

구조용단열패널의 정적가력과 반복가력 성능 평가

나환선¹ · 이현주² · 최성모³

한국전력공사 전력연구원 책임연구원¹, 한국전력공사 전력연구원 선임연구원²
서울시립대학교 건축학부 교수³

Performance Evaluation on Static Loading and Cyclic Loading for Structural Insulated Panels

Nah, Hwan-Seon¹ · Lee, Hyeon-Ju² · Choi, Sung-Mo³

¹Principal Researcher, Korea Electric Power Corporation Research Institute, Daejon, Korea

²Senior Researcher, Korea Electric Power Corporation Research Institute, Daejon, Korea

³Professor, The University of Seoul, Department of Architectural Engineering

Abstract: Structural insulated panels, 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. In Korea, there are few technical documents regulated structural performance and engineering criteria in domestic market. This study was conducted to identify fundamental performance of both monotonic load and quasi static cyclic load for SIPs in shear wall application. Static test results showed that maximum load was 44.3kN, allowable shear load was 6.1kN/m, shear stiffness was 1.23 MN/m, and ductility ratio was 3.6. Cyclic test was conducted by two kinds of specimens : single panel and double panels. Cyclic test results, which were equivalent to static test results, showed that maximum load was 45.42kN, allowable shear load was 6.3kN/m. Furthermore the accumulated energy dissipation capability for double panels was as 2.3 times as that for single panel. From performance of structural tests, it was recommended that the allowable shear load for panels was at least 6.1kN/m.

Key Words: Structural Insulated Panel, Shear, Cyclic, Static, Displacement

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

구조용 단열패널(Structural Insulated Panels, 이하 SIP)은 SIP는 목질판과 단열재를 결합하여 만든 부재로써 에너지저감을 위한 열관류율과 기밀성이 우수하고, 콘크리트 또는 강재를 사용하지 않기 때문에 친환경적이며, 조립식이기 때문에 공기가 짧은 장점이 있는 에너지절약형 주택 시공에 아주 유리하여 저탄소 녹색성장에 적합한 주택건설부재이다. 그러나 아직까지 국내에서는 시장보급이 거의 되지 않은 상태이며 관련 기술기준도 없다.

전미 주택건설업협회 연구센터(2007)에서는 SIP의

성능평가 및 설계기준 개발에 대한 연구결과로서 주거용 건물에 대한 SIP를 활용한 벽체 시스템 기술보고서에서 114mm, 165mm 두께의 SIP 벽체를 대상으로 전단 및 축 방향에 대한 허용하중을 제시하고, 접합 형태 별 상세를 별도로 규정하고 있다. 또한 미국 합판 및 공학 목재협회에서는 지속적으로 SIP의 구조성능에 대한 기술보고서를 개정발표하고 있다. (Edward, 2006; Borjen, 2008; ANSI/APA, 2008) 국외의 경우, SIP에 대한 설계기준 지침서가 마련되어있지만, 국내의 경우, 건축구조기준에 구조용합판과 파티클 목질판 구성에 따라 1급, 2급으로 구분되어있고, 강도에 따라 1등급, 2등급으로 나뉘어 기준허용응력이 제시되었을 뿐, 단열재와 복합적으로 결합된 SIP부재에

주요어: 구조용단열패널, 반복, 정적, 변위, 전단

Corresponding author: Nah, Hwan-Seon

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

투고일: 2012년 12월 20일 / 수정일: 2013년 1월 3일 / 계재확정일: 2013년 1월 25일

대한 설계지침은 물론 관련 기술적 성능평가와 연구 개발은 현재까지 수행된 사례가 없었다. 다만, 최근에 친환경 건축자재를 이용한 조립식목구조 주택의 에너지절약형 설계, 시공법을 위해 전단벽체로 구성된 구조용 단열패널의 면내전단, 압축력을 받는 정적가력에 관한 논문 1편이 유일하다.(Nah, 2012)

