

<論 文>

수직열선 근처의 과도 열전달에 관한 실험적 연구

최 만 수* · 유 정 열** · 노 승 탁**

(1983년 8월 31일 접수)

Transient Heat Transfer from a Suddenly Heated Vertical Thin Wire

Man Soo Choi, Jung Yul Yoo and Sung Tack Ro

Abstract

The series of experiments have been performed to study the transient heat transfer in air from a suddenly heated vertical thin wire. A platinum wire has been used as a resistance thermometer as well as a heating element to eliminate the disturbances in the measurements. The measured temperature as a function of time is compared with the calculated transient temperature with the aid of a pure conduction equation. The overshoot phenomena in terms of the Nusselt numbers have been detected and it is reasonable to define the delay time at which the onset of convection heat transfer occurs. The measured data are compared with the existing steady-state data and the agreements are reasonable within the comparable ranges.

기 호 설 명

C : 상수
 c : 비열
 d : 지름
 g : 중력가속도
 h : 열전달계수
 k : 열전도율
 l : 열선의 길이
 Nu : Nusselt 수
 Pr : Prandtl 수
 q : 단위길이당의 발열량
 R : 열선의 저항
 Ra : Rayleigh 수 $(= Gr \times Pr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)l^3}{\nu^2})$
 Ra^* : 수정된 Rayleigh 수 $(= Ra \times Nu)$
 r : 반지름
 T : 온도

t : 시간
 u : x 성분속도
 V_s : 공급전압
 v : r 성분속도
 그리아스문자
 α : 열확산율
 α_p : 열선의 온도-저항계수
 β : 체적팽창계수
 ϵ : 방사율
 ν : 동점성계수
 ρ : 밀도
 τ : Fourier 수 $(= \frac{4at}{d^2})$
 τ_d : 무차원 지연시간
 첨 자
 d : 지름기준
 l : 길이기준
 w : 열선
 ∞ : 유체

* 서울대학교 대학원

** 정회원, 서울대학교 공과대학

1. 서 론

유체의 열전도율이나 열확산율을 측정하는 방법으로서는 비교적 장치가 간단하고 측정의 정밀도가 높다고 믿어지는 비정상 열선법에서는 일정한 열 플럭스를 열선에 공급하여 시간에 따라 변화하는 열선의 온도를 측정함으로써 열전도율을 구할 수 있다. 이 방법은 최근 시간 정수가 짧은 전기기기들이 발달하며 더욱 그 유용성이 높아져 많은 측정에 이용되고 있다.^{1,2,3)}

유체에 대해 비정상 열선법을 적용시킬 때에 문제가 되는 것은 측정시간에 한계가 있다는 점이다. 즉 열선 주위의 유체온도가 상승함에 따라 열전달의 형태가 열전도에서 대류 열전달로 바뀐다.

이런 점에서 열선 주위 유체에 대한 과도 열전달에 관한 연구가 필요하다.

수평열선에 대하여 Vest와 Lawson⁴⁾이 간섭계를 사용하여 대류개시에 대한 상관 관계식을 발표하였으며 최근에는 Parsons과 Mulligan⁵⁾이 오실로그래프를 사용하여 수평열선 근처의 대류 개시 및 정상상태에 대해 연구하였다. 한편, 수직판에 대한 과도 자연대류에 관한 연구로는 Siegel⁶⁾이 초기유동은 수직벽에 평행한 측과는 무관하게 전개된다는 것을 발표하였고 Schetz와 Eichhorn⁷⁾이 평행류를 가정하여 초기의 비정상 자연대류에 대하여 연구하였으며 Menold와 Yang⁸⁾이 역시 평행류를 가정하여 일반적인 경계조건을 가진 문제에 대해 접근해를 구하였다.

평행류를 가정하면 에너지 방정식은 열전도 방정식으로 바뀌게 된다. 그러므로 초기의 열전달은 열전도만으로 이루어 진다는 가정을 할 수 있다.

선단효과(leading edge effect)의 전파에 관한 연구로는 Gebhart와 Dring⁹⁾이 있으며 Goldstein과 Briggs¹⁰⁾가 수직판과 수직 실린더에 대해 평행류를 가정하여적분 형태의 해를 구하였으며 선단효과의 전파속도가 평행류 속도와 같다는 가정으로 선단 효과의 전파를 계산하였다.

Dring과 Gebhart¹¹⁾는 수직열선에 대한 실험에서 순수열전도를 가정한 해와 열선의 온도 상승을 비교하였으며 그 해가 열선주위 유체온도상승을 표시할 수 있다고 발표하였다.

