http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2013.13.3.015

해외 패시브하우스의 건축구조유형별 계획특성 연구

A Study on the Planning Characteristics of Passive House by the Building Structural Types in Foreign Cases

양 정 필*
Yang, Jung-Pil

Abstract

The purpose of this study is to analyze the planning characteristics of passive house by the building structural types in foreign cases. The interests and demands about passive house have been increased, and various building structural types and design methods have been attempted for passive house in Korea. But domestic research results and development experiences about passive house were lack.

The results of this study are as follows; First, in terms of energy performance, insulation performance, airtightness, there are not significant differences at the 95% confidence level by the structural types of passive house. Second, in terms of the types of insulation materials, there are significant differences at the 95% confidence level by the structural types of passive house. Third, in principle there is no need of traditional heating facility in passive houses, but in practice traditional heating facilities are used additionally in about half of survey cases for the comfort of occupants.

키워드 : 패시브하우스, 목조, 조적조, 계획특성
Keywords : Passive House, Timber Structure, Masonry Structure, Planning Characteristics

1. 서 론

1.1 연구목적

최근 겨울에 따뜻하고 여름에 시원한 주택형태인 패시브하우스에 대한 관심이 증가하고 있다. 패시브하우스는 건물의 단열성능과 기밀성을 향상시켜서 의도하지 않은 열손실을 최소화하므로 건물의 난방에너지요구량이 대폭 줄어들게 된다. 그리고 실외환경의 변화에 관계없이 온도, 습도 등 실내환경요소를 일정한 수준으로 유지시켜주기 때문에, 재실자의 쾌적감을 높일 수 있다. 이러한 패시브하우스에 대한 필요성은 국제적인 공감대를 얻고 있어서 EU를 비롯한 해외 각국은 패시브하우스의 의무화를 추진하고 있으며, 우리나라의 경우도 2017년부터 신축공동주택에 대하여 패시브하우스를 의무화할 예정이다.

우리나라에서 최초로 패시브하우스 개념이 적용된 건물은 2005년 12월에 완공된 대림산업의 '3리터 하우스'(단독주택형 시범주택)이라고 할 수 있는데, 이후 현재까지 다양한 용도와 형식의 패시브하우스가 시도되고 있다. (사)한국패시브건축협회의 자료(협회 홈페이지 www.phiko.kr 참고)에 의하면, 우리나라의 패시브하우스는 건물용도상 단독주택의 비중이 약 70%로 대부분을 차지하고 있으며, 건물구조유형별로는 철근콘크리트구조(53.3%)와 목구조(36.7%)가 많은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타나고 있다. 이러한 다양한 시도에도 불구하고 국내에서는 패시브하우스 관련 연구실적이나 설계시공 경험이 매우 부족한 실정이다. 그러므로 패시브하우스의 계획시 고려해야할 건축구조유형, 자재, 설비 등 대한 정보를 몇몇 자재업체나 시공업체의 홍보자료에 의존할 수밖에 없는 상황인 것이다.

본 연구는 최근 국내에서 수요가 지속적으로 증가하고 있음에도 불구하고 적정한 구현방법에 대한 정보가 부족했던 패시브하우스를 대상으로, 해외사례를 조사, 분석함으로써 패시브하우스의 계획특성에 대한 체계적인 정보를 제공하고 건축구조유형별 계획방법의 차이를 도출하고자 한다.

1.2 연구방법

본 연구에서는 먼저 현대적 패시브하우스를 주도하고 있는 독일 패시브하우스연구소에서 제시한 패시브하우스의 개념, 정의, 계획기준 등에 대하여 조사하였다.

다음으로 해외 신축 단독주택형 사례를 중심으로 패시브하우스의 건물구조유형별 계획특성을 비교하였다. 신축 단독주택이라는 조사대상은, 단독주택 용도가 국내외적으로 패시브하우스의 대부분을 차지하고 있다는 점과 국내에서는 패시브하우스가 리모델링이나 증축 보다는 신축 위주로 건축되고 있다는 점을 고려하여 선정하였다. 해외 패시브하우스의 계획특성 관련 조사내용은 패시브하우스의 에너지 성능, 건물부위별 단열성능, 단열재, 기밀성, 열회수효율, 난방설비, 패시브 디자인기법 등이다.

* 경기도시공사 수석연구원, 공학박사(jpyangh@naver.com)
본 논문은 2013년에 수행된 경기도시공사 연구과제의 일부임

그리고 조사사례의 건물구조유형별 계획특성의 차이를 파악하기 위하여, 통계분석을 95% 신뢰수준에서 실시하였다. 통계분석에서 순서형 데이터에 대해서는 분산분석을 실시하였으며, 명목형 데이터에 대해서는 x2-test를 실시하였다.