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 SIP를 이용한 조립식 벽체, 바닥으로 주택 설계를 위한 기술자료 축적이 필요하고, 나아가서는 다양한 부재 종류별 국내 제작된 SIP에 대한 구조성능 검증이 필요하다. 본 연구에서는 기존주택 대비 최소한 30% 에너지 저감형 주택에 적용될 SIP를 국내에서 직접 제작하고, 벽식 구조체로 써의 구조적 거동특성을 실험적으로 규명하자고 하였다. 실제 주택에 적용될 구조용 단열패널 방식과 유사하게 건설된 주택의 사례를 통해 전단벽체의 크기와 시험대상을 결정하였다. 조립식 목구조에 적용되는 패널의 규격은 크게 6종류이었으며, 그중에서 대표 패널 규격을 국내 수입목판크기를 고려하여 1.2×2.4m과 2.4×2.4m로 선정하였다. 본 연구에서는 선정된 패널 규격에 대해 면내전단성능에 대한 정적가력, 동적가력 특성을 위해 구조성능시험방법을 결정한 뒤, 구조성능평가를 수행하고 하중 및 변위를 계측한 뒤, 하중-변위 관계모형으로부터 최대하중, 허용하중, 허용전단강도, 전단강성을 산출하여, 설계에 적용 가능한 허용전단강도를 제안하고자 하였다.

2. 시험계획

2.1 재료 물성 및 시험방법

SIP 시험체 제작에 적용된 단열재는 두께는 140mm 네오플 2종 2호이며 밀도는 26kg/m³이다. 목재패널의 최소 공칭두께는 11mm인 파티클 목질판재를 사용하였다. 시험에 사용된 SIP시험체는 국내 공장에서 2011년 9월에 제작되었다. SIP시험을 위해 검토된 국내·외 시험규격은 ASTM E72, ASTM D4761, ASTM E1803과 KS F2273이었다. 또한 미국 합판 및 공학목재협회의 선행 시험방법도 비교 검토하였다.

2.2 시험체

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

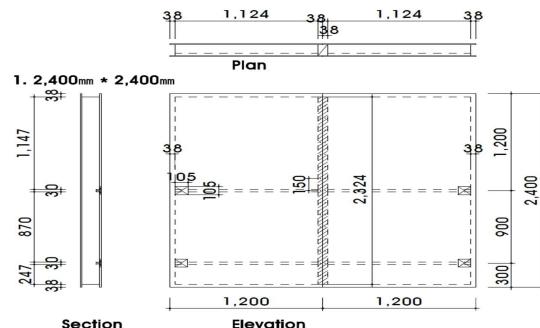


Fig. 1 Dimension of Specimen

1.2m 패널폭 단부를 따라 단열재 두께에 맞는 크기의 구조용 목재인 헤더 50×152mm 단면의 부재를 가공된 부분에 배치했고 150mm 간격으로 8d 나사못으로 파티클 목질판재를 양쪽에 부착했다. 시험체 크기는 1.2×2.4m 패널 2쪽을 연결한 형태로 Table 1과 같다.

Table 1. Identification of Static Test Specimen

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

2.3 정적가력 방법

정적가력 면내전단시험방법은 주로 ASTM E72에 따라 수행하였다. 전단저항성능을 확인하기 위해 하중가성이 축면에서 수행될 때, 패널의 한쪽 끝이 상승하는 것을 막기 위하여 상승방지용 플레이트가 제작 설치되었으며 고정된 지그의 장력은 90 N을 초과하지 않도록 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 층 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.

2.4 반복가력 방법

전통적인 목구조 전단벽체의 횡력저항에 관련된 기술문헌은 많이 알려져 있지만, 이 연구에서 제안한 SIP로 구성된 패널로 제작 구성된 전단벽체의 동적거동 기술 자료는 국내는 전무하다. 국외의 경우 미국, 캐나다를 비롯한 몇몇 연구기관과 관련연구자들이 동적거동 특성을 위한 시험방법 및 연구결과를 발표했

지만 논문편수는 아주 미미했다. Lam (1997)은 시험체 규모 2.4×7.2 m 전단벽체의 단순가력, 반복가력시험을 수행했고, 시험결과 표준 규격체 1.2×2.4 m 보다 강도와 강성이 100% 이상 증가하였다고 발표하였다. 또한, He(1998)은 2 종류의 사이클로 구성된 그룹, 1 개 그룹은 3개의 반복 사이클, 1개 그룹은 다축방향 하중을 가해서 벽체가 파괴될 때까지 재하하는 방식으로 각 사이클별 변위는 단순가력시험에서 얻은 최대하중의 각각 50%, 80%에 상응하는 변위제어 방법을 제안하였다. 이후 Krawinkler(2000)에 의해 CUREE 반복시험 프로토콜이 개발되었다. 본 연구에서는 미국 스텐포드대학에서 개발한 CUREE 시험방법중에서 단순화된 반복가력시험방법을 이용하여 수행하였다. 기본하중히스토리는 다음과 같다. 변위(Δ) 결정 방식은 정적가력시험에서 얻은 시험결과로부터 최대하중의 80%하중 시점의 변위(Δ_m)에서 식(1)을 산정한다 (Mosalam, 2008).

$$\Delta = 0.6 \Delta_m \quad (1)$$

식(1)에서 얻은 변위(Δ)에 따라 반복가력방법은 Table 2 하중단계별로 변위크기와 제어 주기에 따라 변위제어속도는 0.02Hz로 진행하였다.

