

2개의 垂直 平板 핀을 가진 傳導管으로 부터의 自然對流 熱傳達

Natural Convection Heat Transfer from a Conducting Tube with Two Vertical Axial Fins.

鄭 漢 植*, 李 哲 載**, 權 純 錫***
H.S.Chung, C. J. Lee, S.S.Kwon

Key words : Natural convection (自然對流), Conducting tube (傳導管), Upward fin (上向핀), Downward fin (下向핀)

ABSTRACT

Conjugate heat transfer by steady laminar natural convection from a conducting tube with two vertical axial fins has been studied by a finite difference numerical procedure under basic conditions; $Ra = 10^6$, $Pr = 5$ and $L_F = 0.15$.

The maximum local tube Nusselt number appears at $\theta = 140^\circ$ for $L_F = 0.06$, at $\theta = 130^\circ$ for $L_F = 0.30$ and at $\theta = 120^\circ$ for $L_F = 0.30$, $L_F = 0.60$, respectively.

The maximum mean Nusselt number shows at $L_F = 0.18$ for the downward fin and at $L_F = 0.12$ for the upward fin. Therefore the optimized fin length is $L_F \approx 0.15$ under these conditions.

At $L_F = 0.15$, the mean Nusselt number by increasing Rayleigh number is remarkably increased for downward fin and then is slowly increased except for downward fin, it by increasing Prandtl number is apparently increased at $Pr \leq 2$, and slightly increased at $Pr > 2$.

기 호 설 명

B_i : Biot 수, $h_i D_i / K_w$

C_F : 핀전도변수, $K_F t / K_f D_o$

D : 관 직 경

h : 열전달계수

K : 열전도율

L_F : 무차원 핀길이, l / D_o

l : 핀 길 이

Nu : Nusselt 수, $h D_o / K_f$

Pr : Prandtl 수, ν / α

R : 반경방향좌표

r : 무차원 반경방향좌표, R / D_o

Ra : Rayleigh 수, $g \beta D_o^3 \Delta T / \nu \alpha$

T : 온 도

t : 핀두께의 반

ΔT : 온도차, $(T_b - T_e)$

U : 반경방향 속도

u : 무차원 반경방향 속도, $U D_o / \alpha$

V : 원주방향 속도

v : 무차원 원주방향속도, $V D_o / \alpha$

W : 와 도

* 정회원, 昌原技能大學

** 정회원, 東亞大學校

*** 정회원, 東亞大學校

- ω : 무차원 와도, WD_0/α
- ϕ : 무차원 온도, $(T-T_e)/\Delta T$
- ν : 동점성계수
- α : 열확산율
- δ_w : 관 두께
- (첨 자)
- b : 관내부 유체
- e : 관외부 유체
- F : 핀
- FD: 하 향 핀
- FU: 상 향 핀
- f : 유 체
- i : 관내부 표면
- o : 관외부 표면
- T : 전 체
- w : 관
- : 평 균 값

1. 序 論

自然對流 熱傳達의 解析 問題는 주로 外部 自然對流와 內部 自然對流로 區分하여 熱傳達 促進에 關하여 많은 研究들이 遂行되고 있다.^{1,2)}

이중 外部 自然對流 問題에서는 平板, 圓筒, 핀配列등에 關하여 實驗이나 數值解析으로 研究되어 各形狀에 對한 熱傳達 特性을 究明하고, 이들의 相似解, 熱傳達係數 또는 最大 熱傳達을 위한 最適狀態나 基本 設計方法등이 報告되었다.^{3,4)}

一定한 溫度를 가진 垂直平板에 對한 自然對流 熱傳達을 研究한 Sparrow와 Gregg⁵⁾는 平板의 熱傳達 特性과 相似解를 求하였다. Burch 등⁶⁾은 平板에서 Grashof 수, 熱傳達率, 板의 幅과 높이비 또는 幅과 두께비 등에 關하여 研究하여 質量流動率과 Grashof 수, 熱傳導率, 幅 등의 關係를 報告하였다. Kwon 등^{7,8)}은 핀이 附着된 等溫水平圓筒에 對하여 數值解析과 實驗을 하여 핀과 圓筒의 干涉과 핀熱傳導率의 變化에 對한 自然對流 熱傳達 特性을 研究하였다. Chung 등^{9,10)}은 傳導管 또는 1個의 핀이 附着된 傳導管에 對하여 管 두께, 熱傳導率, Rayleigh數, Prandtl數 등

에 對하여 自然對流 熱傳達 特性을 研究하였다.

本研究는 水平傳導管에 軸方向으로 2個의 平板핀을 가진 境遇에 對하여 無次元 핀길이 $L_F=0.06\sim 0.60$, Rayleigh數, $Ra=10^3\sim 10^6$ 그리고 Prandtl數, $Pr=0.1\sim 1.0$ 을 變數로 하여 自然對流 熱傳達 特性을 數值解析의인 方法으로 研究하였다.

