

구조단열패널의 저에너지주택 적용을 위한 내화 및 단열성능 평가

이현주¹ · 나환선² · 이철희³ · 최성모⁴

한국전력공사 전력연구원 선임연구원, 교신저자¹, 한국전력공사 전력연구원 책임연구원²
한국전력공사 전력연구원 일반연구원³, 서울시립대학교 건축학부 교수⁴

Fire Resistance Performance and Thermal Performance Evaluation of Structural Insulated Panels for Low-Energy Houses

Lee, Hyeon-Ju¹ · Nah, Hwan-Seon² · Lee, Cheol-Hee³ · Choi, Sung-Mo⁴

¹Senior Researcher, Korea Electric Power Research Institute

²Principal Researcher, Korea Electric Power Research Institute

³Researcher, Korea Electric Power Research Institute

⁴Professor, Division Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul

Abstract: Structure Insulated Panel (SIP) is a wooden structure material with which structure and insulation functions are satisfied. Hence, it would be a cost-effective model to implement low energy house which has higher insulation and structure performance and which the wall thickness is able to be reduced. In this study, performance of thermal insulation and fire resistance were evaluated in order to verify applicability to low energy house. Fire resistance test is performed on vertical load bearing members for partitions, and the test results satisfy one hour of fire resistance condition according to KS F 2257. The members include two layers of fireproof gypsum board with thicknesses of 12.5mm attached to SIP. Thermal insulation performance is satisfied with the 2012 standard (0.225W/m²·K). As the performance of resistance and thermal insulation are satisfied, SIP is expected to be applied to low energy building materials. In the future, the structural safety will be confirmed by structural performance and seismic performance test and the guidelines for distribution will be drawn up.

Key Words: Structural Insulated Panel, Fire Resistance Performance, Thermal Performance, Low-Energy Houses

1. 서론

대부분의 에너지를 수입에 의존하는 우리나라의 경우 주택부분의 소비에너지는 국가에너지의 18%를 차지하고 있고, 건물부분을 포함하면 26%를 차지할 정도로 에너지소비 비중이 커서 건물부분의 에너지 절약에 대한 중요성이 부각되고 있다. 주택의 에너지 절감을 위한 구성 요소기술은 고기밀, 고단열 패시브 설계기술과 고효율 냉, 난방 및 급탕 기기를 적용하는 액티브기술로 나누워진다.

단열진의 주택은 벽체 및 지붕을 통하여 약 58% 정도의 열손실이 발생하며, 일반적인 단열을 통해 손실을 13%까지 줄일 수 있는 에너지절감에 가장 효과적 방법이다. 단열공법은 건축물의 구조형식에 따라 적용방법이 달라지며 외단열, 내단열, 구조체 내부에 설치하는 중단열로 구분된다. 외단열공법은 실내 열과 냉기가 바닥과 벽을 통해 건물 밖으로 유출되는 열교 및 결로현상이 발생하지 않기 때문에 저에너지주택에 적용되고 있으며, 공동주택에도 적용을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

전원주택을 중심으로 친환경성과 단열성이 우수한 목조주택이 보급되고 있지만 경골목구조 형식은 후

주요어: 구조단열패널, 내화성능, 단열성능, 저에너지하우스

Corresponding author: Lee, Hyeon-Ju

Korea Electric Power Corporation Research Institute, 105, Munji-Ro, Yusung-Gu, Daejeon, 305-760, Korea
Tel: +82-42-865-5223, Fax: +82-42-865-5944, E-mail: hyeon@kepri.re.kr

투고일: 2012년 5월 18일 / 수정일: 2012년 6월 4일 / 게재확정일: 2012년 6월 15일

레임을 세우고 그 사이에 단열재를 충전하는 방법을 채택하고 있기 때문에 단열의 취약부가 생기게 된다. 이러한 단열의 단점을 보완하면서 경골목구조를 대신하여 구조체의 역할을 동시에 할 수 있는 재료가 구조단열패널(SIP, Structural Insulated Panel)이다.

최근 국내의 주택 에너지저감을 위한 단열기준 강화 및 그린홈 설계기준 제정으로 고기밀·고단열 벽체에 대한 필요성을 인식하고 있다. 향후, 시행되는 단열기준 및 그린홈 설계기준을 고려하면 발포 폴리스티렌 단열재를 사용할 경우 150mm 정도의 단열두께가 필요하게 되며, 조적벽 또는 콘크리트벽 두께를 합치면 대략 350mm 이상 벽 두께가 소요되므로 주택면적의 효율화 측면에서도 구조단열패널의 적용 검토가 필요하다. 또한, 저에너지주택의 단열 및 기밀성능 향상과 보급, 활성화를 위해서는 시공성 및 공정 단순화 등 구조단열패널의 이점을 적극 활용할 필요가 있다. 저에너지주택의 보급을 위해서는 고효율 건축자재의 적용성 검토가 필수적이며, 그에 따른 건축비 증가분과 에너지 저감으로 인한 유지비용 절감분에 대한 객관적인 비교 및 평가가 이루어져야 한다. 특히, 주택의 건축자재는 설비보다 수명이 길고 한번 도입하면 변경이 어려워 더욱 신중한 선택이 요구되기 때문에 합리적인 단열벽 시스템의 선택이 선행되어야 한다.

본 논문에서는 미국 및 유럽 등지에서 가장 효율적인 그린홈 건축자재로 인정받고 있는 구조단열패널을 저에너지주택에 적용하기 위하여 목구조의 특성을 감안한 내화성능과 단열성능을 평가하였다.

2. 구조단열패널 특성

2.1 에너지 저감

목재는 강재 및 콘크리트와 비교하여 수백만개의 기공을 갖는 세포구조 덕분에 열흐름에 대한 저항성을 가지고 있는 재료이다. 그러나 경골목구조의 경우 골조를 먼저 세우고 단열을 하기 때문에 단열재의 장기 처짐이나 시공의 품질정도에 따라 골조주위에서 열교가 발생하게 된다. Fig. 1은 Jan Kosny et al.(1999)의 기존 목조주택과 구조단열패널 주택의 벽체 내부 표면온도를 비교한 것으로 기존 목조주택의 벽체 이음부에서 온도저하가 나타났지만, 구조단열패널 벽체의 경우에는 일정한 온도가 유지되어 열교가 발생하지 않는 특성을 가지고 있다.

