

## 확장표면을 적용한 액체식 제습기에서 제습액 분배 특성에 관한 실험적 연구

이 민 수, 장 영 수<sup>\*†</sup>, 이 대 영<sup>\*</sup>

한국과학기술연구원, 에너지 메카닉스 연구센터

### Experimental Study on Liquid Desiccant Distribution Characteristics at a Dehumidifier with Extended Surface

Minsu Lee, Young-Soo Chang<sup>\*†</sup>, Dae-Young Lee<sup>\*</sup>

**ABSTRACT:** Liquid desiccant cooling technology can supply cooling by using waste heat and solar heat which are hard to use effectively. For compact and efficient design of a dehumidifier, it is important to sustain sufficient heat and mass transfer surface area for water vapor diffusion from air to liquid desiccant on heat exchanger. In this study, the plate type heat exchanger is adopted which has extended surface, and hydrophilic coating and porous layer coating are adopted to enhance surface wettedness. PP(polypropylene) plate is coated by porous layer and PET(polyethylene terephthalate) non-woven fabric is coated by hydrophilic polymer. These coated surfaces have porous structure, so that falling liquid film spreads widely on the coated surface forming thin liquid film by capillary force. The temperature of liquid desiccant increases during dehumidification process by latent heat absorption, which leads to loss of dehumidification capacity. Liquid desiccant is cooled by cooling water flowing in plate heat exchanger. On the plate side, the liquid desiccant can be cooled by internal cooling. However the liquid desiccant on extended surface should be moved and cooled at heat exchanger surface. Optimal mixing and distribution of liquid desiccant between extended surface and plate heat exchanger surface is essential design parameter. The experiment has been conducted to verify effective surface treatment and distribution characteristics by measuring wall side flow rate and visualization test. It is observed that hydrophilic and porous layer coating have excellent wettedness, and the distribution can be regulated by adopting holes on extended surface.

**Key words:** Liquid desiccant(액체 제습제), hydrophilic coating(친수코팅), porous layer coating(다공층 코팅), distribution characteristics(분배특성)

#### 기 호 설 명

$d$  : 직경 [mm]

$X$  : 벽면으로 흐르는 유량비 [%]

$\dot{m}_a$  : 확장표면으로 흐르는 질량유량 [g/min]

$\dot{m}_b$  : 벽면으로 흐르는 질량유량 [g/min]

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-958-6746; fax: +82-2-958-6709

E-mail address: yschang@kist.re.kr

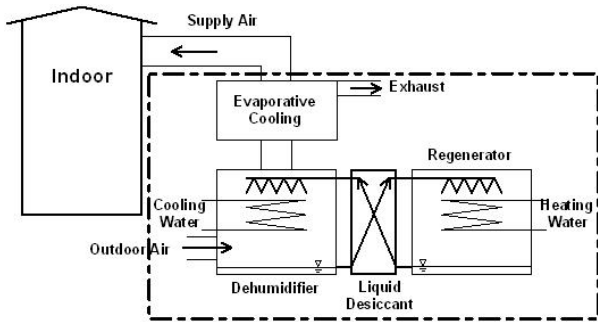


Fig. 1 Schematic diagram of liquid desiccant cooling system.

## 1. 서 론

액체식 제습냉방기술은 액체 제습제를 이용하여 흡입공기의 잠열을 흡수하고, 증발냉각 또는 냉수코일을 이용하여 현열을 처리하는 냉방기술이다. 액체식 제습냉방 기술은 지역난방 공급수, 산업 폐열 등 집단 에너지 공급시설에서 공급되는 열을 이용하여 효과적인 냉방이 가능한 장점이 있다. 또한 제습제와 공기가 직접 접촉하여 열 및 물질전달이 효과적이며 제습제의 살균효과로 공기오염을 제거하는 능력이 있다.<sup>(1)</sup>

기존의 액체식 제습기는 고체표면의 젖음도(wettedness)를 높여 물질전달 면적을 확보하기 위하여 과도한 유량의 제습제를 공급하는 방식을 사용하고 있다. 제습제의 유량이 많으면 고체표면에 두꺼운 액막을 형성하여 열 및 물질전달 계수가 저하하고, 공기측 유로를 막아 유동저항이 증가한다. 그리고 공기 유동 방향으로 액막표면이 불안정한 파형을 형성하게 되어 제습제가 공기에 비산하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 데미스터(demister)를 설치하는 등, 장치가 커지고, 공기측 압력손실이 증가하는 문제점이 있다.

