

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-B.2010.34.2.179

# 바이패스가 있는 히트 싱크의 열성능 최적화<sup>§</sup>

김진욱<sup>\*†</sup> · 김상훈<sup>\*</sup> · 김중년<sup>\*</sup>

\* LG 전자 Display 연구소

## Thermal Optimization of a Straight Fin Heat Sink with Bypass Flow

Jin Wook Kim<sup>\*†</sup>, Sang Hoon Kim<sup>\*</sup> and Joongnyon Kim<sup>\*</sup>

\* LG Electronics Display R&D Lab.

(Received September 21, 2009 ; Revised January 8, 2010 ; Accepted January 12, 2010)

**Key Words :** Heat Sink(히트 싱크), Thermal Resistance(열저항), Bypass(바이패스), Tip Clearance(팁 클리어런스), Flow Guide Unit(유로 가이드 장치)

**초록:** 스트레이트 흰 히트 싱크가 장착된 공간에 팁 클리어런스(tip clearance)와 바이패스 유동이 열성능에 미치는 영향을 실험적으로 규명하고자 한다. 수평 및 수직 방향으로의 바이패스 유동에 의한 열성능 평가는 열식 질량 유량계(MFC)와 소형 풍동으로 이루어진다. 팁 클리어런스와 바이패스 유동에 의한 히트 싱크의 열성능은 열저항을 통하여 평가한다. 실험 결과, 스트레이트 흰 히트 싱크의 열저항은 팁 클리어런스가 증가함에 따라 점진적으로 증가하며, 유동 가이드 장치는 바이패스 유동을 감소하는 역할을 한다. 본 연구에서는 동일 유량 조건에서 히트 싱크의 입구에서 유동 가이드 장치까지의 거리에 따라 스트레이트 흰 히트 싱크의 최적값이 존재함을 확인하였다. 히트 싱크로 유입되는 유량이 증가함에 따라 유동 가이드 장치에 의한 열성능 개선 정도는 증가한다.

**Abstract:** This experimental study investigated the effect of tip clearance and bypass flow on the cooling performance of a straight fin heat sink. Both the horizontal and vertical directions of the bypass flow were studied by using a mass flow controller and test sections. The thermal resistance of a heat sink was obtained to elucidate the response of the cooling performance to tip clearance and bypass flow. The thermal resistance of a straight fin heat sink gradually increases with increasing tip clearance. A flow guide unit was employed to reduce the bypass flow. An optimal distance from the leading edge of the heat sink to the flow guide unit was found for the fixed volume flow rate. The contribution of the flow guide unit to the thermal performance of a heat sink increases with increasing volume flow rate.

- 기호설명 -

- b : 흰과 측벽간 거리, 바이패스
- D : 테스트 섹션 폭
- d : 유로 가이드 장치에서 히트 싱크 입구 거리
- H : 테스트 섹션 높이
- h : 흰 높이
- Q : 유량
- q : 열량
- R : 열저항
- s : 흰과 상부 벽면간 거리, 팁 클리어런스
- T : 베이스 플레이트 두께
- t : 흰 두께

- W : 베이스 플레이트 폭
- w : 흰 사이 채널의 간격

### 1. 서론

최근 전자 제품은 소형화, 다기능화되고 있으며 단위 부피당 발열량은 급격히 증가하는 추세를 보이고 있다. 일반적으로 부품의 작동 온도는 제품의 성능 및 신뢰성과 직결되는 문제이므로 고발열 상태의 부품을 효과적으로 냉각하는 것은 매우 중요하다.<sup>(1)</sup>

히트 싱크(heat Sink)는 전자 제품에서 고발열체를 냉각하기 위하여 사용되는 가장 보편적인 부품이다. 많은 연구자들은 히트 싱크의 열성능을 최적화하기 위하여 히트 싱크가 배치된 공간과 유동 조건에 관한 연구를 수행하였다. Shakatullah 등<sup>(2)</sup>은 히트 싱크의 흰(fin) 윗면으로 유동이 바이패스(bypass) 될 때 히트

§ 이 논문은 2009년도 열공학부문 춘계학술대회(2009. 5. 20-22, BEXCO) 발표논문임

† Corresponding Author, jn.kim@lge.com

싱크의 열성능을 평가하였다. 이들은 실험을 통하여 팁 클리어런스(tip clearance)가 존재할 때 히트 싱크의 열성능이 악화됨을 확인하였다.

