

衝突空氣 噴流系에서의 傳熱促進技術에 關한 研究

최 두 섭* · 금 성 민** · 이 용 화** · 서 정 윤***

- * 인하대학교 대학원 기계공학과
- ** 유한전문대학 건축설비과
- *** 인하대학교 기계공학과

Technique of Heat Transfer Augmentation in Impinging Air Jet System

Doo-Seob, Choi · Seong-Min, Kum · Yong-Hwa, Lee · Jeong-Yun, Seo

- * *Inha University, Graduate School*
- ** *Yuhan Technical College*
- *** *Inha University*

요 약

二次元 衝突空氣噴流系에서 흐름방향과 垂直이 되게 설치한 平板傳熱面 前方에 亂流促進體인 正4角 로드群(로드폭=4mm, 로드피치=50mm)을 설치하고, 로드와 傳熱面사이의 間隙(C=1, 2, 4, 6mm), 노즐출구와 傳熱面間 거리(H/B=2, 6, 10, 14) 및 Re수($Re=6.410 \times 10^3 \sim 5.769 \times 10^4$)를 변화시켜 실험한 결과, 平板에서 熱傳達系數의 감소율이 큰 영역에서도 로드를 설치하므로써 높은 熱傳達系數를 얻을 수 있었으며, 실험범위내의 Re수와 H/B에 대하여 熱傳達系數가 最大가 되는 最適間隙은 C=1mm이고, 最大 열전달증진율은 H/B=2, C=1mm에서 로드를 설치하지 않은 平板보다 약 43% 증진한다.

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the enhancement of heat transfer without additional external power in the case of rectangular impingement air jet vertically on the flat heating surface. The technique used in the present study was placement of square rod bundles as a turbulence promoter in front of the heat transfer surface.

The results obtained through this study were summerized as follws. High heat transfer

enhancement was achieved by inserting rods in front of the heating flat plate. According to visualization, it was examined because of flow acceleration and separation and disturbance of boundary layer. The smaller clearance between rod and heating plate was, the larger heat transfer effect became at each H/B. Average Nusselt number reached maximum at H/B=10 and the local augmentation rate of heat transfer became maximum at H/B=2. The maximum average heat transfer enhancement rate increase about 43% for the case of X/B=2 and C=1mm, compared to a flat plate without rods. The correlating equation of average Nusselt number and Reynolds number was obtained. As follows :

$$\overline{Nu}_o = 1.249Re^{0.465}(C/A)^{-0.033}(H/B)^{0.013}$$

記號 說明

- A : 正4角로드의 한 변의 길이[mm]
- A_s : 傳熱面積[m²]
- B : 노즐 幅[mm²]
- C : 平板과 로드 사이의 間隙[mm]
- d : Smoke-wire 直徑[mm]
- h : 熱傳達 係數[W/m² · °C]
- H : 노즐-衝突板間 距離[mm]
- I : 電流[Ampere]
- k : 熱傳導率[W/m · °C]
- L : 노즐의 높이[mm]
- Nu : 局部 Nusselt數
- Nu_r : 單純平板(로드없는 平板)에서의 局部 Nusselt數
- Nu_r : 로드를 設置한 平板에서의 局部 Nusselt數
- \overline{Nu} : 局部平均 Nusselt數
- \overline{Nu}_o : 平均 Nusselt數
- P : 正4角로드 피치[mm]
- q : 熱流束[W/m²]
- Re : Reynolds數(=U_e · B/v, U_e · d/v)
- T_w : 傳熱面上的 局部溫度[°C]
- T : 노즐出口에서의 空氣溫度[°C]
- X : 停滯點으로부터의 거리[mm]
- U_e : 노즐出口 流速[m/s]
- V : 電壓[Volt]
- v : 動粘性係數[m²/s]

I. 緒 論

衝突空氣는 傳熱面上的 停滯點 附近에서 發生하는 渦流(large-scale-eddy)에 의하여 높은 熱 및 物質傳達을 기대할 수 있으며, 또한 動力源의 용량이 비교적 작고 流量制御에 의한 熱 및 物質熱傳達係數의 微小調整이 容易한 점 때문에¹⁾ 각종 冷却裝置나 乾燥 등에 많이 應用되고 있다.²⁾

그러나 噴流가 壁面噴流領域으로 進行됨에 따라 傳熱性能은 停滯點 附近에 비해 相對적으로 떨어지기 때문에 實際的 應用面에서 問題點으로 나타나고 있다. 이에 대한 改善策으로서 一般的인 方法은 傳熱表面의 加工, 突起物 設置 등의 亂流促進體를 設置하는 方法등을 들 수 있는데,^{4,5)} 本 研究에서는 傳熱面 前方에 亂流促進體로서 正4角 로드群을 로드와 傳熱面間에 間隙을 두고 設置함으로써 로드와 傳熱面 사이를 通過하는 流體의 加速效果, 渦流에 의한 境界層의 攪亂效果 및 流體交換作用 등에 의한 傳熱增進效果를 期待하고자 하며^{6,7)} 이와같은 傳熱增進策은 空氣式 太陽熱 集열기⁸⁾에서의 傳熱促進에 대한 한 方法으로도 應用될 수 있을 것이다.

本 實驗의 대부분은 傳熱面을 噴流의 Potential core領域과 大規模의 渦流에 의하여 熱傳達效果가 아주 크게 나타날 것이라고 豫想되는 遷移領域에서 遂行하여 로드群을 設置하지 않은 單純

平板傳熱面의 경우와 比較, 檢討하고 또 最大 傳熱增進率을 나타내는 로드群의 最適 設置條件을 밝히고 同時에 可視化를 통하여 그 流動樣相의 特性을 糾明하고자 한다.

II. 實驗裝置 및 實驗方法

Fig. 1은 實驗裝置의 概略圖이다. 空氣는 遠心式 送風機 ①에 의하여 보내진 後, 철망 ③과 diffuser ④를 거쳐 honeycomb ⑤와 整流部 ⑥을 通過하여 4角 노즐 ⑦에서 噴出된다. 衝突板(平板傳熱面) ⑨는 노즐出口로 부터 거리가 노즐軸의 最高 16倍 까지 移送이 可能하며 2次元 噴流가 되도록 流路上下面에 案内板을 設置하였다. 流量은 damper ②로 調節하여 4角노즐(出口幅 50mm, 軸流比 5인 Sine曲線形)出口의 Reynolds數($Re = U_e \cdot B/\nu$) 範圍는 $6.410 \times 10^3 \sim 5.769 \times 10^4$ 이다. 그리고 實驗에 사용한 4角 노즐에서 噴流의 初期亂流強度는 0.9%, 포텐셜코어의 位置는 약 $H/B=5$ 로 나타났으며, 4角 노즐의 2次元性에 대해서는 이미 實驗的으로 確認하였다.⁹⁾

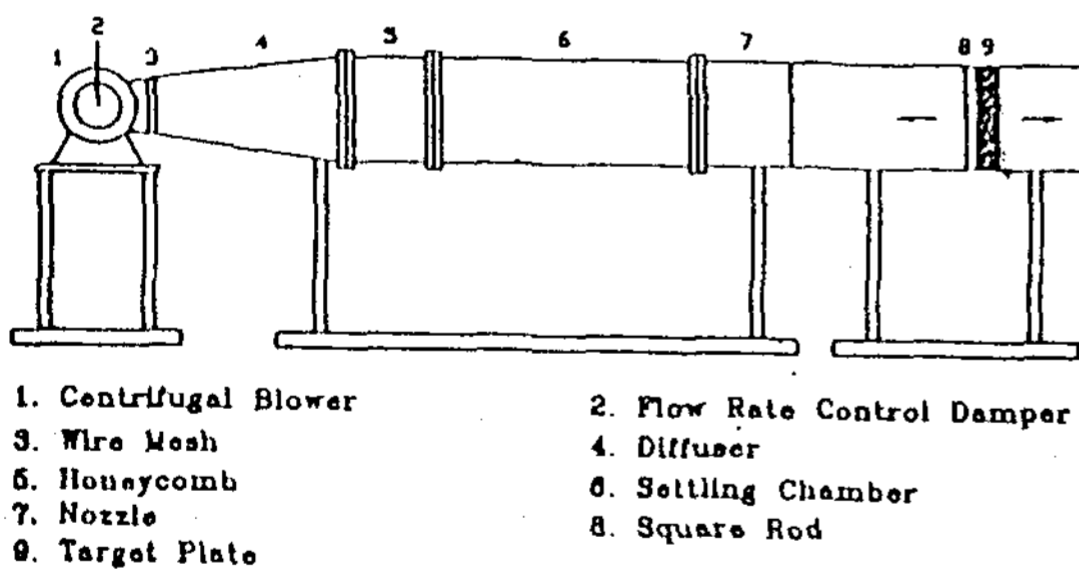


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 2(a), (b)는 平板傳熱面 前方에 로드群을 設置한 狀態를 나타낸 그림이다. B는 노즐幅, L은 노즐의 높이를 나타내고 H는 노즐出口로 부터 衝突板까지의 距離를 나타내며 無次元 距離로서 H/B 를 使用하였다. 平板上에서의 座標는 노즐幅 方向을 X로 하고 停滯點으로 부터 노즐幅 方向의 距離를 無次元거리 X/B 로 취하였다. 로드의 材料는 黃銅이며 配列은 노즐幅 方向으로 하고 噴

流의 中心은 傳熱面 中央部에 인접한 두 개의 로드 사이의 中心線과 一致하도록 하였다. 여기서 A는 正4角 로드 斷面에서 한 변의 길이(4mm), P는 로드 피치(50mm), C는 로드와 傳熱面間的 間隙(1, 2, 4, 6mm)을 나타낸다.

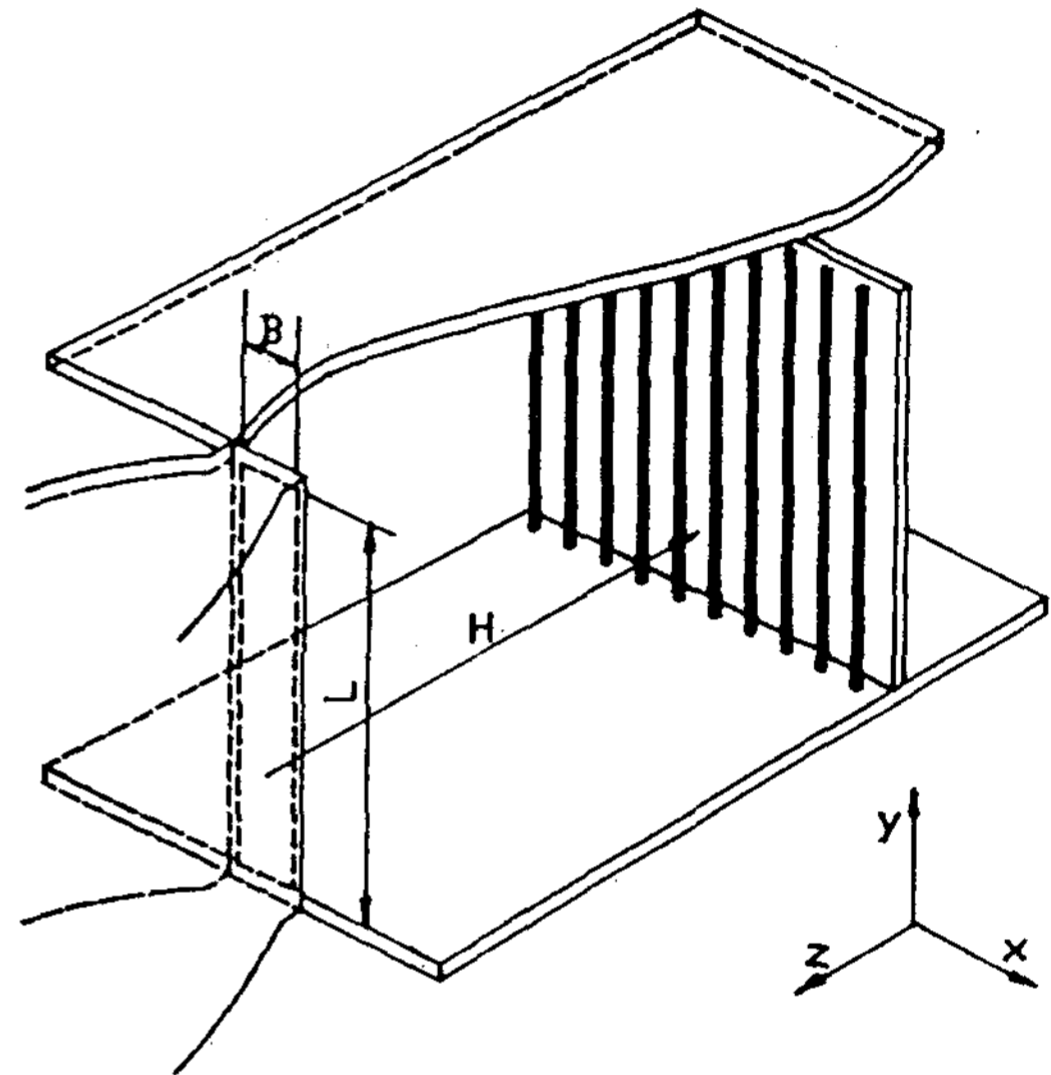


Fig. 2(a) Coordinate system.

