

수직형 흡수기 성능에 미치는 흡수기 전열관의 직경과 길이의 영향

서 정 훈, 조 금 남^{*†}

성균관대학교 대학원, *성균관대학교 기계공학부

Effect of Diameter and Length on the Absorption Performance in a Vertical Absorber Tube

Jeonghun Seo, Keumnam Cho^{*†}

Graduate School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwan 440-746, Korea

**School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwan 440-746, Korea*

(Received March 20, 2001; revision received October 19, 2001)

ABSTRACT: The present study investigated the effect of diameter and length on the absorption performance of a vertical falling film type absorber using LiBr-H₂O solution of 60 wt%. The parameters were diameter of absorber (17.2, 23.4, 31.1 mm), length of absorber (771, 1150, 1528 mm), and film Reynolds numbers (50, 70, 90, 110, 130, 150).

As the diameter of the absorber was increased, the absorption mass flux, Sherwood number, heat flux, and heat transfer coefficient were increased, in which Sherwood number and heat transfer coefficient were increased up to 13% and 30% respectively. As the length of the absorber was increased, the total absorption rate and heat transfer coefficient were increased by 37% and 35% respectively, while the absorption mass flux was decreased.

Key words: Diameter(직경), Length(길이), Absorber(흡수기), LiBr-H₂O solution(리튬브로마이드 수용액), Sherwood number(셔우드수), Heat transfer coefficient(열전달계수)

기 호 설 명

A : 열전달 면적 [m²]
 C : LiBr 수용액농도 [wt%]
 C^s : LiBr 계면농도 [wt%]
 C_p : 정압 비열 [kJ/kg · K]
 D : 물질확산계수 [m²/s]
 d : 직경 [m]
 d_h : 수력 직경, $d_a - d_o$ [m]

G : 흡수질량유속 [kg/m² · s]
 h : 열전달계수 [kW/m² · K]
 k : 열전도계수 [kW/m · K]
 L : 흡수기 관길이 [m]
 $LMTD$: 대수평균온도차, $\frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$ [K]
 L_s : 액막의 특성길이, $(\nu^2/g)^{1/3}$ [m]
 M : 냉매흡수량 [kg/s]
 \dot{m} : 질량유동률 [kg/s]
 Nu : Nusselt 수, hL_s/k_s
 Re_f : 액막 Reynolds 수, $4\Gamma_s/\mu_s$
 r : 흡수기 관 반지름 [m]

† Corresponding author

Tel.: +82-31-290-7483; fax: +82-31-290-5849

E-mail address: keumnam@yurim.skku.ac.kr

- Sh : Sherwood 수, $\beta L_s/D_s$,
- T : 온도 [K]
- U : 열관류율 [$\text{kW/m}^2 \cdot \text{K}$]

그리스 문자

- β : 물질전달계수 [m/s]
- Γ : 원주길이당 질량유량 [$\text{kg/m} \cdot \text{s}$]
- μ : 점성계수 [$\text{kg/m} \cdot \text{s}$]
- ρ : 밀도 [kg/m^3]
- ν : 동점성계수 [kg/m^2]

하첨자

- c : 냉각수
- i : 흡수기 관 내측
- o : 흡수기 관 외측
- s : 수용액
- ss : 스텐레스 강관
- 1 : 입구
- 2 : 출구

1. 서 론

흡수식 냉동기가 가정용 냉동기로 사용되기 위해서는 장치의 소형화, 공냉화 및 고효율화가 요구된다. 흡수식 냉동기의 주요 구성기기들인 열교환기들 중 흡수기의 성능은 흡수식 장치의 전체 성능에 큰 영향을 미친다. 흡수기의 성능에 미치는 영향을 조사한 연구들로는 흡수기 내 여러 종류의 핀을 이용한 연구,^(1,2) 비흡수가스의 영향에 관한 연구,⁽³⁻⁵⁾ 흡수 메카니즘 규명 연구,^(6,7) 계면활성제에 관한 연구^(8,9) 등이 있다. 이 연구들은 흡수기 길이와 직경이 일정한 경우에 대해 수행되었고, 흡수기 형상이 흡수성능에 영향에 대한 연구는 상대적으로 적다. 조현철 등⁽¹⁰⁾은 흡수관의 형상, 냉각수온도 및 용액 입구온도의 영향과 함께 동일 길이에서 직경이 다른 두 수직동관 내 열 및 물질전달 특성을 조사하였으며, 직경의 증가는 냉매증기의 유동에 의한 압력손실을 줄여 전열성능을 향상시켰다고 보고하였다. Kim and Kang⁽¹¹⁾은 흡수접촉길이에 따른 수직원관 내 유하액막의 냉매증기에 대한 흡수실험을 통해 흡수

