



실측데이터를 이용한 에너지제로주택의 연간 에너지성능평가

Annual Energy Performance Evaluation of Zero Energy House Using Metering Data

임희원* · 윤종호** · 신우철***

Lim, Hee-Won* · Yoon, Jong-Ho** · Shin, U-Cheul***

* Department of Architectural Engineering, Graduate School, Daejeon University, Daejeon, Korea

** Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Daejeon, Korea

*** Corresponding author, Department of Architectural Engineering, Daejeon University, Daejeon, Korea (shinuc@dju.kr)

ABSTRACT

Purpose: In this study, we evaluate the annual energy performance of the detached house which was designed with the aim of zero energy. **Method:** The experimental house which was constructed in Gonju Chungnam in 2013, is the single family detached house of light weight wood frame with 100m² of heating area. Thermal transmittance of roof (by ISO 10211) and building external walls are designed as 0.10W/m²K and 0.14W/m² respectively and low-e coating vacuum window glazing with PVC frame was installed. Also grid connected PV system and natural-circulation solar water heater was applied and 6kWp capacity of photovoltaic module was installed in pitched roof and 5m² of solar collector in vertical wall facing the south. We analyzed the 2014 annual data of the detached house in which residents were actually living, measured through web-based remote monitoring system. **Result:** First, as a result, total annual energy consumption and energy production (PV generation and solar hot water) are 7,919kWh and 7,689kWh respectively and the rate of energy independence is 97.1% which is almost close to the zero energy. Second, plug load and hot water of energy consumption by category showed the highest numbers each with 33% and 31%, with following space heating 24%, electric cooker 8%, lighting 3% in order. Hot water supply is relatively higher than space heating because high insulation makes it decreased.

KEYWORD

에너지 자립율
제로에너지주택
에너지소비원단위

Energy Independence Rate
Energy Zero House
Energy Consumption Unit

ACCEPTANCE INFO

Received May 19, 2016
Final revision received June 6, 2016
Accepted June 9, 2016

© 2016 KIEAE Journal

1. 서론

세계 각국에서는 건축물에서 소비되는 에너지를 줄이기 위해 설계 법적기준을 강화하고 제로에너지 의무화를 선언하는 등 많은 노력을 하고 있다. 유럽의회(EU)에서는 2009년에 건물에너지절약지침을 발표하여 2019년부터 신축되는 주택의 경우 제로에너지주택으로 시공하도록 의무화 규정 하였다. 영국의 경우에는 2008년부터 저탄소 녹색성장 정책을 시행하여 2016년부터 신축되는 모든 주택을 제로에너지주택으로 시공하도록 규정하였으며 미국은 그린빌딩 인증제도인 LEED(Leadership in Energy and Environment Design)를 발표하고 2025년까지 모든 건축물을 제로에너지 의무화 하도록 규정하였다. 국내의 경우 정부에서는 2025년 제로에너지빌딩을 목표로 에너지 설계기준을 단계적으로 강화하고, 상용화를 위한 R&D를 추진하고 있다.

한편 국내-외 제로에너지주택에 관한 연구동향을 살펴보면, Kwan 등¹⁾은 호주 Brisbane에서 연면적 273m²의 제로에너지주택을 대상으로 에너지성능과 경제성 평가에 관한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 5kW의 태양광발전시스템 연간 발전량은 7.2MWh로 예

측되어, 3.79MWh의 에너지부하를 초과하는 것으로 분석되었으며 8.9%의 초기 공사비 증가에 따른 투자회수기간은 10년으로 평가하였다. 또한 Wang 등²⁾은 영국에서 제로에너지주택의 구현을 위한 최적화 설계방안 및 재생에너지시스템의 적용성을 EnergyPlus와 TRNSYS의 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 국내 연구로서 Jeong 등³⁾은 실험용 주택인 제로에너지 솔라하우스(ZeSH-II)을 대상으로 에너지사용 실태 및 에너지자립율을 분석하였으며 그 결과 비 주거상태에서 약 94%, 주거상태를 가정하는 경우 약 85%로 개발목표치인 70%보다 높은 것으로 평가하였다. Baek 등⁴⁾은 대전지역 동일한 시스템과 형태, 규모를 갖는 6가구의 제로에너지주택을 대상으로 에너지사용량을 분석하였다. 그 결과 각 주택의 실제 에너지자립율은 39 ~ 78%로서, 거주자의 수, 에너지 절약에 대한 인식 및

2) Liping Wang, Julie Gwilliam, Phil Jones, "Case study of zero energy house design in UK", Energy and Buildings, Vol. 41, 2009.