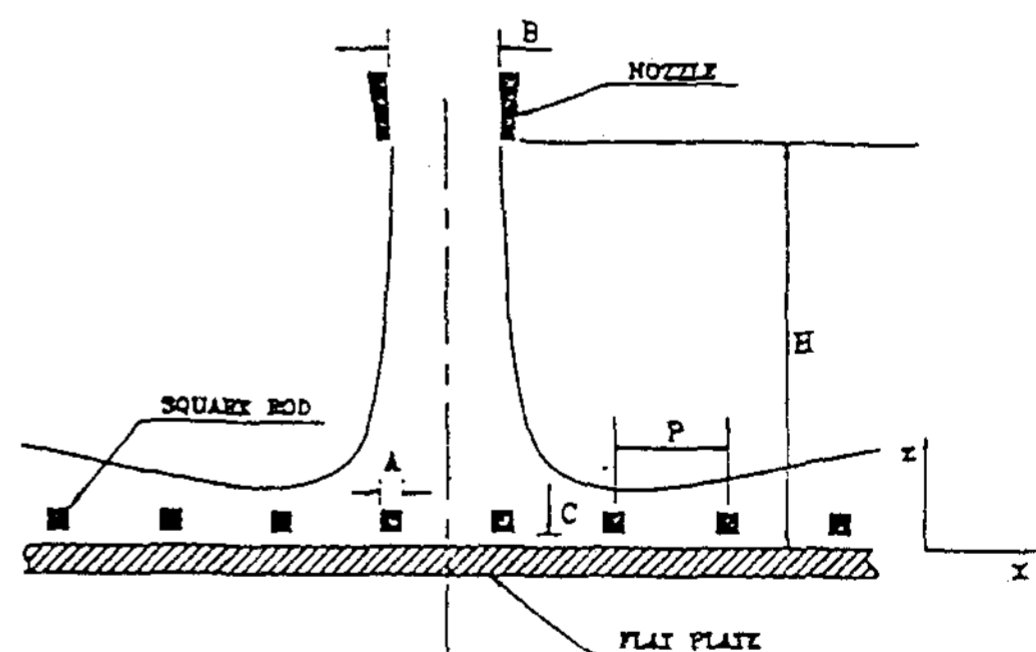


Fig. 2.(b) Impinging flat-rod system

Fig. 3은 平板傳熱面 形狀을 나타낸 것이다. 傳熱面은 Bakelite板(500×500×20mm)上에 두께 30μm, 幅 10mm, 길이 500mm의 스테인레스箔板을 X方向으로 3매를 接着하고 銅板으로 直列 連結하여 製作하였다. 傳熱面은 自動電壓調整器를 써서 等熱流速條件으로 하였으며 이 때의 熱流速($q = I \cdot V/A_s$)은 1050 W/m^2 이고 直接通電加熱方法 授用하였다. 熱傳達의 온도측정을 위해서

스테인레스 箔板 裏面에 70 μ m의 C-C熱傳達(T type)를 中央點(停滯點)으로 부터 X方向으로 5mm 間隙으로 45개를 납땜 용착하여 Hybrid Recorder (Model No. 3081 : YOKOKAWA)에 連結하고 溫度는 10회 測定한 값의 平均值로 定하였다. 噴流溫度와 傳熱面의 溫度差는 15 $^{\circ}$ C이내였으며, 傳熱面이 附着된 Bakelite板 裏面으로의 放出熱量은 0.7%이내였기 때문에 Bakelite板을 통한 熱損失은 無視하였다.

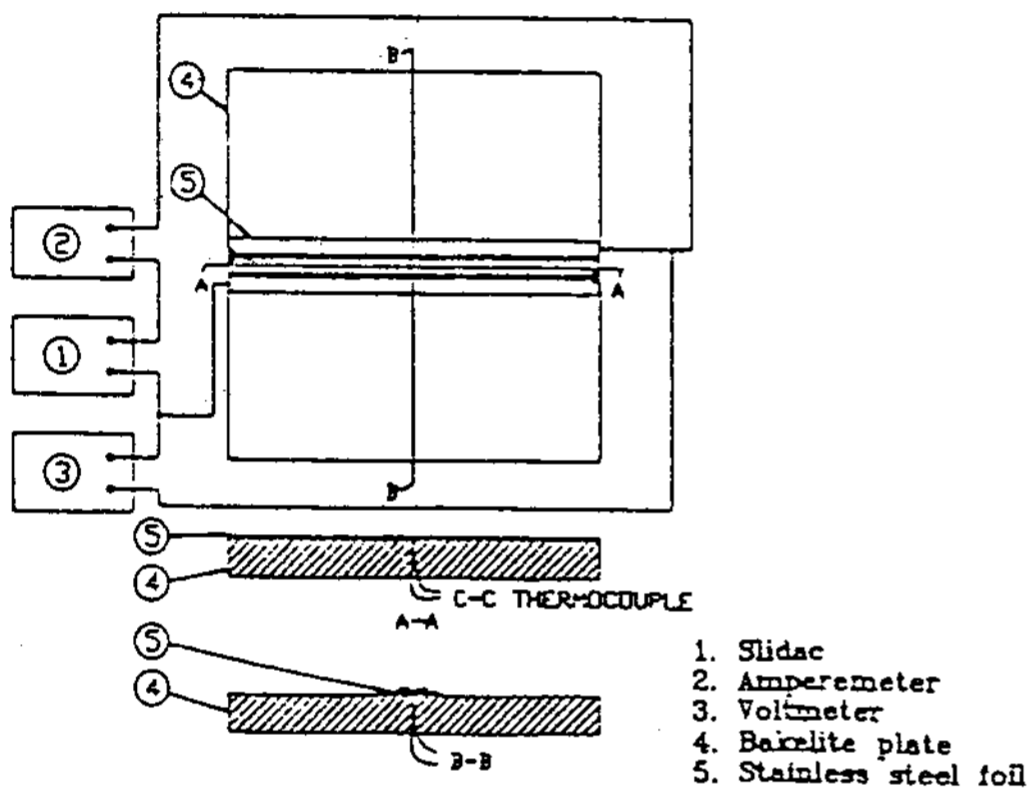


Fig. 3. Detail of heating apparatus

局部熱傳達係數(h), 局部 Nusselt數(Nu), 局部 平均 Nusselt數(\bar{Nu}), 平均 Nusslet數(Nu_0)는 다음과 같이 計算하였다.

$$h = q / (T_w - T) \text{ [W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C]}$$

여기서 T_w 는 熱傳面의 溫度, T 는 노즐出口에 서의 噴流溫度이다.

$$Nu = h \cdot B / k$$

$$\bar{Nu} = \int_0^x Nu \cdot dx / \int_0^x dx$$

$$Nu_0 = \int_0^{x=4.4B} Nu \cdot dx / \int_0^{x=4.4B} dx$$

Fig. 4는 流動의 可視化를 위한 裝置의 概略圖이며 作動流體가 空氣이기 때문에 Smoke-wire法을 採用하였다.^{10~12)} 연기를 發生시키기 위하여 流動 파라핀에 機械油를 少量 섞은 승화제를 도포한 後 AC 30~40V를 通電加熱하여 發生되는 연기를 連續攝影이 可能하도록 Camera(Nikon F, Zoom-NIKKOR 80~200mm 1:4)에 motor-drive를 裝置하여 撮影하였다. Smoke-wire法에

使用된 細線은 流動場에 거의 影響을 주지 않으면서 可視化를 遂行할 수 있도록 0.1mm의 니크롬線을 使用하고 니크롬線의 直徑을 代表길이로 한 $Re_d (= U_e \cdot d / \nu)$ 가 16인 條件에서 可視化를 遂行하였다. 물론 流動이 實際의 경우와는 다르겠지만 흐름의 定性的인 論議에는 지장이 없다고 推定된다.

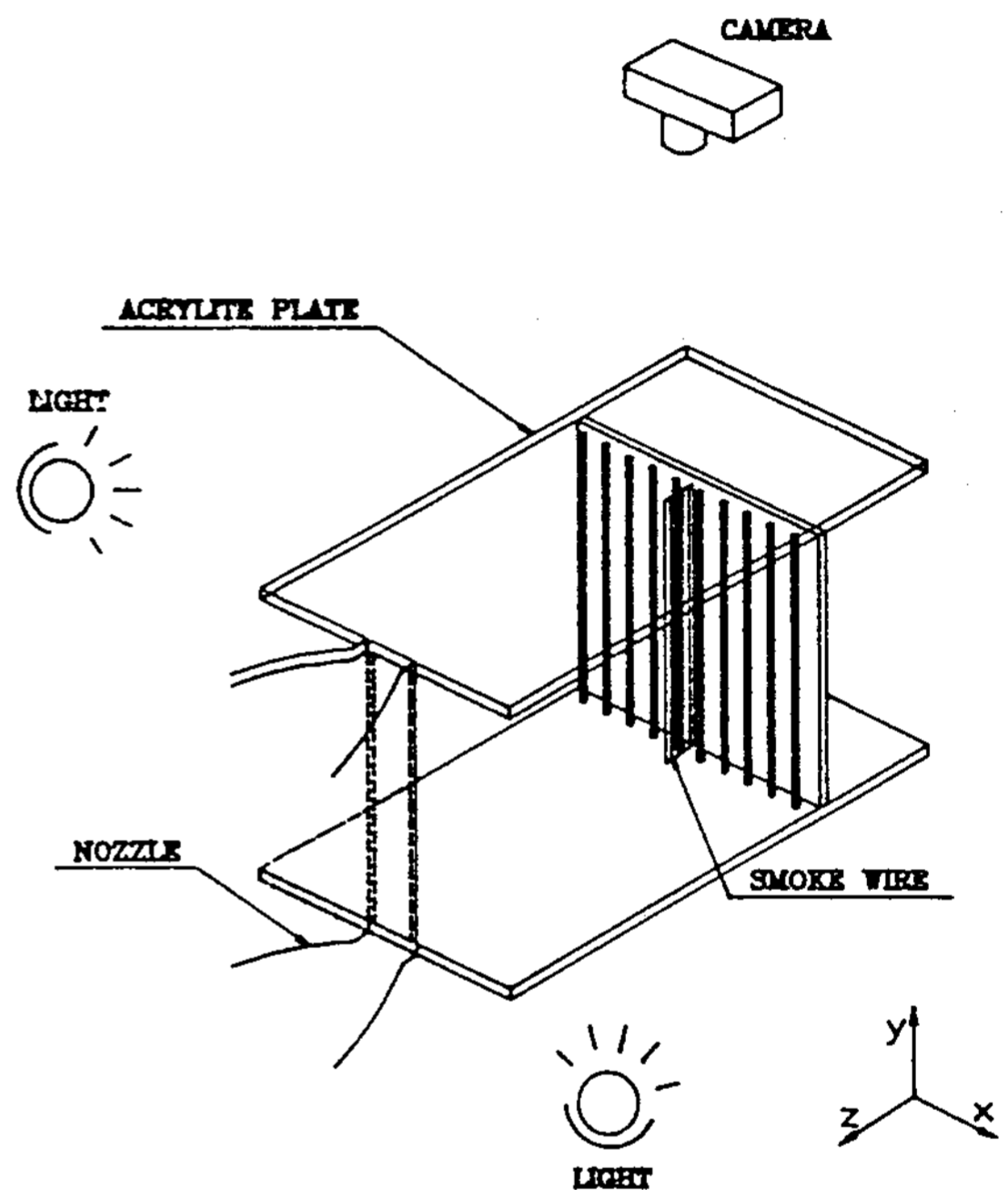


Fig. 4. Arrangement of smoke-wire system

III. 實驗結果 및 考察

Fig. 5는 2次元 噴流가 平板傳熱面에 衝突할 경우 停滯點에서의 熱傳達 特性을 各 H/B에 대해 나타낸 것이다. 停滯點에서의 Nu 는 Re 가 增加할 수록 H/B에 따라 큰 幅으로 變한다. 특히 Re 가 4.487×10^4 以上에서는 H/B=5 近方에서 增加하기 시작하여 H/B=10에서 最大가 된 後, H/B의 增加에 따라 서서히 減少하는 傾向을 나타낸다. H/B=10에서 Nu 가 最大가 되는 것은 噴流가 周圍流體와의 剪斷作用에 의해 發生한 흐름이 噴流 中心까지 到達하여 亂流強度를 增加시키기 때문이다. 그러나 Re 가 작은 領域 즉, Re 가 6.410