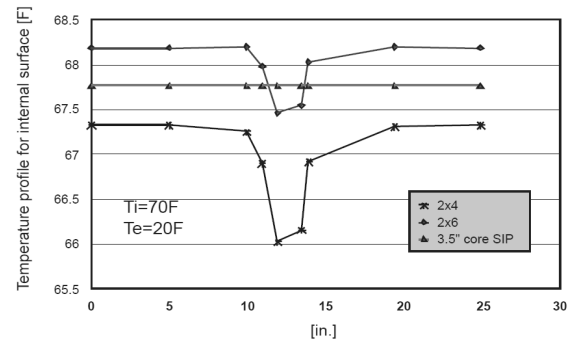


Fig. 1 Heat Leak of wall connections

Fig. 2는 오크리지 국립시험실(ORNL)에서 수행된 경골목구조와 구조단열패널의 기밀성능과 R-Value (건축재료 등의 단열성능을 나타내는 값) 실험결과로 전체 벽으로 구성된 R-14 등급의 4" 두께 구조단열패널은 R-19 등급 유리섬유단열재와 프레임으로 구성된 2 x 6 벽체보다 R-Value가 높게 나타났다. 또한 구조단열패널로 구성된 방은 경골목구조와 단열재로 구성된 벽체로 구성된 방보다 14배의 높은 기밀성능을 보였다. 이는 주택의 열손실의 40%가 기밀성능 손실에 따른 이유임을 감안할 때 기존 경골목구조와 비교하여 에너지성능이 좋은 평가를 받을 수 있다.

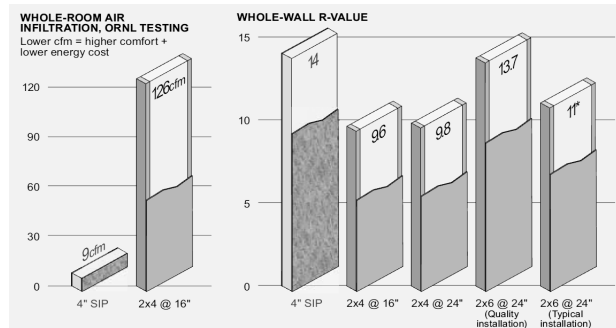


Fig. 2 Test results of Airtight Performance

2.2 실내 공기질

구조단열패널은 휘발성 유기화합물(VOC)과 유해한 화학물질을 전혀 포함하지 않아 실내공기질에 영향을 주지 않는다. 합판과 단열재 부착에 사용되는 접착제는 실내공기질을 위한 가장 엄격한 기준을 만족하는 재료를 사용한다. 압축목판은 미국 에너지성능평가기준 LEED 저탄소 재료의 요구조건을 만족하며, 시험결과 포름알데이드 누출량이 0.1 ppm 이하로 거의 제로에 가깝다. 참고로 이 양은 음식이나 사람의 혈액(3ppm)보다 적은 양이다.

문현준(2006)이 구조단열패널 주택과 기존 방식

주택을 대상으로 침입 외기량과 실내 공기 중의 TVOC 농도를 측정된 결과, 보조 기계 환기설비를 갖춘 구조단열패널 주택은 기존 방식 주택과 비교하여 낮은 침입 외기량과 높지 않은 TVOC 농도를 갖는 것으로 조사되었다.

2.3 자원저감 및 생애주기 분석

구조단열패널은 단열재와 압축목판(OSB, 나무껍질과 아교를 함침시켜 압축한 판재)로 구성되어 있기 때문에 다른 구조시스템으로 설계된 건물보다 에너지와 원자재가 적게 사용된다. NAHB(National Association of Home Builders)에서 평가한 결과에 따르면 2,000ft² 가정용 주택 건설에 7,000파운드의 건설쓰레기가 사용되는데 비해, 구조단열패널은 최적화된 소프트웨어와 효율적인 제작기술을 적용하여 건설용 쓰레기를 현격하게 줄일 수 있다. EPS는 경량단열재인데 대부분이 공기이며 2%만이 플라스틱으로 구성되어 있다. EPS 단열재의 R-value가 동등한 유리섬유단열재보다 24%의 에너지를 저감한다.

캐나다 목재협의회(1999)는 목조주택과 경량철골주택, 콘크리트주택의 환경영향을 비교한 결과에서 투입에너지, 지구온난화 가능성, 대기 유해성, 수질 유해성, 자원사용량에서 목조주택이 환경영향이 적은 것으로 Fig. 3과 같이 평가하였다.

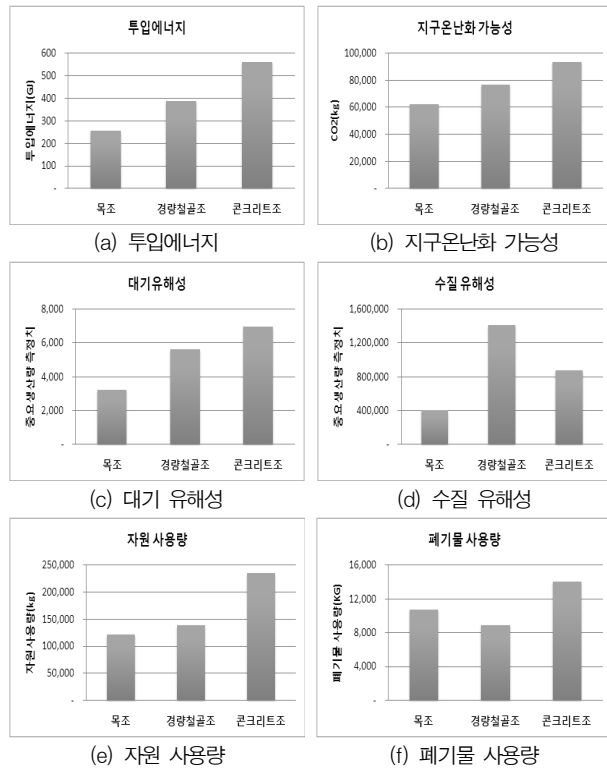


Fig. 3 Test results of environmental effects evaluation

또한, BASF 주식회사(2006)는 일반패널과 구조단열패널의 친환경 기준에 대한 Life cycle analysis (LCA)에서, 기존의 나무패널과 유리섬유 단열재에 비해 구조단열패널이 훨씬 더 친환경적이며 에너지 저감 측면 뿐만 아니라 탄소배출량, 물 오염, 유해가스방출 등에서도 친환경적이라고 Fig. 4와 같이 평가하였다.

