

# 퍼지 PID 제어기에 의한 리워크 시스템의 온도제어

오갑석<sup>1</sup>, 강근택<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>동명대학교 자동차공학과, <sup>2</sup>부경대학교 전자공학과

## Temperature control of the Rework-system using fuzzy PID controller

Kabsuk Oh<sup>1</sup>, Geuntaek Kang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Automotive Engineering, TongMyong University

<sup>2</sup>Department of Electronics Engineering, Pukyong National University

**요약** BGA 또는 SMD 형태를 갖는 반도체 칩을 인쇄회로 기판에 장착/제거 등의 수리작업에 사용되는 리워크 시스템은 작업 대상물의 손상을 줄이기 위해 열풍 토출구의 온도를 정밀하게 제어할 필요가 있다. 본 논문에서는 비선형 시스템인 리워크 시스템의 열풍 온도 제어를 위해 TSK 퍼지 규칙으로 구성되는 퍼지 PID 제어기 설계 방법을 제시한다. 먼저 제안하는 제어기의 설계 알고리즘을 제시하고, 리워크 시스템에 적용하여 제어기를 설계하는 과정을 보인다. 제안한 제어기의 성능을 확인하기 위하여 온도 제어를 실험한 결과, 제안 방법의 최소자승오차는 9.44로서 일반적으로 사용하는 PID 제어기를 사용한 경우의 오차인 15.88보다 설정온도에 잘 수렴함을 보였다.

**Abstract** Rework systems are the equipment used to install or remove semiconductor chips with BGA or SMD forms in printed circuit boards. The rework systems have hot air outlets. At the outlets, precise temperature control is needed to avoid heat shock. The aim of this paper was to suggest a new controller for temperature control at the hot air outlets. The suggested controller was a fuzzy PID controller. The fuzzy PID controllers were composed of TSK fuzzy rules and had outstanding ability for nonlinear systems control. This paper reports the design algorithm of fuzzy PID controllers, and the design process of the fuzzy PID controller for the temperature control of the outlets. Temperature control experiments were performed to verify the ability of the suggested controller. As a result, the RMS of the proposed method is 9.44 and the general method is 15.88. The experiments showed that the temperatures at the outlet using the suggested fuzzy PID controller followed the desired ones better than the commonly used PID controller.

**Key Words** : TSK Fuzzy Model, Fuzzy PID Controller, Nonlinear Systems Control, Hot Air Temperature Control, Rework Systems

## 1. 서론

최근 전자제품 및 통신기기들이 소형화, 경량화 되면서 경박 단소의 PCB(Printed Circuit Board) 상에 다양한 기능을 갖는 BGA(Ball Grid Array) 또는 SMD(Surface Mount Device) 형태인 반도체 칩의 사용이 점점 확대되고 있다. 이들 부품은 리플로우를 통과하면서 용접되며,

이때 사용하는 접합재료는 친환경 제품 정책에 따라 납(Pb)의 사용이 제한되면서 유연(Sn-Pb)솔더 보다 용융점이 높은 무연(Pb-Free) 솔더를 이용한 방법에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다[1,2].

그러나 BGA 또는 SMD 형태를 갖는 반도체 칩의 수리 작업은 Reflow에서의 실장작업과는 달리 열풍으로 솔더를 녹인 후 흡입기 등을 이용하여 해당 부품을 제거한

본 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년)에 의하여 연구되었음.

\*Corresponding Author : Geuntaek Kang(Pukyong Univ.)

Tel: +82-51-629-6215 email: [gtkang@pknu.ac.kr](mailto:gtkang@pknu.ac.kr)

Received September 3, 2014

Revised (1st October 6, 2014, 2nd October 9, 2014)

Accepted October 10, 2014

후 다시 Reflow와 유사한 방법으로 새 부품을 장착해야 한다. 이와 같이 특정 부품을 제거하고 재조립하는 형태의 수작업 수리 작업 전용 장비인 리워크 시스템은 PCB의 종류, 무연 솔더의 성분비, 대상 칩의 크기 등 사용자의 요구에 대응할 수 있도록 온도 프로파일을 설정하고 실행하는 기능과 함께 부품 본체의 열 충격을 피하기 위해 설정온도에 맞게 제어된 열풍 토출 기능을 갖추어야 한다.

