



RESEARCH ARTICLE

## 액체식 제습시스템의 운전 방식에 따른 에너지 소비량 분석

조민석<sup>1</sup>, 정재원<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 대학원 건축공학과, <sup>2</sup>한양대학교 건축공학부

## Energy Consumption of an Liquid Desiccant System depending on Operation Method

Min-Suk Jo<sup>1</sup>, Jae-Weon Jeong<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Architecture Engineering, Graduate School of Hanyang University, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

\*Corresponding author: Jae-Weon Jeong, Tel: +82-2-2220-2370, E-mail: jjwarc@hanyang.ac.kr

### ABSTRACT

The objective of this paper is to investigate the applicability of a suggestion operation method applied to an liquid desiccant system (LD). The LD system which is divided into an absorber and a regenerator needs heating and cooling sources for appropriate dehumidification performance. To reduce the energy consumption of the heating and cooling sources in the LD, the suggestion operation method unlike conventional operation method which operates absorber and regenerator simultaneously was to control the operation of the absorber continuously and the regenerator as on and off. the simulation of the energy consumption was conducted to estimate the energy consumption of the LD operation with the proposed method using a commercial engineering equation solver (EES). The suggestion operation method was applied to an liquid desiccant and evaporative cooling-assisted 100% outdoor air system (LD- IDECOAS). As a result, the suggestion operation method showed 30% and 33% reduction in the load of heating and cooling source compared to the conventional operation method in LD-IDECOAS.

**주요어 :** 액체식 제습시스템, 액체식 제습증발냉각기반 전외기 공조시스템, 에너지소비, 증발냉각 시스템, 운전방법

**Keywords:** Liquid desiccant, LD-IDECOAS, Energy consuption, Evaporative cooling system, Operation method

### 서론

#### 연구의 배경 및 목적

액체식 제습시스템(Liquid Desiccant, LD)이 적용된 공조시스템은 냉매를 사용하는 기존의 공조시스템을 대체 할 수 있는 차세대 공조시스템으로써, 연구가 활발하게 진행 중이다(Martin and Goswami, 2000; Abdel-Salam and Simonson, 2016). LD가 적용된 공조시스템에서 LD의 제습성능은 전체 시스템의 성능에 큰 영향을 준다(Kim et al., 2013).



Journal of KIAEBS 2017 August, 11(4): 283-294

pISSN : 1976-6483

Received: April 23, 2017

Revised: July 21, 2017

Accepted: August 25, 2017

© 2017 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

LD는 실내로 공급되는 공기를 제습하는 역할을 하는 제습부와 제습부에서 사용된 제습수용액을 다시 처음 상태로 만들어주는 역할을 하는 재생부로 나뉜다(Kim et al., 2015). 이러한 제습과 재생과정에서 LD가 제습성능을 유지하기 위해서 제습부와 재생부에 각각 냉각열원과 가열열원을 공급해야한다. LD의 재생부와 제습부의 열원에 사용되는 에너지를 줄이기 위해서, 냉각열원이 필요한 제습부에는 냉각탑 및 해수를 이용한 연구(Kim et al., 2015; Park et al., 2016)와 재생부에 사용되는 가열열원으로는 폐열이나 태양열 시스템, 연료전지와 같은 신재생에너지를 적용하는 연구(조수영과 정재원, 2015; Abdel-Salam and Simonson, 2016) 등이 있다. 또한, LD의 운전에 영향을 주는 변수(e.g., 공기의 온도, 공기의 습도, 제습수용액의 온도, 제습수용액의 농도, 제습수용액 및 공기의 유량)를 최적화하는 연구들이 진행되고 있다. LD에 사용되는 냉각 및 가열열원에 사용되는 에너지를 줄이기 위해 다양한 연구가 이루어지고 있지만, 추가적으로 LD의 적절한 제어방법에 대한 연구가 필요하다.

LD 운전에 관한 제어방법으로써, 김민희 외(2012)는 증발냉각 기반 공조시스템에 LD를 적용하여 적절한 성능 유지를 위해, 제습부와 재생부를 동시에 운전하였다. Zhang et al. (2012)는 제습부에서 사용된 묽어진 제습수용액의 일부를 재생부에서 재생시키고, 재생된 높은 농도의 제습수용액과 제습부의 제습수용액을 섞어서 제습수용액의 농도를 조절하였다.

