

## 헬리컬 흡수기의 열·물질전달 특성에 관한 실험적 연구

권오경<sup>†</sup> · 윤재호<sup>\*</sup> · 윤정인<sup>\*\*</sup>  
 (2003년 7월 16일 접수, 2003년 11월 20일 심사완료)

### An Experimental Study on Heat and Mass Transfer Characteristics of Helical Absorber

Oh-Kyung Kwon, Jae-Ho Yun and Jung-In Yoon

**Key Words** : Five Components Solution(5성분계 수용액), Helical Absorber(헬리컬 흡수기), Heat and Mass Transfer(열 및 물질전달), Surfactant(계면활성제)

#### Abstract

In this study, heat and mass transfer characteristics of five components solution (LiBr+LiI+LiNO<sub>3</sub>+LiCl+H<sub>2</sub>O) which could be substituted for commonly used LiBr solution are tested using a helical absorber. The arrangement of helical-typed heat exchangers allows to make the system more compact as compared to conventional one. The effects of experimental parameters, such as the solution flow rate, cooling water, solution temperature, solution concentration and surfactant have been investigated in view of the heat and mass transfer. The results of the experiment of heat and mass transfer performance show that five components solution should have 2% higher concentration for equal absorption capacity of LiBr solution. But considering that five components solution have higher solubility than LiBr solution about 4% high concentration, five components solution could be applied to a small sized water cooled or air cooled absorption chiller/heater. The increase of heat and mass transfer coefficient by surfactant addition is about 25~30% and 23~40% respectively.

#### 기호설명

$C$  : 농도 [wt%]  
 $d$  : 전열관 직경 [mm]  
 $h$  : 열전달계수  
 $L$  : 전열관 길이 [mm]  
 $m$  : 흡수율 [kg/s]  
 $n$  : 굴절률  
 $P$  : 흡수기압력 [mmHg]

$Q$  : 열전달량 [W]  
 $T$  : 온도 [°C]  
 $U$  : 총괄열전달계수 [ $W/m^2K$ ]  
 $Pr$  : 프란틀수  
 $Re$  : 레이놀즈수

#### 그리스문자

$\beta$  : 물질전달계수 [m/s]  
 $\lambda$  : 열전도율 [W/mK]  
 $\Delta T_m$  : 대수평균온도차 [°C]  
 $\Delta C_m$  : 대수평균농도차 [wt%]  
 $\Gamma$  : 단위길이당 용액유량 [kg/ms]  
 $\rho$  : 밀도 [ $kg/m^3$ ]

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 한국생산기술연구원 청정설계기술팀  
 E-mail : kwonok@kitech.re.kr  
 TEL : (041)589-8528 FAX : (041)589-8330

<sup>\*</sup> 회원, 한국생산기술연구원 청정설계기술팀

<sup>\*\*</sup> 회원, 부경대학교 기계공학부

## 하첨자

i	: 관내
in	: 입구
s	: 흡수용액
c	: 냉각수
o	: 관외
out	: 출구
v	: 수증기

## 1. 서론

흡수식 냉난방기는 하절기의 전력수요를 경감시킬 수 있고 오존층 파괴의 주요인인 CFC를 사용하지 않는 장점이 있어서 대형건물의 냉난방에 널리 사용되고 있으며, 최근에는 가정용으로 소형 흡수식 냉난방기를 개발하려는 노력이 활발하게 진행되고 있다.

흡수식 시스템은 4개의 주요 구성기기(재생기, 응축기, 증발기, 흡수기)로 이루어져 있으며, 이 중에서 흡수제를 이용하여 증발기에서 발생된 냉매증기를 흡수하는 흡수기는 흡수식 냉난방기의 총전열면적 중 약 33%를 차지하고 체적은 약 27%를 차지하며, 전체 성능에 미치는 영향이 매우 큰 중요한 구성기기이다.<sup>(1-6)</sup> 그러나 흡수기의 중요성에도 불구하고 흡수식 시스템중 흡수기를 제외한 주요 구성기기는 이미 소형화, 경량화 된 반면 흡수기의 구조 및 크기는 흡수기 내부의 흡수현상 및 유동의 복잡성과 흡수기구(mechanism)에 아직까지 별다른 개선없이 사용되고 있다. 따라서 전체시스템의 소형화, 고성능화, 그리고 효율적인 설계를 위해 흡수기내의 유동 및 열전달 현상을 파악하고 흡수현상을 예측하기 위한 연구가 필수적이다.

