

PWM 전류제어와 펠티어 소자를 이용한 알루미늄 판의 온도 제어

방두열*(전북대 원), 권대규, 이성철(전북대, 공업기술연구센터)

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

Du-Yeol Pang*(Graduate, Chonbuk Univ.), Tae-Kyu Kwon,
and Seong-Cheol Lee(Chonbuk Univ., RCIT)

ABSTRACT

This paper presents temperature control of aluminum plate using Peltier module. As one of the thermoelectric effect, Peltier effect is heat pumping phenomena by electric energy. So if current is charged to Peltier module, it absorbs heat from low temperature side and emits heat to high temperature side. In this experiment, Peltier module is used to control the temperature of small aluminum plate with heating and cooling ability of Peltier module with current control and fan ON/OFF control. And current control of Peltier module was accomplished by PWM method. As a results of experiments, 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 29°C while operating cooling fan only while cooling duration. 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(펠티어 소자), Peltier effect(펠티어 효과), Seebeck effect(제벡 효과), Thermoelectric module(열전 소자), Thermo-electromotive force(열기전력), PWM(pulse width modulation)

1. 서론

열전효과(thermoelectric effect)는 전기에너지와 열에너지의 상호 변환 현상으로서, 제벡 효과(Seebeck effect), 펠티어 효과(Peltier effect) 및 톰슨 효과(Thomson effect)로 나눌 수 있으며 이들은 서로 가역적이다.⁵⁻⁷ 열전냉각 소자로서 펠티어 소자는 다수의 P, N 형의 열전 반도체를 전기적으로 직렬, 열적으로는 병렬이 되도록 II형으로 연결한 모듈의 형태로 사용되고 있다. 펠티어 소자에 전류가 흐르면, 열전 모듈은 냉각 장치와 같이 작용하므로 한쪽에서 열을 흡수하여 다른 쪽 면에 열을 방출하는 현상으로서 일종의 열펌프와 같이 작용한다. 이러한 현상은 1900년 초부터 연구하기 시작하였으며, 현재 약 10% 이상의 변환 효율을 얻을 수 있는 상태까지 발전하였다.

열전소자는 소형, 고 신뢰성, 넓은 사용 온도 범위, 저 소비전력 및 냉매가 필요 없으므로 적외선 검출장치, 컴퓨터 부품과 같은 전자장치의 극소 부위 냉각, 레이저 다이오드의 냉각 장치, 고 정밀 온도 제어 장치, 우주 탐사선의 열전발전 장치 및 폐열을

이용한 발전 장치 등에서 사용되고 있다. 열전소자를 응용한 시스템 기술이 가장 발달된 분야로는 우주 항공용, 생체분야, 전자 분야 등이 있다. 국내외 동향으로는 미국의 경우 DOE, NASA, Hi-Z, SERI 등에서 열전소자에 대한 연구가 활발하고, 일본은 도호꾸대, 도쿄대, 야마구찌대 등에서 열전냉각에 대한 연구를 주로 하고 있으며 열전 발전에도 많은 관심을 가지고 있다.

본 연구의 실험에서는, 펠티어 소자의 전류를 PWM 방식으로 제어하여, 알루미늄 판을 펠티어 소자로 가열 및 냉각함으로써, 알루미늄 판의 온도를 하한 30°C에서 상한 70°C 범위에서의 제어를 실현하였다. 펠티어 소자의 전류제어는 PWM 펄스의 duty 비를 조정하여 실현하였고, 펠티어 소자의 전류는 계측 값과 기준 입력을 비교함으로써 피드백 제어를 하였다.

