creative commons
COMMONS DEED

저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학석사 학위논문

무연납 인두기 제어시스템의 연구

Study of a control system for Soldering Iron

지도교수 최 형 식

2011년 2월

한국해양대학교 대학원

기 계 공 학 과

강 형 석

本 論文을 姜亨錫의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

위 원 장 유 삼 상 (인)

위 원 최 형 식 (인)

위 원 이 영 호 (인)

2011 년 2 월

한국해양대학교 대학원

목 차

Abstract

그림목차

표목차

제 1 장 서론 1
제 2 장 하드웨어 시스템 구성 및 개발 3
2.1 전체 시스템 구성 3
2.2 전원부 구성 5
2.3 센서부 구성 9
2.4 제어부 구성 16
제 3 장 소프트웨어 개발 19
3.1 시스템 Loop 및 샘플링 타임 19
3.2 A/D 변환 및 온도 계측 20
3.3 히터 구동 제어 방법 24
3.4 제어 알고리즘 26
제 4 장 실험 결과 32
4.1 인두기 히터의 성능 실험 32
4.2 알고리즘을 적용한 인두기 히터의 성능 실험 37
4.3 인두기 히터의 모델링 및 시뮬레이션 39
제 5 장 결론 43
5.1 결론 43
참 고 문 헌 44

Development of a control system for Soldering Iron

KANG HYUNGSUK

Department of Mechanical Engineering
Graduate School, Korea Maritime University

Abstract

In this thesis, I studied on making a control system about soldering iron which can control temperature and use solder wire without harmful materials. Nowadays, environment-friendly technology is issued over the world. For this, a lead-free soldering iron system is studied in this thesis.

The control system of soldering iron was designed with TMS320F2812 micro processor, which is one of the fast DSP in 28XX.

Thermo couple and temperature sensor were used in this system to measure the temperature of soldering iron and workspace. In addition, Matlab Simulink was used to perform simulations and to verify experimental results.

그 림 목 차

Fig. 2.1 The whole system of soldering iron 3
Fig. 2.2 Structure of soldering iron 4
Fig. 2.3 Structure of FET driver for DC 24V 6
Fig. 2.4 The main circuit using DC-DC converter 8
Fig. 2.5 The circuit for sensor parts 9
Fig. 2.6 The application circuit using 3 OP AMP 10
Fig. 2.7 K type thermo couple 11
Fig. 2.8 The character graph of various thermo couple 12
Fig. 2.9 LM35DZ temperature sensor 13
Fig. 2.10 Amplification factor of LM35DZ temperature sensor 14
Fig. 2.11 The structure of main processor circuit 17
Fig. 2.12 The I/O interface using ATmega128 18
Fig. 3.1 The structure of system timer 19
Fig. 3.2 The structure of A/D converter 22
Fig. 3.3 The principle of PWM control 24
Fig. 3.4 The circuit using IRF540A 25
Fig. 3.5 The duty rate of PWM on Oscilloscope 26
Fig. 3.6 The characteristic graph of PID 27
Fig. 3.7 The different type of PID gain 29
Fig. 3.8 The working environment of CCS 31
Fig. 3.9 The algorithm of soldering iron system 32
Fig. 4.1 The temperature curve of soldering iron (insisde) 33
Fig. 4.2 The temperature curve of soldering iron (outside) 34
Fig. 4.3 The temperature curve of soldering iron using DX102-3-2 35
Fig. 4.4 The temperature curve of soldering iron at 450℃ 37
Fig. 4.5 The temperature curve of soldering iron at 350℃ 38
Fig. 4.6 The relation between resistor and temperature of system 39
Fig. 4.7 The relation between resistor and temperature in MATLAB 40
Fig. 4.8 The simulation using MATLAB Simulink 41
Fig. 4.9 The simulation data using MATLAB Simulink 42

표 목 차

Table 2.1 Specification of the power supplies 5
Table 2.2 Specification of IRF540A 7
Table 2.3 Specification of K type thermo couple 11
Table 2.4 Specification of LM35DZ 14
Table 2.5 Specification of TMS320F2812 16
Table 3.1 Specification of A/D converter 20
Table 3.2 Characteristic of A/D converter 21
Table 3.3 The symbol of PID math 30

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

제 1 장 서론

납의 종류에는 납(Pb)-주석(Sn)의 혼합 비율에 따라 다양하게 존재하며 납의 성분을 없애고 순수 주석이나 은(Ag), 구리(Cu)등을 사용하는 것을 무연납이라 칭한다. 납성분은 인체에 매우 유해한 물질로써, 유럽과 북미 지역에서는 2006년 1월부터 출시되는 모든 전자제품에 대해서 무연납 사용을 의무화[1][2][3] 하였고 일반납의 사용을 법적으로 제재하고 있다. 하지만 우리나라의 경우에는 일부 대기업에서만 일반납의 사용을 금지하고 있으며, 일반적으로 일반납을 주로 사용하고 있는 실정이다. 친환경을 고려한 기술의 필요성이 증대되고 있는 현재, 향후 유럽시장과 미국시장을 고려한다면 앞으로 우리나라에서 개발되는 모든 전자제품들도 무연납의 사용 의무화가 불가피할 것이다.

일반납의 용융점은 보통 183℃이며, 250℃가량에서 가장 잘 녹고 납땜작업이 용이하다. 반면 무연납[4][5]의 경우에는 용융점이 217℃이상으로, 350℃가량의 온도에서 가장 이상적인 납땜작업이 이루어지지만 일반납에 비해 작업성이 떨어지며 가격이 상대적으로 고가라는 단점을 갖고 있다. 은이나 구리가 많이 함유될수록 작업성은 더 좋아지게 되지만 가격 또한 함께 상승하게 된다.[6][7]

인두기의 종류는 히터의 방식에 따라 크게 세라믹인두기와 고주파인두기로 나누어진다. 고주파인두기의 경우에는 마찰하는 교류와상전류를 열에너지로 변환시켜 사용하는 인두기로 무연납 대응으로 출시된 인두기로 알려져 있고 세라믹 인두기[8] 또한 무연납에 맞게끔 출시되고 있는 중이다. 또한 인두기는 디지털 방식과 아날로그 방식으로

나눌 수 있다. 아날로그 방식의 인두기는 ±5℃정도의 편차를 보이며 설정온도를 유지하게 되고 디지털 방식의 인두기는 ±1℃ 이내로 유지해 주게 된다.

현재 국내에서 개발되어 사용되고 있는 무연납 대응 인두기의 경우에는 고주파인두기가 주를 이루고 있으며 세라믹 인두기는 아날로그방식을 개발해서 사용하고 있다. 즉, 디지털방식의 세라믹 인두기의 경우는 대부분 국외제품이 주를 이루고 있는 것이다.

본 연구에서는 0℃에서 500℃까지 온도조절이 가능한 디지털방식 세라믹 인두기의 제어시스템 연구를 목표로 하고 있다. 아날로그 방식의 무연납 인두기의 단점인 느린 반응속도와 상대적으로 큰 온도 오차범위를 극복하고 국외 제품과 경쟁할 수 있는 제어시스템을 개발하고 한다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

제 2 장 하드웨어 시스템 구성 및 개발

2.1 전체 시스템 구성

본 연구에서의 전체적인 하드웨어 시스템 구성은 전원부, 센서부, 구동부, 제어부 및 표시부로 나눌 수 있으며, 전반적인 구성도는 Fig.2.1에 나타나 있다.

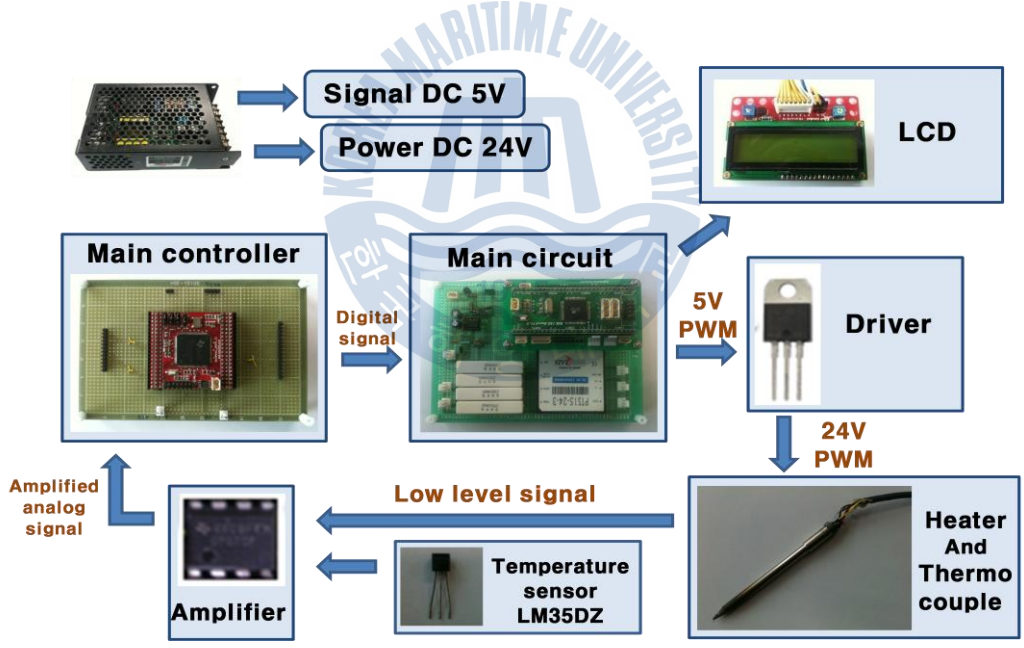


Fig.2.1 The whole system of soldering iron

본 연구에 사용된 인두기 히터의 사양은 70W이며 7Ω의 저항치를 가지고 있다. 인두팁 끝단의 온도를 측정하기 위해 K타입의 열전대를 부착함으로써 열기전력을 피드백 받는 구조를 선택하였으며 열전대의 기준점이 되는 0℃를 보상해주기 위해 별도의 온도 센서로써 LM35DZ를 사용하였다. 또한 미세한 센서의 출력값을 정밀한 제어 입력으로 사용하기 위해 OP AMP를 이용한 별도의 아날로그 증폭회로를 구성하여 제어기에 인가하는 시스템을 구성하였다.

Fig.2.2는 인두팁 내부 구조로써 K타입의 열전대와 인두기의 히터로 구성되어 있다.

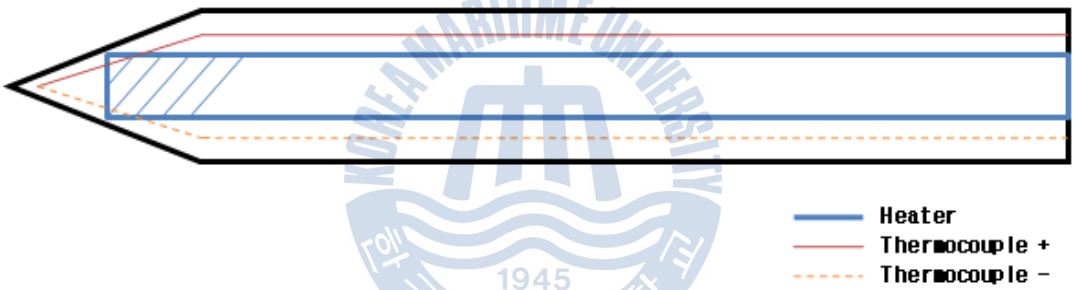


Fig.2.2 Structure of soldering iron

위의 그림처럼 K 타입의 열전대와 인두기의 히터는 인두팁 내부에 내장되어 있다. 본 연구에서는 실제로 납땜 작업을 할 때에 필요한 온도는 인두팁 끝부분이기 때문에 별도로 K 타입의 열전대를 추가로 부착하여 내부 열전대와 비교, 보상할 수 있도록 시스템을 구성하여 연구를 진행하였다.

2.2 전원부 구성

기본적으로 히터를 구동하는 전원으로는 AC 24V와 DC 24V로 나누어진다. 본 연구에서는 DC 24V를 인두기의 히터 전원으로 사용하였으며, DC 5V는 제어기의 디지털 전원으로 사용, DC ±12V 전원은 OP AMP의 양전원 공급용으로 사용하였다. 본 연구에 사용된 전원의 사양은 아래의 Table 2.1과 같다.