$\times 10^3$ 에서는 H/B에 따른 影響이 거의 나타나지 않고 H/B=6 附近에서만 약간 上昇된 값으로 나타나고 있는데 이것은 亂流度가 最大가 되는 衝突거리가 노즐出口쪽으로 接近하기 때문인 것으로 생각된다. 이것은 다른 研究 結果들과도 同一한 傾向을 나타내고 있다.^{1, 2, 13)}

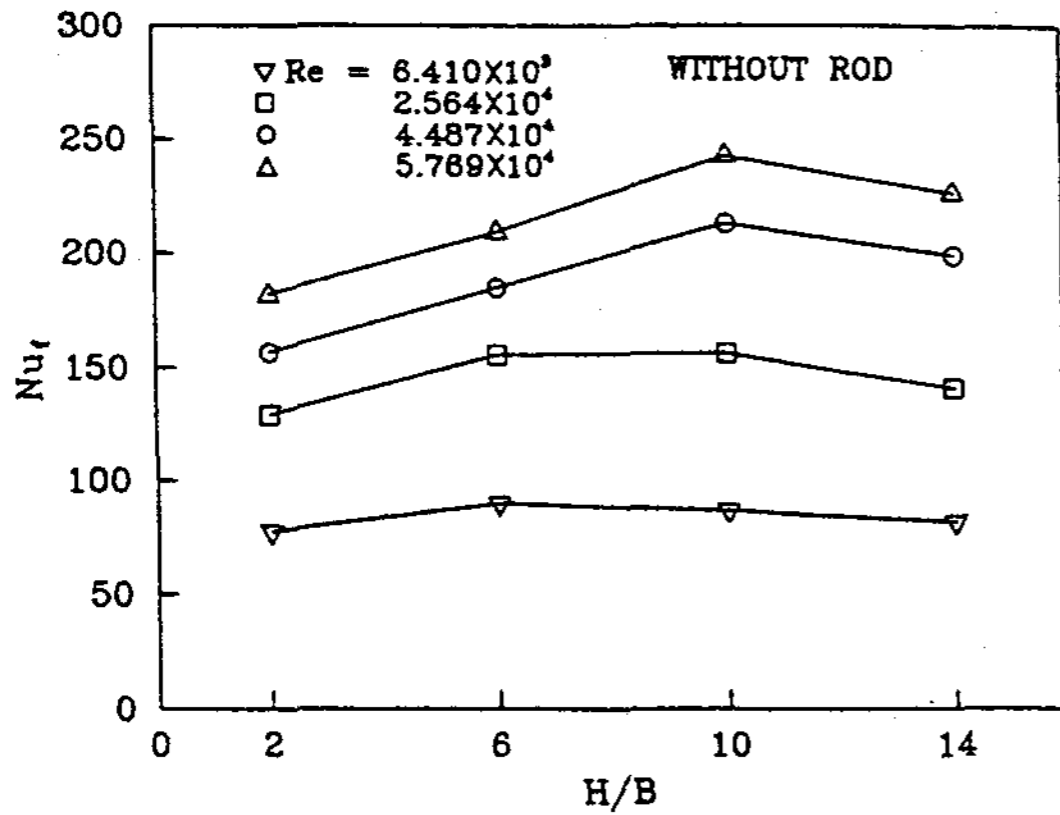


Fig. 5. Stationary Nusselt number of flat plate at various axial distances from nozzle exit

Fig. 6은 $Re=5.769 \times 10^4$ 인 경우 停滯點으로부터 X方向의 Nu의 分布를 각 H/B에 대해 나타낸 것이다. X方向의 Nu 分布는 H/B=10에서 全體적으로 가장 높게 나타나며, 噴流의 potential core領域인 H/B=2에서 가장 낮게 나타난다. H/B=2에서는 停滯點上의 流體가 노즐出口의 亂

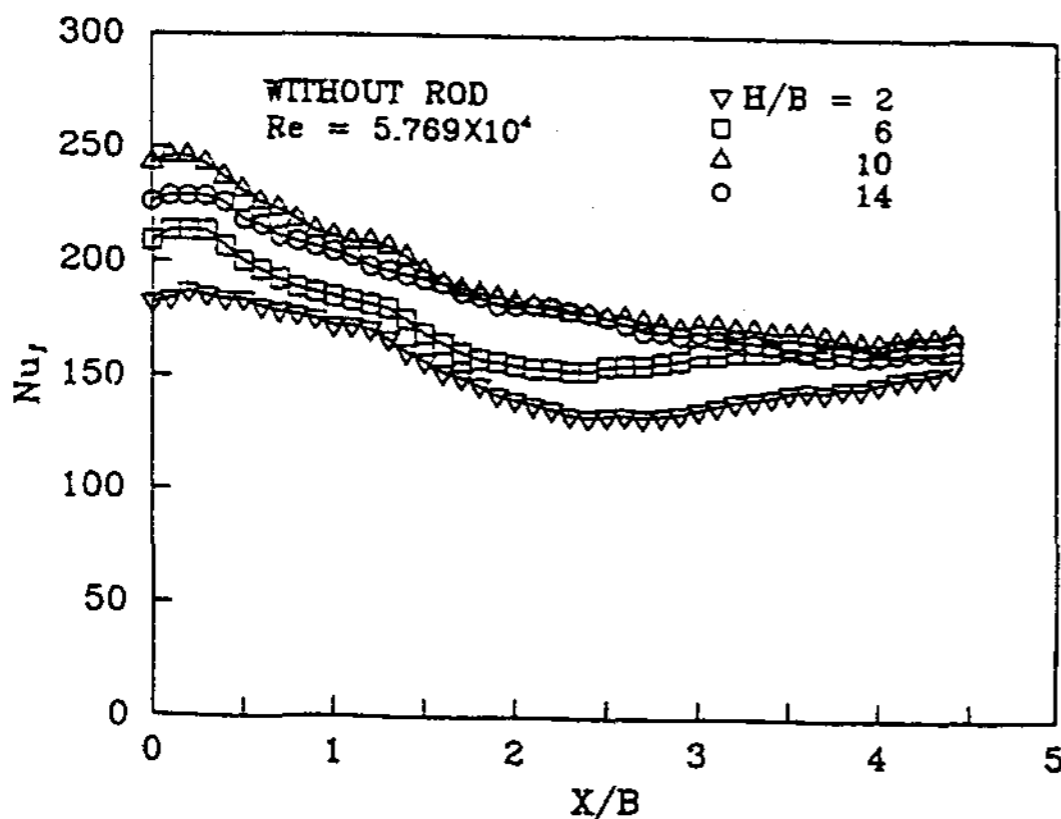


Fig. 6. Distribution of local Nusselt number along the flat plate at various impinging distances

流強度를 거의 그대로 維持하고 있기 때문에 H/B=10인 경우와는 달리 渦流의 生成이 크지 못하다. 그리고 H/B=2에 設置되었을 경우에는 X/B=2.5 附近인 位置에서 부터 Nu_t는 다시 增加하기 시작한다.

Fig. 7, 8은 衝突板이 potential core領域內에 設置된 H/B=2와 遷移領域인 H/B=10에서의 Re 變化에 따른 Nu_t의 分布를 나타낸 것이다. H/B=2인 경우 $X/B < 2.5$ 領域에서 Nu_t는 減少하지만 $X/B > 2.5$ 領域에서는 점차 增加하기 시작하는데, 이것은 노즐 兩端에서 생긴 渦流가 成長하여 이 領域에서 傳熱面上의 境界層을 攪亂시키기 때문이며 H/B

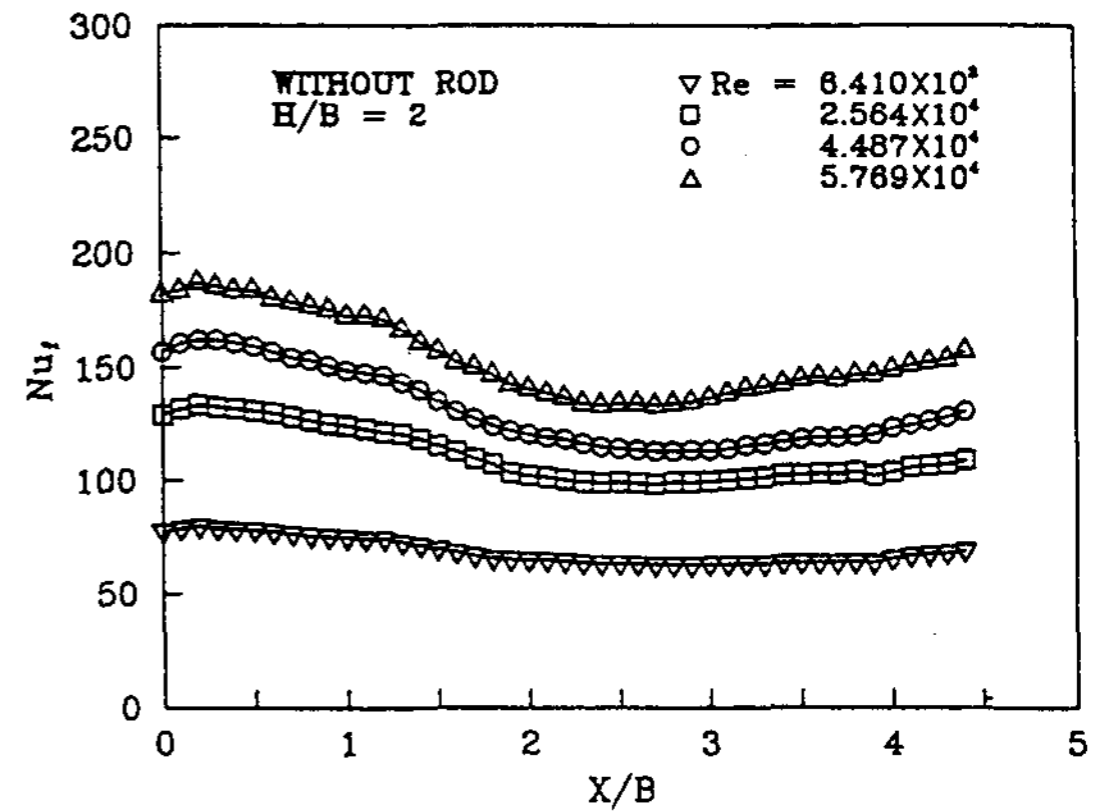


Fig. 7. Distribution of local Nusselt number along the flat plate at various impinging distances. (H/B=2)

