

## 집성재의 강도적 성질 예측에 대한 핑거 조인트와 라미나의 강도의 영향<sup>1</sup>

金光喆<sup>2</sup> · 李鎔濟<sup>2</sup>

## Effects of Finger Joint and Strength of Lamination on the Estimation of Strength Properties of Glulam<sup>\*1</sup>

Gwang-Chul Kim<sup>\*2</sup> · Jun-Jae Lee<sup>\*2</sup>

### ABSTRACT

Structural glued laminated timbers were manufactured from Japanese larch(*Larix leptolepis*) lumber. The effect of various factors, such as finger joint, strength of lamination, on the strength properties of glulam was investigated.

When only MOE of lamina was used as input variable for the estimation of strength properties of glulam, the deviations between actual and simulated results were increased with the number of lamination, because the effects of variance of lamina properties on the strength estimation of glulam were cumulated with the number of lamination. Therefore, to estimate the MOR of glulam more careful approach was needed.

Besides, both MOE and MOR of lamination were used as input variable to compare the effect of input variable. In the case of finger jointed lamination was located in tension zone, MOE of glulam was some effected, because of the variation of MOE of lamination and the deficiency of information for knot. In the case of finger jointed lamination wasn't located in tension zone, more exact estimation was possible than the case of finger jointed lamination was located in tension zone. From the results, it was concluded that more exact estimation of strength properties of glulam could be obtained by considering effects of both finger joint and knot.

**Keywords** : Finger joint, lamination, knot, MOE, MOR, design

- 요약 -

낙엽송을 이용하여 구조용 집성재를 제조하였다. 핑거 조인트나 라미나의 강도 등의 인자들이 집성재의 강도적 성질에 영향을 미치는 바를 조사하였다.

\*1 접수 1999년 4월 9일. Received April 9, 1999

이 연구는 95년도 현장애로과제 지원에 의한 연구결과의 일부임

\*2 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744 Korea

## 집성재의 강도적 성질 예측에 대한 핑거 조인트와 라미나의 강도의 영향

집성재의 강도적 성질 예측을 위해 입력변수로 라미나의 MOE만을 사용하였을 때는 실측치와 예측치 사이의 차이가 라미나의 개수가 증가함에 따라 커졌는데 이것은 라미나의 성질의 변이가 집성재의 강도에 영향을 미치는 바가 라미나의 개수 증가에 따라 누적되기 때문이다. 따라서, 집성재의 MOR을 예측하기 위해서는 좀더 신중한 접근법이 필요하였다.

입력변수의 영향을 비교하기 위하여 라미나의 MOE와 MOR을 동시에 입력변수로 사용하였다. 핑거 집합을 실시한 라미나가 인장축에 배치되었을 때 집성재의 MOE는 라미나의 MOE 값에 상당한 변이가 존재하고 용이에 대한 자료가 충분치 않아서 약간의 영향을 받았다. 핑거 집합을 실시한 라미나가 인장축에 배치되지 않았을 경우에는 인장축에 배치된 경우보다 더 정확한 예측이 가능하였다. 이러한 결과를 종합하면, 핑거 집합과 용이를 동시에 고려하였을 경우 좀 더 정확한 집성재의 강도적 성질 예측이 가능할 것으로 판단된다.

## 1. 서 론

근년 들어 국산재의 수요개발을 위한 다양한 연구들로 인해 다각적인 측면에서 목구조주택을 비롯한 목구조물의 수요와 인식이 증가하고 있으며, 목구조물이 인지도나 실용적 측면에서 어느 정도 자리를 잡았다고 생각된다. 그러나 국내에서는 여전히 건축자재의 수입의존도는 나아지지 않고 있는 상황이고, 국산재는 건축용의 주요 자재보다는 가설재나 부재료로 주로 이용되고 있는 상황이다. 그러나, 이미 선진국에서는 주요 하중지지부재로 집성재 등의 구조용 목질 재료를 이용하여 체육관이나 상업빌딩 등의 대규모 구조물을 널리 시공하고 있는 상황이다(Chugg, 1964; Desch & Dinwoodie, 1981; Laufenberg, 1983; Youngquist, 1984; Breyer, 1993). 따라서, 국내에서도 국산재의 효율적 이용을 도모하기 위해, 또한 대규모의 구조물을 시공하기 위한 구조용 재료의 확보를 위해서도 국산재를 이용한 구조용 집성재 등의 건축자재를 개발하여 정확한 강도해석과 접합부의 강화로 목구조물의 주요 하중지지부재로서의 사용을 고려해야 할 필요가 있다고 판단된다.

기존의 집성재의 강도적 성질을 파악하기 위한 방법으로는 라미나의 강도와 집성재의 강도간의 직접 실험을 통하여 구한 회귀식을 이용하는 통계적 방법과, 현행 미국 등의 산업기준의 모체가 되는  $I_k/I_G$ 법, 그리고 현재 ASTM에서 제시되고 있는 변형단면법, 그리고 최근 들어 관심의 대상이 되고 있는 수치해석법 등이 있다. 위와 같은 기존의 방법들 중, 회귀식 이용의 경우 반드시 생산된 집성재와 그 집성재를 제조한 라미나간의 실험을 통하여 얻어지는 회귀식을 사용해야 하기 때문에 실험이 필수적으로 뒷받침되어야 한다는 근본적인 문제점이 있으며,  $I_k/I_G$ 법에서는

집성재 강도의 통계적 분포가 예측될 수 없다는 점과 라미나의 핑거 조인트 영향이 전혀 반영되지 못한다는 중요한 문제점이 있으며, 수치해석법의 경우 모델링의 어려움으로 인해 실제 생산자나 설계자가 어려움을 겪게 되는 문제점들이 있다.