2. 基本理論과 數值解析

解析對象인 2個의 핀을 가진 傳導管은 Fig.1과 같다.

管內部에서는 高溫流體가 亂流流動을 하고, 管으로는 傳導에 의하여 그리고 外部流體에서는 層流 自然對流에 의하여 熱傳達이 일어난다. 流體의 密度는 溫度의 線形函數로 하고 Boussinesq approximation를 따른다. 支配方程式과 境界條件은 다음과 같다.

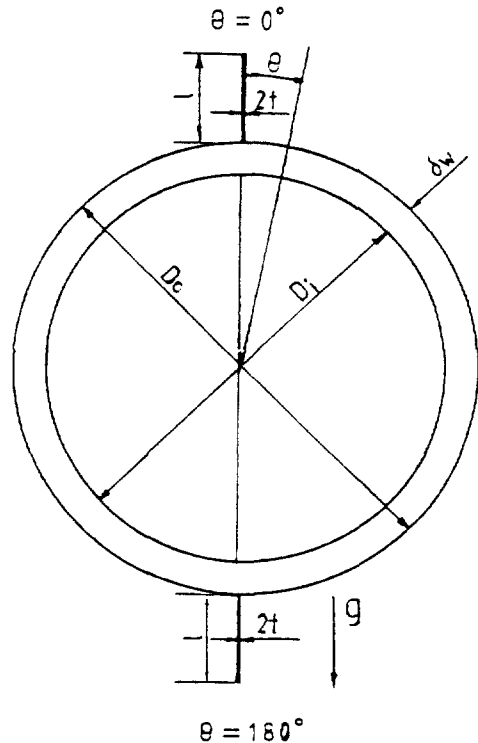


Fig.1 Schematic diagram of the geometry investigated.

支配方程式:

$$\nabla^2 \phi_w = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\nabla^2 \phi = -\omega \dots\dots\dots (2)$$

$$\nabla^2 \omega = \frac{1}{Pr} \left(u \frac{\partial \omega}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial \omega}{\partial \theta} \right) + Ra \left(\sin \theta \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{\cos \theta}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \right) \dots\dots (3)$$

$$\nabla^2 \psi = u \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \dots\dots\dots (4)$$

上記式(1)~(4)에 이용된 無次元數는 다음과 같다.

$$\phi = \frac{T - T_c}{T_b - T_c}, \quad \psi = \frac{\Psi}{\alpha}, \quad \omega = \frac{WD_0}{\alpha},$$

$$u = \frac{UD_0}{\alpha}, \quad v = \frac{VD_0}{\alpha}$$

여기서, $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}$ 이다.

境界條件:

(1) 管內部 表面;

$$\frac{h_i D_i}{K_w} \frac{D_o}{D_i} (1.0 - \phi_w) = B_i \frac{D_o}{D_i} (1.0 - \phi_w)$$

$$= - \left(\frac{\partial \phi_w}{\partial r} \right)_{r=r_i} \dots\dots\dots (5)$$

(2) 管外部 表面;

$$\frac{K_w}{K_f} \frac{\partial \phi_w}{\partial r} = \frac{\partial \phi}{\partial r}, \quad \phi_{w0} = \phi_0,$$

$$u = v = \psi = 0, \quad \omega = - \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} \dots\dots\dots (6)$$

(3) 핀;

$$C_F = \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} = - \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta}, \quad u = v = \psi = 0$$

$$\omega = \frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} \dots\dots\dots (7)$$

外部流動 領域에 대한 境界條件

(4) 對稱軸;

$$v = \psi = \omega = \frac{\partial u}{\partial \theta} = \frac{\partial \phi}{\partial \theta} = 0 \dots\dots (8)$$

(5) 流體流入部;

$$v = \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} = \phi = 0, \quad \omega = - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} \dots\dots (9)$$

(6) 流體流出部;

$$v = \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} = \frac{\partial \psi}{\partial r} = 0, \quad \omega = - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} \dots\dots (10)$$

格子形狀은 31 × 35이며, 有限差分法을 適用하여 有限差分方程式으로 만들어 S. O. R., central difference/upwind hybrid 方法을 利用하여 數值解析하였다. 수렴기준은 流動函數와 溫度값의 最高變化率이 同時에 10⁻⁸ 以內에 들었을 경우로 하였다. 電子計算機는 IBM 370을 使用하였으며 하나의 解를 구하는데 所要된 cpu 時間은 약 20分이며 反復回數는 300~600번으로 한 解를 구하였다. Nusselt 數의 計算은 다음과 같이 하였다.

