



개별환경제어시스템(PECS)을 이용한 국부 온열환경 개선에 관한 연구

Individual Heating Controls Using Personal Environmental Control System (PECS) to Improve Indoor Environmental Quality

김이경* · 류소임** · 김철***

Yi-Kyung Kim* · So-Im Ryu** · Chul Kim***

* Undergraduate Student, Dept. of Architectural Engineering, Pukyong National Univ., South Korea (rladlrud4@pukyong.ac.kr)

** Undergraduate Student, Dept. of Architectural Engineering, Pukyong National Univ., South Korea (si0905@pukyong.ac.kr)

*** Professor, Dept. of Architectural Engineering, Pukyong National Univ., South Korea (chulkim@pknu.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: In building, the thermal imbalance of radiant heat, and uneven heat distribution of HVAC system impairs the indoor thermal comfort. These issues have more significant physiological impact on the human conditions during the winter. This study aims to analyze the impact of using three Personalized Environmental Control System (PECS) on occupant thermal perception to improve indoor local thermal environment. **Method:** Two classrooms in P University in Busan were selected to experiment with two different set-point temperatures (i.e., 18°C, 22°C) to reflect actual operating conditions for energy conservation in winter. Local heating to occupants was performed using three types of PECS (i.e., Neck band, Desk fan, and Foot heater). Thermal environment perception survey was conducted to participants to evaluate the impact of each PECS device on thermal metrics (i.e., TSV, TCV, OTA). **Result:** TSV values with PECS showed the improvement of 27.8% at 18°C and 48.9% at 22°C compared to the baseline without PECS. At both indoor set-point temperatures (i.e., 18°C, 22°C), the desk fan and foot heater showed a higher improvement effect than the neck band. The use of PECS contributed to improving the overall thermal satisfaction of participants, which varied in effectiveness depending on the application area and capacity of PECS on the body. The findings of this study verified the effectiveness of PECS heating on the improvement of occupants thermal perception in winter.

KEYWORD

개별환경제어시스템
국부적 온열환경
난방기
열쾌적

PECS

Local Thermal Environment
Heating Season
Thermal Comfort

ACCEPTANCE INFO

Received Jul. 31, 2024

Final revision received Aug. 5, 2024

Accepted Aug. 9, 2024

© 2024. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경

최근 지구온난화가 가속화되며 세계적으로 온실가스 감축과 에너지 절약에 대한 논의가 계속되고 있다. 2015년 프랑스 파리에서 열린 제21차 유엔기후변화협약에서 채택된 파리 기후변화협약은 197개 회원국 모두 2020년부터 의무적으로 온실가스 배출 감축을 시행한다는 내용을 담고 있다[1]. 우리나라 정부는 온실가스 배출을 줄이기 위해 현재 다양한 에너지 절약 정책을 추진하고 있으며 건물 분야에 대한 에너지 소비를 줄이기 위해 부분적 방안으로 실내 냉난방 온도를 규제하고 있다. “공공기관 에너지 이용 합리화 추진에 관한 규정” 제14조(산업통상자원부 고시, 2024-110호)에 따라 공공기관의 경우, 난방 시 실내온도는 평균 18°C 이하로 설정해야 한다[2]. 하지만 열쾌적 측면에서 실내 재실자들의 불만족 사례가 발생하고 있으며 실내활동에도 부정적인 영향이 발생할 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 적정 실내온도를 맞추는 과정에서 다양한 열적 선호도에 대응하기 위한 에너지 효율성 문제가 제기되는 실정이다. Yoon(1992)의 연구에 따르면 겨울철 실내 착의량을 1.0Clo로 유지

하였을 때 실내온도를 23~24°C로 설정하는 것이 에너지 절약과 온열 쾌적성 측면에서 바람직하다고 분석하였다[3]. 한편, 선행연구 Shim et al.(2011)에 따르면 겨울철 실내 착의량 0.7Clo의 조건에서 남녀 대학생을 대상으로 난방 쾌적 선호온도에 대해 실험한 결과 평균 22.9°C였으며 적정온도는 평균 22.0°C로 확인되었다[4]. 이는 한국에너지공단의 에너지 절약 측면의 겨울철 실내 설정온도(18°C)가 열쾌적 측면에서 재실자의 선호온도에 현저히 미치지 못하는 것을 보여준다. 무엇보다 실내 재실조건에 따라 재실자의 열적 선호온도 차이가 존재하며 기존의 공조시스템만으로는 모든 재실자의 열쾌적을 충족시키는 데 한계가 있음을 보여준다. 또한, 국내에서 보편적으로 사용되는 전공기 방식의 공조시스템은 실내에서 수직, 수평 방향의 열적인 불균형을 유발하여 재실자의 불쾌적을 야기할 우려가 있다. 따라서 Kim(2024)의 연구에서는 겨울철 난방기 공조시스템 가동조건에 따른 실내 온열환경 모니터링을 수행하였으며 그 결과, 국부적인 온열환경 제어가 재실자의 열쾌적 측면에서 중요하다고 판단하였다[5].

