

경사평판에서의 핀길이가 자연대류 열전달에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on the Effects of Fin Length on Natural Convection Heat Transfer from a Inclined Flat Plate

천 대 희*
Choun Dae-Hee

.....
Abstract

This study has been conducted experimentally on the effects of natural convection heat transfer characteristics for inclined flat plate with vertical fin in air. The effects of various fin length, flat plate inclined angle and Grashof number are mainly investigated. The experimented results are as follows: The mean heat transfer coefficient increase according to the decrease of H/S in the various fin length. The mean heat transfer coefficient at $H/S=0.5, 1.0, 1.5$ for $Gr=2.11 \times 10^3$, $\theta=0^\circ$ increase by 107%, 43%, 15% than $H/S=2.0$. The mean heat transfer coefficient decrease with the increase of θ the inclined angles. The mean heat transfer coefficient at $Gr=2.97 \times 10^3$ is constant, at $\theta=0^\circ$ for $H/S=0.5$ decrease by 33% than $\theta=90^\circ$. The mean heat transfer coefficient increase as Grashof number increase. The mean heat transfer coefficient at $Gr=2.31 \times 10^3$, $Gr=2.61 \times 10^3$, $Gr=2.97 \times 10^3$ for $H/S=1.0$, $\theta=0^\circ$ increase by 9%, 16%, 28% than $Gr=2.11 \times 10^3$.

국문요약

전자산업은 장치의 소형경량화를 추구하면서 단위체적당 발생하는 열량이 증가하는데 이때 발생하는 열의 냉각문제는 전자산업의 발전에 있어서 해결해야될 중요한 문제로 등장하고 있다. 대류냉각 방식은 구조가 간단하고 가격이 저렴하면서도 사용이 편리하기 때문에 전자기기의 냉각방식으로 많이 사용되고 있다. 이때 효율적인 냉각을 위하여 전열면적의 확장 및 대류유동이 잘 이루어지는 기하학적 형상이 제안되고 있다. 전자기기에서 발생하는 열을 효과적으로 냉각시키기 위한 냉각핀에서의 대류열전달 특성을 고찰하기 위하여 공기중의 정상층류 상태에서 등온으로 가열된 경사평판에 수직으로 부착된 평판핀에 대하여 무차원 핀길이 H/S , 경사각, Grashof수 변화에 따른 자연대류 열전달 특성을 비교 분석한 결과는 다음과 같다. 평균 열전달계수는 무차원 핀길이 H/S 가 감소하거나 Grashof수가 증가하면 대류유동이 촉진되기 때문에 증가되는 경향을 나타내었고, 경사각이 증가되면 대류유동에 장애를 받기 때문에 감소하는 경향을 나타내었다.

.....
* 대전산업대학교 산업대학원 기계공학과

1. 서 론

최근 전자산업은 장치의 소형경량화를 추구하면서 좁은 공간내에 많은 칩들을 조밀하게 부착하기 때문에 단위체적당 발생하는 열량이 증가하고 있으며, 이때 발생하는 열의 냉각문제는 전자산업 발전에 있어서 해결해야 될 중요한 문제로 대두되고 있다. 전자장치의 성능은 칩의 작동 온도에 의해 크게 좌우된다. 대류냉각 방식은 구조가 간단하고 가격이 저렴 하면서도 사용이 편리하기 때문에 전자기기의 냉각방식으로 많이 사용되고 있다. 이때 효율적인 냉각을 위하여 전 열면적의 확장 및 대류유동이 잘 이루어지는 기하학적 형상이 제안되고 있다. You 등¹⁾은 상부가 개방된 수직 캐비티(cavity)내에 장착된 불연속 균일 방열체의 자연대류 냉각에 대하여 연구하여 최대의 냉각효과가 나타나는 방열체의 최적 방열조건을 구하였다. Wirtz와 Stutzman²⁾은 비대칭으로 균일 열유속을 갖는 평행한 수직 평판 사이에서 공기에 의한 자연대류 열전달을 실험적으로 연구하여 Rayleigh수와 Nusselt수와의 상관식을 구하였다. Park 등³⁾은 전자칩의 냉각기술 연구에 사용되는 모사칩(simulated chip)의 형상에 대하여 연구 제시하였다.

