

垂直平板에 附着된 水平핀에서의 自然對流

Natural Convection from a Vertical Flat Plate with Horizontal Rectangular Fins .

金 善 政,* 李 正 徹,* 徐 利 洙,** 權 純 錫**
S. J. Kim, J. C. Lee, L. S. Seo, S. S. Kwon

ABSTRACT

A study has been conducted experimentally on natural convection heat transfer characteristics of a vertical flat plate with horizontal rectangular fins in air. The effects of fin heights and Rayleigh numbers are mainly investigated.

The experimental results are as follows;

1. The mean fin, plate and total Nusselt numbers decrease as dimensionless fin heights H/S increase at $0.50 \leq H/S \leq 2.00$.
2. The mean fin surface Nusselt number in case of $H/S = 0.50$ and $Ra_c = 4.33 \times 10^3$ shows its maximum at X_1 , surface where there is no interference with other fins.
3. Owing to the interference of fins the mean plate Nusselt numbers at $H/S=0.50$ and 2.00 for $Ra_s = 6.57 \times 10^3$ are 35% and 80% respectively less than the mean fin Nusselt numbers.
4. The mean fin, plate and total Nusselt numbers of horizontal rectangular fins show higher values at short fins, but lower values at long fins than those of upward vertical fins.

記 號 說 明

<p>b : 프린지사이의 간격</p> <p>D : 平板두께</p> <p>g : 重力加速度</p> <p>Gr : Grashof 數, $g\beta s^3(T_P - T_\infty)/\gamma^2$</p> <p>$H$: 핀높이</p> <p>h : 熱傳達係數</p>	<p>K : 熱傳導率</p> <p>L : 平板길이</p> <p>Nu : Nusselt 數, hs/k</p> <p>Nu^* : 修正 Nusselt 數</p> <p>Pr : Prandtl 數, γ/α</p> <p>Ra : Rayleigh 數, $g\beta s^3(T_P - T_\infty)/\alpha\gamma$</p> <p>$S$: 핀간격</p> <p>T : 溫度, $^\circ C$</p>
---	--

* 東亞大學校 大學院

** 正會員, 東亞大學校

- ΔT : 핀리지사이의 온도차
- t : 핀두께
- W : 平板폭
- X : 無次元핀높이, x/H
- Y : 無次元平板길이, y/L
- x : 횡좌표
- y : 종좌표
- α : 熱擴散係數
- β : 熱膨脹係數
- γ : 動粘性係數
- 〈添字〉
- F : 핀
- f : 周圍流體
- P : 平板
- T : 全體
- ∞ : 周圍
- $-$: 平均

I. 緒 論

熱傳達面積擴大를 통한 熱傳達 增進方法에 대하여 많은 研究가 이루어져 왔다. 특히 熱交換器와 電子裝置 등에서 發生되는 熱을 가장 效率的으로 放熱시키기 위하여 傳熱面積을 넓히고 自然對流가 잘 일어나는 幾何學的인 形狀이 提案되고 있다. 實際工學部分에서 擴大表面의 應用形態는 대부분 핀에 의해서 이루어지고 있으며 이에 대하여 研究가 活發히 進行되고 있다.

Starner 와 Mc Manus¹⁾는 空氣中에서 直角핀配列에 관한 自然對流를 핀위치 變化에 따라 핀간격과 핀높이를 變數로 하여 熱傳達 特性을 實驗的으로 研究하였다.

Harahap 와 Mc Manus²⁾는 水平直角핀配列에서 平均熱傳達係數를 핀의 길이, 높이 및 간격에 관한 함수로 相關式을 만들었다.

Sane 와 Sukhatme³⁾는 空氣中에서 水平直角핀配列로부터의 自然對流를 數值解析으로 考察하였고 實驗으로 流動을 可視化하였다.

Gryzagorids⁴⁾는 等溫垂直平板의 가장자리 조건을 여러가지로 變更하여 自然對流 現象을 實驗으로 研究하였다.

Sparrow와 Gregg⁵⁾는 一定한 溫度를 가진 垂直平板의 外部에서 發生되는 自然對流를 數值解析하여 實驗結果와 比較하였다.

Sparrow와 Bahrami⁶⁾는 垂直平行平板에서의 自然對流에 관하여 가장자리가 開放된 것과 閉鎖된 것에 대하여 實驗的으로 研究하였다.

