급하는 전기인두기의 온도제어 시스템을 개발하였다. 제안 시스템은 인두기에 내장된 온도센서의 출력 전압을 마이크로프로세서의 A/D 변환기를 통해 온도로 변환하고, 사용자가 설정한 온도와 함께 PID제어기의 입력으로 사용한다. Ziegler-Nichols의 튜닝 방법을 적용한 PID 제어기의 출력은 24V 60Hz 교류전원의 위상을 제어하여 인두기에 열량을 공급한다. 무부하의 조건으로 정상상태에 도달하는 시간 측정 실험과 정상상태에서 부하 실험 결과 기존의 방법에 비해 정상상태 도달 시간과 온도편차가 우수함을 확인하였다.

2. 하드웨어 설계 및 제작

본 논문에서 제안한 PID 제어기를 이용한 전기인두기의 온도 제어 시스템은 그림 1에 나타내었듯이 마이크로프로세서를 중심으로 입력부분과 출력부분으로 나누어진다. 입력부분은 시스템의 기능을 설정하는데 사용하는 키, 교류 전원의 위상을 검출하는 회로와 인두기에 내장된 K형 열전대 센서의 증폭 회로로 구성된다. 출력부분은 설정용 키 값에 대응하는 정보와 실시간 인두기 온도 등을 표시하는 LCD 회로와 위상제어로 히터에 AC 24V를 공급하는 출력 드라이브 회로로 구성된다.



[그림 1] 시스템 구성도

자세한 설계 내용은 다음과 같다. 먼저 전원 공급을 위한 트랜스포머는 1차 입력이 220V 60Hz이고 2차 출력이 24V, 6V, 접지로 구성되는 80W급을 사용하였다. 다음으로 시스템의 기능 설정을 위한 3개의 버튼인 Up, Down, Enter 키는 MCU의 PORTE에 연결하였으며, 프로그램 다운로드를 위해 VCC, GND, RST, SCK, MISO, MOSI로 구성된 커넥터를 준비하였다. 그 외 마이크로프로세서의 선정, 액정 LCD display 회로, 온도 센서의 증폭회로, 위상 검출 회로와 트라이액 구동 회로에 대한 구체적인 설계는 다음과 같다.

2.1 마이크로프로세서의 선정

각종 산업 현장에서 사용되는 8bit 마이크로프로세서는 다양한 사양을 갖추고 판매되고 있다. 그중 ATMEL사의 AVR 시리즈는 하버드 구조의 고성능 8비트 RISC형 마이크로컨트롤러로써 대용량의 플래시 메모리를 내장하고 있으며 이를 사용자가 쉽게 반복적으로 프로그래밍을 할 수 있어 매우 편리하다. 또한 다운로드 통신 사양이 공개되어 있고 어셈블러와 C 컴파일러가 무료로 제공되어 개발자들에게 각광을 받고 있다. 보통 가격과 메모리 용량 등을 고려하여 ATmega128 프로세서를 사용하지만,

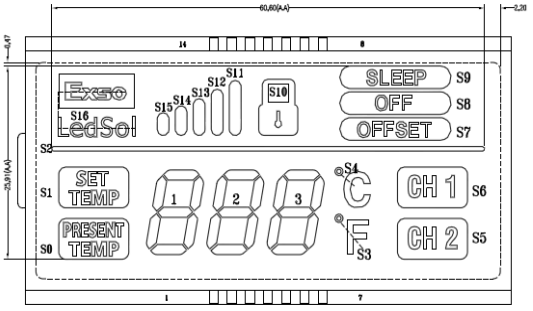
본 연구에서는 표 1에 나타낸 바와 같이 메모리 용량을 고려하면서 4개의 공통단자와 25개의 세그먼트 단자를 할당한 ATmega329 프로세서를 선정하였으며 클록은 16MHz의 크리스털 발진기를 채택하였다.

[표 1] MCU 사양

Device	Flash	EEPROM	RAM	LCD Segments	I/O Pins
ATmega128	128K Bytes	4K Bytes	4K Bytes	-	54
ATmega329	32K Bytes	1K Bytes	2K Bytes	4x25	54

2.2 액정 LCD Display 설계

액정 LCD Display 모듈은 그림 2와 같이 현재온도, 설정온도, 화씨 및 섭씨, 채널 표시, 각종 모드 표시 등의 정보를 나타낼 수 있도록 설계하였으며, 총 14핀으로 구성하였다.



