

국산 삼나무를 이용한 구조용 집성재 이용기술*1

김 광 모*2† · 심 상 로*2 · 심 국 보*2 · 박 주 생*2 · 김 운 섭*2 · 김 병 남*2 · 여 환 명*3

Development of Structural Glued Laminated Timber with Domestic Cedar*1

Kwang-Mo Kim*2† · Sang-Ro Shim*2 · Kug-Bo Shim*2 · Joo-Saeng Park*2 ·
Wun-Sub Kim*2 · Byoung-Nam Kim*2 · Hwanmyeong Yeo*3

요 약

삼나무 원목은 제주도를 중심으로 점차 생산량이 증가하고 있으나, 옹이 등의 결함으로 인하여 목재자원으로서의 가치가 낮게 평가되고 있다. 본 연구에서는 삼나무에 대한 고부가가치의 새로운 용도 창출을 목적으로 구조용 집성재 이용 가능성을 확인하였다. 먼저 삼나무 제재목의 기계응력등급을 조사한 결과 국내의 다른 주요 침엽수종에 비해서는 다소 불량하지만 KS에 적합한 집성재 적층 구성에는 무리가 없는 것으로 확인되었다. 또한 집성재 제조에 필수적인 접착성 및 접착내구성에 있어서도 우수한 성능을 나타내었다. 그러나 집성재의 구조 성능을 평가한 결과, 휨 탄성계수가 KS의 기준에 다소 미달하는 결과를 나타내어 집성재의 강성 보강을 위한 추가적인 검토가 요구되었다.

ABSTRACT

In the southern part of the Korean Peninsula including Jeju-island, the production amount of domestic cedar has increased gradually. However, their low qualities, expected to be caused by the low density and frequent knots, have restricted their practical utilization as the high value-added products. In this study, it is aimed to look for the new uses of domestic cedar and to examine the applicability for lamination lumbers of structural glued laminated timber (glulam).

*1 접수 2008년 10월 20일, 채택 2008년 12월 2일

*2 국립산림과학원 녹색자원이용부 탄소순환재료과, Division of Wood Engineering, Department of Forest Resources Utilization, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

*3 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부, Department of Forest Sciences, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

† 주저자(corresponding author) : 김광모(e-mail: lovewood@forest.go.kr)

Above all, machine stress ratings for individual sawn lumbers confirmed that modulus of elasticity (MOE) of cedar lumber was lower than that of other common softwood species in Korea. On the other hand, cedar lumbers have enough stiffness to manufacture the structural glulam in accordance with Korean Industrial Standard (KS). The bonding strength and durability also met the KS limitation. Nevertheless, from the result of bending tests for cedar glulam, it was shown that the modulus of elasticity (MOE) did not meet the KS limitation. Therefore, it was concluded that additional researches were needed for reinforcing the stiffness of cedar glulam.

Keywords: Japanese cedar, glulam, MOR, MOE, adhesive properties

1. 서 론

삼나무는 일제강점기인 1924년에 일본으로부터 도입되어 목재 생산을 목적으로 주로 조림되어 왔다. 1960년대 이후에는 제주도를 중심으로 감귤원이나 목야지의 방풍림용으로 심어져 왔으며, 1970년대 이후 제주도 주요 조림수종으로 선정되어 치산녹화 1, 2차 기간동안 약 4만 ha에 달하는 대 면적에 조림되었다.

그러나 최근 방풍림으로서의 역할은 감소하고 한라산의 경관 및 자연생태계에 부정적인 영향을 미친다는 여론까지 일고 있어 별채되어 생산되는 원목의 양이 점차 증가하고 있다. 따라서 과거에 식재된 삼나무에 대한 새로운 가치 창출이 필요한 시점이지만, 조림지의 체계적인 관리미흡으로 인하여 옹이 등의

결함이 많이 포함되어 있어 목재자원으로써의 가치가 낮게 평가되고 있다(국립산림과학원, 2005; 2007).

