http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2013.13.2.039

패시브 하우스 디자인 요소를 적용한 농촌지역 단독주거건물의 난방에너지 모니터링 연구

A Study on Heating Energy Monitoring of a Rural Detached House Applying Passive House Design Components

조 경 민* 이 태 구** 한 영 해***
Cho, Kyung-Min Lee, Tae-Goo Han, Young-Hae

Abstract

Recently, the field of construction is putting a variety of effort into reducing CO2, since global warming is being accelerated due to climate changes and the increase of greenhouse gas. For reduction of CO2 in the field of construction, it is required to make plans to cut down heating energy of buildings and especially, it is urgently needed to cut down energy of residential buildings in rural area where occupies the majority of consumption of petroleum-based energy sources. Therefore, this research compared and analyzed the actual energy consumption, by evaluating energy performance of a detached house applying passive house design components for reduction of energy. As the result, energy consumption showed remarkable differences, according to the operation of a heat recovery ventilation unit which is one of passive house design components, and building energy consumption displayed remarkable differences, too, depending on the difference of airtightness performance during building energy simulation conducted in process of design. Based on these results, the importance of airtightness performance of passive house was verified. The result of the actual measurement of energy consumption demonstrated that LNG was most economical amongst several heat resources yielded, on the basis of LPG source energy consumption measured within a certain period of time, and it was followed by kerosene. LPG was analyzed to have a low economic efficiency, when used for heating.

키워드 : 패시브 디자인, 난방에너지, 에너지 절약, 실내 환경모니터링,
Keywords : Passive Design, Heating Energy, Energy Saving, Indoor Environment Monitoring

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라의 연간 에너지 소비량은 IEA 2009년 기준으로 총 229.2 백만toe[1]로 세계 11위에 해당하며[2], 이 중 가정부문과 상업공공부문을 합하여 건축물에서 사용되는 에너지 소비량은 국가 전체 소비량의 약 25%에 달한다.[3]

건축부문에너지 소비량 중에서 약 50%(전체 에너지소비원의 12.9%)의 에너지를 가정 부문에서 소비하며, 약 32%의 에너지를 단독주택에서 소비하고 있는 것으로 나타났다[4]. 또한 사용되는 주거용 건물의 에너지원 중 약 91%가 석유류에서 비롯됨으로써 화석연료에 크게 의존하고 있다.

뿐만 아니라 단독 주거 형태가 주를 이루고 있는 농촌지역이 도시지역보다 등유계 열원소비를 더 많이 소비하는 것으로 나타나고 있다. 즉 유가상승에 대한 직접적인 영향을 농촌지역에서 더욱 민감하게 받고 있다는 반증이기도 하다.

따라서 단독 주거 건물의 에너지 절감을 위해서는 기존 건물에서 난방에너지를 90% 이상 절감할 수 있고 주거의 쾌적성을 확보할 수 있는 패시브 하우스 디자인 요소를 고려하여 건물에서의 유지 관리 비용과 에너지 사용비용을 절감하는 방안을 모색할 필요성이 있다.

이러한 건축물 에너지 절감방안을 적용하기 위해서는 패시브 하우스 디자인 요소를 고려한 주거건물의 난방에너지 소비량의 실질모니터링 분석이 필요하며, 실질적인 국내 기

* 주저자, 세명대학교 건축공학과 일반대학원 박사수료 (term257@nate.com)
** 교신저자, 세명대학교 건축공학과 부교수, 공학박사 (tglee2911@naver.com)
*** 공동저자, 에코아르케 생태도시건축연구소, 소장 공학박사 (youngseahan@empal.com)

1) Ton of Oil Equivalent의 약어로 여러 가지 단위로 표시되는 각종 에너지원들을 원유 1톤이 발열하는 칼로리(cal)를 기준으로 표준화한 단위(1toe는 1,000만kcal)
2) 2012.09 에너지관리공단, 2012 에너지·기후변화 편람
3) 2009.07 에너지관리공단, 2009 에너지·기후변화 편람
4) 2009.07 에너지관리공단, 2009 에너지·기후변화 편람

후에 적용 가능성에 대한 분석이 뒷받침되어야 한다.

이에 본 연구에서는 농촌지역에 패시브 하우스 디자인요소를 적용한 단독 주거건물을 시공하고 동절기 실내 온·습도 변화 및 난방에너지 사용량을 비교 분석하여 농촌지역의 패시브 하우스 설계 및 시공을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 농촌지역에 패시브 하우스 디자인 요소를 적용한 단독건물을 시공하여 설계 시 계획한 에너지 성능평가와 시공 후 성능평가를 비교 분석하고, 실내 환경 모니터링 및 실질 난방에너지 사용량을 측정하여 분석하는 것을 연구의 범위로 삼는다.

연구의 방법은 다음과 같다.

첫째, 패시브 하우스 디자인 요소를 적용한 건축모델의 에너지 시뮬레이션을 실시하여 기밀 테스트 값을 고려한 시공 전, 후의 에너지 시뮬레이션을 비교 분석한다.

둘째, 에너지 시뮬레이션 시 적용된 실내온도를 적용하여 실제 주택의 실내 환경 변화를 모니터링하고 폐열회수 환기장치의 가동 유무를 고려한 실내 환경 변화를 분석한다.