제습기의 소형화와 고효율화를 위해 판형 열교환기 형태에 확장표면을 적용하는 연구를 수행하였다. 제습기의 수직평판에 확장표면을 적용시켜 물질전달 면적을 충분히 확대하고, 고체표면에 얇은 유하 액막을 이용한 열 및 물질 동시전달 향상 기술을 적용하였다.

액체 제습제는 강한 부식성을 가지고 있으므로, 알루미늄과 같은 금속 재질 대신 PP(polypropylene) 또는 PET(polyethylene terephthalate) 등의 폴리머 재료가 유리하다. 제

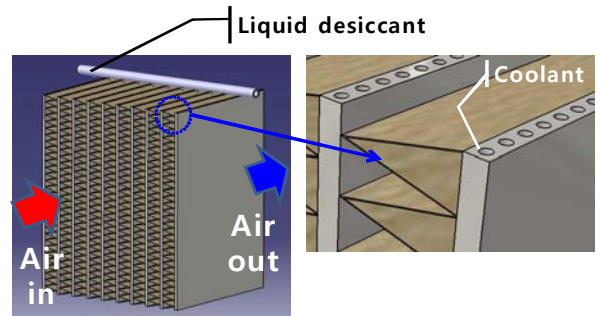


Fig. 2 Schematic diagram of plate heat exchanger for liquid desiccant.

습액의 공급유량이 아주 작은 경우에도 수직평판과 확장된 표면에 완전히 퍼져 얇은 액막을 유지할 수 있도록 하는 기술이 필요하므로 표면에 액체 퍼짐성이 우수한 표면처리 기법을 적용하였다. 그리고 확장표면을 가지는 제습기의 효과적인 열 및 물질전달을 위해 수직평판과 확장표면간의 제습액 분배 특성 연구를 수행하였다.

## 2. 액체식 제습기 구조

Fig. 1에 액체식 제습냉방 시스템의 개략도를 나타내었다. 액체식 제습냉방 시스템에서 외기는 제습기를 통과하면서 습도가 낮아지게 된다. 제습기를 통과한 공기는 재생증발 냉각기를 통하여 온도가 낮아져 실내로 공급된다. 제습기에서 공기의 수분을 흡수한 제습액은 재생기에서 수분이 분리되어 고농도의 제습액이 되고, 다시 제습기로 공급되는 시스템이다.

액체식 제습기로 사용되는 열교환기의 구조로는 환-관 열교환기 또는 판형 열교환기가 대표적이다.<sup>(2)</sup> 본 연구에서는 환-관 열교환기에 비하여 부피당 열 및 물질전달 면적을 크게 향상시킬 수 있고, 기기의 소형화가 가능한 판형 열교환기 구조를 선택하였다.

본 연구의 제습용 판형 열교환기는 Fig. 2와 같이 내부에 냉각을 위한 다중채널을 가지고 있는 판형 열교환기가 수직으로 적층되어 있는 구조이다. 평판과 평판 사이에 있는 확장표면은 제습을 위한 물질 전달 면적을 확대하기 위한 것이다. Fig. 3과 같이 제습액이 공급되었을 경우, 확장표면과 벽면에 적절한 분배가 이루어져야만 가장 효율적인 운전이 가능하다.

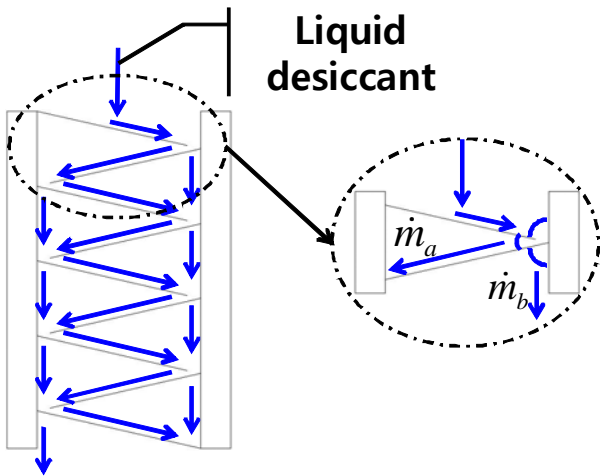


Fig. 3 Schematic diagram of distribution between extended surface and plate.

