

저에너지 주택 구현을 위한 패시브디자인 요소의 시공방안에 관한 고찰

A Consideration of Construction Methods of Passive Design Elements for Low-Energy Houses

김 주 환* 이 태 구** 조 경 민*** 권 영 준****
Kim, Ju-Hwan Lee, Tae-Goo Cho, Kyung-Min Kwon, Young-Jun

Abstract

As a consideration of construction methods of passive design elements for low-energy houses, this study investigates the application of the main elements of low-energy buildings and attentive points, according to global paradigm of low-carbon green growth for preventing climate changes and reducing greenhouse gas. High-insulation, high air-tight and solar energy are passive elements for low-energy construction. High air-tight construction of cracks where are likely to form high-insulation layers and thermal bridges during the external insulation construction, is essential for passive elements. In addition to this, heat storage using solar radiative energy and application of solar power can reduce the consumption of primary energy. When analyzing test-bed's performance through plans and construction of low-energy buildings, it was considered that plans for high-insulation and high air-tight construction, and reduction of energy consumption should be established to acquire the optimum solar radiation in various directions and prevent heat loss, by measuring heat gain resulting from solar heat gain and loss depending on the area of window, when constructing low-energy buildings. For verifying the performance, energy consumption needs to be analyzed using an authorized verification program at the planning stage, parts vulnerable to heat bridge should be reviewed and preventive measures of heat bridge should be established. Moreover, constructors and workers engaged in the construction industry have to sufficiently understand high air-tight and high-insulation construction methods for passive houses to prevent the reduction of performance caused by faulty construction.

키워드 : 저에너지하우스, 패시브하우스, 고기밀, 고단열, PHPP 2007, 기밀성테스트

Keywords : Low energy house, Passive house, Airtightness, High-insulation, Passive house planning package 2007, Blower door

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

산업혁명 이후 화석연료 사용량의 급증은 지구의 평균 온도를 상승시키는 요인으로 작용하였으며 이러한 현상은 온실가스에 의한 가뭄, 홍수, 폭설, 빙하의 감소등 기상 이변발생으로 나타나고 있다. 2009년 11월 국가온실가스 증감측 목표가 설정됨에 따라, 부문별 감축 이행 계획과 관련된 정책 수립이 활발하게 진행되고 있다. 우리나라는 2020년 온실가스 배출전망치(BAU: Business As Usual)

대비 약 30% 감축을 목표로 하고 있다. 지구온난화에 영향을 주는 이산화탄소의 배출 저감에 대응하고자 전 세계는 저탄소 녹색성장이라는 패러다임에 맞추어 지구의 온난화를 막고자 활발히 움직이고 있으며 국내에서도 사회전반에 걸쳐 탄소배출을 줄이기 위해 노력하고 있다. 이에 발맞춰 건축계에서도 저에너지 주택에 관한 연구와 시공이 활발하게 이루어지고 있다. 국내의 에너지 소비분야 가운데 건물부문에서 총 36%의 에너지를 소비하며 이중 27%가 주거에서 소비되고 있다. 주거부문에서의 사용하는 에너지 소비 가운데 난방이 55%로 가장 많은 비중을 차지하며 전기·전자 19%, 온수19%, 조리4%, 조명3%의 소비 비중을 보인다. 주거 건축에서의 에너지 소비 저감 방안은 기후변화 대응과 온실가스 저감에 기여 할 것이다.

이에 본 연구는 패시브하우스(Passive house)의 요소 분석 및 시공사례를 통하여 저에너지 건축 시공 및 이에 대한 소비에너지 저감에 대해 고찰해 보고자 한다.

* 주저자, 세명대학교 건설공학과 석사과정

** 교신저자, 세명대학교 건축공학과 부교수

*** 정회원, 세명대학교 건설공학과 박사과정

**** 정회원, 세명대학교 건설공학과 석사과정

이 논문은 2010년 정부(농림수산식품부)의 재원으로 농림수산식품 기술기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(관리번호 310004-3)

1) 전세계 평균 기온이 지난 100년간[1906~2005년] 0.74℃ 상승으로 인하여 지구 의 평균 해수면은 1961~1993년 간 매년 1.8mm씩 상승함.

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구에서 정의하는 저에너지 건축은 자연에너지(natural energy)를 적극 활용하여 열에너지의 손실을 최소화함으로써 에너지를 최대한 절약한다는 의미를 갖는다.

