

그리스 문자

α : 무차원 압력손실계수($\equiv f_p/f_{Np}$)

β : 무차원 Colburn 계수($\equiv j_p/j_{Np}$)

η : 무차원 시간($\equiv \frac{h \cdot S}{C_M} \tau$)

θ : 무차원 온도($\equiv \frac{t_r - t_o}{t_r - t_i}$)

λ : 무차원 압력손실계수에 대한 무차원 Colburn 계수비($\equiv \frac{j_p/j_{Np}}{f_p/f_{Np}}$)

ξ : 흐름방향의 무차원 거리($\equiv \frac{h \cdot S \cdot x}{C_p \cdot W \cdot L}$)

ρ : 공기밀도

σ : 무차원 직경($\equiv \frac{D}{P_L}$)

ϕ : 흐름방향의 구멍간의 무차원 거리($\equiv \frac{P_R}{P_L}$)

경우에 연구대상이 된 것으로는 plain plate-fin surface, louvered plate-fin surface, strip-fin plate-fin surface 등이 있으며 그 연구결과는 Kays 와 London의 Compact Heat Exchangers⁽¹⁾에 제시되었다.

전열면의 열전달 성능 향상에는 유동저항의 증가가 반드시 수반되므로 유동저항의 증가가 상대적으로 적으면서도 열전달 성능이 개선될 수 있는 전열면의 개발이 연구의 촛점이 되고 있다. 그리하여 양측면을 둑글게 한 사각형 모양의 perforation을 갖는 평판에 관한 연구가 Pucci, Howard 및 Piersal. Jr⁽²⁾, Liang⁽³⁾ 등에 의하여 이루어졌다.

본 연구는 원형구멍을 갖는 평판에서 구멍의 크기와 그 배열방식이 압력손실에 대하여 상대적으로 전열특성에 미치는 영향을 실험적으로 규명하고자 한다.

첨 자

Np : 구멍이 없는 평판

p : 구멍이 있는 평판

I. 서 론

에너지를 효율적으로 이용할려는 관점에서 전열면에 대한 압력손실 및 전열특성에 관한 연구는 1930년대 후반부터 시작되었다. 전열면이 평판인

실험은 Liang⁽⁴⁾, Mori⁽⁵⁾ 등의 Modified Single-Blow Technique을 이용 열전달계수를 구하였다.

1. 실험장치

문현(4)을 참조한 본 실험장치는 배출형인데 반하여 문현(4)의 장치는 흡입형이다. 또한 균일하게 가열된 전열면을 맹각하여 열전달계수를 구하는 방법을택했기 때문에 실험장치는 Fig. 1과 같다.

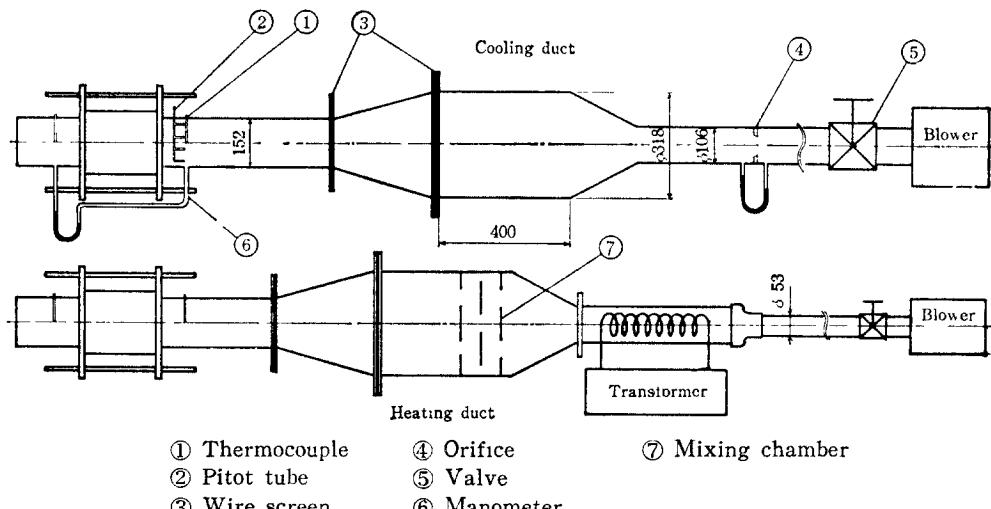


Fig. 1. Schematic diagram of test apparatus

(1) 측정용 링각타트

송풍기로부터 보내진 공기는 벨브를 통하여 유량 측정용 orifice를 지나 정류통으로 들어가며 축류부 상, 하에 설치한 정류용 금당을 통해 test-section으로 인도된다. 또한 유량의 조절은 하류의 벨브를 사용하였고 유량의 측정에는 orifice 및 pitot 판을 써서 비교하여 정확성을 기하였다.

