

【論文】

오프셋이 있는 경우 측벽에서의 대류열전달에 관한 연구

A Study on the Convection Heat Transfer on the Side-wall
with a Offset

박 용 일*
Yong Il Park

ABSTRACT

The coefficients of convective heat transfer were investigated when air is jetted to surface of the heated side-wall. The temperature on the side-wall was measured when the offsets changed from 1.5 to 10.5 as 7 steps at the state of fixed Reynolds numbers that were 35000, 29000 and 23000. The experimental results are as follows:

1. The mean Nusselt number is very high on the surface of reattached flow region.
2. The offset and the recirculation flow region decreased, while the mean Nusselt number increased between the outlet of nozzle and the region of reattachment flow.
3. The local Nusselt number is not concerned with Reynolds number on the recirculation flow and on the reattached flow region when the offset decrease. But the Nusselt number increased only when Reynolds numbers on the wall jet flow region increased.
4. The mean and the maximum Nusselt number decreases linearly, and in particular its values rapidly decrease in accordance with changing of the offset from 1.5 to 3 in inverse proportion.

Nomenclature

Cp pressure coefficient, $C_p = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho V^2}$
 p static pressure on the side-wall, mmAq
 p_∞ ambient pressure, mmAq
 ρ density of air, kg/m³

V average velocity at jet nozzle exit, m/s
 q heat transfer rate per unit area,
 $q = h (T_\omega - T_\infty)$, W/m²
 h heat transfer coefficient, W/m²·°C
 T_ω local side-wall temperature, °C
 T_∞ free stream temperature, °C
 Re Reynolds number
 Nu local Nusselt number, hd/k

* 정회원: 대림공업전문대학 기계과

Nu_{max}	maximum Nusselt number
Nu_{mean}	mean Nusselt number
d	hydraulic diameter, mm
k	thermal conductivity of air, $W/m \cdot ^\circ C$
D/B	offset
D_1	offset distance from nozzle to side-wall, mm
D_2	offset distance from nozzle to opposite-wall, mm
X_r	reattachment distance, mm
L	distance to measured position of the down stream on the side-wall, mm
B	nozzle width, mm

1. 서 론

박리현상을 동반하는 측벽 부착 분류는 자동차의 방열기, 연소기구의 성능등에 큰 영향을 미치고 있다. 측벽부착 분류에 관한 연구중 열전달에 대한 연구도 많이 진행되어 왔다. 열전달에 관한 연구 결과를 살펴보면 K.M. Krall¹⁾은 작동 유체를 물로 하였을때, 원관내의 흐름이 난류인 경우 벽면에서의 국소 열전달계수를 4개의 오프셋에서 측정한 결과 완전발달 영역에서의 열전달계수보다, 부착영역에서의 값이 크다고 하였다. 또 J.W. Baughn²⁾ 등은 일정한 벽온도를 가지는 급히 확대된 원관내에서의 국소 열전달계수를 구하는 방법에 대하여 연구를 하여 최대 Nusselt 수가 급히 확대된 영역 근처에서 나타나고, 완전히 발달한 영역에서보다 2배정도가 크다고 하였다. 또 급히 확대된 4각형 유로에 대하여도 연구가 진행되어 왔으며 E.G. Filetti³⁾에 의해 양쪽의 벽면을 가지는 축대칭 유로에서 오프셋이 1.05로 비교적 적은 경우에 벽면에서의 Nusselt 수가 구해졌다. 양쪽 벽면에서 짧은 거리의 부착점과 긴 거리의 부착점이 나타났고

두개의 부착점의 위치에서 최대 Nusselt 수가 나타나고 있었으며, 짧은 거리의 부착점에서 Nusselt 수가 크게 나타나고 있다고 하였다. 그러나 많은 연구가 오프셋이 적은 경우에 대하여 행하여졌고, 또 측벽에서의 정압분포를 자세히 측정하면서 연구된 결과는 찾아보기 힘들다. 그리고 최대 및 노즐출구에서 최대 Nusselt 수가 나타나는 위치까지의 평균 Nusselt 수와 그 실험식들은 구하였으나, 측벽에 분류가 부착되었을때 나타나는 역류영역, 부착영역 및 벽분류 영역에 대하여 평균 Nusselt 수를 구하는 연구 역시 흔치 않다. 따라서 본 연구에서는 2차원 노즐에서 급히 확대된 4각형 유로 내부로 공기가 분출되어 벽면으로 휘어져 흐르고 있을때 오프셋을 1.5에서 10.5까지 7가지의 경우로 나누었다. 벽면에서의 국소 대류 열전달 계수를 역류영역, 부착영역 및 벽분류 영역에 대하여 구하였고 측벽에서의 정압을 측정하여 대류 열전달계수와와의 관계를 구하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 측벽에서의 정압분포

Fig.1은 실험에 사용한 장치의 개략도이다. 실험장치는 두께가 10 mm인 아크릴판으로 제작하였다. 급히 확대된 유로의 입구에서 발달된 유동상태와 2차원 분류를 얻기 위하여 폭 10 mm 높이 60 mm 길이는 수력반지름의 25 배인 475 mm의 내면이 매끄러운 직사각형 노즐을 사용하였다. 노즐 출구에서의 공기의 Reynolds 수는 35000, 29000 및 23000으로 바꿀수 있도록 하였다.

노즐에서 분출된 공기가 부착되는 벽을 측벽이라 하고, 또 측벽에 대응하는 또 하나의 벽을 대향벽이라 하였다. 노즐폭에 대한 측벽까지의 거리의 비인 오프셋 (D_1/B) 은 1.5, 3,

