

넷-제로에너지주택의 공기열원 히트펌프시스템 동적거동 및 에너지성능 분석

임희원¹ · 김지현² · 김일권³ · 신우철^{4†}

¹대전대학교 대학원 건축공학과, 박사과정수료

²대전대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

³대전대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

⁴대전대학교 건축공학과, 교수

Dynamic Behavior and Energy Performance Analysis of Air Source Heat Pump System in Net-Zero Energy House

Lim Hee Won¹ · Kim Ji Hyun² · Kim Il Kwon³ · Shin U Cheul^{4†}

¹Ph.D. Candidate, Department of Architectural Engineering Graduate School, Daejeon University

²Ph.D. Course, Department of Architectural Engineering Graduate School, Daejeon University

³MS. Course, Department of Architectural Engineering Graduate School, Daejeon University

⁴Professor, Department of Architectural Engineering, Daejeon University

†Corresponding author: shinuc@dju.ac.kr

Abstract

Air-source heat pumps (ASHPs) have somewhat lower operating performance than ground-source heat pumps (GSHPs), but they have been reported to have low initial investment costs and a great energy-cost-saving effect due to the implementation of net-zero-energy houses. In this study, we analyzed the dynamic behavior and energy performance of equivalent ASHPs in existing low-energy houses installed with GSHPs of 9 kW using TRNSYS dynamic simulation. The house with a total floor area of 194 m² was an all-electric house and domestic hot water, space heating, and cooling energy were supplied by the ASHP. To summarize the main results, first, the annual space heating and cooling energy supply of the ASHPs was 7,698 kWh and 2,226 kWh, respectively, and the annual heating COP and cooling EER were 3.4 and 3.1, respectively. Second, the total annual power consumption of the proposed model with ASHPs was 8,218 kWh and the annual power generation of the 6 kWp PV system was 8,682 kWh, which generated a surplus of 464 kWh, achieving net-zero energy. Third, the total annual electricity charge was 249,000 generated by ASHPs (proposal model) connected to the “residential service” grid of KEPCO, which was reduced by approximately 66% compared to the 736,000 generated by the GSHPs (existing model) linked to a “general service” grid.

Keywords: 공기열원히트펌프(Air source heat pump), 성능계수(Coefficient of performance), 지열히트펌프(Ground source heat pump), 넷-제로에너지주택(Net-zero energy house), 태양광발전시스템(Photovoltaic system), 에너지효율비(Energy efficiency ratio)

 OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.42, No.6, pp.51-63, December 2022
<https://doi.org/10.7836/kjes.2022.42.6.051>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 18 September 2022

Revised: 26 October 2022

Accepted: 2 November 2022

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

국내 넷-제로에너지 주택이나 저-에너지 주택 등 고단열 주택에 적용되는 주요 냉·난방 및 급탕 열원시스템은 지열히트펌프(Ground source heat pump, 이하 GSHP) 시스템으로 파악되고 있다. 그린홈 100만호 주택 지원사업의 정부지원을 통해 보급되고 있는 GSHP은 하나의 시스템에서 냉·난방 및 급탕이 동시에 가능하며 내구성과 신뢰성이 높은 고효율 시스템으로 평가되고 있다^{1,2)}. 주택에 설치되는 GSHP의 경우 한국전력의 “일반용 전력”에 연계되어 “주택용 전력”의 요금 누진제를 적용받지 않게 되며, 태양광발전시스템이 설치되지 않는 저에너지주택에서 전기요금 절감 효과가 크다. 그러나 과도한 초기 투자비와 “일반용 전력”의 계약전력 기본요금(6,160원/kW 부가세 제외, 2021년 1월 1일 기준) 부담으로 인해 넷-제로에너지주택(Net-zero energy house)의 경제성 저하 요인으로 작용하게 된다. 한편 국내에서 출시된 소형(9 ~ 16 kW) 공기열원히트펌프(Air source heat pump, 이하 ASHP)는 GSHP에 비해 운전효율은 다소 떨어지나 저렴한 초기 투자비와 “주택용 전력”에 연계되어 기본요금 부담이 없는 냉·난방 및 급탕 공급열원으로 넷-제로에너지주택의 제로에너지비용을 구현할 수 있는 대안으로 제안되고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 GSHP가 설치된 기존 저에너지주택을 대상으로 ASHP의 적용성을 검토하였다. TRNSYS를 통해 ASHP의 동적거동과 장·단기 에너지성능을 선행된 GSHP의 연구결과와 비교 분석하였으며 넷-제로에너지 구현에 따른 에너지비용을 추정하였다.