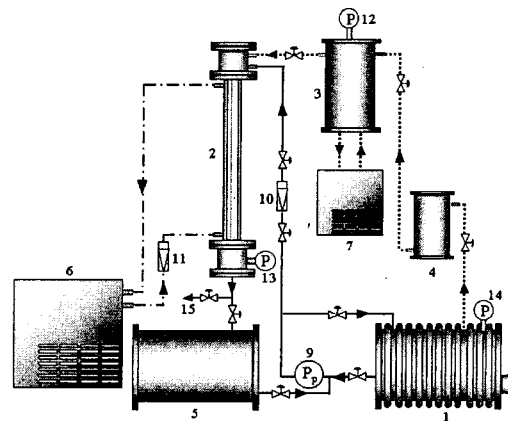
기 입출구의 농도차는 흡수접촉길이와 막레이놀수가 증가할수록 커진다고 보고했다. 흡수기 내 열 및 물질전달에 대한 이론적인 해석연구^(12,13)는 주로 특정의 형상에 대해 수행되었으며, 유하액막의 젖음 특성, 균일한 액막형성이라는 가정 조건들 때문에 실제 실험결과와는 차이를 나타냈다.

수직형 흡수식 냉동기의 공냉화를 위한 연구들은 유사한 실험조건에서도 연구결과들이 일치하지 않아 자료들을 공냉식 흡수기 설계에 사용하기에는 아직 부족하다.

이에 따라 본 연구에서는 H₂O/LiBr계 공냉형 흡수식 장치의 흡수기를 모사한 수직형 흡수기의 직경과 길이가 열 및 물질전달에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험장치 및 실험절차

실험장치는 일중효용 흡수식 장치를 모사하여 Fig. 1과 같이 제작되었으며, 흡수기, LiBr 수용액 재생기, 회용액 탱크, 증발기, 응축기, 항온조, 용액 샘플링 장치 등으로 구성되어 있다. 흡수기는 상부 헤더, 흡수관 및 하부 헤더로 구성되었고, 교체형으로 제작되었다. 흡수기는 관경의 영향을 조사하기 위해 직경이 17.2, 23.4, 31.1 mm인 세개의 매끄러운 스텐레스 강관(SUS316)(두께1.0mm, 길이 1,150 mm)과, 직경이 31.1 mm인 경우 흡수



- 1. Generator
- 2. Absorber
- 3. Evaporator
- 4. Condenser
- 5. Weak solution tank
- 6-7. Constant temp. bath
- 8. Heater
- 9. Magnetic pump
- 10-11. Rotameter
- 12-13. Vacuum pressure gage
- 14. Bourdon tube pressure gage
- 15. Sampling trap

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

기의 관길이 영향을 조사하기 위해 길이 771, 1,529 mm를 갖는 두 개의 스테인레스 강관을 추가로 제작하였다. 공냉식 장치는 흡수열이 수직관 주위를 직교류로 유동하는 공기에 의해 냉각되나, 본 실험에서는 흡수기 내 발생열량에 대한 정밀한 냉각 열량조절을 위해 수직관 외부에 투명 아크릴 관을 이용해 설치한 환상공간에 일정 온도의 냉각수를 수용액에 대해 대향류로 순환시켰다. 재생기 내 수용액은 마그네틱 용액펌프에 의해 흡수기 입구로 유입되었고, 유량은 로터미터에 의해 0.1 L/min 이내로 측정되었다. 하부 헤더 하부에 샘플링 트랩을 설치하여 흡수과정 후 수용액을 채취하였고, 상부 및 하부 헤더에는 흡수관 입출구의 압력을 측정할 수 있도록 진공압력계(260 mmHg 범위, 정밀도 $\pm 0.1\%$ BLS)를 설치하였다. 재생과정시 재생기 내부압력은 브루돈관 압력계(0~760 mmHg, 정밀도 $\pm 5\%$)를 사용하여 측정되었다. 증발기는 내부체적 4L, SUS304 재질의 원통형 용기로 제작되었고, 12L 항온조를 이용하여 증발기 내부에 일정 온도의 냉수를 순환시킴으로써 증기생성을 위한 열량을 공급하였다. 표준백금 저항온도계를 사용하여 실험온도범위를 포함하는 20~50°C 온도범위 내에서 ± 0.10 °C 내로 보정한 T형 열전대를 흡수기 상부와 하부 헤더에 각각 3개씩 설치하여 흡수기 입출구의 수용액 온도를 측정하였다. 냉각수 온도는 입출구에 각각 2개씩 설치된 열전대에 의해 측정되었다. 냉각수 유량도 로터미터에 의해 0.1 L/min 이내로 측정되었다.

