

2次元 衝突噴流의 熱傳達 增進에 關한 實驗的 研究 (四角 Rib幅의 效果)

Augmentation of Heat Transfer by two Dimensional Impinging Air Jet
(Effect of Square Rib Width)

李 龍 和*; 李 寬 錫;** 徐 正 閔***
Y. H. Lee, K.S. Rhee, J. Y. Seo

ABSTRACT

The impinging air jet system is still being used in the various fields with its inherent merits, that is, the easiness in engineering application and high heat transfer coefficients at stagnation point.

The purpose of this study is augmentation of heat transfer without additional power in the rectangular air jet which impinges vertically to the heating surface.

As a method of passive heat transfer augmentation in a two-Dimensional impinging jet, the transverse-repeated surface roughness of square cross-section is used.

This paper deals with the experimental study on the characteristics of heat transfer at the x-direction in between nozzle exit and heating surface of flat plate, and that of ribbed plate. And this study also investigates the effect of square rib widths.

The integral average heat transfer coefficient of ribbed plate is about 2.2 times larger than that of flat plate.

記 號 說 明

B : 노즐의 幅 [mm]
e : 리브의 높이 [mm]
h : 熱傳達係數 [$w/m^2 \text{ } ^\circ C$]
H : 노즐-傳達面間 距離 [mm]
P : 리브의 피치 [mm]
P : 壓力 [mmAq]

X : 停滯點으로부터의 距離 [mm]
Ue : 노즐出口速度 [m/s]
W : 리브의 幅 [mm]
 λ : 熱傳導率 [$w/m \text{ } ^\circ C$]
Nu = $h \cdot B / \lambda$: Nusselt 數
<아래添字>
 ∞ : 自由흐름
s : 停滯點

* 仁荷大學院 機械科
** 天安工業專門大學 熱處理科
*** 仁荷大學校 機械科

f : 平板
r : 리브板

1. 序 論

衝突噴流은 그 流動系의 衝突領域에서 높은 熱 및 物質傳達效果를 얻을 수 있기 때문에 製紙나 織物의 乾燥, 유리의 템퍼링, 가스터어민翼의 冷却, 金屬의 熱處理等 工業的 冷却, 乾燥系에 많이 利用되고 있다.^{1~5)}

平板에 衝突하는 2次元 噴流에서 衝突領域, 특히 停滯點의 熱傳達 效果는 상당히 크지만 壁面噴流 領域의 熱傳達 效果는 溫度境界層의 成長 때문에 停滯點 近方의 熱傳達 效果에 비해 상당히 떨어지고 있다.^{2~4)}

따라서 附加的 動力를 가하지 않고 衝突噴流系의 傳熱增進을 도모하기 위하여 傳熱面에 4角 Rib^{6,9)} 波形 Rib의 設置⁷⁾ 노즐과 平板 傳熱面 사이에 多孔板의 設置⁸⁾ 등을 통해 傳熱增進을 도모하고 있다.

本 研究는 2次元 衝突噴流에서 4角 Rib 를 갖는 凹凸형 傳熱面의 實驗을 통해서 Rib 의 pitch와 높이를 각각 50mm, 2.5mm로 一定하게 하고, Rib의 幅(W=5.10.15mm) 變化와 노즐出口와 傳熱面間의 距離(H/B=2~14) 및 노즐出口 速度(Ue=12~18m/s)의 變化에 따른 流體의 流動特性和 傳熱特性을 實驗

的으로 究明하고, 平板 傳熱面의 경우와 비교 검토하여 最大 熱傳達 係數를 얻을 수 있는 Rib板의 最適 條件을 究明하는데 그 目的이 있다.

