

실측데이터를 이용한 저에너지주택의 에너지성능평가

Energy Performance Evaluation of Low Energy Houses using Metering Data

백남춘(Namchoon Baek)¹, 김성범(Sungbum Kim)², 오병철(Byungchil Oh)³,
윤종호(Jongho Yoon)⁴, 신우철(Ucheul Shin)^{5*}

¹한국에너지기술연구원 태양열연구실, ²대전대학교 건축공학과 대학원, ³신한대학교 공간디자인전공,
⁴한밭대학교 건축공학과, ⁵대전대학교 건축공학과

¹Solar Thermal Laboratory, Korea Institute of Energy Research, Daejeon, 305-343, Korea

²Department of Architectural Engineering, Graduate School Daejeon University, Daejeon, 300-716, Korea

³School of Design, Space Design Major, Shinhan University, Uijeongbu, 480-701, Korea

⁴Department of Architectural Engineering, Hanbat University, Daejeon, 305-719, Korea

⁵Department of Architectural Engineering, Daejeon University, Daejeon, 300-716, Korea

(Received May 8, 2015; revision received June 3, 2015; Accepted: June 5, 2015)

Abstract This study analyzed analyzes the energy performance of six houses in Daejeon completed which were built in 2011. Observed The observed houses, which were all designed and constructed inof the same size and structure, are were highly insulated with triple Low-E coating windows; the insulation level of the walls is was 0.13 W/m²K and that of the roof is was 0.10 W/m²K. As electric houses, all of the energy supplied to the houses, including for cooking, is was supplied by electricity. A and 3~4 kWp of photovoltaic system and a 3~5 kW of ground source heat pump (GSHP) were installed in each house tofor providing provide space heating/and cooling and hot water are installed. We constructed a Web-based remote monitoring system in order to understand energy consumption and the dynamic behavior of the energy system. T, and the results of our metering data analysis of 2013 are as follows. First, the annual residential energy consumption is was 4,400 kWh ($\sigma = 1,209$) and GSHP energy consumption is was 5,182 kWh ($\sigma = 1,164$). Second, residential energy consumption ranked highest in average energy usage, with at 45% of the total, followed by heating with at 30%, hot water supply with at 17% and cooling with at 6%. Third, the average energy independence rate is was 51.8%, the GFA (Gross gross floor area) criteria average energy consumption unit is was 48.7 kWh/m²yr ($\sigma = 10.1$), and the net energy consumption unit (except the energy yield of the PV systems) is was 24.7 kWh/m²yr ($\sigma = 8.8$).

Key words Low energy house(저에너지주택), Photovoltaic system(태양광발전 시스템), Solar hot water system(태양 열급탕시스템), Web-based remote monitoring system(웹기반 원격모니터링 시스템)

† Corresponding author, E-mail: shinuc@dju.ac.kr

기호설명

σ : 표준편차

1. 서 론

정부에서는 2025년 에너지 절감률 100%의 제로에너지주택의 구현을 위해 건축물의 에너지절약 설계기준을 강화하고 친환경 주택의 건설기준 및 성능 등을 개정하는 등 저에너지주택의 보급을 위해 노력하고 있다. 또한 한국패시브건축협회나 한국제로에너지건축협회와 같은 전문민간 단체에서도 제로에너지주택 및 저에너

지주택의 보급을 위해 기술자료 및 데이터를 제공하고 있다.

국내 제로에너지하우스 및 저에너지주택에 관한 연구동향을 살펴보면 Jeong et al.⁽¹⁾은 제로에너지 솔라하우스(ZeSH-II)를 실험용 주택으로 시공하여 에너지사용 실태 및 에너지 자립률을 분석하였으며 Lee et al.⁽²⁾은 에너지제로 성능을 목적으로 하는 에너지제로하우스 모델을 비교 분석하여 에너지절감을 이룰 수 있는 표준 패시브하우스 모델을 제안하였다. Jeong et al.⁽³⁾은 제로카본 그린홈의 실내 열환경과 건물 전체에서 소비되고 생산되는 에너지 사용량을 평가하였다. 그러

