온도변화가 실린더 주위 열전달계수에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

Effect of Temperature Variations on Heat Transfer Coefficient in Crossflow over a Circular Cylinder

고 상 근*
S. K. Kauh

Key Words : Heat Transfer Coefficient(열전달계수), Hot Wire(열선)

ABSTRACT

To know the effects of wire temperature, fluid temperature and fluid velocity on convective heat transfer coefficient precisely, experiments were carried out in three categories which contain the regime of (1) constant wire temperature (2) constant fluid temperature (3) constant temperature difference between wire and fluid. Measurements were made with electrically heated circular tungsten wire placed normal to air stream at the exit of jet.

Heat transfer coefficient was increased with wire temperature increasing and decreased by fluid temperaure increasing and was not changed with varying both temperature if their difference were kept constant.

기 호 설 명

A, B : 식(3), (16) 및 (20)의 계수

a, b, a_1, a_2, b_1, b_2 : 식 (21)의 계수

A_l : 열선의 표면적, πld (m^2)

A_s : 열선의 단면적, $\frac{\pi d^2}{4}$ (m^2)

C_p : 유체의 정압비열 $\left(\frac{J}{kg℃}\right)$

d : 열선의 직경 (m)

E : 전압 (V)

Gr : Grashof수, $\frac{\rho^2 g\beta\Delta T d^3}{\eta^2}$

h : 열전달계수 $\left(\frac{W}{m^2℃}\right)$

I : 전류 (A)

k : 열전도계수 $\left(\frac{W}{m℃}\right)$

Kn : Knusden, $\frac{\lambda}{\delta}$

l : 열선 길이 (m)

Ma : Mach수

Nu : Nusselt 수, $\frac{\eta\delta}{\kappa}$

n : 식(3)의 지수

* 정회원, 서울대학교 기계공학과

Pr : Prandtl수, $\frac{C_p\eta}{\kappa}$

q : 열전달량(W)

R : 저항 (Ω)

Re : Reynolds수, $\frac{\rho Ud}{\eta}$

T : 온도 (℃)

ΔT : 유체와 열선각의 온도차 (℃)

U : 유체 평균속도 (m/s)

(희랍문자)

α : 식 (7)의 1차 온도 계수

β : 식 (7)의 2차 온도 계수

ρ : 밀도 $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

η : 점성 계수 $\left(\frac{kg}{ms}\right)$

(하첨자)

a : 주위 유체 온도

c : 전도

cal : 보정

f : 막온도

h : 대류

r : 복사

s : 표준저항

w : 열선

1. 서 론

원형실린더에 수직인 공기흐름에 대한 연구는 실제 공학적인 응용 및 외부유동의 대표적인 문제로서 많은 연구가 수행되었다. 유동과 관련된 복잡성 때문에 주위로의 열전달효과를 결정하기 위하여 실험적인 방법이 주로 사용되었고 온도에 따른 열역학적인 물성치의 변화를 고려한 수치적연구가 광섬유의 생산공정과 관련되어 현재 많은 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 원형실린더의 직경 대 길이의 비가 매우 큰 경우(400 이상)에 대한 것으로 가열된 원형의 실린더가 계측기의 센서로서 사용될 때 그 출력에 영향을 주는 여러가지 변수들의 효과를 규명하는 것이다. 열전달관계식은 열선유속계의 출력에 직접 관계하며, 유속계제작시 정특성 및 동특성 모델링에 사용되고[1], 정온도형 열선유속계를 이용한 속도 및 온도의 섭동량을 동시에 계측하는 경우에도 보정식으로써 사용된다.

그러나 지금까지의 연구를 검토해 볼 때 동일한 온도 및 유동조건에 대한 여러 저자들의 결과가 정성적으로 일치하지 않으며, 유체의 온도, 열선의 온도, 유동속도 등 각각의 영향에 관한 엄밀한 물리적 타당성을 검증하지 않고 단순히 공학적인 응용측면에서 평균 열전달 계수를 구하고 서로 비교하는 정도였다. 또한 유체의 온도, 열선의 온도 및 유동의 조건이 이들의 영향을 정확히 설명해 줄 수 있도록 설정되었다기 보다는 서로 연관되어 나타났기 때문에 실험조건에 대해서도 검증과 개선이 필요하다.