팁 클리어런스의 크기가 히트 싱크의 열성능에 미치는 영향은 다양한 연구자들에 의하여 조사되었다.<sup>3-6)</sup> 문헌 조사에 의하면, 일반적으로 팁 클리어런스가 히트 싱크의 흰 간격보다 클 경우 히트 싱크의 열성능은 악화됨을 알 수 있다. Lau 와 Mahajan<sup>3)</sup>에 따르면, 팁 클리어런스가 채널의 간격보다 클 경우 히트 싱크의 열저항은 증가한다. El-Sayed 등<sup>4)</sup>도 높은 레이놀즈 수(Reynolds number)를 갖는 난류 영역에서 팁 클리어런스에 의한 히트 싱크의 열성능 악화를 보고한 바 있다. Sara<sup>6)</sup>의 연구 결과에 의하면, 흰 높이에 대한 팁 클리어런스의 비가 증가할수록 히트 싱크의 열성능은 악화된다. 이러한 결과들은 레이놀즈 수 10,000 이상의 난류 영역과 핀(pin) 흰 히트 싱크에서도 관찰되었다.

한편 최근에는, 히트 싱크의 열성능을 향상시킬 수 있는 팁 클리어런스의 최적값이 존재함을 수치해석과 실험을 통하여 확인한 결과들이 보고된 바 있다.<sup>7-9)</sup> Min 등<sup>7)</sup>은 유량이 일정한 조건에서 흰 사이의 채널 폭에 대한 팁 클리어런스의 비가 0.6 일 때 마이크로 채널 히트 싱크에서 열저항이 최적값을 갖는다는 해석 결과를 제시하였다. Kim<sup>8)</sup>의 실험 결과에서도 일정한 조건에서 히트 싱크의 최적값이 존재함을 알 수 있다. Elshafei<sup>9)</sup>는 레이놀즈 수가 일정한 조건에서 실험한 결과를 토대로 팁 클리어런스의 최적값이 존재함을 확인하였다.

Leon 등<sup>10)</sup>은 히트 싱크 주위의 덕트(duct) 형상에 대한 연구를 상용 해석 소프트웨어를 사용하여 수행하였다. 그들은 레이놀즈 수가 800 또는 그 이상의 영역에서 덕트 형상 수정을 통하여 히트 싱크의 열성능이 향상될 수 있음을 확인하였다.

본 연구의 목적은 히트 싱크와 주변 벽면과 사이에서 발생하는 바이패스가 있을 때 히트 싱크의 열성능을 향상시키는데 있다. 일반적으로 전자 제품에 적용되는 히트 싱크는 공간의 제약이 심하여 히트 싱크 자체의 형상 최적화 만으로는 열성능에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 히트 싱크가 사용될 때 주변 벽면과의 거리가 열성능에 미치는 영향을 실험적으로 확인하고자 한다. 그리고 히트 싱크의 열성능을 향상시키기 위하여 바이패스 유동을 감소시킬 수 있는 유로 가이드 장치(flow guide unit)를 제안하고 적용가능성을 살펴보고자 한다.

이를 위하여 먼저 구현된 실험 장치의 유동장을 검증한다. 히트 싱크의 열저항을 측정하여 열성능을 평가하며, 팁 클리어런스와 바이패스의 크기를 각각 변화시켜 그 영향을 측정한다. 마지막으로 유로 가이드 장치가 있을 때 히트 싱크로부터의 거리에 따른 열성능

Table 1 Experimental variables

Boundary condition	Volume Flow Rate (Q)	10, 15, 20 SLM
	Input heat (q)	7±0.15 W
Base plate	Width (W)	30 mm
	Length (L)	32 mm
	Thickness (T)	2 mm
Fin	Number (n)	8
	Thickness (t)	2 mm
	Channel (w)	2 mm
	Height (h)	8 mm
Duct	Height (H)	8, 9, 10, 11 mm
	Width (D)	31, 32, 34, 36 mm

