



수용액 원심분사 기술이 적용된 액체식 제습 시스템의 제습 및 에너지 성능에 대한 실험적 연구

Experimental Analysis of Dehumidification and Energy Performance of a Centrifugal Atomization-Based Liquid Desiccant Dehumidification System

이수진(Soo-Jin Lee)¹, 이재희(Jae-Hee Lee)¹, 정재원(Jae-Weon Jeong)^{2†}

¹한양대학교 건축공학과 박사과정, ²한양대학교 건축공학부 교수

¹Ph.D. Student, Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 04763, Korea

²Professor, Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 04763, Korea

(Received November 14, 2022; revision received December 12, 2022; Accepted: December 13, 2022)

Abstract The main objective of this study was to analyze the dehumidification performance of a centrifugal atomization-based liquid desiccant (LD) dehumidification system and compare energy performance. Dehumidification rate and effectiveness were evaluated to determine dehumidification performance. A parametric study was performed experimentally according to five variables: air temperature, air humidity ratio, solution temperature, solution concentration, and liquid-to-gas ratio. Cooling load was also compared with a packed-bed-based LD dehumidification system via experiment results and simulations. Results indicated that the dehumidification performance was improved at low solution temperature and high solution concentration. The dehumidification rate was also higher in hot and humid air than in a mild air condition. As liquid-to-gas ratio increased, dehumidification effectiveness also increased while dehumidification rate decreased. Finally, the proposed centrifugal atomization-based LD system could achieve the same dehumidification performance at a lower liquid-to-gas ratio than packed-bed-based LD system while saving 72% system cooling load.

Key words absorber(제습부), centrifugal atomization(원심식 분사), cooling load(냉각부하), dehumidification performance(제습 성능), Liquid desiccant(액체식 제습)

† Corresponding author, E-mail: jjwarc@hanyang.ac.kr

기호설명

b_x : 고정오차

$b_{x,i}$: 각 변수에 대한 고정오차

b_y : 오차 전파

\dot{m}_a : 공기 풍량 [kg/s]

\dot{m}_{deh} : 제습량 [kg/s]

$w_{a,in}$: 유입부 공기 절대습도 [kg/kg]

$w_{a,out}$: 토출부 공기 절대습도 [kg/kg]

w_{eq} : 수용액 평형 절대습도 [kg/kg]

$L/Gratio$: 수용액과 공기의 유량비(액기비) [-]

N : 측정 데이터 개수 [-]

S_r : 표준편차

S_y : 우연오차

$T_{a,in}$: 유입부 공기 온도 [°C]

$T_{s,in}$: 유입부 수용액 온도 [°C]

U_y : 전체 불확실도

\dot{V}_a : 공기 풍속 [m/s]

$X_{s,in}$: 유입부 수용액 농도 [-]

ϵ_{deh} : 제습 효율 [-]

1. 서 론

미국 에너지성(Department of Energy, DOE)에 따르면 액체식 제습(Liquid Desiccant, LD) 기술은 비증기 압축식 냉동(Non-vapor compression) 시스템 중 하나로 에너지 절약적인 차세대 공조 기술로 주목받고 있다.⁽¹⁾ 특히 증기 압축식 냉동사이클을 이용한 제습 방식은 공기를 노점 온도 이하까지 냉각시켜 응축 제습을 하는데 비해 LD 기술은 수증기 분압이 낮은 제습 용액을 사용하여 공기와 물질 전달을 통해 제습하는 방식이기 때문에 기존의 응축 제습 방식 대비 적은 에너지로도 제습 성능 달성이 가능하다.⁽²⁾

LD 기술은 수용액과 공기 사이의 분압 차를 구동력으로 하므로 수용액의 평형 절대습도를 낮게 유지할수록 제습 성능이 좋아진다. 특히 수용액의 온도가 낮을수록, 농도가 높을수록 평형 절대습도가 낮아지며 이에 따른 성능 향상은 선행 연구들에서 실험적으로 검증되었다.⁽³⁾ 또한 수용액과 공기 유량비인 액기비, 공기 온도 및 습도, 공기 풍량, 수용액 유량 등 다양한 운전 변수가 LD 시스템 성능에 미치는 영향 역시 분석되었다. Chung⁽⁴⁾는 변수별 제습 성능 변화를 직접 실험으로 확인하고 해당 결과를 이용하여 제습 효율 예측 모델을 제안하였으며, Martin and Goswami⁽⁵⁾는 동일한 방법론을 통해 용액 재생을 위한 운전 범위에서 재생 효율 모델을 제시하였다.