Nelson 등⁴⁾의 연구에 의하면 전자소자의 경우 최대작동온도를 기준으로 10℃정도 온도가 상승함에 따라 신뢰도는 50%이상 감소된다는 연구 결과를 발표하였다. Aung 등⁵⁾이 공기 중에서 비대칭으로 가열되는 두 수직면 사이의 층류 자연대류 열전달 특성을 실험 및 수치해석으로 구하였다.

Harahap⁶⁾ 등은 수직직각 핀 배열에서 평균 열전달계수를 핀의 길이 및 간격에 대한 함수로 상관식을 만들었다. Kim 등⁷⁾은 수직평판에 부착된 수평핀에서의 자연대류에 대하여 핀높이와 Rayleigh수를 변수로하여 실험적으로 고찰하였다. Park 등⁸⁾은 주위 유체가 공기인 정상층류상태에서 단열벽에 부착된 등은 직사각 빔에서의 자유대류를 단열벽의 각도와 Rayleigh수를 변수로 실험적으로 연구하였다.

본 연구에서는 전자기기에서 발생하는 열을 효과적으로 냉각시키기 위한 냉각핀(cooling fin)에서의 대류열전달 특성을 고찰하기 위하여 공기중의 정상층류 상태에서 등온으로 가열된 경사평판에서 무차원 핀길이 H/S 변화에 따른 자연대류 열전달 특성을 비교 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

시험 부분의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 치수는 Table. 1과 같으며, 6개의 평판수직핀을 가진 경사평판은 다음과 같이 제작하였다.

평판은 순동(열전도율, 386W/m℃)으로 두께 15mm, 폭 61.2mm, 길이 122.4mm로 하였으며, 표면 조도는 0.2μm로 가공하였다. 평판에 핀을 부착하기 위하여 폭 0.2mm, 길이 5mm, 길이 122.4mm인 홈을 만들었으며 이홈에 부착된

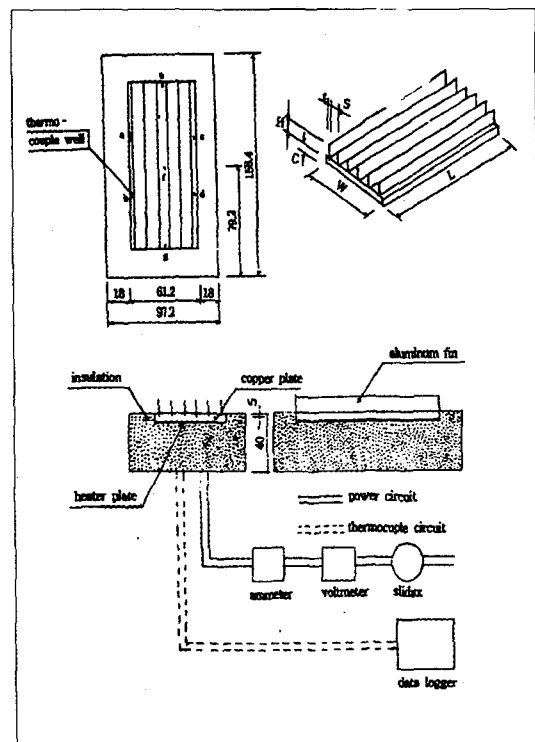


Fig. 1. Schematic diagram of test apparatus.

Table 1. Test fin dimensions.

(mm)

| test no | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| H | 5 | 10 | 15 | 20 |
| S | 10 | 10 | 10 | 10 |
| H/S | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |
| t | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| W | 61.2 | 61.2 | 61.2 | 61.2 |
| L | 122.4 | 122.4 | 122.4 | 122.4 |
| c | 15 | 15 | 15 | 15 |

