

플러스에너지하우스 설계 및 에너지 성능 평가

김민휘* · 임희원** · 신우철** · 김효중*** · 김현기*** · 김종규**

*한국에너지기술연구원 태양열융합연구실

**대전대학교 건축공학과

***(주)정림건축종합건축사사무소 정림건축기술연구소

Design and Energy Performance Evaluation of Plus Energy House

Kim Min-Hwi* · Lim Hee-Won** · Shin U-Cheul** · Kim Hyo-Jung*** · Kim Hyun-Ki*** · Kim Jong-Kyu**

*Korea Institute of Energy Research, Solar Thermal Convergence Laboratory, Daejeon, Korea

**DaeJeon University, Department of Architectural Engineering, Daejeon, Korea

***Department of Sustainable Engineering Team, Junglim Architecture Co., Ltd., Korea

†Corresponding author: mokim@kier.re.kr

Abstract

South Korea aims to shift the 20 percent of electricity supplement from the fossil fuel including the nuclear to renewable energy systems by 2030. In order to realize this agenda in the buildings, the plus energy house is necessary to increase the renewable energy supplement beyond the zero energy house. This paper suggested KePSH (KIER Energy-Plus Solar House) and energy performance of house and renewable energy systems was investigated. The KePSH has the target of generating 40% surplus energy than the conventional house energy consumption. The plus energy house is the house that generates surplus energy from the renewable energy sources than that consumes. In order to minimize the cooling and heating load of the house, the shape design and passive parameters design were conducted. Based on the experimental data of the plug load in the typical house, the total energy consumption of the house was estimated. This paper also suggested renewable energy sources integrated HVAC system using air-source heat pump system. Two cases of renewable energy system integration methods were suggested, and energy performance of the cases was investigated using TRNSYS 17 program. The results showed that the BIPV (building integrated photovoltaic) system (i.e., CASE 1) and BIPV and BIST system (i.e., CASE 2) shows 42% and 29% of plus energy rate, respectively. Also, CASE 1 can generate 59% more surplus energy compared with the CASE 2 under the same installation area.

Keywords: 플러스에너지하우스(Plus energy house), 플러스에너지 자립률(Plus energy rate), 신재생융합시스템(Hybrid renewable energy system), 공기식 히트펌프 시스템(Air-source heat pump system)

1. 서론

최근 범국가적인 탄소배출저감과 신재생에너지를 통한 에너지공급을 증가시키기 위해 각국의 건축분야에서 다양한 노력을 진행하고 있다. 유럽에서는 EU Energy Performance

 OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.38, No.1, pp.55-66, April 2018
<https://doi.org/10.7836/kjes.2018.38.2.055>

pISSN: 1598-6411

eISSN: 2508-3562

Received: 12 February 2018

Revised: 18 March 2018

Accepted: 20 April 2018

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.

of Buildings Directive (EPBD)에서는 2020년 말까지 모든 신축건물의 제로에너지화를 목표로 하고 있으며, 미국의 에너지성(Department Of Energy)에서는 2020년까지 시장에서 경제성 있는 제로에너지하우스와 2025년까지 모든 신축빌딩의 제로에너지빌딩구축을 목표로 하고 있다^{1,2)}.

국내에서는 최근 산업부에서 ‘재생에너지 3020 이행계획’을 통해 2030년까지 신재생에너지 발전비중 20% 목표 달성을 발표하였으며, 건축부문에서는 2030년까지 모든 건축물의 제로에너지건축물 인증 의무화를 통해 건물에서의 탄소배출저감과 신재생에너지를 통한 에너지공급량 증대를 달성하고자 노력하고 있다.

최근 국내외에서는 공격적인 탄소배출 저감을 위한 노력과 신재생에너지를 통한 에너지공급을 효과적으로 증대시키기 위해, 단일 건물의 제로에너지하우스를 넘어 타운 혹은 커뮤니티 규모의 건물 군에 다양한 신재생 에너지를 통한 에너지 공급을 이루는 제로에너지타운 개념으로 범위가 확대되고 있다³⁾. 저밀도 도심지역에서 제로에너지커뮤니티를 조성하기 위해서는 태양광 및 태양열을 이용한 에너지생산을 유휴 부지를 최대한 이용하는 방안이 가장 쉽고 일반적으로 조성될 수 있다.

하지만 부지 비용이 상대적으로 비싼 우리나라의 경우 제로에너지커뮤니티를 조성하기 위해서는 유휴 부지를 활용할 뿐만 아니라, 건물에서의 신재생에너지 적용을 적극적으로 활용하여야 한다. 이에, 고층건물에 비해 상대적으로 제로에너지건물로 구성하기 쉬운 주택과 저층건물을 각각, 플러스에너지하우스 혹은 플러스에너지빌딩으로 구성하여 제로에너지커뮤니티의 핵심 요소기술로 적용할 수 있다.

