

[논문] 한국태양에너지학회 논문집  
Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol. 23, No. 1, 2003

## 루우버핀형 열교환기의 공기측 열전달 특성에 관한 연구

### A Study on Heat Transfer Characteristics in the Air Side of Louvered Fin Heat Exchanger

김 선 정\*  
Sun-Jung Kim\*

**Key words** : 루우버핀(Louvered-Fin), 열교환기(Heat Exchanger), 압력강하(Pressure Drop), 열전달계수(Heat Transfer Coefficient)

#### Abstract

For the study of an effect that fin thickness and shape of heat exchanger have on the elevation of heat transfer efficiency, we make models of plate fin type heat exchanger and louvered fin type heat exchanger which was given a transformation of fin thickness in plate fin type heat exchanger and louvered fin type heat exchanger which are often used now. And the effect of fin thickness on pressure drop and characteristics of heat transfer was experimented and analysed when air velocity and temperature of plate heating was a variable. The results of experiment shows below. Pressure drop shows larger in louvered fin type exchanger than in plate fin type exchanger, size of pressure drop shows like this order that fin thickness is 0.3mm, 0.2mm, 0.1mm. Mean heat transfer coefficient shows higher in louvered fin type exchanger than in plate fin type exchanger, size of mean heat transfer coefficient by fin thickness shows same in both case in louvered fin type heat exchanger and plate fin type exchanger like this order that fin thickness is 0.1mm, 0.2mm, 0.3mm.

\* 한밭대학교 건축설비공학과 교수

\* Department of Building Services Engineering,  
HanBat National University

■ 기호설명 ■

- A : 전열면적( $m^2$ )
- $C_p$  : 비열( $kJ/kg^\circ C$ )
- $D_h$  : 수력직경
- f : 마찰계수
- h : 열전달계수( $W/m^2^\circ C$ )
- j : Colburn factor
- $\kappa$  : 열전도도( $W/m^\circ C$ )
- L : 핀길이(m)
- Pr : 프란틀 수
- Q : 전열량(W)
- Re : 레이놀즈 수
- S : 핀피치
- P : 압력( $N/m^2$ )
- T : 온도( $^\circ C$ )
- V : 속도(m/s)

■ 그리스 문자 ■

- $\theta$  : 루우버 경사각( $^\circ$ )
- v : 동점성계수( $m^2/s$ )
- $\rho$  : 밀도( $kg/m^3$ )

■ 하첨자 ■

- a : 공기
- F : 핀
- p : 가열 평판
- t : 두께

1. 서론

에너지 자원의 고갈 및 에너지 소비의 증가 추세에 따라 가정용, 산업용 공조분야에 이르기 까지 산업 전반에 걸쳐 에너지 절약형 즉 고효율 열교환기 개발이 절실이 요구되고 있다. 열교환기 설계자들의 관심은 전열면의 크기, 형상, 배열 등이 열전달 메카니즘에 미치는 영향을 분석

하여 성능을 향상 시키는데 있다.

공기와 물을 작동유체로 사용하는 열교환기의 경우 총합 열전달 계수는 공기측의 열전달 계수에 의해서 지배되고 있으며, 전체 열저항 중 공기측에서 발생하는 열저항이 가장 크다.

공기측 열전달 성능을 향상 시키는 방법으로는 핀과 같은 확장표면을 사용하여 전열면적을 증가시키는 방법과 열전달 계수를 증가시키는 방법 등이 있다.

열교환기의 성능향상을 위하여 공기측에 부착된 핀의 형상을 변화시켜 열전달 계수의 향상을 도모하는 방법은 연속적인 표면형상을 사용하는 방법과 불연속적인 표면형상을 사용하는 방법으로 구분할 수 있다.

연속적인 표면형상인 평판핀의 경우는 갑작스런 속도의 변화로 인해 유도되는 유체흐름을 이용하여 열전달을 향상 시키고, 불연속적인 표면형상인 루우버핀의 경우는 새로운 경계층이 불연속적으로 이어진 각각의 핀에서 발달, 성장, 소멸함으로서 연속적인 표면의 경우보다 경계층 두께가 평균적으로 얇아 전열면에서의 열저항이 감소되기 때문에 전열성능을 향상시킬수 있다.

루우버핀 형상에 대한 연구는 Kays와 London<sup>(1)</sup>에 의해서 루우버핀 모델에 대한 전열성능 및 마찰저항에 대한 실험결과를 발표한 이후 여러 사람들에 의해 꾸준히 수행되고 있다.