Table 2. Displacement Amplitude Schedule

하중주기	$\Delta=0.6\Delta_m$	변위
1 Group	0.05 Δ 6 사이클	0.48
2 Group	0.075 Δ 7 사이클	0.73
3 Group	0.1 Δ 7 사이클	0.97
4 Group	0.2 Δ 4 사이클	1.95
5 Group	0.3 Δ 4 사이클	2.93
6 Group	0.4 Δ 3 사이클	3.90
7 Group	0.7 Δ 3 사이클	6.83
8 Group	1.0 Δ 3 사이클	9.76
9 Group	1.5 Δ 3 사이클	14.65
10 Group	2.0 Δ 3 사이클	19.53
11 Group	2.5 Δ 3 사이클	24.42
12 Group	3.0 Δ 3 사이클	29.30
13 Group	3.5 Δ 3 사이클	34.18
14 Group	4.0 Δ 3 사이클	39.07
15 Group	4.5 Δ 3 사이클	43.95
16 Group	5.0 Δ 3 사이클	48.84

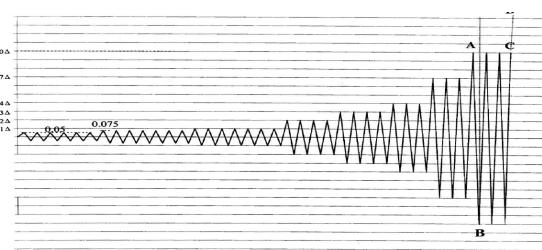


Fig. 2 Cyclic Test Protocol

시험체 구성은 Table 3과 같이 정적가력시험체를

기본으로 실재벽체에서 나올 수 있는 벽체형식을 고려하여 6개의 시험체로 구성 시험하였다. 위와 같은 반복가력을 위해 Instron에서 제작된 10톤 유압가력기를 이용하였고, 시험체의 고정을 위해 몇 종류의 지그를 제작하고 횡변위와 수직변위를 위해 시험체 상부 끝과 시험체 하부 양단에 각각 LVDT를 부착하고 데이터를 20~64개/sec. 속도로 취득하였다. 시험체 설치광경은 Fig. 3과 같다.

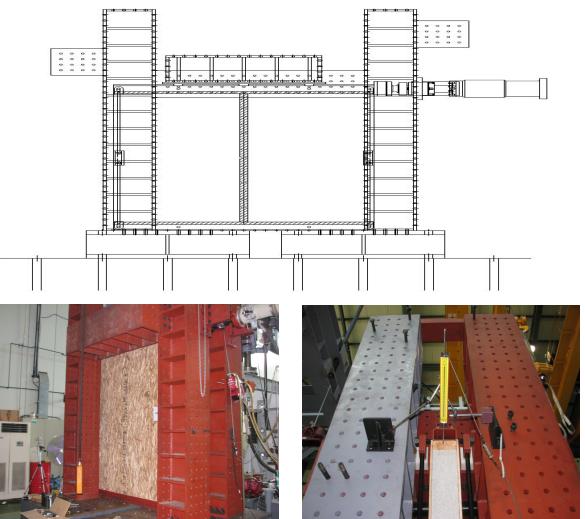


Fig.3 Test Setup

Table 3. Specimens for Cyclic Test

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

3. 정적가력과 반복가력 시험결과 분석

3.1 정적가력 시험결과

패널의 전단 변형량(Φ) 구하는 방식은 KS F 2273에 따라 다음 식(2)와 같이 결정하였다.

$$\Phi = \frac{\delta_1 - \delta_2}{h} - \frac{\delta_3}{b} \quad (2)$$

여기서 δ_1 : 각 하중 단계별, 시험체 상부 수평방향 순변위, δ_2 : 각 하중 단계별, 시험체하부 수직방향 순변위, δ_3 : 각 하중 단계별, 시험체하부 수평방향 순변위, h : 시험체 높이, b : 시험체 폭을 나타낸다. 시각 하중단계별 총변위를 측정하고, 총변위로부터 하중단계별 순변위를 구

한 다음, 식(1)에 따라 각 하중단계별 전단변형량은 Table 4와 같다.

