

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 20, No. 3, 2000

루우버핀 열교환기의 핀피치가 공기측 열전달에 미치는 영향

장봉주*, 김선정**

*대전산업대학교 산업대학원

**대전산업대학교 건축설비공학과

Effect of Fin Pitch on Air Side Heat Transfer in Louvered-Fin Heat Exchanger

B.J.Jang*, S.J.Kim**

*Industrial Graduate School, TaeJon National University of Technology

**Department of Building Services & Equipment Engineering, TaeJon National University of Technology

Abstract

In order to study on influence of fin pitch and shape of heat exchanger on the elevation of heat transfer efficiency, we make models of louvered fin type heat exchanger which was given a transformation of fin pitch in louvered fin type heat exchanger which are often used now. And the influence of fin pitch on pressure drop and characteristics of heat transfer was experimented and analysed when air velocity and fin pitch was a variable. The results of experiment shows below. Pressure drop shows larger in louvered fin type heat exchanger than in plate fin type heat exchanger, size of pressure drop shows like this order that fin space is 4mm, 5mm, 6mm. Mean heat transfer coefficient shows higher in louvered fin type heat exchanger than in plate fin type heat exchanger, size of mean heat transfer coefficient by fin space shows same in both case in louvered fin type heat exchanger and plate fin type like this order that fin space is 4mm, 5mm, 6mm.

기 호 설 명

- A : 전열면적(m^2)
- C_p : 비열($kJ/kg^\circ C$)
- D : 직경(m)
- f : 마찰계수
- F : 핀
- g : 중력가속도(m/s^2)
- h : 열전달 계수($W/m^2h^\circ C$)
- j : Colburn factor
- k : 열전도율($W/m^\circ C$)
- L_p : 루우버 피치(mm)
- Pr : 프란틀 수
- q : 전열량(W/h)
- Re : 레이놀즈 수
- S : 핀 피치(mm)
- P : 압력(N/m^2)
- T : 온도($^\circ C$)

그리스 문자

- θ : 루우버 경사각($^\circ$)
- ν : 동점성 계수(m^2/s)
- ρ : 밀도(kg/m^3)

하 침 자

- a : 공기
- F : 핀
- p : 가열평판
- t : 핀두께

1. 서 론

공조장치에 있어서 열교환기의 성능향상은 에너지 절약과 관계가 있으므로 오늘날 공조시스템

관계자들은 열교환기의 성능향상에 깊은 관심을 가지고 있다.

일반적으로 공기와 물을 작동유체로 사용하는 열교환기의 경우 총합 열전달 계수는 공기측의 열전달 계수에 의해서 지배되고 있으며, 전체 열저항중 공기측에서 발생하는 열저항이 상당히 크다. 이러한 열교환기의 공기측 열전달 성능을 향상 시키기 위하여는 공기측 열저항을 감소시킴으로써 열교환기의 열전달 성능을 크게 향상 시킬 수 있다.

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

루우버핀(Louvered-Fin)은 핀표면에서의 공기의 교란을 야기시키는 방법으로 불연속적인 표면을 이용하여 경계층의 반복적인 성장과 소멸을 통하여 열전달을 향상시키는데 사용되고 있다.

루우버핀형 열교환기는 파형핀, 덤플핀 같은 연속적인 표면을 사용하는 열교환기보다는 압력손실이 3-4배정도 크고, 옵셋 스트립핀 열교환기보다는 구조적으로 약한 문제점을 갖고 있지만 열전달성능이 우수함은 물론 대량생산이 가능하고 전열면의 조밀화로 인하여 열교환기를 소형화 및 경량화 시킬 수 있는 장점이 있어 많이 사용되고 있다.

루우버핀 형상에 대한 연구는 Kays와 London¹⁾에 의해서 루우버핀 모델에 대한 전열성능 및 마찰저항에 대한 실험결과를 발표한 이후 열교환기를 개발하기 위한 연구가 여러사람들에 의해 꾸준히 수행되고 있다.

Davenport²⁾는 여러가지 루우버피치를 가진 8종 Louver의 표면에 대하여 연구 하였고, 또한 Davenport³⁾는 32종의 루우버핀 모델에 대한 열전달과 유동마찰에 대한 데이터를 제시하여 루우버 배열내의 유동 및 그에 따른 전열특성을 루우버피치를 특성길이로 하는 Re_{Lp} 수의 함수임을 밝

했다.