셋째, 시공모델에 적용된 환기시스템의 가동여부에 따라 일정 기간 동안 사용된 난방에너지의 실질 사용량 및 예상 비용을 분석하고, 타 열원을 적용하였을 경우 발생되는 난방에너지 사용량과 발생비용을 예측·분석한다.

2. 이론적 고찰

2.1 선행 연구 고찰

본 연구에 앞서 관련 연구동향을 고찰한 결과 패시브 디자인 요소를 적용하여 난방에너지 소요량에 대한 모니터링을 실시한 연구는 국외에서 진행된 독일 최초의 패시브 하우스인 다름슈타트 패시브 하우스를 시작으로 유럽 각지에서 패시브 하우스 시범보급사업인 CEPHEUS(Cost Efficient Passive House as European Standards)프로젝트가 2001년에 완료된 사례가 있다. 본 CEPHEUS 프로젝트에서는 유럽 5개국(독일, 스웨덴, 오스트리아, 스위스, 프랑스)이 참여하여 모니터링이 이루어진 프로젝트이다.

반면 국내에서는 한국 패시브 하우스 구축을 위한 단열구조체를 선정하여 난방에너지 소비특성(강재식 외 3인, 2009)을 분석한 연구와 농어촌 주택 표준모델의 설계 도서를 기반으로 냉·난방에너지 요구량을 분석(이찬규 외 1인, 2012)하는 연구가 진행되고 있는 수준이다.

즉 국내 선행 연구들은 대부분 패시브 하우스를 위한 요소의 적용 가능성과 개별 구조체에 대한 시뮬레이션 연구가 진행되고 있는 실정이며, 실질적인 패시브 하우스 디자인 요소를 적용한 주택의 시뮬레이션과 실질에너지 소요량을 비교하기 위하여 모니터링을 실시한 연구는 미흡한 상태이다.

따라서 패시브 하우스 디자인을 적용한 주택의 에너지 저감 타당성 제시를 위하여 패시브 하우스 보급에 중추적인 역할을 수행했던 CEPHEUS 프로젝트와 같이 에너지 시뮬레이션과 실질 에너지 소비량 모니터링을 실시하여 비교 분석하는 연구가 필요한 실정이다.

2.2 패시브 하우스의 개념 및 설계조건

패시브 하우스는 독일 PHI (Passive House Institute)에서 처음 정의된 개념으로써 건축물의 외피를 고기밀, 고단열 형태로 구축하여 '전통적인 기계 냉 · 난방 설비가 필요없이 여름철과 겨울철에 쾌적한 실내 환경을 제공하는 건물'로 정의하였다.

보다 구체적으로 패시브 하우스는 연간 난방 에너지 요구량이 15kWh/㎡·a[5] 이하이며, 냉·난방·급탕·전기를 포함한 1차에너지 소요량은 120kWh/㎡.a 이하를 필수조건(prerequisite)으로 규정하고 있다. 또한 <표 2-1>과 같이 세부적인 구조체의 열성능과 설비유닛의 효율을 요구조건으로 명시하고 있다.

표 2-1. 독일 패시브 하우스 요구 성능 설계 조건[6]

구 분	요구량
연간 난방에너지 요구량	≤ 15 kWh/㎡.a
1차에너지 소요량	≤ 120 kWh/㎡.a
기밀성능 (AirTightness) n50	≤ 0.6회/h
부위별 구조체의 단열성능 U-value	≤ 0.15 W/㎡.K
창문 프레임과 유리의 평균 U-value	≤ 0.8 W/㎡.K
창문 유리의 평균 g-value	≥ 0.5
환기시스템 난방효율 ηHR	≥ 75%(난방기준)
	≤ 0.45 Wh/㎥

3. 패시브 하우스 디자인 요소를 적용한 모델 시공 및 에너지 성능분석

3.1 적용 모델의 설계 및 시공

① 패시브 하우스 디자인을 적용한 모델 설계

본 연구의 적용 모델은 패시브 하우스 디자인 요소를 적용하여 각 구조체의 성능과 요구조건을 만족시키도록 설계·시공하였고, 설계 시 건물 에너지 성능을 검토하기 위하여 독일 PHI(Passive House Institute)에서 개발한 PHPP 프로그램[7]을 사용하였다.

패시브 디자인을 적용하기 위한 설계적 측면의 요소기술로서 건물을 정남향에서 동쪽으로 약 15° 향하도록 배치하였으며, 건물 외피가 외기에 노출되는 면적을 최소화하기 위하여 외벽의 요철을 제거한 형태로 구성하였다.

선형열교 제거를 위하여 기초부에는 매트기초를 단열하는 방식을 선정하였고, 창호부위에서는 프레임을 5cm감싸는 시공을 실시할 수 있도록 설계에 반영하였다. 지붕부위는 경량 목구조를 선정하여 목재에 의한 열교를 최소화하는 방안으로 목재의 교차시공법을 적용하여 설계에 반영하

5) 난방에너지 요구량은 연간(annual) 제곱미터(㎡)당 요구되는 에너지량(kWh)을 말함

6) 독일 Passive House Institute (2001)

7) 독일 패시브협회에서 개발한 프로그램으로(Passive house planning package) 국제 표준규격인 ISO13790에 근거하여 주거용 및 비주거용 건물의 에너지 요구량을 산출하는 프로그램임.

였다. 또한 침기와 누기를 방지하기 위하여 창호주변과 목재 구조목 주변의 기밀층을 형성하도록 위치별 기밀재료를 지정하여 설계하였다.

