

분리형 히트파이프를 이용한 전자장비내 발열체의 온도제어에 관한 연구

배 석 태[†]

(원고접수일 : 2003년 2월 20일, 심사완료일 : 2003년 3월 20일)

The Study of Using Separate Heatpipes for Thermal Control in Electronic Equipments

Suck Tae Bae[†]

Key words : Separate heatpipes(분리형 히트파이프), Two phase(두상) Liquid tube(액체 유동관), Vapor tube(증기 유동관)

Abstract

This paper presents an information about the heat transfer characteristics of a separate type thermosyphon in electronic equipments. The heat removal problem of electronic equipments is regarded as an important factor and a separate type heatpipes can be utilized as a cooling device of electronic equipments (such as CPU of a personal computer or notebook). In this study, heat source (50×50×2 mm aluminum pseudo CPU) was used for the experiment. The device can transfer heat from the evaporator to the condenser through natural circulation (without any external driving forces) and the results indicate that the device is capable of dissipating over 60W of thermal energy and keeping the heating plate surface temperature under 50°C.

1. 서 론

현대 전자장비시스템은 전자기술발전에 따라 전자칩의 고성능화, 고집적화가 이뤄지고 있다. 이에 따라 전자장비의 적절한 작동에 필요한 사용전력이 증가하기 때문에 전자장비 내부의 각종 전자칩들의 냉각문제가 새롭게 대두되고 있다. 주위에서 흔히 접하는 전자장비시스템의 하나인 컴퓨터를 살펴보면, 관련업계의 지속적인 노력으로 중앙연

산처리장치(CPU)의 고성능화가 이루어지고 있으며, 이에 비례하여 발열량도 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 종래에 사용된 냉각시스템은 팬과 방열판을 조합한 형태인데, 발열량의 증가에 비례하여 온도상승을 제어하기 위한 팬의 크기가 점점 대형화되고 있는 추세이다. 그러나, 이러한 냉각시스템은 높아진 발열량에 따른 온도제어에 대한 한계점을 드러냈고, 최근에는 2개의 쿨링팬을 장착한 타워형과 같이 기존의 냉각방식과 다른 제품도

[†] 책임 저자(동명대학 기계자동화계열) stbae@yongma.tmc.ac.kr, T:051)620-3379

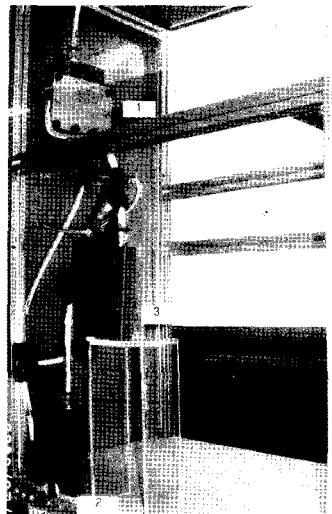
출시되고 있다. 하지만, 이러한 제품은 냉각에만 주안점을 둔 나머지 현대 생활에서 중요한 문제점으로 부각되고 있는 소음과 진동등의 또 다른 문제점을 발생시키고 있다. 히트파이프는 전공으로 되어 있는 내부에 일정량의 작동유체를 봉입한 형태이며, 효과적인 열전달을 할 수 있는 두상(two phase)을 가진 장치로 증발부, 단열부, 응축부로 구분되어 있다. 본 실험에서의 히트파이프는 썬모사이언스 방식으로 증발부에서 증발한 작동유체는 응축부, 증발부간의 온도차에 의한 포화압력의 구배로 인해 응축부로 이동하고 응축부에서 응축된 작동유체는 중력으로 인해 다시 증발부로 회수되는 방식으로 내부구동력이 없이 작동한다. 히트파이프는 전자 장비의 냉각, 태양열에너지 회수 또는 지열회수 등에 적용될 수 있고, 효율적인 콤팩트 열교환기나 효율적인 열전달효과를 획득하기 위한 냉각방식으로의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 일반적으로 널리 사용되는 히트파이프는 실린더형상이나 얇은 판형상을 하고 있는 플랫형이 사용되고 있는데 이러한 단관형 히트파이프는 열전달 효율이 높은 소비전력밀도를 가지는 전자 장비에 적합하지 않아 전자 장치의 전열제어를 하기 위한 한가지 방법으로 응축부와 증발부가 사각형 플랫 형상인 분리형 히트파이프를 이용한 냉각방식을 적용 할 수 있다[1]. 기존의 연구를 살펴보면 Miyasaka et al.[2]은 증발부와 응축부간의 열전도율이 분리형일 경우 기존의 히트파이프보다 2 배정도 높다는 것을 발견했고 North, Avedisian [3]은 침표면온도를 100°C 이하로 유지시키면서 높은 열유속(30W/cm^2)과 높은 국소 전력을 제거 할 수 있는 2개의 히트파이프 개념을 이용한 열모듈 디자인을 제안하였다. Hwang[4], Ali&McDonald[5]등은 분리형 히트파이프에서 응축부는 플러딩이 없어야 하고 증발부에서 드라이 아웃이 발생하지 않으며 기체순환튜브에서 소량의 액체만이 응축부로 운반되는 형태로 제작되어야만 최적의 성능을 가진다고 밝혔다. Dickey et al.[6], Muraoko et al.[7]은 분리형 히트파이프의 특성에 관한 연구를 수행하였다. Sampath[8], McDonald et al.[9]은 단일 튜브

