

이종의 인두기 히터를 제어하는 솔더링 스테이션 A soldering station controller for two types heater

오갑석*†
Kab-suk Oh*†

(Received 9 April 2015, Revision received 27 April 2015, Accepted 1 May 2015)

Abstract: This paper introduced a design method of soldering station that can control two types of soldering iron heater. At design time, to distinguish two types of soldering iron heater the voltage divider rule has been applied, and the distinguished resistor is inserted to handler of soldering iron to prevent misuse by users. And an algorithm to design a PID controllers is proposed. The proposed controllers parameter which can be easily realized, and are designed by using the input output data from systems, and have outstanding ability making the output response of nonlinear systems similar to the desired one. Temperature control experiments were performed to verify the ability of the suggested controller. As a result, suggested PID controller followed the desired ones, and one soldering station can control the various type of soldering irons in real time.

Key Words : Soldering station, Temperature control, Soldering iron heater, PID controller

1. 서 론

오늘날 대부분의 산업 분야에서 사용되는 전자 부품들이 갈수록 소형화, 박판화 되어감에 따라 실장 기술이 날로 발전되고 있으며, 실장에 소요되는 PCB(Printed Circuit Board)도 정밀하고 소형화된 부품들이 장착될 수 있도록 디자인되고 있다. 이러한 추세에 따라 PCB상에 실장된 소형 부품의 조립 또는 수리를 위해 사용되는 장비의 성능 개선에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다.

먼저 PCB와 부품의 접합용 모재로 사용되는 일반 솔더는 Sn-Pb 합금으로 전자제품 조립 및 실장에 오래 동안 사용되어왔으나 최근 Sn-Pb 합금의 유해 성분에 대한 우려로 인하여 Sn-Ag, Sn-Bi, Sn-In 등의 공정 조성에 제3원소를 첨가하여 미세

조직 및 용점, 물성을 개선한 무연 솔더를 사용하고 있다.¹⁻²⁾ 그러나 무연 솔더는 일반 솔더에 비해 퍼짐성이 나쁘고, 용점이 높으며, 높은 온도에서의 솔더링 작업으로 인하여 인두 팁의 침식 및 산화 등의 문제가 발생하여 작업 대상 부품의 열적 손상, 브리지 및 냉 땀 등의 작업 불량, 인두 팁의 수명 단축으로 이어진다.

전기인두기는 전자부품의 리드프레임과 PCB간 상호 접합에 사용되는 장비로서 아날로그 인두기와 온도 제어 기능이 있는 디지털 인두기로 대별할 수 있다. 온도 제어가 가능한 디지털 인두기는 전원 공급을 정밀하게 제어할 수 있는 장치인 스테이션, 모재와 직접 접촉하는 인두 팁과 열을 발생하는 히터가 내장된 수작업용 손잡이가 있는 인두기로 구성된다. 이렇게 스테이션을 분리하는

*† 오갑석(교신저자) : 동명대학교 자동차공학과
E-mail : oks@tu.ac.kr, Tel : 051-629-1621

*† Kab-Suk Oh(corresponding author) : Department of Automotive engineering, TongMyong University
E-mail : oks@tu.ac.kr, Tel : 051-629-1621

