水平平板에 附着된 핀配列에서의 自然對流 熱傳達에 관한 實驗的 硏究

An Experimental Investigation of Natural Convection Heat Transfer from Fin Arrays on a Horizontal Flat Plate.

吳 元 均,* 趙 珍 鎬,** 金 善 政,*** 權 純 錫****
W.K. Oh, J.H. Cho, S.J. Kim, S.S. Kwon

ABSTRACT

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

The experimental results are as follows;

1. The mean fin and mean total Nusselt numbers increase as dimensionless fin heights increase at $0.67 \leqslant H/S \leqslant 1.67$. The mean plate Nusselt numbers increase in case of upward facing fins, but they decrease in case of downward facing fins.
2. The mean Nusselt numbers increase as Rayleigh numbers increase.
3. The mean fin surface Nusselt numbers has its maximum outside surface (Y_1) where there is no interference from each other fin.
4. The mean total Nusselt numbers in case of upward facing fins increase by 47% and 26%, respectively at H/S = 0.67 and 1.67 than those in case of downward facing fins for $Ra_s = 6.50 \times 10^3$.

記 號

g : 重力加速度
h : 熱傳達係數
k : 熱傳導率
L : 平板길이
W : 平板폭
a : 平板두께
Nu : Nusselt數, hs/k
Nu : 修正 Nusselt數
T : 溫度
ΔT : 溫度差
Ra_s : Rayleigh數, $g\beta S^3 \Delta T/\nu\alpha$
t : 핀두께
H : 핀높이

* 충경공업전문대학 기계공학과
** 한양대 기계공학과
*** 동아대 대학원 기계공학과
**** 동아대 기계공학과

S : 特性길이
X : 無次元平板길이, x/S
Y : 無次元핀높이, y/H

Greece 文字

α : 熱擴散率
β : 熱膨脹係數
ν : 動粘性係數

下 添 字

F : 핀
P : 平板
S : 特性길이
∞ : 周圍流體
T : 全體
f : 流體

上 添 字

$\bar{}$: 平均値

1. 序 論

固體壁과 周圍流體 사이의 熱傳達을 增大시키기 위한 傳熱面積擴大에 관한 硏究가 많이 이루어지고 있으며 그 중 핀을 利用한 面積擴張을 통한 熱傳達 增進 方法이 많이 應用되고 있다. 따라서 핀(fin)은 周圍流體와의 表面積을 넓혀주므로서 熱傳達을 增大시키는데 使用되고 있다. 핀으로부터의 自然對流 熱傳達 現象의 利用은 熱交換器, 熱移動시스템, 電子裝置部品 등에서 볼 수 있으며 특히 加熱된 表面들 사이의 熱干涉은 傳熱에 크게 影響을 주므로 이에 대하여 硏究가 活潑히 進行되고 있다.

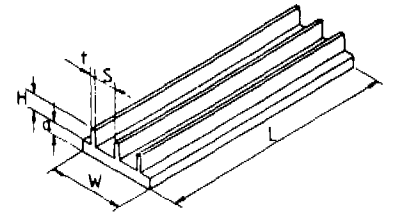
Harahap와 McManus[1]는 實驗的으로 空氣中에 놓인 平板에 附着된 垂直 핀配列의 自然對流 熱傳達에서 핀높이와 핀간격의 變化에 따른 熱傳達特性에 대하여 硏究하였다. Jones와 Smith[2]는 平板表面 위의 直四角形 핀配列에서 最大熱傳達의 最適 配列에 관하여 硏究하였다. Kwon등[3]은 垂直上向 핀이 附着된 水平平板에서의 自然對流 熱傳達에서 핀높이와 Rayleigh數의 變化에 따른 熱傳達特性에 대하여 硏究하였다. Staner와 McManus[4]는 실제크기의 핀表面이 水平, 45° 傾斜 및 垂直으로 附着된 경우에 대하여 硏究하였다. Welling과 Wooldrige[5]는 垂直핀 配列에서 핀높이의 變化에 따른 自然對流 熱傳達係數를 구하였다. Yousef 등[6]은 上向等溫表面으로부터의 自然對流 熱傳達에서 平板의 길이와 Rayleigh數를 매개변수로 하여 硏究하였다. Hatfield와 Edwards[7]는 下向等溫表面으로부터의 自然對流 熱傳達을 正方形과 直四角形 平板에 관하여 Prandtl數를 變化시켜 硏究하였다. 이들의 硏究에 의하면 水平平板 핀配列에서의 自然對流 熱傳達은 주로 Rayleigh數 핀높이 및 핀간격 등에 影響을 받는 것으로 集約할 수 있다.

