

## 수평원관 내 CO<sub>2</sub>, R-22 및 R-134a 의 증발열전달 특성에 관한 실험적 연구

윤 린<sup>\*</sup>, 김용찬<sup>†</sup>, 황준현<sup>\*\*</sup>, 최영돈<sup>\*\*\*</sup>

(2001년 7월 30일 접수, 2002년 4월 15일 심사완료)

### Evaporation Heat Transfer Characteristics of CO<sub>2</sub>, R-22 and R-134a in a Horizontal Smooth Tube

Rin Yun, Yongchan Kim, Junhyeon Hwang and Youngdon Choi

**Key Words :** Carbon Dioxide(CO<sub>2</sub>, 이산화탄소), Evaporation Heat Transfer(증발열전달), Smooth Tube(평활관), Natural Refrigerant(자연냉매)

#### Abstract

Evaporation heat transfer coefficients of carbon dioxide(CO<sub>2</sub>), R-22, and R-134a in a horizontal smooth tube were measured and analyzed as a function of heat flux, mass flux, and evaporating temperature. The experiments were carried out by varying heat flux from 10 to 20 kW/m<sup>2</sup>, mass flux from 170 to 340 kg/m<sup>2</sup>s, and saturation temperatures of 5 and 10°C. It was found that the heat transfer coefficient of CO<sub>2</sub> decreased with a rise of quality due to an earlier liquid-film dryout as compared to R-22 and R-134a. Averaged heat transfer coefficients of CO<sub>2</sub> were 22-63% higher than those of R-22 and R-134a at all test conditions. The effects of mass flux and heat flux on averaged heat transfer coefficients were much greater in CO<sub>2</sub> than in R-22 and R-134a. When comparing CO<sub>2</sub> test results with the correlations in the literature, the existing models yielded large deviations at medium and high qualities. Therefore, a generalized correlation for CO<sub>2</sub> evaporation heat transfer needs to be developed by including the effects of dryout phenomenon.

기호설명	하첨자
G : 질량유속 [kg/m <sup>2</sup> s]	e : 증발
h : 열전달계수 [W/m <sup>2</sup> K]	in : 시험부 입구
$\bar{h}$ : 평균 열전달계수 [W/m <sup>2</sup> K]	fg : 포화기체와 포화액체의 차이
i : 엔탈피 [kJ/kg]	out : 시험부 출구
l : 시험부 길이 [m]	r : 냉매측
q'' : 열유속 [kW/m <sup>2</sup> ]	up,down : 시험부의 상부, 하부
T : 온도 [°C]	w : 관 내벽
X : 건도	x : 임의 위치에서 시험부의 길이
X <sub>cr</sub> : 드라이아웃 발생 건도	
ID : 내경 [mm]	

#### 1. 서론

현재 CFC 및 HCFC 냉매의 대체냉매로 사용되고 있는 HFC 냉매들은 오존층파괴지수는 낮지만 지구온난화지수가 높기 때문에 앞으로 그 사용이 제한될 가능성이 높다. 따라서 환경적인 측면에서 오존층을 파괴하지 않으며, 지구온난화에 미치는 영향이 미미한 자연냉매(natural refrigerants)에

---

<sup>\*</sup> 고려대학교 대학원 기계공학과  
<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 고려대학교 기계공학과  
 E-mail : yongckim@korea.ac.kr  
 TEL : (02) 3290-3366 FAX : (02) 921-5439  
<sup>\*\*</sup> LG 전자주식회사  
<sup>\*\*\*</sup> 고려대학교 기계공학과

대한 관심이 고조되고 있다. 또한 자연냉매는 인체에 무해하며, 독성이 없고, 화학적으로도 안정적인 장점을 가지고 있다. 대체냉매로 고려되고 있는 주요 자연냉매에는 이산화탄소, 탄화수소, 암모니아 및 물 등이 포함되어 있다. 그 중에서 이산화탄소는 체적용량이 크고 냉동기유 및 기기 재료와도 호환성이 좋아 온수급탕시스템, 열펌프, 자동차용 에어컨 등 여러 분야에 적용 가능성이 높은 것으로 보고되고 있다.<sup>11,2)</sup> 이산화탄소를 적용한 냉난방 시스템은 기존 냉매에 비하여 작동압력이 높아 시스템을 소형화 및 경량화 할 수 있는 장점이 있다.<sup>11)</sup> 그러나 사이클이 초임계 (supercritical) 영역에서 냉각되며, 과도임계 (transcritical) 냉동사이클을 이루고 있으므로 시스템의 구성부품에 대한 적절한 설계가 요구된다.

