

## 진동세관형 히트파이프를 이용한 전자기기 냉각에 대한 연구

하수정† · 김종수\*

(원고접수일 : 2005년 2월 21일, 심사완료일 : 2005년 4월 20일)

### Development of Cooling System for Electronic Devices using Oscillating Capillary Tube Heat Pipe

Soo-Jung Ha† · Jong-Soo Kim\*

**Abstract** : Rapid development of electronic technology requires small size, high density packaging and high power of electronic devices. 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.

**Key words** : Oscillating capillary tube heat pipe (진동 세관형 히트 파이프), Electronic cooling system (전자냉각시스템), Effective thermal conductivity (유효 열전도율)

#### 1. 서 론

열전달에 관심을 가지고 있는 사람들은 작은 온도차를 이용하여 많은 양의 열을 이동시키길 원한다. 최근, 전자 장비 및 통신 기기는 소형화 고밀도화 및 고속화, 플렉시블화, 경량화 요구에 부응하여 전자 산업은 비약적인 발전을 거듭하고 있다. 이로 인한 전자 장비 시스템의 단위 면적당 열 발생율은 급격히 증가하고 있다. 이는 기계의 오작동과 시스템의 불안정 등 낮은 신뢰도를 초래할 수 있다. 따라서 안정적인 작동 온도 범위로 전자 장비의 온도를 유지하기 위한 효과적인 열 제거

메카니즘의 개발은 열전달 분야에서 해결해야 할 중요한 기술적 문제로 대두되었다<sup>(1) (2)</sup>. 또한 국부적으로 매우 높은 열 밀도를 가지는 최신의 전자 장비의 냉각은 기존의 냉각 방식으로는 그 한계에 도달한 상태이다. 따라서 전자 통신 기기의 발전에 병행될 수 있는 방열 요구량의 만족을 위해서는 새로운 방식의 냉각시스템이 요구된다. 이러한 열 제어에 대한 요구 급증에 따라 이를 만족하도록 개발된 다양한 2상 열전달 장치들 중 진동세관형 히트파이프(이하OCHP)는 설계 및 제작의 간편성과 광범위한 작동 온도는 전자 통신 장비의 열 제어 시스템의 요구에 부응할 수 있는 가장 우

† 책임저자(부경대학교 대학원 기계공학부 냉동공조전공), E-mail : h0452@hotmail.com, Tel : (051)620-1502

\* 부경대학교 기계공학부

수한 대체 방법의 하나가 될 수 있을 것이다.<sup>(3) (4)</sup>

본 연구에서는 진동 세관형 히트파이프의 가열부 경사각 변화에 대한 열전달 특성과 그 최적의 냉매 충전량을 알아봄으로써, 현재의 방열성능의 향상 및 설치 공간의 확대를 통해 방열 효율성을 증대시키는데 이 실험의 목적이 있다.

## 2. 진동 세관형 히트파이프의 작동원리 및 종래의 연구

### 2.1 진동 세관형 히트파이프의 원리

균일한 온도 분포, 경량의 심플한 구조 및 가열부와 냉각부 분리 가능, 열수송량의 제어 등의 특징으로 대형기기의 전자, 통신 장비의 냉각 및 폐열 회수 등에 광범위하게 사용되고 있는 OCHP<sup>(5)</sup>는 워(wick)없이 작동유체의 증발 및 응축을 연속적으로 행하여 잠열 형태로 열을 수송하는 전열소자이다. 내경 0.1~5mm이하의 긴 세관을 사행구조로 구성하여 내부 작동액의 증발과 응축시의 열 수송과 작동액의 진동에 의한 현열 수송이 동시에 이루어져서 열을 빠르게 전달하게 된다. OCHP는 진공된 용기 내부에 작동액을 봉입시, 중력에 의해 용기의 하부에 고이게 되는 작동액이, 증발부에 가열원이 주어질 경우 작동액은 비등에 의한 연속적인 증기포의 발생, 성장을 통해 빠른 속도로 응축부쪽으로 이동하는 현상이 반복에 의해 열전달이 이루어지는 것이다.

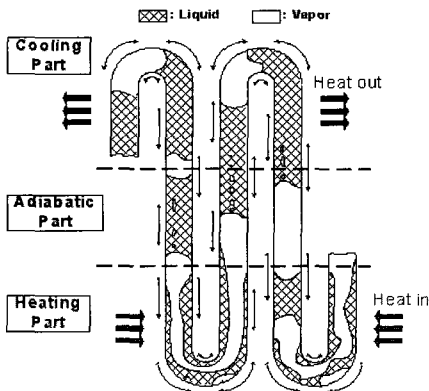


Fig. 1 Basic concept of OCHP

이때에는 Fig. 1에 보이는 것과 같이 액 슬러그와 증기 플러그가 진동하면서 세관내부에 불규칙적으로 배열됨으로써 잠열 형태로 열을 수송하게 된다.