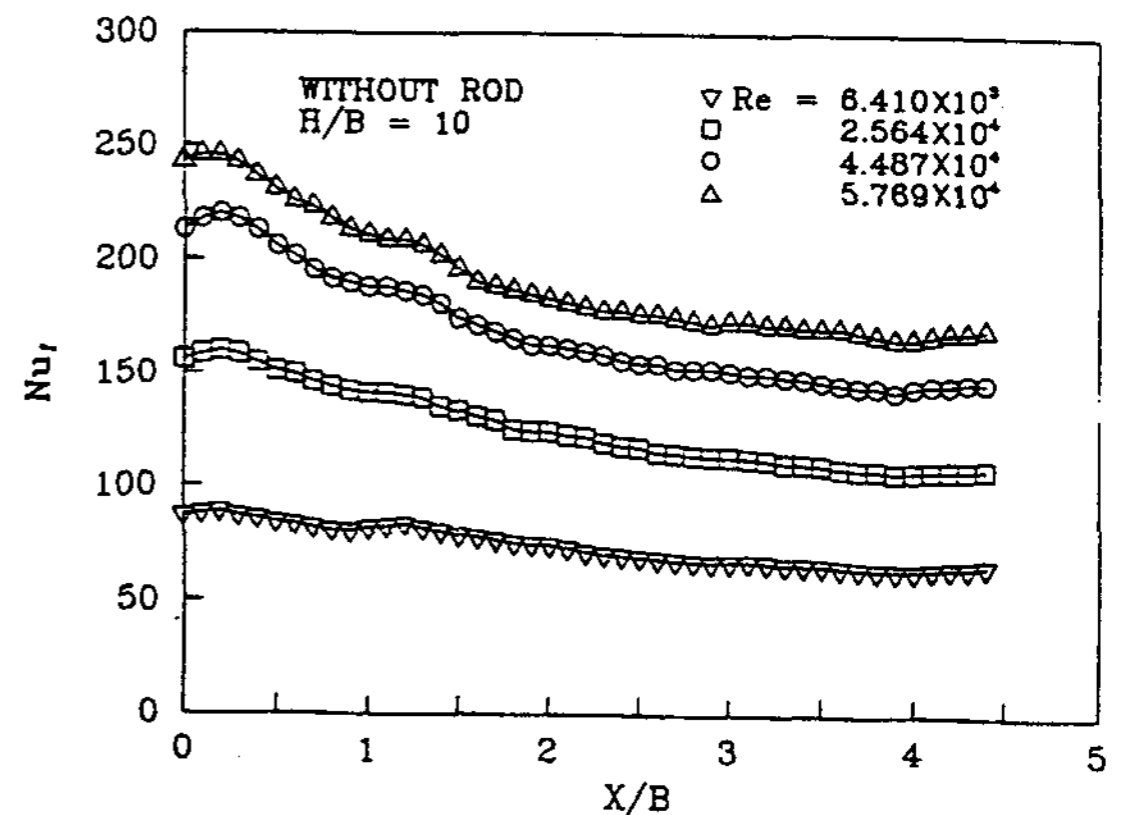


Fig. 8. Distribution of local Nusselt number along the flat plate at various impinging distances. (H/B=10)

=10에서 이미 噴流가 衝突板에 衝突하기 前에 亂流強度가 最大로 成長하여 Nu_r 의 再上昇現象은 일어나지 않는다.¹²⁾

Fig. 9는 Re 가 5.769×10^4 인 경우이며 亂流促進體로서 使用한 正4角로드(이하 로드로 칭함)와 平板傳熱面間의 間隙 C 를 1[mm]로 하였을 때, H/B 의 變化에 따른 Nu_r 分布를 나타낸 것이다. 停滯點 近方인 $X/B < 1$ 인 領域에서는 로드를 設置하지 않은 平板에서와 마찬가지로 H/B 의 影響이 크게 나타난다. 그리고 로드를 設置하지 않은 경우에 傳熱性能이 좋지 않았던 停滯點近方 以後 즉, 第 2로드 以後의 下流領域에서도 傳熱增進效果가 현저히 높게 나타나고 있다. 또 $X/B \geq 1$ 인 壁面噴流領域에서는 각 H/B 에 대해서 平板上의 모든 로드 直下點에서 Nu_r 의 第 1 最大置가 나타나며 또한 인접한 두 로드 사이에서는 第 2 極大置가 나타난다. 그리고 로드 直前에서는 第 1 極小值, 로드 直後에서는 第 2 極小值가 각각 주기적으로 나타나고 있다.

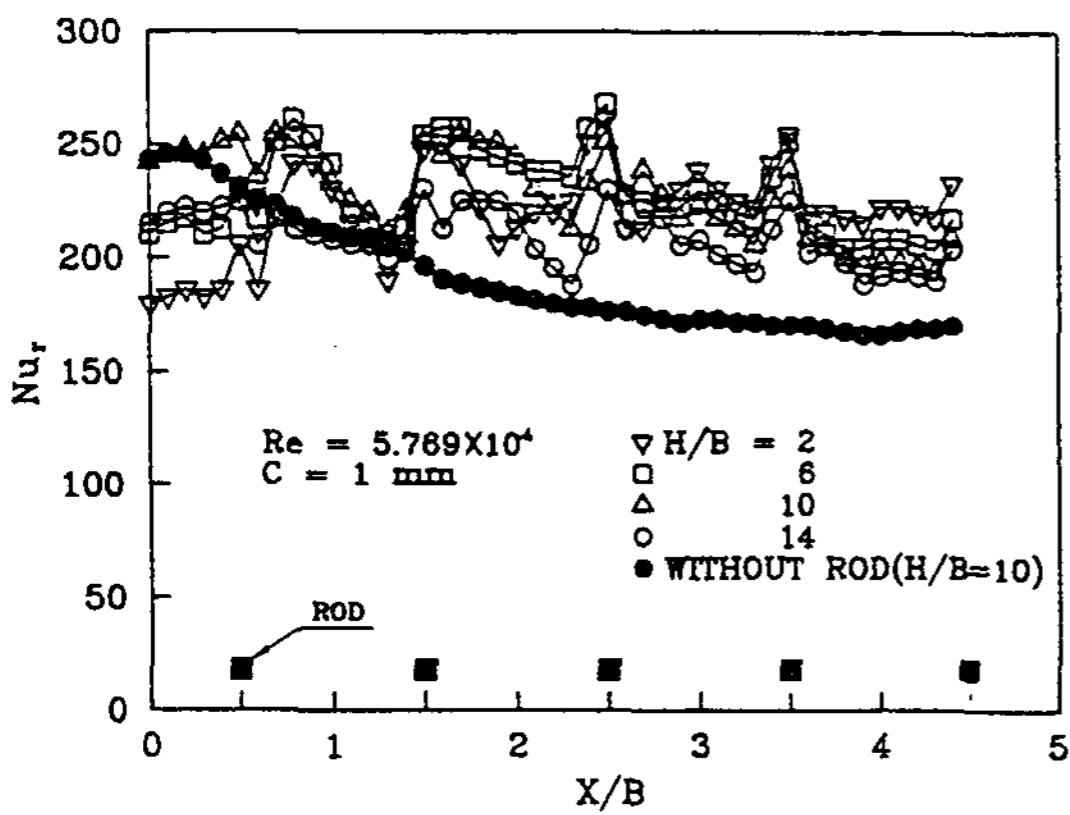


Fig. 9. Distribution of local Nusselt number along the flat plate with rods at various impinging distances

Fig. 10~12와 같이 $C=2, 4, 6$ [mm]인 경우에도 $C=1$ [mm]인 경우와 類似한 分布로 나타나며 Nu_r 의 값은 로드를 設置하지 않은 경우(Fig. 6 參照)와 마찬가지로 전체적으로 볼 때 $H/B=10$ 에서 最大가 되고, $H/B=2$ 에서 最少가 되며, 間隙이 增加할 수록 그 變化의 幅은 작아지고 있다.

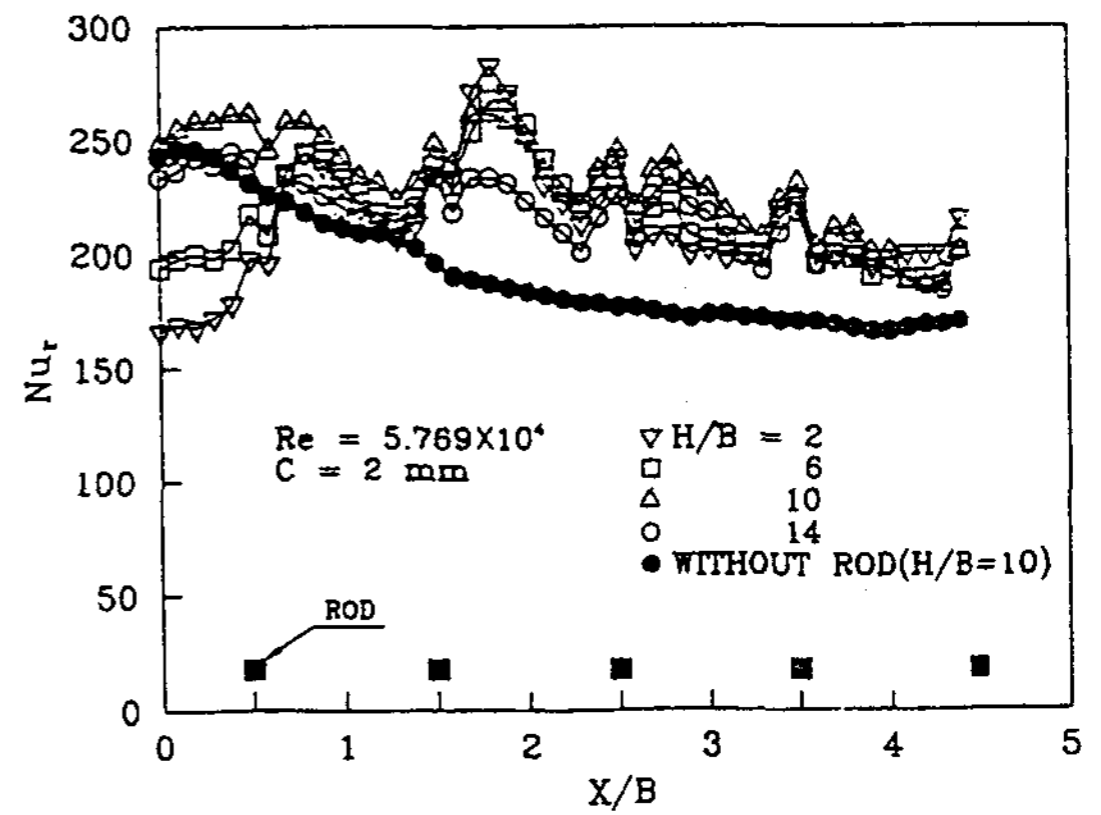


Fig. 10. Distribution of local Nusselt number along the flat plate with rods at various impinging distances

