

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 19, No. 3, 1999

와이어 망을 이용한 충돌 수분류의 열전달 증진

윤상호*, 이종수**, 최국광***

* 삼익악기(주)연구소

** 안동정보대학

*** 인천대학

Heat Transfer Augmentation by use of Wire Mesh-Screens in Impinging Water Jet

S. H. Yun*, J. S. Lee**, G. G. Choi***

* *Samick M.I Research Institute*

** *An-Dong Institute of Infor. Tech*

*** *University of Incheon*

ABSTRACT

Axisymmetric circular water jet impinges against rectangular heated surface with uniform heat flux and wire-mesh screens are set up in the nozzle-to-heater space to augment heat transfer. In the free jet region to be used them, pressure drop and intensive turbulence flow was brought up.

When water jet system is not used wire-mesh screens, maximum heat transfer appears in the stagnation point and the secondary maximum appears $X/D=4$ but it disappears when they are used. In the low velocity ($V_0 < 6.0\text{m/s}$), coarse mesh-screen enhanced heat transfer but fine mesh-screens impeded heat transfer. In the high velocity ($V_0 > 6\text{m/s}$), all of them enhanced heat transfer.

Average Nusselt number of experimental system to be used wire-mesh screens was promoted 4~6times than that of simple water jet system. The stagnation heat transfer of experimental system to be used wire-mesh screens was augmented 6times that of simple water jet system.

Nomenclatures

D : 노즐직경	[m]
h : 열전달계수	[W/m ² °C]
H : 노즐-전열면간거리	[m]
H _m : 노즐-스크린간거리	[m]
γ : 물의 비중량	[N/m ³]
ν : 물의 동점성계수	[m ² /s]
q : 열유속	[W/m ²]
T _f , T _w : 물과 전열면의 온도	[°C]
V _o : 노즐출구속도	[m/s]
X : 반경방향거리	[m]
κ : 열전도도	[W/m°C]

Dimensionless parameters

- Nu = h · D / κ : Local Nusselt number
- Nu_o = h_o · D / κ : Stagnation point Nusselt number
- $\overline{Nu} = \overline{h} \cdot D / \kappa$: Average Nusselt number
- Pr : μ · c_p / κ : Prandtl number
- Re = V_o · D / ν : Reynolds number of nozzle exit

1. 서 론

충돌액분류는 유체역학적 특성 및 열전달 특성이 다양하기 때문에 태양열의 축열 시스템 및製鐵,製紙,織物, 유리산업, VLSI 高密度電子部品 冷却,軟質材料切斷, 구조물 破壞 등의 應用과 航空分野의 V/STOL 항공기엔진의 排氣등 광범위한 분야에 걸쳐 應用되고 있다.

自由衝突液噴流(Free impinging liquid jet)의 流動場의 構造는 自由噴流領域, 停滯點領域, 平板領域, 遷移領域, 相似領域, 水力跳躍領域 등으로 구분된다.¹⁾ 이와 같은 충돌분류의 연구로서는 永井²⁾등은 노즐-전열면간 거리를 노즐내경(D)만큼 인접하게 하였을 때 평면상의 임의의 점에서 평균유속, 액막두께 및 천이점에 대한 實驗式을 제시하였으며, 반면 R. Gardan등³⁾ 일련의 研究에서 포텐셜코어영역내(0.5 < H/D < 5)에서의 衝突噴流의 停滯點熱傳達은 노즐-전열면간 무차원거리(H/D)에는 관계 없이 레이놀즈수에만 의존한다고 보고하고 있으며, 또한 난류분류에서는 H/D=8~10에서 열전달을 최대라고 나타내고 있는데, 이는 上流에서 亂流強度의 증가에 起因한다고 하였다. 또한 노즐-전열면간 무차원거리(H/D)가 8보다 작은 경우는 정체점 양측면의 壁面噴流領域에서 제2의 極大值가 나타나며, 제2의 극대치는 層流境界層에서 亂流境界層으로의 遷移에 의한 것으로 推論하였다. J.Steven⁴⁾등은 자유충돌수분류에서 x/D < 0.75인 영역에서는 熱傳達體系가 일정하며, 이후 영역에서는 단순감소 후 제2의 極大值가 나타난다고 하였으며 이 제2의 극대치는 레이놀즈수가 증가하면 더욱 명확하게 나타난다고 하였다. 또한 국소너셀트수(Nu)는 노즐직경(D)의 영향이 큰것으로 나타났으며 이러한 영향은 自由流의 速度勾配에 起因한다고 하였다.

이와같은 衝突噴流의 열전달 增進方法은 能動的 方法과 受動的 方法⁵⁾이 있다. 에너지 절약이라는 측면에서 볼 때 外部로부터 動力의 附加的 投入이

필요없는 수동적인 방법이 바람직하다. 그러한 受動的 熱傳達 增進方法^{6~10)}으로는 表面粗度を 이용하는 方法, 다공노즐 혹은 多孔板을 이용하는 方法과 傳熱面近方에 각종 형상의 亂流促進體를 설치하여 溫度境界層을 攪亂하는 方法, 노즐-전열면 사이에 補助水를 사용하는 方法, 粒子衝突에 의한 온도경계층의 파괴효과가 있는 固·氣二相流 熱傳達促進方法도 제시되고 있다. 반면 熱傳達抑制機構로서는 전열면 상에 多層의 메쉬-스크린을 설치하거나, 전열면 자체를 표면처리(Coating)하는 方法등이 있다.

그러나 本 研究는 停滯點 근방에서 亂流領域을 擴大시키기 위해 流體力學的 不連續面을 형성하는 와이어-메쉬 스크린(Wire-mesh screens)을 노즐과 전열면 사이에 설치하였을 때 유체역학적 불연속면의 유무가 熱傳達 效果에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2-1. 실험장치

本 實驗裝置의 개략도는 Fig.1과 같다. 냉각액인 물을 물탱크 ①에 펌프(Pump, 揚水量 90 l/min) ②를 통해서 送出시킨다. 이 때 송출되는 유량은 유량조절밸브 ③에 의해서 流量計(Flow Cell社, FLG形) ④에서 正量的으로 측정하였다. 유량계를 통과한 유량은 출구직경이 4mm이고 縮流比가 25이며 노즐의 내면형상이 정현곡선인 축대칭 원형노즐 ⑤에서 분류되어 流體力學的 不連續面인 와이어-메쉬 스크린(Wire-mesh screens) ⑦을 통과하여 後流에서 심한 난류분류를 형성한 후 전열면 ⑧에 충돌한다.

傳熱面 ⑧은 衝突板 ⑨위에 부착하였고 충돌수분류의 냉각에 의한 전열면의 온도를 측정하기 위하여 傳熱面⑧의 裏面圖心에서 반경방향으로 4mm의 等間隔으로 8개의 熱傳對(T-type, $\phi 50\mu\text{m}$) ⑩을 용착하였다. 전열면 裏面の 온도는 온도측정기(Temperature logging system, Fluke社)⑪에 의해서 측정되었다.

