

GFRP 보강적층판 및 GFRP rod를 이용한 낙엽송 집성재 문형라멘 구조의 수평가력 성능평가¹

정 흥 주² · 송 요 진² · 이 인 환² · 홍 순 일^{2,†}

Lateral Load Performance Evaluation of Larch Glulam Portal Frames Using GFRP-Reinforced Laminated Plate and GFRP Rod¹

Hong-Ju Jung² · Yo-Jin Song² · In-Hwan Lee² · Soon-Il Hong^{2,†}

요 약

구조용 집성재 라멘 접합부에 일반적으로 사용되는 접합철물을 대신하여 단판과 Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP)를 복합시킨 GFRP 보강적층판과 삽입 접착형 GFRP rod를 접합물로 사용하여 낙엽송 집성재 문형라멘 구조의 수평가력 성능평가를 실시하였다.

실험결과 GFRP rod와 에폭시 접착제를 이용한 삽입 접착형 접합부는 기존의 접합철물을 이용한 실험체와 비교하여 항복내력, 종국내력, 초기강성이 각각 49%, 52%, 61% 낮게 측정되었다. 이러한 접합부는 GFRP rod와 집성재 간의 접착력이 중요한 내력 기구로 현장적용 시 문제가 발생할 수 있는 가능성이 크다고 판단된다. 반면, GFRP 보강적층판과 목재(*Eucalyptus marginata*)편을 이용한 실험체는 집성재 슬릿 접합부의 단면적 손실이 크에도 불구하고 항복내력, 종국내력, 초기강성, 소성률이 전부 3% 이내로 측정되었다. 게다가 사이클에 대한 강성변화율도 35%로 가장 낮게 측정되며 접합철물을 이용한 실험체와 거의 동등한 성능을 발휘한 것을 확인하였다.

ABSTRACT

The evaluation of the lateral load performance for larch glulam portal frames was carried out using glass fiber reinforced plastic (GFRP) as connector in two different systems: the GFRP-reinforced laminated plates combined with veneer, and GFRP rod joints glued with epoxy resins to replace usual metal connectors for the structural glulam rahmen joints.

As a result the yield strength, ultimate strength, initial stiffness of glulams of GFRP rod joints glued with epoxy resin decreased to 49%, 52% and 61% compared to those of the conventional metal connector. This connector will be a stress device where the bonding strength between the GFRP rod and glued laminated timber is important. Thus, there will be a high possibility that a problem may occur when it is applied to the field. On the other hand, the GFRP-

¹ Date Received September 23, 2015, Date Accepted October 30, 2015

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

[†] 교신저자(Corresponding author): 홍순일(e-mail: hongsi@kangwon.ac.kr)

reinforced laminated plates and wood (*Eucalyptus marginata*) pin were measured all within 3% for all measurements of the yield strength, ultimate strength, initial strength and ductility factor, regardless of high cross sectional loss on the glued laminated timber slit joint. In addition, the variation of stiffness on the cycle was 35%, which was the lowest, confirming that it was almost the same performance as the specimen prepared with the metal connector.

Keywords : timber portal frame, structural glulam, joints, glass fiber reinforced plastic, lateral resisting performance

1. 서 론

최근 목조건축은 양적인 팽창과 더불어 설계의 다양성 및 규모의 확대 등의 여러 가지 요구가 증대되어 경골목조공법 이외의 구조공법을 필요로 하고 있다. 경골목조공법 이외의 다른 목조공법들은 보다 높은 기술 수준을 필요로 하고 있으며 특히 보와 기둥 같은 연결 부위의 설계와 시공에 신중한 주의가 요구된다. 목질라멘 구조는 기둥-기초 접합부와 기둥-보 접합부의 모멘트저항이 주된 내력 기구로 내력벽이 필요 없어 평면 계획의 변경 및 가변성이 양호하고 건축물의 장수명화를 추구할 수 있는 장점이 있다. 또한 목재가 노출되어 목재의 수려한 질감을 자연스럽게 표현할 수 있어 심미적인 요소를 부각시킬 수 있다. 하지만 현재 국내에서는 강판과 볼트 및 드리프트 핀에 의한 접합 시공이 주류를 이루고 있으며, 이러한 접합 방법은 금속철물의 부식과 미관상 부조화 문제 뿐 아니라 금속철물의 높은 강성으로 인해 목재 섬유방향으로 취성파괴가 주로 발생하여 접합내력을 저하시키는 문제점을 가지고 있다. 이러한 목재의 결점을 보완하기 위한 연구가 국내외에서 활발히 진행 중이며, 소재의 복합화, 구조물의 하이브리드화, 다양한 접합방식 등 여러 가지 시도들이 이루어지고 있다(Kim *et al.*, 2007; Madhoushi *et al.*, 2008; Naoyuki *et al.*, 2010; Beak *et al.*, 2010; Blaß *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2013).