디지털 인두기는 설정온도로 수렴이 빠르고, 충분한 축적 열량으로 연속 부하 작업이나 주위 환경에 따른 온도 변화가 적은 장점이 있어 설정온도 350℃에서의 무연 솔더의 솔더링 작업에 적합하다.³⁻⁴⁾ 이러한 인두기의 성능은 솔더의 합금 조성, 플럭스의 성능에 따라 영향을 받지만, 무엇보다 열을 발생하는 히터가 가장 큰 영향을 미친다. 따라서 인두 팁에는 높은 열 전도성을 갖는 동 또는 동합금이 사용되고, 땀납에 의한 침식을 억제하기 위해 철 도금 또는 크롬 도금 등의 표면처리를 하고, 발열용 히터는 니크롬선 또는 세라믹 히터를 사용한다. 그러나 제어용 스테이션이 고가인 관계로 발열 특성이 서로 다른 인두기를 연결하여 사용할 경우 설정 온도와 동작 온도간의 편차로 인하여 기대한 목표를 달성할 수 없는 문제점이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 대상 인두기 히터를 구별할 수 있어야 하고, 인두기 히터별 고유의 제어기를 설계하여야 한다. 그러나 일반적으로 생산 판매되는 솔더링 스테이션의 경우 특정 인두기 히터만을 중심으로 다양한 제어기 설계 방법을 제시하고 있다. 예를 들어 PWM 방식으로 히터에 흐르는 전류를 제어하는 방식의 경우, SSR의 On/Off 타이밍 제어에 필요한 파라미터를 각 설정온도에서 모두 구해야 하는 어려움이 있다.³⁾ PID 제어 방식의 경우, 조작의 수월성, 노이즈에 대한 강인성, 구현의 용이성 등의 특성 때문에 산업현장에 널리 사용되고 있다.⁴⁾ 이러한 PID 제어기의 파라미터는 시스템의 특성을 나타내는 수학적 모델을 구하기 어려워 대부분 숙련된 기술자에 의한 시행착오적 동조 방법에 의해 결정하는 등 제어기의 파라미터 결정이 간단하지 않다. 이러한 파라미터 결정의 어려움을 극복하기 위하여 다양한 형태의 지능형 PID 제어기 설계방법들이 제안되고 있으나, GA의 경우 세대수 및 교배방법 등과 Fuzzy의 경우 입출력 멤버십함수 및 규칙의 수 등을 결정할 때도 숙련된 전문가의 경험이 요구된다.⁵⁻⁷⁾

본 연구에서는 먼저 인두기 히터를 구별할 수 있는 방안을 세라믹 히터 인두기와 니크롬 히터 인두기 제작을 통하여 제시하였다. 그리고 인두기

히터의 입출력 데이터만을 이용하여 시스템을 수학적으로 모델링하고 PID 제어기를 설계하는 방법을 제시하고, 실험을 통하여 제안한 PID 제어기의 성능을 보이고, 하나의 솔더링 스테이션에서 이종의 인두기를 연결하여 사용할 수 있음을 보였다.

2. 솔더링 스테이션

2.1 솔더링 스테이션 시스템 설계

Fig. 1은 본 논문에서 사용되는 솔더링 스테이션 시스템의 구성도로서 트라이악의 게이트를 제어하여 인두기 히터를 제어하고 그 결과를 K형 열전대를 통하여 온도 값을 피드백 받는 마이크로프로세서 중심의 시스템을 설계하였다.

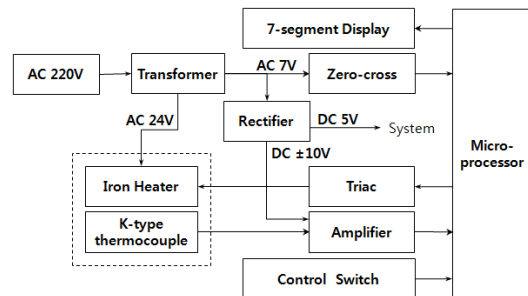


Fig. 1 Schematic diagram of soldering station

본 연구의 주안점은 Fig. 1에서 점선 영역에 해당하는 인두기 히터를 제어하는 것이다. 따라서 MCU로 채택한 8비트 마이컴 MC96F6832L은 아날로그 입력 채널을 통하여 제어용 스위치로부터 설정 온도 값을 입력받고 K형 온도 센서로부터 현재 온도를 입력받아 제안한 제어 방법으로 출력포트를 통하여 트라이악의 게이트 트리거 신호를 제어하도록 설계하였으며, 설정온도와 현재 온도를 확인하기 위하여 3자리 FND 2개를 채택하였다. 그리고 히터의 전원 공급에 사용된 트라이악은 사이리스트의 게이트에서 캐소드로 전류를 제공하면 애노드와 캐소드 사이를 턴-온시켜 전류가 흐르게 하고, 이 양단간의 통과 전류가 영(0)이 되면 턴-오프되는 단 방향 온-오프 기능을

양방향 온-오프 제어가 가능하도록 개량된 소자이다.

