설비공학 논문집 제 12 권 제 3 호(2000)/pp. 227~234

편조형 윅을 갖는 소형 히트파이프의 냉각특성에 관한 연구

문 석 환†, 김 광 수, 최 춘 기

한국전자통신연구원 실장기술팀

A Study on Cooling Characteristics of Miniature Heat Pipes with Woven-Wired Wick

S. H. Moon†, K. S. Kim, C. G. Choi

Electronic Packaging Technology Team, ETRI, 161 Kajong-Dong, Yusong-Gu, Taejon, 305-350, Korea

(Received July 22, 1999; revision received December 3, 1999)

ABSTRACT: An experimental study was performed for understanding the limiting power and heat transfer characteristics of an MHP having the diameter of 3 or 4 mm which could be applied to cooling of miniature electronic equipment such as the notebook PC CPU etc. The experimental parameters which are inclination, structure of the wick, the length of the condenser and the total heat pipe were considered. The MHP with a woven-wired wick has the advantages of the improvement in capillary limit, the effective attachment tightly toward wall and the convenience in construction of wick. Cooling performance of the present MHP was compared with that of MHP with grooved, fine fiber and sintered type wick which were applied by existing enterprises. With respect to the inclination of -5°, an MHP having the diameter of 3 or 4 mm shows the limiting power of 6~14 W. Therefore, it is expected that the MHP of the present study has sufficient applicability of cooling of notebook PC of which the amount of heat generated is about 12 W.

Key words: Miniature heat Pipe(소형 히트파이프), Woven-wired wick(편조형 윅), Electronic packaging technology(전자실장기술), Heat sink(히트싱크)

1. 서 론

최근 직경 3~4 mm의 Miniature Heat Pipe(이하 MHP)를 노트북 PC의 CPU 냉각에 적용하게 되면서 이 분야에 대한 연구가 미국과 일본의 히트파이프 전문업체를 중심으로 활발히 수행되고 있다.[1][2] 전자통신분야에서도 고속/고밀도 전자실장(electronic packaging)에 따른 고발열 ASIC 냉각과 옥외용 소형함체 냉각을 위해 MHP가 적용되면서 그 활용분야가 점차 넓어지고 있다. 노트북 PC에서 펜티엄 CPU를 채용하기 전에는 CPU(발열량 약 6 W)에 히트싱크를 부착하고 소형 팬을 이용하여 강제대류방식으로 냉각하였다. 펜티엄급 이후부터 초기에는 1개의 직경 3 mm 또는 4 mm 히트파이프의 증발부를 CPU 상단에 설치하고, 노트북 PC 본체내의 여유 공간에서 알루미늄 판에 응축부를 부착하여 냉각시키는 방법을 취하였다. 그러나 최근 노트북 PC의 CPU에서의 발열량이 12 W 이상으로 증가하면서 MHP를 2개씩 사용하고 응축부에는 초소형 팬을 부착하는 방식을 대부분 취하고 있다. 히트파이프를 노트북 PC에 적용할 때 가장 중요한 요소는 매

† Corresponding author
Tel.: +82-42-860-6087; fax: +82-42-860-5804
E-mail address: shmoon@mecha-04.etri.re.kr

우 제한된 크기를 갖는 노트북 PC 본체 내에 히트파이프의 응축부를 배치하기 위한 여유 공간을 확보하는 것이다. 일부 히트파이프 회사와 노트북 PC 제조회사에서는 2개의 히트파이프, 즉 CPU에서부터 노트북 힌지까지의 1차 히트파이프와 힌지에서 LCD 패널 뒷면까지의 2차 히트파이프를, thermal 힌지로 연결하여 CPU의 열을 제거하고 있다.[3]

MHP는 작동한계, 액봉쇄(liquid blocking), 길이에 의한 영향 등에서 극소형 히트파이프(Micro Heat Pipe)나 일반적인 중소형 히트파이프와는 다소 다른 물리적 거동특성을 나타낸다. 즉, 약 1mm 이하의 극소히트파이프에서는 응축부끝단에 응축 액체가 누적되어 열전달이 이루어지지 못하는 액봉쇄 현상이 발생하는 반면, MHP에서는 응축부에 과다한 냉각을 가할 경우, 증기온도의 감소로 최대 전열량이 감소하는 현상이 발생하고 있다. 또 히트파이프 전체 길이에 따른 영향이 크게 나타나며, 히트파이프의 작동한계 중 모세한계(capillary limit)에 의해 영향을 주로 받는다.[4][5][6]