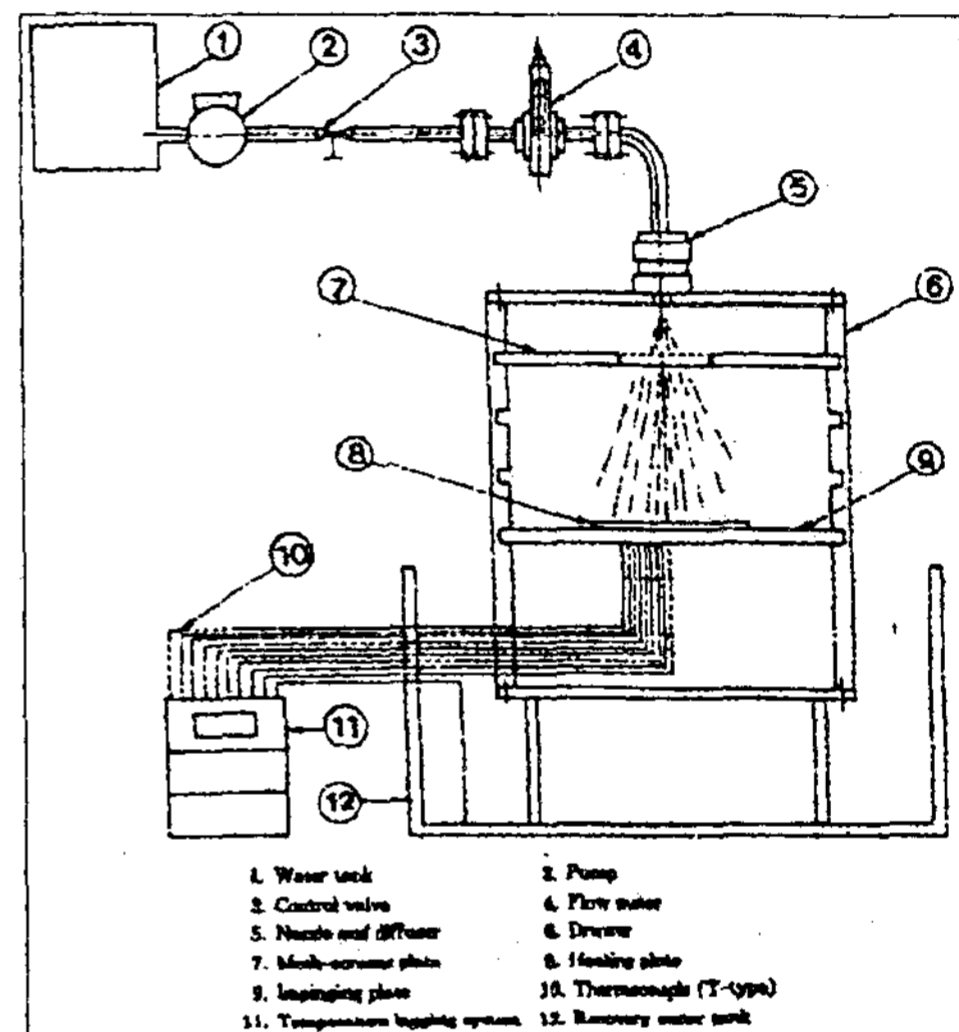


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus.

2-2. 실험방법

축대칭 원형노즐을 하향으로 설치하고 長方形의 傳熱面($10 \times 100\text{mm}^2$)은 상향으로 하여 연직하향의 自由衝突水噴流系를 구성하였다. 이와 같은 충돌수분류계의 가열 장치부는 Fig.2와 같으며 전열면 ②의 양단에 전원을 공급하여 $10^5[\text{W}/\text{m}^2]$ 의 等熱流束 條件으로 하였다. 자유분류에 의하여 냉각되는 전열면의 국소온도는 전열면 裏面に 용착된 열전대 ①에 의하여 온도기록계 ⑤로 측정하였다. 이 경우 냉각액의 분류속도는 4.0~12.0m/s의 속도범위를 갖는다. 그리고 열전달을 증진시키기 위해서 노즐과 전열면 사이에 노즐-스크린간의 무

차원거리 (H_m/D)가 5인 위치에 와이어-메쉬 스크린을 설치하였다. 스크린의 메쉬는 20, 50, 80, 100의 4종류를 사용하였다. 노즐-전열면간의 無次元距離(H/D)는 5, 10, 15, 20, 25등으로 변화하였다.

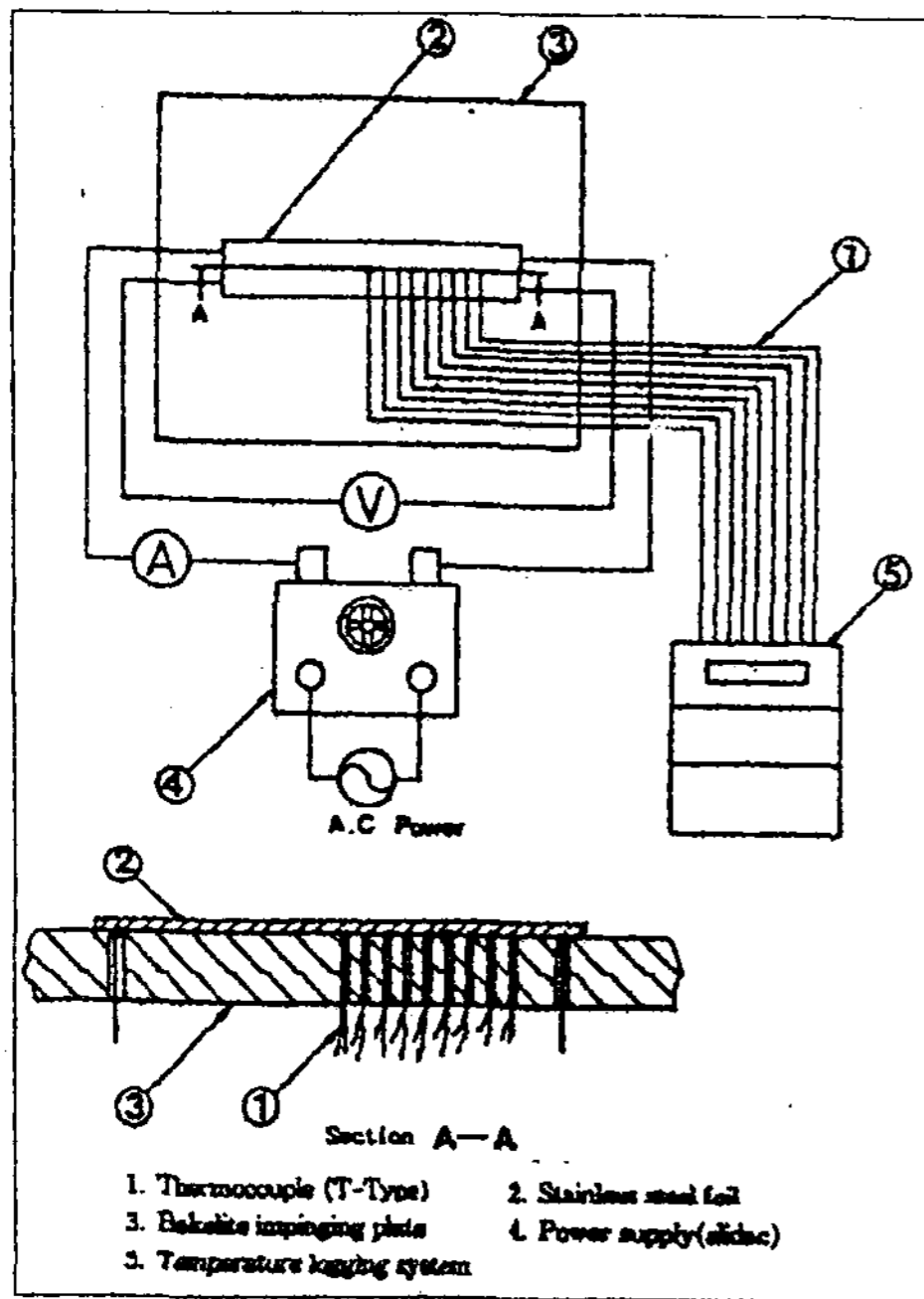


Fig.2 Heating apparatus for single convection in the impingement jet system.

