가습 입자를 활용한 고효율 난방 시스템 개발

이정원† · 홍경보[1]
한국생산기술연구원 형상제조연구부문† · ㈜미로[1]

Development of high-efficiency heating system using humidifying particles

Jeong-Won Lee† · Kyung-Bo Hong[1]
Research Institute of Advanced Manufacturing & Materials Technology Shape Manufacturing R&D Department. Korea Institute of Industrial Technology, Korea†
Miro Co. Ltd.[1]

(Received September 15, 2020 / Revised December 23, 2020 / Accepted December 31, 2020)

Abstract: Products for heating indoors in low temperature and dry winter are largely divided into products using fossil fuels and products using electricity. The fossil fuels can warm the entire space by convection, but there is a high risk of fire and the frequent ventilation due to the increase in carbon monoxide and carbon dioxide. Heaters using electricity are mainly used because they are convenient to use and are cheap. However, these products can not efficiently warm the air because they use radiation energy. In other words, only the front part exposed to the heater is warm, and the rear part has no heating effect at all. Also, because it emits a large amount of light, fatigue of the eyes is very high. Another problem is that when using electric heaters, the room tends to be dry by high heat. Indoor humidity maintenance is a very important factor in the prevention and treatment of respiratory diseases. Especially, it is essential for health care for infants, bronchial organs and people with weak respiratory because humidity is low in winter. In this study, we conducted a study to develop a product that can improve heating efficiency while maintaining proper indoor humidity by combining heat energy and moisture particles. The concept of humidification and heating at the same time, moisture particles generated in the humidifier pass through the heater, include thermal energy, and the moisture particles with thermal energy are diffused into the space by forced convection, thereby warming the entire space. In addition, the heating time is shortened as the feeling temperature is increased with the high relative humidity, and this has the effect that the heating cost in winter is reduced.

Key Words: Electric heater, Humidity, Humidifier, Heating efficiency, Feeling temperature

1. 서 론

기온이 낮은 겨울철에는 실내 공간을 따뜻하게 하기 위해서 난방기기를 많이 사용하는데 그 중에서도 전기히터는 냄새가 적고 사용이 용이하기 때문에 많이 사용된다. 그러나 전기히터에 의한 난방은 복사열에 의한 것으로 쉽게 공기를 건조하게 하여 실내 습도를 떨어뜨리는 단점이 있다. 또한 히터를 사용하는 주변은 매우 뜨거운 반면 히터를 조금만 벗어나도 열이 제대로 전달되지 않기 때문에 상대적으로 온도편차가 크게 발생한다.

† 교신저자: 한국생산기술연구원 형상제조연구부문
E-mail: ljw@kitech.re.kr

실내 습도 유지는 호흡기 질환예방 및 치료에 매우 중요한 요소이며, 특히 겨울철에는 습도가 낮기 때문에 영유아 및 기관지나 호흡기가 약한 사람에게는 호흡기계 건강을 관리하기 위해서 필수적인 요소이다[1-3]. 일반적으로 가습기는 초음파식, 가열식, 자연기화식으로 구분되며, 초음파 가습기는 다른 방식과 비교해서 소비전력 대비 가습량이 많아서 가장 많이 사용되고 있다. 초음파식 가습기로부터 발생되는 수분은 작은 미세 물방울 형태이고 실내로 배출된 이후에 수증기로 증발되어 실내 상대습도를 변화시킨다[4].

따라서 본 연구의 목적은 건조한 공기는 열전달률이 낮기 때문에 난방효율이 떨어지므로 사용전력

대비 효율이 높은 난방을 위하여 초음파 발진에 의해 발생한 수분 입자를 활용한 고효율 난방기기를 개발하고자 한다. 가습과 난방을 하나의 기기에서 동시에 수행하는 개념으로 가습기에서 발생한 수분 입자가 발열부를 통과하면서 열에너지를 포함하게 되고, 열에너지를 품은 수분 입자가 강제 대류에 의해 실내 공간으로 확산되면서 공간의 전체를 따뜻하게 할 수 있는 제품의 개발이다.

개발 제품은 초음파가습기와 전기히터가 하나로 융합된 형태로 기존 제품 대비 저전력으로 동급 이상의 난방이 가능하도록 설계된 에코난방기이며, 본 연구에서는 제품 하드웨어 개발과 병행해서 가열된 가습 입자가 실내 온도에 미치는 영향을 실험을 통하여 분석하였다. 즉 동일한 실내 공간에서 히터만 사용한 경우와 히터와 가습기를 동시에 사용한 경우의 위치와 높이별 온도를 측정한 후 열지수식을 통해 열지수를 계산하고 습도 변화에 따른 체감온도를 비교하였다.

