

원통형 단판적층재의 접착성 및 도장처리에 따른 표면내구성*¹

서진석*^{2†} · 김종인*² · 황성욱*² · 박상범*²

Bonding Quality of Cylindrical LVL and Surface Durability by Its Painting*¹

Jin-Suk Suh*^{2†} · Jong-In Kim*² · Sung-Wook Hwang*² · Sang-Bum Park*²

요약

원통형 단판적층재(LVL)의 구조재 이외의 공예재 등의 용도개발을 위하여 원통형 단판적층재의 내수접착성과 도장처리에 따른 내마모성 및 표면경도를 측정하였다. 레조시놀 수지와 경화제(paraformaldehyde)를 100 : 5의 혼합비로 하여 접착·경화한 원통형 단판적층재의 전체적인 접착층에 대한 삶음바리 접착력은 양호한 편이었다. 내마모성은 횡단면이 접선단면보다 상대적으로 우수하였으며, 접선단면에 자외선 차단 오일을 도장 처리한 경우 내마모성이 향상되었다. 표면경도는 횡단면의 경우, 낙엽송 중심재가 라디에타소나무 단판적층 부위보다 높았고, 접선단면의 경우에는 접착층 부위가 단판부위보다 높게 나타났다.

ABSTRACT

In order to develop the end use of cylindrical laminated veneer lumber (LVL) such as wooden crafts, the water proof-bonding strength, the resistance to abrasion and the surface hardness by painting the surface of LVL were investigated. The study results were as follows;

The water proof-bonding strength through 5 cyclic test by boiling in water immersion and drying were favorable without delamination of glue line. Then the formulation of glue was resorcinol resin (100) to hardener of paraformaldehyde (5) by mixed weight percentage.

The resistance to abrasion was relatively higher at cross section than tangential section. When tangential section of LVL was painted by UV protection oil, the resistance to abrasion was

*¹ 접수 2012년 7월 27일, 채택 2012년 10월 5일

*² 국립산림과학원, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-172, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 서진석(e-mail: jssuh@forest.go.kr)

improved. In case of an cross section of LVL, the higher surface hardness appeared at larch core than radiata pine LVL. Also, in case of an tangential section of LVL, the higher surface hardness appeared at glue line than veneer side.

Keywords: cylindrical laminated veneer lumber, water proof-bonding strength, resistance to abrasion, painting, surface hardness

1. 서 론

단판적층재(LVL, Laminated veneer lumber)는 로터리레이스 또는 슬라이서 등에 의해 절삭한 단판을 섬유 방향으로 서로 거의 평행하게 적층하여 접착한 재료로서 주로 일반재와 구조용재로 쓰인다. 단판적층재는 그 특징이 치수안정성이 좋고 높은 강도를 가지며 재료간의 변이성이 적어 예측 가능한 성질을 가지고 있다. 또한 국산 중·소경재를 고부가 가치화 시켜 활용할 수 있는 유효한 방안 중 하나이다(오, 2011). 이러한 단판적층재의 특성 및 성능에 관한 연구는 활발히 이루어져 왔다(홍, 1999; 오, 2011).

단판적층재와 동일한 원리로 형태를 변형시킨 원통형 단판적층재는 단판을 나선상(螺旋狀)으로 여러 겹 감는 방식으로 제조하여 사용자의 필요에 따라 목적으로 하는 직경의 자재를 생산할 수 있다는 장점이 있다. 이는 국산 대경재의 수가 부족한 국내 현실에

비추어 볼 때 대형 구조재의 생산을 위한 차원 높은 대안이 될 수 있다. 원통형 단판적층재의 개발과 관련하여 국외에서는 Hata 등(1998, 2001)이 원통형 단판적층재의 연속적인 생산을 위한 spiral-winder 제조법을 개발하였으며, 원통형 단판적층재 제조 시스템에서의 적절한 수지 혼합비를 연구하였다. 그리고 Inaba 등(2003)은 기존의 배치타입(batch type) 나선식 적층(spiral-winding)의 낮은 생산성을 개선하기 위한 새로운 제조 방식을 연구하였다. Berard 등(2011^a)은 유한요소법을 이용한 예측 값과 4-point bending 시험 값을 비교하여 원통형 단판적층재의 연구에 있어 유한요소법의 신뢰성을 확인하였으며, 또한 원통형 단판적층재의 생산 공정에서 butt joint 간격을 0.5 mm 이하로 줄임으로써 파괴계수와 탄성계수가 개선되는 것을 확인하였다(Berard 등, 2011^b). 국내에서는 중공형 단판적층 원통 기둥재와 유사한 형태로서 원목의 중심부를 환삭 가공하여 중공(中



Fig. 1. Manufacturing process of cylindrical LVL.



a) Cross section

b) Tangential section

Fig. 2. Test specimens of cylindrical LVL.