이상의 여러 연구에서 알 수 있듯이 수직 표면의 과도 열전달은 순수 열전도, 대류전이(convective transition), 정상상태 대류 열전달의 세단계를 거치게 됨을 알 수 있다.

본 연구에서는 수직열선 근처의 과도 열전달에 대해 유동의 방해요인이 없는 화이트스톤브리지 회로와 오실로그래프를 사용하여 실험적 연구를 행하고 실험치와 순수 열전도 해를 비교하여 순수 열전도 해의 적용한계를 구하며 또한 정상상태 열전달에 대해 기존하는 상관관계식과 비교하고자 한다.

2. 순수 열전도 단계에서의 기본해석

해석에 사용된 좌표계는 Fig. 1에 표시되어 있으며 순수 열전도 단계를 서술하는 지배방식을 세우는데 사용한 가정은 다음과 같다.

(1) 평행류를 가정한다.

(2) 부력에 관련된 항을 제외하고는 밀도의 변화를 무시하며 기타 물성치들은 일정한 값을 갖는다. (bous-sinesq 근사)

(3) 점성소산(viscous dissipation)을 무시한다.

(4) 열선의 직경이 작고 열전도율이 커서 열선내의 온도가 균일하며 주위 유체를 무한유체로 본다.

(5) 열선의 길이가 직경에 비하여 매우 길므로 x 축 방향으로의 열손실을 무시한다.

이러한 가정하에 기본 방정식과 초기 및 경계조건은 다음과 같다.

$$\text{연속방정식} \quad \frac{\partial(rv)}{\partial r} = -\frac{\partial(ru)}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$\text{운동량방정식} \quad \frac{\partial u}{\partial t} = g\beta\rho(T - T_\infty) + \frac{\nu}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right), \quad (2)$$

$$\text{에너지방정식} \quad \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\alpha}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad (3)$$

$$\text{초기조건} \quad t \leq 0, 0 < r < \infty \text{에서 } u=0, T=T_\infty,$$

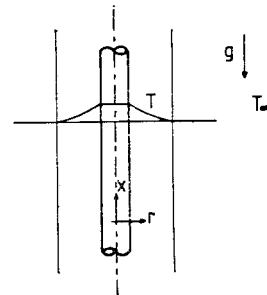


Fig. 1 Coordinate system for initial transient natural convection from a suddenly heated vertical wire

경계조건 $t > 0, r = r_0$ 에서 $u = 0, q = 2\pi r_0 k$
 $\frac{\partial T}{\partial r} + \pi r_0^2 \rho_w c_w \frac{\partial T}{\partial t}, r \rightarrow \infty$ 일 때
 $u = 0, T = T_\infty.$

에너지 방정식 (3)은 순수 열전도 방정식으로 그 해는 다음과 같다¹²⁾.

$$T(r, t) - T_\infty = \frac{\alpha_1 q}{\pi^2 k} \int_0^\infty \frac{(1 - e^{-\alpha_1^2 t / r_0^2}) \{J_0(\beta r / r_0) - [\beta Y_0(\beta) - \alpha_1 Y_1(\beta)] - Y_0(\beta r / r_0) [\beta J_0(\beta) - \alpha_1 J_1(\beta)]\}}{\beta^2 \Delta(\beta)} d\beta \quad (4)$$

여기에서

$$\Delta(\beta) = [\beta J_0(\beta) - \alpha_1 J_1(\beta)]^2 + [\beta Y_0(\beta) - \alpha_1 Y_1(\beta)]^2,$$

$$\alpha_1 = \frac{2\rho c}{\rho_w c_w}$$

이며

$r = r_0$ 일 때 열선의 온도 T_w 는

$$T_w - T_\infty = \frac{2\alpha_1^2 q}{\pi^2 k} \int_0^\infty \frac{(1 - e^{-\beta^2 \tau})}{\beta^2 \Delta(\beta)} d\beta \quad (5)$$

가 된다.

여기에서

$$\tau = \frac{4at}{d^2} \quad (5a)$$

이다.

식 (5)는 τ 가 큰 값을 가질 때 다음과 같이 나타낼 수 있다¹²⁾.

$$T_w - T_\infty = \frac{q}{4\pi k} \ln \frac{4\tau}{C} \quad (6)$$

여기서 C 는 Euler 상수인 0.5772.....의 지수값으로 1.7810.....의 값을 갖는 상수이다.

