

## 구조단열패널 적용 저에너지주택의 총에너지사용량 평가

이현주<sup>1</sup> · 나환선<sup>2</sup> · 조혜진<sup>3</sup> · 최성모<sup>4</sup>

한국전력공사 전력연구원 선임연구원<sup>1</sup>, 한국전력공사 전력연구원 책임연구원<sup>2</sup>  
한국전력공사 전력연구원 일반연구원<sup>3</sup>, 서울시립대학교 건축학부 교수<sup>4</sup>

### Evaluation on Total Energy Consumption of Low-Energy House with Structural Insulated Panels

Lee, Hyeon-Ju<sup>1</sup> · Nah, Hwan-Seon<sup>2</sup> · Jo, Hye-Jin<sup>3</sup> · Choi, Sung-Mo<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Senior Researcher, Korea Electric Power Research Institute

<sup>2</sup>Principal Researcher, Korea Electric Power Research Institute

<sup>3</sup>Researcher, Korea Electric Power Research Institute

<sup>4</sup>Professor, Division Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul

**Abstract:** This project is mainly related to evaluation of total energy consumption of low energy house, the exterior envelope of which was wholly composed of structural insulated panels(SIP). The U-value of applied SIP was in the range of 0.189 to 0.269W/m<sup>2</sup>·K and the U-value of pair glass from 0.78 to 1.298W/m<sup>2</sup>·K was applied for window dependent to its function respectively. For comparison of total energy performance, the energy simulation for pilot house was performed to compare with the control house having insulation criteria of Korean building regulation in 2009. Based on simulation of dynamic energy performance, the pilot house saved 48.3% of annual energy consumption while the control house in 2009 consumed as 85.7GJ/y. In case of heating, the result showed that the energy saving ratio amounted to 76.7%. For CO<sub>2</sub> emission, the pilot house diminished approximately 35.4% from 6,208.4kgCO<sub>2</sub> to 4,009.2kgCO<sub>2</sub>. In payback period to early investment, it was analyzed the pilot house took 7.8 years, when the low energy house built by other insulation method with same thermal perfusion took 11.5 years. From this result, it is considered that the SIP is more effective, economic to Green Home application.

**Key Words:** Structural Insulated Panel, Energy Performance, Low-Energy House, U-value

### 1. 서론

2011년 에너지통계연보에 따르면 우리나라의 에너지 수입의존도는 96.5%이며, 건물부분의 에너지 총사용량 비중은 21.5%를 차지하고 있다. 2010년 가정부분의 에너지소비증가율은 이상기온으로 인한 냉난방 수요의 증가에 따라 상업공공부분에 이어 2번째로 2007년 대비 16.1%의 증가를 보이고 있다. 이에 따라 정부에서는 건축물의 에너지 이용 효율화를 위해 관련 제도를 시행하고 있으며, 국가에너지 기본계획을 통하여 2030년까지 국가에너지 효율을 47% 향상시켜 에너지원단위를 선진국 수준인

0.185TOE/천불 까지 개선하고, 신재생에너지 보급률 11% 목표를 수립하는 정책수단을 가시화하고 있다. 특히 가정과 건물부분의 에너지 손실을 최소화하고 초에너지절약형 건물 확대·보급을 통해 2030년 에너지 예상수요의 32% 절감을 목표로 하고 있다. 신축의 경우 2025년 의무화되는 제로에너지주택의 원활한 보급을 목표로 2017년에 2009년 대비 에너지소비 및 온실가스 배출량 60% 절감을 추진하는 등 에너지 소비량 감축기준을 단계적으로 상향조정하여 기후변화 협약에 대응하고 있다. 이 목표를 달성하기 위해 정부에서는 친환경주택 건설기준에 단열성능을 2009년 중부지역 외기에 직접면한

주요어: 구조단열패널, 에너지성능평가, 저에너지하우스, 열관류율

Corresponding author: Lee, Hyeon-Ju

Smart Energy Laboratory, Korea Electric Power Research Institute, 105 Munji-Ro, Yuseong-Gu, Daejeon 305-760, Korea  
Tel: +82-42-865-5223, Fax: +82-42-865-5944, E-mail: [hyeon@kepri.re.kr](mailto:hyeon@kepri.re.kr)

투고일: 2013년 5월 14일 / 수정일: 2013년 6월 3일 / 게재확정일: 2013년 6월 17일

외벽의 경우  $0.36W/m^2K$ 이하에서 2010년에  $0.3W/m^2K$  이하, 2012년에  $0.25W/m^2K$ 이하로 점진적으로 강화하고 있다.

위와 같이 강화되는 외벽의 단열성능을 만족하기 위해서는 진공단열재 등 고성능 단열재를 적용하거나, 단열재의 두께를 증가시키는 방법이 사용될 수 있으며, 특히 실내 열과 냉기가 바닥과 벽을 통해 건물 밖으로 유출되는 열교 및 결로현상이 발생하지 않는 외단열공법이 저에너지주택을 중심으로 적용이 확대되고 있다.

일반적으로  $0.2W/m^2K$  이하의 단열성능을 만족하기 위해서는 발포 폴리스티렌 단열재의 경우 150mm 정도의 두께가 필요하게 되며, 조적벽 또는 콘크리트벽 구조에 단열을 할 경우 대략 350mm 이상의 벽 두께가 소요되어 경제적인 측면과 주택면적의 효율화 측면에서도 불리하다. 또한, 현재 전원주택 등에 적용되고 있는 경골목구조는 중간단열로 벽체의 두께를 줄일 수 있지만, 골조를 먼저 세우고 단열을 하기 때문에 단열재의 장기 처짐이나 시공의 품질정도에 따라 골조주위에서 열교가 발생하게 된다. 이러한 단열의 단점을 보완하면서 높은 기밀 성능 유지하고 구조체의 역할을 동시에 할 수 있는 재료로 구조단열패널(SIP, Structural Insulated Panel)이 있으며, 현재 미국, 캐나다 등을 중심으로 보급되고 있다.