우리나라에서는 지난 1990년대부터 구조용 공학목재의 하나로서 구조용 집성재를 개발·이용함으로써 목재의 부가가치를 높이기 위한 연구를 활발히 진행하였으며, 이러한 연구의 결과로 소나무, 낙엽송, 잣나무 등 국산 침엽수재를 이용한 구조용 집성재 제조 및 이용기술이 개발되었다(심 등, 2005; 이·김, 2000; 이 등, 2003; Lee *et al.*, 2005). 특히 최근에는 목재의 품질이 불량하여 주로 저급용도로 사용되던 리기다소나무를 이용하여 구조용 집성재를 제조하는 기술이 개발되어 보고된 바 있다(심·여, 2004; 김 등, 2007). 또한, 우리나라에 비해 삼나무 자원이 풍부한 일본에서는 이미 삼나무를 이용한



(a) Konohana Dome



(b) Karikobou Bridge

Fig. 1. Structures constructed with Japanese cedar glulam in Miyazaki, Japan.

구조용 집성재 제조기술이 개발되어 건축·토목 분야에서 이용이 증가되고 있는 실정이다(Fig. 1).

따라서 본 연구에서는 국산 삼나무의 새로운 수확출을 목적으로 삼나무를 고부가가치재인 구조용 집성재로 이용하기 위한 기술을 개발하고자 하였다. 먼저 적정 집성재 접착조건을 구명하기 위하여 삼나무의 접착성 및 접착내구성을 평가하였다. 다음으로 실대 크기의 구조용 집성재를 제조하여 휨성능을 평가하고 그 결과를 한국산업규격(KS)의 성능기준과 비교함으로써, 삼나무를 이용하여 KS에 적합한 구조용 집성재 생산 가능성 여부를 구명하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

공시재료인 삼나무(*Cryptomeria japonica*)는 서귀포산림조합에서 길이 3.6 m로 제제한 건조하지 않은 판재 146매를 무작위로 구입하여 사용하였다. 구입된 판재는 건조 후에 최종 단면치수를 38 × 140 mm로 가공하였다. 인공건조 후 삼나무 층재의 평균 함수율은 7.5%, 평균 기건밀도는 0.33 g/cm³이었다.

집성재 제조용 접착제로는 상온 경화형 레조르시놀 수지 접착제(Deernol No. 40, Oshika Shinko Co., Ltd)를 사용하였다.

2.2. 집성재 제조용 층재의 등급구분

층재의 품질을 평가하기 위하여 동적탄성계수에 의한 기계응력 등급구분을 실시하였다. 동적탄성계수는 초음파가 층재의 길이방향으로 3.4 m의 거리를 이동하는 속도와 층재의 기건 밀도를 이용하여 식 (1)을 통해 계산하였다. 초음파 전달시간 측정에는 초음파 비파괴측정 장비인 PUNDIT (CNS Farnell)를 이용하였다. 각각의 층재에 대해서 동적탄성계수가 결정되면 KS F 3021에 따라 기계응력 등급을 구분하였다.

$$MOE_D = V^2 \times \rho \quad (1)$$

여기서, V = 초음파 전달속도,

ρ = 기건밀도를 각각 의미한다.

2.3. 접착성 및 접착 내구성 평가

삼나무의 접착성 및 접착내구성 평가를 위하여 레조르시놀 수지 접착제를 사용하여 접착층 시험편을 제작하였다. 도포량 300 g/m²으로 일면에 접착제를 도포하였으며, 압체압력은 10 kgf/cm²과 8 kgf/cm²의 두 조건을 적용하였다. 접착성 평가를 위하여 KS F 3021에 따라 블록 전단 접착력시험을 수행하고, 전단 접착력과 목과율을 측정하였다. 또한 접착내구성 평가를 위하여 동일 기준을 적용하여 침지 및 삶음 박리 시험을 수행하였다.

2.4. 적층구성 및 집성재 제조

집성재 제조에 앞서 두께가 34 mm가 되도록 층재의 넓은 면을 대패가공 하였다. 탄성계수 8,000 N/mm²의 집성재 제조를 목표로 동적탄성계수를 기준으로 8개의 층재를 수평으로 적층 구성하여 총 5개의 집성재를 제조하였다. 제조된 집성재는 폭이 135 mm가 되도록 대패가공 하였으며, 가공 후 집성재의 최종 치수는 두께 272 mm, 폭 135 mm, 길이는 3.6 m였다.