원형실린더 주위의 대류열전달 효과에 대한 연구 중에서 Collis와 Williams[2]의 실험적 연구는 온도영향을 포함한 여러 인자들에 대하여 광범위하게 이루어진 연구이므로 실험의 정교함 때문에 자주 비교 인용된다. 이들은 대류열전달에 영향을 미치는 인자들을 다음과 같이 표현하였다.

$$Nu=f(Gr, Pr, Re, T_w, T_a, Ma, Kn, \frac{\ell}{d}, q_r) \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서, 자연대류의 효과는 $Gr^{\frac{1}{3}} > Re$ 이면 무시될 수 있고 유체가 공기일 경우 Pr수는 적정온도범위에서 거의 일정하며, Ma수는 압축성 유동의 경우에 고려된다. Kn수가 0.01 이하일 때 유체는 연속체로 정의되나 유체의 밀도변화가 작으면 Kn이 0.01보다 클 때에도 연속체로 가정할 수 있다.[3] 실린더의 온도가 300℃이하이면 실린더에서의 복사열전달량 q_r도 무시할 수 있다.[3]

형상비 $\left(\frac{\ell}{d}\right)$는 열선지지대(supports)로의 전도량이 고려될 때 중요한 인자이다[4].

따라서 식(1)은 간단하게

$$Nu=f(T_w, T_a, Re) \quad \cdots\cdots (2)$$

로 표현된다. 여기서 함수 f는 다음과 같은 형태로 알려져 있다[5].

$$f(T_w, T_a, \mathrm{Re}) = A(T_w, T_a) + B(T_w, T_a)\mathrm{Re}^n \quad \cdots\cdots (3)$$

열전달계수 h를 무차원화하여 Nu수로 표현할 때 유체의 밀도, 열전도 계수, 동점성 계수등이 사용된다. 무차원시 이들 열역학적 물성들을 계산할 때 기준이 되는 온도를 적절히 선택하지 않으면 실험결과에 대하여 오차를 가져오게 된다. 이와 같은 오차를 줄이기 위하여 본연구에서는 열전달계수 h를 무차원화 하지 않고 유동의 속도, 유체 온도, 실린더 온도로서 표현한다.

즉, 실린더의 전기저항에 의한 발열량이 대류열전달과 균형을 이룬다면

$$hA_\ell(T_w - T_a) = \frac{E_w^2}{R_w} \quad \cdots\cdots (4)$$

이 되고, 따라서 h는 다음식으로 표현되며 유체 및 열선의 온도, 유동의 속도에 따라 변하게 된다.

$$h = \frac{E_w^2}{R_w A_\ell (T_w - T_a)} \quad \cdots\cdots (5)$$

$$= f(T_w, T_a, U) \quad \cdots\cdots (6)$$

본 연구에서는 원형실린더 주위의 대류열전달에 영향을 주는 인자를 유동 속도, 유체의 온도 및 실린더의 온도로 구분하고 이들의 효과를 규명하기 위하여 유체의 온도가 일정하게 유지되는 경우, 실린더의 온도가 일정하게 유지되는 경우 및 유체와 실린더의 온도의 차이가 일정하게 유지되는 경우에 대하여 실험을 수행하였다.

2. 실험장치

본 연구의 실험장치에 대한 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험장치는 대류열전달 계수에 영향을 주는 유동속도, 유체의 온도 및 열선의 온도를 각각 독립적으로 제어할 수 있도록 구성하였고 계측은 계기에 의한 공칭값(nominal value)과 무관하게 표준저항값과 표준저항 양단의 전압에 의한 상대적인 값으로 직접 측정에 의해 수행하였다.

