

PWM 제어방식에 의한 온열치료기의 새로운 온도제어 시스템

A New Temperature Control System by PWM Control Method for Thermal Massage System

송 명 규*, 이 재 흥*

Myoung-Gyu Song*, Jae-Heung Lee*

Abstract

This paper proposes a new temperature control algorithm and system configuration of the pTMS(personal Thermal Massage System). By controlling the pulse width of the PWM(Pulse Width Modulation), the temperature of the heating lamp can be controlled stably, which is indispensable to the massage function. This technology is also adapted to the 'thermal massage', 'thermal acupressure', 'thermal moxibustion' functions of medical equipments. The temperature could be set at between 40°C~70°C by increments of 5°C, the control could be made in real time by increments of 1°C, and the temperature is displayed on the monitor by triggering every 2 seconds. when the present temperature is equal to the preset temperature, the PWM signal is minimized, and when the present temperature is higher than the preset temperature, overheating is prevented by interrupting the PWM output signal. When the difference of temperature exceeds 4°C, the PWM control is maximized in order for the system to reach the target temperature within a short period of time.

요 약

본 논문에서는 온열치료기의 온도제어 알고리즘 및 시스템을 구현하였다. PWM(Pulse Width Modulation) 파형의 온 타임 펄스폭을 제어함으로써 온열치료기의 마사지 기능에 적합한 온열요법이 내장된 안정된 온도제어를 구현할 수 있었으며 의료기기의 온열마사지, 온열지압, 온열 뜸 기능에 적용 하였다. 온도설정 범위는 40°C에서 70°C까지이며 5°C 단위로 설정하였고 제어량은 실시간으로 1°C 단위로 제어하였으며 1°C 간격으로 온도를 표시하였다. 제어범위는 설정온도와 현재온도의 차가 4°C이하부터 4단계로 PWM 펄스폭을 가변하여 램프의 출력을 제어하였다. 현재온도가 설정온도와 같을 경우 PWM 신호를 최소로 하였고 현재온도가 설정온도 보다 클 경우는 PWM 출력 신호를 정지시켜 오버히팅을 방지했으며 연산차가 4°C이상인 경우 PWM 제어량을 최대폭으로 하여 시스템을 빠른 상승시간 안에 목표치에 도달할 수 있도록 제어하는 방식으로 구현하였다.

Key words : Temperature, Thermal Massage Bed, PWM, Temperature Control, PID

* Dept. of Computer Engineering, Hanbat University
010-2402-4398, mgsong@hanmail.net

★ Corresponding author

※ Acknowledgment

This research was financially supported by the Ministry

of Education (MOE) and National Research Foundation of Korea(NRF) through the Human Resource Training Project for Regional Innovation(No. 2012H1B8A2026119)
Manuscript received Sep. 15, 2014; revised Sep. 25, 2014 ; accepted Sep 25. 2014

I. 서론

최근 삶의 질이 향상 되면서 개인의 건강관리에 많은 관심과 노력을 기울이고 있다. 이에 본 논문에서는 개인용 건강증진 및 관리기로 시중에 널리 사용되는 식약청 의료기기 허가 품목인 개인용 조합 자극기를 사용하여 온열치료기의 온열제어 알고리즘 구현 및 제어보드 구성과 하드웨어 및 소프트웨어 개발까지 폭넓게 연구하여 온도제어 허용오차 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 범위까지 구현하였다. 기존 제어 방법이나 알고리즘에서 탈피하여 하드웨어 회로를 간략화 하여 최소한의 회로로 구현했으며 온도센서 신호를 마이크로프로세서에 의한 아날로그/디지털 변환 후 전압 데이터를 온도 테이블을 거쳐 온도 데이터로 변환하여 현재온도와 설정온도를 비교 연산하여 단위시간당 램프의 동작 시간을 조절함으로써 현재온도가 설정온도를 유지할 수 있도록 하는 PWM제어 방식의 피드백 제어를 행하였고 소프트웨어 알고리즘을 구현하였다. 이를 통해 의료기기인 온열치료기에 온열요법에 의한 온열마사지 및 지압기능, 온열에 의한 온열 뜸 기능, 구간마사지기능, 특정 포인트의 온열 마사지 및 지압 뜸 기능을 적용하였다.

본 논문에서 사용된 온열치료기는 동양의학에 기초를 두고 있으며 이를 현대 감각에 맞게 재구성하여 제어공학 기술을 적용하여 구현하였다. 이는 진신마사지기능과 지압기능, 온열작용에 의한 “뜸”기능 구현, 경락과 경혈점 위치제어 및 마사지 지압기능, 구간마사지 기능, 수동마사지 및 지압기능, 상·하체부 연결 연속 동작기능, 하체부 마사지 및 지압기능, 6종류의 자동프로그램 모드와 수동 프로그램 모드 내장, 복부마사지 기능, 지압 및 마사지 전용 프로그램 모드와 상·하체부 온도 조절 및 표시기능, 자동 이동속도가변기능, 타이머 제어 기능 등을 내장하고 있다. 온열치료기의 온열요법에 의한 온도제어는 필수적인 사항이다. 모터 이동 제어기술, 유·무선 전송기술, 멀티프로그램 모드 내장기술, 음성지원 기술과 더불어 핵심사항으로 효능 및 효과에 직접적으로 영향을 주며 도자의 원적외선 방출에도 많은 영향을 준다. [1-2]

본 논문의 온도제어에 사용한 마이크로프로세서는 ATmel사의 AVR시리즈인 ATmegal6을 사용했다. AVR 시리즈는 ISP(In-System Programmable)기능이 내장되어 있어 별도의 개발 장비가 없어도 프로그램 개발이 가능한 8비트 RISC CPU 이다. 현재 제어용으로 산업계에 많이 사용되고 있으며 저가이면서 구입하기도 쉽고 많은 주변기기 기능을 내장하고 있으며 동작속도가 매우 빠르고 안정적이다. 또한 내부에 많

은 레지스터를 내장하고 있어 C언어 사용에 최적화된 구조를 가지고 있다. [3]

본 논문은 온열치료기의 새로운 온도 제어 시스템 구현에 관한 논문이며 하드웨어 회로설계, 프로그램 개발 및 온도제어 알고리즘 구현방법에 대한 내용을 포함하고 있다.

