

직물형 유리섬유로 보강된 원통형 단판적층재의 휨 강도 성능 평가¹

이 인 환² · 홍 순 일^{2,†}

Bending Strength Performance Evaluation of Glass Fiber Cloth Reinforced Cylindrical Laminated Veneer Lumber¹

In-Hwan Lee² · Soon-Il Hong^{2,†}

요 약

원통형 단판적층재는 단판 테이프를 원형 실린더에 감아서 제작된 제품이다. 단판 테이프는 단판을 직사각형으로 제단한 후 섬유 수직방향으로 재봉하여 제작하였다. 단판의 수종과 재봉사의 종류 및 재봉사의 조합을 다르게 제작한 단판테이프로 인장강도 실험이 실시되었다. 라디에타 소나무 단판에 강화 재봉사를 사용하여 재봉선 3줄로 제작한 단판 테이프의 인장강도 성능이 가장 우수하였다. 또한 단판 테이프의 이격 및 끊어짐 현상이 개선되어 원통형 단판 적층재의 작업성이 향상되었다.

원통형 단판적층재는 단판 테이프의 종류와 직물형 유리섬유의 보강 유무 및 단판 적층 수를 다르게 제작하여 낙엽 송 원목과 휨강도 성능을 비교 검토하였다. 직물형 유리섬유를 체적비 11%로 보강한 시험편은 휨 파괴계수가 보강하지 않은 시험편보다 65% 향상되었다. 재봉선 2줄 단판 테이프로 제작한 원통형 단판적층재는 단판 테이프 간 Butt joint에서 파단이 발생하였다. 하지만 재봉선 3줄 단판 테이프로 제작한 원통형 단판적층재는 섬유방향으로 파단이 발생하였다.

ABSTRACT

Cylindrical laminated veneer lumber (LVL) is produced by winding the veneer tape on a circular cylinder. The veneer tape was produced by cutting the veneer into a rectangular shape and sewing it in a vertical direction to the fiber. The tensile strength test was carried out by producing the veneer tape specimen with different species of veneer, types and combinations of sewing yarn. The Radiata pine veneer tape produced with three sewing lines using the reinforced sewing thread had the best tensile strength. Also, the separation and snapping problems of the veneer tape were improved, resulting in the improvement in the workability of cylindrical LVL.

¹ Date Received November 3, 2015, Date Accepted April 22, 2016

본 논문은 목조건축 국제심포지엄 ITCS 2015 및 2015 한국목재공학회 학술발표에 일부분 발표되었음

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

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

The bending strength of various cylindrical LVL produced with different types of veneer tape and a different number of lamination layers and the application of reinforcement with glass fiber cloth was compared with that of Larix log. Bending MOR of cylindrical LVL reinforced with glass fiber cloth at the volume ratio of 11% was improved by 65% in comparison to the non-reinforced cylindrical LVL. In the case of the cylindrical LVL produced with 2 sewing lines of veneer tape, a fracture occurred at the butt joint between the veneer tapes. However, in the case of the cylindrical LVL produced with 3 sewing lines of veneer tape a fracture occurred in the fiber direction.

Keywords : bending performance, cylindrical Laminated veneer lumber, glass fiber cloth, veneer tape, spiral winder

1. 서 론

원통형 단판적층기둥재의 경우 원목의 건조나 이용과정에서 발생하는 뒤틀림과 할렬 등의 결함을 해소할 수 있으며, 장대형 원통 기둥재를 제작 가능하다는 장점이 있다. 그러나 건축부재로서 활용하기 위해서는 효율적인 제조공법, 건축부재로서의 강도 성능의 신뢰성 확보가 필요하다.

