

GFRP적층판을 활용한 보강보부재와 원통형 단판적층기둥재 접합부의 내력 성능평가¹

송요진² · 정홍주² · 이정재² · 서진석³ · 박상범³ · 홍순일^{2,†}

Structural Performance of Joints for Partial Reinforced Beam Using GFRP Laminated Plate and Cylindrical Reinforced LVL Column¹

Yo-Jin Song² · Hong-Ju Jung² · Jung-Jae Lee² · Jin-Suk Suh³ · Sang-Bum Park³ · Soon-Il Hong^{2,†}

요약

합판과 유리섬유강화플라스틱을 조합하여 적층 후 1.96 N/mm²의 압력으로 150°C에서 1시간 고밀화시킨 유리섬유 강화플라스틱 적층판을 제작하였다. 제작된 5가지의 유리섬유강화플라스틱 적층판을 각각 기둥재와 접하는 집성재에 부착하여 부분보강보부재를 제작하였다. 더불어 합판과 시트형 유리섬유강화플라스틱을 적층한 보강적층목재판과 유리섬유로 보강한 원통형 단판적층기둥재로 기둥-보 접합부를 제작하였다. 기준시험편으로는 원주목과 집성재로 제작한 보부재, 드리프트핀을 사용한 접합부를 제작하여 모멘트 저항 내력을 평가하였다.

시험결과 기준시험편과 비교하여 부분보강보부재를 사용한 시험체들이 평균 1.8배 높은 내력성능이 측정되었다. 모든 부분보강보부재와 원통형 단판적층기둥재에는 파단이 발생하지 않았으며 접합부의 인성과 강성이 모두 양호하게 측정되었다. 부분보강보부재의 보강효과는 시트형 유리섬유강화플라스틱이 직물형 유리섬유강화플라스틱으로 보강한 적층판보다 양호한 보강효과를 보였으며, 시트형 유리섬유강화플라스틱을 각층에 삽입한 적층판이 접합내력과 변형각 모두 양호하여 보부재의 부분보강에 적합한 것을 확인하였다.

ABSTRACT

After being laminated with a combination of glass fiber reinforced plastic and plywood, the GFRP laminated plate was densificated for 1 hour at 150°C with pressure of 1.96 N/mm². A partial reinforced beam was produced by attaching the 5 GFRP laminated plates to the joint of glulam and the column. In addition, the column to beam joint was produced

¹ Date Received February 4, 2014, Date Accepted February 26, 2014

² 강원대학교 산림환경과학대학 산림바이오소재공학과. Department of Forest Biomaterials Engineering, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

³ 국립산림과학원 임산공학부. Dept. of Forest Products, Korea Forest Research Institute, 57 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, 130-712, Korea

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

by using reinforced laminated wooden pin which was made of GFRP sheet and plywood, fiber glass reinforced cylindrical-LVL column. The joint was made of round log, glulam and drift pin as the reference specimen, and its moment resistance was evaluated.

As a result, the strength performance of specimens with partial reinforced beams were 1.8 times stronger than the reference specimen on average. Furthermore, rupture was neither occurred on partial reinforced beam nor column. Toughness and stiffness of joints were also fine. The GFRP sheet reinforced laminated plate showed better reinforcement effect than GFRP textile reinforced one. GFRP sheet was inserted into each layer of laminate, and it showed good condition in rotation-angle and strength, therefore it is the most appropriate to reinforce the part of the beam.

