

유리섬유 조합에 따른 보강 집성재 볼트접합부의 전단강도 특성*¹

김 건 호*² · 송 요 진*² · 홍 순 일*^{2†}

Shear Strength of Reinforced Glulam-bolt Connection by Glass Fiber Combination*¹

Keon-Ho Kim*² · Yo-Jin Song*² · Soon-Il Hong*^{2†}

요 약

직물형 유리섬유 조합에 따른 보강 집성재의 볼트 접합부 전단 성능을 알아보기 위하여 인장형 전단시험을 실시하였다. 보강재는 직물형 유리섬유로서 유리섬유 배열 형태는 평직형과 능직형을 사용하였다. 보강 집성재는 5층으로 직물형 유리섬유의 삽입 위치와 조합 형태를 달리하여 층재 사이에 삽입 적층시켜 제작하였다. 인장형 전단 시험편은 강판 삽입형로서 끝면거리 7D에 직경 12, 16 mm의 볼트로 접합하였다. 체적비 1% 직물형 유리섬유 보강 집성재의 경우 12 mm 볼트 접합부의 항복 전단내력은 집성재 외층부보다 내층부를 보강한 시험편에서 10% 큰 값을 나타내었다. 체적비 2% 직물형 유리섬유 보강 집성재의 항복 전단내력은 12 mm 볼트 접합부의 경우 각층재 사이에 삽입 적층시킨 시험편이 보강하지 않은 접합부보다 약 22% 향상되었으며, 16 mm 볼트 접합부의 항복 전단내력은 약 20% 향상되었다.

ABSTRACT

In order to know the shear performances of a bolted connection in reinforced glulam depending upon the combination of textile glass fiber, a tensile-type shear test was conducted. Textile glass fiber was used as a reinforcement, whose glass fiber arrangement was a plain weaving type or a diagonal cloth type. Reinforced glulam was made up of 5 plies and it was produced by inserting and laminating the plies between laminas depending upon a changed insert position and combination form of textile glass fiber. Tensile-type shear test specimens were a steel plate insert-type and joined at end-distance 7D with bolts whose diameter 12 or 16 mm.

*¹ 접수 2012년 11월 12일, 채택 2013년 1월 16일

*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)

In textile glass fiber reinforced glulam, whose volume ratio was 1%, the yield shear strength of a 12 mm bolted connection increased by 10% when a test specimen had reinforced internal layers than when external layers were reinforced. As for textile glass fiber reinforced glulam, whose volume ratio was 2%, the yield shear strength of a 12 mm bolted connection increased significantly by about 22% compared to the bolted connection of non-reinforced glulam, and the yield shear strength of a 16 mm bolted connection was improved by about 20% compared to the bolted connection of non-reinforced glulam.

Keywords: glass fiber reinforced plastic, glass fiber reinforced glulam, bolt connection, shear performance

1. 서 론

구조용 집성재로서의 신뢰성을 확보하고 안정성 있는 목구조물을 설계하기 위해서는 접합부 내력 성능평가가 매우 중요하다. 금속 접합구를 사용한 목재 접합부의 대표적인 볼트 접합부는 고유의 특성을 갖고 있으며 그 특성은 내력에 반영되고 있다. 구조용 목질재료의 경우 일정한 끝면거리에서 인장하중 부과 시 활렬과 파단이 일어나며, 이는 목구조 설계 시 구조물 자체의 강도를 감소시키는 취약점으로 작용한다. Martin(2002)는 다우얼 타입의 목재접합부 내력 모델에서 접합부에 작용하는 응력상태가 접합부에 작용하는 하중을 통해 끝면거리 방향으로 인장응력과 지압응력이 발생하고 연단거리 방향으로 편심인장응력이 발생하게 된다고 하였다. 따라서 접합부에 작용하는 응력상태에 대하여 부재 자체를 보완하고 보강한다면 접합부뿐만 아니라 목구조물 자체의 강도 향상을 기대할 수 있을 것이다.

