

## K형 열전대를 이용한 온도제어 시스템 구현

김 정 래\*

### Implementation of the Temperature Control System Using K-type Thermocouple

Jeong-Lae Kim\*

#### 요 약

본 연구에서 개발하고자 하는 기기는 K형 열전대를 이용하여 온도를 제어 할 수 있는 온도제어 시스템으로써, 안정된 전압 레귤레이터, 22Bit 디지털 변환기 와 분해능이 22Bit로 이루어졌다. 미소 전압을 25배 증폭 할 수 있게 하였고, 0~1200도 사이의 온도를 DC 0.1V~DC 4.7V 내에서 제어하도록 설계 하였다. PIC16C74로 Micro-controller 의 software와 hardware의 블록 다이어그램을 고안하였으며, VFD기능과 Power Block간에 인터페이스가 가능하도록 구성하였다.

#### Abstract

This study was carried out to develop a temperature control system of temperature control by using K-thermocouple. This system was produced a stable voltage regulator, 22Bit of digital converter and 22Bit of resolution. It was produced a micro voltage of 25 times amplification and controlled a DC0.1V~DC4.7V within 0~1200°C. We designed block-diagram of hardware and software by PIC16C74 in a micro-controller; we are made up of a VFD function and can be used interface of a power block.

▶ Keyword : 마이크로 컨트롤러, 디지털 변환기, 전압조정기, K-형 열전대

---

• 제1저자 : 김정래  
• 접수일 : 2004.08.09, 심사완료일 : 2004.08.21  
\* 서울보건대학 의료공학과

## I. 서론

산업의 발전이 한 세기를 만나는 동안 많은 변화를 하고 있다. 고도의 첨단기술에 의한 FA 장비들의 변모와 맥락을 같이하고 있고, 열에 대한 관심의 진행으로 제품 및 품질관리에 대해 온도관리에 대한 확실한 인식이 필요하게 되었다 [16]. 온도 계측에 필요한 기술은 작은 물체에 온도계를 직접 접촉시켜서 측정하는 접촉방식과 작은 물체에서 열복사를 원격 관측하여 측정하는 비접촉방식으로 분류된다[17]. 접촉방식은 주로 물리측정이나 공업계측에 의한 열전대, 써미스터 등이 있고, 복잡한 내부의 한점의 온도를 측정하고자 할 때는 접촉방식이 유리하고, 비접촉방식은 고온도 측정이나 광역에 걸친 온도 분포를 측정할 때 이용되며, 광검출방식, 방사에너지 검출방식 등이 대부분이고, 센서는 대부분 비선형 특성을 가지므로 정밀한 측정을 위해 적정 구간마다 보정이 필요하다[14].

실제로 열전대의 열기전력은 온도차이 뿐만 아니라 소선 자체에 존재하는 열기전 불균질성(thermoelectric inhomogeneity)에 따라 달라지며[7][8][9][10], 이러한 현상은 불순물 오염(impurity contamination), 소성변형(plastic deformation), 과잉공공(excess vacancy), 표면산화(surface oxidation) 등이 있으며[15], 각 국의 표준기관에서는 불균질성을 제거하기 위해 나름대로 열처리공정을 거치게 하고 있다[11]. 본 논문에서는 측정범위가 넓고, 가격이 저가인 K형 열전대를 이용하여 상용 범위가 넓은 온도 제어가 가능한 온도제어 장치를 설계 및 제작하였다. 비선형적인 열전대의 특성에 따라 냉접점 보상회로 구현과 온도 상승에 따른 증가에 따른 적절한 알고리즘을 구축하였고, 비선형적 특성을 PIC16C74를 사용하여 보정하여 온도제어 시스템을 개발 구현하였다.

