



내경 4.3 mm와 6.4 mm관내 R-22와 R-407C의 증발 열전달과 압력강하에 관한 실험연구

노건상 · †손창효*

동명대학교 냉동공조공학과, *부경대학교 기계공학부

(2008년 7월 21일 접수, 2008년 8월 19일 수정(1차), 2008년 9월 4일 수정(2차), 2008년 9월 4일 채택)

Experimental Study for Evaporation Heat Transfer and Pressure Drop of R-22 and R-407C in an Inner Diameter of 4.3 mm and 6.4 mm

Geon-Sang Roh · †Chang-Hyo Son*

Department of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Tong Myong University,

#535, YongDang-dong, Nam-gu, Busan-si 608-711, Korea

*School of Mechanical Engineering, Pukyong National University,

San 100, Yongdang-dong, Nam-gu, Busan-si 608-739, Korea

(Received 21. July. 2008, Revised(1st) 19. August. 2008, Revised(2nd) 4. September. 2008, Accepted 4. September. 2008)

요 약

본 연구에서는 내경 4.3 mm와 6.4 mm의 수평동관내 R-22와 R-407C의 증발 열전달과 압력강하를 실험적으로 조사하였다. 냉매 순환루프의 주요구성품은 수액기, 압축기, 질량유량계, 응축기, 이중관식 증발기(시험부)로 구성된다. 시험부는 내경 4.3 mm와 6.4 mm의 평활 동관으로 이루어져 있다. 냉매질량유속은 100 kg/m²s에서 300 kg/m²s까지 변화시켰고, 증발기 냉매포화온도는 5°C이다. R-22와 R-407C의 증발 열전달계수는 질량유속과 증기건도의 증가와 함께 따라 상승한다. 내경 4.3 mm와 6.4 mm관내 R-22의 증발 열전달계수가 R-407C에 비해 각각 7.3~47.1%와 5.68~46.6% 정도 높다.

Abstract – The evaporation heat transfer coefficient and pressure drop of R-22 and R-407C in horizontal copper tubes were investigated experimentally. The main components of the refrigerant loop are a receiver, a compressor, a mass flow meter, a condenser and a double pipe type evaporator (test section). The test section consists of a smooth copper tube of 4.3 mm and 6.4 mm inner diameter. The refrigerant mass fluxes were varied from 100 to 300 [kg/m²s] and the saturation temperature of evaporator were 5 [°C]. The evaporation heat transfer coefficients of R-22 and R-407C rise with the increase in mass flux and vapor quality. The evaporation heat transfer coefficient of R-22 for inner diameter tube of 4.3 mm and 6.4 mm is about 7.3~47.1% and 5.68~46.6% higher than that of R-407C, respectively.

Key words : evaporator, heat transfer coefficient, mixture refrigerant, pressure drop, flow pattern

I 서 론

프레온계 냉매가 오존층 파괴 및 온실효과의 원인 물질로 밝혀짐에 따라 현재 대부분의 공조냉동장치에 사용되고 있는 HCFC계 냉매 R-22를 대체하기 위해서 혼합냉매에 대한 연구[1-3]가 진행되고 있다. 특히, 혼합냉매인 R-407C는 상변화시 열원유체 온도와 냉매온도를 일정하게 유지할 수 있으므로 유효에너지 손실을 절감할 수 있다. 또, 사용조건에 적합한 혼합냉매를 선정

하면 계속해서 변동되는 공조냉동장치의 열부하에 대한 순환냉매의 조성비 즉, 밀도변화에 의해 용량이 조절되므로 압축기 속도를 변화시키는 방법에 비해 에너지를 보다 유효하게 이용할 수 있다[4]. 이와 같이 혼합냉매는 유효에너지의 손실을 절감시키고, 아울러 공조냉동장치의 사용목적에 적합한 냉매의 선정폭을 넓힐 수 있는 장점도 있다. 따라서, 본 논문에서는 공조냉동장치에 일반적으로 사용되는 내경 4.3 mm와 6.4 mm의 증발관내 R-22의 대체냉매인 혼합냉매 R-407C를 작동유체로 사용하여 증발 열전달 특성에 대한 새로운 자료와 열교환기 설계에 대한 기초자료를 제공하

†주저자:sonch@pknu.ac.kr

고자 한다.

