

# 강절형 목질 문형라멘프레임의 수평내력성능 평가<sup>1</sup>

이 인 환<sup>2</sup> · 송 요 진<sup>2</sup> · 홍 순 일<sup>2,†</sup>

## Evaluation of The Lateral Strength Performance of Rigid Wooden Portal Frame<sup>1</sup>

In-Hwan Lee<sup>2</sup> · Yo-Jin Song<sup>2</sup> · Soon-Il Hong<sup>2,†</sup>

### 요 약

목구조물 기둥-보 접합물로는 슬릿 가공된 부재에 강판을 삽입한 형상이 통용되고 있다. 본 연구에서는 접합부가 정착된 강절형 문형라멘프레임 및 강판 대용인 목질접합물을 제작하여 절반은 기둥부재에 일체화하고 나머지 절반은 보 부재와 편으로 접합한 반강절형 문형라멘프레임을 제작하였다. 목질 문형라멘프레임들은 강판삽입형 접합부 문형라멘프레임과 수평내력성능을 비교 분석하였다. 수평내력성능은 완전탄소성모델 분석과 구간별 강성변화율 및 단기허용전단내력으로 평가하였다.

실험결과, 강절형 문형라멘프레임의 최대내력이 강판삽입형 접합부 문형라멘프레임 보다 낮게 측정되어 항복 내력은 0.58, 종국내력은 0.48로 산출되었으나, 초기강성과 소성률은 각각 1.35, 1.1 향상된 값이 측정되었다. 반강절형 문형라멘프레임의 완전탄소성모델 분석 결과 최대내력은 강절형 문형라멘프레임보다 낮았으나 파괴 후 인성이 우수하여 종국내력은 1.05~1.07 높은 값이 산출되었다. 강판삽입형 문형라멘프레임은 반복 시험이 진행됨에 따라 강성이 급격히 감소한 반면 접합부가 목질로된 문형라멘프레임들의 강성은 서서히 감소되었다.

### ABSTRACT

For column-beam gussets of wooden structures, slit-processed members inserted with a steel plate are used in general. In this study, a rigid portal frame bonded with a joint was fabricated and a semi-rigid portal frame was fabricated by making a wooden gusset, a replacement for steel plate, of which a half was integrated into the column member and the other half was joined with the beam member by drift-pins. The lateral strength performance of the wooden portal frame was compared with that of the steel plate-inserted joint portal frame. The lateral strength performance was evaluated through a perfect elasto-plasticity model analysis, sectional stiffness change rate, and short-term permissible shear strength.

As a result of the experiment, the maximum strength of the rigid portal frame was lower than that of the steel plate-inserted joint portal frame. The yield strength and ultimate strength were calculated as 0.58 and 0.48,

<sup>1</sup> Date Received June 23, 2017, Date Accepted July 31, 2017

<sup>2</sup> 강원대학교 산림환경과학대학 산림응용공학부 산림바이오소재공학전공. Program of Forest Biomaterials Engineering, Division of Forest Material Science & Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author): 홍순일(e-mail: hongsi@kangwon.ac.kr)

respectively, but the measurements of initial stiffness and cumulative ductility improved by 1.35 and 1.1, respectively. As a result of the perfect elasto-plasticity model analysis of the semi-rigid portal frame, the maximum strength was lower than that of the rigid portal frame, but the toughness after failure was excellent. Thus, the ultimate strength was higher by 1.05~1.07. The steel plate-inserted portal frame showed rapid decrease in stiffness with the progress of repeated tests, but the stiffness of the portal frames with a wooden joint decreased slowly.

**Keywords** : column-beam, gussets, joint, portal frame, rigid, semi-rigid, strength

## 1. 서 론

중목구조의 공법은 규격화 되어있는 경골목구조와는 상이하게 높은 기술을 요구한다. 특히 내력벽이 사용되지 않고 설계의 변경 및 가변성이 양호한 문형라멘프레임은 기둥-보 접합부의 내력이 주된 구조로 대형 목조 건축물에 많이 활용되고 있는 구조이다.

접합부는 축 하중과 휨 모멘트를 동시에 받는 부재로써 축 하중뿐만 아니라 부재 양단 사이에 전달되는 횡 하중, 휨 모멘트, 비틀림 모멘트 등에도 저항해야 한다. 일반적으로 문형라멘프레임의 기둥에 편심이 발생하지 않도록 가설하는 것은 실험실에서조차도 거의 어려우며, 실제 건물에서는 더욱 불가능하다(Charleson, 2008). 문형라멘프레임의 설계과정은 설계조건, 하중의 산정 및 내진설계, 하중조합 및 단면력 산정, 보 및 기둥부재의 설계, 접합부 설계, 기둥기초부 설계, 받침부 설계, 상세설계, 처짐 등의 검토가 필요하다. 특히 접합부는 적용 단면력 결정, 범위 산정, 응력 산정 등의 설계가 필요하다. 접합철물을 사용한 반강절형 접합부의 경우 단거리 산정, 연단거리 산정, 볼트의 개수 및 배치, 지압응력 결정 등을 추가로 설계해야 되는 어려움이 있다.

