

제로에너지타운 내 주택 에너지 성능 평가에 관한 연구

A Study on the Energy Performance Evaluation of Zero Energy House in Zero Energy Town

이왕제* · 백남춘**† · 이경호*** · 허재혁****

Lee Wang-Je*, Baek Nam-Choon**† and Lee Kyoung-Ho*** Heo Jae-Hyeok****

(Received 2 April 2015 ; accepted 28 April 2015)

Abstract : In this study, energy performance analysis of houses in zero energy demonstration town(ZeT) was carried out using the monitoring results. This ZeT was composed 29 zero energy individual houses(ZeH) which were applied passive as well as active technologies. The results are as follows.

- (1) Residents are generally considered to have been lacking basic mind to save energy,
- (2) In particular, average yearly total energy consumption per house is 12,834 kWh and specific heating energy is 53.2kWh/m²·yr which is higher than that of passive house. This is because of one of the reason just pointed out in subsection (1).
- (3) Most part of the residual energy load are supplied with only renewable energy, but not operating energy for geothermal heat pump which is use of cheap electricity.

Key Words : 액티브 솔라 하우스(Active solar house), 패시브 기술(Passive Technologies), 신재생에너지(Renewable energy), 태양열/지열 융복합 시스템(Solar Thermal/Geothermal hybrid system), 모니터링 시스템(Monitoring system)

1. 서 론

온실가스 저감 및 친환경 주거와 관련하여 최근들어 저에너지/제로에너지 주택(이하 제로에너지 주택)에 대한 연구개발 및 보급에 많은 관

심이 쏠리고 있다. 그 대표적인 것이 KIER의 ZeSH-I, II와 대림산업의 3L 하우스, 삼성물산의 그린투모로우, 코오롱건설의 e+그린홈 등이다. 이러한 시범/실증 주택들은 고단열, 고기밀, 고성능창호 등 패시브 기술과 고효율기기, 태양열,

**† 백남춘(교신저자) : 한국에너지기술연구원 태양열연구실,
E-mail : baek@kier.re.kr, Tel : 042-860-3535
*이왕제 : 한국에너지기술연구원 태양열연구실
***이경호 : 한국에너지기술연구원 태양열연구실
****허재혁 : 한국에너지기술연구원 태양열연구실

**† Baek Nam-Choon(Corresponding author) : Solar thermal laboratory, Korea Institute of Energy Research
E-mail : baek@kier.re.kr, Tel : 042-860-3535
*Lee Wang-Je : Solar thermal laboratory, Korea Institute of Energy Research
***Lee Kyoung-Ho : Solar thermal laboratory, Korea Institute of Energy Research
****Heo Jae-Hyeok : Solar thermal laboratory, Korea Institute of Energy Research

지열, 태양광 등의 액티브 기술들이 융복합적으로 적용되었다. 하지만 이러한 주택들은 대부분 연구기관 및 대기업이 연구목적으로 만든 실험 주택으로 일반주택과 같은 조건하에서의 에너지 성능을 평가하기에 다소 어려움이 있다.(1)

국내 주거건물의 에너지성능 연구는 대부분 공동주택 위주이며, 단독주택에 대한 에너지 성능 평가 연구는 미비한 실정이다. 특히, 제로에너지 주택은 공동주택 보다는 단독주택에서 보다 효과적으로 접근이 용이함에도 불구하고 모니터링 구축 및 관리자의 부재로 인한 거주 후 에너지 사용량 실태조사에 어려움이 있다.

따라서, 본 연구에서는 실제 거주하는 패시브 및 액티브 기술이 적용된 제로에너지 실증단지 내의 주택 29세대를 대상으로 모니터링 시스템을 구축하여 에너지 소비 및 생산 등 전반적인 에너지성능을 평가하고자 한다.

2. 실증단지 및 주택 개요

2.1 실증단지 개요

(1) 실증단지 개요

제로에너지 실증단지는 전라북도 고창군에 조성되었으며, 주택 100세대와 커뮤니티센터 1개동으로 구성되어 있다. 실증단지 100세대 중 제로에너지하우스(이하, 실증주택)는 29세대이며, 2013년도 초에 준공 및 입주하였다.



Fig 1. Photo of zero energy town

(2) 실증주택 개요

실증주택은 그림 2와 표 1에 있는 바와 같은 3가지 형태로, A타입 13세대, B타입 4세대, C타입 12세대로 구성되었다. 바닥면적은 약 100 m²로 모두 동일하다. 주택에 적용된 핵심 에너지 저감 요소기술로는 열교방지, 기밀화를 포함한 고단열, 고효율 3중창호, 외부차양, LED 조명 등이 있다. 신재생에너지는 컴팩트화된 태양열/지열 하이브리드 냉난방 및 급탕시스템(이하 태양열/지열 융복합시스템)과 태양광 발전시스템이 적용되었다.