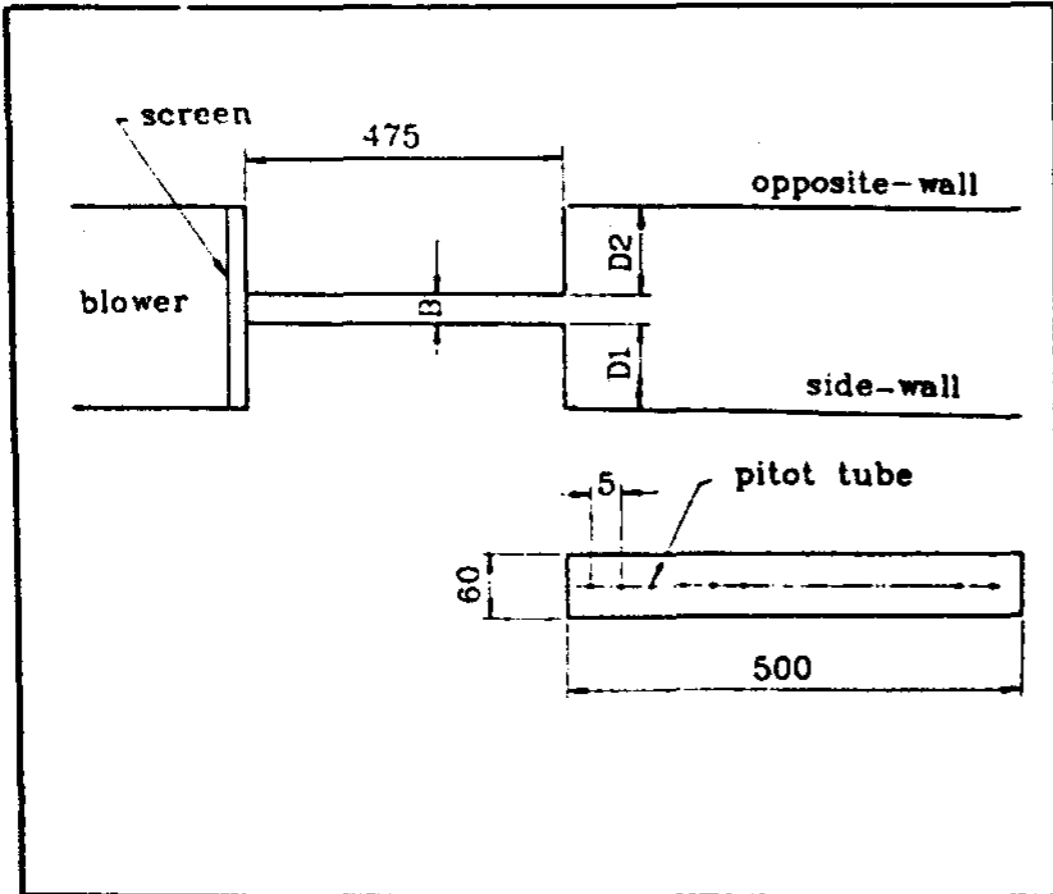


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

4.5, 6, 7.5, 9 및 10.5로 변화시킬수 있도록 하였다. 측벽길이는 측벽단의 영향⁴⁾을 받지 않도록 500 mm로 하였다. 실험은 특별한 경우를 제외하고는 대향벽이 분류에 미치는 영향을 피하기 위해 대향벽을 제거하였다. 급히 확대된 유로 내부로 공기가 유입될때 먼지가 혼입되는 것을 방지하기 위하여 송풍기 유입부에 정류망을 설치하였으며 유로 내부를 외부와 밀폐시키기 위하여 측벽, 대향벽과 덮개판과의 접촉부에 와세린으로 시일하고 클램프를 사용해서 고정시켰다. 송풍기에서 노즐을 통하여 급히 확대된 유로 내부로 공기가 분출되었을때, 측벽에서의 정압 측정은 측벽 중앙에 5 mm 간격으로 50 개소에 설치된 $\phi 1$ mm의 피토티관에 0.1 mm Aq까지 측정 가능한 마이크로 마노미터를 연결하여 행하였다. 마이크로 마노미터에서 얻은 출력을 A/D 변환기를 통하여 마이크로 컴퓨터에서 시간 평균에 대한 정압을 얻었다. 측정된 정압은 노즐 중앙에서의 속도를 사용하여 Cp로 나타내었다.

2.2 측벽에서의 대류 열전달계수

대류 열전달 계수를 구하기 위해 실험에 사용한 장치는 Fig.2와 같은 열전달 측정용 측

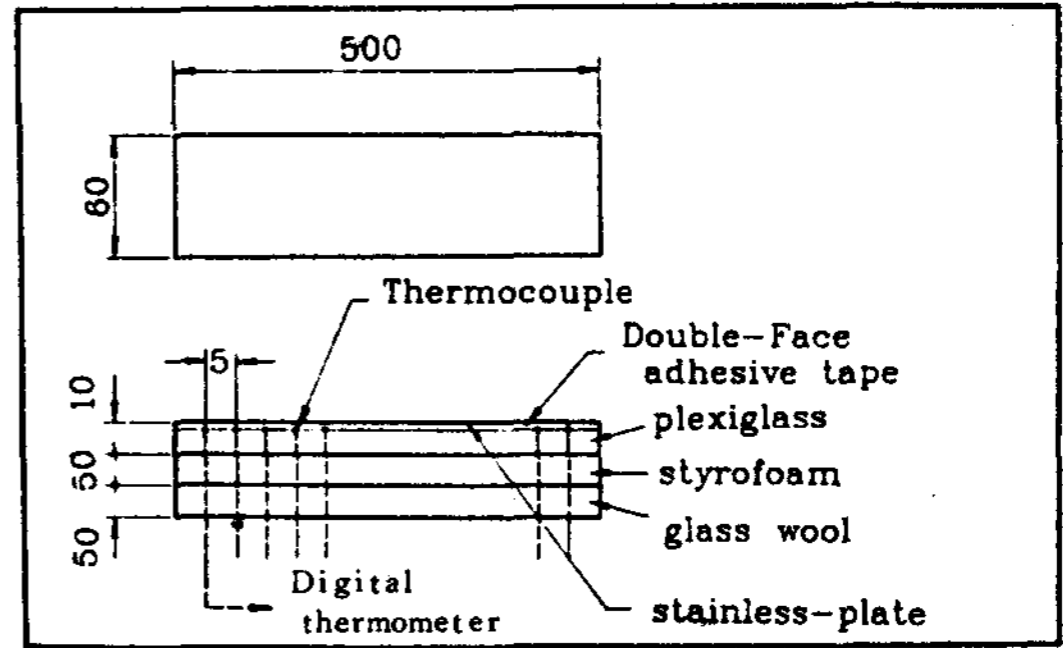


Fig. 2 Side and cross-section of side-wall for heat transfer experiment

벽을 제외하고는 정압분포를 구하기 위해 사용된 장치와 같다.

Fig. 2는 열전달 실험에 사용한 측벽의 단면을 나타내고 있다. 두께 0.03 mm, 폭 60 mm, 길이 500 mm인 스테인레스판을 아크릴판에 접착시켰고, 스테인레스판에 교류전원을 통과시켜 열이 발생되도록 하였다. 실험중 일정한 전압을 유지하기 위하여 자동전압 조정기를 사용하였고 슬라이다스를 사용해서 필요한 전압으로 낮추어 사용하였다. 스테인레스판의 양쪽 끝에서 교류전원과 연결시 접촉저항에 따른 열발생을 줄이기 위하여 스테인레스판과 전원케이블을 동판을 이용 리벳팅 하였다. 스테인레스판과 아크릴판은 양면 테이프를 사용해서 접착시켰고, 양면 테이프 뒤에 $\phi 0.3$ mm인 크로멜-알루미늄 열전대를 부착시켰기 때문에 스테인레스판을 통하는 전류와 열전대와는 전기적으로 절연이 되었다. 열전대 끝은 아르곤 가스 용접을 하여 용접시 불순물의 침투를 방지 하였다. 아크릴판의 후면을 통하는 열손실을 감소시키기 위하여 열전도 계수가 0.016 이고 두께가 50 mm인 Styrofoam 과 열전도 계수가 0.038 인 Glasswool 을 사용해서 단열을 하였다. 실험 장치의 상·하면 및 측벽의 양끝에서 발생하는 손실도 방지하기 위하여 Styrofoam 으로 충분

히 단열시켰다. 측벽의 중앙에 5 mm간격으로 42개의 열전대를 부착하였고 열전대를 Styrofoam을 통하여 0.1°C까지 측정 가능한 디지털 온도계에 연결하였다. 열전대를 Styrofoam을 통해서 온도계에 연결할 때에 생긴 틈은 실리콘 접착제를 사용해서 밀봉하였으며 열전대는 에폭시 접착제에 의하여 스테인레스판에 밀착되어 움직이지 않도록 고정되었다.

측벽에서의 대류 열전달계수 h 는 Newton의 냉각법칙을 이용해서 구했다. 실험에 사용한 전압은 2.08 volt 이었고, 스테인레스판의 저항은 0.3 Ω이다. 판의 표면적은 0.03024 m² 이었다. 열손실은 단열재 두께를 통한 온도분포를 측정하여본 결과 선형적으로 나타났기 때문에 Fourier의 열전도법칙에 의해서 계산하였다. 열손실은 3개의 위치에서 측정하였고 전체실험을 하는 동안 약 1% 이내임을 확인하였다. 정상상태에서 온도를 측정하기 위하여 스테인레스판에 전원을 연결한후 송풍기에서 공기를 분출시켜 측벽을 냉각시켰으며 약 120분후 온도를 확인한 결과 변화가 없을때 측벽에서의 온도를 측정 하였다. 측정시간이 길어짐에 따른 변화를 없게 하기 위해서 빠른 시간에 측정하였고 측정후 몇 개의 점을 선택하여 측정 전후의 온도차를 확인한후 온도차가 없을때 온도를 기록하였다. 이와같은 방법에 의해 측정된 대류 열전달 계수를 무차원으로 나타내기 위해서 Nusselt 수로 환산하였다.