2. 제품 디자인

2.1. 에코난방기 기구설계

에코난방기는 가습과 난방을 동시에 하는 개념으로 초음파가습기에서 발생한 수분 입자가 히터 발열부를 통과하면서 열에너지를 머금고 공기 중으로 배출되도록 하여 열전달을 통한 따뜻한 공기의 확산속도를 높이고 온도 유지 시간을 늘려 난방효율을 높일 수 있도록 고안되었다.

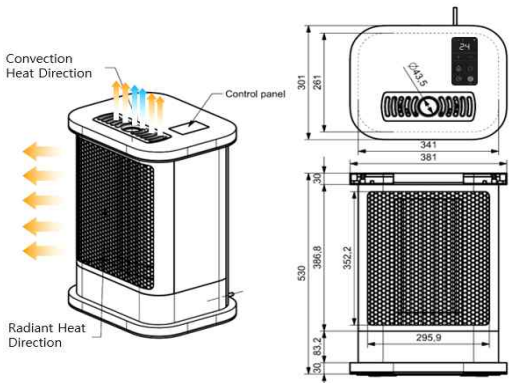

Fig. 1 Eco-heater exterior design concept

Fig. 1에 나타낸 것과 같이 제품의 상부 방향으로는 열풍과 히터에 의해 가열된 가습 입자를 동시에 배출함으로서 대류에 의한 난방이 가능하며, 제품의 정면 방향으로는 히터가 내장된 방사 패널에 의해 원적외선이 방사된다. 원적외선 방사에너지는 피가열체에 직접 전달되기 때문에 따뜻함을 바로 느낄 수 있다.

에코 난방기의 구성은 크게 히터 발열부(heater), 반사판(reflector), 수통(water bottle), 초음파 발생부(ultrasonic humidifier)로 나뉜다. Fig. 2에는 각 구성부품의 위치 및 크기를 나타내었다. 히터 발열부의 재질은 알루미늄(AL6061)이며, 상세도에 나타낸 것과 같이 2D 프로파일을 설계하여 압출공정을 통해 제작한 후 일정 길이만큼 절단하여 사용할 수 있도록 설계하였다. 본 제품 개발에 적용된 발열부 크기는 163.0mm x 56.4mm x 300.0mm(가로x세로x높이)이다. 발열부 전면에는 발열체인 카트리지 히터(300W, 500W)가 장착될 수 있도록 ∅10mm 구멍이 4개 있으며, 중앙부에는 열풍과 가습 입자가 배출될 수 있도록 ∅43.5mm의 구멍을 생성하였다.

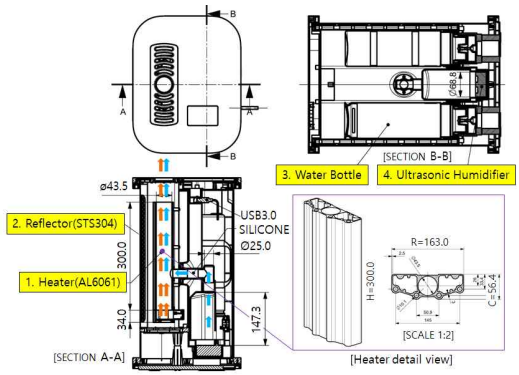

Fig. 2 Operating principle and main components

Fig. 2에 상세도로 표시한 것과 같이 알루미늄 압출공정을 통해 제작된 발열체 표면에는 무기질 바인더가 포함된 원적외선 방사(far-infrared radiation) 코팅재로 코팅처리 하여 원적외선 방사에너지에 의한 난방 효율이 극대화 되도록 설계하였다. 또한 발열체 뒷면에 반사판(STS304)을 설치하여 방사에너지의 손실을 최소화하였다. 초음파 발생부에서 생성된 가습 입자는 발열부 하단부로 유입되도록 구조를 설계하여 발열부에서 생성된 열풍과 가습 입자의 접촉 시간이 길어지도록 하였다. 가습기의 가용시간을 늘리기 위해서 초음파 발진부를 중심으로 3리터 수통(water bottle)을 2개 설치하였으며 제품이

가동 중에도 안전하게 수통의 교환에 의한 물의 보충이 가능하도록 설계하였다.