알루미늄핀(열전도율 202W/m℃)을 0.2×5×122.4mm, 0.2×10×122.4mm, 0.2×15×122.4mm 그리고 0.2×20×122.4mm로 하였다. 평판 표면 온도를 측정하기 위하여 평판 표면의 가까운 가장자리에서 평판길이 방향으로 직경 1mm, 깊이 10 mm의 구멍을 양쪽으로 각각 2개소, 폭 방향으로 각각 한 개소 및 중앙에 1개소를 뚫어 열전대를 넣을수 있게 하였다. 수평평판에 열량을 공급하기 위하여 전체 저항이 40Ω의 Strip heater 2개를 순간접착제로 부착하였다. Heater는 얇은 운모판에 직경 0.4mm, 20Ω/m의 니크롬선을 일정한 간격으로 감은다음 운모판을 양면에 절연하고 평판내부에 열량을 공급하기 위하여 열량계를 사용하였다. 평판을 단열시키기 위하여 Heater 뒤쪽에 glass wool을 골고루 채우고 수평평판 측면 및 아래면에 두께 15mm 베이클라이트(bakelite)판을 부착하였다. 실험시의 평판에 각도를 측정하기 위하여 수평평판 양측면 베이클라이트판에 평판과 수평하게 각도기를 부착하였다. 열량조정은 평판내부에 설치된 전기가열기의 전압을 조정하여 변경시킬 수 있다. 이때 평판표면온도를 측정하기 위하여 동-콘스탄탄(Copper-Constantan) 열전대를 Fig. 1에 표시한 바와같이 a, b, c, d, e, f 및 g 지점에 삽입하였고 각 지점에서 온도 분포는 써멀 프로브(thermal-probe)와 데이터 로거(data logger)로 측정하였다.

2.2. 실험방법

공기중의 정상층류상태에서 등온으로 가열된 경사평판에 부착된 평판핀의 무차원 핀길이 H/

S를 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0으로 핀길이에 변화를 준 경우의 경사각 및 Grashof수 변화에 따른 대류 열전달 특성을 비교 분석 하였다. 열량계를 사용하여 평판내부에 열량을 공급하고 원하는 열량을 얻은 후 일정시간이 지나 정상상태가 된 후 평판의 표면온도를 써멀 프로브(thermal-probe)와 데이터 로거(data logger)를 이용하여 측정 했으며, 평판표면 온도는 상, 하, 중앙, 좌, 우 에 따라 다소 차이가 있었으나, 그 오차는 +0.08~ -0.06% 범위로 미소하였고 평판표면의 온도는 평균치로 Table 2와 같다.

Table 2. Surface temperatures of a horizon talplate with six aluminum fins.

| no | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| T _a | 60.04 | 70.03 | 80.04 | 90.06 |
| T _b | 60.03 | 70.04 | 80.05 | 90.05 |
| T _c | 60.06 | 70.07 | 80.07 | 90.06 |
| T _d | 60.05 | 70.08 | 80.06 | 90.06 |
| T _e | 59.96 | 69.97 | 79.96 | 89.95 |
| T _f | 59.97 | 69.96 | 79.95 | 89.96 |
| T _g | 59.96 | 70.09 | 79.94 | 89.95 |
| T _m | 60.01 | 69.94 | 80.01 | 90.01 |
| error (%) | +0.07 -0.06 | +0.06 -0.07 | +0.08 -0.06 | +0.06 -0.05 |
| T _∞ | 20.3 | 20.3 | 20.3 | 20.3 |

2.3 실험해석

경사평판에서 평판핀이 수직으로 부착된 경우에 대하여 핀길이 변화에 따른 대류열전달 특성을 고찰하기 위하여 등온으로 가열된 평판핀이 부착된 경사평판에 대하여 무차원 핀길이 H/S를 0.5~2.0까지 변화시켰을 경우의 자연대류 열전달 특성을 해석하기 위하여 경사각과 온도차를 주요 변수로 하여 구한 열전달량, 평균열전달 계수, Grashof수는 아래와 같이 구하였다.

2.3.1 열전달량 (q)

수평평판에 평판핀이 수직으로 부착된 경우의 핀위치 변화에 따라 온도차 ΔT와 핀의 길이를

주요 변수로 한 평판 및 핀에서의 총열전달량은 다음식으로 구하였다.

$$q = \bar{h} \cdot A \cdot \Delta T_M \text{ (kcal/h)} \quad (1)$$

본 연구에 이용한 온도차는 평균온도차이며, 평균온도차는 평판온도의 평균값과 주위유체온도와의 차이로 하여 다음식으로 구한다.

$$T_m = (T_a + T_b + T_c + T_d + T_e + T_f + T_g) / 7 - T_\infty \quad (2)$$

2.3.2 평균 열전달계수 (\bar{h})

수평평판에 평판핀이 수직으로 부착된 경우에 대한 평판 및 핀에서의 평균열전달계수는 다음식으로 구하였다.

$$\bar{h} = \frac{q}{A \cdot \Delta T_M} \text{ (kcal/m}^2\text{/h}^\circ\text{C)} \quad (3)$$

2.3.3 Rayleigh number (Ra)

자연대류 경계층에서의 천이는 유체 내에서의 부력과 점성력의 상호적인 크기에 따라 좌우된다.

