

One-board Micom을 이용한 정밀 온도 제어 시스템

주해호 조덕현

영남대학교 공과 대학 기계설계공학과

A Precision Temperature Control System Using One-board Micom

Haeho Joo Deokhyun Cho

Department of Mechanical Design, Yeungnam University

Abstract

In this study an one-board micom controlled precision temperature control system has been developed. The digital temperature control system is consisted of an one-board micom as digital controller, a 12-bit A/D and D/A converter, a power amplifier, a NTC thermister, a preamplifier and a heat chamber. An operating control program for the control system was written in Z80 machine language. A Dual-PID predictor control algorithm was proposed. Experiments were conducted with different sampling time and limited error value. As a result, the temperature in a heat chamber can be well controlled within ± 0.2 °C when the sampling time was applied to 10 sec and the limited error value ± 0.5 °C under the dual-PID predictor control algorithm. By means of one-board micom overall system has been reduced in size and volume, thus the system becomes compact and less expensive.

1.서론

일상 생활에서 열은 필요한 물리량이지만 시각적으로 잡기 어려울 뿐 아니라 의외로 취급하기 어려운 물리량이다. 온도를 정확하게 제어 한다는 것은 바로 열관리를 정확하게 한다는 의미가 된다. 특히 실험실에서나 과학 실험기기중에서 화학반응에 관련된 장비 들은 상당한 정밀 온도의 유지가 요구된다. 예를들면 액체의 비중을 측정하는 실험기구는 일정한 온도를 유지하는데 ± 0.5 °C 이하의 정확도를 요구한다. 이러한 정밀 온도를 유지하는데 재래적인 전열기나 기계식의 냉난방장치로서 거의 불가능하다. 그러나 최근에 실용화되고있는 열전식 열펌프(thermoelectric heat pump)를 사용하므로 정밀 온도 제어가 가능하게 되었다.

최근에 이러한 열전식 열펌프와 마이크로 컴퓨터를 이용한 정밀 온도 제어 시스템이 개발되었다[1]. 이 제어 시스템은 항온조, 전력 증폭기, 전치 증폭기, 디지털 제어기, A/D 및 D/A 변환기, 온도 센서로 구성 되어있다. 이 온도 제어 시스템은 제어기로 APPLE II 마이크로 컴퓨터를 사용한 디지털(digital) 제어방식이다.

디지털 제어 방식은 종래의 아날로그( analog)제어 방식에 비해 정밀도와 신뢰성이 높고 잡음이나, 외란에 대해 영향을 적게 받으며, 하드웨어(hardware)의 변경없이 단지 제어 프로그램의 변경만으로 제어기의 제어 알고리즘을 변경할 수 있는 유연성 등의 장점이 있다.

본 연구에서는 앞에서 개발된 온도 제어 시스템을 더욱 소형경량화하기 위해서 일반 마이크로 컴퓨터 대신에 one-board micom을 사용하였다. 현-보드

마이컴은 프로그램을 기계어로 작성해야는 불편함이 있으나 가격이 저렴하고 주변장치가 필요없으며, 크기가 작아 제어 시스템을 소형경량화시킬 수 있는 장점이 있다 [2].

제어 알고리즘의 선택과 샘플링 시간의 결정 및 A/D와 D/A 변환기의 비트 수 결정을 하기 위하여 마이크로컴퓨터를 이용한 지원설계 프로그램(MCAD) [3]을 이용하였다. 제어 알고리즘은 일반적으로 화학공정에 많이 사용되는 PID 알고리즘에 선형 예측 제어 알고리즘을 적용한 PID 예측 알고리즘[4]을 이중 모드(dual mode)로 사용한 Dual-PID 예측 제어 알고리즘을 제안하였다. 여러가지 알고리즘, PID, Dual-PID, PI 예측, PID 예측, Dual-PID 예측 제어 알고리즘을 시뮬레이션한 결과 Dual-PID 예측 제어 알고리즘이 다른 알고리즘에 비해 정상상태 도달하는 시간이 빠르고 정상상태 오차도 없고 진동현상이 없었다. 샘플링 시간은 10초인 경우, A/D 및 D/A 변환기의 비트 수는 12비트인 경우에 ± 0.2 °C 까지 제어가 가능함을 실험 결과 확인되었다.

