

열회수환기장치 여름철 효율 개선을 위한 상변화물질 적용 방안

Application of Phase Change Materials for Enhancing Summer Efficiency of Heat Recovery Ventilation Systems

○남 지 희* 양 성 웅** 김 수 민***
Nam, Jihee Yang, sungwoong Kim, Sumin

Abstract

To implement a Net-zero building scenario, various factors must be considered. Among them, HVAC systems are crucial for maintaining occupants' comfort, but they also consume a significant amount of energy. Annual cooling loads are expected to increase substantially over the next 10 years, necessitating low-energy strategies for HVAC systems. Heat recovery ventilation units complement natural ventilation and are proposed for passive houses as HVAC systems. In this study, a PCM (Phase Change Material) applied heat recovery ventilation system is proposed to reduce cooling loads by utilizing the excellent heat storage/release capabilities of PCM. With PCM application, the heat exchange efficiency improved by approximately 9.69%, which is expected to contribute to reducing energy consumption during the summer months.

키워드 : 상변화물질, 열회수환기장치, 전열교환효율, 에너지

Keywords : Phase change materials, Energy recovery ventilation, Enthalpy exchange efficiency, Energy

1. 서론

1.1 연구의 목적

국제에너지기구(IEA)에서는 2060년까지 CO₂ net zero 시나리오를 구현하는 것을 목표로 설정함에 따라 건축물 에너지배출 감축을 전 세계적 노력이 수행되고 있다 (W. Wei et al, 2021). 열회수환기장치는 오염된 실내공기를 외부로 배기하는 과정에서 급기되는 외기와의 열 교환을 통해 자연환기 시 발생하는 불필요한 열 획득 및 손실을 방지하는 환기장치이다. 연간 냉각도일(CDD)는 향후 10년 간 크게 증가할 것으로 전망된 만큼 HVAC 시스템의 냉방 효율확보에 따른 에너지소비량 감축전략은 고도화될 필요가 있다. Phase Change Materials (PCM)은 특정 온도구간에서 높은 잠열량으로 인해 열에너지 저장 능력이 효과적으로 발휘되며 그 과정에서 주변의 열 관성을 감소시킨다. PCM의 안정적 활용을 위해 Macro-packed PCM (MPPCM), Microencapsulated PCM (MPCM), Shape-stabilized PCM (SSPCM) 등 다양한 방법이 제안된다.

* 연세대 대학원 박사과정

** 연세대 대학원 박사후연구원

***연세대 건축공학과 정교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architecture and Architectural Engineering, Yonsei University, kimsumin@yonsei.ac.kr)

이 성과는 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. 과제번호:2022R1A2C3008559).

그 중 MPPCM은 패키징 재료에 따라 그 성능을 조절할 수 있고, 적용할 수 있는 PCM 용량이 많아 많은 연구에 활용되고 있다. 열회수환기장치의 여름철 효율 개선을 위해 축/방열성능이 뛰어난 PCM을 열교환환기장치에 적용하여 효율을 증대시켜 냉방에너지 감축에 기여하는 것을 목표로 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 PCM 모듈 제작 과정

상변화물질이 특정한 범위에서 나타나는 높은 잠열량을 활용하기 위해서는 타겟팅하는 온도 범위대에 적합한 PCM 선택이 중요하다. 한국 서울의 최근 6개년 여름철 주간 기온은 약 28.4 °C으로, 본 연구에서는 PCM의 적정 상변화온도 범위 구간을 26 ~ 29 °C로 고려하여 n-octadecane을 적용한 MPPCM을 제작하였다. 열회수환기장치의 공기 흐름에 따라 높은 열 교환을 위해 패키징 물질은 알루미늄으로 수행하였다. 고체화된 PCM을 용융시켜 액체 상태로 전환 시킨 후 알루미늄 팩에 약 4kg 용량을 주입한다. 내부를 진공으로 만들면서 열압으로 쉘링을 하여 PCM 플레이트를 제작하였다. 제작된 플레이트는 메쉬구조에 적층되어 효율적인 열 교환이 가능하게 제작하였다.