## II. 연구방법

### 2.1 이론적 배경

열전대의 열기전력을 고려할 경우 전체 소선에 대한

Seebeck 계수의 온도에 대한 적분식으로 표시한다. 식(1)에서 E는 열기전력,  $\sigma$ 는 Seebeck계수,  $l$ 은 소선의 전체 길이를 나타낸다[15].

$$E = \int \sigma(T) dT \dots\dots\dots (1)$$

Seebeck계수는 일반적으로 온도에 의존하는 특성을 가진다. 재료(A)에 온도 $T_h$ (뜨거운)와  $T_c$ (차가운)가 있으면  $\Delta T = T_h - T_c$ 로 seebeck전위가 나타나고, seebeck 전압을 측정하기 위하여 재료 A로 된 도선을 사용하여 회로내의 전압계에 연결 후 도선에 유기된 seebeck전위를 정확히 0으로 만들어 전압계의 움직임이 나타나지 않게 하고, 재료의 변화에 의해 전압이 발생하게 된다. 전도에 의해 전달되는 열량은 그 물질의 단면적에 비례하여 늘어나고 거리에 따라 역비례하며, 온도차에 비례한다.

$$\frac{q}{A} \propto \frac{\Delta T}{\Delta L} \text{ 또는 } q = kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2)$$

식(2)에서 이러한 관계식에서 q는 열당량이고, A는 단위면적, k는 열전도도,  $\Delta L$ 는 물질간의 간격,  $\Delta T$ 는 두 온도간의 차이값이며, Fourier의 법칙에 의해 같은 평면상에서 일차원 형상에 정상상태에서 열전도k인 물질이  $\Delta L$ 의 간격을 두고 온도변화에 따라 열전달량을 구할 수 있다.

이러한 상태에서 열전대의 특성에 따라 1200°C까지 사용 가능한 비금속성의 특성과 내열성정도 및 호완성이 좋은 크롬멜-알루미늄(CA)의 온도와 열기전력과의 관계를 (그림 1)에 나타냈다.

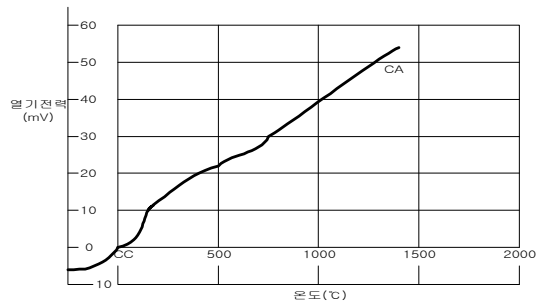


그림1. 온도와 열기전력의 관계  
Fig.1 Schematized diagram of the Temperature & EMF

열전대는 금속이 열에 감응하여 나타나는 열전효과를 이용한 것으로 -270°C의 극저온에서 1000°C이상의 고온까지 넓은 영역에서 온도를 비교적 정확하게 측정할 수 있고, 가

격이 저렴한 구조가 간편하고 기계적으로 견고한 열전대로 기준접점이 필요하며, 출력이 비교적 작으므로 측정 회로의 잡음이나 드리프트 등에 주위 하여 비선형 특성을 보상해 주었다[14].

온도 센서를 이용하여 접촉식이든 비접촉식이든 간에 피측 온체의 열에너지가 온도 센서로 이동하여 온도저하를 가져옴으로 열에너지가 미약한 검출 대상에서 현저하게 정확한 온도 측정이 가능하지 못하는 형편이며, 이를 위한 (그림 2)는 열전대 제어시스템의 기본 구성이다.

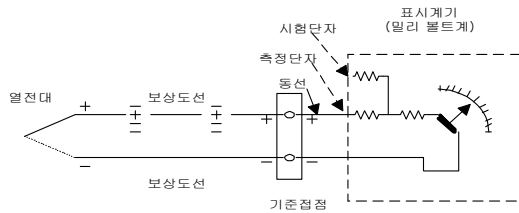


그림 2 온도제어시스템의 기본 모형도  
Fig. 2 Schematized diagram of the Temperature Control System

## 2.2 시스템 개요

열전대의 여러 타입 중에 K-형을 사용하여 두 접점인 기준접점과 측정접점간의 온도차에 따른 기전력을 열전대의 계기를 접속하는 경우, 측정점과 계기까지의 거리가 먼 경우를 열전대 소선에서 계기까지 연장하고 열전대의 소선을 대신할 수 있는 열기전력 특성을 가진 두 종류의 도체를 한 조로 한도선을 사용하여 열전대와 계기를 접속시켰다. 보상도선은 열전대와 같은 재질을 사용한 익스텐션(extention)형과 보상도선의 사용온도 범위에 있어서 열전대의 열기전력 특성과 거의 동등한 합금을 사용한 컴펜세이션(compensation) 형이 있다.

따라서 열전대 센서를 사용하는 온도제어의 냉접점 보상 회로 및 신뢰성있는 온도제어장치의 software와 hardware를 구성하였다.