局所熱傳達係數의 分布는 노즐-전열면간거리, 停滯點에서의 반경방향 거리(X/D)와 레이놀즈수, 프란틀수 그리고 열전달 증진효과를 위해서 사용한 메쉬를 변수로 하여 국소너셀트수의 분포를 나타낸다.

그리고 본 실험범위에서 不確實性的 解析(Uncertainty Analysis)에 의하여 熱流束은 19%, 레이놀즈수는 16%, 너셀트수는 18%범위내에서 信賴할 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

메쉬-스크린를 사용하지 않는 單純下向式衝突水噴流系에서 Fig.3은 $H/D=10$ 인 경우에 분류속도의 변화에 대한 X방향(노즐半徑方向)의 국소열전달계수의 분포를 나타낸 것이다. 이 선도에서 정체점에서 최고 열전달을 나타내고 있으며, 국소너셀트수는 $X/D=4$ 인 영역에서 재차 증가하는 제2의 極大值 현상이 나타나고 있다. 이와같은 제2의 극대치 현상에 관한 R.Garden의 연구³⁾와 J. Steven⁴⁾의 연구에서 노즐-전열면간 무차원거리(H/D)가 6~8보다 작은 경우는 벽면분류영역에서 정체점의 양측면에 제2의 극대치가 나타나며, 이와같은 제2의 극대치 현상은 層流境界層에서 亂流境界層으로의 遷移에 의한 것으로 推論하였다. 따라서 본 실험의 경우는 H/D 가 8보다 크지만 自由衝突水噴流가 전열면에서 충돌한 후 전열면상의 충돌영역에서 벽면분류영역으로 천이하게 되고 그 하류에 와류의 발생으로 인한 亂流促進에 의하여 열전달계수가 증가된 것으로 생각된다. 또한 국소너셀트수의 분포는 노즐출구속도(V_0)가 증가함에 따라 相似性을 가지고 증가하는 경향을 나타내고 있다. Fig.4는 동일한 속도조건의 단순수분류의 경우에서 노즐-전열면간 무차원 거리의 영향을 나타낸 것으로, 본 실험범위에서는 정체점에서 가장높은 너셀트수를 나타내며 마찬가지로 제2의 극대치가 존재함을 알 수 있다. 이 경우 국소너셀트수는 정체점에서부터 단순감소하는 $X/D=3$ 까지는 H/D 에 관계없이 거의 동일 직선상에 나타나고 있으며 제2의 극대치값을 나타내는 영역 이후부터는 다소 복잡한 경향을 나타내고 있다.

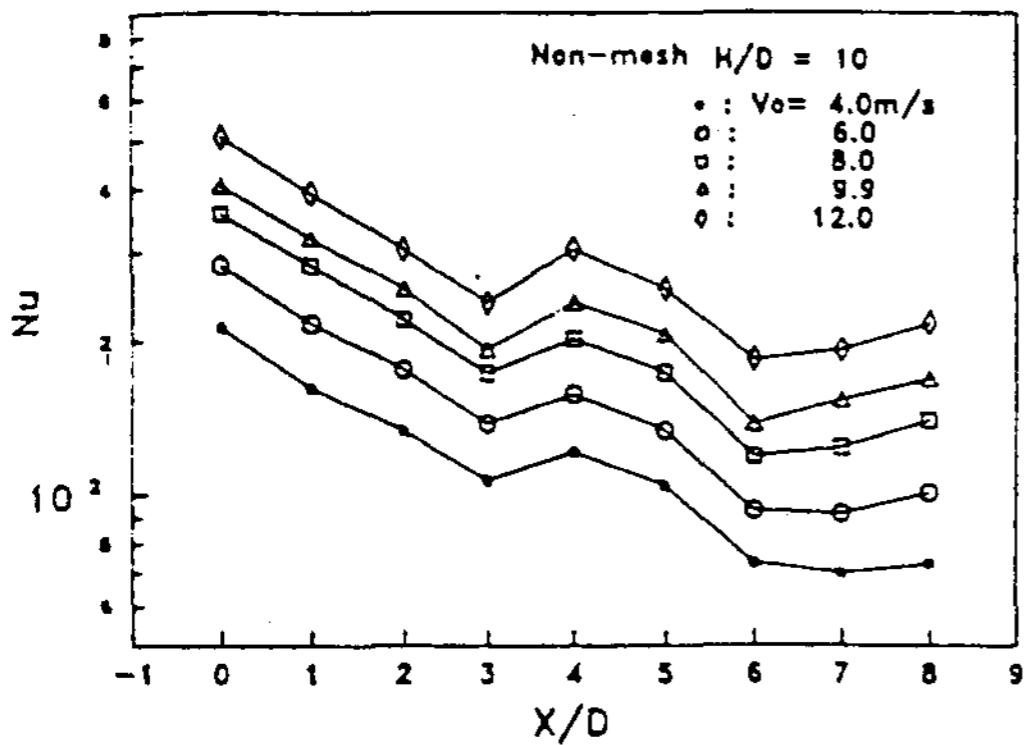


Fig.3 Local Nu number profiles in radial direction for non-mesh, $H/D=10$ and various V_o .