3. 결과 및 고찰

E.G. Filetti³⁾는 축대칭 4각형 유로에서 Reynolds 수가 69800에서 204500까지의 범위내에서 오프셋이 0.56과 1.05인 경우에 측벽에서의 온도를 측정하여 Nusselt 수를 구하고 있으나 대향벽이 있는 경우에 실험을 하였기에, 측벽과 대향벽에서의 Nusselt 수는 서

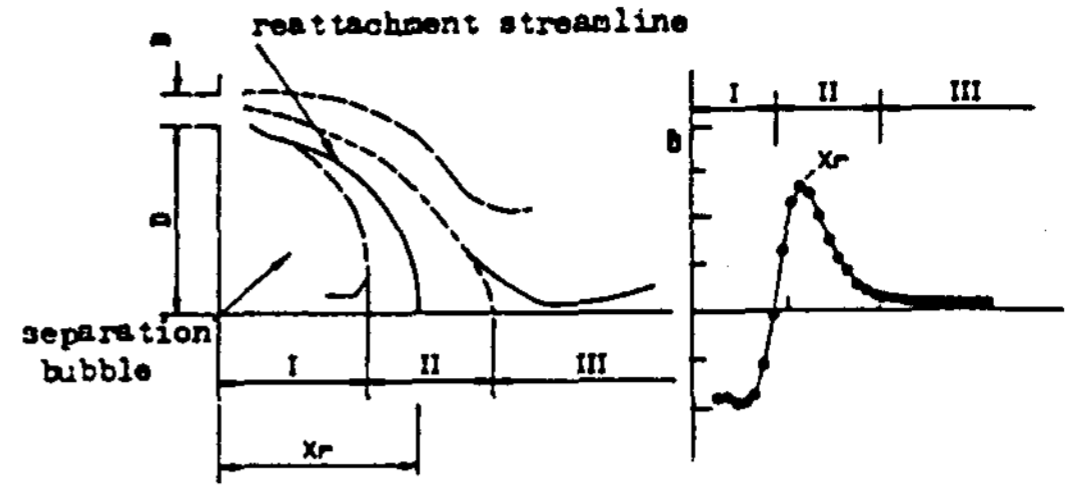


Fig. 3 Flow field of a side-wall jet and pressure distribution

로 영향을 미치는 것으로 생각되어 진다. 본 연구에서는 실제에 사용되는 기기는 오프셋이 큰 경우이기 때문에 오프셋을 1.5에서 10.5까지 7가지로 변화시켰고, 대향벽의 온도가 측벽에서의 Nusselt 수에 미치는 영향을 피하기 위해서 측벽만 설치 하였다. 실험에 의해서 구해진 Nusselt 수를 본 연구에서는 역류영역, 부착영역 및 벽분류영역으로 구하기 위해 Fig.3과 같은 유동장 및 측벽에서의 정압분포의 예를 나타 내었다.

역류영역은 노즐 출구에서 압력계수가 0이 되는 위치인 I 영역, 부착영역은 압력계수가 0에서 최고 압력점을 지나 다시 대기압에 접근되는 II영역, 그리고 그 이후의 III영역을 벽분류 영역으로 하였다. 또 부착영역에서 최대 압력계수를 나타내고 있는 위치를 분류가 부착되는 부착점 (X_r)으로 하였다. Fig.4는 Reynolds수 23000일때 오프셋 변화에 대한 측벽에서의 정압분포이다. 오프셋을 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9 및 10.5로 증가 시킴에 따라서 최대 압력계수가 나타나고 있는 분류의 부착점의 위치는 노즐폭에 대한 측벽에서의 측정점까지의 거리의 비인 L/B 가 6, 9.5, 12.5, 14.5, 16.5, 18 및 19.5 이었다.

최고압력계수의 위치를 지나서 부터 압력계수는 급격히 낮아져서 L/B 가 11, 15, 18.5, 22, 24.5 및 27에서부터 거의 대기압에 접근하여 일정한 값을 갖고 이 위치에서 부터 분류

는 벽분류 영역으로 바뀐다. 이때에 부착영역은 오프셋이 1.5, 3, 4.5 및 6일때 각각 L/B 가 4.5에서 11, 7.5에서 15, 10에서 18.5 및 13에서 22까지 이었다. 오프셋이 1.5, 3 및 4.5인 경우에는 葛原定郎⁵⁾의 결과와 마찬가지로 완전히 발달되지 않은 분류가 벽면에 부착되기 때문에 저압부의 정압분포 형태가 오프셋이 6, 7.5, 9 및 10.5인 경우와 다르게 나타나고 있다. 또한 오프셋이 1.5에서 4.5까지는 최대 압력 계수가 0.125, 0.176 및