국내에서는 2000년대 초 한국에너지기술연구원의 제로에너지솔라하우스(Zero Energy Solar House, ZeSH-1)를 시작으로, 다양한 제로에너지하우스 관련 연구들이 진행되어 왔다. Jeong et al. (2011)⁴⁾는 제로에너지 솔라하우스에 대해 1년간 실측을 통해 에너지자립도를 측정할 결과, 85%의 에너지 자립률을 나타낼 수 있는 것을 확인하였다. Song et al. (2012)⁵⁾는 보편적 공동주택 단지를 대상으로 제로에너지 구현을 위한 건축, 설비, 신재생 부분에 대한 주요 설계변수를 선정하고 비용 효율 분석을 실시하였다. Shin and Jang (2015)⁶⁾은 제로에너지하우스 구현을 위한 핵심 에너지절감 기술들을 도출하고, 요소기술들의 조합에 따른 에너지절감효과 및 비용절감효과를 분석하였다. Lee et al. (2015)³⁾는 제로에너지 실증단지 내 주택 29세대를 대상으로 모니터링을 통해 에너지 소비 및 생산 등 전반적인 에너지성능을 평가하였다. Lim et al. (2016)⁷⁾은 에너지제로 실증주택에 대한 연간에너지성능과 에너지자립률을 실측을 바탕으로 평가하였다. 그 결과, 2차 에너지기준 실증주택의 연간 에너지소비량은 7,919 kWh였으며, 태양광발전시스템과 태양열급탕시스템을 통해 실증주택의 에너지 자립률은 97.1%로 나타났다. 국외에서도 다양한 연구들이 진행되어 오고 있다. Kazanci et al. (2014)⁸⁾에서는 PV/T 패널과 지열 및 상변화 축열(PCM) 시스템을 이용한 열저장 및 이용을 적용하여 plus-energy house를 구축하고 실험을 실시하였다. Good et al. (2015)⁹⁾에서는 제로에너지건물 지붕에 PV, 태양열시스템, 그리고 PVT를 다양한 조합으로 설치할 경우 얻을 수 있는 열 및 전기에 대한 에너지 획득량과 그에 따른 에너지 절감효율을 시뮬레이션을 통해서 비교 검토하여 보았다. 기존 연구들에서는 단일 건물에서의 에너지 소비량을 제로로 만들기 위한 제로에너지하우스와 관련된 다양한 연구가 진행되었다. 하지만 잉여 에너지를 생산하면서도 최적의 신

재생에너지원의 조합과 관련된 연구는 아직 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 제로에너지커뮤니티의 핵심 에너지 생산원 역할을 담당할 플러스에너지하우스의 기본 개념을 정립하고, 플러스에너지하우스를 위한 신재생 융복합 시스템을 제안하였다. 플러스에너지하우스의 설계와 에너지성능을 평가하기 위한 케이스 스터디로 KIER 플러스에너지솔라하우스(Korea Institute of Energy Research Energy-plus Solar House, KePSH)의 기본 설계를 진행하였다. 선행문헌에서의 실험결과를 바탕으로 한 건물 내부 발열 부하를 바탕으로 건물의 패시브 부하를 분석하였으며, 신재생에너지시스템으로 BIPV (Building Integrated Photovoltaic)만을 적용한 방식과 BIPV와 BIST (Building Integrated Solar Thermal)를 적용한 방식을 비교하여 플러스에너지하우스의 에너지성능을 시뮬레이션을 통해 평가하였다.

2. 플러스에너지하우스 개념

국내 국토교통부의 제로에너지건축물 활성화 정책에서의 제로에너지건축물과 유럽의 EPBD (Energy Performance of Building Directive)에서는 제로에너지하우스에서 에너지사용량의 범위를 5대 에너지(냉방, 난방, 급탕, 환기, 조명)으로 한정하고 있으며, 신재생에너지원의 생산량과의 차이를 바탕으로 1차 에너지 소요량을 기준으로 제로에너지 수준을 판단하고 있다. 반면에, 미국의 DOE에서는 제로에너지하우스의 범위를 건물과 대지까지 확장하여, 건물 및 대지에서 사용 및 생산되는 모든 에너지를 기반으로 제로에너지하우스의 수준을 판단하고 있다¹⁰⁾.

Plus Zero Energy Building (+ZEB)는 프랑스 정부가 공식적으로 사용하는 용어로서 신재생에너지 시스템을 통하여 건물 전체에서 필요로 하는 에너지보다 더 많은 에너지를 생산하여 건물 내부에서 사용하고 남는 에너지를 이용하여 자동차 등 다른 부문에 제공할 수 있는 건축물로 정의하고 있다.

본 연구에서 사용될 플러스에너지하우스의 개념은 프랑스의 +ZEB와 유사한 개념으로 연간 주택에서 사용되는 5대 에너지뿐만 아니라 플러그까지 포함한 주택 전체에서 사용되는 에너지보다 더 많은 에너지를 신재생 에너지를 통해 생산하여, 잉여에너지를 그리드를 이용하여 주변 건물로 공급하는 주택을 의미한다.