창호부위는 패시브 난방을 위하여 로이코팅이 된 3중 창호[8]를 적용하였고, 일사획득을 위하여 남측면을 개방하고 북측면은 닫는 구조로 평면에 적용하였다. 여름철 개방된 남측면 창호로부터 일사차단을 위한 단열셔터를 적용하였다.

환기열 손실을 최소화하기 위하여 난방효율이 76%인 폐열 회수 환기장치와 Cool tube를 적용하였고, 태양에너지를 활용하기 위한 PV패널을 적용하도록 설계하였다.

마지막으로 설계를 최종적으로 검토하고 에너지 성능검토를 실시하기 위하여 다음과 같이 구조체별 재료의 성능을 토대로 구조체 열성능 분석을 실시하였다.

표 3-1. 단독주거 모델 설계개요

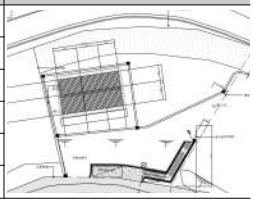
구 분	내 용	배치형태
시공년도	2011	
대지면적	988㎡	
건축면적	84.12㎡	
건축구조	철근콘크리트+목구조	
기초형식	매트기초	
단열방식	양단열(외단열+내단열)	

표 3-2. 표면 열전달 저항[9]

(단위:㎡K/W)

열류방향	Upward	Horizontal	Downward
실내열전단저항	0.10	0.13	0.17
실외열전달저항	0.04		
지반열전달저항	0.00		

표 3-3. 구조체별 재료구성 및 열성능

구분	구조체 구성	두께 (mm)	열전도율[10] (W/m·K)	열관류율 (W/㎡·K)
지붕	· 석고보드 · 공기층 · 유리섬유R30 · 유리섬유R19 · 공기층 · 판재	20 38 232 150 38 15	0.176 0.245 0.044 0.045 0.245 0.130	0.108 [493mm]
외벽	· 황토미장 · EPS · 콘크리트 · EPS · 천연칼라몰탈	15 60 140 180 10	0.560 0.030 2.100 0.030 1.000	0.121 [405mm]
바닥	· 황토몰탈 · EPS · 콘크리트 · XPS	60 50 300 250	0.800 0.031 2.100 0.028	0.112 [490mm]
창호	· LOW-E 코팅 3중 창호	43	-	0.7 (g-0.5) [43mm]
문	· PVC · 폴리우레탄 · PVC	5 25 5	0.190 0.024 0.190	0.791 [35mm]

8) 창호 전체의 열관류 값이 0.80 W/㎡·K 이하인 창호를 적용함.
9) EN ISO 6946에서 명시하는 표면 열전달 저항값(R)

② 적용 모델의 시공

본 시공모델은 패시브 디자인 요소를 고려한 설계와 패시브 하우스의 기본요건에 부합하는 구조체의 열성능 및 기밀 시공을 바탕으로 실시되었다.

패시브 하우스를 위한 부위별 적용 구체는 외벽 구조체를 단열블럭으로 적용하여 구조체와 단열재의 일체화를 구현한 조립형 양단열 구조체로 시공하였다. 지붕 구조체는 유리섬유 단열재를 적용한 경량 목구조를 적용하였고, 단열재내의 습기 침투 방지와 기밀층 형성을 위하여 실내측에 가변형 투습 방습지를 설치하였다.

마감재료는 천연재료인 모노쿠쉬를 외부 미장재료로 적용하였고, 황토미장과 천연페인트, 한지, 목재 등으로 내부재료를 적용하였다.

다음 <표3-4>은 시공과정 및 간략한 시공과정의 설명이다.

표 3-4. 패시브 하우스 디자인 요소를 적용한 시공과정

① 기초 및 바닥단열 시공
- 연속된 단열 외피를 구현하기 위한 기초의 열교 제거 및 매트기초의 단열 시공과정
- 매트기초의 외부단열과 상부 외벽의 단열선의 분리가 없는 시공 (외벽 단열블럭을 기초부 단열재로 시공하여 상부 외벽과의 일체화 시공)

② 외벽 및 지붕시공
- 일체형 단열재 시공을 위한 양단열 방식 단열블럭 시공(외단열 방식의 선형열교 및 단열재 부착저하에 따른 시공하자 저감)
- 섬유단열재를 포함한 지붕목구조 및 단열성능유지를 위한 투습방수지 설치(기밀층 형성)

③ 창호 및 개구부 기밀시공
- 고성능 3중 로이코팅 유리 및 창틀설치
- 침기 방지를 위한 창호주변 기밀시공 (내부는 투습방습지, 외부는 투습방수지로 시공)

10) ISO 10456에 명시된 재료별 열전도율 (λ)

④ 실내 천연재료 마감
- 습도조절을 위한 황토미장 위에 통기성을 지닌 식물성 천연페인트 마감
- 목재루버 마감 및 황토 몰탈 바닥 위 한지마감

⑤ 환기 및 Cool Tube System
- 환기열 손실 저감을 위한 폐열회수장치적용
- 여름철 냉방부하저감 및 프리히터를 위한 쿨튜브적용

3.3 건물에너지 성능평가

본 연구에서는 건물의 에너지 성능을 분석하기 위하여 계획단계에서 적용된 각 구조체의 열성능 및 시공 시에 적용된 재료의 시험 성적서를 기반으로 최종 에너지 성능을 분석하였다.

