

## 수직 흡수전열관의 흡수성능에 미치는 스프링의 영향

김 정 국, 조 금 남\*

성균관대학교 기계공학부, \*성균관대학교 대학원

### Influence of Spring on The Absorption Performance of a Vertical Absorber Tube

Jungkuk Kim, Keumnam Cho\*

Graduated School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

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

(Received April 29, 2002; revision received August 28, 2002)

**ABSTRACT:** The present study investigated the enhancement of the absorption performance by the spring wrapped around the outer surface of the vertical falling film absorber tube. Heat and mass transfer enhancements were experimentally investigated, and flow visualization was performed to observe the wettability and flow pattern of the solution. The key experimental parameters were spring diameter (0.5, 1.0 mm) and spring pitch (1, 3, 10 mm), film Reynolds number (50~150), and concentration of LiBr-H<sub>2</sub>O solution (55, 60, 65 wt%).

As the spring diameter was increased, the absorption mass flux, Sherwood number, Nusselt number, heat flux, and heat transfer coefficient were increased. The Nusselt and Sherwood numbers showed the maximum at the spring pitch of 3 mm, and the ratio of pitch to diameter of approximately 3 and 6 for the spring diameter of 0.5 mm, respectively.

**Key words:** Spring(스프링), Vertical falling film absorber(수직형 유하액막 흡수기), LiBr-H<sub>2</sub>O solution(리튬브로마이드 수용액)

#### 기 호 설 명

$A$  : 열전달면적 [ $m^2$ ]  
 $C$  : LiBr 수용액농도 [wt%]  
 $C_p$  : 정압비열 [ $kJ/kg \cdot K$ ]  
 $D$  : 물질확산계수 [ $m^2/s$ ]  
 $d$  : 흡수기 직경 [m]  
 $d_h$  : 수력 직경,  $d_i - d_o$  [m]  
 $F$  : 오염계수 [ $m^2C/W$ ]  
 $G$  : 흡수질량유속 [ $kg/m^2 \cdot s$ ]  
 $h$  : 열전달계수 [ $kW/m^2 \cdot K$ ]

$k$  : 열전도계수 [ $kW/m \cdot K$ ]  
 $L$  : 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]  
 $\dot{m}$  : 질량 유동률 [kg/s]  
 $Nu$  : Nusselt 수,  $hL_s/k_s$   
 $p$  : 스프링 간격 [mm]  
 $q$  : 열유속 [ $kW/m^2$ ]  
 $Re_f$  : 액막 Reynolds 수,  $4\Gamma_s/\mu_s$   
 $r$  : 흡수기 관 반지름 [m]  
 $Sh$  : Sherwood 수,  $\beta L_s/D_s$   
 $T$  : 온도 [K]  
 $U$  : 열관류율 [ $kW/m^2 \cdot K$ ]

† Corresponding author

Tel.: +82-31-290-7445; fax: +82-31-290-5849

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

## 그리스 문자

$\beta$	: 물질전달계수 [m/s]
$\Gamma$	: 원주 길이당 질량유량 [kg/m · s]
$\mu$	: 점성계수 [kg/m · s]
$\rho$	: 밀도 [kg/m <sup>3</sup> ]
$\nu$	: 동점성계수 [kg/m <sup>2</sup> ]

## 하첨자

<i>c</i>	: 냉각수
<i>i</i>	: 흡수기 관 내측
<i>o</i>	: 흡수기 관 외측
<i>s</i>	: 수용액
<i>so</i>	: 수용액 액막 계면
<i>ss</i>	: 스테인레스 강관
1	: 입구
2	: 출구