니크롬 인두기 히터 및 시스템 전원 공급을 위한 트랜스포머의 용량은 80AV/60Hz, 입력은 AC 220V, 출력은 히터 전원 공급용으로 AC 24V와 직류전압 공급 및 영점 검출용으로 AC 7V 단자로 구성하였다. 영점 검출 회로는 트라이악의 게이트 트리거 신호의 시작 시점을 결정하는데 사용하였다.

한편 본 연구에서는 산업 현장에서 많이 사용되는 니크롬 인두기 히터를 중심으로 설계 제작된 솔더링 스테이션에 이종의 인두기 히터로서 세라믹 히터를 고려하여 인두팁 모듈을 설계하였다. 먼저 Fig. 2의 니크롬 인두기는 전원용 2핀, 센서용 2핀, 구분저항용 2핀, 총 6핀의 컨넥터 스테이션과 연결되고, 작업용 팁은 모듈화 하였으며, 정격은 AC 24[V] 75[W], 절연저항은 23℃에서 500V/100MΩ 이상, 내전압강도는 23℃에서 AC 1500V/5분, 누설전류는 5mA 이하보다 적게, 챔버는 직경 4.0, 4.3x35 게이지를 통해 지나가도록 설계하였다. Fig. 3의 세라믹 인두기는 니크롬 인두기의 경우와 같은 방법으로 산업 현장에서 사용되는 정격인 AC 24[V] 50[W], 챔버의 직경이 5.0, 5.3x35로서 응답특성이 니크롬 인두기에 비해 느리다. 이렇게 특성이 다르게 제작된 인두기를 구분하기 위하여 5[V] 전압원에 직렬로 연결된 고정 저항 1k[Ω]과 히터 구분저항과의 전압분배법칙을

고려하였다. 즉 니크롬 히터의 경우 1k[Ω]의 구분저항을 사용하여 약 2.5[V]의 분배전압을, 세라믹 히터의 경우 2k[Ω]의 구분저항을 사용하여 약 3.3[V]의 분배전압을 MCU가 인식하도록 설계하였으며, 히터 구분저항은 각 인두기의 연결 커넥터 내부에 삽입하여 사용자에게 의한 오용 방지를 고려하였다.