현재 국내외에서는 부재 자체의 보강방법이 개발되고 있으며 보강부재에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Sonti 등(1995)은 백합나무집성재의 인장부위 또는 인장부위와 압축부위에 GFRP로 보강하여 강도성능을 평가하였으며, GFRP로 체적비 3%를 증가시킬 경우 강성은 1.18배, 강도는 1.26배 증가되었다고 보고하였다. 국내에서도 집성재 내부에 전반적으로 구조용 강철, 유리섬유, 탄소섬유 등의 보강재를 삽입, 접착시킨 보강집성재에 관한 연구가 진행되고 있으며 집성재의 휨 강도가 향상되었음을 보고하

였다(박 등, 2009; 장 등, 2006; 정 등, 2003). 이와 같이 구조용 집성재의 경우 제작 공정의 단순화를 위하여 부재 전체를 보강하는 것이 일반적이나 강도적으로 취약한 접합 부위에 대한 보강만으로도 내력 향상 효과를 확인할 수 있을 것이라 사료된다. Soltis 등(1998) 유리섬유로 보강한 볼트접합부의 전단내력 성능으로 직물형 유리섬유를 부재 표면에 부착시켜 유리섬유층에 따른 내력성능을 비교하였다. 섬유 평행 방향 하중을 가하였을 경우 삼중으로 유리섬유를 보강한 볼트 접합부의 경우 약 33%의 최대하중이 증가하였으며, 섬유 직교방향의 하중을 가한 시험편은 2배 이상 증가하였다. 內迫 貴幸 등(2009)은 강관 삽입형 다우얼(dowel) 접합부에서 강관 대신 GFRP판을 이용하여 전단내력성능을 연구하였다. GFRP판 삽입형 접합부의 연성은 강관 삽입형 접합부보다 양호하였으나 항복하중은 강관삽입형의 90% 정도로 측정되었다. FRP를 이용한 접합부 보강 방법은 집성재 볼트 접합부의 취성으로 인한 파괴형상에서 양호한 연성으로 인한 접합부 내력을 향상시켰다. 그러나 위와 같은 보강 방법은 구조물의 외관을 손상시키며 강관을 사용한 기존 접합부의 접합내력에 미치지 못하기 때문에 한계가 있다. 따라서 집성재 제조 공정의 단순화가 가능하며 구조물 자체의 친환경적 외관을 유지하고 접합내력을 향상시킬 수 있는 접합부 보강 방법이 필요하다.

본 실험에서는 직물형 유리섬유 보강 집성재를 제작하여 보강재 삽입 위치와 조합 형태에 따른 볼트 접합부 인장형 전단 내력성능을 평가하였다. 직물형

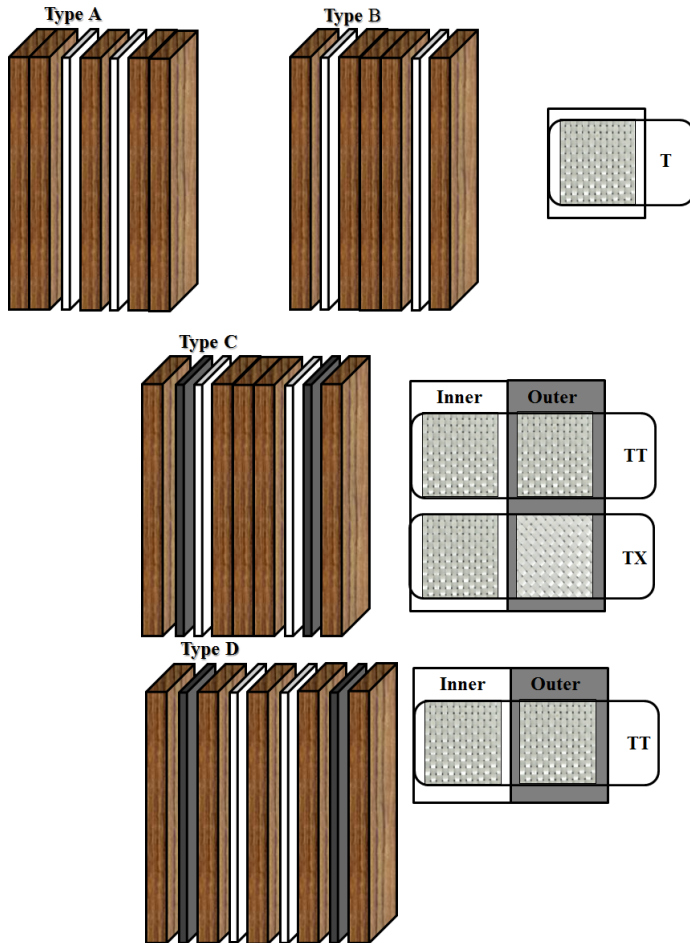


Fig. 1. Combination of the textile glass fiber reinforced glulam.

