

전자칩 냉각을 위한 소형 히트 파이프에 대한 실험적 연구

이상민* · 김홍배**(부산대 대학원) · 양장식*** · 이기백(부산대 기계공학부)

The Experimental Study of Miniature Heat Pipes for Cooling Microprocessor Chips

H. B. Kim, S. M. Lee(Graduate School, Pusan National Univ.),

J. S. Yang, K. B. Lee(Pusan National Univ.)

Key Words: Homogeneous Screen mesh(균일 스크린 메쉬), Microprocessor(마이크로 프로세서), Miniature heat pipe(소형 히트 파이프)

Abstract

This paper presents the experimental investigation about miniature heat pipe for notebook PC. The focus of analysis is the operating temperature not to exceed 65°C maximum allowable CPU surface temperature. Copper is used to heat pipe material and brass is wick material, and working fluid is selected to water. This cooling system is heat spreader method using a aluminum plate, since this method is most commonly used. According to the present study, heat for 3 mm heat pipe, 8W, and for 4mm heat pipe, 10W, is found to power dissipation limit respectively. Soon after this investigation, sufficient long term life test should be followed.

1. 서 론

최근 들어 PC에서 시스템 동력 소산이 계속적으로 증가함에 따라 히트 파이프와 같은 고성능의 열교환기가 퍼스널 컴퓨터(personal computer)에 점점 더 많이 사용되고 있다. 노트북 컴퓨터에 처음으로 고성능 히트 파이프의 사용을 도입한 것은 Intel 주식회사가 펜티엄 TCP 패키지를 1994년에 출시했을 때였다. 히트 파이프를 사용하게 된 주된 이유는 이러한 펜티엄 CPU(central processing unit)의 동력 소산과 노트북

의 공간적 무게적인 제한들 때문이었다. 금속판(metal plate) 또는 기존의 열방출(heat sink, 예를 들면, 팬(fan)을 이용한 강제 대류 방식(forced convection), 핀(fin)들을 이용한 자연 대류 방식(natural convection), 핀과 팬을 조합한 강제 대류 방식 등이 있다.)과 비교할 때, 히트 파이프는 탁월한 성능 뿐 아니라, 무게도 훨씬 작고, CPU에서 열이 방출되는 영역을 분산시킬 수 있는 장점이 있다. 오늘날, 노트북과 준노트북(semi-notebook)에 장착된 펜티엄에는 연간 수백만개의 히트 파이프가 장착되는 것으로 추산된다. 퍼스널 컴퓨터에 히트 파이프의 장착이 점점 늘어나는 데는 두 가지 중요한 이유가 있다. 하나는 히트 파이프의 비용이 점점 더 감소한다는 것이다. 두 번째는 늘어난 히트 파이프의 요구량에 따라 히트 파이프를 장착하는데 필요한 비용은 점점 더 감소한다는 것이다. 히트 파이프는 고성능 시스템 또는 적당한 제품에 사용된다면 탁월

* 부산대학교 기계공학과 대학원
** 부산대학교 기계공학과 대학원
*** 부산대학교 기계공학부

한 열적 문제 해결 능력을 발휘할 수 있을 것이다. 오늘날에는 그것들이 금속판, 환이나 팬들과 같은 열방출과 복합되어 제품화 되어있다.⁽²⁾ 좁은 공간에서 고성능 열방출을 사용하기 위해서는 열교환기가 매우 작아야 하며, 상대적으로 매우 긴 형태를 띄게 될 것이다. 따라서 실험에 사용된 히트 파이프는 직경이 매우 작아야 하며, 내경을 최대한 크게 하기 위해서 두께는 최대한 얇아야 할 것이다. 작동 유체가 응축부에서 증발부까지 원활하게 회귀하도록 하기 위해서 황동 메쉬(#200)를 삽입하여 여러 가지 열유입에 대한 성능 시험을 수행하였다. 본 실험에서, 증발부는 노트북의 CPU를 대신에 니크롬 와이어를 감아서 형성하였으며, 응축부는 열분산판의 형식을 채용하여 알루미늄판을 사용하였다. 본 실험의 목적은 히트 파이프의 최대 열전달율을 측정하는 것이 아니라, 제작된 히트 파이프가 CPU의 최대 표면 온도인 70℃ 이하에서 잘 작동하고 얼마만큼의 열을 소산할 수 있는가를 측정하는데 그 목적이 있다.⁽²⁻⁴⁾

