

진동 세관형 히트파이프를 이용한 통신 기기용 마이크로 냉각시스템의 개발

하수정[†] · 배내수, 박철민* · 김종수**

Development of Micro Cooling System for Telecommunication System using Oscillating Heat Pipe

Soo-jung Ha[†], Nae-soo Bae, * Chul-min Park*, Jung-soo Kim**

Key Words : Telecommunication system cooling(통신 냉각 시스템), Oscillating Capillary Tube Heat Pipe(진동 세관형 히트 파이프), Micro Cooling System (마이크로 냉각 시스템)

Abstract

Rapid development of electronic technology requires small size, high density packaging and high power of electronic devices. So, in this paper, characteristics on oscillating heat pipe according to operating conditions(environment temperature, charging ratio of working fluid, inclination) based on experimental study was investigated. From the experimental results, 25°C(environment temperature), R-141b(working fluid)40%(charging ratio) was best performance at others of inclination angle and The top heating mode of OCHP performed 80% efficiency of the bottom heating mode.

기호설명

A_c : Heating surface area [m^2]
 h_{lg} : Latent heat
 L : Length of heat piper [m]
 ΔT : Temperature or heat pipe [$^{\circ}C$]
 M_h : Merit number of heat pipe
 M_t : Merit number of thermosyphon
 λ_{eff} : Effective thermal conductivity
 Cond: Condensing section
 eva: Evaperating section
 μ : Viscosity [$kg/s \cdot m$]
 ρ : Density [kg/m^3]
 σ : Surface tension [N/m]
 D : Hydraulic diameter [m]

[†] 부경대학교 기계공학부

(051) 620-1502, h0452@hanmail.net

* 부경대학교 기계공학부, (주)한샘

** 부경대학교 기계공학부

1. 서론

최신 전자 장비의 소형화 고밀도화 및 고속화의 요구에 부응하여 전자 산업은 비약적인 발전을 거듭하고 있으며, 이로 인한 전자 장비 시스템의 단위 면적당 열 발생율은 급격히 증가하고 있다. 고온에서 작동하는 전자 통신 장비는 기계의 오작동과 시스템의 불안정 등 낮은 신뢰도를 초래할 수 있으므로, 안정적인 작동 온도 범위로 전자 장비의 온도를 유지하기 위한 효과적인 열 제거 메카니즘의 개발은 열전달 분야에서 해결해야 할 중요한 기술적 문제이다.^(1,2) 또한 국부적으로 매우 높은 열 밀도를 가지는 최신의 전자 장비의 냉각은 기존의 자연 대류를 이용한 냉각 방식이나 송풍기를 이용한 냉각 방식을 선택할 경우 소음 발생 및 전력 소모와 설치 공간의 소형화로 인한 장비 내에서 냉각이 까다로운 경우 등 현재의 전자 통신 기기의 급격한 발전에는 미치지 못하는 상태에 있다. 따라서 전자 통신 기기의 발전에 병행될 수 있는 방열 요구의 만족을 위해서는 새로운 방식의

냉각시스템이 요구 된다. 이러한 열 제어에 대한 요구 급증에 따라 이를 만족하도록 개발된 다양한 2 상 열전달 장치들 중 히트파이프는 다른 냉각방식과 비교시 설계 및 제작의 간편성과 다양한 온도 조건에서도 적용 가능성의 장점을 가지고 있기 때문에 전자 통신 장비의 열 제어 시스템의 요구에 부응 할 수 있는 가장 우수한 대체 방법의 하나가 될 수 있을 것이다.^(3,4) 그 중에서 진동 세관형 히트 파이프는 일반 히트 파이프에 비해 상대적인 장. 단점을 모두 지니고 있으나, 몇 가지의 단점만 극복한다면 무동력. 저비용. 설계 및 제작의 용이성 등의 그 이점이 매우 크다고 할 수 있다.

본 연구에서는 진동 세관형 히트파이프의 열전달 특성 중 아직까지 그 연구 실적이 일천한 가열부 경사각에 대한 가열에서의 진동 세관형 히트 파이프의 열전달 특성과 그 최적의 냉매 충전량을 알아봄으로써, 오늘날 직면하고 있는 전자장비의 고집적화 고실장 및 고밀도화에 따른 방열문제해결을 위한 대안으로서의 진동세관형 히트파이프의 설치 공간의 확대를 통해 방열의 효율성을 보다 증대시키는데 이 실험의 목적이 있다.