집성재의 강도 예측을 실시하는데 있어서 정확도를 높이기 위해서는 라미나의 강도적 성질을 정확히 파악하고 이를 예측에 효과적으로 사용하여야 한다. 특히, 탄성계수(MOE)와 달리 파괴계수(MOR)의 경우에는 용이에 의한 영향이 크기 때문에 이를 집성재의 강도적 성질 예측에 최대한 반영하여야 할 것으로 판단된다. 하지만, 라미나의 용이가 집성재의 강도에 어느 정도 영향 하는지는 정확하게 연구되어진 바 없다.

따라서, 본 연구에서는 국산재를 이용하여 제조한 구조용 집성재의 강도적 성질을 직접 실험을 통해서 구하는 기존의 비경제적이며 소모적인 방법을 지양하고 라미나의 강도만으로 집성재의 강도적 성질을 예측하는데 있어 라미나에 존재하는 핑거 조인트의 영향과 라미나의 강도가 집성재의 강도적 성질에 어떻게 영향 하는지를 살펴보고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

#### 2.1.1 무핑거 라미나 준비 및 핑거 조인트 라미나 제조

평균 함수율 12%(최대 15%), 치수 18mm×130mm×3600mm의 국산 낙엽송(*Larix leptolepis*) 400본을 구입하였다. 300본을 구조용 집성재용 라미나로 사용하고 100본은 무핑거 라미나와 핑거 조인트 라미나의

강도적 유의성을 밝히는데 사용하였다. 300본의 시편 중 70본을 핑거 조인트 접합을 실시하였으며 핑거의 위치는 라미나의 중심에 오도록 배치하였다. 핑거의 길이는 25mm로 하였으며 사용 접착제는 레졸시놀 수지를 사용하였다. 준비한 70본의 핑거접합 라미나 중 20본을 구조용 집성재의 인장력을 받는 부위에 배치하여 집성재를 제조하고 나머지 50본의 핑거접합 라미나는 입력변수로 사용할 라미나의 MOE와 MOR의 측정을 위해 강도시험에 사용하였다.

2.1.2 집성재 제조

라미나의 두께를 18mm로 하여 적층수 10매의 라미나 조합으로 구성된 집성재를 제작하였다. 라미나

의 조합은 그림 1과 같다. 각 조합 당 반복수는 3반복으로 하여 총 30개의 집성재를 제조하였다. 원하는 라미나의 조합을 위해 필요한 각 그룹의 개수대로 그룹을 구분하기 위해, 라미나의 기계등급구분을 실시하였다. 라미나의 기계등급구분은 그림 2와 같은 장치를 이용하여 라미나의 탄성계수를 측정한 후 실시하였다. 15개의 시편을 이용하여 사전 샘플링을 실시한 후 라미나에 대해 탄성계수 측정실험을 실시하였다.

그 결과에 따라 MOE의 누적 분포를 취해 상위 114번째(MOE 값  $118.3 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$  이상)까지를 1 그룹으로, 115번째에서 216번째(MOE 값  $99.9 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$  이상)까지를 2 그룹으로, 217번째부터 300번째까지를 3 그룹으로 구분하였다. 각 라미나 조합에 따

Combination number	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
	1 <sup>*1</sup>	1	1	1	1	1	2	2	2	3
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3
	1	1	1	2	2	3	2	2	3	3
	1	1	1	2	2	3	2	2	3	3
	1	2	3	2	3	3	2	3	3	3
	1	2	3	2	3	3	2	3	3	3
	1	1	1	2	2	3	2	2	3	3
	1	1	1	2	2	3	2	2	3	3
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3

\*1 The numbers mean grouping number with MSR results: 1 means only 1 group that rated with MSR machine, 2 means only 2 group that rated with MSR machine, 3 means only 3 group that rated with MSR machine

Fig. 1. Lamina combination for manufacturing of glued laminated timber.

