

벽식 구조체 적용을 위한 구조용단열패널 성능 평가

나환선¹ · 이현주² · 이철희³ · 황성욱⁴ · 조혜진⁵ · 최성모⁶

한국전력공사 전력연구원 책임연구원¹, 한국전력공사 전력연구원 선임연구원²
한국전력공사 전력연구원 일반연구원^{3,4,5}, 서울시립대학교 건축학부 교수⁶

Evaluation on Structural Performance of Structural Insulated Panels in Wall Application

Nah, Hwan-Seon¹ · Lee, Hyeon-Ju² · Lee, Cheol-Hee³ ·
Hwang, Sung-Wook⁴ · Jo, Hye-Jin⁵ · Choi, Sung-Mo⁶

¹Principal Researcher, Korea Electric Power Corporation Research, Daejeon

²Senior Researcher, Korea Electric Power Corporation Research, Daejeon

^{3,4,5}Researcher, Korea Electric Power Corporation Research, Daejeon

⁶Professor, The University of Seoul, Department of Architectural Engineering

Abstract: Structural insulated panels, which are structurally performed panels consisting of a plastic insulation bonded between two structural panel facings are one of emerging products with a viewpoint of its energy and construction efficiencies. These components are applicable to fabricated wood structures. By now, there are few technical documents regulated structural performance and engineering criteria in domestic market. This study was conducted to suggest fundamental reports such as racking resistance, axial capacity, transverse load capacity, and lintel load capacity for SIPs. Test results showed that maximum load was 44.3kN, allowable load was 14.7kN for racking resistance, and that maximum load was 137.6kN, allowable load was 37.4kN/m for axial compression capacity. For transverse load capacity, test results showed 10.3kN/m² of maximum load, 3.4kN/m² of allowable load. For lintel load capacity for SIPs dependent to lengths, allowable loads were 20.4kN for 600mm long lintel, 23.9kN for 1,200mm long lintel, 19.3kN for 1,800mm long lintel, and 2,400mm long lintel had 14.1kN of allowable load. In the near future, when the allowable load for wall application is established, SIPs is considered to substitute the existent post-and-lintel construction to bearing wall structure.

Key Words: Structural Insulated Panel, Shear, Axial, Transverse, Lintel

1. 서론

구조용단열패널(Structural Insulated Panels, 이하 SIP)은 조립식 목구조건축물에 사용되는 재료로서, 101~202mm의 단열재의 양면에 파티클목질판재(Oriented Strand Boards) 혹은 다른 재료를 압착하여 제조한 판재이다. SIP는 기존 재료보다 기밀, 방음 성능이 뛰어날 뿐만 아니라 강도하중비가 커서

효율적인 구조 설계가 가능하다.

SIP는 주문자의 요구에 따라 다양하게 제작되며 크레인으로 양중해야 하는 규모(2,430×13,508mm)까지 제작이 가능하므로 주택 규모에 따른 시공 제약이 없다. 또한, 거푸집, 철근공사, 콘크리트 타설공사 등의 구체공사 및 단열 방수공사까지 구조단열패널 현장 조립으로 공정 단순화가 가능하다.

SIP는 에너지저감을 위한 기본 요구사항인 기밀 성능이 우수하고, 콘크리트 또는 강재를 사용하지

주요어: 구조용 단열패널, 전단, 강축, 약축, 인방보

Corresponding author: Nah, Hwan-Seon

Korea Electric Power Corporation Research Institute, 105, Munji-Ro, Yusung-Gu, Daejeon, 305-760, Korea
Tel: +82-42-865-5221, Fax: +82-42-865-5944, E-mail: hsnah@kepri.re.kr

투고일: 2012년 5월 15일 / 수정일: 2012년 5월 31일 / 게재확정일: 2012년 6월 1일

않기 때문에 친환경적이며, 조립식이기 때문에 공기가 짧은 장점이 있는 에너지절약형 주택 시공에 아주 유리한 건축자재이다.

미국 에너지부에서는 SIP의 단열 및 기밀 성능에 대한 우수성을 인정하였고, 전미 주택건설업협회 연구센터(NAHB Research Center)에서는 SIP의 성능평가 및 설계기준 개발에 대한 연구결과로서 주거용 건물에 대한 SIP를 활용한 벽체 시스템에 관한 기술보고서를 발간하였다(2007). 이 기술자료에서는 114mm, 165mm 두께의 SIP 벽체를 대상으로 전단 및 축 방향에 대한 허용하중을 제시하고, 접합형태 별 상세를 별도로 규정하고 있다. 또한 미국 합판 및 공학 목재협회(APA-The Engineered Wood Association)에서는 지속적으로 SIP의 구조성능에 대한 기술보고서를 개정발표하고 있으며, SIP성능등급에 관한 표준규격초안을 제안한 상태이다 (Edward, 2006; ANSI, 2008; Borjen, 2008). 국외의 경우, SIP에 대한 설계기준 지침서가 마련되어있지만, 국내의 경우, 건축구조기준에 구조용합판과 파티클목질판 구성에 따라 1급, 2급으로 구분되어있고, 강도에 따라 1등급, 2등급으로 나뉘어 기준허용용력이 제시되어있긴 하지만, 단열재와 복합적으로 결합된 SIP 부재에 대한 설계지침은 물론, 관련 기술적 성능평가와 연구개발이 전무한 실정이다. 따라서, SIP를 이용한 조립식 벽체, 바닥으로 주택 설계를 위한 기술자료 축적이 필요하고, 나아가서는 다양한 부재종류별 국내 제작된 SIP에 대한 구조성능 검증이 필요하다. 본 연구에서는 기존주택 대비 최소한 30% 에너지 저감형 주택에 적용될 SIP를 국내에서 직접 제작하고, 면내전단시험, 강축방향 압축시험, 약축방향 압축시험, 길이변수별 인방보 휨시험 등 구조적 성능을 확인하여, 국내 에너지저감형 목구조주택의 시장확대를 고려한 기술자료를 구축하고자 하였다 (나환선, 2011).

