

충돌분류계에서 사다리형로드에 의한 열전달증진 효과

금 성 민

한라대학교 기계자동차공학부

E-mail : smkum@hit.halla.ac.kr

Heat Transfer Enhancement by Trapezoid Rods in Impinging Jet System

Sung-Min Kum

School of Mechanical Engineering, Halla University

요 약

본 연구는 2차원 충돌공기분류시스템에서 벽면분류영역의 열전달증진을 목적으로 충돌판 앞에 사다리형로드를 설치하고 로드 사이의 피치, 노즐출구와 충돌판 사이의 거리 및 로드와 전열면 사이의 간극을 변화시키면서 이때의 열전달특성을 실험적으로 규명하였다. 실험결과 로드를 설치하지 않은 평판의 경우에는 정체점 이후 열전달성능이 계속 감소하지만, 로드를 설치할 경우에는 로드에 의한 난류발생, 로드 측면에서의 와류생성 및 로드밑에서의 가속화 등에 의해 정체점보다 높은 열전달분포를 얻을수 있었다. 로드의 피치를 변화시킨 경우, $P=30$ mm인 경우가 로드 직전에서의 와류 및 로드 바로 밑의 가속효과를 가장 크게 받으며 $C=1$ mm, $H/B=2$ 인 조건에서 로드를 설치하지 않은 평판에 비해 평균 62% 정도의 열전달증진 효과가 있었다.

Abstract — The objective of the study was to investigate the characteristics of heat transfer and flow in 2-dimensional impinging air jet system, in which trapezoid rods have been set up in front of impinging plate in order to increase heat transfer. Experiments were carried out first using without the rods to establish the baseline heat transfer performance. And this result compared with the experimentation with rods. When rods are installed in front of the impinging plate, the acceleration of the flow and the eddies due to the rods seem to contribute to the heat transfer enhancement. Heat transfer performance was best under the condition of $C=1$ mm and as the pitch is 30 mm. In this case, maximum rate of heat transfer augmentation is about 1.62 times greater compared to that without trapezoid rods.

1. 서 론

최근 지적되고 있는 에너지자원의 유한성으로 인해 에너지의 효율적 이용과 관련된 열전달증진에 관한 연구는 그 중요성이 증대되고 있다.

대류 열교환기술을 대상으로 하는 충돌분류시스템은 열전달증진의 대표적인 방법으로 이 시스템은 충돌영역에서 발생하는 대규모 와류에 의해 높은 열 및 물질전달계수를 얻을 수 있기 때문에^[1] 이 방법의 개발은 대단히 중요하다고 할 수 있다.

충돌분류시스템은 고온물체의 급속냉각, 직물 및 공업용재료 등의 건조, 가스터빈 날개의 냉각과 전자부품의 냉각^[2] 등에 이용되고 있다. 그러나 충돌분류시스템은 정

체점 이후 벽면분류영역으로 진행할수록 분류의 속도감소, 확산 및 온도경계층의 발달로 열전달성능은 급격히 낮아진다.

벽면분류영역에서 열전달성능을 향상시키기 위한 방법으로는 전열면의 확대, 분류의 선회 및 노즐출구와 전열면 사이에 로드를 설치하는 방법^[3] 등이 있으며 이 방법들 중 로드를 설치하는 방법이 비교적 큰 성과를 거두고 있는데, 로드를 설치할 경우에는 로드에 의한 난류발생, 로드직전에서의 와류영향 및 로드와 전열면사이의 간극에 의한 유체 가속효과로 인해 열전달성능이 향상된다.

따라서 본 연구에서는 충돌분류시스템에서 벽면분류영역의 열전달증진을 목적으로 사다리형로드를 고안하

었다. 로드들의 형상은 양쪽 측면이 경사진 사다리형으로서 로드 밑부분의 폭과 높이는 8 mm이며 이때 양쪽 측면 경사각은 각각 80°이다.

이 로드들을 평판전열면 앞에 설치한 후, 로드사이의 피치, 노즐출구와 전열면 사이의 거리 및 로드와 전열면 사이의 간극을 변화시키면서 이때의 유동특성과 열전달 특성을 실험적으로 규명하며, 로드들을 설치하지 않은 평판의 경우와 비교함으로써 충돌분류시스템에서 로드들을 이용한 열전달증진기술에 기초적 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 온도측정

2-1. 실험장치

Fig. 1은 실험장치의 개략도이다. 공기는 원심식 송풍기에서 보내지며 유량은 유량조절 댐퍼에 의해 조절되고 디퓨저를 지나 하니컴과 세틀링챔버에 의해 균일화되면서 노즐을 통해 분출된다. 노즐출구에서 분류가 2차원이 되도록 유로상하면에는 평행판을 설치하였으며 충돌판은 전후 이동이 가능하도록 하였다.