본 논문의 구성은 본론으로 제 II 장에서 온도센서와 온도제어에 대한 이론적인 배경에 대해 기술하고 제 III 장에서는 CPU 특성과 하드웨어 회로구성에 대한 본 논문의 새로운 온도제어 시스템 구현에 대해서 기술한다. 이를 바탕으로 제 IV 장에서는 하드웨어 제어에 대한 소프트웨어 프로그램 구성과 온도제어 알고리즘 구현에 대한 실험 및 결과에 대해서 기술한다. 마지막으로 제 V 장에서는 본 논문의 결론을 제시하고자 한다.

II. 이론적 배경

2.1 서미스터 온도센서 고찰

본 논문에서 사용한 온도센서는 산업용 및 제어용 기기로서 일반적으로 많이 사용하고 있는 NTC 타입의 서미스터 RT50K[Ω] (@25°C)을 사용하여 온열치료기의 온도제어 시스템을 구현하였다.

서미스터는 절대온도에 따라 저항치가 변하는 소자로서, 온도가 상승함에 따라 저항 값이 떨어지는 부특성(마이너스 특성)을 가지는 NTC 타입과 온도 상승에 따라 저항치가 증대하는 PTC 타입, 특정 온도의 범위에서 저항치가 갑자기 감소하는 CTR 타입등이 있다. [4-5]

서미스터는 저가이면서 쉽게 구할 수 있고, 크기가 작고, 열시정수가 작고, 민감도가 높아 안정성 등에서 좋다. 또한 다른 온도센서 보다 응답속도가 빠르며 온도에 대한 저항분해능(저항변화율)이 우수하다. 이러한 특성을 이용하여 광통신에서 LD(Laser Diode) 온도제어센서로 많이 사용되고 있으며 온도특성에 따른 과장가변 및 과장 고정 및 유지 제어에 이용되고 있다.

그러나 상기에서 설명한 장점에도 불구하고 서미스터의 비선형적인 응답특성 때문에 보편적으로 사용하기가 어려운 편이다. 이러한 비선형성을 보완하기 위해서는 하드웨어적 방법으로 선형화 회로를 추가하는 방법과 소프트웨어 프로그램 방법으로 아날로그/디지털 변환 후 전압 값에 대한 온도테이블을 만들어 사용하는 방법이 있다. 본 논문에서는 비용절약 및 하드웨어의 회로를 간략화하기 위해 전압 값에 대한 온도 데이터 테이블을 만들어 프로그램에서 처리하여 구현하였다.

그림 1 에 서미스터의 고유 온도차 출력 특성을 나타낸다. [4-5]

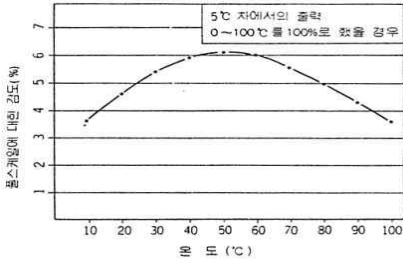


Fig. 1. Temperature Output Characteristics
그림 1. 온도차 출력 특성

2.2 서미스터 인터페이스 회로 고찰

그림 2 은 저항분압에 의한 전압분압 회로를 사용한 것으로 온도가 증가하면 서미스터의 저항은 감소하고 이에 따라 전압 Vout도 감소하며 주어진 온도에 대한 전압 값을 아날로그/디지털 변환하여 온도 테이블을 참조하여 최종 온도 데이터를 얻는다.

그림 2 의 전압분압 회로에서 전압은 다음식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$V_{out} = \frac{V_{cc} \cdot RT}{(R + RT)} \text{ [V]} \quad (1)$$

그림 2 은 고정저항 R에 의해 기울기가 결정되며 서미스터 저항 RT는 저항온도 @25°C를 기준으로 설정한다.

회로는 간단하나 많은 단점을 내포하고 있다. 출력 전압 은 서미스터 저항에 따라 선형적으로 변화하지 않는 특성을 보이며 회로내의 고정저항 R에 의존하고 R과 RT는 온도에 의존하므로 추가적인 측정 에러를 가져올 수 있으므로 그림 3 처럼 서미스터 저항 RT를 연산증폭기(Op-Amp)를 사용한 전류소스 브리지 회로로 교체하여 회로를 개선하면 비직선 일그러짐은 선형화될 수 있다. [4]

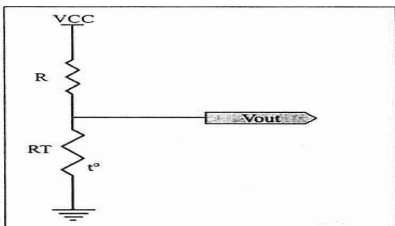


Fig. 2. Voltage Divider Circuit
그림 2. 전압 분압 회로

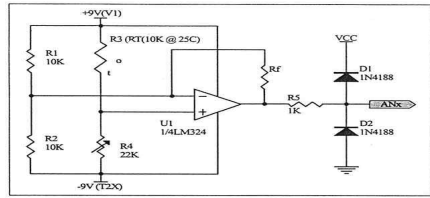


Fig. 3. A Circuit of Bridge Method
그림 3. 브리지 방식의 회로

휘스톤 브리지의 평형조건을 이용하여 서미스터의 비직선 일그러짐을 개선하고 차동증폭기의 특성을 이용한 CCRM(공통 노이즈성분)도 제거할 수 있어 산업현장에서 계측회로로 많이 사용된다. 또한 마이크로컨트롤러 없이 간단한 온도조절 시스템을 구성할 수 있다. 선형화는 브리지 회로의 평형조건에 의해 결정되며 연산증폭기는 브리지 저항의 평형조건 차를 증폭하는 일종의 차동 증폭기로 동작한다. 증폭한 차가 온도 값이며 결국 온도 값은 휘스톤 브리지의 저항 차이 값이다. 본 논문에서는 그림 3 의 연산증폭기 대신에 마이크로프로세서와 아날로그/디지털 컨버터를 사용하여 하드웨어와 소프트웨어 프로그램 조합으로 이를 구현하여 조금 더 유연하고 효율적이며 정확한 온도제어 시스템을 설계하였다.

