

[논문] 태양에너지  
*Solar Energy*  
Vol. 19, No. 4, 1999

## 태양열 이용 냉난방 공조시스템 중 전열교환기 성능에 관한 연구

김광호\*, 최광환\*\*, 금종수\*\*, 김보철, 김종렬\*

\* 부경대학교 대학원

\*\* 부경대학교 냉동공조공학과

## Research on the Performance of Total Heat Exchanger in a Solar Air-Conditioning System

K.H.Kim\*, K.H.Choi\*\*, J.S.Kum\*\*, B.C.Kim\*, J.R.Kim\*

\* *Pukyong National University, Graduate School*

\*\* *Dep. of Refrigeration & Air-Conditioning Engineering, Pukyong National University*

### 요 약

본 논문은 태양열을 구동원으로 하고 액체흡수제인 염화리튬(LiCl) 용액을 이용하여 제습/냉방 및 난방을 하나의 시스템으로 이루는 태양열 이용 냉난방 공조시스템 중 여름철 전열교환기의 제습/냉방에 관한 성능실험 결과이다. 여름의 고온다습한 실내공기는 환에 의해 전열교환기로 유입되어 충전층에서 살수된 LiCl 용액과 직접 접촉하여 제습/냉각된 후, 건조공기로 바뀌어 실내로 취출된다. 한편 수분을 흡수하여 저농도 용액으로 변한 LiCl 용액은 재생기에서 태양열에 의해 다시 고농도 용액으로 바뀌어 흡수포텐셜을 갖는다.

본 실험에서는 형상 및 크기가 다른 3가지 충전재를 사용하여 전열교환기의 제습성능을 비교하였으며, 절대습도기준 총괄 물질전달계수인  $k_{xa}(\text{kg}/\text{m}^2\text{h}\Delta x)$ 로써 그 성능을 평가하였다. 특히  $k_{xa}$ 값은 액체흡수제 유량, 공기 풍량, 충전재 형상 및 충전층 높이에 따라 변한다. 따라서 이에 대한 영향을 조사하기 위하여 여러 가지 실험한 결과, 풍량은  $k_{xa}$ 값에 미치는 영향이 컸으나, 유량은 그다지 영향을 미치지 않음을 알

수 있었다. 또한 충전재의 형상에 따른 비교 실험에서 충전재의 직경이 큰 경우에는 충전층 높이의 영향이 컸으나, 직경이 작은 경우에는 높이에 의한 영향이 직경이 큰 경우보다 작았다. 이상의 실험 결과로부터  $k_x a$  값을 충전재 형상 및 충전층 높이에 따라 정리하면 최적 전열교환기 설계 및 제작에 기초자료로 활용할 수 있음을 알았다.

## ABSTRACT

This report introduces a total heat exchanger in a solar air-conditioning system using Lithium Chloride(LiCl) solution. The hot and humid outside air is cooled and dehumidified by LiCl solution that is sprayed on the packed layer of the total heat exchanger. LiCl solution once diluted is concentrated again in a regenerator using solar energy.

Three types as the packed materials were used in this experiment and the dehumidification performance was evaluated by the value of  $k_x a(\text{kg/h} \cdot \text{m}^3 \cdot \Delta x)$ , overall mass transfer coefficient based on a humidity ratio potential difference, the influence of inlet LiCl solution flow rate, air flow rate, packed layer height on  $k_x a$  was investigated. It was found that air flow rate, LiCl solution flow rate, packed layer height for all types had a great influence on the value of  $k_x a$ .

### Nomenclature

L : 용액 유량[kg/h]  
 G : 공기 유량[kg/h]  
 A : 충전층 단면적[m<sup>2</sup>]  
 Z : 충전층 높이[m]  
 dN<sub>A</sub>: 미소 높이 내에서의 수분 흡수량[kg/h]  
 a : 충전재의 체적에 대한 기액접촉면적 [m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>]  
 k<sub>x</sub>a : 절대습도기준 총괄 체적 물질전달계수 [kg/m<sup>3</sup>hΔx]  
 K<sub>a</sub> : 엔탈피기준 총괄 체적 열전달계수 [kcal/m<sup>3</sup>hΔi]  
 X<sub>i</sub> : 기액계면의 포화공기 절대습도[kg/kg']  
 X : 습공기의 절대습도[kg/kg']  
 Δx<sub>1</sub>: 충전층 출구 측의 공기~계면의 절대 습도차[kg/kg']  
 Δx<sub>2</sub>: 충전층 입구 측의 공기~계면의 절대 습도차[kg/kg']

R : Lewis 수(= α/K<sub>x</sub>C<sub>pm</sub>) [-]

C<sub>pm</sub>: 공기 비열[kJ/kgK]

α : 열전달율[kJ/m<sup>2</sup>K]

k<sub>x</sub> : 물질전달율[kg/m<sup>2</sup>]

### Subscripts

L : 용액측

G : 공기측

i : 기액계면

1 : 출구측

2 : 입구측

## 1. 서론

최근에 주택을 비롯한 주거 공간분야에서 산업 공정 분야에 이르기까지 공기의 온도 및 습도를 조절하여 쾌적성 및 생산성을 향상시키려고 한다.

특히 우리 나라와 같이 여름이 고온다습한 기후에서는 습도가 쾌적성을 결정하는 중요한 요소가 되며 온도가 그다지 높지 않더라도 무덥게 느껴진다. 그러므로 습도가 높은 우리 나라에서는 공기중의 수분을 제거하여 습도를 낮추는 「제습」이 공기조화 분야의 중요한 한 분야로 그 중요성이 크게 부각되었으며, 여기에는 기계식 냉동법, 흡착식 제습법, 흡수식 제습법 등이 사용되었다. 그러나 이러한 기존의 시스템들은 설치 및 운전 면에서 공간적 제약뿐만 아니라, 에너지 사용 면에서도 효율이 매우 낮기 때문에 고부가 산업분야나 병원과 같은 특수한 공조설비를 요구하는 분야에만 국한되어 이용되었다.

특히 기존의 기계적 공조장치로 습도를 조절하는 경우, 장치가 갖는 한계성으로 인하여 많은 에너지를 소비하므로 에너지 절약 면에서도 그 심각성을 가중시키고 있다. 따라서 기존의 공조시스템이 갖고 있는 에너지 문제점들을 다소 해결할 수 있는 새로운 형태의 에너지 사용 공조시스템 개발이 절실히 요구되고 있다.

본 연구 대상인 태양열 이용 냉난방 공조시스템은 구동열원으로 기존의 화석연료를 사용하는 대신에 태양열을 이용하고 액체흡수제로써 염화리튬(Lithium Chloride, 이하 LiCl)용액을 사용하여 하계에는 제습을 비롯한 냉방을, 그리고 동계에는 부분적인 가습을 위주로 한 난방을 별도의 시스템없이 동시에 행할 수 있는 전천후 공조시스템이다.

본 시스템의 구성 장치는 크게 제습 및 냉방을 담당하는 전열교환기(total heat exchanger), 전열교환기에서 제습/냉방을 행한 후 제습포텐셜(dehumidifying potential)이 낮아진 저농도 LiCl 용액을 태양열로 직접 재생하는 재생기(regenerator), 태양열이 얻어지는 낮 동안에 재생한 고농도 LiCl 용액을 저장해 두는 건조저장탱크(dryness storage tank)로 이루어져 있다.