Keywords : Cylindrical-LVL, glass fiber reinforced plastic, GFRP laminated plate, reinforced laminated wooden pin, moment resistance

1. 서 론

최근 전통적인 주택, 골프 클럽하우스 등과 같은 목구조물의 증가로 목재의 사용량은 점차 높아지고 있으나 대부분을 해외에 의존하는 현실을 타개하기 위해서는 국산재를 사용하기 위한 노력들이 필수불가결하다. 국산재의 활용방안 중 하나인 원통형 단판적층재는 국산 간벌재, 단적재 또는 저급재라도 단판을 깎아 쓸 수 있고, 이를 이용하여 특대형 장대재를 제작할 수 있다는 점에서 건축재로서도 충분한 활용가치가 있다. 소목의 단판을 목재 세포와 같이 나선 목리상으로 연속하여 감은 원통형 단판적층기둥재는 원목의 건조나 이용과정에서 발생하는 뒤틀림과 할렬 등의 결함을 최소화할 수 있으며 특히 직경 조절이 자유로워 장대형 기둥재를 제작 가능하다는 장점이 있다(Hata *et al.* 2001).

일찍이 일본에서는 1990년대 후반부터 원통형 단판적층기둥재 제작 시 단판의 적층 방향에 따른 기계적강도와 원통형 단판적층기둥재 제작의 생산성 및 제작조건에 관한 연구가 진행되었다(HATA *et al.* 1998; INABA *et al.* 2003). 근래에는 Berard 등(2011)이 적층 시 단판의 섬유경사각과 단판들 간의 간격에 대한 연구를 통하여 원통형 단판적층기둥재의 성능을 높일 수 있었다. 그러나 이와 같이 원통형 단판적층기둥재의 제작방법에 관한 연구와 단일부재로서의 기계적 성능에 관한 연구는 진행되었으나 기둥-보 접합부의 내력성능 평가는 미비한 실정이다. 따라서 원통형 단판적층기둥재를 사용한 접합부의 성능평가와

동시에 높은 성능의 접합부 개발에 관한 연구가 필요하다. 더불어 목구조물의 내력성능은 부재 자체의 성능뿐만 아니라 접합부에 사용되는 접합물의 성능에 따라 크게 좌우된다. 일반적으로 사용되는 접합철물은 자체의 성능은 높으나 최대하중에서 목재의 균열을 쉽게 발생시키는 문제점이 있다. 따라서 접합철물을 대체하여 접합부의 안정성과 신뢰성을 향상시키고 현장에서의 가공성, 심미성 및 접합 강도를 향상시킨 신소재 접합물 개발 또한 필요하다.

본 연구에서는 유리섬유강화플라스틱(이하 GFRP)으로 보강한 원통형 단판적층기둥재와 접합부의 성능을 높이기 위해 GFRP적층판으로 보부재를 부분보강한 부분보강보부재를 제작하였다. 더불어 접합철물을 대체하고자 GFRP보강적층목재판을 제작하여 원통형 단판적층기둥재와 부분보강보부재를 접합하였다. 제작된 기둥-보 접합부에 대한 모멘트 저항 시험을 실시하여 접합부의 성능평가 및 거동을 관찰하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 유리섬유로 보강한 원통형 단판적층기둥재 제작

원통형 단판적층기둥재 제작에는 라디에타 소나무(*Pinus radiata* D.Don)단판을 사용하였다. 두께 2.4 mm인 단판을 섬유직각방향으로 제제한 후 폴리에스테르사(絲)로 재봉하여 veneer tape을 만들어 사용하였다(단판의 폭 : 100 mm). 단판 적층 시 레조시놀

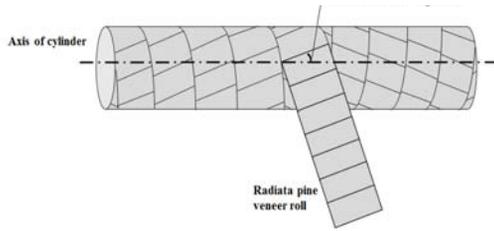


Fig. 1. Manufacturing method of cylindrical-LVL column.



Fig. 2. The reinforced process of cylindrical-LVL with GFRP textile.