정밀 온도 제어 프로그램은 Z80 기계어로 작성하였고 제어 온도 범위는 0 °C 에서 40 °C이고 정확도는 ± 0.2 °C 이다. 본 연구에서 설계제작한 정밀 온도 제어 시스템의 블록선도는 Fig.1과 같다.

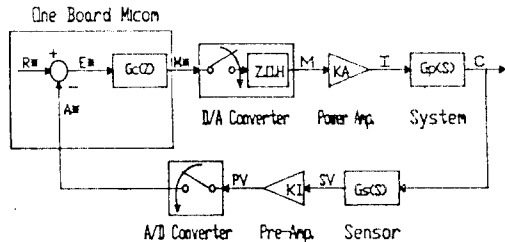


Fig. 1 Block diagram a precision temperature control system

2. 시스템 설계

정밀 온도 제어 시스템은 항온조, 전력 증폭기, 온도센서, 전치 증폭기, A/D 변환기, D/A 변환기, one-board micom 으로 구성되어 있다.

2.1 항온조

항온조는 외형 치수가 350(mm)x200(mm)x250(mm)x110(mm)인 봉을 만들어 내외벽 사이에는 단열재

스지로폴과 석면을 사용하였고, 내부 전열판으로는 열전도성을 높이기 위하여 동판을 사용하였다. 동판 아래쪽에는 두개의 열전식 열펌프를 직렬로 연결하였고, 방열판으로서 70(mm)x75(mm)x40(mm) 크기의 알루미늄으로 된 2개의 핀을 사용하였다. 열펌프를 양쪽으로 설치하고, 중앙에 12V, 1A용 직류전동기를 설치하여 방열판을 냉각하도록 하였다. 열펌프와 방열판과 전열판은 열전도성이 낮은 스테인레스강 보울트로 체결하고, 열펌프와 전열판 사이의 열전도 효과를 높이기 위하여 열그리스(thermal grease)를 사용하였다. 열전식 열펌프의 선택은 용량계산에 의하여 Melco사의 제품 CP 1.4-71-10L형 두 개를 직렬로 연결하고, 인가전압은 ±12V, 전류는 3A까지 인가하도록 결정하였다.

## 2.2 전력 증폭기

열전식 열펌프에 전원을 공급하기 위한 증폭기로 서 트랜지스터를 이용한 T형 선형 증폭기를 설계 제작하였다. D/A 변환기로부터 출력되는 -5V 에서 +5V 범위내의 제어 신호를 받아 최대 20V 열전식 열펌프에 -12V, 3A 에서 +12V, 3A 까지 공급한다. 전력 증폭기의 전원은 정격전압이 20V이고 정격전류 5A인 직류전원 공급장치 2개를 사용하였으며 외부에 의뢰하여 제작하였다.

## 2.3 온도 센서

항온조 내의 공기의 온도를 감지하기 위하여 사용된 온도 센서는 독일의 Therm사의 서미스터를 선택하였다. NTC 서미스터의 측정온도는 -30°C에서 100°C이고 정확도는 ±0.1°C이다. 온도센서의 위치는 항온조 중앙에 설치하였다.

## 2.4 전지 증폭기

NTC 서미스터가 온도의 증가에 따라 내부 저항치가 감소하므로 이를 온도 증가에 비례하는 전기적인 신호로 바꾸기 위해서 직선화 회로를 구성하였으며, Op. Amp 324를 사용하여 직선화 회로의 출력전압인 0V 에서 1.97V를 A/D 변환기의 사양 입력전압인 0 에서 5V로 증폭시키는 회로를 설계하였으며, 증폭회로의 잡음과 임피던스 문제를 해결하기 위하여 저항과 콘덴서를 이용하여 필터회로를 구성하였다.

## 2.5 A/D 및 D/A 변환기

A/D 변환기는 축차 비교형식의 미국 Burr-Brown사의 ADC80Z one-chip IC를 사용하였다. 이 변환기의 사양은 12비트, 1 채널이고, 입력전압은 0V 에서 5V 이다. 정확도는 1/2LSB 이고, 변환시간은 25 μsec 이다. D/A 변환기는 R-2R 형태의 사다리형 변환 방식의 미국 Burr-Brown사의 DAC85-DBI one-chip IC를 사용하였다. 이 변환기의 사양은 12비트, 1 채널이고, 출력전압은 -5V 에서 +5V 이다. 정확도는 1/2 LSB 이고 변환시간은 300 msec 이다.

