

고발열 전자부품 냉각용 썬모사이폰의 냉각특성에 관한 연구

Experimental study on the cooling characteristics of thermosyphon for the high power electronic components

김 광 수*, 김 원 태*, 송 규 섭*, 이 기 백**
 K. S. Kim, W. T. Kim, K. S. Song, K. B. Lee

Key words : Heat pipe(히트파이프), Thermosyphon(썬모사이폰), Working fluid(작동유체), Non-condensable gas(불응축 가스), Wick(심지), Electronic packaging technology(실장기술)

Abstract

The experimental study is concerned with two-phase closed thermosyphons, (i.e., wickless heat pipes) for the cooling of high power electronic components in telecommunication system. The thermosyphon which can deal with a high heat flux of up to 4.9 W/cm² is developed, and the cooling characteristics of thermosyphon is analyzed according to design parameters which are the types of and quantity of working fluid, number of pipes, wire insertion in pipe, inclination angle of thermosyphon, and cooling air velocity. Using water as working fluid is superior cooling performance compared to using acetone, and cooling performance is improved as the number of thermosyphon becomes larger, inserting wires in the pipes, and inclination of 30~60°.

기 호 설 명

<p>A : 발열체 표면적, m² d : 썬모사이폰 내경, m E : 발열체 부하 전압, V I : 전류, A k : 열전달계수, W/m²C L⁺ : 응축부/증발부 길이비 (L_{con}/L_e) L_e/d : 증발부/직경비 Q : 발열량, W</p>	<p>R_{th} : 열저항, °C/W TS : 썬모사이폰 (thermosyphon) T_{air} : 외부 공기온도, °C T_e : 발열부품 표면온도, °C U_T : 총열전달계수, W/m²C V⁺ : 작동유체 체적비, V_i/V_e</p>
	<p>그리스 문자 Δ : 증/감소치 θ : 평면으로부터 기울기</p>

* 한국전자통신연구원 실장기술연구소

** 부산대학교 기계공학과

하첨자

- c : 발열부품
 con : 응축부
 e : 증발부
 l : 액체
 T : 전체(total)
 th : 열(thermal)

1. 서 론

전자통신 장비들의 고속/고밀도화 실장(electronic packaging) 추세에 따라 사용되는 부품의 발열량 및 단위 면적당 발열량이 급격히 증가되고 있다. 지금까지 부품 냉각을 위해서는 공기를 이용한 자연대류 및 강제대류 냉각방식을 채택하여 왔으나, 최근 부품의 발열량 및 발열밀도의 증가로 인해 그와 같은 방식의 냉각성능 한계에 다가왔으며, 팬(fan), 송풍기(blower) 등을 이용한 강제대류 냉각에서는 소음 발생이 커져 운전자들에게 열악한 환경이 되고 있다.⁽¹⁾ 고발열 및 고밀도 실장 때문에 시스템 내부의 좁은 공간에서 냉각시키기 어려운 경우가 있으므로 많은 열을 빠른 시간내에 시스템 밖의 여유 공간으로 이동시킬 수 있는 냉각방식이 필요하며, 이에 대응하는 고효율 냉각 방식으로 써모사이폰을 채택함으로써 이상의 문제점을 해결하고 통신시스템의 신뢰성을 제고할 수 있다.

지금까지 전자부품 냉각용 써모사이폰 및 히트파이프 개발은 노트북 및 데스크탑 PC에 적용하기 위해 Fujikura사 등에서 개발한 것이 대부분이며,⁽²⁾ 통신시스템에 적용된 써모사이폰은 MCM(Multichip Module) 냉각용으로서 고발열 부품을 백플레인(backplane)에 집중적으로 실장(packaging)하여 냉각시키는 방식이었다.⁽³⁻⁵⁾ 그러나 이 방식은 현재 MCM을 백플레인에 집중적으로 실장하는 방식의 실현성이 어렵기 때문에 실용화되지 못하였다. 또 박종훈은 위성체에서 히트파이프를 부착할 때 그 부품의 최적 위치를 실험과 수치적으로 해석한 바 있으며,⁽⁶⁾ Ericsson사에서는 통신시스템의 전원부에 적용하기 위해 수직으로 실장된 고발열 부품 3개에 증발부를 각각 부착하여 직렬로 연결하여 냉각시키는 2상 밀폐형 써모사이폰을 개발한 바 있

다.⁽⁷⁾ 또 이윤표 등은 써모사이폰의 냉각성능을 개선하기 위해 파이프 내부에 가는 와이어를 삽입하여 기포의 거동을 활발하게 하는 방법을 이론적으로 해석하였고,⁽⁸⁾ 김원태 등은 와이어 직경과 경사각에 따른 유리봉내의 기포 거동을 실험적으로 구하였다.⁽⁹⁾

본 연구에서는 통신시스템의 일반적인 형상인 캐비넷형의 시스템에 실장될 수 있는 4.9W/cm²급 냉각성능을 가진 밀폐형 2상 써모사이폰(two-phase closed thermosyphon)을 제작하였다. 인쇄회로기판(printed circuit board)에 실장된 전자 부품 중 일부 부품이 고발열을 발생할 경우 각 발열부품에 써모사이폰 증발부를 부착하여 응축부를 시스템 외부의 여유 공간에서 냉각시킬 수 있는 구조가 되도록 하였다. 이와같은 고발열 전자부품 냉각용 써모사이폰을 제작하여 그 설계변수(design parameter)에 따른 열적 특성을 분석하였으며, 주요 설계변수로서는 작동유체(working fluid)의 종류 및 양, 경사각, 수송부 파이프 갯수, 파이프 내부에 와이어(wire) 삽입 여부, 냉각방식 및 유속변화 등이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

