

냉매 충전량에 따른 분리형 히트파이프 성능에 관한 실험적 연구

전성택^{1*}, 조진표²

¹인천대학교 기계시스템공학부, ²인천대학교 기계·전자 RIC

An experimental study on the performance of the separate type heat pipe in accordance with the refrigerant charge

Sung-Taek Jeon^{1*}, Jin-Pyo Cho²

¹Division of Mechanical system Engineering, Incheon University

²Mechanic·Electron Regional Innovation Center, Incheon University

요약 현대 주택이 고기밀 고단열로 건축되기 때문에 에너지 절감의 이점이 있는 반면 오염된 공기로 인한 많은 부작용이 발생하고 있다. 이런 부작용을 해결하기 위해 환기장치를 사용하여 실내 공기 환경을 개선하고 있다. 본 연구에서는 폐열회수 환기장치의 일종인 히트파이프를 사용하여 작동유체 충전량 및 환기량에 따른 히트파이프의 환기성능을 시험적으로 평가하였다. 본 연구에서 사용된 히트 파이프는 환기장치에 적용이 가능하도록 분리형으로 제작되었다. 작동유체는 R22이고 유체의 충전량은 40~55(%vol.)로 5(%vol.) 단위로 충전 하였다. 환기량은 전면풍속을 기준으로 0.3~1.5m/s로 0.3 m/s 간격으로 바뀌 가며 측정하였다. 시험결과 최대 효율을 가지는 냉매 충전량이 환기량에 따라 다음을 알 수 있었고, 실험 결과 분석을 통하여 분리형 히트파이프의 환기량에 따른 최적 냉매 충전량을 찾을 수 있었다.

Abstract As modern houses are constructed with high-density and high-insulation, there is benefit to reduce energy consumption, but there are many side effects raised from polluted air. To solve the problem, a ventilation system is used to improve a indoor air quality. In this research, we experimentally estimate ventilation performance of HRV(heat recovery ventilator) with heat-pipe according to working fluid filling quantity and ventilation. Heat-pipe used in this study was designated separately to be applied to a ventilation system. The working fluid was R22, which was filled from 40 to 55 (%vol.) by 5(%vol.). Ventilation based on the front velocity was measured from 0.3 m/s to 1.5 m/s by 0.3 m/s intervals. Refrigerant filling quantity with the highest efficiency was found to depend on the ventilation. From this study the optimal refrigerant filling quantity in accordance with the ventilation of the detachable heat pipes was found experimentally.

Key Words : Condenser section, Evaporator Section, Refrigerant charging amount, Separate type heat pipe, Ventilation system

1. 서론

현대 주택이 고기밀 고단열화로 건축되기 때문에 에너지 절감의 이점이 있는 반면 오염된 공기로 인한 많은 부작용이 발생하고 있다. 이에 정부는 2006년 2월 건축물

의 설비 기준 등에 관한 규칙을 개정하여 환기 설비의 기준을 마련하는 등 실내 공기질 문제점을 보완하는 대책을 제시하고 있다.

특히 공동주택의 필요 환기량을 정하고 자연환기로 필요 환기량을 확보할 수 없는 경우 기계 환기장치 설치

이 논문은 인천대학교 2013년도 자체 연구비지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Sung-Taek Jeon (Incheon Univ.)

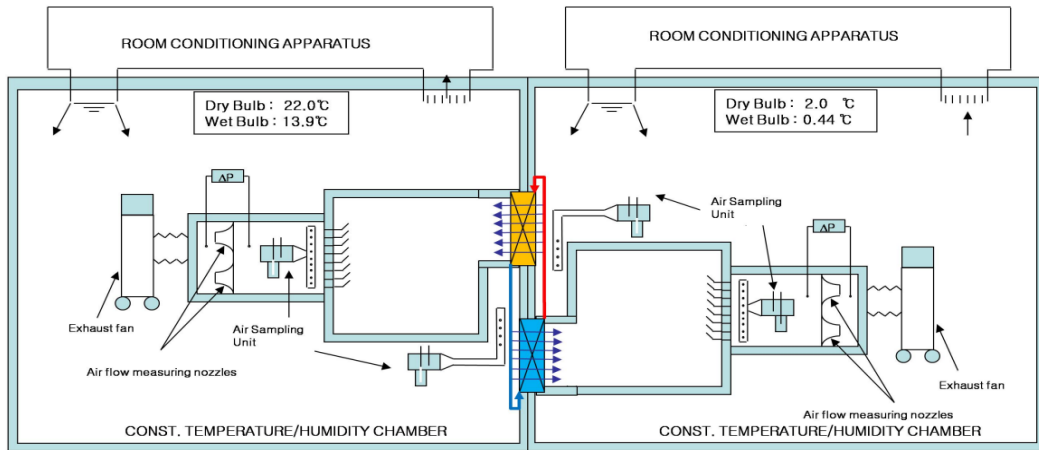
Tel: +82-2-835-8681 email: stjeon@incheon.ac.kr