연구의 방법은 Test-bed의 계획과 시공과정을 통하여 계획과 시공과정에서의 오류에 대해 고찰하며 분석프로그램을 이용하여 시공된 건물의 에너지 성능을 분석하고 이를 바탕으로 저에너지 기준을 충족하는 건물계획에 대해 고찰 하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 저에너지 건축의 개념

패시브 하우스는 기존 건물에서 사용되어지는 에너지 소비를 최소화하는 저에너지 건축(Low energy house) 개념의 한 부분으로 통상적인 냉·난방 없이도 쾌적한 건물의 실내환경을 유지하는 것이 패시브 하우스의 목표이다.²⁾

패시브하우스를 구현하기 위한 건물의 난방부하는 10W/m²를 이하여야 하며 연간 단위면적당 난방부하 15kWh/m²a 이내 이며 일차에너지소비량이 기존건물의 1/10이하인 연간 120 kWh/m²이하를 기준으로 한다. 이러한 요소가 적용된 건물을 기반으로 신재생에너지를 적용하여 제로에너지하우스(Zero energy house), 플러스에너지하우스(Plus energy house)를 구현할 수 있다. 저에너지 건축 가운데 가장 보편화되고 기준이 되는 패시브하우스(Passive house)는 인류가 기후변화와 에너지고갈이라는 위기를 해결하시 위하여 반드시 고려해야하는 건축 개념이다.

2.2 패시브하우스의 등장

전 세계에서 패시브하우스의 확산을 위해 가장 많은 노력을 기울이는 국가는 오스트리아와 독일과 같은 중부유럽 국가들이다. 독일에서는 2009년 2월기준으로 패시하우스 기준을 충족하는 11,077개의 패시브하우스가 보급되었으며 오스트리아는 4,765개의 패시브하우스가 존재한다.



그림 1. 전 세계 패시브 하우스 시공 현황 (2009년 2월)³⁾

중부유럽을 중심으로 패시브하우스가 활발하게 보급되는 이유는 첫째, 이 지역 국민들의 환경 문제와, 에너지문제에 대한 인식이 매우 높다는 것이다. 둘째, 정부에서 이러한 국민들의 요구에 부응하여 그들의 요구를 충족시키며 더 나아가 장려하는 정책을 수립하여 실행하고 있다는 것이다. 셋째, 기업에서도 이러한 환경문제와 저에너지 주거에 대한 수요를 인식하고 지속적으로 시민들의 요구에 부응하여 혁신적인 에너지저감 방안과 제품을 내놓고 있다⁴⁾.

최초의 패시브하우스는 독일의 볼프강 파이스트(Prof. Wolfgang Feist) 교수를 중심으로 연구되어 1991년 독일의 Darmstadt Kranichstein에 건축된 4세대의 주거건물물 그 시작으로 보고 있다.

표 1. 다름슈타트 패시브하우스 개요

| 일반사항 | 독일 최초의 패시브하우스 남향, 열회수 환기장치 적용 |
|---------|--|
| 단 열 | - 외벽 : 0.14 W/m ² K - 지붕 : 0.10 W/m ² K - 바닥 : 0.13 W/m ² K[지하천정] - 창호 : 0.70 W/m ² K |
| 창 호 | 3중창, 창틀 단열 |
| 설 비 | 진공형 집열기 가스 콘덴싱 난방 |
| 에너지 소비량 | 난방: 12 kW/m ² a 급탕: 8 kW/m ² a 기기: 11kW/m ² a |

다음 그림의 그래프에서 보여 지는 1992~2009년까지 18년간의 다름슈타트 패시브하우스 모니터링결과 다름슈타트 패시브하우스의 에너지 소비가 일정하게 유지되고 있음을 보여주고 있다.



그림 2. 다름슈타트 패시브하우스의 에너지 사용 모니터링⁵⁾

2.3 패시브 하우스의 요소기술

패시브하우스의 성능을 구현하기 위해서 독일 패시브하

2) Adamson(1987, 스웨덴), Feist(1988, 독일)
3) IG Passivhaus Österreich

4) 홍도영, 선진형 패시브하우스 집중탐구② 공법별 비교와 국내 적용의 선결 과제, 전원속의 내집 2009.02
5) Passivhaus Institut Germany(독일패시브하우스 협회)

우스협회(PHI)에서는 주거와 비주거에 상관없이 단위면적당 연간 난방에너지가 $15\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ 가 넘지 않아야 하는 전제조건과 난방, 온수공급, 가전기기 사용을 포함한 단위면적당 연간 에너지의 사용이 $120\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ 이하, 난방(냉방)을 위한 부하가 최대 $10\text{W}/\text{m}^2$ 을 넘지 않는 건물로 규정하고 있다.

패시브하우스를 구현하기 위해 건축에서 선행되어야 하는 것이 고단열과 고기밀에 대한 성능 충족을 위한 계획이다. 단열은 급격한 외기온도를 억제하고 실내 온열환경을 쾌적한 상태로 유지하며 열 손실을 최소화 할 수 있다.

건물의 단열 시스템은 단열재의 위치에 따라 크게 내단열, 중단열, 외단열로 나눌 수 있다. 내단열과 중단열의 경우 실을 쾌적한 수준으로 만들기 위해 요구되는 에너지와 반응시간을 줄여주므로 간헐적인 난방을 하는 건물에 적절하지만 단열선의 끊김이 발생하는 기둥, 보, 슬라브의 단부 등에서 열교에 대한 취약성을 가지고 있다. 또한 단열재와 벽체사이의 기온차로 인한 상대습도의 증가로 곰팡이 등이 발생할 수 있다.