Hata 등(1989)은 단판을 핑거조인트로 연결한 후 원형 실린더에 길이방향으로 적층을 하여 원통형 단판적층재를 제작하였다. 이후 Hata 등(1998)은 단판을 섬유 수직방향으로 재봉한 단판 테이프 개발과 “Spiral winding Method”을 연구하였고, 단판 테이프를 층마다 교차적층하여 제작한 원통형 단판적층재의 휨 강도 성능이 가장 양호한 것을 확인하였다. Berard 등(2011)은 원통형 단판적층재의 휨 강도 값과 유한요소법으로 예측한 값을 비교 검토하여 유한요소법의 신뢰성을 확인하였다. 또한 원통형 단판적층재의 MOE와 MOR은 섬유경사각과 관련이 없으며, Butt joint 간격이 0.5 mm 이하에서 향상됨을 유한요소법으로 확인하였다. Suh 등(2012)은 원통형 단판적층재의 내수접착성능이 양호하며, 오일 도장 처리할 경우 내마모성이 향상된다고 보고하였다.

목조 건축재의 강도 향상과 취성파괴 특성을 개선하고자 다양한 섬유 보강에 대한 연구가 이뤄지고 있다(Park *et al.*, 2009). 특히 유리섬유는 충격저항력이 뛰어나며 가격이 다른 섬유보다 저렴하여 많은 곳에서 이용되고 있다.

원통형 단판적층재의 제조공법 및 기둥재로써의

강도 성능은 국내에서 어느 정도 검토되었다. Song 등(2014)은 직물형 유리섬유로 보강하거나, 중공부위에 콘크리트를 타설한 원통형 단판적층기둥재의 압축 성능을 원목과 비교 검토하였다. 또한 원통형 단판적층재를 보부재와 접합하여 접합부의 강도 성능도 검토하였다(Song *et al.*, 2014). 하지만 원통형 단판적층재의 휨 부재 성능에 대한 연구는 미진한 상황이다. 또한 원통형 단판적층재의 주재료인 단판 테이프(veneer tape)는 제조과정에서 단판이 이격되거나 끊어지는 경우가 발생한다. 단판 테이프의 이격으로 생성된 공극은 접착제 사용량 증가의 원인이 될 수 있으며, 단판테이프가 자주 끊어지면 작업 능률을 저하된다.

본 연구에서는 이러한 단판 테이프의 단점을 보완하고자 재봉선 수, 실의 조합, 재봉사의 종류, 그리고 수중에 따라 다양한 단판 테이프를 제작하여 인장강도 성능을 평가하였다. 또한, 원통형 단판적층재는 단판 테이프의 종류, 적층 수, 직물형 유리섬유의 보강 유무를 다르게 제작하였으며, 낙엽송 원목과 휨 강도 성능을 비교 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 단판 테이프 시험편 제작 및 시험방법

공시재료로는 평균 기건비중 0.52, 평균함수율 7%, 폭 100 mm, 두께 2.66 mm의 낙엽송(*Larix kaempferi* (Lamb.) Carriere)과 이와 같은 크기로 재채된 평균 기건비중 0.48, 평균함수율 8%의 라디에타 소

Table 1. Specimen types of veneer tape

Species	Number of seam	Thread	Thread combinations		Type name of thread
			up	down	
Larix	2	Polyester	9	6	Control
		Reinforced polyester	6	3	Type-A
			6	6	Type-B
			9	3	Type-C
	3	Polyester	9	6	Control
		Reinforced polyester			
Radiata pine	2	Polyester	9	6	Control
		Reinforced polyester	6	3	Type-A
			6	6	Type-B
			9	3	Type-C
	3	Polyester	9	6	Control
		Reinforced polyester			

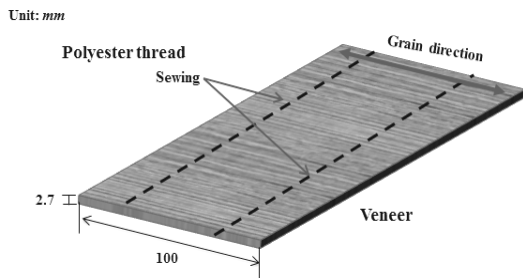


Fig. 1. The veneer tape produced by sewing.

