라디에타소나무 단판적층재의 밀도 · 접착 · 강도성능 및 내부후성^{*1}

서진석^{*2†} · 이동흡^{*2} · 황원중^{*2} · 오형민^{*2} · 박영란^{*2} · 강승모^{*2}

Density, Bonding Strength, Bending strength and Decay Resistance of Radiata Pine Laminated Veneer Lumber^{*1}

Jin-Suk Suh^{*2†} · Dong-Heub Lee^{*2} · Won-Joung Hwang^{*2} · Hyung-Min Oh^{*2} · Young-Ran Park^{*2} · Sung-Mo Kang^{*2}

요 약

라디에타소나무 단판적층재(LVL)를 제조함에 있어서, CuAz 및 ACQ 방부처리와 비처리, 수성비닐우레탄 접착제와 페놀변성 리조시놀수지 접착제의 상온경화형 접착제를 적용함에 따른 밀도경사, 접착 · 강도성능 및 내부후성(방부효력)을 살펴보았다. 결과, LVL의 밀도경사에서 접착층 주변이 원추형으로 밀도가 커지는 경사패턴을 보였다. 접착성은 수성비닐우레탄 접착의 경우, 자비반복시험 후 전층이 박리되거나, 일부 층이 박리하고 할렬 · 틈새 현상이 일어났다. 페놀변성 리조시놀수지 접착제 접착의 경우, 자비반복시험 후 접착층의 응력이 큰 데 연유한 굽음과 상하 접착층 사이의 단판의 수직할렬 현상이 있었으나, 접착층의 박리나 할렬이 거의 발견되지 않아 침지박리접착력은 높은 것으로 판단되었다. 한편, 방부효력시험에 있어서, 수성비닐우레탄 접착제로 적층한 LVL의 경우 갈색부후균에 의한 부후도가 백색부후균보다 크게 나타났다. 페놀변성 리조시놀수지 접착제로 LVL을 제조한 경우에는 갈색부후균에 의한 질량감소가 적었고, 약제를 처리하지 않더라도 그 피해가 낮았으며, 약제처리한 것은 질량감소를 0 수준을 보일 정도로 방부효력이 큰 것을 알 수 있었다.

^{*1} 접수 2011년 6월 30일, 채택 2011년 7월 12일

^{*2} 국립산림과학원 녹색자원이용부 환경소재공학과, Division of Wood Processing, Department of Forest Resources Utilization, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

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

ABSTRACT

In this study, LVLs of radiata pine were fabricated with non-preservative treated veneers, CuAz treated veneers, and ACQ treated veneers, using aqueous vinyl urethane adhesive and phenol modified resorcinol resin adhesive. Then density gradient, bonding strength, bending properties and decay resistance of LVLs were evaluated. As results, the cone-shaped and higher density gradient pattern was found in layer close to glueline. After cyclic water boiled test, the LVL bonded with aqueous vinyl urethane resin adhesive was delaminated in all layers or partly delaminated including check, chasm in glueline layer. In the case of LVL bonded with phenol modified resorcinol resin adhesive, despite slight cupping due to great glueline stress and vertical check between glueline layers, it was observed that the bonding strength to delamination was higher, owing to most absence of delamination through overall glueline. On the other hand, in the decay test, mass loss by brown rot fungi was greater than white rot fungi in LVL bonded with aqueous vinyl urethane resin adhesive. However, in LVL bonded with phenol modified resorcinol resin adhesive, the mass loss by brown rot fungi was slight and non-preservative treated LVL was low. The mass loss of preservative-treated LVL was 0 (zero), showing the high decay resistance effect.

Keywords: LVLs of radiata pine, CuAz, ACQ, phenol modified resorcinol resin, density gradient, bonding strength to delaminatin, mass loss

1. 서 론

단판적층재(LVL: Laminated veneer lumber)는 목리가 평행한 방향(섬유방향)으로 적층·접착한 제품으로서, 미국 임산물연구소(Forest Products Laboratory: FPL)에서 연속식으로 단판을 조합구성하는 "Press-Lam"법이 개발된 이후, 면재료 또는 축재료와 같은 대단면재의 제조시 적용되는 제품이다.

