

# 판형 열교환기식 제습기에서 LiCl 수용액의 열 및 물질전달 특성

전 동 순, 이 해 승, 김 선 창<sup>†</sup>, 김 영 룰  
 한국생산기술연구원

## Heat and Mass Transfer Characteristics of LiCl Aqueous Solution for a Plate Heat Exchanger Type Dehumidifier

Dong-Soon Jeon, HaeSeung Lee, Seon-Chang Kim<sup>†</sup>, Young-Lyoul Kim  
 Korea Institute of Industrial Technology, Chung-nam, 331-825, Korea  
 (Received September 13, 2011; revision received November 17, 2011)

**ABSTRACT:** Experimental investigations were carried out to examine the heat and mass transfer characteristics of LiCl aqueous solution for a plate heat exchanger type dehumidifier. Cooling dehumidification was adopted vertical type heat exchanger. Also non woven fabric is attached surface of the heat exchanger for spreadability of LiCl aqueous solution. Mass flow-rate of LiCl aqueous solution and concentration were selected as experimental conditions. Also, In this study, the effects of relative humidity of process air and velocity were investigated experimentally. As a result of heat transfer coefficient and mass transfer coefficient of were increased film Reynolds number increased. heat transfer coefficient and mass transfer coefficient of LiCl aqueous solution were 0.14~0.24 kW/m<sup>2</sup>°C and 1.3×10<sup>-6</sup>~6.2×10<sup>-6</sup> m/s respectively.

**Key words:** Absorption rate(수분 흡수량), Dehumidification(제습), LiCl aqueous solution(LiCl 수용액), Plate type dehumidifier(판형 제습기)

기 호 설 명			
$A$	: 면적 [m <sup>2</sup> ]	$U$	: 총괄열전달계수 [W/m <sup>2</sup> ·°C]
$C$	: 농도 [%]	$u$	: 표준불확도 [-]
$c_p$	: 정압비열 [kJ/kg·°C]	$u_c$	: 합성불확도 [-]
$g$	: 중력가속도 [m/s <sup>2</sup> ]	<b>그리스문자</b>	
$h$	: 열전달계수 [kW/m <sup>2</sup> ·°C]	$\varphi$	: 상대습도 [%]
$i$	: 엔탈피 [kJ/kg]	$\beta$	: 물질전달계수 [m/s]
$k$	: 열전도도 [W/m·°C]	$\Gamma$	: 액막유량 [kg/m·s]
$\dot{m}$	: 질량유량 [g/s]	$\delta$	: 액막두께 [m]
$Q$	: 풍량 [CMM]	$\rho$	: 밀도 [kg/m <sup>3</sup> ]
$\dot{Q}$	: 열전달량 [kW]	$\omega$	: 절대습도 [kg/kg <sub>dry-air</sub> ]
$T$	: 온도 [°C]		

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-41-589-8352; fax: +82-41-589-8330

E-mail address: kimscc@kitech.re.kr

### 상첨자

\* : 평형상태

**하첨자**

<i>ABS</i>	: ABS 수지
<i>a</i>	: 공기
<i>da</i>	: 건공기
<i>abs</i>	: 흡수
<i>deh</i>	: 제습
<i>i</i>	: 입구, 내측
<i>LMTD</i>	: 대수평균온도차
<i>o</i>	: 출구, 외측
<i>s</i>	: LiCl 수용액
<i>w</i>	: 냉각수

**1. 서 론**

액체 제습제(liquid desiccant)를 이용하는 냉방 시스템은 대기압 상태에 있는 공기로부터 수분을 흡수 및 방출하는 제습 및 재생과정으로 이루어진 개방형 시스템이다. 제습부를 통과하면서 건조하게 된 건공기를 증발식 냉각기와 같은 현열 냉각기를 이용하여 부하공간에 냉방을 할 수 있게 된다. 제습식 냉방 시스템은 다습한 공기를 건조한 공기로 전환하는 제습기술과 증발 냉각기술의 결합으로 에너지 소비를 최소화할 수 있을 뿐 아니라 기존 HCFC 및 HFC 계열의 냉매 사용으로 인하여 야기되는 오존층 파괴 및 지구온난화 등의 문제를 해결할 수 있다. 또한 태양열 및 배열등을 이용하여 생산된 온수를 재생열원으로 이용할 수 있어 최근 제습식 냉방 시스템에 대한 관심이 증가하고 있는 실정이다.