2. 문헌고찰

기존 주택에 적용된 히트펌프시스템의 열성능에 관한 연구동향을 살펴보면, Jeong et al. (2011)³⁾는 난방면적 147 m²의 데모주택(ZeSH II)에 대한 2010년 1년간의 실측 데이터를 바탕으로 에너지 성능분석 및 에너지 자립율을 평가하였다. 이 데모주택에는 3.15 kWp 용량의 지붕 거치형 태양광모듈과, 25 m²의 벽면 일체형 태양열집열기, 8.5 kW의 GSHP가 각각 적용되었다. 그 결과 태양열시스템에 의한 난방 및 급탕 태양의존율은 각각 81%와 93%로 나타났으며, 잔여부하가 GSHP로 공급될 때 에너지 자립율은 약 85%로 예측되었다. 한편 Lee et al. (2015)⁴⁾은 연면적 100 m²의 단독주택 29세대로 구성된 제로에너지 실증단지를 대상으로 원격 모니터링을 통해 에너지 소비 및 생산 등 전반적인 에너지성능을 평가하였다. 8 m²의 태양열집열기와 10.5 kW의 GSHP로 구성된 컴팩트형 태양열/지열 융복합시스템과 3 kWp의 지붕거치형 태양광모듈이 각각 적용되었다. 연평균 세대별 냉·난방 및 급탕 GSHP의 일반전력과 조명 및 플러그부하의 주택전력은 각각 3,257 kWh와 3,326 kWh로 나타났으며, 평균 연간 발전량은 3,907 kWh (상대오차 ±4.5%)로 에너지 자립율(취사제외)은 59.3%가 되었다. Baek et al. (2015)⁵⁾은 대전지역 6가구의 저에너지 실증주택을 대상으로 에너지사용량을 조사하고 에너지자립률을 분석하였다. 연면적 196 m²을 갖는 모든 주택에는 3 ~ 4 kWp의 지붕 거치형 태양광발전모듈과 10.5 ~ 17.5 kW의 GSHP가 적용되었으며, 모든 에너지지가 전기로 공급되는 전전화주택으로 계획되었다. 원격 모니터링시스템의 분석 결과, 실증주택의 연평균 주택전력량과 GSHP의 일반전력량은 각각 4,400 kWh와 5,182 kWh로 나타났다. 단위용

량당 연간 태양광발전량은 1,421 kWh로 모든 주택이 동일하였으며, 평균 에너지자립율(취사 및 플러그 부하 포함)은 51.8%가 되었다. Baek et al. (2016)⁶⁾은 공조면적 194 m²을 갖는 경골 목구조의 3층 단독주택을 대상으로 10.5 kW의 GSHP 시스템의 동적거동 및 열성능을 분석하였다. GSHP는 태양열 급탕시스템과 연계된 하이브리드 방식으로서 설계되었으며 원격 모니터링의 분석 결과, 전일 난방되는 동절기의 연간 히트펌프 전력사용량은 1,815 kWh로 간헐적으로 냉방되는 하절기, 259 kWh에 비해 7.5배 이상 많은 것으로 분석되었으며, 연간 냉·난방 시스템 COP는 각각 4.2와 4.1로 거의 동일하게 나타났다. Lim et al.⁷⁾은 설계 초기단계부터 에너지제로로 계획된 3개의 단독주택을 대상으로 한전에서 제공하는 2년간의 월별 수전 및 송전 전력량데이터를 이용하여 에너지성을 평가하였다. 이들 실증주택은 모든 에너지 공급이 전기로 이루어지는 전전화(全電化)로 설계되었으며, 6 kWp의 태양광발전시스템과 ASHP가 난방 및 급탕열원으로 적용되었다. 그 결과, 2016년부터 2017년까지 2년 동안 1 주택의 2017년을 제외하고 모든 주택에서 취사 및 플러그부하를 포함한 모든 에너지를 자급 자족하는 넷-제로에너지주택이 구현되었으며, 이에 따른 가구당 연 평균 에너지비용은 150 ~ 170천원으로 분석되었다.

이상과 같이 주거용 건물의 GSHP를 대상으로 실증실험을 통한 성능분석이 다수의 연구를 통해 수행된 바 있으나, ASHP의 경우 제로에너지주택에 적용된 실증사례로 최종 에너지 사용량과 비용분석에 한정되었으며 운전특성 및 성능분석에 관련한 연구는 미진한 실정이다.

3. 분석모델

3.1 건축개요

Fig. 1과 Table 1은 대전광역시 유성구에 위치한 J 주택의 전경 및 건축개요를 나타낸 것이다. 경골목구조에 1층에서 3층까지의 스킵플로어 형태로 설계되었으며, 2011년 준공 당시 현재의 에너지절약 설계기준(2022년 7월 29일 시행, 중부 2지역 공동주택 외) 보다 강화된 고단열주택으로서 외단열로 시공되었다. 외기에 직접 면한 건축물 부위별 단열수준은 Table 2와 같다.



Fig. 1 House view

Table 1 Architecture's outline

Items	Area [m ²]
Floor area	87
Gross floor area	194
Heating and cooling area	194

Table 2 Thermal insulation level

	Thermal transmittance [W/m ² K]	
	Existing house	Insulation standard
Roof	0.10	0.21 or less
Wall	0.13	0.24 or less
Floor	0.10	0.24 or less
Window	1.2	1.5 or less

3.2 열원 및 재생에너지시스템

Table 3은 J 주택에 설치된 기존모델(Existing model)의 재생에너지시스템을 본 연구의 제안모델(Proposed model)과 비교한 것이다. 전술한 바와 같이 GSHP를 ASHP로 대체하고 “주택용 전력”에 연계하였으며, 태양열 급탕시스템은 제외하였다. 기존모델에 대한 열성능평가는 웹기반 원격모니터링 시스템의 연간 계측된 자료를 기반으로 상세분석한 바 있다⁶⁾.

