

히트 스프레더의 열전달 성능에 관한 연구

김현태[†] · 이용덕^{*} · 오민정^{*} · 장성욱^{*}

A Study on the Heat Transfer Performance of a Heat Spreader

Hyun-tae Kim , Yong-duck Lee, Min-jung Oh and Sung-wook Jang

Key Words : Screen mesh(스크린 메쉬), Wick(윅), Heat spreader(히트 스프레더), Vapor passage (증기유로), Liquid passage(액체유로)

Abstract

The present study proposes a new structure for a heat spreader which could embody a thin thickness, any shapes and high heat flux per unit area. It is on the structure for the formation of vapor passages and the support of the case of the heat spreader. A screen mesh is used as the one. To verify the validity of the one, the heat spreader of 1.4mm and 1.6mm thickness was made with 14 mesh and 100 mesh number. In this paper, The performance test of heat spreader conducted in order to compare with the heat transfer performance of conventional heat pipe. As the results, The heat spreader has excellent cooling and heat transfer performance.

기호설명

T_h : 열원 표면 온도, [°C]
 T_a : 외부 온도, [°C]
 Q_{in} : 입력 전력, [W]
 R : 열저항, [°C/W]

1. 서 론

전자장비는 고집적화 기술의 발전으로 크기가 소형화 되고 두께도 점차 얇아지고 있다. 이와 함께 전자장비의 고응답성과 기능 향상에 대한 요구가 높아짐으로써 소비전력 또한 점차 증가하고 있는 추세이다. 이로 인해 전자장비의 작동 중에 그 내부의 전자 부품으로부터 발생하는 열의 방출량도 함께 증가하고 있다. 따라서 두께 및 부피가 작고 형상의 구성이 용이하며 동시에 단위 면적당 열용량이 큰 열전달 장치에 대한 필요성이 증

대되고 있다.

기존의 전자장비 냉각을 위하여 히트 파이프가 널리 사용되고 있다. 히트 파이프를 두께 및 부피가 작은 냉각 장치에 적용하기 위하여 직경을 작게 하고 파이프의 모양을 변형하여 사용하고 있다. 그러나 직경이 감소 할수록 내부 윅의 변형에 기인하여 히트 파이프가 전달 할 수 있는 열전달량이 감소함으로 이의 대안으로 판형 히트 파이프에 대한 연구가 이루어 지고 있다.

기존의 판형 히트 파이프⁽¹⁾는 증기유로 공간이 확보되어야 함으로써 제작 할 경우 사각 단면의 케이스가 압착되어 변형이 발생된다. 이를 방지하기 위하여 케이스의 두께를 1mm로 하여 전체 두께를 5mm정도로 제작하였는데, 이 경우 노트북 PC 및 테블릿 PC등과 같은 두께가 얇은 전자장비에 적용할 수 없게 된다. 이와 같은 단점을 보완하기 위하여 사각 케이스 한 쪽 면에 액체 유로를, 반대 면에는 케이스를 지지하면서 증기 유로를 형성하여 판형 히트 파이프를 제작하는 방법들이 제시되고 있다.⁽²⁻³⁾

이와 같은 구조를 사용하여 2mm이하의 두께를 갖는 판형 히트 파이프의 제작에 성공하였으나, 이들 방법들은 미세 가공기술을 사용함으로써 가공비를 증가시키고 또한 임의의 형상을 구현하는

[†] 책임저자, LG 전선(주) 기계연구소
 E-mail : skipio1007@cable.lg.co.kr
 TEL : (031)450-8260 FAX : (031)450-8361

^{*} LG 전선(주) 기계연구소

데 어려움을 가지는 단점을 가지고 있다. 이와 같은 단점을 극복하기 위하여 스크린 메쉬를 사용하여 증기 유로 및 액체유로를 동시에 형성함으로써 고가의 기술을 사용하지 않으면서 단위 면적당 냉각 능력이 뛰어나고, 얇은 두께와 임의의 형상 구현이 가능한 히트 스프레더를 제시하였다.