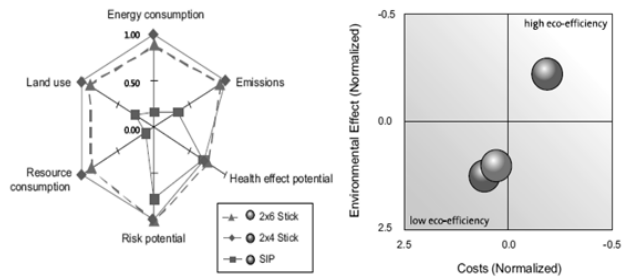


Fig. 4 Environmental Effect of SIP

2.4 화재 안전성

주택에서의 화재는 거주자에게 항상 존재하는 위험중의 하나이다. 화재 안전성은 캐나다 건축법(NBCC)에서 건물의 설계와 시공을 통해 건물 안에 있거나 건물 가까이 있는 사람에게 용인될 수 없는 화재의 위험에 노출될 가능성을 줄이려는 목표라고 정의하고 있다. 또한, 화재 안전성은 사용된 자재의 연소성 여부보다 더 복잡하며 전체 시스템의 특성을 고려해야 한다.

캐나다 주택은 90% 이상이 목재로 시공되지만, 실제 화재는 0.2%만이 바닥이나 벽의 붕괴로 사망자가 발생하였으며, 시공에 사용된 구조용 자재의 연소성과는 거의 상관없이 주택의 내용물과 가구 등에 가장 먼저 착화되어 발생된 연기와 열에 의한 사망률이 90% 이상을 차지하고 있다. 이러한 이유로 캐나다 및 미국 건축법에서의 화재 관련 규정은 단독주택에서 적용된 시공방법에 상관없이 동일하게 적용하고 있다. Table 1은 캐나다 주택의 최초 화재원인에 따른 통계자료이다.

목재는 연소 가능한 자재이나, 연소되면 탄화층이 형성되어 목재를 보호하고 목재 내부강도와 구조적 안전성을 유지하여 준다. 이는 대단면 목구조시스템이 노출된 상태에서 90분 내화등급을 획득할 수 있는 이유이다. 또한 석고보드로 마감된 목구조 내력벽 및 비내력벽은 금속 스티드벽체와 동일한 수준의 화재 확산방지 성능을 나타낸다.

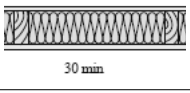
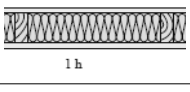
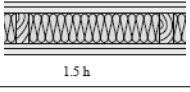
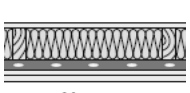

Table 1. Fire Statistics of house in CANADA

가장 먼저 착화되는 항목	화재 100건당 사망자수	
	단독주택	공동주택
천가구	5.11	4.16
매트리스, 침구	1.94	2.16
다중 포상물질	1.94	1.91
가스, 액체	1.47	1.56
바닥, 벽 장식재	1.32	1.65
구조부재	0.75	1.38

목구조는 화재에 노출된 석고보드가 함유된 수분을 배출하면서 많은 양의 열을 흡수하여 내화성능을 유지하게 된다.

Table 2는 캐나다 건축법에서 승인된 경골목구조 벽체의 단면 구성에 따른 내화등급으로서 0.5h에서 1.5h까지 정의되어 있다.

Table 2. Fire Rating Requirements of wall

벽체 구성	내화등급(FRR)
- STUD : 38×89mm @400 - 단열재 : 89mm - 일반석고보드 : 양면 12.7mm 1장	 30 mm
- STUD : 38×89mm @400 - 단열재 : 89mm - 방화석고보드 : 양면 15.9mm 1장	 1 h
- STUD : 38×89mm @400 - 단열재 : 89mm - 방화석고보드 : 양면 15.9mm 2장	 1.5 h
- 방화석고보드 : 15.9mm 1장 - STUD : 38×89mm @400 - 단열재 : 89mm - 흡음벽 : @400 - 방화석고보드 : 15.9mm 2장	 1 h
- STUD : 38×89mm @400 - 단열재 : 89mm - 흡음벽 : @400 - 방화석고보드 : 양면 15.9mm 2장	 1.5 h

3. 구조단열패널 내화성능평가

구조단열패널은 압축목판 내부에 단열재를 접착하고 압축하여 제작된 조립식 건축재료로서 단열 및 구조성능이 우수하지만 화재에 대한 안전성은 취약하다.

우리나라 건축법규에서는 건축물의 벽, 바닥 등 주요 구조부를 화재 시 적정한 내화성능을 갖춘 내화구조로 규정하고 있다. 또한 공동주택의 경우 세

대간 벽체와 바닥에 내화성능뿐 아니라 차음성능을 갖춘 차음구조를 갖추도록 규정하고 있다.

Table 3. Performance Criteria of fire resistant construction for Housing

구분			내화성능시간	
벽	외벽	내력벽		1시간
		비내력벽	연소우려 유	1시간
			연소우려 무	30분
	내벽	내력벽		1시간
		비내력벽	간막이벽	1시간
			샤프트실 구획벽	1시간
보 / 기둥			1시간	
바닥			1시간	
지붕			30분	

주거시설에 대한 내력벽 및 비내력벽은 Table 3과 같이 내화구조 성능기준에 적합하여야 하기 때문에 구조단열패널을 이용한 저에너지주택은 1시간 내화성능을 만족할 수 있도록 구조체가 설계되어야 한다.

본 실험에서는 구조단열패널에 1시간 내화성능을 확보할 수 있는 시스템을 적용하여 화재에 대한 안전성을 평가하기 위한 실험을 실시하였다.

3.1 실험계획 및 방법

본 실험에서는 구조단열패널의 1시간 내화성능 확보 여부를 평가하기 위해 단열재 종류 및 재하하중에 따른 조건을 실험변수로 계획하였다.

평가대상 단열재의 종류는 비드법 단열재이며, 종류는 1종 2호(EPS)와 2종 2호(네오폴)로 구조단열패널에서 사용되는 단열재를 선정하였다.

