

직물유리섬유 강화집성재의 물리적 특성(제1보)*1 - 기계적 특성 -

정인석*2 · 이원희*2† · 변희섭*3

Physical Properties of Fabric E-glass Fiber Reinforced Laminated Timber (I)*1 - Mechanical Properties -

In-Suk Jung*2 · Weon-Hee Lee*2† · Hee-Seop Byeon*3

요 약

본 연구는 국산소경재인 소나무(*Pinus densiflora*)재와 낙엽송(*Larix kaemferi*)재로 제조된 유리섬유강화 집성재의 강도적 성질을 조사해 보기 위하여 실시되었다. 먼저, 직물 유리섬유를 수성고분자-이소시아네이트계 (MPU-500) 접착제를 사용하여 control재와 유리섬유를 각각 1층과 2층 합입하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

1. 수성고분자-이소시아네이트 수지는 집성재 제조용으로 적합하였으며, 특히 유리섬유를 2층 합입한 소재를 제외하고는 구조용 집성재의 품질기준(KS F 3021)을 만족시켰다.
2. 직물유리섬유를 합입할 경우 휨강도, 전단강도에서 control재보다 크게 뛰어나지는 않았지만, 비례한도 휨 응력은 유리섬유의 합입 층수에 비례하여 증가하였다. 그러므로, 직물 유리섬유의 mesh수와 두께를 집성재 소재의 형태에 따라 적절히 조정한다면, 휨강도와 전단강도를 좀더 향상시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the mechanical properties of fabric E-glass fiber reinforced laminated timber.

Specimens used to Korean red pine(*Pinus densiflora*) and Japanese larch(*Larix kaemferi*).

*1 접수 2002년 8월 30일, 채택 2002년 12월 26일

*2 경북대학교 임학·임산공학과군, Department Group of Forestry and Wood Science & Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

*3 경상대학교 농과대학, College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju 660-702, Korea

† 주저자(corresponding author) : 이원희(e-mail: lovewood21@hanmail.net)

Fabric E-glass fiber was inserted in the solid wood with aqueous polymer-isocyanate resin(MPU-500). The results were as follows:

1. Aqueous polymer-isocyanate resin(MPU-500) was good resin to manufacture laminated timber. specially, it was satisfied to property standard of construction laminated timber(KS F 3021) except for two ply glass fiber.

2. Bending and shear strengths of solid wood inserted with fabric glass fibers were not different from control solid wood. But, proportional limit bending stress was increased following the number of fabric glass fibers. Therefore, it was considered that to improve the bending and shear strength of fabric glass fiber reinforced laminated timber, the glass fiber thickness and its mesh should be modified to fitness following working conditions.

Keywords: laminated timber, fiber glass, aqueous polymer-isocyanate resin(MPU-500), lamination

1. 서 론

근래에 들어서 미국과 캐나다의 목재산업분쟁에서도 알 수 있듯이 목재산업은 한 나라의 경제에 있어서 매우 중요한 부분이다. 이제는 목재도 석유와 마찬가지로 산업에서 아주 중요한 재료로 인식되고 있다.

하지만, 2000년도 우리나라의 임목축적량은 ha당 63.46 m³이고, 목재 자급율을 보면 19%로 아직까지 원목자급율이 상당히 낮은 편이다(산림청, 2001). 이러한 자급율을 향상시키기 위해서는 지속적인 조림사업과 육림사업도 선행되어야 하겠지만, 소나무(*Pinus densiflora*)나 낙엽송(*Larix kaemferi*) 등 주요 침엽수 소경재의 적절한 활용을 모색해 보는 것도 무엇보다 중요할 것으로 생각된다. 그러나 소경재는 대부분이 미성숙재이기 때문에 일반 제재목으로 사용하게 되면 치수변형이 발생하게 된다. 따라서, 제재목을 집성하여 집성재를 제조하게 되면, 이러한 문제점을 보완할 수가 있다. 목재를 집합하여 집성재를 제작하면 원목크기의 제약을 받지 않고, 원목보다 강도가 우수한 양질의 구조재를 생산할 수 있으며, 건축설계에 있어서도 공학목재(Engineered wood)이기 때문에 설계하중의 정확성을 높여 주는 이점을 지니고 있다. 그리고, 손가락접합(Finger Joint), 맞이음접합(Butt Joint), 빗이음접합(Scarf Joint) 등의 종접합법을 이용하면 목재의 활용도를 크게 향상시킬 수 있다. Byeon *et al.*(1990; 1992; 1999; 1999; 2001)은 맞이음접합(Butt Joint)과 손가락접

합(Finger Joint)으로 제조된 집성재의 휨강도와 AE(Acoustic emission)의 특성에 대하여 연구한 바 있다. 또한 집성재의 강도를 향상시키기 위해서 유리섬유(Glass fiber)나 카본섬유(Carbon fiber) 등의 섬유를 함입하게 되면 강도를 향상시킬 수 있다(Moulin *et al.*, 1990; Davids *et al.*, 2000). 유리섬유의 형상은 크게 직물 형태(Fabric type)와 스트랜드 형태(Strand type)로 나눌 수 있다. 스트랜드 형태(Strand type)의 유리섬유는 집성재 접착층에 함입 할 경우 접착불량이 직물유리섬유에 비하여 적은 장점이 있지만, 작업성이 좋지 않기 때문에 사용하기에는 많은 어려움을 지니고 있다. 하지만 직물 유리섬유의 경우 제단이 쉽고, 접착제 도포작업이 용이한 장점을 지니고 있다. 유리섬유 강화집성재에 관한 연구(Wangaard, 1965; Biblis, 1965)는 오래 전부터 시작되었지만, 유리섬유자체가 고가(高價)이고, 특수 분야에만 사용되었기 때문에 활발한 연구가 행하여지지 못하였다. 하지만 근래에 들어오면서 유리섬유의 보편화로 인하여 미국을 비롯한 외국에서는 토목이나 건축분야의 구조용 재료로서 유리섬유 강화집성재(Glass fiber reinforced laminated timber)와 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 근래에 유리섬유 강화집성재의 연구동향을 보면, Moulin *et al.*(1990)은 포플라(poplar)재를 이용하여 직물유리섬유를 함입하여 휨강도를 측정된 결과 유리섬유를 2층 함입한 소재의 휨강도가 20% 정도 향상된다고 보고하였고, Triantafillou & Deskovie(1992)는

Table 1. Properties of sample trees

Species	Tree age(year)	D.B.H(cm)	MC(%)	Annual ring width(mm)
<i>Pinus densiflora</i>	40	20	12*	25±0.5
<i>Larix Kaemferi</i>	30	20	12	23±0.5

Note)* : Air-dry moisture content

목재의 외부표면에 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)시트를 에폭시 수지로 부착하여 휨시험을 한 결과 CFRP를 접착한 소재의 휨강도가 Control재보다 우수하다고 보고하였다.