2. 패시브하우스의 계획기준 및 건축구조유형

2.1 패시브하우스의 개념 및 계획기준

독일 패시브하우스연구소에서는 패시브하우스의 개념을 "에너지효율성(energy efficient), 쾌적함(comfortable), 경제성(affordable)을 동시에 만족시키는 표준적 건물"[1] 이라고 설명하고 있다. 위의 세가지 요소 중에서 어느 한가지라도 만족시키지 못할 경우, 진정한 패시브하우스가 아니라는 의미이다.

패시브하우스는 1970년대의 오일쇼크로 인한 고유가와 에너지위기에 대응책으로 논의되기 시작하였다. 1980년대에는 스웨덴과 덴마크 등 북유럽을 중심으로 두꺼운 단열, 열교의 최소화, 기밀성 강화, 단열창호, 열회수환기장치 등의 저에너지 소비형 건물모형 개념이 논의되기 시작하였으며, 1988년 5월에 Bo Adamson 교수와 Wolfgang Feist 박사에 의해 현대적 의미의 패시브하우스 컨셉이 제시되고 다양한 실험을 통해 현실적으로 가능함이 증명되었다.

패시브하우스의 정의는 다양하게 이뤄지고 있는데, 개발초기에는 "중부유럽 기후에서 아주 작은 난방에너지를 필요로 하며, 더 이상 액티브 난방이 필요없는 건물"[2]로 정의되었으며, 현재 독일 패시브하우스연구소에서는 패시브하우스를 "실내공기의 질을 유지하기 위해 필요한 신선한 공기의 사후가열 혹은 사후냉각만으로도 열적 쾌적감을 이룰 수 있는 건물"로 정의하고 있다. 이러한 패시브하우스 정의 변화로 볼 때, 초기에는 난방에너지의 절감과 생애주기비용 측면의 경제성 측면이 강조되었으나 현재에는 재실자의 쾌적감과 건강성 측면이 강조되고 있음을 알 수 있다.

패시브하우스는 에너지효율성 뿐만 아니라 재실자의 쾌적감 혹은 건강성이 강조된다는 점에서 단순한 저에너지형 건물과 차이가 있다. 저에너지형 건물은 고단열, 고기밀을 통하여 열손실을 최소화하고 부족한 열원의 보충을 위하여 보일러 등 전통적인 난방설비가 사용되는 반면, 패시브하우스는 이 부족한 열원을 이러한 난방설비가 아닌 열회수환기장치를 통한 폐열의 확보, 지중덕트를 통한 실내유입공기의 예열 혹은 냉각, 패시브적 열취득 최대화 등을 통하여 최대한 보충한다.

패시브하우스는 고단열과 고기밀을 통해 건물의 열손실(혹은 난방부하)가 최소화되므로 열은 실내에 오래 머무를 수 있으며 실외로 빠져나가는 열량은 매우 적다. 쾌적한 실내온도(약 20℃)를 유지하는데 필요한 열의 양은 남쪽 창을 통한 취득된 태양열, 내부 발열, 열회수환기장치를 통해 회수된 열 등을 통해 보충되며, 추가적으로 필요한 난방에너지의 양은 '아주 작은' 수준이 된다. 이 아주 작은 난방에너지의 양을 측정하여 표현한 것이 패시브하우스의 연간 난방에너지 요구량인 15kWh/㎡a이며, 등유사용량 1L는 에너지소요량 10kWh/㎡로 환산되므로, 일반적으로 패시브하우스는 연간 1㎡면적의 등유사용량이 1.5L 이하인 주택을 의미한다.

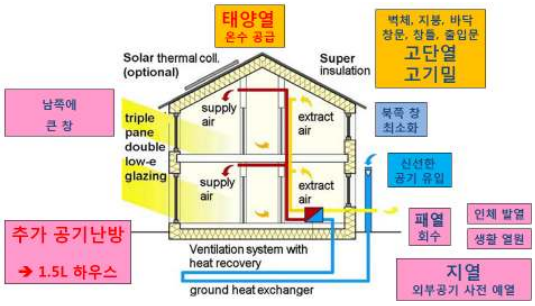

그림 1. 패시브하우스의 개념도(독일PHI의 자료 편집)

패시브하우스의 또 다른 성능기준으로는 난방에너지 뿐만 아니라 급탕, 냉방, 취사, 조명, 가전 등 주택 내에서 필요한 모든 에너지를 나타내는 연간 1차에너지소요량인 120kWh/㎡a가 있다. 그러므로 1차에너지소요량 측면에서는 난방효율 뿐만 아니라 고효율 기기의 사용이 강조된다.