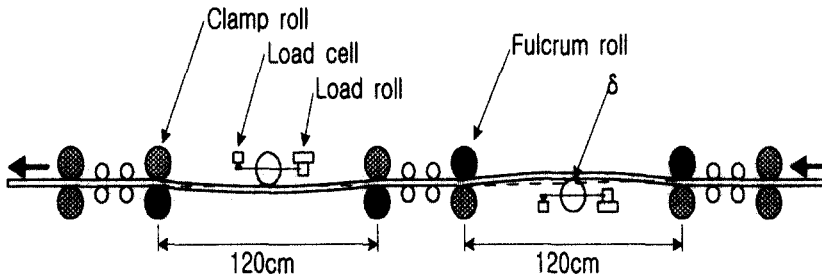


Fig. 2. The simplified configuration of MSR(machine stress rating) machine

집성재의 강도적 성질 예측에 대한 핑거 조인트와 라미나의 강도의 영향

른 집성재 제조 시에 하나의 집성재는 대조구로서 모든 라미나를 무핑거 라미나를 사용하고 두 번째와 세 번째 집성재의 제조 시에는 인장을 받는 부위에 핑거 접합을 한 라미나를 배치하여 핑거접합한 라미나가 집성재의 강도적 성질에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 접착제로는 레소시놀 수지를 사용하였으며, 수지와 경화제의 비율은 100:15이었으며 제조조건은 30℃, 70% RH 이었다. 집성재를 제조한 후 최종적으로 150mm(T)×130mm(W)×3600mm(L)의 치수로 절삭하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 무핑거 라미나 및 핑거 라미나의 휨시험

무핑거 라미나와 핑거접합을 실시한 라미나, 즉 전체 400본의 시편 모두를 기계등급구분(MSR, Machine stress rating)법을 이용하여 MOE를 평가하였다. 이중 300본의 집성재 제조용 라미나를 제외한 100본의 시편은 라미나간의 강도적 유의성을 밝

히기 위해 추가적으로 휨시험을 실시하여 MOE와 MOR을 측정하였다. 기존의 라미나의 강도적 성질을 입력변수로 사용할 경우에는 대부분 전체 스패 (long span) 에 대해 실험을 실시하여 그 결과를 사용하였지만, 최근의 연구(Lee & Kim,1998)에 의하면 라미나의 강도적 성질을 국부적(localized span)으로 측정하여 입력변수로 사용하는 것이 라미나의 성질을 잘 반영 할 수 있어 정확한 예측을 가능하게 한다는 결과에 따라, 본 연구에서도 라미나의 휨시험은 라미나의 두께를 고려하여 스패를 국부적으로 하여 400mm로 하였으며 1/3지점 4점 하중 실험을 실시하였다.

2.2.2 구조용 집성재의 휨시험

위와 같이 제작한 집성재의 강도적 성질을 평가하기 위하여 1/3 지점 휨시험을 실시하였다. 스패를 3m로 하여 실험을 실시한 후, 하중의 부하에 따른 효과와 스패-두께비의 효과를 ASTM D2915에 따라 식 (1)을 이용하여 보정 하였다.

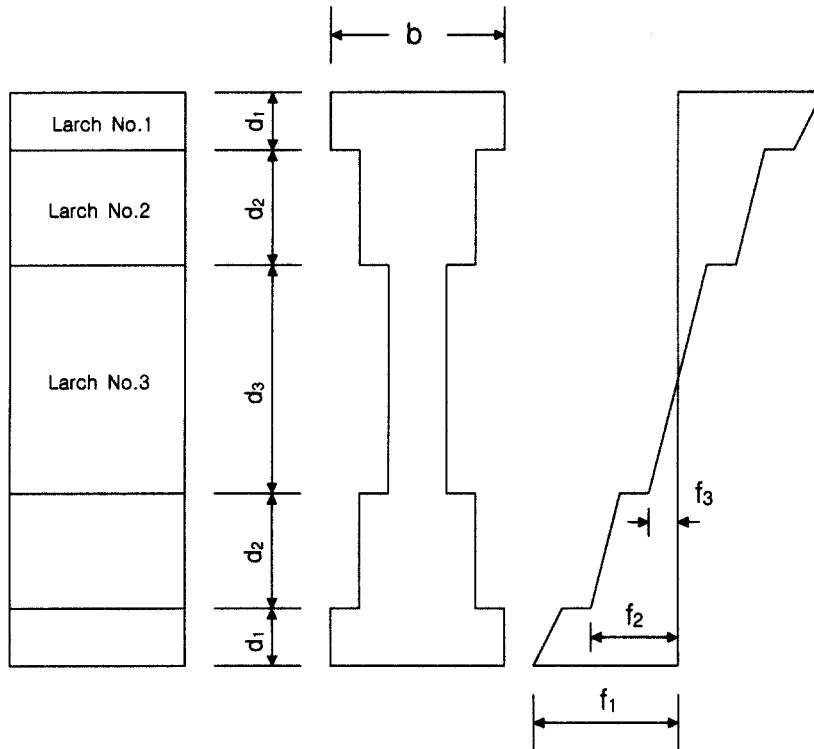


Fig. 3. The symmetric combination of laminations and transformed section of glulam

$$E_{ai2} = \frac{1 + k_1 \left(\frac{h_1}{L_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{E}{G}\right)}{1 + k_2 \left(\frac{h_2}{L_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{E}{G}\right)} E_{ai} \dots\dots\dots(1)$$

여기서,

$h_i$  : depth of beam,

$L$  : span between supports,

$E_{ai2}$  : apparent modulus of elasticity that based on any set of conditions of span-depth ratio and load configuration

$E_{ai}$  : modulus of elasticity that based on other set of conditions

$G$  : modulus of rigidity( $E/16$ ),

$k_i$  : values are given in ASTM (In our study,  $k_1$  is 1.25 and  $k_2$  is 0.91)

### 2.3 강도 예측 방법

ASTM D 3737에서 제시하고 있는 변형단면법에 기초하여 제작한 프로그램으로 집성재의 강도를 예측하였다. 예측한 결과와 실제 실험을 통한 결과를 비교하였고, 각 집성재의 강도적 특성들과 파괴 모드, 그리고 파괴에 따른 특징을 살펴보고자 하였으며 MOE와 MOR에 있어 예측치와 실측치를 하나의 그래프에 누적분포로 표시하였다. 집성재의 강도 예측은 다음의 절차에 따라 실시한다.