본 연구에서는 플러스에너지하우스에서의 플러스에너지 자립률을 Fig. 1과 같이 정의하였다. 제로에너지건축물은 건축물에 필요한 에너지 부하를 최소화하고 신에너지 및 재생에너지를 활용하여 에너지 소요량을 최소화하는 녹색건축물을 의미한다. 플러스에너지하우스는 이러한 제로에너지하우스의 개념을 확장하여 건축물의 에너지 부하를 최소화하고 신재생에너지 활용을 극대화하여 건물에서 사용되는 모든 에너지 소요량보다 더 많은 에너지를 신재생에너지를 이용하여 생산하는 건물로 정의할 수 있다. 이때 플러스에너지 자립률(Plus Energy Rate, PER)에 대한 산정식은 다음 식 (1)과 같다. 여기서, Q_s 는 5대 에너지 요소(냉방, 난방, 급탕, 환기, 조명)와 플러그부하를 포함한 건물에서의 총 에너지소요량(kWh), Q_e 는 PV를 통해 생산된 에너지량(kWh)을 나타낸다.

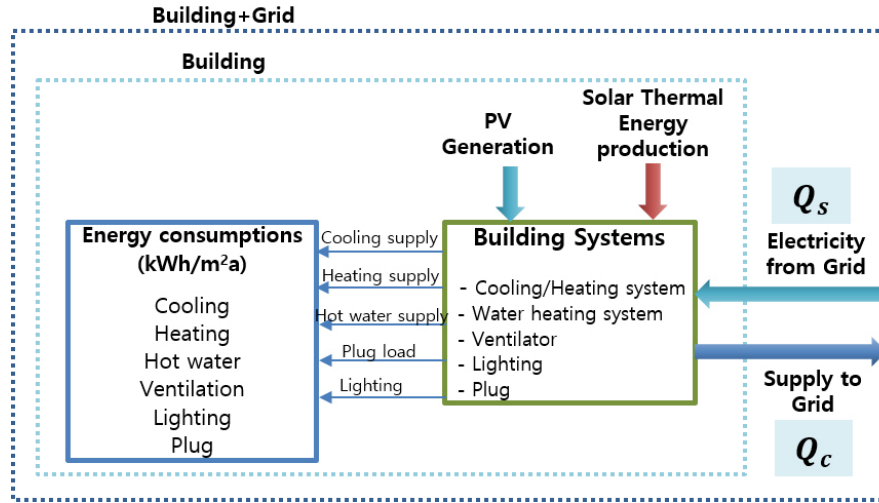


Fig. 1 Definition of Plus Energy Rate (PER)

$$PER = \frac{Q_c - Q_s}{Q_s} \times 100 \quad (1)$$

3. 플러스에너지하우스 설계 개요

초기 건축물 계획의 형태적 접근에서 두 개의 매스를 분리시키면서 공적공간과 사적공간을 구분하고 외부환경과 접촉기회를 향상시켜주는 매스 분절형을 제안하였다. 남쪽을 향한 전면의 매스 형태에 거실, 식당 등 공적영역을 구성하고, 후면의 매스 형태에 침실, 서재, 화장실 등의 사적 영역을 배치함으로써 가족구성원의 활동 동선을 명확히 구분하고 개인공간의 독립성을 보장하였다. 또한 두 매스 사이에서 생성되는 위요공간은 사이마당으로 구성해 안뜰과 같이 안정된 외부환경 접촉기회를 제공하였으며, 아트리움/중정을 구성해 빛, 바람 등의 자연조건을 실내로 유입하였다.

기존의 에너지절감형 건물의 형태구성에서 보편적으로 나타나는 디자인 성향은 외부로 손실되는 에너지를 최소화하기 위해 외피면적이 적은 하나의 매스로 계획한다는 점이 특징이다. 이로서 거주자들에게 외부 환경과의 접촉기회를 저감시키고 형태적으로도 다양성을 확보하기 어려웠다. 본 과제에서는 플러스에너지하우스의 보급을 고려할 때 에너지소비에 대한 대응뿐만 아니라 형태적인 의장성 확보도 중요하다고 판단하였으며, 이에 따라 콤팩트형보다 디자인 발전 가능성이 높은 매스 분절형을 채택해 디자인을 진행하기로 하였다. 계획설계의 진행은 기본 형태에서 BIPV, BIST 신재생에너지원이 적용될 수 있는 계획안으로 발전시켰다.

평면계획은 Fig. 2와 같이, 1층 레벨에서는 남쪽 방향에 면해 거실, 식당, 주방을 배치시키고, 북쪽 방향으로 서재와 게스트룸을 배치하면서 코어공간(화장실, 계단실)과 결합하였다. 1층의 중심공간에는 실 안쪽의 폐쇄성을 탈피하기 위해 아트리움을 삽입하였으며, 이 아트리움은 자연채광, 자연환기를 유입시키면서 위요공간으로

서 사이마당 기능을 하도록 하였다. 2층 레벨에서는 개인 침실을 배치시킴으로서 정적인 공간을 확보할 수 있도록 하였으며, 남측에 면한 옥상 정원에는 야외 휴게공간을 계획하였다.