식 (5)를 Gauss 구적법으로 수치적분 하였다. 적분함 수가 상한과 하한에서 0이므로 $\beta = 10^{-10}$ 부터 적분을

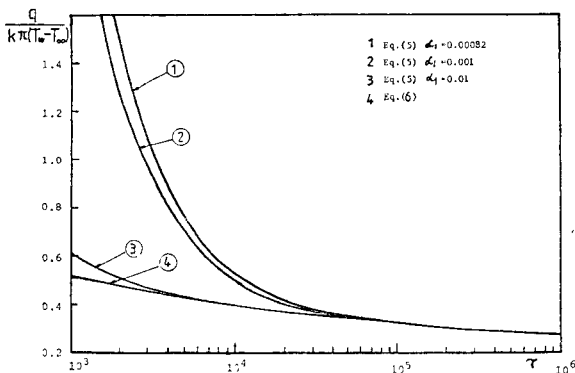


Fig. 2 Numerical Integration for pure conduction solution

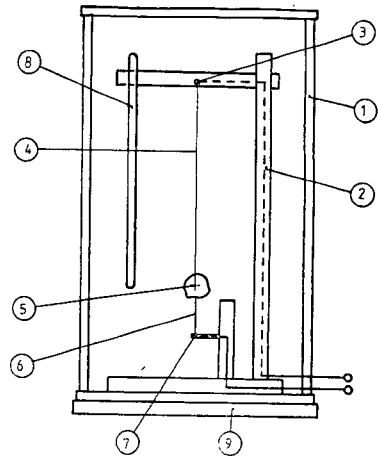
수행하며 그 구간을 점차 늘여가면서 $\beta = 10$ 까지 계산 하였다. 수치적분된 값은 Kierkus, Mani, and Venart¹³⁾와 비교하였으며 오차 0.04% 이내로 일치하였다.

비정상 열선법에 사용되는 식은 보통식 (6)으로 식 (5)와의 비교가 필요하다. Fig. 2의 종축은 열선의 온도와 열선에 가해지는 열량 q 를 기준으로 정의된 값으로 무차원화된 표면온도의 역수를 의미한다. 그리고, 열선의 열용량을 무시할 때 Nusselt 수가 된다. Fig. 2에서 α_1 이 커질수록 더 빠르게 식 (6)과 일치함을 알 수 있다. Kierkus 등¹³⁾은 $100 < \alpha_1 \tau$ 일 때 식 (5) 대신 식 (6)을 사용할 수 있다고 제안하였다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1. 실험장치

실험장치를 Fig. 3에 표시하였다. ①은 외부유체의 교란을 막기 위한 두께 5mm, 직경 200mm, 길이 400mm 아크릴 원통이다. ②는 두께 10mm의 아크릴로 만든 지지대로 백금선과 온도계를 부착한다. ③은 ②로부터 수평으로 60mm 떨어진 직경 2.5mm의 구리선과 ④의 백금선이 연결된 점이다. ④는 백금선으로 수직열원과 온도측정장치로 사용되며 그 직경은 50 μ m이다. 백금선의 길이는 1/100mm의 버니어형 이동식 현미경으로 측정하였다. ⑤는 백금선을 팽팽하게 하고 균



- ① acryl cylinder
- ② support plate
- ③ welding point
- ④ Pt wire
- ⑤ Pb weight
- ⑥ copper thin wire
- ⑦ lead wire
- ⑧ mercury thermometer
- ⑨ styrofoam

Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

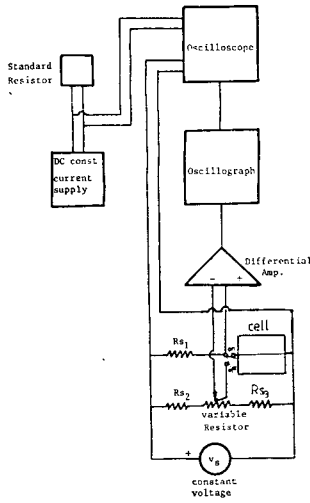


Fig. 4 Block diagram of electrical apparatus]]

일한 인장을 주며 수직을 유지시키는 9g의 납추이다. ⑥은 ⑤와 ⑦을 연결시키는 구리세선으로 백금선이 수직을 유지하는데 방해되지 않아야 하며 전기저항이 작아 ⑥에서의 전압강하가 무시되어야 한다. ⑥의 미소한 저항도 백금선 온도 측정에 영향을 미치므로 백금선의 온도-저항계수를 교정하는데 있어서 백금선, 구리단선을 연결시킨 상태에서 교정하여 그 영향을 극소화 하였다. ⑧은 주위 유체의 온도를 측정하는 수은온도계로 0.1°C 간격으로 온도를 읽을 수 있다. ⑨는 진동을 흡수하기 위해 부착한 두께 15mm의 스티로폼이다.