이 천이의 발생에 대하여 Rayleigh수로 나타내는데 다음식으로 구하였다.

$$Ra = f(Gr, Pr) = \frac{g \beta (T_p - T_\infty) s^3}{\nu \alpha} \quad (4)$$

2.3.4 Grashof number (Gr)

부력에 대한 점성력의 비인 Grashof number는 다음 식으로 구하였다.

$$Ra = f(Gr, Pr) = \frac{g \beta (T_p - T_\infty) S^3}{\nu^2} \quad (5)$$

2.3.5 Prandtl number (Pr)

운동량 확산계수와 열확산계수의 비인 Prandtl number는 다음 식으로 구하였다.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (6)$$

3. 실험결과 및 고찰

경사평판에서 핀길이가 자연대류 열전달에 미

치는 영향에 대하여 고찰하기 위하여 경사평판에 평판핀을 수직으로 부착하여 핀길이, 경사각, 주위 유체와의 온도차 등을 변수로 하여 실험적으로 고찰한 결과는 다음과 같다.

3.1 무차원 핀길이 H/S 변화에 따른 열전달 특성

Fig. 2~Fig. 5는 Grashof수 변화에 따른 평균 열전달계수를 무차원 핀길이 H/S 변화에 대하여 나타낸 것이다. 평균 열전달계수는 무차원 핀길이 H/S가 감소하면 증가되었다.

Gr=2.11×10³, θ=0°인 경우 평균 열전달계수는 H/S=2.0 보다 H/S=1.5에서는 15%, H/S=1.0에서는 43%, H/S=0.5에서는 약 107% 증가되었다.

θ=0°의 경우 H/S=2.0 보다 H/S=0.5에서의 평균 열전달계수는 Gr=2.11×10³에서는 107%, Gr=3.31×10³에서는 115%, Gr=2.61×10³에서는 119% 및 Gr=2.97×10³에서는 121%, 증가되었다. 이와 같이 무차원 핀길이가 감소할수록 평균 열전달계수가 증가하는 것은 무차원 핀길이가 감소할수록 대류유동이 촉진되기 때문이다.

경사각이 증가함에 따라 평균 열전달계수는 감소하였다. Gr=2.11×10³, H/S=0.5의 경우 평균 열전달계수는 θ=0° 보다 θ=90°에서는 33% 감소되었다.

이와같이 경사각이 증가함에 따라 평균 열전달계수가 감소하는 것은 경사각 θ가 증가함에 따라 대류유동에 많은 장애를 받기 때문이다.

3.2 Grashof수 변화에 따른 열전달 특성

Fig.6~Fig.9는 무차원 핀길이 H/S 변화에 대한 평균 열전달계수를 Grashof수 변화에 대하여 나타낸 것이다.

평균 열전달계수는 Grashof수가 증가하면 증가되었다. H/S=0.5, θ=0°인 경우 평균 열전달계수는 Gr=2.11×10³ 보다 Gr=2.97×10³에서는 29% 증가하였다. θ=30°인 경우 Gr=2.11×10³ 보다 Gr=2.97×10³에서의 평균 열전달계수는 H/S=0.5에서는 37%, H/S=1.0에서는

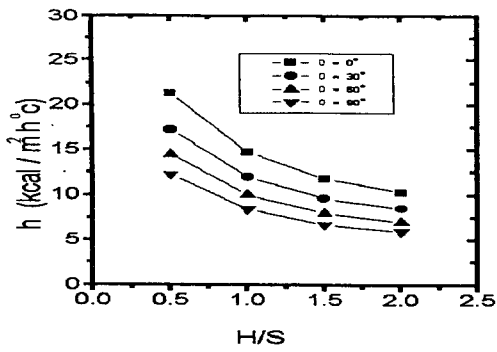


Fig. 2. Mean heat transfer coefficient versus H/ S at $Gr=2.11 \times 10^3$, $Pr=0.71$.

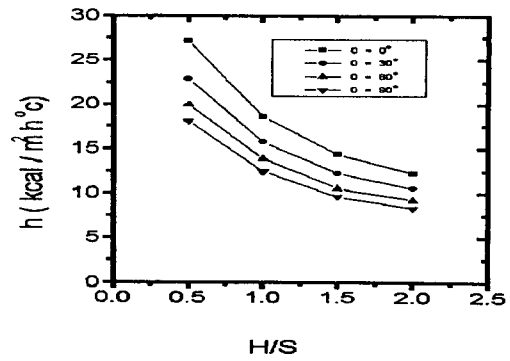


Fig. 5. Mean heat transfer coefficient versus H/ S at $Gr=2.97 \times 10^3$, $Pr=0.71$.