이산화탄소의 증발과정에 대한 이해 및 증발기의 최적설계를 위한 자료의 확보를 위하여 원관 및 마이크로채널에서 증발열전달 특성에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다.<sup>12)</sup> Yuan et al.<sup>13)</sup> 은 내경 6.0 mm 인 수평 평활관에서 이산화탄소의 증발열전달계수를 측정하고, 실험결과를 기존 상관식과 비교하였다. 이산화탄소의 증발열전달계수는 질량유속과 열유속이 증가함에 따라 향상되었으나, 건도의 증가에 따라 점차 감소하는 경향을 나타낸다고 보고하였다. Hihara 및 Tanaka<sup>14)</sup> 는 이산화탄소의 증발열전달 특성을 내경 1.0 mm 의 수평 평활관에 대하여 측정하였다. 관경이 작은 경우에도 열유속의 증가에 따라 열전달계수는 향상되었으나, 질량유속의 증가가 열전달계수에 미치는 영향은 매우 작은 것으로 나타났다. Pettersen<sup>15)</sup> 등은 다채널튜브 내에서 열유속, 질량유속 및 증발온도가 이산화탄소의 증발열전달계수에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였고, 증발기의 설계에서 드라이아웃(dryout) 현상을 반드시 고려하여야 한다고 설명하였다. 그러나 아직까지 이산화탄소의 증발열전달 특성은 충분히 규명되지 않았으며, 기존 냉매와의 열전달 특성에 대한 비교 및 열전달 상관식의 개발에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 운전조건의 변화에 따른 이산화탄소의 증발열전달 특성을 밝히고, 이를 기존 냉매인 R-22 및 R-134a 와 비교하고자 한다. 또한 문헌에 발표된 기존 열전달 상관식과 실험결과와의 비교를 통하여 기존 상관식의 문제점 및 새로운 상관식의 필요성을 제시하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치 및 방법

Fig. 1 에 나타낸 바와 같이 본 연구에서 사용한 실험장치는 냉매펌프, 질량유량계, 예열기, 시험부 및 냉각부로 구성되어 있다. 마그네틱 기어펌프를 이용하여 냉매를 순환시키며, 시험부에 공급되는 냉매유량은 펌프의 회전수를 변화시켜 조절하였다. 예열기를 이용하여 시험부 입구에서 냉매의 건도를 조절하였다. 증발온도는 시스템 내부의 냉매 충전량과 냉각부의 온도를 변화시켜 조절하였다. 특히, 펌프입구에 위치한 냉매탱크를 온도 조절이 가능한 항온조 내에 설치함으로써 온도차를 통한 시스템과의 압력차이를 유발시켜 냉매 충전량을 용이하게 조절할 수 있도록 하였다. 시험부에 공급하는 열유속은 120A, 10V 의 적류전력공급장치를 이용하여 조절하였다. 시험부에서 가열된 냉매는 냉각부에서 과냉액체 상태로 냉각되고, 수액기를 거쳐 다시 펌프로 공급된다.

본 연구에서는 외경 8 mm, 내경 6 mm, 길이 1600 mm 의 평활관을 시험부로 사용하였다. 시험부의 길이방향으로 200 mm 간격마다 각각 상하좌우로 열전대를 관외벽에 부착하였다. 시험부는 직접가열방식을 사용했으며, 시험부 재질은 스테인레스강(SUS 316)을 사용하였다.

시험부를 통과하는 냉매유량은 질량유량계를 사용하여 측정하였으며, 측정오차는 총 유량범위의  $\pm 0.2\%$  이다. 시험부 입출구의 냉매온도는 T-type 의 열전대를 사용하여 측정하였으며, 정확도는  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  이다. 시험부 입구의 압력은 절대 압력계를 사용하여 측정하였고, 입출구의 차압은 스트레인 게이지 형식의 차압계로 측정하였다. 압력계와 차압계 모두 표준무게를 사용하여 보정하였으며, 불확실도는  $\pm 5\%$  이다.

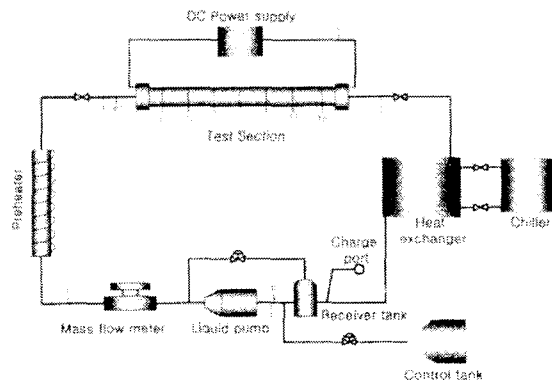


Fig. 1 Schematic of the test setup

## 2.2 실험조건 및 데이터 정리

증발열전달에 크게 영향을 미치는 운전변수는 질량유속, 열유속 및 증발온도의 변화이다.<sup>(6)</sup> 본 연구에서는 Table 1에 나타낸 바와 같이, 이산화탄소, R-22 및 R-134에 대하여 각각 질량유속을 170, 240 및 340 kg/m<sup>2</sup>s로 변화시키고, 열유속을 10, 15 및 20 kW/m<sup>2</sup>으로, 증발온도를 5 및 10 °C로 변화시키면서 실험하였다.

