

스크린 메쉬 워를 삽입한 8mm 히트파이프에서 열전달 성능에 관한 실험적 연구

박기호*, 이기우*, 노승용*, 이계중*, 유성연**

An Experimental Study on Heat Transfer Performances in 8mm-diameter Heat Pipes with Screen Mesh Wick

Ki-Ho Park, Ki-Woo Lee, Seung-Yong Noh, Kye-Jung Lee, Seong-Yeon Yoo

Key Words: Working fluid ratio(작동유체 충액율), Heat pipe(히트파이프), Heat transfer coefficient(열전달 계수), Heat transport capability(열수송력), Thermal resistance(열저항), Inclination angle(경사각), Screen wick(스크린 워) .

Abstract

This experimental study is to research heat transfer characteristics in copper-water heat pipes with screen wick, the 150 and 200-mesh. Recent advances in the miniaturization and large capacity of electronic devices have had a major impact on the design of electronic equipment. As a result, a high-performance cooling system is needed. Experimental variables are inclination angle, number of layer and temperature of cooling water. The distilled water was used for the working fluid. At a inclination angle 6°, the 200-mesh screen wick 3-layer is shown the best heat transfer performance.

1. 서 론

오늘날 일상생활에서 사용하고 있는 전자기기들이 고속, 고밀도 및 대용량화되면서 오히려 크기는 소형화되고 있고 전자 부품의 효율은 100%이하이므로 열을 발생시키는 것은 필수적이다. 전자부품의 소형화와 열발생 밀도의 증가로 냉각시스템의 고성능화가 요구되고 있다. 따라서 최근에는 히트파이프를 이용한 냉각방식이 각광을 받고 있다. Mobile PC의 CPU에 3, 4mm 히트파이

프를 장착하고 응축부에 초소형 팬을 부착하여 냉각하거나, CPU에서 노트북이 접혀지는 힌지(hinge)까지의 1차 히트파이프와 힌지에서 LCD 패널 뒷면까지의 2차 히트파이프, 즉 2개의 히트파이프로써 CPU의 발열을 제거하기도 한다.[1] 또한 지하철차량 반도체 냉각용이나 PCS 기지국의 옥외용 합체 냉각용으로도 사용된다.[3] 노트북 PC의 CPU에서의 발열량이 CPU 처리속도의 증가와 함께 계속 상승하여 2000년에 27W, 2001년에 30W로 증가하는 추세이고 CPU의 처리속도가 1.0GHz에서 1.5GHz, 1.8GHz로 증가해서 약 60W~70W로 발열량이 증가하고 있다. 고성능 냉각장치의 개발이 CPU의 처리속도의 발전과 함께 시급하게 대두되고 있다.

* 정희원, 한국에너지기술연구원

** 정희원, 충남대학교 기계설계공학과

히트파이프에서 작동유체의 귀환이 증력 또는 벽에 의한 모세관력에 의하므로 벽이 삽입되어 있는 히트파이프의 경우 전달할 수 있는 최대 열전달량은 여러 가지 작동한계 중 모세관 한계(capillary limitation)에 많이 좌우되는데 이것은 모세관 구조물의 펌핑압력과 길이방향의 마찰손실, 그리고 경사각의 영향을 받는다.[2] 3~6 mm 정도의 작은 직경을 가지는 히트파이프는 통상 수직모드보다는 수평모드에 가깝게 설치되므로 내부에 벽과 같은 모세관 구조물을 가지게 되는데 이 경우에 히트파이프 내부에 주입되는 작동유체량은 실험에 의해 구할 수밖에 없다. 실험에 의해 구해진 최적의 작동유체량을 주입한 히트파이프를 실험 대상으로 하였다. Gupta 등은 내경이 3~5mm인 히트파이프에 50~400 mesh 스크린 벽을 삽입하여 겹수에 따른 열전달 특성을 연구하였다.[7]

본 연구에서는 히트파이프를 전자장비 냉각용으로 사용하고자 할 때 내부에 150, 200 메쉬 스크린 벽을 삽입한 8mm 동-물 히트파이프를 제작하여 스크린 벽의 겹수 및 냉각수 온도, 히트파이프의 설치 경사각에 따른 열저항 및 성능을 비교 실험하여 열전달 성능을 살펴보았다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