기존 연구결과를 살펴보면, Lowenstein et al.<sup>(1)</sup>은 LiCl 수용액을 사용한 액체 제습 공조기의 성능 해석을 통하여 사이클 및 요소부품이 복잡해질수록 COP는 증가하지만 초기설치비용이 증가하므로 이에 대한 적절한 균형점이 필요하다고 제안하였다.

Jeong et al.<sup>(2)</sup>은 LiCl 수용액을 이용한 개방형 흡수식 제습부의 성능평가를 수행하여 열원온수, 냉각수 온도 및 외기습도의 영향을 검토하였으며, 60℃의 저온배열에서도 제습이 가능하고 고습의 환경에서 제습효과가 고효율이 됨을 밝혔다.

Kim et al.<sup>(3)</sup>은 LiCl 수용액을 이용한 관형 제습 장치에서의 열 및 물질전달 성능에 대한 해석적 연구를 수행한 바 있다.

Yin et al.<sup>(4)</sup>은 충전탑식 제습기에서 공기와 제습액과의 열 및 물질전달계수에 관한 모델을 제시한

바 있으며, Liu et al.<sup>(5)</sup> 역시 충전탑식 제습기 및 재생기에서의 열 및 물질전달에 관한 실험 및 해석적 연구를 수행한 바 있다.

이처럼 액체 제습식 냉방 시스템에 대한 관심이 증가함에 따라 해석적 연구와 실험을 통한 액체식 제습기의 열 및 물질전달 특성 및 성능에 대한 연구가 일부 수행되고 있지만 충전탑식 제습기에 관한 연구가 대부분이며, 본 연구에서 검토된 냉각식 제습기에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 관형 열교환기를 이용한 냉각식 제습기에서의 LiCl 수용액 내에서의 열 및 물질전달 특성을 알아보기 위한 실험적 연구를 수행하였으며, 액체 제습제로는 LiCl 수용액을 사용하였다.

**2. 액체식 제습기**

액체식 제습기는 제습방식에 따라 스프레이식, 충전탑식 및 냉각식으로 나눌 수 있다.

스프레이식 제습기는 제습부 내부로 액체 제습제를 비산시켜 유입되는 공기의 수분을 제거하는 방식이다. 이 경우 액체 제습제를 비산시키기 위한 펌프 소요동력 증가 및 충분한 물질전달 확보를 위하여 비교적 많은 양의 제습액을 필요로 한다. 또한 제습과정중 발생하는 흡수열로 인하여 제습효율이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

충진탑식 제습기는 스프레이식 제습기의 단점을 보완하기 위하여 고안되었으며, 제습부 내부 충전재의 표면위로 액체 제습제가 흐르고 충전재 사이로 습공기를 통과시켜 제습이 이루어지는 방식이다. 이 경우 스프레이식의 단점인 펌프 동력 감소와 충분한 물질전달 면적을 확보 할 수 있지만 스프레이식과 마찬가지로 제습과정에서 발생하는 흡수열로 인하여 스프레이식과 마찬가지로 제습능력은 저하되는 단점을 갖는다.

본 연구에서 검토된 냉각식 제습기는 스프레이 및 충전탑식 제습기기의 단점을 보완하기 위하여 제안된 방식이다. 냉각식 제습기는 제습시 발생하는 흡수열을 제거하기 위하여 열교환기를 이용하는 방식으로 열교환기 내부로는 냉각수가 흐르며, 열교환기 외부 표면을 흐르는 제습액이 제습부로 유입된 공기의 수분을 흡수한다. 수분 흡수시에 발생하는 흡수열은 냉각수에 의하여 제거되며, 제습액의 온도를 일정 온도 이하로 유지할 수 있기 때문에 지속적인 제습능력의 유지가 가능하다.

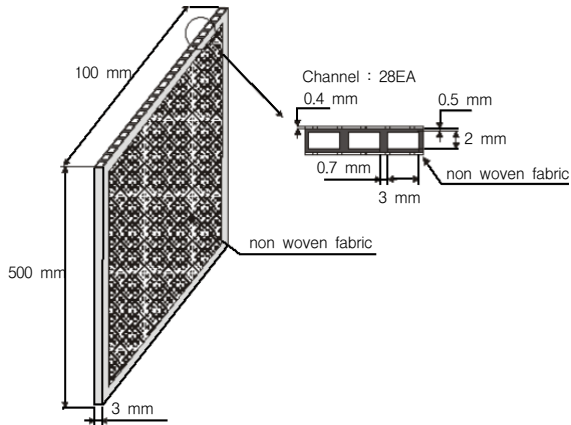


Fig. 1 ABS tube for cooling dehumidifier.