Kwon 등^{7,8)}은 水平平板에 附着된 핀配列에서의 自然對流를 實驗的으로 핀위치, 핀높이 및 Rayleigh 數 變化에 따른 熱傳達 特性에 관하여 研究하였다.

本 研究에서는 空氣中에서 等溫으로 加熱된 垂直平板에 附着된 水平핀에서의 熱傳達 現象을 규명하기 위하여 垂直平板에 3個의 水平平板핀을 附着하고 핀높이와 Rayleigh 數를 變數로 하여 實驗的으로 考察하였다.

II. 實驗裝置 및 方法

本 實驗에 使用된 水平핀이 附着된 垂直平板의 概略圖와 핀의 치수는 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.

垂直平板은 純銅(熱傳導率 386w/m²C)으로 두께 6mm, 幅 42mm, 길이 126mm로 하고 핀은 알루미늄(熱傳導率 202W/m²C)으로 높이가 6mm, 8mm, 12mm, 16mm, 20mm 및 24mm로 加工하였다. 平板의 表面溫度를 均一하게 얻기 위하여 加熱板을 設置하고 이板에 一定한 熱量을 供給하기 위하여 電壓調節器, 電壓計 및 電流計를 使用하였다. 溫度測定은 Fig. 1에 表示된 a, b, c, d 및 e에 C-A 熱電對를 삽입하여 電位差計로 하였고 熱電對 보상은 0^oC 얼음통을 使用하였다. 3個의 水平핀을 가진 垂直平板을 Mach-Zehnder 干涉計의 試驗部에 水平으로 位置시키고 等溫線을 平板과 外部流體와의 溫度差와 핀의 높이에 따라 얻을 수 있다. 平板의 表面溫度가 원하는 溫度인때에 發生되는 干涉무늬를 撮影하였고 撮影시간의 溫度는 電位差計와 디지털멀티미터로써 읽었다. 平板表面의 溫度는 多少의 差異는 있었으나 平板溫度 60^oC~90^oC에서 그 誤差는 +0.07~-0.09%범위로 미

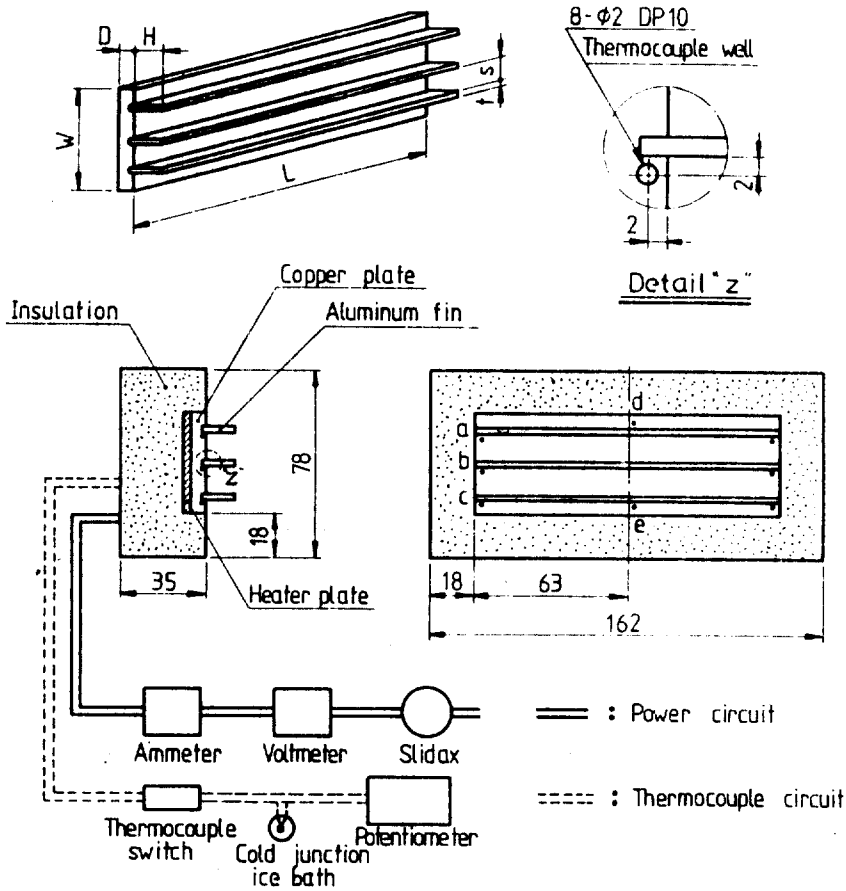


Fig. 1 Schematic diagram of geometry investigated.