매스 형태와 평면계획을 토대로 신재생에너지원별 계획안을 도출하였다(Fig. 3). 신재생에너지 대안별 계획안을 각각 살펴보면, BIPV는 태양광패널 설치를 최대화할 수 있도록 지붕면적을 충분히 확보하고 발전효율을 극대화하기 위해 32°의 경사형으로 계획하였으며, 경사형 지붕의 형태가 건물의 의장성을 결정짓도록 하였다. 그리고 1층 거실창의 차양으로서 태양광패널을 계획하였다. BIST는 1층 남측 수직면에 태양열 집열기를 외장재 일체형으로 삽입하였다.

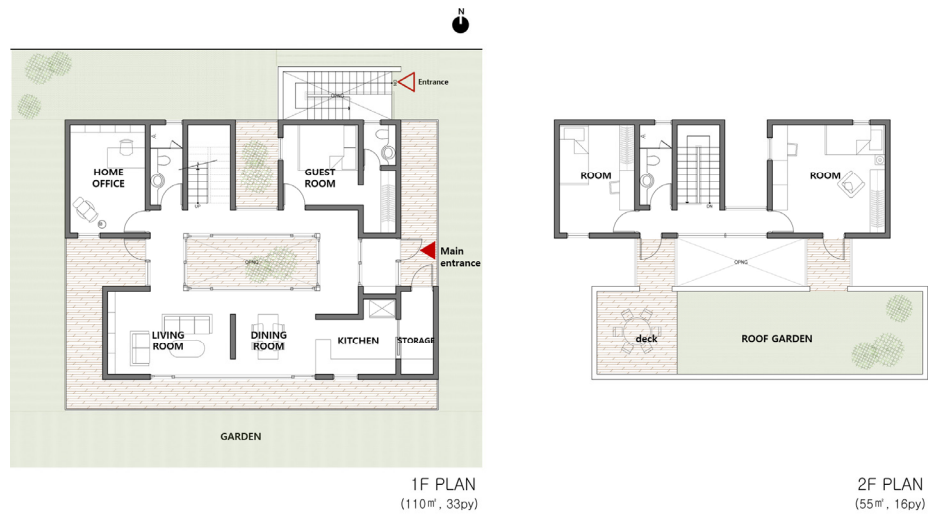


Fig. 2 Floor plan of KePSH



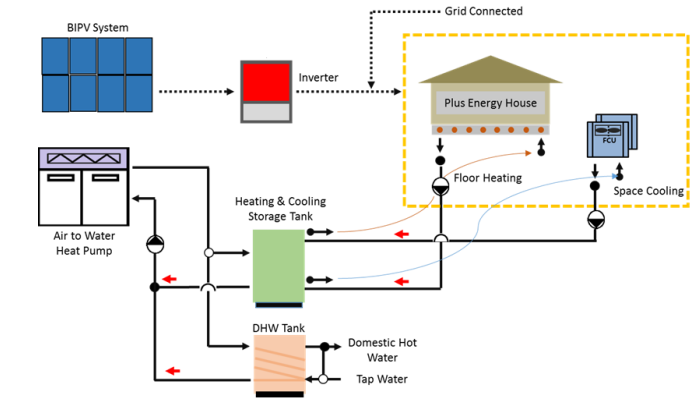
Fig. 3 Exterior view of KePSH

4. 신재생 융복합 시스템 개요

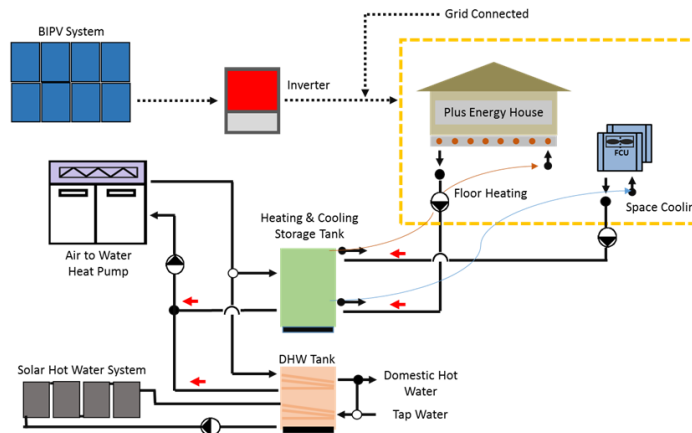
4.1 신재생 융복합 시스템 안

플러스에너지하우스를 위한 신재생에너지 시스템으로 BIPV와 BIST 시스템을 선정하였으며, 실내 온열환경 유지를 위한 냉난방 및 급탕, 환기의 통합시스템으로 공기식 히트펌프와 이코노마이저를 포함한 전열교환 환기 시스템으로 구성되었다.