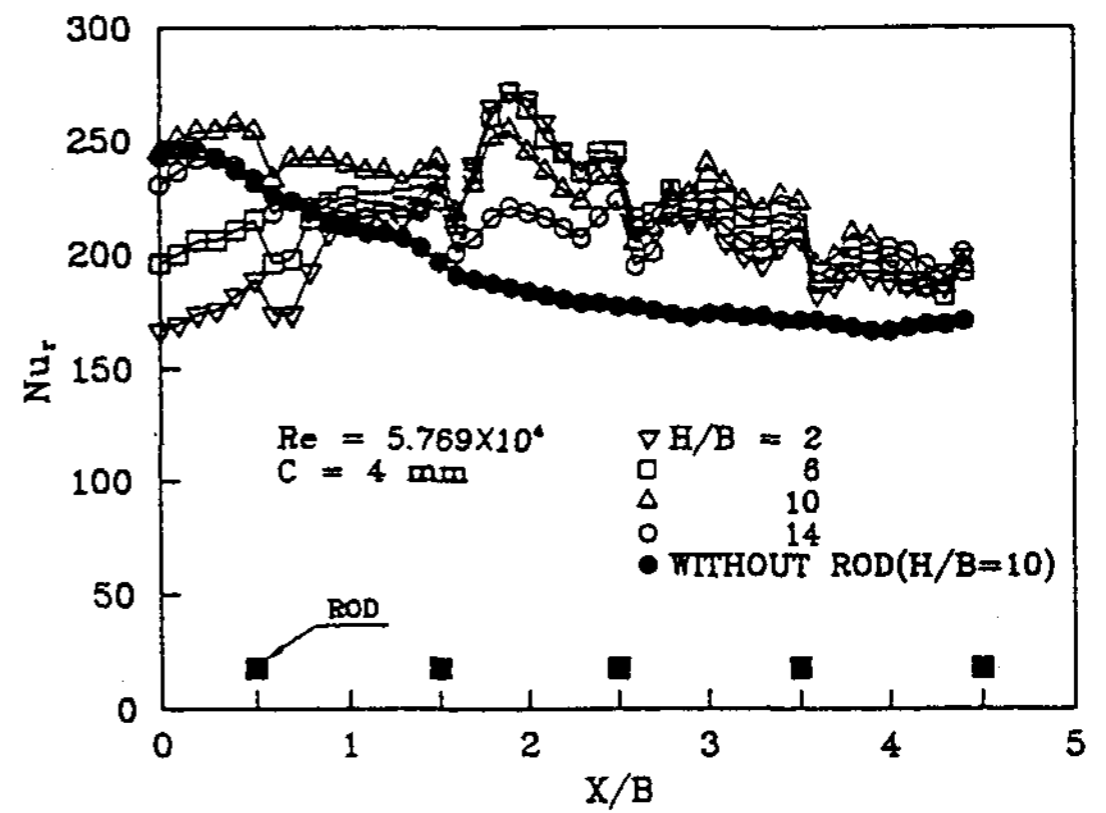


Fig. 11. Distribution of local Nusselt number along the flat plate with rods at various impinging distances

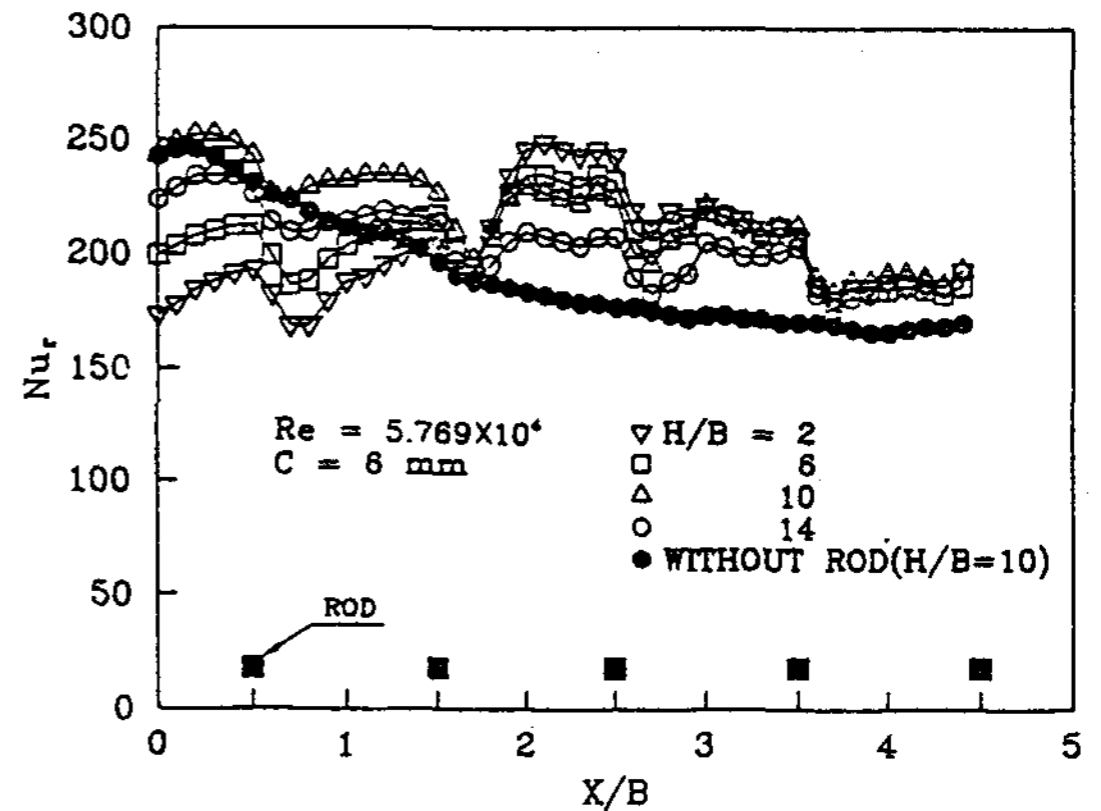


Fig. 12. Distribution of local Nusselt number along the flat plate with rods at various impinging distances

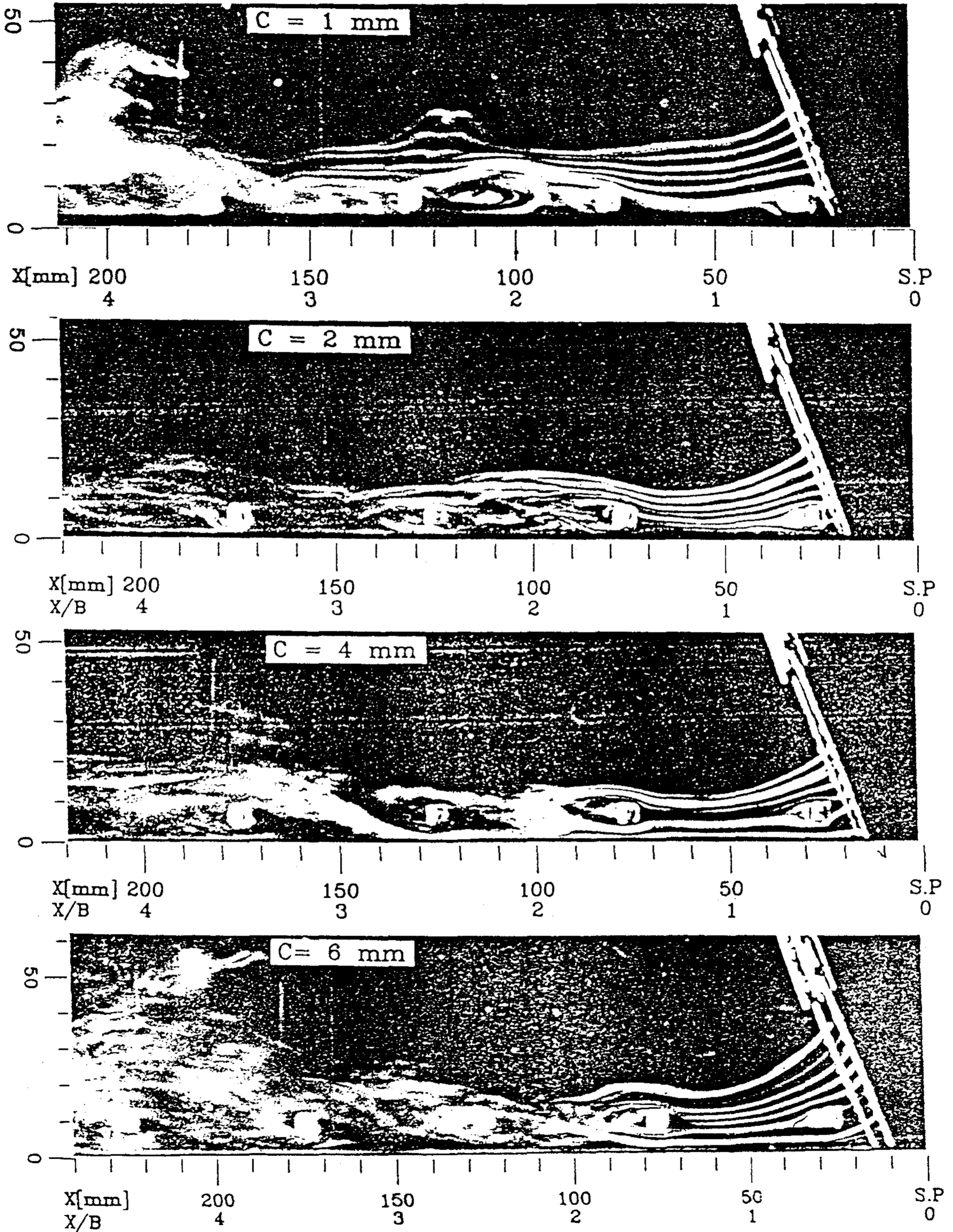


Photo 1 Flow visualization for various clearance between the flat plate and rod. ($Re_d=16$, $H/B=2$, $B=50$ [mm])

Photo. 1은 $H/B=2$ 인 경우에 間隙變化에 따른 可視化 寫眞이다. Fig. 13의 傳熱實驗 結果와 對應시켜 살펴보면, Nu_r 의 第1極大值(加速效果)는 停滯點으로부터 두 번째 로드以後의 直下點에서 보다, 첫 번째 로드 直下點에서 적게 나타난다. 그 理由는 可視化 寫眞에서 알 수 있듯이 첫 번째 로드가 設置된 곳에서는 噴流가 衝突領域에서 壁面分流領域으로 移行하는 過程때문에 로드 直下에서의 흐름의 加速效果가 그다지 크게 나타나지 않기 때문이다. 그리고 첫 번째 로드와 두 번째 로드 사이에서 Nu_r 은 $C=1, 2$ [mm]인 경우에는 첫 번째 로드로부터 15 [mm]($X/B=0.8$)인 位置에서 第2極大值가 나타나고 $C=4, 6$ [mm]인 경우에는 두 번째 로드까지 점차적으로 上昇하고 있다. 이것은 可視化 寫眞($C=1$ [mm]인 경우)에 의하면, 첫 번째 로드 위를 타고 넘은 흐름(剝離된 흐름)이 로드로 부터 약 20 [mm] ($X/B=0.9$)인 位置에서 壁面에 再附着現像이 일어남을 알 수 있다. 또 間隙이 $C=4, 6$ [mm]로 增加함에 따라 첫 번째 로드를 타고 넘은 傳熱面 上部의 흐름은 첫 번째 로드 밑을 通過한 흐름에 影響을 주면서 나타나는 再附着效果가 第2極大值를 나타나게 한다. 또한 모든 로드 直前과 直後에서 Nu_r 이 降下하는 데 이것은 로드 直前과 直後를 通過한 흐름이 壁面으로부터 剝離가 일어나는 것을 可視化 寫眞으로 부터 알 수 있다. 그리고 Fig. 13에서 두 번째 로드와 세 번째 로드사이의 Nu_r 의 分布를 살펴보면 $C=1$ [mm]인 경우는 두 번째 로드 直後에서 最大値가 나타난 後 로드 直下로부터 20 [mm] ($X/B=1.9$)인 位置에서 最少가 되고, 이후 다음 로드까지 점차적으로 增加하는 現像을 볼 수 있다. 그러나 $C=2$ [mm]인 경우는 로드 直後에서 Nu_r 이 약간의 降下를 나타내고 로드로 부터 15 [mm] ($X/B=1.8$)인 位置에서 最大가 된 後 다음 로드까지 점차적으로 降下하며 $C=4, 6$ [mm]인 경우와 같이 C 가 增加함에 따라 最大가 되는 位置가 두 번째 로드로 부터 점차적으로 멀어지고 있다. 이러한 現像을 可視化 寫眞(Photo 1)과 對應시켜 보면, $C=1$ [mm]인 경우는 두 로드 사이에서 생기는 渦流에 의한 影響이며 $C=2, 4, 6$ [mm]인 경우는 로드 直後

에서 剝離한 흐름과 로드위를 타고 넘는 흐름이 만남으로서 傳熱面上의 境界層을 攪亂시키기 때문임을 알 수 있다. 그리고 세 번째 로드以後 부터는 흐름의 擴散으로 인하여 로드 直下의 加速流에 의한 效果를 除外하고는 熱傳達性에 미치는 影響이 명확하게 나타나지 않고 있다.