먼저, 그림 3과 같은 집성재의 구성에 대해 보의 변형 단면 moment of inertia factor( $T_i$ )를 다음의 식 (2)에 따라 계산한다.

$$T_i = \frac{E_1 d_1^3 - d_2^3 (E_1 - E_2) - d_3^3 (E_2 - E_3)}{E_1 d_1^3} \dots(2)$$

다음으로,  $I_k/I_G$  ratio을 식 (3)에 따라 계산한다.

$$R = \frac{1}{\sum_0^{n_1} Z} \left\{ x_1 \sum_0^{n_1} Z + \left(\frac{E_2}{E_1}\right) x_2 \sum_0^{n_2} Z + \left(\frac{E_3}{E_1}\right) x_3 \sum_0^{n_3} Z + \left[ h_1^2 \sum_0^{n_2} Z^2 + \left(\frac{E_2}{E_1} h_2\right) \sum_0^{n_3} Z^2 \right]^{1/2} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

여기서,

$R$  :  $I_k/I_G$ ,

$x_1, x_2, x_3$  : 평균 응이 사이즈로서 폭에 대한 소

수점으로 표현한다.

$h_1, h_2, h_3$  : 99.5 percentile값과 평균값 간의 차이  
 $Z, Z^2$  : 가중 인자로서 ASTM D 3737의 표 A2.1에 제시되어 있다.

$n_1, n_2, n_3$  : 각 층의 라미나의 개수이다.

집성재에 해당하는 휨용력조정 인자는 식 (4)를 사용하여 계산한다.

$$SMF_b = (1 + 3R)(1 - R)^3 (1 - R/2) \dots\dots\dots(4)$$

휨용력조정 인자를 응력지수에 곱하여 최 외곽층의 허용 휨용력  $f_1$ 을 구한다.

다음으로, 깊이  $d_2$ 인 중간층 보에 대해 라미나가 과용력을 받지 않는지 다음의 식 (5)를 사용하여 점검을 실시한다.

$$R = \frac{1}{\sum_0^{n_1} Z} \left\{ x_2 \sum_0^{n_2} Z + \left(\frac{E_3}{E_2}\right) x_3 \sum_0^{n_3} Z + \left[ h_2^2 \sum_0^{n_3} Z^2 + \left(\frac{E_3}{E_2} h_3\right) \sum_0^{n_3} Z^2 \right]^{1/2} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

허용 응력  $f_2$ 는 식 (6)을 이용하여 계산된다.

$$f_2 \geq \left(\frac{d_2}{d_1}\right) \left(\frac{E_2}{E_1}\right) f_1 \dots\dots\dots(6)$$

깊이  $d_3$ 의 가장 안쪽 층의 과용력 여부를 식 (7)을 이용하여 점검 한다.

$$R = \frac{1}{\sum_0^{n_1} Z} \left[ x_3 \sum_0^{n_3} Z + h_3 \left(\sum_0^{n_3} Z^2\right)^{1/2} \right] = x_3 + h_3 \frac{\left(\sum_0^{n_3} Z^2\right)^{1/2}}{\sum_0^{n_3} Z} \dots\dots\dots(7)$$

허용 응력  $f_3$  역시 내부 라미나층의 과용력을 피하기 위해 깊이  $d_3$ 에서 점검되면 다음의 식 (8)을 이용하여 계산한다.

$$f_3 \geq \left(\frac{d_3}{d_1}\right) \left(\frac{E_3}{E_1}\right) f_1 \dots\dots\dots(8)$$

마지막으로 최종 휨강도( $f$ )와 영계수( $E$ )는 다음의 식(9)와 같다.

$$f = f_1 T_i \dots\dots\dots(9)$$

$$E = E_1 T_i$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 무핑거 라미나 및 핑거 라미나의 강도

표 1에서 나타나듯이 등급구분 기계를 이용하여 측정한 MOE와 정적 휨시험에서 얻어진 MOE는 핑거 접합을 한 라미나와 무핑거 라미나간에 큰 차이가 나타나지 않았으며, 변이계수 또한 낮게 나타났다. 하지만, MOR의 경우는 평균값에서 많은 차이를 보이고, 특히 변이계수가 상당히 높게 나타나는 것으로 보아 입력변수로 사용 시에 신중한 선택을 하여야 할 것으로 생각된다. MOR값은 95% 신뢰구간에서 고도의 유의성을 나타내었다. 따라서 라미나의 강도값을 기본 입력변수로 사용할 시에 반드시 MOR의 경우에는 요구되는 신뢰구간에 맞추어 자료의 정도를 높일 필요가 있을 것이다.

