

# 핀-튜브형 액체건조제 제습기의 높이에 따른 성능특성에 관한 실험적 연구

이수동<sup>†</sup> · 박문수\* · 정진은\*\* · 이진수\*\*\*

## An Experimental Study on the Performance Characteristic with Height of a Fin-Tube Liquid Desiccant Dehumidifier

Su-Dong Lee, Moon-Soo Park, Jin-Eun Chung, Jin-Soo Lee

**Key Words:** Liquid Desiccant(액체 건조제), Dehumidification(제습), Regeneration(재생),  
Triethylene glycol(트리에틸렌 글리콜)

### Abstract

Several desiccant cooling systems have been developed in terms of cost and performance. In this study a fin-tube exchanger has been used for liquid desiccant dehumidification system. This dehumidifier has been designed to study the absorption characteristic of the aqueous triethylene glycol(TEG) solution which has the flow range from 20 to 50 LPM. The dehumidifier performance characteristic of working factor variables such as inlet solution flow rate, air flow rate, solution concentration, solution temperature, brine temperature, air temperature and inlet air relative humidity has been analyzed. The result of this experiment can provide useful data for hybrid air conditioning system.

### 기호설명

1H : 10 Row 열교환기  
2H : 14 Row 열교환기  
D : 제습량 [kg/h]  
 $H_s$  : 현열량 [kcal/h]  
 $H_L$  : 잠열량 [kcal/h]  
 $H_T$  : 전열량 [kcal/h]  
Q : 공기질량유량 [kg/h]  
 $X_i$  : 공기입구 절대습도 [kg W/kg da]

$X_o$  : 공기출구 절대습도 [kg w/kg da]  
 $T_i$  : 공기입구 온도 [°C]  
 $T_o$  : 공기출구 온도 [°C]  
 $C_p$  : 습공기 정압비열 0.24 [kcal/kg · °C]  
 $h_{fg}$  : 습공기 증발잠열 597 [kcal/kg]

### 1. 서론

최근 산업분야는 전체적으로 높은 고정밀 기술화를 지향하고 있다. 이와 관련해서 각 산업분야에서 제품의 제조관리, 품질관리 및 보관 업무에 있어서 제습(dehumidification)의 필요성이 크게 강조되고 있다. 또한 우리나라의 여름 기후는 고온 다습한 특징을 갖고 있다. 고온 다습한 기후에서는 습공기의 잠열부하가 크기 때문에, 습공기의 잠열부하를 효율적으로 처리함으로써 냉방에 필요한 막대한 에너지를 절약할 수 있다.<sup>(1,2)</sup> 최근 주목받고 있는 제습냉방시스템의 하나인 복합식 액체 건조제 제습냉방시스템은 냉방해야 할 고온 다습한 습공기의 잠열부하를 액체건조제 제습기(dehumidifier)로

† 한국기술교육대학교 대학원 기계공학과  
E-mail : kc3700@empal.com  
TEL : (041)589-8338 FAX : (041)589-8330  
\* 한국생산기술연구원  
\*\* 한국기술교육대학교 기계공학과  
\*\*\* 옷샘씨이테크(주)

처리하고 현열부하는 냉각코일 또는 증발식 냉각기로 처리하여 쾌적한 냉방공기를 만들어내는 것이다.<sup>(3),(4)</sup> 본 연구에서는 낮은 압력강하와 등온제습이 장점이며 제습과 냉방을 동시에 행할 수 있는 핀-튜브형(Fin-Tube) 제습기가 사용 되었으며, 이러한 액체 건조제를 이용한 제습과정은 낮은 온도에서 주위 공기로부터 수분을 흡수(absorption)하여 고온에서 수분을 방출하는 건조제의 성질을 이용하여 이루어진다. 특히, 본 연구에 사용된 액체건조제 트리에틸렌글리콜(Triethylene glycol: TEG)은 제습액으로써 기존에 가장 널리 사용되고 있는 염화리튬(LiCl)보다 부식성이 적고 살균성이 있으며, 비용 면에서도 저렴하므로 본 연구에서 액체건조제로서 사용되었다.

본 연구는 단면적이 같은 열교환기의 높이를 변화시켜 실험하고, 제습성능 결과를 분석함으로써 제습시스템 설계에 필요한 중요 인자들의 선정시 열교환기의 용량별 결과를 토대로 복합식 공조 시스템 설계를 용이하게 하고자 하는데 목적을 두고 있다.