한편 산업 현장에서는 비선형 시스템을 선형 시스템으로 표현하기 쉽고 외란에 대하여 강인성을 갖는 다양한 형태의 PID 제어 기법을 많이 사용해 왔으며, 시스템이 점차 복잡해지면서 비선형 시스템의 특성을 잘 표현하는 지능제어 기법이 소개되고 있다[3-5]. 본 연구에서는 비선형성을 갖는 열풍 토출용 리워크 시스템을 제작하고, TSK 퍼지 모델로부터 TSK 퍼지 제어기의 설계[6]와 TSK 퍼지 시스템을 이용한 퍼지 PID 제어기 설계[7] 등의 알고리즘을 이용하여 TSK 퍼지 규칙으로 구성되고 비선형 시스템인 리워크 시스템의 특성을 잘 표현하는 퍼지 PID 제어기를 제안한다. 제안 제어기를 리워크 시스템에 적용하여 온풍 토출 온도를 측정하고 정상상태에서 최소자승오차를 비교한 결과 기존 방법[8]에 비해 정상상태 오차가 적어 설정온도에 잘 수렴함을 확인하였다.

## 2. 퍼지 PID 제어기 설계 알고리즘

본 연구에서 제어하고자 하는 리워크 시스템은 비선형의 특성을 갖고 있다. 제어 대상 시스템이 비선형인 경우, 선형 제어기 형태를 하는 PID 제어기로는 만족할만한 제어 결과를 얻지 못한다. 이러한 비선형 시스템의 제어를 위해서는, 변화하는 시스템에 대응하는 적응제어기 형태 또는 구조가 비선형인 제어기가 사용된다. 본 연구에서는 비선형 시스템인 리워크 시스템의 특성을 잘 표현하고 TSK 퍼지 규칙으로 구성되는 퍼지 PID 제어기를 설계하는 방법을 제안한다. 설계 알고리즘은 문헌[7]의 것을 좀 더 간편한 형태로 변형한 것으로 다음과 같이 3단계로 구성된다.

step 1 : 제어 대상 플랜트의 TSK 퍼지 모델을 만든다. TSK 퍼지 모델은 비선형 시스템의 입출

력 데이터로부터 구해진다.

step 2 : step1의 TSK 퍼지 모델로부터 제어 응답이 원하는 응답과 일치하도록 TSK 퍼지 제어기를 설계한다.

step 3 : step2의 TSK 퍼지 제어기와 제어 거동이 최대한 접근하는 퍼지 PID 제어기를 구한다.

각 단계에 따른 구체적인 내용은 다음과 같다.

### 2.1 TSK 퍼지 모델

TSK 퍼지 모델은 대상 시스템의 입출력 데이터로부터 만들어지며, 식(1)과 같은 퍼지 규칙들로 구성된다[6].

$$\begin{aligned} &\text{If } z_1 \text{ is } F_1^i, \dots, z_m \text{ is } F_m^i \\ &\text{then } y^i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_n^i x_n \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)의 출력  $y$ 는 다음 식(2)를 사용하여 구한다.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^r w^i(z) y^i}{\sum_{i=1}^r w^i(z)} \quad (2)$$

여기서  $w^i(z)$ 는 규칙의 적합도이며 식(3)과 같다.

$$w^i(z) = \prod_{j=1}^m F_j^i(z_j) \quad (3)$$

$F_j^i(z_j)$ 는 퍼지 집합으로  $F_j^i$ 에서  $z_j$ 의 멤버십 값이다.