본 연구에서는 위에서 제시한 작동 원리와 제작 방법을 이용하여 두께 1.4mm 및 1.6mm를 가지는 두 종류의 히트 스프레더를 제작하였다. 이를 이용하여 히트 스프레더 냉각 모듈을 구성하고 열전달 성능 실험을 수행하였다. 또한 각각의 직경 4mm, 6mm를 가지는 히트 파이프를 두께 2mm, 4mm로 전면 압착하고 이를 이용하여 동일한 방식으로 냉각 모듈을 구성하고 열전달 성능 실험을 수행하여 히트 스프레더와 열전달 성능을 비교하였다.

2. 구조 및 작동 원리

2.1 기본 구조

Fig.1 에는 본 연구에서 제시한 히트 스프레더의 기본 구조를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 히트 스프레더는 기본적으로 증발부와 액체유로 역할을 하는 워구조, 증기유로의 역할을 하는 스크린 메쉬 및 이를 둘러싸는 케이스와 케이스 내부에 충전되는 작동 유체로 구성된다.

워구조는 모세관력을 발생 시킬 수 있는 구조면 어느 재질이나 가능하며, 스크린 메쉬의 경우는 Fig.2 에 나타난 바와 같이 강성을 갖는 가는 와이어가 상하로 겹치면서 직조된 구조로 구성된 것이면 어느 재질이나 사용 가능하다. 케이스는 사용 목적에 따라 다양한 재질을 사용할 수 있으며, 작동 유체는 사용 목적 및 작동 온도 범위에 따라 선정될 수 있다. 이와 같은 히트 스프레더의 구성 요소들은 서로 반응하여 불응축 가스를 방출하지

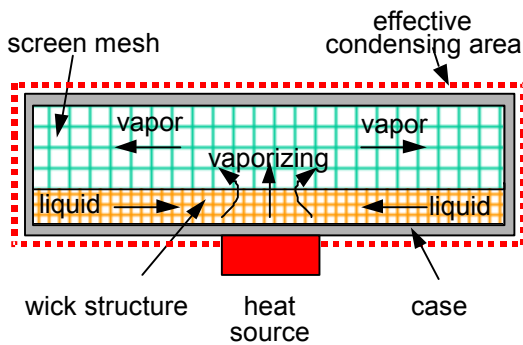


Fig. 1 The basic structure of the heat spreader

않도록 재질의 선정이 이루어져야 한다.

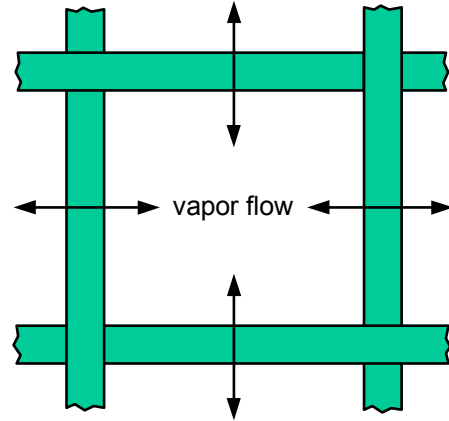


Fig. 2 Schematic of screen mesh

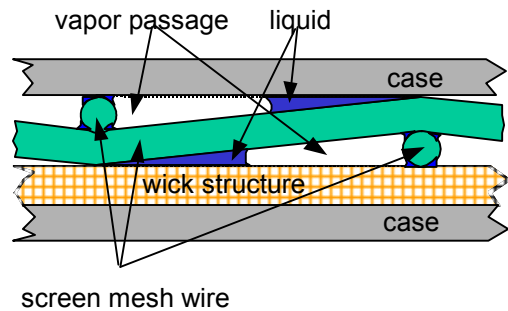


Fig. 3 The detail view of the heat spreader

2.2 작동 원리

Fig. 1 에 나타난 바와 같은 히트 스프레더의 열원에 열이 가해지면 이 열은 케이스를 통하여 열원의 상부측에 위치한 워구조로 전달된다. 워구조에 충전되어 있던 액체 상태의 작동 유체는 열원으로부터 전달된 열을 흡수하여 증발한다. 이 증기는 스크린 메쉬 층에 형성된 증기유로를 통하여 사방으로 확산된다.

