

강절형 목질접합부의 모멘트저항성능 평가¹

이 인 환² · 송 요 진² · 홍 순 일^{2,†}

Evaluation of Moment Resistance of Rigid Frame with Glued Joint¹

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

요 약

본 연구에서는 접합부가 접착제로 일체화된 강절형 기둥-보 접합 시험편과 슬릿 가공한 보부재에 기둥부재와 일체화된 목질접합물을 삽입하고 핀으로 접합한 시험편을 제작하여 모멘트 저항성능을 검토하였다. 목질접합물은 GFRP로 보강한 적층판을 제작하여 사용하였다. 슬릿 가공된 보부재에 GFRP보강적층판을 삽입하고 핀으로 접합된 기둥-보 시험편들은 완전탄소성 모델 분석으로 산출된 특성치들이 대조군인 강판삽입형 기둥-보 시험편보다 20~80% 낮게 측정되었다. 기둥부재와 보부재가 접착제로 일체화된 강절형 기둥-보 시험편은 초기잔류변형이 거의 관찰되지 않았으며, 강판 삽입형 접합부보다 38% 향상된 초기강성과 41% 향상된 소성률이 측정되었다.

ABSTRACT

In this study, specimens of rigid frame joint were produced by integrating joints with adhesive and other specimens were produced by inserting a wooden gusset integrated with a column member into a slit-processed beam member and joining them with pins. Then the moment resistance performances of the specimens were examined. For the wooden gusset, a GFRP-reinforced wooden gusset was used. The calculation results of perfect elasto-plasticity for the frame specimens for which a GFRP-reinforced wooden gusset was inserted into and joined with the slit-processed beam member by pins were 20-80% lower compared to the control group which consisted of steel plate-inserted frame specimens. The rigid frame specimens for which the column and beam members have been integrated with adhesive showed almost no initial residual transformations, as well as 38% greater initial rigidity and 41% greater plasticity compared to the steel plate-inserted joint.

Keywords : glass fiber reinforced plastics, moment, perfect elasto-plasticity, rigid frame joint, wooden gusset, slit-processed

¹ Date Received October 19, 2016, Date Accepted November 8, 2016

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)

1. 서 론

기둥-보 구조는 접합부에 많은 응력이 집중되기 때문에 모멘트저항 성능이 중요한 요소로 작용한다. 전통 목구조물에 사용되는 접합부는 장부맞춤 및 이음 접합으로 구조체를 형성하여 목재의 지압에 의한 구조내력을 발휘하도록 설계되었기 때문에 변형성능과 에너지 흡수율이 우수한 특징이 있다. 하지만 장부맞춤 및 이음 접합방식은 가공의 정밀함이 요구될 뿐만 아니라 부재 간 접촉력이 접합철물 보다 저하되기 때문에 이음부의 구속력이 감소되어 접합부의 강성을 기대하기 어렵고 구조적 안정성 예측이 불분명하다(Song and Park, 2008).

현대 목구조물의 접합형식은 강판삽입형(Inserted plate type), 강판측재형(Side plate type), 장부맞춤(Dovetail) 등의 반강절(Semi-rigid) 접합부가 일반적으로 사용된다. 반강절 접합부들은 잔류 변형 및 초기 미끄러짐 현상이 발생하고 구조해석 및 설계과정이 복잡하다. 강절점(Fully rigid joint) 접합부들은 구조해석 및 설계과정이 간소화되고, 강절점으로 가정하에 수행된 구조해석 결과는 실제 구조물의 거동과 거의 일치하여 효율적인 설계가 가능하다(Cho *et al.*, 2015). 그러나 강절 집성재 접합부의 제작방법이나 성능에 관한 데이터가 미비하여 기초연구가 필요하다.

본 연구에서는 강판 대용인 보강목질적층판을 제작하여 접합물로 사용하였다. 기둥부재와 보강목질적층판은 접착제로 일체화하여 강절형으로 제작하였다. 보부재와 기둥부재의 결합은 블록집성재 제조공법(Frank and Dominik, 2012 & Lee and Hong, 2016)으로 일체화하거나 슬릿 가공된 보부재에 보강목질적층판을 삽입하고 유리섬유강화플라스틱(Glass Fiber Reinforced Plastics 이하 GFRP) 필 또는 목재 필로 접합된 형상으로 3종류를 제작하였다. 제작된 기둥-보 시험편은 목질 접합부에 대중적으로 사용되는 강판 삽입형 접합부 시험편과 모멘트저항 성능을 비교분석하였다.

