

다수의 열원을 가진 채널의 경사각이 전자장비의 열적 안정성에 미치는 영향

방창훈[†] · 김정수* · 예용택**

경북전문대학 소방안전관리과 · *경북대학교 대학원 기계공학부 · **경일대학교 기계공학부
(2001. 3. 5. 접수 / 2001. 7. 23. 채택)

The effect of Inclined angle of Channel with multi heat source on Thermal Stability of Electronic Equipment

Chang-Hoon Bang[†] · Jung-Soo Kim* · Yong-Taeg Yea**

Department of Fire Protection Engineering, Kyungbuk College

^{*}Department of Mechanical Engineering, Graduate School Kyungpook National University

^{**}Department of Mechanical Engineering, Kyungil University

(Received March 5, 2001 / Accepted July 23, 2001)

Abstract : The objective of the present work is to examine the effect of inclined angle of channel with multi heat source on thermal stability of electronic equipment. The heat sources are mounted on both sides of channel walls by two kinds of configuration such as the zig-zag and symmetric one. Conductive heat transfer was estimated by using of thermocouples and heat flux sensor. Thus, convective heat transfer and mean Nusselt number could be obtained. With increased inclined angle, the convective heat transfer coefficient was decreased. When inclined angle was smaller than 30 degree, The average Nusselt number of zig-zag configuration was larger than that of symmetric. Furthermore, when protruding ration was 0.082, the temperature was strongly affected by inclined angle. whereas, when protruding ration was 0.25, the temperature was strongly affected by heat source configuration.

Key Word : electronic equipment, inclined angle, configuration

1. 서 론

최근 전자부품의 고집적화 및 고성능화로 인하여 다량의 열을 발생하게 되며 이로 인한 장치의 오동작 및 화재 발생의 위험성이 점차 증가하고 있다. 또한 전자장비는 다양한 열적 환경에서 작동하게 되며 이러한 경우 다수의 열원을 가진 채널의 경사각은 전자장비의 열적 안정성에 큰 영향을 미치게 된다. 예를 들면 기판의 구리도체의 경우 온도가 85°C정도가 되면 절연기판 자체가 변색하고 이 상태로 전류를 계속 흐르게 하면 기판은 열화하여 완전히 부품의 기능을 잃게 된다¹⁾. 이 경우 기기는 오동작 또는 작동불능상태가 되어 작업자의 안전에 큰

영향을 미치게 된다.

이와 관련된 연구로 Jaluria 등²⁾은 수직 및 수평벽 면위에 두께가 무시된 균일 열유속을 갖는 두 개의 열원으로부터의 열전달 특성을 실험적 방법으로 연구하였다. 그들은 수직 및 수평판 위에 부착된 두 열원의 간격에 따른 열적 상호간섭에 대한 분석을 통하여 상류측 열원의 영향이 수평판인 경우에 비하여 수직평판인 경우에 더욱 강하게 나타남을 밝혔다. Gebhart 등³⁾은 두 개의 열원을 가진 경우에 간격비에 대한 plume의 상호간섭의 영향을 실험적으로 연구하였으며, Jaluria 등⁴⁾은 수직평판에서 열원 간격에 대한 plume의 상호간섭을 수치해석적으로 연구하였다. 권순석 등⁵⁾은 두 개의 수직 등온평판이 평행하게 배열된 경우의 혼합대류 열전달에 대한 무차원 평판간격, Grashof수 및 레이놀즈수를 변수로 하여, 두 평판에서의 열전달 특성을 연구하였다.

[†]To whom correspondence should be addressed.
bch@mail.kbc.ac.kr

Kim 등⁶⁾은 수직 및 수평채널의 한쪽벽면에 부착된 3개 열원에 의한 혼합대류를 수치해석적 방법으로 고찰하였다.

지금까지의 전자장비내의 채널 경사각에 관한 연구는 대부분 밀폐공간이나 단순 등온열원 및 등온 채널에 대한 연구가 대부분이었고, 다수의 열원이 부착된 채널내에서의 경사각에 따른 열전달 특성에 관한 연구는 미미하였다.