本 硏究에서는 空氣中의 定常層流狀態에서 等溫으로 加熱된 水平平板과 핀에서의 熱傳達現象을 糾明하기 위하여 水平平板에 3個의 平板핀을 附着하여 加熱面이 上向과 下向인 경우에 대하여 핀높이와 Rayleigh數를 變化시키면서 마하—젠더(Mach-Zehnder) 干涉計를 使用하여 實驗的으로 考察하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

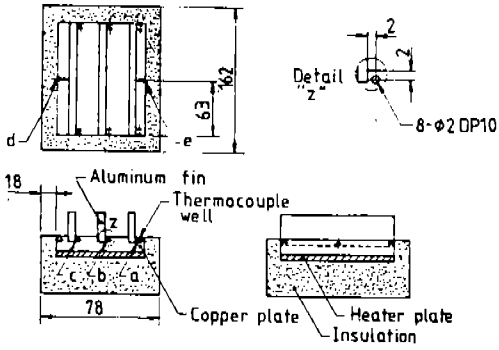
本 實驗에 使用된 水平平板 핀配列의 槪略圖는 Fig. 1과 같다.

水平平板은 純銅으로 두께 6㎜, 폭 42㎜, 길이 126㎜로 하고 핀은 알루미늄으로 두께



Test. No	H	S	H/S	t	W	L	a
1	8	12	0.67	2	42	126	6
2	12	12	1.00	2	42	126	6
3	16	12	1.33	2	42	126	6
4	20	12	1.67	2	42	126	6

a) Test fin dimensions



b) Test fin apparatus

Fig. 1 Schematic diagram of the geometry investigated.

2 ㎜, 길이 126 ㎜로 하고 핀높이는 8 ㎜, 12 ㎜, 16 ㎜ 및 20 ㎜로 만들었다. 溫度測定은 Fig. 1에 표시된 바와같이 a, b, c, d 및 e지점에 Cromel-Alumel열전대를 삽입하여 포텐셔미터로 測定하였다. 平板內部에 一定한 熱量을 供給하기 위하여 電壓計, 電流計 및 電壓調節器를 使用하였다. 平板內部의 電氣加熱器에 의하여 원하는 溫度로 平板表面이 均一한 溫度를 이룰 때 發生되는 等溫干涉무늬를 촬영하였다. 촬영 순간의 溫度는 포텐셔미터로 읽었으며 平板表面의 溫度는 多少 차이가 있었으나 그 誤差는 +0.04~-0.66% 범위로 미소하여 平均値를 택하였다. 本 實驗에는 光源으로 100 W수은램프, 유효직경 80 ㎜인 마하-젠더(Mach-Zehnder) 干涉計를 使用하였다.

3. 實驗分析

本 實驗에서는 Rayleigh數를 6.50×10^3, 7.31×10^3 및 7.99×10^3으로 그리고 핀높이를 8 ㎜, 12 ㎜, 16 ㎜ 및 20 ㎜로 變更하면서 干涉計에 나타난 干涉무늬(fringe)를 촬영하였고 이 干涉寫眞을 解析하여 다음과 같은 計算을 하였다. 熱傳達係數를 구하기 위하여 壁面에 인접한 3-4個의 프린지 間隔을 使用하여 壁面에서 가장 가까운 두개의 프린지 사이의 溫度差와 間隔을 計算하였다.