## 1. 서 론

흡수식 냉동기시스템의 주요 구성기체들인 열교환기들 중 흡수기의 흡수성능은 전체 시스템의 성능에 큰 영향을 미친다. 흡수기의 성능에 미치는 영향을 조사한 연구들로는 흡수기 내 여러 종류의 핀을 이용한 연구,<sup>(1,2)</sup> 비흡수가스의 영향에 관한 연구,<sup>(3-5)</sup> 흡수 메카니즘 규명 연구<sup>(6-7)</sup> 등으로 다양하다. Hijikata et al.<sup>(8)</sup>은 수평관 외부에서 흡수과정 중의 흡수율 촉진에 대하여 연구하였다. 나선형관, 원주방향에 핀(Integral fin)을 설치한 관, ridged fin을 설치한 관의 경우에 대해 실험한 결과 액막 내의 유동교반 효과가 있는 ridged fin을 설치한 흡수관에서 최대 흡수율을 확인하였다. Yoon et al.<sup>(9)</sup>은 수직관 내에 스프링을 삽입한 경우에 대하여 전열관의 관경, 길이, 내면형상의 차이에 따른 흡수관 내의 열 및 물질전달특성, 증기유동에 따른 압력강하 등의 실험결과를 분석하였으며, 열전달계수와 물질전달계수 모두 스프링 삽입관에 있어서 크게 향상되었음을 보여주고 있다. Kweon<sup>(10)</sup>도 수직관 내에 삽입된 스프링의 조건이 냉매증기 흡수과정에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였으며, 스프링의 장착시 열 및 물질전달률이 증가함을 확인하였으며, 특히 액막

레이놀즈수 30~60의 범위에서 현저한 증가율을 보여주고 있다. 이는 스프링 장착에 의한 액막형성 안정화와 수용액 액막 내부혼합이 활발해지기 때문으로 해석하였다. 스프링 삽입을 통한 흡수 성능향상에 관한 연구는 표면향상을 통해 열 및 물질전달향상을 가져오는 간단하면서도 적용이 비교적 용이한 예이다. 흡수기 내 스프링 장착은 유화액막의 젖음 특성을 향상시키고, 균일한 액막형성을 가능하게 해준다는 일련의 실험결과들<sup>(8-11)</sup>이 보고되고 있으며, 정성적인 실험결과와 함께 실험범위 내에서 일부 정량적인 결과도 제시되고 있다.

이에 본 연구에서는 평활관과 스프링 장착관에 대한 실험<sup>(12)</sup>에 이어서 H<sub>2</sub>O/LiBr계 공냉형 수직흡수기의 흡수성능에 대한 스프링 직경과 간격에 따른 열 및 물질전달특성을 조사하고 외부유동현상을 관찰하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

Fig. 1과 같이 실험장치는 흡수기, 증발기, 재생기, 회용액 탱크, 응축기, 냉각수 순환장치, 용액펌프, 용액 샘플링 장치 등으로 구성되어 있다. Fig. 2에서와 같이 흡수기는 상부챔버, 흡수관, 하부챔버로 구성되며 이는 흡수관을 분리하여 스프링 간격변화가 용이하도록 설계되었다. 흡수전 열관은 외경 25.3 mm의 매끄러운 스테인레스 강관

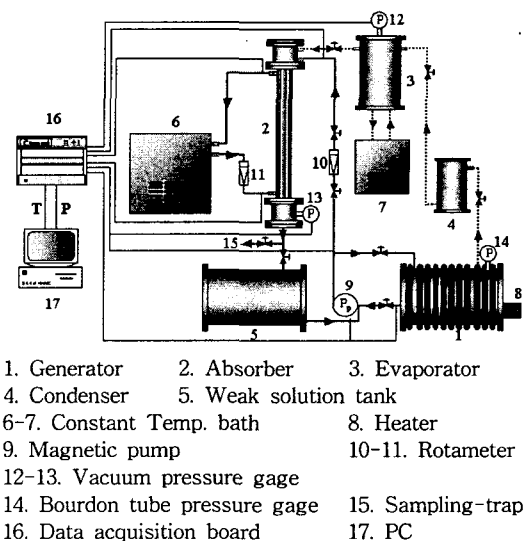


Fig. 1 Experimental apparatus.