정부의 에너지 절약 정책에 따라 저에너지주택의 보급 활성화를 위해서는 공사비가 절감되고, 단열성능이 우수한 구조단열패널 시스템 도입이 적극적으로 필요하며, 이에 따라 이현주 등(2012)은 국내에서 생산되는 구조단열패널의 내화 및 단열성능평가를 통해 1시간 내화구조 성능과 단열성능을 만족하였고, 나환선 등(2012)은 구조단열패널의 건축구조체로서 안전성능을 검증하기 위한 면내전단시험, 압축시험, 인방보 휨시험 등을 통해 국외실험결과 동등 이상의 구조성능을 확인 하였으며, 나환선 등(2013)은 구조단열패널 전단벽체의 정적가력시험과 유사정적 반복가력시험을 통해 전단성능을 확인하였다.

본 논문에서는 단열 및 내화, 구조안전성능이 검증된 구조단열패널로 시공한 주택에 대한 에너지성능평가를 통해 주택의 총에너지 성능을 평가하고 경제성과 LCC분석을 실시하여 저에너지주택에 대한 적용성을 평가하였다.

## 2. 구조단열패널 에너지성능평가

구조단열패널의 에너지성능평가를 위하여 실제 구조단열패널로 시공된 주택을 실증모델로 선정하

였다. 에너지성능평가는 2009년 법정 열관류율 기준을 적용한 기준주택과 실증주택의 성능을 비교하여 평가 하였다. 또한 단열재 두께에 따른 에너지 성능을 분석하기 위하여 단열재 두께 90mm와 185mm의 구조단열패널 주택을 추가로 분석하였다.

총 에너지 사용량 산출을 위하여 부위별 외피성능을 제외한, 급탕, 전기에너지 사용량 등은 친환경주택기준을 이용하여 설정하고, 실증주택은 정확한 에너지 사용량 분석을 위하여 기밀성능평가시험을 실시하여 침기량을 반영하였다.

에너지성능평가는 동적 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS 17을 이용하여 분석하였다.

### 2.1 실증주택 개요 및 열관류율 산정

실증주택은 경북 경산시 사동에 건설된 주택으로 벽체, 바닥 및 지붕이 모두 구조단열패널로 시공된 연면적  $127.65m^2$ 의 지상2층 주택이다. 설비시스템은 효율 88.8%의 고효율 가스보일러와 고효율 전열교환기가 설치되었으며, Fig 1은 실증주택의 외부모습이다.



Fig. 1 Field Test House

구조단열패널에 사용된 단열재는 비드법 2종 2호로서 벽체 종류에 따라 100mm, 140mm, 150mm를 사용하였으며, OSB(Oriented Strand Board) 합판은 11.1mm를 사용하였다. 벽체의 연결부분은 Fig 2와 같이 기밀성능을 보장하기 위하여 구조용 목재와 단열재가 연결되는 부분은 접착용 우레탄을 사용하여 기밀성능을 강화 하였으며, 구조용 목재 연결부는 열교방지용 단열간격재(비드법 2종 2호)를 사용하고 코킹으로 마감하였다.

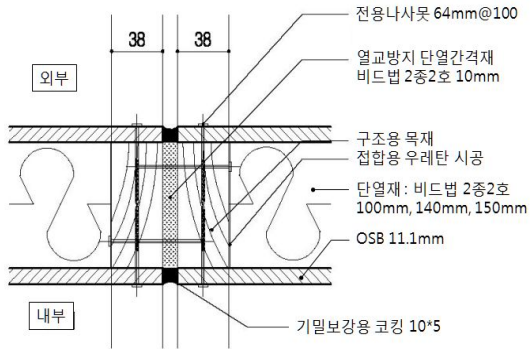


Fig. 2 Connection Drawings of SIP

패널 제작에 사용된 각 재료별 열전도율은 KS 기준을 적용하여 열관류율을 계산하였으며, 내부에 9.5mm 석고보드 2겹 마감을 포함한 외기직면 외벽의 경우 단열재 두께에 따라 열관류율은 0.161W/m<sup>2</sup>·K~0.310W/m<sup>2</sup>·K, 비공조공간과 면하는 벽체의 경우는 0.189W/m<sup>2</sup>·K~0.269W/m<sup>2</sup>·K로 분석되었다. 분석 케이스별 주요 외벽의 열관류율은 Table 1과 같다.

Table 1. U-value of Wall

구조체명	두께 (mm)	공간구성	열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·K)
W1	112	외부-실내	0.310
W2	162	외부-실내	0.209
W3	172	외부-실내	0.196
W4	206	외부-실내	0.161
W5	122	실내-실내	0.269
W6	172	실내-실내	0.189

설치된 주요 창호는 22mm 로이복층유리와 22mm 투명복층유리로 구성된 플라스틱 프레임 이중창과 40T 삼중로이유리 플라스틱 프레임 단창으로 시공되었으며, 40T 삼중로이유리 창호의 경우 개폐방식에 따라 열관류율이 상이하다. 주요 창호의 열관류율은 제조사의 시험성적서를 기준으로 Table 2에 나타내었다.

Table 2. U-value of Window

창호	개폐방식	열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·K)
이중창호	Sliding	1.298
40T 삼중창호	Tilt & Sliding	0.85
	Fix	0.78
	Tilt & Turn	0.79

바닥의 종류별 열관류율은 온돌바닥과 욕실바닥의 경우 0.190W/m<sup>2</sup>·K~0.279W/m<sup>2</sup>·K이며, 비공조공간과 면하는 바닥의 경우 0.185W/m<sup>2</sup>·K로 분석되었다. 지붕의 열관류율은 데크지붕의 경우 0.182W/m<sup>2</sup>·K, 일반지붕의 경우 0.190W/m<sup>2</sup>·K로 분석되었다. 주요 바닥 및 지붕의 열관류율은 Table 3과 같다.