2. 진동 세관형 히트파이프의 작동원리 및 종래의 연구

2.1 진동 세관형 히트파이프의 원리

진동 세관형 히트 파이프⁽⁵⁾는 작동유체의 증발 및 응축을 연속적으로 행하여 잠열의 형태로 열을 수송하는 전열 소자로서 온도의 분포가 균일하고, 경량이며, 구조가 간단하다. 그리고, 가열부와 냉각부의 분리가 가능하며, 열수송량의 제어가 가능하다는 특징으로 인해 대형기기의 전자, 통신 장비의 냉각 및 폐열 회수 등에 광범위하게 사용되고 있다. 특히, 진동 세관형 히트 파이프는 종래의 히트 파이프와는 달리 Wick이 없는 구조이기 때문에 제작이 용이하고 형상을 자유롭게 변화시킬 수 있어 설계시 설치 공간이나 위치 등을 고려할 필요가 없어 설계시의 자유도가 매우 크며 별도의 전력을 사용하지 않기 때문에 그 적용성이 높게 평가 되고 있다.

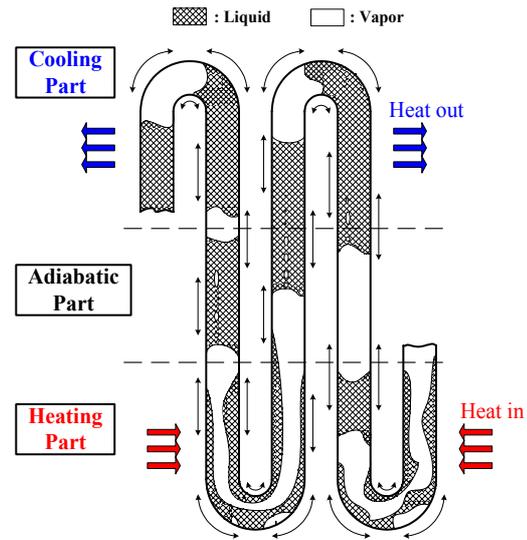


Fig. 1 Basic concept of oscillating capillary tube heat pipe

다양한 부분에서 적용되고 있다. 또한 소형화 및 저비용으로 제작이 가능하다는 장점을 지니고 있다.

fig. 1 은 진동 세관형 히트 파이프의 개념도를 나타내었다.

진동 세관형 히트파이프(이하 OCHP)는 내경 5mm 이하의 긴 세관을 사행 구조로 구성하여 내부 작동액의 증발과 응축시의 열 수송과 작동액의 진동에 의한 현열 수송이 동시에 이루어져서 열을 빠르게 전달하는 열전달 기구이다.

OCHP의 작동 원리는 용기의 내부를 진공시킨후 작동액을 봉입하면 작동액은 중력에 의해 하부에 고이게 되지만 증발부에 열을 가하게 되면 비등에 의해 연속적인 증기포가 발생, 성장하여 빠른 속도로 응축부쪽으로 이동하는 현상이 반복된다. 이때에는 fig. 1 에 보이는 것과 같이 액 슬러그와 증기 플러그가 진동하면서 세관내부에 불규칙적으로 배열되게 된다.

한 채널에서 작동액의 계속적인 비등을 발생 기킬 만한 열량이 계속적으로 가해진다면 압력 상승으로 인해 인접한 채널에도 영향을 미치게 되어 사행구조의 특징상 순식간에 전 채널로 그 힘이 가해지게 되어 작동액의 축방향 진동 및 인근 채널로의 순환이 이루어지게 되는 것이다. 즉 작동액의 비등에 의한 채널간의 압력차가 자체 구동력으로 작동하며 Wick이 없이도 증발부로의 액을 귀환시킬 수 있도록 하는 것이다