3) 정선영, 백남춘, 윤종호, 신우철, 김용경, 강승훈, 제로에너지 솔라하우스(KIER ZeSH-II)의 에너지성능 측정 및 에너지자립도 분석, 대한건축학회, 대한건축학회 논문집, Vol. 27, No. 12, 307-314, 2011 // (Jeong, Seon-Yeong, Baek, Nam-Choon, Yoon, Jong-Ho, Shin, U-Cheul, Kim, Yong-Kyoung, Kang, Seung-Hoon, "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, 2011)

4) 백남춘, 김성범, 오병철, 윤종호, 신우철, "실측데이터를 이용한 저에너지주택의 에너지성능평가", 대한설비공학회, 설비공학논문집 제27권 제7호, 2015 // (Namchoon Baek, Sungbum Kim, Byungchil Oh, Jongho Yoon, Ucheul Shin, "Energy Performance Evaluation of Low Energy Houses using Metering Data", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering Vol. 27, No. 7, 2015)

에너지 사용습관 등에 따라 큰 차이를 보이고 있으며 이에 따른 에너지제로건물의 정의에 관한 문제점을 제기한 바 있다. 그러나 이들 연구에서 시뮬레이션에 한정하거나 거주자가 없는 특정한 조건, 에너지부하 예측의 미비 등으로 인해 제로에너지주택의 구현 가능성에 대한 실증사례는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 설계 초기단계부터 에너지제로로 계획된 실증주택을 대상으로 웹기반 원격모니터링 자료분석을 통해 에너지소비특성과 재생에너지의 적용성, 에너지자립률 등을 평가하고 향후 제로에너지주택의 구현에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실증주택 개요

2.1. 대지 분석

Fig. 1은 2013년 11월 준공된 실증주택의 대지정보를 나타낸 것이다. 충청남도 공주시 유구면에 위치한 대지주변은 동서가산으로 둘러싸인 골짜기 형태를 이루고 있으며, 대중교통을 이용할 수 있는 포장도로까지 직선거리로 약 700m 떨어져 있다. 도시가스 및 상수도가 공급되지 않는 전형적인 농촌지역으로, 전기를 제외하고 안정적인 에너지공급원이 없는 실정이다.

Fig. 2는 태양접근성 분석을 위해 해당부지의 태양궤적을 나타낸 것이다. 동절기(10월부터 2월까지)를 기준으로 할 때 일출부터 오전 9시 전후까지, 오후 4시 전후부터 일몰까지 주변 산에 의해 해당부지에 그림자가 발생하는 것을 알 수 있다. Ecotect⁵⁾으로 해석한 결과 이와 같은 일조차폐에 따라 수평면의 경우 연간 10% 정도의 총 일사량이 감소하는 것으로 분석되었다.



Fig. 1. Site information

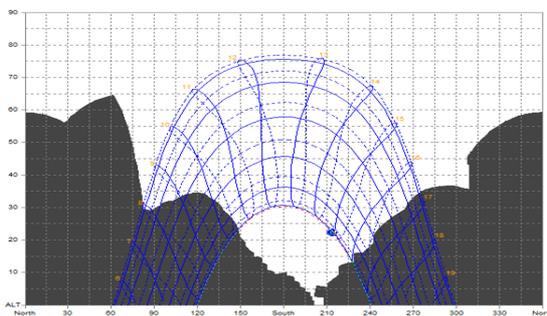


Fig. 2. Sunshine analysis on house terrain

2.2. 건축개요

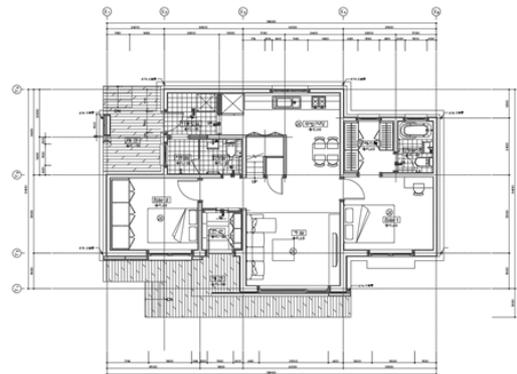
Fig. 3과 Table 1은 실증주택의 전경과 건축개요이다. 거실과 침실이 정남향으로 설계되었으며, 2층 주택으로 건축면적과 연면적은 각각 113m²와 166m²이다.