Fig.3 는 히트 스프레더 내부에 워구조와 함께 장착된 스크린 메쉬의 단면 형상을 자세하게 나타내었다. Fig.2 에 나타난 바와 같이 강성이 있는 와이어들이 서로 상하로 교차하며 스크린 메쉬를 형성하는데, 스크린 메쉬 격자 하나의 단면은 Fig.3 에 나타난 바와 같은 형상을 갖게 된다. 그림에서 보는 바와 같이 와이어들이 상하로 교차하면서 빈

공간을 형성하게 되는데, 바로 이 공간이 증기유로의 역할을 하게 된다. 이 증기유로는 사방으로 형성되어 있으므로 Fig.2 에 나타난 바와 같이 증기는 사방으로 유동할 수 있게 된다.

증기유로를 통하여 사방으로 퍼진 증기는 Fig.1 에 점선으로 표시한 유효 응축부위에서 응축된다. 증기가 응축되어 액체 상태가 되면 증발부의 모세관력에 의하여 워구조를 통하여 증발부로 귀환한다. 유효 응축부는 열원을 제외한 히트 스프레더의 전 면적에서 가능하며, 이 부위의 어느 한 곳 이상에 열교환 장치가 설치되면, 열방출 장치가 장착되는 케이스의 내부에서 응축이 일어나게 된다. 이와 같이 열방출 장치가 설치되어 응축이 일어나는 영역을 이하 ‘응축부’라 칭한다.

Fig.3 에는 증기가 응축되어 썪기 단면의 끝부분에서 액체상태로 존재하는 모습을 타내었다. 또한 이와 같은 응축은 그림의 단면에 수직한 와이어의 둘레에서도 일어난다. 이렇게 응축된 액체상태의 냉매는 와이어들의 교차지점에 형성되는 작은 썪기구조를 통하여 워구조로 전달된다.

이상과 같이 본 연구에서 제시한 구조를 갖는 히트 스프레더는 제작이 쉽고, 임의의 형상으로 제작이 가능한 구조적 특징을 가지므로 두께가 얇고 부피가 작아 냉각장치의 장착이 어려운 전자장비의 냉각에 효율적으로 사용될 수 있다.

3. 실험

3.1 히트 스프레더 제작

히트 스프레더는 워의 역할과 증기유로 역할을 하는 스크린 메쉬, 케이스 및 작동유체로 구성된다. 본 연구에서는 워구조로는 순도가 99% 이상인 구리 와이어로 제작된 메쉬 수가 100 인 스크린 메쉬를 사용하였으며, 증기유로를 형성하는 스크린 메쉬는 순도가 99% 이상이고 구리 와이어로 제작된 메쉬 수가 14 인 스크린 메쉬를 사용하였다. 케이스는 두께가 0.2mm 인 압연 동박을 사용하였으며, 작동유체는 증류수를 사용하였다. 제작된 두 종류의 히트 스프레더의 워는 각각 100 메쉬를 한 겹을 사용하여 제작한 경우 두께 1.4mm, 100 메쉬 두 겹을 사용하여 제작한 경우는 두께 1.6mm 를 가진다. 가로 및 세로의 길이는 60mm 및 130mm 로 동일하다. 작동 유체를 주입하기 전 로타리 진공 펌프 및 디퓨전 진공 펌프를 사용하여 히트 스프레더의 내부를 $8.0 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 이하까지 진공으로 만든 뒤, 작동 유체의 불응축 가스가 제거된 증류수를 충전하고 최종 밀봉하였다. 진공도는 Diavac 사의 이온화 게이지(Ionization gauge,

Model IT-L20P)를 사용하여 측정하였다.