Fig. 2는 평판전열면 앞에 사다리형 로드들을 설치한 경

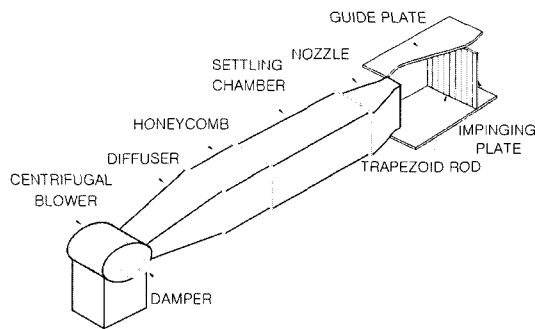


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

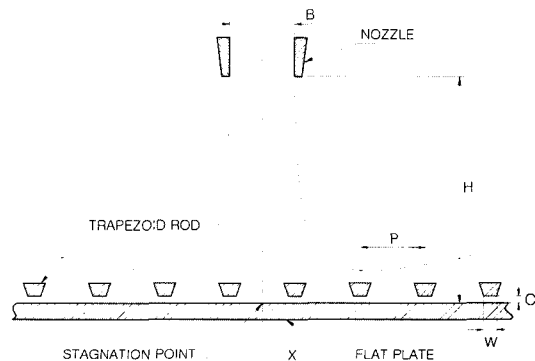


Fig. 2. Coordinate system (Top view).

우의 좌표계로써 로드폭을 W, 로드와 전열면간의 간극을 C, 로드사이의 피치를 P, 노즐출구폭을 B, 평판의 정체점(Stagnation point)으로부터 노즐출구폭 방향의 거리를 X, 노즐출구로부터 전열면까지의 거리를 H로 하여 X와 H를 각각 X/B, H/B의 무차원화 하였으며, 노즐중심은 전열면 중앙부에 인접한 두개의 로드사이의 중심선과 일치하도록 하였다.

2-2. 온도측정

전열면의 형상은 Fig. 3과 같이 베이클라이트판(500×500×20 mm)에 스테인레스 박판(길이 500 mm, 폭 10 mm, 두께 0.03 mm) 3매를 접착제로 부착하고 단면 B-B에 표시된 바와 같이 동판으로 연결하였다.

전열면의 가열은 $q=1020 \text{ W/m}^2$ 의 등열유속 조건이며 이 때 전압은 자동전압조정기를 사용하여 일정하게 유지시켰고, 열유속 값은 식 (1)과 같이 회로내의 전류계의 전류와 스테인레스 박판 양단 전위차의 곱으로 구하였다.

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

전열면의 온도측정을 위해 스테인레스 박판 뒷면에 직경 0.127 mm의 C-C열전대(T-type, Omega) 40개를 정체점으로부터 5 mm 간격으로 납땜 부착하여 Data Logger(Fluke Co., Helios I)에 연결하였다.

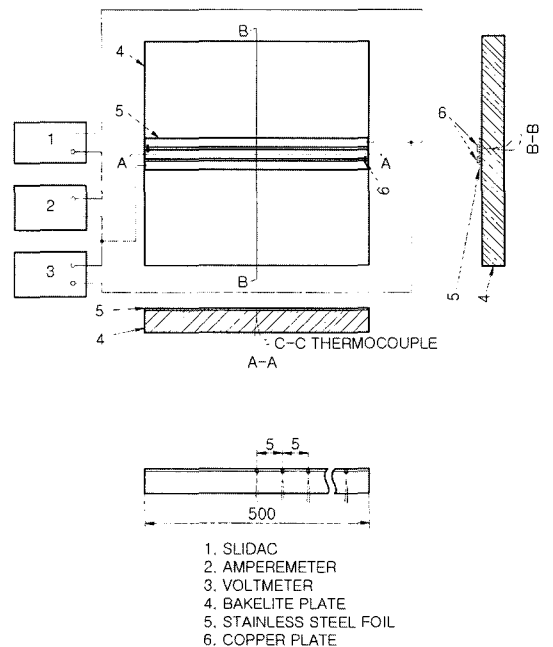


Fig. 3. Detailed diagram of heating apparatus.