2. 實驗裝置 및 方法

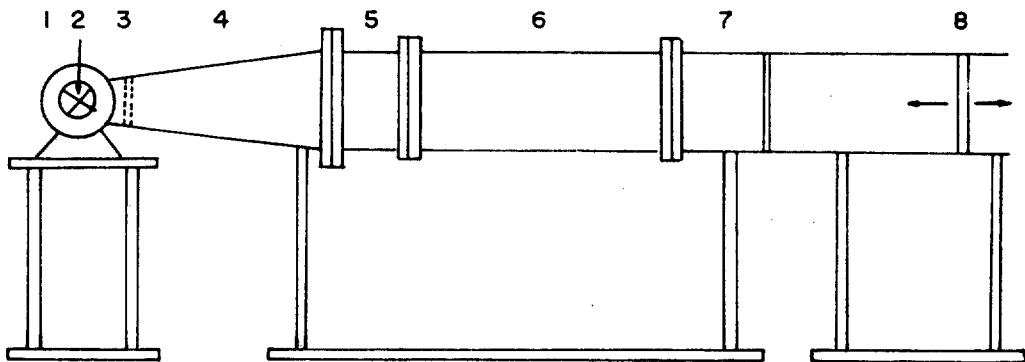
本 實驗에 사용한 實驗裝置의 概略圖는 Fig. 2-1, 座標系를 Fig. 2-2에 나타내었다.

空氣는 送風機에 의해 보내지며, 流量은 댐퍼로 調節하고 流路에는 鐵網과 honeycomb를 設置하여 均一한 流動을 얻도록 하였으며, 出口幅 50mm, 높이 500mm인 4角노즐(絞縮比 5:1인 sine曲線)을 통해 空氣가 噴出되도록 하였다. 노즐出口에서의 平均流速은 12~18m/s 範圍로 하였다.

Table. 1에는 Rib板의 形狀을 나타내었다.

壓力 測定位置는 Fig. 2-3에 표시한 位置에 靜壓測定用 Pitot tube를 각각 設置하여 反復測定하였다.

그리고 傳熱面은 두께 0.03mm, 幅 10mm인 stainless steel箔板 3枚를 노즐 중심에서 x方向으로 부착하고 銅板으로 연결하여 自動電壓 調整器와 高라이타스를 使用하여 供給電壓을 調節하여 熱流速이 一定하게 유지되도록 하여 直接 通電加熱하였다. 傳熱面의 溫度測定은 $\phi 0.07\text{mm}$ 인 C-C 熱電對를 stainless st-



- 1. Centrifugal Blower
- 2. Flow Rate Control Damper
- 3. Wire Mesh
- 4. Diffuser
- 5. Honey Comb
- 6. Setting Chamber
- 7. Nozzle
- 8. Target Plate

Fig. 2-1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

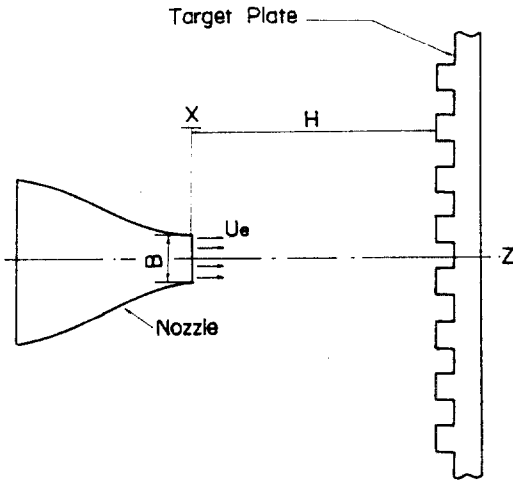
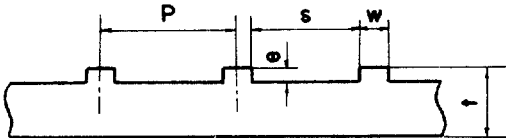


Fig. 2-2 Coordinate System (Top View)

Table 1. Specification of Ribbed Plate

PLATE NO.	Bakelite thickness t (mm)	Rib Width w (mm)	Rib Pitch P (mm)	Rib Depth e (mm)	w/e	s
1	20	5	50	2.5	2	45
2	20	10	50	2.5	4	40
3	20	15	50	2.5	6	30



eel 箔板 裏面에 Fig. 2-3 과 같은 位置에 납땜 부착하고 data Logger에 연결하여 10회 反復 測定하여 그들의 平均値를 취하여 熱傳達係數를 구하였다.