정류통은 내경 $\phi 318$ 길이 400mm로서 정류통의 단면적과 축류부 출구의 단면적비를 3.44:1로 하였고 축류부 상류측에서 하류측에 이르는 모양은 원형에서 사각형으로 만들었으며 축류부 상, 하류측에 50mm 금당 4장씩 각각 설치하여 정류에 유의 하였다. test-core의 압력 손실의 측정은 test section 상, 하 80mm 거리에 설치된 각 pressure tap을 이용하였다. 한편 공기류의 온도는 test-section 상, 하류 80mm에 설치된 $\phi 0.1$ 의 “크로멜-아로넬” 열전대를 이용하였다.

(2) 가열타트

송풍기로부터 보내진 공기는 히터에서 가열된 뒤 혼합통에서 충분히 혼합하여 축류부와 금당에 의해 정류된 후 전열면을 균일하게 가열한다.

히터는 닥트내에 60° 간격으로 배치된 500W 6개로 변압기에 의해 입력전압이 조절된다. 또한 닥트는 단열을 위해 약 30mm glass wool로 쌓아 공기온도를 $50\sim55^\circ\text{C}$ 로 유지하였다. 그리고 전열면 온도가 정상상태가 될 때까지는 약 6m/sec에서 15분정도 소요되었다. 혼합통은 내경 및 길이는 정류통과 같고 내부에 구멍($\phi 25.4$, 약 40개)이 뚫어진 방해판 3매를 설치하였으며, 정류를 위하여 축류부 상, 하류측에 각각 50mm 금당 10장과 200mm 금당 5장을 삽입하였다.

(3) Test section

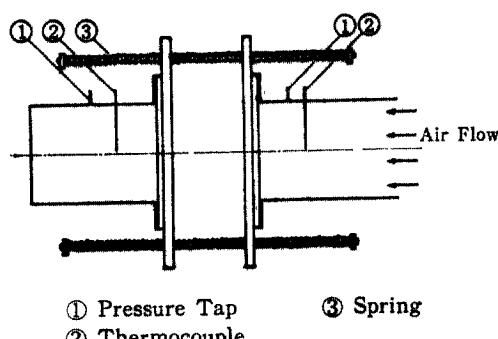


Fig. 2. Test section

Test section은 Fig. 2와 같다. 베크라이트로 된 좌, 우 2매의 축판 중 상류측은 고정되어 있고 하류측은 축열재용기를 넣을 수 있도록 움직이게 되어 있다. 좌, 우, 상, 하, 4개소에 설치된 기지봉 및 스프링은 베크라이트 판을 지지하여 축열재 용기가 test section 내에 들어갔을 때 공기가 새지 않도록 양쪽판을 조여주며 중심축이 바르게 일치하도록 하는 역할을 한다.

(4) 열교환기 용기 및 전열면

i) 열교환기 용기

열교환기 용기는 두께 18mm인 베크라이트 판으로 내면의 한 면이 152mm 정방형으로 되어 있고 호흡방향의 길이는 250mm이며 외부로 열의 방출을 막기 위하여 glass wool로 용기 외부를 두께 약 60mm로 쌓았다. 또한 내부는 폭 0.9mm 깊이 2mm로 흄 63개를 만들어 전열면을 수평하게 넣어 고정시켰다.

ii) 전열면

전열면은 두께 0.8mm인 알미늄 평판으로 크기 $156\text{mm} \times 250\text{mm}$ 이며 전열면의 구멍크기의 배열 및 호흡방향의 구멍간의 거리(이하 피치)에 따라 다음 표와 같이 표시한다. (Fig. 3 참조)