구조단열패널의 제작은 Fig. 5와 같이 폭 3,000mm, 높이 2,700, 두께 162mm인 구조단열패널 시험체를 3조를 제작하였다. 시험체는 내부에 경골목구조에서 사용되는 스테드와 같이 구조목재를 이용하여 압축목판 규격에 맞게 900mm × 2,700mm으로 구조틀을 설치하고, 압축목판 11mm를 양면에 나사못으로 300mm 간격으로 고정하였다. 내화시험을 위해 화염에 노출되는 면에는 방화석고보드 12.5mm 2겹을 서로 이음면이 겹치지 않게 나사못으로 고정하였다. 시험체의 제작은 Fig. 5와 같이 제작되었으며, 단열재 종류 및 재하하중에 따른 시험계획은 Table 4와 같다.

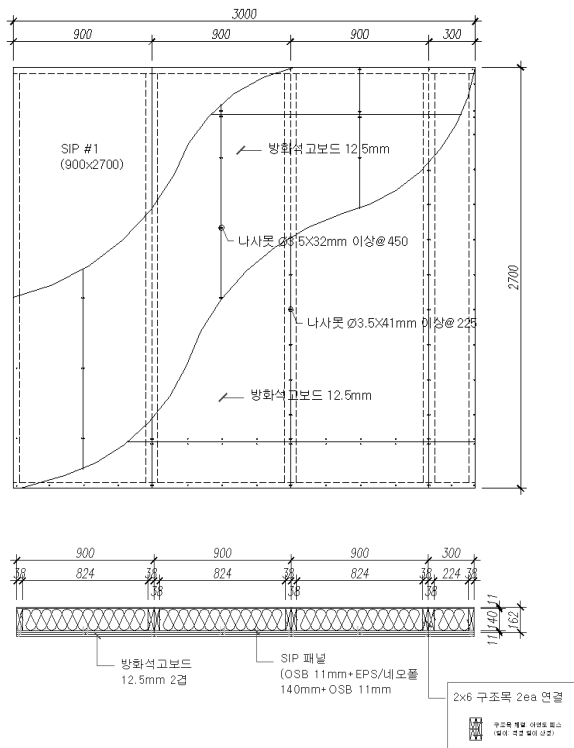


Fig. 5 Drawings of specimens

Table 4. Experimental Design

시험체명	구조단열패널	단열재 종류	재하하중 (kN)	시험체 개수 (EA)
SIP-E-1	OSB 11mm + 단열재 140mm +	비드법 단열재 1종2호	93.1	1
SIP-N-1	OSB 11mm	비드법 단열재 2종2호	93.1	1
SIP-N-2	방화석고보드 12.5mm × 2Ply		137.9	1

실험방법은 국토해양부 고시 제 2010-331호 『내화 구조의 인정 및 관리기준』 및 KS F 2257-4 : 2004 『건축 부재의 내화 시험 방법-수직 내력 구획 부재의 성능조건』에 따라 수직 재하시 내력 구획 부재의 성능 조건 확인을 위한 시험을 실시하였다. 시험과정에서 시험부재의 수직축 방향 변형량을 Fig. 6의 ①의 위치에서 시험 재하 적용 전, 후 및 가열 중에 1분 간격으로 변형을 측정하였으며, 비가열면의 시험체의 온도변화는 열전대 10개소를 설치하여 1분 간격으로 측정하였다. Fig. 7은 가열로 및 시험체를 설치 완료한 사진이며, 열전대 및 변형 측정장치의 설치와 시험체 설치도면은 Fig. 6과 같다.

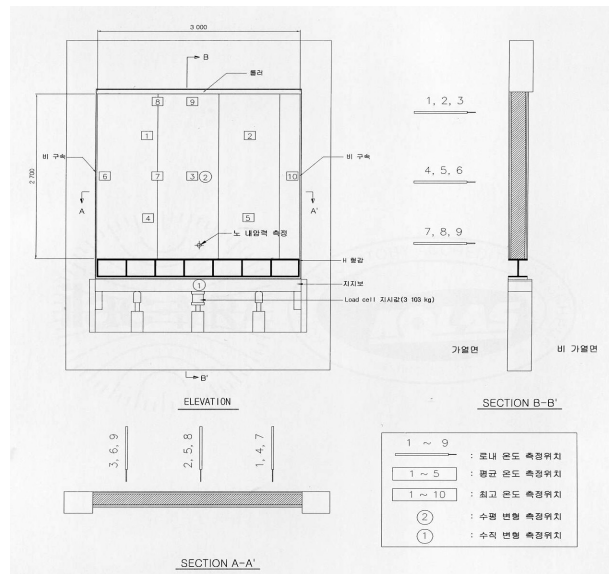


Fig. 6 Installation of thermocouples and strain measuring devices



Fig. 7 A view of the furnace and specimen

1시간 내화성능시험에서 적용된 재하하중은 93.1kN 과 137.9kN을 적용하였으며, 재하하중 산정은 2 × 6 경골 목구조의 길이방향 3,000mm 벽체에 적용되는 하중을 적용하였다.

일반적으로 2 × 6 경골목구조에 사용되는 내력벽의 경우, 스티드는 600mm 간격으로 설치되므로 본 구조단열패널과 동일한 폭을 적용할 경우, 스티드는 총 5개 산정이 가능하다. 또한, 목재의 섬유직각방향 지압강도는 3.5 N/mm² 이다.

스티드 1개당 허용하중 (P)는 식(1)과 같다.

$$P = F_c \times A = 3.5 \times 38 \times 140 = 18,620 \text{ N} \quad (1)$$

따라서, 5개의 스티드를 고려한 전체 허용하중(P')은 식(2)와 같다.

$$P' = P \times 5 = 18,620 \times 5 = 93,100 \text{ N} = 93.1 \text{ kN} \quad (2)$$

또한, Table 5와 같이 구조단열패널의 1ft당 허용 축하중을 고려하여 아래와 같이 재하하중을 선정하였다.

$$P' = 13.79kN/ft \times 10ft = 137.9kN \quad (3)$$

내화시험을 위한 노내의 가열곡선은 KS F 2257에 따라 실시하였으며, 가열온도곡선은 Fig. 8과 같다.