### 2.2 TSK 퍼지 제어기의 설계

식(1)의 TSK 퍼지 모델로부터 설계되는 TSK 퍼지 제어기 모델은 식(4)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} &\text{If } z_1 \text{ is } F_1^i, \dots, z_m \text{ is } F_m^i \\ &\text{then } y^i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_n^i x_n + b^i u \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $u$ 는 제어 변수이며  $z_i \neq u$ 로 한다.

그러면 식(4)의 TSK 퍼지 제어기로부터 제어 응답이 원하는 응답과 일치하는 TSK 퍼지 제어기의 규칙은 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

If  $z_1$  is  $F_1^i, \dots, z_m$  is  $F_m^i$  then  $u^i = (y_d - a_0^i - a_1^i x_1 \dots - a_n^i x_n) / u^i$  (5)

여기서  $y_d$ 는 출력의 규범 값이다.

제어기를 동적 이산 시스템으로 표현하기 위해 페루프 시스템의 원하는 거동을 선형 시스템의 상태 변수 모델  $x(k+1) = \Phi x(k)$ 로 표현하고 그 출력을  $y_d(k)$ 로 하였다. 그리고 제어기의 전제부가 모델의 전제부와 동일하므로 제어기의 출력  $u$ 는 식(6)과 같이 구할 수 있다.

$$u = \sum_{i=1}^r w^i(z) b^i u^i / \sum_{k=1}^r w^k(z) b^k \quad (6)$$

식(6)으로부터 구한  $u$  값을 식(4)의 퍼지 제어기 모델에 적용하면 퍼지 모델의 출력 값은 출력의 규범 값  $y_d$ 와 같아진다[6].

### 2.3 퍼지 PID 제어기의 설계

식(5)와 같은 TSK 퍼지 제어기를 산업 현장에서 사용하기에는 2 가지 문제점이 있다. 첫째는 제어기의 강인성 문제이다. 식(5) 제어기의 설계 기반이 되는 퍼지 모델 식(1)이 실제 시스템으로부터 조금이라도 벗어나면 제어 응답이 나빠진다. 둘째는 제어기의 복잡성이다. 식(5)의 제어기를 사용하기 위해서는 규범 모델로부터  $y_d$  값도 구하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 식(5)의 TSK 퍼지 제어기로부터 제어 거동이 최대한 접근하는 새로운 퍼지 PID 제어기를 구한다. 퍼지 PID 제어기는 식(5)의 TSK 퍼지 제어기와 흡사한 동작을 하는 식(7)과 같은 퍼지 규칙들로 설계한다[7].

If  $z_1$  is  $G_1^i, \dots, z_m$  is  $G_m^i$  then  $u^i(k) = u(k-1) + K_1 e(k) + K_2 e(k-1) + K_3 e(k-2)$  (7)

여기서  $e(k) = y(k) - r$ 이며,  $r$ 은 정상상태일 때 출력의 원하는 값이다. 제어기 출력  $u$ 는 식(8)과 같이 구한다.

$$u = \sum_{i=1}^r w^i(z) u^i / \sum_{i=1}^r w^i(z) \quad (8)$$

퍼지 PID 제어기는 TSK 퍼지 제어기의 동작과 가급적 일치하도록 만들어야 하므로 식(8)의 출력은 식(6)의

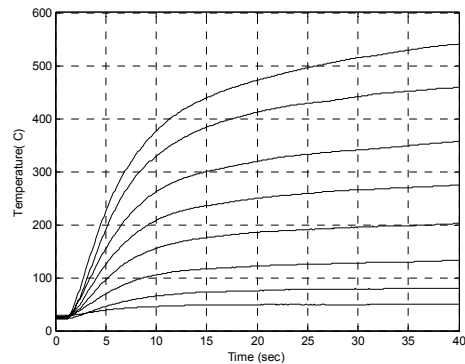
출력에 최대한 근접하도록 해야 한다. 이를 위해 먼저 시뮬레이션을 통하여 TSK 퍼지 제어기를 설계 할 때 사용한 TSK 퍼지 모델로부터 입력이  $e(k), e(k-1), e(k-2), u(k-1)$  이고 출력이  $u(k)$ 인 데이터 집합을 구한다. 구해진 데이터 집합을 TSK 퍼지 모델링 수법[9]에 적용하면 식(7)과 같은 형태의 퍼지 PID 제어기를 만들 수 있다.