Fig.1은 써모사이폰의 냉각성능을 측정하기 위한 장치를 나타낸 것으로 팬(DC 48V, F1238H, Oricem)이 부착된 덕트(120×120×500mm) 입구에 써모사이폰 응축부를 설치하고, 응축부 핀 사이의 유속을 측정하기 위하여 LDV 시스템(2-D Fiber Optic형, Aerometrics)을 사용하였다. 써모사이폰 증발부에는 Fig.3과 같은 전자부품을 모사한 발열체를 부착하고 그 외부를 석면 테이프로 단열시켰다. 발열체와 팬의 전원은 직류전원 공급기(DC Power Supply, HPS60100)로 공급하고, 써모사이폰의 발열체와 증발부 사이, 수송부, 그리고 응축부의 파이프 표면에 T형 열전대(AWG 36)를 부착하여 데이터 획득 시스템(Micro-data-logger 21X, Campbell Inc.)으로 온도를 측정하였다.

Fig.2는 써모사이폰의 형상을 나타낸 것으로 수송부가 3개인 TS-3(thermosyphon-3)형이며, 써모

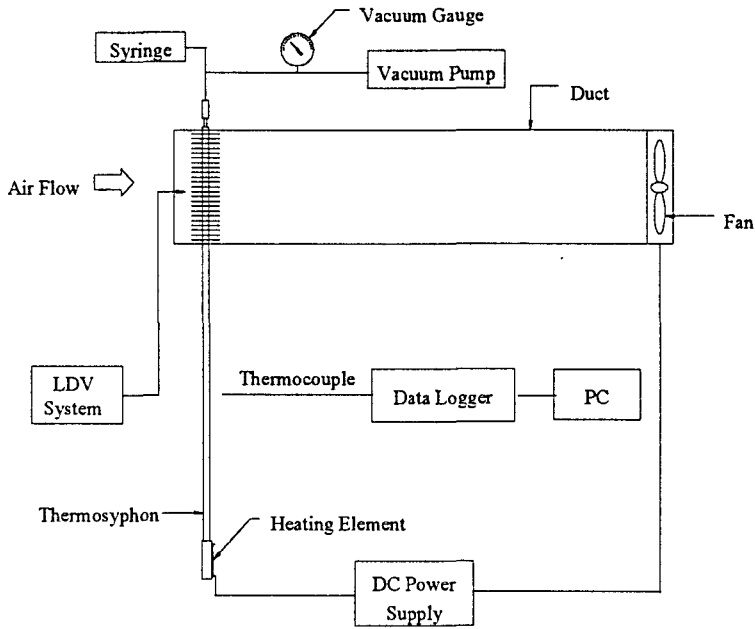


Fig.1 Experimental apparatus

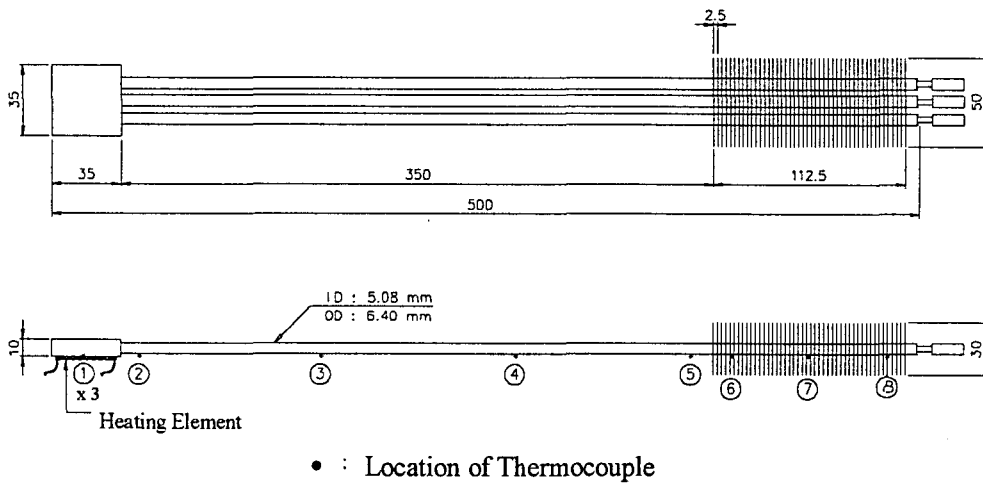


Fig.2 Configuration of Thermosyphon(TS-3)