2. 실험 장치 및 방법

Fig.1은 본 실험에 사용된 히트 파이프의 완성된 개략도를 나타낸 그림이다. 판의 재질은 구리이며, 메쉬는 황동이고, 작동 유체로는 물을 사용하였다. 물은 아세톤이나 에탄올 등 다른 저온용 히트 파이프의 작동 유체에 비하여 증발 잠열이 높을 뿐 아니라 구리와 화학적 반응성도 낮아서 더욱 높은 성능과 긴 수명을 기대할 수 있다. 아래의 Table.1은 사용된 히트 파이프의 차원들에 대해서 자세히 나타낸 것이다.

히트 파이프의 각 위치에 대한 온도 분포를 측정하기 위해서 K형 열전대를 설치하였다. 그 위치는 증발부 끝단으로부터 10mm 떨어진 곳에서부터 20mm의 간격으로 4개의 열전대(TC1~TC4)를, 응축부 끝단으로부터 10mm 떨어진 곳에서부터 40mm의 간격으로 4개의 열전대(TC5~TC8)를 설치하였다. 히트 파이프가 작동하는 동안 열이 외부로 빠져나가는 것을 방지하기 위해서 히트 파이프의 증발부와 응축부에는 석면을 이용하여 방열을 하였다. 또한 기울기에 대한 온도를

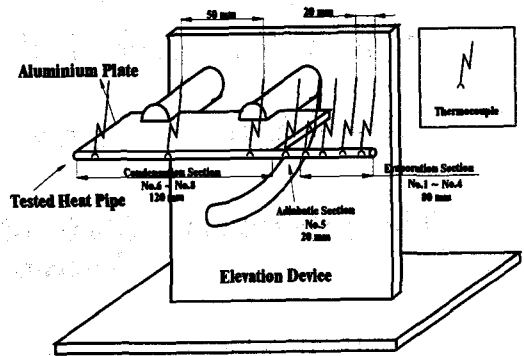


Fig. 1 Schematic of Tested Heat Pipe

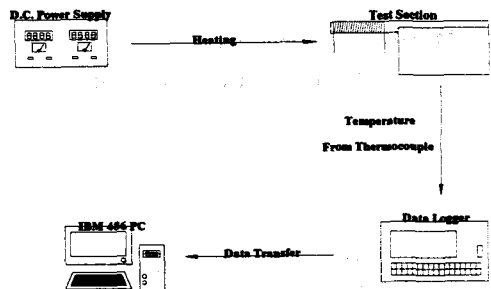


Fig. 2 Schematic of Data Acquisition System

Table 1 Physical Dimensions of the Heat Pipes

외경	4mm	3mm
두께	0.3 mm	0.2 mm
용기재료	동판	동판
전체 길이	220 mm	220mm
작동 유체	물	물

측정하기 위해서 아크릴을 가공하여 기울기 조절기를 제작하였다.

