Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering
Vol. 27, No. 12 (2015), pp.626-632
http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2015.27.12.626

가정용 제습기의 운전에 따른 실내 온습도 변화 분석

Analysis of Indoor Temperature and Humidity Changes with the Operation of the Condense Drying Dehumidifier

최연희(Younhee Choi)[1], **송두삼**(Doosam Song)[2†], **손원우**(Won-Woo Sohn)[2], **임영훈**(Younghoon Lim)[3]
[1]성균관대학교 건설환경시스템공학과, [2]성균관대학교 건축토목공학부, [3]성균관대학교 글로벌건설엔지니어링학과
[1]*Department of Civil and Environmental System Engineering, Graduate School of Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea*
[2]*School of Architectural and Civil Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea*
[3]*Department of Global Construction Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea*

(Received September 9, 2015; revision received October 20, 2015; Accepted: November 23, 2015)

Abstract The purpose of this paper is to analyze the indoor temperature and humidity changes with the operation of a condense drying humidifier. This paper illustrates the principles and composition of a condense drying dehumidifier, which is broadly used in Korean households. Experiments were conducted repeatedly on rainy days in a test chamber. The results showed that the indoor RH was lowered to 40% within 2 hours while the indoor temperature was increased by approximately 4.3 ℃ with the operation of the humidifier.

Key words Dehumidifier(제습기), Temperature(온도), Humidity(습도)

† Corresponding author, E-mail: *dssong@skku.edu*

기호설명

h	: 엔탈피 [kcal/kg]
c_{pa}	: 공기 정압비열 ≒ 0.24 [kcal//(kg・℃)]
c_v	: 수증기 정압비열 ≒ 0.43 [kcal/(kg・℃)]
d	: 공기의 밀도 [kg/㎥]
γ_0	: 0℃에서의 수증기의 증발잠열 ≒ 597.3 [kcal/kg]
Q_A	: 처리 풍량 [㎥/h]
θ	: 건구온도 [℃]
x	: 절대습도 [kg/kg']
Δx	: 절대습도 차 [kg/kg']
L	: 제습량 [kg/h]

1. 서 론

최근 지구온난화에 따른 기후 변동, 가전기기의 보급의 증가로 인한 내부발열의 증가, 건물의 단열, 기밀성능 향상에 따른 발생 열의 정체 등으로 주거건물에서 냉방 없이는 여름을 나기 어려운 상황이다.

가정용 에어컨 보급률은 1990년대부터 꾸준히 성장하고 있다. 한국전력거래소의 '가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사'[(1)]에 따르면, 1990년에 보급률 9%였던 에어컨은 1993년까지 제자리걸음을 반복하다 1997년에 보급률 20%를 넘긴 뒤로 꾸준히 성장해 2009년에 보급률 60%, 2013년에는 보급률이 78%에 달하고 있다.

아울러 제습기의 경우는 2011년 4%에서 2012년 7.8%, 2013년 12.7%로 보급률이 급증하고 있다. 이처럼 가정용 건물에서 에어컨과 더불어 제습기의 보급률이 급증하고 있는 이유는 제습기를 이용해 에어컨 대비 에너지 비용을 절감하면서 냉방효과를 얻을 수 있다는 소비자들의 인식에 비롯된 것이다.

그러나 과연 제습기는 소비자들이 인식하고 있는 것처럼 냉방효과가 있는 것일까?

제습기는 제습방식에 따라 압축식 냉동기를 이용한 냉각식 제습, 데시컨트 로터를 이용한 흡착식 제습, 액체 데시컨트를 이용한 흡수식 제습으로 분류된다.[(2)]

현재 일반 가정에 가장 많이 보급되고 있는 냉각식 제습기는 압축식 냉동기의 증발온도를 처리공기(실내공기)의 노점온도 이하로 낮추어, 전열관 및 핀 표면상에 강제적으로 결로를 발생시켜, 그 응축수를 제거하는 것으로 제습을 실시하는 것이다. 노점온도 이하까지 낮아진 공기는 응축기(condenser)를 거쳐 재열 처리

ⓒ SAREK

되어 실내로 공급된다(Fig. 1).