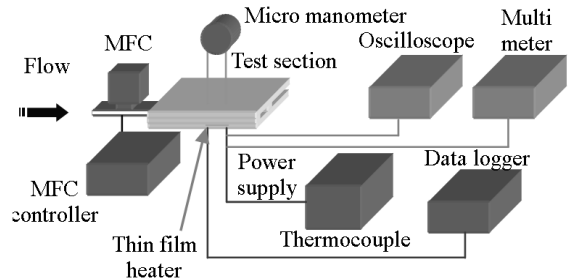


Fig. 1 Experimental setup

을 살펴보고, 팁 클리어런스와 바이패스에 따른 최적값을 도출하고자 한다.

## 2. 실험 장치

### 2.1 실험 장치

본 연구에서 사용할 실험 장치의 구성은 Fig.1 과 같다. 단일한 형상의 히트 싱크를 사용하며, 덕트의 길이 등을 조정하여 서로 다른 조건의 팁 클리어런스와 바이패스를 구현한다.

히트 싱크로 유입되는 유속은 균일 조건이며, 고 발열체를 모사하기 위하여 박형 필름 히터(thin film heater)로 히트 싱크의 바닥면을 균일하게 가열하였다. 입력되는 열량을 측정하기 위하여 오실로스코프(Oscilloscope)와 멀티미터(Multi meter)를 이용하여 박형 필름 히터의 전류와 전압을 측정하였다. 덕트 외부로의 열손실은 크지 않다고 가정한다.

히트 싱크로 입력되는 유량은 MFC(Mass Flow Controller)로 제어한다. 히트 싱크의 온도를 측정하기 위하여 바닥면에 작은 구멍을 가공하여 5 개의 열전대(thermocouple)를 삽입하여 측정하였다. 테스트 섹션(test section) 내부의 압력은 5 개의 압력 탭(pressure tap)을 가공하여 연결된 마이크로 마노미터(micro manometer)로 측정하였다.

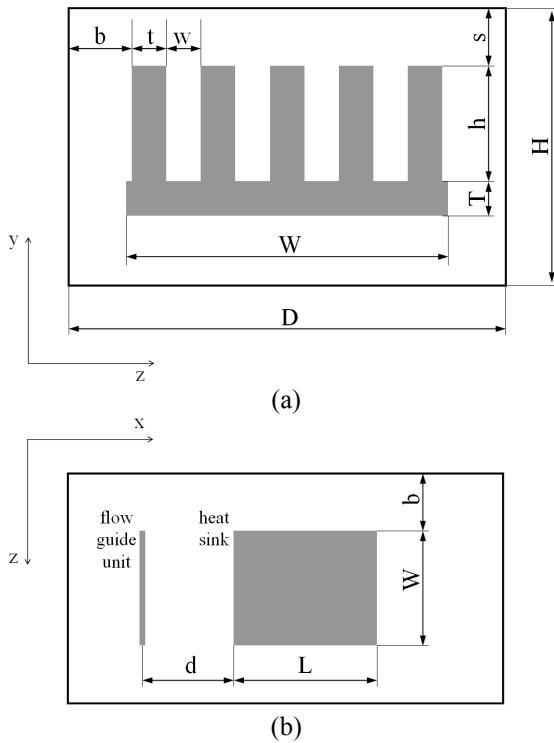


Fig. 2 Schematic diagram of the geometry. (a) Side view; (b) Top view of the test section

2.2 실험 변수

본 연구에서 사용된 실험 변수들과 형상의 개략도는 각각 Table 1 과 Fig. 2 와 같다. 좌표계는 테스트 섹션에서 주유동 방향, 수직 방향, 횡 방향을 각각 (x, y, z)로 정의한다. 유량(Q)은 10, 15, 20 SLM에 대하여 측정하였다. 그 밖에 히트 싱크의 베이스 플레이트(base plate)와 환의 크기는 Table 1 과 같다.