유리섬유를 이용한 집성재 보강에 대한 연구로는 부재 전체를 보강하는 방법, 홈을 제작하여 유리섬유를 삽입 후 접착제로 함침 시키는 방법, 표면에 유리섬유를 부착시키는 방법 등이 대부분이다. 이러한 보강방법은 보강재가 상대적으로 많이 사용되거나 목재 표면을

오염시키게 되는데, 본 연구에서는 집성재 제조공정을 단순화 시키며 보강재를 경제적으로 사용하는 접합부 제작방법으로 GFRP 보강적층판과 GFRP rod를 이용한 접합부를 제안하였다. GFRP 보강적층판을 이용한 접합부는 기존의 슬릿 삽입형 강판과 드리프트 핀 접합부를 대체할 목적으로 GFRP 보강적층판과 비금속 dowels을 이용한 슬릿 삽입형 접합부로 제작하였다. 이러한 접합 방법은 구조물을 경량화 할 수 있으며, 집성재 슬릿 접합부에 같은 재질의 GFRP 보강적층판을 사용함으로써 접합부의 일체성, 현장 가공성 및 심미성을 증대시킬 것으로 생각된다. 또한 GFRP rod와 에폭시 접착제를 사용한 삽입 접착형 접합부는 접합물이 외부로 드러나지 않아 심미적 요소를 부각시킬 수 있으며, 내화성 및 내식성이 우수할 것으로 생각된다. 뿐만 아니라 기존의 강판 삽입형 철물 접합부가 섬유배향을 따라 끝 단면으로 파단되는 것과 달리 섬유배향에 영향을 적게 받을 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 집성재 기둥-보 접합부에 GFRP 보강적층판 및 삽입 접착형 GFRP rod의 적정 접합부 설계를 적용하여 기둥과 보 부재를 강접합한 일방향 구조시스템인 문형라멘 구조 접합부로서의 사용 가능성을 확인하였으며 문형라멘 구조의 수평가력 성능평가를 통해 각 접합부의 내력성능을 비교, 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 문형라멘 구조 접합부 설계 및 실험체 개요

실험에 사용된 집성재는 국내산 낙엽송(*Larix*

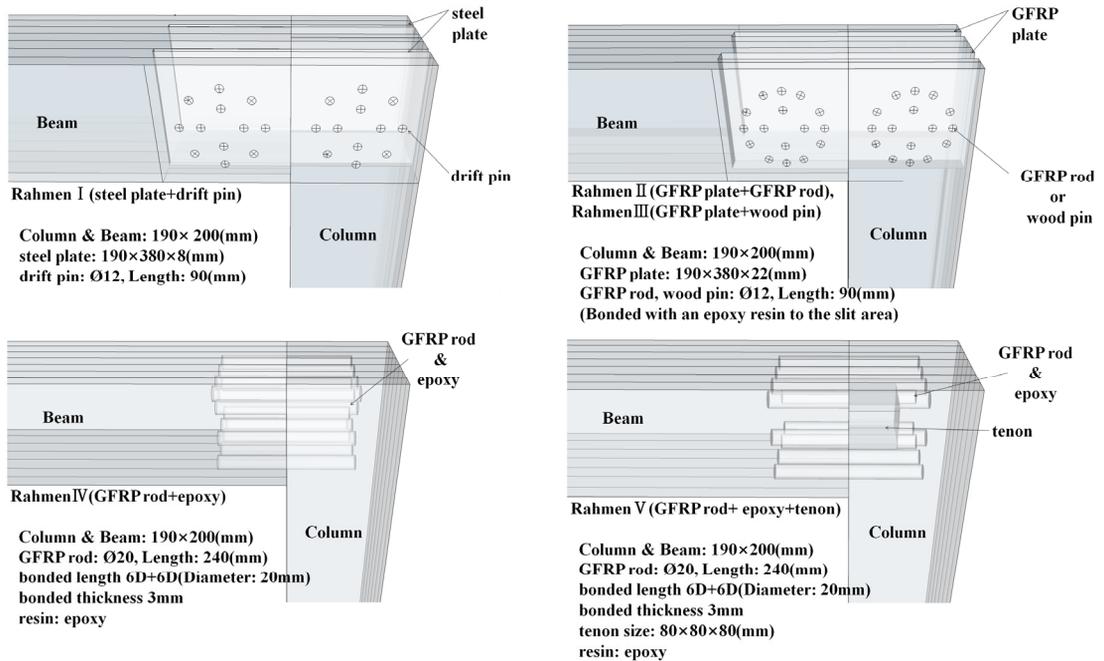


Fig. 1. Column-beam Joints details of each specimen.

kaemferi Carr.)으로 종진동의 고유 진동수를 이용한 휨 탄성계수로 등급 구분하였다. 모든 문형라멘 구조 실험체는 Hundegger 社の K2i 1259 프리컷 가공기계를 이용하여 가공하였으며, 보부재는 H: 190 × W: 200 × L: 2410 (mm), 기둥재는 H: 190 × W: 200 × L: 1800 (mm)이었다.