그리고 국부열전달계수(h), 국부Nusselt수(Nu)는 다음과 같이 계산하였다.

$$h = q / (T_w - T_\infty) \quad (2)$$

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

3. 결과 및 고찰

3-1. 로드를 설치하지 않은 평판에서의 열전달 특성

Fig. 4는 로드를 설치하지 않은 평판 전열면에 분류가 충돌할 때 노즐출구속도 변화에 따른 정체점에서의 열전달특성을 나타낸 것으로 정체점에서의 Nu는 H/B가 증가함에 따라 증가하기 시작하여 H/B=10에서 최대가 된 후 다시 감소한다. Nu가 노즐 출구속도(U) 변화에 관계없이 H/B=10에서 최대가 되는 것은 분류가 전열면에 충돌하기 전에 주위유체와의 혼합작용이 충분히 이루어져 난류강도가 증가되었기^[4] 때문이다.

또한 U변화에 대한 관계를 고려하면 U=2, 10m/s인 경우, H/B=6과 H/B=10에서의 Nu는 큰 차이가 나타나지 않는데, 이것은 유속이 감소함에 따라 난류강도가 최대가 되는 충돌거리가 노즐 출구쪽으로 이동하기 때문이라고 생각된다. 이것은 다른 연구결과들^{[4][5]}과도 동일한 경향을 나타내고 있다.

Fig. 5는 U=18 m/s일 때 정체점으로 부터 X방향의 Nu_s를 각 H/B에 대하여 나타낸 것이다. Nu는 정체점 이후 X방향으로 진행할수록 감소하고 있는데 이것은 분류가 벽면분류영역으로 진행하면서 유속이 감소되고 확산이 일어나기 때문이다.

각 H/B별 Nu의 특성을 살펴보면 천이영역인 H/B=10에서 가장 높게 나타나며, 포텐셜코어영역인 H/B=2에서 가장 낮게 나타난다. 이것은 H/B=2에서는 분류가 충돌판에 충돌하기 전에 주위 정지유체와의 혼합작용이 충

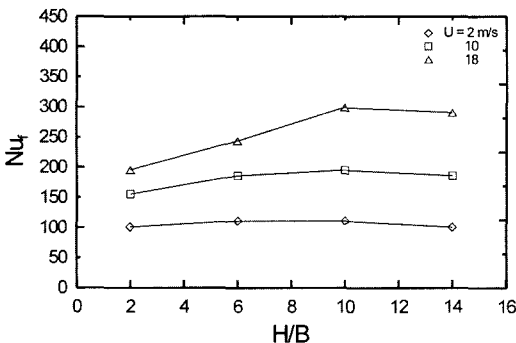


Fig. 4. Variation of stagnation point Nu as a function of H/B for various velocities.

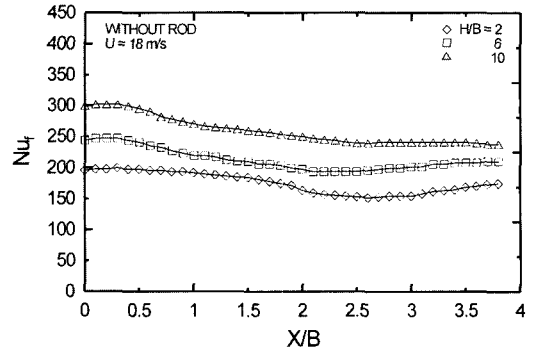


Fig. 5. Distribution of local Nu on the flat plate as a function of X/B for U=18 m/s.

분하지 않기 때문에 일어나는 현상^{[3][6]}으로 이미 보고된 바 있다.

그리고 분류가 벽면을 따라 진행하면서 나타나는 특징으로는 H/B=2, 6에서 Nu가 정체점 이후 감소하다 X/B=2.5 부근에서 다시 증가하기 시작하는데 이것은 주와류에 의해서 형성된 압력구배변화에 따라 벽면에서 이차와류가 형성되기 때문으로 생각된다. 그러나 충돌판이 천이영역에 설치된 경우에 이와같은 현상^{[3][6]}은 나타나지 않는다.

