

GFRP보강적층목재핀의 휨강도 및 인장형 전단내력 성능평가¹

송요진² · 정홍주² · 김대길² · 김상일² · 홍순일^{2,†}

Performance Evaluation for Bending Strength and Tensile Type Shear Strength of GFRP Reinforced Laminated Wooden Pin¹

Yo-Jin Song² · Hong-Ju Jung² · Dae-Gil Kim² · Sang-Il Kim² · Soon-Il Hong^{2,†}

요약

목구조물 접합부에 기존 드리프트핀(Drift pin)을 대체하고자 단판이나 합판을 유리섬유강화플라스틱(GFRP: Glass fiber reinforced plastic)과 복합 적층시킨 GFRP보강적층목재핀을 제작하였다. 더불어 GFRP보강적층목재핀을 사용하여 집성재 접합부의 인장형 전단내력 시험을 실시하였다. GFRP 배열에 따른 보강적층목재핀의 휨강도 시험결과 GFRP를 각층에 1장씩 삽입한 시험편(Type-A)이 가장 양호한 성능을 발휘하였다. 또한 압체압력 1.96 N/mm², 온도 150°C에서 한 시간 열압하여 고밀화한 시험편이 고밀화하지 않은 시험편과 비교하여 휨강도 성능이 1.57배 향상됨을 확인하였으며, 하중방향에 따라 Edgewise가 Flatwise보다 3.51배 높은 성능을 발휘하였다. 시험을 통해 가장 양호한 성능을 보인 Type-A 보강적층목재핀을 이용하여 전단내력 시험을 실시하였다. 접합구의 종류와 접합판의 종류를 달리하여 시험한 결과 드리프트핀과 강판을 적용한 시험체(Type-DS)와 비교하여 GFRP보강적층목재핀과 GFRP보강목재적층판을 적용한 시험체(Type-WL)가 1.12배 높은 전단내력이 측정되었으며 최대하중 이후에도 매우 양호한 인성이 관찰되었다.

ABSTRACT

By replacing the previous metal connector on the joints of timber structure, the GFRP reinforced laminated wooden pin was produced using a wooden material and Glass fiber reinforced plastic(GFRP) composite laminate. In addition, using the reinforced wooden pin, the tensile type shear strength test was conducted. Based on the result of the bending strength test of the reinforced laminated wooden pin according to the GFRP arrangement, a specimen(Type-A) with a single insertion of GFRP for each layer have shown the most favorable performance. Also, it was verified that densified specimen hot pressed for an hour at the temperature of 150°C and with the oppression pressure 1.96 N/mm² have shown the improved performance of 1.57 times than the specimen without the densification.

¹ Date Received February 4, 2014, Date Accepted February 21, 2014

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

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

And in the bending strength test considering the load direction, edgewise have shown a higher performance of 3.51 times than the flatwise. A shear strength test was conducted using the Type-A reinforced laminated wooden pin which have shown a moderate performance on the test. Based on the test conducted by differentiating the type of the joint plate and the connector, compared to the specimen(Type-DS) applied with the drift pin and steel plate, the specimen(Type-WL) applied with the GFRP reinforced laminated wooden pin and GFRP reinforced wooden laminated plate have shown 1.12 times higher shear strength and also have shown an excellent toughness even after the maximum load.

Keywords : Glass fiber reinforced plastic, reinforced laminated wooden pin, bending strength test, tensile type shear strength test