$$Nu_o = \frac{h_o D_o}{K_f} = - \left(\frac{\partial \phi}{\partial r} \right)_{r=0.5} \dots\dots\dots (11)$$

$$Nu_F = \frac{h_F D_o}{K_f} = - \left(\frac{1}{\phi_F} \frac{\partial \phi}{r_i \partial \theta} \right)_{fin \ surface} \dots\dots (12)$$

$$\bar{Nu}_o = \frac{1}{r_o \pi} \int_0^\pi Nu_o r_o d\theta = \frac{\bar{h}_o D_o}{K_f} \dots\dots\dots (13)$$

$$\bar{Nu}_F = \frac{1}{L_F} \int_0^{L_F} Nu_F \phi_F dL_F = \frac{\bar{h}_F D_o}{K_f} \dots\dots (14)$$

$$Nu_T = \frac{\bar{Nu}_o (\pi r_o) + (\bar{Nu}_{FD} + \bar{Nu}_{FU}) L_F}{\pi r_o + 2 L_F} \dots\dots (15)$$

3. 結果 및 討論

數值計算의 解는 $R_a=10^6$, $Pr=5$, $L_F(L_{FD}=L_{FU})=0.15$, $2t/D_o=0.002$, $\delta_w/D_o=0.06$ 및 $K_w/K_f=500$ 을 基準條件으로 하여 $R_a=10^3 \sim 10^6$, $P_r=0.1 \sim 10$ 그리고 $L_F=0.06 \sim 0.60$ 을 變數로 하여 各各의 解를 구하였다.

Fig.2는 여러가지 핀길이에 대한 局所管 Nusselt 數의 分布를 나타내고 핀이 附着되지 않은 傳導管의 경우⁹⁾와 比較하였다. 一般의 으로 θ 가 增加함에 따라 局所管 Nusselt 數는 增加하다가 傳導管 下部쪽에서는 減少하는 傾

向을 나타낸다. 핀이 附着되지 않은 傳導管의 경우는 $\theta = 180^\circ$ 에서 最大값을 나타내나 핀이 附着된 경우는 $L_F = 0.06$ 에서는 $\theta = 140^\circ$; $L_F = 0.15$ 에서는 $\theta = 120^\circ$ 그리고 $L_F = 0.60$ 에서는 $\theta = 120^\circ$ 에서 나타나서 핀길이가 길어짐에 따라 最大 局所Nusselt 數가 管下部에서 上部쪽으로 차츰 移動되어 나타남을 알 수 있다. 이는 핀길이가 길어짐에 따라 특히 下向핀으로부터의 流動의 影響이 차츰 上部쪽으로 移動한 結果이다. 또한 $L_F = 0.06$ 은 $35^\circ < \theta \leq 120^\circ$ 에서 핀이 附着되지 않은 경우 보다 높게 나타낸다. 이는 下部로부터의 流動流動의 影響이 이부분에 가장 크게 作用하여 이부분의 熱傳達을 促進시킨 結果이다. Fig.3은 $(r-r_o)/L_F$ 에 대한 여러가지 핀길이에 대한 無次元 핀溫度分布를 나타내었다. 핀길이가 짧을수록 等溫에 接近되며 핀길이가 길어짐에 따라 낮은 溫度分布를 나타낸다. 下

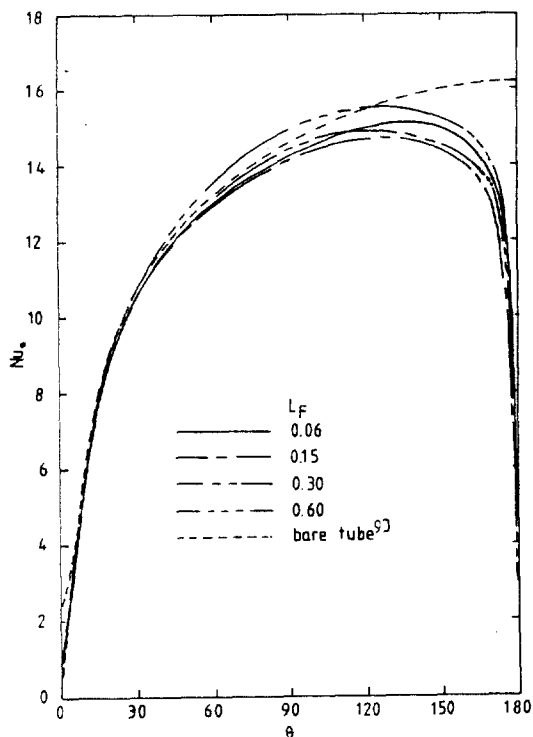


Fig.2 Local tube Nusselt number distributions of various dimensionless fin lengths versus angle at $Ra=10^6$, $Pr=5$, $K_w/K_f=500$, $2t/D_o=0.002$, $\delta_w/D_o=0.06$, $Nu_i=122.5$.