를 가지는 분리형 히트파이프는 최고 성능이 적절한 작동 온도차 영역보다 높게 설계되어야 한다는 것을 나타내었다. 분리형 히트파이프에 관한 기술은 많이 발전하였지만 전자장비의 냉각에 적용되는 경우는 드물어 현재 이 분야에 관한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 전자장비의 냉각에 관련된 분리형 히트파이프의 온도제어특성을 규명하고 응축부-증발부간 높이, 입열부하, 작동유체 충전량등의 변수를 변화시키면서 본 실험의 범위내에서 최적의 조건을 찾아 분리형 히트파이프의 전열능력을 향상시키기 위한 기초자료를 제시하는데 있다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig.1, Fig.2에 나타나 있다. 전체 실험장치는 Fig.1과 같이 증발부(7), 응축부(4), 액체유동관(12), 기체유동관(13), 기액분리부(5)로 분리되어 있다. 히트파이프 외부는 컴퓨터 본체의 실제크기를 모사한 투명 아크릴로 케이스를 만들어서 외부공기의 영향을 받지 않게 하였다. 증발부는 증기가 액체유동관으로 유입하는 것을 막기 위해 액체유동관과 증발부가 만나는 부분이 증발부 하단부에 위치하여 증발부 내부에 충전되어있는 작동유체에 의해 막혀 있는 구조로 되어있고 기체유동관으로 액체가 침입하여 응축부로 유동하는 것을 막기 위해 기체유동관 중에 기액분리기를 설치하였다. Fig.2는 분리형 히트파이프 부분의 확대사진으로 기체유동관, 액체유동관은 유동상태를 관찰하기 위해 폴리우레탄 재질의 투명 튜브(8mm)를 사용하였다. 실험장치의 내부는 진공상태이고 3회 정제된 증류수가 작동유체로 주입되어 있다. 전자장비를 구성하는 부품은 입력되는 소비전력이 열에너지로 변환되어 방출되는 구조로 되어 있기 때문에 발열체의 열적 경계조건을 등온조건으로 하는 것보다는 발열량이 일정한 경계조건으로 만드는 것이 실제현상에 적합하다. 본 실험에서는 증발부에서의 가열은 CPU를 모사한 $50 \times 50 \times 2\text{ mm}$ 크기의 발열체를 사용하였고, DC Power supply를 이용하여 일정한 열부하를 가지게 했다. 히트파이프의 온도분포를