Davenport<sup>(2)</sup>는 여러가지 루우버 피치를 가진 8종의 루우버 모델에 대한 전열특성에 대하여 연구를 하였고, 또한 Davenport<sup>(3)</sup>는 32종의 루우버핀 모델에 대한 열전달과 유동마찰에 대한 데이터를 제시하여 루우버 배열내의 유동 및 그에 따른 전열특성을 루우버 피치를 특성길이로 하는  $Re_{Lp}$ 수의 함수임을 밝혔다.

Lee et al.<sup>(4)</sup>은 3차원 루우버핀 모델에 대한 수치해석을 통하여 핀형상에 따른 열전달 및 유동저항에 대한 연구를 수행하였다.

Lee et al.<sup>(5)</sup>은 27종의 루우버핀모델에 대해

여 열전달 특성실험을 수행하여 루우버핀의 기하학적 형상에 따른 국소평균 열전달계수와 열후류의 영향을 규명하였다.

Lee와 Yun<sup>(6)</sup>은 가정용 공조기에 적용할 수 있는 축소된 평형 루우버핀과 슬릿핀의 여러가지 핀 형상을 제작하여 이에 대한 열전달 및 압력강하 특성을 실험적으로 연구하였다.

Kang과 Kim<sup>(7)</sup>은 에어컨의 실제 운전 조건에 대하여 압력강하, 열전달계수 및 전열량의 배분 등을 실험적으로 연구하였다.

Kim et al.<sup>(8)</sup>은 루우버핀 열교환기의 공기측 압력강하 및 열전달특성에서 핀피치, 공기속도, 평판가열온도 등을 변수로 하여 실험적으로 고찰하였다.

Yim et al.<sup>(9)</sup>은 루우버핀형 열교환기에 유동 및 열전달 특성에 관하여 핀피치 대 루우버 피치비( $F_p/L_p$ )=1.2~2.0, 루우버피치( $L_p$ )=1.0~2.0 mm, 루우버각=25~45°의 모델에 대하여 입구속도 1~15 m/s, 입구온도 35°C, 루우버핀 온도 55°C의 조건하에서 표준k-ε난류모델을 적용하여 층류모델의 결과 값과 비교하였다.

상기에서와 같이 루우버핀형 열교환기에 대한 연구는 루우버피치, 핀피치, 루우버 경사각, 작동유체 속도 등에 대하여 연구가 수행되었으며 핀두께에 대한 변화가 전열성능, 압력손실에 미치는 영향에 대한 연구는 찾아 볼수가 없었다.

본 연구에서는 루우버핀형 열교환기의 열전달 특성을 핀두께와 공기속도의 변화가 유동구조 및 전열현상에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 루우버핀형 열교환기와 평판핀형 열교환기의 모델을 제작하여 공기속도와 온도를 변수로 압력강하 및 열전달 특성을 규명하여 루우버핀에 대한 유동 및 열전달 특성에 대한 자료를 제시하고자 한다.

본 연구의 실험범위는 공기속도  $1 \text{ m/s} \leq V_a \leq 3 \text{ m/s}$ 이고, 핀두께  $0.1 \text{ mm} \leq F_t \leq 0.3 \text{ mm}$ , 핀피치 4 mm, 루우버 피치  $L_p=4 \text{ mm}$ , 평판

가열온도  $T_p=25^\circ\text{C}$ , 루우버 경사각  $\theta=27.8^\circ$ ,  $Re_{Dh}$ 수  $900 \leq Re_{Dh} \leq 3200$  등이다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 실험장치는 송풍기, 시험부, 측정부로 구성되어 있다.

실험모델은 핀-튜브의 열교환기이며 핀은 평판핀과 루우버핀으로서 평판핀은 두께 0.1 mm, 폭 88.5 mm, 길이 123.1 mm이고 재질은 알루미늄판( $k=202 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ )이다.