또한 본 실험에서 응축기 부분의 열 소산을 위해 사용한 알루미늄 판의 차원은 120mm×100mm×6mm (길이×너비×두께)로 하였다. Fig.2와 같이 실험장치를 설치하고 히트 파이프의 온도를 측정하기 위해서 모든 열전대는 데이터 로거에 연결하여 매 30초마다 온도 변화를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

앞에서 설명한 것과 같이 이미 제작된 히트 파

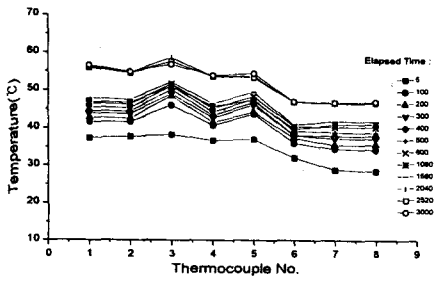


Fig. 3 Temperature Distribution of 3mm Heat Pipe for 5 W Heat Input

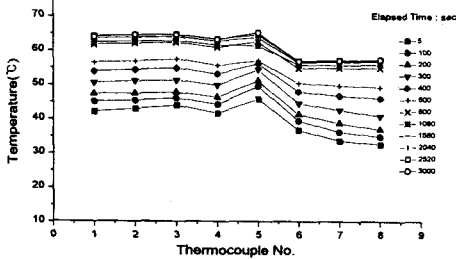


Fig. 4 Temperature Distribution of 3mm Heat Pipe for 7 W Heat Input

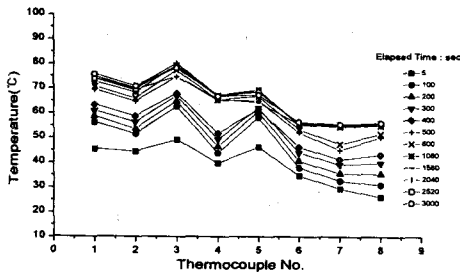


Fig. 5 Temperature Distribution of 3mm Heat Pipe for 8 W Heat Input

이프에 니크롬 와이어를 감아서 증발부를 형성하고 단열재를 사용하여 단열하였다. 수평에 대한 각기 다른 직경의 히트파이프에 대한 각기 다른 열유입을 부과하고, 응축부에는 각 히트 파이프에 대해서 같은 크기의 알루미늄판을 부착하여 냉각하였다.

Fig.3~8은 히트 파이프를 수평으로 작동시켰을때의 시간에 따른 온도분포를 나타낸 것이다.

약 50분이 지났을 때 히트 파이프는 거의 정상 상태에 도달하였다. 1~4까지의 번호는 히트 파이프의 증발부의 온도이고, 5~8까지의 번호는

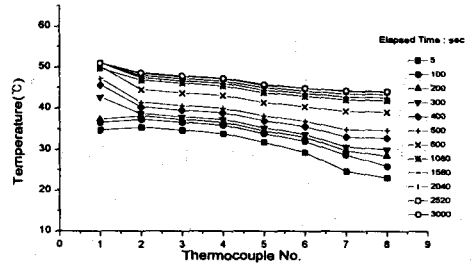


Fig. 6 Temperature Distribution of 4mm Heat Pipe for 5 W Heat Input

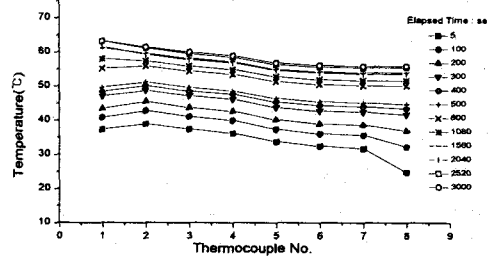


Fig. 7 Temperature Distribution of 4mm Heat Pipe for 8 W Heat Input

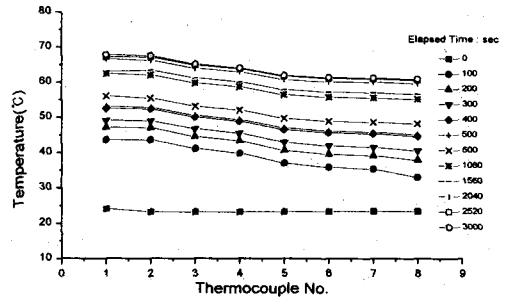


Fig. 8 Temperature Distribution of 4mm Heat Pipe for 10 W Heat Input

열 분산판에 의해서 히트 파이프가 냉각되는 응축부의 온도이다.