本 實驗에서 구한 局所 Nusselt數는 다음과 같다.

$$Nu=\frac{hs}{K}=-\frac{S}{T_p-T_\infty}\cdot\left.\frac{dT}{dy}\right|_p \quad \cdots\cdots (1)$$

$$\left.\frac{dT}{dy}\right|_p=\left.\frac{\Delta T}{\Delta y}\right|_p\approx\frac{\Delta T}{b}$$

$$Nu=\frac{S}{T_p-T_\infty}\cdot\frac{\Delta T}{b} \quad \cdots\cdots (2)$$

여기서 ΔT는 壁面에서 가장 가까운 프린지 사이의 間隔이다.

平板에서의 局所 Nusselt數는 다음과 같다.

$$Nu_p=\frac{h_pS}{K_f}=-\frac{S}{\Delta T_p}\left(\frac{\Delta T}{b}\right) \quad \cdots\cdots (3)$$

핀局所Nusselt數는 다음과 같이 平板의 溫度를 기준으로 한 修正된 핀局所Nusselt數, Nu_f^*로 定義하였다.

$$Nu_f^*=\frac{h_fS}{K_f}\cdot\frac{\Delta T_f}{\Delta T_p}=-\frac{S}{\Delta T_p}\left(\frac{\Delta T}{b}\right) \quad \cdots\cdots (4)$$

平均平板Nusselt數는 다음과 같다.

$$\overline{Nu}_p^*=\frac{1}{S}\int_o^s Nu_p\,dx \quad \cdots\cdots (5)$$

平均핀Nusselt數는 다음과 같다.

$$\overline{Nu}_f^*=\frac{1}{H}\int_o^H Nu_f^*\,dy \quad \cdots\cdots (6)$$

平板과 핀에서의 平均全體Nusselt數는 다음과 같다.

$$\overline{Nu}_T^*=\frac{H\sum_{i=1}^{3}\overline{Nu}_{fi}^*+S\cdot\overline{Nu}_p}{3H+S} \quad \cdots\cdots (7)$$

4. 實驗結果 및 考察

水平平板에 3個의 平板핀을 附着하여 加熱面이 上向과 下向인 경우에 핀높이와 Rayleigh數를 變化시켜가면서 自然對流 熱傳達에 미치는 影響을 考察하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

Fig. 2에 $H/S=1$일때의 干涉寫眞을 나타내었다.

一般的으로 Rayleigh數가 增加함에 따라 水平平板과 핀주위에 發生되는 프린지數는 增加하였고 平板表面溫度의 增加에 따라서 그 表面으로부터의 自然對流 熱傳達이 增加하고 있다는 것을 알 수 있다.

(a) $Ra_s = 6.50 \times 10^3$ (b) $Ra_s = 7.31 \times 10^3$ (c) $Ra_s = 7.99 \times 10^3$