Table 1. Type & area of zero energy house

Items		A-type	B-type	C-type
No. of House		13	4	12
Floor area (m ²)	1F	99.9	99.7	60.5
	2F	-	-	39.3
	Sum	99.9	99.7	99.8



Fig 2. Photo & Bird's-eye view of zero energy house

2.2 신재생에너지 시스템 개요

실증주택에 설치된 신재생에너지 설비는 태양열집열기 8 m², 태양광 3 kWp, 지열히트펌프(이하, GSHP :ground source heat pump) 3 RT로 표 2와 같다. 그림 3은 컴팩트형 태양열/지열 융복합 시스템 및 태양광 계통도를 나타낸 것으로, 태양열은 급탕만을 공급하고 지열히트펌프는 냉난방과 급탕의 백업용으로 사

용된다. 콤팩트형 태양열/지열 융복합 시스템은 집열기와 GSHP를 제외한 급탕용 축열조, 냉난방용 버퍼탱크, 팽창탱크, 펌프, 제어장치 등 모든 부품을 공장에서 하나의 제품으로 콤팩트화 시킨 것으로 좁은 장소에 간단한 배관 작업만으로 설치가 가능하다. 태양광 발전 시스템은 계통 연계형이다.

Table 2. Capacity of renewable energy systems

Item	Solar thermal	PV	GSHP
Capacity	8 m ²	3 kWp	3 RT

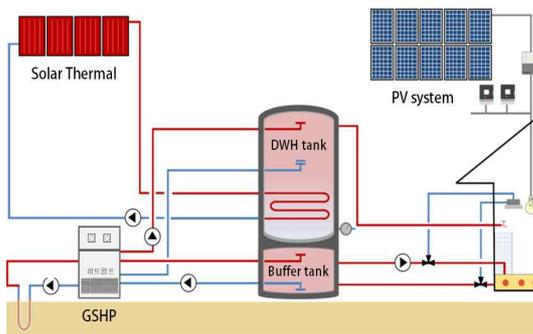


Fig 3. Diagram of solar thermal/geo-source hybrid and PV system

3. 모니터링 및 결과 분석

3.1 모니터링 시스템 개요

그림 4는 실증주택의 모니터링 시스템의 개념도를 나타낸 것으로 실내온도와 외기온도, 일사량, 전력사용량, 신재생에너지 시스템 등 33개 항목을 1분 단위로 측정하고 있다. 각 주택에서 측정된 데이터는 내부 통신망을 통해 서버컴퓨터에 저장된 후 컴퓨터와 스마트폰 등 스마트 기기를 통해 데이터를 확인 할 수 있다. 따라서, 장소 및 시간에 구애받지 않고 모니터링 및 데이터 수집이 가능하다.

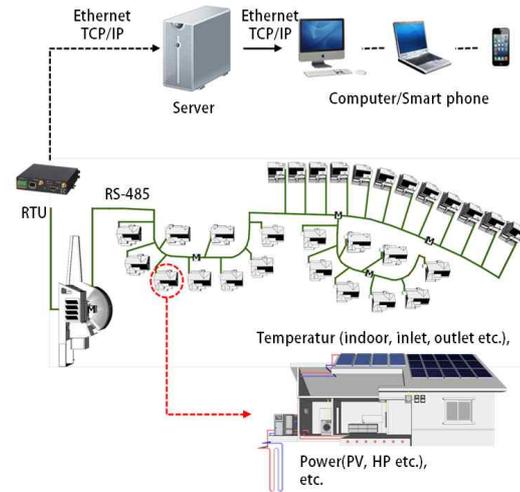


Fig 4. Concept of monitoring system

3.2 분석기간 및 방법

실증주택의 연중 에너지성능 분석은 2013년 10월 1일부터 2014년 09월 30일까지 1년간 자료를 바탕으로 하였으며, 모니터링 상에 문제가 발생한 일부 세대는 분석에서 제외시켰다.

본 실증단지는 취사용을 제외하고는 화석연료를 사용하는 기기는 없다. 따라서 외부에서 공급되는 에너지는 전기뿐이다. 전기에너지는 크게 누진세가 부과되는 세대소비전력과 누진세가 없는 GSHP소비전력, 그리고 태양광발전시스템에서 생산되는 전력을 분석하였다. 용도별로는 난방, 급탕, 냉방용으로 사용되는 에너지를 각각 분리하여 측정 및 분석하였다.