가정용 소형 흡수식 냉난방기 개발을 위해서는 현재 중·대형 흡수식 냉난방기에 사용되는 수평 전열관군 방식으로는 구조상 기기의 크기 및 중량을 소형화 하는데 한계가 있다고 생각되어 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방안으로 Fig. 1 과 같이 고온재생기 및 저온재생기가 돔(dome)형태이고 저온재생기 외부에 헬리컬 형태로 흡수기 및 증발기를 배치시킨 방식의 시스템 개발이 필수이다. 이러한 관점에서 채택하게 된 것이 헬리

컬 형태의 흡수 열교환기이다.

본 논문에서는 가정용 소형 흡수식 냉난방기의 개발을 위한 연구로 헬리컬 흡수기의 열 및 물질 전달에 관한 특성을 실험적으로 평가하였다. 실험에 사용된 용액은 국내에서 개발되어<sup>(7)</sup> 4wt% 정도의 결정안화가 있는 LiBr+LiI+LiNO<sub>3</sub>+LiCl(몰비 5:1:1:2, 이하 5성분계 수용액)과 기존 LiBr 수용액을 이용하여 성능을 비교평가하고 설계자료를 도출함으로써 궁극적으로 가정용 소형 흡수식 냉난방기의 개발 및 고성능화를 위한 기초 설계자료를 제공하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

## 2.1 실험장치의 구성 및 방법

Fig. 2는 실험장치의 개략도를 나타낸 것으로 흡수기, 증발기/응축기, 재생기/농용액탱크, 희용액탱크, 냉매회수탱크, 계측부 및 이들을 연결하는 배관으로 구성되어 있다. 이 장치는 증발기가 응축기의 역할도 할 수 있는 특징을 갖고 있으며, 재생과정에서는 응축기, 흡수과정에서는 증발기의 역할을 하게 된다.

Table 1은 본 실험에 사용된 실험조건을 나타낸 것이다. 흡수기는 흡수현상의 가시화를 위해 케이스는 아크릴을 사용하였으며 상부플랜지, 흡수열전달관 본체, 하부플랜지로 구성되어 있다.

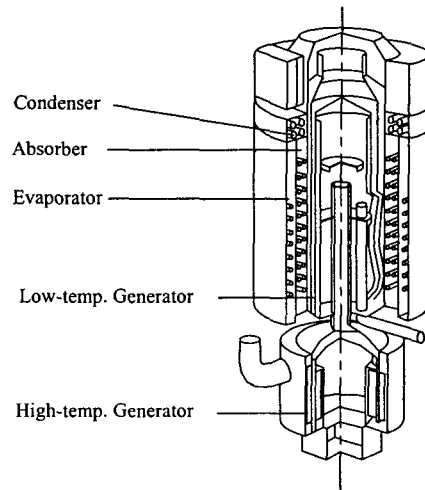


Fig. 1 Schematic diagram of the domestic absorption chiller/heater structure

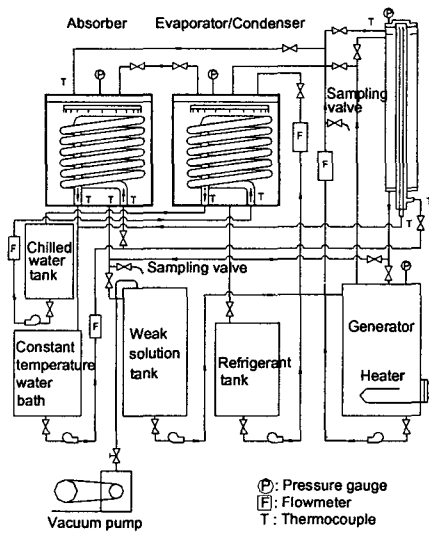


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

상부플랜지, 본체 및 하부플랜지는 O링을 이용하여 볼트로 체결하였으며, 상하부 플랜지는 SUS304로 제작하였다. 흡수기내 용액 분배는 용액의 모세관력에 의하여 트레이를 통해서 용액을 상부에서 하부로 분배되도록 하였다. 트레이 직경은 238 mm, 노즐의 수량은 38개이다. 실험에 사용된 헬리컬 흡수기는 외경 15.88 mm, 두께 1.0 mm, 코일직경 236 mm, 길이 7,420 mm인 평활 동관으로 제작되었으며, 상부에는 저압의 압력을 측정할 수 있는 진공용 디지털압력계를 설치하였다. 흡수기와 연결된 증발기는 흡수기의 경우와 마찬가지로 아크릴과 플랜지를 이용하여 체결하였으며 증발관의 외부로 흐르는 냉매는 트레이를 통해서 상부에서 하부로 분배되도록 하였다. 증발관은 외경 15.88 mm, 두께 1.0 mm, 코일 직경 238 mm, 1열 7단의 동관으로 제작되어 있다.