3.2. 측정회로

Fig. 4에서 화이트스톤브리지 회로의 \$R_{11}, R_{12}, R_{13}\$는 각각 표준저항 10Ω, 1kΩ, 10kΩ을 사용하였다. 스위치를 on 하였을 때 전류의 급변으로 \$R_{11}, R_{12}, R_{13}\$의 저항값에 미소한 변화가 발생할 수 있으므로 안정성이 우수한 표준저항을 사용하였다. 각 저항과의 연결시 접촉 저항이 없어야 하므로 철저한 연결을 하였으며 연결후 오실로스코프로 검사하였다. 가변저항기는 안정성과 직선성이 우수한 다단 포텐시오미터 저항기를 사용하였다. 잡음제거를 위해 각부에 철제한 가드 및 접지를 하였고 동상잡음 제거비(CM RR)가 110dB인 차등 증폭기를 사용하였다. 본 실험에서는 Fig. 4와 같이 정전압법을 사용하므로 차등증폭기의 두 입력신호가 같은 전원에서 공급되며 잡음성분도 동상이다. 그러므로 동상잡음제거비가 큰 증폭기를 사용하여 잡음을 크게

줄일 수 있었다. 밴드 폭은 넓은 밴드로 하였다.

오실로그래프는 DC Amp.로 증폭시킨 브리지 양단의 전압차를 시간에 따라 기록하는 장치로 제동저항 10Ω을 입력신호와 직렬로 연결하여 사용하였다. 공급되는 전압 \$V_s\$에 따라 오실로그래프 전류계를 선택하였으며 그 교정을 다음 절에서 설명하고 있다.

일정 전류 공급기와 표준저항으로 만든 기준전압과 공급전압 \$V_s\$와의 차를 오실로스코프의 차등증폭기를 사용하여 정전압의 유지를 검사하며 공급전압을 결정한다.

3.3. 실험방법

(1) 백금선의 온도-저항계수 측정

백금선의 저항과 온도와의 관계는 다음과 같다.

$$\frac{R}{R_0} = 1 + \alpha_p T \tag{7}$$

여기에서 \$R_0\$는 0°C에서의 백금선의 저항값이며 \$\alpha_p\$는 백금선의 온도-저항계수이다. 식 (7)은 하첨자 \$\infty\$로서 실험계시 직전의 상태를 나타낼 때

$$\frac{R}{R_\infty} = \frac{1 + \alpha_p T}{1 + \alpha_p T_\infty} \tag{8}$$

로 바꾸어 쓸 수 있다.

비밀폐된 실험실안에서 전열기를 사용하여 서서히 가열 하면서 Fig. 3의 실험장치로 고정밀 포텐시오미터를 사용하여 백금선의 저항을 측정하였다. 실험실 대기온도의 상승이 0.5°C/hr 이하가 되도록 서서히 가열하고 측정초기의 급속히 상승된 저항값은 무시한다.

백금선과 직렬로 표준저항을 연결시킨 후 1mA의 전류를 통과시켜 각각의 전압 강하를 표준전지로 교정한 고정밀 포텐시오미터로 측정함으로써 백금선의 저항을 측정한다. 그 때의 백금선 온도는 주위 유체와 같다고 가정할 수 있으므로 Fig. 3의 온도계로 측정한다. 1mA의 전류는 백금선 온도 상승에 영향을 미치지 못한다. 상온에서 8°~10°C 온도차가 날때까지 측정하고 다시 냉각시키면서 같은 실험을 반복한다.

(2) 오실로그래프 전류계 교정

오실로그래프의 전류계는 1kF, 2kF, 4kF를 사용하였으며 DC Amp.의 배율을 50, 100 배로 하였다. 각 전류계에 대한 감도를 제작회사에서 제공하고 있으나 단자간저항, 제동저항, DC Amp.의 배율에 따라 보정 해주어야 하므로 각 저항의 정확한 값과 DC Amp.의 교정이 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 DC Amp.를 연결시킨 상태로 기지의 전압을 직류전압 공급기로 공급하여 오실로그래프에 기록된 변위를 측정하여 각 전류계와, 각 gain에 따라 교정한다. 공급전압은 고정밀

포텐시오미터로 검사하였으며 그 오차는 무시할 만하다. 같은 과정을 2~4 회 시행 후 평균하여 고정값으로 취한다.