## 2.6 원-보드 마이컴(one-board micom)

디지털 제어기로 원-보드 마이컴을 사용하였다. 원-보드 마이컴은 마이크로 프로세서를 중심으로 기억장치와 외부 기기의 입출력 제어 회로를 접속한 소형 범용 계산기를 의미한다. 이 마이컴의 중앙 연산 처리장치는 158개의 명령어를 갖는 Z80 마이크로 프로세서를 채택하였으며, 시스템의 클럭은 1.97MHz 이다. 기억장치로는 모니터 프로그램이 내장되어있는 2516 EPROM과 static RAM인 6116가 되어 사용자 기억장치의 용량을 확장할 수 있게 되어있다. 입출력 포트는 24개의 입출력 선을 갖는 programable I/O 포트인 8255 IC, 16개의 입출력 선을 갖는 programable PIO IC, 4개의 독립된 카운터, 타이머를 갖는 programable CTC IC가 있다. 입력장치는 19개의 기능키, 16개의 16진수 키, 1개의 사용자 키로 구성된 키-보드(Key-board)가 있으며 출력 장치는 6개의 LED 디스플레이(display)가 있다.

마이크로프로세서와 A/D 및 D/A 변환기와 인터페이스는 원-보드 마이컴의 Z80A PIO의 입출력 버스를 이용하였다. A/D 변환기의 데이터 버스는 IC 74 LS 373 (buffer) 2개를 이용하여 Z80 PIO의 A포트와 B포트에 연결하였으며, 어드레스 디코더(address decode)는 Z80 CPU의 어드레스라인 A10번과 A13번을 74 LS 138와 74 LS 04를 사용하여 A/D 변환기의 변환신호의 시작과 버퍼를 선택하도록 하였으며, D/A 변환기의 데이터 버스는 IC 74 244(latch) 2개를 사용하여 Z80 PIO의 A포트와 B포트를 연결하여 설계 제작하였다. 데이터의 입출력의 Z80 기계어인 IN, OUT 명령어를 사용한다. 원-보드 마이컴을 이용한 정밀 온도 제어 시스템의 회로도도 Fig. 2 와 같다.

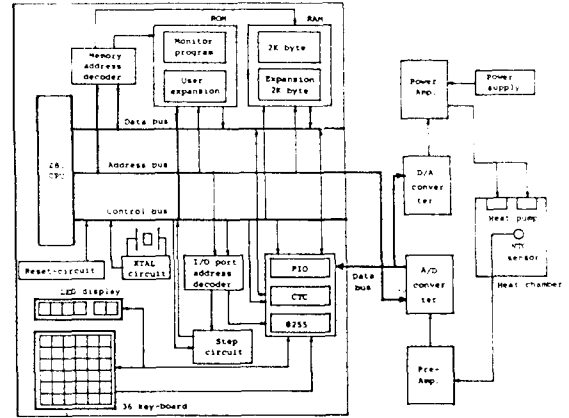


Fig. 2 A circuit diagram of a precision temperature control system using one-board micom

## 3. 제어 알고리즘 설계

제어 알고리즘은 재래식 PID (proportional+integral+derivative) 제어 방식에 선형 예측 제어 알고리즘을 적용한 PID 예측 제어 알고리즘을 이중모드(dual mode)로 사용하는 Dual-PID 예측 제어 알고리즘을 설계하였다.

재래식 PID 이산 제어 방정식의 제어변수  $M^*(k)$ 는 아래와 같이 표현된다.

$$M^*(k) = KP \times e(k) + KI \times T/2 \times \{(e(0) + e(1)) + (e(1) + e(2)) + \dots + (e(k-1) + e(k))\} + KD/T \times \{e(k) - e(k-1)\} \quad (1)$$

여기서  $M^*(k)$ 는 k번째 샘플링 (sampling)된 제어 변수의 이산치이고,  $e(k)$ 는 k번째 샘플링된 오차 변수의 이산치를 의미한다. T는 샘플링 시간이고, KP는 비례이득, KI는 적분이득, KD는 미분이득이다. 만약 제어회로에서 지연시간이 발생하는 경우(그것이 제어기의 계산에 의한 것인, 시스템과 센서에 의한 것인) 그 시간 지연이 제어기의 입력으로 작용한다. 그러므로  $e(k)$  다음 값인  $e(k+1)$ 의 값을 예측하여 시간  $t = (k+1) \times T$  에서 시스템에 입력시키면 지연시간이 무시된다.