2. 시험계획

2.1 재료 물성 및 시험방법

SIP 시험체 제작에 적용된 단열재는 2중 2호(네오폴)로서 밀도는 26kg/m³이며, 이때 SIP 단열재 두께는 140mm이다. 목재패널의 최소 공칭두께는 11mm인 파티클목질판재를 사용하였다. 시험에 사용된 SIP 시험체는 국내 공장에서 2011년 9월에 제작되었다.

SIP시험을 위해 검토된 국내, 외 시험규격은 ASTM E72, ASTM D4761, ASTM E1803과 KS F2273이었다. 또한 미국 합판 및 공학 목재협회의 선행 시험방법도 비교 검토하였다.

ASTM E72에서 수행하는 시험방법은 크게 4종류의 구조성능시험을 언급하고 있다. 면내전단, 강축방향 압축, 약축방향 압축, 인방보 휨시험이다. 국내와 국외의 시험기준이 상이한 부분이 있어서, 본 연구에서는 ASTM E72 방법을 기본으로 추가적으로 필요한 시험방법은 국내 KS F 2273을 참고하여 보완하였다. 각각의 구조성능시험에 관한 시험체 및 가력방법은 다음과 같다.

2.2 면내전단 시험체 및 가력방법

면내전단 시험체의 형상은 Fig. 1과 같이 패널의 모든 바깥쪽 끝과 가장자리는 공장에서 38mm를 단열재를 가공하였다.

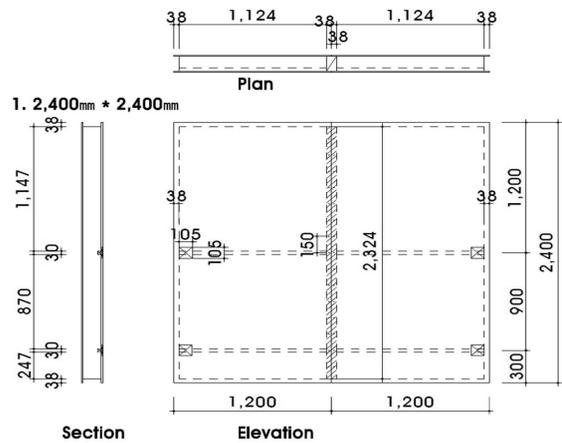


Fig. 1 Racking Shear Specimen

1,200mm 패널폭 단부를 따라 단열재 두께에 맞는 크기의 구조용 목재인 헤더 50.8×152.4mm 단면의 부재를 가공된 부분에 배치했고 150mm 간격으로 8d 나사못으로 파티클목질판재를 양쪽에 부착했다. 시험체 크기는 1,200×2,400 패널 2쪽을 연결한 형태로 Table 1과 같다.

Table 1. identification of Racking Shear Specimen

시험체명	SIP 구성	크기(W×H×T)	수량
SIPS-R	OSB 11mm + 단열재 140mm + OSB 11mm	2,400×2,400×162	3

면내전단시험방법은 주로 ASTM E72에 따라 수행하였다. 전단저항성능을 확인하기 위해 하중가력이 측면에서 수행될 때, 패널의 한쪽 끝이 상승하는 것을 막기 위하여 상승방지용 플레이트가 제작 설치되었으며 고정된 지그의 장력은 90 N을 초과하지 않

도록 하였다. 하중은 패널상부 볼트로 긴결된 상부 각형 헤더를 통해 시험체에 하중을 전달되도록 계획하였다. 가력방법은 하중을 3단계로 구분하여 3.5kN, 7kN, 10.5 kN의 하중을 균일한 속도로 적용하였다. 다음 가력단계시에는 하중을 제거한 후, 다시 재하하는 방법으로 시험체 파괴가 발생하거나 시험체 총 변형량이 100mm가 될 때까지 시험하였다. 가력방법은 하중제어방법이지만, 하중가력을 위한 속도는 KS F2273에 따라 3.5kN까지는 시험체 상부 단부지점에서 횡변위가 5×10^{-2} mm/s를 넘지 않도록 설정하였다.

2.3 강축방향 압축시험체 및 가력방법

패널의 모든 바깥쪽 끝과 가장자리는 공장에서 38mm를 단열재를 가공하였다. 1,200mm 패널 마구리를 따라 단열재 두께에 맞는 헤더 50.8×152.4mm를 설치했고, 150mm 간격으로 8d 나사못으로 파티클목질판재를 양쪽에 부착했다. SIP의 내벽쪽으로 전기 스위치와 콘센트용 개구부를 포함하여 Fig. 2와 같이 설치하였다. 축하중시험체는 1,200×2,400mm 패널 1쪽으로 구성되었으며 Table 2와 같다. 가력방법은 ASTM E72 에 따라 수행되었으며, 가력방법은 시험체가 파괴될 때 까지 0.8mm/min의 속도로 설정하였다.

