

# 경사각이 PF 열교환기의 열전달 및 압력 손실에 미치는 영향

김도영, 함정호, 김내현<sup>†</sup>, 박내현<sup>\*</sup>, 황준현<sup>\*</sup>

인천대학교 대학원, <sup>†</sup> 인천대학교 기계공학과, <sup>\*</sup>(주) LG전자

## Effect of Inclination Angle on the Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Parallel Flow Heat Exchanger.

Do-Young Kim, Jung-Ho Ham, Nae-Hyun Kim<sup>†</sup>, Nae-Hyun Park<sup>\*</sup> and Jun-Hyun Hwang<sup>\*</sup>

Graduate School of Mechanical Engineering, Incheon University, Incheon 402-749, Korea

<sup>†</sup> Department of Mechanical Engineering, Incheon University, Incheon 402-749, Korea

<sup>\*</sup> LG electronics, Changwon, Korea

**ABSTRACT:** The effect of inclination angle on the heat transfer and pressure drop characteristics of brazed aluminum heat exchangers is experimentally investigated. Three samples having different fin pitches (1.25, 1.5 and 2.0 mm) were tested. Results show that heat transfer coefficient is not affected by the inclination angle. However, the friction factor increases as the inclination angle increases with negligible difference between the forward and backward inclination. Both the heat transfer coefficient and the friction factor are the smallest at  $P_f=1.5\text{mm}$ , followed by  $P_f=2.0\text{mm}$  and  $1.25\text{mm}$ . Possible explanation is provided considering the louver layout. Comparison with existing correlations is also mad.

**Key words:** Louver fin(루버핀), Brazed aluminum heat exchanger(알루미늄 열교환기), Flat tube(평판관), Inclination (경사)

### 1. 서론

핀-관 열교환기는 가정용 공조기의 응축기나 증발기로 널리 사용되고 있다. 냉매와 공기의 열교환의 경우 공기측에 대부분의 열저항이 있게 되고 이를 줄이기 위하여 고성능 핀, 소구경관 등 여러가지 방법이 사용되고 있다. 하지만 핀-관 열교환기는 핀과 관사이에 접촉저항이 존재하고 관 후방에서 전열 성능이 감소하는 등 고효율화, 소형화에는 한계가 있다. 이러한 단점은 납작한

평판관을 사용하고 핀과 관을 브레이징한 알루미늄 열교환기를 사용하면 개선될 수 있다. 알루미늄 열교환기는 그간 자동차용 응축기로 널리 사용되어 왔다. 알루미늄 열교환기에서는 평판관 내로 냉매가 흐르고 공기측에는 루버핀이 사용된다. 최근들어 가정용 공조기의 실내기가 천정 매립형으로 개발되고 있다. 이 경우 천정고의 제약 때문에 증발기가 경사지게 설치된다. 알루미늄 열교환기에 사용되는 루버핀의 전열 성능에 대한 연구는 Davenport<sup>(3)</sup>를 필두로 하여 많은 연구자들이 실험을 통해서나<sup>(1,4-8)</sup> 해석적으로<sup>(9)</sup> 또는 수치해석을 사용하여<sup>(10-17)</sup> 수행하여 왔다. 하지만 대부분의 연구는 열교환기가 유입방향에 직각으로 설치된 상태에서 수행되었고 경사지게 설치된 경우에 대한 연구는 매우 드물다. Osada 등<sup>(18)</sup>은

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-32-770-8420; fax: +82-32-770-8410  
E-mail address: knh0001@incheon.ac.kr

단일 열의 루버 환 (유동 길이 58, 70 mm, 환 핏치 3.0~4.0 mm)에 실험을 통하여 유입방향과 반대 방향으로 경사지게 설치된 경우 전열성능이 개선된다고 보고하였다. Kim 등<sup>(19)</sup>은 유동깊이 20 mm, 환 핏치 1.4 mm, 루버각 27°인 알루미늄 열교환기를 경사각  $-60^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$  범위에서 실험을 수행하였는데 열전달계수에 미치는 영향은 미미하나 압력손실의 경우는 경사각이 커질수록 증가한다고 보고하였다. 이러한 경향은 관군으로 구성된 열교환기<sup>(20, 21)</sup>에서도 유사하게 나타났다. 하지만 환-관 열교환기의 경우 Chang 등<sup>(22)</sup>은 경사각이 증가할수록 열전달계수와 마찰계수가 감소한다고 보고 하였다. 그 이유로 경사각이 증가함에 따라 관군의 배열이 초기의 엇갈림 배열에서 정렬 배열로 변화하기 때문이라고 설명하였다.