이러한 선행 연구들을 통해 LD 시스템에서 두 유체 사이의 수증기 분압 차 형성을 위해 제습부는 낮은 온도, 재생부는 높은 온도의 수용액이 요구됨에 따라 LD 시스템에 소비되는 에너지 분석에 관한 다양한 연구들이 수행되었다. Gómez-Castro et al.⁽⁶⁾은 재생부 수용액 가열을 위해 태양열 시스템을 적용한 다양한 시뮬레이션 및 실험 논문들을 정리하였다. 제습부에는 냉각탑을 적용하여 증발냉각의 원리를 통해 수용액 냉각을 위한 냉동기 에너지를 절감한 연구도 실험적으로 수행되었다.⁽⁷⁾ Abdel-Salam and Simonson⁽⁸⁾은 냉각 및 가열 열원이 동시에 필요한 LD 시스템 특성을 고려하여 수용액 냉각 및 가열을 동시에 담당할 수 있는 히트펌프를 결합하였으며, 에너지 소비량과 히트펌프, LD 시스템의 균형을 목적함수로 한 최적 용량을 설계하기도 하였다. 유사한 개념으로 열전소자의 펠티에(Peltier) 효과를 이용하여 LD 시스템에 열전소자를 적용하여 수용액 냉각과 가열을 동시에 적용하기도 하였으며 이를 통해 2%의 에너지 절감이 가능함을 보였다.⁽⁹⁾ 그러나 LD 시스템 에너지 소비량을 절감하기 위한 다양한 연구들이 수행되었음에도, 해당 방식들은 대부분 성능 계수(Coefficient of performance, COP)가 높은 고효율 열원 장치를 결합하거나 신재생 에너지와의 결합을 통해 소비 에너지를 절감하는 방식으로, LD 시스템에서 요구되는 수용액 냉각 및 가열 부하 자체를 줄이는 연구는 미흡한 실정이다.

LD 시스템의 부하 자체를 줄이기 위해서는 수용액 유량을 줄이는 방법이 있지만, 해당 방식은 공기와 수용액이 접촉할 수 있는 충전재를 충분히 적시기 어려워 목표 제습 성능을 달성하기 어렵다는 한계로 인해 유량을 감소하여 에너지를 절감하는 방법은 LD 시스템에서 제한적이다. 수용액을 미세한 입자로 분사하는 경우 유량을 줄이면서도 제습 성능을 유지할 수 있다는 시뮬레이션 연구가 수행된 바 있지만⁽¹⁰⁾ 다양한 변수에 따른 제습 성능 분석이 부족하고 실험을 통해 검증하지 못하였다. 따라서, 본 연구에서는 수용액 원심분사를 통한 다양한 변수별 제습 성능을 실험적으로 파악하고 해당 결과를 바탕으로 여제가 적용된 LD 제습부 대비 수용액 냉각부하 절감 가능성에 대해 분석하고자 한다.

2. 시스템 개요

2.1 액체식 제습 시스템

일반적인 액체식 제습 시스템은 Fig. 1(a)와 같이 제습부, 재생부, 열원부로 구성되어있다. 낮은 수증기 분압을 갖는 제습 수용액은 제습부에서 덥고 습한 공기로부터 수분을 받아 농도가 묽어진다. 묽어진 수용액은 재생부로 보내지며, 수용액에 포함된 수분을 공기 중으로 방출한다. 제습 수용액은 재생 과정을 통해 제습에 충분한 농도로 회복되며 다시 제습부로 보내진다. 적절한 제습 및 재생 성능을 위해 공기와 수용액 사이의 수증기 분압 차를 적절히 조성하는 것이 중요하며, 수용액의 온도 조절을 통해 수용액 내 수증기 분압을 조절한다. 따라서 수용액은 제습부와 재생부로 유입되기 전 각각 냉각 및 가열되며, 이에 필요한 에너지를 최소화하기 위해 제습부와 재생부를 통과한 수용액 사이에 열교환기가 위치하고 있다. 이와

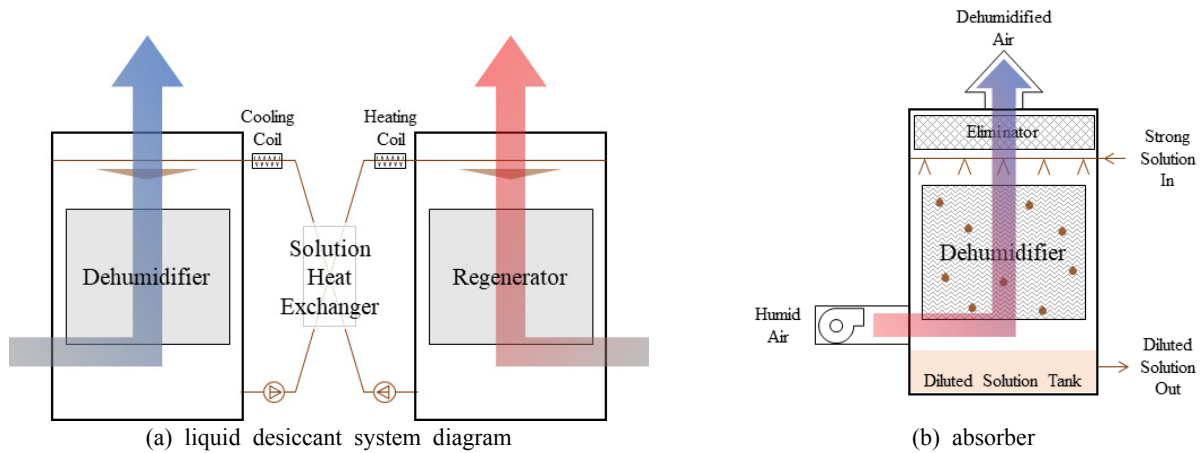


Fig. 1 Liquid desiccant system.

