

碩 士 學 位 論 文

열전달 효율 및 생산성 개선을 위한  
**Micro Heat pipe Heat Spreader 의 설계 및  
제작**

**The Design and Fabrication of Micro Heat  
pipe Heat Spreader to improve the Heat  
transfer and Productivity**

林 正 洙

漢陽大學校 大學院

2007 年 2 月

碩 士 學 位 論 文

열전달 효율 및 생산성 개선을 위한  
Micro Heat pipe Heat Spreader 의 설계 및  
제작

**The Design and Fabrication of Micro Heat  
pipe Heat Spreader to improve Heat  
transfer and Productivity**

指導教授 安 裕 民

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出합니다.

2007 年 2 月

漢陽大學校 大學院

機械工學科

林 正 洙

이 論文을 林正洙 의 碩士 學位論文으로 認准함

2007 年 2 月

審査委員長 조 남 규 (印)

審査委員 안 유 민 (印)

審査委員 조 진 현 (印)

漢陽大學校 大學院

# Index

요지	.....	I
Nomenclature	.....	III
List of Figures	.....	IV
List of Tables	.....	V
1. 서론	.....	1
1.1 연구배경	.....	1
1.2 연구동향	.....	3
1.3 연구목적	.....	5
2. 이론	.....	6
2.1 히트파이프(Heat pipe)	.....	6
2.2 히트파이프(Heat pipe) 구성 및 동작 원리	.....	7
3. 3. Micro Heat pipe Heat Spreader 의 설계 및 제작	.....	10
3.1 Heat Spreader 의 설계	.....	10
3.2 Heat Spreader Tool 의 제작	.....	11
3.3 Heat pipe Heat Spreader 의 제작	.....	15
3.4 제작결과	.....	15
4. 실험방법	.....	16
4.1 실험	.....	16
4.2 Simulation	.....	19
5. 실험결과	.....	21
5.1 히트싱크(Heat Sink)의 온도 분포 측정	.....	21
5.2 입력전력의 변화에 따른 HPHS 의 성능	.....	22

6. 결론 및 고찰 ..... 25

Reference ..... 27

Abstract

감사의 글

# 요 지

## 열전달 효율 및 생산성 개선을 위한 Micro Heat pipe Heat Spreader 의 설계 및 제작

임정수

지도교수 안유민

한양대학교 대학원 기계공학과

전자 산업의 발전에 기반이 되는 반도체 산업의 영향으로 고성능의 반도체 부품의 성능은 급격하게 발전하고 있다. 초집적화를 지향하는 반도체 산업은 그 성능의 발전만큼 발열량 또한 증가하게 되는데, 최근에는 발생하는 열에 대하여 효과적으로 열방출을 시키는 것이 중요한 요소로서 연구되고 있다. 1984 년 Cotter 에 의해 개발된 마이크로 히트파이프 (MHP: Micro Heat Pipe)가 가진 뛰어난 열전달 능력과 더불어 무소음, 무전원 공급이란 장점은 초소형 전자부품에서 발생하는 Hot Spot 의 효과적인 열방출에 우수한 해결책을 줄수 있을 것으로 많은 연구가 되고 있다. 현재까지 연구된 마이크로히트파이프(MHP; Micro Heat pipe)는 MEMS(Micro Electro Mechanical System)공정의 기반이 되는 반도체 공정에서 Bulk Micro Machining 기법을 통하여 수십마이크로의 채널을 제작하여, 그 성능을 평가하였고, 국부적인 Hot Spot 에서 넓은 면적의 히트싱크(Heat Sink)로의 효과적인 열방출을 위해 방사형태를 가진 마이크로히트파이프히트스프레더 (MHPHS;Micro Heat pipe Heat Spreader)의 채널구조 역시 같은 유형의 반도체 공정을 통하여 제작하고 있다. 반도체 공정을 통한 마이크로히트파이프(Micro Heat pipe Heat spreader)의 제작은 수십 마이크로 단위의 채널의 그루브(Groove)를 형성하기 위해서 반도체 공정을 통해 5 ~ 6 단계의 공정을 거치게 된다. 그러나, 이러한 방식은 단순한 형태의 그루브(Groove)라도 5 ~ 6 단계의 반도체 공정을 거쳐야 하고, 또한 중소 업체의 경우, 현재 출시되고 있는 다양한 형태의 Chip 에 적합한 각각의 디자인에 능동적으로 대응 하기에는 반도체 공정장비를 확보 하기 위해 많은 투자비가 장애로 작용할 것으로 보인다.

본 연구에서는 이러한 장애를 극복 하고자, 상대적으로 적은 공정과 함께 투자비 부담을 감소 시킬수 있도록 하였다. 기본적으로는 히트파이프(Heat pipe)의

원리를 이용하여 본 연구 논문의 표제와 같이 ‘효과적인 열전달 효율과 생산성 개선을 위한 Heat pipe heat spreader 를 설계 및 제작’하고 그 성능을 분석 하였다. 히트파이프히트스프레더(Heat pipe Heat Spreader)의 경우에는, 그루브(Groove)를 형성하기 위해 Test 용 금형을 제작한 후 Stamping 공정을 통하여 Aluminum Plate 에 200 $\mu$ m 깊이의 그루브(Groove)를 형성하였고, Chemical Bonding 으로 상호간에 접합하였다. 작동 유체는 DI Water 를 Steam Blow 방식으로 약 70%의 Fill rate 로 주입하였다. 초 집적화된 전자 부품에서의 발열을 재현하기 위해서는 마이크로히터(Micro Heater)를 MEMS(Micro Electro Mechanical System)공정으로 제작하여 Power Supply 를 통해 Control 할 수 있도록 하였고, Hot Spot 은 구리(Copper)를 8 x 8 mm 의 단면적으로 히트싱크(Heat sink)와 접촉될수 있도록 제작하여, 마이크로히터(Micro Heater)로부터 발생된 열을 히트싱크(Heat Sink)로 전달 하는 매개체 역할을 하도록 하였다. 온도 측정은 K-type 의 열전쌍(Thermocouple)을 Hot Spot 에 부착하여, 5watt 에서 25watt 까지 5watt 단위로 증가하는 Power Input 에 대한 온도 변화를 제작된 MHPHS 를 부착한 상태와 부착하지 않은 상태간에 비교 측정하였고, 그 결과 부착한 경우에 Hot Spot 의 온도는 부착하지 않은 상태보다 7.9C 의 온도 감소 효과가 있었다. 실험에 대한 결과로 공정수를 줄이고 투자부담을 줄이기 위한 시도에서 그 가능성을 발견할 수 있었다.

# Nomenclature

$Q$	flow rate
$\mu$	Dynamic viscosity
$p$	pressure
$g$	gravity
$V$	velocity
$\delta$	deflection
$\lambda$	deformation
$\sigma$	stress
$M$	moment

# List of Figures

- Fig.1. (a) 4 bit Microprocessor (4004) (b) 32G 42nm Nand Flash
- Fig.1-2. (a) 국부적인 온도 분포 (b) Heat Spreader 적용시 온도 분포 (c) Heat Sink 에서의 온도 분포
- Fig. 1-3. MHPHS(Micro Heat pipe Heat Spreader)의 제작 공정도
- Fig. 1-4. MHPHS(Micro Heat pipe Heat Spreader)의 제작 공정도 - 금형
- Fig.2.1 Heat Pipe 의 작동 개념도
- Fig.2.2 Heat Pipe wick 구조 (a) Groove Type (b) Metal Mesh Type (c) Sintered powder
- Fig.3.1 (a) 제작 공정도 (b)Photo Mask (c) 제작된 Micro Heater
- Fig.3-2. (a) Vapor phased Top Substrate 디자인 (b) Partition Plate. (c) Liquid phased Bottom Substrate 디자인
- Fig.3-3. (a) MHPHS 제작 공정도 (b) Vapor Phased Top Substrate Test 금형  
(c) Liquid phased Bottom Substrate Test 금형
- Fig.3-4. 제작된 Vapor Phased Top Substrate 와 Liquid phased Bottom Substrate
- Fig.3-5. 제작된 MHPHS(Micro Heat Pipe Heat Spreader)
- Fig. 4-1. 온도 분포 측정 위치
- Fig. 4-2. Test Module 구성 및 사진
- Fig. 4-3. Test Platform 개략도 와 사진.
- Fig 4-4. Simulation 결과 (a) 온도 분포 Graphic (b) 온도 분포 Graph
- Fig. 5-1. Heat Sink 의 온도 분포 (25watt 기준)
- Fig. 5-2. Hot Spot 에서의 온도 Graph (Input Power vs. Temperature)
- Fig. 5-3. Hot Spot 에서의 열저항 Graph (Input Power vs. Thermal resistance)
- Fig. 5-4. 기존 연구 논문과의 비교