Kurosaki 등⁴⁾은 루우버핀의 마름모꼴 배열에서 위치를 이동한 수정된 어긋난 배열의 루우버의 전열특성을 실험으로 확인하였다.

Hatada 등⁵⁾은 산형 루우버핀의 열전달특성을 효과적으로 개선하고 최적 산형 루우버 경사각이 존재한다고 하였다.

Webb 등⁶⁾은 실제모델을 10배 확대하여 루우버피치를 특성길이로한 레이놀즈수 400~4000범위에서 염료주입법을 사용하여 수조실험을 행하였다.

권순석 등⁷⁾은 루우버핀에 해당하는 간단한 형상인 등은 수직평판에서의 혼합대류 열전달에 대하여 무차원 평판간격, Grashof수 및 Reynolds수를 변수로 하여 유한차분법을 이용하여 수치해석하였다.

이기백 등⁷⁾은 루우버핀 배열을 모델로 LDV 및 홀로그래픽 간섭계를 사용하여 유동장 및 온도장을 측정하여 수력직경을 특성길이로 한 레이놀즈수를 기준으로 유동영역을 분류하였다.

강창수 등⁸⁾은 루버핀형 열교환기내의 유동 및 전열 특성을 루버각, 핀폭, 루버폭, 레이놀즈수를 변수로 수치해석하고, 동일한 경우에 대하여 염료주입법에 의한 가시화 실험을 수행하였다.

이관수 등⁹⁾은 다양한 형태의 단속표면을 갖는 공조기용 핀-관 열교환기의 열전달 특성에 관하여 열전달 계수 및 압력강하 특성을 실험적으로 연구하였다.

본 연구에서는 루우버핀형 열교환기의 열전달 특성을 핀피치와 공기속도의 변화가 유동구조 및 전열현상에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 루우버핀형 열교환기 모델을 제작하여 공기속도와 핀피치를 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, 핀피치 $4 \text{ mm} \leq F_p \leq 6 \text{ mm}$, 루우

버 피치 $L_p = 4 \text{ mm}$, 핀두께 0.1 mm , 평판가열온도 30°C , 루우버 경사각, $\theta = 27.8^\circ$, Re_{Lp} 수 $250 \leq Re_{Lp} \leq 800$ 등이다.

2. 실험장치 및 방법

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

실험모델은 핀-튜브의 열교환기이며 루우버핀은 루우버길이 2 mm, 루우버피치 4 mm, 루우버 경사각 27.8° , 루우버높이 1.87 mm, 두께 0.1 mm, 폭 88.5 mm, 길이 103.1 mm이고, 재질은 알루미늄판($202 \text{ W/m}^\circ\text{C}$)이다. 루우버핀의 형상은 그림 1과 같다.

