

衝突空氣噴流系에서 亂流促進體의 幅變化가 傳熱增進에 미치는 影響

Effect of Turbulence Promoter Width on Heat Transfer Augmentation in Impinging Air Jet System

금 성 민*, 서 정 윤*
S. M. Kum, J. Y. Seo,

Key words : Impinging Air Jet(충돌공기분류), Turbulence Promoter(난류촉진체), Eddy(와류), Heat Transfer Augmentation(전열증진), Impinging region(충돌영역), Wall Jet Region(벽면분류영역)

Abstract

This experimental study was carried out to examine the heat transfer characteristics of a 2-dimensional impinging air jet on a flat plate with a set of square rods. The objectives of the study were to investigate the flow and heat transfer characteristics caused by the square rods and to find out the optimum rods arrangement. Experiment was carried out first without using the rods to establish the baseline heat transfer performance. Then, rods of different widths and clearances were installed to cause the turbulence on the fluid flow.

기 호 설 명

- A : 전열면적[m²]
- B : 노즐출구 폭[mm]
- C : 로드와 전열면사이의 간극[mm]
- h : 열전달계수[W/m²·°C]
- H : 노즐출구로부터 전열면까지의 거리[mm]
- I : 전류[Ampere]
- Nu_f : 로드를 설치하지 않은 평판의 누셀트수
- Nu_r : 로드를 설치한 평판의 누셀트수
- L : 노즐 높이[mm]
- P : 로드의 피치[mm]
- q : 열유속[W/m²]
- T_w : 전열면의 국부온도[°C]
- T_{∞} : 노즐출구에서의 공기온도[°C]
- U : 노즐출구에서의 분류의 평균속도[m/s]

- U_s : 분류의 중심속도[m/s]
- $\sqrt{u'^2}$: 난류강도
- V : 전압[volt]
- W : 사각로드의 폭[mm]
- X : 정체점으로부터 노즐 폭방향으로의 거리 [mm]
- λ : 열전도율[W/m·°C]

첨 자

- f : 로드를 설치하지 않은 평판
- r : 로드를 설치한 평판
- s : 정체점

1. 서 론

* 인하대학교 기계공학과

技術은 가장 중요한 것중의 하나이며 熱交換技術의 발전은 곧 傳熱增進 技術의 발전이라고도 말할 수 있다. 傳熱增進은 유체와 전열면간의 單位面積當熱移動量을 증가시키는 것으로서 지금까지 보고된 傳熱增進技術은 두가지로 대별할 수 있는데, 첫번째는 能動的 方法(Active technique)으로서 외부로부터 動力供給量을 증가시키거나 傳熱面에 진동 등을 가하는 방법이며, 두번째는 受動的 方法(Passive technique)으로서 외부에서 附加의인 동력의 공급없이 傳熱面의 擴大 및 加工, 圓管内에 twisted tape 등을 插入하여 旋回流를 발생시키거나, 亂流促進體를 이용한 傳熱增進 등이 이에 相當한다.^{1, 2, 3)}

따라서 에너지 절약이라는 측면에서 볼 때 附加의 동력 공급이 없는 受動的 方法이 傳熱增進에 가장 바람직한 것이라고 생각된다.

특히 傳熱增進의 代表的인 것에는 對流 熱交換技術을 對象으로하는 衝突噴流系가 있는데, 이 系는 衝突領域에서 발생하는 大規模 渦流(large scale eddy)에 의해 높은 열 및 物質傳達係數를 얻을 수 있기 때문에 이 방법의 개발은 대단히 중요하다고 할 수 있다.

衝突噴流는 물체의 표면을 냉각하거나 가열하는데 널리 이용될 수 있는데 工業的인 예를 보면 高溫物體의 急速冷却, 직물 및 종이 등의 乾燥, 가스터빈 翼의 냉각과 근래에는 전자장비의 冷却 등에 이용하고 있다.^{1, 4, 7)}

衝突噴流의 이러한 장점 때문에 衝突噴流에 대한 實驗的, 理論的 研究는 활발하게 進行되고 있다. 그런데 衝突噴流는 충돌영역을 벗어나 벽면분류영역으로 진행할수록 속도감소와 분류의 擴散으로 전열효과가 相對的으로 낮아지기 때문에 이를 보완하기 위한 技術開發이 필요하다고 생각된다. 특히 傳熱性能을 향상시키기 위해서는 亂流促進이 必須的이기 때문에 傳熱面의 形상을 바꾸거나 傳熱面上 또는 유체흐름 사이에 여러가지 形상의 亂流促進體를 사용하여 亂流를 발생시키는 방법이 가장 효과적이라고 할 수 있다. 따라서 본 研究에서는 衝突噴流系의 壁面噴流領域에서 傳熱增進 效果를 究明하는데 그 목적을 두고 受動的 方法의 하나인 亂流促進體를 이용하기로 한다.

즉 亂流促進體로는 正 四角形 斷面의 로드를 사용하고 이것을 平板傳熱面 앞에 설치한 다음,

로드의 피치를 30mm로 고정하고 노즐 출구속도, 亂流促進體의 폭, 노즐 출구와 전열면 사이의 거리 및 4角 亂流促進體와 傳熱面 사이의 간극을 변화시키면서 이 때의 유동특성과 전열특성을 實驗的으로 究明하여, 四角 亂流促進體를 설치하지 않은 平板의 경우와 비교, 검토하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치의 개요

Fig.1은 實驗裝置의 概略圖이다. 공기는 遠心式 送風機①에서 送出되며 유량은 유량조절 밸브②에 의해 조절되고 와이어메쉬(Wire Mesh)③과 디퓨저④를 지나 하니콤⑤과 세틀링 챔버(Settling chamber)⑥에 의해 均一化 되면서 노즐⑦(입구 폭 250mm, 출구 폭 50mm, 높이 500mm, 길이 300mm인 sine曲線形으로된 四角 노즐)을 통해 분출된다. 또한 2차원 분류가 되도록 분출 후의 流路上下面에는 平行板을 설치하였으며 衝突板⑨는 전후 좌우이동이 가능하도록 하고, 衝突板의 최대 이동거리(노즐 출구⑦ 부터 衝突板⑨까지)는 노즐폭의 16배(800mm)이다.

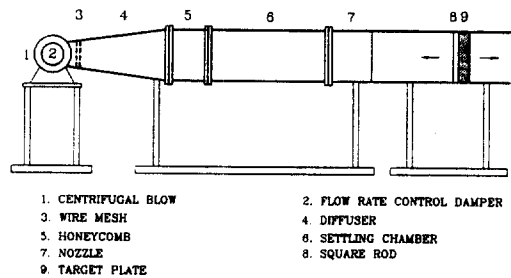


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus.

