

기축건물의 제로 에너지 하우스 구축을 통한 설계 및 운영 최적 방안에 관한 연구

김선근¹⁾ · 권순욱^{2)**}

The Study of Optimum Method About the Design and Operating through a Zero-energy House Built in the Existing Building

Sun-Geun Kim · Soon-Wook Kwon

Received 3 March 2015 Revised 16 March 2015 Accepted 16 March 2015

ABSTRACT In this study existing buildings, house for living people was applied various Active and Passive elements. Based on a plan using energy simulation and construction for 3 months and after that for 27 months the monitoring results, materials are estimated and analyzed, zero-energy house possibility are diagnosed.

Since then, to take advantage of this thesis, it's the purpose of this paper used for building effective zero-energy house..

Key words Zero Energy House(제로에너지하우스), New Renewable Energy Active Factor(신재생에너지 액티브요소), Photovoltaic System(태양광발전시스템), Solar Hot Water Heating System(태양열급탕 시스템), Heat Pump Cooling & Heating System(지열냉난방시스템), Fuel Cell System(연료전지시스템)

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라 국가 총에너지 소비량 중 가정에서 소비하는 양이 전체의 10.5% 이상을 차지 하는 것으로 집계되고 있다. 따라서 주거분야에서도 에너지 절감 노력이 다양하게 연구 개발되어지고 있고, 에너지 절감 노력의 일환으로 기존건물에 비해 에너지 소비가 적은 건물 설계 및 「신에너지 및 재생에너지」 사용이 적극적으로 요구되고 있다.¹⁾

정부정책 또한 2015년 1월1일 “온실가스 배출권 거래제법” 시행하여 온실가스를 감축하거나 배출권을 구매하고, 녹색건축 인증제도(G-SEED)제정하여 에너지 및 환경적 설계를 고려한 녹색건축 인증기준으로 에너지 절약 및 환경오염 저감에 기여한 건축물에 대한 친환경 건축물 인증을 부여 하며 그린 홈 백만 호 보급사업 을 통해 2020년까지 신재생에너지주택(Green Home) 100만호 보급을 목표로 하여 신재생에너지 설비를 주택에 설치할 경우 설치비의 일부를 정부가 보조 지원하는 사업을 추진하고 있다.²⁾

또한, 영국은 2016년부터 신규 건설 주택에 이산화탄소 배출 제로화를 하여 건물을 사고 팔 때 에너지효율 인증서(EPC : Energy Performance Certificates)를 의무적 제시하게 하고, 일본은 2050년까지 60~80% 온실가스 감축

1) (주)대우건설 기전담당 E-mail: sungeun.kim@daewoenc.com
Tel: +82-10-6642-4358 Fax: +82-2-2288-5489

2) 성균관대학교 공과대학 건축토목공학부
E-mail: swkwon@skku.edu
Tel: +82-31-290-4765 Fax: +82-31-2907570

목표로 에너지 자립 촉진하여 각종 보조금 및 정책 자금지원 통합 고효율에너지 건물 보급 확대해 나가고 있다. 미국은 2025년도까지 제로에너지 빌딩 의무화(주거용 : 2020년도, 비주거용 : 2025년도)하여 공공성을 지닌 민간기관 중심으로 인증 프로그램(LEED : Leadership in Energy and Environmental Design) 활성화 하고 있다. EU 또한 ZEB화 움직임 확산되고 있어 2009년 11월 EU각료이사회와 EU의회는 건축물의 에너지 성능에 관한 지령 개정에서 ‘2020년 말까지 모든 신축 주택·업무용 빌딩을 ZEB(Zero Energy Building)화 할 것’이라는 내용을 개정 지령에 포함시키기로 합의 하였다.³⁾

하지만 기존 사례는 국내외적으로 많은 관심과 기대를 가지고 있는 제로에너지 분야에 기축건물이 아닌 신축건물 이면서 전시관이나 실험적 목적으로 구축한 제로에너지하우스 이어서 실질적인 내용을 연구 하는데는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 주거시설의 대상으로 신축이 아닌 기축건물이면서 사람이 실제 살고 있는 실 거주 주택에 다양한 Active 요소와 Passive 요소를 적용하여 제로 에너지 하우스를 3개월 거쳐 시공하고, 시공후 27개월 동안 모니터링 결과를 바탕으로 얻어진 자료를 평가, 분석하여 앞으로 좀 더 효율적이고 생산적인 제로 에너지 하우스를 구축하는데 이 논문의 목적이 있다.

1.2 연구의 범위

본 연구는 제로에너지 하우스 구축 하는데 필요한 Active 요소와 Passive 요소 중 Passive 요소는 검증절차 및 성능에 대해서는 제외하고, Active 요소에 초점을 맞추어 진행 하였다.

또한 Active 요소 중 태양광 발전 시스템, 태양열 급탕 시스템, 지열 냉난방 시스템, 연료전지 시스템과 같이 현재 건설 현장에서 적용 가능한 기술 대상으로 하였으며, 관련된 장비 개발이 아니라, 즉 현존하는 기술의 조합을 통한 최적 구축 방안에 초점을 맞추고 있다.

1.3 관련연구 고찰

정부 및 학계에서 제로 에너지 하우스에 대한 관심이 높아짐으로써 대형 건설사나 관련기관에서 제로 에너지에 관한 실험적 주택을 많이 건립하고 운영 하였다.

따라서 관련된 프로젝트의 자료를 취합하여 본 연구 논문과의 차이점을 비교 평가해 보려고 한다.