같이 액체식 제습 시스템은 제습과 재생을 반복하는 수용액 순환 사이클 운전으로 이루어진 열 구동 기반의 시스템이다.

액체식 제습 시스템의 성능은 수용액과 공기의 접촉 면적에 영향을 받기 때문에 Fig. 1(b)와 같이 제습/재생부에 종이 재질의 충전재가 있는 충전탑형으로 제안되어왔다. 충전재에 수용액이 분사되면 공기가 수용액으로 인해 적셔진 충전재를 통과하며 공기와 수용액이 접촉하는 방식이다. 충전재는 종이 재질의 삼각형 적층 구조로 이루어져 있어 좁은 부피 대비 넓은 표면적을 확보할 수 있고, 이에 따라 제습/재생에 충분한 접촉 면적 확보가 용이하다.

2.2 제습부 해석 모델

일반적인 액체식 제습 시스템의 제습/재생 성능은 공기와 수용액 사이의 열과 물질 전달 해석으로 계산될 수 있다. 그러나 수치해석을 통한 열 및 물질 전달 해석은 매우 복잡하므로 많은 선행 연구들에서 식(1)과 같이 제습 효율을 정의하여 실험을 통한 제습 효율 예측 모델을 제안하였다. 제습 성능은 유입 공기의 온도와 습도, 수용액 온도 및 농도, 액기비 등에 따라 변화하기 때문에 선행 연구에서 제안된 제습 효율 예측 모델은 식(2)와 같이 공기의 온습도, 수용액의 온도 및 농도, 액기비 등의 함수로 정의되었다.^(4,5)

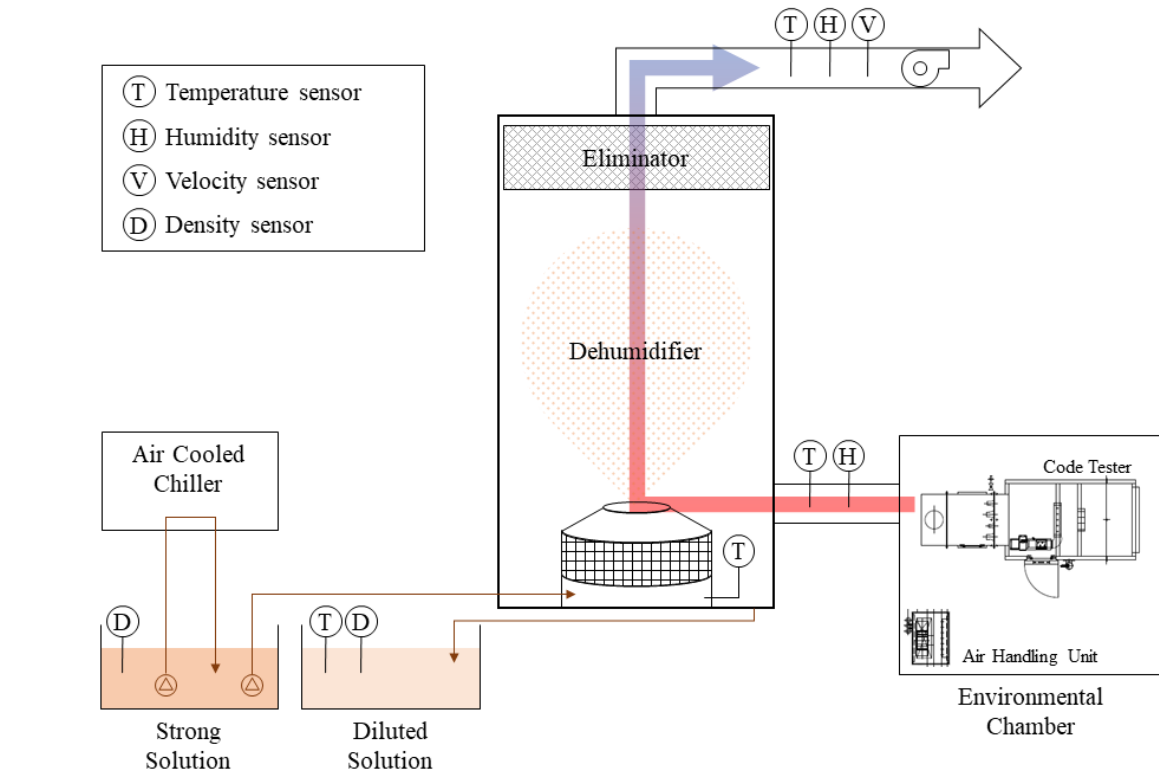
$$\varepsilon_{deh} = \frac{w_{a,in} - w_{a,out}}{w_{a,in} - w_{eq}} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{deh} = f(T_{a,in}, \omega_{a,in}, T_{s,in}, X_{s,in}, L/Gratio, \dot{V}_a) \quad (2)$$