에너지 단위는 kWh로 통일하기 위해 산업통상자원부의 에너지법 시행규칙의 '에너지열량 환산기준'⁽²⁾에 따라 계산하였다.

3.3 세대소비전력

그림 5는 실증주택 모든 세대에 대해서 월별 소비전력(이것이 결국 주택에서의 에너지 사용량임)의 분포도를 나타낸 것으로 최소치, 최대치, 평균치(), 그리고 표준편차(□)를 나

타낸 것이다. 그 결과, 주택별 사용량의 차이가 매우 큰 것을 알 수 있다. 이는 거주자의 취향, 생활패턴, 실내설정온도, 사용기기 등 다양한 요인에 따라 에너지 사용량이 크게 다를 수 있다는 것을 의미한다.

연간 세대소비전력은 평균 3,517 kWh를 사용하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 사용한 세대(3,626 kWh)와 가장 적게 사용한 세대는 약 5배 차이가 나는 것으로 분석되었다. 월별 사용량을 보면 하절기인 7-8월의 전력사용량이 다소 많은 것을 알 수 있다. 하절기 전력사용량이 증가한 원인 중에 하나는 GSHP 실내기가 없는 방(GSHP냉방을 위해 설치된 실내기는 거실에만 하나 있음)은 에어컨을 설치하여 별도로 냉방을 하는 세대가 일부 있었기 때문이다.

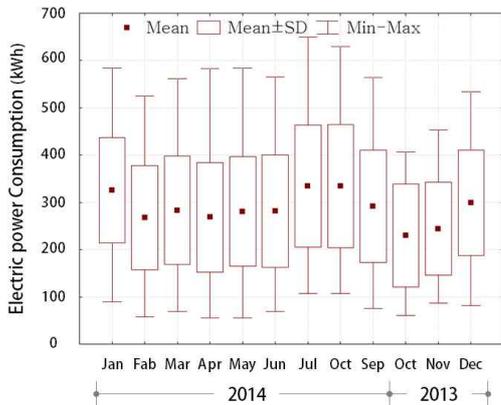


Fig. 5 Monthly electricity consumption and standard deviation in houses

3.4 GSHP 소비전력

그림 6은 각 세대별 월별 GSHP에 소비되는 전력을 최대 및 최소치, 평균치 그리고 표준편차로 나타낸 것이다. 사용량은 열부하가 많은 동절기 위주로 특히 많았으며, 하절기인 7-8월에는 냉방으로 인해 인접 월에 비해 약간의 증가한 것으로 나타났다. 이러한 에너지 사용

패턴은 물론 이 단지가 귀농자를 위해 분양된 단지인데다가 냉방용 실내기가 거실에만 있기 때문에 사용빈도와 그 사용량이 적었던 것으로 사료된다. 난방기인 11월에서 3월까지의 GSHP소비전력을 비교해 보면 가장 많이 사용한 세대(3,626 kWh)와 가장 적게 사용한 세대(1,130 kWh)는 약 3.2배까지 크게 차이가 나는 것으로 분석되었다. 이는 GSHP소비전력은 누진세 적용이 없는 낮은 가격의 일반전력을 사용하고 있고, 또한 태양광 발전시스템으로부터 생산되는 전기로 인해 사용자가 부담해야 하는 에너지(전기) 비용이 적어 부담 없이 GSHP 사용하는 세대가 많기 때문이다. 이와 같은 제로/저에너지 주택에 거주하는 사람들의 에너지 절약의식 부족은 많은 사람들이 지적하고 있는 사항이기도 하다.

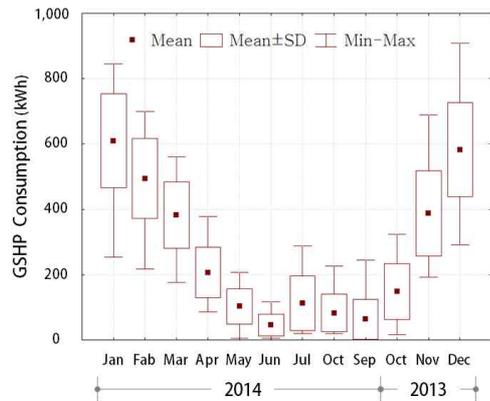


Fig. 6 Monthly electricity consumption and standard deviation for GSHP in houses

3.5 태양광 발전량

그림 7은 실증주택에 설치된 월별 태양광발전량을 최대 및 최소치, 평균치 그리고 표준편차로 나타낸 것이다. 연간 세대 평균 발전량은 3,907 kWh이며, kWp당 1,302 kWh를 발전하는 것으로 나타났다. 세대별 연간 발전량 차는

평균값을 기준으로 $\pm 4.5\%$ 내외로, 전술한 세대 소비전력이나 GSHP 소비전력과는 달리 편차가 아주 작음을 알 수 있다.