물은 세균 번식의 필수조건으로 빠른 속도로 번식하기 때문에 제품의 가습부에는 항상 세균이 존재하며 시간이 지날수록 그 숫자는 기하급수적으로 증가한다. 이를 방지하기 위해서 물이 접촉하는 모든 부품은 세척이 가능하도록 하였으며, 도구 없이 분해 및 조립이 가능하도록 요소 부품에 대한 구조를 설계하였다.

3. 실험

3.1. 실험 방법 및 환경

시중에서 판매되는 3kW급 전기히터를 개조하여 실험을 진행하였다. Fig. 3과 같이 히터의 아래 부분에 400ml/hr 용량의 가습기를 설치하였으며, 가습입자가 히터의 발열부 중앙을 통과하도록 ∅50mm의 스테인리스 파이프를 설치하였다. 또한 외부 환경의 영향을 최소화하기 위래 출입문과 창문을 밀폐한 상태에서 1시간 동안 난방을 진행하고, 히터의 전원을 끄기 전후의 온도 및 습도의 변화를 구간별, 높이별로 측정하였다. 즉 난방 1시간 동안의 온도, 습도의 변화량과 2시간의 자연냉각에 따른 난방의 지속 시간을 측정하였다.

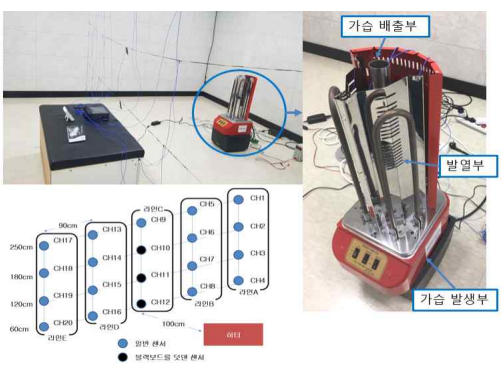

Fig. 3 Experimental environment and temperature sensor location.

실험 공간의 크기(4.0m x 4.7m x 2.7m)는 일반 사무실 정도의 크기이며, 온도센서의 위치는 Fig. 3과 같이 히터의 정면으로 1m 간격을 유지하였으며, 5개의 구간 및 높이 방향으로는 0.6m, 1.2m, 1.8m, 2.5m의 간격으로 설치하였다. 실험은 일반히터(3kW급 히터만 사용)와 에코히터(3kW급 히터 + 가습기) 2가지를 대상으로 실시하였다.

3.2. 열지수(Heat Index, HI)

Houghten(1923)이 인체와 주변 환경간의 열교환 모델을 제시하고 온도와 습도의 복합적 작용으로 체감되는 무더위를 정량화한 이래로 체감온도를 지수화하려는 많은 연구들이 있었다[6,10]. 무더위를 정량화하고 기온이 높을 경우에 예상되는 재해를 막기 위해 미국 기상대에서는 1980년대 중반부터 이미 Steadman(1979)에 의해 개발한 체감온도(apparent temperature)를 개량한 열지수를 대중들을 위한 일기예보에 널리 이용하여 오고 있다[7,10]. 이 열지수는 그늘에 있는 평상복을 입은 표준체형의 인체모델을 상정하여, 다양한 인체 생리학적 및 열역학적 이론 및 실험을 통하여 주변 환경과의 열교환시 실제 인간이 느끼는 체감온도를 나타낸다. 열지수는 다양한 생리 열역학적 현상을 식(1)과 같이 기온(°F)과 상대습도(%)로 2가지 요소로 요약된 방정식에서 산출된다[5,8,10].

$$HeatIndex(HI) = -42.379 + 2.04901523T + 10.14333127R - 0.22475541TR - 6.83783\times10^{-3}T^2 - 5.481717\times10^{-2}R^2 + 1.22874\times10^{-3}T^2R + 8.5282\times10^{-4}TR^2 - 1.99\times10^{-6}T^2R^2 \quad (1)$$

HI : 열지수(°F), T : 온도(°F), R : 상대습도(%)

Table 1 Heat index chart(℃)