나 이들 연구에서는 에너지 사용 실태에 대한 데이터가 미흡하거나 분석기간·거주자가 없는 특정한 조건하에 분석하였기 때문에 현재 보급되고 있는 실증 저에너지 주택에 대한 자료로 사용되기에는 부족한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 실증 저에너지주택 단지에 대한 에너지 사용량과 에너지 사용비율, 원단위, 자립률 등을 분석하여 저에너지주택의 현 수준을 분석하고 차후 제로 에너지주택 연구에 대한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 실증주택

2.1 건축개요

Fig. 1은 대전광역시 유성구에 위치한 본 실증주택의 전경을 나타낸 것이다. 총 6가구로 구성되어 있으며 2011년 7월 준공되었다.

Table 1은 실증주택의 건축개요를 나타낸 것이다. 동일한 건축면적과 구조를 갖는 목조주택들로서, 지상 1층에서 3층까지의 스킵플로어 형태로 설계되었다.

2.2 적용기술

2.2.1 건축구조 및 단열

실증주택의 외벽은 외단열로 시공하였다. EPS 단열재 120 mm를 실외에 시공하고 실내로 2"×6" 구조목에 150 mm 글라스울을 사용하여 단열 후 석고보드로 마감 하였다. 지붕에는 2"×10" 구조목에 EPS 단열재 300 mm를 시공 후 0.4 mm 알루미늄 열반사 단열재로 마



Fig. 1 View of housing complex.

Table 1 Houses overview

House	A	B	C	D	E	F
Floor area(m ²)	87	87	87	87	87	87
Gloss floor area(m ²)	209	203	194	194	184	194
Number of floors	3 floor					

감하였다. 바닥은 2"×10" 구조목에 EPS 단열재 250 mm와 12T OSB 및 EPS 단열재 50 mm 추가하여 사용 후 그 위에 바닥난방 시스템을 시공하였다. 창은 42 mm 3중 유리 제품을 사용하여 시공하였다. Table 2는 실증주택의 부위별 단열수준을 나타낸 것이다.

2.2.2 신재생에너지 시스템

Table 3은 실증주택의 신재생에너지 시스템 설치용량을 나타낸 것이다. 정남향 30도 경사각의 지붕면에 설치된 계통연계형 태양광발전 시스템의 모듈용량은 A와 D 주택이 4 kWp이며 나머지 4개의 주택은 3 kWp이다. 4 m² 면적의 단일진공관 집열기로 구성된 태양열 급탕 시스템은 C 주택에 설치되어있다. 탱크직접 가열방식⁽⁵⁾으로 태양열 열교환기는 급탕탱크 하단부에, 지열히트펌프용 열교환기는 급탕탱크 상단부에 위치해 있다. 지열히트펌프는 태양열의 백업용으로 작동된다.

Fig. 3은 지열히트펌프 냉난방 및 급탕시스템 계통도이다. 지열히트펌프는 급탕 우선방식으로 운전되며, 150 liter의 버퍼탱크에 저장된 냉온수는 모든 실에 설치된 5대의 천정 카세트형 팬코일유닛(fan coil unit)과 바닥 난방배관에 각각 공급된다. 이때 팬코일유닛에 의한 냉방은 각 실 ON/OFF 운전 및 온도제어가 가능하며 바닥난방에 의한 난방은 주택별로 설치한 실내온도조절기에 의해 중앙제어만 가능하다.

2.2.3 배열회수 강제환기시스템

Fig. 4는 실증주택의 배열회수 강제환기시스템의 계통도이다. 각 주택에는 2대의 전열교환형 환기장치가

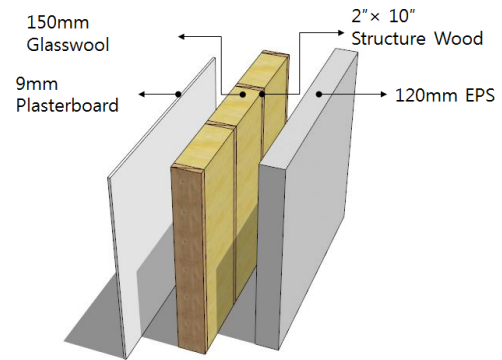


Fig. 2 Exterior wall structure.