(3) 백금선의 온도측정

실험에서 사용한 유체는 공기이다. 실험시작 직전에 백금선과 공기 온도 T_{∞} 를 수은 온도계로 측정하고 그때의 저항 R_i 를 3.3·1에서와 같은 방법으로 측정한다. 이어서 스위치를 연 상태에서 오실로그래프를 작동시켜 영 전위를 기록하고 실험을 시작한다.

열선에 일정한 열량 q 가 발생되면서 백금선온도가 상승하여 저항이 상승하고, 브리지양단의 전압차가 오실로그래프에 기록된다. 동시에 저장 오실로스코프에 공급전압 V_s 와 기준전압과의 차가 기록되어 공급전압을 결정한다.

Fig. 4로부터 백금선의 저항은

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_{s1} + R_i} - \frac{\Delta V}{V_s R_{s1}}} - R_{s1} \quad (9)$$

로 표시되므로 공급전압 V_s 에 대하여 상승전압 ΔV 를 시간에 따라 측정함으로써 저항을 계산하고 다시 식 (8)로부터 열선의 온도를

$$T_w = \{ (1 + \alpha_p T_w) \left(\frac{R}{R_i} \right) - 1 \} \times \frac{1}{\alpha_p} \quad (10)$$

로 구한다.

또한 단위 길이당 열량 q 는 다음과 같다.

$$q = \left(\frac{V_s}{R_{s1} + R_i} \right)^2 \frac{R_i}{l} \quad (11)$$

여기서 l 은 열선의 길이이다. 엄밀하게는 열량 q 는 시간에 따라 변하며 다음과 같다.

$$q(t) = \left(\frac{V_s}{R_{s1} + R(t)} \right)^2 \frac{R(t)}{l} \quad (12)$$

여기서 $R(t)$ 는 시간에 따른 백금선의 저항으로 ΔR 을 백금선의 상승된 저항이라고 할때

$$R(t) = R_i + \Delta R$$

이므로

$R/R_i \ll 1$ 일때

$$q(t) \approx \frac{R_i}{l} \left(\frac{V_s}{R_{s1} + R_i} \right)^2 \left(1 - \frac{2\Delta R}{R_{s1} + R_i} + \frac{\Delta R}{R_i} - \frac{2\Delta R^2}{(R_{s1} + R_i)R_i} \right) \quad (13)$$

이고

$$\frac{q(t) - q}{q} \approx \frac{\Delta R}{R_i} - \frac{2\Delta R}{R_{s1} + R_i} - \frac{2\Delta R^2}{(R_{s1} + R_i)R_i} \quad (14)$$

이 된다.

본 실험에서는 $\frac{\Delta R^2}{R_i}$ 의 최대값이 0.06 정도이므로 q 의 최대오차는 0.8%이며 실험결과에 크게 영향을 미

치지 않는다.

또한 복사로 인한 연손실을 계산하면 다음과 같다. 두개의 긴 동심 실린더의 반경이 각각 r_0, r_2 라 할 때 $r_0 \ll r_2$ 이면 복사에너지 손실은 다음과 같다¹⁴⁾.

$$q_r = 2\pi r_0 \sigma \epsilon (T_w^4 - T_{\infty}^4) \quad (15)$$

본 실험의 경우 q 에 대한 q_r 의 비율은 0.3%정도로 무시할 수 있다. 그리고, 열선의 열용량을 무시하면 $q = h\pi d(T_w - T_{\infty})$ 이므로 평균 Nusselt 수를 다음과 같이 정의하였다.

$$Nu_d = \frac{q}{k\pi(T_w - T_{\infty})} \quad (16)$$

식 (16)에서 공기의 열전도율 k 는 열선과 유체의 평균온도에서의 값으로 취하였다.

4. 실험결과 및 고찰

실험의 결과가 Fig. 5와 Fig. 6에 요약되어 있다. 여기서 횡축은 무차원화된 시간인 Fourier 수 $= \frac{4\alpha t}{d^2}$ 로 표시하고 종축은 식 (16)에서 정의한 Nusselt 수 $Nu = \frac{q}{k\pi(T_w - T_{\infty})}$ 로 나타내었다.