1.2. 개별환경제어시스템(PECS)의 효용성

IEA-EBC Annex 87의 정의에 따르면 개별환경제어시스템(Personalized Environmental Control System, PECS)은 실내 전체

공간을 대상으로 하는 것이 아닌 재실자의 작업 공간 선호도에 따라 국부적 환경을 제어하며 기능에 따라 난방 PECS, 냉방 PECS, 환기 PECS 등으로 분류할 수 있다[6]. 현재 다양한 개별환경제어시스템이 상용화되어 있으며 냉·난방기 재실자의 열적 쾌적성을 효과적으로 개선하기 위해 다양한 개별 난방기기를 활용한 연구가 진행되고 있는 실정이다.

최근 연구 Yin et al.(2022)은 중국 상하이에 위치한 기후 챔버(4.2m x 3.6m x 2.6m)에서 실내 설정온도 18°C(±0.3°C)와 32°C(±0.3°C), 상대습도 50%(±5%) 조건 시 개별 난방기기 3종(전기 히터, 온열 쿠션, 온풍기)을 20분간 사용하여 PECS 사용에 따른 온열환경 영향을 평가하였다. 이때 피실험자들의 착의량은 약 0.6Clo로 설정하였다. 그 결과, 재실자의 평균 온열감이 -1.96에서 -0.18~-0.09로 향상되었다[7]. Deng et al.(2017)은 실내 설정온도를 개별 난방기기를 사용할 수 있는 16°C와 사용할 수 없는 18°C의 두 조건으로 나누어 상대습도 55%(±5%), 착의량 0.8Clo의 조건에서 40분 동안 재실자의 온열 쾌적성을 비교하였으며 그 결과 재실자들은 개별 난방기기를 적용한 16°C 조건에서 더 높은 쾌적감을 보였다[8]. Yang et al.(2022)는 중국 시안에 위치한 오피스 공간에서 업무 활동을 하는 재실자를 대상으로 4종류의 개별 난방기기(테이블 패드 히터, 등받이 히터, 쿠션 히터, 레그 워머)의 적용 효과와 에너지 소비를 동시에 분석하였다. 실내온도를 겨울철 난방온도인 20°C로 설정하였으며 재실자의 착의량은 1.0Clo로 설정해 두 시간 동안 실험을 진행하였다. 분석 결과, 재실자들의 열적 수용성이 크게 향상되었으며 중앙난방에 비해 난방에너지가 최소 52.7% 절약된다고 보고하였다[9]. 마지막으로, 선행 연구(Wang et al., 2021)에 따르면 착의량 1.26Clo인 16명의 남녀를 대상으로 세 가지 실내 온도(11°C, 13°C, 15°C), 상대습도 40% 조건에서 개별 바닥 난방 매트 적용한 결과, 겨울철 중앙난방을 사용하지 못하는 공장 작업자들의 열적 쾌적성과 작업 효율성이 크게 개선되는 것을 확인하였다[10]. 따라서 다양한 환경에서 PECS의 사용이 사용자의 국부적 열적 쾌적 증진에 기여하는 것으로 확인되며 개별 난방기기는 재실자 뿐만 아닌 다양한 공간에서 작업하는 작업자들에게도 적용 가능한 장점이 있을 것으로 판단된다.

1.3. 연구의 목적

선행 연구 분석 결과, PECS 활용에 대한 효용성 분석 연구가 일부 수행되었으나 기존 공조시스템의 다양한 실내 설정온도에 따른 PECS 난방기기와 병용된 방식에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구는 개별환경제어시스템(PECS)을 이용한 국부적 개별 난방을 Zone별 개별 공조시스템의 운전조건과 병행함으로써 재실자의 열쾌적성을 개선하고 공조시스템과의 병용 방안을 검토하였다. 이를 위해 3종의 PECS 난방기기(i.e., Neck band, Desk fan, Foot heater)를 재실자들에게 개별 적용하고 이후 온열환경지표에 대한 설문조사를 통해 재실자들이 체감하는 온열환경 개선 여부를 평가, 분석하였다. 이후 응답 결과를 바탕으로 효과적인 PECS 온열환경 운영 방안을 도출하였으며 더 나아가 난방기 PECS 활용성 개선을 위한 개선방안을 모색하고자 한다.

2. PECS 온열환경 연구방법

본 연구는 난방기 재실자의 PECS 난방기기 사용 시 온열환경 변화에 대한 분석을 위해 PECS 활용에 따른 대학 내 강의공간을 대상으로 난방실험을 수행하였다.

