

핑거접합부의 수량 및 배치가 생태목조건축용 집성재의 휨강도에 미치는 영향*¹

소원택*²

The Effects of Number and Location of Finger Joints on the Bending Strength of Glue Laminated Wood for Green Wood Building*¹

Won-Tek So*²

ABSTRACT

This experiment was carried out to investigate the effects of number and location of finger joints on the bending strength of glue-laminated lumbers. Urea resin adhesives were used in this experiment and the resin content was 70% for cold pressing. The lamina were edge-jointed and end-jointed. The specimen were composed of one or three layers. The obtained results are summarized as follows; The effects of finger joints on the decrease of bending strength of glue laminated woods were different according to the number and location of finger joints. The decrease of MOR was highest on the middle position of laminated woods. The effects of several arrangements of finger joints on the bending strength of glue laminated woods showed on Figure 7 and 8. The variance of thickness-laminating on the bending strength of glue laminated woods were larger than those of width-laminating.

Keywords: Urea resin, edge-glued laminate wood, finger joint, bending strength. *Pinus densiflora* Zieb. et Zucc.

*1. 논문접수 : 2006. 12. 16.

이 논문은 2005년도 교육인적자원부 지방연구중심대학 육성사업(바이오하우징연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음.

This work was financially supported by Regional Research Centers program(Bio-housing Research Institute), granted by the Korean Ministry of Education & Human Resources Development, 2006.

*2. 전남대학교 임산공학과, 농업과학기술연구소 Insti. of Ag. Sci. and Tech., Dept. of Forest Products and Technology, Chonnam Nat'l Univ., Kwangju 500-757, Korea

1. 서론

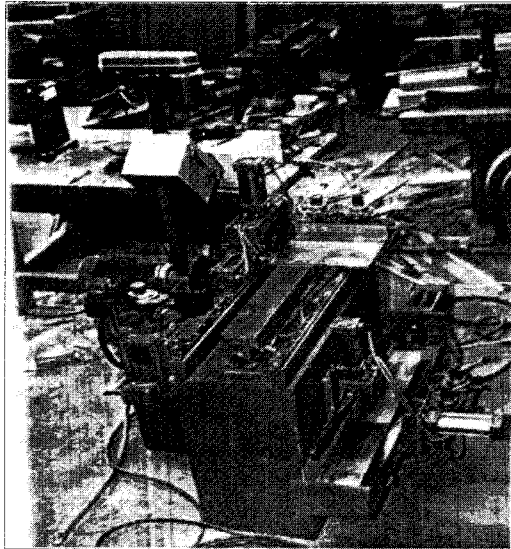
최근 환경친화적인 목조건축물에 대한 일반의 선호도가 갈수록 증가하고 있으며 이에 다른 목재 및 목질제품의 활용이 급증하는 실정이다. 그러나 열대산 활엽수 자원의 고갈로 침엽수의 이용이 현저하게 증가하고 있으며 원목의 재질도 과거 고품질의 대경재를 선택적으로 사용하던 시대에서 저질의 소경재까지 적극적으로 활용되는 시대로 변천하고 있다. 이러한 저질 소경재를 사용하기 위해 제재판재를 두께방향 또는 폭방향으로 접착하여 대형화할 수 있는 집성재의 이용이 급격히 증가하는 추세를 보이고 있다. 저품등원목, 중소경 저급재, 간벌재, 임지폐잔재 및 가공과 생재 등을 원료로 하여 접착제 접합에 의해 얇은 집성판에서 대형집성제품까지 다양한 크기로 생산할 수 있는 집성공법은 목재이용도를 높일 수 있는 매우 효과적인 기술로 인정받고 있으며 국내에서도 이미 건축용과 가구산업 등에서 많이 사용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 직경이 작고 품질이 떨어지는 저품등 국산 소나무를 대상으로 핑거접합(finger joint)공법을 적용하고 합판, 파티클보드 및 MDF제조 등 산업용으로 가장 많이 사용되는 상온경화형 농축요소수지 접착제(김, 1979)를 사용하여 집성재를 제조하고 핑거의 수량 및 위치가 집성재의 휨강도에 미치는 영향을 조사하였다.