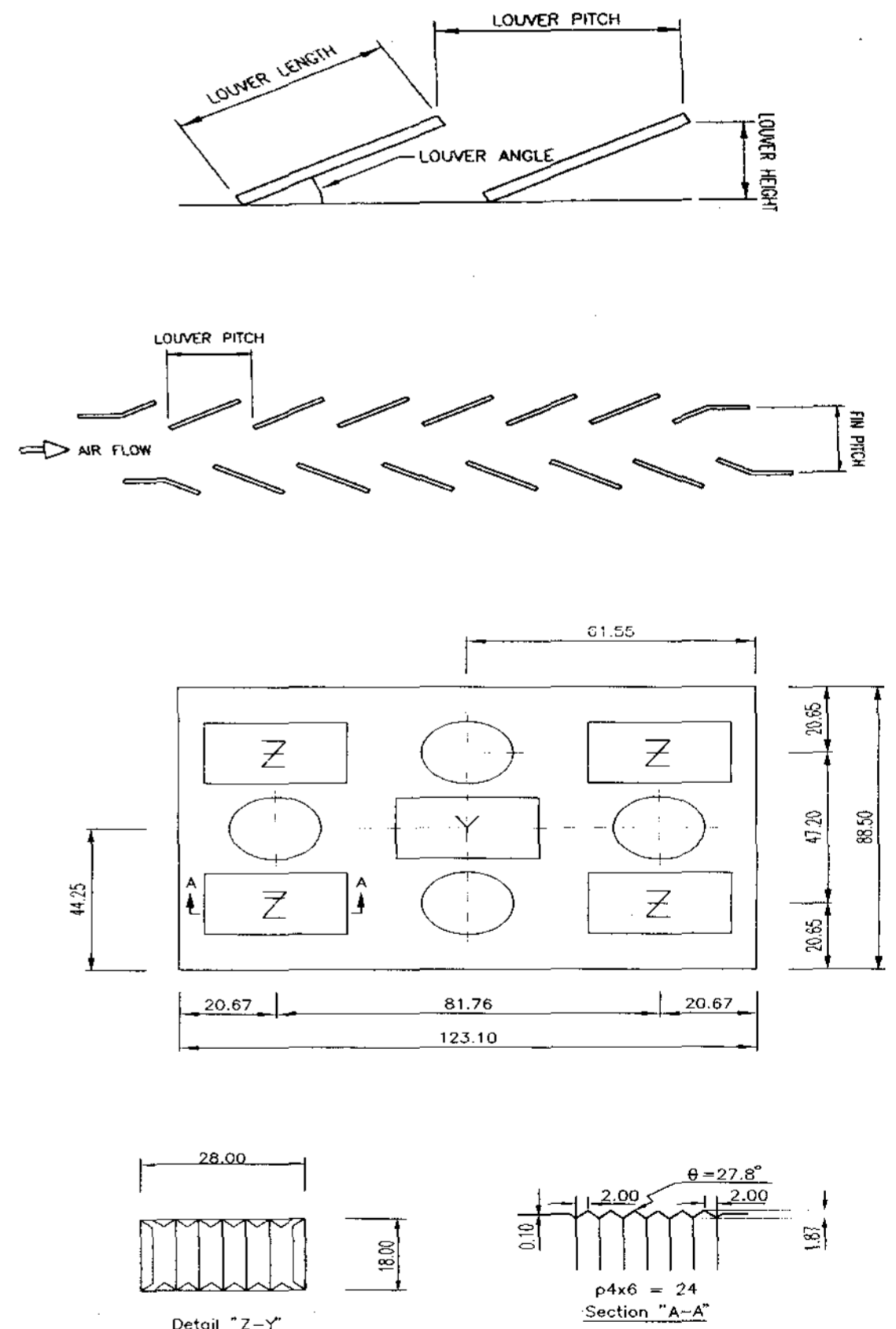


그림. 1 Schematic diagram of louvered fin.

루우버핀은 루우버길이 2 mm, 루우버피치 4 mm, 루우버경사각  $27.8^\circ$ , 루우버높이 1.87

mm이고, 재질, 두께, 길이, 폭 등은 평판핀과 동일하게 하였으며, 열교환기 모델제작에 사용된 핀은 각각 13장을 사용하였다. 루우버핀의 형상은 그림. 1과 같다.

튜브는 직경이 19.5 mm이고 재질은 순동( $\kappa = 386 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ )이며 엇갈림 배열로 하여 4개의 튜브를 사용하였다.

평판과 봉은 재질이 순동( $\kappa = 386 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ )이며, 평판이면에 저항값이  $55\Omega$ 의 스트립히터를 2개 부착하여 가열하였다.

스트립히터는 얇은 운모판에 니크롬선을 일정한 간격으로 감았으며, 이 장치에 일정한 열량을 공급하기 위하여 전압조절기(Slidax), 전압계 및 전류계를 사용하였다.

열교환기모델 양단면에서의 열손실을 방지하기 위하여 두께 10 mm 베이클라이트(Bakelite)판을 열교환기의 윗면과 아랫면에 부착하였다.

실험모델의 규격은 높이 57.4 mm, 폭 88.5 mm, 길이 123.1 mm 이다.

실험은 시험부의 중앙에 열교환기 모델을 위치시키고 공기속도와 온도를 변화시키면서 일정 시간이 지난후 정상상태가 되었을 때 데이터로거로 공기속도와 각 점의 온도를 측정하였다.

입구공기속도의 조절은 전원공급부의 모터조절기로 송풍기를 조절하여 하였으며, 공기속도의 측정은 베인형 유속센서에 의한 데이터로거와 열선유속계를 사용하였다. 이때 사용된 공기속도는 1 m/s, 1.5 m/s, 2 m/s, 2.5 m/s, 3 m/s이다.