관내측 증발열전달계수는 식 (1)에 주어진 바와 같이 열유속, 냉매온도 및 관 내벽면의 온도로부터 구한다.

$$h = \frac{q''}{T_w - T_f} \quad (1)$$

식 (1)에서 열유속  $q''$ 는 시험부에 공급하는 전압과 전류를 측정하여 계산하였다. 관 내벽면의 온도  $T_w$ 는 외벽면의 온도를 측정 후, 관 벽을 통한 전도를 고려하여 계산하였다. 냉매온도  $T_f$ 은 식 (2)을 이용하여 결정하였다. 시험부의 입구 및 출구에서 냉매의 포화압력과 포화온도를 동시에 측정하였으며, 시험부의 입구 및 출구에서 측정된 압력으로부터 계산된 포화온도는 측정온도와  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  내에서 서로 일치하였다.

$$T_f = T_{f,m} - (T_{f,m} - T_{f,out}) \times \frac{1}{1} \quad (2)$$

시험부의 건도는 식 (3)을 이용하여 계산하였다.

$$\Delta X = \frac{q''}{\dot{m} \cdot i_{fg}} \quad (3)$$

시험범위의 모든 건도에 대한 평균 증발열전달계수는 식 (4)를 이용하여 계산하였다.

$$\bar{h} = \frac{\int_{X_{in}}^{X_{out}} h dX}{X_{out} - X_{in}} \quad (4)$$

Table 1 Test conditions

	CO <sub>2</sub>	R-22	R-134a
Mass flux (kg/m <sup>2</sup> s)	170, 240, 340	170, 240, 340	170, 240, 340
Heat flux (kW/m <sup>2</sup> )	10, 15, 20	10, 15, 20	10, 15, 20
Evaporating temperature (°C)	5, 10	5	5

열전달계수의 측정에 영향을 주는 요소를 식 (5)와 같이 한정할 경우, 본 연구에서 측정한 열전달계수의 불확실도는 6.2%로 예측된다.<sup>(7)</sup>

$$h = f(q'', T_w, T_f) \quad (5)$$

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 이산화탄소의 열전달 특성

Fig. 2는 실험장치의 신뢰성을 확인하기 위하여 본 연구에서 측정한 이산화탄소의 증발열전달계수를 Cho et al.<sup>(8)</sup> 및 Yuan et al.<sup>(9)</sup>의 결과와 비교하여 나타낸 것이다. 전체적으로 건도가 증가함에 따라 열전달계수는 감소하는 경향을 나타내고 있지만, 건도 0.6 이상에서 본 실험결과는 약간 증가한 후 다시 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 고건도 영역에서 관 표면에 형성된 액막이 매우 불규칙하고, 계속된 액적의 이탈로 인한 유동양식의 변화에 기인한 것으로 판단된다. Cho 등<sup>(8)</sup>의 국부 열전달계수는 본 실험값보다 약 30% 낮게 나타났다. Yuan et al.<sup>(9)</sup>의 결과는 본 실험결과와 비교적 잘 일치하였으며, 평균 열전달계수는  $\pm 5\%$  이내에서 서로 일치하였다.

Fig. 3은 동일한 운전조건에서 기존 상관식들의 열전달계수 예측값을 본 연구결과와 비교하여 나타내고 있다. Shah의 상관식<sup>(10)</sup>은 이산화탄소의 증발열전달계수를 35% 이상 낮게 예측하고 있다. 질량유속이 170 kg/m<sup>2</sup>s인 조건에서 Gungor & Winterton 상관식<sup>(11)</sup>과 Liu & Winterton 상관식<sup>(11)</sup>은 건도 0.3 이하에서는  $\pm 25\%$  내에서 실험결과를 예측하지만, 건도 0.3 이상에서는 전체적으로 이산화탄소의 증발열전달계수를 너무 높게 예측하고 있다. 이는 기존 상관식들의 열전달계수 예측치가

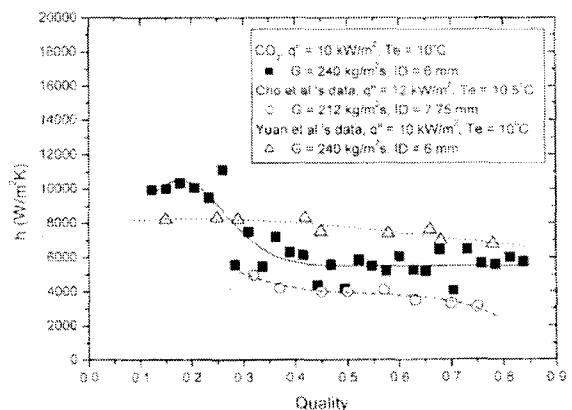


Fig. 2 Comparison of CO<sub>2</sub> data with the results of Cho et al.<sup>(8)</sup> and Yuan et al.<sup>(9)</sup>