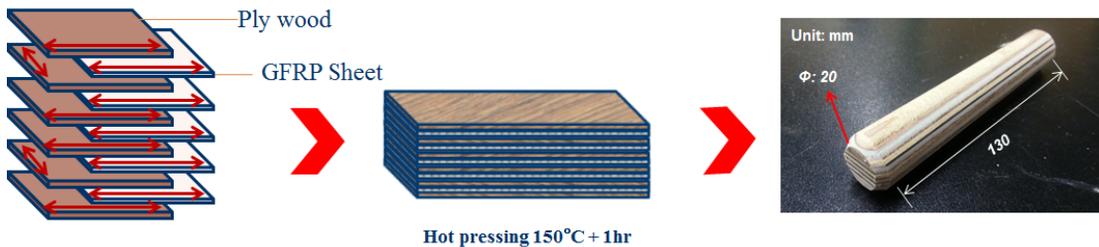


Fig. 3. Shape of GFRP reinforced laminated wooden pin.

수지를 경화제와 100:15로 혼합하여 사용하였다. 보강재로는 폭 5 mm의 유리섬유 다발이 평직으로 배열되어 있는 두께 0.5 mm인 직물형 GFRP(이하 GFRP textile)을 사용하였다.

단판 Roll을 적층기의 실린더 축과 경사각이 10°가 되도록 나선형태로 감아주었으며 층간 단판들의 섬유경사각이 Fig. 1과 같이 교차되게 적층하였다(Yamauchi *et al.* 1997). 보강재인 직물형 유리섬유를 Fig. 2와 같이 10층과 11층 사이, 18층과 19층 사이에 3겹씩 교차로 적층하였다. 완성된 기둥재는 20층이며 마지막 단판을 적층시킨 후 고무밴드로 기둥재 전체를 감아 경화시켜 주었다.

기둥재의 외직경은 287 mm, 내직경은 165 mm이며 원통형 단판적층기둥재 접합부와 비교하기 위하여 직경 250 mm의 낙엽송(*Larix kaempferi* Carr.) 원주목 기둥재 접합부를 기준시편형으로 사용하였다. 모든 기둥재의 길이는 800 mm로 가공하였다.

2.2. GFRP보강적층목재핀 제작

GFRP보강적층목재핀은 라왕(*Pentacme contorta* (Vidal.) Merr. and Rolfe)으로 구성된 합판을 6층으로 적층하였으며 적층 시 매 층마다 시트형 GFRP(이하 GFRP sheet)를 삽입하였다. 접착제로 박 등(2009)의 유리섬유강화플라스틱 복합집성재의 접착 성능에서 접착력이 가장 우수한 초산비닐(PVAc)수지를 사용하였다. 접착제 도포 후 압체압력 1.96 N/mm²로 150°C에서 한 시간 열압과 동시에 고밀화하였으며 Fig. 3과 같이 지름 20 mm로 가공하였다. 제작된 GFRP보강적층목재핀의 평균 휨강도는 256 MPa이며 탄소강 재질 드리프트핀의 휨강도(1,582 MPa)와 비교하여 강도가 6.1배 낮은 경향을 보였다.

2.3. GFRP적층판 제작

GFRP적층판은 라왕(*Pentacme contorta* (Vidal.) Merr. and Rolfe)으로 만든 합판(두께 2.7 mm)과 GFRP textile, GFRP sheet를 조합하여 Fig. 4와 같이 5가지 종류로 제작하였다. plate-1은 각층에 GFRP sheet를 1장씩 삽입한 타입이며, plate-2는 각층에