온도측정을 위하여 평판표면 중심부 및 열교환기모델의 입구, 출구, 튜브의 상, 중, 하부분 등 총 6개소에 열전대(Ttype)를 부착하고 각 점의 온도는 데이터로거로 측정하였다. 열교환기모델의 온도는 슬라이닥스와 디지털전압계 및 디지털전류계를 사용하여 가열하였으며, 이때의 온도는  $25^\circ\text{C}$ 이고, 정상상태에 도달되기까지는 50분정도 소요되었다.

압력측정은 열교환기 모델의 전·후반 중앙에 2개의 정압공을 두어 디지털마이크로마노미터(측정범위:  $\pm 19.999 \text{ mmH}_2\text{O}$ )를 사용하여 최대값과 최소값을 측정하여 평균값을 사용하였다. 그리고 직경 2 mm의 Pitot-tube를 열교환기모델의 100 mm 전·후반 중앙에 위치시켜 경사마노미터로 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

열교환에 가장 많이 사용되는 핀-튜브 열교환기는 공기측 열전달 계수가 관내측 열전달 계수보다 작으므로 공기측 hA값을 증가시키는 것이 열교환기의 성능향상에 있어서 대단히 중요하다. 열교환기의 성능향상은 여러 가지 요인에 의하여 이루어지지만 중요한 인자는 핀두께, 핀피치, 핀형상, 핀효율 등에 의존한다.

본 연구에서는 핀두께를  $0.1 \text{ mm} \leq F_t \leq 0.3 \text{ mm}$ 로 하여 루우버핀형 열교환기와 평판핀형 열교환기모델을 제작하여 공기속도  $1 \text{ m/s} \leq V_a \leq 3 \text{ m/s}$ 와 평판가열온도  $25^\circ\text{C}$ 를 변수로 하여 공급열과 열교환기모델의 입구, 출구의 공기온도와 열교환기모델 튜브의 상, 중, 하 부분에서의 온도와 그리고 전열면적을 이용하여 평균열전달 계수를 구하였으며 디지털 마이크로마노미터로 측정한 압력손실값을 산출하여 그 결과를 각각 비교 분석하였다.

측정한 결과로부터 공기측 평균 열전달계수,  $\bar{h}$ 는 다음 식으로 계산 하였다.

$$\bar{h} = \frac{Q}{A \Delta T} \quad (1)$$

여기서

Q : 사용전력량(W)

$\bar{h}$  : 평균열전달계수 ( $\text{W/m}^2\text{C}$ )

A : 전열면적( $\text{m}^2$ )

$\Delta \bar{T}$  : 전열관과 공기와의 산술평균온도 차로써 다음 식과 같다.

$$\Delta \bar{T} = \frac{T_w - (T_{in} + T_{out})}{2} \quad (2)$$

마찰계수,  $f$ 는 다음과 같이 정의하여 사용하였다.

$$f = \frac{D_h}{L} \frac{2\Delta p}{\rho V^2} \quad (3)$$

여기서  $\Delta p$ 는 측정된 압력강하이며,  $\rho$ 는 막온도에서의 공기밀도이다.

Colburn,  $j$  factor는 다음과 같이 정의하였다.

$$j = \frac{\bar{h} P_r^{2/3}}{\rho C_p V} \quad (4)$$

수력직경,  $D_h$ 는 다음과 같이 정의하여 사용하였다.

$$D_h = 4 \frac{V_c}{A_s} \quad (5)$$

여기서  $V_c$ 는 핀내의 공기측 체적( $m^3$ )이고,  $A_s$ 는 핀 표면적( $m^2$ )이다.

수력직경을 기준으로 한 Reynolds수는 다음과 같이 정의하여 사용하였다.

$$Re_{Dh} = \frac{V D_h}{\nu} \quad (6)$$

### 3.1 압력강하

그림. 2는 핀 피치 4 mm, 평판 가열온도 25 °C에서 공기속도 변화에 대한 압력강하를 핀두께 변화에 따라 루우버핀형 열교환기와 평판핀

형 열교환기에 대하여 비교한 것을 나타낸 것이다.

압력강하는 공기속도가 증가함에 따라 증가되고, 핀 두께가 증가함에 따라 증가되며, 루우버핀형 열교환기와 평판핀형 열교환기를 비교하면 루우버핀형 열교환기가 현저하게 증가됨을 알 수 있었다.

