

衝突旋回噴流 熱傳達增進에 관한 實驗的 研究

吳 壽 喆* · 朴 聖 洙**

* 仁荷大學校

** 仁荷大學校 大學院

An Experimental Study on the Augmentation of Heat Transfer by Impinging Air Jets with Swirl

Su-Cheol, Ohu* · Sung-Soo Park**

* Inha Univ.

** Graduate School, Inha Univ.

要 約

본 研究는 軸對稱空氣噴流界에서 흐름方向에 垂直이 되도록 設置한 平板傳熱面上에서의 熱傳達을 增進시키기 위해 空氣噴流에 旋回를 주었을때, 流動의 特性 및 傳熱面에서의 傳熱增進效果와 이에 따른 亂流强度和 關係, 그리고 旋回를 주었을때와 주지 않았을때와의 熱傳達率의 比較와 最適旋回條件 및 이에 대한 傳熱特性을 究明하기 위한 實驗的 研究이다.

본 實驗에서는 附加的인 動力을 使用하지 않고 簡便하게 熱傳達을 增進시키기 위한 方便의 하나로, 노즐出口에 Twisted Tape이 設置된 Pipe를 附着하여 空氣噴流에 旋回를 주었으며, Twisted Tape의 비틀림 角度에 따른 旋回逃를 $S=0., 0.056, 0.111, 0.167, 0.222$ 로 하였다. 流速은 14, 20, 26, 32, 38, 44m/s의 條件으로, 傳熱面間距離(H/D)는 1에서 14까지 하였고, 熱傳達增進을 일으키는 流動構造를 解析하기 위해 熱線流速計를 使用하여 旋回度에 따라 各點에서의 流速 및 亂流强度를 測定하였으며, 傳熱面の 溫度를 測定하여 Nu를 求하고 旋回를 주었을때와 주지 않았을때의 熱傳達增進效果를 比較하였다. 또한 旋回度에 따른 熱傳達이 最大가 되는 最適距離를 提示하였으며 亂流强度和 熱傳達과의 關係를 究明하였다.

ABSTRACT

This Paper deals with the experimental study of the axisymmetric air jet impinging vertically on the flat heating surface with and without swirl. The purpose of this study is to investigate the characteristics of flow, augmentation of heat transfer rate, turbulent intensity, and the comparison of heat transfer rate, the optimal swirling condition about the swirl and nonswirl axisymmetric air jet. In order to augment the heat transfer on the flat heating

surface without introducing any additional power, the technique used in the present work was placement of twisted tape inserted pipe in front of the nozzle exit in order to make a swirl. The effect of swirl degree is investigated in case of $S=0, 0.056, 0.111, 0.222$ and the velocity of the jet was 14, 20, 26, 32, 38, 44m/s. The distance between the nozzle exit and the stagnation point on the impinging plate was the $H/D=1\sim 14$. In order to analyze of the flow structure which increase heat transfer, the velocity and the turbulent intensity of the axisymmetric jet was measured by a hot wire anemometer according to the swirl number and H/D .

Nomenclature

- A_s : area of heating surface [m^2]
- C_p : specific heat at constant pressure [kJ/kg
 $^{\circ}C$]
- D : nozzle outlet diameter [m]
- E : voltage [v]
- H : distance from nozzle exit to impinging plate [m]
- h : heat transfer coefficient [$w/m^2^{\circ}C$]
- I : electric current [ampere]
- q : heat flux [w/m^2]
- r : radius of impinging plate [m]
- R : nozzle outlet radius [m]
- T_w : the temperature of the impinging plate [$^{\circ}C$]
- T_{∞} : the temperature of the outlet flow [$^{\circ}C$]
- U_e : axial velocity at nozzle exit [m/s]
- μ : viscosity [$kg/m \cdot s$]
- λ : thermal conductivity [$w/^{\circ}C$]
- θ : Twisted angle of tape [$^{\circ}$]

Dimensionless parameters

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu} \quad : \text{Reynolds number}$$

$$Nu = \frac{h \cdot D}{\lambda} \quad : \text{Nusselt number}$$

$$Nu_s = \frac{h_s \cdot D}{\lambda} \quad : \text{Stagnation Nusselt number}$$

$$Nu_{1H} = \frac{h_{1H} \cdot D}{\lambda} \quad : \text{The first maximum Nusselt number}$$

$$\overline{Nu} = \frac{\int_{-r}^r Nu \cdot dr}{\int_{-r}^r dr} \quad : \text{average Nusselt number}$$

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{\lambda} \quad : \text{Prandtl number}$$

I. 緒 論

衝突噴流에 의한 熱傳達 增進은 衝突板上의 溫度境界層의 破壞와 溫度境界層 近處의 流體置換作用에 있으며, 이에 대한 研究로는 Kunio와 Tokuro¹⁾의 研究가 있는데, 그들은 衝突水噴流에 있어서 電氣化學法(Electro-Chemical Method)에 의해 局部熱傳達係數에 대한 亂流의 效果를 究明하였는데, 그들에 의하면 局部熱傳達은 負壓 勾配(Negative Pressure Gradient)의 存在에 의해 層流境界層에 亂流가 浸透하며, 또한 壓力勾配의 消滅과 더불어 層流가 亂流境界層으로 變換하게 되면서 熱傳達係數가 增進된다고 하였다. 衝突板과 노즐 사이의 距離가 짧고, 亂流促進體를 設置하지 않은 경우의 研究로서 票間와 平田²⁾는 水中水噴流와 氣中氣噴流의 實驗을 통해, 噴流 初期에서의 軸方向 平均流速 및 亂流強度의 半徑方向分布를 測定하였고, C. J. Hoogendoorn³⁾은 衝突板間距離를 노즐의 直徑으로 나눈값이 5 以下에서는 停滯點에서의 熱傳達係數가 停滯點 周邊에서의 熱傳達係數보다 다소 낮고, 5 以上에

서는 停滯點周邊보다 停滯點에서의 熱傳達係數가 높게 나타난다고 報告 하였다.

M. M. Alikhan과 平田賢^{4,5)}은 多孔板이 設置된 衝突空氣噴流 實驗에서 노즐과 衝突板 間 距離가 가까울 때에 보다 높은 傳熱特性이 얻어진다는 것을 平均 Nu를 求하므로서 明確하게 하였으며, 液晶을 利用한 可視化 實驗으로 傳熱面 溫度分布 등의 觀察을 통해 多孔板에서의 流動構造를 밝혔다.

리브 등을 設置한 研究로서 李⁶⁾는 二次元 衝突空氣噴流에서 四角노즐과 衝突板사이의 數개의 圓柱를 設置하여, 人爲的으로 大規模의 亂流 渦流가 包含된 衝突流를 만들어 그 傳熱增進效果를 測定한 結果, 노즐과 衝突板 間的 距離가 가까울 때에 더 큰 傳熱促進效果를 얻었고, smoke wire method로 可視化하여 流動의 構造를 밝혔다.

附加的인 動力을 使用하지 않는 熱傳達促進方案으로 本 研究에서는 노즐出口에 旋回노즐의 부착으로 衝突噴流에 旋回를 줄때, 噴流의 旋回도와 이에 따른 熱傳達係數, 그리고 노즐直徑 對 距離의 比와 이때의 溫度分布特性을 求하고, 旋回에 의한 熱傳達增進의 最適條件을 究明하였다.