Gardner *et al.*(1994)은 레소시놀수지(Resorcinol resin), 에폭시수지(Epoxy resin), 이소시아네이트계(Isocyanate resin) 수지 등 3가지 수지를 사용하여 FRP(Fiber Reinforced Plastic)를 목재와 접착한 결과 레소시놀 수지접착에 의한 강도가 가장 우수하다고 보고하였다.

Hallström(1995)은 보의 중앙부에 사각형과 원형의 hole이 있는 집성재를 제조하는데 있어서 유리섬유로 hole 주변을 강화시키고, 파괴형태를 유한요소법(Finite Element Method)으로 분석한 결과 유리섬유 강화 효과는 crack의 전파(Propagation)를 지연시키고 crack의 길이로서 효과를 증대시킬 수 있다고 보고하였다.

Plevris & Triantafillou(1992; 1995)은 유리섬유, 탄소섬유를 에폭시(Epoxy)수지로 보(Beam)의 인장부에 접착하여 휨강도와 creep작용을 시험한 결과 탄소섬유를 접착한 소재의 강도가 우수하다고 보고하였다.

Davids *et al.*(2000)은 스트랜드(Strand)상의 유리섬유와 탄소섬유를 2가지 비율로 접착층에 함입하여 creep시험을 실시한 결과 탄소섬유를 함입한 소재의 creep강도가 우수하다고 보고하였다. 국내에서도 유리섬유 방사시설을 갖춘 회사가 설립되어 다양한 형태의 유리섬유(Glass fiber)나 카본섬유(Carbon fiber) 등의 특수 섬유가 보편화되고 있는 추세이다. 하지만 국내에서는 주로 집성재의 접착력에 관한 연구(Jo *et al.*, 1974; Chung *et al.*, 1984; Park *et al.*, 1988)가 많이 이루어져 왔으며, 강도적 성질 예측에 관한 연구는 근래에 들어서면서 시작되었고,

Kim & Lee(2000); Lee & Oho(2000); Oho *et al.*(2000)의 연구가 유일한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국산재 중에서 그 활용도가 기대되는 소나무와 낙엽송 소재를 이용하여 국내에서 제조 판매하고 있는 수성고분자-이소시아네이트(MPU-500)계 접착제를 사용하여 집성재를 제조하고 레소시놀수지로 제조되는 구조용 집성재와의 강도적 특성을 비교해 보고, 또한 접착층에 직물형태의 유리섬유를 함입하여 집성재의 강도를 향상시킬 수 있는지에 대해 알아보기 위하여 본 연구를 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

공시수종은 경북 청송군 현동면에 위치한 경북대학교 연습림에서 벌채한 원목을 13 mm(두께)×50 mm(폭)×700 mm(길이)로 제재하여 실내에서 천연건조 후 항온·항습실(20℃, RH65%)에서 5개월 간 조습처리 후 사용하였으며, 특성은 Table 1과 같다.

본 실험에 사용된 접착제는 수성고분자-이소시아네이트계 접착제인 MPU-500(상품명)을 사용하였으며, 고형분은 48±2%, 점도는 6000~7000 cps/25℃, pH 7~8이었다. 경화제는 HH-50(이소시아네이트계)을 사용하였다. 유리섬유(Glass fiber)는 국내 H사에서 시판하고 있는 FRP(Fiber Glass Reinforced Plastic) lining용 E-glass type의 생단 H612#(상품명)를 사용하였으며, 비중 2.57, 두께 0.12 μm, filament 직경 11 μm, mesh수는 300 mesh였다.

Table 2. Modulus of elasticity(MOE) of lamination (Unit: GPa)

Lamination	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Larix kaemferi</i>
E1	7~8	8~11
E2	4~5	4~6
E3(Clear wood)	6~7	7~11

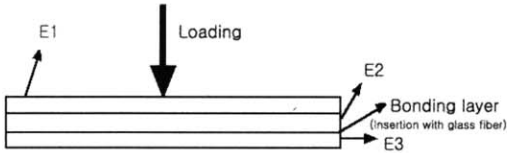


Fig. 1. Preparation of lamination.

2.2. 층재(Lamination)의 조합

본 연구에서 층재의 응력등급 구분을 위해서 휨 탄성계수를 측정하였으며, 만능강도시험기(Hounsfield H50K-S)의 span은 640 mm였으며, 하중속도는 3 mm/min, 변이(Extension)는 15 mm로 하여 휨 파괴가 일어나지 않게 하여 탄성계수를 측정하였다. 용이는 모인 용이 지름비와 너무면 가장자리의 용이 지름비가 20% 이하인 층재를 사용하였다. 집성재는 총 3층으로 된 통직집성재를 제조하였으며, 층재의 배치는 인장층(E3)에 무결점층을 배치하고, 중간층(E2)에는 응력등급이 가장 낮은 층재, 최외각층(E1)에는 상대적으로 응력등급이 높은 층재를 배치하였다. 각 층재별 탄성계수값 범위는 Table 2와 같다.

2.3. 접착제의 도포 및 유리섬유 함입

접착제 도포는 고무롤러를 이용하여 단면 도포 하였다. 경화제의 첨가비는 15%로 하였으며, 접착제의 도포량은 유리섬유 무함입재(control재)의 경우는 한 단면당 270 g/m²로 하였으며, 유리섬유를 1층과 2층 넣은 것은 접착제의 도포량을 20~30% 증가시켜 도포하였다. 유리섬유는 층재의 크기에 맞게 재단후 접착제 도포 후 층재에 접착하고 다시 롤러를 이용하여 유리섬유에 접착제를 도포하는 형태로 층재 사이에 함입하였다.



