

펠티어 소자의 PWM 전류제어를 이용한 알루미늄 판의 온도제어

방두열[#], 권대규^{*}, 이성철^{**}

Temperature Control of Aluminum Plate by PWM Current Control of Peltier Module

Du-Yeol Pang[#], Tae-Kyu Kwon^{*} and Seong-Cheol Lee^{**}

ABSTRACT

This paper presents the temperature control in aluminum plate with Peltier module. From the experimental work, Peltier module is used to control the temperature of small aluminum plate for both heating and cooling with the control of current and fan ON/OFF. And current control of Peltier module was accomplished by PWM method. As a result of experiments, it is proper that operate cooling fan only while cooling duration and there exist a proper cooling current to drop temperature rapidly. It takes about 125sec to control temperature of aluminium plate between 30°C and 70°C and about 70sec between 40°C and 60°C, in ambient temperature 28°C~29°C while cooling fan is operated only cooling duration. With the cooling current, temperature control of aluminum plate was accomplished more rapidly in comparison without cooling current. Future aim is to realize more rapid temperature control and develop SMHA(special metal hydride actuator) by using Peltier module as a heating and cooling source.

Key Words : Peltier module(펠티어소자), Peltier effect(펠티어효과), Seebeck effect(제벡효과), Thermoelectric module(열전소자), Thermo-electromotive force(열기전력), PWM(펄스폭 변조)

1. 서 론

열전효과(thermoelectric effect)는 열 에너지와 전기에너지의 상호변환 현상으로, 제벡효과(Seebeck effect), 펠티어효과(Peltier effect) 및 톰슨효과(Thomson effect)로 나눌 수 있으며 이들은 서로 가역적이다.^{1,3} 이 중에서 열전냉각 소자로서 펠티어소자는 다수의 P-, N-형의 열전 반도체를 전기적으로

는 직렬로, 열적으로는 병렬이 되도록 II형으로 연결한 모듈의 형태로 사용되고 있다. 펠티어소자에 전류가 흐르면, 열전 모듈은 냉각장치와 같이 작용하므로 한쪽 면에서 열을 흡수하여 다른 쪽 면에 열을 방출하는 현상으로서 일종의 열펌프와 같은 작용을 한다. 이러한 현상을 1900년 초부터 연구하기 시작하였으며, 현재는 약 10% 이상의 변환 효율을 얻을 수 있는 상태까지 발전하였다.

접수일: 2005년 10월 1일; 게재승인일: 2006년 9월 14일

교신저자 : 전북대학교 대학원 기계공학과

E-mail fishhh@hotmail.com H.P 010-3120-6803

* 전북대학교 생체정보공학부 조교수

** 전북대학교 기계공학부 교수

열전소자는 소형, 고 신뢰성, 넓은 사용 온도범위 및 저 소비전력의 특성이 있고, 냉매가 필요하지 않으므로 적외선 검출장치, 컴퓨터 부품과 같은 전자장치의 극소 부위의 냉각, 레이저 다이오드의 냉각장치, 고정밀 온도 제어장치, 우주 탐사선의 열전 발전장치 및 폐열을 이용한 발전장치 등에서 사용되고 있다. 열전소자를 응용한 기술이 발달된 분야로는 우주항공, 생체분야, 전자분야 등이 있으며, 연구 동향은 미국의 경우 DOE, NASA, Hi-Z, SERI 등에서 열전소자에 대한 연구가 활발하고, 일본에서는 도호꾸대, 도쿄대, 야마구찌대 등에서 열전냉각에 대한 연구를 주로 하고 있으며 열전발전에도 많은 연구를 하고 있다.

본 연구는 펠티어소자의 가열 및 냉각작용을 이용하여 알루미늄 판의 온도를 제어하고자 하였으며, 상하한 목표온도를 설정하고 가열 및 냉각과정을 통하여 얼마나 빠른 주기로 상하한 온도범위를 반복할 수 있는가를 실험함으로써 반복주기, 가열 전류와 적절한 냉각전류, 냉각팬 작동효과를 비교 관찰함으로써 온도제어에 있어서 적정조건을 실험적으로 구하고자 하였다. 가열 시는 펠티어소자에 양(+)의 전류를, 냉각 시는 음(-)의 전류를 인가하였고, 보다 효과적인 냉각을 위해서 냉각팬을 부착하였다. 펠티어소자의 전류제어는 측정값과 기준 입력을 비교함으로써 PI 제어에 의한 PWM 방식을 사용하였다. 전류의 PWM 제어는 제어장치의 발열량과 크기를 줄일 수 있는 이점이 있다. 적절한 냉각전류의 채택과 냉각팬의 도입으로 알루미늄 판의 온도제어를 보다 빠르게 할 수 있었으며, 40℃~60℃의 온도제어에 있어서의 반복주기는 약 70초 이었고, 30℃~70℃의 온도제어에 있어서의 반복주기는 약 125초 정도이었다.

