

〈論 文〉

평판 후류가 원통 표면의 물질전달에 미치는 영향에 대한 실험적 연구

맹두진* · 김형수* · 이준식**

(1994년 5월 13일 접수)

Experimental Study on the Effect of Flat-Plate Wake on Mass Transfer about a Cylinder in Crossflow

Doo Jin Maeng, Hyeong Soo Kim and Joon Sik Lee

Key Words : Mass Transfer(물질전달), Naphthalene Sublimation Method(나프탈렌승화법), Flat-Plate Wake(평판 후류), Cylinder(원통)

Abstract

This study presents an experimental investigation of the effect of the wake on mass transfer about a circular cylinder in crossflow. The flat-plate wake was generated by merging two mirror images of turbulent boundary layers that were well developed along the both sides of flat plate with a sharp trailing edge. The velocity field was measured by a hot-wire system and the mass transfer rate by a naphthalene sublimation method. The mixing and developing stages of the wake were addressed to identify flow conditions. The mass transfer effects of different developing stages of the wake was discussed in detail. It is noted that a local maximum appears not at the front stagnation point but at a point a little downstream when the cylinder is located in the near-wake region and much more elevated mass transfer rate is obtained compared to effect of free-stream turbulence.

기 호 설 명

b : 후류반폭

d : 원통의 지름

D_m : 물질확산계수

H : 덕트의 높이

h_m : 물질전달계수

L : 길이스케일

m : 단위 면적당 질량유속

Re_d : Reynolds수, $\frac{Ud}{\nu}$

Re : Eulerian 시간상관계수

S : 후류발생기 선미로부터 원통중심까지의 거리

x_s : 원통중심으로부터 상류방향 좌표

Sh_d : Sherwood수

T_E : Eulerian적분 시간스케일

Tu : 난류강도(%), $\frac{\overline{u}}{U} \times 100$

U : 주유동 평균속도

U_c : 후류 중심속도

U_∞ : 자유유동속도

\overline{u} : x -성분 요동속도(R.M.S.값)

\overline{uv} : Reynolds 응력

\overline{v} : y -성분 요동속도(R.M.S.값)

W : 덕트의 폭

*서울대학교 대학원 기계공학과

**정회원, 서울대학교 기계공학과

- x : 후류발생기 선미에서 유동 방향으로의 좌표
 y : 후류발생기 선미에서 유동 수직방향으로의 좌표
 ϕ : 원통 정체점으로부터의 각도
 θ : 후류발생기 선미에서의 운동량두께,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{U}{U_{\infty}} \left(1 - \frac{U}{U_{\infty}}\right) dy$$
 ρ_s : 고체 나프탈렌밀도
 $\rho_{v,w}$: 원통 벽면에서의 기체 나프탈렌밀도
 $\rho_{v,\infty}$: 자유 유동에서의 기체 나프탈렌밀도

1. 서 론

원통 표면에서의 열 및 물질전달 문제는 열교환기나 가스터빈 블레이드 선단의 설계와 같은 많은 응용 분야를 갖는 문제로서 이에 영향을 미치는 인자로는 Reynolds수를 비롯하여 주유동 난류강도, 표면거칠기, 경계층의 천이, 유동의 박리와 부착 등 여러가지가 있다. 실제 공학적 응용에 있어서 원통 주위의 대부분의 유동은 복잡, 다양한 난류 특성을 가지므로 열 및 물질전달계수의 정확한 예측을 위해서는 유동의 구조 및 난류 특성이 원통 표면의 열 및 물질전달계수에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다.

지금까지 많은 연구에서 난류인자들이 원통 표면의 열 및 물질전달현상에 미치는 영향에 대하여 이해하려는 노력이 이루어졌다. Sogin과 Subramanian,⁽¹⁾ Kestin과 Wood⁽²⁾ 등은 격자망으로 발생시킨 난류를 이용하여 난류강도가 원통 표면의 열 및 물질전달에 미치는 영향을 연구하였다. 그리하여 주유동의 난류강도가 국소 열전달 계수 및 원통 주위의 유동 형태에 큰 영향을 끼침을 알아내었다. Sogin 등은 나프탈렌승화법을 통한 물질전달 실험으로 주유동 난류강도가 작을 때는 층류영역의 물질전달계수가 이론식과 잘 일치하나 어느 정도 이상에서는 난류강도의 증가가 상당한 물질전달계수의 증가를 발생시킴을 알아내었다.