이와 반대로 외단열에 사용되는 단열재는 외벽에 직접 설치하여 내수성과 내충격성을 지닌 재료로 시공하는 공법으로 단열선의 끊김 방지와 외부환경의 급격한 열변화로부터 구조체를 보호 할 수 있다. 패시브하우스 시공에서는 열교의 최소화를 위하여 외단열 시공방법을 채택하고 있다.

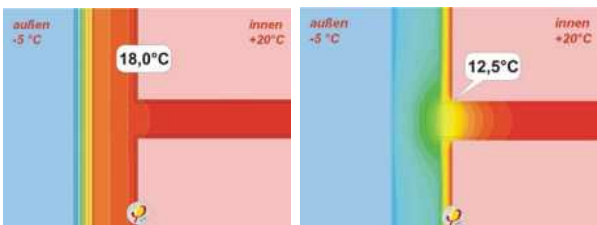


그림 3. 외단열(L)과 내단열(R)코너에서의 열교

건물에서의 고단열 성능을 충족하기 위해 고기밀 시공이 함께 병행되어야 한다. 기밀성의 요구 성능 조건은 기밀테스트인 Blower Door Test를 실시하여 내·외부의 압력차가 50Pa일 때의 공기교환율이 $0.6\text{회}/\text{h}^{-1}$ 이하가 되도록 시공해야 한다.

다음 그림은 기밀함을 요하는 패시브하우스에서 얼마나 기밀성이 중요한지를 보여주고 있다. 실내온도가 섭씨 20°C, 상대습도 50%와 실외온도 0도, 80%일 경우 1m에 걸쳐 1mm의 틈을 통해 빠져나가는 수증기의 양이 하루 평균 약 360g그램에 달하며 이러한 수증기가 증발하지 않고 단열재 속에 머물러 있게 되면 단열효과를 떨어뜨릴 뿐만 아니라 건물의 손상을 가져오게 된다.⁷⁾

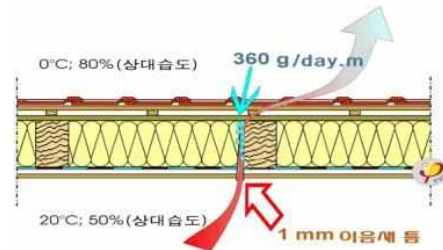


그림 4. 틈새로 인한 습기의 이동

창호는 건축물에 있어 열적으로 가장 취약한 부분이며, 동시에 건물의 열손실을 상쇄 시킬 수 있는 부분이다. 국내 건축물 에너지 성능을 살펴보면 건물에너지소비의 주요한 변수가 되는 창호의 열관류값이 $2.38\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 이며, 이 값은 외벽의 열관류값 $0.33\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 에 비해 7배 이상 높은 수준이며 고층건물에서 다소 높은 수준으로 적용되는 Low-e유리의 경우 그 값이 $U-1.6\sim 2.0\text{W}/\text{m}^2$ 로서 이와 비교해도 창호의 열관류 값은 외벽면에 비해 약 5배 정도 높아 건물에 높은 열손실이 발생하는 원인을 제공한다.⁹⁾

패시브하우스의 난방요구량의 약 1/3은 창을 통한 자연형 태양열 획득에 의해 공급된다. 따라서 창은 투과율(g-Value) 50%이상, 여름철 일사 유입에 의한 실내의 과열방지를 위하여 창호의 개폐방식은 기밀성을 확보할 수 있는 Turn&Tilt 방식과 열관류율 $0.8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 이하의 시스템 삼중창호를 선정하여야 한다.



그림 5. 삼중 창호의 구조 및 일사투과

패시브하우스는 건물의 단열성과 기밀성이 높아지는 반면, 실내공기질의 저하를 가져온다. 이것을 해결하기 위해 기계 환기장치의 설치가 필요하다. 폐열회수 환기장치는 실내 공기질을 향상시킴과 동시에 이를 통해 외부로 빠져나가는 난방에너지를 최소화 하는 방법으로 패시브하우스 기준의 열교환기 성능은 75%이상을 요구하고 있다. 폐열회수 열교환기 장치의 성능은 열교환 효율로 나타낼 수 있으며 열교환 효율은 외기와 급기 온도차가 외기와 환기 온도차와 가까울수록 높게 되며 그 온도차가 동일할 때 효율이 100%라고 할 수 있다.¹⁰⁾

- 8) Dr. Wolfgang Feist, Altbaumodernisierung mit Passivhaus-Komponentn, 2009
- 9) 윤용상 외5, Eco Vario 건축외장 시스템 기술개발, 2008.12, pp.51, 건축물의 에너지절약설계기준, 국토해양부 2011.1일자 기준을 재적용함.
- 10) 윤용상 외5, Eco Vario 건축외장 시스템 기술개발, 2009.12, pp.107~108