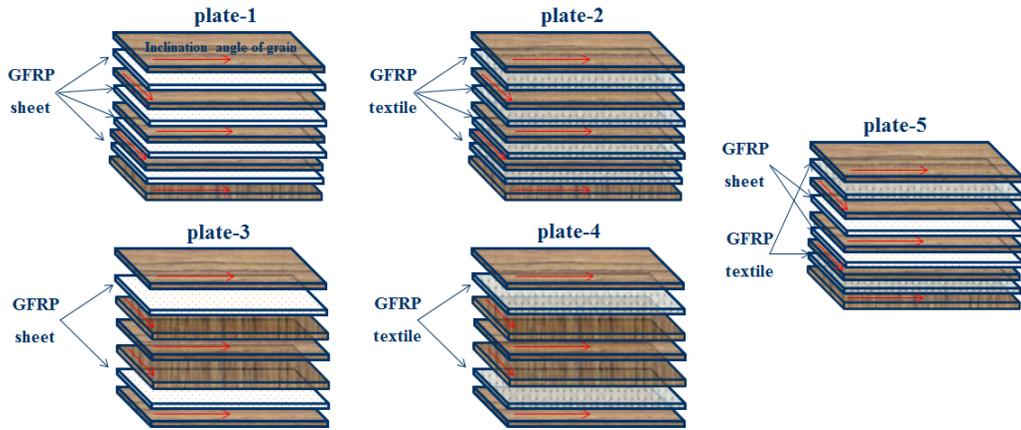


Fig. 4. GFRP reinforced laminated plates in accordance with combination of plywood and GFRP.



Fig. 5. Shape of reinforced beam.

GFRP textile을 1장씩 삽입한 타입이다. plate-3은 최외각층에 GFRP sheet를 1장씩 삽입한 타입이며, plate-4는 최외각층에 GFRP textile을 1장씩 삽입한 타입이다. plate-5는 최외각층에는 GFRP textile을 내층에는 GFRP sheet를 삽입한 복합타입이다. 합판과 GFRP sheet 접착 시 초산비닐 수지를 사용하였으며, 합판과 GFRP textile 접착 시 레조시놀 수지를 사용하였다. 접착제 도포 후 압제압력 1.96 N/mm²로 150°C에서 한 시간 열압하여 고밀화하였다.

2.4. 기둥-보 접합부의 모멘트 저항 시험체 제작

기준시험편에 사용된 보부재는 국내산 낙엽송 (*Larix kaempferi* Carr.) 제재판을 7층으로 적층한 집

성재(폭 130 mm, 두께 175 mm, 길이 700 mm)를 사용하였으며 접착제로는 레조시놀 수지를 사용하였다. 보강보부재는 기준시험편의 보부재와 동일하게 제작하되 Fig. 5와 같이 기둥재와 접합하는 부분을 가공 후 레조시놀 수지로 GFRP적층판을 부착하였다.

모멘트 저항 시험체는 Fig. 6과 같이 기둥재 상단에 보의 폭(130 mm)과 높이(175 mm)만큼 홈을 가공하여 보를 얹은 형태로 원주목과 집성보부재를 드리프트핀으로 접합한 기준시험편과 원통형 단판적층기둥재와 부분보강보부재(Plate-1~Plate-5를 적용)를 GFRP보강적층목재편으로 접합하여 시험체를 제작하였다.

기준시험편인 Type-A는 접합부에 직경 15 mm의 구멍을 가공 후 직경 15 mm의 드리프트핀을 삽입하

Table 1. Combination of column-beam joints specimens

Sample	Column	Connector	Beam
Type-A	Round log	Drift pin	Non-reinforced beam
Type-B	Cylindrical LVL	GFRP reinforced laminated wooden pin	partial reinforced beam (plate-1)
Type-C			partial reinforced beam (plate-2)
Type-D			partial reinforced beam (plate-3)
Type-E			partial reinforced beam (plate-4)
Type-F			partial reinforced beam (plate-5)

