

# 국산 간벌 소경재를 이용한 다중접착접합 기둥부재의 압축강도성능

신일중<sup>1</sup> · 김윤희<sup>1</sup> · 장상식<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 환경소재공학과

## Compression strength performance of multi-layer glued columns by using square lumbers produced from domestic small diameter logs

Il-Joong Shin<sup>1</sup>, Yun-hui Kim<sup>1</sup>, Sang-sik Jang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Bio-based Materials engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Republic of Korea

Received on 16 August 2011, revised on 29 August 2011, accepted on 19 August 2011

**Abstract :** This study is to develop a multi-layer glued columns for construction of Korean-style houses by using domestic small diameter logs. Dried small square lumber glued each other to develop a multi-layer glued columns and evaluated its performance of strength. Then, predicted the design load of multi-layer glued columns and make a comparison between actual load and design load of multi-layer glued columns. In the results, allowable load by allowable stress of multi-layer glued columns was measured one-third of actual columns load and prediction load was measured less than 10~30% of the actual load.

Therefore, multi-layer glued member has a standard allowable stress of compressive of 13 MPa (*Larix leptolepis*) and 19 MPa (*Chamaecyparis obtusa*) when used as columns. Also, using compression strength of small diameter square logs could calculate maximum loads of multi-layer glued member as column.

**Key words :** Domestic small diameter logs, Multi-layer glued columns, Compression strength, Allowable stress, Prediction load

### I. 서론

국내에서는 한옥용 부재와 한옥표준모델 개발 등 한옥에 대한 많은 연구가 이루어지고 있고, 집성재 이용기술 개발을 위해 국산 삼나무를 이용(Kim 등, 2008)하는 연구 등 국산재 활용을 위한 연구 또한 진행되고 있다. 이 연구에서는 국산재의 활용을 더욱 늘리면서 한옥부재를 개발하고자 국산 간벌재를 이용하여 제재, 건조 및 대패 마감을 한 소경각재의 품질 및 강도 성능을 평가하고 소경각재를 사용하여 생산된 한옥건축용 다중접착접합기둥 부재의 강도를 평가하여 성능 향상 방안을 강구하고자 하였다.

다중접착접합부재의 강도는 그 원자재인 소경각재의 강도 특성과 밀접하게 연관되어있다. 이러한 소경각재들은 소경 간벌재로부터 생산되기 때문에 Fig. 1과 같이 하나의 원목으로부터 단 하나의 소경각재만이 생산되며 수심이 중

양부에 포함되어 있는 형태의 부재를 얻게 된다. 이러한 소경각재들은 수심과 그 주변의 유령목(juvenile wood)들을 포함하고 있기 때문에 성숙재에 비하여 그 강도 특성이 떨어지는 경향을 나타낼 것이다. 따라서 이 연구에서는 국내산 편백과 낙엽송의 소경각재와 다중접착접합부재를 제작하여 각각의 실대재 압축 강도성능을 시험하고 탄성계수를 비교하여 강도 특성이 어떠한지를 평가하고, 소경각재의 육안등급에 따른 실제 강도성능 또한 비교 확인 하고자 하였다.

### II. 재료 및 방법

#### 1. 공시재료

##### 가. 소경각재

시험용 재료로는 국내에서 앞으로 많은 양이 생산될 것으로 예상되는 낙엽송과 한옥이 많이 건축되는 남부지방에

\*Corresponding author: Tel: +82-42-821-5756

E-mail address: ssjang@cnu.ac.kr

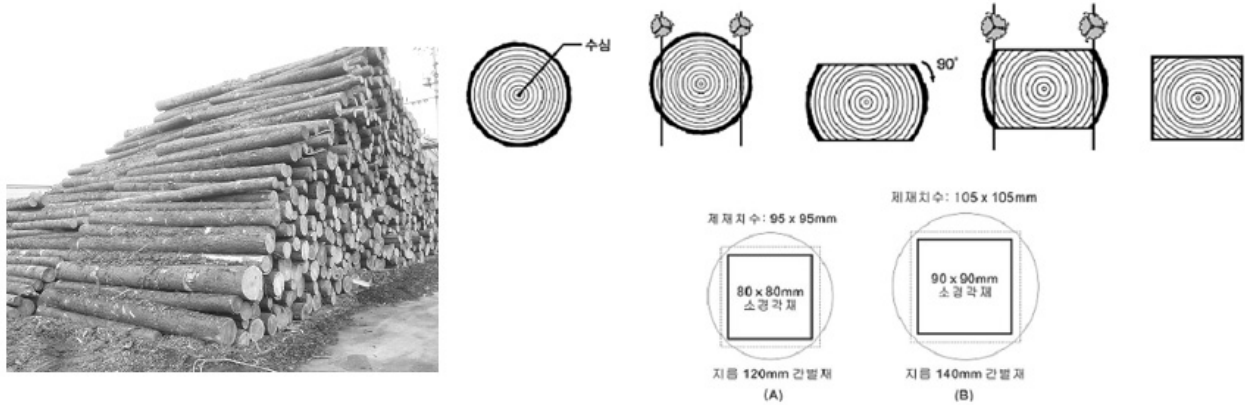


Fig. 1. Saw milling method of domestic small square lumbers.