재생기는 체적이 32리터인 SUS304의 강성용기로 제작되었다. 흡수용액의 농도를 높이기 위하여 수용액 증발용의 가열용 히터(2kW)가 재생기의 하부에 설치되어 있고 용액의 온도를 조절하기 위하여 온도조절기와 연결되어 있다.

실험방법은 배치식(batch type)으로 흡수용액의 재생과정과 흡수과정으로 나누어 실시하였으며, 실험시작전 불응축가스로 인한 수증기 흡수저하를 방지하기 위하여 시험시작전 진공펌프(0.5PS)로 시험장치를 3mmHg 이하로 진공을 유지한 후

Table 1 Experimental conditions

Investigated conditions		LiBr	5 Comp. solution
Pressure of absorber (mmHg)		7±0.5	7±0.5
Surfactant(ppm)		n-octanol 500	n-octanol 500
Solution	Concentration(wt%)	57, 60	57, 60, 63
	Temperature(°C)	40~50	45~58
	Mass flow rate (kg/ms)	0.01~0.04	0.01~0.04
Cooling water	Temperature(°C)	30, 35	30, 35
	Mass flow rate(m/s)	1.43	1.43

실험을 시작하였다. 재생과정에서는 응축기내의 압력을 감압시킨 상태에서 그 압력에 상응하는 포화온도 이하의 냉각수를 응축기내에 순환시킨다. 그후 재생기 내의 히터에 의해 용액을 가열하여 발생한 냉매증기는 응축기로 유입하여 응축기내에 흐르는 냉각수로 응축시켜 냉매탱크로 보낸다. 재생기내 용액의 농도는 샘플링하여 굴절률계를 통하여 용액의 온도와 굴절률을 측정하여 구하였다. 용액의 농도는 수시로 샘플링하여 실험농도가 되었을 때 가열을 정지하고 실험조건 온도도 될 때까지 용액을 냉각시킨다.

흡수과정의 실험은 증발기의 냉매온도를 냉수 순환기에 의해 7~8°C에 상당하는 포화온도까지 강하시켜 냉매를 흘려주면 냉매는 관내를 흐르는 냉수로부터 증발잠열을 빼앗아 증발하고 발생한 냉매증기는 흡수기내로 들어간다. 이때 재생기의 농용액은 소정의 온도 및 농도로 유지되어 있으며, 용액펌프에 의해 흡수기 상부헤드에 유입시키면 내부의 트레이에 장착된 노즐을 통해서 전열관의 외부표면을 따라서 유하하면서 증발기로부터 유입하는 냉매증기를 흡수하고 농도가 저하한다. 용액의 유량은 부자식 유량계의 니들밸브로 조절하고, 용액의 흡수기 입·출구온도는 흡수기내 온도 및 압력을 관찰하여 정상상태에 도달하였을 때 상·하부에 부착한 열전대에 의해서 데이터 로그에서 측정하며 유하한 용액은 회용액탱크로 돌아간다. 출구의 용액농도는 회용액탱크로 들어가기전 샘플링트랩에서 전술한 방법에 의

해서 측정하였다.

흡수용액의 교체실험은 LiBr수용액에 대한 모든 실험을 종료 후 20℃ 정도 상온의 수도물로 몇 차례 실험장치의 관내를 세척한 후 LiBr수용액에 대한 영향이 5성분계 수용액에 영향을 주지 않도록 하였으며, 이후에 5성분계 수용액에 대한 실험을 수행하였다.