### 2.2 종래의 연구

1984년 Cotter<sup>(6)</sup>에 의해 0.1~2mm미만의 미소 직경을 갖는 전자기기 냉각을 위한 기술이 제안된 이후 많은 연구자들이 실험 파라미터를 다양하게 변화시켜가면서 연구하고 있다. 이를 통해서 다양한 형상들이 개발되었으며, 1mm×2mm의 4각 단면에 길이 60mm의 히트파이프를 사용하여 최대 5 W/m<sup>2</sup> 열 전달율을 얻은 것으로 보고되었다. 그러나 상변화에 관련된 물리적 현상의 복잡성과 제작 공정시 까다로움 등으로 인해 아직까지 상용화 단계에 도달하지 못하고 있다. 따라서, 히트파이프를 통신 분야에 응용하기 위해서는 지속적으로 연구가 이루어지고 신뢰성 있는 히트파이프의 제작 기술, 작동 시험 성능 해석에 관한 기초 기술의 확보, 열전달 성능을 개선할 수 있는 형상의 개발 등 보다 많은 연구가 필요하다.

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 실험장치

본 연구에서는 OCHP를 이용한 전자기기 냉각시스템의 냉매 충전량과 가열부 경사각에 따른 방열 특성을 알아보았다. Fig. 2은 본 실험에 사용된 장치의 개략도이다.

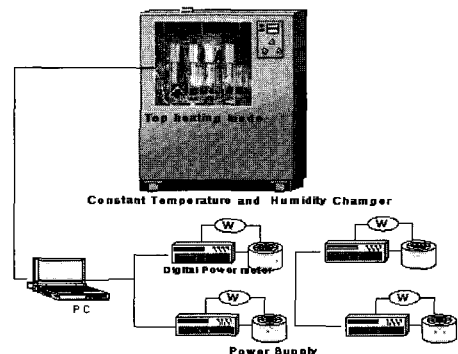


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

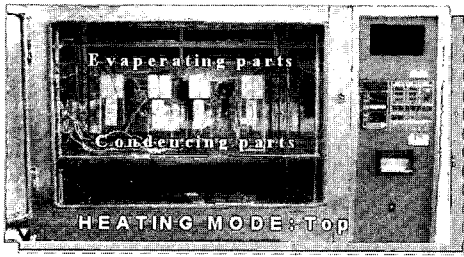


Fig. 3 Photograph of experimental apparatus with inclination angel of 90°.

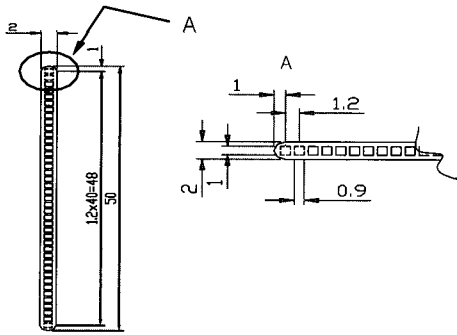


Fig. 4 Cross section of OCHP

Table 1 Experimental 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)

실험장치는 크게, 외기의 온습도를 일정하게 유지시켜주는 항온항습기, OCHP 및 데이터 처리 시스템으로 구성되어 있다. 가열부 온도를 일정하게 제어하기 위해 판형 히터(50×100mm)를 설치하였다. 항온항습기 내에 경사각 제어를 위해 지그를 제작하여 히트파이프를 장착하였으며, 히트파이프의 가열부는 100mm의 단열재로 마감하였다. 실험에 사용된 OCHP는 W50× L300의 내경 0.9×1mm, 40턴의 알루미늄 압출관을 사용하였다. 실험에 사용된 OCHP를 경사각 -90° (top heating mode)장착한 것을 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 4는 실험에 사용한 압출관의 단면도이다. OCHP는 작동유체를 충전하기에 앞서, 내부를 로터리 펌프와 디퓨저 펌프로 이루어진 고진공 시스템으로  $5.0 \times 10^{-6}$  torr까지 진공하여 2시간 유지하였다. 냉매 충전실린더를 사용하여 R-141b, R-134a, Methanol을 체적비에 대한 35, 40, 45, 60(vol.%)를 작동액으로 충전하였다. 제작된 OCHP를 이용한 전자냉각시스템은 항온항습기에 장착하여 항온 25°C에서 각 경사각에 대한 가열부의 허용 표면 온도 75°C에 이르는 입열량에 대한 실험 후, 봉입량에 대한 최적의 상태를 나타내는 OCHP를 선정하여 R-134a와 Methanol과 방열 성능 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)이며, 이 값은 특정 작동 온도에서 다양한 작동유체의 유효성을 평가한다. 작동유체의 선정은 작동유체 평가지수(Fig.5)를 고려하여 선정하였다.