따라서 본 연구는 전자장비내의 채널에 부착된 4개의 열원으로부터 경사각에 따른 열적 안정성을 조사하기 위하여 경사각, 돌출 길이비에 따른 특성을 배열형상에 따라 구명하고, 평균 Nusselts수와 채널경사각이 상호간에 미치는 영향을 배열형상에 따라 조사하였다.

2. 실험

2.1. 실험장치

Fig. 1은 대칭배열일 때, 채널의 정면도 및 측면도와 열전대의 부착위치를 나타낸 그림이다.

그림 (a)와 그림 (b)는 채널의 정면도와 측면도 및 열전대 배치를 나타낸 그림이다.

채널을 구성하는 벽면의 기하학적 크기는 높이 228 mm, 폭 160mm, 두께 5mm이다. 양쪽 수직벽면의 재질은 에폭시 레진(epoxy-resin)이다.

수직벽면에서는 기관의 표면 거칠기에 따른 효과를 무시하였다. 열원이 부착된 수직벽면의 온도를 측정하기 위하여 총 36개의 열전대(K-type, nickel-chromium, 두께=0.32mm)를 표면에서 0.2mm 되는 깊이에 부착하였다.

열원의 제작은 12×3mm²의 동을 두께 1mm가 되도록 자리면을 가공한 다음, 두께 0.5mm, 저항 22.2 Ω(±0.1Ω)의 서모포일 가열기(Minco, 10mm×155 mm, model No. HN5212R22.1L12D)를 자리면에 고 열전도성 본드 (OMEGA BOND 101)로 접착하였다.

열원의 후면에는 아크릴(두께=1, 3mm)을 부착하여 평판으로의 열전도를 최소화하고, 돌출높이를 조절하여 돌출 길이비에 따른 열전달 특성을 실험할 수 있도록 하였다. 이와 같이 열원후면에 아크릴을 부착한 것은 실제로 표면실장방식(SMT)으로 부품을 부착할 때 고분자물질 접착제로 기관표면에 부착한다. 이때 접착제의 부착두께는 대략 1~3mm가 된다.⁷⁾ 열원으로부터 수직벽면으로의 전도에 의한 열전달량을 측정하기 위하여 열유속센서(NO.20453-1,

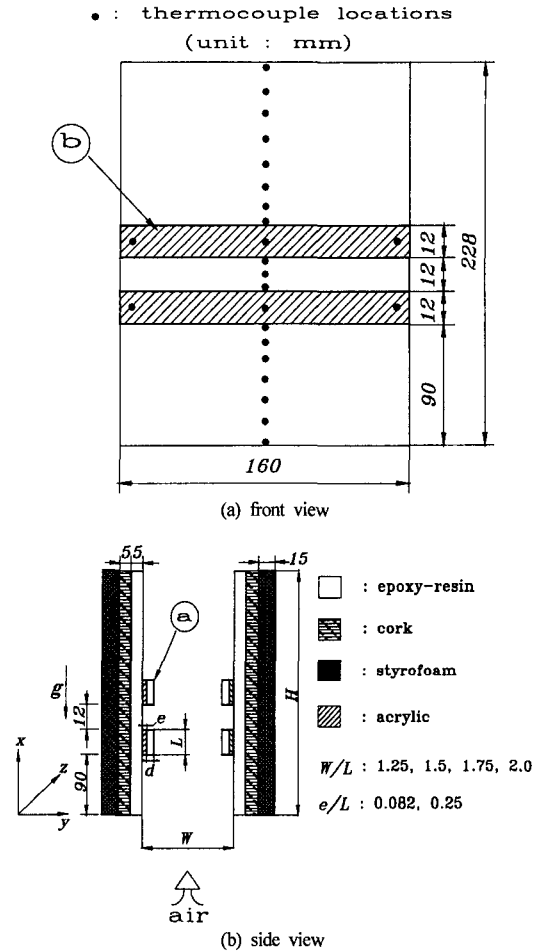


Fig. 1. Geometries of channel and thermocouple locations

두께=0.3mm)를 열원의 뒷면에 부착된 아크릴과 평판사이에 부착하였다. 또한 열원의 길이방향(z방향)으로 8, 80, 152mm 위치에 3개의 열전대를 부착하여 온도를 측정할 결과 ±0.2°C 이내로 일정하였다. 따라서 실험조건이 2차원 유동임을 확인하였다.