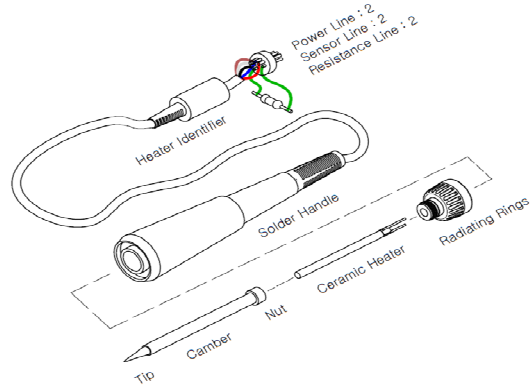


Fig. 3 Schematic diagram of ceramic iron

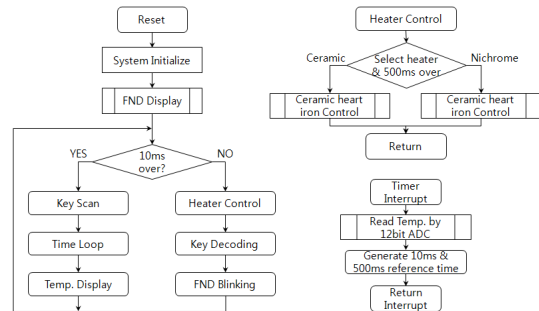


Fig. 4 Flow chart of soldering station

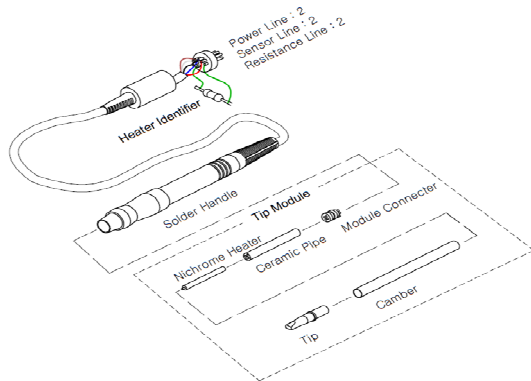


Fig. 2 Schematic diagram of nichrome iron

Fig. 4에는 하드웨어 설계에 따른 주요 S/W 플로차트를 나타내었다. 시스템 초기화 이후 설정값 입력 루틴, 장시간 사용하지 않음을 체크하는 타임 루틴 그리고 측정 온도 및 설정 온도를 표시하는 루틴을 10msec에 한 번씩 수행하고, 외부 입력 인터럽트가 발생하면 해당 키값에 대응하는 수행루틴, 시스템 오류가 발생할 경우 FND에 오류 표시 루틴 및 히터 제어루틴은 해당 인터럽트가 발생하면 수행되도록 하였다. 특히 히터 제어

는 500msec 주기로 히터를 인식하여 선택된 히터 제어기로 제어되며, 83μs 단위의 타이머 인터럽트에서는 10msec와 500msec 참조 시간을 제공하고, 12bit AD컨버터를 통하여 5msec 단위의 측정 온도를 제공하도록 설계하였다.

2.2 솔더링 스테이션 제어기 설계

PID 제어기 설계방법은 매우 많은 알고리즘들이 제안되어 있지만, 본 연구에서 제안하는 방법은 Oh⁸⁾가 제시한 비선형 시스템 설계 알고리즘을 선형시스템에 적용한 것으로 출력 온도 오차의 동특성이 원하는 규범 모델을 따라가도록 하는 PID 제어기를 설계하는 것이다.

본 연구에서는 식 (1)과 같은 형태의 PID 제어기로 인두기의 온도를 제어한다.

$$\Delta u(k) = k_1 e(k) + k_2 e(k-1) + k_3 e(k-2) \quad (1)$$

여기서, 오차 $e(k) = y(k) - r$ 를 사용하고, 오차에서 $y(k)$ 는 플랜트의 출력, r 은 원하는 출력 값이다. 그리고 $\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$ 이고, $u(k)$ 는 제어기 입력 값이라 가정하면, 설계 순서는 다음과 같다.

step 1 : 제어대상 플랜트의 입출력 데이터를 이용하여 식(2)와 같은 형태의 수식 모델을 만든다.

$$y(k+1) = f(y(k), y(k-1), \dots, u(k), u(k-1), \dots) \quad (2)$$

식 (2)의 수식 모델로부터 식 (3)과 같은 역 모델을 구한다.

$$u(k) = f^{-1}(y(k+1), y(k), \dots, u(k-1), \dots) \quad (3)$$

step 2 : 플랜트의 수식 모델인 식 (2)와 역 모델인 식 (3)으로 제어 시뮬레이션을 한다. 이때 식 (3)에서 $y(k+1)$ 은 식 (4)에 나타난 규범 모델의 출력인 $y_d(k+1)$ 을 적용한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(k+1) &= \Phi \mathbf{x}(k) \\ y_d(k+1) &= \mathbf{c} \mathbf{x}(k+1) + r \end{aligned} \quad (4)$$

y_d 는 규범 모델의 출력, $\mathbf{c} = (1, 0, 0, \dots)$,

$\mathbf{x}(k) = (y_d(k) - r, y_d(k-1) - r, \dots)^T$ 이며, 상태 천이행렬 Φ 는 원하는 pole 값에 의해 정해진다. 본 제어 시뮬레이션을 통하여 입력이 $e(k), e(k-1), e(k-2)$ 이고 출력이 $\Delta u(k)$ 인 데이터 집합을 얻는다.

step 3 : step2에서 얻은 데이터 집합을 선형 모델링 방법에 적용하여 식(1)의 PID 제어기를 만든다.