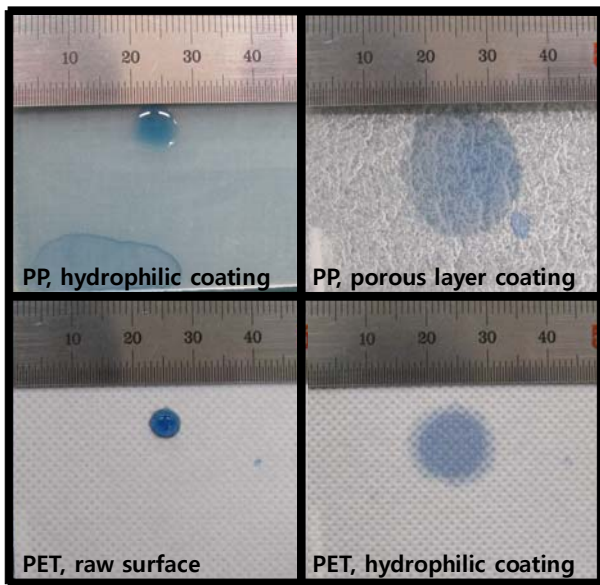


Fig. 4 Comparison of liquid spreading on the horizontal surfaces.

본 연구에서는 공급된 제습액이 평판형 열교환기 표면과 확장표면에 얇게 퍼져 젖음을 향상시키는 표면처리와 제습액이 확장표면과 벽면에 적절한 분배가 이루어지는 최적 구조 설계를 수행하였다.

### 3. 제습액 분배 특성 실험

#### 3.1 표면 젖음성 향상

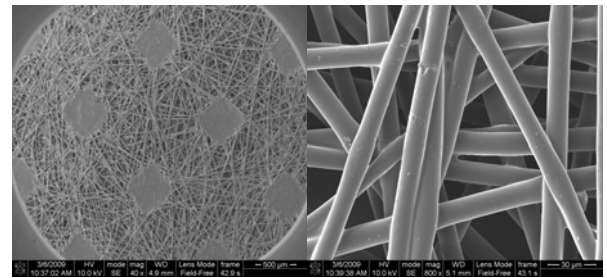


Fig. 5 SEM image of hydrophilic coated PET non-woven fabric.

Fig. 4는 표면 젖음성 향상을 위해 제습기의 평판에 사용될 PP플라스틱을 친수코팅과 젖음성 향상 코팅을 하여 비교분석을 한 결과이다. 확장표면에 적용된 PET부직포는 코팅처리하지 않은 것과 친수코팅처리를 한 것을 비교하였다. 고체표면의 친수성처리는 액체의 접촉각을 감소시켜 젖음성을 향상 시킬 수 있다.<sup>(3)</sup> 증발 열전달 과정에서 친수 처리한 표면이 그렇지 않은 표면 보다 액막의 두께가 얇으며 더 넓은 표면적을 갖게 되어 우수한 열전달 성능을 나타낸다.<sup>(4)</sup>

Fig. 4의 4가지 표면에 대하여 0.02cc로 동일한 액적을 표면에 공급하였다. PP플라스틱에서는 액막 직경이 친수코팅보다 젖음성 향상 코팅이 3배 이상 증가함을 알 수 있다. 친수코팅은 고체표면에 친수성 폴리머를 물과 적절한 비율로 혼합하여 코팅한 것이며, 젖음성 향상 코팅은 친수성 폴리머와 물, 그리고 고체입자를 표면에 접촉하여 코팅 처리를 하였다. 젖음성 향상 코팅은 고체표면에 공급된 액체가 모세관 현상에 의하여 다공층 내부로 확산하여 표면을 얇은 액막으로 퍼지게 하는 것이므로 젖음도 향상에 효과적이다.<sup>(5)</sup> 제습기의 평판에는 젖음성 향상 코팅을 적용하였다.

micro/nano size의 다공성 물질을 이용한 표면처리 비교 연구에서 micro 다공성 물질이 nano의 것보다 액체를 감금(retention)하는 능력이 크고 더 우수한 열전달 성능을 갖는다고 하였다.<sup>(6)</sup> PET부직포의 경우, Fig. 5에 나타낸 SEM사진과 같이 다공성 구조로 이루어져 있으며 다공층 크기가 수십 micro size로서 친수코팅만으로도 우수한 젖음성을 가졌다. PET부직포는 구조적으로 안정적이며 다공성 구조로 모세관 현상이 우수하고, 액체가 흐르는 면의 반대 면에서도 젖어 있는 재질로서 물질전달 면적을 확보하기 위한 최

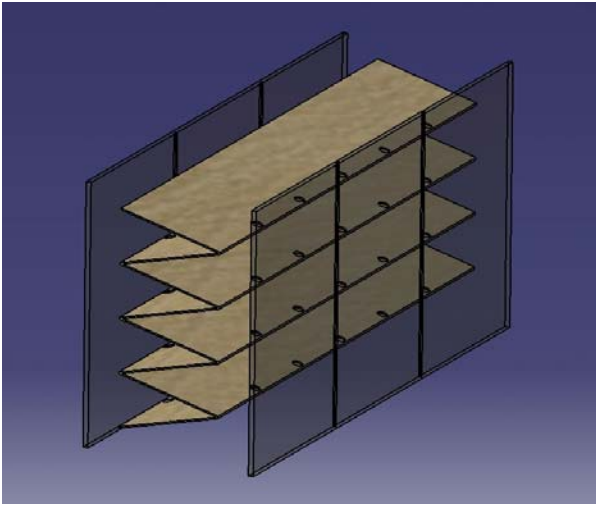


Fig. 6 Schematic diagram of distribution experiment sample.