Received October 16, 2014

Revised(1st December 31, 2014, 2nd January 23, 2015)

Accepted March 12, 2015

Published March 31, 2015



[Fig. 1] Schematic diagram of experimental apparatus

가 의무화 되어 있다.[1,2] 환기 설비로 다양한 방법이 사용되고 있는데, 바닥환기나 환기장치를 이용한 기계환기 시스템이 있고 건축물 내외부의 압력차로 환기를 시키는 자연환기 시스템이 있다. 기계 환기시스템은 환기 효율이 높은 반면에 기계 장치가 필요하고 자연환기의 경우는 별도의 기계 장치가 필요 없는 대신 환기 효율이 낮다.

히트 파이프에 대한 기존의 연구로는 Lee et al.[3]은 알루미늄 평판 압출관으로 제작된 진동 세관형 히트파이프에 3가지(R-412b, R-22, R-290) 작동 유체를 충전하여 열전달 특성에 관한 실험을 수행하였으며, 모든 작동유체에서 충전율이 40(% vol.)일 때의 열전달 성능이 우수하다고 보고 하였고 작동유체로는 R-22의 열전달 성능이 가장 우수함을 밝혔다. Gu et al.[4]은 평판 압출관의 내부 채널수가 진동형 히트파이프의 성능에 미치는 영향에 대하여 시험적 연구를 수행 하였는데 평판관내의 채널수가 작을수록 성능이 우수함을 보고하였다. 대부분의 연구가 일체형 형태의 히트 파이프로 분리형 형태의 히트 파이프에 대한 연구내용이 부족하다.

본 연구에서는 별도의 동력장치가 필요 없어 친환경적인 히트파이프를 사용하여 작동유체 충전량 및 환기량에 따른 분리형 히트파이프의 환기성능을 시험적으로 평가 하였다. 본 연구에서 사용된 히트 파이프는 환기장치에 적용 가능하도록 분리형으로 제작되었다. 분리형 히트파이프식 열교환기의 내부를 진공으로 한 후에 일정한 양의 작동유체를 주입하고 고온의 열유체를 가열부로 보내면 각 가열관내의 작동유체는 증발하면서 압력이 높아

지며, 증기가 증발부의 헤더에 모인 후 증기상승관을 통하여 냉각부 위 헤더에 도달한다.

여기서 증기는 각 냉각관내로 분배되고 관외에서의 저온유체에 의해 냉각관내의 증기는 관내벽에 응축되며, 응축액은 중력의 작용에 의해 응축부 아래의 헤더에 모인 후 액체하강관을 통하여 가열부 아래 헤더에 보내지면서 작동유체의 순환이 계속되어 열을 수송하게 된다. 여기서 응축액의 귀환력은 냉각부를 높은 위치에 설치하여 발생하는 액위차에 의해 구동력이 발생된다.[5] 분리형 히트파이프에 사용된 작동유체는 열적 특성이 우수한 R22를 사용하였다.

