<연구논문>

한국동력기계공학회지 제10권 제4호 pp.65~70 2006년 11월

펠티에 소자 및 히트싱크를 이용한 최적 냉각성능에 관한 연구
Investigation of the Optimal Cooling Performance Using Peltier Module and Heat Sink

이 동 렬
Dong-Ryul Lee

Key Words : Peltier module(펠티에 소자), Thermoelectric cooling (열전 냉각), Cooling Performance(냉각성능)

Abstract : This study is to experimentally evaluate the cooling performance of the Bonding type and Injection type of heat sink using three different kinds of industrial Peltier module by digital LabViewTM measurement. Injection type of heat sink could be more efficient for the heat transfer than Bonding type, even with 30% more radiating surface area. In addition, the experimental results revealed that the sufficient power supplied was able to show the better cooling performance of Peltier module. In order to verify the optimal cooling performance of the cooling device, two Peltier module, HMN 6040 and HMN 1550 with Bonding and Injection type of heat sink were used. The cooling performance with injection type of heat sink was 2.11% and 6.24% better than that with bonding type of heat sink under the HMN 6040 and HMN 1550, respectively.

1. 서 론

현재까지 산업계에서 사용되어 오던 전형적인 냉각장치는 암모니아나 플루오르화 염화탄화수소계 등의 냉매가스를 압축하여 강제로 유동시켜 냉각시키는 냉각방식이 주로 이용되어 왔다. 이러한 냉각장치는 체적이 상대적으로 크고 그에 따라 소형제작이 어렵고 정확한 제어가 곤란하며 에너지 효율 측면에서 불리하며 작동 시 불필요한 소음과 진동이 발생하고 폐기 시에는 지구의 오존층을 파괴시켜 지구환경에 심각한 악영향을 끼치고 있다.[1,2] 이러한 문제를 해결하기 위한 냉각장치로 최근에 펠티에 소자가 대두되고 있다.

펠티에 소자란 두 개의 서로 다른 도체의 양끝을 접합한 다음 회로에 직류전압을 인가하면 한쪽 면에서는 냉각, 다른 한쪽 면에서는 가열이 일어나는 일종의 Heat humping 현상이 일어나는 펠티에 효과를 이용한 소자로 두 접점의 온도의 차이가 존재할 때 기전력이 발생하여 회로에 전류가 생성되는 지벡(Seebeck)효과의 반대 현상이다.[3,4] 기존의 펠티에 소자는 높은 신뢰성과 정밀 온도제어가 요구되는 군사용이나 우주항공 분야에만 적용되어 오다 최근에 관심이 높아져 광통신 모듈 및 전기, 전자, 통신, 생활가전, 레저용 기계 및 정밀기계의 국소부위 냉각 등에 광범위하게 연구되고 있다.[1,2,5,6,7] 하지만 펠티에 소자는 가격이 비싸며 고온에서 소자가 파괴되는가 하면 발열부의 온도를 잘 제어하지 못하면 발열부의 온도가 냉각부로 전도되면서 효율이 급격하게 떨어지는 문제가 있다. 따라서 펠티에 소자의 효율을 높이기 위해서는 무엇보다 발열부의 냉각이 잘 이루어지도록 하여야 할 것이다.[1,2]

이에 본 연구에서는 펠티에 소자의 효율적인 냉각시스템으로의 개발을 위해 펠티에 소자와 히트싱크, 냉각팬 등을 장착한 시스템을 만들어 펠티에 소자의 종류와 히트 싱크의 종류 등을 달리하여 어떤 조건에서 발열부의 냉각이 원활하게 이루어져 펠티에 소자의 냉각효율을 높이는지에 대해 규명하였다.

접수일 : 2006년 6월 30일, 채택확정 : 2006년 10월 16일
대구가톨릭대학교 기계자동차공학부
E-mail : dlee@cu.ac.kr Tel. 053-850-2717

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

펠티에 소자의 냉각성능을 측정하기 위한 실험장치는 Fig. 1과 같이 크게 펠티에 소자의 발열부의 냉각을 위한 냉각 장치, 펠티에 소자와 냉각팬에 전원공급을 위한 전원 공급기, 데이터 수집을 위한

DAQ board와 P/C로 구성하였다.