2.1. 실험방법 및 절차

본 연구의 PECS 난방 온열환경 실험을 위한 대상시설은 부산에 위치한 P 대학교 강의실 2개소로 선정했으며, 각 강의실의 규모는 12m x 6m x 3.3m (면적 72m²)와 8m x 6m x 3.3m (면적 48m²)와 같다(Fig. 1). 실내 설정온도는 천정형 EHP(Electric Heat Pump) 방식을 이용해 난방기 에너지 절약 온도인 18°C와 난방기 대학 강의실 실내 설정온도인 22°C로 설정하였으며, 실험을 진행하는 동안 환기장치인 ERV(Energy Recovery Ventilator)는 off 상태를 유지하였다. 대상 인원은 10~20대 건강한 성인 남녀 30명을 대상으로 강의실 A(실내 설정온도 18°C)와 강의실 B(실내 설정온도 22°C)에 각 15명씩 재실하도록 하였다. 활동량은 1.0 met으로 설정하였으며 피실험자의 착의량은 선행연구의 Clothing and Thermal Insulation을 참고해 산출하였다[11]. 피실험자의 의복은 일상적인 환경을 고려하여 별도로 규제하지 않았으며 난방기 실내에서의 착의량은 0.6~0.7Clo로 나타났다. 실내온도별 재실자의 정보는 Table 1.과 같다.

온열환경 실험은 각 실험의 단계별로 수행되었으며, PECS 난방기기 사용 시 재실자의 온열환경 인지변화에 대한 설문을 수행하였다. 이를 통해 서로 다른 실내 설정온도에서 PECS 적용 효과를 비교

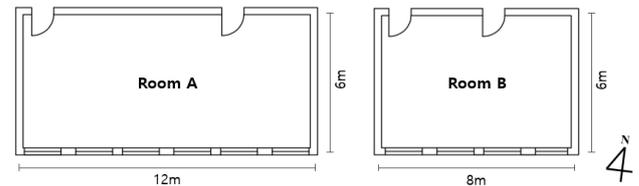


Fig. 1. Schematic diagram of experiment process

Table 1. PECS participants information

	Room A (Temperature 18°C)		Room B (Temperature 22°C)	
	Male	Female	Male	Female
Photo of laboratory experiment				
Gender	Male	Female	Male	Female
Clo	0.6		0.7	
Met	1.0			
Number of people	11	4	10	5
Age	22.3 (SD±0.8)	22.5 (SD±3.1)	22.9 (SD±1.1)	25.0 (SD±10.7)
Height (cm)	178.4 (SD±5.9)	168.5 (SD±4.5)	177.0 (SD±6.0)	164.8 (SD±4.7)
Weight (kg)	76.8 (SD±9.3)	57.7 (SD±0.6)	74.3 (SD±8.4)	56.2 (SD±8.6)

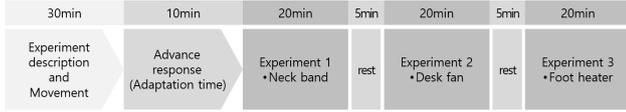


Fig. 2. Schematic diagram of experiment process

Table 2. Measurement sensor information

Measuring instruments	TR-71Ui	TR-74Ui
Measuring elements	Globe temperature, dry bulb temperature	Temperature, illuminance, relative humidity
Measuring range	Built-in sensors: 10 - 60°C (± 0.3°C) Accessory sensors: 40 - 110°C (± 0.3°C) Optional sensors: 60 - 155°C (± 0.3°C)	Illuminance: 0 - 130klx (± 5%) UV: 0 - 30mW/cm2 (± 5%) Temperature: 0 - 55°C (± 0.5°C) Relative humidity: 10 - 95%RH (± 5%RH)
Measurement interval	1min	1min

분석하고자 하였다. PECS 난방기기는 대상 신체 부위별 3종(Neck band, Desk fan, Foot heater)으로 구성되었으며 온열환경 실험은 총 2시간 동안 진행하였다. 구체적인 절차는 Fig. 2.와 같다.

실험 절차는 초기 30분간 실험설명 후 실험 강의실로 이동하였으며, 이후 실내 설정온도에 대한 적응 시간을 10분 가진 후 재실자의 현재 온열환경에 대한 설문은 진행하였다(baseline). 이후 PECS 난방기기별로 20분간의 사용 시간을 가진 후 개인별 온열환경에 대한 변화에 대해 온열환경 지표별로 설문을 수행하였다. 또한, 각각 PECS 난방기기별 실험 후 이전 PECS 난방기기 실험에 따른 영향을 방지하기 위해 5분간의 휴식 시간을 부여하였다. 같은 방식으로 PECS 난방기기별로 총 3차례 실험을 수행하였으며, 최종 실험 종료 후 3가지 PECS 기기 활용 효과에 대한 비교 설문을 진행하였다. 실험공간에 대한 물리적 실측은 온도, 습도, 흑구온도, 기류속도 등의 요소를 측정하였으며 측정 기기로는 T&D사의 TR-71Ui와 TR-74Ui, Testo사의 Testo 410-2를 이용하였다. 구체적인 성능은 Table 2.와 같다.