펠티어 소자에 양의 전류를 인가함으로써 알루미늄 판을 가열하고, 상한 온도에 도달하면 전류를 음의 방향으로 전환하여 냉각함과 동시에, 냉각 팬을 함께 작동시켜 알루미늄 판을 하한 온도까지 냉각하였다. 이와 같은 과정을 반복하면서, 알루미늄 판의

온도 변화 및 펠티어 소자에 흐르는 전류를 모니터링 하여 가열과 냉각의 효과를 관찰하였다. 냉각 전류의 도입과 냉각 팬의 작동으로 인해, 알루미늄 판의 온도 제어를 보다 빠르게 실현 할 수 있었으며, 알루미늄 판의 온도 제어 30°C~70°C 범위에서 상한 온도와 하한 온도의 반복주기는 70초~125초로 나타났다.

2. 펠티어 전자냉각 모듈의 이론

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

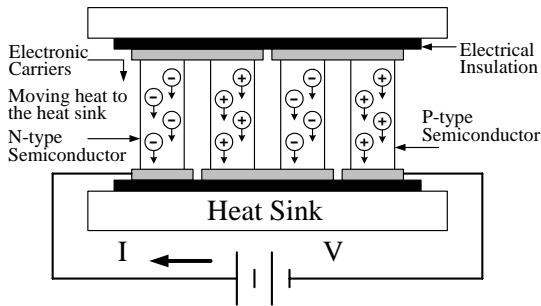


Fig. 1 The operating principles of a thermoelectric cooling module.

펠티어 소자는 Fig. 1과 같이 P, N형 열전 반도체를 전기적으로 직렬, 열적으로는 병렬이 되도록 II형으로 연결한 모듈의 형태로 사용되고 있다. N형 반도체의 다수 캐리어(carrier)는 전자(electron)이고, P형 반도체의 다수 캐리어는 정공(hole)이며, 열전냉각 소자의 작동원리는 P형 반도체로부터 N형 반도체로 전자가 움직일 때, 전자는 저온 측에서 열적으로 에너지를 흡수함으로써 고준위 에너지 상태로 되고, 전자가 N형 반도체로부터 P형 반도체로 이동할 때는 고온 측에 열에너지를 방출하게 되어, 저준위 에너지로 되어 전체적으로 상부 전극에서는 흡열이 일어나고 하부 전극에서는 발열이 일어나게 된다.⁸⁻¹¹

이는 일종의 열펌프(heat pumping) 현상이며 이러한 물리적 현상을 펠티어 효과라고 한다. 제백효과와는 가역적이며, 펠티어 효과에 의한 흡열 또는 발열량은 식(1)과 같이 인가전류 I 에 비례한다.

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

여기서, π 는 펠티어 계수로서 금속 반도체 접합부에서의 냉각 또는 가열에 대한 당량 전압에 해당하며 식(2)로 표시되고, 제백 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 제백 계수, $(\epsilon_c - \epsilon_F)$ 는 평균 운동에너지, T 는 양단간의 온도이다. 이러한 펠티어 소자의 흡열 또는 발열 현상을 이용하여, 알루미늄 판의 온도를 제어할 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

Fig. 2에 실험 장치의 개요를 블록선도로 표시하였다. 실험장치는 PIC16F874 마이크로 프로세서 제어부, H-bridge IC L6203에 의한 구동부, 펠티어 소자와 알루미늄 판으로 구성된 제어대상, 온도 및 전류 측정을 위한 센서부, 측정신호를 증폭하기 위한 증폭장치 및 PC와의 통신을 위한 RS232C 통신부로 구성되어 있다.

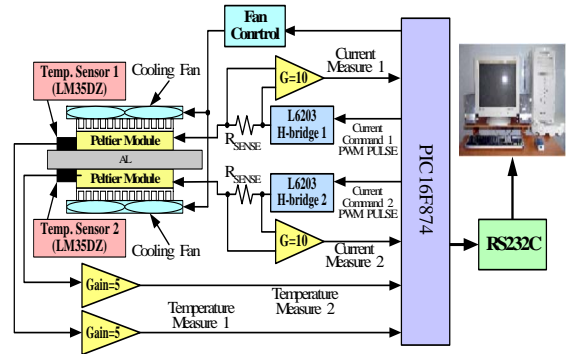


Fig. 2 Block diagram of experiment apparatus.

