

# 온열감각 기반 습도제어를 통한 여름철 건물의 열쾌적 및 에너지성능 향상

Thermal sensation based humidity controls for improving indoor thermal comfort and energy efficiency in summer

문 진 우\*  
Moon, Jin Woo

진 경 일\*\*  
Chin, Kyung-Il

김 상 철\*\*  
Kim, Sang-Chul

이 광 호\*\*\*  
Lee, Kwang Ho

## Abstract

This study aims at investigating the benefit of actively controlling humidity to improve thermal comfort and energy efficiency in climate zones other than hot-dry. For this research purpose, three thermal control strategies, which adopted different initiative degrees in humidity control, were developed - i) temperature controls, ii) temperature and humidity controls, and iii) thermal sensation controls. Performance of the developed strategies were experimentally tested in a full scale mock up of an office environment. The study revealed that air temperature was better controlled in the occupied zone under the first two strategies than the thermal sensation based strategy. On the other hand, the thermal sensation-based strategy maintained thermal sensation levels more comfortably. In addition, energy consumption was significantly reduced when humidity was actively controlled for thermal comfort. The thermal sensation-based control strategy consumed significantly less electricity than the first two strategies. From these findings, this study indicated that adoption of an active humidity control system based on thermal sensation can provide increased thermal comfort as well as energy savings for summer seasons in climatic zones other than hot-dry.

키워드 : 열쾌적, 온열감각, 증발냉각, 열환경제어

Keywords : Thermal comfort, Thermal sensation, Evaporative cooling, Thermal controls

## 1. 서론

전통적으로 증발냉각방식은 고온건조지역에서 실내의 쾌적한 열환경 조성을 위하여 성공적으로 적용되어지고 있는 방법이다. 증발냉각방식은 직접증발냉각과 간접증발냉각으로 구분 지을 수 있으며 다양한 실험 및 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능 및 장단점 분석을 바탕으로 기존의 냉방시스템(예, 압축식 냉동기 등)을 대신하거나 보충적으로 적용될 수 있는 효과적인 시스템으로 밝혀지고 있다.

증발냉각 시스템은 실내에 시원한 공기를 공급함과 더불어 필요한 수분을 제공함으로써 보다 쾌적한 실내 열 환경을 조성할 수 있는 것으로 분석되었다.<sup>1)2)3)</sup> 특히, 기존의 방식보다 쾌적한 PMV (predicted mean vote) 조건을 형성할 수 있는 것으로 나타났으며<sup>4)</sup> 시스템설치의 초기투자비용에 대한 회수기간은 약 5년 정도로 나타나 경제적 측면에서도 가능성이 있는 것으로 분석되었다.<sup>5)6)</sup>

증발냉각시스템 적용을 위한 최적의 환경은 위험율 1%의 습구온도가 22.2°C 이하인 고온건조지역인 것으로 연구되었으나<sup>7)</sup> 고온 혹은 고온다습한 지역에서의 적용 가능성은 시도되지 않은 것으로 나타났다. 이러한 지역에서는 실내 건구온도에 근간한 냉방이 가장 주된 방법이다. 하지만 고온

- 1) Badran AA. Performance of cool towers under various climates in Jordan. *Energy and Buildings*. 2003;35:1031-1035.E-Publishing Inc; 1999, p. 281-304.
- 2) Costelloe B., Finn D. Indirect evaporative cooling potential in air-water systems in temperature climates. *Energy and Buildings*, 2003;35:573-591.
- 3) Giabaklou Z., Ballinger JA. A passive evaporative cooling system by natural ventilation. *Building and Environment*, 1996;31:503-507.
- 4) Giabaklou Z. Thermal comfort prediction for a new passive cooling system. *Building and Environment*, 2003;38:883-891.
- 5) Mazzei P., Palombo A. Economic evaluation of hybrid evaporative technology implementation in Italy. *Building and Environment*, 1999;34:571-582.
- 6) Navon R., Arkin H. Feasibility of direct-indirect evaporative cooling for residences based on studies with a desert cooler. *Building and Environment*, 1994;29:393-399.
- 7) SWEEP. New Evaporative Cooling Systems: An Emerging Solution for Homes in Hot Dry Climates with Modest Cooling Loads. Southwest Energy Efficiency Project, Midwest Research Institute National Renewable Energy Laboratory Division. 2004.

\* Dept. of Building and Plant Eng. Hanbat National Univ. South Korea, Main author

\*\* Dept. of Architectural Eng. Hanbat National Univ. South Korea

\*\*\* Dept. of Architectural Eng. Hanbat National Univ. South Korea, Corresponding author, (kwhlee@hanbat.ac.kr)

다습한 지역의 경우라도 냉방 시 응결에 의하여 실내공기 중 수분이 제거됨에 따라 건조한 조건이 생성될 가능성이 있다.<sup>8)</sup>

이러한 현상은 미국 공조학회(ASHRAE)에서 제시한 온열감(TS, thermal sensation)<sup>9)</sup>의 측면에서 폐적하지 못한 결과를 초래할 수 있다. 온열감은 실내 열 환경의 상태를 온도와 습도라는 독립적 기준으로 결정짓는 것이 아니라 온도와 습도를 함께 고려하여 계산하는 방법으로 (Table 1) 그 계산 값이 -0.5~0.5 사이에 위치하고 있으면 폐적한 것임을 의미한다.