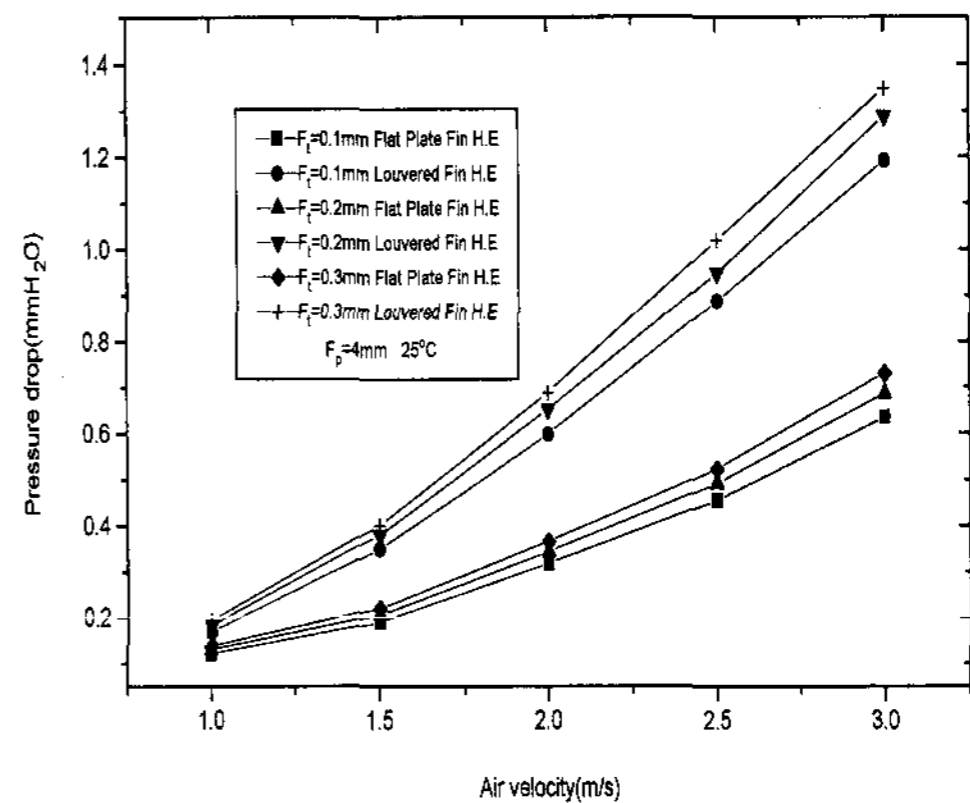


그림. 2 Pressure drop vs. air velocity.

이러한 현상은 루우버핀형 열교환기는 루우버핀의 공기속도가 증가할수록 루우버와 평행하는 공기유동이 발생하여 루우버 높이에 의한 저항이 증가되기 때문이라고 생각한다.

공기속도 1 m/s 이하에서는 압력강하의 값이 평판핀형 열교환기나 루우버핀형 열교환기에서는 그 값의 차는 적으나, 공기속도가 1.5 m/s 이상에서는 그 값의 차가 크게 나타남을 알 수 있었다.

### 3.2 열전달계수

그림. 3은 핀 피치 4 mm, 평판 가열온도 25 °C에서 공기속도 변화에 대한 평균열전달계수를 핀 두께 변화에 따라 루우버핀형 열교환기와 평판핀형 열교환기에 대하여 비교한 것을 나타낸 것이다.

평균열전달계수는 공기속도가 증가함에 따라 증가되었으며, 공기속도가 1m/s 이하에서는 핀

두께의 변화에 따라 그 값의 차는 미소하였으나, 공기속도가 1.5 m/s 이상에서는 그 값의 차는 크게 나타났다.

핀 두께 변화에 따른 평균열전달계수는 루우버핀형 열교환기와 평판핀형 열교환기 모두  $F_t=0.1$  mm,  $F_t=0.2$  mm,  $F_t=0.3$  mm의 순으로 큰것으로 나타났다.

이러한 현상은 전도에 의한 열전달 보다 대류에 의한 열전달이 커지기 때문이다.