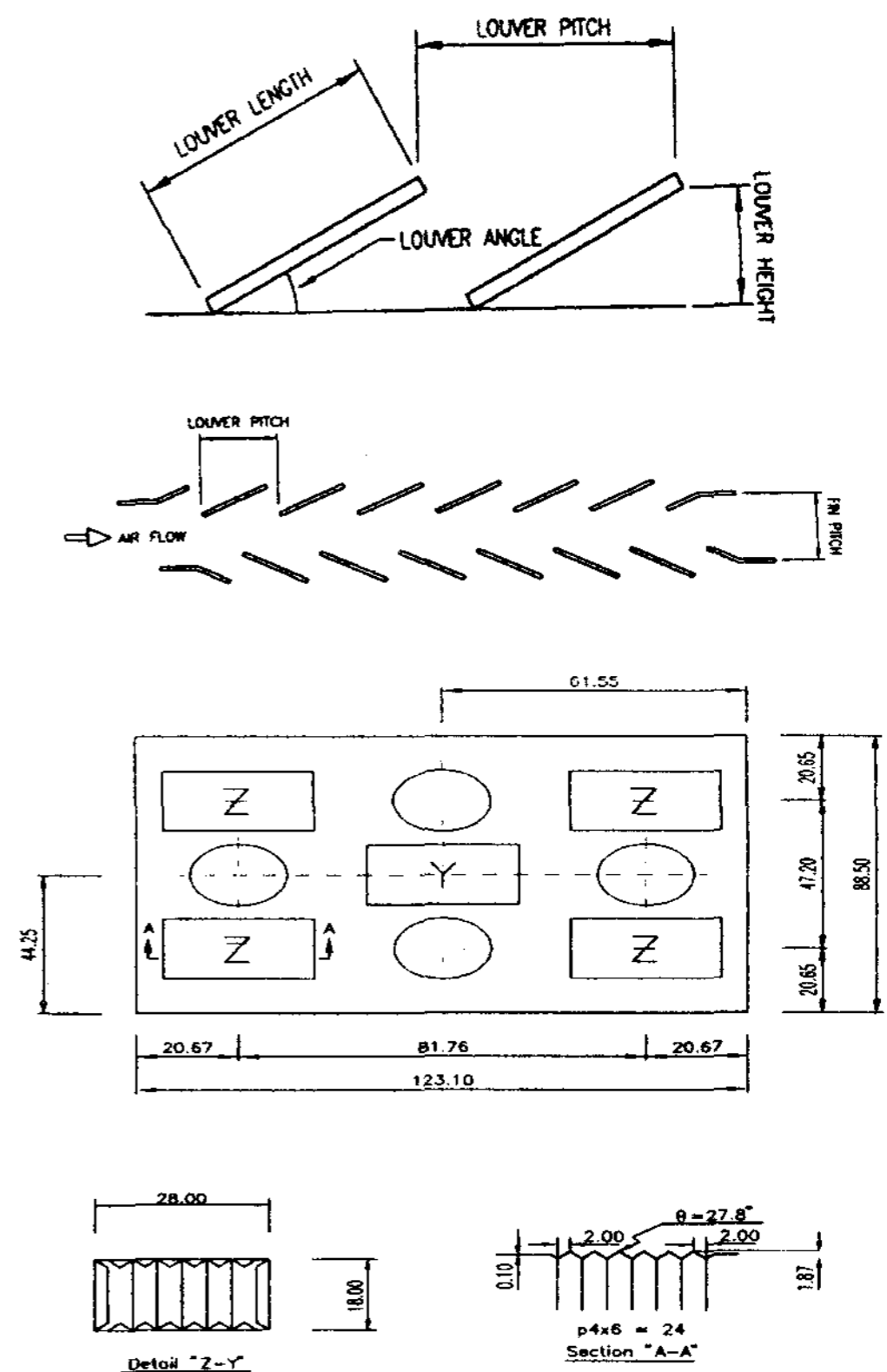


Fig. 1. Schematic diagram of louvered fin

튜브는 직경이 19.5 mm이고 재질은 순동(386 W/m°C)이며 엇갈림배열로 가공 하였다.

가열장치는 평판과 봉이고 재질은 순동(열전달율 386 W/m°C)이며, 평판이면에 저항값 55 Ω이 되도록 스트립히터 2개를 부착하였고 히터는 얇은 운모판에 니크롬선을 일정한 간격으로 감았으며, 이 장치에 일정한 열량을 공급하기 위하여 전압조절기(Slidax), 디지털전압계 및 전류계를 사용하였다.

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

실험은 시험부의 중앙에 열교환기 모델을 위치시키고 공기속도와 온도를 변화시키면서 일정시간이 지난후 정상상태가 되었을 때 데이터로거로 공기속도와 각 점의 온도를 측정하였다. 입구공기속도의 조절은 전원공급부의 모터조절기로 송풍기를 조절하여 행하였으며, 공기속도의 측정은 회전수에 의한 데이터로거와 아네모미터를 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 열교환기 모델의 입구, 출구, 튜브의 상, 중, 하부분 등 총 6개소에 열전대(Ttype)를 부착하고 각 점의 온도는 데이터로거로 측정하였다. 열교환기 모델의 온도는 슬라이닥스와 디지털 전압계 및 전류계를 사용하여 가열하였으며, 이때의 온도는 25°C, 30°C, 35°C, 40°C이다. 실험온도에 도달되기까지는 50분 정도 소요되었다. 압력측정은 디지털 마이크로마노미터(측정범위: ± 19.999 mmH₂O)를 사용하여 최대값과 최소값을 측정하여 평균값을 사용하였다. 그리고 직경 2 mm의 Pito-tube를 열교환기 모델의 100 mm 전.후반 중앙에 위치시켜 경사 마노미터로 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 핀피치, 핀형상, 핀효율 등에 의존한다.