초기의 실험결과는 순수열전도 해와 잘 일치함을 알 수 있었으며 이것은 초기유동의 형태가 x 축에 평행하다는 가정이 타당함을 보여주는 것이다.

Dring과 Gebhart¹¹⁾는 τ 가 클때 적용되는 식 (6)을 그들의 실험결과와 비교하여 τ 가 클때 순수열전도해가 수직열선에서의 자연대류를 표시하는 식으로 대체될 수 있음을 보였다. 본 연구에서는 해석해 식 (5)를 사용하여 초기부터 잘 일치함을 보였다.

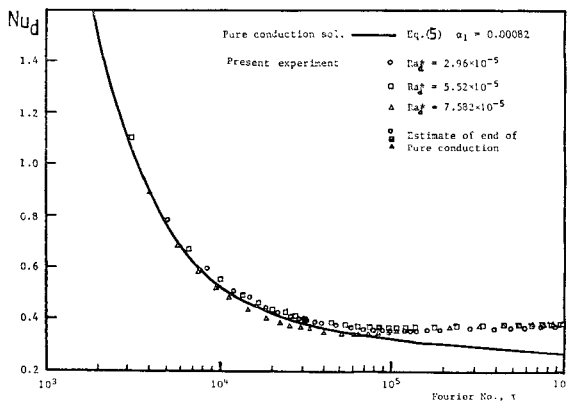


Fig. 5 Comparison of the transient decay of Nusselt number with pure conduction solution

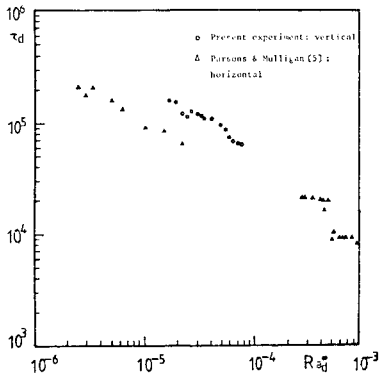


Fig. 6 Comparison of the transient decay of Nusselt number with pure conduction solution

Fig. 5와 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 Nu_d 가 정상상태의 값보다 작게 표시되는 오우버슈트(overshoot)가 탐지되었으며 그 때까지의 시간을 지연시간 τ_d 로 표시하였다.

오우버슈트는 열전달 형태의 변화의 표시라고 할 수 있으므로 τ_d 이전까지를 열전도로 인한 열전달이 지배적인 구간으로 볼 수 있다.

τ_d 근처에서 순수열전도 해보다 약간 높은 Nu_d 를 나타내는데 이것은 열선의 유한한 길이로 인한 양단의 열전도 때문인 것으로 생각된다. Parsons과 Mulligan⁵⁾의 수평열선의 실험에서도 같은 경향을 찾아볼 수 있다.

Siegel⁹⁾은 오우버슈트 현상에 대해 초기순수 열전도로 급속하게 경계층이 성장하여 정상상태의 경계층을 넘어서게 되어 열전달량을 극소화시켜 오우버슈트를 발생시킬 것이라고 추정하였다. 오우버슈트 현상을 실험적으로 탐지한 연구는, 수평열선에 대하여 Parsons과 Mulligan,⁵⁾ Bosworth,¹⁵⁾ Ostroumov,^{6)*} 수직판에 대하여 Klei^{6)*} 등이 하였으며 Parsons과 Mulligan은 실험에서 탐지된 오우버슈트를 순수 열전도의 한계를 표시하는 것으로 가정했다.

그러나, Dring과 Gebhart¹¹⁾는 오우버슈트는 실제로

* 인용된 두 연구는 참고문헌(6)에 상세히 서술되어 있으며 원논문은 다음과 같다.

- G.A. Ostroumov, Unsteady Thermal Convection about a Horizontal Cylinder, Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki (Russian) 26, 2720, (1956).
- H. Klei, SB thesis in Chem. Eng., MIT, May, 1957.

발생할 수 없는 현상으로 Klei, Bosworth의 overshoot는 그들이 사용한 열전대가 유동을 방해하여 발생하였을 것이라고 예측하였다.

본 연구에서는 휘이트스톤브리지 회로를 이용하여 백금선 자체가 온도측정장치이므로 유동을 방해하는 요인이 없다. 그러므로 실험중 탐지된 오우버슈트를 Parsons과 Mulligan의 가정과 마찬가지로 본격적인 대류의 시작을 표시한다고 가정할 수 있다.