## 2. TEG용액의 제습 및 재생원리

TEG 액체 건조제가 공기 중의 수분을 흡수(absorption)하는 원리는 접촉하는 주위공기의 수증기 분압과 액체건조제 표면의 증기압력사이의 상대적인 크기에 의해 조절된다.<sup>(5)</sup> 즉, TEG액체건조제 표면의 증기압력이 이와 접촉하는 주위공기의 수증기 분압보다 작을 경우 제습이 일어나게 되며 이때, 공기 중의 수분을 흡수한 TEG용액은 묽어지게 된다. 이와 반대로 TEG용액 표면 증기압이 이와 접촉하는 주위 습공기의 수증기 분압보다 커지게 될 경우 용액에 포함되어있는 수분을 습공기중으로 방출하게 되어 용액의 농축이 일어나게 된다.<sup>(6)</sup> Fig. 1은 액체 건조제인 TEG용액의 증기압력과 주위공기의 수증기 분압을 예를 들어 비교한 것이다. 예를 들면 온도 30℃에서, 상대습도 65%의 습공기의 수증기분압이 TEG용액 85% 일때 증기압보다 크므로 습공기중의 수분이 TEG용액으로 흡수되어 제습이 일어나게 되고 반대로 상대습도 65%의 습공기의 수증기분압이 TEG용액 50% 일때 증기압보다 작으므로 용액의 수분을 습공기중으로 방출하여 재생이 일어나게 된다. 동일한 습공기에 대해 용액의 온도가 낮아질수록 85% TEG용액의 증기압이 낮아져 증기압차가 커지게 되어 더 많은 양의 제습이 이루어지게 되고 동일한 습공기에 대해 용액온도가 높아질수록 50% TEG용액의 증기압이 더욱 높아져 습공기와의

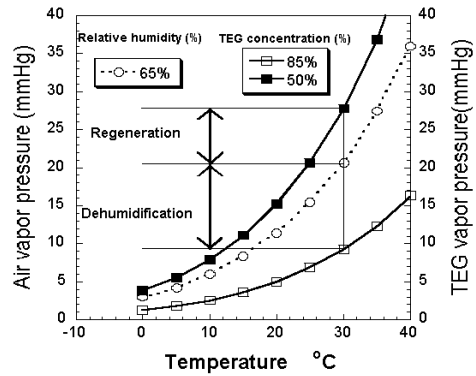


Fig. 1 Principle of dehumidification and regeneration

증기압차는 커지게 되어 더 많은 양의 재생이 일어나게 된다. 이와 같이 TEG액체 건조제는 온도와 농도의 함수관계에 따라 제습과 재생을 반복하는 것이다.

## 3. 실험 장치 및 조건

### 3.1 실험장치

Fig.2에 전체적인 실험장치를 도시하였다. 실험 장치의 전체 개략도를 살펴보면 크게 제습부(A), 브라인 항온조(B), 입구공기 항온항습기(C), 용액재생기 및 용액항온조(D)로 나눌 수 있다. 용액분사방법은 용액의 균일한 분산적심이 가능한 노즐형식을 취하였으며 캐리오버를 방지하기 위하여 공기 출구측에 엘리미네이터와 더미스터를 설치하였다. 또한 공기 출구측 덕트에 피토투관<sup>(7)</sup>을 설치하여 공기유량을 측정하였고 공기유량 제어는 디지털 인버터를 가변하여 송풍기 모터의 회전수로 제어 하였다. 공기의 흐름은 직교류 방식이나 평행류 방식에 비해 압력강하의 단점은 있지만 물질 전달의 효과가 좋은 대향류 방식을 취하였다. 브라인 항온조는 냉동기와 히터를 장착하여 디지털 인버터로 제어하였고 TEG용액 항온조 또한 온도 제어를 위해 히터와 냉동기를 장착하여 인버터 제어를 하였다. 브라인과 TEG용액의 유량은 마그네틱 유량계(Bailey Fischer, Porter Tmax:

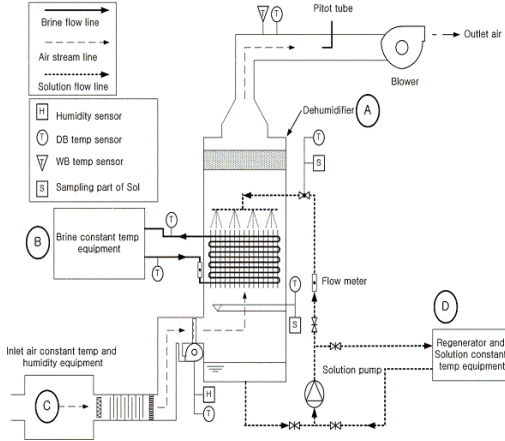


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental dehumidifier

130℃, Qmax: 200LPM)를 사용하여 측정하였다. 공기입구덕트 및 출구덕트에는 온습도 센서를 장착하였고 브라인과 TEG용액 입출구 배관에 온도센서를 설치하여 공기의 온습도와 브라인 및 TEG용액의 온도를 측정하였다. 공기입구 덕트와 출구덕트에는 온습도 센서 이외에 온도 센서를 하나씩 더 설치하여 인버터 제어값으로 이용함과 동시에 온습도센서와의 측정값 오차 비교에 이용하였다. TEG용액의 농도변화를 체크하기 위해 TEG용액 입출구에서 용액을 추출하여 굴절계 (Atago RX-5000)로 공기와 접촉하기 전 농도와 접촉 후의 농도를 측정하였다. 굴절계의 측정범위는 0.00 - 95.00%이며 정밀도는 0.01%이다. 이러한 모든 센서의 측정 데이터는 컴퓨터와 연결하여 실시간 데이터 확인이 용이하고 원하는 시간에 데이터를 취득할 수 있는 데이터 취득용 프로그램 Darwin Enhanced Logger for Windows를 사용하였다. Table 1은 제습부 열교환기의 사양을 나타낸 것이다.

3.2 실험조건

제습 실험시 작동인자들의 정격조건 및 실험조건을 Table 2에 나타내었다. TEG용액 유량은 5 LPM 간격으로 변화시켰고 공기유량은 디지털 인버터값을 10Hz씩 (1290 kg/h ~ 2050 kg/h) 증가시켰다. 그리고 TEG용액 농도는 5%, 브라인온도는 5℃씩 증가시키며 실험하였다. 작동인자들의

Table 1 Dimensions of the finned-tube heat exchanger

Variable	Absorber	
	1H	2H
Face area (mm)	1H	520×610
	2H	
Height (mm)	1H	340
	2H	450
Number of rows	1H	10
	2H	14
Number of tubes per row	1H	16
	2H	
Tube length (mm)	1H	520
	2H	
Pipe diameter (inch)	1H	5/8"
	2H	
Number of fins per inch	1H	19
	2H	

Table 2 Parameter of experimental condition

Parameter	Experimental range		Normal condition	
	1H	2H	1H	2H
Inlet air conditions [℃, %]	1H	31.1	1H	31.1
	2H	RH65	2H	RH65
Solution temperature [℃]	1H	15	1H	15
	2H		2H	
Brine flow rate [LPM]	1H	42	1H	42
	2H		2H	
Solution flow rate [LPM]	1H	20~50	1H	30
	2H	20~50	2H	40
Air flow rate [CMH]	1H	1050~	1H	1550
	2H	1700	2H	
Solution concentration [%]	1H	75~95	1H	85
	2H		2H	
Brine temperature	1H	0~25	1H	5
	2H		2H	

실험조건 오차범위는 ±5% 내외였으며 Normal Condition값은 작동인자 중 한 가지를 변화시킬 때 다른 작동인자들의 실험조건을 나타낸다.

4. 실험결과

4.1 실험결과에 사용된 계산식

$$D = Q \cdot (X_i - X_o) \quad (1)$$

$$H_S = C_p \cdot Q \cdot (T_i - T_o) \quad (2)$$

$$H_L = h_{fg} \cdot Q \cdot (X_i - X_o) \quad (3)$$

$$H_T = H_S + H_L \quad (4)$$

제습부 열교환기의 높이에 따른 실험을 통하여 얻어진 결과 값은 식 (1)에 주어진 제습량과 식 (2)~ (4)에 주어진 입출구 공기 변화에 의해 발생한 현열 및 잠열 그리고 이를 더한 전열량으로 나타내었다.