Table 2 Thermal insulation level

roof	0.10 W/m ² K
wall	0.13 W/m ² K
floor	0.10 W/m ² K
window	0.97 W/m ² K

Table 3 Installed capacity of renewable energy systems

House	A	B	C	D	E	F
Photovoltaic system(kWp)	4	3	3	4	3	3
GSHP system(kW)	5	5	3	5	5	5
Solar hot water system collector area(m ²)			4			

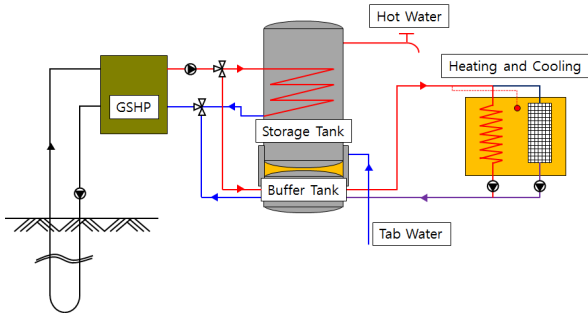


Fig. 3 Schematic of GSHP.

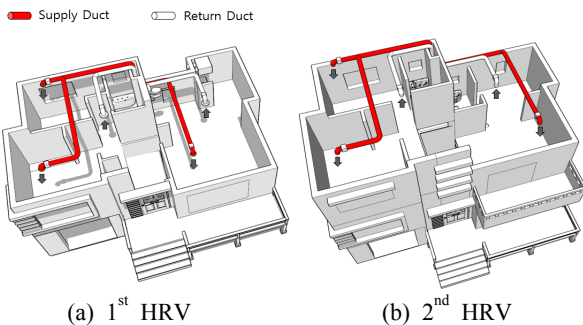


Fig. 4 Schematic of ventilation system with HRV.

설치되었으며 각 환기장치의 급·배기덕트에는 댐퍼(damper)를 설치하여 2개의 존이 개별제어 되도록 설계하였다.

2.2.4 실증주택의 에너지공급

실증주택은 취사 및 난방을 포함한 모든 에너지를 전기로 사용하고 가스 및 유류 등은 전혀 사용하지 않는 전기에너지 주택이다. 이들 주택에 공급되는 전력은 지열히트펌프 시스템에 공급되는 일반용(갑) 저압전력과 주택의 조명 및 플러그, 취사, 환기 등에 사용되는 주택용(저압)전력으로 구분되며 별도의 요금체계가 적용된다. 계통 연계된 태양광발전 전력은 주택의 전기 수요에 우선 대응하며 잉여전력이 발생할 경우 계통전원으로 역 송전된다.

2.2.5 모니터링시스템

에너지 사용량과 시스템 동적거동 등을 파악하기 위

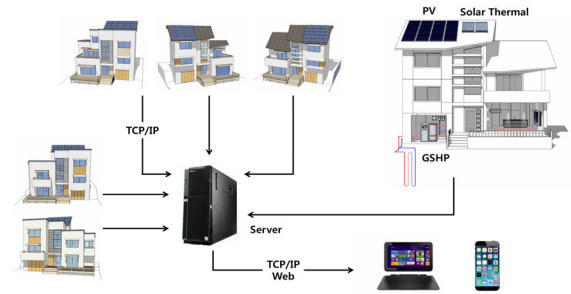


Fig. 5 Diagram of web-based remote monitoring system.

Table 4 Measurement Sensors

Category	Details	Remark
Power	Residential power consumption, photovoltaic system power, ground source heat pump power	All houses
Temperature	Outdoor and indoor temperatures	C house
Others	Short-circuit signal of circulating pump, insulation	C house



Fig. 6 Main screen of web-based remote monitoring system.

해 Fig. 5와 같은 구조의 웹 기반 원격 모니터링시스템을 구축하였다. 측정된 데이터는 TCP/IP 통신에 의해 서버 컴퓨터에 전송되고 데이터베이스에 저장된다.

Table 4는 주택에 설치된 측정센서를 나타낸 것이다. 전력측정은 모든 실증주택에서 이루어지며, 실내온열환경과 열원설비의 동적거동을 분석하기 위한 별도의 센서를 C 주택에 설치하였다. 이들 측정 자료는 1분 간격으로 서버에 저장된다.