2.5. 휨성능 평가

집성재의 휨성능을 평가하기 위하여 만능 강도시험기(Instron 5585, 최대하중 20 ton)를 이용하여 휨하중 하에서의 파괴시험을 수행하고, 휨 탄성계수(MOE)와 휨강도(MOR)를 계산하였다. 휨성능 시험은 3등분점 4점하중 방식을 적용하였으며, 지간거리는 3.3 m 하중속도는 5 mm/min.로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 집성재 제조용 층재의 등급구분

전체 층재를 동적탄성계수에 기초하여 등급구분

Table 1. Ratio of laminar grades rated by dynamic MOE (%)

Species	off-grade	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E14	E16	Remark
Japanese Cedar	15.1	23.7	29.5	21.6	6.5 (4)	2.2 (3)	1.4 (2)	- (1)	-	-	-	Measured
Pitch pine	3.1	7.0	13.2	23.7	18.9	17.5	8.8	4.8 (4)	2.6 (3)	0.4 (2)	0.0 (1)	Kim <i>et al.</i> , 2007
Japanese larch	-	-	3.0	15.1	22.3	22.3	18.1	10.2 (4)	7.8 (3)	0.6 (2)	0.6	

* (): Grades of the outmost laminar depend on the species group.

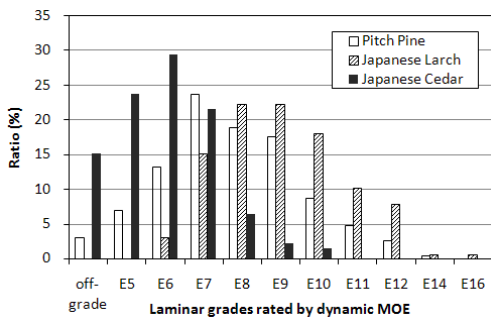


Fig. 2. Ratio of laminar grades rated by dynamic MOE.

한 결과를 Table 1과 Fig. 2에 나타내었다. 비교를 위하여 이전 연구에서 국산 낙엽송과 리기다소나무를 대상으로 측정된 결과를 함께 나타내었다(김 등, 2007). 등급구분 결과 E5에서 E7 사이의 등급이 전체의 85% 정도 차지하였으며, 등외도 15.1%를 차지하여 전반적으로 다른 수종에 비해 등급이 낮은 것으로 확인되었다.

KS F 3021에서 삼나무류(수종군 D)에 대하여 다른 등급 구성 집성재의 최외층재로 사용 가능하다고 규정하고 있는 E8등급 이상은 전체의 10.1%가 이에 해당되었으며, 최외층재 등급 1급인 E11 등급의 판재는 없었다. 이러한 결과는 이전 연구에서 낙엽송(수종군 A)과 리기다소나무(수종군 B)를 대상으로 측정된 결과와 거의 유사하였다. 따라서 집성재 제조에 있어서 수종에 따른 물성의 차이가 KS에 적절히 반영되어 있는 것으로 판단되었다.

3.2. 접착성 및 접착 내구성

3.2.1. 전단 접착력과 목파울

블록 전단 접착력 시험에 의한 접착력과 목파울 측정결과를 Table 2에 나타내었다. 비교를 위하여 이전의 연구에서 동일한 접착제를 사용하여 국산 침엽수재의 접착력을 측정된 결과(심 등, 2005; 김 등, 2007)를 함께 제시하였다. 적용된 접착제 도포량과 압체압력 조건에 다소 차이가 있기 때문에 다른 수종과의 직접적인 비교는 어려웠지만, 소나무나 리기다소나무와 대체로 유사한 접착력을 나타내는 것으로 판단되었다.

압체압력 조건에 따라서는 압체압력을 8 kgf/cm²에서 10 kgf/cm²로 증가시킴에 따라 전단강도가 약 8% 정도 증가하였다. KS의 블록 전단 시험에 의한 합격 기준과 비교하면 두 압체압력 조건 모두에서 수종군 D에 대한 KS기준(전단강도 5.3 N/mm², 목파울 70%)뿐만 아니라 수종군 A에 대한 기준(전단강도 7.1 N/mm², 목파울 65%)도 상회하는 결과를 나타냄으로써 삼나무 집성재의 접착력에는 문제가 없는 것으로 확인되었다.