덕트의 형상 변화에 따라 바이패스와 팁 클리어런스를 변화시켜 실험하였다. 실험에 사용된 바이패스(b)는 1, 2, 4, 6mm 이며, 팁 클리어런스(s)는 0, 1, 2, 3mm 이다.

본 연구에서 제안하고자 하는 유로 가이드 장치의 개략도는 Fig. 3 과 같다. 유로 가이드 장치는 히트 싱크의 환 사이 유체가 흐를 수 있는 영역과 동일한 형상으로 설계되었다. 본 장치는 바이패스 영역과 팁 클리어런스를 통하여 흐르는 유체를 차단하여 히트 싱크 내부 유량을 증가시키는 역할을 한다. 동일한 형상의 유로 가이드 장치에 대하여 히트 싱크 입구에서부터 거리(d)를 1~5mm 까지 변경하며 실험하였다.

본 연구에서는 히트 싱크의 열성능을 평가하기 위하여 열저항을 다음과 같이 정의하여 사용하였다. 열저항은 환 표면에서 주변 공기와의 열저항

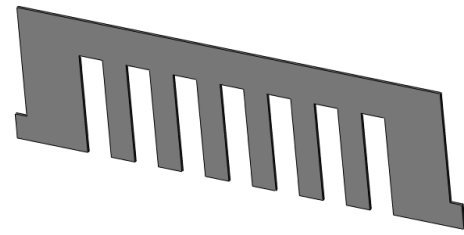


Fig. 3 3-dimensional view of the flow guide unit

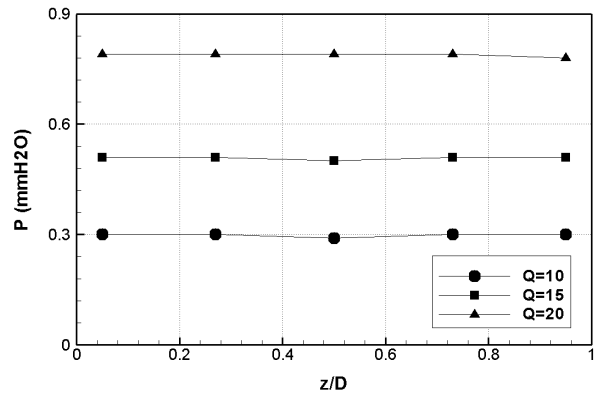


Fig. 4 Spanwise distribution of pressure drop

을 나타내는  $R_{fm}$ , 환에서 열교환이 일어나는 부분과 외부간의 열저항  $R_{flow}$ 로 구성된다.

$$R = \frac{T_{base,max} - T_{in}}{q}$$

$$= \frac{T_{base,max} - T_b}{q} + \frac{T_b - T_{in}}{q} = R_{fm} + R_{flow} \quad (1)$$

3. 실험 결과

3.1 유동장 검증

히트 싱크로 유입되는 유동의 균일성 여부를 판단하기 위하여 테스트 섹션 내부에서 압력을 측정하였다. 유량(Q)의 변화에 따라 횡방향 위치에서 측정한 결과는 Fig. 4 와 같다. 최대, 최소 압력강하의 차이는 0.01 mmH<sub>2</sub>O 이하이며, 따라서 유입되는 유속은 균일하다고 판단할 수 있다.

3.2 팁 클리어런스가 열성능에 미치는 영향

팁 클리어런스의 변화에 따른 히트 싱크의 열성능 변화는 Fig. 5 와 같다. Fig. 5(a)는 유량(Q)이 10 SLM 일 때의 측정 결과이다. 팁 클리어런스(s)가

휨의 채널 간격(w)에 비하여 0 에서 1.5 까지 증가 하였을 때 히트 싱크의 열저항도 증가함을 알 수 있다. 이러한 경향은 동일한 유량 조건에서 바이패스의(b)의 길이를 증가하여도 나타난다.