II. 실험장치 및 방법

실험장치는 Fig. 1에서와 같이 물을 열원으로 하는 가장 기본적인 증기 압축식 열펌프 사이클을 구성하고 있으며, 크게 냉매가 순환되는 경로와 열원수 (2차유체)가 순환되는 경로로 구성되어 있다. 냉매는 압축기, 응축기, 보조응축기, 수액기, 질량유량계, 온도식 팽창밸브

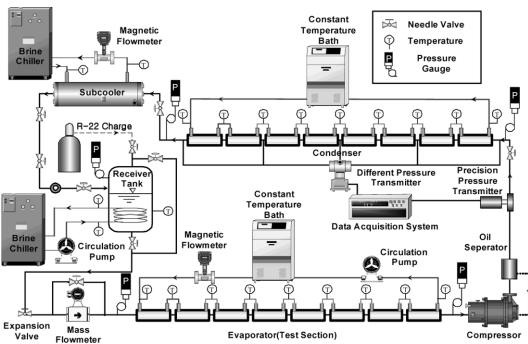


Fig. 1. Schematics diagram of experimental apparatus.

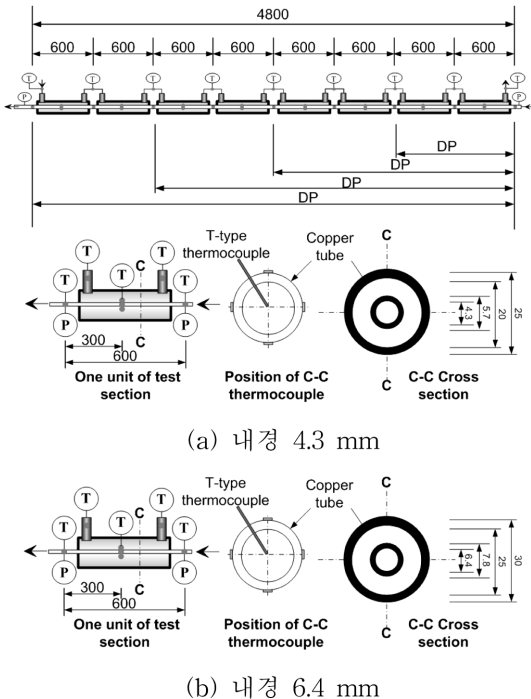


Fig. 2. Schematics diagram of double pipe type evaporator (test section).

브, 증발기, 압축기의 순으로 순환된다. 2차유체는 열원수 공급 장치, 온도 조절기, 물 펌프, 수유량계, 시험 구간인 증발기의 순으로 순환된다. Fig. 2는 시험부인 증발기로서, 내관의 내경은 4.3 mm(외경 5.7 mm)와 6.4 mm(외경 7.8 mm)인 동관으로 2종류가 설계, 제작되었다. 그리고 외관은

내경 20 mm(외경 25 mm)와 내경 25 mm(외경 30 mm)인 동관을 사용하였다. 또, 시험부 입구측에서 600 mm 등간격 소구간으로 8구간으로 구분하였으며, 시험부의 전체길이는 4800 mm이다. 증발기에서의 열량과 열전달 특성을 알기 위하여 냉각수의 온도 및 유량, 냉매의 온도 및 유량, 증발기 내관벽면온도 등을 측정하였다. 평활관내 냉매온도는 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 평활관에서 냉매온도는 9지점, 냉각수 온도는 소시험부의 입출구에서 측정하였다. 또한, 내관의 벽면 온도는 1개 지점당 원주방향 90° 간격으로 상부, 측부, 하부의 3지점에서 측정하였다. 냉매온도는 소시험부의 입출구관의 상부에서 관경 3/4위치까지 열전대를 삽입하였다. 또한 압축기의 입출구에 설치된 절대압력계로 시스템의 저압 및 고압을 측정하였고, 증발기내 냉매의 압력 강하는 시험부 입구에서 1200 mm 등간격으로 전체 5지점에서 차압계를 이용하여 측정하였다. 냉매와 냉각수의 유량은 전자식 질량유량계(Oval 사)를 이용하여 측정하였다. 증발기 입구 건도는 보조응축기(Subcooler)에서 과냉각도와 팽창밸브의 개도로 조절하였다. Table

Table 1. Experimental conditions.

