

[논문] 태양에너지

Solar Energy

Vol. 19, No. 3, 1999

하이브리드 로드에 의한 열전달증진에 관한 연구

금성민*, 김동춘**, 임장순***

* 한라대학교 기계공학부

** 경문대학 기계공학과

*** 인하대학교 기계공학과

An Experimental Study on the Heat Transfer Enhancement by Hybrid Rod

S. M. Kum*, D. C. Kim**, J. S. Yim***

* *Halla Institute of Technology*

** *Kyung Moon College*

*** *Inha University*

ABSTRACT

The objective of this experimental study was to investigate the characteristics of heat transfer and air flow in two-dimensional impinging jet system, in which hybrid rods have been set up in front of heating surface in order to increase heat transfer.

The shape of hybrid rods had a cross section made with a half of circular cross section and that of rectangular. This time, the clearance from hybrid rod to heating surface($C=1, 2, 4\text{mm}$) and the pitch between each hybrid rods($P=30, 40, 50\text{mm}$) changed for the transition region($H/B=10$). And this result compared with the experimentation without hybrid rod. As a result, heat transfer performance was best under the condition of $C=1\text{mm}$, in case clearance changed, and as the pitch is 30mm , it is largely influenced by eddies and acceleration in case pitch of hybrid rod changed.

기호 설명

- B : Nozzle exit width [mm]
- C : Clearance between the heating surface hybrid rod [mm]
- h : Heat transfer coefficient [$W/m^2 \text{ } ^\circ C$]
- H : Distance from nozzle exit to impinging flat plate [mm]
- Nu : Nusselt number
- P : Pitch between hybrid rods [mm]
- U : Axial velocity at nozzle exit [m/s]
- X : Distance from stagnation point to the end of the flat plate [mm]

1. 서론

최근 지적되고 있는 에너지 자원의 유한성으로 인해 에너지의 효율적 이용과 관련된 열전달증진에 관한 연구는 중요성이 증대하고 있다.

열전달증진의 대표적인 것에는 대류열교환기술을 대상으로 하는 충돌분류계가 있는데 이 계는 정체점 근방의 충돌영역에서 높은 열 및 물질전달계수를 얻을 수 있기 때문에 가열 혹은 냉각¹⁾을 목적으로 광범위하게 사용되고 있다.

그러나 충돌분류계의 흐름은 정체점을 지나 벽면분류영역으로 진행하면서 분류의 속도 감소에 의한 온도경계층의 발달로 열전달성능은 급격히 감소되기 때문에 부가적 동력 공급 없이 벽면분류영역에서 높은 열전달율을 확보할 수 있다면 에너지의 유효이용이라는 측면에서 가치가 있을 것으로 생각된다.

지금까지 보고된 열전달증진에 관한 기술은 전열면의 확대·가공, 노즐출구에서의 선회류 발생 및 전열면 앞에 메쉬나 원형 및 사각의 난류촉진체인 로드를 설치하는 방법^{3), 4), 8)} 등이 있는데 특히 난류촉진체에 의한 열전달증진방법이 비교

적 큰 성과를 거두고 있다고 할 수 있다.

그러나 이러한 방법들은 비록 벽면분류영역에서 열전달성능이 향상되기는 하지만 원형로드인 경우 재부착 효과는 있지만 로드 밑에서의 가속현상이 사각로드에 비해 현저하게 줄어들며, 사각로드인 경우 로드 밑에서의 가속효과는 우수하지만 재부착 현상이 거의 일어나지 않는다.

특히 Lewis¹⁰⁾는 리브에 의한 박리영역을 최대한 줄이고 재부착이 용이한 새로운 형태의 리브를 제안한바 있는데, 이것은 사다리꼴 형태의 리브로서 전열면에 부착되어 있기 때문에 기존의 전열면에 부착되어 있는 다른 형태의 리브들과 비교한다면 열전달성능이 향상될 수 있지만 간극을 두고 설치한 로드들과 비교한다면 로드 밑에서 일어나는 유체의 가속효과는 기대 할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 Lewis가 제안한 리브의 형태에 착안하여 기존의 원형이나 사각로드와는 형상이 다른 하이브리드 로드(로드의 폭과 높이는 8mm로서 상부는 반경 4mm인 원형이고 하부는 사각형의 형상)를 제작하여 전열면앞에 설치한 후 로드와 전열면사이의 간극(C=1, 2, 4mm)과 로드와 로드사이의 피치(P=30, 40, 50mm)를 변화시킬 때 천이영역에서의 열전달특성과 유동특성을 검토하고 로드를 설치하지 않은 경우와 비교하여 난류촉진체를 이용한 열전달특성에 관한 기초적 자료를 제시하고자 한다.고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 실험장치의 개략도이다. 공기는 원심식 송풍기에서 송출되며 유량은 유량조절 탭퍼에 의해 조절되고 메쉬와 디퓨저를 지나 하니컴과 세틀링챔버에 의해 균일화되면서 노즐을 통해 분출된다.