이상과 같이 2차원 충돌분류시스템에서 로드를 설치하지 않은 평판 전열면의 유동특성 및 열전달특성에 대하여 고찰한 결과, 분류가 평판에 충돌할 경우 Nu는 정체점 이후 X방향으로 계속 감소하며, 포텐셜코어영역내에 충돌판이 설치되더라도 X/B=2.5 부근에서의 재상승 경향은 있지만 벽면분류영역에서의 Nu는 정체점보다 상대적으로 낮다. 따라서 충돌분류시스템에서 열전달증진을 위해서는 벽면분류영역에서의 열전달 향상방안이 모색되어야 한다고 판단된다.

그리고 H/B의 변화에 대한 Nu의 관계를 살펴보면, 속도에 관계없이 Nu는 H/B=2에서 가장 낮게 나타나며 H/B=10에서 가장 높게 나타나므로 본 연구에서는 사다리형 로드를 설치한 후 H/B=2와 H/B=10을 중심으로 로드의 피치, 로드와 전열면사이의 간극을 변화시켜 이때의 유동특성 및 열전달특성을 밝히고 로드를 설치하지 않은 평판과 비교, 검토하고자 한다.

3-2. 사다리형 로드를 설치한 경우의 열전달 특성

Fig. 6은 U=18 m/s, 로드와 로드사이의 피치(P)가 30 mm인 경우, 충돌판을 포텐셜코어영역인 H/B=2인 위치에 설치했을 때 로드와 전열면 사이의 간극(C) 변화에 대한 Nu의 분포를 나타낸 것으로, 로드가 없는 평판과 비교하면 X/B 전영역에서 C변화와 관계없이 높게 분포

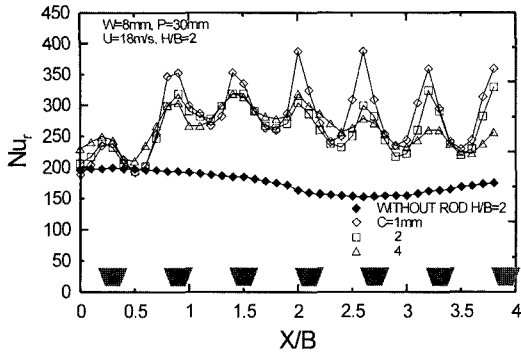


Fig. 6. Distribution of local Nu as a function of X/B for various clearances (P=30 mm, H/B=2).

되어 있다.

C변화와 관계없이 Nu_f은 X방향으로 진행하면서 공통적으로 로드와 로드사이에서 감소하다 점차 증가하며, 로드직전에서 피크를 나타낸 후 다시 감소와 증가를 반복하는 현상을 나타낸다.

로드와 로드사이에서 Nu_f이 점차 증가하는 현상은 로드위쪽에서 오는 분류가 로드밑을 빠져나오는 분류를 누르면서 다시 전열면을 흐르도록 유도하기 때문이며, 로드직전에서 Nu_f이 피크를 이루는 것은 로드측면에서 발생하는 와류^[31] 때문이다. 특히 C가 작을수록 이와같은 현상은 두드러지게 나타난다. C변화와 관계없이 로드직후에서 Nu_f이 급격하게 낮아지는 것은 분류가 로드 바로밑을 지나면서 전열면에서 이탈하는 박리현상^{[31][6][7]} 때문이다.

또한 X방향으로 진행할수록 열전달성능이 점차적으로 낮아지는데 이것은 로드에 의한 저항으로 운동량이 감소하고 분류의 확산 때문인 것으로 생각한다. C변화에 대한 영향을 살펴보면 C가 작을수록 열전달성능은 우수

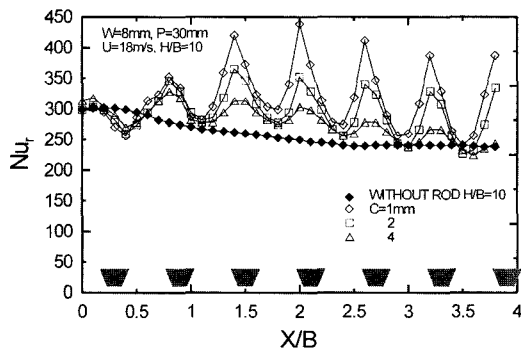


Fig. 7. Distribution of local Nu as a function of X/B for various clearances (P=30 mm, H/B=10).