2. 펠티어 모듈의 전자냉각 이론과 PWM 제어

2.1 펠티어 모듈의 전자냉각 이론

펠티어효과는 전위차가 있는 두 도체 사이에서 전류가 흐를 때, 전자가 운동에 필요한 에너지를 열에너지 형태로 흡수함으로써, 저온 측에서 열을 흡수하여 고온 측에 열을 방출하는 일종의 열펌프와 같이 작동하는 현상을 말한다.

펠티어소자는 Fig. 1과 같이 P형, N형의 열전 반도체를 전기적으로는 직렬, 열적으로는 병렬이 되도록 II형으로 연결한 모듈의 형태로 사용되고 있

다. N형 반도체의 다수 캐리어(carrier)는 전자(electron)이고, P형 반도체의 다수 캐리어는 정공(hole)이다. 열전냉각 소자의 작동원리는 P형 반도체로부터 N형 반도체로 전자가 움직일 때, 전자는 저온 측에서 열적으로 에너지를 흡수함으로써 고온 위 에너지 상태로 되고, 전자가 N형 반도체로부터 P형 반도체로 이동할 때는 고온 측에 열에너지를 방출하게 되어, 저온위 에너지로 되어 전체적으로 상부 전극에서는 흡열이 일어나고 하부 전극에서는 발열이 일어나게 된다.^{4,6}

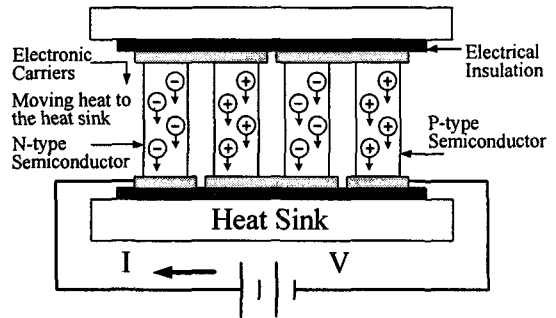


Fig. 1 The operating principles of a thermoelectric cooling module

이는 일종의 열펌프(heat pumping) 현상이며 이러한 물리현상을 펠티어효과라 한다. 제벡효과와는 가역적이며, 펠티어효과에 의한 흡열 또는 발열량은 식 (1)과 같이 인가전류 I 에 비례한다.

$$Q = \pi I \quad (1)$$

여기서, π 는 펠티어 계수로서 금속 반도체 접합 부에서의 냉각 또는 가열에 대한 당량 전압에 해당하며 식 (2)로 표시되고, 제벡 계수와의 관계는 식 (3)과 같이 주어진다.

$$\pi = \pm (\epsilon_c - \epsilon_F + e\kappa_B T)/q \quad (2)$$

$$\pi = \alpha T \quad (3)$$

여기서, α [volt/K]는 제벡 계수, $(\epsilon_c - \epsilon_F)$ 는 평균 운동에너지, T 는 양단간의 온도이다. 이러한 펠티어소자의 흡열, 또는 발열현상을 이용하여, 알루미늄 판의 온도를 제어할 수 있다.

2.2 PWM 제어

펄티어소자의 전류제어는 PWM 방식을 이용하였고 이는 구형파 펄스의 듀티비(duty ratio)를 조정하여 펄티어소자에 공급되는 전력을 제어하고 있다. PWM 방식에 의한 전력제어는 원칙적으로 트랜지스터가 차단과 포화의 두 가지 상태에서 작동하므로 이론적으로는 효율이 100%이며 실제적으로는 95% 이상의 효율을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 정전류에 의한 전력제어 방식은 펄티어소자에 공급되는 전력을 조정하는 과정에서 일정 부분을 열로 손실하는 과정이 필수적으로 수반되기 때문에 에너지 효율적인 측면에서 불리하고 열 방출을 고려한 방열장치가 함께 고려되어야 하므로 장치의 부피와 무게가 증가하게 된다.