Refrigerant	R-22	R-407C
Test section	Horizontal copper tube	
$d_i (d_o)$, [mm]	4.3(5.7), 6.4(7.8)	
G_{ers} , [kg/m ² s]	100, 200, 300	
q_{es} , [kW/m ²]	10	
T_s , [°C]	5	

Table 2. Specifications of instruments.

Name	Specification
Mass flowmeter	OVAL, CN006-CT9401(0~6 kg/min)
Compressor	Dorin, open type (3/4 HP)
Receiver	Hylloc (2000 cc)
Data log	Yokogawa, DR230C (360 ch.)
Absolute pressure transducer	Druck, PTX611 (0~160 bar)

1은 실험조건을 정리한 것이고, Table 2는 계측기의 사양을 나타낸 것이다.

III. 데이터 정리

본 연구에서 사용한 R-22와 그 대체 냉매인 R-407C의 열물성값 계산은 NIST에서 개발한 냉매 물성 계산 프로그램인 'REFPROP(version 6.01)[6]'를 이용하였고, 이러한 열물성값을 이용하여 증발 열전달 특성을 파악하기 위한 실험 데이터의 분석에는 다음과 같은 계산식을 사용하였다. 우선, 증발기에서의 열교환량은 다음의 식 (1), (2)와 같이 계산하였다.

$$Q_{ew} = m_{ew} \cdot c_{p,ew} \cdot (T_{e,out} - T_{e,in}) \quad (1)$$

$$Q_{er} = m_{er} \cdot (i_{e,in} - i_{e,out}) \quad (2)$$

여기서, Q_{ew} 와 Q_{er} 는 각각 열원수에 의한 열교환량과 냉매의 엔탈피차에 의한 열교환량이고, m_{ew} 와 m_{er} 은 각각 증발기측 열원수의 유량과 냉매의 순환량이다. 그리고 $T_{e,in}$ 과 $T_{e,out}$ 는 각각 증발기측 열원수의 입구와 출구 온도를 나타내며, $c_{p,ew}$ 는 증발기측 열원수의 비열을 나타낸다. 또 $i_{e,in}$ 과 $i_{e,out}$ 는 각각 증발기 입구와 출구에서의 포화 냉매액 및 포화 냉매 증기의 엔탈피를 나타낸다.

국소 열전달 계수는 다음 식으로부터 계산할 수 있다.

$$h_{e,loc} = \frac{q_e}{T_{e,wi} - T_{er}} \quad (3)$$

증발기 소구간에서의 열유속 q_e 는 다음과 같은 식 (4)로부터 계산하였다.

$$q_e = \frac{Q_{ew}}{\pi \cdot d_i \cdot \Delta z} \quad (4)$$

증발기의 평균 열전달 계수 $h_{e,avg}$ 는 다음의 식 (5)로부터 계산된다.

$$h_{e,avg} = \sum \frac{h_{e,loc}}{n} \quad (5)$$

여기서, $h_{e,loc}$ 은 식 (3)로부터 계산되는 소구간의 국소 열전달 계수이고, n 은 소구간의 수이다. 각 소시험 구간에서의 출구 건도 x_{out} 는 식 (6)으로 계산하였다.

$$x_{e,out} = x_{e,in} + \frac{\pi \cdot d_i}{G_{er} i_{fg}} \int_{z_{in}}^{z_{out}} q_{e,r} dz \quad (6)$$

여기서, G_{er} 은 냉매 질량유속, i_{fg} 는 냉매 증발잠열, z_{in} 과 z_{out} 는 소구간의 입구와 출구이다.

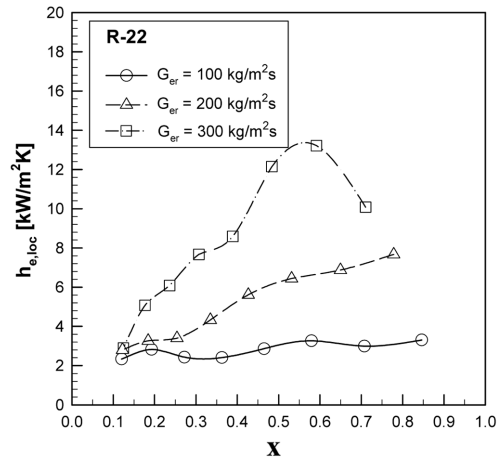


Fig. 3. Local evaporation heat transfer coefficients of R-22 vs mass flux ($d_i = 4.3$ mm).