소하여 平均值로 택하였다. 本 實驗에서는 유효직경이 80mm인 Mach-Zehnder 干涉計를 使用하였고 光源은 100W 수은램프이다.

Table 1. Test fin dimensions

Test. No.	H	S	H/S	f	W	L	D
1	6	12	0.50	2	42	126	6
2	8	12	0.67	2	42	126	6
3	12	12	1.00	2	42	126	6
4	16	12	1.33	2	42	126	6
5	20	12	1.67	2	42	126	6
6	24	12	2.00	2	42	126	6

III. 實驗解析

周圍流體는 溫度 $T_{\infty} = 26.1^{\circ}\text{C}$ 인 공기이고 平板의 溫度 $T_p = 60^{\circ}\text{C}$, 70°C , 80°C 및 90°C 이다. 이때의 Rayleigh 數는 $Ra_s = 4.33 \times 10^3$, 5.19×10^3 , 5.97×10^3 및 6.57×10^3 이다. Rayleigh 數와 핀높이를 變更하여 干涉무늬를 撮影하였고 이 干涉寫眞을 공구현미경으로 20倍 擴大하여 壁面으로부터 거리와 干涉무늬의 폭을 計측하였으며 壁面에서의 溫度 勾配를 計算하여 熱傳達係數를 구하였다. 平板과 핀에서의 局所 및 平均 Nusselt 數를 計算하기 위하여 特性길이는 핀간격 S로 취하였다. 平板에서의 局所 Nusselt 數는 다음과 같다.

$$Nu_P = \frac{h_P S}{K_f} = - \frac{S}{T_P - T_\infty} \left(\frac{dT}{dy} \right)_P \dots\dots (1)$$

여기서 $\left(\frac{dT}{dy} \right)_P \approx \left(\frac{\Delta T}{\Delta y} \right)_P = \left(\frac{\Delta T}{b} \right)$

$$Nu_P = - \frac{S}{T_P - T_\infty} \left(\frac{\Delta T}{b} \right) \dots\dots (2)$$

핀에서의 局所 Nusselt 數는 다음과 같다.

$$Nu_F = \frac{h_F S}{K_f} = - \frac{S}{T_F - T_\infty} \left(\frac{\Delta T}{b} \right) \dots (3)$$

여기에서 使用된 핀局所 Nusselt 數는 修正된 핀局所 Nusselt 數, Nu_F^* 를 다음과 같이 定義하여 使用하였다.

$$\begin{aligned} Nu_F^* &= \frac{h_F S}{K_f} \cdot \frac{T_F - T_\infty}{T_P - T_\infty} \\ &= - \frac{S}{T_P - T_\infty} \left(\frac{\Delta T}{b} \right) \dots\dots (4) \end{aligned}$$

平均平板 Nusselt 數와 平均핀 Nusselt 數는 다음과 같다.

$$\overline{Nu}_P = \frac{1}{S} \int_0^S Nu_P dy \dots\dots (5)$$

$$\overline{Nu}_F^* = \frac{1}{H} \int_0^H Nu_F^* dx \dots\dots (6)$$

平板과 핀에서의 平均全體 Nusselt 數는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{Nu}_T &= \frac{H \sum_{i=1}^6 \overline{Nu}_{F_i}^* + S(\overline{Nu}_{P2} + \overline{Nu}_{P3})}{6H + 3S} \\ &\quad + 0.5 S(\overline{Nu}_{P1} + \overline{Nu}_{P4}) \dots\dots (7) \end{aligned}$$

Rayleigh 數는 다음과 같다.

$$Ra_S = Gr \cdot Pr = \frac{g\beta(T_P - T_\infty) S^3}{\gamma \alpha} \dots (8)$$

IV. 實驗結果 및 考察

垂直平板에 3 個의 水平핀을 附着하여 無次元핀높이, $H/S = 1$ 이고 Rayleigh 數를 變更時에 撮影한 干涉寫眞은 Fig. 2 와 같다.