Fig. 2에 냉각식 제습기를 거친 공기의 상태변화를 습공기선도상에 표기한 것이다.

흡착식 제습은 공조기에 적용되고 있는 방식이며, 아직은 국내의 가정용 포터블 제습기에는 적용되고 있지 않다. 흡착식 제습은 흡착제(건조제)가 공기 중의 수분을 흡착 제거하는 방식이다.

Fig. 3, Fig. 4에 흡착식 제습냉방의 원리, 공기의 상태 변화를 보이고 있다. 흡착식 제습냉방은 A상태의 공기가 데시컨트 로터를 거쳐 제습이 되어 B상태가 되며, 다시 냉각코일을 거쳐 냉각, 제습된 공기상태(S)가 되어 실내로 공급된다. 데시컨트 로터에 흡착된 수분은 고온 가열하여 로터에서 탈착하는 과정이 필요하다. 이 과정은 Fig. 3, Fig. 4의 C→D→E의 과정이다. 즉 C상태의 실내 리턴 공기는 가열기를 거쳐 D의 고온 상태가 되며, 이 공기는 데시컨트 로터를 경유하면서 로터에 있는 수분을 탈착, 흡착제를 건조, 재생시킨다.

위에서 고찰한 것과 같이 냉각식 제습은 원리적으로 처리공기의 습기(잠열)은 제거할 수 있으나 재열과정 또는 응축기를 거치며 온도는 상승하는 결과를 나타낸다.

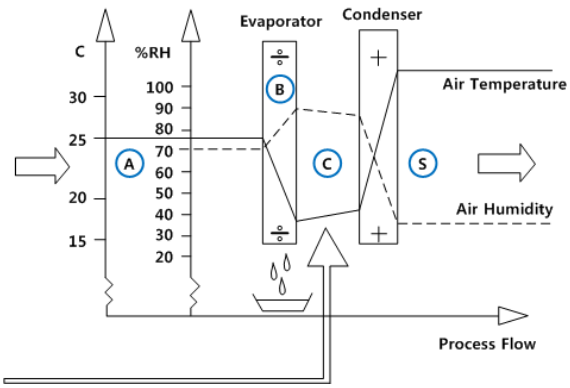

Fig. 1 Dehumidification principle of cooling based dehumidifier.[3]

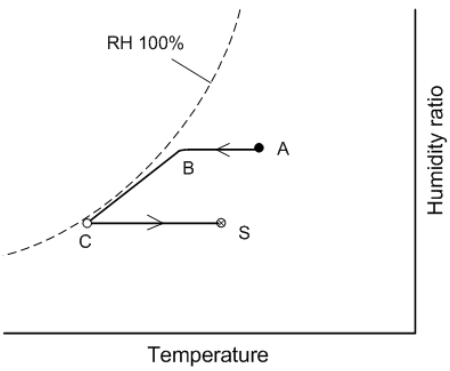

Fig. 2 Air path in cooling based dehumidifier.

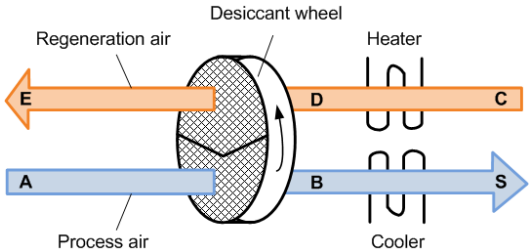

Fig. 3 Dehumidification principle of desiccant air-conditioning.[4]

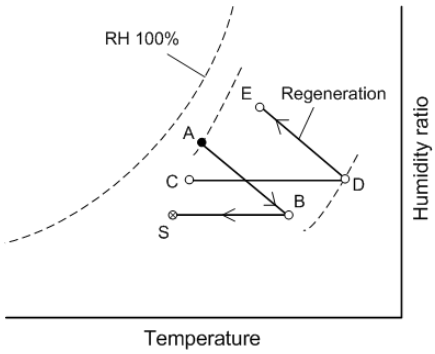

Fig. 4 Air path in desiccant air-conditioning.[4]

본 논문에서는 현재 국내 가정에 많이 보급되고 있는 냉각식 제습기를 가동할 경우, 실내 온도, 습도의 변화를 분석하고자 한다. 아울러, 제습기 가동에 따른 실내 공기의 엔탈피변화, 수증기 제거량 등을 분석하고자 한다.