Table 2. Identification of Axial Load Specimen

시험체명	SIP 구성	크기(W×H×T)	수량
SIPS-A	OSB 11mm + 단열재 140mm + OSB 11mm	1,200×2,400×162	3

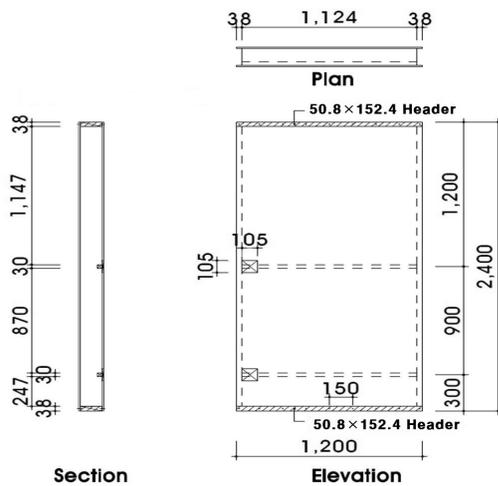


Fig. 2 Axial Load Specimen

2.4 약축방향 압축시험체 및 가력방법

약축방향 압축시험체는 강축방향 압축시험체와 동일한 크기이며, 가력방법만 다른 시험이다. 시험체 구성은 강축방향 압축시험체와 동일하며. 시험체 일람은 Table 3과 같다.

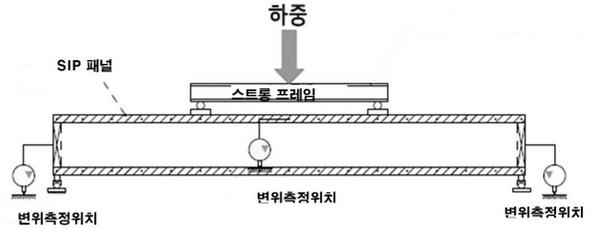


Fig. 3 Test Setup of Transverse Load Specimen

Table 3. Identification of Transverse Load Specimen

시험체명	SIP 구성	크기(W×H×T)	수량
SIPS-T	OSB 11mm + 단열재 140mm + OSB 11mm	1,200×2,400×162	3

가력방법은 Fig. 3과 같이 시험체를 설치한 다음 하중 가력은 10kN, 15kN, 20 kN, 25 kN으로 4단계로 구분하여 재하하였다. 시험속도는 KS F2273에 따라 시험 시작부터 3.5 kN의 하중에 도달되는 시간을 수평변위속도 5×10^{-2} mm/s를 넘지 않도록 설정하였다. 시험은 10kN의 하중을 시편에 적재한 후에 하중을 제거하고, 그 다음 하중인 15 kN, 20 kN, 25 kN을 단계별로 적용 후, 최종적으로 패널의 파괴가 발생할 때까지 가력하였다.

2.5 인방보 시험체

인방보 시험체는 Fig. 4와 같이 인방보의 길이를 변수로 하여, 600mm, 1,200mm, 1,800mm, 2,400mm로 하고 크기와 수량은 Table 4와 같이 4종류 각 3세트 구성하였다. 시험에 적용된 인방보의 단면은 300×300mm으로 결정하였다. 가력방법은 축하중시험 가력방법과 동일한 방법으로 하중을 4단계로 구분하여 5kN, 10kN, 15 kN, 20 kN으로 적용하였다. 각 단계별 재하시, 하중을 제거하고 요구되는 하중을 적재하였고, 최종적으로 시험체 파괴가 발생할 때까지 진행하였다.

Table 4. Identification of Lintel Load Specimen

시험체명	SIP 구성	크기 (W×H×T)	수량 (EA)
SIPS-L-06	OSB 11mm + 단열재 140mm + OSB 11mm	2,400×300×162	3
SIPS-L-12		1,800×300×162	3
SIPS-L-18		1,200×300×162	3
SIPS-L-24		600×300×162	3

Table 5. Test Result of Racking Shear Specimen

시험체명	3.5 kN 변위 (mm)			7 kN 총변위 (mm)			10.5 kN 총변위 (mm)			최대하중 (kN)	최대변위 (mm)
	δ1	δ2	δ3	δ1	δ2	δ3	δ1	δ2	δ3		
SIPS-R-1	1.3	0.9	0	4.7	1.7	1	7.55	2.65	1.4	41.67	67
SIPS-R-2	0.7	0	0	3.9	0.6	1.8	5.6	1.2	2.2	43.78	58
SIPS-R-3	2.5	1.2	0.2	5.2	2.4	0.8	8.85	3.8	1.6	47.18	68
평균	1.5	0.7	0.1	4.6	1.6	.2	7.3	2.6	1.7	44.3	64

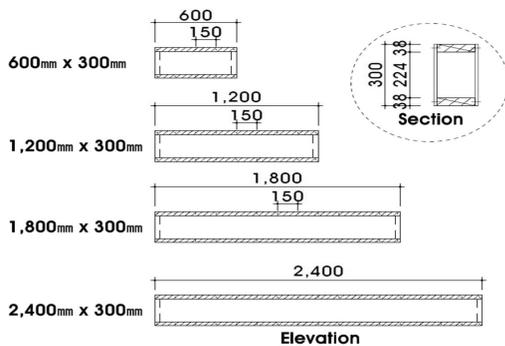


Fig. 4 Lintel Load Specimen

3. 구조성능 시험결과 분석

3.1 면내전단저항 시험

패널의 면내전단 시험을 위해 다음과 같이 시험부재의 변위량을 측정하였다. Fig. 5와 같이 패널상부 우측에 1개의 변위계를 설치하여 수평방향 순변위(δ₁)를 측정하였다. 또한, 패널하부에 패널의 변형량을 측정하기 위해 2개의 변위계를 설치하고 하부 수직방향 순변위(δ₂), 하부 수평방향 순변위(δ₃)를 측정하였다. 패널의 전체 전단변형량은 식(1)과 같이 패널상부 수평변위에서 하부 수직방향변위를 빼고, 패널높이로 나눈 값에서 하부 수평변위를 시험체 폭으로 나눈 값으로 결정하였다.