특히 본 논문의 연구 대상인 전열교환기는 여

름철의 무덥고 습한 실내공기를 충전층(packed layer)에서 제습포텐셜이 높은 고농도 LiCl 용액과 직접 접촉시켜 습공기와 LiCl 용액 사이에서 현열 교환 뿐만 아니라 수분 이동에 의한 잠열 교환도 동시에 일어나게 한다. 이와 같이 여름철에 현열과 잠열을 동시에 처리하면 냉방효과를 얻을 수 있기 때문에 쾌적한 실내환경을 제공할 수 있다. 따라서 새로운 공조방식으로 최근에 크게 주목을 받고 있다.

한편 전열교환기의 제습 성능은 충전층에서의 기액(氣液, air-liquid)접촉 상태에 따라 크게 달라진다. 기액접촉 상태는 전열교환기의 형태 요소와 운전 요소에 따라 달라진다. 형태 요소로는 충전재 형상과 충전층 높이, 그리고 운전 요소로는 도입 공기의 온도, 습도 및 풍량, 액체흡수제의 온도, 농도 및 유량 상태를 들 수가 있다.

본 연구에서는 최적 전열교환기 제작 및 운전 조건을 파악하기 위한 기초 연구로써, 주로 형태 요소인 충전재의 형상과 충전층 높이, 그리고 운전 요소 중 변화 폭이 가장 큰 유량 비의 변화에 따른 제습 성능 및 특성을 파악하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 기초 이론

Fig. 1에 전열교환기 내부의 충전층에서 액체 흡수제와 습공기가 접촉하여 일어나는 기액계면(界面) 모델을 나타내었다. 여기서 기액계면에서의 절대습도인  $x_i$ 는 정상상태에서 흡수가 이루어지면 기체 측의 물질이동 속도와 액체 측의 물질이동 속도가 같기 때문에 충전층의 미소 높이  $dZ$ 에서의 흡수량  $dN_A$ (kg/h)는 식 (1)로 나타내어진다.

$$dN_A = k_x \cdot (x_i - x) \cdot dA \quad (1)$$

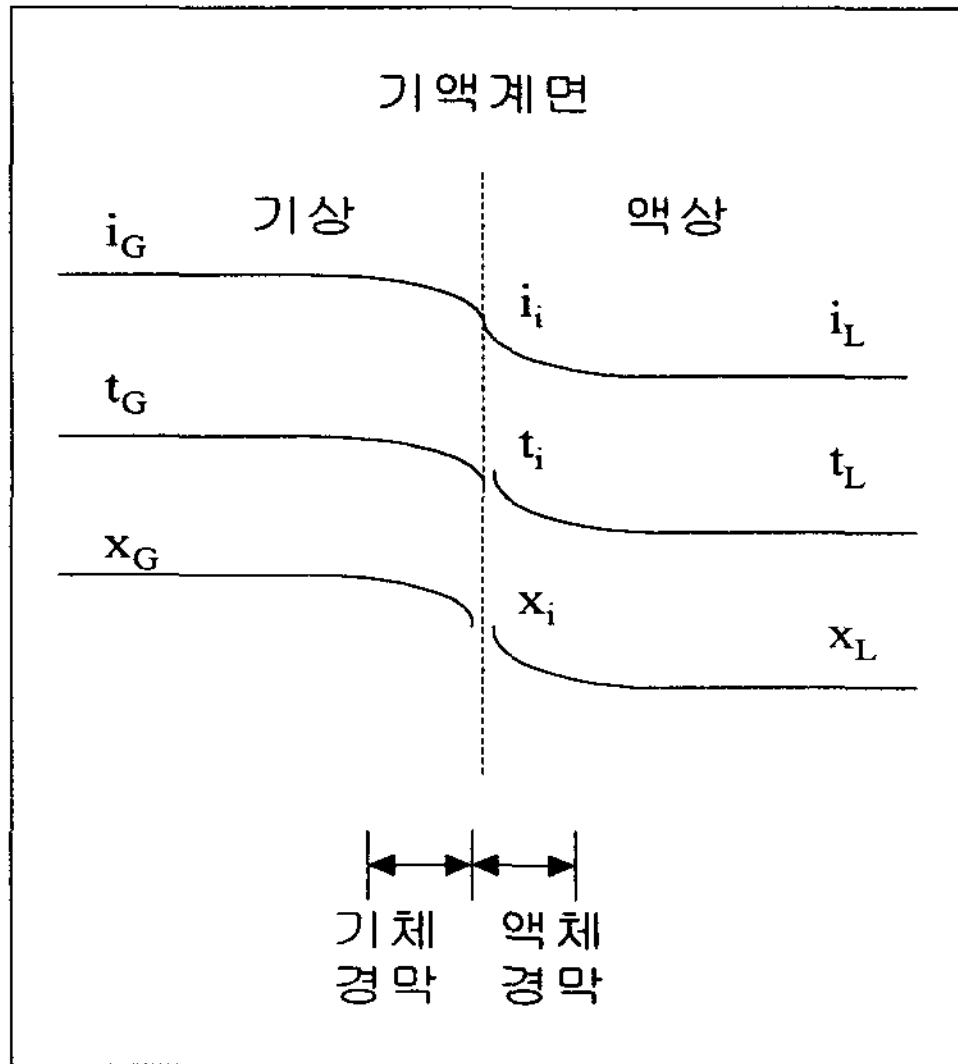


Fig. 1. Air-liquid phase boundary model

여기서  $dA$ 는  $dZ$ 내에서의 기액접촉 면적이며,  $k_x$ 는 물질전달율이다. 한편, 충전층 내의 임의의 미소 높이  $dZ$ 에 있어서 흡수량  $dN_A$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$dN_A = -G \cdot d\left(\frac{x}{1-x}\right) \quad (2)$$

그리고 충전층의 단위 체적당 평균 기액접촉 면적을  $a$ 로 하면,  $dA = a \cdot A \cdot dZ$ 이기 때문에 식(1)은 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$dN_A = k_{xa} \cdot (x_i - x) \cdot A \cdot dZ \quad (3)$$

여기서, 식(2)와 식(3)에서 아래와 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$dZ = -\frac{G}{A \cdot k_{xa}} \cdot \frac{dx}{(1-x)^2 \cdot (x_i - x)} \quad (4)$$

한편, 위 식에서 공기 중에 포함되어 있는 수분량은 매우 적기 때문에 일반적으로  $(1-x) \approx 1$ 로 간주할 수 있다. 그러므로 식(4)는 식(5)로 나타낼 수 있다.

$$Z = \frac{G}{A \cdot k_{xa}} \int_1^2 \frac{dx}{x_i - x} \quad (5)$$

본 장치에서 공기와 액체흡수제인 LiCl용액이 충전층에서 직접 접촉할 때, 구동력은 흡수포텐셜차, 즉 공기의 절대습도와 기액계면에서 액체의 증기압에 상당하는 용액의 절대습도 차에 의해 결정된다.