#### 4.2 실험결과

실험 결과값을 정리하여 Fig.3(a)에서 Fig.6(b)에 나타내었다. Fig.3(a)와 Fig.3(b)는 제습부 열교환기와 접촉하는 용액유량변화에 따른 실험 결과를 나타낸다. 1H의 경우 30LPM에서 제습량이 21.9kg/h로 가장 많았고 Fig.3(b)와 같이 30LPM보다 많은 용액유량에서는 현열량의 감소와 더불어 잠열량이 감소하면서 제습량이 감소하였다. 2H의 경우 40LPM에서 21.5kg/h로 가장 많은 제습이 일어났으며 그 이상에서는 제습량이 감소하였다. 이것은 1H의 경우 30LPM 이상, 2H의 경우 40LPM 이상에서 오히려 효율이 떨어지는 것을 의미한다. 즉, 각 열교환기의 최적유량이 30LPM 과 40LPM 인 것이다. 여기서 알 수 있는 것은 열교환기 1H와 2H에 대한 최적유량 확인을 통해 실제 시스템을 설계할 때 적정 용액유량 선정에 적용이 가능하다는 것이다.

입구 공기유량 변화에 따른 실험 결과를 Fig.4(a)와 Fig.4(b)에 나타내었다. 1H와 2H 열교환기 모두 공기유량이 늘어날수록 습공기중의 수분량이 늘어나게 되어 흡수하는 제습량이 늘어나는 것을 Fig.4(a)에서 볼 수 있으며 Fig.4(b)에서 2H의 경우 1H보다 전열량이 높게 나타났다. 그렇지만 무한히 많은 양의 공기와 접촉한다고 하여 늘어난 수분을 모두 흡수하지는 못한다. 캐리오버(carry over)나 출구공기의 현열 냉각량을 다른 작동인자들과 함께 고려하여 공기유량을 선정해야 함을 유념해야 한다. 1H의 경우 공기 풍량이 1500CMH에서 1700CMH로 증가할 때 현열량 및 전열량 증가폭이 거의 없어진다. 이것은 다른 작동인자들이 동일할 경우 1H 열교환기의 적정 공기유량은 1700CMH

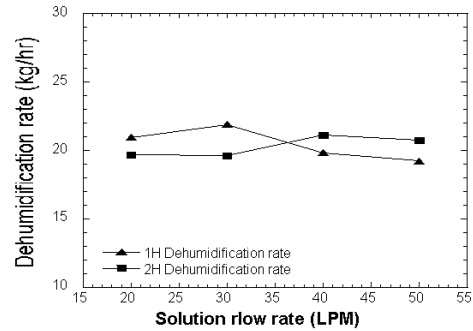


Fig. 3(a) Dehumidification rate versus inlet solution flow rate of 1H and 2H

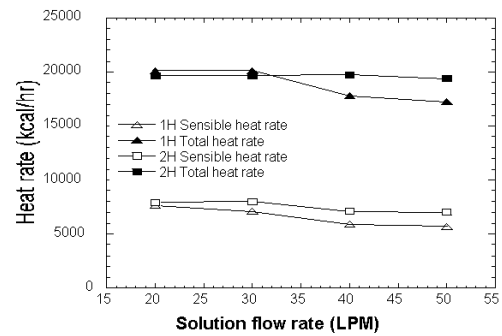


Fig. 3(b) Sensible heat rate and total heat rate versus inlet solution flow rate of 1H and 2H

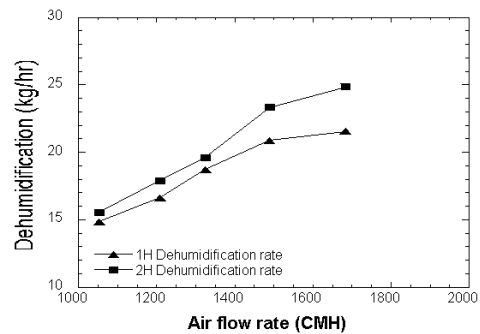


Fig. 4(a) Dehumidification rate versus inlet air flow rate of 1H and 2H

이하가 적당하다는 것을 나타낸다.