1. 서 론

최근 구조용 집성재를 사용한 목구조 건축물로는 숙박업소, 골프장 클럽하우스, 공공시설 등이 있으며 이러한 목조 건축물들은 친환경적인 면과 수려한 외관이 부각되어 그 수요가 증가하고 있다. 이에 집성재 제조 및 이용기술, 보강기술에 관한 연구가 진행되고 있으며 특히 접합부에 관한 연구가 주를 이룬다. Kim 등은 H형강을 이용하여 크기가 다른 집성재의 접합을 개발하였으며(Kim 등 2005), Park 등은 한국 전통 목구조양식과 현대적인 기법을 적용한 목구조 접합을 개발하여 접합부의 우수한 모멘트저항성능을 확인하였다(Park과 Hwang 2011). 이처럼 집성재의 기둥-보 접합에는 대부분 금속강관을 부재 내부에 삽입한 후 볼트나 드립트 핀 등의 금속 접합구를 이용하여 접합시키는 기술이 사용된다. 그만큼이나 집성재를 사용함에 있어서 접합부의 심미성에 관한 요구는 지속적인 필요성으로 인해 꾸준히 진화하고 있다(Batchelar와 McIntosh 1998). 그러나 현재 사용되고 있는 금속 철물에 의한 접합부는 볼트나 드립트 핀이 구조물 표면에 노출이 되어 목구조물의 심미성을 저해하는 요소로 지적받고 있다. 또한 일부 금속 접합물을 사용한 접합부는 외기에 장기간 노출 시 수분이 목재 내에 침투되어 접합부를 이루는 금속 접합물을 부식하게 만들며 이는 목재로 전이되어 구조물 전체의 안정성을 떨어뜨리는 원인이 될 수 있다. 최근 기계공학과 재료공학 분야에서 금속 접합물의 부식에 대한 모니터링과 내

력평가들이 끊임없이 진행되는 것 또한 금속 접합물이 가지고 있는 문제점과 상통한다고 볼 수 있겠다. 이러한 문제점은 예로부터 한옥구조물에 사용된 나무못을 통해 해결할 수 있겠으나 단순히 목재만을 사용한 못의 경우 강판 등과 같은 금속 접합물과 함께 사용할 시 재질의 강성차이로 인하여 못의 파단이 쉽게 발생할 것으로 사료된다. 따라서 접합부재 자체를 보완하고 보강한다면 접합부뿐만 아니라 목구조물 자체의 강도 향상을 기대할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 기존의 금속 접합구를 대체하기 위하여 단판이나 합판을 GFRP와 적층시킨 GFRP 보강적층목재핀을 제작한 후 강도 성능평가를 실시하였다. 또한 집성재 접합부의 인장형 전단내력 시험을 통하여 금속 접합구를 사용한 접합부와 비교 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. GFRP보강적층목재핀의 휨강도 성능평가

2.1.1. 공시재료

실험에 사용된 단판의 수종은 라디에타 소나무(*pinus radiata* D.Don.)로 평균 함수율 17.5%, 평균 비중 0.44 g/cm³이었다. 합판의 수종은 라왕(*Pentacme contorta* Merr and Rolfe)으로 평균 함수율 13%, 평균 비중 0.56 g/cm³이었다. 단판과 합판의 두께는 모두 2.7 mm를 사용하였다. 보강재는 시트형

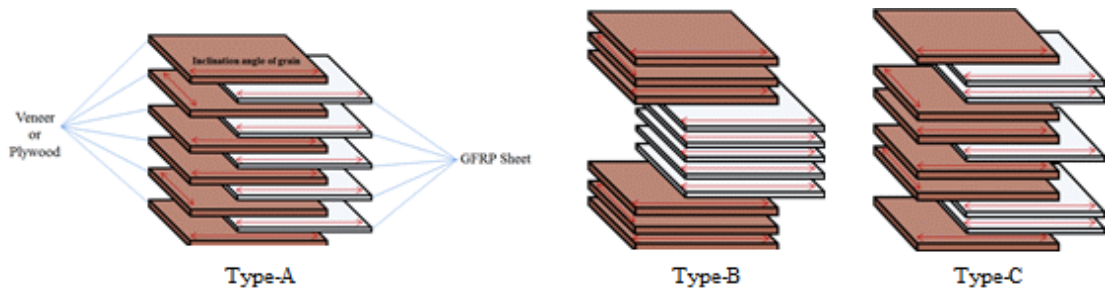


Fig. 1. Combinations of GFRP reinforced laminated wooden pin according to arrangement of GFRP.



Fig. 2. Shape of rectangular GFRP reinforced laminated wooden pin.