신재생 융복합 시스템은 Fig. 4와 같이 두 가지 방안을 고려하였다. 첫 번째 방안으로 BIPV를 중심으로 하는 신재생 융복합 시스템(CASE 1), 그리고 두 번째 방안으로 BIPV와 BIST를 이용하는 시스템(CASE 2)을 적용하였다.



(a) BIPV integrated HVAC system (CASE 1)



(b) BIPV and BIST integrated HVAC system (CASE 2)

Fig. 4 Renewable energy integrated HVAC systems

현재 히트펌프의 적용에서 지열원 히트펌프와 공기열원 히트펌프의 적용이 가능하다. 지열원 히트펌프가 일반적으로 열 및 에너지 성능이 우수하나, 경제성을 고려하는 경우 그 효율성이 많이 축소된다. 반면에 공기열원

히트펌프의 열성능은 외기의 온도에 영향을 받으므로, 지열원 히트펌프에 비해 성능은 낮으나 최근 다수의 연구에 따르면^{11,12,13} 태양열시스템이 축열조에 적용될 경우, 열성능 측면에서 지열원 히트펌프에 비해 큰 차이가 없으며 경제성은 더 높은 측면이 있는 것으로 선행연구를 통해 나타나고 있다. 이에 본 연구에서는 공기식 히트펌프를 적용하는 방안을 고려하여 시뮬레이션을 진행하였다.

4.2 냉난방 부하 산정을 위한 패시브 요소 모델

플러스에너지솔라하우스의 냉난방 부하를 산정하기 위하여 다음 Table 1과 같은 입력자료를 이용하여 산정하였다. 기상데이터는 한국표준과학연구원에서 제공하는 대전지역 TMY3를 이용하였으며, 시뮬레이션 분석은 TRNSYS 17프로그램을 이용하였다. 건물 부하는 Type 56을 이용하여 산정하였고 바닥복사난방은 TRNBuild의 Active Layer를 통해 모사하였다. 또한 냉난방 설정온도는 선행논문의 실측데이터를 참고하여 작성하였다¹⁴.

Table 1 Simulation parameters

House	ZeSH-2	KePSH	
Location	Daejeon		
Floor area (m ²)	150		
Orientation	South		
Occupancy (Person/m ²)	0.047		
Equipment Density (W/m ²)	28		
Lighting Density (W/m ²)	1.5		
U-value (W/m ² ·K)	External Wall	0.12	0.10
	Roof	0.12	0.09
	External Floor	0.12	0.09
	Ground Floor	0.25	
	Window	1.80	0.65
SHGC	0.40		
Window-wall-ratio	14.5%	14.6%	
Infiltration (1/h)	0.137		
Setpoint temperature (°C)	Heating	24	
	Cooling	28	
Radiant heating floor	Specific heat coefficient of water	4.18 kJ/kg·K	
	Pipe spacing	0.2 m	
	pipe outside diameter	0.02 m	

4.3 내부 발열 부하 모델

기존 제로에너지주택에서는 5대 에너지부하를 기준으로 하였으나, 커뮤니티나 타운 규모에서의 제로 혹은 러스에너지를 위해서는 5대 에너지부하와 취사 및 플러그부하를 포함하여야 한다. 이에 본 연구에서는 취사 및 플러그부하를 포함한 시뮬레이션을 진행하였으며, 이를 위해 선행문헌을 통해 도출된 취사 및 플러그부하를 이용하였다.

선행연구³⁾에서는 전라북도 고창군의 제로에너지 실증주택에 대한 실증결과를 나타내었다. 본 연구에서는 29세대의 제로에너지하우스에 대한 실증연구결과를 분석하였다. 주택 내 플러그 부하의 비율을 살펴본 결과, 재실자의 주거 패턴에 따라 최소 22%에서 최대 41%까지 비율이 차이가 나는 것을 확인할 수 있었으며, 평균 31%의 플러그부하를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. Lim et al. (2016)⁷⁾은 에너지제로 실증주택에 대한 실측 결과를 분석한 결과, 33%의 플러그부하를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이에 본 연구에서는 Lim et al. (2016)⁷⁾에서 도출된 실측결과를 바탕으로 내부 발열 및 플러그부하 모델을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다.