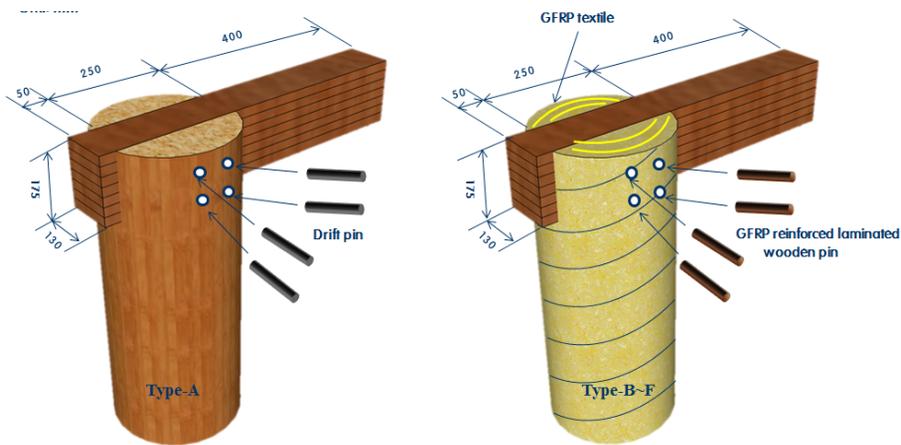


Fig. 6. Shape of column-beam joints specimens for moment resistance test (Left: Type-A, Right: Type-B~F).

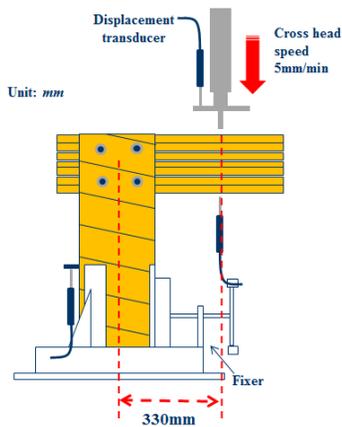


Fig. 7. Moment resistance performance test of column-beam joints.

였으며 Type-B~F는 모두 접합부에 직경 19 mm의 구멍을 가공 후 직경 20 mm의 GFRP보강적층목재 핀을 삽입하였다. GFRP보강적층목재핀은 건조시킨 후 삽입하였으며 외기에 노출 시 부피가 팽창되어 기둥-보 접합부가 일체화될 수 있도록 하였다.

2.4.1. 기둥-보 접합부의 모멘트 저항 시험

완성된 시험체의 기둥재를 Fig. 7과 같이 지그(Jig)에 설치 후 기둥부재의 중심으로부터 330 mm 지점의 보부재에 10 mm/min의 속도로 하중을 가하였다. 크로스헤드(cross head)와 하중이 가해지는 지점의 하단부에 용량 50 mm의 변위계를 설치하여 변형을 측정하였으며 기둥부재의 상하 변형을 시험 후 보정하기 위하여 기둥부재의 하단에 변위계를 추가적으

Table 2. Result of moment resistance test for column to beam joints

specimens	Mmax ($kN \cdot m$)	Rotation angle ($rad.$) -At the same moment-	Intial stiffness ($kN \cdot m/rad.$)
Type-A	9.2 (1.00)*	0.070	178.72 (1.00)*
Type-B	16.5 (1.79)	0.045	190.76 (1.07)
Type-C	15.2 (1.65)	0.055	174.09 (0.97)
Type-D	17.3 (1.88)	0.070	146.24 (0.82)
Type-E	14.6 (1.58)	0.100	89.71 (0.50)
Type-F	17.1 (1.85)	0.070	133.04 (0.74)

ratio*

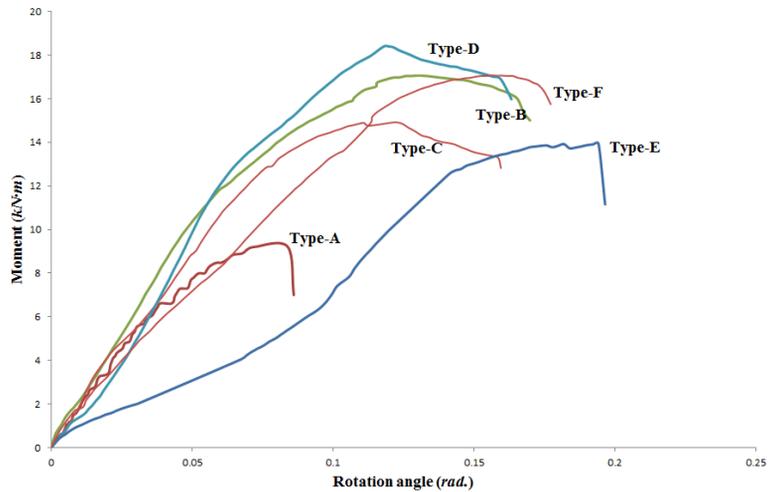


Fig. 8. Relationship between moment and rotation angle of column to beam joints.