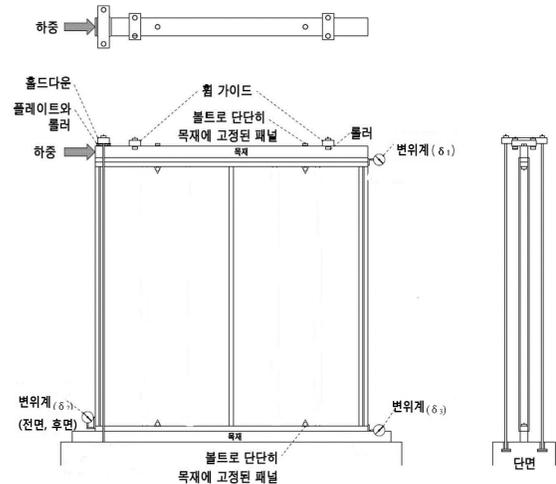


Fig. 5 LVDT for Racking Shear Specimen

패널의 전단 변형량(Φ) 구하는 방식은 KS F 2273에 따라 다음과 같이 결정하였다.

$$\Phi = \frac{\delta_1 - \delta_2}{h} - \frac{\delta_3}{b} \quad (1)$$

여기서 δ₁ : 각 하중 단계별, 시험체 상부 수평방향 순변위, δ₂ : 각 하중 단계별, 시험체하부 수직방향 순변위, δ₃ : 각 하중 단계별, 시험체하부 수평방향 순변위, h: 시험체 높이, b: 시험체 폭.

시험결과, 시험체의 평균 최대하중은 44.3kN이며, 평균 최대변위 64.3mm로 분석되었다. 3개의 시험체는 각각 최대하중에서 상부 구조용 목재와 하중가력용 지그가 연결된 앵커볼트가 상부 구조용 각재목인 해

더에서 이탈되었다. 각 시험체별 면내전단 하중-변위 관계는 Fig. 6과 같이, 하중-변위의 관계가 탄성 거동 이후 가장 먼저 발생하는 1단계 현상은 면재박리, 2단계 현상은 패널의 하부틀의 변형, 그리고 3단계 현상은 볼트분리 또는 파단과정을 거쳐서 최대하중에까지 이른다.

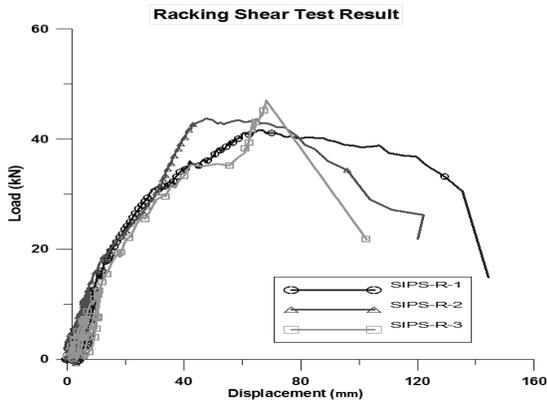


Fig. 6 Load-Displacement of Racking Shear Test

Table 6. Shear Displacement Dependent to Load

시험체명	전단 변형량($\times 10^{-4}$) (단위:mm)		
	3.5 kN	7 kN	10.5 kN
SIPS-R-1	1.67	6.67	6.46
SIPS-R-2	2.92	3.75	2.92
SIPS-R-3	4.58	5.42	9.58
평균	3.06	5.28	6.32

패널의 구성은 단순히 패널뿐만 아니라 패널상하부를 연결하는 헤더를 통해 하중이 전달되므로, 단위패널에서 가장 취약한 부위인 헤더와 패널 간 탈락현상이 발생된 것으로 판단된다. 따라서 상대적으로 패널과 패널의 이음부에서는 파괴 또는 변형이 발생하지 않았다.

각 시험체별 하중단계별 총변위와 최대하중, 최대하중시 변위에 대한 시험결과는 Table 5와 같다. 미국 합판 및 공학 목재협회에서 제시한 실험결과는 $2,430 \times 2,430\text{mm}$ 패널 (두께 165mm)의 평균 최대하중은 단위길이당 14.1kN/m, $2,430 \times 3,048\text{mm}$ 패널 (두께 165mm)의 평균 최대하중은 단위길이당 14.4kN/m 이었다 (Edward, 2006). 본 실험결과 평균 최대하중 18.0kN/m은 국외실험 결과보다 1.2배를 상회하는 수준이다.

또한 최대하중은 허용하중의 3배로 제시한 국외문헌(Edward, 2006; ANSI,2008; Borjen, 2008; NTA, 2010)을 참고하면, 본 실험 결과로부터 얻은 SIP에 대한 면내전단 허용하중은 단위길이당 6.0kN/m 이다.

각 하중단계별 총 변위를 측정하고, 총변위로부터 하중단계별 순 변위를 구한 다음, 식(1)에 따라 각 하중단계별 전단변형량은 Table 6과 같다.