일반적으로 공기와 물이 접촉하여 기액계면에서 열과 수분이 동시에 이동할 때는 Lewis 관계 ( $R = \alpha / k_x c_{pm} = 1$ )가 성립한다. 이 Lewis 관계는 물 대신에 LiCl용액이나 Ethylene glycol용액이 공기와 접촉할 때도 성립한다고 알려져 있다. 즉 Lewis값이 1이면, 적어도 불포화공기의 경우는 이론적으로도 절대습도기준 총괄 물질전달계수  $k_{xa}$ 가 엔탈피기준 총괄 열전달계수  $K_a$ 와 같은 값으로 된다<sup>(1), (7)</sup>.

따라서 냉각탑에서는 액상(液狀) 내부의 저항이 작고, 기상(氣狀) 측의 열 및 물질전달에 있어서 Lewis 관계가 성립하므로  $K_a$ 로써 냉각탑의 특성을 표시하는 경우가 많으나, 본 연구에서는 제습의 거동을 관찰하기 위하여  $K_a$ 대신에  $k_{xa}$ 를 사용하여 충전층 내의 물질전달 특성을 파악하였다.

## 2.2 LiCl 용액의 절대습도

LiCl 용액의 수증기압  $P_L$ 은 문헌에 따라서 약간의 값 차이가 있으나, 일반적으로 LiCl용액의 평형상태도(平衡狀態圖) 곡선인 Vitz curve<sup>(8)</sup>로부터 구한다. 한편, LiCl용액의 절대습도  $X_L$ 은 물질전달 계산에 반드시 필요하나, 직접 측정하기는 어렵다. 따라서 LiCl용액의 온도 및 농도에 의해서 결정되는 수증기분압( $P_L$ )을 보간해서 구한 후, 충전층 내의 전압력을  $P_0$ 로 하면 식(6)으로  $X_L$ 을 구할 수 있다.

$$x_L = 0.622 \frac{P_L}{(P_0 - P_L)} \quad (6)$$

### 2.3 절대습도기준 총괄 물질전달계수

냉각탑에서는 K값과 접촉면적 a를 포함한 Ka ( $\text{kcal/m}^3 \cdot \text{h} \cdot \Delta i$ )로써 충전재의 총괄적인 특성을 평가하고 있다. 그러므로 냉각탑 원리와 비슷한 본 전열교환기의 해석에 있어서도 수분의 이동 상태를 중심으로 식(7)로부터 얻어지는 절대습도 기준 총괄 물질전달계수인  $k_x a$ 로써 전열교환기의 제습 성능을 평가하기로 하였다. 따라서 식(5)를 약간 변형하면  $k_x a$ 는 다음 식으로 나타내어진다.

$$k_x a = \frac{G}{A \cdot Z} \int_1^2 \frac{1}{x_i - x} dx \quad (7)$$

$$\approx \frac{G}{A \cdot Z} (x_{G1} - x_{G2}) / \frac{\Delta x_1 - \Delta x_2}{\ln(\Delta x_1 / \Delta x_2)}$$

### 3. 실험 장치 및 실험 방법

본 실험 대상인 전열교환기는 충전층이 가로 40cm×세로 40cm×높이 40cm이며, 공기 및 LiCl용액의 유입 부분과 엘리미네이터를 포함한 전체 높이가 1.0m 밖에 되지 않는 콤팩트 타입이다. 게다가 충전층의 높이에 따른 영향을 파악하기 위하여 높이를 임의로 조절할 수 있도록 3개의 충전탑을 제작, 준비하여 실험하였다.

전열교환기는 Fig. 2에 나타나 있듯이 LiCl용액을 균일하게 살수하는 살수장치(sprayer), 용액과 공기의 흐름이 서로 간섭되지 않도록 인위적으로 균일하게 하는 기액 분기판(air-liquid separator), 그리고 LiCl 용액의 비말(飛沫)현상인 캐리오버(carry-over)를 방지하는 엘리미네이터(eliminator)와 충전층(packed layer), 용액 저장 탱크로 구성되어 있다. 그리고 LiCl용액의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 본 실험에서는 0.5RT의 냉동기(Chiller)를 사용하여 제습 시에 발생하는 화학 반응열을 제거해서 LiCl용액의 온도에 의한 영향을 최소화하여 실험을 행하였다.