3. 실험방법

Fig. 5는 실험에 사용된 솔더링 스테이션의 사진이다. 제안한 제어기 설계방법이 유효하고 동시에 이중의 인두기 히터 제어가 가능함을 확인하기 위하여 비교 실험 조건을 정리하여 Table 1에 나타내었다. 제어 대상인 인두기 히터에 공급되는 24V/60Hz의 교류 전원은 트라이악의 게이트 트리거 포인터에 의해 제어되었다. 이를 위해 정현파 전원의 반주기인 약 8.3msec 구간을 100 포인터로 등분하고 트라이악의 도통 특성과 효율적인 제어를 위하여 5포인터에서 95포인터 구간을 제어 대상으로 하였다.

이중의 인두기는 스테이션과 연결 잭으로 교대로 결선하고 설정 온도에 따른 인두기의 온도 상승 특성 데이터는 제어용 온도 센서와 무관하게 인두 팁 끝단에 K형 열전대를 스폿 용접하고 데이터 로거를 통하여 컴퓨터 메모리에 저장하여 분석에 사용되었다.

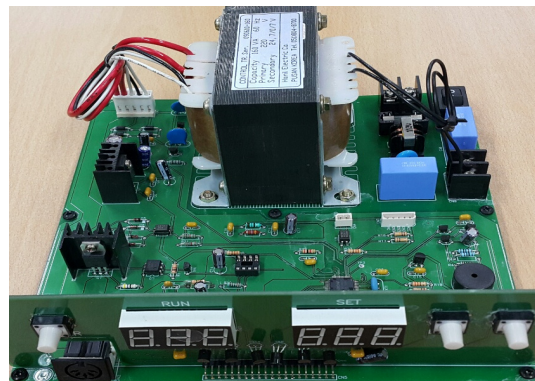


Fig. 5 Soldering station

Table 1 Experimental conditions

Item	Note
Control period	0.5[sec]
Target temperature[°C]	200, 250, 300, 350
Iron Heater Type	Ceramic, Nichrome
Triac gate triggering point / Half cycle	100

4. 결과 및 고찰

제안 알고리즘을 적용하여 제어를 설계하기 위하여 트라이악의 게이트 트리거 제어 포인트 범위인 5포인트에서부터 95포인트까지 10포인트 간격으로 10종의 계단 입력에 대하여 제어 대상인 인두기의 온도 변화를 0.5초 단위로 측정하여 최대 360개의 데이터를 구하여 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다.

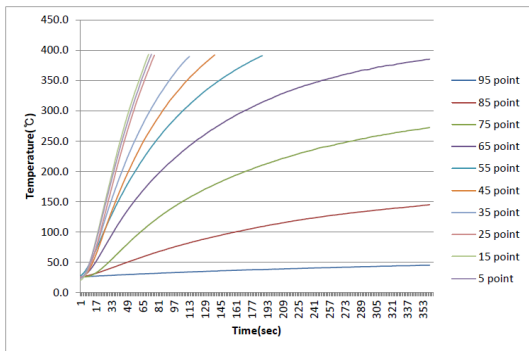


Fig. 6 Step response of ceramic heater

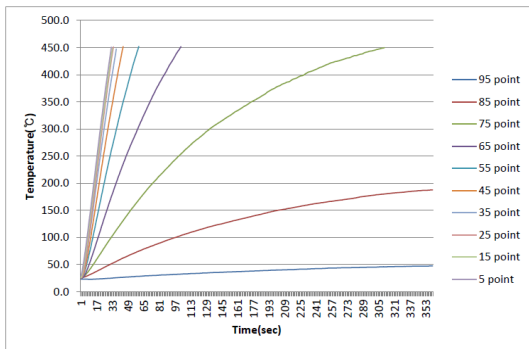


Fig. 7 Step response of nichrome heater

두 그림에서 세라믹 히터의 응답은 니크롬 히터의 응답에 비해 매우 느림을 알 수 있었다.

