

미세분사형 액체식 제습 시스템의 제습부 운전 조건에 따른 제습 성능 비교

Dehumidification Performance of a Solution Atomization Based Liquid Desiccant Dehumidifier under Various Operating Conditions

| | |
|--------------------|---|
| 저자 (Authors) | 이수진, 정재원 Soo-Jin Lee, Jae-Weon Jeong |
| 출처 (Source) | 설비공학논문집 34(2) , 2022.2, 83-90 (8 pages) Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 34(2) , 2022.2, 83-90 (8 pages) |
| 발행처 (Publisher) | 대한설비공학회 The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea |
| URL | http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE11028316 |
| APA Style | 이수진, 정재원 (2022). 미세분사형 액체식 제습 시스템의 제습부 운전 조건에 따른 제습 성능 비교. 설비공학논문집, 34(2), 83-90. |
| 이용정보 (Accessed) | 한양대학교 166.104.66.*** 2022/03/08 13:53 (KST) |

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독 계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

미세분사형 액체식 제습 시스템의 제습부 운전 조건에 따른 제습 성능 비교

Dehumidification Performance of a Solution Atomization Based Liquid Desiccant Dehumidifier under Various Operating Conditions

이수진(Soo-Jin 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 October 27, 2021; revision received November 24, 2021; Accepted: November 25, 2021)

Abstract The purpose of this study was to evaluate the applicability of a solution atomization technology for liquid desiccant dehumidifier to enhance the dehumidification performance. The dehumidification performance and energy benefits of the proposed system were compared with the conventional packed-bed liquid desiccant dehumidifier under various operating conditions, such as atomized droplet size and liquid-to-gas ratio. The numerical simulation was conducted to analyze the heat and mass transfer process in a dehumidifier, NTU for mass transfer, outlet air humidity ratio, effectiveness of dehumidification, and energy-saving potential. The results indicate that the NTU increases as smaller droplet size and high liquid-to-gas ratio. Because dehumidification performance is proportional to the NTU, the outlet air humidity ratio is lower at high NTU. Finally, the proposed system operated at 50 μm droplet size could save 17% solution consumption compared with the conventional system.

Key words Ultrasonic atomization(초음파 분사), droplet size(미세액적 크기), liquid-to-gas ratio(액기비), NTU(전달단위수), Dehumidification effectiveness(제습 효율)

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

기호설명

| | | | |
|-------|--|-------------|--|
| a | : 여재 표면적 [m^2] | w | : 절대 습도 [kg/kg] |
| g | : 중력가속도 [m/s^2] | H | : 높이 [m] |
| h | : 엔탈피 또는 증발잠열 [kJ/kg] | L | : 길이 [m] |
| k_m | : 물질 전달 계수 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] | S_{cross} | : 제습부 단면적 [m^2] |
| m | : 질량 [kg] | S_v | : 단위 부피당 유효 물질 전달 면적 [m^2/m^3] |
| x | : 제습 수용액 농도 [-] | V | : 부피 [m^3] |
| u | : 유속 [m/s] | W | : 너비 [m] |
| | | ds | : 미세액적 크기(Droplet size) |

1. 서 론

최근 제로에너지 건물 의무화 정책에 따라 건물의 에너지 성능이 향상되고 있다. 이러한 에너지 고효율 건축물은 단열이나 기밀 성능 등이 개선된 사례가 대부분이며 단열이나 기밀 성능이 뛰어나수록 실내 현열 부하가 감소하는

특징을 갖는다.⁽¹⁾ 따라서 제로에너지 건축물에서는 실내 현열 부하보다 잠열 부하의 처리가 점점 중요해지고 있다.

