



제로에너지 주택용 요소기술 조합에 따른 에너지절감에 관한 연구

Energy Saving by Combination of Element Technologies of Zero-Energy House

신현철* · 장건익**

Shin, Hyun-Cheol* · Jang, Gun-Eik**

* Energy Environment Technology Center, Korea Conformity Laboratories, South Korea (theshc@kcl.re.kr)

** Corresponding author, Department of Advanced Materials Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk, Korea (gejang@chungbuk.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: In 2008, As the green growth policy was presented, Green Building is made any effort to propagation. In this paper, the respective technologies that are able to considerably reduce the energy demands for heating, cooling, hot-water, lighting and ventilation among the variety of technologies were selected. **Method:** Design factors such as ① External insulation, ② Triple glazing window, ③ LED lighting, ④ External venetian blind, ⑤ Geothermal and ⑥ Heat recovery ventilator were derived. In addition, energy saving effects in terms of energy demand, energy consumption and energy cost were investigated using EnergyPlus, building energy analysis tool. **Result :** The results were as follows. (1) It can be seen that high insulated triple glazing window, heat recovery ventilator and external insulation technology is excellent for energy demand. (2) Unlike energy demand, saving effect of energy consumption and energy cost was shown in order of Geothermal > Triple Window > Heat recovery Ventilation> Insulation> LED Lighting > EVB Blind.

KEYWORD

제로에너지
패시브주택
그린홈
요소기술

Zero Energy
Passive House
Green Home
Element Technology

ACCEPTANCE INFO

Received May 21, 2015
Final revision received August 3, 2015
Accepted August 5, 2015

© 2015 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 기후변화에 대응해 에너지 소비를 줄이기 위한 다양한 노력이 시도되고 있지만 그 효과는 아직 미흡하며, 온실가스 감축 및 저탄소 녹색성장 구현을 위하여 건축물 분야의 역할이 매우 중요하다. 국내의 경우 건축물 부문의 에너지소비량은 국가 전체 에너지소비량의 약 25%를 차지하고 있으며, 그중 가정에서 소비되는 에너지가 53%를 차지하고 있다.

국내의 경우 2008년 녹색성장정책이 제시·추진되면서 법과 제도를 정비하는 등 친환경 건축물 보급에 많은 노력을 기울이고 있다. 또한, 국내 건물 에너지 절감을 위한 정책은 2017년까지 주거용 건축물의 경우 60%, 일반건축물의 경우 30%의 에너지 감축을 목표로 하고 있으며, 2025년 건축물 제로에너지 의무화를 목표로 정책이 추진되고 있다.¹⁾

이에 본 연구에서는 제로에너지 주택을 구현하기 위한 핵심 요소기술 7가지를 선정하고, 에너지 절감요소, 신재생에너지 냉난방 및 발전기술의 조합에 따른 에너지 요구량, 소비량 및 에너지 비용을 정량적으로 분석함으로써, 건축물의 초기 계획단계에서 활용을 목적으로 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 단독 주택의 에너지 절감을 위한 다양한 기술들 가운데 2000년 중반부터 지어진 대표적인 ‘그린홈(Green Home)’을 대상으로 표 1 과 같이 건축적, 설비적, 신재생에너지 요소기술로 분류하였다. 이를 바탕으로 공통적으로 적용되고 냉난방, 급탕, 조명 및 환기 에너지요구량을 크게 절감할 수 있는 민감도가 큰 적용 기술들을 분석하여 설계 변수들을 도출하였다.

도출된 설계 변수들로 적용 가능한 조합들을 선정하고, 기존의 건물 에너지 절약 설계기준에 입각한 주택과 각 기술들이 복합적으로 적용될 Case의 항별, 요소기술 적용별, 태양광 발전으로 구분하여 에너지 요구량, 소비량 및 에너지 비용을 정량적으로 분석함으로써, 에너지 절감 효과를 정량적으로 산정하였다.

따라서 본 연구는 분석 모델 선정에서부터 공통 요소기술 도출 및 평가 전반에 걸쳐 기준 모델에 대한 절감 효과에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다.

본 연구는 시뮬레이션을 통한 분석 연구로 미국 DOE-2와 BLAST의 장점을 통합하여 개발한 EnergyPlus 엔진을 기반으로 하는 DesignBuilder v.3.0을 이용하여 수행되었다. DesignBuilder는 EnergyPlus의 대표적인 3rd Party 인터페이스 프로그램이다.

Table 1. Analysis of Domestic and Abroad Zero Energy Housing Element Technologies

		Domestic					Abroad			
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
Passive Design	High Heat Insulation	●	●		●	●	●	●	●	
	Triple Window	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Double Skin Facade	●								
	Natural Ventilation			●						
	Roof Planting							●		●
Active Design	Heat Recovery Ventilation	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Under Floor Air Conditioning	●								
	Radiant Heating & Cooling	●				●				
	LED	●		●	●					
New-Renewable Energy	Photovoltaic	●		●	●	●	●	●	●	●
	Geothermal	●	●	●	●		●		●	
	Wind Power	●	●							●
	Water Heating	●	●		●	●	●		●	
	Fuel Cell			●	●					
	Rainwater		●			●				

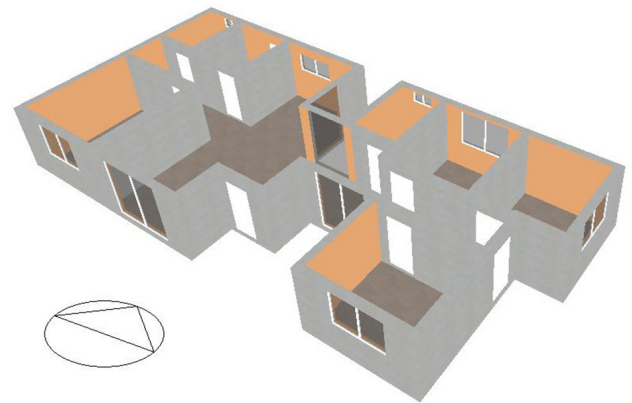
① Green Tomorrow, ② Eco-3L House, ③ GreenHome Zero House, ④ ZeSH II ⑤ Greenhome^{Plus}
 ⑥ Passive House (Germany) ⑦ Zero-Energy House (United Kingdom) ⑧ Zero House (USA) ⑨ Carbon Zero House (Japan)