전자장비 냉각용으로 사용되는 히트파이프는 통상 3~12.7 mm 정도로써, 반도체 냉각에서부터 전축의 amplifier 냉각에 사용되는데 본 연구에서는 150, 200 메쉬 스크린 벽을 삽입한 8mm 동재질의 히트파이프를 제작하여 실험을 하였다. 히트파이프의 유효길이는 300mm이고 증발부 길이를 50mm, 단열부 길이를 100mm, 응축부 길이를 150mm로 하여 응축부와 증발부 길이의 비를 3:1로 하였다. 작동유체로는 증류수를 사용하였고 작동유체의 양은 사전 실험에 의해 구해진 양을 각각 주입하였다. 스크린 벽의 wick porosity의 포화도를 100%로 하였을 때, 1겹, 2겹, 3겹 각각의 주입량을 140%, 120%, 110%로 하였다.[6] 본 연구에서 사용된 히트파이프의 사양과 실험 조건

들을 Table 1에 보여 주고 있다. 본 연구에서 사용된 실험장치는 크게 히트파이프 및 경사각 조절기, 자료획득장치, 항온수조의 세 가지로 나누어진다.

Table 1. Experimental conditions of the heat pipe

| parameters | condition |
|---------------------------|------------------|
| Container material | copper |
| pipe diameter | 8 mm |
| total length | 300 mm |
| length of evaporator zone | 50 mm |
| length of adiabatic zone | 100 mm |
| length of condenser zone | 150 mm |
| Working fluid | distilled water |
| Inclination angle | 0°, 3°, 6° |
| Cooling water temperature | 20°C, 30°C, 40°C |

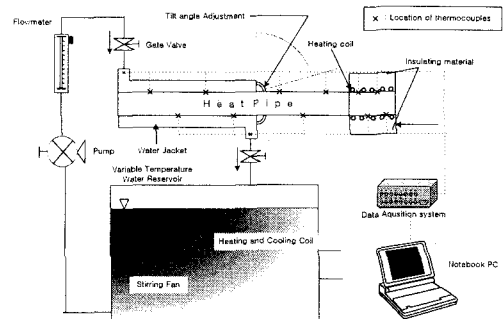


Fig. 1 Experimental apparatus

Fig. 1은 히트파이프 요소의 성능실험을 위한 실험장치의 전체 구성도이며 가변전압조절기를 이용하여 전기가 공급되면 히트파이프의 증발부 벽면 주변에 일정한격으로 감겨진 니크롬 선(4.5 Ω/m)이 발열이 되어 열량이 공급된다. 이것을 세라크 울(cerak wool)($\kappa=0.075 \text{ W/m}^\circ\text{C}$)로써 1차 단열 한 후 우레탄을 이용하여 2차 단열 함으로써 외부 대기로의 방열손실을 최소화하고자 하였다. 열선 주위의 온도와 단열재 외부표면의 온도를 측정하여 방열손실을 계산할 수 있도록 구성하였다. 단열부는 일차적으로 단열테이프를 감은 후 경사각 조절기에 붙어있는 테프론재질의 단열재로로 체결하였으며 테프론재질의 외부에

역시 우레탄 단열재를 감싸는 방식으로 단열 하였다. 응축부의 냉각을 위해 항온수조(가열용량:750W, 냉각용량:250W)에서 일정온도로 맞춰진 물을 유량계를 통해 응축부에 공급이 되게 하여 가열부에 공급된 열량이 응축부에서 충분히 냉각되도록 하였다. 응축부의 수냉각을 위해 응축부 위에 길이 150mm, 내부 직경 15mm의 파이프를 유리관으로 water jacket을 설치하고 유리관의 외부표면을 10mm 두께의 우레탄으로 단열을 하였다. 히트파이프 요소에 대한 성능을 구하기 위해서는 가열량, 각 부위에서의 표면온도, 내부의 포화 온도 및 압력을 측정하여야 하는데 본 연구에서는 온도를 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 열전대를 설치하였다.

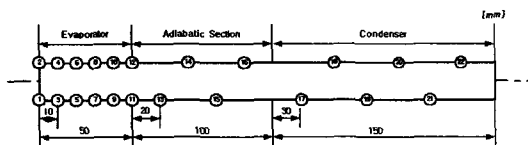


Fig. 2 Locations of thermocouples

증발부에는 10mm간격으로 상하로 8개를 설치하였고, 단열부에는 20mm 간격으로 상하로 4개, 응축부에는 30mm 간격으로 상하로 6개를 설치하였다. 이렇게 설치된 열전대로부터 온도를 측정하여 데이터 취득장치(DBK board, 42 channel, IO Tech.)를 통해 PC로 온도 데이터가 저장이 되도록 하였다.