기튜브 이다. 열교환기의 재질은 LiCl 수용액의 부식성을 고려하여 수지계열인 내열 ABS(XR-404)를 사용하였으며, 액체 제습제의 표면 퍼짐성을 위하여 친수성 코팅 처리된 부직포<sup>(6)</sup>를 열교환기 양쪽 표면에 접착하였다. Table 1은 냉각 제습용 열교환기의 세부 사양이다. 냉각용 제습기는 관형 구조를 가지고 있으며, 내부 채널에는 냉각수가, 외부 표면으로는 부착되어 있는 부직포 사이로 LiCl 수용액이 흘러내린다. 처리공기는 제습액의 흐름방향과 직교류 방향으로 흐른다. Fig. 2에 헤더를 포함한 제습용 열교환기 형상 및 작동유체들의 흐름방향을 나타내었다.

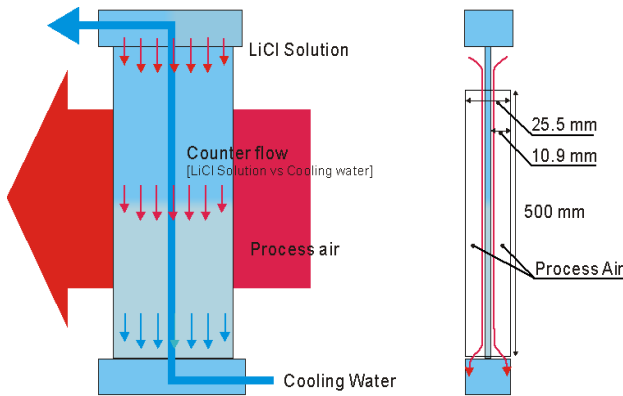


Fig. 2 Heat exchanger for cooling type dehumidifier.

Table 1 Spec. of cooling dehumidifier

Parameter		Value
Size of Tube	Height	500 mm
	Width	100 mm
	Depth	3 mm
Channel	Width	3 mm
	Height	2 mm
	Number of channel	28 ea
Non woven fabric	Thickness	0.4 mm
Front area of airflow	$109 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ (21.8 mm × 500 mm)	

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 냉각 제습용 열교환

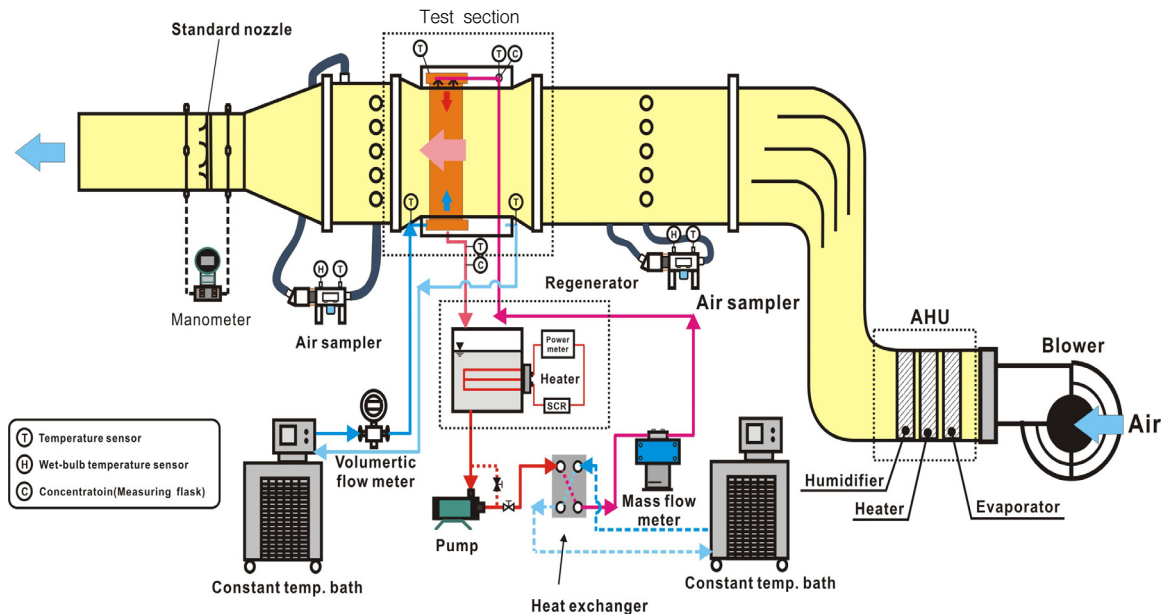


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus.