현재까지의 선행연구들은 LD의 제습부와 재생부를 동시에 운전하는 방법을 사용하였다. 하지만, LD의 제습성능을 유지 할 수 있다면, 제습부는 연속적으로 운전되지만 재생부는 간헐적으로 운전이 가능하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 제습부는 연속적으로 운전되지만, 재생부는 재생이 필요할 경우에만 운전되는 새로운 제어방법을 제안하였다. 또한 재생부와 제습부를 동시에 운전하는 방법과 비교하여, 새로운 제어방법이 적용된 LD의 냉각 및 가열열원의 부하를 분석하였다.

## 액체식 제습시스템

### 액체식 제습시스템(LD) 개요

액체식 제습시스템(LD)는 크게 제습부와 재생부로 나누어진다. 실내로 공급되는 공기는 제습부에서 높은 농도의 제습수용액과 열 및 수분을 교환을 통해서, 건조한 공기가 된다. 반면, 제습부에서 사용된 낮은 농도의 제습수용액은 재생부에서 공기와 열 및 수분교환을 통해서, 다시 높은 농도의 제습수용액이 된다(Park et al., 2016).

LD의 제습 및 재생과정은 공기의 수증기 분압과 제습수용액의 표면 수증기 분압차이에 의해서 발생된다. 따라서 제습수용액의 표면 수증기 분압은 온도와 농도변화에 달라진다. 제습수용액의 표면 수증기 분압은 Fumo and Goswami(2002)의 선행연구에 따라, 식 (1)과 같이 제습수용액의 온도와 농도로 표현이 된다. Table 1은 식 (1)의 계수를 나타낸다. 또한 제습수용액의 표면의 수증기 분압은 식 (2)와 같이 절대 습도와 같이 표현된다(Liu et al., 2011).

LD의 구조는 Packed bed tower, falling film tower, 그리고 spray tower가 있으며 제습부와 재생부에 적용된다. 일반적으로 사용되는 제습용액은 염화칼슘(Calcium Chloride, CaCl<sub>2</sub>),

브롬화 리튬(Lithium Bromide, LiBr), 염화리튬(Lithium Chloride, LiCl), 그리고 트리에틸렌글리콜(Tri-ethylene glycol, TEG) 등이 있다(김민휘 외, 2012).

**Table 1.** Coefficients of equation (1)

Model	Dehumidification process	Regeneration process
$a_0$	4.58208	16.294
$a_1$	-0.159174	-0.8893
$a_2$	0.0072594	0.01927
$b_0$	-18.3816	74.3
$b_1$	0.5661	-1.8035
$b_2$	-0.019314	-0.01875
$c_0$	21.312	-226.4
$c_1$	-0.666	7.49
$c_2$	0.01332	-0.039

$$P_s = (a_0 + a_1 \times T_L + a_2 \times T_L^2) + (b_0 + b_1 \times T_L + b_2 \times T_L^2) \times C + (c_0 + c_1 \times T_L + c_2 \times T_L^2) \times C^2 \quad (1)$$

$$W_e = 0.622 \frac{P_s}{101.325 - P_s} \quad (2)$$

여기서,

$P_s$  : 제습수용액의 포화수증기압(KPa)

$T_L$  : 제습수용액의 온도(°C)

$C$  : 제습수용액의 농도(%)

$W_e$  : equilibrium(kg/kg)

### 제습부 및 재생부

제습부는 실내로 공급되는 공기의 수분을 제거하는 장치이다. Figure 1과 같이, 제습부에서 비교적 높은 농도의 제습수용액이 분사되고, 제습부로 공급되는 공기와 제습수용액은 직접 접촉하여 열과 수분교환이 된다. 이때, 수증기 분압차이에 따라 제습수용액 표면의 수증기 분압은 공기의 수증기 분압보다 낮기 때문에, 공기의 수분은 제습수용액으로 이동한다(Park et al., 2016). 또한, 제습부의 적절한 제습성능을 유지하고, 제습과정 중 발열반응으로 인한 실내로 공급되는 공기의 가열을 방지하기 위해, 냉각열원이 필요하다. 따라서 제습부의 제습수용액의 온도는 냉각열원을 사용하여 15-30°C로 유지되어야 한다. 제습부의 제습량 및 제습효율은 식 (3)과 식 (4)와 같다(Kim et al., 2014; Abdel-Salam and Simonson, 2016).

$$M_{dehum} = m_{air} \times (w_{ab,inlet} - w_{ab,outlet}) \quad (3)$$

$$\epsilon_{abs} = \frac{w_{ab,inlet} - w_{ab,outlet}}{w_{ab,inlet} - w_e} \quad (4)$$

