

히트펌프 건조기용 PF 열교환기 성능 및 해석 연구

김기영¹, 이석현¹, 권영철^{2*}, 전종균², 박삼진²
¹선문대학교 기계공학과, ²선문대학교 기계공학과

Study on Performance and Analysis of PF Heat Exchanger for Heat Pump Dryer

Ki-Young Kim¹, Seok-Hyun Lee¹, Young-Chul Kwon^{2*}, Chong-Keun Chun² and Sam-Jin Park²

¹Student, Dept. of Mechanical Eng., Sunmoon University

²Dept. of Mechanical Eng., Sunmoon University

요약 본 연구에서는 히트펌프 건조기용에 적용될 PF 열교환기에 대하여 연구되었다. PF 열교환기의 설치 경사각(0°, 30°, 60°)에 따른 3종 PF 열교환기의 능력과 제습량을 측정하였다. 실험은 건구온도 60℃, 상대습도 70%, 풍속 0.5m/s에서 진행되었다. 실험결과 경사각이 증가할수록 열교환기의 성능이 우수하였으며, PF3가 능력과 제습량에서 가장 우수하였다. 그러나 경사각이 60°에서는 능력과 제습량이 크게 감소하였다. 실험값을 예측하기 위해 PF 열교환기의 능력과 제습량을 예측할 수 있는 계산프로그램을 개발하였다. PF 열교환기 3종에 대한 실험값과 계산값은 능력의 경우에 최대 2% 이내를 제습량의 경우에 최대 3% 이내에서 만족한 결과를 보여주었다.

Abstract In the present study, the performance of a PF heat exchanger for heat pump dryer was investigated. Capacity and dehumidification amount of the PF heat exchangers(PF1, PF2, PF3) by different inclination angles(0°, 30°, 60°) were studied. Experimental conditions were an air velocity crossing to the heat exchanger(0.5m/s), an air dry-bulb temperature(60℃) and relative humidity(70%). The experimental results have shown that the performance of the inclined PF heat exchangers was better than that of the vertically installed one. PF3 showed better performance compared to PF1 and PF2 due to the large pin pitch which are leading to more draining for dehumidified water. But, capacity and dehumidification amount of the PF heat exchanger at the inclination angles of 60° was decreased due to pressure drop. Also, to predict the experimental data of the PF heat exchanger, the performance program was developed for the inclination angles of 0°. PF heat exchanger performance between experiment data and calculation data was satisfied within the maximum 2% for capacity and 3% for dehumidification amount.

Key Words : Dryer, Heat exchanger, Heat pump, Inclination Angle, Parallel flow

1. 서론

전 세계적으로 삶의 질적 향상과 산업의 발달로 인하여 에너지의 수요가 급증하고 있다. 이에 에너지 자원의 고갈과 환경문제의 중요성이 크게 증대되고 있다. 몬트리

올 의정서 채택으로 에너지법을 재정하고, 교토의정서 채택으로 지구 온난화 방지 등으로 환경과 관련한 에너지 시장의 큰 변화가 있었다. 에너지를 효율적으로 이용하기 위하여 열교환기에 있어서는 고성능화, 고효율화, 소형화 등 우수한 열교환기를 개발하기 위해 그동안 국내외에서

*Corresponding Author : Young-Chul, Kwon(Sunmoon Univ.)

Tel: +82-41-530-2396 email: yckweon1@sunmoon.ac.kr

Received March 20, 2013

Revised (1st April 1, 2013, 2nd April 3, 2013)

Accepted April 11, 2013

꾸준히 연구가 수행되고 있다.

최근 핀-관 열교환기의 단점을 개선하기 위해 PF(parallel flow) 열교환기를 가정용 공조기에 적용하려는 연구가 진행되고 있다. PF 열교환기의 냉매측 수력직 경은 작고 공기측의 열유동 특성은 기존의 핀-관 열교환기보다 우수하며, 핀과 평관관을 브레이징하므로 접촉저항도 배제할 수 있다.