Temp (℃)	Relative Humidity(%)												
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
43	56.6												
42	53.7	57.5											
41	50.9	54.3	58.1										
40	48.3	51.3	54.8	58.5									
39	45.8	48.5	51.6	55.0	58.7								
38	43.4	45.9	48.6	51.6	55.0	58.6							
37	41.2	43.4	45.8	48.5	51.4	54.7	58.2						
36	39.1	41.0	43.1	45.5	48.1	51.0	54.2	57.5					
35	37.2	38.8	40.7	42.7	45.0	47.6	50.3	53.3	56.5				
34	35.4	36.8	38.4	40.2	42.2	44.4	46.8	49.4	52.2	55.2	58.4		
33	33.8	34.9	36.3	37.8	39.5	41.4	43.5	45.7	48.1	50.8	53.5	56.5	
32	32.3	33.2	34.4	35.6	37.1	38.7	40.4	42.3	44.4	46.6	49.0	51.5	54.2
31	30.9	31.7	32.6	33.7	34.8	36.2	37.6	39.2	40.9	42.7	44.7	46.8	49.0
30	39.7	30.3	31.0	31.9	32.8	33.9	35.0	36.3	37.7	39.1	0.7	42.4	44.2
29	28.6	29.1	29.7	30.3	31.0	31.8	32.7	33.7	34.7	35.9	37.1	38.4	39.7
28	27.5	28.0	28.4	28.9	29.4	30.0	30.7	31.4	32.1	32.9	33.7	34.7	35.6
27	26.9	27.1	27.4	27.7	28.1	28.5	28.9	29.3	29.7	30.2	30.7	31.3	31.8
26	26.2	26.4	26.6	26.7	26.9	27.1	27.3	27.5	27.7	27.9	28.0	28.2	28.4

이 열지수 방정식에 의해서 산출된 값을 정리한 열지수표 Table 1에 따르면 고온에서는 습도가 높아지면 인체가 체감하는 온도가 대기의 온도보다 훨씬 더 높아질 수 있음을 알 수 있다.

Table 2에는 열지수에 따른 인체의 반응을 살펴본 실험 결과를 정리하였다[9,10].

Table 2 Possible impacts of high heat index on human body (NOAA, 1980)

Categories	Heat Index	Possible Symptoms
Caution	26.7~32.2℃	Fatigue with prolonged exposure and physical activity
Extreme Caution	32.2~40.6℃	Sunstroke, Heats cramps and heat exhaustion with prolonged exposure and physical activity under these conditions
Danger	40.6~54.5℃	Sunstroke, heat cramps or heat exhaustion are likely. heatstroke with prolonged exposure and physical activity
Extreme Danger	Over 54.5℃	Heatstroke or sunstroke are imminent

낮은 열지수에도 지속적으로 노출되면 불쾌감을 느끼거나 피로를 느낄 수 있고, 높은 열지수에 지속적으로 노출되면 피부가 고온 건조해지고 맥박이 빠르고 강해지며 구토, 기절 등의 위험한 상태에 이를 수 있다고 경고하고 있다. 그러나 본 연구를 통해 개발하려는 에코난방기는 실내의 온도, 습도 등의 공기질을 측정하고 사용자가 설정한 값에 따라 자동으로 제어할 수 있는 스마트 홈케어 센서가 장착되기 때문에 항상 쾌적한 환경을 유지할 수 있다고 판단된다.

본 연구에서는 난방기가 설치된 실내공간의 온도와 습도를 바탕으로 열지수를 계산하였다. 먼저 섭씨단위(℃)로 측정된 온도를 식(2)를 사용하여 화씨단위(°F)로 변환한 다음 식(1)의 열지수식에 대입하여 계산하였다. 최종적으로 난방 성능 비교 그래프에서 사용되는 온도 및 열지수 단위는 다시 식(2)를 사용하여 최종 섭씨 단위(℃)로 변환하여 위치별 온도를 공간적으로 분석하였다.

$$C = 5/9 \times (F - 32) \qquad (2)$$

C : 섭씨단위 온도 및 열지수(℃)
F : 화씨단위 온도 및 열지수(°F)

4. 실험결과 및 분석

4.1. 습도 비교

실험 공간 내에 일반히터만 가동했을 경우와 에코히터를 가동했을 경우의 시간에 따른 실내습도 분포를 비교하는 실험을 진행하였다.

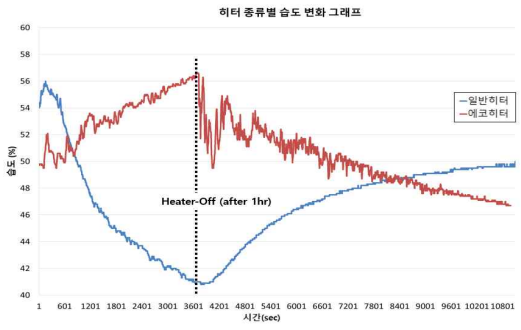

Fig. 4 Humidity comparison (heater only, heater + humidifier)

Fig. 4에 나타낸 것과 같이 일반히터의 경우는 히터의 가동과 동시에 실내습도가 54%에서 41%까지 크게 낮아지다가 히터의 가동을 중지하면 원래 상태로 회복되는 경향을 보였다. 반면에 에코히터를 가동했을 때는 가습기의 영향으로 50%에서 56%로 실내 습도가 증가하는 경향을 보였다. 위의 결과를 보면 에코히터와 일반히터의 실내 습도 차이는 약 15% 정도이나 난방기의 가동 시간이 길어지면 더 큰 차이가 발생할 것으로 예상된다.