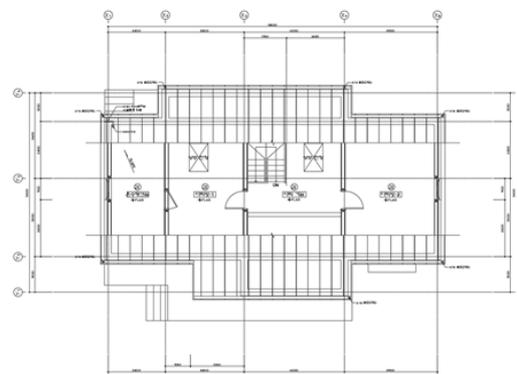
Fig. 3. View of the analyzed house

Table 1. House overview

구분	내용
Gross Area	166.3m ²
Building Area	113.5m ²
Building Size	Second Stories
Heating Area	90.9m ²
Non-Heating Area	75.4m ²



(a) Ground floor plan



(b) First floor plan

Fig. 4. Architectural plan

5) Autodesk, Ecotect Analysis 2011

Fig. 4는 주택의 평면도이다. 1층은 2개의 침실과 거실, 주방, 욕실 등이 있으며 2층은 2개의 방과 설비공간, 개방형 서재로 구성되었다. 여기서 난방시설은 1층에 한정하고, 간헐적으로 사용되는 2층은 비 난방공간으로 계획되었다. 이 주택에는 부부가 상주하고 있으며 2명의 자녀가 간헐적으로 거주하고 있다.

3. 에너지 기본계획

가스와 유류의 공급이 원활하지 않는 농촌지역의 특성과 유지보수의 편의성을 고려하여 난방 및 취사를 포함한 모든 에너지 공급이 전기로 이루어지는 전전화(全電化) 주택으로 계획되었다. 또한 에너지제로(Site energy 기준)는 물론 실질적인 에너지비용제로 주택의 구현을 목표로 계통 연계형 태양광발전시스템과 태양열 급탕시스템을 적용하였다.

3.1. 건축구조 및 단열

Fig. 5는 주택의 외피 부위별 단열구조를 나타낸 것이다. 남측벽체를 제외한 외벽은 “2 x 6” 구조목 사이로 140mm 셀룰로오스 단열재를 충진하고 구조목 부위의 열손실을 줄이기 위해 100mm의 EPS 단열재를 추가로 시공하였다. 또한 남측 벽체와 지붕은 “2 x 10” 구조목과 235mm 셀룰로오스 단열재를 충진하였으며, 지면에 면한 1층 바닥은 기초 슬라브 상부에 150mm EPS 단열재를 시공하였다. 한편 모든 창은 PVC 프레임에 갖는 진공유리를 사용하였다.

Table 2는 ISO 6946 기준으로 계산한 외피의 부위별 열관류율을 2013년 시공당시 해당지역 법적단열기준(남부지역)과 비교한 것이다. 패시브하우스 기준⁶⁾에 비해 다소 떨어지나 법적단열기준보다 상당히 강화된 수준인 것을 알 수 있다.

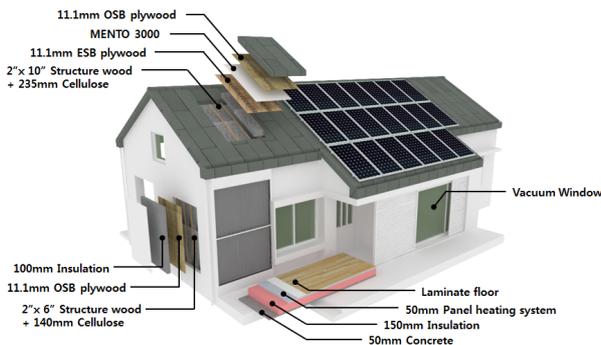


Fig. 5. Exterior wall structure

Table. 2. Thermal insulation level

Item	U-value (W/m ² K)		
	ISO 6946	Legal Standard	Passive House
Roof	0.22	0.22	0.15
Wall	0.18	0.34	0.15
Ground Floor	0.19	0.4	0.15
Window	1.0	2.4	0.8

3.2. 냉방 및 난방시스템

1층 난방공간을 2개 존으로 분리하였으며, 초기투자비를 줄이고 유지보수의 용이성을 위해 2개의 전기보일러를 각 존에서 설치하고 개별 제어되도록 하였다. 3kW용량의 전기보일러가 1층 거실 및 안방, 주방, 드레스룸, 안방 내 욕실에 난방수를 공급하고, 2kW의 전기보일러가 나머지 게스트룸과 욕실 및 화장실의 난방을 담당한다.