라멘 구조 실험체의 기둥-보 접합부는 슬릿 삽입형 접합부와 GFPR rod와 에폭시 접착제로 구성된 삽입 접착형 접합부로 접합구 종류와 접합방법을 달리하여 5 유형의 기둥-보 접합부를 제작하였다(Fig. 1).

Rahmen I 은 강판을 집성재 슬릿 부위에 삽입하여 드리프트 핀으로 접합한 실험체로 각 기둥-보 접합부에 2개의 강판과 드리프트 핀을 사용하여 양면에서 접합하였다. 이때 강판의 크기는 H: 190 × W: 380 × T: 8 (mm), 드리프트 핀의 직경 12 mm, 길이 90 mm이었다. Rahmen II 와 Rahmen III 은 GFRP 보강적층판을 집성재 부재의 슬릿 부위에 삽입하여 에폭시 수지로 접착 후 GFRP rod 또는 목재

(*Eucalyptus marginata*)핀을 이용하여 접합한 실험체로 각 기둥-보 접합부에 2개의 GFRP 보강적층판과 GFRP rod 또는 목재핀을 사용하여 양쪽면에서 접합하였다. 접합구 삽입 전 GFRP 보강적층판과 기둥-보 접합을 위해 에폭시 수지를 도포하여 기둥 접합부 슬릿에 접착한 후, 보부재 접합을 위해 클램프를 이용하여 기둥과 보를 완전히 밀착 접합하였다. 이때 GFRP 보강적층판의 크기는 H: 190 × W: 380 × T: 22 (mm), GFRP rod와 목재 핀의 직경 12 mm, 길이 90 mm이었다. Rahmen IV 는 직경 20 mm GFRP rod 와 에폭시 접착제를 사용하여 기둥과 보를 접합한 형태로 기둥재의 방사단면과 보부재의 횡단면에 접착층 두께 3 mm, 접착깊이 6D (120 mm)로 선공하고 GFRP rod를 삽입하였으며, 이때 GFRP rod에는 접착층 두께조절을 위한 Spacer를 부착하였다. 집성재 선공부와 GFRP rod의 간극에는 에폭시 접착제를 충전 시켰으며 보부재와 기둥재의 접합면 또한 에폭시 접착제를 도포하여 클램프를 이용해서 완전히 밀

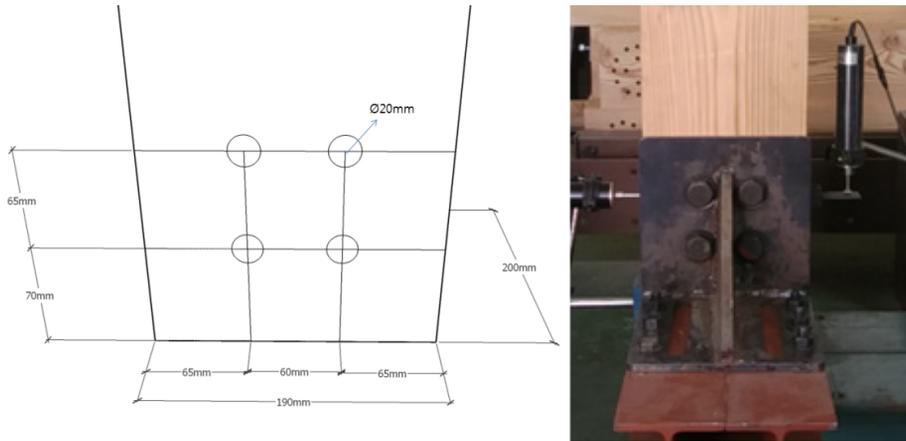


Fig. 2 Column-base joints detail.

착 접합하였다. Rahmen V는 Rahmen IV 실험체에서 장부 맞춤을 더한 실험체로 보부재 횡단면에 가로, 세로, 두께 80 mm의 숫장부를, 기동재의 접선단면에 같은 크기의 장부 구멍을 파내어 접합하였다.

