

# PRF, MUF 집성재의 휨 강도와 접착 성능 평가

## The Bending Strength and Adhesive Properties of PRF and MUF Glulam

박준철 · 김건호 · 홍순일

# PRF, MUF 집성재의 휨 강도와 접착 성능 평가

박준철 · 김건호 · 홍순일\*

## The Bending Strength and Adhesive Properties of PRF and MUF Glulam

Jun-Chul Park, Keon-Ho Kim, Soon-Il Hong\*

### 목 차

- |                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 1. 서론                           | 3. 결과 및 고찰 |
| 2. 재료 및 실험방법                    | 3-1 휨 강도   |
| 2-1 집성재 제작                      | 3-2 전단 강도  |
| 2-2 집성재의 영계수 측정                 | 3-3 박리 시험  |
| 2-2-1 초음파를 이용한 영계수 측정           |            |
| 2-2-2 종진동의 고유진동수를<br>이용한 영계수 측정 | 4. 결론      |
| 2-3 집성재의 휨강도 시험                 | 5. 참고문헌    |
| 2-4 블록 전단 시험                    |            |
| 2-5 박리 시험                       |            |

### ABSTRACT

As glulam is a woody material, it is necessary to be more careful in a gluing process. It takes 6-7 hours at 40-60 °C to harden PRF resin used in making structural glulam, and about 24 hours at room temperature. In the present process which can not use a press continuously, reducing the hardening time is necessary to increase production.

The experiment was done to compare the adhesive properties of PRF resin and MUF resin through bending test, block shear strength test and water soaking test. In comparing the bending strength of prediction MOE is 1.2 times higher than actual MOE. PRF and MUF do not show significant difference in MOE and MOR, and in block shear strength test, such as shear strength and wood failure rate. However, in water soaking and boiling water soaking tests PRF and MUF show the significant difference in delamination rate.

1) \* 강원대학교 산림과학대학 임산공학과 Department of Wood science & Engineering, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon, 200-701, Korea

## 1. 서론

집성재는 국산재의 제재 및 가공용 용도의 범주에 들 수 있으며 치수 또는 성질의 측면에서 비교적 등급이 떨어지는 목재를 고부가가치의 제품으로 활용할 수 있는 제품이다. 국산재로는 큰 치수의 부재를 구하기가 현실적으로 불가능하지만 집성재를 사용한다면 이러한 문제를 해결할 수 있다.

집성재는 접착제를 사용하여 종접합, 횡접합을 통해 목재가 지닌 형상의 한계를 극복시킨 주요한 목질재료 중에 하나이다. 그러나, 집성재 제작시 대단면 및 형상의 다양함으로 접착 조작성에 많은 주의가 필요한 목질재료이다. 구조용 집성재 제작에 있어 사용되고 있는 레소시놀 접착제(Phenolresorcinol-formaldehyde)는 40~60℃에서 6~7시간의 경화 시간이 필요하고 상온에서는 24시간 정도의 경화 시간을 필요로 하고 있다. 연속적인 압제 장치를 사용할 수 없는 현 제조공정 상태에서는 생산량 향상에 경화시간 단축이 필요하다.

본 실험에서는 레소시놀보다 경화 시간이 단축되는 멜라민 우레탄 접착제(Melamine-urethane-formaldehyde)를 사용하여 제작된

구조용 집성재와 레소시놀 구조용 집성재의 휨강도 및 전단 시험을 통해 비교 평가를 행하였다.

## 2. 재료 및 실험방법

### 2-1 집성재 제작

집성재 제작에는 함수율 11~12%로 인공건조된 낙엽송재(Larix kaempferi Carr.)를 사용하였다.

그레이딩 머신으로 등급 구분된 길이 350cm, 폭 14cm, 두께 3.5cm의 라미나를 영계수값에 따라 11층으로 적층하여 제작하였다. 제작에 사용된 접착제는 레소시놀 접착제(PRF)와 멜라민 우레탄 접착제(MUF)를 사용하였다.

집성재는 조합형태에 따라 두 가지 타입으로 Type A는 전체적으로 영계수 12만 정도의 라미나를 11층으로 적층시켰으며 TypeB는 내층에는 영계수 11만 정도의 라미나를, 최외각층에는 영계수 14만 정도의 양호한 라미나를 적층시켰다. 또 동일 Type에서 PRF를 사용하여 2본, MUF를 사용하여 2본씩 제작하여 총 4종류로 8본을 제작하였다.

( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ )

APR1	APR2	AMU1	AMU2	BPR1	BPR2	BMU1	BMU2
124	124	124	124	134	146	147	147
124	124	124	124	133	132	134	134
123	123	123	123	119	119	119	119
123	123	123	123	118	118	117	119
122	122	122	122	113	113	114	114
122	122	122	122	111	113	113	110
122	122	122	122	115	116	116	116
123	123	123	123	121	120	117	119
123	123	123	123	129	121	120	129
124	124	124	124	134	134	135	133
124	124	124	124	134	143	143	144

PRF
MUF
PRF
MUF

Type A
Type B

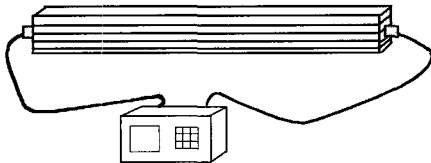
<Fig. 1> Type of the cross-section composition of laminae.

## 2-2 집성재의 영계수 측정

### 2-2-1 초음파를 이용한 영계수 측정(Eu)

제작된 집성재는 초음파 시험기를 이용하여 영계수를 예측하였다.

실험에 사용된 시험기는 Pundit Plus(CNS Farnell사 : 영국)로 주파수 54kHz의 Transducer를 사용하여 실험하였다. 초음파 시험기의 Tx(Transducer), Rx(Receiver) 두 단자를 시편의 양 끝에 위치시켜 초음파의 통과 시간을 측정한 후 다음 식을 이용하여 영계수를 산출하였다.



<Fig. 2> Schematic diagram of ultrasonic test equipment.

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

C : 초음파 통과 속도 (cm/sec)

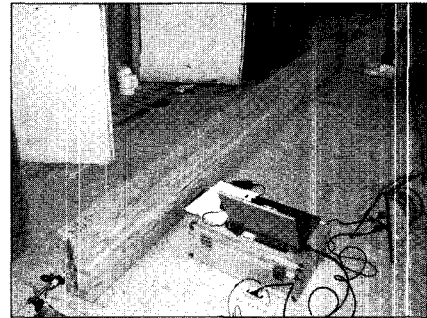
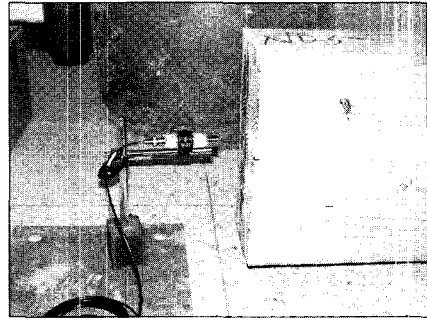
Eu : 초음파로 산출된 MOE(kgf/cm<sup>2</sup>)

ρ : 밀도 (kg/m<sup>3</sup>)

g : 중력가속도 (980cm/sec<sup>2</sup>)

### 2-2-2 종진동의 고유진동을 이용한 영계수 측정(Em)

시편의 한쪽 끝에 마이크로폰(1/2" Pre-polarized Free Field Microphone Type 40AE)을 설치하고 반대편 끝에서 타격을 주어 마이크로폰 통해 얻어진 시편의 고유진동수를 측정하였다. 종진동에 의한 동적영계수는 다음 식을 이용하여 얻어졌다.



<Fig. 3> Measuring natural frequencies of longitudinal vibrations in specimens.

$$E_m = \left( \frac{2 f_n \cdot L}{n} \right)^2 \times \frac{\rho}{g} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

Em : 종진동의 고유진동에 의해 산출된 MOE (kgf/cm<sup>2</sup>)

fn : 종진동의 n차 고유진동수 (Hz)

L : 재장 (cm)

ρ : 밀도 (kg/m<sup>3</sup>)

g : 중력가속도 (980cm/s<sup>2</sup>)

### 2-3 집성재의 휨강도 시험

집성재의 휨강도 시험은 스펠을 270cm, 하중간 거리 40 cm의 4점 하중방식으로 실시하였고, 하중속도는 10 mm/min 로 하였다.

하중 및 변형의 측정은 Data Logger (TDS-303) 를 이용하여 측정하였다.

