

〈論 文〉

스프링삽입형 유하액막식 흡수기의 열 및 물질전달 특성

윤정인* · 오후규* · 柏木孝夫**

(1994년 6월 15일 접수)

Characteristics of Heat and Mass Transfer for a Falling Film Type Absorber with Insert Spring Tubes

Jung-In Yoon, Hoo-Kyu Oh and Takao Kashiwagi

Key Words : Falling Film Type Absorber (유하액막식 흡수기), Heat Transfer (열전달), Mass Transfer (물질전달), Heat Transfer Enhancement (열전달촉진), Absorption Refrigeration (흡수식 냉동기), Insert Spring Tube (스프링삽입관), Lithium Bromide (리튬브로마이드)

Abstract

It is known that the heat and mass transfer characteristics in the absorber are most sensitive of the temperature boost of all the heat exchangers and the development of a more efficient absorber should be highly important. This paper describes absorption experiments made with different inside tube diameters, tube length and tube shapes. The purpose of this study is to acquire basic knowledge about heat and mass transfer in a falling film type absorber with vertical inner tubes. Heat and mass transfer were measured for water vapor absorption into a Lithium Bromide-water solution flowing down an absorber of vertical inner tubes. As a result, insert spring tube compares bare tube and heat transfer improved by order of insert spring tube P2(pitch 20 mm) and P1(pitch 10 mm).

기 호 설 명

c_p : 정압비열 J/(kg · K)	Pr : 프란틀수
d : 흡수기 전열관 지름 m	Q : 교환열량 W
G : 질량유량 kg/s	Re : 레이놀즈수
Gr : 냉매 증기흡수량 kg/s	Re_f : 막레이놀즈수
h : 열전달계수 W/(m ² ·K)	T : 온도 °C
K : 열통과율 W/(m ² ·K)	ΔT_{lm} : 대수평균 온도차 °C
L : 흡수기 전열관 길이 m	β : 물질이동계수 m/s
Nu : 너셀수	λ : 열전도율 W/(m·K)
ΔP : 압력손실 Pa	ρ : 밀도 kg/m ³
	μ : 점성계수 Pa·s
	ξ : 평균농도 H ₂ O wt%
	ξ^* : 평형농도 H ₂ O wt%
	$\Delta \xi_{lm}$: 대수평균 농도차 H ₂ O wt%

*정회원, 부산수산대학교 냉동공학과

**동경농공대학 공학부 기계시스템공학과

첨자

- A : 흡수기
- co : 냉각수
- i : 입구(내부)
- m : 평균
- o : 출구(외부)
- s : 흡수용액

1. 서 론

최근 오존층파괴, 온실효과 등 지구환경문제가 국제적 관심사로 되고 있으며, 탈프레온화에 대한 기술개발이 점점 중요시되고 있다. 이 중에서도 흡수식 냉동기 히트펌프에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^(1~4) 흡수식 히트펌프는 4개의 열교환기, 즉 증발기, 흡수기, 재생기, 응축기로 구성되어 있으며, 이 중 흡수기가 전체 성능에 미치는 영향은 상당히 크다. 흡수기에서는 냉매증기가 흡수될 때 발열을 동반한 열이동과 물질이동이 동시에 일어나기 때문에 흡수과정은 복잡하여, 그 성능평가 방법이 아직 확립되어 있지 않은 실정이다.

수직관내 흡수형 전열관은 공냉화면에서 유리하며, 공냉화 흡수냉동기의 소형화, 고효율화를 달성하기 위해서는 수직관내 흡수기용 전열관의 연구가 필수적이다. 그러나 물-리튬브로마이드계의 수직관 흡수특성에 관한 연구보고는 아직 미흡한 실정이다. 흡수기의 열 및 물질전달에 관한 연구는 이론적인 연구^(5~7)와 실험적인 연구^(8~11)로 크게 구분된다. Grossman 등⁽⁵⁾은 흡수기의 유하액막 특성을 모델화를 통해 이론적으로 밝혔다. Van der Wekken 등⁽⁶⁾은 수직관에 대한 열·물질전달 특성을 모델화하여 밝혔으며, Vliet 등⁽⁷⁾은 수평관에 대한 이론적 특성을 밝혔다. 실험적으로는 공냉화를 위한 수직관내 흡수기에 대한 연구^(8,9)와 평활관과 각종 전열축진관에 관한 비교 연구^(10,11) 등이 많이 이루어지고 있다. 그러나 아직 이 분야의 연구는 매우 부족하며, 특히 고성능 전열관의 하나인 스프링삼입관에 관한 연구 자료는 극히 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 관내는 리튬브로마이드 수용액을 액막상으로 흘리고, 관외는 여름철 외기 온도를 약 35℃로 가정한 냉각수로 냉각하면서 냉매증기를 흡수시켜 열 및 물질전달 특성을 실험적으로 파악하였다.