나무(*Pinus radiata* D.Don) 단판을 사용하였다. 단판 테이프는 단판을 섬유수직방향으로 재봉하여 제작하였다(Fig. 1). 재봉기의 실은 윗실과 밑실 두 가지로 구분되어지며, 실의 종류마다 합(실이 꼬인 개수)이 다르다. 이 특성을 활용하여 단판 테이프에 박음질되는 윗실과 밑실의 조합을 다양하게 하였다. 실 종류에 따른 단판 테이프는 일반 폴리에스테르사 윗실 9합 밑실 6합으로 제작된 대조군 시험편과 강화 폴리에스테르사로 제작된 Type-A (윗실 6합, 밑실 3합), Type-B (윗실 6합, 밑실 6합), Type-C (윗실 9합, 밑실3합) 시험편을 제작 사용하였다. 또한 재봉선 수도 2줄과 3줄로 다르게 적용하여 시험편을 제작하였다(Table 1). 윗실과 밑실의 조합에 따른 단판 테이프의 인장강도 성능은 재봉선 2줄

시험편으로 측정하였으며, 재봉선 3줄 시험편은 재봉선 2줄 시험편에서 가장 양호한 실 조합으로 제작하였다.

단판 테이프 시험편은 길이 30 cm로 일정하게 재단하였으며, 고정부의 파괴를 억제하기 위하여 시험편 상·하단에 GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastics) 시트를 에폭시 수지로 접착시킨 후, 인장시험을 진행하였다.

2.2. 원통형 단판적층재 제작 및 시험방법

원통형 단판적층재에 사용된 단판테이프는 인장강도 시험에서 가장 우수한 성능의 조합과 일반 단판 테이프(Table 1)를 사용하였다. 원통형 단판적층재 제작 기계는 직경 140 mm 길이 2400 mm의 실린더를 중심으로 접착제 도포 및 단판 공급 장치와 압제롤러 그리고 손잡이로 구성되어 있다. 제작 방법은 손잡이를 돌려서 실린더가 회전하면 접착제 도포 장치에서 단판이 공급되어 실린더에 감기는 동시에 압제롤러가 단판을 압제해주는 방식이다(Fig. 2). 원통형 단판적층재의 길이는 최대 2200 mm까지 제작 가능하며 핸들의 방향에 따라 단판이 감기는 방향을 전환할 수 있다. 접착제는 레조시놀수지를 경화제와 100 : 15 비율로 혼합하여 사용하였다. 보강재로는

Table 2. Combination of cylindrical LVL specimens

Specimens name	Number of ply	Inside diameter (mm)	Outer diameter (mm)	Reinforced presence (glass fiber cloth)	Veneer tape type
10P	10	140	193	None-Reinforced	Polyester-2 line
10P-G			195	Reinforced	
10P-3			193	None-Reinforced	Reinforced Polyester-3 line
10P-G-3			195	Reinforced	
20P	20		246	None-Reinforced	Polyester-2 line
20P-G			251	Reinforced	

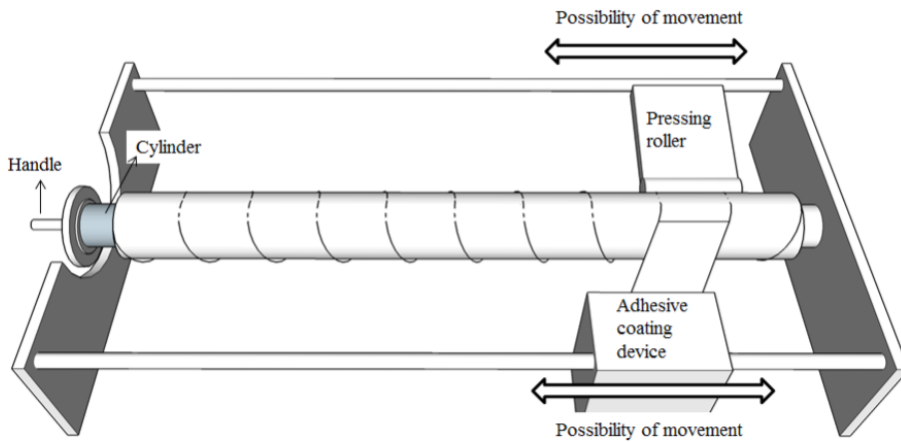


Fig. 2. Schematic diagram of spiral-winder.