한편 국내 주거용 건물의 간헐적이고 국부적인 냉방운전특성을 고려하여 2층 2개의 다락방을 포함한 총 6개의 실에서 개별 제어가 가능하도록 냉방 시스템을 설계하였다. 이를 위해 3개의 실내기를 연결한 멀티에어컨(Multi-split type air conditioner) 2대를 설치하고 주방과 2층 다락방 2곳을 하나의 시스템으로 연결하였으며, 나머지 게스트룸과 거실, 안방을 별도 시스템으로 분리하였다.

3.3. 배열회수 강제환기시스템

국내에서 주거용 건물에 보급되는 대부분의 강제 환기장치는 모든 실을 동시에 작동하는 전반환기방식으로 난방부하 및 전력량(팬동력)을 줄이기 위해 간헐적으로 운전되는 실정이다. 이에 따라 본 주택에서 상시환기를 목적으로 각 실에서 개별 제어할 수 있는 배열회수 강제 환기시스템을 적용하였다.⁷⁾ Fig. 6은 강제 환기시스템의 덕트 계통도를 나타낸 것으로, 1층에 4개의 급기구와 2개의 배기구를 2층에는 2개의 급기구와 1개의 배기구를 각각 설치하였다.

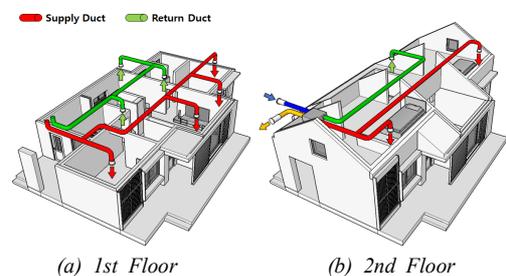


Fig. 6. Forced ventilation heat recovery system schematic

6) bre, Passivhaus primer: Designer's guide: A guide for the design team and local authorities.

7) 신우철, 이왕제, 윤종호, 백남춘, “주거용 건물의 개별 환기시스템 필요성에 관한 연구”, 한국생태환경건축학회 논문집 제14권 제6호, 2014. // (Shin, U-Cheul, Lee, Wang-Je, Yoon, Jong-Ho, Baek, Nam-Choon, “The Individual Heat-recovery ventilation system of Residential Buildings”, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment Vol. 14, No. 6, 2014)

3.4. 기타 에너지절약 및 고효율기기

모든 조명시스템은 LED를 적용하였으며, 안방과 게스트룸에는 가동형 외부 블라인드시스템을 각각 설치하였다. 또한 Fig. 7과 같이 거실창 외부에도 수동으로 작동하는 일사조절 가동형 루버를 설치하여 하절기 과도한 일사유입을 차단할 수 있도록 하였다.



(a) closed louver
Fig. 7. Moveable louver

(b) open louver

3.5. 재생에너지시스템

건축 초기 30° 경사 지붕면에 5kWp용량의 태양광모듈을 설치하였으며, 2014년 6월 1kWp를 증설하여 총 용량은 6kWp가 되었다. Fig. 8과 같이 태양광모듈에서 발전된 DC 전력은 인버터에서 AC로 변환된 후 주택 전기부하에 우선 공급되며, 잉여전력 발생 시 한전에 역 송전된다.