1) LH ‘The Green’관에 적용된 녹색 기술(대한설비건설협회, 2011)에서는 한국토지주택공사(LH)가 서울시 강남구 자곡동 보금자리지구에 개관한 전시관으로 이전시관인 ‘The Green’관은 주택의 에너지 성능 검증 및 발전 등을 위해 에너지절약, 친환경, 재활용, 공간가변 등 총 60여 가지의 신기술을 전시·체험할 수 있도록 만든 전시관으로 에너지제로 관련 33가지, 친환경·재활 용 7가지, 공간가변 9가지, 그린IT 12가지 등을 적용하였으며 기축건물이 아닌 신축건물로서 관련된 요소 기술들의 전시, 체험관이라는 한계가 있다.⁴⁾

2) 한국형 제로 에너지 하우스 [Green Tomorrow] 구축 사례(삼성물산기술연구소센터친환경에너지연구소, 2009) ‘Green Tomorrow’는 전시·홍보·실험의 목적으로 건립되었고 총68건의 친환경·에너지효율기술의 집약을 통한 에너지제로하우스를 달성하게 되어 건물의 친환경 인증인 국내 친환경 건축물 최우수등급 한국에너지 기술연구원과 미국의 LEED Platinum 인증을 획득하였다. 주요내용은 삼성물산의 제로에너지하우스 ‘Green Tomorrow’ 개요 및 Zero Energy House 기획과정(연간 전체 에너지 수지를 ‘0’ 또는 그 이상으로 유지), Passive 요소(56%), 발전(44%), 주요기술은 태양광 발전 시스템, 풍력 발전 시스템, 지중열 냉난방 시스템을 적용 하였고, 특징으로는 모든 전력을 직류로 공급하여 가정 내에서 교류의 직류변환에 따른 에너지 손실요인 제거하였다는 것과 성능의 예측과 검증(E-Quest, ESP-r프로그램 활용)을 사용하였다는 것이 특징일 수 있다. 하지만 기축건물이 아닌 신축건물로서 관련된 요소 기술들의 전시, 체험관이라는 한계가 있다.⁵⁾

3) 3L House의 설계 시공 및 평가(대림건설, 2006) ‘Eco-3L House’는 패시브 하우스의 개념 내에서 에너지 소비량의 목표를 구체적으로 3리터/m².a로 규정한 것이다(독일에서는 현재 1리터 하우스까지 구현된 상태). 3L 하우스(패시브 하우스)라는 용어는 다양한 기술, 설계와 재료를 이용하는 시공표준으로 간주되며, 기본적으로 저에너지 건

축(low energy house)을 기본모델로 고안된 것이다. 3L 하우스(패시브 하우스)는 통상적인 냉난방장치 없이 겨울과 여름철에 쾌적한 실내기후를 창출한다. 이를 허용하기 위해서 건물의 난방부하가 $10\text{W}/\text{m}^2$ 를 초과해서는 안 되며, 이 적은 난방 부하는 대략 평균 난방에너지로 $15\text{kWh}/\text{yr}.\text{m}^2$ 정도이다. 따라서 3L 하우스(패시브 하우스)는 일반적인 건물(주택)보다 약 80% 정도의 에너지를 절약할 수 있다. 적용기술로는 고성능창호, 슈퍼단열, 이중외피, 폐열회수 환기시스템, 연료전지 등을 적용하였다. 하지만 본연구도 사람이 살지 않는 비거주 조건에서 평가된 것으로 향후 재실조건을 형성한 측정을 통해 보다 실질적인 데이터를 도출 및 하절기 실내 열쾌적에 대한 검토를 실시할 예정으로 있다.⁶⁾

4) ZeSH(Zero Energy Solar House)-II에 적용된 태양열+지열 하이브리드시스템 사례(한화건설기술연구소, 2011) 주요내용은 ZeSH-I(70%의 열 부하를 자립하는 에너지자립형 주택개발), ZeSH-II(전기에너지 까지 포함한 총부하의 85% 이상 에너지를 자립하는 상용화 주택기술 구현)의 개요 및 적용기술(자연형 태양열기술, Active-태양광·태양열·지열등 신재생에너지원 활용기술), 냉난방 및 급탕을 위한 신재생 하이브리드시스템 기술, 태양열+지열 하이브리드 시스템의 성능 측정 및 분석(추가비용 20% 이하로 총부하의 85% 이상의 에너지 자립 달성)에 대해 기술하였고 이연구의 특징은 태양열 급탕 시스템과 지열 냉난방 시스템의 계통연계를 통한 하이브리드 시스템 구성하여 연구를 하였다는 것이 특징으로 볼수 있다.⁷⁾

5) 제로 카본 그린 홈(ZCGH)실증주택은 난방에너지 80% 이상절감, 이산화탄소 배출량 55% 감축을 목표로 2012년 12월에 경기도 일산의 한국건설기술연구원내에 건립 되었다. 제로 카본 그린 홈은 일반주택건축비의 20% 정도가 증가하면서 10년 내외에 투자회수가 이루어지는 것을 목표로 하고 있다. 8층 규모에 총15가구로 구성되어 있으며 기준가구인 84M2를 포함하여 총4가지 타입의 가구로 구성되어 있다.

적용기술은 에너지 자립형 제로탄소 그린 홈 건축기술로 진공유리, 삼중로이유리, 진공단열재등 원천기술과 건축기

술을 융복합한 고효율 외피시스템, 여기에 에너지 관리기술 및 신재생에너지를 통합하여 건물에너지소비 및 이산화탄소 배출을 제로 수준으로 최소화하는 그린 홈 구현 통합 패키지 기술이 적용되어 있다. 하지만 제로카본 그린 홈 실증주택도 실제로 사람이 살 수 있는 리얼 주택이라는 데는 의미가 있지만 모니터링 프로젝트처럼 기축건물에 적용하지 않았고 다양한 액티브 요소나 패시브 요소를 적용하지 못했다는 것에는 한계가 있다.⁸⁾

2. 제로에너지 하우스 구축 사례

2.1 모니터링 프로젝트 개요

Fig. 1에서 보는 것과 같이 모니터링 프로젝트는 동탄 타운 하우스(경기도 화성시 반송동, 총 23개 블록, $214,557\text{m}^2$, 637세대) 지구 내에 동탄하임 프로젝트(경기도 화성시 반송동, 총 3개 블록, $23,716\text{m}^2$, 99세대)내 333동 복층 189m^2 Type에 건립되어 있다.