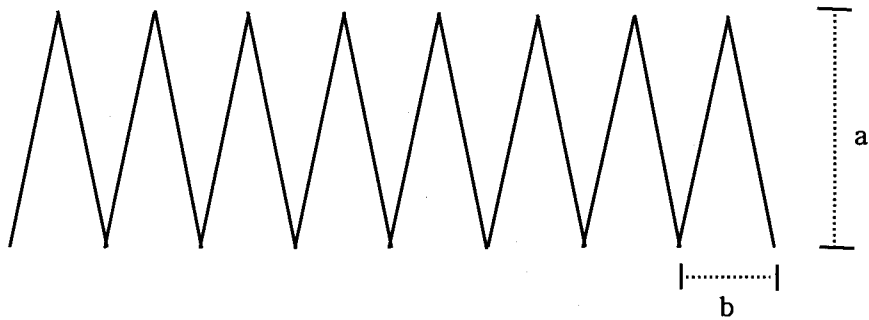
2. 재료 및 방법

2-1. 라미나 판재의 제작, 핑거절삭 및 접착

소나무(*Pinus densiflora* Zieb. et Zucc.) 원목을 널결제제한 후 목공용 둥근톱과 자동대패기 등의 절삭기구를 사용하여 두께 10mm, 폭 50mm, 길이 50cm의 라미나 판재를 제작한 다음 온도 20℃, 상대습도 65%를 유지하도록 조절된 항온항습기에 20일간 조습처리를 실시하였다. 라미나 판재의 핑거절삭은 대우기계산업사에 주문제작한 반자동 공기압식 핑거조인터(그림 1)를 이용하였으며, 집성재의 라미나 적층수는 3개를 기준으로 하였다. 집성용 접착제는 사용이 간편하고 경화 후 색상이 투명하여 오염을 일으키지 않고 목재에 대한 접착력이 우수하기 때문에 일반 산업용으로 가장 많이 사용되는 상온경화형 농축요소수지(urea resin) 접착제(Clark, 1968)를 사용하여 집성재를 제조하였다. 접착제는 증량하지 않고 원액을 사용하여 접착강도를 높이고 도포량은 300g/m²을 소형 hand-roller를 사용하여 양면도포방식으로 도포하였다. 퇴적시간 20분, 압착압력은 냉압프레스에서 평균 10kg/cm²를 24시간 이상 가한 후 해압하였으며 다시 24시간 양생과정을 거친 다음에 실험재료로 사용하였다(Gillespie et al. 1978 and So, 1988). 핑거절삭에 의한 핑거의 형태 및 치수는 그림 2와 같고 한국산업규격 KSM 3701(요소수지 목재접착제)에 따라 조사한 공시접착제의 성상은 Table 1과 같다.



<Fig. 1> Semi-automatic finger jointer by air pressure



<Fig. 2> Dimension of finger joints. $a : b = 12 \text{ mm} : 3 \text{ mm}$

<Table 1> Properties of urea resin adhesives used for experiment

Adhesive	Sp.Gr.	pH	N.V.C. (%)	Water- solubility (%)	Gel time (min.)	Viscosity (cP)
urea resin	1.25	4.7	70.0	90.7	22	44

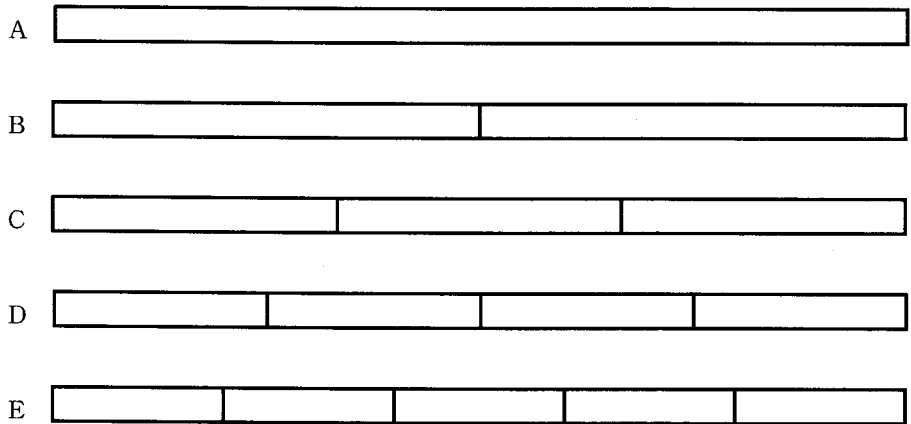
* 1. N.V.C.: non-volatile contents of urea resin.