냉각식 제습에 관한 기존 연구로 Song[5]은 냉각식 제습의 원리를 설명하였으며, Hwang et al.[6]은 가정용 에어컨의 냉방운전과 제습운전에 따른 실내온도, 습도 변화, 제습효율, 에너지 소비량 등을 비교하였다. 본 연구는 Hwang et al.[6]의 연구와 유사한 점이 있으나, 본 연구에서는 에어컨이 아닌 냉각식 제습기를 대상으로 하고 있다는 점에서 차이가 있다. 즉, 에어컨의 경우는 제습과정에서 실내에서 취득한 열을 실외기를 통해 열을 배출하지만, 제습기는 그 열을 실내에 배출한다는 것에서 근본적인 차이가 있다. 본 연구에서는 가정용 냉각식 제습기로 냉방효과를 기대하는 소비자들의 관점에서 제습기 가동에 따른 실내 온도 변화, 상대습도 변화, 수증기 제거량 등을 검토하고자 하는 것이다.

2. 실험방법 및 관련 이론

2.1 실험방법

실험은 단열, 기밀이 충분히 이루어졌으며 일사 등 외기의 영향을 받지 않도록 시공된 테스트 셀에서 실시

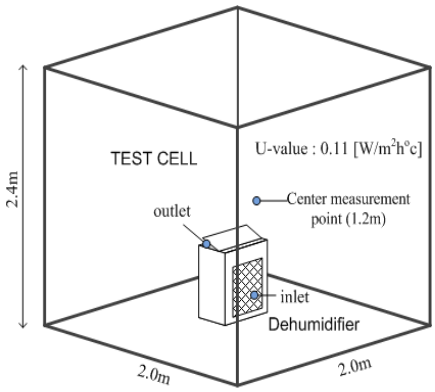

Fig. 5 Test cell.

되었다. 테스트 셀의 체적은 9.6 m^3이며, 약 1.2평으로 실제 거주공간과 비교하면 작은 공간이다. 실험은 테스트 셀 내부의 상대습도가 약 80% 정도인 비가 오는 날 실시되었다. Fig. 5와 같이 테스트 셀 중앙에 약 15 ℓ/day 용량의 제습기를 설치하여, 제습기 가동에 따른 실내 대표점(중앙, 바닥에서 1.2 m지점), 그리고 제습기 유입, 유출 공기의 온/습도를 측정하였다.

실험은 1회에 2시간 동안 진행되었으며, 동일한 실험이 3회 반복 실시되었다.

실험에 사용된 온습도 기록계의 사양은 Table 1과 같으며, 제습기는 냉각식 제습기로 그 사양은 Table 2와 같다.

본 연구에서 사용한 가정용 제습기는 Table 2와 같이 여러 가지 풍량모드가 있으며, 자동운전 시, 초기 30분은 터보모드로 운전되며 그 이후는 강풍모드로 운전된다. 제습은 자동모드에서 실내 상대습도 하한 45%, 상한 55%에서 on/off 운전된다.

Table 3에 실험조건을 보이고 있다. 실험은 비오는 날 3회에 걸쳐 반복 실험이 진행되었다.

Table 1 Measurement instrument

	NTC	humid. sensor-capacity
Meas. range	-20 to +50℃	0 to 100% RH
Accuracy±1 digt	±0.4℃	±2% RH
Resolution	0.1℃	0.1% RH

Table 2 Dehumidifier specification

Power consumption	290 W
Refrigerants/Weight	R-134a/165 g
Dehumidification amount	15 L/day
Container capacity	4 L
Air flow rate(CMM)	2.34(Turbo) 2.2(Strong) 2.12(Medium) 1.98(Light)

Table 3 Experimental conditions

			1st	2nd	3rd
			'15/07/13, 14：45~16：45	'15/07/13, 10：12~12：12	'15/07/12, 15：45~17：45
Initial condition	Cell	Temp. [℃]	24.4	25.1	27.3
		RH [%]	79.7	79.0	75.2
	Outdoor	Temp. [℃]	22.4	23.0	26.2
		RH [%]	100	100	88