계측하기 위해 발열체 표면, 증발부 표면, 기체유동관, 액체유동관 내부에 T-type 열전대를 설치하고 다점 온도계(MDL-MD)를 사용하였다. 응축부의 표면온도는 열전소자를 이용하여 30°C로 일정하게 하였고 몇 가지 변수를 변화시켜 발열체 냉각 능력을 고찰하였다. 히트파이프의 디자인에 있어서 가장 중요한 요소는 제작된 장치가 어느 정도의 전열효과를 나타낼 수 있는가와 효율적인 열전달을 위한 장치의 형상, 작동유체의 종류, 작동유체 충전량과 같은 최적의 여러 조건들을 결정하는 것이다. 히트파이프는 내부의 진공도, 작동유체 충전량, 작동유체의 종류, 발열부 및 응축부의 형상, 증발부와 응축부 간의 높이 등에 의해 그 냉각 성능이 좌우되는데 본 실험은 증발부와 기액분리기 사이의 높이(55cm)는 일정하게 두고 입열량(50W, 60W, 70W), 증발부의 체적과 작동유체 충전량의 비(50%, 100%, 150%)를 변수로 하여 실험하였다. 히트파이프의 열저항은 증발부 표면의 평균온도와 응축부 표면온도의 차이를 입력열량의 비로 나타낸 것으로 아래 식(1)과 같다.



1. Condenser 2. Evaporator 3. Separator

Fig. 2 Detailed photo of looped thermosyphon.

$$R_t = \frac{T_{eva} - T_{air}}{Q_{input}} \quad (1)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 응축 및 증발 가시화

Fig. 3은 응축부 및 증발부에서의 상변화 과정을 캠코더를 이용하여 캡쳐한 사진이다. Fig. 3에서 A와 B는 히트파이프 응축부의 사진으로 작동초기에는 아무 변화가 일어나지 않고 장치가 작동하고 있을 때 수증기가 응축이 되어 벽면을 따라 흘러내리는 것을 관찰할 수 있다. C 와 D는 증발부의 사진으로 작동초기에는 벽면에 증기가 맺혀 있으며 장치가 작동하고 있을 때 활발하게 비등이 일어나고 있는 것을 관찰할 수 있다.

3.2 분리형 히트파이프의 측정점에서의 온도변화

Fig.4, Fig.5, Fig.6은 응축부-증발부사이 높이가 55cm일 때의 온도분포이다. Fig.4는 작동유체 충전량이 50%이고 입열량이 50W, 60W, 70W로 변화할 때의 온도분포를 나타낸 것이다. 작동초기

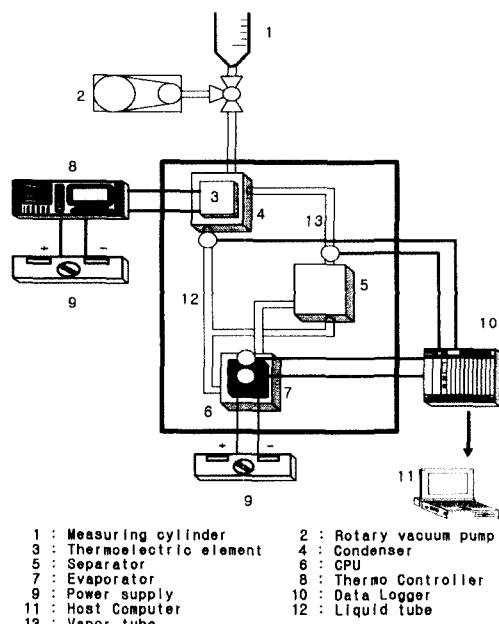
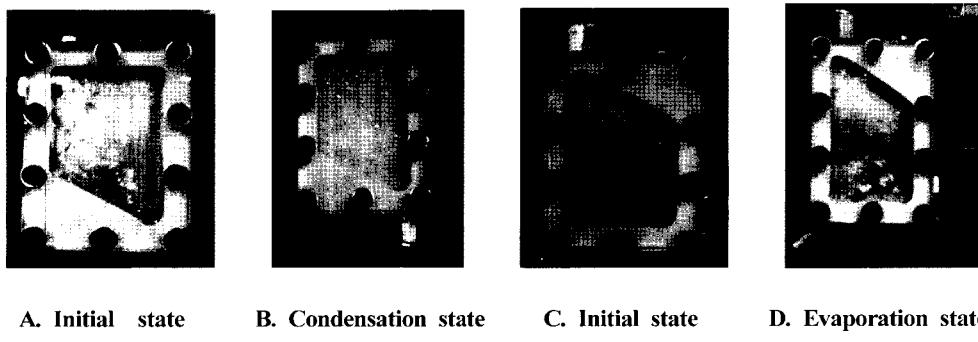