액체식 제습(Liquid Desiccant, LD) 기술은 다양한 제습 기술 중에서도 효과적인 잠열 부하 처리 기술로 제안되어 왔다. 특히 기존의 증기 압축식 냉동사이클을 기반으로 재열이 필요한 응축 제습이나 추가 냉각이 요구되는 고체식 제습보다 열역학적인 측면에서 유리하다는 장점이 있다.⁽²⁾ 또한 LD 기술은 열이 많이 남고 제습을 해야 하는 여름철에 열을 이용한 제습 기술이기 때문에 미활용 열원 활용, 폐열회수 등의 이점으로도 주목받고 있다.⁽³⁾ 이러한 LD 기술은 제습 수용액과 공기 사이의 수증기 분압 차를 통한 물질 전달을 기반으로 한 제습 기술로, 성능을 확보하기 위해 제습 수용액 냉각과 동시에 수용액과 공기가 충분히 접촉할 수 있는 면적을 확보하여야 한다. Al-Farayedhi et al.⁽⁴⁾은 제습 수용액과 공기 사이의 접촉 면적을 확보하기 위해 셀룰로오스 소재의 여재 타입 제습부를 제안하였다. 수치해석으로 여재를 통한 제습 과정을 해석하였으며, 다양한 변수에 의한 제습 성능 변화를 분석하였다. 그러나, 여재가 적용된 LD 시스템의 경우 여재로 인한 차압 증가로 팬 에너지 소비량 증가한다는 단점이 있다. 또한 여재를 적시기 위해 많은 양의 수용액이 필요하며 이로 인해 제습부 수용액 냉각 에너지를 많이 소비하게 된다.⁽⁵⁾

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 최근에는 제습 수용액과 공기 사이의 접촉 면적 확보를 위해 여재를 사용하는 대신 초음파를 이용한 수용액 미세분사형 LD 시스템이 제안되고 있다.^(5,6) Yang et al.⁽⁶⁾은 미세분사형 LD 시스템의 성능을 파악하기 위한 매개변수 연구를 수행하였다. 다양한 공기 및 수용액 조건에 대해 제습 효율, 제습량, 수용액 소비량을 평가하기 위한 실험을 수행하였으며 적은 수용액 유량으로 제습 성능을 달성하였다.

초음파로 제습 수용액을 미세하게 분사하는 형태의 LD 시스템 제습부 관련 선행연구들을 통해 기존의 여재를 사용하는 LD 시스템 제습부를 대체할 수 있다는 가능성을 확인했지만, 여전히 시스템 적용에 관한 연구는 미흡하다. 특히, 기존의 LD 시스템 제습부와 유사한 제습 성능을 보이는 수용액의 액적 크기나 액기비 등 초음파 미세분사형 LD 시스템 제습부 운전 조건에 대해 제시하고 더 나아가 에너지 절감 가능성까지 비교한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 여재가 적용된 기존 LD 시스템 대비 유사한 제습 성능을 달성할 수 있는 초음파 미세분사형 LD 시스템 제습부의 운전 조건을 제시하고 해당 조건에서 에너지 절감 가능성에 대해 시뮬레이션을 통해 분석하고자 한다.

2. 시스템 개요

2.1 초음파 미세분사가 적용된 액체식 제습 시스템

본 연구에서 제안한 초음파 미세분사형 LD 시스템 제습부는 Fig. 1(a)과 같다. 제안된 제습부는 크게 초음파를 통한 수용액 분사기, 공기 공급부, 수용액 배수부로 구성된다. 덥고 습한 공기는 공기 공급부에 포함된 팬에 의해 제습부 내부로 유입된다. 수용액은 초음파를 통한 수용액 분사기에 의해 미세한 방울 형태로 제습부에 분사되며 제습부 내부에서 공기와 수용액 사이의 열 및 물질 전달이 발생한다.

수용액의 미세 액적은 동일한 수용액 유량으로도 기존의 여재가 적용된 LD 시스템보다 열 및 물질 전달 면적을 증가시키고 제습 효율을 향상시키는 역할을 한다. 제습부 내부에서 제습 과정을 거친 공기는 비산을 방지하는 엘리미네이터를 거쳐 실내로 공급되고, 분사된 수용액은 중력에 의해 자연스럽게 제습부 하단, 즉 수용액 배수부로 모이게 된다. 성능 유지를 위해 제습 과정에서 묻어있는 수용액은 재생 과정이 필요하며 수용액 배수부에서 재생기로 이동하여 동일 과정에 의해 재생되어 다시 제습부로 공급된다. 한편, 수용액의 온도, 액기비, 분사되는 수용액 미세 액적 크기 등 제습 성능에 영향을 미치는 다양한 요소가 있는데 시스템 운전 범위 및 조건에 따라 냉각 코일과 초음파 주파수 조절, 펌프 유량 조절을 통해 적절한 온도, 수용액 미세 액적 크기, 유량으로 공급될 수 있도록 제어한다.