노즐은 형상 및 축류비가 분류의 평균속도, 난

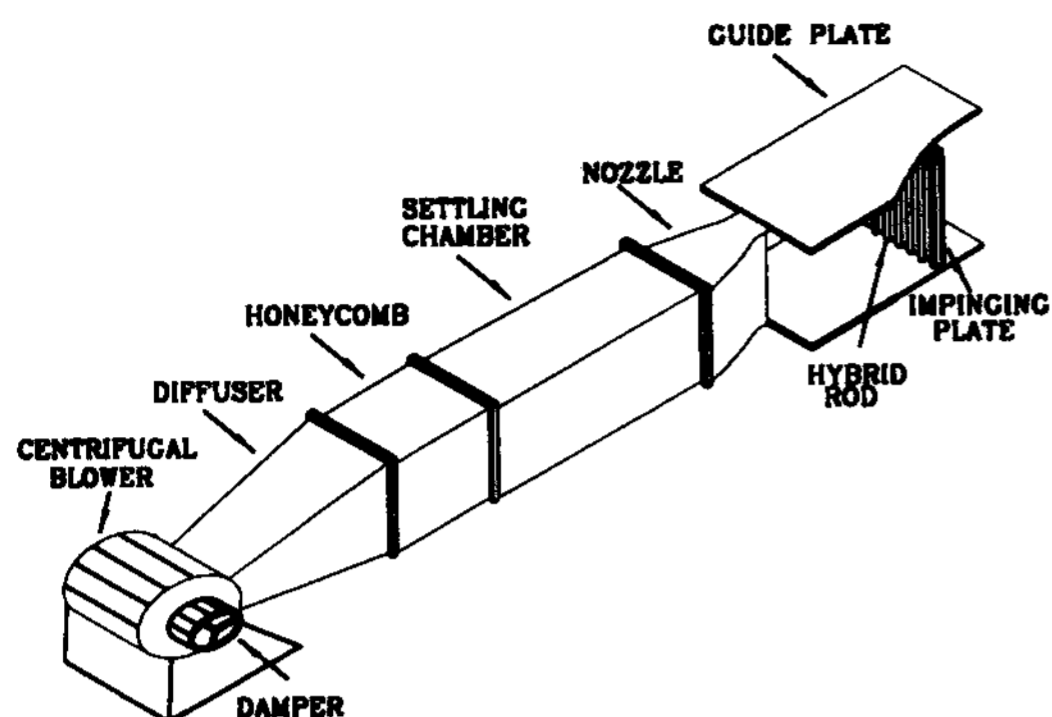


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

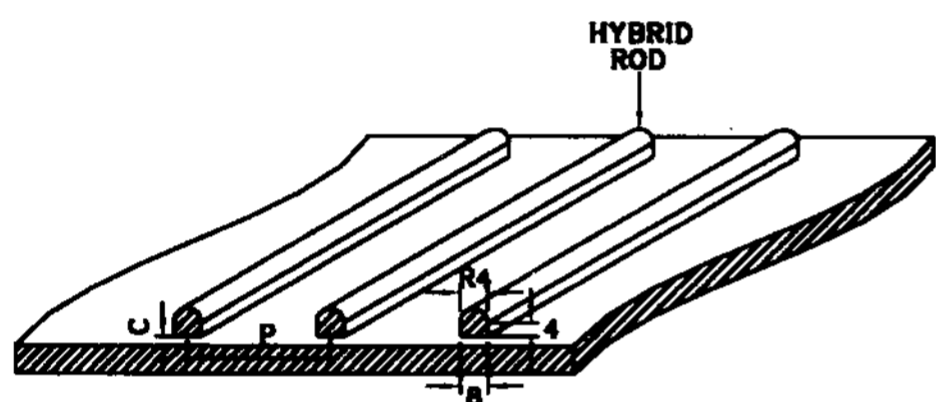


Fig. 2. Geometry of hybrid rods

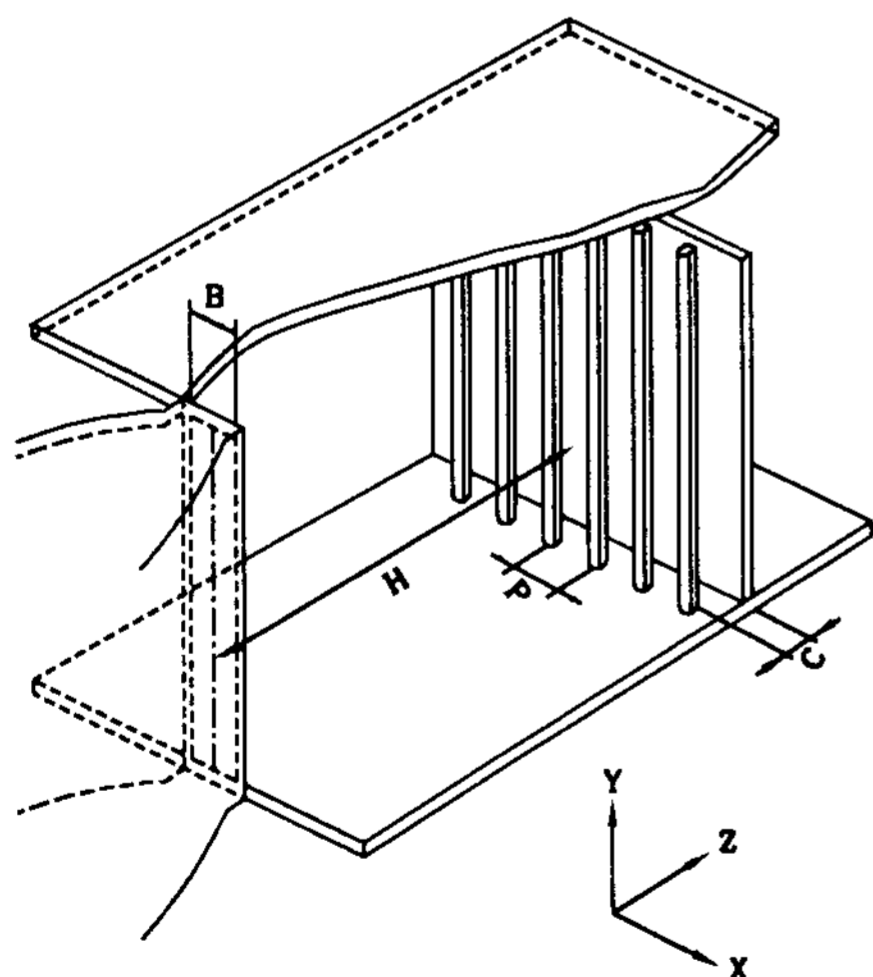


Fig. 3. Coordinate system of flat plate with hybrid rods

류 유동특성, 분류의 확산 등에 큰 영향을 미치게 되므로⁶⁾ 유체역학적 특성을 고려하여 노즐 출구에서 균일한 속도분포와 저난류강도를 유지할 수

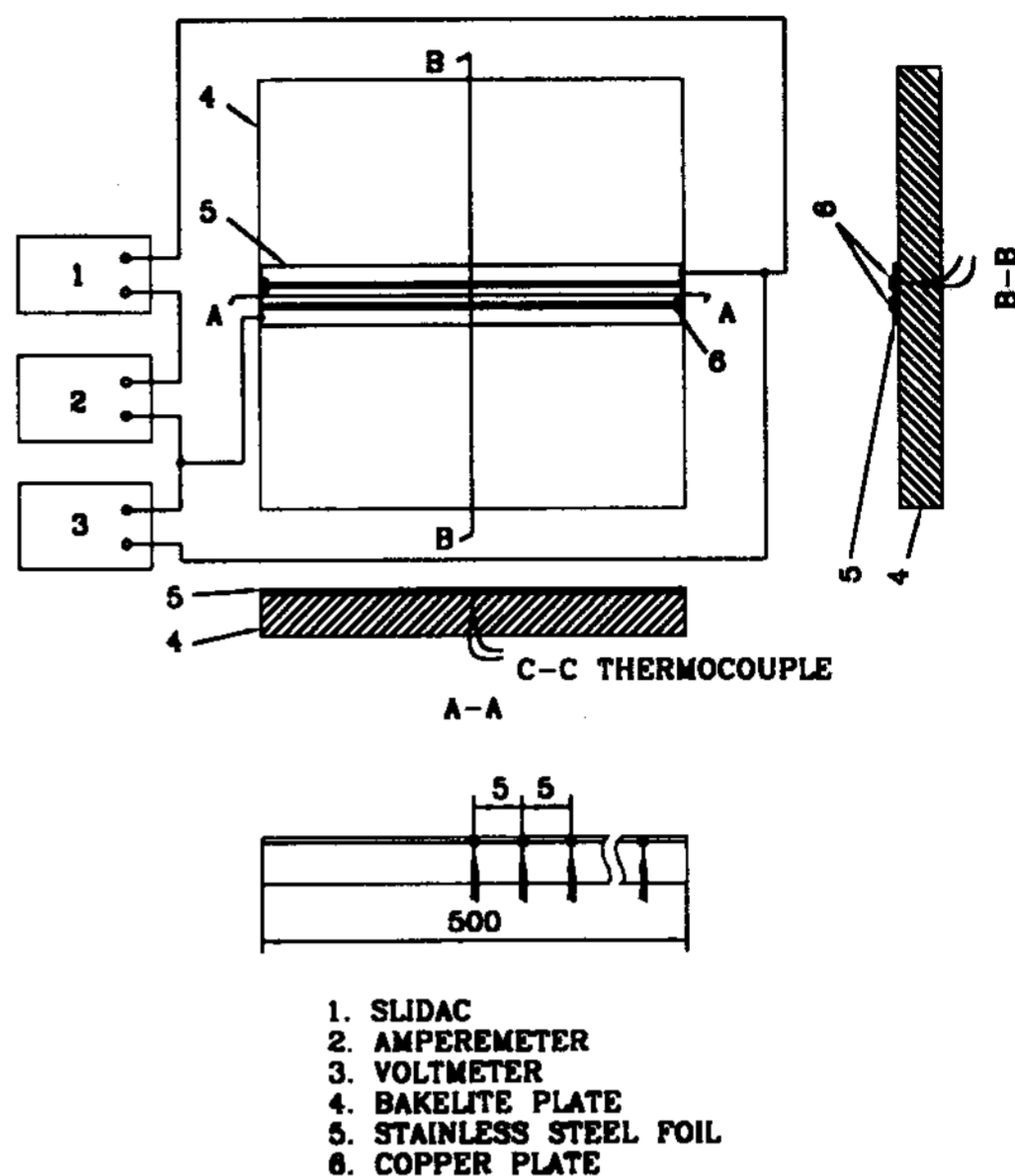


Fig. 4. Heating apparatus

있도록 폭 250mm, 출구 폭 50mm, 높이 500mm, 길이 300mm인 sine곡선형으로된 사각 노즐을 제작 사용하였으며, 2차원 분류가 되도록 분출 후의 유로 상하면에는 평행판을 설치하였고 충돌판은 전후 좌우이동이 가능하도록 하였다.

