

건축물 열교 부위 결로 방지를 위한 열전 기술의 적용성 분석

Applicability analysis of thermoelectric technology to prevent condensation at thermal bridges in buildings

○김민성* 김범준* 정재원**
Kim, Minseong Kim, Beom-Jun Jeong, Jae-Weon

Abstract

The applicability and economic feasibility of thermoelectric technology to prevent condensation that can occur at thermal bridges in buildings was analyzed through steady-state heat transfer analysis using THERM 7.8 and energy consumption analysis using thermoelectric element regression equations. The annual energy was analyzed to be a maximum of 70.17 kWh per household, and when converted to electricity costs, it was calculated to be approximately 8,420 won. By applying thermoelectric technology, which can respond quickly and flexibly in a variety of environments, to the anti-condensation system, excellent effects were achieved in both environmental and economic aspects.

키워드 : 열교, 결로 방지 시스템, 열전 기술, 펠티어 효과

Keywords : Thermal bridge, Anti-condensation system, Thermoelectric technology, Peltier effect

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

2021년 대한민국 10대 대형 건설사에 결로 피해로 인한 하자 심사 신청 건수가 3674건이 접수되었고, 약 60%가 실제 하자 판정을 받을 정도로 건축물에서 결로에 의한 피해는 지속되고 있다. 열교 차단재 설치, 창호 단열 스페이서 사용, 환기량 증가를 위한 개구부 설치, 창호 성능 개선 등과 같이 기존 건축 자재를 활용하여 결로 문제를 해결하려는 다양한 시도가 이루어져 왔지만 패시브한 결로 방지 기술은 재실자의 쾌적 범위에 따라 변하는 실내 노점 온도에 대응하기 어렵기 때문에 특정 외기 조건에서 결로 현상이 반복되면서 곰팡이, 세균 등의 발생으로 인한 실내 공기질 악화를 방지하기 어렵다는 단점이 있다.

이에 본 연구에서는 열 전달 및 에너지 해석 시뮬레이션을 통해 겨울철 실내 벽체 표면 온도가 노점 온도 이하로 떨어지는 부위 및 시간을 도출하고, 실내외 온습도 변화에 따라 결로 발생 위험에 유연하게 대응할 수 있는 열전 기술의 건축물 적용성 및 경제성을 분석하고자 한다.

* 한양대학교 건축공학부 대학원 박사 과정

** 한양대학교 건축공학부 교수, 공학 박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Hanyang University, jjwarc@hanyang.ac.kr)

이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원(No. 2022R1A4A1026503)과 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원(No.20202020800360)을 받아 수행된 연구임.

2. 열전 기술 기반 결로 방지 시스템

2.1 열전 기술 특성

열전 기술은 전기를 인가하면 양단에 온도 차이가 발생하는 펠티어 효과(Peltier effect)와 양단에 온도 차이를 생성하면 전기가 발전되는 제백 효과(Seebeck effect)를 활용하여 건축 분야에서 다방면으로 연구가 이루어지고 있다. 전기만 인가하면 흡열과 발열이 가능하기 때문에 냉매가 필요 없는 비냉매 공조 시스템으로서 친환경적이고, 소음과 진동이 없으며 정확하고 빠른 온도 제어가 가능하기 때문에 높은 재실자 쾌적도를 제공해줄 수 있어 건축 공조 설비 분야에서 활용 가치가 매우 높다 (Kim, 2023). 특히, 기존 히트 펌프 시스템과 달리 온도 차이가 적을수록 에너지 효율이 기하급수적으로 증가하기 때문에 정교하고 미세한 온도 제어가 필요한 곳에 활용할 경우 높은 에너지 효율과 재실자 쾌적을 제공할 수 있는 기술이다.

2.2 시뮬레이션 개요

결로 발생 위험성은 그림1과 같이 공동 주택 표준 벽체 및 바닥체 기준에 따라 측벽과 전면벽을 모델링하여 시간별 실내측 벽체 및 바닥체의 표면 온도가 노점 온도 이하로 떨어지는 부위와 시간을 측정하여 분석되었다. 실내 온습도 조건은 ASHRAE Standard 55에 제시되어 있는 겨울철 실내 쾌적 조건 중 결로에 가장 불리한 24 °C, 60%를 기준으로 LBNL에서 제공하는 THERM 7.8을 활용하여 정상 상태의 열 전달 해석을 시행하였다.

열 전달 해석 시뮬레이션을 통해 도출된 데이터를 바탕으로 식1~식3의 열전소자 회귀 분석식을 활용하여 실내 벽체 및 바닥체의 표면 온도가 노점 온도 보다 1 °C 높게 유지되기 위해 열전소자에 필요한 인가 전력량을 분석하였다.