3.5kN 가력시, 시험체의 전단변형량은 $1.67 \times 10^{-4} \sim 4.58 \times 10^{-4}$ 으로 평균 3.06×10^{-4} 을 보였다. 초기하중단계에서 가력하중이 7.5kN, 10.5kN으로 2배, 3배 증가하는 동안, 평균 전단 순변형량은 각각 5.28×10^{-4} , 6.32×10^{-4} 로 전단변형량이 증가하였는데, 3.5kN 가력단계의 전단변형량 대비, 각각 1.7배, 2.1배 증가하였다. 10.5kN까지 전단변형량은 KS F 2273에서 명시한 계측한계치 전단변형량 1.5×10^{-2} 에 이르기 전에 시험체가 파괴되었다.

3.2 강축방향 압축시험결과 분석

강축방향 수직축하중 시험 방법은 ASTM E72에 따라 시험을 실시하였다. 시험체는 Fig. 7과 같이 패널 하부는 패널이 이탈되지 않도록 고정하였으며, 패널 상부는 축하중이 패널의 중앙부, 패널두께의 1/3지점에서 가력될 수 있도록 구성하였다. 변형량 측정은 Fig. 8과 같이 패널 수직방향으로 패널두께의 T/3, 2T/3 지점에 4개의 변위계를 각각 설치하였고, 패널의 횡방향 변위 측정을 위해 전, 후면에 2개의 변위계를 설치하였다.

3개의 시험체 중에서 첫 번째 시험체(SIPS-A-1)에서 축하중 가력도중 편심에 의해 시험체가 회전되어 정상적인 가력이 어려웠다. 나머지 2개 시험체는 정상적으로 시험이 완료되었다. 시험결과, 2개의 시험체 평균 최대하중은 137.6kN이며, 단위길이 당 112.8kN/m이었다.

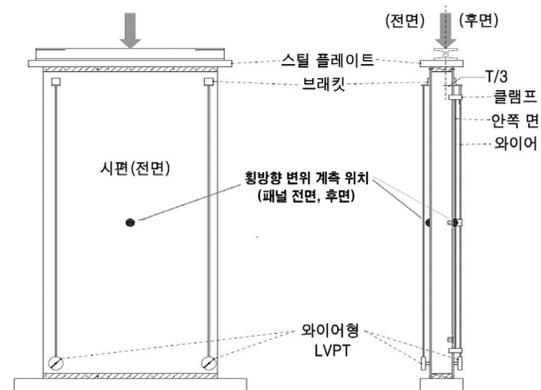


Fig. 7 LVDT for Axial Load Specimen

미국 합판 및 공학 목재협회에서 제안하고 있는 허용하중기준에 따르면 본 실험결과 허용하중은 37.4kN/m 이다. 최대하중을 받을 때의 횡변위 평균은 Fig. 8과 같이 3.0mm이다.

국외문헌에 따르면 축하중을 받는 시험체의 횡변

위 한계는 3.2mm로 제한하였다(Borjen, 2008; ANSI, 2008) 횡변위 측정 목적은 편심하중을 받는 전단벽식 구조체로써 거동특성과 허용내력을 검증하고, 패널을 구성하는 파티클목질판재의 강성은 횡방향 변위에 영향을 미치기 때문이다. 본 실험결과는 국외 문헌에서 제시한 허용 횡변위 3.2mm 범위 내에 포함된 유효한 값을 보였다.

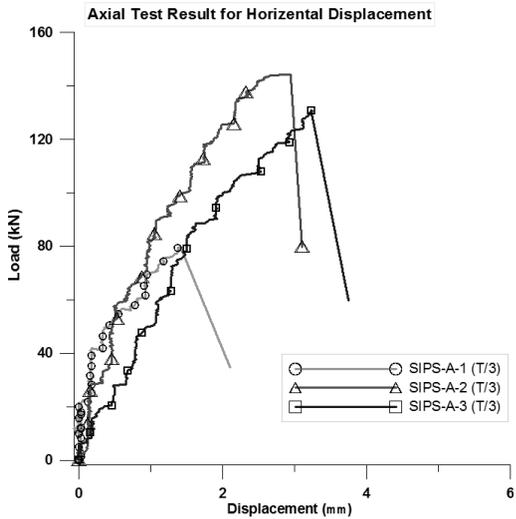


Fig. 8 Horizontal Displacement of Axial Test

본 실험에서 수행된 SIP 패널크기와 동일한 미국 합판 및 공학 목재협회 실험결과에 따르면 SIP에 대한 압축력을 받는 축하중 최대하중의 평균은 단위 길이당 143.3kN/m 이었다(Edward, 2006). 2년이 지난다음, 시험결과는 142.7kN/m이었다(Borjen, 2008). 또한, 미국에서 수행했던 또 다른 SIP 축하중시험 결과에 따르면, 허용하중은 38.3kN/m, 최대하중은 115.1 kN/m이었다 (NTA, 2010). 본 연구시험결과는 NTA에서 수행한 시험결과와 동등한 결과를 보였다. 압축력을 받는 축하중 시험체의 파괴형상은 최대하중에서 전기콘센트 설치용 소형 개구부에서 응력 집중되어 파티클목질판재가 압축파괴되었다.

축하중 시험체의 수직변위는 횡변위와 마찬가지로 시험체(SIPS-A-2)에서 가장 크게 나타났는데, 축하중을 받는 상부패널 두께의 1/3지점(T/3)에서 최대 7.4mm, 패널 두께의 2/3지점(2T/3)에서 6.8mm로 분석되었고, 각 시험체의 축하중-수직변위 그래프는 Fig. 9와 같다.