2.2. 실험범위

열원 표면에서의 온도변화가 ±0.2°C/hr 이내 일 때를 정상상태에 도달하는 기준으로 정하였으며 정상상태에 도달하는 시간은 공급열량에 따라 약 210~240분 정도 소요되었다. 채널에 4개의 열원이 대칭 및 엇갈린 배열로 부착된 경우에 있어서 경사각의 변화와 돌출 길이비에 따른 정상상태 열전달 특성을 고찰하였다. Table 1은 본 실험에서 수행한 실험조건을 나타낸다.

Table 1. Variables in experimental conditions

variable	condition
Prandtl number (Pr)	0.709
Thermal conductivity of epoxy resin(k)	0.6W/mK
Protruding ratio(e/L)	0.082, 0.25
Heat flux (q_c)	300W/m ²
Inclined angle (ϕ)	15°~90°

2.3. 데이터의 계산

주위유체로 사용된 공기의 물성치는 식(1)로 표현되는 막온도(film temperature)에서의 값들을 사용하였다.

$$T_f = \frac{(\overline{T}_h + \overline{T}_\infty)}{2} \quad (1)$$

여기서 \overline{T}_h 은 4개의 열원면의 평균온도 값이다. \overline{T}_∞ 는 채널 내로 유입되는 주위공기 온도로서 채널 입구 위치한 3개의 열전대에 의하여 측정된 평균값이다. 주위공기의 물성치들은 Gebhart 등⁸⁾의 자료에서 주어진 데이터를 최소자승법으로 280K~400K의 온도범위에 대한 다차 다항식으로 구하여 사용하였다.

복사에 의한 열전달량의 계산은 기하학적 형상에 따라 계산상 어려움이 많다. 따라서 해석을 용이하게 하기 위해 정미흑체 열복사해석(thermal diffuse gray networks analysis)⁹⁾으로 단순화하여 식(2)로 계산하였다.

$$Q_r = \sigma \epsilon A_h (\overline{T}_h^4 - \overline{T}_\infty^4) \quad (2)$$

여기서 등의 방사율(ϵ)은 0.05로 하였고 A_h 는 열원의 표면적으로 0.00288 m²이다. 또한 σ 는 Stefan-Boltzmann 상수로 5.67×10⁻⁸ W/m²K⁴이다.

열원에서 자연대류에 의해 주위공기로 전달되는 정미 열전달량은 에너지 평형방정식인 식(3)으로 계산하였다.

$$Q_c = Q_t - Q_L - Q_r \quad (3)$$

여기서 Q_c 는 정미 대류 열전달량, Q_t 는 열원에 공급되는 총 열량, Q_L 는 열원으로부터 수직벽면으

로의 전도 열전달량으로 열유속센서로 측정된 값을 환산하여 얻은 량, Q ,는 열원 표면으로부터 주위로의 복사에 의한 열전달량을 나타낸다. Q_t 는 V^2/R 으로 계산하였다. V 및 R 은 전압과 서모포일 가열기의 저항을 각각 나타낸다. 실험조건에 따라 다소 차이가 있으나 전도열전달량은 4%~15%정도이고, 복사열전달량은 1.8%~4.1%정도로 나타났다.

식(3)에서 계산된 정미 대류 열전달을 이용하여 평균 열전달계수는 식(4)로 계산하였다.

$$\overline{h} = \frac{(Q_c/A_h)}{T_h - T_\infty} \quad (4)$$

평균 Nusselt수는 식(5)로 계산하였다.