본 연구에서는 노트북 PC CPU의 냉각, 고발열 ASIC 냉각, 휴대형 전자장비 냉각 등을 위한 직경 3, 4 mm의 MHP를 제작하여 각 설계요소에 따른 냉각특성을 구하였다. 본 연구에 사용된 윅(wick)은 편조형(woven-wired type)으로 기존의 업체에서 적용하고 있는 grooved, fine fiber, sintered type 등과 냉각성능을 비교하였다.

Fig. 1에 편조형 윅의 개략도를 나타내었다. 0.08mm 동선의 4가닥 또는 8가닥이 각각 16타, 24타씩 편조형으로 짜여져 히트파이프 내부에 삽입된다. 실험에 사용된 설계변수로는 파이프 직경, 히트파이프길이, 작동유체 양, 기울기, 윅의 조밀도, 응축부길이 등이며, 이에 따른 히트파이프의 최대 수송가능 열량인 열전달한계(limiting power)와 그 이하의 안정된 영역의 전열량에 따른 열전달 특성을 구하였다. 단일 히트파이프에 의한 냉각성능을 구한 후, 노트북 PC에 실장하기 위해 히트파이프를 납작하게 압착하거나 구부렸을 때, 냉각성능 변화를 구하기 위한 추가적 실험을 수행할 예정이다.

2. 성능시험

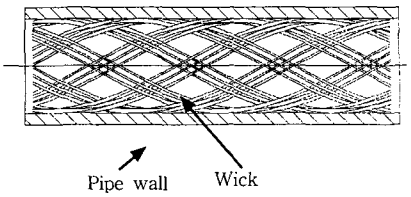

Fig. 1 Construction of woven-wired wick.

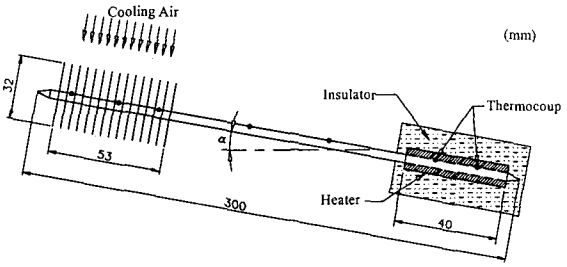

Fig. 2 Configuration of the tested MHP.

2.1 실험장치

직경 3, 4 mm MHP의 열전달특성 및 열전달 한계를 파악하기 위한 성능 실험장치는 크게 MHP, 지지대, 자료획득장치의 3부분으로 나누어지며, 다시 MHP는 증발부, 단열부 그리고 응축부의 3부분으로 구성되어진다. Fig. 2는 이러한 전체 실험장치를 간략하게 도시한 것이다.

MHP에 가해진 열량은 직류전원공급장치(Model:HPS60100, HP Co.)를 이용하여 전기적인 방법에 의해 이루어진다. 이를 위해 직경 0.36 mm(10Ω/m)의 니켈-크롬열선을 1.5 mm의 일정 간격으로 증발부벽면 주위에 감았으며, 열선은 절연을 위한 피복으로 감싸져 있다. 이어 열선주위를 유리섬유의 단열재를 이용하여 여러겹으로 감싸므로써 외부 대기로의 열손실을 최소화하고자 하였다.

MHP는 지지대에 고정시키기 위하여 나이론재질의 단열재로 고정대를 만들어 그 내부에 단열부가 삽입되도록 하였으며, 그 지지대와 고정대를 결합시켜 시험장치를 구성토록 하였다.

응축부에는 냉각을 위해 휜(53×53×32 mm)을 설치하고, 휜 주위에 아크릴재질로 덕트를 만들어 팬(DC 24 V, Sanyo Co.)을 이용한 강제공냉

이 수행될 수 있도록 하였다. 응축부벽면과 냉각휜 사이에는 접촉 열저항을 최소화하기 위하여 thermal grease(Thermalcote, 0.74 W/m℃, Thermalloy Inc.)를 충진하였다. MHP를 지지하고, 기울기 등의 조건변화를 위해 아크릴재질로 지지대를 제작하였으며, 기울기를 자유스럽게 변화시킬 수 있도록 구성하였다.