Table 2.1 Specification of the power supplies

특징	세부 사항			
타입	AD-DC	AC-DC	DC-DC	DC-DC
용량	220W	30W	3W	1W
입력	AC 220V	AC 220V	DC 12V	DC 5V
출력	DC 24V	DC 12V	DC 5V	DC ±12V
용도	히터 전원	주 전원	디지털 전원	OP AMP 전원

OP AMP의 전원을 양전원인 ±12V를 사용한 이유는 반전증폭 회로를 사용하기 위함이다. 반전증폭 회로의 장점은 입력 신호를 비반전증폭 회로에 비해 정밀하게 증폭시킬 수 있다는 점이다. 일반적으로 OP AMP에 단전원만을 공급해서는 반전증폭 회로를 사용할 수 없으며 본 연구에서는 반전증폭을 사용해 증폭한 신호를 다시 비반전증폭을 거쳐 (+)레벨의 신호로 A/D 입력단에 제공되게 된다.

히터 구동용 전원인 DC 24V와 디지털 제어용 전원 DC 5V, ±12V는 서로간의 간섭으로 인해 노이즈를 발생시킬 가능성이 높기 때문에 철저한 전원분리를 하였다. 아래의 Fig.2.3은 구동용 전원과 제어용 전원을 분리 적용 및 신호 전달하는 구조를 나타내고 있다.

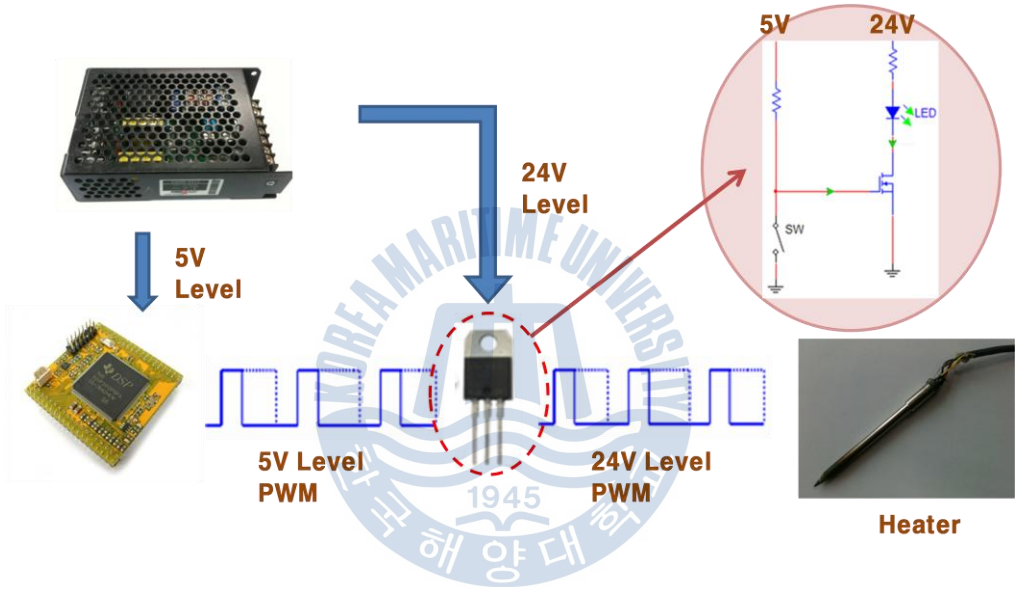


Fig.2.3 Structure of FET driver for DC 24V

일반적으로 Voltage 제어가 필요한 경우에는 본 연구에서처럼 FET를 사용하며 Current 제어가 필요한 경우에는 FET보다는 Transistor를 사용하는 것이 효율적이다. 또는 포토 다이오드를 적용한 포토 Transistor를 사용함으로써 완전히 회로적으로 전원을 분리해서 사용하기도 한다. 한편 FET는 응답성이 매우 우수하기 때문에 고속 PWM제어에 적용하기 수월하다..

본 연구에서 사용된 FET(Field Effect Transistor)의 경우에는 Fig.2.3에서 보여주듯이 신호전력과 구동전력을 분리해주는 역할과 동시에 스위칭 동작을 통해서 히터에 공급되는 전력량을 조절할 수 있는 드라이버 역할을 수행하고 있다. 아래의 Fig.2.2는 시스템에 적용된 FET의 사양과 특성이다

Table 2.2 Specification of IRF540A

항목	특징
IRF540A	$BV_{DSS} = 100V$
	$R_{DS(on)} = 0.052\Omega$
	$I_D = 28A$
	Avalanche Rugged Technology
	Rugged Gate Oxide Technology
	Lower Input Capacitance
	Improved Gate Charge
	Extended Safe Operating Area
	175℃ Operating Temperature
	Lower Leakage Current: 10uA (MAX.)

OP AMP의 전원으로 사용될 ±12V 양전원을 구성하는 방법에는 브릿지 다이오드를 활용하여 AC전원을 정류해서 얻는 방법과 전용 IC를 사용하는 방법, 그리고 DC-DC 컨버터를 활용하는 방법등이 있다. DC-DC 컨버터를 사용하는 방법은 양전원을 구성함과 동시에 5V 제어용 전원과 그라운드를 분리할 수 있기 때문에 제어기와 OP AMP, 그리고 센서용 전원간의 간섭을 최소화 할 수 있다. 다시 말하면 전원분리를 통해 제어기에서 발생하는 노이즈로 인한 센서신호의 계측 에러를 최소화 할 수 있는 것이다. 아래의 Fig.2.4는 DC-DC 컨버터를 사용하여 구성한 하드웨어의 모습이다.

Fig.2.4 The main circuit using DC-DC converter

2.3 센서부 구성

앞에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 2가지의 온도 측정용 센서를 사용하고 있다. 인두팁 끝의 고온을 측정하기 위한 K타입의 열전대와 상온 보상용 온도 센서인 LM35DZ가 그것이다. 외부의 간섭을 최소한으로 하기 위해 구동부와 제어부와의 철저한 전원분리를 적용하였으며, 열전대의 미세한 열기전력과 LM35DZ 온도센서의 낮은 레벨 신호를 증폭하기 위한 아날로그 부가 회로를 구성하였다. 아래의 Fig.2.5는 본 연구에 적용된 센서부의 회로도이다.

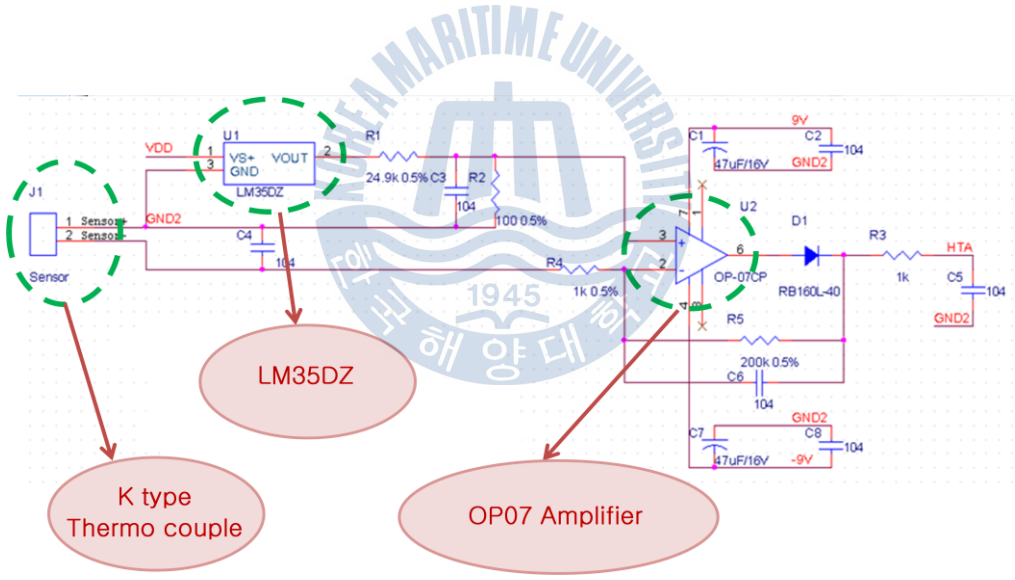


Fig.2.5 The circuit for sensor parts

OP AMP의 증폭을 거치게 된 신호는 디지털 제어기의 ADC의 입력으로 사용되게 된다. 본 연구에서 사용된 제어기인 TMS320F2812의 ADC 입력단은 매우 작은 임피던스를 가지고 있지만 더욱 정밀한 데이터 수집을 위해 센서 신호를 전류 증폭해주는 별도의 회로는 구성하였다. 하지만 제어기의 특성으로 인해 하드웨어적인 노이즈 필터를 구성하는 대신 소프트웨어적인 필터를 구성하여 적용하였다. 아래의 Fig.2.6은 OP AMP 3개를 사용하여 Voltage 폴로, 반전증폭, 그리고 비반전증폭을 응용하는 회로도이다.

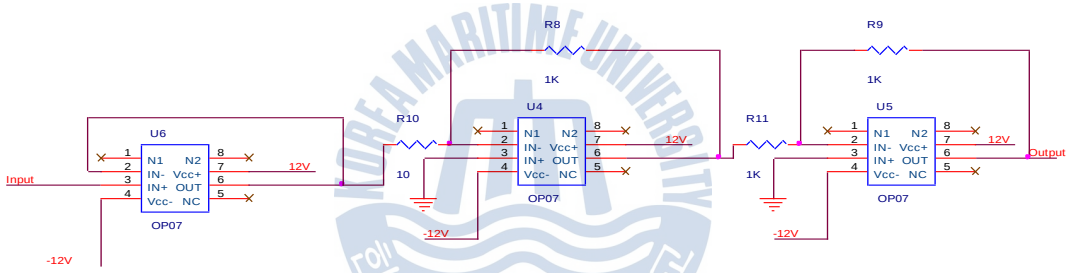


Fig.2.6 The appication circuit using 3 OP AMP

아래의 Fig.2.7은 K 타입 열전대를 인두팁 끝에 부착한 모습이다.

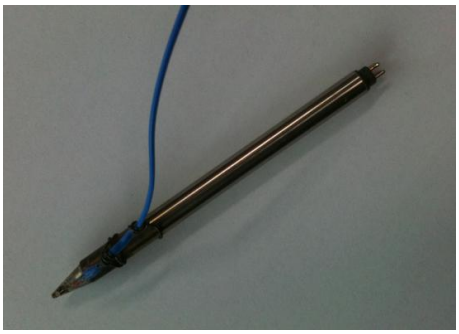


Fig.2.7 K type thermo couple

열전대란, 종류가 다른 금속선 두 개의 양 끝단을 접속하여 만든 것으로서 양 끝간 접점에 온도차가 발생할 때 이 폐 회로에 열기전력을 발생시켜 회로에 전류를 흘리는 구조로 이루어져 있으며 국제 규격에 따라 B, R, S, N, K, E, J, T 및 G, C, D 타입의 열전대가 사용 목적에 따라 사용되어지고 있다. 아래의 Table.2.2는 본 연구에 사용된 K 타입의 열전대의 구성 및 특징이다.

Table 2.3 Specification of K type thermo couple

항목	특징
K 타입 열전대	입력 전압이 불필요
	기전력 약 40uV/℃
	1000℃ 이하에서 내산화성 양호
	비금속 열전대로 안전성 양호
	열기전력의 직진성이 매우 우수

본 연구에서 K타입의 열전대를 적용한 가장 큰 이유는 센서의 출력이라고 볼 수 있는 열기전력의 직선성이 우수하다는 것이다. 아래의 Fig2.8은 여러 가지 타입의 열전대의 열기전력 특성곡선을 보여주고 있다.