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{h} [L+2d]}{k_f} \quad (5)$$

식(5)에서 정의된 특성길이 $[L+2d]$ 는 열원의 높이 (L)와 상하단 두께($2d$)의 길이를 합한 것으로 공기 에 노출된 열원의 전체면에 대한 특성길이를 표현한 것이다. 또한 k_f 는 유체의 열전도도이다.

무차원 온도는 식(6)으로 정의하였다.

$$\theta = \frac{(T - \overline{T}_\infty)}{a^2/g\beta(L+2d)^3} = \frac{Gr}{Nu} \cdot \left(\frac{\nu}{a}\right)^2 \quad (6)$$

여기서 α 는 열확산계수이고, β 는 기체의 체적 팽창계수이다. 식(6)의 무차원 온도는 공급열량(Gr)과 대류 열전달계수(Nu)비가 고려된 공기의 대류에 대한 확산의 비로서 정의된다.¹⁰⁾

무차원 좌표 x/L 은 첫 번째 열원의 하단부를 기준으로 하였으며, x/L 범위는 -7.5~11.5이다.

본 연구에서 측정된 데이터들에 대한 불확실도는 Kline & McClintock¹¹⁾과 Moffat¹²⁾가 제시한 standard single-sample uncertainty 방법을 사용하였다. 실험조건에서 기본적으로 측정된 파라미터의 불확실성으로부터 계산된 Nusselt수 및 무차원 온도의 불확실도는 경사각에 따라 달라지며 각각 1.54~3.72% 및 4.3~6.72%로 나타났다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 돌출높이비가 0.082이고 경사각(ϕ)이 15°