최초 설계단계에서의 에너지 성능평가는 기밀 측정값을 제외한 에너지 성능을 분석하였고, 시공이 완료된 시점에서 기밀테스트(Blower Door Test)를 현장 실측하여 실측값을 적용하여 최종 분석하였다.

따라서 건물 에너지 성능평가는 기밀 측정값의 적용 유무에 따라 비교 분석하였으며 실내온도 및 습도변화에 의한 난방에너지 사용량 분석도 기밀테스트를 측정한 이후부터 실내 환경모니터링을 실시하였다.

PHPP:2007을 통한 건축물 에너지 성능평가를 수행하기 위하여 <표 3-5>와 같은 기본 경계조건을 적용하였다.

표 3-5. PHPP;2007의 구동을 위한 기본조건

구 분	조 건	
설정온도	난방온도	실내 온도 20℃
	냉방온도	실내 온도 25℃
재실자	4 인	
건축면적 및 체적	ATFA[11] : 82.4㎡, 체적:406㎥	
기후데이터	충주지역기후[12]	
계산법	월간법 (Monthly Method)	

다음 <그림 3-1>부터 <그림 3-3>까지는 기밀 측정값의 유무에 따른 건물 에너지 성능 평가를 실시한 내용이다.

11) PHPP:2007에서 적용되는 냉·난방면적 (Treated Floor Area)
12) METEONORM 6.1을 이용한 기후데이터를 이용하였으며, 본 기후데이터는 해당지역(제천) 데이터가 마련되지 않아 인근지역 데이터를 적용함

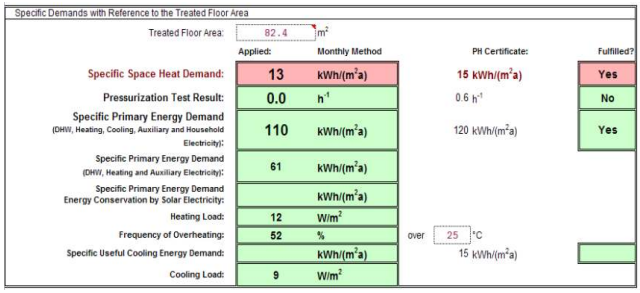


그림 3-1. 기밀 측정값을 배제한 건물 에너지 성능평가

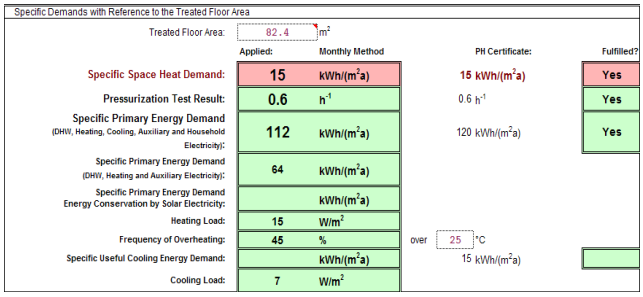


그림 3-2. 기밀 성능 0.6회/h을 적용한 건물 에너지 성능평가

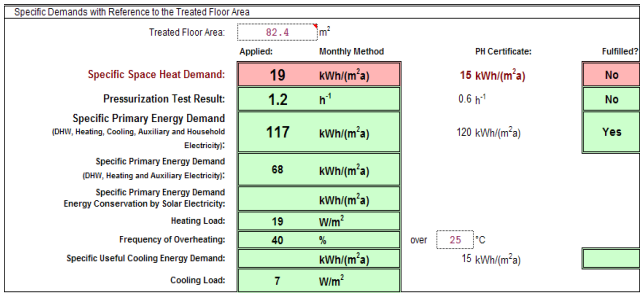


그림 3-3. 현장 기밀 측정값을 적용한 건물 에너지 성능평가

<그림 3-1>에서 보는 바와 같이 기밀성능을 제외한 건물에너지 성능은 난방에너지 요구량이 13(kWh/㎡a), 1차에너지 소요량은 110(kWh/㎡a)로 분석되었고, 기밀 성능 값은 패시브 하우스의 최대 요구 조건인 n50일 때 시간당 0.6회 수치를 대입시켰을 경우 난방에너지 요구량은 15(kWh/㎡a), 1차에너지 소요량은 112(kWh/㎡a)로 패시브 하우스 인증기준에 부합한 성능으로 검토되었다.

그러나 <그림 3-3>과 같이 현장 기밀테스트를 실시한 결과, n50일 때 시간당 1.2회의 성능으로 측정되었으며, 이 측정값을 대입한 난방에너지 요구량은 기밀성능이 0.6회 일때 보다 약 26% 증가된 19(kWh/㎡a), 1차에너지 소요량은 117(kWh/㎡a)로 패시브 하우스 인증조건에 부합하지 않는 건물에너지 성능으로 평가되었다.

표 3-6. 건물에너지 성능 평가비교

구 분 (기밀성능)	1차에너지 (kWh/㎡·a)	난방에너지 (kWh/㎡·a)	난방부하 (W/㎡)
0.0 회/h	110	13	12
0.6 회/h	112	15	15
1.2 회/h	117	19	19

따라서 설계 계획상의 건물 에너지 성능 평가는 패시브 디자인 요소를 적용하였을 경우 패시브 하우스 인증기준에 부합하였으나, 시공과정에서 발생한 시공오차에 의한 기밀성능 저하로 인하여 패시브 하우스 인증 기준을 만족하지 못하였다.

