



냉각식 제습기 제습성능 향상을 위한 히터파이프 적용에 관한 연구

정경태 · 김종수* · 김동규†
삼우종합건축사사무소 · **부경대학교(교수)

A Study on the Application of Heat Pipe to Improve the Dehumidification Performance of the Cooling Dehumidifier

Kyeong-Tae JEONG · Jong-Soo KUM* · Dong-Gyu KIM†
Samwoo Architects & Engineers · **Pukyong National University(professor)

Abstract

This study investigated the application of heat pipe to improve the energy efficiency of the cooling dehumidifier. Dehumidification amount, power consumption, air temperature and dew point temperature were analyzed according to heat pipe application. In the case of using heat pipe, the decrease of the dew point temperature of the dehumidifier was increased by 0.2 ~ 1 °C and the dehumidification performance was improved by about 15.0 ~ 31.8% due to the cooling of the inlet air of the dehumidifier. Therefore, it is considered that applying the heat pipe to the cooling dehumidifier improves the performance.

Key words : Heat pipe, Cooling dehumidifier, Dew point temperature, Dehumidification performance

1. 서론

제습기는 다습한 환경에서 습기를 제거하는 역할을 하는 기기로서 우리나라의 기후가 점점 온난화됨에 따라 수요가 점차 증가하고 있다. 우리나라의 가정용 제습기 보급률은 2010년 5% 미만이었지만 최근 급증하여 2013년 13%, 2014년 20%까지 상승하였다(Korea Power Exchange, 2014). 기후가 비슷한 주변국가인 일본, 홍콩의 제습기 보급률이 80% 이상인 것을 감안해 볼 때 제습기는 성장 가능성이 매우 높은 장치라 할 수 있다. 제습기의 수요증가에 따라 각각의 제조사들은 경쟁력을 갖추기 위해 에너지 효율을 높이고 있다. 따라서 에너지 효율을 높이기 위해 제습기의 제습성능을 향상시킬 필요가 있다. 냉각

식 제습기는 다른 제습방식에 비해 구조가 간단하고 유지보수가 간편하므로 가정이나 산업현장에서 널리 사용되고 있다. 제습방법은 팽창밸브를 지난 냉매가 증발기를 통과하면서 증발기 표면을 실내노점온도 이하로 냉각시켜 증발기 표면에 결로 생성을 유도하는 원리로 제습이 된다. 냉각식 제습기는 압축기의 성능, 열교환기의 열교환 성능에 관한 연구 등 많은 연구를 통해 성능향상이 이루어져 왔지만 제습 효율 향상에는 한계가 있는 상황이다(Kim et al., 2016, Kim, 2016). 제습 효율을 향상시키기 위해서는 추가적인 보조 장치를 적용하는 등 기존 냉각식 제습프로세스를 개선하는 방안이 필요하다고 할 수 있다. 제습기의 제습성능 향상을 위한 연구는 대부

† Corresponding author : 051-629-7818, dgkim@pknu.ac.kr

* 이 논문은 제1저자 정경태(2017)의 석사학위 논문을 일부 수정·보완하였음.

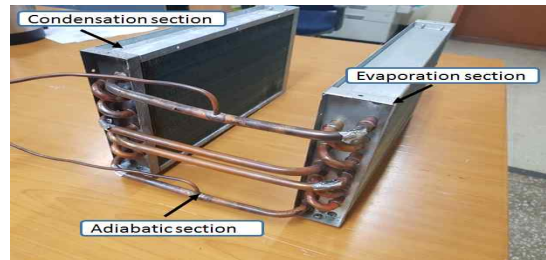
분 증발기의 열교환 성능에 관한 연구에 집중되어 있고(Park et al., 2000, Kim et al., 2003, Kwon et al., 2013, Lee et al., 2015), 히트파이프와 같은 추가적인 부수장치를 통한 제습성능의 향상에 관한 연구는 미비한 실정이다. 산업적인 측면에서 히트파이프를 통한 제습기의 성능향상에 관해 등록된 특허는 있지만(HVAC Engineering Corporation, 2011, Onsystem Corporation, 2012), 아이디어적인 측면에서 제안되어 있고 실제 적용된 사례는 거의 없는 실정이다. 히트파이프는 열교환기의 일종으로 내부가 비어있는 파이프에 휘발성 액체를 가득 넣은 것이다. 이 파이프의 증발부에 열을 가하면 액체는 증발하여 열에너지를 가지면서 응축부로 이동한다. 파이프의 응축부에서 방열하고, 다시 증발부로 귀환되는 구조로 되어 있다. 히트파이프는 잠열에 의한 대량의 열수송이 가능하고 한쪽 방향으로 열을 계속해서 수송할 수 있다는 특징이 있다. 이러한 특징을 이용하여 냉각식 제습기에서 제습을 담당하는 증발기의 전후에 히트파이프를 설치하여 증발기를 통과하는 공기를 예냉시켜 제습장치의 증발기 부하를 줄이고 기존 제습기보다 더 빠른 시간 내에 노점온도 이하로 냉각되는 원리로 제습효율을 향상시킬 수 있다. 따라서 본 연구는 냉각식 제습기의 제습 프로세스를 개선하여 제습 효율 향상을 위하여 히트파이프 적용의 효용성을 검토하고자 하였고, 히트파이프의 유무에 따른 열교환 성능, 제습성능, 소비전력 등을 분석하여 냉각식 제습기의 제습 프로세스 개선을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