3.5kN 가력시, 시험체의 전단변형량은 $1.67 \sim 4.58 \times 10^{-4}$ 으로 평균 3.06×10^{-4} 을 보였다. 초기하중단계에서 가력하중이 7.5kN, 10.5kN으로 2배, 3배 증가하는 동안, 평균 전단변형량은 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 도달하기전에 시험체가 파괴되었다.

Table 4. Shear Displacement dependent to Load

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

3개의 시험체는 각각 최대하중에서 상부 구조용 목재와 하중가력용 지그가 연결된 앵커볼트가 상부 구조용 각재목인 헤더에서 이탈되었다. 각 시험체별 면내전단 하중-변위 관계는 Fig. 4와 같이, 하중-변위의 관계가 탄성거동이후 가장 먼저 발생되는 1단계 현상은 면재박리, 2단계 현상은 패널의 하부틀의 변형, 그리고 3단계 현상은 볼트분리 또는 파단과정을 거쳐서 최대하중에까지 이른다. 패널의 구성은 단순히 패널뿐만 아니라 패널 상·하부를 연결하는 헤더를 통해 하중이 전달되므로, 단위패널에서 가장 취약한 부위인 헤더와 패널간 틸락현상이 발생되었으며 패널과 패널의 이음부에서는 파괴 또는 변형이 발생하지 않았다.

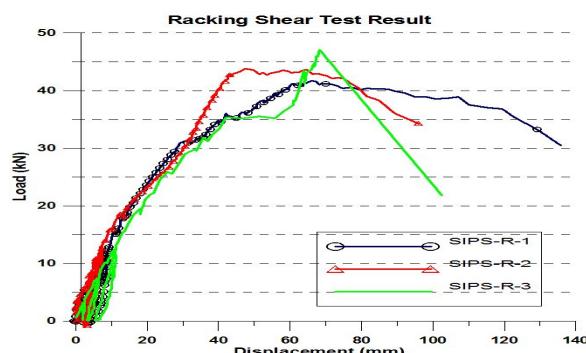


Fig. 4 Load-Displacement for Racking Shear Static Test

각 시험체별 하중단계별 총변위와 최대하중, 최대하중시 변위에 대한 시험결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Result for Racking Shear Static Test

시험체명	최대하중(kN)	최대변위(mm)	항복변위(mm)	전단강도(kN/m)	전단강성(MN/m)	연성지수
SIP-R-1	41.67	67	16	17.3	1.30	4.2
SIP-R-2	43.78	58	17	18.2	1.28	3.4
SIP-R-3	47.18	68	22	19.6	1.07	3.1
평균	44.3	64	18.3	18.4	1.23	3.6

실험결과, 시험체의 평균 최대하중은 44.3kN이며, 평균 최대변위 64mm로 분석되었다. 항복변위(Δy)는 최대하중의 1/2 되는 시점의 변위로써 규정하였고, 1.2×2.4m 패널의 항복변위는 9.82mm로 분석되었다(He, 1999). 또한, 2.4×2.4m 패널의 경우 패널 마구리 고정용 나사못의 간격 152mm, 76mm에 따라 항복변위는 9.14, 12.87mm로 차이가 발생했다(Durham, 2001). 위와 동일한 조건으로 본 실험과 평균 항복변위를 분석한 결과 18mm이었으며 이때의 나사못간격은 150mm였다. 미국 합판 및 공학 목재협회에서 제시한 실험결과, 패널크기 2.4×2.4m (두께 165mm)의 평균 전단강도는 14.1 kN/m, 2.4×3.0mm 패널 (두께 165mm)의 평균 전단강도는 14.4 kN/m 이었다. 전단강도는 전단에 대한 최대하중을 패널 단위길이로 나눈 값으로 본 실험결과 전단벽체로 구성된 시험체의 평균 전단강도 18.4 kN/m은 국외실험 결과보다 1.2배를 상회하는 수준이다. 또한 최대하중은 허용하중의 3배로 제시한 미국 합판 및 공학목재협회보고서(2006)에 따르면, 본 실험 결과로부터 얻은 전단벽체에 대한 허용전단강도(S_u)는 6.1 kN/m 이다. 또한, 전단강성(G)은 $(P_{max} \cdot H)/(2L \cdot \Delta y)$ 로 얻는 값으로 평균 전단강성은 1.23 MN/m 이었다. 이 전단강성은 국외문헌에서 수행되었던 실험값 1.05~1.38 범위내에 존재하였다(Durham, 2001). 또한 이때의 연성지수(D)는 $\Delta u/\Delta y$ 로 구해지는데 평균연성지수는 3.6으로 분석되었다.