3.3 약축방향 압축시험 결과분석

패널의 약축방향 압축시험결과, 3개의 시험체의 최대하중은 다른구조 성능시험과 달리 비교적 최대하중 도달수준의 편차가 아주 미세하였다. 평균 최

대하중은 30.9 kN이며, 최대하중시 평균변위 17.6mm로 분석되었다. 시험체 파괴형상은 패널내 단부의 전기콘센트 설치를 위한 작은 개구부에서 응력집중되어 전단파괴가 발생하였다. 하중-변위 곡선은 Fig. 10과 같고 최대하중과 변위에 대한 시험결과는 Table 7과 같다.

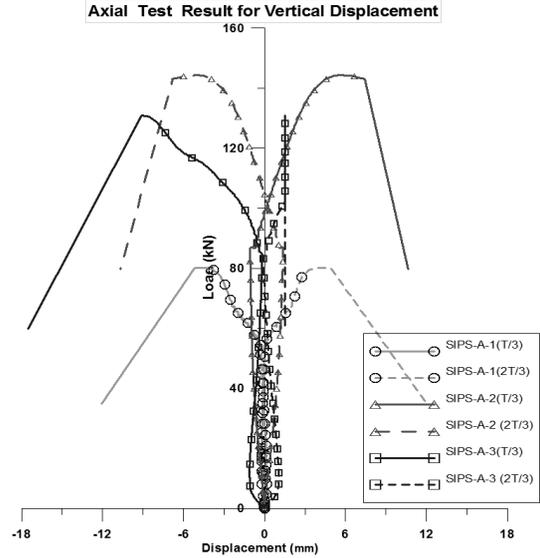


Fig. 9 Vertical Displacement of Axial Test

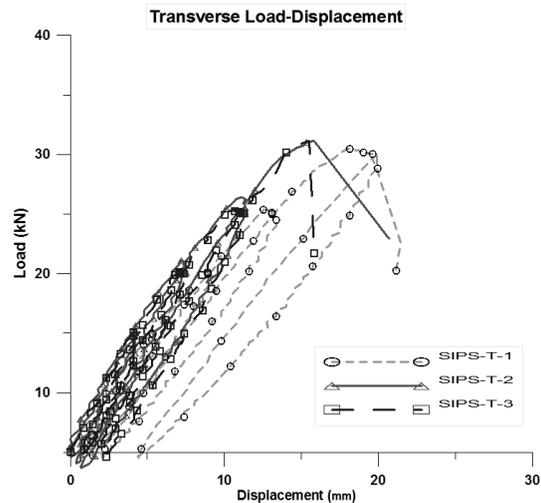


Fig. 10 Load-Displacement of Transverse Test

Table 7. Test Result of Transverse Load

시험체명	최대하중(kN)	최대 변위(mm)
SIPS-T-1	30.47	21.45
SIPS-T-2	31.13	15.85
SIPS-T-3	31.13	15.50
평균	30.91	17.60

약축방향 압축시험의 경우, 다른 시험결과와 달리 3개의 최대하중 표준편차가 0.31로 매우 작았고, 변위량에서는 시험체(SIPS-T-1)가 21.4mm 로 가장 컸다.

시험결과로부터 얻은 최대하중으로부터 패널의 약축방향 압축시험결과에 따른 허용하중과 변위량을 고려한 허용하중을 Table 8과 같이 산출하였다. 허용하중은 최대하중을 패널면적으로 나눈 값으로써, 단위면적당 10.33kN/m² 이다. 미국 합판 및 공학 목재 협회에서 제시하고 있는 허용하중을 최대하중기준 안전율을 3으로 산정하면, 실험결과에 근거한 허용하중은 3.44kN/m² 이다.

또한, 전단벽체의 변위 L/360일 때 하중은 17.7~20.5 kN을 보였고, 단위면적당 평균 6.35kN/m² 이었다. 전단벽체의 변위 L/240일 때 하중은 19.6~23.6 kN을 보였고, 단위면적당 평균 7.43kN/m²이었다. 미국 합판 및 공학 목재협회 실험결과, 최대하중 5.49kN/m², 안전율(3)을 고려한 허용하중은 1.83kN/m², 변위량 L/360일 때의 하중은 2.26kN/m², 변위량 L/240일 때 하중은 3.34kN/m² 이었다(Edward, 2006). 본 연구에서 수행된 약축방향 압축시험결과와 국외 문헌 결과를 비교했을 때, 본 연구결과 허용하중이 1.8배 높았다.

SIP에 대한 약축방향 압축시험에 대한 허용변위를 L/240로 규정한 국외자료를 근거로, 최대변위, L/240, L/360 변위수준을 비교한 결과 Table 8과 같이 허용하중은 최대변위에서의 허용하중이 가장 작았다. 따라서 본 시험 대상 SIP 약축방향 압축성능결과, 허용하중은 3.44kN/m² 이다.

Table 8. Allowable Load of Transverse Test

시험체명	허용하중 (단위: kN/m ²)		
	최대변위	L/360	L/240
SIPS-T-1	3.44	5.70	6.57
SIPS-T-2	3.44	6.67	7.97
SIPS-T-3	3.44	6.57	7.75
평균	3.44	6.35	7.43

3.4 인방보 휨시험 결과분석

시험체별 최대하중과 변위, 허용하중에 대한 시험분석결과는 Table 9와 같다.

인방보의 변위량 측정은 Fig. 11과 같이 중앙부 최대변위가 예상되는 지점 양측면에서 각각 측정하였다. 실험결과, 길이 600mm 시험체의 평균 최대하중은 61.1 kN(평균 최대변위 2.3mm), 길이 1,200mm 시험체의 평균 최대하중은 71.7 kN(평균 최대변위 4.7 mm), 길이 1,800mm 시험체의 평균 최대하중은 57.9

kN(평균 최대변위 9.1mm), 길이 2,400mm 시험체의 평균 최대하중은 42.3 kN(평균 최대변위 11.2mm)으로 인방보 시험체의 길이가 1,200mm 이상 커질 때, 최대하중은 작아졌지만 최대변위는 지속적으로 늘어나면서, 휨과괴 거동보다는 전단과괴의 형상을 보였다.