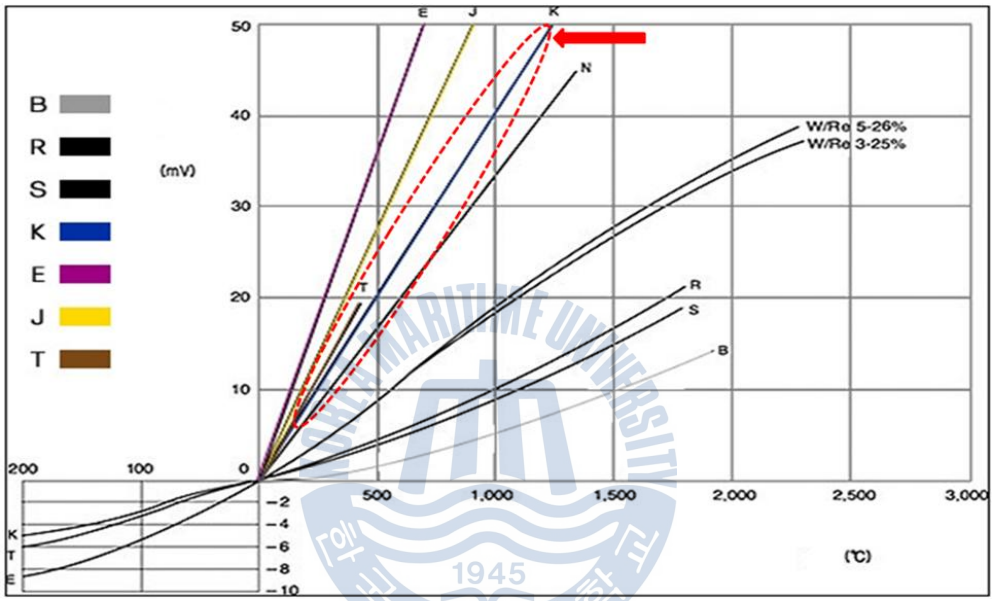


Fig.2.8 The character graph of various thermo couple

위에 그림에서 알 수 있듯이 E, J, N타입의 열전대와 더불어 매우 훌륭한 직선성을 보여주고 있다. 또한 1000℃ 이하에서의 내산화성이 뛰어나기 때문에 본 연구에서 적용될 500℃까지 적용하기에 수월하다.

아래의 Fig.2.9은 LM35DZ 온도센서의 실제 모습으로 (+)전원, Gnd, 그리고 아날로그 출력핀으로 구성되어 있다.

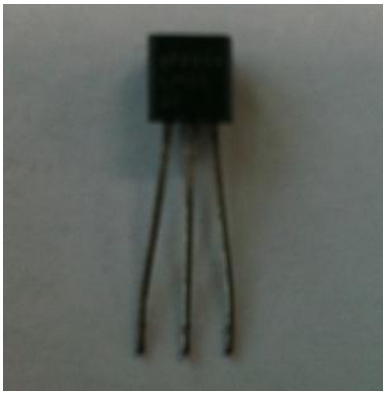


Fig.2.9 LM35DZ temperature sensor

열전대의 열기전력은 측온 접점과 기준 접점의 온도차로 정해지게 되므로, 상온에서 측정하기 위해서는 기준 접점의 온도를 정확한 0℃를 만들어 주어야 정확한 인두팁 끝단의 온도를 측정할 수 있게 된다. 0℃를 기준으로 상온만큼의 열기전력을 보상해주는 용도로써 본 연구에서는 LM35DZ의 온도 센서를 사용하였다. LM35DZ는 0℃~100℃의 사용범위를 가지며 출력전압의 직진성이 매우 우수하며 Table.2.4와 같은 특성을 가진다.

Table 2.4 Specification of LM35DZ

항목	세부 사항
입력 전압	4~30V
출력	10mV/℃
출력 전류	10mA
온도 계측 범위	-60~150℃
오차	± 1℃

LM35DZ의 출력은 10mV/℃로 K타입 열전대의 열기전력으로 변환이 필요하다. K타입 열전대의 열기전력은 1℃당 약 40uV이다. 이는 정밀 저항 2개로 250 : 1 전압분해를 이용하여 40uV/℃로 맞출 수 있다. 이 전압분배 된 출력을 OP AMP의 (+)단에 연결 해 줌으로써 상온에 대한 기전력을 보상하여 증폭될 수 있도록 하였다. 아래의 Fig.2.10은 LM35DZ의 출력신호 증폭률을 결정하는 것을 보여주고 있다.

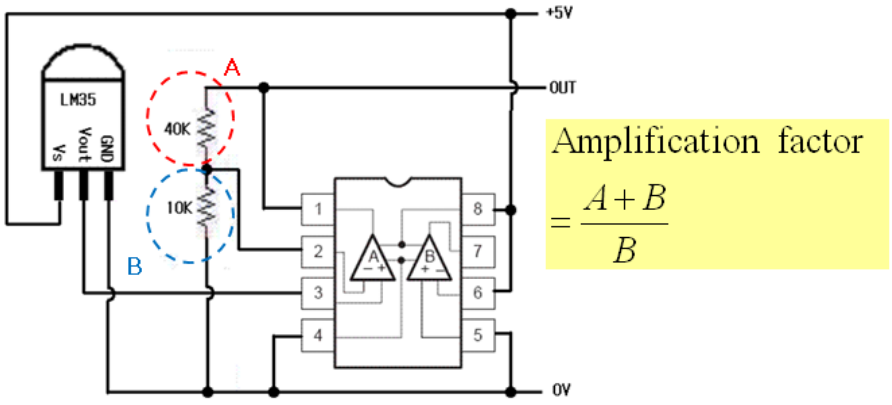


Fig.2.10 Amplification factor of LM35DZ temperature sensor

미세한 열기전력 증폭하기 위해 OP AMP를 이용하여 150배 반전 증폭 회로를 구성하였다. 이는 히터 제어 변위를 100~500℃와 A/D 변환 기준 전압을 3V인 것을 감안하여 증폭률을 150배로 하였다. 미세한 기전력을 크게 증폭하는 데 있어 OP앰프 입력 오프셋 전압이 문제가 될 수 있다.

본 연구에서는 저가에 고성능 Texas Instruments사에 OP07C를 사용하여 하였다. OP07C는 입력 오프셋 전압이 150uV로 온도 오차가 최대 약 ± 3.75℃ 정도 발생할 수 있다. 이는 인두기 사용으로 인한 인두기 팁에 온도변화를 감안할 때 큰 문제가 되지 않을 것이다. Analog Devices사에 Op177G를 사용하면 온도 오차가 최대 ± 1.5℃ 정도로 줄일 수 있다. 또한 소프트웨어적으로 이 부분을 줄일 수 있다.

2.4 제어부 구성

본 연구에서 사용된 프로세서는 TI사의 TMS320F2812 DSP이며 고성능의 처리속도와 ADC를 통해 시스템에 적용될 수 있으며 간략한 특징은 다음의 Table 2.5와 같다.

Table 2.5 Specification of TMS320F2812

CPU	C28X 32bit 정수형 Core
연산능력	150MHz/150MMACS
메모리	RAM : 36kByte / OTP-ROM : 2kByte / Flash : 256kByte
외부 메모리(EMIF)	16bit 외부 데이터 버스, 최대 2MByte
타이머	32bit CPU 3개 / 16bit GP 4개 / 왓치독 1개
PWM	16 CH PWM(단상 4개, 삼상 2조)
CAP/QEP	6개 / 2개
ADC	12bit / 16ch / 최대 12.5MSPS
GPIO	56 개
통신	SCI 2개 / SPI 1개 / CAN 1개 / McBSP 1개
부트 모드	FLASH, SPI, SCI, Internal RAM, OTP, Parallel 6가지
전압	Core 전압 :1.9V, IO 전압 : 3.3V
온도점위	A버전 : -40 ~ 85 °C

TMS320F2812 DSP는 150MHz의 연산속도와 16쌍의 PWM 출력과 ADC 채널을 가지고 있다. 1.9V Core전압과 3.3V의 I/O전압을 사용함으로써 전력소비를 최소화 할 수 있으며, -40℃ ~ 85℃의 작동온도 범위, 그리고 잡음에 강한 CAN(Controller Area Network)통신을 사용하여 산업현장에서 사용되는 시스템의 제어용으로 널리 사용되고 있는 프로세서이다. Fig.2.11은 TMS320F2812 모듈의 내부 구조를 보여주고 있다.

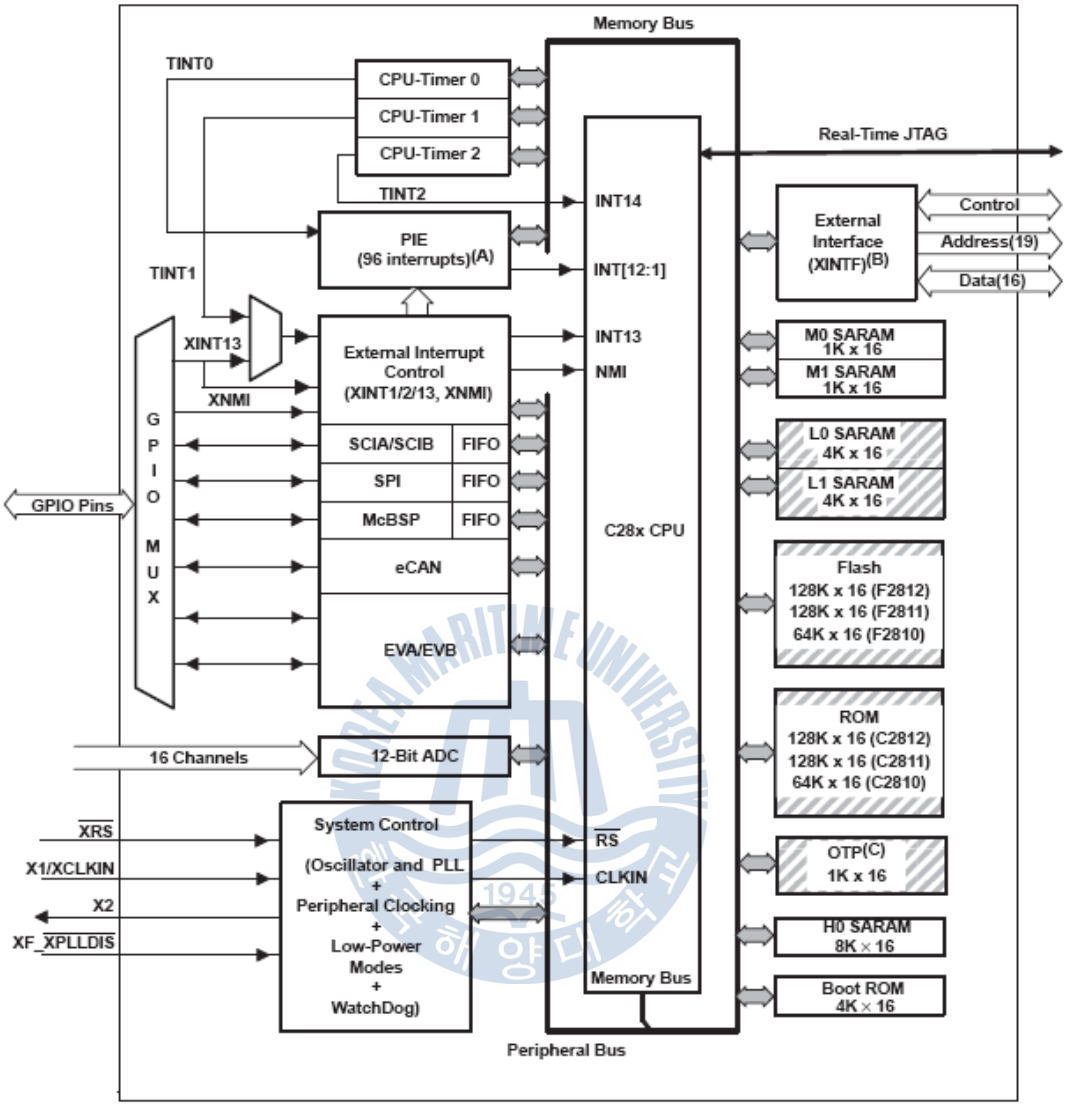


Fig.2.11 The structure of main processor circuit

TMS320F2812 DSP는 TEXT형 LCD와 그래픽형 LCD를 구동할 수 있게끔 프로그래밍할 수도 있지만 본 연구에서는 ATmega128이라는 원칩 마이크로프로세서를 하위 제어기로 사용하여 DSP와의 시리얼통신을 통해 온도 데이터를 TEXT형 LCD에 표시하거나 입력 데이터를 받을 수 있도록 구성하였다. 아래의 Fig.2.12는 ATmega128을 사용하여 꾸민 인터페이스 하드웨어의 모습이다.