3.2 반복가력 시험결과

1) SIPC-D 시험체의 성능

반복가력 시험체(SIPC-D-1)에서는 가력주기 11그룹에서 최대하중인 +45.54 kN에 도달한 이후, 점차 하중이 감소되는 현상을 보였고, 가력단계 16그룹에서 시험이 종료되었다. 변위제어 가력에 의한 하중-변위 곡선은 Fig.5와 같다.

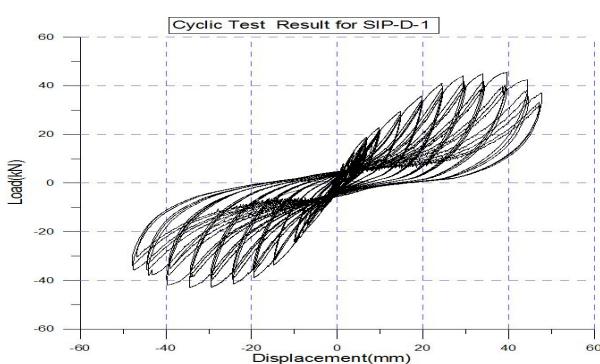


Fig. 5 Load-Displacement for Specimen(SIPC-D-1)

반복가력 시험체(SIPC-D-2)에서는 최대하중인 +50.26 kN에 도달하였다. 가력주기 15그룹에서 최고 하중은 6.06 kN으로 최대하중의 12%수준으로 이미 시험체의 예상허용하중을 초과한 상태였다.

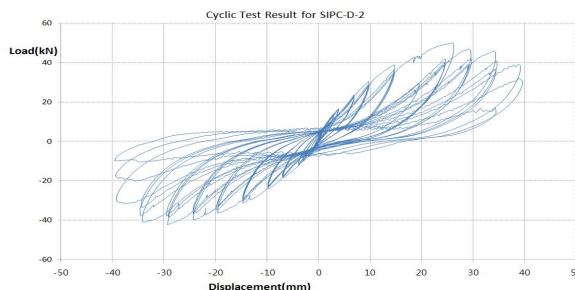


Fig. 6 Load-Displacement for Specimen(SIPC-D-2)

따라서, 가력주기 14그룹까지를 유효한 데이터로 분석하였다. 본 시험체의 유효내력은 최대하중의 1/3 인 16.75 kN 이었다. 변위제어에 의한 반복가력 하중-변위 곡선은 Fig. 6과 같다.

반복가력 시험체(SIPC-D-3)에서는 변위제어 가력단계 13그룹까지 진행되었고, 14그룹에서 하중이 최대하중의 1/2이하로 감소되어 시험을 종료하였다. 따라서 누적에너지 소산능력에서도 다른 시험체에 비해 현격하게 낮은 값을 보였다. 이 시험의 최대하중은 변위제어 주기 12그룹에서 +40.46 kN로 나타났다. 최대하중에서는 SIPC-D-2시험체와 10kN의 편차를 보였다. 이 시험체의 하중-변위 곡선은 Fig. 7 과 같다.

2) SIPC-B 시험체의 성능

반복가력 시험체(SIPC-B)는 패널 1개의 폭인 1,200 mm이며 반복가력 시험체(SIPC-D)의 폭 2,400mm의 1/2에 해당한다. 시험체(SIPC-B-1)는 변위제어주기 15그룹까지 진행되었다. 최대하중은 시험체(SIPC-D)의 57%수준인 +26.1kN 이었고, 변위제어 가력주기 11그룹인 24.42mm에서 발생했다. 최소하중은 -25.54kN, 변위제어 가력주기 12그룹에서 발생하였다. 하중-변위 관계는 Fig. 8과 같다.

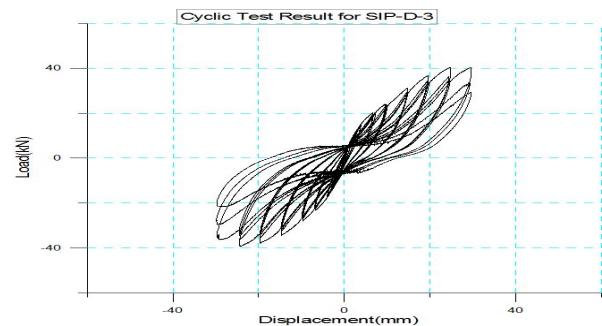


Fig. 7 Load-Displacement for Specimen (SIPC-D-3)