Fig. 2. Spread of adhesive.

2.4. 압제 및 경화

제조된 집성재의 압제는 볼트체결식으로 하였으며, 이때 볼트간의 간격은 130 mm로 하여 총 4개의 클램프장치를 설치하였으며, 집성재의 최외층 2곳에는 10 mm 스테인리스 판(Stainless plate)을 넣어 압력의 균일성을 부여하였다. 볼트의 압제력은 토크렌치를 사용하여 조정하였다(김, 1993). 본 실험에서 토크렌치(Torque wrench)의 압력은 5.6 MPa로 하였으며, 압제된 집성재는 상온에서 8시간 이상 경화 후 해압하여, 항온·항습실(20℃, RH80%)에서 조습처리 후 집성재의 기건 함수율을 15%로 조정하였다.

2.4.1. 휨탄성계수의 예측

집성재의 응력값이나 파괴강도 예측은 건축물의 설계에 있어서 하중계산을 위한 가장 중요한 사항이다. 계산값과 실측값에 차이가 크면 건축물 설계에 있어서 많은 문제점을 가지게 된다. 따라서 비파괴적으로 층재의 탄성계수값을 구하고 이 값을 합산한 값과 실제 강도측정 후의 값과의 연관성을 조사하여 휨

강도를 예측하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다 (Kim & Lee, 2000; Park *et al.*, 2002). 층재의 탄성계수 값은 계산값과 실측값과의 비교에 의해 다음식(1)로 나타내었다(Park *et al.*, 2002). 본 실험에서는 층재의 치수를 13 mm(두께)×50 mm(폭)×700 mm(길이)로 하여 응력등급을 구분하였고, 집성재 제조 후 소재의 치수를 40 mm(두께)×40 mm(폭)×640 mm(길이)로 하여 제작하였다.

$$E = \frac{\sum(ED)}{I} = \frac{E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 + E_3 \cdot I_3}{I} \quad (1)$$

$$I_1 = b \int_{0.65}^{1.95} y^2 \cdot dy = b \frac{y^3}{3} \Big|_{0.65}^{1.95} = 11.90$$

$$I_2 = b \int_{0.65}^{1.95} y^2 \cdot dy = b \frac{y^3}{3} \Big|_{-0.65}^{0.65} = 0.9$$

$$I_3 = b \int_{-1.95}^{-0.65} y^2 \cdot dy = b \frac{y^3}{3} \Big|_{-1.95}^{-0.65} = 11.90$$

$$I = w \int_{-1.95}^{1.95} y^2 \cdot dy = w \frac{y^3}{3} \Big|_{-1.95}^{1.95} = 19.773$$

$$\therefore E(\text{예측 탄성계수}) = \frac{E_1 \cdot 11.90 + E_2 \cdot 0.9 + E_3 \cdot 11.90}{19.773}$$

여기서, E_1 (표층), E_2 (중간층), E_3 (표층)는 각층 층재(Lamination)의 휨탄성계수, I_1 , I_2 , I_3 는 각층 층재의 단면 2차 모멘트, I 는 집성재 전체의 단면2차 모멘트이다. b = 층재의 폭(50 mm), w = 휨 시험편(집성재)의 폭(40 mm)이다.

2.4.2. 휨강도시험

휨강도는 만능강도시험기(Shimadzu AGS-10KNG)를 사용하여 측정하였고, 하중속도는 3.5 mm/min, span은 560 mm로 하였다. 휨 시험편의 치수는 40 mm(두께)×40 mm(폭)×640 mm(길이)로 제작하였으며, 시험방법은 KS F 2208에 준하여 실시하였다.

2.4.3. 압축강도시험

시험편의 치수는 길이 40 mm(두께)×40 mm(폭)×80 mm(길이)로 제작하였으며, 시험방법은 KS F 2206에 준하여 실시하였다. 이때 하중속도는 1.5 mm/min로 하였다.

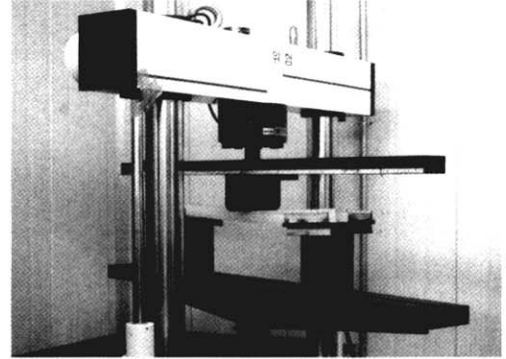


Fig. 3. Apparatus for bending test.

Unit : mm

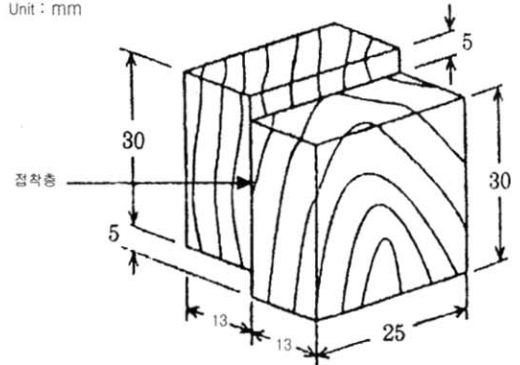


Fig. 4. Shape of shear test specimen.