Lee 등[1,2]은 풍속이 20% 증가할 때 핀-관 열교환기에 비해 PF 열교환기의 능력은 43%, 제습량은 20% 증가한다고 보고하였다. 그리고 소형 PF 열교환기의 설계 및 개발에 대한 연구를 수행하여 히트펌프 건조기용 PF 열교환기의 우수함과 적용성을 보고하였다. 조 등[3]은 공조기에 PF 열교환기를 적용한 결과, 핀-관 열교환기에 비해 PF 열교환기의 체적이 40~50% 정도 감소하여도 동등수준의 성능을 나타내며 적정 냉매량도 35~45% 감소함을 보고하였다. 김 등[4]은 열교환기의 경사각이 열전달계수에 미치는 영향은 무시할 만하다고 보고하였다.

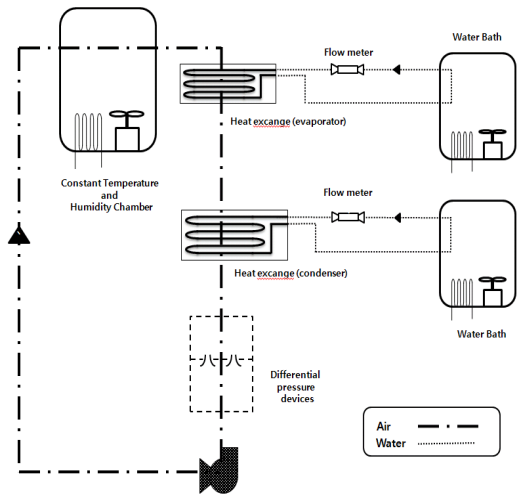
본 연구에서는 기존 핀-관 열교환기 대신 알루미늄 PF 열교환기를 히트펌프 건조기에 적용하기 위한 기초연구로 소형 PF 열교환기의 설계와 제작 그리고 적용 가능성을 실험적으로 확인하고 성능예측을 위한 계산식을 개발하였다.

2. 실험조건 및 방법

2.1 실험장치

본 실험연구는 PF 열교환기 단품 성능을 평가하기 위하여 히트펌프 건조기용 열교환기 실험장치를 제작하였다. 시험은 KS C 9306에 규정된 방법[5]을 사용하였다.

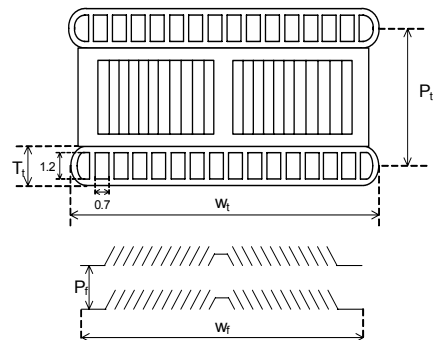
열교환기 실험장치는 향온가습장치, 노즐부, 열교환기부, 제어부, 향온수조 등으로 구성되었다. 실험에 사용된 열교환기 실험장치는 덕트 내의 온습도를 일정한 상태로 제어하여 열교환기의 전면 입구공기의 조건을 원하는 상태로 설정할 수 있도록 가열기 및 가습기 등으로 구성된 향온향습 챔버이다. 실험용 열교환기는 건조기용 실험장치 덕트 내에 설치되었다. 열교환기와 덕트 입구부의 틈새로 공기의 누설이 없도록 주위를 최대한 밀폐하였고, 열교환기의 입출구 관로 부분의 열 출입을 최소화하기 위하여 단열재를 이용하여 마감처리 하였다. Fig. 1은 열교환기 실험을 위한 히트펌프 건조기의 실험장치 개략도이다. Table 1은 실험에 사용된 3종의 PF 열교환기 사양을 그리고 Fig. 2는 PF 열교환기의 평판관과 핀 형상을 보여준다.