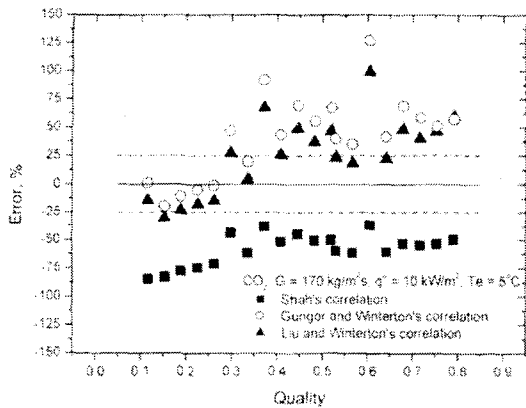
건도에 따라 증가하거나 일정한 경향을 나타내지  
 만, 이산화탄소의 열전달계수는 낮은 질량유속 조  
 건에서 건도의 증가에 따라 급격히 감소하기 때문  
 이다. 이산화탄소의 질량유속이  $340 \text{ kg/m}^2\text{s}$  인 경우  
 에는 Gungor & Winterton 상관식<sup>(10)</sup>의 오차가 모든  
 건도에서  $\pm 25\%$ 에 수렴함을 알 수 있다. 질량유속  
 이 증가함에 따라 각 상관식의 오차가 점차 감소  
 하는 것은 건도의 증가에 따른 열전달계수의 감소  
 폭이 상대적으로 줄어들기 때문이다.

Fig. 4는 이산화탄소, R-22 및 R-134a에 대한 실험  
 결과를 Taitel 과 Dukier<sup>(12)</sup>의 유동양식선도에 나  
 타낸 것이다. R-22와 R-134a의 경우, 증발과정  
 이 간헐유동과 환상유동의 경계면에서 시작되어 건  
 도가 증가하면서 안정된 환상유동을 형성하고 있음  
 을 알 수 있다. 이산화탄소의 경우, 증발 초기에는  
 슬러그류나 플러그류의 유동양식이 나타나며, 증

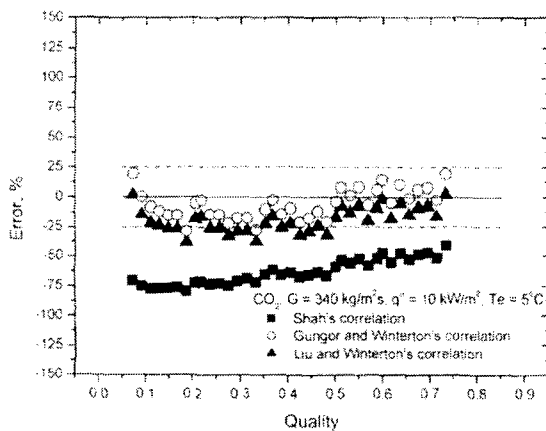
발과정이 상대적으로 성층류와 환상류의 경계면에  
 가까우므로 핵비동의 영향이 크고 불안정한 환상  
 류가 형성될 것으로 예상된다.

Fig. 5는 증발온도  $10^\circ\text{C}$ 에서 질량유속을 170,  
 240 및  $340 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 로 증가시키고, 열유속을 각각  
 10, 15 및  $20 \text{ kW/m}^2$ 로 변화시키면서 얻은 열전달  
 계수를 나타내고 있다. 질량유속이  $170 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 인  
 경우 열유속을  $10 \text{ kW/m}^2$ 에서  $15 \text{ kW/m}^2$ ,  $15 \text{ kW/m}^2$   
 에서  $20 \text{ kW/m}^2$ 으로 증가시키기에 따라 열전달계수  
 가 각각 10% 향상되었다. 질량유속  $240 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 경  
 우에는 동일한 열유속의 증가에 따라 각각 15%,  
 그리고  $340 \text{ kg/m}^2\text{s}$  경우에는 각각 5%의 열전달계수  
 증가를 나타내고 있다. 이는 열유속의 증가에 따  
 라 지건도 영역에서 핵비동이 활성화되었기 때문  
 이다. 또한 질량유속이 증가함에 따라 열전달계수  
 의 범위가 점차 증가하고 있음을 알 수 있다. 질  
 량유속  $170 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 에서는 열전달계수가  $4000\text{-}4500$   
 $\text{W/m}^2\text{K}$  범위에, 질량유속  $240 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 에서는  
 $5500\text{-}6000 \text{ W/m}^2\text{K}$  범위에, 질량유속  $340 \text{ kg/m}^2\text{s}$   
 에서는  $8000\text{-}8500 \text{ W/m}^2\text{K}$  범위에 분포하고 있다. 이는 건  
 도 0.5 이후의 강제대류 증발과정에서는 질량유속  
 이 열전달계수의 활성화에 크게 영향을 미치고 있  
 다는 것을 설명한다.