4.4 주요 구성요소의 시뮬레이션 모델

본 연구에서는 TESS에서 개발한 TRNSYS의 TYPE 941을 사용하여 히트펌프를 모델링하였다. 이 모델은 싱글-스테이지(single-stage) 공기 대 물 방식 히트펌프를 모사한 것으로, 카탈로그의 사용자 제공 데이터 파일을 기반으로 히트 펌프에 유입되는 수온 및 공기온도를 기준으로 용량(capacity) 및 동력(power)을 산정하게 된다. Type 94의 4-파라미터 등가회로(4-parameter equivalent circuit) 해석을 통해 단결정(monocrystal)이나 다결정(polycrystal) PV 모듈의 발전성능을 평가하였다. 시뮬레이션에 적용된 태양전지의 종류는 결정계이며 STC 조건에서 모듈의 정격 효율은 18%를 나타내는 제품을 사용하는 것으로 산정되었다. 태양열시스템은 2차 효율 산정 방식과 2차 입사각계수 보정을 이용하는 Type 1b를 이용하여 해석하였다. KS B ISO 9806-1에 따른 태양 열 집열기 성능시험 결과, 투과 면적 기준 광학적 최고효율 및 열손실계수는 각각 0.725, 4.468 W/m²K를 보이는 제품을 선정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 히트펌프와 축열조 및 주요 구성요소의 용량은 다음 Table 2와 같다.

Table 2 Capacity of renewable energy systems

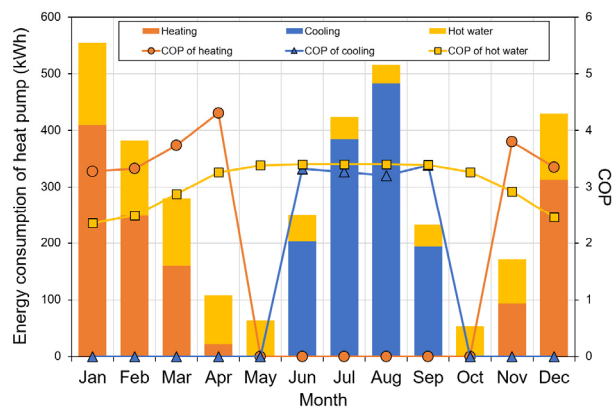
		CASE 1 (BIPV)	CASE 2 (BIPV+BIST)
PV module capacity		6 kW	5 kW
Installation area	PV module	33.4 m ²	27.9 m ²
	Solar thermal system	-	5 m ²
	Total	33.4 m ²	32.9 m ²
Heat pump	Cooling capacity		15.5 kW
	Heating capacity		14 kW
Heating and cooling water buffer tank			200 L
Hot water storage tank (Solar Thermal system connected)			350 L

5. 결과

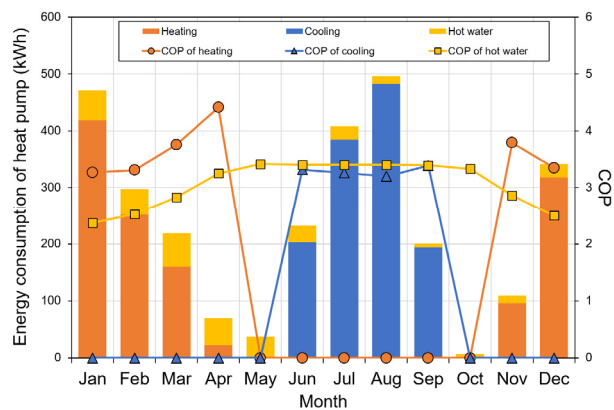
5.1 히트펌프 운전 결과

Fig. 5는 월별 히트펌프 전력소비량 및 평균 COP (Coefficient of Performance)를 나타낸 것이다. Fig. 5(a)에서와 같이, CASE 1에서 플러스에너지하우스의 난방과 급탕 공급을 위한 월간 히트펌프 사용량은 1월에 410 kWh와 145 kWh로 가장 많이 사용된 것으로 나타났으며, 히트펌프의 COP는 난방과 급탕운전시 각각 3.28과 2.35로 나타났다. 냉방 사용량은 8월에 483 kWh로 가장 많은 사용량을 나타내었으며, COP는 3.21을 보였다. 연평균 난방 COP와 냉방 COP는 각각 3.33과 3.28로 유사한 수준을 보이고 있으나, 급탕운전 시 COP는 2.87로 나타났는데, 상대적으로 높은 출수온도를 보여, 난방운전에 비해 낮은 COP를 가지는 것으로 나타났다.

반면, Fig. 5(b)에서 CASE 2의 운전 시 플러스에너지하우스의 냉방 및 난방운전은 CASE 1의 운전과 차이가 없었으나, 급탕운전 시 1월에 53 kWh의 히트펌프 운전에너지 소비량을 나타내어 CASE 1 대비 63.5%의 급탕 에너지절감량을 보이는 것으로 확인되었다. 이는 급탕에너지의 일부를 BIST가 담당하였기 때문으로 판단되며, 연간 62%의 급탕에너지절감량을 보이는 것으로 나타났다.



(a) CASE 1



(b) CASE 2

Fig. 5 Monthly energy consumption and average COP

5.2 에너지 생산 결과

Fig. 6은 건물일체형 태양광발전시스템의 월별 태양광발전량을 나타낸 것이다. CASE 1에서 가장 많은 발전량은 5월의 1,055 kWh로 가장 적은 12월의 677 kWh에 비해 156% 높게 나타났다. 연간 총 발전량은 10,320 kWh로 태양광 모듈 단위용량당(kWp) 발전량은 1,720 kWh가 되었다. CASE 2의 연간 총 발전량은 8,600 kWh로 나타났다.