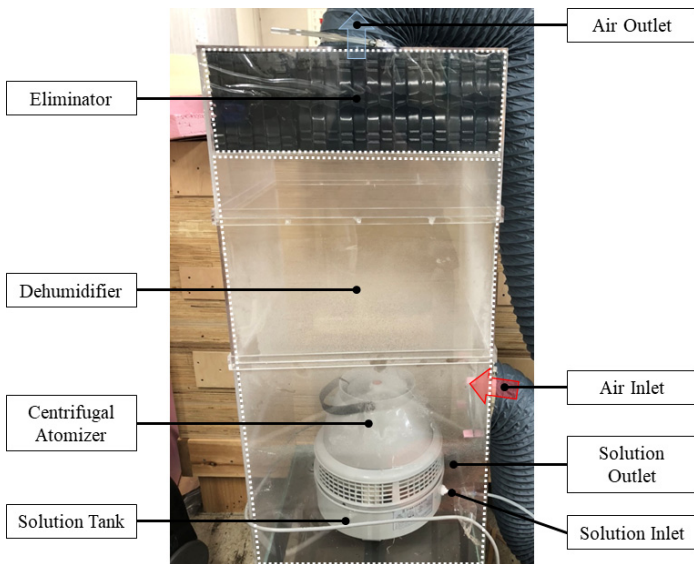
3. 실험 개요

3.1 실험 장비

본 연구에서 실험에 사용된 장비는 Fig. 2와 같다. 공기는 외기 모사 챔버에 의해 실험 조건에 맞게 조성된 후 덕트를 통해 제습부 내부로 유입된다. 이후, 제습부 내부에서 원심식 분무기에 의해 미세하게 분사된 제습 수용액과 접촉하며 제습되고, 비산 방지를 위한 엘리메이터를 통과하여 제습부 외부로 토출된다. 수용액은 냉각기를 통해 목표 온도까지 냉각되어 제습부 내부에 위치한 원심식 분무기 수조로 유입된다. 수조로 유입된 수용액은 원심식 분무기에 의해 미세한 입자로 분사되며, 제습 과정 이후 중력에 의해 제습부 바닥에서 모여 배수관을 통해 배수된다.



(a) Sensor locations and equipment arrangements



(b) Counter-flow type absorber



(c) Environmental chamber

Fig. 2 Experimental setup.

Fig. 2(a)는 실험 장비 배치 및 센서 위치를 나타낸다. 제습 성능을 평가하고, 기존의 충전탑형 액체식 제습 시스템과 부하 비교를 위해 제습부 유입 및 토출 공기의 온습도 및 풍량, 수용액의 온도와 밀도를 측정하였으며 사용된 센서는 Table 1과 같다. Fig. 2(b)는 실험에 사용된 제습부, Fig. 2(c)는 외기 모사 챔버이다.

Table 1 Sensor specification

	Parameter	Type	Range	Accuracy
Air	temperature [°C]	NTC	-20 to 55	±0.4
	humidity [%]	NTC	0 to 100	±2.0
	flow rate [m/s]	Vane probe	0.1 to 15	±0.1 (±1.5% of mv)
Solution	temperature [°C]	Pt100	-50 to 250	±0.5
	density [g/cm ³]	digital density meter	0 to 3	±0.001

Table 2 Experimental condition

	Parameter	Minimum	Maximum	Level
Air	inlet temperature [°C]	20	34	2
	inlet humidity ratio [kg/kg]	0.010	0.025	2
	flow rate [m ³ /h] (L/G ratio [-])	45 (0.003)	400 (0.02)	5
Solution	inlet temperature [°C]	20	28	2
	inlet concentration [%]	20	38	2