본 연구에서는 삼나무 집성재를 제조하는데 있어서 레조르시놀 수지 접착제를 사용하여 KS기준 이상의 접착성을 얻을 수 있음을 확인하는 것으로 연구의 범위를 한정하고, 이후 집성재 성능에 관한 연구를 수행하였다. 실제 집성재 제조 시에는 제조 원가의 절감을 고려하여 250 g/m²의 접착제 도포량을 적용하였으며, 이에 따른 접착력 감소를 보완하기 위하여 압체 압력은 12 kgf/cm²으로 조정하였다.

Table 2. Shear bond strength and wood failure depend on the species

Species	Amount of applied adhesive (g/m ²)	Pressing pressure (kgf/cm ²)	Shear bond strength (N/mm ²)	Wood failure (%)	Remark
Japanese cedar	300	8	73	99	Measured
		10	79	99	
Korean red Pine	300	12	81	97	Shim <i>et al.</i> , 2005
Korean pine			85	97	
Japanese larch			99	94	
Pitch Pine	250	10	71	93	Kim <i>et al.</i> , 2007
		12	7.6	93	
	300	10	8.2	94	
		12	8.3	96	

Table 3. Delamination ratio of bonded layer submerged in cold and boiling water (%)

Testing methods	No. of cycle			
	1	2	3	4
Cold water	0.03 ± 0.12	0.51 ± 0.50	0.19 ± 0.43	0.04 ± 0.13
Boiling water	0.12 ± 0.29	0.32 ± 0.51	0.24 ± 0.43	0.04 ± 0.13

* ± : Standard deviation.

3.2.2. 접착 내구성

침지 및 삶음 박리율 측정결과를 Table 3에 나타내었다. KS에서는 침지 및 삶음 처리를 1회(사용 환경 1의 표시를 한 제품의 경우에는 2회 반복)하도록 되어 있으나, 본 연구에서는 4회 반복하면서 각 반복 처리별로 박리율을 측정하였다. 측정 결과 침지 및 삶음 박리율은 모두 1% 이내로 KS기준(5% 이내)을 만족하였으며, 처리 횟수가 증가하여도 박리율이 증가하지 않는 안정적인고 우수한 접착내구성을 나타내었다.

이상의 결과와 같이 삼나무 집성재의 접착성이나 접착내구성에는 문제가 없어 삼나무를 구조용 집성재로 제조하는 것이 가능함을 확인할 수 있었다.

3.3. 층재의 적층 구성에 따른 집성재 강도등급

3.3.1. 삼나무 집성재 적층 구성

탄성계수 8,000 N/mm²의 집성재의 제조를 목표로 하여 동적탄성계수를 기준으로 삼나무 층재를 적층 구성한 결과를 Table 4에 나타내었다. Table에는 층재의 동적탄성계수를 바탕으로 변형 단면법(식 (2))을 이용하여 집성재의 휨 탄성계수를 예측한 결과를 함께 나타내었다(ASTM D 3737).

$$E_G = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^n E_L^i [I_L + A(d^i)^2] \quad (2)$$

여기서, E_G = 집성재의 휨 탄성계수,
 E_L^i = i번째 층재의 휨 탄성계수,
 I = 전체 보의 단면 2차 모멘트,
 n = 층재수,
 I_L = 층재의 단면 2차 모멘트,
 A = i번째 층재의 횡방향 단면적,
 d^i = 집성재와 i번째 층재 중립축 간의 거리를 각각 의미한다.

3.3.2. 적층 구성에 따른 강도등급

KS F 3021에는 집성재의 강도 등급이 규정되어

Table 4. Distribution of dynamic MOE in the cross section and glulam MOE predicted by transformed section method (N/mm²)

	G1	G2	G3	G4	G5
1	8,303	8,268	8,069	8,037	8,006
2	7,780	7,914	7,917	7,957	7,974
3	7,032	7,002	6,956	6,900	6,873
4	6,729	6,749	6,826	6,836	6,864
5	6,681	6,657	6,609	6,587	6,575
6	7,134	7,173	7,221	7,346	7,374
7	7,753	7,742	7,714	7,545	7,508
8	8,610	8,681	9,342	9,571	10,579
Glulam	8,074	8,102	8,227	8,266	8,527

* □: E6, ▤: E7, ▥: E8, ▦: E9, ▧: E10.