Fig. 7은 CASE 2에서 월별 급탕 부하와 태양열 의존율을 나타낸 것이다. 월별 태양열 의존율은 42~88%로 나타났으며, 6월과 7월이 가장 낮고, 10월이 가장 높았다. BIST의 총 공급 열량은 1,952 kWh로서 연평균 의존율은 64.6%로 나타났다. 태양열 집열기를 5 m²로 설치함에 따라, 기존 시스템의 하절기집열기 과열 현상은 발생하지 않고 있으며, 동절기 급탕 열성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

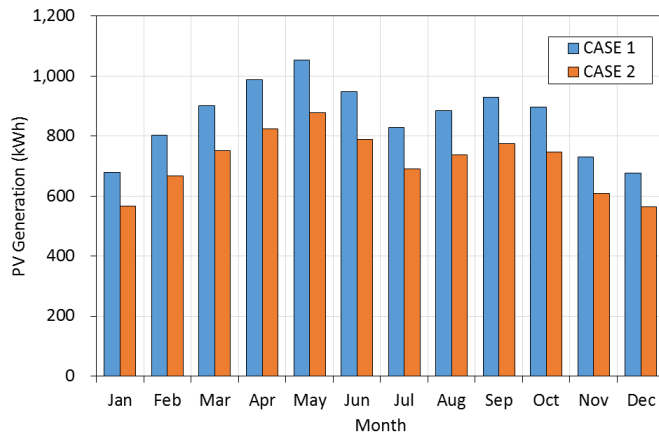


Fig. 6 Monthly generation rate of BIPV

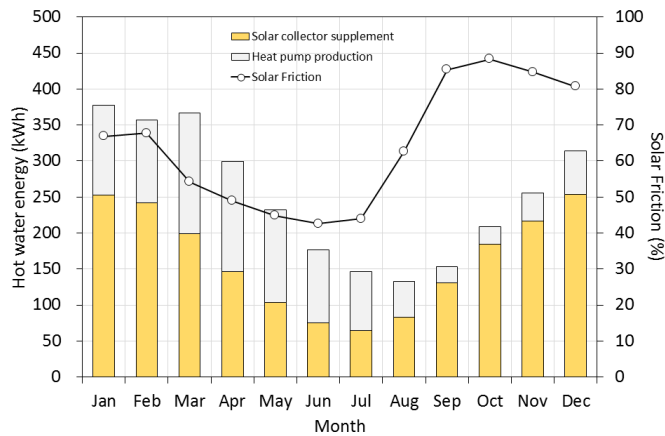


Fig. 7 Monthly energy supply and consumption of solar thermal system and solar fraction

5.3 플러스에너지율 (PER) 산정 결과

Table 3은 CASE 1 (i.e., BIPV 시스템) 및 CASE 2 (i.e., BIST와 BIPV 시스템)이 적용된 주택의 연간 플러스

에너지율 (PER)을 비교한 것이다. CASE 1의 경우 연간 히트펌프 전력 소비량이 3,490 kWh로 총 주택 전력소비량은 7,283 kWh로 나타났으며, 6 kWp의 PV 발전량이 10,320 kWh로 나타나, 이에 따른 플러스에너지율이 42%로 나타났다. 한편 CASE 2의 경우 동일한 조건에서 총 주택 전력소비량은 6,686 kWh가 되었으며, PV 설치용량 5 kWp에 따른 발전량은 8,600 kWh로 나타나, 29%의 플러스에너지율로 분석되었다. 이를 통해, CASE 1이 CASE 2에 비해, 59% 더 많은 잉여에너지를 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

Table 3 Plus energy rate of system cases

System cases	Heat pump energy consumption*				Plug load*	Total energy consumption*	BIPV Generation rate*	Plus energy rate (%)
	Heating	Cooling	Hot water	Total				
CASE 1 (BIPV)	1,270	1,267	953	3,490	3,793	7,283	10,320	42
CASE 2 (BIPV+BIST)	1,266	1,265	362	2,893	3,793	6,686	8,600	29

* [Unit: kWh/m²·y]