2.2. PECS 난방기기 선정

난방기 국부적 온열감 개선을 위해 PECS 난방기기는 신체 주요 부위별로 Neck band, Desk fan, Foot heater 총 3종류로 구성하였다. 구체적인 기기 성능은 Table 3.과 같다.

2.3. 온열환경 평가 지표

PECS 난방 기기 사용에 따른 온열환경에 대한 설문조사는 재실자의 온열감 인식에 대한 다각적인 관점에서 평가하였다. Table 4. 는 본 연구에서 사용된 주요 온열환경 평가지표인 TSV(Thermal Sensation Vote), TCV(Thermal Comfort Vote), OTA(Overall Thermal Acceptance)에 대한 스케일을 나타내며, 온열환경 지표의 scale은 ASHRAE handbook fundamentals 2017과 선행연구

Table 3. PECS heating equipment performance

	Neck band	Desk fan	Foot heater
Device photo			
Device name	CPT66NH	SEH-2000JA	AB-992PH
Product size (mm)	179 x 178 x 55	230 x 220 x 115	100 x 520
Rated voltage	5V/2A	220V/60Hz	220V/60Hz
Power consumption (W)	8	2000	165

Table 4. Thermal environment survey metric scales

Scale	TSV	TCV	OTA
+3	Hot	Very Comfortable	Clearly Acceptable
+2	Warm	Comfortable	Acceptable
+1	Slightly Warm	Slightly Comfortable	Slightly Acceptable
0	Neutral	Neutral	-
-1	Slightly Cool	Slightly Uncomfortable	Slightly Unacceptable
-2	Cool	Uncomfortable	Unacceptable
-3	Cold	Very Uncomfortable	Clearly Unacceptable

(Samar, 2021)를 참고하여 구성하였다. TSV, TCV는 7점 척도를 사용하였으며 OTA는 6점 척도를 사용하였다[12, 13].

3. 온열환경 평가지표 분석결과

3.1. Baseline: PECS 미사용시

PECS 활용에 앞서 재실공간의 EHP 난방설정온도(18°C, 22°C)에 따른 난방만을 공급할 때, 재실자들의 온열환경에 인지상태를 조사하였다. 이를 기준으로 PECS 난방 적용시 TSV, TCV, OTA 지표별 온열환경 개선 여부를 실내 난방설정온도 조건별로 비교하였다. PECS 미사용 시에 대한 설문 응답결과는 Fig. 3.과 같다.

1) TSV(Thermal Sensation Vote) without PECS

Fig. 3. 실험 결과, 실내 난방 설정온도가 18°C인 경우 시원함(cool, -2)의 응답이 60.0%로 가장 많았고 뒤이어 추움(cold, -3)의 응답이 33.3%로 많았다. 난방 설정온도 22°C의 경우 약간 시원함(slightly cool, -1)이 60.0%, 시원함(cool, -2)이 26.7% 순으로 높았으며 두 가지 난방 설정온도에서 재실자 모두 전반적으로 시원함을 느낀 것을 확인할 수 있었다.

2) TCV(Thermal Comfort Vote) without PECS

Fig. 3.에서 실내 난방 설정온도가 18°C인 경우 약간 불편적(slightly uncomfortable, -1)이 46.7%, 쾌적(comfortable, +2)이 20.0% 순으로 응답이 많았으며 난방 설정온도 22°C의 경우 약간 쾌적(slightly comfortable, +1)의 응답이 40.0%로 가장 많은 것으로

나타났다. 전반적으로 재실자들은 쾌적하다고 응답하였으며 실내 난방 설정온도에 따른 차이를 비교할 때, 18°C의 경우 22°C에 비해 낮은 실내설정온도로 약간 불편적(slightly uncomfortable, -1)한 응답자 수가 더 높았다고 판단된다.

3) OTA(Overall Thermal Acceptance) without PECS

Fig. 3.에서 실내 난방설정온도가 18°C인 경우 약간 허용 불가능(slightly unacceptable, -1)과 약간 허용 가능(slightly acceptable, +1)의 응답이 가장 많았고 실내 난방 설정온도가 22°C의 경우 허용 가능(acceptable, +2)하다는 응답이 가장 많았다. 따라서 OTA의 측면에서는 PECS 미 사용시에도 두 가지 실내 설정온도는 모두 허용 가능 수준이라고 판단된다.

3.2. Alternatives: PECS 난방기기 사용 시

실내 난방설정온도(18°C, 22°C)에 따른 PECS 난방기기 이용시 국부적 온열환경 개선효과에 대한 분석결과는 다음과 같다.