Fig. 2, 3은 평판전열면 앞에 난류촉진체인 하이브리드 로드를 설치한 경우의 좌표계로써 로드와 전열면사이의 간극을 C, 로드 사이의 피치를 P, 노즐 출구폭을 B, 평판의 정체점으로부터 노즐 출구폭 방향의 거리를 X, 노즐 출구로부터 전열면까지의 거리를 H로 하여 X와 H를 각각 X/B , H/B 의 무차원화 하였으며, 노즐중심은 전열면 중앙부에 인접한 두개의 로드 사이의 중심선과 일치하도록 하였다.

2.2 전열면 형상 및 온도 측정방법

Fig. 4는 전열면의 형상을 나타낸 것으로 베이클라이트판(500×500×20mm)에 스테인레스 박판(길이 500mm, 폭 10mm, 두께 0.03mm) 3매를 접착제로 부착하고 단면 B-B에 표시된 바와 같

이 동판으로 연결하였다.

전열면의 가열은 $q=1020\text{W/m}^2$ 으로 하였고 이 때 전압은 자동전압조정기를 사용하여 일정하게 유지시켰다.

온도측정은 스테인레스 박판 뒷면에 직경 0.07mm의 C-C열전대(T-type) 45개를 정체점으로부터 5mm 간격으로 납땜 부착하여 데이터로거(Fluke Co, Helios I)에 연결하고, 전열면이 정상상태에 도달한 것을 확인한 후 1분 간격으로 10회 측정하여 평균온도를 읽었다.