Fig.3은 관직경 3mm 히트 파이프의 경우 열량 유입이 5W일 경우로서 증발부의 평균온도는 54°C이고, 응축부 부분의 평균온도는 50°C이다.

Fig.4는 3mm히트 파이프의 증발부의 열량유입이 7W 인 경우로서 증발부의 평균 작동 온도는 64.5°C이고 응축부의 평균 작동 온도는 60°C정도로써 5W의 열유입이 되었을때와 비슷한 온도 강하를 가진다.

Fig.5는 열유입이 8W인 경우로서 4mm직경을 가지는 히트 파이프와는 달리 증발기 부분의 온도 분포에서 다소 심한 온도의 섭동현상이 발견된다. 이러한 증발기 부분에서의 풀비등은 여분의 작동유체가 다소있다고는 하지만 이것이 히트 파이프의 정상작동에는 지장을 주지 않으므로 실패했다고는 말할수 없을 것이다.

Fig. 6은 직경 4mm 히트 파이프의 증발기 부분의 열량 유입이 5W인 경우로서 증발기 부분의 평균온도 48.2℃와 응축기 부분의 평균작동 온도 46.8℃로서 온도 강하가 거의 발생하지 않음을 알수 있다.

Fig. 7은 4mm 히트 파이프의 열량 유입이 8W인 경우에 증발기 평균온도는 60.1℃이고 응축부 평균온도는 58.3℃로서 역시 5W의 열량이 공급되는 Fig.6의 경우와 비슷한 경향을 가진다.

Fig.8은 4mm 히트파이프의 열량 유입이 10W인 경우로서 증발부 평균 작동 온도는 66.8℃이고 응축부 평균 작동 온도는 63.6℃로서 양 끝단의 온도강하가 거의 발생하지 않음을 알수 있다. Fig.9는 4mm 히트 파이프의 열유입량이 5W일 때 각이 증력 보조 방향으로(증발부가 기울어진 경우)의 기울기 각의 변화에 따른 온도분포로서 히트 파이프의 경우에는 20°의 기울기를 가진 히트 파이프가 가장 낮은 온도에서 작동되고 있음을 알수 있다.

Fig.10은 4mm 히트파이프의 열량유입이 8W일 경우 기울기각의 변화에 따른 온도 분포로서 20° 일때와 30° 일때의 온도분포가 거의 비슷함을 알수 있다.

Fig.11은 4mm 히트파이프의 열량유입이 10W일 경우 기울기각이 20° 일때가 역시 가장 낮은 값의 증발기와 응축기의 온도분포를 나타내고있다.

각 열전대에서 측정된 온도로부터 산출된 히트 파이프들의 비등 및 응축 열전달 계수들을 산출하였다. 이들을 산출하기 위해서 사용된 식은 C.W.Chi⁽¹⁾ 등에 의해 사용된 식으로서 다음과 같다.

증발기에서의 증기온도

$$T_{v,e} = T_{w,e} + \frac{Qr_{otw}^2}{2A_p L_c r k_{e,e}}$$

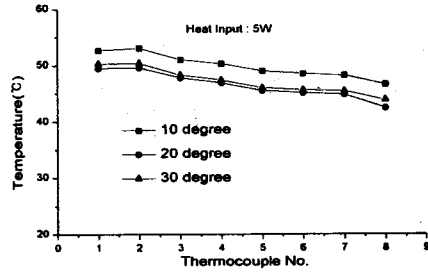


Fig. 9 Temperature Distribution for Steady State along the tilt angles(4mm Heat Pipe)

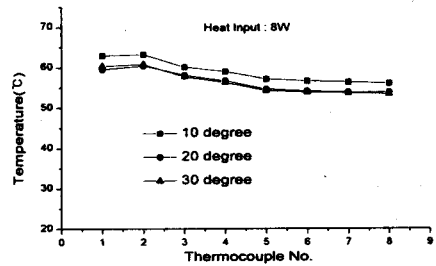


Fig. 10 Temperature Distribution for Steady State along the tilt angles(4mm Heat Pipe)