2.2 종래의 연구

1984 년 Cotter 에 의해 0.1~2mm 미만의 미소 직경을 갖는 Micro Cooling System(이하 MCS)를 이용하는 기술이 제안된 이후 많은 연구자들이 여러 가지 실험 파라미터를 변화시켜가면서 연구해오고 있다. 이를 통해서 MCS 의 형상들이 개발되었으며, 1mm × 2mm 의 4 각 단면에 길이 60mm 의 MCS 를 사용하여 최대 5W/m² 열 수송율을 얻은 것으로 보고 되었다. 그러나 상변화에 관련된 물리적 현상의 복잡성과 제작에 관련된 어려움 등으로 인해 아직까지 상용화 단계에 도달하지 못하고 있다. 따라서, MCS 를 전자 통신 분야에 응용하기 위해서는 지속적으로 연구가 이루어지고 신뢰성 있는 히트 파이프의 제작 기술, 작동 시험 성능 해석에 관한 기초 기술의 확보, 열전달 성능을 개선 할 수 있는 형상의 개발 등 보다 많은 연구가 필요하다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험 장치

본 연구에서는 진동 세관형 히트파이프를 이용한 MCS 의 냉매 충전량과 가열부 경사각에 따른 방열특성을 알아보았다. 실험에 사용된 장치의 개략도는 Fig. 2 와 같다. 실험장치는 크게, 외기를 일정한 온도로 유지시켜주는 소형 칼로리메타, 진동 세관형 히트 파이프 및 데이터 처리 시스템으로 구성되어 있다. 가열부 온도를 일정하게 제어하기 위해 환형 히터(50 × 100)를 설치하였다. 챔버 내에 각도 제어를 위해 지그를 제작하여 히트파이프를 장착하였으며, 히트파이프의 가열부는 100mm 의 단열재로 마감하였다. fig. 3 은 실험에 사용한 압출관의 단면도이다. 실험에 사용된 진동 세관형 히트 파이프는 W 50 × L300 의 내경 0.9 × 1 mm, 40 턴의 알루미늄 압출관을 사용하였다. 실험에 사용된 히트 파이프를 경사각 -90° 장착한 것을 Fig. 4 에 나타내었다. 진동 세관형 히트 파이프는 작동유체를 충전하기에 앞서, 내부를 로터리 펌프와 디퓨저 펌프로 이루어진 고진공 시스템으로 5.0×10⁻⁶ torr 까지 진공 하여 2 시간 유지하였다

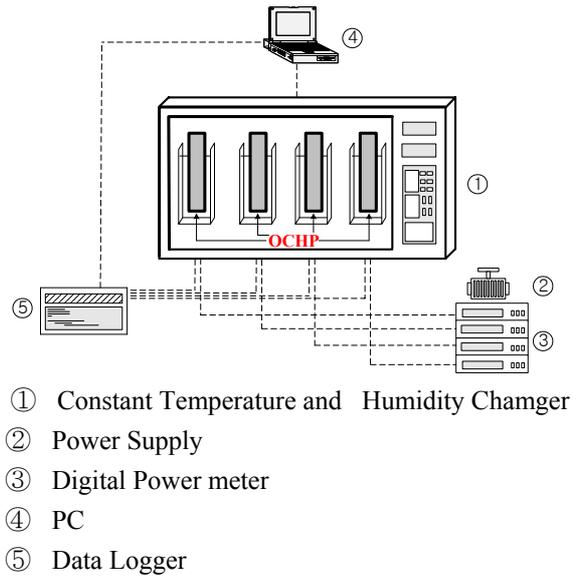


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

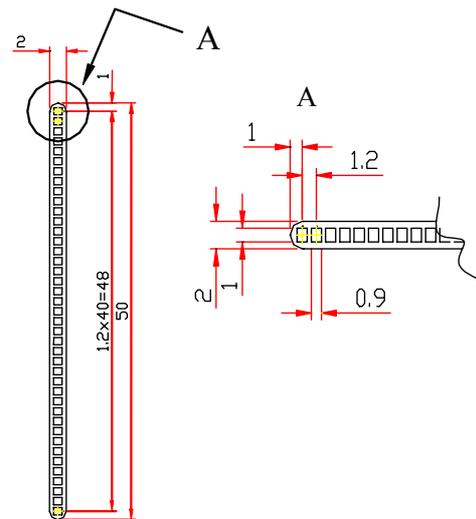


Fig. 3 Cross section of OCHP



Fig. 4 Photograph of experiment apparatus

Table 1. Test conditions

Items	Conditions
Temperature in chamber (°C)	25, 60
Charging ratio	35, 40, 45, 60 (vol.%)
Working fluid	R-141b, R-134a Methanol
Inclination angle(°)	-90°(top) 0°(horizon) 90°(bottom)