베이클라이트판(열전도율 $0.176\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$)에서의 방출열량은 전체 가열량의 0.8% 정도의 범위였기 때문에 베이클라이트판을 통한 열손실은 무시하였다. 또한 자유분류의 예비실험으로부터 유속분포가 좌우 대칭성을 확인했기 때문에 정체점으로부터 한 방향(X방향)으로만 온도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 로드 설치되지 않은 평판에서의 열전달특성

본 절에서는 먼저 2차원 공기 분류가 하이브리드 로드 설치되지 않은 평판 전열면에 충돌할 때의 열전달특성에 대하여 고찰하고자 한다.

Fig. 5는 노즐 출구속도 변화시 로드를 설치하

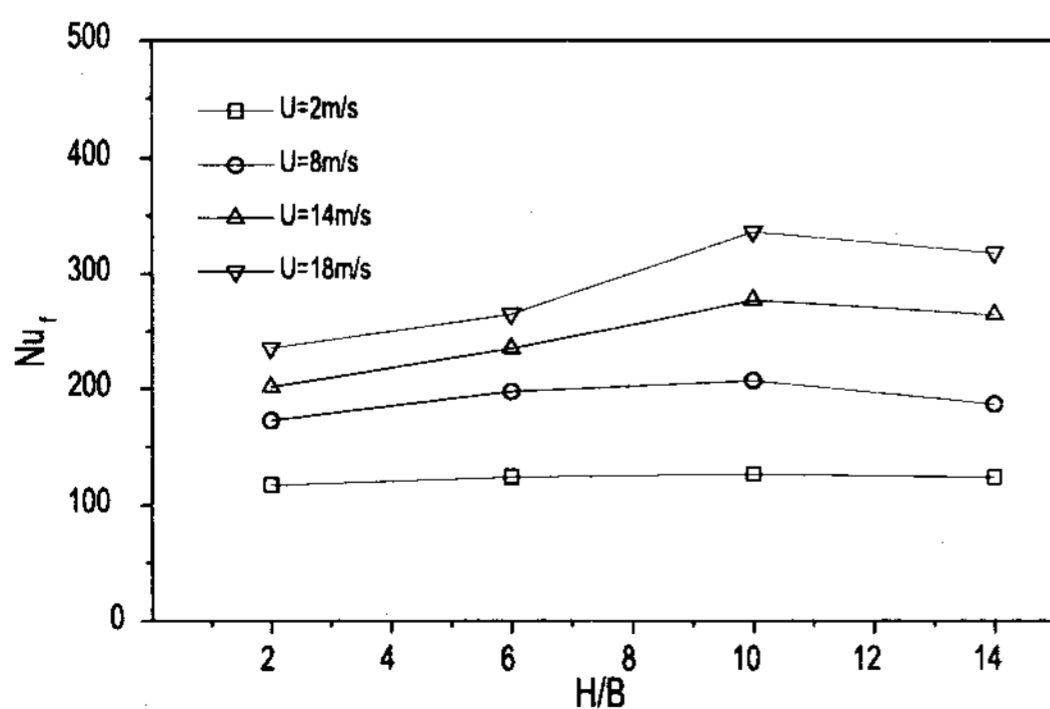


Fig. 5. Variation of stagnation point Nu as a function of H/B for various velocities

지 않은 평판전열면에 분류가 충돌할 때 정체점에서 열전달특성을 나타낸 것으로, 정체점에서의 Nu_t 는 H/B가 증가함에 따라 서서히 증가하기 시작하여 H/B=10에서 최대가 된 후 다시 감소한다. 특히 Nu_t 가 노즐출구속도변화에 관계없이 H/B=10에서 최대가 되는 것은 분류가 전열면에 충돌하기 전에 주위 유체와의 혼합작용이 충분히 이루어져 난류강도가 증가되었기 때문이다.^{4), 7)}

특히 노즐형상변화와 관계없이 자유분류의 주축상에서 최대 열전달성능을 얻을 수 있는 위치는 천이영역(노즐 축구폭의 약 8~12배)이라는 것이 많은 연구자들에 의해 밝혀진바 있다.^{5), 9)}

Fig. 6은 난류강도가 최대가 되는 위치인 H/B=10에서 노즐 출구속도 변화시 정체점으로부터 X방향의 Nu_t 를 나타낸 것으로, X방향으로의 Nu_t 는 속도변화에 관계없이 정체점 이후 계속적으로 감소하고 있는데 이것은 벽면분류영역으로 진행할수록 유속 감소, 분류의 확산으로 인한 온도 경계층 발달^{4), 5)}이 원인이다. 따라서 본 연구는 벽면분류영역에서 열전달증진을 목적으로 난류촉진체인 하이브리드 로드를 설치하고 난류강도가 충분히 발달된 천이영역(본 연구에서는 H/B=10)을 중심으로 로드와 전열면사이의 간극 및 로드의 피치를 변화시켜 이때의 유동특성 및 열전달특성을 밝히고 로드를 설치하지 않은 평판과 비