여기서,

$M_{dehum}$  : 제습부의 제습량 (kg/s)

$m_{air}$  : 공기의 유량(kg/s)

$w_{abs,outlet}$  : 출구 측 공기의 절대습도(kg/kg(DA))

$w_{abs,inlet}$  : 입구 측 공기의 절대습도(kg/kg(DA))

$w_e$  : equilibrium(kg/kg)

$\epsilon_{abs}$  : 제습부 효율(-)

LD의 제습성능을 유지하기 위해서, 재생부는 제습부를 통과한 상대적으로 낮은 농도의 제습수용액을 처음 농도의 제습수용액으로 만든다(Figure 1). 이때, 재생량은 재생부에 공급되는 공기의 유량과 재생부에 사용되는 제습수용액의 온도에 큰 영향을 받는다. 재생부는 적절한 재생량을 유지하기 위해서 가열열원을 이용하여 제습수용액을 가열하는 것이 필요하다(Kim et al., 2015). 따라서 재생부에서는 온도가 약 45-80°C인 제습수용액이 사용된다(Kim et al., 2013).

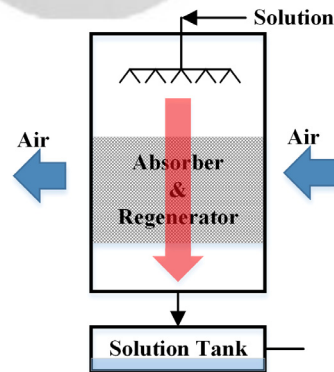


Figure 1. The absorber and regenerator diagram

재생부도 제습부와 같이, 비교적 낮은 농도의 수용액과 재생부로 공급되는 공기는 직접 접촉하여 열 및 수분교환을 하면서 재생된다. 이때, 제습수용액 표면의 수증기 분압은 공기의 수증기 분압보다 크다. 따라서 수증기 분압차이에 따라 제습수용액에서부터 재생에 사용되는 공기로 수분이 이동하면서, 처음상태의 제습수용액이 된다. 재생부의 재생량 및 재생효율은 식 (5)와 식 (6)과 같다(Kim et al., 2014).

$$M_{regen} = m_{air} \times (w_{reg,outlet} - w_{reg,inlet}) \quad (5)$$

$$\epsilon_{reg} = \frac{w_{reg,outlet} - w_{reg,inlet}}{w_e - w_{reg,inlet}} \quad (6)$$

여기서,

- $M_{regen}$  : 재생부의 재생량 (kg/s)
- $m_{air}$  : 공기의 유량(kg/s)
- $w_{reg,outlet}$  : 출구 측 공기의 절대습도(kg/kg(DA))
- $w_{reg,inlet}$  : 입구 측 공기의 절대습도(kg/kg(DA))
- $w_e$  : equilibrium(kg/kg)
- $\epsilon_{reg}$  : 제습부 효율(-)

## 제어방법

### 새로운 LD 제어 방법 검토 방안

본 연구에서는 제습부는 연속적으로 운전되지만, 재생부는 재생이 필요한 경우에만 간헐적으로 운전되는 새로운 LD 제어방법에 대한 검토를 해보고자한다. 새로운 LD 제어 방법을 검토하기 위해, LD를 적용한 공조시스템인 액체식 제습증발냉각기반 전외기 공조시스템(Liquid desiccant and evaporative cooling-assisted 100% outdoor air system, LD-IDECOAS)에 본 연구에서 제시한 새로운 LD 제어방법을 적용하였다(Kim et al., 2015). 따라서 LD-IDECOAS에 일반적인 LD 제어방법과 새로운 LD 제어방법을 적용하여, 제습부와 재생부에 필요한 냉각열원 부하와 가열열원 부하를 비교하였다.

### 운전 1 : 연속 제어 방법

LD-IDECOAS는 LD를 사용하여 실내로 공급되는 공기를 제습하고, IEC (Indirect evaporative cooler)와 DEC (direct evaporative cooler)의 간접식 및 직접식 증발냉각효과를 이용하여 실내로 공급되는 공기의 온도를 설정된 급기온도까지 냉각시킨다. LD-IDECOAS에서 냉방기간 동안 설계급기온도(e.g. 15°C)를 유지하기 위해서 LD의 제습성능이 중요하다. 운전 1은 선행연구(Kim et al., 2013)의 운전방법처럼, 높은 농도의 제습수용액은 제습부에서 고온다습한 외기를 제습한 후, 상대적으로 낮은 농도의 제습수용액이 된다. 낮은 농도의 제습수용액은 제습성능을 유지하기 위해 재생부를 통과하면서 처음 상태의 농도로 재생된다. 따라서 제습부와 재생부가 연속적으로 운전되기 때문에, 항상 일정한 냉각 및 가열열원의 부하가 발생한다.