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

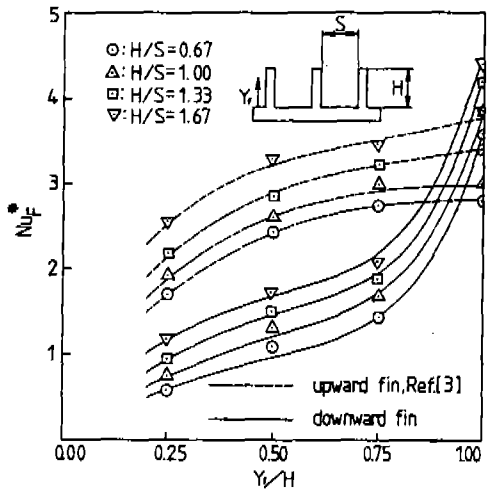


Fig.3 Local fin Nusselt number versus Y_1/H at $Ra_s = 6.50 \times 10^3$

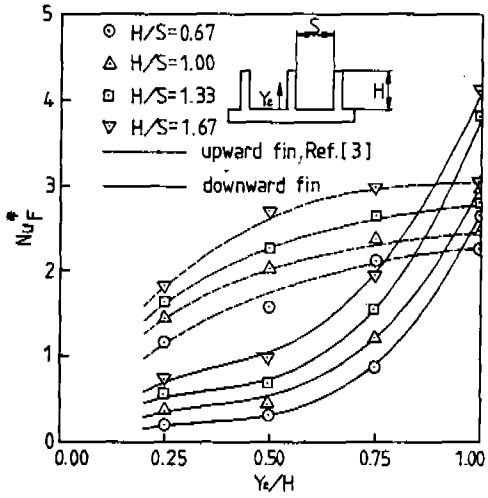


Fig.4 Local fin Nusselt number versus Y_2/H at $Ra_s = 6.50 \times 10^3$

Fig. 3은 Ras $= 6.50 \times 10^3$에서 無次元핀높이(Y_1/H)에 대한 局所핀 Nusselt 數를 나타내었다. 局所핀 Nusselt數는 無次元핀높이가 增加함에 따라 增加하였고 上向핀과 下向핀을 비교하면 上向핀은 열상승류의 流動이 더욱 활발한 곳에 놓이여 熱傳達은 下向핀보다 잘 되고 下向핀은 핀先端에서 부력의 影響으로 上向핀보다 잘 되었다. 그리고 Y_1面에서는 핀사이의 干涉을 받지 않아 熱傳達이 잘 되었다.

Fig. 4는 Ras $= 6.50 \times 10^3$에서 無次元핀높이(Y_2/H)에 대한 局所핀 Nusselt 數를 나타내었다. 이 경우는 Fig. 3과 類似한 경향을 나타내었으나 相反되는 핀으로부터의 干涉이 熱傳達에 影響을 주고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 Ras $= 6.50 \times 10^3$에서 無次元핀높이(Y_3/H)에 대한 局所핀 Nusselt 數를 나타내었다. 이 경우도 Fig. 3과 類似한 경향을 나타내었으나 局所핀 Nusselt 數는 多少 減少했다.

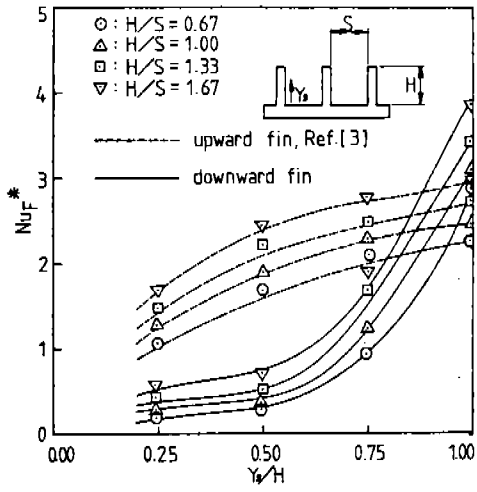


Fig.5 Local fin Nusselt number versus Y/H at $Ra_s = 6.50 \times 10^3$

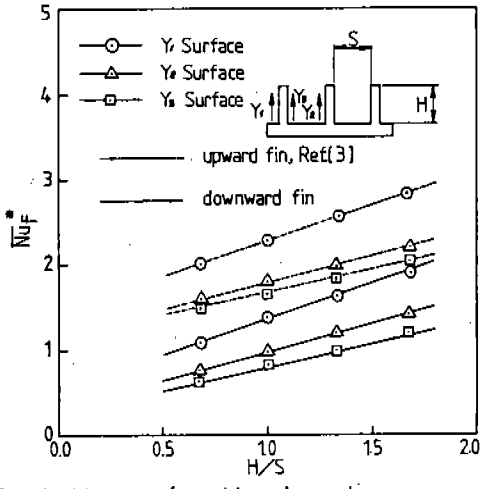


Fig.6 Mean surface Nusselt number versus dimensionless fin height at $Ra_s = 6.50 \times 10^3$