IV. 증발 열전달 특성

4.1. 국소 열전달

Fig. 3은 내경 4.3 mm의 이중관식 열교환기내 R-22의 증발 열전달계수를 냉매 질량유속 변화에 따라 나타낸 것이다. 건도변화에 따른 R-22의 증발 열전달 계수를 살펴보면, 질량유속이 100 kg/m²s인 경우에는 건도의 증가에 따른 열전달 계수의 변화가 거의 없고 일정하다. 이는 Fig. 4에서 알 수 있는 것과 같이 건도 증가에 따른 R-22의 유동양식이 기상의 속도가 빠른 환상류로 천이되지 못하고, 기상의 속도가 느린 파형 환상류로 완료되었기 때문인 것으로 판단된다. 질량유속이 200 kg/m²s인 경우에도 마찬가지로 건도 증가에 따

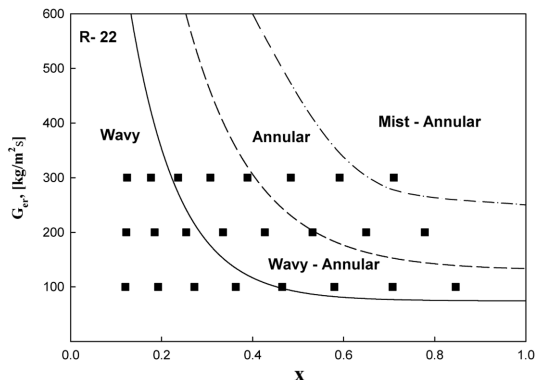


Fig. 4. Experimental flow patterns of R-22 with Dobson's flow pattern map ($d_i = 4.3$ mm).

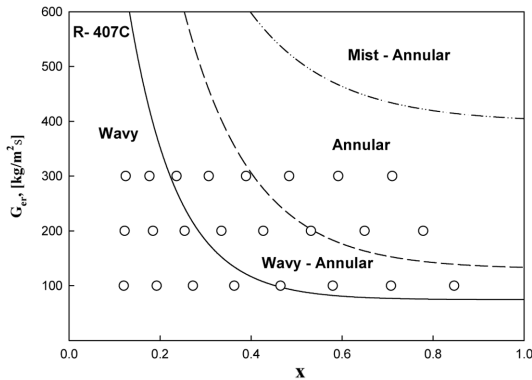


Fig. 5. Experimental flow patterns of R-407C with Dobson's flow pattern map ($d_i=4.3$ mm).

른 증발 열전달계수가 점차적으로 상승하는 것을 알 수 있다. 이는 파형류 또는 파형 환상류로 발달해가는 과정이기 때문인 것으로 생각된다. 질량유속이 $300 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 인 경우에는 건도 증가에 따라 R-22의 증발 열전달 계수가 다소 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 건도가 증가할수록 파형류에서 완전한 환상류로 천이가 발생했기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 이로 인해 질량유속이

$300 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 인 경우에는 환상류에서 열전달 계수가 최대값을 가지고 그 이후에는 관내 상부액막의 파손으로 인해 상부 벽면온도가 급격히 상승하고 그 결과 열전달 계수는 감소하게 된다.

이러한 결과는 다른 연구자들[7-9]의 연구결과와 일치한다. 즉, 냉매 질량유속이 $126 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 이하인 경우의 유동양식은 파형 성층류이고, 이 보다 질량유속이 높을 경우에는 환상류가 발생한다고 했다. 일정한 건도에서 냉매 질량유속의 영향을 살펴보면, Fig. 3에서 냉매의 질량유속이 증가할수록 R-22의 국소 증발 열전달계수는 증가하는 경향을 보였다. 특히, 저건도영역보다 고건도영역에서 질량유속에 대한 영향이 더욱더 확실해 나타나는 것을 알 수 있다. 그 이유는 고질량유속에서 증발이 진행됨에 따라 R-22의 냉매는 환상류로 천이하게 되고, 이로 인해 기상과 액상의 유동속도가 증가하여 관내벽을 둘러싸고 있는 액막의 두께가 감소하게 됨으로써 액막을 통한 열저항이 감소하기 때문이다. 반면에 저건도영역에서 R-22 냉매의 유동양식은 성층류로서 기상과 액상의 속도가 느리고 이로 인해 액막의 두께가 두껍기 때문에 액막의 열저항이 증가하기 때문이다. Fig. 6은 내경 4.3 mm 관내 R-407C의 질량유속 변화에 따른 증발 열전달계수를 나타낸 것이다. 건도변화