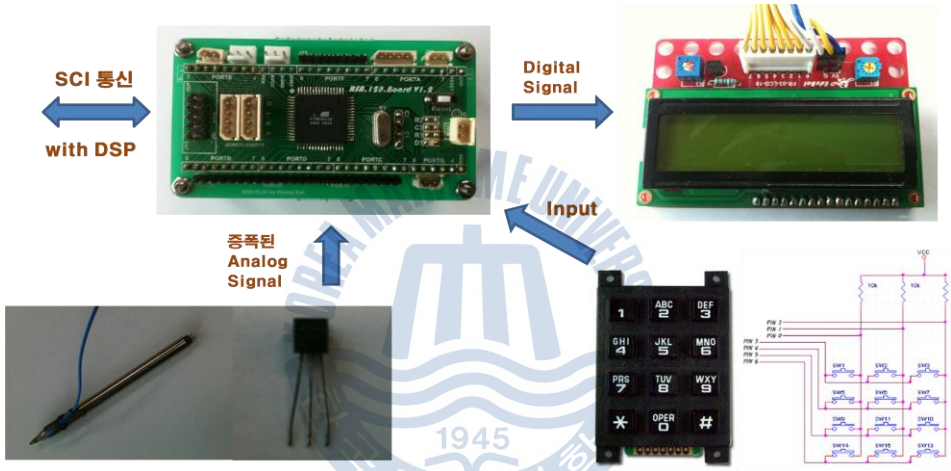


Fig.2.12 The I/O interface using ATmega128

제 3 장 소프트웨어 개발 내용

3.1 시스템 Loop 및 샘플링 타임

인두기 히터의 시스템은 반응속도가 느린 편에 속한다. 따라서 마이크로단위의 제어 속도를 시스템이 따라갈 수 없는 것이다. 본 연구에서는 20ms의 시스템 Loop타임을 설정하였다. TMS320F2812의 경우에는 간단한 레지스터의 조작만으로도 시스템 속도를 쉽게 설정할 수 있는 구조로 되어있다. 20ms의 시스템 Loop타임을 가지고 있지만 센서에서 측정된 아날로그 신호를 A/D 변환하는 과정은 이보다 10배 빠른 속도로 설정하였다. 이는 아날로그 신호를 받음으로 인해 생길 수 있는 잡음이나 오차를 소프트웨어적인 필터링을 사용해 해결 할 수 있도록 하기 위함이다. 아래의 Fig.3.1은 TMS320F2812의 시스템 Timer의 구성도이다.

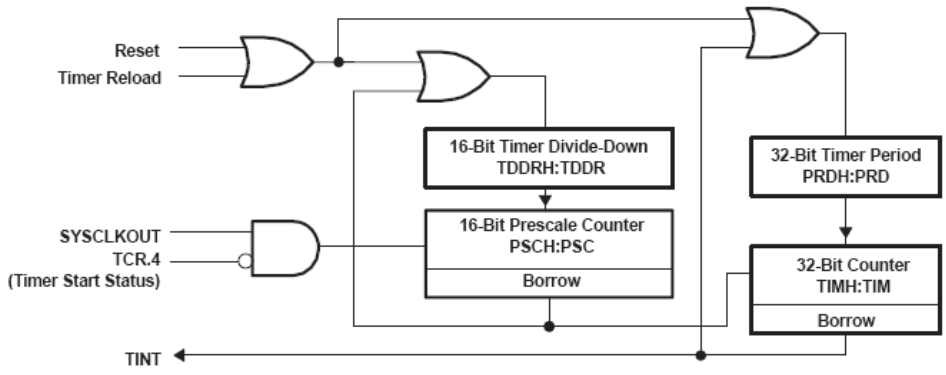


Fig.3.1 The structure of system timer

3.2 A/D 변환 및 온도 계측

본 연구에 적용된 인두기 시스템의 A/D변환은 TMS320F2812에 탑재된 파이프라인 방식의 12-bit ADC를 통해 이루어지고 있다. 아래의 Table 3.1과 Table 3.2는 DSP2812의 ADC 특징을 보여주고 있다.

Table 3.1 Specification of A/D converter

TMS320F2812 ADC의 특징	두 개의 S/H가 탑재된, 파이프라인 방식(4 stage)의 12-bit ADC
	Simultaneous sampling, sequential sampling modes
	입력 허용 전압 : 0V ~ 3V
	최대 12.5 MSPS
	샘플/홀더의 신호 획득 시간 조절용 클럭 분주 회로 탑재
	아날로그 먹스가 탑재된 16채널 입력
	16개의 결과 저장용 버퍼(ADCRESULT0 ~ 15)
	두 가지 인터럽트 모드 제공

Table 3.2 Characteristic of A/D converter

오토 시퀀스 탑재	최대 16채널 순서 임의 조정(cascaded 모드)
	Event Manager A,B와 각각 연계 가능(dual sequencer 모드)
	연속 동작 모드
	단일 동작(Start/Stop) 모드
Sequencer override Mode enhancement	ADCRESULT 버퍼를 16레벨 FIFO로 사용
다양한 트리거 모드 지원 Start of Conversion(SOC)	S/W – software immediate start
	EVA – Event manager A(multiple event sources within EVA)
	EVB – Event manager B(multiple event sources within EVB)
	External pin

TMS320F2812 ADC의 가장 큰 특징은 바로 파이프라인의 방식을 사용하고 있다는 점이다. 하나의 명령어는 총 8사이클에 걸쳐 처리되기 때문에 효율이 매우 떨이지게 된다. 이를 극복하기 위해 깊이가 8인 파이프 라인이 구현되어 파이프 라인이 꽉 차게 되면, 그 다음부터 명령어가 한 사이클마다 처리되는 결과를 얻을 수 있다. 아래의 Fig.3.2는 TMS320F2812의 ADC 구조를 나타내고 있다.

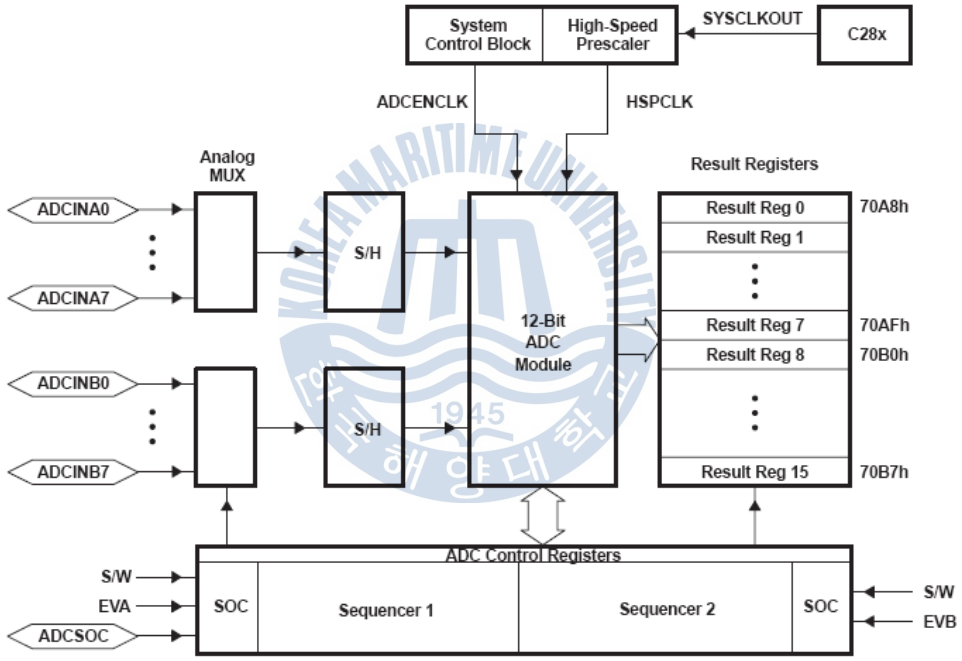


Fig.3.2 The structure of A/D converter

앞에서 언급한 바와 같이 A/D변환은 시스템의 한 Loop에 10차례 이루어진다. 소프트웨어적인 필터링을 적용하여 한 차례의 A/D변환을 1/10 단계로 나누어 전압 리플 또는 잡음이 발생했을 경우, 이를 A/D 변환값에 적용하지 않도록 하였다. TMS320F2812는 이러한 강력한 소프트웨어 필터를 제공하기 때문에 별도의 하드웨어적인 필터 없이도 높은 정확성의 A/D 변환성능을 가질 수 있다. 또한 ADC 입력부의 임피던스가 매우 낮기 때문에 부가적인 전류증폭 회로를 구성하지 않아도 되지만 본 연구에서는 Voltage 폴로 회로를 구성하여 센서신호의 전류증폭을 통해 더욱 정밀도 높은 A/D 입력 신호를 만들 수 있었다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

3.3 히터 구동 제어 방법

본 시스템의 히터 구동 전원은 DC 24V로 사용하였다. AC전원의 경우 전력제어는 보통 위상제어를 통해 이루어지지만 DC전원의 경우에는 On-Off제어 및 PWM(Pulse Width Modulation)제어를 많이 사용한다. On-Off제어의 경우에는 제어방법이 단순해지는 장점이 있지만 시스템이 매우 불안정해지고 정밀한 제어가 힘들게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 연구에서는 고속의 PWM제어를 적용하였다. PWM제어는 On-Off제어와 같은 구형파를 이용하지만 매우 빠른 속도로 이루어지는 파형이기 때문에 물리적인 시스템은 연속적인 아날로그 전력신호로 인식하게 된다. 따라서 PWM제어는 시스템에 훨씬 안정적으로 적용할 수 있음과 동시에 PID제어 등에 적용하여 정밀한 제어를 가능하게 해준다. 아래의 Fig.3.3은 PWM제어의 원리를 보여주고 있다.

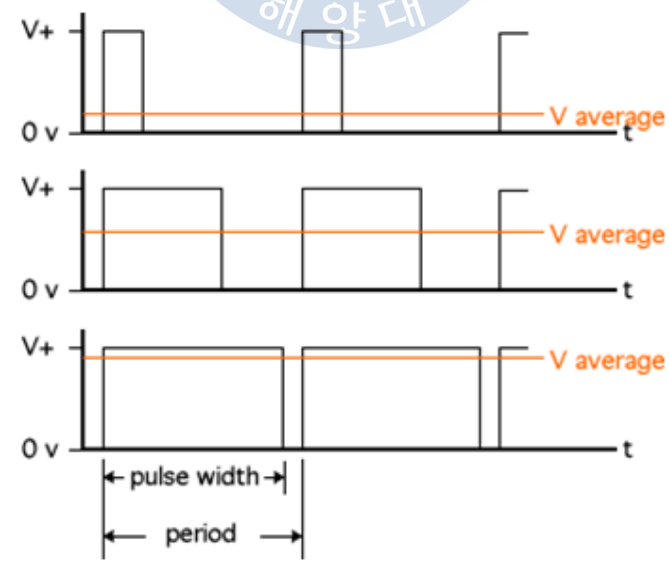


Fig.3.3 The principle of PWM control

히터의 구동 전원은 DC 24V이며 제어신호는 3.3V이다. 단순히 FET만을 사용하여 히터의 구동 드라이버를 설계할 경우, 3.3V 레벨의 신호를 24V의 레벨로 증폭하는 단계에서 지연시간이 발생하게 되고 전력의 손실이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 아래의 Fig.3.4와 같은 부가적인 회로를 설계하였다.