## List of Tables

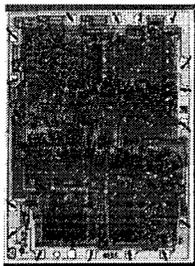
Table 4.1 Simulation 경계 조건 (Simulation Tool : FLOTHERM)

Table. 5-1. 연구 결과 비교

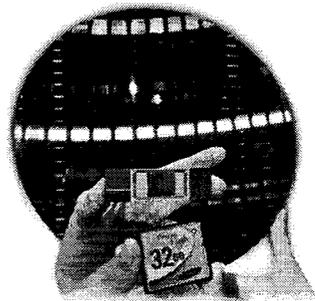
# 1. 서론

## 1.1 연구배경

급속도로 발전하는 반도체산업의 영향으로 전자제품의 발전은 20 세기 이후로 처리속도가 수 GHz 에 이르는 컴퓨터(Computer)의 출현과 휴대용 전자제품(Portable Device)의 상용화와 같은 결과를 가져왔다. 이러한 전자제품의 발전은 그 성능의 발전과 더불어, 초집적화를 꾸준히 실현하고 있는 반도체 Chip 에서 발생하는 열을 효과적인 방법으로 제거하는 것이 매우 중요하게 인식되고 있다. 예를 들어, 100Watt 급이상의 발열량을 갖는 컴퓨터의 CPU 는 안정적인 동작을 위해 50℃미만의 온도를 유지해야 하고, 85℃ 이상의 온도에서는 동작이 정지되는 것과 같이, 고성능의 전자 제품에서는 동작 시 발생하는 열을 효과적으로 분산시키는 것 또한 매우 중요한 요소로서 성능에 직접적인 영향을 미친다고 할 수 있다.<sup>(1)</sup> 그러나, 앞에서 언급하였듯이 초집적화를 지향하는 반도체 산업의 발전은 Chip size 의 감소에 따라 열방출(Heat dissipation)을 위한 방열판의 축소를 가져오는 결과를 가져왔다. 이는 효과적으로 열을 분산시키는데 많은 장애가 되고 있는 것이 현실이다.



(a)



(b)

Fig.1. (a) 4 bit Microprocessor (4004) (b) 32G 42nm Nand Flash

현재는 CPU 를 포함한, 일반적인 전자부품에서의 열방출(Heat dissipation) 은 히트싱크(Heat Sink)와 팬(Fan)의 조합으로 생산되어 전자제품에 장착되고 있으나, 초소형화를 지향하는 초집적 반도체 부품에서 발생하는 Hot spot 의 크기 감소와는 반대로 히트싱크(Heat sink)의 크기는 CPU 의 Clock speed 와 같이 처리속도의 증가로 인한 발열량 증가로 히트싱크(Heat Sink) 부피 증가라는 결과를 가져오고 있으며, 또한 히트싱크(Heat Sink)의 열방출(Heat dissipation)을 증폭시키기 위해 히트싱크(Heat sink)에 부착되는 팬(Fan)은 동작시 발생하는 소음으로 인해, 제품의 품질에 또 다른 결함으로 인식되고 있는 실정이다.<sup>(2)</sup> 이러한 문제점에 대하여, 1984 년 Cotter 에 의해 개발된 마이크로히터파이프 (MHP: Micro Heat pipe)가 가진 뛰어난 열전달 능력과 더불어 무소음, 무전원 공급이란 장점이 초소형 전자부품에서 발생하는 Hot Spot 의 효과적인 열방출에 우수한 해결책을 줄수 있을 것으로 보인다.<sup>(3)</sup>

Heat pipe 의 원리를 이용한 Heat Spreader 의 역할은 아래 Fig.1-2.에서 볼 수 있다. 초집적화를 지향하는 반도체의 경우, 그 성능에 따라 Hot Spot 의 온도가 Fig.1-2(a)와 같이 국부적으로 분포하게 되면 (c)의 그림의 (a)그래프와 같은 온도 분포를 히트싱크(Heat Sink)에 나타나게 된다. 이 경우, 집적화된 반도체 Chip 의 온도 상승으로 큰 용량의 히트싱크(Heat Sink)의 적용을 요구하게 된다. 그러나, Heat Spreader 의 적용시에는 Fig.1-2(b)와 같이 Heat Spreader 전 면적에 고른 온도 분포를 나타내어, (c)의 그림에서 (b)그래프와 같이 고른 온도 분포를 가지게 되므로서, 결과적으로, Hot Spot 의 온도감소 효과를 가져옴으로서 히트싱크(Heat sink) 사이즈의 변경 없이 보다 효율적인 열방출(Heat Dissipation)의 효과를 기대할 수 있게 한다.



을 거쳐서 163 $\mu$ m 깊이의 채널을 형성시켜 27%의 온도감소 효과를 보았다.<sup>(3)</sup>

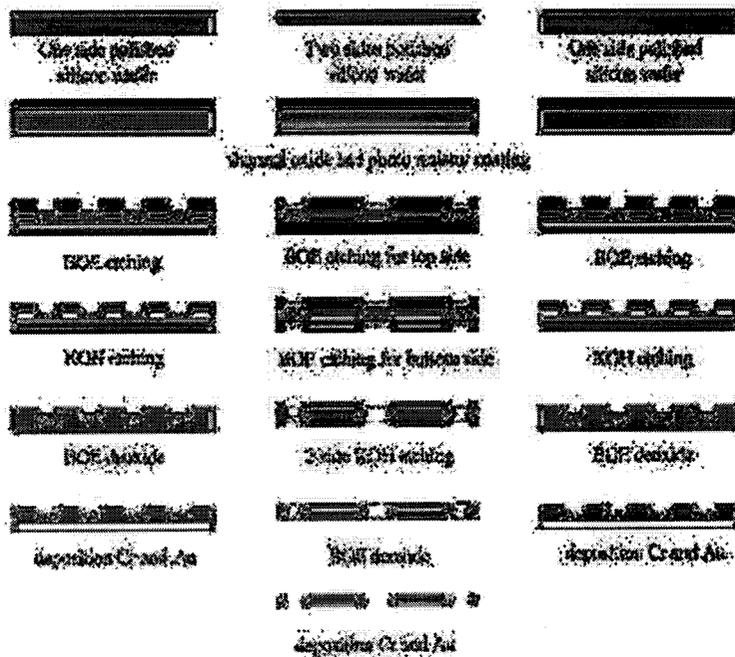


Fig. 1-3. MHPHS(Micro Heat pipe Heat Spreader)의 제작 공정도<sup>(4)</sup>

이러한 공정은 채널(Channel)을 형성하기 위해 5 ~ 6 단계의 반도체 공정을 거쳐야 한다는 점과 반도체 공정을 위해 많은 투자비가 투입되어야 한다는 점에서 일반 중소 업체에서 자체 Fab 을 운영하기에는 많은 어려움이 있다. 결국, 자체 Fab 을 운영하지 못하고, Fab 을 보유한 업체에 위탁생산을 해야 하고 이는 결국 생산비 상승으로 이어져 재료비의 상승 결과를 가져오게 된다.

### 1.3 연구목적

1.2 에서 언급한 것과 같이, Fab 을 보유하지 못한 중소기업에서 시장 상황에 맞는 다양한 Chip 과 그 성능별로 다른 크기와 형상의 히트싱크(Heat Sink)에 대응하기 용이한 MHPHS(Micro Heat pipe Heat Spreader)의 제작과 저렴한 MHPHS(Micro Heat pipe Heat Spreader)의 상용화 및 공급을 추진하는데 다수 공정에 대한 부담과 많은 초기 투자비는 사업착수에 장애가 되므로, 본 논문에서는 Fig. 1-2. 에서와 같이, 보다 다양한 크기의 Chip 에 대응하고, 히트싱크(Heat sink) Size 감소를 위해 상대적으로 적은 투자비로 적용할 수 있는 MHPHS 의 제작을 위해 현재 기계산업에 널리 이용되고 있는 Press 금형을 이용한 공정을 통하여 그루브(Groove)를 제작하고, 채널의 기체-액체 간의 상변화를 유도하기 위한 워크(Wick)은 Etching 공정을 통해 제작함으로써, 공정의 감소 및 투자비의 절감으로 보다 저렴하게 실용화할 수 있는 MHPHS 를 제작가능성에 대하여 연구하였고 그 성능을 분석하였다.