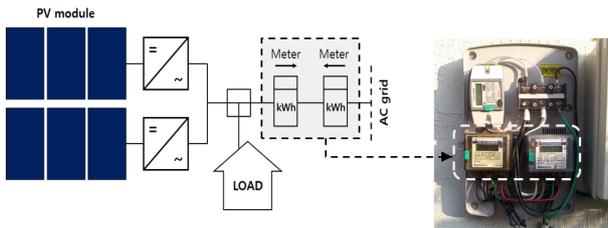


Fig. 8. Schematic of grid connected PV system and metering

일반적으로 경사 지붕면에 설치되는 태양열 급탕시스템의 용량이 과다 설계될 때 하절기 과열에 따른 시스템고장이 우려되며, 적을 경우에는 동절기에는 급탕공급이 부족하게 된다. 이와 문제점을 해결하기 위해 본 주택에서는 Fig. 9와 같은 건물일체형 자연순환형 태양열 급탕시스템을 적용하였다. 남측에 5.4m²의 대면적 집열기를 남측 벽면에 설치하고, 그 상부 2층 기계실에 1.5kW의 내장형 전기히터를 보조열원으로 하는 300L의 태양열축열조를 수평으로 배치하였다. 국내 최초로 상용주택에 설치된 이 방식은 외기 노출배관이 전혀 없으며, 하절기 시스템 과열이 발생하지 않고 급탕부하가 증가하는 동절기에 고온의 온수를 공급할 수 있는 장점을 갖는다. 또한 열사이펀(thermosyphon)에 의해 집열열매체가 자연순환하는 방식으로 집열펌프와 제어기 없이 구동된다.

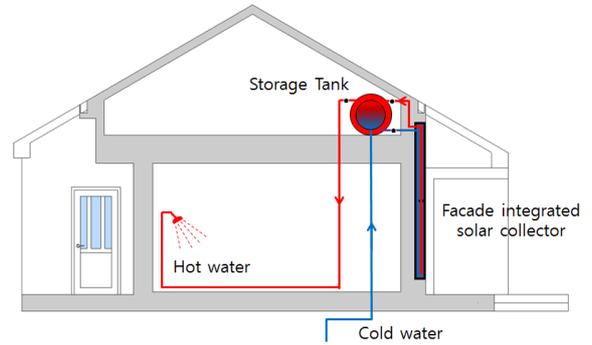


Fig. 9. Schematic diagram of solar thermal system

4. 웹기반 원격모니터링 시스템

에너지 생산 및 소비의 동적거동을 파악하고, 시스템 고장진단을 위해 모니터링시스템을 구축하였다. Fig. 10은 실증주택에 설치된 웹기반 원격모니터링시스템의 개념도이다. 데이터는 TCP/IP 통신을 통해 분단위로 서버컴퓨터에 저장되어 실시간으로 거주자가 인터넷을 이용하여 확인 할 수 있다.

수집되는 데이터 측정항목은 태양광 발전량 및 실내 온도, 급탕사용량(유량) 등이 있으며, 특히 용도별 전력사용량을 측정하기 위해 조명, 1층 전열, 급탕 보조열원 및 환기장치, 통신, 전기조리기, 전기보일러 그리고 에어컨 등에 용도별 총 8개의 전력량계를 설치하였다.

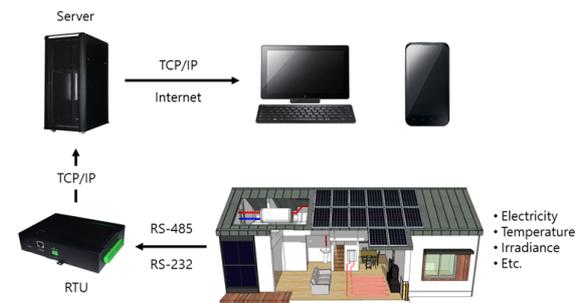


Fig. 10. Diagram of web-based remote monitoring system

5. 에너지 성능평가

웹기반 원격모니터링시스템을 통해 2014년 1월부터 2014년 12월까지 1분 간격으로 측정된 데이터를 기반으로 본 주택의 에너지성능을 분석하였다.

5.1. 기후분석

Fig. 11은 동일기간 인근 대전 기상청 측정 월평균 일일 외기온과 월별 수평면 총 일사량을 나타낸 것이다. 일사량은 5월에 218kWh/m²으로 가장 많으며 12월에 70kWh/m²으로 가장 낮은 것으로 나타났다. 월평균 외기온은 7월이 26°C로 가장 높았으며 12월이 -1°C로 가장 낮았다.

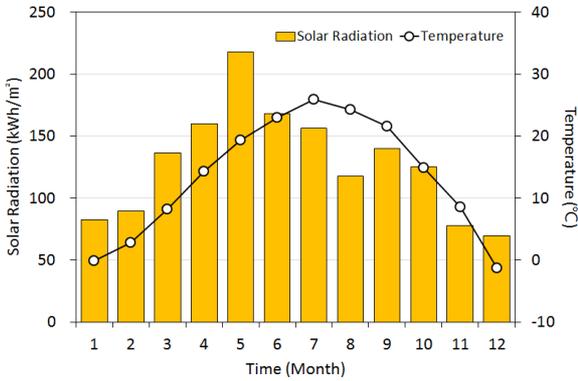


Fig. 11. Monthly temperature and solar radiation

5.2. 실내 온열환경 평가

Fig. 12는 주택의 1층 거실의 연간 실내온도를 나타낸 것이다. 11월부터 3월까지의 동절기 평균 난방온도는 18~20℃를 보이고 있으며, 6월부터 9월까지의 하절기 평균 냉방온도는 26~27℃로 유지되는 것으로 나타났다.