2012년 Kohel 등은 고층 목조 건축물에 사용할 목적으로 집성재의 접합부에 ㄷ자형 프레임을 외기로 노출 시켜 강판과 볼트로 이루어진 접합부를 제시하였으며 제시된 접합부로 문형라멘프레임을 제작하여 수평가력 실험을 실시하였다. 이 문형라멘프레임은 높은 초기강성과, 고 에너지흡수율, 지진 하중을 받은 뒤 간단한 수리, 저가, 범용성 등 다양한 장점으로 고층 목조 건축물을 건설하는데 적합하다고 제시하였다. 하지만 이런 금속 접합부는 금속철물과 목재

간의 상이한 강성으로 인해 하중이 전달되는 목재의 내부로부터 압입이 발생하여 파괴가 발생한다. 따라서 경량화 됨과 동시에 뛰어난 접합강도가 발휘되는 보강재가 주목받아 이로 접합한 집성재 접합부에 대한 연구가 진행되고 있으며(Madhoushi *et al.*, 2008; Harvey *et al.*, 2000), 국내에서는 접합부의 일체화와 고인성 고강성을 목표로 목재의 지압응력을 활용한 목질 접합부에 대한 연구가 진행되고 있다. 송 등(2008)은 접합철물을 사용하지 않고 전통 목구조 기둥-보 접합을 반강절형으로 접합하여 강성부족으로 발생하는 구조물의 역학적성능을 개선하였다. 그 결과 수평변위가 개선되었고 휨 강성이 향상되었다고 보고하였다. 하지만 이러한 반강절형 접합부는 초기 미끄러짐 현상과 잔류 변형이 발생하는 단점이 있다.

선행연구에서 중목구조 접합부에 사용되는 접합철물을 사용한 반강절형 시험편과 목질접합물을 사용한 반강절형 및 강절형 시험편들을 제작하여 모멘트 저항성능을 비교 검토하였다. 그 결과 강절형 시험편의 초기강성과 소성율이 반강절형 시험편보다 양호하였으며, 목질접합물로 제작한 시험편들이 접합철물을 사용한 시험편들보다 인성이 우수하였다(Lee *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2017). 본 연구에서는 기존 철물로 제작된 목질 문형라멘프레임 접합부의 설계과정 간소화, 경량화, 일체성 증가 및 수평내력성능과 강성을 증진시키기 위하여 접합부가 목질로 일체화된 강절형 접합부(Lee *et al.*, 2017)를 문형라멘프레임에 적용하였다. 또한 유리섬유강화플라스틱(Glass Fiber Reinforced Plastics; GFRP)보강적층판과 핀을 사용한 하이브리드 접합부를 문형라멘프레임에 적용하여 접합부의 거동, 파괴 형상, 강성변화율 및 벽배율 등을 대조군 문형라멘프레임과 비교 분석하였다.

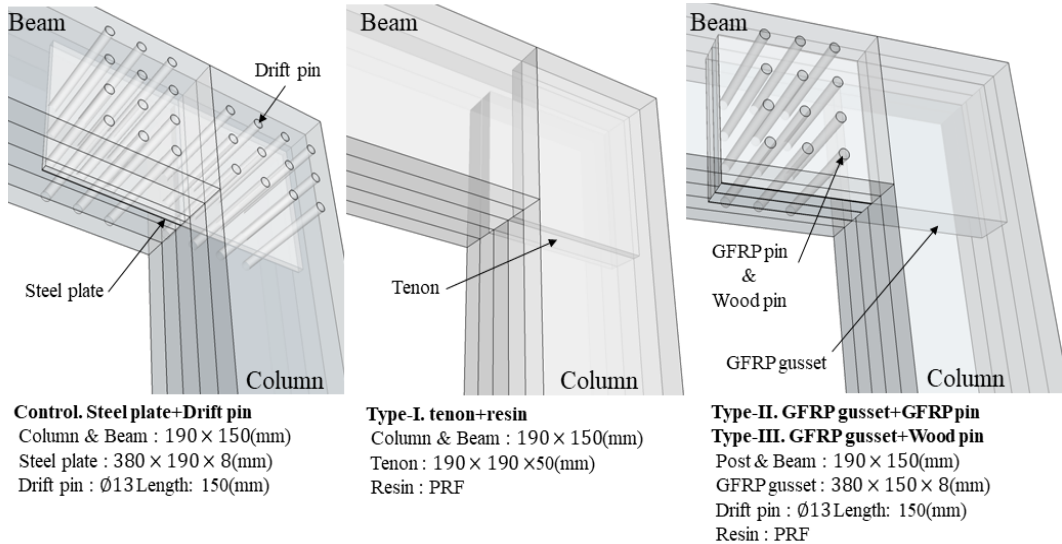


Fig. 1. Details of portal frame joint.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