2. 선행연구 고찰

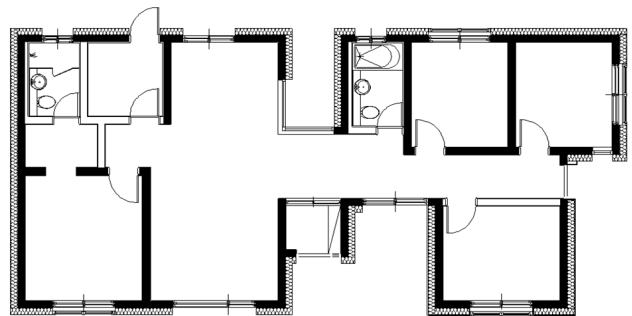
2.1. 선행연구 고찰

이와 관련하여 많은 연구들이 수행되고 있다. 송승영 (2012년) 등은 공동주택을 대상으로 요소기술을 도출하고, 에너지효율 분석 및 비용효율을 분석하였다. 이명주 (2011년) 등은 에너지 시뮬레이션을 통해 국내 단독주택, 건축물에너지절약설계기준, 패시브하우스 기준을 상호 비교하면서 건축물 에너지 절감 요소기술 별 에너지 절감량 및 절감률을 도출하였으며, 김빛나 (2010년) 등은 패시브 주택의 절감 목표를 설정하고, 이를 충족하기 위한 최적의 부하저감 요소기술 구성방법에 대한 대안을 도출하였다. 윤종호 (2007년) 등은 고층 아파트를 제로에너지화 하기 위해 적용할 수 있는 핵심기술들을 분류하고 각 기술들에 대한 에너지 절감 효과를 정량적으로 분석하였다. 기존연구의 분석결과, 주로 에너지소비량을 중심으로 분석이 이루어 졌으며, 패시브주택 설계에 요소기술에 따른 민감도 및 건물자체의 재실자 쾌적능력, 설비 용량을 산정할 수 있는 근거 자료로 활용될 수 있는 에너지요구량 분석은 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 제로에너지 주택을 구현하기 위한 핵심 에너지요구량 요소기술 7가지를 선정하고, 에너지 절감요소, 신재생에너지 냉난방 및 발전기술의 조합에 따른 에너지 요구량, 소비량 및 에너지 비용을 정량적으로 분석하였다.



a) Simulation Modeling



b) Floor Plan

Fig 1. Modeling of Target House

3. 시뮬레이션 구성

3.1. 시뮬레이션 모델 선정

시뮬레이션 모델은 ‘강원도 보급형 저탄소 주택모형 개발’ 이라는 보급형 주택 설계 및 설계도서 개발 연구를 통하여 우리나라 기후에 적합하고 에너지절감에 유리하도록 계획·검증된 주택이다. 바닥면적 101.88 m², 층고 2.4 m로 남북측에 상대적으로 넓은 창을 갖는 특징이 있으며, 대상 시뮬레이션 모델링과 주택의 평면도는 그림 1과 같다.

3.2. 기본안 및 요소기술 입력조건

시뮬레이션 분석에 앞서 기본가정을 살펴보면 다음과 같다.
 ① 대상 주택의 기본안을 구성하기 위하여 사용된 벽체 및 창호 구성은 「‘건축물의 에너지절약설계기준’의 [별표 2] 단열재 두께와 [별표 3] 창 및 문의 단열성능」을 참고하였다. ② 요소기술 중 외단열은 외벽에 250 mm 적용되었으며, 지붕과 바닥은 기본안의 단열재 두께에서 250 mm로 증가시켜 적용하였다. ③ 창호의 경우 기본안은 Low-e 복층유리로 침기횟수는 0.7 회/h로 적용시켰고, 요소기술의 경우 고기밀 3중 Low-e유리로 중간유리를 제외한

최외측과 내측 유리의 내부면에 코팅된 것으로 침기횡수는 0.1 회/h로 향상시켜 적용시켰다. ④ LED 조명은 기본안(형광등) 대비 2.26W/m² (약 33%)의 에너지가 절약된다고 가정하였으며, 외부 전동블라인드(External Venetian Blind : 이하 EVB라 칭함)는 Slate 각도를 90°(수평 방향)로 고정하고 여름철 4개월만 사용되고 나머지 월은 사용되지 않도록 스케줄을 조절하였다. ⑤ 냉난방 및 급탕의 경우 일반 보일러 및 에어컨 대비 난방 COP 4.5(급탕열 공급비율 8%), 냉방 COP 3.5의 Water to Air 타입의 지열히트펌프를 개선안으로 적용시켜 분석하였다. ⑥ 기본안의 강제환기장치는 2013년 개정된 ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’의 0.5 ACH보다 충분한 환기량 확보를 통한 공기질 개선을 위하여 개정 이전 기준인 0.7 ACH로 적용하였으며, 폐열회수 환기 장치는 효율 80%로 적용시켰다. 시뮬레이션을 위해 적용된 요소기술은 다음 표 2와 같다.