## 2.3 시스템 구성

본 시스템의 전체 구성은 실시간 클릭 상태에서 온도 제어하는 부분과 아날로그-디지털변환을 통해 제어해주는 메인 CPU로 구성하고, PIC16C74를 사용하여 속도의 제어와 Power Block과 인터페이스를 통하여 조절할 수 있는 기능을 사용하였고 프린트 모듈을 확장하여 시스템을 확대하였다.

기본 구성은 Hardware 및 software이며[18][19], Software는 초기 상태에서 열전대의 하드웨어 초기 조정으로부터 작동신호를 받아, 초기상태에서 필요한 데이터를 읽어 아날로그-디지털 변환된 신호를 받아 프린트 모듈까지 넘어가도록 되어있으며, 프린트 값에서 에러 발생 시 중간 단계인 데이터 변환 상태에서 다시 시작을 하도록 구성하도록 하였다[10][11][12].

Hardware는 열전대에서 보상회로와 아날로그 디지털변환기를 통해 들어오는 신호를 Microprocessor를 통해 제어 회로와 표시부의 VFD(Vacuum Fluorescent Display)에 실시간의 현재 온도 값과 시간의 레코드 상태를 표시하도록 온도 제어시스템을 설계하였다[1][2][3].

## III. 실험 진행 및 특성 결과

### 3.1 온도 제어시스템 소프트웨어 알고리즘 개발

온도제어시스템의 소프트웨어 알고리즘은 모든 키 입력 후 작동을 이루는 함수단계로 다양한 형태의 기능과 제어단계를 통하여 전달되고, 프린트 전달체계와 실시간에 의한 클릭 기능 단계를 거쳐 온도를 표시하는 기능단계까지 연결되어 있다.

실제 온도를 디지털 데이터로 변환하여 마이크로 변환기로 전송하였고 이를 제어하기 위한 알고리즘 설계와 마이크로 컨트롤러 내부의 발진기를 이용하여 software를 설계하였으며, 최대한 시간 구간별 정밀한 제어를 위한 알고리즘을 사용하여 구현하였다.

#### 3.1.1 작동 시작 함수 단계

(그림 3)은 초기 입력을 확인한 후 각 키에 대한동작을 유도하는 흐름도로, 초기 동작되어 비교하는 기능 단계와 단계별로 입력값, 메뉴, 기록값, feed 등 기능이 시작되어 진행하도록 하는 단계이다. 따라서 두 기능이 비교 체크하도록 하였다.

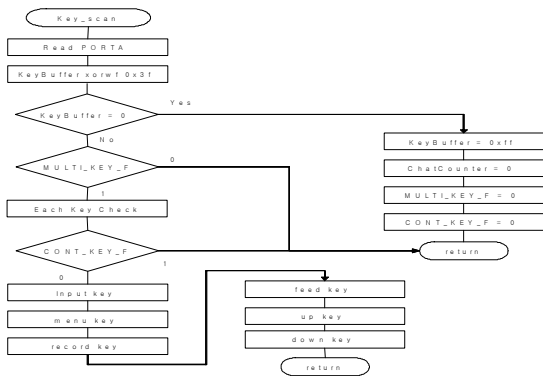


그림 3. 작동시작 함수단계  
Fig.3 Flow chart of Initial Operation Function

3.1.2 Print Module 동작함수 조정 단계

Print module에 의해 발생하는 단계로는 Power On과 동시에 setup command를 Print Module에 전송하고 데이터 전송시 순수한 데이터만 전송하도록 하고, 마지막에 line feed command를 전송하도록 하는 단계로 (그림 4)에서 구성하였고 제시 사양은 <표 1>과 같다.

