

수평관내 HC계 냉매의 증발 압력강하 특성

최준혁⁺, 이호생⁺⁺, 김재돌⁺⁺⁺, 윤정인⁺⁺⁺⁺

Characteristics on Evaporating Pressure Drop of HCs Refrigerants inside a horizontal tube

Choi Jun Hyuk⁺, Lee Ho Saeng⁺⁺, Jae-Dol Kim⁺⁺⁺ and Yoon Jung-In⁺⁺⁺⁺

Abstract : Characteristics on evaporating pressure drop of HCs refrigerants inside a horizontal tube were studied experimentally. Experimental results were presented for pressure drops of hydrocarbon refrigerants R-290, R-600a, R-1270 and HCFC refrigerant R-22 inside a horizontal double pipe heat exchanger. Three tubes with a tube diameter of 12.70mm, 9.52mm and 6.35mm were used for this study. Hydrocarbon refrigerants showed higher evaporating pressure drop than that of R-22 in all tubes. The highest pressure drop was founded in R-600a. The highest evaporating pressure drop of all refrigerants was shown in a tube diameter of 6.35mm with same mass flux. The results can be used as the basic data for the design of heat exchanger using hydrocarbon refrigerants as an alternatives.

Key words : Horizontal tube(수평관), Hydrocarbon(탄화수소), Evaporator(증발기), Natural refrigerant(자연냉매), Pressure drop(압력강하)

1. 서론

냉동·공조장치에서 널리 쓰이고 있는 CFC계 냉매나 HCFC계 냉매는 몬트리올 의정서에 의한 오존층 파괴물질의 규제선언 이후 점차 HFC계열의 냉매나 혼합냉매로 대체되어 가고 있다.^[1] 하지만 HFC계열 냉매는 지구 온난화의 주원인으로 판명됨에 따라 사용 규제 강화로 인하여 세계 각국에서는 지구 환경을 파괴하지 않으면서, 독성이 없이 대체할 적절한 냉매를 개발하기 위한 연구를 진행 중이다.^[2] 이러한 관점에서 환경 친화적인 자연냉매 사용 필요성이 대두되고 있다. 자연냉매인 탄화수소계 냉매는 기존 냉동장치에서의 윤활유와 잘 혼합하는 등의 장점이 있어 (H)CFC계 대체냉매에 가장 적합한 자연냉매로 평가받고 있지만 가연성의 문제로 유럽을 제외한 미국 및 일본 등 다른 선진국에서는 거의 무시되어 왔다. 그러나 기존의 문헌에 의하면 소형냉동장치에서는 밀폐식 압축기를 채용하고 있으므로 누설의 가능성이 적고,^[3] 대형 냉동·공조 장치에 있어서도 적절한 환기 시스템 도입과 누설 감지기 등의 간단한 안전장치로 해결할 수 있는 것으로 보고되고 있다.

종래 연구로는 Gursaran D. Mathur^[4]은 R-12, R-134a와 탄화수소계 냉매 R-290, R-600a, R-290/R-600a를 작동유체로 하여 외관 9.53mm, 관두께 0.64mm 평활관에서 증발 온도 -6.7℃, 4.4℃ 그리고 응축 온도 37.8℃, 48.9℃로 하여 증발압력강하를 실험하였고, Mark W. Spatz^[5]등은 R-22와 R-410A, R-404A, R-290을 작동유체로 한 실험에서 증발 온도를 -6.7℃, 과열도를 5.6℃로 하고 응축온도는 43.3℃, 과냉도를 8.3℃로 하고 9.5mm 평활관에서 증기 밀도가 가장 낮은 R-290이 가장 압력강하가 높음을 보고하였다. 하지만 현재 탄화수소계 냉매를 이용한 냉동·공조 장치에 적용하기 위한 증발 압력강하에 대한 연구 기초자료가 여전히 부족하다.