다수의 열원을 가진 채널의 경사각이 전자장비의 열적 안정성에 미치는 영향

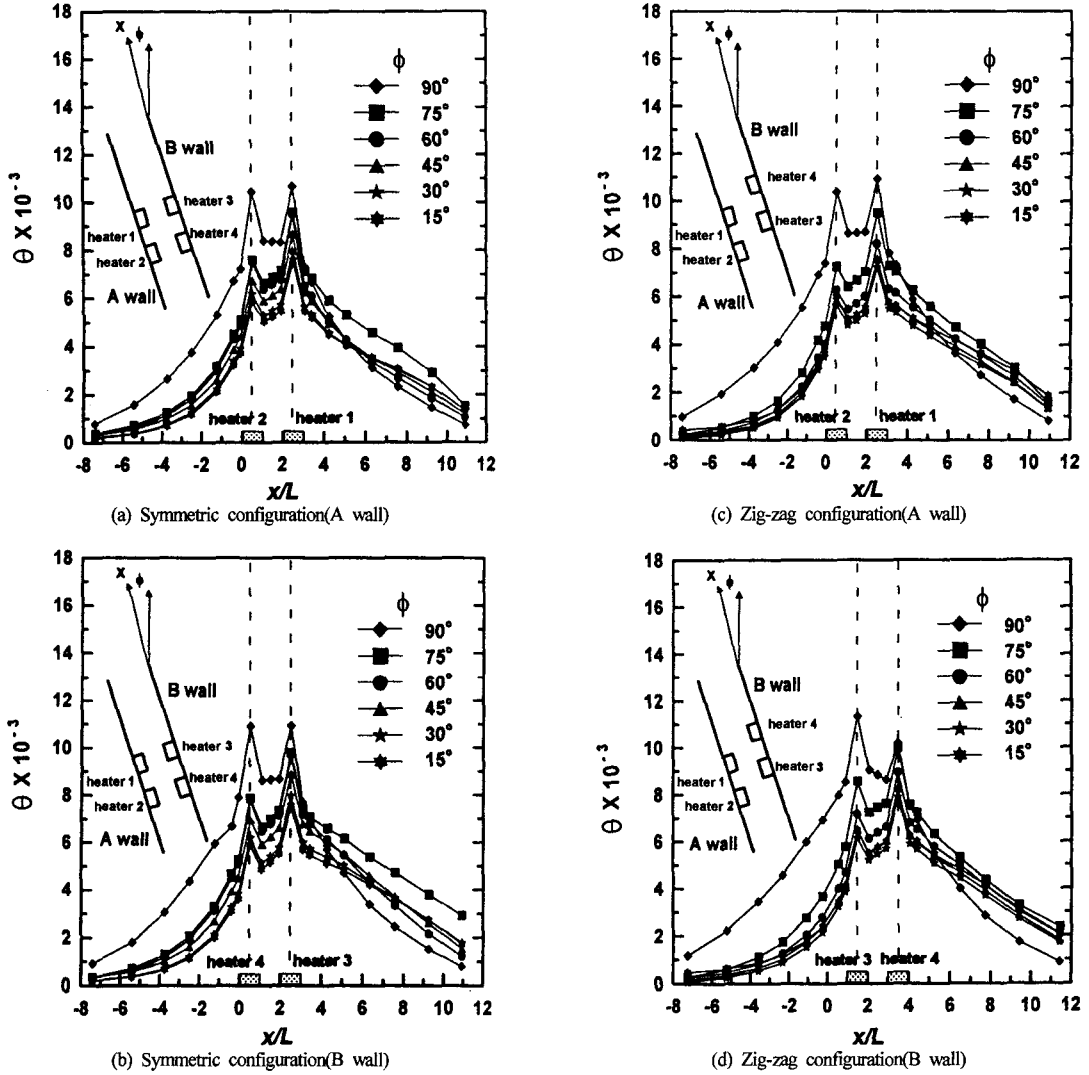


Fig. 2. Non-dimensional temperature distribution of heat sources and substrate with the variation of the inclined angle (ϕ) at $a/L=0.082$

~90°로 변화할 때 무차원 거리에 대한 무차원 온도 분포를 나타낸 그림이다. 여기서 경사각 ϕ 는 부력방향과 평면의 x 방향과 이루는 각이다.

그림(a)는 대칭배열일 때 A벽면, 즉 경사각이 증가할 때 하부벽면, 그림 (b)는 대칭배열일 때 B벽면, 그림(c)는 엇갈린 배열일 때 A벽면, 그림 (d)는 엇갈린 배열일 때 B벽면의 온도분포를 나타내고 있다.

그림 (a)에서 열원의 온도는 $\phi=90^\circ$ 일 때 최대가 된다. 이는 일반적으로 수평의 경우($\phi=90^\circ$) 대류열 전달이 활발하지만, 상대벽면이 존재하는 경우 열원에 발생한 고온의 기류가 상승하지 못하여 오히려

대류열전달이 감소하게 된다.

벽면의 온도분포는 대칭적으로 나타난다. 그러나 ϕ 가 90°에서 75°로 감소하면 상부 열원(heater 1)의 온도에 비해 하부 열원(heater 2)의 온도가 급격히 감소한다. 또한 $\phi=15^\circ\sim 75^\circ$ 범위에서는 상부 열원의 온도가 하부 열원의 온도보다 높게 나타난다. 이는 경사각이 감소함에 따라 채널하부에서 유입되는 찬 외부공기에 의해 하부 열원이 쉽게 냉각되기 때문이다.

벽면온도 분포에서는 $\phi=75^\circ$ 에서 상부열원 윗 쪽의 벽면온도가 제일 높게 나타난다. 이는 $\phi=75^\circ$ 일

때 열원에 의해 생성된 열경계층이 상대벽면에 부착된 열원(heater 3, 4)의 영향을 받아 상승하지 못하고 벽면에 부착되어 유동하기 때문이다.