Table 2. Input Condition of Simulation Element Technologies

Element Tech.	Object	Basis	Application
Outside Insulation (250 mm)	Outer wall	0.324 W/m ² ·K	0.150 W/m ² ·K
	Roof	0.271 W/m ² ·K	0.150 W/m ² ·K
	Floor	0.263 W/m ² ·K	0.150 W/m ² ·K
Triple Window	Window	2.40 W/m ² ·K Infiltration : 0.7 ACH	1.00 W/m ² ·K Infiltration : 0.1 ACH
LED Lighting	Lighting	6.80 W/m ²	4.54 W/m ²
EVB Blind	Shading	-	May~Aug : ON (Slate angle-90°) other : OFF
Geothermal System	Heating Cooling	Boiler : COP 0.85 (Efficiency : 70%)	Geothermal Heat-pump Heating COP : 4.5
		Air-con : COP 3.5 (Efficiency : 60%)	Cooling COP : 3.5 (Efficiency : 80%)
Heat Recovery Ventilator	Ventilation	Number of ventilation : 0.7 ACH	Efficiency : 80%
Photovoltaic	Renewable	-	by Capacity (1, 2, 3 kWp)
Orientation	Environment	South (Base)	East, West, South, North

시뮬레이션을 위해 공통으로 적용된 입력조건은 표 3과 같으며, 기상데이터는 IWEC에서 제공하는 인천지역 기상데이터 자료를 사용하였다.

Table 3. Input Condition of Common Application

Subsection	Input Condition		
Set-point	Heating : 22 °C / Cooling : 25 °C		
People	Bedroom		Living room / Toilet
	0.022 people/m ²		0.0188 people/m ²
Apparatus	Bedroom	Living room	Toilet
	3.58 W/m ²	3.90 W/m ²	1.67 W/m ²
	Hot-water : 0.53 l/m ² ·day		
Target illumination	100~200 lux		
Weather Data	KOR_INCHON_IWEC		

3.3. 시뮬레이션 케이스 구성

Table 4. Simulation Case & Application Element Tech.

CASE	Outside Insulation (250mm)	Triple Window	LED Lighting	EVB Electric Blind	Geothermal System	Heat Recovery Ventilator
South	x	x	x	x	x	x
East	x	x	x	x	x	x
North	x	x	x	x	x	x
West	x	x	x	x	x	x
1 kinds	C-01	○	x	x	x	x
	C-02	x	○	x	x	x
	C-03	x	x	○	x	x
	C-04	x	x	x	○	x
	C-05	x	x	x	x	○
	C-06	x	x	x	x	x
2 kinds	C-07	○	○	x	x	x
	C-08	○	x	○	x	x
	C-09	○	x	x	○	x
	C-10	○	x	x	x	○
	C-11	○	x	x	x	x
	C-12	x	○	○	x	x
	C-13	x	○	x	○	x
	C-14	x	○	x	x	○
	C-15	x	○	x	x	x
	C-16	x	x	○	○	x
	C-17	x	x	○	x	○
	C-18	x	x	○	x	x
	C-19	x	x	x	○	○
	C-20	x	x	x	○	x
	C-21	x	x	x	x	○
3 kinds	C-22	○	○	○	x	x
	C-23	○	○	x	○	x
	C-24	○	○	x	x	○
	C-25	○	○	x	x	x
	C-26	○	x	○	○	x
	C-27	○	x	○	x	○
	C-28	○	x	○	x	x
	C-29	○	x	x	○	○
	C-30	○	x	x	○	x
	C-31	○	x	x	x	○
	C-32	x	○	○	○	x
	C-33	x	○	○	x	○
	C-34	x	○	○	x	x
	C-35	x	○	x	○	○
	C-36	x	○	x	○	x
	C-37	x	○	x	x	○
	C-38	x	x	○	○	x
	C-39	x	x	○	○	x
	C-40	x	x	○	x	○
	C-41	x	x	x	○	○
4 kinds	C-42	○	○	○	x	x
	C-43	○	○	○	x	x
	C-44	○	○	○	x	x
	C-45	○	○	x	○	x
	C-46	○	○	x	○	x
	C-47	○	○	x	x	○
	C-48	○	x	○	○	x
	C-49	○	x	○	○	x
	C-50	○	x	○	x	○
	C-51	○	x	x	○	○
5 kinds	C-52	x	○	○	○	x
	C-53	x	○	○	○	x
	C-54	x	○	○	x	○
	C-55	x	○	x	○	○
	C-56	x	x	○	○	○
	C-57	○	○	○	○	x
C-58	○	○	○	○	x	
C-59	○	○	○	x	○	
C-60	○	○	x	○	○	
C-61	○	x	○	○	○	
C-62	x	○	○	○	○	
6 kinds	C-63	○	○	○	○	○
Photovoltaic	1, 2, 3 kWp					

시뮬레이션은 표 4와 같으며, 먼저 향별 분석은 기본안(남향)을 포함하여 4가지 케이스로 구성하였고, 적용 요소 기술 조합에 따른 2차에너지 요구량 비교가 가능하며, 지열시스템은 냉난방 설비 시스템의 변화로 2차에너지 소비량으로 판단하여야한다. 또한 태양광 발전은 각 용량과 설치경사각도를 조합하여 발전량을 산출하였다.

4. 시뮬레이션 분석 결과

4.1. 에너지 환산계수

건물에너지 분석의 범위는 내부기기를 제외한 난방, 냉방, 조명, 환기, 급탕에너지의 2차 에너지요구량 및 소비량으로 한정하였다. 2차 에너지소비량은 2차 에너지요구량과 표 5, 6의 각 에너지에 따른 환산 계수(설비의 성능과 운전효율을 적용)로 나누어 산출하였으며, 1차 에너지소비량은 2차 에너지소비량에 표 7의 1차 에너지환산계수를 곱하여 산출하였다. 또한 가스 및 전기 요금은 2차 에너지소비량에 표 8의 평균단가를 곱하여 산출하였다.

