

# 소경재를 이용한 통직집성재의 휨강도 특성

박 준 철 · 홍 순 일<sup>\*1</sup>

## Bending Strength Properties of glulam made from small diameter logs.

Jun-Chul Park · Soon-Il Hong<sup>\*1</sup>

### 목 차

- |                 |                     |
|-----------------|---------------------|
| 1. 서론           | 3. 결과 및 고찰          |
| 2. 재료 및 방법      | 3-1 수종별 MOE, MOR 비교 |
| 2-1 공시재료        | 3-2 Type별 파괴형상      |
| 2-2 실험방법        | 3-3 Type별 강도비교      |
| 2-2-1 라미나의 등급구분 | 3-4 MOE 예측          |
| 2-2-2 집성재의 제작   | 4. 결론               |
| 2-2-3 강도측정      | 5. 참고문헌             |

### ABSTRACT

This study was carried out to investigate the strength and technical feasibility of glulam from small-diameter *Pinus densiflora* and *Larix kaempferi*. Small diameter logs are currently not used in structural laminated beam construction, but it is suggested that its properties may be feasible for this purpose. The glulam combinations were designed with high grade laminae located at outer laminations (face) and low grade laminae located at center laminations.

Important problems of finger jointed glulam as a structural beam are the small modulus of rupture (MOR). One solution for this problem is to use veneer and solid wood as the face laminae. The MOE values were predicted for each beam from laminae. The results showed that actual beam MOE values exceeded slightly the predicted values.

Based on the evaluation and analysis of *Pinus* and *Larix* glulam, the maximum load of *Larix kaempferi* glulam indicated large values. The bending properties of A and E types glulam were superior to others. It is suggested that this small diameter log can be a candidate for structural glulam construction, providing the proper combinations of face laminae.

<sup>\*1</sup> 강원대학교 산림과학대학 College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

## 1. 서론

집성재의 특성은 적층수가 적을수록 변이가 크고 강도적 신뢰성 및 치수 안정성이 저하되는 경향이 있다. 건조된 라미나를 2매 또는 3매 적층시킨 집성재를 구조용 집성재의 범주에 포함시키고 있지 않다. 이런 집성재의 이용은 종래 거의 생각치 않았다. 그러나 건조된 구조재에 대한 수요가 높아지고 제재목보다 건조가 용이하고, 치수 안정성이 높은 집성재의 이점으로 실용화의 요구가 커질 것으로 예상된다. 적층 가공의 공정에서는 양질의 라미나를 외층에 배치하고, 저질의 라미나를 내층으로 배치하는 것이 일반적이다. 이것은 수평적층 (flatwise) 방향에 휩 하중을 받는 경우 강도적으로 유리한 물리적 의미가 있다. 이와 같이 라미나의 조합을 고려해야 하는 이유는 단순히 강도적인 유리함뿐만 아니라 신뢰성 향상의 의미에 있어서도 대단히 중요하다<sup>1,2,3)</sup>. 선별된 라미나를 적절히 배치하는 것이 제품의 변이를 감소시키는 때문이다. 이러한 이유로 급후 집성재를 실용화할 필요성이 증대되고 절의 향상이 요구되는 동시에 경비절감의 필요성 증대되리라 생각된다. 현재 국산 원목 공급은 약 13% (主伐, 間伐)이며 이것들은 주로 간벌 작업으로 얻어지는 소경재로 국산재 총생산량의 71%를 차지하며 대부분의 용도가 펄프재료, 갱목, 표고 골목 등에 국한되어 저차가공의 이용이 주체였다. 이러한 저질재의 유효활용을 위해 본 연구에서는 간벌작업으로 출재량이 증가될 것으로 예상되는 소나무 간벌 소경재를 이용하여 채재된 제재판(라미나)을 중, 횡접합 없이 적층시킨 것과 종접합부가 있는 집성재를 제작하여 결점 분산에 의한 적층 성능을 검토하였다.

