

열교환기 형상에 따른 분리형 히트파이프 성능 비교

전성택^{1*}, 조진표²

¹인천대학교 기계시스템공학부, ²인천대학교 기계·전자 RIC

Separate type heat pipe performance comparison by the heat exchanger shapes

Sung-Taek Jeon^{1*}, Jin-Pyo Cho²

¹Devison of Mechanical system Engineering, National University of Incheon

²Mechanic·Electron Regional Innovation Center, National University of Incheon

요약 본 연구에서는 핀-관형 히트파이프와 평행류형 히트파이프 제작하여 시험하였으며 분리형 히트파이프의 작동유체의 충전량은 40~60(% vol.), 풍량은 300~1,400 사이에서 변화시켜가며 온도교환 효율, 열회수량, 공기측 압력강하를 비교하였다. 온도교환 효율은 두 종류의 히트파이프 모든 경우에서 저 풍량에서는 작동유체 충전량이 40(%vol.)일 때가 가장 높았으며 풍량이 증가함에 따라 최대 효율을 가지는 작동유체 충전량이 다름을 알 수 있었고, 환기량이 작을수록 온도교환 효율이 높게 나타났다. 평행류형 히트파이프 60(%vol.)의 실험결과에서 보는 것과 같이 작동 유체를 너무 많이 충전하게 되면 오히려 낮은 온도교환 효율을 보이는데 이는 관벽의 액막이 두터워지면서 열전달 효과를 악화시킨 결과로 최적 충전량이 40~50(%vol.) 사이에 있음을 알 수 있다. 풍량 변화에 따른 공기측 압력강하 비교에서는 증발부 히트파이프가 응축부 히트파이프보다 크게 계측되었는데 증발부 표면에 생긴 결로수의 영향으로 생각된다. 평행류형 히트파이프는 핀-관형 히트파이프와 비교하여 냉매 충전량은 48%, 체적은 41%에서 동등이상의 성능을 보였으며, 공기측 압력강하도 37% 정도로 좋은 성능을 나타내었다.

Abstract This study compared fin-tube and parallel-flow heat pipes for their sensible heat exchange rate, heat recovery amount, and air-side pressure drop. Tests were done with different refrigerant charging rates of 40-60% vol. and air flow rates of 300-1,400. The sensible heat exchange rate was highest for both types of heat pipes at a working fluid charge of 40% vol. and low flow rate. For the parallel-flow heat pipe, the 60% vol. charge is too high and results in a low sensible heat exchange rate. The reason is that the thicker liquid film of the tube wall deteriorates the heat transfer effect. Hence, the optimal charging rate is 40 to 50% vol. The evaporator heat pipe has a larger air-side pressure drop than the condenser section heat pipe. The reason is considered to be condensation water arising from the evaporator surface. Compared to the fin-tube heat pipe, the parallel-flow heat pipe showed better performance with a working fluid charging rate of 48%, volume of 41%, and an air-side pressure drop about 37%.

Keywords : Fin-tube type heat pipe, Parallel flow type heat pipe, Refrigerant charging amount, Separate type heat pipe, Ventilation system

1. 서론

지구 자원은 한정되어 있다. 전 지구적으로 산업화가 진행되어 가면서 수요가 급속하게 증가되고 있는 실정이

다. 또한 생활수준 향상에 따라서 쾌적한 환경을 추구하려는 욕구가 커지고 있어 냉난방 부하가 매년 증가하고 있다. 이에 따라, 하절기 전력 수요는 매년 갱신되고 있는 등 냉방용 전력 소비량이 급증하고 있다. 올해는 70년

이 논문은 인천대학교 2015년도 자체 연구비지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Sung-Taek Jeon(National University of Incheon)

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

Received October 17, 2016

Revised November 21, 2016

Accepted December 8, 2016

Published December 31, 2016

만에 유래 없는 심한 무더위로 인하여 전력 예비율이 최저에 도달하게 되었고 공장 등 대규모 전기 수요처에 대한 제한 송전이 이루어지는 단계에까지 이르렀다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 하절기 전력 침투부하에 맞추어 신규 발전소를 증설하는 방안이나 대체 에너지를 개발하는 방안들이 논의되고 있으나, 이러한 발전소의 증설이나 대체 에너지의 개발에는 많은 비용, 시간 및 노력이 요구된다. 따라서 현실적으로 에너지 문제를 대처하기 위한 가장 빠르고 손쉬운 방법은 에너지 절약 및 폐 에너지 회수 전략이라 할 것이다.