2.2 실험방법

8mm 동-물 히트파이프에 대해서 경사각은 0°, 3°, 6° 로 하고 top heat mode로 하였다. 150, 200 메쉬의 스크린 워를 1겹, 2겹, 3겹으로 하고 워의 porosity에 대해 각각 140%, 120%, 110%에 해당하는 양의 작동유체를 주입한 히트파이프들을 대상으로 예측된 모세관 열전달 한계값을 토대로 10W의 열량에서 시작하여 10W 정도씩 단계적으로 열량을 증가시켜 가열량과 열저항값을 비교하였다. 실험은 증발부 온도가 급격히 상승하여 dryout 상태이거나 급격히 상승하지 않더라도 110℃가 넘을 경우에 종료하였다. 150, 200 메쉬 스크린 워를 삽입한 히트파이프의 성능을 평가하기 위하여 스크린 메쉬의 겹수 및 경사각, 냉각수의 온도에 따른 열저항 및 한계열량을

비교 분석하였다.

열저항은 증발부 온도 평균과 응축부 온도 평균의 차를 공급열부하로 나눈 값으로 다음과 같다.

$$R_{HP} = \frac{T_e - T_c}{Q_{in}}$$

여기서 Q_{in} 는 증발부에 가해진 열부하에 방열손실을 고려한 값(W)이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 온도 분포

3.1.1 150-mesh screen wick

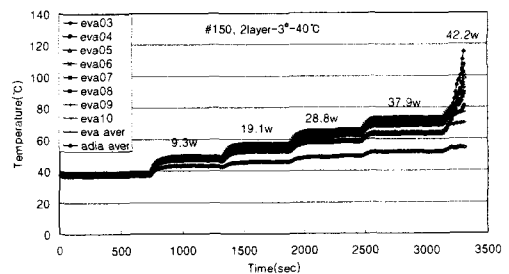


Fig. 3 Wall temperature distribution of heat pipe according to input power

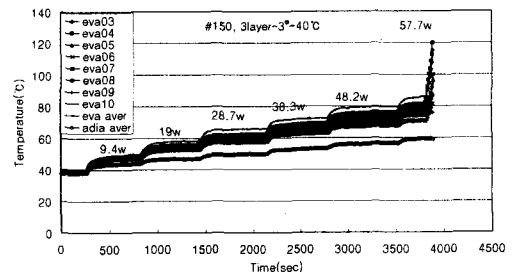


Fig. 4 Wall temperature distribution of heat pipe according to input power

Fig. 3과 Fig. 4는 150 메쉬 스크린 워의 2겹, 3겹, 경사각도 3°, 냉각수 온도 40℃일 때 열부하에 따른 증발부 및 단열부 벽면의 온도분포를 나타내고 있는데 2겹, 3겹에서는 한계열량이 각각 37.9W와 48.2W임을 보여주고 있다.

Fig. 5는 150 메쉬, 3겹, 경사각 3°, 냉각수 온도 40℃에서의 가열량에 따른 히트파이프의 표면 온

도 분포를 나타낸 것으로 응축부 끝단의 온도가

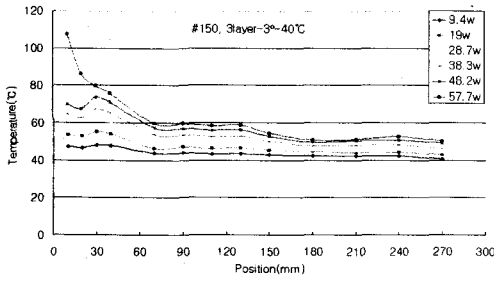


Fig. 5 Wall temperature distribution

시작점보다 낮은 것은 냉각수 입구가 응축부 끝단에 위치하고 있기 때문이며 48.2W까지는 작동유체의 양이 충분하여 증발부 끝단의 온도가 인접한 증발부 상단부의 온도와 비슷하나 57.7W에서는 작동유체의 양이 모자라 증발부 온도가 급격히 상승하여 dryout 상태에 이른 것으로 보인다. 48.2W와 57.7W사이의 열량의 폭이 약 10W이므로 그 사이에 한계열량이 존재하는 것으로 생각되며 동일 온도, 동일 각도에서 150메쉬를 사용하였을 경우 3겹이 2겹에 비해 겹수의 영향으로 모세관력이 늘어나 한계열량이 높아지는 것을 알 수 있다.