2. Viscosity(resin: water=1:1): spindle No.3, 100rpm, 20°C by Brookfield DV-2+

2-2. 핑거접합부(finger joint)의 수량 및 배치

2-2-1 단층 라미나 판재에서의 핑거접합부의 수량 및 배치

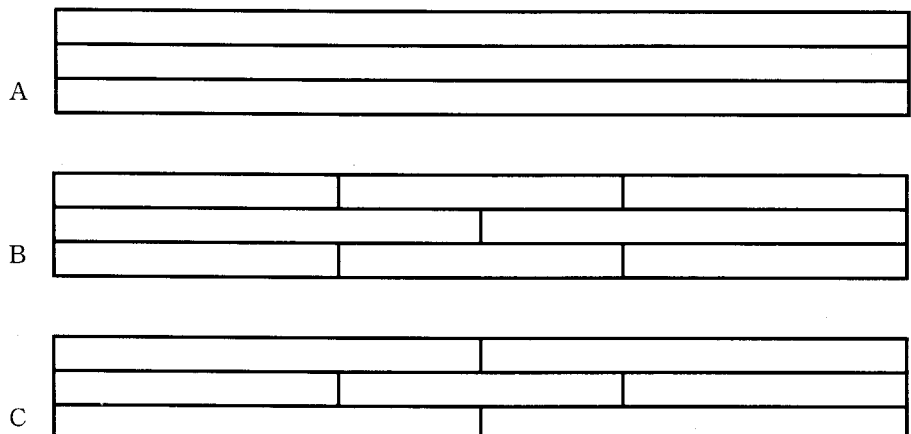
일차적으로 라미나 판재의 핑거접합부의 수량을 1개에서 4개까지 구분하여 균등한 간격으로 그림 3과 같이 길이방향으로 접합하는 단층구조의 집성판(edge-glued lumber)(한국산업규격 KSF 3022, 3023)을 제작한 다음 휨강도를 측정하여 핑거접합부의 수량과 배치에 따른 강도변화를 조사하였다.

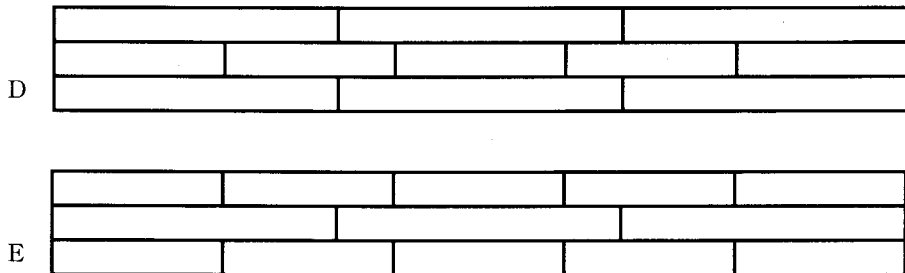


<Fig. 3> The number and location of finger joints on the one-layered laminar board. A: none-finger(control), B: 1-finger, C: 2-fingers, D: 3-fingers, E: 4-fingers.

2-2-2 집성재 두께방향에서의 핑거접합부의 수량 및 배치

이차적으로 위와 같이 핑거접합한 라미나 판재를 조합하여 두께방향으로 그림 4와 같이 집성재를 제조한 다음 조합 형태별로 집성재의 휨강도를 측정하여 핑거접합부의 수량과 배치에 따른 강도변화와 두께방향으로 인접한 라미나 판재의 접합강도의 보강정도를 조사하였다.