### 3. 실험장치 및 데이터 처리

#### 3.1 실험장치

Fig. 3에 LiCl 수용액의 열 및 물질전달 특성을 파악하기 위하여 제작한 실험장치의 개략도를 나타내었다. 실험장치는 항온·항습풍동, LiCl 수용액 및 냉각수 순환루프, 시험부로 구성되어 있다. 풍동 내에는 온도 및 상대습도를 조절을 위한 공기 조화기 (air handing unit)가 설치되어 있다. 시험부 전·후 단에는 입·출구공기의 건·습구온도를 측정 할 수 있도록 에어 샘플러(air sampler)를 설치하였다.

LiCl 수용액 순환루프에는 LiCl 수용액의 순환을 위한 기어펌프와 시험부로 공급되는 LiCl 수용액의 온도를 제어하기 위한 항온조가 설치되어 있다. 또한 시험부에서 수분을 흡수하여 농도가 떨어진 LiCl 수용액을 재생시키기 위하여 코일히터가 삽입된 수조를 시험부 출구에 설치하여 시험부에 일정한 농도의 LiCl 수용액을 공급할 수 있도록 하였다.

LiCl 수용액의 농도는 실험부 입·출구에서 메스플라스크(50 ml)에 용액을 샘플링한 후 정밀저울을 이용하여 무게를 측정하고 측정된 무게와 메스플라스크의 용적으로 LiCl 수용액의 밀도를 구하였다. 그리고 밀도와 측정된 온도를 기준으로 LiCl 수용액의 농도로 환산하였다.

#### 3.2 데이터 처리

식(1)~식(17)은 실험을 통하여 수집된 데이터를 분석하기 위하여 사용된 수식이다.

제습과정에서의 에너지 평형(heat balance)은 식(1)~식(5)와 같이 나타 낼 수 있다. 에너지 평형식은 냉각수가 얻은 열량( $\dot{Q}_w$ ) 및 열교환기의 표면을 따라 흐르는 제습액이 잃을 열량( $\dot{Q}_s$ )과 공기의 제습 열량( $\dot{Q}_a$ )의 합으로 식(1)과 같다.

$$\dot{Q}_w = \dot{Q}_s + \dot{Q}_a \quad (1)$$

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w \cdot c_{p,w} \cdot (T_{w,o} - T_{w,i}) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_{s,i} c_{p,s,i} T_{s,i} - \dot{m}_{s,o} c_{p,s,o} T_{s,o} \quad (3)$$

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_{da} (i_{a,i} - i_{a,o}) \quad (4)$$

$$\frac{\dot{m}_{a,o}}{1+w_{a,o}} = \frac{\dot{m}_{a,i}}{1+w_{a,i}} = \dot{m}_{da} \quad (5)$$

제습과정에서의 물질평형(msss balance)은 제습액이 얻은 수분흡수량( $\dot{m}_{abs}$ )과 제습부를 통과하면서 처리공기 잃은 제습량( $\dot{m}_{deh}$ )으로 식(6)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\dot{m}_{abs} = \dot{m}_{deh} \quad (6)$$

$$\dot{m}_{s,o} - \dot{m}_{s,i} = \dot{m}_{abs} \quad (7)$$

$$\dot{m}_{s,i} C_i = \dot{m}_{s,o} C_o \quad (8)$$

$$\dot{Q}_w = U_o A_o \Delta T_{LMTD} \quad (9)$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{s,o} - T_{w,i}) - (T_{s,i} - T_{w,o})}{\ln \left[ \frac{(T_{s,o} - T_{w,i})}{(T_{s,i} - T_{w,o})} \right]} \quad (10)$$

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_w} + \frac{t}{k_{ABS}} + \frac{1}{h_s}} \quad (11)$$

$$h_w = 4.36 \frac{k_w}{D_h} \quad (12)$$

식(9)~식(12)는 LiCl 수용액의 열전달계수를 계산하기 위한 수식이다. 이 중 식(11)은 냉각수와 LiCl 수용액 사이에서의 총열저항을 나타낸다.