Fig. 2와 Table 4는 제안모델의 열원설비 계통도와 각 기기의 사양을 나타낸 것이다. ASHP는 급탕 우선방식으로 운전되며, 냉·난방수는 버퍼탱크를 통해 3개로 zoning(Zoning)된 6대의 천정 카세트형 팬코일유닛(Fan coil unit)나 바닥 난방배관에 공급된다. 이때 팬코일유닛에 의한 냉방은 각 실 On/Off 운전 및 온도제어가 가능하며, 바닥난방은 2층 침실 온도조절기에 의해 중앙제어된다. ASHP의 냉·난방 운전을 위한 버퍼탱크의 설정 온도는 각각 10°C와 45°C를 기준으로 하였다.

한편 경사 지붕면에 거치된 태양광발전모듈은 주택전력 계통연계형으로 PV 어레이에서 발전된 DC 전력은 인버터에서 AC로 변환된 후 주택 전기부하에 우선 공급되고, 잉여전력은 계통망으로 송전된다. 잉여전력은 다음 달로 이월 누적되며 수전 전력에서 차감된다.

Table 3 Specifications of renewable system

	Existing model	Proposed model
GSHP	9 kW	-
ASHP	-	9 kW
Photovoltaic system	3 kWp	3 kWp
Solar hot water system	Applied	Unapplied

Table 4 Specification of space heating and cooling system

Equipments		Values	Remarks
DHW storage tank	Capacity	350 Liter	
	Insulation thickness	100 mm	0.36 W/ m ² K
Buffer tank	Capacity	150 Liter	
	Insulation thickness	100 mm	0.36 W/m ² K
Circulating pump	Heating	180 W	measured
	Cooling	85 W * 3 ^{EA}	measured
	Flow rate	25 LPM	

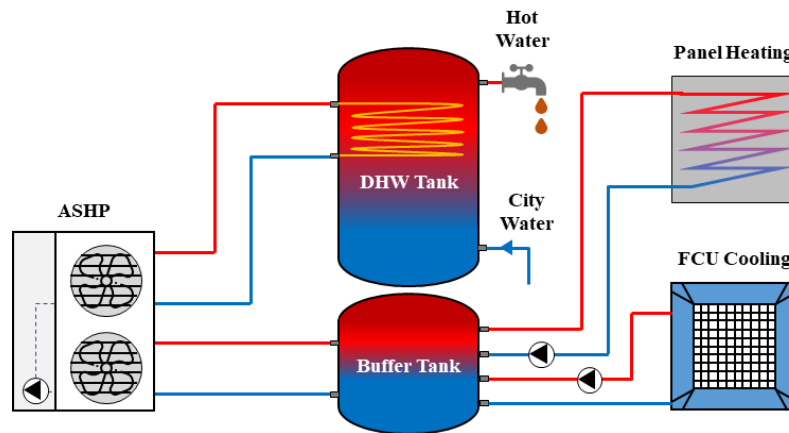


Fig. 2 Schematic diagram of space heating and cooling system

3.3 열원 및 재생에너지시스템

Table 5는 ASHP의 냉난방 정격 능력과 효율을 나타낸 것이다. Fig. 3은 본 연구에 적용된 L사 ASHP (모델명: HBW0900A2A) (2019)⁸⁾의 열원측 외기온도(Outdoor temperature, OT)와 부하측 열매체 출수온도(Leaving water temperature, LWT)에 따른 난방성능(Energy efficiency ratio, 이하 EER) 및 제상효과를 포함한 난방성능(Coefficient of performance, 이하 COP)을 나타낸 것이다. 제품 카탈로그에서 제공되는 성능데이터를 기반으로 최소제곱 선형회기(Linear least-square regression) 분석의 2원 2차방정식(Bi-quadratic equation)으로 근사한 결과이다. 여기서 난방 및 냉방에 대한 카탈로그 데이터와 예측치의 평균 제공근 오차(Root mean square error)는 각각 0.0236과 0.2339로 나타났다.

Table 5 Specifications of renewable system

Items	Values	Remarks	Proposed model
Heating	Capacity	9 kW	LWT = 45°C OT = 7°C (DB)
	Power	2.51 kW	
	COP	3.59	
Cooling	Capacity	9 kW	LWT = 7°C OT = 35°C (DB)
	Power	3.46 kW	
	EER	2.6	