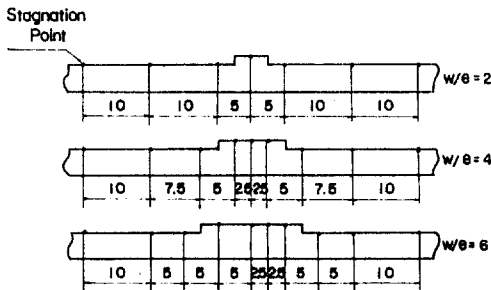


Fig. 2-3 Measuring Points of Pressure and Temperature

그리고 噴流의 中心은 Rib板의 中央部에 있는 凹面의 中央과 항상 一致되도록 設置하여 實驗을 하였다.

3. 實驗結果 및 考察

本 實驗에서는 노즐 中心에서 x 方向으로 自由噴流의 速度分布와 y 方向의 靜壓分布를 測定하여 nozzle 에서의 噴流의 均一性을 확인하였다.⁹⁾

3-1 Rib板에서의 靜壓分布

Fig. 3-1 ~ 3-3 은 노즐 出口速度 $U_e = 18 \text{ m/s}$, Rib의 피치 ($p = 50 \text{ mm}$), 높이 ($e = 2.5 \text{ mm}$)를 일정하게 하고, Rib의 幅 (w/e)을 각각 2, 4, 6으로 한 경우에 각 H/B 에 대한 x/B 와 停滯點의 靜壓으로 無次元化한 靜壓分布 ($P - P_\infty / P_0 - P_\infty$)와 의 關係를 나타낸 것이다.

噴流의 中心에서 $x/B \leq 1$ 인 領域까지의 靜壓分布는 Rib板에 衝突하는 噴流가 Rib의 頂上部 및 凹部에서의 流動의 局部的인 亂動效果 때문에 渦動을 발생시키므로 일정한 現象을 나타내지는 않는다.

그러나 $x/B \geq 1$ 인 領域에서는 Rib의 側面 直前에서는 噴流의 衝突과 停滯現象 때문에 壓力이 높게 나타나고 있으며, 또한 直後에서도 재순환에 의한 停滯現象 때문에 壓力이 높게 나타난다. 그러나 Rib의 頂上面에서는 噴流의 流動性 때문에 壓力이 낮게 나타나며 이러한 現象이 周期的으로 나타나고 있다.

또한 x/B 가 增加함에 따라 Rib의 側面과 頂上面과의 壓力差는 減少하는 것을 알 수 있는데 이것은 x/B 가 增加함에 따라 噴流의 速度가 減少하기 때문이라고 생각된다.

3-2 Rib板 傳熱面에서의 熱傳達

Fig. 3-4은 平板에서의 熱傳達 現象을 나타낸 것인데, 이것에 대한 상세한 고찰은 金⁹⁾에서 이미 밝혔다.

이 線圖에서 알 수 있듯이 平板 傳熱面에서는 x/B 가 增加함에 따라 Nu 는 서서히 減少한다.

따라서 壁面噴流 領域에서 傳熱增進을 고찰

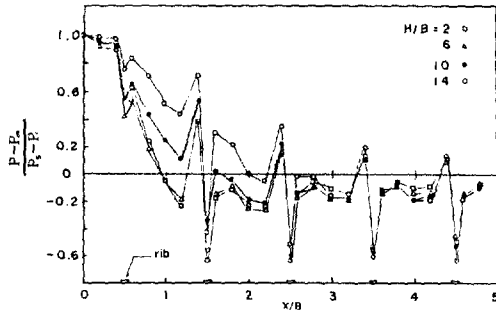


Fig. 3-1 X-Directional Variation of Static Pressure on the Ribbed Plate. ($U_e=18\text{m/s}$, $w/e=2$).