Table 1. Quality standard for visual stress grading of small square lumbers.

	quality standard			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
maximum diameter rate of knot	17% and less	25% and less	33% and less	50% and less
deviation of grain	1:16 and less	1:14 and less	1:12 and less	1: 8 and less
rot	nothingness			
split	slight			
discoloration	slight			
diagonal grain	slight			
wane	1/4 of sizes and less width, nothingness of adjacent 2 edge			
imperfection	slight			

Table 2. Grade result of small square lumbers by using this study.

tree species		the number of graded small square lumbers				total
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	
<i>Larix</i>	number	13	21	27	9	138
<i>leptolepis</i>	ratio (%)	18.6	30.0	38.6	12.9	100
<i>Chamaecyparis</i>	number	2	32	15	0	97
<i>obtusa</i>	ratio (%)	4.1	65.3	30.6	0	100
total	number	15	53	42	9	119
	ratio (%)	12.6	44.4	35.5	7.5	100

서 생산되는 편백나무 간벌재를 사용하고자 하였다.

편백과 낙엽송을 각각 Fig. 1같이 단면이 80×80 mm, 90×90 mm로 수심을 포함한 정사각형 모양의 길이 3000 mm의 각재로 재단하였으며, 각 소경각재의 평균 함수율은 편백이 13.51% 낙엽송이 12.58%, 평균밀도는 편백이 0.57 g/cm<sup>3</sup> 낙엽송이 0.52 g/cm<sup>3</sup>이다.

다중접착접합부재 생산을 위하여 사용될 원자재로서의 소경각재를 선별하기 위하여 적용되는 소경각재의 품질기준은 구조용 집성재 제조를 위하여 적용되는 육안 식별 층



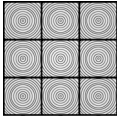
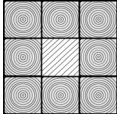
재의 품질 기준인 KS F 3021의 육안 식별 층재의 품질 기준으로부터 Table 1같은 기준을 작성하여 적용하였다.

Table 1의 품질 기준을 적용하여 이 연구의 시험편 제작을 위하여 사용된 소경각재의 등급을 구분한 결과는 Table 2에 나타내었다.

#### 나. 다중접착접합 기둥부재

소경각재를 가로 및 세로로 접착 접합하여 다중접착접합 기둥부재를 만들기 위하여 1차 가로방향 접착제로서 이

**Table 3.** Kinds of multi-layer glued columns

sign	composition	size	number
80D2		Chamaecyparis obtusa 3000×160×160	2
		Larix leptolepis 3000×160×160	3
90D2		Chamaecyparis obtusa 3000×180×180	2
		Larix leptolepis 3000×180×180	3
80T3		Chamaecyparis obtusa 3000×240×240	2
		Larix leptolepis 3000×240×240	3
80T3E		Chamaecyparis obtusa 3000×240×240	2
		Larix leptolepis 3000×240×240	3

**Fig. 2.** Small square lumbers and multi-layer glued columns.

소시아네이트 계열의 접착제 그리고 2차 세로방향 접착제로서 페놀-리솔시놀-포름알데히드계열의 접착제를 일본 오시카사로부터 수입하여 사용하였다. 접착제의 도포량은 1차 및 2차 각각 250~300 g/m<sup>2</sup>로 하였으며 압제 압력은 100 kgf/cm<sup>2</sup>, 그리고 압제 시간은 1차 4시간 및 2차 22시간으로 설정하였다.

다중접착접합 기둥부재는 Table 3과 같이 단면이 80×80 mm, 90×90 mm인 소경각재기둥 4개를 접합하여 단면 치수 160×160 mm와 180×180 mm인 부재를 만들었고, 9개를 접합하여 240×240 mm 부재를 만들었다. 마지막으로 가운데를 비운 형태로 8개만을 접합하여 제작한 240×240 mm 형태로 총 4가지의 기둥을 제작하였다.