유량을 증가시킨 경우에도 Fig. 5(b)와 (c)에서와 같이 팁 클리어런스가 커질수록 히트 싱크의 열성 능이 저하됨을 알 수 있다. 본 연구에서 실험한 범위의 유량 조건과 바이패스에서 히트 싱크의 열 저항은 팁 클리어런스에 따라 단조 증가한다.

3.3 바이패스가 열성능에 미치는 영향

바이패스의 변화에 따른 히트 싱크의 열성능의 변 화는 Fig. 6 과 같다. Fig. 6(a)에서 바이패스(b)가 휨 간 격(w)에 비하여  $b/w=0.5$  인 지점에서 열저항이

최저값을 가짐을 알 수 있다. 실험 결과,  $b/w=0.5$  인 경우가  $b/w=0.25$  인 경우 보다 최소 6% 이상 열저항 이 감소하였다. 이러한 결과는 Fig. 6(b)와 (c)에서도 그대로 나타나며, 유량이 증가하여도  $b/w=0.5$  에서 히트 싱크의 열저항이 최소값을 갖는다.

일반적으로 바이패스가 존재하는 경우 상대적으로 유동 저항이 적은 바이패스 영역으로의 유량이 증가 하여 국부적인 영역에서 열전달량이 증가할 수 있 다.<sup>(11)</sup> 그러나 바이패스가 존재함에 따라 히트 싱크의 휨 영역으로 유입되는 유량은 감소하므로 휨 표면에 서의 열전달 능력이 저하되어 열성능 이 저감된다.<sup>(12)</sup> 이러한 두 가지 요소는 서로 상반된 결과를 가져오는데, 열저항의 최적값이 존재함은 바이패스에 의한 열 성능 향상 요인이 유속 저 하로 인한 열성능 악화 요 인 보다 우세한 것으로 사료된다.