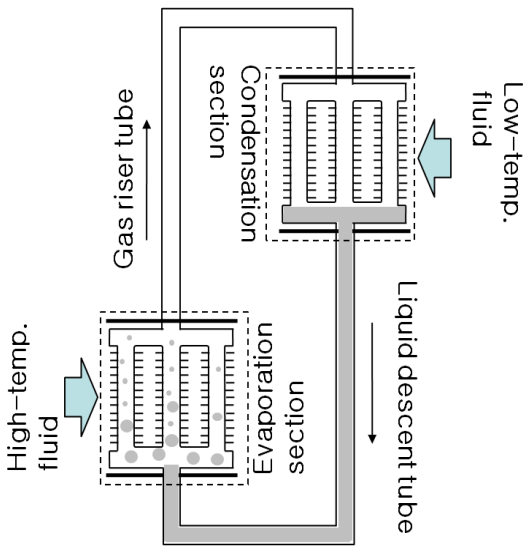
2. 실험장치 구성 및 방법

2.1 실험 장치의 구성

히트 파이프 시험장치는 Fig. 1에 나타내었다. 항온항습으로 제어되는 2룸 챔버에 KS B 6879 열외수형 환기장치 시험 기준의 난방 조건으로 시험하였다. 히트파이프 상부 응축부와 하부 증발부의 풍량 및 온도/습도 측정 은 실내측과 실외측에 구비되어 있는 풍량 측정 챔버와 온도 샘플러를 이용하여 측정하였다. 공기측 온도/습도 측정은 정밀도 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 로 교정된 PT-100Q 센서를 장착한 공기 취득 장치를 이용해 건구 온도와 습구 온도를 측정하였다. 실험의 오차해석을 ANSI/ASHRAE 37[6]에 따라 수행 하였는데 공기측 풍량 측정 오차는 $\pm 0.5\%$ 이

내로 나타났다.

본 연구에서 사용된 히트파이프 열교환기 크기는 400×380×60mm(가로×세로×두께)로 3열 18단의 핀-관형 열교환기로 구성되어 있다. 응축부와 증발부의 연결은 직경 1/2인치, 길이 2m 동관을 사용해 용접하여 제작하였다. 히트파이프내 진공은 고진공 시스템을 이용해서 1시간이상 충분히 진공을 유지 하였으며 작동유체 충전은 냉매실린더를 사용해서 충전 하였다.



[Fig. 2] Separate type heat pipe structure

Fig. 2에는 분리형 히트파이프 구조에 대하여 도시하였다. 분리형 히트파이프의 증발부 공기측으로 흐르는 고온유체에 내부의 냉매가 증발되고 발생된 증기는 증기상승관을 통해 상부의 응축부로 이동을 한다. 응축부의 공기측으로 흐르는 저온유체에 의해 냉각된 액체는 액체하강관을 거쳐 다시 증발부로 이동을 하는 페루프 순환을 한다. 이때 증기상승관 유동에 의한 압력손실과 냉각부에서 냉각된 액체가 액체 하강관내의 유동에 의한 압력 손실의 합이 최대 가능수두보다 작아야 수두차가 구동력으로 되어 액체 순환한다.

2.2 실험 방법

실험 챔버의 온도는 KS B 6879 열회수형 환기장치 시험 기준의 난방 조건으로 설정 하였다. 실내측 챔버의 건구온도/습구온도는 22.0/13.9 °C, 실외측 챔버의 건구온도

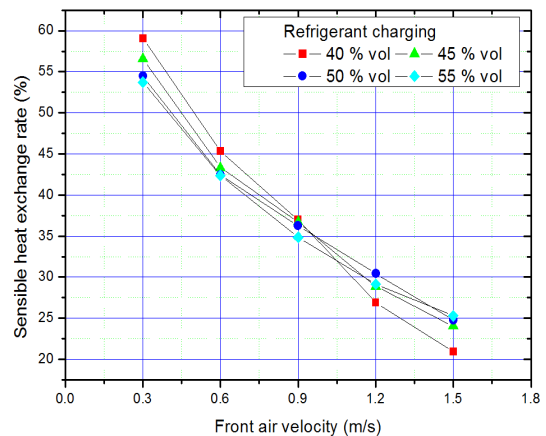
/습구온도는 2.0/0.4 °C로 일정하게 유지 되도록 제어되었다. 공기측 풍량의 제어는 응축부와 증발부 히트파이프 열교환기에 풍동을 직접 연결하여 제어하였다.

풍량은 열교환기 전면 통과 풍속을 기준으로 0.3~1.5 m/s로 0.3 m/s로 5단계 바꾸어 가며 측정하였다. 풍동은 Fig. 1에서 나타난 것과 같이 멀티 노즐 방식으로 제작되었다. 열교환기 입구측 온도 측정은 공기 포집 장치를 이용해서 히트파이프 입구와 출구에서 각각 측정하였다. 작동유체의 충전은 히트파이프의 관내체적을 계산하여 냉매 실린더를 사용해서 충전 하였다. 작동유체의 충전량은 40~55(% vol.)로 5(% vol.) 씩 증가하며 4회 충전 하였다.