1) TSV(Thermal Sensation Vote) with PECS

PECS 난방기기 사용에 따른 온열환경 개선효과를 TSV의 측면에서 분석하였다(Table 5.). 응답결과는 PECS 난방 사용시 재실자의

응답률에 대한 백분위[%]를 나타낸다. PECS 난방 활용시 TSV의 Baseline 대비 개선효과는 실내 설정온도 18°C에서 27.8%, 22°C에서 48.9% 정도 개선 효과가 있었으며 전반적으로 PECS 난방기기 사용 후 시원함(-2)에서 약간 시원함(-1) ~ 따뜻함(+2)으로 온열감이 개선되었다. 특히 3종의 기기 중 Desk fan이 두 가지 실내 설정온도에서 탁월한 개선효과를 보였다. 이에 반해 Neck band의 경우 타 PECS 난방기기에 비해 온열감 개선효과가 낮았으며 이는 난방범위 및 공급 열량이 작아 신체 전반적으로 영향을 주지 못했기 때문이라 사료된다.

2) TCV(Thermal Comfort Vote) with PECS

PECS 난방기기 사용시 재실자의 열적 쾌적도를 분석하기 위해 TCV를 비교한 결과(Table 5.), PECS 난방기기 활용 시 실내 설정온도와 기기종류에 따른 개선효과와 차이가 있으나 전반적으로 열쾌적도가 개선되는 양상을 보였다. 특히 실내 설정온도 18°C의 경우 Desk fan 사용 시 쾌적(+2)하다는 응답이 53.3%로 Baseline 대비 33.3% 증가해 열쾌적감이 많이 개선되었음을 알 수 있다. 종합적으로 볼 때, 18°C, 22°C 난방설정온도 모두에서 TCV 개선에 Desk fan의 영향력이 가장 컸으며 뒤이어 Foot heater, Neck band 순으로 개선효과가 나타났다.

3) OTA(Overall Thermal Acceptance) with PECS

PECS 난방기기 사용 시 재실자의 국부적 온열환경 변화에 대한 수용성(acceptance)을 조사하였다. OTA 응답결과는 PECS 난방기기를 미사용한 Baseline과 비교하여 Table 5.에서 분석되었다.

분석결과, PECS 난방기기 사용에 따른 재실자의 기기 수용성은 전반적으로 허용 가능하다는 응답이 가장 많이 보고되었다. 실내 설정온도별로 살펴보았을 때 실내 난방 설정온도 18°C의 경우 Desk fan 사용 시 명백하게 허용 가능(+3)과 허용 가능(+2)이 각각 40.0%, 약간 허용 가능(+1)이 20.0%로 수용도 측면에서 가장 높은 응답률을 보였으며, Desk fan을 사용해 온열환경 개선시 수용성이 가장 우수한 것으로 확인되었다. 실내 난방설정온도 22°C의 경우 Foot heater 사용 시 명백하게 허용 가능(+3)이 13.3%, 허용 가능(+2)과 약간 허용 가능(+1)이 각각 40.0%로 수용성이 가장 우수했

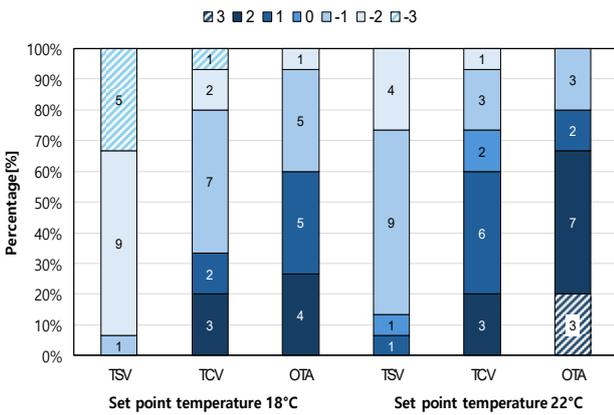


Fig. 3. Occupant conditions for thermal environment (18°C, 22°C)

Table 5. TSV response rate before and after the use of PECS heating (%)