있으며, 각 강도등급에 따라 구성되는 층재의 최소 요구등급이 제시되어 있다. 삼나무 층재의 기계등급인 E10 등급 이하의 층재를 이용하여 제조 가능한 다른 등급 구성 집성재의 강도등급 및 그에 따른 층재의 최소 요구등급을 Table 5에 제시하였다.

Table 4의 G1과 G2집성재의 경우, 층재의 등급이 대칭으로 구성되어 있기 때문에 Table 5의 대칭 집성재에 대한 기준이 적용된다. 그 중 6S-22B 강도등급과 비교하면, 1, 8번 층재의 등급은 동일하지만 2~7번 위치에는 기준에서 요구하는 것보다 높은 등급의 층재가 사용되었다. 7S-24B 강도등급과 비교하면, 2, 7번 층재의 등급은 동일하지만 1, 8번 위치에는 낮은 등급이, 3~6번 위치에는 높은 등급의 층재가 사용되었음을 알 수 있다. 8S-25B 강도등급의 경우에는, 4, 5번 위치에는 동일한 등급, 3, 6번 위치에는 높은 등급이 사용되었으며, 외층의 4개 층재에는 기준보다 낮은 등급의 층재가 사용되었다.

Table 5에 제시된 층재의 등급은 최소 요구등급이기 때문에 그 이상의 등급을 가지는 층재가 사용되어야 한다. 따라서 본 연구에서 제작된 G1과 G2집성재의 강도등급은 6S-22B로 보는 것이 타당하다. 그러나 실제 기준에서 요구되는 것보다 전반적으로 높은 등급의 층재가 사용되었기 때문에 7S-24B 강도등급에 상응하는 성능의 발현도 가능할 것으로 기

Table 5. Required lowest laminar grades for each strength grade of glulam

	Symmetric			Non-symmetric		
	8S-25B	7S-24B	6S-22B	8S-24B	7S-22B	6S-21B
1	E10	E9	E8	E8	E7	E6
2	E8	E7	E6	E7	E6	E5
3	E6	E5	.*	E6	E5	-
4	E6	E5	-	E6	E5	-
5	E6	E5	-	E6	E5	-
6	E6	E5	-	E6	E5	-
7	E8	E7	E6	E8	E7	E6
8	E10	E9	E8	E10	E9	E8

* Off-grade.

** □: Under, ▤: Same, ▥: Upper grade.

대되었다.

G3과 G4 집성재의 경우에는 층재의 등급구성이 비대칭으로 배치되어 있기 때문에 Table 5의 비대칭 집성재에 대한 기준을 적용하였다. 6S-21B 강도등급과 비교하면 모든 위치에서 높은 등급의 층재가 사용되었다. 7S-22B 강도등급의 경우에는 7, 8번 층재의 등급은 동일하지만, 나머지 층재에서는 모두 기준보다 높은 등급의 층재가 사용되었다. 8S-24B 강도등급의 경우에는, 높은 등급의 층재가 사용된 6번 위치와 낮은 등급의 층재가 사용된 7, 8번 위치를 제외하고는 모두 동일한 등급의 층재가 사용되었다. 따라서 G3과 G4 집성재의 경우 규정상 7S-22B 강도등급으로 보는 것이 타당하나, 8S-24B 강도등급에 상응하는 성능의 발현이 가능할 것으로 판단되었다.

G5 집성재의 경우에는 8번 위치에 한 단계 높은 E10 등급의 집성재가 사용된 것을 제외하고는 G3 집성재와 동일한 등급의 층재가 사용되었다. 이 경우 7번 위치에서 기준에서 요구하는 것보다 한 단계 낮은 등급의 층재가 사용되었으나, 8S-24B 강도등급과 거의 동등한 성능을 기대할 수 있었다.

3.4. 집성재 휨성능 평가

삼나무 집성재의 휨 파괴시험을 통해 얻은 휨 탄성계수와 휨강도를 Fig. 3과 Table 6에 나타내었다.