II. 연구 방법

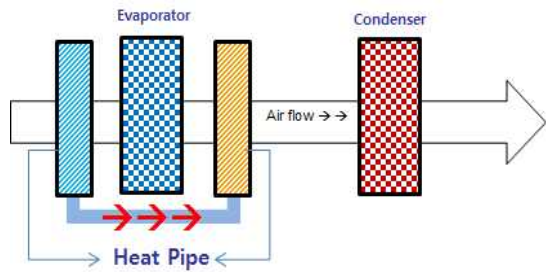
1. 장치 개요

냉각식 제습기의 제습성능 향상을 위해 [Fig. 1] 및 [Fig. 2]와 같이 열사이클방식의 히트파이프를 적용한 제습시스템을 제안하였고, 제작된 히

트파이프의 세부사양을 <Table 1>에 나타내었다. 제습장치는 증발기를 통과한 저온의 공기를 히트파이프를 통해 제습기 유입공기와 열교환을 시켜 제습기 유입공기를 예냉하게 된다.



[Fig. 1] Photo of heat pipe



[Fig. 2] Cooling dehumidifier configuration

<Table 1> Heat pipe components specification

Component	Specification
Refrigerant	R-134a
Heat exchanger size & Heat exchange area	270*170*40 mm & 2.48m ²
Fin pitch	1.5 mm
Pipe size	3/8 inch
Inside volume	120 ml

<Table 2> Cooling dehumidifier components specification

Component	Specification
Refrigerant	R-134a
Compressor	Reciprocating 1/4[HP]
Evaporator size & Heat exchange area	270*170*60mm & 3.72m ²
Condenser size & Heat exchange area	270*170*80mm & 4.95m ²
Expansion Valve	Capillary tube

<Table 3> Environmental chamber specification

Item	Specification
Air temperature	10℃~ 40℃±1℃
Relative humidity	30% ~ 80% ±5%
Cooling capacity	9.41 kW
Heating capacity	13.9 kW
Humidifying capacity	8 ℓ /h
Dehumidifying capacity	1.8 ℓ /h

<Table 4> Experiment case

Air volume [m ³ /h]	Case					
	80	110	140	180	220	235

<Table 5> Temperature measuring point

Measuring Item	Measuring point	Measuring object
Refrigeration cycle	Compressor Inlet	T*
	Compressor Outlet	T
	Condenser Outlet	T
	Evaporator Inlet	T
	Evaporator Surface	T (5 points)
	Condenser Surface	T (5 points)
Passing air	Dehumidifier Inlet	T, DT**
	Dehumidifier Outlet	T, DT
	Evaporator Rear	T
	Condenser Rear	T
	Heat pipe Rear	T, DT
Heat pipe	Heat pipe Surface	T (4 points)

* Temperature ** Dew Point Temperature

<Table 6> Measuring equipment

Measuring Items	Equipment name
Data collection	Data Log (MV-2000)
Wind Speed	Wind-Gauge (VelociCalc 9555)
Temperature	T-type Thermocouple
Dew Point Temperature	Dew Point Temperature sensor (SF52)
Air Volume Control	DELTA VFD-A 0.75kW
Power consumption	AD Power(PM 2400)
Dehumidification amount	CAS (MW-2)

1/4 HP 용량의 왕복동식 압축기를 적용한 냉각식 제습기를 제작하였고 구성요소의 사양은

<Table 2>와 같다. 실험은 일정한 온습도를 유지할 수 있는 항온항습실에서 실시하였고, <Table 3>은 항온항습실의 사양을 나타내었다. 히트파이프와 증발기에 공기를 일정한 면 풍속으로 공급하기 위해 제습기 입구에 80cm 길이의 공기유로를 설치하였다.