또한 미입산물 연구소 등에서 제시하고 있는 핑거 접합한 라미나의 강도는 무핑거 라미나의 강도에 대해 75%정도를 사용할 것을 추천하고 있는 방법(Kunesh, 1978; Pahshin & Zeeuw, 1980; Biblis & Carino, 1993; Pooley, 1994)이 실제 본 연구에서도  $(577.5/750.9) \times 100 = 77\%$ 로 적합한 것으로 인정되었다. 하지만, 실제 휨시험에서의 파괴 모드를 보면 핑거에서의 파괴보다는 용이 주위에서의 파괴가 현저히 많았다. 따라서 기본 입력변수를 선택할 때, 단순히 라미나의 MOR값만이 아니라 용이에 대한 충분한 자료를 조사하여 이를 반영하는 것이 필수적이라 여겨진다.

이에 따라서 본 연구에서는 라미나의 MOE값을 기

본 입력 변수로 하여 라미나의 MOR을 예측하고 이들을 이용하여 집성재의 MOE와 MOR을 예측함과 동시에, 추가로 라미나의 파괴실험을 통하여 구한 라미나의 MOR값과 라미나의 용이에 대한 자료를 혼합해 직접 입력변수로 사용하여 집성재의 강도적 성질을 예측하여 보았다.

#### 3.2 집성재의 강도

집성재의 강도시험 결과를 표2에 제시하였다. 표2에 따르면, 표층에 1그룹의 라미나들이 배치된 집성재의 강도가 표층에 2그룹과 3그룹의 라미나가 배치된 집성재에 비해서 상당히 높은 것으로 나타나고 있다. 이는 기존의 연구결과들(Desch & Dinwoodie, 1981; Laufenberg, 1983)처럼 집성재에서 인장용력을 받는 측과 압축용력을 받는 측에 높은 등급의 라미나를 배치해야 한다는 사실을 확인 시켜주는 것이다.

표 2에 따르면 같은 그룹의 라미나가 최 외곽층에 배치된 경우, 그 내부에 배치된 라미나 조합에 따른 집성재의 강도에 있어서 확연한 차이는 나타나지 않고 있다. 단지 집성재의 MOE 경우, 기대되었던 순서로 값의 크기 순 배열은 나타났지만 그 경향 역시 뚜렷한 것은 아니며, MOR의 경우도 같은 경향이 나타났다. 이러한 이유는 그림 1에 제시한 라미나 조합을 만족시키기 위해서 주어진 라미나를 1,2,3그룹으로 구분하는데 있어 크기 순으로 라미나 MOE값에 따라 그룹을 구분한 관계로 인해, 각 그룹내의 MOE의 최소값과 다음그룹내의 최대값이 거의 비슷한 크기를 가지며, 또한 각 그룹 내에서도 라미나의 MOE가 크기 순으로 나열된 관계로 인해 같은 1그룹 소속의 라미나라 해도 일정한 MOE값을 가지는 것은 아니기 때문이다. 그로 인해 1그룹, 2그룹, 3그룹의 분류에 따른 그룹간의 라미나의 강도 차가 일정하지 않고 이

Table 1. Results of static bending test and machine stress rating for lamina.

	Lamina with finger joint			Lamina with no-finger joint		
	MOE ( $\times 10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> )		MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOE( $\times 10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> )		MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )
	MSR	Static bending test		MSR	Static bending test	
Average	112.4 (0.19)	121.1 (0.16)	577.5 (0.29)	110.7 (0.20)	119.5 (0.14)	750.9 (0.30)

( ): Coefficient of variation

Table 2. Bending test results and failure mode of glued laminated timber.

조 합 번호	구분 번호	MOE ( $\times 10^3 \text{Kg/cm}^2$ )	Average	MOR ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Average	Failure mode
I	1*	200.7	187.9	553.5	543.9	C
	2**	190.3		572.0		S
	3**	172.7		506.2		S
II	4*	190.5	194.1	590.5	572.8	S
	5**	199.3		626.2		S
	6**	192.5		501.8		S
III	7*	190.6	182.1	597.1	559.4	C
	8**	190.0		514.9		C
	9**	165.8		566.3		S
IV	10*	199.0	185.8	629.0	480.5	S
	11**	182.4		419.4		C
	12**	176.0		393.0		C
V	13*	187.8	183.8	442.5	525.9	C
	14**	183.7		591.0		S
	15**	180.0		544.1		S
VI	16*	166.7	176.0	490.4	545.2	S
	17**	180.7		567.3		S
	18**	180.5		577.9		SL
VII	19*	156.2	158.5	501.3	447.1	S
	20**	162.1		524.1		S
	21**	157.2		316.0		C
VIII	22*	149.1	156.7	423.7	465.7	C
	23**	162.7		485.2		C
	24**	158.3		488.1		S
IX	25*	164.2	159.8	522.2	473.1	S
	26**	157.1		449.9		S
	27**	158.2		447.2		C
X	28*	140.5	142.7	327.7	363.9	S
	29** <sup>a</sup>	-		-		-
	30**	144.8		400.0		S

\* : Glulams were manufactured with non-finger jointed lamina,

\*\* : Glulams were manufactured with finger jointed lamina , <sup>a</sup>: NF(Non-failure)

