

# 환경별 탄화수소계 냉매의 증발 열전달에 관한 특성평가

이광배·이호생·문춘근<sup>+</sup>·김재돌<sup>++</sup>·윤정인<sup>+++</sup>

## Study on Evaporating Heat Transfer of HCs Refrigerants by Changing of Tube Diameter

Kwang-Bae Lee · Ho-Saeng Lee · Choon-Geun Moon<sup>+</sup>, Jae-Dol Kim<sup>++</sup> and Jung-In Yoon<sup>+++</sup>

**Abstract :** The experimental apparatus has been set-up as a conventional vapor compression type heat pump system. The test section is a horizontal double pipe heat exchanger. A tube diameter of 12.70 mm, 9.52 mm, 6.35 mm with 1.78 mm, 1.52 mm, 1.4 mm wall thickness each is used for this investigation. The local evaporating heat transfer coefficients of hydrocarbon refrigerants were superior to that of R-22, and the maximum increasing rate of heat transfer coefficient was found in R-1270. The average evaporating heat transfer coefficient increased with the increase of the mass velocity and it showed the higher values in hydrocarbon refrigerants than R-22. The highest evaporating heat transfer coefficient of all refrigerants was shown in a tube diameter of 6.35 mm with same mass flux.

**Key words :** Evaporator(증발기), Heat transfer coefficient(열전달 계수), Hydrocarbon(탄화수소), Natural refrigerant(자연 냉매) Pressure drop(압력강하)

### 1. 서론

냉동 공조 산업에서 각종 환경문제를 일으키고 있는 CFC 및 HCFC 계열의 냉매들을 대체할 수 있는 새로운 냉매의 개발과 에너지 소비를 줄일 수 있는 고성능 열펌프 기기의 개발이 최근 냉동 공조 산업에서 크게 요구되고 있다<sup>[1],[2]</sup>. CFC 및 HCFC 계열의 냉매들을 대체할 수 있는 새로운 냉매로 HFC계 냉매나 비공비 혼합냉매가 권장되고 있으나 HFC계 냉매의 경우 오존층 파괴지수(ODP)가 0이기는 하지만 지구 온난화지수(GWP)가 높아 환경적 측면에서 이의 사용은 바람직하지 않다. 비공비 혼합 냉매의 경우는 고장·수리·보수 시에 발생하는 누출로 성분비의 변화가 발생되며, 재충전 시에서도 초기 성분비를 재현하기 힘들다는 등 여러 가지 어려움이 있다.<sup>[3]</sup>

새로이 개발되는 냉매는 지구 환경을 파괴하지 않으면서 독성이 없고, 가연성이 없으며, 기존의 냉매와 열역학적 성질이 비슷해야 한다. 이러한 관점에서 자연 냉매의 물성치 및 이들 자연 냉매를 사용하는 시스템에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 이들 자연냉매 중 탄화수소계 냉매는 ODP 및 GWP가 거의 0에 가깝고 사용이 간편하며, 일반적인 광물질 윤활유와 잘 혼합되지만 가연성 때문에 유럽을 제외한 일본이나 미국 등 다른 선진국들에서는 탄화수소계 냉매의 사용이 거의 무시되어 왔다. 그러나 실제로 가연성 문제는 가정용 냉장고와 같이 충전량이 적은 소형의 장치에서는 폭발 가능성이 매우 희박하고, 대형 냉동·공조 장치에 있어서도 암모니아 경우와 같이 적절한 환기와 누설 등에 대한 운전 주의와 더불어 간단한 안전장치로 해결될 수 있는 것으로 보고 되고 있다.<sup>[4]</sup>

선행 연구로는 Kwon<sup>[5]</sup>은 R-22의 대체 냉매로서 R-290, R-410a를 사용하여 열전달 특성에 대하여 실험하여, 그 결과를 R-22와 비교하였다. 그는 R-290, R-410a를 사용하였을 때, 증발 열전달 계수에 있어서 R-22보다 증가한다고 보고하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

#### 2.1 실험장치

본 연구에서 사용한 실험 장치로서 압축기, 응축기, 팽창장치, 증발기 및 주변장치로 구성된 기본적인 냉동·공조 시스템이며, 크게 냉매가 순환되는 경로와 증발기 및 응축기의 열원수

가 순환되는 루프로 구성되어 있다. 그리고 시험구간으로 사용한 열교환기인 증발기는 내관으로 냉매가 흐르고, 내관과 외관 사이의 환상구간으로 열원수가 냉매의 흐름과 반대 방향으로 흐르는 이중관형 열교환기 구조로 되어 있다.