## 2.2 열 및 물질전달에 대한 해석

냉각수가 얻은 열량  $Q$ 는 총괄열전달계수  $U$ , 관외측의 열전달면적  $A_o$  및 대수평균온도차  $\Delta T_{lm}$ 의 함수로써 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Q &= \dot{m}_c \cdot c_{p,c} \cdot (T_{c,out} - T_{c,in}) \\ &= U \cdot A_o \cdot \Delta T_{lm} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 관외측의 열전달면적  $A_o$  및 대수평균온도차  $\Delta T_{lm}$ 는 식 (2)와 식 (3)으로부터 구한다.

$$A_o = \pi d_o L \quad (2)$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{s,in} - T_{c,out}) - (T_{s,out} - T_{c,in})}{\ln(T_{s,in} - T_{c,out}) / (T_{s,out} - T_{c,in})} \quad (3)$$

관내의 냉각수측 열전달계수  $h_i$ 는 Yang<sup>(9)</sup>이 제시한 헬리컬 코일관의 난류열전달계수를 구하는 대류열전달식을 사용하였다.

$$h_i = 0.023 \frac{\lambda_c}{d_i} Re_c^{0.8} Pr_c^{0.4} \left[ 1 + 82.4 \left( \frac{d_i}{d_{coil}} \right)^3 \right] \quad (4)$$

관외의 흡수용액측 열전달계수  $h_o$ 는 식 (5)로부터 구하였으며, 전열관벽의 열저항은 무시하였다.

$$h_o = \left[ \frac{1}{U} - \frac{d_o}{d_i} \cdot \frac{1}{a_i} \right]^{-1} \quad (5)$$

전열관 표면위를 흘러내리는 단위길이 당 액막 유량  $\Gamma$  (kg/m·s)은 식 (6)과 같이 나타내었다.

$$\Gamma = \dot{m}_s / 2\pi d_{coil} \quad (6)$$

흡수과정중 흡수되는 수증기의 흡수율(kg/s)은 수용액의 질량보존으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{m}_v = \dot{m}_{s,in} \left( \frac{C_{in}}{C_{out}} - 1 \right) \quad (7)$$

굴절률계에 의해서 측정된 굴절율은 LiBr수용액에 대해서는 식 (8)을 5성분계 수용액에 대해서는 식 (9)에 의해서 농도를 계산하였다.

$$\begin{aligned} C &= 2.86802n - 3.63748 + 0.000434(T - T_{20}) \\ &\text{in } 12.0^\circ\text{C} < T < 40.0^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (8)$$

$$C = 305.74n - 389.3 \quad (9)$$

유하액막의 기액계면은 기내압력과 열역학적 평형상태에 있다는 것으로 고려하여, 기액계면의 평형농도  $C^*$ 와 유하액막 농도  $C$ 와의 대수평균농도차  $\Delta C_{lm}$ 은 식 (10)과 같이 정의하였다.

$$\Delta C_{lm} = \frac{(C_{s,in}^* - C_{s,in}) - (C_{s,out}^* - C_{s,out})}{\ln(C_{s,in}^* - C_{s,in}) / (C_{s,out}^* - C_{s,out})} \quad (10)$$

여기서  $C_{s,in}^*$ ,  $C_{s,out}^*$ 은 각각 유하액막온도와 기내압력으로부터 구해지는 흡수기 입·출구에서의 기액계면 평형농도이다.  $C_{s,in}$ ,  $C_{s,out}$ 은 흡수기 입·출구에서 용액을 추출하여 굴절률계(일본 ATAGO사, R5000모델)에 의해서 실제 측정된 농도로 이 때의 측정오차는  $\pm 0.2\%$  이내이다.

흡수과정에서의 물질전달계수는 식 (11)을 사용하였다.

$$\beta = \frac{\dot{m}_v}{\rho_m \cdot \Delta C_{lm} \cdot A} \quad (11)$$

## 2.3 실험에 사용된 수용액의 특성 비교

Fig. 3과 4는 5성분계 수용액과 LiBr수용액의 증기압과 용해도곡선의 특성을 나타낸 것이다. 흡수용액의 증기흡수 구동력은 증기와 용액의 증기압차에 의하여 이루어진다. 따라서 흡수기에서 용액의 증기압이 낮을수록 흡수성은 향상된다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 흡수기 작동온도 범위

인 30~50°C에서 5성분계 수용액과 LiBr수용액은 증기압은 5성분계 수용액이 약간 낮거나 동일한 값을 가진다.