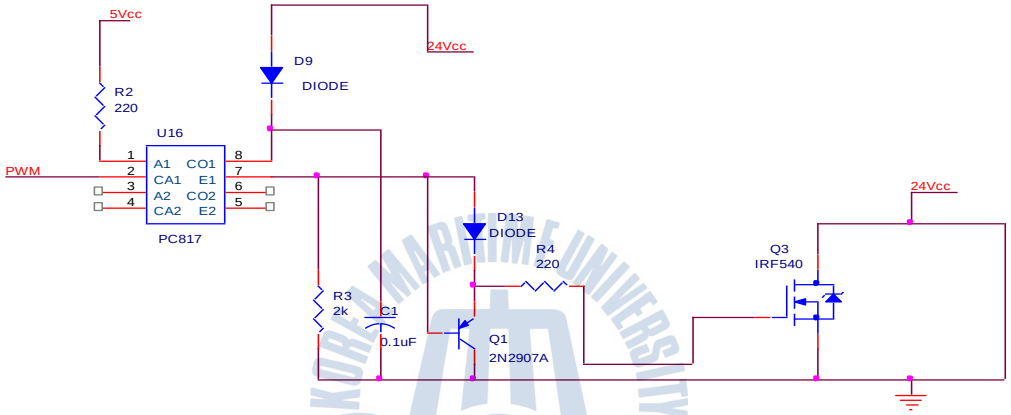


Fig.3.4 The circuit using IRF540A

위의 회로는 DC모터를 제어함에 있어서 고속의 PWM을 스위칭하기 위해 연구된 회로이다. 주기가 0.01ms인 환경에서도 적용할 수 있으며 본 연구에서는 너무 빠른 제어주기를 따라가기 힘든 시스템이기에 1ms의 환경에서 잘 동작할 수 있도록 회로의 특성을 최적화 시켰다.

아래의 Fig.3.5는 디지털 신호와 드라이버를 거쳐서 나온 전력 PWM의 실제 파형모습을 보여주고 있다. PWM제어방법을 통해 인두기의 히터는 듀티비에 의해 전력제어가 가능하게 된다.

Fig.3.5 The duty rate of PWM on Oscilloscope

3.4 제어 알고리즘

인두기의 히터 시스템은 큰 열관성을 갖고 있기 때문에 On-Off제어만으로는 시스템의 제어 조작량이 0%와 100%사이를 왕래하므로 조작량의 변화가 너무 크고, 실제 목표값에 이르면 꾸준히 진동하는 시스템이 된다. 따라서 여기에서는 PID제어를 적용하여 시스템을 구성하였다. PID는 비례(P), 적분(I), 미분(D)의 3가지 요소로 이루어지는 제어로써 목표값과 현재값의 편차를 지속적으로 보상함으로 인해 목표값에 접근해 가는 제어 방법이다. 아래의 Fig.3.6은 PID제어의 특선곡선과 제어량을 보여주고 있다.

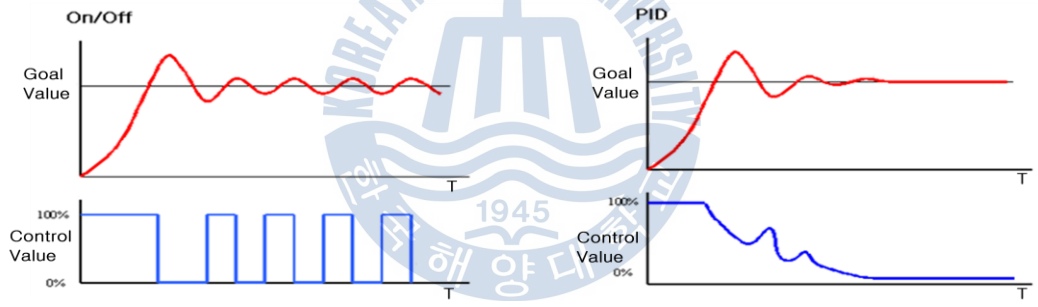


Fig.3.6 The characteristic graph of PID

비례(P)제어는 조작량을 목표값과 현재 위치와의 차에 비례한 크기가 되도록 하는 것이며, 미세하게 목표값에 가까워질 수 있다. 하지만 제어량이 목표값에 접근하게 되면 조작량이 너무 작아지고, 그 이상 미세하게 제어할 수 없는 상태가 발생하게 된다. 이렇게 되면 목표값에 가까워지지만, 아무리 시간이 지나도 제어량과 완전히 일치하지 않는 상태로 남아있게 된다.

이 미소한 오차를 잔류편차라고 하며 이를 없애기 위해 사용되는 것이 적분(I) 제어이다. 미소한 잔류편차를 시간적으로 누적하여, 어떤 크기로 된 곳에서 조작량을 증가하여 편차를 없애는 식으로 동작시킨다. 이와 같은 PI제어만으로도 실제 목표값에 가깝게 하는 제어는 완벽에 가깝게 할 수 있다.

하지만 또 한가지 고려해야 될 부분이 응답속도이다. 즉, 외란에 대하여 신속하게 대처할 수 없고, 즉지 원래의 목표값으로는 돌아갈 수 없다는 것이다. 따라서 적용하게 되는 것이 미분(D)제어이다. 급격하게 발생하는 편차에 대해 그 전회 편차와의 차이를 조작량에 인가해서 기민하게 반응할 하게 함으로 인해 PID제어가 완성되는 것이다.

히터 시스템은 열관성이 매우 큰 시스템이기 때문에 단순히 PID제어를 적용하는 것으로는 제어속도가 충분하지 않다. 따라서 본 연구에서는 히터의 온도가 0℃에서 500℃까지 변화하는 구간에 따라 PID gain을 개별적으로 적용할 수 있는 알고리즘을 적용하고 있다. 아래의 그림 Fig.3.7은 온도별 구간에 따른 PID제어를 적용한 모습이다.

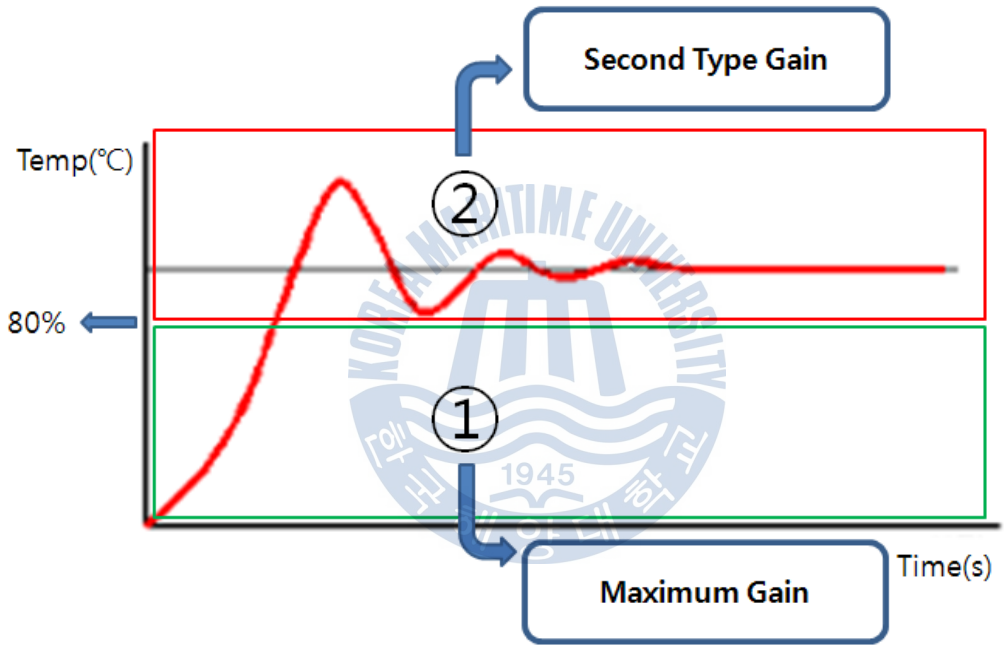


Fig.3.7 The different type of PID gain

원래 PID제어는 연속한 아날로그량을 제어하는 것을 기본으로 하고 있다. 그러나, 컴퓨터의 프로그램으로 PID제어를 실현하려고 하는 경우에는 연속적인 양을 취급할 수 없다. 왜냐하면, 컴퓨터 데이터의 입출력은 일정시간 간격으로밖에 할 수 없기 때문이다. 게다가 미적분 연산을 착실히 하고 있는 것에서는 연산에 요하는 능력으로 인해 고성능의 컴퓨터가 필요하게 되고 만다. 그래서 본 연구에서는 샘플링방식(이산값)에 적합한 PID 연산 방식을 채택하였다. 우선, 샘플링 방식의 PID제어의 기본식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

조작량 $= K_p \times (\text{편차}) + K_i \times (\text{편차의 누적값}) + K_d \times (\text{전회 편차와의 차})$

위의 식을 기호로 나타내면

$$MV_n = MV_{n-1} + \Delta MV_n$$
$$\Delta MV_n = Kp(e_n - e_{n-1}) + Kie_n + Kd((e_n - e_{n-1}) - (e_{n-1} - e_{n-2}))$$

Table 3.3 The symbol of PID math

기호	정의
MVn	금회 조작량
MVn-1	전회 조작량
en	금회 편차
en-1	전회 편차
en-2	전전회 편차

Table 3.3 은 위에 수식에 사용된 기호의 정의이다. 그리고 PID 제어 프로그램을 실현하기 위해서는 이번과 전회의 편차값만 측정할 수 있으면 조작량을 쉽게 구할 수 있다.

본 연구에서는 CCS studio를 사용하여 TMS320F2812의 프로그래밍을 진행하였다. 가장 핵심적인 프로그램의 구조는 크게 4가지로써 시스템 Loop타임 생성, A/D변환, PWM발생기, 그리고 PID를 적용한 알고리즘으로 구성되어 있다. CCS와 DSP 28XX계열의 DSP를 연동하게 되면 CCS상에서 Real-time 구동이 가능하게 된다. 즉, 필요한 변수나 알고리즘을 PC상에서 실시간으로 체크하고 필요 시에는 데이터와 알고리즘을 수정하여 즉시 눈으로 확인할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 강력한 디버깅 툴을 이용하여 최적화된 알고리즘을 적용하였다. 아래의 Fig.5.4는 CCS studio의 작업환경을 보여주고 있다.

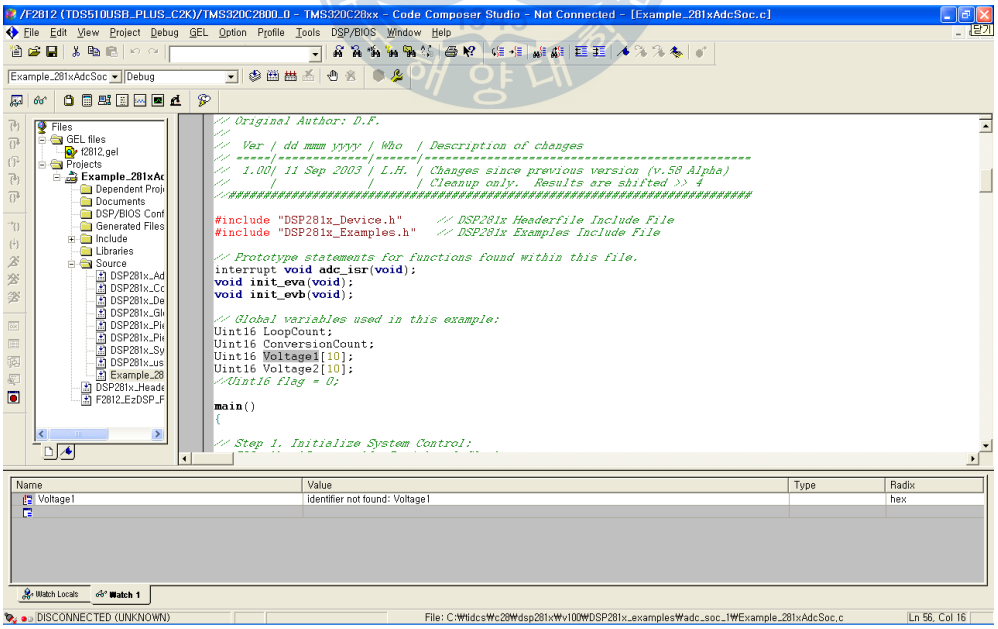


Fig.3.8 The working environment of CCS

아래의 Fig.3.9는 본 시스템의 제어알고리즘 순서도를 표현한 것이다.