폐열을 회수하는 방법으로는 건물에 공급된 냉난방 에너지를 회수하여 사용되는 환기장치를 들 수 있는데 여기에 사용되는 열교환기로 히트파이프를 이용하는 방법이 있다. 히트파이프를 이용한 열교환기의 경우, 실내공기와 외부공기가 서로 격리되어 있기 때문에 누설이 없고 내부가 진공으로 유지되어 실내공기 및 외부공기의 미세한 온도차에 의해서도 작동유체의 증발과 응축이 쉽게 일어나 열전달 효율이 높다는 장점이 존재한다. 그러나 일체형으로 구성되기 때문에 큰 공간이나 건물등 대용량 환기 시스템에서의 적용이 어렵다.

히트 파이프에 대한 기존의 연구로는 Lee et al.[1]은 알루미늄 평판 압출관으로 제작된 진동세관형 히트파이프에 3가지(R-412b, R-22, R-290) 작동 유체를 충전하여 열전달 특성에 관한 실험을 수행하였으며, 모든 작동 유체에서 충전율이 40% vol일 때의 열전달 성능이 우수하다고 보고 하였다. 또한 작동유체로는 R-22의 열전

달 성능이 가장 우수함을 밝혔다. Gu et al.[2]은 평판압출관의 내부 채널수가 진동형 히트파이프의 성능에 미치는 영향에 대하여 시험적 연구를 수행 하였는데 평판관내의 채널수가 작을수록 성능이 우수함을 보고하였다. 분리형 히트파이프에 관한 연구는 Jeon et al.[3, 4]에 의해 공조기에서 주로 사용되는 핀관형 열교환기와 자동차에서 주로 사용되지만 근래 가정용 에어컨에 많이 적용되고 있는 평행류형 열교환기를 사용한 분리형 히트파이프 적용 연구가 있다.

본 연구에서는 Jeon et al.[3, 4]에 의해 수행된 두 종류의 열교환기를 사용한 분리형 히트파이프시험결과를 비교하여 두 열교환기에서 성능 특성을 분석하려고 한다. 타 연구에서는 히트파이프의 형상 및 제작에 대한비교분석 데이터가 없어 직접 비교하기 어려운 부분이 있어 이번 연구를 통해 히트파이프 형상에 따른 성능, 냉매 충전량, 공기측 압력강하 특성을 분석함으로써 환기장치에 적용 하였을 때 기초 자료로 사용 하고자한다.

이러한 목적을 위해 본 연구에서 사용된 히트 파이프는 환기장치에 적용 가능하도록 분리형으로 제작되었다. 증발부와 응축부로 구성된 분리형 히트파이프 열교환기 내부를 충분히 진공 한 후 일정한 양의 작동유체를 주입하고 고온의 열유체를 가열부로 보내면 각 가열관내의 작동유체는 증발하면서 압력이 높아지며, 증기가 증발부에 모인 후 증기상승관을 통하여 냉각부에 도달한다.