실측 영계수와 파괴계수는 다음 식으로 계산하였다.

$$MOE = \frac{\Delta P(l-S)(2l^2 + 2lS - S^2)}{8\Delta y b h^3} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$MOR = \frac{3P(l-S)}{2b h^2} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

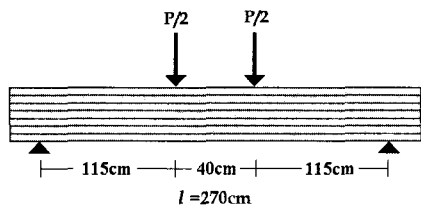
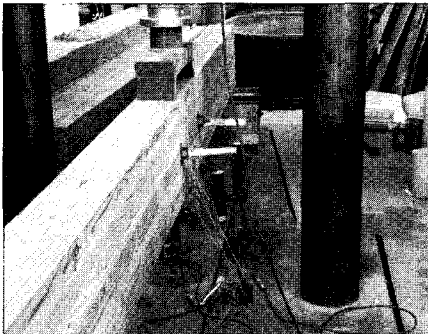
S : 하중점간의 거리(cm), P : Pmax

l : 스패น (cm), Δy : 처짐(cm)

b : 라미나의 폭(cm), ΔP : 하중(kgf)

h : 라미나의 두께(cm)

집성재 보의 수직 응력분포를 측정하기 위해 스트레인 게이지를 각층에 부착하여 휨하중 부가시의 압축, 인장 응력 분포를 측정하였다.



<Fig. 4> Bending test of glulam.

#### 2-4 블록 전단 시험

전단시험은 KS F 3021에 따라 그림 5와 같이 제작하였다.

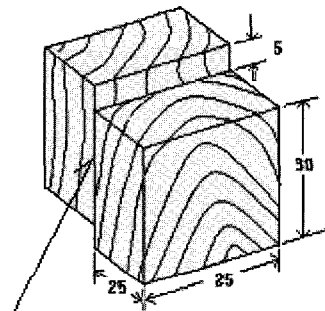
8개의 시편을 각각 9개씩 블록 전단 시험편으로 총 72개로 제작하였다.

전단 시험은 강도시험기(Instron 4482)에 장착하여 분당 10mm의 하중속도로 시험을 행하였다.

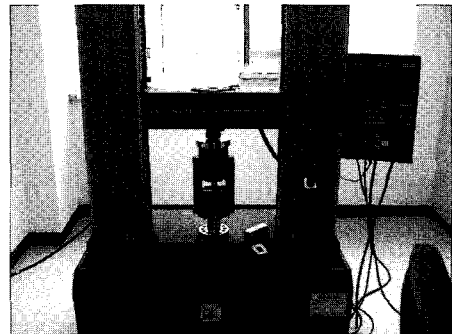
전단강도와 목파율은 각각의 식으로 계산하였다.

$$\text{전단강도} = \frac{\text{파괴시의하중}}{\text{접착면적}} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$\text{목파율}(\%) = \frac{\text{목파면적}(\text{cm}^2)}{\text{접착면적}(\text{cm}^2)} \times 100$$



길이방향 접착층



<Fig. 5> Block Shear strength test.

#### 2-5 박리 시험

시험편은 휨강도 시험에 사용된 각각의 시료 집성재에서 KS규격 F 3021에 따라 시험편 횡단면 치수를 그대로 하여 길이 75 mm의 것을 끝 면에서 1개씩 만들었다.

KS규격에 따르면 횡단면 치수가 적층방향으로 250 mm 이상이고 층제의 나비방향으로

125 mm 이상인 경우에는 적층 방향 변의 중앙을 접착층과 평행하게 잘라서 시험편을 사용할 수 있다.

시험편의 횡단면 치수가 적층방향으로 290 mm이고 층재의 나비방향으로 130 mm이었기 때문에 위의 방법을 사용하여 각각 2개의 시험편을 사용하였다.

침지박리시험은 시험편을 상온 16℃에서 물속에 24시간 침지시킨 후 70℃의 항온 건조기에 넣었다. 건조기내에 습기가 차지 않도록 하여 24시간 이상 건조 후 함수율이 시험 전의 함수율 이하가 되도록 하였다. 박리 길이를 측정하여 다음 식으로 박리율을 계산하였다.

삶음 박리시험은 시험편을 끓는물속에 4시간 동안 침지시키고 다시 상온 16℃에서 물속에 1시간 침지시킨후 70℃의 항온건조기내에 넣었다.

건조기내에 습기가 차지 않도록 하여 24시간 건조하여 건조후의 함수율이 시험전의 함수율 이하가 되도록 하여 박리율을 측정하였다.

박리율(%) =

$$\frac{\text{양쪽 횡단면의 접착층 길이의 합}}{\text{양쪽 횡단면의 박리 길이의 합}} \times 100$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1 휨강도

집성재의 휨강도를 비교해 본 결과 예측 영계수의 경우 실측 영계수보다 약 1.2배 높게 나타났다. 동일 Type에서 접착제에 따른 영계수를 비교해 보았을 때 10만에서 11만으로 차이가 없었다.