Fig. 6은 증발온도  $10^\circ\text{C}$ 에서 질량유속의 증가  
 에 따른 이산화탄소의 평균 증발열전달계수를 나  
 타낸다. 예상된 바와 같이 질량유속 및 열유속의  
 증가에 따라 평균 열전달계수는 향상되고 있다.  
 열유속이  $10 \text{ kW/m}^2$ 인 경우, 질량유속을  $170 \text{ kg/m}^2\text{s}$   
 에서  $240 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 로 증가시키면 열전달계수가 15%  
 향상되고, 열유속이  $20 \text{ kW/m}^2$ 인 경우에는 동일한  
 질량유속 증가에서 30% 향상되었다. 또한 질량유  
 속을  $240 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 에서  $340 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 로 증가시킬 때,  
 열유속  $10 \text{ kW/m}^2$ 에서는 열전달계수가 10% 향상



(a)  $G = 170 \text{ kg/m}^2\text{s}$



(b)  $G = 340 \text{ kg/m}^2\text{s}$

Fig. 3 Deviations between the experimental data and the predicted data

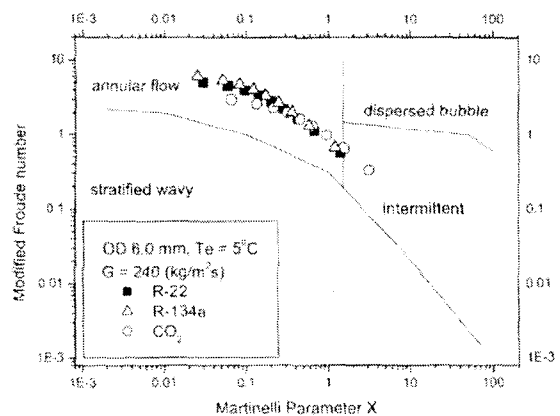
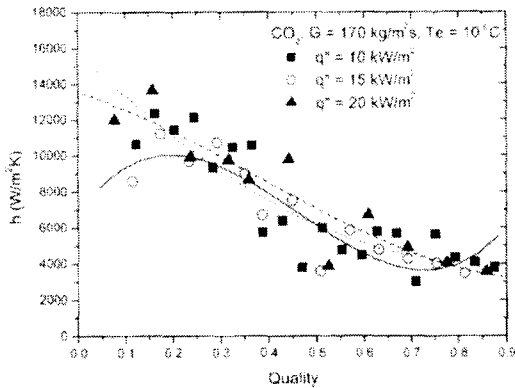


Fig. 4 Experimental data in the flow pattern map<sup>(12)</sup>

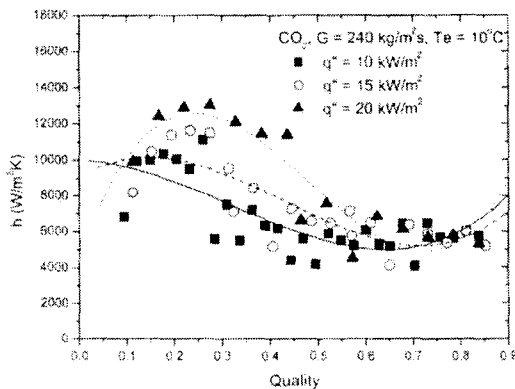
되고, 열유속 20 kW/m<sup>2</sup>에서는 20% 향상되었다.

Fig. 7 은 관의 원주방향으로 상하좌우 위치에서 열전달계수를 건도에 따라 나타낸 것이다. 이산화탄소의 증발열전달계수가 각 위치에서 서로 다른

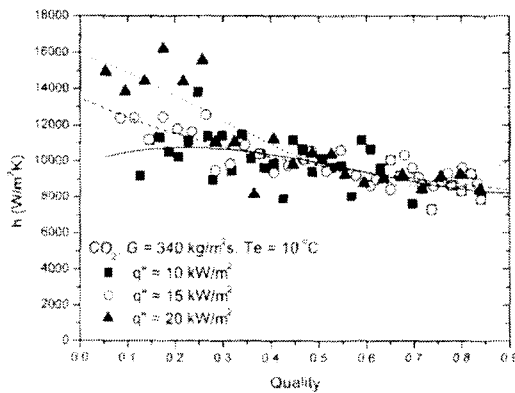
값을 가지고 변화가 심하지만, 전체적으로 건도의 증가에 따라 열전달계수가 감소하는 경향은 명확하게 나타나고 있다. 건도의 증가에 따라 관의 상부에서 국소 열전달계수는 하부의 측정값보다 상대적으로 급격히 감소하는 경향을 확인할 수 있다. 일반적으로 건도가 증가함에 따라 환상유동이 형성되고 증력의 영향으로 상부 액막이 얇아지면서 상부에서의 열전달계수가 크게 향상된다. 본 실험에서도 상부의 열전달계수가 증발초기에는 가장 큰 값을 나타내고 있다. 그러나 Fig. 8 에 나타낸 바와 같이 이산화탄소의 증발과정에서는 관 상부의 액막이 하부보다 먼저 드라이아웃 되고, 이로 인하여 상부의 증발열전달계수가 급격히 감소하게 된다. 또한, 이산화탄소의 이상(two-phase)유동이 안정적이지 못하고 비대칭적인 환상류형<sup>(13)</sup> 형성함으로써 관의 좌, 우측면에서의 열전달계수가 서로 차이를 나타내고 있다.