[Fig. 1] Schematic diagram of heat pump dryer for experiment

[Table 1] Specifications of PF heat exchanger

| Type | PF HX | | |
|--------------------|----------|------|------|
| | PF1 | PF2 | PF3 |
| Fin pitch [mm] | 1.5 | 1.8 | 2.2 |
| HX length [mm] | 260 | 260 | 260 |
| HX height [mm] | 94.8 | 94.8 | 94.8 |
| HX width [mm] | 80.4 | 80.4 | 80.4 |
| Tube interval [mm] | 34.3 | 34.3 | 34.3 |
| Column | 8 | | |
| Row | 4 | | |
| Fin type | louver | | |
| Fin shape | triangle | | |



[Fig. 2] Schematic diagram of PF heat exchanger for heat pump dryer

2.2 실험조건 및 실험방법

PF 열교환기를 실험하기 위하여 열교환기 관대로 물을 공급하여 물의 유량, 열교환기 전후단의 온도를 측정하여 평가하는 방법으로 실험을 수행하였다. 실험데이터는 덕트내의 공기온도가 정상상태에 도달한 뒤, 온도변동이 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 이내로 안정화 되면 공기의 풍량 및 입출구 건습구온도, 물의 유량 및 입출구 온도를 측정하였다.

Table 2는 PF 열교환기의 증발 실험조건으로 시험조건인 정확한 설정을 위해 Fig. 3의 항온항습챔버를 사용하였다. 열교환기의 경사각도 변화에 따라 열전달 능력비교를 위하여 열교환기가 수직(0°)일 때와 공기의 유동 방향으로 경사각 30° , 60° 에서 열교환기의 성능을 측정하였다.

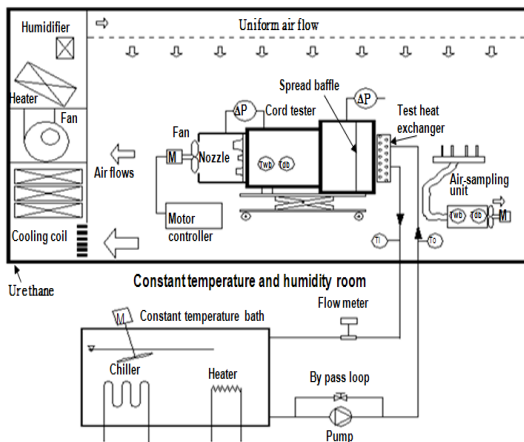
3. 결과

3.1 실험연구

3종 PF 열교환기의 성능을 비교하기 위하여 0° , 30° , 60° 경사각에 따른 온도조건을 건구온도 60°C , 상대습도 70%, 풍속 0.5m/s 에서 실험을 진행하였다. Fig. 4, 5, 6은 PF1, PF2, PF3 열교환기에 대한 능력과 제습량을 각각

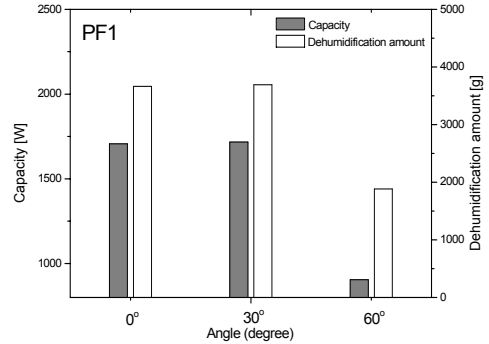
[Table 2] Test conditions

| Air-side | | Water-side | |
|-----------------------------------|-----|-----------------------------------|---|
| Temperature($^{\circ}\text{C}$) | 60 | Temperature($^{\circ}\text{C}$) | 5 |
| Relative humidity (%) | 70 | $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ | 5 |
| Velocity (m/s) | 0.5 | | |