유리섬유는 접착층을 사이에 삽입위치에 따라 체적비 1%와 2%를 보강하였다. 전단내력시험편은 강판 삽입형으로서 접합구 직경에 따른 끝면거리는 7D와 5D로 제작하여 접합내력을 비교, 검토하였다.

2. 재료 및 실험방법

2.1. 공시재료

집성재 제작용 층재는 국내산 낙엽송(*Larix kaempferi* Carr.)을 사용하였으며, 평균 함수율은 12%, 평

균 기건 비중은 0.63(표준편차 : 0.07)이었다. 보강재는 직물형 유리섬유로 두께 0.25 mm 섬유다발이 경사와 위사가 겹쳐 평직으로 배열되어 있다. 실험에 사용된 유리섬유 배열 형태는 평직으로 배열된 직물형 유리섬유(T)와 45° 기울여 능직으로 배열된 직물형 유리섬유(X)를 사용하였다.

2.2. 집성재 및 강판 삽입형 전단 시험편 제작

집성재(CO) 및 직물형 유리섬유 보강 집성재는 5층

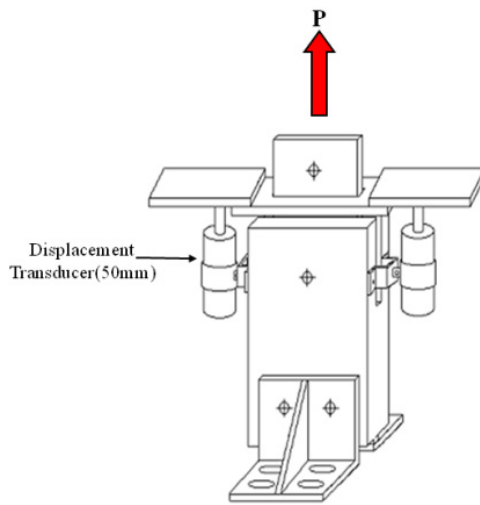


Fig. 2. Test of bolted joint with inserted steel plate parallel to the grain loading.

으로 보강재의 삽입 위치와 조합 형태에 따라 삽입하여 적층하였다. 집성재 제작에 사용된 접착제는 레조시놀수지 접착제인 Synteko1711/2623을 사용하였다. CO 시험편의 체적을 기준으로 Type A와 Type B의 체적 증가율은 1%였으며, Type C와 Type D의 체적 증가율은 2%였다. Fig. 1과 같이 Type A는 내층재와 증층재 사이, Type B는 내층재와 최외층재 사이에 T직물형 유리섬유 한 장을 삽입하여 적층하였다. Type C와 Type D는 조합 형태와 삽입 위치에 따른 전단내력을 비교하기 위한 시험편이다. Type C는 내층재와 최외층재 사이에 T직물형 유리섬유 두 장을 삽입한 TT타입, TX타입으로 구분하였다. TT타입의 경우 보강재 내층과 외층이 모두 평직으로 제작된 직물형 유리섬유를 사용하였으며, TX타입은 보강재 내층의 경우 평직으로, 외층의 경우 능직으로 제작된 직물형 유리섬유를 사용하였다. Type D는 최외층재와 내층재 사이 그리고 내층재와 증층재 사이에 T직물형 유리섬유를 각각 1장씩 삽입하여 적층하였다.

제작된 집성재는 강판 삽입형 전단 시험편으로 제작하기 위하여 끝면거리 7D (D=12, 16 mm) 위치에 볼트 천공을 한 뒤 집성재의 중앙 부위에는 8 mm 강판을 삽입할 수 있도록 두께 10 mm의 슬릿(slit)을 내었다.