Scale	TSV								TCV								OTA							
	Indoor temperature 18°C				Indoor temperature 22°C				Indoor temperature 18°C				Indoor temperature 22°C				Indoor temperature 18°C				Indoor temperature 22°C			
	Base line [%]	Neck band [%]	Desk Fan [%]	Foot heater [%]	Base line [%]	Neck band [%]	Desk Fan [%]	Foot heater [%]	Base line [%]	Neck band [%]	Desk Fan [%]	Foot heater [%]	Base line [%]	Neck band [%]	Desk Fan [%]	Foot heater [%]	Base line [%]	Neck band [%]	Desk Fan [%]	Foot heater [%]	Base line [%]	Neck band [%]	Desk Fan [%]	Foot heater [%]
n	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
+3	0	0	0	0	0	6.7	6.7	0	0	0	6.7	0	0	0	6.7	0	0	0	40.0	0	20.0	13.3	6.7	13.3
+2	0	6.7	80.0	20.0	0	6.7	40.0	6.7	20.0	0	53.3	13.3	20.0	13.3	33.3	33.3	26.7	13.3	40.0	26.7	46.7	33.3	40.0	40.0
+1	0	0	20.0	33.3	6.7	46.7	26.7	60.0	13.3	6.7	20.0	26.7	40.0	33.3	26.7	13.3	33.3	20.0	20.0	46.7	13.3	26.7	46.7	40.0
0	0	6.7	0	0	6.7	13.3	20.0	13.3	0	13.3	0	0	13.3	26.7	6.7	26.7	-	-	-	-	-	-	-	-
-1	6.7	53.3	0	26.7	60.0	26.7	6.7	20.0	46.7	53.3	13.3	46.7	20.0	13.3	13.3	26.7	46.7	53.3	13.3	46.7	20.0	13.3	13.3	26.7
-2	60.0	13.3	0	6.7	26.7	0	0	0	13.3	26.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	0	13.3	26.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	0
-3	33.3	20.0	0	13.3	0	0	0	0	6.7	0	0	6.7	0	6.7	6.7	0	6.7	0	0	6.7	0	6.7	6.7	0

다. 예외적으로 난방 설정온도 18°C의 경우 Neck band 사용 시 약간 허용 불가능(-1)이 46.7%로 가장 높으며 이는 난방기기에 재실자의 피부가 직접 접촉하는 방식으로 인한 결과로 판단된다.

3.3. PECS의 온열환경 개선효과

실내 난방설정온도 18°C, 22°C 조건에서 EHP 공조난방과 PECS 난방기 병행하여 PECS 난방 적용 시 재실자의 온열환경 개선도를 분석하였다(Table 6.).

실내온도 18°C 조건에서 EHP 공조난방과 PECS 난방기 병행에 따른 PECS 난방의 온열환경 개선도는 모든 지표(TSV, TCV, OTA)에서 Desk fan이 1순위, Foot heater가 2순위, Neck band가 3순위의 것을 확인하였다. 실내 설정온도 22°C의 경우, TSV 지표에서 1) Desk fan, 2) Foot heater, 3) Neck band 순으로 개선 순위가 높게 나타났다. TCV와 OTA의 경우, 1) Foot heater, 2) Desk fan, 3) Neck band 순으로 개선 순위가 높게 나타났으며 이러한 요인은 상대적으로 Desk fan의 공급 열량이 크고 난방범위가 넓어 재실자의 열 수요에 대응하기 용이하기 때문이라 사료된다.

3.4. PECS 활용개선을 위한 요구사항

공조기기와 병행한 PECS 사용 후 추가적인 온열환경 변화에 대한 수요를 조사하였다. PECS 난방기기를 미사용한 Baseline과 비교할 때, 응답결과는 Table 7.과 같다. 난방기 서로 다른 실내 설정온도(18°C, 22°C)에서 PECS를 활용한 국부적 온열환경 개선에 대한 실험결과, PECS 난방기기를 활용한 국부적 열환경 개선에도 불구하고 실험참여자들의 상당수는 추가적인 난방수요를 제기하였으며, 요구수준은 전반적으로 약간 더 따뜻하게(+1)로 확인되었다. 기기별로 살펴보면 Desk fan 사용 시 추가적인 온열환경 변화가 불필요하다고 응답한 수가 가장 많았고 이를 통해 온열환경 개선에 가장 우수한 것으로 판단되었다. 반면 Neck band와 Foot heater의 경우 Desk fan에 비해 약간 더 따뜻하게(+1)의 응답자 수가 많았으며 이는 기기의 좁은 난방범위 및 열량 부족 때문이라 사료된다.

3.5. PECS 난방기기 활용 개선방안

공조기기와 PECS 난방기기의 병행 운전 시 PECS 기기의 활용성 제고를 위한 개선방안을 분석하였다(Fig. 4.). 실내 설정온도 18°C, 22°C 모두에서 응답자들은 Desk fan과 Foot heater의 동시 활용이 가장 효과적일 것이라는 응답을 하였으며, 이때 응답률은 93.3%와 66.7%를 기록하였다. 이는 상반선에 위치한 Desk fan과 족부에 위치한 Foot heater를 조합하여 사용시 재실자의 수직적 온도차를 최소화하여 수직적 공간의 열쾌적성을 개선할 수 있으므로 가장 선호하는 것으로 보인다. 또한, 차순위로는 Neck band와 Foot heater의 병행 조합으로 나타났으며 마찬가지로 재실자의 수직적 온도차를 최소화할 수 있다. 하지만 Neck band의 난방범위가 Desk fan에 비해 좁기 때문에 선호도 차이가 있는 것으로 사료된다. 연구에 사용된 PECS 기기 외에도 수직적 온도차를 최소화할 수 있는 다양한 PECS 난방기기를 조합하여 난방기 열쾌적성을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 6. Thermal environment improvement ranking (%)