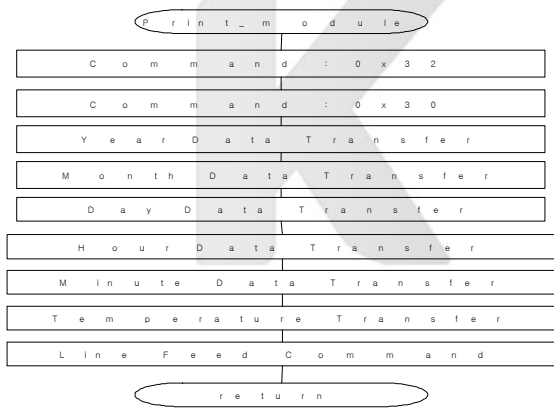


그림 4. 프린트 모듈 동작 함수단계  
Fig. 4 Flow chart of Print Module Operation Function

표1. 프린트 모듈 동작 함수 제시의 사양  
Table. 1 Presented Specification of Print Module Operation Function1

항목	제시 사양
Baud Rate	9600cps
Parity	none
Data	8-bit
Stop	1

3.1.3 실시간 클럭 함수 단계

실시간 클럭에 대한 단계로는 날짜 기록을 위해 필수적으로 필요한 사항 기록 및 표시, 시간의 최대 표시기준, 기록 시 기준 시간을 Hex로 변환하여 표시하도록 나타내었고, 기능에 따른 함수를 (그림 5)에서 구성하였다.

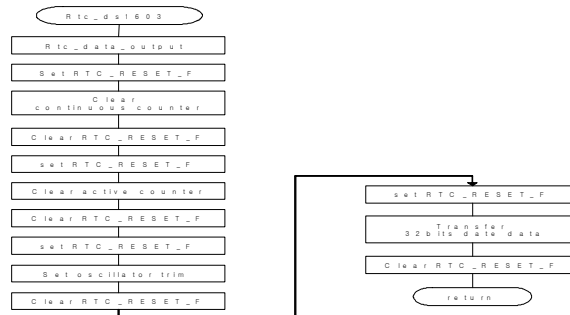


그림5. 실시간 클럭 함수단계  
Fig.5 Flow chart of Real time clock Operation Function

3.1.4 온도표시 기능 함수 단계

온도에 대한 동작 기능 단계는 기록 및 display를 위한 온도 데이터 읽기, 시간 간격별 규칙적 읽기, 실제온도를 디지털 데이터로 변환하여 마이크로 컨트롤러로 전송하는 단계로 기능에 따른 함수를 (그림 6)에서 구성하였다.

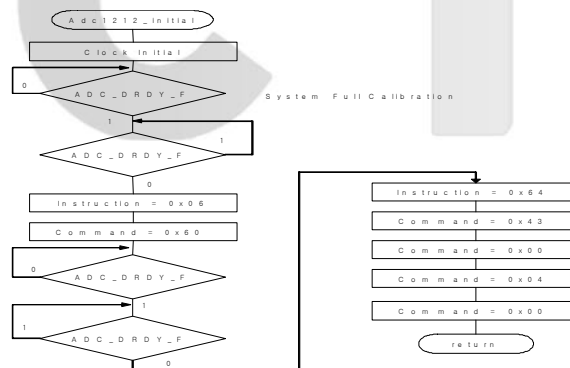


그림6. 온도표시 기능 함수단계  
Fig. 6 Flow chart of Temperature Operation Function

3.2 온도 제어시스템 하드웨어 개발

시스템의 하드웨어는 온도 측정 및 증폭부, 현재 시간 표시를 위한 RTC, pensation Circuit, Key 입력부, 전원부, Display 부, Printer 부, 제어처리부로 특성을 가지고 있다. 온도 측정 및 증폭부는 온도는 Thermocouple

Temperature Sensor, Compensation Circuit, Analog amplifier 및 A/D Converter로 디지털 신호 처리하여 변환 값을 다음 단계로 넘겨주고, 현재 시간 표시를 위한 RTC는 Elapsed Time Counter로 레코더의 작동시간과 정지시간을 기록하며, 전원부는 Transformer, AC to DC Converter, Voltage Regulation로 설계하여 (그림 7)에서 나타내었다[12][13].

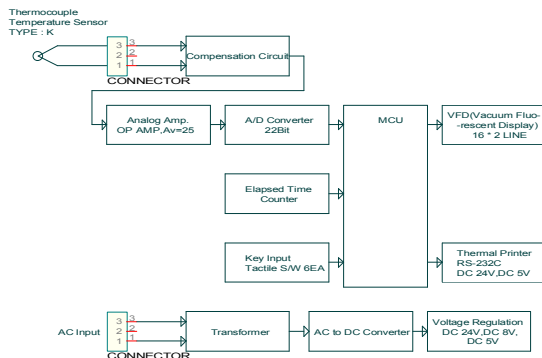


그림 7. 온도제어 시스템 하드웨어 블록도  
Fig. 7 The Schematic diagram of Temperature Control System