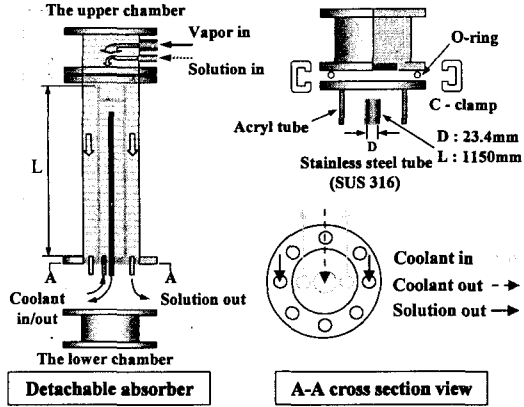


Fig. 2 Details of absorber unit.

(두께 2.0 mm, 길이 1,120 mm)으로 액막은 흡수 전열관 외벽면을 따라서 유하하며 냉각수는 흡수 관 내부로 순환하여 액막과 대향류로 흘러 흡수 열을 효과적으로 제거한다. 수용액은 흡수기 입구로 유입되고 유량은 진공용 로터미터에 의해 측정되었다. 흡수기 하부헤더 배관에 샘플링 장치를 설치하여 증기가 흡수된 회용액을 채취하였고, 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 실험 온도조건으로 설정된 항온조 내에 용액이 담긴 비중병을 위치시킨 후, 전자저울(범위 200 g, 최소 단위 0.1 mg)을 이용해 용액의 무게를 측정하였다. 상부 및 하부 헤더에는 흡수관 입출구의 압력을 측정할 수 있도록 진공압력계(0~260 mmHg, 정밀도 ±0.1%BLS)를 설치하였다.

수용액과 냉각수온도는 45℃, 30℃로 고정하였으며, 액막 레이놀즈수는 50~150까지 변화시켰고, 냉각수 유량은 1.5 L/min였다. 실험변수는 스프링 직경(0.5, 1 mm), 피치(1, 3, 10 mm)였다. 수

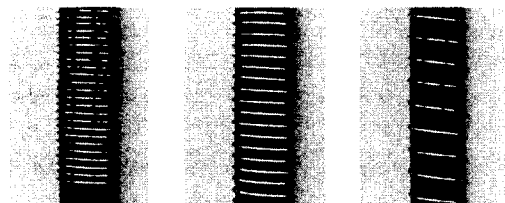


Fig. 3 Photographs of spring used in the experiment ( $p=1, 3, 10$  mm).

용액 농도에 의한 흡수성능 변화의 관찰을 위해 3가지(55, 60, 65 wt%)로 변화시켜 실험하였으며, 본 실험에 사용된 스프링 간격은 Fig. 3에 나타내었다.

### 3. 자료처리

#### 3.1 열전달

흡수전열관 외부에 액막을 형성하며 흐르는 LiBr 수용액으로부터 내부에 흐르는 냉각수 측으로 전달되는 열전달량( $Q$ )은 식(1)과 같으며, 열유속( $q$ )는 냉각수와 수용액 사이에서 열전달량의 흡수전열관 내외부 단위 열전달면적에 대한 열량으로 나타낼 수 있다. 식(1)의 열관류율( $U$ )은 식(2)와 같다.

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

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

LiBr 수용액과 외부 냉각수 사이의 열전달계수( $h_s$ )와 단위 열전달면적에 대한 열관류율( $U$ )를 이용해 수용액 계면에서의 열전달특성에 대한 누셀트수를 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$Nu_c = \left[ Nu_{\infty} + f \frac{0.19 \left( Re_c Pr_c \frac{d_h}{L} \right)^{0.8}}{1 + 0.117 \left( Re_c Pr_c \frac{d_h}{L} \right)^{0.487}} \right] \left( \frac{Pr_c}{Pr_w} \right)^{0.11} \quad (3)$$

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

Moffat<sup>(13)</sup>가 제시한 식에 따르면 흡수관의 열전달면적( $A$ )과 수용액 입출구의 온도차( $\Delta T$ )을 이용한 열유속의 오차해석은 식(4)와 같다.

$$\frac{\delta q}{q} = \sqrt{\left( \frac{\delta \dot{m}}{\dot{m}} \right)^2 + \left( \frac{\delta \Delta T}{T_1} \right)^2 + \left( \frac{\delta \Delta T}{T_2} \right)^2} \quad (4)$$

식(4)에서 열유속에 대한 오차는 ±1.2~±4.4% 범위였다.