3. 실험 결과 및 분석

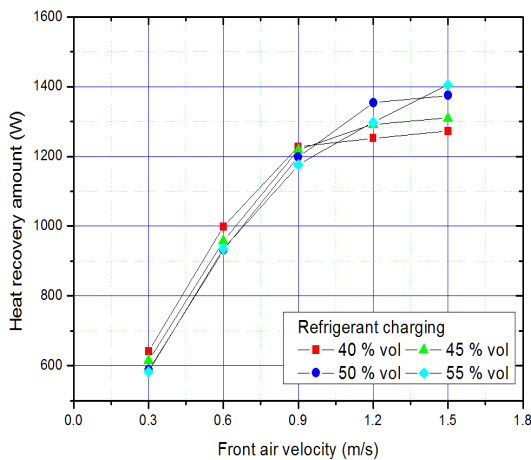
분리형 히트파이프의 증기-액체 유동사항은 분리형이 작동을 시작한 후 가열부의 액체가 비등하면 기포를 발생하고 기포가 커져서 벽면을 이탈하여 떠올라가는 하나의 과정을 가지고 있으며, 이때 증기-액체 혼합물의 체적은 액체의 체적보다 커지고, 증기-액체 혼합물이 위쪽 헤더에 밀려들어 가서 냉각부에 까지 들어갈 수도 있다.

이러한 상황이 나타난 후의 결과는 가열관으로 부터 냉각관 사이의 압력차를 증대시키고 동시에 액체가 냉각부로 들어가기 때문에 관벽의 액막이 두터워지면서 열전달 효과를 악화시키게 되므로 0(%vol.)에서 100(%vol.) 사이의 충전량에서 적당한 수치를 찾아내야 한다.



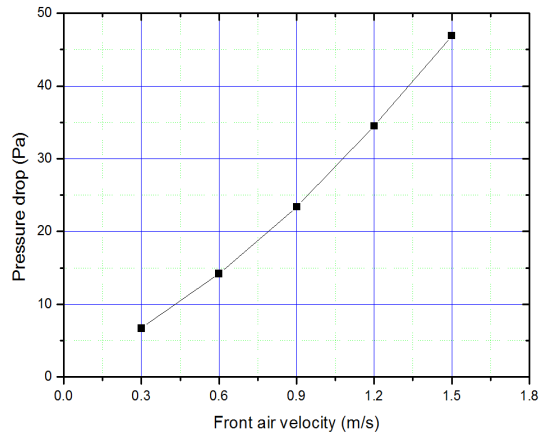
[Fig. 3] Front air velocity vs. sensible heat exchange rate

Fig. 3은 전면풍속 변화에 따른 온도교환 효율을 나타내었다. 모든 충전량에 대하여 전면풍속이 낮을 때 큰 값을 나타냈으며 전면속도 증가에 따라 점차 감소 하였다. 전면풍속이 저 풍속일 경우 작동유체의 충전량이 40(%vol.)일 때가 가장 높았는데 전면풍속이 증가함에 따라 역전하는 결과를 보였다. 전면풍속이 0.9 m/s ~ 1.2 m/s 사이의 결과를 보면 충전량 40(%vol.)일 경우 온도교환 효율이 급격히 떨어졌으며 45(%vol.)나 50(%vol.) 보다 낮은 값을 나타내었다. 전면풍속이 1.5m/s의 경우의 온도교환 효율의 경우는 작동유체 충전량이 55(%vol.)가 가장 높고 50, 45, 40(%vol.) 순으로 측정되었다. 이는 전면풍속이 증가하게 되면 작동유체 충전량이 적을 경우 작동유체가 증발하거나 응축할 수 있는 여력이 없어서 이런 결과를 보인 것으로 판단된다.



[Fig. 4] Front air velocity vs. heat recovery amount

Fig. 4에는 전면풍속 변화에 따른 열회수량을 나타내었다. 열회수량은 모든 충전량에서 전면풍속이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였는데 전면풍속이 증가함에 따라 기울기가 감소하는 것을 관찰 할 수 있었다. 전면풍속이 낮을 경우는 작동유체의 충전량이 적은 경우에서 높은 열회수량을 보이고 전면속도가 증가할수록 작동유체의 충전량이 큰 경우에서 높은 값을 나타내었다. 열회수량의 경우에도 온도교환 효율과 비슷한 결과를 보이는데 전면풍속이 1.5m/s일 경우 작동유체 충전량 55(%vol.)일 때가 가장 큰 값을 나타내었다.