2.2 실험 관련 이론식

본 연구에서는 실내 온도변화, 습도변화, 엔탈비 변화를 산출하여 제습기 가동에 따른 실내 공기의 상태 변화를 정의하고자 하였다. 이와 관련한 식은 다음과 같다.

$$h = c_p\theta + x(\gamma + c_v\theta) \tag{1}$$

제습기의 가동에 의한 제습량은 식(2)와 같다.

$$L = \triangle x \times Q_A \times d \tag{2}$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 제습기 가동에 따른 실내 온/습도 변화

Fig. 6과 같이 실내 습도는 초기 RH 80%에서 제습기 가동 30분 후 RH 35%까지 급격히 하강하였다. 이 단계에서 제습기는 터보모드로 작동하여 2.34[CMM]의 풍량을 처리하였다. 이후 제습기는 가동을 멈추고 실내 습도가 RH 55%가 되면 다시 가동되어 실내 습도가 RH 45%가 되면 가동을 멈추는 on/off 제어가 실시되었다.

한편 실내 온도는 실내 습도와 반대의 경향을 보여 제습기 가동에 따라 실내 습도가 저하되는 과정에서 오히려 실내 온도가 상승하는 경향을 나타냈다.

제습기의 가동이 멈추면 실내 온도는 다시 하강하

ⓒ SAREK

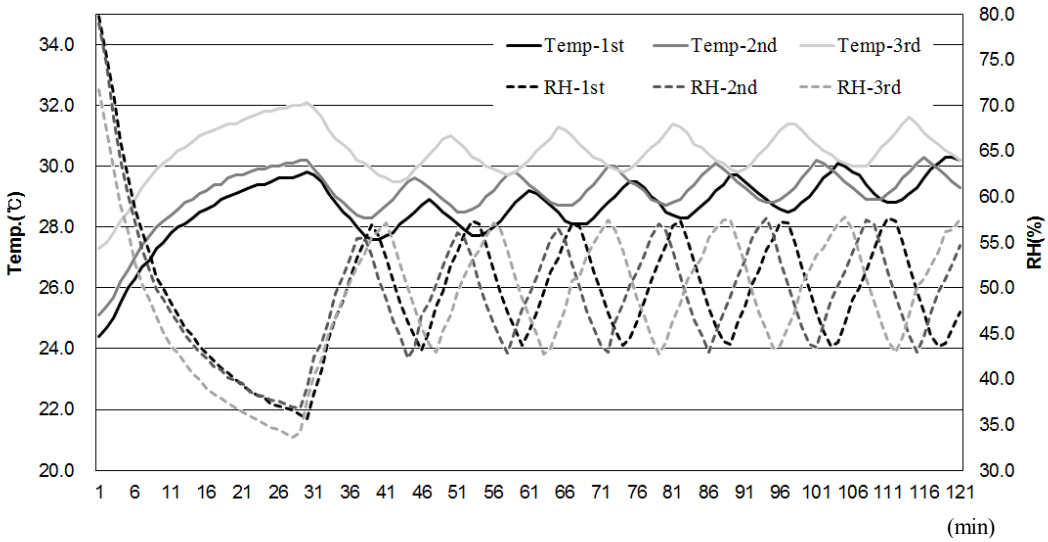

Fig. 6 Indoor temperature and RH changes with the operation of dehumidifier.

고, 가동되면 다시 상승하는 경향을 반복하였다. 이것은 앞의 제 2장에서 설명한 냉각식 제습기의 특성으로 냉각식 제습기는 최종 실내로 토출되는 공기는 냉각, 재열되어 낮은 습도, 높은 온도의 공기상태가 되기 때문이다.