4. 시공 모델의 실내 환경 모니터링 및 난방에너지 사용량 분석

본 연구에서 패시브 디자인 요소를 적용하여 설계·시공한 모델의 실내 환경 모니터링을 위하여 온도 및 습도, CO2 센서를 설치하여 일정기간 내 온·습도 변화 및 난방에너지 사용량을 분석하였다.

실내 온·습도 변화와 정량적 난방에너지 사용량을 측정하기 위하여 건물에너지 성능평가에 적용된 동일 실내 온도 값인 20℃를 기준으로 내부 환경의 변화와 난방에너지 사용량을 모니터링 하였고, 사용열원을 기반으로 열원별 사용량을 예측하였다.

실내 환경 모니터링은 모델에 적용된 폐열 회수 환기장치의 가동여부에 따라 기간을 나누어 모니터링 하였고, 각각의 모니터링 기간은 폐열 회수 환기장치를 가동하지 않은 2012년 2월6일부터 2월 27까지를 1차 측정시기[13]로 설정하였다.

그 이후 2012년 2월 28일부터 3월 21일 까지 폐열 회수 환기장치를 가동하여 2차 측정시기로 설정하여, 설정기간 내 실내 환경 변화 및 난방에너지 사용량을 분석하였다.

건물 내 실내 환경 모니터링을 위한 센서 설치 위치 및 설치 센서의 종류는 <표 4-1>과 같다.

표 4-1. 실내 환경모니터링을 위한 센서 설치 위치 및 센서종류[14]

센서구분	설치위치
온도센서	거실, 주방, 화장실, 다락, 각방
습도센서	거실, 주방, 화장실, 다락, 각방
CO2센서	북쪽방, 주방, 동쪽방

4.1 실내 환경 모니터링 분석

실내 환경 모니터링은 실내 설정온도를 기준으로 일정기간동안 온도 및 습도, CO2의 변화를 분석하고, 폐열 회수 환기장치의 가동 여부에 따른 실내 환경의 변화량과 난방에너지 사용량을 각각 분석하였다.

<표 4-2>에서 <표 4-7>까지는 각 위치별 실내 환경 모니터링 결과 값을 나타낸 그래프이다.

표 4-2. 각 실의 온도변화량(2월 6일 ~ 2월 27일까지)

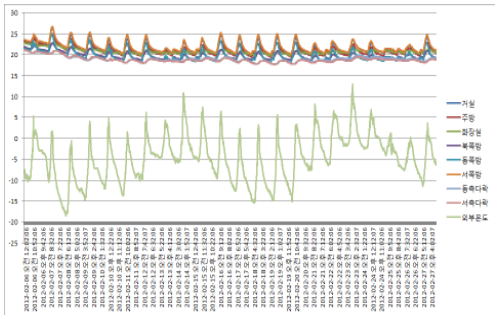
구 분	각 실별 온도변화
환기 장치 미가동	

표 4-3. 각 실의 온도변화량(2월 28일 ~ 3월 21일까지)

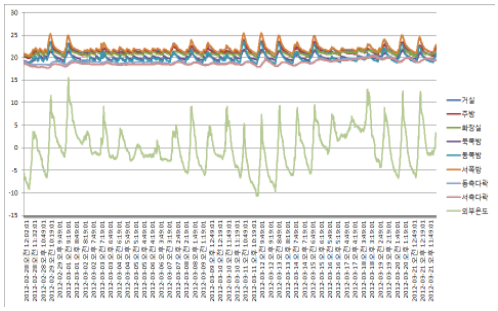
구 분	각 실별 온도변화
환기 장치 가동	

표 4-4. 각 실의 습도변화량(2월 6일 ~ 2월 27일까지)

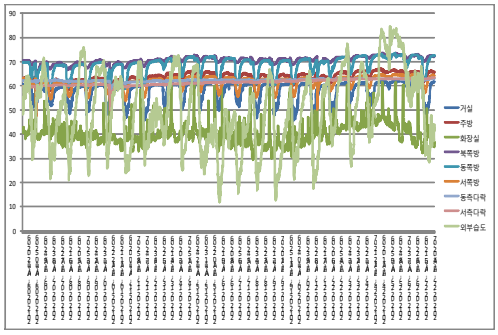
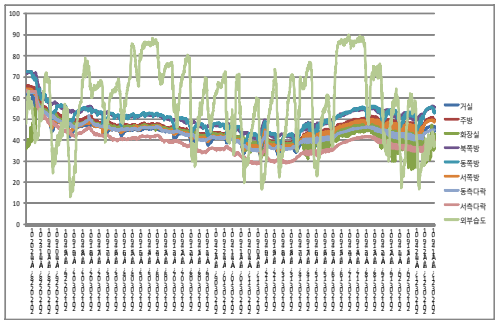
구 분	각 실별 습도변화
환기 장치 미가동	

표 4-5. 각 실의 습도변화량(2월 28일 ~ 3월 21일까지)

구 분	각 실별 습도변화
환기 장치 가동	

13) 최초 측정기간이 2월 06일부터 시작한 것은 난방장치의 설치와 시험작동을 거친 이후부터 측정기간을 선정하였음

14) 각 센서는 자동로거 프로그램에 의하여 10분 단위로 실내 환경을 모니터링 하여 현장 실측하였음

표 4-6. 각 실의 CO2변화량(2월 6일-2월 27일까지)