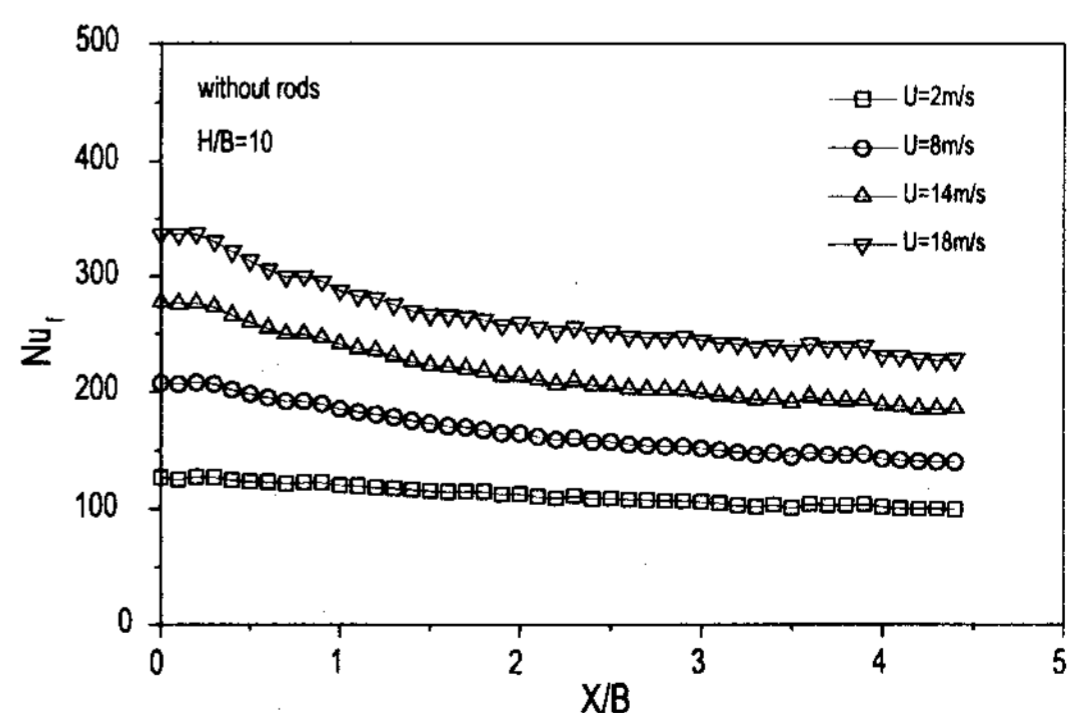


Fig. 6. Distribution of local Nu on the flat plate as a function of X/B for various velocities

교, 검토하고자 한다.

3.2 하이브리드 로드에서 설치된 평판에서의 열전달 특성

Fig. 7은 $H/B=10$, $U=18\text{m/s}$, 로드와 로드사이의 피치(이하 P 라 함)를 30mm 로 한 경우 로드와 전열면 사이의 간극(이하 C 라 함) 변화에 대한 Nu_{h-r} 의 분포를 나타낸 것으로, 여기서 Nu_{h-r} 은 정체점 부근을 제외한 X/B 전 영역에서 C 의 변화에 관계없이 로드가 없는 평판과 비교해 높게 분포되어 있다.

정체점 부근에서 Nu_{h-r} 이 로드를 설치하지 않았을 때보다 낮게 나타나는 것은 분류가 로드의 저항과 측면으로의 흐름이 원활하지 않아서 약간의 정체현상이 일어나기 때문으로 생각된다.^{4), 5)}

로드주변에서의 열전달현상을 살펴보면 C 변화와 관계없이 로드 직전에서 Nu_{h-r} 이 정점을 이루고 있는데 이것은 로드측면에 충돌한 분류가 이 부근에서 와류를 발생시켜 온도경계층을 박막화시키기 때문이며⁴⁾ 로드 바로 밑에서 Nu_{h-r} 이 높게 나타나는 것은 로드 바로 밑에서 일어나는 유체의 가속효과⁴⁾ 때문으로 C 변화에 의한 가속효과를 살펴보면 $C=1, 2\text{mm}$ 인 경우가 4mm 에 비해 간극이 작기 때문에 유체의 가속효과가

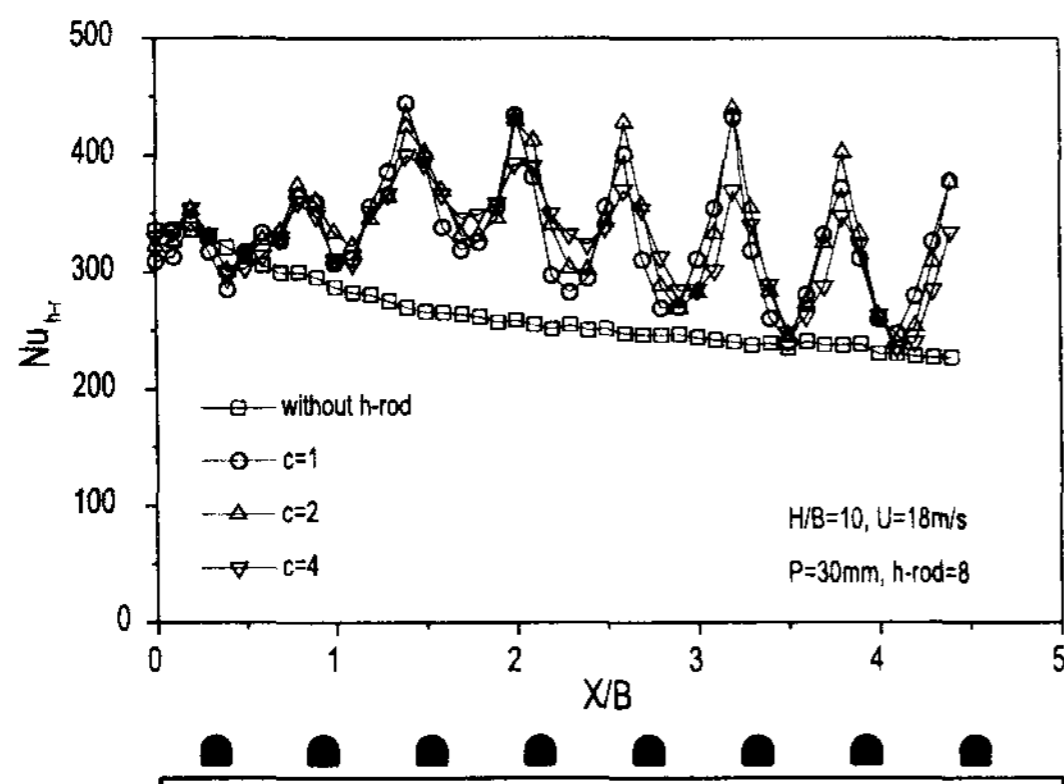


Fig. 7. Distribution of local Nu as a function of X/B for various clearances

크게 나타나고 있다.