독일 패시브하우스연구소(PHI : Passive House Institute)에서 제안하고 세계적으로 통용되는 패시브하우스의 주요 성능요구기준은 다음과 같다.[3]

표 1. 패시브하우스의 주요 성능기준

항목	성능 기준
에너지성능	·연간 난방에너지요구량 : 15kWh/㎡a 이하 혹은 열부하 : 10W/㎡ 이하
	·연간 1차에너지소요량 : 120kWh/㎡a 이하 - 난방, 온수, 가전기기 등을 모두 포함
단열성능 (열관류율)	·외벽/지붕/바닥(U값) : 0.15W/㎡K 이하
	·창/창틀/문(U값) : 0.8W/㎡K 이하
유리 g값	·태양에너지 투과율 : 50% 이상
기밀성	·0.6회/h 이하 (50pa)
환기성능	·열회수환기장치의 폐열회수효율 : 75% 이상
디자인 기법	·컴팩트한 형태, 일사조절용 차양 등
기타	·지중덕트를 이용한 실내유입공기의 예열 ·에너지절약형 가전기기의 사용

2.2 패시브하우스의 건물구조유형

일반적으로 건물의 구조는 기둥, 보, 바닥, 내력벽 등을 구성하는 건축물의 주요구조부의 구조재료, 시공방식, 구성방식 등에 따라 다양하게 분류될 수 있다. 건물의 구조유형은 구조재료에 따라서는 목조, 벽돌구조, 철근콘크리트구조 등으로, 시공방식에 따라서는 습식구조, 건식구조 등으로, 구조체의 구성방식에 따라서는 가구식구조, 조적식

1) 독일 패시브하우스연구소의 홈페이지(www.passiv.de) 참고

2) Wolfgang Feist, 15th Anniversary of the Darmstadt - Kranichstein Passive House(Factor 10 is a reality), Passive house Institute, 2006. 9 (http://www.passivhaustagung.de/Kran/First_Passive_House_Kranichstein_en.html 참고)

3) PHI, Certification Criteria for Residential Passive House Buildings, 2012. 4. 25 및 Intelligent Energy Europe, Passive House Solutions, p.8, 2006. 5 참고

구조, 일체식구조 등으로 구분된다.

독일 패시브하우스연구소에서는 패시브하우스 관련 데이터베이스에서 분류하고 있는 건물구조유형은 조적조(masonry construction), 목조(timber construction), 단열거푸집형 콘크리트 구조(insulated concrete forms), 조적조와 목조의 혼합구조(mixed construction, timber and masonry) 등 4가지이다. 이러한 건물구조유형의 분류는 앞에서 살펴본 일반적인 건물구조유형의 분류방법 중 구조재료에 의한 분류방법, 건물구조체의 구성방식에 의한 분류방법 등이 종합적으로 고려된 것이다.

위 건물구조유형 중 단열거푸집형 콘크리트 구조에서는 거푸집을 형성하는 단열재로 비드법 2종 보온판(Gray EPS, 탄소발포폴리스티렌)[4]이 사용된다. 공사방법은 단열거푸집에 철근을 배근한 다음 콘크리트를 붓는 것으로 일반적인 철근콘크리트구조의 공사방법과 거의 유사하며, 구조체 내외부에 단열재가 배치되는 양단열이 구현되므로 건물 외피의 단열성능이 향상되고 기밀성이 우수한 특징이 있다.

3. 해외 패시브하우스 사례 분석

3.1 조사사례 개요

본 연구에서 사용된 사례 자료는 독일 패시브하우스연구소에서 구축한 패시브하우스의 데이터베이스에서 발췌한 것이다. 2013년 1월 31일 현재까지 구축된 데이터베이스의 사례 수는 전세계적으로 총 2,025개이며, 독일 패시브하우스연구소 및 공인인증기관에 의해 검증된 인증사례 수는 전체 사례의 21.8%인 442개이다. 전체 데이터베이스의 건물유형별 분포를 살펴보면, 단독주택의 비중이 57.6%(1,166개)로 가장 많았으며, 집합주택은 30.9%(625개), 업무 및 상업시설은 11.6%(234개) 등으로 구성되어 있다. 또한 본 연구의 대상인 신축 단독주택형 패시브하우스의 사례 수는 총 971개이며, 이 중 인증사례 수는 205개이다.