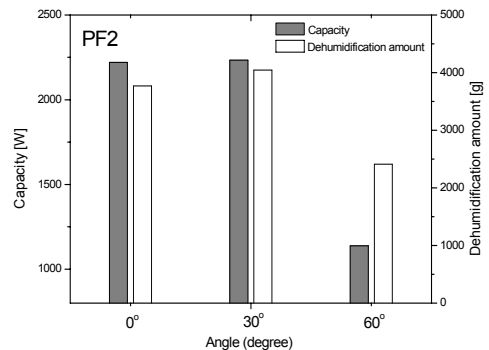


[Fig. 3] Schematic of constant temperature and humidity apparatus

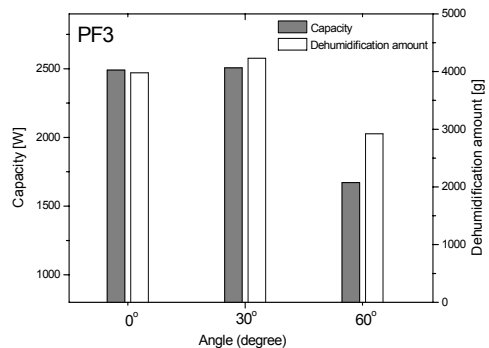
보여주며, PF 열교환기의 핀피치가 클수록 능력과 제습량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 핀피치가 클수록 핀 표면에 응축수의 배출이 원활하기 때문이다.



[Fig. 4] Comparison of capacity and dehumidification amount of PF1 heat exchanger along inclined angles



[Fig. 5] Comparison of capacity and dehumidification amount of PF2 heat exchanger along inclined angles



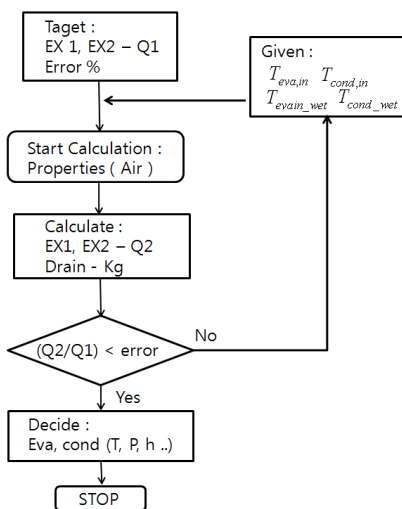
[Fig. 6] Comparison of capacity and dehumidification amount of PF3 heat exchanger along inclined angles

PF1 열교환기는 경사각 0°을 기준으로 능력과 제습량의 변화는 경사각 30°에서 약 1%와 1% 증가하고 경사각이 60°에서 약 47%와 약 52% 감소하였다. PF2 열교환기는 경사각 0°을 기준으로 경사각 30°에서 약 1%와 7% 증가하고 경사각이 60°에서 약 49%와 약 36% 감소하였다. PF3 열교환기는 경사각 0°을 기준으로 경사각 30°에서 능력과 제습량의 변화는 약 1%와 6% 증가하고 경사각이 60°에서 약 33%와 약 26% 감소하였다. 경사각이 0°에서 30°로 바뀌면 편 표면이 경사지게 되어 증력의 영향으로 응축수가 편면을 따라서 흐르기 쉬워 제습량이 증가하게 된다. 이것은 열교환기로 유입되는 공기유동 방향과 편 경사각 사이에 제습량이 최대가 되는 최적 경사각이 존재함을 보여준다.

한편, Fig. 4, 5, 6으로부터 경사각 60°로 설치된 열교환기는 수직으로 설치된 경사각 0°의 열교환기보다 능력과 제습량이 크게 감소함을 알 수 있다. 경사각 60°에서 편이 공기유로를 가로 막고 있어 공기흐름이 원활하지 못해 능력과 제습량이 크게 감소하였다[6]. 경사각 0°의 PF1 열교환기의 성능을 기준으로 하여 경사각 60°로 설치된 PF1 열교환기의 능력은 47%, 제습량은 48% 감소하였다. PF2 열교환기의 능력과 제습량은 각각 33%와 34% 감소, PF3 열교환기의 능력과 제습량은 2%와 20% 감소하였다.

3.2 PF 열교환기 성능계산

실험값을 예측하기 위해 PF 열교환기의 능력과 제습량을 계산할 수 있는 해석연구를 진행하였다.