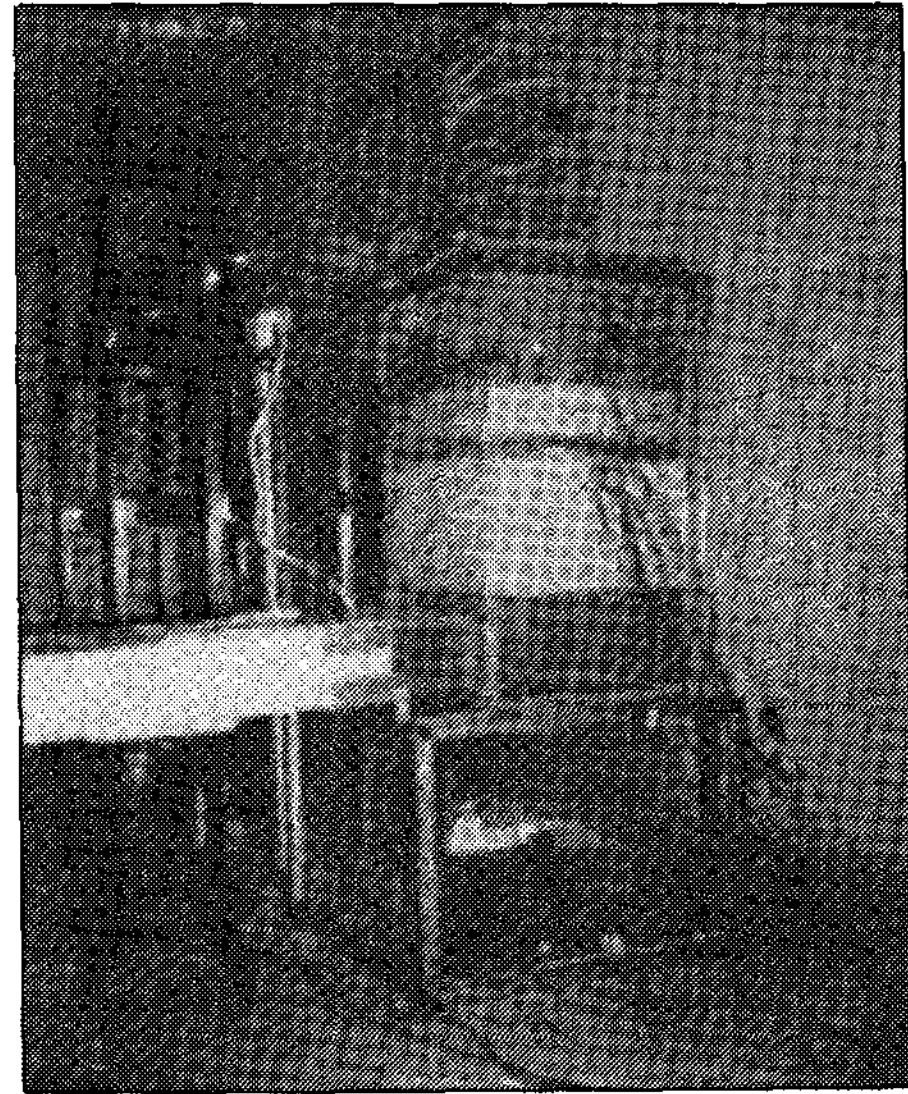


Fig. 2. View of indoor experiments with a total heat exchanger

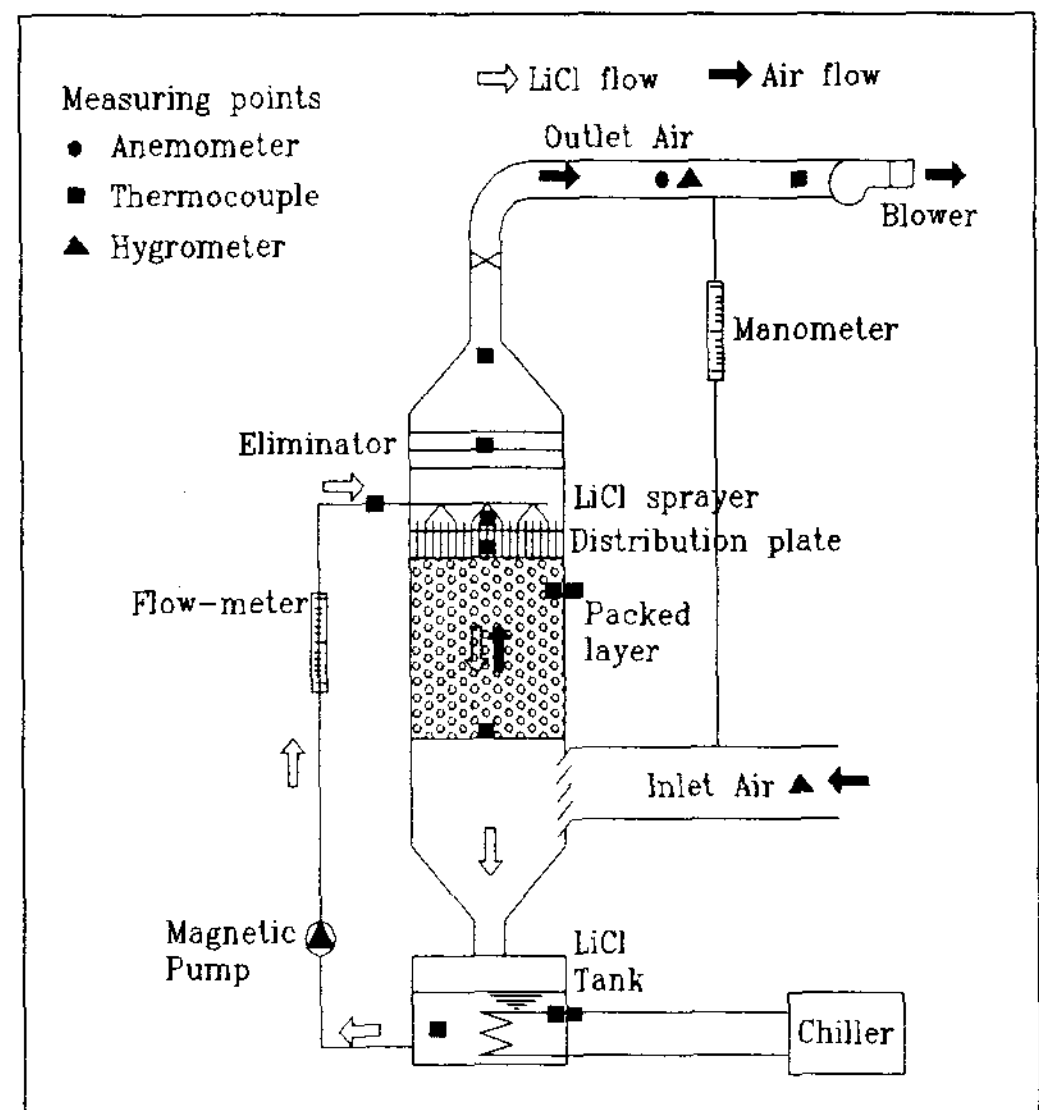


Fig. 3. Schematic of experimental apparatus

실험조건은 LiCl용액의 초기 농도를 30wt.%로, 유입공기의 온도와 상대습도를 26°C와 60%로 각각 유지하였다. 충전재는 충전층에 불규칙하게 채워졌으며, 충전층 높이를 0.2m, 0.3m 그리고 0.4m로 각각 고정시킨 후, 이에 대한 유량 및 풍



Table 1. Characteristics of packed materials

	Raschig ring	Raschig ring	Plastic packing
d(Nominal size)	16mm	9.5mm	30mm
Material	Ceramic	Ceramic	Plastic
$\epsilon$ (Void fraction)	0.68	0.68	0.85
$a_p$ (Specific surface area)	328(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	508(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	255(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )

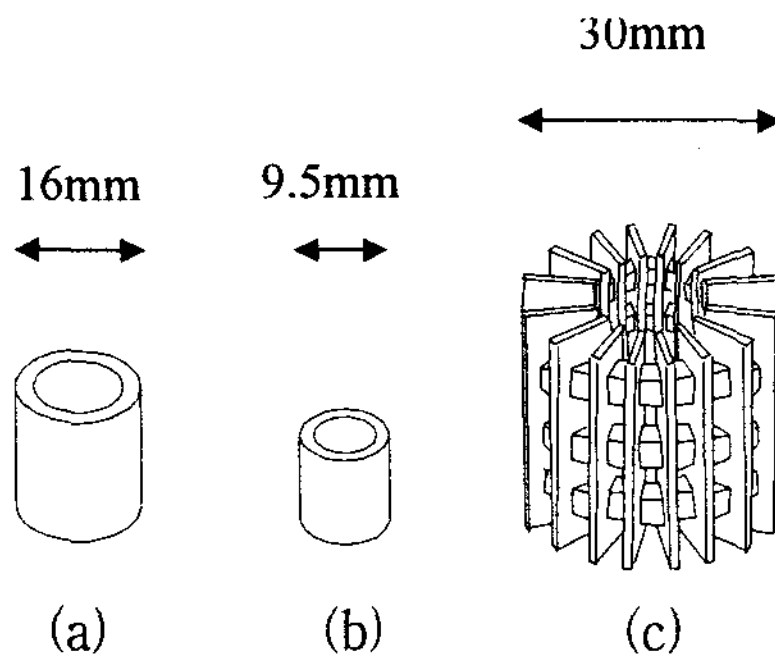


Fig. 4. (a),(b) Ceramic raschig ring, (c) Plastic packing

Table 2. Experimental run conditions

Parameters	Conditions
Area	0.15m <sup>2</sup>
Packed layer height	0.2m, 0.3m, 0.4m
Solution flow rate(L/A)	2.9×10 <sup>3</sup> ~7.8×10 <sup>3</sup> kg/m <sup>2</sup> h
Air flow rate(G/A)	1.2×10 <sup>3</sup> ~2.3×10 <sup>3</sup> kg/m <sup>2</sup> h
Inlet solution temperature	23±1℃
Inlet solution concentration	30wt.%
Inlet air temperature	26±1℃
Inlet air relative humidity	60±2%(R.H)

량을 변화시켜가면서 제습량의 변화를 조사하였다. 풍량 및 유량은 인버터가 부착된 시로코(sirocco) 팬과 마그네틱(magnetic) 펌프로 일정하게 조절, 공급하였다.