2.2 좌표계

Fig.2, 3은 平板傳熱面 앞에 亂流促進體인 로드를 설치한 경우의 座標系로써 로드의 폭을 W, 로드와 電熱面角의 간극을 C, 로드 사이의 피치를 P, 노즐 출구폭을 B, 노즐의 높이를 L, 平板의 停滯點(Stagnation point)으로부터 노즐 출구폭 방향의 거리를 X, 노즐 출구로부터 傳熱面까지의 거리를 H로 하여 X와 H를 각각 X/B, H/B로 無次元化 하였으며,

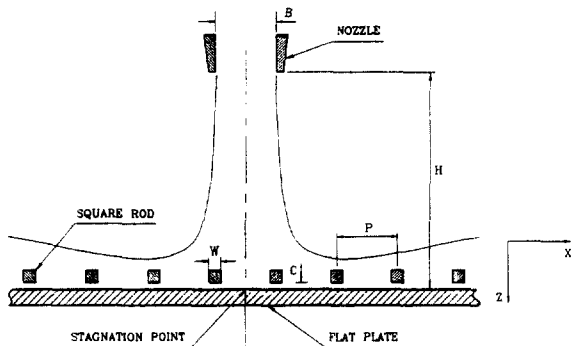


Fig. 2 Coordinate system of flat plate with rods. (I)

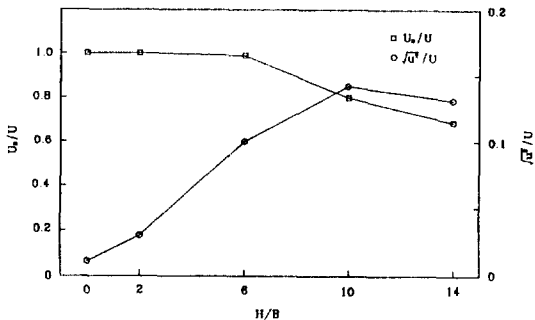


Fig. 4 Distribution of velocity and turbulence along the centerline of free jet. (U=18m/s)

도가 최소가 되는 위치는 H/B=2이며 최대가 되는 위치는 遷移領域인 H/B=10이다.

2.4 전열면 형상 및 온도 측정

전열면의 형상은 Fig. 5와 같으며 Bakelite板(500×500×20mm)에 스테인레스 薄板(길이 500mm, 폭 10mm, 두께 0.03mm) 3枚를 接着劑로 부착하고 단면 B-B에 표시된 바와 같이 동판으로 연결하였다.

傳熱面의 가열은 q=1020W/m²의 等熱流束 조건으로 하여 通電加熱하였으며 이 때 전압은 自動電壓調整器를 사용하여 일정하게 유지시켰고, 熱流束 값은 식 (1)과 같이 回路內의 電流計의 전류와 스테인레스 薄板 兩端 電位差의 積으로 구하였다.

$$q = I \cdot \frac{V}{A} \tag{1}$$

傳熱面의 온도측정은 스테인레스 薄板 뒷면에 直徑 0.07mm의 C-C熱電對(Thermocouple : T-type) 45개를 停滯點으로 부터 5mm 간격으로 납땜 부착하여 Data Logger(Fluke Co, Helios I)에 연결하고, 傳熱面이 定常狀態에 도달한 것을 확인한 후 3분 간격으로 10회 측정하여 平均溫度를 읽었다.

특히 溫度測定은 傳熱面이 定常溫度에 도달한 것을 확인하기 위해 衝突板의 위치조건 변경시에는 약 1시간 경과후, 매회 전열면의 平均溫度差가 0.1℃ 이하가 될때의 온도를 定常溫度로 정했으며, Bakelite板(熱傳導率 0.042kcal/m·℃)에서의 방출열량은 전체 加熱量의 0.125% 이내의 범위였기 때문에 Ba-

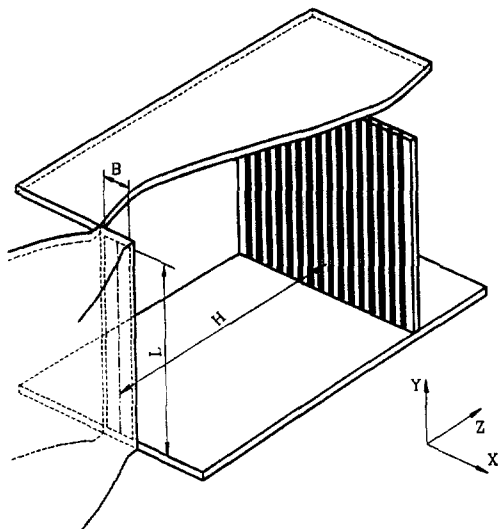


Fig. 3 Coordinate system of flat plate with rods. (II)

노즐中心은 傳熱面 中央部에 隣接한 두개로 로드 사이의 中心線과 일치하도록 하였다.

2.3 자유분류의 속도와 난류강도

Fig. 4는 분류中心軸上에서의 속도와 노즐 출구속도와의 비(U_c/U) 및 난류강도와 노즐 출구속도와의 비(√u'/U)를 나타낸 것으로 분류중심 속도는 약 H/B=6까지 노즐 출구속도가 유지되며 H/B=6以後 감소하고 있다. 따라서 포텐셜 코어영역은 H/B=6까지로 생각되며 난류강도는 노즐 출구로부터 증가하기 시작하여 주위 유체와의 혼합작용이 충분히 이루어지는 H/B=10에서 최대가 된 후 점차 감소하고 있다. 따라서 本 實驗範圍內에서 난류강

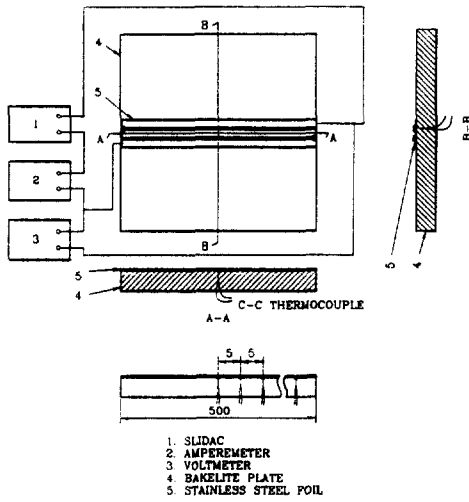


Fig.5 Detailed diagram of heating apparatus.

kelite板을 통한 熱損失은 무시하였다.

또한 온도측정은 자유분류의 유속측정으로 부터 좌우 대칭성을 확인했기 때문에 停滯點으로 부터 한방향으로만 측정하였고 이때 분류의 溫度範圍는 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 였으며 사용된 物性値는 參考文獻⁶⁾을 이용하였다.

그리고 局部熱傳達係數 (h), 局部Nusselt數 (Nu), 局部平均Nusselt數 (\bar{Nu})는 다음과 같이 계산하였다.

$$h = \left(\frac{q}{T_w - T_\infty} \right) [W/m^2 \cdot ^\circ\text{C}] \quad (2)$$

여기서 T_w 는 傳熱面의 온도, T_∞ 는 노즐 출구에서의 공기 온도이다.

$$Nu = h \cdot B / \lambda \quad (3)$$

$$\bar{Nu} = \int_{-X}^X Nu \cdot dx / \int_{-X}^X dx \quad (4)$$

또한 本 研究에서 구한 Re 와 Nu 에 대한 不確實性^{14, 15)}은 $Re = \pm 2.1\%$ 이고, $Nu = \pm 5.7\%$ 이다.