벽면 및 대기온도의 측정을 위해 K type(Φ 0.08 mm)의 열전대를 이용하였으며, MHP의 벽면에 각각 증발부에 2점, 단열부에 2점, 응축부에 3점을 설치하였다. 벽면에의 열전대 설치는 납땜에 의한 용접방법을 이용하였다. 온도는 데이터처리 시스템(8ch, 21X Micro Logger, Campbell Scientific Inc.)을 이용하여 계측하였다.

2.2 실험방법

MHP의 성능시험을 수행하기 위한 제반적인 실험조건들을 표 1에 나타내었다.

직경 3, 4 mm를 갖는 MHP의 길이는 직경에 대해 충분히 긴 300 mm와 절반으로 길이를 줄인 150 mm의 2가지를 고려하였다. 이때 타사 제품과의 성능비교에서는 MHP 전체길이가 250~300 mm 인 경우에 대해서만 이루어졌다. 응축부의 길이는 53 mm와 2배로 늘린 10 mm의 두가지로 변화시켰다. 작동유체는 30~150℃의 작동온도범위에 대해 액체의 표면장력과 잠열이 비교적 큰 물을 이용하였으며, 충전량은 직경 3, 4 mm에 대하여 최적의 충전량 파악을 위한 예비실험을 통해 얻어진 0.37 cc와 0.69 cc를 각각 충전하였다. 경사각에 따른 영향을 살펴보고자 기울기는 -5° ~ +5° 범위내에서 변화시켰다.

증발부에 공급하는 열량은 전기적인 방법으로

Table 1 Experimental Parameters

Parameters	Condition
Length of total Length of evaporator Length of condenser	150, 300mm 40mm 53, 106mm
Working fluid Charging ratio Inclination angle	Water 0.37cc(Φ3mm), 0.69cc(Φ4mm) -5° ~ +5°

최초 2 W에서부터 2 W씩 단계적으로 증가시켰으며, 증발부 끝단에서 dryout이 발생하는 시점까지 증가시켰다. 이후 dryout으로 인한 급격한 증발부 벽면온도의 상승이 이루어질 때 실험을 종료하였다.

각 공급열량의 단계에서 MHP 벽면온도의 기록은 벽면온도가 열량의 공급에 따라 증가하기 시작한 후 정상상태에 도달하였을 때에 이루어졌으며, 정상상태까지는 보통 20~30분 가량이 소요된다. 이후 온도를 측정한 뒤 열부하를 다음 높은 단계로 증가시켜 나갔다. 이때 새로운 열부하는 MHP의 전체온도가 등온을 유지할 때까지 충분히 냉각시킨 후에 공급하였다. 데이터처리 단계에서 증발부, 단열부, 응축부의 온도값은 각부의 여러 온도점들의 평균값을 취하였다.

한편, 기울기에 따른 영향 및 응축부의 냉각팬에 의한 공기유속 변화의 영향을 파악하기 위한 성능시험에서는 각각의 기울기 및 냉각 공기유속을 고정시킨 상태에서 열량을 위와 동일한 방법에 의해 2 W에서부터 2 W씩 단계적으로 증가시켜 가며 실험을 수행하였다.

본 연구에서 MHP의 성능을 평가하기 위한 방법 중의 하나로 열저항을 고려하였으며, 열저항, R(℃/W)은 다음 식 (1)로 정의된다.

$$R=\frac{T_e-T_{air}}{Q} \tag{1}$$

여기서 T_e는 MHP의 증발부 벽면온도이며, T_{air}는 대기온도, 그리고 Q는 증발부에 가해진 열부하(W)이다.

또한 총합열전달계수(Overall heat transfer coefficient), U_t는 식 (2)로부터 얻을 수 있다.

$$U_t=\frac{Q}{A_e(T_e-T_{air})} \tag{2}$$

여기서 A_e는 MHP의 증발부 표면적이다.

본 연구결과는 열량공급에서의 오차율(±0.05 V for voltage, ±0.01 A for current)과 온도계측상의 오차율(±0.1 ℃)을 포함할 수 있다.