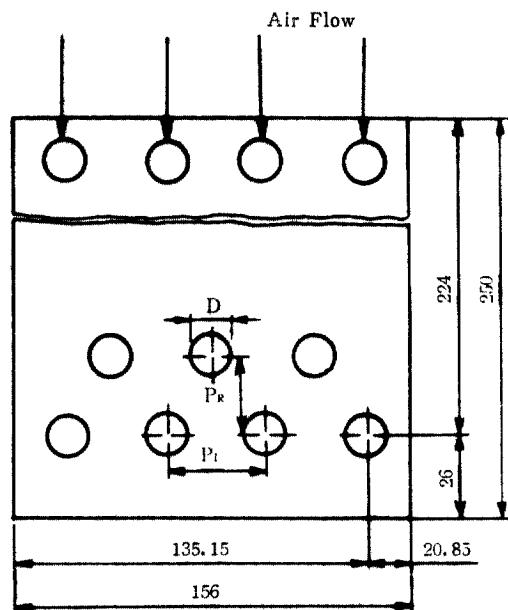


Fig. 3. Plate perforation

P_R/P_L	1.732	1.299	0.866	0.650
D/P_L	S14-1	S18-1	S25-1	S32-1
0.262	S14-2	S18-2	S25-2	S32-2
0.328	S14-3	S18-3	S25-3	S32-3

여기서 P_L 은 39.1mm로 일정하게 유지하였으며 흐름에 수직한 방향의 구멍수는 제 1 열에서 4개이다.

(5) 온도 측정 장치

열전대는 시정수를 적재하기 위하여 $\phi 0.1$ 의 크롬 멜-아로멜 열전대를 사용하였고 열전도에 따르는 오가를 적재하기 위해 외경 $\phi 1.5$ 인 세라믹 파이프에 넣어 사용하였다.

온도의 기록에는 기록지 보내기 속도가 60mm/min인 전자관식 기록기를 사용하였고 기록계 회로의 시정수는 0.3이며 열교환기 출구에서의 공기온도의 변화에 대해 충분한 주파수 응답을 갖는다.

2. 실험방법

가열탁트에서 가열된 열교환기 전열면의 온도가 가열공기와 동일하게 되었는가를 전열면 및 열교환기 입, 출구의 온도로 확인한 후 열교환기를 가능한 한 빨리 냉각탁트의 test section으로 옮겨 장치한다. 냉각탁트내에서 test section 직전의 입구 공기온도는 $25\sim30^\circ\text{C}$ 로서 가열된 전열면과 온도차는 $20\sim25^\circ\text{C}$ 정도로 하였다.

열교환기를 냉각탁트에서 냉각하는 동안 유속은 pitot 관으로, test section 양단의 압력강하는 pressure tap을 사용하여 0.1mm Aq 까지 읽을 수 있는 Betz manometer로 측정하였으며 test-section 직전의 공기온도, test section 출, 입구의 온도차 및 전열면의 온도는 thermocouple을 이용하여 potentiometer로 측정하였다.

III. 전열면 성능치의 산출방법

1. 압력손실계수

임의의 탁트를 통과하는 흐름에 대하여 Fanning의 마찰손실계수 f 는

$$f = \frac{D_t}{4L} \left[\frac{2g_t \Delta P}{\rho V^2} - K \right] \quad (1)$$

여기서 ρ , V , K , ΔP 는 탁트내 공기의 밀도, 속

도, 압력 손실계수, 탁트 전, 후의 압력손실이다. 또한 Kays⁽¹⁾는 $K = K_c + K_s$ 로 하여 multiple parallel plates 입, 출구에서 갑작스러운 축소 및 팽창에 의한 손실계수의 data를 얻었다. 따라서 본 연구에서는 multiple parallel plates에 해당하는 $K_c + K_s$ 값을 사용하여 압력손실계수 f 를 다음식으로부터 구하였다.

$$f = \frac{D_t}{4L} \left[\frac{2g_t \Delta P}{\rho V^2} - (K_c + K_s) \right] \quad (2)$$

이 식은 perforated plate에도 적용된다.

2. 열전단계수

실험치로 부터 $\frac{C_p W}{CM} \tau \left(= \frac{\eta}{\xi} \right)$ 와 θ 값을 구하여 이 값을 도표상 (Fig. 4)에 plot하여 parameter ξ 의 값을 결정한다. 여기서 x 는 흐름방향의 길이 중 한 점이다.