#### 2.2 실험 방법

실험조건, 즉 작동온도, 질량유속, 열유속 등은 냉매 유량, 열원수의 온도 및 유량 등을 조절시켜 시스템이 정상상태가 된 이후에 측정을 하였다. 냉매별 drop-in 기준은 증발온도 5℃로 하고, 증발기 출구는 과열이 3-5℃가 되도록 각 냉매의 질량유속, 열원수의 온도와 유량을 조절하였다.

그리고 실험 데이터 측정이 완료되면 다시 냉매 유량과 냉각수 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 증발 전열

Fig. 1~4은 세 관경에서 네 가지 냉매 (R-22, R-290, R-600a, R-1270)의 질량유속  $G_e$ 에 대한 평균 증발 열전달계수  $h_{e,avg}$ 를 나타낸 것이다. 질량유속에 비례하여 평균 증발 열전달 계수가 증가하는 일반적인 경향을 보이고 있다. 탄화수소계 냉매 (R-290, R-600a, R-1270)가 프레온계 냉매 R-22의 평균 증발 열전달계수보다 우수하게 나타났으며, 질량유속에 따른 평균 증발 열전달계수의 향상도 탄화수소계 냉매의 경우에서 보다 더 우수하게 나타났다. 그리고 프레온계 냉매 R-22의 질량유속에 따른 평균 증발 열전달계수의 향상보다 탄화수소계 냉매 (R-290, R-600a, R-1270)의 평균 증발 열전달계수의 향상이 더 우수한 것으로 나타났다. 그래서 저질량유속에서는 프레온계 냉매와 탄화수소계 냉매의 차이가 얼마나 되지 않았지만, 고질량유속으로 갈수록 탄화수소계 냉매의 평균 증발 열전달계수가 점점 더 우수하게 나타나는 경향을 보였다. 각 냉매별로 평균 증발 열전달계수를 살펴보면, R-22에서는 내관 외경 6.35 mm, 9.52 mm에서의 평균 증발열전달계수는 내관 외경 12.7 mm의 것 보다 10.11%, 7.67% 각각 높게 나타났고, R-290에서

<sup>+</sup> 이광배, 이호생, 문춘근(부경대학교 냉동공조공학과), E-mail: puger77@mail1.pknu.ac.kr, Tel: 051)620-1506

<sup>++</sup> 김재돌, 동명대학 냉동공조과

<sup>+++</sup> 윤정인, 부경대학교 기계공학부

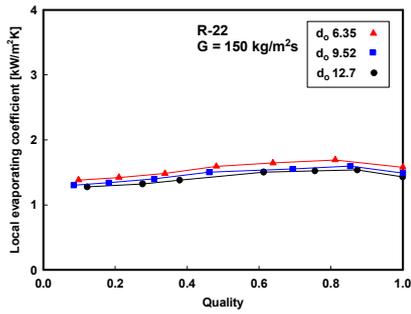


Fig. 1 Average evaporating heat transfer coefficient vs. refrigerant mass flux .(R-22)

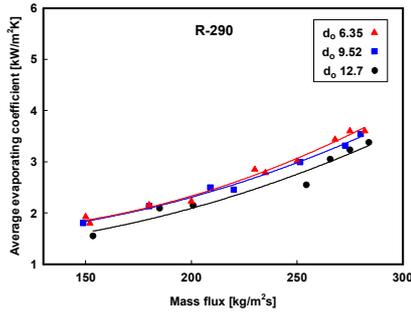


Fig. 2 Average evaporating heat transfer coefficient vs. refrigerant mass flux .(R-290)