2.5 실험 data의 신뢰성

Fig.6은 本 實驗 data의 신뢰성을 검증하기 위해

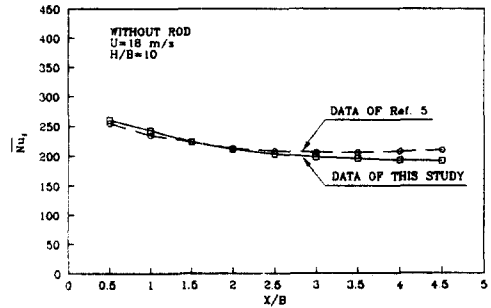


Fig.6 Comparison of the results of this study with data of Ref.5($H/B=10$)

로드를 설치하지 않은 平板의 경우 $U=18\text{m/s}$, $H/B=10$ 일 때 평균 Nu_x 를 Ref.5의 평균 Nu_x 와 비교한 것으로 定性的으로 매우 유사한 경향을 나타내고 있으며, 定量的으로 비교하면 약 4% 정도의 차이를 나타내고 있다. 따라서 本 實驗에서 로드를 설치하지 않은 平板의 Nu_x 는 다른 實驗結果와 定性·定量的으로 유사성을 갖고 있으며 熱流束 및 속도가 동일한 상태에서 로드를 설치하여 실험을 수행했기 때문에 Nu_x 역시 동일한 正確度를 가질 것으로 생각된다.

2.6 실험조건 및 범위

본 실험에 적용된 실험조건 및 범위를 정리하면 다음과 같다.

- ① 노즐 출구폭: $B=50[\text{mm}]$
- ② 노즐 출구 높이: $L=500[\text{mm}]$
- ③ 노즐 출구의 평균속도: $U=2, 8, 14, 18[\text{m/s}]$
- ④ 衝突板의 형상: $500 \times 500 \times 20[\text{mm}]$ 平板
- ⑤ 노즐 출구와 傳熱面間의 거리: $H=100, 300, 500, 700[\text{mm}]$
- ⑥ 衝突板에 부착된 전열면의 熱流束: $q=1020 [W/m^2]$
- ⑦ 亂流促進體(로드)의 형상: $4 \times 4 \times 500[\text{mm}]$ 의 正 4角 로드
 $6 \times 6 \times 500[\text{mm}]$ 의 正 4角 로드
 $8 \times 8 \times 500[\text{mm}]$ 의 正 4角 로드
- ⑧ 로드와 傳熱面間의 폭: $W=4, 6, 8[\text{mm}]$
- ⑨ 로드와 로드사이의 피치: $P=30[\text{mm}]$
- ⑩ 로드와 傳熱面사이의 간극: $C=1, 2, 4, 6 [\text{mm}]$

- ① 분류의 형상: 2차원 수평분류
- ② 작동유체: 공기

3. 실험결과 및 고찰

3.1 로드를 설치하지 않은 평판에서의 전열특성

本節에서는 2차원 공기 분류가 로드를 설치하지 않은 平板 傳熱面에 충돌할 때의 유동특성 및 전열특성에 대하여 고찰하고자 한다.

3.1.1 停滯點의 전열특성

Fig.7은 로드를 설치하지 않은 平板 傳熱面에 분류가 충돌할 때 노즐 출구속도 변화에 따른 停滯點에서의 전열특성을 나타낸 것으로 停滯點에서의 Nu_s 는 H/B 가 증가함에 따라 서서히 증가하기 시작하여 $H/B=10$ 에서 최대가 된 후 다시 감소한다.

특히 Nu_s 가 노즐 출구속도 변화에 관계없이 $H/B=10$ 에서 최대가 되는 것은 분류가 傳熱面에 충돌하기 전에 주위 유체와의 混合作用이 충분히 이루어져 亂流強度가 증가되었기 때문이다.⁸⁾

또한 노즐 출구속도 변화에 대한 관계를 고려하면 $U=2, 8m/s$ 인 경우, $H/B=6$ 과 $H/B=10$ 에서의 Nu_s 는 큰 차이가 나타나지 않는데, 이것은 속도가 감소함에 따라 亂流度가 최대가 되는 위치는 노즐 출구쪽으로 이동하기 때문이라고 생각되며, 이것은 다른 연구 결과들^{8, 9)}과도 동일한 경향을 나타내고 있다. 즉 분류속도에 따라 停滯點에서의 Nu_s 가 최대로 되는 衝突板의 위치가 존재한다고 생각된다.

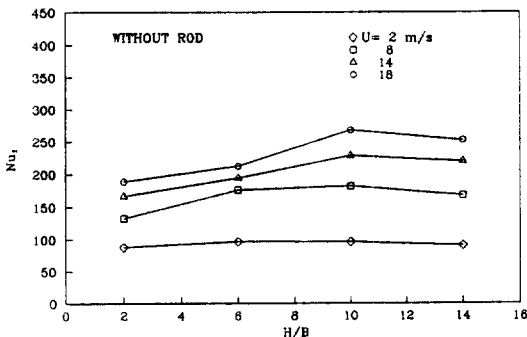


Fig.7 Variation of stagnation point Nu as a function of H/B for various velocities.

3.1.2 벽면분류영역의 전열특성

Fig.8은 $U=18m/s$ 일 때 停滯點으로부터 X方向의 Nu_s 를 각 H/B 에 대하여 나타낸 것으로 X방향으로의 Nu_s 는 停滯點보다 감소하고 있는데 이것은 분류가 벽면분류영역으로 진행하면서 속도가 감소되고 확산이 일어나기 때문이며, Nu_s 는 노즐 출구속도 변화에 관계없이 전체적으로 $H/B=10$ 에서 최대가 되며 $H/B=2$ 에서 최소가 된다.

즉 포텐셜 코어영역($H/B < 6$)에서는 분류가 충돌하기 전에 주위 유체와의 혼합작용이 충분하게 이루어지지 않았기 때문에 遷移領域($H/B > 8$)인 $H/B=10$ 보다 Nu_s 는 낮게 나타난다.

그리고 분류가 벽면을 따라 진행하면서 나타나는 특징으로 포텐셜 코어영역에서 Nu_s 는 停滯點이후 감소하다가 $X/B=2.5$ 부근에서 다시 증가하기 시작한다.

이 현상에 대해서 增田¹⁰⁾은 분류가 層流에서 亂流로 遷移하기 때문이라고 報告하고 있지만, 崔¹¹⁾ 등에 의하면 이것은 노즐 양끝에서 생성된 渦流가 성장하여 $X/B=2.5$ 부근에서 질면면상의 境界層을 攪亂시키기 때문이라는 것을 可視化實驗에 의해 밝히고 있다.