### 3.2.1 온도 측정 및 증폭부

온도 측정 및 증폭부는 Thermocouple Temperature Sensor를 K형으로 사용하였고, Compensation Circuit는 두개의 서로 다른 금속을 접합하여, 그 접합부에 온도차가 생기면 이 온도차가 기전력으로 변환되는 제이벡 효과를 이용한 센서로써 두 금속의 접합부의 온도와 두 금속의 종단간의 온도차이만큼의 기전력을 출력하고, 두 금속의 종단점의 온도가 올라가면 상대적으로 접합부와 종단간의 온도차이가 작아지면 그 만큼의 기전력을 보상해 주었다. Analog amplifier는 보상회로에서 출력되는 열전쌍의 온도에 대한 기전력이 수 mV임으로 미소한 전압을 증폭하여 미소 전압을 약 25배로 증폭하여 온도 대 아날로그 전압의 관계가 온도 0도 ~ 1200도 : DC 0.1V ~ DC 4.7V 로 대응하도록 증폭하였다. A/D Converter는 온도에 대한 전압의 출력이 DC0.1V ~ DC4.7V로 증폭되었으므로 이 전압을 디지털 신호 처리를 하기 위해서는 Analog 값이 아닌 디지털 값으로 변환을 하였다[4][5][6].

### 3.2.2 현재 시간 표시를 위한 RTC

현재시간 표시로 Elapsed Time Counter를 이용 레코더의 작동시간과 정지시간을 기록하며, 현재 시간을 계속적으로 표시할 수 있도록 경과 시간을 기억하도록 하였다.

### 3.2.3 Key 입력부 및 전원부

Key 입력부는 온도 기록을 위한 각각의 설정치를 입력하여 이를 6개의 Tactile Switch로 사용하였고, 전원부는 Transformer에서 AC 220V의 전압을 AC 27V와 AC 11V와 AC 8V를 생성하였으며, AC to DC Converter는 AC27V, AC11V, AC8V를 DC27V, DC11V, DC8V 전압으로 변환과 Voltage Regulation으로 DC27V, DC11V, DC,8V를 DC24V, DC8V, DC5V로 일정한 전압을 출력 하였다.

### 3.2.4 Display부, Print부 및 제어 처리부

Display 부는 VFD(Vacuum Fluorescent Display)로 현재의 온도값과 시간과 레코더의 상태를 표시하고, Printer 부는 Thermal Printer를 사용하였으며, 제어 처리부는 MCU (Microprocessor Unit)로 전체적인 온도 제어시스템을 제어를 설계하였다.

## 3.3 출력 측정 및 결과치

### 3.3.1 표준온도와 비교 측정 특성

<표 2>는 온도 교정방법에 의한 정점과 비교법으로 종류수를 사용하여 빙점과 비등점에 대한 표준온도를 기준으로 10차에 걸쳐 비교한 특성을 보여주고 있다.

표 2. 측정된 데이터(표준온도와 비교측정, 단위℃)  
Table. 2 Measured data(comparative measurement with standard temperature:℃)

표준 온도	1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차
40.0	40.0	40.1	40.0	40.0	40.1	40.0	40.0	40.1	40.0	40.0
45.0	45.0	45.1	45.1	45.0	44.9	45.0	45.0	45.1	45.0	45.0
50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.1	50.1	50.0	49.9	49.9	50.0
55.0	55.0	55.1	55.0	55.1	55.0	55.0	55.0	55.1	55.0	54.9
60.0	60.0	60.0	60.1	60.0	60.0	60.1	60.0	60.0	60.0	60.0
65.0	65.0	65.1	65.1	65.0	65.0	65.0	65.0	65.1	65.0	65.0
70.0	70.0	70.1	70.0	69.9	70.0	70.0	70.0	70.1	70.0	70.0
75.0	75.0	75.1	75.0	75.0	75.0	74.9	74.9	75.0	75.0	75.0
80.0	80.0	80.0	80.0	80.1	80.0	80.0	80.1	80.0	80.1	80.0
85.0	85.0	85.1	85.0	85.0	84.9	85.0	85.0	85.1	85.1	85.0
90.0	90.0	90.1	90.1	90.1	90.0	90.0	90.1	90.0	89.9	90.0
95.0	95.0	95.1	95.1	95.0	94.9	94.9	95.1	95.1	95.0	95.0
100.0	100.0	99.9	99.9	100.0	99.9	100.1	100.0	100.1	99.9	100.0

### 3.3.2 온도 비교 특성

(그림 8)는 각 온도별 표준온도와의 변화정도를 나타내었다. 변화 폭이 큰 차이가 없는 특성을 보여주고 있다.