3.2 실험 조건 및 성능 평가 지표

수용액 원심분사 기술이 적용된 제습부 성능 평가를 위한 실험 조건은 Table 2와 같다. 유입 공기와 온도는 TMY2 서울 외기 데이터 중 제습이 필요한 여름철 기간에 가장 높은 온습도(34°C, 0.025 kg/kg)와 낮은 온습도(20°C, 0.010 kg/kg)를 갖는 조건으로 설정하였다. 제습 수용액은 제습 성능을 보일 수 있는 평형 절대습도를 갖는 조건으로 설정하였으며, 이때의 온도 및 농도는 선행 문헌을 참고하였다.⁽³⁾ 특히 수용액 온도는 20°C와 28°C, 농도는 20%와 38%로 각각 두 조건을 선정하여 수용액 온도 및 농도에 따른 제습 성능 변화를 분석하고자 하였다. 마지막으로, 수용액의 유량은 원심식 분무기 성능에 따라 1L/hr 로 공급되었으며, 공기 풍량을 5단계로 조절하여 약 0.003부터 0.02까지 다양한 액기비에서 제습 성능을 분석하고자 하였다. 이때의 공기 풍량은 비산 방지를 위해 면풍속 2.5 m/s 이하가 되도록 설정하였다. 실험은 유입 공기 2 case, 공기 풍량(액기비) 5 case, 수용액 온도 및 농도 각 2 case 씩 총 40 case로 계획되었으며 제습부 토출 공기가 일정한 결과를 보일 수 있도록 한 실험 조건 당 10분 이상 지속하였다. 제습 성능이 안정적으로 유지된 상태의 데이터를 분석하였고, 모든 데이터는 데이터 로거 성능에 따라 1초 간격으로 측정되었다.

각 실험 조건에 따른 제습 성능은 식(3)을 통해 평가되었다. 식(3)을 제습량을 나타내며, 제습부 유입 및 토출 공기의 절대습도와 공기 풍량을 통해 계산할 수 있다. 또한, 앞서 식(1)에서 정의된 제습 효율 역시 기존 충전탑형 액체식 제습 시스템과 성능 비교를 위한 지표로 사용되었다.

$$\dot{m}_{deh} = \dot{m}_a \times (w_{a,in} - w_{a,out}) \tag{3}$$

4. 실험 결과

4.1 불확실도 분석

실험체의 각 지점에서 측정된 온도 및 습도, 밀도 값을 통해 본 연구에서 제안된 미세분사형 액체식 제습 시스템의 성능, 즉, 제습 효율과 제습량을 도출할 때 계산된 값에 대한 신뢰성을 설명하기 위해 불확실도 분석을 수행하였다. 따라서 측정 장비의 정확도에 의한 오차, 측정된 값으로 특정 변수 값을 계산할 때 발생하는 오차 전파, 여러 번 측정하며 발생하는 표준편차 등을 통해 각 측정 지점들과 계산된 결과 값에

대한 불확실도를 계산하였다.

본 연구에서는 불확실도 분석을 위해 ASHRAE 기준⁽¹¹⁾을 사용하였으며, 전체 불확실도(U_y)는 식(4)에서 정의된 바와 같이 전파법칙에 의한 오차 전파(b_y)와 우연오차(S_y)를 통해 계산될 수 있다. 각 변수에 대한 고정 오차(b_{x_i})를 이용하여 오차 전파를 계산하였으며, 이는 측정된 값의 센서 정확도와 표준편차를 통해 계산할 수 있다(식(5)). 우연오차는 식(6)과 같이 측정값의 표준편차(S_r)와 데이터 개수를 통해 계산하였다.

계산된 전체 불확실도는 Table 3과 같으며, 공기 온도는 약 0.49와 0.62, 상대습도는 1.70의 값으로 측정된 센서의 고정 오차인 0.4, 2.0과 유사한 값을 보이므로 계산에 의한 오차 전파 영향이 크지 않다고 볼 수 있다. 수용액 역시 약 0.69, 0.48의 불확실도로 센서 고정 오차인 0.5와 유사하며, 계산된 제습 효율 및 제습량의 불확실도는 각각 0.069와 0.051로 계산 결과에 대한 신뢰성을 보인다고 평가할 수 있다.

$$U_y = \sqrt{b_y^2 + S_y^2} \tag{4}$$

$$b_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{dy}{dx_i} \times b_{x_i}\right)^2} \tag{5}$$

$$S_y = \frac{2S_r}{\sqrt{N}} \tag{6}$$

Table 3 Overall uncertainty

Parameter		U_y	Parameter		U_y
Air	inlet temperature [°C]	0.62	Solution	inlet temperature [°C]	0.69
	inlet relative humidity [%]	1.70		outlet temperature [°C]	0.48
	outlet temperature [°C]	0.49	Results	dehumidification effectiveness [-]	0.069
	outlet relative humidity [%]	1.70		dehumidification rate [g/s]	0.051

4.2 변수별 제습 성능

변수별 제습 성능을 파악하기 위해 유입 수용액 온도 및 농도, 유입 공기의 온도 및 습도, 액기비를 다르게 하여 제습량과 제습 효율을 분석하였다. 유입 수용액 온도 및 농도에 따른 제습량과 제습 효율은 Fig. 3에 나타난 바와 같다. 수용액 온도와 농도의 영향만을 파악하기 위해 유입 공기의 온도 및 습도, 액기비는 34°C, 0.025 kg/kg, 0.01로 고정하였다. Fig. 3(a)는 유입 수용액 온도에 따른 결과를 의미하며 이때의 수용액 농도는