흡수과정시 가열기에 대한 공급전력을 조절함으로써 유입되는 수용액의 온도를 일정하게 제어했고, 12L 항온조의 공급냉수온도를 유지하여 증발기의 증기생성량을 일정하게 조절하였다. 흡수기의 압력은 일정하게 유지시켰으며, 재생기와 흡수기 출구에 부착된 샘플링 트랩에서 채취한 용액에 대해, 비중병(용량: 25 mL)을 이용하여 수용액의 비중과 온도를 측정 후 LiBr 수용액의 비중-온도-농도 선도로부터 농도를 조사했다. 온도 차이로 인한 비중의 측정오차를 줄이기 위해 측정온도로 설정된 항온조 내에 비중병을 위치시켜 정확한 비중병 체적을 측정하였고 용액이 담긴 비중병의 무게는 전자저울(범위 200 g, 최소 단위 0.1 mg)로 측정하였다.

수직형 흡수기 내 열 및 물질전달 특성에 미치

는 기하학적 변수들은 흡수기의 직경(17.2, 23.4, 31.1 mm)과 길이(771, 1,150, 1,529 mm)였고, 동적 변수들은 막레이놀드수(50, 70, 90, 110, 130, 150)였다. 수용액과 냉각수 온도는 서정훈 등⁽¹⁴⁾의 결과에서 열 및 물질전달이 최대인 경우로 제시한 과냉조건인 45°C와 30°C로 고정하였다. LiBr/H₂O 계 이중효용 흡수식 냉동기의 실제 운전조건을 고려하여 수용액 농도는 60 wt%, 흡수기 내 압력은 7.6 mmHg였고, 냉각수 유량은 0.15 L/h였다.

3. 실험결과 처리방법

3.1 열전달

흡수관 내에 액막을 형성하여 흐르는 LiBr 수용액으로부터 외부 환상관 내에 흐르는 냉각수 측으로 전달되는 열전달량(Q)은 식(1)과 같다.

$$Q = \dot{m}_c C_{pc} (T_{c2} - T_{c1}) = UA_{ave} LMTD \quad (1)$$

열유속(q)은 냉각수와 흡수관 내 수용액 사이의 열전달량의 흡수기 관내 단위 열전달 면적에 대한 열량으로 나타낼 수 있다. 식(1)의 열관류율은 식(2)와 같다.

$$U = \frac{1}{\frac{A_i}{A_o} \frac{1}{h_c} + \frac{A_i \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k_{ss} L} + \frac{1}{h_s} + F} \quad (2)$$

F 는 오염계수(fouling factor)로서 흡수식 냉동기에서는 보통 0.00015 m²°C/W를 사용하며, 흡수기 내 열전달계수(h_c)는 동심이중관 환상류의 층류조건에 대해 Stephan이 제시한 식⁽¹⁵⁾을 이용하여 식(3), 식(4)로부터 구할 수 있다.

$$Nu_\infty = 3.66 + 1.2(d_i/d_a)^{-0.8} \quad (3)$$

$$Nu_c = Nu_\infty + f \frac{0.19 \left(Re_c Pr_c \frac{d_h}{L} \right)^{0.8}}{1 + 0.117 \left(Re_c Pr_c \frac{d_h}{L} \right)^{0.467}} \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0.11} \quad (4)$$

$$= \frac{h_c d_h}{k_c}$$

3.2 물질전달

유하액막에서 물질전달의 구동력은 기액 표면에서의 농도와 유하액막의 평균 농도와의 농도차이다. 흡수관 내에서 단위시간당 흡수제에 흡수되는 냉매흡수량은 식(5)와 같다.

$$M = \rho_s \beta A_i \Delta C_{lm} \quad (5)$$

식(4)에서 수용액 밀도(ρ_s)는 흡수기 입출구에서의 산술 평균값이고, ΔC_{lm} 은 식(6)과 같다.

$$\Delta C_{lm} = \frac{(C_{s1} - C_1^s) - (C_{s2} - C_2^s)}{\ln[(C_{s1} - C_1^s)/(C_{s2} - C_2^s)]} \quad (6)$$

수용액의 물질전달계수는 식(5)~(6)으로부터 구해지며, 물질전달 특성에 대한 무차원수인 셔우드수는 물질전달계수를 이용해 식(7)로부터 구할 수 있다.