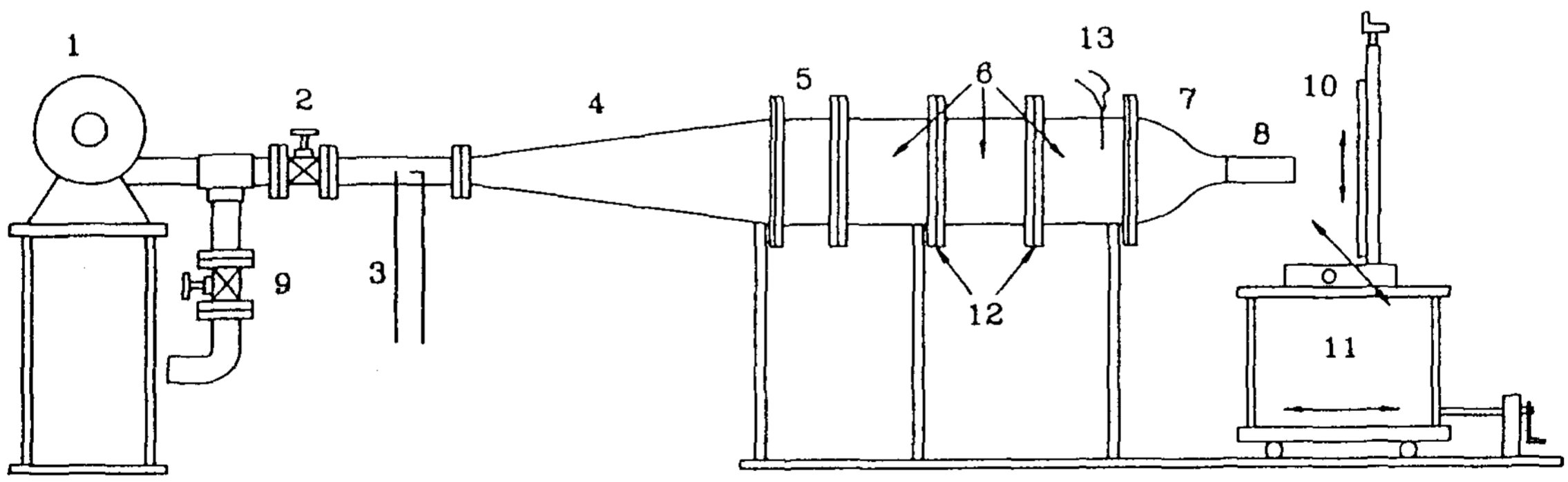
II. 實驗裝置 및 實驗方法

2-1 實驗裝置

實驗裝置의 概略圖는 Fig. 1과 같으며 空氣는 遠心式 送風機 ①에 의해 壓縮되며, 밸브(Valve) ②에 의해 流量이 調節되며 Pipe 內에 設置된 Pitot tube ③에 의해 流速이 測定된다. 空氣는 디퓨저(Diffuser) ④를 통해 honeycomb ⑤와 整流部(Settling chamber) ⑥, Screen ⑫에 의해 一定한 流速을 갖게되고 出口直徑 D=50mm의 노즐 ⑦에서 均一한 出口速度分布를 갖는다. 衝突板 ⑩은 前後 左右 上下運動이 可能한 移動裝置 ⑪에 附着되어 노즐에서 噴出되는 噴流의 中心이 停滯點에 正確히 位置할 수 있고, 또한 노즐直徑의 14배 되는 距離까지 移送할 수 있게 하였다.

또한 노즐出口에 Twisted Tape를 이용한 旋回노즐 ⑧을 設置하여 噴流가 旋回하도록 하였으며 이 旋回노즐을 分離할 수 있도록 하였다.

Fig. 2는 旋回圖에 따른 旋回노즐의 簡略圖이고 Photo. 1은 旋回노즐의 實際寫眞으로 길이(H) 300mm, 內徑(D) 50mm인 Pipe(H/D=6)內에 두께 0.5mm인 鋼板을 비틀어 만든 Twisted



1. Centrifugal Blower
4. Diffuser
7. Nozzle
10. Target Plate
13. Thermocouple

2. Valve
5. Honeycomb
8. Straightener
11. Movable Supporter

3. Pitot tube
6. Settling Chamber
9. Bypass valve
12. Screen

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Tape을 插入하여 製作한 旋回노즐을 노즐出口에 附着하여 噴流에 旋回를 주었으며, 이때 Twisted Tape의 비틀림 角度는 Fig. 2의 θ 를 測定하여 旋回도를 計算하였고 이 값을 噴流의 旋回指標로 하였다. 旋回도는 旋回流의 特性을 나타내는 無次元數이며 式(1)과 같이 定義⁷⁾되고, 本 研究에 서는 旋回도를 旋回發生裝置의 幾何學的 形狀으 로부터 求하였다.

$$S = \frac{\text{axial flux of angular momentum}}{\text{axial flux of linear momentum} \cdot R} \cong \frac{2}{3} \tan \theta \dots\dots\dots (1)$$

노즐出口의 流速은 14m/s에서 44m/s까지 하 였으며 旋回도는 零에서 부터 0.222까지 하였다.

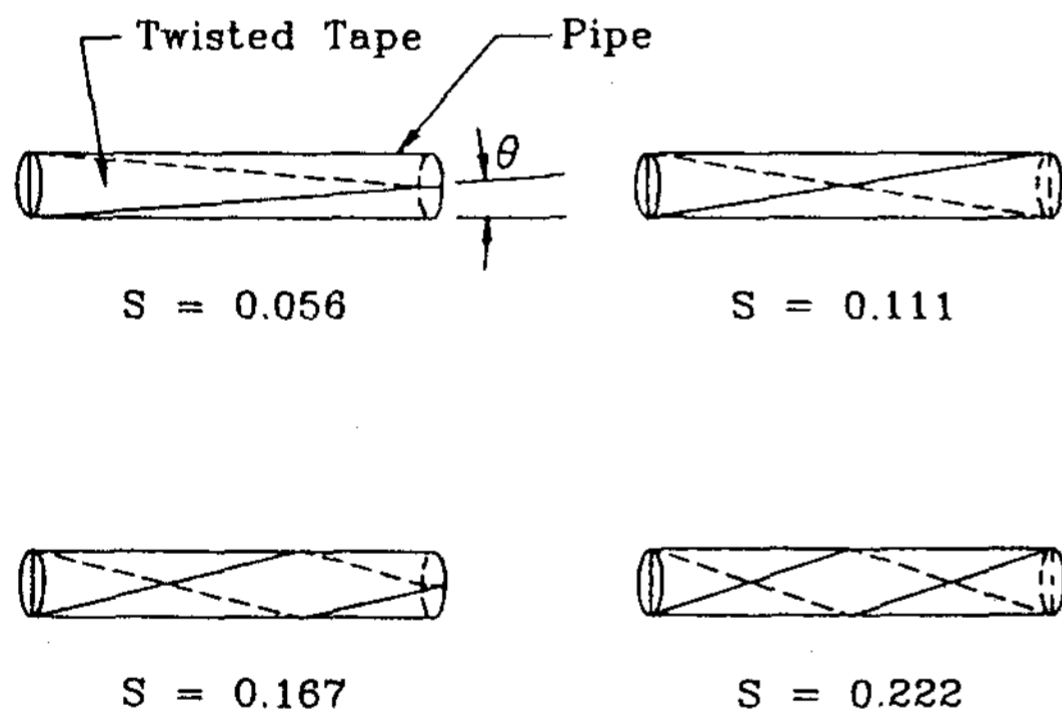


Fig. 2 Schematic diagram of twisted tape nozzle

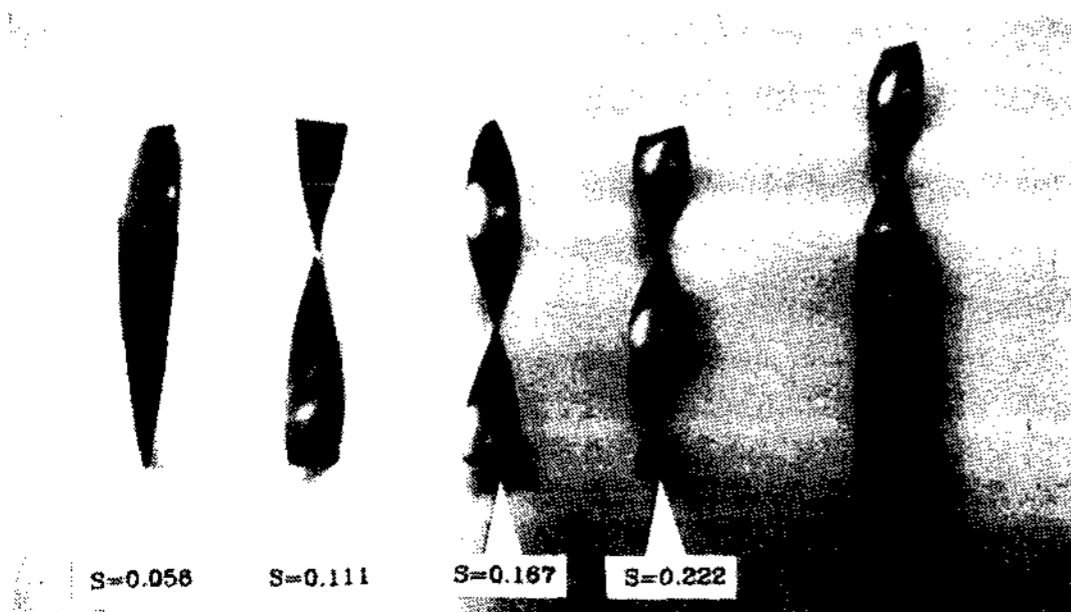
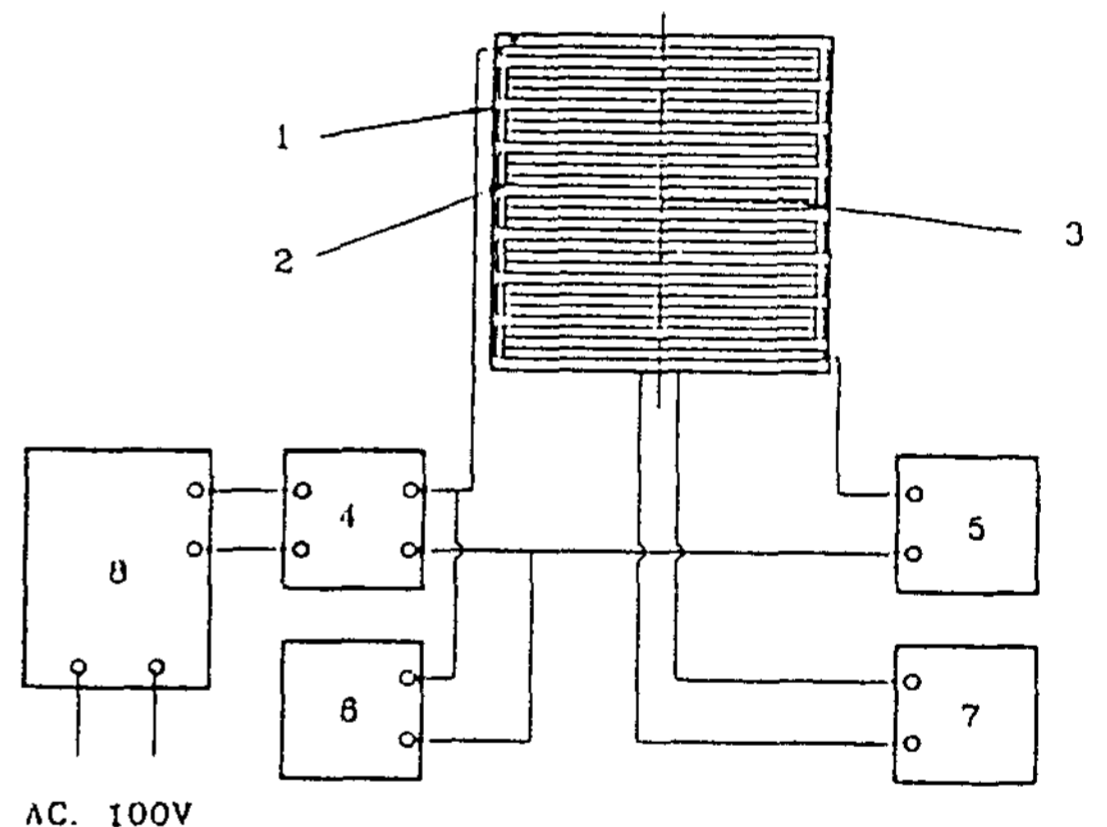