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

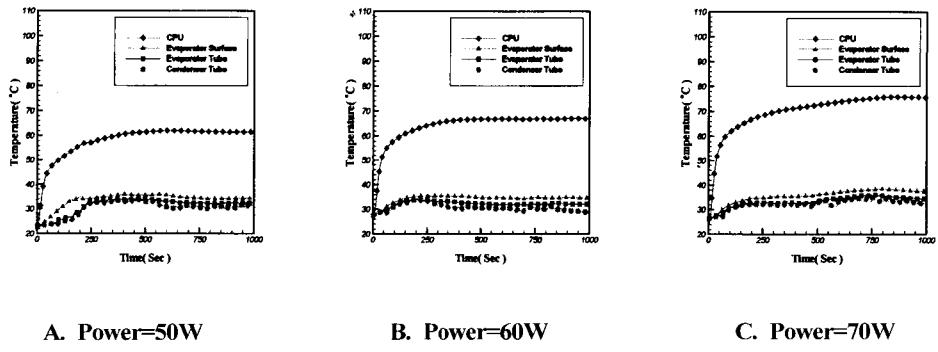
에는 응축부로 증기 유입이 일어나 액체유동관 온도가 같이 상승한다. 응축부에서 응축된 작동유체가 증발부 측으로 흘러내리는 순간부터는 액체 유동관 온도는 응축부 설정온도 30°C 정도로 유지되

는 경향을 보이지만 입열부하가 커질수록 액체유동관으로 증기 유입이 수시로 일어나 온도분포가 변화하는 경향을 보였다. Fig.5는 작동유체 충전량이 100% 일 때 온도 분포이다. 액체유동관 온



A. Initial state B. Condensation state C. Initial state D. Evaporation state

Fig. 3 Photographs of phase change.

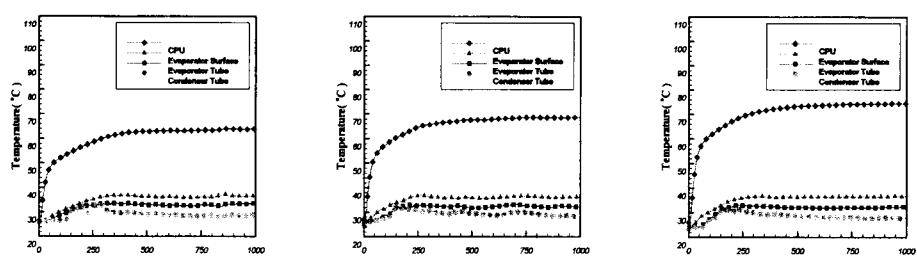


A. Power=50W

B. Power=60W

C. Power=70W

Fig. 4 Temperature variation of each measuring point(inventory=50%).



A. Power=50W

B. Power=60W

C. Power=70W

Fig. 5 Temperature variation of each measuring point(inventory=100%).

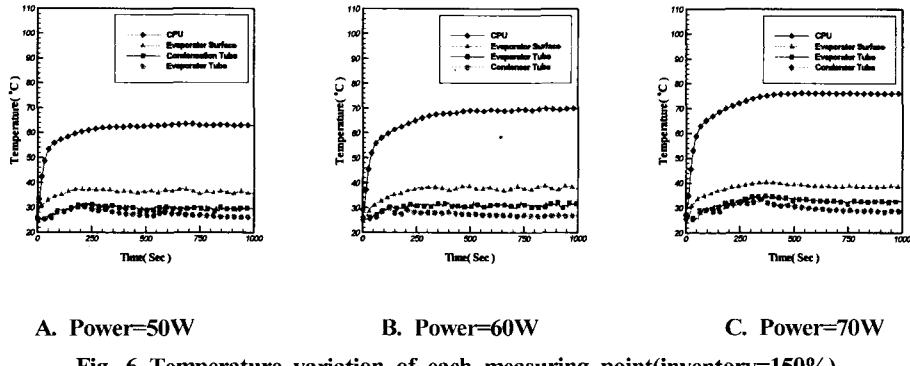


Fig. 6 Temperature variation of each measuring point(inventory=150%).