$$Sh = \beta L_s / D_s \quad (7)$$

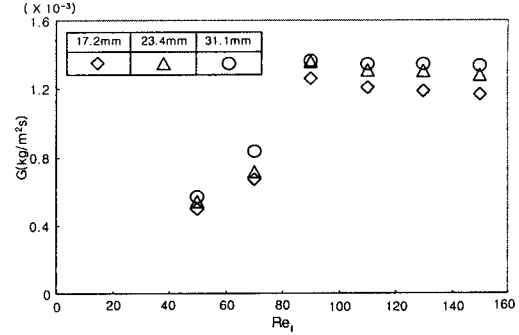
4. 실험결과 및 고찰

4.1 흡수성능에 미치는 직경의 영향

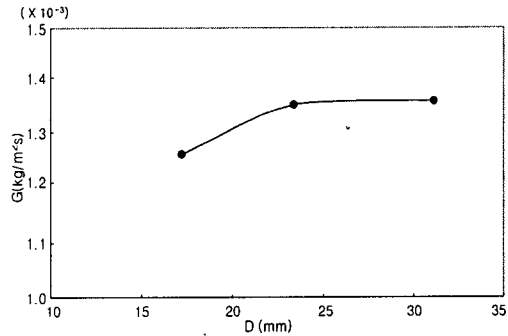
흡수기 성능에 미치는 직경의 영향은 길이가 1,150 mm로 같고 직경이 다른 세 개의 흡수기 관에 대해 조사되었다.

4.1.1 물질전달

Fig. 2는 흡수질량유속에 미치는 흡수기의 직경의 영향을 나타낸다. 막레이놀드수에 따른 흡수질량유속의 변화를 나타낸 Fig. 2(a)에서 흡수질량유속은 막레이놀드수 90까지 증가했고, 90에서 최대치를 나타낸 이후로는 약간 감소했다. 이는 모든 흡수기 직경에서 동일하게 나타났으며, 직경 변화에 따른 흡수질량유속의 변화는 막레이놀드수 90 이하인 경우보다 90 이후에서 더 크게 나타났다. 막레이놀드수가 90 이상인 경우, 흡수기 직경이 17.2, 23.4, 31.1 mm로 순차적으로 증가했을 때 흡수질량유속은 각각 최대 10% 및 4% 정도 증가했다. Fig. 2(b)는 흡수질량유속이 최대



(a) G vs Re_f

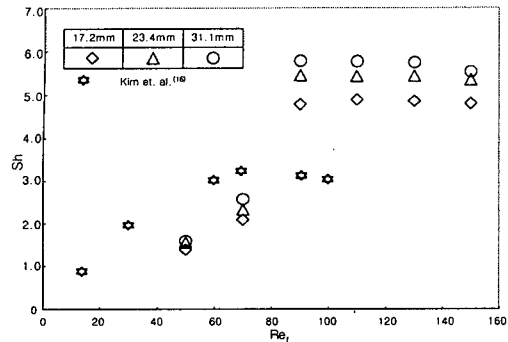


(b) G vs D ($Re_f=90$)

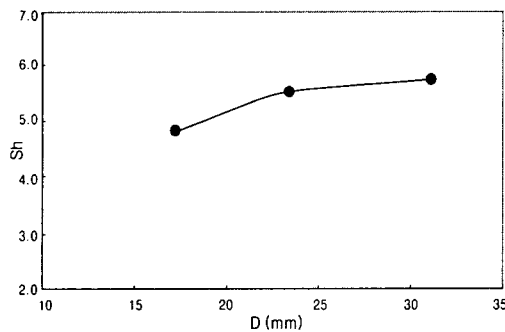
Fig. 2 Effect of diameter on absorption mass flux.

인 막레이놀드수 90에서 직경 변화에 따른 흡수질량유속의 변화를 나타낸다. 흡수기 직경이 증가할수록 흡수질량유속은 증가했으며 일정한 값으로 수렴했다. 막레이놀드수 90이하에서 흡수질량유속이 낮게 나타난 것은 소량의 액막유량에 의한 흡수기 내 비젯음성과 흡수면적 감소에 의한 것으로 판단되며, 90 이후에서 다소 감소하는 것은 액막유량의 증가에 의한 열저항 증가와 냉각수의 냉각성능 감소로 인해 수용액의 포화증기압이 상승했기 때문으로 판단된다. 흡수기 직경 증가에 따라 흡수질량유속이 증가한 이유는 직경의 증가로 인해 흡수면적이 증가하고, 냉매증기의 흡수저항이 감소함에 따라 흡수량이 증가했기 때문이다. 흡수질량유속이 수렴치를 보인 것은 흡수기 직경이 커질수록 흡수기 내벽면에 수용액에 의해 젖어 있지 않은 부분이 존재하기 때문으로 판단된다.