실험을 통하여 얻은 입력력 데이터로부터 식 (2)와 같은 수식 모델을 만들면 세라믹 히터의 경우 식 (5)와 같고, 니크롬 히터의 경우 식 (6)과 같이 표현되었다.

$$y(k+1) = 0.82 - 0.02y(k-2) - 0.88y(k-1) + 1.9y(k) - 0.008u(k) \quad (5)$$

$$y(k+1) = 3.91 + 0.14y(k-2) - 1.13y(k-1) + 1.99y(k) - 0.043u(k) \quad (6)$$

수식모델 식 (5)과 식 (6)의 역 모델은 식 (7)과 식 (8)과 같았다.

$$u(k) = (0.82 - 0.02y(k-2) - 0.88y(k-1) + 1.9y(k) - y_d(k+1)) / (-0.008) \quad (7)$$

$$u(k) = (3.91 + 0.14y(k-2) - 1.13y(k-1) + 1.99y(k) - y_d(k+1)) / (-0.043) \quad (8)$$

여기서 $y_d(k+1)$ 은 식(4)에서 얻었다.

식 (5)와 식 (6)의 수식모델과 식 (7)과 식 (8)의 역 모델로 제어 시뮬레이션을 행하여 입력이 $e(k)$, $e(k-1)$, $e(k-2)$ 이고 출력이 $\Delta u(k)$ 인 데이터 집합을 선형 모델링 방법에 적용하여 식 (1)와 같은 형태의 PID 제어를 만들었다. 이때 식 (4)의 원하는 pole은 세라믹 히터의 경우 0.93을, 니크롬 히터의 경우 0.87로 하였으며, 이에 따른 식(1)의 파라메타는 Table 2와 같이 결정하였다.

Table 2 Parameter and pole of proposed controller

Iron heater	k_1	k_2	k_3	pole
Ceramic	-13.1	24.6	-11.6	0.93
Nichrome	-6.1	11.1	-5.0	0.87

Table 2의 파라메타를 갖는 제어를 솔더링 스테이션에 적용하여 설정온도가 200°C, 250°C, 300°C 및 350°C일 경우 실험한 니크롬 히터 인두기의 온도 상승 그래프를 Fig. 8에 나타내었으며,

200℃, 250℃, 300℃ 및 350℃로 설정한 경우 정상상태 도달 시간은 각 27초, 24초 23초 및 22초를 기록하였으며, 정상상태에서의 RMS 오차는 각 0.75, 2.42, 1.55 및 0.98을 기록하였다. Table 3은 PWM방식³과 PID 제어기⁴) 특성 실험 결과와 비교한 것으로, 제안 제어기는 기존의 제어기에 비해 무연납의 작업온도인 350℃로 오버슈팅 현상이 빠르게 수렴함을 확인 할 수 있었다.

Table 3 Comparison with other methods

	PWM Method	PID Controller	Proposed Method
350℃ rising time	54[sec] over	30[sec] over	22[sec]
350℃ convergence time	54[sec] over	50[sec] over	22[sec]

니크롬 히터 인두기와 동일한 방법으로 실험한 세라믹 히터 인두기의 온도 상승 그래프를 Fig. 9에 나타내었으며, 200℃, 250℃, 300℃ 및 350℃로 설정한 경우 정상상태에 도달하는 시간은 130초, 113초 107초 및 107초를 기록하였다. 니크롬 히터 인두기 보다 세라믹 히터 인두기의 온도 상승 속도가 늦음은 인두기의 제작 과정에서 결정된 물리적인 발열 특성이 서로 다를 수 있음을 확인하였다.