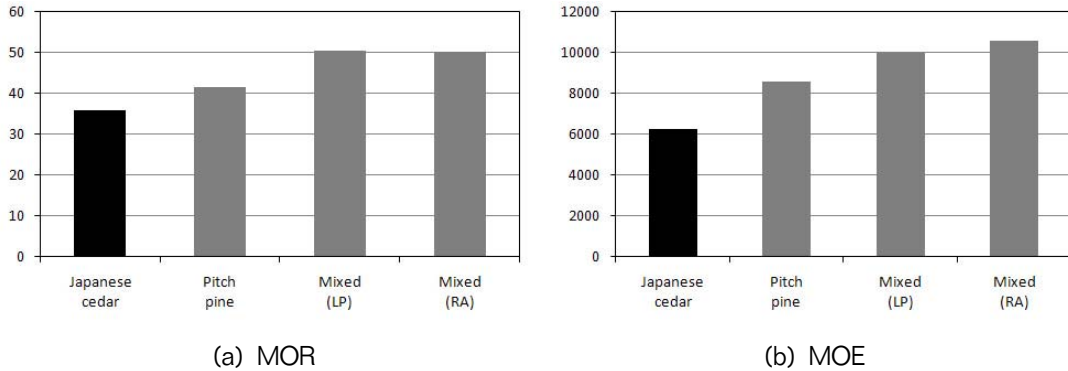


Fig. 3. Bending properties of glulam manufactured with different species (N/mm²).

Table 6. Bending properties of Japanese cedar glulams

	G1	G2	6S-22B	7S-24B	G3	G4	7S-22B	8S-24B	G5
MOE (10 ³ N/mm ²)	6.34 [6.68]	5.95 [6.27]	6(5)*	7(6)*	6.08 [6.40]	6.24 [6.57]	7(6)*	8(6.5)*	6.61 [6.96]
MOR (N/mm ²)	35.2	38.7	22	24	35.7	32.5	22	24	38.3

* Presented value should be compared with average, and result of each sample must be over the value in parenthesis (KS F 3021).
 ** [] : Adjusted value according to ASTM D 2915.

다섯 개 집성재의 평균 휨강도는 36.1 N/mm², 평균 휨 탄성계수는 6,240 N/mm²으로, 김 등(2007)의 연구에서 동일한 치수의 리기다소나무와 낙엽송 이(異)수종 집성재를 대상으로 측정한 결과보다 휨강도는 15~30%, 휨 탄성계수는 30~40% 정도 낮게 나타났다(Fig. 3). 그림에서 LP는 낙엽송을 외층에 리기다소나무를 내층에 배치한 경우, RA는 수중에 상관없이 동적탄성계수만을 기준으로 층재를 배치한 경우에 대한 결과이다.

Table 6에는 각 집성재에 대한 측정 결과와 KS에서 제시한 집성재 등급별 강도시험 합격기준을 함께 나타내었다. 전체적으로 휨강도는 KS의 기준을 크게 상회하는 우수한 결과를 보였다.

휨 탄성계수의 경우에 G1과 G2집성재는 6S-22B 강도등급은 만족시켰으나, 기대하였던 7S-24B 등급에는 못 미치는 성능을 나타내었다. G3과 G4집성재의 경우에는 7S-22B 등급에 대해서도 하한기준만을 만족시킬 뿐 평균기준에는 미달하는 결과를 나타내었다. G5집성재의 경우에도 8S-24B 등급의 하한기준을

가까스로 만족시키는 것으로 확인되었다. 집성재 시편의 반복수가 1, 2개로 작기 때문에 평균의 의미가 크지는 않지만, 전반적으로 삼나무 집성재의 휨 탄성계수가 KS 기준에 미달하는 것으로 판단되었다.

KS의 휨시험(A형) 방법에서는 경간이 두께의 18 배 이상이 되도록 요구하고 있으나, 본 연구에서 사용된 경간은 두께의 약 12배 정도로 전단변형이 크게 발생하여 휨 탄성계수가 과소평가될 수 있을 것으로 생각되었다. 전단변형에 의한 영향을 보정하기 위하여 ASTM D 2915에서 제안하고 있는 식 (3)을 이용하여 실측된 휨 탄성계수를 보정하고 그 결과를 Table 6의 []안에 나타내었다.

$$E_2 = \frac{1 + K_1 \left(\frac{h_1}{L_1} \right)^2 \left(\frac{E}{G} \right)}{1 + K_2 \left(\frac{h_2}{L_2} \right)^2 \left(\frac{E}{G} \right)} E_1 \quad (3)$$

여기서, E₁ = 집성재의 실측 휨 탄성계수,

- E_2 = 전단변형의 영향을 보정한 실측 휨 탄성계수,
- h = 보의 두께,
- L = 시간거리,
- E = 전단에 의한 영향이 완전히 배제된 휨 탄성계수,
- G = 전단계수,
- K = 시험조건에 따른 상수(0.939)를 각각 의미한다.