이와같은 현상이 일어나는 것은 衝突板이 포텐셜 코어영역내에 설치된 경우에는 노즐 출구속도 변화에 관계없이 모두 확인할 수 있으며, 노즐 출구속도가 커짐에 따라 渦流의 영향도 증가하여 Nu_s 의 再上昇率도 커짐을 알 수 있다. 그러나 衝突板이 遷移領域내에 설치된 경우에는 이와같은 현상은 나타나지 않는다.¹²⁾

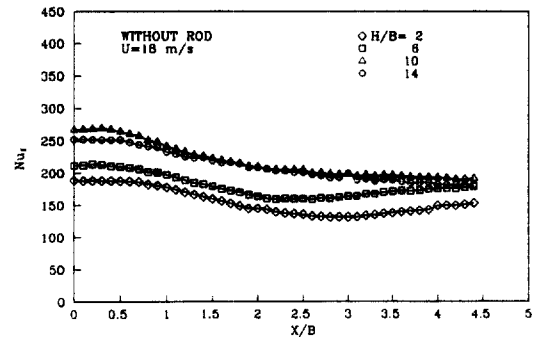


Fig.8 Distribution of local Nu on the flat plate as a function of X/B for $U=18m/s$.

Fig.9, 10은 衝突板이 포텐셜 코어영역내에 설치된 H/B=2와 遷移領域인 H/B=10에서의 노즐 출구속도 변화에 대한 Nu_r 의 분포를 각각 나타낸 것이다.

Nu_r 의 분포는 노즐 출구속도 변화에 따라 거의 동일한 경향으로 나타나며 H/B=2인 경우 X/B=2.5

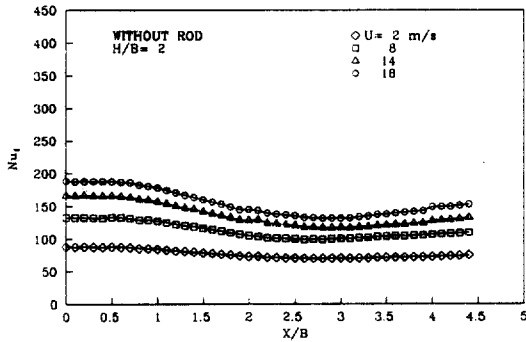


Fig.9 Distribution of local Nu on the flat plate as a function of X/B for various velocities with H/B=2.

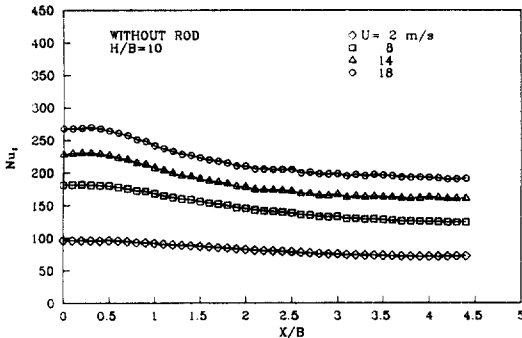


Fig.10 Distribution of local Nu on the flat plate as a function of X/B for various velocities with H/B=10.

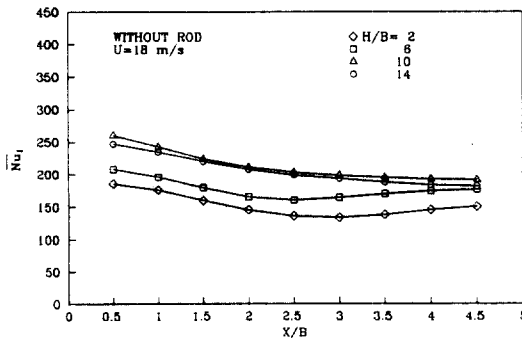


Fig.11 Distribution of local average Nu on the flat plate as a function of X/B for U=18m/s.

부근에서 Nu_r 의 再上昇을 확인할 수 있다. 그러나 노즐 출구속도가 감소할수록 주위 정지유체와의 혼합작용이 감소하여 渦流의 생성이 활발하지 않기 때문에 Nu_r 의 再上昇 현상은 줄어든다.⁷⁾

Fig.11은 U=18m/s일 때 局部平均 Nu_r 를 각 H/B에 대하여 나타낸 것으로 모든 H/B중에서 H/B=10인 경우에 X/B 전영역에서 Nu_r 가 최대가 되고 포텐셜 코어영역인 H/B=2, 6인 경우에는 X/B=2.5부근에서 Nu_r 의 再上昇이 일어나며 H/B의 변화에 대한 평균 Nu_r 를 비교하면 H/B=10일 때가 H/B=2인 경우보다 약 41%정도 높게 나타난다.

이상과 같이 2차원 衝突噴流系에서 噴流가 로드를 설치하지 않은 平板 傳熱面에 충돌할 때의 유동특성 및 전열특성에 대하여 고찰한 결과, 분류가 평판에 충돌할 경우 Nu_r 는 停滯點 이후 X방향으로 계속 감소하며, 포텐셜 코어영역내에 衝突板이 설치되더라도 X/B=2.5 부근에서의 再上昇 경향은 있지만 衝突噴流系의 전열증진을 위해서는 衝突噴流領域内の 전열향상이 이루어져야 하며 이를 위해서는 亂流促進體에 의한 전열 向上策이 필수적이라고 생각한다.

그리고 H/B의 변화에 대한 Nu_r 의 관계를 살펴보면 속도에 관계없이 Nu_r 는 H/B=2에서 가장 낮게 나타나며 H/B=10에서 가장 높게 나타나므로 本研究에서는 亂流促進體인 로드를 설치하더라도 모든 H/B중에서 특히 傳熱性能이 가장 낮은 H/B=2와 亂流強度가 충분히 발달되어 전열성능이 가장 크게 나타날 것으로 예상되는 H/B=10을 중심으로 로드의 폭, 로드와 傳熱面사이의 간극을 변화시켜 이때의 유동특성 및 전열특성을 밝히고 로드를 설치하지 않은 平板과 비교, 검토하고자 한다.

3.2 亂流促進體 설치에 의한 영향

3.2.1 로드와 傳熱面 사이의 間隙變化가 열전달에 미치는 영향

Fig.12는 노즐 출구에서의 속도(以下 U라 함)가 18m/s, 로드의 폭(以下 W라 함)이 4mm, 로드와 로드사이의 피치(以下 P라 함)를 30mm로 固定한 경우, 衝突板을 포텐셜 코어영역인 H/B=2인 위치에 설치했을 때 로드와 傳熱面 사이의 간극(以下 C라 함) 변화에 대한 Nu_r 의 분포를 나타낸 것으로, 여기서 Nu_r 은 停滯點 附近을 제외한 X/B 全領域

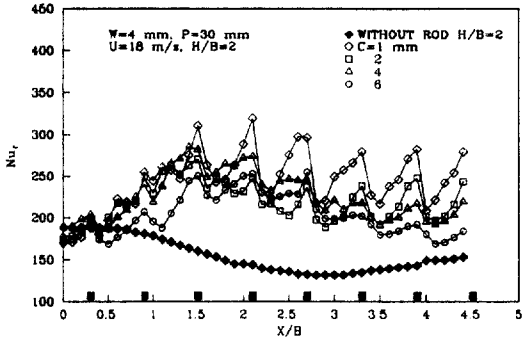


Fig. 12 Distribution of local Nu as a function of X/B for various clearances.(W=4mm, H/B=2)