2.2. 문형라멘 구조 실험체 반복 수평 가력 시험방법

문형라멘 구조 실험체의 기동-기초부 설계는 기동-보 접합부의 비교를 위해 모든 실험체가 동일하게 두께 10 mm 브라켓과 직경 20 mm 볼트로 고정하였다(Fig. 2). 시험방법은 변형각이 $\pm 1/450$, $\pm 1/300$, $\pm 1/200$, $\pm 1/150$, $\pm 1/100$, $\pm 1/75$, $\pm 1/50$ rad 순으로 정부 가력을 1회 실시 후 정방향으로 수평가력하여 최대하중의 80%까지 저하될 때까지 하중을 가력하거나, 라멘구조 변형각이 $1/15$ rad을 초과할 때까지 수평 가력을 실시하여 시험을 종료하였다. 변위 측정은 Fig. 3과 같이 H1은 상부의 수평변위(중국가력 방향을 정), H2는 기동 기초부의 수평변위(중국가력 방향을 정), H3는 로드셀 설치 부위의 기동 기초부 수평변위, H4, H5는 기동 기초부의 연직 변위를 측정하였다. 변형각은 $(H1\text{변위} - H2\text{변위}) / (H1, H2\text{간의 거리: } 1605 \text{ mm})$ 로 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수평하중-변형각 및 파괴형상

Fig. 4에 각 실험체의 수평하중-변형각 곡선을 나타내었다. 강판을 집성재 부재의 슬릿 부위에 삽입하여 드리프트 핀으로 접합한 문형라멘 구조(Rahmen I)의 최대내력은 34.01 kN, 최대내력 시 변형각은 0.055 rad이었다. 사이클이 종료되는 변형각 $1/50$ rad 범위까지는 거의 탄성에 가까운 거동을 보이고, $1/20$ rad부근에서 보부재의 접합부 부분에 할렬이 발생하였다. 이후 기동부재와 보부재의 접합면에 이격이 생기면서 드리프트 핀에 의한 압입이 발생하였고, 최대내력에 도달한 후 기동재와 보부재의 끝단면으로 취성파괴가 발생하며 내력이 저하되었다. GFRP 보강적층판을 집성재 부재의 슬릿 부위에 삽입하여 에폭시 수지로 접착 후 GFRP rod로 접합한 문형라멘 구조(Rahmen II)의 최대내력은 29.01 kN, 최대내력 시 변형각은 0.064 rad이었다. Rahmen I 과 같이 변형각 $1/50$ rad 범위까지는 탄성에 가까운 거동을 보였고, Rahmen I 과 비교하여 기동과 보부재 접합면에 거의 이격이 발생하지 않고 기동과 보가 같은 거동을 보이는 것이 관찰되었다. 시험이 종료되는 $1/15$ rad부근까지 하중이 증가하였으며, 최대내력 이후 기동재

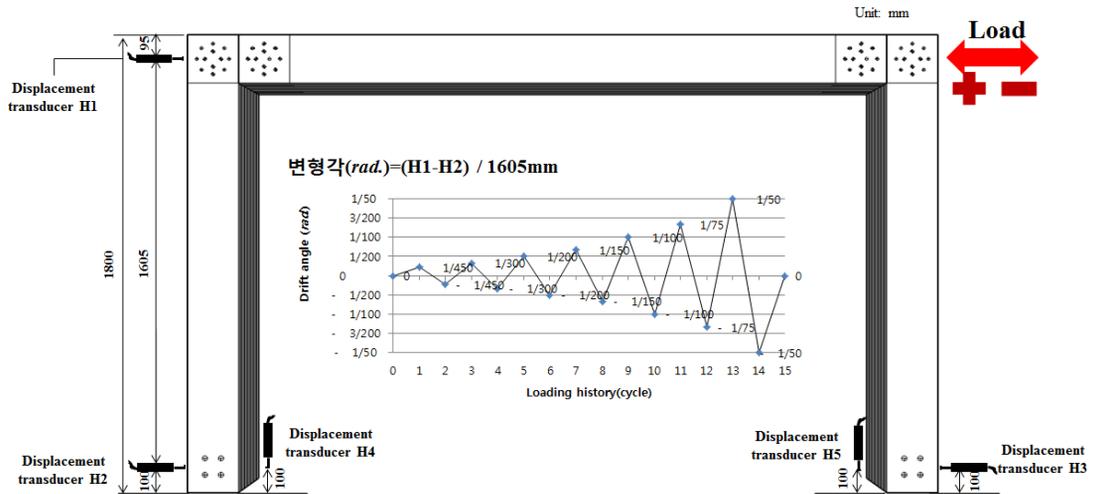


Fig. 3. Test set-up for rahmen structure on laterally cyclic loading.