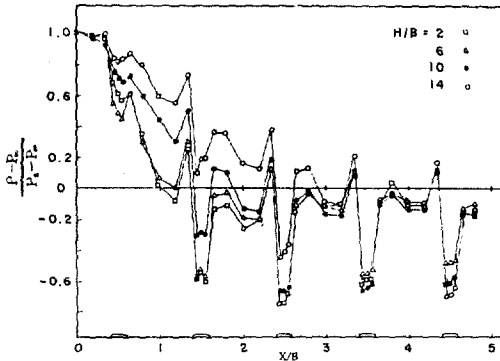


Fig. 3-2 X-Directional Variation of Static Pressure on the Ribbed Plate. ($U_e=18\text{ m/s}$, $w/e=4$).

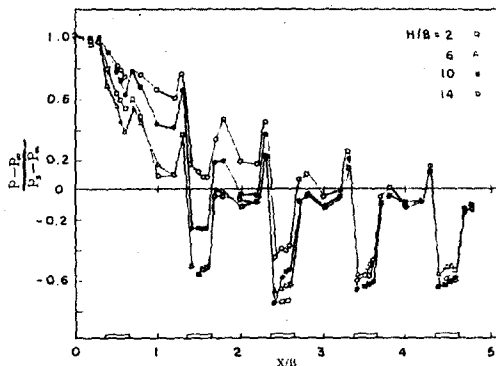


Fig. 3-3 X-Directional Variation of Static Pressure on the Ribbed Plate. ($U_e=18\text{ m/s}$, $w/e=6$).

하기 위하여 Rib의 높이($e=2.5\text{mm}$)와 Pitch($p=50\text{mm}$)를 일정하게 하고 Rib의 폭이 다른 3種의 Rib板($w/e=2, 4, 6$)을 설치하여

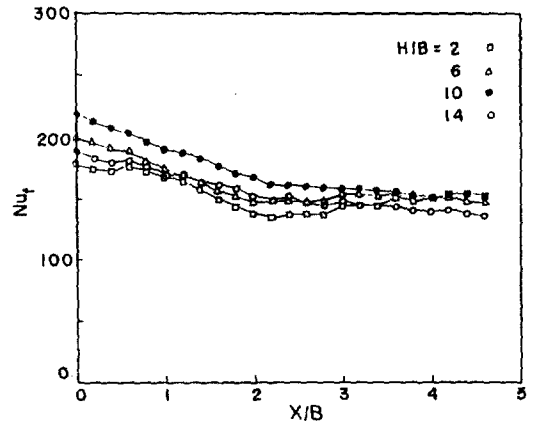


Fig. 3-4 X-Directional Distribution of Heat Transfer Coefficient for the Flat Plate ($U_e=18\text{ m/s}$).

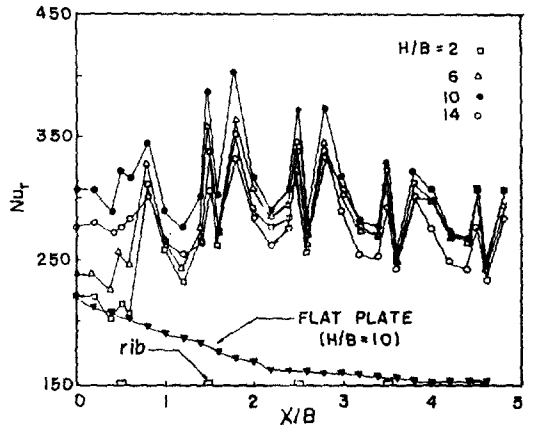


Fig. 3-5 X-Directional Distribution of Heat Transfer Coefficient for the Ribbed Plate ($U_e=18\text{ m/s}$, $w/e=2$).