3. 성능시험 결과

3.1 열전달 특성

본 연구대상의 MHP는 내부에 편조형 윅을 가지고 있으며, 기존 윅과는 형상 및 특성에서 구분된다. 즉, MHP에서의 모세한계를 최대한 향상시키기 위해서는 기공크기(Pore radius)와 침투성(Permeability)을 고려한 내부 윅의 설계가 요구된다. 그러한 의미에서 본 연구에서는 이를 극대화시키고자 편조형의 윅을 설계 및 제작하였으며, 윅외에 부가적인 장비의 설치없이 윅을 벽면에 효과적으로 밀착시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

Fig. 3은 직경 4 mm에 대해 강제공냉(V_{air}=1 m/s) 조건하에서 열부하를 변화시켜가며 성능시험을 수행한 결과이다. 증발부와 응축부의 온도차는 약 3~8 ℃의 값을 보이고 있으며, 열부하 24 W에서는 증발부끝단의 온도가 인접한 증발부 상단의 온도보다 크게 증가하는 dryout현상을 나타내고 있다.

Fig. 4는 dryout이 발생하지 않는 안정된 작동영역 구간내에서 응축부에서의 냉각공기 유속에 따른 열저항의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 냉각공기유속의 증가에 따라 응축열전달률이 증대되어 열저항이 감소하고 있는 것을 볼 수 있으며, 이는 이미 알고 있는 사실로써 본 연구결과에서도 직경 3 mm MHP보다 직경4 mm MHP에서 더 낮게 나타나고 있다.

자연공냉에서 강제공냉으로 천이하는 구간에서 열저항이 크게 감소하고 있으며, 그러나 1m/s이상의 강제공냉 구간에서는 공기유량에 따른 열저항이 크게 변화하지 않는 것으로 나타나고 있다. 따라서 공기유속 증가를 위해 팬의 속도를 증가시킬 경우, 소음, 진동, 전력소모 등의 문제가 야기될 것을 감안할 때 적용대상의 MHP에 대한 최적의 냉각공기 유속범위가 설정될 필요가 있다.

한편, 3, 4 mm의 각 직경크기에서 열부하의 증가에 따라 열저항은 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 이는 열부하의 증가와 더불어 내부 작동온도가 상승한 데 따른 것으로 판단된다. 즉 작동온도의 증가에 따라 증기밀도가 증가되고 따라서 열전달률이 상승하게 된다.

MHP의 열저항은 MHP의 설치 경사각에 영향을 받지 않는 것으로 보고 되고 있으며,[5] 본 실험결과인 Fig. 5에서도 열저항은 경사각에 따라 거의 변화하지 않고 있다. 이는 dryout이 발생하

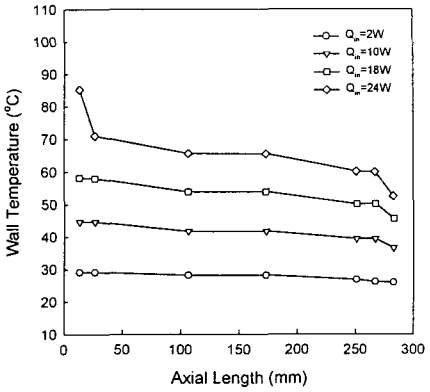

Fig. 3 Wall temperature distributions vs. axial length.

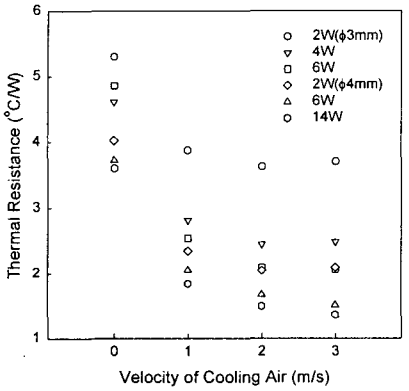

Fig. 4 Thermal resistance vs. velocity of cooling air within the range of dryout not yet.

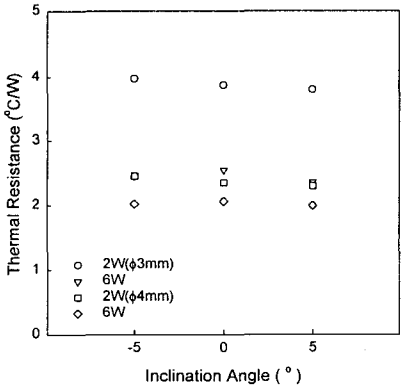

Fig. 5 Effect of inclination angle on thermal resistance within the range of dryout not yet.