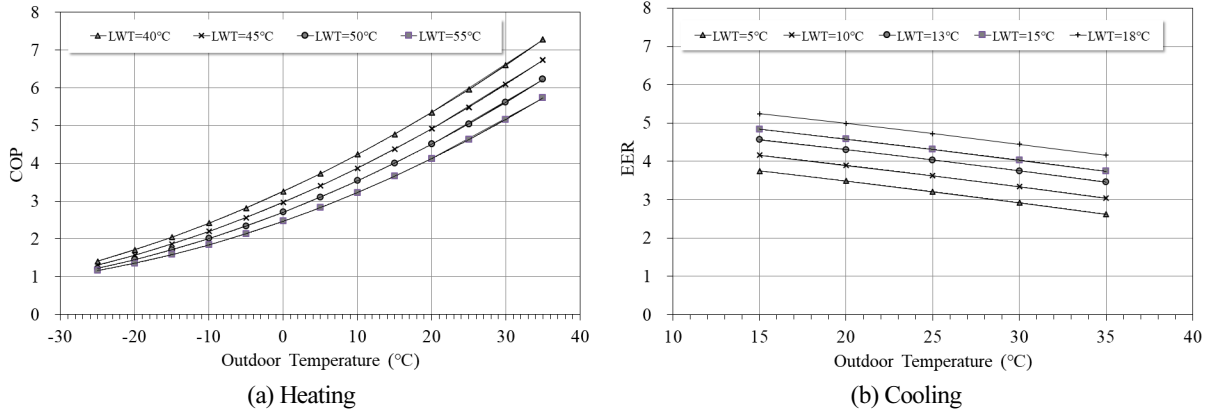


Fig. 3 ASHP performance

4. 시뮬레이션 모델

4.1 TRNSYS 모델

본 연구에서는 TRNSYS 17을 이용하여 건물 및 에너지시스템의 동적 열전달을 해석하였다. Table 6은 시뮬레이션을 구성하는 TRNSYS의 주요 컴포넌트를 나타낸 것이다. 건물의 부하해석과 ASHP는 Type 56 (Multi-Zone building)과 TYPE 941 (Air-to-water heat pump)을 사용하였다. Type 941은 1단 압축 (Singel-stage) ASHP를 모사한 것으로 전술한 제조사가 제공하는 카달로그 데이터를 기반으로 열원측 외기온도와 부하측 열매체 입수온도(Entering water temperature, EWT)에 따른 냉난방 능력과 소비전력을 선형회기(Linear regression)을 통해 추정하게 된다^{9,10)}. 한편 시뮬레이션을 통해 도출되는 주거용 건물의 냉방부하는 실제보다 과도하게 해석되는 측면이 있다. 주택에서 실내온도가 내부 발열이나 일사 유입 등에 의해 일정 온도 이상 상승할 때, 외기온이 이 온도보다 낮으면 재실자가 창을 개방하여 외기로 냉방을 하는 것이 일반적이다(2018)¹¹⁾. 따라서 본 연구에서는 Type 684 (Economizer)를 이용하여 외기냉방을 구현하였다.

Table 6 Main components of TRNSYS simulation model

Components	Type	Remarks
Building model	56	Temperature level
Air-to-water heat pump	941	Single-stage
Fan coil unit	52	Annular fins
Domestic hot storage tank	534	Wrap-Around HX
Buffer tank	4	Stratified storage tank
Economizer	684	Temperature Controlled

4.2 시뮬레이션 주요 입력변수

Table 7은 J 주택의 선행연구의 원격 모니터링시스템을 통해 수집된 연간 데이터를 기반으로 시뮬레이션의 주요 입력자료를 정리한 것이다. 일반전력에 연계된 GSHP의 냉·난방 소비전력을 제외한 연간 총 주택 전력사용량과 급탕부하는 각각 4,531 kWh/a와 2,647 kWh/a로 나타났으며, 3 kW 용량의 태양광발전시스템에서 연간 발전량은 4,341 kWh (1,447 kWh/kWp)로 실측되었다. 난방기간은 10월 초부터 4월 말까지, 냉방은 5월 초부터 9월 말까지로 이때 실내 난방 및 냉방온도는 해당주택에서 실제 운영되는 24°C와 27°C로 각각 설정하였다. 난방은 실제와 동일하게 전일 연속난방으로 설정하였으며, 재실자의 행태에 따라 운전패턴이 매우 상이하고 간헐적으로 운영되는 냉방의 경우 본 연구에서는 연속운전되는 것으로 가정하였다.

Table 7 Main parameters of TRNSYS simulation model

Items	Values	Remarks
Infiltration	1.2 ac/h	@50Pa
Occupancy	4 People	
Electric appliance & plug	28 W/m ²	Annual electricity consumption 4,097 kWh
Lighting density	1.5 W/m ²	Annual lighting electricity consumption 434 kWh
Indoor heating set temp.	24°C	Oct. to Apr.
Indoor cooling set temp.	27°C	May to Sep.
Buffer tank heating set temp.	40°C	
Buffer tank cooling set temp.	12°C	
Domestic hot storage tank set temp.	50°C	
DHW load	2,647 kWh/a	
PV power generation	4,341 kWh/a	

5. 시뮬레이션 모델

5.1 기후분석

본 연구에서는 TRNSYS 17을 이용하여 건물 및 에너지시스템의 동적 열전달을 해석하였다. Table 6은 시뮬

레이션을 구성하는 TRNSY 기존주택에서 분석된 GSHP의 열성능을 본 연구와 비교하기 위해 동일기간(2015년 10월 1일 ~ 2016년 9월 30일) 기상청에서 측정된 대전지역 기상자료를 사용하였다. 해당기간의 월별 수평면 총 일사량과 월 평균 일일 외기온은 Fig. 4와 같다. 이 기간의 평균 외기온과 수평면 총 일사량은 각각 17°C와 1,506 kWh/m²로 나타났다.