Table 4, Table 5는 제습기 가동 전, 2시간 가동 후의 실내 온도, 습도의 변화를 나타내고 있다. 제습기 가동에 따라 실내 습도는 초기 RH 80%에서 약 50% 정도로 낮아지는 것을 알 수 있다. 그러나 실내 온도는 제습기 가동에 따라 초기 온도 대비 약 3℃에서 6℃ 정도까지 상승됨을 알 수 있다. 이것은 테스트 셀의 면적이 실제 거주공간에 비해 상대적으로 작기 때문에 다소 온도 상승 경향이 다소 과장되게 나타날 수 있으나 결과적으로 제습기 가동에 따라 실내 온도는 상승함을 알 수 있다. 또한 본 실험에서 사용한 제습기의 용량이 테스트 셀의 크기에 비해 큰 용량의 제습기를 사용하여 실의 체적대비 발열량은 높게 나타난 결과라고도 할 수 있다.

Table 4 Indoor RH changes with the operation of dehumidifier

	initial	end point	variations
	RH[%]		
	AH[kg/kg']		
1st	79.70	47.40	-32.30
	0.015394	0.012811	-0.002584
2nd	79.00	54.60	-24.40
	0.015924	0.014039	-0.001885
3rd	75.20	56.40	-18.80
	0.017300	0.015303	-0.001997

Table 5 Indoor temperature changes with the operation of dehumidifier

	initial	end point	variations
	Temp.[℃]		
1st	24.40	30.20	5.8
2nd	25.10	29.30	4.2
3rd	27.30	30.20	2.9

3.2 제습기 가동에 따른 엔탈피 변화

본 실험에서 설정한 제습풍량은 가동 후 30분 지점에서 모드가 자동으로 변환되므로 Fig. 7와 같이 발생열량을 산출하는 지점을 시작점(A), 모드전환점(B), 종료점(C) 세 곳으로 정하였다.

제습기 거동에 따른 공기상태를 Fig. 8에서 습공기선도상에 표기하였다. Fig. 8에서의 V지점은 A상태의 공기를 냉각→노점온도에 이르는 점을 표기한 것이다. 실험 시작점(A)의 공기상태가 점(V)을 거쳐 120분 후 C점으로 도달하게 되는데, 여기에서 A점에 비해 C점은 습기는 제거되었지만, 온도는 상승한 것을 볼 수 있다.

Fig. 7에서 보면 엔탈피는 초기 30분 동안 급격히 감소한 후 후기 90분 동안은 증가와 감소를 반복하지만 결론적으로는 지속적으로 증가하는 추세를 보인다.

각 지점들에서의 엔탈피의 변화를 구체적인 값으로 나타내면 Table 6, Fig. 9와 같다. 시작점에 비해 모드 전환

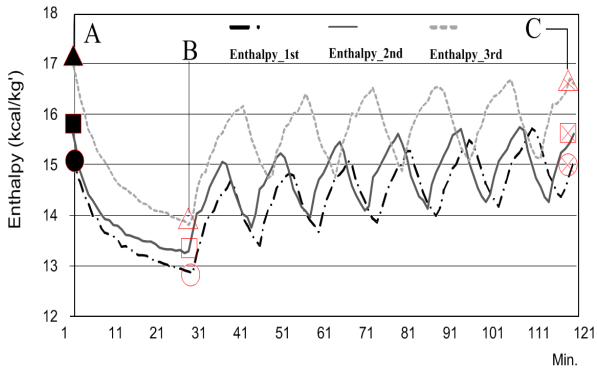

Fig. 7 Enthalpy changes during the experimental period and points chosen for the calculation.

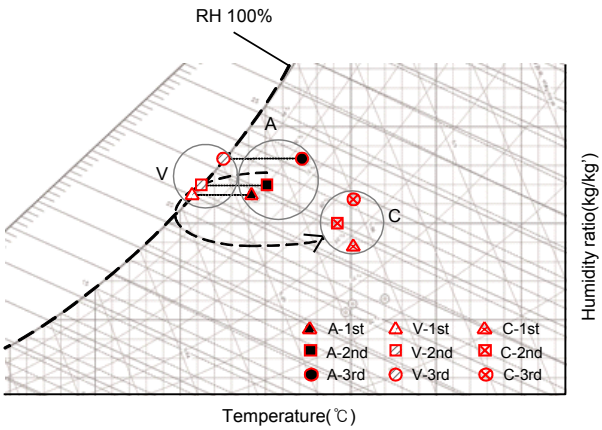

Fig. 8 Air path with the operation of dehumidifier in Psychometric chart.