본 연구에서는 PIC16F874 마이크로 콘트롤러에 내장된 TIMER1을 PWM 기능으로 설정하여 PWM 펄스를 발생시켰다. PIC16F874의 시스템 클럭 16 MHz를 내부 분주하여 31.25 kHz의 PWM 펄스가 발생하도록 하였으며, PWM 펄스의 듀티비는 0~100%를 512단계로 분할하여 조정하도록 하였다. 제어 전류에 비례하는 값이 듀티비에 대응하도록 하였다. PWM 펄스는 H-bridge IC L6203에서 전류가 증폭되고 LC-filter를 거쳐 펄티어소자에 공급된다. 이 때 PWM 펄스는 LC-filter에 의해서 충분히 평활되어 직류화된 후 펄티어소자에 공급되며 펄티어소자와 LC-filter 사이에 연결된 0.1Ω 의 저항(R_{SENSE})을 이용하여 전류값을 측정하였다. 펄티어소자의 전류는 측정값과 기준 입력값을 비교함으로써 비례-미분(PI) 제어를 수행하였다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

Fig. 2는 구성된 시스템 전체의 실험장치 사진이며, PIC16F874 마이크로 콘트롤러에 의한 제어부, H-bridge IC L6203에 의한 전류구동부, 펄티어소자와 알루미늄 판으로 구성된 제어대상, 온도 및 전류측정을 위한 센서부, 센서신호의 증폭장치부, 그리고 PC와의 데이터 전송을 위한 RS232C 통신부로 구성되어 있다.

Fig. 3은 펄티어모듈, 알루미늄 판 및 냉각팬을 중심으로 한 실험장치의 사진이다. Fig. 3에서 보이는 바와 같이, 40mm×40mm×3mm 크기의 알루미늄

판 양쪽 면에 펄티어소자를 부착하고, 펄티어소자의 다른 쪽 면에는 방열 판을 부착하였다. 또한, 방열 판에는 냉각 팬을 부착하여 원하는 시기에 냉각 팬을 작동할 수 있게 하였다. 알루미늄 판의 양쪽 면에는 IC 온도센서 LM35DZ가 부착되어 온도를 측정하고 있다.

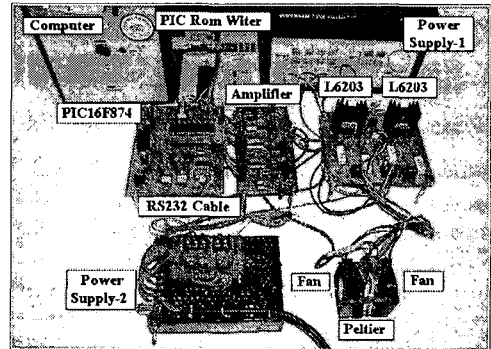


Fig. 2 Photo of experimental apparatus

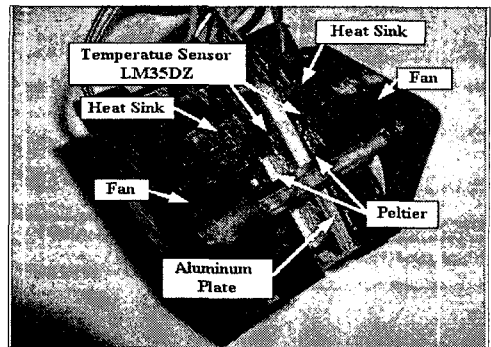


Fig. 3 Photo of Peltier and its assembly

Fig. 4에 실험장치의 구성을 블록선도로 표시하였다. 펄티어소자의 전류는 PIC16F874 마이크로 콘트롤러에서 발생하는 PWM 펄스의 duty 비를 조정함으로써 제어되고, 발생한 PWM 펄스는 H-bridge IC L6203에 인가되어 전류 방향을 스위칭 할 수 있으며, 파워 트랜지스터로 구성되어 고 전류로 펄티어소자를 구동하는 것이 가능하다. 또한 L6203은 최대 100kHz까지의 펄스를 스위칭 할 수 있고, 최대 4A의 전류를 흘릴 수 있다.

펄티어소자에 인가되는 PWM 펄스는 Fig. 5와 같이 구성된 LC-filter에 의해서 직류화 된다. LC-filter의 공진주파수를 2.77 kHz로서 PWM 주파수

31.25 kHz의 약 1/10 정도이다. LC-filter의 시뮬레이션 및 실험결과, PWM 펄스가 효과적으로 직류화되어 펠티어소자를 구동하고 있음을 알 수 있었다. H-bridge IC L6203을 중심으로 한 펠티어소자의 구동부와 증폭회로는 Fig. 6과 같이 구성되었다.⁷⁻¹⁰