Sikmanovic 등,⁽³⁾ Yardi와 Sukhatme,⁽⁴⁾ Lee 등⁽⁵⁾은 난류강도와 함께 길이스케일이 미치는 영향을 연구하여 난류강도에 비하여 작기는 하지만 길이스케일도 열 및 물질전달계수에 중요한 영향을 끼침을 알아내었다. Yardi 등은 열전달계수에 가장 큰 영향을 미치는 특정한 길이스케일이 존재하며 이

값은 원통의 경계층 두께에 대한 길이스케일의 대략적인 비를 나타내는 $(L/d) \cdot Re_d^{1/2}$ 를 인자로 사용하였을 때 10정도를 갖는다고 하였다. Lee 등은 난류강도가 클 때 열전달에 대한 길이스케일의 영향이 더욱 커진다고 하였으며, 정체점 열전달계수에 대하여 난류강도와 길이스케일을 포함하는 인자인 $(\bar{u}/U)^2/(L/d)$ 를 제시하였다.

Van Dresar와 Mayle⁽⁶⁾은 원통에 의하여 후류를 형성하여 이 후류 내에 놓여진 원통의 후류폭 방향 위치에 따른 정체점의 물질전달계수의 변화경향을 살펴보았다. 그 결과 정체점 물질전달계수가 유동장의 간헐도(intermittency)에 크게 의존함을 알아내었다.

본 실험에서는 날카로운 선미를 갖는 평판에 의해 발생된 후류에 원통을 놓았다. 평판에 의해 발생된 후류는 평판 양쪽면에서 발달한 난류 경계층이 최대한 박리가 배제된 상태로 떨어져 나와 이루어진 것으로 경계층으로부터 후류로의 독특한 발달 과정을 거친다. 따라서 원통으로 접근하는 유동장은 속도구배를 가지며 균일하지 않은 난류장을 갖고 발달단계에 따라 다른 혼합특성을 가진다. 본 실험에서는 격자망 생성난류와 다른, 선행 물체에 의해 형성된 독특한 유동구조를 갖는 전단류의 난류특성이 원통 주위의 열전달에 미치는 영향에 대해 고찰한다.

평판 후류가 원통 표면의 열전달 문제에 미치는 영향을 연구하기 위해서는 먼저 평판 후류구조에 대한 연구가 필요하다. Ramaprian 등⁽⁷⁾은 후류 발달과정에 따른 세가지 영역을 제안하였다. 첫번째는 상류 경계층내 벽층의 직접적인 영향을 받으며 혼합이 후류 내부층(inner wake)에 국한되고 중심속도가 $x^{1/3}$ 로 증가하는 근후류(near wake) 영역이다. 두번째는 $25 < x/\theta < 350$ 에 해당하는 영역으로, 상류 벽층으로부터 큰 영향을 받지 않아 마치 자유난류유동(free turbulent flow)과 같이 발달하며 혼합은 후류의 바깥층(outer wake)에서 발생하고 평균속도 성분에 대해 상사성을 갖는 중간후류(intermediate wake) 영역이다. 마지막은 난류구조가 초기조건에 영향을 받지 않으며 평균 및 요동 속도성분에 대하여 상사성을 갖는, 접근상태(asymptotic state)를 이루는 영역이다. Jovic과 Ramaprian⁽⁸⁾은 잘 확립된 후류에 대해 $x/\theta=260$ 인 곳에서 조건부 평균에 의한 조화평균을 취하여 평판 후미로부터 상당히 떨어진 곳에서도 응집구조(coherent

structure)가 존재하며 이것이 Reynolds응력 중 약 40%를 내포하여 후류의 발달에 큰 영향을 끼침을 보였다.

본 연구는 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 첫 단계에서는 후류발생기에 의하여 생성된 유동장에 대하여 평균 및 난류량 측정을 통하여 후류의 혼합 및 발달특성에 대하여 고찰하는 한편 원통 주위의 유동조건을 제시하였다. 두번째 단계에서는 나프탈렌승화법을 이용하여 원통 표면에서의 물질전달계수를 측정하였으며 표면 유동의 가시화를 통해 원통 표면의 유동특성에 대해 고찰하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

실험에 사용한 풍동은 수축비 6.25 : 1의 개방형 풍동으로 실험단면의 크기가 0.4 m(W) × 0.28 m(H)이며 평균속도가 10 m/s일 때 난류강도 0.2% 이하의 값을 갖는다. 실험체적은 사각 덕트를 제작하여 구성하였으며 그 길이는 1.8 m이고 후류발생기를 고정할 수 있도록 하였다. 물질전달 실험에 사용된 원통의 직경은 80 mm이다. 전 실험에 대해 자유유동속도는 10 m/s로 일정하며 원통의 직경을 기준으로 한 Reynolds수는 53,300이다. Fig. 1에 대략적인 실험장치와 좌표계를 나타내었다.