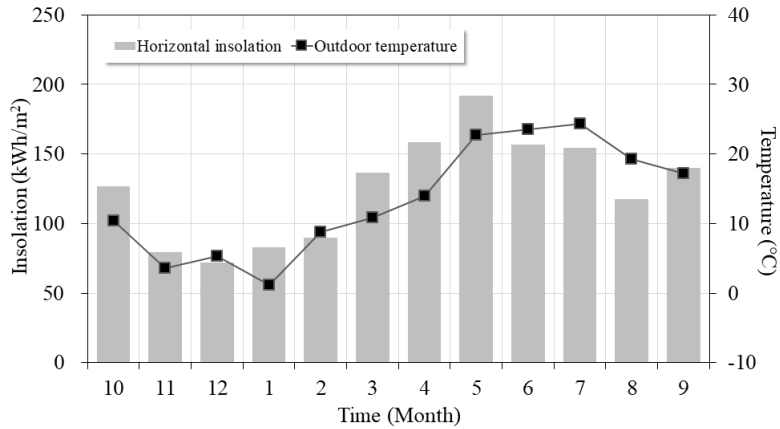


Fig. 4 Monthly horizontal insolation and outdoor temperature

5.2 동적성능분석

Fig. 5는 난방공급(72.2 kWh)이 가장 많은 동절기 일일(2월 10일)의 난방순환펌프 작동에 따른 버퍼탱크 부하측 공급 및 환수온도를 나타낸 것이다. 버퍼탱크의 난방 열매체 공급이 초저녁부터 이후 정오까지 지속되고 있으며, ASHP가 급탕 운전되는 오전 9 ~ 10시 사이를 제외하고 평균 공급 및 환수온도는 각각 37°C와 33°C로 설정조건(24°C)에 따라 실내온도가 적절하게 제어되고 있다. 단열이 강화된 저에너지주택의 저온수 복사난방 열적 특성을 드러내는 가운데, 9 kW용량의 ASHP로 난방공급이 원활히 이루어지는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 ASHP의 난방 소비전력과 작동성능을 나타낸 것이다. 버퍼탱크의 난방공급과 거의 동기화된 ASHP의 작동이 단속적으로 지속되는 가운데 평균 1회 운전시간은 약 6분으로 총 난방 및 급탕 작동시간은 각각 14.9 시간, 1.1시간으로 나타났다. 난방운전의 평균 소비전력과 COP는 각각 3.13 kW와 2.76으로, 급탕운전(평균 소비전력 = 3.2 kW, COP = 3.2)과 거의 유사하게 나타났다.

Fig. 7은 냉방공급(43.3 kWh)이 가장 많은 하절기 일일(7월 10일)의 냉방순환펌프 작동에 따른 버퍼탱크 부하측 공급 및 환수온도를 나타낸 것이다. 최고기온이 35°C에 도달한 날로, 버퍼탱크의 냉방 열매체 공급은 오전 9시부터 지속되고 있다. 이때 평균 공급 및 환수온도는 각각 11.6°C와 14.0°C로 설정조건(27°C)에 따라 실내온도가 적절하게 제어되어 냉방공급에 문제가 없는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 ASHP의 냉방 소비전력과 작동성능을 나타낸 것이다. 난방운전과 동일하게 버퍼탱크와 동조화된 ASHP의 작동시간은 동절기에 비해 감소되어 냉방이 7.2시간, 급탕이 0.4시간으로 나타났으며, 냉방 평균 소비

전력과 EER은 각각 3.21 kW와 3.18로 분석되었다. 또한 ASHP의 급탕 평균 소비전력과 COP는 각각 1.87 kW와 5.97로 냉방운전에 비해 크게 향상되었다.

Fig. 9는 외기온에 따른 운전 모드별 ASHP의 연간 시간별 순간효율을 비교한 것이다. 난방 및 급탕운전과 냉방운전 시 ASHP의 부하측 입수온도는 각각 30 ~ 45°C와 10 ~ 14°C로 나타났다. 난방 운전범위가 냉방운전에 비해 상대적으로 넓으며, 이에 따른 시스템 COP는 2.59 ~ 5.74로 크게 변화하고 있다. 또한 1차측 외기조건이 동일한 급탕 COP는 상대적으로 높은 2차측 출수온도로 인해 난방 COP에 비해 낮게 유지되는 것을 알 수 있다. 냉방운전의 경우 시스템 효율(EER)은 2.74 ~ 4.68로 상대적으로 균일하게 나타났다.