向핀은 外部 流動流動에 의한 熱傳達 妨害를 거의 받지않으므로 上向핀보다 그 溫度 偏差가 크게 나타나고 上向핀은 上昇流動속에 핀이 位置하여 핀으로부터의 熱傳達을 妨害받기 때문에 下向핀보다 그 溫度 偏差가 적음을 알 수 있다. Fig.4는 $(r-r_o)/L_F$ 에 대한 여러가지 핀길이에에서의 局所 핀Nusselt 數分布를 나타낸다. 一般的으로 下向핀의 局所 핀Nusselt 數가 上向핀 경우 보다 훨씬 높게 分布되어 있다. 핀低部에서는 핀길이가 길어짐에 따라 局所 핀Nusselt 數가 높아지고 핀先端에서는 핀길이가 길어질수록 局所 핀Nusselt 數의 增加率이 크게 나타나며 핀先端效果로 急激하게 增加한다. 짧은 핀($L_F=0.06, 0.15$)에서는 線形的으로 變化하나 긴 핀($L_F=0.30$,

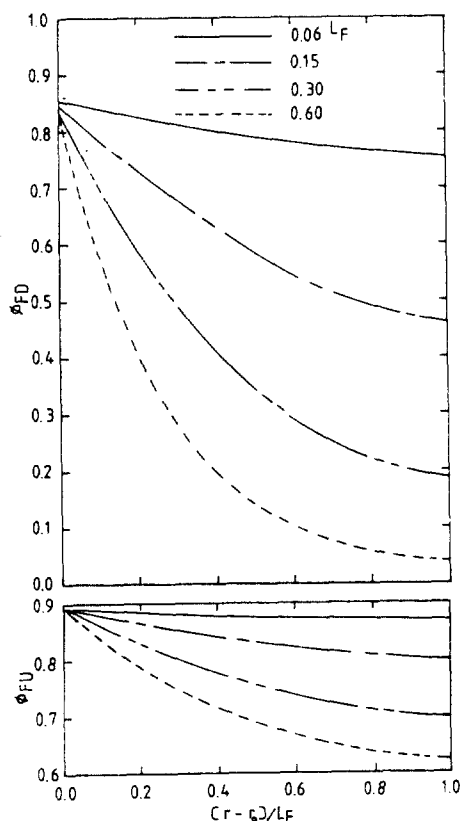


Fig.3 Dimensionless fin temperature distributions of various dimensionless fin lengths versus $(r-r_o)/L_F$ at $Ra=10^6$, $Pr=5$, $K_w/K_f=500$, $2t/D_o=0.002$, $\delta_w/D_o=0.06$, $Nu_i=122.5$.

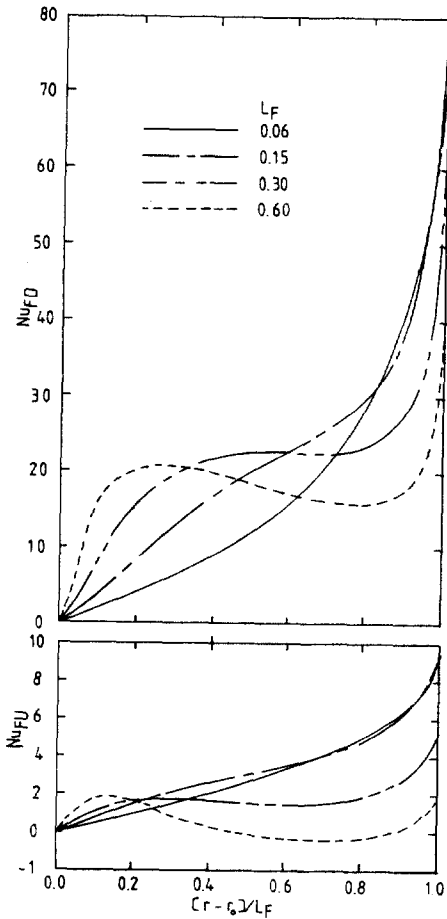


Fig. 4 Local fin Nusselt number distributions of various dimensionless fin lengths versus $(r-r_0)/L_F$ of $Ra=10^6$, $Pr=5$, $K_w/K_f=500$, $2t/D_0=0.002$, $\delta_w/D_0=0.06$, $Nu_i=122.5$.

0.60)에서는 서서히 증가하는 핀底部와 거의 변화가 없거나 다소減少하는($L_F=0.60$) 핀中間部分 그리고 急激히 증가하는 핀先端部分이 上·下핀 모두에 나타난다. 특히 $L_F=0.60$ 에서 下向핀의 경우는 $0.2 \leq (r-r_0)/L_F < 0.8$ 上向핀의 경우는 $0.1 \leq (r-r_0)/L_F < 0.67$ 區間에서는 $(r-r_0)/L_F$ 가 增加함에 따라 局所 Nusselt 數가 減少한다. 이는 핀底部의 熱傳達이 차츰 줄어드는 現象으로서 特히 上向핀에서는 外部流體로부터의 熱流入을 預測할 수 있는 陰의 값의 Nusselt 數가 나타나기도 한다. Fig.5는 $(r-r_0)=0.12$ 위치의 上·下