사이폰은 작은 직경에 길이가 긴 형상($L_e/d=6.9$, $L_{con}/L_e=3.2$)이다. 써모사이폰 파이프를 증발부 블럭에 삽입하고 그 블럭을 Fig.3과 같은 발열체를 열전도성 본드(Thermalloy Inc. Model 4592, $k=1.26W/m^{\circ}C$)로 부착하여 고정하였다. 이때 증발부 블럭의 접촉 표면에는 열전대를 부착하기 위해 중심을 기준으로 10mm 등간격의 3개 작은 V-형 홈(slot)이 가공된 것이며, 그 각 홈에 3개의 열전대를 삽입하여 측정된 온도의 산술평균을 증발부 온도로 하였다. 또 증발부와 수송부 전체를 석면으로 감아 단열시키고, 응축부에는 황동 박판 46개를 2.5mm 간격으로 부착하여 냉각 표면적을 넓혔다. 써모사이폰의 전체 길이는 500mm이고, 수송부(단열부)의 길이는 350mm로 하였으며, 이 길이는 통신 장비내 부품의 발생열을 시스템 외부로 이동시켜 냉각시킬 수 있게 하기 위함이다. Fig.3은 증발부에 부착되는 발열체의 형상을 나타낸 것으로 통신시스템에서 일반적으로 많이 사용되는 표면실장(SMD, surface mounting device) 방식의 주문형 반도체(ASIC, application specific integrated circuit)의 크기와 같게 하였고, 내부에 부착되는 히터의 크기도 일반적인 칩(chip)의 크기와 같게 상사(simulation)시켰으며, 발열체의 저항은 50Ω,

최대 열용량은 80W이다. 실험장치에 사용된 각 부분에 대한 크기 및 재질은 Table 1과 같다.

2.2 실험 방법

써모사이폰 냉각특성을 측정하기 위해 먼저 Table 2와 같이 각 실험 변수에 따른 각각의 써모사이폰을 제작한다. 구리 파이프의 한쪽 끝을 막고 반대쪽 응축부 끝에 진공 밸브를 부착하여 진공펌프(LS80PR, Edwards Inc.)를 밸브에 연결한 후 1.2×10^{-3} torr 정도가 되었을 때 진공 밸브를 닫고 진공펌프로부터 분리시킨다. 진공 밸브에 작동유체가 든 주사기를 연결하여 필요한 양만큼의 작동유체를 주입한 후 밸브를 잠근다. 이 때 작동유체 주입 후 파이프 내부에 남아있는 불응축성 가스(non-condensable gas)를 제거하는 것이 대단히 중요하다. 진공 후 파이프내에 잔류한 gas와 작동유체 주입시 침투한 이물질 가스, 그리고 작동유체 내부에 용해되어 있는 gas가 합쳐져 다시 응축되지 않고 파이프내의 상부에 위치하게 된다. 이와같이 상부에 있는 불응축 gas로 인해 하부에서 생성된 고열의 기체가 상부의 응축부(condenser)까지 충분히 전달되지 않아 써모사이폰이 제대로 작동되지 않게 된다. 작동유체를 파이프에 주입한 후 발열체에 충분한 열을 가해 응축부까지 길이 방향으로 온도 측정을 해보면 상부에는 열이 전달되지 않는 것을 알 수 있다. 그래서 상부 밸브를 조금 열어 주사기로 불응축 가스를 제거해 주면 열이 응축부 끝까지 충분히 전달되어 써모사이폰 작동이 원활해진다.

Table 2는 실험에 사용된 주요 실험변수를 나타

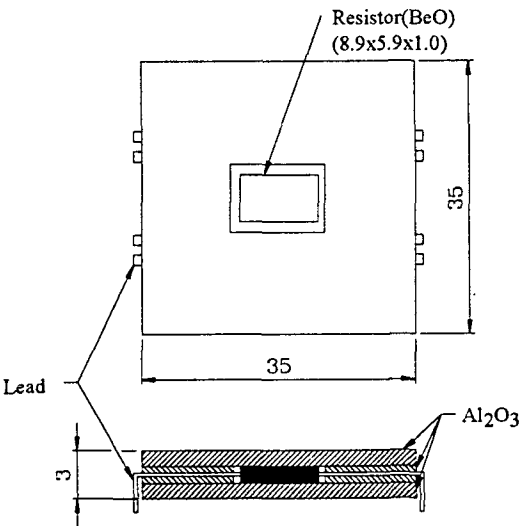


Fig.3 Heating element as simulated electronic component

Table 1 Physical specification of experimental apparatus

Parts	Dimension(mm)	Material
Thermosyphon	Total length:500	-
Evaporator block	35 × 35 × 10	Brass
Pipe	I.D:5.08, O.D:6.4	Copper
Condenser fin	30 × 50 × 0.2, 46EA	Brass
Flow duct	120 × 120 × 500	Acrylic
Heating component	35 × 35 × 3	Al ₂ O ₃

Table 2 Parameters in experimental conditions

Parameters	Condition
Number of pipe	TS-1, TS-2, TS-3
Types of working fluid	Water, Acetone
Insertion of wire	wire(o), wire(x)
Inclination angle	5~90°
Volume rate of working fluid	V ⁺ =2.1~6.4
Cooling air velocity	0~4.0m/s

낸 것으로서, 이들 실험변수에 따른 결과는 실제 써모사이폰을 통신시스템에 적용할 때 중요한 설계 요소로 사용될 수 있다. 각 조건에서의 냉각특성은 증발부 표면과 응축부 냉각공기의 온도차를 이용하여 분석하였으며, 증발부 온도는 발열체와 접촉면에 삽입된 3개 열전대에서 측정된 온도의 산술평균으로 하였다. 또 각 조건에서 약 30분 정도 경과 후 정상상태(steady state)에서 각 부분의 온도를 측정하였으며, 전자부품의 작동온도(operating temperature, Max. 75°C)를 만족시키기 위해 외부 공기온도(25°C 기준)에 대한 증발부 표면, 즉, 발열체 표면의 온도상승(ΔT_c)을 50°C 이하로 유지하는 범위내에서의 발열량을 써모사이폰의 최대 열용량(max. heat capacity)으로 하였다.