신축 단독주택형 패시브하우스의 건물구조유형별 분포를 살펴보면, 목조(491개, 50.6%)와 조적조(363개, 37.4%)가 대부분을 차지하고 있으며, 단열거푸집형 콘크리트 구조와 혼합구조는 상대적으로 사례 수가 적다. 그러므로 본 연구에서는 목조와 조적조를 대상으로 패시브하우스의 건물구조유형별 계획특성을 파악하고자 한다. 최종적으로 분석에 사용된 사례는 목조 인증사례 88건과 조적조 인증사례 83건을 합한 총 171개 사례이다.

3.2 패시브하우스 계획요소별 성능 현황

조사사례의 계획요소별 성능이 패시브하우스의 성능요구조건을 만족시키는 지 여부에 대한 분석을 실시하였다. 분석결과, 조사사례의 전체적인 계획요소별 성능 평균값은 전부 패시브하우스의 성능요구조건을 만족시키는 것으로 나타났다.

4) 비드법 2종 보온판은 일반 EPS(expanded polystyrene, 발포스티렌, 비드법 단열재)에 탄소와 흑연을 첨가하여 단열성능, 난연성능, 구조적 강성 등을 향상시킨 단열재를 의미한다.

표 2. 패시브하우스의 계획요소별 성능기준과 미달 비율

구 분		성능 기준	전체 평균	사례 (개)	성능 미달 사례 비율		
					전체	목조	조적조
열관류율 (W/㎡K) (U값)	외벽	0.15이하	0.108	171	3.5%	5.7%	1.2%
	바닥		0.118	170	8.8%	11.5%	6.0%
	지붕		0.094	169	0.6%	0.0%	1.2%
	창틀	0.8이하	0.80	168	33.3%	43.5%	22.9%
	유리		0.61	152	0.7%	1.3%	0.0%
	출입문		0.78	117	22.2%	27.6%	16.9%
유리 g값		50%이상	54.0%	160	8.1%	8.8%	7.5%
열회수효율		75%이상	84.8%	63	0.0%	0.0%	0.0%
기밀성 (50pa, 회/h)		0.6이하	0.39	162	0.6%	1.2%	0.0%
난방요구량 (kWh/㎡a)		15이하	13.9	170	0.6%	0.0%	1.2%
1차에너지소요량 (kWh/㎡a)		120이하	94.7	159	0.0%	0.0%	0.0%

건물외피의 단열성능인 열관류율(U값)을 비교하면, 전체적으로 지붕의 평균값이 0.094W/㎡K로 가장 작았으며, 외벽(0.108), 바닥(0.118)의 순서인 것으로 나타났다. 즉 건물외피의 부위 중에서 지붕의 단열성능이 가장 높고 바닥의 단열성능은 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다. 건물외피에서 부위별 단열성능의 차이는 건물 부위별로 발생하는 열손실량의 차이가 반영된 것이다.[5] 패시브하우스에서 지붕의 경우 겨울철의 열손실 뿐만 아니라 여름철의 실내 쾌적성을 위한 열차단효과도 함께 고려해야 하므로 건물의 외피 중 단열성능이 가장 높게 계획된다.

패시브하우스에서 개구부인 창틀, 유리, 출입문의 열관류율(U값)에 대한 조사결과, 전체적으로 유리의 평균 열관류율이 0.61W/㎡K로 가장 낮고 출입문과 창틀의 열관류율은 각각 0.78과 0.80인 것으로 나타났다. 유리의 경우 3중유리창의 설치를 통하여 비교적 손쉽게 패시브하우스의 성능요구조건을 만족시킬 수 있으나, 현실적으로 출입문과 창틀은 "에너지효율성, 쾌적성, 경제성"등을 동시에 만족시키는 제품이 아직까지는 부족한 실정이다. 패시브하우스 사례의 계획요소별 성능 미달 비율을 살펴볼 경우에도, 전체적으로 창틀과 출입문의 성능 미달비율이 각각 33.3%와 22.2%로 다른 계획요소에 비해 훨씬 높은 것으로 나타났다.

패시브하우스 조사사례의 계획요소별 성능이 건축구조유형별로 차이가 있는 지에 대하여 통계분석을 실시한 결과, 전반적으로 조적조의 계획요소별 성능이 목조 보다 약간 우수한 것으로 나타났으나, 95% 신뢰수준에서 통계적으로 목조와 조적조의 계획요소별 성능에 대한 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 국내에서 목조주택의 경우, 건축구조상 특성으로 인해 패시브하우스의 성능기준에서 요구하는 고기밀성의 구현이 어렵고, 난방성능도 패시브하우스 수준(1.5L 이하)을 달성하기 어렵다는 기존 인식과는 다른 것이다. 해외 패시브하우스의 사례를 고려할 때, 국내 목조 패

5) 일반적인 단독주택에서 건물부위별 열손실은 외벽이 30%로 가장 크고, 지붕 25%, 바닥 10%, 창문 10%, 열교부위 10% 등의 순서이다. 박종근, Glass Wool 단열재를 이용한 패시브하우스의 고단열 이론과 적용사례, Sain-Gobain Isova Korea, 2012. 2. 24, p.14 참고

시브하우스[6]에서 발견되는 기밀성과 에너지성능이 미달현상은 건축구조상 목조라는 건식공법의 한계와 더불어 국내 업체들의 설계, 시공상 경험부족 등의 원인 때문에 발생하는 것으로 판단된다.