따라서 열전단계수 h 는 다음식으로부터 계산된다.

$$h = \xi \frac{C_p W}{S} \quad (3)$$

h 는 다음 식에 의하여 j 로 정리하였다.

$$j = \frac{\gamma h}{G C_p} P_r^{2/3} \left(= \frac{N_t}{R_t \cdot P_r^{1/3}} \right) \quad (4)$$

여기서 γ 는 non-perforated plate에 대한 perforated plate 전열면의 비로 다음식에 의하여 구한다.

$$\gamma = 1 - \frac{\pi D \left(\frac{D}{2} - t \right)}{P_L \times P_R} \quad (4)'$$

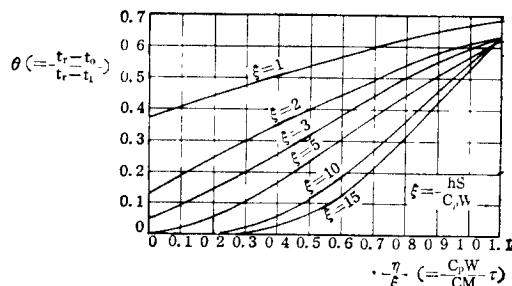


Fig. 4. Johnson's diagram

IV. 실험결과 및 고찰

본 실험에서 구멍이 없는 평판에 대한 실험을 시행 Liang 과 Yang⁽³⁾의 실험결과와 함께 Fig. 5에

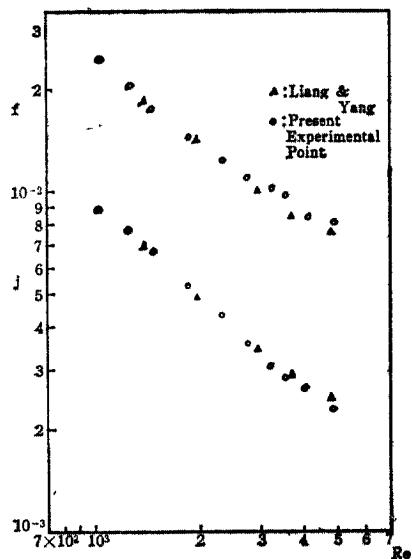


Fig. 5. Friction factor and Colburn factor of multiple parallel plates with non-perforated surfaces as compared with results of Liang's experimental data

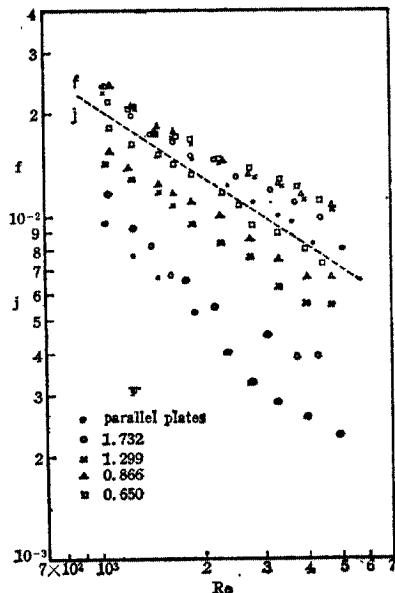


Fig. 6. Effect of pitch(ϕ) on friction factor and Colburn factor, when $\sigma=0.262(\phi 10)$

제시하였고 압력손실계수 f 및 Colburn factor j 는 본 실험 범위인 $1000 < R_s < 5000$ 에서 서로 잘 일치함을 보였다.

또한 $1000 < R_s < 3000$ 에서 문헌(3)은 열전달계수 λ

및 압력손실계수의 perforation 효과가 뚜렷하지 못하나 본 논문은 Fig. 6과 같이 perforation 효과가 분명히 나타나고 있다. 그러나 문헌(3)에서 지적한 임계 R_s 수가 줄어지는 경향은 뚜렷하게 보이지 않는다.

구멍이 없는 평판을 기준으로 구멍이 있는 평판의 구멍크기를 일정하게 하고 피치를 변화시키거나 피치를 일정하게 하고 구멍의 크기를 변화시키면서 무차원압력손실계수 α 에 대한 무차원열전달계수 β 의 상대적 증가를 알기 위해 이들의 비(λ)를 검토하였다. 여기서 $\lambda > 1$ 은 무차원열전달계수 증가율이 무차원압력손실계수 증가율 보다 크다는 것을 의미한다.

a. 무차원 구멍크기 (σ)를 0.394, 0.262로 취하고 pitch를 변화시켰을 때 λ 는 Fig. 7, 8과 같다.

Reynolds 수 증가에 따라 λ 는 Fig. 7에서 약간씩 증가하고 Fig. 8에서는 거의 일정하다.

또한 각 pitch에 따른 λ 는 Fig. 7에서는 거의 $\lambda \leq 1$ 였으며 특히 $\phi=0.650$ 일 때는 20% 감소를 보인다. 이러한 현상은 구멍이 크고 구멍수가 많으면 상대적으로 전열면이 작아지므로 β 의 증가가 α 의 증가에 미치지 못함을 의미하며, 구멍이 크고 구멍수가 적으면 perforation 효과는 기대되지 못한다. Fig. 8에서는 $\lambda > 1$ 이며 $\phi=0.650$ 에서는 λ 가 100% 이상 증가율을 보여 열전달 특성이 크게 향상된다.