Table 5. Conversion Factor of Secondary Energy Consumption (excluded Geothermal)

Energy	Heating	Cooling	Lighting	Ventilation	Hot-water
Conversion Factor	0.6	2.1	1	1	0.6
Energy Source	Gas	Electricity	Electricity	Electricity	Gas

(Heating/Hot-water - Efficiency 70% of COP 0.85, Cooling - Efficiency 60% of COP 3.5)

Table 6. Conversion Factor of Secondary Energy Consumption (included Geothermal)

Energy	Heating	Cooling	Lighting	Ventilation	Hot-water
Conversion Factor	3.6	2.8	1	1	3.6
Energy Source	Geothermal	Geothermal	Electricity	Electricity	Geothermal

Geothermal Heating/Hot-water - Efficiency 80% of COP 4.5, Geothermal Cooling - Efficiency 80% of COP 3.5)

Table 7. Conversion Factor of Primary Energy

Division	Fuel	Electricity	District Heating	District Cooling
Primary Energy Conversion Factor	1.1	2.75	0.614	0.937

Table 8. Unit Price of Gas & Electricity

Energy Source	Unit Price (won/kWh)	Calculate Standard
Gas	72.61	City Gas Calorific - 10,400 kcal/m' Seoul City Gas Co. - 874.15 won/m' (2012)
Electricity	103.38	Sales Cost of Residential Electricity (2010)

4.2. 기본안의 향별 에너지 분석

먼저 기본안에 대한 방위에 따른 건물에너지의 영향도를 분석하였으며, 그 결과는 표 9와 같다.

표 9에서 알 수 있듯이 종합적인 향별 에너지요구량은 일사에 따른 건물의 평면과 창호의 분포 특성에 의하여 남향>북향>서

향>동향의 순서로 에너지 성능이 우수한 것으로 나타났다. 난방 에너지요구량은 남향이 12,567 kWh로 가장 낮은 분포를 나타내고 있으며, 서향이 12,976 kWh로 다음으로 낮게 나타나고 있다. 그러나 서향은 냉방에너지 요구량이 가장 높게 나타나는 특징이 있으며, 북향은 난방은 높으나 냉방은 낮은 특징이 있으며, 이는 분석 대상 모델의 공간배치 특성에 따른 것으로 판단된다.

Table 9. Annual Secondary Energy Demand_Orientation

Orientation	Heating	Cooling	Lighting	Ventil.	Hotwater	Total
	[kWh]					
South	12,567	1,762	899	56	1,001	16,285
East	13,530	1,958	899	56	1,001	17,444
North	13,324	1,733	899	56	1,001	17,014
West	12,976	2,110	899	56	1,001	17,041

표9의 에너지요구량을 2차 에너지 소비량으로 변환해 나타내면 표 10과 같다. 조명과 환기는 전기를 직접 사용하므로 환산계수 및 효율이 적용되지 않지만, 난방 및 급탕의 경우에는 가스를 사용한 보일러 및 에어컨을 이용하고, 냉방의 경우에는 전기를 사용하지만 COP와 운전효율의 영향을 받게 된다. 따라서 2차 에너지 요구량의 분석 결과와는 다소 차이가 나타나게 되며, 남향>서향>북향>동향의 순서로 2차 에너지 소비량이 우수한 것으로 나타난다. 전체적으로 건물이 서향으로 향했을 경우 일사에 따른 영향으로 냉방부하가 가장 높게 나타나지만, 상대적으로 난방부하는 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 주어진 대상 모델에서는 건물이 동향으로 향할 때 가장 높은 에너지 소비량을 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 건물은 가능한 한 남향을 향하도록 배치시키는 것이 에너지적으로 가장 우수함을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

Table 10. Annual Secondary Energy Consumption_Orientation

Orientation	Heating	Cooling	Lighting	Ventil.	Hot-water	Total
	[kWh]					
South	21,120	839	899	56	1,682	24,597
East	22,740	933	899	56	1,682	26,309
North	22,394	825	899	56	1,682	25,856
West	21,808	1,005	899	56	1,682	25,450

Table 11. Annual Energy Cost & Saving Rate_Orientation

Orientation	Gas		Electricity		Total	
	Cost (1,000won)	Saving rate (%)	Cost (1,000won)	Saving rate (%)	Cost (1,000won)	Saving rate (%)
South	1,656	0.0%	185	0.0%	1,841	0.0%
East	1,773	-7.1%	195	-5.2%	1,968	-6.9%
North	1,748	-5.6%	184	0.8%	1,932	-4.9%
West	1,706	-3.1%	202	-9.2%	1,908	-3.6%

표 11은 표 8의 요금을 적용하여 에너지 비용을 산정한 것이다. 에너지원별 가격 차이의 발생으로 2차 에너지 소비량의 비율과 다소 차이는 발생하지만, 전체적인 분포 패턴은 동일하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

4.3. 요소기술 조합에 따른 에너지 요구량

각 요소 기술 조합에 따른 2차 에너지 요구량, 소비량 및 에너지 비용을 살펴보면 다음과 같다.