6) Dr. Wolfgang Feist, Altbaumodernisierung mit Passivhaus-Komponentn, 2009
 7) Energieeinginsparung im Hochbau, pp.32

$$\text{열교환효율} = \frac{\text{외기온도} - \text{급기온도}}{\text{외기온도} - \text{환기온도}}$$

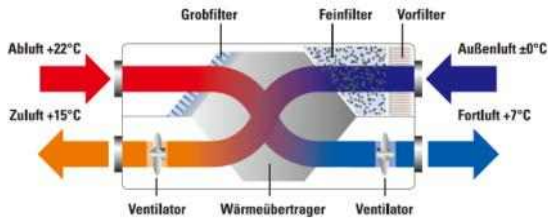


그림 6. 폐열회수 환기유닛의 열교환 과정

3. 패시브하우스 계획 및 시공

본장에서는 주거에서의 에너지 저감요소를 적용하여 패시브하우스의 성능을 구현하기 위한 설계와 시공에 대하여 고찰하고자 한다. 이를 위하여 국내주거의 패시브하우스 또는 저에너지하우스 구현을 위하여 에너지저감 요소를 반영한 설계와 시공 프로젝트를 진행 하였다.

저에너지하우스프로젝트의 진행을 통하여 주거의 설계 및 시공 기술에 대한 부위별 요구 성능을 반영한 에너지저감형 주거를 계획하고 시공과정을 통해 건축계획과 시공 과정에서의 문제점을 파악하고자 한다.

테스트 베드(Test-bed)에 대한 시공 개요는 다음과 같다

표 2. Test-bed 개요

| 건물형식 | 단독주택 | |
|------|------------------|----------------------------------|
| 건축규모 | 건축면적 | : 84.12 m ² (25.44py) |
| | 다락면적 | : 39.08m ² (11.82py) |
| 건축구조 | 지붕 | 경량목구조+옥상녹화 |
| | 벽체 | 단열블럭형 양단열(T380) |
| | 기초 | 메트기초 |
| 외부마감 | 천연미장재 모노쿠시 마감 | |
| 내부마감 | 황토미장+목재마감(천연페인트) | |



그림 7. Test-bed 조감도

시공의 편리성과 구조체의 성능 향상을 위하여 외단열과 내단열을 일체화 한 블럭형 단열재인 이조라스트 블럭을 이용하여 설계계획에 반영 및 시공하였다.

단열블럭은 거푸집의 설치가 필요 없으며 재단 및 성형이 자유롭고 조적의 형태로 외벽체의 시공이 가능하여 시공기간 단축이 가능하다. 양단열의 형태는 외단열 시공에

서 발생할 수 있는 열교를 내부에서 일차적으로 막을 수 있어 시공하자를 줄 일 수 있다는 장점과 블록과 블록을 연결하는 홈에 의해 기밀성을 만들 수 있어 기밀성 형성 측면에서 우수한 기밀성능을 구현 할 수 있다.



그림 8. 구조체에 적용된 외벽용(L)과 내벽용(R) 단열블럭

단독주택에서의 구조체별 요구성능인 열관류율 값 (0.10W/m²K)은 독일지역의 요구 성능으로서 국내 기후조건을 고려하고, 경제적인 열관류값을 산정하여 0.10W/m²K와 0.15W/m²K의 사이 값에서 구조체 성능이 조성되도록 계획하였다.

3.1 패시브하우스 계획 및 시공

(1) 배치계획 및 일조 분석

Test-bed건물의 입지조건이 경사면에 위치하며 대지가 협소한 관계로 정남을 기준으로 35°동측으로 치우쳐 배치하게 되었다 이에 대한 일별 평균 일사량은 0.94kWh/m²로 겨울철 0.99kWh/m², 여름철0.73kWh/m²의 일사량을 보이고 있다.

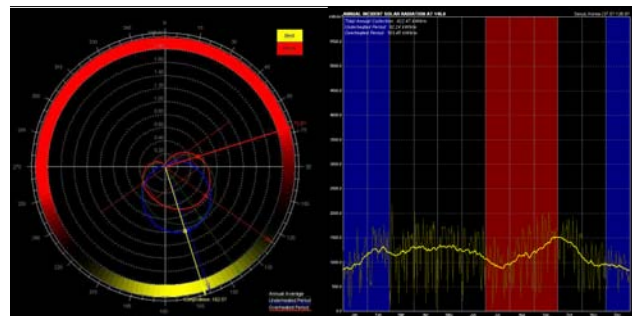


그림 9. Test-bed 일사량 분석

(1) 평면계획

농촌지역의 저에너지 건축을 목표로 건축된 단독주택으로 대지면적 988m²에 건축면적 84.12m²(25.44Py)과 다락 39.08m²(11.82Py)로 계획되었다.