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

GFRP(이하 GFRP sheet)로 유리섬유가 길이방향으로 배열되어 있으며 두께는 1.5 mm이다. 접착제는 Park 등의 유리섬유강화플라스틱 복합집성재의 접착 성능에서 접착력이 가장 우수한 초산비닐(PVAc)수지를 사용하였다(Park과 Hong 2009).

2.1.2. GFRP보강적층목재핀의 제작 및 휨강도 시험

GFRP보강적층목재핀은 판상재료를 달리하여 단판과 GFRP sheet를 적층, 합판과 GFRP sheet를 적층하여 2가지 Type으로 제작하였다. GFRP의 배열에 따라 Fig. 1과 같이 3가지 Type으로 분류하였으며, 단판과 합판은 각층의 적층방향이 서로 직교하게 GFRP sheet는 유리섬유 길이방향으로 평행하게 적층하였다. Type-A는 GFRP sheet를 각층에 1장씩 삽입하여 적층하였고, Type-B는 GFRP sheet 5장을 중앙에 집중하여 적층하였으며, Type-C는 GFRP sheet를 최외층에 2장씩, 중앙에 1장을 적층하였다. 적층 후 압축압력 1.96 N/mm², 온도 150°C에서 한 시간

열압하여 고밀화하였으며, Fig. 2와 같이 가공하여 높이 20 mm, 너비 20 mm, 길이 130 mm인 장방형의 GFRP보강적층목재핀을 제작하였다. 또한 Fig. 3과 같이 직경 20 mm, 길이 130 mm인 원형의 GFRP보강적층목재핀을 제작하였다. 휨강도 시험은 Type-A, B, C 시편의 Edgewise방향에서 시험을 실시하였고, Type-A의 장방형 GFRP보강적층목재핀과 원형 GFRP보강적층목재핀은 하중방향을 Flatwise와 Edgewise로 구분하여 시험을 실시하였다.

2.2. GFRP보강적층목재핀을 이용한 접합부의 인장형 전단내력 성능평가

2.2.1. 인장형 전단내력 시험편 제작

슬릿(slit)형 접합의 주재로서 두께 30 mm, 너비 100 mm, 길이 500 mm 낙엽송(Larix kaempferi carr.) 제재판을 레조시놀 수지로 접착한 4ply 집성재를 사용하였다. 접합구로는 탄소강재질의 드리프트 핀(직경12 mm, 길이120 mm)과 GFRP보강적층목재

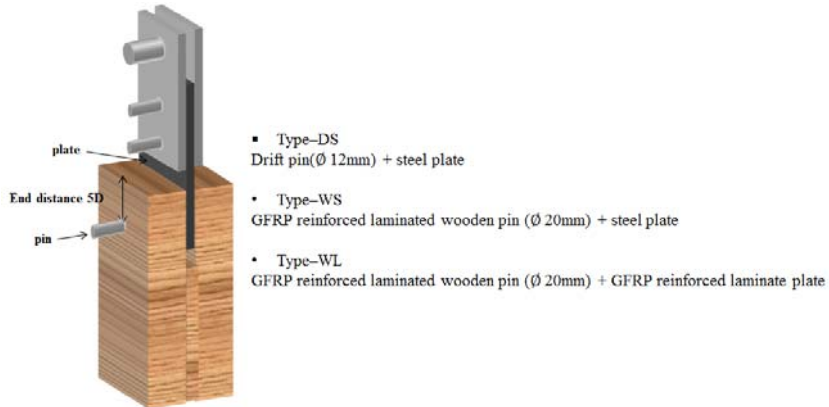


Fig. 4. Test samples of tensile type shear strength test.

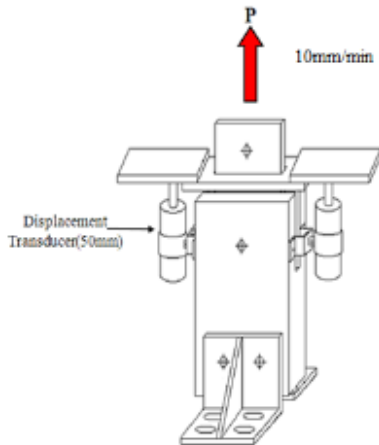


Fig. 5. Method of tensile type shear strength test.