표 3. 조사사례의 건축구조유형별 계획요소의 성능 차이

구 분		목조		조적조		F값	유의확률
		평균	사례수(개)	평균	사례수(개)		
열관류율 (W/㎡K) (U값)	외벽	0.109	88	0.107	83	0.422	0.517
	바닥	0.120	87	0.115	83	0.912	0.341
	지붕	0.096	87	0.092	82	1.641	0.202
	창틀	0.82	85	0.78	83	2.696	0.102
	유리	0.61	79	0.61	73	0.023	0.880
	출입문	0.78	58	0.78	59	0.057	0.811
유리 g값		53.6%	80	54.3%	80	0.810	0.369
열회수효율		85.3%	28	84.3%	35	0.414	0.522
기밀성 (50pa, 회/h)		0.40	84	0.37	78	2.691	0.103
난방요구량 (kWh/㎡a)		14.0	87	13.8	83	0.835	0.362
1차에너지소요량 (kWh/㎡a)		96.7	84	92.5	75	1.990	0.160

3.3 건물부위별 단열재

(1) 외벽 단열재

패시브하우스의 외벽 부위에 사용된 단열재의 건축구조유형별로 차이는 통계적으로 95% 신뢰수준에서 유의미한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

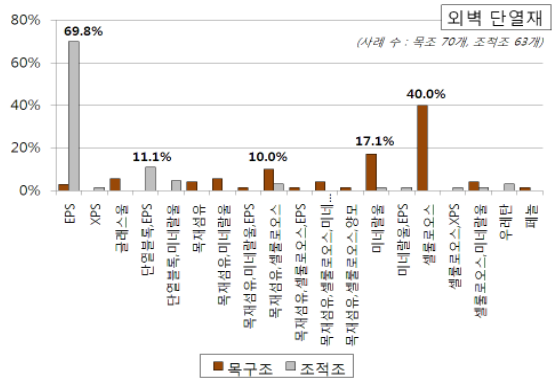

그림 2. 건물구조유형별 외벽 단열재의 사용 현황

표 4. 건물구조유형별 외벽 단열재에 대한 카이제곱 검정 결과

구 분	값	자유도	유의확률
Pearson 카이제곱	112.489	19	0.000

목조의 경우, 외벽의 단열재로서 셀룰로오스의 사용비율이 40.0%로 가장 높았으며, 그 다음으로는 미네랄울(17.1%), '셀룰로오스+목재섬유'(10.0%) 등의 사용비율이 높은 것으로 나타났다. 셀룰로오스는 단독으로도 가장 많이 사용되지만 다른 목재섬유, 미네랄울 등 다양한 단열재와 조합되어 사용되는 것도 특징적이다.

조적조의 경우, 외벽에서 가장 많이 사용된 단열재는 EPS(69.8%)이며 그 다음으로는 'EPS+단열블록'(11.1%)이 많이 사용된 것으로 나타났다. 조적조 패시브하우스의 외벽에서는 거의 대부분 EPS를 사용되고 있음을 알 수 있다.

패시브하우스의 외벽 부위에서 건축구조유형별로 서로 다른 단열재가 사용되는 것은 단열재의 선택에 있어서 건축구조유형별 특성이 반영되었기 때문이다. 습식구조인 조적조의 경우 구조체 자체가 기밀하여 구조체를 통한 습기의 이동이 어려우므로, 역시 습기의 이동이 발생하지 않는 EPS를 단열재를 사용하였으며, 건식구조인 목조의 경우 구조체 내외부로 습기의 이동이 발생하므로 단열재도 습기의 이동 및 배출에 유리한 셀룰로오스를 많이 사용한 것으로 판단된다.