그리고 C 변화와 관계없이 로드 직후에서 Nu_{h-r} 이 급격하게 낮아지는데 이것은 분류가 로드 바로 밑을 지나면서 전열면에서 이탈하는 박리현상⁴⁾ 때문이며 X/B 가 커질수록 박리점에서 Nu_{h-r} 은 계속 낮아지고 있다. 또한 X/B 가 증가할수록 유체는 로드의 측면저항으로 인한 운동량 감소와 확산 및 전열면을 지나오면서 가열된 공기의 흐름으로 열전달성능은 계속적으로 감소한다.

Fig. 8은 $P=40\text{mm}$ 인 경우로, 충돌영역에서는 로드가 없는 평판에 비해 열전달성능이 떨어지며 벽면분류영역으로 진행하면서 로드에 의한 와류 발생 및 가속효과로 인해 Nu_{h-r} 이 높게 나타나지만 $X/B=3$ 이후 로드와 로드사이에서 열전달성능은 로드가 없는 평판보다 오히려 낮다.

간극변화에 따른 효과는 $P=30\text{mm}$ 와 같이 $C=1, 2\text{mm}$ 인 경우가 $C=4\text{mm}$ 인 경우보다 열전달성능이 우수하다. 특히 첫 번째 로드와 두 번째 로드 사이에서 Nu_{h-r} 이 재상승 하였는데 이것은 분류의 재부착에 의한 영향으로 생각되며 로드 바로 밑에서의 가속효과는 지속적으로 일어나고 있다.

Fig. 9는 $P=50\text{mm}$ 인 경우로 간극변화에 의한 열전달특성은 $P=30, 40\text{mm}$ 인 경우와 유사하며 로드와 로드사이에서의 재부착현상이 뚜렷하게

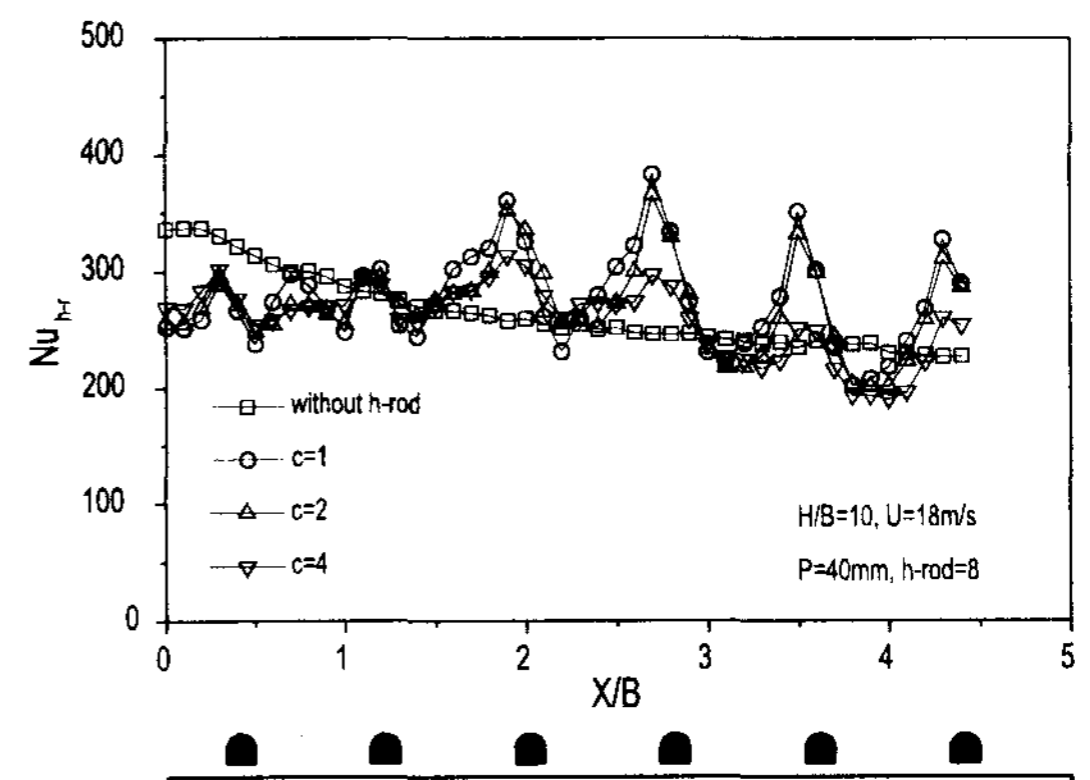


Fig. 8. Distribution of local Nu as a function of X/B for various clearances

나타나는데, 이것은 P=30mm일 때는 로드와 로드사이의 거리가 짧기 때문에 로드 위를 타고 넘어온 유체가 재부착하지 못하고 다음로드 밑으로 흐르거나 확산되지만, P=40, 50mm일 때는 P=30mm보다 로드와 로드사이의 거리가 다소 길기 때문에 로드의 곡면부를 타고 넘어온 유체가 쉽게 재부착 할 수 있기 때문으로 생각된다.

X/B 전 영역에서 열전달성능을 살펴보면 C변화와 관계없이 전체적으로 P=30mm일 때가 P=40, 50mm일 때 보다 우수한데, 이것은 P=30mm일 때는 로드의 개수(8개)가 상대적으로 많기 때문에 로드직전의 와류발생이나 가속에 의한 영향을 많이 받을 수 있기 때문이며 P=50mm인 경우에는 로드와 로드사이에서 유체의 재부착 현상이 나타나지만 로드의 개수가 적기 때문에 가속효과는 3, 4, 5번째 로드 밑에서만 일어나며 P가 크기 때문에 로드와 로드사이에서 확산도 크게 작용할 것으로 생각된다.

특히 로드 밑에서 일어나는 가속효과는 P변화와 관계없이 모두 세번째 로드 밑에서 일어나는데 이것은 분류가 충돌판에 충돌한 후 세번째 로드부터 완전한 벽면분류 형태로 진행되기 때문으로 생각한다.