본 연구는 각 전열관의 관경, 길이, 내면 형상의 차이에 따른 흡수기관내 열이동 특성, 물질이동 특성 및 증기유동에 따른 압력강하 등 일련의 실험적 연구를 통해, 고성능 수직관 흡수기 개발을 위한 기초 데이터를 얻음과 동시에 공냉화로의 유익한 정보를 얻는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

실험장치는 각 열교환기 및 저장탱크가 배관과 밸브로 구성되어 있으며 충분히 단열되어 있다. 장치의 주요 구성은 열교환기인 흡수기, 증발기, 응축기, 재생기 및 농 회용액탱크, 냉각수탱크, 냉수탱크, 냉매탱크, 정압탱크, 순환펌프, 자동제어기기, 계측기기, 제어반 등이다.

Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것으로, 각 부의 측정값은 컴퓨터에 입력되어 실험상태가 정상인지 아닌지를 확인할 수 있도록 그래프로 표시된다. 그림에서 실선은 리튬브로마이드 수용액을, 점선은 냉각수 및 냉수를 나타낸다. 농용액탱크, 냉각수탱크, 냉수탱크, 냉매탱크 및 재생기는

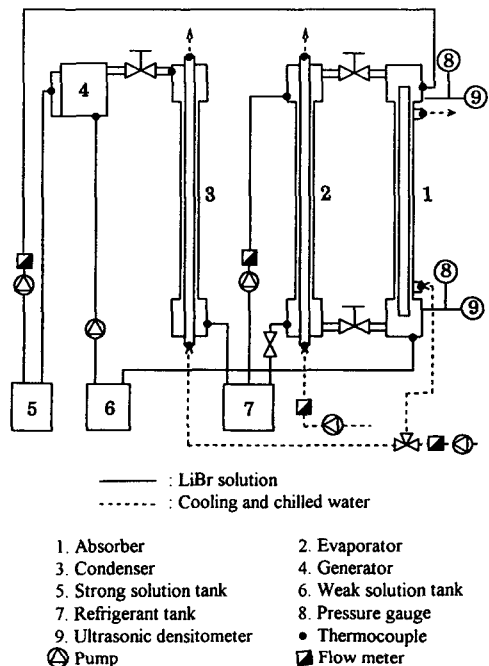


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specification of tested tube

Tube name	Inside diameter[mm]	Length[mm]	Thickness[mm]	Characteristic of inner tube
14B	14.28	1419	0.8	Smooth surface
14P1	14.28	1419	0.8	Insert spring of pitch 10[mm]
14P2	14.28	1419	0.8	Insert spring of pitch 20[mm]
17B	17.05	1419	1.0	Smooth surface
17P1	17.05	1419	1.0	Insert spring of pitch 10[mm]
17P2	17.05	1419	1.0	Insert spring of pitch 20[mm]
24B	24.00	1419	0.8	Smooth surface
24P1	24.00	1419	0.8	Insert spring of pitch 10[mm]
S14B	14.28	1119	0.8	Smooth surface
S14P1	14.28	1119	0.8	Insert spring of pitch 10[mm]
S14P2	14.28	1119 </td <td>0.8</td> <td>Insert spring of pitch 20[mm]</td>	0.8	Insert spring of pitch 20[mm]

PID제어에 의해 소정의 온도와 농도로 제어할 수 있도록 구성되어 있다. 흡수기는 단일 시험전열관, 냉각관, 상부헤드, 하부헤드로 구성되어 있으며, 전열관과 스테인레스 냉각관의 2중관 구조로 되어 있다. 흡수용액은 시험전열관내를 액막상으로 흐르며, 냉각수는 내관인 시험전열관과 외관인 냉각관의 환상부를 하부에서 상부로 흐른다. 흡수용액은 정압탱크로부터 맥동류의 영향을 방지하기 위해 직경 1 mm인 2개의 작은 구멍으로 흡수기내에 유입 되도록 하였으며, 상부헤드 밀면에는 시험전열관 내면에 균일한 액막이 형성되도록 원통형의 보가

설치되어 있다. 증발기로부터의 냉매증기는 직경 50.8 mm의 원통 플랜지부로 유입된다. 상·하부헤드 끝에는 흡수기 내부 상황을 확인할 수 있도록 관찰창을 설치하였다. 온도는 리튬브로마이드 수용액의 온도와 냉수, 냉각수의 입·출구에서 측정하였으며, 압력은 흡수기 입·출구에서 전자압력계로 측정하였다. 그리고 농도는 초음파 농도계로 리튬브로마이드 수용액의 유량은 전자유량계, 냉수 및 냉각수의 유량은 부자식 유량계로 각각 측정하였다.

증발기와 흡수기에서의 열 및 물질평형, 즉 증발기에서의 단위 시간당 증발열량과 흡수기에서의 단위 시간당 흡수열량을 비교한 결과 열평형, 물질평형 모두 15~20% 범위이내에서 일치하였다. 이와 같은 결과로부터 실험장치, 측정방법 및 실험결과 의 신뢰성은 높다고 할 수 있다.