(2) 지붕 단열재

패시브하우스의 지붕에 사용된 단열재의 건축구조유형별 차이는 통계적으로 95% 신뢰수준에서 유의미한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

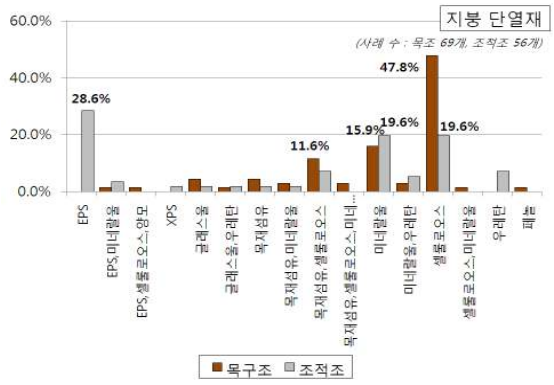

그림 3. 건물구조유형별 지붕 단열재의 사용 현황

표 5. 건물구조유형별 지붕 단열재에 대한 카이제곱 검정 결과

구분	값	자유도	유의확률
Pearson 카이제곱	42.481	16	0.000

목조의 경우, 지붕의 단열재로는 셀룰로오스의 사용 비율이 47.8%로 가장 높았으며, 그 다음으로는 미네랄울(15.9%), '셀룰로오스+목재섬유'(11.6%) 등의 사용 비율이 높은 것으로 나타났다. 지붕 부위의 이러한 단열재 사용경향은 외벽 부위와 일치하는 것인데, 대체적으로 목조 패시브하우스에서 외벽과 지붕에서는 동일한 단열재를 사용하는 경향이 나타나고 있다.

조적조의 경우, 지붕의 단열재로서 EPS의 사용 비율이 28.6%로 가장 높았으며, 그 다음으로는 셀룰로오스(19.6%), 미네랄울(19.6%)의 사용 비율이 높은 것으로 나타났다. 이러한 사용 비율은 조적조 외벽의 단열재로서 대부분 EPS가 사용된 것과는 다른 것이다. 조적조 패시브하우스 사례의 지붕에 있어서 EPS의 사용 비율은 외벽 보다 절반 이하이며, 그 대신 목조의 외벽에 많이 사용되었던 셀룰로오

6) (사)한국패시브건축협회의 자료에 따르면, 2010년에서 2013년까지 국내에 건축된 목조 패시브하우스 12개 사례의 평균 기밀성능은 1.0회/h(50pa)이며, 평균 연간난방에너지요구량은 29.1kWh/㎡a이다.

스, 미네랄울, 목재섬유의 사용 비율이 증가된 경향을 보이고 있다. 이것은 외벽이 조적조일지라도 지붕이 목조로 구성된 경우에는, 지붕 부위에서의 습기의 원활한 이동을 위하여 목조의 외벽에서와 같이 투습작용이 좋은 단열재를 적용했기 때문이다.

(3) 바닥 단열재

패시브하우스의 바닥 부위에 사용된 단열재의 건축구조유형별로 차이는 통계적으로 95% 신뢰수준에서 유의미한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 목조와 조적조 모두 패시브하우스의 바닥재로서 EPS를 가장 많이 사용하는 것으로 나타났으나 사용 비율에서는 차이가 있었다.

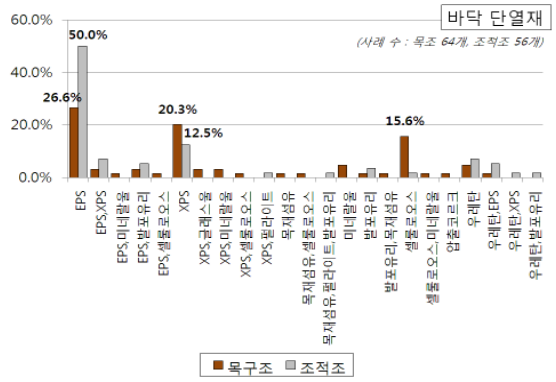

그림 4. 건물구조유형별 바닥 단열재의 사용 현황

표 6. 건물구조유형별 바닥 단열재에 대한 카이제곱 검정 결과

구분	값	자유도	유의확률
Pearson 카이제곱	33.254	23	0.077

목조의 경우 바닥의 단열재로서 EPS(26.6%) 뿐만 아니라 XPS[7](20.3%), 셀룰로오스(15.6%)의 사용 비율도 높았으나, 조적조의 경우, EPS의 사용비율이 50%로 다른 단열재보다 월등하게 높은 특징이 있었다. 일반적으로 EPS와 XPS는 콘크리트 바닥구조체의 외단열재로 사용되며, 바닥에 목재마루층이 추가적으로 형성될 경우, EPS 혹은 XPS와 함께 목재의 투습을 고려한 단열재(셀룰로오스 등)가 사용된다. 목조 패시브하우스의 경우, 콘크리트 바닥구조체가 없이 목조로만 바닥을 형성할 경우, 목조 외벽의 경우와 마찬가지로 셀룰로오스, 미네랄울 등의 단열재가 많이 사용되는 것으로 나타났다.