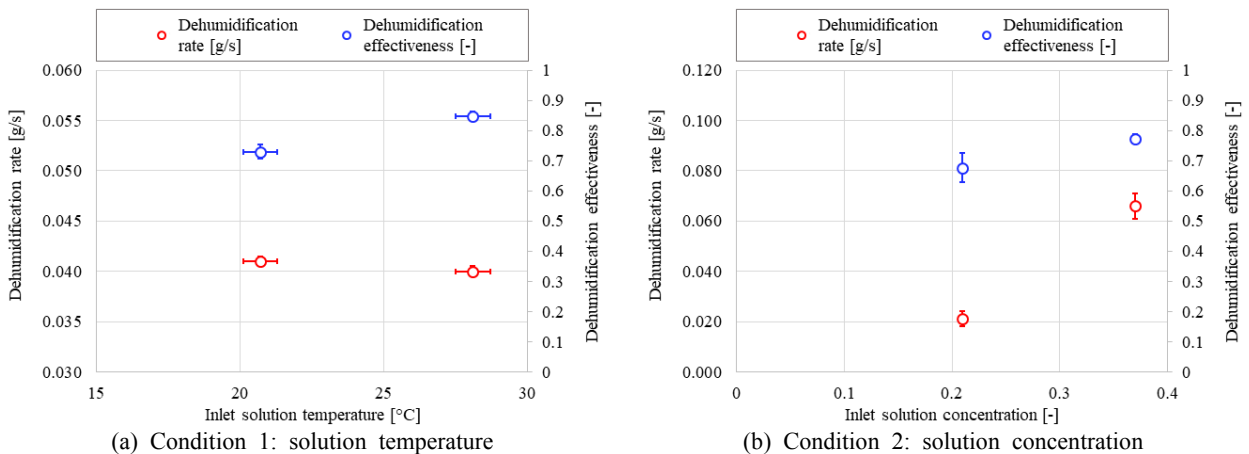


Fig. 3 Effects of inlet solution conditions on the dehumidification performance.

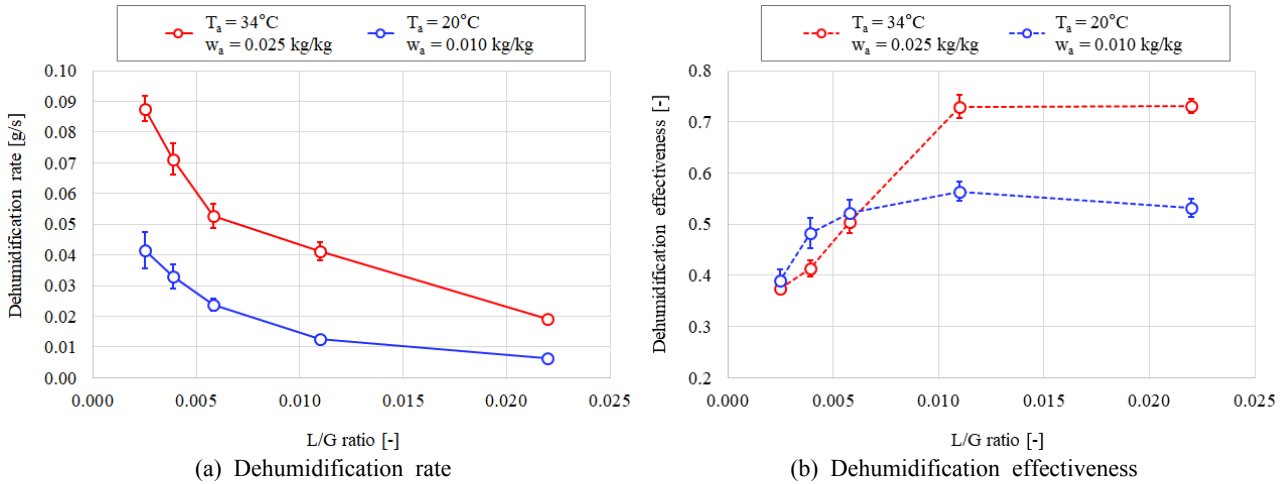


Fig. 4 Effects of inlet air conditions and liquid-to-gas ratio on the dehumidification performance.

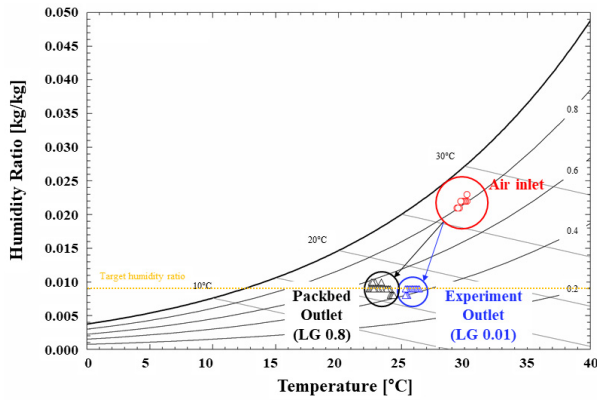
38%이다. Fig. 3(b)는 유입 수용액 농도에 따른 결과이며 수용액 온도는 28°C로 고정하였다. 일반적인 증진탑형 액체식 제습 시스템과 유사하게 수용액 온도가 높을수록 평형 절대습도가 높아짐에 따라 공기와의 수증기 분압 차가 줄어들기 때문에 제습량은 더 적어진다. 반대로, 평형 절대습도가 높아졌기 때문에 제습 효율은 높아지는 경향을 보였다(Fig. 3(a)). 특히 수용액 온도가 20°C에서 28°C로 상승할 때, 약 0.042 g/s에서 0.040 g/s으로 제습량이 감소하였으며, 제습 효율은 반대로 약 0.74에서 0.82까지 상승하였다.