6. 결론

본 연구에서는 플러스에너지하우스에 대한 개념을 정립하고, KIER 플러스에너지솔라하우스에 대한 디자인을 실시하였다. 설계된 플러스에너지하우스에 대한 HVAC 시스템과 신재생에너지원의 적용성을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 본 KIER 플러스에너지솔라하우스의 디자인 설계를 통해, 벽체의 열관류율, 창문의 SHGC, 기밀도 등과 같은 최근의 강화된 패시브 기준을 적용할 경우, 일반적인 저에너지 주택의 콤팩트형 디자인을 탈피하여 두 개의 매스가 분절되고 외부와 면한 외피의 면적이 넓어지더라도 잉여 에너지를 생산할 수 있는 플러스에너지하우스로 구성이 가능함을 확인할 수 있었다. 단일 주거용건물에서 BIPV를 적용하여 그리드에 연결하는 방식에서는 부하와 에너지 생산의 매칭에 대한 깊은 고려가 요구되지 않으나, BIST를 적용하는 방식에서는 급탕 및 난방 열저장 탱크의 용량한계로 인해, 급탕 부하와 BIST로부터의 열에너지회복에 대한 부하매칭이 어려워 효과적인 히트펌프 운전 저감효과를 얻지 못하는 것으로 나타났다. 이에, PER 40%를 달성하기 위해서 BIPV 기준 6 kW의 용량이 설치되어야 하며, 동일 면적에서 BIST와의 융합을 통한 에너지절감 가능성을 비교한 결과, BIPV를 6 kW 이용하는 방안이 더 높은 PER을 나타내는 것을 확인하였다. BIPV와 BIPV+BIST에 대한 시뮬레이션 결과를 비교한 결과, BIPV만을 적용하는 방식이 59% 더 많은 잉여에너지를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. BIST의 효과를 높여 히트펌프 운전에너지를 절감하기 위한 개선 방안으로 축열조의 용량을 증대시키거나 단일건물이 아닌 건물군에서의 대형축열조를 이용하는 방식에 대한 검토가 가능할 것으로 판단된다.

추후 연구에서는 본 플러스에너지하우스를 바탕으로, 냉방 및 제습을 포함한 에너지의 절감을 위한 외기전달 시스템의 적용성을 검토하고, BIPVT (Building Integrated Photovoltaic and Solar Thermal system)에 대한 적용성, 그리고 잉여 전력의 판매에 대한 전력 프로슈머(electric prosumer)뿐만 아니라 잉여 열의 판매에 대한 열 프로슈머(heat prosumer)를 위한 방안을 검토하는 연구가 진행될 예정이다.

후기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업으로 수행한 결과(B8-2424-03) 및 과학기술정보통신부의 재원으로 연구재단의 지원을 받아 수행한 연구 과제(NRF-2015M3D2A1032742)입니다.

REFERENCES

1. AlAjmi, A., Abou-Ziyan, H., and Ghoneim, A., Achieving annual and monthly net-zero energy of existing building in hot climate, *Applied Energy*, Vol. 165, No. 1, pp.511-521, 2016.
2. IEA SHC Task 40., Toward net zero energy solar buildings, <<http://www.iea-shc.org/task40>>, 2010.
3. Lee, W. J., Baek, N. C., Lee, K. H., 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.
4. Jeong, S. Y., Baek, N. C., Yoon, J. H., Shin, U. C., Kim, Y. K., Kang, S. H., The study on energy performance measurement and energy self-sufficiency analysis of KIER zero energy solar house II, *Journal of The Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 27, No. 12, pp. 307-314, 2011.
5. Song, S., Lee, S., Hur, K., and Jin, H. Cost efficiency analysis of design elements for a zero energy apartment building, *Journal of the Architectural Institute of Korea, Planning and Design Section*, Vol. 28, No. 8, pp. 207-216, 2012.
6. Shin, H. C. and Jang, G. E., Analysis of energy consumption and cost based on combination of element technologies for implementing zero-energy house, *Journal of KIAEBS*, Vol. 9, No. 2, pp. 163-170, 2015.
7. Lim, H. W., Yoon, J. H., and Shin, U. C., Annual energy performance evaluation of zero energy house using metering data, *Journal of KIAEBS*, Vol. 16, No. 3, pp. 113-119, 2016.
8. Kazanci, O. B., Skrupskelis, M., Sevela, P., Pavlov, G. K., and Olesen, B. W., Sustainable heating, cooling and ventilation of a plus-energy house via photovoltaic/thermal panels, *Energy and Buildings*, Vol. 83, pp. 122-129, 2014.
9. Good, C., Andresen, I., and Hestnes, A. G., Solar energy for net zero energy buildings-A comparison between solar thermal, PV and photovoltaic-thermal (PV/T) systems, *Solar Energy*, Vol. 122, pp. 986-996, 2015.
10. US DOE, Building technologies program, planned program activities for 2008-2012, US: Department of Energy, 2008.
11. Safa, A., Seters, T., and Fung, A., Performance assessment of a variable capacity air source heat pump and a single-capacity horizontal loop coupled ground source heat pump system, 11th IEA Heat Pump Conference, May 12-16, Montreal, Canada, 2014.
12. Kamel, R., Ekrami, N., Dash, P., Fung, A., and Hailu, G., BIPV/T+ ASHP: Technologies for NZEBs. *Energy Procedia*, Vol. 78, pp. 424-429, 2015.
13. Jonas, D., Frey, G., and Theis, D., Simulation and performance analysis of combined parallel solar thermal and ground or air source heat pump systems, *Solar Energy*, Vol. 150, No. 1, pp. 500-511, 2017.
14. Baek, N., Kim, S., and Shin, U., 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.