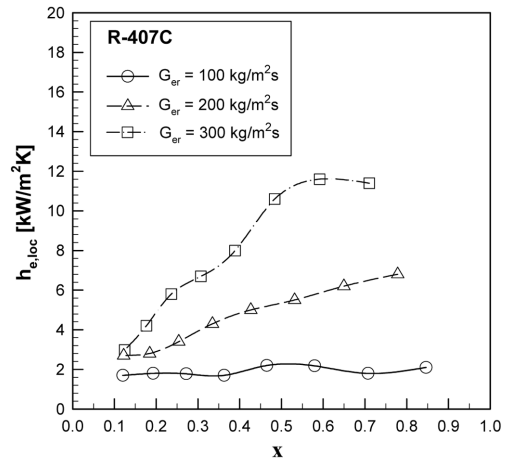


Fig. 6. Local evaporation heat transfer coefficients of R-407C vs mass flux ($d_i=4.3$ mm).

에 따른 R-407C의 증발 열전달 계수를 살펴보면, 질량유속이 100과 $200 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 인 경우에는 R-22와 마찬가지로 건도 증가에 따른 열전달 계수의 변화가 거의 없고 일정하다. 이는 Fig. 5에 나타낸 것처럼, R-22의 경우와 동일한 이유이기 때문인 것으로 판단된다. 질량유속이 $300 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 인 경우에는 건도 증가에 따라 R-407C의 증발 열전달계수가 다소 증가하는 것을 알 수 있다. 일정한 건도에서 냉매 질량유속의 영향을 살펴보면, Fig. 6에서 냉매의 질량유속이 증가할수록 R-407C의 국소 증발 열전달계수는 증가하는 경향을 보였다. 이는 R-22

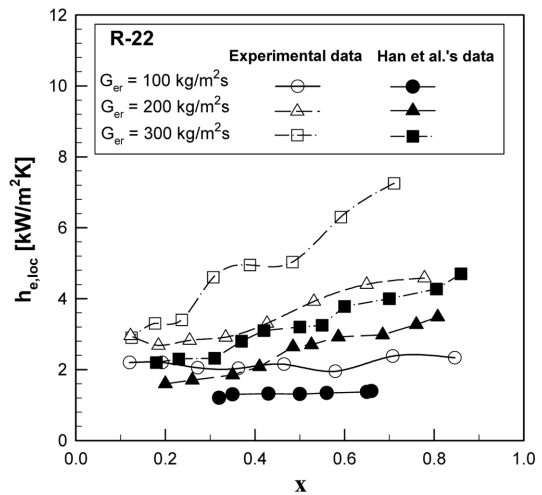


Fig. 7. Local evaporation heat transfer coefficients of R-22 vs mass flux ($d_i=6.4$ mm).

와 동일한 이유로 나타나는 결과로 판단된다. Fig. 7은 내경 6.4 mm의 이중관식 열교환기내 R-22의 증발 열전달계수를 냉매 질량유속 변화에 따라 나타낸 것이다. 건도변화에 따른 R-22의 증발 열전달 계수를 살펴보면, 질량유속이 100~300 kg/m²s인 경우 전술한 내경 4.3 mm의 R-22와 동일한 경향을 보이고 있다. 본 실험으로부터 얻은 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 위에서 언급한 타 연구자들 중에서 실험조건이 가장 유사한 Han 등[10]의 실험데이터와 비교해 보았다. Han 등은 내경 8.8 mm, 냉매 질량유속 100~300 kg/m²s, 냉매 포화온도 5°C, 열유속 7~7.5 kW/m²인 조건에서 실험하였다. 그 결과, 본 실험으로 구한 열전달 계수는 Han 등의 열전달 계수와 다소 차이를 보이고 있는데, 이는 실험조건(내경과 열유속)이 다르기 때문에 나타나는 현상으로 보여진다. 그 외에는 본 실험 데이터와 유사한 경향을 보이고 있다. 일정한 건도에서 냉매 질량유속의 영향을 살펴보면, Fig. 7에서 냉매의 질량유속이 증가할수록 R-22의 국소 증발 열전달계수는 증가하는 경향을 보였다. 특히, 저건도영역보다 고건도영역에서 질량유속에 대한 영향이 더욱더 확실히 나타나는 것을 알 수 있다. 그 이유는 고질량유속에서 증발이 진행됨에 따라 R-22의 냉매는 환상류로 천이하게 되고, 이로 인해 기상과 액상의 유동속도가 증가하여 관내벽을 둘러싸고 있는 액막 두께가 감소하게 됨으로써 액막을 통한 열저항이 감소하기 때문이다. 반면에 저건도영역에서 R-22 냉매의 유동양식은 성층류로서 기상과 액상의 속도가 느리고 이로 인해 액막 두께가 두껍기 때문