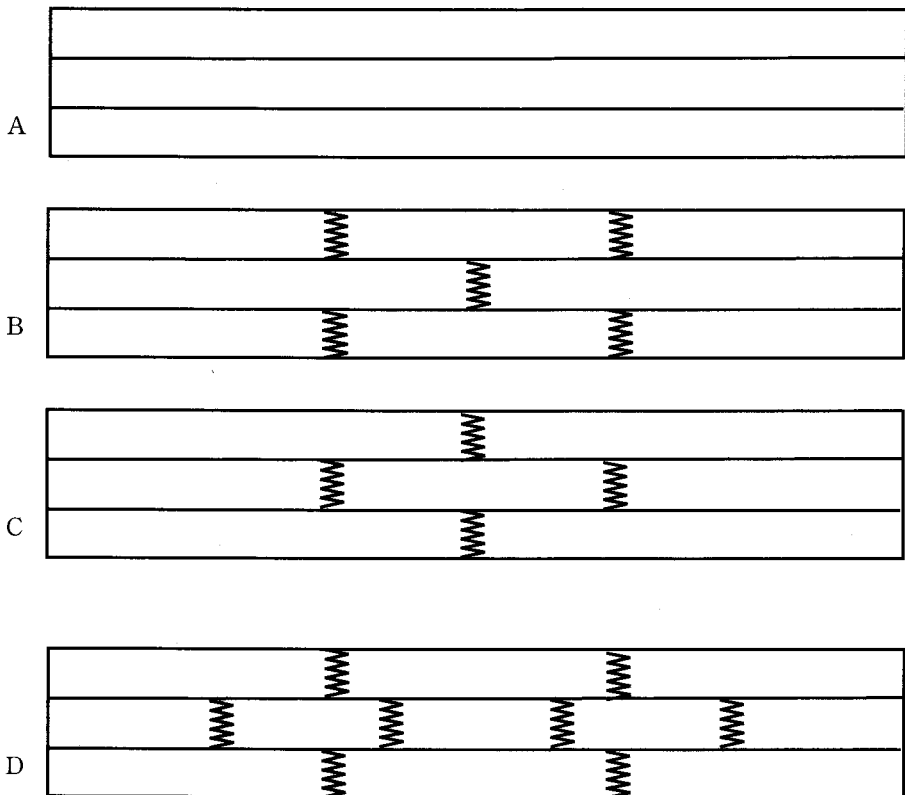


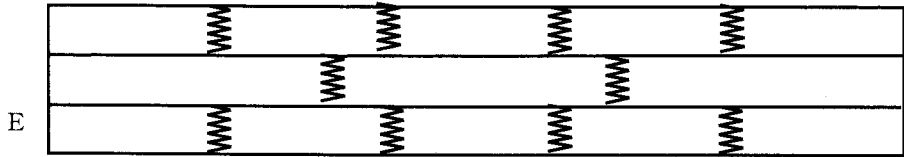


<Fig. 4> The number and location of finger joints for thickness-laminating on the three-layered laminated board.(side). A: 0-0-0, B: 2-1-2, C: 1-2-1, D: 2-4-2, E: 4-2-4.

2-2-3 집성재 폭방향 집성재에서의 핑거접합부의 수량 및 배치

다음에는 핑거접합한 라미나 판재를 조합하여 그림 5와 같이 폭방향으로 집성재를 제조한 다음 조합형태별로 집성재의 휨강도를 측정하고 핑거수량과 배치에 따른 강도변화와 폭방향 인접 라미나판재의 휨강도의 보강정도를 조사하였다.





<Fig. 5> The number and location of finger joints for width-laminating on the one-layered laminated board.(surface). A: 0-0-0, B: 2-1-2, C: 1-2-1, D: 2-4-2, E: 4-2-4.

2-3. 소나무 집성재의 휨강도 측정

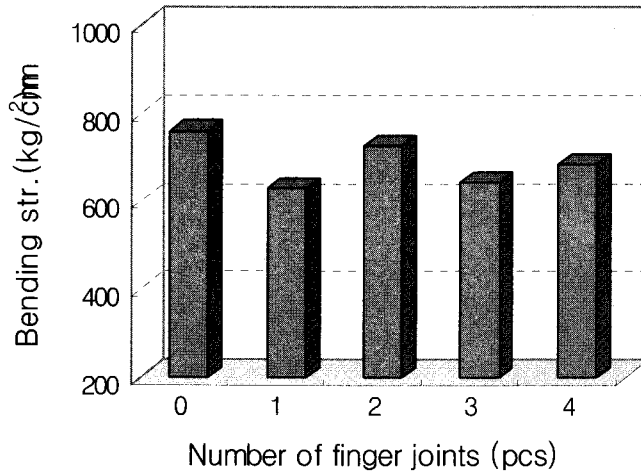
접합된 소나무 집성재는 해압 후 24시간이 경과하도록 양생시킨 다음 한국산업규격 KSF 2208(목재의 휨시험방법)에 따라 휨강도를 측정하여 접합방식과 핑거접합의 수량 및 위치변화가 강도에 미치는 영향을 조사하였다(Park 등, 1988). 사용된 강도측정 시험기는 미국 United Calibration Corporation의 Model SFM-20 Universal Testing Machine (cap. 30,000 lb)으로서 측정조건은 preload 2kg, prespeed 2mm/min, test speed 10mm/min(인장강도 2mm/min)을 적용하여 최대과과하중 및 변형량을 측정하였으며 강도측정용 시험편의 치수는 10×50×160mm로 제작하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 핑거접합부의 수량 및 배치가 단층 라미나 판재의 휨강도에 미치는 영향

저질 소경재의 국산 소나무로 제작한 라미나 판재를 핑거절삭공법을 사용하여 길이방향으로 접합하여 집성재를 제조하였으며 제조된 집성재는 재면 평활성, 섬유방향 통직성 및 접합부의 밀착성 등 외형상 품질은 매우 양호하였다.