증발부를 단열재로 충분히 단열하였다고 가정하여 증발부에 공급되는 열량은 발열체의 발열량인 전부 공급된다고 가정하였으며, 발열체의 발열량(Q)은 공급되는 전압(V)과 전류(I)의 곱으로 계산하였다.

$$Q = VI \quad (1)$$

또 열저항(thermal resistance, R_{th})은 다음과 같이 정의된다.

$$R_{th} = \frac{T_c - T_{air}}{Q} \quad (2)$$

여기서, T_c 는 증발부 표면의 온도이다.

써모사이폰 전체 열전달 계수(overall heat transfer coefficient, U_T)는 다음과 같이 정의하였다.

$$U_T = \frac{Q}{A(T_c - T_{air})} \quad (3)$$

여기서, A는 증발부 블록과 발열체 사이의 접촉면적(m²)이다.

열전달계수 및 열저항 계산에 포함된 오차(error)는 온도와 발열량 측정의 부정확성(전압 : ±0.05V, 전류 : ±0.01A, 온도 : ±0.1°C)에 있으며, 정상상태가 된 후에도 온도측정에서 0.5% 정도의 변동(fluctuation)이 있어서 각 조건에서 4~6회의 반복 측정하였으며, 또 동일한 작동유체 양에 대해 각각 3회 이상씩 실험을 수행함으로써 재현성을 확인하였다.

3. 실험결과 및 검토

통신시스템 전자 부품 냉각용 써모사이폰을 제작하여 수송부의 갯수, 작동유체의 종류, 파이프내 와이어 삽입, 써모사이폰의 기울기, 작동유체의 양, 그리고 유속 등에 따른 냉각 특성을 실험적으로 구하였다.

Fig.4는 써모사이폰의 길이 방향에 따른 온도를 측정하여 외부 공기 온도와의 차이를 나타낸 것으로 발열체 부분(위치 1)에서 온도를 제외하고는 비교적 균일한 분포를 보이고 있다. 자연대류 냉각에서는 5°C 이내로 균일함으로 보이고 있으며, 응

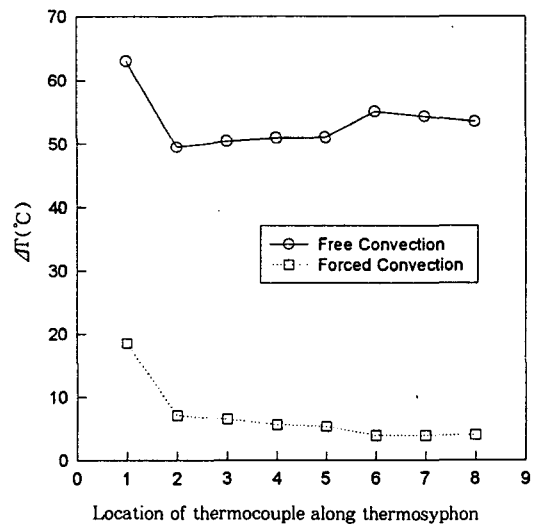


Fig.4 Temperature distribution along thermosyphon

축부의 핀 사이(위치 6, 7, 8)에서 약간 높게 나타난 것은 핀 방향이 수평으로 되어 있어 공기가 정체되기 때문이다. 또 강제대류 냉각에서는 전체 길이 방향에 대해 2°C 이내로 매우 균일한 분포를 보이고 있다. 이와같이 써모사이폰 길이에 따른 온도 분포가 균일하게 나타나는 것은 써모사이폰으로서 작동이 원활하게 되는 것을 보여주고 있다.

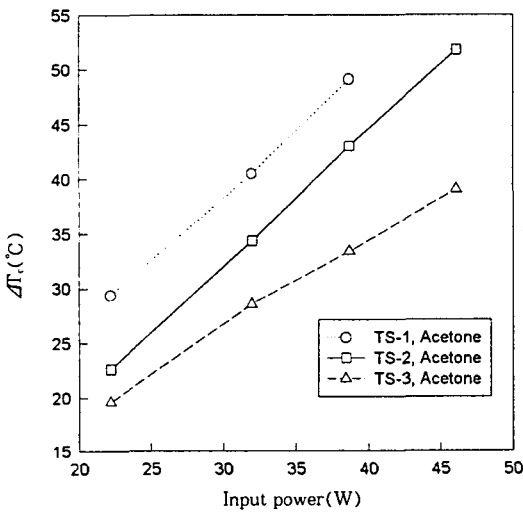
Fig.5는 각 작동유체에 대해 써모사이폰의 갯수

에 따른 냉각성능을 비교한 것으로 발열부의 입력 열량에 따른 외부 공기 온도에 대한 발열체 표면의 온도상승을 나타내었다. 각 써모사이폰에서는 직경 0.8mm 와이어를 삽입하였고, 핀 사이의 공기 유속이 3.5m/s의 강제대류 냉각조건이다. 작동유체로 아세톤을 사용한 Fig.5(a)를 보면, TS-1과 TS-2에서는 5~8°C 정도로 균일한 차이를 보이고 있지만, TS-3에서는 고발열 쪽에서 냉각성능이 약간 좋아짐을 보이고 있다. 물을 사용한 Fig.5(b)에서는 처음 22W의 발열에서는 3종류의 써모사이폰에서 거의 같은 온도상승을 보이지만, 고발열 영역에서 TS-1은 TS-2, TS-3에 비해 냉각성능이 크게 낮아짐을 알 수 있다. 즉, 파이프의 갯수 증가에 따라 냉각성능은 산술적인 배수는 아니지만 냉각성능은 증가됨을 알 수 있다.