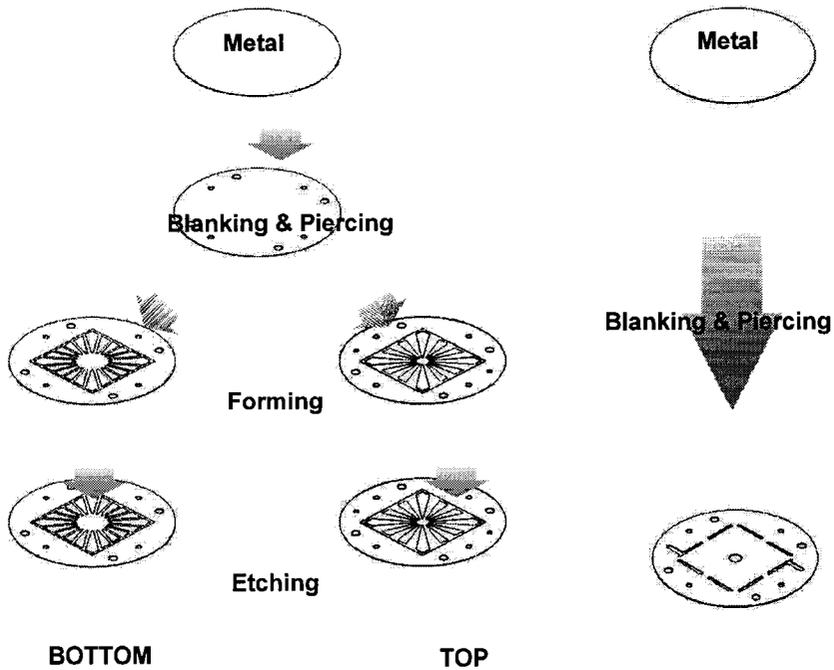


Fig. 1-4. MHPHS(Micro Heat pipe Heat Spreader)의 제작 공정도 - 금형

## 2. 이론

### 2.1. 히트 파이프 (Heat pipe)

히트파이프(Heat pipe)의 원리는 1944 년 미국의 R.S Gauler 에 의해 특허 출원되었으나, 상용화 되지 못하였고, 1962 년 미국 Los Alamos 연구소의 G.M Grover 에 의해 히트파이프(Heat pipe)로 불리어 지면서 연구가 시작되었다.<sup>(1)</sup> 히트파이프(Heat pipe)란 밀폐된 용기안에 작동유체를 주입하고 진공 상태로 만든 장치로 히트파이프(Heat pipe)내부에서 작동유체는 두가지 상(Phases)으로 존재하여 열전달을 일으키는 장치이다. 장점으로는 다음과 같다.

- 1) 소형, 경량, 간단한 구조
- 2) 무전원, 반영구적인 수명, 높은 신뢰성
- 3) 빠른 열전달 효율
- 4) 작은 온도차에서 많은 열전달.

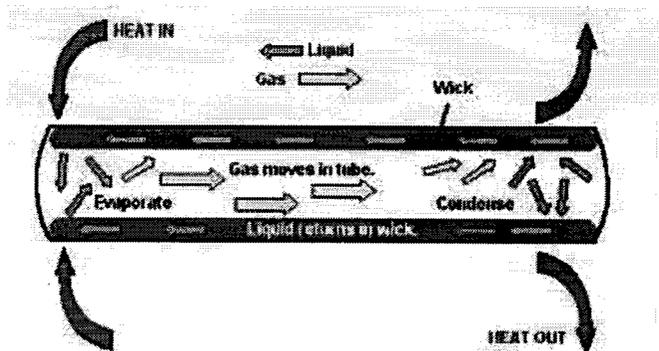
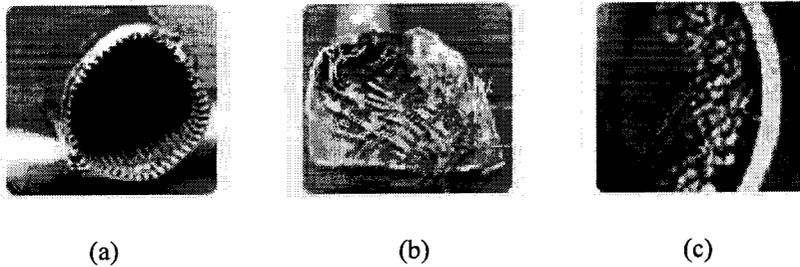


Fig.2.1 Heat Pipe 의 동작 개념도

## 2.2 히트 파이프 (Hat pipe) 구성 및 동작 원리

히트파이프의 증발부에 열이 가해지면 외벽을 통한 열전도에 의해 열이 전달되고, 높은 압력의 용기 내부는 아주 작은 온도에서도 워표면에서 증발을 일으키고 증발부의 증기영역은 증기 밀도와 압력을 증가시키게 되어 중심부 증기 통로에는 상대적으로 밀도와 압력이 낮은 응축부 방향으로 압력 구배가 생성되어 증기가 이동하게 된다. 이때 증발 잠열만큼의 많은 양의 열을 가지고 이동하게 된다. 응축부의 증기는 상대적으로 낮은 온도의 응축부 내벽에서 냉각되어 열을 방출하고 액체 상태로 회귀하게 된다. 액체 상태의 작동유체는 워 내부의 기공을 통하여 워의 모세압 또는 중력에 의해 증발부 쪽으로 귀환하게 되는 것이다.



**Fig.2.2 Heat pipe Wick 구조 (a) Groove Type (b) Metal Mesh Type (c) Sintered powder**

작동유체에 대한 히트파이프(Heat Pipe)의 작동과정을 살펴보면 히트파이프(Heat pipe)는 기체 - 액체 상변화에 관한 열역학적 임계점과 삼중점 사이의 온도 범위에서 작동할 수 있으며, 이러한 두개의 끝점은 이론적인 동작 하한온도와 상한온도를 지시 한다. 임계점 부근의 고압 증기는 히트파이프(Heat pipe)를 설계하는데 중요한 요소가 된다.

파이프 내의 기체 - 액체 계면은 상 균형의 조건을 만족해야 하는데 이러한 열역학적 평형 상태는 히트 파이프(Heat pipe)의 열역학적 상태를 이해하는데 중요하며, 히트 파이프(Heat pipe)가 작동하기 위해서는 이러한 열역

학적 평형을 유지하여야 한다. 아래의 식은 잠열이 상수이고 이상기체라는 가정에서 Clapeyron 식으로부터 유도된 것이다.

$$\frac{P}{P_o} = \exp\left(-\frac{i_g}{R_o T}\right)$$

$P$ : 압력

$P_o$ : 임의의 지점에서의 압력

$i_g$ : 잠열

$R_o$ : 이상기체상수

$T$ : 온도

상기의 식은 증기곡선에서 기체 - 액체 선상의 평형을 추정하는데 유용한 식이다.

히트파이프(Heat pipe)내부에서 일어나는 현상으로써, Wick(Wick)의 반경방향은도 구배와 기체 - 액체 계면의 곡률반경으로 인해 증발부 Wick내부에 있는 액체는 열역학적 과열상태에 놓이게 된다. 같은 이유로 응축부에서는 Wick(Wick) 내부의 액체가 과냉상태에 놓이게 된다.

히트파이프가 정상 작동할 때 작동 유체는 증기, 액체 유동통로에서 각각 압력강하를 일으킨다. 이때 Wick(wick)에서 생성되는 모세압은 아래의 식과 같이 액체의 유동압력강하, 증기의 유동압력강하 그리고 체적 수두에 의한 압력강하의 합과 일치하며 전체적인 압력 변화는 축을 따라 변하게 된다.

$$\Delta P_k = \Delta P_l + \Delta P_g + \Delta P_b$$

$\Delta P_l$ : 액체의 유동압력강하

$\Delta P_g$ : 증기의 유동압력강하

$\Delta P_b$ : 체적수두에 의한 압력 강하

이들 각 성분의 압력값은 일반적으로 증기의 절대압력에 비해 매우작

으며, 모세 수두는 증발부 워(Wick)에서 생성된 기체 - 액체 계면의 곡률반경 ( $r_1, r_2$ )과 표면장력 ( $\sigma$ )과 유체의 표면 장력( $\sigma$ )에 의해 다음과 같이 나타난다.

$$\Delta P_k = \sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

$\sigma$ : 표면장력

$r_1, r_2$ : 곡률반경

이러한 관계를 Laplace-Young 방정식이라 한다. 곡률반경이 작을수록 큰값의 모세압을 가질수 있다. 이경우, 워(Wick)기공의 크기가 작아져야 하기 때문에 액체 유동 저항을 증가시키는 요인이 된다.