Table 5. Allowed Axial load of SIP

벽체높이(in.)	벽체두께별 축하중(plf)	
	4.5in.	6.5in.
96 [2438.4mm]	3,200 [14.23kN]	3,200 [14.23kN]
120 [3048mm]	3,100 [13.79kN]	3,100 [13.79kN]

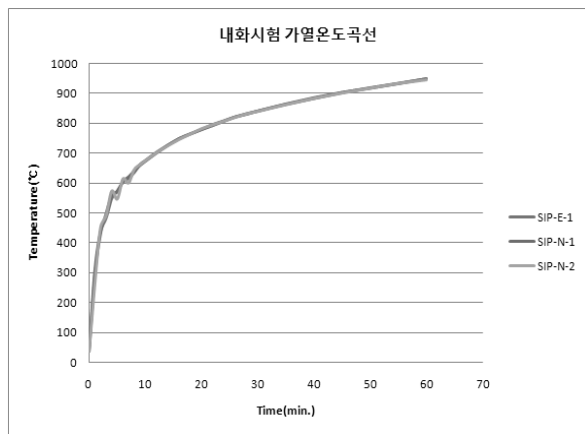


Fig. 8 Heating temperature curve of fire-resistance test

3.2 실험결과

하중지지력 시험결과 1시간 동안 137.9kN을 재하한 SIP-N-2 시험체의 수축량은 최대 13.5mm로 기준인 27mm를 초과하지 않았다. 변형률은 SIP-N-2 시험체를 제외하고 기준을 만족하였으나, SIP-N-2 시험체의 경우에는 9.5mm/min으로 기준인 8.1mm/min을 초과하는 구간이 11분과 17분에 2회 발생하였다. 하지만 KS F 2257-1 : 2005 『건축 부재의 내화 시험 방법-일반요구사항』의 성능기준에서는 수축량 및 변형률이 모두 기준을 초과하였을 때를 부적합으로 판정하도록 되어있고, 안정된 상태에 도달할 때까지 상대적으로 급속한 변형이 생길 수 있으므로 변형량이 초과할 때까지 변형률을 적용하지 않는다. 하중 지지력 시험결과는 Table 6과 같으며, 시험체별 수직 및 수평방향 변형량 변화는 Fig. 9 및 Fig. 10과 같다. 성능기준에 의한 축방향 재하 부재의 경우 수

축량(C) 및 변형률은 식(4), 식(5)와 같다.

수축량 C는

$$C = \frac{h}{100} mm = \frac{2,700}{100} mm = 27mm \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{변형률은 } \frac{dC}{dt} &= \frac{3 \times h}{1000} mm/min = \frac{3 \times 2,700}{1000} \\ &= 8.1mm/min \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, h는 시험체의 높이(mm)

Table 6. Test results of Load Bearing Capacity

시험체명	성능기준	시험하중 (kN)	수축량 (mm)	변형률 (mm/min)	비고
SIP-E-1	수축량 : 27.0mm 변형률 : 8.1mm/min	93.1	0.8	1.5	적합
SIP-N-1		93.1	3.2	5.2	적합
SIP-N-2		137.9	13.5	9.5	11분 변형률 초과/적합

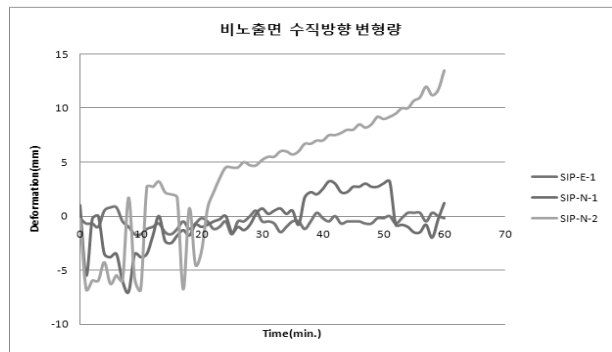


Fig. 9 The vertical deformation of unexposed surface for test types

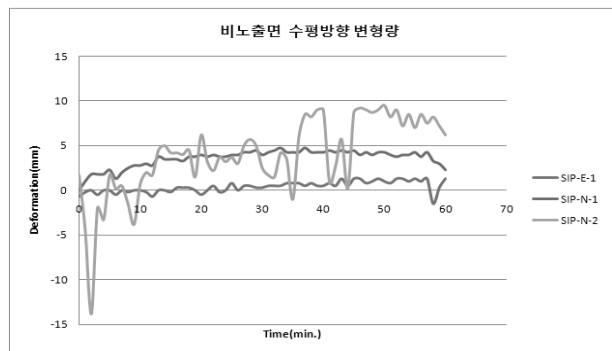


Fig. 10 The horizontal deformation of unexposed surface for test types

차열성 시험결과 SIP-N-1 시험체에서 비가열면 평균온도는 15°C이고 최대온도는 100°C로서 성능기준을 만족하였다. 차열성 시험결과는 Table 7과 같으며, 시험체별 비노출면의 평균 및 최대온도는 변화는 Fig. 11, 시험체별 비노출면 온도변화는 Fig. 12~Fig. 14과 같다.

Table 7. Test results of Heat Reduction

시험체명	성능기준	초기평균 온도 (°C)	평균 온도 (°C)	최대 온도 (°C)	비고
SIP-E-1	초기온도 + 비가열면 평균온도 : 140°C 비가열면 최대온도 : 180°C	10	12	91	적합
SIP-N-1		12	15	100	적합
SIP-N-2		14	12	97	적합

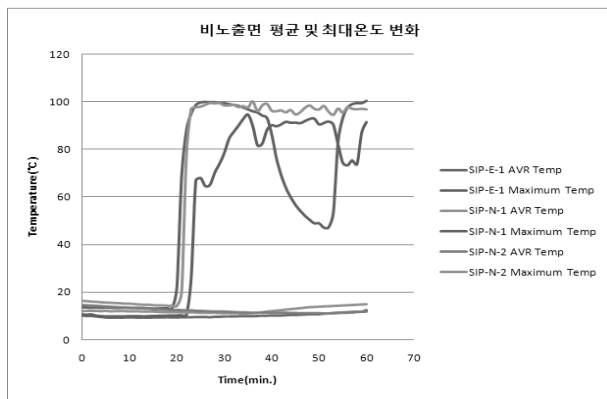


Fig. 11 Average and maximum temperature Change of unexposed surface for test types