본 연구에서는 핀피치를 4 mm ≤ F_p ≤ 6 mm로 하여 루우버핀형 열교환기 모델을 제작하여 공기속도 1 m/s ≤ V_a ≤ 3 m/s와 평판가열온도 25°C ≤ T_p ≤ 40°C를 변수로 하여 공급열과 열교환기모델의 입구, 출구의 공기온도와 열교환기 모델 튜브의 상, 중, 하 부분에서의 온도와 그리고 전열면적을 이용하여 평균열전달계수를 구하였으며 디지털 마이크로마노미터로 측정한 압력손실값을 산출하여 그 결과를 각각 비교 분석하였다.

열교환기 모델의 단위시간당 열전달량은 다음 식으로 나타내어진다.

$$q = \bar{h} \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

여기서

\bar{h} : 평균열전달계수 (W/m²h°C)

A : 전열면적(m²)

ΔT : 전열관과 공기와의 산술평균온도차(°C) 평균열전달계수는 다음과 같이 계산하였다.

$$\bar{h} = \frac{q}{A \Delta T} \quad (2)$$

공기의 평균온도 $\overline{T_a}$ 와 전열관의 평균온도 $\overline{T_w}$ 는 다음식으로 나타내진다.

$$\overline{T_a} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (3)$$

$$\overline{T_w} = \frac{T_{w1} + T_{w2} + T_{w3}}{3} \quad (4)$$

압력강하계수는 다음과 같이 정의하여 사용하였다.

$$f = \frac{D_h}{L} \frac{2\Delta p}{\rho V^2} \quad (5)$$

여기서 Δp 는 측정된 압력강하이며, ρ 는 막은도에서의 공기밀도이다.

수력직경은 다음과 같이 정의하여 사용하였다.

$$D_h = 4 \frac{V_c}{A_s} \quad (6)$$

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

Colburn, j factor는 다음과 같이 정의하였다.

$$j = \frac{\overline{h} P_r^{2/3}}{\rho C_p V} \quad (7)$$

루우버피치를 기준으로 한 Reynolds수는 다음과 같이 정의하여 사용하였다.

$$Re_{Lp} = \frac{V L_p}{\nu} \quad (8)$$

여기서 L_p 는 루우버피치 이다.

3.1 압력강하

그림 2는 핀피치 변화에 따른 압력손실을 공기속도에 대하여 나타낸 것이다.

압력손실은 핀피치가 감소함에 따라 증가되고 공기속도가 증가됨에 따라 현저하게 증가됨을 알 수 있다.