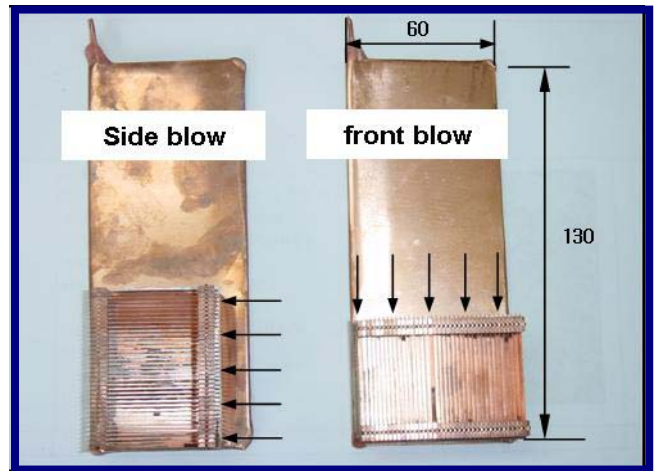


Fig.4 The heat spreader cooling module

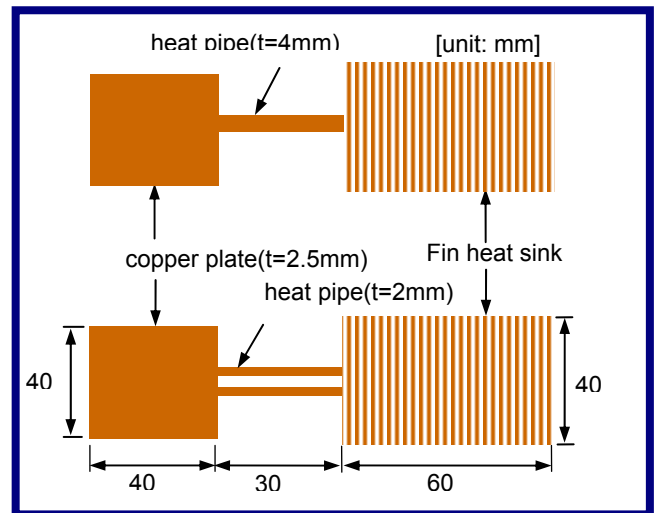


Fig.5 The heat pipe cooling module

3.2 실험용 냉각 모듈 샘플 제작

전술한 바와 같이 제작된 각각의 두께가 1.4mm, 1.6mm 히트 스프레더를 이용하여 실제 CPU냉각에 사용되는 냉각 모듈의 형태로 제작하기 위해 히트 스프레더 케이스 위에 저온용납을 사용하여 핀을 직접 솔더링하여 열교환부를 부착하였다. 열교환부에 사용된 핀은 핀 간격 1.3mm, 두께 0.3mm인 구리 핀이다. 본 연구에서는 팬 유동에 따른 히트 스프레더의 열전달 성능에 대한 영향을 알아보기 위해 핀을 Fig.4에 보이는 바와 같이 각각 side blow type, front blow type의 두 가지 형태로 히트 스프레더의 냉각 모듈을 제작하였다.

일반적으로 노트북 CPU냉각의 경우 RHE (Remote heat exchange) 시스템을 사용하고 있으며, 이는 직경 4-6mm의 히트 파이프를 노트북의 내

부 공간에 맞추어서 두께를 2~4mm로 전면 압착하고, 이를 핀과 팬 등을 장착하여 냉각 모듈을 제작하는 것이 주류이다. 본 연구에서는 Fig.5에 보이는 바와 같이 각각의 외경 4mm, 6mm의 히트 파이프를 각각 2mm, 4mm로 전면 압착하여 열교환부에 히트 스프레더 표면에 부착한 핀과 동일한 크기의 구리 핀을 직접 솔더링하여 열교환부를 제작 하였다. 또한 히트 블록의 장착이 용이하기 위하여 두께 2.5mm를 가지는 구리 판을 히트 파이프 증발부에 솔더링하여 히트 파이프 냉각 모듈을 제작하였다. 본 연구에 사용된 테스트 샘플의 종류는 Table.1에 보여지는 바와 같다.