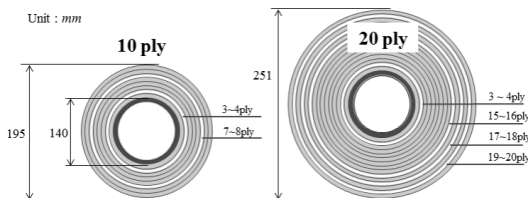


Fig. 3. Reinforced area of the glass fiber cloth.

폭 200 mm 두께 0.5 mm인 직물형 유리섬유를 사용하였다. 단판 테이프는 적층기의 실린더 축과 경사각 $\pm 10^\circ$ 가 되도록 나선상으로 교차적층 하였다 (Yamauchi *et al.*, 1997).

원통형 단판적층재의 종류는 재봉선 2줄 단판 테이프로 제작된 10층 원통형 단판적층재를 기준으로 단판 테이프의 종류와 보강 유무 그리고 적층 수를

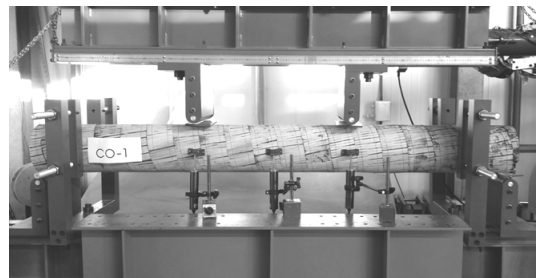


Fig. 4. Bending performance test of cylindrical LVL.

각기 다르게 제작하였다(Table 2).

직물형 유리섬유 보강 원통형 단판적층재는 체적 비는 11%로 보강하였다. 10층과 20층 원통형 단판 적층재의 직물형 유리섬유 보강위치는 Fig. 3과 같은 위치에 3겹씩 교차적층 하였으며, 접착제는 양면도

Table 3. Result of tensile test for 2 sewing line veneer tape

Species	Number of thread	Reinforced presence	Thread type	P_{max} (N)
Larix	2	Polyester	Control	84.1 *(1.00)
			Type-A	84.2 (1.00)
		Reinforced polyester	Type-B	108.9 (1.29)
			Type-C	90.45 (1.07)
Radiata pine	2	Polyester	Control	90.1 (1.07)
			Type-A	104.5 (1.24)
		Reinforced polyester	Type-B	131.5 (1.56)
			Type-C	103.4 (1.23)

*() ratio of P_{max} Strength relative to 2 line veneer tape

포 하였다. 완성된 원통형 단판적층재는 고무밴드를 사용하여 0.3 MPa의 압제압력을 가해주고 3일간 상온경화 하였다. 원통형 단판적층재 시험편의 명명과 제작된 단면의 직경은 Table 2와 같다. 원통형 단판적층재의 휨 강도 성능을 비교하기 위하여 직경 200 mm의 낙엽송(Larix kaempferi Carr.) 원주목을 대조 시험편으로 사용하였다. 모든 시험편의 길이는 2000 mm로 동일하게 제작하였다.

원통형 단판적층재의 휨 강도시험은 지점간 거리 1800 mm, 하중점간거리 600 mm의 3등분 4점 하중을 가하여 실시하였다(하중속도 10 mm/min). 휨 시험편의 변형은 중앙부분과 하중이 가해지는 부위의 하단부에 변위계를 설치하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 단판 테이프 인장강도 성능 평가

재봉선 2줄로 이루어진 낙엽송 단판 테이프의 인장강도 시험편은 인장력 부하 초기부터 섬유방향으로 할렬이 발생하면서 단판이 이격되는 반면, 라디에

타 단판 테이프 시험편은 형태를 유지되다가 최대하중 직전에 섬유방향으로 파단 되었다. 라디에타 단판 테이프 시험편이 낙엽송 단판 테이프 시험편보다 10~20% 향상된 인장강도 값이 관찰되었다.