운전 1의 LD는 cross type의 packed bed 구조이다(Figure 1). 운전 1의 LD는 제습기, 재생

기, 현열교환기, 가열 및 냉각 코일 그리고 각각의 Tank로 구성되어 있다. 운전 1은 연속적으로 재생부와 제습부가 동시에 운전되기 때문에, 냉각 및 가열열원의 부하를 줄이기 위해, 현열교환기가 설치된다.

## 운전 2 : 재생부 on & off 제어

운전 2는 LD의 재생부를 간헐적으로 운전하는 제어방법이다. 운전 2의 제어방법은 다음과 같다(Figure 2). 먼저 LD-IDECOAS의 설정 급기온도의 상한선을 설정한다. LD, IEC, DEC를 차례로 통과한 공기가 설정급기온도의 상한선을 초과하지 않는 범위에서는, LD의 제습부에서 사용된 제습수용액은 재생부에서 재생하지 않고 계속 재순환된다. 따라서 설정급기온도의 상한선을 16°C로 설정했을 때, LD-IDECOAS에서 만들어진 급기온도가 16°C 보다 작은 경우에는 사용된 제습수용액은 재생부에서 재생되지 않고 재순환된다. 만약 급기온도가 16°C를 초과한 경우, 재생부를 사용하여 낮은 농도의 제습수용액은 초기 농도까지 재생시킨다.

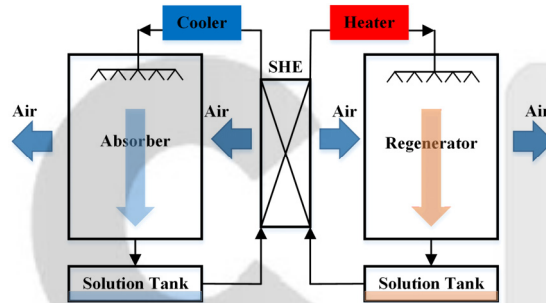


Figure 2. The liquid desiccant system applied with Operation 1

운전 2의 구성요소는 다음과 같이 LD는 제습부, 재생부, 가열 및 냉각 코일 그리고 3개의 Tank로 구성되어 있다(Figure 3). 운전 2는 운전 1과 달리, 제습부는 연속적으로 운전이 되지만, 재생부는 간헐적으로 운전되기 때문에 열교환기를 설치 할 수 없다. 운전 2의 운전 방법은 다음과 같다(Figure 4).

- (1) 운전 2의 LD는 재생부의 Tank 1과 Tank 2에 높은 농도의 제습수용액을 배치하고, 재생부의 운전 없이 Tank 1의 제습수용액을 재순환하여 공기를 제습한다.
- (2) 급기온도가 미리 설정된 급기온도 상한선을 초과한 경우, Tank 1의 제습수용액은 재생을 위해서 재생부로 이동하고, 제습부는 Tank 2의 제습수용액을 사용하여 제습한다.
- (3) 재생부는 Tank 1에 있는 낮은 농도의 제습수용액을 처음상태의 제습수용액 농도까지 재생시킨 후, 재생부의 Tank 3에 있는 높은 농도의 수용액을 다시 재생부의 Tank 1에 공급한다.