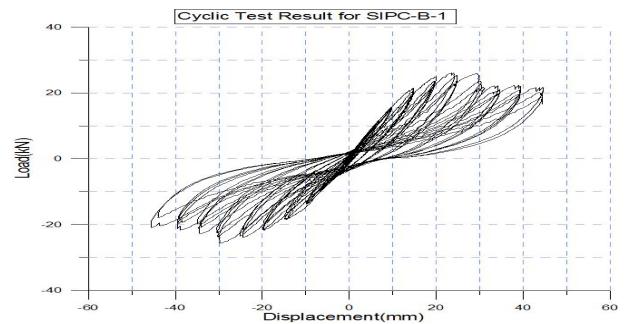


Fig. 8 Load-Displacement for Specimen (SIPC-B-1)

시험체(SIPC-B-2)는 변위제어 주기 15그룹까지 진행되었으며, 각각 변위제어 가력주기 12그룹에서 최대하중 +27.28kN, 최소하중 -26.52kN으로 분석되었다. 시험체(SIPC-B-1)에 비해 최대하중은 4%증가되었으며 이때의 하중-변위 관계는 Fig. 9와 같다.

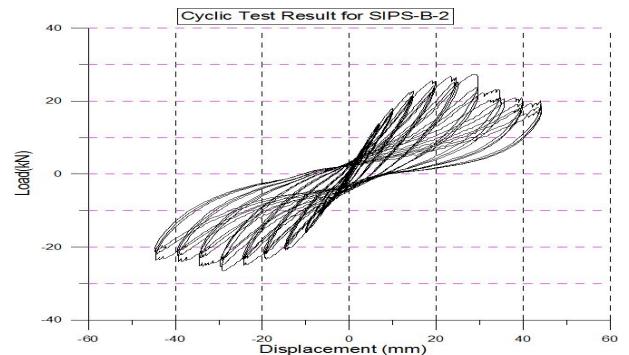


Fig. 9 Load-Displacement for Specimen (SIPC-B-2)

시험체(SIPC-B-3)는 변위제어주기 15그룹까지 진행되었으며, 이때 최대하중은 +27.32 kN, 변위제어 13그룹에서 나타났다. 최소하중은 -24.32kN, 변위제어 11그룹에서 발생했다. 반복가력 최종주기 15그룹 43.95 mm에서의 최고하중은 부재력의 사용한계상태와 예상 허용하중보다 낮은 12kN으로 저하된 상태였으며 시험체(SIPC-B-3)의 하중-변위 관계는 Fig. 10과 같다.

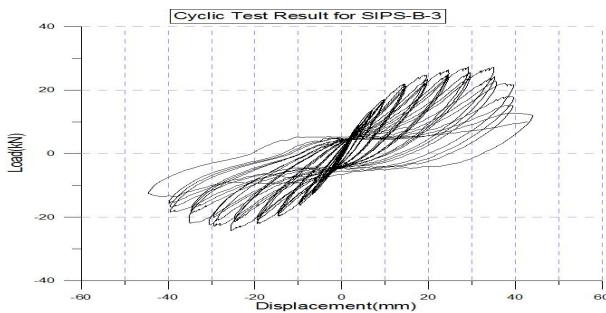


Fig. 10 Load-Displacement for Specimen (SIPC-B-3)

3) 시험결과 종합

반복가력 시험체(SIPC-D)의 시험결과 최대하중이 최소하중값보다 1~6 kN 크게 분석되었으며, 시험체(SIPS-D-3)의 경우는 다른 시험체에 비해 최대하중과 변위가 20% 차이가 발생했으며 종합결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Synthetic Result for Specimen (SIPC-D)

시험체명	최대		최소		허용전단강도 (kN/m)
	하중 (kN)	변위 (mm)	하중 (kN)	변위 (mm)	
SIPS-D-1	+45.54	+48.84	-42.92	-48.84	15.18
SIPS-D-2	+50.26	+43.95	-42.10	-43.95	16.75
SIPS-D-3	+40.46	+29.30	-39.36	-29.30	13.49
평균	+45.42	-	-41.46	-	6.30

반복가력시험결과에 따르면, 폭 1.2m 단일전단벽체 대비 폭 2.4m(1.2m+1.2m) 이중전단벽체의 최대하중, 최소하중은 1.6배에 해당한다.

반복가력 면내전단시험결과 최대하중을 기준으로 설계허용하중은 1/3로 산정하고 있다(He, 1999). 따라서 허용하중은 평균 15.14kN, 평균 허용전단강도는 6.3 kN/m로 분석되었다.