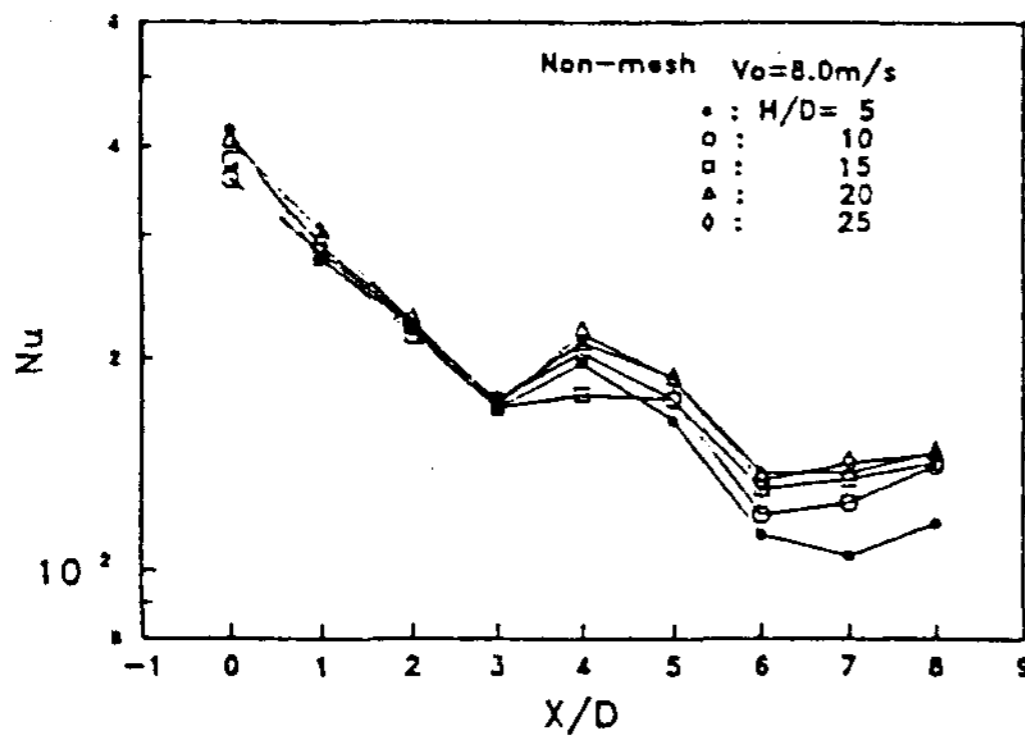


Fig.4 Local Nu number profiles in radial direction for non-mesh, $V_o=8.0\text{m/s}$ and various H/D .

Fig.5는 노즐출구로부터 전열면 사이에서 자유분류의 난류강도증대에 의하여 열전달을 증진시킬 목적으로 노즐-스크린간 무차원거리(H_m/D)가 5인 위치에 와이어 메쉬 스크린을 설치한 경우 국소너셀트수 분포를 나타낸 것이다. 이때 메쉬-스크린은 자유분류의 유동상태에서 流體力學的 不連續面을 형성하여 壓力을 降下시키고 流線을 攪亂시켜 극도의 亂流를 야기시킨 경우이다. 이 선도에서 나타난 바와같이 $H/D=10$ 으로 일정한 상태에서 메쉬가 20인 경우 와이어 메쉬스크린을 사용하지 않은 경우와 마찬가지로 분류속도의 증가는

너셀트수의 증가를 가져오고 있으나, 스크린을 사용함으로써 單純水噴流에서 나타났던 제2의 극대치는 나타나지 않고 있다. 이와 같은 현상은 스크린의 사용으로 인하여 자유분류가 완전히 난류분류로 되어서 전열면상의 정체점으로 부터 난류경계층이 형성되어 경계층의 천이가 발생하지 않기 때문이라고 추론된다. Fig.6은 동일한 경향을 나타내고 있으며, 단순수분류나 Fig.5와는 달리 정체점을 벗어난 영역에서 최고 열전달계수의 분포를 나타내는 현상은 최고속도를 나타내는 분류단면 중심부의 流線이 메쉬-스크린의 와이어에 충돌하여 局所的으로 굴절되고 이에 기인한 정체점에서 靜壓의 減少를 들수 있다. 따라서 정체점에서 噴流運動量의 감소로 정체점 열전달계수가 상대적으로 작은값을 나타냈으며 반면, 분류중심의 유체가 와이어(wire)에 충돌후 유선의 방향이 변경되어

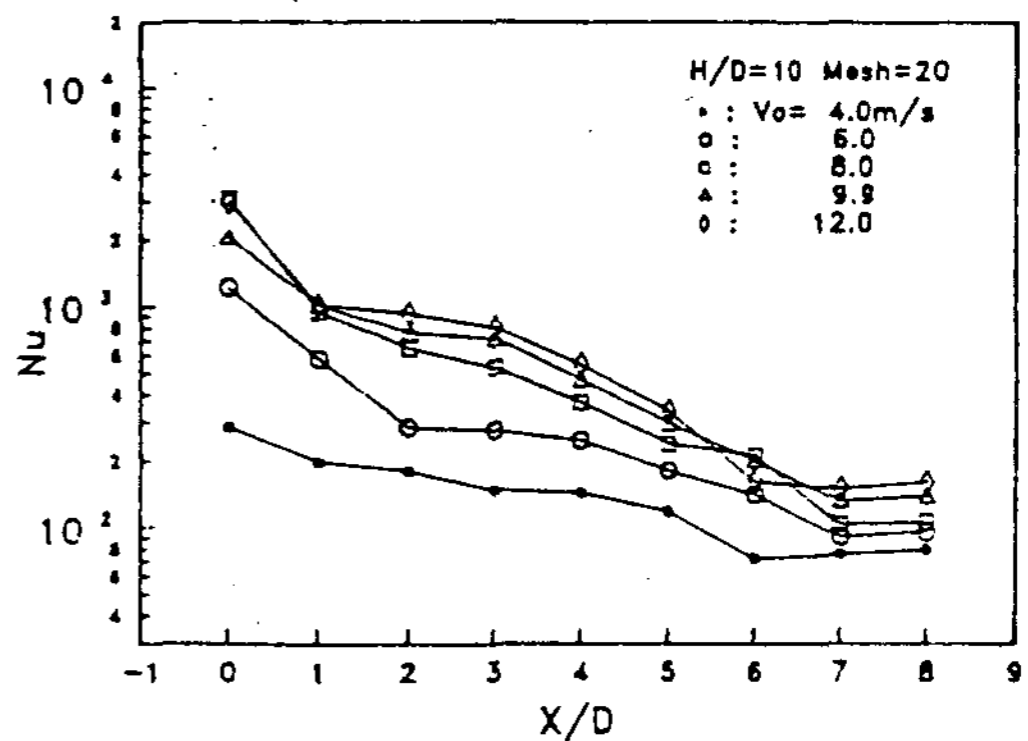


Fig.5 Local Nu number profiles in radial direction for $H/D=10$, Mesh=20 and various V_o .

이 변경된 유선에 의한 운동량과 주위 유선에 의한 운동량의 합력성분으로 운동에너지를 갖기 때문에 정체점에 비하여 주위의 국소지점에서 최고 열전달계수값을 나타낸다고 생각된다.