기존의 온도만을 기준으로 한 냉방법은 온열감 측면에선 -0.5 미만으로 형성되어 폐적한 조건보다 추운 환경을 제공할 수 있다. 예를 들어 실의 온도가 23°C이고 상대습도가 30%인 경우 ASHRAE에서 제시하는 온도 및 습도 폐적 조건은 만족하지만 계산된 온열감은 -0.98로써 차가운 상황이 될 수 있다. 또한, 낮은 온도를 유지하기 위하여 불필요한 냉방에너지를 소모하는 단점이 발생할 수 있다. 이러한 문제점들을 인식하고 해결하기 위한 연구가 최근 진행되어 온열감 혹은 PMV (predicted mean vote)를 제어 목적으로 둔로직의 개발이 진행 중이다.<sup>10)</sup> 기존의 온도 및 습도에 기반한 실내 열환경 제어와 온열감 혹은 PMV에 기반한 제어의 성능분석을 통하여 열환경 폐적성 및 에너지 성능 측면에서의 우수성을 비교하였다.

이러한 기존 연구의 결과를 바탕으로 본 연구는 고온건조 지역 이외의 지역에서 냉방을 위한 방법으로 습도의 적극적 제어를 통한 열 폐적 조성 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 온열감(TS)에 근간한 열 환경 제어로직을 개발하고 기존 온도 근간 제어법과의 성능 비교 분석을 바탕으로 열 폐적 및 에너지 성능 측면에서의 적용 가능성을 타진하고자 한다.

이를 위하여 본 연구는 두 가지 단계로 진행된다. 첫 번째 단계는 실내 열 환경제어를 위한 로직을 개발하는 단계이며, 두 번째 단계는 개발된 제어로직의 성능을 평가하는 단계이다. 성능평가는 실험실 적용을 통하여 실시되었다. 로직 개발 및 성능평가에 관한 자세한 부분은 2장과 3장에 각각 자세히 설명되어 있다.

Table 1. Equations for Predicting Thermal Sensation (Y)

Exposure Period, h	Gender	Regression Equations
		t=dry-bulb temperature, °C p=vapor pressure, kPa
1.0	Male Female Combined	Y=0.220t+0.233p-5.673 Y=0.272t+0.248p-7.245 Y=0.245t+0.248p-6.475
2.0	Male Female Combined	Y=0.221t+0.270p-6.024 Y=0.283t+0.210p-7.694 Y=0.252t+0.240p-6.859
3.0	Male Female Combined	Y=0.212t+0.293p-5.949 Y=0.275t+0.255p-8.622 Y=0.243t+0.278p-6.802

## 2. 실내 열환경 제어를 위한 로직 개발

실내 열 환경 제어를 위하여 세 가지 제어법이 개발되었

다 - 1) 온도 제어법(temperature controls), 2) 온도 및 습도 제어법(temperature and humidity controls), 그리고 3) 온열감(TS) 제어법(TS controls). 각 제어법은 <그림 1-3>에서 설명된 로직의 적용을 바탕으로 구성된다. 즉, 온도 제어법은 <그림 1>의 로직으로 구성되며, 온도 및 습도 제어법은 <그림 1과 2>를 동시에 사용한다. 그리고 온열감 제어법은 <그림 3>의 로직을 사용하게 된다.

<그림 1>은 온도 제어 로직을 나타낸다. 이 방법은 가장 전통적으로 적용되는 방법으로써 냉방 및 난방 시스템 가동 여부를 결정하는 요소를 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 그것은 현재 실내온도(°C), 현재 냉난방 실시 여부, 그리고 냉난방 시스템 작동 범위(예, 여름철 23~26°C, 겨울철 20~23°C)<sup>11)</sup>이다. 예를 들어 여름철 냉방시스템이 가동 중인 경우, 현재 실내온도와 작동 범위를 비교하게 된다. 이 때, 실내온도가 22°C로써 냉방시스템 작동범위인 23~26°C보다 낮을 경우 냉방시스템의 작동을 멈추게 된다. 반대로 냉방시스템이 비작동하는 상태이고 현재 실내 온도가 26°C를 초과하고 있는 경우, 냉방시스템의 작동을 시작하게 된다. 겨울철 난방시스템도 같은 원리로 작동하게 된다.