핀(직경 20 mm, 길이 120 mm)을 사용하였으며 GFRP 보강적층목재핀은 합판 각 층에 GFRP sheet를 삽입한 Type-A를 사용하였다. 슬릿에 사용되는 접합판으로 탄소강재질의 강판과 GFRP보강목재적층판(Type-A: 각층에 GFRP sheet를 삽입한 형태)을 사용하였다.

인장형 전단내력 시험편은 접합구와 접합판의 종류를 달리하여 3가지 Type으로 제작하였다. Type- DS는 드리프트핀과 강판을 사용한 시험편으로 집성재에 폭 10 mm, 길이 130 mm의 슬릿을 가공한 뒤 강판을

삽입, 이후 Fig. 4와 같이 집성재의 끝단면에서 접합구 직경의 5D 위치에 드리프트핀을 삽입하여 강판과 접합하였다. Type-WS는 GFRP보강적층목재핀(Type-A)과 강판을 사용한 시험편으로 집성재의 끝단면에서 접합구 직경의 5D 위치에 GFRP보강적층목재핀을 삽입하여 강판과 접합하였다. Type-WL은 GFRP보강적층목재핀(Type-A)과 GFRP보강목재적층판을 사용한 시험편으로 집성재에 폭 20 mm, 길이 195 mm의 슬릿을 가공한 뒤 GFRP보강목재적층판을 삽입, 집성재 끝단면의 5D 위치에 GFRP보강적층목재핀으로 접합하였다.

2.2.2. 인장형 전단내력 시험방법

시험체가 연직 방향에 평행이 되게 한 후 인장하중을 가하여 실험을 실시하였다. 접합부의 변형 측정은 Fig. 5와 같이 강판에 금속치구를 설치하여 측정하였다. 하중에 따른 접합부 변형은 양측에 부착된 2개의 변위계(Displacement transducer)로 측정하여 평균값을 사용하였으며, 시편을 고정시켜주는 고정부는 볼트접합부로 직경 20 mm를 사용하기 위하여 볼트의 간격은 60 mm, 고정부의 끝면거리는 130 mm로 접합하였다. 유압하중장치 및 컴퓨터 제어가 가능한 Data-Logger(TDS303)를 사용하여 하중 및 변형을 측정하였으며 하중속도는 분당 10 mm로 실시하였다.

Table 1. Results of bending strength test for GFRP reinforced laminated wooden pin according to the reinforcement combination

Test sample		Ave. MOR (MPa)	Standard deviation
Drift pin (12 mm)		1582.0 (1.00)*	-
Type-A	Veneer	188.1 (0.12)	5.75
	Plywood	195.8 (0.12)	8.10
Type-B	Veneer	157.1 (0.10)	3.63
	Plywood	155.3 (0.10)	3.62
Type-C	Veneer	186.1 (0.12)	7.74
	Plywood	165.1 (0.10)	7.65

* Ave. MOR ratio based on the drift pin.

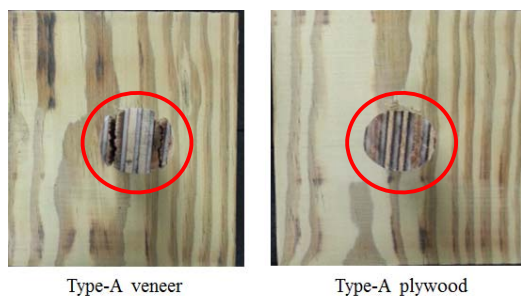


Fig. 6. Rupture images of GFRP reinforced laminated wooden pin when rubber hammer hit the wood pin.