위의 장점을 활용하기 위해서 Alyor[5]등은 단순한 선형 예측 알고리즘을 다음과 같이 제안 하였다.

$$e(k) = e(k-1) + \{e(k-1) - e(k-2)\} = 2e(k-1) - e(k-2) \quad (2)$$

식(2)을 식(1)에 대입하여 정리하여 PID 예측 제어 알고리즘을 속도형 선형 차분 방정식으로 표현하면 식(3)과 같다.

$$M^*(k) = M^*(k-1) + (2KP + 4KI \times T/2 + KD/T) \times e(k-1) + (-3KP - 3KI \times T/2 - 2KD/T) \times e(k-2) + (KP + KI \times T/2 + KD/T) \times e(k-3) \quad (3)$$

여기서 제어 상수 KP, KI, KD는 주파수 응답 설계 방법에 의해서 구해진다.

PID 예측 제어 알고리즘만으로 제어를 하였을 때 시스템의 시간 반응이 정상상태에 도달하는 시간이 늦기 때문에 정상상태에 도달하는 시간을 줄이기 위해서 실제 출력이 요구 입력에 가까운 값(제한 오차 범위)까지는 최대의 조작변수를 발생시키고 제한 오차 범위내에 도달하면 PID 예측 제어 알고리즘이 작동되도록 하는 방법을 "Dual-PID 예측 제어 알고리즘" 이라고 필자는 명명 하였다.

이 알고리즘을 차분 방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$e(k) > |LIMV| \text{인 경우} \\ M^*(k) = \text{최대치} \quad (4)$$

$$e(k) \leq |LIMV| \text{인 경우} \\ M^*(k) = M^*(k-1) + (2KP + 4KI \times T/2 + KD/T) \times e(k-1) + (-3KP - 3KI \times T/2 - 2KD/T) \times e(k-2) + (KP + KI \times T/2 + KD/T) \times e(k-3) \quad (5)$$

여기서 LIMV는 제한오차 범위의 값이고, 주파수 응답 설계 방법으로 구한 비례이득 (KP)은 13.843, 적분이득 (KI)은 0.0025, 미분이득 (KD)은 700 이다. 제한오차 범위는  $\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ , 그리고  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  세가지 경우를 시뮬레이션 해본 결과  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  경우가 가장 좋은 결과를 얻었다.

#### 4. 원-보드 마이컴 제어 프로그램 설계

##### 4.1. 논리 흐름도

원-보드 마이컴의 사용자 영역인 1800 - 1FFF 번지의 내용을 원-보드 마이컴 제어 프로그램 실행시 필요한 데이터를 저장하기 위해서 클리어 (clear) 한다. 그 다음 A/D 변환기로 부터 초기 온도 값을 읽어 들여 아날로그 온도 값으로 변환하여 원-보드 마이컴의 출력장치인 LED 출력장치에 나타나고, 사용자는 LED 출력장치에 "rEq"가 표시되면 키-보드를 통하여 요구온도를 입력시키면, 디지털 온도 값을 계산한다. 그 다음에 시간을 측정하기 위해서 Z80 CTC 타이머 (timer)를 초기 온도 설정하고, LED 출력장치에 현재 온도와 요구 온도를 표시하기 위해 디스플레이 데이터 형태인 16진수로 변환을 한다. 샘플링 시간의 측정은 Z80A CTC의 타이머 기능을 이용한 타이머 인터럽트 루틴 (interrupt routine)을 사용한다. 타이머는 샘플링 시간이 되면 Z80 CPU에 인터럽트 트를 건다. 그러면 원-보드 마이컴 제어 프로그램은 인터럽트 서어비스 루틴으로 실행이 옮겨진다. 인터럽트 서어비스 루틴에서는 샘플링 시간이 되면, A/D 변환기로 부터 현재의 온도 값을 읽어 들여 아날로그 온도 값을 계산한후, 디지털 요구온도와 값과 비교하여 오차 값을 계산한다. 샘플링 시간도 도달하지 않으면 인터럽트 서어비스 루틴을 빠져 나온다. 만약 오차 값이 사용자 가 지정한 제한오차 범위보다 큰 경우 조작변수의 값은 최대의 값을, 작은 경우는 조작변수의 값이 0으로, 범위안에 있는 경우는 PID 예측 제어 알고리즘에 의해서 조작변수의 값이 계산되는 Dual-PID 예측 제어 알고리즘이 실행된다. 계산된 조작변수의 값은 D/A 변환기 출력 루틴에 의해서 D/A 변환기로 출력되면 인터럽트 서어비스 루틴의 실행이 끝나고, 현재 제어 온도와 그 온도 값과 요구 온도 값을 LED 출력장치에 출력한다. 출력된 값은 타이머 인터럽트 루틴에 의해서 Z80 CPU에 인터럽트 걸릴 때까지 그 값을 계속 유지한다. 다음의 샘플링 시간이 되면 타이머 인터럽트 루틴에 의해서 Z80 CPU에 인터럽트가 걸리고, 인터럽트 서어비스 루틴으로 되돌아가서 다음 A/D 변환기로 부터 그 때의 온도 값을 읽어