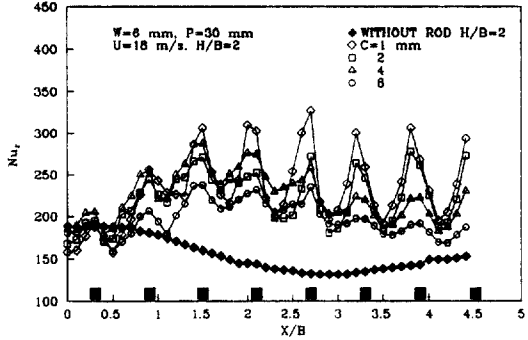


Fig. 14 Distribution of local Nu as a function of X/B for various clearances.(W=6mm, H/B=2)

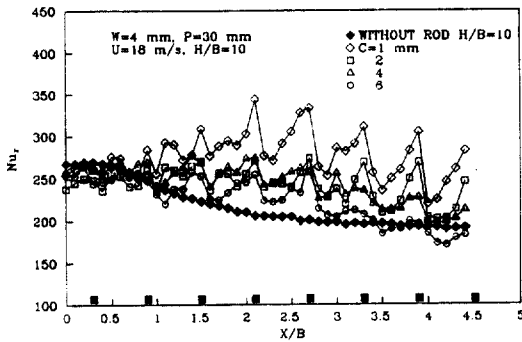


Fig. 13 Distribution of local Nu as a function of X/B for various clearances.(W=4mm, H/B=10)

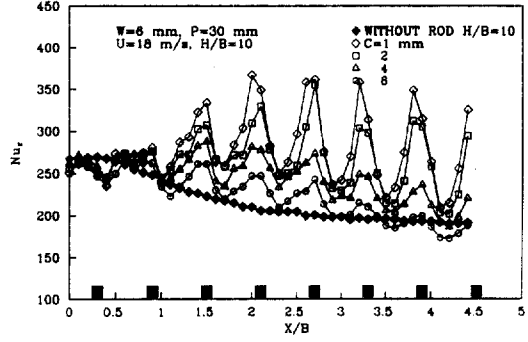


Fig. 15 Distribution of local Nu as a function of X/B for various clearances.(W=6mm, H/B=10)

에서 C의 변화에 관계없이 停滯點보다 매우 높게 나타나며 로드가 없는 平板과 비교해 보면 停滯點附近을 제외한 全領域에서 높게 분포되어 있다.

로드를 설치한 경우, 停滯點 附近에서의 Nu_r이 로드를 설치하지 않았을 때보다 낮게 나타나는 것은 분류가 로드의 저항을 받기 때문에 벽면분류로의 진행이 원활하지 않아서 약간의 停滯現象이 일어나기 때문이며,¹³⁾ C의 변화와 관계없이 로드 바로 밑에서 Nu_r이 최대값을 나타내는 것은 로드 바로 밑에서 일어나는 유체의 加速效果^{5, 13)}에 의한 境界層의 薄膜化때문이다. 즉 C의 변화에 의한 가속효과와 영향을 살펴보면 C=1mm인 경우, C=2, 4, 6mm에 비해 壁面噴流領域에서 로드 바로 밑의 Nu_r은 상대적으로 높는데 이것은 간극이 작을수록 유체의 加速效果가 크게 작용한다는 것을 의미하는 것이다.

그리고 C의 변화와 관계없이 로드 直後에서

Nu_r이 급격하게 낮아지는데 이것은 분류가 로드 바로 밑을 지나면서 傳熱面에서 이탈하는 剝離現象^{5, 13)} 때문이며 X/B가 커질수록 剝離點에서 Nu_r은 계속 낮아지고 있다. 즉 X/B가 커질수록 유체는 로드의 側面抵抗으로 인한 運動量 감소와 확산으로 로드 바로 밑의 加速效果는 점차 줄어서 剝離의 영향도 크게 받기 때문이다.

Fig.13은 遷移領域인 H/B=10인 위치에 衝突板을 설치한 경우로서 로드를 설치하지 않은 平板과 비교해볼때 Fig.12의 H/B=2에서의 傳熱增進率 보다는 작다. 이것은 H/B=10인 경우에는 亂流强度가 충분히 성장하여 충돌하기 때문에 로드를 설치하더라도 증진효과는 크지않은 반면, H/B=2에서는 亂流强度가 충분히 발달하지 않은 상태에서 충돌하지만 壁面噴流領域으로 진행하면서 로드에 의해 亂流效果가 발생하기 때문에 로드를 설치하지 않은 平板에 비해 傳熱增進率은 크게 향상된다.

특히 $C=6\text{mm}$ 인 경우, $X/B < 3.5$ 영역에서는 로드의 側面抵抗으로 인한 運動量 감소와 함께 로드를 지나면서 일어나는 剝離 때문에 로드를 설치하지 않은 平板보다 Nu_r 은 오히려 낮아진다.

Fig.14는 $W=6\text{mm}$, $P=30\text{mm}$, $U=18\text{m/s}$, $H/B=2$ 인 경우이며 C 의 변화에 대한 영향은 5번째 로드까지는 Fig.12의 $W=4\text{mm}$ 일 때와 같이 로드 바로 밑에서 높게 나타나지만, 5번째 로드 이후($X/B > 3$)에서는 로드 直前의 Nu_r 이 로드 바로 밑의 Nu_r 보다 높게 나타난다. 이것은 로드 側面에 충돌하는 분류가 渦流를 일으켜 이 부근의 溫度境界層을 薄膜化시키기 때문이며¹⁶⁾ 이 효과는 로드 바로 밑에서의 加速效果에 의한 傳熱向上보다 크게 작용하므로 로드 바로 밑의 Nu_r 보다 높다. 따라서 $W=6\text{mm}$ 인 경우에는 Fig.12의 $W=4\text{mm}$ 와는 다르게 $X/B=3$ (停滯點으로부터 150mm) 이후의 영역이 되면 C 의 변화에 의한 로드 바로 밑의 加速效果보다는 로드 直前에서의 渦流에 의한 영향이 더 크게 작용하고 있음을 알 수 있으며, 이와같은 현상은 $C=2\text{mm}$ 에서도 나타난다. 또한 C 의 변화에 대한 Nu_r 의 分布는 Fig.15에서 확인할 수 있듯이 C 가 클수록 전체적으로 낮아지는 현상이 나타난다.

그리고 $C=6\text{mm}$ 일 때는 Fig.13($W=4\text{mm}$)의 $C=6\text{mm}$ 일 때와 마찬가지로 $X/B > 3.5$ 영역에서는 로드를 설치하지 않은 平板보다 傳熱性能은 낮다.