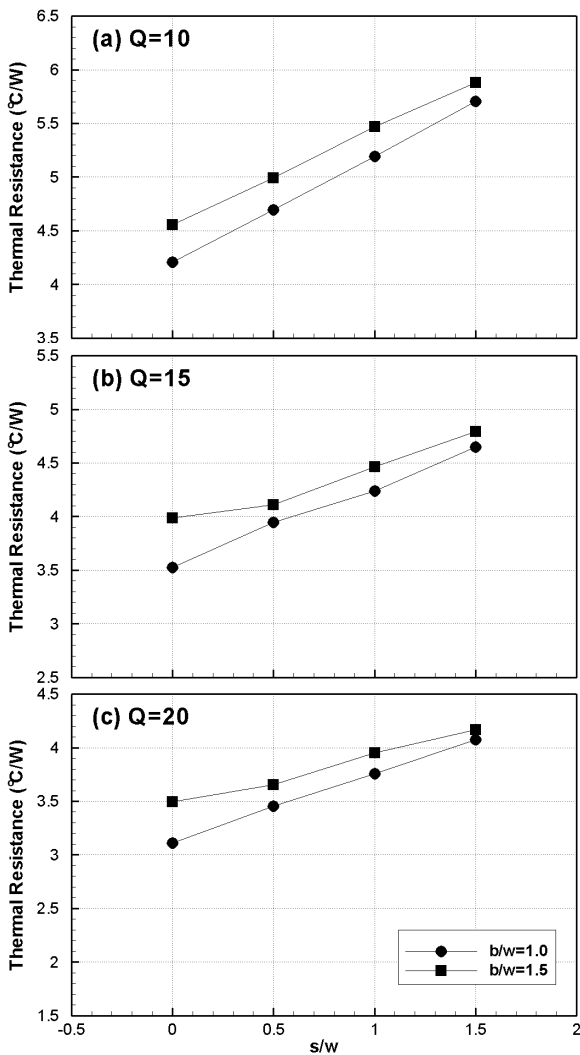


Fig. 5 Thermal resistance vs Tip clearance: (a) Q=10; (b) Q=15; (c) Q=20

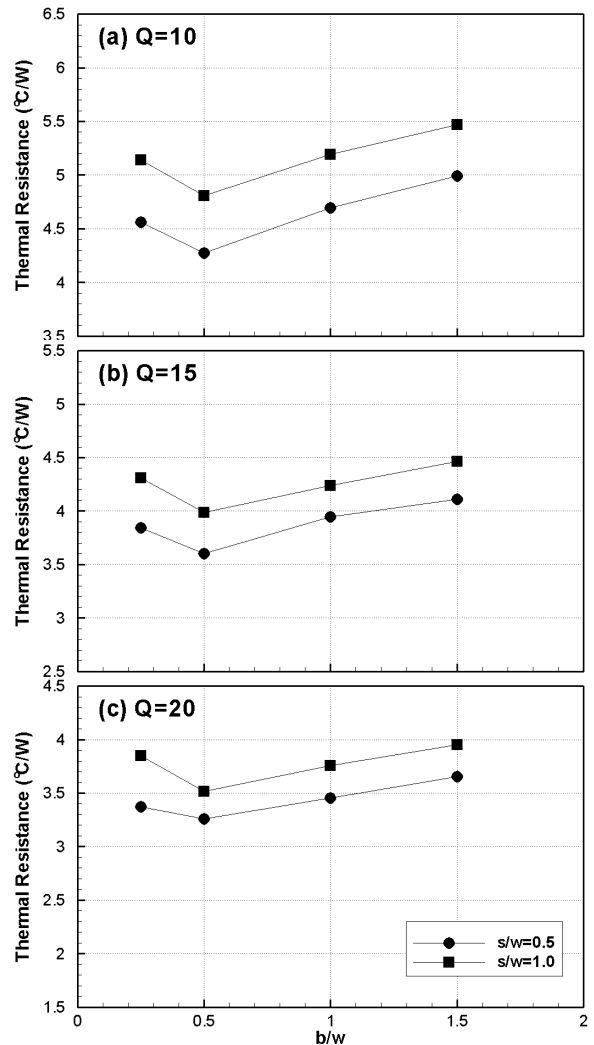


Fig. 6 Thermal resistance vs Bypass: (a) Q=10; (b) Q=15; (c) Q=20

Table 2 CFD results of volume flow rate

d	None		4mm	
	CFM	Ratio (%)	CFM	Ratio (%)
Inlet	0.35	100	0.35	100
Clear fluid	0.07	18.3	0.03	9.4
inter fin	0.29	81.7	0.32	90.6

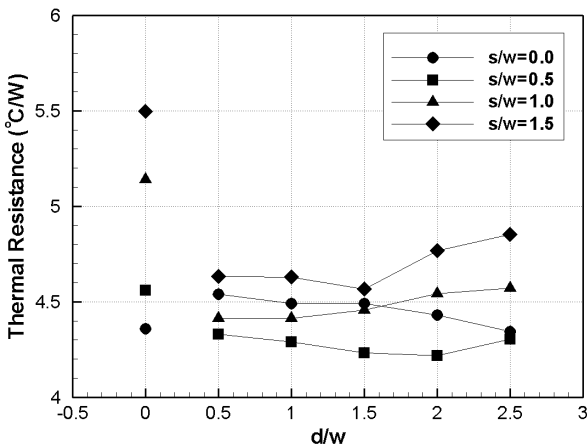


Fig. 7 Thermal resistance as a function of the distance and tip clearance

3.4 유로 가이드 장치가 열성능에 미치는 영향

Table 2 는 상용 해석 소프트웨어인 Fluent 를 이용하여 0.35 CFM 의 유량이 유입되는 덕트에서 s/w=0.5, b/w=0.25 일 때, 유로 가이드 장치의 존재 유무에 따른 유량 비율을 계산한 결과이다. 해석 결과, 유로 가이드 장치가 존재할 때 히트 싱크의 흰 영역으로 유입되는 유량의 비율은 증가함을 확인할 수 있다. 이 결과는 유로 가이드 장치는 히트 싱크의 상류에 위치하여 흰 영역으로 보다 많은 유동이 흐르게 하는 역할을 할 수 있음을 의미한다. 그리고 유로 자체의 단면적 축소로 인한 유속의 증가 또한 히트 싱크의 열성능을 향상시키는 역할을 한다.