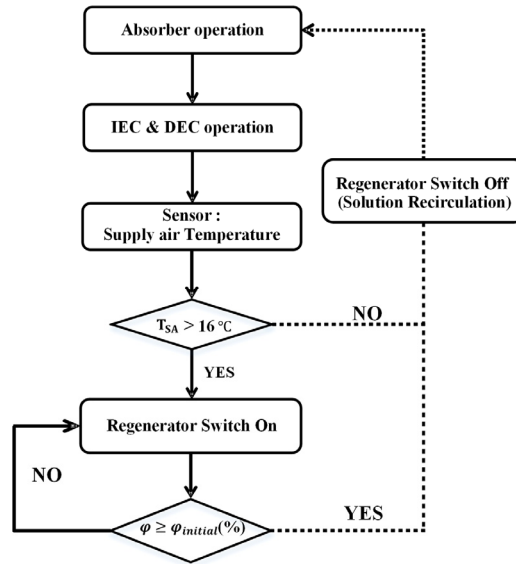


Figure 3. The operation algorithm of the Operation 2

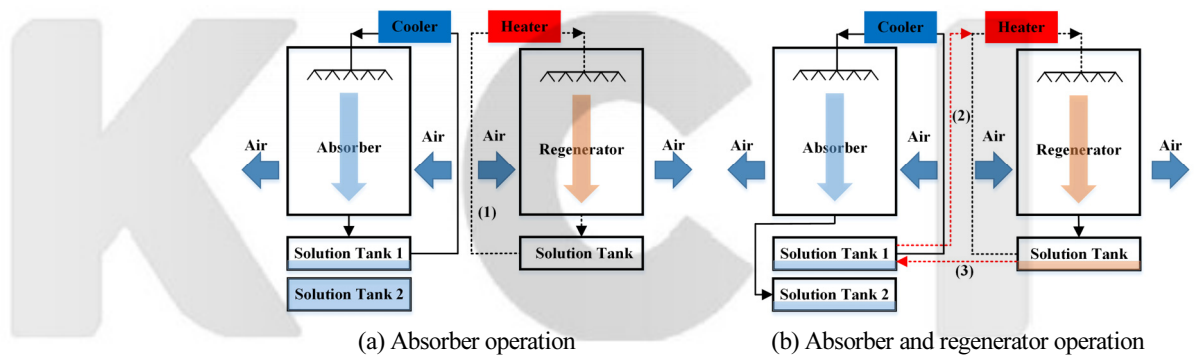


Figure 4. The liquid desiccant system applied with Operation 2

## 시뮬레이션 방법 및 시스템 모델

### 에너지 소비 및 적용 가능성 평가 방안

본 연구에서는 새로운 LD 제어방법의 적용 가능성을 검토하기 위해, 운전2로 운전되는 LD의 냉각 및 가열열원의 부하를 분석하였다. LD의 가열열원 및 냉각열원의 부하는 유체에 따른 열적해석이 가능한 상용 equation solver인 EES(engineering equation solver) 프로그램을 사용하여 계산하였다.

### 액체식 제습 시스템 모델

운전 1과 2에 사용되는 가열 및 냉각열원의 부하 계산하기 위해서, 제습부의 제습량과 재생부의 재생량을 예측하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 Liu et al.(2011)의 실험을 통해서 도출된, LiCl 수용액의 제습량과 재생량을 예측하는 모델인 식 (7)과 식 (8)을 사용하였



다. 식 (7)과 식 (8)은 cross flow type의 packed bed tower에서 실험한 제습부와 재생부의 모델이다. Table 2는 식 (7)과 식 (8)의 변수와 각 변수의 유효 범위를 나타낸다.

$$M_{W|LiCl.dehum} = 9.454 \times 10^8 \times m_a^{0.406} \times \omega_a^{2.2478} \times m_s^{0.6499} \times t_s^{-2.3911} \times \zeta_s^{-1.7919} \quad (7)$$

$$M_{W|LiCl.regen} = 6.602 \times 10^{-8} \times m_a^{0.1649} \times \omega_a^{-0.4617} \times m_s^{0.4818} \times t_s^{3.223} \times \zeta_s^{-2.9341} \quad (8)$$

여기서,

$M_W$ : 제습량 및 재생량 (g/s)

$m_a$ : 공기의 유량(kg/s)

$w_a$ : 공기의 절대습도(g/kg)

$m_s$ : 제습수용액의 유량(kg/s)

$t_s$ : 제습수용액의 온도(°C)

$\zeta_s$ : 제습수용액의 농도(%)

**Table 2.** The range of physical parameters

Model	Absorber	Regenerator
$m_a$	0.29-0.50 (kg/s)	0.24-0.4 (kg/s)
$w_a$	9.8-20.4 (g/kg)	10.5-22.0 (g/kg)
$t_a$ <sup>1)</sup>	26.9-35.1 (°C)	30.3-36.6 (°C)
$m_s$	0.23-0.42 (kg/s)	0.26-0.48 (kg/s)
$t_s$	21.8-29.0 (°C)	48.5-59.4 (°C)
$\zeta_s$	27.8-36.7 (%)	23.7-40.7 (%)