이상의 실험 결과로부터 제안 PID제어기는 출력 온도 오차의 동특성이 원하는 규범 모델을 잘 추종하고 있으므로 제안 알고리즘이 솔더링 스테이션의 제어기 설계방법으로 활용이 가능함을 보였다.

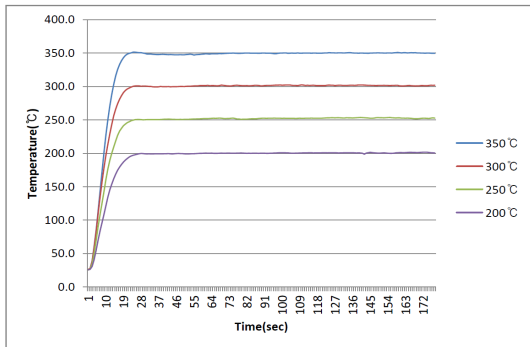


Fig. 8 Temperature response of nichrome heater

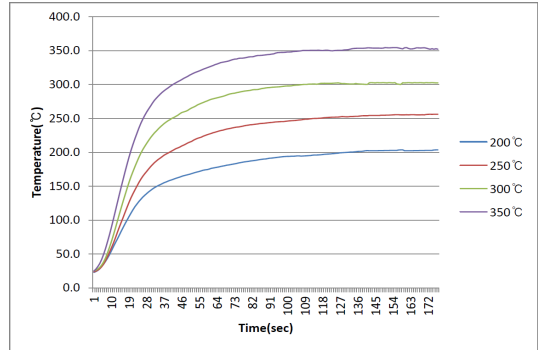


Fig. 9 Temperature response of ceramic heater

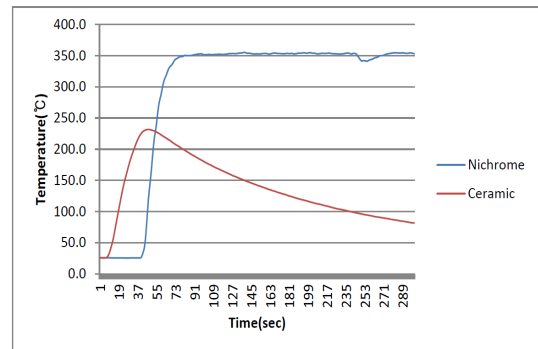


Fig. 10 Switching test results of nichrome heater

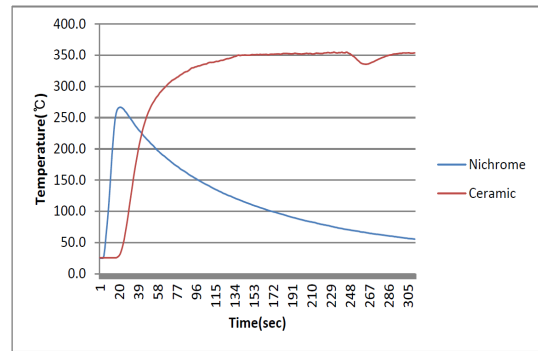


Fig. 11 Switching test results of ceramic heater

Fig. 10과 Fig. 11은 솔더링 스테이션에 특정 히터 인두기를 연결하고 설정온도를 350℃에 맞추는 다음 온도 상승이 시작되고 난 후 다른 종류의 히터 인두기를 연결하여 정상적인 제어가 됨을 확인하고, 동시에 특정 히터 인두기를 분리 및 연결의 반복에도 유효함을 확인하는 실험 결과를 나