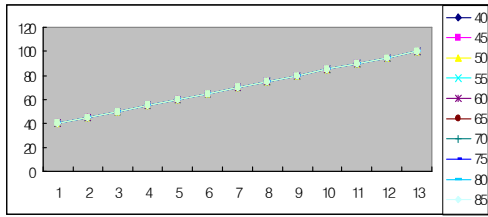


그림 8 온도제어시스템과 비교 측정값  
Fig. 8 Measured values of the temperature control system with comparative method

### 3.4. 시스템 제작

#### 3.4.1 시스템 특성

PIC16C74 마이크로 컨트롤러가 내장된 온도제어 시스템으로 VFD기능과 속도의 단축을 이루고 Power Block과 인터페이스를 통한 조절기능을 유도하였고 프린트 모듈로 연결하여 기능을 확대하도록 구성하였다.

#### 4.4.2 시스템

(그림 9)는 온도를 제어하는 기능을 갖고 있는 제어 보드이며, (그림 10)는 제어 보드, Printer module, Power Block등이 내장되어 있는 시스템의 내부도 이고, (그림 11)은 시간 측정이 가능한 시스템을 구성되어 있게 제작되어진 온도제어 시스템의 정면외관이다.

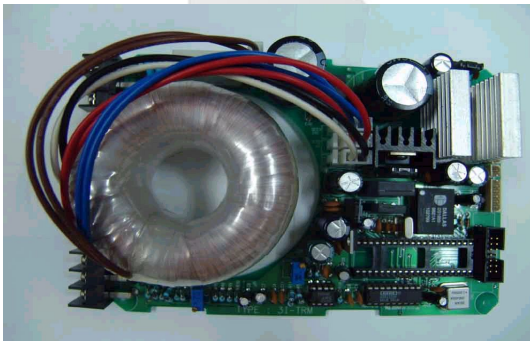


그림 9 온도제어시스템의 제어 보드  
Fig. 9 The Photographs of control board with the temperature control system

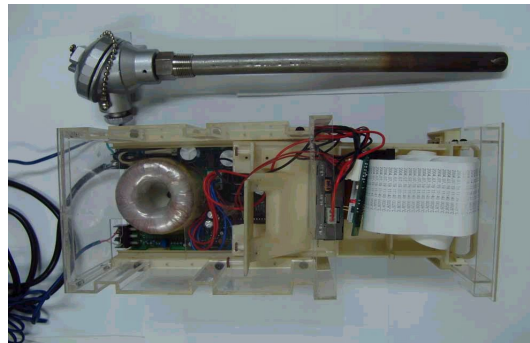


그림 10 온도제어시스템의 내부  
Fig. 10 The Photographs of the temperature control system(inner)

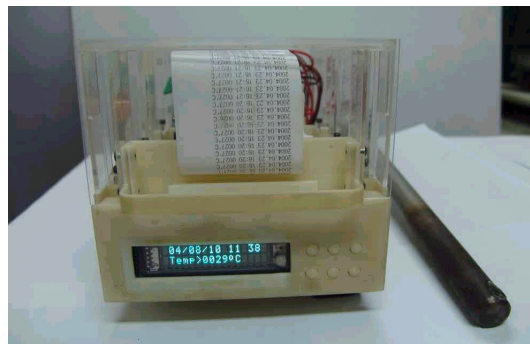


그림 11 온도제어시스템의 정면도  
Fig. 11 The Photographs of the temperature control system(front)

## IV. 결론

본 연구에서 개발하고자 하는 기기는 K형 열전대를 이용하여 온도를 제어 할 수 있는 온도제어 시스템으로써, Micro-controller Unit, Vacuum Fluorescent Display, Elapsed Time Counter, Key Input Tactile S/W로 이루어져 있으며, K형태인 Thermocouple Temperature Sensor로 입력신호를 받아 온도에 대한 냉집점 보상회로를 통하여 제어 컨트롤이 유지되고 온도제어로 신뢰성을 높이도록 구성하였고, AC 입력 전압에 따른 안정된 전압을 Voltage Regulator로 유지하였으며, 미소 전압을 25배로

증폭하여 0도에서 1200도사이의 온도를 DC 0.1V~DC 4.7V 전압대로 대응 증폭하도록 구성하였다. 22Bit 디지털 변환기를 사용하여 디지털 값이 0~4194304의 값으로 변환하도록 하였으며, 분해능이 22Bit까지 이루어 졌다.