상기 문헌 조사 결과 알루미늄 열교환기의 경사각에 대한 연구는 Kim 등<sup>(19)</sup>이 유일함을 알 수 있다. 하지만 그들은 유동깊이 20 mm, 환 핏치 1.4 mm, 루버각 27°인 하나의 시료에 대해서만 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 유동 길이 34 mm, 루버각 22°이고 환 핏치가 1.25 mm, 1.5 mm, 2.0 mm 인 세 종류의 시료에 대하여 경사각을 경사각  $-60^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$  범위에서 실험을 수행 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

세 종류의 환 핏치(1.25mm, 1.5mm, 2.0mm) 가진 알루미늄 열교환기에 대하여 실험을 수행하였다. 모든 시료의 루버 핏치는 0.9mm로 일정하였다. Fig. 1에 시료의 스케치가 나타나 있는데 높이는 254mm, 폭은 400mm로 38단의 루버환과 평관으로 구성되어 있다. 관내측은 4개의 평관관

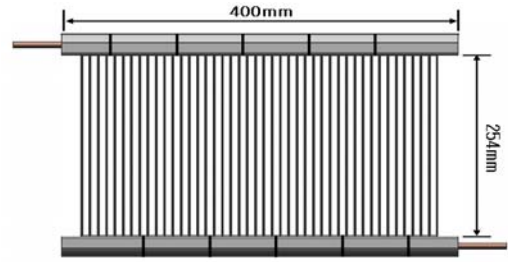


Fig. 1 Schematic drawing of the sample.

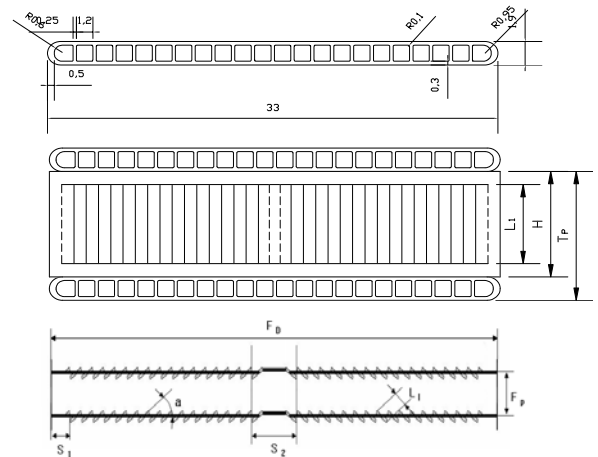


Fig. 2 Geometric details of the fin and tube.

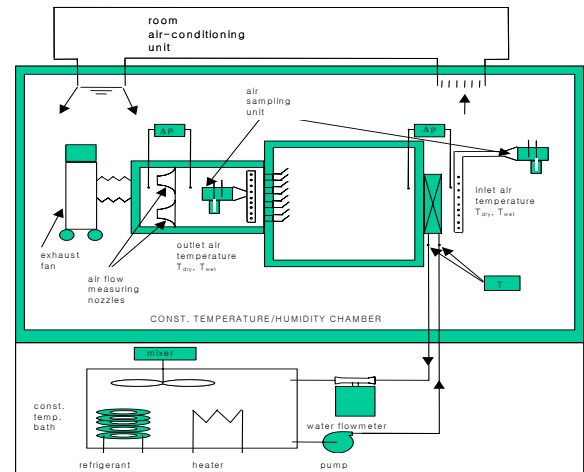


Fig. 3 Schematic drawing of the apparatus.