로 설치하였다. 하중과 변형의 값은 데이터로거(Data logger TDS-303)를 사용하여 측정하였다.

모멘트-회전각은 그림에서와 같이 기둥재의 중심에서부터 하중이 가해지는 보부재의 하단부까지의 거리와 하중이 가해지는 보부재 하단부의 처짐변위를 측정하여 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기둥-보 접합부의 모멘트 저항 내력

기둥-보 접합부의 모멘트와 회전각 사이의 관계는 Fig. 8과 같으며, 모멘트 저항 성능을 평가한 결과는

Table 2와 같다. 원주목 기둥재와 보부재를 드리프트 핀으로 접합한 Type-A의 최대모멘트는 $9.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 로 측정되었다. 유리섬유로 보강한 원통형 단판적층기둥재를 사용한 시험체 중 Plate-1 (각층에 GFRP sheet를 삽입한 적층판)으로 보부재를 부분보강한 Type-B의 평균 최대모멘트는 $16.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 로 측정되었다. 각층에 GFRP textile을 삽입한 적층판으로 보부재를 보강한 Type-C의 평균 최대모멘트는 $15.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 최외각층에 GFRP sheet를 삽입한 적층판으로 보부재를 보강한 Type-D는 $17.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 로 측정되었다. 최외각층에 GFRP textile을 삽입한 적층판으로 보부재를 보강한 Type-E의 평균 최대모멘트는

14.7 kN·m로 측정되었다. 최외각층에 GFRP textile, 내층에 GFRP sheet를 삽입한 적층판으로 보부재를 보강한 Type-F의 평균 최대모멘트는 17.2 kN·m로 측정되었다. 이러한 결과는 Fig. 8에서와 같이 부분보강보부재와 원통형 단판적층기동재 접합부가 기준시험편인 Type-A와 비교하여 확연하게 증가되었음을 나타낸다. 그러나 초기강성의 경우 Table 2에서와 같이 Type-B를 제외한 시험체들이 모두 낮게 측정되었으며, 이는 접합철물인 드리프트핀의 강성이 GFRP보강적층목재핀 보다 높기 때문인 것으로 생각된다. 기준시험편을 제외한 시험편들은 접합물과 기동재를 동일하게 사용했으므로 GFRP보강적층판의 지압강도가 접합부 초기강성에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되며, 특히 Type-B, Type-C, Type-D의 경우 모멘트가 최대모멘트 이후에 서서히 감소되는 것으로 보아 보강재 종류와 체적비가 접합부 성능과 밀접한 관련이 있다는 것을 확인할 수 있었다.

GFRP적층판의 성능을 비교한 결과 각층에 보강재를 삽입했을 경우 GFRP sheet가 GFRP textile보다는 접합부의 평균 최대 모멘트와 초기강성 모두 높게 측정되었으며 최외각층에 보강재를 삽입했을 경우에도 동일한 경향을 보였다. 특히, GFRP sheet로 보강한 시험체 중 최외각층에만 삽입한 Type-D와 각층에 삽입한 Type-B의 최대모멘트는 거의 유사하였다. 이를 통해 GFRP적층판 제작 시 보강재의 체적비를 높인다고 반드시 접합부의 최대모멘트 증가로 이어지지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 특정 모멘트(9.2kN·mm) 일 때 Type-B가Type-D보다 변형각이 26% 감소하였으며, 초기강성이 24% 증가하는 결과가 나타났다. 따라서 부분보강보부재를 사용한 시험편 중 가장 양호한 성능을 나타냈다.