2.2 여재가 적용된 액체식 제습 시스템

Fig. 1(b)은 기존의 여재가 적용된 LD 시스템 제습부를 나타낸다. 공기는 제안된 시스템과 동일하게 수용액

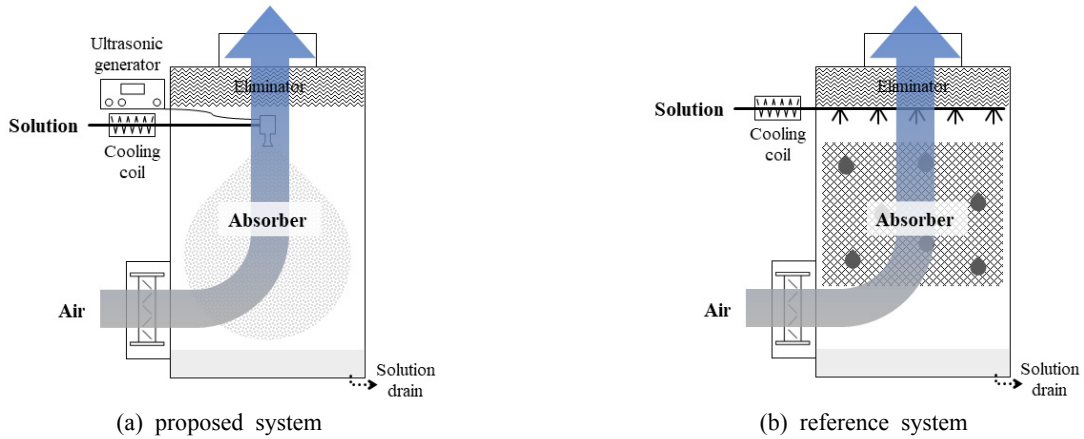


Fig. 1 Liquid desiccant system.

과의 열 및 물질 전달에 의해 제습된다. 제안된 시스템과 기존 시스템의 주요한 차이점은 공기와 수용액 사이의 접촉 방식이며 제안된 시스템에서는 수용액을 미세하게 분사하여 열 및 물질 전달을 위한 충분한 접촉 면적을 확보할 수 있지만 기존 시스템에서는 여재에 의해 공기와 수용액이 접촉하게 된다. 일반적인 펌프와 노즐만으로는 분사되는 수용액 표면적이 제습 성능을 위한 충분한 면적을 제공할 수 없기 때문에 용액은 여재에 분사되고, 공기는 여재를 통과하며 확보된 접촉 면적을 통해 제습된다.

3. 시뮬레이션 방법

3.1 시뮬레이션 개요

본 연구에서는 여재가 적용된 기존 LD 시스템 대비 유사한 제습 성능을 달성할 수 있는 초음파 미세분사형 LD 시스템 제습부의 운전 조건을 제시하고 해당 조건에서 에너지 절감 가능성에 대해 시뮬레이션을 통해 분석하고자 한다. 시뮬레이션은 Table 1에 제시된 조건 하에서 수행되었으며, 제습부 유입 공기 온습도 조건은 에너지절약설계기준에 따른 설계용 외기 조건을 참고하였다. 일반적인 사무소 건물을 가정하여 풍량은 최소 환기량으로 산정하였으며, 유입 수용액 온도 및 농도 조건은 기존 LD 시스템 제습부에서 사용하는 온도 및 농도인 20℃, 35%로 동일하게 가정하였다.⁽⁷⁾

본 연구에서 초음파 미세분사형 LD 시스템 제습부 운전 조건을 제시하기 위해 고려한 범위 역시 Table 1에 정리되었다. 초음파 미세분사형 제습부의 성능에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 변수는 분사되는 수용액 미세 액적의 크기와 액기비이며 초음파를 통해 만들 수 있는 미세 액적 크기를 고려하여 운전 범위를 가정하였다. 또한, 액기비는 선행 연구에서 해석된 범위를 고려하여 0.2에서 2까지 선정하였으며,⁽⁶⁾ 초음파 미세분사형 LD 시스템 제습부 운전 시 적정 미세 액적 크기와 액기비 조합을 도출하고 기존 LD 시스템 대비 에너지 절감

Table 1 Operating condition of a dehumidifier with ultrasonic atomization

| Components | | value |
|---------------------------------|----------------|---------------|
| Inlet air | Temperature | 31.2℃ |
| | Humidity ratio | 0.01958 kg/kg |
| | Mass flow rate | 0.05 kg/s |
| Inlet solution | Temperature | 20℃ |
| | Concentration | 0.35 |
| Droplet size | | 30 to 300 μm |
| Liquid-to-gas ratio (L/G ratio) | | 0.2 to 2 |

가능성에 대해 분석하였다.