적의 재질임을 알 수 있다.

### 3.2 확장표면과 벽면에서의 분배 특성

Fig. 3에서와 같이 제습기 상부에 공급된 제습액은 평판 열교환기와 확장표면에 골고루 분배되어 아래로 흘러야 한다. 특히 평판형 열교환기와 확장표면이 만나는 부분에서 상부에서 흘러내린 제습액이 혼합되고, 다시 평판형 열교환기와 확장표면으로 적절한 유량비로 분배되어 흐르는 구조가 필요하다. 본 연구에서는 500 $\mu$ m channel을 제습기의 수직평판에 적용하였다.

그리고 확장표면에는 직경 1~2mm의 원형구멍을 다수 가공하였다.

Fig. 6과 3과 같이 확장표면과 벽면 사이에서 서로 접하는 위치에서 제습액 분배를  $\dot{m}_a$ 와  $\dot{m}_b$ 에 적절한 분배비로 이루어지기 위하여 확장표면에 원형구멍을 가공을 하였다. 그림에서 원형구멍은 확장표면으로 분배하기 위한 것이며 벽면의 채널은 벽면으로 분배하는 역할이다.

Fig. 7에 확대한 그림처럼 적절한 분배를 위한 설계변수는 원형구멍의 직경 크기와 개수이며 벽면에서 채널 형상과 깊이, 개수 등이 있다. 각 설계변수에 따라 6개의 실험 시료를 제작하였다. 각 실험 시료 별 전체 공급 유량 대비 벽면에 흐르는 유량을 측정하여 Fig. 8에 나타내었다. 여기서 벽면을 흐르는 유량비는 다음과 같이 계산하였다.

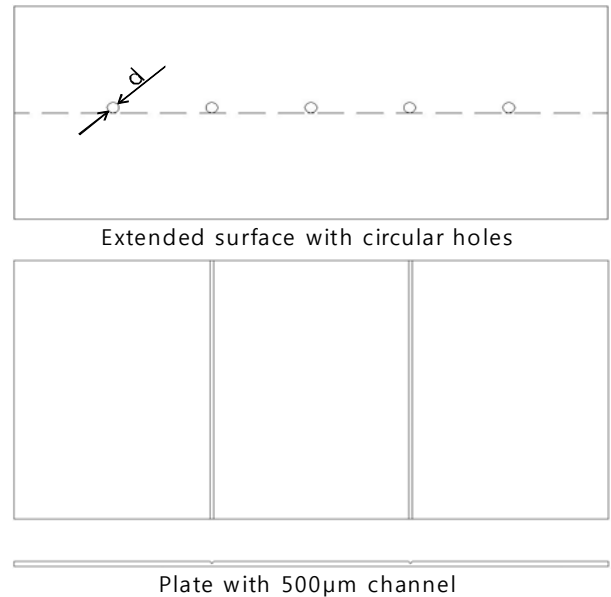


Fig. 7 Schematic diagram of extended surface and plate.

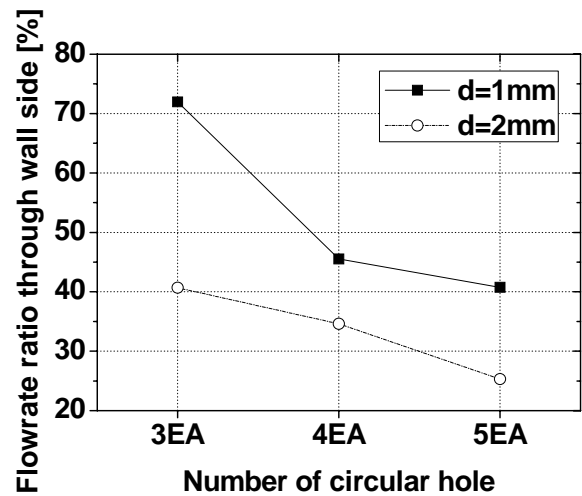


Fig. 8 Flowrate ratio of wall side by the number of circular slit and diameter.

$$X = \frac{\dot{m}_b}{\dot{m}_a + \dot{m}_b} \times 100 [\%] \quad (1)$$

설계변수인 원형구멍 직경과 개수에 따라 확장표면과 벽면에서 분배비율을 조절할 수 있으며, 분배율 50%에 가까운 모델은 직경 1mm에 4개의 원형구멍을 가진 확장표면이었다. 저유량으로 제습액의 적절한 분배는 제습기 열교환기에서 확장표면을 적용하여 제습냉각 성능을 향상시킬 것으로 기대할 수 있다.