3.2. 모멘트 저항 시험체의 파괴형상

원목 기동재를 사용한 Type-A는 부재들과 비교하여 접합철물의 높은 강성으로 최대모멘트 이후에 Fig. 9와 같이 기동재의 끝단거리에서 섬유방향을 따라 취성파괴가 발생하였다. 이러한 결과를 통해 접합부에서 기동재와 보부재의 동일한 성능이 접합부 내

력 향상에 기인한다는 것을 확인하였다. 반면 Type-B, C, D, E, F의 경우 Type-A와 달리 단판의 접착층과 직물형 유리섬유가 기동재의 파단을 억제해 주는 것을 확인하였다. 또한 일반적으로 집성재를 보부재로 사용할 시 하중을 가하게 되면 접합철물에 의하여 끝단면으로 파단이 발생하나 본 연구에서는 접착제로 부착한 GFRP적층판이 보부재와 일체화되어 접합물에 의한 파괴를 완전히 억제하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 원통형 단판적층기동재 제작 시 고무밴드의 압제압력을 고려하지 않고 감압하였다. 그러나 Hata 등(2001)의 논문에서 제시한 고무밴드의 압제압력 식을 이용하여 제작한다면 동일한 성능의 기동재를 제작할 수 있을 것으로 생각된다.

접합부의 모멘트 저항 시험결과 원목 기동재와 집성보부재를 사용한 시험체(Type-A)의 경우 접합철물의 높은 성능으로 기동재와 보부재가 일체화되지 못하고 상대적으로 약한 기동부재에서 먼저 파단이 발생하였다. 반면, 보부재를 부분보강한 원통형 단판적층기동재 접합부는 평균 최대모멘트가 원목 기동재 접합부의 내력보다 1.8배 높았다. 그중 각층에 GFRP sheet를 삽입하여 제작한 적층판이 최대모멘트, 변형각, 초기강성 모두 우수하였다. 파괴형상에서도 매층의 접착층과 유리섬유 보강재로 인하여 파단이 발생하지 않았으며, GFRP보강적층목재핀에서 끝단면으로 발생하는 파단을 GFRP적층판이 억제해 주는 것을 확인하였다. 더불어 부재들과 동일한 소재인 GFRP보강적층목재핀을 사용함으로써 접합부 전체가 일체화되는 것을 확인하였고 드리프트핀의 대체 가능성을 확인하였다.

REFERENCES

Berard, P., Yang, P., Yamauchi, H., Umemura, K., Kawai, S. 2011. Modeling of a cylindrical laminated veneer lumber II: a nonlinear finite element model to improve the quality of the butt

- joint. *Journal of Wood Science* 57: 107~113.
- Hata, T., Umemura, K., Kawai, S. 1998. Continuous manufacturing of cylindrical-LVL by using "spiral-winding method". *Wood research: Bulletin of the Wood Research Institute Kyoto University* 85: 92~95.
- Hata, T., Umemura, K., Yamauchi, H., Nakayama, A., Kawai, S., Sasaki, H. 2001. Design and pilot production of a "spiral-winder" for the manufacture of cylindrical laminated veneer lumber. *Journal of Wood Science* 47: 115~123.
- Inaba, D., Morita, M., Nakano, H., Takenaka A., Kawai, S. 2003. Continuous manufacture of cylindrical laminated veneer lumber. *Wood research: Bulletin of the Wood Research Institute Kyoto University* 90: 19~20.
- Park, J.C., Shin, Y.J., Hong, S.I. 2009. Bonding performance of glulam reinforced with Glass Fiber-Reinforced Plastics. *J. Korean wood science and technology* 37(4): 357~363.
- Yamauchi, H., Shoho, S., Yang, P., Kawai, S., Sasaki, H. 1997. Manufacturing of cylindrical LVL by spiral-winding method. I. Effect of interlocked-ply on the tensile Young's modulus. *Mokuzai Gakkaishi* 43: 747~753.