2.4.4. 전단강도시험

전단시험편은 한 시험편의 7부분을 무작위로 채취하여 사용하였다. 전단시험편의 모양은 계단형으로 제작하였으며, KS F 3021에 준하여 실시하였다. 이때 집착면의 면적은 가로, 세로 면적이 총 625 mm²이 되도록 하였다. 이때 하중속도는 1.5 mm/min로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 층재(Lamination)의 탄성계수(MOE) 분포

소나무층재의 경우 낙엽송층재에 비하여 휨탄성계수의 변이 폭이 상대적으로 낮게 나타났다. Fig. 5. 6

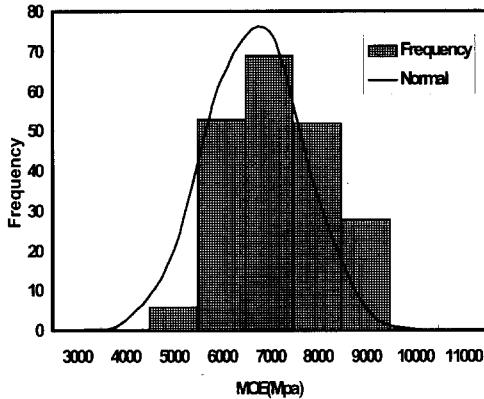


Fig. 5. Frequency and normal distribution of MOE of Korean red pine.

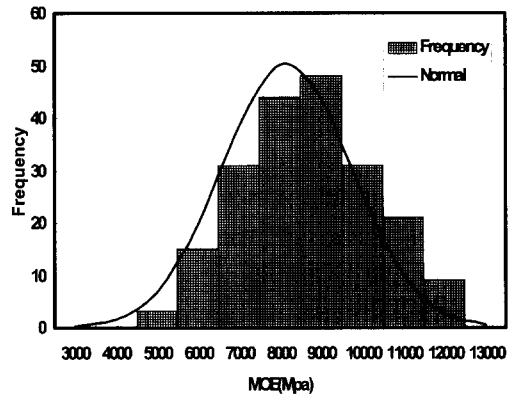


Fig. 6. Frequency and normal distribution of MOE of Japanese larch.

은 각 수종별 층재의 빈도분포를 빈도수와 정규분포곡선을 사용하여 나타내었다. 정규분포의 적합도 검정은 검정통계량에 의한 판정과 유의확률 p값에 의한 판정 등 2가지 방법이 있고, 이들 2가지 방법 모두가 귀무가설을 수락하면 정규분포라고 판정하였다(노, 2000).

Table 3은 유의수준(Significance level) 0.05에서의 귀무가설 수락여부를 판별하기 위하여 각 수종의 탄성계수 평균값, 표준편차, 검정통계량, 기각치 및 유의 확률값을 표로 나타내어 카이제곱법(Chi-square test)에 의하여 통계적 가설을 검정하였다. 소나무층재의 경우 검정통계량이 임계치보다 크게 나타났고, 유의 확률이 유의수준보다 낮게 나타나서 귀무가설에 기각되어 정규분포의 조건을 만족시키지 못하였다.

하지만, 낙엽송재의 경우는 2조건 모두 귀무가설을 수락하여 정규분포인 것을 확인할 수 있었으며, Lee & Oho(2000)와 Oho *et al.*(2000)의 연구결과에 부

합하였다. Moulin *et al.*(1990)의 경우, 이태리 포플러(*Populus euramericana*)재를 공시재료로 하여 비파괴 휨탄성계수를 구하여 탄성계수의 분포를 나타낸 결과 weibull분포곡선이 정규분포곡선보다 실험값과의 차이가 적게 나타났다고 보고하여, 수종간의 탄성계수 분포형태가 다를 수 있다. 그러므로 소나무재의 경우 정규분포가 아닌 weibull분포나 대수정규(lognormal)분포 등 다른 분포곡선과의 적합성 여부에 대한 좀더 세밀한 고찰이 수행되어야 할 것으로 판단되었다.

3.2. 층재의 밀도와 집성재 밀도

집성재의 밀도는 접착제의 함유로 인하여 3개 층재의 합계보다 일반적으로 증가하는 경향을 나타내었다. Fig. 7은 층재의 전체 평균 밀도와 실제 집성재로 제조된 소재의 밀도를 비교한 그림이다. 그림에서 층재의 밀도보다 소재의 밀도가 높게 나타나고 있는 것

Table 3. Chi-square test for the goodness of fit

	m	σ	p	c.v	χ^2	α
<i>Pinus densiflora</i>	6679.22	1013.70	0.0232	12.5916	14.6423	0.05
<i>Larix kaemferi</i>	8167.72	1586.10	0.7856	15.5073	4.73389	0.05

Note) m=평균(average), σ =표준편차(S.D.), p=유의 확률, c.v=기각치(critical value), χ^2 =검정통계량, α =유의수준(significance level)

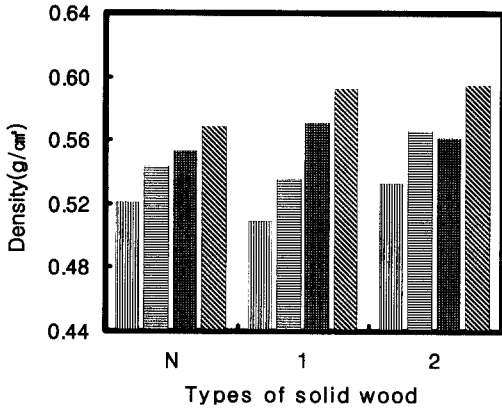


Fig. 7. Relationship between density of lamination and density of laminated timber. Note) N: Control wood 1: 1ply fiber glass, 2: 2ply fiber glass, ▨: Lamina (*Pinus densiflora*), ▩: Solid wood (*Pinus densiflora*), ▦: Lamina (*Larix kaemferi*), ▧: Solid wood (*Larix kaemferi*).

을 볼 수 있고, 특히 소나무재의 경우 소재의 밀도가 층재의 밀도보다 평균 0.3 정도 더 커지는 것을 알 수 있다. 소재의 형태별로는 유리섬유를 1층 넣은 것은 control재와 비교하여 약간 더 증가하는 경향을 나타내었다.

3.3. 예측 탄성계수와 실측 탄성계수

층재의 응력등급 측정법에는 여러 가지가 있지만, 근래에 공장이나 실험실 단위로 로드셀(Load cell)을 회전롤러에 연결하여 층재를 롤러사이에 통과시켜서 응력등급을 구분하는 MSR(Machine Stress Rating) 기계장치를 많이 사용하고 있다(Lee & Kim, 1997). 그러나 실험실적으로 사용하기에는 아직까지 보편화된 장비가 아니기 때문에 일반적으로 소재에 하중을 가하여 비례한도 응력 내에서 응력차와 변위차를 이용하여 탄성계수를 구하고, 이 탄성계수에 따라 응력등급을 구분한다.