지 않는 안정된 작동영역내에서 윅을 통한 작동유체의 모세압력구동이 중력에 의한 유동저항을 충분히 극복하고 있음을 의미한다.본 MHP의 윅 구조에서 직경 3 mm의 MHP는 직경 4 mm의 MHP에 삽입된 8가닥의 윅과 달리 4가닥의 윅이 한 조를 이루어 윅형태를 구성하고 있다. 이때 직경 3 mm에서도 윅의 가닥수를 4가닥 보다 많게 함으로써 윅을 통한 액체유동량의 증가와 증발부, 응축부의 열전달계수가 증가되어 열전달률의 상승을 기대할 수도 있다.

Fig. 6은 직경 3 mm의 MHP에 윅의 소선(wire)수를 4가닥 대신 8가닥으로 늘려 설치한 후 성능시험을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 윅의 소선 가닥 수가 8개인 경우에서 총합열전달계수가 약간 높게 나타나고 있으나, 전체적으로는 큰 차이를 보이지 않고 있다. 소선 가닥수가 8개로 증가됨으로써 증발 및 응축 열전달률 그리고 모세압차에 의한 액체의 구동력 증가를 기대해 볼 수도 있었으나, 열전달률이 크게 증가되지 못한 것은 가닥수가 8개로 늘어남에 따라 내부 vapor core의 직경이 감소된 결과와 작동유체 충전률이 4가닥 소선일 때와 동일하게 하였는 바, 충전량이 다소 부족한 데 따른 것으로 분석된다.

소형 전자부품에의 응용을 목적으로 개발중인 직경 3, 4 mm MHP는 발열부품에의 적용을 고려하여 증발부는 전체길이 300 mm중 40 mm로 고정시켰다. 대신 응축부길이는 실장과정에서 변화될 가능성이 크다고 볼 수 있으며, Fig. 7은 수평방향 설치모드에서 V_{air}=1 m/s로 강제공냉시켰을 때 직경 3, 4 mm MHP의 응축부길이 변화에

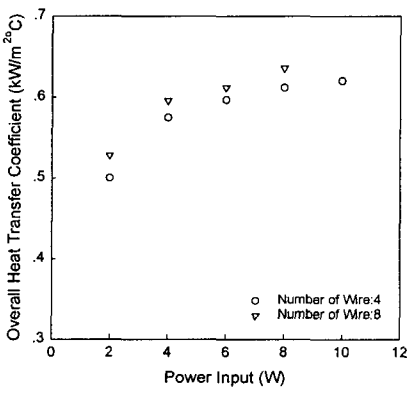

Fig. 6 Effect of number of wire on overall heat transfer coefficient.

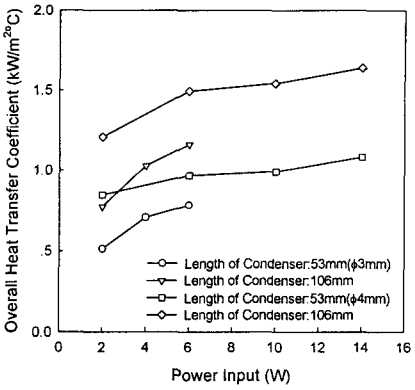

Fig. 7 Effect of length of condenser on overall heat transfer coefficient.

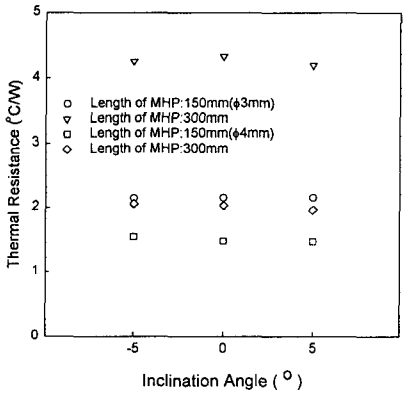

Fig. 8 Thermal resistance vs. inclination angle parametric in length of MHP.

따른 총합열전달계수를 나타낸 것이다.

그림에서 보면, 직경 3 mm, 4 mm MHP에서 응축부길이를 53 m에서 2배인 106 mm로 늘림에 따라 총합열전달계수는 각각 45%와 54%씩 증가하였다. 총합열전달계수의 증가는 응축부의 전열면적 증가로 응축열전달률이 상승한 데 따른 것으로 보인다.