[그림 2] 액정 LCD Display 모듈 구성

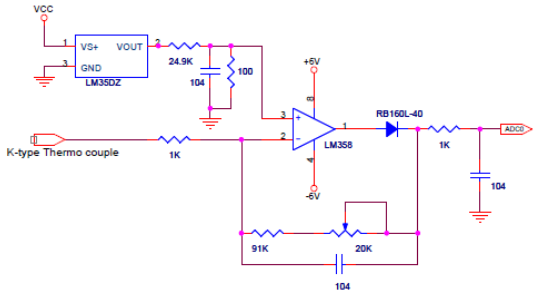
14개의 핀 중 10개의 핀은 각종 정보를 나타내는데 사용하고 4개의 핀은 공통단자의 선택 핀으로 사용한다. 표 2에 보이는바와 같이 3개의 7-세그먼트에 대한 21개 의 숫자 표시 요소와 S0에서 S16까지 17개의 정보 표시 요소를 하나의 핀에 최대 4개씩 할당하여 1번 핀에서부터 10번 핀까지 사용하고, 각 핀에 할당된 4개의 요소는 공통 단자인 COM1에서 COM4까지 연결을 위해 11번 핀에서 14번 핀까지 4개의 핀을 할당 하였다. 이렇게 구성된 LCD는 ATmega329의 4X25 세그먼트 LCD 드라이버의 4개의 공통단자와 10개의 세그먼트 단자에 연결하여 각종 정보를 표시 하였다.

[표 2] LCD 모듈의 핀 구성

PIN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
COM1	S0	1A	S1	2A	S2	3A	S6		S10	S16				COM1
COM2	1F	1B	2F	2B	3F	3B	S5	S7	S11	S15			COM2	
COM3	1G	1C	2G	2C	3G	3C	S4	S8	S12	S14		COM3		
COM4	1E	1D	2E	2D	3E	3D	S3	S9	S13		COM4			

2.3 온도 센서의 증폭회로

제안 시스템의 인두기에 내장되어 있는 온도센서는 K형 열전대로서 온도 증감에 따라 출력 전압이 거의 선형적으로 변화하는 특성을 가지고 있으며, -100°C~0°C~1000°C 사이의 온도 변화에 따라 -3.5mV~0~45.1mV의 기전력을 가진다. 그리고 상온 측정용 LM32DZ 센서는 10.0mV/°C의 정도를 가지며 선형적이다. 따라서 두 가지 온도 센서는 mV 단위의 전압을 출력하므로, 기준전압이 5V이고 10비트의 분해능을 가지는 마이크로프로세서 A/D변환기 입력으로 사용할 수 있도록 그림 3과 같이 증폭회로를 설계하였다. 상온 센서의 출력은 차동입력 연산증폭기의 비반전 입력에 연결하고, 인두기 센서의 출력은 반전 입력에 연결한다. 그리고 연산증폭기의 이득을 약 100으로 설정하여 최대 50mV의 전압에 해당하는 1000°C까지 반영할 수 있도록 하였으며, 센서의 특성을 고려하여 ±10% 정도 가감할 수 있도록 설계하였다.