그러나 이들 방법들은 시간적인 제약이 많이 받는 단점을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 만능강도 시험기(UTM)를 이용하여 휨 하중을 가하여 탄성계

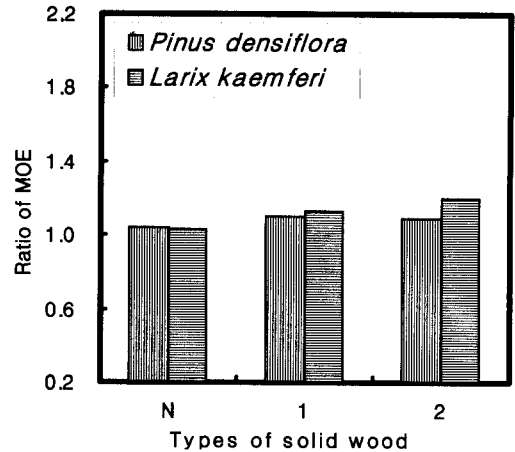


Fig. 8. Relationship between measurement and calculation values of MOE. Note) N: Control wood 1: 1ply fiber glass, 2: 2ply fiber glass.

수를 측정하였으며, 이러한 방법은 실측값과 예측값 사이에 큰 차이가 없는 것으로 보고된 바 있다 (Moulin *et al.*, 1990).

Fig. 8은 층재의 응력등급의 조합으로 계산된 계산 MOE와 실측 MOE간의 비를 나타낸 그림이다. 탄성계수의 비는 계산 값을 실측값으로 나눈 값(계산값/실측값)으로 나타내었다. 그림에서 MOE의 비율이 1의 값을 나타내는 경우는 계산 MOE와 실측 MOE간의 차이가 0인 경우를 나타낸다. 즉 계산값과 실측값이 동일한 경우를 나타낸다. 본 실험에서 유리섬유를 함유하지 않은 control재의 경우는 소나무재와 낙엽송재 모두 그 값이 1.0에 가까운 값을 나타내어 비교적 정확한 값을 나타내어, Park *et al.*(2002)의 0.9의 값과 유사한 경향을 나타내었다. Lee & Kim (2000)은 MSR(Machine Stress Rating), 응력과 비파괴법, long span(3 point bending) MOE, localized(4 point bending) MOE의 5가지 방법으로 탄성계수를 비교해 본 결과 MSR에 의한 강도예측이 가장 정확하다고 보고하였다. 따라서 MSR장치를 이용할 경우 좀더 명확한 탄성계수의 예측이 가능할 것으로 판단되었다. 유리섬유를 함유한 소재의 경우는 그 값이 1이상을 나타내었으며, 특히 낙엽송재의 경우는 유리섬유를 함유한 소재와 control소재간 값의

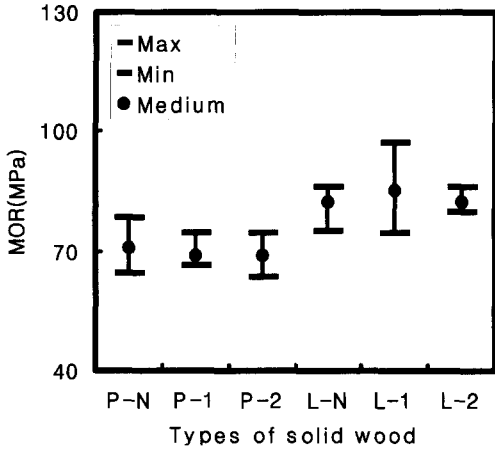


Fig. 9. Bending strength of solid wood. **Note)** P-N: Control wood (*Pinus densiflora*), P-1: 1ply fiber glass (*Pinus densiflora*), P-2: 2ply fiber glass (*Pinus densiflora*), L-N: Control wood (*Larix kaemferi*), L-1: 1ply fiber glass (*Larix kaemferi*), L-2: 2ply fiber glass(*Larix kaemferi*).

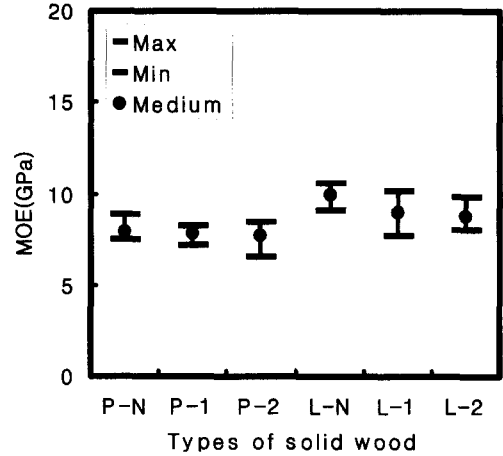


Fig. 10. Modulus of elasticity (MOE) of solid wood.

차이가 소나무재보다 높게 나타났다. 따라서 유리섬유를 함유한 낙엽송재의 경우는 탄성계수의 예측이 어렵게 되므로, 접착제의 영향이나 유리섬유의 영향과 같은 인자에 대한 좀더 세밀한 연구가 필요하다고 생각되었다.

3.4. 휨강도

휨강도는 소나무와 낙엽송재의 경우 낙엽송재가 평균 10 MPa 정도 더 큰 값을 나타내었다. 유리섬유의 형태에 따른 강도 특성에서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 최소값과 최대값의 변이 차이는 유리섬유를 1층 넣은 낙엽송재의 변이가 약 20 MPa 정도로 상대적으로 높게 나타났다. 임업연구원의 연구자료(1994)와 비교해 볼 때 본 실험의 경우, 소재의 함유율이 15% 상태이므로, 소나무재의 경우 74.7 MPa과 일치하는 경향을 나타내었고, 낙엽송재의 경우 98.6 MPa보다 10 MPa 정도 낮게 나타났다.