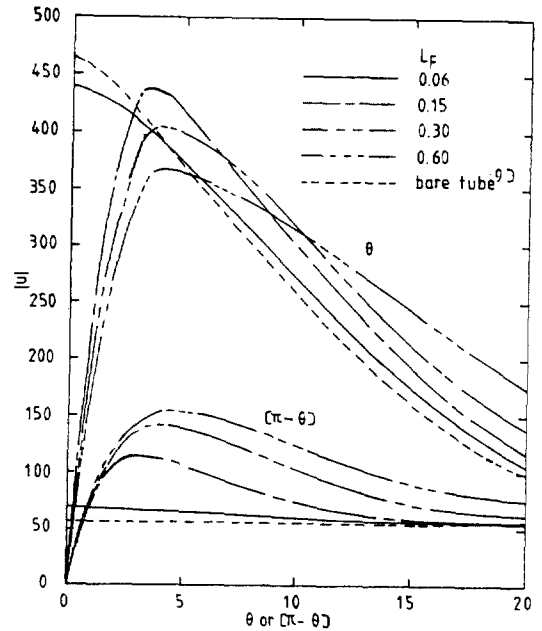


Fig. 5 Dimensionless radial velocity distributions of various dimensionless fin lengths versus θ or $(\pi-\theta)$ at $(r-r_0)=0.12$, $Ra=10^6$, $Pr=5$, $K_w/K_f=500$, $2t/D_0=0.002$, $\delta_w/D_0=0.06$, $Nu_i=122.5$.

向핀 周圍에서의 半徑方向速度 分布를 여러 가지 핀길이에 대하여 나타내었다. $L_F=0.15, 0.3, 0.6$ 의 半徑方向速度 分布는 핀表面에서는 모두 0으로 나타나고 핀이 附着되지 않은 傳導管이나 $L_F=0.06$ 인 경우는 높은 값을 나타낸다. 管上部에서는 대체로 $\theta=3.75^\circ \sim 5^\circ$ 에서 最大 速度分布가 나타나고 管下部에서는 대체로 $\theta=3.75^\circ$ 에서 最大 速度分布가 나타나며, 管上部에서 핀길이가 길수록 낮은 速度 分布를, 管下部에서는 높은 速度 分布를 보인다. 이는 管上部에서는 핀이 對流流動을 억제하는 要素로 管下部에서는 핀이 對流流動을 促進하는 要素로 각각 作用하기 때문이다. 그러나 핀으로부터 圓周方向거리가 커짐에 따라 上部에서는 핀이 길수록 流體流速이 크게 나타나고 下部에서는 핀이 없는 傳導管의 경우로 차츰 接近되어 나타난다. Fig.6은 $(r-r_0)=0.12$ 위치의 上·下向 핀周圍 圓周方向에 대한 圓周方向 速度 分布를 여러 가지 핀길이에 대하여 나타내었다. θ 로 表示되는 管

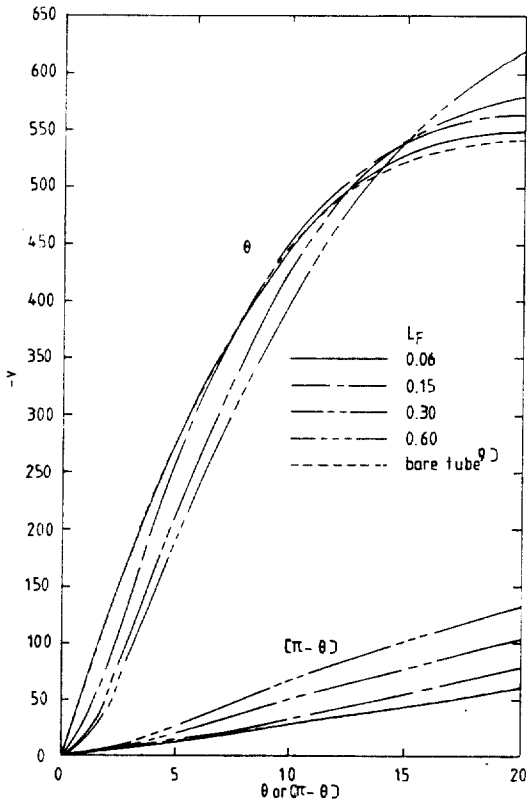


Fig. 6 Dimensionless angular velocity distributions of various dimensionless fin lengths versus θ or $(\pi - \theta)$ at $(r - r_o) = 0.12$, $Ra = 10^6$, $Pr = 5$, $K_w / K_f = 500$, $2t / D_o = 0.002$, $\delta_w / D_o = 0.06$, $Nu_i = 122.5$.

