

2024년 춘계학술발표대회 : 일반부문

천장형 EHP시스템의 난방 운전이 실내 열환경의 성층화에 미치는 영향

Impact of Heating Operation of Ceiling-Mounted EHP System on Indoor Thermal Stratification in Winter

○Atefeh Tamaskani Esfehankalateh*
Atefeh Tamaskani Esfehankalateh

임재한**
Lim, Jac-Han

Abstract

This study delves into the dynamics of indoor thermal stratification and its implications of operation performance for ceiling-mounted EHP system, a key element in the broader discourse on energy efficiency within built environments. This study was conducted in a classroom equipped with two ceiling-mounted 4-way indoor units of EHP system for heating operation in winter. By employing temperature and humidity sensors across various classroom locations, the research methodically tracks temperature and humidity differences under different heating operational conditions of ceiling-mounted EHP system. The results demonstrate that active heating operation of EHPs significantly lower relative humidity, an effect most pronounced directly beneath the indoor unit and at the highest measured elevation of 2.9 meters, highlighting the intersection of stratification with energy efficiency and thermal comfort. T-tests confirm consistent air temperature across operational states, with no significant variance ($p = 0.98$ for 'On'; $p = 0.18$ for 'Off'), while revealing significant yet slight fluctuations in relative humidity ($p < 0.001$), emphasizing a generally stable but subtly varied indoor climate. The study's insights into the nuanced influence of EHP systems on indoor conditions support the development of improved design and operational strategies for ceiling-mounted EHP systems, fostering enhanced energy optimization and occupant comfort in the quest for sustainable energy solutions. During winter, if the ceiling-mounted indoor unit is installed without considering the thermal vulnerability of its perimeter boundary, we verified the significant air temperature differences occurrence between the upper and lower parts of the room. We can anticipate that controllable air-circulation fans can be installed to distribute air more evenly and reduce the vertical stratification of room air temperature.

키워드 : 천장형 EHP, 온도 성층화, 온도 분포, 난방 운전

Keywords : Ceiling-Mounted EHP, Air Temperature Stratification, Temperature distribution, Heating Operation

1. 서론

최근 들어 국내에서는 건물에너지 효율을 개선하고 실내 거주환경을 개선하기 위해 제로에너지 건축물의 보급이 활성화되고 있다. 이를 통해 국가 온실가스 배출을 감축하고 도심지 내 공동주택이나 공공시설, 상업시설의 에너지 수요를 효율적으로 설계, 운영하고자 노력하고 있다. 이에 학교나 오피스, 근린생활시설 등 중소규모 건물에서는 고효율 히트펌프 기술이 널리 보급되고 있다. 대부분 천장 하부에 실내기가 설치되는 히트펌프 시스템은 실내

공간의 열 성층화 문제로 인해 열환경 조절 및 운영에 많은 어려움이 있다. 특히, 천장고가 높은 실의 천장 하부에 EHP 실내기를 설치하는 경우, 난방 운전시 불균등한 실내 온열환경 조건으로 인해 에너지 손실이 야기되고 체실자의 불쾌적이 야기되어 실내 환경 개선이 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 실제 천장형 EHP가 설치된 대학 건물에서 난방 운전 시나리오에 따른 실내 온열환경 특성을 측정 분석하여, 난방 운전 및 비운전시 수직적인 성층화 현상을 비교하고자 하였다.

2. 대상 공간 및 실험 장치 계획

그림1과 같이 본 연구에서는 천장형 EHP가 설치된 일반적인 대학 강의실(바닥면적 60㎡, 층고 3m)을 대상으로, 실내기 설치 위치를 고려하여 12개 지점에 책상을 배치하였다. 각 좌석은 평균 1.8m 간격으로 동일하게 배치하였다. 천장면과 동일하게 2개의 EHP 실내기가 플레넘 공간에 매립되어 설치되었으며, 실온제어기는 출입문에 인접하여 바닥으로부터 대략 1.6m 높이에 설치되었다. 그림2와

* 이화여대 건축도시시스템공학 박사후 연구원

** 이화여대 건축도시시스템공학 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural and Urban Systems Engineering, Ewha Womans University, limit0@ewha.ac.kr)

본 연구는 2024년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업(중견연구자지원사업)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : NRF-2024R1A2C2007911).

같이 강의실에 배치된 좌석을 기준으로 수직으로 0.1m, 0.6m, 1.1m, 1.7m, 2.9m 높이에 써모커플과 온습도로그거 (Testo 174H data logger)를 설치하였다. 본 연구에서는 실제 거주환경 조건을 모사하여 실온제어기의 설정온도값을 변경하면서 난방운전 시나리오에 따라 난방운전을 진행하였으며, 각 지점에서 수직 방향 및 수평 방향의 온도와 습도를 측정하여 분석하였다.

그림3과 같이 대학 내 강의의 시간을 기준으로 EHP를 오전 9시부터 오후 6시까지 연속적으로 난방운전하는 경우(시나리오 1), 오후 12시부터 3시까지 난방운전을 정지한 후 다시 가동한 경우(시나리오 2), 오전 11시부터 오후 12시 15분까지 난방운전하고 오후 2시까지 정지한 후 다시 3시15분까지 난방운전을 개시하다가 정지하는 것(시나리오 3)으로 가정하여 3일에 걸쳐 실험을 진행하였다.