그러므로 같은 pitch에서 구멍의 크기가 적을수록 λ 는 크게 향상됨을 알 수 있다.

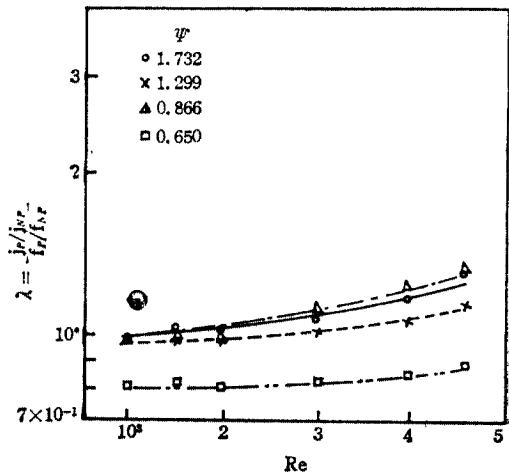


Fig. 7. Effect of pitch(ϕ) on the ratio of dimensionless Colburn factor to dimensionless friction factor, when $\sigma=0.394(\phi 15)$

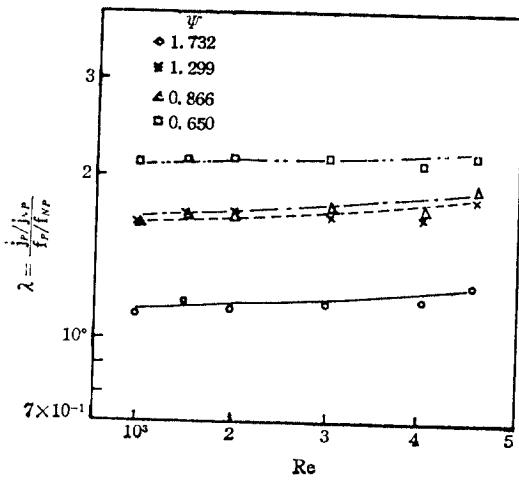


Fig. 8. Effect of pitch(ϕ) on the ratio of dimensionless Colburn factor to dimensionless friction factor, when $\sigma=0.262(\phi 10)$

b. 무차원 pitch(ϕ)을 1.732, 1.299, 0.650으로 하하고 구멍의 크기를 변화시켰을 때 λ 는 Fig. 9, 10, 11과 같다.

일반적으로 Reynolds 수의 증가에 따라 λ 는 증가하나 그 정도는 미미하다.

각 구멍의 크기에 따르는 λ 는 Fig. 9에서 $\lambda \approx 1$ 정도이며 구멍의 크기에 따르는 현상이 뚜렷하지 않

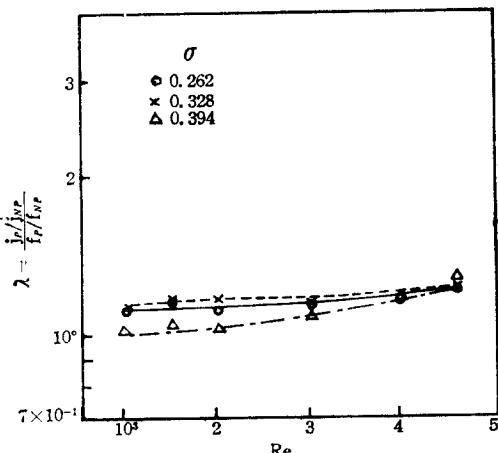


Fig. 9. Effect of perforation diameter(σ) on the ratio of dimensionless Colburn factor to dimensionless friction factor, when $\phi=1.732(S14)$

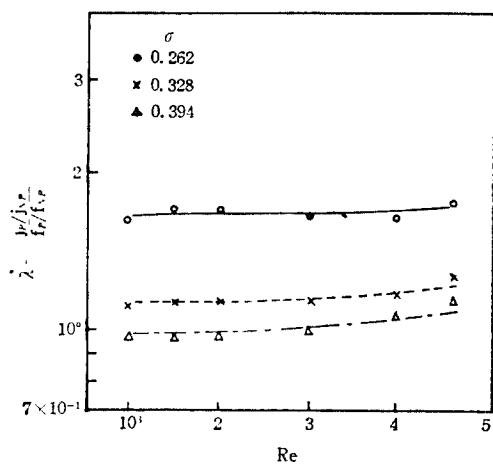


Fig. 10. Effect of perforation diameter(σ) on the ratio of dimensionless Colburn factor to dimensionless friction factor when $\phi=1.299(S18)$