2.3. 인장형 전단 시험 방법

인장형 전단 실험은 전단 시험편에 강판을 삽입하고 12, 16 mm 볼트로 접합하였다. 삽입된 강판에 금속치구를 설치하였으며 양측에 2개의 변위계를 부착시켜 측정된 변형의 평균값을 사용하였다. 시험편을 고정시켜주는 고정부는 볼트 접합부로 직경 20 mm를 사용하기 위하여 볼트의 간격은 60 mm, 고정부의 끝면거리는 130 mm로 접합하였다. 하중과 변형은 데이터 로거(Date logger TDS302)를 사용하여 측정하였으며 하중속도는 10 mm/min로 인장하중을 가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 체적비 1% 직물형 유리섬유 보강 집성재의 항복 전단내력

12 mm 볼트 접합부 TA 시험편의 항복 전단내력은 33.17 kN이었으며, B12TB 시험편의 항복 전단내력은 TA 시험편보다 10% 감소하였다. 이를 통해 12 mm, 끝면거리 7D의 볼트 접합부에서 직물형 유리섬유의 삽입 위치는 볼트와 가까운 층에 보강할 경우 항복

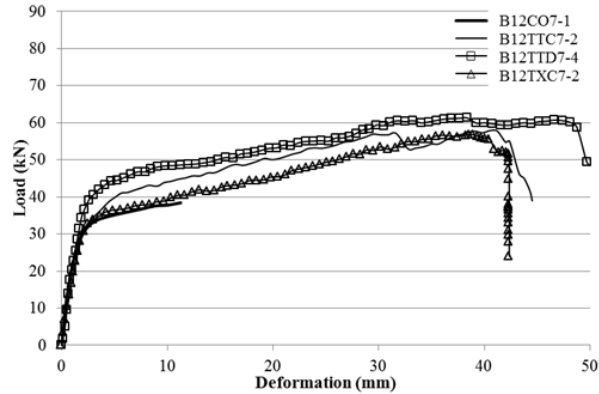


Fig. 3. Typical load-deformation curves of end-distance 7D on type of 12 mm.

전단내력이 증가하는 것을 확인하였으며, 이는 직물형 유리섬유가 볼트의 휨 모멘트가 큰 위치에서 볼트의 휨 변형을 억제하여 보강 효과가 나타나는 것으로 생각된다.

3.2. 체적비 2% 직물형 유리섬유 보강 집성재의 항복 전단내력

끝면거리 7D, 12 mm 볼트 접합부의 항복 전단내력은 CO 시험편의 경우 30.61 kN이었으며, 5D의 경우 7D보다 5% 감소한 값을 보였다. 보강 집성재 끝면거리 7D의 항복 전단내력을 기준으로 5D의 항복 전단내력 감소비는 B12TTC의 경우 0.97, B12TTD의 경우 0.93, B12TXC의 경우 0.96이었다. 특히 끝면거리 7D인 CO 시험편의 항복 전단내력을 기준으로 5D인 보강 집성재의 항복 전단내력을 비교하였을 경우 Table 1과 같이 모든 타입의 시험편의 내력이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 보강 집성재의 경우 CO 시험편보다 양호한 연성을 보였으며 이에 따라 최대 전단내력이 상당히 증가하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3). B12TTC7 시험편의 체적비 증가로 인한 항복 전단내력 증가율은 B12TA7 시험편보다 6% 증가하였다. 체적비 증가와 보강재 삽입 위치를 달리 한 B12TTD7 시험편의 항복 전단내력은 B12TA7 시험편에 비해 24% 증가하였다. 이를 통해 12 mm 볼트 접합부의 경우 직물형 유리섬유로 보강할 때 체적

비의 증가, 보강재의 조합보다는 보강재의 삽입 위치가 보강 집성재 접합부의 항복 내력 성능에 영향을 미침을 확인하였다.