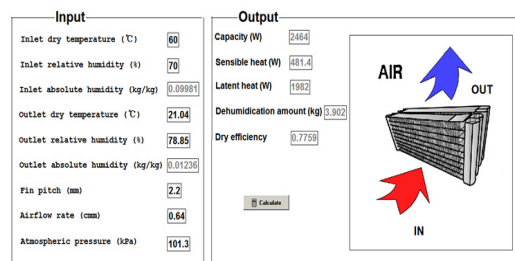
[Fig. 7] Flow chart on capacity and dehumidification amount of PF heat exchangers

열교환기의 열교환 능력은 온도변화에 의한 현열과 수증기의 상변화에 따른 잠열의 합으로 계산된다. 현열은 증발기 입·출구의 온도차와 비열 그리고 풍량에 의해 계산된다. 증발기 입·출구의 온도차와 비열은 입력 값이며 비열은 주어진 공기상태 값에 의해 EES에서 비열함수에 의해 계산된다. 제습량은 증발기 입·출구 공기상태로부터 계산된다. 증발기 입·출구 공기의 건구온도와 습구온도 또는 건구온도와 상대습도를 입력 값으로 하여 증발기 입·출구의 절대습도를 계산하고, 계산된 절대습도의 차이와 공기유량으로부터 제습량을 계산한다. 각 온도와 습도에 따른 절대습도는 EES의 HUMRAT 함수에 의해 계산된다. 계산식에서 프로그램의 건조효율은 증발기 입·출구 온도를 이용하여 계산하였고, 현재 수증기량의 포화온도는 DEWPOINT 함수에 의해 계산된다.

PF 열교환기의 능력과 제습량의 계산과정은 Fig. 7의 순서도와 같으면, 다음은 열교환기 능력과 제습량 계산과정을 보여준다. 본 논문에서 제시된 해석과정은 경사각이 0°인 PF 열교환기에 국한한다.

- (1) 설계치로 제시된 열교환기 능력을 설정
- (2) 열교환기 입출구 공기온도와 풍량 등을 고려
- (3) 온도에 따른 공기물성치와 상태값 계산
- (4) (3)에서 구한 결과를 이용하여 능력 및 제습량을 계산
- (5) 설계치로 제시된 능력과 설정된 오차 범위 밖의 결과이면, (1)~(4) 과정을 반복
- (6) 수렴되었으면 실험값과 결과값을 비교

Fig. 8은 PF 열교환기용 성능계산 프로그램의 입력 및 실행창을 보여준다. 프로그램은 열교환기 입구의 건구온도와 상대습도, 풍량 그리고 핀피치를 입력한다. 열교환기의 입구온도 조건과 면적이 정해져 있을 때 성능에 영향을 주는 핀피치의 크기를 설정함으로써 열교환기 능력변화를 계산하였다. 조건입력 후, 계산버튼을 클릭하면 열



[Fig. 8] Program on performance calculation of PF heat exchanger

[Table 3] Comparison of PF heat exchanger performance between experiment data and calculation data (inclined angle 0°).

| Fin pitch (mm) | Exp. data | Cal. data | Error [%] |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Capacity(W) | | | |
| 2.2 | 2491 | 2464 | 1.09 |
| 1.8 | 2221 | 2193 | 1.27 |
| 1.5 | 1707 | 1679 | 1.66 |
| Dehumidification amount (Kg) | | | |
| 2.2 | 3.98 | 3.902 | 1.99 |
| 1.8 | 3.77 | 3.661 | 2.97 |
| 1.5 | 3.66 | 3.583 | 2.14 |

교환기 출구온도와 이론능력이 계산되어 표기된다. 또한, 입구의 건구온도와 상대습도 그리고 증발기의 능력을 입력하면 증발기 출구의 공기상태가 계산된다.