## 3. 리워크 시스템의 온도 제어기 설계

이상에서 설명한 알고리즘을 리워크 시스템에 적용하여 퍼지 PID 제어기를 설계하는 과정은 다음과 같다.

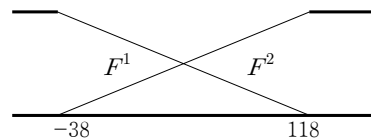
### 3.1 리워크 시스템의 TSK 퍼지 모델

리워크 시스템의 모델 작성에 앞서 시스템의 스텝 응답 실험을 통하여 Fig. 1과 같이 온도가 높을수록 반응이 느린 비선형임을 확인하였다.



[Fig. 1] Step responses of Rework-system

그리고 TSK 퍼지 모델을 만드는데 필요한 리워크 시스템의 입출력 데이터는 샘플링 주기를 1[sec]로 한 실험을 통하여 구하고, 문헌[6]의 방법으로 TSK 퍼지 모델을 만들었다. 그 결과 전제부는 Fig. 2와 같고, TSK 퍼지 모델은 식(9)와 같이 2개의 퍼지 규칙으로 구성 되었다.



[Fig. 2] The fuzzy sets in Eq. (9) and (10)

$$\begin{aligned} \text{If } y(k) \text{ is } F^1 \text{ then } y^1(k+1) &= 26.17 - 1.94y(k) \\ &+ 2.04y(k-1) + 0.91y(k-2) - 0.23u(k) \quad (9) \\ \text{If } y(k) \text{ is } F^2 \text{ then } y^2(k+1) &= 67.46 + 1.92y(k) \\ &- 1.37y(k-1) + 0.41y(k-2) - 0.82u(k) \end{aligned}$$

### 3.2 리워크 시스템의 TSK 퍼지 제어기

TSK 퍼지 모델의 결론부가 입출력 관계식으로 표현 되어 있는 식(9)는 식(10)과 같이 결론부가 제어 입력을 계산하는 TSK 퍼지 제어기로 변환할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{If } y(k) \text{ is } F^1 \text{ then } u^1(k) &= (y_d(k) - 26.17 \\ &+ 1.94y(k) - 2.04y(k-1) - 0.91y(k-2)) / (-0.23) \quad (10) \\ \text{If } y(k) \text{ is } F^2 \text{ then } u^2(k) &= (y_d(k) - 67.46 \\ &- 1.92y(k) + 1.37y(k-1) - 0.41y(k-2)) / (-0.82) \end{aligned}$$

식(10)에서  $y_d$ 는 식(11)과 같은 규범 모델로부터 구한다.

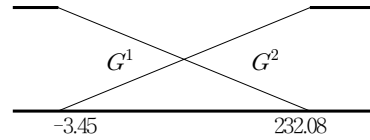
$$\begin{aligned} \tilde{x}(k+1) &= \Phi \tilde{x}(k) \\ y_d &= r - c \tilde{x}(k) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서  $\tilde{x}(k) = \begin{pmatrix} r - y(k) \\ r - y(k-1) \\ r - y(k-2) \end{pmatrix}$ ,  $\Phi = \begin{pmatrix} \phi_1 & \phi_2 & \phi_3 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$ ,  $c = (1 \ 0 \ 0)$ 이며  $r$ 은 원하는 출력 값이다. 행렬  $\Phi$ 의 값은 폐루프 시스템의 원하는 거동을 만족하는 pole 값으로 정해진다. 그리고 식(10)의 TSK 퍼지 제어기 출력은 식(6)의 방법으로 식(12)와 같이 구한다.