휨시험 후 파괴된 소재의 접착층을 관찰한 결과, 유리섬유를 넣지 않은 시편과 유리섬유를 1층 함유한

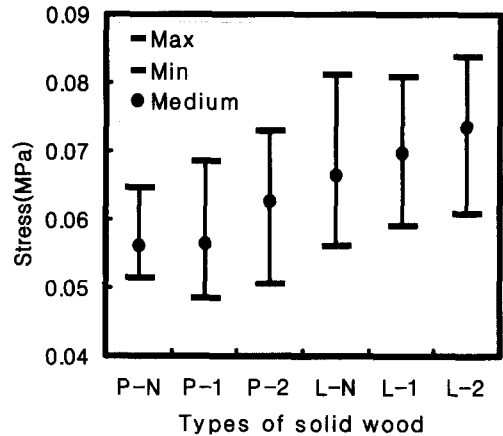


Fig. 11. Bending stress of solid wood at proportional limit.

시편에서는 단지 인장층에서 전단파괴만 일어났지만, 유리섬유를 2층 넣은 몇몇 시편에서는 휨 시험 후 반기에 인장층 접착부분의 분리현상이 발생하였다.

본 시험에서는 직물유리섬유를 층재의 전체면에 함유하였으므로, Hallström(1996: 1997)의 연구와 같이 응력이 집중되는 곳에 유리섬유를 부분적으로 함유시키는 것이 crack의 전파를 지연시키고, crack의 길이를 감소시키는데 효과적일 것으로 생각되었다. 탄성계수에서는 소나무재와 낙엽송재 모두 평균

값은 큰 차이를 나타내지 않았고, 접착층에 유리섬유를 넣은 것일수록 소재의 탄성계수는 약간씩 감소하는 경향을 나타내었다. 소나무 control재의 경우 최소값과 최대값 사이의 변이 차이가 낙엽송 control재에 비하여 크게 나타남을 알 수 있었다.

낙엽송 control재는 소나무재의 control재와 비교하여, 휨강도가 상대적으로 높고, 휨강도의 최대값과 최소값 변이도 소나무 control재에 비하여 낮게 나타났다. 탄성계수의 경우 소나무 control재와 비교하여 최대값과 최소값의 차는 비슷하였지만, 평균값에서는 2 GPa 정도 큰값을 나타내었다.

그러므로 낙엽송재 이용의 최대 관건인 나선목리(螺旋木理)에 의한 건조결함만 확실하게 개선된다면, 낙엽송재를 이용하여 집성재를 제조하는 것이 강도 향상을 위하여 아주 유용한 소재라고 판단되었다. Fig. 11은 비례한계에서의 휨용력을 나타내었다. 비례한계 휨용력은 소나무control재를 제외하고 모든 소재에서 최대값과 최소값의 변이가 비슷하게 나타났다. 하지만 유리섬유를 함유한 소재일수록 비례한계에서의 휨용력이 높게 나타나는 경향을 나타내었으며, 소나무재 보다는 낙엽송재에서 그 차이는 명확하게 나타났다. 비례한계(Proportional limit) 휨용력은 소재가 휨용력을 받았을 때의 초기 변형을 나타낸 값으로 비례한계 휨용력이 클수록 초기하중에 대한 내력이 큰 경향을 나타낼 수 있을 것으로 생각되었다. 본 연구에서 유리섬유를 함유한 소재의 비례한계 휨용력이 높으면서도 휨강도의 차이가 명확하게 나지 않는 것은 초기변형이후 직물유리섬유가 접착층에서 분리되는 현상이 발생한 것으로 생각된다.

3.5. 압축강도

압축강도는 유리섬유를 함유한 소재와 함유하지 않은 소재간의 차이가 명확하게 나타나지 않았다. 단지, 유리섬유를 2층 함유한 소재에서 최종압축과괴 후, 상단부에서 약간의 접착층 분리현상이 발생하였다. 수종에 따른 특성은 낙엽송재가 소나무재와 비교하여 볼 때 전체적으로 5 MPa 정도 높게 나타났다. 압축강도에서 최대값과 최소값 사이의 변이 폭은 소나무재가 좀더 높게 나타났다. 압축 탄성계수는 소나

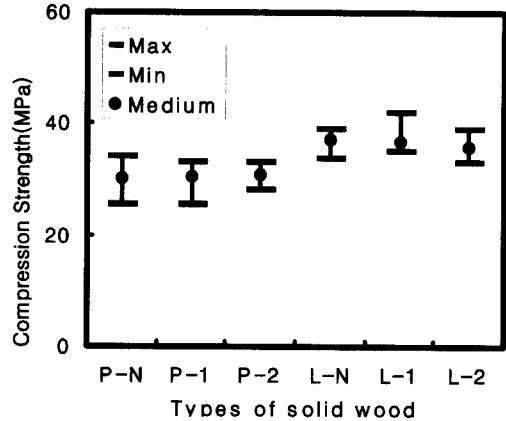


Fig. 12. Compression strength of solid wood.

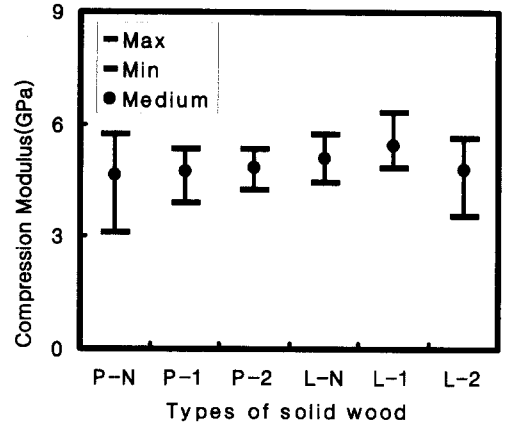


Fig. 13. Compression modulus of solid wood.

무 무처리재의 경우 변이가 3 MPa, 낙엽송 유리섬유 2층 함유재의 경우 2 MPa 정도로 다른 형태에 비하여 약간 높게 나타났지만, 전체적인 평균값은 6가지 형태 모두 비슷한 경향을 나타내었다.