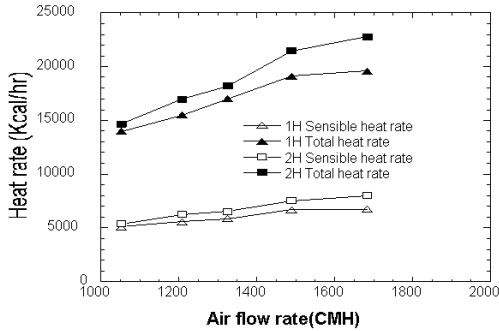


Fig. 4(b) Sensible heat rate and total heat rate versus inlet air flow rate of 1H and 2H

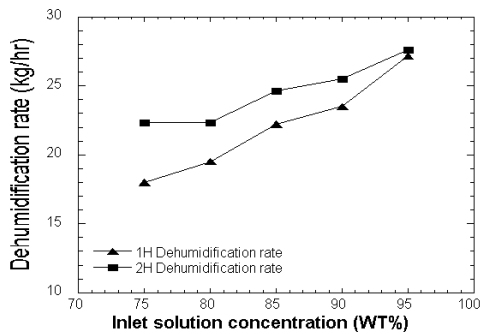


Fig. 5(a) Dehumidification rate versus inlet solution concentration of 1H and 2H

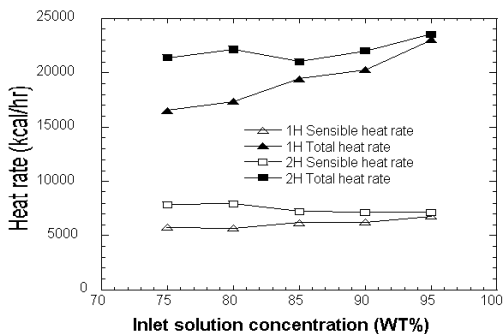


Fig. 5(b) Sensible heat rate and Total heat rate versus inlet solution concentration of 1H and 2H

실제 시스템에 적용시 다른 작동인자들을 고려하여 현재 실험 조건을 만족할 경우 공기유량 선정에 이용할 수 있다.

공기와 접촉하는 용액농도 변화에 따른 실험결과 용액농도가 높을수록 제습량이 늘어난다는 것을 Fig.5(a)와 Fig.5(b)에 나타내었다. 농도가 높을수록 TEG의 물리적 특성에 의해 용액 증기압이 낮아져 공기 중에 포함된 수분이 쉽게 용액으로 전달되어 제습량이 증가한다는 것을 확인한 것이다. 2H가 1H에 비해 많은 제습량을 나타내었는데 이는 2H 열교환기가 TEG의 온도를 1H보다 더 내려 주었기 때문이다. 95% 이하에서는 2H가 1H에 비해 전열량이 높았으며 95%에서는 거의 같은 제습량과 전열량을 나타내었다. Fig.5(b)에서와 같이 농도가 높아질수록 현열량은 거의 일정하게 유지 되면서 제습에 사용되는 잠열량이 늘어남에 따라 전열량은 증가하게 된다. 제습과 냉방만을 고려했을 경우 농도가 높을수록 복합식공조기의 성능계수는 높아지겠지만 제습에 사용된 용액의 재생과정을 고려해야 하므로 TEG용액의 재생특성을 고려하여 TEG 농도를 결정해야 한다.

Fig.6(a)와 Fig.6(b)는 열교환기 내를 흐르는 브라인온도변화에 따른 실험 결과를 나타낸 것이다. 브라인온도가 감소함에 따라 열교환기 핀표면의 온도를 낮추어 결국 용액의 온도를 낮추어 주므로 용액의 물리적 특성에 따라 용액표면 증기압이 낮아지게 되고 따라서 습공기와의 증기압차가 커져 공기중의 수분을 더욱 많이 흡수하게 되며, 결국 제습량이 증가하는 것을 알 수 있었다. 같은 브라인온도에서 1H보다 용량이 큰 2H에서 제습량이 더 많았으며 Fig.6(b)와 같이 브라인온도가 상승할수록 전열량이 감소하게 되는데 상대적으로 2H의 전열량이 더 많음을 알 수 있다. 따라서 제습냉방시 1H가 2H보다 출구공기 온도가 더욱 상승하게 되어 효율이 떨어지는 것이다. 여기서 알 수 있는 것은 1H와2H 열교환기 모두 전열량 감소폭은 거의 같지만 열량 감소폭이 비교적 적은 브라인온도에서 제습량 및 전열량이 늘어남을 알 수 있다.