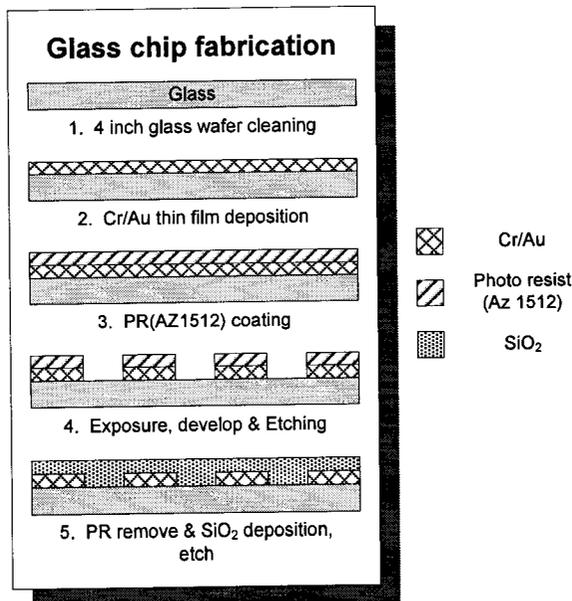
액체에서의 압력강하는 Darcy 의 법칙에 따르면 액체의 물성인 점성, 질량유동율, 투과율, 밀도 그리고 워(Wick)단면에 밀접한 관계가 있다.

히트파이프(Heat pipe)의 작동한계는 그 요인에 따라 모세한계(Capillary limitation), 음속한계(Sonic limitation), 비산 한계(entrainment)등으로 구분하나 일반적인 중, 저온영역(-70℃ ~ 200℃)에서는 모세한계가 지배적인 인자로 작용한다. 이는 워(Wick)에서 얻을 수 있는 최대 모세압에서 수송할 수 있는 액체량보다 더 많은 양의 증기가 증발부에서 생성되는 경우에 발생하며, 시간이 경과함에 따라 증발부의 워(Wick)이 액체 부족으로 건조 과열을 일으키게 되고 더 이상 히트파이프가 정상작동을 할 수 없게 된다.

### 3. Micro Heat pipe Heat Spreader 의 설계 및 제작

#### 3.1 Micro Heater 의 제작

본 연구에서 Hot Spot 을 구성하기 위해 마이크로히터(Micro Heater)를 제작하였다. 제작 과정은 Fig. 3-1. 과 같이, 유리기판에 금속 박막을 증착하여 박막형 저항체를 제작한 후 이를 마이크로히터(Micro Heater)로 활용하였다. 마이크로히터(Micro Heater)를 제작하기 위한 공정은 Fig.3.1 과 같이, 유리(Glass, Pyrex7740, Dow Corning, U.S.) 기판에 열기상 증착법(thermal evaporation)으로 크롬(Cr)과 금(Au)을 각각 200Å/1000Å 두께로 증착시키고, 사진식각(photolithography) 기법을 이용해 설계된 형상으로 패터닝을 한 후 히트싱크(Heat Sink)와 마이크로히터(Micro Heater)간의 전기적 절연을 위해 강화 화학기상증착(PECVD)법을 이용해 산화막(SiO<sub>2</sub>)을 1 μm 두께로 증착하였다.<sup>(5)</sup>



(a)

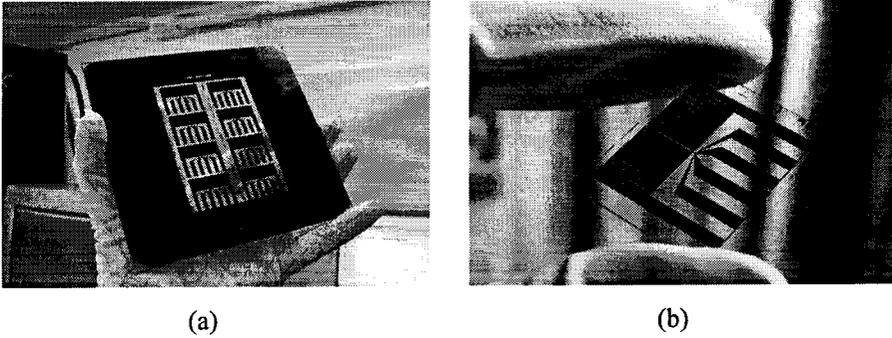
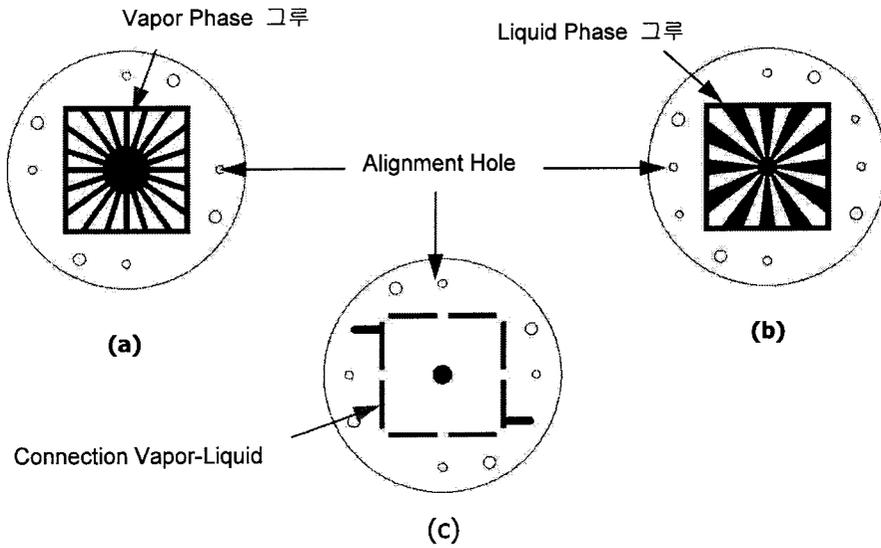


Fig.3.1 (a) 제작 공정도 (b)Photo Mask (c) 제작된 Micro Heater

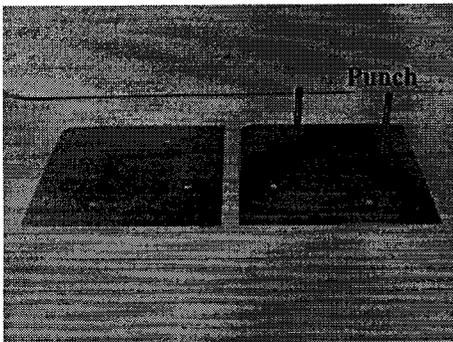
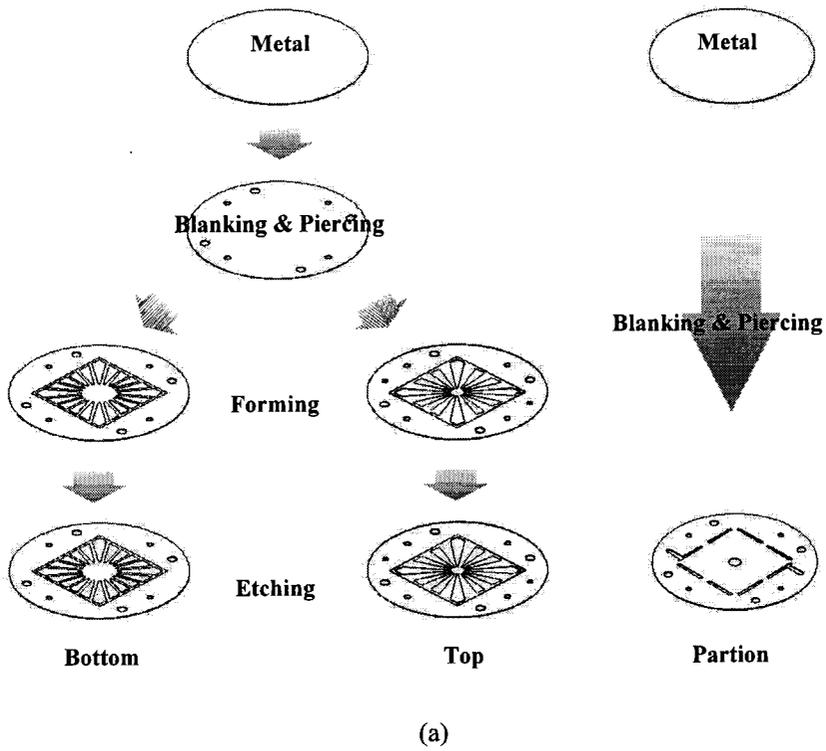
### 3.2 Micro Heat pipe Heat Spreader 의 제작