특히 본 실험에서는 용이 부분이 층재에 포함되었으므로 결국에는 압축강도의 경우 유리섬유를 함유한 효과보다는 용이의 영향을 더 많이 받는 것으로 생각되었다.

3.6. 전단강도 및 목파울

집성재에 있어서 목파울은 집성재의 품질과 직결

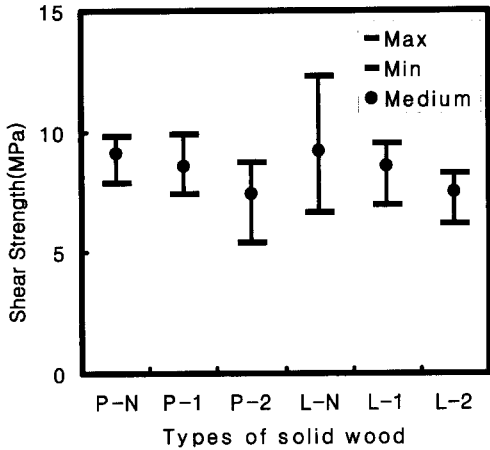


Fig. 14. Shear strength of solid wood.

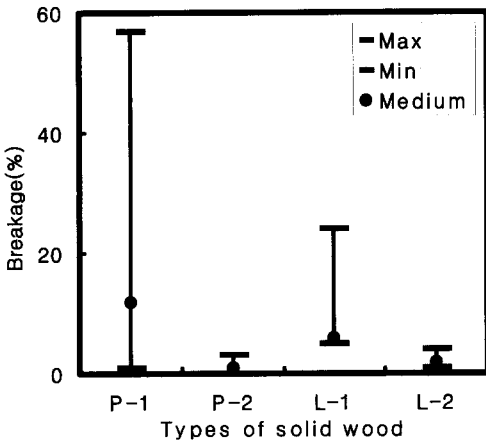


Fig. 15. Breakage of solid wood.

되는 아주 중요한 요소이다. 집성재의 경우 접착층에서 분리가 일어나지 않아야 강도적 성질을 향상시킬 수 있다. Fig. 15에서 소나무재와 낙엽송재간의 수종적 특성은 크게 나타나지 않았으며, control재와 유리섬유를 1층 함유한 소재의 경우 모두 9 MPa 정도로 비슷한 값을 나타내었지만, 유리섬유를 1층 함유한 소재가 control재보다 강도가 약간 더 낮게 나타났다. 그러나 control재와 유리섬유 1층 함유소재 모두 8 MPa 이상으로 구조용 집성재의 품질기준(KS F 3021) 7.1 MPa 이상을 만족시키는 강도를 나타내었다. 목파율은 control재의 경우 모두 목파율 100%를

나타내어 목파율 65% 이상인 구조용 집성재의 품질 기준을 만족시켰다.

그러나 유리섬유를 함유한 소재의 경우 목파율이 모두 60% 이하로 나타났고, 평균값은 유리섬유 1층을 함유한 소나무재를 제외하고는 모두 10% 이하로 나타났다. Rowlands *et al.*(1986)은 단방향 유리섬유와 양방향 유리섬유를 레소시놀수지와 페놀레소시놀수지로 집착한 전단강도를 측정한 결과 양방향 유리섬유를 함유한 소재의 전단강도가 조건에 따라 최대 43%에서 최소12%까지 적게 나타난다고 하였다. 이것은 사용된 접착제의 특성도 영향하겠지만, 양방향 유리섬유의 경우 표면적이 넓기 때문에 목재와 목재가 접착하는 접착면적이 상대적으로 감소되기 때문으로 생각된다. 그리고 유리섬유를 1층 함유한 소재의 경우 목재간의 파단율에 의한 강도이기보다는 유리섬유 자체의 파단이 많이 발생되어, 유리섬유간의 자체인장강도에 의해서 일정 강도 이상의 전단강도를 발현한 것으로 생각된다. 향후, 유리섬유를 함유한 소재의 목파율을 향상시키기 위해서는 유리섬유 직물자체의 mesh수를 낮게 하거나 유리섬유의 직물형태를 다양화하여 목재와 목재가 접착되는 비율을 높여 주어야만 전단강도를 향상시킬 수 있다고 생각되었다.

그러나, 무조건 유리섬유의 mesh수와 직물의 형태를 변형시키기 보다는 접착제, 유리섬유와 목재 3가지 조건간의 상호 친화력을 고찰해 보는 것이 무엇보다도 중요한 것으로 판단된다.

3.7. 접착층 표면의 현미경(SEM)관찰

Fig. 16은 유리섬유가 함유된 접착층의 현미경(SEM) 관찰 사진이다. 집성재의 압착에 인하여 filament의 형상이 납작하게 변한 것을 볼 수 있으며, filament 사이에 접착제가 완전하게 함유되지 않고 있음을 알 수 있다. 그러므로 접착층에서 유리섬유에 접착제의 흡수가 용이하게 하기 위해서는, 접착제의 점도가 가능한 낮은 것이 좋고, 또한 filament의 직경이 가늘수록 상대적으로 접착제의 흡수가 용이하며, 유리섬유를 2층 함유하는 것은 유리섬유간의 접착결합력이 약하기 때문에 가능한 피하는 것이

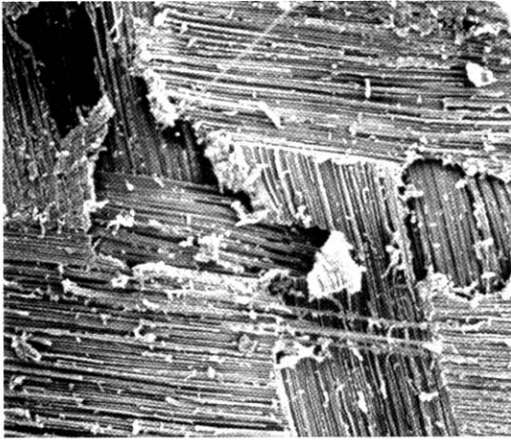


Fig. 16. Surface of bonding layer with glass fiber by scanning electron microscopy ($\times 40$).