Photo. 1 Photograph of twisted tape

2-2 傳熱面의 溫度와 熱流束測定

軸對稱 旋回衝突噴流의 傳熱面과 加熱裝置 및 溫度測定裝置는 Fig. 3과 같으며 두께 20mm인 베이크라이트板(Bakelite Plate)에 두께 0.03mm, 幅 20mm, 길이 200mm인 18-8 스테인레스 스틸 薄板 15매를 araldite 接着制로 附着시키고 이 15 매의 스테인레스 스틸 薄板은 銅版으로 連結하여 슬라이닥(Slidac)으로 直接 通電加熱하여 熱流束 을 一定하게 維持시켰다. 傳熱面의 溫度는 直徑 70 μ m인 Copper-Constantan(T-Type) 熱電對 30 개를 7.15mm의 間隔으로 스테인레스 薄箔板 背 面に 납땜하여 附着하고 Data Logger(KEYA DIGI 4 PLUS)로 測定하였다. 이때 傳熱面은 停滯點과 噴流의 軸이 恒常 一致할 수 있도록 設置하였다.



- 1. Bakelite Plate 2. Stainless Steel Foil
- 3. Thermo Couple 4. Slidac 5. Ampere Meter
- 6. Digital Voltmeter 7. Data Logger
- 8. A.C. Voltage Regulator

Fig. 3 Electrical circuit diagram of heating elements

이 때 電壓은 自動電壓調整機(A. C. Voltage Re- gulator)를 使用하여 一定하게 維持하여 等熱流束 $q=1020 \text{ W/m}^2$ 으로 하였으며, 熱流束의 값은 式 (2)와 같이 回路內의 電流計의 電流와 스테인레 스 薄板 兩端의 電位差의 積으로 求하였다. 그 리고 溫度는 充分히 定常狀態에서 測定하였고 噴流의 溫度는 $18 \pm 1^\circ\text{C}$ 였으며, 噴流溫度와 傳熱

面の 溫度差는 15°C 以内로 하였고, Bakelite板에
서의 放出熱量은 0.7% 以内로서 매우 적으므로
無視하였다. 溫度測定은 軸對稱噴流이므로 停滯
點으로부터 한 方向으로만 測定하였다.

$$q = I \cdot E / A_s \text{ (W/m}^2\text{)} \dots\dots\dots (2)$$

$$h = q / (T_w - T_\infty) \text{ (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)} \dots\dots\dots (3)$$

局部熱傳達係數와 平均熱傳達係數는 式 (2),
(3)으로 부터 다음과 같이 計算할 수 있다.

$$Nu = \frac{h \cdot L}{\lambda} \dots\dots\dots (4)$$

$$\bar{Nu} = \frac{\int_{-r}^r Nu \cdot dr}{\int_{-r}^r dr} \dots\dots\dots (5)$$

III. 實驗結果 및 考察

熱傳達을 나타내는 일반적인 實驗式의 形態는
 $Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n$ 로 표시할 수 있으며, 이 式에서
Pr의 값은 空氣이므로 本 實驗의 溫度範圍에서
약 0.71의 값⁸⁾을 사용하고 指數 n은 0.4의 값을
사용한다. 旋回를 주지않은 경우에 이 式을 $Nu \cdot$
 $Pr^{-n} = C \cdot Re^m$ 으로 하여 圖示化한 것이 Fig. 4이며
거의 直線化 傾向을 나타내므로 無次元化 시키
기위해 Least Square Method를 利用하여 各各의
H/D에 따른 기울기를 計算하면 Re의 指數 m은
0.712와 0.793의 範圍에 있고, 이 값의 平均은 0.74
이며 誤差는 無視 할 수 있으므로 이 平均값을
취하여 各各의 H/D에 대한 無次元式을 얻기 위
해, $Nu \cdot Pr^{-n} \cdot Re^{-m} = C \cdot (H/D)$ 로 하여 Fig. 5에
傳熱面에서 平均 Nu를 圖示한 것이다. 이 그림
에서 H/D=9를 基準으로 하여 2개의 거의 一定한
直線的인 關係를 나타내고 있는데 다음과 같은
式으로 表現할 수 있다.

$$1 < H/D \leq 9 \text{에서는}$$

$$\bar{Nu} = 0.037 Re^{0.74} Pr^{0.4}$$

9 < H/D < 14에서는

$$\bar{Nu} = Re^{0.74} Pr^{0.4} \{0.051 - 0.0014(H/D)\}$$

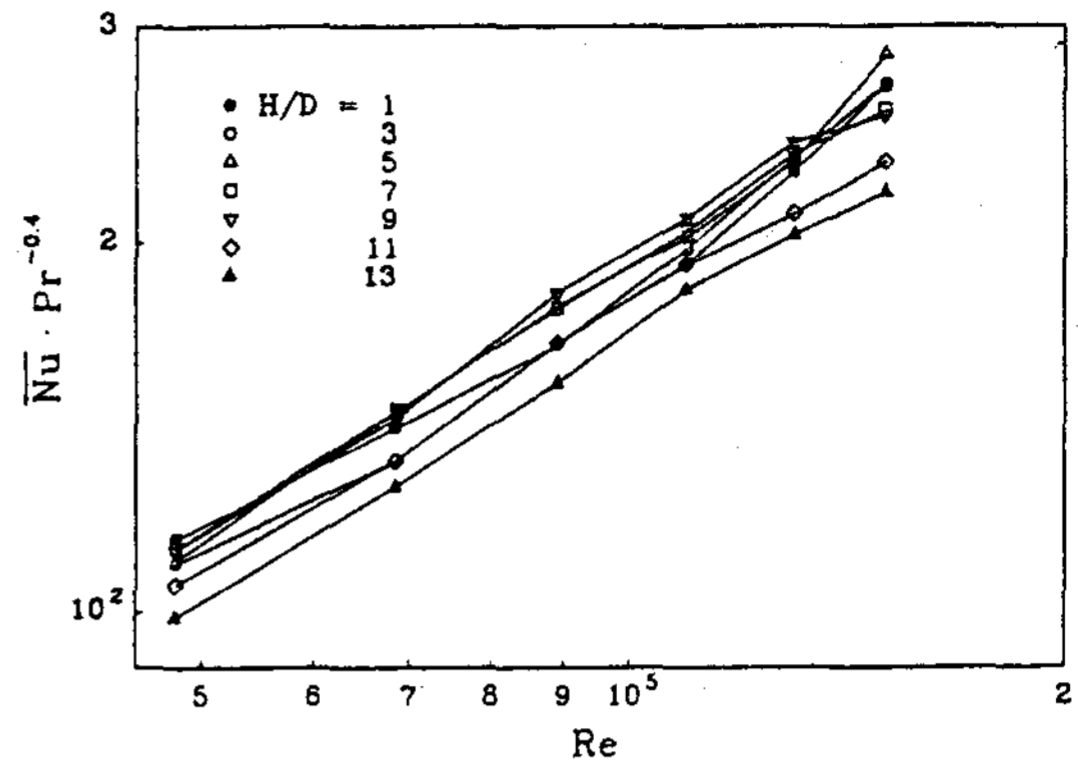


Fig. 4 Comparison with average Nusselt number at H/D=1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 and S=0.