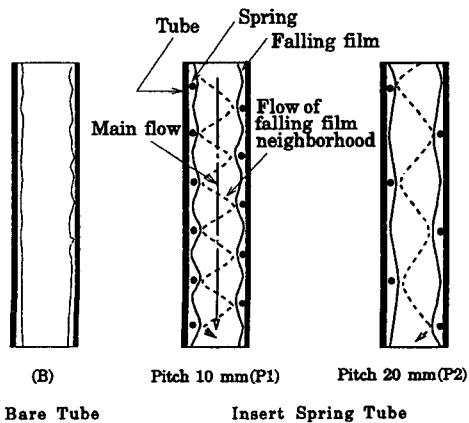


Fig. 2 Details of test tubes

2.2 시험전열관

Table 1에 시험전열관의 주요 사양을 나타내었 으며, Fig. 2에 개략도를 나타내었다. 이후는 Table 1의 시험전열관 명칭을 사용한다. 열전달계수 및 물질전달계수를 향상시키기 위해서는 일반적으로 경계층을 얇게 하거나, 전열면 근처에 난류를 일으키는 것을 생각할 수 있다.

따라서 본 실험에서는 평활관(이하 B관), 평활 관에 피치가 10 mm 및 20 mm의 스프링을 삽입한 스프링삽입관(이하 각각 P1관, P2관)을 사용하였

Table 2 Experimental conditions

Cooling water	Flow rate[m ³ /s]	4.17×10^{-5}
	Temperature[°C]	35.0 ± 1.0
Strong solution	Flow rate[m ³ /s]	$2.1 \times 10^{-6} \sim 6.9 \times 10^{-6}$
	Temperature[°C]	45.0~53.0
	Concentration[wt%]	62.0 ± 0.5
Chilled water	Flow rate[m ³ /s]	3.0×10^{-5}
	Temperature[°C]	15.0~20.0

다. 그리고 관내 흡수과정에서의 열전달 및 물질전달계수에 대한 압력강하의 영향을 밝히기 위해 관내경이 14.28 mm, 17.05 mm, 24 mm의 평활관 및 여기에 스프링을 삽입한 스프링삽입관에 대해 실험을 하였다. 시험전열관 및 스프링의 재질은 각각 동 및 스테인레스이다.

2.3 실험방법

실험은 흡수용액의 재생과정과 흡수과정으로 나누어 실시하였다. 먼저 재생과정에서는 진공펌프로 시스템내의 공기를 충분히 진공시켰다. 회용액 탱크내의 흡수용액은 재생기, 농용액탱크, 회용액 탱크내를 순환하므로써 농축되며, 발생된 수증기는 응축기에서 응축되어 냉매탱크로 유입된다. 냉매 및 냉수도 적정온도로 유지하기 위해 온도제어를 하면서 펌프로 순환시켰다.

흡수과정은 리튬브로마이드 수용액을 농용액탱크에서 흡수기 상부로 보내 시험전열관에 액막으로 흘러 증발기에서 발생한 냉매증기를 흡수시킨다. 이 때, 35°C의 냉각수는 관외를 흡수용액과 대향류로 흐르게 된다. 흡수용액의 실험유량은 배관내에 설치한 니들밸브로 조정하여 흡수기 상부헤드부에 공급하였다. 여분의 흡수용액은 정압탱크내에 설치한 바이패스관을 거쳐, 농용액탱크로 되돌아온다. 실험은 시험전열관에 공급하는 흡수용액 유량을 변화시키면서 실시하였다. 실험개시 후, 흡수용액의 흡수기 입구 용액온도가 평형이 되도록 조정하였으며, 각 부가 안정된 정상상태에 도달하였을 때 실험을 하였다. 본 실험에서의 흡수용액, 냉매 및 냉각수의 각 실험조건을 Table 2에 나타내었다. 냉각수 입구온도는 공냉화를 가정하여 여름철 외기온도와 비슷한 35°C로 설정하였다.

3. 열전달계수 및 물질전달계수의 산출

3.1 열전달계수

흡수과정에서의 열 및 물질전달 특성을 평가하기 위해 Fig. 3에 나타난 것과 같은 흡수모델을 설정하였다. 실험에서 측정된 흡수용액의 흡수기 입구 온도 T_{Asi} , 출구온도 T_{Aso} 및 냉각수 입구온도 T_{Acoi} , 출구온도 T_{Acoo} 로부터 열교환기의 대수평균온도차 ΔT_{lm} 을 식(1)과 같이 정의하였으며, 열통과율 K 는 식(2)에 의해 구하였다. 여기서, di 는 관내경, L 은 전열관 길이를 나타낸다.

$$\Delta T_{lm} = \frac{\{(T_{Asi} - T_{Acoo}) - (T_{Aso} - T_{Acoi})\}}{\ln\{(T_{Asi} - T_{Acoo}) / (T_{Aso} - T_{Acoi})\}} \quad (1)$$

$$K = \frac{Q}{\ln\{\Delta T_{lm} \cdot (\pi \cdot di \cdot L)\}} \quad (2)$$

관의 냉각수측 열전달계수 h_o 는 평활관의 난

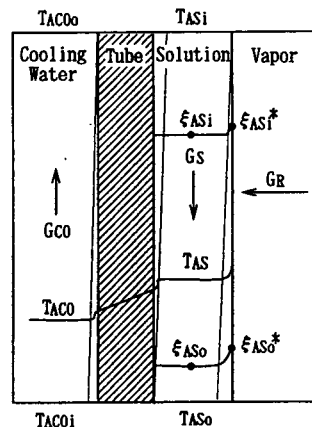


Fig. 3 Schematic of falling film absorption

류열전달계수를 나타내는 Dittus-Boelter 식(3)을 사용하여 산출하였다.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \quad (3)$$

여기서, Nu , Re , Pr 은 각각 냉각수의 너셀수, 레이놀즈수, 프란틀수를 나타낸다.