국립산림과학원에서는 데크재로서 야외사용 방부 합판(Laminated Veneer Board (LVB): 3 mm 두께 단판을 9 ply 구성하되, 7매는 목리방향이 같은 방향으로 2매는 직교방향으로 적층한 적층제품)을 개발(이동흡 등, 2009)하여 실제 과학원 구내에 데크재를 설치한 바 있다. 위에서 개발된 아웃도어(Outdoor) 합판은 야외에서 사용되기 때문에 풍우, 자연광에 의한 건습 반복, 결빙·해빙 및 습기환경에서의 부후, 흰개미 등의 피해에 대비한 종합적인 열화평가가 이루어져야 한다. 이 연구에서 방부효력 평가 결과, 백

색부후균에 대한 평균 질량감소율이 2.6%, 갈색부후균에 대한 평균 질량감소율이 2.7%로서, KS M 1701 (목재방부제)에서 규정하는 목재보존제의 성능기준인 질량감소율 3%를 충족시키는 방부성능을 얻은 바 있다.

S. Nami Kartal 등(2007)은 봉산, 봉사, 제1 및 제2인산암모늄의 난연제를 처리한 합판의 부후 및 흰개미 저항성에 관한 연구에서 봉산과 봉사로 처리한 경우 인산암모늄계 약제처리보다 낮은 질량감소율을 나타낸다는 결과를 보고하였다.

한편, 그간 조경·토목분야에 사용되어 오던 CCA (Chromated Copper Arsenate)가 인체 및 환경유해성에 기인하여 2007년 이후 사용 금지되는 환경적 조치에 따라, 대체 방부제로서 CuAz 및 ACQ 등이 사용되고 있다. 조경시설재의 방부처리(임업연구원, 2002)는, 건축, 토목, 조경용재로 사용하기 위하여 수접(水接)영향을 고려하여 방부제 종류를 제한·사용하도록 사용환경을 H1~H5로 규정한 바, 이를 고

려한 방부처리 및 시공이 합리성을 얻어가고 있다.

데크재 뿐만 아니라, 경광골조 목조주택과 같은 건축물에도 구조용 부재로서 집성·적층재가 많이 사용되고 있는 추세이므로, 토대, 명에 등의 부위에 적합하게 사용되기 위해서는 가급적이면 치수변형을 최소화 하고, 접착·강도적인 내구성 및 내부후성에서 손색이 없는 부재를 구비하는 것이 선결되어야 할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 합판회사에서 다량 사용하는 라디에타소나무 단판을 이용하여, 방부처리한 적층재를 제조하여 밀도·접착·강도성과 내부후성(방부효력)을 살펴봄으로써, 내구성을 갖춘 적층재 제조의 가능성을 진단하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 공시단판

공시재료는 라디에타소나무 단판으로서, 두께 약 2 mm의 단판을 절삭·건조하여 LVL 제조용 원료로 하였다.

2.1.2. 접착제

단판적층재 제조를 위해 수성비닐우레탄 접착제(주제 : MPU500, 경화제 : HH60)와 페놀변성 리조시놀수지 접착제(Phenolite MD-3040)를 사용하였다. 수성비닐우레탄수지는 2액형으로서 주제 : 경화제의 혼합비율을 100 : 20으로 하였으며, 리조시놀수지에 대한 경화제는 Paraformaldehyde (Catalyst TD-473)를 수지에 대하여 5 wt.%로 첨가·혼합 사용하였다.

2.1.3. 방부제

ACQ (Ammonical copper quat; 구리·알킬암모늄 화합물계) 2호 및 CuAz (Copper azole; 구리·봉소·아졸화합물계) 2호 약제를 전배기 30분, 가압침지 1시간, 후배기 30분을 적용하여 각기 단판에 처리한 후 재건조한 다음, 상기 2.1.2의 접착제를 사용하

여 판면에 접착하였다.