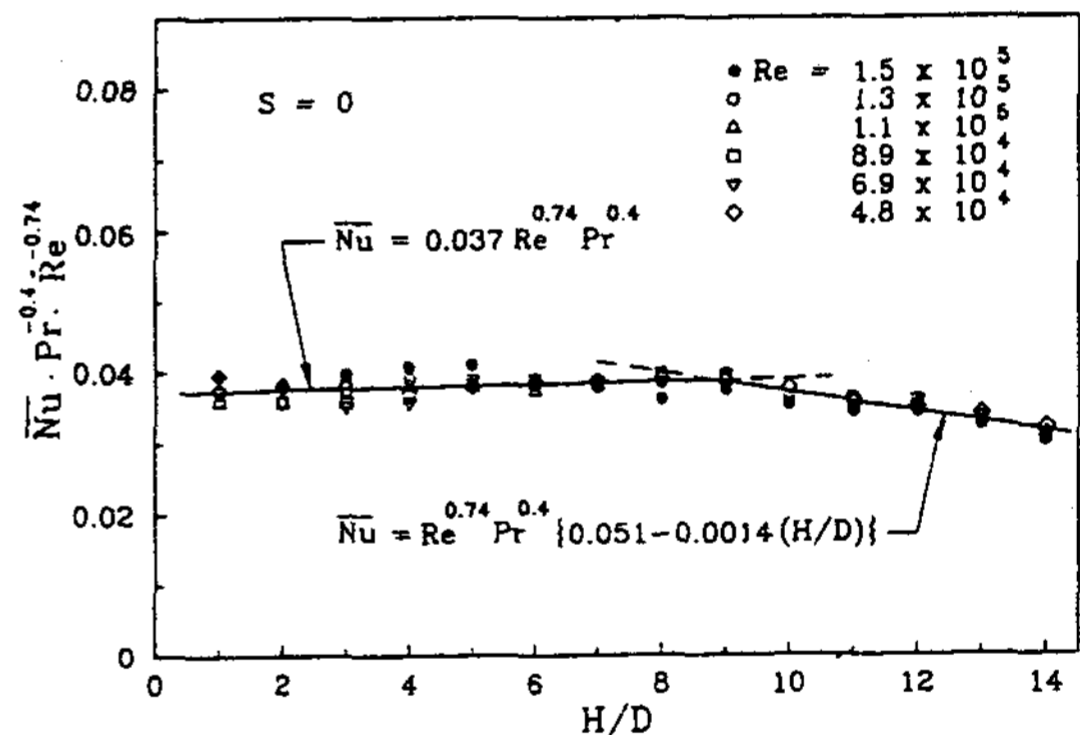


Fig. 5 Correlation of average Nusselt number and Reynolds number at S=0

Fig. 6은 $Re = 1.5 \times 10^5$ 일때 傳熱面의 停滯點
(Stagnation Point)에서의 Nu_s 를 H/D에 따라 나
타낸 것으로 旋回를 주지 않았을 때의 熱傳達係
數는 H/D의 값이 9程度에서 가장 크게 나타났
으며, 旋回를 주는 경우에는 亂流強度의 初期發
生으로 溫度境界層은 더욱 薄膜化되어 熱傳達係
數를 增進시키는 것으로 本 實驗結果 나타난다.
즉 旋回度가 增加할수록 Nu_s 의 最大값은 노즐出
口쪽으로, 즉 H/D의 값이 작아 지는 곳으로 移
動하는 傾向을 나타내고 있다. 이러한 現象은 Fig.
7의 旋回度에 따른 亂流強度의 크기로서 說明할
수 있다. 노즐에서 流體가 噴出되는 初期領域에

서는 旋回를 주지않는 경우에 亂動成分이 적지만 噴流의 下流로 갈수록(H/D의 값이 增加할 수록) 流體의 剪斷應力(Shear Stress)으로 인해 亂流度가 增加 하게되고, H/D=9~10 附近에서 最大의 亂流强度가 나타나는데, 이때의 亂流强度로 인한 溫度境界層의 攪亂으로 H/D=9에서 最大의 熱傳達係數를 얻을 수 있으며, 旋回를 주는 경우에는 旋回로 인해 初期 Potential Core領域은 渦(eddy)로 인한 亂流度の 增加로 나타나게 되며 이로 인해 噴流初期領域(H/D=5~7)에서 最大 熱傳達係數가 나타나게 된다.

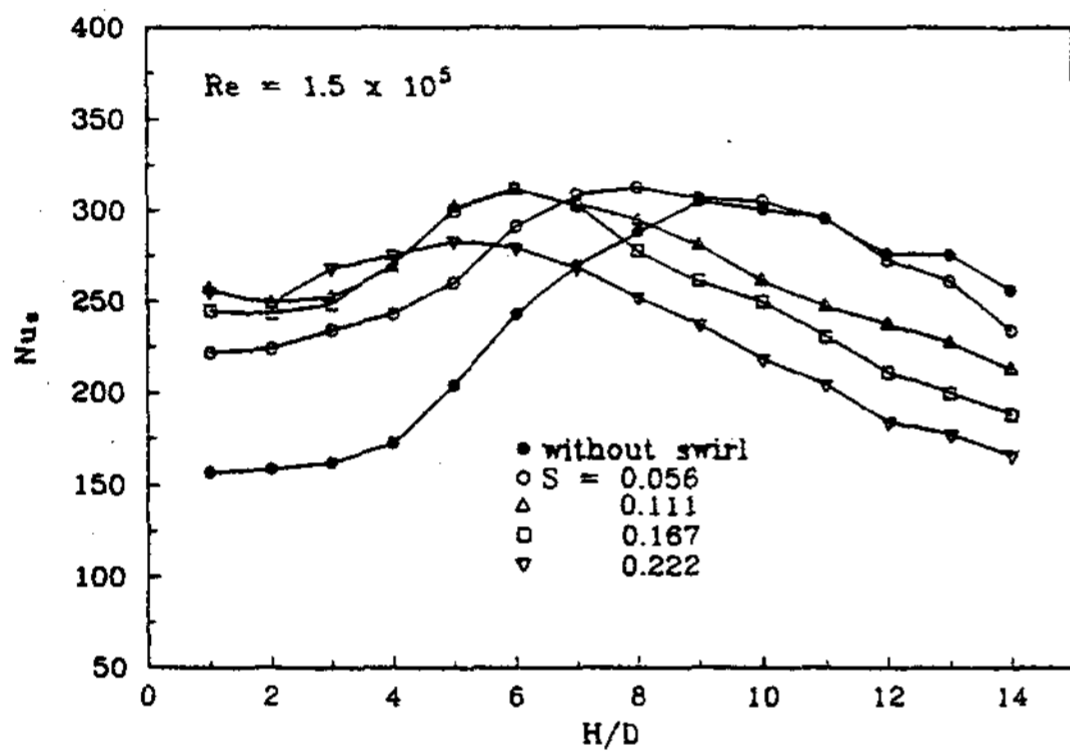


Fig. 6 Comparison of stagnation point Nusselt number at various swirl number, $Re=1.5 \times 10^5$