각 H/B 에 대한 x/B 와 局部熱傳達係數와의關係를 平板의 경우와 비교하여 나타낸 것이 Fig. 3-5~3-7이다.

Fig. 3-5~3-7에서 알 수 있듯이, $x/B \leq 1$ 인 領域에서는 H/B 의 영향이 크게 나타나고 있으며 平板의 경우(Fig. 3-4 參照)와 마찬가지로 $H/B=10$ 에서 熱傳達效果가 最大로 된다. 또한 $x/B \geq 1$ 인 領域에서는 Nu 의 變化가 周期的으로 變化하고 있는데 Rib의 頂上面에서는 噴流의 流動性 때문에 Nu 는 높게 나타나고 있으며, Rib의 兩側面에서는 Nu 는 낮게 나타나고 있는데, 이것은 噴流의 일시적인 停滯現象 때문이라고 생각된다(3-1節 參照). 또

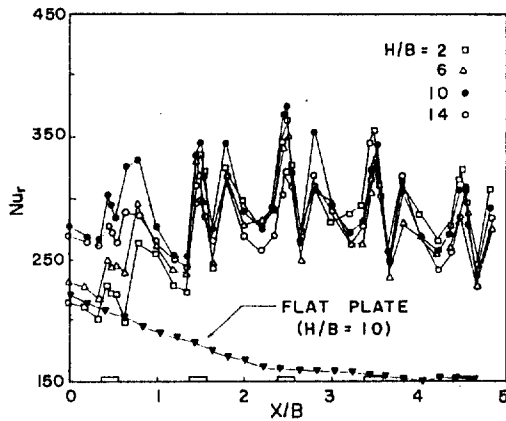


Fig. 3-6 X-Directional Distribution of Heat Transfer Coefficient for the Ribbed Plate ($U_e=18 \text{ m/s}$, $w/e=4$).

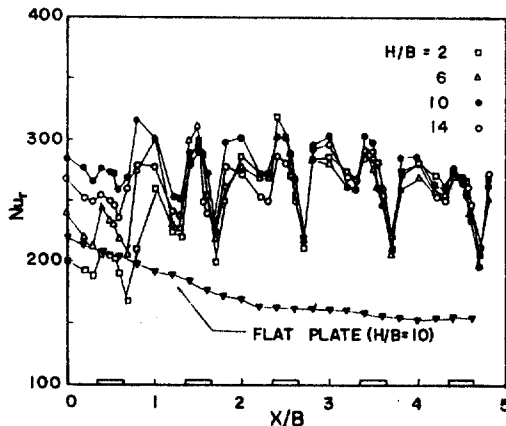


Fig. 3-7 X-Directional Distribution of Heat Transfer Coefficient for the Ribbed Plate ($U_e=18 \text{ m/s}$, $w/e=6$).

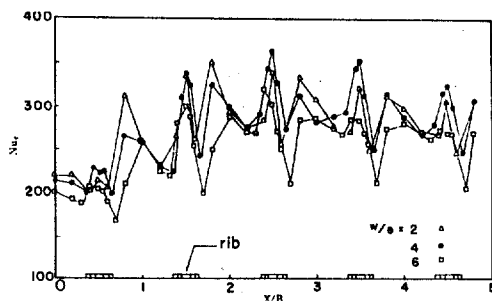


Fig. 3-8 X-Directional Variation of Heat Transfer Coefficient for the Ribbed Plate ($H/B=2$, $U_e=18 \text{ m/s}$).

한 Rib와 Rib 간의 底面 사이에서 Nu 가 갑자기

상승하는 위치가 있는데 이 近傍이 流動의 再附着에 의한 現象 때문이라고 생각되며, 이 再附着點의 위치는 Rib의 先端으로부터 Rib 높이의 약 6.5~11배 되는 위치에서 나타남을 알 수 있다. 그리고 이 再附着點의 위치는 Rib의 幅이 增加할수록 Rib 先端으로부터 멀어짐을 나타낸다.