Table 1 Geometric dimensions of test samples

Samples	$F_D$ (mm)	$a$ (deg)	$F_P$ (mm)	$L_P$ (mm)	$L_1$ (mm)	$H$ (mm)	$T_P$ (mm)	$S_1$ (mm)	$S_2$ (mm)
1	34	22	1.25	0.9	6.8	8.56	10.4	1.1	3.0
2	34	22	1.5	0.9	6.8	8.56	10.4	1.1	3.0
3	34	22	2.0	0.9	6.8	8.56	10.4	1.1	3.0

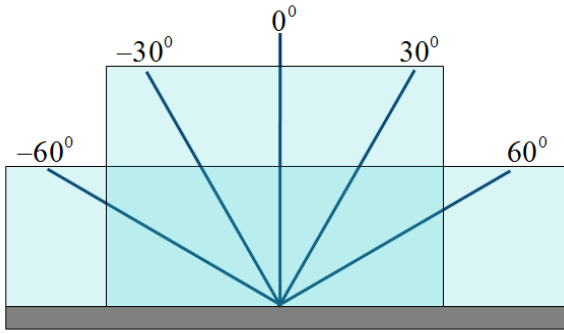


Fig. 4 A sketch showing the installation of the sample.

을 하나의 패스로 유로를 구성하였다. 공기측 열전달 성능을 정밀하게 측정하기 위해서는 관내측 열저항을 최소화 하여야 하고 이를 위해서는 관내측 흐름을 난류로 만들 필요가 있다. 평판관의 경우 수력직경이 작기 때문에 난류를 만들기 위해서는 매우 빠른 유속이 필요하게 된다. 본 연구에서는 유로 4개의 평판관을 하나의 패스로 하여 유로를 구성함으로써 제한된 압력손실 하에서 난류유동을 구현하고자 하였다. 평판관과 루버환의 상세 사양은 Fig. 2와 Table 1에 나타나 있다.

## 2.2 실험결과 처리 방법

실험장치의 개략도는 Fig. 3에 나타나 있다. 이 장치는 항온항습실에 설치된 흡입식 풍동으로 고온수 순환부와 자료획득 및 처리장치가 부착되어 있다. 시료는 풍동의 전방에 장착된 흡입 덕트내에 설치되는데 덕트의 높이를 변화시켜 경사각을 조절하였다. Fig. 4에 열교환기 설치 개략도를 나타내었다. 공기측 입구와 출구의 온도와 습도는 ASHRAE Standard 41.1<sup>(23)</sup>에 따라 표본추출하여 측정하였다. 고온수측 입구 유량과 온도는 항온항습실 외부에 설치된 항온조로부터 조절된다. 공기와 고온수의 온도는 정밀도  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 인 RTD(Pt-100W 센서)를 사용하여 측정하였고 고온수 유량은 정밀도  $\pm 0.00015\text{kg/s}$ 인 Colioliis형식의 질량유량계를 사용 하였다. 시료의 공기측 압력손실은 정밀도  $\pm 1\text{ Pa}$ 인 차압계를 사용하였고 공기측 유량은 ASHRAE Standard 41.2(24)에 따라 노즐의 차압을 측정하여 결정하였다. 실험 중 고온수의 입구 온도는  $45^\circ\text{C}$ 를 유지 하였

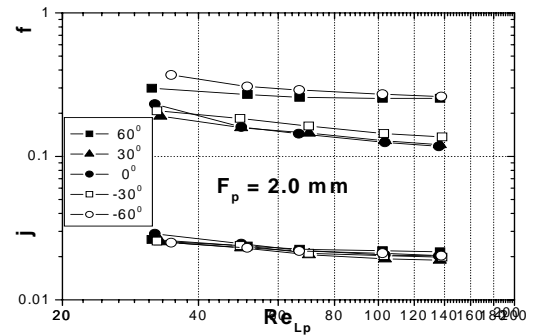
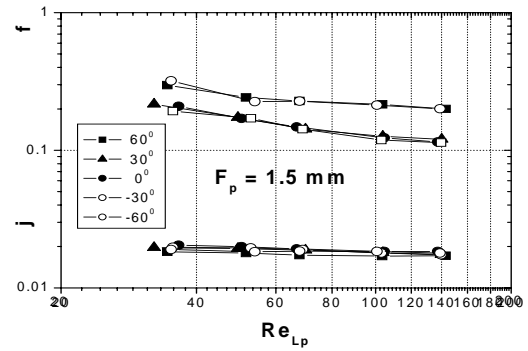
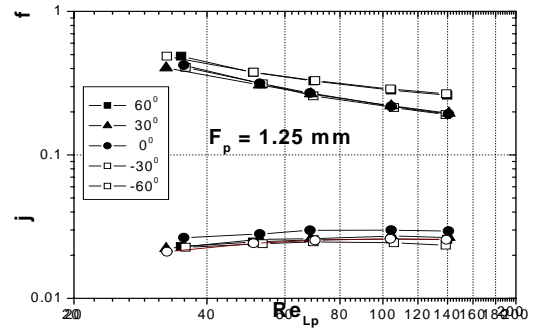


Fig. 5 Graphs showing the effect of inclination angle on  $j$  and  $f$  factors.