본 논문에서는 온도센서 인터페이스는 비선형적인 변화와 측정오차를 고려하여 그림 2의 회로를 보완하여 서미스터와 병렬로 저항을 삽입하여 비직선 일그러짐을 개선할 수 있도록 하는 하드웨어적인 선형화 회로를 추가하여 최대한 비선형화 오차를 줄이도록 하였다. [4-5]

온도 데이터 획득은 온도 출력신호를 8비트 마이크로프로세서인 ATmega16을 사용하여 아날로그/디지털 변환된 전압 데이터를 얻은 다음 이를 온도 테이블을 거쳐 보정 후 정확한 온도 데이터를 얻을 수 있도록 구현하였다.

온도 데이터 테이블은 신뢰성 및 정확도를 높이기 위해 공인 검교정기관의 검교정용 표준장비를 이용하여 같은 조건하에서 온도 데이터를 비교 측정하여 온도 데이터 테이블을 추출 하였으며 이를 마이크로프로세서 제어 프로그램에서 비교 연산을 통해 온도 데이터를 획득 하였다.

그림 4 에는 본 논문에서 사용한 센서 인터페이스 회로를, 그림 5 에는 휘스톤 브리지 회로의 온도 출력 특성커브를 나타낸다.

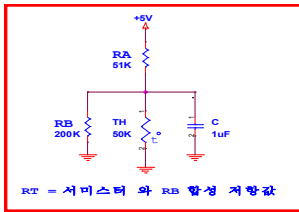


Fig. 4. Sensor Connection Circuit
 그림 4. 센서 연결 회로

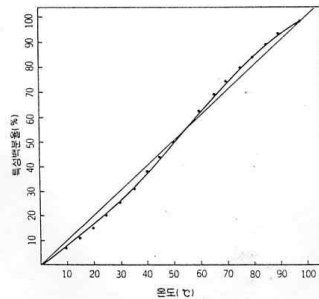


Fig. 5. Temperature Output Characteristic Curve
 그림 5. 온도 출력 특성곡선

2.3 제어방법에 대한 고찰

온도제어 시스템 구성은 제어 알고리즘 및 회로방식에 따라 여러 가지 있으나 주로 다음과 같다. ON/OFF형 제어, 비례제어(P제어), 비례적분제어(PI제어), 비례적분미분제어(PID제어)등으로 나누어 볼 수 있으며 이 중에서 PID 제어가 가장 특성이 우수하다. [4-8]

가. ON/OFF 제어

ON/OFF 제어 알고리즘은 가장 간단한 제어 알고리즘으로 현재 온도가 목표치의 설정온도의 +1°C 이상 초과 할 때 적용한 온도 제어 알고리즘 이다.

본 논문에서는 현재 온도가 설정온도 보다 +1°C 이상 초과할 때 발열체 구동 드라이버 회로의 동작을 OFF 함으로서 구현하였고 이는 PWM 제어를 OFF 하는 것과 같다. 현재온도가 설정온도와 같으면 최소 PWM 출력으로 펄스폭을 최소로 하고 현재온도가 설정온도 보다 낮으면 PWM 출력을 감소 연산 결과에 따라 PWM 펄스폭의 동작시간을 제어 하였다.

나. 비례제어(P 제어)

비례제어(P 제어)는 제어편차를 0으로 하기 위한 가장 기본적인 귀한 제어계에 이용된다. 즉 제어 편차에 비례 이득을 곱하여 조작량을 결정하는 것으로 본 논문에서는 현재온도가 설정온도보다 같거나 낮을 경우에 적용했으며 PWM 펄스폭을 조절하여 발열체 구

동회로의 동작 시간을 조절하여 구현했다.

다. 비례적분 제어(PI 제어)

비례적분제어(PI 제어)는 설정값과 편차가 있을 경우 편차에 비례하는 전압이 발생하므로 제어 안정점은 설정값에서 벗어난다. 이를 제어하기 위해서 위치 편차를 적분해서 설정점이 안정하게 되도록 비례 + 적분 제어를 한다.

그림 6 에 각 제어 방식의 응답커브를 나타낸다.

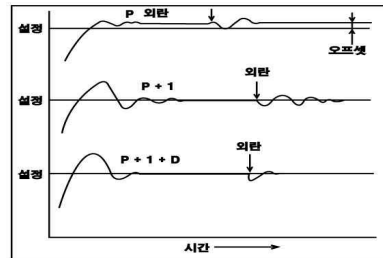


Fig. 6. Response Curve of the Control Method
 그림 6. 제어 방식의 응답커브

라. 비례적분미분 제어(PID 제어)

비례적분미분제어(PID 제어)는 미분회로를 부가한 것으로 주로 응답 특성을 개선하기 위해서 사용된다. 서미스터의 비선형화의 대책으로 상기에서도 언급했듯이 보통 선형화 회로를 사용한다. 이는 서미스터 온도센서 뿐만 아니라 열전대형 저항체 소자와 각종 센서들의 비직선 일그러짐을 개선하여 선형화 하는데 많이 사용되는 회로로서 하드웨어로만 구성된 아날로그 방식과 하드웨어 및 소프트웨어 조합으로 이루어진 디지털 방식으로 구분할 수 있다.