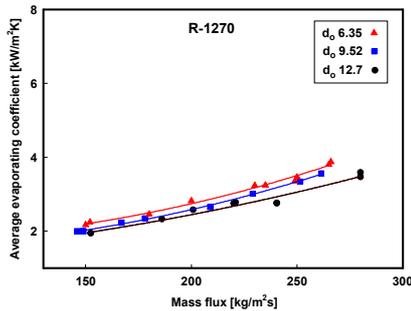


Fig. 3 Average evaporating heat transfer coefficient vs. refrigerant mass flux .(R-1270)

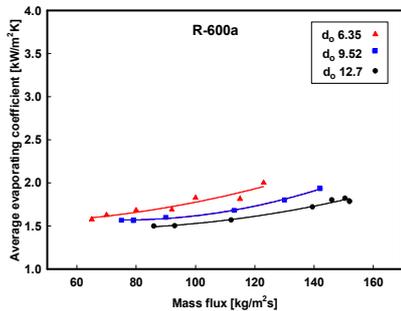


Fig. 4 Average evaporating heat transfer coefficient vs. refrigerant mass flux .(R-600a)

는 내관 외경 6.35 mm, 9.52 mm 에서의 평균 증발열전달계수는 내관 외경 12.7 mm 의 것 보다 24.76%, 16.16% 각각 높게 나타났고, R-1270에서는 내관 외경 6.35 mm, 9.52 mm 에서의 평균 증발열전달계수는 내관 외경 12.7 mm 의 것 보다 21.79%, 14.68% 각각 높게 나타났고, R-600a에서는 내관 외경 6.35

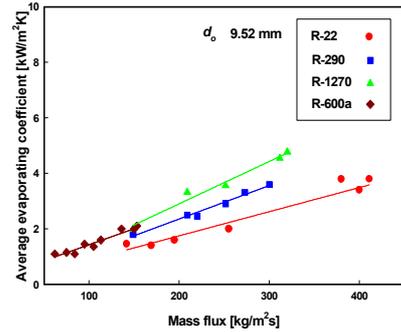


Fig. 4 Average evaporating heat transfer coefficient vs. refrigerant mass flux .(R22,R290,R1270,R600a)

mm, 9.52 mm 에서의 평균 증발열전달계수는 내관 외경 12.7 mm 의 것 보다 20.1%, 5.94% 각각 높게 나타났다.

Fig. 5는 동일 관경에서의 냉매별 평균 증발열전달 계수를 비교한 것이다. R-22에 비해 R-290의 경우에는 평균 약 19.93%, R-1270는 평균 약 34.23%, R-600a는 평균 약 18.57% 정도 높게 측정되었다.

#### 4. 결 론

(1) 국소 증발 열전달계수는 세 관경에서 건도가 증가함에 따라 증가하다가 건도 0.8-0.85 정도 되는 영역이후로 감소하는 경향을 보였다. 그리고 냉매들의 국소 증발 열전달계수는 R-1270이 가장 높았으며, R-600a, R-290, R-22, 순으로 나타났으며 관경별로는 6.35 mm, 9.52 mm, 12.7 mm 순으로 높게 나타났다.

(2) 평균 증발 열전달계수에 있어서는 실험에 사용된 세 관경에서 모두 탄화수소계 냉매(R-290, R-1270, R-600a)가 R-22보다 우수하게 나타났다. 평균 증발 열전달계수는 질량유속에 비례하여 증가하는 일반적인 경향을 나타내고 있다.

#### 참고문헌

- [1] M. J. Molina, and F. S. Rowland, "Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom Catalyzed Destruction of Ozone", Nature, Vol. 249, pp. 810-814, 1974.
- [2] M. J. Kurylo, "The Chemistry of Stratospheric Ozone: Its Response to Natural and Anthropogenic Influences", Int. J. Ref., Vol. 13, pp. 62-72, 1990.
- [3] T. Ebner and H. Halozan, "Testing the Available Alternative-An Examination of R-134a, R-152a and R-290", IEA HPC Newsletter, Vol. 12, No. 1, Sittard, The Netherlands, 1994.
- [4] R. W. James and J. F. Missenden, "The Use of Propane in Domestic Refrigerators", International Journal of Refrigeration, Vol. 15, No. 2, pp. 95-100, 1992.
- [5] O. B. Kwon, "Performance Characteristics of Water Sources Heat Pump Using HCFC22 Alternative Refrigerants", Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, Pukyung University, 1997