Table 9. Test Result of Lintel Load

시험체명		하중(kN)			허용하중(kN)
		최대	최대 변위(mm)	L/360	
SIPS-L-06	1	57.1	2.6	49.5	19.0
	2	65.0	2.0	44.7	21.7
	3	66.6	3.1	33.5	22.2
	평균	61.1	2.3	42.6	20.4
SIPS-L-12	1	63.7	4.0	58.1	21.2
	2	85.1	5.1	58.6	28.4
	3	66.3	5.0	60.6	22.1
	평균	71.7	4.7	59.1	23.9
SIPS-L-18	1	61.5	8.9	43.0	20.5
	2	55.0	8.3	40.1	18.3
	3	57.2	10	36.4	19.1
	평균	57.9	9.1	39.8	19.3
SIPS-L-24	1	45.2	13.3	29.9	15.1
	2	44.6	9.5	36.8	14.9
	3	37.1	10.8	26.9	12.4
	평균	42.3	11.2	31.2	14.1

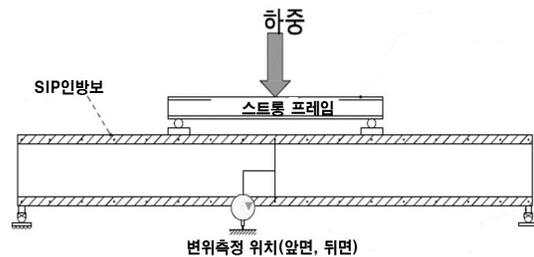


Fig. 11 LVDT for Lintel Load Specimen

시험체의 파괴형태는 길이 600mm 시험체의 경우 패널하부 지점부에서 파티클목질판재가 파괴되었으며, 길이 1,200mm 시험체와 1,800mm 시험체의 경우는 최대하중에서 상, 하부 구조용 압축목판에서 균열이 발생하면서 파괴되었다. 2,400mm 시험체의 경우에는 전체길이의 1/3 가력지점에서 파티클목질판재가 전단파괴 되었다.