또한 Rib을 갖는 傳熱面의 경우에 停滯點 ($x/B=0$)에서의 熱傳達 係數는 平板에 비해 매우 높은 것을 알 수 있는데, 이러한 現象은 噴流가 첫번째 Rib에 衝突함에 따라 생기는 渦流作用이 停滯點까지 영향을 미치기 때문이다.

Fig. 3-8은 노즐 出口 流速이 18 m/s , $H/B=2$ 인 경우로서 Rib 幅의 變化에 따른 熱傳達の 영향을 나타낸 것이다. 停滯點($x/B=0$)에서의 熱傳達 係數를 비교해보면 Rib의 幅이 클수록 熱傳達 係數가 낮게 나타나는데, 이와 같은 現象은 Rib의 幅이 커질수록 Rib간의 간격이 減少하므로 Rib의 간섭에 의한 流動의 停滯現象이 커지기 때문이다.

G. Bergeles¹⁰은 4角 物體(즉 Rib) 주위의 벽면수평유동에서 $W/e > 5$ 인 條件이면 4角 物體의 頂上(Rib의 頂上面)에서 流動의 再附着이 일어남을 實驗의으로 밝혔으나, 本 實驗의 2次元衝突壁面噴流領域에서는 $W/e=6$ 인 條件에서도 Rib의 頂上面에서 再附着現象은 나타나지 않고 있다. 이러한 現象의 差異는 衝突後에 일어나는 流動變化의 영향 때문이라고 생각되며, 앞으로 이에 대한 규명이 필요하다 고 생각된다.

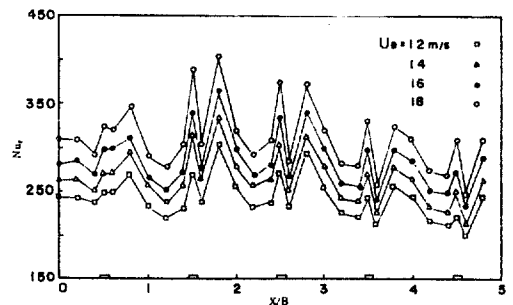


Fig. 3-9 X-Directional Distribution of Heat Transfer Coefficient for the Ribbed Plate ($H/B=10$, $w/e=2$).

Fig. 3-9는 $W/e=2$, $H/B=10$ 인 경우에 노즐 出口流速의 變化에 따른 Nu 의 分布를 나타낸 것이다. 노즐 出口流速이 增加하면 Nu 는 增加하는데 x/B 方向으로의 熱傳達 係數의 分布는 노즐 出口流速의 變化에 關係없이 유사한 傾向을 갖는다.

Fig. 3-10 ~ 3-12는 平均熱傳達 係數(다만 $\bar{h} = \int_0^x h dx / \int_0^x dx$ 로 정의)의 分布를 平板의 경우와 比較하여 나타낸 것이다. 平板의 경우($H/B=10$)에는 X/B 가 增加함에 따라 平均熱傳達 係數는 減少하지만 Rib板 傳熱面의 경우에는 $2 \leq X/B \leq 3$ 領域에서 最大가 됨을 알 수

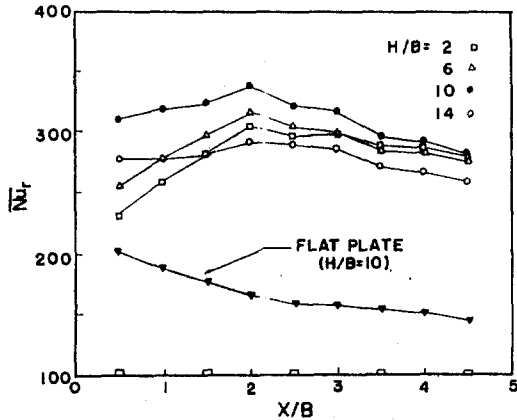


Fig. 3-10 Average Heat Transfer Distribution in X-Direction ($U_e=18$ m/s, $w/e=2$).