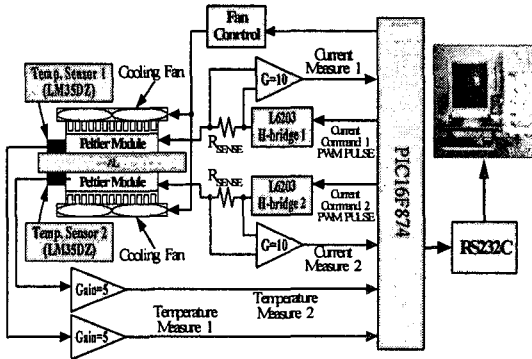


Fig. 4 Block diagram of experiment apparatus

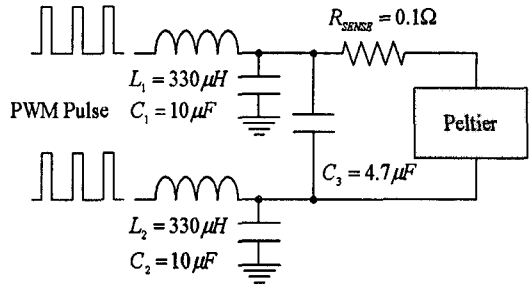


Fig. 5 LC-filter circuit to rectify the PWM pulse

3.2 실험 방법

펠티어소자에 흐르는 전류를 모니터링하기 위해서는 0.1Ω의 저항 R_{SENSE}가 펠티어소자에 직렬로 연결되어 있고, R_{SENSE} 사이의 전압은 LF356 OP-Amp IC로 10배 증폭하여 PIC16F874의 A/D 변환기로 측정함으로써 펠티어소자에 흐르는 전류를 모니터링 하였다. 알루미늄 판의 온도는 LM35DZ IC 온도 센서로 측정되고 이 값은 LF356 OP-Amp로 5배 증폭되어 PIC16F874의 A/D 변환기에 입력되고 있다. 펠티어소자 및 LM35DZ IC 온도센서의 사양은 Table 1과 같고, 냉각 팬의 사양은 Table 2와 같다.

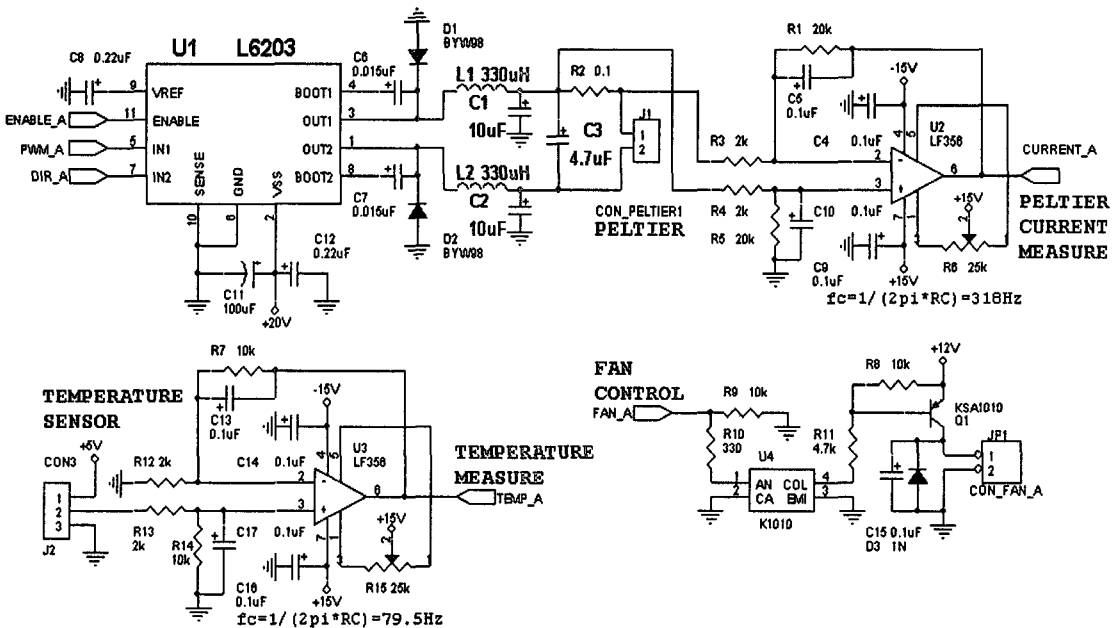


Fig. 6 Circuit drawing of control system

Table 1 The specifications of Peltier module and temperature sensor

Peltier Module		Temperature Sensor	
Thermotron TS-10-127-13		National Semiconductor LM35DZ	
size(mm)	30×30×3.8	Temp. range	-55℃~150℃
max. voltage	16.2V	output voltage/℃	+10 mV/℃
max. current	4.5A	accuracy	0.5℃(at 25℃)
max. temperature	71℃	non-linearity	typ. ±0.25℃