Fig. 3은 흡수기 직경 변화에 따른 셔우드수의



(a) Sh vs Re_f



(b) Sh vs D ($Re_f=90$)

Fig. 3 Effect of diameter on Sherwood number.

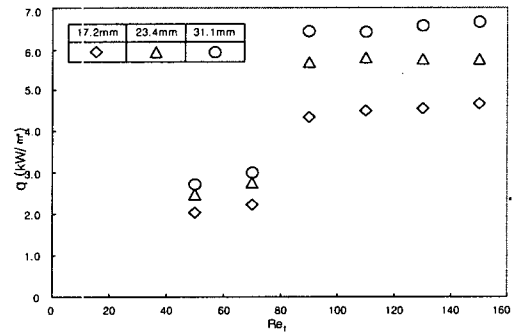
변화를 나타낸다. 막레이놀드수에 따른 셔우드수의 변화를 나타낸 Fig. 3(a)에서 셔우드수는 흡수 질량유속이 최대였던 막레이놀드수 90까지 급격히 증가하다 90에서 최대치를 나타낸 후 다소 감소하였다. 이는 모든 흡수기 직경에 대해 유사했다. 셔우드수는 흡수기 직경이 17.2, 23.4, 31.1 mm로 증가했을 때 최대 13%와 6% 정도 증가했다. Fig. 3(b)는 셔우드수가 최대인 막레이놀드수 90에서 흡수기 직경에 따른 셔우드수 변화를 나타낸다. 흡수기 직경이 증가할수록 셔우드수는 증가했으며 일정한 수렴치로 접근함을 보였다. 상기한 흡수질량유속과 셔우드수에 대한 결과는 물질전달 측면에서 볼 때, 증발기에서 증발하는 냉매증기가 흡수기의 전열관으로 흡수될 때, 17.2 mm와 같은 직경이 작은 전열관에서는 흡수저항을 받게 되어 흡수가 작으나 23.4 mm 이상의 크기를 갖는 전열관에서는 흡수저항이 감소되어 흡수가 안정적으로 이루어짐을 나타낸다.

Kim et al.⁽¹⁶⁾은 수용액 온도 40℃와 냉각수 온

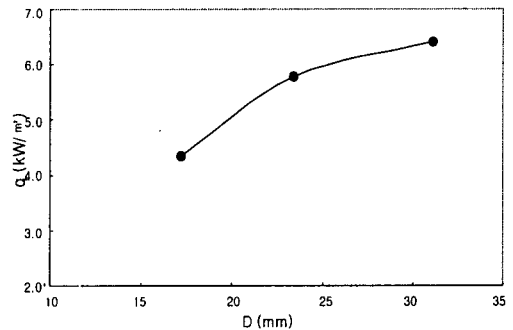
도 30℃인 과냉조건에서 본 실험결과와 유사한 경향을 보이나 최대 셔우드수는 막레이놀드수가 70일 때로 보고했다. 이는 Kim et al.⁽¹⁶⁾의 경우 LiBr 수용액이 흡수기의 외벽을 따라 흐르는 외부유동이며 내부유동에 비해 냉매증기가 흡수기 내부로 유입될 때 압력손실을 적게 받아 흡수기 계면에서의 흡수가 빠르게 일어났기 때문으로 판단된다.

4.1.2 열전달

Fig. 4는 흡수기 직경 변화에 따른 열유속의 변화를 나타낸다. 막레이놀드수에 따른 열유속 변화를 나타낸 Fig. 4(a)에서 열유속은 막레이놀드수가 70에서 90으로 증가하는 경우 급격하게 증가했다. 이는 모든 흡수기 직경에서 유사하게 나타났고, 흡수기 직경이 17.2, 23.4, 31.1 mm로 증가하는 경우 열유속은 각각 최대 31, 16% 정도 증가했다. Fig. 4(b)는 열유속이 급격히 증가한 막레이놀드수 90에서 직경 변화에 따른 열유속 변화를 나타낸다. 흡수기 직경이 증가함에 따라 열

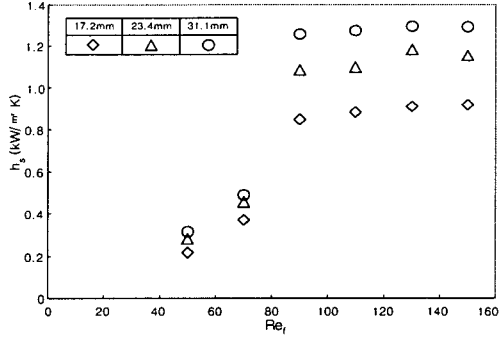


(a) q vs Re_f

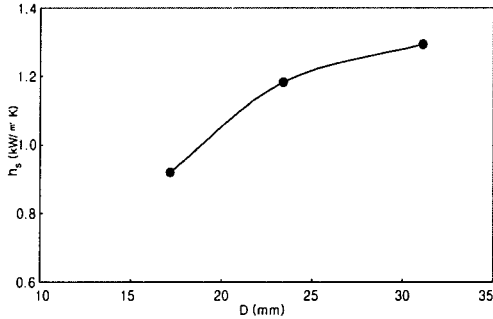


(b) q vs D ($Re_f=90$)

Fig. 4 Effect of diameter on heat flux.