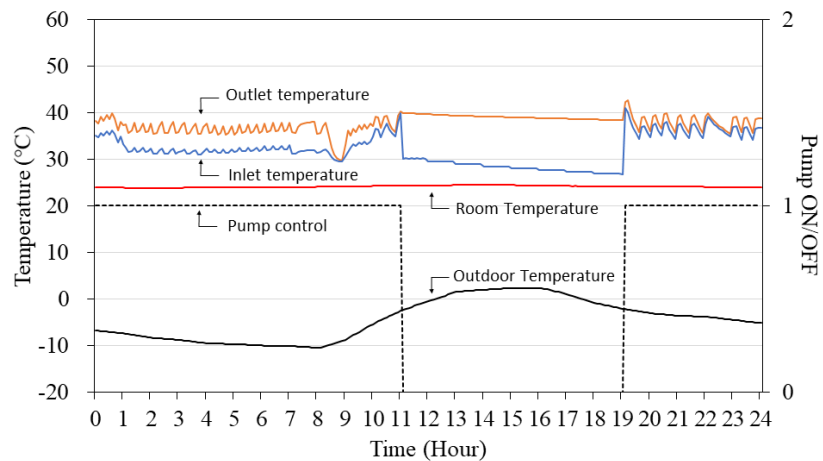


Fig. 5 Heating inlet & outlet temperature of load-side in buffer tank

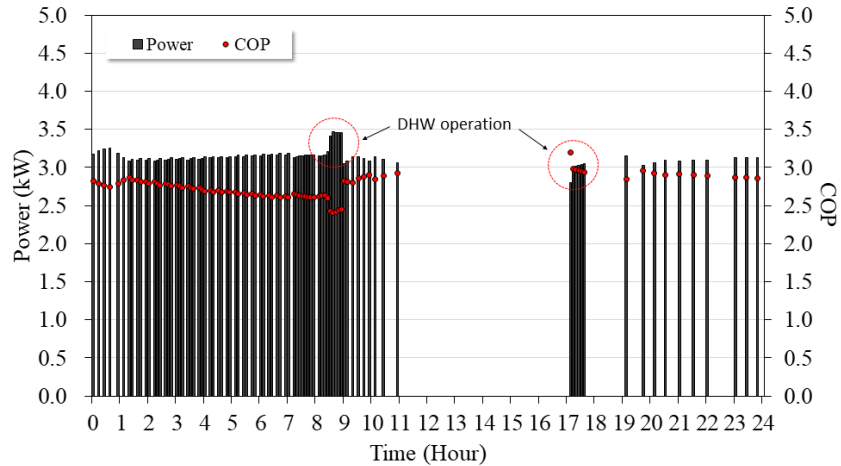


Fig. 6 Instantaneous power and COP of ASHP in winter

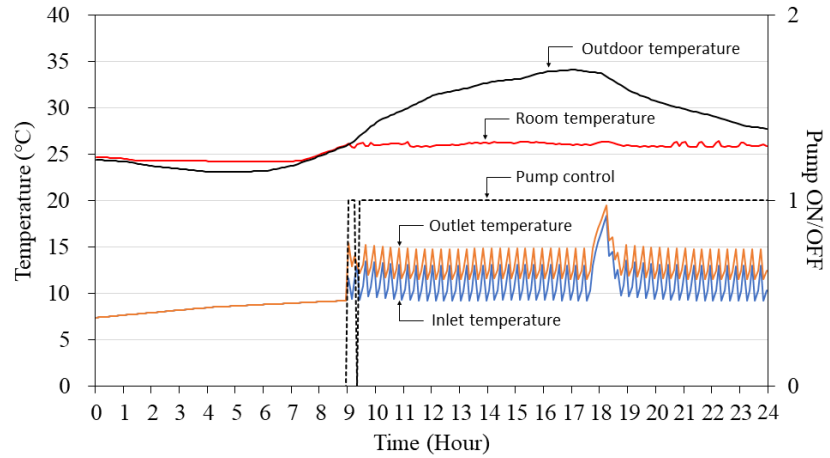


Fig. 7 Cooling inlet & outlet temperature of load-side in buffer tank

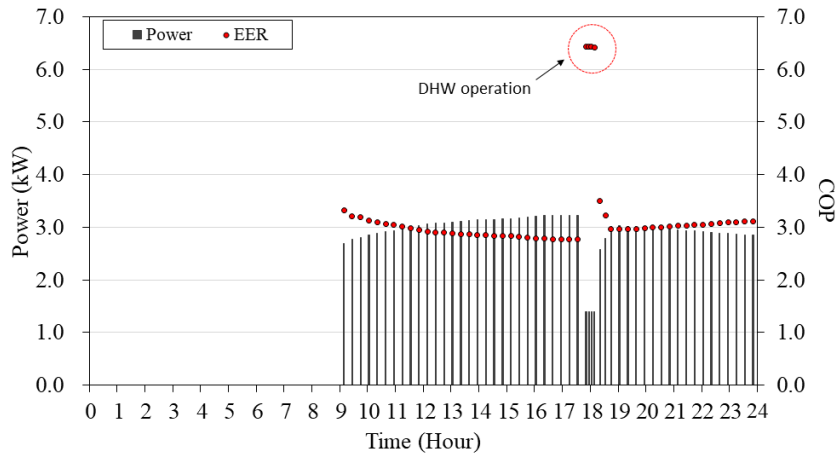


Fig. 8 Instantaneous power and COP of ASHP in summer

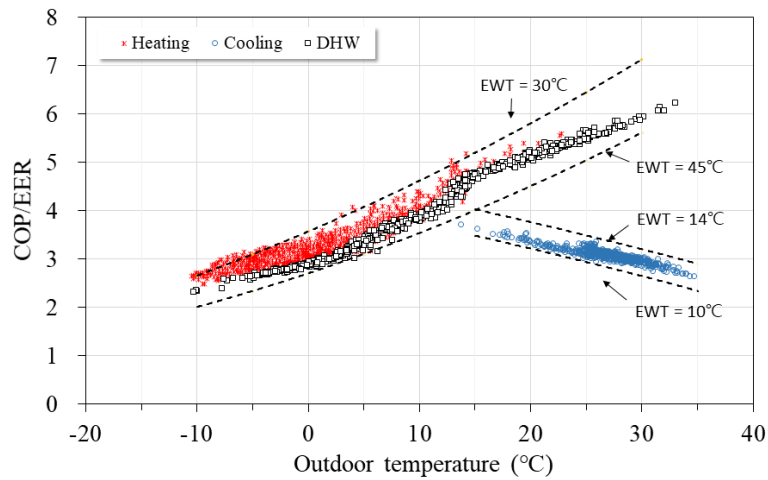


Fig. 9 Hourly performance of ASHP by end-use

5.3 연간 에너지 성능분석 및 제로에너지 구현

Table 8은 기존모델(GSHP)과 본 연구의 제안모델(ASHP)의 연간 에너지성능을 비교한 것이다. ASHP의 난방 에너지공급은 7,698 kWh로 GSHP의 7,702 kWh와 유사한 결과를 나타내고 있으나, 급탕 및 냉방 에너지공급은 크게 증가하고 있다. 이와 같은 변화의 주요인은 간헐적 냉방과 태양열 급탕시스템이 적용된 기존모델에 반해, 본 제안모델에서는 전일 연속냉방으로 가정하고 ASHP에 의한 100% 급탕공급을 전제하였기 때문이다. 작동유형에 따른 시스템 효율(냉·난방 순환펌프 전력포함)을 비교하면, ASHP의 연평균 시스템 난방 COP와 냉방 EER은 각각 3.4와 3.1로, 기존 GSHP의 4.2와 4.1에 비해 다소 저하되었다.