$$u(k) = \frac{-0.23F^1(y(k))u^1(k) - 0.82F^2(y(k))u^2(k)}{-0.23F^1(y(k)) - 0.82F^2(y(k))} \quad (12)$$

### 3.3 리워크 시스템의 퍼지 PID 제어기

식(10)의 TSK 퍼지 제어기로부터 퍼지 PID 제어기를 만들기 위한 데이터는 식(10)의 TSK 퍼지 제어기로 식(9)의 TSK 퍼지 모델을 제어하는 시뮬레이션을 통하여 구하였다. 이 때  $y_d$  값을 얻는 규범 모델인 식(11)에서 원하는 pole 값은 0.7로 하였다. 이 시뮬레이션에서 출력이  $u(k)$ 이고 입력이  $e(k)$ ,  $e(k-1)$ ,  $e(k-2)$ ,  $u(k-1)$ 인 데이터 집합을 얻고, 그 데이터를 문헌[9]의 TSK 퍼지 모델링 방법에 적용 시켰다. 그 결과 전체부는 Fig. 3과 같고 결론부가 식(13)과 같이 2개의 규칙으로 구성된 퍼지 PID 제어기가 만들어졌다.



[Fig. 3] The fuzzy sets in Eq. (13)

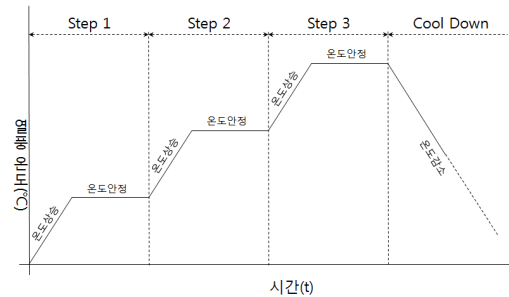
$$\begin{aligned} \text{If } y(k) \text{ is } G^1 \text{ then } u^1(k) &= u(k-1) \\ &- 1.808e(k) + 3.159e(k-1) - 1.425e(k-2) \quad (13) \\ \text{If } y(k) \text{ is } G^2 \text{ then } u^2(k) &= u(k-1) \\ &- 0.273e(k) + 0.351e(k-1) - 0.102e(k-2) \end{aligned}$$

식(13)의 퍼지 PID 제어기 출력은 식(8)의 방법과  $G^1(y(k)) + G^2(y(k)) = 1$ 을 이용하여 식(14)와 같이 구하였다. 퍼지 PID 제어기 출력인 식(14)는 TSK 퍼지 제어기 출력인 식(12)에 비해 훨씬 간단함을 알 수 있다.

$$u(k) = G^1(y(k))u^1(k) + (1 - G^1(y(k)))u^2(k) \quad (14)$$

## 4. 리워크 시스템의 온도 제어 실험

앞에서 구한 식(13) 퍼지 PID 제어기를 이용하여 리워크 시스템 온도 제어 실험을 하였다. Fig. 4는 참고문헌 [8]에서 제안하는 리워크 시스템의 3단계 온도 프로파일로서 온도 설정범위는 100℃에서 500℃ 이다.



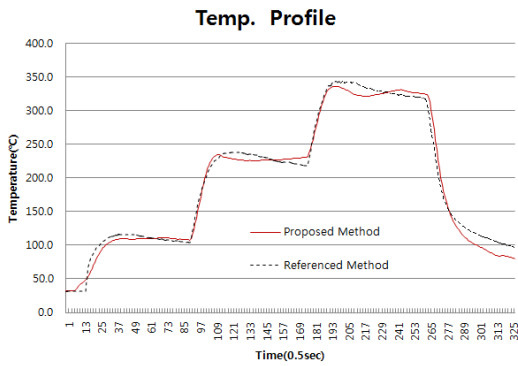
[Fig. 4] Profile graph of 3-Steps

본 연구에서 제안한 퍼지 PID 제어기의 성능을 참고 문헌 [8]과 비교하기 위하여 Table 1에 나타난 2종류의 단계별 설정온도를 적용하여 제어 실험을 하였다. 각 단계에서 시간은 40초로 하였다.