도는 작동초기에 다소 불안정하게 수시로 변화하는 온도분포를 보이지만 전반적으로 응축부의 설정온도를 유지하면서 온도가 일정하게 유지되는 경향을 보이고 입열량이 70W인 경우에도 안정적인 작동을 하고 있다. 온도가 일정하게 유지되고 난 후에도 액체유동관 온도가 미소 변화하는 것을 볼 수 있는데 이는 응축부에서 응축된 액체가 액체유동관으로 떠 모양의 형태로 슬러그 유동을 하면서 흘러내리기 때문이다. Fig.6은 작동유체 충전량 150%일 때 온도분포이다. 입열량이 50W, 60W 일 때 액체유동관 온도뿐만 아니라 기체유동관, 증발부 표면온도까지 일정하게 유지되지 않고 불규칙적으로 변화하는 모습을 보이고 있다. 이는 주어진 입열부하 보다 작동유체 충전량이 많아서 분리형 히트파이프 내의 작동유체가 기체유동관으로의 원활한 기체 유동을 방해하고 증발부 내에서의 비등도 불연속적으로 일어나기 때문에 비등이 일어나는 순간에는 증발부 표면온도가 내려가고 비등이 일어나지 않을 때는 다시 증발부 표면온도가 상승하여 계속 변화를 일으키는 것을 알 수 있다. 기체유동관 온도 또한 불연속적으로 일어나는 비등의 영향을 받아 온도변화가 심하게 나타나고 있다. 입열부하가 70W일 경우 그래프상으로는 작동초기에 불안정한 온도 분포를 보이지만 시간이 지난 후에 일정한 온도를 유지하고 있지만 실제로는 작동유체가 과충전되어 증발하지 않은 작동유체가 기액분리기에서 분리되지 않고 응축부로 들

어가서 순환하기 때문에 잠열변화에 의한 열전달이 일어나지 않는다. Fig.7은 입열량이 50W, 60W, 70W일 경우 작동유체 충전량에 따른 열저항을 비교한 것이다. 입열량이 50W, 60W 일 경우, 작동유체 충전량 50%일 때 열저항이 가장 낮은 것을 알수 있고, 70W일 때는 충전량 100%일 때의 열저항이 가장 낮다. 작동유체 충전량 50% 일 때 입열부하가 50W, 60W일 때는 비슷한 열저항을 보이지만 입열량이 70W일 때 증가하는데,

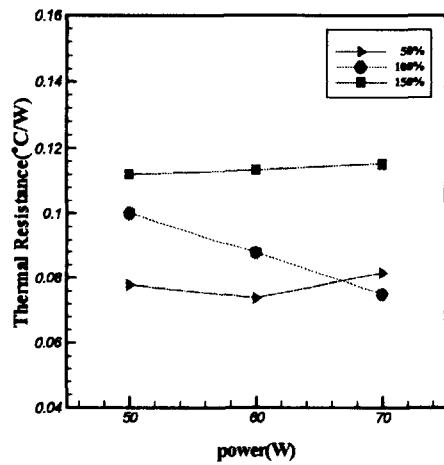


Fig. 7 Thermal resistance of each inventory.