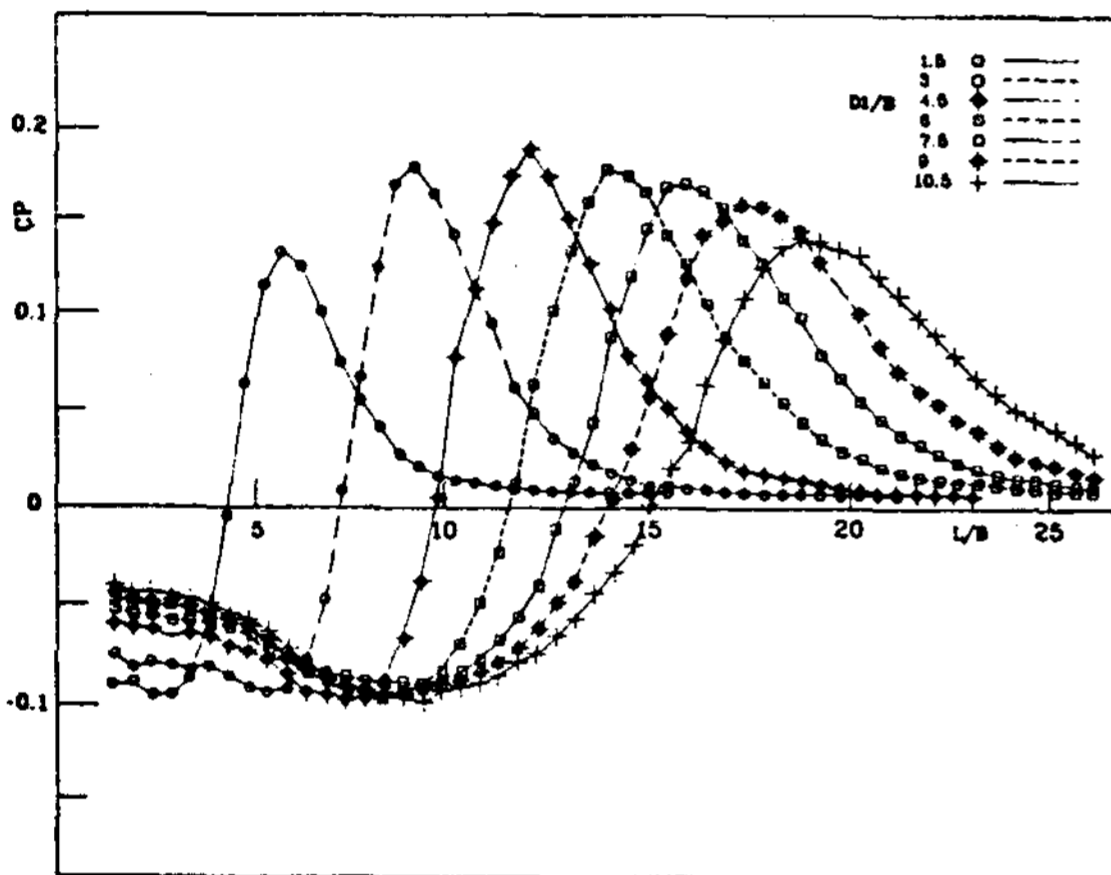


Fig. 4 Pressure distribution on the side-wall for $Re=23000$

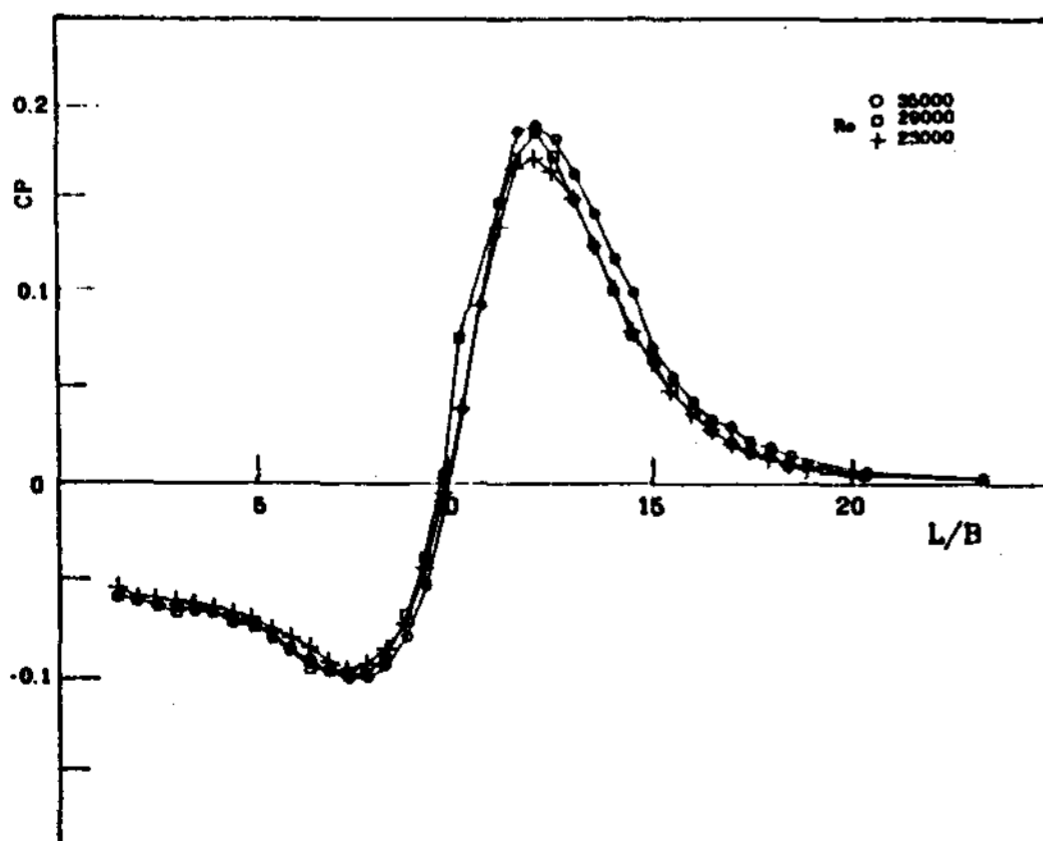


Fig. 5 Pressure distribution on the side-wall for $D1/B=4.5$

0.184로 증가되나 오프셋이 6에서 10.5까지는 0.171, 0.164, 0.154 및 0.134로 감소되고 있다.

Fig. 5는 오프셋이 4.5일때 Reynolds 수 변화에 따른 측벽에서의 압력계수이다. 노즐출구에서의 속도를 사용하여 측벽에서의 정압을 무차원 시켰을때, 벽면에서의 압력계수는 Reynolds 수가 변화하는 경우에도 거의 일정한 값으로 나타나고 있었다. 또한 최고 압력계수가 나타나고 있는 분류의 부착점의 위치도 Reynolds 수의 변화에 관계없이 일정하게 나타나고 있었다. 이러한 현상은 다른 오프셋에서도 같은 경향을 보이고 있었다. 본연구에서는 대향벽이 분류에 미치는 영향을 피하기 위하여 측벽만 설치하고 대향벽을 제거 하였으나 실제적으로 사용되는 기기에서는 대향벽이 있는 경우이므로 대향벽을 설치 하였을때 대향벽이 분류의 부착점에 미치는 영향도 확인 하였다. 측벽의 오프셋을 1.5 및 3으로 하였을때, 각각에 대하여 대향벽 오프셋을 3, 6, 9 및 ∞ 로 변화시켰다. 여기서 ∞ 는 대향벽을 제거한 경우이다. Fig. 6에서보면 측벽의 오프셋이 1.5로 일정

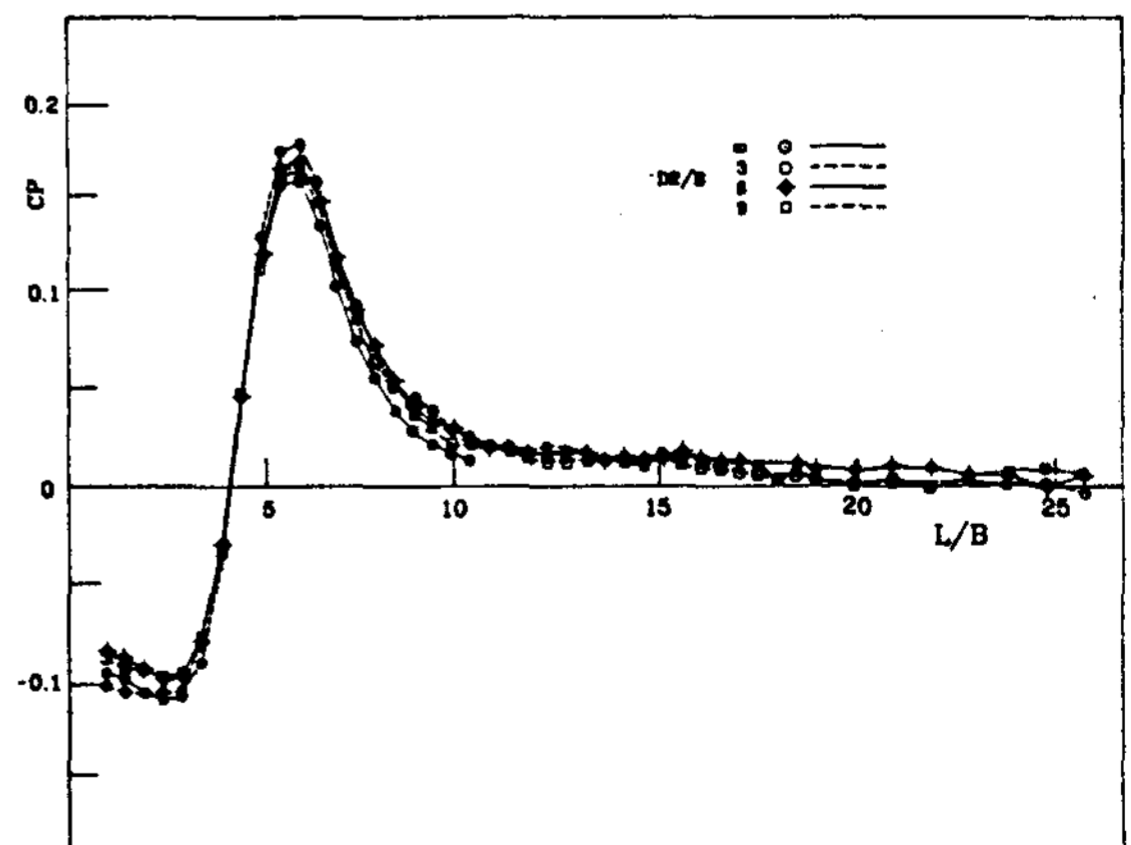


Fig. 6 Pressure distribution on the side-wall with opposite-wall for $D1/B=1.5$, $Re=35000$