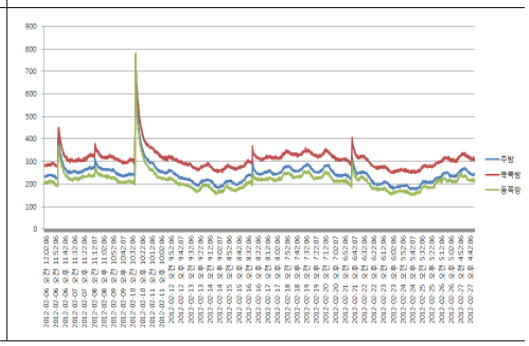
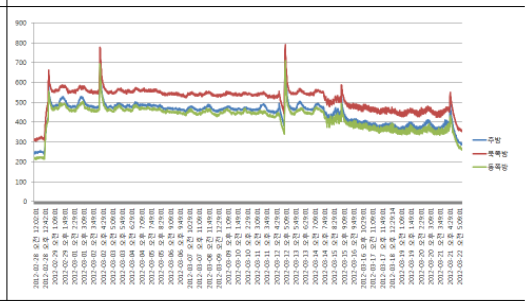
구 분	각 실별 CO2변화
환기 장치 미가동	

표 4-7. 각 실의 CO2변화량(2월 28일-3월 21일까지)

구 분	각 실별 CO2변화
환기 장치 가동	

각각 약 3주간에 걸친 측정값을 분석한 결과, 실내온도는 약 19~27℃의 변화폭을 나타냈고, 주간에는 남측면 실들의 온도가 실내 고정온도보다 높아졌다. 이는 창호의 일사획득에 의한 패시브 난방이 이루어진 것으로 사료된다. 반면 설정온도보다 낮은 실들은 화장실과 다락층으로서 대부분 일사획득이 직접적으로 일어나지 않고 직접난방이 없는 공간에서 온도의 편차가 발생된 것으로 사료된다.

또한 환기장치의 가동여부에 따라 실내 온도의 변화 진폭주기가 낮아지는 현상이 발생되었고 습도의 변화량 또한 현저한 차이를 보였다.

표 4-8 실내환경 모니터링 비교분석 (다락제외)

구 분	온도(℃)	습도(%)	CO2(ppm)
폐열회수장치 미가동	19~27	55~72	200~350
폐열회수장치 가 동	19~25	38~55	450~600

상기 <표 4-8>과 같은 결과의 원인은 환기장치 미가동시 기밀한 건물 조건 때문에 외부의 건조한 공기와 교환이 이루어지지 않아 상대적으로 높은 습도를 유지한 것으로 사료된다.

환기장치의 가동시에는 유입공기의 온도편차에 의한 잦은 난방기기의 작동이 발생된 것으로 사료되며, 습도의 변화는 외부의 낮은 습도 교환으로 인한 실내습도의 변화로 분석된다.

환기장치의 미가동시 약 55~72%의 내부습도는 실내 쾌적 범위 습도를 넘어 자칫 상대적으로 열성능이 낮은 부위 또는 단열재 내부에 결로가 발생될 수 있는 상당히 높은 습도 수준이다. 그러나 환기장치의 가동 시 평균적으로 38~55% 사이의 습도영역을 유지함으로서 쾌적한 수준의 습도에 머무는 것으로 분석되었다.

마지막으로 CO2의 변화량에서는 환기장치 미가동시 실내 CO2농도가 약 200~350ppm을 유지하였으나 환기장치의 가동으로 인한 외부공기와의 교환에 따라 외부 CO2농도에 가깝게 약 450~600ppm정도로 상승하는 것으로 나타났다. 이 결과는 환기장치 가동 시에 실내 CO2농도는 외부환경에 종속됨을 알 수 있었다.

4.2 난방에너지 사용량 분석

본 연구에서 난방에너지의 사용량을 분석하기 위하여 상기의 실내 환경 모니터링과 같은 시기에 사용된 난방열원의 사용량을 실측하였고 측정된 열원(LPG)을 기준으로 타 열원을 사용할 경우에 대한 열원사용량을 예측·분석하였다. 난방에너지 분석을 위해서 각 열원의 순발열량과 발열량별 단가를 고려하여 최종 사용량을 산출하였다.[15)]

<표 4-9>과 <표 4-10>는 열원별 순발열량 기준과 폐열회수 환기장치의 가동여부에 따른 LPG열원의 사용량을 나타낸 표이다.

표 4-9 열원별 순발열량 및 발열량단가

열 원	단 가	순발열량	발열량 단가[16)]
LPG	4,200원/Nm³	13,780kcal/Nm³	0.304원/kcal
LNG	952원/Nm³	9,420kcal/Nm³	0.117원/kcal
등유	1,325원/L	8,200kcal/L	0.162원/kcal

표 4-10 폐열회수 환기장치의 가동유무에 따른 LPG 사용량

사용열원	난방기간	폐열회수 환기장치가동	열원사용량
LPG	2012.2.6.~2.27	미가동	12.05 Nm³
LPG	2012.2.28~3.21	가 동	20.15 Nm³

① 폐열 회수 환기장치 미가동시 난방에너지 사용량

폐열 회수 환기장치의 미가동 기간인 2012년 2월 6일부터 2월 27일까지(22일간 난방) LPG열원 사용량은 12.05Nm³로 측정되었으며 LPG사용량을 기준으로 각 열원의 순발열량 단가환산을 통하여 <표 4-11>과 같이 발생될 수 있는 열원별 사용량을 예측·분석하였다.[17)]

열원별 사용량에 대한 예상비용은 열원별 사용량과 열원단가(시공모델 지역의 열원별 단가적용)를 적용하여 산출한

15) 열원별 순발열량은 '에너지법 시행규칙, 에너지열량 환산기준 (제5조제1항)'에 의거 산출하였음

13) 2012년 충북 제천지역 기준 열원별 단가를 순발열량으로 나누어 산출함

17) 열원별 순발열량을 기준으로 LNG와 등유의 사용량을 예측하고, 사용량에 따른 단가를 산출하여 최종 난방사용비용을 산출함 (난방기기 효율제외).