이 干涉寫眞에서 핀의 附着으로 熱傳達面積은 擴大되었으나 핀이 附着된 곳과 近傍에서는 對流流動의 停止 또는 鈍化로 熱傳達이 垂直平板의 경우에 比較하여 크게 減少되었다. 水平핀은 流體의 上昇流動을 防害하므로 垂直平板의 熱境界層이 부풀어 있는 것을 볼 수 있다. 一般的인 傾向은 Rayleigh 數가 增加되면 垂直平板과 핀周圍에 發生된 프린지數는 增加하여 自然對流가 活潑한 것을 나타내었다.

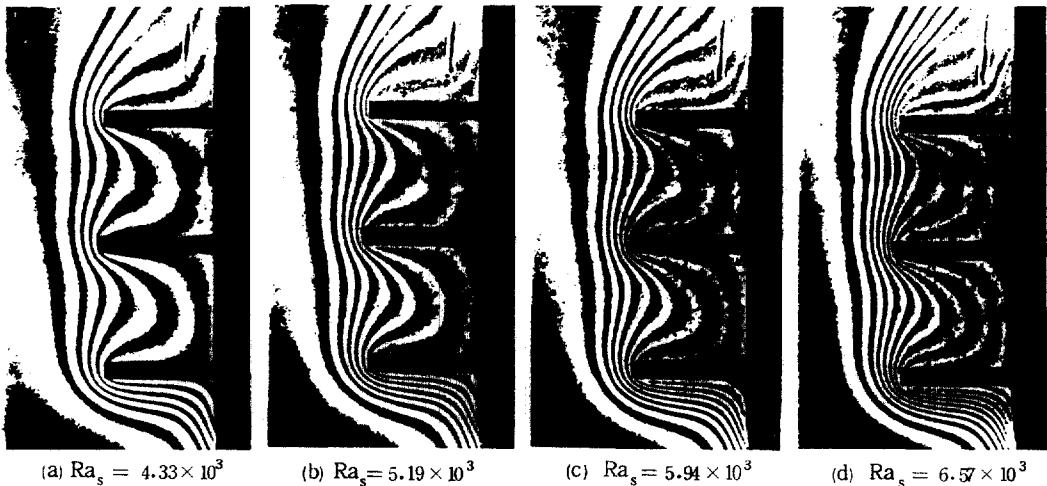


Fig. 2 Interferograms from the experimental test at $H/S = 1$.

Rayleigh 數, $Ra_s = 4.33 \times 10^3 \sim 6.57 \times 10^3$ 으로 하고 무차원핀높이, $H/S = 0.50 \sim 2.00$ 에서의 干涉寫眞을 分析한 結果 다음과 같다.

4.1 水平핀에서의 自然對流

Fig. 3 은 여러가지 무차원핀높이에 따른 X_1 에 대한 修正局所핀 Nusselt 數를 나타낸다.

垂直平板의 影響으로 修正局所핀 Nusselt 數는 핀低部에서 先端으로 갈수록 增加하였고 무차원핀높이가 增加하면 水平핀이 流體의 上昇流動에 더욱 妨害하여 減少하였다. 또한 이 핀 면에서는 핀사이의 干涉를 받지 않아 높은 熱傳達을 나타내었다.

Fig. 4 는 各 面에 따른 무차원핀높이에 대한 平均핀表面 Nusselt 數를 나타낸다.

平均핀表面 Nusselt 數는 무차원핀높이가 增加하면 減少하고 各 面에서 서로 다른값을 나타내며 이 값은 핀의 干涉를 받지 않는 X_1 면에서 最大이고 핀의 干涉를 많이 받는 X_4 면에서 最小이다. $Ras = 4.33 \times 10^3$ 과 $H/S = 0.50$ 에서 X_1 면의 平均핀表面 Nusselt 數는 X_4 의 경우 보다 164% 增加되었다.

Fig. 5 는 여러가지 Ras 에 따른 무차원핀높이에 대한 平均핀 Nusselt 數를 나타낸다.