아날로그 방식에는 수동소자를 사용한 방식과 능동소자(Op-Amp)를 사용한 방식으로 나눌 수 있으며, 디지털 방식은 아날로그/디지털 컨버터와 마이크로프로세서의 조합에 의해서 프로그램에서 연산에 의해 보정하는 것으로 본 논문에서는 후자를 사용하여 구현하였다. [4-8]

III. 제안하는 온도제어 시스템 구현

3.1 시스템 사양

그림 7 에 각 도자별 램프 구조를, 표 1 에 제어 대상인 각 도자별 사양을, 표 2 에 온도제어 시스템 사양을 나타낸다.

3.2 온도제어 시스템 구성

제어 시스템은 크게 아날로그부와 디지털부로 구성할 수 있다. 아날로그 부는 센서, 입력저항 분압회로,

Table 1. Jade Massage Head

표 1. 각 도자별 사양

도자종류	항 목	사 양
2구 (보조도자)	램프 사양	12[V] / 10[W]
	전원전압	DC 20[V]
	온도센서	50K / 1개
	도자열선 회로방식	직렬회로
	램프 당 전압	10[V]
	램프 갯수	2개
	로드당전류	0.7[A]
	전체전류	0.7[A]
7구 (보조도자)	출력	14[W]
	램프 사양	12[V] / 10[W]
	전원전압	DC 50[V], 20[V]
	온도센서	50K / 2개
	도자열선 회로방식	직, 병렬회로
	램프 당 전압	10[V]
	램프 갯수	7개
	로드당전류	0.7[A]
15구 (보조도자)	전체전류	1.4[A]
	출력	49[W]
	램프 사양	12[V] / 10[W]
	전원전압	DC 50[V]
	온도센서	50K / 3개
	도자열선 회로방식	직, 병렬회로
	램프 당 전압	10[V]
	램프 갯수	15개
10구 (주도자-본체부)	로드당전류	0.7[A]
	전체전류	2.1[A]
	출력	105[W]
	램프 사양	12[V] / 10[W]
	전원전압	DC 50[V]
	온도센서	50K / 2개
	램프 당 전압	10[V]
	로드당전류	0.7[A]
10구 (주도자-하체부)	전체전류	1.4[A]
	출력	70[W]
	램프 사양	12[V] / 10[W]
	전원전압	DC 50[V]
	온도센서	50K / 2개
	램프 당 전압	10[V]
	로드당전류	0.7[A]
	전체전류	1.4[A]
출력	70[W]	

발열체, 램프 구동회로로 구성되어 있고, 디지털부

는 아날로그/디지털 콘버터가 내장된 CPU와 온도표시부, 키 입력 회로로 구성되어 있다. 이들을 이용하여 온도센서 신호를 아날로그/디지털 변환 후 소프트웨어 프로그램으로 처리하였다.

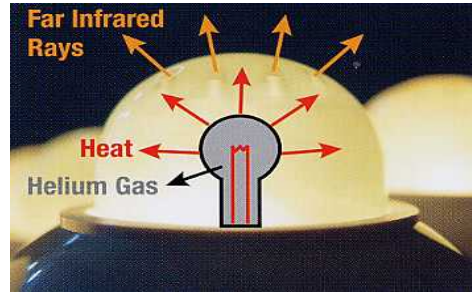


Fig. 7. Jade Massage Head Lamp

그림 7. 도자 램프 구조

Table 2. Temperature Control System Specifications

표 2. 온도제어 시스템 사양

항목	사양	항목	사양
온도설정 범위	40°C~70°C	제어스텝	1°C, 실시간 제어
온도설정 간격	5°C	센서수량	8개
온도표시 범위	30°C~70°C	A/D트리거 주기	2초 간격
온도표시 간격	1°C	온도표시 주기	2초 간격
온도상승 시간	최대 15분이내	A/D 평균값	16번 평균 처리
온도표시 방식	섬씨(기본) / 화씨	온도표시 소자	FND
온도 안정화 시간	최대 15분이내	A/D 분해능	10 Bit
온도 제어방식	PWM	A/D콘버전 타입	65 - 260uS
온도센서	서미스터 NTC 50KΩ (@25°C)	A/D 채널널	8 채널
온도 센서 회로	저항 분압식	A/D Run 방식	싱글스텝 /프리러닝
예외처리	Error code 표시	A/D Vref	5V
기타	- 온도센서 Open 및 Short 체크 - 시스템 Error Code 및 Error 표시 - 램프 체크 에러 기능 - 부저음 출력 기능		

즉 설정온도와 입력온도를 비교 연산하여 온도 제어 신호를 PWM 출력으로 듀티비를 변경하면서 발열체 램프의 구동회로를 제어함으로써 안정된 온도제어를 구현할 수 있었다. 온도센서의 신호(피드백 신호)에 의해 제어하는 크루즈루프(Closed-loop) 방식을 채택했으며 피드백 제어 알고리즘은 소프트웨어 프로그램으로 구현 하였다.

그림 8 에 온도제어 시스템의 구성도를, 그림 9 에 제어계의 아날로그 등가회로를 나타낸다.