空) 구조의 “스킨팁버”에 대한 연구를 실시하여, 실대재의 중공가공기계 개발과 스킨팁버의 열기건조기술, 약제주입처리기술, 내력구조부재 개발 및 생활용품·산업용품류의 시제품 개발이 이루어졌다(이등, 2011).

그러나 중·소경 간벌 원주목을 단판으로 감싸는 형태의 원주형 단판적층재는 구조용재로서 뿐만 아니라, 수많은 동심원(同心圓) 형태를 가지는 특유의 단면 문양에 의하여 공예재 또는 가로등과 같은 조경재로서도 충분한 이용 가치가 있을 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 원통형 또는 원주형 단판적층재의 공예재로서의 적용을 위한 기초적인 재질 연구로서 횡단면과 접선단면에 대하여 투명계 도장처리에 의한 내마모성과 표면경도를 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구에 사용된 원통형 단판적층재의 제조과정은 Fig. 1과 같다. 먼저 라디에타소나무 단판을 폭 10 cm로 재단하여 재봉기를 이용하여 단판을 봉합하였다. 한편, 접착제는 Neolite MD-3040 type의 레조시놀수지로서 고형분 58~66(%), 점도 300~1,000 mPa·s, pH 8.5~9.5였다. 낙엽송 중심재 위에 레조시놀 수지와 경화제(paraformaldehyde)를 100 : 5의 혼합비로 제조한 접착제를 약 590 g/m² 도포하여 두께 2.5 mm의 봉합된 라디에타소나무 단판을 나선형으로 20 ply

교차 적층하였다. 적층이 완료된 후 고무밴드를 이용하여 18시간 이상 압제하고 접착제가 완전히 경화된 후 분리 및 절단하여 원통형 단판적층재를 완성하였다. 이후, 삶음-건조를 반복하는 내수 침지박리시험을 위하여 원통형 단판적층재를 높이 5 cm로 절취하였다. 또한 적층재의 횡단면과 접선단면에 대한 표면 내구성(경도, 내마모성) 측정을 위하여 Fig. 2(a)와 같이 횡단면 시험편은 낙엽송 중심재와 라디에타소나무 단판적층부가 혼재하는 상태로 제작하였고, 접선단면은 Fig. 2(b)와 같이 평판형 시편으로 절취하여 시험하였다.

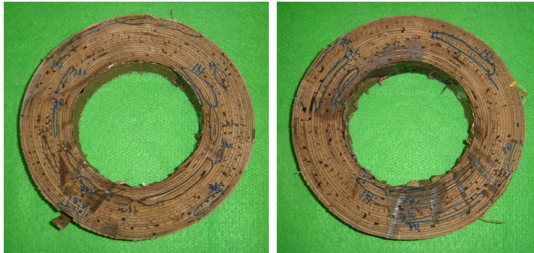
2.2. 삶음박리 시험

원통형 단판적층재를 높이 5 cm로 재단하여 3매 채취하여 수조에 넣고 4시간 끓이고 실온수 중에 1시간 방치 후 약 70°C에서 24시간 건조하는 JAS 구조용 단판적층재의 ‘삶음박리시험’을 5 cycle(회) 실시하였다.

2.3. 도장처리

표면 도장처리가 마모성과 변태색성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 시험편에 각각 크랙실클리어(crack seal clear, 증류수 15%)와 자외선 차단 오일(UV protection oil)을 2회 도장처리 하였다. 크랙실클리어는 목재의 활렬과 변형을 경감시키면서, 야외 노출 사용 시 목재의 방수성과 내후성을 향상시켜주