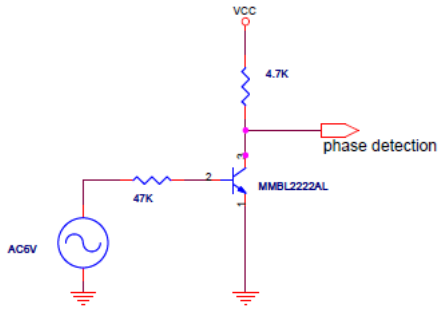


[그림 3] 온도 센서 증폭 회로

2.4 위상 검출 및 트라이액 구동 회로

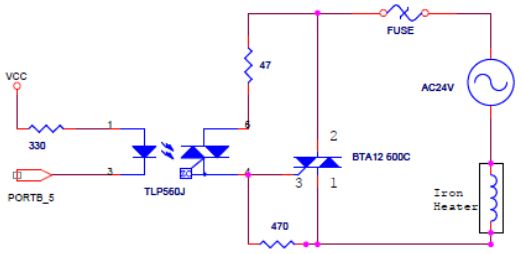
인두기에 공급되는 AC 24V의 전원은 60Hz이며, 반주기마다 위상제어를 통하여 히터에 흐르는 전류를 제어할 수 있도록 설계하였다. 위상제어를 위해 전원 공급원은 TRIAC을 통하도록 설계하였으며, 트라이악의 게이트 트리거 신호 발생은 MCU 내부에서 계산되어져 교류 전원이 0V 전위가 되는 시점으로부터 다음 0V 전위가 되기 전에 인가되도록 한다. 0V 전위의 동기를 맞추기 위해 그림 4와 같이 6V의 전원을 사용하여 위상을 검출하는 회로를 설계 하였다. 이 회로는 교류전원의 양(+)의 반주기 동안 논리 LOW 신호를 출력하고 음(-)의 반주기 동안은 HIGH 신호를 출력한다. 이렇게 검출된 위상 신호는

ATmega329의 외부 인터럽트 INT0핀과 연결하여 논리적 변화에 따라 내부적으로 해당 인터럽트 벡터를 수행할 수 있도록 하였다.



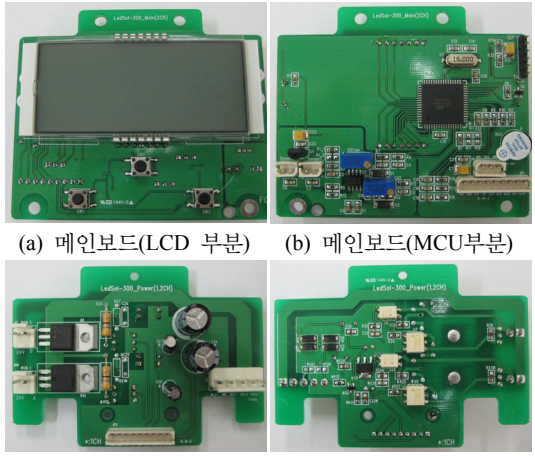
[그림 4] 위상 검출 회로

그림 5에는 인두기의 히터 제어를 위해 사용된 트라이악의 구동 회로를 나타내었다. 위상제어를 위해 ATmega329 내부에서 계산된 트라이악의 구동 신호는 PORTB의 Bit5를 통해 TLP560J 소자의 3번 핀인 다이오드 캐소드에 인가되어 터미널 4번 핀의 출력이 트라이악의 게이트 트리거 신호로 전달되며, 정현파 반주기 사이에서 트라이악의 게이트에 트리거 신호가 인가되면 해당 극성이 바뀔 때까지 트라이악은 도통되고 인두기 히터를 가열하게 된다.



[그림 5] 트라이액 구동 회로

이렇게 설계된 회로는 그림 6과 같이 메인보드와 전원 제어부로 나누어 PCB를 제작하고 부품을 조립하였다. 여기에 인두기 연결 커넥터 PCB를 추가하여 108.5(W)×132(H)×126.5(D) 크기의 목업으로 포장한 그림 7과 같은 시작품을 제작하였다.



(a) 메인보드(LCD 부분) (b) 메인보드(MCU부분)

(c) 전원 제어부(전면) (d) 전원 제어부(후면)

[그림 6] PCB 부품 조립

[그림 7] 시작품 제작 결과

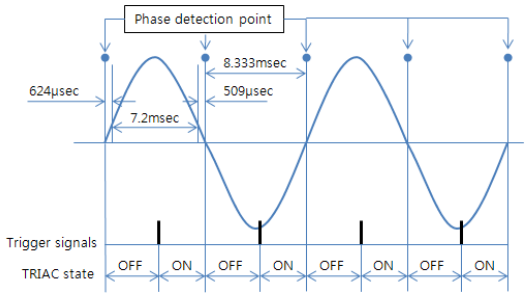
3. 소프트웨어 구현

3.1 트라이액 구동 알고리즘

앞서 설명한 교류전원 전압의 위상 검출 신호는 MCU에서 외부 인터럽트로 입력받아 처리하기 위해 상태 레지스터의 I비트와 INT0 인터럽트 마스크를 SET 시키고, 외부 인터럽트 제어 레지스터(EICRA)의 ISC01 비트와 ISC00 비트를 0과 1로 설정하여 INT0 핀에 입력되는 신호가 논리적으로 변함에 따라 인터럽트를 발생시키도록 하였다.