강화 재봉사를 사용한 시험편의 경우 Type-A와 Type-C의 강도 차이는 미비하였으나 Type-B 시험편은 25~30% 우수한 인장성능이 확인되었다. 이는 단판 테이프의 윗실만 보강하였을 경우 대부분 밑실에서 파단이 관찰되었기 때문에 윗실과 밑실 중 합이 낮은 실에서 파단이 발생하는 것으로 분석된다 (Table 3). 따라서 한쪽 실만 보강하는 것보다는 Type-B처럼 양측을 동일하게 보강하는 것이 효율적이라고 판단된다. 이후 재봉선 3줄로 이루어진 단판 테이프 시험편은 Type-B조합으로 제작하였다.

재봉선 3줄 시험편은 Table 4와 같이 강화 재봉사를 사용한 시험편의 인장강도 성능이 향상되었으며 2줄 시험편보다 40~60% 인장강도 향상이 관찰되었다. 이는 일반 재봉사를 사용한 시험편보다 낙엽송 2.13배 라이에타소나무 2.51배 향상된 값이다.

재봉선 2줄 단판 테이프의 파괴형상은 재봉사 가닥이 서서히 이완되다가 한 쪽 재봉선이 끊어지면서

Table 4. Results of tensile test for veneer tape types

Species	Number of thread	Reinforced presence	Thread type		P_{max} (N)	Standard deviation
			Up	Down		
Larix	2	Polyester	Control		84.1	12.6
		Reinforced polyester	Type B		108.9	17.1
Radiata pine	2	Polyester	Control		90.1	8.2
		Reinforced polyester	Type B		131.5	8.5
	3			188.9	6.2	

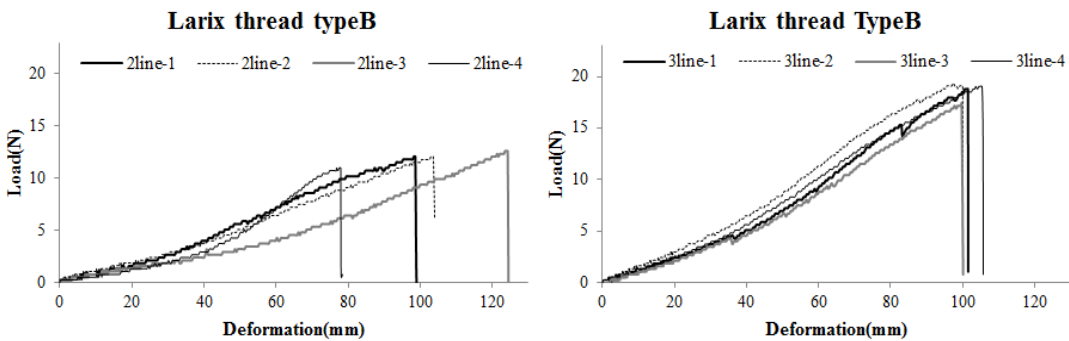


Fig. 5. Relationship between load and deformation for number of thread.

단판이 이격되었다. 하지만 3줄 단판 테이프는 세 재봉선이 동시에 끊어지는 현상이 관찰되었다. 이러한 현상으로 재봉선 2줄 시험편이 3줄 시험편보다 인장강도 편차가 크게 나타났다(Fig. 5).