[Fig. 5] Front air velocity vs. pressure drop

Fig. 5에는 전면속도 변화에 따른 히트파이프 열교환기 공기측 압력강하를 나타내었다 공기측 압력강하 값은 전면속도 증가에 따라서 일정한 비율로 증가함을 볼 수 있다.

분리형 히트파이프식 열교환기의 이점은 증발부와 응축부간의 거리를 이주 멀리 할 수 있다는 것이지만, 증발기와 응축기의 고도차가 반드시 있어야 하고, 그 고도차는 증기와 액체를 수송하는 압력손실에 상당하는 액주높이보다 반드시 커야 한다는 것이다.

시험결과 최대 효율 및 열회수량은 전면속도와 작동유체 충전량에 따라 변화함을 볼 수 있었고 전면속도가 낮을 경우는 충전량이 적을수록 전면속도가 클 경우는 충전량이 많은 경우가 유리함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 분리형 히트파이프의 작동유체의 충전량을 40~55(% vol)로 5(% vol) 단위로 변화시키고, 전면속도를 0.3~1.5m/s로 0.3 m/s 단위로 변화 시켜서 온도교환효율과 열회수량을 시험을 통하여 측정하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 전면속도가 0.9m/s 보다 낮을 경우에는 작동유체 충전량이 40(%vol.)의 경우가 가장 높은 온도교환 효율 및 열회수량을 보였으며 전면속도가 0.9m/s 이상의 경우에는 작동유체 충전량이 많을수록 커지는 결과를 보였다.

2) 실험결과 최대 효율을 가지는 작동유체 충전량이 환기량에 따라 다름을 알 수 있었고, 환기량이 작을수록 온도교환 효율이 높게 나타났다. 본 연구를 통하여 분리형 히트파이프의 환기량에 따른 최적 냉매 충전량을 찾을 수 있었다

References

- [1] Korea Air Cleaning Association, "Indoor environmental professional development training materials", pp 3-9, 2005.
- [2] Ministry of Environment, "Installation of ventilation equipment, such as a multi-use facility setting research standards", pp 203-204. 2008.
- [3] Lee, W.H., Kim, Y.B., Kim, J.H., and Kim, J.S., "Influence of Working Fluids to Heat Transfer Characteristics of the Heat Exchanger using Oscillating Capillary Tube Heat Pipe for Low Temperature Waste Heat Recovery", Korean Journal of SAREK, Vol. 12 No.7, pp. 659-666, 2000.
- [4] Gu, Y. U., Kwon, Y. H., Kim, J. S., "An experiment of Pulsating Heat pipe according to the Number of inner flow channel of Flat Tube Heat Exchanger", Proceedings of the SAREK 2013 Winter Annual Conference, pp. 073-076, 2013.
- [5] Lee, K, W "Seperate heat pipe heat exchanger" Proceedings of the SAREK 1997 Annual Conference, 31-49, 1997.
- [6] ANSI/ASHRAE Standard 37, "Standard measurement guide, engineering analysis of experimental data", ASHRAE., 2005.

조진표(Jin-Pyo Cho)

[종신회원]



- 1998년 2월 : 인천대학교 인천대학원 기계공학 (공학석사)
- 2005년 2월 : 인천대학교 인천대학원 기계공학 (공학박사)
- 1998년 2월 ~ 2000년 8월 : 대우전자 주임연구원
- 2000년 9월 ~ 현재 : 인천대학교 기계전자RIC 팀장

<관심분야>

기계공학, 공기조화 및 냉동

전성택(Sung-Taek Jeon)

[정회원]



- 1981년 2월 : 숭실대학교 공과대학원 기계공학 (공학석사)
- 1996년 2월 : 인천대학교 인천대학원 기계공학 (공학박사)
- 1980년 3월 ~ 2010년 2월 : 인천전문대학 교수
- 2010년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 기계시스템공학부 메카트로닉스전공 교수

<관심분야>

기계공학, 열·유체 분야