수직관내를 액막으로 흐르는 흡수용액층의 열전달계수 h_i 는 식(4)로부터 구하였다. 단, 전열관벽의 열저항은 무시하였다.

$$h_i = 1 / \{ 1/K - d_i / (d_o \cdot h_o) \} \quad (4)$$

그리고, 막레이놀즈수 Ref 는 다음 식으로 정의하였다.

$$Ref = 4 \cdot \gamma_s / \mu_s \quad (5)$$

$$\gamma_s = G_s / (\pi \cdot d_i) \quad (6)$$

여기서, γ_s 는 단위폭당 액막유량, μ_s 는 흡수용액의 점성계수, 그리고 G_s 는 흡수용액의 질량유량을 나타낸다.

3.2 물질전달계수

냉매증기와 흡수용액 사이에서 냉매물질 이동저항은 증기공간과 기액계면간의 저항을 무시하여, 기액계면과 흡수용액사이만을 고려하였다. 또한 유하액막에서 기액계면은 기내압력과 평형으로 고려하여, 기액계면의 평형농도(H_2O 의 농도 ξ^*)와 유하액막의 농도(H_2O 의 농도 ξ)와의 대수평균농도차 $\Delta \xi_{lm}$ 을 식(7)과 같이 정의하였다.

$$\Delta \xi_{lm} = \frac{\{ (\xi_{Asi}^* - \xi_{Asi}) - (\xi_{Aso}^* - \xi_{Aso}) \}}{\ln \{ (\xi_{Asi}^* - \xi_{Asi}) / (\xi_{Aso}^* - \xi_{Aso}) \}} \quad (7)$$

여기서, ξ_{Asi}^* , ξ_{Aso}^* 는 각각 유하액막 온도와 기내 압력으로부터 구해지는 흡수기 입·출구에서의 기액계면 평형농도이며, ξ_{Asi} , ξ_{Aso} 는 입·출구에서의 실제 측정값이다. 이상으로부터 물질전달계수를 식(8)과 같이 구하였다.

$$\beta = G_R / \{ \rho_m \cdot \Delta \xi_{lm} (\pi \cdot d_i \cdot L) \} \quad (8)$$

여기서, G_R 은 냉매증기 흡수량이며, ρ_m 은 평균 용액밀도로 식(9)로부터 구하였다.

$$\rho_m = (\rho_{Asi} + \rho_{Aso}) / 2 \quad (9)$$

이상의 계산은 흡수용액 및 냉매의 물성치 문헌^(12,13)을 참조하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 열전달 특성

Fig. 4는 관내경에 따른 막레이놀즈수와 관내 평균열전달계수와의 관계를 평활관(B)과 스프링삽입관(P1)에 대해 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 B관, P1관 양쪽 모두 관경이 증가함에 따라 열전달계수가 향상되고 있음을 알 수 있다. 이것은 관내경의 증가에 따라 액막두께가 감소하는 것과 압력강하가 감소하는 것에 기인한 열이동의 향상이라 생각된다. 또, B관의 경우에는 막레이놀즈수가 증가함에 따라 열전달계수는 증가하고 있지만, P1관의 경우는 그다지 증가하지 않고 있다. 이것은 B관의 경우 막레이놀즈수의 증가에 따라 잔잔한 물결 등 표면 부근에서의 미소 교란이 증가하여 흡수가 촉진되고, 열이동이 향상된 것으로 생각되나, P1관은 스프링효과에 의해 이미 액막내에 일정한 난류가 발생되었기 때문에 막레이놀즈수의 영향이 비교적 적다고 생각된다.

Fig. 5는 관내 표면형상에 따른 막레이놀즈수와 관내 평균 열전달계수와의 관계를 나타낸 것으로 관내경은 14 mm와 17 mm를 사용하였다. 어느 관내경이나 B관, P1관, P2관의 순으로 관내 열전달계수가 높으며, 본 실험범위 내에서 14P1관 및 14P2관은 14B관에 비해 각각 최대 약 50%, 110% 향상되었으며, 17P1관과 17P2관은 17B관에 비해 최대 약 30%, 60% 향상되었다. 이것은 스프링을 삽입함으로써 액막의 난류, 즉 스프링에 따른 회전