<sup>1)</sup>It means the outdoor air temperature

### LD-IDECOAS 운전 가정 사항

각각의 LD의 운전방법이 적용된 LD-IDECOAS의 구성요소 및 운전방법은 선행 연구(조민석 외, 2016)를 바탕으로 다음과 같이 가정하였다. LD-IDECOAS에 사용된 IEC, DEC의 효율은 각각 70%, 95%로 가정하고, LD-IDECOAS의 설계 급기온도 및 설정급기온도의 상한선은 각각 15°C와 16°C로 설정하였다. 또한, 운전2와 운전1은 외기조건이 일정한 상태에서 1시간동안 운전된다고 가정하여, heating coil과 cooling coil의 부하를 시뮬레이션 하였다. Table 3은 운전 1과 운전 2의 가정 사항들을 나타낸 것이다.



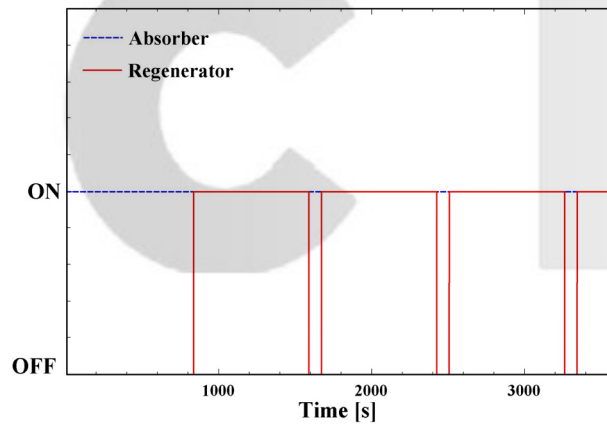
**Table 3.** The assumption of physical parameters

Mode	Absorber	Regenerator
Air temperature	30.4 (°C)	30.4 (°C)
Air humidity ratio	20.4 (g/kg)	20.4 (g/kg)
Solution temperature	28 (°C)	59.4 (°C)
Solution concentration	36.7 %	-
Air mass flow	0.167 (kg/s)	0.4 (kg/s)
Solution mass flow	0.333 (kg/s)	0.333 (kg/s)
Tank size	100 (L)	100 (L)

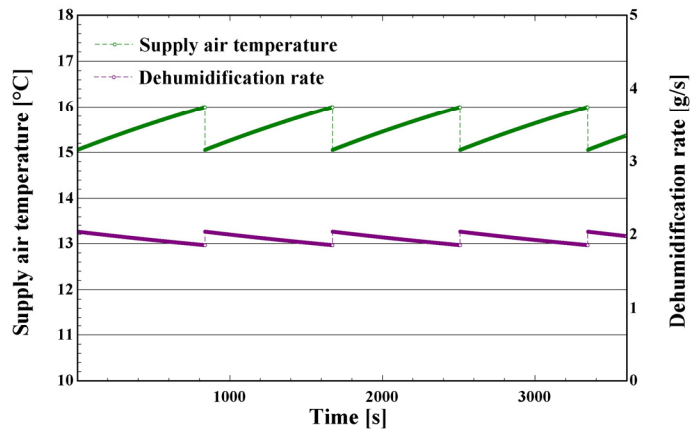
### 에너지성능 평가 결과

#### 운전 1과 운전 2의 제어방법 분석

LD가 운전 2로 한 시간 동안 운전이 될 경우, Figure 5와 같이, 제습부는 연속으로 운전이 되고 재생부는 총 4회 on과 off가된다. 또한, Figure 5는 1시간 운전 동안의 LD-IDECOAS의



**Figure 5.** Absorber and regenerator on-off in the Operation 2



**Figure 6.** Supply air temperature and dehumidification rate in the Operation 2

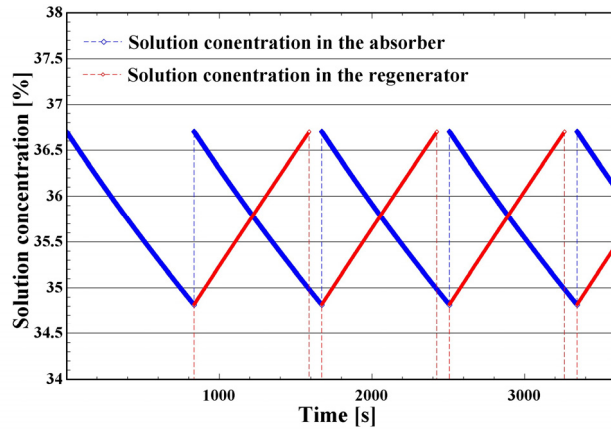


Figure 7. Solution concentration in the absorber and regenerator in the operation 2