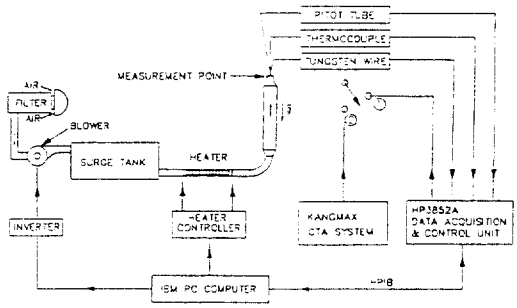

Fig. 1 Block diagram of measurement system.

실험에서 유체온도는 Copper Constantan 열전대를 이용하며, 유동속도의 측정에는 1-hole pitot tube를 사용하였다. 자료의 획득과 유동속도 및 유체 온도의 제어에 HP3852A Data Acquisition and Control Unit를 사용하였다.

2.1 열선의 구조 및 성질

실험에 사용된 실린더는 지름 5 μm의 텅스텐 열선(Dantec 9055A 0402)이며, 그 길이는 ±5 μm의 정밀도를 가진 미소거리측정기로 측정하였다. h값은 측정된 열선의 저항값에 따라 가장 민감하게 변화하므로 전 실험과정중 정밀한 저항의 측정을 위해 X형 프로우브지지대를 이용하여, Fig. 2에서와 같은 형태의 4선 계측 프로브(4-wire measurement probe system)을 사용하여 리드선 저항에 의한 오차를 제거하였다. 열선의 온도-저항 관계는 일반적으로 다음식으로 표현된다.

$$R_w = R_0(1 + \alpha T_w + \beta T_w^2) \quad \cdots\cdots (7)$$

텅스텐 열선에 대한 온도계수 α 및 β를 구하기 위해 중탕으로 가열되는 식용유에 열선과 열전대를 넣고 식용유를 220℃까지 가열한 후 대기중에서 냉각시키면서 열선의 저항과 식용유의 온도를 측정하였다. 실험과정중 식용유는 준정상상태로 냉각되며, 식용유온도와 열선온도가 같으며, 저항측정을 위해 열선에 흐르는 전류(1 mA 이하)에 의해 열선은 가열되지 않는다고 가정하였다. 이 측정자료를 이용하여 곡선화(cu-

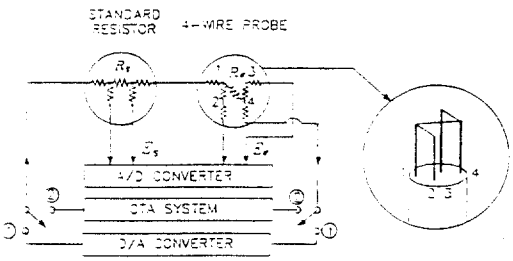

Fig. 2 Schematic diagram of CCA or CTA system and 4-wire probe.

rve-fitting)한 결과를 Table 1에 나타내었다.

지금까지 식 (7)를 얻기 위한 여러연구자들의 실험은 낮은 온도범위(약 0~100℃)였다. 그러나 필요한 저항-온도 관계는 200℃ 이상의 높은 온도이므로 만약 낮은 온도에서 보정된 식을 이용하여 열선의 저항을 산출할 경우 오차가 생기게 된다.

Table 1. Discription of wire characters.

	length	aspect ratio	R_0	α	β	$q_h/(q_c+q_h)$
	mm		Ω	$(℃)^{-1}$	$(℃)^{-2}$	
Wire 1	2.227	445.41	5.7907	3.7979×10^{-3}	1.2363×10^{-6}	9.3316×10^{-1}
Wire 2	5.204	1040.8	15120	3.7680×10^{-3}	1.2366×10^{-6}	9.7209×10^{-1}
Wire 3	9.456	1891.3	25.521	3.7726×10^{-3}	1.1495×10^{-6}	9.8476×10^{-1}

2.2 유동 속도의 제어

속도제어를 위해 컴퓨터에서 목표값이 디지털 신호를 설정하면 HPIB를 통하여 제어기(Control Unit)의 D/A 변환기에서 0~10V의 아날로그신호가 얻어지게 되는데, 이 신호는 Inverter를 제어하고 Inverter는 60Hz 220V 입력전압의 주파수를 변조(0~240Hz)하여 (PWM, Pulse Width Modulation 방식)송풍기의 회전수를 제어함으로써 속도가 변화하게 된다.