여기서 증기는 각 냉각관내로 분배되고 관외에서의 저온유체에 의해 냉각관내의 증기는 관내벽에 응축되며,

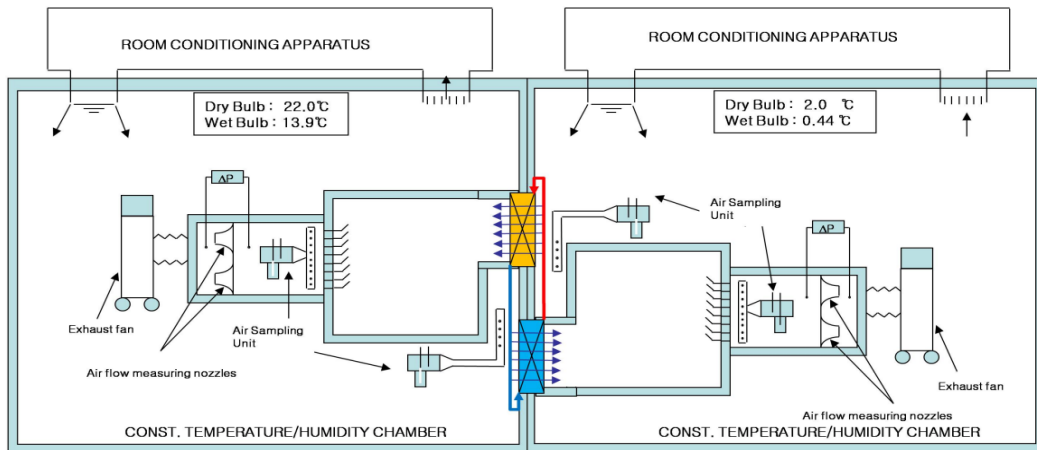


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

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.

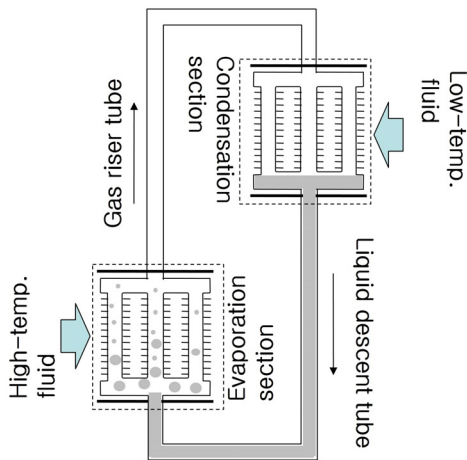


Fig. 2. Separate type heat pipe structure

2. 본론

2.1 실험 장치의 구성

히트 파이프 실험 장치는 Fig. 1에 나타내었다. 실험 장치는 항온항습으로 제어되는 2류 방식의 칼로리미터로 시험은 KS B 6879[6] 열회수형 환기장치 시험 기준의 난방 조건으로 시험하였다. 히트파이프 상부 응축부와 하부 증발부의 풍량 및 온도/습도 측정은 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-100 Ω 센서를 장착한 공기 취득 장치를 이용해 건구 온도와 습구 온도를 측정하였다. 실험의 오차해석을 ANSI/ASHRAE 37[7]에 따라 수행하였는데 공기측 풍량 측정 오차는 $\pm 0.5\%$ 이내로 나타났다.

Fig. 2에는 분리형 히트파이프 구조에 대하여 그림으로 표현 하였다. 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 폐루프 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.

로 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 폐루프 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.

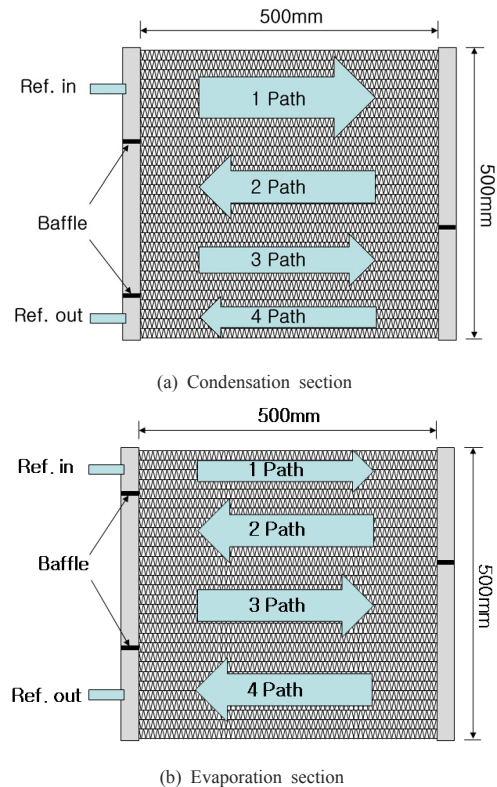


Fig. 3. Parallel flow type heat exchanger

본 연구에서 사용된 평행류형 열교환기는 Fig. 3에 핀-관형 열교환기는 Fig. 4에 나타내었다. 평행류형 열교환기 크기는 500×500×15mm(가로×세로×두께)로 50개의 평판 튜브가 헤더파이프에 용접되어 있고 평판튜브사이에는 루버핀이 장착되어 공기측 열교환을 하고 있다. 루버핀의 높이는 8.8mm, 길이는 15mm이고 루버앵글 25°, 핀 핏치는 1.2mm이다. 냉매측 유로는 4개 패스로 (18-14-10-8) 베플에 의해 구분되어 있다. 응축부와 증발부의 열교환기는 Fig. 3에 나타난 것과 같이 설치하였다.