2.2. 시험 방법

2.2.1. 단판적층재 제조

단판을 방부처리 또는 비처리(非處理)하고, 수성비닐우레탄수지 및 리조시놀수지 접착제로 각기 접착하여 7 ply 적층재를 상온 경화상태에서 프레스로 압제하여 제조하였다.

2.2.2. 단판적층재의 접착·강도적 성능

제조된 단판적층재에 대하여 자비(煮沸)박리시험을 2 cycle 실시하고, 접착층의 박리현상을 조사하였다. 자비박리시험은 시험편을 끓는 물 중에 4시간 침지시키고, 실온(10~25°C)의 수중에서 1시간 침지시킨 후 꺼낸 시험편을 $70 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 항온건조기에 넣어 24시간 이상 건조하여 접착층의 박리상태로 내수 접착성을 평가하게 된다. 이 때 시험편의 4측면의 접착층의 길이의 합계에 대한 4측면의 박리길이의 합계로써 박리율(%)을 측정한다. 그리고, LVL의 밀도와 밀도경사를 측정한 후 휨성능을 평가하였다.

2.2.3. 단판적층재의 방부효력시험

약제처리 및 비처리에 따른 LVL의 공시균으로서 백색부후균인 구름버섯(*Trametes versicolor*)과 갈색부후균인 부후개떡버섯(*Fomitopsis palustris*)을 이용하여 방부효력시험을 실시하였다.

또한, 약제 보유율을 측정하기 위해, 약제처리 시험편을 40메쉬 목분으로 분쇄하여 구리성분을 XRF로 분석하고, azole 성분을 HPLC로 분석하였으며, quat 성분을 HPLC/MS로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. LVL의 밀도, 접착성 및 강도적 특성

3.1.1. LVL의 밀도경사

선창산업(주)의 밀도경사측정기(density profile

- Preservative treatment (left), Veneer drying (middle), Dried schedule record (right).

- Glue-line-delamination tested LVL specimens by immersion in boiled water and drying (left), Fungi exposure tests (middle & right).

Fig 1. Experimental procedures.

meter, 독일제 ATS사)를 사용하여 LVL의 밀도경사(density profile)는 어떤 패턴을 이루는지를 측정하여 보았다. 측정결과, 접착층(glue-line)이 존재하는 층 주변이 원추형 모양으로 밀도가 커짐을 알 수 있었다. 따라서, 6개의 density peak가 형성되었다. 이는 MDF와 같은 보드류에서 나타나는 중층부위의 고원형(plateau)과는 확연히 구분이 되는 패턴을 보여주는 결과였다(Fig. 2).

3.1.2. LVL의 접착성 및 강도성능

Fig. 1의 하단 좌측의 자비박리시험 후의 시험편 상태에서 보여지듯이, 수성비닐우레탄접착제 접착의 경우, 방부제를 비치리한 시험이 자비반복시험 후 전층이 박리되었으며, 방부제 처리한 쪽이 오히려 전체 박리가 될 되는 현상이 일어났다. 그러나, 전반적으로 일부 층이 박리하고 할렬이 일어나면서 틈새·

들뜸현상이 일어나서 내수성 미흡 현상을 나타냈다.

폐놀변성 리조시놀수지 접착제 접착의 경우, 자비반복시험후 접착층의 응력이 큰 데 연유하여 굽음(warping)과 상하 접착층 사이의 단판의 수직할렬 현상이 있었으나, 접착층의 박리나 할렬이 거의 발견되지 않아 대체로 내수접착성이 높은 것으로 판단되었다.

한편, LVL의 휨강도(MOR; Modulus of rupture), 휨탄성계수(MOE; Modulus of elasticity)는 57.5 N/mm^2 (UA)~ 75.0 N/mm^2 (RN), $4,724 \text{ N/mm}^2$ (RC)~ $7,319 \text{ N/mm}^2$ (RN)를 각기 나타냈으며, 휨성능이 큰 LVL의 밀도가 $0.60 \sim 0.64 \text{ g/cm}^3$ 로 타 LVL보다 높게 나타나는 경향을 보여주었다.