송풍기의 최대 풍량은 약 5m³/min이며 서지탱크를 설치하지 않고 실험하였을 때 노즐 출구에서의 난류강도는 약 6%였으나 송풍기의 진동을 제거하기 위해 송풍기를 지면에 고정시키고 체적 약 0.85m³의 서지탱크를 송풍기 출구에 부착하였을 때 난류 강도는 0.2%이하였다.

2.3 유체온도의 제어

유체의 온도는 Fig. 1에 나타난 히터부분에 1.5 kw의 가열기를 3개 설치하여 제어한다. 가열기중 2개는 ON/OFF형식이며 나머지 하나는 비례적분제어기에 의해 연속적으로 제어된다. 비례적분제어기에 사용되는 비례제어이득과 적분제어이득등은 Ziegler와 Nichols의 Tuning 방법에 의해 구하였다. 이 방법으로 유체온도를 제어할 때 최대풍속에서 제어가능 온도범위는 50℃에서 90℃이다.

2.4 열선온도의 제어

열선의 온도는 Fig. 1에서 스위치가 ① 에 연결된 상태에서는 HP3852A에 내장된 D/A변환기의 출력에 의해서, 스위치가 ② 에 연결된 상태에서는 Kanomax Cta system에 의해서 제어된다. 열선의 온도는 식(7)의 저항 온도 관계식에서 구한다.

3. 실험방법

3.1 일정 유체온도(T_a) 실험

열선온도가 열전달계수에 미치는 영향을 알기 위하여 일정 유체온도에서 유체속도와 열선온도를 변화시키면서 실험하였다. 실험장치의 회로는 Fig. 1에서 스위치가 ① 에 연결된 상태이다. Table 1의 wire 3으로 유체온도 50, 60, 70℃의 경우에 대해 실험이 수행되었다. 또한 형상비의 영향을 알기 위하여 유체온도 60℃에서 열선의 길이가 다른 wire 1과 wire 2(Table 1)의 경우

에도 같은 실험을 하였다.

3.2 일정 열선온도(T_w) 실험

유체온도가 열전달계수에 미치는 영향을 알기 위하여 일정 열선온도에서 유체속도와 유체온도를 변화시키면서 실험을 수행하였다. 열선의 온도는 CTA를 사용해서 일정하게 유지시켰으며 실험장치의 회로는 Fig. 1의 스위치가 2에 연결된 상태이다. 실험은 wire 1의 경우에 대해 열선온도 167, 197, 227℃에서 수행되었다.

3.3 일정 온도차(T_w-T_a) 실험

여러 연구자들[2,5,6]이 열전달계수를 T_w-T_a의 함수로 표현하였다. h와 T_w-T_a의 관계를 알아보기위해 T_w-T_a가 일정상태에서 열선온도와 유체속도를 변화시키면서 실험을 수행하였다. 실험의 회로는 Fig. 1에서 스위치가 2에 연결된 상태이며, T_a는 T_w-T_a가 일정하게 유지되도록 제어된다.

3.4 열전달계수의 계산

열선의 길이를 측정하고 저항과 온도관계식 (7)을 구한다. 다음에 실험을 통하여 T_a, U, E_w, E_s을 측정하고 표준저항기의 저항-전압 관계에서 열선에 흐르는 전류를 계산한다.

$$I=\frac{E_s}{R_s} \quad \cdots\cdots (8)$$

전류가 계산되면 열선전압과 전류로 부터 열선저항이 계산된다.

$$R_w=\frac{E_w}{I} \quad \cdots\cdots (9)$$

열선의 저항으로부터 식(7)에 의해 열선온도가 계산되며 따라서 식(5)에 의해 열전달계수가 계산된다.