용해도는 Fig. 4에서와 같이 흡수기 운전범위인 60~62%범위에서 5성분계 수용액이 LiBr 수용액보다 결정온도가 낮아 농도기준으로 4% 정도 용해도가 향상됨을 알 수 있다.<sup>(7)</sup>

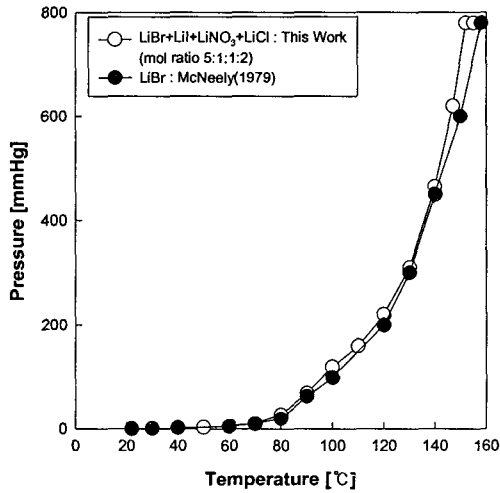


Fig. 3 Vapor pressure of five comp. solution and LiBr solution

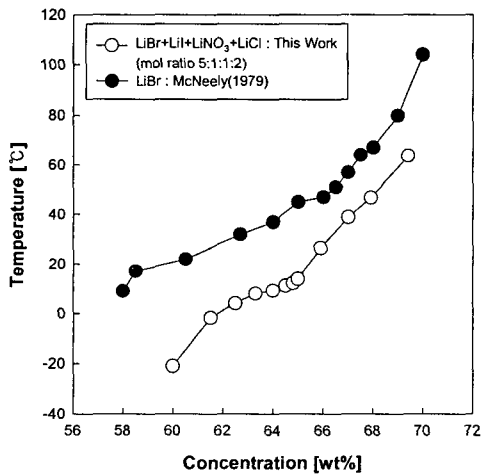


Fig. 4 Crystallization temperature of five comp. solution and LiBr solution

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 5와 6은 LiBr수용액과 5성분계 수용액의 용액유량을 변화시켰을 때 냉각수온도의 영향을 열유속과 질량유속으로 나타낸 것이다. LiBr수용액의 경우는 농도 60%, 용액온도 45°C에서 측정하였으며, 5성분계 수용액의 경우는 농도 63%, 용액온도 53°C의 평형상태에서 측정한 결과이다. 두용액모두 용액유량이 증가하고 냉각수온도가