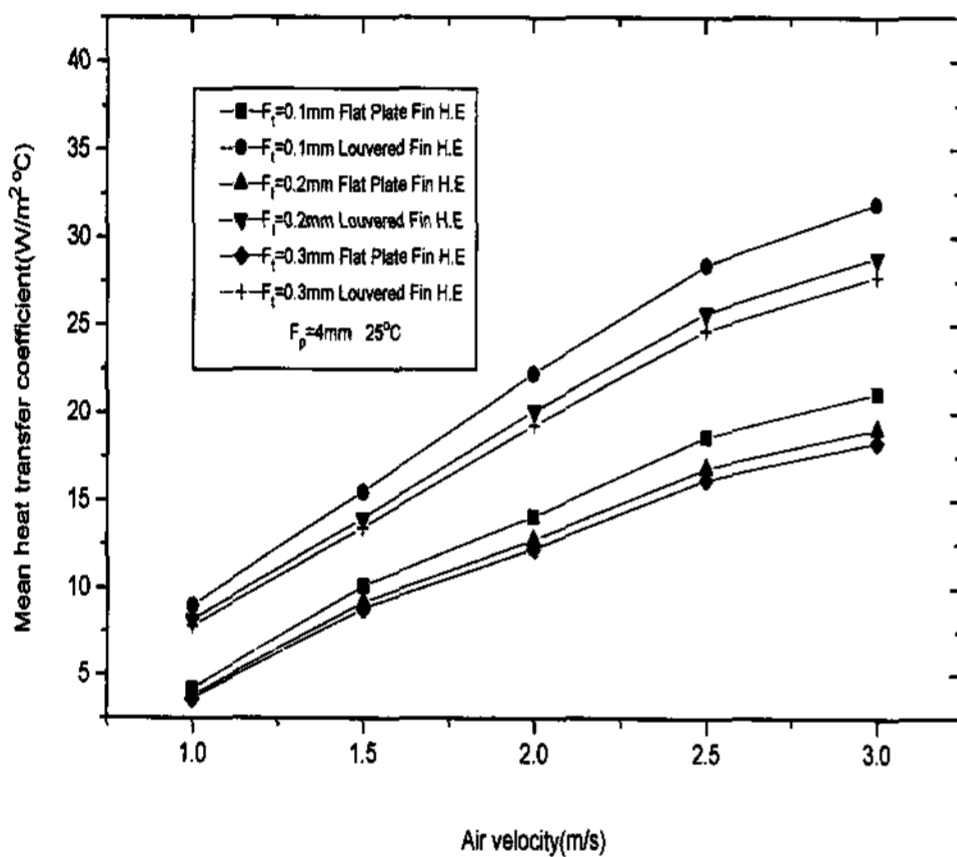


그림. 3 Mean heat transfer coefficient vs. air velocity.

루우버핀형 열교환기와 평판핀형 열교환기를 비교하면 평균열전달계수는 루우버핀형 열교환기가 평판핀형 열교환기보다 높게 나타났다.

이러한 현상은 루우버핀형 열교환기는 열경계층의 두께가 얇게 형성되어 난류강도를 촉진시켜 공기와 전열면과의 접촉면적을 증가시켜 열전달이 활발하게 이루어지기 때문이라고 생각된다.

### 3.3 f factor 및 j factor

그림. 4는 핀 피치 4 mm, 평판가열온도 25 °C에서 공기속도 변화에 대한 마찰계수를 핀 두께 변화에 따라 루우버핀형 열교환기와 평판핀형 열교환기에 대하여 비교한 것을 나타낸 것이다.

마찰계수는  $Re_{Dh}$ 가 증가함에 따라 감소함을

나타내었다.

루우버핀형 열교환기와 평판핀형 열교환기를 비교하면 루우버핀형 열교환기의 값이 평판핀형 열교환기 보다 현저하게 높은 값을 나타내었다.

$Re_{Dh}=2584$ 에서  $F_t=0.1$  mm의 마찰계수는 루우버핀형 열교환기가 평판핀형 열교환기 보다 92% 높은 값을 나타내었다.

핀 두께 변화에 따른 마찰계수는 루우버핀형 열교환기나 평판핀형 열교환기 모두  $F_t=0.3$  mm,  $F_t=0.2$  mm,  $F_t=0.1$  mm의 순으로 낮은 것으로 나타났다.