Table 12. Annual Secondary Energy Demand

Case	Secondary Energy Demand [Unit : kWh]					Total	
	Heating	Cooling	Lighting	Ventil.	Hot-water		
Base	12,567	1,762	899	56	1,001	16,285	
1 kinds	1	10,990	1,811	899	56	1,001	14,757
	2	9,147	1,625	899	56	1,001	12,728
	3	12,720	1,684	600	56	1,001	16,061
	4	12,667	1,385	899	56	1,001	16,008
	5	12,567	1,762	899	56	1,001	16,285
	6	10,121	1,791	899	16	1,001	13,827
2 kinds	7	7,534	1,692	899	56	1,001	11,182
	8	11,143	1,726	600	56	1,001	14,526
	9	11,101	1,362	899	56	1,001	14,418
	10	10,990	1,811	899	56	1,001	14,757
	11	8,529	1,876	899	16	1,001	12,321
	12	9,298	1,543	600	56	1,001	12,498
	13	9,224	1,309	899	56	1,001	12,489
	14	9,147	1,625	899	56	1,001	12,728
	15	6,728	1,625	899	16	1,001	10,268
	16	12,823	1,312	600	56	1,001	15,792
	17	12,720	1,684	600	56	1,001	16,061
	18	10,268	1,711	600	16	1,001	13,596
19	12,667	1,385	899	56	1,001	16,008	
20	10,212	1,394	899	16	1,001	13,522	
21	10,121	1,791	899	16	1,001	13,827	
3 kinds	22	7,682	1,604	600	56	1,001	10,943
	23	7,613	1,307	899	56	1,001	10,876
	24	7,534	1,692	899	56	1,001	11,182
	25	5,035	1,731	899	16	1,001	8,682
	26	11,258	1,284	600	56	1,001	14,199
	27	11,143	1,726	600	56	1,001	14,526
	28	8,675	1,791	600	16	1,001	12,083
	29	11,101	1,362	899	56	1,001	14,418
	30	8,626	1,399	899	16	1,001	11,941
	31	8,529	1,876	899	16	1,001	12,321
	32	9,378	1,229	600	56	1,001	12,264
	33	9,298	1,543	600	56	1,001	12,498
34	6,868	1,545	600	16	1,001	10,030	
35	9,224	1,309	899	56	1,001	12,489	
36	6,789	1,297	899	16	1,001	10,002	
37	6,728	1,625	899	16	1,001	10,268	
38	12,823	1,312	600	56	1,001	15,792	
39	10,364	1,317	600	16	1,001	13,298	
40	10,268	1,711	600	16	1,001	13,596	
41	10,212	1,394	899	16	1,001	13,522	
4 kinds	42	7,766	1,225	600	56	1,001	10,648
	43	7,682	1,604	600	56	1,001	10,943
	44	5,169	1,642	600	16	1,001	8,428
	45	7,613	1,307	899	56	1,001	10,876
	46	5,079	1,334	899	16	1,001	8,329
	47	5,035	1,731	899	16	1,001	8,682
	48	11,258	1,284	600	56	1,001	14,199
	49	8,777	1,317	600	16	1,001	11,711
	50	8,675	1,791	600	16	1,001	12,083
	51	8,626	1,399	899	16	1,001	11,941
	52	9,378	1,229	600	56	1,001	12,264
	53	6,934	1,220	600	16	1,001	9,771
54	6,868	1,545	600	16	1,001	10,030	
55	6,789	1,297	899	16	1,001	10,002	
56	10,364	1,317	600	16	1,001	13,298	
5 kinds	57	7,766	1,225	600	56	1,001	10,648
	58	5,221	1,248	600	16	1,001	8,086
	59	5,169	1,642	600	16	1,001	8,428
	60	5,079	1,334	899	16	1,001	8,329
	61	8,777	1,317	600	16	1,001	11,711
	62	6,934	1,220	600	16	1,001	9,771
6 kinds	63	5,221	1,248	600	16	1,001	8,086

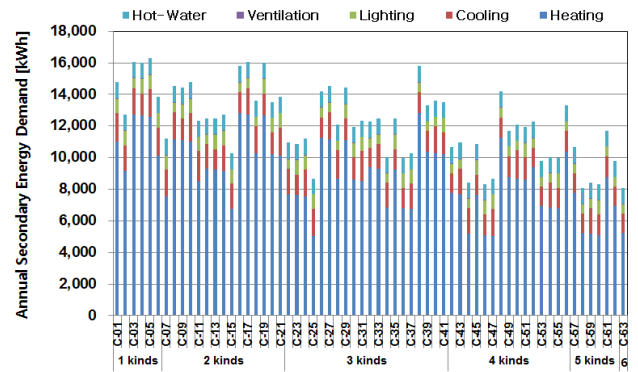


Fig 2. Annual Secondary Energy Demand

표 12와 그림 2는 요소기술 조합별 2차 에너지요구량을 나타낸 것이다. 2차 에너지 요구량 분석을 통하여 설비 용량을 산정할 수 있는 근거 자료로 활용될 수 있고, 각 요소기술들이 건물에너지에 미치는 영향을 파악할 수 있다. 그리고 에너지 요구량이 높다는 것은 설비 시스템이 없을 경우 재실자의 쾌적감이 낮아지게 됨을 의미한다. 단일 요소기술을 적용하였을 경우 2차 에너지 요구량 측면에서 고기밀 3중창호를 적용한 경우 가장 큰 절감율인 21.8%를 나타내고 있다. 이는 단열성과 기밀성능이 동시에 향상되어 난방 및 냉방부하를 동시에 감소시키기 때문이다. 다음으로 폐열회수 환기장치와 외단열을 이용한 슈퍼 단열 기술이 효과가 높은 것으로 분석되었다. LED 조명기구의 경우에는 조명부하를 약 30% 절감시키는 동시에 냉방 부하도 절감시키지만, 내부발열이 줄어 난방부하는 오히려 상승시키는 작용을 하게 되는 것을 알 수 있다. EVB 전동 블라인드의 경우에는 냉방부하 절감효과는 크나 난방부하가 다소 증가 전체적으로는 약 1.7%의 절감효과만을 나타내는 것을 알 수 있다. 지열 시스템의 경우, 별도의 부하저감기술이 적용되지 않았기 때문에 냉난방 에너지 요구량이 기준안과 동일하게 나타났다.

따라서, 패시브 주택을 구현함에 있어 가장 먼저 고려해야 할 대상은 고성능, 고기밀성 창호>고효율 폐열회수 환기장치>외단열 순서인 것으로 분석되었다.

4.4. 요소기술 조합에 따른 에너지 소비량

다음으로 에너지 요구량을 충족시키기 위하여 표 2에서 제시한 냉난방 설비 시스템을 적용한 경우의 에너지 소비량을 분석한 결과는 표 13 및 그림 3과 같다.