할때 대향벽의 오프셋이 변하더라도 최고 압력 계수가 나타나고 있는 위치는 L/B 가 6으로 변화가 없고, 최고 압력 계수의 값도 $D2/B$ 가 증가됨에 따라서 0.176, 0.168, 0.162 및 0.158로 거의 변화가 없었다. 여기에서 사용된 압력 계수의 값은 서로 대응되는 위치에서, 측벽에서의 압력계수와 대향벽에서의 압력계수의 차로써 결정하였다. 대향벽이 없는 경우에는 측벽에 대응되는 위치에서 압력이 대기압으로 되고, 측벽에서의 압력도 대기압의 영향을 받아 높아진다. 그러나 대향벽이 설치되면 대향벽에서 압력이 나타나게 되고, 그 영향으로 측벽에서의 압력은 낮아지게 된다. 이때에 측벽과 대향벽의 압력차를 구하면 Fig.6에서처럼 대향벽의 유무에 관계없는 일정한 형태의 압력계수를 얻을 수 있기 때문에 대향벽을 제거하고 실험을 하였다.

Fig. 7은 Reynolds 수가 23000일때 측벽에서의 Nusselt 수를 나타내고 있다. 최대 Nusselt 수가 나타나는 위치는 오프셋을 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9 및 10.5로 증가시켰을 때

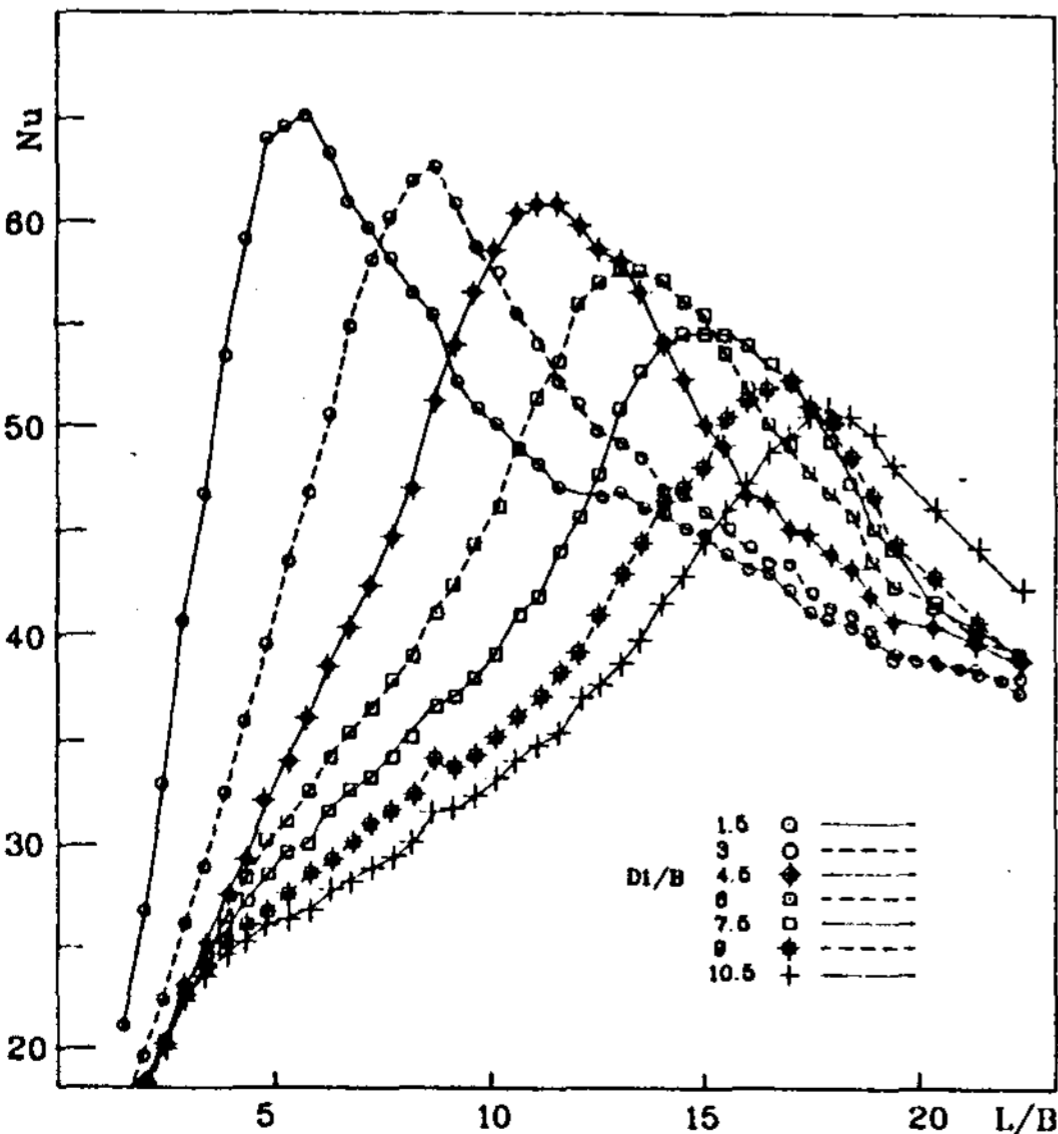


Fig. 7 Nusselt number on the side-wall for $Re=23000$

L/B 가 6, 9, 12, 14, 15.5, 17.5 및 18.5이었다. Fig. 4에서의 최대압력계수의 위치는 L/B 가 6, 9.5, 12.5, 14.5, 16, 18 및 19.5에서 나타나고 있었다. 일반적으로 최대 Nusselt 수가 최대압력계수의 위치에서 보다 약간 전방에서 나타나나, 그 위치는 거의 일치한다고 생각할 수 있다. 또한 Fig. 4의 정압분포에서는 오프셋이 1.5에서 4.5로 증가함에 따라 최대 압력계수는 증가하다가 오프셋이 6에서 부터는 감소되고 있으나, Fig.7에서 최대 Nusselt 수는 최대압력계수의 변화에 관계없이 오프셋이 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9 및 10.5로 증가됨에 따라서 65.210, 62.628, 60.832, 57.536, 54.505, 52.268 및 50.881로 감소되고 있었다. 또 L/B 가 3보다 적은 노즐 출구 근방에서는 오프셋이 1.5인 경우는 다른 오프셋에서의 Nusselt 수보다 크게 나타나고 있고, 다른 오프셋에서는 오프셋 증가에 관계없이 거의 일정한 Nusselt 수를 가진다.

Fig.8은 Reynolds 수가 29000일때의 측벽에서의 Nusselt 수 분포이다. Fig.9는 Reynolds 수를 변화시킨 경우의 최대 Nusselt 수를 나타내고 있다. 오프셋이 비교적 작은