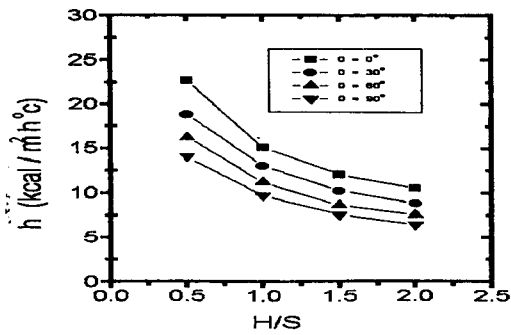


Fig. 3. Mean heat transfer coefficient versus H/ S at $Gr=2.31 \times 10^3$, $Pr=0.71$.

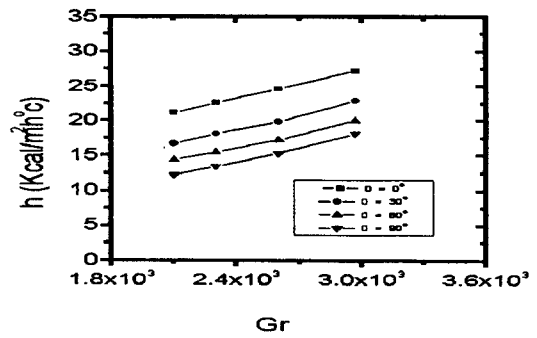


Fig. 6. Mean heat transfer coefficient versus Grashof number at $H/ S=0.5$, $Pr=0.71$.

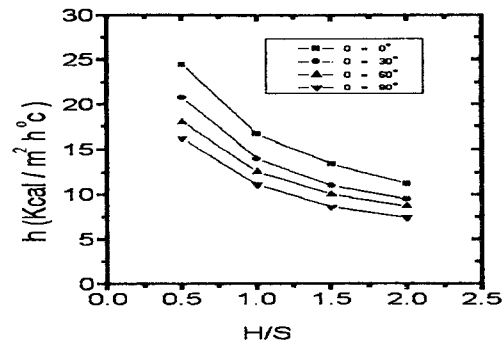


Fig. 4. Mean heat transfer coefficient versus H/ S at $Gr=2.61 \times 10^3$, $Pr=0.71$.

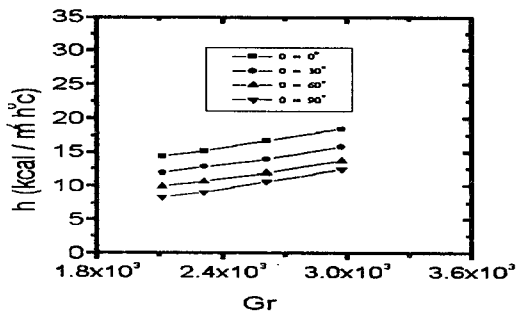


Fig. 7. Mean heat transfer coefficient versus Grashof number at $H/ S=1.0$, $Pr=0.71$.

32%, $H/S=1.5$ 에서는 28%, 및 $H/S=2.0$ 에서는 25%, 증가하였다. $H/S=1.0$, $\theta=0^\circ$ 인 경우 평균 열전달계수는 $Gr=2.11 \times 10^3$ 보다 $Gr=2.31 \times 10^3$ 에서는 9%, $Gr=2.61 \times 10^3$ 에서는 16%, $Gr=2.97 \times 10^3$ 에서는 28%, 증가하였다.

이와 같이 Grashof수가 증가 증가할수록 평균 열전달계수가 증가할 것 Grashof수가 증가할수록 대류유동이 활발하기 때문이다.

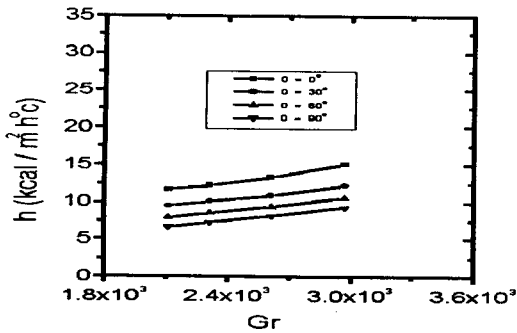


Fig. 8. Mean heat transfer coefficient versus Grashof number at $H/S=1.5$, $Pr=0.71$.