총열저항은 냉각수의 대류 열저항, ABS 튜브의 전도 열저항 및 LiCl 수용액의 대류 열저항의 합으로 나타낼 수 있다. 그리고 LiCl 수용액의 튜브 표면 유동의 경우 부직포 흡입되어 흐르는 Precursor film<sup>(6)</sup> 형태를 취하고 있기 때문에 부직포의 열저항은 제외하였다. 그리고 튜브 내부를 흐르는 냉각수는 층류유동으로 식(12)와 같이 Nusselt수를 4.36으로 하여 계산하였다.

식(13)~식(17)은 LiCl 수용액의 물질전달계수를 계산하기 위한 수식이다. 이 중 식(13)은 대수평균 농도차를 나타내며 상첨자 \*는 처리공기 입·출구의 수증기 분압에 의하여 계산된 LiCl 수용액의 평형 농도를 나타낸다. 그리고 식(14) 및 식(15)는 액막 유량 및 두께를 계산하기 위한 수식이다.

$$\dot{m}_{abs} = \rho \beta A_o \Delta C_m \quad (13)$$

$$\Delta C_m = \frac{(C_i^* - C_i) - (C_o^* - C_o)}{\ln \left[ \frac{C_i^* - C_i}{C_o^* - C_o} \right]} \quad (14)$$

$$\Gamma = \frac{\dot{m}}{2 W_{ABS}} \quad (15)$$

$$\delta = \left( \frac{3 \Gamma \mu}{\rho^2 g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (16)$$

Table 2 Uncertainty of measurement

Parameters	Value	Unit
$u(T)$	$5.10 \times 10^{-2}$	$^{\circ}\text{C}$
$u(\text{min})$	$2.23 \times 10^{-5}$	kg/s
$u_c(\text{Cin})$	$3.25 \times 10^{-2}$	%
$u_c(\text{mabs})$	$2.32 \times 10^{-5}$	kg/s
$u_c(\text{Qcw})$	$4.25 \times 10^{-3}$	kW
$u_c(\text{Qs})$	$4.02 \times 10^{-3}$	kW
$u_c(\text{Qair})$	$3.75 \times 10^{-4}$	kW
$u_c(\beta)$	$1.37 \times 10^{-6}$	m/s
$u_c(\text{hs})$	$4.83 \times 10^{-2}$	$\text{kW/m}^2\text{K}$

$$\text{Nu} = \frac{h_s \delta}{k_s} \quad (17)$$

식(18)은 온도, 질량유량 측정값에 대한 불확도를 계산하기 위한 수식이며, 식(18)은 각 측정된 값으로부터 계산된 결과에 대한 합성 불확도 수식이다. Table 2에 측정결과로 얻어진 LiCl 수용액의 온도와 질량유량에 대한 표준 불확도 및 이로부터 계산된 값들의 합성 불확도를 나타내었다.

$$u(x_i) = \left[ \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (X_{i,k} - \bar{X}_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \quad (19)$$

#### 4. 실험조건

Table 3은 관형 열교환기식 제습기에서 LiCl 수용액의 열 및 물질전달 특성을 알아보기 위한 시험

Table 3 Experimental conditions

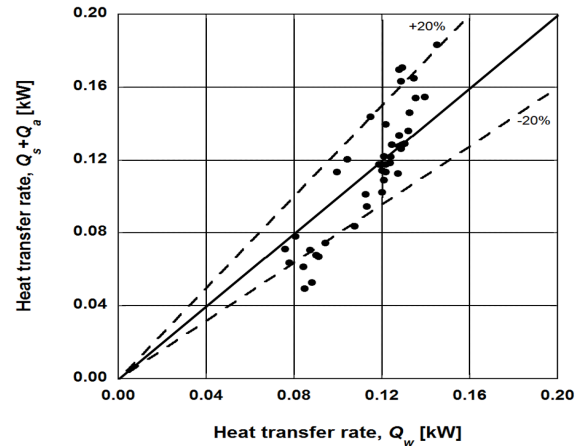
Parameters		Experiment conditions
LiCl-H <sub>2</sub> O	Inlet temperature, $T_{s,i}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	46
	Mass flowrate, $m_{s,i}$ [g/s]	1, 3, 5, 7, 9
	Concentration, $C_i$ [%]	35, 40, 45
Cooling water	Inlet temperature, $T_{w,i}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	32
	Mass flowrate, $m_{w,i}$ [g/s]	11.1
Precess air	Inlet temperature, $T_{a,i}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	35
	Volumetric air flowrate, $Q_{a,i}$ [CMM]	0.19, 0.38, 0.56
	Relative humidity, $\phi$ [%]	50, 60, 70

조건이다. 특성 실험은 LiCl 수용액의 농도 및 유량, 처리공기의 풍량 및 상대습도를 변화하여 실험을 수행하였다.