실험장치의 구성 중 가장 핵심부분인 냉각 장치는 Fig. 2와 같이 소자의 발열부의 조건을 달리하여 실험할 수 있도록 제작하였으며 펠티에 소자, 히트싱크 및 전원 공급기, Inner case와 Outer case 그리고 냉각팬을 조합하여 제작하였다. 냉각 장치는 Inner case의 최하단과 상단에 냉각팬을 고정시켰으며 냉각팬의 강제대류의 효율을 높이기 위한 최적거리를 실험으로 측정하여 위치를 정하였다. 그리고 상부 냉각팬 위에 알루미늄 히트 싱크를 설치하여 탈부착이 가능하도록 하였으며 히트 싱크 위의 평탄한 부분에 열전도율을 높이기 위한 방열 컴파운드를 도포하여 펠티에 소자의 발열부를 히트 싱크에 접촉시키고 냉각부를 위쪽으로 설치하였다. 두 개의 전원 공급기는 각각 두 개의 24V 냉각팬을 작동하도록 하여 하부의 대기공기를 빨아들여 아크릴로 만들어진 공기 이동통로를 통해 상부로 강제대류를 만들어 유동도록 하였다.

펠티에 소자에 전원을 공급하는 전원 공급기는 220V AC이고 출력 전원은 펠티에 소자의 최대출력 DC 15V로 맞추었다.

온도측정과 측정한 온도 데이터는 NI사의 테이터 수집장치인 DAQ 보드를 사용하여 열전대 J-Type을 연결하여 온도를 측정하여 LabVIEW를 사용하여 측정한 온도 데이터를 수집하였으며 열전대 위치는 펠티에 소자의 냉각부 중앙과 히트 싱크 중앙에 각각 설치하여 냉각부와 발열부의 온도변화를 측정하였다. 그러나 냉각부의 정확한 측정을 위해서는 펠티에 소자의 냉각부 중앙에 위치시켜야 하나 열전대의 Junction 두께 때문에 펠티에 소자와 히트 싱크의 밀착접촉이 되지 않아 틈이 생긴다. 펠티에 소자와 히트 싱크의 틈은 펠티에 소자 발열부의 열이 히트 싱크로 전도되는 것을 방해를 하기 때문에 냉각부와 가장 가까운 히트 싱크의 하단부의 중앙에 위치시켰다.

그리고 히트 싱크와 펠티에 소자의 조건에 따른 최적의 냉각성능을 보여 주는 히트 싱크와 펠티에 소자를 결정하기 위해 본딩형 히트 싱크와 사출형 히트 싱크 그리고 일반 P/C의 그래픽 카드 냉각용 히트 싱크 세 가지 유형의 히트 싱크를 사용하였고 펠티에 소자의 경우 HM6040, HMN6040 그리고 HMN1550 세 가지 펠티에 소자를 사용하여 각 유형의 히트 싱크에 각각의 펠티에 소자를 붙여 실험을 수행하였다.

2.2 실험방법

실험은 상온에서 두 개의 냉각팬을 동시에 작동시킴으로써 시작된다. 펠티에 소자를 냉각팬과 같이 작동시켜도 되지만 펠티에 소자의 발열부에서 급속도로 발생한 열을 초기에 냉각시켜주지 못하면 발열된 열이 펠티에 소자 내부로 전도되어 펠티에 소자의 파손(80°C로 규정)이 될 우려가 있어 두 개의 냉각팬을 우선 작동시킨다.