의 끝단면으로 취성 파괴가 발생하였다. 또한 GFRP 보강적층판의 파괴는 관찰되지 않았으며, 가력부위의 접합부 슬릿 내에서 접착면이 떨어지면서 회전되는 형상을 보였다. GFRP 보강적층판을 집성재 부재의 슬릿 부위에 삽입하여 에폭시 수지로 접착 후 목재 핀으로 접합한 문형라멘 구조(Rahmen III)

의 최대내력은 29.11 kN, 최대내력 시 변형각은 0.075 rad이었다. 변형각 1/50 rad 범위까지는 탄성에 가까운 거동을 보였다. 하중-변형각 곡선의 기울기가 Rahmen II에 비해 높게 측정된 이유는 GFRP 보강적층판과 접합부 슬릿 내의 접착력에 의한 것이라고 판단된다. 파괴형상은 Rahmen I, Rahmen II와

Table 1. Evaluation results of the rahmen structure

properties \ specimen	Rahmen I	Rahmen II	Rahmen III	Rahmen IV	Rahmen V
P_y (kN)	16.33	15.01	15.89	8.37	8.37
γ_y (rad)	0.0175	0.0205	0.0174	0.0246	0.0216
K (kN/rad)	935.7	730.5	916.0	339.5	387.3
P_u (kN)	28.59	26.00	27.96	13.64	14.08
γ_u (rad)	0.0666	0.0666	0.0666	0.0666	0.0666
γ_v (rad)	0.0312	0.0349	0.0302	0.0397	0.0365
μ	2.12	1.89	2.18	1.66	1.81

달리 접합구에 의한 압입과 기동재, 보부재의 끝단 면으로 파괴는 관찰되지 않았고, GFRP 보강적층판이 접착되어있던 보부재와 떨어지면서 파단이 발생하였다. GFRP rod로 접합한 접착형 접합 문형라멘 구조(Rahmen IV)의 최대내력은 15.80 kN, 최대내력 시 변형각은 0.076 rad이었다. 1/75 rad 범위까지는 거의 탄성에 가까운 거동을 보이고, 1/50 rad부터는 기동재와 보부재의 접합면이 떨어지면서 강성이 떨어지는 경향을 보였다. 시험이 종료되는 1/15 rad를 초과할 때까지 하중이 증가하였으며, 이후 삽입되어 있던 GFRP rod가 인발되면서 기동재 선공부내에 전단력이 발생하였고, 기동재 끝단면으로 할렬이 발생하였다. 기동-보 부재 장부 맞춤과 GFRP rod로 접착 접합한 문형라멘 구조(Rahmen V)의 최대내력은 16.21 kN, 최대내력 시 변형각은 0.077 rad이었다. Rahmen IV와 같이 1/75 rad 범위까지는 거의 탄성에 가까운 거동을 보이고, 1/50 rad부터는 기동재와 보부재의 접합면이 떨어지면서 강성이 떨어지는 경향을 보였다. 시험이 종료되는 1/15 rad를 초과할 때까지 하중이 증가하였으며, 최대내력 이후 삽입되어 있던 GFRP rod가 인발되었다. 또한 장부맞춤에 의해 Rahmen IV 보다 GFRP rod의 인발 정도가 적었으며, 보부재의 숫장부에 의해 기동재 끝단면으로 취성파괴가 발생하였다.

3.2. 라멘 실험체의 특성치 산정

수평하중과 변형각으로부터 완전탄소성 분석(Beak *et al.*, 2010)을 행하여 P_y (항복내력), γ_y (항복변형각), P_u (중국내력), γ_u (중국변형각), K (초기강성), μ (소성률), γ_v (완전탄소성 모델의 항복점 변형각)을 산정을 다음과 같이 수행하였으며, 평가한 실험결과를 Table 1에 나타내었다.

1. 포락선상의 $0.1P_{\max}$ 와 $0.4P_{\max}$ 를 잇는 제 I 직선을 그린다.
2. 포락선상의 $0.4P_{\max}$ 와 $0.9P_{\max}$ 를 잇는 제 II 직선을 그린다.
3. 포락선에 접하도록 제 II 직선을 평행이동하고 이것을 제 III 직선이라고 한다.
4. 제 I 직선과 제 III 직선의 교점 하중을 P_y 로 하고, 이점에서 X축에 평행한 제 IV 직선을 그린다.
5. 제 IV 직선과 포락선의 교점 변형각을 γ_y 라고 한다.
6. 원점과 (γ_y, P_y) 를 잇는 직선을 제 V 직선이라고 하고, 이 직선의 기울기를 K 라고 한다.
7. P_{\max} 이후 $0.8P_{\max}$ 로 저하한 포락선상의 변형각을 γ_u 라고 한다.
8. 포락선과 X축, $\chi = \gamma_u$ 직선으로 둘러싸인 면적을 S라고 한다.
9. 제 V 직선과 $\chi = \gamma_u$ 직선, X축 및 X축에 평행