각각의 라미나의 강도적 특성과 이에 영향을 미치는 인자 (영계수, 집중 절경비)들로 라미나를 4등급으로 선별후 라미나의 적절한 배치로 집성재를 제조하여 강도 특성을 검토하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2-1 공시재료

소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.), 낙엽송(*Larix kaempferi* Carr.) 소경재를 4.5(b)×2(h)×150(l)cm의 크기로 제재하여, 함수율 15%까지 건조시켜 통직 집성재용 lamina로 사용하였다.

최외각 적층용 라왕 베니어는 함수율 약 11%, 크기는 4.5(b)×0.25(h)×150(l)cm를 사용하였다.

집성재 제조용 접착제는 주성분이 변성 비닐우레탄으로, 접착강도가 양호하고 내수, 내열, 내용제성을 나타내는 오폭본드사의 MPU-500을 사용하였다. 경화제로는 HH-50을 사용하였다. 수지율은 50%, 점도 6,300~7,500CPS, pH 7~8이었다.

### 2-2 실험방법

#### 2-2-1 라미나의 등급구분

시편제작을 위한 라미나는 초음파 시험기를 이용하여 등급구분하였다. 초음파 시험기는 Pundit Plus(CNS Farnell사 : 영국)로 주파수 54kHz의 Transducer를 사용하였으며 초음파 시험기의 Tx(Transducer), Rx(Receiver) 두 단자를 시편의 양 끝에 위치시켜 초음파의 통과 시간을 측정된 후 (1)식을 이용하여 영계수를 측정하였다.

$$MOEu = C^2 \cdot \rho \cdot \frac{1}{g} (\text{kgf/cm}^2) \quad \text{식(1)}$$

C : Ultrasonic propagation speed(cm/sec)

MOEu : MOE by ultrasonic(kgf/cm<sup>2</sup>)

ρ: Density (kg/cm<sup>3</sup>)

g : Acceleration due to gravity (cm/sec<sup>2</sup>)

측정된 라미나는 표1과 같이 영계수(MOE)를 기준으로 3등급으로 구분하였다.

#### 2-2-2 집성재의 제작

선별된 라미나의 용이와 결점부위를 제거한 후 핑거조인트(Finger-joint)로 종접합하였으며 조건을 달리하여 그림 1과 같이 6가

Table 1. Grade of Pinus and Larix solid lamina

P : <i>Pinus densiflora</i> S. et Z.	L : <i>Larix kaempferi</i> Carr.
solid(I) : MOE > 90,000	solid(I) : MOE > 120,000
solid(II) : MOE 60,000~80,000	solid(II) : MOE 90,000~110,000
solid(III) : MOE < 50,000	solid(III) : MOE < 80,000

(R) : 등급 구분없이 random으로 조합

3PA(3LA)	3PB(3LB)	3PC(3LC)	3PD(3LD)	3PE(3LE)	3PF(3LF)
solid(I)	finger(R)	finger(I)	solid(I)	veneer(3P)	finger(R)
finger(R)	finger(R)	finger(R)	solid(III)	finger(R)	solid(R)
solid(I)	finger(R)	finger(I)	solid(I)	finger(R)	finger(R)
				veneer(3P)	
5PA(5LA)	5PB(5LB)	5PC(5LC)	5PD(5LD)	5PE(5LE)	5PF(5LF)
solid(I)	finger(R)	finger(I)	solid(I)	veneer(3P)	finger(R)
finger(R)	finger(R)	finger(R)	solid(II)	finger(R)	solid(R)
finger(R)	finger(R)	finger(R)	solid(III)	finger(R)	solid(R)
finger(R)	finger(R)	finger(R)	solid(II)	finger(R)	solid(R)
solid(I)	finger(R)	finger(I)	solid(I)	finger(R)	finger(R)
				veneer(3P)	

Fig. 1. Type of the cross-section compositions of laminae.