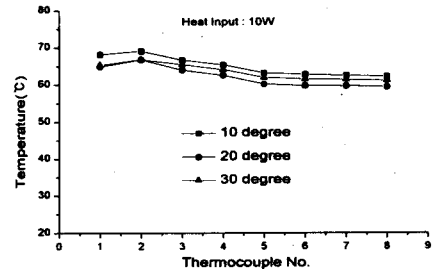


Fig. 11 Temperature Distribution for Steady State along the tilt angles(4mm Heat Pipe)

$$\text{여기서 } k_{e,e} = \frac{k_l [k_l + k_w - (1 - \epsilon)(k_l - k_w)]}{k_l + k_w + (1 - \epsilon)(k_l - k_w)}$$

응축기에서의 증기온도

$$T_{v,c} = T_{w,c} + \frac{Qr_{otw}^2}{2A_p L_c r k_{e,c}}$$

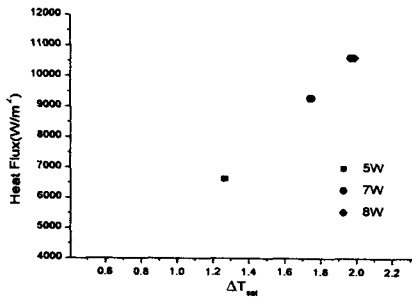


Fig. 12 Evaporative Heat Transfer Coefficient for 3mm Heat Pipe(no tilt angle)

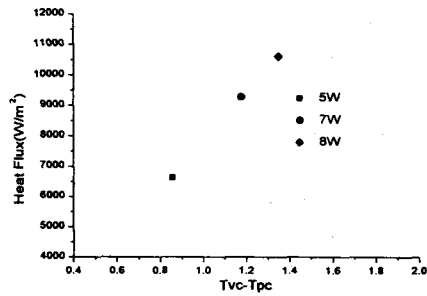


Fig. 14 Condensative Heat Transfer Coefficient for 3mm Heat Pipe(no tilt angle)

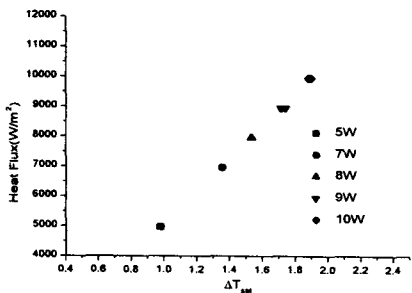


Fig. 13 Evaporative Heat Transfer Coefficient for 4mm Heat Pipe(no tilt angle)

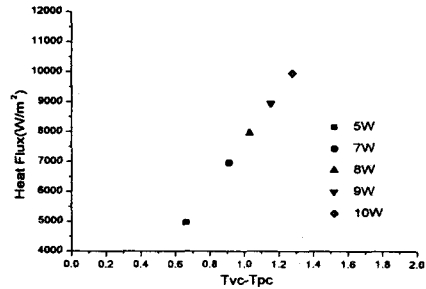


Fig. 15 Condensative Heat Transfer Coefficient for 4mm Heat Pipe(no tilt angle)

$$\text{여기서 } k_{e,c} = \frac{k_l[k_l + k_w - (1 - \epsilon)(k_l - k_w)]}{k_l + k_w + (1 - \epsilon)(k_l - k_w)}$$

Fig. 12는 직경 3mm 히트 파이프의 기울기각이 없을 경우에 각각 5W, 7W, 8W의 열유입량에 따른 비등열전달 계수를 보여주고 있다.

Fig. 13은 직경 4mm 히트 파이프의 기울기각이 없을 경우에 각각 5W, 7W, 8W, 9W, 10W에 대한 비등열전달 계수를 보여주고 있다.