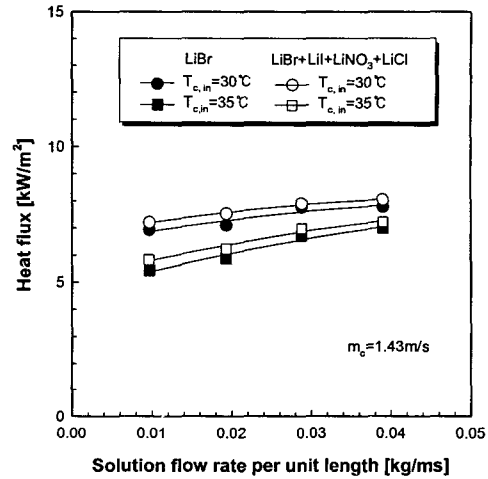


Fig. 5 Effect of cooling water temperatures on heat flux

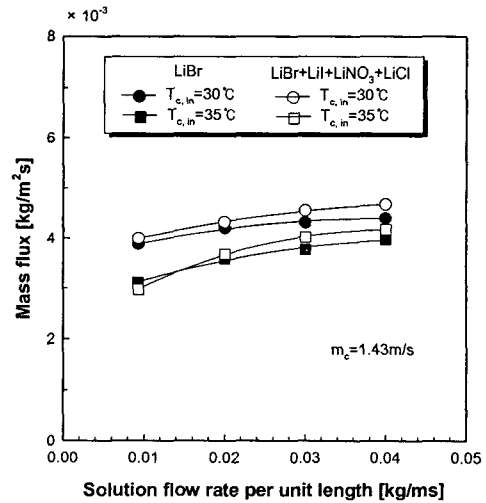


Fig. 6 Effect of cooling water temperatures on mass flux

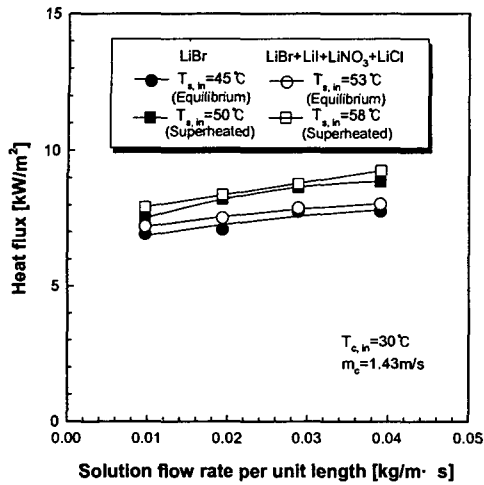


Fig. 7 Effect of solution temperatures on heat flux

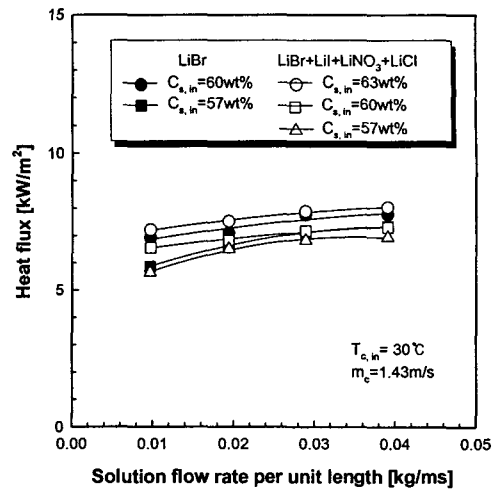


Fig. 9 Effect of solution concentration on heat flux

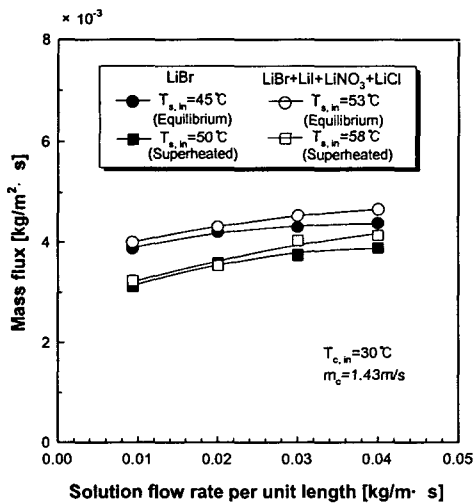


Fig. 8 Effect of solution temperatures on mass flux

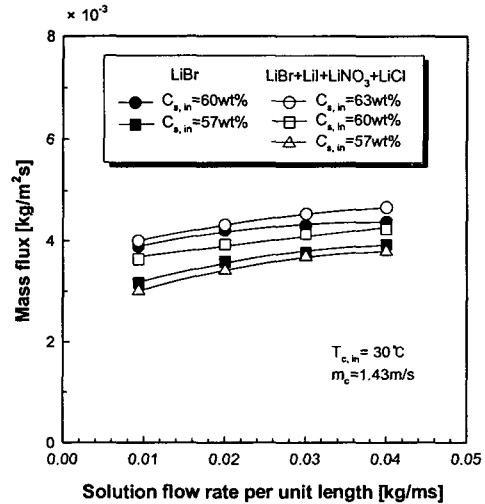


Fig. 10 Effect of solution concentration on mass flux

낮아짐에 따라 열유속과 질량유속이 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 용액유량이 증가하면 흡수기에서 젖음면적이 증가하여 기액계면에서 액막의 산란효과가 있으며, 냉각수 온도가 낮은 경우에는 냉매증기를 흡수할 수 있는 구동력이 증가하여 열 및 물질전달의 촉진이 일어난다고 판단된다.

한편 냉각수온도가 동일한 경우에 60%의 LiBr 수용액과 63% 5성분계 수용액의 열 및 질량유속은 5성분계 수용액이 약간 더 크게 나타났다.

Fig. 7과 8은 LiBr수용액과 5성분계 수용액의 용액유량을 변화시켰을 때 용액온도의 영향을 열유속과 질량유속으로 나타낸 것이다. 실험은 LiBr 수용액과 5성분계 수용액의 각각의 농도는 60%, 63%에서 수행되었으며, 평형상태와 과열상태에서의 용액온도의 영향을 열유속과 질량유속을 통하여 살펴본 것이다. 두용액모두 열유속의 경우는 과열상태인 경우가 평형상태인 경우보다 열유속이 크게 나타났으며, 질량유속의 경우에는 평형상태가 과열상태인 경우보다 질량유속이 증가하