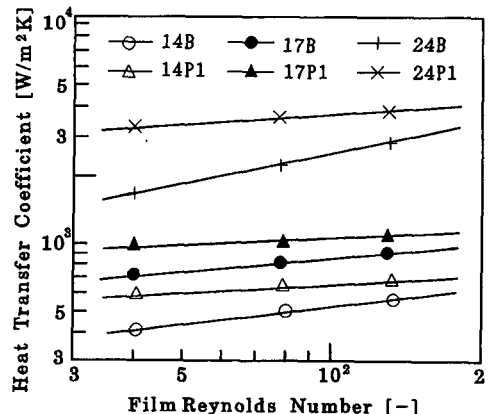


Fig. 4 Effect of inside tube diameter of heat transfer coefficient for film Reynolds number

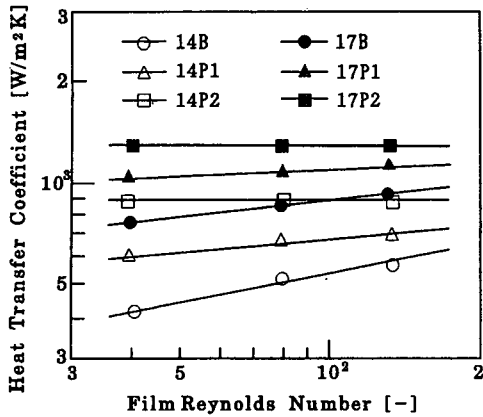


Fig. 5 Effect of tube surface configuration of heat transfer coefficient for film Reynolds number

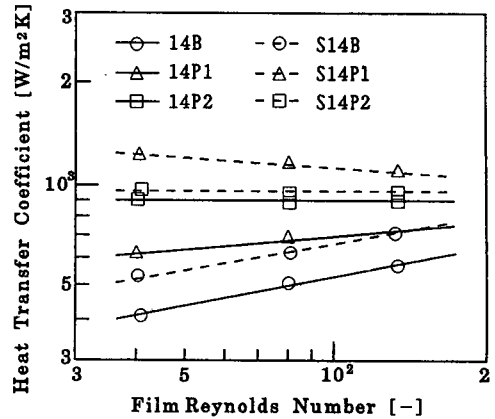


Fig. 6 Effect of tube length of heat transfer coefficient for film Reynolds number

운동에 기초한 원심력 및 스프링의 저항에 의한 액막의 이탈과 액막두께의 국부적인 감소에 의한 열저항의 저하에 의해 열이동이 촉진된 것으로 생각된다. 그리고, 관내경에 관계없이 스프링삽입에 의한 관내 평균열전달의 향상은 다음과 같은 이유라 생각된다.

전열관내에 삽입된 스프링은 유하액막 표면의 흐름을 흐뜨러지게 하여 흡수를 촉진시킨다. 따라서 흡수율도 커져 열특성은 향상된다. 또한, 스프링에 의한 편효과를 생각할 수 있으나, 동관이 스프링으로부터 받는 열량에 비해 직접 용액으로부터 받는 열량이 훨씬 크기 때문에 스프링의 편효과는 무시할 수 있다고 생각된다. 이것은 스프링이 스테인레스이고, 전열관이 동관(스테인레스 열전도계수의 10배)이기 때문이며, 또, 전열관과 스프링의 접촉면적이 상당히 작기 때문에 동관과 스프링 사이의 열이동은 그다지 일어나지 않기 때문이라 생각된다.

Fig. 6은 막레이놀즈수에 대한 관내평균 열전달계수의 관계를 관길이에 따라 나타낸 것이다. 관길이의 영향은 B관, P1관, P2관 모두 관길이가 짧은 쪽의 열전달계수가 향상되었으며, 본 실험범위에서는 B관, P1관, P2관 각각 최대 약 30%, 100%, 10% 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 어떤 형상의 관이라도 길이의 차이에 따른 단위시간당 흡수열량은 그다지 변화가 없다는 점으로부터, 관하부 근처에서는 흡수가 거의 일어나지 않는 영역이 존재함을 알 수 있다. 또, 14P1관과 14P2관에서는 P2관이 보다 열전달계수가 좋게 나타났지

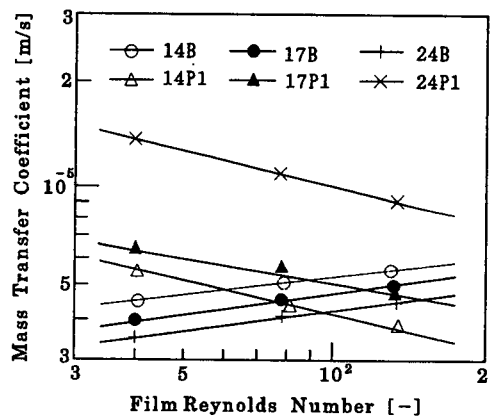


Fig. 7 Effect of inside tube diameter of mass transfer coefficient for film Reynolds number

만, 관이 짧은 S14P1관과 S14P2관에서는 역으로 P1관이 높게 나타나고 있다. 이것은 관길이가 짧은 S14P1관의 경우 스프링에 의한 흡수 촉진 현상도 뚜렷하고, 본 실험범위 내에서 충분히 관 하부까지 흡수가 일어나기 때문이라 생각된다.