平均핀 Nusselt 數는 무차원핀높이가 增加하면 減少하였으나 Ras 가 增加하면 增加되었다. 이는 무차원핀높이가 增加하면 對流流動에 더욱 妨害되고 Ras 가 增加하면 周圍流體의 부력이 增加되어 自然對流을 促進시키

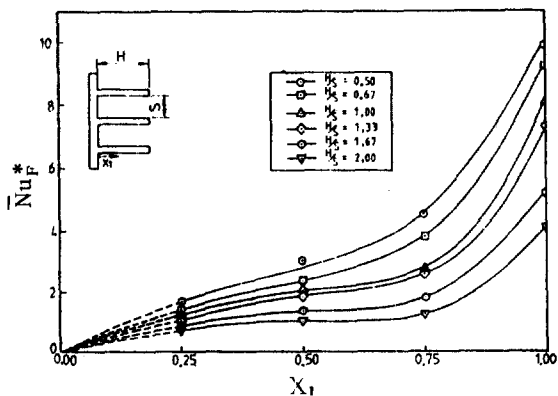


Fig. 3 Local fin Nusselt number versus X_1 at $Ra_s = 4.33 \times 10^3$

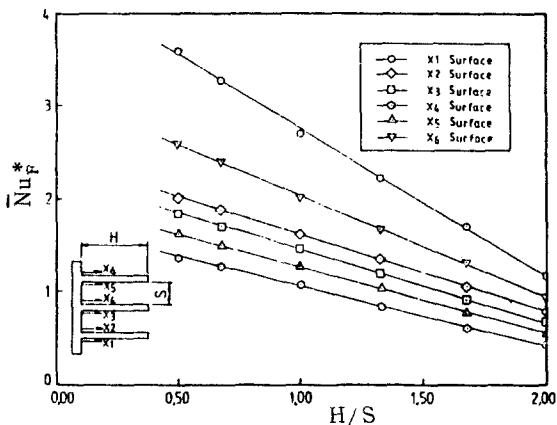


Fig. 4 Mean fin surface Nusselt number versus H/S at $Ra_s = 4.33 \times 10^3$

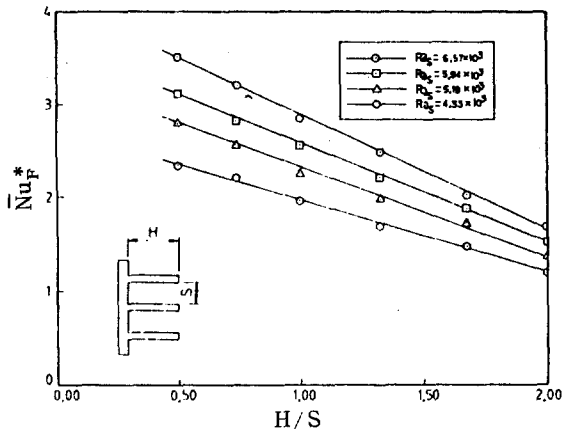


Fig. 5 Mean fin Nusselt number versus H/S

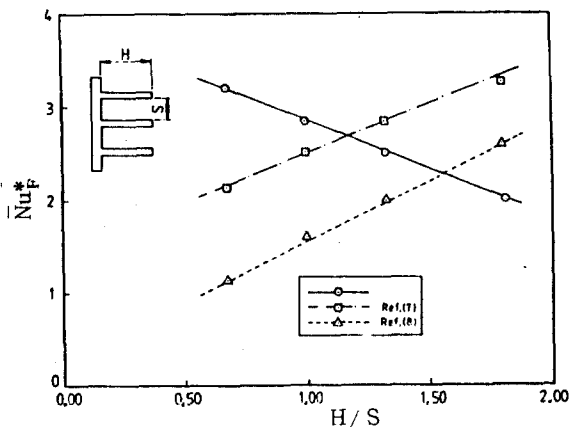


Fig. 6 Mean fin Nusselt number versus H/S at $Ra_s = 6.50 \times 10^3$

기 때문이다.

Fig. 6 은 $Ra_s = 6.50 \times 10^3$ 에서 무차원핀 높이에 따른 수평핀의 평균핀 Nusselt 數를 垂直上向핀⁷⁾ 과 垂直下向핀⁸⁾ 의 경우와 比較한 것을 나타낸다.