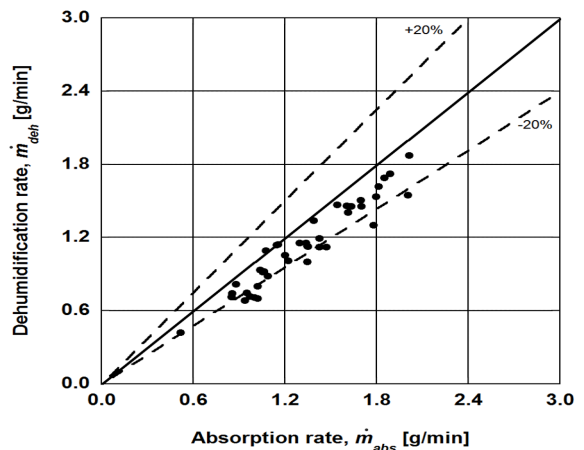
#### 5. 실험결과 및 고찰

Fig. 4(a) 및 Fig. 4(b)에 실험결과로 얻어진 열평형(heat balance) 및 질량평형(mass balance)을 나타내었다. 실험결과 열 및 질량평형의 경우 약  $\pm 20\%$  수준에서 일치하는 결과를 보였다.

Fig. 5는 LiCl 수용액의 농도가 35%, 40% 및 45%인 경우, LiCl 수용액의 질량유량 증가에 따른 LiCl 수용액의 수분 흡수량을 나타낸 그래프이다. 이때 LiCl 수용액의 입구온도는  $46^{\circ}\text{C}$ 이며, 공기의 상대습도 및 풍량은 각각 60% 및 0.38 CMM이다. LiCl 수용액이 수분 흡수량은 LiCl 수용액의 질량유량 증



(a) heat balance



(b) mass balance.

Fig. 4 Heat and mass balance.

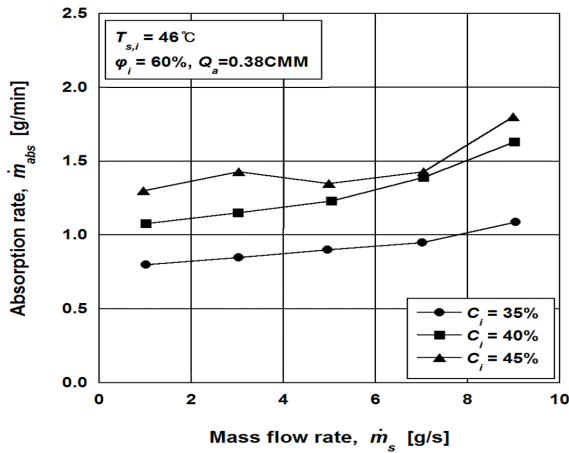


Fig. 5 Absorption rate of LiCl-H<sub>2</sub>O vs. mass flow rate of LiCl-H<sub>2</sub>O.

가하고 LiCl 수용액의 농도가 진할수록 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 LiCl 수용액의 농도가 진할수록 액막 표면에서의 수증기 분압이 낮아져 물질전달의 구동력인 공기와 수증기 분압차가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 6은 처리공기의 상대습도가 50%, 60% 및 70%인 경우, 처리공기의 풍량 증가에 따른 LiCl 수용액의 수분 흡수량을 나타낸 그래프이다. 이때 LiCl 수용액의 입구온도는 46°C이며, 질량유량 및 농도는 각각 5 g/s 및 45%이다. 그림에 의하면 LiCl 수용액의 수분 흡수량은 처리공기의 풍량증가 및 처리공기의 상대습도 높을수록 증가하는 것으로 나타났다. 처리공기의 풍량이 커질수록 LiCl 수용액이 수분 흡수량이 커지는 이유는 처리공기의 풍량이 증가에 따라 풍속 또한 증가하게 되고 이에 따라 LiCl 수용액과 처리공기 사이의 경계면에서의 물질전달계수가 증가 때문으로 사료된다.

처리공기의 상대습도가 높을수록 수분 흡수량이 증가하는 이유는 처리공기의 풍량 및 온도가 동일한 상태에서 상대습도가 증가할 경우 수증기 분압이 높아져 제습제인 LiCl 수용액과의 수증기 분압차가 증가하기 때문이다.