급기온도 변화와 제습부의 제습량 변화를 나타낸다. 제습부에서 제습수용액을 재생시키지 않고 반복 사용 할 경우, 제습량이 감소하고, 제습량에 따라 LD-IDECOAS의 급기온도가 증가하는 경향을 보인다. 급기온도가 급기온도 상한선까지 증가한 경우, 재생부가 운전되어 제습량과 급기온도는 다시 처음상태가 된다. Figure 7은 제습부와 재생부 운전에 따른 제습 수용액 농도변화를 나타낸다. 반면, 운전 1은 제습부와 재생부가 동시에 운전이 되어, 제습부 및 재생부의 제습수용액의 농도, 제습량은 일정한 경향을 보인다. 또한, LD-IDECOAS의 급기 온도는 15°C에 가까운 온도로 유지되었다.

### 가열 및 냉각열원 부하 비교

LD-IDECOAS에서 LD가 운전 1과 운전 2로 운전 될 경우에 발생하는 냉각 및 가열열원의 부하는 Figure 8과 같다. 운전 2에서 제습수용액은 재생부가 사용되지 않을 때, 제습부에서 재사용된다. 제습수용액의 제습부 출구온도는 제습과정동안의 발열반응으로 인해 약 32°C가 된다. 따라서 제습부의 제습수용액 설정 온도인 28°C를 유지하기 위해 냉각부하가 발생한다. 재생부 초기운전 시 재순환된 낮은 농도의 수용액은 재생부 설정온도인 59.4°C 까지 가열된다. 또한, 초기상태의 농도를 만들기 위해 제습수용액이 재생부를 순환할 때, 재생부를 통과한 제습수용액의 온도는 약 50°C가 되기 때문에 가열부하가 발생한다. 재생부가 처음 운전 될 경우와 재생부에서 처음상태의 농도로 만들어진 제습수용액이 제습부에서 사용 될 경우에 많은 가열 및 냉각열원 부하가 발생하게 된다. 반면, 운전 1은 제습부와 재생부 사이에 현열교환기가 설치되어있고 현열교환기를 통과한 제습수용액은 pre-cooling 및 pre-heating이 되어 제습부 입구측의 온도는 37.15°C, 재생부 입구측의 온도는 47°C가 된다. 운전 1은 연속적으로 재생부와 제습부가 운전되기 때문에, 일정한 냉각 및 가열열원의 부하가 발생한다. 따라서 LD를 운전 1과 운전 2으로 LD-IDECOAS를 1시간동안 운전 시, 운전 2는 운전 1에 비해 가열열원의 부하는 49%가 줄어들고, 냉각열원의 부하는 40%가 줄어들었다.