문형라멘프레임의 기둥-보에 사용된 집성재는 폭 190 mm, 두께 30 mm의 낙엽송(*Larix kaemferi* Carr.) 층재에 PRF (Phenol-Resorcinol-Formaldehyde) 접착제를 300 g/m<sup>2</sup> 도포 후 압체압력 1 MPa의 조건으로 제작하였다. 집성재 조합은 층재의 휨 탄성계수를 측정하여 균일하게 제작하였다. 기둥-보 접합물은 GFRP 핀과 드리프트 핀 그리고 낙엽송 핀을 사용하였다. 목질 문형라멘프레임 접합부에는 강판대용으로 GFRP보강적층판을 사용하여 기둥과 보를 접합하였다. GFRP보강적층판은 낙엽송재 사이와 외각 면 절반에 GFRP를 초산비닐 접착제 도포량 300 g/m<sup>2</sup>, 압체압력 1 MPa로 24시간 상온 경화하였다(Lee *et al.*, 2017).

### 2.2. 문형라멘프레임 제작

문형라멘프레임은 5층의 집성재를 사용하여 문형라멘프레임으로 제작하였다. 문형라멘프레임의 접합부는 각기 다른 접합형상에 따라 4가지로 제작하였다(Fig. 1).

- 1) Control: 문형라멘프레임의 대표적인 철물접합부는 강판삽입형 접합부를 사용하였으며, 연단 거리와 끝면거리를 최대한 확보하여 설계하였다. 기둥과 보부재는 9 mm의 슬릿가공 후 8 mm의 강판을 삽입하고 직경 13 mm의 드리프트 핀으로 접합하였다.
- 2) Type- I : 기둥과 보부재가 접착제로 일체화된 강절형 문형라멘프레임이다. 접합부는 보부재의 돌출부에 기둥부재를 양쪽으로 접착하여 제작하였다. 접착조건은 PRF 접착제 도포량 500 g/m<sup>2</sup>을 사용하였으며, 압체압력은 1 MPa로 24시간 상온 경화하였다. 강절형 문형라멘프레임 실대재는 공장제작 시 접착성능의 균일한 성능확보 어려움 및 크기에 의한 현장운송 문제가 예상된다. 따라서 기둥부재와 GFRP보강적층판을 일체화 하고 보부재와 GFRP보강적층판은 핀으로 접합하는 경우의 구조성능을 검토하였다.
- 3) Type- II : GFRP보강적층판의 절반은 기둥부재에 접착하여 일체화 하고 나머지 절반은 직경 13 mm의 GFRP 핀을 사용하여 보부재에 접합하였다. GFRP보강적층판과 기둥부재접착조건은 Type- I의 접합부와 동일하였다.

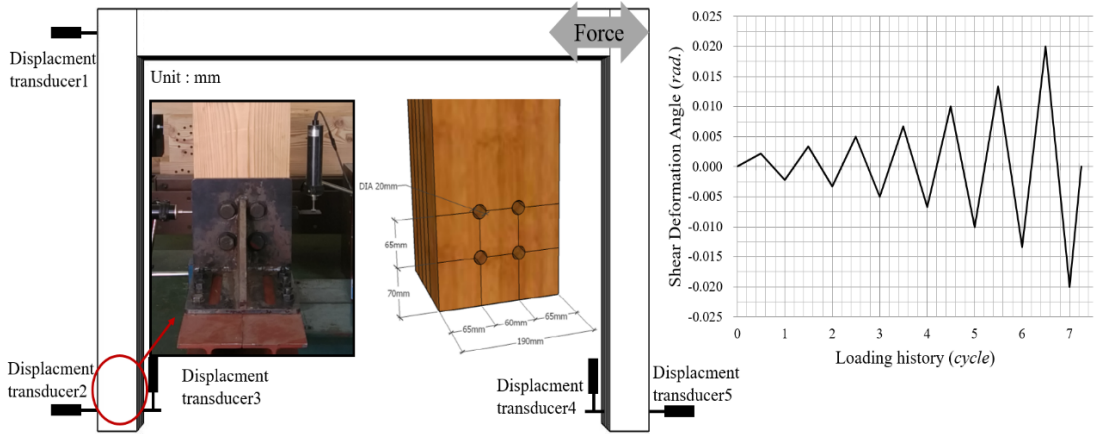


Fig. 2. Test set-up for portal frame specimen and push-pull laterally cyclic loading.