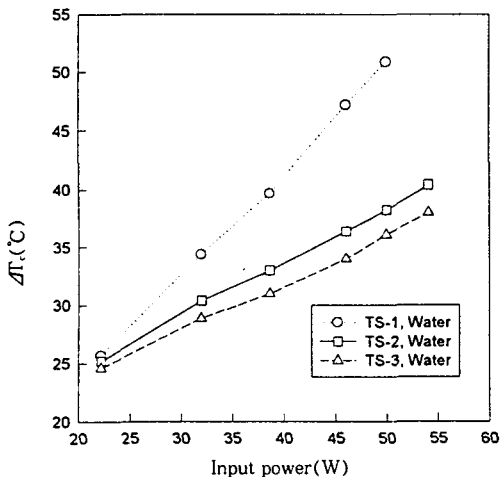
Fig.6은 써모사이폰의 수송부 갯수에 따라 작동유체로 물과 아세톤을 사용하였을 때, 각각의 온도상승치를 비교한 것이다. 실험조건은 파이프 내부에 와이어를 삽입한 것이고, 핀 사이 유속을 3.5m/sec와 강제대류 냉각조건이다. Fig.6(a)의 TS-1에서는 저발열 영역에서 고발열 영역까지 거의 균일하게 아세톤에 비해 물을 사용하면 냉각효과가 큼을 알 수 있다. 그러나 Fig.6(b), (c)에서와 같이 저발열 영역(22~32W)에서는 아세톤의 경우가 물에 비해 냉각성능이 더 좋음을 보이고 있다. 이것은 발열량이 적고 써모사이폰의 갯수가 많아지면 증발부에 공급되는 열량이 적어져서 포화온도가 상대적으로 낮은 아세톤에서 먼저 증발이 활발하게 일어나 냉각이 잘되기 때문이다.

그러나 Fig.6(a), (b), (c)의 고발열 영역에서는 작동유체로 물을 사용하는 것이 아세톤에 비해 냉각성능이 우수함을 보이고 있으며, 이것은 Lee 등⁽¹⁰⁾의 실험결과와 반대로 나타나고 있다. Lee 등의 실험에서는 수송부의 길이가 1.2m로 본 연구에서의 0.35m에 비해 매우 길기 때문에 아세톤에 비해 물의 경우는 점성계수가 크므로 응축된 액체가 긴 수송부를 거쳐 증발부로 되돌아오는 것이 상대적으로 어렵기 때문인 것으로 추정된다.

Fig.7은 TS-3에 작동유체로 아세톤과 물을 각각 사용하고 강제대류 상태에서 와이어 삽입여부에 따른 냉각특성을 나타낸 것으로, 와이어를 삽입한

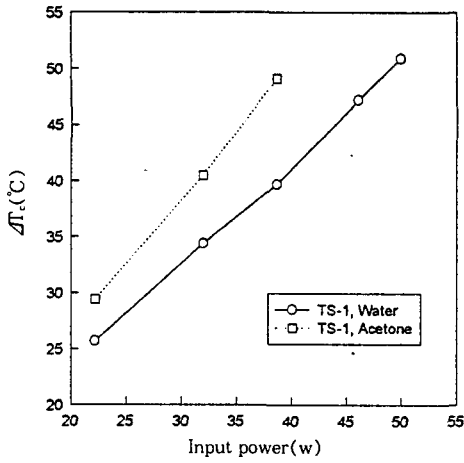


(a) Acetone

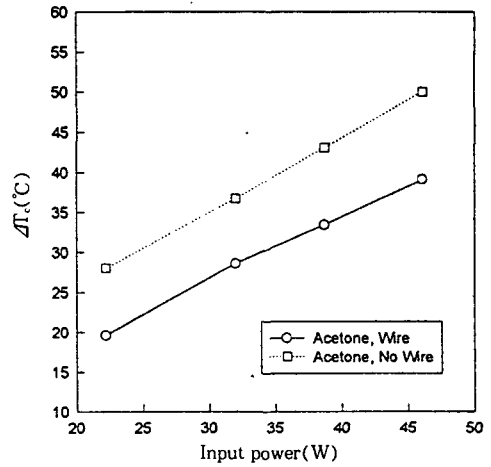


(b) Water

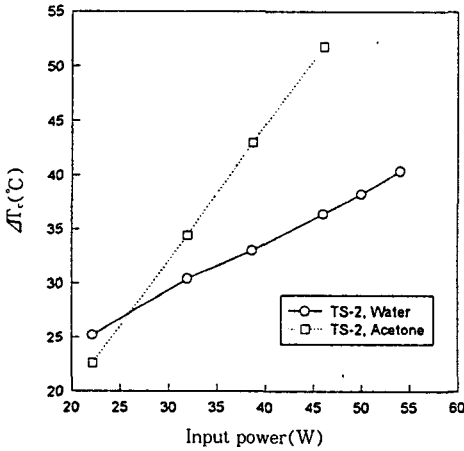
Fig.5 Temperature rise for number of pipe in working fluids