### 3.2 물질전달

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

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

식(5)에서 수용액 밀도( $\rho_s$ )는 흡수기 입출구에 서의 산술 평균값이고,  $\Delta C_{lm}$ 은 식(6)과 같다.

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

흡수면적과 흡수기 입출구의 농도차를 이용한 냉매흡수량에 대한 오차해석은 식(7)과 같다.

$$\frac{\delta M}{M} = \sqrt{\left(\frac{\delta \rho_s}{\rho_s}\right)^2 + \left(\frac{\delta \beta}{\beta}\right)^2 + \left(\frac{\delta A_{so}}{A_{so}}\right)^2 + \left(\frac{\delta \Delta C_{lm}}{C_1^s}\right)^2 + \left(\frac{\delta \Delta C_{lm}}{C_2^s}\right)^2} \quad (7)$$

식(7)에서 흡수질량유속에 대한 오차는  $\pm 3.7 \sim \pm 5.9\%$  범위였다.

물질전달특성에 대한 무차원수인 셔우드수는 물질전달계수를 이용해 식(8)로부터 구할 수 있다.

$$Sh = \frac{\beta L_s}{D_s} \quad (8)$$

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 열전달

Fig. 4는 수용액 농도가 60 wt%일 때 흡수기 외부의 스프링 직경( $d$ )과 간격( $p$ )에 따라 열유속에 미치는 액막 레이놀즈수의 영향을 보여주고 있다. 기존에 수행된 평활관과 스프링관의 흡수 성능 비교 실험<sup>(12)</sup>에서 평활관에 비해 스프링관의 경우, 액막의 이탈현상과 액막 두께의 국부적인 감소현상이 저하됨으로 인해 열유속 향상도는 최소 36%, 최대 60%까지 증가되었다. 본 실험에서는 열유속이 스프링 직경 1.0 mm가 0.5 mm에 비하여 최소 8%, 최대 20%까지 증가하였다. 이는 각 스프링 간격에서 유사한 양상을 보여주고 있

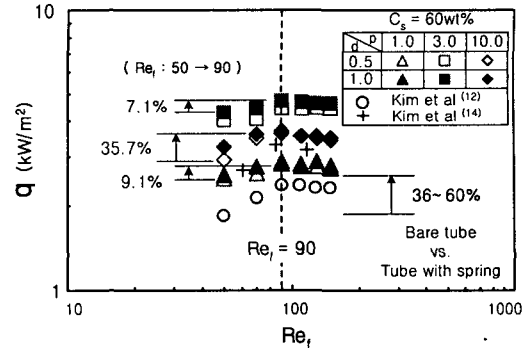


Fig. 4 Effect of  $Re_f$  on heat flux.