Fig. 8은 dryout발생전의 작동영역내에서의 설치 경사각의 변화에 따른 열저항을 나타낸 것으로 뒤에 설명될 Fig. 8에서의 열전달한계에 대한 경향과는 달리 설치 경사각에 따른 열저항의 변화가 거의 나타나지 않고 있다. 이는 안정된 작동구간 내에서는 직경크기와 MHP길이에 상관없이 내부 윅을 통한 응축액의 증발부로의 귀환이

원활히 잘 이루어지고 있음을 의미한다.

3.2 열전달 한계

Fig. 9는 직경 3, 4 mm MHP에 대해 각각의 응축부 냉각공기 유속변화에 따른 열전달한계를 도시한 것이다. MHP의 설치는 수평방향모드이며, MHP의 길이는 150 mm와 300 mm의 2가지 경우에 대해 고려하였다.

그림에서 열전달한계는 열부하의 증가에 따라 증발부에서 발생하게 되는 dryout시작점을 기준으로 하였다. Dryout은 Peterson(4)이 제시한 기준과 유사하게 증발부 끝단의 벽면온도가 인접한 다른 부위 증발부 온도보다 미소량이나마 증가하는 시점의 열부하 값으로 정하였다. 이때 dryout이 초기 발생한 후 증발부 끝단의 온도가 급격히 증가하기 시작하고, 이어 지속적으로 dryout발생 부위의 벽면온도가 상승하지는 않으며, 열이 벽면을 통해 기화가 일어나는 부위로 전도 열전달이 되어, 곧 정상상태를 유지하게 된다. 이후 공급되는 열부하의 증가에 따라 dryout발생 부위의 범위가 점점 넓어지게 되고, 결국 작동불능 상태에 도달하게 된다.

Fig. 9에서 보면 전체적으로 직경 3mm의 MHP에 비해 직경 4 mm의 MHP가 상대적으로 다소 높은 열전달 한계치를 보이고 있다. 즉, 응축부의 냉각 공기속도가 2 m/s이고, 히트파이프 길이가 300 mm일 때 직경 4 mm MHP는 3 mm MHP보다 약 2.5배, 그리고 히트파이프 길이 150 mm일 때는 약 4.6배 가량 더 큰 값을 나타내었다. 이는 기존 연구들에서 충분히 검토되어져 왔던 내용으로 히트파이프의 열전달 성능한계는 내부 vapor core의 크기에 비례하여 커지는 것에 일치한다.

직경뿐이 아니라, MHP에서는 전체길이 변화도 열전달성능 한계에 영향을 미치고 있다. 그림에서 동일 직경인 경우, 직경 4 mm에서 MHP길이가 300 mm보다 반으로 줄어든 150 mm일 때 열전달한계는 약 3.6배 가량 증가하였고, 직경 3 mm에서는 약 1.9배 가량 증가한 결과를 나타내고 있다. 최대 열전달한계 값으로써 직경 3 mm MHP는 길이 300 mm, 자연공냉인 조건에서 약 11 W를 나타냈으며, 직경 4 mm MHP는 강제공냉, Vair=1 m/s인 조건 하에서 약 22 W를 나타내었다. 반면, MHP길이를 150 mm로 줄이면 직경 3 mm(강제공냉, Vair=1 m/s)인 경우에 최대 열전달한계 값은 약 17.5 W를, 직경 4mm(강제공냉, Vair=2 m/s)인 경우에는 약 64 W로 크게 증가하였다.

Fig. 10은 MHP의 설치 경사각에 따른 열전달 한계를 직경 3, 4 mm와 길이 150, 300 mm에 대해 도시한 것이다. 그림에서 열전달한계는 직경 3mm이고, MHP길이가 150 ~ 300 mm인 경우에 경사각 -5° ~ +5° 의 범위에서 열전달한계는 6 ~ 30 W의 값을 나타내고 있으며, 위와 동일 조건하에서 직경 4 mm인 경우에는 14 ~ 72 W의 매우 높은 열전달한계를 나타내고 있다.