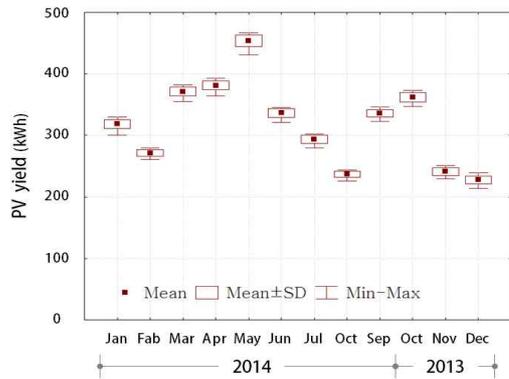


Fig. 7 Monthly power generation by PV system in houses

3.6 주택 에너지 부하 및 밸런스

주택의 용도별 에너지사용량 분석을 위해 3개의 주택(A타입 2세대, B타입 1세대)을 별도로 정밀측정 및 분석하였다.

(1) 난방사용량

각 세대별로 필요한 난방에너지는 각 주택별로 설치된 GSHP에 의해서 공급되었다. GSHP에 의해서 생산된 열에너지는 버퍼탱크, 배관 등에서 일부 손실되고 나머지는 실내로 공급된다. 별도의 사전 실험을 통해서 손실되는 율은 물론 주변(기계실 온도)에 따라서 약간의 차이가 있지만 대체적으로 20% 정도가 된다. 이러한 방법으로 3개의 정밀측정세대 대해서 계산된 연간 난방에너지 사용량은 표 3과 같다. A호는 4,803 kWh, B호는 4,311 kWh, C호는 6,846 kWh로 평균 5,320 kWh로 분석되었다. 사용량을 건물에너지 원단위로 보면 53.2 kWh/m²·yr로 패시브 주택에 비해 높게 나타났다

다. 모니터링 기간 중에 여러 차례에 걸쳐서 각각의 주택을 방문한 결과 실내 설정온도가 상당히 높았으며, 창문을 약간 열어놓고 난방을 하고 있는 주택도 있는 것으로 조사되었다. 이것은 이러한 고기밀·고단열 주택의 단점 중에 하나인 실내 바닥온도가 낮아서 느끼는 거주자의 불쾌감 때문인 것으로 바닥온도를 높이기 위한 것이다.

(2) 급탕사용량

급탕은 주로 태양열에 의해서 공급되었으며, 부족할 경우 GSHP 의해서 공급되었다. 정밀 측정세대별로 연간 급탕공급량은 표 3에 있는 바와 같다. 태양열에서 공급한 급탕열량은 A호는 2,638 kWh, B호는 2,609 kWh, C호는 2,642 kWh를 사용하는 것으로 분석되었다. 한편 GSHP에 의해서 공급된 그탕량은 A호는 423 kWh, B호는 674 kWh, C호는 484 kWh로 나타났다. 따라서 총 급탕사용량은 각각 3,061 kWh, 3,283 kWh, 3,126 kWh로, 평균 3,157 kWh로 나타났다.

(3) 냉방사용량

GSHP에 의해서 공급한 냉방은 A호 423 kWh, B호 674 kWh, C호 484 kWh이다.

(4) 총 사용량

전반적으로 각 세대에서 사용한 연간 총 에너지 사용량(취사 제외)은 평균 12,834 kWh이며, 에너지 원단위로는 128.3kWh/m²·yr로 기존문헌의⁽³⁾ 서울시 단독주택의 원단위 309.5 kWh/m²·a(취사포함, 가스 226.4, 전력 83.1)와 비교하면 약 60% 정도에 지나지 않는 것으로 나타났다. 용도별 비율은 난방 41%, 주택전력 31%, 급탕 25%, 냉방은 3%이다. 전력, 난방, 냉방은 세대별로 비교적 큰 차이를 보이는 반면

Table 3. Yearly energy load per house and power generation by PV

(unit : kWh/a)

House	Electricity load (1)	Heating load (2)	Water heating load (3)		Cooling load (4)	Total Energy load (5)	Power generation by PV (6)	Energy supply from outside (7) = (1)-(6)
			by Solar Thermal	by GSHP				
A house	3,841	4,803	2,638	423	633	12,338	3,886	-45
			3,061					
B house	5,350	4,311	2,609	674	183	13,127	3,913	1,437
			3,283					
C house	2,919	6,846	2,642	484	145	13,036	3,901	-982
			3,126					
Average	4,037	5,320	2,630	527	320	12,834	3,900	137
			3,157					