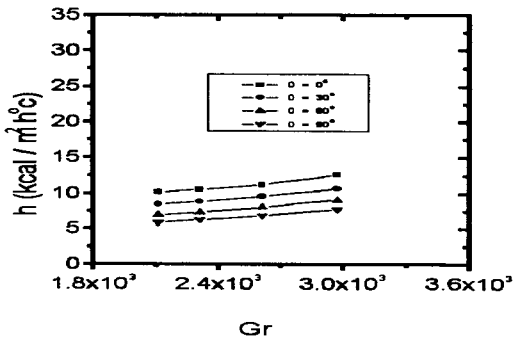


Fig. 9. Mean heat transfer coefficient versus Grashof number at $H/S=2.0$, $Pr=0.7$.

4. 결 론

경사평판에서의 핀길이가 자연대류 열전달에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 공기중의 정상층류 상태에서 등온으로 가열된 경사평판에 수직으로 부착된 평판핀의 무차원 길이 H/S 를 5, 1.0, 1.5, 2.0의 경우에 대하여 경사각과 온도차 및 Grashof수 등을 변수로 하여 실험적으로 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 평균 열전달계수는 무차원 핀길이 H/S 가 감소하면 증가되었다.

$Gr=2.11 \times 10^3$, $\theta=0^\circ$ 인 경우 평균 열전달계수는 $H/S=2.0$ 보다 $H/S=1.5$ 에서는 15%, $H/S=1.0$ 에서는 43%, $H/S=0.5$ 에서는 107% 증가되었다.

2. 경사각이 증가함에 따라 평균 열전달계수는 감소하였다.

$Gr=2.97 \times 10^3$, $H/S=0.5$ 의 경우 평균 열

전달계수는 $\theta=0^\circ$ 보다 $\theta=90^\circ$ 에서는 33% 감소되었다.

3. 평균 열전달계수는 Grashof수가 증가하면 증가되었다.

$H/S=1.0$, $\theta=0^\circ$ 인 경우 평균 열전달계수는 $Gr=2.11 \times 10^3$ 보다 $Gr=2.31 \times 10^3$ 에서는 9%, $Gr=2.61 \times 10^3$ 에서는 16%, 97×10^3 에서는 28%, 증가하였다.

참 고 문 헌

1. 유갑중, 추홍록, 최병철, 김병하. "상부가 개방된 수직 캐비티 내에 장착된 불연속 균일 발열체의 자연대류 냉각" 대한기계학회논문집(B), 제21권 제1호, p.p. 1-14. 1997.
2. Wirtz, R.A. and Stutzmat, R, J, "Experiments on Free Convection between Vertical Plates with Symmetric Heating," J, of Heat Transfer, Vol.104, p.p. 501-507. 1982.
3. Kyung-Am PARK. Seong-yeon YOO. "전자칩의 냉각기술 연구에 사용되는 모사칩의 형상" 대한기계학회지, 제36권 제5호, p.p. 494-505. 1996.
4. Nelson, L, A., Sekhon, K.S. and Fritz, J.E., "Direct Heat Pipe of a Semiconductor Devices," Proc.Int.Heat Pipe Conf., p.p. 373-376. 1978.
5. Aung, W., Fletcher, L.S and Sernas, V., "Developing Laminar Free Convection between Vertical Flat Plate with Asymmetric Heating," Int. j. Heat Mass Transfer, Vol. 15, p.p. 2293 -3308. 1982.
6. P.J. Hegg and P.R. Stones, "The Effects of Dimensions on the Heat Flow rate through Extended Surfaces," ASME, Journal of Heat Transfer, Vol, 102, p.p. 180-182, 1980.
7. S. J. Kim, J. C. Lee, L. S. Seo, S. S. Kwon, "Natural Convection from a Vartical Flat Plate With Horizontal Rectangular Fins," 공기조화. 냉동공학지 제 17권 제4호, 1988.
8. Park, Jae Lim and Keon, Sun Sok, "An Experimental Study on the Natural Convection from the Isothermal Square Beam with an Adiabatic," Proc. of the First KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference, Vol.2,p.p. 307- 311. 1988.