Table 2 The specifications of cooling fan module

Manufacturer	ORIENT Fan Motor(Korea)
Model Name	DC0512A-12M
Size	50mm×50mm×12mm
Rated Voltage	12 V
Rated Current	0.11 A
Speed	3800 rpm
Blow Rate	0.29 m ³ /min(10.24 CFM*)
Blow Pressure	2.3 mmH ₂ O(22.54 Pa)
Weight	26 g

*CFM(cubic feet per minute)

펠티어소자의 전류제어는 Fig. 7의 신호흐름도에서와 같이 PI제어 알고리즘을 사용하였다. PI제어 알고리즘은 먼저, 알루미늄 판의 상한온도 T_{high} , 하한온도 T_{low} , 펠티어소자의 가열전류 $I_{heating}$ 및 냉각전류 $I_{cooling}$ 의 값을 설정하고, 전류제어에 사용될 비례게인 P_{gain} 과 적분게인 I_{gain} 의 값을 설정한다. 다음에 알루미늄 판의 온도를 측정하여 가열할 것인지 냉각할 것인지를 결정하여, 가열 시에는 목표전류를 $I_{target}=I_{heating}$ 으로, 냉각팬은 OFF로 설정하고, 또 냉각 시에는 목표전류를 $I_{target}=I_{cooling}$ 으로, 냉각 팬은 ON으로 설정하여 전류를 제어하였다.

전류제어는 목표전류 I_{target} 와 측정전류 $I_{measure}$ 와의 오차 I_{error} 를 계산하여 비례 및 적분 게인에 의한 전류 제어값 $I_{control}$ 을 계산하고, 이 값을 직접 PWM duty의 제어값으로 사용함으로써 전류의 피드백 제어를 실현하고 있다. 이와 같은 과정을 반복하면서

알루미늄 판의 온도가 상한온도 T_{high} 이상이면 냉각모드로 전환하고, 하한온도 T_{low} 이하이면 다시 가열모드로 전환하여 상한온도와 하한온도 사이를 반복하도록 제어하면서 알루미늄 판의 온도 및 펠티어소자의 전류를 모니터링 하였다.

실험 데이터는 PIC16F874의 A/D 변환기로부터 획득되어, RS232C 통신으로 PC에 전송되고, PC에서는 이 데이터들을 HDD에 저장하도록 하였다. 실험에 사용된 sampling time은 0.1초 이었고, 실험 중의 주위 공기온도는 28℃~29℃ 부근이었다.

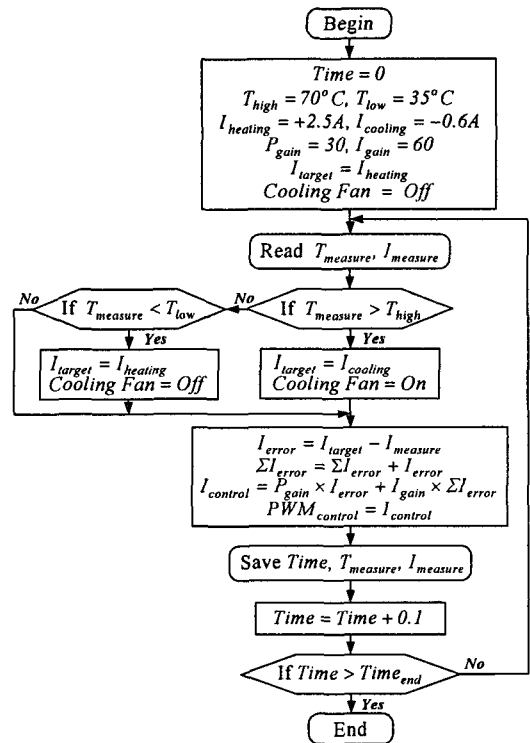


Fig. 7 Flowchart of experimental control sequence

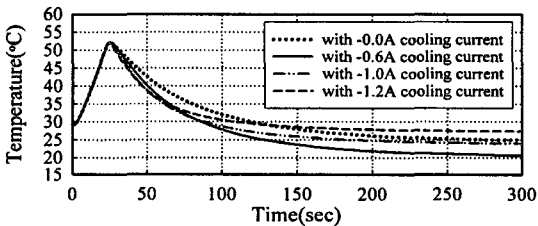
4. 실험결과

4.1 효과적인 냉각전류의 고찰

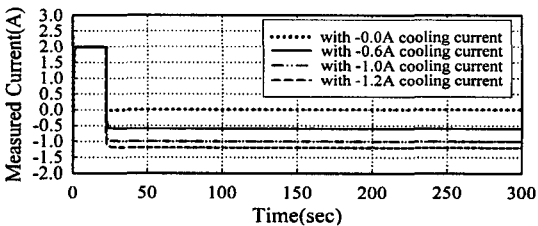
Fig. 8은 가장 효과적인 냉각전류의 값을 구하기 위하여 냉각전류의 크기를 바꾸어 가면서 온도변화를 관측하였다. 먼저, 동일 조건을 실현하기 위하여 펠티어소자에 +2.0 A를 인가하여 알루미늄 판을 50℃ 까지 가열하였다. 동일 조건, 온도 50℃에서 냉각전류를 -0.0A, -0.6A, -1.0A 및 -1.2A의 4가지