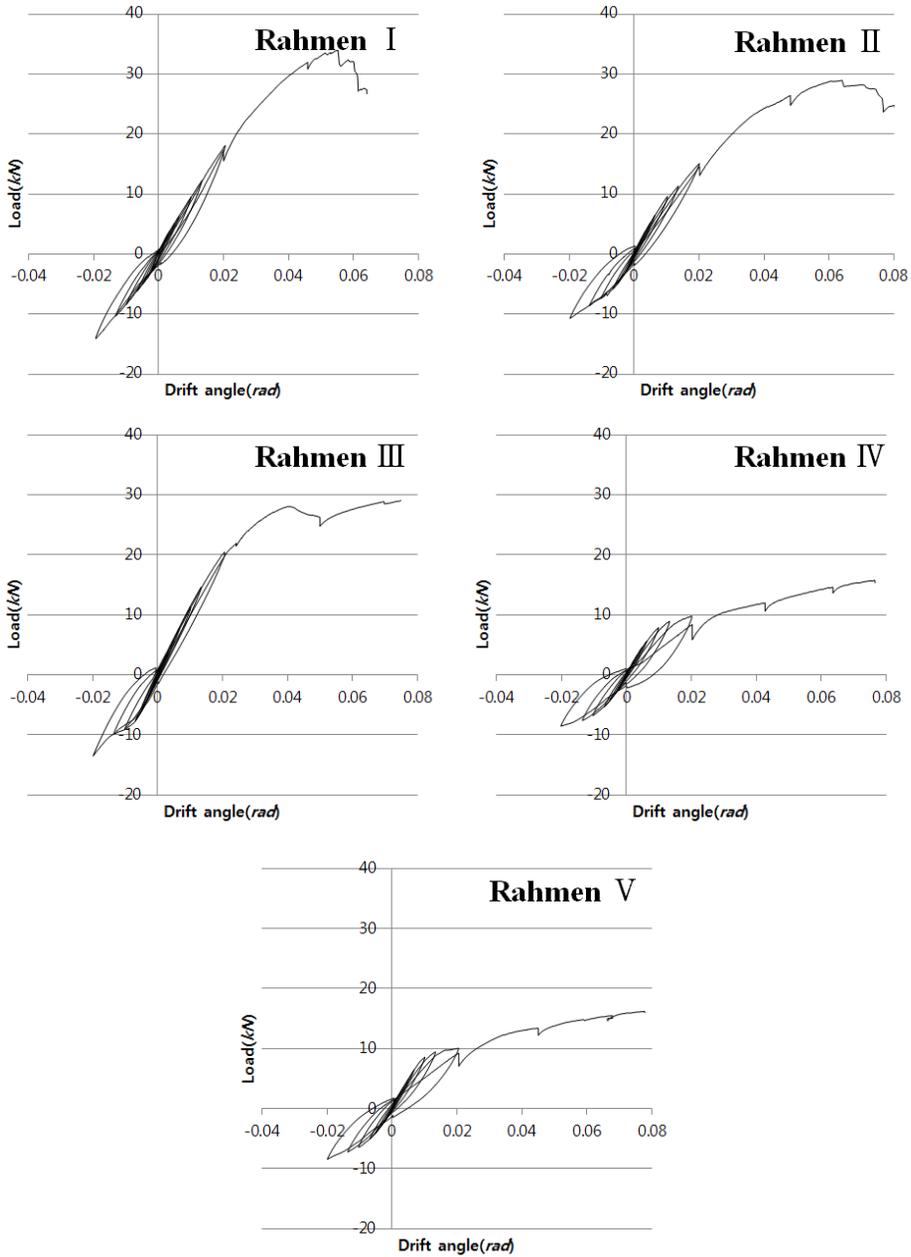


Fig. 4. Lateral load-drift angle curves.

한 직선으로 둘러싸인 면적이 S와 같아지도록 X축에 평행한 제VI 직선을 그린다.

10. 제 V 직선과 제VI 직선의 교점 하중을 완전탄소

성 모델의 P_u 라 하고, 그때의 변형각을 γ_v 라 한다.

11. $\mu = (\gamma_u / \gamma_v)$

Table 2. Load value at predetermined drift angle

specimen drift angle (rad)	Rahmen I		Rahmen II		Rahmen III		Rahmen IV		Rahmen V	
	Positive (+) (kN)	Negative (-) (kN)								
± 1/450	2.78	2.90	2.70	2.57	2.86	2.92	2.31	2.14	2.33	2.12
± 1/300	3.78	3.92	3.80	3.59	3.98	4.21	3.35	3.12	3.49	2.94
± 1/200	5.21	5.02	5.35	4.94	5.55	5.94	4.65	4.21	5.04	4.10
± 1/150	6.35	6.15	6.55	5.80	7.80	7.55	5.66	5.31	6.51	5.10
± 1/100	9.56	8.41	9.64	7.35	11.25	9.00	7.82	6.76	8.58	6.41
± 1/75	12.33	10.31	11.39	8.57	14.50	9.78	8.96	7.55	9.41	7.13
± 1/50	18.13	14.05	15.15	10.60	20.35	13.31	9.74	8.53	10.07	8.43