본 연구에서 제작된 MHPHS(Micro Heat pipe Heat Spreader)는 발열이 집중되는 Hot Spot 으로부터 히트싱크(Heat sink)의 흰(fin)고정 Plate 전체면적에 고른 열전달을 위해 Hot Spot 중심의(방)사형 채널(Channel)을 기본 디자인으로 하여, 분리형 HPHS(Heat pipe Heat Spreader)를 디자인 하였다. 작동유체의 Vapor-Liquid phase 간의 순환을 위한 채널(channel)을 위한 그루브(Groove)의 substrate 는 열전도성(200W/mk)과 가공성이 우수한 알루미늄(Aluminum)을 사용하여 Fig.3-2. 와 같이 Vapor phase 를 위한 그루브가 형성된 Top substrate 와 Vapor-Liquid 간의 그루브(Groove)분리를 위한 Partition plate 와 Liquid phase 를 위한 그루브가 형성된 Bottom substrate 를 디자인 하였다.<sup>(6)</sup>

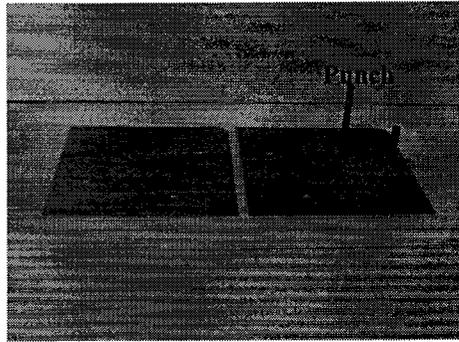


**Fig.3-2.** (a) Vapor phased Top Substrate 디자인 (b) Partition Plate. (c) Liquid phased Bottom Substrate 디자인

그루브(Groove)의 제작공정은 Fig. 4. 과 같이 Test 금형으로 타발하여 200  $\mu\text{m}$ 깊이의 그루브(Groove)를 제작하였다.

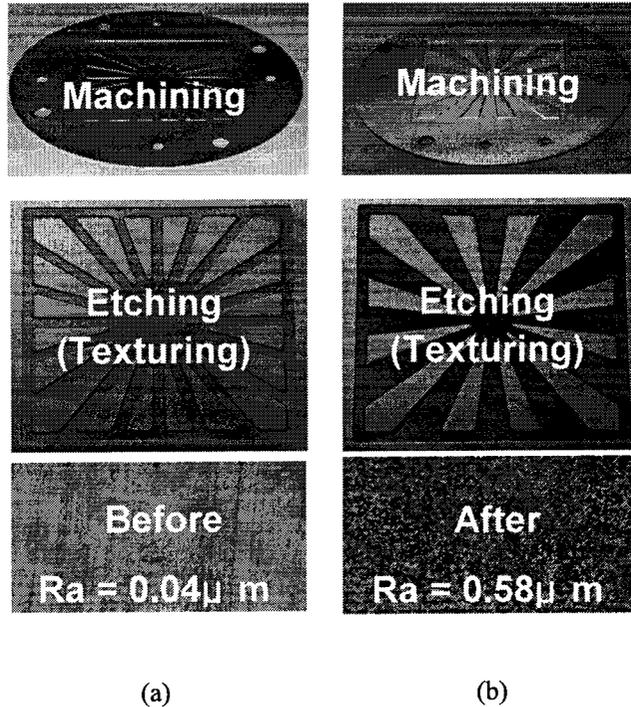


(b)



(c)

**Fig.3-3.** (a) MHPHS 제작 공정도 (b) Vapor Phased Top Substrate Test 금형  
(c) Liquid phased Bottom Substrate Test 금형



**Fig.3-4.** (a)Vapor Phased Top Substrate 와 (b)Liquid phased Bottom Substrate

제작된 substrate 는 Fig. 3-4. 에서의 사진과 같이, 금속 식각(Metal etching)으로 워크(Wick) 구조를 생성하기 위해 Channel 그루브(Groove)내에 Etching (3:3:1:1,  $H_3PO_4:HNO_3:CH_3COOH:H_2O$ )을 하였다. Etching 에 따른 Roughness 는  $0.58 \mu m$  로 측정되었다.

워크(Wick)은 히트파이프(Heat pipe)구조에서 모세관 구조물을 일컫는 것으로 그루브(Groove) 워크, 소결 워크(sintered wick), 금속망(metal screen)워크가 대표적이다. 제작된 3 개의 Substrate 는 chemical bonding (LOCTITE 7387 + LOCTITE 384)으로 접합하였다. 부착시 substrate 의 그루브(Groove) align 은 bonding 공정을 위한 고정 plate 에 guide pin 을 세워, Fig.3-2.에서 보이는 align hole 을 이용하였다.

작동유체로는 히트파이프의 경우 앞에서 언급한 것과 같이 각 구성요소를 기계적으로 가공하고 준비하는 과정에서 기름, 먼지, 금속입자들의 이

물질이 시편에 개입될 수 있다. 기름등의 유기물은 작동유체와 금속 표면과의 부착력을 줄여 모세관 효과(Capillary effect)를 감소시키며 워(Wick)에 잔존하게 되는 금속입자와 먼지등은 응축된 액체의 유동을 방해하고, 작동유체와 화학적으로 반응하여 비응축성 가스를 발생시키는 요인이 된다. 이것은 MHPHS(Micro Heat pipe heat spreader)의 열전달 효과를 감소시키는 원인이 된다. 그러므로, 작동유체 내에 용해된 비응축성 가스를 제거하기 위하여 일반적으로 결빙 탈기의 반복과정을 수행하게 된다. 본 연구에서는 잘 정제된 증류수(DI water)를 액상인 상태에서 주입을 하였다. 이러한 작동유체의 결빙탈기과정은 MHPHS 의 성능에 주요한 요인이 되므로 실용화에서는 보다 엄격한 공정이 필요할 것이다.

본 연구에서는 일반적으로 상용화된 진공펌프를 이용한 작동유체의 주입 대신 대기상태에서 Steam blow 기법을 통하여 작동유체를 주입 하였다. Steam blow 기법에 의한 작동유체의 주입은 진공펌프에 의한 충전 방식에 비해 간단하고 관 내부의 자유기체를 매우 효과적으로 제거시킬 수 있는 장점이 있다.

### 3.3 제작결과

Fig.3.5 는 Test 용 금형으로 제작된 MHPHS(Micro Heat Pipe Heat Spreader)를 보여 준다.

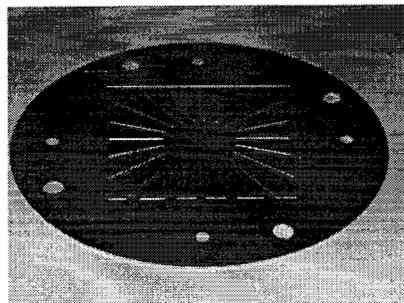


Fig. 3-5. 제작된 MHPHS(Micro Heat Pipe Heat Spreader)

## 4. 실험방법

본 실험에서는 MHPHS(Micro Heat pipe Heat Spreader)를 제작함에 있어 아래와 같은 실험을 수행 하였다.

- 1) Heat Sink 에서의 온도 분포 측정.
  - i. w/o Heat Spreader
  - ii. with Heat Spreader
  
- 2) 전력(Power)의 변화에 대한 Hot Spot 의 온도 측정
  - i. MHPHS 적용의 경우 vs. MHPHS 적용하지 않은 경우
  - ii. MHPHS 적용시, 작동유체의 유입량(Fill rate) 0% , 30%, 70%에서의 온도 측정.
  - iii. 열저항 측정.