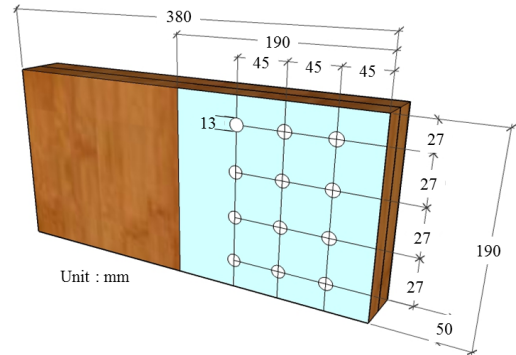


Fig. 1. Shape of GFRP reinforced wooden gusset.

2. 재료 및 방법

2.1. 모멘트저항 시험편

모멘트저항 시험편은 190 × 150 × 1000 mm의 낙엽송(*Larix kaemferi* Carr.) 기둥부재와 190 × 150 × 1100 mm의 보부재를 접합 및 접착한 외팔보 형태이다. 기둥부재와 보부재는 각기 다른 4가지 형상으로 제작 및 접합하였다. GFRP보강적층판(Jung *et al.*, 2015)은 낙엽송재 사이와 외각면 절반에 GFRP를 접착한 형상이다(Fig. 1). 목재와 목재 간에는 PRF (Phenol Resorcinol Formaldehyde) 접착제를 사용하였으며 목재와 GFRP 사이에는 초산비닐(Polyvinyl acetate) 접착제를 사용하였다(Park *et al.*, 2009).

2.2. 모멘트저항 시험편 제작

- 1) Control 시험편은 강판과 드리프트 필로 기둥과 보를 접합한 형태이다. 집성재에 직경 13 mm의 구멍을 가공한 후 9 mm의 슬릿가공을 하였다. 강판의 두께와 길이는 8 mm, 380 mm 이었고 드리프트 필은 직경 13 mm 길이 150 mm이었다. 집성재의 슬릿가공 부위에 강판을 삽입한 후 드리프트 필로 접합하였다(Fig. 2).
- 2) Type-A 시험편은 일체화된 강절형 시험편으로 2층 3층으로 가공한 기둥부재와 보부재를 적층판과 일체화할 수도 있지만, 제작의 편리를 위