Table 3. U-value of Slab and Roof

구조체명	두께 (mm)	공간구성	열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·K)
B1	550	온돌바닥	0.190
B2	450	욕실바닥	0.279
B3	692	2층바닥	0.185
T1	687	데크지붕	0.182
T2	637	일반지붕	0.190

실증주택에 적용된 부위별 열관류율을 2012년 법정 열관류율과 친환경주택기준으로 비교한 결과 모든 부위에서 친환경 주택기준을 만족하고, 2012년 법정 열관류율 대비 11.1%~70.7% 강화된 성능을 보이고 있으며, 특히 삼중유리 창호를 사용한 부위의 열관류율이 크게 향상되었다. 기준주택에 적용된 열관류율은 2009년 법정 열관류율 기준을 적용하였으며, Table 4에 표시하였다.

Table 4. U-value of Field Test House

구 분	열관류율(W/m <sup>2</sup> ·K)				강화율 ('12 법정)
	'09		'12		
	법정	법정	친환경	실증	
측벽	0.47	0.36	0.30	0.196	45.6%
외기직면 외벽	0.58	0.45	0.37	0.196	56.4%
외기간접 외벽	0.81	0.63	0.55	0.189	70.0%
				0.500	57.3%
외기간접 바닥(난방)	0.58	0.50	-	0.190	62.0%
				0.240	63.0%
외기간접 바닥(비난방)	0.64	0.58	-	0.279	51.9%
외기직접 지붕	0.35	0.24	-	0.182	24.2%
				0.190	20.8%
창호	3.30	2.70	2.10	0.79~1.298	51.9~70.7%
문	3.30	2.70		2.400	11.1%

### 2.2 시뮬레이션 입력조건

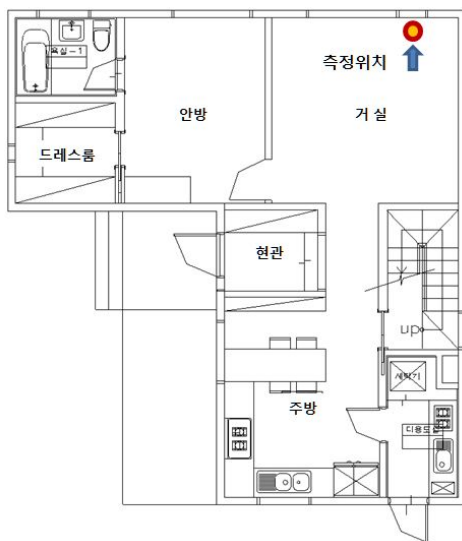
실증주택의 냉난방에너지를 산출하기 위한 설정 조건은 건축물 에너지저감 설계기준 별표 7의 냉·난방장치 용량계산을 위한 실내 온·습도 기준을 고려하여 Table 5와 같이 산정하였으며, 적용된 시스템의 효율은 Table 6과 같다. 침기량 측정은 Fig 3과 같이 1층 거실 창호에서 Blower Door를 이용하여 팬으로 실내외에 인위적인 압력차를 발생시켜 입출 공기량을 이용하는 감압법(Depressurization Method)으로 측정하였다. 실내외 압력차를 5Pa~50Pa 사이에서 5Pa 간격으로 총 10회에 걸쳐 압력을 감소시켜가며 각 압력차마다 침기량을 측정하여 일반적인 상태의 실내외 압력차인 4Pa 상태의 침기량을 추산하였으며, ACH50에 교정상수 20을 나누어 평균 침기횟수 0.106ACH를 반영하였다. 측정방법 및 적용규격은 ASTM E779-87과 ISO 9972의 규격을 적용하였다. 기계환기시스템의 환기성능은 풍량실험 실측값을 반영하였다.

**Table 5. Simulation Condition of Cooling and Heating**

구분	설정온도[℃]	운전 스케줄
난방	20	1.1~3.15 10.16~12.31
냉방	27	6.1~9.30

**Table 6. Efficiency of Equipment System**

구분	보일러 효율(%)	냉방 COP	침기 (ACH)	환기 시스템
기존주택	84.0	2.9	0.7	자연환기
실증주택	88.8	2.9	0.106	강제환기



**Fig. 3 Measurement Point of Blower Door**

급탕에너지 부하량은 급탕량, 급탕온도 등이 주로 영향을 미치는 요소이다. 건물종류별 급탕설비 설계 기준은 일반적으로 Table 7과 같으며, 4인 거주 주택으로 환산할 경우의 급탕량은 171.4L/day~342.9L/day를 사용하게 된다. 4인 가족의 1일 생활패턴을 적용하여 기기 및 사용 용도별로 급탕 사용량을 고려할 경우 약 140.6L/day~195.9L/day이며, 평균 급탕량은 168L로 산정된다. 급탕온도는 용도와 목적에 따라 다르며 주거용 표준급탕온도는 Table 8과 같이 용도에 따라 40℃~43℃가 필요하지만 배관 열손실 등을 고려하여 급탕공급온도를 50℃로 설정하였다.

위와 같은 구조용 단열패널 주택의 급탕설비 설계조건은 1일 급탕량 168L/day, 급수온도 50℃, 시수 온도 12℃와 Fig. 4의 급탕부하 스케줄을 적용하여 급탕부하량을 예측한 결과, 연간 약 12,131MJ로 예상되었다. Table 9의 친환경주택 건설기준의 구조 단열패널 주택(남부지방, 면적 84㎡~125㎡)은 12,110MJ로 예측된 급탕부하량 12,131MJ과 오차율 약 -0.2%로 매우 신뢰성 있는 결과를 보여주고 있다.