무접합 라미나 판재의 (소재)휨강도가 761kg/cm²를 나타내는 데 비하여 핑거접합부가 중앙에 한 개 배치된 라미나 판재의 휨강도는 그림 6과 같이 628kg/cm²로서 감소하였으나 그 감소율은 17.5%에 불과하였다. 통상적으로 사용되는 butt-joint 접합방식이 재료강도의 10%정도를 유지하는 데 비해서(菅野養作 등, 1972) 본 연구의 핑거접합방식은 재료강도의 80% 이상을 유지하는 극히 우수한 접합성능을 보여주었다. 일반적으로 핑거접합부의 강도는(신, 1999) 제재목 강도의 75% 수준을 유지한다는 Pooley(1994)의 연구내용보다 양호한 결과로 보인다. 한편 이때의 휨강도 감소는 중앙에 있는 취약한 접합부에 휨하중이 집중되는 데 기인한 것으로 충분히 예상되는 결과이며(Bodig et al. 1982) 길이접합부에 의한 휨강도 감소율의 정도를 예측하는데 도움이 될 것이다.



<Fig. 6> Relation between the number of finger joints and bending strength of finger jointed laminated wood.

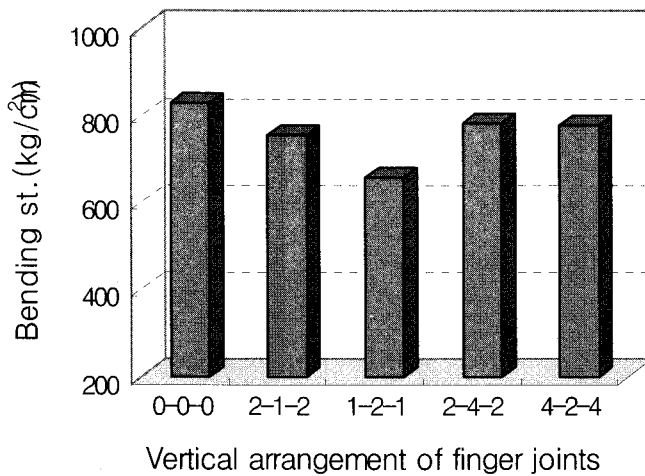
또한 핑거접합부를 라미나 판재의 중앙을 벗어나서 길이의 1/3 간격으로 2개 배치했을 경우의 라미나 판재의 휨강도는 728kg/cm^2 로서 무접합 라미나 판재의 소재 휨강도의 95.7%에 해당하는 매우 우수한 휨강도를 나타냈으며 휨파괴부위도 접합부분이 아닌 재료의 중앙에서 발생하였다. 이때의 휨강도 감소율은 4.3%에 불과한 수치이며 목재가 옹이, 엇결, 부후, 충공, 건조결함 등 여러 가지 결점을 함유하기 쉽고 조직적으로도 불균질한 재료이기 때문에 재료 간 강도성능의 변이가 기본적으로 매우 심하다는 사실을 고려해볼 때 이 정도의 감소는 용도에 따라서는 자연손실로 인정될 수 있는 범위라고 생각된다. 따라서 중앙을 벗어난 핑거접합은 목재의 휨강도의 손실을 최소한으로 줄일 수 있으며 거의 무접합 재료와 동등한 강도성능을 유지한다고 보여진다.

계속해서 길이의 1/4 간격으로 3개를 배치한 경우 라미나 판재의 휨강도는 642kg/cm^2 를 나타냈는데 무접합 라미나 판재의 84.4%에 해당하였다. 이 경우에도 중앙에 핑거접합부가 존재하기 때문에 강도손실이 증가한 것으로 생각되며 중앙을 벗어난 나머지 2개의 핑거접합부가 라미나 판재의 휨강도 감소에 대한 영향은 거의 없는 것으로 판단된다. 또한 길이의 1/5 간격으로 4개 배치된 라미나 판재의 휨강도는 686kg/cm^2 로서 무접합 라미나 판재의 90.1%를 나타냈다. 이 경우 핑거접합부의 배치가 중앙에는 없으나 1/3 간격으로 배치된 경우에 비해 중앙에 매우 근접한 상태이므로 강도의 약화에 어느 정도 기여한 것으로 보여진다. 결과적으로 핑거접합부의 배치가 중앙에 가까울수록 라미나 판재의 휨강도 손실에 미치는 영향이 증가하며 중앙을 벗어난 접합부는 수량에 상관없이 중앙집중 하중방식에 의한 휨강도에는 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.