Indicators	Rank	Indoor temperature 18°C			Indoor temperature 22°C		
		Neck band [%]	Desk fan [%]	Foot heater [%]	Neck band [%]	Desk fan [%]	Foot heater [%]
n		15	15	15	15	15	15
TSV	1st	0	93.3	6.7	13.3	66.7	20.0
	2nd	6.7	6.7	86.6	20.0	33.3	46.7
	3rd	93.3	0	6.7	66.7	0	33.3
TCV	1st	6.7	86.6	6.7	20.0	6.7	73.3
	2nd	13.3	6.7	80.0	33.3	60.0	6.7
	3rd	80.0	6.7	13.3	46.7	33.3	20.0
OTA	1st	86.6	6.7	6.7	33.3	26.7	40.0
	2nd	20.0	6.7	73.3	20.0	40.0	40.0
	3rd	73.3	6.7	20.0	46.7	33.3	20.0

Table 7. Preference response rate for thermal environment improvement (%)

Scale	Indoor temperature 18°C				Indoor temperature 22°C			
	Base line [%]	Neck band [%]	Desk Fan [%]	Foot heater [%]	Base line [%]	Neck band [%]	Desk Fan [%]	Foot heater [%]
n	15	15	15	15	15	15	15	15
+2	0	26.6	0	0	0	13.3	0	6.7
+1	93.3	60.0	13.3	80.0	60.0	26.6	0	46.7
0	6.7	6.7	80.0	13.3	33.3	26.6	66.7	26.6
-1	0	6.7	6.7	6.7	6.7	26.6	26.7	20.0
-2	0	0	0	0	0	6.7	6.7	0

* +2: 훨씬 더 따뜻하게 +1: 약간 더 따뜻하게 0: 변화 불필요
-1: 약간 더 시원하게 -2: 훨씬 더 시원하게

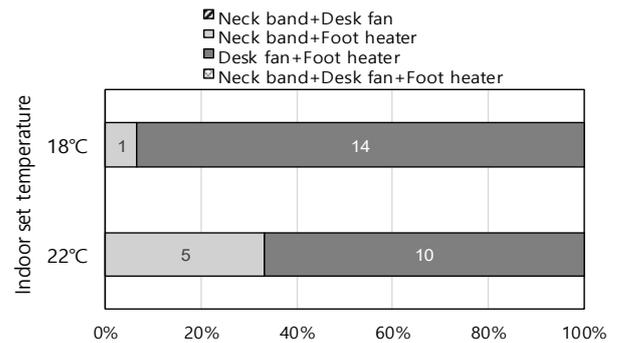


Fig. 4. PECS device utilization combination

4. 결론

본 연구에서는 난방기 실내 온열환경의 불균형과 재실자의 열적 쾌적도를 개선하기 위해 PECS 난방기기 사용에 따른 온열환경 개선 효과에 대해 살펴보고자 하였다. 기존 온열환경에 대한 선행연구와 PECS 난방실험 결과를 기준으로 볼 때, 기존의 공조 시스템의 열분배 방식과 난방설정온도는 실내 인테리어 구성방식 및 이용환경에

따라 오피스, 강의공간 등에서 재실자의 불쾌적을 유발할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구는 실내공간의 국부적인 열분포의 불균형과 재실자 사이의 열적 선호도 차이에 의한 온열환경 만족도를 개선하기 위해 에너지 절약 난방설정온도인 18°C와 겨울철 대학교 난방설정온도인 22°C의 조건에서 PECS 난방기기 활용 시 재실자의 온열감 개선을 분석하였다. 본 연구의 결과는 향후 제로 에너지 건축 및 그린 리모델링 등을 위한 참고자료가 될 수 있으며 에너지 총량제 개선을 위한 기초자료로 활용될 수 있다. PECS 난방 적용에 따른 온열환경 개선효과를 요약하면 다음과 같이 정리될 수 있다.