한편, 설치 경사각 -5° ~ +5° 범위내에서

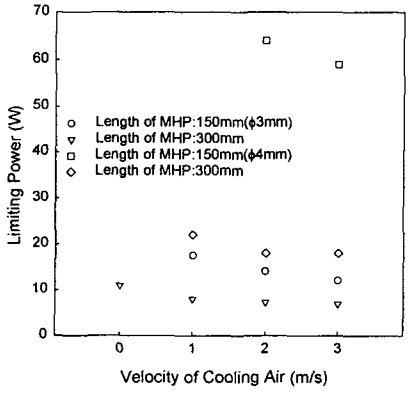

Fig. 9 Limiting power vs. air velocity parametric in length of MHP.

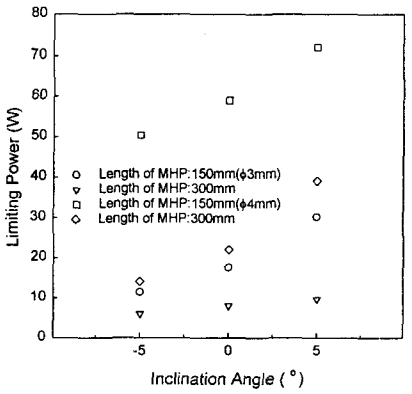

Fig. 10 Limiting power vs. inclination angle parametric in length of MHP.

직경 3, 4 mm의 MHP는 최저 60 %에서 최고 179 %까지 열전달한계 변동폭을 보이고 있다. 이는 증발부가 상단에 위치하는 설치방향에서는 증발부 하단위치 방향과는 달리 수평방향 모드에서와 마찬가지로 순수한 모세압력에 의해서만 응축액이 증발부로 귀환하여야 하며, 더구나 증발부가 상단에 위치하는 경우에는 중력을 극복하고, 이와 반대방향으로 응축액이 이동하여야 하므로 윅을 통한 응축액의 유동은 제한을 받게 되며, 결국 MHP의 모세압한계의 감소를 가져오게 된다.

그러나, 앞선 Fig. 8에서도 언급한 바와 같이 dryout이 발생하지 않는 안정된 작동영역에서는

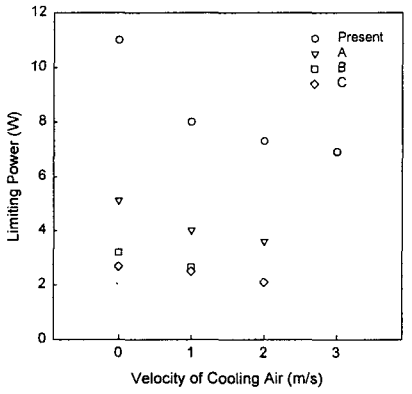

Fig. 11 Comparison of limiting power among the MHPs as a function of air velocity.

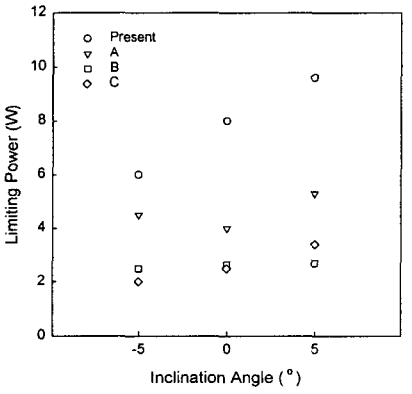

Fig. 12 Comparison of limiting power among the MHPs as a function of inclination.

-5° ~ +5°의 경사각 설치각도에 대해 열전달한계는 거의 영향을 받지 않는다.

Fig. 11과 12는 본 연구대상의 MHP에 대한 최대 열전달한계를 타사 제품의 MHP와 상호 비교한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 MHP는 직경 3 mm, 길이 250~300 mm의 크기를 가지며 응축부의 냉각공기 유속에 따른 변화를 도시하였다. Fig. 11에서 보면 본 연구대상의 MHP는 타사 제품에 비해 약 2~4배 정도의 높은 열전달성능 한계를 나타내고 있다. 예를 들어 자연공냉의 냉각조건인 경우 타사 제품 A, B, C MHP의 열전달한계가 각각 5.1, 3.2, 2.68 W인 반면, 본 연구대상의 MHP는 11 W의 값을 나타내고 있다. 이는 본 연구대상의 MHP에 내장된 윅이 가지는 특성이 모세압한계 개선에 크게 도움이 되는 것으로 파악된다.