3. 결과 및 고찰

3.1. GFRP보강적층목재핀의 휨강도 성능 평가

각층에 보강재를 삽입한 Type-A의 경우 단판으로 제작한 시험편의 휨강도(MOR)는 188.1 MPa, 합판으로 제작한 시험편의 MOR은 195.8 MPa로 큰 차이를 보이지 않았다. 파괴형상을 분석한 결과 단판을 사용한 시험편의 경우 보강재의 섬유방향과 단판의 섬유방향으로 파단이 발생하였으며, 합판을 사용한 시험편의 경우 합판 접착층에서 박리가 발생한 것을 관찰하였다. 중앙에 보강재 5장

을 집중시킨 Type-B의 경우 단판으로 제작한 시험편의 MOR은 157.1 MPa, 합판으로 제작한 시험편의 MOR은 155.3 MPa로 역시 큰 차이를 보이지 않았다. 파괴 시 적층된 외층의 단판 또는 합판들이 쉽게 파단되었으며 내층에 집중시킨 보강재들 간에 박리현상이 발생하여 낮은 휨강도가 측정되었다. 외각 층에 보강재 2장씩, 중앙에 1장을 삽입한 Type-C의 경우 단판으로 제작한 시험편의 MOR은 186.1 MPa, 합판으로 제작한 시험편은 165.1 MPa로 단판을 사용한 시험편이 1.12배 높은 MOR이 측정되었다. 파괴형상을 분석한 결과 두 시험편 모두 Type-B와 동일하게 보강재들 사이에서 박리현상이 발생하였다. 본 연구에서는 일정한 두께의 보강재를 얻기 위하여 보강재들 간에 접착제를 사용하였으며 그 결과 보강재들의 박리현상이 문제점으로 확인되었다. 그러나 GFRP는 자유롭게 형상을 가공할 수 있어 추후 연구에서 필요한 두께로 가공된 GFRP sheet를 사용한다면 이러한 문제는 해결될 것으로 생각된다.

보강재 배열에 따른 GFRP보강적층목재핀의 휨강도 시험결과 합판 각층에 보강재를 삽입한 Type-A가 가장 높은 휨강도가 관찰되었다. 그러나 드리프트핀과는 8.1배의 낮은 강도 차이를 보였다. 단판과 합판으로 제작한 시험편의 강도차이는 크지 않았으나 시공과정에서의 문제점을 검토해보기 위하여

Table 2. Results of bending strength test for GFRP reinforced laminated wooden pin according to the load direction

Test sample		Ave. MOR (MPa)	Standard deviation
Rectangle	Flatwise	65.6 (1.00)*	14.0
	Edgewise	205.3 (3.12)	15.2
Circle	Flatwise	74.6 (1.13)	4.1
	Edgewise	256.7 (3.91)	16.7

**Ave. MOR ratio based on the rectangle GFRP reinforced laminated wooden pin (Flatwise).

Table 3. Results of tensile type shear strength test

Test sample	P_{max} (kN)	Ave. P_{max} (kN)
Type-DS	32.59	32.05 (1.00)*
	31.50	
Type-WS	29.40	29.30 (0.92)
	29.20	
Type-WL	31.50	35.92 (1.12)
	40.33	

*Ave. MOR ratio based on the Type-DS.

집성재에 GFRP보강적층목재핀의 직경 크기로 선공(pre-drilling)하여 핀을 고무망치로 타격하였다. 그 결과 Fig. 6과 같이 단판으로 제작한 보강적층목재핀은 단판에서 파괴가 일어나는 반면 합판으로 제작한 보강적층목재핀은 양호한 형상을 보였다. 이러한 시험결과를 토대로 GFRP보강적층목재핀을 이용한 접합부의 인장형 전단내력 시험에서는 합판으로 제작한 GFRP보강적층목재핀(Type-A)을 접합물로 사용하였다.