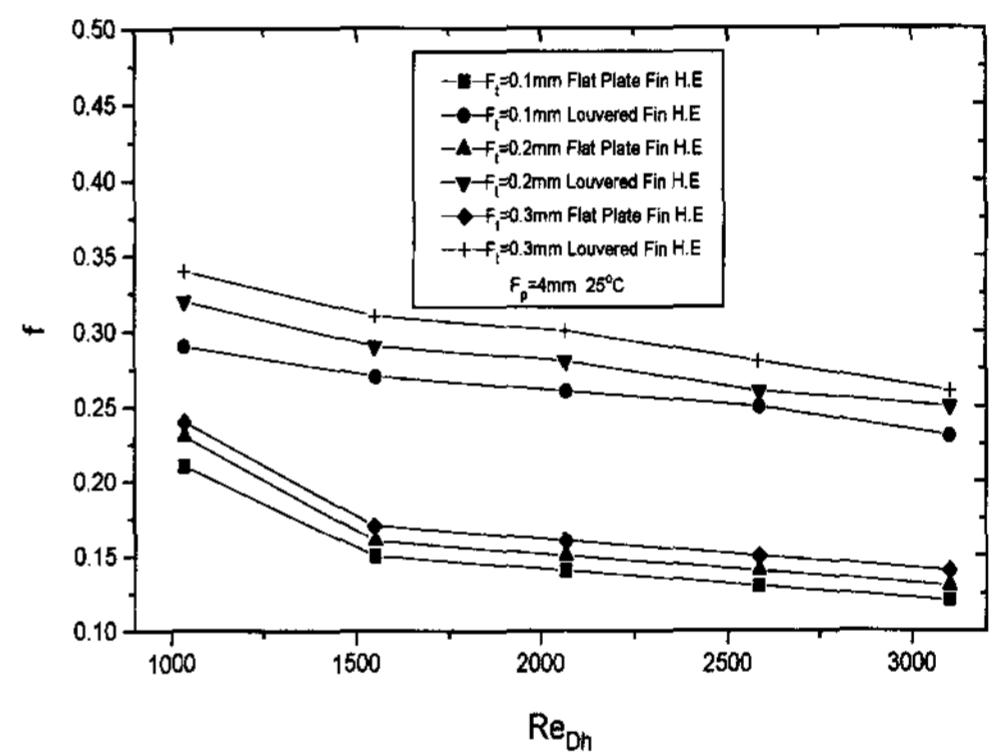


그림. 4 f factor vs.  $Re_{Dh}$ .

그림. 5는 핀 피치 4 mm, 평판 가열온도 25 °C에서 공기속도 변화에 대한 무차원열전달계수, j factor를 핀 두께 변화에 따라 루우버핀형 열교환기와 평판핀형 열교환기에 대하여 비교한 것을 나타낸 것이다.

무차원열전달계수, j factor는 레이놀즈수가 증가함에 따라 감소하였다.

루우버핀형 열교환기와 평판핀형 열교환기를 비교하면 루우버핀형 열교환기가 높은 값을 나타내었으며, 핀 두께 변화에 따른 무차원열전달계수, j factor는 루우버핀형 열교환기나 평판핀형 열교환기 모두  $F_t=0.1$  mm,  $F_t=0.2$  mm,  $F_t=0.3$  mm의 순으로 큰 것으로 나타났다.

$Re_{Dh}=2584$ ,  $F_p=4$  mm,  $T_p=25^\circ C$ 에서 루우버핀형 열교환기의 마찰계수는  $F_t=0.1$  mm에서  $F_t=0.3$  mm보다 12% 낮게 나타났고, 무차원열전달계수, j factor는 18% 높게 나타났다.

$Re_{Dh}=2584$ 에서  $F_t=0.1$  mm의 경우 무차원열전달계수, j factor는 루우버핀형 열교환기가 평판핀형 열교환기보다 55% 높은 값을 나타내었다.

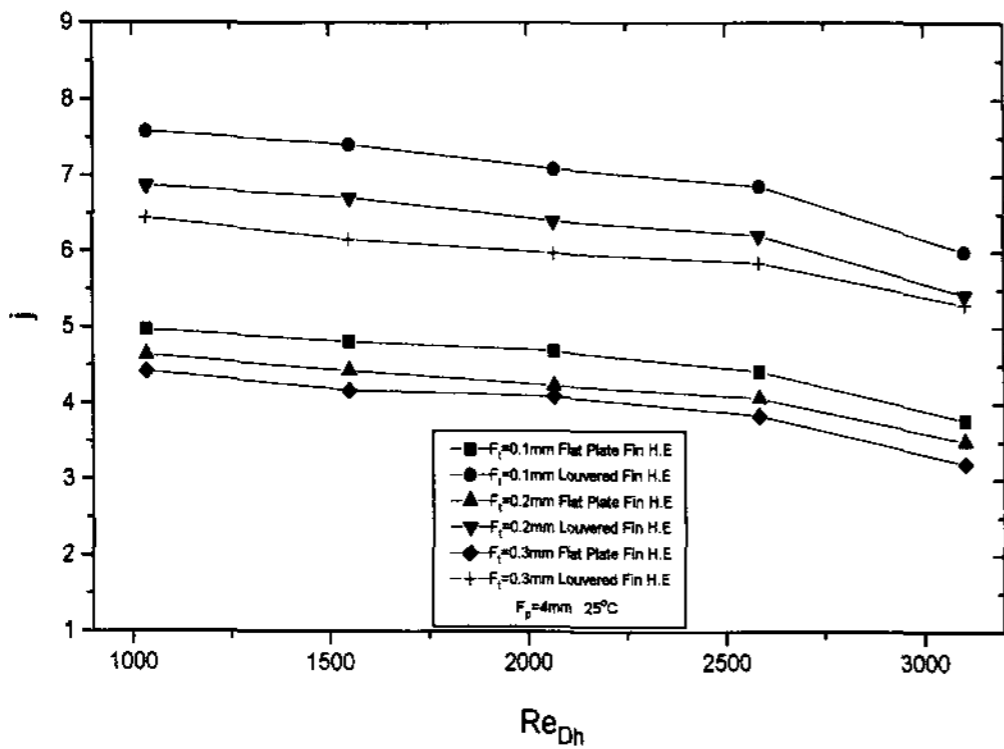


그림. 5 j factor vs.  $Re_{Dh}$ .