Fig. 7 은 유로 가이드 장치를 테스트 섹션 내부에 히트 싱크의 상류 쪽에 설치하고, 히트 싱크의 입구(leading edge)로부터 거리에 따라 열저항을 측정된 결과이다. 입력 유량(Q)는 10 SLM, 바이패스는 b/w=0.25 의 조건이며, d/w=0 은 유로 가이드 장치가 없음을 의미한다. 팁 클리어런스(s/w)가 없는 경우를 제외하면, 팁 클리어런스의 크기에 상관없이 모두 유로 가이드 장치가 있을 때 히트 싱크의 열성능이 향상되었음을 알 수 있다. 특히, s/w=0.5 인 경우에는 d/w=2.0 에서 열성능의 최적값이 존

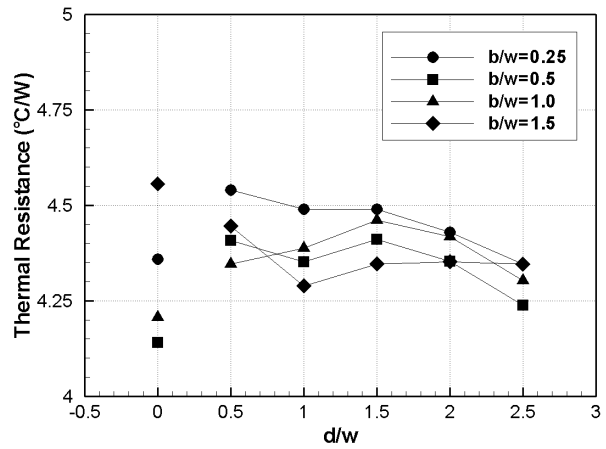


Fig. 8 Thermal resistance as a function of the distance and bypass

재하는데 비해서, s/w=1.5 인 경우에는 열저항이 최적값을 갖는 d/w=1.5 로 당겨진 것으로 측정되었다.

또, 전체적으로 팁 클리어런스(s/w)가 커질수록 유로 가이드 장치가 있을 때 열저항값이 감소하는 폭이 더 커진다. d/w=0.5 인 경우를 비교하면, s/w=0.5 인 경우의 열저항 감소량은 5.0%인데 비해서, s/w=1.0 인 경우와 s/w=1.5 인 경우에는 각각 14.1%와 15.7%의 열저항이 감소하였다. 이는 팁 클리어런스가 증가함에 따라 히트 싱크의 열성능 향상의 정도가 커짐을 의미한다. 특히, 팁 클리어런스(s)가 흰 채널(w) 사이즈 이상일 때 유로 가이드는 상대적으로 큰 효과가 있다.

일반적으로 팁 클리어런스가 커짐에 따라 히트 외부로 이탈하는 유량은 증가하므로 히트 싱크의 열성능은 악화된다. 하지만 유로 가이드 장치가 흰 영역으로 유입되는 유량을 증가시킨 결과, 열성능은 바이패스가 큰 경우 보다 오히려 향상되었다.

Fig. 8 은 팁 클리어런스가(s/w) 0, 유량(Q)가 10 SLM 인 경우에 열저항을 측정된 결과이다. 바이패스(b/w)의 크기가 1.5 인 경우에는 유로 가이드 장치에 의하여 열저항의 감소가 확인되었다. 하지만 바이패스가 1.0 이하인 경우에는 유로 가이드가 있을 때 오히려 열저항이 증가하였다. 이는 바이패스(b)가 흰 채널의 크기(w) 보다 작은 경우에는 유로 가이드 장치와 같은 장애물에 의하여 히트 싱크의 열성능이 오히려 저하됨을 의미한다.

테스트 섹션으로 균일하게 유체가 들어올 때, 유로 가이드 장치에 의하여 좁은 면적을 통과한 유체는 좁은 흰 영역으로 집중된다. 만일 유로 가이드 장치에서 히트 싱크까지 거리가 길다면 집중

된 유동은 다시 발달하여 히트 싱크로 유입될 때 큰 효과를 발휘할 수 없다. 그러나 거리가 좁을 경우 히트 싱크의 상류에서 압력강하가 크게 발생하므로 열성능을 향상시키기 위한 유로 가이드 장치의 최적 위치가 존재한다.