B16CO7 시험편의 항복 전단내력은 50.82 kN으로, 5D의 항복 전단내력은 7D의 89%에 해당하는 값을 보였다. 보강 집성재 5D의 항복 전단내력 감소비는 B16TTC, B16TTD, B16TXC의 7D를 기준으로 각각 0.94, 0.97, 0.97이었다. 보강 집성재 끝면거리 5D의 항복 전단내력은 B12CO7 시험편을 기준으로 1.13~1.17배 증가하였으며, 7D의 경우 1.20배 증가하였다. 직경 12 mm에서 16 mm로 증가할 경우 볼트의 항복강도가 증가하게 되고 동일한 체적비의 조합과 삽입 위치에 따른 직물형 유리섬유 보강 집성재의 항복 전단내력은 거의 균일하게 증가하는 것을 확인하였다. 목구조 설계시 기준 끝면거리 7D에서 끝면거리 5D로 감소할 경우 거리에 따른 위치계수를 산정하여 적용하나, 유리섬유로 보강할 경우 최소끝면거리로 5D가 적용, 가능할 것이라 생각된다.

3.3. 체적비 2% 보강 집성재 볼트 접합부의 파괴형상

B12CO 시험편, 끝면거리 5D, 7D의 대표적인 파괴형상은 목리방향에 따라서 순간적인 할렬에 의해 파단되었다. B16CO 시험편의 경우 직경의 증가로 인해 접합구멍 상단부가 접합구에 의해 압입이 되어 순간

Table 1. Comparison of yield strength (P_y) of 12 mm connection

Type	Yield Load, P_y (kN)	Ratio of strength*
CO	B12CO5	0.95
	B12CO7	1.00
TTC	B12TTC5	1.01
	B12TTC7	1.03
TTD	B12TTD5	1.13
	B12TTD7	1.22
TXC	B12TXC5	1.05
	B12TXC7	1.09

* Ratio of P_y to $P_{y,B12CO7}$

Table 2. Comparison of yield strength (P_y) of 16 mm connection

Type	Yield Load, P_y (kN)	Ratio of strength*
CO	B16CO5	0.89
	B16CO7	1.00
TTC	B16TTC5	1.13
	B16TTC7	1.20
TTD	B16TTD5	1.16
	B16TTD7	1.20
TXC	B16TXC5	1.17
	B16TXC7	1.20

* Ratio of P_y to $P_{y,B16CO7}$

적으로 목리방향에 따라 전단 할렬 파괴가 일어났다.

이중(two-ply)직물을 최외층재와 내층재 사이에 적층한 TTC와 TXC의 경우 파괴형상이 비슷하게 나타났다. 하중이 증가함에 따라 볼트의 굴곡에 의해 강판과 보강재 사이의 목재가 1차적으로 파단되었고 이때 보강재와 최외층재는 파괴되지 않았다. 이후 다시 하중이 증가함에 따라 직물형 유리섬유를 제외한 최외층재의 목재가 볼트의 와셔(washer)의 압입으로 인해 전단파괴가 일어났다. 와셔의 압입과 볼트의 압입으로 인해 보강재간 접촉층이 파괴되는 시험편도 확인되었다. 16 mm 5D의 경우 짧은 끝면거리로 인해 최외층재의 목재가 직물형 유리섬유와의 접촉층에서 인장전단파괴가 일어난 시험편도 있었다. TTD의 경우 단일직물이 각층마다 적층되어 있기 때

문에 내층재, 중층재, 최외층재의 목재가 순차적으로 파괴되었으며 직물형 유리섬유는 파단되지 않았다. 이를 통해 유리섬유가 볼트의 압입으로 인한 할렬 진행을 억제하는 사실을 확인할 수 있었으며, CO 시험편의 순간적인 파괴형상과는 달리 유리섬유 삽입 위치에 따라 순차적인 파괴 진행과정을 확인하였다.

Control 시험편에 사용된 볼트의 파괴형상을 기준으로 12 mm 볼트접합부 보강 집성체의 볼트는 TTD 시험편이 가장 큰 굴곡을 보였다. 이는 TTD 시험편의 볼트가 하중에 의해 휨 변형이 일어나면서 보강집성체의 파괴가 일어났으나 하중은 계속 유지되었기 때문이다. EYM 이론에 의한 직물형 유리섬유 보강 집성체의 파괴모드는 Mode III에 해당하며 Mode III은 볼트 중앙부위에 인장하중으로 인한 굴곡이 생기