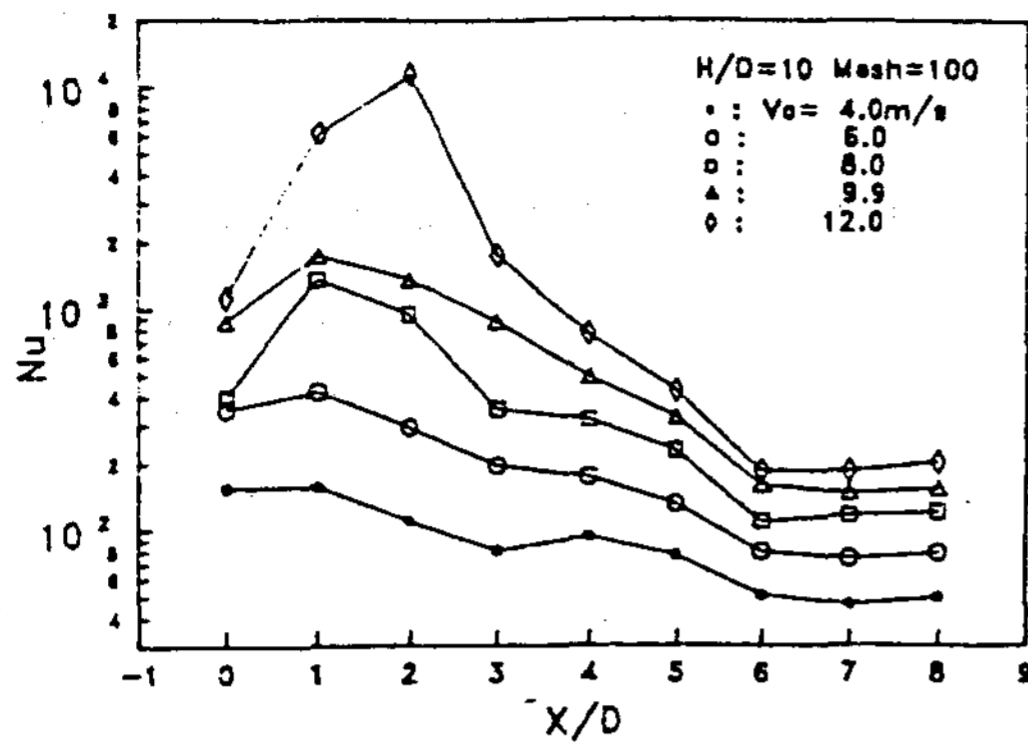


Fig.6 Local Nu number profiles in radial direction for $H/D=10$, Mesh=100 and various V_o .

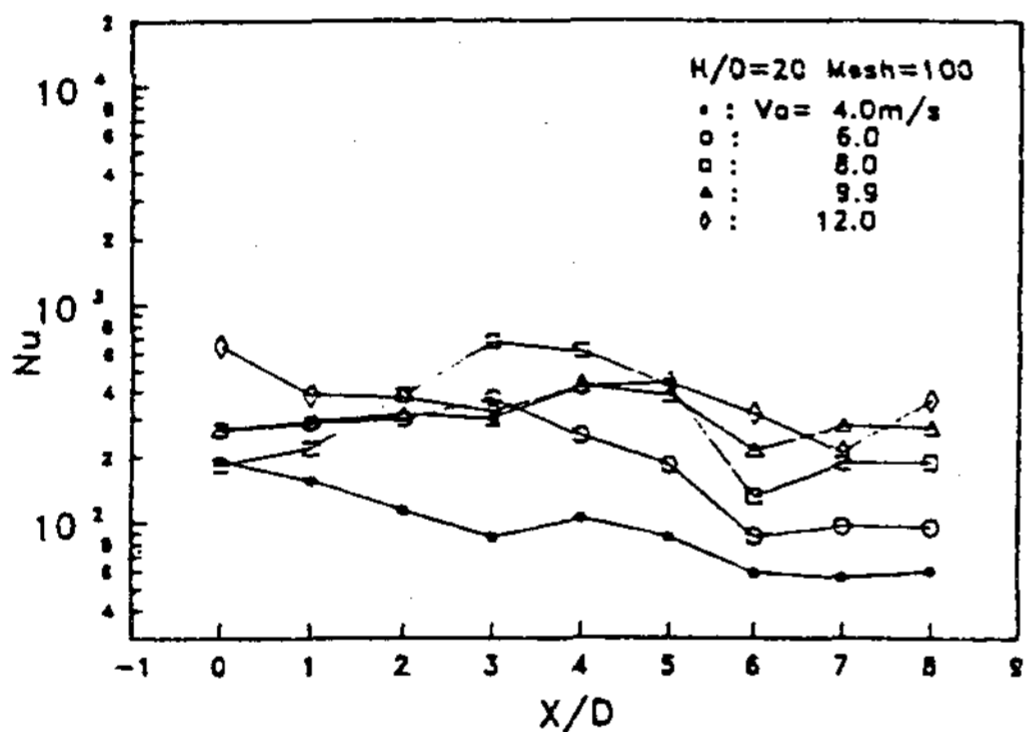


Fig.7 Local Nu number profiles in radial direction for $H/D=20$, Mesh=100 and various V_o .

Fig.7은 H/D 가 20이고 메쉬가 100인 경우로서 국소누셀트수가 전열면 길이방향에 대한 분포에서 X/D 의 증가에 대한 감소구배가 메쉬가 100보다 작은 Fig.5와 H/D 가 10인 Fig.6에 비하여 매우 완만한 구배를 나타내고 있다. 이와같은 경향으로 보아 H/D 가 크고 메쉬격자구조가 조밀한 경우(Fine-mesh screen)는 전열면상에서 국소누셀트수가 전열면 길이방향의 변화에 다소 둔화됨을 알 수 있다. Fig.8은 메쉬 스크린의 메쉬가 열전달에 미치는 영향을 나타낸 것으로 $H/D=10$ 이고 $V_o=$

4.0m/s로 일정한 상태에서 스크린을 사용하지 않은 單純水噴流와 스크린을 사용한 경우에 열전달 특성을 비교한 것이다. 이 선도에서 단순수분류를 기준으로 메쉬번호가 20, 50으로 메쉬격자가 비교적 거친구조(Coarse mesh screen)의 경우는 熱傳達이 증진된 결과를 보이고 있으며 메쉬번호가 80, 100으로 메쉬격자가 조밀한 구조(Fine mesh screen)인 경우는 오히려 열전달계수가 단순수분류보다 떨어지는 熱傳達 抑制機構現象을

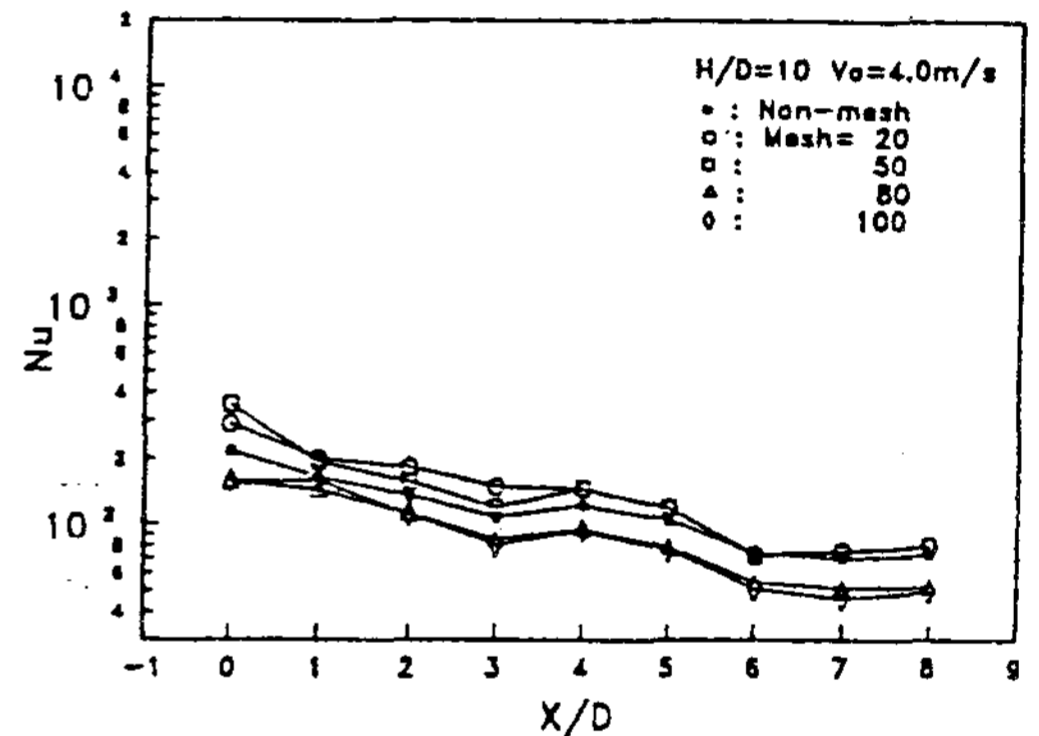


Fig.8 Local Nu number profiles in radial direction for $H/D=10$, $V_o=4.0m/s$ and various Mesh.