4.2. 난방 성능 비교 (라인-A, 라인-B)

4.2.1. 온도 변화량

Fig. 3에 나타낸 것과 같이 온도센서 위치(히터 전방 1m, 간격 0.9m) 및 높이(0.6m, 1.2m, 1.8m, 2.5m)에 따른 온도분포 측정결과를 일반히터와 에코히터로 구분하여 표시하였다. 온도센서는 총 5개의 라인으로 설치하였으나 가운데(라인 C)는 히터의 직접적 영향이 가장 크고, 라인 D와 라인 E는 라인 A, B의 대칭이기 때문에 분석에서 제외하였다.

아래 그래프와 같이 히터(일반히터)만 가동했을 때는 높이에 따른 성층현상(stratification effect)이 라인 A, B 모두에서 명확하게 관찰되었다. 그러나 히터와 가습(에코히터)을 동시에 가동한 경우에는 높이별 온도 차이가 감소하였으며 1.8m 이하에서는 전반적으로 비슷한 분포를 보였다.

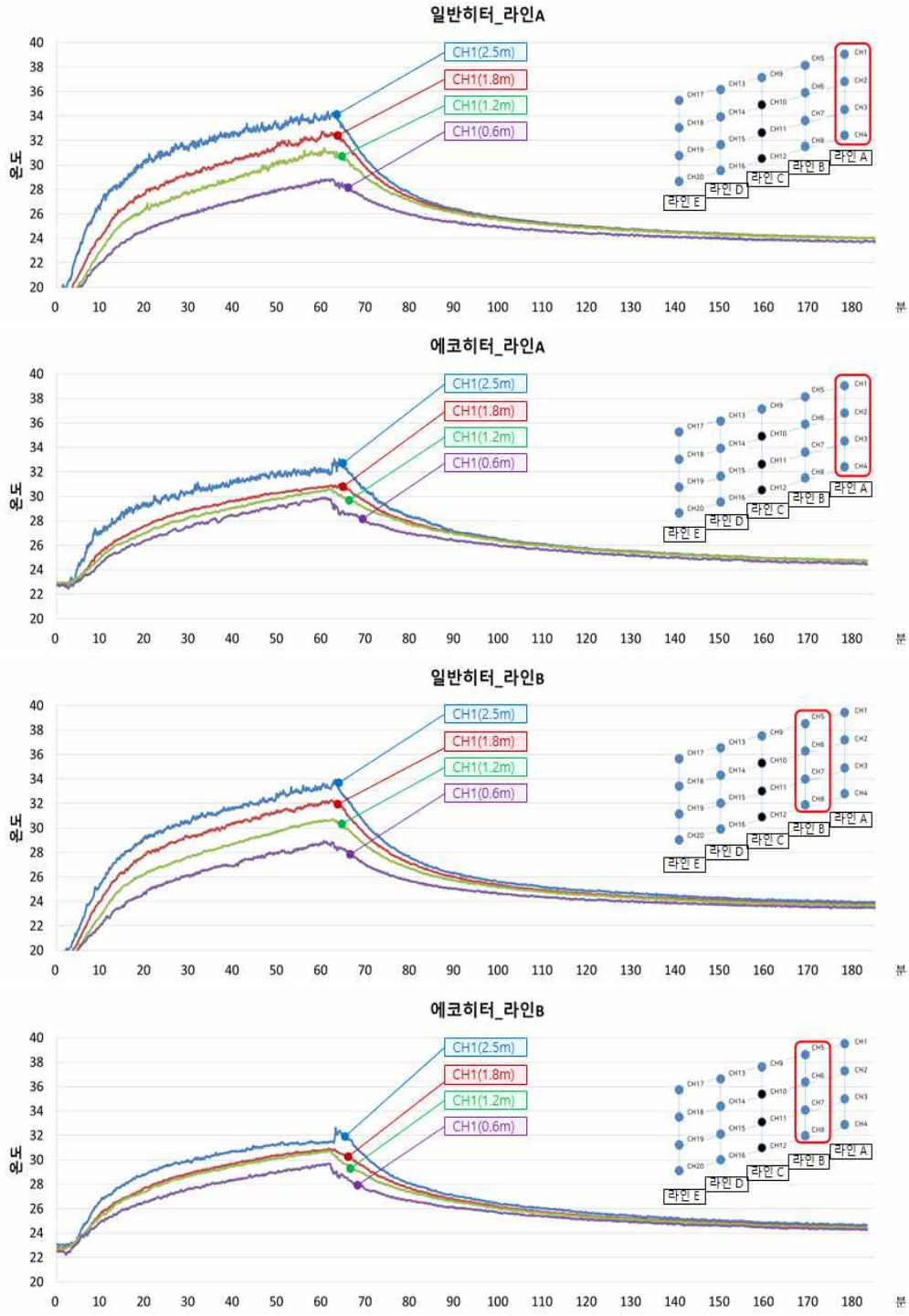

Fig. 5 Temperature transition measurement result(by section, by height).

4.2.2. 열지수 변화량

열지수는 온도와 습도에 따른 사람이 실제로 느끼는 더위를 지수화한 것으로 열지수식(Heat Index)을 활용하여 그래프로 나타내었다. 히터(일반히터)만 사용한 경우는 온도 변화량와 열지수 변화량에 큰 차이가 없었으며, 변화의 유형도 비슷하였다. 그러나 히터와 가습(에코히터)를 동시에 가동한 경우에는 열지수(체감온도)가 크게 상승하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 가습을 통해 습도를 높게 유지함으로서 체감온도를 높일 수 있으므로 난방효율 증가에 따라 에너지 비용에 대한 부담이 증가하는 겨울철에 난방비를 절약할 수 있는 효과로 이어질 수 있다고 판단된다.