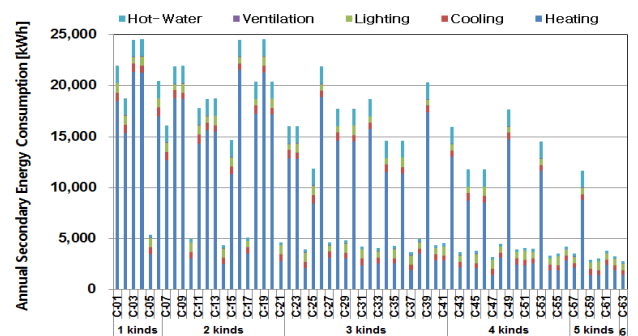


Fig 3. Annual Secondary Energy Consumption

Table 13. Annual Secondary Energy Consumption

Case	Secondary Energy consumption [Unit : kWh]						
	Heating	Cooling	Lighting	Ventil.	Hot-water	Total	
Base	21,120	839	899	56	1,682	24,597	
1 kinds	1	18,471	863	899	56	1,682	21,970
	2	15,374	774	899	56	1,682	18,785
	3	21,378	802	600	56	1,682	24,518
	4	21,289	659	899	56	1,682	24,586
	5	3,491	629	899	56	278	5,353
	6	17,009	853	899	16	1,682	20,459
	7	12,662	806	899	56	1,682	16,104
	8	18,728	822	600	56	1,682	21,888
	9	18,657	648	899	56	1,682	21,942
	10	3,053	647	899	56	278	4,933
2 kinds	11	14,334	893	899	16	1,682	17,825
	12	15,626	735	600	56	1,682	18,699
	13	15,503	623	899	56	1,682	18,763
	14	2,541	580	899	56	278	4,354
	15	11,308	774	899	16	1,682	14,678
	16	21,551	625	600	56	1,682	24,514
	17	3,533	601	600	56	278	5,069
	18	17,258	815	600	16	1,682	20,371
	19	3,519	494	899	56	278	5,246
	20	17,164	664	899	16	1,682	20,424
3 kinds	21	2,811	640	899	16	278	4,644
	22	12,910	764	600	56	1,682	16,013
	23	12,795	623	899	56	1,682	16,055
	24	2,093	604	899	56	278	3,930
	25	8,463	824	899	16	1,682	11,884
	26	18,920	611	600	56	1,682	21,870
	27	3,095	616	600	56	278	4,646
	28	14,579	853	600	16	1,682	17,730
	29	3,084	486	899	56	278	4,803
	30	14,497	666	899	16	1,682	17,760
4 kinds	31	2,369	670	899	16	278	4,232
	32	15,761	585	600	56	1,682	18,685
	33	2,583	551	600	56	278	4,068
	34	11,543	736	600	16	1,682	14,577
	35	2,562	468	899	56	278	4,263
	36	11,410	618	899	16	1,682	14,624
	37	1,869	580	899	16	278	3,642
	38	3,562	469	600	56	278	4,965
	39	17,418	627	600	16	1,682	20,344
	40	2,852	611	600	16	278	4,358
5 kinds	41	2,837	498	899	16	278	4,527
	42	13,053	583	600	56	1,682	15,974
	43	2,134	573	600	56	278	3,641
	44	8,687	782	600	16	1,682	11,767
	45	2,115	467	899	56	278	3,815
	46	8,536	635	899	16	1,682	11,768
	47	1,399	618	899	16	278	3,210
	48	3,127	459	600	56	278	4,520
	49	14,751	627	600	16	1,682	17,677
	50	2,410	640	600	16	278	3,944
6 kinds	51	2,396	500	899	16	278	4,089
	52	2,605	439	600	56	278	3,978
	53	11,654	581	600	16	1,682	14,533
	54	1,908	552	600	16	278	3,354
	55	1,886	463	899	16	278	3,542
	56	2,879	470	600	16	278	4,243
	57	2,157	437	600	56	278	3,529
	58	8,775	594	600	16	1,682	11,667
	59	1,436	587	600	16	278	2,917
	60	1,411	476	899	16	278	3,080
6 kinds	61	2,438	470	600	16	278	3,803
	62	1,926	436	600	16	278	3,256
	63	1,450	446	600	16	278	2,790

에너지 소비량 분석의 경우, 설비성능, 운전효율 및 사용 에너지 지원 등의 이유로 요소기술에 따라 요구량과는 상이한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 단일 요소기술의 적용시 표 12의 에너지 요구량과는 달리 Case-5인 지열 시스템의 절감율이 약 78%로 가장 큰 절감효과를 나타내고 있다. 초기 투자비용에 대한 부담만 없다면 가장 합리적인 시스템인 것으로 분석되었다.

또한 외단열과 3중창이 적용된 Case에서 에너지소비량이 낮게 나타나는 경향을 보였다. 이러한 에너지 소비량은 에너지 비용과

직접적으로 연결이 되는 것이다.

4.5. 요소기술 조합에 따른 에너지 비용

각 요소 기술 조합에 따른 에너지 비용을 살펴보면 다음과 같다. 다음으로 표 8의 평균단가를 이용하여 표 13을 에너지 비용 측면에서 정리한 것이 표 14 및 그림 4와 같다.