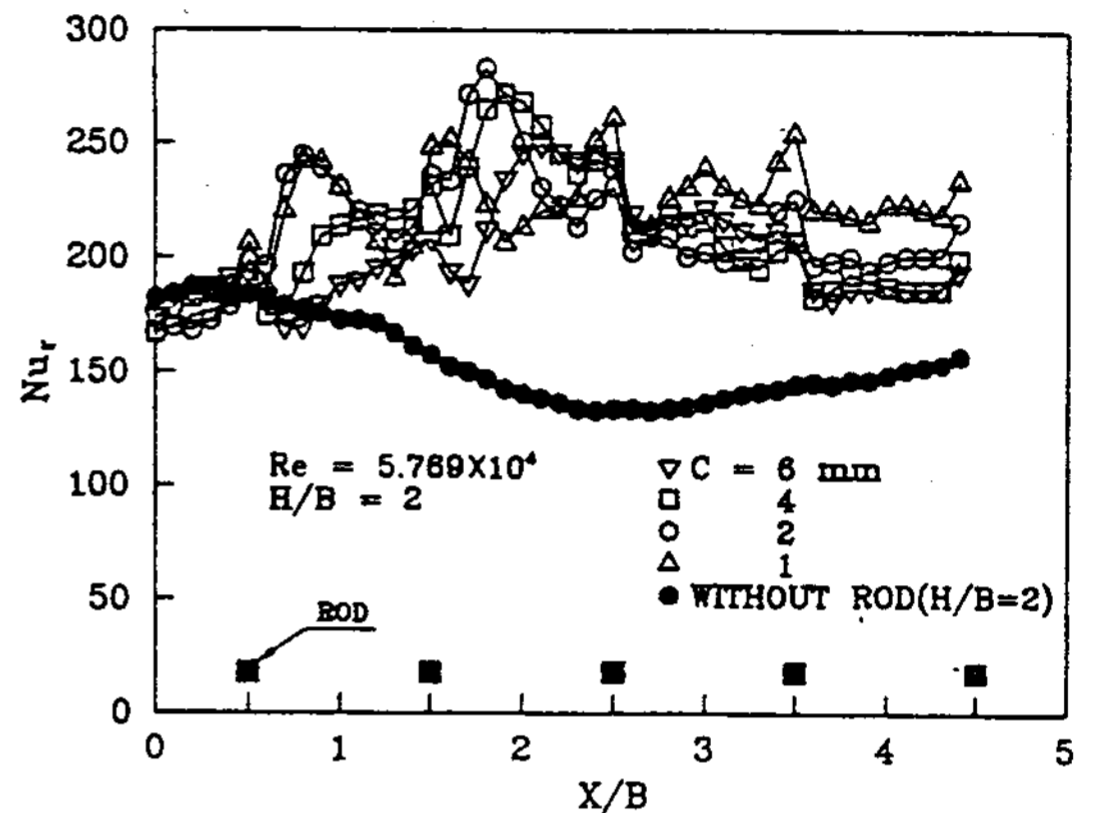


Fig. 13. The effect of clearances between the flat plate and rods on local Nusselt number distributions.

Fig. 14는 間隙 C 가 1 [mm]인 경우에 Re 變化에 따른 Nu_r 의 分布를 나타낸 것이다. Re 가 작은 範圍에서는 加速 및 境界層에서의 流體交換作用이 활발하지 못하여 Nu_r 의 變化가 거의 없지만, Re 가 커질 수록 이들 效果에 의한 傳熱增進效果가 현저하게 나타난다.

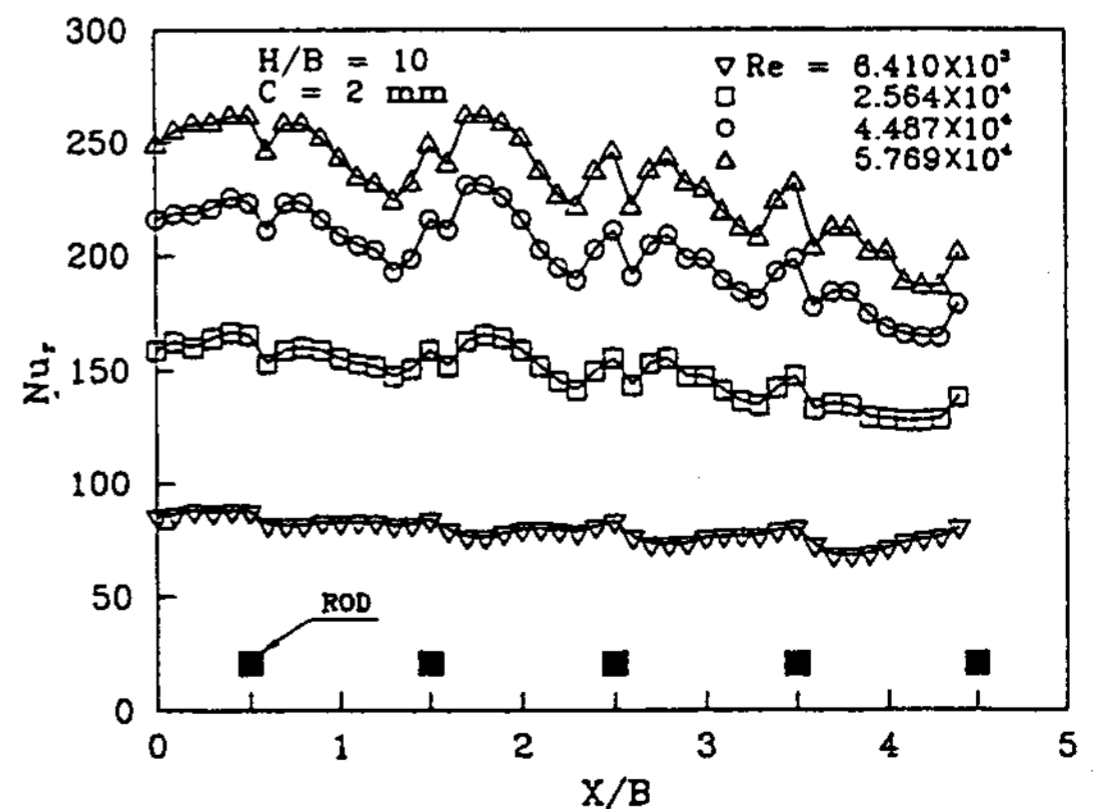


Fig. 14. The effect of Reynolds numbers on local Nusselt number distribution. ($H/B=10$, $C=1$ mm)

Fig. 15는 Re 가 5.769×10^4 일 때, X/B 에 따른 Nu 의 分布를 間隙이 1[mm]인 경우에 H/B 를 파라미터로 하여 나타낸 것이다. H/B 變化에 關係없이 모든 경우에서 單純平板의 Nu 減少率이 큰 $0.5 < X/B < 2$ 인 領域이라도 로드를 設置하면 Nu 增加하는 傾向이 나타난다. 그리고 로드가 없는 平板傳熱面(Fig. 6 參照)에서는 Nu 가 $H/B = 14$ 인 경우가 $H/B = 2, 6$ 인 경우 보다도 Nu 가 크게 나타났지만, 로드를 設置하면 이로 인한 亂流促進效果로 $H/B = 2, 6$ 인 경우가 더 크게 나타남을 알 수 있다.

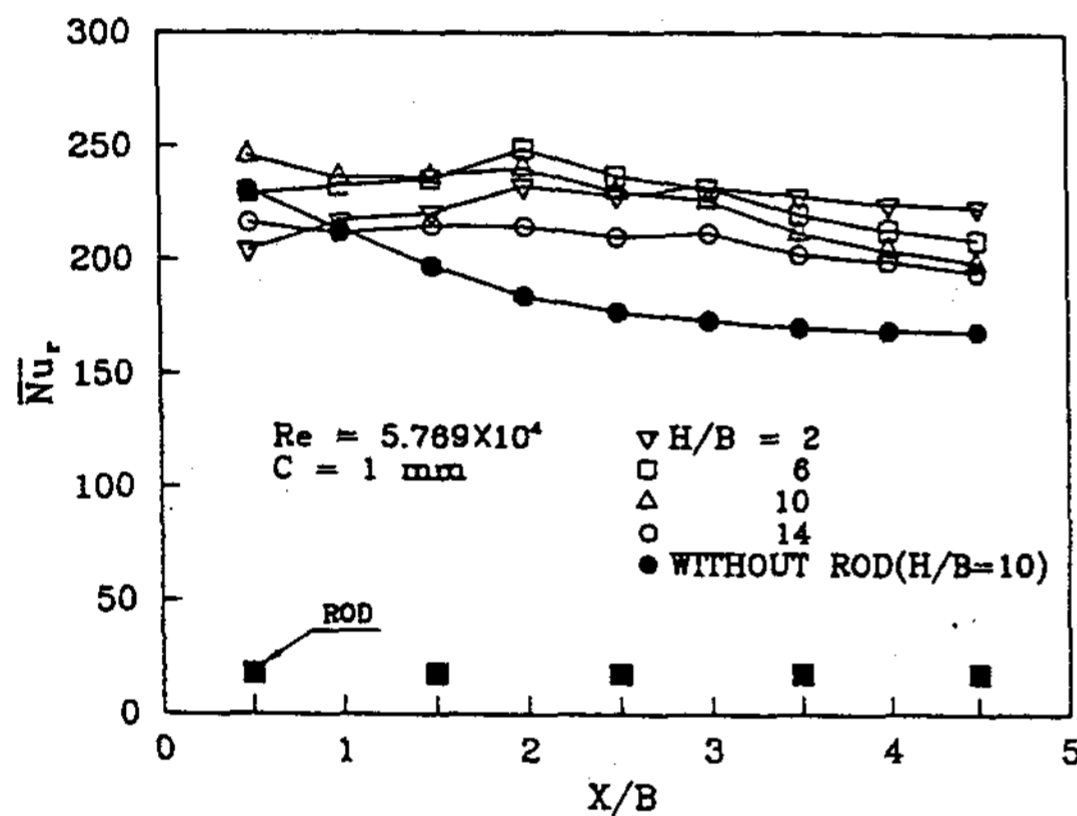


Fig. 15. Distribution of local average Nusselt number along the flat plate with rods at various impinging distances.

Fig. 16은 로드와 傳熱面間 間隙에 대해 H/B 를 파라미터로 하여 로드 設置에 따른 局部傳熱增進 (Nu_r/Nu_f)效果를 나타낸 것이다. 間隙의 變化에 關係없이 傳熱面이 potential core 領域內에 設置된 $H/B = 2$ 인 경우에 가장 높은 傳熱增進效果를 나타내며, 間隙이 가장 작은 $C = 1$ [mm]에서 傳熱增進 效果가 크게 나타나고 있다. 이것은 앞에서 언급하였듯이 potential core 領域內에 設置된 $H/B = 2$ 인 경우에 가장 높은 傳熱增進效果를 나타내며, 間隙이 가장 작은 $C = 1$ [mm]인 경우에는 로드 直下點에서 거의 2배에 가까운 傳熱增進을 보이고 있다.