3.2 제습부 해석

각 시스템의 제습부 성능은 식(1)~식(5)를 기반으로 한 수치해석으로 EES 프로그램을 통해 계산되었다. 제습부 토출 공기의 절대습도($w_a^{(i+1)}$)는 식(1)을 통해 예측할 수 있으며⁽⁸⁾ 열 및 물질전달의 정도를 나타내는 척도인 전달단위수(NTU)를 통해 계산된다. 특히, NTU는 제안된 미세분사형 LD 시스템과 기존의 여재가 적용된 LD 시스템의 운전 조건(e.g., 액기비, 미세 액적 크기), 제습부의 형태 및 크기 등에 의해 결정된다.

제습부 토출 공기의 절대습도가 계산된 이후, 식(2)를 통해 제습부를 통과한 이후 수용액 농도($x_s^{(i+1)}$)를 예측할 수 있다.⁽⁹⁾ 질량 보존 법칙에 의해 공기에서 수용액으로 제습량만큼 이동하며 공기의 질량 변화와 수용액 질량 변화가 동일하다는 가정 하에 수용액 질량 변화를 농도에 의한 식으로 표현할 수 있다. 제습부 통과 이후 수용액 질량($m_s^{(i+1)}$) 역시 질량 보존 방정식에 기반한 식(3)을 통해 예측할 수 있다.⁽⁹⁾

제습부 토출 공기의 엔탈피($h_a^{(i+1)}$)는 식(4)를 통해 계산할 수 있다.⁽⁸⁾ 절대습도를 계산하는 방식과 유사하게 NTU를 통해 계산할 수 있고, 물질 전달 NTU를 열 전달 NTU로 환산하기 위해 Le를 사용하였다. Le는 열 확산과 질량 확산의 비율이며 본 연구에서는 수용액과 공기의 열 및 물질 확산도를 통해 0.92로 계산되었다.⁽⁹⁾ 마지막으로 에너지 보존 방정식에 기반한 식(5)를 통해 제습부 통과 이후 수용액 엔탈피($h_s^{(i+1)}$)를 얻을 수 있다.⁽¹⁰⁾

최종적으로 제습부를 통과한 이후 공기의 온도는 식(1)과 식(4)를 통해 계산한 토출 공기의 절대습도와 엔탈피를 통해 계산할 수 있으며, 제습부 통과 이후 수용액 온도는 식(2)와 식(5)를 통해 얻은 수용액 농도와 엔탈피를 통해 예측할 수 있다.

$$\frac{w_a^{(i)} - w_a^{(i+1)}}{\Delta H} = \frac{NTU}{H} \times (w_{eq} - w_{a,in}) \quad (1)$$

$$\dot{m}_{a,in} \times (w_a^{(i)} - w_a^{(i+1)}) = \dot{m}_{s,in} \times x_{s,in} \times \left(\frac{1}{x_s^{(i+1)}} - \frac{1}{x_s^{(i)}} \right) \quad (2)$$

$$m_s^{(i+1)} \times x_s^{(i+1)} = m_s^{(i)} \times x_s^{(i)} \quad (3)$$

$$\frac{h_a^{(i+1)} - h_a^{(i)}}{\Delta H} = \frac{NTU \times Le}{H} \times ((h_{eq} - h_a^{(i)}) + \left(\frac{h_{vap}}{Le} - h_{vap,0} \right) \times (w_{eq} - w_{a,in})) \quad (4)$$

$$\dot{m}_{a,in} \times (h_a^{(i+1)} - h_a^{(i)}) = \dot{m}_{s,in} \times x_{s,in} \times \left(\frac{h_s^{(i)}}{x_s^{(i)}} - \frac{h_s^{(i+1)}}{x_s^{(i+1)}} \right) \quad (5)$$

3.3 전달단위수(NTU)

제습 성능에 가장 큰 영향을 미치는 NTU는 식(6)을 통해 계산되었다. NTU는 물질전달계수, 단위부피당 물질 전달 면적, 시스템 부피에 비례하고 공기 풍량에 반비례한다. 물질전달계수는 선행 연구에서 실험을 통해 제안된 물질전달계수 회귀식을 통해 $0.01 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 로 가정되었으며⁽¹¹⁾ 단위부피당 물질 전달 면적은 각 시스템에 따라 식(7) 또는 식(8)에 의해 도출되었다.