3.2. 원통형 단판적층재의 휨 강도 성능 평가

3.2.1. 식물형 유리섬유 보강유무에 따른 원통형 단판적층재의 휨 강도 성능

원통형 단판적층재는 체적비 11%의 식물형 유리섬유로 보강할 경우, 모든 원통형 단판적층재 시험편의 휨 파괴계수가 보강하지 않은 원통형 단판적층재보다 64% 향상되었다. 식물형 유리섬유로 보강하지 않은 원통형 단판적층재 시험편들은 최대하중 이후 급격한 하중감소로 연성이 적게 관찰 되었으나, 식물형 유리섬유로 보강한 원통형 단판적층재는 최대하중 이후에도 완만한 곡선 형태로 하중이 유지되어

연성이 증가한 것을 확인할 수 있었다(Fig. 6). 이러한 현상은 식물형 유리섬유가 취성파단을 억제하였기 때문이라고 판단된다.

20층 무보강 원통형 단판적층재 시험편의 최대하중은 95.0 kN으로 10층 무보강 시험편의 최대하중 40.8 kN보다 2.3배 증가되었으며, 식물형 유리섬유로 보강한 20층 시험편도 보강한 10층 시험편보다 최대하중이 2.3배 증가되는 경향을 보였다. 원통형 단판적층재는 단판 적층 수 증가에 따라 최대하중은 비례하여 증가하는 경향을 보였다.

3.2.2. 원목과 원통형 단판적층재의 휨 강도 성능 비교

식물형 유리섬유로 보강한 10층 시험편과 3줄 단판 테이프를 사용하고 식물형 유리섬유로 보강한 10층 시험편의 휨 파괴계수 값은 유사직경의 원목보다 0.66, 0.68배 낮게 측정되었지만, 단면 이차모멘트

Table 5. Results of bending test for cylindrical LVL

Specimen	P_{max} (kN)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	Moment of inertia (cm ⁴)
Log	149.35 (1.00) ¹	57.05 (1.00) ²	3.7 (1.00) ³	7853.98 (1.00) ⁴
10P	40.80 (0.27)	23.87 (0.42)	3.2 (0.88)	4953.35 (0.63)
10P-G	67.91 (0.45)	37.60 (0.66)	4.1 (1.12)	5299.56 (0.67)
10P-3	42.09 (0.28)	24.63 (0.42)	3.5 (0.96)	4953.35 (0.63)
10P-G-3	70.02 (0.47)	38.77 (0.68)	4.2 (1.14)	5299.56 (0.67)
20P	95.01 (0.64)	21.67 (0.37)	2.0 (0.54)	16208.18 (2.06)
20P-G	156.01 (1.04)	33.47 (0.58)	1.9 (0.51)	17535.63 (2.23)

¹Thread line, ¹Pmax ratio based on the Log, ²MOR ratio based on the Log, ³MOE ratio based on the Log, ⁴Moment of inertia ratio based on the Log

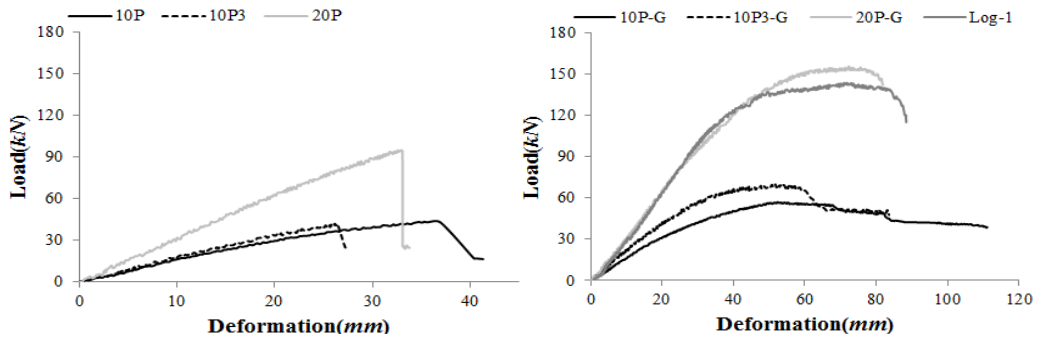


Fig. 6. Relationship between load and deformation of cylindrical LVL.