나타내고 있다. 이와같은 현상은 메쉬-스크린의 사용에 의한 熱傳達 增進이나 抑制機構에 응용됨을 잘 나타내고 있는 H.Yamaguchi⁹⁾의 定性的 考察과 일치하고 있다. 이와같은 현상은 H/D 가 증가하여도 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 그러나 Fig.9에서 나타낸 바와같이 $H/D=10$ 으로 동일한 상태에서 분류속도가 $V_o=9.9m/s$ 로 증가됨에 따라 단순수분류에 비하여 메쉬-스크린을 사용한 경우가 모든 메쉬 범위에 대하여 熱傳達 增進 效果를 나타내고 있으며 메쉬格子가 조밀한 구조에 나타났던 열전달 억제효과는 나타나지 않았다.

이와 같은 현상은 본 실험범위에서 噴流速度가 6.0m/s 이상인 경우에는 메쉬-스크린의 사용으로 인한 열전달 증진효과는 停滯點領域에서 가장 높게 나타나고 있으며, 분류속도가 증가함에 따라 그 증진효과도 크게 나타나고 있으나, 정체점영역에서부터 X/D가 증가함에 따라 열전달 增加率은 감소되며 X/D=6인 근방에서는 스크린의 사용으로 인한 열전달 증진효과는 거의 나타나지 않고 있다.

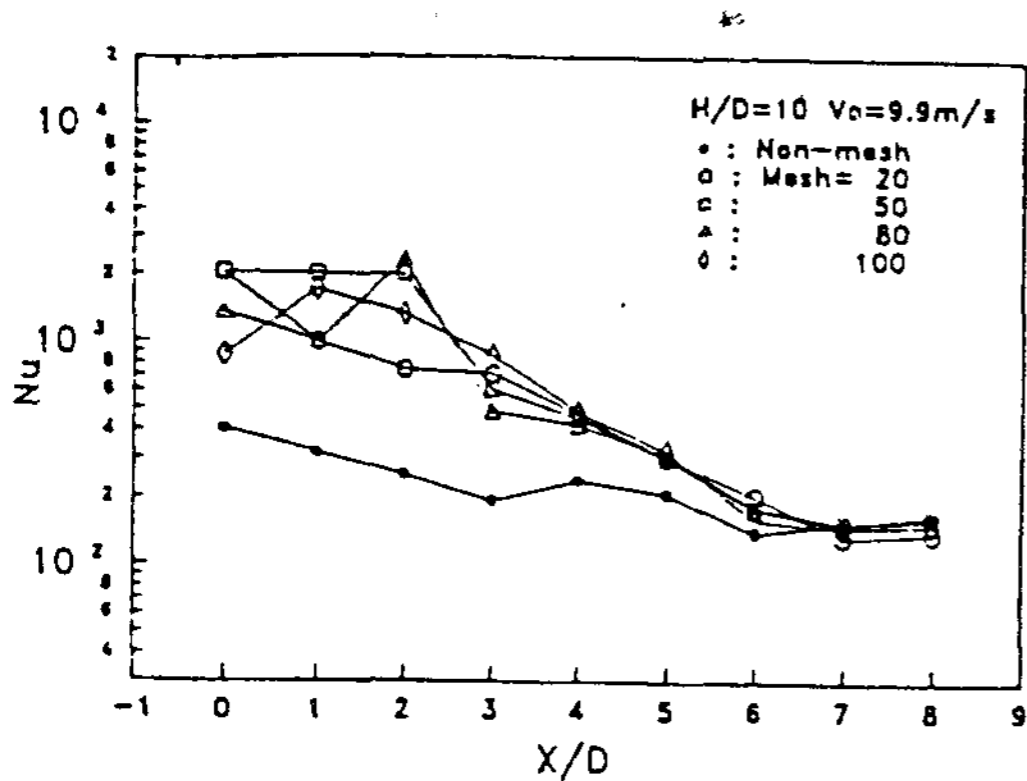


Fig.9 Local Nu number profiles in radial direction for H/D=10, Vo=9.9m/s and various Mesh.

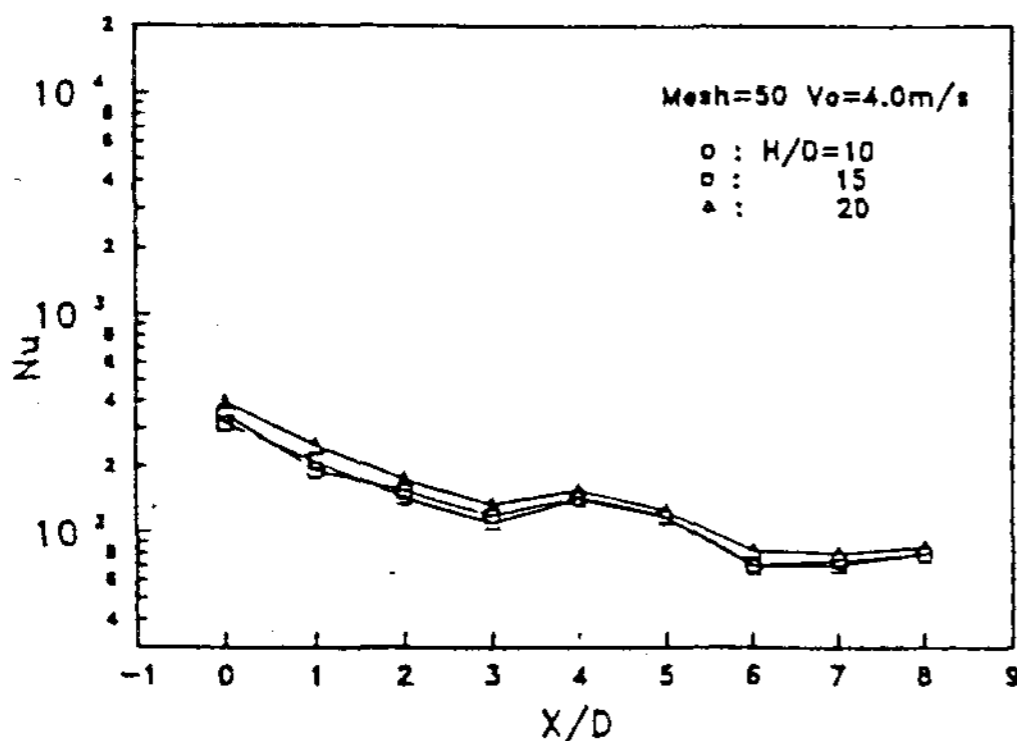


Fig.10 Local Nu number profiles in radial direction for H/D=50, Vo=4.0m/s and various H/D.