### 4.1 실험 구성

본 실험은 Fig. 4-1.의 Test module 을 제작하여, Fig 4-2 와 같이 Platform 을 구성하여 진행하였다. Test Module 은 상대적으로 낮은 열전달효율을 가진 ABS(Acrylonitril Butadiene Styrene)재질의 Mold Base(0.2w/mk)에 Surface Micro Machining 기법으로 제작된 마이크로히터(Micro Heater)를 장착하였고, 마이크로히터(Micro Heater)에는 Power Supply 에서 + / - 전원을 인가하여 전압을 공급하였다. 장착된 마이크로히터(Micro Heater)에서 발생된 열을 히트싱크

(Heat sink)로 전달하기 위하여, 히트싱크(Heat sink)와의 접지면적이 8 x 8mm 로 가공되어진 Copper(391w/mk)를 부착하여 마이크로히터(Micro Heater)에서 발생된 열이 Heat Sink 로 전달되도록 하였고, 마이크로히터(Micro Heater)와 Hot Spot 그리고 Hot Spot 과 히트싱크(Heat sink)간의 접촉열저항을 최소화 하기 위하여 TIM(Temperature Interface Material)인 Thermal grease (DOW330, DOW Enterprise)를 접지면 사이에 도포하였다.. Hot Spot 에서의 온도 변화에 대한 측정은, Power Supply 에 의해 전류는 1A 로 고정을 하고, 전압을 Control 하여 Power 를 인가 하였고, 5watt, 10watt, 15watt, 20watt, 25watt 에서의 Hot Spot 의 온도를 Saturation 되는 시점(약 100 분)에서 각 5 회 측정하여 평균값을 구하였다. 온도 분포를 측정하기 위한 실험은 Fig 4-1.에서의 그림과 같이 히트싱크(Heat sink)중심에서 10mm 간격으로 0, 1, 2, 3, 4 위치를 임의로 설정하여 K-type 열전쌍(Thermocouple)을 이용하여 온도를 측정하였다. 이때 실험실 대기 온도는 21℃였다.

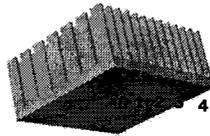
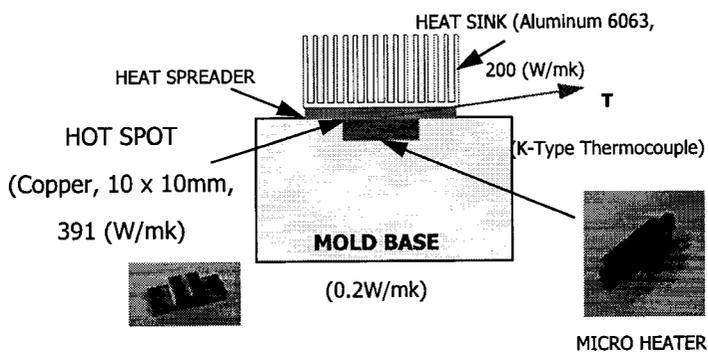


Fig. 4-1 온도 분포 측정 위치



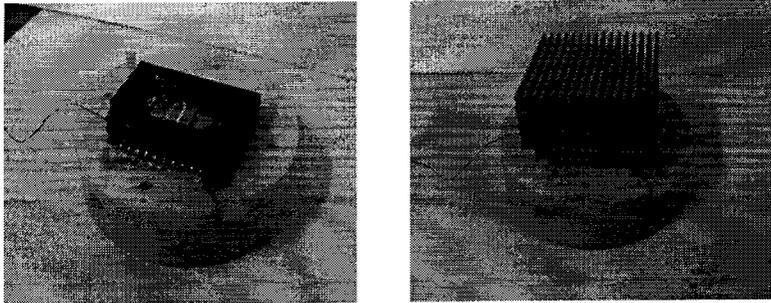


Fig. 4-2. Test Module 구성 및 사진

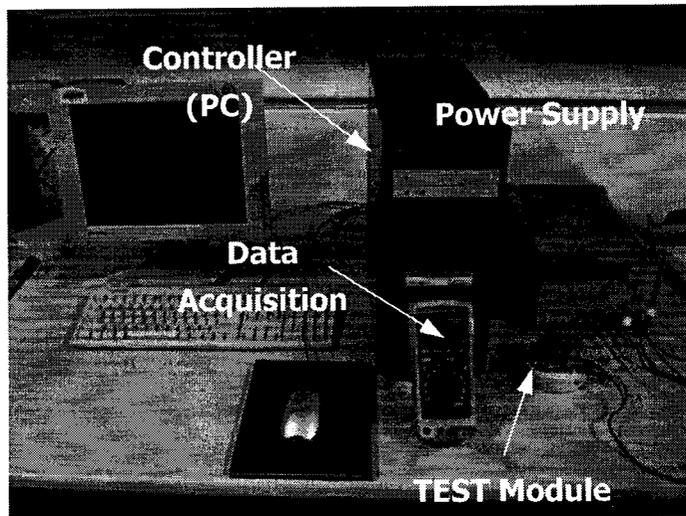
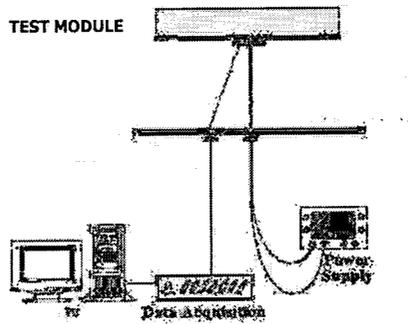


Fig. 4-3. Test Platform 개략도 와 사진.

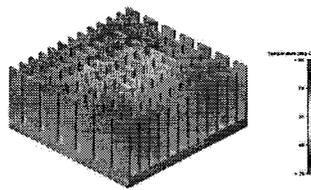
## 4.2 Simulation

실험에 앞서 시뮬레이션(Simulation)한 결과 이다.

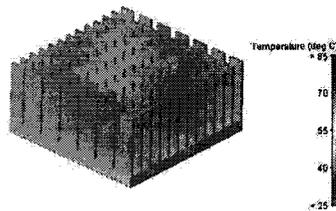
시뮬레이션(Simulation) 진행을 위한 경계 조건은 Table 4.1 과 같고 Simulation Tool 로는 FLOTHERM 을 이용하였다.

구 성	Dimension	Specification	비 고
Heat Sink	60 x 60 x 25mm	Aluminum 6063	
Heat Source	8 x 8 x 2mm	30 W	
Heat Spreader	60 x 60 x 1.5mm	X-Y direction : 10,000W/mk Z- direction : 200W/mk	

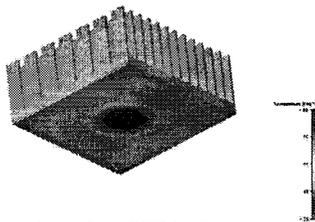
Table 4.1 Simulation 경계 조건 (Simulation Tool : FLOTHERM)



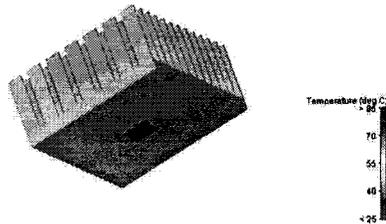
w/o HS – Top View



with HS – Top View



w/o HS – BTM View



w/o HS – BTM View

(a)



## 5. 실험결과

### 5.1 히트싱크(Heat Sink)의 온도 분포 측정.

Fig. 5-1.은 MHPHS (Micro Heat pipe Heat spreader)를 적용한 경우, 히트싱크 (Heat sink) 에서의 온도 분포를 측정한 결과이다. 실험 Data 는 Simulation data 와 비교하였다.

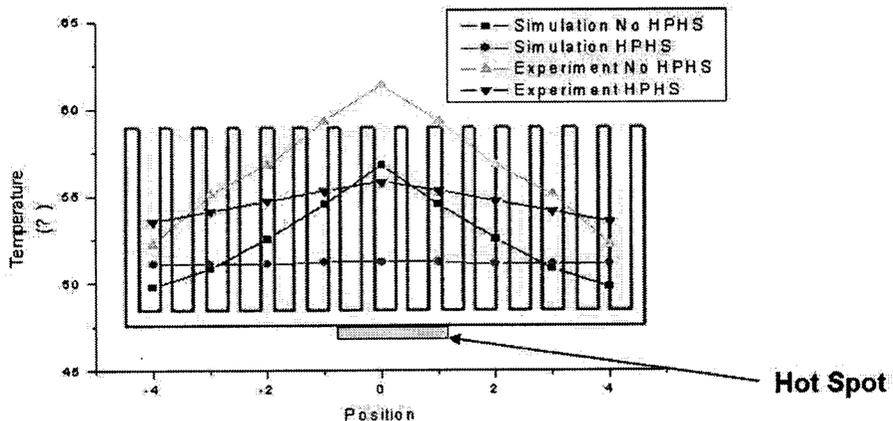


Fig. 5-1. Heat Sink 의 온도 분포 (25watt 기준)

실험 결과, MHPHS(Micro Heat pipe Heat Spreader)를 적용한 경우, Hot Spot 이 위치한 중심부의 온도와 히트싱크(Heat sink)가장자리와의 온도 차이가 MHPHS(Micro Heat pipe Heat Spreader)를 적용하지 않은 경우의 7.8°C에서 적용한 경우 2.3°C로 온도 평준화가 되었음을 알 수 있다. 이는 Graph 에서 보듯이 Hot Spot 중심에 집중된 온도가 방사형으로 디자인된 히트파이프 히트스프레더(Heatpipe Heat spreader)에 의하여 히트싱크(Heat Sink)중심부의 열이 가장자리로 급속도로 전달되었기 때문이다. 결국, 중심부의 열이 가장자리로 급속도로 전달됨에 따라 Hot Spot 의 온도는 25watt 로 인

가 될 경우 5.8℃ 감소되었음을 알 수 있다.