한편 Fig. 11에서 냉각공기 유속의 증가에 따라 열전달한계는 감소하는 경향을 나타내고 있는데 이는 응축부에서의 냉각공기 유속증가에 따라 MHP내부 증기온도의 감소를 가져와 증발부에서의 dryout이 빨리 진행되어 열전달한계가 감소하는 것으로 추측된다.

설치 경사각 -5° ~ +5°의 범위에 대해서도 편조형 윅을 갖는 본 연구의 MHP는 타사 제품에 비해 높은 열전달성능 한계를 나타내고 있으며, Fig. 12에서 볼 수 있듯이 -5° 경사각에서는 1.3~4배, +5° 경사각에서는 1.8~2.8배 가량의 향상된 값 차이를 보이고 있다.

4. 결 론

소형 전자부품 냉각에 적용할 목적으로 개발한 편조형 윅을 갖는 직경 3, 4 mm MHP에 대한 성능실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 응축부에서의 냉각을 위한 공기유량의 증가에 따라 열저항은 감소하였으나, V_{air}=1 m/s이상의 강제공냉에서는 열저항에 큰 변화가 발생하지는 않았다. 한편 열부하의 증가에 따라 열저항은 감소하였다.

(2) 직경 3 mm MHP에서 삽입 윅의 소선 가닥수가 각각 4가닥과 8가닥인 경우에 대한 작동성능 비교실험에서 열전달률에 큰 차이가 나타나지 않았다. 한편, 직경 3, 4 mm MHP에서 응축

부길이를 53mm에서 106mm로 2배 늘림에 따라 총합 열전달계수는 각각 45%, 54%씩 증가하였다.

(3) MHP의 전체길이 변화에 따라서 열전달성능에 변화를 가져왔으며, 300 mm보다 길이가 줄어든 150 mm인 경우에 직경 3, 4 mm에서 각각 1.9배, 3.6배 가량 성능이 향상되었다.

(4) 설치 경사각 -5° ~ +5°의 범위에 대해서 직경 3 mm MHP는 6 ~ 30 W의 값을, 직경 4 mm에서는 14~72 W의 비교적 높은 열전달한계를 보이고 있어 노트북PC등의 소형 전자장비 냉각에 적용가능성이 충분한 것으로 생각된다.

(5) 본 연구대상의 MHP는 타사 제품에 비해 약 2~4배 가량 높은 열전달성능을 나타내었으며, 설치경사각 -5°에서 1.3~4배, +5°에서 1.8~2.8배 가량 성능을 나타내었다.

참고문헌

1. Eguchi, K., Mochizuki, M., Mashiko, K., Goto, K., Saito, Y., Nagaki, Y., Takamiya, A., Nguyen, T., 1997, Cooling of CPU Using Micro Heat Pipe, Fujikura Co., Technical Note, Vol. 9, pp. 64-68.
2. Xie, H., Aghazadeh, M., Toth, J., The Use of Heat Pipes in the Cooling of Portables with High Power Packages, Thermacore Co., Technical Note.
3. Mochizuki, M., Mashiko, K., Nguyen, T., Saito, Y., Goto, K., 1997, Cooling CPU Using Hinge Heat Pipe, Heat Pipe Technology, Pergamon, pp. 218-229.
4. Babin, B. R., Peterson, G. P., Wu, D., 1990, Steady-State Modeling and Testing of a Micro Heat Pipe, ASME J. of Heat Transfer, Vol. 112, No. 3, August, pp. 595-601.
5. Zhou. J., Yao, Z., and Zhu, J., 1992, Experimental Investigation of the Application Characters of Micro Heat Pipe, Proc. 8th Int. Heat Pipe Conf., Beijing, China.
6. Kim, C. J., Moon, S. H., Kim, J. O., 1999, Fundamental Study on Performance Characteristics of a Micro Heat Pipe with Triangular Cross Section, Korean J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 176-184.
7. Kurustalev, D., Faghri, A., 1993, Thermal Analysis of a Micro Heat Pipes, Accepted for Publication in The ASME J. of Heat Transfer, ASME HTD, Vol. 236, pp. 19-30.
8. Kim, K. S., Song, K. S., Lee, K. B., 1997, Experimental Study on the Cooling Characteristics of Thermosyphon for the High Power Electronic Components, 10th Int. Heat Pipe Conf. Stuttgart, Germany, Sep. 21-25, E-3.