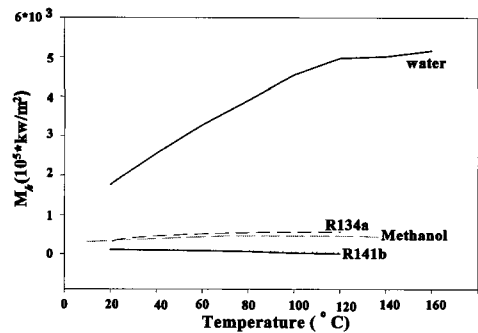


Fig. 5 Merit number of working fluids

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

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

3.3 실험 방법

OCHP을 이용한 전자기기냉각시스템은 가열부에 설치된 히터의 가변조절을 통하여 가열부 최대허용표면온도를 75(°C)로 제어하였으며, 시험부의 가열부, 단열부, 응축부, 히터 표면온도와 외기 측정을 위하여 챔버 내부에 15개의 T형 열전대(±0.2, 오차±0.2%)를 OCHP의 표면에 설치·측정하여, 측정된 온도는 Yokogawa사의 DR230 Hybrid recorder를 통해 PC에서 처리되도록 하였다. 그 평균값을 데이터 처리에 이용하였다.

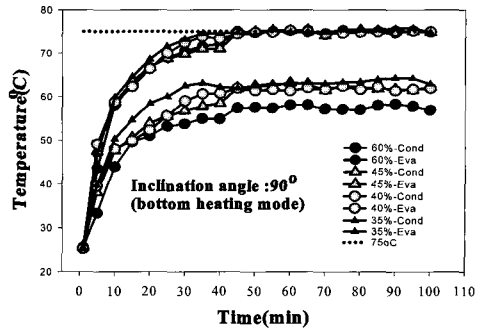
4. 실험결과 및 고찰

4.1 냉매의 방열 특성

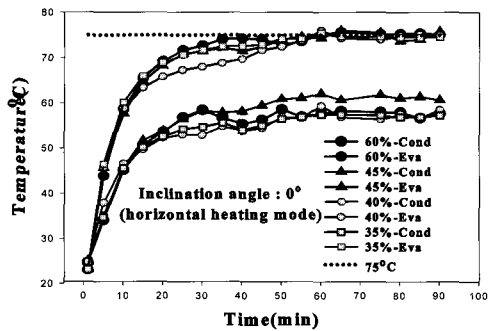
항온 25와 60°C에서 각 경사각에 대한 OCHP를 이용한 전자기기냉각시스템의 냉매 충전량에 대한 방열 성능을 알아보기 위해 히터를 가열부 최대 허용표면 온도 75°C로 일정하게 도달·유지되는 상태까지의 입열량 변화를 Fig. 6에 나타내었다. Table 2는 각 실험조건에 대한 실험값을 정리한 것이다. 경사각 변화를 통해 R-141b, 40(Vol.%)일 때 방열 성능이 가장 우수함을 알 수 있었다. Fig. 7은 R-141b의 항온 25와 60°C에서 냉매 충전량의 각 경사각에 대한 방열성능을 나타내었다.

Table 2 Experimental results(R-141b)

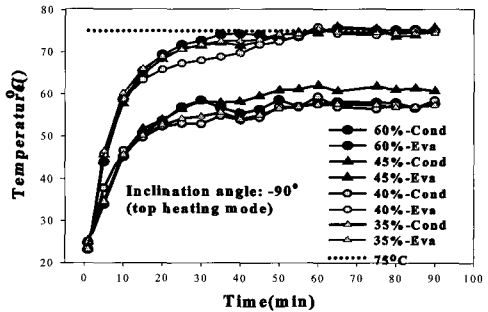
		25°C	60°C
heating mode	charging ratio(vol. %)	heat transfer rate(w)	heat transfer rate(w)
+90° (bottom)	35	18	3
	40	20	4
	45	17	3
	60	16	-
0° (horizontal)	35	15	4
	40	18	3
	45	16	4
	60	15.3	3
-90° (top)	35	12	1
	40	17	1
	45	14	2
	60	12	2