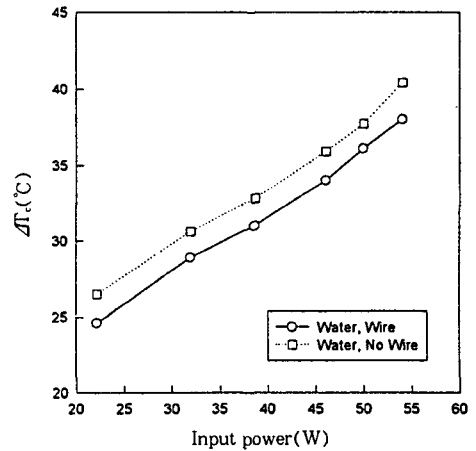
(a) TS-1



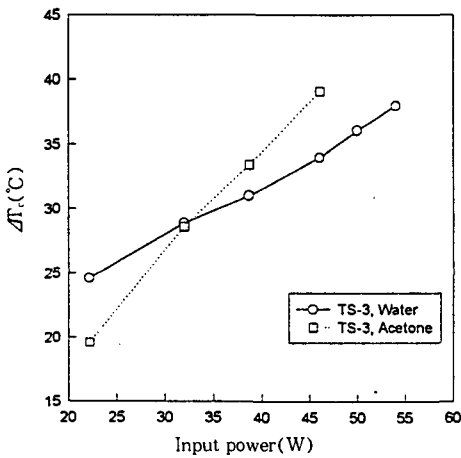
(a) Acetone



(b) TS-2



(b) Water



(c) TS-3

Fig.6 Temperature rise for working fluid in TS-1, TS-2 and TS-3

Fig.7 Temperature rise for wire insertion in working fluids

경우가 와이어를 삽입하지 않은 경우에 비해 아세톤인 경우 평균 30%, 물인 경우 10% 정도 냉각 성능이 향상됨을 알 수 있다. 이것은 파이프 내부에 와이어를 삽입함으로써 파이프내에서 상승하는 기포는 고무풍선 중앙에 막대기를 끼운 형상으로 바뀌어 위로 이동하게 되며, 응축부에서 응축된 액체는 파이프 내부 벽뿐만 아니라 삽입된 와이어를 따라 추가적으로 증발부로 귀환하게 되어 열수송이 활발하게 된다. 이와같이 파이프에 와이어를 삽입하면 기포거동이 달라지는 현상에 대해 이윤표 등⁽⁸⁾은 기포거동에 대해 이론적으로 해석하였으며, 김원태 등⁽⁹⁾은 유리파이프를 이용하여 실험적으로 규

명하였다. 그러나 본 실험에서와 같이 실제 작동중인 써모사이폰에서 이상과 같은 결과를 얻은 것에 의미가 있다. 일반적인 히트파이프에서와 같이 파이프 내부에 심지를 삽입하는 방식에 비해 본 연구에서와 같이 간단하게 가는 와이어를 삽입함으로써 써모사이폰의 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다.

Fig.8은 써모사이폰의 기울기에 따른 냉각성능을 구하기 위해 써모사이폰을 수직으로 설치하였을 때, 즉, 90°일 때의 열저항에 대한 다른 각도에서의 열저항 비를 나타낸 것이다. 이 기울기는 발열체의 열을 시스템 밖의 먼 거리로 이동하기 위해서는 필요시 수송부를 뿔 수도 있어 약간의 기울기는 불가피하게 있고, 심지가 없는 써모사이폰이므로 파이프의 기울기가 냉각특성에 미치는 영향은 중요하다.

그림에서와 같이 작동유체가 아세톤인 경우, 물에 비해 기울기에 따른 영향이 크게 나타나며, 아세톤인 경우에서도 와이어가 삽입된 경우보다 와이어가 없을 때 기울기의 영향이 더 크게 나타난다. 이것은 Fig.7에서 나타난 바와 같이 파이프내에 와이어를 삽입하는 것이 심지역활을 하여 모세관력을 크게 하는 것을 의미한다. 와이어가 없는 아세톤의 경우 수직에서보다 기울기가 30~60° 정도일 때

냉각성능이 최고 13% 정도 향상된다. 그러나 기울기가 너무 작게 되면 응축 액체가 증발부로 회귀하는 양이 작아져서 도리어 불리해진다. 또 작동유체가 물인 경우는 와이어 삽입여부에 관계없이 15° 이상의 기울기에서는 거의 영향을 받지 않았다. 이것은 Fig.7에서와 같이 물의 경우는 와이어 삽입 및 기울기에 의한 영향이 적음을 알 수 있다.

Fig.9는 작동유체의 양에 따른 냉각특성을 나타낸 것으로, 증발부 채적에 대한 주입된 작동유체의 체적비(V^+)에 따른 써모사이폰 전체 열전달 계수(U_T)를 작동유체 종류 및 와이어 삽입여부에 따라 표시하였다. 본 실험조건에서는 와이어가 삽입되고 작동유체가 물인 경우는 작동유체양에 따른 열전달 계수 변화가 거의 없으며, 아세톤의 경우 전반적인 경향은 작동유체양의 비가 3.8, 즉, 2.6cc 정도의 양일 때, 최고냉각성능을 보이고 있고 그 이상으로 양이 증가할수록 감소되는 것을 보이고 있다. 또 양이 더 적어지면 증발부에 있는 모든 액체가 증발되어 버리는 dry out 현상이 발생하게 되어 급격히 과열된다.