Table 14. Annual Energy Consumption Cost

Case	Energy Cost [Unit : 1,000won]						
	Gas		Electricity		Total		
	Cost	Saving Rate	Cost	Saving Rate	Cost	Saving Rate	
Base	1,656	0%	185	0%	1,841	0%	
1 kinds	1	1,463	11.6%	188	-1.3%	1,651	10.3%
	2	1,238	25.2%	179	3.6%	1,417	23.0%
	3	1,674	-1.1%	151	18.7%	1,825	0.9%
	4	1,668	-0.7%	167	10.0%	1,835	0.3%
	5	274	83.5%	164	11.7%	437	76.2%
	6	1,357	18.0%	183	1.5%	1,540	16.4%
2 kinds	7	1,041	37.1%	182	1.9%	1,224	33.5%
	8	1,482	10.5%	153	17.6%	1,635	11.2%
	9	1,477	10.8%	166	10.6%	1,643	10.8%
	10	242	85.4%	166	10.7%	407	77.9%
	11	1,163	29.8%	187	-0.8%	1,350	26.7%
	12	1,257	24.1%	144	22.5%	1,401	23.9%
	13	1,248	24.6%	163	12.0%	1,411	23.4%
	14	205	87.6%	159	14.4%	363	80.3%
	15	943	43.0%	175	5.9%	1,118	39.3%
	16	1,687	-1.9%	132	28.6%	1,819	1.2%
3 kinds	17	277	83.3%	130	29.9%	407	77.9%
	18	1,375	16.9%	148	20.3%	1,523	17.3%
	19	276	83.3%	150	19.2%	426	76.9%
	20	1,368	17.4%	163	12.0%	1,532	16.8%
	21	224	86.5%	161	13.4%	385	79.1%
	22	1,060	36.0%	147	20.8%	1,206	34.5%
	23	1,051	36.5%	163	12.1%	1,214	34.0%
	24	172	89.6%	161	13.1%	333	81.9%
	25	737	55.5%	180	3.1%	916	50.2%
	26	1,496	9.6%	131	29.3%	1,627	11.6%
4 kinds	27	245	85.2%	132	29.1%	377	79.6%
	28	1,181	28.7%	152	18.1%	1,333	27.6%
	29	244	85.3%	149	19.7%	393	78.6%
	30	1,175	29.0%	163	11.9%	1,338	27.3%
	31	192	88.4%	164	11.7%	356	80.7%
	32	1,267	23.5%	128	30.8%	1,395	24.2%
	33	208	87.5%	125	32.7%	333	81.9%
	34	960	42.0%	140	24.7%	1,100	40.3%
	35	206	87.5%	147	20.7%	353	80.8%
	36	951	42.6%	158	14.6%	1,109	39.8%
5 kinds	37	156	90.6%	155	16.7%	310	83.1%
	38	279	83.2%	116	37.3%	395	78.5%
	39	1,387	16.2%	129	30.7%	1,515	17.7%
	40	227	86.3%	127	31.6%	354	80.8%
	41	226	86.3%	146	21.3%	372	79.8%
	42	1,070	35.4%	128	30.9%	1,198	34.9%
	43	175	89.4%	127	31.5%	302	83.6%
	44	753	54.5%	145	22.1%	897	51.3%
	45	174	89.5%	147	20.7%	321	82.6%
	46	742	55.2%	160	13.6%	902	51.0%
6 kinds	47	122	92.6%	158	14.6%	280	84.8%
	48	247	85.1%	115	37.9%	363	80.3%
	49	1,193	27.9%	129	30.7%	1,322	28.2%
	50	195	88.2%	130	30.0%	325	82.3%
	51	194	88.3%	146	21.2%	340	81.5%
	52	209	87.4%	113	39.0%	323	82.5%
	53	968	41.5%	124	33.3%	1,092	40.7%
	54	159	90.4%	121	34.9%	279	84.8%
	55	157	90.5%	142	23.2%	300	83.7%
	56	229	86.2%	112	39.4%	342	81.4%
6 kinds	57	177	89.3%	113	39.0%	290	84.3%
	58	759	54.1%	125	32.5%	884	52.0%
	59	124	92.5%	124	33.0%	249	86.5%
	60	123	92.6%	144	22.5%	266	85.5%
6 kinds	61	197	88.1%	112	39.4%	310	83.2%
	62	160	90.3%	109	41.4%	269	85.4%
	63	125	92.4%	110	40.8%	235	87.2%

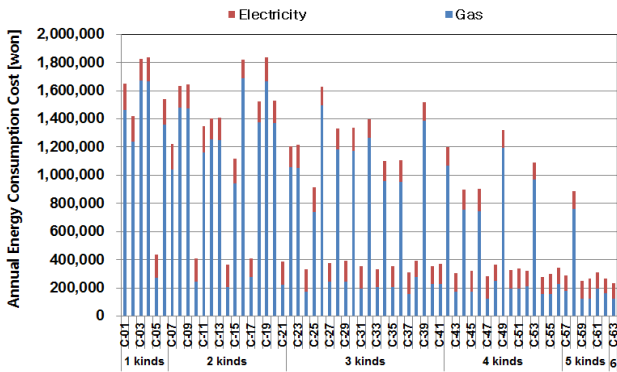


Fig 4. Annual Energy Consumption Cost

에너지 소비비용 측면에서는 2차 에너지 소비량과 유사한 분포를 나타내고 있으며, 운전비용 절감 효과 역시 지열 요소기술을 포함하여 적용하였을 경우 에너지 비용 절감효과가 큰 것으로 나타났으며, 지열 > 3중창 > 폐열회수 환기장치 > 외단열 > LED 조명기구 > 외부 전동차양장치의 순으로 나타났다.

지열을 사용하였을 경우 단위면적당 1차 에너지 소요량이 83.5 kWh/m²로 가장 낮은 것으로 분석 되었으며, 2차 에너지 소비량과 유사한 분포를 나타내고 있다.

요소기술 중 지열을 포함하는 Case에서 에너지 소비량이 낮은 것으로 나타났다. 이는 다른 요소기술에 비하여 지열의 에너지 절감폭이 커 지열을 포함하고 있는 Case에서 2차 에너지 소비량이 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

4.6. 태양광 발전

태양광 발전은 발전 용량은 1kWp 급, 2kWp 급, 3kWp 급으로 하였고, 각각에 대한 경사각도는 0°, 15°, 30°, 45°로 12가지 분석 케이스로 가정하여 발전량을 산출하였으며, 표 15와 같다.