4.2 물질전달 특성

Fig. 7은 B관, P1관에서의 관내경의 영향을 막레이놀즈수에 대한 관내평균 물질전달계수로 나타낸 것이다. 물질전달계수는 관내경이 증가함에 따라 B관의 경우에는 저하하고, P1관의 경우에는 향상되고 있다. 또, 관경에 관계없이 막레이놀즈수의 증가에 따라 B관에 있어서는 증가하고, P1관은 감소하고 있다. 일반적으로 물질전달을 촉진시키기

위해서는 열전달과는 달리, 액막두께를 얇게하는 것만으로는 흡수능력이 증가하지 않는데 이것은 표면농도가 얇게 되기 때문이다. 따라서, 액막표면 근처가 항상 액막내의 진한 농도로 되게 액막표면에 대류를 일으키는 것이 필요충분조건이다. B관의 경우에는 P1관과 달리 액막표면의 흐트러짐이 발생하기 힘들며, 흡수는 압력손실의 영향보다도 증기흐름과의 전단력에 의해 생기는 홀뜨러짐이 더 현저하다. 따라서 관경이 작은 14B관이 냉매증기 유속이 크며, 표면에서의 홀뜨러짐이 보다 현저하게 나타나기 때문에 물질이동이 향상된다. 그러나, P1관의 경우에는 압력손실의 영향이 비교적 크기 때문에 관경이 큰 쪽이 물질이동이 향상되고 있다.

Fig. 8은 관내표면 형상의 변화에 따른 관내 평균 물질전달계수와와의 관계를 관내경이 14 mm, 17 mm인 두 관에 대해 나타낸 것이다. 표면형상의 영향은 각 관경 모두 막레이놀즈수가 40~60인 영역에서는 열전달계수와 같이 B관, P1관, P2관 순으로 물질전달계수가 향상되어 스프링 효과가 나타나고 있다고 생각한다. 그러나 막레이놀즈수가 증가함에 따라 물질전달계수는 각 관경에 관계없이 B관은 상승하고, P2관은 거의 일정하며, P1관은 역으로 감소하고 있다. 이것은 막레이놀즈수의 증가에 따라 유하액막의 대류가 약해져, 전열관 근처의 진한 농도의 흡수용액이 수증기를 흡수하고 있는 기액계면까지 이동되지 않기 때문이라 생각한다.

Fig. 9는 막레이놀즈수에 대한 관내 평균 물질전달계수의 영향을 관길이에 따라 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 관길이의 영향은 열전달계수와 같이 짧은 쪽이 물질전달계수가 향상되며, 본 실험의 막레이놀즈수 범위내에서는 B관, P1관, P2관 각각 최대 약 20%, 100%, 20% 향상되고 있음을 알 수 있다. 이것은 열전달에서와 마찬가지로 전열관 하부에서 거의 흡수가 되지 않는 영역이 존재하므로 단위면적당의 흡수량이 증가한 것이라 생각된다. 또 관길이가 긴 14P1관 14P2관에서는 P2관이 보다 물질전달계수가 좋으나, 관이 짧은 S14P1과 S14P2에서는 역으로 P1관이 향상되고 있다. 이것은 다음과 같은 이유때문이라 생각된다. 수용액의 액막은 관내면 스프링으로부터 이탈하는 것도 있으나, 스프링을 따라 나선형의 흐름이 주류가 된다. 한편, 증기류는 액막 근처의 흐름(증기 액막과의 속도경계층 부근의 흐름)과 주류(원관 중심부의 흐름)

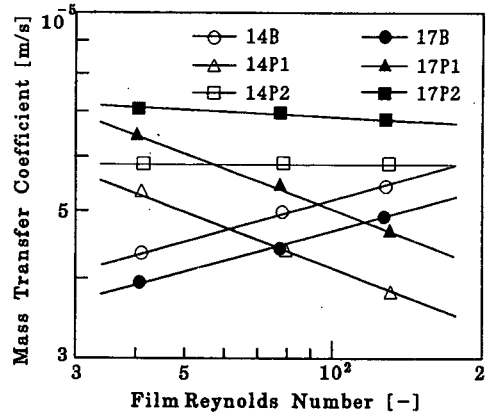


Fig. 8 Effect of tube surface configuration of mass transfer coefficient for film Reynolds number

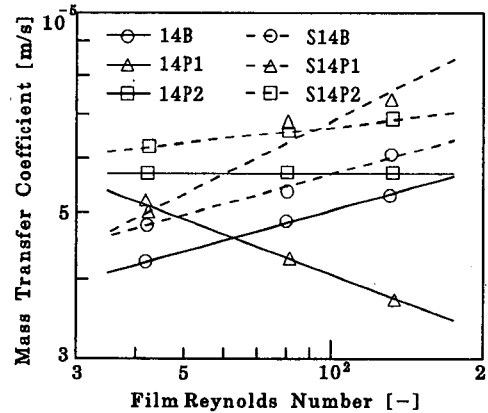


Fig. 9 Effect of tube length of mass transfer coefficient for film Reynolds number