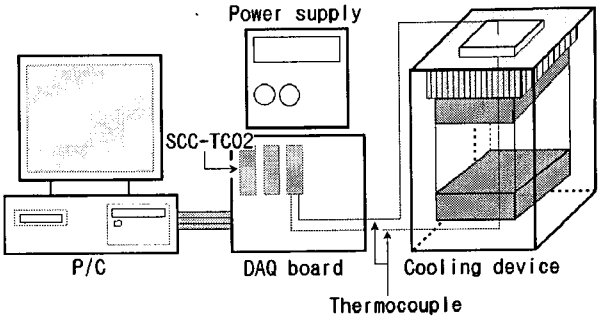

Fig. 1 Schematic diagram of a experimental apparatus

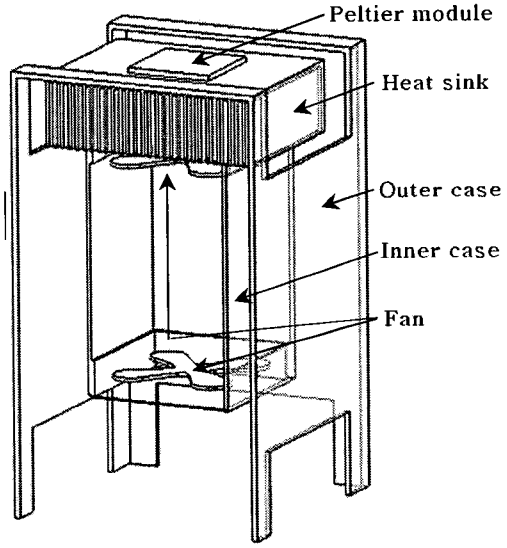

Fig. 2 Detailed schematic of a cooling device

두 개의 냉각팬이 작동되면 하부의 냉각팬이 대기공기를 빨아들여 내부 아크릴 용기를 통해 상부 냉각팬을 거치면서 공기의 강제대류가 최대로 되어 히트 싱크에 분사되어 히트 싱크의 냉각이 이루어진다. 그리고 펠티에 소자에 연결된 전원 공급기를 작동시켜 펠티에 소자에 직류전류를 입력하게 되면 상부는 냉각이 하부는 발열이 이루어지게 된다.

또한 발열부분과 냉각부분의 온도 차이를 알아보기 위해 각 각의 면에 열전대를 연결하고 열전대를 DAQ 보드에 연결하여 출력되는 온도 신호를

LabVIEW 프로그램을 이용하여 1초에 1개씩 받도록 하였고 온도의 측정은 냉각팬의 작동 시작에서부터 냉각부와 발열부의 온도가 정상상태에 이를 때까지 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 HM6040의 냉각성능

Fig. 3은 일반 P/C의 그래픽 카드 히트 싱크에 입력전원 DC 12V, 3.1A를 인가한 HM6040의 방열, 냉각의 온도변화를 시간에 따른 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 3을 보면 초기상태 즉, 냉각팬만을 작동시킨 냉각, 발열부 온도 20℃에서 펠티에 소자에 입력전압을 걸어주면 냉각부의 온도는 15sec 이내에 -3.5℃이하로 급격히 떨어진다. 25~30sec 사이에 최저온도-5.5℃까지 내려갔다. 35sec부터 다시 냉각부의 온도는 60sec지점에서의 -1.5℃까지 상승하여 정상상태로 유지되는 것을 보여준다.

그러나 발열부의 온도는 정상상태가 되는 100sec에서 43.5℃까지 계속 상승한다.

여기서 냉각부의 온도가 최저 -5.5℃까지 내려가서 다시 정상상태의 온도 -1.5℃로 상승하는 이유는 펠티에 소자의 발열부에서 발생한 열이 4mm의 얇은 펠티에 소자 내부를 통한 냉각부로 열전도가 발생하여 냉각부의 온도를 상승시키는 현상이 나타나게 했다. Fig. 4는 입력전압을 1V에서 12V까지 가변적으로 하였을 경우 즉, 120sec일 때의 정상상태 온도를 나타내는 그래프이다.

입력되는 전압이 높을수록 냉각효율이 높아진다는 것을 확인 할 수 있다.

입력전압이 11V에서부터는 냉각부와 발열부의 온도는 각각 -1.5℃, 43.5℃로 더 이상변화가 없다는 것을 볼 수 있다.