Fig. 1. Plans of monitoring project

2.2 모니터링 프로젝트 제로에너지 하우스 달성 개념

Fig. 2에서 보는 것과 같이 모니터링 프로젝트 제로 에너지 하우스 달성개념은 패시브 요소인 단열보강, 창호 개선 등을 통하여는 기존 설계안 대비 40% 에너지를 적게 사용하고, Active 요소인 태양광 발전 시스템, 태양열 급탕 시스템, 지열 냉난방 시스템, 연료전지 시스템을 이용하여 에너지를 생산하여 제로 에너지 하우스 구현하는 개념이다.

2.3 모니터링 프로젝트 특징

모니터링 프로젝트의 특징은 신축건물이 아니라 기축건

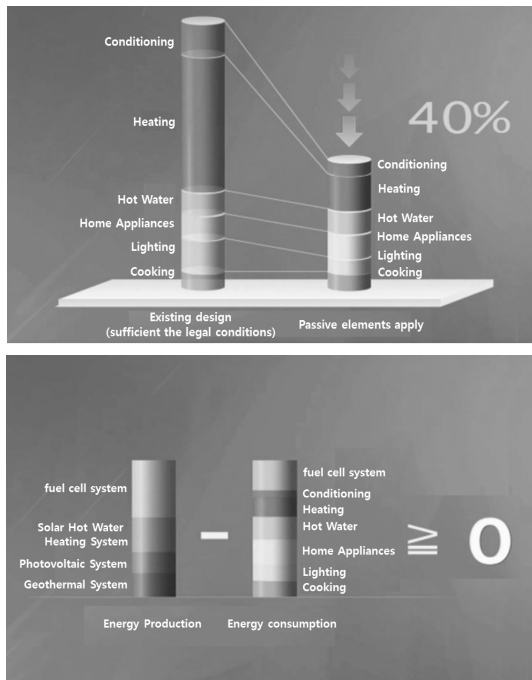


Fig. 2. Concept of Zero Energy House

물에 제로 에너지 하우스를 접목하였고, 영상효과나 가상의 시뮬레이션을 통해 만들어진 단순한 전시나 관람용 주택이 아니라 사람이 실제 살고 있는 실증 주택에 총 70가지 요소기술을 적용하였다.

또한, 신재생에너지 Active 요소인 태양광 발전 시스템, 태양열 급탕 시스템, 지열 냉난방 시스템, 연료전지 시스템 등을 적용하여 세대내의 전력, 급탕, 냉난방, 수도, 취사 등 모든 에너지 소비가 제로가 되도록 계획되어 있는 것이 특징이다.

모니터링 프로젝트 요소기술은 Active 요소 5가지, Monitoring 요소 2가지, Passive 요소 63가지 총 70가지 요소기술로 구성되어 있다.

2.4 모니터링 프로젝트 에너지 시뮬레이션

Table 1은 모니터링 프로젝트의 당초 설계값 및 실제 운영시 측정된 실제값을 나타낸 표이다.

2.4.1 생산 에너지

1) 태양광 발전 시스템

설치용량은 5.2kw(태양전지모듈 200 W_p × 26 set),

Table 1. A comparative table of energy production and consumption [Design value]

Division		Energy Production and consumption (kWh)				
		Monitoring project Design value		Monitoring project actual value		ratio
		kwh	%	kwh	%	
Energy Production	Photovoltaic System	6,833 Note1	32,7%	2,671	13,6%	39%
	Solar Hot Water System	5,604	26,8%	4,572	23,2%	82%
	Heat Pump Cooling & Heating System and fuel cell system,	8,454 Note2	40,5%	12,468	63,3%	147%
	SUBTOTAL	20,891	100,0%	19,711	100,0%	94%
Energy consumption	Lighting Fixtures	2,097	11,8%	1,921	13,4%	92%
	Outlet facilities	2,796	15,8%	2,553	17,8%	91%
	Heating and cooling/Hot Water Heating System	3,949 Note3	22,3%	6,707	46,7%	170%
	etc.	8,878 Note4	50,1%	3,189	22,2%	36%
	SUBTOTAL	17,720	100,0%	14,370	100,0%	81%
The amount of energy (Production - consumption)		3,171		5,341		168%

[주1] 5.2kw × 3.65h × 30일 × 12개월 반영

[주2] 전기와 열 생산, 하루 16시간 가동 기준임

[주3] 지열활용 냉난방 저감분(냉방 : 581, 난방 : 971, 급탕 : 2,397)

[주4] 취사 : 2,197, 연료전지 도시가스 소비량 : 6,68 1포함

크기(mm)는 1,500(W) × 993(H) × 45(D), 중량은 20(kg), 설치수량은 26 set이다.

가정용 축전지는 4,752Ah(99Ah × 48set)가 설치되어 있고 인버터는 정격용량이 3kva(계통연계형) + 3kva(하이브리드형 : 계통연계형 + 독립형)이고 정격전압은 AC 220V ± 13V, 정격출력주파수는 60Hz이며 기능은 기동 및 정지, 최대 전력점 추종제어, RS-485 통신지원, 과전압, 저전압, 주파수 보호, 계통전압 연계, 계통주파수 연계, 출력 단락시 시스템 보호, 시스템 과열 보호, 교류 출력 단 지락보호 기능이 있다.

당초에는 3,942kWh(3kw × 3.65h⁹⁾ × 30일 × 12개월)로 계획하였으나 시뮬레이션 결과 모니터링 프로젝트의 전기용량 부족이 예상되어 6,833kWh(5.2kw × 3.65h × 30일 × 12개월)로 변경하여 설계하였다.

전기에너지 생산은 5.2kW(200W_p × 26 Set) × 3.65h =

18.98kWh / 일, 월로 환산하면 570kWh 생산하여 대한민국 기준 소비 전력량 280.5kWh / 월, 99m² 기준이므로 약 2배의 전력이 생산이 된다. 99m² 기준으로 했을 때 34kWh × 99m² = 3,366kWh / 12개월 = 280.5kWh이다.