작동액의 충전은 냉매 충전 실린더를 사용하여, R141-b, R-134a, Methanol 을 체적비에 대한 35, 40, 45, 60(vol.%)를 채택하여 봉입하였다. 제작된 진동 세관형 히트파이프를 이용한 MCS 는 소형 칼로리메타에 장착 하여 항온 25°C에서 각 앵글에 대한 가열부의 표면 허용 온도 75°C에 이르는 입열량 실험을 수행한 후, 봉입량에 대해 최적의 상태를 나타내는 OCHP 를 채택하여 R-134a 와 Methanol 과 비교 실험을 수행하였다

3.2 작동유체의 선정

작동유체의 선정은 히트파이프에서 안정적인 작동을 위한 필수적인 사항으로써, 이는 주로 작동유체의 열역학적 특성에 의해 결정된다. 히트파이프의 작동유체에 대한 평가지수는 각각 식(1), (2)와 같으며, 이 값은 특정 작동 온도에서 다양한 작동유체의 유효성을 평가한다. 작동유체의 선정은 작동유체 평가지수를 고려하여 선정하였다.

$$M_h = \frac{\rho_l \sigma h_{lg}}{\mu_l} \tag{1}$$

$$M_t = \left(\frac{(k_l)^3 (\rho_l)^2 h_{lg}}{\mu_l} \right)^{\frac{1}{4}} \tag{2}$$

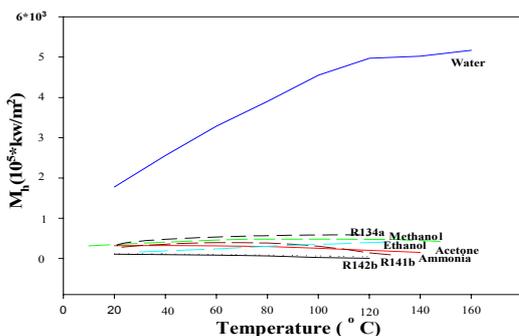


Fig. 5 Merit Number of working fluids for heat pipe

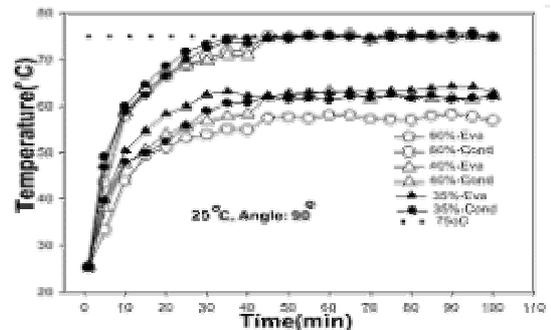
3.3 실험 방법

OCHP 을 이용한 MCS 는 가열부에 설치된 히터를 가변 조절하여 가열부 최대 표면 허용 온도를 75°C로 제어하였으며, 시험부의 가열부, 단열부, 응축부 및 히터의 표면온도에 각각 12 개의 T 형 열전대(ψ0.2, 오차 ±0.2%)를 OCHP 의 표면에 설치. 측정하여, 그 평균값을 데이터 처리에 이용하였다. 또한 외기 측정을 위하여 챔버 내부에 T 형의 열전대를 설치하였으며 각각의 측정된 온도는 Yokogawa 사의 DR230 Hybrid recorder 를 통해 PC 에서 처리되도록 하였다.