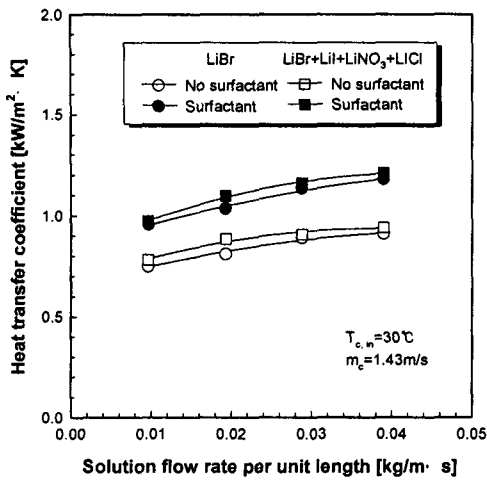


Fig. 11 Effect of surfactant on heat transfer coefficient

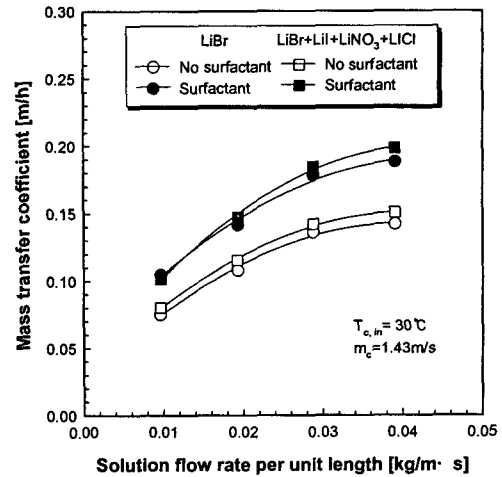


Fig. 12 Effect of surfactant on mass transfer coefficient

였다. 이는 열유속의 경우에는 과열상태에서 흡수용액과 냉각수온도와의 온도차가 증가하여 열유속이 증대하지만, 질량유속의 경우에는 과열상태에서 용액의 점성이 증가되고 흡수용액의 포화압력이 상승하면서 흡수기 입구에서 냉매증기가 일부 증발하여 흡수시간 및 구간이 감소되는 것으로 판단된다.

Fig. 9와 10은 LiBr수용액과 5성분계 수용액의 용액유량을 변화시켰을 때 용액농도의 영향을 열유속과 질량유속으로 나타낸 것이다. 이 때 용액의 온도는 흡수기 입구의 농도와 흡수기내 압력에 의한 평형조건으로 설정하여 각각 실험하였다.

열유속과 질량유속은 용액유량이 증가하고 용액농도가 높을수록 높게 나타났으며, LiBr수용액과 5성분계 수용액을 비교해보면 같은 농도에서는 LiBr수용액이 열 및 질량유속이 4~7%크게 나타났지만 63% 5성분계 수용액과 60% LiBr수용액을 비교해보면 5성분계 수용액이 5~7%정도 열 및 질량유속이 크게 나타났다. 따라서 60% LiBr수용액과 대등한 5성분계 수용액은 62%정도로 판단되며, 5성분계 수용액이 4%정도 높은 농도에서 운전이 가능하므로 실제 시스템 적용시에는 보다 높은 성능을 기대할 수 있으리라 판단된다.

Fig. 11과 12는 LiBr수용액과 5성분계 수용액의 용액유량을 변화시켰을 때 계면활성제 첨가시와 무첨가시의 영향을 열전달계수와 물질전달계수로

나타낸 것이다. 계면활성제는 두용액모두에 n-octanol을 500ppm첨가하였으며, LiBr수용액과 5성분계 수용액의 농도는 각각 60%, 63%일 때의 결과이다.

두용액모두 계면활성제 첨가시와 무첨가시에 비해서 용액유량이 증가함에 따라 열전달계수는 25~30%, 물질전달계수는 23~40% 증가하는 경향을 보였다.

계면활성제 첨가시에 열 및 물질전달계수가 증가하는 이유로 Kashiwagi<sup>(10)</sup>는 수용액에 미량첨가된 계면활성제가 용액의 표면장력을 감소시키고 마랑고니대류를 발생시킨다는 흡수촉진의 메커니즘을 규명한 바 있다. 또한 LiBr수용액에 적용되는 n-octanol이 5성분계 수용액에도 적절하게 작용함을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 LiBr수용액과 5성분계 수용액을 사용하여 헬리컬 흡수기의 열 및 물질전달 특성을 실험을 통하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 두용액에서 열유속 및 질량유속은 흡수용액 유량이 증가하고, 냉각수온도가 낮고, 용액농도가 높을수록 크게 나타났다. 그러나 두용액에서 용액의 과열상태는 평형상태보다 열유속은 향상되지만 질량유속은 감소함을 알 수 있었다.