(a)  $G = 170 \text{ kg/m}^2\text{s}$



(b)  $G = 240 \text{ kg/m}^2\text{s}$



(c)  $G = 340 \text{ kg/m}^2\text{s}$

Fig. 5 Evaporation heat transfer coefficients of CO<sub>2</sub> as a function of heat flux and mass flux

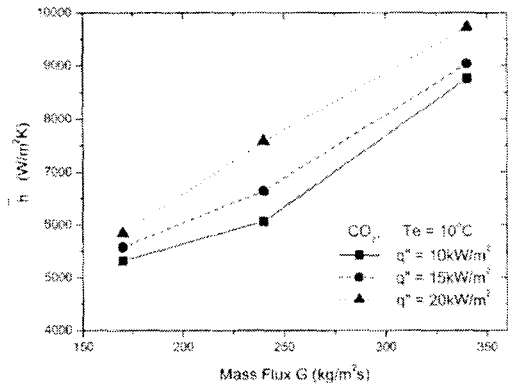


Fig. 6 Effects of mass flux on average evaporation heat transfer coefficient of CO<sub>2</sub>

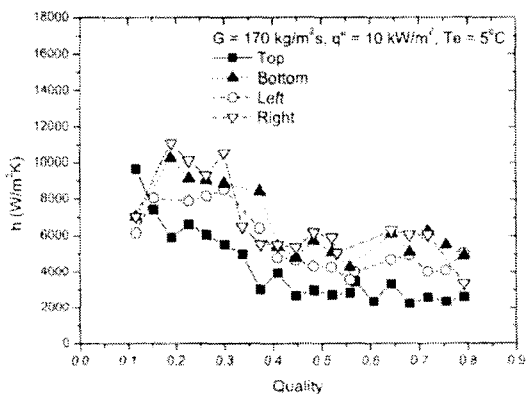


Fig. 7 Variation of circumferential heat transfer coefficients with respect to quality

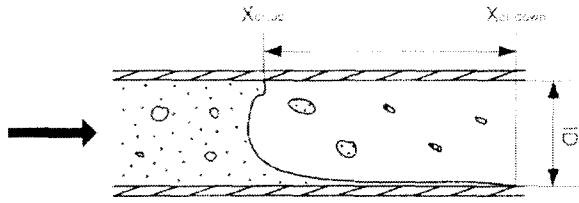


Fig. 8 Dryout phenomenon in a horizontal tube

3.2 R-22 및 R-134a 와의 열전달 특성 비교

Fig. 9 는 질량유속 240 kg/m<sup>2</sup>s, 증발온도 5 °C, 열유속 10 kW/m<sup>2</sup> 에 대하여 이산화탄소의 증발열전달계수를 R-22 및 R-134a 와 비교하여 나타내고 있다. 모든 건도에서 이산화탄소의 열전달계수는 R-22 및 R-134a 보다 크게 나타나고 있다. 특히 열유속의 영향이 큰 건도 0.4 이하 영역에서 이산화탄소의 열전달계수가 R-134a 의 열전달계수보다 3 내지 3.5 배 크게 나타나고 있다. 따라서 이산화탄소는 R-22 및 R-134a 에 비하여 저건도 영역에서 핵비등에 의한 열전달 향상이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 하지만 건도가 증가하면서 핵비등의 영향이 점차 감소하게 되고, 대류증발의 영향이 점차 증가하게 된다. 대류증발 과정에서 이산화탄소는 다른 냉매에 비하여 드라이아웃이 낮은 건도에서 발생하며, 드라이아웃의 발생 이후에는 열전달계수가 점차 감소한다. 따라서 건도 0.4 이후 영역에서 이산화탄소의 열전달계수는 R-134a 및 R-22 의 값에 점차 접근하여 다른 냉매보다 1-1.7 배 정도 큰 값을 나타낸다.

Fig. 10 은 질량유속 240 kg/m<sup>2</sup>s, 증발온도 5 °C 에서, 이산화탄소 및 R-134a 의 열전달계수에 대한 열유속의 영향을 살펴본 것이다. 핵비등이 우세한 저건도 영역에서 열유속이 10 kW/m<sup>2</sup> 에서 20 kW/m<sup>2</sup> 로 증가함에 따라 R-134a 의 열전달계수는 15% 향상된 반면 이산화탄소는 40%의 향상을 나타내고 있다. 따라서 이산화탄소의 경우 저건도 영역에서 열유속의 증가에 따른 핵비등의 활성화 정도가 R-134a 에 비하여 매우 크다는 사실을 다시 확인할 수 있다. 고건도 영역에서는 예상된 바와 같이 모든 냉매에서 열유속의 영향이 거의 없음을 알 수 있다. 모든 열유속 조건에서 건도가 증가함에 따라 이산화탄소의 열전달계수는 R-134a 의 값에 접근한다. 이는 Fig. 9 에서 설명한 바와 같이 대류증발 과정에서 이산화탄소의 드라이아웃이 상대적으로 낮은 건도에서 발생하기 때문이다.