경우로 알루미늄 판을 냉각하여, 냉각전류의 크기에 따른 온도변화를 고찰함으로써 냉각효과를 비교하였다. 이때, 냉각 팬은 냉각하는 동안에만 작동시켰다.

Fig. 8에 실선으로 표시된 -0.6A의 냉각전류를 사용했을 때 최종 온도가 20℃ 부근으로 가장 낮은 값을 보이고 있어 가장 효과적인 냉각전류 값으로 판명되었다. 이는 펠티어소자에 냉각전류를 인가하면, 냉각작용과 함께 냉각전류로 인한 Joule 열이 함께 발생함으로써 이 두 가지를 절충할 수 있는 적정값이 존재하는 것으로 사료되며, 본 연구의 실험조건에서는 Fig. 8에서와 같이 -0.6A의 냉각전류가 가장 적절한 값으로 판명되었다.



(a) Measured temperature according to cooling current changes

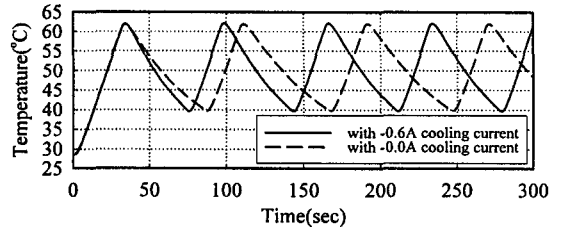


(b) Measured currents of Peltier module

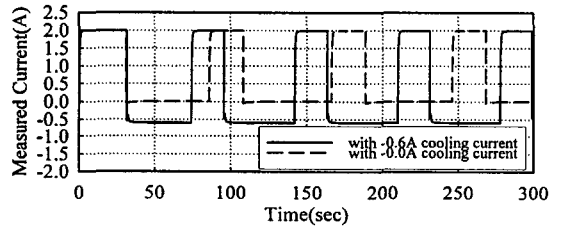
Fig. 8 Comparison of temperature variations according to cooling current changes

Fig. 9에서는 Fig. 8에서 냉각에 가장 효과적인 전류값으로 판명된 -0.6A의 효과를 보다 구체적으로 관찰하기 위하여 알루미늄 판의 온도제어 범위를 40℃~60℃로 설정하고 가열전류로는 +2.0 A의 동일한 값으로 설정하고, 냉각전류는 -0.0 A 및 -0.6A의 두 가지 경우로 하여 알루미늄 판을 냉각하였다. 위의 두가지 경우에 있어서 냉각 팬은 냉각하는 동안에만 작동시켰다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 실선으로 표시된 -0.6A의 냉각전류를 사용했을 때의 상하한 온도사이의 반복주기가 -0.0A의 냉

각전류를 사용한 경우에 비하여 보다 빠르게 나타나고 있어, 적절한 냉각전류의 도입이 온도제어에 있어서 효과적임을 알 수 있었다. 이와 같이 적절한 냉각전류 도입으로 인한 온도제어 결과의 차이는 다소 크다고 볼 수 있다.



(a) Measured temperature according to cooling current changes



(b) Measured currents of Peltier module

Fig. 9 Comparison of temperature variations according to the cooling current changes with the range 40℃~60℃

4.2 냉각팬 효과의 고찰

Fig. 10에서는 냉각 팬의 작동조건에 따른 온도제어 결과를 비교하기 위하여 (1)냉각 시에만 팬 구동하는 경우, (2)가열 및 냉각 시 모두 팬을 구동하는 경우, (3)가열 및 냉각 시 모두 팬을 구동하지 않는 3 가지 경우에 있어서 온도제어 결과를 비교하기 위하여 온도제어 주기를 관찰하였다. 실험조건으로는 알루미늄 판의 온도제어 범위는 40℃~60℃ 이었고 가열전류는 +2.0A, 냉각전류는 -0.6A를 사용하였다.