수평핀의 평균핀 Nusselt 數는 垂直上向핀의 값과 比較하면 $H/S \leq 1.18$ 에서는 크고 $H/S > 1.18$ 에서는 작으며 垂直下向핀의 값과 比較하면 $H/S \leq 1.51$ 에서는 크고 $H/S > 1.51$ 에서는 작다. 이는 무차원핀높이가 增加하면 수평핀은 垂直핀보다 부력에 의한 對流流動이 防害되기 때문이다. 평균핀 Nusselt 數는 수평핀이 垂直下向핀보다 $H/S=0.67$ 에서 191% 增加되었고 $H/S = 1.67$ 에서는 30% 減少되었다.

4.2 垂直平板에서의 自然對流

Fig. 7 은 여러가지 무차원핀높이에 따른 무차원평판길이에 대한 局所平板 Nusselt 數를 나타낸다.

局所平板 Nusselt 數는 平板의 先端에서 높았고 핀의 附着近傍에서는 낮았으며 무차원핀 높이가 增加함에 따라 減少하였다. 이는 加熱된 流體가 수평핀의 影響을 받기 때문이다.

Fig. 8 은 여러가지 Ra_s 에 따른 무차원평판길이에 대한 平均平板 Nusselt 數를 나타낸다.

平均平板 Nusselt 數는 一定한 Ra_s 에서 무차원핀높이가 增加하면 減少한다. $Ra_s = 6.57 \times 10^3$ 에서 $H/S = 0.50$ 의 平均平板 Nusselt 數는 $H/S = 2.00$ 의 경우보다 191% 增加하였다. 또한 平均平板 Nusselt 數는 平均핀 Nusselt 數에 比較하여 핀의 干涉으로 $H/S = 0.50$ 과 $H/S = 2.00$ 에서 35% 와 80% 減少하였다.

Fig. 9 는 $Ra_s = 6.50 \times 10^3$ 에서 무차원핀높이에 따른 垂直平板의 平均平板 Nusselt 數를 上向 수평平板과 下向 수평平板의 값과 比較한 것을 나타낸다.

垂直平板의 平均平板 Nusselt 數는 上向 수평平板의 값과 比較하면 $H/S \leq 1.36$ 에서는 크고 $H/S > 1.36$ 에서는 작으며 下向 수평平板의

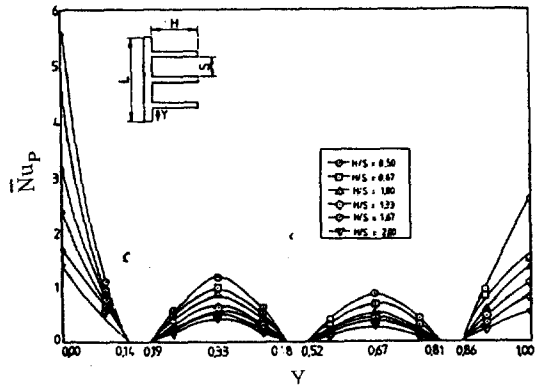


Fig. 7 Local plate Nusselt number Y at $Ra_s = 4.33 \times 10^3$

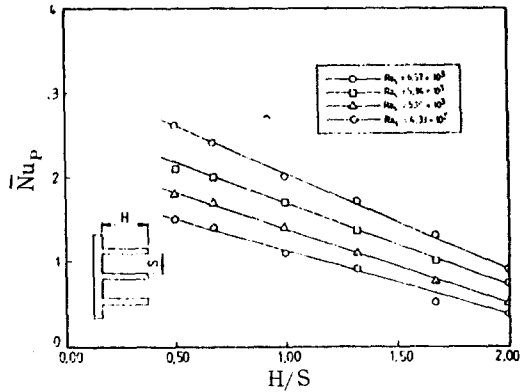


Fig. 8 Mean plate Nusselt number versus H/S

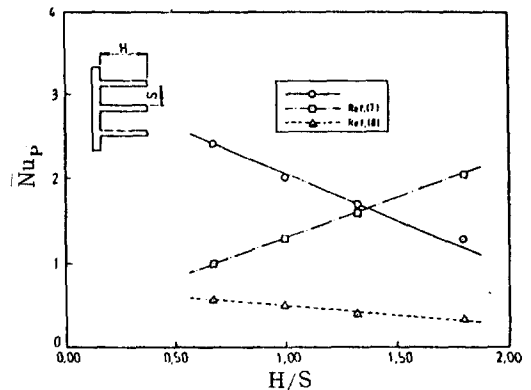


Fig. 9 Mean plate Nusselt number versus H/S at $Ra_s = 6.50 \times 10^3$

값과 比較하면 全般的으로 크다. 이는 垂直平板의 表面에 平行으로 作用하여 對流流動을

活潑하게 해주기 때문이다.