Rahmen I 실험체의 실험결과 항복내력 16.33 kN, 종국내력 28.59 kN, 초기강성 935.7 kN/rad, 소성률 2.12 등이 산출되었으며, 다른 실험체들과 비교하여 가장 높은 값이 측정되었다. Rahmen II는 Rahmen I 과 비교하여 항복내력, 종국내력이 8%, 9% 낮지만 비슷한 내력 값이 측정되었다. 하지만 초기강성은 22% 낮게 측정되었는데 이는 Rahmen I 의 슬릿 두께 보다 Rahmen II 의 슬릿 두께가 3배 이상 늘어나면서 집성재의 단면적이 줄어 핀의 지압면적이 줄었기 때문이며, GFRP rod의 강성이 드리프트 핀에 비해 낮기 때문이라고 판단된다. Rahmen III은 Rahmen I 과 가장 근사한 내력 값이 측정되었으며, Rahmen II와 비교하였을 때 항복내력 6%, 종국내력 8%, 초기강성 25% 높게 측정되었다. 이는 기동재의 끝단면으로 취성파괴가 발생한 Rahmen II와 달리 GFRP 보강적층판이 접착되어있던 보부재와 떨어지면서 파괴된 점에서 집성재와 같은 목질재료의 접합부재를 사용하여 일체화시킴으로서 접합내력이 상승됨을 확인하였다. Rahmen IV은 항복내력 8.37 kN, 종국내력 13.64 kN, 초기강성 339.5 kN/rad으로 Rahmen I 과 비교하여 각각 49%, 52%, 63% 낮게 측정되었다. 이 접합은 GFRP rod와 집성재 간의 접착력이 가장 중요한 내력 기구로 기존의 접합방식보다 절반정도의 성능을 보인 점에서 다른 방법의 보강이 필요할 것으로 생각된다. Rahmen V는 항복내력 8.37 kN, 종국내력 14.08 kN, 초기강성 387.3 kN/rad으로 Rahmen IV와 비교하여 각각 0%, 3%, 14% 높게 측

정되었다. 항복내력과, 종국내력 값의 차이는 크지 않았으나 초기강성이 높게 측정된 이유는 장부 맞춤에 의한 것이라 판단된다. 접착제에 의한 기동 보 접합은 낮은 내력, 작업성 측면에서 보강 방법과 접합 방법에 있어 개선 방안이 요구된다.

3.3. 강성 변화율

Table 2는 소정의 변형각에서의 하중 값을 나타낸 것이다. 평균적으로 실험체 모두 정(+) 방향에서의 하중 값이 높게 측정되었다. 이는 정(+) 방향으로 하중을 우선적으로 가하였기 때문이다. Fig. 5는 각 사이클(± 1/450, ± 1/300, ± 1/200, ± 1/150, ± 1/100, ± 1/75, ± 1/50 rad)에 대한 강성변화율을 나타낸 것으로 강성은 각 사이클에서의 수평하중(kN)을 목표 변형각(rad)으로 나눈 값으로 정의하였다. 모든 실험체의 강성은 변형각이 커질수록 감소하였다.

Rahmen I 실험체 ± 1/50 rad에서의 강성은 804.5 kN/rad으로 ± 1/450 rad에서의 강성 1278.0 kN/rad에 비해 63%의 강성을 나타내었다. Rahmen II 실험체 ± 1/50 rad에서의 강성은 643.8 kN/rad으로 ± 1/450 rad에서의 강성 1185.0 kN/rad에 비해 54%의 강성을 나타내었다. Rahmen III 실험체 ± 1/50 rad에서의 강성은 841.5 kN/rad으로 ± 1/450 rad에서의 강성 1300.5 kN/rad에 비해 65%의 강성을 나타내었다. Rahmen IV 실험체 ± 1/50 rad에서의 강성은 456.8 kN/rad으로 ± 1/450 rad에서의 강성 1001.3 kN/rad에

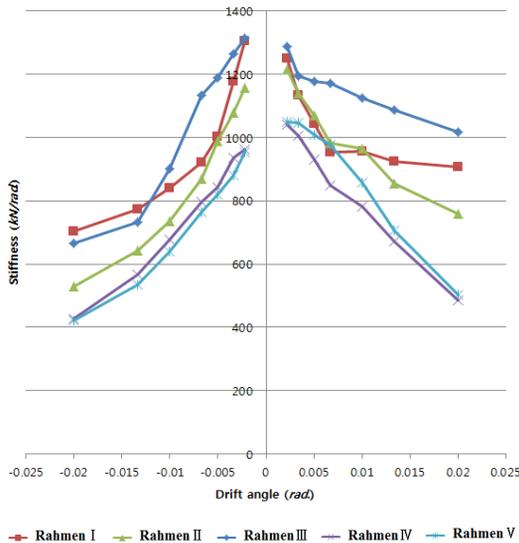


Fig. 5. Stiffness variation according to the drift angle.