각 인방보 시험체별 하중- 변위 곡선은 Fig. 12와 같다. 또한, 국외문헌에서는 인방보의 허용 휨 변위

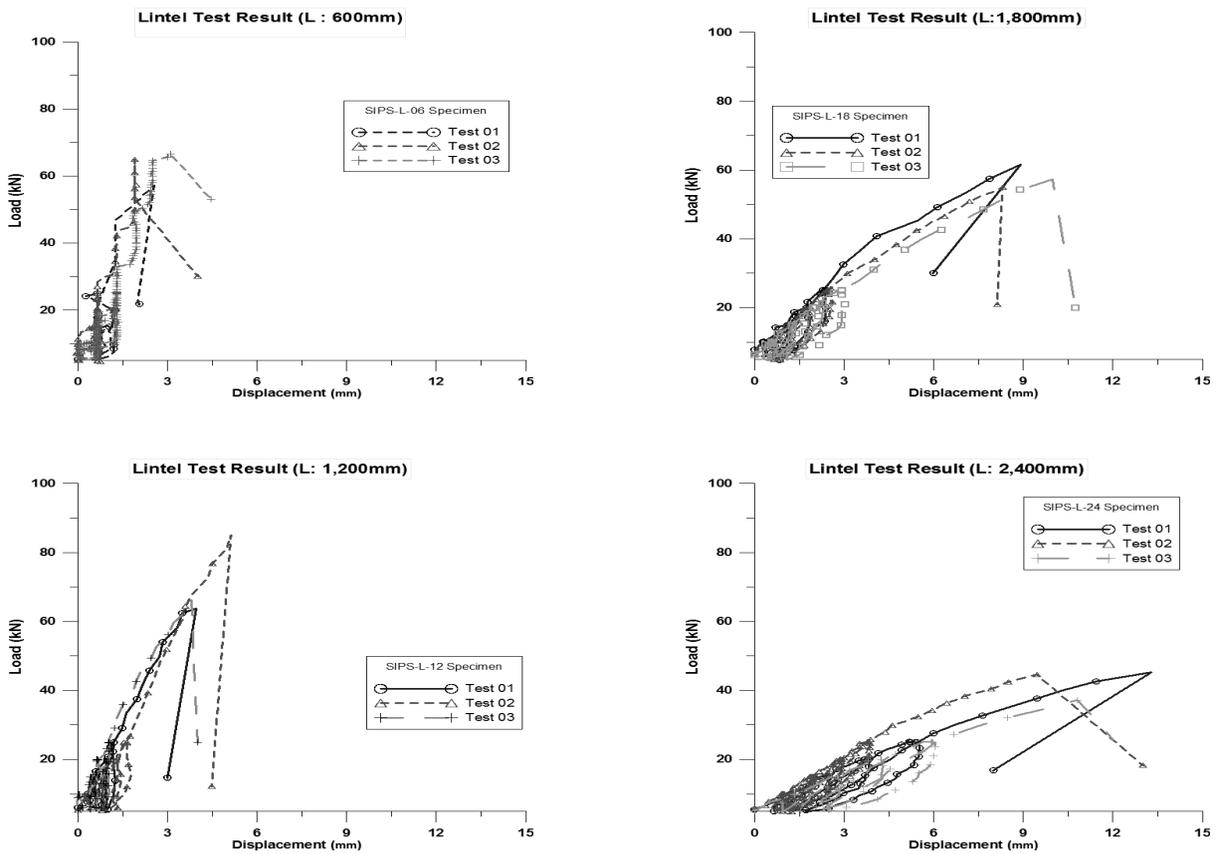


Fig. 12 Load-Displacement of Lintel Load Test

를 $L/360$ 으로 설정하였다(ANSI, 2008). 따라서, $L/360$ 변위일 때의 하중과 허용하중을 각각 비교하였고, 각 시험체별로 허용하중이 $L/360$ 일때의 하중보다 낮았다. 본 연구에서 시험했던 SIP에 대한 인방보의 휨 시험에 대한 허용하중은 미국 합판 및 공학 목재협회에서 제안한 안전율 3을 적용하면, 시험체 길이 600, 1200, 1800, 2400mm 별로 각각 20.4, 23.9, 19.3, 14.1 kN으로 분석되었다. 본 시험에 수행된 인방보 단면(300×300)과 국외문헌(Edward, 2006)에서 확인된 인방보 단면(165×300)이 상이하여 시험결과의 직접적인 비교는 어려웠지만, 국외시험의 경우에도 최대하중은 휨과괴 거동에서 전단과괴 거동으로 전환하면서 길이 1,200mm 시험체에서 최대하중을 보였으며, 1,800mm 이상 시험체에서는 점차적으로 허용내력이 저하되었다.

4. 결론

구조용단열패널은 조립식 목구조 건축물, 특히 저에너지 건축물에 대한 시공성, 경제성 모델로 떠오르는 구조재 및 건축외장재이다. 구조용 단열패널을 벽체로 적용하였을때 구조성능을 확인하고 설계기준

의 기초자료로 제공할 목적으로 본 연구가 수행되었다. 본 시험에 적용된 구조용단열패널은 두께 162mm 폭 1,200mm, 높이 2,400mm를 기본규격으로 설정하고, ASTM E72와 KS F2273 방법을 조합하여 면내전단저항성, 강축방향 압축성능, 약축방향 압축성능, 인방보의 휨성능 시험을 수행하고 그 평가결과는 다음과 같다.

1) 면내전단 성능시험은 두께 162mm 폭 2,400mm, 높이 2,400mm를 기본 시험체로 구성하여 성능평가 결과, 평균 최대하중은 44.3kN로써 단위길이당, 평균 최대하중 18.0kN/m 이며, 허용하중은 6.0kN/m 이다. 이 결과는 국외실험 결과보다 1.2배를 상회하는 수준이다.

2) 강축방향 압축성능시험은 두께 162mm 폭 1,200mm, 높이 2,400mm를 기본 시험체로 구성하였다. 시험 결과, 2개의 시험체 평균 최대하중은 137.6kN이며, 단위길이당 112.8kN/m이며, 허용하중은 37.4kN/m 이었다.

3) 약축방향 압축성능 시험체의 규격은 축방향 압축시험체와 동일하였다. 강축방향의 직각방향 압축 시험결과 최대응력은 10.3kN/m², 실험결과에 근거한 허용하중은 3.44kN/m² 이다.

4) 인방보 휨성능 시험체는 인방보의 길이에 따라,

600, 1200, 1800, 2400mm 별로 각각 3개의 시험체 평균값을 적용하였다. 600mm인방보의 최대하중은 61.1 kN, 허용하중은 20.4kN을 얻었다. 1,200mm인방보의 최대하중은 71.7kN, 허용하중은 23.9kN이었다. 1,800mm인방보의 최대하중은 57.9kN, 허용하중은 19.3kN으로 1,200mm인방보 시험결과보다 낮았다. 2400mm인방보의 최대하중은 42.3kN이며 허용하중은 14.1kN으로 분석되었다.

위와 같이 구조용단열패널에 대한 구조성능 시험 결과를 토대로 설계기준마련의 기초자료를 얻을 수 있었다. 향후, 구조용단열패널에 대한 유사정적시험을 추가적으로 수행할 계획이다.

REFERENCES

- ANSI/APA PRS-610.1 Draft 4 (2008) *Standard for Performance-Rated Structural Insulated Panels in Wall Applications*. APA-The Engineered Wood Association, Tacoma, Washington, pp.2-19.
- ASTM International (2010) *Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction*, ASTM E 72, ASTM Books of Standards.
- Borjen Y., Thomas W., and Edward L. K. (2008) *Development of structural insulated panel standards, Structures congress 2008, ASCE*.
- Edward L. K. (2006) *Standardization Testing of Structural Insulated Panels(SIPs) for The Structural Insulated Panel Association*. APA Report T2006P-33, APA-The Engineered Wood Association, Tacoma, Washington, pp.4-13.
- KS F2273 (2009) *Methods of performance test for building construction panels*, Korean Agency for Technology and Standards, pp.16-30.
- Nah H.-S., Lee H.-J, Hwang S.-W., Lee C.-H., and Jo H.-J (2011) *2nd Year Report of Development of Standardization Model for All Electric House*, KEPCO Research Institute, pp.125-150.
- NTA (2010) *SIPA Listing Report 120908-10*, Gig Harbor, WA, pp.1-9.
- U.S. Department of Housing and Urban Development (2007) *Prescriptive Method for Structural Insulated Panels (SIPs) Used in Wall Systems in Residential Construction*. Office of Policy Development and Research, Washington, pp.1-40.