Fig. 7은 LiCl 수용액의 농도가 35%, 40% 및 45%인 경우, LiCl 수용액의 Film Reynolds 수 증가에 따른 LiCl 수용액의 열전달계수를 나타낸 그래프이다. 이때 LiCl 수용액의 입구온도는 46°C이며, 공기의 상대습도 및 풍량은 각각 60% 및 0.38 CMM이다. 그래프를 보면 LiCl 수용액의 열전달계수는 LiCl 수용액의 Film Reynolds 수에 따라 증가하다가 30 이상에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

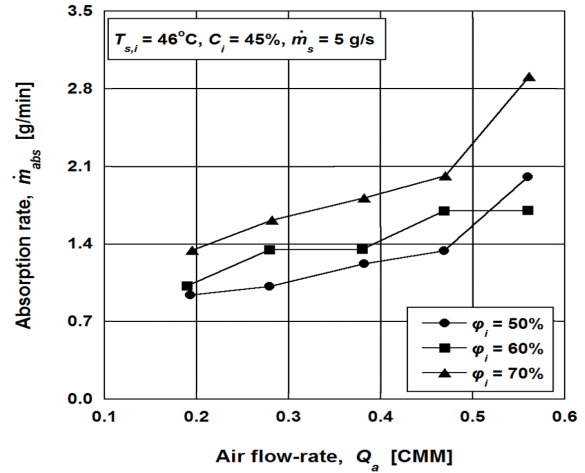


Fig. 6 Absorption rate of LiCl-H<sub>2</sub>O vs. air flow rate.

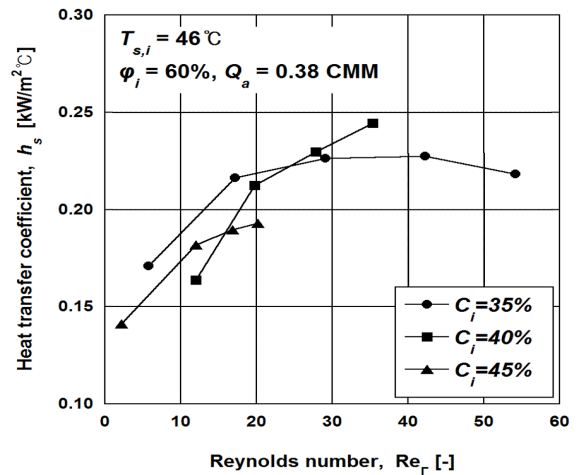


Fig. 7 Heat transfer coefficient of LiCl-H<sub>2</sub>O vs. film Reynolds number of LiCl-H<sub>2</sub>O.

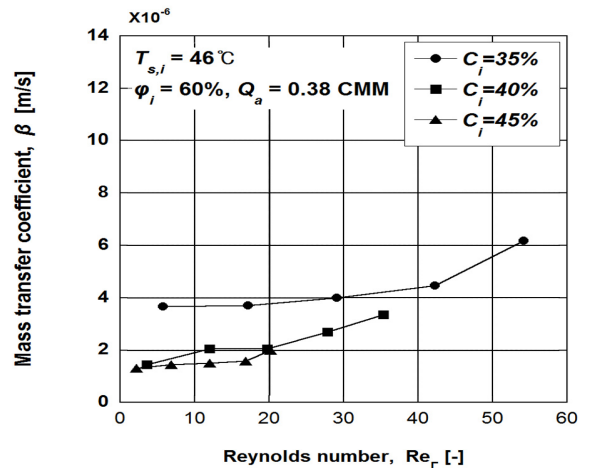


Fig. 8 Mass transfer coefficient of LiCl-H<sub>2</sub>O vs. film Reynolds number of LiCl-H<sub>2</sub>O.

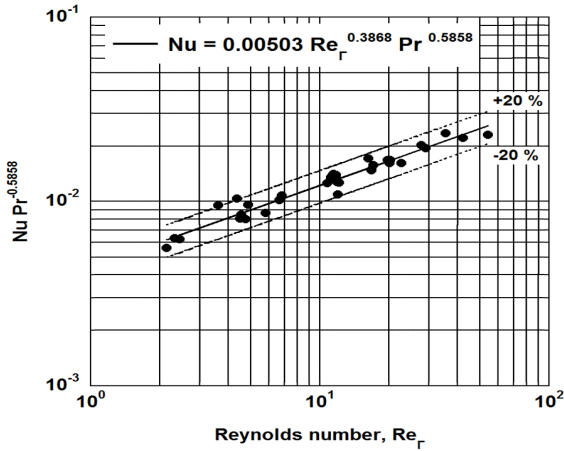


Fig. 9 Nusselt number's correlation for the various film Reynolds number.