후류발생기는 두랄루민 재질의 평판을 가공한 것으로 표면거칠기를 무시할 수 있다. 선미에서 난류 유동장을 얻기 위하여 양면에 트립와이어를 부착하였으며 트립와이어의 직경 및 위치는 선미 경계층을 반복 측정하여 결정하였다. Fig. 2에 후류발생기의 제원 및 형상을 나타내었다.

유동장을 측정하기 위하여 열선유속계와 피토판을 사용하였다. 정온도형 열선유속계(56C17, DANTEC)로부터의 모든 신호는 선형화기(56N21, DANTEC)를 거쳐서 처리되었으며 구형과 발생을 통하여 50 kHz 이상의 응답특성을 확인하였다. 열선유속계의 온도에 의한 영향을 제거하기 위하여 측정시 실내온도를 교정시 온도에서 ±0.3°C 이내로 유지하였다. 한편, 피토판에 의한 평균속도의 측정을 위해서는 측정값(reading)의 0.05% 정밀도를 갖는 계수형 압력계(398&270C, MKS)를 사용하였다. 신호처리를 위하여 주로 신호분석기(SM2100, IWATSU)를 사용하였다. 순시값에 대한 원하는 연산을 신호분석기 내에서 수행하여 그 결과 값을 GPIB를 통해 PC에 저장하였다. 많은 데이터가 필요한

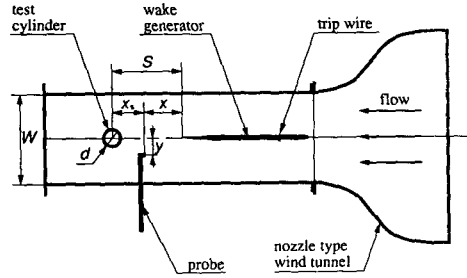


Fig. 1 Experimental set-up and coordinate system

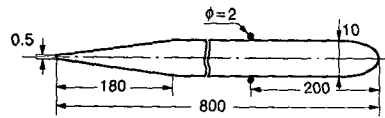


Fig. 2 Dimensions and configuration of wake generator

시간상관계수 측정에 한하여는 A/D변환기(DT2828, DATA TRANSLATION)를 사용하였다. 열선과 피토판의 이송은 스텝모터(PH266-03GK, Oriental motor)와 직선운동 가이드에 의하여 정밀하게 이루어졌다. 위의 모든 장치들은 소형컴퓨터(IBM AT)에 의하여 통제되는데 신호분석기는 GPIB를 통하여, A/D변환기는 직접, 그리고 스텝모터는 자체 제작한 I/O 카드와 모터 콘트롤러에 의하여 PC에 연결되었다. 이와같이 신호처리 및 이송은 소형 컴퓨터에 의하여 제어되면 실험결과로 얻은 값은 컴퓨터의 기억장소에 저장된다.

나프탈렌승화법을 사용하여 물질전달계수를 측정하였다. 나프탈렌 원통 표면을 주조하고 이것을 2 시간 동안 유동장에 노출시킨 뒤 승화된 깊이를 측정하여 이것과 나프탈렌 물성치로부터 Sherwood 수를 구하였다. 측정에는 0.5 μm의 분해능을 갖는 3차원 측정기(MERLIN 750, FERRANTI INTERNATIONAL)를 사용하였다.

물질전달계수 h_m 은 다음과 같다.

$$h_m = \frac{m''}{\rho_{v,w} - \rho_{v,\infty}} \quad (1)$$

여기서, m'' 은 단위 시간당, 단위 면적당 승화되는 나프탈렌의 질량이다. 이때 나프탈렌 표면으로부터 멀리 떨어진 주유동에 대해서는 나프탈렌의 농도가 0이라 할 수 있으므로 식(1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h_m = \frac{\dot{m}''}{\rho_{v,w}} = -\frac{\rho_s}{\rho_{v,w}} \frac{\delta r}{\delta t} \quad (2)$$

여기서, δt 와 δr 은 각각 원통이 유동장에 놓여진 시간과, 측정된 승화두께를 나타낸다.