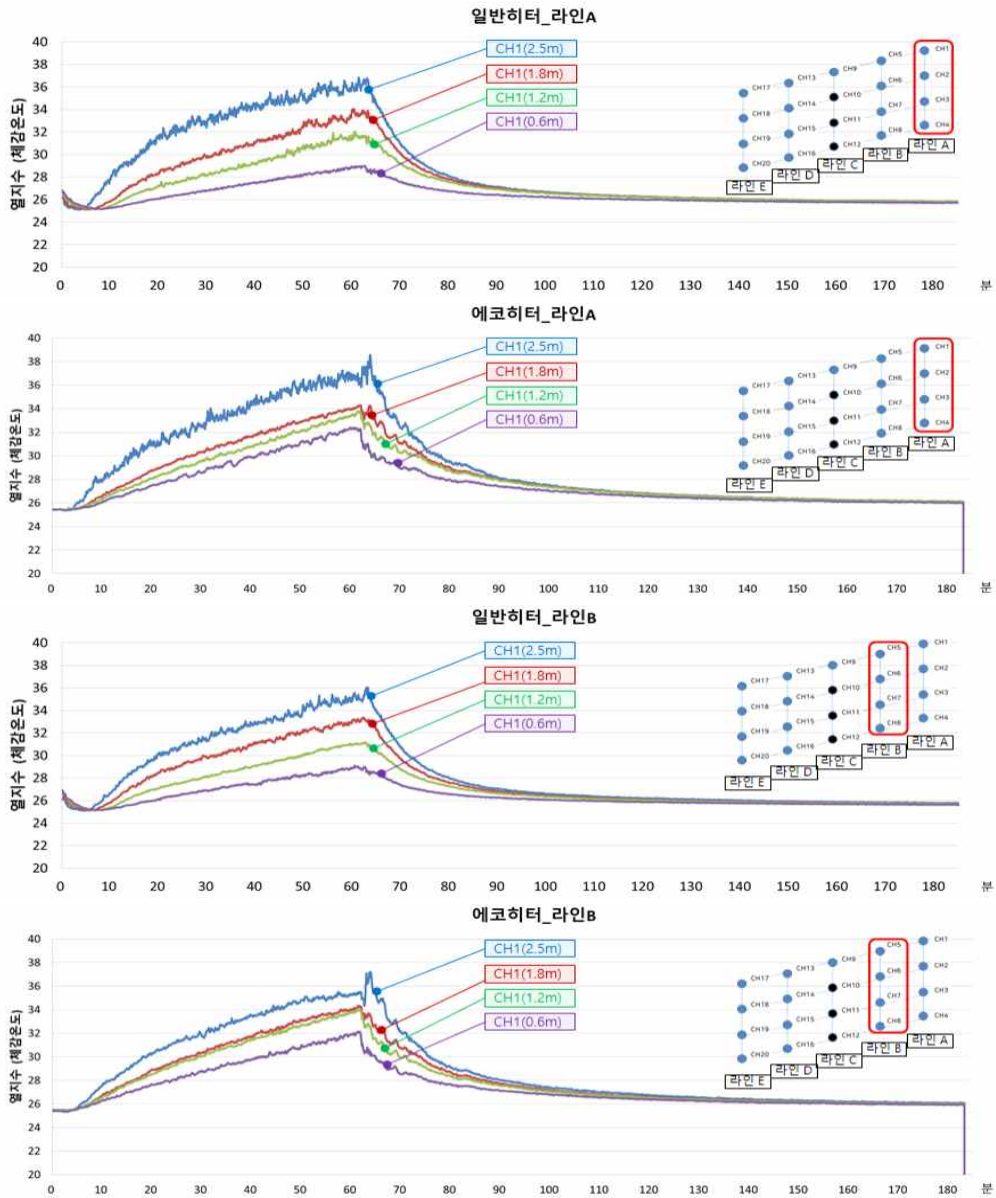

Fig. 6 Results of reflecting the heat index

4.2.3. 일반히터, 에코히터 열지수 변화량 비교

일반히터(붉은색 계열)와 에코히터(파란색 계열)의 열지수 변화량을 하나의 그래프로 나타내었다. 상대습도(%)에 따른 열지수(체감온도)를 비교하였을 경우 일반히터 보다 에코히터의 온도가 높게 나타났다. 특히 습도 유지가 필수인 영유아나 어린이, 노약자의 생활 높이인 1.2m 아래에서는 그 변화의 차이(1.8~3.0℃)가 뚜렷하게 관찰되었다.