Table 3은 PF 열교환기 실험으로 얻어진 실험값과 계산값을 비교한 결과이다. 능력은 핀피치 2.2 일 때 1.09%, 핀피치 1.8 일 때 1.27%, 핀피치 1.5 일 때 1.66%의 오차가 있었다. 드레인량은 핀피치 2.2 일 때 1.99%, 핀피치 1.8 일 때 2.97%, 핀피치 1.5 일 때 2.14%의 오차율을 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 히트펌프 건조기용 3종 PF 열교환기의 적용성을 검토하기 위하여 수행되었다. PF 열교환기의 성능과 제습량을 비교하기 위하여 히트펌프 건조기용 PF 열교환기를 설계 및 제작하였고, 경사각에 따라 비교 실험을 수행하였다. 아울러 실험값을 예측하기 위해 경사각이 0°인 경우에 대한 성능계산 프로그램을 작성하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) PF 열교환기의 능력은 경사각 0°와 30°에서 약 1% 정도의 비슷한 값을 보였지만, 제습량은 경사각 0°와 30°에서 최대 7% 정도 우수하였다. 이는 핀 경사각이 커지면 핀 표면에 생성된 응축수가 중력의 영향으로 배출이 쉬워 제습량이 증가하기 때문이다. 그러나 경사각 60°에서는 핀이 공기유로를 가로 막고 있어 공기흐름이 원활하지 못해 능력과 제습량이 크게 감소하였다.
- (2) 핀피치가 2.2mm인 PF3 열교환기의 능력과 제습량이 가장 우수하였고, 경사각 60°에서도 능력과 제습량의 감소가 PF1, PF2 열교환기에 비해 가장 적게 나타났다.
- (3) 실험값을 예측하기 위해 PF 열교환기의 능력과 제습량을 예측할 수 있는 계산프로그램을 개발하였

다. PF 열교환기 3종에 대한 실험값과 계산값은 능력의 경우에 최대 2% 이내를 제습량의 경우에 최대 3% 이내에서 만족한 결과를 보여주었다.

본 논문은 대한설비공학회 2011 하계학술발표논문의 데이터 일부가 인용되었습니다.

References

- [1] Lee, K. W., Lee, K. J., Kim, J. S., Kwon, Y. C. and Chang, K. S., 2011, Experimental Study on Performance of PF Heat Exchanger for Heat Pump Dryer, Proceedings of the SAREK 2011 Summer Annual Conference, pp. 1104-1106
- [2] Lee, K. W., Lee, K. J., Kim, J. S., Kim, K. Y., Kwon, Y. C. and Chang, K. S., 2011, Experimental Study on Performance of PF Heat Exchanger for Heat Pump Dryer by Inclination Angles, Proceedings of the SAREK 2011, Summer Annual Conference, pp. 447-449
- [3] Cho, J. P., Choi, Y. H., Kim, N. H. and Kim, J. H., 2000, Performance evaluation of PF condenser adapted to package air-conditioner, KSME, pp. 1-6
- [4] Kim, D. Y., Cho, J. P., Kim, N. H., Park, N. H. and Hwang, J. H., 2008, Air-side performance of aluminum heat exchangers at different inclination angle, Proceedings of the SAREK, pp. 181-188
- [5] Korean Standards Association, 2003, KS air-conditioner: KS C 9306
- [6] Kim, D. Y., Cho, J. P., Kim, N. H., Park, N. H. and Hwang, J. H., 2008, Air-side performance of aluminum heat exchangers at different inclination angle, Proceedings of the SAREK, pp. 181-188

이 석 현(Seok-Hyun Lee)

[준회원]

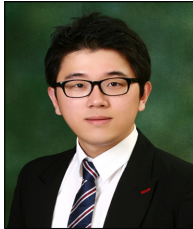


- 2013년 2월 : 선문대학교 기계공학과 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학과 (대학원)

<관심분야>
냉동공조, 전산해석

김기영(Ki-Young Kim)

[준회원]



- 2012년 2월 : 선문대학교 기계공학과 (공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학과 (대학원)

<관심분야>

냉동공조, 열교환기, 전산 해석

박삼진(Sam-Jin Park)

[정회원]



- 1977년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1979년 8월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 1984년 1월 : Case Western Reserve Univ. (공학박사)
- 1984년 4월 ~ 1994년 2월 : 한국기계연구원 책임연구원
- 1994년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

기계설계, CAD

권영철(Young-Chul Kwon)

[정회원]



- 1989년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 1991년 8월 : 포스텍 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 포스텍 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 9월 ~ 1999년 2월 : 한국전력 전력연구원

- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

냉동공조, 열전달

전종균(Chong-Keun Chun)

[정회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1985년 12월 : University of California, Los Angeles (공학석사)
- 1991년 6월 : University of California, Los Angeles (공학박사)

- 1992년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

응용역학, 진동제어