이러한 현상은 루우버핀의 경우는 속도가 증가할수록 루우버와 평행하는 공기유동이 발생하여

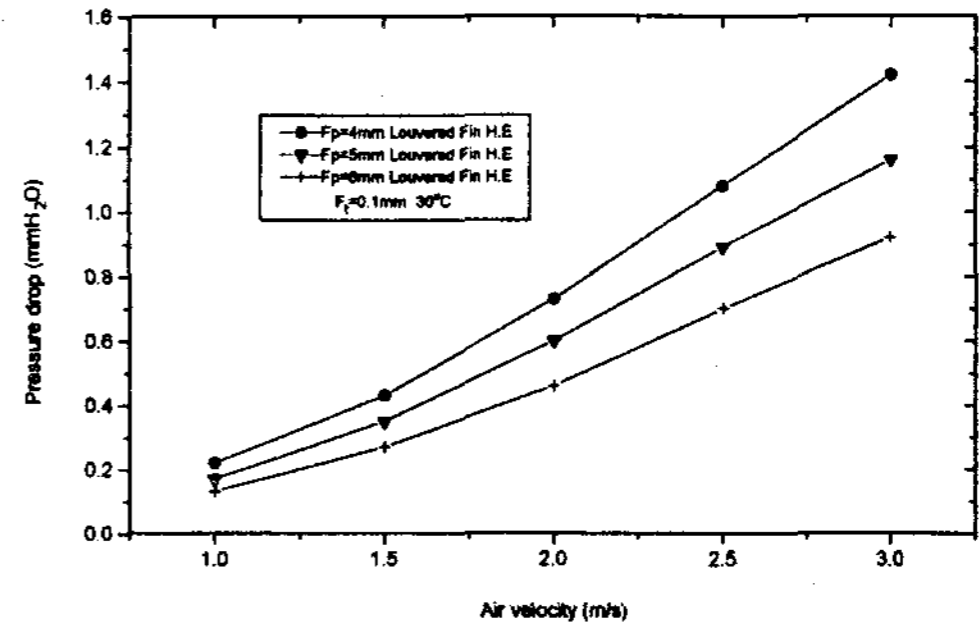


Fig. 2 Pressure drop vs. air velocity

루우버높이에 의한 저항이 증가되기 때문이라고 생각된다.

핀피치에 의한 압력손실의 크기는 $F_p = 4\text{ mm}$, $F_p = 5\text{ mm}$, $F_p = 6\text{ mm}$ 의 순으로 나타났다.

공기속도가 1.5 m/s 이하에서는 압력손실의 값차가 적으나 공기속도가 1.5 m/s 이상에서는 그 값의 차가 크게 나타남을 알 수 있다.

3.2 열전달계수

그림 3은 핀피치 변화에 따른 평균열전달계수를 공기속도에 대하여 나타낸 것이다.

평균열전달계수는 공기속도가 1.5 m/s 이하에서는 핀피치 변화에 따라 그 값의 차는 미소하였으나 공기속도가 1.5 m/s 이상에서는 그 값의 차는 크게 나타내었다.

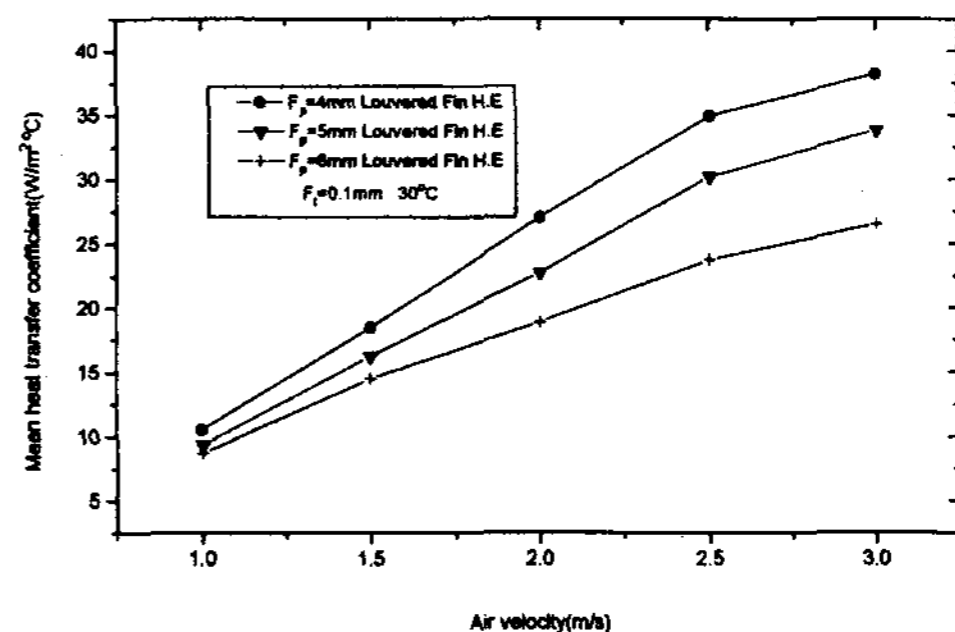


Fig. 3. Mean heat transfer coefficient vs. air velocity

핀피치 변화에 따른 평균열전달계수는 핀피치가 감소함에 따라 높게 나타났다.

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

핀피치에 의한 평균열전달계수의 크기는 $F_p = 4$ mm, $F_p = 5$ mm, $F_p = 6$ mm의 순으로 나타났다.

3.3 f 및 j factor

그림 4는 핀피치 변화에 따른 f factor를 루우버핀 기준 레이놀즈수에 대하여 나타낸 것이다. 압력강하계수는 레이놀즈수가 증가함에 따라 감소되고, 핀피치가 감소됨에 따라 증가됨을 나타내었다.