로 나누어진다. 액막 근처의 흐름은 액막의 흐름에 끌려 나선운동을 하는 것으로 생각되며, 주류의 흐름은 원관내 수직방향의 흐름이 지배적이라 생각된다. P1관은 P2관에 비해 스프링 간격이 좁아, 액막부근 증기와와의 나선운동이 활발하게 되어 단위면적당 흡수량이 크지는 것으로 생각된다. 그러나, 주류의 증기는 액막부근 증기와와의 마찰저항에 의해 압력강하가 크게되어, 흡수를 하고 있는 영역(이하 흡수영역)이 감소된 것으로 판단된다. 관의 길이가 긴 P1관은 막레이놀즈수가 증가함에 따라 액막의 흐트러짐이 증가하며, 액막부근 증기의 흐름은 보다 활발해져 흡수가 증가하지만, 주류 증기의 흐름은 압력강하가 커져서 흡수영역이 작아진다. 따라서 단위 면적당 흡수량이 감소되어 물질전달계수가 저하한다고 생각된다. P2관의 단위면

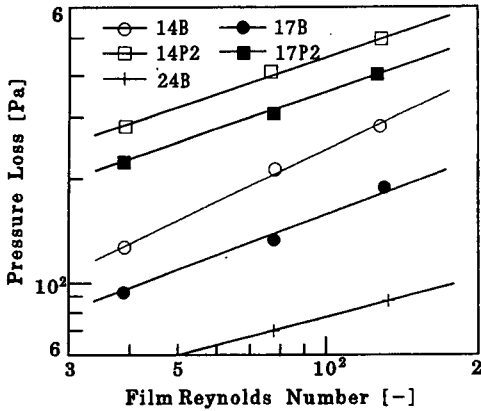


Fig. 10 Effect of inside tube diameter of pressure loss for film Reynolds number

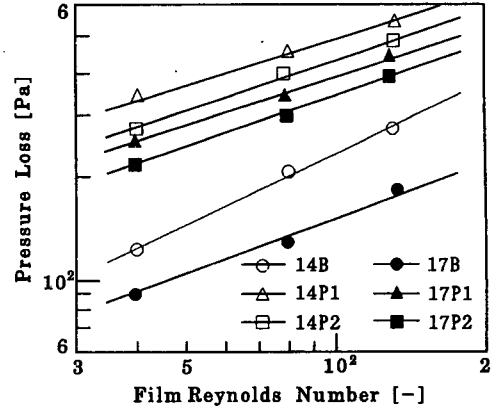


Fig. 11 Effect of tube surface configuration of pressure loss for film Reynolds number

적당 흡수량은 P1관 만큼 크지는 않으나, 압력강하가 P1관보다 작아서 흡수영역의 감소가 작다고 생각된다. 따라서, 막레이놀즈수의 변화에 대한 단위면적당 흡수량은 P1관만큼 저하하지는 않는다고 생각된다. 한편, 관길이가 짧은 P1관은 흡수영역이 전열관의 길이와 그다지 변화가 없기 때문에 막레이놀즈수가 증가함에 따라 주류 증기의 압력강하는 적고, 역으로 액막의 흐름에 의해 흡수량이 많아져 물질전달계수가 증가한 것으로 생각된다.

4.3 압력손실 특성

B관, P2관에 있어서의 관내 압력손실에 대한 관내경의 영향을 Fig. 10에 나타내었다. 그림으로부터 B관, P2관 모두 관내경이 증가함에 따라 압력손실은 저하하고 있음을 알 수 있다. 이것은 관경의 증가에 따라 증기의 유동손실이 저하한 것에 기인하는 것으로 생각된다. 또한 막레이놀즈수의 증가에 따라서는 양관 모두 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 관내경이 14.17 mm와 17.05 mm인 경우의 관내 압력손실에 대한 관내 표면형상의 영향을 나타낸 것이다. 압력손실은 어떤 관내경에서도 B관, P2관, P1관의 순으로 커지며, P1관, P2관의 경우는 B관에 비해 압력손실이 상당히 커짐을 알 수 있다. P1관에 비해 P2관의 압력손실이 작은 것은 피치가 작은 쪽이 증기의 흐름에 대한 저항이 크기 때문이라 생각된다. 막레이놀즈수에 대한 압력손실의 증가율은 각관 모두 거의 같음을 알 수 있다.

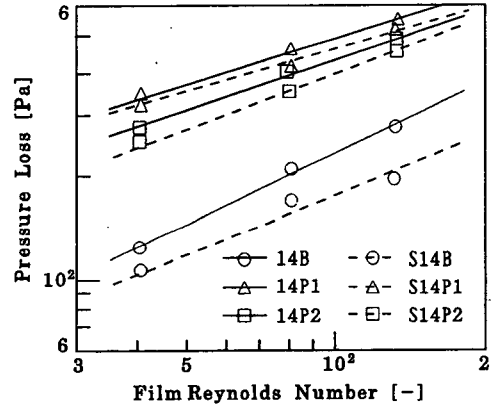


Fig. 12 Effect of tube length of pressure loss for film Reynolds number

Fig. 12는 관내 압력손실에 대한 관길이의 영향을 나타낸 것이다. 관길이의 영향은 관형상에 관계없이 관길이가 짧은 관이 압력손실이 적으며, B관, P1관, P2관 각각 최대 약 20%, 15%, 15% 정도 저하함을 알 수 있다. 이것은 관경에서와 같이 증기의 유동손실이 저하한 것에 기인한다고 생각된다.