**Table 7. Analysis of Hot Water Usage in Building**

건물종류	1인 1일 급탕량 [L/인·day]	1일 피크 사용량비율 [day/h]	피크 연속 시간
주택, 호텔 아파트 등	75~150	1/7	4
사무소	7.5~11.5	1/5	2
공장 등	20	1/3	1

**Table 8. Temperature of Hot Water Supply**

용도		온도[℃]
세면기	세수용	40
	면도용	45
욕조	Shower	43
	의료용	35
상업 또는 산업용 세탁기		82
주거용 식기세척기 및 세탁 시		60
의료용 세정기		43
상업용 식기세척기	세척	65
	rinse	71~90
음료용		50~55
세차용		24~30

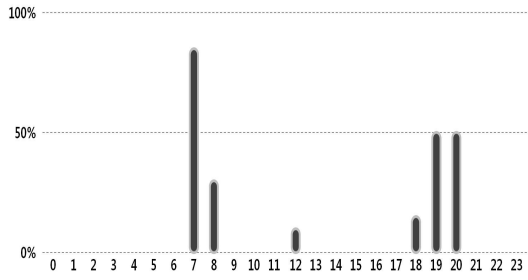


Fig. 4 Daily Schedule of Hot Water Supply

Table 9. Hot Water Supply Energy Standards GREEN HOME of Korea [MJ]

지역	59m <sup>2</sup> 미만	59m <sup>2</sup> ~84m <sup>2</sup>	84m <sup>2</sup> ~125m <sup>2</sup>	125m <sup>2</sup> 이상
중부	11,290	13,818	14,504	15,530
남부	8,008	10,879	12,110	14,848

주택의 전력부하량은 명확한 기준이 없기 때문에 유사 규모 저에너지주택의 사례를 반영하여 Table 10과 같이 조명 및 기기사용량을 정의하고, Fig 5의 스케줄을 반영하여 연간 약 4,713.0kW로 예측하였다. 친환경 주택기준을 적용한 전기부하량은 Table 11과 같으며, 실증주택의 전용면적으로 환산할 경우 4,728.7kW로서, 타 사례기준 4,713.0kW와 오차율은 -0.3%로 허용 가능범위이다.

Table 10. Lighting and Equipment Condition of the Main Room

구분	조명		기기	
	[W]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W]	[W/m <sup>2</sup> ]
거실	200	11.6	298	17.3
안방	72	5.6	172	13.4
부엌	180	9.9	458	25.1
방	72	6.0	86	7.3

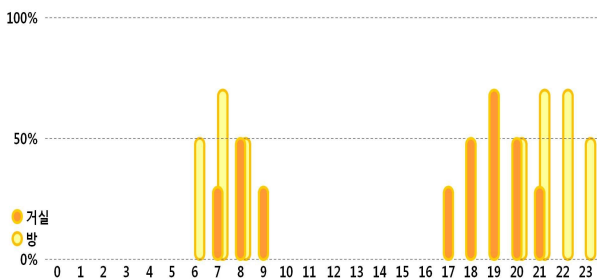


Fig. 5 Daily schedule of Lighting and Equipment

Table 11. Energy Standards of GREEN HOME of Korea

전용면적	전력부하량
50m <sup>2</sup> 미만	$y = 0.72A^2 - 2.05A + 9,112$ [MJ]
50m <sup>2</sup> 이상	$y = 98.7A + 5,965$ [MJ]
112.04m <sup>2</sup>	$y = (98.7 \times 112.04 + 5,965)$ MJ = 17023.3MJ = 4728.7kW

### 2.3 동적 에너지 성능평가

기준주택의 에너지 성능평가를 위하여 친환경주택 기준의 평가기준주택의 전용면적별 부위별 면적을 적용하여 Table 12와 같이 기준주택 부위별 면적 및 평균 열관류율을 산정하였다.

Table 12. Partial Area and Mean U-value of the Standard House

층벽 (m <sup>2</sup> )	외벽(m <sup>2</sup> )		창호 (m <sup>2</sup> )	지붕/바닥 (m <sup>2</sup> )	평균 열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·K)
	직접면	간접면			
20.0	48.3	11.0	37.9	145.3	0.85

기준주택의 연간 에너지 성능평가 결과 Table 13 및 Fig 6과 같이 난방에너지는 연간 55,363MJ로 1월 사용량이 15,788MJ로 최대였으며, 냉방에너지는 연간 1,743MJ로 7월 사용량이 594MJ로 최대였다. 급탕사용량은 연간 11,553MJ로서 일수에 따라 886MJ~981MJ로 거의 일정했다. 조명, 플러그, 기타 기기에 사용되는 전기에너지 사용량은 연간 17,035MJ로 월별로 고르게 분포되어 있다. 총에너지 사용량은 85,694MJ이며, 난방에너지 사용량은 약 65%, 냉방에너지 사용량은 약 2%로 냉난방에너지가 전체 에너지 사용량의 약 67%를 차지하고 있다.

월별 에너지 사용분포를 살펴보면, 11월~3월의 경우 난방에너지 사용량이 급증하여 월 에너지 사용량이 4,000MJ 이상 이었다.