(2) 용액농도에 따른 LiBr수용액과 5성분계 수용액을 비교해보면 같은 농도에서는 LiBr수용액이 열 및 질량유속이 4~7%크게 나타났지만 63% 5성분계 수용액과 60% LiBr수용액을 비교해보면 5성분계 수용액이 5~7% 정도 열 및 질량유속이 크게 나타났다. 따라서 60% LiBr수용액과 대등한 5성분계 수용액은 62% 정도로 판단된다.

(3) 두용액모두 계면활성제 첨가시가 무첨가시에 비해서 용액유량이 증가함에 따라 열전달계수는 25~30%, 물질전달계수는 23~40% 증가하는 경향을 보였으며, LiBr수용액에 적용되는 n-octanol이 5성분계 수용액에도 적절하게 작용함을 알 수 있었다.

(4) 5성분계 수용액은 LiBr수용액보다도 용해도가 우수하여 4%정도 높은 농도에서 운전이 가능하므로 실제 시스템 적용시에는 보다 높은 성능을 기대할 수 있으며, LiBr수용액의 최대 문제점인 고농도에서의 결정석출문제가 해결가능하므로 소형과 공냉형 흡수식 냉동기에 적용 가능성이 높을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- (1) Oh-Kyung Kwon, Jung-In Yoon, 1999, "Heat and Mass Transfer of Helical Absorber on Household Absorption Chiller/heater," *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No 5, pp. 570~578.
- (2) Won-Sil Seol, Oh-Kyung Kwon, Choon-Geun Moon, Jung-In Yoon, 2000, "Heat Transfer Enhancement with Surfactants in Horizontal Bundle Tubes on Absorber," *Transactions of the KSME*, Vol. 24, No. 8, pp. 1097~1103.
- (3) Hoffmann, L, I. Greiter, A. Wagner, V. Weiss and G. Alefeld, 1996, "Experimental Investigation of Heat Transfer in a Horizontal Tube Falling Film Absorber with Aqueous Solutions of LiBr with and Without Surfactants," *International Journal of Refrigeration*, Vol. 19, No. 5, pp. 331~341.
- (4) Jung-In Yoon, Oh-Kyung Kwon, 1999, "Cycle Analysis of Air-Cooled Absorption Chiller using a New Working Solution," *Energy - The International Journal*, Vol. 24, No. 9, pp. 795~809.
- (5) Oh-Kyung Kwon, Choon-Geun Moon, Jung-In Yoon, 1999, "Cycle Analysis of Air-Cooled Double-Effect Absorption Cooling System Using H<sub>2</sub>O/LiBr+HO(CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>OH," *Transactions of the KSME*, Vol. 23, No. 2, pp. 272~280.
- (6) Oh-Kyung Kwon, Jong-Keuk Lim, Jung-In Yoon, Seon-Chang Kim, Jae-Ho Yun, 2000, "Analysis of Heat and Mass Transfer on Helical Absorber," *Transactions of the KSME*, Vol. 24, No. 11, pp. 1428~1436.
- (7) H.R.Lee, K.K.Koo, S.Jeong, J.S.Kim, H.Lee, Y.S. Oh, D.R.Park and Y.S.Baek, 2000, "Thermodynamic Design Data and Performance Evaluation of the Water+lithium Bromide+lithium iodide+lithium Nitrate+lithium Chloride System for Absorption Chiller," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 20, pp. 707~720.
- (8) McNeely, L. A., 1979, "Thermodynamic Properties of Aqueous Solution of Lithium Bromide," *ASHRAE Transactions*, Vol. 85, Pt. 1, pp. 413~434.
- (9) S.M.Yang, 1987, Heat transfer, 2nd ed., *Higher Education Press*, Beijing, p. 203.
- (10) Kashiwagi. T., 1985, "The Activity of Surfactant in High-Performance Absorber and Absorption Enhancement," *Refrigeration*, Vol. 60, No. 687, pp. 72~79.
- (11) I.S.Kyung, Herold. K., 2002, "Performance of Horizontal Smooth Tube Absorber With and Without 2-Ethyl-Hexanol," *Journal of Heat Transfer*, Vol. 124, pp. 177~183.
- (12) S.M.Deng, W.B.Ma, 1999, "Experimental Studies on the Characteristics of an Absorber Using LiBr/H<sub>2</sub>O Solution As Working Fluid," *International Journal of Refrigeration*, Vol. 22, pp. 293~301.