S: Simple tension, C: Cross grain tension, SL: Splintering tension

로 인해 집성재의 강도적 성질 역시 확연한 강도차이를 보이지는 않는 것으로 판단된다. 1그룹이나 2그룹이 표층에 배치된 집성재에 있어서, 집성재의 강도는 중심부위에 배치된 라미나의 강도적 특성에 거의 영향받지 않고 표층의 라미나의 강도적 성질에 따라 집성재의 강도적 성질이 결정되었다. 따라서 중심부에

배치할 라미나의 강도적 하한치에 대한 연구를 보완하여 경제적인 집성재 설계를 도모하여야 할 것으로 생각된다. 그러므로, 라미나의 강도에 따라 집성재의 강도적 성질이 어느 정도 차이가 발생하는지를 정확하게 파악하기 위해서는 충분한 표본수의 라미나를 이용하여 보충 연구가 필요하다고 판단된다.

## 집성재의 강도적 성질 예측에 대한 핑거 조인트와 라미나의 강도의 영향

표층에 핑거 접합을 실시한 라미나를 배치한 집성재와 무핑거 라미나만으로 구성된 집성재 사이에서도 뚜렷한 강도적 차이는 나타나지 않는 것으로 보아 인장력을 받는 부위에 대한 자세한 연구가 추가되어야 할 것으로 판단된다.

### 3.3 강도시험 결과와 예측치간의 비교

#### 3.3.1 라미나의 MOE를 기본값으로 하여 예측한 집성재의 강도적 성질

라미나의 MOE로 라미나의 MOR을 예측한 후 각각의 값을 집성재의 입력변수로 하여 집성재의 MOE와 MOR을 예측하였다. 핑거 접합을 한 라미나의 강

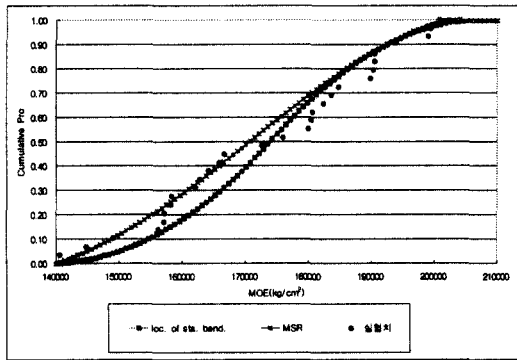


Fig. 4. The cumulative probability for predicted MOE and measured MOE of glulam using lamina MOE.

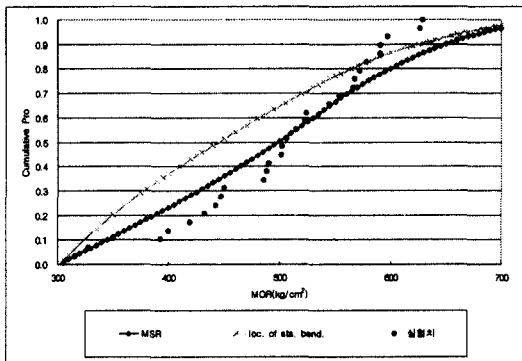


Fig. 5. The cumulative probability for predicted MOR and measured MOR of glulam using lamina MOR that was calculated using lamina MOE.

도 역시 관행적으로 사용되는 무핑거의 값에다 0.75를 곱한 것으로 가정하여 해석을 실시하였다. 라미나 MOR예측은 Lee & Kim(1998)의 연구에서처럼 회귀식( $MOR=0.0043 \times MOE - 122.28$ ; Green & Kretschmann, 1997)을 사용하여 계산하였으며, 모든 집성재의 강도적 성질 예측은 ASTM D3737에서 제시한 변형단면법을 사용하였다.

그림 4와 5에서 나타나듯이 MOE와 MOR 모두에 있어서, MSR의 결과를 기본 입력변수로 하여 예측한 값이 휨시험의 결과를 사용한 것 보다 실험치와 근사한 결과를 보여주었다. 이는 Lee & Kim(1998)의 연구에서 이미 밝혀진 바와 같다. 하지만, Lee & Kim(1998)의 연구 결과와 달리 MOR의 경우, 중간 정도의 강도 부분에서는 예측치와 근사한 값이 나타나지만 낮은 값과 높은 값에서는 예측치와 많은 차이를 보여주고 있다. 이는, 라미나의 개수가 많아질수록 각 라미나의 영향력이 누가적으로 증가하여, 결국 최종 집성재의 강도 예측에는 상당한 차이가 발생할 수 있다고 생각된다. 특히, 라미나의 MOR자체가 많은 변이를 포함하고 있는 성질이기에 때문에, 이러한 한 개체에서의 변이가 여러 개체에 대해 합해지면 그 변이는 상당히 증가할 수 있을 것으로 예상되기 때문에 일관된 수식만으로 예측하기는 어려울 것으로 판단된다. 따라서, 집성재의 MOR예측에는 더 많은 변수를 고려한 접근법이 필요하다고 판단된다.