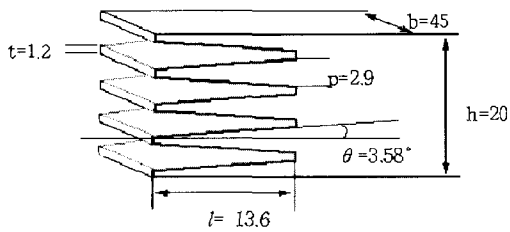


Fig. 2. Finger-joint geometry used in this study. (mm)

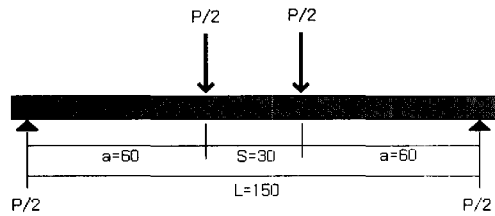


Fig. 3. Four-point bending test configuration. P = load, Dimensions : cm

Table 2. Results of MOE of *Pinus densiflora* and *Larix kaempferi*.

Property	Lamina			
	Solid		Finger joint	
	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Larix kaempferi</i>	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Larix kaempferi</i>
Sample number	91	92	57	44
Moisture content(%)	15	15	15	15
	Normal distribution			
Average MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	88,000	124,000	85,000	109,000
Cov of MOE	23.3	25.5	22.5	17.2

지 Type의 조합으로 3ply, 5ply의 집성재를 제작하였다.

집성재 제작시 접착제는 300g/m<sup>2</sup>를 양면 도포하였으며 압제 압력은 10kg/cm<sup>2</sup>의 하중을 가하였다.

2-2-3 강도측정

제작된 집성재의 강도측정은 Instron사의 UTM(Universal test machine)을 이용하여 그림 2와 같이 4점 하중을 분당 10mm로 가하여 하중과 변형을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1 수종별 MOE, MOR 비교

표2와 3은 집성재 제작전 각 라미나의 MOE와 표본을 정하여 MOR을 측정된 것이다.

집성재 제작전의 소나무와 낙엽송의 평균 MOE는 소나무는 80,000, 낙엽송은 100,000 ~ 120,000으로 나타났으며 실험 후의 평균 MOR은 소나무는 540(kgf/cm<sup>2</sup>), 낙엽송은 613(kgf/cm<sup>2</sup>)으로 낙엽송이 높게 나타났다.

3-2 Type별 파괴형상

A Type(PA, LA)은 소나무(3PA, 5PA)의 경우는 비레한도를 벗어나서 어느정도 소성영역을 거쳐 최대파괴하중에 도달하여 섬유정사각을 따라 그림 4와 같이 파단이 일어났으며 낙엽송(3LA, 5LA)은 비레한도를 지나자마자 파단이 일어났다.

B Type(PB, LB)은 파단이 조인트 부분이 결점으로 작용하여 그림 5와 같이 핑거조인트 부분에서 파단이 일어났다.

C Type(PC, LC) 역시 조인트 부분에서 파

Table 3. Results of bending test on lamina.

Property	Lamina	
	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Larix kaempferi</i>
	Sample number	44
Moisture content(%)	15	15
	Normal distribution	
Average MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	540	613
Cov of MOE	30	37.5
MOE 75th percentile	437	410

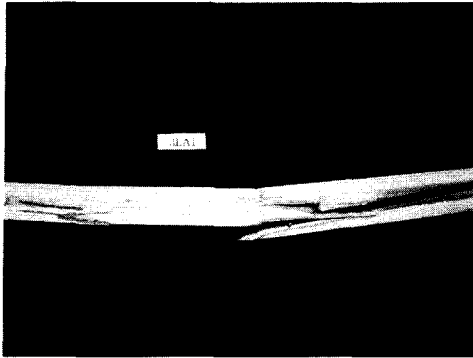


Fig. 4. Photograph of rupture.  
(solid)

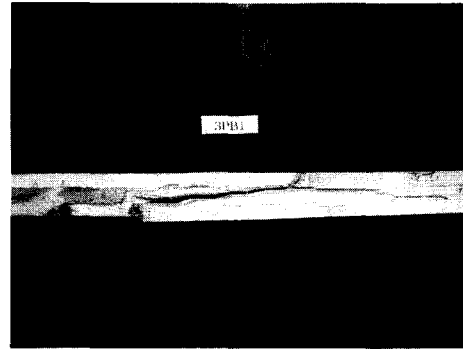


Fig. 5. Photograph of rupture.  
(finger joint)

단이 일어났으나 B Type보다는 높은 하중에서 파단이 일어났다.