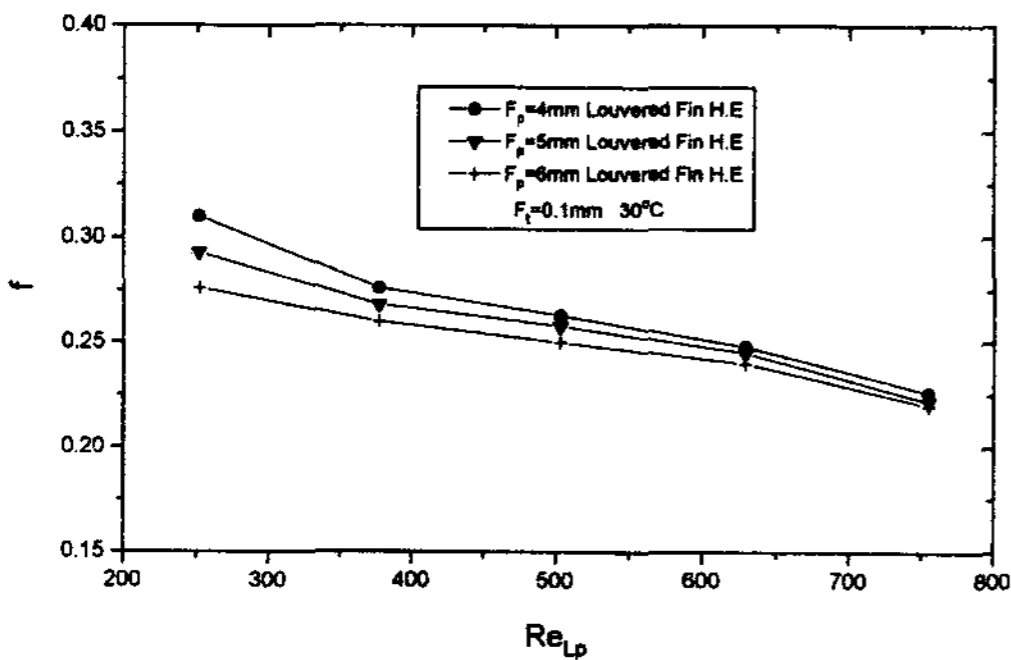


Fig. 4. f factor vs. Reynolds number

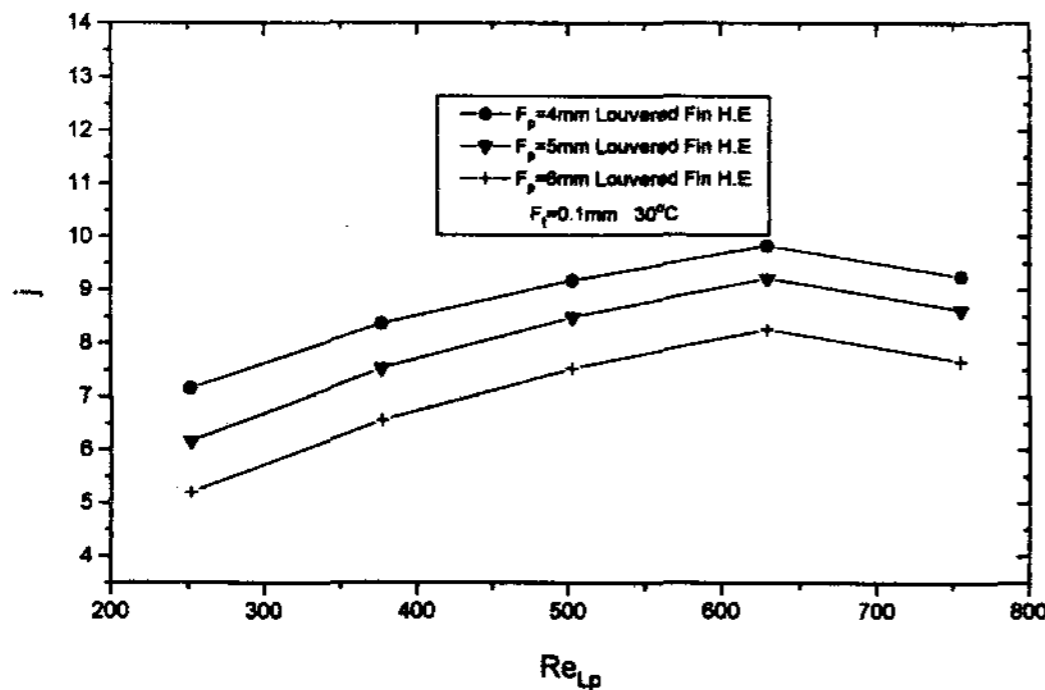


Fig. 5. j factor vs. Reynolds number

압력강하계수는 $Re_{Lp} = 503$ 이하에서는 완만한 변화를 보이고 있으나 $Re_{Lp} = 503$ 이상에서는 미소한 변화를 나타내고 있다.

$Re_{Lp} = 503$ 에서 $F_p = 4$ mm의 압력강하계수는 $F_p = 6$ mm의 경우보다 5.2% 높은 값을 나타내었다.

핀피치 변화에 따른 압력강하계수는 $F_p = 4$ mm, $F_p = 5$ mm, $F_p = 6$ mm의 순으로 나타났다. 그림 5는 핀피치 변화에 따른 j factor를 루우버핀 기준 레이놀즈수에 대하여 나타낸 것이다.

무차원열전달계수는 $Re_{Lp} = 629$ 까지는 증가하다가 그 이후에서는 다소 감소하였다.

핀피치 변화에 따른 무차원열전달계수는 $F_p = 4$ mm, $F_p = 5$ mm, $F_p = 6$ mm의 순으로 나타났다.

$Re_{Lp} = 629$ 에서 $F_p = 4$ mm인 경우 무차원열전달계수는 $F_p = 6$ mm보다 19% 높은 값을 나타내었다.

그림 6은 평판가열온도 30°C에서 핀 피치 변화에 따른 Colburn j factor/ f factor의 비를 루우버핀 기준 레이놀즈수에 대하여 나타낸 것이다.

Colburn j factor/ f factor의 비는 $Re_{Lp} = 377$ 까지는 급격히 증가하다가 그 이후는 미소한 변화를 나타내었다.

이러한 현상은 공기속도의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있으며 공기속도 1.5 m/s 이상에서는 유동이 활발하여 열전달이 잘 되기 때문이라고 생각된다.