(a) h_s vs Re_f



(b) h_s vs D ($Re_f=90$)

Fig. 5 Effect of diameter on heat transfer coefficients.

유속은 증가했으나 열유속의 증가율은 둔화되는 경향을 나타냈다. 흡수기 직경이 증가함에 따라 열유속이 증가한 것은 흡수기내 접촉면적이 증가하고 냉매증기의 흡수가 향상되면 흡수기로 냉매증기가 유입되면서 흡수기 내에서 받게 되는 압력손실이 작아져 안정적인 흡수가 이루어지고, 수용액과 냉각수 간의 열전달 면적이 증가하면서 열유속의 향상을 가져오기 때문으로 판단된다.

Fig. 5은 흡수기 직경에 따른 열전달계수의 변화를 나타낸다. 막레이놀드수에 따른 열전달계수 변화를 나타낸 Fig. 5(a)에서 열전달계수는 흡수기 직경이 17.2, 23.4, 31.1 mm로 증가하는 경우 각각 최대 30% 및 16% 정도 증가했다. 막레이놀드수 90 이상에서 열전달계수가 미소하게 증가한 것은 흡수제의 현열효과가 열전달에 영향을 미치기 때문이다. Fig. 5(b)은 열유속이 급격히 증가한 막레이놀드수 90에서 흡수기 직경 변화에 따른 열전달계수의 변화를 나타낸다. 흡수기 직경이 증가함에 따라 열전달계수는 증가했으나 증가

율은 직경의 증가율보다 작았다. 이는 막레이놀드수 90 이후에 물질전달이 급격히 증가하고, 직경증가에 의한 열전달 면적의 증가로 냉매증기의 흡수가 향상되면서 흡수열이 열유속에 영향을 미치기 때문으로 판단된다.

4.2 흡수성능에 미치는 길이의 영향

흡수성능에 미치는 길이의 영향은 흡수기 직경이 31.1 mm로 동일하고 길이가 다른 세 개의 흡수기에 대해 조사되었다.

4.2.1 물질전달

Fig. 6은 흡수기 길이 변화에 대한 흡수질량유속의 변화를 나타낸다. 4.1절에서와 같이 흡수질량유속은 막레이놀드수 90까지 증가했고, 90에서 최대치를 나타낸 후 약간 감소했다. 이는 모든 흡수기 길이에서 유사하게 나타났으며 흡수기 길이 변화에 따른 흡수질량유속의 변화는 막레이놀

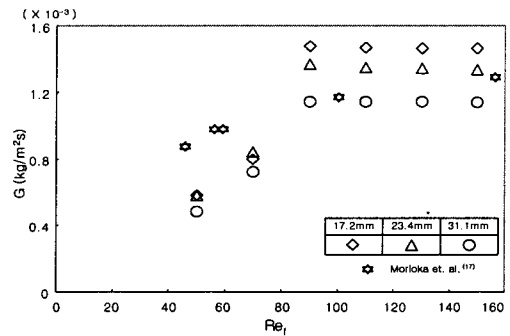


Fig. 6 Effect of length on absorption mass flux.

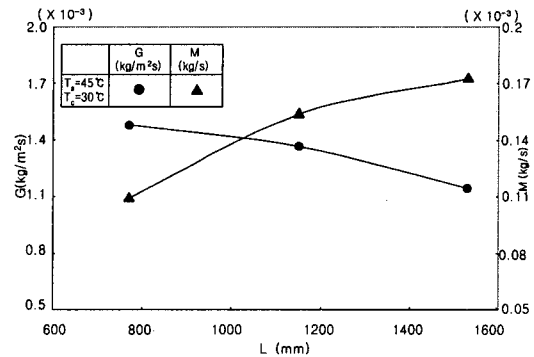


Fig. 7 Effect of length on absorption mass flux and absorption rate at Re_f of 90.

드수가 90 이하인 경우보다 90 이후인 경우에 더 컸다.