아날로그 온도 값으로 계산하고, 오차 값을 계산하는 순서로 되돌아 간다. 사용자가 온도 제어 시스템의 온도 제어를 중지시킬 때까지 계속해서 위와 같은 순서를 되풀이 하면서 사용자가 원하는 제어 동작을 하게된다. 위와같은 순서를 논리 흐름도로 나타내면 Fig. 3과 같다. 제어 프로그램은 Z80 기계어로 작성하여 6116 RAM 에 기억시킨다. 실행 시킬때는 어드레스 2000번지를 입력한후 키-보드에 있는 [GO] 키를 누르면 제어 프로그램이 실행 된다.

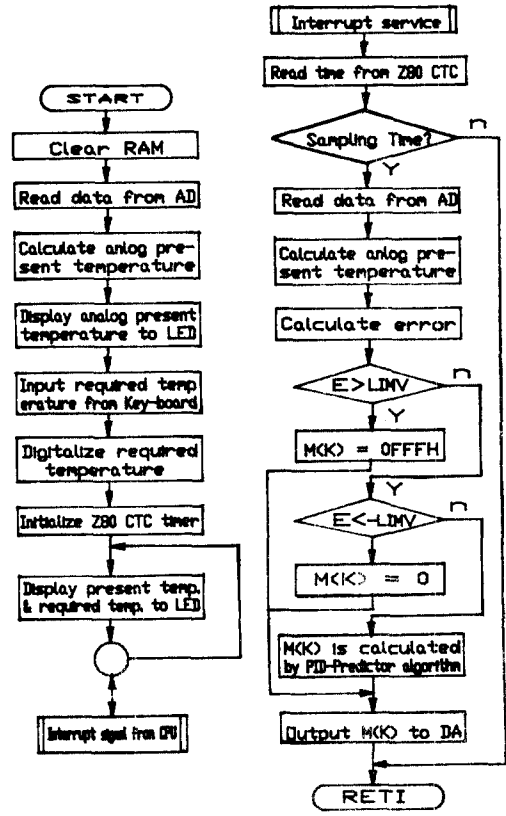


Fig. 3 Flow chart of the precision temperature control program

##### 4.2. 기계어 프로그램 작성

원-보드 마이컴 제어 프로그램을 Z80 어셈블러 (assembler)언어로 작성한 후 APPLE II 마이크로컴퓨터의 CP/M상에서 Z80 컴파일러를 이용하여 기계어로 변환시킨다. 제어 프로그램에서 A/D 변환기의 출력 값을 디지털 온도 값으로 표시되므로 아날로그 온도 값으로 변환하기 위해서 16진 곱셈과 4비트 2진-BCD 변환 루틴을 사용하였고, 입력된 요구 온도 값을 디지털 요구 온도 값으로 변환하기 위해서 1바이트 BCD-2진 변환 루틴과 8진 곱셈을 사용하였다. 프로그램 실행시 오차 신호를 계산할 때, 계산 결과가 음이 되는 경우와 있어서 계산된 결과의 최상위 바이트에 부호를 저장하는 바이트로 하여, 계산된 값이 양인 경우는 "00"를, 계산된 결과가 음인 경우는 "FF"가 부호 바이트에 저장되어지도록 하는 부호 처리방법을 채택하였다. 제어 알고리즘에 의해서 조작변수를 계산하는 과정에서 덧셈을 하는 경우 부호에 따라 2가지 경우가 발생한다. 더하는 수와 더해지는 수의 부호가 양인 경우에 두 수를 더하고, 더하는 수와 더해지는 수의 부호가 음인 경우에는 두 수를 더하고 부호를

음으로 하고, 더하는 수와 더해지는 수의 부호가 다른 경우 두 수를 빼도록 하였다. 백셈을 할 때, 빼는 수와 빼지는 수의 부호가 양인 경우는 두 수를 빼고, 빼는 수와 빼지는 수의 부호가 다른 경우 두 수를 더하고, 두 수의 크기에 따라 부호가 정해지도록 하였다. 기계어 프로그램 실행시 각 레지스터의 내용을 분석할 수 있고 프로그램의 실행을 추적할 수 있는 ZSID 프로그램 [12]을 이용하여 작성한 온도 제어 프로그램의 논장의 잘못과 로직의 잘못을 수정하였다.