타내었다. Fig. 10은 시작 후 33초를 경과한 시점에 니크롬 히터 인두기로 교체 연결하였고, 니크롬 히터 인두기의 온도가 정상상태를 유지한 상태에서 11초 동안 니크롬 히터 인두기를 분리 하여 온도가 340℃로 하강하였을 때 다시 연결하여 13초 후 정상상태에 도달하였다. Fig. 11은 시작 후 13초를 경과한 시점에 세라믹 히터 인두기로 교체 연결하였고, 세라믹 히터 인두기의 온도가 정상상태를 유지한 상태에서 17초 동안 니크롬 히터 인두기를 분리하여 온도가 335℃로 하강하였을 때 다시 연결하여 24초 후 정상상태에 도달하였다. 두 그래프는 특정 히터 인두기를 사용하는 도중에 다른 종류의 히터 인두기로 실시간 교체 사용이 가능함과 동시에 정상상태에서 특정 히터 인두기의 분리 및 연결 반복에서도 설정온도로의 정확한 수렴을 보였다.

5. 결 론

이종의 인두기 히터를 제어할 수 있는 솔더링 스테이션을 제작하고 입출력 데이터만으로 시스템의 수식 모델을 작성하여 PID 제어를 설계하는 방법을 제시하고, 니크롬 히터 인두기의 특성에 맞추어 제작된 솔더링 스테이션에 특성이 다른 세라믹 히터 인두기를 연결하고 실시한 제어 실험 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

제안 선형제어기 설계방법은 기존 PID 제어기의 계수 결정법보다 현장의 전문가의 도움 없이도 쉽게 계수를 결정할 수 있었으며, 니크롬 히터 인두기에 적용한 PID 제어기의 350℃ 추종 실험 결과는 22초 뒤 오버슈팅 현상 없이 정상상태에 도달하였으며, 정상상태에서의 RMS 오차는 0.98로서 출력 온도의 동특성이 원하는 규범 모델을 잘 추종함을 확인할 수 있었다.

제안 제어기는 솔더링 스테이션에 두개의 인두기 교체, 분리 및 연결 반복에도 설정온도로의 정확한 수렴을 보이므로 향후 텃의 종류 또는 텃의 형상에 따라 구분되는 다종의 인두기를 실시간으로 제어할 수 있다 사료된다.

후 기

이 논문은 2013학년도 동명대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음(2013A013).

References

1. S. J. Kim and G. S. Bae, 1999, "A Study on the Microstructure and Adhesion Properties of Sn-3.5Ag/Alloy42 Lead-Frame Solder Joint", Korean journal of materials research Vol. 9, No. 9, pp. 926-931.
2. S. C. Kim, S. C. Choi, and W. J. Kim, 2002, "The Study of Standardization for Pb-free Solder Ball", The Korean Microelectronics and Packaging Society, Proceedings of the International Microelectronics And Packaging Society Conference, pp. 219-223.
3. Y. K. An, and D. H. Yoon, 2001, "Design and Fabrication of the Digital Iron Using the Micro-processor", Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea. SC, Vol. 38, No. 281, pp. 33-41.
4. H. Hamane, K. Hirano, K. Kase and K. Miyazaki, 2008, "Industrial Temperature PID Controller for Pb-Free Soldering Iron", Proceedings of the 17th World Congress, IFAC Seoul, Korea, pp. 10838-10843.
5. W. J. Shin, 2005, "Fuzzy Scheduling for the PID Gain Tuning", Journal of fuzzy logic and intelligent systems, Vol. 15, No. 1, pp. 120-125.
6. K. K. Jung and D. S. Son, 2003, "PID Control Method using Fuzzy Logic System", Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea. TE, Vol. 40, No. 3, pp. 16-23.
7. W. Xiaofang, W. Min, O. Liyu and T. Qingsong, 2010, "The application of GA-PID control algorithm to DC-DC converter", Control Conference (CCC), 2010 29th Chinese, pp. 3492-3496.
8. K. S. Oh and G. T. Kang, 2014, "Temperature control of the Rework-system using fuzzy PID controller", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 15, No. 10, pp. 6289-6295.