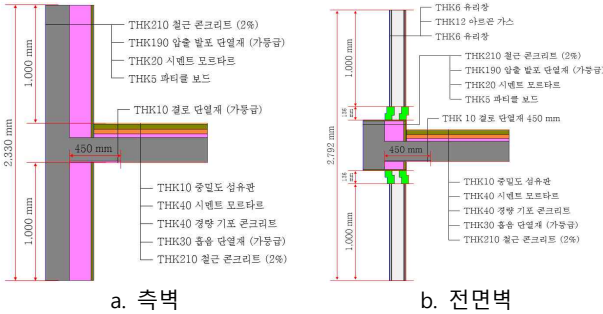


그림1. 표준 벽체 및 바닥체 모델링

$$\alpha = \frac{\dot{Q}_{c,max} (T_h - \Delta T_{max})}{NT_h^2 I_{max}} \quad \text{식1}$$

$$\rho = \frac{A_{TEM} f (T_h - \Delta T_{max})^2}{2T_h^2 l} \frac{\dot{Q}_{c,max}}{N^2 I_{max}^2} \quad \text{식2}$$

$$\kappa = \frac{l (T_h - \Delta T_{max})^2}{A_{TEM} f_p T_h^2} \frac{\dot{Q}_{c,max}}{\Delta T_{max}} \quad \text{식3}$$

$\dot{Q}_{c,max}$ [W] : 최대 냉방 용량
 T_h [°C] : 방열부 온도
 T_c [°C] : 흡열부 온도
 I_{max} [A] : 최대 입력 전류
 A_{TEM} [m²] : 열전소자 면적
 α [V/K] : 제백 계수
 ρ [Ω*m] : 전기 저항
 κ [W/m/K] : 열전도율
 f_p [-] : 반도체 면적비
 l [m] : 열전소자 두께

3. 시뮬레이션 해석 결과

3.1 결로 발생 위험성

열 전달 해석 시뮬레이션을 통해 측벽과 전면벽의 결로 발생 위험성을 분석한 결과, 아래 그림2와 같이 나타났다. 실외 습습도 변화에 따른 벽체 및 바닥체의 표면 온도가 노점 온도 이하로 떨어지는 부위와 시간을 측정하였다. 측벽의 경우, 12월 744시간, 1월 589시간, 2월 252시간, 전면벽의 경우, 12월 744시간, 1월 744시간, 2월 336시간 동안 결로 발생 위험성이 있는 것으로 확인되었다.

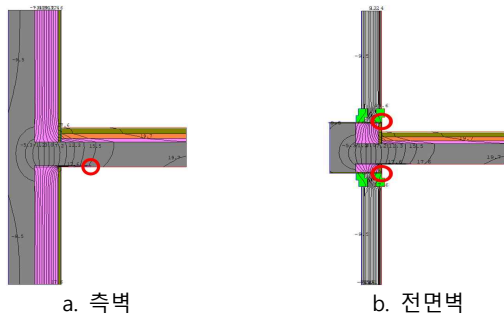


그림2. 열 전달 해석 시뮬레이션 결과

3.2 에너지 소비량 분석

에너지 소비량 분석 결과, 단위 면적당 일일 평균 열전소자의 전력 소비량은 표1과 같이 측벽과 전면벽 전체를 기준으로 약 3kWh로 계산되었다. 3.1에서 분석된 결로 발생 위험성을 반영하여 84m²의 공동 주택에 필요한 열전소자 기반 결로 방지재의 설치 면적은 0.7632 m²으로 분석되었다. 해당 설치 면적과 운전 시간을 고려하여 한 세대 전체에서 소비되는 전력량은 표2과 같이 연간 약 70.17 kWh로 분석되었다.

표1. 일일 평균 전력 소비량

단위 (Wh/m ² /day)	12월	1월	2월	합계	
측벽	320.02	307.35	99.83	727.20	
전면벽	상단	545.00	508.49	169.23	1249.72
	하단	471.84	452.65	163.12	1087.61
합계	1336.86	1268.49	432.18	3064.53	

표2. 한 세대 연간 전력 소비량

단위 (kWh/year)	12월	1월	2월	합계	
측벽	7.33	7.04	2.29	16.65	
전면벽	상단	12.48	11.64	4.49	28.61
	하단	10.80	10.36	3.73	24.90
합계	30.61	29.04	10.51	70.17	

4. 결론

본 논문에서는 열 전달 해석과 열전소자 회귀 분석식을 활용한 에너지 소비량 분석을 통해 건축물 열교 부위에서 발생할 수 있는 결로 방지를 위한 열전 기술의 적용성을 분석하였다. 기존의 패시브한 결로 방지재로 극복이 어려웠던 결로 발생 문제를 해결하기 위하여 다양한 환경에서도 빠르고 유동적으로 대응할 수 있는 열전 기술을 결로 방지 시스템에 적용함으로써 환경적 측면과 에너지 효율 측면 모두 뛰어난 효과를 거둘 수 있었다. 열전 결로 방지재에 필요한 연간 에너지는 한 세대 당 최대 70.17 kWh로 분석되었으며 전기 요금으로 환산 시 약 8420원으로 계산된다. 해당 비용은 건축물의 하자 보수 비용 및 재실자의 건강 유지 비용을 고려했을 때 매우 미비한 금액으로써 열전 기술을 결로 방지 시스템에 적용할 시 쾌적성 뿐만 아니라 에너지 효율 또한 우수하다는 것을 확인하였다.

참고문헌

- M. Kim, Y-K. Kang, J. Joung, J-W. Jeong, Development of cooling performance prediction model for hydraulic thermoelectric radiant cooling panels with experimental validation, Sustainability, 2022.
- 김민성, 김범준, 강용권, 정재원, 정재원, 열전소자를 활용한 액티브 결로 방지재의 건축물 적용성 평가, 한국생태환경건축학회 추계학술발표대회, 2023