이것으로부터 나프탈렌 물성치를 이용하여 Sherwood수를 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$Sh = \frac{h_m \cdot d}{D_m} = \frac{\rho_s}{\rho_{v,w}} \frac{d}{D_m} \frac{\delta r}{\delta t} \quad (3)$$

나프탈렌승화법에 대한 자세한 내용은 이상우 등⁽⁹⁾에서 찾을 수 있다. Sherwood수에 대하여 Kline과 McClintock⁽¹⁰⁾의 방법에 의하여 정확도해석(uncertainty analysis)을 하였다. 승화깊이와 나프탈렌 물성치, 기타 상관식 등을 고려하였으며 그 결과 5.9%의 정확도를 얻었다.

원통 표면 가시화를 위하여 공기 유동에 노출된 물체의 표면 마찰력을 이용하는 유막법을 사용하였으며, 분포액으로는 Fe_2O_3 (Ferric oxide)와 실리콘 오일(Silicon oil), 올레산(Oleic acid)의 혼합액을 사용하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 유동장

유동조건을 정의하기 위하여 원통이 없는 상태에서 유동장을 측정하였다. Fig. 3에 유동방향의 평균속도 전과과정을 나타내었으며 이것을 무차원화하여 Fig. 4에 후류의 속도결손 분포를 나타내었다. 후류폭의 무차원 인자로 속도결손 $(U_\infty - U)$ 이 각 위치 중심속도결손 $(U_\infty - U_c)$ 의 반이 되는 곳의 폭, b 를 사용하였다. 그리고 점근분포로는 원후류(far wake)에 대한 해의 가장자리 부분 속도 과대평가를 보정하기 위하여 Wygnanski 등⁽¹¹⁾이 사용한 식을 사용하였다. 특성길이로 사용된 θ 는 4.59

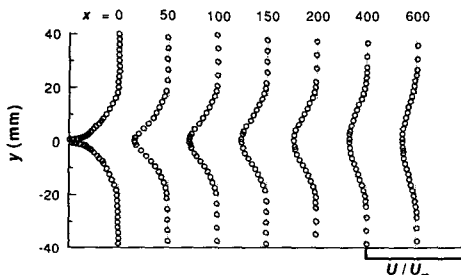


Fig. 3 Propagation of mean velocity

mm이다. 선미 근처에서는 점근분포와 적지않은 차이를 보이니 점차 점근분포에 근접하여 상사성을 만족시키며 발달함을 볼 수 있다.

Fig. 5에 유동발달에 따른 중심속도결손과 반폭의 변화를 나타내었다. 초기에 경계조건의 변화로 인하여 반폭과 중심속도가 급격히 성장한 뒤 $x/\theta \sim 30$ 이후에서는 원후류 영역에서 만족하는 다음과 같은 관계를 만족시킨다.

$$\frac{b}{\theta} \sim \left(\frac{x}{\theta}\right)^{1/2} \quad (4)$$

$$\frac{U_\infty - U_c}{U_\infty} \sim \left(\frac{x}{\theta}\right)^{-1/2} \quad (5)$$