60Hz의 교류전원에서 이러한 위상 변화는 한주기에 2회 나타나고, 반주기 주파수가 120Hz이므로 약 8.333msec가 된다. 그림 6에 나타낸바와 같이 트라이악의 도통 특성과 효율적인 제어를 위하여 위상 검출지점

으로부터 624μsec 구간과 동일 위상이 끝나기 직전 509μsec 구간을 제외시킨 나머지 7.2msec 구간을 제어 대상으로 하였다. 시스템의 클록주파수가 16MHz이므로, 64분주의 프리스케일러를 적용한 다음 72μsec에 1번씩 인터럽트가 발생되도록 TCNT0에 238을 대입하여 전원의 반주기 동안 트라이악의 게이트 구동 타이밍이 100회가 되도록 하였다.

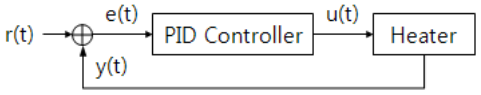


[그림 6] 트라이악의 도통 시점

본 연구에서는 트라이액 게이트의 트리거 시점 결정을 위해 그림 7과 같은 PID 제어기[10,11]를 설계하였으며, Ziegler-Nichols의 튜닝방법[12]을 사용하여 식(1)의 비례계수 K_P, 적분계수 K_I와 미분계수 K_D를 각각 0.62, 0.47, 0.13으로 결정하였다.

$$u(t) = K_P(e(t) - e(t-1)) + K_I e(t) + K_D[e(t) - 2e(t-1) + e(t-2)] \quad (1)$$

여기서, $e(t)$는 $r(t) - y(t)$로 설정온도와 인두기 출력온도 차이다.



[그림 7] PID 제어기

3.2 키 설정 기능

제안 시스템의 기본 기능은 바 형태의 히터 출력 표시, 설정온도와 현재 사용온도 표시, UP/DOWN 방식으로 최저 100℃에서 최고 500℃까지 온도를 설정할 수 있다. 그 외 3개 버튼인 Up, Down, Enter 키를 사용하여 설정할 수 있는 기능을 표 3에 요약하여 나타내었다.

[표 3] 버튼으로 설정 가능한 기능

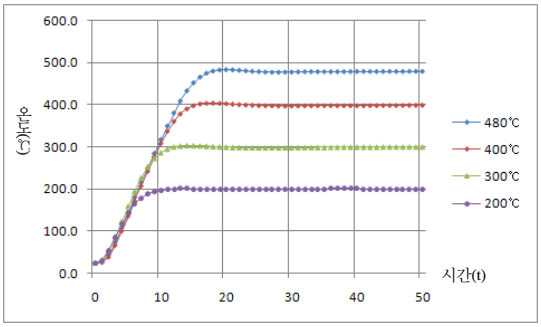
기능	설명
인두팁 선택	서로 다른 4종의 팁을 선택하는 기능
설정온도 잠금 (Lock)	설정된 온도를 임의로 변경하지 못하게 3개의 숫자로 된 암호를 입력하여 설정온도를 보호하는 기능
예열온도 설정 (Sleep)	일정시간 사용하지 않을 때 예열모드로 전환되며 이때의 예열 온도를 100~300℃로 설정하는 기능
예열 시작 시간 설정	0분~30분 사이의 예열 시작 시간을 설정하는 기능
자동 전원 차단	설정된 예열시간 종료 후 자동으로 전원이 차단될 때까지의 시간을 10분~60분까지 설정하는 기능
온도 보정	사용자가 현재 작업온도를 감안하여 인두기 온도를 보정하고자 할 때 사용하는 기능
Buzzer on/off	부저 음을 사용할 때에는 ON, 사용하지 않을 때는 OFF 선택하는 기능
온도표시 변환	℃ 혹은 °F로 온도표시 변환 기능
초기화(Reset)	모든 설정치를 초기 값으로 돌릴 때 사용하는 기능

4. 실험결과 및 고찰

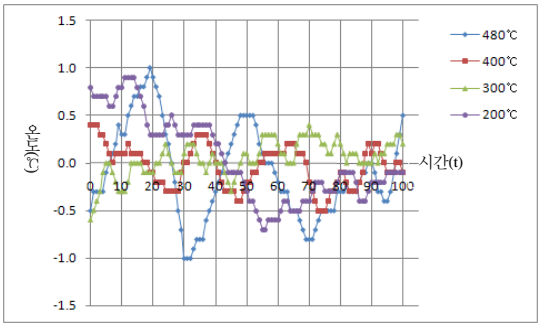
제안 시스템의 성능을 알아보기 위하여 상온 25℃의 실험실 환경에서 무부하시 설정 온도에 도달하는 시간 및 이후 정상상태에서의 온도 편차 실험과 납땜 부하시 순간 온도 변화에 대한 실험을 실시하였다. 무연납은 약 350℃ 이상에서 잘 용해되고 일반 실납은 250℃ 이상에서 용해된다. 본 연구에서는 기존 연구와의 성능 비교를 위해 납성분이 들어있는 일반 실납을 사용하여 실험하였다.