上부가 $(\pi - \theta)$ 로 表示되는 管下部에 比하여 훨씬 높은 速度分布를 나타내고 있다. 管下部에서는 핀길이가 길어짐에 따라 높은 速度分布를 나타내나 管上部에서는 $\theta \leq 10^\circ$ 에서는 모두가 핀이 없는 傳導管보다 낮은 速度分布를 보이면서 핀길이가 길어짐에 따라 낮은 速度分布를 나타낸다. 그러나 $\theta \geq 15^\circ$ 에서는 모두가 핀이없는 傳導管보다 높은 速度分布를 보이면서 핀길이가 길수록 높은 速度分布를 나타낸다. 즉 管下部에서는 핀이 길수록 流動이 活潑하나 上部에서의 $\theta \leq 10^\circ$ 에서는 핀이 下部로 부터의 流動을 遮斷하기 때문에 핀길이가 갈수록 낮은 速度分布를 나타낸다. $\theta \geq 15^\circ$ 에서는 管下部에서 上昇하는 流動의 影響으로 인하여 핀길이가 길수록 높은 速度

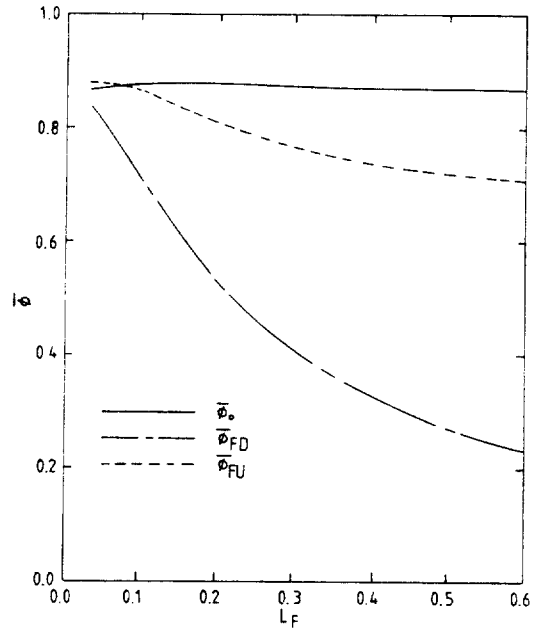


Fig. 7 Dimensionless mean temperature distributions of various dimensionless fin lengths at $Ra = 10^6$, $Pr = 5$, $K_w / K_f = 500$, $2t / D_o = 0.002$, $\delta_w / D_o = 0.06$, $Nu_i = 122.5$.

를 나타낸다. 핀길이가 增加함에 따른 平均溫度分布는 Fig. 7에 平均Nusselt 數 分布는 Fig. 8에 各各 나타내었다. 핀溫度는 핀의 길이가 길어짐에 따라 핀低部の 溫度影響이 차츰 減少하는 傾向을 나타내나 管의 溫度는 $L_F \leq 0.09$ 에서는 增加하며, $L_F > 0.09$ 에서는 서서히 減少한다. 平均Nusselt 數는 管에서는 $L_F = 0.12$ 까지는 減少하고 그 以後는 점차 增加하고, 下向핀에서는 $L_F = 0.18$ 까지는 增加하고 그 后는 減少하며, 上向핀에서는 $L_F = 0.12$ 까지는 增加하고 그 后에는 減少한다. 表面積을 考慮한 平均總Nusselt 數는 減少한다. 單位 핀길이에 대한 熱傳達量이 最大가 되는 適正 핀길이는 $L_F = 0.12 \sim 0.18$ 임을 알 수 있다. 以上の 結果에서 上·下向핀 모두를 考慮한 最適핀은 $L_F \approx 0.15$ 임을 알 수 있다. 따라서 $L_F = 0.15$ 에서 Rayleigh 數와 Prandtl 數의 熱傳達 特性을 Fig. 9~Fig. 12로 나타내었다. Rayleigh 數가 增加함에 따른 平均溫度分布는 Fig. 9 그리고 平均Nusselt 數

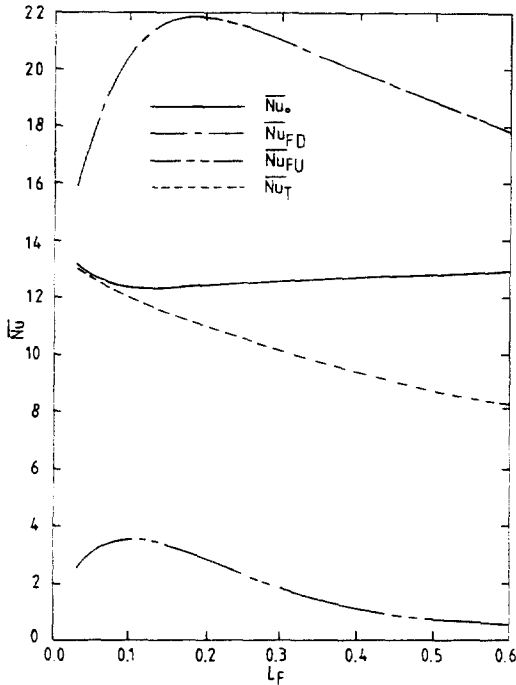


Fig. 8 Mean Nusselt number distributions of various dimensionless fin lengths at $Ra=10^6$, $Pr=5$, $K_w/K_f=500$, $2t/D_0=0.002$, $\delta_w/D_0=0.06$, $Nu_i=122.5$