- 4) Type-Ⅲ: Type-Ⅱ와 동일한 형상이나 보부재와 GFRP보강적층판 접합에 낙엽송 핀을 사용하였다.

### 2.3. 문형라멘프레임 수평가력 실험방법

Fig. 2는 수평가력실험 중 변형측정을 위하여 설치한 변위계의 위치를 표시한 것으로 변위계 1은 상부의 수평변형을 측정하였으며, 변위계 2, 5는 하부의 수평변형 3, 4는 하부의 수직변형을 보정하기 위해 설치하였다. 실험방법은 전단변형각이  $\pm 1/450$ ,  $\pm 1/300$ ,  $\pm 1/200$ ,  $\pm 1/150$ ,  $\pm 1/100$ ,  $\pm 1/75$ ,  $\pm 1/50$ rad.이 되도록 정부 가력을 1회 실시하였으며, 이후 정방향으로 수평가력하여 최대하중의 80% 또는 전단변형각이 1/15 rad.을 초과할 때까지 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 문형라멘프레임의 수평하중-변형각 그래프 및 파괴형상

#### 3.1.1. Control 문형라멘프레임

Control은 전단변형각 1/75 rad. 반복시험까지 잔류변형이 적게 발생하였으나 전단변형각 1/50 rad. 반복시험 중 드리프트 핀의 높은 강성으로 접합부가

압입되면서 소성변형이 발생하였다(Fig. 3). 정방향으로 하중이 점진적으로 증가되면서 목질부 변형이 진행되었다. 전단변형각 0.074 rad. 최대하중 31.9 kN에서 기동부재가 드리프트 핀과 집성재의 표면경도 차이로 인하여 섬유방향을 따라 횡 단면 쪽으로 파단이 발생하였다(Fig. 4-a). 모든 드리프트 핀은 접합부가 회전하는 방향으로 압입이 진행된 형상을 관찰할 수 있었다(Fig. 4-b). Control의 잔류 변형과 목재의 부분지압은 반강절형 접합부에서 흔히 발생하는 현상으로 확인된다.

#### 3.1.2. Type-Ⅰ 문형라멘프레임

Type-Ⅰ은 반복시험이 정방향으로 진행되면서 강성이 비례적으로 증가하였으나 반복시험이 부방향으로 진행될 때는 소성변형이 발생되었다. 이는 문형라멘프레임의 접합부가 정방향에서 최대변형각에 우선적으로 도달한 것에 기인하여 부방향의 강성이 저하된 것으로 판단된다. 하지만 철물 접합부로 제작된 반강절형 문형라멘프레임의 반복수평가력 시험 시 초기엔 잔류변형이 적으나 일정 전단변형각을 초과하면 정, 부 방향 모두에서 큰 잔류변형이 발생한다(Kohei *et al.*, 2012). 접합부가 강제로 일체화된 Type-Ⅰ을 제외한 반강절형 시험편들(Type-Ⅱ, Type-Ⅲ)은 정,부 방향 모두에서 큰 잔류변형이 발생하였다. Type-Ⅰ의 최대하중은 19.6 kN으로 Control