2. 실험방법

실험변수의 제어와 데이터 수집은 항온항습실 외부에서 진행할 수 있도록 장비를 배치하였다. 실험은 KS-C9317 제습기 시험 표준 조건인 온도 27℃, 습도 59% 환경을 조성하여 <Table 4>의 실험조건에 따라 진행하였다(Korean Standard Service Network, 2013). 온·습도 조건이 정상상태가 유지된 상태에서 압축기 입구, 압축기 출구, 응축기 출구, 증발기 입구의 온도와 압력을 측정하였으며, 장치를 통과하는 공기의 온습도를 측정하기 위하여 제습장치 입구, 히트파이프 전후, 증발기 직후, 응축기 직후의 온도와 제습장치 입·출구, 히트파이프 흡열부 후단의 노점온도를 측정하였다. 또한 증발기와 응축기의 표면온도를 파악하기 위해 각각 배열에 따라 5등분하여 온도를 측정하였다. 풍량에 따른 제습량을 측정하기 위해서 인버터를 이용하여 풍속을 조절하였다. 데이터 측정 지점과 측정항목, 장비를 <Table 5>, <Table 6>에 나타내었다.

3. 용어 및 수식

본 연구에서 사용된 용어와 수식에 대한 정의는 다음과 같다.

제습량 : 제습량[g/h]은 본 제습기에서 1시간 동안 배출하는 응축수량을 말하며 드레인을 통해 배출되는 양을 측정하여 기록하였다.

소비전력량 : 소비전력량[Wh]은 제습기의 압축기 소비동력을 전력계로 측정한 값이다.

제습성능 : 제습성능[g/Wh]은 제습량을 소비전력량으로 나눈 값이다.

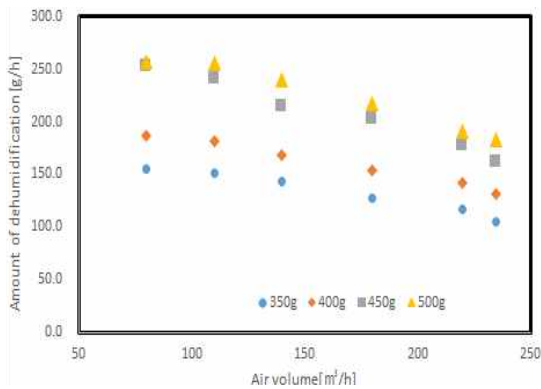
히트파이프 흡열량 : 히트파이프 흡열량은 히트파이프 흡열부에서 흡수하는 열량으로서, 히트파이프 흡열부의 전·후 공기온도차를 이용하고 식 (1)을 사용하여 계산하였다.

$$Q = \dot{M} C_p \Delta T \quad \text{----- (1)}$$

Q : Thermal energy [W]
 \dot{M} : Mass of air [kg/h]
 C_p : Specific heat [J/kg · °C]
 ΔT : Temperature difference [°C]

Ⅲ. 연구 결과

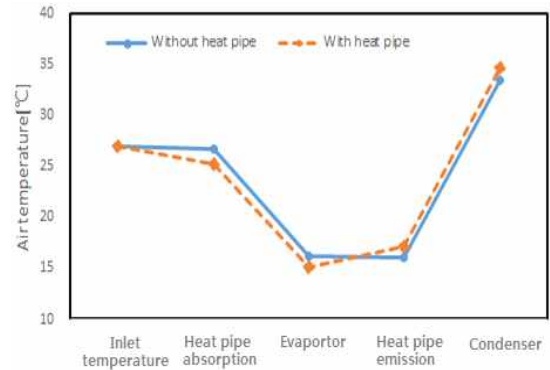
냉각식 제습기의 최적 냉매량을 구하기 위해 냉매 충전량과 풍량을 조건으로 하여 히트파이프 구성품이 구비되지 않은 장치에서 예비 실험을 진행하였다. [Fig. 3]에서와 같이 제습량은 동일 풍량에서 냉매 충전량이 많을수록 증가하는 경향을 보였고, 450g과 500g은 차이가 적었다. 그러나 냉매충전량이 500g일 경우에는 과열도가 낮아 압축기 파손이 우려되어 450g을 본 실험장치의 냉매 충전량으로 하였다.