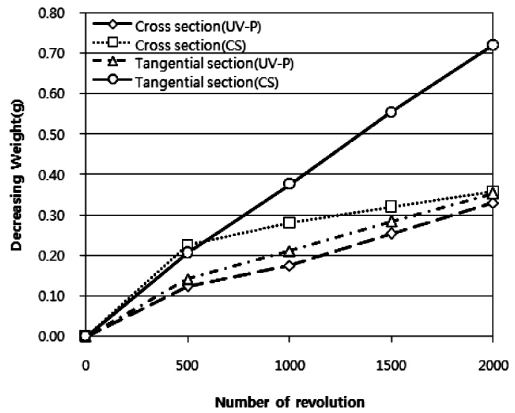
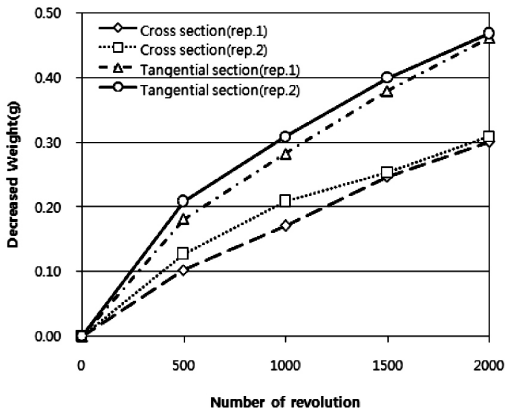
백합나무 적층재



라디에타소나무 적층재



Fig. 3. The status of LVL specimen after 5 cyclic glue-line delamination test by boiling in water immersion and drying.



Legends: UV-P, UV-Protection oil; CS, Crack seal; rep., replication

Fig. 4. Decreased weight of cylindrical LVL by abrasion test.

는 기능성 도료이며, 자외선 차단 오일은 자외선으로부터 목재 표면을 보호하는 도료로서 강한 발수성과 내오염성, 그리고 목재의 수축과 팽창을 방지하는 도료이다. 이들 두 도료는 투명계 도료로서 바탕재로 사용되는 목재의 목리가 드러나게 하여 자연스러운 효과가 나타나도록 처리하였다.

2.4. 내마모성 시험

내마모성 시험은 KS F 3111에 따라 실시하였다. 마모시험기(TABER 5130)의 양 마모륜에 연마지(S-42, TABER INDUSTRIES)를 각각 부착하고, 무게 500 g 추 2개를 달아서 500회 회전 단위 간격으로

마모 감량을 측정하였으며, 총 2,000회전까지 처리하였다.

2.5. 표면경도 측정

표면경도는 만능강도시험기(HOUNSFIELD TEST EQUIPMENT LTD, H50K-S)를 이용하여 KS F 2212에 따라 브리넬경도를 측정하였다. 횡단면 시험편의 경우 단판적층부위와 중심재, 접선단면 시험편의 경우 단판부위와 접착층 부위의 경도를 각각 측정하였다.

Table 1. Hardness of cylindrical LVL samples

Measured points	Cross section		Tangential section	
	Core (Larch wood)	LVL	Veneer	Glue line
Hardness (kgf/mm ²)	5.52	1.99	0.61	0.90

3. 결과 및 고찰

3.1. 삶음박리 접착력

원통형 단판적층재의 삶음박리 시험에 의한 내수 접착성은 삶음반복 5 cycle 시험 후 동심원을 이루는 접착층(glue line)의 박리상태를 관찰 측정하였다. 시험 결과, 긴밀한 적층·압체가 이루어지지 않은데 기인하여 일부 접착층의 들뜸 현상이 있었으나, 전반적으로 접착층의 박리현상은 관찰되지 않았다. 따라서 본 접착에 의한 삶음박리 접착력은 양호한 것으로 판단되며, 단판의 긴밀한 접착·경화를 위해서 단판 적층 후 압제과정의 중요성을 확인할 수 있었다. 그리고 향후 실외 적용을 고려한다면 야외 내후(耐候) 폭로시험을 추가적으로 실시할 필요가 있을 것으로 사료된다.

3.2. 내마모성

Fig. 4에 원통형 단판적층재의 마모량(g/100회전당)을 나타냈다. 2반복 시험에 대한 내마모시험 결과, 횡단면의 경우 마모량이 모두 0.015 g으로 나타났으며, 접선단면은 0.023 g으로 나타냈다. 일반적으로 목재의 마모저항은 비중에 비례하며, 세포벽률이나 세포벽 두께와 비례적인 관계를 나타낸다(심사자의 의견이 일리가 있어 “또한, 목재 표면의 경도가 증가할수록 마모저항이 증가하여 마모량이 감소하는 경향을 나타낸다”를 삭제코자 함). 그리고 섬유직각 방향의 마모량은 섬유방향의 마모량에 비해 1.1~1.3배 크다(강 등, 2008). 본 연구에서 횡단면의 마모량이 접선단면보다 적게 나타난 것은 접선단면 시험편이 비중이 낮은 라디에타소나무 단판으로만 이루어진 반면, 횡단면 시험편은 비교적 비중이 높은 낙