Table 13. Annual Energy Consumption of Standard House [MJ]

구분	에너지소비량	비율
난방	55,363	65%
냉방	1,743	2%
급탕	11,553	13%
조명	9,540	11%
플러그&기타	7,495	9%
계	85,694	100%

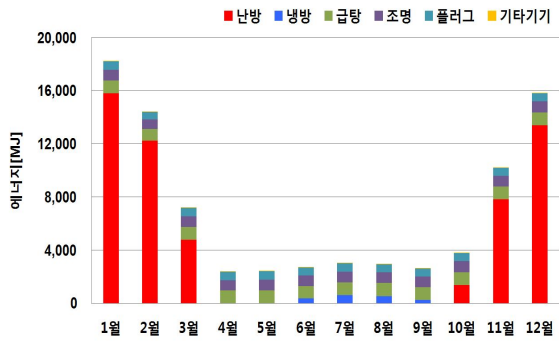


Fig. 6 Monthly Energy Consumption of Standard House

실증주택의 경우 난방에너지는 Table 14 및 Fig 7 과 같이 연간 12,916MJ로 1월 사용량이 4,147MJ로 최대였으며, 냉방에너지는 연간 3,407MJ로 7월 사용량이 925MJ로 최대였다. 급탕사용량은 연간 10,929MJ, 조명, 플러그, 기타 기기 사용량은 연간 16,966MJ이다. 총에너지 사용량은 44,285MJ로서 이 중 난방에너지 사용량은 약 29%, 냉방에너지 사용량은 약 8%로 냉난방에너지가 전체 에너지 사용량의 약 37%를 차지하고 있다. 냉방에너지가 다소 증가하였으나, 냉난방에너지를 함께 고려할 경우 기준주택 대비 71.4%가 저감되어 단열강화 뿐 아니라 기밀성강화로 난방에너지 저감에 효과적임을 알 수 있다.

월별 에너지 사용분포를 살펴보면, 12월~2월의 경우 난방에너지 사용에 의한 월 에너지 사용량은 4,000MJ 이상이지만 기준주택 대비 상당량 감소하였으며, 월별 사용편차가 작아졌다. 특히 전 기간 동안 월별 에너지 소비량이 8,000MJ 이하로 월별 에너지 소비 불균형이 다소 해소 된 것을 알 수 있다.

Table 14. Annual Energy Consumption of SIP House [MJ]

구분	에너지소비량	비율
난방	12,916	29%
냉방	3,407	8%
급탕	10,929	25%
조명	9,540	21%
플러그&기타	7,493	17%
계	44,285	100%

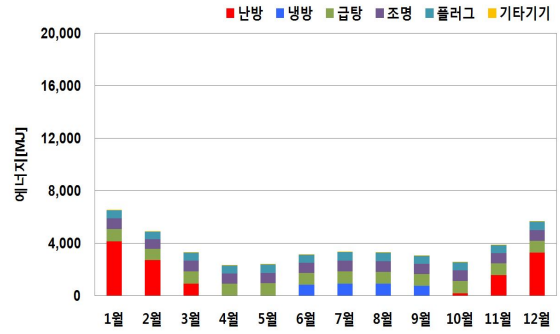


Fig. 7 Monthly Energy Consumption of SIP House

Table 15와 같이 냉난방기를 고려한 동적 시뮬레이션 결과는 실증주택의 경우 단열강화 및 기밀성강화에 의하여 난방에너지 76.7%, 총에너지 48.3%, 냉난방에너지는 71.5%가 저감되었다. 실제 외피의 성능을 강화한 분석에서 단열재가 90mm에서 2배인 185mm로 변경되었을 때 총에너지 저감률은 12.45% 증가에 그친 점을 고려하면 단열 두께를 무한정 증가시켜 총에너지 사용량을 저감시키는 것보다 고효율 기기 등의 사용이 더 효과적임을 알 수 있다.

구조단열패널 주택의 경우, 단열 및 기밀성강화에 의하여 난방에너지가 효율적으로 저감되나 그에 비해 냉방에너지가 다소 증가하는 경향이 있다. 기준주택의 냉방에너지는 총 1.7GJ로서 총에너지 중 약 2%를 차지하고 있으나, 실증주택의 경우 3.4GJ(총 에너지 중 7.7%)로 100% 가량 증가하였다. 이는 냉방기간 동안 일정한 설정온도를 유지하는 조건으로 분석되었기 때문이며, 실제 주택의 사용패턴을 고려하면 일몰 이후 시간대의 자연환기 등에 의하여 건물 내부가 냉각됨에 따라 냉방에너지를 효과적으로 저감할 수 있으므로, 총에너지 또는 냉난방에너지 저감에 초점을 맞추어 계획하는 것이 바람직하다.

Table 15. Comparison of the Annual Energy Consumption

구분	기준주택	실증주택	단열두께 변경	
			90mm	185mm
난방에너지[GJ]	55.4	12.9	17.2	10.7
냉방에너지[GJ]	1.7	3.4	3.1	3.5
급탕에너지[GJ]	11.6	10.9	10.9	10.9
전기에너지[GJ]	17.0	17.0	17.0	17.0
총 에너지[GJ]	85.7	44.3	48.2	42.2
난방에너지 저감률[%]	-	76.7%	69.0%	80.7%
냉난방에너지 저감률[%]	-	71.5%	64.5%	75.1%
총에너지 저감률[%]	-	48.3%	43.8%	50.8%

### 3. CO<sub>2</sub> 배출량 분석

국가교통 DB센터에서 제공하는 2008년 국가별 이산화탄소 배출량을 살펴보면 주요 15개국의 이산화탄소 배출량은 중국이 6,558.2백만tonCO<sub>2</sub> 로 1위를, 미국이 5684.1백만tonCO<sub>2</sub> 로 2위를 차지하고 있으며, 한국은 512.9백만tonCO<sub>2</sub> 로 10위이다. 이는 이란, 영국 등과 유사한 수치라 할 수 있으나, 단위면적당 CO<sub>2</sub> 배출량은 5,143.4tonCO<sub>2</sub> /km<sup>2</sup>로 1위를 차지하고 있어, 이산화탄소 배출량 감소는 무엇보다도 시급한 상황이며, 특히 건물에너지 부분의 감소대책이 요구되고 있는 실정이다. 이에 따라 구조단열패널 시공주택에 대한 CO<sub>2</sub> 배출량 분석을 실시하였으며, 탄소배출 및 이산화탄소 배출량 산정 시 적용된 LNG 연료의 탄소배출계수 산정은 IPCC의 배출계수인 15.3kg C/GJ를 적용하고, 전력의 이산화탄소 배출계수는 2010년 전력거래소 사용단 기준 0.4714tCO<sub>2</sub> eq/Mwh를 적용하였으며, 연료의 순발열량을 기준으로 산출하였다.