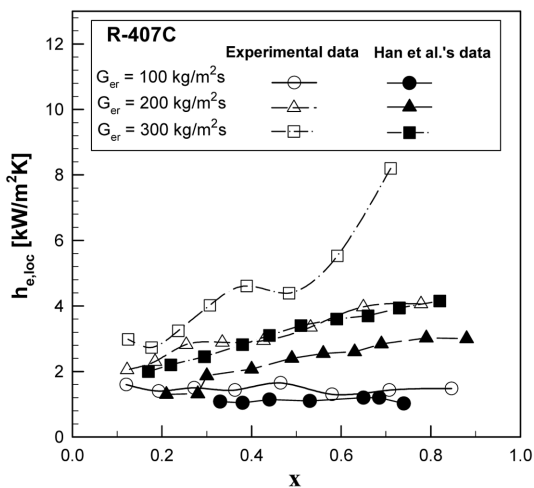


Fig. 8. Local evaporation heat transfer coefficients of R-407C vs mass flux ($d_i = 6.4$ mm).

에 액막의 열저항이 증가하기 때문이다. Fig. 8은 내경 6.4 mm관내 R-407C의 질량유속 변화에 따른 증발 열전달계수를 나타낸 것이다. 건도변화에 따른 R-407C의 증발 열전달 계수를 살펴보면, 질량유속이 100과 200 kg/m²s인 경우에는 R-22와 마찬가지로 건도 증가에 따른 열전달 계수의 변화가 거의 없고 일정하다. 이는 R-22의 경우와 동일한 이유이기 때문인 것으로 판단된다. 질량유속이 300 kg/m²s인 경우에는 건도 증가에 따라 R-22의 증발 열전달계수가 다소 증가하는 것을 알 수 있다. 일정한 건도에서 냉매 질량유속의 영향을 살펴보면, Fig. 8에서 냉매의 질량유속이 증가할수록 R-407C의 국소 증발 열전달계수는 증가하는 경향을 보였다. 이는 R-22와 동일한 이유로 나타나는 결과로 판단된다.

4.2. 평균 열전달

Fig. 9는 식(5)로 계산한 R-22와 R-407C의 평균 열전달계수를 질량유속 변화에 따라 나타낸 것이다. Fig. 9에서 알 수 있는 것과 같이, 내경 4.3 mm와 6.4 mm 관내 모두 질량유속이 증가할수록 R-22와 R-407C의 평균 열전달 계수는 증가하는 것으로 나타났다. 내경 4.3 mm 관에서 R-22와 R-407C의 평균 열전달 계수를 비교한 결과, 질량유속이 100 kg/m²s인 경우에는 R-22의 평균 열전달계수가 R-407C보다 47.1% 정도 높았고, 질량유속이 200 kg/m²s인 경우에는 10.0% 정도 높았으며, 질량유속이 300 kg/m²s의 경우에는 7.3% 정도 높게 나

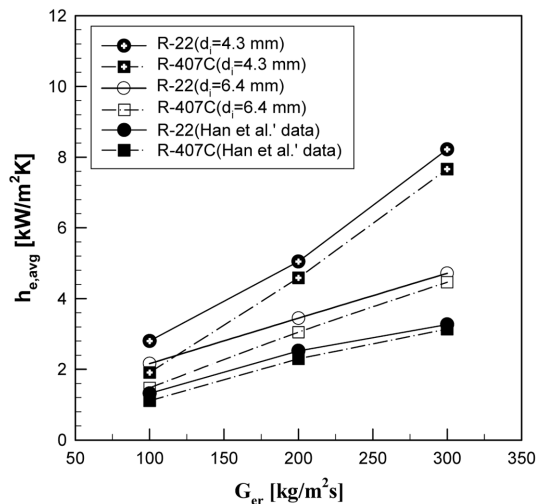


Fig. 9. Average evaporation heat transfer coefficients of R-22 and R-407C with respect to variation of mass flux in the double pipe type evaporator with inner diameter tube of 4.3 mm and 6.4 mm.