식(7)은 제안된 초음파 미세분사형 LD 시스템 제습부의 물질 전달 면적을 계산하는 식이고, 식(8)은 기존 여재가 적용된 LD 시스템 제습부의 물질 전달 면적 계산을 위한 식이다. 식(7)에서 물질 전달 면적은 미세 분사된 수용액 표면적과 관련이 있으며, 수용액 유량, 밀도, 분사되는 액적 크기, 제습부 단면적, 공기와 수용액 사이의 상대 유속에 의해 계산된다.⁽⁸⁾ 식(8)에서 물질 전달 면적은 여재 형상에 크게 영향을 받는다. 여재 채널 간격, 두께, 각도를 통해 여재 표면적(a)이 계산되고, 여재의 형상과 수용액 유속에 의해 계산된 효율을 곱하여 유효 물질 전달 면적을 도출한다.⁽⁴⁾

Table 2 Physical information of each system

| | Proposed system | Reference system |
|------------|--|--|
| Eliminator | $0.3(W) \times 0.3(L) \times 0.1(H) \text{ m}^3$ | $0.3(W) \times 0.3(L) \times 0.3(H) \text{ m}^3$ channel side = 0.0077 m channel height = 0.0067 m channel base = 0.011 m sheet thickness = 0.000228 m equivalent diameter = 0.0076 m |
| Pad | N/A | |
| Total size | $0.3(W) \times 0.3(L) \times 1(H) \text{ m}^3$ | |

$$NTU = \frac{K_m \times S_v \times V}{\dot{m}_a} \quad (6)$$

$$S_{v,pro} = \frac{6 \times m_{s,in}}{\rho_{s,in} \times ds \times S_{cross} \times u_{fa}} \quad (7)$$

$$S_{v,ref} = a \times \left(1 - 1.203 \left(\frac{u_s^2}{s \times g}\right)^{0.111}\right) \quad (8)$$

각 시스템의 물질 전달 면적 및 NTU 계산을 위한 제습부의 물리적 크기는 Table 2에 정리된 바와 같다. 제안된 시스템과 기존 시스템의 제습부 전체 크기와 엘리미네이터 크기는 동일하게 설정되었으며, 여재가 적용된 시스템의 여재 관련 수치는 선행 연구를 통해 가정되었다.⁽⁴⁾ 제안된 시스템에서 수용액 미세 액적이 제습부 내로 바로 분사되기 때문에 NTU 계산에 사용되는 부피는 제습부 전체의 부피를 의미하지만, 기존 시스템에서는 여재의 부피를 통해 NTU를 계산한다.

4. 시뮬레이션 결과

4.1 운전 조건에 따른 전달단위수

Fig. 2는 다양한 액기비와 수용액의 액적 크기에 따른 NTU를 의미한다. 특히 NTU는 유입 공기의 풍량,

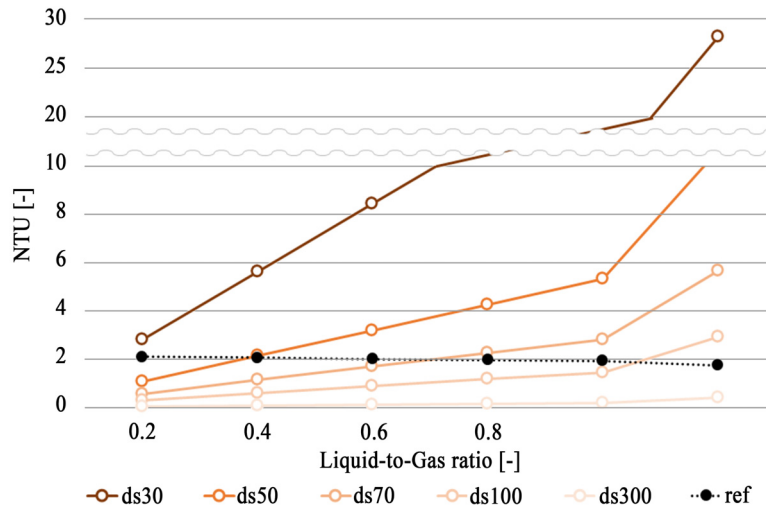


Fig. 2 NTU of each L/G ratio and droplet size.