2010년도 아파트 연면적당 에너지 소비량 34(kWh / m²)¹⁰⁾

2) 태양열 급탕 시스템

태양열 급탕 시스템에서 생산된 에너지를 주 열원으로 하고, 연료전지 시스템의 발전 후 배출되는 폐열을 보조 열원으로 하였으며, 가정용 가스보일러를 예비 열원으로 하는 하이브리드 급탕 시스템으로 구성하였다.

설치용량은 태양열 단일진공관 12m³, 축열 탱크 용량 800ℓ이고, 태양열 방열기(태양열의 과 축열을 막기 위하여 환수 배관에 설치되는 열매체 온도 저감 방열기), 동파방지 컨트롤러(배관의 동파방지를 위하여 온도가 5℃ 이하로 내려갈 경우 펌프를 이용하여 강제순환 하는 장치) 등이 설치되어 있다.

일일 급탕 에너지 생산량 이 25,920kcal / 일(12m² × 2,160kcal/m²·day)이고 kW로 환산하면 30kW(25,920kcal ÷ 860kcal/kW) 이다.

또한 연간 급탕 에너지 생산량으로 계산하면 25,920kcal / 일 × 186일 = 4,819,237kcal / 860kcal = 5,604kWh / 년이다

연료비 절감 효과가 있어 일간 LNG 기준 절감량은 2.49 Nm³(1,904원 상당)이고 연간 LNG기준 절감량으로 하면 2.49 × 365 = 908.50Nm³(694,984원 상당)이다

또한, 대기환경 개선 효과가 있어 석유환산톤(TOE) 절감량이 0.698 TOE이고 이산화탄소(CO₂) 절감량은 1,630 TCO₂이다. 해서 태양열 급탕 설치효율은 400ℓ/일 (80℃) 생산 가능 하므로, 환산시 7인가족 1일 사용량이 생산된다.

대한민국 평균가정 1인 1일 급탕 사용량 : 100ℓ/일(60℃)¹¹⁾

3) 지열 냉난방 시스템

설치용량은 5RT이고, 히트펌프(냉방 : 18.2kW(15,652 kcal/h), 난방 : 17.9kW(15,394kcal/h), 지중열교환기(깊이 125m, 2hole 천공(HDPE PIPE + 벤토나이트 그라우트), 버퍼탱크 및 팽창탱크, 열매체 순환펌프 및 냉온수 순환펌프가 설치 되어 있다.

냉/난방 에너지 생산은 15,120kcal(5RT × 3,024kcal/h × 1h)이고, 환산하면 15,120kcal ÷ 860kcal/kW = 17kW 이다.

설치효율은 5RT × 3,024kcal/h × 1h = 15,120kcal 에 4.5kW 전기를 소비하므로 50평대 아파트를 일반 에어컨으로 냉방시 6.0kW 전기를 소모하므로 약 34% 절전효과가 있다.

4) 연료전지 시스템

출력은 1kw ± 10%이고, 전압은 AC 220V, 크기는 860 × 616 × 1,793(W × D × H)이다. 부분 부하 운전가능(50%, 75%, 100%)하고 도시가스 소모량 : 0.25m³/h이다.

연간 전기 에너지 생산량은 5,760kWh(1kw × 16h × 30일 × 12개월)이고, 연간 급탕 에너지 생산량(30ℓ/60℃. h) 2,694kWh(50.5m³/월 × 12개월 = 606.4m³ × 4.4kwh) 이다. 연간 전기에너지생산량과 급탕에너지생산량을 합산하면 8,454kwh가 된다.

연간 전기요금을 70만원 절감(월평균 전력 사용량 400 kWh 사용 가정시, 30평형대)하고 천연가스(LNG)를 에너지원으로 하여 시간당 전기(1kWh) 및 온수(30ℓ/60℃)를 생산 한다. 그러므로 연료전지 시스템 설치 효율을 보면 에너지 효율 측면에서 보면 약 30% 정도 에너지를 더 소비하는 것으로 나타났으나, 생산원가 측면에서는 약 24% 원가 절감이 되는 것으로 나타났다. [도시가스 소모량 : 0.25m³/h, 전기생산량 : 1kw/h, 급탕생산량 : 30ℓ/60℃.h]

2.4.2 소비 에너지

에너지 시뮬레이션 기법을 이용한 연간 부하 예측치는 제너하임이 기존 설계안, 즉 관련법규를 충족하는 수준으로 시공되는 기존 건물과 대비하여 어느 정도 냉난방 에너지 절감이 가능한 지를 Table 2와 같이 에너지 시뮬레이션 기법을 통해 예측하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다.

예측결과를 살펴보면 모니터링 프로젝트에 적용된 기술을 통해 기존 설계안 대비 냉난방 에너지를 약 68.7% 줄일 수 있음을 알 수 있다.¹²⁾

Table 5는 에너지관리공단 발표한 국내 주거용 건물에서의 에너지 소비 구성 비율을 나타내 주고 있다.

Table 2. Energy simulation input parameters

Division		Existing designs (Legislation meets Level)	Monitoring Project designs	Remark
외피 관련 (열관류율, W/m ² k)	wall	0,437	0,108	
	roof	0,276	0,087	
	Windows and Doors	2,700	0,796	
	front door	3,000	0,580	
Infiltration Amount		0,2 times / hr	0,1 times / hr	
Room conditions		Summer (26 degrees), winter (20 degrees)		
Operating schedule		DOE-2 Residential building operating schedules applicable		

주) 침기량(Infiltration Amount)은 건물외피 등을 통하여 계획되지 않은 외기가 실내로 침입한 공기의 양

Table 3. Annual load compared to forecast

Division	Existing designs (Legislation meets Level)	Monitoring Project designs	Remark
Cooling load	7,539	2,208	
Heating load	9,427 ①	3,108	
Total	16,966	5,316	68.7%

Table 4. Inferred annual energy consumption of the building

Division	Existing designs (Legislation meets Level)	Monitoring Project designs		Remark
		Initially	Reflect reductions utilizing geothermal heating and cooling	
Cooling	2,513	736	581	[7,539/3 = 2,513] Refrigerator coefficient of performance : 3.0
Heating	11,748	3,885	971	[9,427/0.8 = 11,748] [3,108/0.8 = 3,885] Boiler efficiency : 80%
Hot Water	2,397	2,397	2,397	① × (4) / ②
Home Appliances	2,796	2,796	2,796	① × (3) / ②
Cooking	2,197	2,197	2,197	① × (5) / ②
Lighting	2,996	2,097	2,097	① × (6) / ② × 0.3 30% savings from LED lighting
Fuel Cell LNG Consumption			6,681	
Total	24,647	14,108	17,720	

[주1] 난방에 필요한 보일러효율 80%, 냉동기 COP 3.0 부여하여 결과 도출.