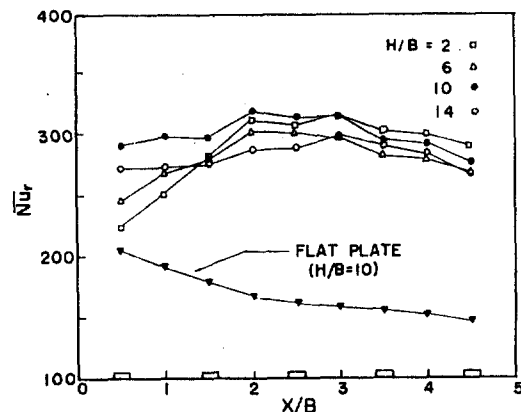


Fig. 3-11 Average Heat Transfer Distribution in X-Direction ($U_e=18$ m/s, $w/e=4$).

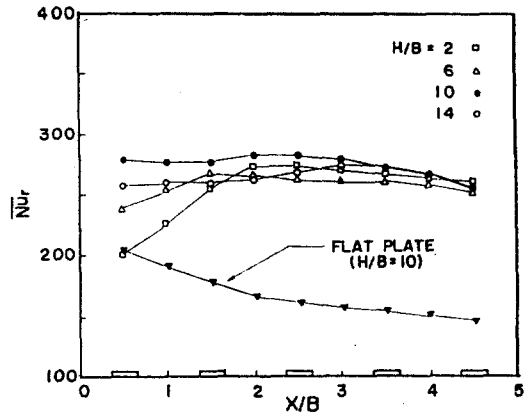


Fig. 3-12 Average Heat Transfer Distribution in X-Direction ($U_e=18$ m/s, $w/e=6$).

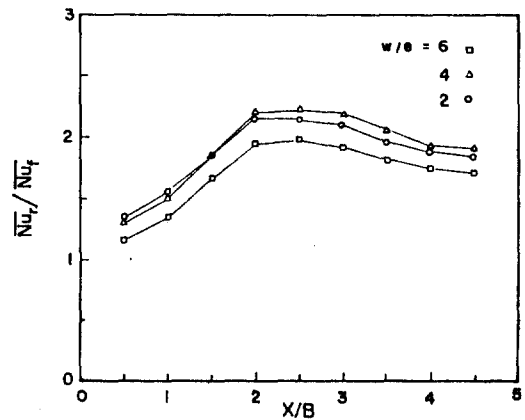


Fig. 3-13 Comparison with Average Heat Transfer Coefficient on the Flat Plate and each Ribbed Plate ($U_e=18$ m/s, $H/B=2$).

있다. 또한 $H/B=10$ 인 條件에서 平均 Nu - $sselt$ 數는 전반적으로 最大值를 갖는다.

Fig. 3-13 ~ 3-14는 노즐 出口流速 $U_e=18$ m/s인 경우, 각각의 Rib幅의 變化에 대한 Rib板 傳熱面과 平板 傳熱面과의 平均 Nu - $sselt$ 數의 關係를 比較하여 나타낸 것으로서, Fig. 3-13의 $H/B=2$ 에서는 $x/B=2$, $W/e=4$ 인 條件에서 平板傳熱面의 경우보다 약 2.2배의 最大 傳熱增進 效果를 얻고 있으며 $W/e=6$ 인 傳熱面 보다는 약 20%정도 높게 나타나고 있다.

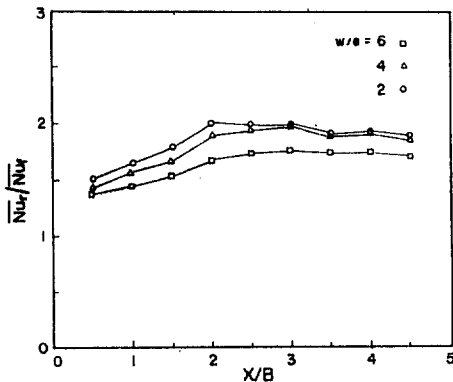


Fig. 3-14 Comparison with Average Heat Transfer Coefficient on the Flat Plate and each Ribbed Plate ($U_e=18$ m/s, $H/B=10$).