3.1.2 200-mesh screen wick

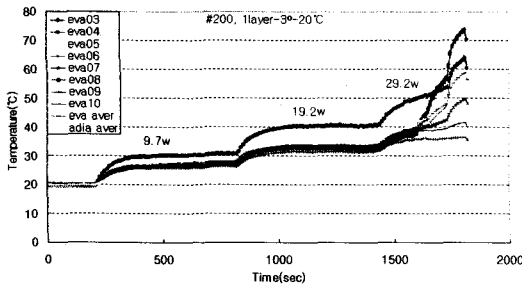


Fig. 6 Wall temperature distribution of heat pipe according to input power

Fig. 6에서 Fig 8은 200 메쉬 스크린 워 1겹, 2겹, 3겹에 대해 경사각 3°, 냉각수 온도 20°C에서의 증발부 및 단열부 벽면의 온도분포를 나타낸 것이다. Fig.6에서는 19.2W까지 증발부 벽면 온도가 상승하지 않다가 29W에서 급상승하여

dryout 상태에 이르는 것을 볼 수 있다. 2겹, 3겹에서는 한계열량이 48W, 76W로 나타났다. 200 메쉬에서의 한계열량은 150 메쉬에서의 동일하게 3겹이 가장 높은 것으로 나타났다.

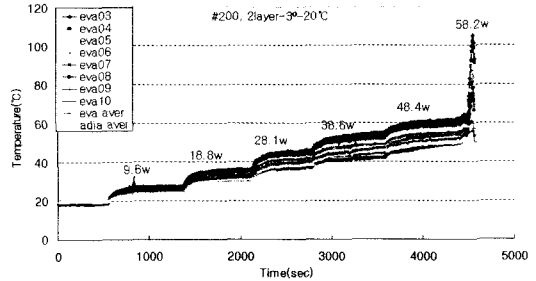


Fig. 7 Wall temperature distribution of heat pipe according to input power

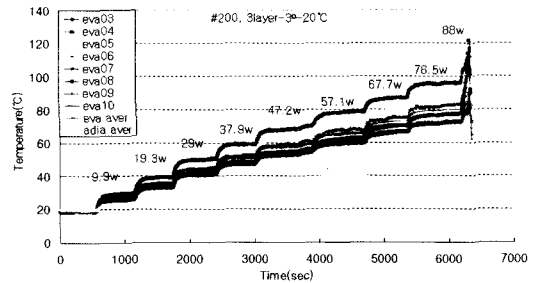


Fig. 8 Wall temperature distribution of heat pipe according to input power

3.2 열저항 및 한계열량

Fig. 9와 Fig. 10은 각각의 스크린 메쉬 워의 겹수, 히트파이프의 경사각에 따른 열저항값을 나타내었다. Fig. 9는 150 메쉬, 냉각수 온도 20°C에서의 열저항값을 나타내었는데 1겹의 열저항값이 가장 낮은 것을 알 수 있고 200 메쉬에서의 열저항값은 2겹이 가장 좋게 나타났다. 열저항값은 1겹, 2겹에 비해 3겹이 높게 나타나는 것을 알 수 있고 3겹의 경우도 모세관력이 좋아 높은 열량에서도 적용이 가능할 것으로 생각된다. 3겹의 경우에서 보면 워 두께가 한계열량이나 열저항값에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다. Fig. 11은 200 메쉬, 냉각수 온도가 20°C로 일정할 때 겹수, 경사각도에 따른 한계열량을 나타내었는데 6° (top heat mode) 보다는 3°, 0° 일 때 한계열량이 증가하는 것을 알 수 있다. 6°에

서 3°, 0° 로 설치 경사각이 작을수록 모세관력의 차이가 많이 나는 것을 알 수 있다.