비해 46%의 강성을 나타내었다. Rahmen V 실험체 $\pm 1/50$ rad에서의 강성은 462.5 kN/rad으로 $\pm 1/450$ rad에서의 강성 1001.3 kN/rad에 비해 46%의 강성을 나타내었다. 강성변화율은 Rahmen IV, V가 54%, Rahmen II 46%, Rahmen I 37%, Rahmen III 35% 순으로 Rahmen III의 강성변화율이 가장 낮았다.

4. 결 론

본 연구에서는 수평하중 하에서 기둥 보 부재의 접합 방식에 따른 일방향 낙엽송 집성재 문형라멘 구조의 성능을 평가하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) GFRP 보강적층판을 이용한 낙엽송 집성재의 기둥-보 접합부는 강판보다 약 3배 정도 두껍기 때문에 슬릿형 접합부의 경우 부재의 손실을 단점으로 예상했으나 단면적 손실이 크에도 불구하고 슬릿부에 GFRP 보강적층판의 접착과 압착이 이루어짐으로써 금속철물을 이용한 접합부와 동등한 성능을 발휘하였다. 이는 부재의 일체화가 이뤄졌음을 보여 주며, 특히 GFRP

rod핀 보다 목재 핀을 사용함으로써 접합구의 압입에 의한 파괴를 억제할 수 있었던 것으로 판단된다. 추후 GFRP 보강적층판을 사용한 집성재 부재의 외측보강 및 정밀한 접착공정을 통한 부재의 일체화가 이루어질 수 있다면 접합능력이 더욱 증가될 것으로 생각된다.

- 2) GFRP rod로 접합한 접착형 접합 문형라멘 구조 (Rahmen IV)와 기둥 보 부재 장부 맞춤과 GFRP rod로 접착 접합한 문형라멘 구조(Rahmen V)의 항복, 중국내력, 초기강성이 Rahmen I 과 비교하여 약 49, 52, 61% 낮게 측정되었다. GFRP rod를 이용한 접합부는 GFRP rod와 집성재 간의 접착력이 중요한 내력 기구로 현장적용 시 문제가 발생할 수 있는 가능성이 크다고 판단된다. 정확한 접착을 위한 목재의 품질관리와 정밀한 접착공정이 요구된다. 또한 실용화를 위해서는 접착공정 뿐 아니라 이에 대한 추가적인 보강 방법 고안이 필요할 것으로 생각된다.

사 사

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

REFERENCES

- Beak, H.S., Iimura, Y., Imai F. 2010. Experimental Study on the Cyclic Behavior of Moment-Resisting Timber Frames Connected by Threaded Steel Shaft and Drift Pin. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction 26(12): 11-18.
- Blaß, H.J., Schädle, P. 2011. Ductility aspects of reinforced and non-reinforced timber joints. Engineering Structures 33(11): 3018-3026.
- Hwang, K.H., Park, J.S., & Park, M.J. 2007. Shear Performance of Post and Beam Construction by Pre-Cut Process. Journal of the Korean Wood

- Science and Technology 35(6): 1-12.
- Kasal, B., Heiduschke, A., Kadla, J., Haller, P. 2004. Laminated timber frames with composite fibre-reinforced connections. *Progress in Structural Engineering and Materials* 6(2): 84-93.
- Kasal, B., Pospisil, S., Jirovsky, I., Heiduschke, A., Drdacky, M., Haller, P. 2004. Seismic performance of laminated timber frames with fiber-reinforced joints. *Earthquake engineering & structural dynamics* 33(5): 633-646.
- Kim, S.C., Yang, I.S., Moon, Y.J. 2007. Experimental Study on the Behavior of Joints Consisting Structural Laminated Timber and H Section Steel under Cyclic Loading. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction* 23(2): 27-34.
- Kim, K.H., Song, Y.J., Hong, S.I. 2013. Shear Strength of Reinforced Glulam-bolt Connection by Glass Fiber Combination. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 41(1): 51-57.
- 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 and Technology* 43(1): 60-67.
- 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: Engineering* 39(2): 249-257.
- Naoyuki, I., Wataru, K., Benitez, G.A. 2010. The development of the rigid frame wooden house structure jointed with glued-in hardwood dowels. In 11th World Conference on Timber Engineering 2010 Conference Proceedings Vol. 1, No. S 40.
- Pedersen, M. 2002. Dowel type timber connection. PhD Thesis, Technical University of Denmark.
- Santos, C.L., de Jesus, A.M., Morais, J.J., Fontoura, B.F. 2013. An experimental comparison of strengthening solutions for dowel-type wood connections. *Construction and Building Materials* 46: 114-127.