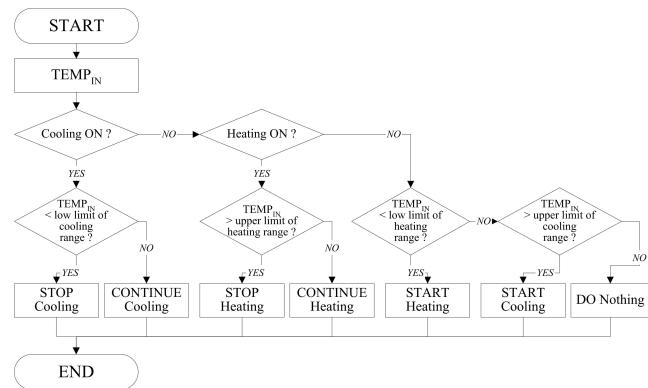


Fig. 1. Temperature control logic

<그림 2>는 습도 제어 로직을 나타낸다. 감습 및 가습을 위한 작동을 냉방 및 난방 작동을 위한 방법과 유사하게 결정된다. 즉, 현재 실내습도(%), 현재 감·가습 실시 여부, 그리고 감·가습 시스템 작동 범위(예, 여름철 45~60%, 겨울철 30~45%)의 비교에 따라 작동을 실시하게 된다. <그림 3>은 온열감 제어를 위한 로직을 나타낸다. 온열감 제어를 위해선 현재 실내 온열감(TS), 온열감 상승 및 하강을 위한

- 8) Gupta S., Khare M., Goyal R. Sick Building Syndrome - A case study in a multistory centrally air-conditioned building in the Delhi City. *Building and Environment*, 2007;42:2797-2809.
- 9) ASHRAE. ASHRAE Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1997.
- 10) Moon J.W.. Performance and Applicability of PMV-based and TS-based Building Thermal Controls. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 2011;23:430-440.
- 11) ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-1992 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1992.

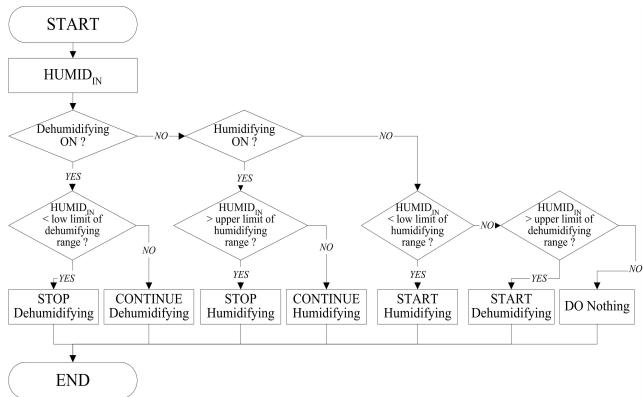


Fig. 2. Humidity control logic

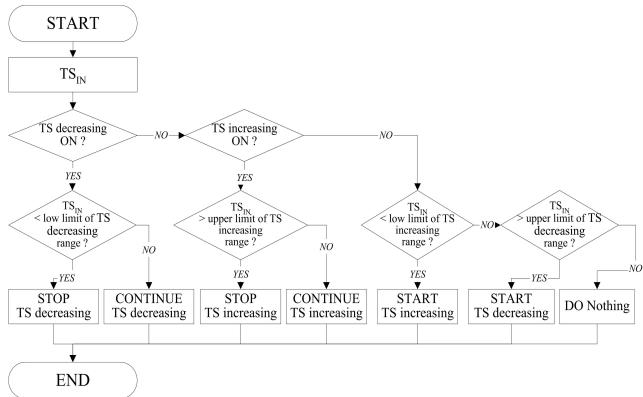


Fig. 3. TS control logic

작동여부, 그리고 온열감 상승 및 하강을 위한 시스템의 작동 범위의 비교를 실시하게 된다. 여기서 온열감 상승을 위한 작동은 난방 및 가습 작동이며 온열감 하강을 위한 작동은 냉방 및 감습이다. 특히, 본 연구에서는 여름철 실내 온열감 상승을 위한 작동 시 습도 증가를 위하여 증발냉각법을 적극적으로 도입함으로써 적절한 수분 유지 뿐만이 아니라 실내 온도의 하강을 유도하는 이중의 효과를 시도 및 평가할 것이다.

### 3. 실험실 적용 및 성능평가

개발된 세 가지 실내 열 환경 제어법은 실험실에 적용되어 성능평가가 실시되었다. <그림 4>는 실험실의 실내 구성 상태를 나타내고 있다. 실험실은 크게 두 개의 공간으로 구성되어 있다. 큰 실은 사무소 환경(길이 4.88m\*폭 3.66m\*높이 2.74m)으로 구성되었으며 작은 실은 실험 진행을 위한 제어실(길이 4.88m\*폭 1.83m\*높이 2.74m)으로 설치되었다.

4대의 A/C (air conditioner)가 설치되어 실의 냉방을 위하여 작동하며 냉각된 공기는 바닥 공조 시스템을 이용하여 네 군데의 유출구(supply grills)로부터 실내로 공급되게 된다. 또한 천장에 설치된 두 군데의 흡입구(return grills)를 사용하여 공기를 회수한다.