의 비율이 0.67로 측정되어서 단면 이차모멘트 비 휨 파괴계수 값은 동일한 경향을 보였다. 원통형 단판적층재의 탄성계수 값은 낙엽송 원목보다 낮게 측정되었지만, 직물형 유리섬유로 보강한 원통형 단판적층재의 탄성계수 값은 12% 증가하였다.

직물형 유리섬유로 보강한 20층 시험편은 낙엽송 원목보다 큰 단면계수에 기인하여 휨 파괴계수 값이 감소되었지만 최대하중은 증가하였다. 보강된 20층 시험편의 외경은 약 250 mm로 원목의 직경보다 크지만, 중공부분을 제외한 보강 20층 시험편의 적층 두께는 약 110 mm로 원목직경 200 mm에 비해 현저히 적었다.

3.2.3. 단판 테이프 제작실의 조합에 따른 원통형 단판적층재의 파괴형상 비교

일반 폴리에스테르사 잇실 9합 밀실 6합으로 제

작된 대조군 시험편 단판 테이프를 사용한 원통형 단판적층재보다 인장성능이 향상된 단판 테이프 제작된 원통형 단판적층재의 휨 강도 성능이 소폭 향상되었다. 이는 원통형 단판적층재 제작과정에서 단판 테이프의 이격현상이 감소하여 원통형 단판적층재의 공극이 적어진 현상에 기인한 것으로 분석된다. 원통형 단판적층재 제작 시 굽김 현상도 현저히 감소하여 외관의 심미성이 향상되었다 (Fig. 7).

2줄 단판 테이프 제작된 원통형 단판적층재 시험편들은 중앙 하단의 Butt joint에서 취성 파단이 발생하였으나 우수한 인장성능의 3줄 단판 테이프 제작된 원통형 단판적층재 시험편들은 섬유방향으로 파단이 발생하였다(Fig. 8). Berard (2011)는 원통형 단판적층재의 Butt joint 간격이 감소하면 휨 파괴계수가 증가한다고 보고하였다. 따라서 위와 같은 파괴

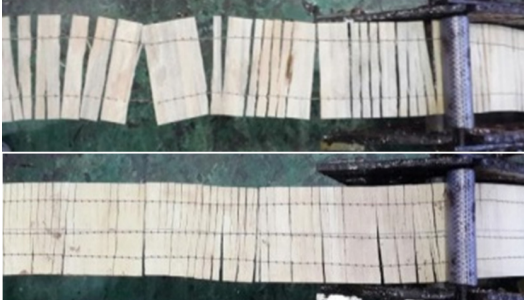


Fig. 7. Failure modes of tensile strength performance test for veneer tape specimens.

형상은 3줄 단판 테이프의 우수한 인장강도성능이 원통형 단판적층재 제작과정에 기인하여 Butt joint가 양호하게 접합되었을 것으로 사료된다. 간벌재로 제작된 단판을 활용하여 유압식으로 제작한 직경 145 mm의 9층 원통형 단판적층재의 평균 최대하중은 41.7 kN으로 측정되었고, 모든 접합 부위가 동시에 파단 되어 시험편이 완전히 파괴되는 형상을 보였다(Benoit *et al.*, 2014). 최대하중은 직경 193 mm의 3줄 단판 테이프로 제작된 10층 원통형 단판적층재 시험편과 비슷하였으나 라디에타 소나무로 제작된 원통형 단판적층재의 파괴형상이 간벌재로 제작된 원통형 단판적층재 보다 안정적인 것으로 관찰되었다. 파괴모드는 인장부위 하단 중앙에서 할렬이 시작되어 섬유방향으로 파단이 진행된 원목의 파괴모드와 흡사하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 원통형 단판적층재의 작업성능을 향상시키기 위해 단판 테이프의 인장강도 성능을 평가하였으며, 원통형 단판적층재의 휨 부재로써 활용 가능성을 평가하고자 낙엽송 원목과 원통형 단판적층재의 휨 강도 성능을 비교 분석하였다.