Fig.16은 $W=8\text{mm}$, $P=30\text{mm}$, $U=18\text{m/s}$, $H/B=2$ 인 경우로 W 가 넓어짐에 따라 C 의 변화에 의한 유체의 加速效果 및 渦流의 영향이 가장 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 특히 $X/B=2.5$ 이후에

서는 $C=1\text{mm}$ 일 때의 Nu_r 과 $C=2\text{mm}$ 일 때의 Nu_r 의 차이가 크게 나타나지 않는 반면 $C=4, 6\text{mm}$ 의 경우와는 큰 차이를 나타낸다. 이것은 완전한 壁面噴流領域에서는 C 의 변화와 함께 W 의 변화가 複合적으로 작용하고 있기 때문으로 생각되며 C 의 변화와 관계없이 $X/B > 2$ 영역에서는 로드 바로 밑에서의 Nu_r 보다는 로드 直前에서의 Nu_r 이 더 높다.

Fig.17의 $H/B=10$ 에서 이러한 현상은 더욱 명확하게 나타나며, 亂流强度의 발달로 인한 渦流의 영향은 C 가 증가함에 따라 급격하게 감소한다. 특히 $C=6\text{mm}$ 인 경우에는 $X/B > 3.5$ 영역에서 Nu_r 은 로드를 설치하지 않은 平板의 Nu_r 보다 오히려 낮게 나타난다. 이것은 로드 바로 밑에서의 加速效果와 로드 直前에서의 渦流의 效果가 감소하기 때문이며 따라서 $C=6\text{mm}$ 에서는 로드를 설치하지 않은 平板에 비해 큰 傳熱性能을 기대할 수 없다.

그리고 Fig.17을 Fig.13 및 15와 비교해 보면, W 가 커질수록 C 의 변화에 의한 Nu_r 의 변화폭이 크게 나타난다. 그리고 渦流는 $H/B=2$ 인 경우 $C=1\text{mm}$ 일 때는 4번째 로드 直前부터 발생하며, $C=2\text{mm}$ 일 때는 6번째 로드 直前부터 發生하고 있다. 그러나 $H/B=10$ 인 경우에는 $C=1\text{mm}$ 일 때 2번째 로드 直前부터 渦流가 발생하며 $C=2\text{mm}$ 일 때는 $H/B=2$ 와 마찬가지로 6번째 로드 直前부터 渦流가 발생하고 있다. 또한 $C=4, 6\text{mm}$ 일 때는 渦流에 의한 영향이 명확하지 않다. 따라서 로드 直前에서 發生하는 渦流는 주로 C 및 W 의 변화에 의해 일어난다고 생각된다.

지금까지 考察한 C 의 變化에 대한 影響을 綜合

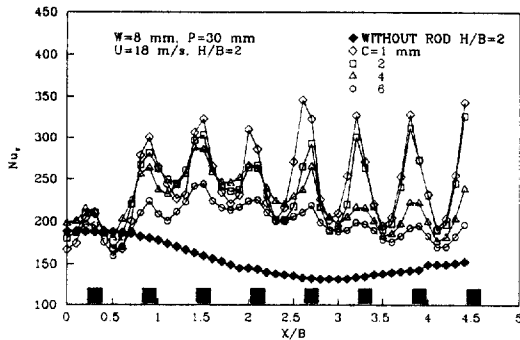


Fig.16 Distribution of local Nu_r as a function of X/B for various clearances. ($W=8\text{mm}$, $H/B=2$)

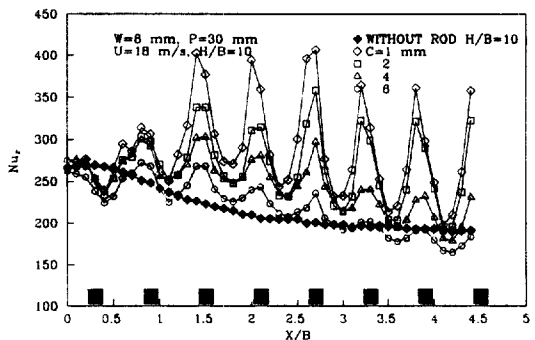


Fig.17 Distribution of local Nu_r as a function of X/B for various clearances. ($W=8\text{mm}$, $H/B=10$)

해보면 C 가 작을수록

- ① 로드 바로 밑의 加速效果를 증진시키며
- ② 剝離 및 再附着에 의한 영향을 크게 받으며
- ③ 渦流 생성에 의한 효과가 크게 작용한다.

결국 C 가 클수록 위의 3가지 영향은 크게 기대할 수 없으므로 傳熱性能을 향상시키기 위해서는 C 를 작게 하는 것이 바람직하다. 그러나 剝離, 再附着 및 渦流의 생성은 C 의 변화에도 영향을 받지만 W 변화의 영향도 함께 받는 것으로 생각된다.

3.2.2 로드의 폭변화가 열전달에 미치는 영향
本節에서는 로드의 폭(이하 W 라 함)변화가 열전달에 미치는 영향을 究明하고자 한다.

前節에서 C 의 변화에 따른 傳熱增進率은 $C=1$ mm인 경우가 가장 우수하였으므로 C 는 1mm로 고정할 때 W 변화에 의한 전열특성을 살펴보고 로드가 없는 平板과 비교하고자 한다.

Fig.18은 $U=18$ m/s, $C=1$ mm, $P=30$ mm인 경우 衝突板을 포텐셜 코어영역인 $H/B=2$ 의 위치에 설치할 때 W 의 변화에 대한 Nu_r 의 관계를 나타낸 것으로, W 의 변화와 관계없이 로드를 설치하지 않은 平板에 비해 停滯點 附近을 제외한 全領域에서 높은 Nu_r 의 분포를 나타내고 있다.

停滯點 附近에서의 Nu_r 은 로드의 側面抵抗^{11, 13)}

으로 인해 로드를 설치하지 않은 平板에 비해 낮게 나타나며, 충돌영역이라 하더라도 유체가 로드 바로 밑에서 가속이 되기 때문에 첫번째 로드 바로 밑의 Nu_r 은 그 주변보다 높다.

$W=4$ mm인 경우, 衝突領域에서 Nu_r 의 분포를 살펴보면 로드 直後에서는 剝離로 인해 Nu_r 이 낮게 나타나며, 로드와 로드사이에서는 再附着에 의해 Nu_r 이 높게 나타난다. 특히 이와같은 현상은 $W=6$ mm, 8mm에서는 볼 수가 없는데, 이것은 $W=4$ mm는 $W=6$ mm 및 8mm보다 상대적으로 로드 폭이 작기 때문에 로드 바로 밑에서의 加速效果가 작을 뿐만 아니라 이로 인한 剝離도 일찍 일어나지만 노즐 출구에서 분출한 유체는 로드의 높이가 낮기 때문에 $W=6, 8$ mm인 경우보다 傳熱面에 쉽게 衝突하면서 再附着하게 된다. 특히 $W=4$ mm인 경우에는 로드 바로 밑에서 加速에 의한 유체의 속도가 $W=6, 8$ mm보다 작기 때문에 로드 바로 밑을 지나온 유체는 빨리 剝離된다.

