

실증을 통한 태양광열-지열 융복합 시스템의 동절기 성능분석

The Winter Performance Analysis of Photovoltaic-Geothermal Hybrid System Based on Field Experiment

○정 상 현* 오 진 환** 배 상 무*** 남 유 진****
Jeong, Sangheon Oh, Jinhwan Bac, Sangmu Nam, Yujin

Abstract

This study investigates a solar thermal and air source heat pump system (PVT-ASHP) installed in an actual building in Busan, South Korea, aimed at achieving carbon neutrality in construction through Zero Energy Buildings. A real-time monitoring system collected data on the system's performance, revealing a variable coefficient of performance (COP) with an average of 2.16 in winter conditions. These findings underscore the need for advanced control systems to optimize the operation and efficiency of PVT-ASHP systems, highlighting the importance of empirical testing over simulations for real-world applicability.

키워드 : 공기열원 히트펌프, 태양광열, 성능계수, 제로에너지건축물

Keywords : Air source heat pump, Photovoltaic-thermal, Coefficient of Performance, Zero energy building

1. 서론

건축부문의 탄소중립 실현을 위해 우리나라 정부에서는 제로에너지건축물(Zero Energy Building) 의무화 사업을 추진하고 있다. 2024년부터 민간부문까지 제로에너지건축물 의무화 범위가 확대될 예정이며 2050년에는 전 건물을 대상으로 제로에너지건축물 1등급 수준을 목표로 하고 있다.

제로에너지건축물을 달성하기 위해서는 단열과 기밀 같은 건축적 기술과 함께 신재생에너지 시스템의 도입이 필수적이다. 신재생에너지 기술 중에서 태양광을 중심으로 태양열, 지열 히트펌프와 같은 단일 기술이 적용되고 있다. 그러나, 신재생에너지 단일 기술은 에너지 생산과 수요의 격차, 불안정한 에너지 공급, 넓은 설치면적 필요와 같은 기술적, 성능적 문제점이 있으므로 기존의 냉난방 공조 시스템의 보조역할로 활용되고 있다. 따라서, 신재생에너지 단일 기술의 문제점을 보완하고 건축물에 안정적인 에너지 공급을 위해 태양광, 태양열, 지열(공기열원) 히트펌프를 결합한 신재생 융복합 시스템이 제안되고 있다.⁽¹⁾

* 부산대학교 대학원 석사과정

** 부산대학교 대학원 박사과정

*** 부산대학교 생산기술연구소 박사후연구원

**** 부산대학교 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Pusan National University, namyujin@pusan.ac.kr)

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1A2C2014259).

이러한 신재생 융복합 시스템의 상용화를 위해 많은 연구자가 노력하고 있지만, 비용적·시간적 어려움으로 인해 대부분 에너지 시뮬레이션과 실험실 규모의 실증실험을 통해 연구를 수행하고 있다.^{(2), (3)} 그러나, 실제 환경에서의 성능을 평가하기 위해서는 건물부하, 외부환경 등의 다양한 변수를 고려하는 실제 규모의 실증실험이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 실제 건물을 기반으로 태양광열(Photovoltaic-thermal, PVT) 모듈과 공기열원 히트펌프(Air source heat pump, ASHP)가 결합된 태양광열-히트펌프 시스템의 실증실험 플랜트를 구축하고, 실시간으로 기상조건, 운전상황 등을 파악할 수 있는 모니터링 시스템을 설치하였다. 이를 통해, 실제 건물조건에서 태양광열-히트펌프 시스템의 운전 데이터를 수집하고, 성능을 평가하였다. 본 논문에서는 태양광열-히트펌프 시스템의 동절기 성능 분석 결과에 관해 서술하였다.

2. 실증실험 조건

본 연구에서 제안한 태양광열-히트펌프 시스템은 태양광열 어레이(10kW), 공기열원 히트펌프(10kW), 급탕탱크, 버퍼탱크, 순환펌프, 팬코일유닛으로 구성된다. 각 설비기관의 입출구 부분에는 온도계와 유량계가 설치되어 있다. 또한, 실내외 온·습도계와 일사량계를 통해 실내외 환경을 측정한다. 이러한 계측 장비는 제어 통합 패널에 연결되어 실시간 모니터링 시스템으로 데이터를 송출한다. 모니터링 시스템을 통해 태양광열-히트펌프 시스템의 운전

상황, 제어, 부하조건을 실시간으로 확인할 수 있다. 그림 1은 실제 건물에 적용된 태양광열-히트펌프 시스템의 개요도를 나타낸다.

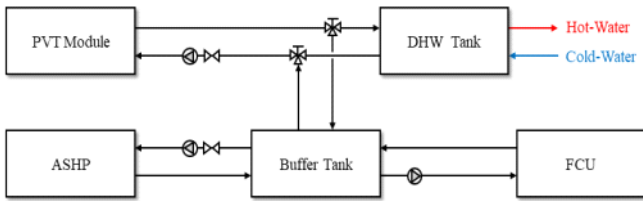


그림1. 태양광열-히트펌프 시스템의 개요도

태양광열-히트펌프 시스템의 실증실험 플랜트는 부산광역시(위도: 35° 13' N, 경도: 129° 13' E)에 위치한다. 태양광열-히트펌프 시스템의 운전방법은 히트펌프의 축열성능 평가를 목적으로 아래의 표 1과 같이 구축하였다.