파괴 계수를 비교하였을 때 접착제 별로는 PRF 접착제는 Type A 400 kgf/cm<sup>2</sup>, Type B 450 kgf/cm<sup>2</sup>로 MUF 접착제 Type A 350 kgf/cm<sup>2</sup>, Type B 500 kgf/cm<sup>2</sup>와 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 Type 별로는 Type A가 Type B 보다 낮은 파괴계수가 나타났다(표 1).

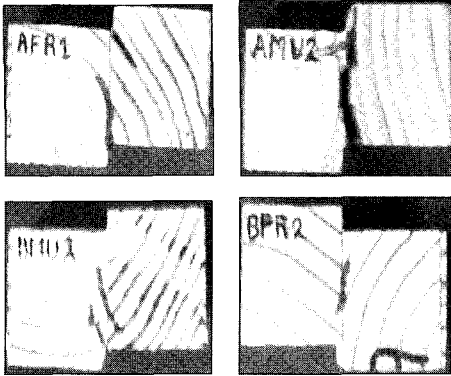
#### 3-2 전단강도

블록 전단 시험편의 접착면에서 파단이 이루어 졌으며 많은 시험편이 섬유경사에서 파단이 일어나기도 했다(그림 6). 표 2는 접착제에 따른 전단강도와 목과율을 나타내는 표이다.

전단시험에서 PRF와 MUF를 사용한 결과 전단 강도가 약 40 kgf/cm<sup>2</sup>의 비슷한 값으로 나타났고 목과율은 대체로 60~70%로 접착제 간의 큰 차이를 보이지 않았다.

<Table 1> Comparison of actual, predicted MOE and MOR

Type	Sample	MOE(10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )			MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	
		Predicted	Ultrasonic	Frequency		
A	APR1	120	120	120	100	413
	APR2	120	120	130	100	393
	AMU1	120	140	130	110	354
	AMU2	120	130	130	110	346
B	BPR1	130	110	120	110	447
	BPR2	130	150	130	110	459
	BMU1	130	150	120	110	492
	BMU2	130	130	130	100	550



<Fig. 6> Rupture of Shear block specimen.

<Table 2> Results of block shear strength test

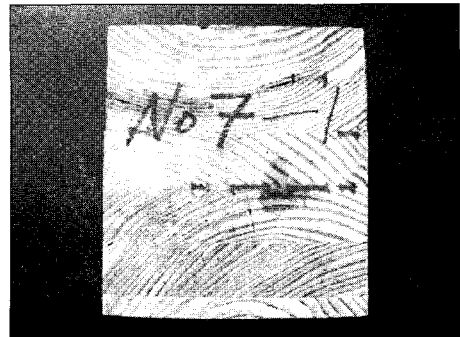
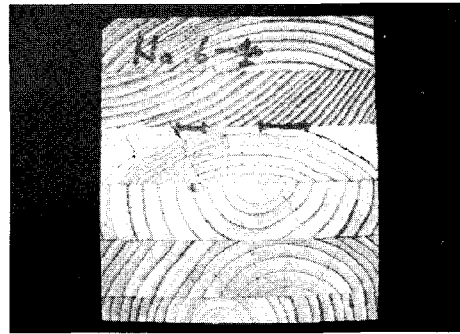
Type	Sample	Shearing strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Wood failure (%)
A	APR1	42.8	69
	APR2	37.8	76
	AMU1	38.8	72
	AMU2	43.6	64
B	BPR1	37.7	64
	BPR2	36.0	64
	BMU1	36.5	82
	BMU2	41.3	77

### 3-3 박리 시험

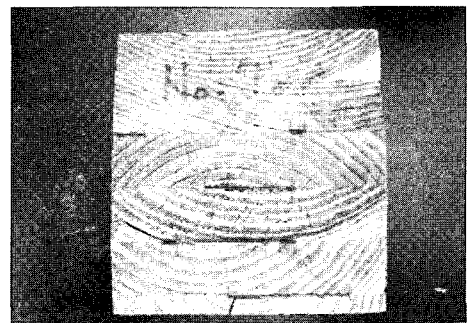
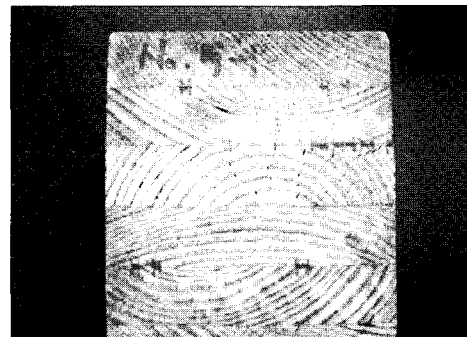
삶음 박리 시험의 결과 동일 Type의 두 접착제에서 PRF를 사용한 시편보다 MUF를 사용한 시편의 박리 길이가 확연히 큰 것을 알 수 있었다(그림 7, 8).