Fig. 2. Density profile patterns of LVL and MDF (Left: UN, UC, Middle: RN, RC, Right: MDF).

Table 1. Density and bonding- and bending strengths of preservative treated LVL

Treatment types	Density (g/cm ³)	Bonding strength by water immersion and delamination test	MOR (N/mm ²)	MOE (10 ³ N/mm ²)	Displacement at bending failure (mm)
UN	0.50~0.55	Delamination at all glue lines	65.2	7.017	8.69
UA	0.50~0.54	Glue line delamination and check in part	57.5	5.431	10.36
UC	0.56~0.57	Glue line delamination and check in part	67.2	5.928	11.75
RN	0.60~0.64	A few delamination, Vertical check in veneer thickness direction	75.0	7.319	9.03
RA	0.59~0.61	A few delamination, Vertical check in veneer thickness direction	74.2	5.916	10.03
RC	0.51~0.59	No delamination	58.5	4.724	10.88

Note : · U : Aqueous vinyl urethane resin adhesive, R : Resorcinol resin adhesive.
· N : Non-treatment, A : ACQ-2 treatment, C : CuAz-2 treatment.

3.2. LVL의 방부효력

3.2.1. LVL의 질량감소를

방부효력시험(Fig. 4) 결과, 백색부후균에 노출된 LVL 시편의 평균 질량감소율은 수성비닐우레탄 접착제로 접착한 경우 약제 비처리(UN)가 21.49%, ACQ 2호 처리(UA)가 -0.86%, CuAz 2호(UC) 처리가 2.27%였으며, 리조시놀수지 접착한 경우, 약제 비처리(RN)가 1.14%, ACQ 2호 처리(RA)가 0.58%, CuAz 2호 처리(RC)가 0.56%를 나타냈다.

따라서, 백색부후균에 대한 방부효력은, 수성비닐우레탄 수지 접착의 경우 UA > UC > UN으로 나타났으며, UA, UC처리에 의해 비처리 시 보다 월등히 높은 방부효력을 나타냄을 알 수 있었다. 리조시놀수지 접착의 경우 RC ≒ RA > RN으로서, RC, RA 처리 적층재는 비처리시에 비하여 약 2배 높은 방부효력을 나타냈다. 갈색부후균에 대한 방부효력은, UN이 20.71%, UA가 -1.77%, UC가 6.07%, RN이 0.41%, RA가 -0.28%, RC가 -0.98%로 나타났다. 그리고, 양수지간의 방부효력에 있어서는 리조시놀수지의 효력

Fig. 3. Decay test against white rot fungi and brown rot fungi (Mass loss of LVL).

이 더 높게 나타났다.

이 결과로부터, 수성비닐우레탄 접착제의 경우 갈색부후균에 의한 부후도가 백색부후균보다 크다는 것을 알 수 있었다. 리조시놀수지 접착제로 LVL을 제조한 경우에는 갈색부후균에 의한 질량감소가 적었고, 약제를 처리하지 않더라도 그 피해가 낮았으며, 약제처리한 것은 질량감소율 0 수준을 보일 정도로 방부효력이 큼을 알 수 있었다. 리조시놀수지 접착제로 적층된 재에서 질량감소율이 낮게 나타난 것은 접착층의 경화도(hardening)가 크고, 단판 내 접착제의 투묘(投錨) 효과(anchoring effect)에 의하여 부후균에 의한 침해(侵害)가 원활히 이루어지지 못한 데 연유한 것으로 파악된다.

3.2.2. LVL의 약제보유량

방부제 처리에 따른 LVL의 약제보유량은 UA가 4.93 kg/m³, UC가 1.2 kg/m³, RA가 7.04 kg/m³, RC가 1.65 kg/m³를 나타냈다. 따라서, ACQ 약제처리가 CuAz 약제처리에 비하여 4배 이상의 약제보유 효과를 나타냈으며, 외장용으로서의 기준 약제보유량인 ACQ 2.6 kg/m³, CuAz 1.0 kg/m³를 상회하였다.