5. 결 론

물/리튬브로마이드계 공냉식 흡수기의 전열관에 고성능 전열관의 채용을 검토하기 위해 전열관의 관경, 관길이, 관내면 형상을 각각 변화시켜 흡수관내에서의 열전달, 물질전달 및 유동손실에 관한 검토를 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 실험조건에 있어서의 열전달계수는 B관, P1관, P2관의 순으로 높았으며, 관길이는 짧을수록, 관경은 클수록 보다 향상되었다. 또한 막레이놀즈수의 증가에 대해 B관은 상승하였지만 P1관, P2관은 거의 일정하다는 것이 밝혀졌다.

(2) 물질전달계수는 막레이놀즈수의 증가에 대해 B관은 상승, P2관은 거의 일정, P1관은 역으로 저하하였으며, 관길이는 짧은 관이 크다. 그리고 B관의 경우 관경이 클수록 저하하며, P1관, P2관의 경우는 그 역으로 향상됨을 알 수 있었다.

(3) P1관에 비해 P2관의 압력손실이 작은 것은 피치가 작은 쪽이 증기의 흐름에 대한 저항이 크게 작용하기 때문이라 생각되며, 유동손실은 P1관이 가장 크고, P2관, 평활관 순이었으며, 관길이는 짧고, 관경은 클수록 감소함을 밝혔다. 또, 압력강하가 커지면 흡수영역이 작아져 물질전달계수가 감소함을 밝혔다.

후 기

본 연구의 일부는 포항공과대학교 첨단유체공학 연구센터(AFERC)의 지원을 받아 수행하였으며, 이에 관계자 여러분께 깊은 감사올 드립니다.

참고문헌

- (1) 尹政仁, 柏木孝夫, 1994, “トリプル吸収サイクルの特性に関する研究-NH₃/LiNO₃系, NH₃/LiNO₃+H₂O/LiBr系吸収サイクル,” 日本機械學會論文集, Vol. 60, No. 578, pp. 3526~3531.
- (2) 柏木孝夫, 黒岐晏夫, 穴戸弘明, 1985, “マランゴニ効果を利用した溶液中への蒸気吸収の促進,” 日本機械學會論文集, Vol. 51, No. 463, pp. 1002~1009.
- (3) 尹政仁, 今泉貴之, 李龍和, 柏木孝夫, 1994, “吸収冷凍機の再生器沸騰熱傳達に及ぼす界面活性剤の影響,” 第28回空氣調和 冷凍連合講演會講演論文集, pp. 141~144.
- (4) 윤정인, 오후규, 권옥배, 이용화, 1995, “고성

- 능 흡수냉동 사이클의 특성 시뮬레이션,” 대한기계학회논문집, 제19권, 제1호, pp. 231~239.
- (5) Grossman, G. and Heath, M. T., 1984, “Simultaneous Heat and Mass Transfer in Absorption of Gases in Turbulent Liquid Films,” *Int. J. Heat Mass Transfer.*, Vol. 27, No. 12, pp. 2365~2376.
- (6) Van der Wekken, B. J. C. and Wassenaar, R. H., 1988, “Simultaneous Heat and Mass Transfer Accompanying Absorption in a Laminar Flow Over a Cooled Wall,” *International Journal of Refrigeration*, Vol. 11, No. 3, pp. 70~77.
- (7) Vilet, G. G. and Andberg, J. W., 1987, “A Simplified Model for Absorption of Vapors into Liquid Films Flowing Over Cooled Horizontal Tubes,” *ASHRAE Transactions*, Vol. 93, Part 2.
- (8) Miller, W. A. and Perez-Blanco, H., 1993, “Vertical-Tube Aqueous LiBr Falling Film Absorption Using Advanced Surfaces,” *International Absorption Heat Pump Conference, ASME*, Vol. 31, pp. 185~202.
- (9) Persson, L. H. and Holmberg, P. A., 1993, “Heat Transfer by Falling Film Desorption of Concentrated Lithium Bromide Aqueous Solutions with Surfactant Octanol Addition,” *International Absorption Heat Pump Conference, ASME*, Vol. 31, pp. 57~63.
- (10) William, A. M. and Horacio, P. B., 1993, “Vertical-Tube Aqueous LiBr Falling Film Absorption Using Advanced Surfaces,” *Int. Absorption Heat Pump Conf., ASME*, pp. 185~202.
- (11) 西山教之, 岡 雅博, 八橋 元, 井上修行, 1990, “吸収器の傳熱評價に関する研究(第2報),” 日本冷凍協會學術講演會講演論文集, pp. 33~36.
- (12) 日本熱物性學會, 1990, “熱物性ハンドブック,” 養賢堂, 東京.
- (13) ASHRAE, 1993, “ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS,” Chapter 17.