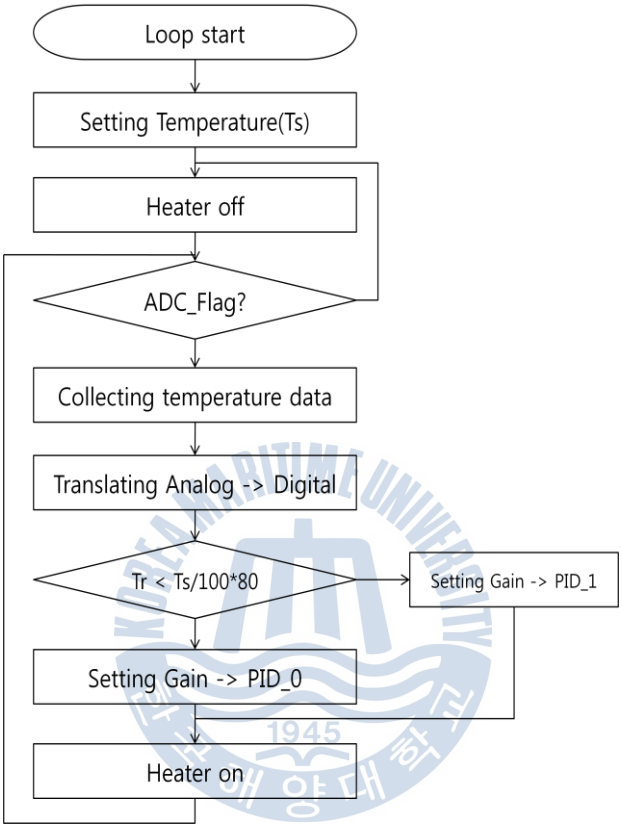


Fig.3.9 The algorithm of soldering iron system

위의 알고리즘은 목표값을 설정한 후 히터의 On-OFF를 루프의 기준으로 두고 센서의 Analog신호를 Digital신호로 변환하여 읽어오게 된다. 이때 현재 측정된 온도가 목표온도의 80%미만일 경우 0번 PID Gain을, 그리고 80%를 초과할 경우 1번 PID Gain을 적용하여 히터를 On상태로 제어하게 된다.

제 4 장 실험 결과

4.1 인두기 히터의 성능 실험

본 연구에서는 히터의 자체 성능 실험을 위하여 제어알고리즘을 적용하지 않은 상태에서 히터의 온도 상승 정도를 실험하였다. 실험은 인두기의 히터를 ON시킨 후 450℃에 도달하기 전까지 ON상태를 유지하다가 OFF시키는 방식으로 진행되었다. 아래의 Fig.4.1은 히터내부의 K타입 열전대로 측정한 온도 상승 곡선이다.

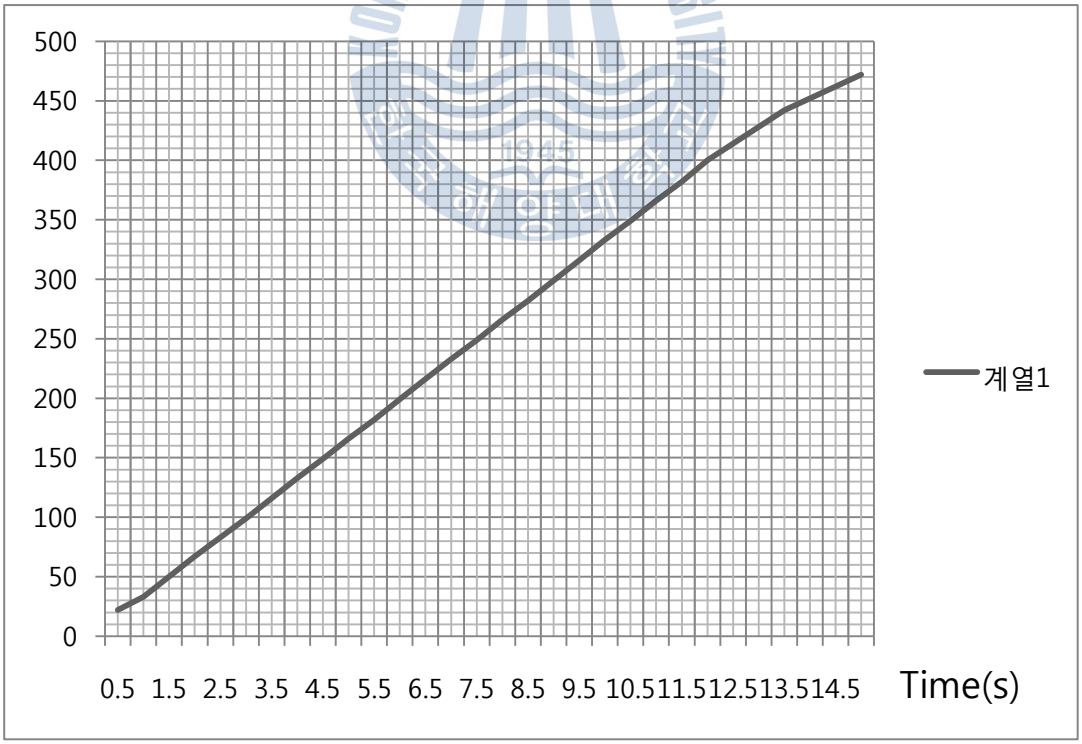


Fig.4.1 The temperature curve of soldering iron (inside)

위의 그래프로 확인할 수 있듯이 본 연구에서 사용된 히터의 온도는 선형적으로 상승하게 된다. 히터내부의 온도는 350℃까지는 평균적으로 10.32 초가 소요되었으며 450℃까지는 13.49 초가 소요됨을 확인할 수 있었다. 하지만 실질적으로 납땜작용에 적용되는 인두팁 끝단의 온도상승 정도를 확인해야만 한다. 따라서 인두팁 끝단에 역시 K 타입의 열전대를 별도로 부착하여 위의 환경과 동일한 조건에서 실험을 진행하였다. 아래의 Fig.4.2 는 내부히터의 온도가 450℃에 도달할 때까지 인두팁 끝단의 온도상승을 보여주고 있다.

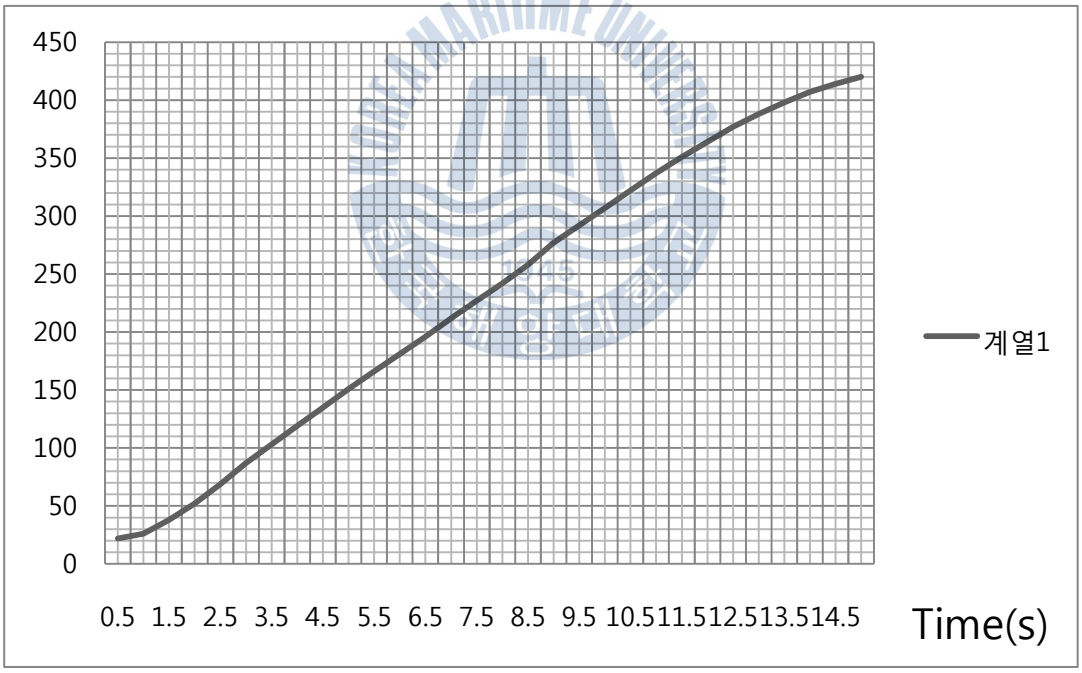


Fig.4.2 The temperature curve of soldering iron (outside)

.

위의 그래프에서 확인할 수 있듯이 실제 인두기 팁 끝단의 온도는 히터내부의 온도에 비해 40℃ ~ 45℃ 가량의 지연상승량이 존재함을 확인할 수 있었다. 시간으로 환산했을 경우에는 약 1 ~ 1.3 초 가량의 지연시간이 발생하는 것이다. 반대로 히터를 OFF 하였을 경우에는 인두기 팁의 끝단은 외부에 노출되어있기 때문에 좀더 빠른 속도로 온도하강이 이루어졌다. 하지만 약간의 시간지연이 발생하더라도 히터가 일정 온도를 유지하고 있을 경우에 인두기 팁의 끝단 온도 또한 평형상태를 유지할 수 있도록 내부 온도와 같아지기 때문에 온도보상을 하지 않더라도 내부히터의 온도제어를 통해 충분히 작업온도를 결정할 수 있다.

위의 데이터들은 K 타입 열전대의 출력을 TMS320F2812 의 고속 A/D 변환을 통해 수집되었다. 하지만 이러한 데이터들이 신뢰할 수 있는지에 척도가 필요하다. 아래의 Fig.4.3 은 신뢰성이 우수한 DX102-3-2 계측기를 활용하여 450℃의 온도에서 히터를 OFF 한 결과이다.

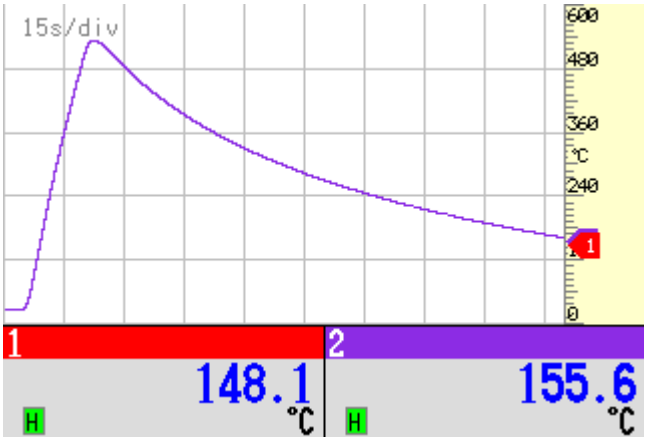


Fig.4.3 The temperature curve of soldering iron using DX102-3-2

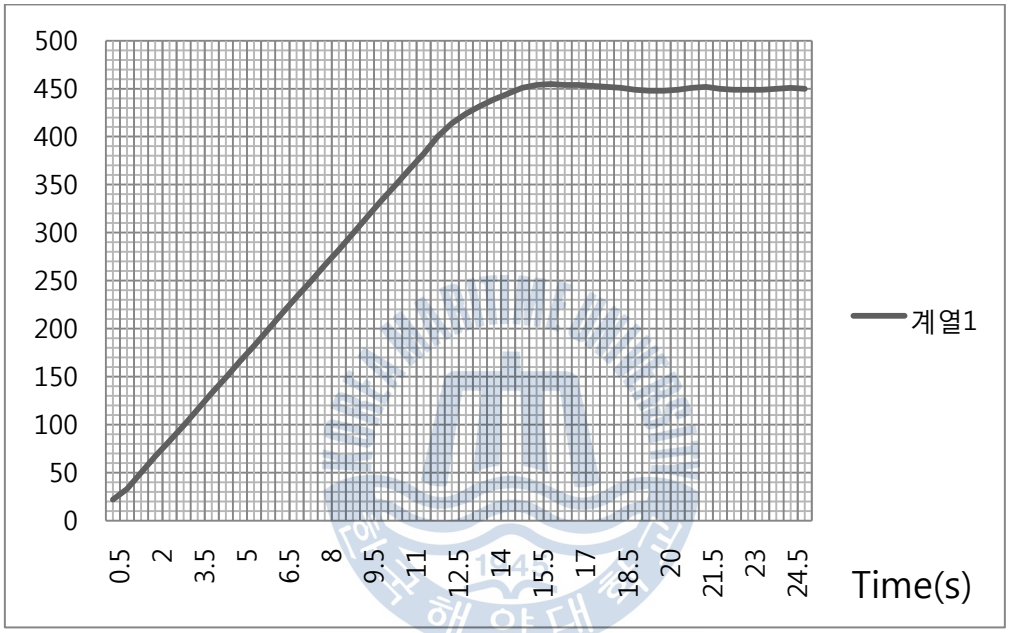
위의 Fig.4.1 과 Fig.4.3 의 결과를 분석하면 완벽에 가깝게 데이터가 일치함을 확인할 수 있다.