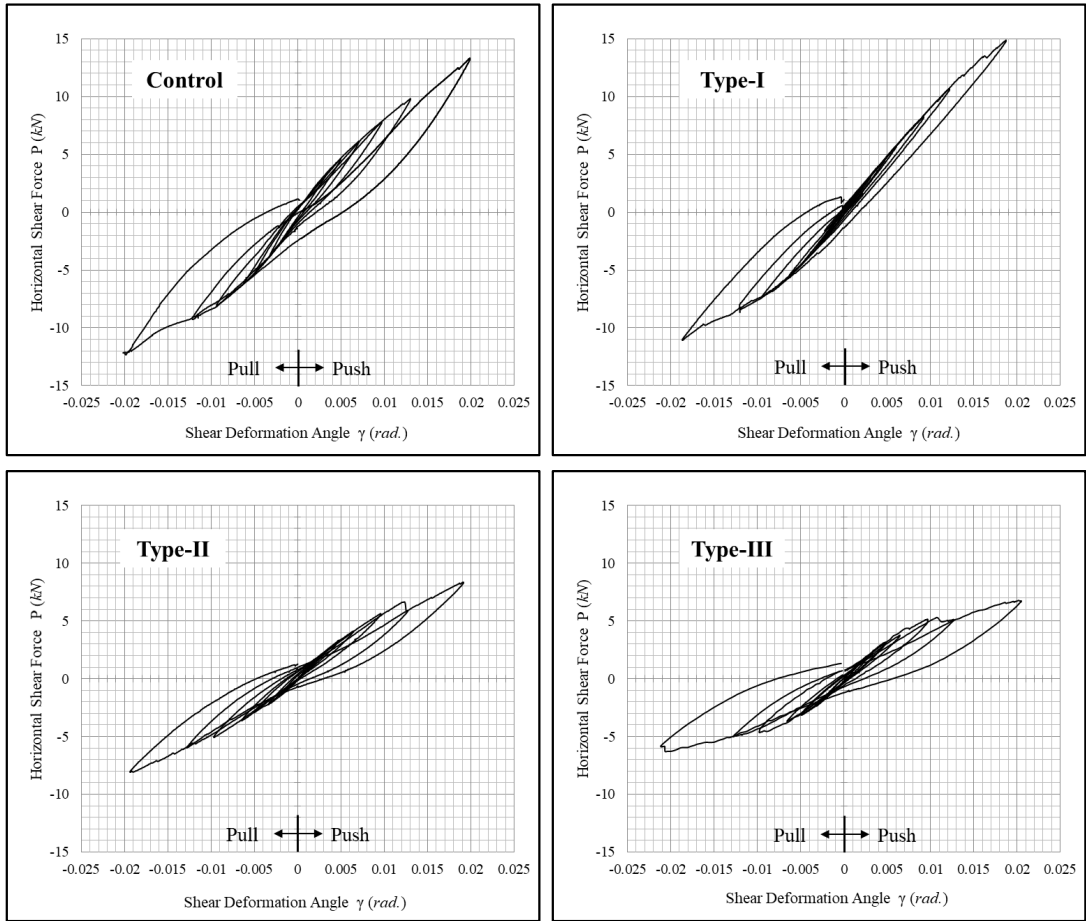


Fig. 3. P- $\gamma$  relationship of portal frame.

보다 39% 낮게 측정되었으며, 최대하중 시 전단변형각은 0.029 rad.으로 측정되었다. 파괴 형상은 정방향으로 하중이 증가함에 따라 기둥부재에 전단응력이 상승하면서 끝단면부터 섬유방향을 따라 취성파단이 발생하였다(Fig. 4-c). 이 후 소성변형이 진행되면서 기둥부재에서 파단이 추가로 발생하였다(Fig. 4-d).

### 3.1.3. Type-II 문형라멘프레임

Type-II 은 수평가력 반복시험 초기부터 잔류변형이 발생하였다. 이는 하중이 진행됨에 따라 목재보다 강성이 높은 GFRP 핀에 의하여 보부재가 압입되었기 때문에 사료된다(Fig. 4-e). 최대하중이 측정된

18.5 kN에서 보강 목질 접합의 상부가 인장응력을 버티지 못하고 파괴되었다(Fig. 4-f). 이 후 GFRP보강적층판이 찢어지면서 하중이 서서히 감소하였다.

### 3.1.4. Type-III 문형라멘프레임

Type-III 은 전단변형각 0.08 rad.에서 최대하중 14.6 kN이 측정된 직후 낙엽송 핀으로부터 끝단면으로 취성파단이 발생하면서 하중이 저하되었다. 파괴 형상은 전단변형각 1/100 rad.까지 거의 탄성에 가까운 거동이 관찰되었으며, 이 후 낙엽송 낙엽송 핀이 압입 및 파괴가 진행되면서 소성변형을 보였다(Fig. 4-g). GFRP 핀을 삽입한 문형라멘프레임과 달리 낙