- (1) 난방기 PECS 미사용 시 실내 설정온도(18°C, 22°C) 모두에서 재실자는 전반적으로 시원함(cool)을 느꼈지만, 상대적으로 18°C의 조건에서 약간 불쾌적과 허용 불가능하다는 응답이 모두 46.7%로 불만족 개선의 필요성이 나타났다.
- (2) PECS 난방기기 활용에 따른 실험 결과, 온열환경지표(TSV, TCV, OTA)를 비교분석 했을 때 PECS를 사용할 경우 대부분의 기기에서 열적으로 더 쾌적하다는 응답결과를 확인하였으며 전반적으로 Desk fan과 Foot heater가 Neck band에 비해 더 높은 개선 효과를 보였다.
- (3) PECS 난방기기 활용 시 국부적 열환경 개선효과에도 불구하고 피실험자들의 상당수는 추가적인 난방의 필요성을 제기하였다. 이러한 요구는 Desk fan에 비해 Neck band와 Foot heater에서 더 높게 나타났으며 Desk fan이 온열환경 개선에 더 효과적인 것을 확인하였다.
- (4) PECS 난방기기의 사용은 신체 부위에 따라 적용 효과에 차이가 있는 것으로 나타났다. 설문 결과 PECS 난방기기의 단일 활용보다 Desk fan과 Foot heater 등을 병행하여 사용할 경우 수직적 온도 차를 줄일 수 있어 온열감 개선에 효과적인 것으로 확인되었다. 따라서, PECS 기기의 조합 방식에 따라 국부적 난방에 대한 효용성이 증가할 것으로 사료된다.
- (5) PECS 난방기기는 소형화된 기기의 특성상 전력 소비량이 높다는 단점이 있으므로 공조시스템과 병행 시 에너지 효율 개선에 대한 방안이 장기적으로 필요할 것으로 판단된다.

PECS 난방기기 사용 시 전반적인 재실자의 열쾌적이 개선되는 것으로 확인되었으며, 온열환경에 대한 재실자의 수용도도 허용 가능한 수준임을 확인하였다. 또한, PECS 기기별로는 Desk fan이 가장 높은 개선효과를 보였다. 하지만 강의실 공간의 제한된 용도, 피실험자 수에 따른 적은 실험 규모로 인해 개별적인 연구대상에 대한 상세점에는 한계가 있으므로 추가적인 연구를 통해 PECS 효과를 더욱 명확히 해석할 필요가 있다. 또한, 소형 난방기기의 낮은 효율에 대해 개선의 여지가 있으며, PECS 기기의 적용방식 다변화와 더불어 다양한 공조시스템 종류에 병행 방법에 대한 연구가 지속적으로 필요하다고 판단된다.

Acknowledgement

이 논문은 2023학년도 부경대학교 산학협력단의 지원을 받아 수

행된 연구임(202311660001). 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00391692).

References

- [1] UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), Paris Agreement, 2015.12.12.
- [2] 산업통상자원부, 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정, 산업통상자원부고시 제2024-110호, 2024.07.01. // (Ministry of Trade, Industry and Energy, Measures for Efficient Use of Energy by the State and Local Governments, Notice No. 2024-110, 2024.07.01.)
- [3] 윤정숙, 최윤정, 겨울철 실내온열환경의 쾌적범위설정에 관한 실험연구, 대한가정학회지, 제30권 제2호, 1992, pp.81-86. // (J.S. Yoon, Y.J. Choi, Establishing the comfort zone of thermal environment in winter, Journal of the Korean Home Economics Association, 30(2), 1992, pp.81-86.)
- [4] 심현섭, 정운선, 남녀 대학생의 겨울철 실내 쾌적온도 및 적정온도, 한국지역사회생활과학회지, 제22권 제3호, 2011.09, pp.485-491. // (H.S. Shim, W.S. Jeong, Preferred and suggested winter indoor temperatures of college students, The Korean Journal of Community Living Science, 22(3), 2011.09, pp.485-491.)
- [5] 김철, 건물 외주부 재실자 온열환경 개선을 위한 실내환경 제어방안 연구 -겨울철 태양 복사열 획득에 의한 국부적 온열환경 변화를 중심으로-. KIEAE Journal, 제24권 제1호, 2024.02, pp.83-89. // (C. Kim, Indoor environmental controls for improving occupant thermal comfort in perimeter spaces -Focusing on the thermal environment due to solar radiation during the heating season-, KIEAE Journal, 24(1), 2024.02, pp.83-89.)
- [6] IEA EBC (International Energy Agency Energy in Buildings and Communities Programme), Annex 87, <https://annex87.iea-ebc.org/about>, 2024.07.30.
- [7] Y. Tang et al., Thermal comfort performance and energy-efficiency evaluation of six personal heating/cooling devices, Building and Environment, 217, 2022.06, 109069.
- [8] Q. Deng et al., Human thermal sensation and comfort in a non-uniform environment with personalized heating, Science of the Total Environment, 578, 2017.02, pp.242-248.
- [9] B. Yang et al., Thermal comfort and energy savings of personal comfort systems in low temperature office: A field study, Energy and Buildings, 270, 2022.09, 112276.
- [10] H. Wang et al., Experimental study on local floor heating mats to improve thermal comfort of workers in cold environments, Building and Environment, 205, 2021.11, 108227.
- [11] The Engineering Tool Box, Clo - Clothing and thermal insulation, <https://www.engineeringtoolbox.com/>, 2024.07.30.
- [12] ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), 2017 ASHRAE handbook-Fundamentals, 2017.
- [13] S. Thapa, Revisiting thermal comfort in the cold climate of Darjeeling, India - Effect of assumptions in comfort scales, Building and Environment, 203, 2021.10, 108095.