물질전달계수, 수용액과 공기의 접촉 면적, 제습부 부피 등의 함수이며 물질전달계수와 접촉 면적, 부피에 비례하고 공기 풍량에 반비례한다.

제안된 시스템에서 액기비 0.6일 때, 수용액 미세 액적 크기가 30, 50, 70, 100, 300 μm 로 증가할수록 NTU는 8.4, 3.2, 1.7, 0.9, 0.1로 점점 감소한다. 동일 액기비, 즉 수용액 유량이 같을 때에는 미세 액적 크기가 작을수록 공기와 수용액 사이의 접촉 면적이 증가하기 때문에 액적 크기가 작을수록 NTU가 큰 것을 알 수 있다. 제안된 시스템에서는 0.6이 아닌 다른 액기비에서도 액적 크기가 작을수록 NTU가 큰 경향성을 보인다. 또한 액적 크기 50 μm 에서 액기비가 0.2부터 2까지 증가할 때 NTU는 1.1부터 10.7까지 증가한다. 액기비가 증가할수록 수용액 유량이 많아지며 미세 액적의 표면적, 즉 접촉 면적이 증가하기 때문에 동일 액적 크기에서 액기비와 NTU는 비례 관계인 것을 나타낸다. 반면, 기존의 여재가 적용된 LD 시스템의 접촉 면적은 수용액 유량에 따라 크게 변화하지 않기 때문에 액기비에 따른 NTU가 큰 변화 없이 거의 일정한 것을 볼 수 있다.

4.2 운전 조건에 따른 토출 공기 절대습도

제습부 토출 공기의 절대습도는 Fig. 3에 나타나있다. NTU가 클수록 물질 이동량이 많기 때문에 제습이 활발히 이루어진다. 따라서 NTU가 큰 운전 조건일수록 제습이 더 많이 발생하며, 제습부 토출 공기의 절대 습도는 낮아진다. 또한 NTU가 비슷한 조건에서는 유량이 많을수록 제습 과정 전과 후 수용액 농도 차이가 감소하기 때문에 상대적으로 높은 수용액 농도를 유지할 수 있어서 더 많은 제습량을 보인다.

액기비 0.6일 때, 기존 시스템은 제안된 시스템의 미세 액적 크기 70 μm 와 유사한 NTU를 보인다. 미세 액적 크기가 70 μm 보다 작은 경우는 높은 NTU, 큰 경우는 낮은 NTU를 보이며 제습부 토출 공기의 절대습도 역시 NTU가 가장 큰 30 μm 의 액적 크기에서 가장 낮은 절대습도인 0.005 kg/kg을 보인다. NTU가 가장 작은 300 μm 의 경우, 가장 높은 절대습도인 0.018 kg/kg, 기존 시스템과 유사한 70 μm 의 경우에는 약 0.008 kg/kg까지 공기의 제습이 이루어지는 것을 볼 수 있다. 최종적으로 액기비 0.4부터 0.6 사이의 범위에서는 50 μm 이하의 미세 액적으로 수용액을 분사한다면 기존 시스템보다 더 좋은 제습 성능을 보일 수 있으며, 액기비 0.8 이상에서는 70 μm 의 미세 액적으로도 기존 시스템의 제습 성능을 충분히 만족할 수 있다.

4.3 운전 조건에 따른 수용액 냉각 부하

각 운전 조건에 따른 제습 효율은 Fig. 4(a)에 나타난 바와 같다. 제습 효율 0.75를 달성하기 위해 액적 크기 30 μm 에서 액기비 0.4 이상으로 운전해야 한다. 액적 크기 50 μm 와 70 μm 에서는 각각 0.5, 0.7 이상의 액기비로