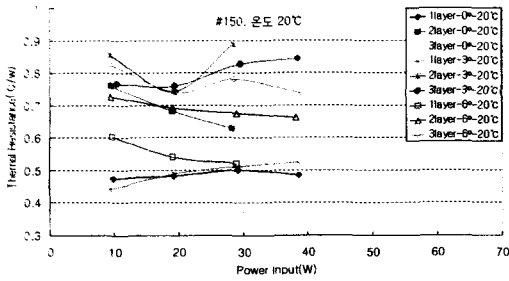


Fig. 9 Thermal resistance (150mesh, 20°C)

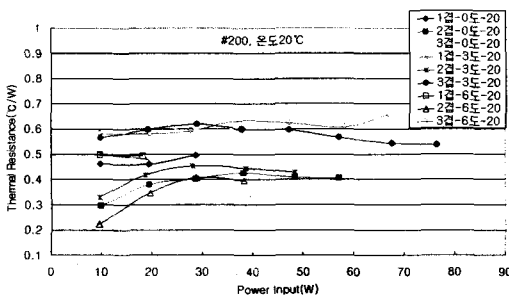


Fig. 10 Thermal resistance (200mesh, 20°C)

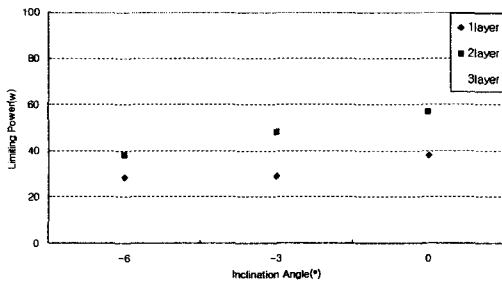


Fig. 11 Limiting power by heat pipe inclination angle.(200mesh, 20°C)

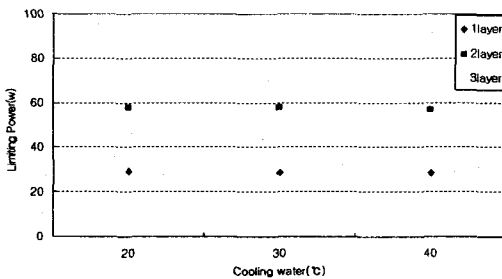


Fig. 12 Limiting power by cooling water

temperature (200mesh, 3 degree)

Fig.12는 200 메쉬, 경사각도가 3° 로 일정할 때 냉각수 온도와 겹수에 따른 한계열량을 보여주고 있는데 냉각수 온도는 한계열량에 거의 영향을 주지 않고 있는 것을 알 수 있다. 히트파이프의 모세관력은 각도가 증가할수록 한계열량이 작아지는 것을 알 수 있었다.

Fig. 13과 Fig. 14는 150 메쉬 2겹과 200 메쉬 3 겹에서 경사각도와 냉각수 온도가 변할 때 가열량에 따른 열저항값을 나타내었는데 경사각도는 열저항값에 영향을 주지 않았고 냉각수 온도에도 크게 차이는 나지 않았지만 온도가 높을수록 열저항값이 작아지는 것을 알 수 있다.

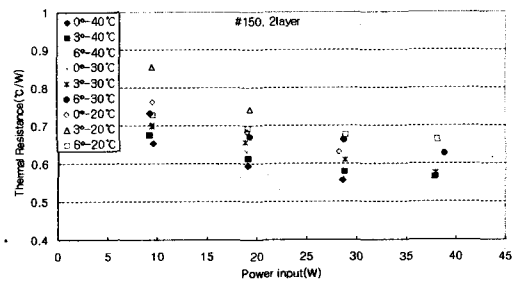


Fig. 13 Thermal resistance (150mesh, 2layer)

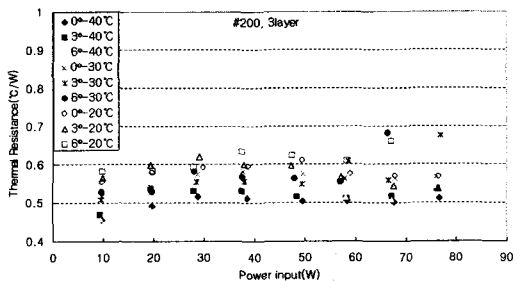


Fig. 14 Thermal resistance (200mesh, 3layer)

Fig. 15는 150메쉬, 200메쉬 3겹, 경사각도 3° 에서 냉각수 온도, 가열량의 변화에 따른 열저항 값을, Fig. 16은 200메쉬, 경사각도 0°, 냉각수 온도 30°C에서 겹수에 따른 열저항값을 나타내었는데 열저항값은 3겹, 경사각도 3도일 때 150메쉬의 경우보다 200메쉬의 경우가 더 낮은 것을 알 수 있었고 150메쉬보다 낮게 나타났고 냉각수 온도에 따라서 온도가 높을수록 열저항값이 낮게 나타났고 200메쉬의 경우에는 열저항값이 2겹이

가장 좋은 것으로 나타났으나 한계열량에서 3겹의 경우가 더 큰 것을 알 수 있었다.