Table 9는 J 주택의 연간 전력사용량을 정리한 것이다. 기존모델과 제안모델의 연간 총 전력사용량은 각각 6,962 kWh와 8,218 kWh로, 실측된 3 kWp 태양광발전시스템의 연간 발전량(Table 7)을 기준으로 에너지자립율은 62%와 53%로 분석되었다. 두 모델에 2 kWp (총용량 5 kWp)와 3 kW (총용량 6 kWp)의 태양광모듈이 각각 추가될 경우, 연간 발전량은 7,235 kWh와 8,682 kWh가 되어 실질적인 넷-제로에너지가 구현될 것으로 예측된다. 한편 한국전력(KEPCO)의 요금체계에 따라 ASHP이 적용된 제안모델의 모든 전력은 “주택용 전력(Residential service)”에 연계되나, 그린홈 100만호 보급사업으로 지원받는 기존모델의 GSHP는 “일반전력(General service)”을 공급받게 된다. 이에 따라 제안모델의 경우 모든 소비전력과 태양광발전시스템의 생산전력이 상계되어 한국전력에서 청구되는 매월 전력사용량이 “0”이 되는 반면, 기존모델의 GSHP 소비전력은 태양광발전량과 미 상계되며 일반전력요금이 별도로 청구된다. 국내 주택용 전력요금체계에서는 이월된 잉여 태양광발전량과 당월 사용량이 상계되어 청구 전력량이 없는 경우에도 기본요금과 수전 전력량요금에 대한 부가가치세, 기후환경요금, 연료비조정액, 전력산업기반기금 등이 합산되어 요금이 부과된다.

Table 10은 현재 요금기준(적용일자: 2021년 1월 1일)이 적용된 전기요금을 비교한 것이다. PV가 적용되지 않을 경우 제안모델의 연간 전기요금은 1,921천원으로 기존모델의 1,227천원에 비해 요금부담이 커질 것으로 추정되나, 기존 PV 용량(3 kWp)일 때 제안모델의 연간 전기요금은 588천원으로 기존모델의 736천원에 비해 약 20% 절감되었다. PV가 증설되어 넷-제로에너지가 구현될 경우 기존모델의 전기요금은 변동이 없으나 제안 모델은 249천원으로 감소하며 기존모델과 비교할 때 약 66%의 절감율을 나타냈다.