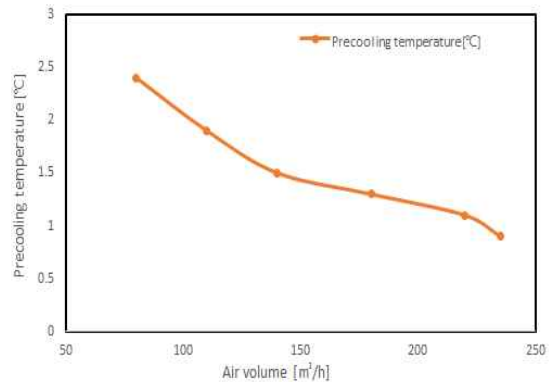
[Fig. 3] Amount of dehumidification according to air volume without heat pipe

본 실험은 히트파이프 구성품이 구비된 상태에서 진행하였다. [Fig. 4]는 히트파이프 적용 유무에 따른 제습기 유입공기의 온도변화를 나타낸 것이다. 히트파이프 적용 시 히트파이프 흡열부

가 유입공기를 약 1.5°C 예냉함으로써 증발기를 통과한 공기의 온도가 기존 제습기에 비해 약 1°C 더 낮게 나타났다. [Fig. 5]는 히트파이프 흡열부로 유입하는 공기의 예냉온도로 히트파이프는 제습기로 유입되는 공기를 약 1 ~ 2.5°C를 냉각하였고, 통과 풍량이 적을수록 제습기로 유입되는 공기의 온도가 많이 감소함을 알 수 있다.



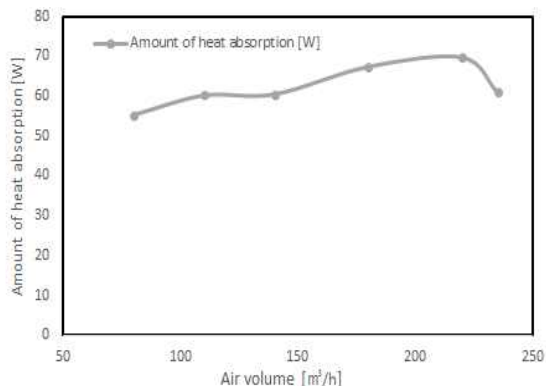
[Fig. 4] Dehumidifier Inlet Air temperature profile (110m³/h)



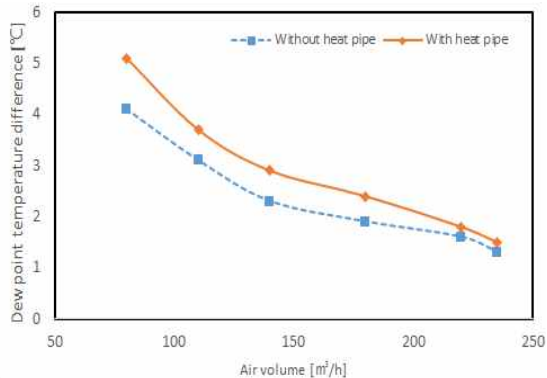
[Fig. 5] Pre-cooling temperature of inlet air through heat pipe

[Fig. 6]은 히트파이프 흡열부의 흡열량으로서, 풍량이 증가할수록 흡열하는 열량이 선형적으로 증가하다가 감소하는 경향을 나타냈다. 흡열량은 평균 55~70W 정도로 나타났으며, 풍량 200m³/h 조건 일 때 흡열량이 가장 크게 나타났다. 풍량

230m³/h의 조건에서는 빠른 풍속으로 인해 히터 파이프 전후 온도차가 감소하여 히터 파이프의 성능이 저하되었고, 증발기 표면의 수분응축이 일어나는 노점온도 이하의 면적도 감소하여 제습량이 줄어 든 것으로 판단된다. [Fig. 7]은 히트파이프 적용 유무에 따른 제습기 입·출구 노점온도차를 나타낸 것이다. 기존 제습기는 풍량에 따라 1.3 ~ 4.1℃의 노점온도 감소를 나타냈지만, 히트파이프를 적용한 경우 1.5 ~ 5.1℃의 노점온도 감소를 나타냈다. 동일한 제습기에 히트파이프를 적용함에 따라 노점온도 감소율이 히트파이프가 적용되지 않은 경우에 비해 감소율이 12.5 ~ 26.3% 증가함을 알 수 있다.