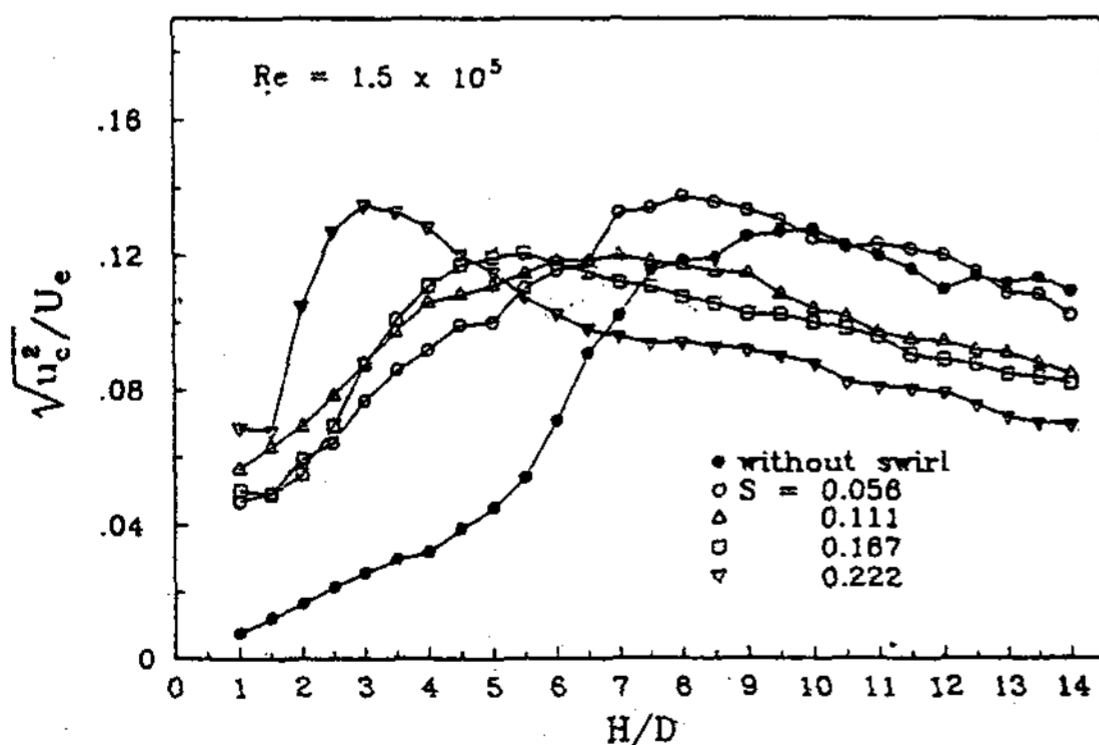


Fig. 7 Axial turbulent intensities of free jet at $Re = 1.5 \times 10^5$ on different swirl number

Fig. 8, 9, 10은 停滯點에서의 熱傳達를 旋回度 $S=0., 0.056, 0.111, 0.167, 0.222$ 로 하여 $Re=4.8 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^5$, $H/D=3, 5, 6$ 에서의 Nu_s 를 圖示한

것인데, $H/D=3$ 을 나타내는 Fig. 8에서는 全 Re 에서 旋回를 주지 않은 경우보다 旋回를 준 경우에 약 1.5배 以上의 熱傳達增進 效果를 보였으며, Re 의 값이 1.1×10^5 以上이 되는 범위에서는 旋回度の 값이 클수록 더 높은 熱傳達 增進效果를 보이고 있다. 또한 모든 Nu_s 는 Re 의 증가에 따라 거의 直線的으로 變化하였고 이러한 傾向은 $H/D=5$ 까지 거의 같게 나타났으며, $H/D=6$ 을 나타내는 Fig. 10에서는 이러한 傾向이 점차로 사라지게 되는데, 이와같이 $H/D < 6$ 에서 높은 熱傳達增進效果를 보이는 것은 旋回로 인한 剪斷應力(Shear Stress)의 生成으로 亂流度가 增加하고 이로 인해 溫度境界層의 薄膜化로 熱傳達係數가 커지기 때문이다.

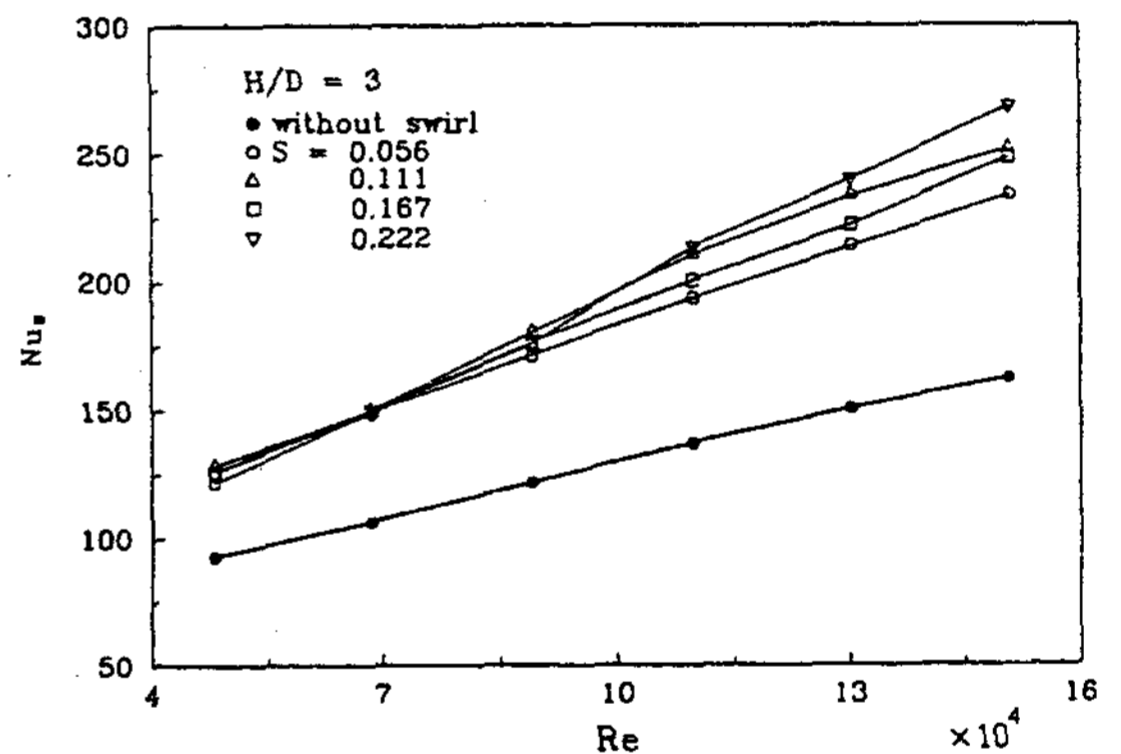


Fig. 8 Comparison of stagnation point Nusselt number at various swirl number, $H/D=3$

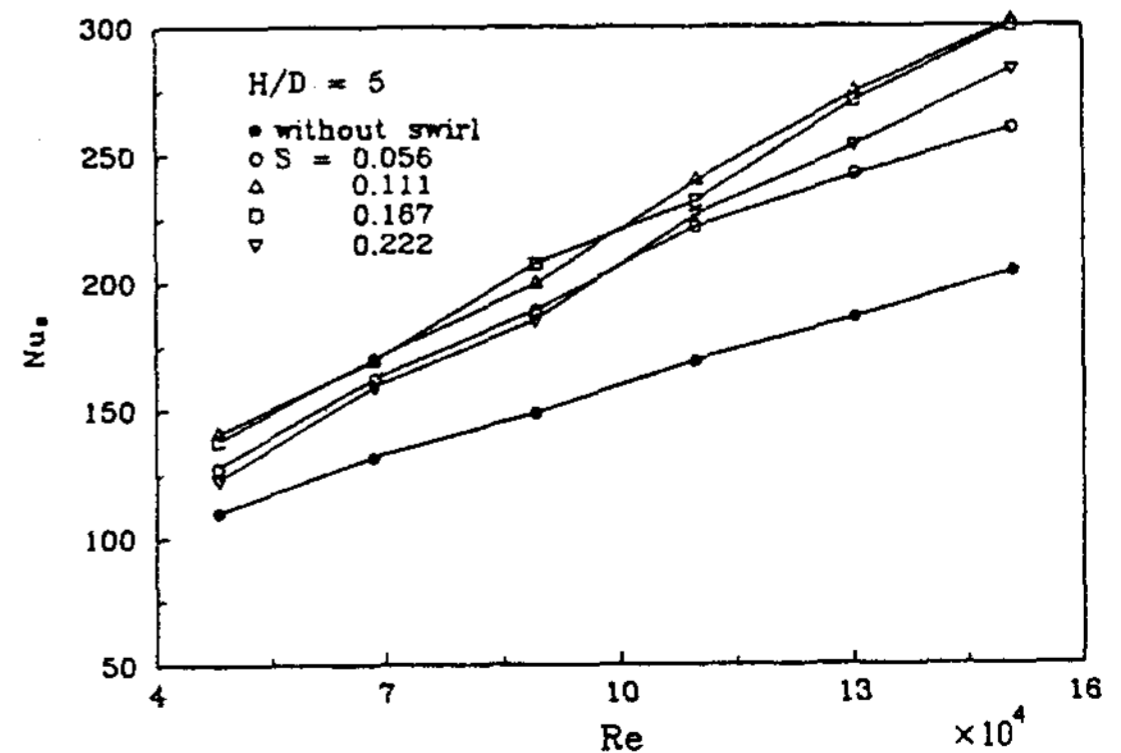


Fig. 9 Comparison of stagnation point Nusselt number at various swirl number, $H/D=5$