고 항온항습실의 온/습도는  $21^\circ / 60\%$  상대습도로 유지되었다. 실험은 시험부 전방풍속을  $0.5\text{m/s}$ 서  $2.0\text{m/s}$ 까지 변화시키며 수행되었는데 고온수측과 공기측의 열평형은  $\pm 3\%$ 내에 들었다. 실험 자료의 리덕션은 Cho등<sup>(25)</sup>에 상세히 나타나 있다.

### 3. 실험결과 및 고찰

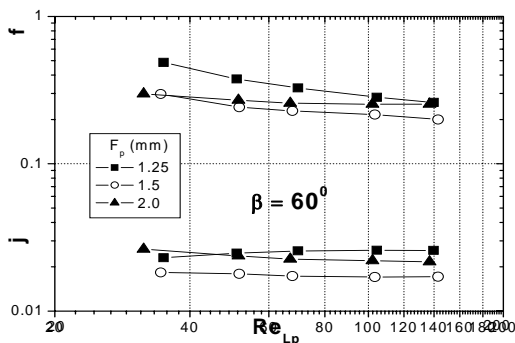
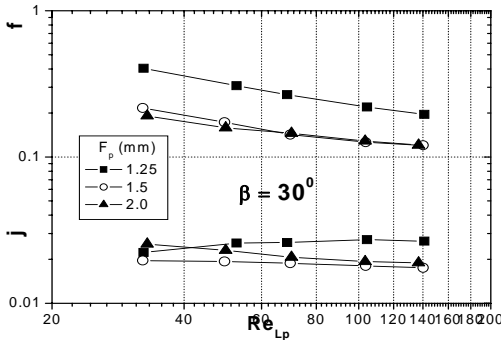
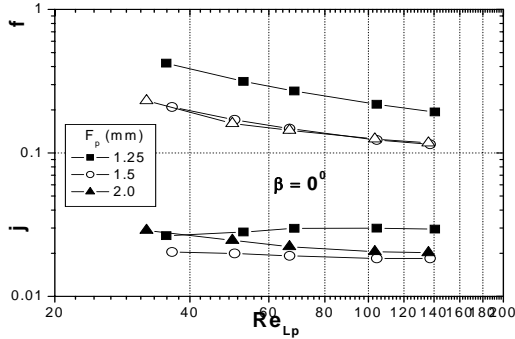


Fig. 6 Graphs showing the effect of fin pitch on  $j$  and  $f$  factors.

Fig 4에 세 종류의 시료에 대하여 경사각에 따른  $j$  인자와 마찰계수를 나타내었다. 이 그림은  $j$  인자가 경사각에 무관함을 보여준다. Kim 등<sup>(19)</sup>도 유동길이 20 mm, 흰 핏치 1.4 mm의 평판관 열교환기 시료에 대하여 동일한 경향을 보고한 바 있다. 마찰계수는 경사각이 증가할수록 증가하는데 30°에서는 증가량이 미미하나 60°가 되면 현저히 증가함을 보여준다. 60°의 경우 0°에 비해

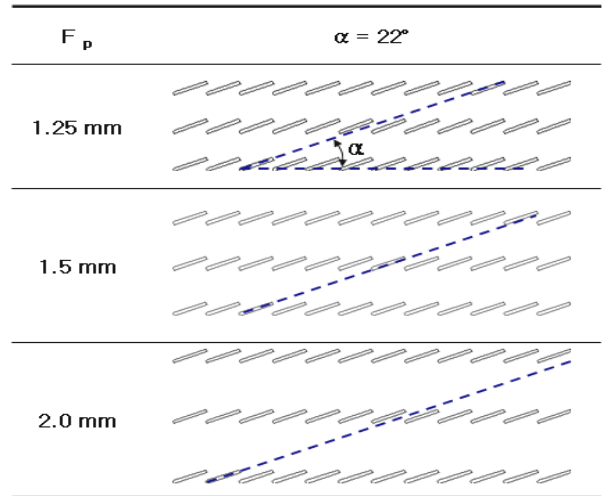


Fig. 7 Louver layout at different fin pitches.