#### 3.3.2 라미나의 MOE와 MOR을 각각 기본값으로 하여 예측한 집성재의 강도적 성질

앞 절의 방법과 달리 라미나의 휨 실험을 추가하여 직접 라미나의 MOR을 평가한 후 라미나의 용이에 대한 자료를 조사하고 용이에 대한 자료와 함께 라미나의 MOR을 입력변수로 하여 집성재의 MOR을 예측하였다. 본 항에서는 핑거 접합을 실시한 라미나로 제조한 집성재와 무핑거 라미나로 제조한 집성재의 MOR을 각기 분리하여 예측함으로써 핑거의 영향을 정확히 반영하고자 하였다.

그림 6과 7에서는 핑거 접합 라미나를 집성재의 인장측에 배치하였을 경우에 있어서 실험치와 예측치의 차이를 보여주고 있다. 집성재의 MOE는 인장측에 핑거 접합 라미나를 배치하여도 큰 영향을 받지 않는 것으로 보여지나, 집성재의 MOR의 경우에는 인장측에 핑거 접합 라미나를 배치하였을 경우 그림 9와 달리 변이가 어느 정도 존재함을 알 수 있다. 이는 물론 핑거 접합 라미나의 MOR값이 상당한 변이



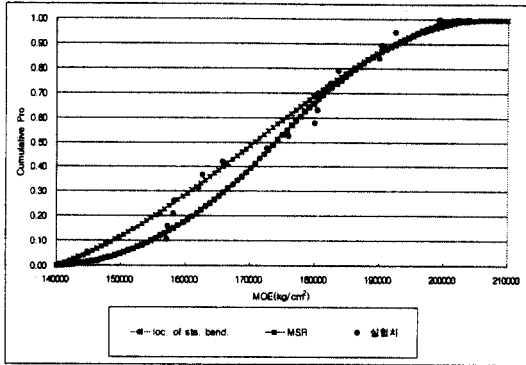


Fig. 6. The cumulative probability for predicted MOE and measured MOE of finger jointed glulam using lamina MOE.

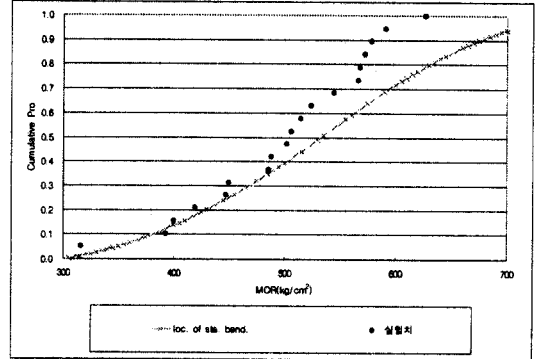


Fig. 7. The cumulative probability for predicted MOR and measured MOR of finger jointed glulam using lamina MOR.

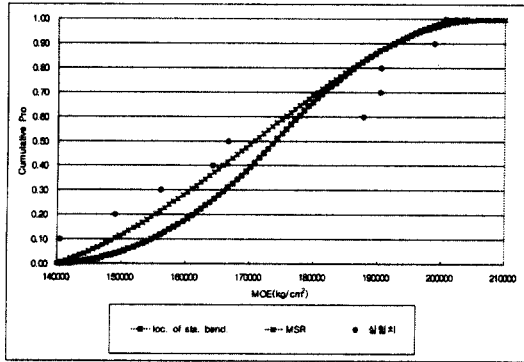


Fig. 8. The cumulative probability for predicted MOE and measured MOE of glulam without finger joint using lamina MOE.

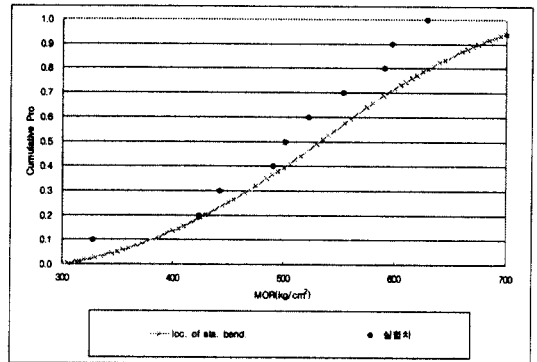


Fig. 9. The cumulative probability for predicted MOR and measured MOR of glulam without finger joint using lamina MOR.

를 나타내는 것에 기인하는 바도 있지만 그 보다는 용이에 대한 정확한 자료의 부족이 더 큰 이유라고 여겨진다. 실제 미국 등에서도 집성재 MOR 예측의 문제는 용이에 대한 자료의 문제로 귀결되고 있는 상황이다. 즉, 누가 더 용이에 대한 자료를 많이 조사하여 이를 데이터 베이스화 하느냐에 따라 예측치의 신뢰도가 결정된다(Kollmann, 1975; Hernandez et al, 1992; Sandoz & Walgenwitz, 1994). 따라서, 국내에서도 하루빨리 용이에 대한 자료를 충분히 조사하여 정리하는 것이 선결과제라 판단되어진다. 인장축에 무핑거 라미나를 사용한 집성재의 경우는 인장축에 핑거 접합 라미나를 사용한 것보다 훨씬 정확한 예측이 가능하였다. 이는 결국 핑거 접합 라미나를 인장축에 사용하였을 경우에는 핑거에 의한 영향을