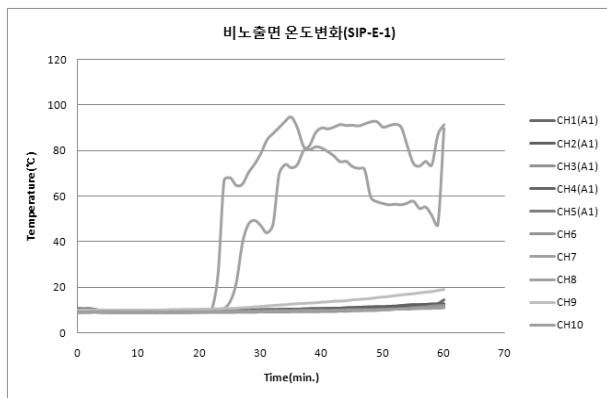


Fig. 12 Temperature Change of unexposed surface(SIP-E-1)

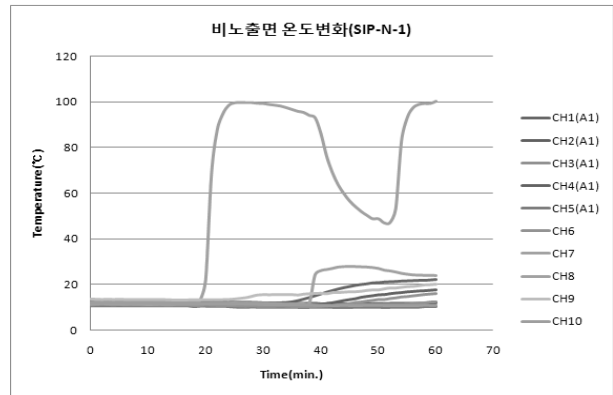


Fig. 13 Temperature Change of unexposed surface(SIP-N-1)

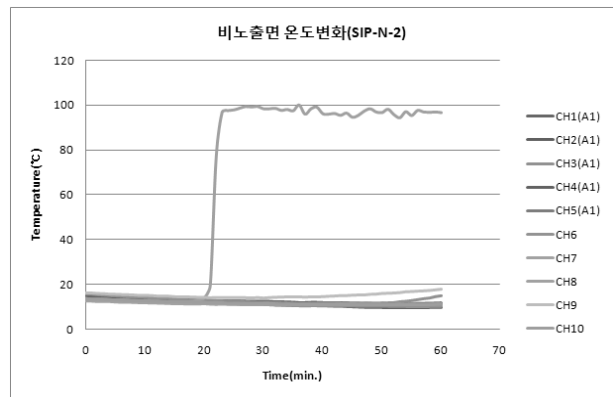


Fig. 14 Temperature Change of unexposed surface(SIP-N-2)

차열성 시험결과 가열에 따른 화염이나 고온 가스의 통과 또는 비가열면의 화염발생은 1시간 동안 발생하지 않아 성능기준을 만족하였다. 차열성 시험결과는 Table 8과 같다.

Table 8. Test results of flame interruption performance

시험체명	성능기준			비고
	균열게이지 관통되지 않을 것	면패드 착화되지 않을 것	화염발생 없을 것 (10초이상)	
SIP-E-1	관통사항 없음	착화되지 않음	발생되지 않음	적합
SIP-N-1	관통사항 없음	착화되지 않음	발생되지 않음	적합
SIP-N-2	관통사항 없음	착화되지 않음	발생되지 않음	적합

시험진행에 따라 비가열면에서 시험이 시작된 후 약 30분후부터 주로 수직 JOINT에서 연기가 발생하여 45분 경과후 연기발생량이 증가하고 55분 경과 후 연기발생부위가 증가되는 것으로 나타났다. 내화 시험에 따른 비가열면의 관찰사항은 Table 9와 같음

며, 시험진행에 따른 사진은 Fig. 15와 같다.

Table 9. Test results of unexposed surface

시험체명	발생사항
SIP-E-1	00:20 좌측모서리 연기발생 00:33 수직 JOINT 중앙 연기발생 00:44 상부 연기량 증가 00:48 수직 JOINT 연기량 증가
SIP-N-1	00:33 수직 JOINT 연기발생 00:45 수직 JOINT 연기량 증가 00:53 수직 JOINT 상부 연기량 증가
SIP-N-2	00:37 수직 JOINT 연기발생 00:49 수직 JOINT 연기량 증가 00:55 수직 JOINT 연기량 발생부위 증가

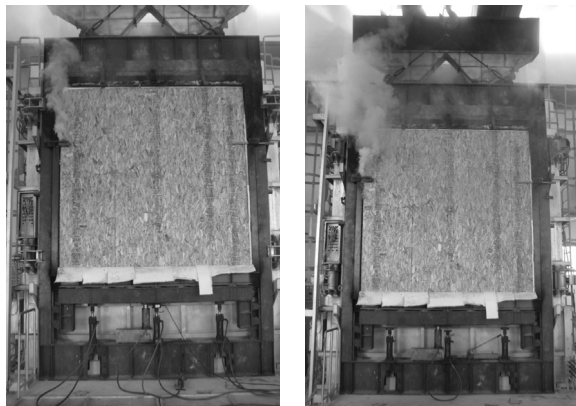


Fig. 15 A View of unexposed surface

4. 구조단열패널 단열성능평가

구조단열패널은 구조적인 역할을 수행하지만 또 하나의 특징은 단열 기능이다. 건물 에너지 성능에 따라 단열재의 두께를 조정하여 쉽게 제작이 가능하다.

정부가 2008년에 발표한 “제4차 에너지이용 합리화 기본계획”을 살펴보면 2010년에는 창호 단열기준을 2009년 대비 20% 강화시킬 계획이고, 2012년 및 2017년에는 건물 외벽, 지붕 및 바닥 등 부위의 단열기준을 각각 2010년 및 2012년 대비 10%씩 강화시킬 예정이다.

현재 주택의 구조형식은 주로 조적구조나 철근콘크리트 벽식구조를 채택하고 있고 단열기준을 충족시키기 위해서는 내단열과 외단열공법을 선택하여야 하지만 내단열은 내부공간이 줄어드는 문제점과 열교환상으로 인하여 외단열공법의 채택이 요구되고 있다. 하지만 단열 성능만으로는 외단열이 장점이 있지만 벽체두께가 과도하게 두꺼워진다는 문제점을 안고 있다. 이에 반해 구조단열패널은 단열재 두께

만으로 건축물을 구성한다는 면에서 공간적인 효율성과 더불어 경제적인 이득이 있는 구조형식으로 인정되고 있다.