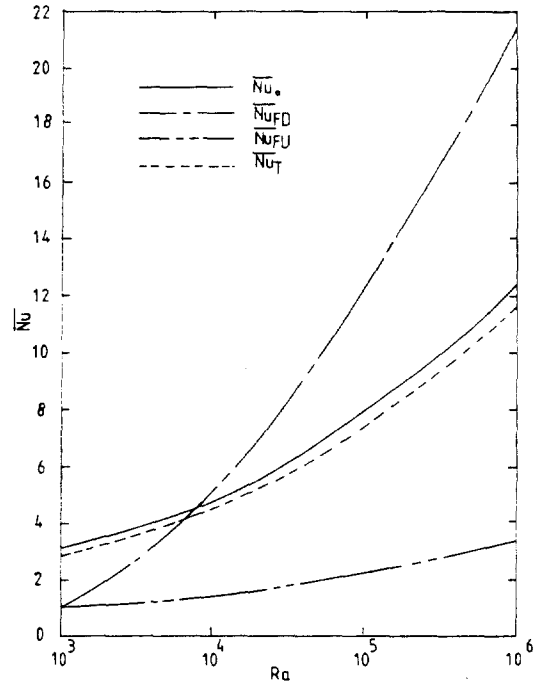


Fig. 10 Mean Nusselt number distributions of various Rayleigh numbers at $L_F=0.15$, $Pr=5$, $K_w/K_f=500$, $2t/D_0=0.002$, $\delta_w/D_0=0.06$, $Nu_i=122.5$.

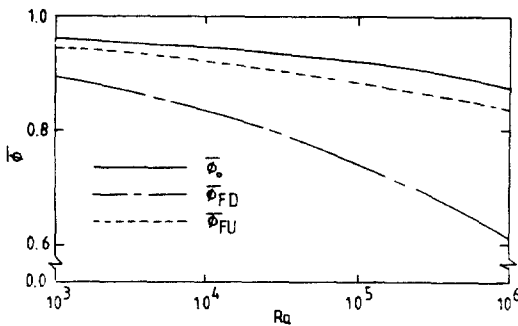


Fig. 9 Dimensionless mean temperature distributions of various Rayleigh numbers at $L_F=0.15$, $K_w/K_f=500$, $2t/D_0=0.002$, $\delta_w/D_0=0.06$, $Nu_i=122.5$.

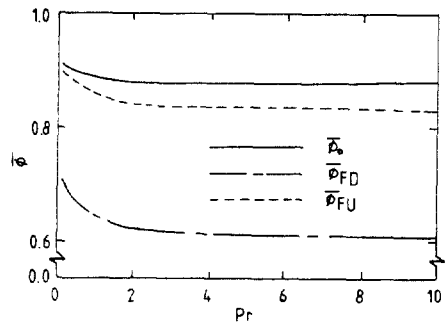


Fig. 11 Dimensionless mean temperature distributions of various Prandtl numbers at $L_F=0.15$, $Ra=10^6$, $K_w/K_f=500$, $2t/D_0=0.002$, $\delta_w/D_0=0.06$, $Nu_i=122.5$.

分布는 Fig.10 에 各各 나타내었다. Rayleigh 數가 增加함에 따라 管内部의 最適平均溫度와 周圍流體 溫度와의 差가 커짐으로 因하여 自然對流 熱傳達이 더 活潑하기 때문에 溫度分布는 一般의 減少하며, 下向핀·上向핀 그리고 管의 順으로 점차 높은 溫度分布를 나타낸다.

平均Nusselt 數는 Rayleigh 數가 增加함에 따라 管, 上向핀 그리고 總Nusselt 數는 增加하고 下向핀Nusselt 數는 顯著히 增加한다. 이는 Rayleigh 數가 增加함에 따라 下向핀에서의 對流熱傳達이 特히 活潑한 結果이다. Fig. 11과 Fig. 12는 Prandtl 數에 대한 平均溫度

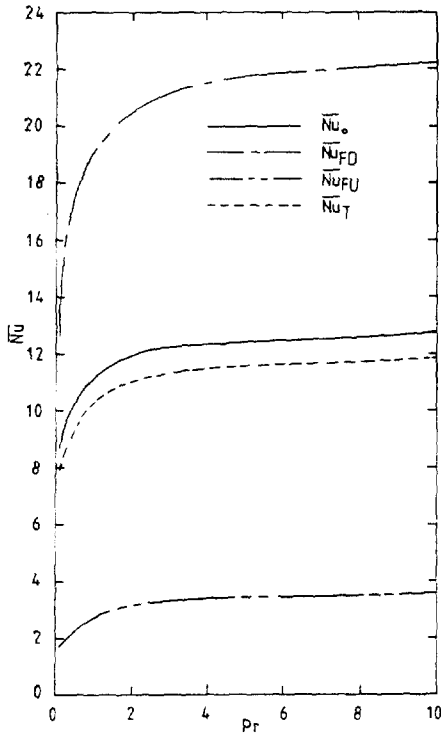


Fig.12 Mean Nusselt number distributions of various Prandtl numbers at $L_F=0.15$, $Ra=10^6$, $K_w/K_f=500$, $2t/D_o=0.002$, $\delta_w/D_o=0.06$, $Nu_i=122.5$.