4. 결과 및 검토

4.1 일정 유체온도 조건

Fig. 3은 wire 1(Talbe 1)에 대해 유체온도가 60℃인 경우의 실험결과로서 유체속도와 열선

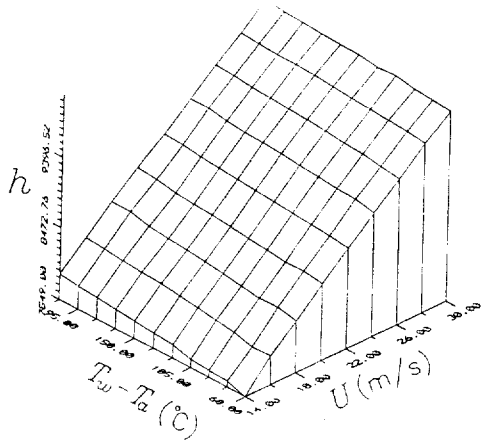

Fig. 3 Velocity and Temperature dependence of h for wire 1 at $T_a=60$℃.

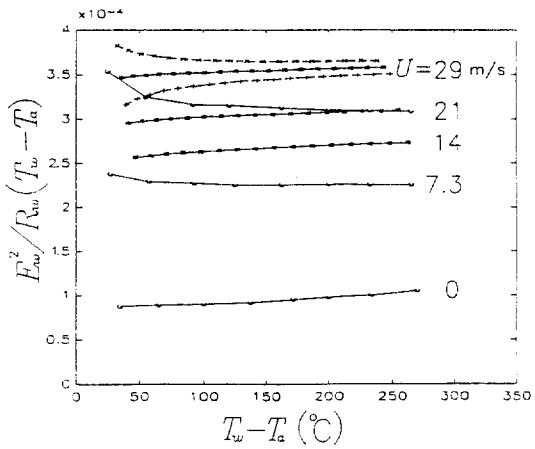

Fig. 4 Effect of cold resistance R_0 in evaluating h. ((-O-) Bruun's results ; (-*-) Our results ; (-X-) increase of R_0 by 1% ; (-+-) decrease of R_0 by 1%).

온도가 열전달계수에 미치는 영향을 보여준다. Bruun[5]과 본 연구에 대한 결과의 비교를 Fig. 4에 나타내었다. Bruun은 속도가 작을 때에는 열선온도가 증가하면 열전달계수가 증가하고 속도가 클 때에는 열선온도가 증가하면 열전달계수가 감소한다고 주장하였으나, 이 실험결과에서는 속도에 관계없이 열선온도가 증가하면 열전달계수도 증가하였다. Bruun의 결과와의

차이는 다음과 같이 해석될 수 있다. 이 실험은 매우 높은 정밀도를 요구하는데 만약 저항의 측정에 작은 오차가 포함된다면 열선온도에 대한 열전달계수의 경향이 뱐화한다. 높은 속도의 경우에 대한 본 연구에서 R_0를 측정값보다 인위적으로 1% 증가시키면 그 경향이 Bruun의 결과와 일치하였다. 이것은 R_w가 실제 저항보다 1% 과도하게 측정되었을 때와 같은 경우이므로 Bruun의 실험에서는 저항의 측정시 리드선 저항의 보상이 완전하게 이루어지지 않아 과도하게 kR_w가 평가 되었을 것이다.