또한 Siegel, Goldstein과 Briggs¹⁰⁾가 수직판의 경우에 예측했던 바와 마찬가지로 온도차가 급격하게 커질수록 오우버슈트의 배율이 커지는 것을 알 수 있었다.

Fig. 7은 τ_d 를 기록한 그림으로서 수평열선의 경우와 비교하고 있다. 여기서 횡축은 수정된 Rayleigh수 $Ra_d^* = Ra_d \cdot Nu_d$ 로서 표시하였으며 수직열선에서 대류 열전달의 영향이 더 늦게 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 8에서 정상상태의 실험결과를 Eigenson¹⁶⁾과 Nagendra¹⁷⁾의 수직열선에 대한 상관관계식

$$\text{Eigenson}^{16)} : Nu_d = 0.45$$

$$\text{Nagendra}^{17)} : Nu_d = 0.933 \left(Ra_d^* \frac{d}{l} \right)^{0.0476}$$

과 비교하였다.

본 실험결과는 Nagendra의 식에 5% 내의 오차로 근사하였으나 Eigenson의 식에는 15%의 오차를 나타내며 $Ra_d^* \frac{d}{l}$ 이 증가할수록 접근하는 경향을 볼 수 있었다.

Fig. 9에서는 Langmuir가 제안한 정체 필름모델을 사용함으로써 대류열전달 문제를 열전도 문제로 대체하여 계산한 Elenbaas¹⁸⁾의 식과 적분방정식 방법으로 해석한 Le Ferve and Ede¹⁶⁾의 식들을 본 연구결과와 비교하였다.

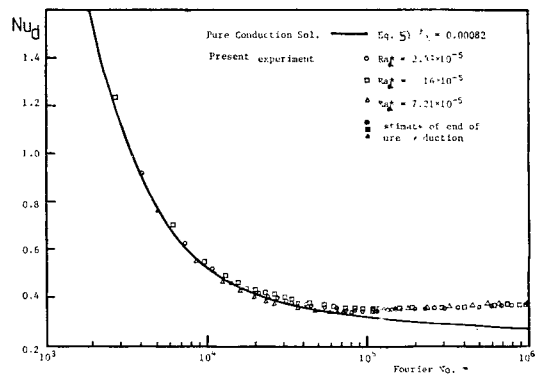


Fig. 7 Comparison of delay time τ_d with existing experimental data for a horizontal wire

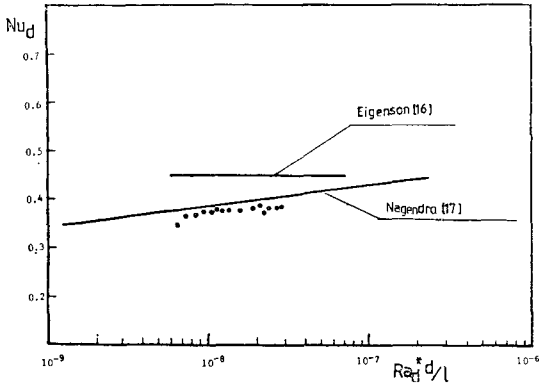


Fig. 8 Comparison of steady state mean Nusselt number with existing correlation

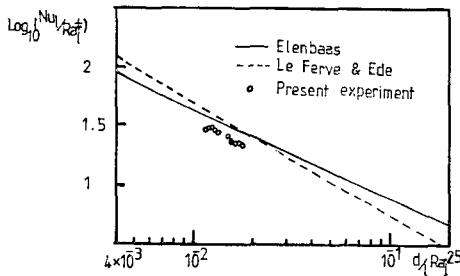


Fig. 9 Comparison of steady state mean Nusselt number with existing correlations

$$\text{Elenbaas}^{18)} : Nu_d \exp\left(\frac{-2}{Nu_d}\right) = 0.6 \left(\frac{d}{l}\right)^{1/4} Ra_d^{1/4},$$

$$\text{Le Ferve and Ede}^{16)} : \frac{Nu_d}{Ra_d^{1/4}} = \frac{4}{3} \left\{ \frac{7Pr}{5(20-21Pr)} \right\}^{1/4} + \frac{4(272+315Pr)}{35(64+63Pr)} \left\{ \frac{d}{l} Ra_d^{1/4} \right\} - 1$$

본 실험의 범위내에서는 적분방정식 해보다 정체 필름 모델의 식에 더 접근하였다.

5. 결 론

수직열선에서 일정한 열이 발생될 때 주위유체로의 과도 열전달에 대하여 실험적 연구를 하였다.