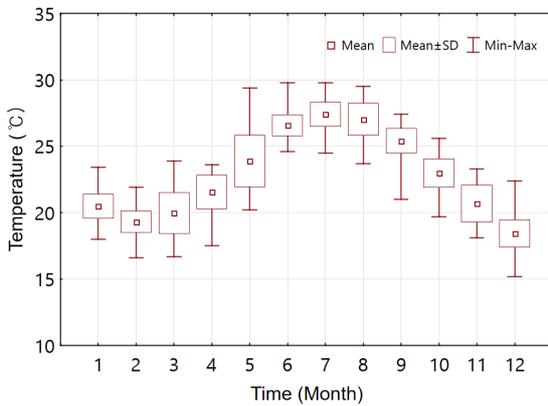


Fig 12. Indoor temperature

5.3. 에너지소비량

Table. 4는 용도에 따른 월별 전력사용량을 나타낸 것이다. 난방 및 급탕의 경우 동-하절기 편차가 큰 반면 전열(plug)과 취사(electric cooker)의 월별 소비량은 상대적으로 일정한 것을 알 수 있다. 조명전력은 일조시간이 늘어나는 중간기와 하절기에 다소 감소하는 것으로 나타났다. 한편 1월의 전력사용량은 1,128kWh로서, 가장 적은 6월의 299kWh에 비해 약 3.7배 증가하였으며, 연간 총 전력사용량은 6,884kWh로 나타났다.

Fig. 13은 연간 용도별 에너지사용분포를 나타낸 것이다. 전열이 33%로 가장 많았으며 급탕(보조히터+태양열공급량) 30.7%, 난방 23.8%, 취사 8.1%, 조명 2.6%, 기타 1.2%, 냉방 0.4% 순으로 나타났다. 급탕에너지의 비중이 난방에 비해 증가하는 것은, 고기밀화된 고단열 주거용 건물에 나타나는 일반적인 현상으로 기존의 연구⁴⁾에서도 확인할 수 있다. 한편 냉방시스템의 경우 주간에 간헐적으로 사용되었으며, 야간 자연환기를 통해 냉방이 주로 이루어지는 것으로 파악되었다.

Table. 4. Monthly electricity distribution by usage

(unit: kWh)

Mon.	Lighting	Hot water	Plug	Electric Cooker	Space Heating	Space Cooling	Etc.	Total
1	25.1	49.3	246.2	46.3	753.5	0	7.6	1,128
2	19.8	102.8	219.1	56.0	354.1	0	6.9	758.7
3	16.7	61.7	219.0	56.5	164.4	0	7.7	526
4	10.8	99.8	170.4	45.5	19.5	0.2	7.6	353.8
5	11.7	68.4	206.0	53.1	1.3	0.0	8.0	348.5
6	11.0	38.5	198.2	36.8	1.3	5.8	7.8	299.4
7	11.7	15.0	229.1	37.9	1.4	12.1	8.0	315.2
8	17.3	51.2	226.1	62.8	1.3	8.5	7.9	375.1
9	22.1	60.2	210.7	65.0	1.3	7.4	7.7	374.4
10	24.4	102.6	228.7	66.6	1.4	0	7.9	431.6
11	21.5	115.0	237.8	63.4	54.3	0	7.6	499.6
12	16.7	108.2	226.1	53.6	532.3	0	7.8	944.7
Mean	17.4	72.7	218.1	53.6	157.2	2.8	7.7	529.5
S.D.	5.0	30.8	19.2	9.8	243.3	4.2	0.3	248.7

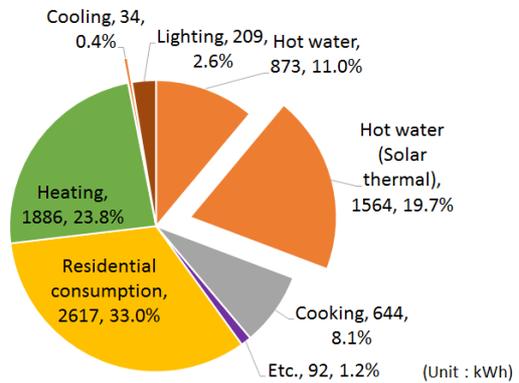


Fig 13. Annual site energy distribution by usage

Table 5는 2차 에너지기준으로 에너지 원단위를 표시한 것이다. 전열과 취사를 제외하고 냉방 및 난방, 급탕, 환기, 조명 등 5개 항목에 한정할 경우 에너지 원단위는 총 에너지기준 원단위에 비해 약 41% 정도 줄어들게 된다.