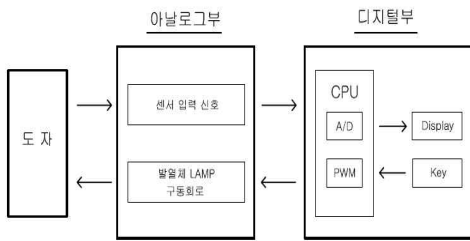


Fig. 8. Temperature Control System Configuration
그림 8. 온도제어 시스템 구성도

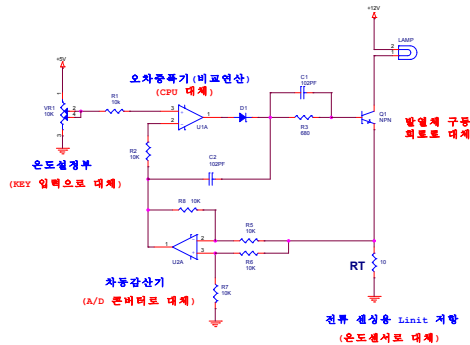


Fig. 9. Analog Equivalent Circuit of the Control System
그림 9. 제어계의 아날로그 등가회로

그림 9 의 제어계 아날로그 등가회로에서 볼 수 있듯이 본 논문에서도 온도신호를 매개체로 하여 구동 드라이버 회로의 램프 부하를 제어하는 순환구조의 피드백제어 형태의 closed-loop 방식으로 제어 알고리즘을 전개하였다. 그 역할을 OP-AMP가 아닌 마이크로프로세서에서 담당하였다. 그림 9 는 OP-AMP를 사용한 전형적인 피드백 제어 방식의 정전류 구동 회로로서 비교제어기로 오차증폭기를 사용하였다. 또한 공통 노이즈 제거를 위해 차동 증폭기의 감산 회로를 사용하여 동상신호(CMRR; Common Mode Rejection Ratio)노이즈를 제거하는 회로를 구성하였다. 본 논문에서는 이 부분을 마이크로프로세서에 내장된 멀티플렉서를 통한 아날로그/디지털 컨버터로 대체하였다. 또한 온도설정부의 가변저항(VR) 입력을 키 입력으

로 설정할 수 있도록 했고, 센서용 신호는 전류 제한 저항 대신에 온도 센서를 센서 신호로 이용하였으며, 오차증폭기 대신 마이크로프로세서를 사용하여 제어 하였다. 그림 10 에 온도제어 신호 계통도를, 그림 11 에 제어신호 전달함수 블록선도를 나타낸다.

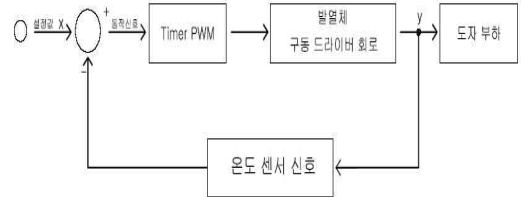


Fig. 10. Control Schematic
그림 10. 제어 계통도

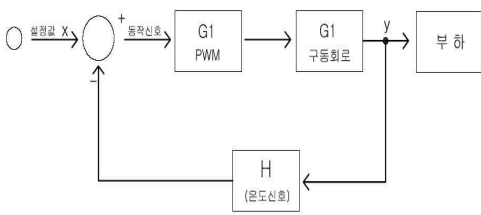


Fig. 11. Transfer Function Block Diagram
그림 11. 전달함수 블록선도

그림 11 의 전달 함수 $\frac{Y}{X}$ 를 구하면 G_1, G_2 가 직렬접속의 캐스캐이드 접속이고 H 는 입력 측에 피드백 되므로

$$y = 1 + \frac{G_1 G_2}{G_1 G_2 H} x \tag{2}$$

식 (2)에서

$$\frac{y}{x} = \frac{G_1 G_2}{1 + G_1 G_2 H} \text{ 이다.} \tag{3}$$

3.3 램프 구동회로와 PWM 제어

치료기의 온열 제어 대상에는 보조도자인 15구 및 7구, 2구도자와 상, 하부 주도자인 10구도자가 있다.

구동 드라이버 회로는 12[V]/10[W] 램프를 PWM 신호에 따라 스위칭하며 설정온도와 현재온도를 CPU 프로그램에 의해서 비교연산 한다. PWM 타이머 값을 변경함으로써 출력 펄스폭에 따라 On/Off 타임을 조절하여 치료기의 온열온도가 설정온도를 유지시켜 주는 최종 출력 회로가 메인 주도자 및 보조도자에 공통으로 사용하는 회로이다. 커넥터 신호 또한 모든 도자에 공통으로 사용하여 각 도자 간 호환성을 유지할 수 있도록 설계 하였다. 그림 12 에 센서 인터페이스 회로의 출력 중 온도-저항 곡선을, 그림 13 에

전압-온도 곡선을, 그림 14 에 전압-저항 곡선을, 그림 15 에 발열체 구동 드라이브 회로를 나타낸다.

PWM 펄스폭은 온도제어에 매우 민감한 영향을 주며 특히 설정온도를 유지하는데 큰 영향을 준다. PWM 펄스폭을 너무 크게 주면 온도가 설정 온도를 넘어서는 오버슈트가 발생하고 너무 짧게 주면 언더슈트가 발생하여 온도제어 오차의 원인이 된다.

적당한 펄스폭 설정과 PWM 제어시스템은 실험을 통해서만이 구현 가능하며 프로그램의 온도 캘리브레이션 벡터 함수와 조합에 의해 적절히 설정되어야 한다. 본 논문에서는 설정온도를 항상 유지할 수 있도록 실시간 제어와 4단계 PWM 제어 스텝으로 프로그램하여 설정온도를 유지할 수 있도록 하였으며 ±1%의 온도제어 오차율을 보였다.

그림 16 는 발열체 구동회로의 PWM 동작 타이밍 차트를, 그림 17 은 온도신호에 대한 PWM 제어 패턴을 나타낸다.

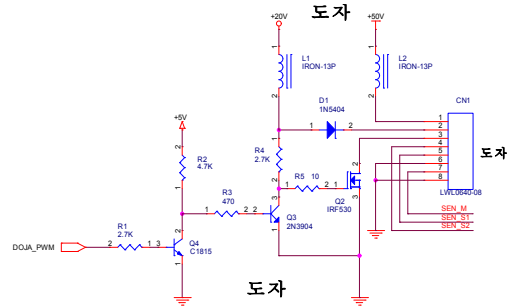


Fig. 15. Heater Drive Circuit
그림 15. 발열체 구동 회로

3.4 온도제어 프로그램 알고리즘 구현

ATmega16에는 10비트 아날로그/디지털 컨버터가 내장되어 있으며 8채널 멀티플렉서와 Sample & Hold, Gain Amp 회로가 같이 구성되어 있다. 또한 아날로그/디지털 클럭도 프리스케일러 기능을 내장하고 있으며 CPU 클럭과는 별도로 공급되며, 아날로그/디지털 동작도 내장된 주변기기와 연계하여 동작가능하다. [3]

온도센서 신호가 CPU에 내장된 아날로그/디지털 컨버터에 가해져 아날로그/디지털 변환 후 온도 데이터를 획득하게 된다.