Table.1 The specification of samples for experiment

| Item | Specification |
|---------------------|--|
| Heat spreader 1 | 130(L)X60(W)X1.1(T) Wick type: 100 mesh (1 겹) |
| Heat spreader 2 | 130(L)X60(W)X1.3(T) Wick type: 100 mesh (2 겹) |
| Heat pipe 1 (t=4mm) | Length/Diameter = 130mm/ 6mm Wick type = sintered metal |
| Heat pipe 2 (t=4mm) | Length/Diameter = 130mm/4mm Wick type: groove wick type |
| Heat pipe 3 (t=2mm) | Two heat pipes are joined (Dia=4mm) |

3.3 실험장치

본 연구에서는 각각의 냉각 모듈 샘플에 부착된 열원에 가해지는 입력 전력에 변화에 따른 열전달 성능을 알아보기 위해 Fig.6 에 나타난 바와 같이 실험 장치를 구성하였다. 히트 스프레더의 열원, 단열부, 열교환부, 외기온도 등의 5 지점의 온도측정을 위해 열전도 접촉제를 이용하여 열전대(TFCP-005)를 각 지점에 1 개씩 설치하였다. 중력장의 영향을 알아보기 위해서는 Fig.7 에서 보여지는 바와 같이 열원과 열교환부를 각각 중력장 방향과 중력장 역방향으로 설치하여 열전달 성능을 살펴 보았다. 열원으로 사용되는 히트 블록은 구리를 제작하여 사용하였으며 열원의 면적은 가로 및 세로가 각각 12mm 이다. 열원의 중앙부에 형성된 구멍에 카트리지 히터를 부착하여 설정된 입력 전력을 공급하였다. 히트 스프레더에 공급된 열량을 외부로 방출 시키기 위하여 원심 팬(RPM=2,900)을 사용하여 강제 냉각시켰다. (TFCP-

005)를 사용하였다.

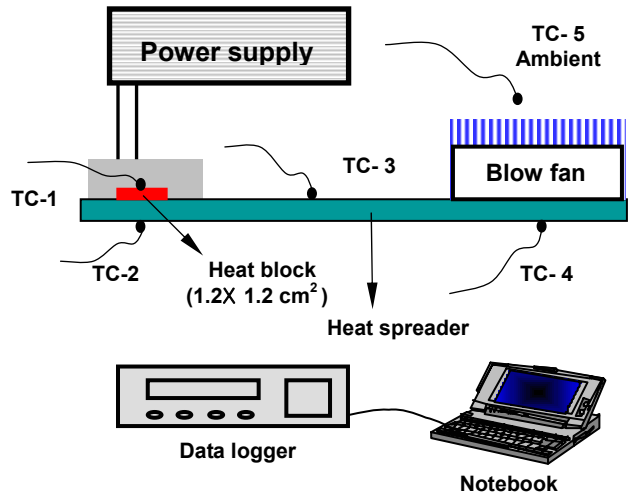


Fig.6 The schematic of experimental apparatus.

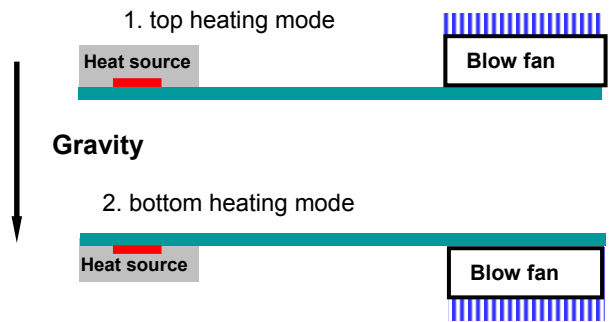


Fig.7 The experimental schematic according to the location of heat source and heat exchange section.