압력손실이 흰 핏치 1.25mm에서는 23%, 1.5 mm에서는 61%, 2.0 mm에서는 72% 증가한다. Fig. 5는 경사방향 (+ 또는 -)이 압력손실에 미치는 영향은 미미함을 보여준다.

Fig. 6에 설치각 0°,30°,60°에서 흰 핏치에 따른  $j$  인자와 마찰계수를 나타내었다. 이 그림은 1.5 mm 흰 핏치에서 열전달계수가 가장 작고 1.25 mm에서 열전달계수가 최대가 됨을 보여준다. 2.0mm의 경우는 1.5mm보다는 다소 크다. 마찰계수도 동일한 경향을 보인다. 루버 흰 경우 흰 핏치가 감소할수록 유동이 루버를 따라 흐르고 따라서 열전달 성능이 개선되는 것으로 알려져 있다<sup>(26)</sup>. 하지만 본 연구의 결과는 최소  $j$ 와  $f$  인자가 2.0 mm 흰 핏치가 아니고 1.5 mm 흰 핏치에서 나타남을 보여주는데 루버 배열로부터 그 이유를 유추할 수 있다. Fig. 7에 세 흰 핏치의 루버 배열을 나타내었다. 모든 경우 루버각은 22°로 동일하다. 이 그림에서 점선은 루버 각을 그린 선이다. Fig. 7은 흰 핏치 1.5 mm의 경우 인접한 흰의 루버가 상류 루버의 연장선 상에 놓여 있음을 보여준다. 다른 흰 핏치에서는 상류 루버의 연장선이 하류 루버 사이를 통과한다. 루버 유동의 경우 루버를 지나며 생성된 후류가 하류 루버의 전열성능에 큰 영향을 미친다<sup>(26)</sup>. 만일 후류가 완전히 소산되지 않아서 하류 루버가 후류 중에 묻힌다면 하류 루버의 전열성능은 현저히 감소하게 된다. 후류가 소산되기 위해서는 소산 거리가 필요하고 이 거리는 유속이 감소할수록 증가하리라 사료된다. 특히 본 연구와 같은

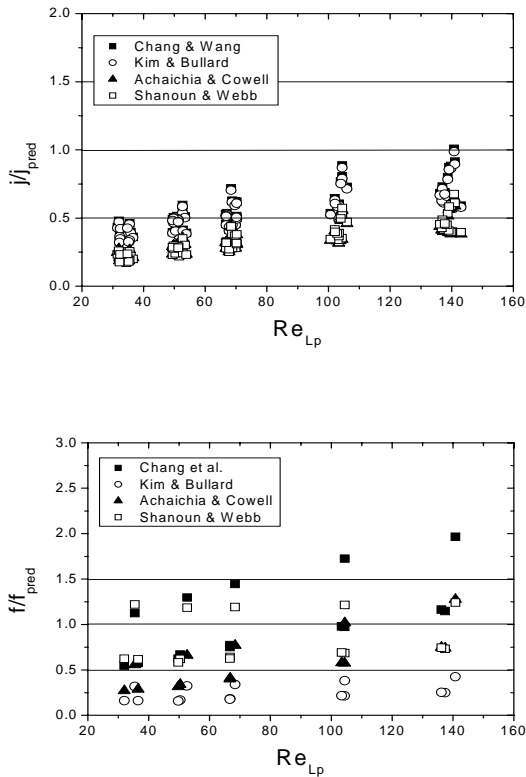


Fig. 8 Present data compared with existing correlations.

저 Reynolds수 유동의 경우는 상당한 소산거리가 필요하리라 예상되는데 이러한 면에서 흰 핏치 1.5mm는 다른 경우보다 불리하고 따라서 전열 성능이 감소하는 것으로 판단된다.