결과 LPG열원은 약 50,600원, LNG열원은 약 16,800원, 보일러등유 열원은 약 26,800원으로 각각 산정되었다.

표 4-11. 폐열회수 환기장치 미 가동시 열원별 사용량 예측분석

열원	단가[18]	순발열량	열원별 사용량
LPG	4,200원/Nm³	13,780kcal/Nm³	12.05 Nm³
LNG	952원/Nm³	9,420kcal/Nm³	17.63 Nm³
등유	1,325원/L	8,200kcal/L	20.25 L

* LNG열원 사용 예측분석
:(13,780kcal/Nm³ x 12.05Nm³)÷ 9,420kcal/Nm³ = 17.63 Nm³
* 보일러 등유열원 사용예측분석
:(13,780kcal/Nm³ x 12.05Nm³)÷ 8,200kcal/L = 20.25 L

② 폐열 회수 환기장치 가동 시 난방에너지 사용량

2012년2월 28일부터 3월 21일까지(23일간 난방)는 폐열회수 환기장치를 가동하여 실내 20℃를 유지하는 조건으로 난방에너지 사용량을 측정한 결과 LPG사용량이 약 20.15Nm³로 측정되었다. 난방기간 동안 사용된 LPG열원을 기준으로 각 열원을 순발열량의 단가 환산을 실시한 결과 <표 4-11>과 같이 열원별 사용량을 예측하여 산출할 수 있다.

산출된 열원별 사용량을 기준으로 발생될 수 있는 예상비용을 예측한 결과, LPG열원은 약 84,600원, LNG열원은 약 28,060원, 보일러등유 열원은 약 44,860원으로 각각 나타났으며, 이것은 환기장치를 가동하지 않을 경우보다 약 167% 더 많은 LPG열원 에너지가 소모되는 것으로 나타났다.

표 4-12. 폐열회수 환기장치 가동시 열원별 사용량 분석

열원	단가	순발열량	열원별 사용량
LPG	4,200원/Nm³	13,780kcal/Nm³	20.15 Nm³
LNG	952원/Nm³	9,420kcal/Nm³	29.48Nm³
등유	1,325원/L	8,200kcal/L	33.86 L

* LNG열원 사용예측분석
:(13,780kcal/Nm³ x 20.15Nm³)÷ 9,420kcal/Nm³ = 29.48Nm³
* 보일러 등유열원 사용예측분석
:(13,780kcal/Nm³ x 20.15Nm³)÷ 8,200kcal/L = 33.86 L

표 4-13. 열원별 사용량 및 예측 비용분석

구 분		LPG	LNG	등유
폐열회수장치 미가동	사용량	12.05 Nm³	17.63 Nm³	20.25 L
	예측비용	50,600 원	16,800 원	26,800 원
폐열회수장치 가 동	사용량	20.15 Nm³	29.48Nm³	33.86 L
	예측비용	84,600 원	28,060 원	44,860 원

5. 결 론

본 연구는 패시브 하우스 디자인 요소를 적용한 농촌지역 모델을 대상으로 시공 전, 후 에너지 시뮬레이션을 실시하여 분석하고, 일정 기간 동안 실내 환경 모니터링 및 난방에너지 사용량을 실측하여 농촌지역에서 적용 가능한 타 열원에 대한 사용량 예측분석을 실시하였다.

분석결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 선정 모델의 설계상 건물에너지 성능 분석에서는 기밀성능 기준에 따라서 각각 다르게 나타났다. 기밀성능을 패시브 하우스 인증 기준치로 적용하였을 경우 난방에너지 요구량은 15(kWh/m²a)이고, 1차에너지 소요량은 112(kWh/ m²a)로 패시브 하우스 인증기준에 부합되게 검토 되었다.

그러나 실질적인 현장 측정 시 침기 횟수가 n50pa일 때 약 1.22회/h로 측정되어 실측한 수치를 반영한 최종 난방에너지 요구량은 인증기준치보다 약 26% 증가된 19(kWh/m²a)로 분석되었다. 따라서 패시브 하우스에서의 기밀성능 유지는 에너지 손실을 줄이는 중요한 요소로 분석할 수 있다.

둘째, 시공된 모델의 실내 환경 모니터링을 통하여 실내 온, 습도 및 CO2변화량을 분석한 결과 환기장치의 가동여부에 따라 현저한 차이가 나타났다. 환기장치의 미 가동시에는 실내의 온도 진폭이 크고, CO2 수치는 약 300ppm으로 낮았으며, 습도는 약 55~72%로 상대적으로 높은 습도를 유지하였다.