충진재는 기액접촉 면적과 공극 체적이 크고, 흡수성이 뛰어나며, 작동유체와 화학적 반응이 없어야 한다. 또한 무게 밀도가 낮고 가급적 가격이 저렴하여야 하기 때문에 본 실험에서는 이러한 특징을 바탕으로 3가지 충진재를 사용하였으며, 그 특성과 형상을 각각 Table 1과 Fig. 4에 나타내었다. 측정에 있어서는 C-C 열전대와 습도계, 초음파 농도계로써 각각의 상태값을 데이터 집록기를 이용하여 20초 간격으로 연속적으로 측정 후, 해석에 사용하였다. 본 실험에 사용된 실험 조건들이 Table 2에 나타나 있다.

한편, 실험은 도입 공기의 온도 및 습도를 일정하게 유지할 수 있는 부경대학교 냉동공조공학과 건축환경설비연구실의 항온항습실에서 실시하였으며, Fig. 2에 실험 전경을 나타내고 있다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

##### 4.1 유량 비 변화에 있어서 충진층 높이의 영향

전열교환기의 물질전달 특성을 파악하기 위하여 실험 측정치를 이용하여 식(7)로부터  $k_x a$  값을 산출하였다. Fig. 5~7은 직경이 16mm인 raschig ring에 대한  $k_x a$  값 특성을 유량 및 풍량의 변화에 따라 나타내고 있다.

일반적으로 충진층의 특성은 풍량(=G/A)과 유량(=L/A)이 증대하면 충진층 내의 유동상태가 난류로 바뀌어  $k_x a$  값도 증대한다. 그러나 본 결과는 풍량과는 비례 관계를 나타내지만 유량이 적은 Fig. 5의 결과와 Fig. 6~7의 결과를 비교할 때, 약간의 차이가 있으나 Fig. 6과 Fig. 7의 양상은 거의 비슷하다. 즉, 본 실험에 사용된 전열교환기에서는 풍량은  $k_x a$  값에 영향을 미치는 바가 크나,