또한 $W=4$ mm일 때는 全領域에 걸쳐 로드 바로 밑에서 Nu_r 이 로드 直前의 Nu_r 보다 높게 나타나지만 $W=6$ mm, 8mm일 때는 壁面噴流領域($X/B > 1.5$)으로 進行하면서 로드 直前의 Nu_r 이 로드 바로 밑의 Nu_r 보다 높게 나타난다. 이것은 3.2.1절에서도

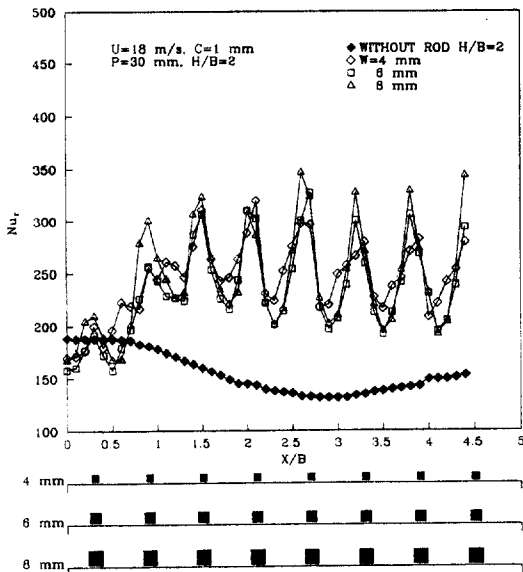


Fig.18 Distribution of local Nu_r as a function of X/B for various width. ($C=1$ mm, $H/B=2$)

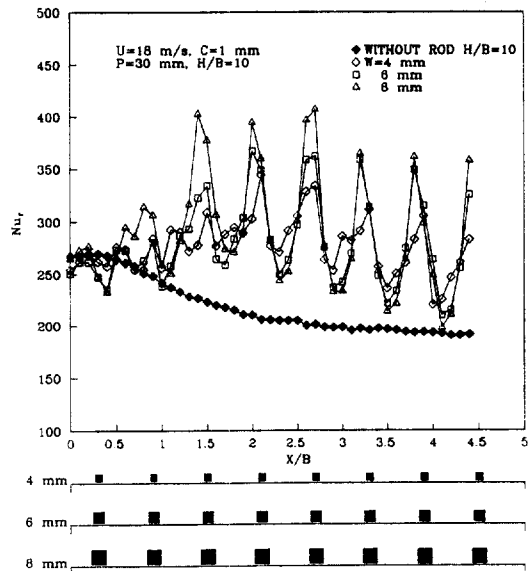


Fig.19 Distribution of local Nu_r as a function of X/B for various width. ($C=1$ mm, $H/B=10$)

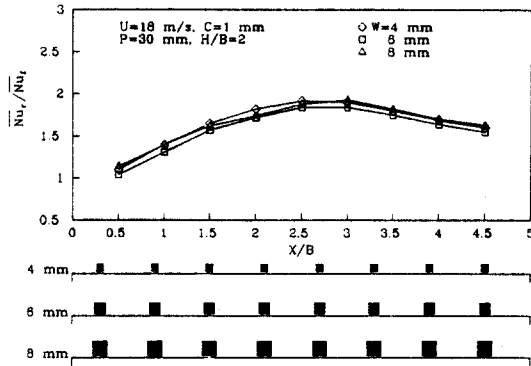


Fig.20 Distribution of local average Nu as a function of X/B for various widths.(C=1mm, H/B=2)

언급했듯이 로드 直前에서 생기는 渦流¹⁶⁾의 영향 때문이며 C 및 H/B가 변해도 이와같은 현상은 확인할 수 있다. 특히 X/B 全領域에서 W=8mm인 경우가 로드 直前에서 발생하는 渦流의 영향이 가장 크게 나타나므로 壁面噴流領域에서 渦流의 발생은 C 및 W에 의한 영향이라고 생각할 수 있다.

Fig.19는 U=18m/s, C=1mm이고 衝突板은 遷移領域인 H/B=10의 위치에 설치할 때 W의 변화에 의한 Nu_r의 관계를 나타낸 것으로, 全體의인 경향은 H/B=2와 類似하지만 H/B=10인 경우에는 분류의 亂流強度가 충분히 발달한 상태에서 傳熱面に 충돌하기 때문에 H/B=2보다는 Nu_r이 훨씬 높게 분포되고 있다. 특히 W=6, 8mm인 경우에는 3번째 로드 直前보다 渦流에 의한 영향이 나타나지만 W=4mm인 경우에는 渦流에 의한 영향은 일어나지 않는 것으로 생각된다. 즉 渦流는 壁面분류영역에서 분류가 로드 側面에 충돌하면서 일어나므로 W가 비교적 작은 W=4mm인 경우에는 분류의 충돌면적이 작기 때문에 와류의 생성은 일어나지 않는 것으로 생각된다. 따라서 W가 클수록 渦流의 영향도 크다. 그러나 壁面噴流領域으로 진행하면서 W가 클수록 剝離의 영향도 크게 받기 때문에 壁面噴流領域에서 Nu_r의 減少率 역시 W=8mm인 경우가 가장 크다. 그리고 Fig.18에서도 확인했듯이 W의 변화에 의한 剝離는 W=4mm인 경우가 가장 일찍 일어남을 알 수 있다.

이상과 같이 亂流促進體를 이용한 전열증진에 관한 실험에서 재부착 현상은 W가 지배적인 인자

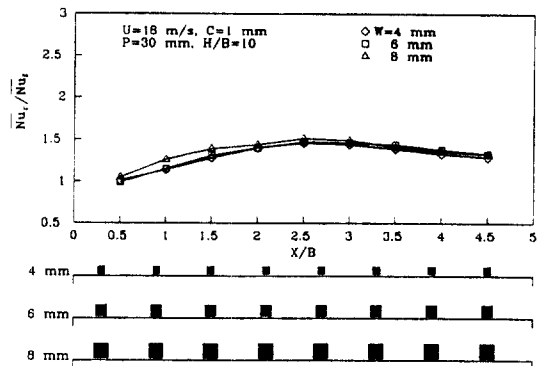


Fig.20 Distribution of local average Nu as a function of X/B for various widths.(C=1mm, H/B=2)

임을 알 수 있다. Fig.20은 본 실험범위내에서 傳熱增進率이 가장 우수한 U=18m/s, C=1mm, H/B=2인 위치에 衝突板을 설치하고 W를 4mm, 6mm, 8mm로 변화시킬 때 로드를 설치하지 않은 경우의 평균 Nu_r와 로드를 설치한 경우의 평균 Nu_r의 비를 나타낸 것으로 W=4mm일 때는 평균 1.63배, W=6mm일 때는 평균 1.58배, W=8mm일 때는 평균 1.65배의 傳熱增進率을 나타내고 있다.

Fig.21은 傳熱性能이 가장 우수한 U=18m/s, C=1mm, H/B=10인 경우로서 로드를 설치하지 않은 平板과 비교하면 傳熱增進率은 평균적으로 W=4mm일 때는 1.3배, W=6mm일 때는 1.33배, W=8mm일 때는 1.36배가 된다.