Fig. 3-14의 $H/B=10$ 에서는 $x/B=2$, $W/e=2$ 인 조건에서 최대 열전달 증진 효과를 얻고 있는데, 이 조건에서는平板熱面의 경우보다 약 2배의 증진율을 얻고 있다.

4. 結 論

본 연구는 2次元 衝突空氣 噴流에서 熱傳達 增進을 目的으로 附加의 動力을 加하지 않은 상태에서, 4角 Rib를 갖는 3種의 人工傳熱面 ($W/e=2, 4, 6$)과 平板傳熱面에 대하여 nozzle 出口와 傳熱面 사이의 距離 ($H/B=2 \sim 14$) 및 노즐出口速度 ($U_e=12 \sim 18$ m/s)를 변수로 하여 流動特性과 傳熱特性을 實驗한 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 3種의 Rib형 傳熱面에서는 平板傳熱面에서 熱傳達 係數가 낮아지는 壁面噴流 領域에서도 再附着 現象으로 높은 熱傳達 係數를 얻을 수 있으며, 再附着點의 位置는 Rib의 先端으로부터 Rib높이의 약 6.5~11배 되는 位置에서 나타난다.

2. Rib를 갖는 傳熱面을 사용할 경우 본 實驗條件의 모든 W/e 와 H/B 에서 平均 Nusselt 수는 $2 < x/B < 2.5$ 영역에서 最大가 된다.

3. Rib의 頂上面에서 再附着 現象은 발생하지 않았다.

4. Rib板에서 最大 熱傳達 係數를 갖는 最 適條件은 $W/e=4$, $H/B=2$ 인 경우로서, 이 조건에서 平板傳熱面의 경우와 비교하면 最大

2.2배의 傳熱增進 效果를 얻을 수 있다.

參 考 文 獻

1. *Advances in Heat Transfer*, Vol.13, Academic Press, pp.1-60, 1977.
2. C.J. Hoogendoorn, "The Effect of Turbulence on Heat Transfer at a Stagnation Point", *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol.20, pp.1333-1338, 1977.
3. F.F. Cadek and R.D. Zerkle, "Local Heat Transfer Characteristics of Two-Dimensional Impinging Air Jets-Theory and Experiment", Proc. 5th International Heat Transfer Conference, FCI.4, pp.15-19, 1974.
4. W.D. Baines and J.F. Keffer, "Shear Stress and Heat Transfer at a Stagnation Point", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 19, pp.21-26, 1976.
5. D.M. Kercher and W. Tabakoff, "Heat Transfer by a square array of round air jets impinging perpendicular to a flat surface including the effect of spent air", *J. Eng. for Power*, Trans. ASME, Vol.92, pp.73-82, 1970.
6. 車指永, 笠木伸英, 平田賢, "衝突噴流 熱傳達의 增進技術에 關する 研究(第六報)," 日本機械學會論文集, No.830-13, pp.90~92, 1983.
7. 車指永, 笠木伸英, 平田賢, "大規模 粗さを 有する 平板에 衝突する 2次元 噴流의 構造, 流れ의 可視化, Vol. 4, No. 14, 1984.
8. M.M. Alikhan, "Heat Transfer Augmentation in Impinging Jet System", Ph.D. Thesis, University of Tokyo, 1980.
9. 金相弼, 徐正閔, "四角 리브를 갖는 傳熱面에 衝突하는 2次元 噴流의 熱傳達에 關한 研究", 大韓機械學會 論文集 第11券, 第2號, pp.214~221, 1987.
10. G. Bergeles, N. Athanassiadis, "The Flow Past a Surface-Mounted Obstacle", *J. of Fluid Engineering*, Vol.105, pp.461-463, 1983.