3-2. 핑거접합부의 수량 및 배치가 두께방향 집성재의 휨강도에 미치는 영향

무접합 라미나 판재를 3층으로 접착 구성한 통직형 집성재(그림 4의 A, 두께방향 0-0-0구조)의 중앙집중 하중식 소재 휨강도가 그림 7과 같이 829kg/cm^2 를 나타낸 데 비하여 핑거접합부가

코어라미나의 중앙에 한 개, 표리면 라미나의 길이방향 1/3, 2/3 지점에 2개 배치된 집성재(2-1-2구조)의 휨강도는 $753\text{kg}/\text{cm}^2$ 로서 9.2% 강도가 감소하였다. 앞에서 중앙에 핑거접합부를 배치시킨 단일 라미나 판재의 휨강도 감소율이 17.5%인 것에 비하면 핑거접합부에 의한 강도감소가 매우 약화된 결과로서 이는 표리면의 라미나층이 코어라미나의 휨강도를 보완해주고 있음을 알 수 있었다. 표리면의 라미나층에 비록 핑거접합부가 포함되어 있으나 중앙부위에서 벗어나 있으므로 이들에 의한 강도감소는 핑거접합부가 정중앙에 위치한 경우보다 작기 때문에 그만큼 보강재료로서의 역할을 충분히 하는 것으로 보인다.



<Fig. 7> Relation between the vertical arrangement of finger joints and bending strength of finger jointed laminated wood.

다음에 표리면의 라미나에는 핑거접합부를 중앙에 배치하고 코어 라미나에는 길이방향의 1/3, 2/3 지점에 배치시킨 집성재(1-2-1구조)의 휨강도는 $658\text{kg}/\text{cm}^2$ 로서 무접합구조(0-0-0구조)보다 20.6%의 강도감소율을 나타냈다. 이는 집성재내부에 핑거접합부가 중앙에 위치하는 라미나층이 2개인 경우로서 중앙배치 핑거접합부 라미나층이 많을수록 강도감소율이 비례적으로 증가하는 것을 보여주며 중앙부 핑거접합부가 1개층인 2-1-2구조에서의 강도감소율이 9.2%인 것과 2개층인 1-2-1구조의 강도감소율이 20.6%인 점으로 볼 때, 3층 구조의 집성재 휨강도의 설계 시 중앙부에 핑거접합부가 포함되는 라미나 1층이 발생하는 휨강도의 감소율은 대략 10% 정도임을 알 수 있었다.10)

또한 표리면의 라미나에는 핑거접합부를 길이의 1/3 간격으로 배치하고 코어 라미나에는 1/5 간격으로 배치시킨 집성재(2-4-2구조)의 휨강도는 $782\text{kg}/\text{cm}^2$ 로서 무접합구조에 비해 5.7%의 매우 낮은 강도감소율을 나타냈다. 이는 2-1-2구조의 강도감소율 9.2%보다 작은 수치로서 표리판 라미나의 핑거접합부 배치는 동일하나 코어라미나의 접합부가 중앙을 벗어난 위치에 있으므로 접합부에 의한 영향이 다소 완화된 때문으로 생각된다. 비록 전체 핑거접합부의 수량이 8개로서 2-1-2구조의 5개보다 매우 많지만 접합부의 수량보다는 위치에 의한 영향이 훨씬 크게 작용하고

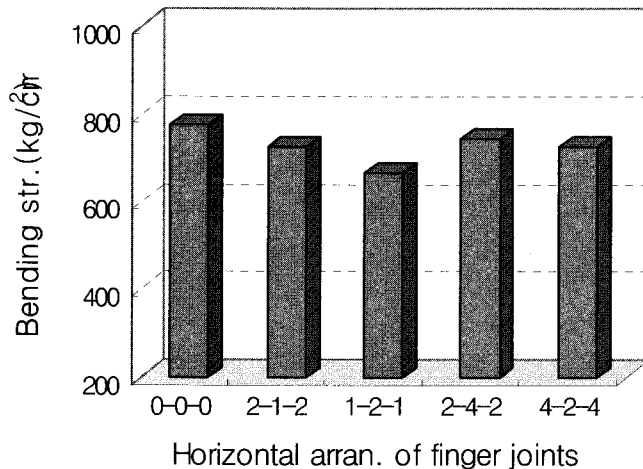
있음을 알 수 있었다.

계속해서 표리면의 라미나에는 핑거접합부를 길이의 1/5 간격으로 배치하고 코어 라미나에는 1/3 간격으로 배치시킨 집성재(4-2-4구조)의 휨강도는 778kg/cm^2 로서 무접합구조에 비해 6.2% 작은 강도감소율을 나타냈으며 전체 핑거접합부의 수량이 10개로서 가장 많았지만 핑거접합부의 위치가 모두 중앙부를 벗어나 있기 때문에 접합부의 영향이 약화되었다.