지금까지 고찰한 C변화에 대한 영향을 종합해

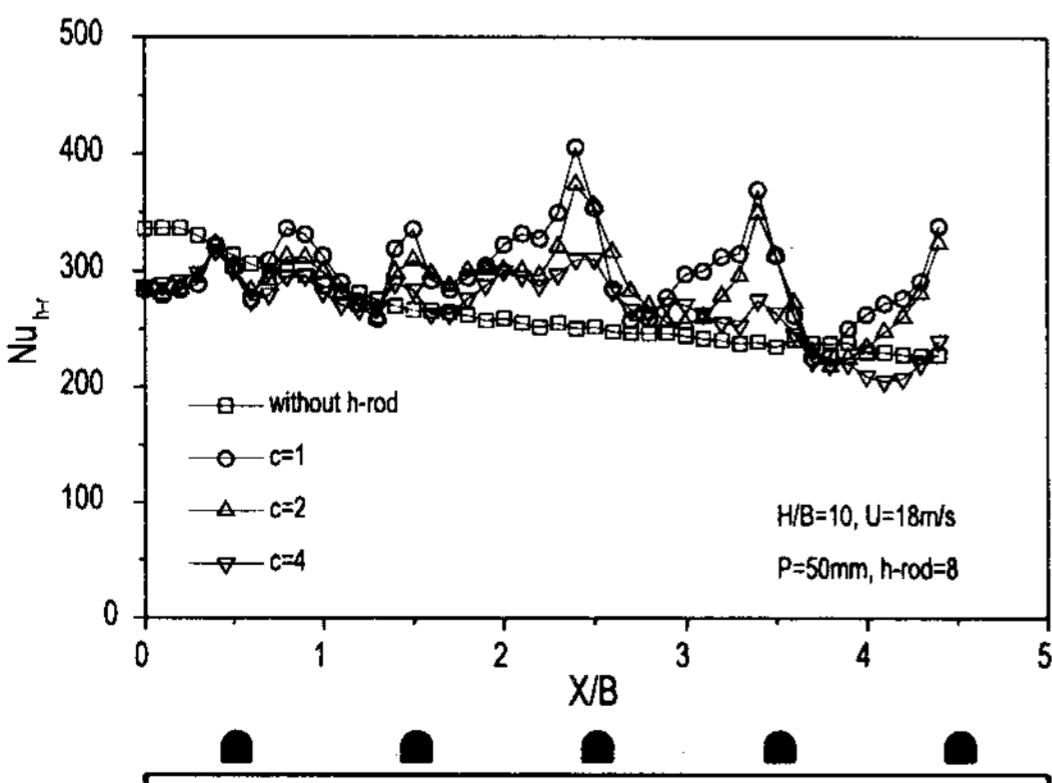


Fig. 9. Distribution of local Nu as a function of X/B for various clearances

보면 C가 작을수록 로드 바로 밑의 가속효과를 증진시키며, 와류 생성에 의한 효과가 크게 작용한다. 따라서 C가 클수록 위의 두 가지 영향은 크게 기대할 수 없으므로 열전달성능을 향상시키기 위해서는 C를 작게 하는 것이 바람직하며, 로드직전의 와류나 로드 밑의 가속에 의한 현상은 P의 영향(로드 개수)이 지배적인 것으로 생각된다.

Fig. 10은 본 실험범위내에서 열전달증진율이 가장 좋은 P=30mm일 때 로드를 설치하지 않은 경우의 평균 Nu_r 와 로드를 설치한 경우의 평균 Nu_{h-r} 의 비를 나타낸 것으로 로드를 설치하므로서 로드를 설치하지 않은 평판에 비해 C=1mm일 때는 평균 1.28배, C=2mm일 때는 평균 1.29배, C=4mm일 때는 평균 1.24배의 열전달증진율을

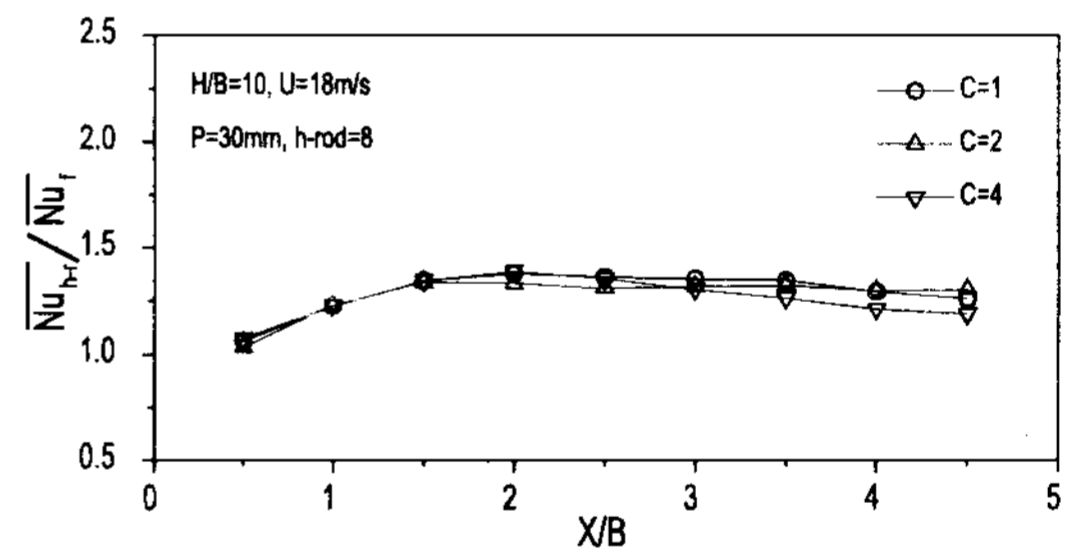


Fig. 10. Comparison of local average Nu on the flat plate with and without hybrid rods for various clearances