엽송재가 포함되었기 때문이라고 판단된다. 그리고 자외선 차단 오일 도장처리재의 경우 횡단면과 접선단면의 마모량이 각각 0.017 g과 0.018 g으로 나타나 표면 도장처리에 의하여 접선단면의 내마모성이 상대적으로 향상된 것으로 나타났다. 그러나 크랙실 클리어의 경우 마모량이 횡단면 0.018 g, 접선단면 0.036 g으로 나타나 도장처리에 의한 내마모성의 향상은 나타나지 않았으며, 오히려 마모량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

3.3. 표면경도

원통형 단판적층재의 표면경도 시험결과를 Table 1에 나타냈다. 횡단면에서는 낙엽송 중심재의 경도가 5.52 kgf/mm²로써 라디에타소나무 단판적층부위의 1.99 kgf/mm²에 비해 3배 이상 높게 나타났다. 이 시험결과는 낙엽송과 라디에타소나무의 비중 차이에 의한 것으로 판단된다. 접선단면에서는 라디에타소나무 단판부위의 경도가 0.61 kgf/mm²였으며, 접착층은 0.9 kgf/mm²로 접착층의 경도가 다소 높게 나타났다. 또한, 횡단면의 경도가 접선단면보다 높은 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

원통형 단판적층재(LVL)의 구조재 이외의 공예재 등 용도개발을 위하여 원통형 단판적층재의 내수접착성과 도장처리에 따른 내마모성 및 표면경도를 측정하였다. 그 결과는 다음과 같이 요약될 수 있었다.

레조시놀 수지와 경화제(paraformaldehyde)를 100 : 5의 혼합비로 하여 접착·경화한 원통형 단판적층재의 전체적인 접착층에 대한 삶음박리 접착력은 양호한 편이었다.

내마모성의 경우 횡단면이 접선단면보다 상대적으로 우수하였으며, 접선단면에 자외선 차단 오일 도장 처리한 경우 내마모성이 다소 향상되었다.

표면경도는 횡단면의 경우, 낙엽송 중심재가 라디에타소나무 단판적층부위보다 높았고, 접선단면의 경우에는 접착층 부위가 단판부위보다 높게 나타났다.

원통형 단판적층재의 최종용도 개발을 위하여 추후 연구에서는 연속적 제조 방식의 도입과 친환경 접착제의 사용에 의한 안전성 확보 및 용도개발 등의 연구가 수반되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 강춘원, 김남훈, 김병로, 김영숙, 변희섭, 소원택, 여환명, 오승원, 이원희, 이화형. 2008. 신고 목재물리 및 역학. 향문사: 308~307.
2. 오세창. 2011. 단판적층재(LVL)의 전단강도 시험방법에 관한 비교 연구. 대한건축학회논문집 구조계 27(12): 41~48.
3. 이남호, 김광철. 2011. 스킨티머 제조기술 및 용도개발. 산림청.
4. 한국표준협회. 2004. 목재의 경도시험 방법. KS F 2212.
5. 한국표준협회. 2008. 천연무늬목 치장 마루판-내마모성 시험 방법. KS F 3111.
6. 홍순일. 1999. 상대습도 변동하의 휨 모멘트가 작용하는 단판적층재 Drift Pin 결합부의 크리프 변형 거동. 임산에너지 19(2): 84~91.
7. Berard, P., P. Yang, H. Yamauchi, K. Umemura, and S. Kawai. 2011. Modeling of a cylindrical laminated veneer lumber I: mechanical properties of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) and the reliability of a nonlinear finite elements model of a four-point bending test. J Wood Sci 57: 100~106.
8. Berard, P., P. Yang, H. Yamauchi, K. Umemura, and S. Kawai. 2011. Modeling of a cylindrical laminated veneer lumber II: a nonlinear finite element model to improve the quality of the butt joint. J. Wood Sci. 57: 107~113.
9. Hata, T., K. Umemura, and S. Kawai. 1998. Continuous manufacturing of cylindrical-LVL by using "spiral-winding method". 47rd Annual meeting of Japan wood research society: 92~95.
10. Hata, T., K. Umemura, H. Yamauchi, A. Nakayama, S. Kawai, and H. Sasaki. 2001. Design and pilot production of a "spiral-winder" for the manufacture of cylindrical laminated veneer lumber. J. Wood Sci. 47: 115~123.
11. Inaba, D., M. Morita, H. Nakano, A. Takenaka, and S. Kawai. 2003. Continuous manufacture of cylindrical laminated veneer lumber. 53rd Annual meeting of Japan wood research society: 19~20.
12. (財)日本合板検査會. 2003. 構造用單板積層材の日本農林規格.