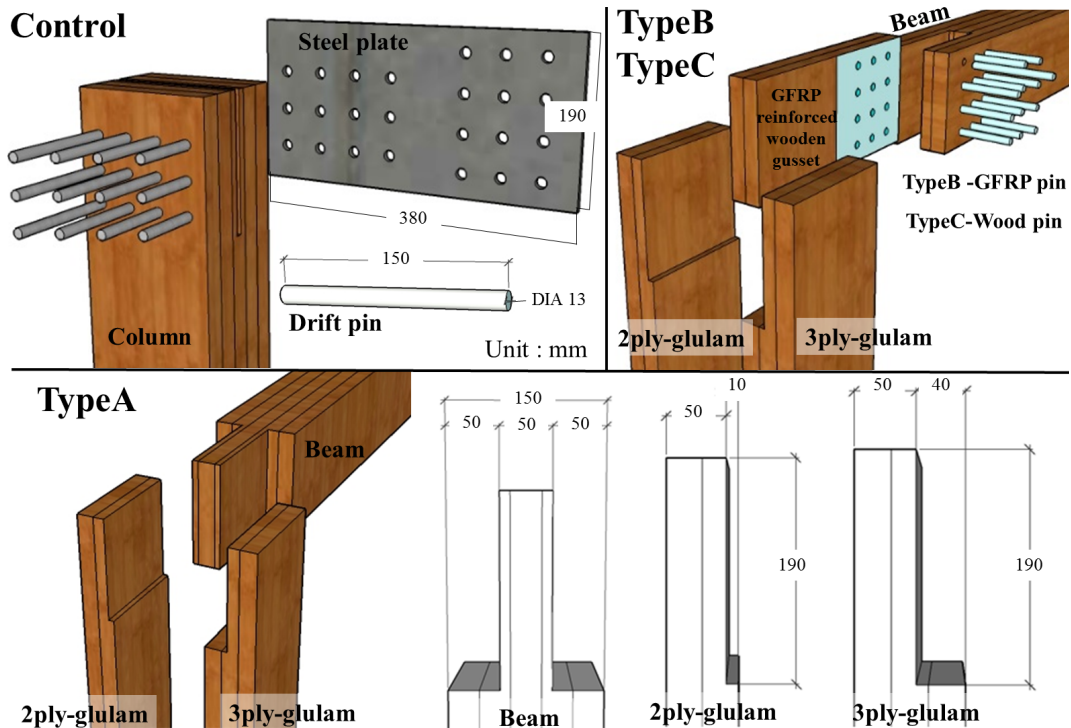


Fig. 2. Shape of moment resistance specimen.

하여 보부재는 숫장부를 가공하였다. 기둥부재는 2층 집성재와 3층 집성재로 구분하여 제작하였다. 이때 숫장부의 두께는 50 mm 길이는 190 mm이었다. 2층 집성재의 접착부위는 횡단면에서 길이 190 mm, 두께 10 mm로 제작하였으며, 3층 집성재의 접착부위는 길이 190 mm 두께 40 mm로 가공하였다(Fig. 2). 제작된 보부재 숫장부의 양면과 기둥부재에 PRF (Phenol-Resoecinol Formaldehyde) 접착제를 500 g/m² 도포한 후 압체압력 1 MPa로 24시간 상온 경화하였다.

- 3) Type-B 시험편의 보부재는 두께 50 mm 깊이 190 mm의 슬릿을 가공하였다. 기둥부재는 PRF접착제로 GFRP보강적층판의 목질부와 일체화된 형상이다. 보부재의 슬릿부위에 기둥부재에 노출된 GFRP보강적층판을 삽입하고 봉형 GFRP로 접합하였다(Fig. 2).

- 4) Type-C 시험편은 Type-B시험편과 제작방법이 동일하나, 기둥부재와 보부재의 접합은 낙엽송 핀을 사용하여 접합하였다.

2.3. 모멘트저항 시험 방법

제작된 시험편은 접합부의 회전이 자유롭도록 보부재를 자유단으로 설치한 뒤 기둥부재를 H빔과 고정하였다. 변형은 Fig. 3과 같이 변위계를 설치하여 측정하였다. 시험방법은 Fig. 4와 같이 변형각 $\pm 1/450, \pm 1/300, \pm 1/200, \pm 1/150, \pm 1/100, \pm 1/75, \pm 1/50$ rad.이 되도록 정부 가력 1회 실시 후 정방향으로 최대하중의 80% 또는 변형각이 1/15 rad.을 초과할 때까지 실시하였다(Jung *et al.*, 2016).

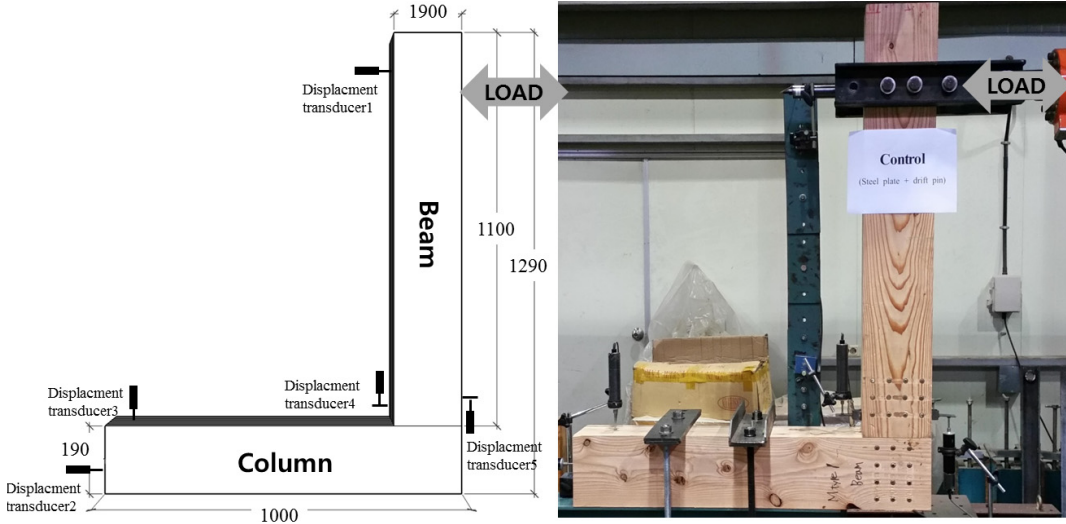


Fig. 3. Test set-up for moment resistance performance test.