Fig. 6은 웹 기반 모니터링 시스템의 주화면을 나타낸다. 금일 및 전일의 주택 소비전력량과 지열히트펌프 소비전력량, 태양광발전전력량이 각 주택별로 표시된다.

3. 에너지사용 실태 및 분석

실증주택의 에너지 성능평가를 위한 데이터 분석은 2013년 2월부터 2014년 1월까지의 1년으로 하였다.

3.1 기상조건

Fig. 7은 분석기간 동안의 월평균 일일 외기온과 수평면 일사량을 나타낸 것이다. 월평균 최저기온은 1월이 -0.1°C 로 가장 낮았으며 8월이 27.8°C 로 가장 높았다. 월평균 일일 일사량은 12월이 $56.2\text{ kWh/m}^2\text{d}$ 로 가장 적었고 5월이 $142.6\text{ kWh/m}^2\text{d}$ 로 가장 많았다.

3.2 에너지사용량 분석

Table 5는 연간 용도별 에너지 사용량을 나타낸 것이다. 실증주택의 연간 평균 주택(소비)전력량은 $4,400\text{ kWh}(\sigma = 1,022)$ 이며, 최대 사용량을 나타내는 D 주택이 C 주택에 비해 2.3배 이상으로서 가구당 편차가 큰 것을 알 수 있다. 또한 지열히트펌프의 작동에서도 가

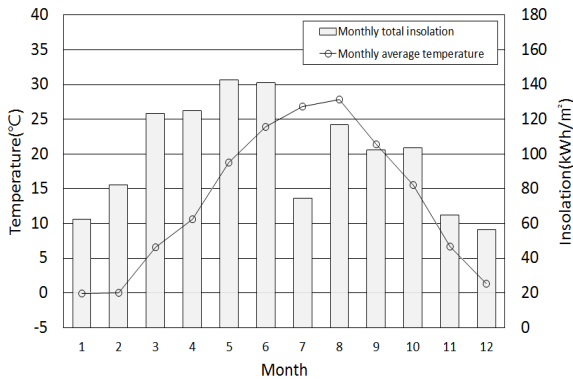


Fig. 7 Monthly outdoor temperature and insolation.

Table 5 Annual energy consumption by usage

		(Unit : kWh)							
House		A	B	C	D	E	F	Mean	σ
Residential power		4,468	4,780	2,839	6,443	4,182	3,690	4,400	1,022
	Heating	3,376	2,774	1,937	2,825	3,787	2,993	2,949	529
	Cooling	544	891	344	826	445	265	553	216
GSHP	Hot water	2,277	2,031	357	1,886	1,681	1,059	1,549	604
	Others	90	198	43	144	145	175	133	48
	Sub-total	6,287	5,894	2,681	5,681	6,058	4,492	5,182	1,164
Total		10,755	10,674	5,520	12,124	10,240	8,182	9,583	1,997

구별로 큰 차이를 보이고 있다. A 주택이 가장 많은 $6,287\text{ kWh}$ 로서 가장 적은 C 주택의 $2,681\text{ kWh}$ 에 비해 2.3배 이상의 사용량을 나타내고 있다. C 주택의 경우 상대적으로 에너지 사용량이 적을 뿐만 아니라 태양열 급탕 시스템의 설치로 인해 지열히트펌프의 (급탕)소비전력이 더욱 작아진 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 C 주택을 제외한 5개 주택의 용도별 평균 에너지 사용분포를 나타낸 것이다. 주택전력이 45%로 가장 높으며, 난방 30%, 급탕 17%, 냉방 6% 순으로 파악되었다. 고 단열주택임에도 불구하고 난방전력의 비중이 냉방전력에 비해 5배 이상 높음을 알 수 있다. 이는 주택의 특성상 냉방이 필요한 여름철 낮 시간대에 집안에 거주자가 없어 냉방운전이 되지 않은 시간이 길었으나, 겨울철 낮시간에는 집안에 거주자가 없을지라도 습관상 거주자가 있을 때와 마찬가지로 난방운전을 하였거나 또는 난방은 개별제어가 불가능하므로 실내 온도를 낮춘 상태로 모든 실에 최소한의 난방운전을 하였기 때문으로 판단된다.