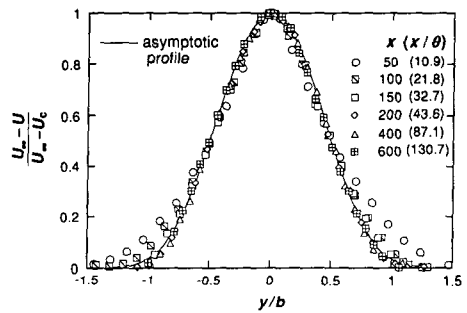


Fig. 4 Velocity deficit profiles

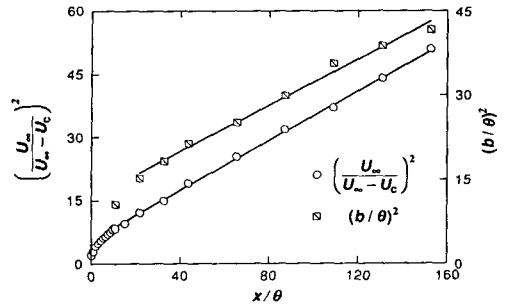


Fig. 5 Variations of maximum velocity deficit and half width

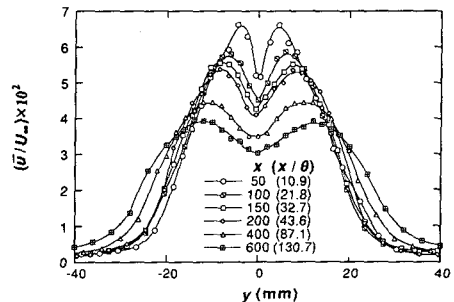


Fig. 6 Streamwise velocity fluctuation profiles

Figs. 6~8에 난류유동 성분을 나타내었다. \bar{u} , \bar{v} 는 x, y 방향에 대한 요동속도 성분의 R.M.S.값이다. 근후류 영역에서 \bar{u} 는 \bar{v} 에 비해 상당히 큰 값을 가지며 그 분포에 있어서도 많은 차이를 보이나 혼합이 이루어짐에 따라 점차 등방성을 갖는 모습에 가까워진다. \bar{u} 와 \bar{uv} 의 분포는 좌우에서 각각 최대값을 갖는 형태인데 그 위치는 같으며 혼합에 따라 점차 후류의 가장자리로 전파된다.

난류유동장의 상사성 존재여부는 무차원화된 Reynolds 응력분포에서 알 수 있다. Fig. 9에 Reynolds 응력을 점근해와 비교하여 나타내었다. 점근해는 평균속도의 점근분포에 대하여 일정 와점성계수를 가정하여 구하였다. 점근분포와는 상당한 차이를 갖고 계속 발달하는 상태로 Ramaprian 등이 언급한 점근후류에는 도달하지 못하였음을 알 수 있다.

Fig. 10에 시간스케일의 변화를 나타내었다. 후류 중심에서 얻은 식 (6)과 같이 정의되는 주유통방향에 대한 Eulerian 시간상관계수에 의하여 식 (7)에서와 같이 Eulerian적분 시간스케일을 구하였다.

$$R_E(t) = \frac{\overline{u(t')u(t'-t)}}{u^2(t')} \quad (6)$$

$$T_E = \int_0^\infty R_E(t) dt \quad (7)$$

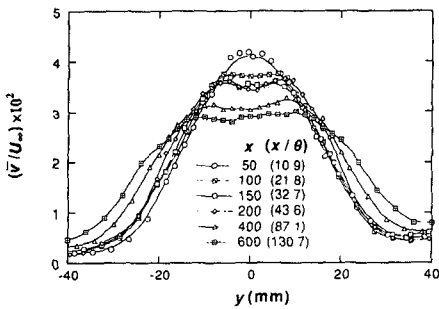


Fig. 7 Transverse velocity fluctuation profiles

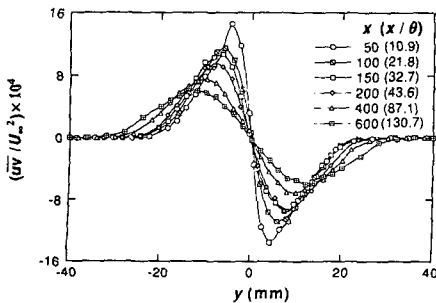


Fig. 8 Reynolds stress profiles

시간스케일은 근후류 영역 내에서 일정한 값을 유지한 후 중간후류 영역에서 선형적인 경향을 나타내며 증가하였다. 이러한 결과는 Ramaprian 등이 언급한 바와 같이 영역에 따른 혼합특성의 차이를 나타내는 것으로 근후류 영역에서 상류 경계층의 영향으로 제한된 혼합을 가진 뒤 그 영향이 사라짐에 따라 혼합이 점차 큰 스케일로 이루어짐을 볼 수 있다.

물질전달 실험시 원통이 놓여졌을 때 유동장이 받는 영향을 관찰하고 원통에 대한 유동조건을 결정하기 위하여 원통이 놓여진 상태의 유동장을 측정하였다. Fig. 11에 전형적인 실험결과를 원통이 없는 경우와 비교하여 나타내었다. 요동속도는 원통중심으로부터 유동 반대방향으로의 거리 x_s 에 대하여 x_s 가 커짐에 따라, 즉 원통 벽면으로부터 멀어짐에 따라 그 영향이 점차 줄어들어 $x_s=2d$ 에서는 원통이 없는 경우와 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 이러한 경향은 다른 위치의 \bar{u} , \bar{v} , \bar{uv} 에 대하여 마찬가지로 나타나는데 이와같이 난류장이 원통의 영향을 받기 시작한다고 여겨지는 $x_s=2d$ 를 물질전달 실험시 유동장의 기준으로 삼았다. 이것은 Kestin등, Yardi등, Lee등의 연구와 일관성을 갖는다.