3.4 난방설비

패시브하우스는 앞에서 살펴본바와 같이 "아주 작은 난방에너지를 필요로 하며, 더 이상 액티브 난방이 필요없는 건물"이라고 정의되었다. 그런데 조사결과, 전체 171개 사례의 53.2%인 91개 사례에서 별도의 난방설비를 설치하고 있는 것으로 나타났으며, 설치된 난방설비 중에는 전체적으로 난로(25.3%), 전기히터(24.2%), 보일러(14.3%) 등 전통적 액티브 난방설비의 비중이 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때, 패시브하우스에서 액티브 난방설비의 설치 유무는 거주자의 선호도나 기후적 여건 등에 따라서 선택적으로 결정되고 있는 것으로 판단된다.

패시브하우스에 사용된 난방설비의 건축구조유형별 차이에 대한 통계분석을 실시한 결과, 통계적으로 95% 신뢰수준에서 유의미한 차이가 없는 것으로 분석되었다.

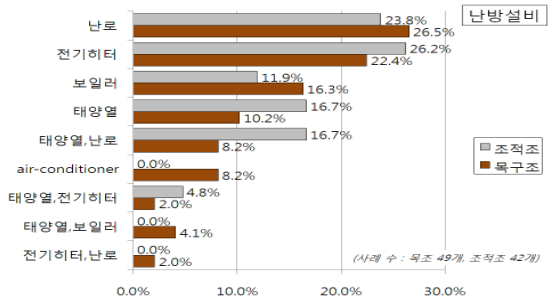

그림 5. 건물구조유형별 난방설비의 사용 현황

표 7. 건물구조유형별 난방설비의 차이에 대한 카이제곱 검정 결과

구분	값	자유도	유의확률
Pearson 카이제곱	9.480	9	0.394

3.5 디자인기법

패시브하우스에는 열손실의 최소화, 패시브 열취득의 최대화, 여름철 쾌적감을 위한 일사조절 등을 위하여 다양한 디자인기법이 적용된다. 해외 패시브하우스 사례에 적용된 디자인기법은 건축구조유형별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 주요 계획요소별 특징은 다음과 같다.

먼저 지붕형태의 경우, 전체적으로 박공지붕이 58.2%로 가장 많았으며, 평지붕 21.2%, 외쪽지붕 17.0%, 모임지붕 3.6%의 순서인 것으로 나타났다. 패시브하우스에 적용된 지붕형태의 건축구조유형별 차이는 통계적으로 95% 신뢰수준에서 유의미한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 지붕 상부에는 급탕을 위한 태양열집열판이나 태양광발전설비가 부착되며, 박공지붕과 모임지붕의 경우 지붕의 형태는 이들 설비의 설치각도를 고려하여 설계되고 있었다.

패시브 열취득의 최대화를 위해서는 건물의 남측 창을 최대화하고 북측 창을 최소화하고 있었는데, 목조의 경우 조적조 보다 남측 창이 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 현상은 조적조의 경우 외벽이 내력벽 구조이므로 창면적을 확대하는데 목조 보다 불리하기 때문에 발생하는 것이다. 외쪽지붕의 경우, 일사 취득의 최대화를 위하여 남측 창면적을 확대한 결과, 건물의 남측 부분이 높고 북측이 낮은 지붕형태를 취하고 있었다.

일사조절을 위해서는, 우선 남측에 면한 처마를 외벽면보다 길게 돌출시키거나 2층에 발코니를 설치하여 여름철 일사를 차단하고 있었으며, 남측 창 외부에 일사차단용 덧문을 설치하거나 전동차양을 설치하는 방법도 적용되고 있었다. 외쪽지붕의 경우 지붕 처마를 이용한 일사차단이 어려우므로, 별도의 차양장치를 설치하고 있으며, 이 차양장

7) XPS는 extruded polystyrene(압출법 보온판)의 약자이다.

치의 상부는 태양열 집열판이나 태양광 발전패널의 설치장소로도 활용되었다.

대부분의 조사사례에서 건물의 외관은 열손실 최소화를 위해 컴팩트한 형태를 취하고 있었는데, 건물의 외장재료는 건축구조의 유형을 반영하여 목재로 마감처리를 하고 조적조 느낌이 나는 타일을 붙인 경우도 있었다. 이러한 외장재료는 외단열이 이뤄지는 패시브하우스의 특성상 건축구조유형과는 관계가 없으므로, 지역전통이나 개인적 취향에 따라 결정된 것으로 판단된다.