#### 4. 결 론

전자 제품에 적용성이 높은 일정한 크기의 히트 싱크에서 팁 클리어런스와 바이패스에 의한 열성능을 측정하였다. 팁 클리어런스가 커질수록 히트 싱크의 열저항은 증가하여 열성능이 저하되었으며, 이는 유량을 변화시킨 경우에도 동일하였다. 같은 유량 조건에서는 바이패스의 크기가 흰 채널 크기의 0.5 인 경우에 열성능의 최적값이 존재하였다.

히트 싱크의 상류에 설치 가능한 흰 사이 채널의 형상과 동일한 유로 가이드 장치를 제안하였으며, 팁 클리어런스와 바이패스의 크기에 따른 열성능을 평가하였다. 팁 클리어런스가 증가함에 따라 유로 가이드 장치에 의한 열저항 감소 폭이 컸으며, 팁 클리어런스가 흰 채널 크기와 같은 경우 열저항 감소폭은 14.1% 이다. 히트 싱크의 열성능을 최적화하는 유로 가이드 장치의 거리가 존재하였고, 이 거리는 팁 클리어런스가 커질수록 히트 싱크와 가까워진다. 또, 바이패스가 흰 채널 크기와 같거나 작은 경우에는 유로 가이드 장치에 의한 열성능은 감소하지 않는다.

#### 참고문헌

- (1) Kim, J., 2006, "Microdisplay and Thermal & Fluids Engineering," *Journal of the KSME*, Vol. 47, No. 5, pp. 39~43.
- (2) Shaukatullah, H., Storr, W. R., Hansen, B. J. and Gaynes, M. A., 1996, "Design and Optimization of Pin Fin Heat Sinks for Low Velocity Applications," *12th IEEE Semi-Therm Symposium*, pp. 151~163.
- (3) Lau, K. S. and Mahajan, R. L., 1989, "Effects of Tip Clearance and Fin Density on the Performance of Heat Sinks for VLSI Packages," *IEEE Transaction on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, Vol. 12, No. 4, pp. 757~765.
- (4) El-Sayed, S. A., Mohamed, S. M., Abdel-latif, A. M. and Abouda, A. E., 2002, "Investigation of Turbulent Heat Transfer and Fluid Flow in Longitudinal Rectangular-Fin Arrays of Different Geometries and Shrouded Fin Array," *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 26, pp. 879~900.
- (5) Sara, O. N., 2003, "Performance Analysis of Rectangular Ducts with Staggered Square Pin Fins," *Energy Conversion and Management*, Vol. 44, pp. 1787~1803.
- (6) Sara, O. N., Yapici, S. and Yilmaz, M., 2001, "Second Law Analysis of Rectangular Channels with Square Pin-Fins," *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, Vol. 28, No. 5, pp. 617~630.
- (7) Min, J. Y., Jang, S. P. and Kim, S. J., 2004, "Effect of Tip Clearance on the Cooling Performance of a Microchannel Heat Sink," *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. , pp. 1099~1103.
- (8) Kim, J. W., 2004, "Experimental Study on the Effect of Tip Clearance for a Straight Fin Heat Sink," *Master thesis*, KAIST, pp.23~42
- (9) Elshafei, E. A. M., 2007, "Effect of Flow Bypass on the Performance of a Shrouded Longitudinal Fin Array," *Applied Thermal Engineering*, Vol. , pp. 2233~2242.
- (10) Leon, O., Mey, G. D. and Dick, E., 2002, "Study of the Optimal Layout of Cooling Fins in Forced Convection Cooling," *Microelectronics Reliability*, Vol., pp. 1101~1111.
- (11) Incropera, F. P., and DeWitt, D. P., 1996, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 4th ed.*, John Wiley & Sons, Inc.
- (12) Bejan, 1995, *Convective Heat Transfer*, Willey.