4.2 열선의 형상비가 열전달계수에 미치는 영향

Fig. 5는 일정 유체온도(60℃)에서 wire 1, wire 3의 실험결과와 Collis와 Willims[2]의 경험식을 이용하여 계산한 결과를 나타낸 것이다. Collis와 Willims는 레이놀즈수가 44보다 작을 때 다음의 경험식을 주장하였다.

$$\mathrm{Nu}_f\left[\frac{\theta_f}{\theta_a}\right]^{-0.17}=0.24+0.56\mathrm{Re}_f^{0.45} \quad \cdots\cdots\cdots (10)$$

여기서 θ는 절대온도 단위이다. 따라서 열전달계수는 다음과 같이 계산된다.

$$h=\frac{k_f}{d}\left[\frac{\theta_f}{\theta_a}\right]^{0.17}(0.24+0.56\mathrm{Re}_f^{0.45}) \quad \cdots\cdots\cdots (11)$$

Fig. 5에서 Collis와 Willims의 결과는 실선으로 나타나 있는데 식 (11)를 이용하여 얻었다. 식(5)를 이용하여 열전달계수를 계산할 때, 열선의 양단에서 지지대로의 열전달은 고려하지 않았다. 그러나 정확한 열전달 계수를 얻기 위하여 전도량은 반드시 고려하여야 한다. Colliis와 Williams은 support로의 전도량을 무시할 수 있는 형상비로 5000을 제시하였다. 그러나 형상비가 5000일 때 지름 5mm의 열선 길이는 25mm이므로 이것은 열선 제작의 어려움과 열선의 공간분해능 문제, 그리고 유체의 속도 때문에 생기는 열선의 처짐현상 등으로 현실적으로 5000이상의 형상비를 가지는 열선에 대한 실험은 불가능하다.

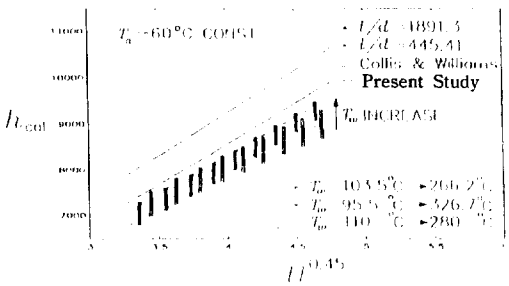

Fig. 5 Temperature dependence of h with T_w at constant T_a.

Hinze[6]는 열선의 열전도계수가 일정하다고 가정하고 열선의 미소요소에서 열평형을 고려하여 열선의 온도분포를 해석적으로 구하였다. 정상상태에서의 열평형식은

$$I^2R_w(x)=hA_l\frac{dx}{\ell}(T_x(x)-T_a)-k_wA_s\frac{d^2T_w(x)}{dx_2} \quad \cdots\cdots\cdots (12)$$

이며 식(10)을 풀기 위해 h 및 R_w 온도경계조건이 필요하다. Hinze는 h 대신 Kramer공식을 사용하고 저항을 온도의 1차 함수로 가정하였으며,

$$h=\frac{k_f}{d}(0.42\mathrm{Pr}_f^{0.2}+0.57\mathrm{Pr}_f^{0.33}\mathrm{Re}_f^{0.5}) \quad \cdots\cdots (13)$$

$$R_w(x)=R_0(1+\alpha T_w(x)) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

열선의 양단과 중심에서 다음의 경계조건

$$T_w\left[\pm\frac{\ell}{2}\right]=T_a,\ \frac{dT_w(x)}{dx}=0 \quad \cdots\cdots\cdots (15)$$

을 사용하여 식(10)의 해를 구하였다.

$$R_w(x)=R_a+\frac{I^2R_a}{A+BU^nI^2}\left[1-\frac{\cosh(x/\ell_c)}{\cosh(\ell/2\ell_c)}\right] \quad \cdots\cdots\cdots (16)$$

여기서 각 상수들은 다음과 같이 표시된다.

$$A = 0.42\frac{P_f^k}{R\varrho}(Pr)_f^{0.2}$$

$$B = 0.57\frac{P_f^k}{R\varrho}\left[\frac{\rho_f^d}{\mu_f}\right]^{0.5}(Pr)_f^{0.33}$$

$$n = 0.5$$

$$\ell_c = \frac{d}{2}\sqrt{\frac{P_w^k}{R_0\alpha(A+BU^n-I^2)}}$$

온도 분포로 부터 열선에서 유체로의 대류열전달량을 계산할 수 있으며,

$$q_h = \int_{-\frac{\ell}{2}}^{\frac{\ell}{2}}(A+BU^n)(R_w(x)-R_a)dx \cdots (17)$$