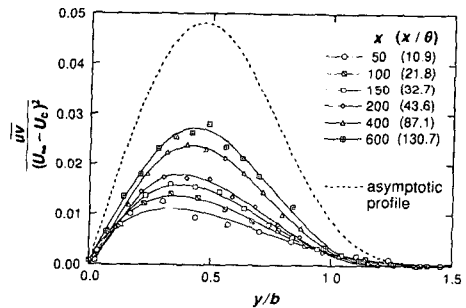


Fig. 9 Approach to asymptotic stress profile

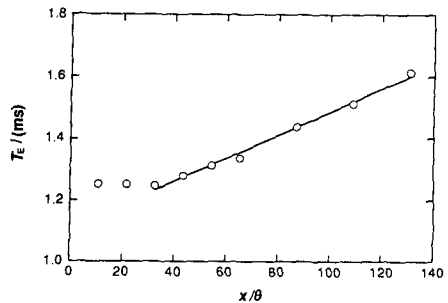


Fig. 10 Variation of time scale along wake center

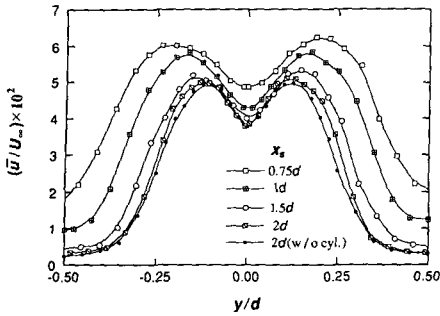


Fig. 11 Typical Turbulent velocity profiles with cylinder (S=440)

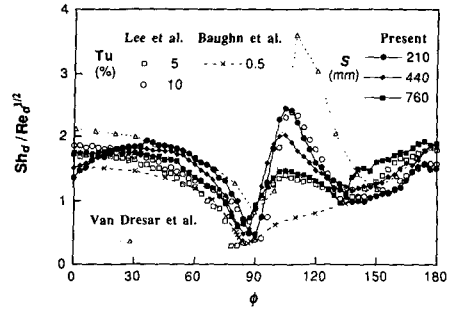


Fig. 12 Comparison of sherwood number distribution with previous studies

Table 1 Experimental conditions of previous and present studies

Author	Re _d	d (mm)	d/W	H/d	B. C.	Flow around a cyl.
Van Dresar et al.	110,000	152	0.2	3.03	Mass	Wake of cylinder
Baughn et al.	34,000	50	0.08	20	CHF	Gird turbulence (0.5%)
Lee et al.	53,300	80	0.2	3	Mass	Gird turbulence (5, 10%)
Present	53,300	80	0.2	3.5	Mass	Wake of flat plate

Fig. 12에 국소 물질전달계수의 분포를 다른 실험결과와 비교하여 나타내었다. 원통의 직경을 인자로 한 Reynolds수는 53,300으로 아임계 영역(sub-critical regime)에 해당하는데 주유동 난류강도 없이 후류의 영향으로 Baughn과 Saniei⁽¹²⁾에서 볼 수 있는 아임계 결과와는 전혀 다른 경향을 나타낸다. 본 실험결과는 선미로부터 원통 중심까지의 거리 S에 따라 나타내었으며, Van Dresar 등을 제외한 다른 실험결과는 격자망 난류 내에서 행하여진 것으로 주유동 난류강도에 따라 나타내었다. Table 1에 인용된 연구의 실험조건을 본 연구와 비교하여 나타내었다.

본 실험결과는 대체로 높은 주유동 난류강도가 존재하는 경우와 비슷한 경향을 보이나 정체점 부근에서 일반적인 경향과 상당히 다른 경향을 보인다. 정체점에서 국소 최소값을 가진 뒤 서서히 증가하다 떨어지는 독특한 경향을 나타내는데 이것은 정체점 부근의 경계층에 평판 경계층의 벽층으로부터 큰 속도결손을 갖고 제한된 혼합특성을 갖는 후류의 내부층이 직접적으로 영향을 끼치는 것으로 해석된다. 후류발생기의 선미로부터 원통이 놓여진 곳까지의 거리 S에 따라 관찰하면 S가 작은 경우에 위와 같은 경향이 더욱 뚜렷하게 나타난다.