Fig.11 은 열유속의 변화에 따른 각 냉매의 평균

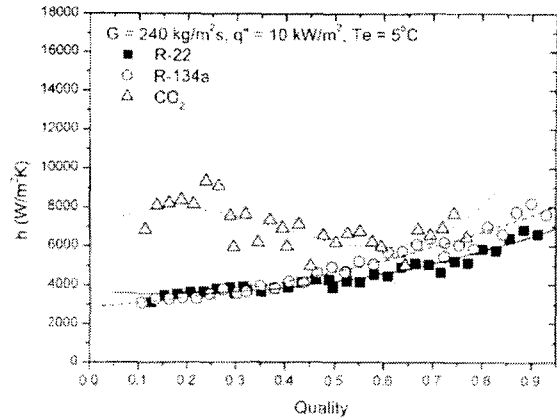


Fig. 9 Comparison of local heat transfer coefficients

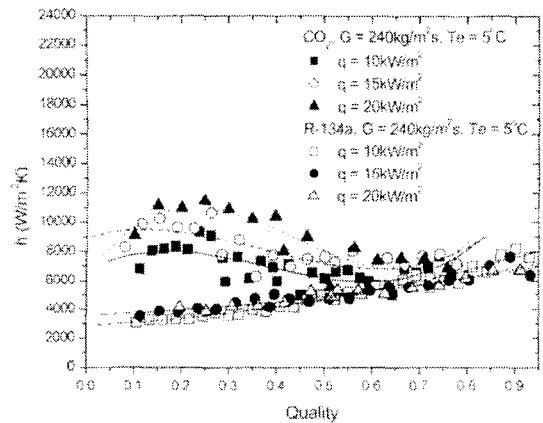


Fig. 10 Effects of heat flux on heat transfer coefficients of R-134a with CO<sub>2</sub>

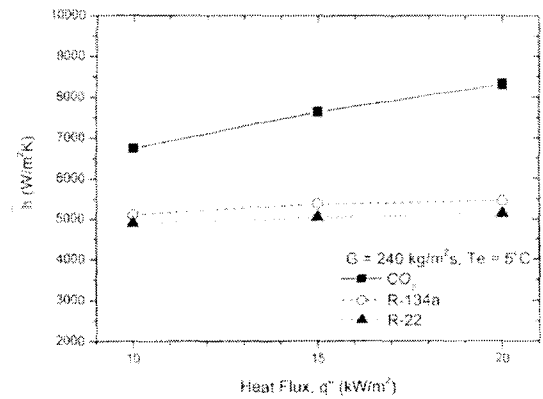


Fig. 11 Comparison of average heat transfer coefficients as a function of heat flux

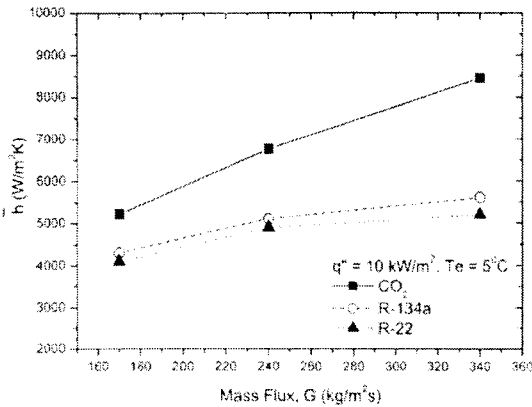


Fig. 12 Comparison of average heat transfer coefficients as a function of mass flux

증발열전달계수를 비교한 것이다. 열유속을 10 kW/m<sup>2</sup>에서 20 kW/m<sup>2</sup>으로 증가시키면 따라 R-22 및 R-134a의 열전달계수는 각각 5% 및 7%의 낮은 증가를 보이지만, 이산화탄소는 23%의 높은 열전달계수의 증가를 나타내고 있다. 이는 저건도 영역에서 열유속의 증가에 따른 이산화탄소의 열전달 향상 정도가 다른 냉매에 비하여 크기 때문이다. 또한 모든 열유속에 대하여 이산화탄소가 기존 냉매보다 32%에서 62% 정도 높은 평균 열전달계수를 나타내고 있다.