본 단열성능평가 시험에서는 2012년 기준으로 저에너지주택에 적용될 구조단열패널에 대한 단열성능을 평가하여 정부 기준에 적합한지를 여부를 판단하고자 하였다.

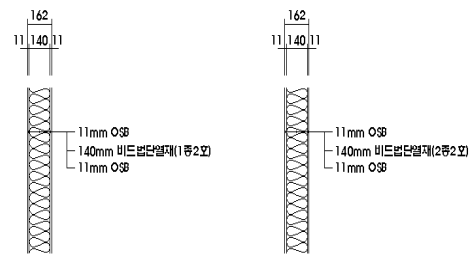
4.1 실험계획 및 방법

본 실험에서는 구조단열패널의 단열성능평가를 위해 단열재 종류를 실험변수로 계획하였다.

평가대상 단열재의 종류는 비드법 단열재이며, 종류는 1종 2호(EPS)와 2종 2호(네오폴)로 구조단열패널에서 사용되는 단열재를 선정하였다. 구조단열패널의 제작은 폭 1,000mm, 높이 1,000mm, 두께 162mm인 구조단열패널 시험체를 2조를 제작하였다. 단열재 종류에 따른 시험체 수량은 Table 10과 같으며, 제작도면은 Fig. 16과 같다.

Table 10. Experimental Design

시험체명	구조단열패널	단열재 종류	시험체 개수 (EA)
SIP-E-1	OSB 11mm + 단열재 140mm + OSB 11mm	비드법단열재 1종2호	1
SIP-N-1		비드법단열재 2종2호	1



SIP(구조단열패널) type 1 SIP(구조단열패널) type 2

Fig. 16 Drawings of specimens

시험체 제작은 Table 11의 2011년 공동주택 층벽의 열관류율표를 기준으로 10% 강화된 2012년도 기준 열관류율 0.225W/m²·K가 되도록 시험체를 설계하였으며, 시험체별 열관류율 계산표는 Table 12 및 Table 13과 같다.

Table 11. Thermal Transmittance of local building sites in 2011

(단위 : W/m²·K)

건축물 부위		지역		
		중부 지역	남부 지역	제주도
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우	0.33	0.41	0.54
	외기에 간접 면하는 경우	0.45	0.57	0.77
공동주택의 측벽		0.25	0.33	0.41

Table 12. Thermal Transmittance Calculator(SIP-E-1)

구분	두께(mm)	열전도율 (W/mK)	열저항 (W/m ² K)
실내표면			0.110
EPS	140	0.033	4.242
OSB	22	0.130	0.169
접착제	0.3	0.130	0.002
실외표면			0.043
합계	162	0.293	4.567
전체 열관류율	0.219 W/m ² ·K		

Table 13. Thermal Transmittance Calculator(SIP-N-1)

구분	두께(mm)	열전도율 (W/mK)	열저항 (W/m ² K)
실내표면			0.110
네오폴	140	0.032	4.375
OSB	22	0.130	0.169
접착제	0.3	0.130	0.002
실외표면			0.043
합계	162	0.292	4.700
전체 열관류율	0.213 W/m ² ·K		

실험방법은 KS F 2277:2002 『건축용 구성재의 단열성 측정방법-교정열상자법』에 따라 Fig. 17의 열관류율 측정장치를 이용하여 구조단열패널의 단열성능을 측정하였다.



Fig. 17 Thermal Transmittance test device

열관류율 측정장치는 저온실과 항온실, 가열상자로 구성되어 있으며, 가열상자 내부 기류 교반장치와 저온실 냉풍 취출장치, 온도 측정장치, 전력측정장치 등을 갖추고 있다.

시험은 열관류율 측정장치를 이용하여 가열상자와 저온실에서 실내 및 실외의 온도조건을 인공적으로 반영하고 시험체 통과열량을 측정하였다. 시험과정에서 Fig. 18과 같이 시험체를 설치하고 가열상자 내부의 9개 지점과 저온실 내부의 9개 지점에서 표면온도를 측정하여 평균공기온도로 반영하였다.

시험체는 실내온도 20±1℃, 실내 상대습도 50±5%의 항온항습실에서 24시간 양생 후 시험을 실시하였으며, 저온실의 설정온도는 실내온도 0℃, 기류속도 2.0m/s로 설정하였다. 총공급열량은 가열상자 내부의 쉘과 히터로 공급하였다.

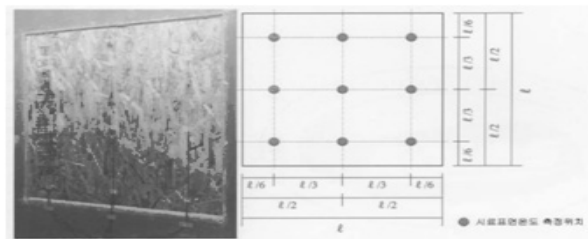


Fig. 18 Experiment view and Surface temperature measurement points

4.2 실험결과

열관류율 측정기기를 이용한 구조단열패널의 단열성능평가를 위한 열관류율 측정시험결과 단열재 종류에 따른 열관류율은 Table 14 및 Table 15와 같다.

Table 14. Test results of Thermal Transmittance(SIP-E-1)

구분		1회	2회	3회	평균
공기온도 (°C)	항온실	20.00	20.00	20.00	20.00
	가열상자	19.78	19.76	19.76	19.77
	저온실	-0.28	-0.35	-0.40	-0.35
	온도차	20.06	20.12	20.17	20.12
열량 (W)	총공급열량	15.67	15.47	15.51	15.55
	교정열량	11.50	11.50	11.50	11.50
	시험체 통과열량	4.17	3.97	4.01	4.05
시험체 양표면 열전달 저항 (m ² ·K/W)	표면 열전달 저항	0.128	0.136	0.139	0.134
	보정값	0.036	0.028	0.025	0.030
열관류저항 (m ² ·K/W)		4.84	5.10	5.05	5.00
열관류율 (W/m ² ·K)		0.21	0.20	0.20	0.20

Table 15. Test results of Thermal Transmittance(SIP-N-1)

구분		1회	2회	3회	평균
공기온도 (°C)	항온실	20.00	20.00	20.00	20.00
	가열상자	19.82	19.83	19.82	19.82
	저온실	0.17	0.16	0.15	0.16
	온도차	19.66	19.67	19.67	19.66
열량 (W)	총공급열량	15.21	15.33	15.46	15.33
	교정열량	11.50	11.50	11.50	11.50
	시험체 통과열량	3.71	3.83	3.96	3.83
시험체 양표면 열전달 저항 (m ² ·K/W)	표면 열전달 저항	0.106	0.103	0.105	0.105
	보정값	0.058	0.061	0.059	0.059
열관류저항 (m ² ·K/W)		5.36	5.20	5.03	5.19
열관류율 (W/m ² ·K)		0.19	0.19	0.20	0.19

EPS를 적용한 열관류율 시험에서 설계 열관류율 0.219W/m²·K 보다 9.5% 향상된 열관류율 0.2W/m²·K로 측정되었다.