으며, 스프링 간격 3 mm는 1 mm와 10 mm에 비해 각각 최대 12~39%까지 열유속이 향상되었으며, 모든 실험조건에서 최대 열유속은 액막 레이놀즈수 90에서 나타났다. 실험결과 액막 레이놀즈수 90 이하에서 액막의 벗겨짐 현상이 자주 발생하였으며, 평활관에 비해 그 정도는 다소 감소하였으나 흡수기 전구간에서 안정된 액막형성이 이루어지지 못하였다. 이는 흡수기 내 열전달면적의 감소를 유발하였으며, 이로 인해 전체적으로 낮은 열유속을 보이고 있다. 또한, 이러한 현상은 스프링의 직경과 간격이 변하여도 유사하게 나타나고 있다. 스프링 간격 10 mm인 경우는 액막 레이놀즈수 90에서 열유속의 급격한 상승을 보여주고 있으며, 1 mm, 3 mm인 경우는 다소 완만하게 증가하고 있다. 이는 스프링이 유하액막 유동의 저항으로 작용하여 액막 이탈과 액막 두께의 국부적인 감소를 유발하고, 열저항 감소에 의한 열전달촉진과 흡수질량유속의 촉진에 따라 열특성이 향상된 것으로 사료된다. 큰 표면장력을 가진 LiBr 수용액은 간격 1 mm인 경우 3 mm에 비해 상대적으로 조밀한 스프링 간격에 의해 액막이 원활히 빠져나가지 못할 것으로 예상되며 이 잔류 수용액에 의한 액막 두께의 증가가 열저항으로 작용하기 때문으로 사료된다. 또한, 간격 1 mm의 경우는 조밀한 스프링 간격으로 인해 흡수전열관 두께를 증가시키는 효과로 작용하여 열저항이 증가하게 되고, 간격 10 mm보다 더 낮은 열유속을 보이는 것으로 사료된다. 스프링 직경이 증가함에 따라 국부적인 액막 두께의 감소현상은 증가하고, 이로 인한 액막의 열저항 감소는 직경 0.5 mm에 비해 1.0 mm에서 열전달과 냉매 증기의 흡수를 촉진시키고, 최대 20%의 열유속

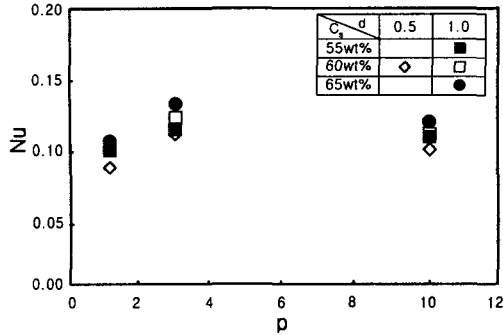


Fig. 5 Effect of spring pitch on Nu ( $Re_f=90$ ).

향상을 보여주고 있다. Kim et al.<sup>(14)</sup>의 결과에서도 이와 유사한 경향을 보이고 있다. 그는 계면활성제의 첨가에 의해 냉매흡수와 열유속증가를 도모하였으나, 흡수기 관경이 19.1 mm로 본 실험에 비해 열전달과 흡수면적이 작았으며, 이로 인해 스프링 간격 10 mm 실험결과보다는 열유속이 낮게 나타났지만 전체적으로 동일한 경향을 보이고 있다. 이는 본 실험과 같은 외부유동 실험조건인 이유로 판단된다. Fig. 5는 액막 레이놀즈수 90에서 스프링 간격이 액막 누셀트수에 미치는 영향을 보여주고 있다. 액막 누셀트수는 액막의 대류열전달계수와 특성길이에 의해 정의되는 값으로 액막 내 열경계층의 성장정도를 간접적으로 보여주는 척도가 된다. 흡수기 외부 유하액막유동의 관찰에 의하면 스프링 간격 1 mm의 경우 액막 레이놀즈수 90에서도 액막의 형성이 완전하지 못하며, 이는 기존 연구<sup>(9,11)</sup>의 내부유동결과와는 달리 액막형성에 도움을 주지 못하게 되어 열유속이 간격 3 mm, 10 mm에 비해 감소하는 경향을 보여주고 있다. 스프링의 직경이 형성된 액막 두께보다 두꺼울 것으로 예상되는 직경 1 mm에서는 정체시간과 균일 액막형성에 의한 열전달 특성을 향상시킬 수 있으며, 이는 동일한 수용액 농도에서 직경 0.5 mm에 비해 최대 약 22%의 열전달 향상을 나타내고, 상기된 스프링 간격에 따른 액막형성의 이유로 인해 간격 3 mm에서 최대 열유속이 나타나고 있다. 수용액의 농도를 변화하여도 이와 유사한 경향을 보이며, 수용액 농도가 55, 60, 65 wt%로 증가했을 때, 액막 누셀트수는 각각 최대 8.3%와 11% 정도 증가했다. 하지만, 이러한 스프링 직경과 간격은 액막형성에 있어 복합적인 변수로 작용하고 있다. Fig. 6은 누셀트수에 대한 스프링 직경에 대한 간격의 비