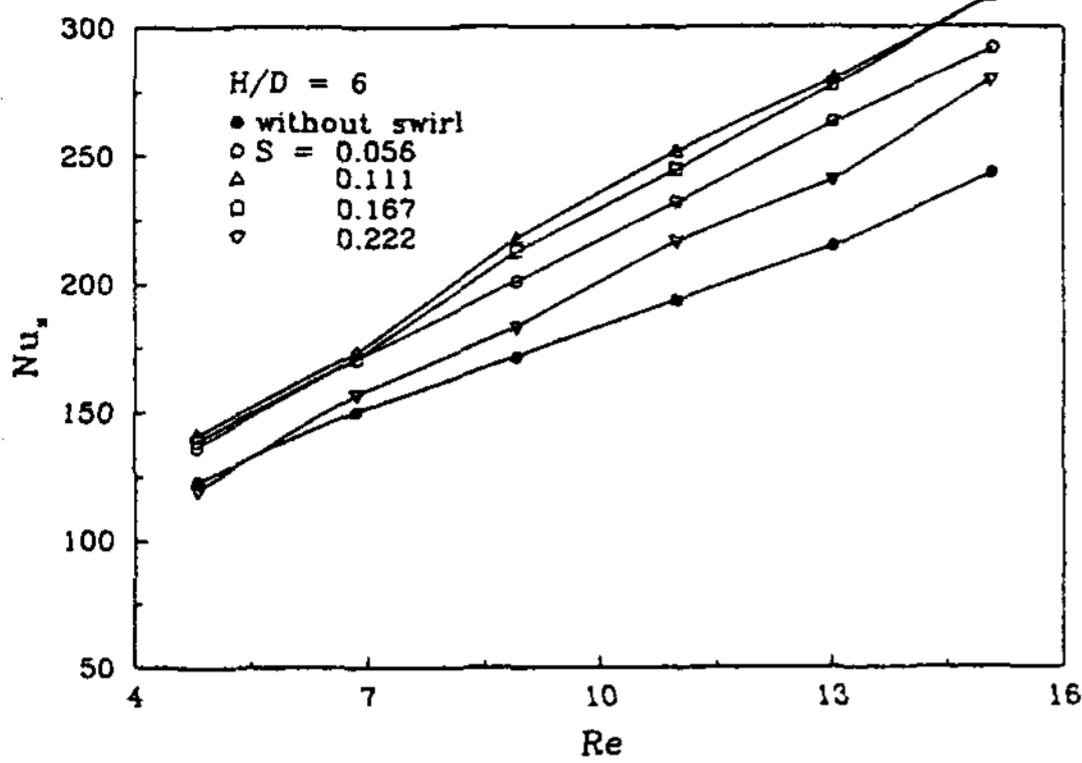


Fig. 10 Comparison of stagnation point Nusselt number at various swirl number, $H/D=6$

Fig. 11은 流速 38m/s일때 $H/D=5$ 에서 旋回度 $S=0, 0.056, 0.111, 0.167, 0.222$ 로 하여 Nu 를 半徑方向 r/D 에 關하여 圖示한 것인데 停滯點에서 부터 $r/D=1.8$ 附近까지는 모든 旋回度에서 回旋을 주지않은 경우에 비해 높은 熱傳達 增進效果를 보였으며 最大熱傳達係數는 旋回度 $S=0.111$ 일때 $r/D=0.3$ 에서 나타났고 이때는 回旋을 주지않은 경우보다 약 30% 以上の 熱傳達 增進效果가 나타났다.

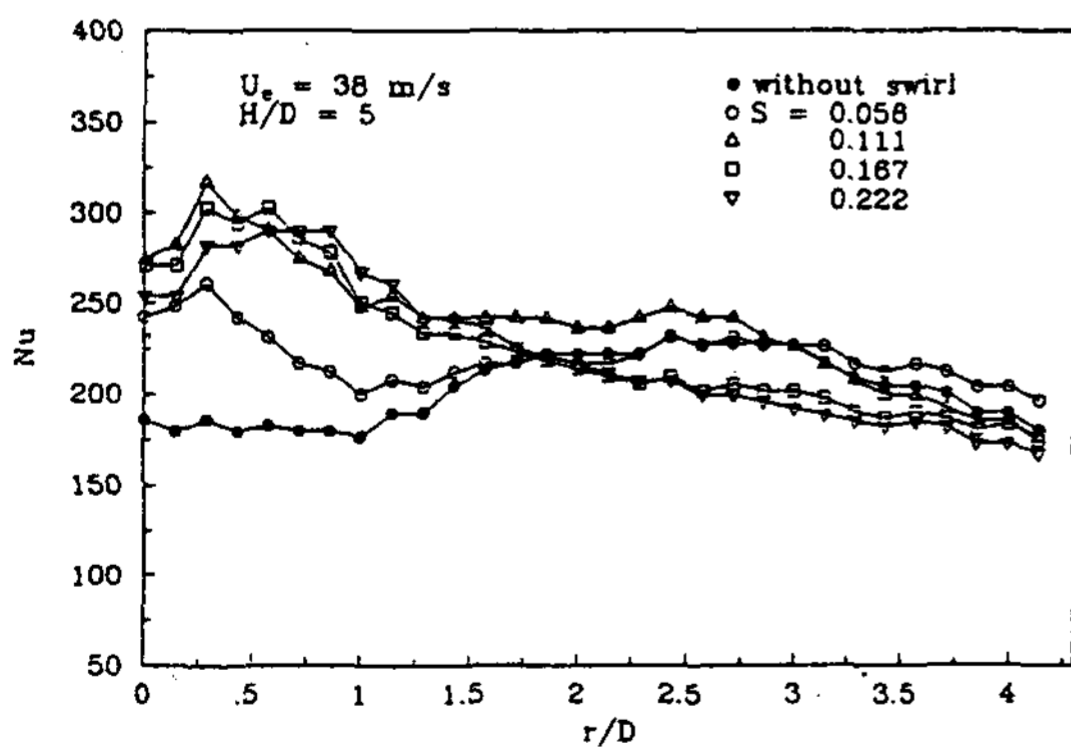


Fig. 11 The effect of swirl jet on local Nusselt number distribution at $H/D=5$

Fig. 12는 $Re=4.8 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^5$, $H/D=2$ 에서 第 1 極大값을 나타내는 Nu 를 Nu_{IH} 로 表記할 때 $r/D=0.5$ 에서의 Nu_{IH} 와 Re 와 關係를 圖示하였는데, 回旋을 주었을때와 回旋을 주지 않았을때를

比較해 볼때 $Re=4.8 \times 10^4$ 에서 약 1.5배 程度 增進된 값을 보였으며 Re 가 增加 할수록 回旋을 주었을때에 더 높은 Nu_{IH} 의 값이 나타나게 되어 $Re=1.5 \times 10^5$ 에서 약 2배의 熱傳達增進效果를 보였다. $H/D=4$ 의 경우인 Fig. 13에서는 이와같은 傾向이 점차로 작아져서 Fig. 14에서와 같이 $H/D=7$ 까지는 回旋을 주는 경우에 Nu_{IH} 의 값이 더 좋았으며 以後로 H/D 의 값이 增加함에 따라 回旋을 주지 않는 경우의 Nu_{IH} 값이 더 커져서 回旋을 주는 경우가 오히려 나빠지게 된다.

Fig. 15는 流速이 44m/s 旋回度 $S=0.056 \sim 0.222$ 일때 $H/D=4$ 에서의 半徑方向의 Nu 를 回旋을 주지 않는 경우에 最大값이 나타나는 $H/D=9$ 의