[주2] LED조명을 통한 30% 절감 반영.

[주3] 방방 및 난방은 지열활용 난방저감분 반영

[주4] 연료전지의 도시가스(LNG) 소비량 반영

Table 5. Configuration of energy consumption in the domestic residential buildings

Heating	Electric Appliances	Hot Water	Cooking	Lighting
59%	14%	12%	11%	15%
②	③	④	⑤	⑥

3. 모니터링 프로젝트 운영결과

3.1 일반사항

본 모니터링 프로젝트는 2010년 9월부터 2012년 12월 까지 27개월간에 걸쳐 Fig. 3에 있는 실시간 에너지 모니터링 시스템^{12,13)}을 이용하여 모니터링을 실시하였다. 실시간 에너지 모니터링 시스템은 스마트분전반, 스마트전력량계, 원격검침, 태양광, 태양열, 지열, 연료전지 시스템의 순간 및 누적에너지 변화량을 TCP / IP, RS-485 통신 등을 이용하여 모니터링, 통계화하여 실시간으로 보여주는 시스템이다.



Fig. 3. Real-time Energy Monitoring system

3.2 생산량 및 소비량 모니터링 결과

Table 6은 본 연구 프로젝트에서 실시간 에너지 모니터링 시스템을 이용하여 27개월 동안 각각의 신재생에너지 요소별로 에너지 생산량과 소비량을 모니터링한 총괄표이다. 모니터링 결과 생산량과 소비량을 비교한 에너지양(생산량 - 소비량)이 5,341kWh로 제로에너지 하우스 달성하는데 문제가 없다.

Table 7은 실시간에너지 모니터링 시스템을 이용하여 연도별로 에너지 생산량 과 소비량을 집계한 값과 평균값을 분석한 표이다.

Table 6. A comparative table of energy production and consumption [Actual value]

Division		Energy Production and consumption (kWh)				
		Monitoring project Design value		Monitoring project actual value		ratio
		kWh	%	kWh	%	
Energy Production	Photovoltaic System	6,833	32,7%	2,671	13,6%	39%
	Solar Hot Water System	5,604	26,8%	4,572	23,2%	82%
	Heat Pump Cooling & Heating System and fuel cell system.	8,454	40,5%	12,468	63,3%	147%
	SUBTOTAL	20,891	100,0%	19,711	100,0%	94%
Energy consumption	Lighting Fixtures	2,097	11,8%	1,921	13,4%	92%
	Outlet facilities	2,796	15,8%	2,553	17,8%	91%
	Heating and cooling/Hot Water Heating System	3,949	22,3%	6,707	46,7%	170%
	etc.	8,878	50,1%	3,189	22,2%	36%
	SUBTOTAL	17,720	100,0%	14,370	100,0%	81%
The amount of energy (Production - consumption)		3,171		5,341		168%

Table 7. An analysis table of yearly energy production and consumption

Division		2010 year (10~12) [A]	2011 year (01~12) [B]	2012 year (01~12) [C]	Total [D=A+B+C]	Average [E=D/27]	Production/consumption (1 year) [F=E*12]
Energy Production	Photovoltaic System	1,015	2,868	2,127	6,010	223	2,671
	Solar Hot Water System	1,360	4,678	4,249	10,287	381	4,572
	Heat Pump Cooling & Heating System and fuel cell system	4,904	12,970	10,178	28,052	1,039	12,468
	SUBTOTAL	7,279	20,516	16,554	44,349	1,643	19,711
Energy consumption	Lighting Fixtures	618	1,915	1,789	4,322	160	1,921
	Outlet facilities	696	2,294	2,754	5,744	213	2,553
	Heating and cooling/Hot Water Heating System	2,949	7,301	4,841	15,091	559	6,707
	etc.	236	3,319	3,620	7,175	266	3,189
	SUBTOTAL	4,499	14,829	13,004	32,332	1,197	14,370
The amount of energy (Production - consumption)		2,780	5,687	3,550	12,017	445	5,341

3.3 생산 에너지 분석

Fig. 4는 생산된 에너지를 실시간 에너지 모니터링 시스템으로 분석해 본 결과 당초 설계치와 실제 생산한 양을 비교한 그래프이다.

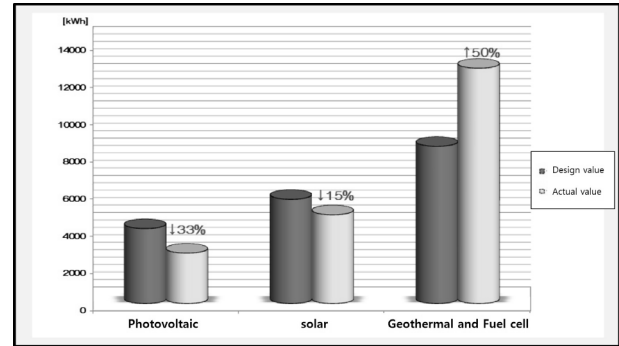


Fig. 4. Analysis graph of energy production

1) 태양광 발전 시스템

당초 설계 목표치 대비 33% 전기 발전량 부족하며 원인은 날씨와 시공 문제 등이 있다. 모니터링 기간 852일중 358일이 흐렸으며, 이는 전체 기간 중 약 42%에 해당한다. 시공상 문제점으로는 기축건물에 시스템을 후적용 하면서 효율 감소가 발생하였다. 또한, 축전지는 충/방전시 효율이 약 10% 감소하고, 최대 방전량이 60%이므로 잦은 충방전 발생으로 효율 감소에 많은 영향을 끼쳤다.