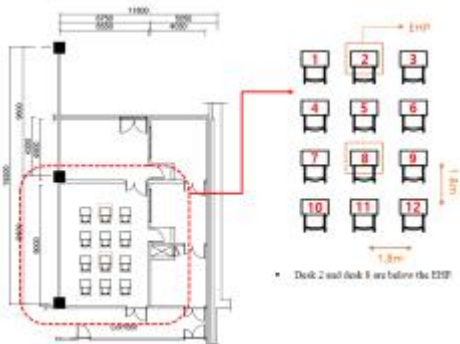


그림1. 실내 열환경 측정을 위한 좌석 배치

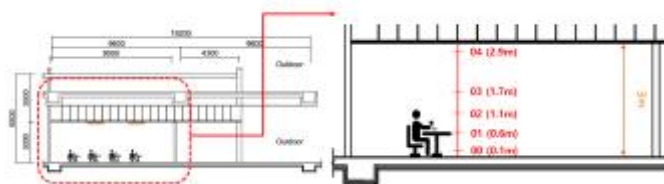


그림2. 실내 열환경 측정을 위한 온습도 센서의 수직적인 위치

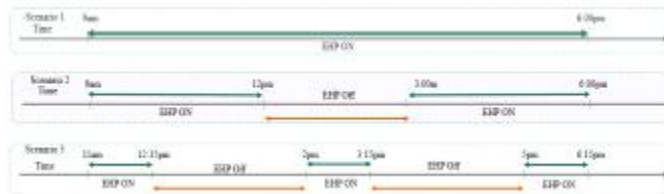


그림3. 실내 천장형 EHP의 난방 운전 시나리오

3. 실험 결과

본 연구에서는 난방운전 시나리오별로 대상 공간에서의 수직, 수평적인 온습도 분포를 분석하였다. 12개의 지점에서 5개 높이별(0.1m, 0.6m, 1.1m, 1.7m, 2.9m)로 측정된 온습도를 분석한 결과, EHP의 난방 운전 시나리오에 따라 수평적인 온습도 분포의 차이는 크지 않았지만, 수평적인 온습도 분포는 다양한 EHP 작동 모드에 따라 다르게 변동하는 것으로 나타났다. 수직적, 수평적인 분포의 차이가 유의미한 것인지를 확인하기 위해 minitab 프로그램을 이용하여 t-검정을 통해 12개 지점에서 측정된 온습도를 유

의수준(α)=0.05 수준으로 분석하였다. 실온의 경우, On상태에서는 $p = 0.98$ 이고, Off상태에서는 $p = 0.18$ 로서 EHP의 난방운전조건에 상관없이 수평적인 차이가 통계적으로 유의하지 않는 것으로 나타났다. 반면, 실내 습도의 경우에는 On상태와 Off상태에서 모두 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다. 벽에 인접한 L1과 중앙부의 L2의 상대습도를 비교하면 약 0.34% 정도 차이가 나타났으며, 이는 난방이 시작되면서 벽체로부터 국부적인 수증기 발생이 야기되어 다소 절대습도가 높아졌기 때문으로 판단된다.

난방운전이 시작되면서 시간이 경과함에 따라 실온의 수직온도는 크게 차이가 나타남을 확인하였다. 그리고 실내 습도의 수직 분포에 있어서도 2.9m 높이에서는 유의미한 차이가 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 바닥마감재(에폭시)의 투습저항에 비해 천장마감재(석고보드)의 투습저항이 상대적으로 작기 때문에 성층화된 수직온도 조건에서 상층부의 절대습도가 높아졌기 때문으로 판단된다.

본 연구를 통해 천장형 EHP를 난방 운전하는 경우, 대상공간의 층고는 물론, 난방설정온도와 난방지속시간, 그리고 실온제어기의 설치위치에 따라 수직 온도 구배가 달라질 수 있음을 알 수 있었다. 앉아서 작업하는 교실이나 사무환경 조건(0.6~1.1m 높이)의 거주환경 조건은 난방 초기에는 유사하게 나타났으나, 난방이 지속되면서 수직 온도 구배가 증가함을 알 수 있다. 특히 발목 부위(0.1m)의 온도는 난방이 지속되에도 불구하고 크게 상승하지 않는 것으로 나타나 EHP를 난방시 국부적인 불쾌적을 야기할 수 있는 것으로 판단된다.(Noh, 2007, Seong, 2021)

4. 결론

본 연구는 천장형 EHP를 난방운전하는 경우, 실내 열환경의 성층화 현상을 파악하기 위해 다양한 난방운전 시나리오 조건에서 수직, 수평적인 온습도 분포를 분석하였다. 특히 거주영역에 비해 천장면 하부에서의 온도가 크게 상승하여 수직 온도 구배가 크게 나타났다. 건축 마감재료의 특성에 따라 실내 수증기 발생이 달라져 국부적인 습도변화가 나타났다. 천장형 EHP를 사용하여 난방하는 경우, 층고는 물론 난방지속시간과 난방설정온도, 실온제어기의 설치위치가 실내 열환경 조건에 큰 영향을 미치게 됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Noh, K.C. Jang, J.S. Oh, M.D. (2007). Thermal comfort and indoor air quality in the lecture room with 4-way cassette air-conditioner and mixing ventilation system. *Build. Environ.* 42, 689-698.
2. Seong, M. Lim, C. Lim, J. Park, J. (2021). A Study on the Status and Thermal Environment Improvement of Ceiling-Embedded Indoor Cooling and Heating Unit. *Sustainability.* 13(19), 1-21.