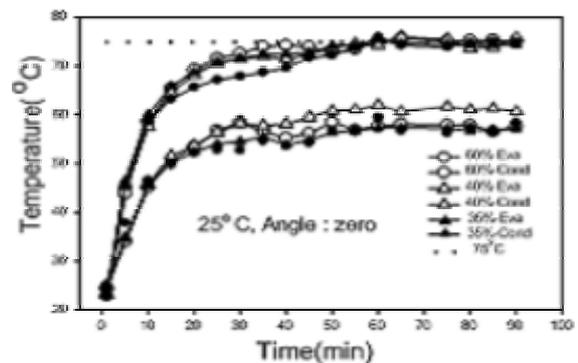
4. 실험결과 및 고찰

4.1 냉매의 차질량 및 경사각에 따른 방열 특성

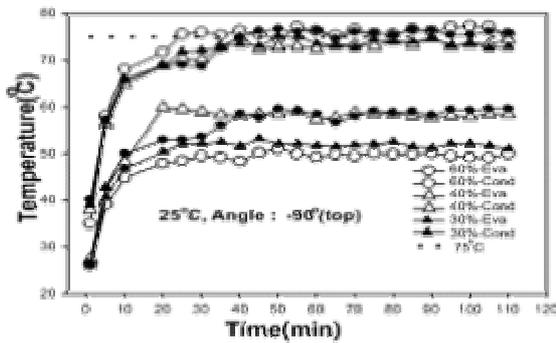
항온 25, 60°C에서 각 경사각에 대한 진동 세관형 히트파이프를 이용한 MCS 의 냉매 충전량에 대한 방열 성능을 알아보기 위해 히터를 가열부 최대 허용표면 온도인 75°C로 일정하게 도달. 유지되는 상태까지의 입열량 변화를 fig. 6 에 나타내었다.



(a)Angle: 90°(bottom)



(b)Angle: 0°(horizon)



(c)Angle: -90°(top)

Fig. 6 Temperature profile of condensing and evaporating parts (R-141b)

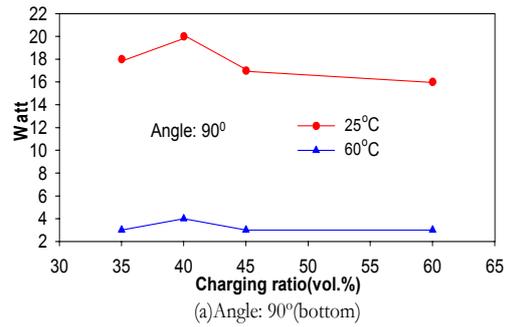
Table. 2 는 각 실험조건에 대한 실험값을 정리하였다. 실험을 통해 R-141, 40(Vol.%)일때 각 경사각에 대한 방열성능이 우수하게 나타났다. 냉매의 차징량에 따른 방열 성능은 내부 봉입량이 40% 인경우가 다른 경우보다 동일한 조건에서 전체적으로 방열 성능이 15%이상 우수한 것으로 나타났다. fig. 7 은 차징량에 따른 방열 성능을 나타내었다.

Table. 2 Experimental results (R-141b)

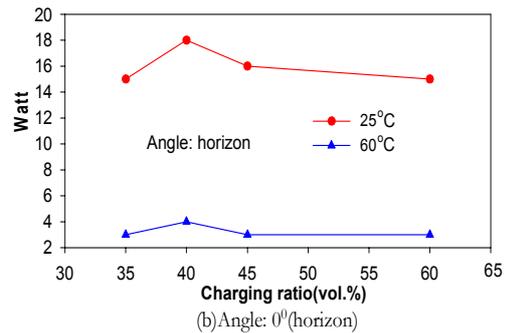
		25°C	60°C
heating mode	charging ratio (vol.%)	heat transfer rate(w)	heat transfer rate(w)
+90° (bottom)	35	18	3
	40	20	4
	45	17	3
	60	16	-
0° (horizontal)	35	15	4
	40	18	3
	45	16	4
	60	15.3	3
-90° (top)	35	12	1
	40	17	1
	45	14	2
	60	12	2

4.2 냉매 종류에 따른 방열 성능

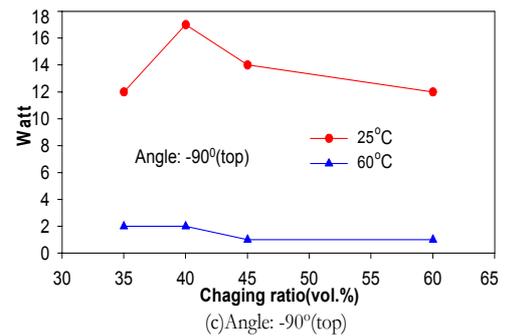
Merit Num.가 클수록 히트하이프의 성능은 우수한 것으로 알려져 있다.