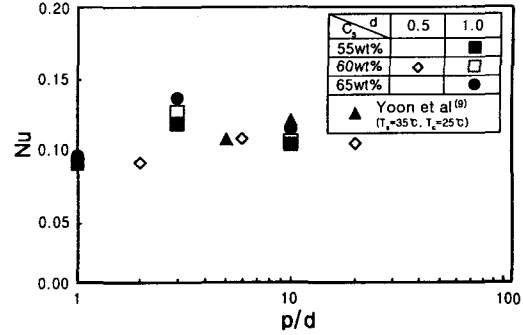


Fig. 6 Effect of  $p/d$  on Nu.

( $p/d$ )의 영향을 보여주고 있다. 스프링 직경과 간격의 독립적인 영향을 나타낸 Fig. 4와 5를 비교했을 때,  $p/d$ 가 3(스프링 직경 1 mm, 간격 3 mm)인 조건에서 최대 24% 정도 열유속이 크게 나타났으며, 이는 점성이 큰 LiBr 수용액의 액막 두께가 스프링 간격 증가에 따라 감소하는 것과 직경에 의한 안정된 액막유동의 균일성이 원인으로 판단된다. Yoon et al.<sup>(9)</sup>도  $p/d$ 가 5와 10일 때 스프링에 의한 액막교란효과 상승으로 인해 누셀트수가 증가하는 유사한 경향을 보였으나, 흡수기 관경이 17.6 mm로 본실험에 비해 열전달면적이 작았으며, 이로 인해 누셀트수도 작게 나타난 것으로 사료된다.

4.2 물질전달

Fig. 7은 수용액 농도가 60 wt%일 때 외부 스프링의 직경과 간격에 따라 흡수질량유속에 대한 액막 레이놀즈수의 영향을 보여주고 있다. 평활관과 스프링관의 흡수성능에 대한 기존의 비교 실험<sup>(12)</sup>에서 평활관에 비해 스프링관의 경우, 액막의

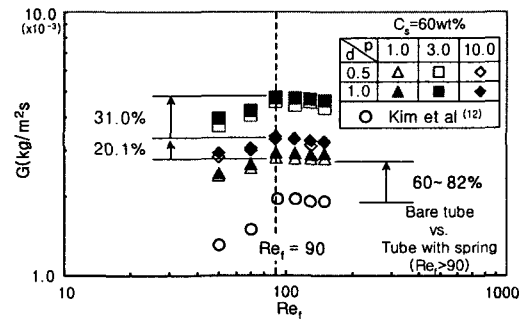
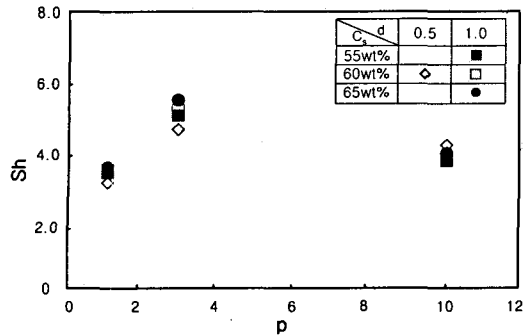
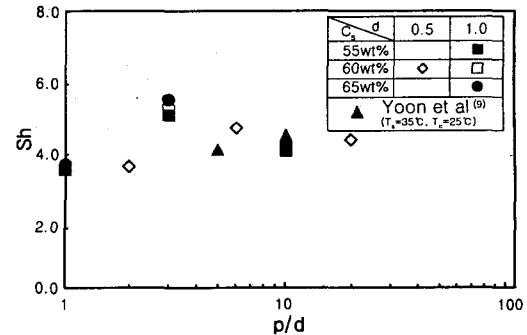


Fig. 7 Effect of  $Re_f$  on the absorption mass flux.