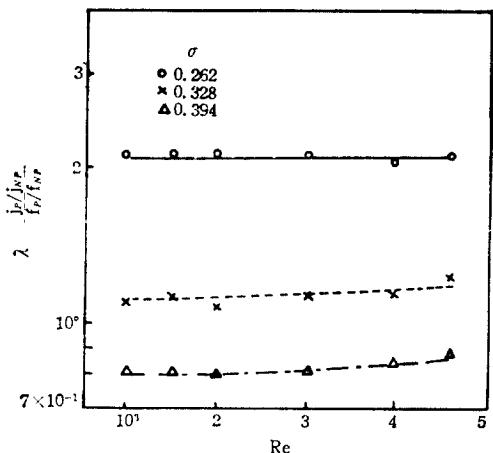


Fig. 11. Effect of perforation diameter(σ) on the ratio of dimensionless Colburn factor to dimensionless friction factor, when $\phi=0.650(S32)$

다. Fig. 10, 11은 $\sigma=0.328(\phi 12.5)$ 을 기준으로 하여 구멍의 크기가 적을수록 큰 폭으로 증가하며, 구멍의 크기가 클수록 큰 폭으로 감소한다. 이러한 위상은 퍼치가 적을수록 뚜렷하게 나타난다(Fig. 11)

그러므로 $\phi 12.5$ 이하에서 구멍의 수가 많을수록 열전달특성이 크게 향상됨을 알 수 있다.

V. 결 론

- a. 열전달계수 및 마찰손실계수는 구멍이 없는 경우보다 구멍이 있는 경우에 커지며, $1000 < R_c < 3000$ 에서는 양 축면을 둥글게 한 사각형 모양의 구멍보다 둥근구멍이 더 증가한다.
- b. 피치가 일정할 경우, 구멍의 지름이 작을수록 열전달계수의 증가율은 마찰손실계수의 증가율보다 크다.
- c. 구멍의 지름이 일정한 경우, 지름이 $\phi 12.5$ 이하에서 피치가 적을수록 열전달계수의 증가율이 마찰계수의 증가율보다 크다.
- d. 이상을 종합하면 구멍의 지름을 작게하고 ($\phi 12.5$ 이하) 피치를 적게하면 압력손실에 비하여 열전달 성능을 향상시킬 수 있다.

참 고 문 헌

1. London, A. L., and Kays, W.M., "Compact Heat Exchangers," McGraw-Hill(1964)
2. Pucci, P.F., Howard, C.P., and Piersall, C. H., Jr., "The Single-Blow Transient Testing Technique for Compact Heat Exchanger Surfaces," Journal of Engineering for Power, Series A, Vol. 89, p. 29. (1967)
3. Liang, C.Y., and Yang, Wen-Jei., "Heat Transfer and Friction Loss Performance of

- Perforated Heat Exchanger Surfaces," Trans, ASME, Vol. 97, pp. 9—15. (1975)
4. Liang, C.Y., and Yang, Wen-Jei., "Modified Single-Blow Technique for Performance Evaluation on Heat Transfer Surfaces," Trans, ASME, Vol. 97, pp. 16—21. (1975)
 5. Mori, 日本機械學會論文集, 30, 250(昭 42—6), pp. 956—964.
 6. Johnson, J. E., "Regenerator Heat Exchangers for Gas Turbines," R&M, Nr. 2630, (1952).
 7. 김홍제, "Tripping Wire 불이 평판에 대한 유동저항 및 전열특성에 관한 연구", 연세대학교 대학원 석사학위 논문집(1981)
 8. Kays, W.M., "Loss Coefficients for Arupt Changes in Flow Cross Section with Low Reynolds Number Flow in Single and Multiple-Tube Systems," Trans, ASME, Vol. 72, pp. 1067—1074, (1950)
 9. Siegel, R., and Sparrow, E.M., "Simultaneous Development of Velocity and Temperature Distributions in a Flat Duct with Uniform Wall heating," AIChE Journal, Vol. 5, No. 1, pp. 73—75, (1975).
 10. Lungren, T.S., Sparrow, E.M., and Starr, J.B., "Pressure Drop Due to Entrance Regions in Ducts of Arbitrary Cross Section," Journal of Basic Engineering, Trans, ASME, Vol. 86, pp. 620—626. (1964)