따라서 집성재의 두께방향 조합에서도 핑거접합부의 배치를 하중면의 중앙에서 가능한 멀리 분산 배치하는 것이 집성재의 휨강도를 최대한으로 유지시킬 수 있는 효과적인 설계방법이라고 판단된다.

3-3. 핑거접합부의 수량 및 배치가 폭방향 집성재의 휨강도에 미치는 영향

무접합 라미나 스트립(strip)을 폭방향 3층으로 접착 구성한 집성재(그림 5의 A, 폭방향 0-0-0 구조)의 중앙집중 하중식 기준 휨강도가 그림 8과 같이 787kg/cm^2 를 나타낸 데 비하여 핑거접합부가 코어스트립재의 중앙에 한 개, 양쪽 측면의 스트립에 길이방향 1/3, 2/3 지점에 각기 배치된 집성재(2-1-2구조)의 휨강도는 725kg/cm^2 로서 7.8% 강도가 감소하였다. 전술한 두께방향 집성에서 핑거접합부의 구성비율이 동일한 2-1-2구조에서는 9.2%의 강도감소율을 나타낸 것과 비교해 보면 핑거접합부의 배치가 폭방향보다는 두께방향으로 포함될 경우에 보다 심한 휨강도의 손실을 발생하는 것으로 인정된다.



<Fig. 8> Relation between the horizontal arrangement of finger joints and bending strength of finger jointed laminated wood.

이때에도 앞에서 중앙에 핑거접합부를 배치시킨 단일 라미나 판재의 휨강도 감소율이 17.5%인 것에 비하면 핑거접합부에 의한 강도감소가 매우 완화된 것이며 이는 역시 측면 스트립이 코어 스트립의 휨강도를 보완해주고 있음을 알 수 있다. 양측면의 스트립에도 비록 핑거접합부가 포함되어 있으나 중앙부위에서 벗어나 있으므로 이들에 의한 강도감소는 핑거접합부가 정중앙에 위치한 경우보다 작기 때문에 그만큼 보강해주는 것으로 해석된다.

다음에 양측면의 스트립에는 핑거접합부를 중앙에 배치하고 코어 스트립에는 길이방향의 1/3, 2/3 지점에 배치시킨 집성재(1-2-1구조)의 휨강도는 667kg/cm^2 로서 무접합구조(0-0-0구조)보다 15.2%의 강도감소율을 나타냈는데 집성재 내부에 핑거접합부가 중앙에 위치하는 스트립재가 2개인 경우로서 역시 중앙배치 핑거접합부가 많을수록 강도감소율이 비례적으로 증가하는 것을 보여주었다. 중앙부 핑거접합부가 1개층인 2-1-2구조에서의 강도감소율이 7.8%인 것과 2개 층인 1-2-1구조의 강도감소율이 15.2%인 점으로 볼 때, 폭방향 3층 구조의 집성재 휨강도의 설계 시 중앙부에 핑거접합부가 포함되는 스트립 1개가 발생하는 휨강도의 감소율은 대략 8% 정도임을 알 수 있으며 이는 두께방향 핑거접합부 1개 층이 발생하는 휨강도의 감소율이 10%인 것과 비교해 볼 때 핑거접합부를 두께방향보다는 폭방향으로 구성하는 것이 집성재의 접합강도면에서 유리하다는 것을 의미하고 있다.

또한 양측면의 스트립에는 핑거접합부를 길이의 1/3 간격으로 배치하고 코어 스트립에는 1/5 간격으로 배치시킨 집성재(2-4-2구조)의 휨강도는 744kg/cm^2 로서 무접합구조에 비해 5.5%의 매우 양호한 강도감소율을 나타냈다. 이는 2-1-2구조의 강도감소율 7.8%보다 작은 수치로서 양측면 스트립재의 핑거접합부 배치는 동일하나 코어스트립재의 접합부가 중앙을 벗어난 위치에 있음으로써 접합부에 의한 영향이 다소 완화된 때문으로 생각된다. 계속해서 양측면의 스트립에는 핑거접합부를 길이의 1/5 간격으로 배치하고 코어 스트립에는 1/3 간격으로 배치시킨 집성재(4-2-4구조)의 휨강도는 737kg/cm^2 로서 무접합구조에 비해 6.4% 작은 강도감소율을 나타냈으며 전체 핑거접합부의 수량이 10개로서 가장 많았지만 핑거접합부의 위치가 모두 중앙부를 벗어나 있기 때문에 접합부의 영향이 약화되어 2-1-2구조보다 높은 접합강도를 나타낸 것으로 보인다.