기준주택의 연간 CO<sub>2</sub> 배출량은 Table 16과 같이 6,208.4kgCO<sub>2</sub> 로 난방에너지 공급에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 3,105.9kgCO<sub>2</sub> 로서 전체 CO<sub>2</sub> 배출의 약 50.0%를 차지하고 있다. 이는, 동일한 에너지를 사용할 경우 가스에너지의 CO<sub>2</sub> 배출량이 전기에너지의 CO<sub>2</sub> 배출량보다 작기 때문이다. 그러나 향후 신재생에너지 설비 등 청정에너지에 의한 전력소비량 증가 시 이러한 현상도 해소될 것으로 여겨진다. 냉방에너지 공급에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 227.9kgCO<sub>2</sub> , 급탕에너지 공급에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 648.1kgCO<sub>2</sub> , 조명 및 기타에너지 공급에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 2,226.5kgCO<sub>2</sub> 이다.

Table 16. CO<sub>2</sub> Emission Quantity of Standard House [kgCO<sub>2</sub> ]

구분	에너지소비량	비율
난방	3,105.9	50%
냉방	227.9	4%
급탕	648.1	10%
조명&기타	2,226.5	36%
계	6,208.4	100%

실증주택의 연간 CO<sub>2</sub> 배출량은 4,009.28kgCO<sub>2</sub> 이며 난방에너지 공급에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 724.6kgCO<sub>2</sub> 로서 전체 CO<sub>2</sub> 배출의 약 18.1%(난방에너지 소비량은 29%)를 차지하고 있다. 냉방에너지 공급에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 445.2kgCO<sub>2</sub> , 급탕에너지 공급에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 613.1kgCO<sub>2</sub> , 조명

및 기타에너지 공급에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 2,226.3kgCO<sub>2</sub> 이다.

사용종류별 CO<sub>2</sub> 배출량은 Table 17과 같으며, 구조단열패널 주택은 기존주택 대비 난방에너지 저감으로 CO<sub>2</sub> 배출량이 76.7% 저감되었고, 냉방에너지는 기밀성 강화에 따라 95.3% 증가 되었으며, 전체 배출량은 35.4% 감소되었다.

Table 17. CO<sub>2</sub> Emission Quantity of SIP House [kgCO<sub>2</sub> ]

구분	에너지소비량	비율
난방	724.6	18%
냉방	445.2	11%
급탕	613.1	15%
조명&기타	2,226.3	56%
계	4,009.2	100%

### 4. 생애주기 경제성 분석

현재 저에너지 건축물에 대한 많은 관심과 고단열, 고효율 시스템 적용이 활발해지고 있다. 그러나 이러한 고단열, 고효율 시스템의 적용은 초기투자비 및 기기 유지관리비의 상승으로 인하여 저감되는 에너지 비용을 회수하지 못하는 경우가 발생하기도 한다. 구조단열패널 주택은 구조와 단열을 동시에 만족하는 재료로서 기존 공법과 비교하여 에너지 비용저감과 건축비용 절감, 공간 활용성이 우수하다. 이러한 장점을 확인하기 위해 총 생애주기 비용을 정량적으로 평가하였다.

생애주기 동안의 에너지비용 산정에서 가장 중요한 것은 정확한 연간 에너지소비량을 산출이다. 본 장에서는 3장에서 산출된 시뮬레이션 프로그램 결과를 토대로 에너지 비용을 산정하였다.

#### 4.1 에너지 비용 및 초기 투자비 분석

에너지 비용분석을 위한 단독주택의 전기요금은 주택용 전력(저압)을 적용하였으며, 가스요금은 2012년 7월 17일 한국석유공사의 프로판가스의 소비자 구매 기준 2,083.71원/kg을 적용하였다. Table 18은 주택용 전력(저압)의 적용된 요금기준이다.

Table 18. Electricity for Residential (Low Voltage)

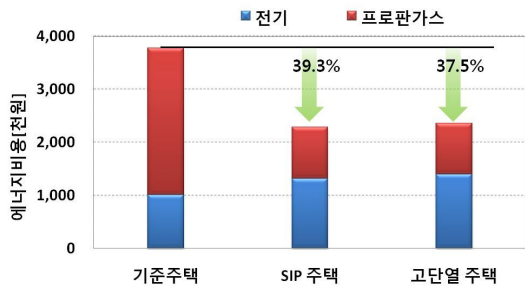
기본요금(원/호)		전력량요금(원/kWh)	
100kWh 이하	390	처음 100kWh	57.30
101~200kWh	860	다음 100kWh	118.40
201~300kWh	1,490	다음 100kWh	175.00
301~400kWh	3,560	다음 100kWh	258.70
401~500kWh	6,670	다음 100kWh	381.50
500kWh 초과	12,230	500kWh 초과	670.60

각 주택 유형별 에너지 사용량 및 사용요금을 Table 19와 같이 비교 분석하였다. 기준주택의 연간 가스소비량은 1,327.7kg, 전기소비량은 5,216.5 kWh 로 총 에너지 비용은 3,772,875원 이며, 가스요금이 전체요금의 73.3%를 차지하였다.

구조단열패널 주택의 에너지비용은 2,289,630원으로 기준주택 대비 39.3% 감소하였다. 난방 및 급탕, 취사에 사용되는 가스요금은 단열보강으로 인해 64.6% 감소하였지만, 냉방 등 전기요금은 30.3% 증가하였다. 이는 주택의 기밀화에 의하여 여름철 실내 열 배출이 감소하여 에어컨 사용 시간이 증가한 것을 원인으로 들 수 있으나, 실제 거주 시 이용환경을 고려하면, 자연환기에 의한 냉방에너지 비용 절감이 가능할 것으로 판단된다.