Fig. 10에서 온도의 반복 주기가 빠르면 그 만큼 응답성이 좋은 것이므로, 실선으로 표시된 (1) 냉각 시에만 팬을 구동시키는 경우에 있어서 온도제어가 가장 빨리 실현되는 것으로 나타났다. 따라서 냉각 시에만 팬을 작동시키는 것이 가장 적절한 경우임을 알 수 있었다.

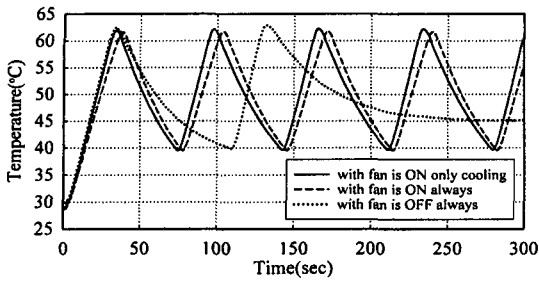
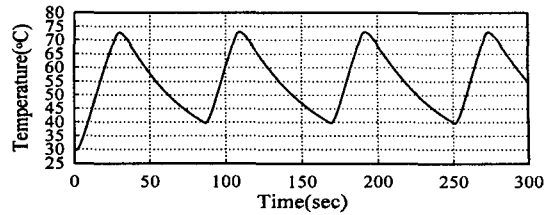


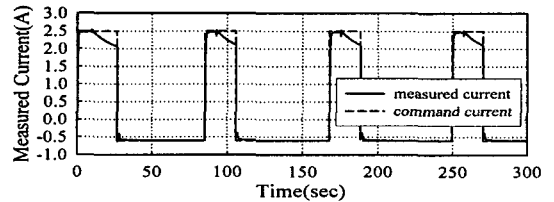
Fig. 10 Comparison of temperature variations according to the cooling fan operation conditions

4.3 온도제어 결과 및 고찰

Fig. 11 ~ Fig. 12는 알루미늄 판을 상한온도와 하한온도 사이에서 제어한 경우의 결과이다. 알루미늄 판의 온도제어에서 냉각전류로 가장 효과적인 -0.6A를 사용하였고, 냉각 팬은 냉각하는 동안에만 작동시켰다. 가열전류는 +2.5A로 시도하였는데, 측정된 전류가 처음에는 제어전류로 입력된 +2.5A로 추종을 하다가, 후반부에서는 +2.5A 보다 약간 감소하고 현상이 발생하고 있는데, 이는 펠티어소자가 가열되면서 펠티어소자의 ohmic 저항이 증가하면서 펠티어에 흐르는 전류가 상대적으로 감소하고 있는 것으로 사료된다.

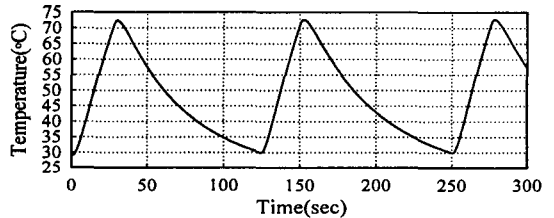


(a) Measured temperature

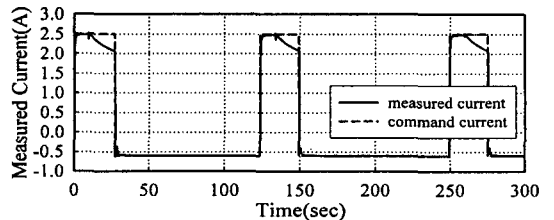


(b) Measured current of Peltier module

Fig. 12 Temperature control from 40°C to 70°C ($\Delta T=30^\circ\text{C}$, Repeating period : about 85sec)

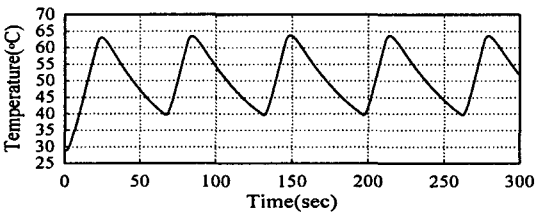


(a) Measured temperature

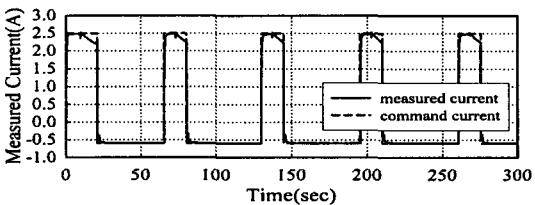


(b) Measured current of Peltier module

Fig. 13 Temperature control from 30°C to 70°C ($\Delta T=40^\circ\text{C}$, Repeating period : about 125sec)



(a) Measured temperature



(b) Measured current of Peltier module

Fig. 11 Temperature control from 40°C to 60°C ($\Delta T=20^\circ\text{C}$, Repeating period : about 70sec)