Fig. 7은 흡수질량유속이 최대인 막레이놀드수 90에서 흡수기의 길이에 따른 흡수질량유속과 전체 흡수율의 변화를 나타내고 있다. 흡수기의 길이가 771, 1,150, 1,529 mm로 증가할 때, 흡수질량유속은 각각 8% 및 16% 정도 감소했고, 전체 흡수율은 각각 37% 및 12% 증가했다.

Fig. 6과 7에서 단위면적당 흡수질량유속과 전체 흡수율은 반대의 경향을 나타냈는데, 이는 냉매증기가 흡수기 내로 흡수될 때, 흡수기에 유입되는 농용액의 수용액과 냉각수의 냉각효과로 인해 흡수기 하부보다 상부에서 많은 양의 냉매증기가 흡수되기 때문에 단위면적당 흡수질량유속이 길이가 가장 짧은 771 mm의 경우에 가장 컸기 때문이다.

Morioka et al.⁽¹⁷⁾의 결과도 본 실험결과와 유사했지만, 막레이놀드수가 작은 경우는 차이가 있었다. 이는 Morioka et al.⁽¹⁷⁾의 전열관(동관 외경 28 mm, 길이 1,400 mm)의 유효흡수면적이 본 실험에서 사용한 전열면적과 다르고, 수용액 온도는 38°C이고 냉각수 온도는 30°C이며, 외부유동형태여서 내부유동인 본 실험조건에 비해 냉매증기의 유동이 원활해서 압력손실을 적게 받았고, LiBr 수용액 농도가 50 wt%였다는 점 등 차이가 있을 수 있는 요인이 많기 때문이다.

4.2.2 열전달

Fig. 8은 흡수기의 길이변화에 따른 열전달계수의 변화를 나타내고 있다. 막레이놀드수에 따른 열전달계수의 변화를 나타낸 Fig. 8(a)에서 열전달계수는 흡수기 길이가 771, 1,150, 1,529 mm로 증가하는 경우 각각 최대 35% 및 15% 정도 증가했다.

열전달계수가 급격히 증가한 막레이놀드수 90에서 길이 변화에 대한 열전달계수는 Fig. 8(b)에 나타나 있다. 직경변화에 따른 열전달계수 변화에서와 유사하게 흡수기 길이가 증가할수록 열전달계수는 증가했으나 길이 증가율보다는 작았다.

직경 변화에 의한 것보다 길이 변화에 의한 열전달계수의 증가율이 더 큰 것은 직경에 비해 길이증가로 인한 접촉면적 증가율이 컸고, 대향류인 수용액과 냉각수 간 수용액의 유동방향으로의 열전달 면적 증가로 전체 열유속이 증가되었기

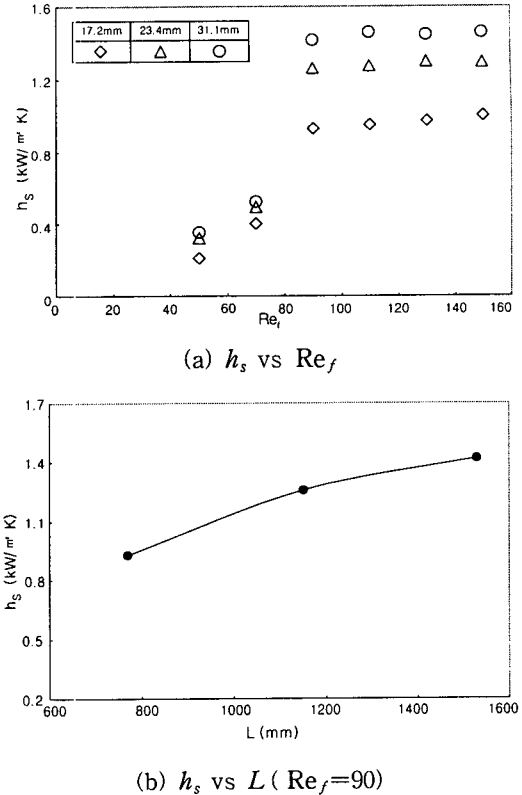


Fig. 8 Effect of length on heat transfer coefficient.

때문이다.

임의의 냉동능력을 갖는 흡수식 냉동기 내 흡수기에 대한 최적설계를 수행하는 경우, 흡수기의 직경과 길이에 따른 열 및 물질전달 변화는 선형적이지 않기 때문에 냉동능력, 공간, 경제성 등을 고려하여 흡수기의 재원을 결정할 필요가 있다.

5. 결 론

(1) 모든 흡수기 직경과 길이에 대해 열전달과 물질전달은 막레이놀드수가 90일 때 최대치를 나타냈다.

(2) 흡수기 직경이 증가할수록 흡수질량유속, 셔우드수, 열유속, 열전달계수는 증가하였고, 모두 일정한 값으로 수렴했다.