그림 (b)에서는 $\phi=90^\circ$ 일 때 열원의 온도가 최대가 되며 좌우대칭의 온도분포가 나타난다. 또한 $\phi=75^\circ$ 일 때 열원 상부쪽 벽면 온도분포가 가장 높은 값을 나타낸다. 이는 B벽면이 상대적으로 상부에 위치하게 되어 A벽면의 열원에서 발생한 고온의 공기가 B벽면의 상부 영역을 지속적으로 가열하고, B벽면의 열원에서 발생한 고온의 공기 또한 B벽면에 부착되어 유동하기 때문으로 생각된다.

그림 (c)에서는 $\phi=90^\circ$ 에서 상부 열원(heater 1)의 온도가 하부 열원(heater 2)의 온도보다 다소 높게 나타난다. 이는 엇갈린 배열에서 상부 열원의 경우 하부 열원보다 상대벽면의 열원(heater 3, 4)들에 의한 영향을 크게 받기 때문이다.

즉, 상부 열원은 상대 벽면 열원 사이에 위치되어 주위 온도가 상승하므로 하부 열원보다 열전달이 미약해지기 때문이다. 그러나 공급열량에 따라 특성이 달라질 수 있으므로 추가적인 연구가 필요하다.

또한 그림 (a)와 (c)에서 $\phi=90^\circ$ 일 경우(수평) 열원 1, 2의 온도분포를 보면 배열형상에 따라 차이가 크게 나지 않는다. 이는 상대벽면이 존재하여 대류가 원활하지 못하기 때문이다.

그림 (d)에서 $\phi=90^\circ$ 일 때 하부 열원(heater 3)에서 최대 온도가 나타난다. 이는 하부 열원(heater 3)이 A벽면의 열원(heater 1, 2) 사이에 위치하게 되어 하부면 열원에 의해 발생한 free plume의 영향을 더욱 크게 받기 때문이다. 또한 상부의 벽면 온도분포는 $\phi=90^\circ$ 를 제외하고 경사각이 증가할수록 크게 나타난다.

Fig. 2에서 최대온도는 그림 (d)의 엇갈린 배열에서 $\phi=90^\circ$ 일 때 상부면(B벽면)의 하부 열원(heater 3)에서 나타난다.

전반적으로 경사각이 증가하면 열원의 최대 온도는 증가하여 경사각이 90° (수평일 때)일 때, 최대값을 갖는다. 이는 경사각이 증가하면 부력의 x방향성분이 감소하여 대류유동이 활발하지 못하기 때문이다. 이와 같은 경향은 Azevedo 등¹³⁾과 Fujii¹⁴⁾의 결과와 유사하다.

즉 경사각이 증가할수록 대류 열전달이 감소하여 열원의 최대온도가 상승하고 특히 경사각 75° 에서 상부열원 위쪽에서 기판의 온도가 가장 높게 나타난다.

Fig. 3은 $e/L=0.082$ 일 때 경사각 변화에 따른 평균 Nusselt수를 나타낸 그림이다.

전반적으로 경사각이 증가할수록 평균 Nusselt수는 감소하고 있다. 이는 벽면온도분포에서 경사각이 증가할수록 대류 열전달이 미약해지기 때문이다. (Fig. 2설명 참조)

대칭배열에서 경사각이 증가함에 따라 평균 Nusselt수는 서서히 감소하여 $\phi=90^\circ$ (수평)에서 최소값이 나타난다. 한편 엇갈린 배열의 경우 경사각이 증가함에 따라 평균 Nusselt수는 $\phi=60^\circ$ 까지 크게 감소하지만 그 이후 감소율이 점차로 줄어든다.

$\phi < 30^\circ$ 에서는 엇갈린 배열일 때의 평균 Nusselt수가 대칭배열일 때보다 크게 나타난다. 그러나 $\phi=30^\circ$ 에서는 거의 비슷한 값을 나타내다가 $\phi > 30^\circ$ 이면 대칭 배열일 때보다 낮게 나타난다. 이는 $\phi < 30^\circ$ 에서는 엇갈린 배열일 때보다 대칭배열이 상대벽면 열원과의 열적상호간섭이 크고, 대류 유동이 방해받아서 열전달이 상대적으로 미약하기 때문이다. 그러나 경사각이 증가할수록 배열형태에 따른 대류 유동의 영향이 작아지고 엇갈린 배열인 경우 B벽면 상부 열원(heater 3)이 A벽면 열원에서 생성된 plume의 영향을 크게 받아 열전달특성이 감소하기 때문으로 생각된다.