Table 5. Energy consumption unit

Items	Toatal Energy (kWh/m²·a)	Energy of 5 Items (kWh/m²·a)
Heating Area	83.8	47.6
Total Floor Area	49.3	28.0

5.4. 태양광 발전량

Fig. 14는 월별 일평균 태양광발전량을 비교한 것이다. 일사량이 가장 좋은 5월의 발전량은 24.1kWh/day이었으며, 가장 적게 발전된 12월의 10.1kWh/day에 비해 약 136% 많은 것으로 나타났다. 연간 총 발전량은 6,125kWh로서 단위용량(kWp)당 발전량은 1,021kWh로 나타났다. 인근지역(대전 유성구)에서 2013년 측정된⁸⁾ 1,422kWh의 발전량과 비교할 때, 주변 지형지물

8) Lee, Hyun-Seung, Kim Sung-Bum, Shin U-Cheul, "The Economics Evaluation of

의 일사차폐로 인해 약 39%의 발전량 저하가 발생하고 있다.

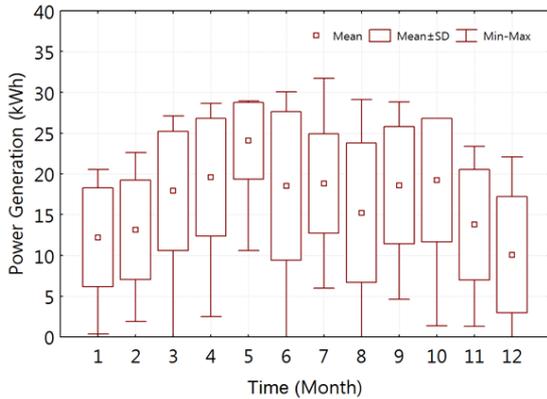


Fig. 14. Monthly PV power generation

5.5. 태양열 급탕에너지공급

Fig. 15는 월별 태양열 및 보조열원의 급탕 공급열량을 나타낸 것이다. 농촌주택의 특성상 수확기인 10월의 급탕공급열량이 319kWh로 가장 많았으며, 가장 적은 7월의 119kWh에 비해 2.6배 이상의 편차를 보이고 있다. 연간 총 급탕열량은 2,437kWh로서 그 중 태양열로 1,564kWh, 보조열원으로 873kWh가 각각 공급되어 연 평균 태양열의존율은 64%로 나타났다.

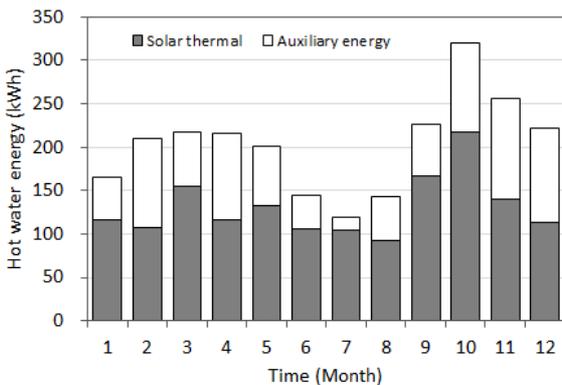


Fig. 15. Domestic hot water energy

5.6. 에너지성능분석

Table. 6은 실증주택의 2차 에너지기준(site energy) 에너지 자립률을 나타낸 것이다. 여기서 에너지자립율은 연간 에너지소비량에 대한 (신)재생에너지시스템의 에너지공급량의 비로 정의된다. 연간 에너지소비량 7,919 kWh가 되었으며 태양광 발전 시스템과 태양열 급탕시스템을 통해 6,125kWh와 1,564 kWh의 에너지가 각각 공급되어 에너지자립률은 97.1%로 나타났다. 1kW의 태양광모듈이 2014년 6월에 증설된 점을 고려할 때 실

질적인 100% 에너지자립이 가능했던 것으로 추정된다.