## 5. 실험

### 5.1 실험장치

원-보드 마이컴 정밀 온도 제어 실험장치의 개략도는 Fig. 4와 같다. 실험장치는 원-보드 마이컴, 정전원 공급장치, AD/DA 변환기, 항온조, 온도센서, 전력증폭기, 전지증폭기, X-Y 기록기, 디지털 온도계로 구성되어 있다. 각 실험기기의 사양은 Table 1과 같다.

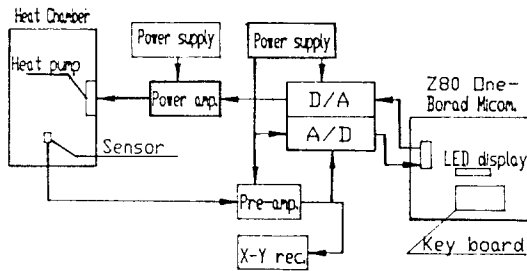


Fig. 4 Schematic diagram of experimental set-up

Table 1. Specifications of experimental apparatus

Appartus	Specification	Manufacturer
One board microm	CPU: Z80, ROM: 2516 RAM: 6186, I/O: 8255 , Z80 PIO, Z80 CTC DISPLAY: 6 LED, 36 KEY, Power: +5V	Multitech Industrial CO. U. S. A
DC power supply	input: 100V AC output: $\pm 20V$ , 5A	ED Engineering
DC power supply	input: 100V AC output: $\pm 15V$ , $\pm 20V$ , $\pm 12V$ , 5A + 5V, GND, 1A	Korea Computer
AD Converter	12 bit, 1ch input: 0 - +5V	Self-fabrication
DA Converter	12 bit, 1ch output: -5 - +5v	Self-fabrication
Heat chamber	350 X 250 X 200 mm	Self-fabrication
Power amplifier	input: -5 - +5V output: -3 - +3A	Self-fabrication
Pre-amplifier	input: 0 - 2.01V output: 0 - 5V	Self-fabrication
Level recorder	IR - 01	RION, Japan
Temperature probe	NTC Thermister	THEISS, Germany

### 5.2 실험 방법

실험은 원-보드 마이컴에 Dual-PID 예측 제어 알고리즘의 작동 프로그램을 6116 RAM에 저장하여 냉각, 가열모드 두 가지 경우에 대해서 실험을 하였다.

실험순서는 먼저 실험장치의 모든 전원을 넣은후 원-보드 마이컴의 6116 RAM에 원-보드 마이컴 제어 프로그램을 입력시킨다. 그 다음 원-보드 마이컴에 일시 저장된 원-보드 마이컴 제어 프로그램의 어드레스인 2000번지를 키를 이용하여 입력한후 키-보드에 있는 [GO] 키를 누르면 제어 프로그램이 실행되어지며, 초기 온도가 LED 디스플레이 출력장치에 나타난다. 그러면 사용자는 요구온도를 입력한다. 이렇게 함으로써 온도 제어 동작이 실행되고, Z80 원-보드 마이컴의 LED 디스플레이 출력장치에는 현재온도와 요구온도가 표시되며, X-Y 기록기에서는 온도대 시간 곡선을 그린다. 실험의 종류는 냉각모드에서 제한 오차 범위를  $\pm 0.5^{\circ}C$ 로 하고, 샘플링 시간을 10초, 20초, 30초로 변경시키면서 실험하였고 (EXP.1 - EXP.3), 가열모드에서는 샘플링 시간을 10초로 고정하고, 제한 오차 범위를  $\pm 0.5^{\circ}C$ 와  $\pm 1^{\circ}C$ 의 경우를 실험하였다 (EXP.4 - EXP. 5).