아날로그/디지털 기준전압은 5v를 사용하여 0v에서 5v까지의 전압을 받을 수 있으며 CPU 자체에 아날로그 전원 핀과 아날로그 기준전압 핀 신호가 있어 외부에서 인덕터 10uH를 거쳐 +5v에 연결하면 된다.

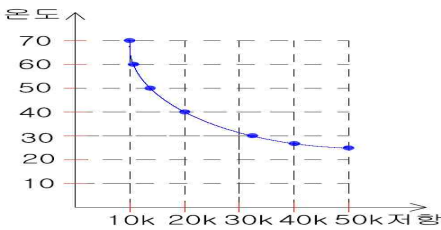


Fig. 12. Temperature-Resistance Curve
그림 12. 온도-저항 곡선

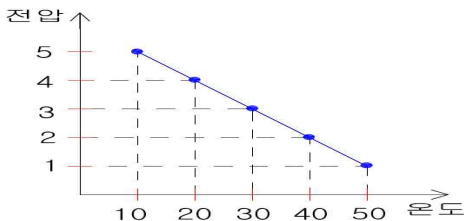


Fig. 13. Voltage-Temperature Curve
그림 13. 전압-온도 곡선

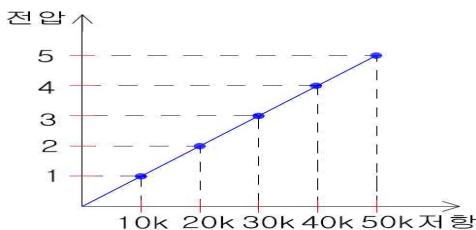


Fig. 14. Voltage-Resistance Curve
그림 14. 전압-저항 곡선

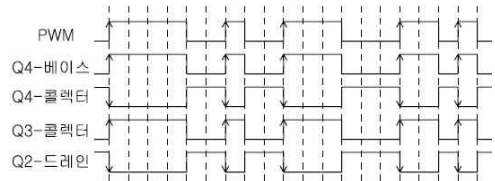


Fig. 16. PWM Operation of the Heating Element Driving Circuit a Timing chart
그림 16. 발열체 구동회로의 PWM 동작 타이밍 차트

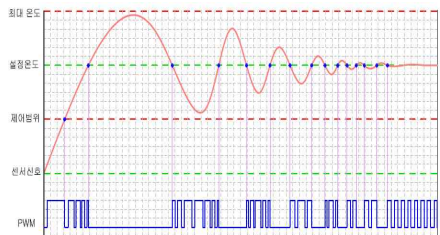


Fig. 17. PWM control pattern for the temperature signal
그림 17. 온도 신호에 대한 PWM 제어패턴

본 논문에 필요한 온도제어 부분은 40-70℃이며 아날로그 전압을 변환 후에 소프트웨어적으로 온도 데이터 테이블을 거쳐 온도 데이터를 획득하게 된다.

온도 신호에 해당되는 전압 변환식을 살펴보면 다음과 같다.

아날로그/디지털 컨버터의 기준 전압이 5v 이고 분해능이 10비트 이므로 아날로그/디지털 컨버터의 1 디지털(digit)당 최소 분해능 전압은 식(4)에서 구할 수 있다.

$$A \quad V_D = \frac{5}{1024} \quad (4)$$

식 (4)에서 $A \quad V_D = \frac{5}{1024} = 0.0048828125[V]$ 이다.

온도신호는 2초 트리거 신호와 동기하여 트리거 주기대로 온도 데이터를 읽어 아날로그/디지털 변환 하였다. 온도가 흔들리는 것과 노이즈를 제거하기 위해서 16번을 읽어서 평균을 냈고 온도의 정확도를 높이기 위해 각 도자의 탑재된 센서의 수에 따라 평균을

또 내어 온도 데이터를 전압으로 취하였다.

본 논문에서는 온도제어를 On/Off 제어와 PWM 제어를 사용하고 있는데 ATmega16 CPU에는 8비트 2개, 10비트 2개의 총 4채널의 PWM 출력을 가지고 있다. [3]

본 논문에서는 타이머2 8비트 1채널과 타이머1 0CIA, 0CIB PWM 출력의 10비트 2채널을 사용했고 타이머0 PWM 출력의 OC0 8비트 PWM 채널은 사용하지 않았다. 이는 타이머0은 시스템 내부 타이머로 사용되어 온도 표시 장치의 스캔 펄스 출력 신호나 내부 시계용 타이머로 사용되기 때문이다. 본 논문에 사용된 온열치료기는 의료기기이므로 의료기기 법규상 8시간이 지나면 시스템 전원이 타임 Off 된다.