**Table 19. Energy Consumption and Cost**

주택 유형	열원	사용량	사용요금(원)
기준주택	가스(kg)	1,327.7	2,766,564
	전기(kWh)	5,216.5	1,006,311
구조단열패널 주택 (가스)	가스(kg)	469.1	977,491
	전기(kWh)	5,678.1	1,312,139
고단열주택 (가스)	가스(kg)	460.2	958,924
	전기(kWh)	5,810.0	1,400,551



**Fig. 8 Energy Cost by House Types**

초기투자비용 분석은 건축부분과 설비부분으로 구분할 수 있다. 건축부분은 외피의 단열성능 변화에 의한 분석을 목적으로 구조공사 및 단열공사, 창호공사 비용 등을 산정하였다. 기준주택은 단열재 두께 등을 고려하여 산정하였고, 구조 단열패널 주택은 실증주택 건축비용을 기준으로 산정하였으며, 동일 단열성능 수준 대비 구조단열패널의 경제성을 검토하기 위해 콘크리트조에 외단열을 적용한 고단열주택은 대전에 시공된 주택비용을 기준으로 적용하였다.

설비부분은 실증주택에 적용된 보일러의 성능 및 에너지 성능평가를 통한 용량계산으로 실제 판매되고 있는 보일러를 선정하였으며, 에어컨의 경우

COP는 동일하되 성능평가 결과를 반영한 용량계산을 참고하여 시스템을 결정하였다.

**Table 20. Initial Cost by Structure Part [one thousand won]**

주택유형	외벽	지붕	슬래브	창호	계
기준주택	23,402	14,066	3,225	6,151	46,845
구조용 단열패널 주택	34,461	11,678	3,225	5,813	65,176
고단열 주택	41,896	15,903	3,225	15,813	76,837

**Table 21. Initial Cost by Facility Types [one thousand won]**

가스보일러 +에어컨	구 분	투자비용
	기준주택	4,180
	구조단열패널 주택	4,926
	고단열주택	4,926

#### 4.2 총 생애주기 비용 분석

총 생애주기 비용분석을 위하여 최근 10년 동안의 금리 및 물가상승률을 적용하여 실질할인율을 산출하였으며, 실질할인율은 시공비 및 설비 시스템 비용 0.92%, 프로판가스 -9.09%, 주택용 전기 4.27%, 일반용 전기 2.48%로 산출되었다

유지관리비용 산출을 위한 수선주기 분석은 공동주택 장기수선 계획 수립기준을 참고하여 Table 22와 같이 결정하였으며, 구조단열패널은 선행연구에서 건축구조재료로서 내구성 및 구조성능을 확보하여 전면교체를 건물의 생애주기와 같은 40년으로 설정하였다.

**Table 22. Initial Repair Period and Maintenance Rate**

구분	유지보수		전면교체	
	주기[yr]	비율	주기[yr]	비율
콘크리트, 철근, SIP	-	-	40	100%
모르타르마감	8	15%	20	100%
회반죽마감	7	20%	30	100%
천장/내벽 석고보드	-	-	20	100%
내벽 단열	15	20%	50	100%
지붕방수	5	10%	20	100%
창	10	15%	25	100%

총 생애주기 비용 분석결과 Table 23 및 Fig 9와 같이 기준주택은 1,530,621천원이며, 구조단열패널 주택은 613,019천원으로 기준주택 대비 917,601천원이 저감(59.9% 저감)되어 투자회수기간이 8.1년으로

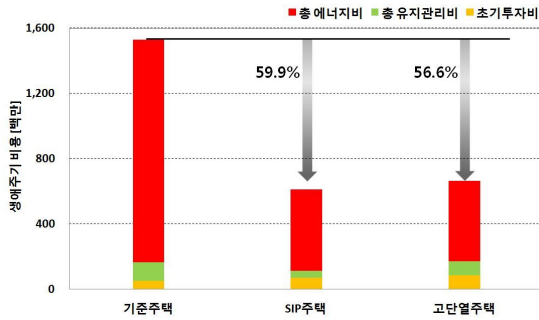


분석 되었다. 고단열 주택은 총 생애주기비용이 665,002천원으로 865,618천원이 저감(56.6% 저감)되었으나, 구조단열패널주택 보다 유지보수 비용이 많이 소요되어 투자회수기간이 11.5년으로 분석되었다.

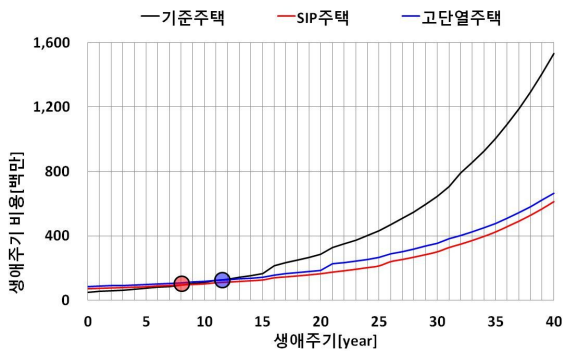
**Table 23. Results of the Analysis of Life Cycle Cost [one thousand won]**

주택 유형	유지보수비용	에너지 비용	총생애 주기비용	투자회수 기간(년)
①	115,051	1,364,545	1,530,621	-
②	41,073	500,334	613,019	8.1
③	86,820	492,987	665,002	11.5

① 기준주택      ② 구조단열패널 주택  
③ 고단열주택



**Fig. 9 Life Cycle Cost by House Types**



**Fig. 10 Investment Recovery of SIP and Enhanced Insulation House**

**5. 결론**

구조단열패널을 저에너지주택에 적용하기 위하여 실제 시공된 주택을 대상으로 동적에너지 성능평가 및 CO<sub>2</sub> 배출량 분석과 생애주기 경제성 분석을 실시하였다.