3개의 시험체의 시험종료 변위제어주기 단계가 각각 달라서 누적에너지 소산능력에 대한 편차가 크게 나타났다. 시험체(SIPC-D-1)의 누적에너지량을 100%으로 기준했을 때, 시험체(SIPC-D-2)와 시험체(SIPC-D-3)의 누적 에너지량은 각각 62%, 38%으로 분석되었으며 비교 그래프는 Fig.11과 같다. 시험체별로 단일패널을 병렬로 2개로 구성할 때 패널과 패널사이를 고정용 나사못이 탈락하거나 변형되었고, 때때로 패널하부를 고정하는 나사못이 횡변위가 커지면서 탈락하면서 각각의 시험진행중 하중 전달메카니즘이 비정상적으로 발생하였고, 이러한 현상 때문에 평균 허용전단하중으로부터 최대, 최소값의 편차가 0.68kN/m로 크지 않았지만 각 시험체의 누적에너지 소산능력에서는 크게 차이가 발생한 것으로 판단된다.

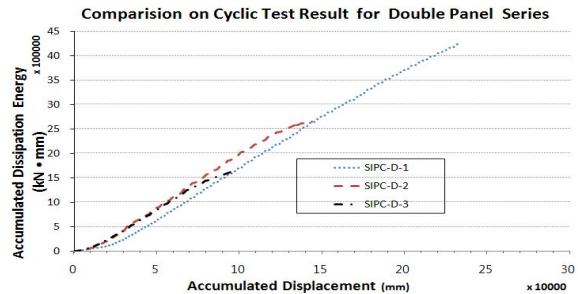


Fig. 11 Accumulated Dissipation Energy (SIPC-D)

반복가력 시험체(SIPC-B)의 시험결과, 시험체(SIPC-D)의 평균 최대하중의 59%이었으며, 평균 최소하중은 61%이었고, 최대변위 평균은 시험체(SIPC-D)의 71%, 최소변위평균은 69%로 분석되었으며 종합결과는 Table 7과 같다. 단일전단벽체로 구성된 시험체(SIPC-B)에 대한 허용하중은 이중전단벽체(SIPC-D)시험체로 구성된 허용하중보다 평균 18% 더 크게 나타났다. 이때의 전단강도 평균은 7.47 kN/m이었다.

Table 7. Synthetic Result for Specimen (SIPC-B)

시험체명	최대		최소		허용전단강도 (kN/m)
	하중 (kN)	변위 (mm)	하중 (kN)	변위 (mm)	
SIPC-B-1	+26.10	+24.42	-25.54	-29.30	8.70
SIPC-B-2	+27.28	+29.30	-26.52	-29.30	9.09
SIPC-B-3	+27.32	+34.18	-24.32	-24.42	9.10
평균	+26.90	-	-25.46	-	7.58

폭 1.2m 단일 패널로 구성된 시험체(SIPC-B)의 누적에너지 소산능력을 비교분석하였다. 반복가력 시험결과 단일패널에 대한 누적에너지 소산능력은 이중패널로 구성된 시험체(SIPC-D) 결과와 크게 달랐다. 시험체(SIPC-B-1)의 누적에너지량을 100%으로 기준했을 때, 시험체(SIPC-B-2)와 시험체(SIPC-B-3)의 누적에너지소산능력은 각각 99%, 81%이며, 그레프는 Fig. 12와 같다.

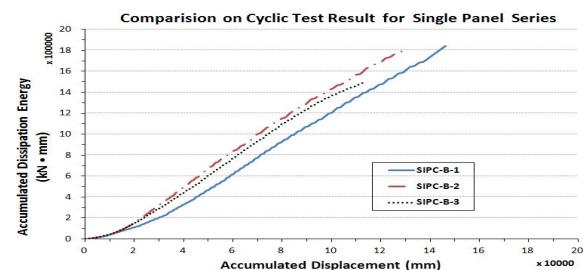


Fig. 12 Accumulated Dissipation Energy (SIPC-B)

Table 8. Summary of Static Test Results and Cyclic Test results

정적가력 시험체명	최대 하중 (kN)	허용전단 강도 (kN/m)	반복가력 시험체명	최대 하중 (kN)	허용전단 강도 (kN/m)
SIP-R-1	41.67	5.76	SIPS-D-1	45.54	6.33
SIP-R-2	43.78	6.06	SIPS-D-2	50.26	6.98
SIP-R-3	47.18	6.53	SIPS-D-3	40.46	5.62
평균	44.3	6.12	평균	45.42	6.3

또한 단일패널로 구성된 시험체(SIPC-B-1) 대비 단일패널을 병렬로 구성한 다중패널시험체(SIPC-D-1)의 누적에너지 소산능력은 2.3배로 나타났다. 시험체 폭이 2.4m로 동일한 규격의 시험체로 정적가력한 시험체(SIP-R)와 반복가력한 시험체(SIPC-D) 결과를 비교해 보면 각각 최대하중은 44.3kN, 45.42kN 허용전단강도는 6.12kN, 6.30kN으로 Table 8과 같고, 국외실험결과도 본 실험결과와 유사하였다(Durham, 2001).