본 실험자료를 Sahnoun과 Webb<sup>(9)</sup>의 해석모델을 비롯한 기존 상관식들과 비교하였고 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8은  $j$  인자의 경우 모든 상관식이 실험 자료를 과대 예측함을 보여준다. 이는 본 실험의 Reynolds 수가 30부터 140사이의 저 Reynolds수로 기존 상관식의 적용범위를 벗어나기 때문으로 판단된다. Chang 과 Wang<sup>(27)</sup>, Kim 과 Bullard<sup>(28)</sup>, Achaicha와 Cowell<sup>(5)</sup> 상관식의 적용범위는 Reynolds수 100이 상이고 Sahnoun과 Webb 모델은 Reynolds수 400 이상의 유동까지 결과<sup>(29)</sup>를 기초로 개발되었다. Fig. 8은 Reynolds 수가 증가할수록 상관식들의 예측 성능이 개선됨을 보여준다. 마찰계수의 경우도 대체로 과대 예측하나 Chang 등<sup>(30)</sup>, Shanoun 과 Webb<sup>(5)</sup>은 일부 데이터를 과소예측함을 보인다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 경사각이 루버된 열교환기의 열전달 및 압력손실에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였다. 흰 핏치가 1.25 mm, 1.5 mm, 2.0 mm 인 세 종류의 시료에 대하여 경사각  $-60^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$  범위에서 실험을 수행하였다. 주된 결론은 다음과 같다.

(1) 경사각이 열전달계수에 미치는 영향은 무시할 만하였다.

(2) 압력 손실은 경사각이 증가하면 증가하였다. 경사각 60°의 경우 0°에 비해 흰 핏치 1.25mm에서는 23%, 1.5 mm 에서는 61%, 2.0 mm 에서는 72% 증가하였다. 또한 설치 방향 (전방 기울기 또는 후방 기울기)이 압력손실에 미치는 영향은 무시할 만 하였다.

(3) 흰 핏치 에 1.5 mm 에서 열전달계수가 가장 작고 1.25 mm에서 열전달계수가 가장 크게 나타났다. 2.0 mm의 경우도 1.5mm보다는 다소 크게 나타났는데 이는 흰 핏치 1.5 mm의 루버 배열이 다른 경우보다 불리하기 때문으로 판단된다.

(4) 기존 상관식들은 본 데이터를 대체로 과대 예측하였다. 이는 본 실험의 Reynolds 수가 30부터 140사이의 저 Reynolds수로 기존 상관식의 적용범위를 벗어나기 때문으로 판단된다.

#### 참고 문헌

1. R. L. Webb, S.-H. Jung, 1992, Air-side performance of enhanced brazed aluminum heat exchangers, ASHRAE Trans., Vol. 98, No. 2, pp. 391-410.
2. R. L. Webb, H. Lee, 2001, Brazed aluminum heat exchangers for residential air-conditioning, J. Enhanced Heat Transfer, Vol. 8 pp. 1-14.
3. C. J. Davenport, 1980, Heat transfer and fluid flow in louvered triangular ducts, PhD thesis, Lanchester Polytechnic, U. K.
4. C. J. Davenport, 1983, Correlation of heat transfer and flow friction characteristics of louvered fin, AIChE Symp. Ser. Vol. 79 pp.