좋을 것으로 생각되었다. 유리섬유는 목재와 목재간의 목과목이 일정수준 이상이 되었을 때 보강재(補強材)로서의 역할을 할 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구는 strand type의 유리섬유 강화집성재의 단점인 작업성과 FRP sheet 강화집성재의 단점인 외관성(外觀性)을 보완하기 위해서 실시하였으며, 직물 형태의 유리섬유를 수성고분자-이소시아네이트 수지(MPU-500)를 사용하여 소나무재와 낙엽송재 집성재의 접착층에 함입하여, 집성재를 제조한 다음 기계적 성질을 조사한 결과는 다음과 같다.

1) Control재에서 수성고분자-이소시아네이트 수지는 구조용 집성재의 품질기준(KS F 3021)을 만족하여, 집성재 제조용으로 적합하였다.

2) 직물유리섬유를 함입할 경우 휨강도, 전단강도에서 control재보다 크게 뛰어나지는 않았지만, 비례한도 휨응력은 유리섬유의 함입 층수에 비례하여 증가하였다. 그러므로, 직물 유리섬유의 mesh수와 두께를 집성재 소재의 형태에 따라 적절히 조정한다면, 휨강도와 전단강도를 좀더 향상시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

참고 문헌

1. 金洙昌. 1993. 集成材學. 강원대학교 출판부 PP. 77~78.
2. 노형진. 2000. Excel2000에 의한 통계적 조사방법. 형설출판사 pp. 271~284.
3. 朴相範, 孔泳土, 趙在明. 1988. 리기다소나무板材의 接着條件이 集成材의 接着性能에 미치는 影響. 목재공학 16(4): 48~53.
4. 변희섭, 류현수, 안상열, 이균필, 박한민, 김종만. 2001. 핑거공차가 휨강도성능에 미치는 영향. 한국가구학회지 12(2): 1~10.
5. 산림청. 2001. 임업통계연보. 제 31호 pp. 13, pp. 262~263.
6. 이전제, 김광철. 1996. 구조용 집성재의 강도 예측에 관한 연구. 한국목재공학회 '97추계 학술발표논문집 pp. 47~53.
7. 이전제, 김광철. 2000. 집성재의 강도적 성질 예측에 대한 핑거 조인트와 라미나의 강도의 영향. 목재공학 28(1): 8~17.
8. 이전제, 오정권. 2000. 국산 낙엽송의 허용응력도 산출을 위한 최적 활률분포 모형 선정에 관한 연구. 한국목재공학회 '2000추계 학술발표논문집 pp. 52~57.
9. 林業研究院. 1994. 韓國產 主要木材의 性質과 用度. 林業研究院 研究資料 第95號 pp. 123.
10. 吳世昌, 李弼宇. 1986. 引張 및 壓縮部材와 積層數가 플라타너스 集成材의 靱性質에 미치는 影響. 목재공학 14(2): 3~12.
11. 오정권, 김광철, 이전제. 2000. 국산 낙엽송 실재재의 용이 분포 특성 및 기계 응력 등급 구분. 한국목재공학회 '2000추계 학술발표논문집 pp. 41~47.
12. 鄭仁五, 蘇元澤, 林奇杓. 1984. 尿素樹脂接着劑를 使用한 靑松 集成材의 製造條件이 接着 性能에 미치는 影響. 목재공학 12(2): 35~43.
13. 조재명, 강선구, 김기현, 정병재. 1974. 포플라와 일본잎갈나무의 집성재 제조에 관한 연구. 목재공업 2(2): 25~31.
14. 한국표준협회. 1997. 구조용 집성재. 한국산업규격 KS F 3021.
15. 한국표준협회. 1999. 목재의 휨 시험 방법. 한국산업규격 KS F 2208.
16. 한국표준협회. 1999. 목재의 압축 시험 방법. 한국산업규격 KS F 2206.
17. Biblis, E. J. 1965. Analysis of wood-fiberglass composite beams within and beyond the elastic

- region. *Forest Prod. J.* 15(2): 81~88.
18. Davids, W. G., H. J. Dagher and J. M. Breton. 2000. Modeling creep deformation of FRP-reinforced Glulam beams. *Wood and Fiber Science* 32(4): 426~441.
 19. Gardner D. J., J. F. Davalos and U. M. Munipalle. 1994. Adhesive bonding of pultruded fiber-reinforced plastic to wood. *Forest Prod. J.* 44(5): 62~66.
 20. Hallström Stefan. 1996. Glass fibre reinforced holes in laminated timber beams. *Wood Sci. Technol.* 30: 323~337.
 21. Hallström Stefan and J. L. Grenestedt. 1997. Failure analysis of laminated timber beams reinforced with glass fibre composites. *Wood Sci. Technol.* 31: 17~34.
 22. Moulin, J. M., G. Pluvinage and P. Jodin. 1990. FGRG: Fibreglass reinforced gluelam - A new composite. *Wood Sci. Technol.* 24: 289~294.
 23. Park, Han-Min, Masami Fushitani, Takafumi Kubo, Keiichi Sato and Hee-Seop Byeon. 2002. Effect of annual ring angle on static bending strength performances of cross-laminated woods made with sugi wood. *Mokuzai Gakkaishi* 47(1): 22~32.
 24. Plevris, N. and T. C. Triantafillou. 1992. FRP-Reinforced wood as structural. *Journal of Materials in Civil Engineering* 4(3): 300~317.
 25. Plevris, N. and T. C. Triantafillou. 1995. Creep behavior of FRP-reinforced wood members. *Journal of Structural Engineering* 121(2): 174~185.
 26. Rowlands, R. E., R. P. Van Deweghe, T. L. Laufenberg, and G. P. Krueger. 1986. Fiber-reinforced wood composites. *Wood and Fiber Science* 18(1): 39~57.
 27. Triantafillou, T. C. and N. Deskovic. 1992. Prestressed FRP sheets as external reinforcement of wood members. *Journal of Structural Engineering* 118(5): 1270~1284.
 28. Wangaard, F. F. 1964. Elastic deflection of wood-fiberglass composite beams. *Forest Prod. J.* 15(6): 256~260.