농어촌 가구당 평균거주인원의 산정에 따라 농어촌 가구당 2.5인으로 하여 1인당 필요면적 35m²으로 산출 하였다.11) 실의 구성은 방3개와 화장실, 다용도실, 거실, 부엌, 보일러실로 구획하여 계획하였으며 다락은 공간 사용의 효율성을 고려하여 목재 접이식 사다리를 설치하였다. 농

11) 통계청, 조사관리국 인구총조사과, 2005, 2.5[가구당] × 35m²[인] = 87.5m²

어촌이 가지는 자연환경을 고려하여 방과 거실은 남측에 배치하였다. 다락의 경우 농어촌의 실정에 맞게 수납공간 등의 용도로 사용이 가능하도록 계획하였다.

단열을 통한 경제성 있는 패시브하우스의 실현을 위해 컴팩트한 정육면체로 매스(Mass)를 계획하였다. 이러한 매스형태는 돌출이 많고 장방형의 건물보다 약1/3이상의 총소요에너지를 절약할 수 있다.



그림 9. Test-bed 평면도

(2) 기초계획 및 시공

기초 잡석다짐 후 버림콘크리트 대신 모래를 이용해 수평면을 맞추었다. 또한 바닥 단열재는 국내 자재인 압출법 특호(아이소핑크) T100을 이용하여 교차 시공의 방식으로 2단을 쌓아 단열 후 300mm콘크리트를 타설하였다.

바닥단열의 시공에 있어 바닥수평작업은 추후 벽체의 시공에 있어 바닥면이 고르지 못하여 발생하는 단열체와 바닥사이의 이격공간의 발생을 방지하며 블록 조적 시 작은 오차로 인해 블록과 블록사이의 결합에 틈이 발생하여 이곳을 통한 열교현상이 발생할 수 있다.

바닥수평면의 고른 시공은 공사 시공 전반에 영향을 미치며 시공에 따른 하자발생률을 저감시켜준다.



그림 10. 기초단열 및 콘크리트 타설

(3) 벽체계획 및 시공

벽체는 공통적으로 독일 이조라스트사(ISORAST)의 단열블록을 적용하여 계획 및 시공되었다. 단열블록의 장점은 거푸집일체형으로 거푸집 공사의 비용을 줄일 수 있으며 20여개의 돌출된 요철이 서로 결합되어 기밀성 면에서 뛰어난 성능을 보이며 이를 통한 열교현상 방지 효과를 거둘 수 있다. 또한 원하는 형태로의 성형이 가능하며 외부 단열재와 내부 단열재를 연결하는 아이언을 통하여 콘크리트 타설 공간 확보 및 다층형태로의 건축이 가능하다



그림 11. 벽체조적 및 내부벽체 작업

(4) 지붕계획 및 시공

경량형 목구조의 지붕은서까래는 2*10, 장선은 2*6로 구성하였으며 R30과 R19를 이용하여 단열하였으며 가변형 투습방수지와 기밀테이프를 이용하여 기밀 마감한 후 상부에 OSB판넬을 시공하였다. 옥상녹화 설치를 위하여 OSB판넬 상부에 방수지를 추가로 설치하였다. 지붕은 박공형으로 경사각을 33°의 맞배지붕으로 계획하여 추후 태양광 발전을 통한 건물에서 소비되는 1차 에너지를 낮출 수 있게 계획하였다.



그림 12. 지붕 단열 및 투습방수지 설치

(5) 창호 선정 및 시공

창호는 3중 Low-E 3중창에 서터 일체형으로 계획하였다. 남측의 창호는 차양을 외부에 별도로 설치하도록 계획하였다. 창호 설치 시 가장 고려해야 하는 부분은 창호의 설치 후 창호프레임과 구조체간의 밀실한 기밀시공이 선행되어야 추후 기밀 테스트를 통한 기밀성능을 확보할 수 있다. 전체 적인 창호의 비율은 남측을 제외한 동,서,북측의 창문은 채광과 환기를 고려한 최소한의 면적으로 계획하였다 이는 일사에 의한 획득에 많은 영향을 주지 않으며 창호면적의 증가는 열손실로 이어질 수 있으므로 남측을 제외한 나머지 창호의 면적을 작게 계획하였다. 남측벽 39.8㎡대비 창문면적 14.4㎡로 36.18%의 비율로 계획되었다.



그림 13. Test-bed 측면도 및 창호 설치 작업

(6) 폐열회수 장치 및 지중열교환기 시공

지중1.8~2.0 깊이에 쿨튜브(Cool-tube)를 50m매설하여 폐열회수환기 장치에 인입하였다. 이때 건물과 튜브사이의 수평 거리가 적어도 1m이상 이격하여 설치해야 건물로부터 전도되어 발생하는 열기등의 외적요소로부터 자유로울 수 있다. 또한 쿨튜브 설치 시 결로수 발생에 따른 점검구를 설치하여 결로수를 배출해 주어야 한다.