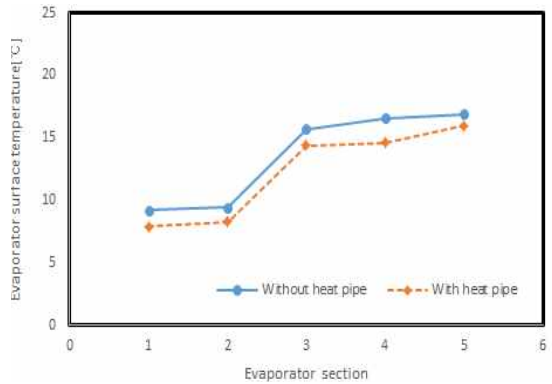


[Fig. 6] Amount of heat absorption of heat pipe

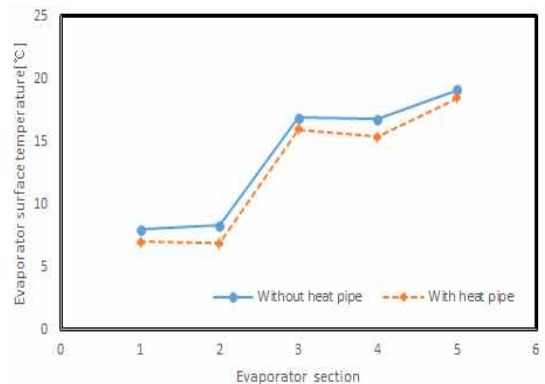


[Fig. 7] Dehumidifier inlet / outlet dew point temperature difference

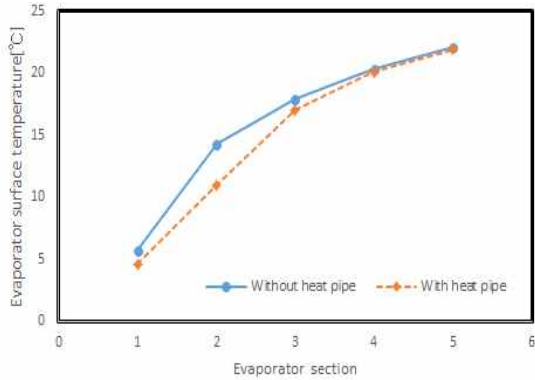
[Fig. 8], [Fig. 9], [Fig. 10]은 증발기의 표면온도 분포를 나타내었다. 그림에서 1은 증발기 입구, 5는 증발기 출구를 나타내며 1~5까지 증발기를 등 간격으로 나누어 표면온도를 측정하였다. 실험 조건 중에서 히터파이프 적용 시 증발기 표면온도가 히터파이프를 적용하지 않은 경우에 비해 낮게 나타났다. 또한 풍량 80m³/h, 110m³/h의 경우 등 간격으로 나누어진 증발기 표면 대부분이 노점온도(약 18℃)이하로 유지되었다. 반면에 최대 풍량 조건인 235m³/h의 경우에는 증발기의 1/3 가량이 노점온도 이상이 되어 제습 가능 면적이 감소함을 확인하였다.



[Fig. 8] Evaporator surface temperature (80m³/h)



[Fig. 9] Evaporator surface temperature (110m³/h)



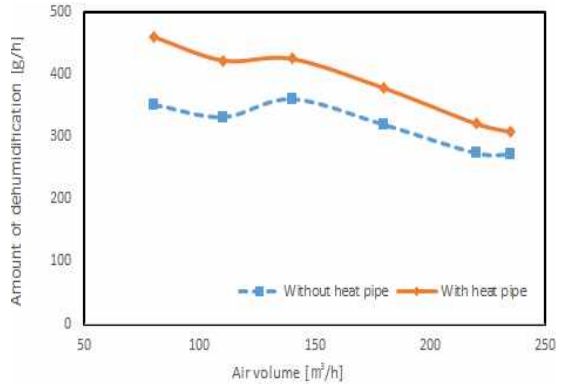
[Fig. 10] Evaporator surface temperature (235m³/h)

히트 파이프 적용 유무에 따른 제습량과 제습성능을 [Fig. 11], [Fig. 12]에 나타냈다. 제습량과 제습성능은 유사한 경향을 나타냈고, 본 제안 시스템의 경우 히트파이프 적용 시 기존 냉각식 제습시스템에 비해 평균 15 ~ 31.8%의 제습성능 향상을 나타냈다.