2) 태양열 급탕 시스템

당초 설계 목표치 대비 15% 에너지 생산량이 부족하며 원인은 날씨와 유지보수 소홀 문제 등이 있다. 또한, 전체 생산량의 많은 부분은 아니지만, 열매체 보충 불량에 따른 에너지 생산 중단이 발생하였다.

3) 지열 냉난방 시스템

당초 설계 목표치 대비 50% 에너지를 과 생산하였으며 시스템 가동시간이 많았던 것이 사유이다. 또한, 세대내 냉/난방 가동을 많이 하였거나, 필요시 즉시사용 목적으로 일정량의 에너지 보유가 필수이며 이를 위해 주기적으로 히트펌프가 가동되는 메커니즘에 대한 이해 부족이 원인이다.

4) 연료전지 시스템

연료전지는 초기 시운전 완료 후 계속해서 발생 되는 급탕수(30ℓ/h) 처리 등의 문제로 가동을 중지한 상태이다.

3.4 소비 에너지 분석

Fig. 5는 소비된 에너지를 실시간 에너지 모니터링 시스템으로 분석해 본 결과 당초 설계치와 실제 소비한 양을 비교한 그래프이다.

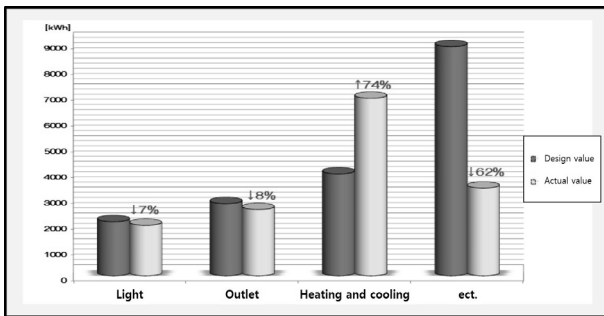


Fig. 5. Analysis graph of energy consumption

1) 전등, 전열

전등 부하는 전체 LED조명을 적용하였으며, 소비전력은 1.1KW이었다. 또한, 본 프로젝트에는 외출 시 일괄로 전등 및 가스를 차단하는 센서 감지형 무선 일괄제어 시스템[디자인등록 제30-0617921호]을 적용하여 전등 에너지 소비를 절감하였다.^{12,13)}



Fig. 6. Wireless Sensor type batch control system

또한, 전체 콘센트의 약 30%는 조명제어, 온도조절, 에너지 모니터링 및 대기전력을 차단할 수 있는 대기전력차단스위치[특허등록 제10-1105964호]를 적용하여 사용하지 않고 대기중인전원은 자동차단하였다. 결과적으로, 당초 설계 대비 10% 내외의 오차율을 보이며, 목표 대비 절감을 하였다.¹²⁾



Fig. 7. Standby power shut-off switch

2) 냉/난방

관련 부하는 지열히트펌프 6KW, 냉/난방순환펌프 1.1kW, FCU 200W로 구성되어 있고 당초 설계 대비 74% 초과 소비를 하였으며 원인은 냉/난방을 담당하는 지열 시스템의 과다 가동이다.

또한, 실제 냉/난방기 과다 사용과 더불어 일정량 에너지 보유를 위한 주기적 시스템이 작동 하였고, 냉/난방 가동이 필요 없을 경우 시스템 OFF를 위해 전기실에서 차단기를 작동시켜다.

3) 기타

관련부하는 연료전지 가동을 위한 도시가스(LNG) 및 연구 목적의 에너지 모니터링에 필요한 전력량 전시관 운영 목적으로 적용된 설비이다.

당초 설계 대비 62% 소비량 절감을 하였으나, 주된 원인은 연료전지 가동 중단으로 인한 도시가스 소비가 없었고, 에너지 생산 및 사용을 지속적으로 모니터링 하는 실시간 에너지모니터링 시스템과 가정에서 생산 및 소비하는 전기를 관측하여 전력량을 표시하여 주는 스마트 디지털 전력량계[특허등록 제10-0987667호]을 적용하여 에너지의 변화를 관측하여 feedback 하여준 것도 계획대비 절감 원인이 되었다.^{12,13)}



Fig. 8. Digital Smart Meters

3.5 부하 종류별 에너지 소비현황

Fig. 9는 부하 종류별로 에너지 소비 현황을 보여주는 그래프로서 지열(46%), 전등(14%), 서버(13%), 태양열(9%), 전열(9%), FCU(4%), TV & PC(3%), 디밍제어기(3%) 순으로 소비형태를 보여준다.

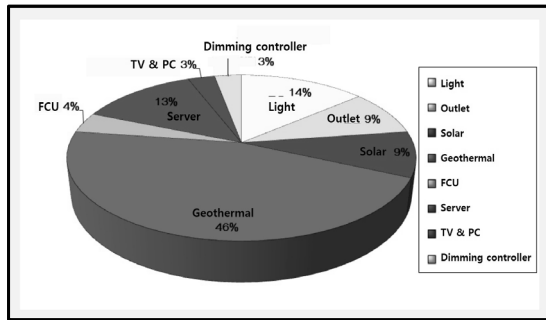


Fig. 9. Energy consumption by type load status

4. 결론

본 연구에서는 기축건물 이면서 사람이 실제 살고 있는 실 거주 주택에 다양한 Active 요소와 Passive 요소를 적용하여 3개월 거쳐 구축하고, 구축 후 27개월 동안 모니터링 한 결과를 바탕으로 주거시설에서 제로에너지 하우스 가능여부 검증 및 어떠한 Active 요소가 최적 제로에너지 하우스 구축에 필요한지 도출해 보았다.