Fig. 11 에서 알루미늄 판의 온도제어 범위는 40°C~60°C, 온도 반복주기는 약 70초 이었고, Fig. 12 에서의 온도제어 범위는 40°C~70°C, 온도 반복주기는 약 86초 이었다. 또한 Fig. 13에서의 온도제어 범위는 30°C~70°C 이었고 반복주기는 125초 이었다. 이와 같이 알루미늄 판의 온도를 30°C~70°C 범위에서 제어하는데 있어서 온도의 반복주기가 약 70초~125초 정도로 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 알루미늄 판의 온도를 펠티어소자를 이용하여 가열과 냉각을 반복적 작동되도록 제어하기 위하여 펠티어소자에 PWM 전류제어 방법을 채택하고 알루미늄 판을 하한 30℃에서 상한 70℃ 범위의 반복적인 온도제어가 가능함을 실험적으로 보여주고 있다.

한편, 알루미늄 판 냉각에서는 펠티어소자에 공급해야 하는 냉각전류의 증가가 요구되나, 이 경우에는 소자에 줄(Joule) 열이 동시에 증가하게 되어 무조건 냉각전류를 크게 할 수는 없었고, 적절한 냉각전류를 선정해야 할 필요가 있었다. 본 연구에서 사용한 물리적 크기에서는 -0.6A의 냉각전류가 적절한 것으로 나타났으며, 또한 냉각 팬을 냉각 시에만 작동시킴으로 더 좋은 냉각효과가 나타났다.

본 연구에서 사용한 실험장치의 경우에서 40℃~60℃ 범위의 알루미늄 판 온도제어의 반복주기는 대략 70초, 그리고 30℃~70℃ 범위에서는 대략 125초로 나타났다.

이러한 제어동작 결과는 펠티어소자를 열원으로 하여 구동하는 SMHA (Special Metal Hydride Actuator)에 적용하여 실버 의지보조기구에 응용하고자 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부 주관 실버의료기기 핵심 기술개발사업(105077001) 지원으로 이루어진 연구 결과의 일부입니다. 이에 사업 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참고문헌

- Gao, M. and Rowe, D. M., "Improved model for calculating the coefficient of performance of a Peltier module," *Energy conversion & Management*, Vol. 41, pp. 163-171, 2000.
- Chein, R. and Huang, G., "Thermo-electric cooler application in electronic cooling," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, pp. 2207-2217, 2004.
- Dilhaire, S., Salhi, A., Grauby, S. and Claeys, W., "Laser Seebeck effect imaging(SEI) and Peltier effect imaging (PEI): complementary investigation methods," *Microelectronics Reliability*, Vol. 43, pp. 1609-1614, 2003.
- Kang, B. H., Chang, H. J., Kim, S. Y. and Kim, S., "Cooling characteristics at hot side of the thermoelectric module for an air conditioner," *Korea J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 14, No. 3, pp. 482-488, 2002.
- Yang, Y. S., "R & D trend on the thermoelectric energy conversion technology," *Korea J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 23, No. 5, pp. 396-402, 1994.
- Ro, S. T. and Seo, J. S., "Principle of thermo-electric refrigeration and system design," *Korea J. of Air Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 19, No. 3, pp. 135-145, 1990.
- Kwon, T. K., Jeon, W. S., Pang, D. Y., Choi, K. H., Kim, N. G. and Lee, S. C., "Development of SMH actuator system using hydrogen-absorbing alloy," *Proceedings of ICCAS*, pp. 1328-1333, 2005.
- Jeon, W. S., Pang, D. Y., Choi, K. H., Kwon, T. K., Kim, N. G. and Lee, S. C., "Temperature control of aluminum plate using Peltier element," *Proceedings of KSPE*, pp. 764-767, 2004.
- Jeon, W. S., Pang, D. Y., Choi, K. H., Kwon, T. K., Kim, N. G. and Lee, S. C., "Temperature-pressure characteristics of SMH actuator using Peltier module," *Journal of Control and Systems Engineering*, Vol. 7, No. 1, pp. 191-194, 2004.
- Kwon, T. K., Choi, K. H., Pang, D. Y., Lee, S. C. and Kim, N. G., "Design and development of SMH actuator system," *Proceedings of KSPE*, pp. 551-555, 2005.
- Park, Y. K., Kwon, D. H., Kim, S. D., Jeon, J. S., Oh, B. K. and Kim, S. I., "Study on Characteristics of Heat Exchange Using Thermoelectric Modules," *Proceedings of KSPE*, pp. 832-835, 2003.