Fig.10은 써모사이폰 응축부에서의 유속변화에 따른 냉각성능과 소음변화를 나타낸 것으로, 소음은 실험장치에서 전면으로부터 0.6m 거리에서 소음계(NA-24, Rion Co.)로 팬 및 응축부에서 발생

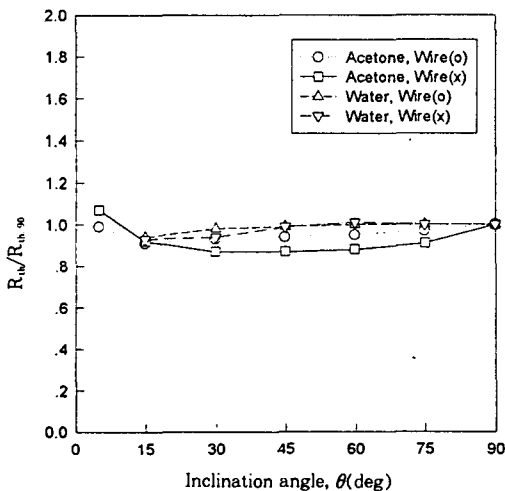


Fig.8 Thermal resistance ratio($R_{th}/R_{th,90}$) for inclination angle

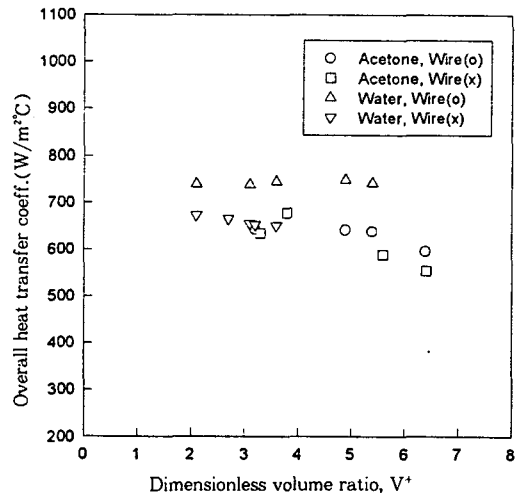


Fig.9 Overall heat transfer coefficient for volume ratio of working fluid(V^+)

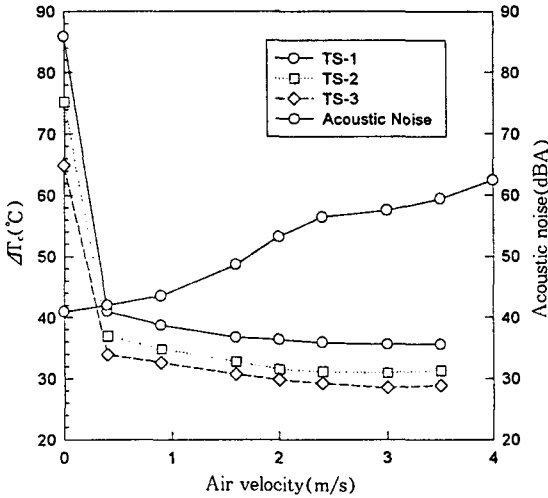


Fig. 10 Temperature rise for air velocity, parametric in number of pipe

하는 소음을 측정된 것이며, 유속 0은 자연대류상태를 의미한다. 써모사이폰의 갯수에 따른 온도차이는 비슷한 경향을 보이며, 강제대류 냉각에서 응축부 핀 사이의 유속이 1.5m/s까지는 온도가 약간 감소함을 보이고 있으나 그 이상의 유속에서는 온도변화가 거의 없게 되고, 2m/s 전후에서 소음발생이 크게 증가하게 된다. 이것은 일정 유속 이상의 유량을 가하여 응축부를 냉각하여도 응축부에서 증기를 응축시키기 위해 필요한 만큼만 냉각성능에 영향을 미치고, 그 이상의 유속으로 응축된 액체를 더 냉각시키는 것은 냉각성능 향상에 영향을 주지 못하고 소음만 크게 발생시키는 것을 알 수 있다.

Fig.11은 증발부에 공급되는 열량에 따라 써모사이폰 전체의 열전달 계수(U_T)와 써모사이폰 내부의 포화온도 변화를 비교하여 나타낸 것으로, 실험 조건은 TS-2, 물, 와이어 삽입, 냉각공기 유속 3.5m/s이다. 작동유체의 포화온도는 직접 측정할 수 없어서 Lee 등⁽¹¹⁾의 연구에서와 같이 수송부 중앙 외벽에 부착된 열전대에서 측정된 온도를 포화온도라고 가정하였다.