또한, 수용액 농도가 높을수록 공기와의 수증기 분압 차가 커지므로 제습량이 많아짐을 Fig. 3(b)에서 볼 수 있다. 특히 21% 농도에서는 약 0.021 g/s의 제습량을 보였지만, 37%의 농도에서는 약 0.066 g/s의 제습량을 보였다. 수용액 농도가 높을 경우, 수용액의 평형 절대습도가 낮아 제습 효율이 낮을 수 있지만, 시스템의 크기나 실험 조건에 따라 높아질 수도 있다.⁽⁵⁾ 본 연구에서는 Fig. 3(b)에 나타난 바와 같이 높은 수용액 농도에서 제습량이 훨씬 많아져 제습 효율 역시 농도가 높을 때 약 0.68에서 0.77로 상승하였다. 전반적으로 고온다습한 외기 조건임에도 제습 효율 약 0.7~0.8 사이를 유지하였으며, 증진탑형 액체식 제습 시스템의 수용액 유량 대비 더 적은 유량으로 비슷한 제습 효율을 나타낼 수 있음을 확인하였다.

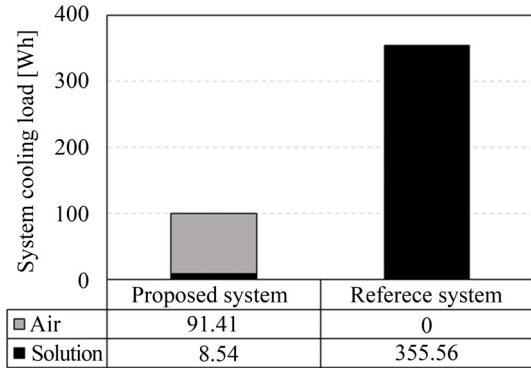
Fig. 4는 유입 공기 상태와 액기비에 따른 제습 성능을 나타낸다. 액기비는 수용액 유량 1 L/hr로 고정된 상태에서 풍량을 통해 조절하였으며, 수용액 온도 20°C, 농도 38%로 유지된 상태에서 얻어진 결과이다. 고온다습한 공기 조건에서 다소 낮은 온도와 습도 대비 더 많은 제습량을 보이며, 공기 조건이 다르더라도 액기비가 커질수록 제습량은 감소하는 경향을 보였다. 이는 풍량을 감소시켜 액기비를 증가시키는 조건으로 실험을 진행하였기 때문에 공기 풍량을 곱하여 계산되는 제습량은 풍량이 줄어들었으므로 액기비가 커질수록 감소하는 것으로 파악된다. 반대로, 풍량이 줄어들었기 때문에 제습부 토출 공기 절대습도는 낮아지며, 이에 따라 제습 효율은 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4(b)). Fig. 3과 Fig. 4와 같이 수용액 원심분사를 통한 액체식 제습 시스템은 수용액과 공기의 수증기 분압 차를 통한 제습이라는 측면에서 증진탑형 액체식 제습 시스템과 동일한 제습 메커니즘을 가지고 있기 때문에 수용액 분사 방식이 다르더라도 변수별 제습 성능에 미치는 영향은 유사한 것으로 판단된다.

4.3 에너지 성능 분석

수용액 원심분사 기술이 적용된 액체식 제습 시스템의 제습 및 에너지 성능을 평가하기 위해 기존의 증진탑형 액체식 제습 시스템과 비교하였다. Fig. 5(a)는 제습부 유입 및 토출 공기의 상태를 습공기 선도 상에서 비교한 결과이다. 본 논문에서 제안된 수용액 원심분사 기술이 적용된 액체식 제습 시스템의 경우, 액기비 0.01만으로도 목표 절대습도인 0.010 kg/kg 이하로 제습이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 실험 결과와 동일 조건(i.e., 수용액 온도 20°C, 농도 38%, 공기의 온도 34°C, 습도 0.025 kg/kg, 풍량 100 m³)에서 증진탑형 액체식 제습 시스템은



(a) Air behavior in Psychrometric chart



(b) System cooling load

Fig. 5 Effectiveness and solution cooling load of each L/G ratio and droplet size.