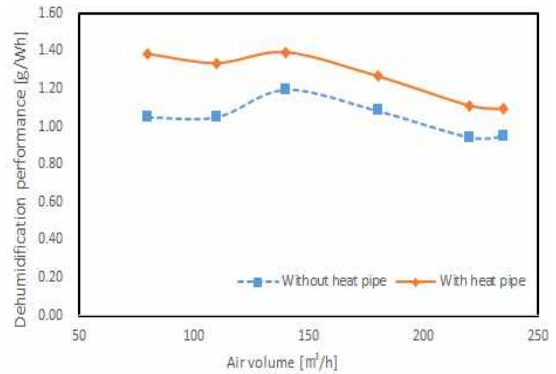
IV. 결론

본 연구에서는 냉각식 제습기의 에너지 효율 향상을 위한 히트파이프 적용에 대해 검토하였다. 1/4 HP 용량의 냉각식 제습기를 제작하여 히트파이프 적용유무에 따른 제습량, 소비전력량, 공기온도, 노점온도 등을 측정, 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 냉각식 제습기의 증발기 전후에 히트파이프 적용 시 흡열부로 인해 약 1.0 ~ 2.5°C의 예냉 효과가 나타났다.
- 2) 히트파이프를 통한 제습기 유입공기의 냉각으로 제습기의 노점온도감소폭이 0.2 ~ 1°C 상승하였고, 제습성능이 약 15.0 ~ 31.8% 향상되었다.
- 3) 냉각식 제습기에 히트파이프를 적용하는 것은 충분한 성능향상이 가능하다고 판단되므로 향후 냉각식 제습기 설계·제작 시 히트파이프 적용을 고려할 필요가 있다.



[Fig. 11] Comparison of dehumidification amount



[Fig. 12] Comparison of dehumidification performance

References

Hvac Engineering Corporation(2011). Evaporator with heatpipe for dehumidifiers, Korean Intellectual Property Office, Application No. 1020110069511.

Hyeon YS and Yang KO(2014). Air conditioner apparatus for dehumidification using heat pipe heat exchanger, Korean Intellectual Property Office, Registration No. 1014098130000.

Kim JC, Jeong KT, Kum JS and Kim DG.(2016), A Study on Evaporator Front Air Velocity of Small Refrigeration Ceiling Dehumidifier, Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 28(4), 1107~1113.
<http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2016.28.4.1107>

Kim JC.2016). A Study on Dehumidification

- Performance of Evaporator Frontal Air Velocity of Refrigeration Compact Dehumidifier, Pukyong National University, 29~36.
- Kim NH, Oh WK, Cho JP, Park WY and Youn B(2003). Data Reduction on the Air - side Heat Transfer Coefficients of Heat Exchangers under Dehumidifying Conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 15(1), 73~86.
- Korea Power Exchange(2014). Survey on household appliance penetration rate and household power consumption
- Korean Standard Service Network(2013). KS C 9317, 11~12.
- Kwon YC, Kim KY, Lee SH and Kwon JT(2013). Experimental Study on the Heat Transfer Capacity and Dehumidification Performance of a Parallel Flow Evaporator for a Heat Pump Dryer, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 25(9), 516~521.
- <http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2013.25.9.516>
- Lee JH, Jung CW, Kang YT, Kim SC and Kim YL(2015). Dehumidification performance on plate type heat exchanger, Winter Conference of Korean Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 196~198.
- Onsystem Corporation(2012). Energy-saving type dehumidifier using heat pipe, Korean Intellectual Property Office, Registration No. 1012318100000
- Park BK and Lee TH(2000). Thermodynamic Modeling of Finned Tube Evaporator for Dehumidification and Air Conditioning, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 12(11), 1020-1031.
-
- Received : 11 February, 2019
 - Revised : 04 March, 2019
 - Accepted : 07 March, 2019