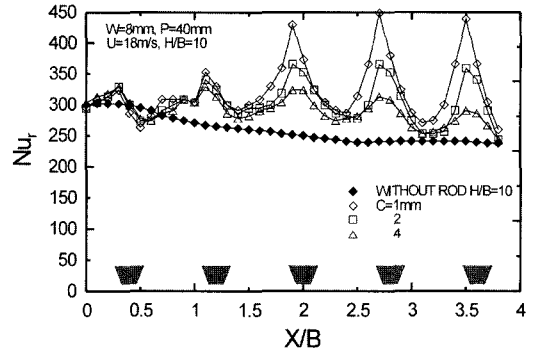


Fig. 8. Distribution of local Nu as a function of X/B for various clearances (P=40 mm, H/B=10).

한데 특히 충돌영역에서는 C변화에 대한 차이가 거의 없으나 벽면분류영역으로 진행할수록 그 차이는 뚜렷하게 나타난다.

Fig. 7은 천이영역인 H/B=10인 위치에 충돌판을 설치한 경우로서 Fig. 6의 H/B=2와 비교할 때 전체적인 경향이 유사하다. 그러나 로드가 없는 경우와 비교할 때 H/B=2에서의 열전달증진을 보다는 낮다. 이것은 H/B=10인 경우에는 분류의 난류강도가 충분히 성장하여 충돌하므로써 난류강도에 의한 영향과 로드에 의한 영향을 동시에 받기 때문이며, 반면에 H/B=2에서는 난류강도가 충분히 발달하지 않은 상태에서 충돌하지만 벽면분류영역으로 진행하면서 로드에 의해 난류로 천이되기 때문에 로드를 설치하지 않은 평판에 비해 열전달증진율은 크게 향상된다.

Fig. 8은 P=40 mm, H/B=10인 경우로서 P=30 mm일 때와 마찬가지로 C변화와 관계없이 Nu_f은 로드직전에서 높게 나타나고 로드와 로드사이에서는 증가와 감소를 반복한다.

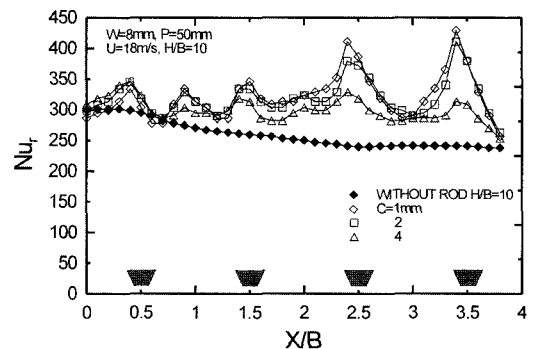


Fig. 9. Distribution of local Nu as a function of X/B for various clearances (P=50 mm, H/B=10).

C변화에 대한 영향을 살펴보면 C=1 mm일 때 3, 4, 5번째 로드직전에서 Nu_t이 약 450 정도로 본 실험조건에서 국부적으로 최대값을 나타내며 벽면분유영역으로 진행할수록 C변화에 대한 영향이 크게 나타난다.

Fig. 9는 P=50 mm, H/B=10인 조건으로 C변화에 대한 전체적인 경향은 P=30, 40 mm인 경우와 유사하지만 C=1 mm와 2 mm일 때 열전달성능에 대한 차이는 거의 없는데 이것은 P에 의한 영향 때문으로 생각된다. 또한 P=30, 40 mm와 다르게 X/B≃1부근에서 Nu_t의 피크가 나타나는데 이것은 분류의 재부착에 의한 영향으로 생각되며 김^[3]의 연구결과와도 일치한다.

Fig. 10은 P=30 mm H/B=2인 경우에 C변화에 대한 국부열전달 증진효과를 나타낸 것으로 C=1 mm일 때 4번째 로드직전에서 로드를 설치하지 않았을 때보다 약 2.4배의 열전달 증진효과가 나타났고, Fig. 11은 H/B=10인 경우로서 4번째, 5번째 로드직전에서 약 1.7배의 열전달 증진효과가 있었다.

지금까지 실험결과 C 및 P변화에 대한 영향을 종합해보면 본 실험 범위 내에서는 C와 P가 작을수록 열전달 증진효과가 크게 나타난다. 그러나 P가 작을수록 로드의 개수가 많아지기 때문에 X방향으로 진행하면서 로드의 저항으로 인한 운동량 감소와 확산 영향을 고려해

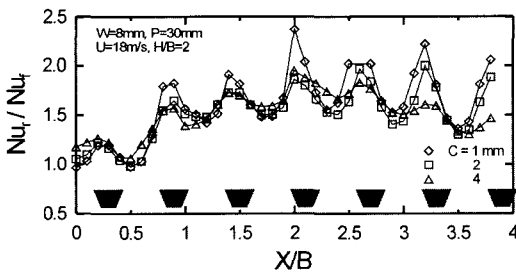


Fig. 10. Comparison of local Nu on the flat plate with and without rods for various clearances (P=30 mm, H/B=2).