본 연구에서는 세 가지의 관경(12.7mm, 9.52mm, 6.35mm)과 기존 장치에 사용중인 HCFC계 냉매 R22를 비교할 탄화수소계 냉매인 R-290 (propane), R-600a (iso-butane) 및 R-1270 (propylene)을 가지고 실험적 연구를 통해 증발기에서의 압력강하 특성을 고찰하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서 실험 장치는 압축기, 응축기, 팽창장치, 증발기 및 주변장치로 구성되고 물을 열원으로 하는 기본적인 냉동·공조 시스템이며, 크게 냉매가 순환되는 경로와 증발기 및 응축기의 열원수가 순환되는 루프로 구성되어 있다. 그리고 시험구간으로 사용한 열교환기인 증발기는 내관으로 냉매가 흐르고, 내관과 외관사이의 환상구간으로 열원수가 냉매의 흐름과 반대 방향으로 흐르는 이중관형 열교환기 구조로 되어 있다. 증발기에 차압계를 설치하여 열교환기 소구간에서의 압력을 측정하여 4가지 작동유체에 대한 압력강하를 비교·분석 하였다.

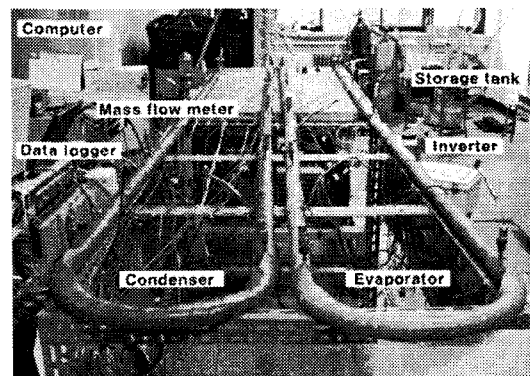


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

2.2 실험조건 및 방법

본 연구에서는 작동유체로 규제 대상 냉매인 R-22와 이를 대체할 것으로 판단되어지는 자연 냉매 중 탄화수소계 냉매인 프로판(propane, R-290, 순도 99.5%), 이소부탄(iso-butane, R-600a, 순도 99.5%), 프로필렌(propylene, R-1270, 순도 99.5%)을 사용하였다. 그리고 작동 온도, 질량 유속, 열유속 등은 냉매 유량, 열원수의 온도 및 유량 등을 조

+ 최준혁 (부경대학교 대학원 냉동공조공학과), E-mail: cjhstart@yahoo.co.kr, Tel: 051)620-1506

++ 이호생, 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

+++ 김재돌, 동명대학교 환경설비공학과

++++ 윤정인, 부경대학교 냉동공조공학과

질시커 시스템이 정상상태가 된 이후에 측정을 하였다. 냉매 별 drop-in 기준은 증발온도 5℃로 하고, 증발기 출구는 과열이 3-5℃가 되도록 각 냉매의 질량유속, 열원수의 온도와 유량을 조절하였다.

다음으로 실험 데이터 측정이 완료되면 다시 냉매 유량과 열원수 유량을 조절하여 반복실험을 하였다. 또한 온도, 압력 및 유량 등을 측정하기 위한 검출신호는 데이터 변환기를 통하여 컴퓨터에 입력시켜 처리하였다. 이 모든 과정은 내관 12.7 mm, 9.52 mm, 6.35 mm 세 관경 모두 동일하게 적용하여 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 증발기의 압력강하 특성

Fig. 2은 단위 길이당 세 관경에서 네 가지 냉매(R-22, R-290, R-600a, R-1270)의 국소 증발 압력강하를 질량유속이 150 [kg/m²s]일 때 건도의 증가에 따라 비교한 것이다. 건도가 증가함에 따라 실험조건에 대한 단위 길이당 국소 증발 압력강하는 증가하는 경향을 나타냈다. 그리고 건도가 0.8 이후로 낮아지는 현상이 일어나는데 이를 기액경계면에서 마찰손실이 감소하기 때문이라고 생각된다. 냉매별로 보면 탄화수소계 냉매가 R-22보다 국소 증발 압력강하가 높게 나타났으며, 관경 별로는 6.35mm, 9.52mm, 12.7mm순으로 높게 나타났다. 이는 관이 작을수록 냉매 증기 속도가 빨라져 압력강하 중 가장 큰 비중을 차지하는 마찰손실이 증가하기 때문이라고 생각된다. Fig. 3는 단위 길이당 세 관경에서 네 가지 냉매(R-22, R-290, R-600a, R-1270)의 평균 증발 압력강하를 질량유속이 50~450[kg/m²s]범위에서 비교한 것이다. 평균 증발 압력강하는 질량유속에 비례하여 증가하는 경향을 보였는데 질량유속이 증가하면 증기속도가 증가하고, 또한 냉매의 비체적이나 동점성계수와 같은 열역학적 물성치의 차이가 Re수에 영향을 주기 때문이라고 생각한다. 각 냉매별로 평균 증발 압력강하를 살펴보면, R-22에서는 6.35mm, 9.52mm에서의 평균 증발 압력강하는 12.7mm의 것 보다 78.58%, 39.19% 각각 높게 나타났고, R-290에서는 6.35mm, 9.52mm에서의 평균 증발 압력강하는 12.7mm의 것 보다 83.01%, 27.41% 각각 높게 나타났고, R-1270에서는 6.35mm, 9.52mm에서의 평균 증발 압력강하는 12.7mm의 것 보다 86.49%, 41.95% 각각 높게 나타났고, R-600a에서는 6.35mm, 9.52mm에서의 평균 증발 압력강하는 12.7mm의 것 보다 47.01%, 18.26% 각각 높게 나타났다. 세 가지 관경에 탄화수소계 냉매는 건도 및 질량유속이 증가할수록 R-22에 비해 높은 단위 길이당 증발 압력강하를 보였으며, 이는 탄화수소계 냉매가 R-22에 비해 증기밀도가 매우 작고 열전도율이 크기 때문이라 생각된다.