(a) Inclination angle of +90°



(b) Inclination angle of 0°

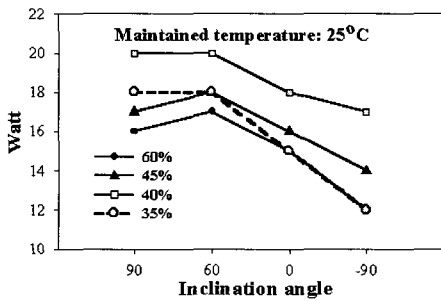


(c) Inclination angle of -90°

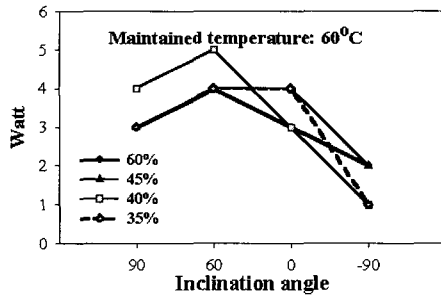
Fig. 6 Temperature profile of condensing and evaporating parts(R-141b, maintained ΔT:25°C)

Merit 수가 클수록 OCHP의 성능은 우수한 것으로 보고되어 있다. Methanol과 R-134a는 R-141b보다 높은 Merit 수를 가진다. 앞서 수행된 실험에서 최적의 상태를 보인 R-141b, 40(vol.%)와 Methanol, R-134a의 방열 성능의 차를 비교해 보았다. Methanol, R-134a를 R-141b와 동일한 방법으로 40(vol.%)로 냉매를

충전하여 항온 25°C에서 실험을 수행하였다. 써모 사이폰의 방식과 동일한 경사각 +90°(bottom heating mode)에서는 Methanol과 R-134a가 R-141b와 비교 시 15% 방열성능이 우수하게 나타났다. 그러나 경사각 변화 시는 그 방열 성능이 현저히 떨어지는 경향을 보이고 있다. 특히, Methanol 경우에는 -90°(top heating mode)에서는 거의 작동을 하지 않는 것으로 나타났다. 이는 작동유체의 불안정한 유동양식에 의해 그 값의 변동이 매우 큰 것으로 보아진다.



(a) Maintained temperature of 25°C



(b) Maintained temperature of 60°C

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

4.2 냉매의 열전달 특성

일반적으로 히트파이프의 성능을 나타내는 지수로 유효 열전도율을 사용한다. 유효열전도율은 열전달에서 고체의 열전도율에 상응하는 물성치이다. OCHP는 내부 작동유체의 현열 및 잠열 수송과 자체 재질을 통한 열전도에 의해 열전달이 일어나지만 열전도에 의한 열전달은 작동유체에 의한 열전달에 비해 아주 미미하다. 따라서 OCHP

를 통한 열전달은 모두 작동 유체에 의해 일어나는 것으로 가정하고 고체의 전도율의 개념을 도입한 것이 유효 열전도율이다. 물질의 고유 물성치인 열전도율은 온도에 대한 함수로서 결정되지만 OCHP에서의 유효 열전도율은 함수 관계가 훨씬 복잡하다. 즉, 용기의 재질, 작동유체의 종류 및 봉입량, 경사각도, 진공도 등에 따라 달라지게 된다. R-141b의 경우 봉입량이 40(vol.%)에서 유효 열전도율의 값이 가장 높게 나타났으며, 그 값은 동물의 열전도도인 400 W/cm<sup>2</sup>의 약 60배로 나타났다. 유효 열전도율을 계산하는 식(3)과 같다.