먼저 온도를 200℃, 300℃, 400℃, 480℃로 설정하고, 설정 온도에 도달하는 시간을 측정한 결과를 그림 7에 나타내었으며, 각각 12초, 13초, 16초, 18초를 기록하였다. 히터의 가열 시작부터 50초까지의 구간에서 최대 온도는 각각 200.9℃, 303.2℃, 404.9℃, 483.4℃로 최대 오버슈터 온도는 4.9℃를 나타내었다.

그리고 50초 이후부터 100초 동안의 정상상태 온도 편차를 그림 8에 나타내었으며, 4가지 설정온도에서 최대 ±1.0℃ 범위의 온도 편차를 보였다.

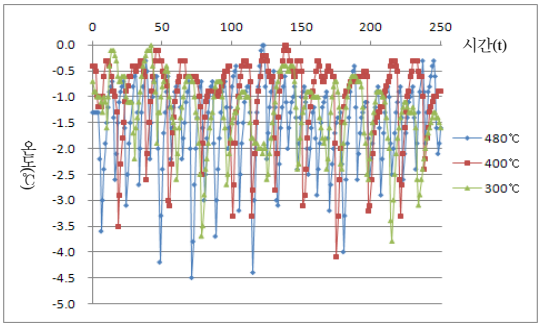


[그림 7] 설정 온도에 도달하는 시간 측정 결과



[그림 8] 정상상태 온도 편차

다음으로 300℃, 400℃, 480℃의 정상상태 온도를 유지하는 동안 약 1그램의 납을 녹이는 부하 실험을 실시한 결과를 그림 9에 나타내었다. 이때 온도 변화는 최대 3.8℃, 4.1℃, 4.5℃씩 감소함을 확인할 수 있었다. 단, 200℃일 경우에는 땜납의 융점이 맞지 않아 제외하였다.



[그림 9] 부하시 온도 변화 실험

이상의 실험 결과를 기존방법인 PWM방식에 의한 제어[7] 및 고주파 인두기[8]의 성능을 비교하여 표 4에 나타내었다. 고주파 인두기는 설정온도를 320℃로 하여 각 온도에 도달하는 시간을 측정한 결과를 제시하므로 400℃ 이상의 결과는 320℃의 결과로 대체하였다.

[표 4] 기존 방법과의 성능비교

구분 \ 방법	PWM[7]	고주파[8]	제안방법
200℃ 도달시간	50[sec]	19[sec]	12[sec]
300℃ 도달시간	54[sec]	33[sec]	13[sec]
400℃ 도달시간	58[sec]	37[sec] over	16[sec]
480℃ 도달시간	68[sec]	37[sec] over	18[sec]
정상상태 온도편차	±1.8℃	-	±1.0℃
순간납땜 온도편차	2℃~5℃	-	2℃~4.5℃

설정온도가 200℃일 경우 제안방법은 고주파의 방법보다 7초, PWM 방법보다 38초 빨리 설정온도에 도달하였으며, 480℃일 경우 제안방법은 각각 19초, 50초 빨리 설정온도에 도달함을 확인하였으며, 정상상태의 최대 온도 편차가 PWM 방법에 비해 제안방법이 ±0.8℃ 적게 나타났다. 그리고 납땜 부하에 의한 순간 온도편차는 PWM 방법이 2℃~5℃의 범위를 보인 반면 제안방법은 2℃~4.5℃의 범위를 보였다.

이상의 결과로부터 제안방법이 기존의 방법보다 설정온도에 도달하는 시간이 빠르고, 정상상태의 최대 온도편차와 납땜시 최대 순간온도 편차가 적음을 확인하였다. 이는 전기인두기의 특성인 빠른 온도상승과 설정온도로의 복원 능력이 기존의 방법보다 우수함을 나타낸다고 사료된다.