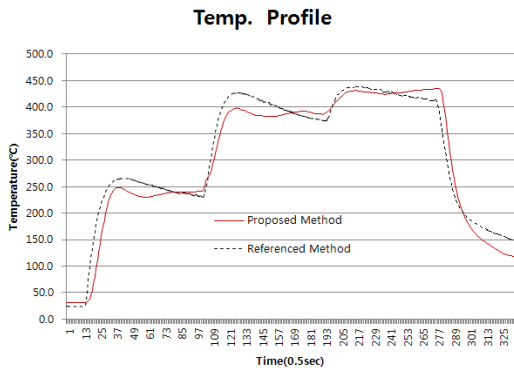
[Table 1] Temperature Modes

	Step 1	Step 2	Step 3
Mode 1	100 ℃	220 ℃	320 ℃
Mode 2	230 ℃	380 ℃	420 ℃

모드 1은 유연납 또는 소형 부품 등에 대응하기 위하여 상대적으로 낮은 온도 범위를 설정하였고, 모드 2는 무연납 또는 대형 부품 등에 대응하기 위하여 상대적으로 높은 온도 범위를 설정하였으며, 실험한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 여기서 참조방법은 문헌[8]의 제품을 사용하여 실험한 결과이다.



(a)



(b)

[Fig. 5] Experiment results  
(a) mode 1 (b) mode 2

리워크 작업은 외부로부터 공급되는 열에 의해 해당 반도체 부품과 PCB가 손상되지 않도록 결합에 사용된 모재의 용융 온도를 일정하게 유지할 필요가 있다. 그러므로 제어기의 성능 비교는 Fig. 5의 결과로부터 Fig. 4의

온도안정 단계에서 온도 오차를 RMS 식(15)로 구하여 Table 2에 나타내었다. 이때 온도안정 구간은 각 단계에서 설정온도에 도달한 시간부터 해당 단계가 끝나는 시간까지로 하였다.

$$RMS = \sqrt{\left(\frac{\sum_{k=1}^N (y_r - y(k))^2}{N}\right)} \quad (15)$$

여기서  $y_r$ 는 설정온도,  $y(k)$ 는 측정온도이다.

[Table 2] Performance comparison

		Step 1	Step 2	Step 3
Mode 1	Reference Method	11.13	11.24	13.62
	Proposed Method	8.99	8.57	8.71
Mode 2	Reference Method	21.60	27.25	10.42
	Proposed Method	10.96	10.49	8.90

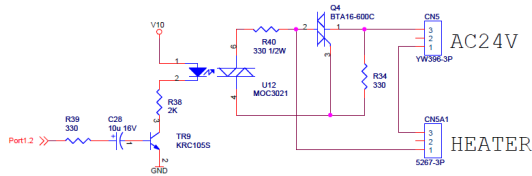
Table 2에서 보듯이, 온도 안정 단계에서 온도 오차의 편차 값이 본 연구에서 제안한 퍼지 PID 제어기가 전 스텝에 걸쳐 약 8.5에서 약 10.9의 적은 변화량을 보이는 반면 문헌[8]의 기존 제품에서는 약 10.4에서 약 27.2의 큰 변화량을 보인다. 따라서 제안한 퍼지 PID 제어기를 사용하여 리워크 작업을 할 경우 과열 공급에 의한 반도체 및 PCB의 손상을 좀 더 막을 수 있다.

## 5. 리워크 시스템 설계 및 구현

이상에서 설명한 리워크 시스템을 위한 퍼지 PID 제어를 적용하기 위하여 실제 시스템을 제작하였다. 본 연구에서 사용하는 리워크 시스템은 온풍토출부와 상부 히터 제어시스템으로 구성되며 시스템의 설계 및 구현 내용은 다음과 같다.