표1. n-octadecane 의 물리적 특성

PCM	Phase changetemperature	Density	Thermalconductivity
n-octadecane	27 ~ 32 °C	0.77 g/cm ³	0.2 W/m•K

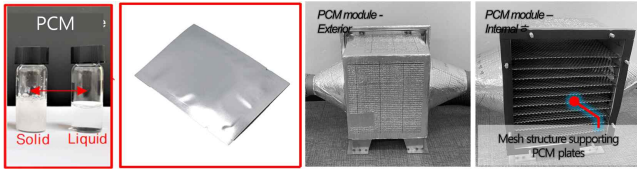


그림 1. MPPCM 및 PCM 모듈 제작

2.2 여름철 열회수환기장치 효율 분석 방법

열회수환기장치의 PCM 적용에 따른 열교환효율을 분석하기 위해 KS B 6879 부속서 B에서 제시한 온습도 조건을 기반으로 실험을 수행하였다. 높은 기온에서 사용되는 냉방에너지를 줄일 수 있는 방안으로 제시하기 위한 상변화물질 적용 기술이기 때문에 여름철(cooling) 조건(표 1) 하에서 실험을 수행하였다. 열회수환기장치는 대면향온습 챔버의 중앙에 설치되어 모든 면이 단열처리를 수행하였으며, 한 공간은 외기 다른 한 공간은 실내를 모사한 공간에 설치되었다. PCM 모듈은 OA 유입경로에 설치되어 여름철 고온다습의 외기가 유입되는 과정에서 PCM 플레이트에 열에너지를 저장함으로써 열 부하와 실내 유입 온도를 감소시키는 것을 목표로 하였다. 온도와 습도 센서는 공기 유출입구에 설치되었으며 데이터로거(GL840)을 통해 매 초 기록되었다. 그림 2는 실험 사진을 제시한다.

표1. 여름철 효율 분석을 위한 실험 조건

KS B 6879 부속서 B 기준	실내 (°C)		실외 (°C)	
	건구온도	습구온도	건구온도	습구온도
냉방 (여름철)	24 ± 0.3	17 ± 0.2	35 ± 0.3	24 ± 0.2
냉방 시 엔탈피 실내 11.37 kcal/kg, 실외 17.13kcal/kg				



그림 2. 열회수환기장치 열교환효율 측정을 위한 실험 셋업

3. PCM 모듈 적용 열회수환기장치의 열교환효율 평가

실험은 기존 열회수환기장치 이후 PCM 모듈 적용 열회수환기장치 측정 순으로 수행하였다. 그림 3-A에서 표시된 안정화 단계는 처음 실험 단계 시 필요한 단계로, 대면 챔버의 온도 안정화 단계를 의미한다. 반면 그림 3-B는 A의 실험 수행 직후 진행하기 때문에 안정화 단계가 없어도 OA, SA가 일정한 것을 관찰할 수 있다. 초기 안정화 구간(0~30min)을 제외한 기존 열회수환기장치의 전열교환효율의 평균 값은 약 59.8 %이며, PCM 적용 열회수환기장치는 평균 약 65.6 %의 효율을 나타냈다. 기존과 비교하였을 때 약 9.69 % 향상된 열교환효율을 보였다. PCM 모듈 이전의 OA와 모듈을 거친 OA_after의 온도를 비교하였을 때 측정 전 기간 동안 온도차이를 나타냈다. 이는 PCM 축열이 해당 온도 구간에서 원활히 발휘된 것을 알 수 있다. 이에 따라 열교환효율이 향상된 것을 추론할 수 있다.

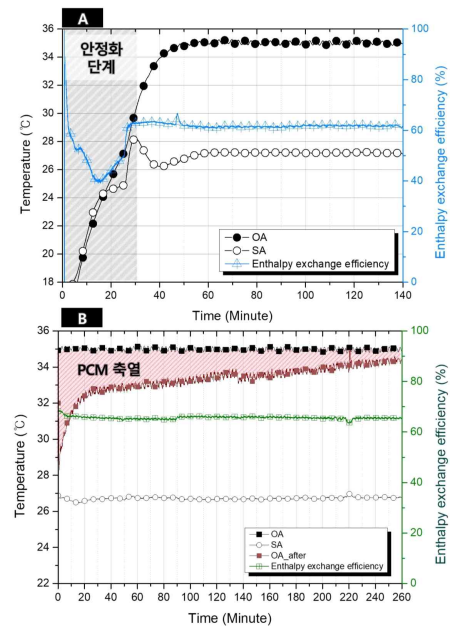


그림 3. OA, SA 온도 및 열교환효율 결과
(A: 열회수환기장치 B: PCM 모듈 적용 열회수환기장치)

4. 결론

국내 여름철에 적절한 상변화물질의 적용을 통해 열회수환기장치 열교환효율의 증대를 관찰할 수 있었다. PCM의 잠열량을 통해 여름철 외기가 보유한 열에너지를 효율적으로 저장할 수 있으며 실내유입온도를 낮추는 역할을 했다. 향상된 열교환효율은 에너지 감축에 기여할 수 있다. 추후 주간에 축열된 PCM이 야간에 방열을 하는 시간 및 정확한 용량에 대한 심화연구가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. International Energy Agency, Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector. [iea.li/nzeroroadmap](https://www.iea.org/net-zero).
2. W. Wei, H.M. Skye, Residential net-zero energy buildings: Review and perspective, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 142 (2021) 110859.