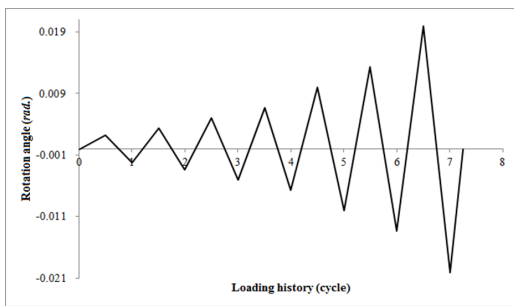


Fig. 4. Loading cycle history of moment resistance performance test.

2.4. 완전탄소성 모델에 의한 항복내력, 종국 내력 등의 산정방법

접합부의 내력성능평가는 완전탄소성분석을 하여 M_{max} (최대모멘트), θ_{max} (최대회전각), M_y (항복모멘트), θ_y (항복회전각), M_u (종국모멘트), θ_u (종국회전각), θ_v (완전탄소성 모델의 항복점 회전각), μ (소성률)과 같은 특성치를 Fig. 5와 같이 산정하였다 (Baek *et. al.*, 2010).

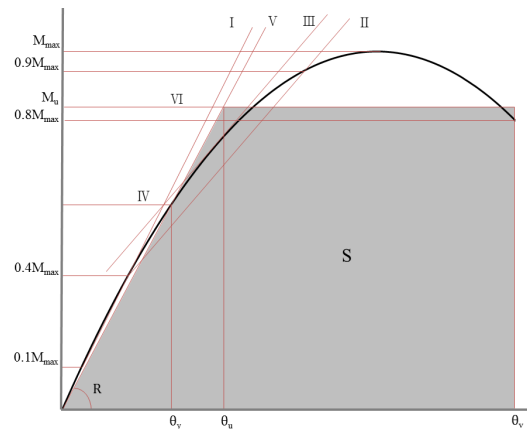


Fig. 5. Estimation method for the yield moment, ultimate moment etc.

1. 포락선상의 $0.1M_{max}$ 와 $0.4M_{max}$ 를 잇는 제 I 직선을 그린다.
2. 포락선상의 $0.4M_{max}$ 와 $0.9M_{max}$ 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 M_y 로 하고,

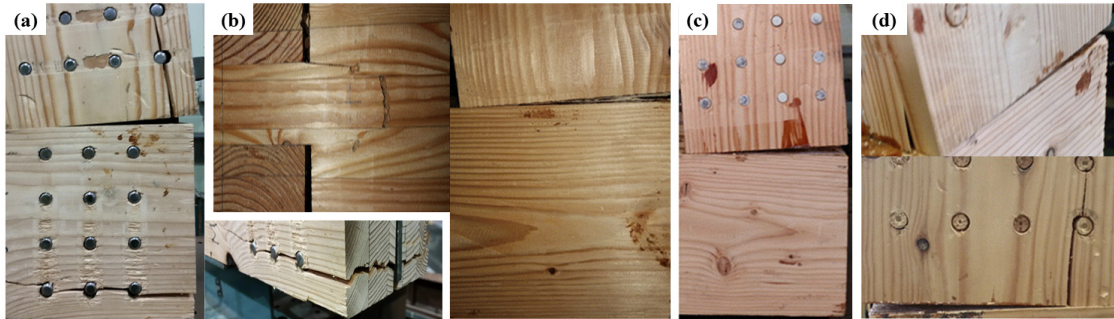


Fig. 7. Failure mode of moment resistance joint specimens after tests.