결국 경사각이 $\phi < 30^\circ$ 인 경우에는 엇갈린 배열에서 대류 열전달이 활발하지만 $\phi > 30^\circ$ 에서는 엇갈린 배열에서 열적상호간섭이 증가하여 대칭 배열에 비

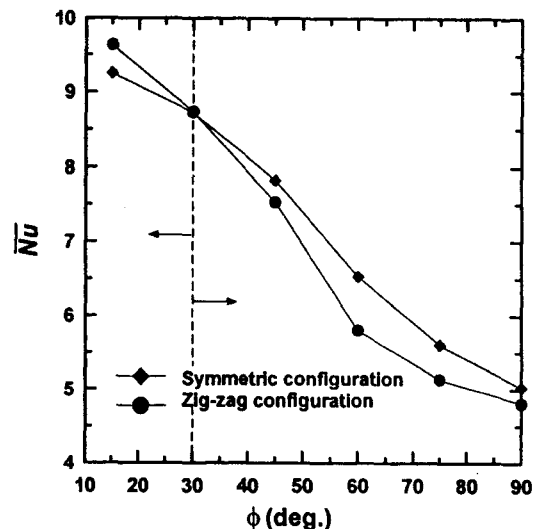


Fig. 3. The variation of the average Nusselt number with inclined angle for each configuration at $e/L=0.082$

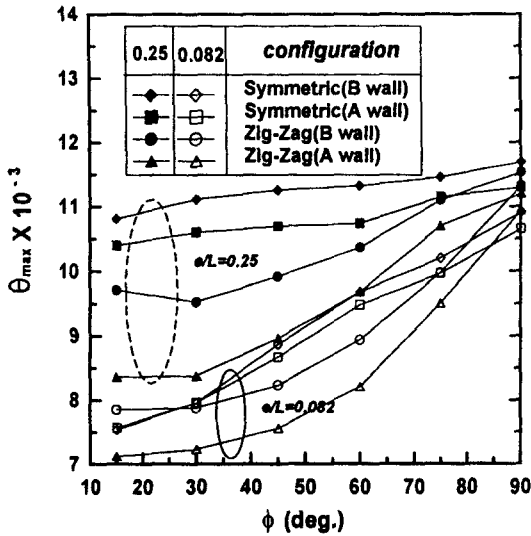


Fig. 4. Maximum temperature of heat sources with the inclined angle for each protruding ratio(e/L) and configuration

해 대류 열전달이 감소한다.

Fig. 4는 $e/L=0.082, 0.25$ 일 때, 채널경사각에 따른 열원의 최대 온도를 나타낸 그림이다.

전반적으로 경사각이 증가할수록 최대온도는 증가한다. 또한 동일한 경사각에서 $e/L=0.25$ 인 경우에 최대온도가 높게 나타난다. 이는 $e/L=0.082$ 인 경우 상대벽면에 부착된 열원에 의한 열적상호간섭이 작아 상대적으로 경사각 변화에 의한 영향을 크게 받기 때문이다. 즉, 경사각 증가에 따른 부력의 감소로 급격한 온도 상승을 유발한 것이다. 반면 $e/L=0.25$ 일 때는 배열형상에 따라서 경사각 $15^\circ \sim 60^\circ$ 사이에서 최대온도의 급격한 변화가 나타난다. 이는 $e/L=0.25$ 인 경우에는 상대벽면에 부착된 열원의 열적상호간섭이 커져 배열형상에 의한 영향이 크게 작용하기 때문으로 생각된다.