Fig. 8 Effect of spring pitch on  $Sh$ .

이탈과 액막 두께의 국부적인 감소현상의 저하로 인한 열유속향상과 흡수면적의 증가로 인해 흡수질량유속은 최소 60%, 최대 82%까지 증가되었다. 열유속의 경우와 유사하게 흡수질량유속도 스프링의 직경이 증가함에 따라 최대 11~15% 정도 증가하였으며, 스프링 간격 3 mm, 10 mm, 1 mm 순으로 각각 최대 33%와 20% 정도 증가됨을 보여주고 있다. 흡수질량유속의 경우 액막 레이놀즈수 70 이후에 최대 28~35%까지 향상됨을 보이는데, 이는 낮은 액막 레이놀즈수에서 스프링 장착에 의한 불안정한 액막형성과 계면교란이 동시에 발생하는 데 기인하는 것이라 판단된다. 또한, 액막 레이놀즈수 90 이후에 균일한 액막을 형성함에도 흡수질량유속이 다소 감소하는 형태를 보이는데, 이는 액막 레이놀즈수가 증가함에 따라 유하액막의 형성은 양호하나 액막 두께의 증가로 인해 확산저항이 증가하고, 냉각수에 의한 냉각능력이 감소하므로 흡수질량유속 또한 감소하는 것으로 판단된다. 특히, 스프링 간격 3 mm에서 가장 균일한 액막형성이 이루어지며, 1 mm와 10 mm에 비해 최대 25~32% 이상 흡수질량유속이 증가하였으며, 이는 스프링 간격에 따른 액막의 균일한 형성이 물질전달향상에 크게 기여함을 보여주고 있다. Fig. 8에서 스프링 간격에 따른 셔우드수는 열유속과 유사한 형태를 보여주고 있으나, 간격 1 mm와 10 mm에 비해 3 mm에 대한 향상율은 최대 27% 정도로 오히려 증가하고 있다. 이는 간격 3 mm에서 균일한 액막유동에 의한 용액혼합이 유도되고 계면 근처에서 농도구배가 증가함에 따라 냉매증기에 대한 흡수 정도가 증가하게 되고, 이는 흡수기 내에서 냉매증기에 의한 증기유동 저항을 감소시킴으로써 전체 흡수질량유속을 크게 향상시키게 된 것으로 판단된다. 열

Fig. 9 Effect of  $p/d$  on  $Sh$ .

유속과 마찬가지로 흡수질량유속도 스프링 직경과 간격의 복합적인 요인에 의해 변화하게 된다. Fig. 9는 셔우드수에 대한 스프링 직경과 간격비 ( $p/d$ )의 영향을 보여주고 있다.  $p/d$ 에 대한 흡수질량유속의 변화도 열유속과 유사한 형태를 보이고 있으며, 열유속 변화와 비교했을 때, 다른 경우에 비해  $p/d$ 가 3일 때 최대 31% 정도로 더 크게 증가함을 보이고 있다. 이는 스프링 간격에 따른 액막 두께의 감소와 직경에 의한 안정된 액막유동 등 열유속과 동일한 원인에 의한 것으로 고려된다. 또한, Yoon et al.<sup>(9)</sup>의 경우,  $p/d$ 의 증가에 따라 오히려 셔우드수가 감소함을 보이는데, 이는 흡수기 관경(17.9 mm)에 따른 흡수면적의 차이와 액막 레이놀즈수의 증가에 따른 유하액막의 대류 약화로 인해 계면의 농도구배가 낮아지고 이로 인한 냉매증기의 흡수가 감소한데 그 원인이 있는 것으로 판단된다. 수용액 농도변화에 대한 셔우드수의 변화도 액막 누셀트수와 유사한 양상을 보이고 있으며, 수용액 농도가 55, 60, 65 wt%로 증가했을 때, 셔우드수는 각각 최대 6.3%와 9.4% 정도 증가했다. 이는 수용액 농도가 증가함에 따라 냉매증기에 대한 LiBr 분자의 흡착력 증가와 유하액막의 대류작용이 활발해짐으로 인해 계면의 농도구배가 증가하게 되고, 냉매증기에 대한 흡수저항의 감소에 의해 열전달과 흡수질량유속이 향상된 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

(1) 스프링 장착관은 평활관에 비해 수용액의 저유량조건에서 액막 누셀트수와 셔우드수는 각각 최대 70%와 65% 정도 증가하였다.