3.2 HMN6040의 냉각성능

Fig. 5는 본딩형 히트 싱크로 HMN6040의 발열부를 냉각시킬 때의 냉각성능그래프이다.

초기상태 냉각팬을 작동시킨 상태에서 냉각부와 발열부의 온도는 각각 17℃, 18℃에서 펠티에 소자에 최고 15V, 5.08A를 인가시켰을 때 정상상태까지 60sec 정도가 걸리고 정상상태에서의 냉각부의 온도는 -34.6℃, 발열부의 온도는 26℃정도의 온도에서 계속해서 유지 된다. 냉각부의 온도는 초기상태에서 영하로 떨어질 때 7sec안에 급격히 떨어진다. 최저온도는 40sec일 때 -35.1℃이며 HM6040과 같이 최저온도에 서 발열부의 열이 냉각부로 열전도 현상이 일어나 냉각부의 온도가 상승되는 구간이 존재한다.

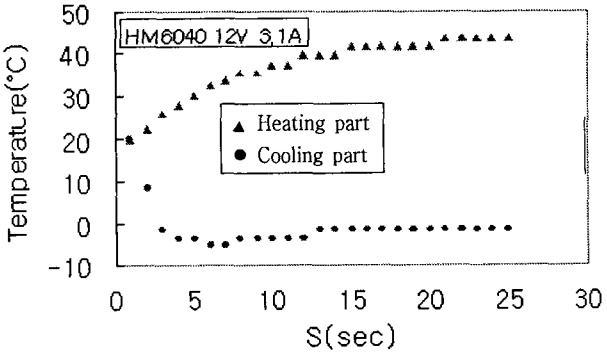

Fig. 3 Cooling performance of HM6040 at 12V, 3.1A

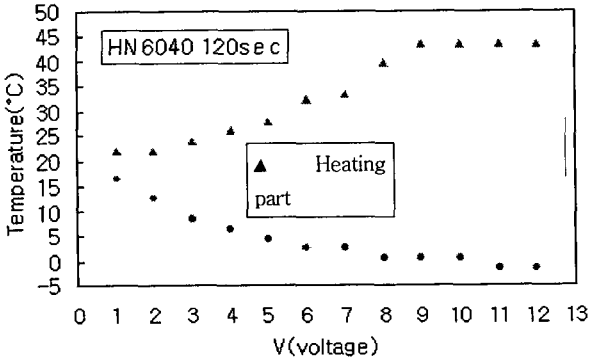

Fig. 4 Cooling performance of HM6040 with a voltage variation at 120sec

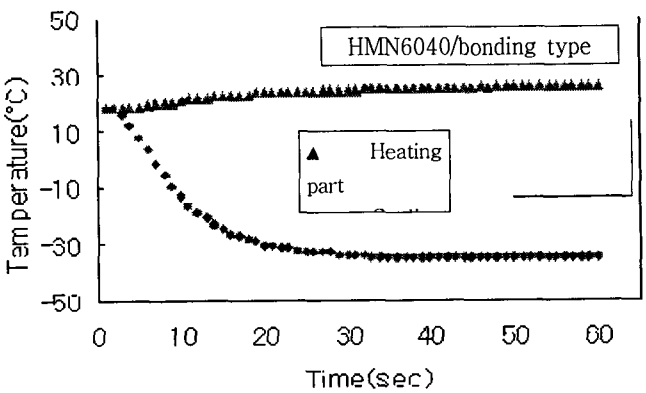

Fig. 5 Cooling performance of MN6040/bonding type heat sink

그러나 최저온도와 정상상태의 온도차는 1℃정도로 HM6040에서의 온도차 4℃에 비해 온도차는 미미하다.

발열부는 최고온도는 157sec에서 28℃로써 초기 상태와 10℃정도 차이가 났으며 발열부와 냉각부의 온도차이(△T)는 63℃정도가 된다.

Fig. 6는 사출형 히트 싱크를 사용하고 실험방법은 동일하게 하여 나타낸 그래프이다.