실험은 40mm×40mm×3mm 크기의 알루미늄 판 양쪽 면에 펠티어 소자를 부착하고, 펠티어 소자의 다른 쪽 면에는 방열판을 부착하였다. 또한, 방열판에는 냉각 팬을 부착하여 원하는 시기에 냉각 팬을 작동할 수 있게 하였다. 알루미늄 판의 양쪽 면에는 온도 센서 LM35DZ가 부착되어 온도를 측정하고 있다. 펠티어 소자의 전류 제어는 PIC16F874 마이크로 프로세서에서 발생하는 PWM 펄스의 duty 비를 조정함으로써 제어하였고, 본 실험에서 사용한 PWM 펄스의 주파수는 31.25kHz였다. PWM 펄스는 H-bridge IC L6203에 인가되어 전류의 방향을 스위칭할 수 있으며, 파워 트랜지스터로 구성되어 펠티어 소자에 고 전류의 구동이 가능하다. H-bridge IC L6203은 최대 100kHz까지의 펄스를 스위칭할 수 있으며, 최대 4A의 전류를 흘릴 수 있다.

펠티어 소자에 흐르는 전류를 모니터링 하기 위해서 0.1Ω의 저항 R_{SENSE} 가 펠티어 소자에 직렬로 연결되어 있고, R_{SENSE} 사이의 전압을 10배 증폭하여

PIC16F874의 A/D 변환기로 측정하여 펠티어의 전류를 모니터링 하였고, 알루미늄 판의 온도 측정을 위해서는 온도 센서 LM35DZ가 사용되었고, 5배 증폭되어 PIC16F874의 A/D 변환기에 입력되고 있다.

알루미늄 판의 온도 제어는 먼저 펠티어 소자에 가열전류(양의전류)를 인가하여 알루미늄 판을 상한 온도까지 가열하고, 상한온도에 도달하면 펠티어 소자에 냉각전류(음의 전류)를 인가함과 동시에 냉각 팬을 함께 작동시켜 알루미늄 판을 하한 온도까지 냉각하였다. 이와 같은 과정을 반복하면서 알루미늄 판의 온도 및 펠티어 소자의 전류를 모니터링 하였다. 전류 제어는 목표전류(가열전류 또는 냉각전류)와 측정된 전류의 오차 및 오차의 합을 이용하여 비례-미분제어를 실현하였다.

실험 데이터는 PIC16F874의 A/D 변환기로부터 수집되어, RS232C 통신을 통하여 PC에 전송되고, PC에서는 이 데이터들을 HDD에 저장하고 있다. 실험에 사용된 sampling time은 1/10초 이었고, 실험 중 주위의 공기 온도는 29°C 이었다.

4. 실험결과

4.1 효과적인 냉각 전류의 고찰

Fig. 3는 펠티어 소자에 가열 전류 +2.0A로 가열하여 온도가 50°C에 도달한 후 전류를 스위칭 하여 냉각 전류(음의 전류)를 인가함과 동시에 냉각 팬을 작동시켰다. 실험에서 냉각 전류(음의 전류)의 크기를 바꾸어 가면서 냉각 전류의 크기에 따른 냉각 효과를 고찰하였다. Fig. 3에서와 같이 냉각 전류가 -0.6A 일 때 가장 효과적인 냉각이 실현되고 있음을 나타내고 있으며, 이는 냉각 시 펠티어 소자에 냉각 전류를 인가하면, 냉각 작용과 함께 냉각 전류로 인한 Joule 열이 함께 발생함으로서 적절한 냉각 전류가 존재하게 되는 것으로 사료된다.