- 19-27.
5. A. Achaichia, T. A. Cowell, 1988, Heat transfer and pressure drop characteristics of flat tube and louvered plate fin surfaces, *Exp. Thermal Fluid Science*, Vol. 1 pp. 147-157.
  6. B. Sunden, J. Svantessen, 1992, Correlation of  $j$  and  $f$  factors for multi-louvered heat transfer surfaces, In: *Proceedings of Third UK National Heat Transfer Conference*, pp. 805-811.
  7. Y.-J. Chang, C.-C. Wang, 1996, Air-side performance of brazed aluminum heat exchangers, *J. Enhanced Heat Transfer*, Vol. 3, No. 1, pp. 15-28.
  8. M.-H. Kim and W.Y. Park, 1998, Air-side heat transfer and pressuredrop characteristics of louvered fin heat exchangers, *Proceedings of the KSME'98 fall conference*, pp.123-128
  9. A. Sahnoun, R. L. Webb, 1992, Prediction of heat transfer and friction for the louver fin geometry, *J. Heat Transfer*, Vol. 114 pp. 893-900.
  10. A. Achaichia, T. A. Cowell, 1988, A finite difference analysis of fully developed periodic laminar flow in inclined louvered arrays, In: *Proceedings of Second UK National Heat Transfer Conference*, Glasgow, pp. 883-888.
  11. M. Hiramatsu, T. Ishimaru, K. Matsuzaki, 1990, Research on fins for air-conditioning heat exchangers (first report, numerical analysis of heat transfer on louvered fins), *JSME International Journal*, Series II, Vol. 33, Paper No. 88-1254A.
  12. K. Suga, H. Aoki, T. Shingawa, 1990, Numerical analysis on two dimensional flow and heat transfer on louvered fins using overlaid grids, *JSME International Journal*, Vol. 33 pp. 122-127.
  13. A. Achaichia, M. R. Heikal, Y. Sulaimna, T. A. Cowell, Numerical Investigation of flow and friction in louver fin arrays, In: *Proceedings of the Tenth International Heat Transfer Conference*, Vol. 4, pp.333-338.
  14. D. K. Tafti, G. Wang, W. Lin, 2000, Flow transition in a multi-louvered fin array, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 43 pp. 901-919.
  15. C.S. Kang and T.M. Choi, 1993, A basic study on air flow characteristics in louvered fins, *KSME J.*, Vol. 17, No. 5, pp. 1276-1293.
  16. K.S. Lee, C.D. Jeon and J.H. Lee, 1994, Study of flow structure and pressure drop characteristics in louvered-fin type heat exchanger, *J. SAREK*, Vol. 6, No. 2, pp. 140-154
  17. B.-S. Park, J.-H. Cho and C.-S. Han, 2001, Three dimensional analysis for the performance of the corrugated louver fin for a vehicle heat exchanger. *Proceedings of SAREK 2001 summer conference*, , pp.431-441.
  18. H. Osada, H. Aoki, T. Ohara and K. Kuroyanagi, 1999, Experimental analysis for enhancing automotive evaporator fin performance, in *Proceedings of the International Conference on Compact Heat Exchangers and Enhancement Technologies for the Process Industries*, pp. 439-445.
  19. M.-H. Kim, B. Youn and C. W. Bullard, 2001, Effect of inclination on the airside performance of a brazed aluminum heat exchanger under dry and wet conditions, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 44 pp. 4613-4623.
  20. H. G. Groehn, 1983, Heat transfer and flow resistance of yawed tube bundle heat exchangers, *Heat Exchanger: Theory and Practice*, Hemisphere, Washington,DC, pp.299-310.
  21. M. Monheit and J. Freim, 1986, Effect of tube bank inclination on the thermal hydraulic performance of air cooled heat

- exchangers, in Proceedings of 8th Int. Heat Transfer Conf., pp.2727-2732.
22. W. R. Chang, C.-C. Wang, Y. J. Chang, 1994, Effect of an inclination angle on the heat transfer and pressure drop characteristics of a wavy finned-tube heat exchanger, ASHRAE Trans., Vol. 100, No. 2, pp. 826-832.
  23. 1986, ASHRAE Standard 41.1, Standard method for temperature measurement, ASHRAE.
  24. 1987, ASHRAE Standard 41.2, Standard method for laboratory air-flow measurement, ASHRAE, .
  25. J. P. Cho, W. K. Oh, N. H. Kim and B. Youn, 2002, Air-side performance of louver finned flat aluminum heat exchangers at a low velocity region, Trans. KSME B, Vol. 26, No. 12, pp. 1681-1691.
  26. R. L. Webb and N. H. Kim, 2005, Principles of Enhanced Heat Transfer, 2nd Ed., Taylor and Francis Pub.
  27. Y.-J. Chang, C.-C. Wang, 1997, A generalized heat transfer correlation for louver fin geometry, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 40, No. 3, pp. 533-544.
  28. M.-H. Kim and C. W. 2002, Bullard, Air-side thermal hydraulic performance of multi-louvered fin aluminum heat exchangers, Int. J. Refrigeration Vol. 25 pp. 390-400.
  29. R. L. Webb, 1990, The flow structure in the louvered fin heat exchanger geometry, SAE 900722 pp. 1592 - 1602.
  30. Y.-J. Chang, K.-C. Hsu, Y.-T. Lin, C.-C. Wang, 2000, A generalized friction correlation for louver fin geometry, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 43 pp. 2237-2243.