사출형 히트 싱크를 사용한 HMN6040의 발열부와 냉각부의 초기온도는 모두 17℃에서 시작한다. 동일한 실험방법으로 펠티에 소자에 입력전압을 걸어주었을 때 냉각부는 본딩형의 경우와 동일하게 7sec에 영하로 떨어지고 최저온도 -34.3℃에 도달하는 시간은 26sec가 걸린다. 70sec에 다시 펠티에 소자 내에 발열부의 열이 저온부로 이동하는 열전도 현상에 의해 1℃가 높은 영하 33℃에서 정상상태를 유지한다. △T는 67℃이다.

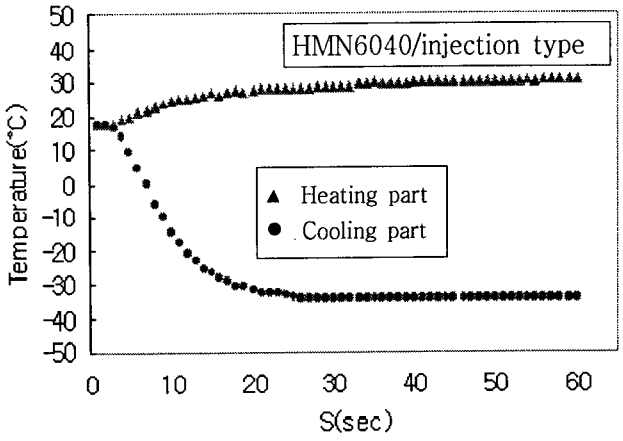

Fig. 6 Cooling performance of HMN6040/injection type heat sink

3.3 HMN1550의 냉각 성능

Fig. 7은 HMN1550에 본딩형 히트 싱크를 사용했을 경우의 온도변화를 나타낸다.

냉각팬만 작동하는 냉각부와 발열부의 초기온도는 모두 17℃에서 시작한다. 펠티에 소자에 15V, 11.14A를 인가시키면 7sec에서 냉각부의 온도가 영하로 떨어지고 20sec에서 최저온도 -24.3℃까지 떨어진다. 24sec가 지난 후부터 120sec까지 정상상태 온도인 -16℃까지 상승한다.

발열부의 온도는 초기온도에서부터 180sec초가 지난 후에 정상상태의 온도 45℃까지 계속해서 상승한다.

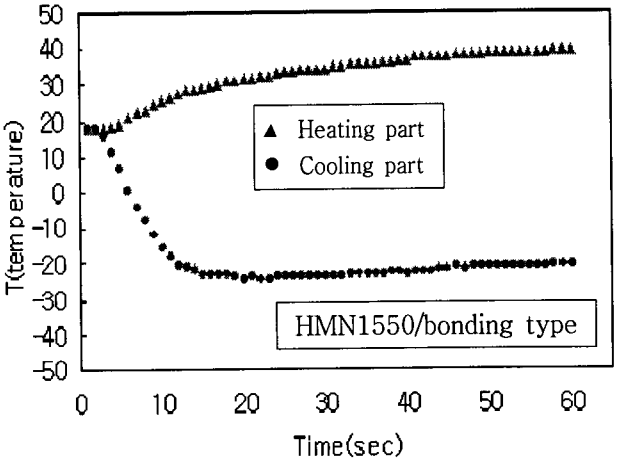

Fig. 7 Cooling performance of MN1550/bonding type heat sink

Fig. 8은 HMN1550 사출형 히트 싱크일 때의 온도변화그래프이다. 발열부와 냉각부의 온도 18℃에서 시작하여 본딩형 히트 싱크와 같이 7sec에서 영하로 떨어지기 시작하여 20sec에서 최저온도 -26.5℃까지 떨어진다.

28sec에서 135sec까지 냉각부의 온도가 -18℃까지 상승하여 정상상태를 유지한다.

발열부의 온도는 206sec될 때 39℃까지 상승하여 정상상태를 유지한다.