D Type(PD, LD)의 경우 많은 변형을 거쳐 섬유경사각에 따라 파단이 일어났다.

E Type(PE, LE)은 다른 Type에 비해 높은 강도를 나타냈다. 파단은 다른 Type과 같이 조인트된 부분에서 일어났다.

F Type(PF, LF) 역시 조인트 부분에서 파단이 일어났다.

### 3-3 Type별 강도비교

표 4는 Type별 최대강도를 비교한 것이다. 낙엽송재와 소나무재를 비교해보면 낙엽송재가 소나무재보다 강도가 높게 나타났다.

또한, 적층수에 따라 3ply와 5ply를 비교해보면 5ply가 3ply보다 약 2배의 강도를 보였다.

중첩합된 라미나로 제작된 집성재를 비교해보면 최외각층에만 1등급을 적층시킨 C Type이 등급 구분 없이 적층시킨 B Type보다 약 1.2배의 강도를 보였다. 등급구분하지 않은 B Type은 모든 라미나를 등급에 따라 조합한 D Type보다 0.5배정도의 강도밖에 가지지 못했다.

최외각층에 중첩합되지 않은 소재를 적층시킨 A Type은 등급에 따라 조합시킨 D Type보다는 약간 높은 강도를 보였으나 그다지 큰 차이는 보이지 않았다.

Table 4. Values of ultimate strength.

	A	B	C	D	E	F
3P	642	323	386	618	786	350
3L	672	347	410	674	751	408
<b>L/P</b>	<b>1.05</b>	<b>1.07</b>	<b>1.06</b>	<b>1.09</b>	<b>0.96</b>	<b>1.17</b>
5P	1260	950	975	1050	-	1230
5L	1425	940	1150	1760	-	1350
<b>L/P</b>	<b>1.13</b>	<b>0.99</b>	<b>1.18</b>	<b>1.67</b>	-	<b>1.10</b>
		C/B	B/D	A/D	E/D	
3P		1.20	0.52	1.04	1.27	
3L		1.18	0.51	0.99	1.11	
5P		1.02	0.90	1.20	-	
5L		1.22	0.53	0.81	-	

Table 5. Comparison of actual and predicted MOE values based on actual lamina properties.(3ply glulam)

E1	E2	E3	MOEb	MOEc	MOEc/MOEb
115,600	57,600	91,400	101,800	109,300	1.073
92,000	54,500	98,500	93,700	79,900	0.853
179,400	80,500	148,900	161,100	156,300	0.970
123,600	89,100	167,000	143,200	126,100	0.880
92,400	60,000	79,800	85,100	72,400	0.851
86,100	80,000	99,800	92,400	115,200	1.246
108,600	100,000	109,300	108,600	106,500	0.981
85,000	70,000	90,800	87,200	83,400	0.956
132,600	10,000	116,200	123,500	116,800	0.946
140,300	140,000	139,300	139,800	143,600	1.027

Table 6. Comparison of actual and predicted MOE values based on actual lamina properties.(5ply glulam)

E1	E2	E3	E4	E5	MOEb	MOEc	MOEc/MOEb
94,800	82,900	56,400	76,800	92,600	90,500	74,500	0.824
93,000	82,800	57,800	72,500	98,900	91,900	74,000	0.806
147,600	114,400	85,100	111,500	153,800	142,300	106,200	0.746
147,100	110,600	78,700	115,200	154,700	142,400	97,400	0.684
66,200	60,000	60,000	60,000	89,000	73,800	63,200	0.857
93,900	90,000	80,000	90,000	94,000	93,000	79,700	0.856
14,800	110,000	100,000	110,000	120,900	116,100	85,700	0.739
82,900	90,000	60,000	80,000	105,500	92,000	76,700	0.866
110,200	110,000	100,000	110,000	111,400	110,600	98,300	0.889
137,000	140,000	110,000	140,000	131,200	135,100	122,600	0.908

등급 구분되지 않은 라미나로 제작된 집성재의 양쪽 최외각층에 2mm의 라왕베니어 2매씩 총 4매를 추가로 적층시킨 E Type의 경우 등급에 따라 제작된 D Type보다도 약 1.2배 높은 강도를 보였다.