실의 왼쪽에는 기화식 가습기(Evaporative Humidifier) 및

복사난방기(Radiant Heater)가 각각 한 대씩 설치되어 있다. 기화식 가습기는 가습을 통한 온열감 상승을 위하여

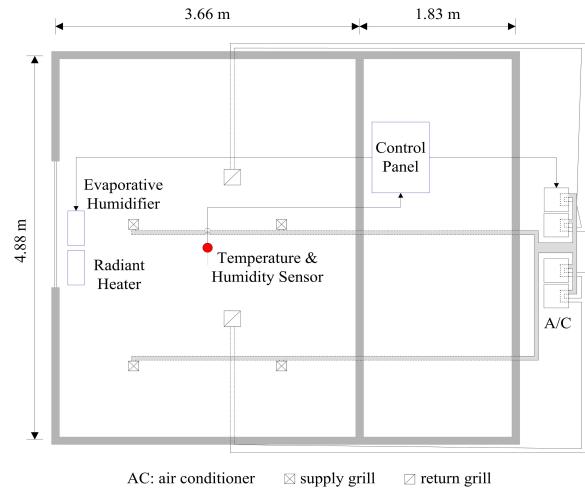


Fig. 4. Layout of the test chamber

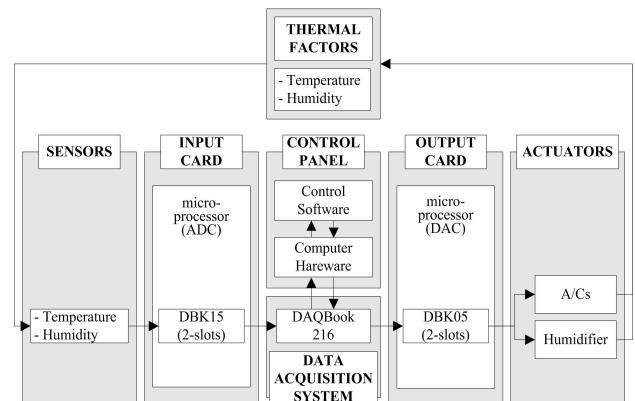


Fig. 5. Configuration of Control System Hardware

Table 2. Outdoor thermal conditions for the test periods

Control Strategies	Operating Time	
	Temperature (°C)	Humidity (%)
Temperature Control	21.67	51.30
Temperature and Humidity Controls	22.60	52.80
TS Controls	22.51	52.17

여 작동될 것이며 복사난방기는 실내부하 발생을 감안하기 위하여 작동된다. 각 기기의 용량은 0.21 리터/시간 및 600 Wh이다.

실의 중앙 1.2m 높이에는 온도<sup>12)</sup> 및 습도 센서<sup>13)</sup>가 설치되어 실의 열 환경을 수집하게 된다. 수집된 온도 및 습도 정보는 제어실에 설치된 제어판(Control Panel)로 전송되게 된다.

12) Global Controls. EE70 series. Available from: [http://global-controls.net/air\\_velocity.html](http://global-controls.net/air_velocity.html). 2014-01-20-14.

13) DWYER. HU-1142. Available from: <http://omnicontrols.com/lists/DwyerRh.htm>. 2004-11-25-10.

<그림 5>는 열 환경 제어에 필요한 요소 및 정보처리장치의 구성을 보여준다. 온도 및 습도에 대한 정보가 센서들을 사용하여 수집되며, 수집된 정보는 정보입출력장치를 통하여 제어판과 연결된다. 이 때 수집된 아날로그 시그널을 컴퓨터가 이해할 수 있는 디지털 시그널로의 전환(DA Conversion)을 위하여 입력카드가 사용되며, 전환된 시그널은 제어로직의 입력값으로 사용된다. 제어판에서는 개발된 세 가지 열 환경 제어법에 근간하여 냉난방 시스템의 작동 신호를 생산하게 되며, 생산된 신호는 출력카드를 이용하여 아날로그 시그널로 변환(AD Conversion)된다. 마지막으로 변환된 시그널에 따라 냉방기와 기화식 가습기가 작동하게 된다. 열 환경 정보에 대한 수집, 작동 시그널의 생산 및 기기 작동 여부는 매 1분마다 결정되며, 본 실험은 각 제어법에 대하여 9:30부터 17:30까지 8 시간의 성능 테스트를 실시하게 된다. <표 2>는 각 제어법의 성능 테스트 기간의 외기 조건을 나타낸다.

#### 4. 결과 및 분석

각 제어법의 성능은 두 가지 측면에서 평가되었다. 첫 번째는 열 환경 조성 및 쾌적 측면이며, 두 번째는 에너지 성능 측면이다.

##### 4.1 열 환경 조성 및 쾌적

<그림 6-8>은 세 가지 제어법에 의해 제어된 냉방 시스템의 작동 결과 및 온도의 움직임을 나타낸다. 기본적으로 냉방이 실시되는 기간 동안 실내 온도가 하강하고 있으며 냉방이 끝난 직후 실내 온도는 쾌적영역(23-26°C) 아래로 벗어나는 현상을 보였다.

온도 제어법의 경우(<그림 6>) 8시간의 테스트 기간 동안 세 차례의 냉방 시스템 작동이 진행되었다. 그 결과 온도의 상승 및 하강 주기수도 세 차례로 나타났다. 평균 실내 온도는 24.51°C로 나타났으나 앞서 언급한 바와 같이 냉방 시스템의 작동이 멈춘 직 후 온도가 상당한 수준으로 쾌적 범위를 벗어나고 있음이 밝혀졌다. 이는 시스템에 의한 과냉(undershoots)의 결과인 것으로 판단된다.