HMN1550이 HMN6040보다 효율이 높음에도 불구하고 냉각부와 발열부의 온도가 5℃가량 더 높은 이유는 최대 전류 15A까지 올려 줄 수 있는 전원공급기가 없어 전압은 동일하나 높은 전류를 필요로 하기 때문에 냉각효율이 낮게 나왔다.

위 실험에 의해 습득된 데이터로 열전달계수를 구해보면 Table. 1와 같이 나타난다.

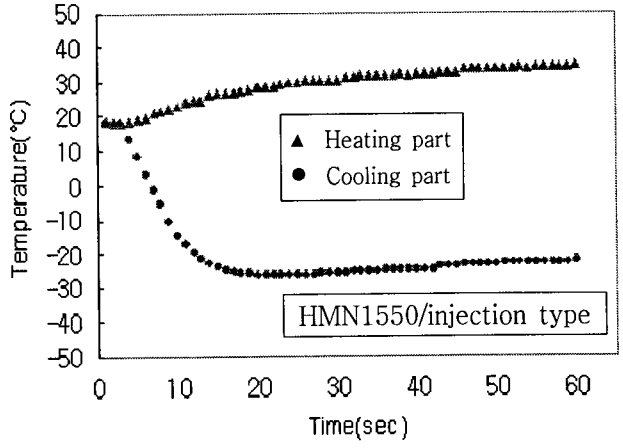

Fig. 8 Cooling performance of HMN1550/injection type heat sink

$$h = \frac{Q}{A \times \Delta T}$$

위 식[8]의 △T는 대기와 Peltier module의 발열부 또는 대기와 냉각부의 차이를 나타낸다.

위의 결과에 의하면 HMN1550/사출형의 냉각부의 표면에서 대류열전달이 가장 크게 발생하여 HM6040 소자보다 약 2.9배까지 냉각성능이 우수하며 발열부의 표면에서는 HMN1550/본딩형의 소자에서 가장 대류열전달이 적게 발생하고 있음을 알 수 있었다.

Table. 2는 3종류의 펠티에 소자가 최대 성능을 내기위한 이상적인 작동 조건일 때의 전류, 전압, 최대열량 그리고 이 때에 발생하는 냉각부와 발열부의 온도차를 나타낸다. HM6040과 HMN6040은 이상적인 작동시에 필요한 조건은 거의 비슷하나 HMN1550은 전류가 높음으로 다른 두 펠티에 소자보다 4배 이상 높다.

Table. 3은 본 실험을 바탕으로 한 펠티에 소자의 성능을 측정한 값이다. 소자가 필요로 하는 전류가 낮게 측정되는데 가장 주 된 원인은 전원 공급기의 전력이 이론적 수치만큼 출력값을 내지 못했다는 것이다. 펠티에 소자는 효율에 비해 소비 전력이 높다. 실험실의 일반적인 전원 공급기는 최대전압 15(V)까지 높여줄 수 있었으나 HM6040의 경우 최대전류의 84%, HMN1550 경우는 76%정도까지만 주어지지 않았기 때문이다.

4. 결 론

지금까지 본 연구의 실험으로부터 펠티에 소자의 종류에 따른 냉각성능의 차이를 실험적으로 측정하고 히트 싱크의 종류가 냉각성능에 영향을 미치는 정도를 살펴 볼 수 있었다.

냉각성능 정도를 파악할 수 있는 열전달 성능에서는 HMN1550/사출형의 냉각부의 표면에서 대류열전달이 가장 크게 발생하여 HM6040 소자보다 약 290%정도 냉각성능이 우수하며 발열부의 표면에서는 HMN1550/본딩형의 소자에서 HM6040 소자보다 약 283% 정도 대류열전달이 적게 발생하고 있음을 알 수 있었다. HM6040과 HMN1550에서 냉각이 잘 이루어지지 않은 것은 Table. 2와 Table. 3에 실험장치 구성 시 소자의 구동에 필요한 충분한 전력이 공급되지 않았기 때문이라 추측된다. 또한 히트 싱크의 종류에 따른 펠티에 소자의 냉각 성능에 영향을 보여주는 정도는 Table. 3의 결과와 같다.