여기까지는 인두기 히터의 자체 성능시험이었다. 실제 제어알고리즘을 적용하기에 앞서 시스템 자체의 특성에 대해 완전히 분석해야만 하기 때문에 실험을 진행하였다. 앞의 실험을 통해 크게 두 가지의 시스템특징을 볼 수 있다. 한가지는 시스템이 시간에 따른 온도상승이 선형적으로 이루어진다는 점과 또 다른 한가지는 시스템의 특성상 브레이크의 적용을 할 수 없다는 것이다. 즉, 히터의 동작으로 온도를 급상승시키는 것은 가능하지만 별도의 냉각장치가 없는 본 연구에서는 역으로 온도를 빠르게 떨어뜨릴 수 있는 방법이 없다는 것이다. 또한 온도의 특성상 열의 관성이 매우 큰 편이기 때문에 제어알고리즘을 적용함에 있어서 많은 고려를 해야만 한다.

따라서 본 연구에서는 PID 제어를 기반으로 두고 있지만 온도구간에 따라 PID 에 적용되는 gain 을 차별적으로 적용시키고 있다. 즉 목표온도의 80%가량에 도달하기 전까지는 P gain 을 크게 주어 최대한 빠른 속도로 80%구간을 통과한 후, 그 이후에는 목표로 하는 온도에 빠르고 정확하게 도달하기 위해 PID gain 을 적용시키는 것이다. 인두기 히터의 특성상 온도가 상승함에 따라 내부의 저항도 같이 증가하기 때문에 부가회로를 통한 무리한 입력이 가해질 경우에는 히터에 손상을 입힐 수도 있기 때문에 제어방법 개선만으로 시스템의 효율을 극대화시키는 것은 쉽지 않다. 따라서 온도 제어가 적용되면 시스템의 속도가 늦어지는 것은 불가피한 것이다. 본 연구의 목적은 이러한 시스템 속도를 최대한으로 늦어지지 않도록 함과 동시에 정밀한 온도제어를 가능하도록 하는 것이다.

4.2 알고리즘을 적용한 인두기 히터의 성능 실험

PID 알고리즘을 적용한 실제 시스템의 실험을 목표온도 350℃와 450℃ 2가지로 나누어 진행하였다. Fig.4.3은 목표온도를 450℃로 두고 측정한 결과이다.



. Fig.4.4 The temperature curve of soldering iron at 450℃

위의 그래프에서 볼 수 있듯이, 450℃를 도달하는 시간은 14.4초로, PID제어를 적용하지 않았을 때의 13.49초보다 약 1초가량 지연이 생기는 것을 확인할 수 있다. 이것은 오버슈트를 피하기 위해서 히터의 출력을 제한하게 됨으로 인해 발생하는 것이다. 최소한의 오버슈트를 통해 목표온도에 도달함은 물론, 일정온도를 ±3℃의 오차로 지속적이게 유지하는 모습을 확인할 수 있었다.

아래의 Fig.4.4는 목표온도를 350℃로 설정하고 실험한 결과이다.

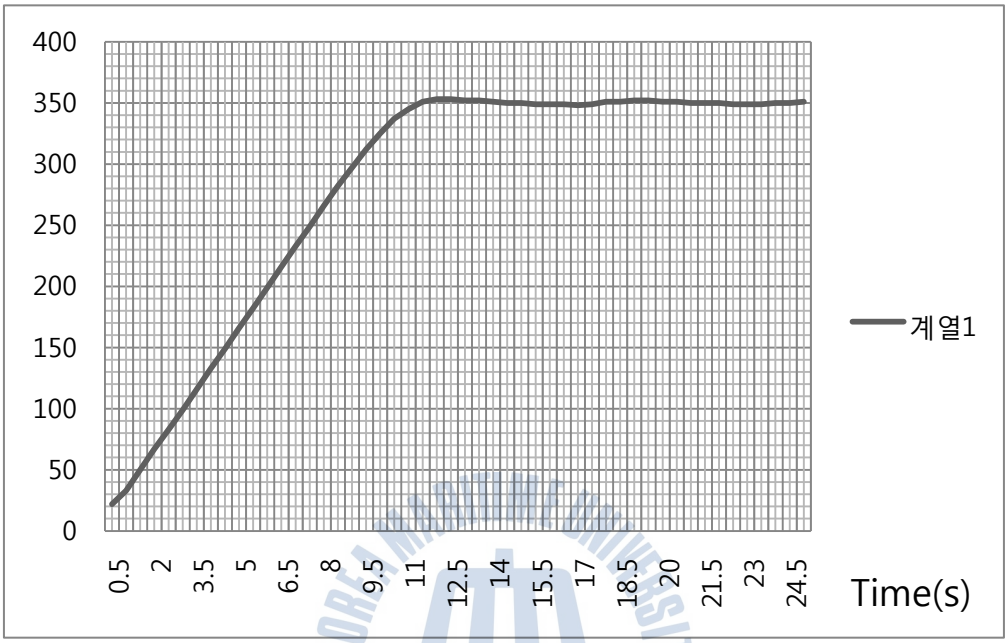


Fig.4.5 The temperature curve of soldering iron at 350℃

위의 그래프를 보면 350℃를 안정적이게 도달하는 시간은 11.2초 정도로, PID제어를 적용하지 않았을 때의 10.32초보다 역시 약 1초가량 늦어지는 결과가 나오는 것을 확인할 수 있었다. 1초의 시간보다 더 앞당기는 결과를 만들 수 있지만 25℃ ~ 30℃ 가량의 오버슈트를 피할 수 없으며 오히려 목표온도까지 안정화되는 시간이 5 ~ 6초 늦어지는 결과를 가져오기 때문에 시스템의 최적화를 위해 1초의 지연시간은 불가피했으며 더욱 체계적이고 신뢰성 있는 결과를 위해서 시스템의 모델링화와 이를 시뮬레이션 하여 검증하는 단계가 필요하다.

4.3 인두기 히터의 모델링 및 시뮬레이션

앞서 언급했었던 시스템의 최적설계를 위해서 본 시스템의 모델링을 통한 물리관계식 도출과 이를 통한 PID제어를 최적으로 적용할 수 있는 시뮬레이션이 필요하다. 본 연구에서는 MATLAB 시뮬레이션을 이용하여 시스템의 최적화를 검증하고 있다. 시뮬레이션에 앞서 시스템의 물리적인 특성을 파악하는 것이 우선된다.

아래의 Fig.4.5는 히터의 내부저항과 실제 상승되는 온도와의 관계를 그래프로 표현한 것이다.

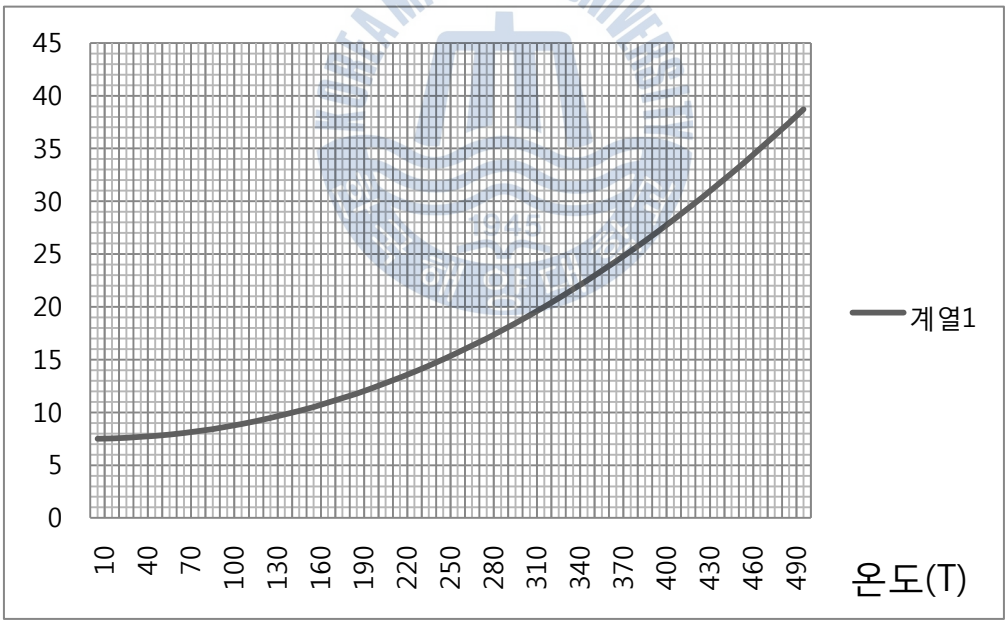


Fig.4.6 The relation between resistor and temperature of system

위의 Fig.4.5에서 볼 수 있듯이, 히터의 온도는 내부저항에 따라 결정되게 된다. 내부저항이 꾸준히 증가하지만 550℃ 이상으로 온도가 증가하게 되면 내부저항은 무한에 가깝게 증가하여 결국에는 히터의 손상으로 이어지게 된다. 따라서 본 연구에서는 500℃ 이하의 온도범위에서 시스템의 특성을 고려하고 있다. 아래의 Fig.4.6은 MATLAB을 활용하여 위의 그래프와 가장 흡사한 수식화된 그래프이다.

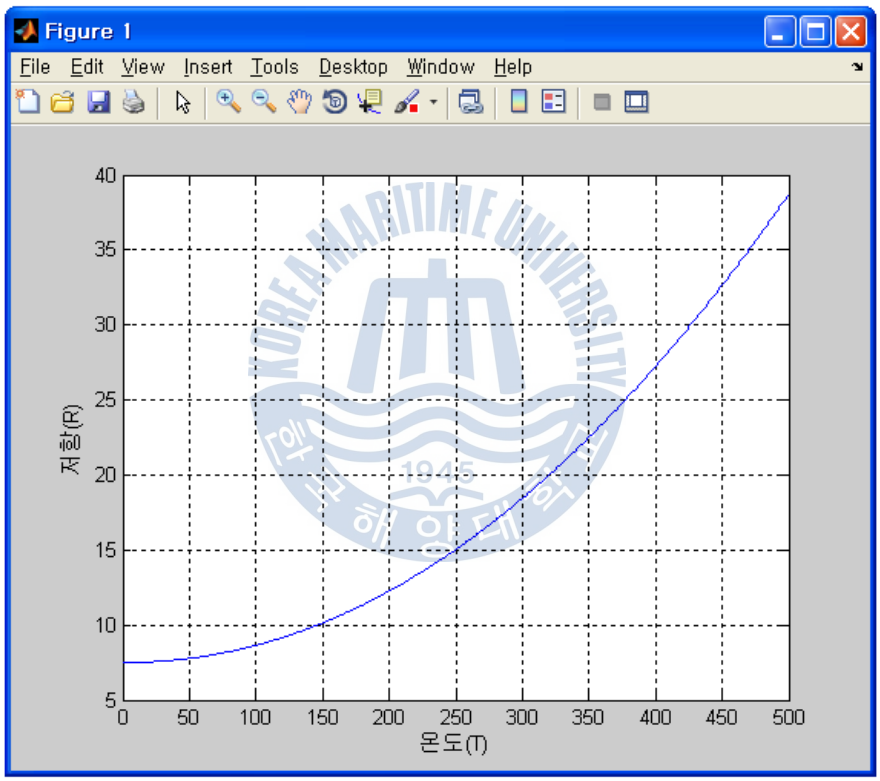


Fig.4.7 The relation between resistor and temperature in MATLAB

위의 그래프를 저항(R)과 온도(T)에 관한 수식으로 나타내면 아래와 같다.

$$R = 0.00009152 \times T^{2.05} + 7.5$$

위의 수식에서 R(저항)이 결정되면 이미 알고 있는 V(전압)을 통해 I(전류)값이 정해지게 되며 이를 통해 최종적으로 시간에 따른 W(전력)을 계산할 수 있으며 최종적으로는 입력(에너지)에 따른 시스템의 출력(열량)을 도출 할 수 있다. 아래의 Fig.4.7은 MATLAB의 강력한 기능인 Simulink를 통하여 시스템과 PID제어를 연동하는 시뮬레이션 환경을 꾸민 모습이다.