열선 양끝에서 지지대로의 전도 열전달량

$$q_c = 2k_wA_s\left[\frac{dT_w(x)}{ds}\right]_{x=-\frac{\ell}{2}} \cdots\cdots (18)$$

을 구할 수 있다. 따라서 전도에 의한 열전달계수의 오차는 다음과 같이 보상가능하다.

$$h_{cal} = h\frac{q_h}{q_c+q_h} \cdots\cdots (19)$$

Fig. 5는 보상 후의 결과를 나타낸다.

4.3 일정 열선온도 조건

Fig. 6은 CTA장치로 열선의 온도를 일정하게 유지시켰을 때의 결과이다. CTA내부 브리지의 유한이득 때문에 열선온도가 일정하게 유지되지 못했고[7], 유체온도의 상승으로 인해 유체의 밀도가 변해서 유체온도와 유체속도가 동시에 변화하였기 때문에 유체온도가 열전달계수에 미치는 영향을 정확히 알기 힘들다. Fig. 6에서 만약 열선온도와 유체속도가 일정하게 유지되었다면 유체온도의 상승으로 열전달계수는 감소하였을 것이라고 유추할 수 있다.

4.4 일정온도차 (T_w-T_a) 조건

여러 연구[5,6]에서 식(6)의 함수 f를 다음의 식으로 표현하였다.

$$f = A(T_w, T_a)+B(T_w, T_a)U^n \cdots\cdots (20)$$

혹은

$$f = a(1+a_1T_w-a_2T_a) + b(1+b_1T_w-b_2T_a)U^n \cdots\cdots (21)$$

Fig. 7은 일정온도차에 대한 실험 결과이다. 이 그림에서 온도차이가 일정하면 유체온도의 상승에도 불구하고 열전달계수는 $U^{0.45}$에 직선적으로 비례함을 알 수 있다. 또한 기울기나 절편이 유체온도나 유체속도, 열선온도등에 무관하게 한 개의 곡선위에 일치함을 알 수 있다. 온도의 차이가 다른 경우에는 식(20)의 계수 A, B는 (T_w-T_a)에 따라 변화한다.

마찬가지로, 식(21)에서 상수 a_1, b_1은 각각 a_2, b_2와 같아야 하며 Collis와 Williams[2]가 제시했던 무차원화된 열전달 관계식이 정당함을 보여주고 있다. Table 2에 식(21)은 형태로 표시한 경우에 정의된 상수들을 나타내었다. Leviskii[6]는 Table

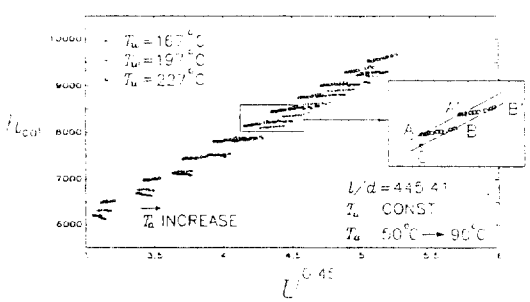

Fig. 6 Temperature dependence of h with T_w at constant T_a.

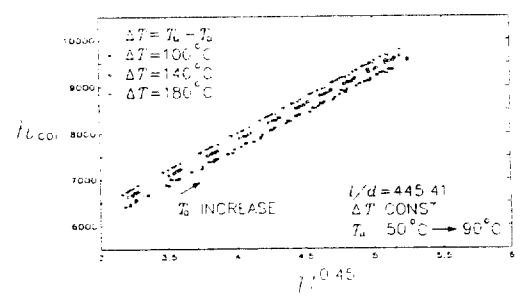

Fig. 7 Temperature dependence of h with T_w at constant T_w-T_a.