Fig. 12~13으로부터 비등 열전달 계수는 각 열유입에 대해서 5000~5300 W/m²K 정도의 값을 가지고 있으며, 기울기에 따라서 거의 변화가 없었다. 이것은 비등 열전달이 기울기에 거의 영향을 받지 않음을 나타내고 있다.

Fig. 14는 3mm 히트 파이프의 기울기각이 없을 경우 5W, 7W, 8W에 대한 응축열전달 계수를 보여주고 있다.

Fig. 15는 4mm 히트 파이프의 기울기각이 없을

경우 5W, 7W, 8W, 9W, 10W의 열유입량에 대한 응축열전달 계수를 보여주고 있다.

Fig. 14~15으로부터 응축 열전달 계수의 경우에도 각 열유입에 대해서 거의 비슷한 값을 열전달 계수들을 가지는 것을 알 수 있으며, 응축열전달 역시 기울기에 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

퍼스널 컴퓨터 냉각을 위한 45℃~70℃사이를 작동 온도 범위로 하는 물-동 히트 파이프를 제작하여 성능 시험을 수행한 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다. 정의된 열소산 한계 기준에 대해서 실험을 수행한 결과, 3mm의 직경을 가진 히트 파이프는 8W까지 성공적으로 냉각할 수 있었으며, 4mm의 직경을 가진 히트 파이프의 경우에는, 10W까지의 열량을 성공적으로 냉각할 수가 있었다. 작동 온도대를 살펴보면, 약 50분이 지난

후에 정상 상태에 도달하였으며 가열부 유입 열량의 증가에 따라 작동 온도도 점차 증가하는 경향을 보였으며, 기울기각이 증가할수록 작동 온도대는 감소하는 경향이 뚜렷했다. 이의 원인은 내부 열전달 계수의 상승보다는 기울기각 증가에 의한 응축수 회귀량의 증가에 따른 히트 파이프 효율 증가에 의한 것이다. 제작된 히트 파이프의 실험 결과를 바탕으로 산출된 내부 비등 및 응축 열전달 계수는 가열부의 공급 열량이 증가함에 따라 완만하지만 증가하였다. 기울기각이 크게 증가하여도 비등 및 응축 열전달 계수에는 매우 완만하게만 증가하였다. 따라서 기울기각에 따른 열전달 계수의 변화는 기울기각 증가에 따른 작동 온도대의 강하에 거의 영향을 주지 못한다. 본 실험에 있어서 그 열원은 CPU가 아닌 니크롬 와이어로 수행하였으며, 이것은 실제의 CPU에 대해서 완벽하게 적용된다고 보기는 어렵다. 따라서 더 나은 응용을 위해서는 반드시 실제의 CPU와 히트 파이프 사이의 접촉 열저항 문제에 대해서 해결하는 것이 반드시 필요하다. 3mm의 경우에 증발부에서 풀비등이 발생하는 것에 대해서는 히트 파이프의 정상 작동에 큰 영향을 주지는 않지만, 작동 유체의 과다 유입의 문제라고 여겨진다. 따라서 차기의 더 나은 성능 시험을 위해서는 작동 유체의 양을 조절할 수 있는 방법이 개발 되어져야할 것이다.

Notebook PCs", Precedings of 10th International Heat Pipe conference, Vol. II, pp.877~881

참고문헌

- (1) C.W.Chi, 1976, Heat Pipe Theory and Practice, A Sourcebook, Hemisphere Publishing Corporation
- (2) Hong Xie, Andre Ali and Rakesh Bhatia, 1998, Intersociety Conference on Thermal Phenomena, "The Use of Heat Pipe in Personal Computers", pp.442~448
- (3) Thang Nguyen, Masataka Mochizuki, Koichi, Yujui Saito, Ioan Sauciu and Rex Boggs, 1998, InterSociety on Thermal Phenomena, "Advanced Cooling System Using Miniature Heat Pipes in Mobile PC", pp.507~511
- (4) J. Sotani, K. Nanba and N. Kageyama, May 1~5, 1995, "A Micro Heat Pipe for Cooling