Table 15. Photovoltaic Installation Angle & Power Output according to Generation Capacity

Installation Angle	Generation Capacity	1 kWp	2 kWp	3 kWp
		0°	Generation [kWh] Saving cost [won]	1,095 113,211
15°	Generation [kWh] Saving cost [won]	1,191 123,126	2,382 246,230	3,811 393,981
	30°	Generation [kWh] Saving cost [won]	1,223 126,465	2,447 252,940
45°	Generation [kWh] Saving cost [won]	1,194 123,394	2,388 246,830	3,820 394,891

태양광 발전량은 각 요소 기술별 연간 2차 에너지 소비량에서 차감 될 수 있다. 분석결과 발전용량이 증가할수록 절감비용이 큰 것으로 나타났으며, 여름철 태양고도의 영향으로 설치각도 30°에서 발전용량 및 절감비용이 가장 크며, 각도 증가하면서 다시 줄어드는 것으로 나타났다. 또한 설치각도의 변화에 따라서 최대 약 11.73% 증가하는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구는 국내외 그린홈 사례 분석을 통하여 일반 주택의 에너지 절감을 위한 다양한 기술들 가운데 냉·난방, 급탕, 조명 및 환기 에너지 요구량을 크게 줄일 수 있는 대표적인 기술로 ①외단열, ②3중창, ③LED 조명, ④EVB 블라인드, ⑤폐열회수 환기 장치, ⑥지열 시스템을 선정하고, 그린홈의 요소기술별 에너지 소비량 및 소비비용을 정량적으로 분석하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 주어진 대상 건물의 경우, 방위에 따른 건물에너지의 영향도를 분석한 결과 2차 에너지 요구량은 남향>서향>동향>북향의 순서로 나타났으며, 2차 에너지 소비량은 COP 및 운전효율의 영향에 따라서 남향>서향>북향>동향의 순서로 우수한 것으로 2차 에너지 요구량과는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

(2) 요소기술 조합에 따른 분석 결과, 에너지 요구량 측면에서는 고기밀 3중창호를 적용한 경우 단열성능과 기밀성능의 향상으로 가장 큰 절감율인 21.8%를 나타냈다. 다음으로 폐열회수 환기장치와 외단열 기술이 효과가 높은 것으로 분석되었다. 에너지 소비량을 분석한 결과, 에너지 요구량과는 달리 지열 시스템이 가장 큰 절감효과를 나타내고 있다. 2가지 요소기술을 적용하였을 경우 외단열+3중창을 적용하였을 경우와 3중창+폐열회수 환기시스템을 적용하였을 경우 기준안 대비 절감율이 각각 31.3%, 36.9%로 가장 높게 나타났다.

(3) 에너지 소비비용의 경우, 에너지 소비량과 유사한 분포를 나타냈으며, 운전비용 절감 효과는 에너지 요구량과는 달리 지열>3중창>폐열회수 환기장치>외단열>LED 조명기구>전동 외부차양장치의 순으로 나타났다.

이상의 연구를 통해 주택에 적용될 수 있는 요소기술의 조합에 따른 에너지 소비량 및 에너지비용 분석을 실시하였으며, 정량적인 데이터를 통해 건축물 계획시 활용가능한 자료이다. 요구량 분석을 통해 고성능 창호, 외단열 등과 같은 건축요소들 또한 건축물 에너지 절감량의 큰 효과를 보이는 것을 알 수 있으며, 제로에너지 하우스 보급에 앞서 패시브 주택의 보급을 위해 건축적 요소의 연구와 개발이 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 또한 현재 국내에서는 2025년까지 건축물 제로에너지 의무화를 목표로 정책이 추진되고, 그린홈 및 패시브주택 등 다양한 시범주택들이 건축되고 있지만, 일반적으로 건설되고 있는 주택의 경우 공동주택에 비해 에너지를 다소비하는 것이 현실이다. 따라서 국가적으로 정량적인 에너지 평가와 경제성 분석을 통한 제로에너지 주택보급이 절실히 필요하다.

이에 추후 연구에서는 요소기술의 조합에 따른 에너지비용 분석을 통해 설계단계에서 이용할 수 있도록 각 요소기술의 조합에 따른 LCC 분석을 통하여 최적 조합 방법에 관한 후속 연구가 수행될 예정이다.

Reference

- [1] 김빛나, 윤종호, 신우철, 백남춘. (2010), 패시브주택 에너지 절감목표 수준별 요소기술 통합구성에 관한 연구, 한국태양에너지학회, 30(2), 240-246. // (Kim, Bich-na, Yoon, Jong-Ho, Shin, U-Cheul, Beak Nam-Choon, Optimal Configuration of Energy Conservation Measures for Meeting the Target Energy Saving Ratio of Passive House, Journal of the Korean Solar Energy Society, Korea, Vol.30, No.2, 2010)
- [2] 송승영, 이수진, 허갑수, 진현호. (2012), 제로에너지 공동주택을 위한 주요 설계변수별 비용효율 분석, 대한건축학회논문집, 8(28), 207-216. // (Song, Seung-Yeong, Lee, Soo-Jin, Hur, Kab-Soo, Jin, Hyun-Ho, Cost Efficiency Analysis of Design Elements for a Zero Energy Apartment Building, Journal of Architectural Institute of Korea, Korea, Vol.28, No.8, 2012)
- [3] 윤종호. (2007). 공동주택의 에너지 자립을 위한 핵심요소기술의 에너지 성능평가, 한국태양에너지학회 논문집, 27(3), 161-167. // (Yoon, Jong-Ho, Kim Byoung-Soo, Energy Performance Evaluation of Zero Energy Technologies for Zero Energy Multi-House, Journal of the Korean Solar Energy Society, Korea, Vol.27, No.3, 2017)
- [4] 이명주, 김원석, 이우주, 이원택. (2012), 건축물에너지절약요소기술 적용에 따른 단독주택 에너지 요구량 절감률 변화에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 28(5), 275-282. // (Lee, Myoung-Ju, Kim Won-Seok, Lee, Woo-Joo, Lee, Won-Taek, A Study about Reduction Rates of Building Energy Demand for a Detached House according to Building Energy Efficient Methods, Journal of Architectural Institute of Korea, Korea, Vol.28, No.5, 2012)
- [5] 이종식, 강혜진, 박진철, 이연구. (2009), 공동주택 건축기술 요소의 CO2 배출성능평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 25(9), 275-284. // (Lee, Jong-Sik, Kang, Hea-Jin, Park, Jin-Chul, Rhee, Eon-Ku, A Study on the CO2 Emission Performance Assessment of the Sustainable Building Technologies for Multi-Family Residential Buildings, Journal of Architectural Institute of Korea, Korea, Vol.25, No.9, 2009)