또한 설계 및 운영 단계 시 최적 설계 방안 및 최적 운영 방안을 제시 하므로써 향후 기축건물에 제로 에너지 하우스를 구축 하는데 활용할 수 있을 것이라고 판단이 된다.

4.1 최적 설계 방안

1) 모니터링 프로젝트는 기축건물에 시스템을 적용하면서 효율감소, 하자 발생 및 유지보수에 어려움이 발생하였다.

기계실 상부 설비배관의 집중으로 인하여 결로수가 발생하여 장비 오동작이 발생하고, 기계실 공간 협소에 따른 해결방법으로 배관 및 장비 배치 shop dwg.이 필요하다. 또한, 협소한 신발장내 설치된 서버실의 열 발생으로 장비 오작동 및 노후화가 진행 된다. 태양광 모듈의 최적 설치 조건(정남향, ±30°) 불량으로 효율 감소하여⁸⁾ 이를 해결하

기 위하여 적정 장비실 공간 확보 및 설치 자재의 규격화, 소형화가 필요하다.

2) 에너지 모니터링 결과 최초 시스템 설계시 예상했던 에너지 생산량에 미치지 못하는 결과가 발생하여, 이를 해결하기 위해서는 급변하는 기후적인 영향에 따른 보수적 설계가 필요하다.

3) 시스템 연동 과다에 따른 문제점 발생 하였다.

이러한 문제점으로 하자 발생 시 원인 규명 어려움이 있고, 복합연동에 따른 기기동작 시간 지연 및 작동 오류가 발생한다. 더불어 개발 소요 기간 과다 발생하고, 중요 제어장비에 배선 집중으로 short 등 하자 발생하여, 이를 해결하기 위해서는 연동 구조 단순화 및 관련 개발 업체 일원화가 필요하다.

4) 제로에너지하우스는 에너지 생산을 위해서는 반드시 에너지 소비가 수반 되므로 설계시 소비하는 에너지에 대한 사전 검토를 실시하여 요금이 적게 발생하는 시스템 설계가 필요하다. 구체적으로 보면 전등, 전열은 전기에너지를 소비 하고, 냉/난방(지열시스템)은 지열히트펌프, 순환펌프 등 전기에너지가 소비 된다. 또한 급탕(태양열 급탕시스템)은 순환펌프 등 전기에너지 소비가 소비 된다. 연료전지 시스템은 도시가스(LNG) 소비하므로 에너지 제로 하우스라는 의미가 요금제로 하우스라고 볼 수는 없다.

5) 지열 냉난방 시스템은 냉/난방 동시운전이 불가능한 시스템으로 환절기 등 냉/난방 동시 가동이 필요한 시기에 대한 시스템 보완 설계가 필요하며 이는 냉방용 보조 에어컨 및 난방용 보조 보일러 적용이 필요하다.

6) 연료전지 가동시 시간당 30ℓ/60℃의 온수가 생산이 되고, 태양열 급탕에서는 하루 400ℓ/80℃의 온수가 생산 된다. 태양열 급탕 시스템의 경우 여름철에 많은 에너지를 생산하는 반면 소비는 겨울철에 주로 사용하는 문제점이 있어 잉여 에너지 처리에 대한 대책이 필요하며 이를 해결하기 위해서는 적정용량에 대한 설계 검토 및 잉여 급탕에너지를 단지 공용부에 공급할 수 있는 시스템이 필요하다.

7) 태양광 발전 시스템의 축전지는 충전과 방전 시에 에너지 소모가 발생되며, 수명 연한에 가까워질수록 잦은 충전이 발생하여 전체적인 효율 감소의 원인이 된다. 이에 따라 양방향 전력량계의 개발 완료에 따른 계통연계형 설계가 필요하고, 향후 축전지의 성능이 획기적으로 개선될 경우에 한하여 축전지 적용을 검토 하여야 한다.

8) 시스템별로 LCC 를 고려한 설계 및 운영시 들어가는 비용을 고려하여 설계를 하여야 한다.

Table 8은 시스템별로 LCC 분석 및 이에 따른 투입비용

Table 8. System-specific LCC profiles

Division	Contents	Period (years)	Cost (million)	Remark
Geothermal Heating and Cooling Systems	Geothermal Heat Pumps	10	100	Repair
	Heat exchanger tube cleaning	4	100	Equipment and piping cleaning
Solar Hot Water System	solar collector	15	300	
Real-time energy monitoring system	Server (24 hours)	3	100	Treatment in the event of
Home network system	Server (24 hours)	3	100	Treatment in the event of
Solar Power System	Photovoltaic modules	25	1,500	12 years: 90%, 25 years 80% performance warranty
	Battery	3	3,800	Designed for grid connected
LED lighting	SMPS	4	60	Treatment in the event of
	Converter for dimming	4	150	Treatment in the event of
Hybrid security lights	Battery	4	80	200Ah nickel cadmium
Automatic Control	Automatic valves and sensors	7	400	
	DDC	10	1,000	Require the localization of the product

을 기록한 표이다.

4.2 최적 운영 방안

1) 신규 개발 제품 적용으로 충분한 사전 검증이 어려워 예상치 못한 하자가 발생하므로 최초 개발 시 예비품 확보 및 프로그램 백업 필요하다.

2) 주거 목적의 주택을 전시관으로 운영함에 따라 에너지 사용량 과다 발생하므로 순수 전시목적의 부하를 회로 분리하여 별도로 과금 하는 것이 필요하다.

3) 태양열 급탕시스템 열매체 고갈시 사용자가 시스템 유지관리 어려움이 있어 사용자의 입장에서 조작 방법의 단순화 및 자동화가 필요하다.

4) 지열 냉난방 시스템은 냉/난방이 필요할 때 즉시 사용하기 위하여 일정량의 에너지 보유가 필수적이다. 이를 위해 주기적으로 히트 펌프가 가동되어 전기요금 발생의 원인이 되었다. 이를 해결하기 위해 사용자가 가동 상태에 대한 인지를 쉽게 할 수 있고 시스템 차단을 간편하게 할 수 있도록 시스템을 구축하여야 한다.