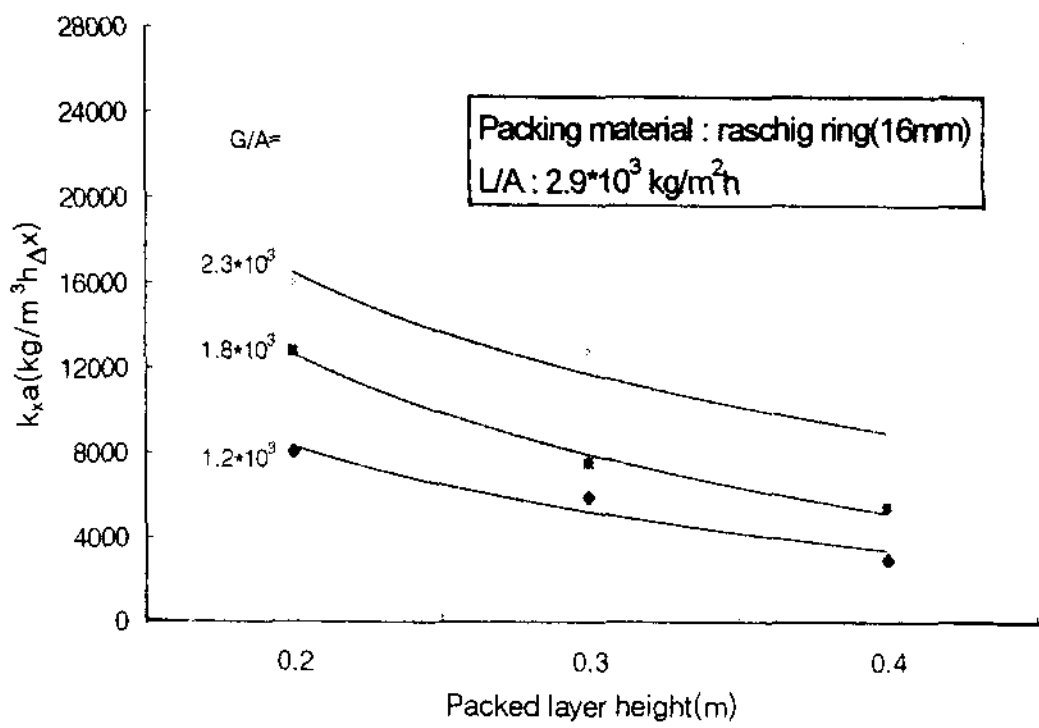


Fig. 5. Relationship between packed layer height and  $k_{xa}$  values

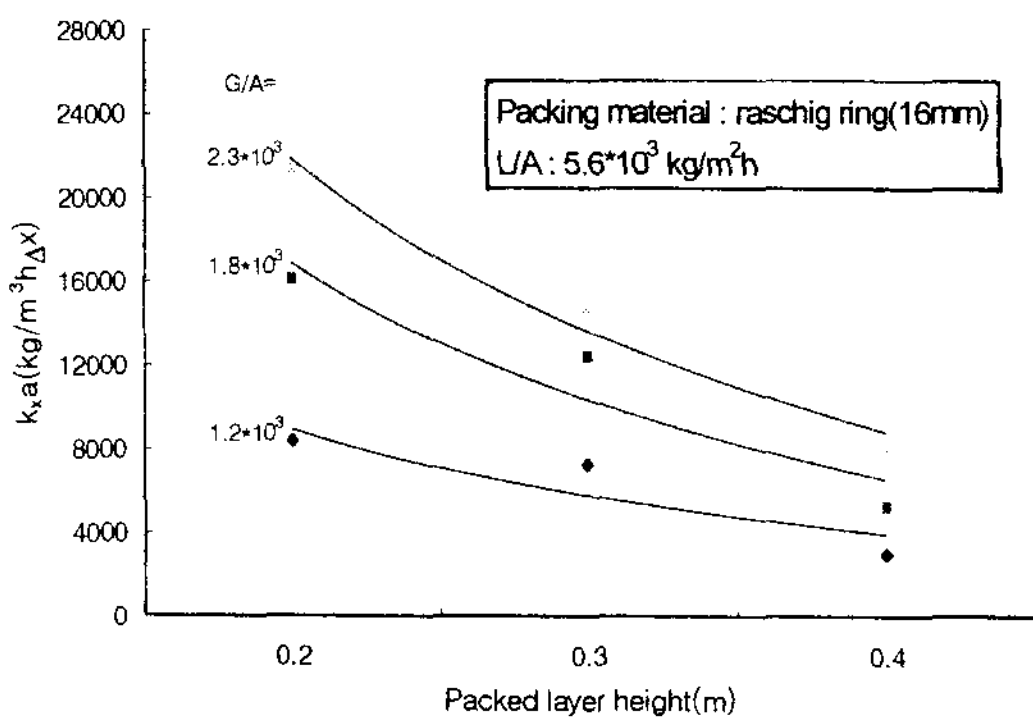


Fig. 6. Relationship between packed layer height and  $k_{xa}$  values

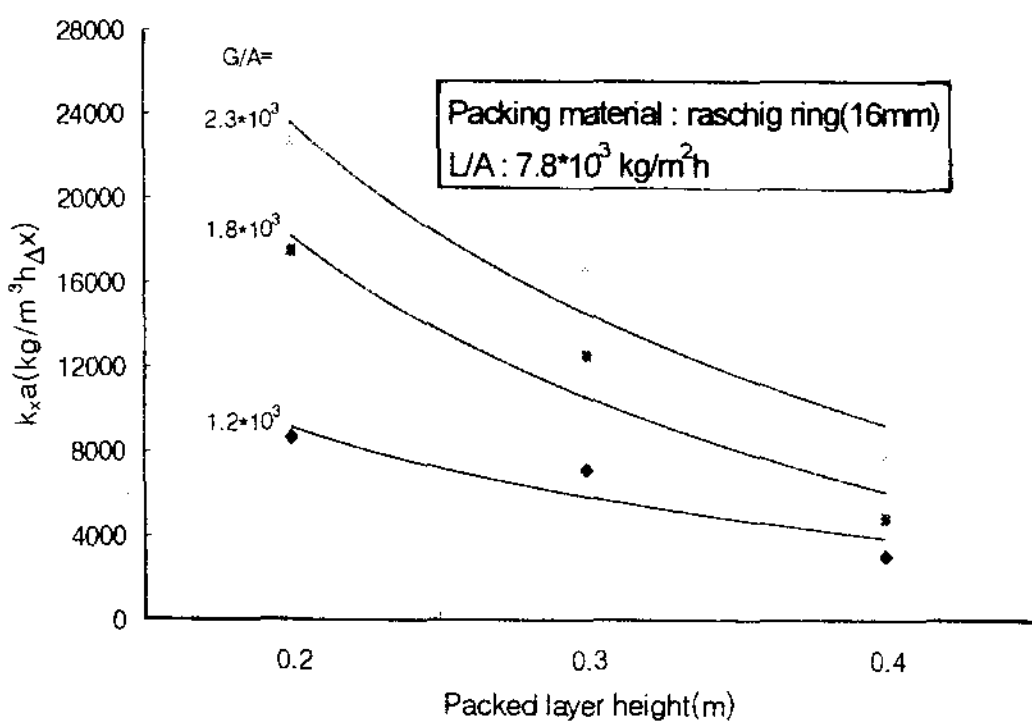


Fig. 7. Relationship between packed layer height and  $k_{xa}$  values

플로딩(Flooding)이 되지 않는 범위 내에서는 유량이 증가하여도  $k_{xa}$ 값에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다

#### 4.2 충전재 형상에 있어서 충전층 높이의 영향

Fig. 8 및 Fig. 9는 raschig ring( $d=9.5\text{mm}$ )과 plastic packing( $d=30\text{mm}$ )에 대해서 유량이  $7.8 \times 10^3 \text{kg/m}^2\text{h}$ 일 때,  $k_{xa}$ 값의 특성을 높이와 풍량 변화에 대해서 나타낸 결과이다. 앞선 Fig. 7의 결과는 raschig ring( $d=16\text{mm}$ )에 대한 것이므로 Fig. 8 및 Fig. 9와 비교하면 세 가지 충전재에 대한 결과를 간접적으로 비교할 수 있다. Fig. 7에서 풍량이  $2.3 \times 10^3 \text{kg/m}^2\text{h}$ 일 때, 높이가 0.2m에서는  $k_{xa}$ 값이 약  $23000 \text{kg/m}^3\text{h}\Delta x$ 정도이며 높이가 0.3m에서 약  $16000 \text{kg/m}^3\text{h}\Delta x$ , 그리고 충전층 높이가 0.4m에서는 약  $10000 \text{kg/m}^3\text{h}\Delta x$  정도로 높이가 0.1mm씩 증가할 때,  $k_{xa}$ 값이 약 6000 내지 7000정도 낮아졌다. 즉, 높이가 높아짐에 따라  $k_{xa}$ 값이 감소하는데, 이는 식 (7)에서 알 수 있듯이 동일 풍량에서 충전층 높이가 높아지면  $k_{xa}$ 값은 감소하기 때문이다.

한편, 충전재 형상에 따른  $k_{xa}$ 값은 충전층 높이가 높아짐에 따라 감소하는 경향이 서로 조금씩 달랐다. 즉 충전층 높이가 낮은 경우에는  $k_{xa}$ 값이 충전재 형상의 영향을 그다지 받지 않으나, 충전층이 낮고 풍량이 많을 때  $k_{xa}$ 값이 충전재 형상에 따라 큰 차이를 보였다.

그 예로, Fig. 7~9에서 충전층 높이가 0.2m, 풍량이  $1.2 \times 10^3 \text{kg/m}^2\text{h}$ 일 때, 세 충전재의  $k_{xa}$ 값이 모두 약  $8500 \text{kg/m}^3\text{h}\Delta x$  정도였다. 그러나, 충전층 높이가 0.4m이고 풍량이  $2.3 \times 10^3 \text{kg/m}^2\text{h}$ 일 때, 직경 9.5mm인 raschig ring에서는  $k_{xa}$ 값이 약  $15000 \text{kg/m}^3\text{h}\Delta x$ , 직경 16mm에서는 약  $11000 \text{kg/m}^3\text{h}\Delta x$ , 그리고 직경 30mm인 plastic packing에서는 약  $7000 \text{kg/m}^3\text{h}\Delta x$  정도로 큰 차이를 보였다.