## 5.2 입력전력(Power input)의 변화에 따른 HPHS 성능

Fig. 5-2 는 5watt, 10watt, 15watt, 20watt, 25watt 로 입력 전력을 높일경우에 Hot Spot 에서의 온도 변화 측정 결과이다.

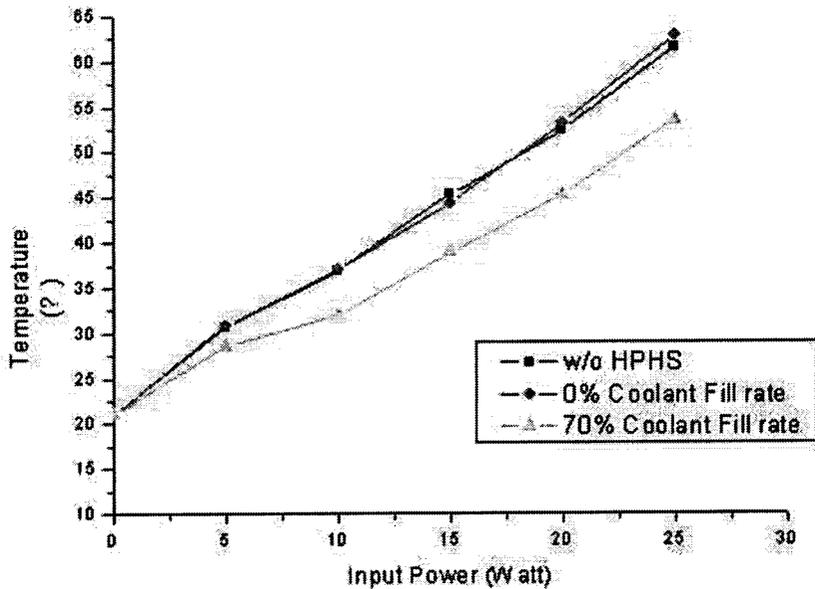


Fig. 5-2. Hot Spot 에서의 온도 Graph (Input Power vs. Temperature)

Graph 에서 보듯이 70% fill rate 의 작동유체가 주입된 경우, 0% 또는 히트스프레더를 적용하지 않은 경우 보다, 온도가 감소되었다. 이는 5.1 에서의 온도 분포 결과에서 보듯이 Hot Spot 에 집중된 열이 히트파이프 히트스프레더(Heat pipe heat spreader)의 급속한 열전달로 Hot Spot 을 중심의 온도 분포가 히트싱크(Heat Sink)가장자리로 전달됨에 따라 중심부의 온도가 낮아졌음을 알 수 있다. 0% fill rate 의 히트 스프레더(Heat Spreader)를 사용하는 경우, 사용하지 않는 경우와 유사한 온도 Graph 를 보이는 것은 0% fill

rate 일 경우, 열전달을 위한 작동유체가 없으므로, 히트파이프(Heat pipe)의 작동효력이 없음을 알 수 있다. 현재까지 연구된 바로는 작동유체의 fill rate 가 70%내외에서 가장 효율이 우수하다고 알려져 있고, 본 실험에서는 25watt 일 경우 hot spot 에서의 온도는 61,4℃에서 53.5℃로 7.9℃의 온도 감소로 13% 냉각 성능이 우수해졌음을 알 수 있다.

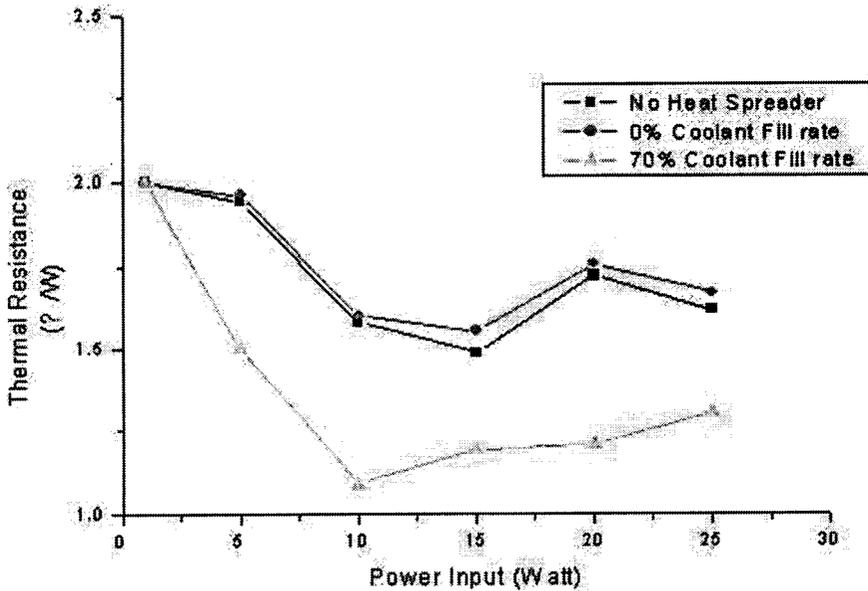
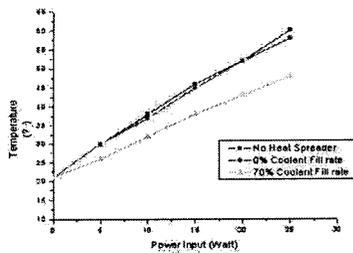
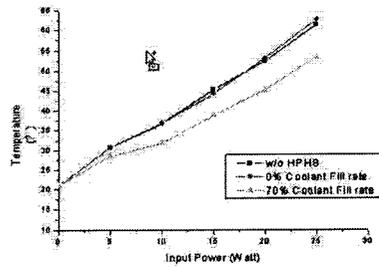


Fig. 5-3. Hot Spot 에서의 열저항 Graph (Input Power vs. Thermal resistance)

Fig.5-3.은 히트파이프의 성능을 평가하는데 중요한 기준이 되는 열저항 (Thermal Resistance) 변화 그래프이다. 열저항(Thermal Resistance)은 쉽게 표현하면 열전도를 방해하는 성질을 가리키는 것으로 온도 1℃ 를 올리는데 필요한 전력을 말한다. 상대적으로 열저항이 낮으면 열전도도가 우수하다고 할 수 있다. 역시 25watt 를 기준으로 할 경우, 히트파이프 히트스프레더(Heat pipe Heat spreader)를 부착한 경우, 열저항이 약 1℃/watt 가 낮다. 이는 히트파이프 히트스프레더 (Heat pipe Heat spreader)를 적용한 경우가 열전도도가 우수해졌음을 알 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 5-4. 기존 연구 논문과의 비교

- (a) “Metallic micro heat pipe heat spreader fabrication” 2004, Applied Thermal Engineering 24, 299 ~ 309, S-W Kang, S-H. Tasi, M-H. Ko,  
 (b) 본 실험 논문.

Fig.5-4.는 기존에 발표된 연구 논문과의 온도 비교 Graph 이다. 여기서 기존에 발표된 논문은 2002 년에 발표된 반도체 공정을 이용한 논문을 말한다. Data 비교는 실험 환경등 환경적인 변수의 영향으로 직접적인 비교에는 다소 무리가 있지만, 효율 상승의 경향에 대해서만 간접적으로 비교하고자 하였다.

비교 논문	본 실험
60.3°C → 48.6°C	61.4°C → 53.5°C
11.7°C 감소	7.9°C 감소

Table. 5-1. 연구 결과 비교

본 연구를 통해 공정의 간소화로서 금형으로 제작된 히트파이프 히트스프레더(Heat pipe Heat spreader)의 경우, 기존 연구 대비 약 68%의 효율을 가져왔다. 즉, 32% 수준이 부족하다. 이에 대해서는 결론 및 고찰에서 언급하고자 한다.