- 이점에서 X축에 평행한 제Ⅳ 직선을 그린다.
5. 제Ⅳ 직선과 포락선의 교점 변형각을 θ_y 라고 한다.
6. 원점과 (θ_y, M_y) 를 잇는 직선을 제Ⅴ 직선이라고 하고, 이 직선의 기울기를 R 라고 한다.
7. M_{max} 이후 $0.8M_{max}$ 로 저하한 포락선상의 변형각을 θ_u 라고 한다.
8. 포락선과 X축, θ_u 직선으로 둘러싸인 면적을 S 라고 한다.
9. 제Ⅴ 직선과 θ_u 직선, X축 및 X축에 평행한 직선으로 둘러싸인 면적이 S 와 같아지도록 X축에 평행한 제Ⅵ 직선을 그린다.
10. 제Ⅴ 직선과 제Ⅵ 직선의 교점 하중을 완전탄소성 모델의 M_u 라 하고, 그때의 변형각을 θ_v 라 한다.
11. $\mu = (\theta_u / \theta_v)$

3. 결과 및 고찰

3.1. 실대재 접합부의 모멘트저항 성능평가

Fig. 6는 각 시험편들의 모멘트-변형각 곡선이며, Fig. 7는 시험 후 접합부의 파괴형상이다. Control 시험편의 모멘트는 사이클 종료 시점까지 완만하게 증가되었다. 최대모멘트 측정 시 약 0.03 rad.까지 완만한 경사로 탄성에 가까운 거동이 관찰되었다. 이후 모멘트 값이 완만하게 증가되어 약 0.06 rad.에서 1

차 파단이 발생하였으며 0.09 rad.에서 2차 파단이 발생하였다. 최대 모멘트는 17.5 kN·m로 측정되었으며 이때 변형각은 0.07 rad.이었다. 파괴 형상은 보부재가 회전하면서 접합부의 드리프트 핀이 횡단면 쪽으로 지압되어 섬유경사방향으로 취성파단이 발생하였다. 이후 보부재의 회전에 의해 기둥부재에 지압응력이 발생하였고 드리프트 핀의 전단내력이 증가되어 기둥부재의 섬유방향에 따라 횡단면 쪽으로 2차 파단이 발생하였다(Fig. 7-a).

Type-A는 파괴가 발생하기 전까지 탄성에 가까운 거동이 관찰되었다. 최대 모멘트는 15 kN·m, 최대 모멘트 시 변형각은 0.033 rad.으로 Type-A 시험편과 비교하여 약 86%의 최대모멘트 값이 측정되었다. 파괴 형상은 보부재가 회전함에 따라 기둥부재를 축으로 보부재의 슷 장부에 인장응력이 집중되어 파단이 발생하였다(Fig. 7-b).

Type-B는 1/75 rad.까지 비교적 탄성에 가까운 사이클이 진행되었으나 1/50 rad.사이클 시험 중 적층판의 GFRP와 접착제간 계면파괴가 발생하여 소성변형이 진행되었다. 최대모멘트 측정시험 시 0.03 rad. 부근에서 적층판의 목재에 할렐이 발생함과 동시에 모멘트가 감소되었다(Fig. 7-c). 이후 봉형 GFRP가 적층판과의 결합을 유지함과 동시에 적층판에 인장내력이 향상되면서 모멘트 값이 점진적으로 증가되었으나 0.06 rad.에서 적층판이 완전히 파단되었다. 이때 최대 모멘트는 8.91 kN·m로 측정되었다.