여기서 H/B=10에서의 傳熱增進率이 H/B=2에 비해 낮은 것은 H/B=10에서는 분류가 傳熱面に 衝突하기전에 주위 유체와의 混合作用이 충분히 이루어져 亂流成分이 크게 증가된 상태이므로 로드를 설치하더라도 로드에 의한 亂流發生의 영향이 작다. 그러나 H/B=2에서는 노즐 출구와 傳熱面 사이의 거리가 가깝기 때문에 노즐 출구에서 噴出된 유체는 周圍流體와의 혼합이 충분하지 않은 상태에서 傳熱面に 충돌하지만 로드를 지나면서 그 영향으로 亂流가 발생하게 되며 이 영향으로 인해서 傳熱性能은 로드를 설치하지 않은 平板에 비해 월등하게 향상된다.

지금까지 고찰한 로드의 폭(W)변화에 대한 영향을 종합해 보면

- ① W가 클수록 로드 바로 밑에서의 加速 效果는

크며

- ② W가 클수록 壁面噴流領域에서 로드 直前에서 생기는 渦流의 영향이 크게 작용하며
- ③ 剝離와 再附着은 W변화와 관계된다.

4. 결 론

本 研究는 2차원 衝突空氣噴流系에서 傳熱增進을 목적으로 傳熱面 앞에 正4角形 斷面 로드의 피치를 30mm로 고정할때 다음의 조건들 즉, 로드의 폭 ($W=4, 6, 8\text{mm}$), 로드와 傳熱面사이의 間隙($C=1, 2, 4, 6\text{mm}$), 노즐출구와 傳熱面사이의 거리($H/B=2, 6, 10, 14$) 및 노즐출구 속도($U=2, 8, 14, 18\text{m/s}$)를 변화시킬 때의 전열특성을 實驗적으로 究明하여, 로드를 설치하지 않은 平板의 경우와 비교 검토한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

4.1 로드를 설치하지 않은 平板의 경우

1) 自由噴流의 主軸上에서 최대 傳熱性能을 얻을 수 있는 위치는 周圍流體와의 混合作用이 활발하여 亂流度가 가장 발달한 遷移領域인 $H/B=10$ 이고, 傳熱性能이 가장 낮은 위치는 포텐셜 코어영역내인 $H/B=2$ 이며, $U=18\text{m/s}$ 일 때 $H/B=10$ 인 경우가 $H/B=2$ 인 경우보다 평균 Nu_r 는 약 41% 높게 나타난다.

2) 포텐셜 코어영역내에 衝突板을 설치하였을 때 노즐 출구 속도변화에 관계없이 $X/B=2.5$ 부근에서 Nu_r 는 다시 증가하기 시작하는데 이것은 노즐 출구에서 발생한 渦流가 성장하여 이 부근에서 傳熱面上的의 溫度境界層을 薄膜化시키기 때문이다.

4.2 로드를 설치한 平板의 경우

1) 로드를 설치하지 않은 平板의 경우에는 停滯點 以後 Nu_r 이 계속적으로 감소하지만, 로드를 설치 할 경우에는 로드에서 亂流生成, 加速化, 再附着 등에 의해서 停滯點보다 높은 Nu_r 을 얻을 수 있으며 局部的으로는 로드를 설치하지 않은 平板보다 약 2.2배의 최대 局部傳熱增進率이 나타났다.

2) 로드와 傳熱面사이의 間극(C)을 변화시킬 경우, C가 작을수록 로드 바로 밑에서의 加速 效果가 증진되며, 渦流 및 再附着의 영향이 크기 때

문에 傳熱性能은 우수하다.

3) 로드의 폭(W)을 변화시키 경우 W가 클수록 로드 바로 밑에서의 加速 效果와 로드 直前에서 생기는 渦流의 영향이 크게 나타나기 때문에 傳熱性能은 우수해진다.

참 고 문 헌

1. C.O. Popiel and L. Boguslawski, "Local Heat Transfer from a Rotating Disk in an Impinging Round Jet", ASME Journal of Heat Transfer, Vol.108, pp.357-364, 1986.
2. J.K. Hagge and G.H. Junkhan, "Mechanical Augmentation of Convective Heat Transfer in Air", ASME Journal of Heat Transfer, Ser. C, Vol.97, pp.516-520, 1975.
3. W.A. Tauscher, E.M. Sparrow and J.R. Lloyd, "Amplification of Heat Transfer by Local Injection of Fluid into a Turbulent Tube Flow", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.13, pp.681-688, 1970.
4. M. Shoukri and A. Calka, "On the Heat Transfer Characteristics of Constrained Air Jets Impinging on a Flat Surface", ASME Journal of Heat Transfer, Vol.30, No.1, pp.203-205, 1987.
5. 李龍和, "2次元 衝突噴流系에서의 傳熱達增進 技術에 關한 研究", 仁荷大學校 博士學位論文, 1989.
6. 日本機械學會, "傳熱工學資料", pp.65-66, 1986.
7. F.F. Cadek and R.D. Zerkle, "Local Heat Transfer Characteristics of Two-Dimensional Impinging Air Jets-Theory and Experiment", Proc. of 5th International Heat Transfer Conference, FC1.4, pp.15-19, 1974.
8. R. Gardon, J. C. Akfirat, "Heat Transfer Characteristics of Impinging Two-Dimensional Air Jets", ASME Journal of Heat Transfer, Vol.88, pp.101-108, 1966.
9. C. Gau, C.M. Chung, "Surface Curvature Effect on Slot-Air-Jet Impingement Cooling Flow and Heat Transfer Process", ASME Journal of Heat Transfer, Vol.113, pp.858-864, 1991.
10. 增田 涉, 安藤 重大, "2次元噴流의 初期混合領

- 域における亂流計測”, 日本機械學會論文集(B編), 54卷 497號, pp.45-50, 1988.
11. 崔斗燮, 琴聲民, 李龍和, 徐正閔, “衝突空氣噴流系에서의 傳熱促進技術에 關한 研究”, 태양에너지學會論文集, 第13卷 第1號, pp.11-21, 1993.
 12. E.M. Sparrow, R.J. Goldstein, M.A. Rouf, “Effect of Nozzle-Separation Distance on Impingement Heat Transfer for a Jet in a Crossflow”, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.99, pp.528-533, 1975.
 13. 琴聲民, “衝突噴流系에서의 亂流促進體의 間隙變化에 따른 熱傳達增進效果”, 仁荷大學校 產業科學技術研究所 論文集, 第21輯, 1993.
 14. R.B. Abernethy, R.P. Benedict, R.B. Dowdel, “ASME Measurement Uncertainty”, ASME Journal of Fluids Engineering, Vol.107, pp.161-164, 1985.
 15. S.J. Kline, “The Purposes of Uncertainty Analysis”, ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 107, pp.153-160, 1985.
 16. 琴聲民, “衝突空氣噴流 熱傳達의 增進技術에 關한 研究”, 仁荷大學校 博士學位論文, 1994.