4.3 水平핀과 垂直平板에서의 自然對流

Fig. 10 은 여러가지 Ra_s 에 따른 무차원핀 높이에 대한 平均全體 Nusselt 數를 나타낸다.

平均全體 Nusselt 數는 一定한 Ra_s 에서 무차원핀높이가 增加하면 減少하였다. 이는 무차원핀높이가 增加하면 水平핀과 垂直平板에서의 自然對流가 상호간섭 작용에 의하여 크게 影響을 받기 때문이다.

$Ra_s = 6.57 \times 10^3$ 에서 $H/S = 0.50$ 의 平均全體 Nusselt 數는 $H/S = 2.00$ 의 경우보다 93% 增加하였다. 또한 Ra_s 가 增加하면 平均全體 Nusselt 數는 增加하였다. 이는 垂直平板과 水平핀이 周圍의 流體를 더욱 加熱하므로 對流流動이 促進되기 때문이다.

Fig. 11 은 $Ra_s = 6.50 \times 10^3$ 에서 무차원핀 높이에 따른 水平핀이 附着된 垂直平板의 平均全體 Nusselt 數를 垂直上向핀 그리고 垂直下向핀이 各各 附着된 水平平板의 경우와 比較한 것을 나타낸다.

水平핀이 附着된 垂直平板의 平均全體 Nusselt 數는 垂直上向핀이 附着된 水平平板의 값과 比較하면 $H/S \leq 1.14$ 에서는 크고 $H/S > 1.14$ 에서는 작으며 垂直下向핀이 附着된 水平平板의 값과 比較하면 $H/S \leq 1.41$ 에서는 크고 $H/S > 1.41$ 에서는 작다. 특히 무차원핀높이가 增加하면 平均全體 Nusselt 數는 水平핀

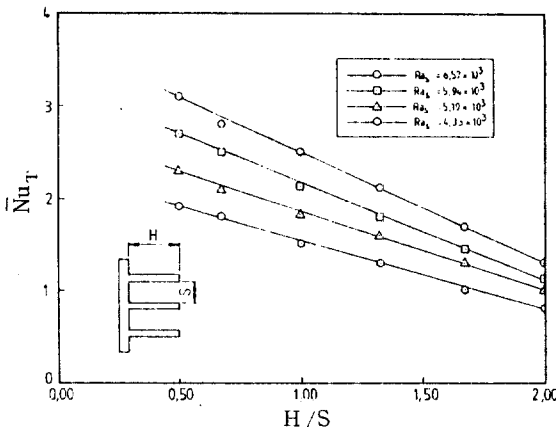


Fig. 10 Mean total Nusselt number versus H/S

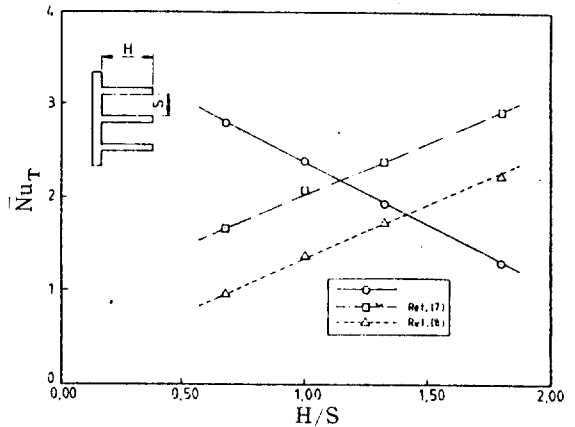


Fig. 11 Mean total Nusselt number versus H/S at $Ra_s = 6.50 \times 10^3$

이 附着된 垂直平板에서는 水平핀에 의하여 對流流動에 妨害되었고 垂直上向핀이 附着된 水平平板에서는 자유로운 熱上昇流로 對流流動이 促進되었다.