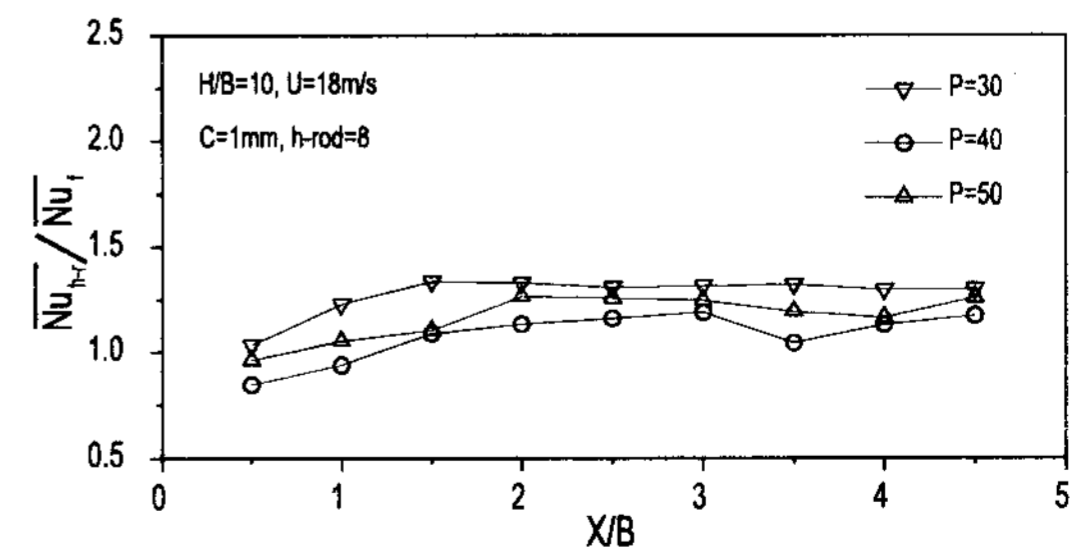


Fig. 11. Comparison of local average Nu on the flat plate with and without hybrid rods for various pitches

보이고 있다.

Fig. 11은 $C=1\text{mm}$ 인 경우 P 를 30, 40, 50mm로 변화시킬 때 로드를 설치하지 않은 경우의 평균 Nu_r 와 로드를 설치한 경우의 평균 Nu_{h-r} 의 비를 나타낸 것으로 $P=30\text{mm}$ 일 때는 평균 1.28배, $P=40\text{mm}$ 일 때는 평균 1.08배, $P=50\text{mm}$ 일 때는 평균 1.17배의 열전달증진율을 나타내고 있다. 결론적으로 P 변화에 의한 열전달성능은 $P=30\text{mm}$ 일 때가 가장 양호하며, 본 실험 범위에서 열전달증진을 위해 로드를 설치할 경우 로드의 최적 설치 조건은 $P=30\text{mm}$ 일 때 $C=1\text{mm}$ 이다.

4. 결 론

본 연구에서는 2차원 충돌 공기분류계에서 열전달증진을 목적으로 전열면 앞에 하이브리드 로드를 설치할 경우 로드와 전열면사이의 간극($C=1, 2, 4\text{mm}$)과 로드와 로드사이의 피치($P=30, 40, 50\text{mm}$)를 변화시킬 때의 열전달특성과 유동 특성을 실험적으로 규명하여, 로드를 설치하지 않은 평판의 경우와 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 로드를 설치하지 않은 평판의 경우에는 정체점 이후 Nu_r 가 계속적으로 감소하지만, 로드를 설치 할 경우에는 로드직전의 와류발생 및 로드 바로 밑에서의 가속에 의해서 정체점보다 높은 Nu_{h-r} 를 얻을 수 있다.
2. 로드와 전열면사이의 간극을 변화시킬 경우, 간극이 작을수록 로드 바로 밑에서의 가속 효과가 증진되며, 와류영향이 크기 때문에 열전달성능은 우수하다.
3. 로드의 피치를 변화시킨 경우 $P=30\text{mm}$ 인 경우가 로드 직전에서의 와류 및 가속에 의한 영향을 가장 크게 받는다.

참 고 문 헌

1. D. H. Wolf, R. Viskanta, F. P. Incropera, 1995, "Turbulence Dissipation in a Free-Surface Jet of Water and Its Effect on Local Impingement Heat Transfer from a Heated Surface : Part2-Local Heat Transfer", ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 117, pp.95~103
2. L. W. Florschuetz, C. C. Su, 1987, "Effect of Crossflow Temperature on Heat Transfer with an Array of Impinging Jets", ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 109, pp.74~82
3. J. C. Han, L. R. Glicksman, W. M. Rohsenow, 1978, "An Investigation of Heat Transfer and Friction for Rib-Roughened Surfaces", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 21, pp.1143~1156
4. 琴聲民, 川口, 徐正閔, 1995, "角柱列を利用した衝突噴流系の傳熱促進に関する研究", 日本機械學會論文集(B編), 61卷, 589號, pp.191~197
5. R. J. Goldstein, J. F. Timmers, 1982, "Visualization of Heat Transfer from Arrays of Impinging Jet", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 25, pp.1857~1868
6. A. K. M. F. Hussain, V. Ramjee, 1976, "Effect of the Axisymmetric Contraction Shape on Incompressible Turbulent Flow", ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 98, pp.58~69.
7. M. Behnia, S. Parneix, P. A. Durbin, 1998, "Prediction of Heat Transfer in an Axisymmetric Turbulent Jet Impinging on Flat Plate", Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol. 41, No. 12.

8. 금성민, 정동수, 김종보, 1998, "MESH에 의한 열전달증진에 관한 연구" 대한기계학회논문집, 제22권, 제5호, pp.716~724.
9. Gau, C. and Chung, C. M., 1991 "Surface Curvature Effect on Slot-Air-Jet Impingement Cooling Flow and Heat Transfer Process", ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 113, pp.858~864
10. M. J. Lewis, 1975, "Optimising the Thermohydraulic Performance of Rough Surfaces", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 18, pp.1243~1248