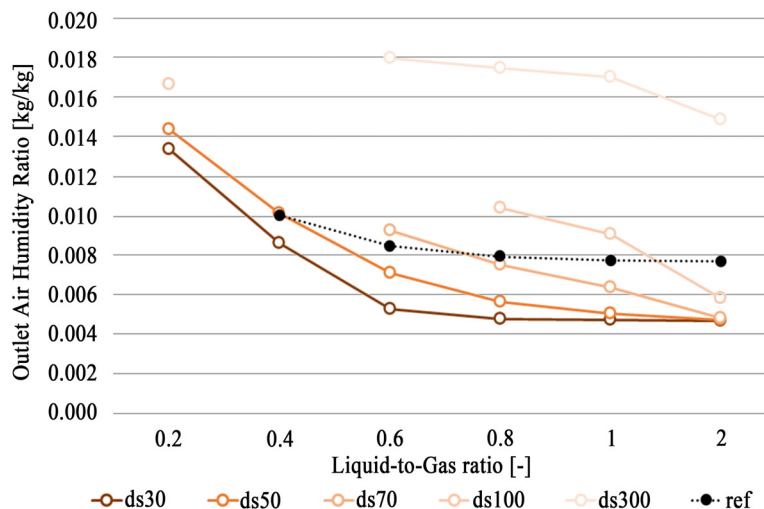


Fig. 3 Outlet air humidity ratio of each L/G ratio and droplet size.

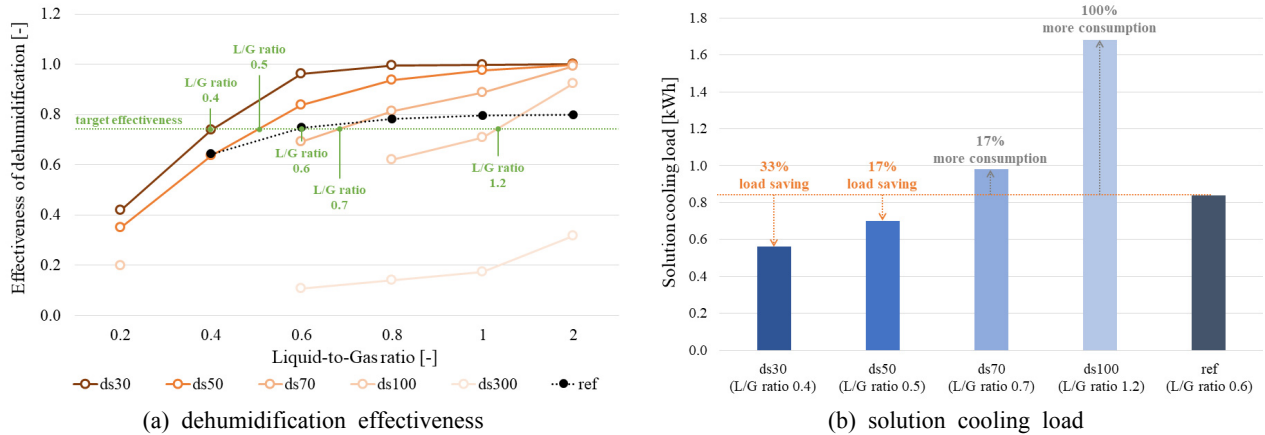


Fig. 4 Effectiveness and solution cooling load of each L/G ratio and droplet size.

운전해야 하며 100 μm 의 액적 크기에서는 1.2보다 큰 액기비를 갖도록 운전하여야 한다. 액적 크기 300 μm 의 조건에서는 0.2와 2 사이의 액기비로 제습 효율 0.75 달성이 어려우며, 기존의 여재를 사용하는 시스템에서는 0.6 이상의 액기비를 사용해야 제습 효율 0.75를 달성할 수 있다.

제습 효율 0.75를 달성하는 액기비와 액적 크기로 운전할 때 각 운전 조건별 1시간 동안의 수용액 냉각 부하는 Fig. 4(b)와 같다. 수용액 냉각 부하는 요구되는 수용액 유량에 비례하기 때문에 액기비가 가장 작게 운전이 가능한 액적 크기 30 μm 조건에서 가장 적은 냉각 부하가 요구된다. 반대로 유량이 가장 크게 운전되어야 하는 액적 크기 100 μm 의 경우에 가장 많은 수용액 냉각 부하가 필요하다. 따라서 기존 시스템 대비 액기비가 적게 운전 가능한 30 μm 와 50 μm 의 경우에 각각 약 33%, 17% 수용액 냉각 부하를 절감할 수 있으며, 70 μm , 100 μm 에서는 기존 시스템보다 많은 수용액 유량을 필요로 하기에 약 17%, 100% 많은 냉각 부하가 요구된다.