## 6. 실험 결과 및 고찰

원-보드 마이컴을 이용하여 정밀 온도 제어 장치를 실험한 종류와 결과를 Table 2에 정리하였다. Fig. 5에는 X-Y 기록기로 기록한 시간-온도 반응 곡선을 도시하였다.

실험 1, 2, 3은 냉각모드에서 제한 오차 범위를  $\pm 0.5^{\circ}C$ 로 하고, 샘플링 시간을 10초, 20초, 30초로 변경하면서 비교 실험한 것이다. 샘플링 시간이 20초와 30초인 경우 시스템의 시간반응이 진동 현상을 나타내었다. 샘플링 시간이 증가할수록 시스템의 시간 반응이 진동 현상이 크게 발생되고 제어 온도 오차 범위도 증가됨을 보여준다. 실험 1에서는 온도의 제어 오차 범위가  $0.1^{\circ}C$ 에서  $0.2^{\circ}C$  이내이고, 실험 2에서는  $-0.3^{\circ}C$ 에서  $+0.8^{\circ}C$  이내이고, 실험 3에서는  $-0.2^{\circ}C$ 에서  $+2.01^{\circ}C$  이내이다. 여기서 샘플링 시간이 10초일 때가 가장 제어가 잘됨을 알 수 있다.

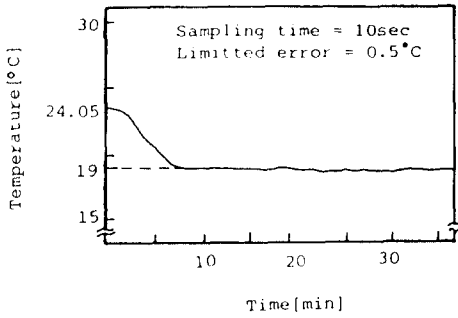
실험 4, 5는 가열모드에서 샘플링 시간을 10초로 하고, 제한 오차 범위를  $\pm 0.5^{\circ}C$ ,  $\pm 1^{\circ}C$ 로 변경하면서 비교 실험한 것이다. 제한 오차 범위가  $\pm 0.5^{\circ}C$ 인 경우가  $\pm 1^{\circ}C$  경우보다 약간의 진동 현상은 있지만 안정시간이 빠르며 정상상태 오차가 없었다. 제한 오차 범위가 시스템의 시간반응의 정상상태 오차에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 실험 4에서는 온도의 제어 오차 범위가  $-0.2^{\circ}C$ 에서  $+0.2^{\circ}C$  이내이고 실험 5에서는  $0.4^{\circ}C$ 에서  $0.6^{\circ}C$  이내이다. 제한 오차 범위는  $\pm 0.5^{\circ}C$ 로 정하는 것이 바람직하다. 실험결과로 냉각모드가 가열모드에서 보다 제어가 잘됨을 알 수 있었다.

결론적으로 샘플링 시간은 10초, 제한 오차 범위를  $\pm 0.5^{\circ}C$ 로 하였을 때 온도 제어 오차 범위가  $\pm 0.2^{\circ}C$  까지 제어가 가능함을 알 수 있었다.

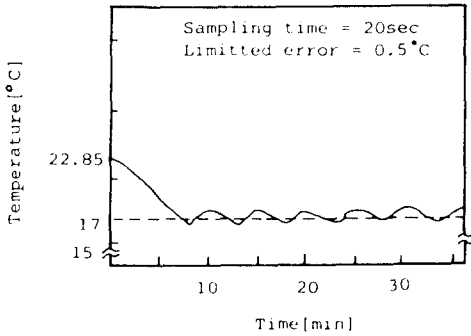
Table 2. Summary of experimental results

Experiment No.	Sampling time [sec]	Limited error [ $^{\circ}C$ ]	Initial temp. [ $^{\circ}C$ ]	Required temp. [ $^{\circ}C$ ]	Error temp. [ $^{\circ}C$ ]	
					Max	Min
Exp. 1	10	0.5	24.05	19	0.2	0.1
Exp. 2	20	0.5	22.85	17	0.8	-0.3
Exp. 3	30	0.5	19.66	14	2.01	-0.2
Exp. 4	10	0.5	21.77	27	0.2	-0.2
Exp. 5	10	1	18.31	23	0.6	0.4