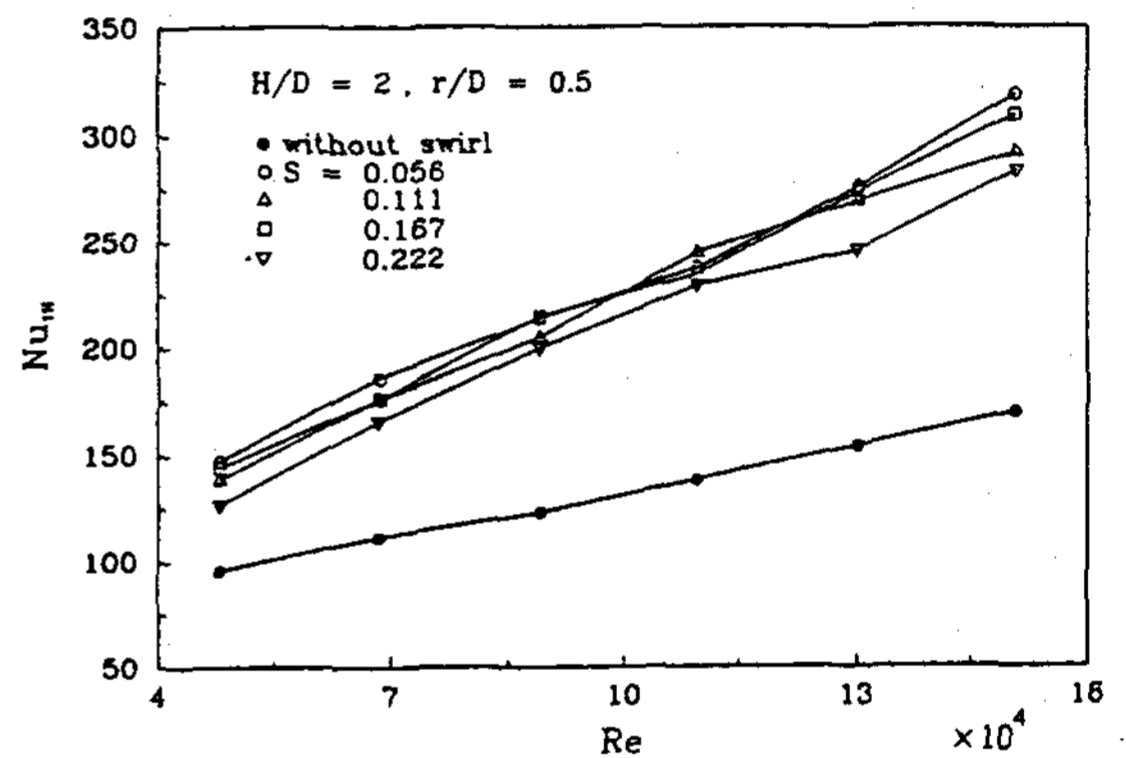


Fig. 12 Comparison of the first maximum Nusselt number at various swirl number, $H/D=2$, $r/D=0.5$

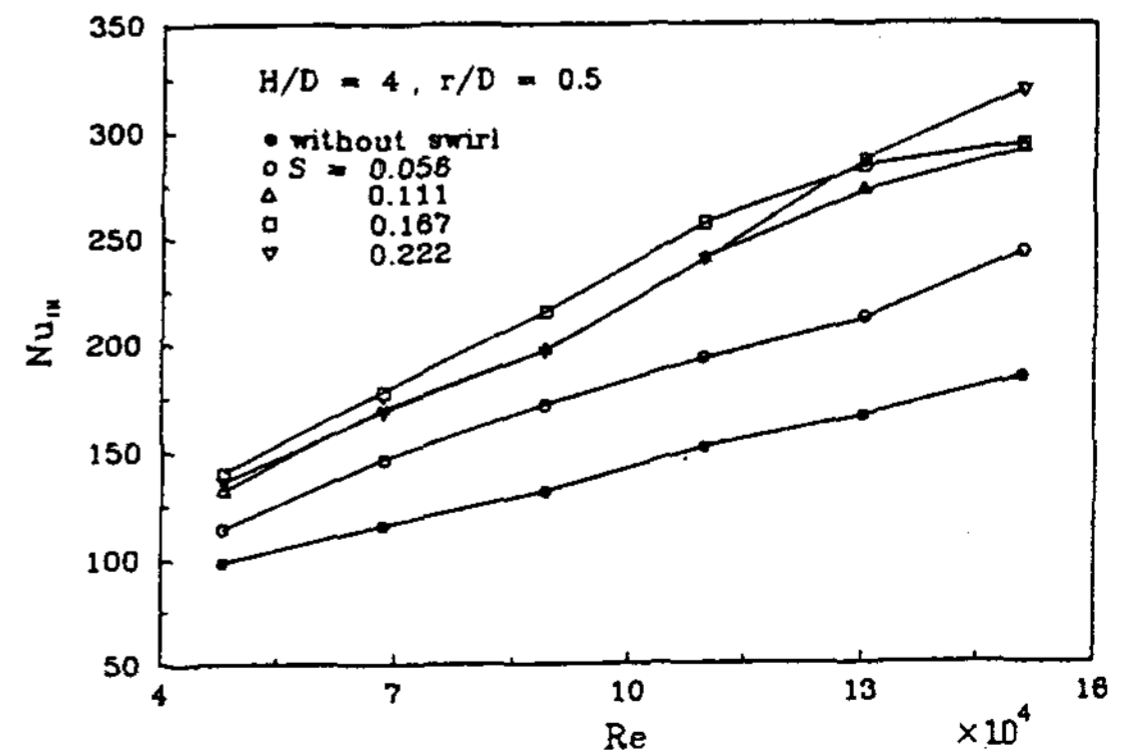


Fig. 13 Comparison of the first maximum Nusselt number at various swirl number, $H/D=4$, $r/D=0.5$

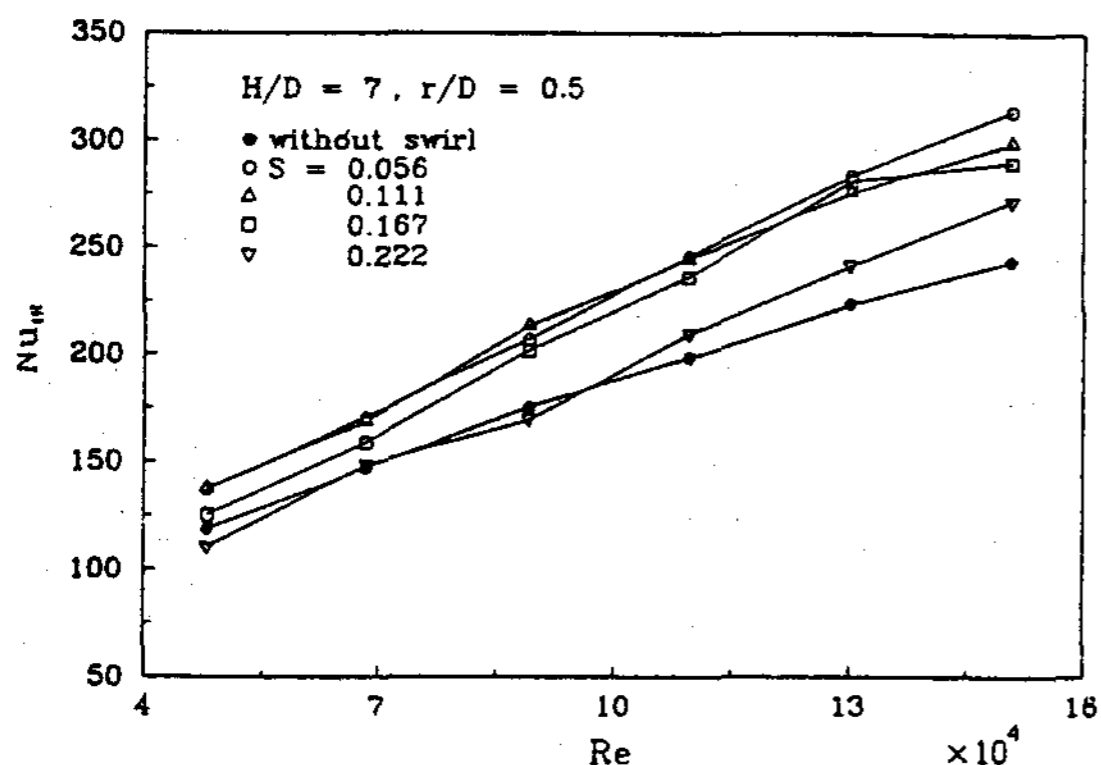


Fig. 14 Comparison of the first maximum Nusselt number at various swirl number, $H/D=7$, $r/D=0.5$

경우와 比較한 것인데, 熱傳達係數는 停滯點에서 오히려 旋回를 주지 않은 경우가 약간 더 높지만 그외의 곳에서는 旋回를 주는 경우가 旋回를 주지 않은 경우보다 더 높은 熱傳達係數가 나타난다. 또한 $r/D=1.3$ 을 境界로 하여 停滯點附近($r/D < 1.3$)에서 旋回度 $S=0.222$ 의 경우에 높은 熱傳達係數가 나타나지만 $r/D > 1.3$ 領域에서는 $S=0.111$ 의 경우에 높은 熱傳達係數를 얻었다.