Fig. 9는 C 주택의 용도별 에너지 사용분포를 나타낸 것이다. 태양열급탕 시스템의 설치로 인해 급탕전력의 비중이 다른 주택에 비해 상당히 낮은 분포를 보이고 있다.

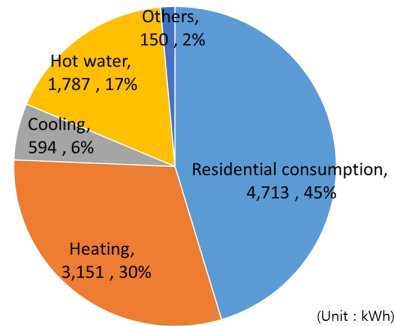


Fig. 8 Average Energy Consumption Distribution by Usage.

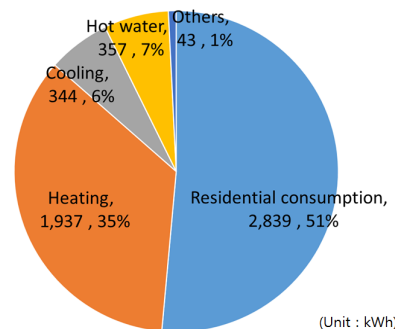


Fig. 9 Energy Consumption Distribution by Usage (C House).

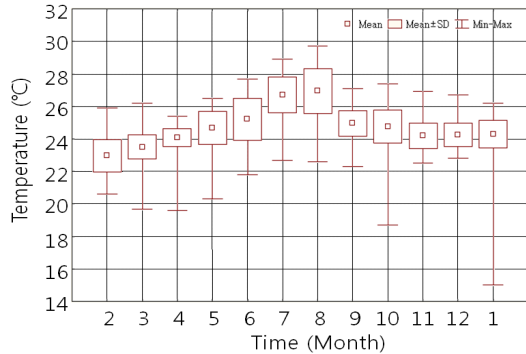


Fig. 10 Room temperature.

3.3 실내 온열환경 평가

Fig. 10은 C 주택의 2층 침실의 연간 실내 온도를 나타낸 것이다. 11월부터 3월까지의 동절기 평균 난방온도는 23~24℃를 보이고 있으며, 6월부터 9월까지의 하절기 평균 냉방온도는 24~27℃로 유지되는 것을 알 수 있다. 다른 주택들의 냉난방 지열히트펌프 전력량이 C 주택에 비해 많은 점을 고려하여 이들 주택의 온열환경이 C 주택보다 높은 수준을 유지할 것으로 추정된다.

4. 에너지성능

4.1 태양광발전량 분석

4 kWp가 설치된 A와 D 주택에서는 5,607 kWh와 5,615 kWh가 각각 발전되었으며, 3 kWp가 설치된 나머지 주택은 4,245~4,316 kWh가 발전되었다. 단위용량(kWp)당 연간 발전량은 1,421 kWh($\sigma = 14.0$)로서 모든 주택이 거의 동일하다. 한편 C 주택의 경우 주택(용)전력과 상계되는 태양광발전량(4,341 kWh)이 주택소비전력(2,839 kWh)에 비해 많은 것을 알 수 있으며, 역송전된 그 차감량(1,502 kWh)은 이월된다.

4.2 에너지자립율

식(1)은 전기에너지로 운영되는 실증주택의 에너지자립율을 정의한 것이다. 여기서 자립율은 연간 에너지사용량을 기반으로 한다.

$$\text{에너지자립율}(\%) = \frac{\text{태양광발전량}(kWh)}{\text{총소비전력}(kWh)} \times 100 \quad (1)$$

Fig. 11은 실증주택의 에너지자립율을 나타낸 것이다. C 주택은 78%로서 가장 높은 자립율을 보이는 것으로 분석되었고 나머지 주택의 평균 자립율은 46.4%($\sigma = 5.1$)로 나타났다.