3.4 실험방법

본 연구에서의 실험은 ±2℃의 오차 범위 내로 온도 조절이 가능한 간이 항온실 내에서 외부 온도를 25℃로 설정하고 실험을 수행하였다. 파워 서플라이를 통하여 열원에 공급하는 입력 전력, Q_{in} 을 20W 에서 30W 까지 5W 씩 증가 시키면서 실험을 수행하였다. 각 입력 전력의 경우에 대하여 열전대와 연결된 데이터 로거를 통하여 온도를 측정하여 열원의 표면에 부착한 열전대의 온도 변화가 ± 0.05 ℃이내로 3분 이상 지속되면 정상 상태로 간주하고, 이 때부터 200 초간 5 개의 위치에 장착된 각각의 열전대로부터 200 개의 온도 데이터를 측정하였다. 이와 같이 측정된 데이터를 노트북 컴퓨터를 사용하여 수집하여 각각의 온도의 평균값을 실험 결과로 사용하였다

4. 결과 및 검토

Fig.8 은 100 메쉬 1 겹으로 구성된 두께 1.4mm 인 히트 스프레더에 대한 실험결과이다. 20W 에서 30W 까지 입력 전력 Q_{in} 을 5W 씩 증가시키면서 입력전력이 열원에 가해질 때, 총열저항의 변화를 나타내었다.

총열저항은 아래의 식 (1)을 이용하여 계산하였으며, T_h 와 T_a 는 열원 표면의 중앙부 온도와 항온실 외부 온도이다.

$$R = \frac{T_h - T_a}{Q_{in}} \quad (1)$$

Fig.8 에서 중력장과 유동 패턴이 히트 스프레더의 열전달 성능에 미치는 영향에 대하여 살펴보면, 냉각 팬이 핀의 정면에 위치하는 front flow, 열원의 위치는 bottom heating mode 일 때 입력 전력의 변화에 따른 총열저항이 가장 낮은 값을 가짐으로써 가장 뛰어난 열전달 성능을 보인다.

이는 bottom heating mode 일 경우, 모세관력을 발생시키는 워이 히트 스프레더의 케이스 하부면에 위치하여 중력장방향에 놓이게 됨으로써, 워이 중력역방향으로 위치하게 되는 top heating mode 에 비해 액체회환이 보다 원활하게 이루어지기 때문이다. 또한 팬의 유동측면에서는 팬이 핀의 정면에 위치하는 front flow 일 경우 히트 스프레더 케이스 면적까지 열교환 면적으로 이용될 수 있기 때문에 side flow 보다 열교환 측면에서 보다 효율적이다.

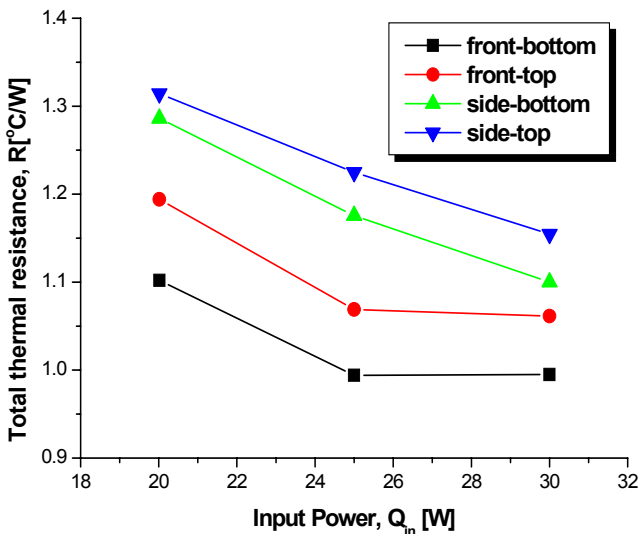


Fig.8 The variations of total thermal resistance of 1-layer heat spreader according to input power

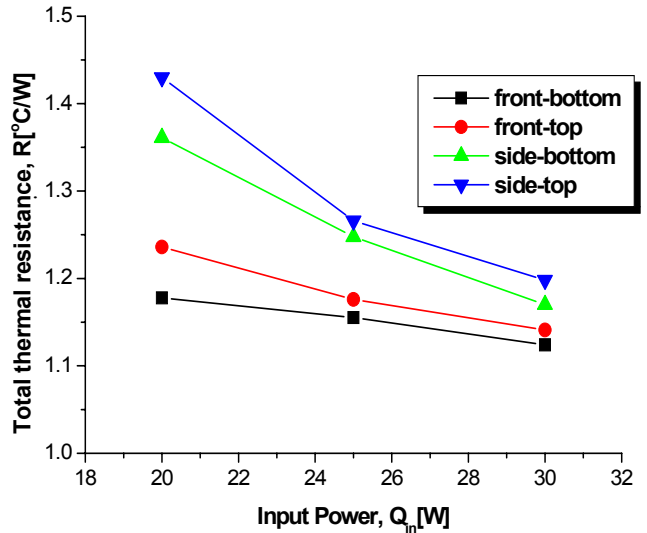


Fig.9 The variations of total thermal resistance of 2-layer heat spreader according to input power