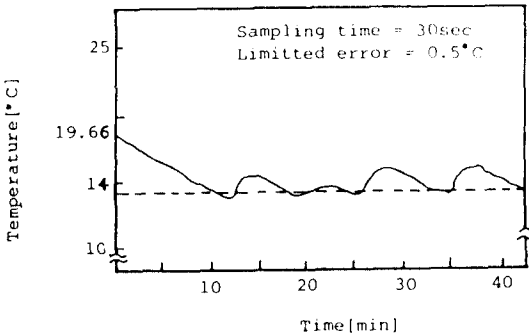
EXP. 1



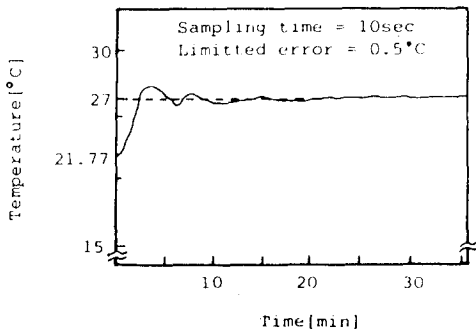
EXP. 2



EXP. 3



EXP. 4



EXP. 5

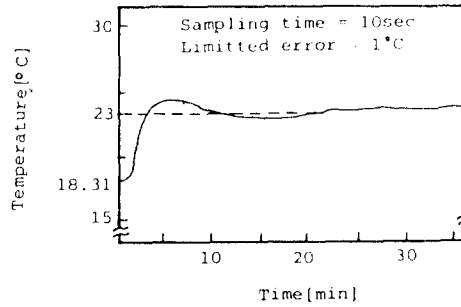


Fig. 5 Temperature responses of the experiments

### 7. 결론

one-board micomdmf 이용한 정밀 온도 제어장치를 설계, 제작, 실험하면서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1)제한 오차 범위는 시스템의 시간반응의 정상상태 오차에 영향을 미친다는 것을 알았다. 제어 알고리즘에 따라 알맞는 제한 오차 범위를 정해 주어야 한다. Dual-PID 예측 제어 알고리즘에는  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  가 적당함을 알 수 있다.

(2)280 원-보드 마이컴을 제어기로 하고 12 비트 A/D 및 D/A 변환기를 사용하고 Dual-PID 예측 제어 알고리즘으로 온도 제어를 한 결과 요구온도에  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  까지 정확하게 제어됨을 알았다.

정밀 온도 제어 프로그램을 EPROM 프로그래머를 이용하여 EPROM 2716등에 기억시키면 프로그램을 영구히 보존할 수 있고, 원-보드 마이컴에 탑재하면 항상 EPROM에 기억된 제어 프로그램을 실행할 수 있다.

시스템 구성을 더욱 소형경량화하기위해서 원-칩(one-chip) 마이크로컴퓨터를 이용한 정밀 온도 제어 시스템의 개발이 요구되어진다.

### 참고 문헌

- 1.주해호,김교형,신중철, 일전식 열펌프를 이용한 정밀 온도 제어 시스템 개발, 대한기계학회 논문집 제11권, 제4호, pp.708-715, 1987
- 2.조덕현, 정밀 온도 제어용 원-보드 마이컴 제어 알고리즘 개발에 관한 연구, 영남대학교 석사학위논문, 7월 1988
- 3.주해호,조덕현, 디지털 제어시스템을 위한 마이크로컴퓨터 지원 설계, 87 한국자동제어학회의 논문집 vol.2 1987
- 4.전병균,전기준, Robust한 단일출력 PI 및 PID 예측제어기 설계, 86 한국자동제어학회의 논문집 Vol.1, 1986
- 5.James H. Aylor, Design and Application of a Microprocessor PID Predictor Controller, IEEE. Tran. on Ind. Elec. Cont. Inst., Vol. IECI-27, No.3, August 1980
- 6.Mulitech Industrial Corporation, MPF-1 user's and experimental manual, 1981
- 7.김영해역, 센서 인터페이스 No.1 - 온도,습도 센서 활용편, 기전연구사, 1986
- 8.김태영역, A-D/D-A 변환회로의 설계와 응용, 우정출판사, 1985
- 9.박정일,이강웅편저, 마이크로컴퓨터 인터페이스, 방한출판사, 1986
- 10.이영돈,이상훈,최인열공역, Z-80 서브루우틴, 성안당, 1985
- 11.이병태,김중채편저, Z-80 마이컴 프로그램 테크닉, 기전연구사, 1983
- 12.김승연 역, CP/M User Guide, 성안당, 1981