이것은 공사 중에 발생된 습기가 일반주택에 비하여 기밀한 주택의 내부공기가 외부공기와 교환되지 않고 정체되어 발생된 원인으로 사료되다.

반면 환기장치를 가동했을 경우 온도의 진폭이 작아지고 CO2는 450~600ppm으로 상승하였고, 상대습도가 38~55% 영역으로 쾌적한 범위에 머무는 결과로 나타났다.

따라서 환기장치에 의한 습도의 변화와 CO2의 변화는 실내와 실외 공기의 희석으로 발생된 결과로 사료되며, 이때 외부의 습도와 CO2농도에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 온도진폭의 변화는 낮은 온도의 외기가 실내온도와 교환되므로 정체되었던 실내온도보다 더 많은 변화를 보이는 것으로 나타났다.

셋째, 에너지 사용량 측면에서 환기장치의 가동여부에 따라 에너지 사용량이 LPG열원을 기준으로 가동 전 보다 가동 후가 약 167% 더 많이 사용된 것으로 나타났다.

본 결과는 환기장치에 의한 내·외부의 온도변화가 발생함으로 인해 실내 설정온도 이하로 내려갈 경우 보일러의 가동 횟수가 늘어나는 것으로 판단되며, 이에 따라서 환기장치의 가동 전보다 가동 후의 에너지 사용량이 크게 증가한 것으로 사료된다.

따라서 환기장치의 열교환 효율에 따라 에너지 사용량의 변화가 있을 것으로 예상되며, 최대한 효율이 높은 장치를 적용해야 환기에 의한 에너지 소비를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

즉, 농촌지역의 패시브 하우스 적용을 위해서는 외피의 열성능이 패시브 하우스 인증기준에 부합하게 설계되었다면 건물의 기밀성능과 폐열 회수 환기장치의 열성능에 따라 냉·난방에너지의 소비량이 큰 차이를 보이는바 시공 시 고효율 환기장치의 적용과 기밀시공에 대한 노력이 반드시 뒷받침되어야 할 것으로 사료된다.

18) 2012년 1분기 충북 제천지역 열원별 개별 공급단가

연구결과에 따라 사용된 LPG열원을 기준으로 타 열원에 대한 사용량을 예측한 결과, 도시가스인 LNG가 가장 저렴한 유지비용을 보였고, 그 다음으로 보일러 등유가 경제적인 열원으로 분석되었다.

따라서 농촌지역의 도시가스가 공급되지 않는 지역에서는 보일러 등유를 적용하는 것이 현재까지는 더 경제적인 열원인 것으로 사료된다.

본 연구에서는 패시브 디자인 요소를 적용한 단독주거건물의 설계부터 시공, 그리고 에너지 성능 진단과 난방에너지 소비량을 분석하였으나 난방에너지의 소비량 측정에서 연 단위 측정이 이루어지지 않아 전체적인 난방에너지량을 산출하지는 못하였다.

또한 난방에너지 비교부문에서 환기장치 가동 일시에 따른 실외 온도변화의 차이가 발생하여 객관적인 데이터를 비교한 정량적 소비량을 측정하기에는 한계가 있었다.

따라서 향후 연간 에너지 소비량을 연단위로 측정하여 에너지 성능 분석 결과에서 나타난 난방에너지 요구량과 실제 에너지 소비량과의 비교 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 연구비 지원(과제번호 20103044)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 강재식(2009), 한국형 패시브 하우스를 위한 단열블럭 시스템의 난방에너지 소비 특성, 대한설비공학회, 2009하계 학술발표대회논문집, p603~607
2. 김은진 외2인(2012), 농촌형 그린홈 계획을 위한 생태재료 '왕겨'의 단열성능 실험연구, 대한건축학회논문집, 제28권 제8호
3. 김주환 외3인(2010), 독일 패시브 하우스 단열 기준을 통한 국내 패시브 하우스 사례 비교 분석, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집
4. 김호영 (2008), 주택 단열성능에 따른 냉난방에너지 소비량 시뮬레이션 연구, 호서대학교 대학원 석사학위 논문
5. 임경업 외4인(2009), 농촌주택에 적합한 제로에너지 하우스의 프로토타입 연구, 한국태양에너지학회 학술문집,Vol 29, No2
6. 이준우(2010), 건물 에너지 시뮬레이션의 불확실성, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집,제10권 제2호
7. 이찬규 외1인(2012), 농어촌 주택 표준모델의 냉난방에너지 요구량 분석, Journal of Korea Academia-Indus trial cooperation Society, Vol 13, No 8
8. 조경민(2010), 단열블럭 시스템을 이용한 패시브 주택의 시공 및 개선방안에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 제10권 제2호
9. CEPHEUS-Project information No. 36, Final Technical Report
10. Dr.Wolfgang Feist 외2명 (2002), Passivhaus Vorprojektierung Passivhaus 2002 II
11. ISO 6946:2007 Building components and building elements-Thermal resistance and thermal transmittance Calculation method, 2007
12. ISO 10456:2007 Building materials and products-Hygrothermal properties-Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values, 2007
13. ISO 13790:2008 Energy performance of buildings-Calculation of energy use for space heating and cooling, 2008
14. PHPP:2007 Passive House Project Planning Package 2007, Passive House Institute, Darmstadt 2007

투고(접수)일자: 2013년 2월 12일
수정일자: (1차) 2013년 4월 17일
게재확정일자: 2013년 4월 17일