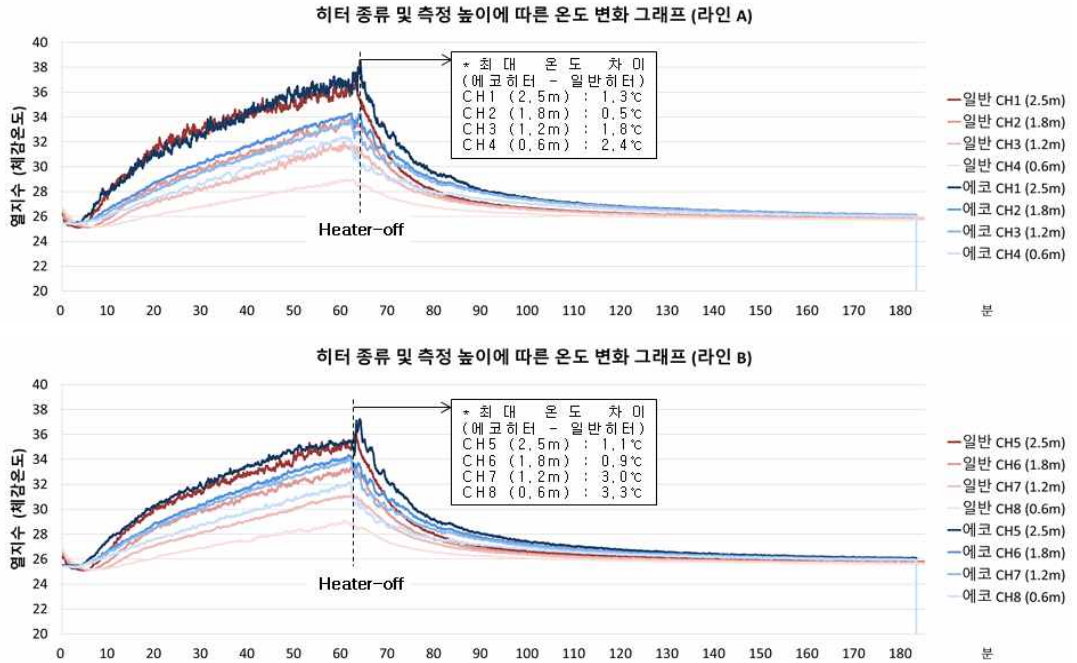

Fig. 7 Comparison graph of temperature transition according to heater type and measurement height.

5. 결론 및 토의

일반적으로 건강 습도의 범위는 40~60%이다. 습도가 낮은 경우는 바이러스의 활동이 왕성하고, 습도가 높은 경우에는 곰팡이의 번식이 우려되기 때문에 실내의 적정 습도 유지는 건강한 삶을 위한 필수조건이다.