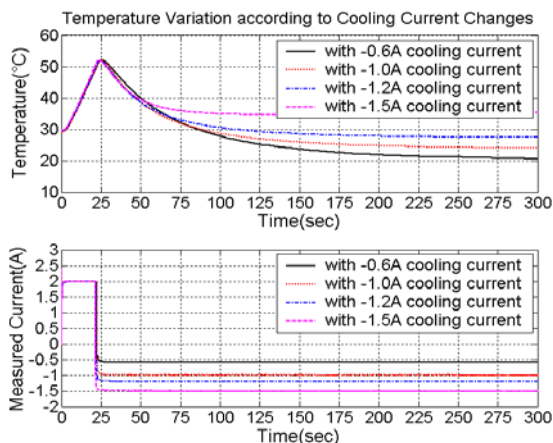


Fig. 3 Comparison of cooling current.

4.2 냉각 팬 효과의 고찰

냉각 팬의 작동조건에 따른 온도 제어 효과를 관찰하기 위해서 Fig. 4에서와 같이 (1) 냉각 시에만 팬 작동, (2) 가열 및 냉각 시 모두 팬 작동 (3) 가열 및 냉각 시 모두 팬을 작동하지 않는 3가지 경우에 있어서 시간에 따른 알루미늄 판의 온도 변화를 관찰하였다. 여기에서 알루미늄 판의 온도 제어 범위는 40°C~60°C 였고 가열 전류는 +2.0A, 냉각 전류는 -0.6A였다. 결과로서, Fig. 4의 온도 변화는 실선으로 표시된 (1) 냉각 시에만 팬을 작동시키는 경우에 있어서 온도 제어가 가장 빠른 시간 내에 실현되는 것으로 나타났다.

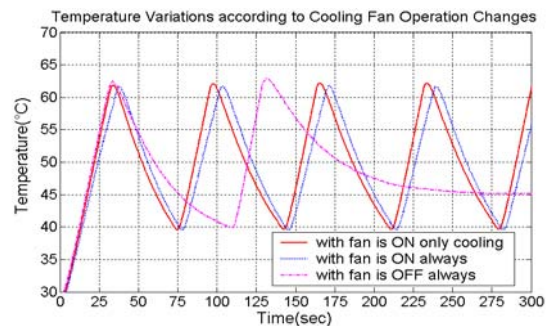


Fig. 4 Comparison of cooling fan effect.

4.3 온도 제어 결과 고찰

Fig. 5의 (a)-(b)에서 알루미늄 판을 상한 온도와 하한 온도 사이에서 제어를 실현한 경우의 결과를 보이고 있다. 알루미늄 판의 온도 제어에 있어서는 냉각 시의 전류로 가장 효과적인 -0.6A를 사용 하였고, 냉각 팬은 냉각하는 동안에만 작동시켰다. 가열 전류는 +2.5A로 시도하였는데, 측정된 전류가 처음에는 제어 전류로 입력된 +2.5A로 추종을 하다가, 후반부에서는 +2.5A 보다 감소하고 있는데, 이는 펠티어 소자가 가열되면서 펠티어 소자의 ohmic 저항이 증가하면서 펠티어에 흐르는 전류가 감소하는 것으로 사료된다. Fig. 5의 (a)-(b)에서와 같이 알루미늄 판의 온도 제어 30°C~70°C의 범위에 있어서, 온도의 반복주기는 약 70~125 초 정도로 측정되었다.

본 연구의 실험에서, 펠티어 소자의 전류를 PWM 방식으로 제어하여, 알루미늄 판을 펠티어 소자로 가열 및 냉각함으로써, 알루미늄 판의 온도를 하한 30°C에서 상한 70°C 범위에서 제어하는 것이 가능하였다. PWM 방식을 채택함으로써 제어 장치의 발열량 및 크기를 줄일 수 있었다. 알루미늄 판의 냉각 과정에 있어서는 적절한 펠티어 냉각 전류가 존재하는 것으로 나타났고 또한, 냉각 팬은 냉각 시에만 작동시키는 것이 가장 효과적으로 나타났으며, 알루미늄 판의 온도 제어 30°C~70°C 범위에서 상한 온도와 하한 온도의 반복주기는 70초~125초로 나타났다.