본 연구에서 얻을 수 있었던 결론은 다음과 같다.

(1) 수직열선에서 일정한 열이 발생될 때 순수열전도 해가 초기의 과도 자연대류를 표시할 수 있다.

(2) 열전달의 형태가 순수열전도, 대류열전달로의 천이, 정상상태 대류열전달의 세 단계를 거치며 실험 중 탐지된 오우버슈트 현상은 본격적 대류의 시작을 표시한다.

(3) 정상상태의 실험결과는 기존 문헌의 상관 관계식과 잘 일치한다.

후 기

본 연구는 1982년도 한국과학재단의 연구비의 지원을 받아 수행되었으며 이에 심심한 감사를 표한다.

참 고 문 헌

- 1) J.J. De Groot, J. Kestin and H. Sookiazian, "Instrument to Measure the Thermal Conductivity of Gases", Physical, Vol. 75, 1974, pp. 454-482.
- 2) 이재현, 이택식, 노승탁, "비정상 열선법에 의한 Freon-12와 Freon-22의 고압상태에서의 열전도율 측정", 대한기계학회논문집 제 2권, 제 2호 1978, pp. 42~46.
- 3) J. Kestin, S.T. Ro and W.A. Wakeham, "The Transport Properties of Binary Mixtures of Hydrogen with CO, CO₂ and CH₄", Physical Vol. 119A, pp. 615-638.
- 4) C.M. Vest and M.L. Lawson, "Onset of Convection near a Suddenly Heated Horizontal Wire", Int. J. of Heat and Mass Trans. Vol. 15, 1972, pp. 1281-1283.
- 5) J.R. Parsons and J.C. Parsons and J.C. Mulligan, "Transient Free Convection from a Suddenly Heated Horizontal Wire", J. of Heat Transfer, ASME, Vol. 100, 1978, pp. 423-428.
- 6) R. Siegel, "Transient Free Convection from a Vertical Flat Plate", J. of Heat Transfer, ASME, Vol. 80, 1958, pp. 347-359.
- 7) J.A. Schetz and R. Eichhorn, "Unsteady Natural Convection in the Vicinity of a Doubly Infinite Vertical Plate", J. of Heat Transfer, ASME, Vol. 84, 1962, pp. 334-338.
- 8) E.R. Menold and K.T. Yang, "Asymptotic Solution for Unsteady Laminar Free Convection on a Vertical Plate", J. of Applied Mechanics, ASME, Vol. 29, 1962, pp. 124-126.
- 9) B. Gebhart and R.P. Dring, "The Leading Edge Effect in Transient Natural Convection from a Vertical Plate", J. of Heat Transfer, ASME, Vol. 89, 1967, pp. 274-275.
- 10) R.J. Goldstein and D.G. Briggs, "Transient

- Free Convection about Vertical Plates and Circular Cylinders", J. of Heat Transfer, ASME E, 1964, pp. 490-500.
- 11) R.P. Dring and B. Gebhart, "Transient Natural Convection from Thin Vertical Cylinders", J. of Heat Transfer, ASME, Vol. 88, 1966, pp. 246-248.
 - 12) H.S. Carslaw and J.C. Jaeger, "Conduction of Heat in Solids", 2nd edition, Oxford, 1973, pp. 341-345.
 - 13) W.T. Kierkus, N. Mani and J.E.S. Venart, "Radial-Axial Transient Heat Conduction in a Region Bounded Internally by a Circular Cylinder of Finite Length and Appreciable Heat Capacity", Can. J. Phys., Vol. 51, 1973, pp. 1182-1186.
 - 14) J.P. Holman, "Heat Transfer", 4th edition, McGrawhill, 1976, pp. 299.
 - 15) R.C.L. Bosworth, "Attempts to Measure the Inductive Element Associated with the Natural Convection of Heat", Aus. J. of Physics, Vol. 13, 1960, p. 84.
 - 16) T.F. Irvine, Jr. and J.P. Hartnett, "Advances in Heat Transfer" Vol. 4, Academic Press, 1967, pp. 17-22.
 - 17) H.R. Nagendra, M.A. Tirunarayanan, and A. Ramachandran, J. of Heat Transfer, ASME, Vol. 92, 1970, pp. 191-196.
 - 18) W. Elenbaas, The Dissipation of Heat by Free Convection from Vertical and Horizontal Cylinders, J. of Applied Physics, Vol. 19, 1948, pp. 1148-1154.