온도 및 습도 제어법(<그림 7>)에 의한 실내 온도 제어 결과는 온도 제어법의 경우와 비슷한 것으로 나타났다. 조성된 평균 실내 온도는 24.61°C로써 약 0.1°C 높게 형성되었는데 이는 실험이 실시된 기간의 외기 온도가 약 0.93°C 높기 때문인 것으로 추론된다.

온도 및 습도 제어법을 적용한 경우 냉방 시스템의 작동 횟수가 완전한 세 번에 이르지 못하는 것으로 나타났다. 이는 습도조절을 위한 기화식 가습기의 작동에 기인한 것으로써, 가습기 작동 기간 중 실내 온도 상승의 폭이 늦춰졌기 때문이다. 즉, 이 제어법의 테스트 기간 중의 외기온도가 온도 제어법의 테스트 기간의 외기온도보다 높았음에도 불구하고 실내 온도 상승을 위한 시간이 보다 길게 소모되었다.

온열감 제어법에 의하여 조성된 실내 온도 결과는 <그림 8>에 나타나 있다. 앞선 두 가지 제어법과는 달리 실내 온

도는 지속적으로 상승하여 테스트 후반부에는 쾌적 영역을 벗어나 높게 형성되는 것으로 밝혀졌다. 이는 냉방 시스템의 작동이 온열감의 쾌적영역(0.0-0.5)에 근거하며 테스트 기간 중 온열감이 0.5에 미치지 않았기 때문이다. 즉, 작동을 하지 않는 냉방 시스템이 작동을 시작하기 위해서는 온열감이 0.5 이상이 되어야 하지만 본 실험에서의 실내 온열감은 0.5에 도달하지 않기 때문에 냉방 시스템의 작동이 이루어지지 않았다. 그 결과 조성된 실내 온도의 평균은 25.69°C로써 가장 높았다.

<그림 9-11>은 제어법들에 의해 형성된 실내 습도의 결과를 보여준다. 온도 제어법을 적용한 경우(<그림 9>) 실내 습도는 제어를 위한 목적이 아니기 때문에 가습 혹은 감습이 이루어지지 않았다. 하지만, 쾌적한 외기 습도의 영향으로 실내 습도는 비교적 쾌적 영역 내에서 유지되었다. 하지만, 냉방이 시작되는 지점에서 습도의 하강이 급속히 이루어지는 경향이 있었으며 결과적으로 습도가 쾌적 영역 아래로 떨어지는 현상을 보였다. 평균 습도는 40.68%로 나타났다.

온도 및 습도 제어법에 의한 실내 습도 제어 결과는 <그림 10>에 보여진다. 위의 온도 제어법과는 달리 일정 기간 동안 가습 작용이 이루어졌다. 가습 작용은 실내 습도가 쾌적 영역의 최고 값인 60%를 넘을 때까지 지속되었고 가습이 멈춘 직 후 습도 값이 60%를 상회한 것으로 밝혀졌다. 그 결과 평균 습도는 세 가지 제어법 중 가장 높은 49.76%인 것으로 나타났다.

온열감 제어법에 의한 습도 조절 결과는 <그림 11>에 보여진다. 그림에 나타나 있듯이 습도가 전 기간 동안 쾌적 영역에 위치하고 있는 것으로 밝혀졌으며 이는 온열감을 유지하기 위하여 작동된 기화식 가습기의 영향이다. 그 결과 평균 습도는 세 가지 제어법 중 가장 높은 55.42%로 나타났다.

<그림 12>는 각 제어법에 의한 온열감 분포를 나타낸다. 온도 제어법과 온도 및 습도 제어법의 경우 온열감 측면에서 쾌적 영역보다 낮게 형성되는 결과를 나타냈다. 각 제어법에 의한 평균 온열감은 -0.54와 -0.40으로써 온도 및 습도 제어법의 경우가 약간 높게 유지되었다. 이는 가습에 의한 실내 습도가 보다 높기 때문인 것으로 풀이된다. 반면 온열감 제어법에 의해선 쾌적하게 유지되는 것으로 나타났고 평균 온열감은 -0.05로써 나머지 두 제어법에 비해 현저히 높은 것으로 분석되었다.

<그림 13>은 세 가지 제어법에 의한 실내 온도, 습도 및 온열감의 쾌적 기간을 비교하였다. 온도의 경우 온도 및 습도 제어법이 가장 높은 결과값(90.64%)을 나타냈다. 이 값은 온도 제어법에 의한 값(84.20%)보다 높은 값인데 이는 습도 제어를 실시함으로써 온도의 상승폭이 줄어듬과 관계가 있다. 기화식 습도제어를 실시할 경우 냉각 효과에 의하여 실내 온도가 낮게 형성될 수 있으며 그 결과 냉방 시스템의 사용 횟수를 감소시킬 수 있다. 냉방 시스템의 사용 횟수가 감소되는 것은 냉방이 멈춘 직 후 온도가 쾌적 영역 이하로 하강하는 경우 역시 감소시킬 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 이유로 온도 및 습도 제어법에 의해 보다 쾌적한 온도 조건이 형성된 것으로 판단된다.