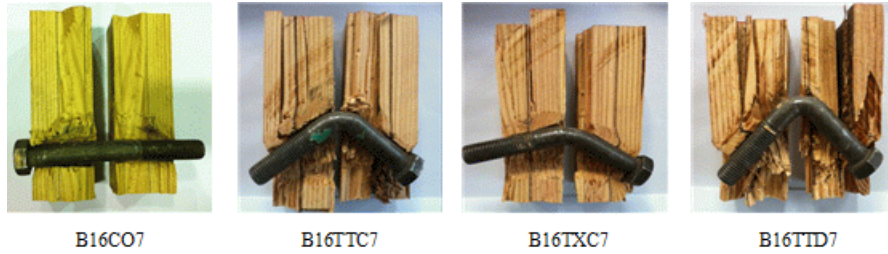


Fig. 4. Failure mode of bolt in 16 mm bolted connection.

는 파괴형상이다. 16 mm 볼트 접합부의 볼트 파괴형상은 Control 시험편의 경우 거의 굴곡되지 않았으나 보강 집성재 시험편의 볼트는 Fig. 4와 같이 상당히 굴곡되었다. 이는 CO 시험편의 경우 인장전단하중 증가 시 볼트가 목재를 압입하며 할렬이 순간적으로 진행되나 보강 시험편은 유리섬유가 목재의 할렬 전이를 억제하므로 최대내력 전까지 시험편이 완전히 파괴되지 않고 볼트가 굴곡된 것으로 생각된다.

4. 결 론

체적비 1% 직물형 보강 집성재의 항복 전단내력을 비교한 결과 중층재와 내층재에 직물형 유리섬유를 삽입한 경우 보강 효과를 확인할 수 있었으며, 체적비 1% 직물형 보강 집성재를 체적비 2%로 증가하였을 경우 항복 전단내력이 6%증가하였다. 체적비 2% 직물형 유리섬유의 삽입 위치를 달리한 보강 집성재의 경우 최외층재와 내층재 사이를 보강한 시험편보다 각층에 보강한 시험편의 항복 전단내력이 동일한 끝면거리의 보강하지 않은 시험편보다 약 22% 향상하였으며, 단거리를 5D로 감소하여도 13% 향상되는 것을 확인하였다. 16 mm, 볼트 접합부의 경우 직물형 유리섬유 보강 집성재의 항복 전단내력은 보강 위치와 상관없이 동일한 끝면거리의 보강하지 않은 시험편보다 20% 향상되었다. 볼트의 굴곡 정도를 비교한 결과 유리섬유가 목재의 할렬 전이를 억제하며 접합부의 연성을 증가시켰다. 따라서 직물형 유리섬유로 볼트접합부를 보강할 경우 접합부뿐 아니라 구조물 자체의 강도향상의 가능성을 확인할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(과제번호: 2009-0075285)입니다.

참 고 문 헌

1. 박준철, 신윤중, 홍순일. 2009. 초산비닐수지계 접착제를 사용한 탄소섬유강화플라스틱 복합집성재의 휨 성능. 목재공학 37(4): 364~371.
2. 장상식, 김윤희, 장영익. 2009. 구조용 강철과 구조용 집성재 복합재료 보의 역학적 성질. 목재공학 37(4): 300~309.
3. 정인석, 이원희, 변희섭. 2003. 직물유리섬유 강화집성재의 물리적 특성(제1보) - 기계적 특성 -. 목재공학 31(5): 23~34.
4. Martin Pedersen. 2002. Dowel type timber connections. PhD Thesis, Technical University of Denmark.
5. Soltis, L. A., R. J. Ross, and D. F. Windorski. 1998. Fiberglass-reinforced bolted wood connections. Forest Products Journal 48(9): 63~67.
6. Sonti, S. S. and H. V. S. GangaRao. 1995. Strength and stiffness evaluations of wood laminates with composite wraps. 50th Annual Conference, Composites Institute, The society of the plastic industry, Inc.
7. 内迫 貴幸, 德田 迪夫. 2009. ガラス纖維強化ナイロン樹脂を用いた合理化軸組工法(第1報)-ドリフトピン接合の基本的な静的せん断特性-. 木材學會誌, 55(4): 226~234.