핀-관형 열교환기 크기는 400×380×60mm(가로×세로×두께)로 3열 18단 으로 구성되어 있으면 3개의 입구와 3개의 출구로 구성되었다. 핀 형상은 사인웨이브 슬릿 타입이며, 핀 핏치는 1.5mm이다. 응축부와 증발부의 열교환기는 Fig. 4에 나타난 것과 같이 설치하였다. 응축부와 증발부의 연결은 직경 1/2인치, 길이 2m 동관을 사용해 용접하여 제작하였다. 평행류형 열교환기와 핀-관형 열교환기의 크기는 체적대비 평행류형 열교환기가 핀-관형 열교환기의 41% 체적 비율을 가지고 있으며 작동유체가 이동하는 열교환기 내부 용적은 평행류형 열교환기가 핀-관형 열교환기의 25%로 매우 작다. 히트파이프내 진공은 고진공 시스템을 이용해서 1시간이상 충분히 진공을 유지 하였으며 작동유체 충전은 냉매실린더를 사용해서 충전 하였다.

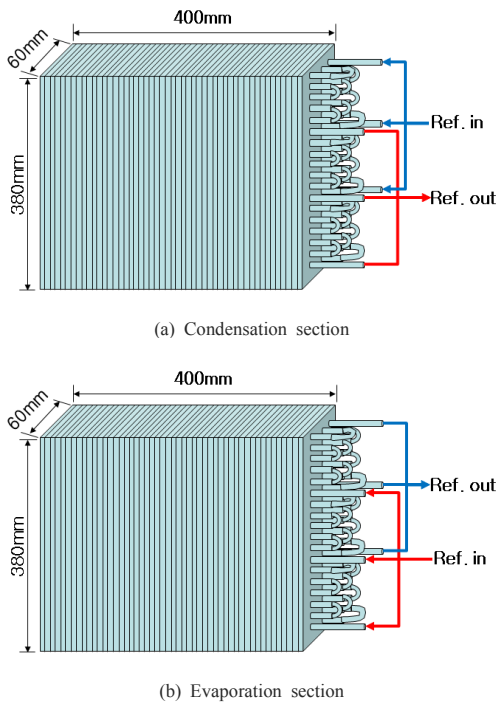


Fig. 4. Fin & Tube type heat exchanger

2.2 실험 방법

실험 챔버의 온도는 KS B 6879 열회수형 환기장치 시험 기준 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 제어

되었다. 공기측 풍량 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 내부에 작동유체를 액체상으로 완전히 충전한 무게를 기준으로 작동유체의 무게의 비율로 계산하였고 평행류형 히트파이프는 40, 50, 60(%vol.), 핀-관형 히트파이프는 40, 45, 50, 55(%vol.)에 대하여 실험을 진행하였다. 충전된 냉매량은 40(%vol.)일 때 평행류형은 0.75kg, 핀-관형은 1.58kg으로 평행류형 히트파이프가 핀-관형 히트파이프의 48%의 냉매를 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 증대시킴과 동시에 액체가 냉각부로 들어가기 때문에 관벽의 액막이 두터워지면서 열전달 효과를 악화시키게 되므로 0(%vol.)에서 100(%vol.) 사이의 충전량에서 적당한 수치를 찾아내야 한다.

Fig. 5는 풍량 변화에 따른 온도교환 효율을 나타내었다. 온도교환 효율은 아래식과 같이 구해진다.

$$\eta_t = \frac{t_{OA} - t_{SA}}{t_{OA} - t_{RA}} \times 100$$

여기서 η_t 는 온도교환 효율, t_{OA} 는 실외온도, t_{SA} 는 급기 온도, t_{RA} 는 환기온도이다.

온도교환 효율은 모든 충전량에 대하여 풍량이 적을 때 큰 값을 나타냈으며 풍량이 증가에 따라 점차 감소하였다. 두 종류의 히트파이프 모두에서 저 풍량에서는 작

동유체 충전량이 40(%vol.)일 때가 가장 높았는데 전면 풍속이 증가함에 따라 역전하는 결과를 보였다.