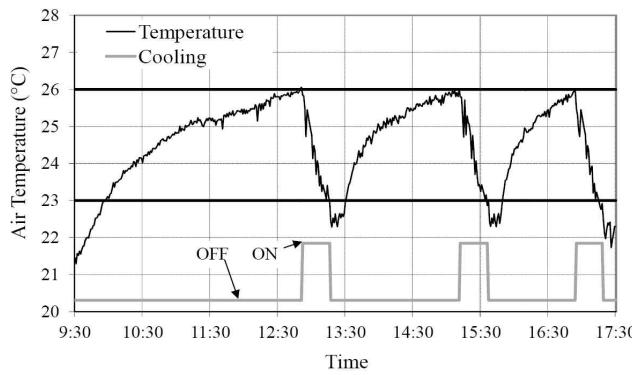


Fig. 6. Temperature conditions and cooling operation by temperature controls

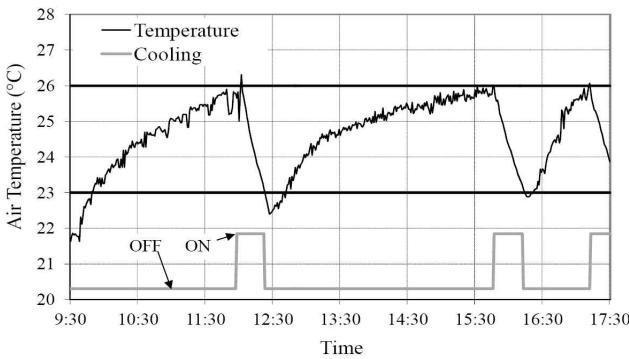


Fig. 7. Temperature conditions and cooling operation by temperature and humidity controls

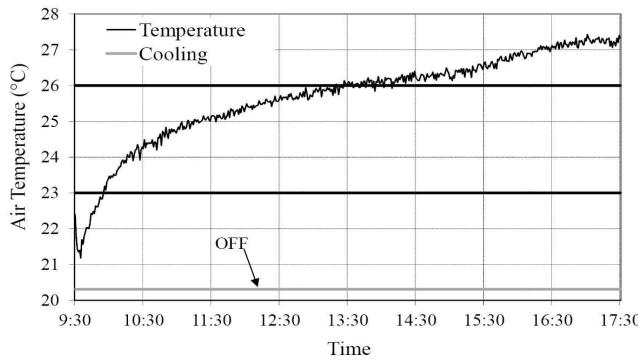


Fig. 8. Temperature conditions and cooling operation by TS controls

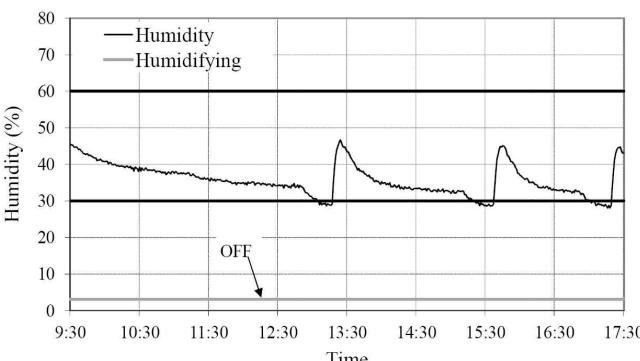


Fig. 9. Humidity conditions and humidifying operation by temperature controls

습도의 경우 온열감 제어법에 의해 가장 오랜 기간(100.00%) 동안 쾌적한 것으로 밝혀졌다. 반면 온도 제어법에 의해선 가장 낮은 기간(90.02%)으로 분석되었는데 이는 습도 제어를 위한 시스템이 존재하지 않기 때문이다. 온열감의 경우는 온열감 제어법(89.60%), 온도 및 습도 제어법(68.19%), 그리고 온도 제어법(56.55%)의 순으로 나타났다.

각 제어법에 의해 조성된 열 환경 요소 분석 결과 제어 변수에 대한 적절한 제어가 이루어지는 것으로 나타났다. 하지만 보다 종합적 지표인 온열감의 측면에서는 온도 제어법과 온도 및 습도 제어법은 쾌적하지 못한 열 환경 조건을 제공하고 있는 것으로 분석되었다. 즉, 온도와 습도를 종합적으로 고려하는 온열감 기반 제어법 도입의 필요성이 대두되었다.