## 6. 결론 및 고찰

본 연구에서는 초집적화된 전자부품에서의 효율적인 열방출(Heat Dissipation)을 위해 히트파이프(Heat pipe) 원리를 이용한 히트스프레더(Heat Spreader)를 Test 용 Press 금형을 제작하여 채널을 구현하였다. 히트파이프 히트스프레더를 국부적인 온도 발생부인 Hot spot 과 히트싱크 사이에 부착 할 경우, 히트싱크의 온도 분포는 부착하지 않은 경우와 비교하여 7.8℃ 의 차이에서 2.3℃로의 고른 온도 분포를 나타냈고, Hot Spot 에서의 온도는 7.9℃ 감소하는 결론을 얻었다. 현재 수준에서 기 발표된 논문과 비교할 경우, 68%정도의 효율을 보이고 있지만, 본 연구의 주요 목표인 공정 감소와 낮은 투자비로 동일한 효과를 낼 수 있는 가능성을 확인한 실험이었다.

본 연구에서의 분리형 히트파이프 히트스프레더를 제작하는 과정 중에 다음과 같은 개선점을 발견하였다.

1. 기계 가공중 발생하는 이물의 용기내 유입할 가능성 잠재.
2. Metal – Metal 접합 공정에서 chemical bonding 을 할 경우, 14 시간의 경화시간필요.
3. Chemical bond 의 잔유물이 용기내에 이물로 잔류.

이와 같이, ‘공정의 간소화’와 ‘투자비 부담감소’라는 장점과 더불어 개선점으로 확인된 ‘경화 소요 시간’과 ‘용기내 이물’은 공정의 간소화라는 장점을 반감시킬 수 있고, 이물이 잔류할 경우, 1) 모세관 효과를 감소시켜 열전달 효율을 감소시키며 2) 비응축성 가스를 발생시켜 열전달 효율을 감소시키는 원인이 된다. 이번 연구에서 기존 연구결과에 비해 간소화된 공정의 장점과 반대로 상대적으로 낮은 효율이 나타난 원인이 여기에 있다고 하겠다.

이에 대한 개선안으로는,

1. 기계 가공후 세척공정으로 가공유 와 이물발생을 방지하고
2. **Metal – Metal** 접합 공정을 초음파 접합 공정으로 진행하는 것

이 본 연구의 결과에서 보완점으로 나타난 효율 저하를 제거하는 데 도움이 될 것이라 보인다.

## Reference

- [1] Chi, S.W, "Heat pipe theory and practice", McGRAW-HILL Co., 1976.
- [2] R.Viswanath, VWakharkar, A. Watwe and V.Lebonheur, 2000, "Thermal performance challenges from silicon to system", Intel Technology Journal Q3
- [3] Eguchi,K., Mochizuki, M., Mashiko,K., Goto, K., Saito, Y., Nagaki, Y., Takamiya and A., Nguyen, T., 1997, "Cooling of CPU using Micro Heat pipe,", Fujikura Co., Technical Note, Vol.9, pp. 6468
- [4] T.P. Cotter, "Principles and prospects for micro Heat pipe" , 1984, in: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Heat pipe Conference, Tsukuba, Japan, pp. 328 ~ 335
- [5] S-W kang, S-H. Tsai and H-C. Chen, "Fabrication and test of radial 그루브 (Groove)d micro Heat pipes", 2002, Applied Thermal Engineering 22(1), 1559 ~ 1568
- [6] Chul-Ho Cho, Woong Cho, Yoomin Ahn and Seung-Yong Hwang, 2006, "PDMS/glass derentine microchannel chip for PCR with bubble suppression in sample injection", The Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol 30, pp.1261 ~ 1268
- [7] S-W Kang, S-H. Tasi,M-H. Ko, "Metalic micro Heat pipe heat spreader fabrication",2004, Applied Thermal Engineering 24, 299 ~ 309

# Abstract

## **The Design and Fabrication of Micro Heat pipe Heat Spreader to improve Heat transfer and productivity**

Jeongsu Lim

Directed by Prof. Yoomin Ahn

Dept. of Mechanical Engineering

Graduate School, Hanyang University

This paper describes the development of the productive micro Heat pipe heat spreader (MHPHS) with a three-layer structure machined by the general press tool. The MHPHS were designed to allow effective heat dissipation. The 60 x 60mm<sup>2</sup> MHPHS array was fabricated by using stamping tooling method and etching techniques on metal sheet to improve the productivity and to reduce the large investment. Experiments were undertaken to evaluate the performance of MHPHS with Aluminum plate at different input powers and thermal distribution in heat sink. We glued a heater below the Heat Sink and pasted K-type thermocouples to record the variations of Hot spot's temperature. As a result, the productive MHPHS showed the possibility to apply the general stamping tool to make grooved channel.

## 감사의 글

1996년 대학생활을 마치고 사회에 첫발을 내디딘지도 10년이 훌쩍 넘었습니다. 지난 10년동안 삼성전자라는 대기업에서 터전을 마련한 많은 것이 변했습니다. 당시에 그렇게 철없기만한 사회 초년병인 저는 결혼을 하였고 한아이의 아버지도 되었습니다. 그리고 회사에서는 과장이란 직책으로 소규모 팀을 이끌게 되었습니다. 10년전과 비교하면 많이 바빠졌고, 많은 책임감도 생기게 되었습니다. 매일매일 작은 성취와 함께 오랜기간 밤을 새며 진행한 프로젝트가 무사히 Launching 되면 그 작은(?) 기쁨에도 큰 보람을 느꼈지만, 언젠가 기회가 되면 언젠가 다시 공부할 수 있는 기회가 되면 그때 보던 많은 것을 해볼수 있을 거란 생각도 들었습니다. 그런 저에게 한양대학교 대학원에서 공부할 수 있는 기회가 주어진게 얼마나 기뻐는지 모릅니다. 10년전에 상자에 넣어둔 두꺼운 공업수학책과 열전달 책을 꺼내며 웃음짓곤 했지만, 그 기분은 학기 시작하면서 고통(?)이더군요. 한동안은 10년동안 등진 전공을 뒤따라가는데 벅차서 힘겹기도 했지만.....그럴때마다 힘이 되어준 많은 사람들이 있어 무사히 마칠수 있게 된 것이 감사할 뿐입니다. 지난 2년 한양대학교 대학원 생활은 다시 사회로 돌아가는 저에게 많은 힘이 될 것입니다. 느지막한 학생에게 언제나 친근한 모습으로 이끌어 주신 안유민 지도교수님.....진심으로 감사드리고, 결혼 축하드립니다 행복한 가정 꾸리시길 진심으로 진심으로 기원합니다..... 지금은 삼성전자 무선사업부에 근무중인 조철호 박사..... 회사가서 술한잔 합시다..... 내 옆자리에서..나이많은 후배를 위해 항상 조언을 아끼지 않던 고용준 박사..... 올해는 꼭 좋은 여자 만나서 장가가길..... 굿은일 마다않고..... 연구실 잡무를 도맡아 하던 김대진 박사 이제 애기아빠인데 연구소 말고 집에도 좀 신경쓰세요. 마지막 실험까지 장비 셋업한다고 고생한 조웅박사 2007년에는 아빠가 되겠네요. 축하해요. 그리고, 연구소 막내로 고생만한 강도형 석사, 취직 축하드리고, 좋은 모습으로 사회에서 만나요. 주진경 석사. 처음에 여학생인줄알고 내심 기대를 했는데...무참히 깨버린..... 삼성 전기 입사하게 된 것 축하드리고, 자주 봅시다. 그동안 고마웠는데..... 회사가서.....보답하지요.....그리고 조진현 책임 연구원님.....늘 같이 근무하고 있으면서 도움도 재대로 못드린 것 같은데, 뒤늦게 공부 한다고 고생하는 저를 하나부터 열가지 가르킨다고 고생 많았습니다. 술한잔 살께요. 강준 선임

연구원.....말안해도 알죠? 고맙습니다.....그리고, .....김상학 상무님, 성기철 수석 연구원님 ..... 일도 안하고 학교간다면서 자리 비우는 제게 야단 한번 안치시고 다독거리 주셨는데.....2 년간 못한일 앞으로 2 배로 갚아 나가도록 하겠습니다.

돌아보면 지난 2 년간의 뒤늦은 학업생활은 저에게 오히려 많은 지식 보단 도움을 주시기만 한 사람들로만 가득찬 것 같습니다. 감사할 따름이고 이 고마운 마음은 앞으로 살면서 갚아 나가도록 하겠습니다. 항상 건강하시고 행복하시길 바랍니다.

여보 최은희!!!!고생 많았다.....사랑해!

우리 이쁜 공주 은후야! 아빠야.....이쁘고, 건강하게 자라렴!

사랑해 하트 뽕뽕!!!