표1. 태양광열-히트펌프 시스템의 운전방법

Component	Operation ON	Operation OFF
Heat pump	$T_{HST_2} < 43^{\circ}\text{C}$	$T_{HST_2} > 48^{\circ}\text{C}$
FCU	$T_{buffer} \geq 48^{\circ}\text{C}$	$T_{buffer} \leq 43^{\circ}\text{C}$
Pump 1	Synchronize with heat pump	
Pump 2	Synchronize with FCU	
Pump 3	$T_{PVT.out} > T_{HST_1}$	$T_{PVT.out} < T_{HST_1}$

히트펌프는 버퍼탱크의 온도(T_{HST_2})가 43°C 미만이면 축열운전을 수행하고, 버퍼탱크의 온도가 48°C를 초과하게 되면 운전을 정지한다. 이와 반대로 팬코일유닛은 버퍼탱크의 온도가 48°C 이상이면 실내 난방운전을 실시하고, 난방운전에 의해 버퍼탱크의 온도가 43°C 이하가 될 때 운전을 정지한다. 한편, 태양광열 모듈에 의한 급탕탱크 축열운전은 태양광열 모듈의 출수온도($T_{PVT.out}$)가 급탕탱크 내부온도(T_{HST_1})보다 높으면 수행한다.

3. 실증실험 결과

그림 2는 PVT 시스템의 입출수 및 축열조 온도 변화 추이를 나타낸다. 동절기 실증실험에서 2024년 1월 5일을 대표일로 선정하고 실증데이터를 분석하였다. 시스템 가동시간은 3시간 23분이며, 측정시간 동안 PVT는 6.66 kWh의 에너지를 HST 1에 공급하였다.

히트펌프는 운전이 시작됨에 따라 입출수온도가 급격히 상승하였고 이에 따라 HST 2의 내부온도도 함께 증가하였다. 히트펌프와 팬코일유닛은 표1에 설정된 조건에 적합하게 운전되었으며, 팬코일유닛이 운전됨에 따라 실내온도가 상승하였다. 운전시간 동안 히트펌프는 38.12 kWh의 에너지를 HST 2에 공급하였으며, 히트펌프 평균 COP는 2.16으로 계산되었다.

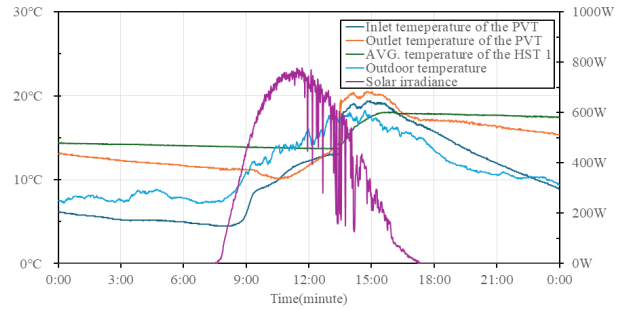


그림2. PVT 시스템의 입출수 및 축열조 온도 변화 추이

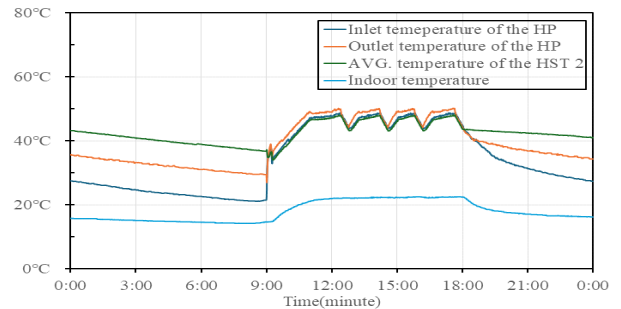


그림3. 히트펌프 시스템의 입출수 및 축열조 온도 변화 추이

4. 결론

본 연구를 통해, 외기 온도가 히트펌프 성능에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 시스템의 효율적인 운영을 위해 단순한 온도 기준에 기반한 제어 로직보다는 외기 온도와 버퍼탱크 온도를 동시에 고려한 복합적인 제어 로직 개발의 필요성을 시사한다. 따라서, 본 연구의 결과는 향후 신재생 에너지 시설의 경제성 및 에너지 효율성을 높이기 위한 시스템 설계 및 운영 전략 수립에 중요한 기초 자료를 제공한다.

참고문헌

- Bae, S., Chae, H. & Nam, Y. (2023). Experimental analysis of an integrated system using photovoltaic-thermal and air source heat pump for real application, *Renewable Energy*, 217, 119128.
- Li, Z. & Huang, X. (2022). Simulation analysis on operation performance of a hybrid heat pump system integrating photovoltaic/thermal and air source, *Applied Thermal Engineering*, 200, 117693.
- Ai, D., Xu, K., Zhang, H., Chen T. & Wang. G, Simulation research on a cogeneration system of low-concentration photovoltaic/thermal coupled with air-source heat pump, *Energies*, 15, 1238.