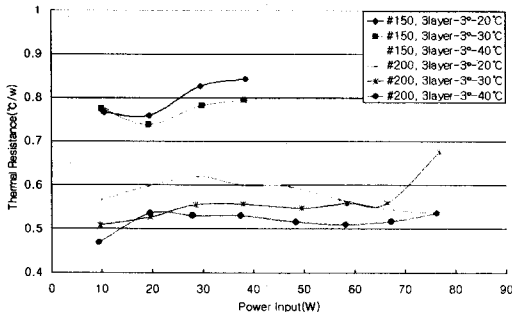


Fig. 15 Thermal resistance (150, 200 mesh, 3 layer, 3°)

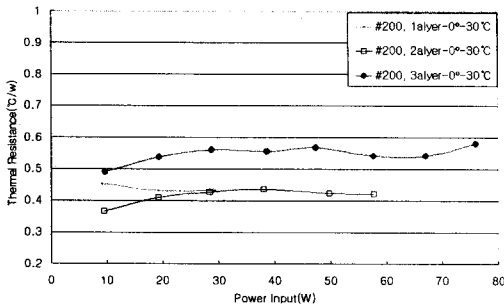


Fig. 16 Thermal resistance (200 mesh)

4. 결론

소형 전자기기 냉각용으로 사용되는 히트파이프에서 150 메쉬, 200 메쉬 스크린 위를 사용한 8mm 동-물 히트파이프를 제작하여 스크린 메쉬의 겹수, 경사각도 및 냉각수 온도에 따라 열전달 성능 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 8mm, 동-물 히트파이프를 0° ~ 6° 상부가 열모드에서 사용할 때 200 메쉬 스크린 위 3겹이 150 메쉬나 동일 메쉬의 1겹, 2겹의 경우보다 열전달 성능이 좋다.
- (2) 히트파이프의 경사각도 0° ~ 6° 상부가 열모드의 범위에서 8mm, 200 메쉬 스크린 위 3겹의 경우 한계열량이 77W로 높게 나타나므로 소형 전자장비 냉각용으로 적용이 가능한 것으로 생각된다.

- (3) 150, 200 메쉬의 스크린 위를 사용하였을 경우 열저항값은 200 메쉬가 낮게 나타났으며 냉각수 온도가 40°C일 때의 열저항값은 20°C일 때보다 약 10~15% 낮게 나타났고 200 메쉬 스크린 위 3겹을 사용하였을 경우 열저항은 0.5~0.6 °C/W의 값을 나타내었다
- (4) 150, 200 메쉬 스크린 위 3겹을 사용하였을 경우 한계열량은 냉각수 온도의 변화에는 영향이 없었고 히트파이프의 설치 경사각도에 따라서는 0°에서는 6°에서의 값과 비교하여 약 20~30% 높게 나타났다.

참고문헌

- [1] Mochizuki M., Mashiko K., Nguyen T., Saito Y., and Goto K., 1997, "Cooling CPU using Hinge Heat Pipe" Heat Pipe Technology, Pergamon Press, pp. 218-229.
- [2] S. W. Chi, 1976, Heat Pipe Theory and Practice :A Source Book, Hemisphere Publishing Corporation.
- [3] S. H. Moon, K. S. Kim, and C. G. Choi, 2000, "A Study on Cooling Characteristics of Miniature Heat Pipes with Woven-Wired Wick," Air conditioning and Refrigerating and Sanitary Journal, Vol. 12, No. 3, pp. 227 - 234..
- [4] H. Imura, K. Sasaguchi and H. Kozai, 1983, "Critical Heat Flux in a Closed Two-phase Thermosyphon," Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol. 26, No. 8, pp. 1181-1183.
- [5] P. D. Dunn and D. A. Reay, 1978, "Heat Pipes", Pergamon Press.
- [6] K.H.Park, K.W.Lee, Y.K.Ko, and K.J.Lee, 2001, "A Study on the Optimum Working Fluid Ratio in Copper-Water Heat Pipes with Screen Wick", Proceedings of the 3rd Heat Pipe Workshop Korea, pp36-42.
- [7] A. Gupta and G. Upadhyay, 1999, "A Model for Thermal Transport in Heat Pipes with Wrapped Wire Screen Wick", ISPS 1999 Proceedings, pp319-324.