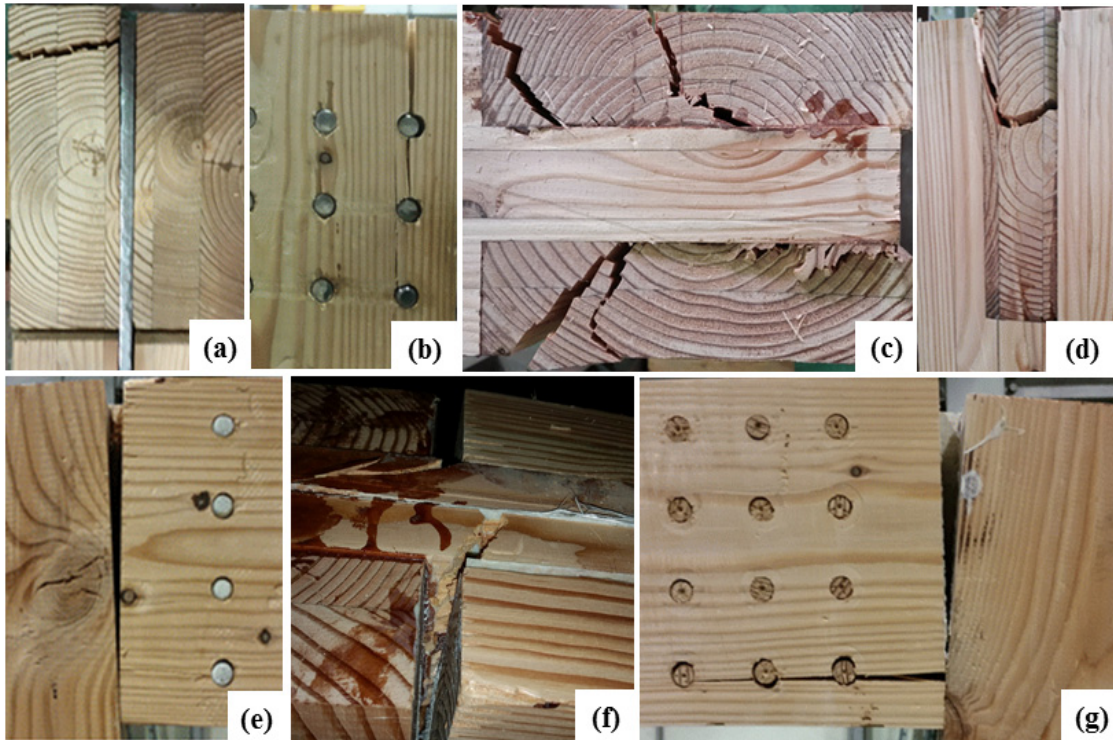


Fig. 4. Failure mode of portal frame specimens after tests.

엽송 핀이 보부재랑의 목질부와 같이 압입되어 변형이 지속적으로 증가되었다. 이는 접합부가 파괴되지 않고 지압되며 내력을 유지한 것이 소성률 향상에 기인한 것으로 사료된다.

기둥부재와 GFRP보강적층판은 강절형이고 GFRP보강적층판과 보부재는 핀으로 고정된 반강절형 Type-Ⅱ와 Type-Ⅲ 시험편들은 강절형으로 일체화된 기둥부재에서 파괴형상이 관찰되지 않았으며, GFRP보강적층판이나 핀 부분에서 파괴되었다. 이는 강절형으로 일체화된 기둥부재 부분은 내력이 우수한 것으로 판단할 수 있다.

### 3.2. 목질 문형라멘프레임의 내력성능 평가

목질 문형라멘프레임의 내력성능평가는 완전탄소성 분석을 하여  $P_{max}$  (최대하중),  $\theta_{max}$  (최대회전각),

$P_y$  (항복하중),  $\theta_y$  (항복회전각),  $P_u$  (종국하중),  $\theta_u$  (종국회전각),  $\theta_e$  (완전탄소성 모델의 항복점 회전각),  $\mu$  (소성률)과 같은 특성치를 Table 1과 같이 산정하였다(Lee *et al.*, 2017).

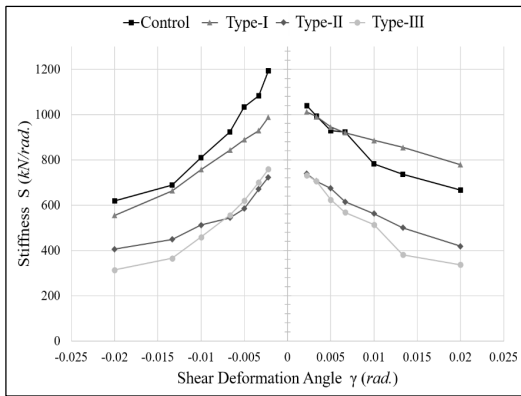
실험결과 Control의 항복내력과 종국내력이 타 문형라멘프레임들과 비교하여 가장 우수하게 측정되었으며, 초기강성과 소성률도 비교적 우수하게 산출되었다. 이러한 현상은 목질 적층판 보다 강판의 두께가 0.16 배율로 얇아 기둥부재의 두께가 상대적으로 더 두꺼웠기 때문으로 추측된다. Type-I은 Control보다 항복내력과 종국내력은 각각 0.55와 0.47로 낮은 결과가 관찰되었지만 초기강성은 1.36으로 향상된 결과 값이 관찰되었다. 이렇게 산출된 것은 접합부가 일체화 되어 초기 잔류변형 및 소성변형이 거의 발생하지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

Type-Ⅱ와 Type-Ⅲ의 그래프는 1/100 rad. 반복시



**Table 1.** Perfect elasto-plasticity results of the portal frame

properties	specimen			
	Control	Type- I	Type- II	Type- III
$P_{max}$ (N)	31.9	19.6	18.5	14.6
$\theta_{max}$ (rad.)	0.074	0.048	0.051	0.085
$P_y$ (kN)	16.9	9.3	9.6	8.4
$\theta_y$ (rad.)	0.025	0.01	0.021	0.039
R (kN/rad.)	677.1	919.1	454.6	215.4
$P_u$ (kN)	28.9	13.8	14.7	14.5
$\theta_u$ (rad.)	0.119	0.046	0.107	0.133
$\theta_v$ (rad.)	0.043	0.015	0.032	0.068
$\mu$	2.77	3.04	3.31	1.97