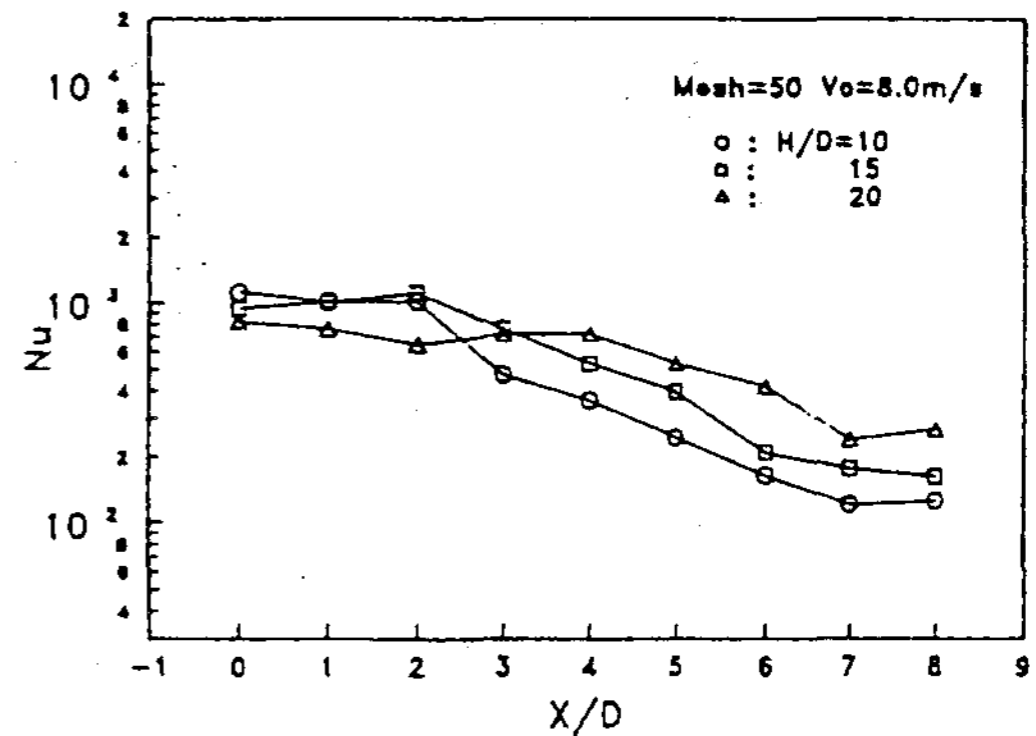


Fig.11 Local Nu number profiles in radial direction for H/D=50, Vo=8.0m/s and various H/D.

Fig.10과 Fig.11은 메쉬가 50이고 분류속도가 일정한 상태에서 노즐-전열면간 無次元距離의 영향을 나타낸 것이다. Fig.10에서의 Vo=4.0m/s인 경우에서 H/D의 변화에 대한 영향은 미소하나 Fig.11의 경우 속도가 8.0m/s로 증가된 경우는 전반적으로 H/D가 증가함에 따라 국소위치에서 너셀트수가 높게 나타나고 있다.

Fig.12의 단순수분류를 기준으로 메쉬-스크린을 사용한 경우에 평균너셀트수의 증진관계를 나타낸 것이다. 이 線圖에서 낮은 레이놀즈수(Vo=4.0m/s)의 範圍에서는 메쉬가 80, 100인 경우는 단순수분류에 비하여 25% 低下하여 열전달 抑制效果가 나타나고 있으며, 이 영역을 벗어난 레이놀즈수 범위의 경우에는 메쉬-스크린을 사용한 경우가 열전달을 증진시키고 있으며, 레이놀즈수가 28,000이하의 영역에서는 메쉬가 20인 경우가 가장 높은 熱傳達 增進效果를 나타내고 있다. 그러나 그 이후의 레이놀즈수 영역에서는 가장 높은 열전달 증진을 나타내는 메쉬는 명확하게 나타나지 않고 있다. 이와같이 증가된 너셀트수는 단순수분류의 누셀트수에 비하여 최대 4.7배 정도 열전달이 증진된 것을 알 수 있다.

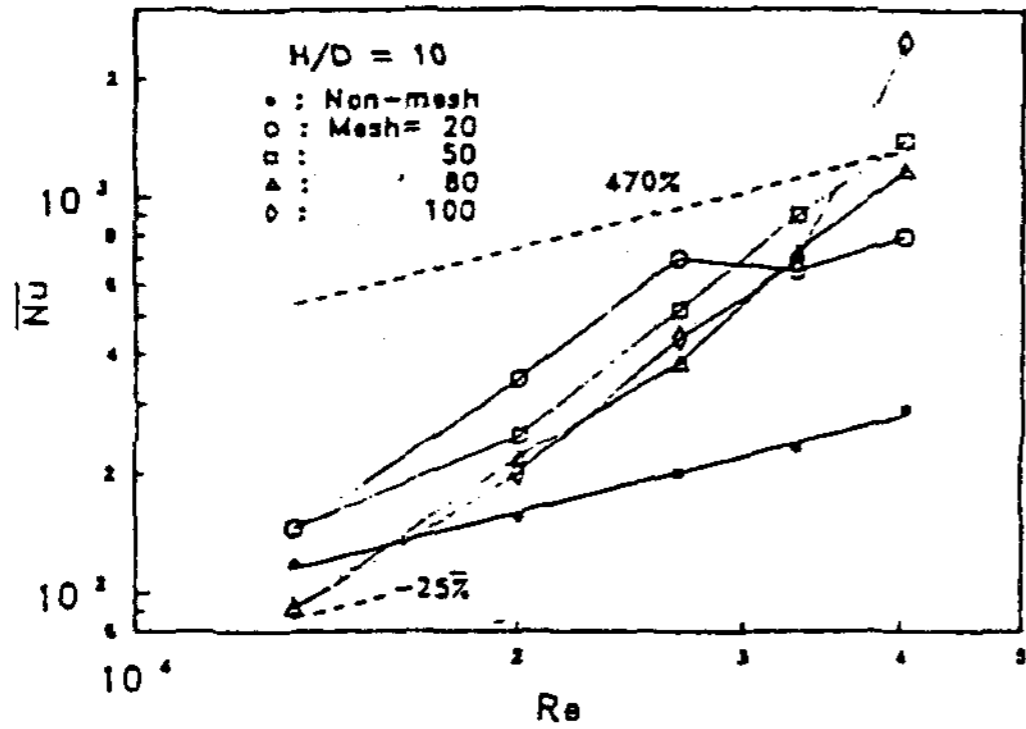


Fig.12 Correlation of average Nu and Re number for H/D=10 and various Mesh.