본 연구에서는 겨울철에 주로 사용하는 난방기의 개발에 앞서 상대습도가 체감온도에 미치는 영향을 열지수(heat index)를 활용하여 분석하여 보았다. 난방을 위해 히터만 사용한 경우에는 성층효과(stratification effect)가 뚜렷하게 나타났으며 주로 위쪽(2.5m)의 온도가 높은 반면 가습기를 동시에 사용한 경우에는 위쪽과 아래쪽 온도 차이의 폭이 작았다. 특히 아래쪽(1.2m 이하)의 온도가 습도의 영향으로 높게 상승하는 효과가 있었다. 이는 가습 입자가 히터의 높은 온도 영역을 통과하면서 열에너지를 품고 확산되어 Warm-Water Roof 를 형성하였기 때문이라고 판단된다. 이러한 결과는 빠른 실내온도 상승에 따른 난방효율 증가로 가정의 겨울철 난방비 부담에 대한 감소가 가능하다.

이와 더불어 에코난방기 개발에 있어 무엇보다 중요한 것은 사용자 중심의 제품 디자인이다. 상극관계인 물과 불이 융합하는 구조이기 때문에 사용자의 안전이 우선적으로 고려되어야 하며, 초음파 가습부는 관리를 소홀히 할 경우 세균번식의 원인이 되기 때문에 탈부착이 용이하고 세척이 쉬운 구조로 설계가 이루어져야 한다.

후기

본 논문은 한국생산기술연구원 기관주요사업 “제

품생산 유연성 확보를 위한 뿌리공정기술 개발 (kitech EO-20-0015)"의 지원으로 수행한 연구입니다.

참고문헌

1) S. H. Cho, H. Kim, "A Review of Health Effects of Relative Humidity in Office Building," Annals of Occupational and Environmental Medicine, Vol. 2, No. 2, pp. 123-133, 1990.
2) C. S. Yoon, E. S. Park, Y. J. Choi, "Developing an Instrument for Measuring Comport Indexes in Office Indoor Environment," Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol. 15, No. 4, pp. 97-106, 1999.
3) J. G. Park, J. W. Yoon, "A Hygienic Evaluation of Indoor Air Quality in Public Used Buildings," Korea Society of Environmental Administration, Vol. 9, No. 1, pp. 49-56, 2003.
4) J. K. Park "Effects of Ultrasonic Humidifier on the Change in Relative Humidity of Indoor Apartment during Wintertime," Korea Society of Environmental Administration, Vol, 13, No. 1, pp. 25-34, 2007.
5) S. J. Lee, B. Y. Kwon, D. H. Jung, K. H. Jo, M. S. Kim, S. M. Ha, H. N. Kim, B. N. Kim, M. A. Masud, E. I. Lee, Y. K. Kim "Future Prediction of Heat and Discomfort Indices based on two RCP Scenarios," Atmosphere. Korean Meteorological Society, Vol. 23, No. 2, pp. 221-229, 2013.
6) Tromp, S. W. "The impact of the weather and climate on humans and their environment(animals and plants)," Biometeorology, Londen: Heyden, 1980.
7) Steadman, R. G. "The assessment of sultriness Part Ⅱ; effects of wind, extra radiation, and barometric pressure on apparent temperature," Journal of Applied Meteorology, Vol. 18, pp. 874-884, 1979.
8) Rothfusz, L. P. " The heat index equation(or, more than you ever wanted to know about heat index)," NWS Southern Region Technical Attachment, SR/SSD 90-23, Fort Worth, TX, 1990.
9) NOAA, Heat Stress. Asheville, NC; NOAA/NCDC, 1980.
10) G. Y. Choi, J. N. Choi, J. W. Kim, S. W. Son, "The Climatology of perceived Sultriness in South korea," Journal of the Korean Geographical Society, Vol. 37, No. 4, pp. 385-402, 2002.

저자 소개

이 정 원(Jeong-Won Lee) [정회원]

- 2015년 2월 : 인천대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2015년 7월~2018년 6월 : ㈜미로 기술연구소, 소장 (기업파견)
- 2007년 12월~현재: 한국생산기술연구원, 뿌리기술연구소 형상제조연구부문, 선임연구원

< 관심분야 >
플라스틱 금형/성형, LSR 금형/성형, 의료기기 개발, CAD/CAE

홍 경 보(Kyung-Bo Hong)

- 2016년 08월 : 인하대학교 전자공학과(공학박사 수료)
- 2011년 09월~2014년 1월 : 노바레보 개발팀
- 2014년 2월 ~ 현재 : ㈜ 미로 기술연구소, 과장

< 관심분야 >
사출 금형, 의료기기 개발, 전자기기 제어/개발