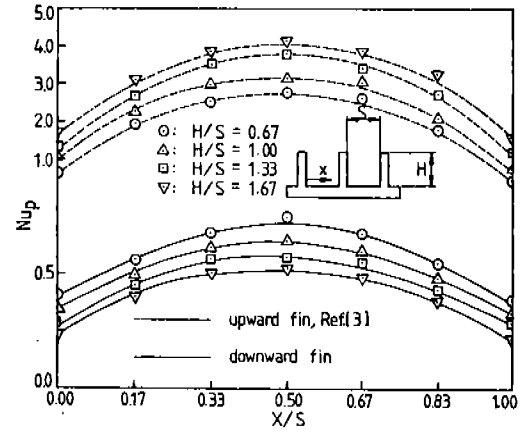


Fig.7 Local plate Nusselt number versus X/S at $Ra_s = 6.50 \times 10^3$

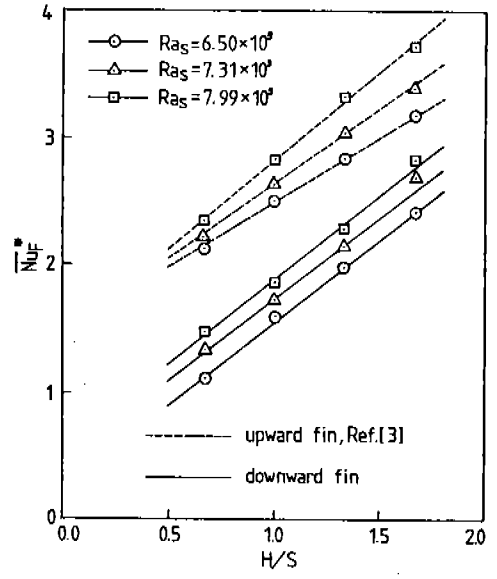


Fig.8 Mean fin Nusselt number versus dimensionless fin height

이는 핀干涉으로 熱傳達이 減少됨을 의미한다. 一般的으로 局所핀 Nusselt數는 無次元핀높이가 增加함에 따라 增加되었고 핀 先端에서의 熱傳達은 上向핀보다 下向핀이 잘 되었다.

Fig. 6은 Ras $=6.50 \times 10^3$에서 無次元핀높이(H/S)에 대한 平均핀表面 Nusselt 數를 나타내었다. 平均핀表面 Nusselt 數는 無次元핀높이가 增加함에 따라 增加되었으며 핀 사이의 干涉이 없는 面(Y_1)에서 가장 높았고 핀干涉을 많이 받는 面(Y_3)에서 가장 낮았다. $H/S = 0.67$인 경우 Y_1面에서 平均핀表面 Nusselt 數는 上向핀의 경우[3]와 比較하여 보면 46 % 減少되었다. 이러한 現象은 上向핀의 경우 열상승류의 유동이 더욱 활발하여 熱傳達이 잘 되기 때문이다.

Fig. 7은 Ras $=6.50 \times 10^3$에서 無次元平板길이(x/S)에 대한 局所平板 Nusselt 數를 나타내었다. 局所平板 Nusselt 數는 平板이 中央에

서 가장 높았으며 핀의 附着 支點에서는 낮았다. 그리고 上向平板에서는 無次元핀높이가 增加함에 따라 增加되었으나 下向平板에서는 反對로 減少되었다. 이러한 現象은 加熱된 流體가 핀의 影響을 받기 때문이다.

Fig. 8은 無次元핀높이에 대한 平均핀 Nusselt數를 나타내었다. 平均핀 Nusselt數는 無次元핀높이와 Rayleigh數가 增加함에 따라 增加되었고 上向핀의 경우[3]는 上向핀의 경우보다 높았다. 이러한 現象은 無次元핀높이가 增加하면 핀周圍의 加熱된 流體가 增加되고 上向핀의 경우[3]는 下向핀의 경우보다 핀에 의한 부력효과가 커서 熱傳達이 잘 되기 때문이다. Ras $=6.50\times10^3$ 에서 $H/S=0.67$의 平均핀 Nusselt數는 上向핀의 경우가 下向핀의 경우보다 48% 增加되었다.