PIC16C74를 사용하여 마이크로 컨트롤러를 이루어지며, 22Bit 분해능과 DS1603로 데이터의 보관을 지속적으로 유지하도록 하여 안정되고 신뢰성 있는 데이터가 관리가 진행되었고, 마이크로 프로세스의 내장으로 온도제어 시스템이 VFD가능하고, 속도의 단축을 이루어지고, Power Block과 인터페이스를 통한 조절기능을 유도하였고, 프린트 모듈로 연결하여 기능을 다양하게 사용할 수 있도록 하였다.

앞으로 열에 관련된 가전제품, 의료기기, 실험용 기구에 사용되는 것은 물론 원자로나 발전소, 로봇 트 등 첨단산업 까지 폭 넓게 사용되며, 개발에 보다 손쉽게 접근할 수 있는 기술과 새로운 제품개발에 진일보 할 수 있는 토대를 마련하였고, 추가적으로 제품의 모양을 생산하는 금형기의 내부, 각종 산업용 온도 제어 분야에도 적용될 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] P.R.Gray and R.G.Meyer, "Analysis and Design of Analog Integrated Circuits", 2nd ed: New York: Wiley, 1984
- [2] Ned Mohan, Tore M, Undeland, Willamp P.Robbins, "Power Electronics : Converters, Applications, and Design". John Wiley & Sons, 1989
- [3] T.W., Miller and A.M.Lopes, "A comparison of Controller Tuning Techniques," Control Eng., vol.14, pp.72~75, 1967.
- [4] Introductory DC/AC Electronics, Nigel P. Cook, Prentice Hall
- [5] Handbook of electric power calculations, Beaty, McGraw-Hill
- [6] Electrical Circuit Theory and Technology, John Bird, Newnes
- [7] T.D. McGee, "Principles and Methods of Temperature Measurements", Wiley-Interscience Pub.,1988.
- [8] R. E. Bentley and T.P. Jones, High Temp.-High Press., 12, 33, 1980.
- [9] E. H. McLaren and E. G. Murdock, "Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry", vol. 5, Part 2, ed(s). J. F. Schooley, Am. Inst. Phys., New York, pp.953,1982.
- [10] R. E. Bentley and T. L., Morgan, Metrologia, 20, 61, 1984
- [11] H. Preston-Thomas, Metrologia, 27, 3 and 107, 1990.
- [12] Mechanical Measurements(4th Ed.) T.G. Beckwith & R.D. Marangoni, pp.23-26, pp.571-601, pp.611-628.
- [13] Introduction to Heat Transfer, F.P. Incropera & D.P. De Witt, 2nd ed., pp.80-119.
- [14] 김성국, 송재원, "비선형 특성을 보정한 휴대용 열전대 온도계" 센서학회지, 제4권 제1호 1995년 2월호 pp.21-28.
- [15] 김용규, 감기술, "R형 열전대의 열처리 방법에 따른 알루미늄과 은 응고점에서의 기전력 변화" 센서학회지, 제3권 제1호 1994 2월호 pp.61-67.
- [16] 황규섭, 센서활용기술, 기전 연구사, pp.405, 1989.
- [17] 백수현, 센서 핸드북, 세화, pp.411-415, 1990.
- [18] 김정래 "Micro-controller 방식에 의한 Motor Power 변속기의 설계와 구현" 한국컴퓨터정보학회지, 제8권 제3호, 2003. 9월 pp163-169
- [19] 박지연, 박재운, 변건식, "GPS수신기용 저잡음 증폭기의 설계 및 구현" 한국컴퓨터정보학회지, 제5권 제2호, 2000. 6월

## 저자 소개



김정래

1983년 2월 연세대학교  
의용전자공학과 졸업  
현재 서울보건의대학  
의료공학과 교수