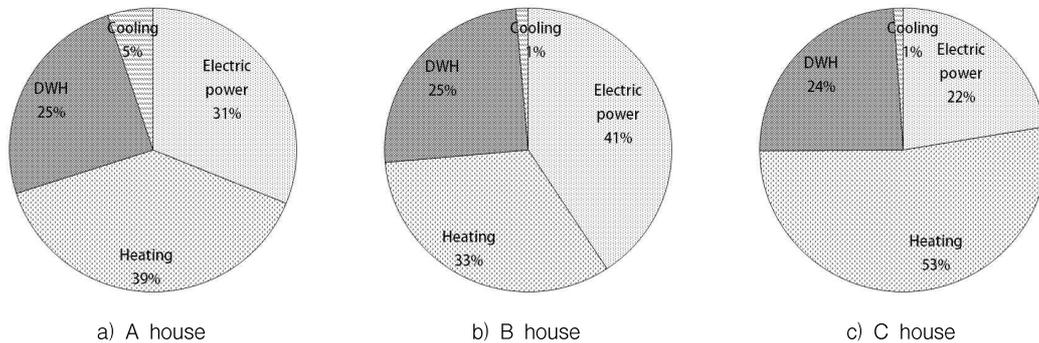


Fig 8. Comparison of energy load ratio(%)

급탕부하는 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 한편 급탕사용량 중 태양열이 차지하는 비중은 대략 80 ~ 86%가 되는 것으로 나타났다.

(5) 태양광 발전량 및 에너지 밸런스

주택의 태양광 시스템에서 생산된 전기량은 표 3에 있는 바와 같이 년 3,900kWh 정도이다. 주택의 냉난방 및 급탕은 태양열/지열 융복합 시스템으로부터 100% 공급된다. 따라서 외부로부터 공급되는 주택에서 사용되는 전기 에너지에 PV에서 생산된 양을 뺀 것[표 3의 (7)]항이다. A주택과 C주택은 오히려 사용한 양보다 생산된 양이 더 많은 Plus 에너지 주택이라고 볼 수 있으며, 실증주택 3세대는 외부

로부터 연간 평균 137kWh 정도만 공급받으면 에너지 문제가 해결된다고 할 수 있다. 단, 그림 6에 있는 GSHP구동에너지는 별도로 일반 전기를 사용하기 때문에 여기에 포함되지 않았다.

4. 결 론

실제 거주하고 있는 제로에너지 실증 단지 29세대에 대한 모니터링 결과를 통해 패시브 및 액티브 기술이 적용된 액티브 솔라하우스에 대한 에너지 분석을 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 대체적으로 거주자들이 에너지를 절약하

- 려는 기본적인 마인드가 부족했던 것으로 사료되며,
- (2) 특히 고단열·고기밀화 된 주택의 단점인 동절기 낮은 바닥온도는, 따듯한 바닥온도를 원하는 거주자들의 경우 실내 설정온도를 높게 하여(경우에 따라서는 창문을 열어놓고 난방) 이로 인한 난방에너지 소비가 크게 증가되는 것으로 사료된다.
 - (3) 취사를 제외한 세대별 총 에너지사용량은 12,834 kWh/a 이고, 난방에너지 원단위는 53.2 kWh/m²·a로 패시브 주택에 비해 비교적 높게 나타났다. 이 원인 중에 하나가 (2)항에서 전술한 바와 같은 것으로 사료된다.
 - (4) 주택의 잔유부하 대부분은 신재생에너지만으로 공급하였고, GSHP에 소비되는 전력량은 저렴한 일반전기에 의해서 공급되었다.

결론적으로 본 실증주택은 GSHP 들어가는 전기에너지만으로 운영이 가능한 제로에너지주택임이 실증결과 입증되었으며, 입주자들의 에너지 절약 의지만 있었다면 히트펌프에 들어가는 전기에너지도 크게 줄일 수 있었을 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 에너지기술평가원의 연구비 지원으로 수행되었음(과제번호 : 20143030080950)

Reference

1. 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 II, Architectural Institute of Korea, Vol. 27, No. 12, pp.307-314, 2011.
 2. Ministry of Trade, Industry and Energy, 2013, Energy Law, Conversion standard of energy calories(Paragraph 1 of Article 5)
 3. Kim, M. K., Shin, D. H., Revitalization Solutions of Heat Energy Efficiency on Seoul's Detached Housing, The Seoul Institute, 2012. pp. 17, Table <2-6>
1. 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