그림 14. 폐열회수 환기장치 및 쿨튜브 매설작업

(7) 내 외부 마감

내부 보강메쉬 위에 1차 초벌미장 후 황마를 이용하여 2차 황토 미장 하였으며 추후 천연페인트를 이용하여 마감할 계획이며 바닥은 1차50mm 황토작업 후 2차 정벌역시50mm 미장하여 마무리 하였다. 외부 미장은 보강메쉬 위 시멘트 페이스트 초벌 미장 후 모노쿠시 50mm를 미장하여 마감하였다.

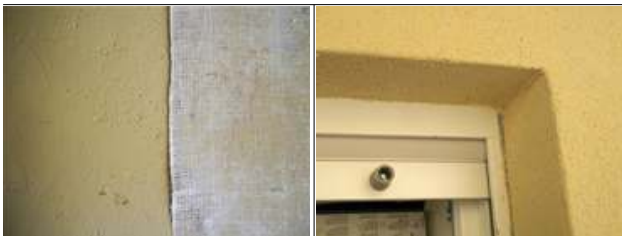


그림 15. 내부 황토미장 및 외부 모노쿠시 마감작업

3.2 성능분석 및 소결

(1) 기밀성 테스트

창호의 시공과 내외·부 마감재의 시공 완료 후 일차 기밀테스트를 실시하였다. EN 13890에서의 Blower Door Test를 통한 침기량의 측정은 50Pa을 기준으로 감압법(Depressurization)과 가압법(pressurization),을 측정하여 평균값으로 산출한다.¹²⁾

$$= \frac{(cfm 50 \times 60)}{Building Volume (cubic feet) (= ft^3)}$$

12) ACH 50 (Air change per hour at 50 pascals) : 시간당 기류 변화

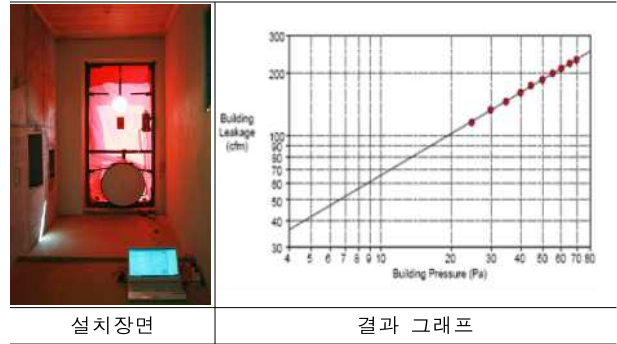


그림 16. 1차 예비 Blower Door 설치 장면 및 결과 그래프

Test-bed의 예비 기밀성 측정결과 패시브하우스 기밀 조건인 0.6회/h⁻¹을 상회하여 누기부위에 대한 기밀작업 후 Blower Door Test를 다시시행 하기로 하였다.

예비 기밀성 테스트는 준공 단계 이전에 실시하는 것이 추후 기밀성 훼손에 따른 하자 보수 및 비용절감 측면에서 유리하다. 또한 1차 기밀성 테스트 시 기밀성능의 확보는 패시브하우스 기준인 0.6회/h⁻¹ 이하가 되도록 유지하는 것이 혹여발생 할 수 있는 마무리시공 과정에서의 기밀층 훼손에 대한 기밀성능 저하에 대처 할 수 있다.

Test-bed의 Blower Door Test 기밀결과치가 패시브하우스 기준에 충족되지 못한 원인을 고찰해 보면 경량형 목재지붕 작업 시 시공자의 기밀성 형성에 대한 인식부족과 기술 부족에서 오는 하자에 의한 재시공 작업이 기밀성 형성저하에 요인으로 분석되었으며 지붕에 대한 체계적인 시공과 기밀작업을 통해 기밀성 향상을 가져 올 것으로 분석된다.

(2) PHPP를 통한 에너지 요구량 분석

PHPP 2007에서는 기본적으로 독일의 표준 기후를 배경 데이터로 건물의 에너지 성능을 계산하는데, 이는 우리나라의 기후조건과 맞지 않으므로 PHPP에서 인정하는 기후 데이터 산출 프로그램인 METEONORM 6.1을 이용하여 얻은 충주지역의 기후 데이터를 이용하였다.

PHPP 2007에서는 기후데이터를 취급하는 방법이 두 가지인데, 한 가지는 Monthly Method(월간계산법)이고 다른 한 가지는 Annual Method(연간계산법)으로 나누어 적용 할 수 있다. 테스트베드 설계 시에는 유럽 표준인 DIN EN ISO 13790의 Monthly Method(월간계산법)을 적용하였으며 거주 기본정보는 거주인원은 4명으로 설정하였으며, 실내온도 기준은 20℃로 설정하였다.