**Fig. 5.** S- $\gamma$  relationship of portal frame.

힘까지 탄성에 가까운 거동이 관찰되었으나 다음 반복시험에서는 목재와 GFRP보강적층판 사이에서 초산비닐 접착제의 계면파괴가 발생하여 강성이 저하되었다. 1/100 rad. 반복시험 이후 Type-II 은 GFRP 핀, Type-III 는 낙엽송 핀의 지압 특성차이로 서로 다른 결과가 측정되었다. Type-II 의 GFRP 핀이 Type-III 의 낙엽송 핀 보다 강성이 높은 관계로 항복하중 14%, 최대하중 28% 더 높은 결과가 관찰되었으나 종국내력은 큰 차이가 없었다. 이러한 결과는 적층판에 인장내력이 주로 작용되었으나 Type-III 의 낙엽송 핀이 압입되면서 적층판에 적용하는 인장내력을 분산한 것으로 판단된다.

선행연구에서 동일한 접합부로 캔틸레버형 수직내력성능평가를 실시한 결과, GFRP보강적층판을 사용

한 문형라멘프레임들의 특성치들은 Control보다 낮게 측정되었다. 하지만 접착제로 일체화된 강절형 문형라멘프레임의 경우 초기강성 비율이 1.38로 향상되었고 소성률은 1.41로 향상되었다. 접착제로 일체화된 접합부는 수직내력과 수평내력 시험에서 강관삽입형 접합부보다 최대 내력은 낮으나 강성은 우수한 결과가 산출되었다.

Park 등(2009)은 FRP보강 집성재의 접착성능이 양호하며, 휨 강도는 일반집성재보다 55% ~ 77% 양호하였다고 보고하였다. Song *et al.*, 2017은 원통형 단판적층재와 집성재를 캔틸레버형으로 접합하여 수직내력성능평가를 실시하였다. 그 결과, 목질접합부에 GFRP로 보강 한다면 회전강성계수가 95% 향상되었다고 보고하였다. 모든 문형라멘프레임의 파괴형상이 접합부의 목질부에서 파괴되었기 때문에 접합부가 FRP로 부분 보강된 문형라멘프레임의 내력성능 검토가 필요하고 생각된다.

### 3.3. 목질 문형라멘프레임의 강성 변화율

Fig. 5는 소정의 전단변형각에서 각 강성 값을 도식화한 것이다. 모든 문형라멘프레임의 부 방향 강성 값이 정 방향 강성 값보다 높은 경향이 관찰되었다. Control은 반복하중이 진행되면서 정방향과 부방향 모두에서 강성이 급격하게 감소되었다. Type-I 의 강성 변화율은 비교적 적었으며, 정방향 강성이 서서히 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 정방향

**Table 2.** Based on short-term shear strength obtained by using four indicators

Specimens	Short-term shear strength (kN)				$P_{0(min)}$ (kN)
	$P_u$	$0.2P_u \times \sqrt{2\mu-1}$	$\frac{2}{3}P_{max}$	$P_{120}$	
Control	16.9	12.31	21.26	7.01	7.01
Type- I	9.3	6.22	13.07	7.73	6.22
Type- II	9.6	6.96	12.33	5.02	5.02
Type- III	8.4	4.97	9.73	4.60	4.60

0.01 rad. 이상부터는 Control보다 높은 강성이 관찰되었다. Type- II와 Type- III의 강성은 낮게 측정되었지만 강성변화율도 적게 측정되어 문형라멘프레임의 접합부가 높은 내력에서도 안정적인 것을 확인하였다. 이러한 결과는 접합부가 강절형으로 일체화되어 접합부의 변형이 적었기 때문으로 사료된다.

### 3.4. 목질 문형라멘프레임의 단기허용전단 내력 산정

문형라멘프레임의 특성치 산정 값과 일본건축학회의 목질구조설계규준에 의거하여 문형라멘프레임의 단기허용전단내력을 산정하였다.

$$P_a = \frac{P_0}{a}$$

$$P_{0(min)} = \left\{ \begin{array}{l} P_y \\ 0.2P_u \times \sqrt{2\mu-1} \\ \frac{2}{3}P_{max} \\ P_{120} \end{array} \right\}$$

$P_0$ : 단기허용전단내력

$a$ : 내력벽 영향계수( $a=1$ )

$P_y$ : 항복내력

$P_u$ : 종국내력

$P_{max}$ : 최대내력

$P_{120}$ : 1/120 rad. 일 때 내력

$\mu$ : 소성률

단기허용전단내력 산정결과 Control과 Type- II, Type- III는 최대내력이 우수하였지만, 초기강성이 낮게 측정되었기 때문에  $P_{120}$ 의 조건에서 7.01 kN으로 최소값이 산정되었다. Type- I은 종국내력이 적게 측정되어  $0.2P_u \times \sqrt{2\mu-1}$  조건에서 6.22 kN으로 최소값이 산정되었다. 이는 Control의 단기허용전단내력기준 0.89배로 측정되었다. Type- II와 Type- III는 Control처럼 초기강성이 낮게 측정되어  $P_{120}$ 의 조건에서 5.02, 4.60 kN으로 최소값이 산정되었다(Table 2).