0~20도 영역에서, 작은 난류량을 갖는 S가 큰 경우보다 큰 난류량을 갖는 S가 작은 경우에 더 작은 Sherwood수를 보이는데 이것은 유동의 발달에 따른 구조의 변화에서 그 원인을 찾을 있다. S=210 mm의 경우 원통 주위의 유동과 상호작용을 시작하는 기준 유동장이 근후류 영역에 해당한다. 따라서 비록 높은 난류량을 갖지만 상류 경계층의 영향을 크게 받아 작은 혼합스케일과 큰 속도결손을 갖는다. 그러나 점차 유동이 발달하여 S=760 mm 일 때는 경계층의 영향은 줄고 Fig. 10에서 보듯이 상당히 커진 혼합스케일에 의하여 정체점에서의 두드러진 국소값 형태를 관찰할 수 없다.

Van Dresar 등의 실험은 원봉에 의하여 후류를 발생시켜 그 영향을 보았는데 정체점 부근에서 국소 최소값을 갖는 본 실험과 같은 독특한 경향은 관찰할 수 없다. Van Dresar 등의 실험에서 무차원화된 원통 중심의 위치, S/θ는 70.7로 본 실험의 S=210(S/θ=45.8)과 S=440(S/θ=95.9)의 사이에 해당한다.

물질전달계수의 측정만으로는 90도와 105도 근방에서 존재하는 국소치의 원인을 파악하기 어렵다. Achenbach⁽¹³⁾는 90도 근방에서의 열전달계수의 국소 최소치는 층류 박리 또는 경계층 천이에 의하여

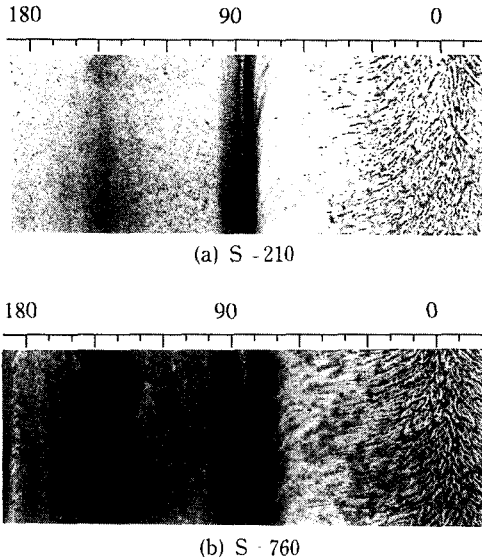


Fig. 13 Visualization on the cylinder surface

생길 수 있으며 그것에 의한 차이는 벽면 전단응력의 존재로 경계층 전이의 경우가 조금 더 큰 국소 최소값을 갖는 것 이외에는 없다고 하였다. 따라서 유막법을 통하여 원통 표면에 대한 가시화를 행하였으며 그 결과를 Fig. 13에 나타내었다. 사진 상단의 숫자는 상류 정체점으로부터의 각도를 나타낸다. 원통은 지면에 수직으로 놓여져있기 때문에 유막은 유동방향의 점성력을 받는 한편 중력의 영향을 받게 된다. 따라서 유막의 흐름방향에서 유동의 방향을 알 수 있다. 90도 부근과 130~150도에 걸친 영역에서 박리에 의한 짙은 영역을 관찰할 수 있다. 첫번째 박리점에서는 유동이 없어 유막이 밀어서 흘러내려 생긴 흐린 선을 명확히 관찰할 수 있으나 두번째 박리점에서는 박리가 넓게 퍼져 이러한 것을 관찰할 수 없다. 원통 주위의 경계층 유동은 80~90도 사이에서 첫번째 박리 후 100도 부근에서 재부착되어 발달한 뒤 135도 부근에서 다시 박리되는 형태이다. Fig. 12에서 볼 수 있는 물질전달계수의 극소, 극대값은 이러한 원통 주위 경계층 유동의 박리 및 재부착에 의한 것임을 알 수 있다.