제어 알고리즘 은 PWM 모드로 설정하고 온도센서로부터 얻은 온도 데이터를 가지고 현재온도와 비교하는 방식을 취하여 제어하였다. 즉 현재온도와 설정 온도를 비교하여 현재온도가 설정온도 보다 낮으면 PWM 펄스폭을 크게 하여 동작 시간을 길게 하였으

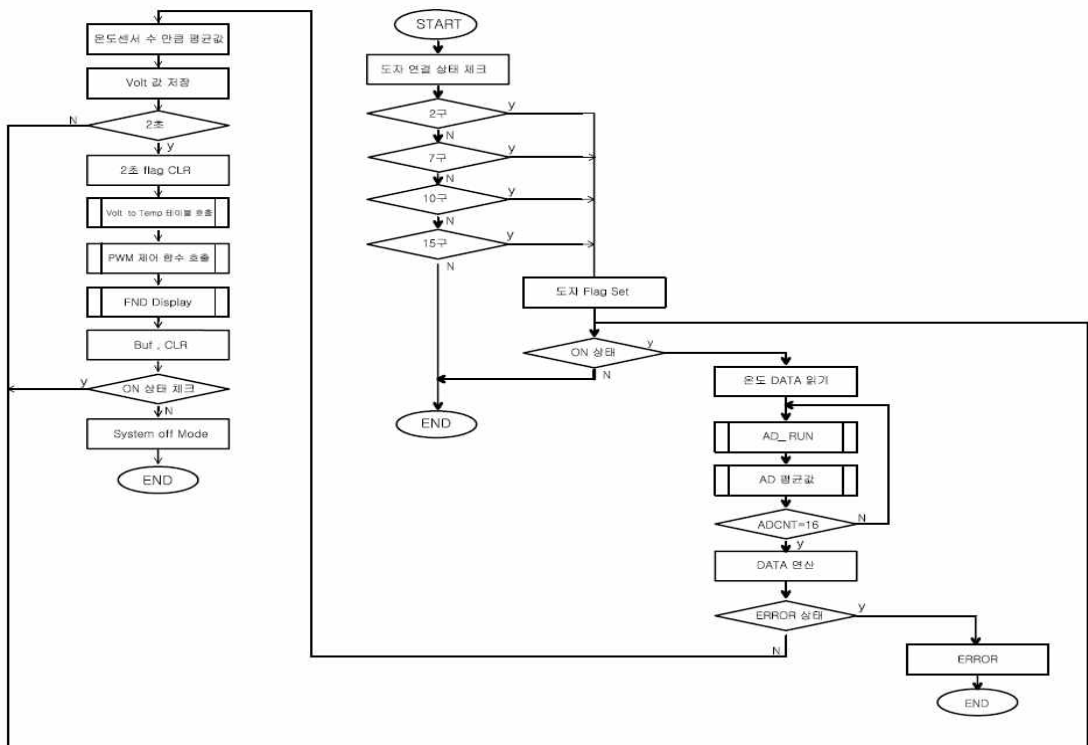


Fig. 18. Temperature Reading Algorithm Block Diagram
 그림 18. 온도 리드 알고리즘 블록도

며, 현재온도가 설정온도에 가까워질수록 PWM 출력 파형의 동작 시간을 줄여가면서 PWM 제어를 하였다. 현재온도와 설정온도가 같으면 PWM 펄스폭을 최소로 하여 현재온도를 유지할 수 있도록 하였고 현재온도가 설정온도보다 높으면 PWM 출력을 정지 시켜서 발열체를 냉각시켰다.

PWM 펄스폭 제어량 산출 방법은 현재온도와 설정온도를 비교하여서 현재온도가 설정온도보다 큰 지, 작은지, 같은지를 판단한 후 현재온도와 설정온도를 감산 연산 후 그 결과값을 가지고 PWM 제어 스템을 결정하였다.

본 논문에서는 현재온도가 설정온도보다 작을시 감산 연산 후 그 결과가 4℃ 이하면 1℃ 단위로 4단계 스템으로 PWM 제어를 수행 하였으며 결과치가 4℃ 이상이면 PWM 제어를 하지 않고 PWM 펄스폭을 최대폭으로 출력하여 발열체 구동 드라이버 회로를 제어 하였다.

그림 18 은 온도 리드 알고리즘 블록도이고, 그림 19 는 PWM 제어 알고리즘 블록도이다.

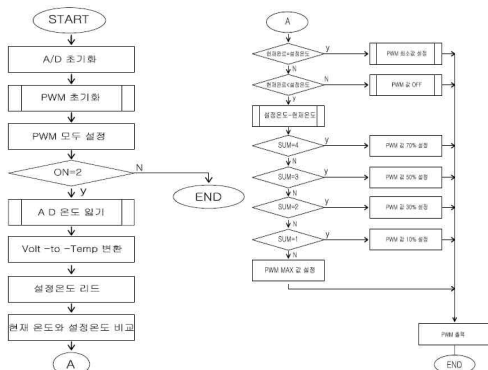


Fig. 19. PWM control algorithm block diagram
그림 19. PWM 제어 알고리즘 블록도

IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 온도 제어보드 개발과 온도센서를 통한 온도 데이터 획득 알고리즘과 이를 통한 발열체 구동 드라이버 회로의 PWM 제어 등 온열제어 시스템 전반에 걸쳐서 연구하고 구현 하였으며 하드웨어 회로 설계와 제어 프로그램을 개발하였다.

본 논문의 온열제어 PWM 출력 파형을 그림 20, 그림 21 에 나타낸다.

그리고 온도 교정 전과 교정 후의 온도측정 레코드 그래프 데이터를 그림 22에, 각 설정온도에 대한 측정 데이터를 그림 23과 그림 24에 나타낸다.

그림 25는 동작중인 도자의 상태를 촬영한 그림이며 그림 26 은 온열치로기 도자의 온열 및 자극이 인체에 가해지는 모습을 나타낸다.