(2) 스프링 장착관에서 열유속과 흡수질량유속은 액막 레이놀즈수가 90일 때 최대치를 나타냈으며, 90 이후에 다소 감소하였다.

(3) 스프링 장착관에서 열유속과 흡수질량유속은 저유량조건( $Re_f=70$  이하)에서 크게 향상되었으며, 최대 향상폭은 스프링 간격 3mm로서 각각 최대 60%와 82%였다.

(4) 누셀트수와 셔우드수는 스프링 간격 3mm, 10mm, 1mm 순으로 향상되었으며, 직경 0.5mm에 비해 1.0mm에서 크게 나타났다. 또한, 향상폭이 큰 직경 1mm의 경우 다른 두 가지 간격에 비해 3mm에서 누셀트수는 최대 24%, 셔우드수는 최대 27% 정도 증가하였다.

(5) 스프링 직경과 관경비( $p/d$ )에 대한 누셀트수와 셔우드수는 직경 1mm에서는  $p/d$ 가 3일 때 최대값이 나타났으며, 직경 0.5mm의 경우는  $p/d$ 가 6일 때 최대치를 나타냈다.

(6) 수용액 농도가 55, 60, 65 wt%로 증가할수록 스프링 장착관에서의 열 및 물질전달특성은 향상되었으며, 액막 누셀트수는 각각 최대 8.3%와 11% 정도 증가하였으며, 셔우드수는 각각 최대 6.3%와 9.4% 정도 증가했다

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2002-000-01484-0)와 일부 2001년도 BK21 핵심분야 사업비에서 지원되었으며 이에 관계자 분들께 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. and Takao Kashiwagi, 1995, Characteristics of heat and mass Transfer for a Falling Film Type Absorber with Insert Spring Tubes, Transaction of KSME, Vol. 19, No. 6, pp. 1501-1509.
- Hijikata, K., Lee, S. K. and Nagasaki, T., 1992, Water vapor absorption enhancement in LiBr/H<sub>2</sub>O 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.
- 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.
- 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.
- Hijikata, K., Lee, S. K. and Nagasaki, T., 1992, Water vapor Absorption enhancement in LiBr/H<sub>2</sub>O falling on Horizontal Tubes, Transaction of JSME (Part B), Vol. 58, No. 547, pp. 885-890.
- Yoon, J. I., Kim, J. S., Lee, T. J., Kim, J. D. and Yu, S. I., 1997, Characteristics of Absorption for falling film inside a Vertical Tube, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, pp. 392-397.
- Kweon, T. H., 1997, Heat and Mass Transfer Characteristics by insert Devices in a Vertical Tube, M.S. Thesis, Dpt. Mech. Eng., Hong-Ik University.
- Kim, B. J. and Moon, H. S. 1998, Improvement of Absorption Characteristics by insert Devices in a Vertical Tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 4, pp. 466-474.

12. Kim, D. H., Kim, J. K. and Cho, K. N., 2001, Effect of spring spaces on the absorption performance in a vertical absorber tube, Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference, pp. 33-38.
13. Moffat, R. J., 1985, Using uncertainty analysis in the planning of an experiment, Trans. of the ASME: J. of Fluid Engineering, Vol. 107, pp. 173-182.
14. Kim, K. J., Satheesh Kulankara and Keith E. Herold, 1995, Experimental evaluation of enhancement additives for the absorption of water vapor into aqueous LiBr, AES-Vol.34, Heat Pump and Refrigeration.