5. 결 론

본 연구에서는 초음파 미세분사형 LD 제습 기술이 적용된 제습 시스템을 제안하였다. 여재가 적용된 기존 LD 시스템의 대체 가능성을 평가하기 위해 초음파 미세분사형 LD 제습부 운전 조건을 제시하기 위하여 다양한 액적 크기와 액기비 조건에서 시뮬레이션을 수행하였으며, 기존의 여재가 적용된 LD 시스템 제습부와 유사한 제습 성능을 갖기 위한 운전 조건을 도출하였다. 액적 크기는 작을수록, 액기비는 클수록 NTU가 증가하여 제습 성능이 좋아지며 특히 액기비 0.4부터 0.6 사이의 범위에서는 50 μm 이하의 미세 액적, 액기비 0.8 이상에서는 70 μm 의 미세 액적으로도 기존 시스템의 제습 성능(i.e., 제습 효율 0.75)을 충분히 만족할 수 있는 것으로 나타났다. 기존 시스템에서 제습 효율 0.75를 만족하기 위해 0.6 이상의 액기비에서 운전되어야 하는 반면, 제안된 시스템에서는 50 μm 액적 크기일 때 약 0.5 액기비에서도 충분히 만족할 수 있었으며 약 17%의 수용액 냉각 부하를 절감할 수 있다. 본 연구에서는 낮은 수용액 유량으로 운전이 가능한 초음파 미세분사형 LD 시스템을 제안함으로써 수용액 냉각에 필요한 에너지를 절감할 수 있다는 가능성을 입증하였으며, 추가로 여재를 사용하지 않음으로 차압 감소, 여재 유지관리 등 기존 LD 시스템의 문제점을 개선할 수 있다. 추후 초음파 미세분사형 LD 제습 기반 공조 및 환기 시스템의 적용을 위한 제습부의 크기, 최적 운전 조건 및 제어 로직 등 보다 자세한 설계를 진행할 필요가 있다.

후 기

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

References

1. Ling, J., Hwang, Y., and Radermacher, R., 2010, Theoretical Study on Separate Sensible and Latent Cooling Air-conditioning System, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 33, No. 3, pp. 510-520.
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. Yang, Z., Lian, Z., Li, X., and Zhang, K., 2015, Concept of Dehumidification Perfectness and its Potential Applications, *Energy*, Vol. 91, pp. 176-191.
4. Al-Farayedhi, A. A., Gandhidasan, P., and Al-Mutairi, M. A., 2002, Evaluation of Heat and Mass Transfer Coefficients in a Gauze-Type Structured Packing Air Dehumidifier Operating with Liquid Desiccant, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 25, No. 3, pp. 330-339.
5. Yang, Z., Zhang, K., Yang, M., and Lian, Z., 2014, Improvement of the Ultrasonic Atomization Liquid Desiccant Dehumidification System, *Energy and buildings*, Vol. 85, pp. 145-154.
6. Yang, Z., Lin, B., Zhang, K., and Lian, Z., 2015, Experimental Study on Mass Transfer Performances of the Ultrasonic Atomization Liquid Desiccant Dehumidification System, *Energy and Buildings*, Vol. 93, pp. 126-136.
7. Bassuoni, M. M., 2011, An Experimental Study of Structured Packing Dehumidifier/Regenerator Operating with Liquid Desiccant, *Energy*, Vol. 36, No. 5, pp. 2628-2638.
8. Yao, Y., and Liu, S., 2014, *Ultrasound-atomizing Regeneration for Liquid Desiccants: Ultrasonic Technology for Desiccant Regeneration*, John Wiley & Sons.
9. Cengel, Y. A., and Ghajar, A. J., 2014, *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications* 4th Edition, McGraw-Hill Education: New York, NY.
10. Li, W., Pan, Y., Yao, Y., and Dong, M., 2018, Modeling and Parametric Study of the Ultrasonic Atomization Regeneration of Desiccant Solution, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 127, pp. 687-702.
11. Chung, T. W., Ghosh, T. K., and Hines, A. L., 1996, Comparison between Random and Structured Packings for Dehumidification of Air by Lithium Chloride Solutions in a Packed Column and their Heat and Mass Transfer Correlations, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 35, No. 1, pp. 192-198.