GFRP보강적층목재핀의 고밀화 유무와 하중방향에 따른 성능을 시험한 결과 GFRP보강적층목재핀 제작 시 고밀화를 실시하지 않은 시험편의 평균 MOR은 150.8 MPa로 측정되었으며, 이와 반대로 고밀화를 실시한 시험편의 평균 MOR은 205.3 MPa로 고밀화를 하지 않은 시험편과 비교하여 1.36 배 높은 값이 측정되었다. 파괴형상에서는 두 시험편의 큰 차이점을 발견할 수 없었다. 또한 장방향으로

가공한 GFRP보강적층목재핀의 경우 하중이 Flatwise 방향으로 가해질 경우 평균 MOR이 65.6 MPa로 측정되었으며, Edgewise방향으로 하중이 가해질 경우 평균 MOR이 205.3 MPa로 Flatwise와 비교하여 3.12 배 높은 성능이 측정되었다. 원형으로 가공한 GFRP보강적층목재핀의 경우 Flatwise방향의 평균 MOR이 74.6 MPa, Edgewise방향의 평균 MOR이 256.7 MPa로 장방향과 동일하게 Edgewise방향에서 높은 강도가 측정되었으며 장방향보다 원형이 1.25배 높은 MOR이 측정되었다. 시험결과 원형으로 가공한 후에도 MOR의 저하는 발생하지 않았으며 실대재에 적용 시 하중방향을 고려해야 할 것이다.

3.2. GFRP보강적층목재핀을 이용한 접합부의 인장형 전단내력 성능평가

접합물과 접합판을 달리 사용하여 총 3가지 Type

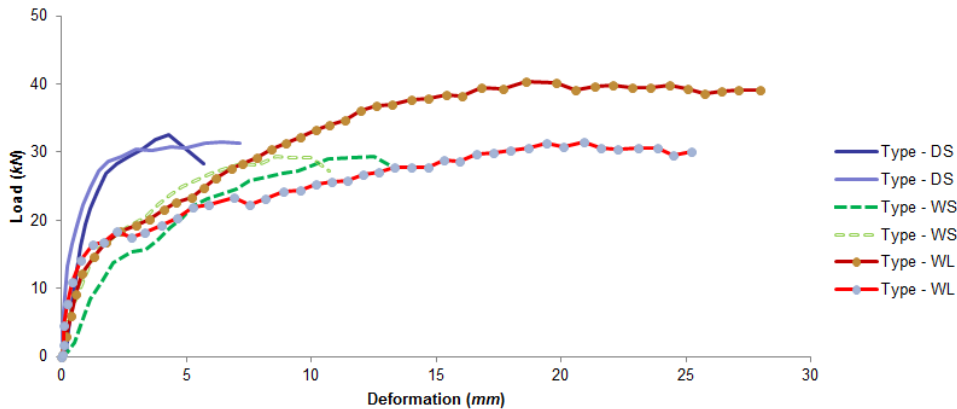


Fig. 7. Load-deformation curves of joint using GFRP reinforced laminated wooden pin.



Fig. 8. Failure modes of tensile type shear strength test.

의 시험편에 대하여 인장형 전단내력 시험을 실시하였다. Type-DS의 평균 최대전단내력은 32.1 kN으로 측정되었으며 Fig. 7에서와 같이 최대전단내력 이후 취성파괴가 발생하였다. 파괴형상은 Fig. 8과 같이 드리프트핀의 중앙부위가 인장하중에 의해 휘어짐으로서 집성재를 압입하여 전단할렬파단이 일어났으며 드리프트핀은 파괴되지 않았다. Type-WS의 경우 평균 최대전단내력은 29.3 kN으로 Type-DS와 비교하여 0.92배의 최대전단내력이 측정되었다. 파괴 시 GFRP보강적층목재핀에 의한 집성재의 압입은 Type-DS에 비해 적어 부재와 일체화됨을 보였지만 재질의 강성이 상대적으로 높은 강판에 의하여 핀이 절단되었다. Type-WL의 평균 최대전단내력은 35.9 kN으로 Type-DS, Type-WS와 비교하여 각각 1.10배, 1.22배 높게 측정되었다. 파괴형상은 Type-WL-1의