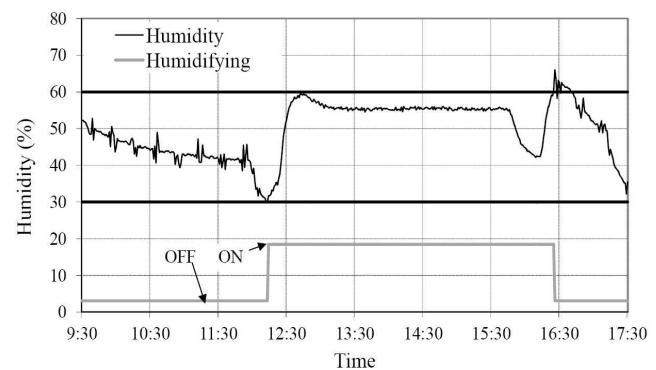


Fig. 10. Humidity conditions and humidifying operation by temperature and humidity controls

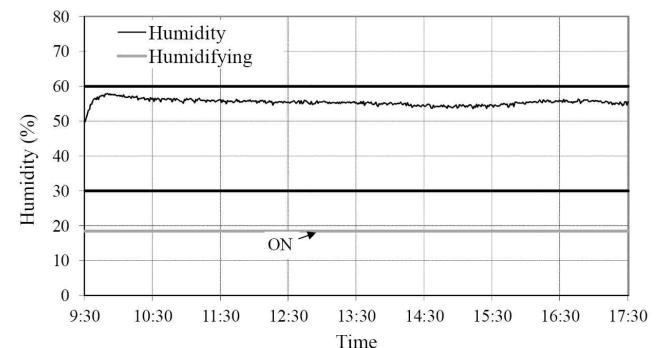


Fig. 11. Humidity conditions and humidifying operation by TS controls

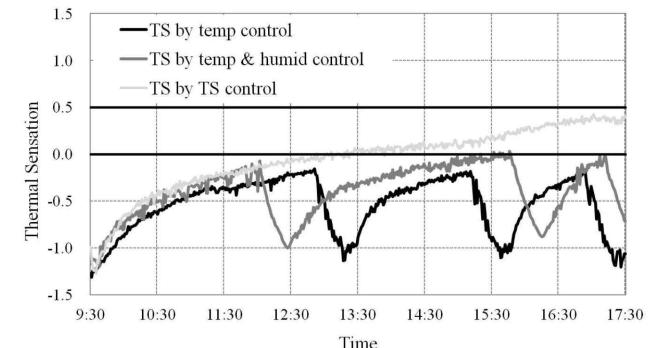


Fig. 12. TS conditions by three control methods

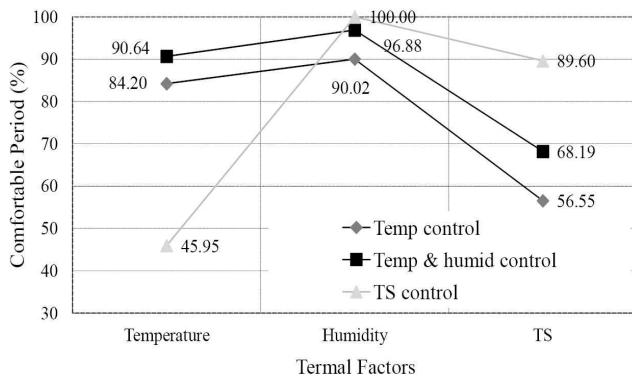


Fig. 13. Comfortable period of thermal factors

## 4.2 에너지성능

냉방 및 가습을 위하여 사용된 에너지의 양이 <그림 14>에 나타나 있으며 작동된 시간이 <표 3>에 정리되어 있다. 온도 제어법의 경우 사용 에너지 모두가 냉방을 위한 것으로써 약 5.92 KWh의 전기 에너지를 사용하였다. 온도 및 습도 제어법은 냉방을 위하여 5.52 KWh, 가습을 위하여 0.42 KWh 등 총 5.94 KWh를 사용함으로써 약 0.34%의 증가값을 보였다. 반면 온열감 제어법은 냉방을 위한 에너지가 전혀 사용되지 않았으며 가습을 위하여 약간의 전기 에너지(0.80 KWh)가 소비되었다. 이는 온도 제어법에 비해 에너지 소비량이 약 86.49% 감소된 것으로 분석되었다. 즉 기화식 가습기를 적극 도입한 온열감 제어법이 에너지 성능 측면에서 가장 우수한 것으로 나타났다.

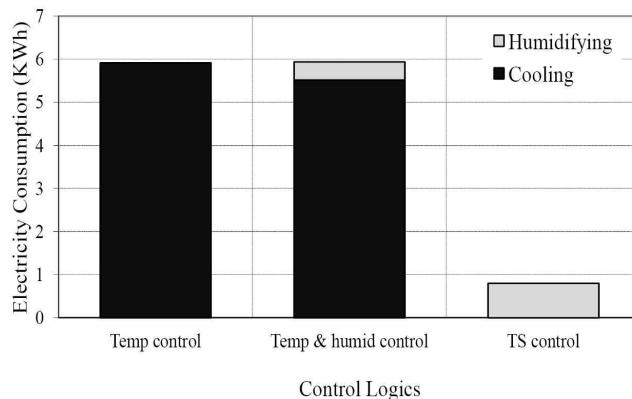


Fig. 14. Energy consumption for cooling and humidifying

Table 3. Duration of cooling and humidifying operations

Control Strategies	Operating Time	
	Cooling Device	Humidifying Device
Temperature Controls	12:52 - 13:16 15:12 - 16:36 16:55 - 17:18	-
Temperature and Humidity Controls	11:58 - 12:22 15:47 - 16:12 17:13 - 17:30	12:14 - 16:25
TS Controls	-	19:30 - 17:30