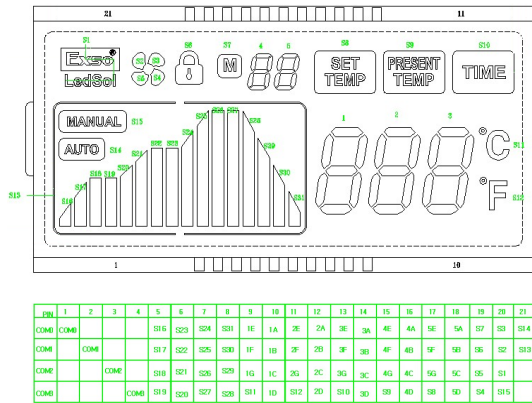
상부 히터 제어 시스템은 사용자가 설정된 온도 프로파일을 선택하거나 직접 온도 프로파일을 설정하는 기능, 온풍 토출용 펌프 제어기능, 온풍 토출부의 니크롬 히터를 가열하여 열풍의 온도(K-type thermo couple)를 제어하는 기능, 작업 중 상황 모니터링 기능 등을 고려하여 회로를 설계하였다. MCU는 LCD 모듈 제어 기능을 갖는 MC96F6632L을 채택하고, 입력 값 설정에 필요한 4개의 푸시버튼(상, 하, 설정, 입력), 온풍 토출용 펌프 구동회로, 차동입력 연산증폭기를 사용한 온도 센서 증폭 회로,

트라이악 소자의 게이트를 구동하는 회로 및 교류 전원의 영점을 검출하는 회로 등으로 구성하였다. 특히 니크롬 히터의 전류를 제어하는 신호는 포토커플러로 전기적 절연을 통해 AC 24V의 정현파 전원을 한 주기에 2회씩 영점을 기준으로 트라이악의 게이트를 구동할 수 있도록 Fig. 6과 같이 설계하였다.



[Fig. 6] Triac driver circuit

한편, 각종 정보를 나타내는 LCD 모듈은 Fig. 7과 같이 설정온도, 현재온도, 작업시간, 작업 진행 모니터링, 모드 표시 등을 나타낼 수 있도록 총 21핀으로 설계하였으며, 각각의 정보를 나타내는 68개의 구성요소를 제어하기 위한 LCD 모듈 핀의 신호는 17개의 핀(PIN[5:21])에 걸쳐 핀 당 2개 또는 4개의 신호를 할당하고 4개의 핀(PIN[1:4])에 하나씩의 공통단자를 할당하였다.

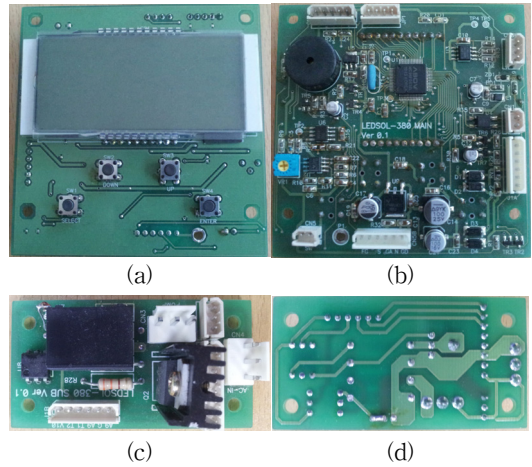


[Fig. 7] Design of LCD module

온풍 토출용 펌프는 AC 220V, 60Hz, 무부하시 전류 0.15A, 최대 풍량 40 Liter/min, 최고 진공 -150 mmHg의 성능을 가진다. 이를 제어하는 제어신호는 릴레이를 통하여 절연되도록 구현 하였다.

이상에서 언급된 회로를 중심으로 설계하여 제작한 MCU 및 LCD 중심의 메인 PCB 보드를 Fig. 8의 (a),(b)에, 트라이악 및 펌프 구동용 드라이브 PCB를 (c),(d)에

나타내었다.