5. 결론

PCB상의 부품 조립, 수리 등을 위한 납땜 작업시 사용되는 전기인두기는 팁의 온도가 빠르게 설정 온도로 수렴하고, 연속 땜 작업에도 온도 감소가 적으며 설정온도로의 복원이 빨라야 한다. 이러한 특성을 갖도록, 본 논문에서는 PID 제어기를 이용한 전기인두기의 온도 제어 시스템을 개발하였다. 제안 시스템은 8비트 마이크로프로세서에 PID 제어기를 구현하여 히터에 인가되는 AC 24V 전원의 위상을 제어하였으며, 액정 LCD 모듈을 제작하여 시스템 동작에 필요한 정보를 표시하는 기능을 구현하였다.

그리고 설정 온도까지의 상승시간 측정 실험 결과 제안 방법이 최소 7초에서 최대 50초 이상 빨리 상승하였으며, 정상상태 온도 편차 실험 결과에서는 ±0.8℃ 적게 나타났다. 그리고 부하 실험 결과 기존의 방법에 비해 0.5℃정도 적은 편차를 보였다.

국내 시판되고 있는 전기인두기의 온도제어 시스템은 대부분 수입품에 의존하고 있으므로 본 연구의 결과는

수입 대체 효과 뿐만 아니라 수출도 가능하리라 사료되며, 향후 선진 우수 제품과의 성능 비교에서 앞서기 위하여 인두기 팁의 물성과 구조개선 등에 관한 연구를 계속할 계획이다.

참고문헌

[1] J. H. Huang, Y. Y. Qian, Y. H. Jiang, Q. L. Wang, "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, 1993.

[2] M. Gronalt, M. Grunow, H. O. Günther, R. Zeller, "A heuristic for component switching on SMT placement machines", International Journal of Production Economics, Vol. 53, Issue 2, pp. 181-190, 1997.

[3] 방정환, 이창우, 이종현, "무연솔더 적용한 0402 칩의 공정제어", 대한용접접합학회 2007년 추계학술발표대회 개요집, pp. 218-221, 2007.

[4] 김시중, 배규식, “Sn-3.5Ag/Alloy42 리드프레임 땜납 접합의 미세조직과 접합특성에 관한 연구”, 한국재료학회지 제9권, 제9호, pp. 926-931, 1999.

[5] 서윤종, 이경구, 이도재, “Sn-Bi-Ag계 땜납과 Cu기판과의 젖음성, 계면 반응 및 기계적 성질에 관한 연구”, 한국주조공학회, 제17권, 제3호, pp. 245-251, 1997.

[6] 김성철, 최승철, 김원중, "무연 납땜용 볼의 표준화에 관한 연구", 한국마이크로전자및패키징학회 2002년도 춘계 기술심포지움 논문집, pp. 219-223, 2002.

[7] 안양기, 윤동한, “마이크로프로세서를 이용한 디지털 전기인두기의 설계 및 제작”, 전자공학회논문지. 시스템 및 제어, 제38권, 제5호, pp. 33-41, 2001.

[8] 박기영, “저소비전력 고주파인두기의 하드웨어 구현”, 전자공학회논문지-IE 전자공학회논문지 제41권, TE편, 제2호, pp. 43 ~ 48, 2004.

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

[10] 장진혁, 황락훈, 조문택, “폐로프 자속추정기를 이용한 철도차량의 유도전동기 센서리스 벡터제어”, 한국산학기술학회논문지 Vol. 7, No. 6, pp. 1092-1099, 2006.

[11] 김영춘, 송호빈, 조문택, “비례적분제어기와 feedfor-ward 외란상쇄 관측기의 비교분석”, 한국산학기술학회논문지 Vol. 10, No. 12, pp. 3581-3586, 2009.

[12] 배철오, 박영산, “PIC를 이용한 다수의 전구 밝기제어에 관한 연구”, 해양환경안전학회지 제13권 제3호, pp. 235-240, 2007.

오 갑 석(Kab-Suk Oh) **[종신회원]**

- 1993년 2월 : 부경대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1998년 9월 : 동경공업대학 종합이공학연구과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 2006년 2월 : 동명대학 조교수
- 2006년 2월 ~ 2010년 2월 : 동명대학교 정보통신공학과 조교수
- 2010년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 전자공학과 조교수

<관심분야>
소프트컴퓨팅, 영상처리, 인공지능, 임베디드시스템