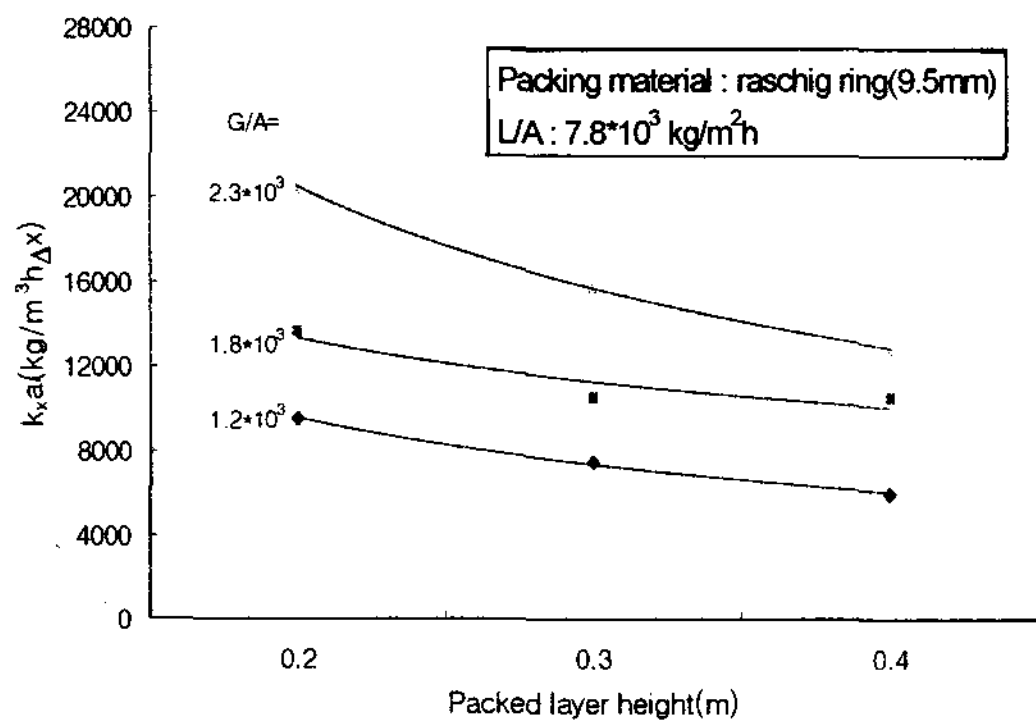


Fig. 8. Relationship between packed layer height and  $k_x a$  values

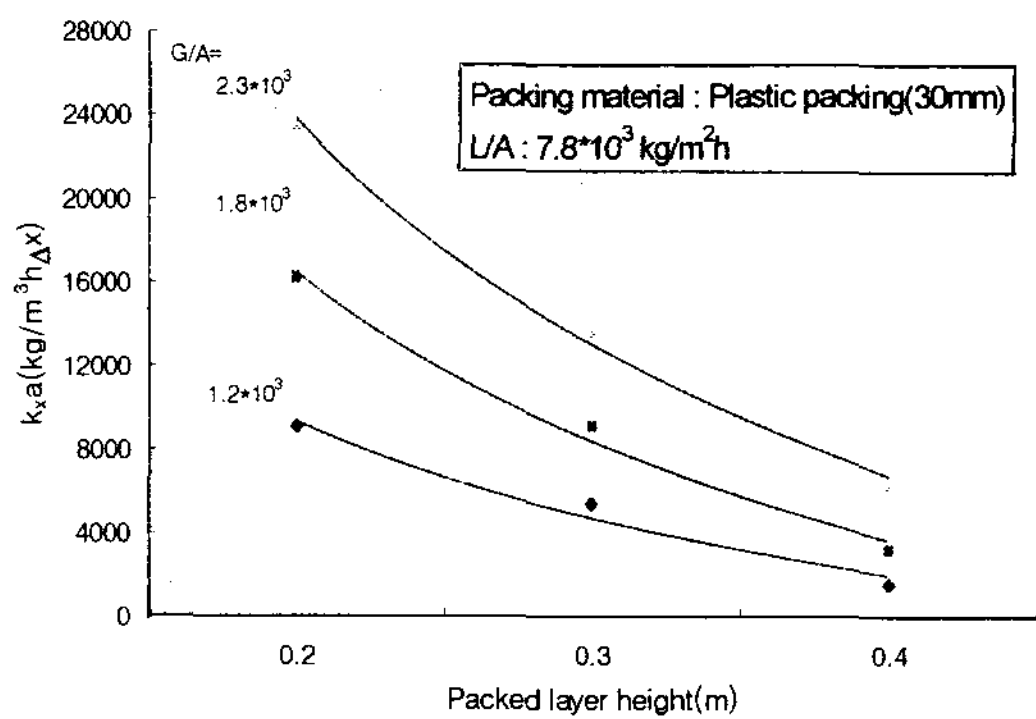


Fig. 9. Relationship between packed layer height and  $k_x a$  values

#### 4.3 제습량과 $k_x a$ 값의 상관관계

Fig. 10~12는 세 가지 충전재에 대한 제습량과  $k_x a$ 값의 상관관계를 나타내고 있다. Fig. 10은 직경 16mm인 raschig ring에 대한 결과로써  $k_x a$ 값이 약  $9000 \text{ kg/m}^3 \text{ h} \Delta x$ 일 때, 충전층 높이가 0.2m와 0.4m에서의 제습량은 약 0.8kg/h와 1.6kg/h로 약 2배 정도의 차이를 보여주고 있다.

한편, Fig. 8, 11에서는 충전층의 높이에 따른 제습량의 차이는 그다지 크지 않다. 이는 충전재의 직경이 작아서 충분한 기액접촉이 일어났기 때문으로 생각된다. 반면에 Fig. 12는 직경이 큰 Fig. 10과 비슷한 양상을 보여주고 있다.

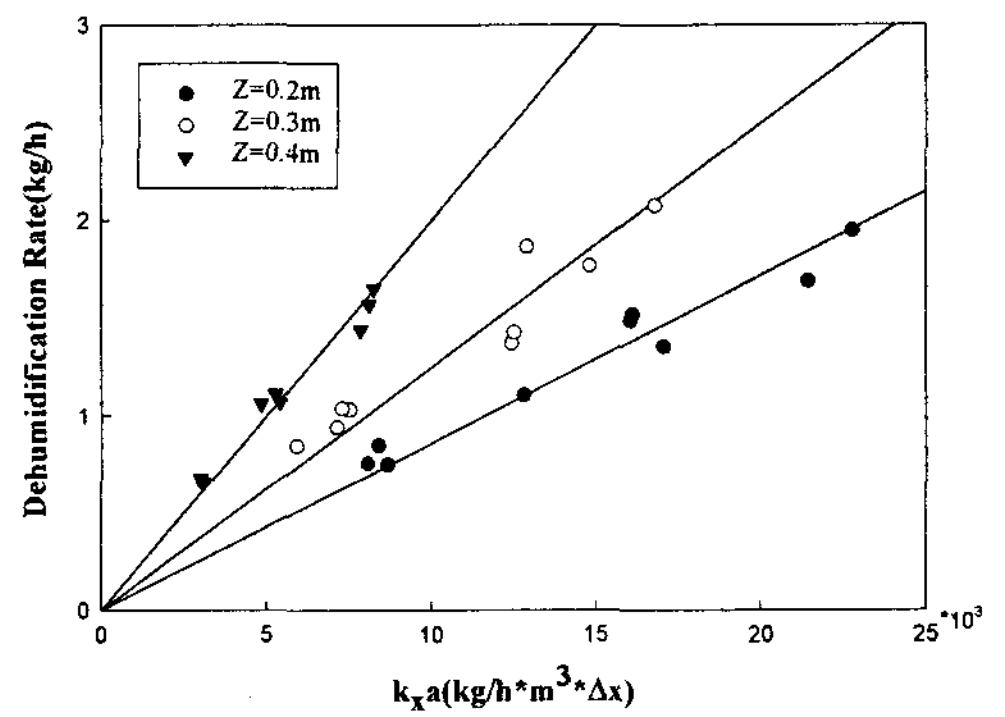


Fig. 10. Relationship between  $k_x a$  values and dehumidification rate with each packed layer height for raschig ring ( $d=16\text{mm}$ )