충분히 고려하여야 할 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

국산재를 이용하여 제조한 구조용 집성재의 강도적 성질을 직접 실험을 통해서 구하는 기존의 비경제적이며 소모적인 방법을 지양하고 라미나의 강도만으로 집성재의 강도적 성질을 예측하는데 있어 라미나에 존재하는 핑거 조인트의 영향과 라미나의 강도가 집성재의 강도적 성질에 어떻게 영향 하는지를 살펴보고자 하였으며, 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 집성재의 강도는 중심부위에 배치된 라미나의

강도적 특성에 거의 영향받지 않고 최 외곽 층에 배치된 라미나의 특성에 의해서 결정되었다. 따라서 중심부에 배치할 라미나의 강도적 하한치에 대한 연구를 보완하여 경제적인 집성재 설계를 도모하여야 할 것으로 생각된다. 하지만 동일 그룹의 라미나가 외곽에 배치된 집성재에 있어서 내부의 라미나 특성에 따른 집성재의 MOE나 MOR의 차이는 크지 않았다.

2. 표층에 핑거접합을 실시한 라미나를 배치한 집성재와 무핑거 라미나만으로 구성된 집성재 사이에서도 뚜렷한 강도적 차이는 나타나지 않는 것으로 보아 인장력을 받는 부위에 대한 보강측면을 좀더 연구하여야 할 것으로 판단된다.

3. 라미나의 MOE를 기본값으로 하여 집성재의 강도적 성질을 예측할 경우, MSR의 결과를 기본 입력 변수로 하여 예측한 것이 휨시험의 결과를 사용한 것보다 실제 실험치와 근사한 결과를 보여주었다. 그러나, MOR의 경우 라미나의 개수가 많아질수록 각 라미나의 영향하는 바가 누가적으로 증가하여 결국 최종 집성재의 강도 예측에는 상당한 차이가 발생하여 낮은 값과 높은 값에서는 예측치와 많은 차이를 보여주고 있어 집성재의 MOR예측에는 좀 더 신중한 접근법이 필요하다고 판단되었다.

4. 라미나의 MOE와 MOR을 각각 기본값으로 하여 집성재의 강도적 성질을 예측할 경우, 핑거 접합 라미나를 인장층에 배치하였을 경우, 집성재의 MOE는 인장층에 핑거 접합 라미나를 배치하여도 큰 영향을 받지 않는 것으로 보여지나 집성재의 MOR의 경우에는 핑거 접합 라미나의 MOR값이 상당한 변이를 나타내는 것과 응력에 대한 정확한 자료의 부족에 기인하여 변이가 어느 정도 존재함을 알 수 있었다. 인장층에 무핑거 라미나를 사용한 집성재의 경우는 인장층에 핑거 접합 라미나를 사용한 것보다 훨씬 정확한 예측이 가능하였다. 이는 결국 핑거 접합 라미나를 인장층에 사용하였을 경우에는 응력에 의한 영향과 핑거에 의한 영향 모두를 충분히 고려해야 함을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. Biblis E.J. and H.F. Carino. 1993. Factors influencing the flexural properties of finger-jointed southern pine LVL. *Forest Prod. J.* 43(1): 41~46
2. Breyer D. E. 1993. Design of wood structures.: 189~207
3. Chugg, W. A. 1964. Glulam: The theory and practice of the manufacture of glued laminated timber structure. Benn, London: 21~24
4. Desch, H. E. and J. M. Dinwoodie. 1981. Timber: Its structure, properties, and utilization. 6th ed., MacMillan Press, London.: 35~44
5. Green D. W., D. E. Kretschmann(1997) Properties and grading of southern pine timber. *Forest Prod. J.* 47(9): 78-85
6. Hernandez R., D.A.Bender., B.A. richburg. and K.S. Kline. 1992. Probabilistic modeling of glued-laminated timber beams. *Wood and Fiber Sci.* 24(3): 294~306
7. Kollmann, F. P., E. W. Kuenzi and A. J. Stamm. 1975. Principles of wood science and technology. II. Wood-based materials. Springer-Verlag, Berlin: 19~25
8. Kunesch, R. H. 1978. Micro=Lam: Structural laminated veneer lumber. *Forest Prod. J.* 28(7): 41~44
9. Lee. J. J. and G. C. Kim. 1998. Simulation MOE of glulam by using the localized MOE and the long span MOE. 5th World Conference on Timber Engineering, Vol 2: 804~806
10. Laufenberg, T. L. 1983. Parallel-laminated veneer: Processing and performance research review. *Forest. Prod. J.* 33(9): 21~28
11. Pahshin, A. J. and C. de Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology. 4th ed., McGraw-Hill, N. Y.: 39~54
12. Pooley B.D. 1994. Design of glued laminated timber. *Wood Design FOCUS* Vol.5(1): 3~8
13. Sandoz J., P. rastigi and M. Walgenwitz. 1994. Grading and reliability of glued laminated timber. Pacific Timber Engineering Conference Australia: 663~670
14. Youngquist J.A., T. L. Laufenberg., and B. S. Bryant. 1984. End jointing of laminated veneer lumber for structural use. *Forest Prod. J.* 34(11/12): 25~32