## 5. 결론

본 연구는 고온건조지역 이외의 지역에서 습도의 적극적 제어를 통한 열쾌적 조성 방법을 제시하는 것을 목적으로 온열감(TS)에 근간한 열환경 제어로직을 개발하고 기존 온도 근간 제어법과의 성능 비교 분석을 실시하여 적용 가능성을 타진하고자 하였다. 이를 위하여 세 가지의 실내 열환경제어를 위한 로직을 개발하였으며 각 로직은 실험실 적용을 통하여 성능이 분석되었다. 연구를 통하여 밝혀진 사실은 다음과 같다.

- (1) 각 제어법에 의해 작동된 냉방 및 가습 작용은 각 제어 변수를 목표에 부합하도록 조성하였다. 하지만 온도의 경우 냉방이 멈춘 직 후 체적 영역 밑으로 현저히 하강하는 현상을 나타냈다.
- (2) 온도 및 습도 제어법의 경우 온도 제어법에 비하여 냉방 시스템의 작동 및 멈춤 횟수가 감소하는 현상을 보였는데, 이는 기화식 가습기가 작동함에 따른 증발 냉각 효과에 의해 온도 상승이 늦춰졌기 때문인 것으로 분석되었다.
- (3) 온열감 제어법을 적용하였을 경우 실내 온도가 높게 형성되는 결과를 나타냈으며, 반대로 온도 제어법과 온도 및 습도 제어법의 경우는 온열감이 체적 영역 밑에서 유지되는 경향을 나타냈다.
- (4) 즉, 실내 열환경을 보다 종합적인 측면에서 판단할 수 있는 온열감의 측면에서 보면 온열감 제어법이 가장 효과적인 것으로 밝혀졌다.
- (5) 또한, 에너지 성능 측면에서도 온열감 제어법을 적용하였을 경우 에너지 소비량이 현저히 줄어드는 것으로 분석되었다.

결론적으로 고온 건조한 지역 외에도 습기 공급을 적극 도입하여 열환경을 제어할 수 있는 온열감 기반 실내 열환경 제어법이 열쾌적 측면 및 에너지 성능 측면 모두에서 우수한 것으로 분석되어 그 도입의 필요성이 확립되었다. 하지만 본 연구는 여름철의 단기간에 대한 성능 실험이었다는 한계점을 지니고 있다. 추후 연구에서는 보다 장기간동안 실제 건물 등으로의 적용 결과를 분석할 필요가 있으며, 보다 다양한 기후 등으로의 적용 가능성을 확인하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션 등의 연구 방법을 도입할 필요가 있는 것으로 판단된다.

## Acknowledgements

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (grant number: 2012R1A1A1005272).

## References

- [1] Badran AA. Performance of cool towers under various climates in Jordan. Energy and Buildings. 2003;35:1031-1035.E-Publishing

- Inc; 1999, p. 281-304.
- [2] Costelloe B., Finn D. Indirect evaporative cooling potential in air-water systems in temperature climates. *Energy and Buildings*, 2003;35:573-591.
- [3] Giabaklou Z., Ballinger JA. A passive evaporative cooling system by natural ventilation. *Building and Environment*, 1996;31:503-507.
- [4] Giabaklou Z. Thermal comfort prediction for a new passive cooling system. *Building and Environment*, 2003;38:883-891.
- [5] Mazzei P., Palombo A. Economic evaluation of hybrid evaporative technology implementation in Italy. *Building and Environment*, 1999;34:571-582.
- [6] Moon J.W.. Performance and Applicability of PMV-based and TS-based Building Thermal Controls. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 2011;23:430-440.
- [7] Navon R., Arkin H. Feasibility of direct-indirect evaporative cooling for residences based on studies with a desert cooler. *Building and Environment*, 1994;29:393-399.
- [8] SWEEP. New Evaporative Cooling Systems: An Emerging Solution for Homes in Hot Dry Climates with Modest Cooling Loads. Southwest Energy Efficiency Project, Midwest Research Institute National Renewable Energy Laboratory Devision. 2004.
- [9] Gupta S., Khare M., Goyal R. Sick Building Syndrome - A case study in a multistory centrally air-conditioned building in the Delhi City. *Building and Environment*, 2007;42:2797-2809.
- [10] ASHRAE. ASHRAE Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1997.
- [11] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-1992 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1992.
- [12] Global Controls. EE70 series. Available from:  
[http://global-controls.net/air\\_velocity.html](http://global-controls.net/air_velocity.html). 2014-01-20-14.
- [13] DWYER. HU-1142. Available from:  
<http://omnicontrols.com/lists/DwyerRh.htm>. 2004-11-25-10.

---

Received January 22, 2014;  
Final revision received February 7, 2014;  
Accepted February 12, 2014;