Fig. 8은 LiCl 수용액의 농도가 35%, 40% 및 45% 인 경우, LiCl 수용액의 Film Reynolds 수 증가에 따른 LiCl 수용액의 물질전달계수를 나타낸 그래프이다. 이때 LiCl 수용액의 입구온도는 46°C이며, 공기의 상대습도 및 풍량은 각각 60% 및 0.38 CMM이다. 이를 보면 LiCl 수용액의 물질전달계수는 LiCl 수용액의 Film Reynolds 수 증가 따라 증가하며, LiCl 수용액의 입구 농도가 낮은 경우가 높은 경우에 비하여 크게 나타났다.

Fig. 9는 본 연구에서 수행된 실험결과를 LiCl 수용액의 Film Reynolds 수 및 열전달계수와 관계 일반화하기 위하여 개발된 Nusselt 수 상관식을 나타낸 그래프이다. 본 연구를 통하여 개발된 상관식은 약 ±20%의 정확도를 갖는다. 또한 적용범위는  $2 < Re_r < 54$ ,  $17 < Pr < 46$ 이며, 식(20)에 본 연구를 통하여 개발된 상관식을 나타내었다.

$$Nu = 0.00503 Re_r^{0.387} Pr^{0.586} \quad (20)$$

## 6. 결 론

본 연구에서는 판형 열교환기식 제습기에서 액체 제습제인 LiCl 수용액의 열 및 물질전달 특성에 대한 실험적 연구를 수행하였으며 이에 따라 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) LiCl 수용액의 질량유량이 증가함에 따라 수분 흡수량은 증가하는 경향을 보였으며, 이때 처리공기의 풍량이 클수록 수분 흡수량 또한 증가 하였다.

(2) LiCl 수용액의 질량유량이 동일한 경우에는 LiCl 수용액의 농도가 클수록 수분 흡수량이 크게

나타났으며, 처리공기의 풍량 및 상대습도가 클수록 LiCl 수용액의 수분 흡수량이 크게 나타났다.

(3) 본 연구에서 수행된 실험조건 안에서의 LiCl 수용액의 열전달 계수는 약 0.14~0.24 kW/m<sup>2</sup>°C, 물질전달계수는  $1.3 \times 10^{-6} \sim 6.2 \times 10^{-6}$  m/s로 나타났다.

(4) 본 연구에서의 실험결과를 토대로 식(20)과 같은 LiCl 수용액의 Nusselt 수에 대한 상관식을 개발하였다.

$$Nu = 0.00503 Re_r^{0.387} Pr^{0.586}$$

## 후 기

본 연구는 에너지·자원기술개발사업인 “액체식 제습시스템용 제습부/재생부용 평판형 열교환기 개발”의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Lowenstein, A., 2006, A zero carryover liquid desiccant air conditioner for solar applications, ASME/SOLAR06, pp. 1-11.
2. Jeong, J. S., Inagaki, K., Hongo, K., Saito, K., Ogisu, Y., and Kawai, S., 2005, Performance analysis of open cycle absorption type dehumidifier using LiCl-solution, Proc. of the SAREK, pp. 1056-1061.
3. Kim, J. K., Kim, S. S., and Kang, Y. T., 2004, Simultaneous heat and mass transfer analysis for the plate type LiCl/H<sub>2</sub>O dehumidification system, Proc. of the SAREK, pp. 140-145.
4. Yin, Y. and Zhang, X., 2008, A new method for determining coupled heat and mass transfer coefficients between air and liquid desiccant, International journal of heat and mass transfer, pp. 3287-3297.
5. Liu, X. H. and Jiang, Y., 2008, Coupled heat and mass transfer characteristic in packed bed dehumidifier/regenerator using liquid desiccant, Energy conversion and management, pp. 1357-1366.
6. Kim, S. J., Kim, H. Y., Moon, M. W., Lee, K. R., Chang, Y. S., and Lee, D. Y., 2009, Spreading behavior of water drop on superhydrophilic micropillar array, Proc. of the KSME, pp. 3059-3061.