Fig. 9는 無次元핀높이에 대한 平均平板 Nusselt數는 上向平板의 경우, 無次元핀높이와 Rayleigh數가 增加함에 따라 增加되었으나 下向平板에서는 反對로 減少되었다. 이러한 現象은 上向平板에서는 열상승류의 流動이 더욱 활발하여 增加되었으나 下向平板에서는 핀에 의한 影響으로 減少되기 때문이다. Ras $=6.50\times10^3$에서 $H/S=0.67$의 平均平板 Nusselt數는 上向平板이 下向平板보다 45% 增加되었다. 그리고 平均平板 Nusselt數는 平均핀 Nusselt數에 比較하여 핀의 干涉으로 Ras $=6.50\times10^3$에서 $H/S=0.67$과 1.67의 경우 上向平板에서 50%와 86% 작다.

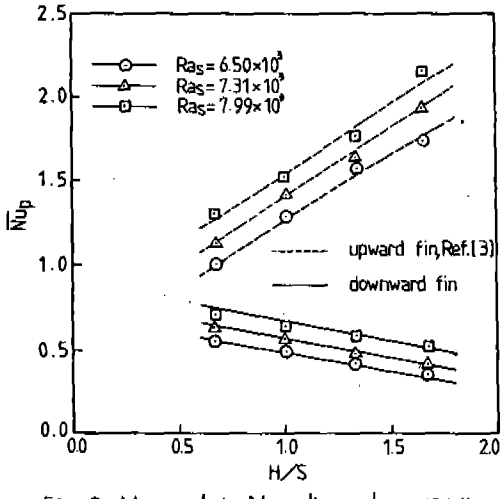


Fig. 9 Mean plate Nesselt number versus dimensionless fin height

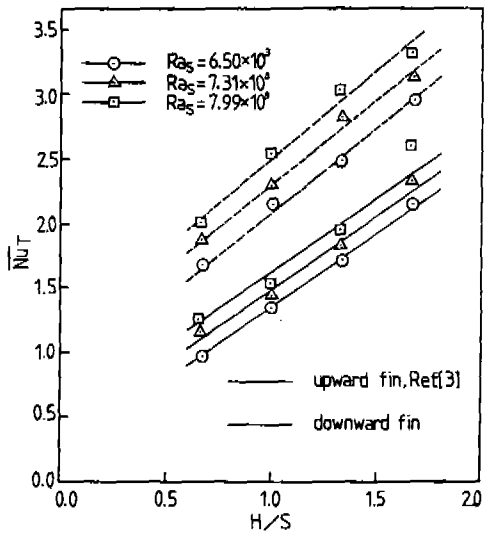


Fig. 10 Mean total Nusselt number versus dimensionless fin heigh

Fig. 10은 無次元핀높이에 대한 平均全體 Nusselt數를 나타내었다. 平均全體 Nusselt數는 무차원핀높이가 增加함에 따라 增加하였으며 Rayleigh數 增加에 따라서도 增加하였다. 이러한 現象은 無次元핀높이가 增加하면 핀에 의하여 周圍流體의 流動을 活潑하게 함으로써 더욱 熱傳達을 促進시키기 때문이다. Ras $=6.50\times10^3$에서 $H/S=0.67$의 平均全體 Nusselt數는 上向핀의 경우[3] 下向핀의 경우보다 47% 增加되었다.

5. 結 論

空氣中에서 水平平板에 附着된 핀配列에서의 自然對流 熱傳達을 핀높이와 Rayleigh數를 變化시켜 實驗的으로 考察한 結果는 다음과 같다.

1. 無次元핀높이, $H/S=0.67\sim1.67$의 경우, 無次元핀높이가 增加하면 平均핀과 平均全體 Nusselt數는 增加하였고 平均平板 Nusselt 數는 上向平板에서는 增加하였으나 下向平板에

서는 減少하였다.

2. 平均핀表面 Nusselt 數는 핀 사이에 干涉이 없는 面(Y_1)에서 가장 큰 값을 가졌다.

3. Rayleigh 數가 增加함에 따라 平均핀 平板 및 全體 Nusselt 數는 增加하였다.

4. $Ras = 6.50 \times 10^3$ 에서 $H/S = 1.67$ 의 경우, 上向핀과 下向핀을 比較하면 平均핀 Nusselt 數는 各各 48 %와 23 %, 平均平板 Nusselt 數는 45 %와 80 %, 平均全體 Nusselt 數는 47 %와 26 %가 下向핀보다 높다.