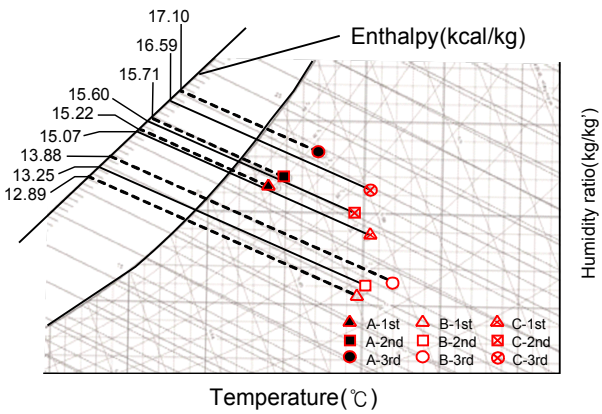

Fig. 9 Enthalpy of the initial and endpoint of the indoor air.

점에서는 평균 엔탈피가 2.67 kcal/kg 감소하는데, 이는 초기 30분 동안 최대 풍량으로 제습이 진행되기 때문이다. 이후 모드 전환점에서 종료점까지는 평균 엔탈피

Table 6 Enthalpy changes at each point

		enthalpy [kcal/kg]	variation [kcal/kg]
1st	initial	15.22	-2.33
	mode change	12.89	+2.18
	end point	15.07	
2nd	initial	15.71	-2.46
	mode change	13.25	+2.35
	end point	15.60	
3rd	initial	17.10	-3.22
	mode change	13.88	+2.71
	end point	16.59	
Avg.	initial	16.01	-2.67
	mode change	13.34	+2.41
	end point	15.75	

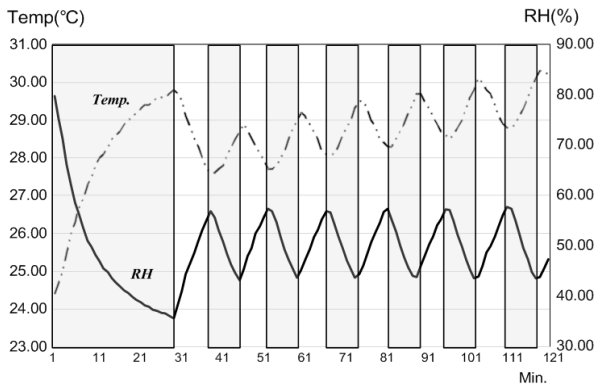

Fig. 10 Dehumidification section with the operation of the dehumidifier.

가 2.41 kcal/kg 증가한다. 이 경우, 처리공기의 습기(잠열)의 제거에도 불구하고 재열과정 또는 발열(현열) 증가에 따른 엔탈피의 상승이 발생한 것으로 판단된다.

3.3 제습기 가동에 따른 제습량

본 실험에 사용된 제습기는 제 2.1절에서 설명한 바와 같이 초기 30분은 터보모드로 운전되며 그 이후는 강풍모드로 운전된다. 제습기는 상대습도의 상한, 하한치에 따라 on/off 운전하여 제습과 송풍 모드를 반복한다. 제습기의 실질 가동구간은 Fig. 10에 음영 처리된 부분으로, 상대습도가 하강하는 구간, 즉, 제습이 실시된 시간에 해당한다. 따라서 총 실험 시간은 120분이지만 실질 제습 시간은 송풍모드 구간을 제외한 70여분 정도이다.

ⓒ SAREK

Table 7 Moisture removal rate

		Elapsed time	Dehumidification rate
		[min]	[g]
1st	initial (turbo mode)	29	74.04
	latter (strong mode)	41	179.52
	total	70	253.55
2nd	initial (turbo mode)	29	75.15
	latter (strong mode)	42	184.59
	total	71	259.74
3rd	initial (turbo mode)	28	88.90
	latter (strong mode)	37	140.22
	total	65	229.11
Avg	initial (turbo mode)	28.7	79.36
	latter (strong mode)	40	168.11
	total	68.7	247.47

식(2)를 통해 실내 절대습도의 변화를 통해 산출된 제습량은 Table 7과 같다.