보정과정을 통하여 휨 탄성계수가 약 5%정도 상승하였으나, 여전히 KS의 기준을 충족시키지는 못하였다. 따라서 삼나무를 이용하여 KS기준에 적합한 구조용 집성재를 제조하기 위해서는 강성의 보강이 요구되는 것으로 확인되었다. 강성을 보강하는 방법으로는 김 등(2007)에 의해 제안된 강성이 높은 수종과의 혼합집성 방법 등이 적용 가능할 것으로 판단되며, 이 부분에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단되었다.

4. 결 론

국산 삼나무의 구조용 집성재 품질 및 이용 가능성을 구명하기 위한 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 국산 삼나무 층재를 동적탄성계수에 기초하여 기계용력 등급을 구분한 결과 85% 정도가 E5에서 E7등급으로 다른 수종에 비해 다소 불량한 것으로 나타났다. 그러나 KS에 이미 수종군에 따른 물성의 차이가 적절히 반영되어 있어 KS에 적합한 집성재 적층 구성에는 무리가 없는 것으로 확인되었다.
- 2) 삼나무 집성재의 접착성 및 접착내구성을 평가한 결과 전단 접착력, 목파울, 침지 및 삶음 박리율 모두 KS기준 이상으로 집성재 제조 시에 접착성의 문제는 없을 것으로 확인되었다.
- 3) 삼나무 집성재의 휨 성능을 측정된 결과 휨강도는 36.1 N/mm², 휨 탄성계수는 6,240 N/mm²으로 동일 치수의 리기다소나무와 낙엽송 혼합수종 집성

재에 비해 휨강도는 15~30%, 휨 탄성계수는 30~40% 정도 낮았다.

4) 삼나무 집성재의 휨강도는 KS 강도시험 합격기준을 크게 상회하는 우수한 결과를 나타내었으나, 휨 탄성계수는 전반적으로 기준에 미달하여 강성 보강에 대한 추가적인 검토가 필요한 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 국립산림과학원. 2005. 제주산 삼나무의 이용 및 전망. 국립산림과학원 학술심포지엄 자료. p. 115
2. 국립산림과학원. 2007. 한국의 유용수종 100선. pp. 76~79.
3. 김광모, 심국보, 박주생, 김운섭, 임진아, 여환명. 2007. 리기다소나무의 구조용 집성재 이용기술 개발 - 낙엽송 층재와의 혼합 구성을 통한 집성재의 휨성능 향상. 목재공학. 35(6): 13~22.
4. 심상로, 여환명. 2004. 리기다소나무 원목형질 조사 및 구조용집성재 제조 수율 평가. 목재공학. 32(2): 90~95.
5. 심상로, 여환명, 심국보. 2005. 이수종 구조용집성재의 전단접착력 및 접착내구성 평가. 목재공학. 33(1): 87~96.
6. 이진제, 김광철. 2000. 집성재의 강도적 성질 예측에 대한 핑거 조인트와 라미나의 강도의 영향. 목재공학. 28(1): 8~17.
7. 이진제, 김광모, 한재수, 김재건. 2003. 집성재 단면구성에 따른 휨성능 평가. 목재공학. 31(5): 65~71.
8. 한국표준협회. 2005. 구조용집성재. 한국산업규격 KS F 3021. p. 29
9. American Society for Testing and Material. 2003. Standard Practice for Evaluating Allowable Properties for Grades of Structural Lumber. ASTM D 2915. pp. 401~413.
10. American Society for Testing and Material. 2005. Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Structural Glued Laminated Timber (Glulam). ASTM D 3737. pp. 463~490.
11. Lee, J. J., J. S. Park, K. M. Kim, and J. K. Oh. 2005. Prediction of bending properties for structural glulam using optimized distributions of knot characteristics and laminar MOE. Journal of Wood Science 51: 640~647.