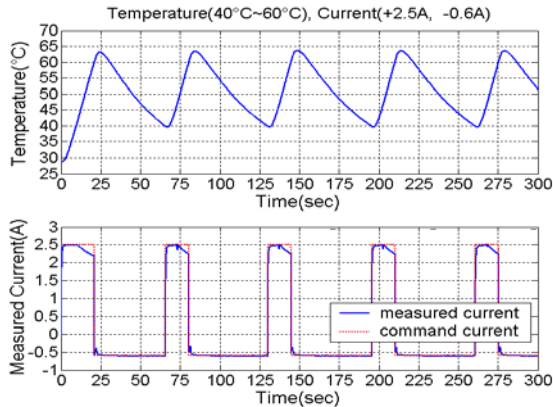


Fig. 5 (a) Temperature control from 40°C to 60°C.
($\Delta T=20^{\circ}\text{C}$, Repeating period : about 70sec)

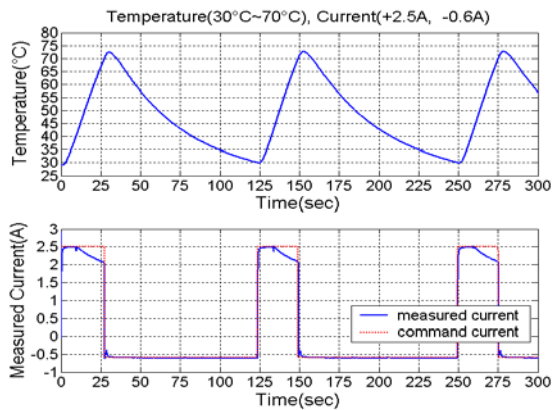


Fig. 5 (b) Temperature control from 30°C to 70°C.
($\Delta T=40^{\circ}\text{C}$, Repeating period : about 125sec)

5. 결론

펄티어 소자를 이용하여 알루미늄 판의 상, 하한의 범위에서 온도 제어가 가능함을 확인할 수 있었고, 반복되는 주기는 입력 전류에 의존하고 있으며, 본 연구의 실험조건 범위에서는 대략 70초~125초의 비교적 큰 주기 값으로 나타나고 있었다. 이러한 결과는 펄티어 소자를 열원으로 하는 SMHA (Special Metal Hydride Actuator)를 구동하기 위한 기초 자료로 활용되리라 사료된다.

본 연구는 앞으로 지속되는 추후 연구에서 온도 제어 주기를 낮추고 펄티어 소자를 열원으로 하는 SMHA를 개발하고 보다 효율적이며 경량인 액추에이터로 작동하는 실비용 기기의 구동 특성을 생성하고 의지보조기에 응용함을 목표로 하고 있다.

참고문헌

1. 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, October, 2004.(in Korean)

2. 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, December, 2004.(in Korean)

3. 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.(in Korean)

4. 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," ICCAS, pp.1328-1333, June, 2005.

5. Gao, Min., 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.

6. Chein, Reiyu., and Huang, Guanming., "Thermoelectric cooler application in electronic cooling," Applied Thermal Engineering, Vol. 24, pp. 2207-2217, 2004.

7. Dilhaire, Stefan, Salhi, Amine, Grauby, Stephane, and Claeys, Wilfrid, "Laser Seebeck effect imaging(SEI) and Peltier effect imaging(PEI): complementary investigation methods," Microelectronics Reliability, Vol.43, pp.1609-1613, 2003.

8. 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.

9. 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.

10. Yamanashi, M., "A New approach to optimum design in thermoelectric cooling system," J. Appl. Physics, Vol. 9, pp. 5494-5512, 1996.

11. Ro, S. T., and Seo, J. S., "Principle of thermoelectric refrigeration and system design," Korea J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering. Vol. 19, No. 3, pp. 135-145, 1990.

12. 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.(in Korean)

13. Ju, H. H., Lee, J. W., Lee, H. C., Kwon, D. C., "Development of Thermoelectric Dehumidifier," Proceedings of KSPE, pp.753-757, 1996.(in Korean)