Table. 6. Energy independence rate

Total Energy Consumption (kWh)	Solar		Energy Independence Rate (%)
	PV Power Generation (kWh)	Solar Heat Supply (kWh)	
7,919	6,125	1,564	97.1

6. 결론

본 연구에서는 에너지제로를 목표로 설계·시공된 실증주택을 대상으로 에너지자립율을 평가하였다. 충청남도 공주시 유구면에 위치한 농촌주택으로서 2013년 11월 준공되었으며, 웹기반 원격모니터링시스템을 통해 수집된 데이터를 이용하여 에너지성능과 동적 거동을 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 2차 에너지기준 실증주택의 연간 에너지소비량은 7,919kWh로서, 용도별 연간 에너지사용분포를 살펴보면 전열(플러그부하)이 33%로 가장 많았으며 급탕 30.7%, 난방 23.8%, 취사8.1%, 조명 2.6%, 기타 1.2% 등으로 나타났다. 냉방전력은 0.4%로 주간에 간헐적으로 사용되었으며, 야간 자연환기를 통해 냉방이 주로 이루어지는 것으로 파악되었다.

(2) 연면적 기준 에너지 원단위는 49.3kWh/m²로 분석되었다. 전열과 취사를 제외하고 난방 및 난방, 급탕, 환기, 조명 등 5개 항목에 한정할 경우 에너지 원단위는 28.0kWh/m²가 되어 총 에너지기준 원단위에 비해 약 41% 감소한다.

(3) 6kW 용량의 태양광발전시스템과 5.4m²의 집열면적을 갖는 태양열 급탕시스템의 에너지생산량은 각각 6,125 kWh와 1,564 kWh로서 실증주택의 에너지자립률은 97.1%로 나타났다. 2014년 6월부터 태양광발전시스템 용량을 5 kW에서 6 kW로 증설된 점을 고려할 때 실질적인 제로에너지주택이 구현될 수 있었던 것으로 추정된다.

Acknowledgements

본 연구는 미래창조과학부 및 연구성과실용화진흥원 신산업창조 프로젝트 사업의 지원을 받아 수행하였음.[2015-K000228]

Reference

[1] Y. Kwan, L. Guan, "Design a Zero Energy House in Brisbane", Australia, Procedia Engineering 121, 2015, 604-611
 [2] Liping Wang, Julie Gwilliam, Phil Jones, "Case study of zero energy house design in UK", Energy and Buildings, Vol. 41, 2009.
 [3] 정선영, 백남준, 윤종호, 신우철, 김용경, 강승훈, 제로에너지 솔라 하우스(KIER ZeSH-II)의 에너지성능 측정 및 에너지자립도 분석, 대한건축학회, 대한건축학회 논문집, Vol. 27, No. 12, 307-314, 2011 // (Jeong, Seon-Yeong, Baek, Nam-Choon, Yoon, Jong-Ho, Shin, U-Cheul, Kim, Yong-Kyoung, Kang, Seung-Hoon, "The Study on Energy Performance Measurement and Energy Self-sufficiency Analysis

Grid-connected Photovoltaic Systems in Residential Houses", Korea Institute of Ecological Architecture and Environment Vol. 15, No. 6, 2015

- of KIER Zero Energy Solar House II”, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol 27, No 12, 2011)
- [4] 백남춘, 김성범, 오병철, 윤종호, 신우철, “실측데이터를 이용한 저에너지주택의 에너지성능평가”, 대한설비공학회, 설비공학논문집 제27권 제7호, 2015 // (Namchoon Baek, Sungbum Kim, Byungchil Oh, Jongho Yoon, Ucheul Shin, “Energy Performance Evaluation of Low Energy Houses using Metering Data”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering Vol. 27, No. 7, 2015)
- [5] Autodesk, Ecotect Analysis 2011
- [6] bre, Passivhaus primer: Designer’s guide: A guide for the design team and local authorities.
- [7] 신우철, 이왕제, 윤종호, 백남춘, “주거용 건물의 개별 환기시스템 필요성에 관한 연구”, 한국생태환경건축학회 논문집 제14권 제6호, 2014. // (Shin, U-Cheul, Lee, Wang-Je, Yoon, Jong-Ho, Baek, Nam-Choon, “The Individual Heat-recovery ventilation system of Residential Buildings”, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment Vol. 14, No. 6, 2014)
- [8] Lee, Hyun-Seung, Kim Sung-Bum, Shin U-Cheul, “The Economics Evaluation of Grid-connected Photovoltaic Systems in Residential Houses”, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment Vol. 15, No. 6, 2015