첫번째 박리 후에 물질전달계수는 $S=210$ 의 경우 Lee 등의 $Tu=10\%$ 와, $S=760$ 의 경우 $Tu=5\%$ 와 거의 같은 값을 나타낸다. $S=210$ 의 경우 기준 유동장의 u/U_∞ 최대값은 6.6%이며 $S=760$ 의 경우 3.9%인데 이것이 최대값임을 감안한다면

후류에 의하여 첫번째 박리 후 물질전달이 격자망 난류에 비해 매우 크게 증가됨을 알 수 있다. 이것은 후류가 원통 표면과 상호작용하는 과정에서 큰 와도와 응집구조를 포함한 후류의 잘 조직화된 구조가 원통의 경계층에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 해석된다.

4. 결 론

아임계 영역에서 평판 후류가 원통 표면의 물질전달에 미치는 영향에 대하여 실험을 통해 연구하였다. 발달과정에 있는 후류의 구조가 물질전달에 미치는 영향에 대하여 주된 관심을 두었으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 후류는 후류폭보다 큰 지름을 갖는 원통에 대해, 원통 주위의 유동형태를 크게 변화시키며 원통 표면 전체의 물질전달계수에 영향을 끼쳤다.

(2) 국소 물질전달계수는 상류 정체점에서 극소값을 가진 뒤 증가하여 국소 최대값을 갖는 경향을 보이는데 이러한 경향은 원봉 형태의 후류발생기를 사용하였을 때에는 관찰할 수 없는 것으로, 원후류(far wake)로 갈수록 감소하였다.

(3) 첫번째 박리 후 주유동 난류강도에 의한 효과보다 상당히 큰 물질전달계수를 얻었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지원 터보동력기계연구센터의 연구비로 이루어졌다.

참고문헌

- (1) Sogin, H. H. and Subramanian, V. S., 1961, "Local Mass Transfer from Circular Cylinders in Crossflow," *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol. 83, pp. 483~493.
- (2) Kestin, J. and Wood, R. T., 1971, "The Influence of Turbulence on Mass Transfer from Cylinders," *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol. 93, pp. 321~327.
- (3) Sikmanovic, S., Oka, S. and Koncar-Djurdjevic, S., 1974, "Influence of the Structure of the Turbulent Flow on Heat Transfer from a Single Cylinder in a Crossflow," *Proc. 5th Int.*

- Heat Transfer Conf.*, pp. 320~324.
- (4) Yardi, N. R. and Sukhatme, S. P., 1978, "Effects of Turbulence Intensity and Integral Length Scale of a Turbulent Free Stream on Forced Convection Heat Transfer from a Circular Cylinder in Crossflow," *Proc. 6th Int. Heat Transfer Conf.*, pp. 347~352.
- (5) Lee, J. S., Sohn, D. K. and Lee, T. H., 1994, "Simultaneous Effects of Free Stream Turbulence Intensity and Integral Length Scale on Mass Transfer about a Cylinder," *Experimental Thermal and Fluid Science Journal*.
- (6) Van Dresar, N. T. and Mayle, R. E., 1989, "A Quasi-Steady Approach of Wake Effects on Leading Edge Transfer Rates," *ASME Journal of Turbomachinery*, Vol. 111, pp. 483~490.
- (7) Ramaprian, B. R., Patel, V. C. and Sastry, M. S., 1982, "The Symmetric Turbulent Wake of a Flat Plate," *AIAA Journal*, Vol. 20, pp. 1228~1235.
- (8) Jovic, S. and Ramaprian, B. R., 1989, "On the Large-Scale Structure of the Turbulent Wake of a Flat Plate," *Phys. Fluids A*, Vol. 1, No. 2, pp. 331~338.
- (9) 이상우, 이준식, 이택식, 1991, "막냉각되는 원봉표면에서의 물질전달에 관한 실험적 연구," *대한기계학회논문집 제15권, 제5호*, pp. 1756~1762.
- (10) Kline, S. J. and McClintock, F. A., 1953, "Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments," *Mechanical Engineering*, Vol. 75, Jan., pp. 3~8.
- (11) Wygnanski, I., Champagne, F. and Marasli, B., 1986, "On the Large-Scale Structures in Two-Dimensional, Small-Deficit, Turbulent Wakes," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 168, pp. 31~71.
- (12) Baughn, J. W. and Saniei, N., 1991, "The Effect of the Thermal Boundary Conditions on Heat Transfer from a Cylinder in Crossflow," *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol. 113, pp. 1020~1023.
- (13) Achenbach, E., 1975, "Total and Local Heat Transfer from a Smooth Circular Cylinder in Cross-Flow at High Reynolds Number," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 18, pp. 1387~1396.