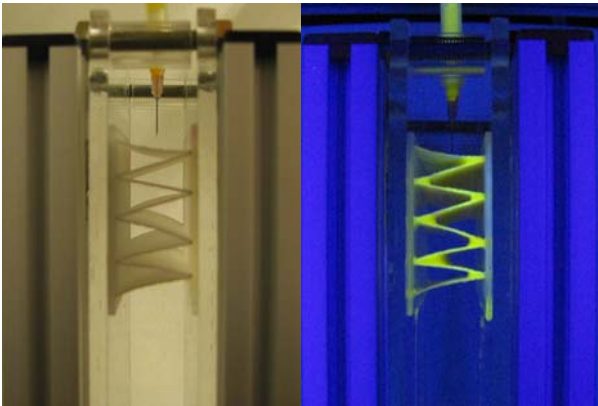


Fig. 9 Photograph of visualization test.

### 3.3 가시화 실험

제습기에 흐르는 제습액은 확장표면과 벽면의 위에서 아래로 흐르며 적절한 분배와 접하는 위치에서 혼합이 이루어지는 설계가 중요하다. 이를 확인하기 위해 Fig. 9와 같이 가시화 실험을 수행하였다. 고체표면에 제습액의 흐름과 젖음성을 가시화하기 위해서 플로라빈 형광물질과 물을 혼합하고 UV광을 비추어 용액의 흐름을 관찰하였다.<sup>(7)</sup> 액체가 위에서 아래로 흐르면서 확장표면과 벽면이 접하는 지점에서 분배와 혼합이 적절히 이루어지는 것을 알 수 있으며, 원형구멍과 벽면의 채널이 충분히 역할을 수행하는 것을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구는 액체식 제습기에서 물질전달 면적을 확대하기 위한 확장표면의 적용과 벽면에 저유량 제습액의 젖음성 향상과 분배 및 혼합이 이루어지는 특성에 대하여 실험적 연구를 수행하였다.

PP플라스틱의 젖음성 향상 코팅과 PET부직포의 친수 코팅으로 모세관 현상에 의하여 다공층 내부로 흡수되어 액체의 젖음성이 우수함을 알 수 있었다.

확장표면의 원형 구멍 직경과 수, 벽면 채널의 크기를 변화시켜 확장표면과 벽면으로의 분배비를 조절할 수 있으며, 원형구멍 직경 1mm로 4개를 갖는 확장표면이 50%의 분배비를 가진다.

## 후 기

본 연구는 에너지·자원기술개발사업의 고효율 밀집형 액체 제습 냉방 기술 개발 과제 (2008-E-BD08-P-01-0-000) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. L. Mei, Y.J. Dai, 2008, A technical review on use of liquid-desiccant dehumidification for air-conditioning application, Renewable & sustainable energy reviews, Vol. 12, pp. 662-689
2. K. H. Jee, M. S. Park, K. T. Kang, and J. S. Lee, 2001, Experimental Study on Performance of the Fin-Tube Type Liquid Desiccant Dehumidifier, Proceedings of the SAREK, pp. 206-211
3. K. H. Kim, B. H. Kang, and D. Y. Lee, 2006, An Experimental Study on the Effects of Contact Angle on a Falling Liquid Film, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 11, pp. 867-873
4. H. Y. Kim, B. H. Kang, 2003, effects of hydrophilic surface treatment on evaporation heat transfer at the outside wall of horizontal tubes, Applied Thermal Engineering, Vol. 23, pp. 449-458
5. D. Y. Lee, J. W. Lee, and B. H. Kang, 2005, Experimental Study on the Hydrophilic Porous Film Coating for Evaporative Cooling Enhancement, Int. J of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 13, No. 2, pp. 99-106
6. M. S. Sarwar, Y. H. Jeong, and S. H. Chang, 2007, Subcooled flow boiling CHF enhancement with porous surface coatings, Int. J of Heat and Mass Transfer, Vol. 50, pp. 3649-3657
7. G. E. Song, D. Y. Lee, 2006, Performance Test for a Horizontal Regenerative Evaporative Cooler, Proceedings of the SAREK, pp. 621-626