5) 지열, 연료전지, 태양열급탕에서 생산되는 열에너지 중 소비후 잉여 에너지의 처리에 대한 문제가 발생하므로 전기에너지의 상계 처리와 같은 제도적 장치 마련이 필요하다.

6) 지열 냉난방 시스템의 경우 에너지 생산을 위해 반드시 전기에너지 소비가 수반되어야 한다. 생산된 열에너지는 현재의 상황에서는 요금화 할 수 없지만, 소비 에너지는 전기요금으로 직결된다. 이에 정부에서는 지열시스템 적용을 장려하기 위해 누진제가 적용되지 않는 일반용 단가의 전기요금을 적용할 수 있도록 하였다. 일반용 단가는 전기 소비가 많은 경우에 사용량 단가가 저렴하여 혜택을 받을 수 있지만 냉/난방 가동을 하지 않는 계절에도 기본요금이 발생하는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해서는 전기료에 대한 현실적인 정부 지원이 필요하며, 지열시스템에 적용되는 모터 부하들의 효율개선이 필요하다.

7) 연료전지 시스템은 전기와 열에너지 생산을 위해 도시가스를 소비 하므로 도시가스 요금을 고려할 경우, 세대 내 전기사용량이 일정량 이상일 경우에만 경제성이 있어 시스템 가동에 제한적인 문제가 발생하므로 원격 검침 시스템과 연동하여 세대내 전기 소비량에 따라 자동으로 가동/중단되는 시스템 구축이 필요하다.

Table 9. Step by Step check list [Design Phase]

check list
1. 태양광 모듈의 최적 설치 조건(정남향, ±30°) 설계 적용 유무 확인
2. 급변하는 기후적인 영향에 따른 보수적 설계 적용 유무 확인
3. 전등 및 전열설비 전기에너지 소비량 확인
4. 지열 냉난방 시스템의 히트펌프, 순환펌프 등 전기에너지 소비량 설계 반영 여부 확인
5. 태양열 급탕 시스템의 순환펌프 등 전기에너지 소비량 설계 반영 여부 확인
6. 연료전지 시스템의 도시가스(LNG) 소비량 설계 반영 여부 확인
7. 지열 냉난방 시스템은 냉/난방 동시운전이 불가능 하므로 냉/난방 동시 가동 위한 냉방용 보조에어컨 및 난방용 보조보일러 설계 적용 유무 확인
8. 태양광 발전 시스템 계통 연계형으로 설계 반영 여부 확인
9. 전시목적의 부하와 주거부분 부하 회로 분리하여 별도 과금 하는 시스템 설계 반영 여부 확인
10. 시스템 유지관리 비용을 최소화 할 수 있는 설계 적용 유무 확인

Table 10. Step by Step check list [operational phase]

check list
1. 태양열 급탕 시스템 열매체 고갈시 알람기능이 있어 쉽게 조작할 수 있도록 단순화 및 자동화 유무 확인
2. 지열 냉난방 시스템은 냉/난방 필요시 즉시 운전하기 위하여 자가 가동 상태에 대한인지를 쉽게 할 수 있고 시스템 차단을 간편하게 할 수 있도록 시스템 구축 여부 확인
3. 지열 냉난방 시스템, 연료전지 시스템, 태양열 급탕 시스템에서 생산되는 열에너지 중 소비 후 잉여 에너지의 처리 방법 반영 여부 확인
4. 연료전지 시스템은 원격 검침 시스템과 연동하여 세대내 전기 소비량에 따라 자동으로 가동/중단되는 시스템 구축 유무 확인
5. 신규 개발 제품은 예상치 못한 하자가 발생 하므로 최초 개발 시 예비품 확보 및 프로그램 백업 유무 확인
6. 기계실 상부 설비 배관 집중 여부 유무 확인
7. 기계실 공간 협소에 따른 해결방법으로 배관 및 장비 배치 shop dwg. 실시 여부 확인
8. 서버실의 열 발생으로 인한 장비 오작동 및 노후화 진행 여부 확인
9. 복합연동에 따른 기기 동작시간 지연 및 작동 오류 발생 여부 확인
10. 제어장비에 배선 집중으로 short 등 하자 발생시, 이를 해결하기 위한 연동 구조 단순화 및 관련 개발 업체 일원화 여부 확인

4.3 단계별 최적 방안 도출을 위한 체크리스트

앞에서 언급한 모니터링 프로젝트에서 설계 단계, 운영 단계별로 발생했던 문제점을 체크리스트로 만들어서 Table 9와 10으로 제시하였으며, 향후 같은 유형의 제로에너지 하우스 구축시 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] Ministry of Trade Industry and Energy, “Energy Master Plan 2”, 2014, P36.
- [2] Chun-Sik Yoo, “Comprehension of green energy and sunlight generation system”, 2009, P246-269.
- [3] Woo-young No, “JAPAN, towards a new architecture paradigm ZEB”, 2010.
- [4] Korea Mech. Const. Contractors Association, LH “The Green' green technologies applied to the tube”, 2011.
- [5] Seung-ho Shin, “Korean Zero Energy House ‘Green Tomorrow’ Success Stories”, 2009.
- [6] Sun-hyo Park, “Design and construction and evaluation of 3L House”, 2006.
- [7] Yong-gyöng Kim, “Solar geothermal + hybrid system practices applied in ZeSH-II”, 2011.
- [8] gyeongseok Choi, yongsang Youn, “Domestic leading level of high-rise type Zero Carbon Homes Green Homes empirical implementations”, 2012, P94.
- [9] Seoul Development Institute, “A preliminary study on introducing solar power generation supporting system with mandatory RPS policies”, 2012, P95.
- [10] Energy economics institute, “2011 Energy Consumption Survey”, 2011, P152.
- [11] Refrigerating Engineers, “Volume 4 sanitation. Fire. Environment”, 2011, P1.4-7.
- [12] Jong-uk Sue, “[ZENER HEIM] Guidebook”, 2010.
- [13] Jong-uk Sue, “[GREEN PREMIUM] Tech source book”, 2010.