경우 Type-DS와 동일하게 핀의 중앙부위가 인장하중에 의해 힘으로 집성재를 압입하였으나 그 정도가 적었으며 동일 소재인 측면부재와 일체화됨을 보였다. 또한 동일한 소재인 접합판으로 인하여 최대전단내력 이후에 양호한 연성을 보였다. Type-WL-2의 Type-WL-1과 동일한 파괴형상을 보였으나 GFRP보강적층목재핀이 절단되지 않아 시험편 중 가장 높은 성능이 측정되었다. 시험결과 Type-DS의 경우 비례한도영역이 크지만 취성파괴가 발생하였다. Type-WS는 Type-DS와 반대로 비례한도영역이 작지만 Type-DS보다 양호한 연성이 관찰되었다. Type-WL은 Type-WS와 동일하게 비례한도영역은 작았지만 매우 양호한 인성이 관찰되어 접합부가 쉽게 파괴되지 않음을 확인하였다.

4. 결 론

기존 금속 접합구를 대신하여 목질재료와 GFRP를 이용한 GFRP보강적층목재편을 제작하였으며 접합부의 인장형 전단내력 시험을 실시하여 거동을 확인하였다.

보강재 배열에 따른 보강적층목재편의 휨강도 시험결과 보강재를 각층에 1장씩 삽입한 시험편이 가장 높은 성능을 보였으며 특히 단판보다는 합판으로 제작한 시험편이 양호한 성능을 발휘하였다. 또한 GFRP보강적층목재편 제작 시 고밀화한 시험편이 고밀화하지 않은 시험편에 비해 1.57배 높은 휨강도 성능이 측정되었다. 하중 방향에 따른 시험에서는 원형의 보강적층목재편과 장방향의 보강적층목재편 모두 Edgewise가 Flatwise와 비교하여 평균 3.51배 높게 측정되었다. 따라서 시공 시 접합부에 가해지는 하중방향을 고려하여 GFRP보강적층목재편을 사용해야 할 것이다.

앞선 시험결과를 바탕으로 제작된 GFRP보강적층목재편의 인장형 전단내력 시험 결과, 드리프트핀과 강판을 이용한 시험편(Type-DS)과 비교하여 GFRP보강적층목재편과 강판을 사용한 시험편(Type-WS)의 최대전단내력이 0.92배로 대등한 성능을 발휘하였다.

GFRP보강적층목재편과 GFRP보강목재적층판을 사용한 시험편(Type-WL)의 전단내력이 가장 높게 측정됨과 동시에 최대전단내력 이후 인성이 매우 양호한 것을 확인하였다. GFRP보강적층목재편의 MOR은 드리프트 핀에 비해 8.1배 낮았으나 동일한 재질의 접합판과 사용했을 시 금속 접합구를 사용하였을 때보다 오히려 높은 전단내력이 측정되는 것을 확인하였다. 이는 집성재의 접합부에 GFRP보강적층목재편과 GFRP보강목재적층판을 사용하므로 인해서 일체화가 이루어졌다고 생각되며 접합구로서 사용가능성을 확인하였다.

사 사

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

REFERENCES

- Batchelar, M.L., McIntosh, K.A. 1998. "Structural Joints in Glulam," Proceedings: 5th World Conference on Timber Engineering, Montreux, Switzerland, Vol. 1, pp 289~296.
- Kim, S.C., Yang, I.S., Kim, Y.B., Moon, Y.J. 2005. Development of Moment Resisting Joints Consisting Structural Laminated Timber with H-beam. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction 21(12): 119~126.
- KS F 3021. 2005. Structural Glued Laminated Timber.
- Park, J.C., Hong, S.I. 2009. Bonding Performance of Glulam Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Plastics. The Korean Society of Wood Science Technology 37(4): 357~363.
- Park, J.S., Hwang, K.H. 2011. Moment Resistance Performance of Each Joint for Post-Beam Frame Structure. The Korean Society of Wood Science Technology 39(1): 8~14.
- Pedersen, M. 2002. Dowel type timber connections. PhD Thesis, Technical University of Denmark.
- Soltis, L.A., Ross, R.J., Windorski, D.F. 1998. Fiberglass-Reinforced Bolted Wood Connections. Forest Products Journal 48(9): 63~67.