이동흡(2010) 등이 야외용 데크재를 목표로 라디에타소나무 단판적층제품에 대해 연구한 바에 의하면, 아웃도어 합판의 보존제(CuAz 1호)에 대한 흡수량(약제보유량)은 3.2 kg/m³로서 사용환경범주 H3에서의 2.6 kg/m³보다 높고, H4의 5.2 kg/m³보다 낮

은 결과치를 보고한 바 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 내구성 라디에타소나무 단판적층재(LVL)를 제조하고자, CuAz 및 ACQ 방부처리와 비처리, 수성비닐우레탄 접착제와 페놀변성 리조시놀수지 접착제를 적용함에 따른 밀도, 접착·강도 성능 및 내부후성(방부효력)을 살펴보았다.

1) LVL의 밀도경사 결과로부터, 접착층 주변에서 밀도가 높아지는 peak 현상이 발견되었다.

2) LVL의 침지박리접착성은, 자비반복시험 후 수성비닐우레탄접착제 접착의 경우, 약제를 처리하지 않은 LVL의 전층이 박리되었으며, 방부제 처리한 LVL의 경우, 일부 층이 박리하고 할렬·틈새 현상이 일어났다. 페놀변성 리조시놀수지 접착제 접착의 경우, 접착응력에 연유한 굽음과 상하 접착층 사이의 단판의 수직할렬 현상이 있었으나, 내수 접착성이 높은 것으로 판단되었다.

3) 부후균에 노출한 LVL의 질량감소율로 살펴본 방부효력에 있어서는, 양 수지 접착제 간에, 페놀변성 리조시놀수지의 효력이 훨씬 크게 나타났으며, 방부처리하지 않은 리조시놀수지 접착의 경우, 질량감소율이 낮게 나타났다. 결과, 리조시놀수지 접착의 경우 백색부후균에 대하여, CuAz 처리 ≒ ACQ 처리 > 비처리로서, 약제처리 적층재는 비처리시에 비하여 약 2배의 높은 방부효력을 나타냈으며, 갈색부후균에 대해서는 CuAz 처리 > ACQ 처리 > 비처리로서, CuAz 및 ACQ 처리에 의한 방부효력이 높은 것으로 나타났다.

감 사

본 연구의 단판 건조를 위하여 국립산림과학원에 Post Doc 재임시 협조하여 주신 대현우드의 김병남 박사님께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Kartal, S. N., A. Nadir, and I. Yuzi. 2007. Decay and termite resistance of plywood treated with various fire retardants. *Buliding and Environment* 42(2007): 1207~1211.
2. Gareth, K., H-Z Wu, and M. S. Jones. 2008. Corrosion of ferrous- and zinc-based materials in CCA, ACQ and CuAz timber preservative aqueous solution. *Materials and Structures* 41: 1405~1417.
3. Alan, P., L. Jin, D. Nicholas, A. Zahora, P. Walcheski, K. Archer, and T. Schultz. 2008. Field stake tests with copper-based preservatives. *IRG/WP* 08~30459.
4. Yalinkilic, M. K., W.-Y. Su, Y. Imamura, M. Takahashi, Z. Demirci, and A. C. Yalinkilic. 1998. Boron effect on decay resistance of some fire-retardant coatings applied on plywood surface. *Holz als Roh- und Werkstoff* 56(1998): 347~353.
5. 이동흡, 손동원, 이상민, 서진석. 2010. 야외사용 방부합판의 제조 및 종합이용. *국립산림과학원 연구보고* 09~26.
6. 임업연구원. 2002. 조경시설재의 방부처리. 제3차 목재보존 산학연 심포지엄 자료 p. 371.
7. 構造用單板積層材の日本農林規格. 2003. 財団法人 日本合板検査會.