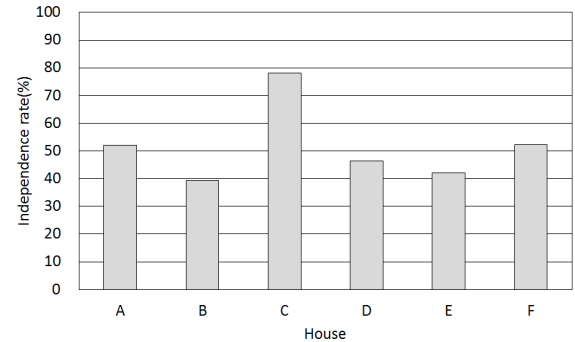


Fig. 11 Energy independence rates of field test houses.

Table 6 Energy consumption unit

(Unit : kWh/m²yr)

House	A	B	C	D	E	F	mean	σ
Residential	21.4	23.5	14.6	33.2	22.6	18.9	22.4	5.2
Heating	16.2	13.7	9.9	14.5	20.5	15.4	15.0	2.9
Cooling	2.6	4.4	1.8	4.3	2.4	1.4	2.8	1.1
Hot water	10.9	10.0	1.8	9.7	9.1	5.4	7.8	3.0
Etc.	0.4	1.0	0.2	0.7	0.8	0.9	0.7	0.3
Total	51.6	52.5	28.3	62.4	55.4	42.0	48.7	10.1
(net)Total	24.7	31.6	6.2	33.5	32.1	20.0	24.7	8.8

4.3 에너지원단위

Table 6은 연면적 기준 실증주택의 에너지원 단위를 2차 에너지로 평가한 것이다. 여기서 (순)합계는 주택소비전력에서 태양광발전에 의한 공급량 만큼을 제외하고 계산한 것이다. 평균 원단위는 48.7 kWh/m²yr($\sigma = 10.1$)이며, 주택별로 다양한 분포를 보이고 있다. C 주택의 원단위는 28.3 kWh/m²·yr로서 가장 높은 D 주택의 62.4 kWh/m²·yr과 비교할 때 45% 정도 수준에 머무르고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 저에너지주택의 에너지성능을 평가하기 위해 대전지역 6가구의 실증주택을 대상으로 에너지사용량을 조사하고 자립율을 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 실증주택의 연간 평균 주택(소비)전력량과 지열히트펌프 전력량은 각각 4,400 kWh와 5,182 kWh로 나타났다.
- (2) 용도별 평균 에너지 사용은 주택전력이 45%로 가장 높으며, 난방 30%, 급탕 17%, 냉방 6% 순으로 파

악되었다. 고 단열주택임에도 불구하고 난방전력의 비중이 냉방전력에 비해 5배 이상 높은 것으로 나타났다.

- (3) 실증주택의 평균 에너지 자립율은 51.8%로서, 연면적 기준의 평균 에너지원단위는 48.7 kWh/m²yr, 태양 광발전량을 제외한 (순)에너지원 단위는 24.7 kWh/m²yr로 나타났다.

이 연구에서 나타난 바와 같이 같은 지역, 같은 규모, 같은 용도의 건물이라 할지라도 거주자의 수, 에너지 절약에 대한 거주자의 인식 및 에너지 사용습관 등에 따라 에너지 사용량에 큰 차이를 보이고 있다. 따라서 향후 에너지제로 건물을 정의하고 구현하는 과정에서 이와 같은 점이 반영되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원(KIER)의 주요사업(GP2015-0008)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

References

1. Jeong, S. Y., Baek, N. C., Yoon, J. H., Shin, U. C., Kim, Y. K., and Kang, S. H., 2011, 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.
2. Lee, C. K., Lee, J. C., Kim, S. S., and Suh, S. J., 2012, Suggestion of the Characteristics of Element Technology and the Standard Model through the Comparison of Domestic Zero-energy Houses, Korea Society of Geothermal Energy Engineers, Vol. 8, No. 2, pp. 27-35.
3. Jeong, J. W., Cho, D. W., and Yu, J. Y., 2015, Analysis of the Indoor Thermal Environment and Heating Energy Consumption of Zero Carbon Green Home, Architectural Institute of Korea, Vol. 31, No. 1, pp. 151-158.