Fig. 12는 질량유속의 증가에 따른 각 냉매의 평균 증발열전달계수를 비교한 것이다. 모든 냉매에 대하여 질량유속이 증가함에 따라 평균 열전달계수는 증가하였으며, 그 중 이산화탄소의 증가 기울기가 가장 크게 나타났다. 질량유속을 170 kg/m<sup>2</sup>s에서 340 kg/m<sup>2</sup>s으로 증가시키면 따라 R-22 및 R-134a의 평균 열전달계수는 각각 27% 및 30% 증가하고, 이산화탄소는 62% 증가한다. 이산화탄소의 평균 열전달계수에 대한 질량유속의 영향이 다른 냉매에 비하여 크다는 것을 알 수 있다. 또한 모든 질량유속에 대하여 이산화탄소의 평균 열전달계수가 기존 냉매보다 22%에서 63% 정도 높게 나타나고 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 내경 6 mm의 평활관에서 이산화탄소, R-22 및 R-134a의 증발열전달계수를 질량유속, 열유속, 증발온도를 변화시키면서 측정하였다. 본 실험에서 나타난 이산화탄소의 높은 열전달계수와 문헌에 나타난 낮은 압력강하특성은<sup>(4,5)</sup>

다채널튜브를 적용한 열교환기나 미세관을 적용한 밀집형 열교환기의 적용 가능성을 보여주고 있다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 이산화탄소는 저건도 영역에서 R-22 및 R-134a에 비하여 매우 높은 증발열전달계수를 나타냈으나, 고건도 영역에서는 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 이산화탄소가 R-22 및 R-134a에 비하여 관의 상부에서 액막의 드라이아웃이 상대적으로 낮은 건도에서 발생하여 열전달계수가 점차 감소하기 때문이다.

(2) 모든 실험조건에서 이산화탄소의 평균 열전달계수는 R-22 및 R-134a보다 22-63% 정도 높게 나타났다.

(3) 열유속 또는 질량유속이 증가함에 따라 시험에 사용된 모든 냉매의 평균 열전달계수는 증가하였지만, 열전달계수에 대한 열유속 또는 질량유속의 영향은 이산화탄소에서 가장 크게 나타났다.

(4) 기존의 열전달계수 상관식과 이산화탄소의 실험결과를 비교하면, 질량유속이 낮고, 건도가 높은 영역에서 상관식이 실험값보다 ±25% 이상 과도하게 예측하고 있다. 이는 드라이아웃에 의한 열전달계수의 급격한 강하 때문이며 드라이아웃이 발생하는 건도와 열전달계수의 변화는 튜브의 크기와 운전조건에 따라 크게 변하므로 폭 넓은 실험자료를 바탕으로 드라이아웃을 고려한 상관식의 개발이 필요하다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초 연구사업 (1999-1-304-006-3) 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

#### 참고문헌

- (1) Lorentzen, G., 1994, "Revival of Carbon dioxide as a Refrigerant," *Int. J. Refrig.*, Vol. 17, pp. 292-301.
- (2) Branas, M., 2000, IEAs ANNEX 27: "Selected Issues on CO<sub>2</sub> as Working Fluid in Compression Systems," *Proceedings of the 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids*, Purdue Univ., USA, pp. 1-7.
- (3) Yuan, Z., Michael, M., Jafar, D., 1999, "Forced Convection Boiling Heat Transfer of CO<sub>2</sub> in Horizontal Tubes," *Xth ASME/JSME Joint Thermal Engineering Conference*.
- (4) Hihara, E., Tanaka, S., 2000, "Boiling Heat Transfer of Carbon Dioxide in Horizontal Tubes," *IIR-IIR Commission B1, B2, E1 and E2*.
- (5) Pettersen, J., Rieberer, R., Munkejord, S.T., 2000, "Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of

- Evaporating Carbon Dioxide in Microchannel Tubes,"*IIF-IRR Commission B1*, Purdue Univ., USA, pp. 107~114
- (6) Ha, S. C. 2000. "Some Aspects of Experimental In-tube Evaporation,"*KSME Int. J.*, Vol. 14, pp. 537~546.
- (7) Moffat, R. J. 1985, "Using Uncertainty Analysis in the Planning of an Experiment,"*Journal of Fluids Engineering*, Vol. 107, pp. 173 ~ 178.
- (8) Cho, E. S., Yoon, S. H., Kim, M. S., 2000. "A Study on the Characteristics of Evaporative Heat Transfer for Carbon Dioxide in a Horizontal Tube," *Proceedings of the KSME 2000 Spring Annual Meeting B*, pp. 104~107.
- (9) Shah, M. M., 1979, "A General Correlation for Heat Transfer during Film Condensation Inside Pipes,"*Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 22, pp. 547~556.
- (10) Gungor, K. E., Winterton, R. H. S., 1986, "A General Correlation for Flow Boiling in Tubes and Annuli,"*Int. J. of Heat Mass Transfer*, Vol. 29, No. 3, pp. 351~358.
- (11) Liu, Z., Winterton, R.H.S., 1991, "A General Correlation for Saturated and Subcooled Flow Boiling in Tubes and Annuli Based on a Nucleate Pool Boiling Equation,"*Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 34, pp. 2759~2766.
- (12) Taitel, Y. and Dukler, A. E., 1976, "A Model for Predicting Flow Regime Transitions in Horizontal and Near Horizontal Gas-Liquid flow,"*A.I.Ch. E. J.*, Vol. 22, pp. 47~55.
- (13) Kefer, V., Köhler, W., Kasmer, W., 1989, "Critical Heat Flux and Post-CHF Heat Transfer in Horizontal and Inclined Evaporator tubes,"*Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 15, No. 3, pp. 385~392.