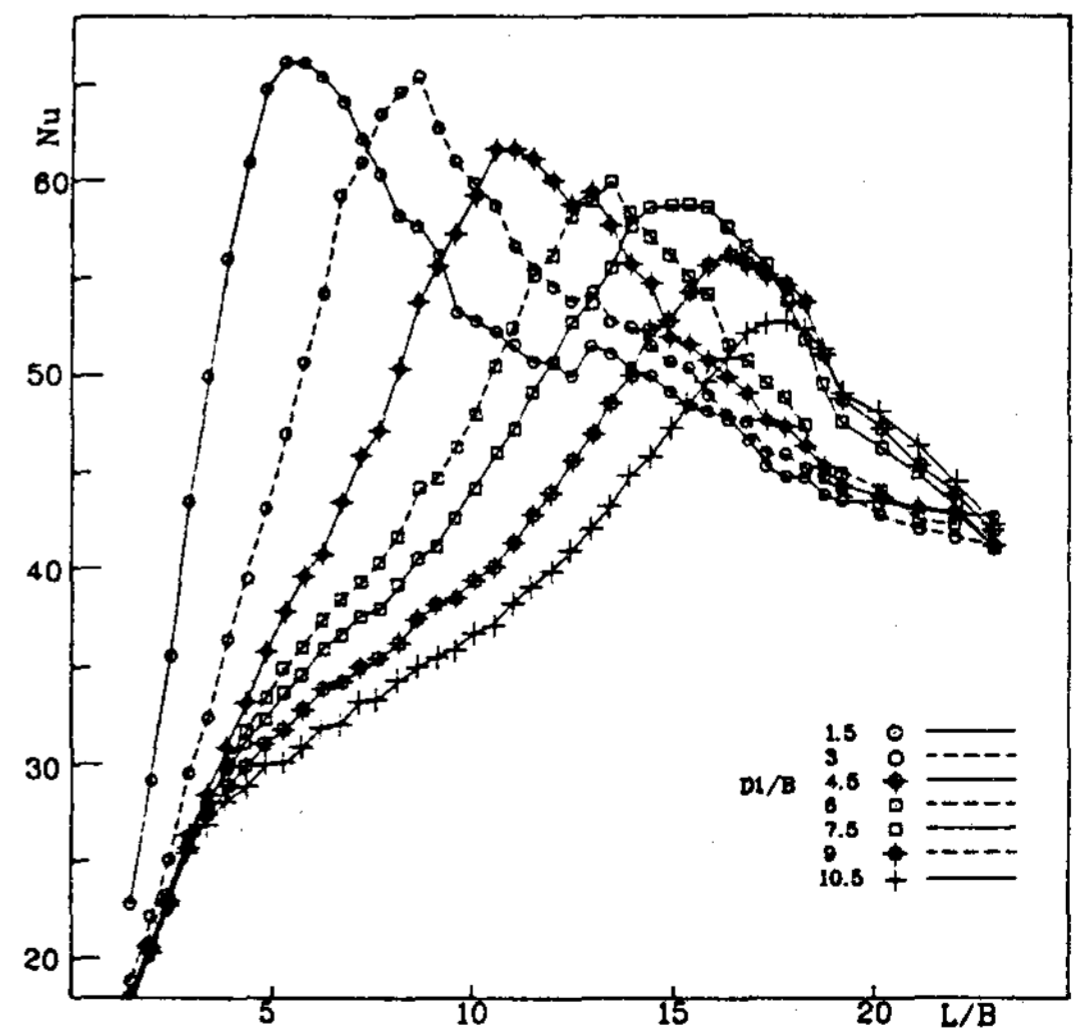


Fig. 8 Nusselt number on the side-wall for $Re=29000$

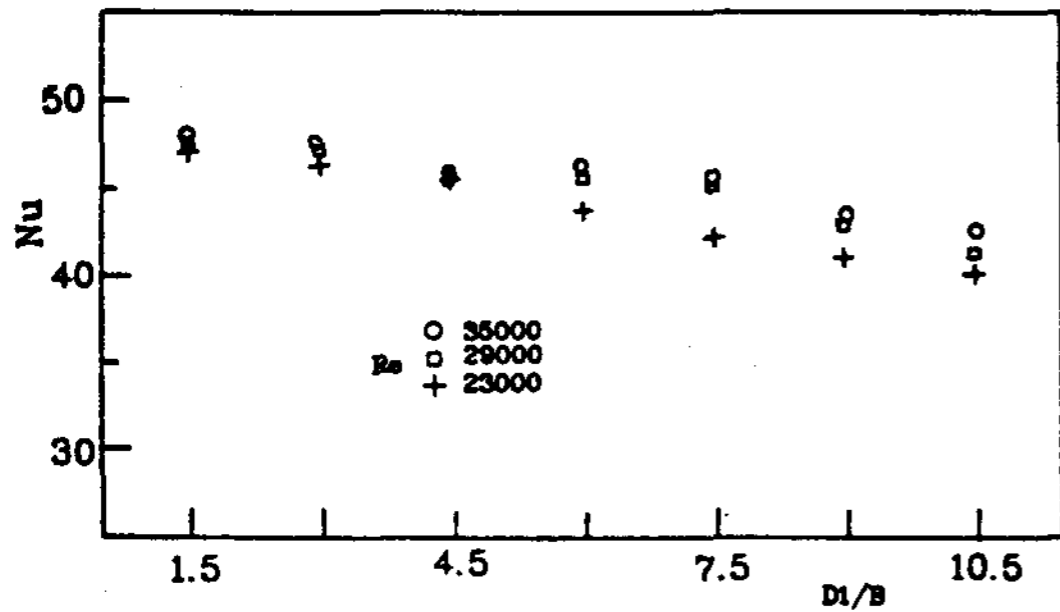


Fig. 9 Maximum nusselt number on the side-wall for Reynolds

1.5, 3 및 4.5인 경우는 Reynolds 수 변화에 대해 최대 Nusselt 수는 거의 변화가 없다. 그러나 오프셋이 6, 7.5, 9 및 10.5인 경우에는 최대 Nusselt 수가 Reynolds 수의 영향을 받아, 그 값이 변화하고 있는데 이러한 결과는 오프셋이 큰 경우에는 완전히 발달된 분류가 벽면에 부딪히기 때문으로 생각되어 진다. 노즐 출구에서부터 최대 Nusselt 수가 나타나고 있는 위치까지의 평균 Nusselt 수를 구하기 위해서 실험에 의해 측정된 국소 Nusselt 수의 분포에 거의 일치하는 방정식을 찾아서 노즐 출구에서 최대 Nusselt 수가 나타나는 위치까지 적분을 하여 그 평균값을 구하였다. 노즐 출구에서 최대 Nusselt 수가 나타나고 있는 위치까지의 평균 Nusselt 수는 Reynolds 수가 23000 일때 오프셋을 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9 및 10.5 로 증가시킨 경우 47.983, 41.513, 40.000, 38.165, 36.897, 35.071 및 33.873 으로 감소되고 있다. Fig.10 은 노즐 출구에서 최대 Nusselt 수 까지의 평균 Nusselt 수를 오프셋의 변화 및 Reynolds 수에 대한 변화를 나타내고 있다. 오프셋이 3보다 큰 경우에 있어서는 평균 Nusselt 수가 급격히 변하고 있지 않으나 오프셋이 3에서 1.5로 변하는 경우에 있어서는 크게 변화되고 있다. Reynolds 수에 대한 Nusselt 수의 변화를 확인하기 위해서 오프셋이 1.5와 10.5인 경우의 국소 Nusselt