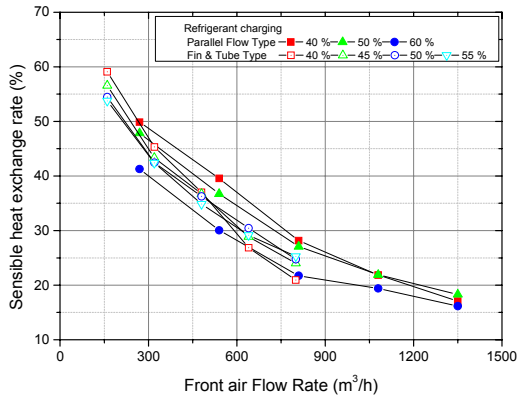


Fig. 5. Air Flow Rate vs. sensible heat exchange rate

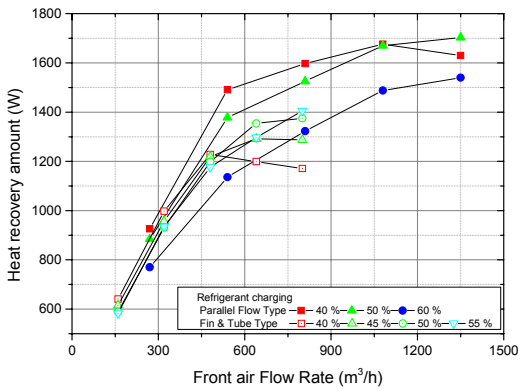


Fig. 6. Front air Flow Rate vs. heat recovery amount

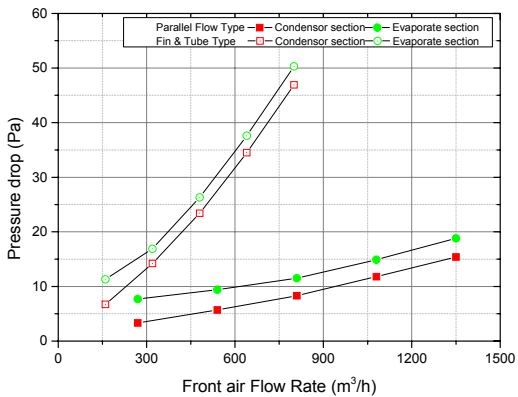


Fig. 7. Front air Flow Rate vs. pressure drop

풍량이 커지면 50(%vol.) 경우에서 높은 온도교환 효율을 보이는데 이는 풍량이 증가되면서 많은 양의 작동 유체가 증발되거나 응축될 수 있는 조건이 만들어진 것으로 판단된다. 그러나 평행류형 히트파이프 60(%vol.)의 실험결과 에서 보는 것과 같이 작동 유체를 너무 많이 충전하게 되면 오히려 낮은 온도교환 효율을 보이는데 이는 관벽의 액막이 두터워지면서 열전달 효과를 악화시킨 결과로 최적 충전량이 40~50(%vol.) 사이에 있음을 알 수 있다.

Fig. 6에는 풍량 변화에 따른 열회수량을 나타내었다. 열회수량은 모든 충전량에서 풍량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 풍량이 증가함에 따라 기울기는 감소하는 것을 관찰 할 수 있었다. 풍량이 작을 경우는 작동 유체의 충전량이 적은 경우에서 높은 열회수량을 보이고 풍량이 증가할수록 작동 유체의 충전량이 큰 경우에서 높은 값을 나타내었다. 열회수량의 경우에도 온도교환 효율과 비슷한 결과를 보이는데 핀-관형 히트파이프 대비 체적이 41%에 불과한 평행류형 히트파이프의 열회수량이 작동 유체 충전량 50(%vol.), 풍량 800m³/h에서 124%의 열회수 능력을 보인다. Cho et al.[8]의 평행류형 열교환기를 가정용 패키지 에어컨에 적용한 실험에서 핀-관 열교환기 체적대비 37.6%에서 동일한 성능을 나타냄을 보고 하였다.