따라서 집성재의 폭방향 조합에서도 핑거접합부의 배치를 하중면의 중앙에서 가능한 멀리 분산 배치하는 것이 집성재의 휨강도 발현율을 높이는 설계방법이라고 생각된다.

4. 결 론

본 연구는 우리나라 천연수종으로서 전국에 고루 분포되어 있고 가장 많은 임목축적량을 보유하고 있으며 국산재 중 제재·일반용으로 많이 이용되고 있는 소나무를 대상으로, 직경이 작고 품질이 떨어지는 저품등 간벌재를 산업용으로 활용하고 최근 그 중요성이 재평가되고 있는 집성재로서의 이용도 향상을 위한 기초자료를 확보하기 위하여 실시되었다. 집성재 제조는 핑거접합(finger joint) 방식을 적용하였으며 접착제는 요소수지를 사용하였다. 길이 접합용 핑거의 수량 및 위치가 소나무 집성재의 휨강도에 미치는 영향을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단층 라미나 판재의 핑거접합부가 휨강도의 감소에 미치는 영향은 수량보다는 배치의 영향이 컸으며 접합부의 위치가 중앙에서 멀어질수록 휨강도의 감소율이 떨어졌다.
2. 두께방향 핑거접합부의 수량과 배치에 따른 집성재 휨강도 감소율은 2-1-2구조 9.2%, 1-2-1구조 20.6%, 2-4-2구조 5.7%, 4-2-4구조 6.2%로 나타났다. 중앙부에 핑거접합수가 많은 1-2-1구조에서 가장 감소율이 컸고 접합부가 중앙에서 멀리 떨어진 2-4-2구조의 감소율이 가장 낮았다.
3. 폭방향 핑거접합부의 수량과 배치에 따른 집성재 휨강도 감소율은 2-1-2구조 7.8%, 1-2-1구

조 15.2%, 2-4-2구조 5.5%, 4-2-4구조 6.4%로 나타났다. 중앙부에 핑거접합수가 많은 1-2-1 구조에서 가장 감소율이 컸고 접합부가 중앙에서 멀리 떨어진 2-4-2구조의 감소율이 가장 낮았다.

4. 집성재의 휨강도에 미치는 핑거접합부의 영향은 두께방향 집성이 폭방향 집성보다 약간 큰 것으로 나타났다.
5. 국산 소나무의 집성재 이용 시 충분한 휨강도를 유지하나 접합부의 증가와 배치에 따라 휨강도의 손실이 현저하므로 집성재 제조 시 최적의 접합부 설계가 우선되어야 할 것이다.

5. 참고문헌

- 김홍재. 1979. 유리아·멜라민수지. 대광서림: 190-214.
- 신동소 외 2인. 1999. 합판·파티클보드·집성재·섬유판. (주)금영에드킴: 100-103.
- 한국산업규격 KSF 2208. 목재의 휨시험방법. 2004.
- 한국산업규격 KSM 3701. 요소수지 목재접착제. 2002.
- 한국산업규격 KSF 3022. 목재 집성판. 2002.
- 한국산업규격 KSF 3023. 핑거조인트 목재. 2004.
- Bodig, J. and B.A. Jayne. 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold Company.87-126.
- Clark, L.E. Jr. 1968. Measurement of 'speed of set' of room temperature setting wood adhesives. For. Prod, J. 18:52-53.
- Gillespie, R.H., Countryman, D., and Blomquist, R.F. 1978. Adhesives in building construction. USDA Agr. Handb. No.516: 73-83.
- Park, S.B., Kong, Y.T., and Jo, J.M. 1988. Effects of adhesion conditions on bonding strength of pitch pine woods for glued-laminated wood. Mogjae Gonghak 16(4): 48-53.
- Pooley, B.D. 1994. Design od glued laminated timber. Wood Design Focus 5(1):3-8.
- So, W.T. 1988. Gluing characteristics of urea and phenol-resorcinol resin adhesives on the pitch pine lumber. Theses Collection of Chonnam University. Vol. 36:85-91.
- 菅野蓑作, 今泉勝吉. 1972. 集成材. (株)三北出版: 29-39.
- 森 光正 外 7人. 1991. 슬로-프트·フィンガジョイント材의 curveおよび引張り強度性能に及ぼすスロ-プ比および接着劑の影響. 木材工業 46(10):462-467.