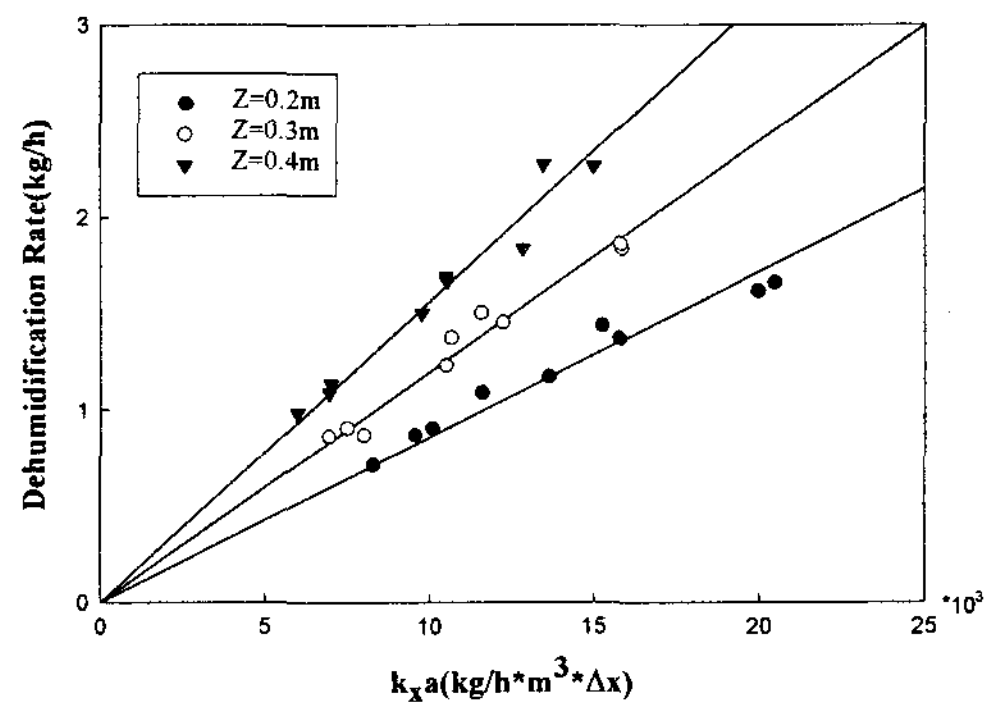


Fig. 11. Relationship between  $k_x a$  values and dehumidification rate with each packed layer height for raschig ring ( $d=9.5\text{mm}$ )

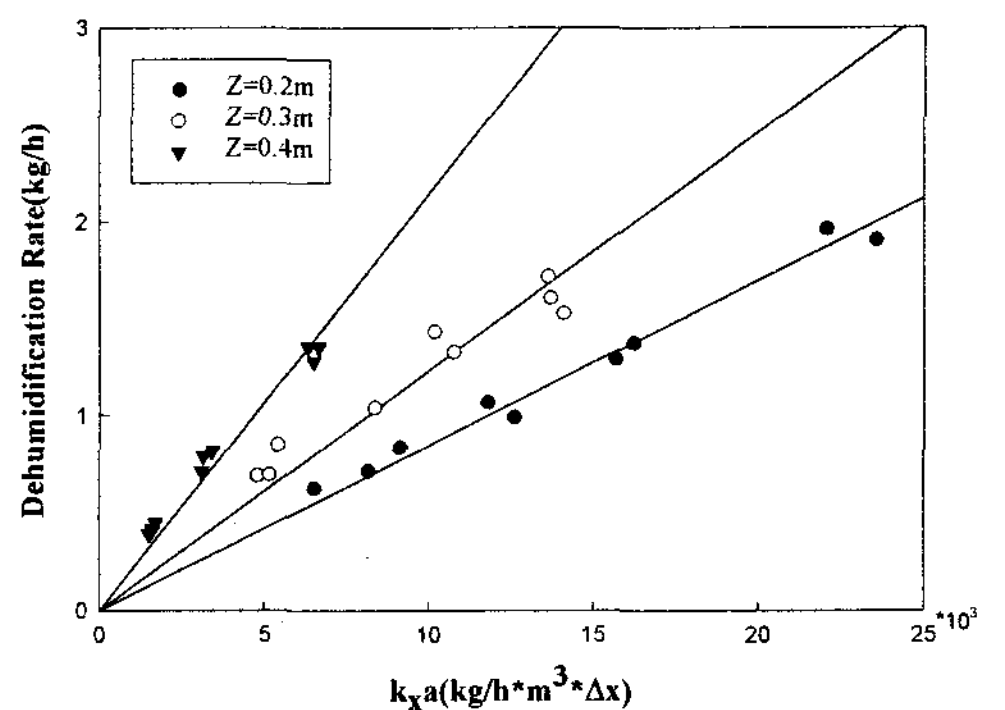


Fig. 12. Relationship between  $k_x a$  values and dehumidification rate with each packed layer height for plastic packing ( $d=30\text{mm}$ )



이상의 결과로써  $k_{xa}$ 로써 제습량을 예측할 수 있기 때문에  $Ka$  대신에  $k_{xa}$ 로써 전열교환기의 제습성능을 평가할 수 있음을 알았다.

## 5. 결 론

본 연구는 태양열을 구동원으로 하는 태양열 이용 냉난방 공조시스템 중 실제로 염화리튬(LiCl)용액을 사용하여 제습 및 냉방을 제공하는 전열교환기에서 충전재 형상과 충전층 높이에 따른 제습성능의 특성을 파악한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 실험장치의 모델인 전열교환기에서 풍량은 절대습도기준 총괄 물질전달계수  $k_{xa}$  값의 특성에 크게 영향을 미치나, 플로딩(Flooding)이 되지 않는 범위 내에서 유량은  $k_{xa}$ 값에 크게 영향을 미치지 않았다.
- 2) 풍량이 증가할 수록  $k_{xa}$ 값은 증가하였으며, 동일 풍량일 경우에는 충전층 높이가 높을 수록  $k_{xa}$ 값이 감소하였다.
- 3) 충전층의 높이가 낮은 경우, 충전재 형상에 의한  $k_{xa}$ 값의 차이는 거의 없었으나, 충전층 높이가 높을수록 충전재의 형상에 따라  $k_{xa}$ 값이 크게 달라졌다.
- 4)  $k_{xa}$ 값이 거의 같은 경우에는 충전층 높이가 높을수록 제습량이 많았다.
- 5) 이상의 실험 결과로부터 엔탈피기준 총괄 열전달계수인  $Ka$ 대신에 절대습도기준 총괄 물질전달계수인  $k_{xa}$ 로 전열교환기 성능을 평가할 수 있었다.
- 6) 게다가  $k_{xa}$ 에 관한 보다 많은 실험 데이터를 축적한다면 본 시스템의 전열교환기 설

계 시 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. Takao Okada · Tokio Okonogi, 1988, "Study on packed bed liquid absorption dehumidifier", 総合研究所報 No2, pp.59~69.
2. 藤田重文 編, 1886, 化學工學演習 第2版, 東京化學同人, pp.76~89
3. 土山公平 外2, 1991, "強制通風式充てん塔における空氣-水溶液間の熱・水分移動", 空氣調和・衛生工學會 論文集 No.45, pp.95~103
4. Tokio Okonogi 外2, 1988, "Study on the performance of Non-Frost Refrigerant Dehumidifier", 総合研究所報 No2, pp.49~58.
5. P. Gandhidasan, 1986, "Calculation of heat and mass transfer coefficients in a packed tower operating with a desiccant-air contact system", journal of solar energy engineering vol.108, pp.123~128.
6. Treybal, R. E., 1980, Mass-Transfer operations, McGraw-Hill, 3rd Ed., pp.49, 186~211.
7. 内田秀雄, 1980, 濕り空氣と冷却塔, 裳華房, pp.1~50, 69~125.
8. Vits, V. H., 1958, Graphische Darstellung von Absorptionsvorgängen insbesondere zur Entfeuchtung von Luft mit wabriger Litiumchloridlosung, Forschung, under dem Gebiete des Ing.-wesen.