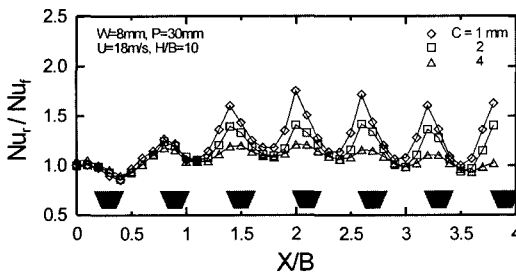


Fig. 11. Comparison of local Nu on the flat plate with and without rods for various clearances (P=30 mm, H/B=10).

야 할 것으로 생각된다. 그리고 분류의 재부착에 의한 열전달증진 효과를 얻으려면 로드와 로드사이의 충분한 피치가 요구된다고 할 수 있다.

4. 결 론

충돌공기분류계에서 열전달증진을 목적으로 전열면 앞에 사다리형 로드를 설치한 후, 로드와 전열면사이의 간극(C=1, 2, 4 mm), 로드와 로드사이의 피치(P=30, 40, 50 mm), 노즐출구와 전열면사이의 거리(H/B=2, 10)를 변화시킬 때의 유동특성과 열전달특성을 실험적으로 규명하고 로드를 설치하지 않은 평판의 경우와 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 로드를 설치하지 않은 평판의 경우에서는 정체점 이후 Nu_t이 감소하지만, 로드를 설치 할 경우에는 로드 에 의한 난류발생, 로드측면에서의 와류생성 및 로드밀 에서의 가속화 등에 의해 정체점보다 높은 Nu_t을 얻을 수 있으며 국부적으로는 로드를 설치하지 않은 평판보다 약 2.4배의 최대 국부열전달증진율이 나타났다.

2) 로드와 전열면사이의 간극(C)을 변화시킬 경우, C가 작을수록 로드밀에서의 가속효과와 와류의 영향이 크기 때문에 열전달성능은 우수하며 U=18 m/s, P=30 mm, H/B=2인 경우, 로드를 설치하지 않은 평판에 비해 C=1 mm일 때는 약 62% 정도의 열전달증진율을 나타냈다.

3) 로드의 피치(P)를 변화시킨 경우, P가 작을수록 로드의 개수가 많아지기 때문에 X방향으로 진행하면서 로드 직전에서의 와류 및 로드밀의 가속효과를 가장 많이 받는다.

향후에는 다양한 형상비를 갖는 로드들에 대한 직접적인 비교를 체계적으로 수행할 예정이다.

참고문헌

1. Lee, J.H. and Lee, S.J.: "The Effect of Nozzle Aspect Ratio on Stagnation Legion Heat Transfer Characteristics of Elliptic Impinging Jet", Int. J. Heat and Mass Transfer, 43, 555 (2000).
2. Gau, C. and Lee, I.C.: "Flow and Impingement Cooling Heat Transfer Along Triangular Rin-roughened Walls", Int. J. Heat and Mass Transfer, 43, 4405 (2000).
3. 김동춘: 충돌분류계에서의 하이브리드 로드 에 의한 열전달증진에 관한 연구, 인하대학교 박사학위논문, (2000).
4. Goldstein, R.J. and Timmers, J.F.: "Visualization of Heat Transfer from Arrays of Impinging Jet", Int. J. Heat Mass Transfer, 25, 1857 (1982).

5. Gau, C. and Chung, C.M.: "Surface Curvature Effect on Slot-Air-Jet Impingement Cooling Flow and Heat Transfer Process", ASME J. Heat Transfer, 113, 858 (1991).
6. Kum, S.M. *et al.*: "A Study on Heat Transfer Enhancement by a Square-Rod Array in an Impinging Jet System", Heat Transfer Japanese Res., 24(2), 193 (1995).
7. 최두섭, 금성민, 이용화, 서정윤: "충돌공기분류계에서의 전열촉진기술에 관한 연구", 태양에너지학회논문집, 13(1), 11 (1993).