Table 3. Thermophysical properties of refrigerants investigated.

Refrigerant			R-407C	R-22
Thermal conductivity, [W/mK]	Liquid	5°C	0.09825	0.09261
	Vapor	5°C	0.01167	0.00977
Viscosity, [$\mu\text{Pa} \cdot \text{s}$]	Liquid	5°C	196.5	206.7
	Vapor	5°C	11.66	11.73

타났다. 내경 6.4 mm 관에서 R-22와 R-407C의 평균 열전달 계수를 비교한 결과, 질량유속이 100 kg/m²s인 경우에는 R-22의 평균 열전달계수가 R-407C보다 46.6% 정도 높았고, 질량유속이 200 kg/m²s인 경우에는 13.04% 정도 높았으며, 질량유속이 300 kg/m²s의 경우에는 5.68% 정도 높게 나타났다.

이러한 결과는 Aprea 등[11]의 연구결과와 일치한다. 즉, 이들은 R-22와 R-407C의 증발 열전달계수를 비교한 결과, R-22의 열전달 계수가 R-407C보다 높다고 하였다. 그 이유로 그들은 혼합냉매 열물성치의 급격한 변화, 기체와 액체 경계면에서의 상호 물질교환 방해, 핵(nucleation)내 혼합성분 비율 등의 여러가지 이유로 혼합냉매의 열전달 계수는 순수냉매의 열전달 계수보다 일반적으로 낮다고 하였다. 이와 같이 질량유속이 100~300 kg/m²s에 대해 R-407C의 평균 열전달계수가 R-22에 비해 낮은 이유는 비록 Table 3에서와 같이 R-407C의 액상과 기상의 열전도도가 R-22보다 높지만, 저비점 성분 냉매(휘발성이 강한 냉매)는 기체와 액체 경계면쪽으로 확산하고 고비점 성분 냉매(휘발성이 낮은 냉매)는 관벽면쪽으로 확산하여 서로 물질 전달을 방해하기 때문에 오히려 R-407C의 증발 열전달 계수가 낮은 것으로 판단된다. 내경 4.3 mm와 6.4 mm 관내 R-22와 R-407C의 평균 열전달계수의 비교에서, 관경이 작아질수록 열전달 계수는 높은 것으로 나타났다. 그 이유로는 관경이 작아질수록 환상류내의 액막두께가 내경 6.4 mm에 비해서 얇아짐으로 전열성능이 향상되는 것으로 판단할 수 있다. 또한 4.3 mm관내의 표면장력이 6.4 mm관에 비해서 지배적으로 작용해서 유효전열면적이 증가하게 되고, 이로 인해서 전열성능이 향상된다고 볼 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 R-22와 대체냉매 R-407C를 작동유체로 사용하는 내경 4.3 mm와 6.4 mm의 증발관내 열전달과 압력강하를 규명하고 대체 가능성을 확인하고자

하였다. 내경 4.3 mm와 6.4 mm의 동관으로 제작된 증발기를 사용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 건도변화에 따른 R-22와 R-407C의 증발 열전달 계수를 살펴보면, 질량유속이 100~200 kg/m²s인 경우에는 건도의 증가에 따른 열전달 계수의 변화가 거의 일정하거나 약간 상승하였다. 질량유속이 300 kg/m²s인 경우에는 건도 증가에 따라 R-22의 증발 열전달계수가 다소 증가하였다.

2. 일정한 건도에서 냉매 질량유속의 영향을 살펴보면, 냉매의 질량유속이 증가할수록 R-22의 국소 증발 열전달계수는 증가하는 경향을 보였다. 특히, 저건도영역보다 고건도영역에서 질량유속에 대한 영향이 더욱 더 확실히 나타나는 것을 알 수 있다.