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

*l* : 증발부와 응축부사이의 평균 거리

*Q* : 증발부에서 응축부로 전달되는 열량

*A<sub>c</sub>* : 작동유체가 흐르는 유로 단면적의 합

*T<sub>eva</sub> - T<sub>cond</sub>* : 증발부, 응축부 온도차

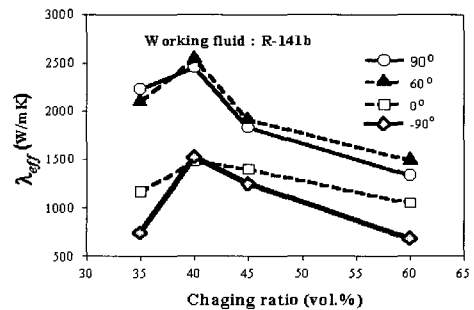


Fig. 8 Influence of charging ratio on thermal conductivity(R-141b)

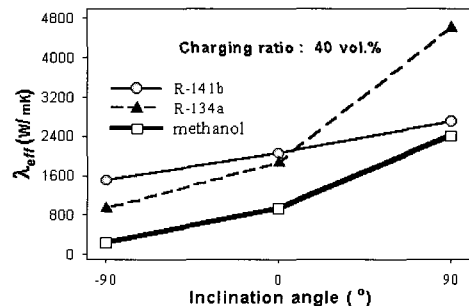


Fig. 9 Influence of inclination angle on effective conductivity

Fig. 8와 Fig. 9는 충전냉매 R-141b일 때 각 충전율에 대한 유효열전도율과 각 냉매종류에 따른 유효열전도율을 나타낸 것이다.

## 5. 결 론

OCHP를 이용한 전자기기 냉각시스템의 경사각에 따른 열전달 특성에 대한 기초 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) R-141b, 40%일 때, OCHP를 이용한 전자 기기냉각 시스템은 가열부와 냉각부의 온도차 11℃로 가장 작게 나타났으며, 이 때 방열성능은 20W로 가장 우수하게 나타났다.

(2) 실험을 통해 항온 25℃에서 OCHP는 모든 경사각에서 원활하게 작동함을 확인할 수 있었다.

그러나, 챔버 내부의 온도가 항온 60℃시 실험 조건에 대해 비슷한 입열량을 가지는 것으로 나타났다. 이것은 응축부와 챔버 내부의 온도차가 작아 ( $\Delta T=15^\circ\text{C}$ ) 방열량이 매우 작았기 때문으로 보아진다.

(3) 동일한 조건에서 경사각  $-90^\circ$ (top heating mode)은 경사각  $+90^\circ$ (bottom heating mode)보다 표면온도가 3~4℃로 낮게 나타내었으며, 정상 온도까지 도달하는 시간은 유사하다. 그러나 경사각  $-90^\circ$ 에서 입열량의 변동이 심한 것은 OCHP의 진동이 간헐적으로 이루어지는 것으로 보아진다.

(4) 최적의 방열성능을 가지는 R-141b, 40%(Vol.)는 경사각  $-90^\circ$ (top)에서 R-141b는  $90^\circ$ (bottom)의 80% 방열성능을 가지는 것으로 나타났다.

(5)  $+90^\circ$ (bottom)에서는 Methanol과 R-134a가 R-141b보다 우수한 방열 성능을 보이거나 경사각 변화시 R-141b, 40%(Vol.)가 실험 범위 내에서 안정적으로 작동하는 것으로 나타났다.

(6) 이상의 실험에서, 항온 25℃의 경우 써머사 이폰의 평가 지수인 Merit Number 값이 R-141b 보다 큰 Methanol과 R-134a와 비교 실험을 통해 Merit Num.를 OCHP에 적용시킬

경우 성립하지 않는 몇 가지 문제점을 확인할 수 있었다. 따라서, OCHP의 물성치 혹은 채널 수 및 포화증기압과의 관계 규명을 통해 OCHP에 적용할 수 있는 평가 지수의 연구에 대한 연구가 요구된다.

## 6. 후 기

본 논문은 부경대학교 발전기금으로 수행하였습니다.

## 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] Y., 1997, Design and application of the heat pipe, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, vol. 26, No. 1, pp. 3-45.
- [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] 이옥현, 이종현, 김중수, 1998, 알루미늄 평판압출관형 히트파이프의 열전달 특성, 공기조화 냉동공학회 '98하계학술 발표회 논문집, pp. 348-352
- [6] Allan D. Kraus and Avran Bar-Cohen, 1983, *Thermal Analysis and Control of Electronic Equipment*, Hemishere Publishing, pp. 314-317

## 저 자 소 개



**김종수 (金鍾秀)**

1955년 3월생, 1977년 부산 수산대학교 식품공학과 졸업(학사), 1982년 동대학교 냉동공학과 석사 졸업, 1989년 와세다 대학교 졸업(박사), 부경대학교 기계공학부 교수



**하수정 (河水晶)**

1974년 3생, 2001년 부산 부경대학교 졸업(학사), 2003년 부경대학교 냉동공학과 석사졸, 부경대학교 기계공학부 대학원