(a)Angle: 90°(bottom)



(b)Angle: 0°(horizon)



(c)Angle: -90°(top)

Fig. 7 Influence of charging ratio on the heat transfer rate (R-141b)

따라서 앞서 실험에서 최적 상태를 보인 R-141b, 40(vol.%)와 R-141b 보다 Merit Num.가 큰 Methanol 과 R-134a 의 동일한 냉매 차징량으로 열 성능의 차를 비교해 보았다. 경사각 90° 에서는 Methanol 과 R-134a 와 비교시 15% 성능이 우수하게 나오나 경사각이 주어지면 압출관의 작동유체의 불안정으로 인해 그 값의 변동이 매우 큰 것으로 나타났다.

Methanol 과 R-134a 는 R-141b 보다 높은 Merit Num.을 가진다. 그러나 실험을 통해서 써모 사이폰의 방식과 동일한 경사각 +90° (bottom) 에서 R-141b 보다 우수한 방열성능을 보이지만, 그 외의 경사각에서는 그 방열 성능이 현저히 떨어지는 경향을 보이고 있다.

4.3 냉매의 열전달 특성

일반적으로, 진동 세관형 히트파이프의 성능 지수로 유효 열전도율을 사용한다. 유효 열전도율이라는 것은 열전달에서 고체의 열전도율 상응하는 물성치이다.

진동 세관형 히트파이프는 내부 작동유체의 현열 및 잠열 수송과 자체 재질을 통한 열전도에 의해 열전달이 일어나지만 열전도에 의한 열전달은 작동유체에 의한 열전달에 비해 아주 미미하다. 따라서 진동 세관형 히트파이프를 통한 열전달을 모두 작동유체에 의해 일어난다고 가정하고 고체에서의 전도도의 개념을 도입한 것이 유효 열전도율이다.

물질의 고유 물성치인 열전도도는 온도에 대한 함수로서 결정되나, 진동 세관형 히트파이프에서의 유효 열전도율은 함수 관계가 훨씬 복잡하다. 즉, 용기의 재질, 작동유체의 종류 및 봉입량, 경사각도, 진공도 등에 따라 달라지게 된다.

유효 열전도율을 계산하는 식은 (3) 다음과 같다.

$$\lambda_{eff} = \frac{l \cdot Q}{A_c \cdot \{T_{eva} - T_{cond}\}} \quad (3)$$

- l : 증발부와 응축부사이의 평균 거리
- Q : 증발부에서 응축부로 방출열량
- A_c : 작동유체가 흐르는 유로 단면적의 합
- $T_{eva} - T_{cond}$: 증발부, 응축부 온도차

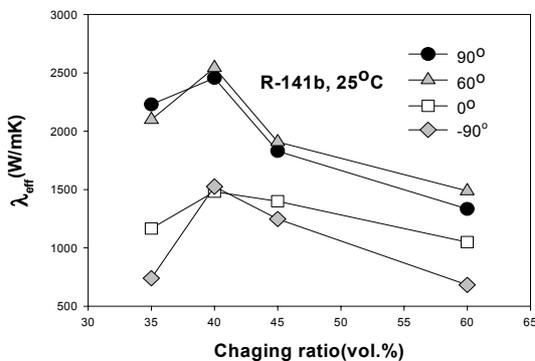


Fig. 8 Influence of charging ratio on effective thermal conductivity

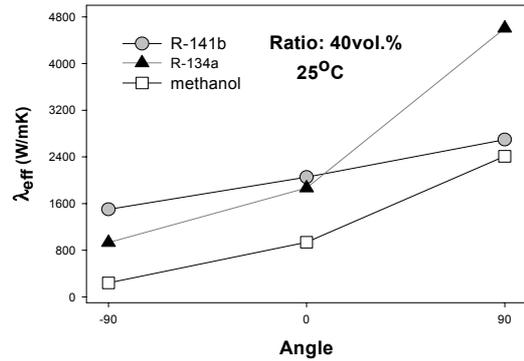


Fig. 9 Influence of Angle on effective thermal conductivity

R-141b 는 봉입량이 40(vol.%)에서 유효 열전도율의 값이 가장 높게 나타났으며, 경사각의 변화를 주었을 경우에도 안정적으로 작동함을 알 수 있다. 경사각과 냉매 종류에 따른 유효 열전달 계수의 변화를 fig. 8, 9에 나타내었다.