3. 내경 4.3 mm 관내 R-22와 R-407C의 평균 열전달 계수의 비교 결과, 질량유속이 100 kg/m²s인 경우에는 R-22의 평균 열전달계수가 R-407C보다 47.1% 정도 높았고, 질량유속이 200 kg/m²s인 경우에는 10.04% 정도 높았으며, 질량유속이 300 kg/m²s의 경우에는 7.3% 정도 높게 나타났다. 내경 6.4 mm 관에서 R-22와 R-407C의 평균 열전달 계수를 비교 결과, 질량유속이 100 kg/m²s인 경우에는 R-22의 평균 열전달계수가 R-407C보다 46.6% 정도 높았고, 질량유속이 200 kg/m²s인 경우에는 13.04% 정도 높았으며, 질량유속이 300 kg/m²s의 경우에는 5.68% 정도 높게 나타났다.

4. 위의 결과로부터 알 수 있듯이 R-407C는 R-22의 열전달계수에 비해 약간 낮거나 유사하고, 압력강하는 R-407C과 R-22에 비해 낮다. 따라서 R-407C는 R-22의 추천 대체냉매로서 유력하리라 판단된다.

기호설명

- c_p : 정압비열 [kJ/kgK]
- d : 관직경 [m]
- G : 질량유속 [kg/m²s]
- h : 열전달 계수 [kW/mK]
- i : 엔탈피 [kJ/kgK]
- i_{fg} : 증발잠열 [kJ/kg]
- L : 길이 [m]
- m : 질량유량 [kg/s]
- n : 소시험부 개수
- P : 압력 [Pa]
- Q : 전열량 [kW]
- T : 온도 [°C]
- ΔP : 압력차 [Pa]

Δz : 소시험구간 길이[m]

하첨자

- avg : 평균값
- ew : 냉각수
- e : 증발기
- i : 관내경
- in : 입구
- loc : 국소값
- o : 관외경
- out : 출구
- er : 냉매
- s : 포화
- wi : 관내벽면

참고문헌

[1] 황수민, 김경기, 정동수, 김종보, “열전달 촉진관에서 R22 대체냉매의 외부 응축열전달계수”, *대한기계학회논문집*, **23**(4), 459-469, (1999)

[2] 윤석호, 김민수, “액정을 이용한 R-22와 R-407C의 원주방향 증발열전달계수의 측정”, *대한기계학회논문집*, **23**(4), 502-510, (1999)

[3] 김만희, 신정섭, 임병환, “외경 9.52 mm 평활관 및 미세핀관내 R22와 R410A의 증발열전달 특성”, *대한기계학회논문집(B)*, **22**(10), 1454-1464, (1998)

[4] Vineyard, E.A. and J.K. Sand, “Evaluation of Nonazeotropic Refrigerant Mixtures for Capacity Modulation”, DOE/ORNL Heat Pump Conference Proceeding, 47-54, (1998)

[5] Kline, S.J. and F.A. McClintock, “Describing Uncertainties in Single Sample Experiments”, *Mechanical Engineering*, **75**(1), 3-12, (1953)

[6] McLinden, M.O., S.A. Klein, E.W. Lemmon and A.P. Peskin, “NIST Thermodynamic Properties and Refrigerant Mixtures Database (REFPROP)”, Version 6.01, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, U.S.A., (1998)

[7] Taitel, Y. and A.E. Dukler, “A Model for Predicting Flow Regime Transitions in Horizontal and Near Horizontal Gas-liquid Flow”, *AIChE J.*, **22**, 47-55, (1976)

[8] Hashizume, K., “Flow Pattern and Void Fraction of Refrigerant Two-phase Flow in a Horizontal Pipe”, *Bulletin of JSME*, **26**(219), 597-602, (1983)

[9] Shah, M. “Chart Correlation for Saturated Boiling Heat Transfer: Equations and Further Study”, *ASHRAE Transaction*, **88**(1), 85-96, (1982)

[10] Han, J.U., S.J. Kim, D.S. Jung and Y.I. Kim, “Flow Boiling Heat Transfer Characteristics of R22 Alternative Refrigerants in a Horizontal Smooth Tube”, *Int. J. of Air-Conditioning and Refrigeration*, **13**(4), 242-251, (2001)

[11] Aprea, C., F. de Rossi and A. Greco, “Experimental Evaluation of R22 and R407C Evaporative Heat Transfer Coefficients in a Vapour Compression Plant”, *International Journal of Refrigeration*, **23**, 366-377, (2000)