Table 8 Overall operational performance of heat pump

HP type		Thermal output [kWh]	Electricity input [kWh]	System COP/EER
ASHP	Heating	7,698	2,296	3.4
	Cooling	2,226	717	3.1
	Hot water	2,696	674	4.0
GSHP	Heating	7,702	1,815	4.2
	Cooling	1,062	259	4.1
	Hot water	-	357	-

Table 9 Annual electricity consumption by end-use

End-use	Existing model (kWh)	Proposed model (kWh)	Remarks
Appliance, lighting, etc.	4,531	4,531	Residential Service
ASHP	-	3,687	
GSHP	2,431	-	General Service
Total	6,962	8,218	

Table 10 Annual electricity consumption by end-use

Models	Electricity charges (thousan Won)	Proposed model (kWh)	Remarks
	Without PV system	Existing PV capacity	PV capacity expansion (Net-zero energy house)
Existing model	1,227	736	736
Proposed model	1,921	588	249

6. 결론

본 연구에서는 9 kW 용량의 GSHP가 설치된 기존 저에너지주택을 대상으로 동급 ASHP의 동적거동 및 에너지성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 연면적 194 m²을 갖는 이 주택은 모든 에너지가 전기로 공급되는 전전화주택으로 냉·난방 및 급탕이 ASHP로 공급된다. 시뮬레이션 도구로서 TRNSYS 17을 사용하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) ASHP의 연간 난방 및 냉방 공급열량은 7,698 kWh와 2,226 kWh로 이에 따른 연평균 난방 COP와 냉방 EER은 각각 3.4와 3.1로 분석되었으며, 2,696 kWh가 공급된 급탕 COP는 4.0으로 나타났다.
- (2) ASHP가 적용된 제안모델의 연간 총 전력사용량은 8,218 kWh로 6 kWp의 PV 시스템(예상) 연간 발전량 8,682 kWh와 상계 시 464 kWh의 잉여전력량이 발생되어 넷-제로에너지가 구현될 것으로 추정된다.
- (3) 넷-제로에너지 구현에 따른 연간 총 전기요금은 “주택전력”에 계통 연계된 ASHP (제안모델)의 경우 249천원으로 “일반전력”에 연계된 GSHP (기존모델)의 736천원에 비해 약 66% 절감되는 것으로 나타났다.

이상과 같이 본 연구에서는 ASHP의 적용성을 분석하고, 제로에너지주택 구현에 따른 에너지비용을 추정하였다. 전술한 바와 같이 ASHP는 GSHP에 비해 다소 효율은 떨어지나, 초기 투자비가 저렴하며 태양광발전시스템이 동시에 적용되는 경우 “제로에너지주택” 구현에 따른 에너지비용절감 효과가 우수한 것으로 입증되었다.

후기

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 농업에너지자립형 산업모델기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(농축2020-136호).

REFERENCES

1. Sohn, B. H., Choi, J. M., and Choi, H. S., Performance Simulation of Ground-Coupled Heat Pump (GCHP) System for a Detached House, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 23, No. 6, pp. 392-399, 2011.
2. Lee, C. H., Hoon, J., and Jo, J. Y., The Performance of Ground Source Heat Pump System for Domestic Heating under various Ground Water Circulation Conditions, New & Renewable Energy, Vol. 11, No. 3, pp. 28-36, 2015.
3. Jeong, S. Y., Baek, N. C., Yoon, J. H., Shin, U. C., Kim, Y. K., and Kang, S. H., The Study on Energy Performance Measurement and Energy Self-sufficiency Analysis of KIER Zero Energy Solar House, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol. 27, No. 12, pp. 307-314, 2011.
4. Lee, W. J., Baek, N. C., Lee, K. H., and Heo, J. H., A Study on the Energy Performance Evaluation of Zero Energy House in Zero Energy Town, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 35, No. 2, pp. 85-91, 2015.
5. Baek, N. C., Kim, S. B., Oh, B. C., Yoon, J. H., and Shin, U. C., Energy Performance Evaluation of Low Energy Houses using Metering Data, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 7, pp. 369-374, 2015.
6. Baek, N. C., Kim, S. B., and Shin, U. C., Heating and Cooling Performance Analysis of Ground Source Heat Pump System in Low Energy House, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 28, No. 10, pp. 387-393, 2016.
7. Lim, H. W., Cho, S. H., and Shin, U. C., A Study of Empirical Case Analysis of Net-Zero Energy Houses, KIEAE Journal, Vol. 18, No. 5, pp. 41-46, 2018.
8. Engineering Product Data Book, LG Total HVAC Solution Provider (P/No. : MFL66101116), LG Electronics, 2019.
9. TRNSYS 17, A TRAnSient SYstem Simulation program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2010.
10. T.E.S.S. Component Libraries v.17.01 for TRNSYS v17.0 and the TRNSYS Simulation Studio, Parameter/Input/Output Reference Manual, Thermal Energy System Specialists, LLC., 2004.
11. Lim, H. W., Kim, D. Y., Lee, S. M., An, J. H., Yoon, J. H., and Shin, U. C., Energy Performance Evaluation of Apartment Houses According to Window Energy Consumption Efficiency Rating System in Korea, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 30, No. 10, pp. 159-166, 2018.