Fig. 20. PWM waveform 1
그림 20. PWM 파형 1



Fig. 21. PWM waveform 2
그림 21. PWM 파형 2

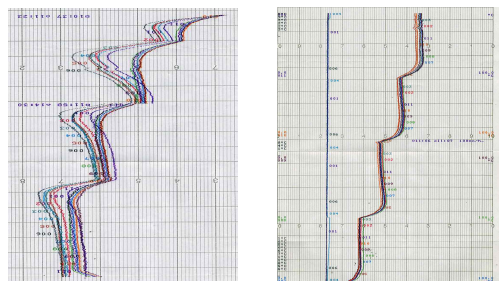


Fig. 22. Before and after calibration temperature calibration
그림 22. 온도 교정 전과 교정 후

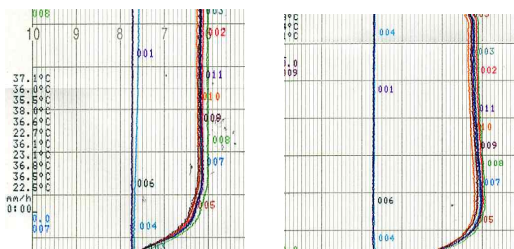


Fig. 23. Measurement data from the set temperature 40℃ and 50℃
그림 23. 40℃와 50℃ 설정 온도에서의 측정 데이터

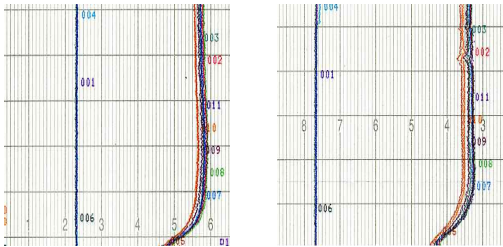


Fig. 24. Measurement data from the set temperature 60°C and 70°C

그림 24. 60°C와 70°C 설정 온도에서의 측정 데이터

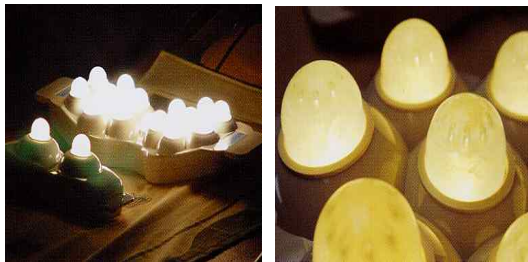


Fig. 25. Ceramic Running

그림 25. 동작중인 도자

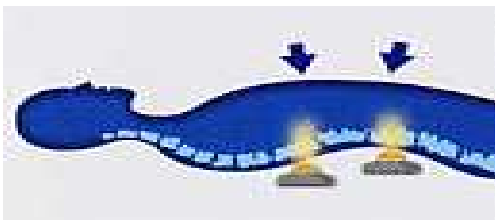


Fig. 26. Appearance and thermal stimulation applied to the human body

그림 26. 온열 및 자극이 인체에 가해지는 모습

V 결론

본 논문에서는 온열요법에 의한 건강관리에 있어 개인용 온열치료기의 온도제어를 위해 PWM제어 알고리즘을 통해 제어 시스템을 설계하였다.

온도센서의 입력 데이터와 설정온도와의 비교 및 제어에 의해서 PWM 펄스폭의 동작 시간을 조절함으로써 원하는 설정온도를 유지하고 제어하는 시스템을 구현할 수 있었다.

또한 국내시험기관인 “전기전자시험연구원” 의료가 기 심사 및 성능 실험팀을 통한 온도 측정 및 Test실험을 하여 제 3자 테스트를 통해 유효성 확인 및 성

능, 안전성 검증을 하였다.

본 논문을 통한 알고리즘은 PWM에 의한 피드백 제어로서 개인용 온열치료기에 적용하였고, 향후 정확한 온열제어가 가능하도록 지속적으로 새로운 제어 알고리즘을 연구하고, 디지털/아날로그 컨버터를 활용한 아날로그 전압의 선형적인 PID 제어 방식도 연구할 계획이며, 또한 의료신호 및 의료기기 제어 데이터를 인체를 통해 전송하는 의료기기용 인체통신 분야로도 연구 할 계획이다.

References

- [1] Far Infrared Ray Test Report, <http://www.kcl.re.kr>
- [2] Lamp Spectrum Test Report, <http://www.kcl.re.kr>
- [3] Atmega16 Datasheet, <http://atmel.com>
- [4] Kim Young-Hae, *Sensor Interfacing NO.1*, KiJeon Publisher, 1986
- [5] Lee Hyeon-Yup, *Programming and interfacing the 8051 microcontroller in C and assembly*, Ajin, 2002
- [6] Kim Sung-Hwan, Ji Yong-Ju, Lee Sung-Su, Kim Tae-Hun, Kim Myo-Hyang, Han Hwa-Taek, “The Development of Multi-channel Temp & Humi Distribution Tester”, Korean Society for Emotion & Sensibility, pp. 211-215, 2001.
- [7] Jeong Tae-Sang, Ha Jong-Kyu, Min Young-Bong, “A Simulation of Temperature Control of Greenhouse with Hot-Water Heating System”, Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference, Vol.8, No.3, pp. 152-163, 1999.
- [8] Ramon Pallas-Areny and John G. Webster, “Sensors and Signal conditioning”, Wiley, Interscience, pp. 94-109, 2001.
- [9] Kwon Ki-Pyo, Lee Jae-Heung, “A Speed-up Method of HOG Pedestrian Detector in Advanced SIMD Architecture”, IKEEE, Vol.18, No.1, pp. 1-7, 2014.
- [10] Park Byeong-Ju, Lee Jae-Heung, “High Efficient Viola-Jones Detection Framework for Real-Time Object Detection”, IKEEE, Vol.18, No.1, pp. 106-113, 2014.

BIOGRAPHY

Myoung-Gyu Song (Member)

2005 : BS degree in Electronic Engineering, Hanbat University.
2007 : MS degree in Computer Engineering, Hanbat University.
2008 ~ Present : PhD degree in Computer Engineering, Hanbat University.

2014 ~ Present : Research Engineer, M-Cubic Laboratory.

Jae Heung-Lee (Member)

1983 : BS degree in Electronic Engineering, Hanyang University.
1985 : MS degree in Electronic Engineering, Hanyang University.
1994 : PhD degree in Electronic Engineering, Hanyang University.

1989 ~ Present : Professor in Dept. of Computer Engineering, Hanbat National University