표 3은 침지 박리 실험과 삶음 박리 실험의 박리율을 나타내는 것이다.

이 표에서 보는 바와 같이 두 실험 모두 PRF와 MUF를 사용했을 때 박리율의 차이가 나타났다. PRF의 박리율이 MUF의 박리율보다 대체적으로 낮았기 때문에 내수성면에서 멜라민 접착제의 성능이 떨어지는 것을 알 수



<Fig. 7> Delamination of PRF and MUF glulam (water soaking).



<Fig. 8> Delamination of PRF and MUF glulam (boiling water soaking).

<Table 3> Results of delamination of PRF and MUF glulam

Type	Sample	Water soaking	Boiling water soakong
A	APR1	0.68	0
	APR1-1	0.15	0.28
	APR2	1.08	0.7
	APR2-1	2.42	3.06
	AMU1	1.14	4.85
	AMU1-1	1.19	23.85
	AMU2	1.48	20.95
	AMU2-1	1.92	22.80
B	BPR1	0	0.27
	BPR1-1	0	0
	BPR2	0.22	0.68
	BPR2-1	0.27	2.24
	BMU1	6.30	9.28
	BMU1-1	1.68	26.54
	BMU2	0.28	20.47
	BMU2-1	0	12.98

있었다.

또한 타입별로 보았을 때는 별 차이가 없는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 실험에서는 PRF 접착제와 MUF 접착제를 사용하여 집성재의 접착성능 실험인 휨강도실험, 전단블록실험, 박리실험을 통하여 두 접착제의 성능을 비교해본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

집성재의 휨강도를 비교해 본 결과 예측 영계수의 경우 실측 영계수보다 약 1.2배 높게 나타났다. 동일 Type에서 접착제에 따른 영계수를 비교해 보았을 때 별 차이가 없었고 파괴 계수를 비교하였을 때 PRF 접착제와 MUF 접착제 역시 큰 차이를 보이지 않았다.

전단시험을 통해 PRF접착제와 MUF접착제를 비교한 결과 전단 강도와 목파울 또한 접착제간의 큰 차이를 보이지 않았다.

이 두 실험으로 두 접착제의 강도적 성질에서 큰 차이를 보이지 않은 것을 확인할 수 있었다.

그러나, 박리 실험 결과 침지·삶음 박리 실험 모두 PRF접착제와 MUF접착제 사이에서 박리율의 차이점이 나타났다. PRF접착제의 박리율이 MUF의 박리율 보다 대체적으로 낮았기 때문에 내수성면에서 멜라민 접착제의 성능이 떨어지는 것을 알 수 있었다.

결론적으로 두 접착제는 강도적인 면에서는 큰 차이를 보이지 않았지만 내수성면에서는 MUF접착제가 기존에 사용되던 PRF접착제보다 성능이 떨어지기 때문에 내수성 향상을 위한 검토가 필요하다고 생각된다.



## 5. 참고문헌

1. 노정관. 1993. 페놀 레조르시놀 수지의 합성과 접착성능. 목재공학 21(1) : 51-58
2. 노정관. 1999. 요소 멜라민 수지 접착제의 겔화성 및 접착 특성에 미치는 수지조성과 첨가물의 영향. 목재공학 27(1) : 72-78
3. 박상범, 공영토, 조재명. 리기다 소나무판재의 접착조건이 집성재의 접착성능에 미치는 영향. 목재공학. 16(4) : 48-53
4. 이화형. 1980. 합판용 요소수지접착제의 리소시놀 첨가에 따른 유리포름알데히드 방산제거 효과. 목재공학 8(2) : 1-5
5. CHARLESS B.Vick. 1997. Enhanced Adhesion of melamine-urea and melamine adhesives to CCA-treated southern pine lumber. Forest Products Journal 47(7) : 83-87
6. Junko MIYAZAKI, Takato NAKANO, Yasushi HIRABAYASHI and Masanori KISHINO. 1999. Effect of wood Preservatives on Adhesive Properties of Phenol-Formaldehyde Eesin. 木材學會誌. 45(1) : 34-41
7. M. Fonselius. 1996. Effect of size on the bending strength of laminated veneer lumber. Wood science & technology. Vol. No : 399-413