구체별 열관류율은 지붕이 0.125(W/m²K), 외벽0.119(W/m²K), 바닥0.110(W/m²K), 창호0.7(W/m²K), 문0.764(W/m²K)으로 이를 바탕으로 기밀성테스트 결과, 내부 난방면적(TFA:82.4m²)등의 데이터를 바탕으로 PHPP2007을 통한 시뮬레이션 결과 패시브하우스인 기준인 0.6회/h⁻¹의 기밀성이 확보되면 15kWh/m²a 패시브하우스 기준을 충족하는 것으로 나타났다.

표 3. Test-Bed 구체별 성능

| 구분 | 구조체 구성 | U-Value | 적용두께 (mm) |
|----|--|----------------------|--|
| 지붕 | · 석고보드 · 공기층 · R30(구조목) · R19(구조목) · 공기층 · 판재 | 0.125 | · 20 · 40 · 232 · 150 · 40 · 15 |
| 외벽 | · 황토미장 · 내오폴 · 콘크리트 · 내오폴 · 천연칼라몰탈 | 0.119 | · 10 · 55 · 140 · 180 · 10 |
| 바닥 | · 시멘트몰탈 · 내오폴 · 콘크리트 · 발포폴리스티렌 | 0.110 | · 70 · 50 · 300 · 250 |
| 창호 | · 3중 LOW-E 창호 | 0.7 (g-Value 0.6) | · 43 |
| 문 | · PVC · 우레탄폼 · PVC | 0.764 | · 11 · 58 · 11 |

연간 난방에너지 요구량 계산시 유효 열획득량을 계산하는 이유는 열획득량이 100%난방에너지로 전파되는 것이 아니라 전환과정에서 일부손실이 발생하기 때문이다. 이러한 열 획득과정에서의 손실을 보정해주는 ηG계수가 있으며 월간법에 의한 열획득 산정시 ηG계수 96%가 반영된다.

$$\text{유효열획득량} QG = QF \times \eta G$$

$$3204(\text{kWh/a}) = 3328 \times 0.96$$

표 4. 구조체별 열손실량 표 5. 부위별 열획득량

| 구분 | 열손실(-) | 열손실비 | 구분 | 열획득(+) | 열획득비 |
|----------------|--------|-------|----------|--------|-----------|
| 외벽 | 1862 | 18.0% | 창문 (북) | 72 | 2.2% |
| 지붕 | 1,070 | 22.3% | 창문 (동) | 24 | 0.7% |
| 바닥 | 381 | 8.0% | 창문 (남) | 2,109 | 63.4% |
| 창문 | 1425 | 29.7% | 창문 (서) | 21 | 0.6% |
| 출입문 | 116 | 2.4% | 외피면 일사획득 | 350 | 10.5% |
| 환기 | 1,162 | 24.2% | 내부발열 | 752 | 22.6% |
| 선형열교 +224 [획득] | -4.7% | | 계(QF) | 3,328 | 100.0% |
| 계(QL) | 4,792 | 100% | QG=QF*ηG | 3,204 | 열획득량의 96% |

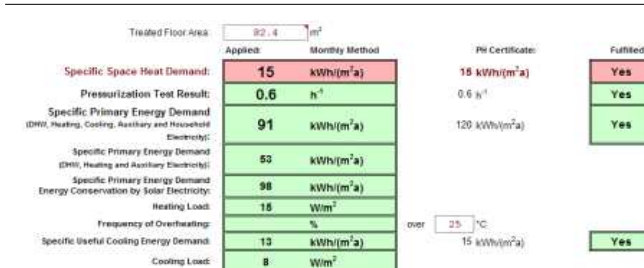


그림 17. PHPP를 이용한 난방에너지 분석

(3) 구조체별 열손실 및 열획득

구조체에 있어 열손실 발생부위를 월간계산법에 의해 고찰해보면 창문을 통한 열손실이 29.7%로 높게 나타났으며 환기에 의한 손실이 24.2%, 지붕으로의 열손실이 22.3%, 외벽 18%, 바닥8%, 출입문 2.4%의 비율로 나타났다. 또한 선형열교에서는 미약하게나마 열획득이 이뤄지고 있다.

열손실대비 열획득에 대한 분석에서 열손실이 가장 많이 발생하는 창문이 열획득 또한 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다. 특히 남쪽 창문의 경우 전체 열획득 대비 63.4%의 2,109(kWh/a)의 열획득을 얻는 것으로 나타났다.

열획득과 손량을 이용하여 총난방에너지 요구량을 분석하면 아래와 같이 1588(kWh/a)의 난방에너지를 사용하며 난방면적(TFA)으로 나누면 단위면적당 19(kWh/m².a)의 난방에너지가 필요하다.