Fig. 16은 $Re=1.3 \times 10^5$ 일때 各各의 旋回度에 대해 平均熱傳達係數 \bar{Nu} 를 H/D 에 따라 나타낸 것인데 $H/D=6$ 까지는 모든 旋回度에서 旋回를 주지 않은 경우보다 높게 나타 났으며, $H/D=7$ 부터는 오히려 旋回를 주는 경우가 旋回를 주지 않은 경우보다 낮아진다. 最大 \bar{Nu} 는 $S=0.111$ 일때

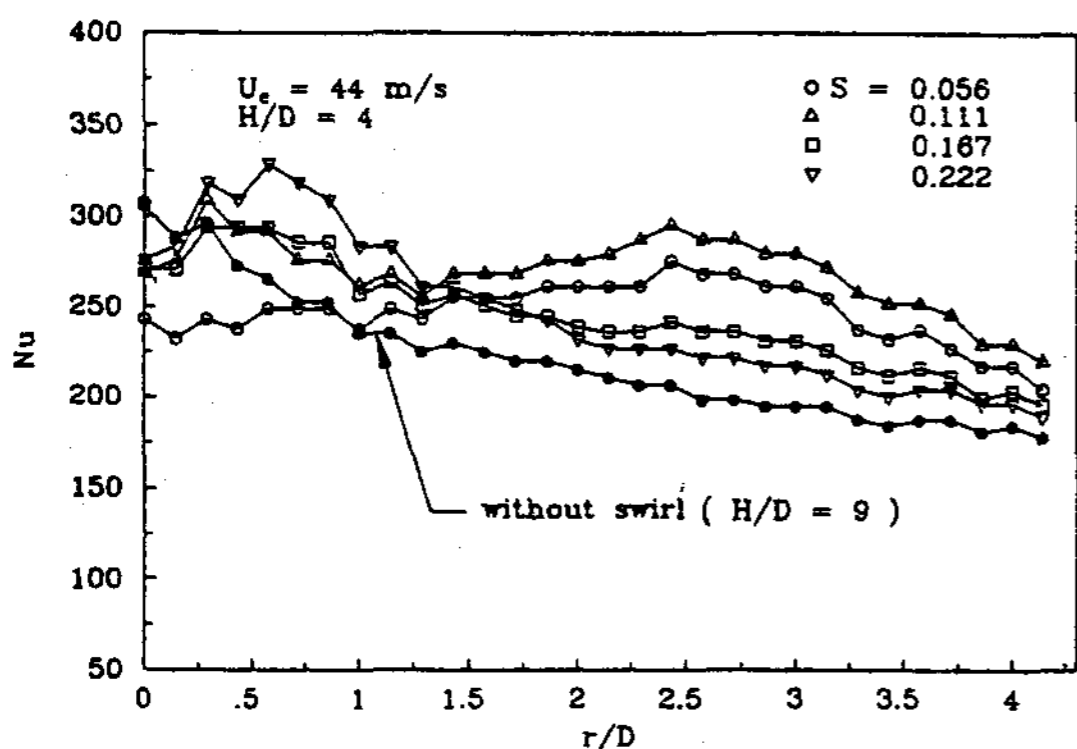


Fig. 15 Comparison of swirl impinging jet with nonswirl($H/D=9$) at $H/D=4$

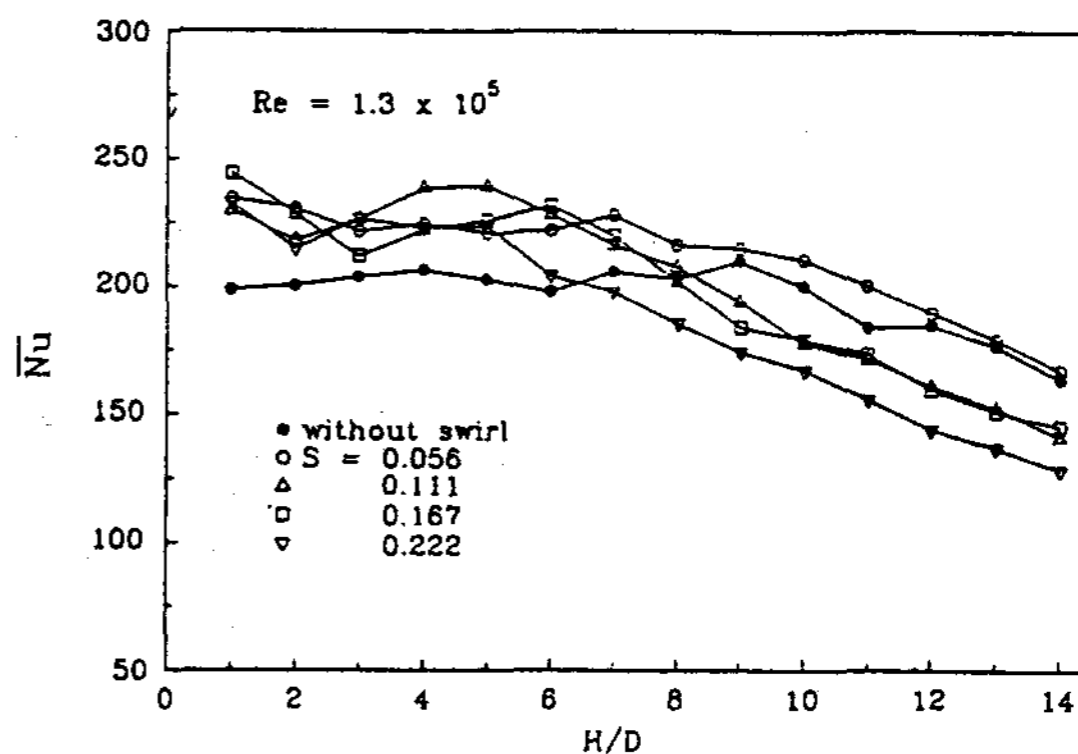


Fig. 16 Distribution of average Nusselt number along the X direction at $Re=1.3 \times 10^5$

$H/D=5$ 에서 나타났으며 이값은 旋回를 주지 않은 경우의 最大 $Nu(H/D=9)$ 에 비해 약 16%의 增進을 보였다.

本 實驗에서 얻어진 流速과 熱傳達을 나타내는 Re 와 \bar{Nu} 의 信賴度는 不確實性 解析(Uncertainty Analysis)에 의해 Re 의 不確實性은 4.96%이고 Nu 의 不確實性은 6.76%이다.

IV. 結 論

本 研究는 軸對稱衝突噴流로 傳熱面을 冷却시 킬때 熱傳達을 增進시키기 위해 노즐內에 Twisted Tape이 設置된 管(Pipe)을 附着하여 이 Twisted Tape의 旋回度 $S=0., 0.056, 0.111, 0.167, 0.222$ 와 노즐出口流速(U_e)을 $U_e=14, 20, 26, 32, 38, 44m/s$ 로 하여 實驗한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 旋回를 주지 않은 衝突噴流에서 傳熱 無次元式은 $H/D=9$ 를 境界로 하여 다음과 같이 나타난다.

$1 < H/D \leq 9$ 에서는

$$\bar{Nu} = 0.037 Re^{0.74} Pr^{0.4}$$

$9 < H/D < 14$ 에서는

$$\bar{Nu} = Re^{0.74} Pr^{0.4} \{0.051 - 0.0014(H/D)\}$$

2. 旋回를 주지 않은 衝突噴流에서 最大熱傳達係數는 $H/D=9$ 일때 停滯點에서 나타나고 있으나, 旋回를 준 衝突噴流에서의 最大熱傳達係

數는 旋回度 $S=0.111$ 일때 $r/D=0.3$, $H/D=5$ 에서 나타나고 있으며, 旋回를 주지 않은 경우의 最大 熱傳達係數에 비해 약 30% 增加한다.

3. 旋回衝突噴流에서 傳熱面의 停滯點에서의 最大 Nu 는 旋回도가 增加할수록 H/D 의 값이 작은곳으로 移動한다.

4. 平均 熱傳達係數의 最大值는 旋回度 $S=0.111$, $H/D=5$ 일때이며 旋回를 주지 않은 경우의 最大平均 Nu 보다 약 16%의 增加效果가 있다.

後 記

본 研究는 仁荷大學校 '92年度 研究費支援에 의해서 수행 되었음.

Referance

1) Kunio Kataoka and Tokuro Mizushima, 1974, "Local Enhancement of the Rate of Heat-Transfer in an Impinging Round Jet by Free-Stream Turbulence", *Proceeding of the 5th International Heat Transfer Conference*, Tokyo, Paper, FC 8.3, pp.305

- 309

- 2) 栗間諄二, 平田賢, 宮本政英, 笠木伸英, 加藤泰生, 1984, "短い衝突距離をもつ軸對稱衝突噴流의 熱傳達特性", 第21回 『日本傳熱シンポジウム講演論文集』 pp.91-93
- 3) C. J. Hoogendoorn, 1977, "The Effect of Turbulence on Heat Transfer at a Stagnation Point", *Int. J. Heat Transfer*, Vol.20, pp.1333-1338
- 4) M. M. Alikhan, 平田賢, 笠木伸英, 1980, "衝突噴流熱傳達の增進技術に關する研究(第二報)", 第17回 『日本傳熱シンポジウム講演論文集』 pp.37-39
- 5) M. M. Ali Khan, 平田賢, 笠木伸英, 1981, "衝突噴流熱傳達の增進技術に關する研究", 第18回 『日本傳熱シンポジウム講演論文集』 pp.208-210
- 6) 李龍和, 1989, "2次元 衝突噴流系에서의 熱傳達增進에 關한 研究", 仁荷大學校 大學院 博士學位論文
- 7) Bach T. Vu and F. C. Gouldin, May 1982, "Flow Measurements in a Model Swirl Combustor", *AIAA J.* Vol. 20, No. 5, pp.642-651
- 8) 日本機械學會, 1975, "傳熱工學資料", 改訂第3版, pp.300-301

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