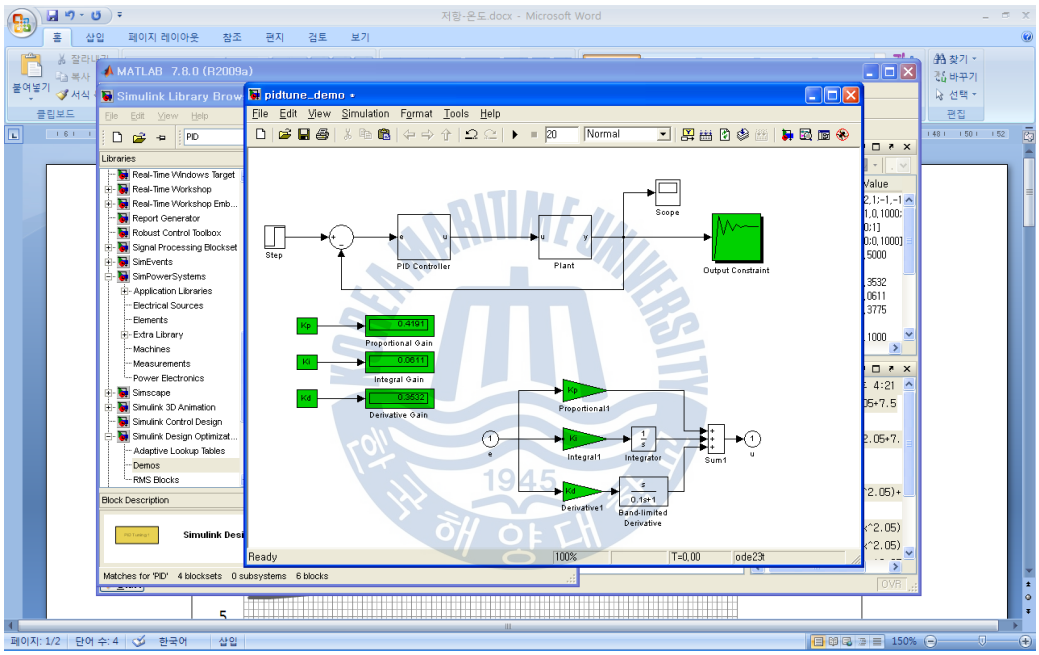


Fig.4.8 The simulation using MATLAB Simulink

위의 시뮬레이션은 본 시스템의 모델링을 적용한 Plant와 PID제어기로 이루어져 있으며 시스템을 통해 최적화된 PID Gain을 추정할 수 있도록 환경을 구성하였다. 또한 반대로 Gain을 개별적으로 조절하여 시스템에 어떻게 반영될지 미리 확인할 수 있는 강력한 엔진이다.

위의 시뮬레이션은 목표온도를 450℃로 설정하고 오버슈트를 최소한으로 하면서 목표온도에 안정적으로 도달할 수 있게 구성되었다. 아래의 Fig.4.8은 시뮬레이션의 결과를 보여주고 있다.

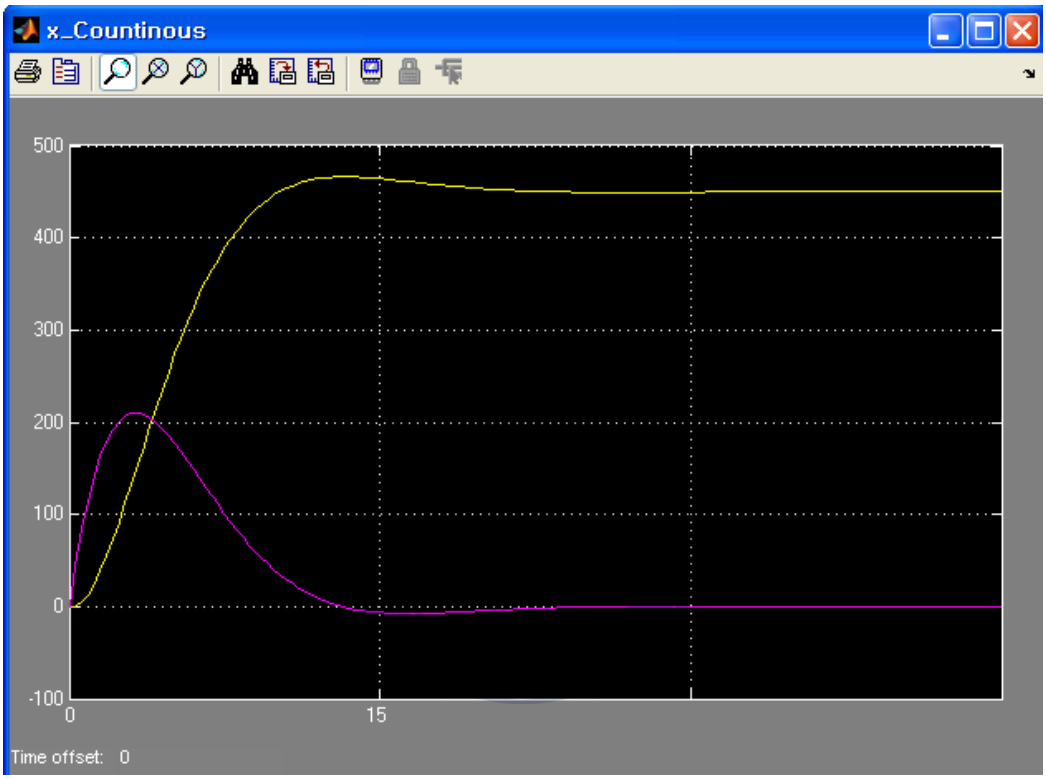


Fig.4.9 The simulation data using MATLAB Simulink

위의 그래프는 실제 실험결과 온도곡선과 매우 흡사한 모습을 보여주고 있다. 목표온도인 450℃에 도달하는 시간 역시 오버슈트 구간과 안정적인 목표값 도달구간을 평균했을 경우 15 ~ 16초 사이이며 실제 실험결과와 비슷한 시뮬레이션 결과를 볼 수 있었다.

제 5 장 결론

5.1 결론

본 논문에서는 무연납 대응 온도 조절형 세라믹 인두기의 제어시스템을 연구하였다. 고속의 제어가 가능하고 최대 12개의 PWM 제너레이터와 A/D 채널을 가지고 있는 TI 사의 TMS320F2812 DSP를 사용하여 제어시스템에 적용하였다. 인두기의 히터를 제어함에 있어 가장 중요한 요소인 K타입 열전대와 LM35DZ 상온보상용 온도센서의 신호를 OP AMP에서 안정적으로 증폭하여 DSP의 A/D 입력으로 사용되었다. 또한 IRF540A FET를 사용하여 디지털 레벨의 5V와 히터 전력용 레벨의 24V DC전원을 안정적으로 분리함과 동시에 고속의 PWM 디지털 신호를 스위칭하여 히터의 정밀한 전력제어가 가능하도록 하였다. 제어알고리즘은 기본적으로 PID제어를 적용하였으며 시스템의 열관성이 크기 때문에 온도 구간별로 Gain을 다르게 설정하여 제어 알고리즘을 적용하였다.

본 연구에 사용된 히터의 온도 상승률은 약 31.4℃/s이며 350℃및 450℃의 온도까지 온도제어를 하지 않았을 경우 10s ~ 14s가량 소요되며 온도제어를 하였을 경우에는 이보다 약간 느린 11s ~ 15s정도 소요되는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 약 1초 정도의 지연은 오버슈트를 최소한으로 줄이기 위함이며, PID제어를 적용하였을 경우, 오버슈트의 최소화를 통해 목표온도로 최대한 빠르고 안정되게 도달하게 된다. 오버슈트가 발생하게 되면 브레이크 기능이 없는 본 시스템의 열적 특성으로 인해 안정화되는 시간은 8s ~ 10s 가량 늦어지기 때문에 PID제어를 MATLAB Simulink 기반에

서 최적화로 설계한 상태로 본 시스템에 적용하였다.

TMS320F2812의 경우에는 총 12쌍의 PWM 발생기와 A/D 변환기를 탑재하고 있으며 고속의 프로세서이기 때문에 향후에는 최소 2채널에서 최대 12채널의 산업용 세라믹 인두기의 시스템을 제어할 수 있는 실험과 다양한 알고리즘을 적용한 최적화된 시스템을 검증해야 한다.

참 고 문 헌

[1] M. Miyazaki, S. Nomura, T. Takei, “Upgrading Pb-free Soldering Technology - Flow soldering”, ecodesign, 2nd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2001, pp.1076.

[2] O. Deubzer, H. Griese, T. Suga, “Lead-free Soldering - Future Aspects of Toxicity, Energy and Resource Comsumption”, ecodesign, 2nd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2001, pp.952.

[3] I. Artaki, D. Noctor, C. Desantis, W. Desaulnier, L. Felton, M. Palmer, J. Felty, J. Creaves, C. Handwerker, J. Mather, S. Schroeder, D. Napp, T.-Y. Pan, J. Rosser, P. vianco, G. whitten, Y. Zhu, “Research Trends in Lead-Free Soldering in the U.S. : NCMS Lead-Free Solder Project”, ecodesign, First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2000, pp.602.

[4] Ionescu, R., Simon-zanescu, D., Reyes-Turcu, P., Svasta, P., “Thermal aspects of Soldering equipments”, 26th International Spring Seminar, 8~11 May 2003, pp302-304.

[5] 류병윤, “Sn-Ag계 및 Sn-zn계 Pb free solder paste의 특성에 관한 연구”, 2004, 국립중앙도서관.

[6] 김우영, 김인철, 노보인, “Pb-free화의 진행현황 및 작업성/신뢰성 평가”, 대한용접학회지 제20권 제3호, 2002, pp.31-36.

[7] 산업지원부 산업정책국 산업환경과, “국제환경규제 대응을 위한 무연솔더링(Pb free Soldering)”, 한국개발연구원, 2008.

[8] 추우헌, “무연납 대응 온도조절형 세라믹 인두기 제어시스템 개발”, 한국해양대학교, 지능로봇 및 자동화 실험실, 2009.

[9] TMS320F2812 User Guide, Texas Instrument. Inc.

[10] TMS320F28XX계열을 이용한 DSP 하드웨어 설계, Syncworks.

[11] 백종철, TMS320F28XX CPU 핸드북, 도서출판 Syncworks.

감사의 글

가장 먼저 이 논문을 쓸 수 있게 아낌없는 지원을 해주신 최형식 교수님께 감사의 말을 전하고 싶습니다. 부족함 많았고 아직도 많지만 6년간 지도해주시며 끝까지 지켜봐 주신 은혜를 평생 잊지 않겠습니다. 또한 알차고 재미있는 하드웨어 수업을 해주신 조용성 교수님께 감사의 말씀을 드리며 앞으로도 늘 건강하시길 기원합니다. 항상 막내 아들을 믿어주시는 어머니, 아버지, 그리고 세상에서 가장 존경하는 나의 하나뿐인 친형 사랑합니다. 그리고 최강 01학번 동기이자 지금의 나를 있게 만들어준 진일, 호성, 재관이에게 처음으로 고맙다는 말을 전합니다. 경기형, 종훈형, 태형이형, 동찬형, 웅주형, 동연형, 그리고 동완형님 항상 보이지 않는 곳에서도 형들의 행복을 기원하겠습니다. 마지막으로 우헌형, 동호, 성율, 해용, 지광, 태웅, 종수, 상기, 명만, 그리고 동준이, 많이 챙겨주지 못해 아쉬움만 남지만
앞으로도 좋은 인연으로 지능로봇 및 자동화 실험실을 빛내는 도전에 함께 하고 싶습니다. 그리고 비가 와도 바람이 와도 항상 나만을 믿고 따라주는 은하에게 고맙다는 말 꼭 전하고 싶습니다.

전 세계의 인류가 모두 행복해지는 날까지 오직 도전과 승리만이 있을 것이다.

2010 년 12 월

강 형 석