연간 난방에너지 요구량

$$= \text{열손실}(QL) - \text{유효열획득}(QG)$$

$$= 4792 - 3204$$

$$= 1588 (\text{kWh/a})$$

$$= 19(\text{kWh/m}^2\text{a})$$

(3) 구조체별 열손실 및 열획득

가장 많은 열손실과 일사획득을 얻는 창호를 연간계산법(Annual Method)에 의해 분석해보았다. Test-bed의 외벽 면적은 144m²이며 이중 남측면적은 39.8m²로 창문이 차지하는 면적은14.4m²(36.18%)이다. 남측을 제외한 동,서,북측은 일사획득보다 열손실이 더 많이 발생한다. 이러한 이유로 패시브하우스 디자인에서 남측을 제외한 동,서,북측의 창문의 크기를 채광 및 환기를 고려한 최소한의 개구부를 계획하는 것이 유리하다.

표 6. Test-bed 외피대비 창호면적

| | 외벽(m²) | 창문(m²) | 외벽대비 창문면적(%) |
|----|--------|--------|--------------|
| 동 | 32.2 | 2.9 | 9.01 |
| 서 | 32.2 | 0.5 | 1.55 |
| 남 | 39.8 | 14.4 | 36.18 |
| 북 | 39.8 | 2.9 | 7.29 |
| 합계 | 144 | 20.7 | 14.38[평균] |

표 7. Test-bed 방위별 창호 일사획득 [kWh/a]

| | 일사획득 | 열손실 | 일사획득+ 열손실 | 획득/손실 + / - |
|----|-------|-------|-----------|-------------|
| 동 | 26 | 46 | -20 | 손실 |
| 서 | 23 | 39 | -16 | 손실 |
| 남 | 2373 | 1075 | 1298 | 획득 |
| 북 | 80 | 236 | -156 | 손실 |
| 합계 | 2,502 | 1,396 | 1,106 | |

4. 결론 및 제언

본 연구는 저에너지 건축의 계획과 시공을 통한 저에너지 주택Test-bed의 성능구현에 있어 다음 결과를 고찰할 수 있었다.

첫째. 저에너지 건축에 있어 고단열, 고기밀성의 계획과 함께 창문의 면적에 따른 일사획득과 손실의 열 수요 평형을 파악하여 최적 방위별 일사의 취득 및 열손실 방지에 따른 에너지 소비저감 계획이 필요하다.

둘째. 기밀성 확보에 있어 준공 전 예비 기밀테스트를 실시하여 기밀성 취약부위에 대한 보강이 이루어 져야 하며 테스트 시기는 공정상 내부 인테리어 또는 마감시공 전, 창호 설치 후 가압 및 감압법에 의한 테스트를 실시하여야 한다. 이때 기밀성능은 패시브하우스 기준인 0.6회/h⁻¹ 이하의 성능이 나오는 것이 완공된 후 기밀성을 충족을 만족 시킬 수 있다.

셋째. 공인된 검증 프로그램을 이용한 계획단계에서의 에너지 소요량분석 및 열교에 의한 취약부에 대한 보강 및 시공방법 도출해야 한다. 또한 완공 후 초기계획과 시공단계에서의 변동 사항을 종합적으로 판단하여 계산과정에 반영하여 최종 결과를 산출해야 한다.

넷째. 시공과정을 고찰해본 결과 시공자의 인식부족에서 오는 하자로 인한 성능저하의 사례가 다수 발견되었다 (지붕 기밀층의 재시공, 전원인입 라인의 기밀층 미확보 등) 이에 따라 패시브하우스에 대한 고기밀, 고단열등의 시공방법을 시공자 및 관련 종사자가 충분히 이해 할 수 있도록 시공 전 패시브하우스에 대해 시공자의 충분한 이해가 뒷받침되어야 할 것이다.

본 연구의 고찰을 통하여 저에너지 주거 건축에 대한 인식 개선과 건축에서의 단열성능 및 기밀성능의 중요성을 인지하고 에너지해석 프로그램을 이용한 사전 설계 및 시공의 통합적 설계방안에 기초자료로서 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Energieeinsparung im Hochbau, pp.32
2. 김주수, 친환경 건축을 위한 패시브 디자인 요소분석에 대한 연구, 세종대학교 석사학위 논문, 2011.2
3. 김주환외3, 리노베이션을 통한 기존건물의 에너지 저감 효과 분석, 한국생태환경건축학회2010추계 학술발표대회논문 2010.11
4. 홍도영, 선진형 패시브하우스 집중탐구② 공법별 비교와 국내 적용의 선결 과제, 전원속의 내집 2009.02
5. 조경민외3, 단열블럭시스템을 이용한 패시브 주택의 시공 및 개선방안에 관한 연구, 한국생태환경건축학회2010추계 학술발표대회논문, 2010.11
6. Dr. Wolfgang Feist, Altbaumodernisierung mit Passivhaus-Komponentn, 2009
7. 윤용상 외5, Eco Vario 건축외장 시스템 기술개발, 2008.12
8. 국토해양부, 건축물의 에너지절약설계기준, 국토해양부 2011.1
9. 통계청, 2005 인구주택 총 조사-http://kostat.go.kr/
10. Passive House Planning Package 2007

11. IG Passivhaus Österreich
12. www.passive.de - 독일패시브하우스협회