### 3-4 MOE 예측

집성재 제작 전 측정된 각 라미나의 MOE 값을 이용하여 제작된 집성재의 MOE를 예측은 식2를 사용하여 구하였다.

$$E = \frac{\sum(EI)}{I} \text{-----식(2)}$$

표 5와 6은 예측치와 실측치를 비교한 표로 제작 전 MOE를 이용한 예측치와 제작된 집성재의 실측치가 비슷한 값을 나타내었다.

## 4. 결론

수종과 조합을 달리하여 실험한 결과 낙엽송재가 소나무재보다 높은 강도를 나타내었으며 종접합된 라미나로 제작된 집성재보다 소재로 제작된 집성재가 높은 강도를 나타내었다. 특히, 종접합된 라미나의 경우 평거조인트로 종접합된 부분이 결점으로 작용

하여 파단 되었지만, 적절한 조합과 최외각층을 소재로 적층하는 방법이나 라왕베니어로 보완해주는 방법 등으로 강도를 향상시킬 수 있었다.

또한, 각 라미나의 물성과 MOE를 이용하여 제작된 집성재의 MOE 예측치와 실측치가 잘 일치하였다.

## 5. 참고문헌

- Bender, D. A., A. G. Burk, S. E. Taylor, J. A. Hooper. 1990. Predicting localized MOE and tensile strength in solid and finger-jointed laminating lumber using longitudinal stress waves. *Forest Prod. J.* 40(3) : 45-47.
- David, W. P., 1998. Inside-out beams from small-diameter appalachian hardwood logs. *Forest Prod. J.* 48(1) : 76-80
- Peterson John. 1993. The effect of width on the bending strength of glulam beams. *Forest Prod. J.* 43(3) : 27-30
- Moody, R. C., P. Pedro, De. Sousa, J. Kevin Little. 1998. Variation in stiffness of Horizontally laminated glulam timber beams. *Forest Prod. J.* 30(10) : 39-45
- 山田節彦, 森 光正. 1986. 間伐小木を用いた孔角たペネルの開発. *木材工業* 42-8 (360-364) : 12-16
- 小玉泰義. 1990. 音速による變断面形態を有する木材のヤング係數推定方法(第1報)
- 森 光正. 1989. 孔角集成ペネルを用いた耐力壁の性能. *木材工業* 44-7(16) : 320-323
- 林 知行. 1989. 曲律モデルによる集成加工材料の予側 (第1報) MOE 分布.
- 林 知行. 1992. 構造信頼性向上技術としての集成加工(I). *木材工業* 47(4) : 152-156
- 林 知行. 1992. 構造信頼性向上技術としての集成加工(II). *木材工業* 47-5(5) : 207-212
- 林 知行, 宮武 敦. 1991. スギ複合集成材の強度性能 (第1報). *木材學會誌* 37(3) : 200-205
- 林 知行, 宮武 敦. 1993. 集成加工材料の強度特性に及する欠占分散の影響 (第1報). *木材工業* 48(10) : 27-30
- 임업연구원. 2000. 임산물 수급현황. 임업 경제 동향 년차 보고서 제167호 99~123
- 차재경. 1996. 국산 소경재를 이용한 집성재 개발을 위한 응력과 연구(I). *목재공학* 24(3) : 90-100
- 차재경. 1996. 국산 소경재를 이용한 집성재 개발을 위한 응력과 연구(II). *목재공학* 24(4) : 7-14