와 평균Nusselt 數 分布를 各各 나타내고 있다. $Pr \leq 2$ 에서는 Prandtl 數가 增加함에 따라 自然對流 熱傳達이 顯著히 增加하여 平均 Nusselt 數가 急激히 增加하나, $Pr > 2$ 에서는 Nusselt 數가 서서히 增加함을 알 수 있다. 이는 $Pr \leq 2$ 에서는 流體의 熱擴散이 크고 密度에 대한 粘度가 작아 自然對流가 活潑하나 $Pr > 2$ 에서는 다소 鈍화된 結果이다.

4. 結 論

$Ra=10^6$, $Pr=5$, $L_F=0.15$ 를 基準條件으로 하여 2個의 垂直平板핀을 가진 傳導管의 熱傳達 特性을 研究한 結果는 다음과 같다.

1) 最大 局所 管Nusselt 數는 $L_F=0.06$ 에서는 $\theta=140^\circ$, $L_F=0.15$ 에서는 $\theta=130^\circ$, $L_F=0.30$ 과 $L_F=0.60$ 에서는 $\theta=120^\circ$ 에서 各各 나타난다.

2) $(r-r_o)=0.12$ 에서 여러가지 핀길이에 대한 半徑方向 速度分布는 管上部에서는 $\theta=3.75^\circ \sim 5^\circ$, 管下部에서는 $\theta=3.75^\circ$ 에서 最大 값이 나타나고, 圓周方向 速度分布는 管下部에서는 핀길이가 길어짐에 따라 높은 速度分布를 나타내나 管上部의 $\theta \leq 10^\circ$ 에서는 낮은 速度分布를, $\theta \geq 15^\circ$ 에서는 높은 速度分布를 나타낸다.

3) 핀길이에 대한 最大 平均Nusselt 數 分布는 下向핀에서는 $L_F=0.18$, 上向핀에서는 $L_F=0.12$ 에서 나타나며 上·下向핀을 모두 考慮한 適正 핀길이는 $L_F \approx 0.15$ 이다.

4) $L_F=0.15$ 에서 平均Nusselt 數 分布는 一般의 Rayleigh 數가 增加함에 따라 下向핀에서는 急激히 增加하고 그외는 서서히 增加하며 Prandtl 數에 대하여서는 $Pr \leq 2$ 에서는 急激히 增加하고 $Pr > 2$ 에서는 서서히 增加한다.

參 考 文 獻

1. Mc Adams, W. H., 1958, "Heat Transmission", Mc Graw-Hill Co., New York, pp.140~201.
2. 이택식, 이재현, 이진호, 최영기, 유재석, 1989, "수치해석을 이용한 대류열전달의 국내연구동향", 대한기계학회지 제29권 제4호, pp.394~402.
3. Kern, D. Q., and Kraus, A. D., 1972, "Extended Surface Heat Transfer", Mc Graw-Hill Book Co., pp.3~259.
4. Chu, R. C., and Simons, R. E., 1988, "Heat Transfer in Large Scale Computers", Heat Transfer, Korea-U. S. Seminar on Thermal Engineering and Technology, pp.65~88.
5. Sparrow, E. M., and Gregg, J. L., 1958, "Similar Solutions for Free Convection from a Nonisothermal Vertical Plate", Trans. ASME, Vol. 80, pp.379~386.

6. Burch, T., Rhodes, T., and Acharya, S., 1984. "Laminar Natural Convection between Finitely Conducting Vertical Plates", ASME, 84~WA/HT, pp. 1~9.
7. Kwon, S. S., and Kuehn, T. H., 1982, "Conjugate Natural Convection Heat Transfer from Horizontal Cylinder with a Long Vertical Longitudinal Fin", Numerical Heat Transfer vol. 6, pp. 85~102.
8. Kwon, S. S., Kuehn, T. H., and A. K. Toppadi, 1984. "On Natural Convection from a Short Conducting Plate Fin below a Heated Horizontal Cylinder", ASME, J. Heat Transfer vol. 106, pp. 661~664.
9. Chung, H. S., Kang, B. H., and Kwon, S. S., 1986. "Effects of Conductivity and Thickness on Natural Convection Heat Transfer from a Horizontal Circular Tube", Trans. KSME vol. 2, pp. 265~279.
10. 鄭漢植, 1987. "水平傳導管에서의 自然對流 熱傳達에 관한 研究", 東亞大學校 大學院 博士學位 論文.