Type-C는 1/75 rad.까지 비교적 탄성 사이클이 진행되었고 1/50 rad. 사이클 시험 중 계면파괴가 발생

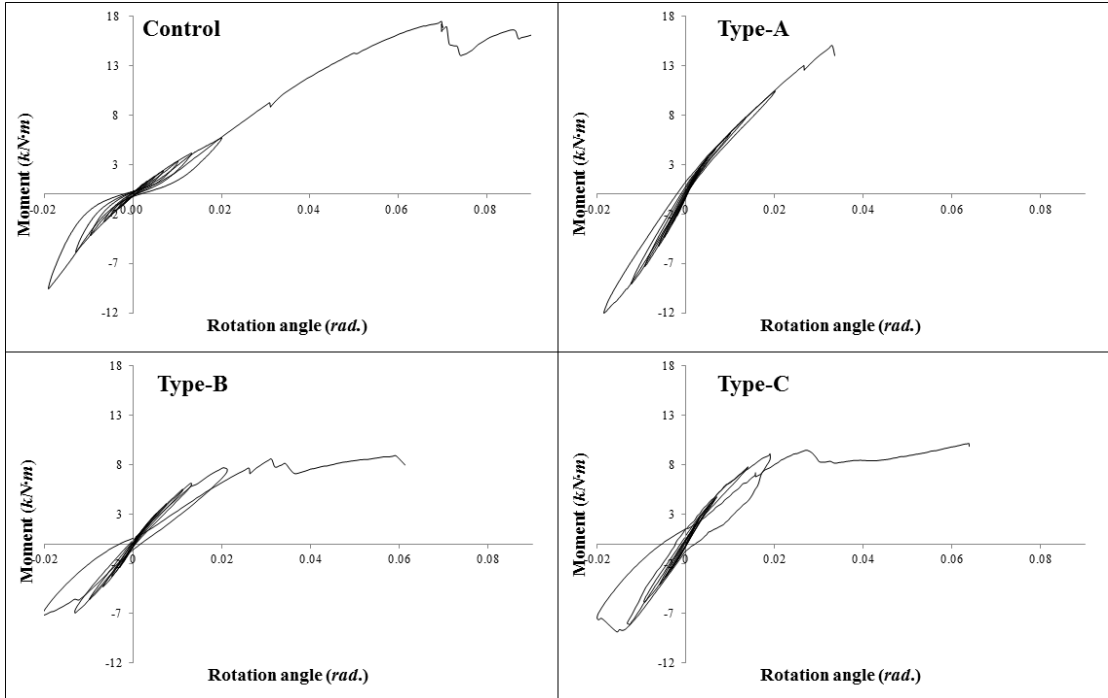


Fig. 6. Moment-rotation angle curves.

하여 Type-B 시험편과 비슷한 모멘트-변형각 곡선이 관찰되었다. 하지만 최대모멘트 측정시험에서는 점진적으로 모멘트값이 증대되다가 약 0.07 rad.에서 보부재 낙엽송 핀이 횡단면 방향으로 지압응력이 발생하여 끝단면으로 취성파단이 발생하였다(Fig. 7-d). 이때 최대 모멘트는 10.2 kN·m으로 Type-B 시험편보다 약 14% 향상된 값이 측정되었다.

3.2. 접합부의 내력성능 평가

Control 시험편은 최대모멘트와 항복모멘트가 가장 양호한 값이 측정되었으나 초기에 잔류변형이 발생하면서 비교적 낮은 초기강성이 측정되었다.

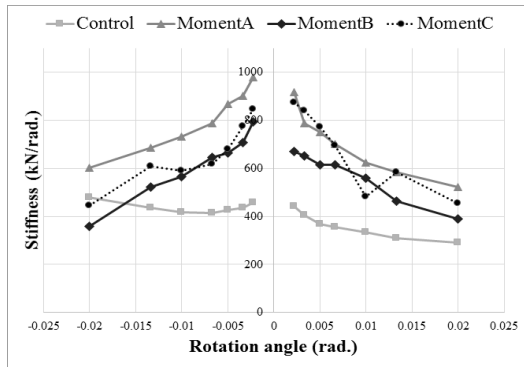
Type-A 시험편은 초기 잔류변형이 거의 발생하지 않고 모멘트-회전각 곡선이 비례적으로 상승하여 안정적인 초기강성을 얻었다. 최대모멘트는 Control 시험편보다 17% 정도 낮았지만 초기강성은 38%, 소성률은 41% 향상되었다. 이는 접착제를 사용하여

접합부가 일체화되어 강절을 이루었기 때문으로 사료된다.

Type-B와 Type-C 시험편의 접합부는 Type-A와 마찬가지로 안정적인 초기강성을 보였으나 1/50 rad.에서 목재와 보강재인 GFRP 간 계면파괴가 발생하면서 강성이 저하되었다. 기둥부재는 GFRP보강적층판과 강절형으로 일체화가 이루어진 반면 보부재는 봉형 GFRP나 낙엽송 핀으로 접합되어 보부재의 지압특성에 의한 잔류변형이 발생하였다. Type-B 시험편이 Type-C 시험편보다 항복모멘트가 25% 높게 측정되었지만 최대모멘트는 14% 낮게 측정되었다. 이러한 결과는 Type-B 시험편은 봉형 GFRP의 높은 강성으로 적층판에 인장내력이 높게 적용되었으나 Type-C 시험편은 낙엽송 핀이 압입되면서 적층판에 적용하는 인장내력을 분산 시킨 것으로 추측된다.