Table 2. Values of coefficients in Eq.(18).

	a^1	a^2	b^1	b^2	n
King(1914)	1.14×10^{-3}	1.14×10^{-3}	8.0×10^{-5}	8.0×10^{-5}	0.50
Collis and Williams(1959)	1.64×10^{-3}	1.64×10^{-3}	2.5×10^{-4}	2.5×10^{-4}	0.45
Hinze(1959)	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-3}	0	0	0.50
Levitskii(1984)	1.50×10^{-4}	2.16×10^{-3}	-1.36×10^{-4}	1.77×10^{-3}	0.45
Present Study	5.53×10^{-4}	5.53×10^{-4}	2.38×10^{-4}	2.38×10^{-4}	0.45

Table 3. The parameters and thier weight factors in calculating h.

	E_w	E_s	R_s	R_o	α	β	A_1	T_a
	V	V	Ω	Ω	$(℃)^{-1}$	$(℃)^{-2}$	m^2	℃
h/h_o(%)	93.723	109.43	91.973	108.35	102.04	100.06	99.101	101.15

2에서와 같이 이 실험결과와 다른 견해를 발표하였다.

Tablle 3에 h를 계산하는데 영향을 주는 인자들에 대하여 나타내었다. h는 계측된 결과이며 h_0는 인자들을 인위적으로 1%만큼 증가시켰을 때의 값이다. 열선에 공급되는 전류의 계산에 사용되는 E_s, R_s가 h를 계산하는데 중요한 인자임을 알 수 있다. 지금까지의 연구에서는 리드선 저항의 제거와 열선의 온도 계수를 구하는데 많은 오차를 가져왔다. 열선의 저항 측정시에 4선 계측시스템이 사용되어야 하며 열선의 온도계수값을 정확히 알기 위하여 더 넓은 온도 범위에 대한 실험이 행해져야 한다.

5. 결 론

원형 실린더 주위의 열전달 현상을 규명하기 위하여 일정 유체온도, 일정 유체속도 및 열선과 유체사이의 온도차가 일정하게 유지되는 경우에 대하여 실험을 수행하였으며 다음의 결론을 얻었다.

(1) 열선의 온도가 상승하면 열전달 계수는 증가한다.

(2) 실린 주위 유체의 온도가 상승하면 열전달계수는 감소한다.

(3) 열선과 주위유체의 온도의 차이가 일정한 열전달계수 h는 $h=A+BU^n$으로 표시할 수 있었으며 계수 A와 B는 열선과 유체의 온도의 차이에 따라 결정되었다.

(4) 모든 실험조건에 대하여 유체의 속도는 열전달 계수에 가장 큰 영향을 미친다.

참 고 문 헌

1. Kauh, S., Lee, T.S., Moffat R.J., 1991, "Static Response of the constant temperature anemometer including the effect of both the finite amplifier gain and fluid temperature," *Proceedings of the KSME Spring Annual Meeting* II) pp.131~135.
2. Collis, D.C., and Williams, M.J., 1959, "Two dimensional Convection from heated Wire at Low Reynolds Numbers," *J. Fluid Mech.*, Vol.6, pp.357~389.
3. Fingerson, L.M., and Freymuth, P., 1983, "Thermal Anemometers," *Fluid Mechanics Measurements,* Edited by Goldstein, R. J., pp. 99~154, Hemisphere publishing Corporation.
4. Bruun, H.H., 1975, "On The Temperature Dependence of Constant Temperature Hot-wire Probes with Small Aspect Ratio," *J. Phys. E : Sci. Instrum.*, Vol.8, pp.942~951.
5. Hinze, R.J., 1959, *Turbulence,* pp.83~118, McGraw-Hill.
6. Levitskii, V.N., and Repik, E.V., 1984, "Inf-

luence of The Temperature of A Flow On The Readings of A Hot-wire Anemometer," *Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal,* Vol.49, No.3, pp.366~374.

7. Perry, A.E., 1982, *Hot-wire Anemometery,* Clarendon Press.