Fig. 17은 平板에 로드를 設置하지 않은 경우의 Nu_{of} 와 로드를 設置했을 때의 Nu_{or} 와의 比를 各 間隙에 따라 H/B 에 대해 나타낸 것이다. 衝突板이

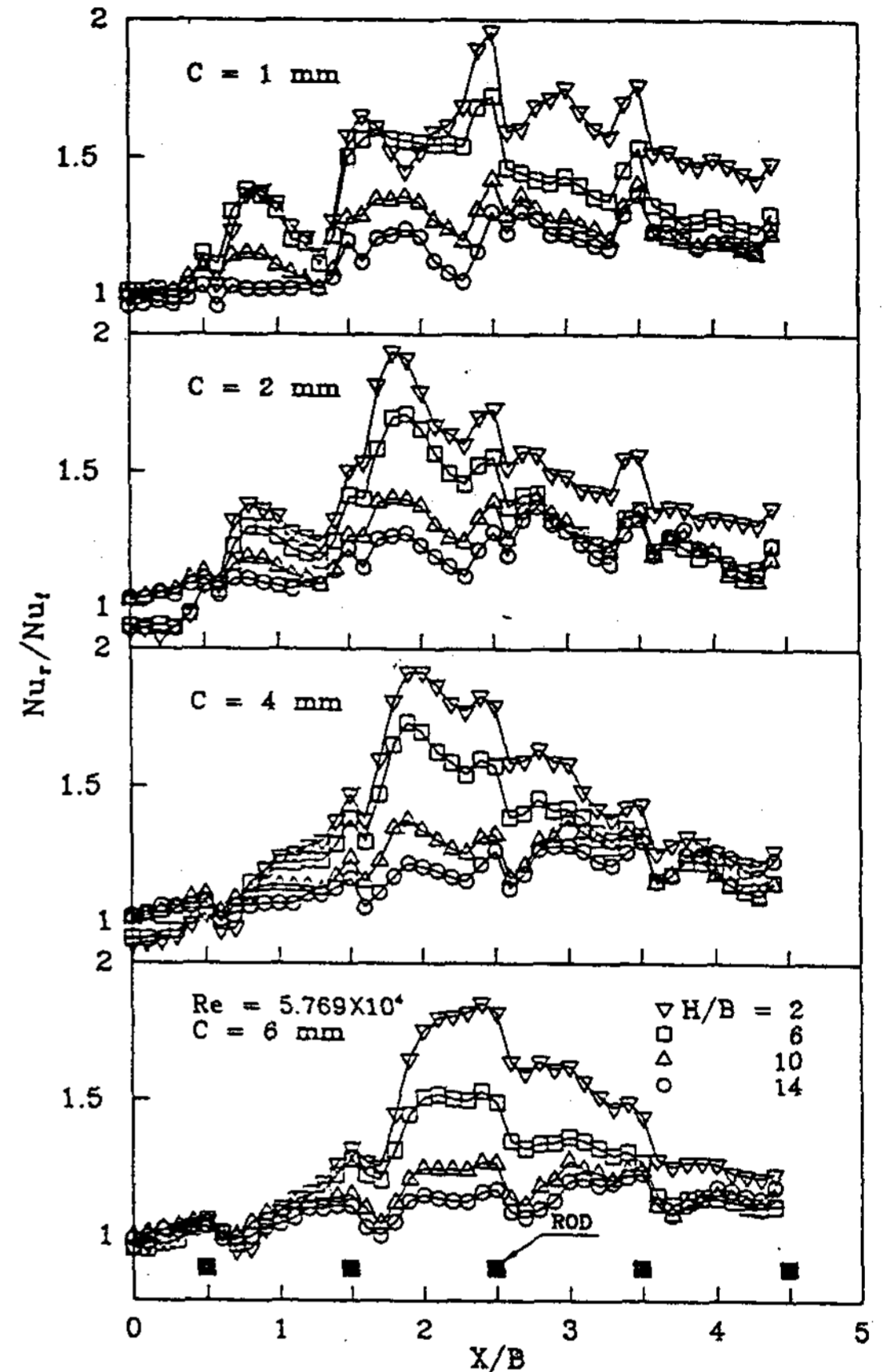


Fig. 16. Comparison with local Nusselt number on the flat plate with and without rods.

potential core 領域 內에 設置되어 있는 $H/B = 2$ 에서 傳熱增進 效果가 크게 나타나고 있다. 이것은 앞에서 언급하였듯이 potential core 領域 內에서는 로드의 設置로 境界層의 攪亂效果가 增加하여 높은 傳熱增進을 얻을 수 있기 때문이다. 그리고 $H/B = 2$ 인 경우 $C = 1$ [mm]에서 最高 약 43%의 傳熱增進效果가 나타난다. 그러므로 衝突噴流를 利用한 冷却裝置 등에서 傳熱面 前方에 로드群을 設置하면 노즐과 傳熱面間의 距離를 작게 하면서도 傳熱增進效果를 크게 期待할 수 있다. 따라서 기존의 熱交換器에도 이와같은 亂流促進體(로드群)를 利用하면 높은 傳熱效果를 期待할 수 있다.

Fig. 18은 Nu_{of} 의 Re 에 대한 變化를 로드의 各 間隙에 대해 나타낸 것이다. Re 에 대한 Nu_{of} 의

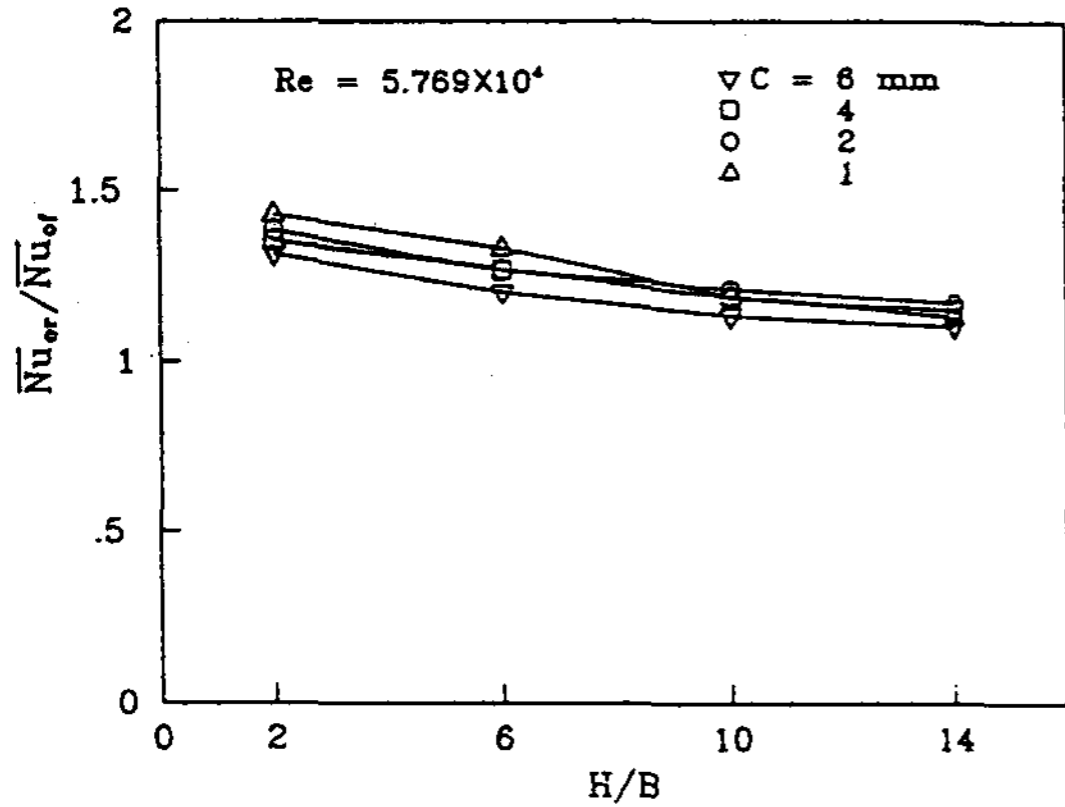


Fig. 17. Comparison with average Nusselt number on the flat plate with and without rods.

增加傾向은 C/A의 影響을 포함하여 實驗效果를 整理하면 다음 式들로 表示된다. 다음 實驗式들의 誤差는 모두 ±5% 이내에서 만족된다.

H/B	$\overline{Nu}_o = C \cdot Re^m (C/A)^n$
H/B = 2	$\overline{Nu}_o = 1.151 Re^{0.469} (C/A)^{-0.029}$
H/B = 6	$\overline{Nu}_o = 1.301 Re^{0.459} (C/A)^{-0.042}$
H/B = 10	$\overline{Nu}_o = 1.138 Re^{0.476} (C/A)^{-0.033}$
H/B = 14	$\overline{Nu}_o = 1.216 Re^{0.465} (C/A)^{-0.025}$

Fig.19는 本 實驗範圍의 各 間隙 및 H/B 變化에 대해서 \overline{Nu}_o 와 Re에 대한 關係이며 Re, 間隙變化, H/B 變化 및 \overline{Nu}_o 間의 關係를 구하면 다음과 같다.

$$\overline{Nu}_o = 1.249 Re^{0.465} (C/A)^{-0.033} (H/B)^{0.013} \dots \text{ (Eq. 3-1)}$$

그리고 이 實驗式의 誤差는 ±8% 이내이며, 위 式에 의한 Re의 不確實性(Uncertainty)은 5.19% 이고, Nu에 대한 不確實性의 結果는 ±15.83% 이다.

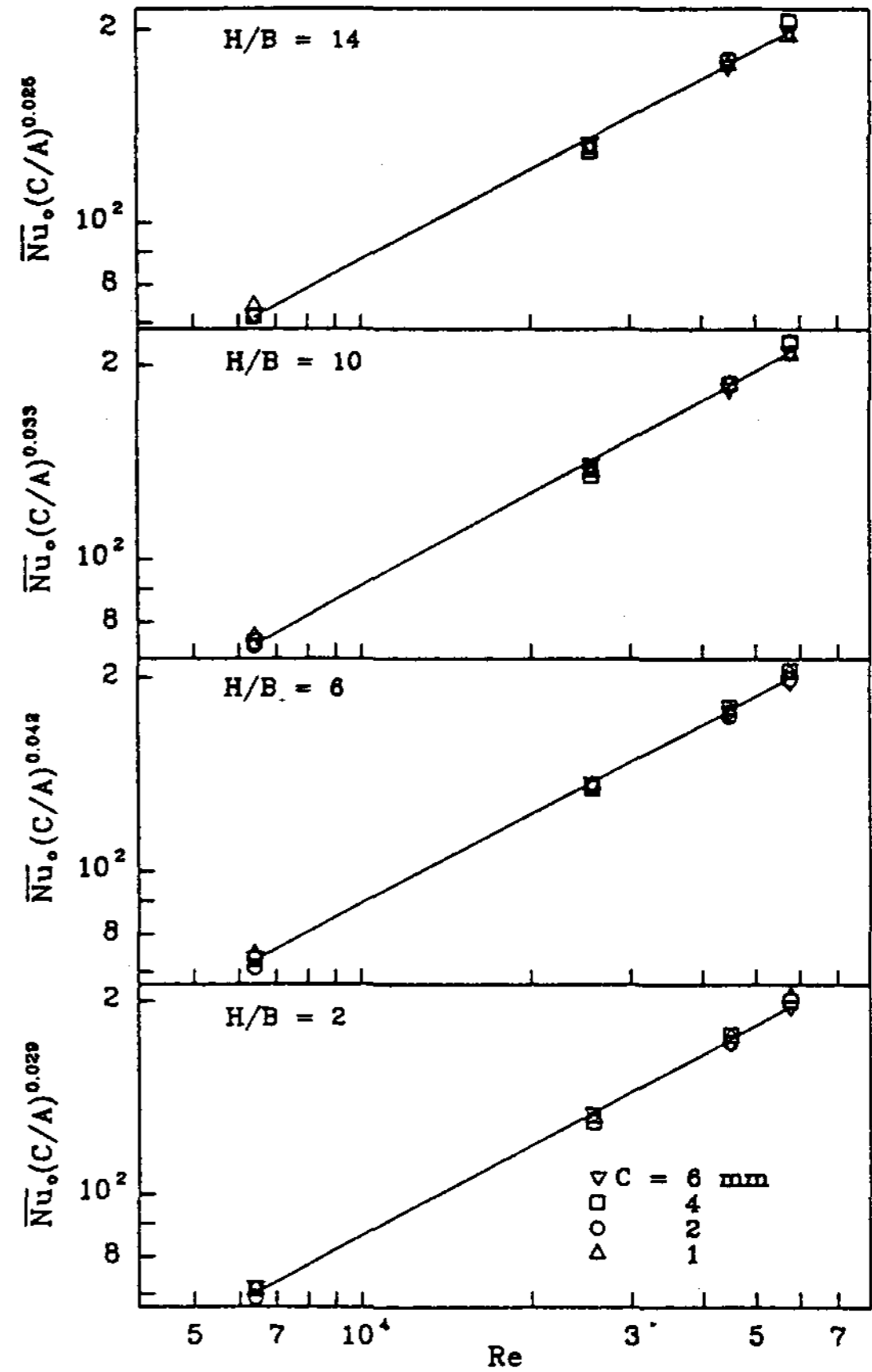


Fig. 18. Correlation of average Nusselt number and Reynolds number.

