

재실자 참여형 스케줄 기반 HVAC 제어의 에너지 절감 효과 분석 Analysis of Energy Saving Effects of Occupant-Participatory Schedule-Based HVAC Control

○최 하 늘* 한 광 우* 서 병 모* 정 동 은** 김 중 훈***
Choi, Haneul Han, Gwangwoo Seo, Byeongmo Jung, Dongeun Kim, Jonghun

키워드 : 재실 기반 제어, 재실 정보, 가스 엔진 히트펌프(GHP), 냉방 에너지 소비

Keywords : Occupancy-based control, Occupancy information, Gas engine-driven heat pump(GHP), Cooling energy consumption

전 세계적으로 HVAC의 고도화된 제어 방법, 예컨대 모델 예측 제어와 강화학습 제어가 수십 년간 연구되었으나 상업용 건물에 실제 도입된 사례는 여전히 제한적이다. 최근 유연 근무와 재택 근무 확산으로 재실 패턴이 다양해지면서 재실 정보의 중요성이 커지고 있으며, ICT 기반 재실 정보를 활용한 단순 규칙 기반 제어가 주목받고 있다. 이는 재실 기반 제어라 불리며, 여러 연구에서 약 10~20%의 에너지 절감 효과가 보고되고 있다.

그러나 초기 센서 설치와 기존 제어 시스템 통합 비용 등 제약으로 인해 재실 기반 제어는 널리 보급되지 못하고 있다. 본 연구는 이러한 한계를 고려하여 초기 구축 비용이 필요 없는 ‘재실자 참여형 스케줄 기반 제어’를 구현하고, 효과를 실증적으로 분석하였다. 대상은 대전 소재 상업용 건물의 가스 엔진 구동 히트펌프(GHP)이며, 운전 방식은 다음과 같다. 오전 8시부터 8시 30분까지 사전 공조 후 실내기를 일괄 정지하고, 이후에는 재실자가 직접 재가동할 경우에만 실내기가 켜진다. 즉, 비재실 시에는 운전이 이루어지지 않는다. 마지막으로 오후 18시에 전체를 일괄 종료한다. 본 연구에서는 이를 기존 스케줄 제어(08:00~18:00 상시 운전)와 비교하여 효과를 평가하였다.

효과 분석에는 GHP 실외기 6대에 연결된 총 57대 실내기의 일별 운전시간 데이터, 실외기 합산 가스 사용량 데이터, 그리고 날씨 보정을 위한 외기온도 데이터를 활용하였다. 분석 기간은 기존 제어가 적용된 2024년 7월 1일부터 8월 20일까지, 제안한 제어가 적용된 8월 21일부터 9월 12일까지이며, 근무일만 포함하였다.

* 한국에너지기술연구원 선임연구원, 공학박사

** 한국에너지기술연구원 박사후연구원, 공학박사

*** 한국에너지기술연구원 책임연구원, 공학박사

(Corresponding author : Department of Energy ICT, Korea Institute of Energy Research, jonghun@kier.re.kr)

이 연구는 2025년도 한국에너지기술연구원 주요사업 및 수탁사업 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호: C5-2424, C5-5506

분석 결과, 제안된 제어 방식은 실내기 운전시간과 가스 사용량 모두에서 유의미한 절감 효과를 보였다. 기존 제어 기간 동안 실내기의 일평균 가동시간은 약 552분이었으나, 재실자 참여형 제어 적용 후 약 335분으로 평균 39% 단축되었다. 이는 오전 8시 30분 일괄 정지 후 재가동되지 않은 공간이 많았음을 보여주며, 비재실 구간의 불필요한 공조를 효과적으로 차단했음을 의미한다.

운전 데이터를 바탕으로 하루 운전시간이 30분(사전 공조만 수행)에 그친 실내기를 ‘비재실’로 간주해 일별 비재실율을 추정한 결과, 평균 27%의 공간이 비어 있었던 것으로 나타났다. 이는 잦은 외근과 출장 등으로 해당 건물의 공실률이 높았음을 시사한다. 동시에 기존 일괄 스케줄 제어의 비합리성을 보여주는 근거가 된다.

실내기 운전시간 감소는 실외기 가동률 저하로 이어져 최종적으로 가스 사용량 절감을 유도했다. 두 기간의 외기온도 차이를 보정하기 위해 국제 성능 측정 및 검증 프로토콜(M&V)에 기반한 회귀 분석을 수행한 결과, 제안된 제어는 기존 방식 대비 약 10%의 가스 사용량 절감 효과가 확인되었다. 다만 운전시간 절감률(39%)에 비해 에너지 절감률(10%)이 낮게 나타났는데, 이는 다수의 실내기가 꺼진 상태에서 소수의 실내기만 가동될 때 멀티형 히트펌프의 부분 부하 운전 효율이 저하되는 특성 때문으로 분석된다.

본 연구는 추가 센서나 복잡한 알고리즘 없이, 운용 스케줄 변경과 사용자 참여만으로 즉각적인 에너지 절감이 가능함을 실증적으로 검증했다는 점에 의의가 있다. 이는 비재실 빈도가 높은 상업용 건물에서 경제적이며 신속하게 적용할 수 있는 방안이다. 물론 사용자의 직접 개입이 필요해 편의성에는 한계가 있고, 장기적으로 센서 기반 제어나 모델 예측 제어와 같은 고도화된 기술을 대체할 수는 없다. 그럼에도 본 방식은 실질적인 에너지 절감 효과와 더불어, 별도 장비 없이 건물의 비재실율을 추정할 수 있는 부가적 장점을 제공한다. 이는 향후 더 정밀한 제어 전략을 수립하는 데 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.