Table 1 Heat transfer coefficient at Peltier module surface

Module	h at Cooling Part	h at Heating Part
HM6040	516.67	131.91
HMN6040 Bonding type	917.08	20.76
HMN6040 Injection type	936.85	20.78
HMN1550 Bonding type	1888.17	17.41
HMN1550 Injection type	2014.1	34.38

Table 2 Theoretical specification of thermoelectric module

Module	I_{max}(A)	V_{max}(V)	Q_{max}(W)	ΔT_{max}(K)
HM6040	6.0	15	51.4	69
HMN6040	6.0	15.5	53	73
HMN1550	15.0	15.5	232.5	73

Table 3 Experimental specification of thermoelectric module

Module	I_{max}	V_{max}	Q_{max}	ΔT_{max}(K)
HM6040	3.1	12	37.2	45
HMN6040 Bonding type	5.08	15	76.2	51.93
HMN6040 Injection type				50.83
HMN1550 Bonding type	11.4	15	171	33.96
HMN1550 Injection type				36.22

본딩형 히트 싱크와 사출형 히트 싱크의 냉각성능 차이는 HMN6040에서 2.11%, HMN1550에서는 6.24%정도 밖에 차이가 나지 않지만 사출형이 본딩형 비해 표면적이 작음(본딩형의 표면적이 33.3% 넓음)에도 불구하고 비슷한 냉각성능을 보임으로써 사출형이 본딩형보다 펠티에 소자가 냉각성능을 높이는데 효율적이라고 판단된다.

펠티에 소자의 가장 뛰어난 냉각성능을 끌어내기 위해서는 발열부의 원활한 냉각을 위한 히트 싱크의 적절한 선택과의 열전도를 향상시키기 위한 기밀성 유지와 소자의 구동에 필요한 충분한 전력을 공급해 줄 수 있는 전원 공급기의 적용이 필요하다.

그러므로 앞으로 개선되고 개발되어야 할 연구과제는 펠티에 소자의 최대성능 낼 수 있도록 해주는 고성능 전원 공급기의 적용, 표면적이 넓으면서도 열전도가 좋고 냉각성능이 높은 히트 싱크, 냉각부분의 단열재와 단열방식, 발열부의 더 효율적인 냉각방식의 선택, 펠티에 소자를 복합적으로 결합하여 보다 높은 냉각효율을 도모하는 것이 앞으로의 연구과제가 될 것이다.

참고문헌

1. S. Y. Yoo, B. S. Joo, J. H. Kam, S. Y. Lee, K. Y. Kim, 1995, "A Study on the Cooling Performance of Thermoelectric Module", Trans. of the KSME, B, Fall Conference, pp. 670-675
2. S. Y. Yoo, C. P. Hong, W. S. Shim, 2004, "A Study on the Performance of Thermoelectric Module and Thermoelectric Cooling System", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 62-69
3. J. Y. Kim, M. D. Oh, 2000, "Experiment on PDP cooling unit by thermoelectric modules and foil heater", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Winer Conference, pp. 664-669.
4. J. Y. Kim, M. D. Oh, 2000, "Experiment on the PDP cooling characteristics by thermo-electric module and conduction block", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering", pp. 158-163
5. H. J. Lee, H. S. Park, C. J. Kim, 1999, "Numerical Analysis on the Cooling of Laser Diode Package with Thermoelectric Cooler", Trans. of the KSME, B, Fall Conference, pp. 309-315.
6. M. H. Lee, J. W. Paek, S. Y. Kim, K. S. Lee, 2002, "Heat Transfer from a Fan-Aluminum foam Heat Sink Assembly for CPU Cooling", Trans. of the KSME, B, Vol. 26, No. 3, pp. 417-422.
7. H. K .Noh, J. H. Lee, 1998, "Cooling Performance of an Electronic System Including Electronic Components Mounted with Heat Sink", Trans. of the KSME, B, Vol. 22, No. 2, pp. 253-266.
8. Frank. P Incropera and David P. DeWitt, 2003, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", 5th ed., Wiley and Sons, pp. 364-520.