Table 1. Perfect elasto-plasticity results of the moment specimens joint

properties \ specimen	Control	Type-A	Type-B	Type-C
M_{max} (kN · m)	17.5	15.0	8.9	10.2
θ_{max} (rad.)	0.069	0.032	0.059	0.063
M_y (kN · m)	9.9	7.7	5.5	4.4
θ_y (rad.)	0.029	0.016	0.021	0.018
R (kN · m/rad.)	342.2	473.3	267.8	242.7
M_u (kN · m)	14	12.4	10.1	8.5
θ_u (rad.)	0.121	0.109	0.062	0.0679
θ_v (rad.)	0.041	0.0262	0.0378	0.0348
μ	2.95	4.16	1.64	1.95

**Fig. 8.** Stiffness variation according to the rotation angle.

3.3. 강성변화율

Fig. 8은 구간별 강성을 도식화한 그래프이다. 접합부를 강판과 드리프트 핀으로 접합한 Control 시험편은 접합부의 드리프트 핀이 지압되면서 낮은 강성을 유지하였다. 일체화된 강절형 접합부 Type-A는 모든 구간에서 Control 시험편보다 우수한 강성이 관찰되었으며 높은 강성이 서서히 하락하였다. 기둥부재를 일체화 하고 보부재와 기둥부재를 핀으로 접합된 시험편들(Type-B, Type-C)의 그래프는 Type-A의 그래프와 형상이 비슷하였으나 전체적으로 낮은 강성이 관찰되었다.

4. 결 론

GFRP보강적층판과 핀으로 접합된 시험편들은 최대모멘트, 항복모멘트, 초기강성, 종국모멘트 등 모든 부분에서 강판삽입형 접합부 시험편나 일체화된 강절형 접합부 시험편보다 낮은 값이 측정되었다. 이런 기계적 특성 저하는 GFRP와 목재 간 낮은 접착력에 기인하는 것을 보강 적층판과 목재 간 계면과 괴에서 확인할 수 있었다. 또한 기둥부재는 적층판과 일체화 되었지만 보부재는 핀으로 접합되어 접합부가 일체화된 강절형 시험편 보다 상대적으로 낮은 강성 때문에 보부재 접합부의 내력이 감소된 것으로 판단된다.

일체화된 강절형 접합부 시험편은 대조군 시험편과 비교하여 최대모멘트와 항복모멘트가 약 16%, 12% 저하되었다. 하지만 초기 잔류변형은 거의 관찰되지 않았고 초기강성이 38% 높게 측정되었다. 이런 초기강성 향상은 일체화된 강절형 접합부 효과에 기인한 것으로 사료된다.

사 사

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

REFERENCES

- Beak, H.S., Iimura, Y., Imai, Fujio. 2010. Experimental study on the cyclic behavior of moment-resisting timber frames connected by threaded steel shaft and drift pin. Architectural institute of korea, 26(12): 11-18.
- Cho, S.H., Lee, H.W., Park, M.J., Kim, T., Kim, J.H. Analysis model for approximate evaluation of stiffness for semi-rigid connection of wooden structures. 2015. J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea, 28(1): 93-100.
- DIN EN 14080. 2013. Timber structures - Glued laminated timber and glued solid timber - Requirements.
- Frank, M., Dominik, N. 2012. New timber bridges-inventive design by block-gluing.
- Jung, H.J., Song, Y.J., Lee, I.H., Hong, S.I. 2016. Moment resistance performance evaluation of larch glulam joints using GFRP-reinforced laminated plate and GFRP rod. J. Korean Wood Sci. Technol. 44(1): 40-47.
- Jung, H.J., Hong, S.I. 2015. Adhesive performance and fracture toughness evaluation of frp-reinforced laminated plate. J. Korean Wood Sci. Technol. 43(6): 868-875.
- Lee, I.H., Hong, S.I. 2016. Bending and bonding strength performances of larix block-glued glulam. J. Korean Wood Sci. Technol. 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 J. Korean Wood Sci. Technol. 43(1): 60-67.
- Park, J.C., Shin, Y.J., Hong, S.I. 2009. Bonding performance of glulam reinforced with glass fiber-reinforced plastics. J. Korean Wood Sci. Technol. 37(4): 357-363.
- 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.