## 5. 결 론

본 연구에서는 목질 문형라멘프레임 설계 시 접합부의 복잡한 설계과정 해소 및 일체성 향상을 위해 강절형 접합부 및 보강 접합부를 문형라멘프레임에 적용하여 반강절형 목질 문형라멘프레임을 제작 후 성능을 비교분석하였다. 기둥부재와 보부재가 접착제로 일체화된 강절형 문형라멘프레임은 강판삽입형 접합부 문형라멘프레임 보다 항복 내력과 종국내력 값은 저하되었으나 초기강성과 소성률은 향상되었다. GFRP보강적층판과 핀으로 접합된 문형라멘프레임들은 최대내력, 항복내력, 초기강성, 종국내력이 강판삽입형 문형라멘프레임보다 낮게 측정되었다. 낙엽송 핀으로 접합된 문형라멘프레임의 소성률은 모든 문형라멘프레임 중 가장 우수한 값이 측정되었다.

강성변화율은 접합부가 일체화된 문형라멘프레임들이 대조군 문형라멘프레임보다 적게 측정되어 높



은 내력에서 보다 안정적이었다. 단기허용전단내력 산정결과 강절형으로 일체화된 문형라멘프레임이 대조군 문형라멘프레임과 대등한 성능을 발휘하였다. 추후 접합부가 FRP 등의 신소재로 부분 보강된 목질 문형라멘프레임의 내력성능 검토가 필요하다.

## 사 사

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구 사업임(No. 2013R1A1A2011524).

## REFERENCES

- Charleson, A. 2008. Seismic design for architects. Routledge.
- DIN EN 14080. 2013. Timber structures - Glued laminated timber and glued solid timber - Requirements.
- Harvey, K., Ansell, M.P. 2000. Improved timber connections using bonded-in GFRP rods. In: Proceedings of International Timber Engineering Conference, Vancouver, July-August. Poster 4.
- Lee, I.H., Hong, S.I. 2016. Bending and bonding strength performances of larch block-glued glulam. *Journal of the Korean Wood Science & Technology* 44(3): 315-322.
- Lee, I.H., Song, Y.J., Jung, H.J., Hong, S.I. 2015. Moment resistance performance evaluation of larch glulam joint bonded in glass fiber reinforced plastic rods. *Journal of the Korean Wood Science & Technology* 43(1): 60-67.
- Lee, I.H., Song, Y.J., Hong, S.I. 2017. Evaluation of moment resistance of rigid frame with glued joint. *Journal of the Korean Wood Science & Technology* 45(1): 28-35.
- Madhoushi, M., Ansell, M.P. 2008. Behaviour of timber connections using glued-in GFRP rods under fatigue loading. Part II: Moment-resisting connections. *Composites: Part B* 39: 249-257.
- Park, J.C., Shin, Y. J., Hong, S.I. 2009. Bonding performance of glulam reinforced with glass fiber-reinforced plastic. *Journal of the Korean Wood Science & Technology* 37(4): 357-363.
- Park, J.C., Hong, S.I. 2008. Strength properties of GFRP reinforced glulam beams bonded with polyvinyl acetate-based emulsion adhesive. *Journal of the Korean Wood Science & Technology* 36(4): 19-25.
- Koizumi, A., Jensen, J.L., Sasaki, T. 2001. Structural joints with glued-in hardwood dowels. *Joints in Timber Structures (International RILEM Symposium, proceedings pro022)*, pp. 403-412.
- Kohei, K., Souichi, N., Akihisa, K. 2012. Development of ductile moment-resisting joint based on a new idea for glulam portal frame structures. WCTE. auckland.
- Scheibmair, F., Quenneville, P. 2010. Development of an expedient moment connection for large span portal frames in LVL or Glulam. Boca Raton; Crc Press 21: 927-932.
- Shim, K.B., Hwang, K., Park, J.S., Park, M.J. 2010. Shear performance of hybrid post and beam wall system infilled with structural insulation panel (SIP). *Journal of the Korean Wood Science & Technology* 38(5): 405-413.
- Song, J.M., Park, H.K. 2008. The structure analysis of the fist connection resistance performance for traditional wooden structural system improvement. *Journal of the architectural institute of Korea: Structure & construction* 24(6): 3-10.
- Song, Y.J., Hong, S.I. 2017. Strength performance evaluation of moment resistance for cylindrical-lvl column using gfrp reinforced wooden pin. *Wood research* 62(3): 417-426.