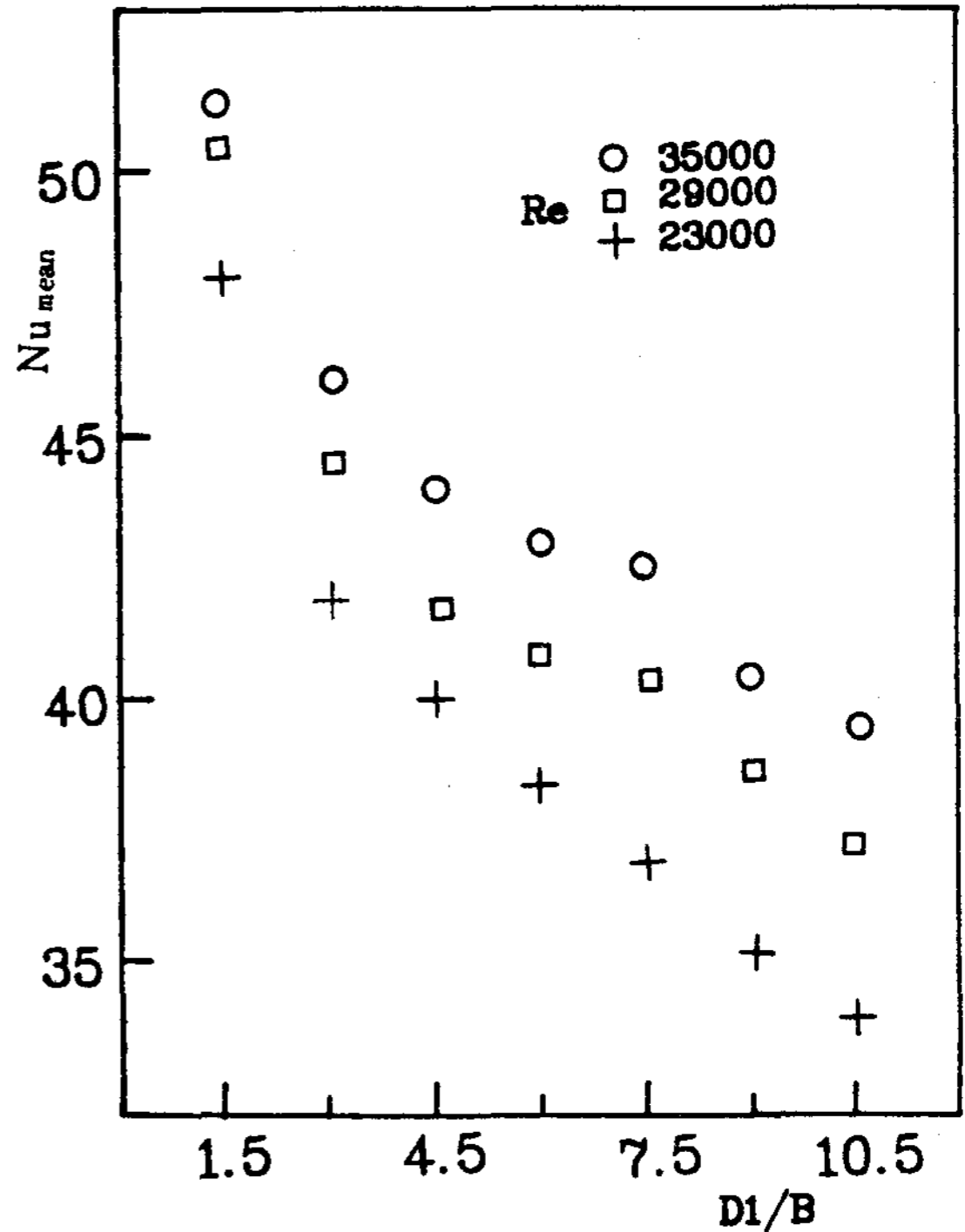


Fig. 10 Mean nusselt number on the side-wall for Reynolds number

수 분포를 Fig.11,12에 나타내고 있다.

오프셋이 1.5인 경우는 완전히 발달하지 않은 분류가 벽면에 부착하기 때문에 Reynolds 수가 변화되었을때 노즐 출구에서 최대 Nusselt 수가 나타나고 있는 영역에서는 국소 Nusselt 수는 큰 변화가 없다. 그리고 최대 Nusselt 수가 나타나고 있는 위치로부터 하류 방향에서는 Reynolds 수 변화에 대해 Nusselt 수가 많이 변화되고 있다. 그러나 분류가 완전히 발달되고 있는 오프셋이 10.5인 경우에는 전체 영역에서 Reynolds 수가 증가됨에 따라서 국소 Nusselt 수는 증가되고 있는데 이러한 현상은 오프셋이 4.5인 경우에서부터 나타나고 있었다. 또한 오프셋이 1.5인 경우에는 E.G. Filetti³⁾ 그리고 J.W. Baughn²⁾ 등의 결과와 마찬가지로 노즐 출구에서 최대 Nusselt 수가 나타나는 부착점까지는 Nusselt 수가 급격히 증