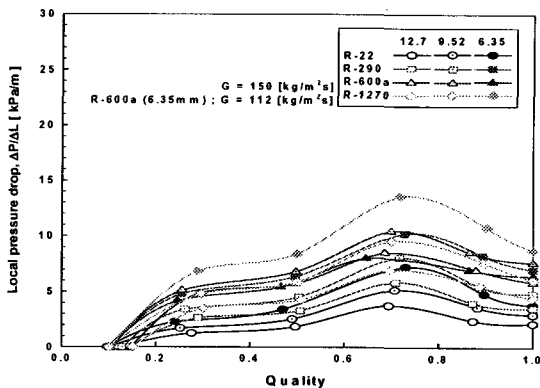


Fig. 2 Local pressure drop vs. quality. (R-22, R-290, R-1270, R-600a)

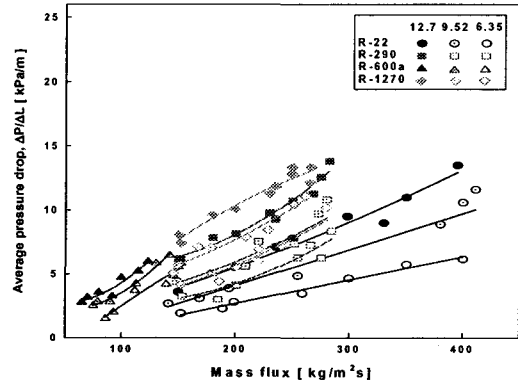


Fig. 3 Average pressure drop vs. mass flux. (R-22, R-290, R-1270, R-600a)

4. 결론

건도 및 질량유속에 따른 단위 길이당 증발 압력강하를 네 가지 냉매와 세 관경에서 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

단위 길이당 국소 증발 압력강하는 건도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였고 관경별로는 6.35mm, 9.52mm, 12.7mm 순으로 높게 나타났다.

단위 길이당 평균 증발 압력강하는 질량유속에 비례하며 실험에 사용된 세 관경에서 모두 탄화수소계 냉매 (R-290, R-1270, R-600a)가 R-22보다 높은 경향을 나타내고 있다.

참고문헌

- [1] E.I. du Pont de Nemours & CO. Ltd., Technical Report, 1989, Du Pont Alternative Refrigerants, Applications Testing of HCFC-123 and HFC-134a
- [2] Molina, M. J. and Rowland, F. S., "Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom Catalyzed Destruction of Ozone", Nature, Vol. 249, pp. 810-814, 1974.
- [3] James, R. W. and Missenden, J. F., 1992, "The Use of Propane in Domestic Refrigerators", Int. J. Ref., Vol. 15, No. 2, pp. 95-100.
- [4] Gursaran D. Mathur, Ph.D., P.E., 2000, "Hydrodynamic Characteristics of Propane(R-290), Isobutane(R-600a), and 50/50 Mixture of Propane and Isobutane" ASHRAE Transactions Vol. 106, Part 2, pp. 571-582.
- [5] Mark W. Spatz, Samuel F. Yana Motta, 2004, "An evaluation of options for replacing HCFC-22 in medium temperature refrigeration systems" International journal of refrigeration, Vol. 27, No. 5, pp475-483.