(3) 흡수기 직경 변화에 따라 흡수질량유속과 셔우드수는 각각 최대 10%와 13% 정도 증가했

으며, 길이 변화에 따라 전체 흡수율과 열전달계수는 각각 최대 37%와 35% 정도 증가했다.

(4) 흡수기 길이가 증가할수록 전체 흡수율과 열전달계수는 증가했으나 흡수질량유속은 감소했으며, 이들은 모두 일정한 값으로 수렴했다.

(5) 전체 흡수율에 대한 수렴치를 나타낸 흡수기 길이는 1,670 mm, 열전달계수의 수렴치는 길이 1,680 mm, 흡수질량유속의 수렴치는 길이 1,665 mm였다.

후 기

본 연구는 2001학년도 삼성학술연구비와 일부 2001년도 BK21 사업 핵심분야 사업비에 의하여 지원되었으며 이에 관계자들께 감사드립니다.

참고문헌

- Schwarzer, B. P., Rahbar, M. S. and Legoff, P., 1993, A spiral fin tube: a novel type of falling film heat and mass exchanger, AES-Vol. 31, Int. Absorption Heat Pump Conf. pp. 179-183.
- Yoon, J. I., Oh, H. K., Takao Kashiwagi, 1995, Characteristics of heat and mass transfer for a falling film type absorber with insert spring tubes, Transactions of KSME, Vol. 19, No. 6, pp. 1501-1509.
- Hijikata, K., Lee, S. K. and Nagasaki, T., 1992, Water vapor absorption enhancement in LiBr/H₂O falling on horizontal tubes, Transactions of JSME (Part B), Vol. 58, No. 547, pp. 885-890.
- Hur, K. J., Jeong, E. S. and Jeong, S. Y., 1998, Effect of a Non-Absorbable Gas on the Absorption Process in a Vertical Tube Absorber, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 4, pp. 456-465
- Lee, C. W., 1997, Effects of Non-absorbable Gases on the Absorption Process of Aqueous LiBr solution Film in a Vertical Tube, Dissertation of Ph.D, Hong Ik Univ.
- Kashiwagi, T., Kurosaki, Y. and Shishido, H., 1985, Enhancement of Vapour Absorption into a solution Using the Marangoni Effect, Transaction of the JSME (Part B), Vol. 51, No. 84, pp. 1002-1009.
- Hozawa, M., Inoue, M., Sato, J., Tsukada, T. and Imaishi, N., 1991, Marangoni convection during steam absorption into aqueous LiBr solution with surfactant, J. Chem. Eng. Japan, Vol. 24, No. 2, pp. 209-214.
- Hihara, E. and Saito, T., 1993, Effect of surfactants on falling film absorption, Int. J. Refrigeration, Vol. 16, No. 5, pp. 339-346.
- Daiguji, H., Hihara, E. and Saito, T., 1997, Mechanism of absorption enhancement by surfactant, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 40, No. 8, pp. 1743-1752.
- Cho, H. C., Kim, C. B., Jeong, S. Y., Kang, S. W. and Lee, C. S., 1995, A Study on Heat and Mass Transfer in a Vertical Tube Absorber Using LiBr Family Solution, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 7, No. 2, pp. 196-206.
- Kim, B. J. and Kang, I. S., 1995, Absorption of water vapor into wavy-laminar falling film of aqueous lithium bromide, KSME Journal, Vol. 9, No. 1, pp. 115-122.
- Blanco, H. P., 1993, A simple analytical model for the design of vertical tube absorber, ASHRAE Transaction, pp. 69-80.
- Kim, S. C., Oh, M. D. and Lee, J. H., 1996, Analysis of Heat and Mass Transfer in Vertical Tube Absorber Cooled by Air, Transaction of KSME (Part B), Vol. 20, No. 10, pp. 3293-3303.
- Seo, J. H., Cho, K. N. and Choi, K. B., 1999, Heat and mass transfer characteristics in a vertical absorber, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 835-845.
- Lee, B. D., 1991, The handbook for design and calculation of heat exchanger, Korea, Sehwa Publishing, pp. Gd1-Gd2.
- Kim, K. J., Berman, N. S. and Wood, B. D.,

- 1995, Absorption of water vapor into falling films of aqueous lithium bromide, *Int. J. Refrigeration*, Vol. 18, No. 7, pp. 486-494.
17. Morioka, I., Kiyota, M. and Nakao, R., 1991, Absorption of water vapor into a film of aqueous solution of LiBr falling along a vertical pipe, *Transactions of JSME (Part B)* Vol. 57, No. 543, pp. 3916-3920.