결국 $e/L=0.082$ 인 경우는 경사각 증가에 따른 대류 열전달의 감소가 급격하게 나타나고, 경사각증가에 따른 배열형상의 영향은 $e/L=0.25$ 인 경우에 더욱 크게 나타난다.

4. 결론

본 연구에서는 전자장비내의 채널에 부착된 4개의 열원으로부터 경사각, 돌출길이비에 따른 열전달 특성을 배열의 형상에 따라 조사하여 다음과 같은

결론을 얻었다.

- 1) 경사각이 증가할수록 대류 열전달이 감소하여 최대온도가 상승하고 특히 경사각 75° 에서 열원 상부에서의 벽면온도가 가장 높게 나타났다.
- 2) 경사각이 $\phi < 30^\circ$ 인 경우에는 엇갈린 배열에서 대류 열전달이 활발하지만, $\phi > 30^\circ$ 에서는 엇갈린 배열에서 열적상호간섭이 증가하여 대칭 배열에 비해 대류 열전달이 감소하였다.
- 3) 경사각 증가에 따른 열원의 최대온도는 돌출길이비가 작을수록 크게 증가하고, 경사각증가에 따른 배열형상의 영향은 돌출길이비가 클수록 더욱 크게 나타났다.

참고문헌

- 1) 박경화, 김주덕, 유재영, 최재암, 계신웅, 박정삼, 1991, "PCB 설계일반", 삼성반도체연구소.
- 2) Jaluria, Y. and Gebhart, B., 1977, "Buoyancy-Induced Flow arising from a Line Thermal Source on an Adiabatic Vertical Surface," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 20, pp. 153~157.
- 3) Gebhart, B. and Pera, L., 1975, "Laminar plume Interactions," *J. of Fluid Mechanics*, Vol. 68, pp. 259-271.
- 4) Jaluria, Y., 1982, "Buoyancy-Induced Flow Due to Isolated Thermal Sources on a Vertical Surface," *J. Heat Transfer*, Vol. 104, pp. 223~227.
- 5) 권순석, 양성환, 이재신, 박문길, 1990, "등온 수직 평판에서의 혼합대류 열전달," 대한기계학회 논문집, Vol. 14, No. 6, pp. 1646~1651.
- 6) Kim, S. Y., Sung, H. J. and Hyun, J. M., "Mixed Convection from Multi-Layered Board with Cross-Streamwise Periodic Boundary Conditions," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 35, No. 11, pp. 2941~2952. 1992.
- 7) http://www.sci.siemens.com/siemens_new/app38/app38_6.html.
- 8) Gebhart, B., Jaluria, Y., Mahajan, R. L. and Sammakia, B., "Buoyancy-Induced Flows and Transport," *Hemisphere, New York*, 1980.
- 9) 추홍록, 불연속 발열체가 부착된 수직 OPEN TOP CAVITY내에서 자연대류 냉각에 관한 실험적 연구, 박사학위 논문, 경북대학교 대학원, 1994.
- 10) Lee, S., Yovanovich, M. M., 1991, "The Effect of Common Design Parameters on the Thermal Performance of Micromerectronic Equipment: Part 1 Natural Convection," *Heat Transfer in Electronic Equipment ASME, HTD-Vol. 171*, pp. 47~54.

- 11) Kline, S. J., and McClintock, F. A., "Describing Uncertainties in Single Sample Experiments," *Mechanical Engineering*, Jan., pp. 3~8, 1953.
- 12) R. J. Moffat, "Describing the Uncertainties in the Experimental Results," *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 1, pp. 3~17, 1988.
- 13) Azevedo, L. F. A., Sparrow, E. M., 1985, "Natural Convection in Open -Ended Inclined Channels," *J. Heat Transfer*, Vol. 107, pp. 893~901.
- 14) Fujii, T., Imura, H., "Natural-Convection Heat Transfer from a Plate with Arbitrary Inclination," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 15, pp. 755~767, 1972.