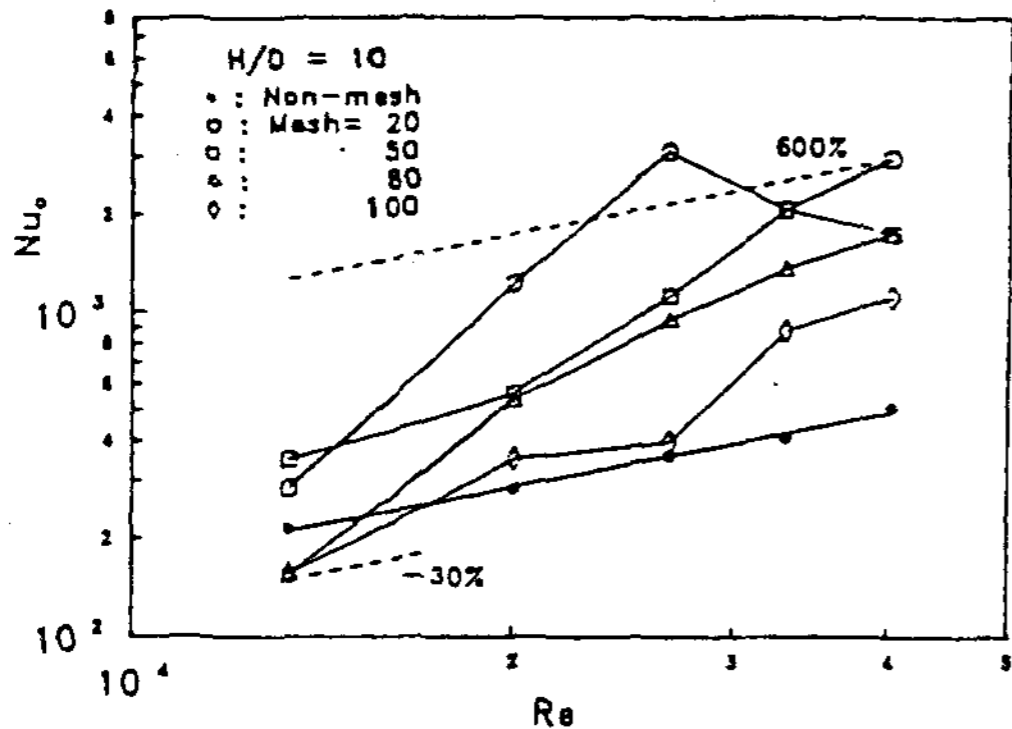


Fig.13 Dependence of Stagnation Nu number on Re number for H/D=10 and various Mesh.

Fig.13은 H/D=10인 경우에 停滯點에서의 熱傳達을 單純水噴流과 메쉬-스크린을 사용한 경우에 대하여 열전달 특성을 나타낸 것으로서, 단순수분류의 정체점 열전달식은 다음과 같이 표시된다.

$$Nu_0 = 0.1415 Re^{0.77} Pr^{0.4} \text{ (단 } H/D=10 \text{)}$$

정체점 너셀트수는 국소 너셀트수의 분포와 같이 메쉬가 80, 100인 경우를 제외하면 메쉬-스크린을 사용함으로써 열전달이 전반적으로 증진되었으며, 그 증진효과는 메쉬가 20인 경우가 대체적으로 높게 나타나고, 반면에 메쉬가 100인 경우가

상대적으로 낮은 증진효과를 나타내고 있으며, 메쉬가 감소될수록 즉 메쉬격자가 거친 구조일수록 열전달 증진효과는 크게 나타나고 있다. 이 경우 메쉬가 20일 때 단순수분류에 비하여 최대 6배까지 열전달이 증진되었다. 그러나 열전달효과가 抑制되는 경향을 나타내고 있는 가장 조밀한 메쉬 구조(Fine mesh screen)를 갖는 경우는 있으며 단순수분류에 비하여 10~20% 정도 정체점 열전달이 억제되는 경향을 나타내고 있다. 따라서 본 실험의 경우는 메쉬가 작은 경우가 조밀한 경우에 비하여 상대적으로 높은 열전달 증진효과를 나타내고 있다.

4. 결 론

메쉬-스크린을 사용하지 않은 單純衝突水噴流系와 메쉬-스크린을 사용한 층돌수분류계의 실험적 고찰에서, 熱傳達 特性에 관한 다음과 같은 結論을 얻었다.

- (1) 단순수분류는 停滯點에서 最高 熱傳達을 나타내고 있으며, X/D=4인 영역에서 제2의 극대치가 나타난다.
- (2) 메쉬-스크린을 사용한 경우 단순수분류에서 나타난 제2극대치는 나타나지 않으며, 流線의 局所的 渦절에 의해 정체점을 벗어난 周圍의 局所地點에서 최대 열전달값이 존재한다.
- (3) 低速領域($V_0 < 6.0 \text{ m/s}$)에서는 메쉬격자가 큰 경우 열전달이 증진되고, 메쉬격자가 작은 경우에는 열전달 抑制現象이 나타나고 있으나 高速領域($V_0 > 6.0 \text{ m/s}$)에서는 모든 메쉬에 대하여 열전달이 증진되었다.

- (4) 메쉬-스크린을 사용한 경우의 평균누셀트 수는 단순수분류의 평균누셀트수에 비하여 최대 4.7배 정도 열전달이 증진되었다.
- (5) 停滯點에서의 熱傳達은 메쉬-스크린을 사용함으로써 전반적으로 熱傳達이 增進되었으며, 單純水噴流에 비하여 最大6倍의 높은 熱傳達 增進效果를 나타내었다.

REFERENCE

1. X.Liu, J.H.Lienhard V and J.S.Lomnbara, 1991, "Convective Heat Transfer by Impingement of Circular Liquid Jets", Transactiona of the ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 113, pp.571-582.
2. 永井四郎, 河合, 谷口黑, 1955, "水噴流による冷却について", 日本機械學會論文集(第2部), 21卷 104號, pp.310-315.
3. R.Gardon and J.C.Akfirat, 1966, "Heat Transfer Characteristics of Impinging Two Dimensional Air Jets", Transaction of the ASME Journal of Heat Transfer, Vol.88, pp.101-108.
4. J.Stevens and B.W.Webb, 1991, "Local Heat Transfer Coefficients Under an Axisymmetric, Signal Phase Liquid Jet", Transactions of the ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 113, pp. 71-78.
5. A.E.Bergles, 1983, "Augmentation of heat transfer", In Exchanger Design Handbook, Vol.2, Edited by E.U.Schlüunder, Hemisphere, pp.223-228.
6. J.C.Han, P.R.Chandra and S.C.Lau, 1988, "Local Heat Mass Transfer Distributions Arouds Sharp 180 deg Turns in Two-pass Smooth and Rib-Roughened Channeld", Transactions of the ASME Journal of Heat Transfer, Vol.110, pp.91-98.
7. Kunio Kataokaa, 1990, "IMPINGEMNT HEAT TRANSFER AUGMENTATION DUE TO LARGE SCALE EDDIES", Proc. 9th Int, Heat Transfer Conf., Jerusalem, pp.255-273.
8. 崔國光, 李鍾洙, "三次元水噴流의 衝突壓力分布特性에 관한 研究", 태양에너지학회지, Vol.18, No.3, pp.217-228.
9. H.Yamaguchi and D.D.James, 1988, "Effect of wire meshes on boiling heat transfer from a plane heating surface", In Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Edited by R.K.Shah, Elsevier science publishing Co., pp.587-598, pp.364-370.
10. S.J.Kline, 1985, "The Purposes of Uncertainty Analysis", Transactions of the ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 107, pp. 153-160.