네오폴을 적용한 열관류율 시험에서 설계 열관류율 0.213W/m²·K 보다 12.1% 향상된 열관류율 0.19W/m²·K로 측정되어 구조단열패널에 대한 단열 성능을 만족하였다.

5. 결론

구조단열패널을 저에너지주택에 적용하기 위하여 단열재의 종류 및 재하하중에 따른 1시간 내화성능과 단열성능을 평가하였다.

(1) 하중지지력 시험결과 1시간 동안 137.9kN을 재하한 SIP-N-2 시험체의 수축량은 최대 13.5mm로 기준인 27mm를 초과하지 않았다. 변형률은 SIP-N-2 시험체를 제외한 시험체는 기준을 만족하였으나, SIP-N-2 시험체의 경우에는 9.5mm/min으로 기준인 8.1mm/min을 초과하는 구간이 11분과 17분에 2회 발생하였다. 하지만 초기변형으로 판단되며, 규정에 의한 성능기준은 만족하였다.

(2) 구조단열패널의 1시간 가열에 따른 차열성 시험결과 SIP-N-1 시험체에서 비가열면 평균온도는 15°C, 최대온도는 100°C로서 성능기준을 만족하였다.

(3) 차열성 시험결과 가열에 따른 화염이나 고온가스의 통과 또는 비가열면에서의 화염발생은 1시간 동안 발생하지 않아 성능기준을 만족하였다.

(4) EPS를 적용한 열관류율 시험에서 설계 열관류율 0.219W/m²·K 보다 9.5% 향상된 열관류율

0.2W/m²·K로 측정되어 구조단열패널에 대한 단열 성능을 만족하였다.

(5) 네오폴을 적용한 열관류율 시험에서 설계 열관류율 0.213W/m²·K 보다 12.1% 향상된 열관류율 0.19W/m²·K로 측정되어 구조단열패널에 대한 단열 성능을 만족하였다.

(6) 구조단열패널에 방화석고보드 12.5mm 2겹을 부착한 수직 내력 구획 부재 내화시험에서 KS F 2257에서 정한 성능기준을 모두 만족하여 건축법에서 규정한 1시간 내화성능에 적합한 재료로 판정되었으며, 단열성능평가 결과 열관류율은 2012년 기준(0.225W/m²·K)을 만족하였고 저에너지주택에 적용을 위한 적합한 재료로 판정되었다.

(7) 구조와 단열 기능을 동시에 만족하는 목구조 재료의 내화성능과 단열성능을 만족함으로써 저에너지주택 건축자재로 적용 가능할 것으로 판정되며, 향후 2단계 성능평가(구조성능, 내진성능)를 통해 구조안전성을 확인하고 보급을 위한 지침을 마련할 예정이다.

REFERENCES

- ASTM E119 (2012) Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.
- BASF CHEMICAL COMPANY (2006) Ecoefficiency Analysis of Residential Insulation Systems.
- Canadian Wood Council (1999) Life Cycle Analysis for Residential Buildings. *Wood the Renewable Resource Bulletin, No.5.*
- Canadian Wood Council (2000) Fire Safety in Residential Buildings. *Building Performance Series Bulletin, No. 2.*
- Canadian Wood Council (2002) Fire Resistance and Sound Transmission in Wood-Frame Residential Buildings. *International Building series No.3.*
- Canadian Wood Council (2002) Thermal Performance of Light-Frame Assemblies. *International Building series No.5.*
- H.J. Lee, H.S. Na, K.S. Kim, C.H. Lee. (2011) A Study on the Fire Resistance Performance For Structural Insulated Panels. *Journal of Korea institute for Structural Maintenance Inspection, Vol.15, No.1, pp.287-288.*
- H.J. Lee, H.S. Na, K.S. Kim, C.H. Lee. (2011) A Study on the Thermal Performance For Structural Insulated Panels. *Journal of Korea institute for Structural Maintenance Inspection, Vol.15, No.1, pp.18-19.*
- H.J. Moon. (2006) Comparison of TVOC Concentrations in Zero Energy Houses and Conventional Houses. *Journal of Architectural Institute of Korea, Vol.22,*

No.4, pp.269-276.

- H.S. Na. et al (2011) Development of Standard Model for All Electrified House(Interim Reports).
- I.K. Kwon, N.Y. Jee (2003) Study on the Fire Resistant Performance of Load-Bearing Walls using Light Gauge Steels and Gypsum Boards. *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol.19, No.8, pp.83-90.
- Jan Kosny et al (1999) Whole Wall Rating/Label for Structural Insulated Panel Steady-State Thermal Analysis. Oak ridge National Laboratory Building Tech Center, pp.83-90.
- J.S Park, K.H.Hwang, and K.M. Kim. (2010) Improvement of fire resistance for timber framed walls by reinforcement of heavy timber frame. *Journal of Korea Furniture Society*, Vol.32, No.6, pp.469-478.
- Korean Standards Association (2002) Thermal insulation – Determination of steady – state thermal transmission properties – Calibrated and guarded hot box, KS F 2277.
- Korean Standards Association (2004) Method of fire resistance test for elements of building construction – Specific requirements for non-loadbearing vertical separating elements, KS F 2257-4.
- Ministry of Knowledge Economy (2004) Korea Energy Management Corporation, Guidelines of Insulators Static for homes, pp.10.
- National Fire Protection Association (1998) Examining Fires in Selected Residential Properties.