V. 結 論

空氣中の 定常層流狀態에서 垂直平板에 附着된 3個의 水平핀에서의 自然對流 熱傳達到 對 特性을 핀높이와 Rayleigh 數를 變換하여 實驗的으로 考察한 結果는 다음과 같다.

1. 무차원핀높이, $H/S = 0.50 \sim 2.00$ 의 경우, 무차원핀높이가 增加하면 平均핀, 平板 및 全體 Nusselt 數는 減少하였다.
2. 平均핀表面 Nusselt 數는 $Ra_s = 4.33 \times 10^3$ 과 $H/S = 0.50$ 에서 핀사이에 干涉이 없는 面(X_1)은 干涉을 많이 받는 面(X_4)보다 164% 增加되었다.
3. $Ra_s = 6.57 \times 10^3$ 에서 平均平板 Nusselt 數는 平均핀 Nusselt 數에 比較하여 핀의 干涉으로 $H/S = 0.50$ 과 $H/S = 1.67$ 에서 35%와 80% 減少되었다.
4. $Ra_s = 6.50 \times 10^3$ 에서 水平핀의 平均핀 Nusselt 數는 垂直上向핀의 값과 比較하면 $H/S \leq 1.18$ 에서는 크고 $H/S > 1.18$ 에서는 작으며 垂直上向핀의 값과 比較하면 $H/S \leq 1.51$ 에서는 크고 $H/S > 1.51$ 에서는 작다.
5. $Ra_s = 6.50 \times 10^3$ 에서 垂直平板의 平均

平板 Nusselt 數는 上向水平平板의 값과 比較하면 $H/S \leq 1.36$ 에서는 크고 $H/S > 1.36$ 에서는 작으며 下向水平平板의 값과 比較하면 全般的으로 크다.

6. $Ra_S = 6.50 \times 10^3$ 에서 水平핀이 附着된 垂直平板의 平均全體 Nusselt 數는 垂直上向핀이 附着된 水平平板의 값과 比較하면 $H/S \leq 1.14$ 에서는 크고 $H/S > 1.14$ 에서는 작으며 垂直下向핀이 附着된 水平平板의 값과 比較하면 $H/S \leq 1.41$ 에서는 크고 $H/S > 1.41$ 에서는 작다.

參 考 文 獻

1. Starner, K.E. and McManus, H.N., "An Experimental Investigation of Free Convection Heat Transfer from Rectangular Fin Arrays," *ASME, J. Heat Transfer*, Vol.85, pp.273-278, 1963.
2. Harahap, F. and McManus, H.N., "Natural Convection Heat Transfer from Horizontal Rectangular Fin Arrays," *ASME, J. Heat Transfer*, Vol.89, pp.32-38, 1967.
3. Sane, N.K. and Sukhatme, S.P., "Natural Convection Heat Transfer from Horizontal Rectangular Fin Arrays," *Proc. 5th Int. Heat Transfer Conference*, Vol.3, pp.114-118, 1974.
4. Gryzagoridis, J., "Leading Edge Geometry Effects on Natural Convection from an Isothermal Vertical Plates," *Letters in Heat and Mass Transfer*, Vol.5, pp.203-213, 1978.
5. Sparrow, E.M. and Gregg, J.L., "Laminar Free Convection from a Vertical Plate with Uniform Surface Heat Flux," *Trans. ASME*, Vol.78, pp.435-440, 1956.
6. Sparrow, E.M. and Bahrami, P.A., "Experiments on Natural Convection from Vertical Plates with Either Open or Closed Edges," *ASME, J. Heat Transfer*, Vol.102, pp.221-227, 1980.
7. Kwon, S.S., Kim, S.J. and Chun, Y.O., "Natural Convection Heat Transfer from a Horizontal Flat Plate with Upward Projecting Fins," *Research Report, Institute of Korean Resources Development, Dong-A University*, Vol.11-2, pp.25-30, 1987.
8. Kwon, S.S., Kim, S.J., Oh, W.K., Cho, J.H., "An Experimental Investigation of Natural Convection Heat Transfer from Fin Arrays on a Horizontal Flat Plate," *KSAE*, Vol.10, pp.22-32, 1988.