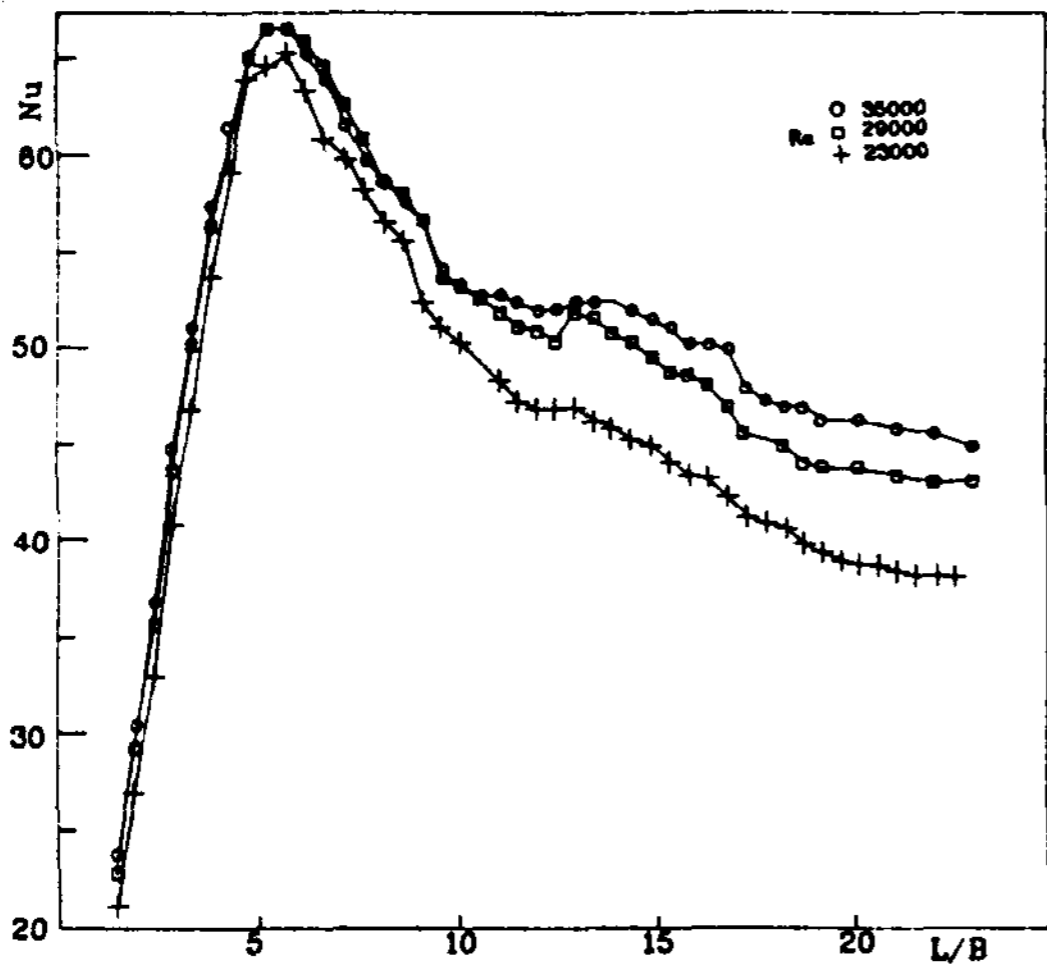


Fig. 11 Nusselt number on the side-wall for $D1/B=1.5$

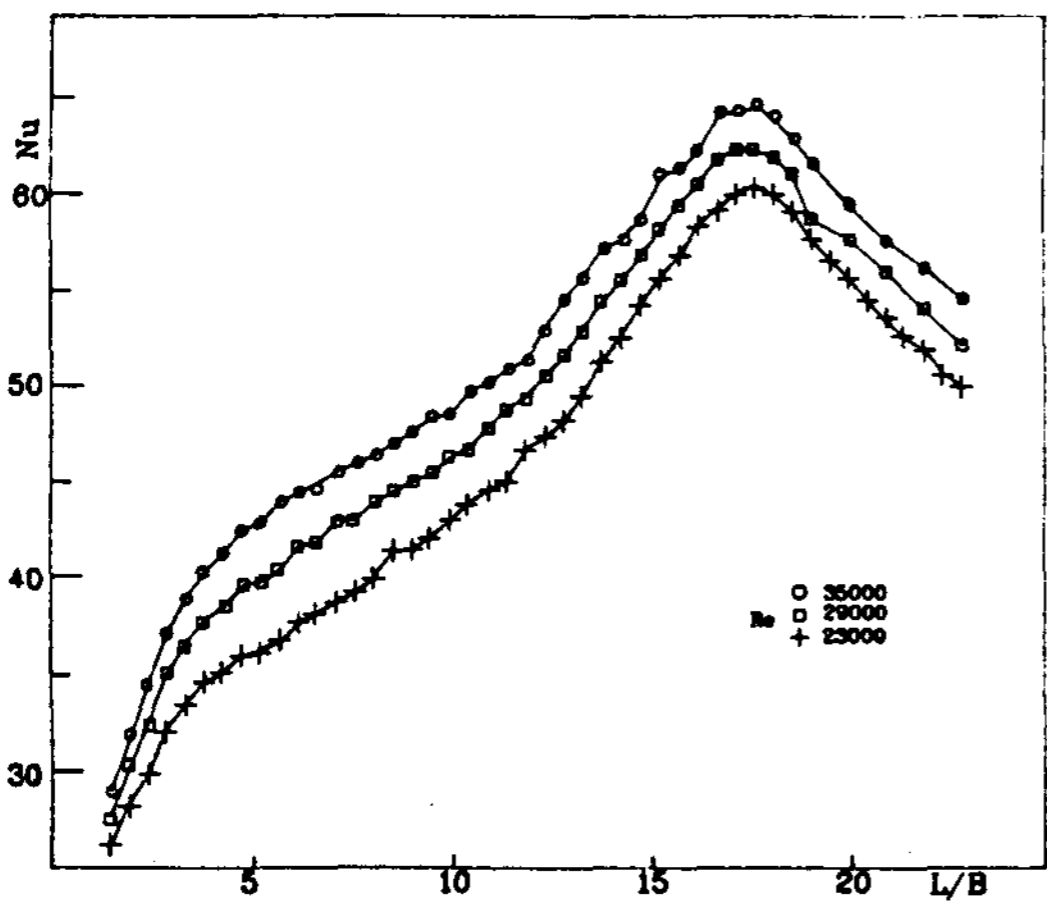


Fig. 12 Nusselt number on the side-wall for $D1/B=10.5$

가하나, 오프셋이 비교적 큰 4.5에서 부터는 최대 Nusselt 수까지 서서히 증가되고 있다.

Table 1은 유로 내부의 유동상태를 Fig. 3과 같은 영역으로 나누었을때 각 영역에서의 평균 Nusselt 수를 나타내고 있다.

전체적으로 벽분류 영역에서의 평균 Nusselt 수보다 역류영역에서의 평균 Nusselt 수는 작게 나타나고 있으나, 부착영역에서의 평균 Nusselt 수는 증가되고 있다. Reynolds 수가 23000 일

Table 1 Mean Nusselt number on the side-wall for $D1/B=1.5$

Re	Recirculation flow region	Reattachment flow region	Wall jet flow region
35000	40.766	60.271	50.280
29000	39.692	59.454	48.451
23000	37.000	57.790	43.988

Table 2 Mean Nusselt number on the side-wall for $Re=23000$

$D1/B$	Recirculation flow region	Reattachment flow region	Wall jet flow region
1.5	37.000	57.790	43.980
3	34.935	54.712	42.610
4.5	35.400	52.751	40.921
6	34.629	49.626	38.621

때, 벽분류영역보다 역류영역에서는 평균 Nusselt 수가 벽분류영역의 15.89% 감소하나 부착영역에서는 31.38%가 증가되고 있다.

Table 2는 Reynolds 수가 23000일때 오프셋 변화에 대한 각 영역에서의 평균 Nusselt 수이다. Fig.4의 결과에서 보면 오프셋이 증가되었을때 저압부의 영역이 증가되고 있고 이러한 현상은 분류의 부착강도가 적어지는 것을 의미하고 있다. 그러므로 오프셋이 증가되었을 때 각 영역에서의 평균 Nusselt 수는 감소되고 있다. 그리고 오프셋이 1.5인 경우에는 벽분류영역보다 부착영역에서 평균 Nusselt 수가 31.37% 증가하나, 오프셋이 3, 4.5 및 6인 경우에는 약 28.4% 증가되고 있다.

4. 결론

일정한 온도로 가열되어 있고 오프셋을 가지고 있는 측벽으로 공기가 분출되었을 때 측벽에서의 대류 열전달 계수에 대한 연구를 하기 위하여 Reynolds 수를 35000, 29000 및 23000으로 하였을때, 오프셋을 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5,

9 및 10.5 로 변화시켜 측벽에서의 압력 및 온도를 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 평균 Nusselt 수는 부착영역에서 제일 크다.
2. 역류영역에서의 평균 Nusselt 수는 제일 작지만 부착영역에서의 평균 Nusselt 수가 크기 때문에 오프셋을 감소시켜 역류영역을 적게 하면 노즐 출구에서 부착영역까지의 평균 Nusselt 수를 증가시킬수 있다.
3. 오프셋이 적은 경우 역류 및 부착영역에서는 국소 Nusselt 수가 Reynolds 수에 큰 영향을 받지 않지만, 벽분류영역에서는 Reynolds 수가 증가함에 따라 국소 Nusselt 수는 증가한다.
4. 오프셋이 증가할수록 평균 및 최대 Nusselt 수는 선형적으로 감소하는데, 이 현상은 오프셋이 1.5에서 3으로 변할때 가장 심하다.

후 기

이 논문은 1986 년도 문교부 자유과제 학술 연구조성비에 의하여 연구 되었다. 관계자에게 감사의 뜻을 표한다.

REFERENCE

- 1) K. M. Krall & E. M. Sparrow, "Turbulent Heat Transfer in the Separated, Reattached, and Redevelopment Regions of a Circular Tube", Journal of Heat Transfer. February 1966, pp. 131.
- 2) J.W. Baughn & M.A. Hoffman, "Local Heat Transfer Downstream of an Abrupt Expansion in a Circular Channel with Constant wall Heat Flux", ASME Journal of Heat Transfer, November 1984, Vol. 106, pp.789.
- 3) E. G. Filetti & W. M. Kays, "Heat Transfer in Separated, Reattached, and Redevelopment Regions Behind a Double Step at Entrance to a Flat Duct" ASME Journal of Heat Transfer, May, 1967, pp.163.
- 4) 朴鏞逸, "側壁附着形 流體素子 内部流動 및 熱特性에 관한 研究" 弘益大學校 大學院 工學博士學位論文, 1985.
- 5) 葛原定郎 "側壁附着噴流に関する研究" 日本機械學會論文集, 47卷 421號(昭56-9).
- 6) C. Bourque & B.C. Newman, "Reattachment of a Two-dimensional, Incompressible Jet to an Adjacent Flat Plate", AERON, Quarterly, Vol.11, 1960, pp.201.
- 7) 野崎 勉, "有限幅ノズルから流出する噴流の側壁附着効果" 日本機械學會論文集, 44卷 383號(昭53-7).
- 8) Hikaru Matsumiya and Makoto Kimura, "On the Phenomena of Reattaching Jet to a Side-wall of Finite Length" 計測自動制御學會論文集, 第15卷 4號(昭54-8).
- 9) 態田雅彌 "側壁を有する噴流による熱傳達の研究," 日本機械學會論文集(第2部), 39卷 319號(昭48-3).