5. 결론

진동 세관형 히트 파이프를 이용한 MCS 의 모든 경사각에 따른 열전달 특성에 대한 기초 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 진동 세관형 히트 파이프를 이용한 MCS 는 R-141b, 40%일 때 가열부와 냉각부 사이의 온도차가 11°C로 가장 작게 나타났으며, 이때의 방열성능은 20w로 가장 우수하게 나타났다.
- (2) MCS 는 실험을 통해 항온 25°C에서 모든 경사각에서 원활하게 작동함을 확인할 수 있었다. 그러나, 챔버 내부의 온도가 항온 60°C로 주어졌을 때는 각 경사각에 대해 거의 비슷한 입열량을 가지는 것으로 나타난 것은 챔버내부의 온도가 고온이므로 응축부와 챔버 내부의 온도차가 작아 방열량이 매우 작기 때문이다.
- (3) 동일한 조건에서 MCS 는 경사각 -90° (top)은 경사각 +90° (bottom)보다 증발부 표면온도가 3~4°C 낮게 나타내었으나, 정상 온도까지 도달하는 시간은 유사하다. 그러나 경사각 -90° (top)에서는 입열량의 변동이 심한 것으로 보아 진동 세관형 히트파이프의 진동이 간헐적으로 이루어지는 것으로 생각된다.
- (4) 동일한 조건에서 R-141b, Methanol 과 R-134a 와 비교 실험을 통해 경사각 -90° (top)에서

R-141b 는 90° (bottom)의 70% 방열성능을 가지는 것으로 나타났다.

(5) +90° (bottom)에서는 Methanol 과 R-134a 가 R-141b 보다 우수한 방열 성능을 보이거나 경사각 변화를 줄 경우에는 R-141b, 40%(Vol)가 실험 경사각 범위에서 안정적으로 작동하는 것으로 나타났다.

(6) 이상의 실험에서, 항온 25℃의 경우 써머사이폰의 평가 지수인 Merit Number 값이 R-141b 보다 큰 Methanol 과 R-134a 와 비교 실험을 통해 Merit Num.를 진동 세관형 히트파이프에 적용시킬 경우 성립하지 않는 몇 가지 문제점을 확인할 수 있었다. 따라서, 진동 세관형 히트파이프의 물성치 혹은 채널 수 및포화증기압과의 관계 규명을 통해 진동 세관형 히트파이프에 적용할 수 있는 평가 지수의 연구에 대한 연구가 요구된다.

참고문헌

1. Kang, B. H. Jaluria. y. and Tewari. S. S, 1990, Mixed convection transfer from an .horizontal isolate heat source module on plate J. Heat Transfer, vol. 112, pp653~661.
2. Kim, W. T, Song, K. S. and Lee, Y., 1998, Design of a Two-Phase Loop Thermo syphon for Telecommunication System(Ⅱ),KSME International J, vol.12, pp 942 ~ 955
3. Angrist, S.W., 1970, " Direct Energy Conversion", Allyn and bacon, Inco., 2nd edition, Boston. pp. 15-38
4. Kim, Song, K. S. and Lee, Y. 1998. H .A kachi, 1994 Loop type Capillary Heat Pipe, Proceedings of 71th General Meeting Conference of JSME, Vol .3, pp. 606 ~ 611.
5. Allan D.Kraus and Avran Bar-Cohen, 1983, Thermal Analysis and Control of Electronic Equipment, Hemishere Publishing, pp. 314~317
6. Amir Faghri, 1995, Heat pipe science and technology, Tayor &Francis esign of a Two-Phase Loop Thermo General Meeting Conference of JSME, Vol .3, pp. 606 ~ 611.