중력장의 영향과 팬 유동의 두 가지 인자만 고려한 결과로는 중력장의 영향이 유동 패턴의 영향보다 열전달 성능에 다소 지배적으로 나타났다.

Fig.9 은 두께 1.6mm 인 히트 스프레더에 대한 열전달 실험 결과이다. 두께 1.6mm 를 가지는 히트 스프레더는 워이 역할을 하는 100 메쉬가 히트 스프레더의 상,하판 중 한쪽 면에만 위치하는 두께 1.4mm 히트 스프레더와 달리, 증기 유로 및 케이스 지지 구조 역할을 하는 굵은 메쉬가 가운데 위치하고, 굵은 메쉬 양면으로 100 메쉬가 구성되는 구조를 가지기 때문에 열원과 열교환부를 히트 스프레더 상,하면 어느 쪽에나 장착 할 수 있는 장점을 가진다. Fig.9 에서 보여지는 바와 같이 두께 1.4mm 히트 스프레더와 유사한 실험 경향을 보이며, front flow, 열원의 위치는 bottom heating mode 에서 가장 우수한 열전달 성능을 보였다.

두께 1.4mm 히트 스프레더 냉각 모듈에 비해서는 열저항이 4.8~12.9% 가량 높은 경향을 보이며, 다소 열전달 성능이 떨어짐을 알 수 있다. 두께 1.6mm 히트 스프레더의 경우 워이 2 겹으로 구성되어 있기 때문에, 증발 면적이 넓은 장점과 1 겹 워이에 비하여 더 큰 모세관력을 발생 시킬 수 있는 장점이 있으나, 본 연구에서는 유효 열전달 길이 (effective heat transfer length)가 비교적 짧아, 1 겹 워이의 히트 스프레더에서도 충분한 모세관력을 발생 시킬 수 있으므로, 상대적으로 전도 열저항이 작은 1 겹 히트 스프레더가 우수한 열전달 성능을 보였다.

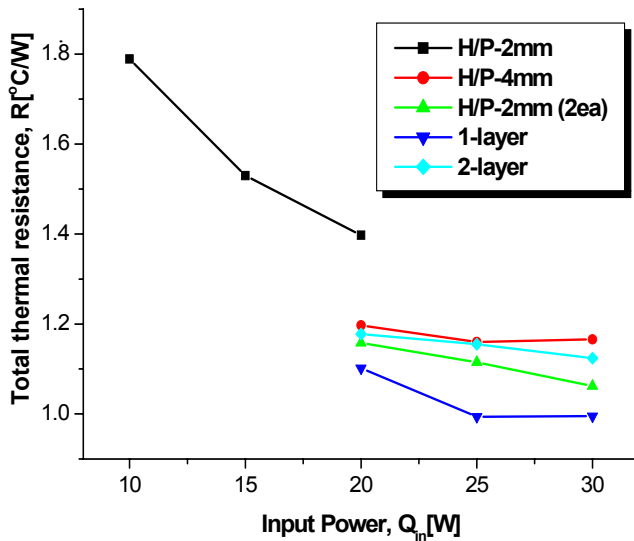


Fig.10 The variations of total thermal resistance of heat spreader and heat pipe according to input power.