### 5. 결론

제습시스템에 영향을 주는 작동인자들 중 용액

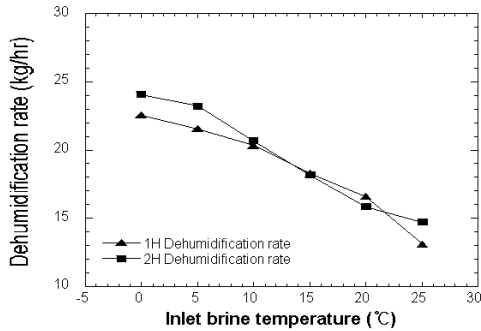


Fig. 6(a) Dehumidification rate versus inlet brine temperature of 1H and 2H

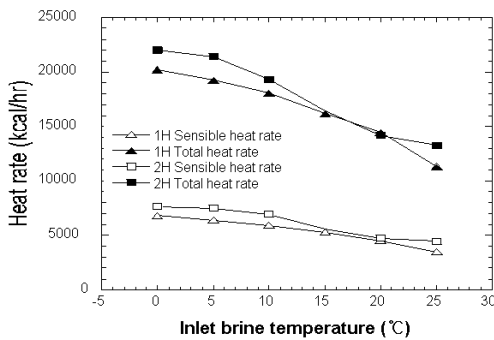


Fig. 6(b) Sensible heat rate and total heat rate versus inlet brine temperature of 1H and 2H

유량, 공기유량, 용액농도 및 브라인온도변화에 따른제습량과 그때의 현열량, 잠열량, 전열량변화를 살펴보고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 용액유량을 변화시키며 실험한 결과 1H와 2H 열교환기의 적정유량은 30LPM과 40LPM 이었으며 열교환기 용량별 유량선정시 활용할 수 있다.

(2) 공기유량이 증가할수록 1H와 2H모두 제습량 및 전열량이 증가하였고 다른 작동인자들을 만족할 때 1H의 적정 공기유량은 1800CMH 이가가 적당하였다.

(3) 용액농도 95%에서는 1H와 2H 모두 거의 같은 제습량과 전열량을 보였으나 용액농도가 높을수록 1H와 2H모두 제습량 및 전열량이 증가함을 확인하였다. 실제시스템에 적용시 재생실험을 통

해 제습과 재생특성을 모두 고려하여 농도 선정이 이루어져야 할 것이다.

(4) 브라인 온도가 증가할수록 제습량 및 전열량이 감소하였으며 5°C이하에서 효율이 가장 좋았다. 브라인온도 15°C 이상에서는 1H와 2H의 제습량과 전열량이 거의 같아진다.

이와 같은 연구결과는 열교환기 용량에 따른 효율로서 어느 정도 예상이 가능한 결과이다. 하지만 실제 복합식 공조기 설계시에 용액유량이나 열교환기 선정 등에 적용하기 위하여 여러 가지 실험 결과가 필요하다. 실제 시스템에 적용할 수 있도록 향후 이번 실험과 같이 전면적은 같고 높이가 다른 열교환기에 대한 실험과 전면적은 다르면서 용량은 유지하되 높이가 다른 열교환기등을 실험하여 각각의 용량에 따른 높이에 대해 적정 유량을 산출할 수 있도록 실험할 예정이다.

### 후 기

본 연구는 산업자원부 산하 에너지관리공단의 지원 연구 프로젝트의 일부임을 밝히며, 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

- (1) Choi, K, H., 1998, "Application for air conditioning of cooling system using desiccant", SAREK Paper Vol. 27, No. 6, pp.513~522.
- (2) Moon, I, H., 1998, "Basic concept and present condition of domestic market for dehumidifiers", SAREK Paper Vol. 27, No. 6, pp.523~532
- (3) Park, M, S., 1998, "R&D Trend in desiccant based dehumidification and hybrid cooling system", SAREK paper Vol. 27, No. 6, pp.533~540.
- (4) P. E. Mechler, 1986, "Solar cooling system reduces summer utility demand and HVAC system life cycle in commercial and institutional buildings", Intersociety Energy Convert, San Diego Proc. 21st.
- (5) Jang, J, O., 2003, "Study on the Effect of performance Factors on the Finned Tube Type Regenerator for Liquid Desiccant Dehumidification", KSME paper Vol. 27, No. 7, pp.845~852.
- (6) Union Carbide Corp, 1989, Triethylene Glycol, New York.
- (7) Lee, P, G., 1993, Industrial instrumentation, Yean Hak Sa, pp.82~84.