본 연구에서는 제습기 가동에 따른 실내 상대습도, 절대습도의 변화를 통해 산출한 제습량 결과와 실제 제습기 물받이에 남겨진 물의 양과 비교하였다. 양자간의 결과를 비교하면 제습기 물받이를 통해 집수된 양이 계산량 대비 약 3～5% 작게 나타났다. 이것은 공기중에서 제습된 물이 제습기의 코일이나 드레인에 아직 남아있기 때문에 물받이에 집수된 양은 계산결과보다 다소 작은 값을 나타내는 것으로 판단된다.

결과적으로 본 연구를 통해 제시한 제습량과 실제 제습기 물받이에 집수된 제습량은 매우 일치하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 제습기의 운전에 따른 실내의 온/습도의 변화를 알아보기 위한 목적으로 테스트 챔버에서 제습기 가동에 따른 실내 온/습도, 엔탈피의 변화, 제습량을 산출하였다.

(1) 실내 습도는 초기 RH 80%에서 제습기 가동 30분 후 RH 35%까지 급격히 하강하였다. 이 단계에서 제습기는 터보모드로 작동하여 2.34[CMM]의 풍량을 처리하였다. 이후 제습기는 가동을 멈추고 실내 습도가 RH 55%가 되면 다시 가동되어 실내 습도가 RH 45%가 되면 가동을 멈추는 on/off 제어가 실시되었다.

(2) 제습기 가동에 따라 실내 온도는 테스트 셀의 조건에서 초기온도 대비 평균 4.3℃ 정도 상승하는 결과를 보였다.

(3) 제습기 가동에 따른 실내 공기의 엔탈피 변화는 초기 30분의 강력한 제습으로 인한 잠열제거로 약 2.67 kcal/kg 정도 감소한다. 그러나 그 이후에 지속적으로 제습운전이 실시되어 잠열은 제거되나 온도 상승에 따른 현열 증가로 30분 이후 모드 전환점에서 종료점까지 평균 엔탈피가 약 2.41 kcal/kg 증가한다.

(4) 총 실험시간 동안의 평균 제습량은 247.47 g을 나타냈으며, 이 결과는 실제 제습기의 물받이에 집수된 양과 거의 동일하였다.

(5) 결과적으로 냉각식 제습기는 실내 수증기를 제거하지만 지속적으로 운전할 경우, 실내 배열에 따른 실내 온도상승으로 냉방효과를 기대하기 어려운 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국과학창의재단(대학생 창의융합형 연구과제 지원사업)의 지원을 받아 수행된 연구임.

References

1. Korea Power Exchange, 2012, Survey Report for Penetration of Households Appliance and Power Consumption Behaviors in Residential Buildings, Seoul, Korea.
2. Harriman, L. G., 1990, The Dehumidification Handbook, 2nd Edition, Munters Cargocaire, Amesbury, MA, U.S.A.
3. https://www.dantherm.com/gb/dehumidification/selecting mobiledehumidifiers/howdoesadehumidifierwork/.
4. Yamakuchi, S., 2010, Numerical and Experimental Performance Evaluation for Silica Gel Desiccant Wheel, Ph.D. thesis, Waseda University, Tokyo, Japan.
5. Song, Y. S., 1998, Dehumidification by refrigeration, J. of SAREK, Vol. 27, No. 6, pp. 548-552.
6. Hwang, J., Seo H., Byeon N., Joo Y., and Kim J., 2015, An Experimental Study on Dehumidifying Efficiency and Thermal Comfort Improvement for the In-

verter-driven Residential Air-Conditioner, Proceeding of SAREK, pp. 253-256.
7. Pesaran, A. A., 1993, A Review of Desiccant Dehumidification Technology, Proceedings of EPRI's Electric Dehumidification : Energy Efficient Humidity Control for Commercial and Institutional Buildings Conference, New Orleans, Louisiana, U.S.A.
8. Lee, S. D., Park, M. S., Chung, J. E., and Choi, Y. S., 2004, Study on the Energy Efficiency Improvement of Hybrid Dehumidification Air Conditioning System Compared with Refrigeration System, J. of SAREK, Vol. 16, No. 10, pp. 952-959.

ⓒ SAREK