이는 작동유체 충전량 50%일 때의 적정 냉각 능력이 60W 이하인 것을 나타낸다. 작동유체 충전

량 100%일 때 입열부하가 커질수록 열저항이 낮아지고 있는데, 이는 입열부하가 증가함에 따라 작동유체 순환량이 증가하여 열전달능력을 향상시키기 때문이다. 작동유체 충전량 150%일 때는 각 입열부하에서 열저항이 높은 것을 볼 수 있는데, 이는 과충전된 작동유체가 증기가 순환하는 것을 방해하여 다른 조건일 때보다 원활한 열전달이 일어나지 않기 때문이다. 열저항 비교에서 알 수 있듯이 각각의 입열부하에 대해 최적의 충전량이 따로 존재한다고 판단된다. 본 연구의 범위에서 응축부와 증발부간 높이 55cm일 경우, 열유속 50W, 60W일 때는 충전량 50%, 열유속 70W일 때는 충전량 100%일 때의 열저항이 가장 낮은 것으로 보아 이때 냉각성능이 가장 뛰어나다.

4. 결 론

응축부-증발부 사이 높이 55cm, 작동유체 충전량 50%, 100%, 150%, 입열부하 50W, 60W, 70W의 조건에서 분리형 히트파이프를 CPU를 모사한 발열체 냉각에 적용할 경우의 성능을 실험한 결과 다음의 결과를 알 수 있었다.

1. 본 연구 결과 구해진 적합한 작동유체 충전량은 입열부하가 50W, 60W일 때는 50%, 70W일 때는 100%이지만 작동유체 충전량 50%일 경우 온도분포가 불안정한 경향을 보이므로 적정 작동 유체 충전량은 100%이다.
2. 기액분리기를 사용했을 때 증기유동관으로 액체가 유입하는 것을 막아주어 충전량이 많은 상태에서도 안정적인 작동을 하는 것을 알 수 있었다.
3. 분리형 히트파이프를 전자장비내의 발열체 냉각에 적용한 결과 70W 또는 그이상의 입열부하를 냉각시킬 수 있고 발열체 표면온도를 CPU 작동 한계온도 80°C 이하로 유지시킬 수 있으므로 효율적인 냉각방식이라 판단된다.

참고문헌

- [1] Pin-Chih Chen, Wei-Keng Lin. The Application of Capillary Pumped Loop for Cooling of Electronic Components, Applied Thermal Engineering, Volume 21, Issue 17, Pages 1739-1754, December 2001
- [2] A. Miyasaka, K. Nagagima, H. Tsunoda. Experimental Results for Capillary Loop Pipe Applied to Direct Cooling Method, J. Thermophys. Heat Transfer 9(1), 96-100, 1995
- [3] M. T. North, C. T. Avedisian, Heat Pipes for Cooling High Flux/High Power Semi-conductor Chips, Trans. ASME, J. Electron. Packing 115, 112-117, 1993
- [4] K. S. Hwang, Two-phase Thermosiphon Loops Part 1 (An Experimental Study of a 3/8 in Diameter 2ft×4ft loop), M. Sc. Thesis, University of Windsor, 1976
- [5] A. F. M. Ali, & T. W. McDonald, Thermosiphon Loop Performance Characteristics Part 2. Simulation Program, ASHRAE Trans. V 83, pt. 2, pp 260-278, 1977
- [6] J. T. Dickey, G. P. Peterson, Experimental Andanalytical Investigation of a Capillary Pumped Loop, J. Thermophys. Heat Transfer 8 (3), 602-607, 1994
- [7] I. muraoko, F. M. Ramo, V. V. Vlassov, Experimental and Theoretical Investigation of a Capillary Pumped Loop with a Porous Element in the Condenser, Int. Comm. Heat Mass Trans. 25(8), 1085-1094, 1988
- [8] S. Sampath, Two-phase Multiple-tube Thermosiphon Loop(an Experimental Study), M. S. Thesis, University of

Windsor, 1985

- [9] T. W. McDonald, & A. F. M. Ali, Thermo-siphon & S. Sampath, The Undirectional Coil Loop Thermosiphon Heat Exchanger. *Ashrae Trans.*, V 84, pt. 2, pp 27-37, 1978

후기

저자소개



배석태 (裴錫泰)

1965년생, 1988년 동아대학교 기계공학과 졸업. 1990년 동아대학교 기계공학과 대학원 졸업(공학석사). 1998년 동아대학교 기계공학과 대학원 졸업(공학박사). 현재 동명대학 기계자동화계열 교수

본 논문은 동명대학 학술연구소에 의해 지원
었습니다.