단판 테이프의 인장강도성능 시험결과 라디에타 소나무, 재봉선 3줄, 강화 재봉사로 제작된 단판 테이프가 가장 우수한 인장강도 값을 나타냈으며, 이격 및 끊어짐 현상이 현격히 저하되었다. 인장강도

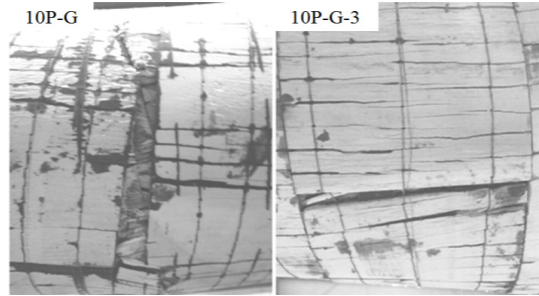


Fig. 8. Failure modes of bending performance test for cylindrical LVL.

성능이 우수한 3줄 단판 테이프로 원통형 단판적층재를 제작할 경우 단판 테이프의 끊어짐 현상이 저하되어 제작과정의 작업능률이 향상되었다. 원통형 단판적층재 제작시 단판 테이프의 이격현상 감소로 원통형 단판적층재 외관의 심미성이 향상되었다. 또한 원통형 단판적층재의 Butt joint간 접촉력이 향상되어 일반 단판 테이프로 제작한 원통형 단판적층재와 파괴형상이 상이하였다. 3줄 단판 테이프로 제작한 원통형 단판적층재는 Butt joint에서 파괴형상이 발생하지 않고 단판의 섬유방향으로 파단이 관찰되었다. 직물형 유리섬유로 보강한 원통형 단판적층재(10층, 20층)는 보강하지 않은 시험편보다 휨 파괴계수가 60% 향상되었으며 탄성계수도 64%로 보강 비율에 따라 균일하게 향상된 경향을 보였다.

사 사

이 논문은 2014년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음(120141456).

REFERENCES

- Benoit, P.G., Ian D.U., Henri, B., Robbie, L.M. 2014. Structural veneer based composite products from hardwood thinning - part II : testing of hollow utility poles. *Materials and Joints in*

- Timber Structures RILEM bookseris 9: 629-640.
- 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., Sin, Y.J., Hong, S.I. 2009. Bending Performance of Glulam Beams Reinforced with Carbon Fiber-Reinforced Plastics Bonded with Polyvinyl Acetate-Based Adhesive. *Journal of The Korean Wood Science & Technology* 37(4): 364-371.
- Park, J.C., Sin, Y.J., Hong, S.I. 2009. Bonding performance of glulam reinforced with glass fiber-reinforced plastics. *Journal of The Korean Wood Science & Technology* 37(4): 357-363.
- Song, Y.J., Jung, H.J., Park, H.H., Lee, H.Y., Hong, S.I. 2014. Evaluation of the moment resistance joint strength of larch glulam fiber reinforced wood plate. *Journal of The Korean Wood Science & Technology* 42(5): 571-578.
- Song, Y.J., Jung, H.J., Lee, J.J., Suh, J.S., Park, S.B., Hong, S.I. 2014. Structural performance of joints for partial reinforced beam using GFRP laminated plate and cylindrical reinforced LVL column. *Journal of The Korean Wood Science & Technology* 42(3): 282-289.
- Suh, J.H., Kim, J.I., Hwang, S.W., Park, S.B. 2012. Bonding Quality of Cylindrical LVL and Surface Durability by Its Painting. *Journal of The Korean Wood Science & Technology* 40(6): 418-423.
- Yamauchi, H., Shoho, S., Yang, O., Kawai, S., Sasaki, H. 1997. Manufacturing of cylindrical LVL by spiral-winding method. I. Effect of interlocked-Plies on the tensile Young's modulus. *Mokuzai Gakkaishi* 43: 747-753.