Fig. 7에는 전면속도 변화에 따른 히트파이프 열교환기 공기측 압력강하를 나타내었다. 공기측 압력강하 값은 풍량 증가에 따라서 일정한 비율로 증가함을 볼 수 있다. 응축부와 증발부의 공기측 압력강하를 비교해 보면 두 종류의 히트파이프 모든 경우에서 증발부에서 보다 큰 압력 강하를 보였다. 이는 증발부 히트파이프 표면이 차가워 미세한 결로가 발생해 공기측 압력강하가 크게 나타난 것으로 생각된다. 두 종류의 히트파이프에서 압력강하를 비교해 보면 작동 유체 충전량 50(%vol.), 풍량 800m³/h에서 핀-관형 히트파이프가 평행류형 히트파이프의 4.4배 더 큰 값을 보인다.

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

시험결과 최대 효율 및 열회수량은 전면속도와 작동 유체 충전량에 따라 변화함을 볼 수 있었고 전면속도가

낮을 경우는 충전량이 적을수록 전면속도가 클 경우는 충전량이 많은 경우가 유리함을 알 수 있었다.

또한 평행류형 히트파이프의 경우 핀-관형 히트파이프 대비 체적 41%에서 동등 이상의 성능을 보임을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 핀-관형 히트파이프와 평행류형 히트파이프 제작하여 시험하였으며 분리형 히트파이프의 작동유체의 충전량은 40~60% (vol.), 풍량은 300~1,400 m³/h 사이에서 변화시켜가며 온도교환 효율, 열회수량, 공기측 압력강하를 시험을 통하여 측정 비교하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 온도교환 효율은 두 종류의 히트파이프 모든 경우에서 저 풍량에서는 작동유체 충전량이 40%(vol.) 일 때가 가장 높았으며 풍량이 증가함에 따라 최대 효율을 가지는 작동유체 충전량이 환기량에 따라 다름을 알 수 있었고, 환기량이 작을수록 온도교환 효율이 높게 나타났다.
- 2) 평행류형 히트파이프 60%(vol.)의 실험결과 에서 보는 것과 같이 작동 유체를 너무 많이 충전하게 되면 오히려 낮은 온도교환 효율을 보이는데 이는 관벽의 액막이 두터워지면서 열전달 효과를 악화시킨 결과로 최적 충전량이 40~50%(vol.) 사이에 있음을 알 수 있다.
- 3) 풍량 변화에 따른 공기측 압력강하 비교에서는 증발부 히트파이프가 응축부 히트파이프 보다 크게 계측 되었는데 증발부 표면에 생긴 결로수의 영향으로 생각된다.
- 4) 평행류형 히트파이프는 핀-관형 히트파이프와 비교하여 냉매 충전량은 48%, 체적은 41%에서 동등 이상의 성능을 보였으며, 공기측 압력강하도 37% 정도로 좋은 성능을 나타내었다.

본 연구를 통하여 평행류형 히트파이프와 핀-관형 히트파이프를 비교하였으며 분리형 히트파이프에 적용 하였을 때 환기량에 따른 최적 냉매 충전량이 다름을 알 수 있었다.

References

- [1] W. H. Lee, Y. B. Kim, J. H. Kim, J. S. Kim, "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.
- [2] Y. U. Gu, Y. H. Kwon, J. S. Kim, "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.
- [3] S. T. Jeon, J. P. Cho, "An experimental study on the performance of the separate type heat pipe in accordance with the refrigerant charge", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 16, no. 3 pp. 1600-1604, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.3.1600>
- [4] S. T. Jeon, J. P. Cho, "Study on the Performance of the Separate type Heat Pipe Using the Parallel Flow type Heat Exchanger", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 16, no. 8 pp. 5045-5050, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.8.5045>
- [5] K. W. Lee, "Separate heat pipe heat exchanger" *Proceedings of the SAREK 1997 Annual Conference*, pp. 31-49, 1997.
- [6] Korea agency for technology and standards Ks B 6879, "Heat-recovery ventilators", *KATS*, 2007.
- [7] ANSI/ASHRAE Standard 37, "Standard measurement guide, engineering analysis of experimental data", *ASHRAE*, 2005.
- [8] J. P. Cho, Y. H. Choi, N. H. J, H. Kim, "Performance evaluation of PF-Condensor adopted to Package air-conditioner", *Proceedings of the SAREK 1999 Winter Annual Conference*, pp. 045-051, 1999.

전 성 택(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

조 진 표(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