(1) 구조단열패널로 시공된 실증주택은 기밀성 및 단열 강화에 의하여 냉방에너지가 다소 증가하는 양상을 보였으나, 전체에너지 소비량 중 65%를 차지하는 난방에너지가 76.7% 저감되었으며, 총에너지는 85.7GJ에서 44.3GJ로 48.3%, 냉난방에너지는 71.5%가 저감되어 2012년 친환경주택 건설기준의 저에너지주택 총에너지 저감률 30% 이상을 만족하였다.

(2) 구조단열패널을 적용한 실증주택의 CO<sub>2</sub> 배출량 분석결과, 기존주택 대비 난방에너지 저감으로 CO<sub>2</sub> 배출량이 76.7% 저감되었고, 냉방에너지는 기밀성 강화에 따라 95.3% 증가 되었으며, 전체 배출량은 6,208,4kgCO<sub>2</sub> 에서 4,009.2kgCO<sub>2</sub> 로 35.4% 감소되었다.

(3) 생애주기 경제성 분석결과, 총 생애주기 비용은 기존주택 대비 917,601천원 저감(59.9% 저감)되었으며, 투자회수기간은 8.1년으로 분석 되었다.

**References**

Jang, J. S., Ko, M. J., Choi, D. S., and Kim, Y. S. (2010), "Optimizing of a Solar Water Heating System in an Residential Building through Simulation," *Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*. pp. 269-272. (in Korean).

Kang, H. S., and Lee, S. (2004), "A study on the energy gaining effect of sandwich panel using the transparent insulation," *Korea Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering*. pp. 762-767. (in Korean).

Kang, Y. U., Lee, S. C., Choi, Y. J., Oh, J. K., and Lee, K. H. (2012), "Construction Standards on Low-Energy Green House and Market Trends of General Contractors," *Korea Institute Ecological Architecture and Environment*, pp. 3-6. (in Korean).

Kim, C. H., and Lee, S. J. (2012), "A Study on the Reduction Performance Evaluation of Building Energy Demand for Zero Energy Apartment Building," *Korea Solar Energy Society*. pp. 319-324. (in Korean).

Kim, H. D., Park, J. S., Kang, S. H., Lim, Y. C., Lee, J. G., and Beak, N. C. (2012), "Study on the performance evaluation of Zero Energy House Technology," *Korea Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering*. pp. 559-563. (in Korean).

Kim, I. H., Kim, C. N., Jung, S. M., and Lee, S. J.

- (2011), "A Study on the Energy Demand of Estimation and Optimization of Plus Energy Home," *Korea Institute Ecological Architecture and Environment*, Vol. 11, No. 1, pp. 3-6. (in Korean).
- Kim, J. S., Lee, T. G., Cho, K. M., and Kim, J. H. (2010), "Comparative Experimental Study on the Sirtightness of passive house and common house," *Korea Institute Ecological Architecture and Environment*, Vol. 10, No. 2, pp. 3-6. (in Korean).
- Kim, Y. H., Roh, E. H., Kim, Y. K., Choi, W. K., Lim, J. H., and Song, S. Y. (2010), "External Insulation Design Schemes for Energy-efficient Apartment Buildings," *Architectural Institute of Korea*, Vol. 30, No. 1, pp. 511-512. (in Korean).
- Lee, C. Y., Kim, B. G., Park, S. Y., and Suh, S. J. (2011), "An Analysis of Comparison between the Evaluation Tool for Environmentally-Friendly house Performance and Detailed Anaysis Programs," *Korea jounarl of Air-conditioning and Refrigeration Engineering*, pp. 699-703. (in Korean).
- Lee, H. J., Nah, H. S., and Choi, S. M. (2012), "Fire Resistance Performance and Thermal Performance Evaluation of Structural Insulated Panels for Low-Energy Houses," *J. Korean Soc. Adv. Comp. Strus.* Vol. 3, No. 2, pp. 36-46. (in Korean).
- Lee, J. S. et al. (2010), "Development of an Evaluation Method and Support policy for the Green Home project," *LHI journal of land, housing, and urban affairs*. Vol.1, No. 1, pp. 27-34. (in Korean).
- Lee, M. J., Lee, W. J., Kim, W. S., and Lee, W. T. (2012), "A Study about Reduction rates of Building Energy Demand for a Detached House according to Building Energy Efficient Methods," *Architectural Institute of Korea*. Vol. 28, No. 5, pp. 275-282. (in Korean).
- Nah, H. S., Lee, H. J., and Choi, S. M. (2013), "Performance Evaluation on Static Loading and Cyclic Loading for Structural Insulated Panels," *J. Korean Soc. Adv. Comp. Strus.* Vol. 4, No. 1 pp. 33-39. (in Korean).
- Nah, H. S., Lee, H. J., Lee, C. H., Hwang, S. W., Jo, H. J., and Choi, S. M. (2012), "Evaluation on Structural Performance of Structural Insulated Panels. in Wall Application," *J. Korean Soc. Adv. Comp. Strus.* Vol. 3, No. 2, pp. 19-27. (in Korean).
- Nah, H. S. et al (2011), *Development of Standard Model for All Electrified House(Final Report)*, KEPRI.
- Park, C. Y., and Hong, G. P. (2010), "Comparison with Energy Assessment Tools of Apartment From Case Study," *Korea Institute Ecological Architecture and Environment*. Vol.10, No.1, pp. 3-6. (in Korean).
- Sim, H., Kim, J. H., and Kim, J. T. (2011), "A Study on Energy Performance of Standardized Detached House with Vacuum Insulation Panels," *Korea Institute Ecological Architecture and Environment*, Vol. 11, No. 2, pp. 57-61. (in Korean).
- Sung, J. H., Lee, J. Y., Kim, I. H., and Lee, S. J. (2011), "An Analysis of Heating and Cooling Energy in Passive House for Korean-type Plus Energy House," *Korea Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering*, pp. 815~818. (in Korean).