표 8. 패시브하우스의 외관 및 디자인 (출처 : 독일PHI)

구 분	목 조	조적조
박공지붕		
외쪽지붕		
평지붕		
모임지붕		

4. 결 론

본 연구에서 도출된 주요 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 에너지성능, 단열성능, 기밀성 등 패시브하우스의 계획요소별 성능은 건축구조유형별로 차이가 없었다. 그러므로 대부분의 국내 목조 패시브하우스 사례에서 발견되는 기밀성과 에너지 성능의 미달현상은 건축구조상 목조라는 건식공법의 한계 때문에 발생하는 것이 아니다.

둘째, 패시브하우스에서 건물외피 중 지붕의 단열성능이 가장 높았으며, 창틀과 출입문은 패시브하우스의 단열성능 기준에 미달하는 사례가 많이 있었는데, 이는 성능과 경제성을 동시에 만족시키는 제품이 아직 부족하기 때문이다.

셋째, 건물부위별로 사용되는 단열재의 종류는 건축구조유형별로 뚜렷한 차이가 있었다. 목조의 외벽과 지붕에는 셀룰로오스가 많이 사용되었으며, 조적조의 외벽과 지붕에는 EPS가 많이 사용되었다. 바닥의 경우, 조적조는 EPS의 사용이 가장 많은 반면, 목조는 EPS, XPS, 셀룰로오스가 골고루 사용되는 경향이 있었다.

넷째, 개념적으로 패시브하우스는 패시브적인 방법으로 열취득을 추구하고 액티브 난방설비의 사용이 필요없다는 가정 하에서 개발되었으나, 실제로는 재실자의 선호나 기후적 여건에 의해 절반이상의 사례에서 난로, 전기히터, 보일러 등 액티브 난방설비가 설치되었다.

다섯째, 패시브하우스에 적용되는 디자인기법은 건축구조유형별로 큰 차이가 없었다. 패시브하우스에서는 열손실의 최소화, 패시브 열취득의 최대화, 여름철 쾌적감을 위한 일사조절 등을 위해 다양한 디자인기법이 적용된다.

본 연구는 국내에서는 아직 도입단계라고 할 수 있는 패시브하우스를 대상으로 시장이 이미 활성화되어 있는 해외사례의 계획특성을 조사, 분석하여 패시브하우스에 대한 체계적인 정보를 제공하고자 시도되었다. 분석결과 패시브하우스에서 건축구조유형별로 큰 차이가 있는 요소는 건물외피에 사용되는 단열재의 종류인 것으로 나타났다. 목조와 같은 건식구조에서는, 습식구조와는 다르게, 투습성능이 높아서 습기의 통과 및 배출기능이 원활한 단열재를 사용하는 것이 바람직하다. 습기로 인해 발생한 곰팡이와 결로수는 재실자의 건강을 해치고 목구조체나 내외장재가 썩는 원인이 되기 때문이다.

본 연구는 실제 사례의 데이터를 중심으로 패시브하우스의 계획특성과 건축구조유형별 계획방법의 차이를 파악하고자 시도한 기초적 연구라는데 의의가 있다. 향후 국내에서 패시브하우스가 활성화되기 위해서는 우리나라 기후여건에 적합한 성능기준, 우리나라 사람들의 생활양식과 쾌적감에 적합한 자재 및 설비의 사용기준, 기존 주택 대비 경제성을 확보할 수 있는 설계 및 시공기법 등에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Georg W. Zielke, Passive Houses in Germany, Net Zero Energy Workshop, 2009. 2
2. Intelligent Energy Europe, Passive House Solutions, 2006. 5
3. IPHA, The Passive House, 2010
4. Marcel Elswijk, European Embedding of Passive Houses, 2008
5. 박종근, Glass Wool 단열재를 이용한 패시브하우스의 고단열 이론과 적용사례, Sain-Gobain Isova Korea, 2012. 2. 24
6. 양정필, 미래트렌드를 고려한 주택단지내 녹색건강건축의 적용방안 연구, 경기도시공사, 2011. 5
7. 양정필, 에너지제로주택 관련 국내외 사례 조사연구, 경기도시공사, 2010. 9
8. 양정필, 커뮤니티시설에서 자원재활용형 패시브건축기법 적용방안 연구, 경기도시공사, 2012. 10
9. 양정필, 해외 목조 패시브하우스의 계획특성 연구, 경기도시공사, 2013. 2
10. 한국패시브건축협회, 제2회 패시브하우스 세미나 자료집, 2012
11. 홍도영, 패시브하우스 설계시공 디테일, 주택문화사, 2012

투고(접수)일자: 2013년 3월 28일
수정일자: (1차) 2013년 6월 18일
게재확정일자: 2013년 6월 18일