4. 결 론

본 시험에 적용된 구조용단열패널은 두께 162mm 1.2×2.4m과 2.4×2.4m로 기본규격으로 설정하고, ASTM E72와 KS F2273 방법을 조합하여 전단벽체가 갖는 면내전단저항성을 위한 정적가력시험과 CUREE 유사정적 반복가력 절차에 따른 동적거동특성 시험을 수행하고 그 분석결과는 다음과 같다.

1) 폭 2.4m, 높이 2.4m 시험체로 구성된 정적가력 면내전단 성능평가 결과, 평균 최대하중은 44.3kN로써 전단강도 평균은 18.4kN/m이며, 허용하중을 고려한 전단강도평균은 6.1kN/m이다. 이 결과는 국외실험 결과보다 1.2배를 상회하는 수준이다. 평균 전단강성은 1.23 MN/m 이었으며 평균연성지수는 3.6으로 분석되었다.

2) 폭 2.4m, 높이 2.4m 시험체로 구성된 반복가력 면내전단 성능평가 결과, 단위패널을 병렬로 연결한 시험체(SIPC-D)에서 평균 최대하중 45.42kN이며, 허용하중은 15.14 kN이다. 이 시험체들의 평균 전단강도는 6.3 kN/m으로 정적가력시험결과인 6.1 kN/m을 상회하였다.

3) 폭 1.2m, 높이 2.4m 시험체로 구성된 반복가력 시험체(SIPC-B)에서 평균 최대하중 26.90kN이며, 허용하중은 8.96 kN이다. 이 시험체들의 평균 전단강도는 7.47 kN/m이었다.

4) 단일 패널로 구성된 반복가력 시험체의 누적에너지 소산능력은 기준패널의 81%, 99%에 해당하였다. 그러나, 다중패널로 구성된 반복가력시험체에서는 패

널과 패널간 하중전달하는 나사못의 고정과 탈락정도에 따라 누적에너지 소산능력이 각각 62%, 38%까지 차이가 발생하였다. 전반적으로 단일패널시험체에 비해 다중패널시험체에서 누적에너지소산능력이 2.3배 정도 크게 분석되었다.

5) 구조용 단열패널을 전단벽체로 구성한 조립식구조체에서 전단저항성능 시험결과 정적가력, 반복가력시험을 종합하여 구조용단열패널 폭 2.4m, 높이 2.4m 시험체의 전단강도는 정적가력에서 얻은 시험결과인 최소 6.1 kN/m으로 보수적으로 제안하고자 한다.

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.
- Borjen, Y., Thomas, W., and Edward, L. K. (2008). "Development of structural insulated panel standards." *Structures Congress*. ASCE.
- Durham, J., Lam, F., and Prion, H. G. L (2001). "Seismic Resistance of Wood Shear Walls with Large OSB Panels." *J. Struct. Eng.. ASCE*, Vol. 127, No. 12, pp. 1460-1466.
- 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.
- He, M., Magnusson, H., Lam, F., and Prion, H. G. L. (1999). "Cyclic Performance of Perforated Wood Shear Walls with Oversize OSB Panels." *J. Struct. Eng.. ASCE*, Vol. 125, No. 1, pp. 10-18.
- Krawinkler, H., Parisi, F., Ibarra, L., Ayoub, A., and Medina, R. (2000). *Development of a Testing Protocol for Woodframe Structures*. CUREE Publication No. W-02. California.
- Mosalam, K. M., Hagerman, J., and Kelly, H. (2008). "Seismic Evaluation of Structural Insulated Panels." *5th International Engineering and Construction Conference*, ASCE.
- Nah, H. S., Lee, H. J., Lee, C. H., Hwang, S. W., Cho, H. J., and Choi, S. M. (2012). "Evaluation on Structural Performance of Structural Insulated Panels in Wall Application." *J. Korean Soc. Adv. Comp. Strus.* Vol. 3, No. 2, pp. 19-27.
- 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.