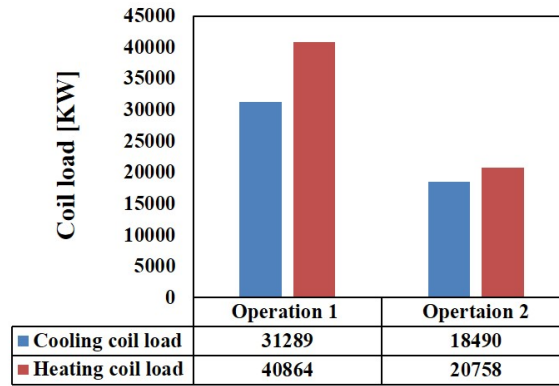


Figure 8. The cooling and heating loads

## 결론

본 연구에서는 재생부를 간헐적으로 운전되는 새로운 LD 제어방법에 대해 분석해보았다. 새로운 LD 제어 방법을 검토하기 위해, LD를 적용한 공조시스템인 LD-IDECOAS에 본 연구에서 제시한 새로운 LD 제어방법을 적용하였다. 새로운 LD 운전방법이 적용된 LD-IDECOAS는 정해진 급기온도 상한선(i.e, 16°C)에 따라서 1시간 동안 제습부는 연속으로 운전되고, 재생부는 총 4회 on과 off가 된다. 새로운 LD운전은 재생부를 간헐적으로 운전된다. 또한 재생부 운전 시 재생부와 제습부의 출구측 제습수용액의 온도와 각각의 입구측 설정 온도차가 기존 운전방법에 비해 작기 때문에, LD-IDECOAS의 LD에 필요한 가열 및 냉각열원의 부하는 기존의 재생부와 제습부를 동시에 운전하는 제어방법에 비해 각각 49%, 40%가 절감되었다. 따라서 기존의 LD 제어방법에 비해, 재생부를 간헐적으로 운전하는 제어방법은 LD-IDECOAS의 적절한 성능을 유지하면서, 동시에 에너지절약을 할 수 있는 방법이라고 할 수 있다. 하지만 본 연구에서 사용된 제습량 및 재생량을 예측하는 모델의 유효 범위상에서 새로운 LD의 운전방법이 시뮬레이션 되었기 때문에, 분석된 새로운 LD의 운전방법은 재생기를 간헐적으로 운전하는 시간이 짧은 한계점이 있다. 따라서 추후 실험을 통해 새로운 LD의 운전방법의 적용성을 검증할 필요가 있다고 판단된다.

## 후기

이 논문은 2016년도 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2015R1A2A1A005001726). 또한, 2017년도 국토교통과학기술진흥원의 국토교통기술촉진연구사업 지원에 의해 수행되었음(17CTAP-C116268-02).

## References

1. 조수영, 정재원. (2015). 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)가 적용된 제습증발냉각 전외기 공조시스템의 연간 1차 에너지 절감량 분석. 한국건축친환경설비학회논문집, 9(4), 292-297.
2. 조민석, 박준영, 신장훈, 최병남, 정재원. (2016). 수중건물에 적용된 액체식 제습증발냉각기반 전외기 공조시스템의 연간 에너지 소비 및 성능 분석. 한국건축친환경설비학회논문집, 10(6), 456-461.
3. 김민휘, 진정탁, 한슬기, 박준영, 정재원. (2012, 3). 제습 증발냉각기반 전외기 공조시스템 제안. 2012 한국건축친환경설비학회 학술발표회논문집: 한국건축친환경설비학회. 85-88.
4. Abdel-Salam, A.H., Simonson, C.J. (2016). State-of-the-art in liquid desiccant air conditioning equipment and systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1152-1183.
5. Fumo, N., Goswami, D.Y. (2002). Study of an aqueous lithium chloride desiccant system: air dehumidification and desiccant regeneration. *Solar energy*, 72(4), 351-361.
6. Kim, M.H., Park, J.S., Jeong, J.W. (2013). Energy saving potential of liquid desiccant in evaporative-cooling-assisted 100% outdoor air system. *Energy*, 59, 726-736.
7. Kim, M.H., Park, J.Y., Sung, M.K., Choi, A.S., Jeong, J.W. (2014). Annual operation energy savings of liquid desiccant and evaporative-cooling-assisted 100% outdoor air system. *Energy and Buildings*, 76, 538-550.
8. Kim, M.H., Park, J.Y., Ham, S.W., Jeong, J.W. (2015). Energy conservation benefit of water-side free cooling in a liquid desiccant and evaporative cooling-assisted 100% outdoor air system. *Energy and Buildings*, 104, 302-315.
9. Kim, M.H., Park, J.Y., Jeong, J.W. (2015). Simplified model for packed-bed tower regenerator in a liquid desiccant system. *Applied Thermal Engineering*, 89, 717-726.
10. Liu, X.H., Yi, X.Q., Jiang, Y. (2011). Mass transfer performance comparison of two commonly used liquid desiccants: LiBr and LiCl aqueous solutions. *Energy Conversion and management*, 52(1), 180-190.
11. Martin, V., Goswami, D.Y. (2000). Effectiveness of heat and mass transfer process in a packed bed liquid desiccant dehumidifier/regenerator. *HVAC&R Research*, 6(1), 21-39.
12. Park, J.Y., Yoon, D.S., Lee, S.J., Jeong, J.W. (2016). Empirical model for predicting the dehumidification effectiveness of a liquid desiccant system. *Energy and Buildings*, 126, 447-454.
13. Zhang, T., Liu, X., Jiang, Y. (2012). Performance optimization of heat pump driven liquid desiccant dehumidification systems. *Energy and Buildings*, 52, 132-144.
14. Park, J.Y., Lee, S.J., Yoon, D.S., Jeong, J.W. (2016, June). Energy Performance of a Liquid Desiccant and Evaporative Cooling-Assisted 100% Outdoor Air System in Commercial Ships. Paper presented at the International Conference of the ASHRAE; ASHRAE Annual Conference.