Fig.11을 보면 작동유체, 냉각조건 등 동일한 조건의 써모사이폰에서 증발부에 가하는 열량이 증가함에 따라 열전달계수가 증가하는 것을 보이고 있는데, 이것은 작동유체의 열적 물성치가 변하기 때문이다. 작동유체의 물성치는 포화온도 및 포화압

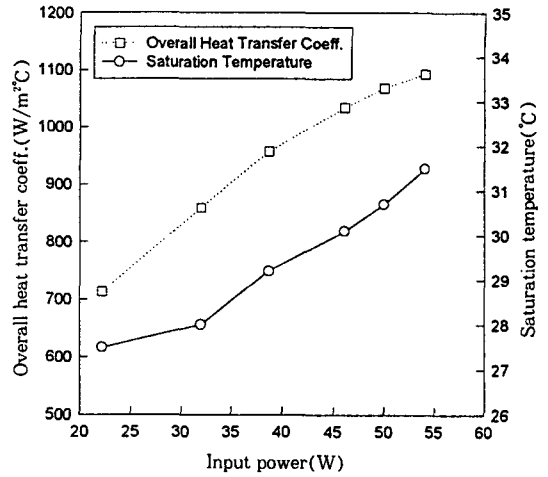


Fig. 11 Input power vs. overall heat transfer coefficient & saturation temperature

력의 함수이며, 증발부에 입력되는 열량에 비례하여 파이프 내부의 압력이 증가하면서 작동유체의 포화온도는 그림에서와 같이 조금씩 증가한다. 포화온도가 상승하면 증기밀도가 증가되어 질량유속이 증가하면서 열전달계수가 증가하기 때문이며, 이 결과는 Lee 등⁽¹⁰⁾의 실험결과와 잘 일치하고 있다.

4. 결 론

고발열 전자부품 냉각용 써모사이폰을 제작하여 그 설계 변수에 대한 냉각특성을 실험적으로 구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 작동유체로는 물이 아세톤에 비해 냉각성능이 우수하고, 수송부의 갯수가 많을수록 냉각성능이 양호하였다.

(2) 파이프 내부에 와이어를 삽입하면 와이어를 삽입하지 않은 경우에 비해 작동유체로 물인 경우 10%, 아세톤인 경우 30% 정도의 냉각성능을 향상시킬 수 있었다.

(3) 써모사이폰의 기울기에 따라 작동유체가 물인 경우는 와이어 삽입여부에 관계없이 거의 영향을 받지 않으나, 아세톤인 경우는 기울기가 30~60° 정도일 때 수직인 경우에 비해 냉각성능이 최고 13% 정도 향상되었다.

(4) 작동유체가 물인 경우는 작동유체의 양에 따른 성능변화는 거의 없었으나, 아세톤인 경우 V^+ 가 3.8, 즉, 2.6cc 정도의 작동유체 양일 때 최고의 냉각성능을 보였으며, 그 이상 증가할수록 감소되었다.

(5) 응축부(condenser)에서의 냉각공기 유속은 일정속도(1.5m/s) 이상에서는 냉각성능에 미치는 영향이 거의 없으므로, 최적의 유속으로 팬 소음을 최소화할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국통신에서 출연한 “통신시스템 기구장치 기술 표준화 연구” 과제의 일부로 수행되었으며, 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Bar-Cohen, A., 1992, “State-of-the art and trends in the thermal packaging of electronic equipment”, *J. of Electronic Packaging*, Vol 114, pp. 257~270.
2. Mochizuka, M., Mashiko, I., Nguyen, T., Saito, Y, and Goto K., 1996, “Cooling CPU using hinge heat pipe” *Proceedings of the 5th International Heat Pipe Symposium*, S-3-4, Melbourne, Australia.
3. Kishimoto, T., Harada, A., Sasaki, S. and Itawa, T., 1994, “Heat pipe cooling technologies for telecom JMCM’s”, *Proceedings of 4th Int. Heat Pipe Symposium-Tsukuba*, pp. 132~141.
4. Doi, Y., Yamada, H., Sasaki S., Kishimoto, T., Tomimuro H., 1993, “An ATM switch hardware technologies using multichip packaging”, *IEEE Trans. on Components, Hybrids and Manufacturing Technology*, Vol. 16, No. 1, pp. 60~66.
5. Yamanaka, N., Kikuchi, S., Kon, T., and Ohsaki, T., 1990, “Multichip 1.8 Gb/s high speed space-division switching module using copper polyimide multilayer substrate”, *40th ECTC, Las Vegas*, pp. 562~570.
6. Park, J. H., 1997, “A study on the thermal performance of heat pipe for optimum placement of satellite equipment”, *ETRI Journal*, Vol. 19, No. 2, pp. 59~70.
7. Tengblad, N. and Palm, B., 1994, “External two phase thermosiphons for cooling of electronic components”, *Int. J. of Microcircuits and Electronic Packaging*, Vol. 19, No. 1, pp. 22~29.
8. 이윤표, 이영수, 이영, 1993, “초소형 밀폐형 2상 써모사이폰 기포의 거동에 관한 해석적인 연구”, *공기조화냉동공학 논문집*, 제5권, 제2호, pp. 85~93.
9. 김원태, 이윤표, 1996, “소형 밀폐형 2상 써모사이폰에서 삼입 세션이 기포상승에 미치는 영향”, *공기조화냉동공학 논문집*, 제8권, 제1호, pp. 99~109.
10. Lee, Y., Rhi, S. H., Pioro, I., and Kim, W. T., 1996, “An experimental study on a cooling system using two-phase closed thermosiphons for telecommunication MCM”, *Proceedings of the 9th International Symposium on Transport Phenomena*, Singapore, Vol. 1, pp. 480~485.
11. Lee, Y., and Mital, U., 1972, “A two-phase closed thermosyphon”, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 15, pp. 1695~1702.