[Fig. 8] Main PCB and driver PCB  
(a) LCD side (b) MCU side  
(c) front side (d) back side

## 6. 결론

본 논문에서는 비선형 시스템인 리워크 시스템의 열풍 온도 제어를 위해 TSK 퍼지 규칙으로 구성되는 퍼지 PID 제어기 설계 방법을 제시하였다. 제한한 제어기의 설계 알고리즘을 제시하고, 실제 산업 현장에서 사용하는 수작업용 리워크 시스템에 적용하여 제어기를 설계하는 과정을 보였다.

제한한 퍼지 PID 제어기가 적용된 리워크 시스템의 온풍 토출 온도를 측정하고 정상상태에서 최소자승오차를 비교한 결과 제안 방법은 문헌[8]의 방법에서의 15.88보다 설정온도에 잘 수렴함을 확인하였다.

향후 작업 대상의 크기에 따라 온풍의 토출 양을 조절하는 등의 부가적인 제어와 상용 제품으로서의 기능을 보완하여 출시할 계획이다.

## References

[1] J. Lee, J. H. Kim, C. D. Yoo, "Thermosonic Bonding of Lead-Free Solder with Metal Bump for Flip-Chip Bonding", *Journal of Electronic Materials*, Vol.34, Issue 1, pp. 96~102, 2005.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11664-005-0185-3>

- [2] W. S. Hong, W. S. Kim, N. C. Park, K. B. Kim, "Activation Energy for Intermetallic Compound Formation of Sn-40Pb/Cu and Sn-3.0Ag-0.5Cu/ Cu Solder Joints", *Journal of KWJS*, Vol. 25, No. 2, April, 2007  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5781/KWJS.2007.25.2.082>
- [3] Y. Kim, S. Kim, "The Design of Fuzzy P+ID Controller for Brushless DC Motor Speed Control", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 7, No. 5, pp. 823-829, 2006
- [4] H. Cho, "A Study on the Speed Control of Induction Motor using a PID Controller and Neural Network Controller", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 10, No. 8, pp. 1993-1997, 2009  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.8.1993>
- [5] D. Lim, Y. Kim, K. Chong, "The linear model analysis and Fuzzy controller design of the ship using the Nomoto model", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 12, No. 2 pp. 821-828, 2011  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.2.821>
- [6] G. Kang, W. Lee, "Design of TSK fuzzy controller based on TSK fuzzy model", *Journal of the Korean Institute of Telematics and Electronics S.*, Vol. 35, No. 11, pp.53-67, 1998.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/FUZZY.1998.687492>
- [7] G. Kang, K. Oh, "Design of Fuzzy PID controllers using TSK Fuzzy Systems", *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol. 24, No. 11, pp.102-109, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5391/IJKIIS.2014.24.1.102>
- [8] HAKKO, SMD rework system, [http://www.hakko.com/english/products/hakko\\_fr803b.html](http://www.hakko.com/english/products/hakko_fr803b.html). (accessed July, 21, 2014)
- [9] M. Sugeno, G.T. Kang, "Structure identification of fuzzy model," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 28, No. 1, pp. 15-33, 1988.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0165-0114\(88\)90113-3](http://dx.doi.org/10.1016/0165-0114(88)90113-3)

**오 갑 석(Kabsuk Oh)**

[종신회원]



- 1989년 2월 : 부경대학교 전자통신 공학과 공학사
- 1998년 9월 : 동경공업대학 종합이 공학연구과 공학박사
- 1998년 3월 ~ 2006년 2월 : 동명 대학 조교수
- 2006년 2월 ~ 현재 : 동명대학교 자동차공학과 부교수

<관심분야>

소프트컴퓨팅, 자동제어, 인공지능

**강 근 택(Geuntaek Kang)**

[정회원]



- 1976년 2월 : 서울대학교 응용물리 학과 공학사
- 1987년 3월 : 동경공업대학 시스템 과학전공 공학박사
- 1987년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

퍼지 및 지능 시스템