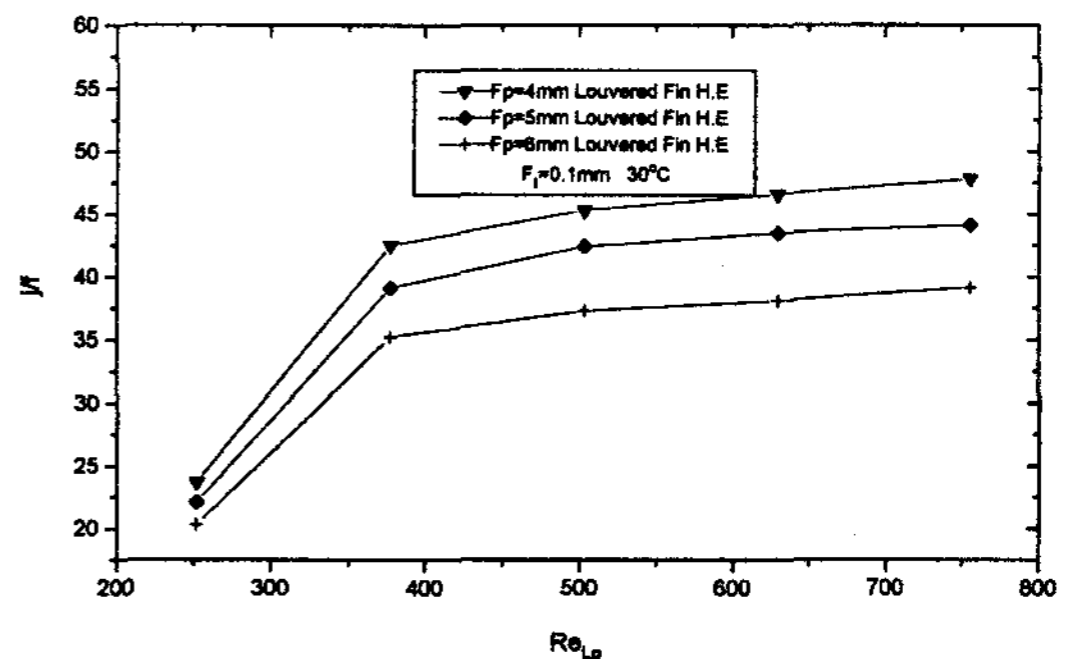


Fig. 6. j/f vs. Re_{Lp}

핀 피치에 의한 j/f 값은 $F_p=4$ mm, $F_p=5$ mm, $F_p=6$ mm의 순으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 루우버핀형 열교환기의 압력강하와 열전달 특성을 규명하기 위하여 루우버핀형 열교환기 모델을 제작하여 핀피치 $4 \text{ mm} \leq F_p \leq 6 \text{ mm}$, 공기속도 $1 \text{ m/s} \leq V_a \leq 3 \text{ m/s}$, 루우버 피치 $L_p=4\text{mm}$, 핀두께 0.1 mm , 평판가열온도 30°C , 루우버 경사각 $\theta=27.8^\circ$ 의 범위에서 실험적으로 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. 압력손실은 핀피치가 감소됨에 따라 증가 되었고, 핀피치에 의한 압력손실의 크기는 $F_p=4$ mm, $F_p=5$ mm, $F_p=6$ mm의 순으로 나타났다.
2. 평균열전달계수는 핀피치가 감소됨에 따라 증가되었고, 핀피치에 의한 평균열전달계수의 크기는 $F_p=4$ mm, $F_p=5$ mm, $F_p=6$ mm의 순으로 나타났다.
3. $Re_{Lp}=629$ 에서 $F_p=4$ mm인 경우 압력강하계수는 $F_p=6$ mm보다 3.3% 높은 값을 나타내었다.
4. $Re_{Lp}=629$ 에서 $F_p=4$ mm인 경우 무차원열 전달계수는 $F_p=6$ mm보다 19% 높은 값을 나타내었다.
5. Colburn j factor / f factor의 비는 $Re_{Lp}=377$ 까지는 급격히 증가하다가 그 이후는 미소한 변화를 나타내었다.

후 기

본 연구는 대전산업대학교의 1998년도 학술연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. W. M. Kays and A. L. London, "Compact Heat Exchanger", 3rd ed., 1984, MacGraw Hill.
2. C. J. Davenport, "Heat Transfer and Flow Friction Characteristics of Louvered Heat Exchanger Surfaces": Theory and Practice, ed. J. Taborek, G. F. Hewitt and N. Afgan, Hemisphere Pub. Corp. Washington D.C., 1984, pp.397~412.
3. C. J. Davenport, "Correlation for Heat Transfer and Flow Friction Characteristics of Louvered Fin, Heat Transfer-Seattle". AIChE Symp. Ser., No.225, Vol.79, 1983, pp.19~27.
4. Kurosaki. Y., Kashiwagi. H., Uzuhashi. H., Tang. X. Z., "Experimental Study of Heat Transfer of Parallel Louvered Fins through Laser Holographic Interferometry", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol.1, 1988, pp.59~67.
5. Hatada. T, Senshu., "Heat Transfer Characteristics of Convex Louvered Fins for Air Conditioning Heat Exchangers", Trans. JSME, Ser. B, Vol.50, No.453, 1984, pp.1415~1422.
6. R. L. Webb and R. K. Shah, "Compact and Enhanced Heat Exchangers, in Heat Exchangers": Theory and Practice, ed. J. Taborek, G. F. Hewitt and N. Afgan, Hemisphere. Corp. Washington D.C., 1983, pp.425~468.
7. S. S. Kwon, K. B. Lee, G. K. Kim, "Performance Improvement and Design of a Crossflow Heat Exchanger withs Fins", 1990, KOSEF 87-0213-06, KOSEF.

8. C. S. Kang, T. M. Choi, "A Basic Study on Air Flow Characteristics in Louvered Fins", KSME International Journal, 1993, Vol.17, No.5, pp.1276 ~1293.
9. J. Y. Yun, K. S. Lee, "Heat Transfer Characteristics of Fin and Tube Heat Exchangers with Various Interrupted Surface for Air Conditioning Application", KSME International Journal, 1996, Vol.20, No.12, pp.3938~3948.