0.010 kg/kg까지 제습하기 위해 약 0.8의 액기비로 운전하여야 한다.⁽⁴⁾ 제안된 시스템에서 공기를 추가로 냉각시키는 부하(91.41 Wh)를 고려하더라도 동일 제습 성능을 만족하기 위한 수용액 유량이 워낙 작아 제안된 시스템에서는 약 8.54 Wh의 수용액 냉각부하가 요구된다. 반면, 기존 시스템에서는 약 355.56 Wh의 수용액 냉각부하가 요구되어 제안된 시스템은 약 72% 냉각부하를 절감할 수 있다(Fig. 5(b)).

5. 결 론

본 연구에서는 수용액 원심분사 기술이 적용된 액체식 제습 시스템 제습부를 제작하고 실험을 통해 각 변수별 제습 성능을 분석하였다. 유입 공기 조건, 수용액 온도 및 농도, 액기비에 따른 제습량 및 제습 효율을 분석하였고 실험 결과를 바탕으로 충전재가 적용된 LD 제습부와 동일 제습량을 위해 요구되는 냉각부하를 비교하였다. 실험 결과, 수용액 온도가 높을수록 더 높은 평형 절대습도로 인해 제습량 자체는 감소하였지만, 효율은 증가하는 경향을 보였다. 수용액 농도는 높을수록 제습량과 제습 효율 모두 증가하였으며, 고온다습한 외기 조건임에도 불구하고 약 0.7~0.8의 제습 효율을 나타내었다. 다소 저온저습한 조건보다 고온다습한 조건에서 더 많은 제습량을 보였으며, 액기비가 증가함에 따라 제습량이 감소하였다. 반면, 액기비가 증가함에 따라 제습 효율은 증가하였다. 해당 결과를 바탕으로 동일한 공기 온도 및 습도, 풍량, 수용액 온도 및 농도에서 수용액 유량만 바뀌었을 때, 같은 제습량을 보이기 위해 충전탑형 LD 시스템 제습부는 액기비 0.8에 해당하는 수용액 유량이 요구된다. 따라서 원심분사 기술이 적용된 LD 시스템 제습부가 훨씬 적은 수용액 유량을 필요로 하기 때문에 약 72%의 냉각부하 절감이 가능하다. 본 연구는 수용액 원심분사 기술의 적용 가능성 및 에너지 절감 가능성을 평가하기 위해 다양한 변수에 의한 성능 분석을 실험적으로 수행한 기초연구이며, 해당 기술을 액체식 제습 시스템에 적용하기 위해서는 제습부 뿐만 아니라 재생부 적용 가능성도 고려한 보다 복합적인 분석이 필요하다.

후 기

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 녹색혁신기업 성장지원 프로그램 사업의 지원을 받아 수행된 연구 과제입니다(RE202103243).

References

1. Goetzler, W., Zogg, R., Young, J., and Johnson, C., 2014, Energy Savings Potential and RD&D Opportunities

- for non-vapor-compression HVAC Technologies, Inc. for the U.S Department of Energy(DOE).
2. Dai, Y. J., Wang, R. Z., Zhang, H. F., and Yu, J. D., 2001, Use of Liquid Desiccant Cooling to Improve the Performance of Vapor Compression Air Conditioning, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 21, No. 12, pp. 1185-1202.
 3. Conde, M. R., 2004, Properties of Aqueous Solutions of Lithium and Calcium Chlorides: Formulations for Use in Air Conditioning Equipment Design, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 43, No. 4, pp. 367-382.
 4. Chung, T. W., 1994, Predictions of Moisture Removal Efficiencies for Packed-bed Dehumidification Systems, *Gas Separation & Purification*, Vol. 8, No. 4, pp. 265-268.
 5. Martin, V. and Goswami, D. Y., 2000, Effectiveness of Heat and Mass Transfer Processes in a Packed Bed Liquid Desiccant Dehumidifier/Regenerator, *Hvac & R Research*, Vol. 6, No. 1, pp. 21-39.
 6. Gómez-Castro, F. M., Schneider, D., Päßler, T., and Eicker, U., 2018, Review of Indirect and Direct Solar Thermal Regeneration for Liquid Desiccant Systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 82, pp. 545-575.
 7. Gommed, K. and Grossman, G., 2007, Experimental Investigation of a Liquid Desiccant System for Solar Cooling and Dehumidification, *Solar Energy*, Vol. 81, No. 1, pp. 131-138.
 8. Abdel-Salam, A. H. and Simonson, C. J., 2014, Capacity Matching in Heat-pump Membrane Liquid Desiccant Air Conditioning Systems, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 48, pp. 166-177.
 9. Lim, H. and Jeong, J. W., 2018, Energy Saving Potential of Thermoelectric Modules Integrated Into Liquid Desiccant System for Solution Heating and Cooling, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 136, pp. 49-62.
 10. Lee, S. J. and Jeong, J. W., 2022, Dehumidification Performance of a Solution Atomization Based Liquid Desiccant Dehumidifier under Various Operating Conditions, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 2, pp. 83-90.
 11. ASHRAE Guideline 2-2010: Engineering Analysis of Experimental Data, 2010.