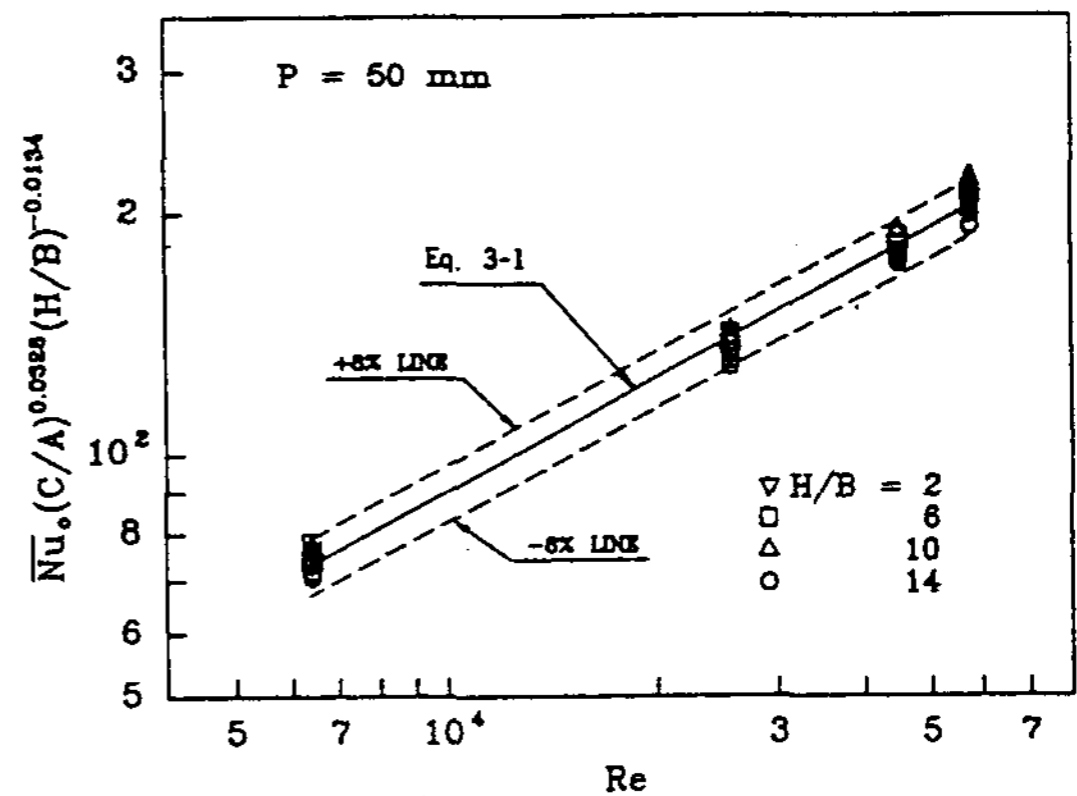


Fig. 19. Correlation of average Nusselt number and Reynolds number.

IV. 結 論

本 論文은 2次元 衝突噴流系에서 傳熱增進을 위 하여 平板傳熱面 前方에 間隙이 1, 2, 4, 6[mm] 떨어진 位置에 피치가 50[mm], 幅이 4[mm]인 正4角 로드群의 亂流促進體를 設置하고, Re를 $6.410 \times 10^3 \sim 5.769 \times 10^4$ 範圍로, 노즐-傳熱面間의 無次元距離 H/B는 2, 6, 10, 14로 각각 變化시켜 實驗을 하고 동시에 流動의 可視化를 통해서 다음 結論을 얻었다.

1) 單純平板傳熱面에서 熱傳達係數가 급격하게 減少하는 領域에서도 亂流促進體인 로드群을 設置함으로써 높은 熱傳達係數를 얻게 되었는데 이러한 效果는 流動의 可視化를 통해서 흐름의 加速, 再附着, 境界層의 攪亂效果에 의한 것으로 觀察되었다.

2) 傳熱面上的의 局部平均熱傳達係數가 最大가 되는 位置는 $X/B=2 \sim 2.5$ 이다.

3) 本 實驗에서 適用된 Re와 H/B에 대하여 熱傳達係數가 最大가 되는 最適間隙은 $C=1$ [mm]이고, 最大平均熱傳達係數는 $H/B=10, C=1$ mm에서 나타난다.

4) 最大熱傳達增進率은 $H/B=2, C=1$ mm에서 나타나고 로드를 設置하지 않은 경우보다 약 43% 增進한다.

5) 平均熱傳達係數와 Reynolds 數, 間隙, H/B의 相關關係는

$$\overline{Nu}_0 = 1.249Re^{0.465}(C/A)^{-0.033}(H/B)^{0.013} \text{으로 表示된다.}$$

「本 연구는 학술 진흥재단 연구 조성비에 의해 연구 되었음」

參考文獻

1. G. J. Hoogendoorn, 1977, "The Effect of Trubulence on Heat Transfer at a Stagnation Point," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 20, pp. 1333~1338.
2. H. MARTIN, 1977, "Heat and mass Transfer between Impinging Gas Jets and Soild Surfaces,"

Advanced in Heat Transfer, Vol. 13, Academic Press, Inc. pp. 1~60.

3. P. Hrycak, 1981. "Heat Transfer from a Row of Impinging Jets to Concave Cylindrical Surfaces," *Int. J. Heat Transfer*, Vol. 24, pp. 407~419
4. S. Aiba, 1985, "Heat Transfer Around a Circular Cylinder Near a Plane Surface," *J. of Heat Transfer, Trans. of the ASME*, Vol. 107, pp. 916~921.
5. Y. H. Lee, S. P. Kim & J. Y. Seo, 1988, "Augmentation of Heat Transfer by Two-Dimension Impinging Air Jet-Effect of Clearance between Flat Plate and Rod," *Proc. of the 1st KSME-JSME Thermal and Fluids Eng. confer.* 2, pp. 2-398~2-402
6. 藤田秀臣, 高兵平七朗, 浴壽美, 1981, "壁面近傍にち'カ'カ"れ二次元圓柱カ,"平板強制對流熱傳達にちよは"す影響,"『日本機械學會 論文集』(B編), 47卷, 414號, pp. 317~325.
7. 相場眞也, 土田一, 東海林博美, 佐木了, 1985, "壁近傍におかれた圓管まわりの熱傳達",『日本機械學會 論文集』(B編), 51卷, 463號, pp. 866~873.
8. Carlyle S. Herrick, 1983, "An Air-cooled Solar Colector Uisng All-Cylindrical Elements in a Low-Loss Body," *Solar Energy*, Vol. 30, No. 3, pp. 217-224
9. 李龍和, 金相弼, 徐正閔, 1991, "平板傳達面に 衝突하는 二次元 噴流系の 熱傳達特性에 關한 研究," 空氣調和·冷凍工學 論文集, 第 3卷 第 1號, pp. 61~68.
10. M. Gad-el-Hak, 1988, "Visualization Techniques for Unsteady Flows : An Overview¹," *J. of Fluids Eng., Trans. of the ASME*, Vol. 110, pp. 231~243.
11. R. J. Goldstein and J. F. Timmers, 1982, "Visualization of Heat Trnasfer from Arrays of Impinging Jets," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 25, No. 12, pp. 1857~1868.
12. N. Kasagi, M. Hirata & S. Yokobori, 1977, "Visual Studies of Large Eddy Structures in Turbulent Shear Flows by Means of Smoke-Wire Method," *Proc. of the 1st Int. Symposium on Flow visualization*, Tokyo, pp. 169~174.
13. R. Gardon, J. C. Akfirat, 1966, "Heat Transfer Characteristics of Impinging Two-Dimensional Air Jets," *J. of Heat Transfer, Trans. of the ASME*, Vol. 88, pp. 101~108.

Heat Transfer Characteristics of Water Jet Impinging on Oblique Surface

Choi, Guk-Gwang* · Na, Gi-Dae** · Kim, Yeun-Young*** · Jeon, Sung-Taek***
Lee, Jong-Su****

*Incheon Univ. Professor

**Choseun Univ. Professor

***Incheon Junior College Professor

****Andong Tech. College Fall Time Instructer

The purpose of this research is to investigate the characteristics of heat transfer in the downward axisymmetric free water jet system impinged on a flat oblique plate which has the uniform heat flux. Experimental conditions considered were Reynolds number, distance between nozzle and flat plate, inclination angle of heater surface and nozzle exit velocity.

Local Nusselt number was subjected to the influence of Re number, Pr number, oblique angle of heating surface and local position of flat plate. In the wall region of downward surface, The secondary peak point of heat transfer appeared at the local point of $X/D = -8$ from the stagnation point. The stagnation heat transfer rate of this experimental study augments 2.4 times than that of laminar theoretical solution. The stagnation nusselt number is function of Reynolds number, nozzle-plate spacing, Prandtl number and oblique angle of impinging plate.

Technique of Heat Transfer Augmentation in Impinging Air Jet System

Doo-seob, Choi · Seong-min, Kum · Yong-hwa Lee · Jeong-yun, Seo

* Inha University, Graduate School

**Yuhan Technical College

***Inha University

The purpose of this study was to investigate the enhancement of heat transfer without additional external power in the case of rectangular impingement air jet vertically on the flat heating surface. The technique used in the present study was placement of square rod bundles as a turbulence promoter in front of the heat transfer surface.

The results obtained through this study were summerized as follws. High heat transfer enhancement

was achieved by inserting rods in front of the heating flat plate. According to visualization, it was examined because of flow acceleration and separation and disturbance of boundary layer. The smaller clearance between rod and heating plate was, the larger heat transfer effect became at each H/B. Average Nusselt number reached maximum at H/B=10 and the local augmentation rate of heat transfer became maximum at H/B=2. The maximum average heat transfer enhancement rate increase about 43% for the case of X/B=2 and C=1mm, compared to a flat plate without rods. The correlating equation of average Nusselt number and Reynolds number was obtained. As follows :

$$Nu_o = 1.249Re^{0.465}(C/A)^{-0.033}(H/B)^{0.013}$$

An Evaluation Study of Domestic Direct(Beam) Normal Solar Radiation Data

Jo, Dok-Ki · Lee, Tae-Kyu · Kim, Eun-Il · Chun, Il-Soo · Lee, Soon-Myoung · Cho, Suh-Hyun · Auh, Chung-Moo

Korea Institute of Energy Research

Since the direct (beam) normal solar radiation is a main factor for designing any focusing solar system, it is necessary to evaluate its characteristics all over the country.

We have begun collecting direct normal solar radiation data since December 1990 at 16 different locations and considerable effort has been made for constructing a standard value from measured data at each station.

KIER's new data will be extensively used by concentrating system users or designers as well as by research institutes.

From the results, we can conclude that

- 1) 4,400 kcal/m². day of the direct (beam) normal solar radiation was evaluated for clear day.
- 2) Direct normal solar radiation of spring and summer were 6% and 14%, higher than the yearly average value, respectively, and for fall and winter their values were 5% and 15% than the yearly average value, respectively.

Effect of Sectorial Angle on Natural Convection in Circular Trapezoidal Enclosures

Bae, Tae-Yeol · Kwon, Sun-Suk

Department of Mechanical Engineering, Dong-A University

A numerical study of natural convection heat transfer confined by circular parallel walls at different temperatures and flat adiabatic walls is investigated for Rayleigh numbers from 10^3 to 10^5 and sectorial angles from 30° to 180° . It is used by a finite difference method to solve the governing equations. The results show