Fig.10 은 앞에서 수행한 각각의 두께 1.4mm, 1.3mm 를 가지는 히트 스프레더와 직경 4mm, 6mm 를 가지는 히트 파이프를 두께 2mm, 4mm 로 전면 압착하여 제작한 히트 파이프에 대하여 입력 전력, Q_{in} 의 변화에 따른 총열저항의 변화를 비교하여 나타내었다. Fig.10 에서 두께 2mm 를 가지는 히트 파이프의 경우 입력 전력 Q_{in} 을 10~25W 까지 5W 씩 증가시키며 실험을 수행하였다. 10W~20W 에서는 입력 전력이 증가함에 따라 열저항이 선형적으로 감소하였으며, 25W 부터는 열원과 열교환부의 온도차가 급격히 증가하는 dry-out 현상을 보였다. 두께 2mm 히트 파이프의 워킹 형태는 그루브 타입 워킹으로써 전면 압착 후에도 그림에서 보는 바와 같이 20W 까지는 비교적 우수한 열전달 성능을 보였다. 두께 4mm 를 가지는 히트 파이프의 경우, 워킹구조가 소결 분말 워킹으로써 2mm 두께를 가지는 그루브 타입 워킹에 비해 우수한 모세관력을 발생 시킬 수 있고 단면적의 증가로 상대적으로 보다 넓은 증기 유동 공간을 확보하기 때문에, 그림에서 보여지는 바와 같이 비교적 높은 발열량인 30W 이상에서도 dry-out 현상 없이 우수한 열전달 성능을 보인다. 두께 2mm 히트 파이프를 2 개를 평행하게 구성하여 제작한 히트 파이프 냉각 모듈에서는 열 분산 효과로 열저항 1.03~1.15°C/W 의 열저항을 가짐으로써 두께 4mm 인 소결 분말 워킹 히트파이프 보다 3.3~12%정도 뛰어난 열전달 성능을 나타내었다.

Fig.10 에서 보여지듯이 두께 1.4mm 를

가지는 히트 스프레더가 입력 전력 20~30W 에서 열저항 0.99~1.1°C/W 로 5 가지 형태의 냉각 모듈 중, 가장 뛰어난 열전달 성능을 나타내었다.

이상의 결과들을 통해 본 연구에서 제시한 구조를 갖는 히트 스프레더의 열전달 성능이 뛰어난을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 스크린 메쉬를 사용하여 증기 유로 및 액체 유로를 형성한 히트 스프레더를 제작하고 이를 이용하여 냉각 모듈을 구성한 후, 입력 전력에 따른 열원의 온도와 히트 스프레더의 표면 온도 등을 측정하여 열전달 성능을 히트 파이프와 비교하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 히트 스프레더의 경우, 히트 스프레더 케이스가 side flow 에 비해 보다 넓은 열교환 면적으로 사용할 수 있는 front flow, 워킹 중력장 방향에 위치하여 액기환이 용이한 bottom heating mode 에서 두께 1.4mm 인 히트 스프레더가 입력전력 20~30W 에서 열저항 0.99~1.1°C/W 로 가장 우수한 열전달 성능을 나타내었다.

(2) 히트 파이프와 열전달 성능을 비교한 결과 히트 스프레더는 열원을 제외한 케이스의 전면적을 모두 방열부로 사용할 수 있고, 열원과 핀이 직접 히트 스프레더 케이스에 부착하여 열접촉 저항을 최소화 할 수 있는 장점을 가짐으로써 뛰어난 열전달 성능을 가진다. 이로써 히트 스프레더를 이용하여 노트북 PC, 데스크 탑 PC 등의 전자 장비 냉각장치에 대해 많은 활용이 기대된다.

참고문헌

- (1) Kevin Grubb, 1999, "CFD Modeling of a Thermo-Base(TM) Heat Sink", 8th International FLOTHERM User Conference, Las Vegas, USA, pp. 13-14, May 1999
- (2) Thomas, D. L., "Thin Planar Heat Spreader", United States Patent, Patent No. : 6167948 B1
- (3) Jones, W. K., Liu, Y. and Gao, M., 2002, "Micro Heat Pipes in Low Temperature Cofire Ceramic(LTCC) Substrates", The 18th Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems(Itherm), San Diego, California, USA, pp. 230~235..
- (4) <http://www.intel.com/support/processors/mobile/pentium4/thermal.htm>