#### 4. 결론

본 연구에서는 루우버핀형 열교환기의 공기측 열전달 특성을 규명하기 위하여 루우버핀형 열교환기와 평판핀형 열교환기 모델을 핀두께  $0.1 \text{ mm} \leq F_t \leq 0.3 \text{ mm}$ , 핀피치  $F_p=4$  mm, 공기속도  $1 \text{ m/s} \leq V_a \leq 3 \text{ m/s}$ , 루우버 피치  $L_p=4$  mm, 평판가열온도  $T_p=25^\circ C$ , 루우버 경사각  $\theta=27.8^\circ$  등의 범위에서 실험적으로 고찰한 결과는 다음과 같다.

(1) 압력손실은 루우버핀형 열교환기가 평판핀형 열교환기보다 크게 나타났으며, 핀두께에 의한 압력손실의 크기는  $F_t=0.3$  mm,  $F_t=0.2$  mm,  $F_t=0.1$  mm의 순으로 큰 것으로 나타났다.

(2) 평균열전달계수는 루우버핀형 열교환기가 평판핀형 열교환기 보다 크게 나타났으며, 핀두

께에 의한 평균열전달계수의 크기는  $F_t=0.1$  mm,  $F_t=0.2$  mm,  $F_t=0.3$  mm의 순으로 큰 것으로 나타났다.

(3)  $Re_{Dh}=2584$ ,  $F_p=4$  mm,  $F_t=0.1$  mm,  $T_p=25^\circ C$ 의 경우 루우버핀형 열교환기는 평판핀형 열교환기보다 마찰계수는 92%. 무차원열전달계수, j factor는 55% 높게 나타났다.

(4)  $Re_{Dh}=2584$ ,  $F_p=4$  mm,  $T_p=25^\circ C$ 에서 루우버핀형 열교환기의 마찰계수는  $F_t=0.1$  mm에서  $F_t=0.3$  mm보다 12% 낮게 나타났고, 무차원열전달계수, j factor는 18% 높게 나타났다.

#### 후 기

본 연구는 한밭대학교의 2001년도 학술연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Kays, W. M and London, A. L., 1984, Compact Heat Exchanger, 3rd ed., McGraw-Hill, New York.
2. Davenport, C. J., 1983, Heat Transfer and Flow Friction Characteristics of Louvered Heat Exchanger Surfaces : Theory and Practice, ed. Taborek, J., Hewitt, G. F., and N.Afgan, Hemisphere Pub.Corp. Washington D.C., pp.397-412.
3. Davenport, C. J., 1983, Correlation for Heat Transfer and Flow Friction Characteristics of Louvered Fin, Heat Transfer-Seattle. AICHESymp.Ser., No. 225, Vol. 79, pp.19-27.
4. Lee, J. H., Bae, J. H., Oh, M. D., Lee, S. K., 1995, Heat Transfer and Flow Resistance in a Louvered Fin Tube Heat Exchanger Proceedings of the SAREK. pp. 46-52.

5. Lee, J. H., Jeon, C.D., Hong, J. T., 1996, Experimental Study of Heat Transfer Characteristics in the Louvered Fin Type Heat Exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 8, No. 1, pp. 120-139.
6. Lee, K. S., Yun, J. Y., 1996, Heat Transfer Characteristics of Fin and Tube Heat Exchangers with Various Interrupted Surfaces for Air Conditioning Application, KSME International Journal, Vol. 20, No. 12, pp. 3938-3948.
7. Kang, H. C., Kim, M. H., 1997, A Large Scale Model Test to Investigate the Pressure Drop and Heat Transfer Characteristics in the Air Side of Two-Row Heat Exchanger, KSME International Journal, Vol. 21, No. 1, pp. 113-124.
8. Kim, S. J., Woo, J. S., Kwon, S. S., 1998, A Study of Pressure Drop and Heat Transfer Characteristics in the Air Side of Louvered Fin Heat Exchanger, Proceedings of the SAREK 1998 Winter Annual Conference (II), pp. 730-735
9. Yim, J. S., Han, J. H., Park, S. R., Kim, I. G., 2000, Numerical Analysis on Flow and Heat Transfer Characteristics in Louver Fin Heat Exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 398-403.