## 2. 실험방법

목재의 압축시험 방법에는 무결점 소시험편에 대한 압축 시험방법(KS F 2206)과 실대재의 압축 시험방법(ASTM D 198)이 있다. 실대재의 압축강도 시험은 실제로 결점을 포

함하고 있는 부재를 그대로 사용하여 결점을 포함한 압축 강도를 측정하는 것이기 때문에 이론적으로 결점의 영향을 반영하는 것보다는 훨씬 더 현실 상황에 근접한 결과를 얻을 수 있다. 이러한 이유로 이 연구에서는 아직까지 국내의 KS 표준이 제정되어 있지는 않지만 ASTM D 198에 따라서 실대재의 압축강도 시험을 실시하였다.

80×80×3000 mm 소경각재의 강도시험은 소시험편 시험보다는 보다 실제 상황과 근접하게 실대재에 대한 시험을 실시하고자한다. Fig. 3에서 좌굴방지용 받침은 시험편의 사면을 측방으로 지지하게 되며 길이를 따라서 500 mm 간격으로 일정하게 설치하여 시험을 실시함으로써 시험편에서 좌굴의 요소는 배제하고 결점의 영향은 포함되어 있는 압축강도를 측정할 수 있다.

탄성계수를 측정하기 위하여 기둥 앞뒤에 변형 측정을 위한 LVDT를 설치하여 평균변위를 측정하였고, (160×160, 200×200, 240×240) mm의 다중접착접합부재는 4개의 LVDT를 설치하여 측정값의 평균을 시험편의 변형으로 계산하였다.



Fig. 3. Compressive strength test of specimens.

(80×80, 160×160) mm 부재의 압축강도 시험은 충남 대학의 최대하중 100톤 UTM을 사용하였고 (180×180) mm이상의 부재는 국립산림과학원에 있는 최대하중 200톤 UTM을 사용하여 실시하였다.

시험편의 탄성계수(MOE) 비례한도 응력 및 압축강도(MOR)는 각각 식(1), (2) 및 (3)에 의하여 계산하였다.

$$E = \frac{P_p L}{A \Delta_p} \quad (1)$$

$$\sigma_{cpl} = \frac{P_p}{A} \quad (2)$$

$$\sigma_{cmax} = \frac{P_{max}}{A} \quad (3)$$

여기서, E : 탄성계수(N/mm<sup>2</sup>)  
P<sub>p</sub> : 비례한도 하중(N)

L : 시험편의 길이(mm)  
A : 시험편의 단면적(mm<sup>2</sup>)  
Δ<sub>p</sub> : 비례한도 변형(mm)  
σ<sub>cpl</sub> : 비례한도 응력(N/mm<sup>2</sup>)  
σ<sub>cmax</sub> : 압축강도(N/mm<sup>2</sup>)  
P<sub>max</sub> : 최대하중(N)

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 소경각재의 압축강도

Table 4에서 보면 시험편으로 사용된 소경각재 중에서 낙엽송은 1, 2, 3 및 4등급이 각각 18.6%, 30%, 38.6% 및 12.9%를 나타내었으며 편백은 1, 2 및 3등급이 각각 4.1%, 65.3% 및 30.6%를 나타내었다. 낙엽송 소경각재는 편백보다 비교적 큰 용이가 존재하였으며 이로 인하여 등급이 편

Table 4. MOR and MOE of small square lumbers visual stress grading.

tree species	visual stress grading	number	MOE (GPa) <sup>1)</sup>	MOR (MPa) <sup>2)</sup>
<i>Larix leptolepis</i>	1	13(18.6%)	12.0	40
	2	21(30.0%)	11.1	38
	3	27(38.6%)	10.8	37
	4	9(12.9%)	10.6	36
	subtotal	70(100%)		
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	1	2(4.1%)	17.3	52
	2	32(65.3%)	14.6	47
	3	15(30.6%)	13.4	45
	subtotal	49(100%)		
	total	119		

<sup>1)</sup>MOE: modulus of elasticity, <sup>2)</sup>MOR: modulus of rigidity.

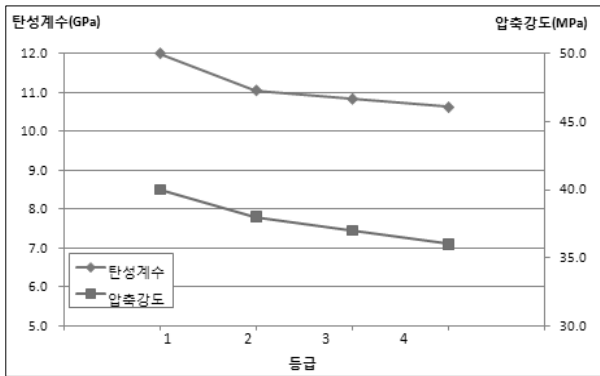


Fig. 4. MOR and MOE of *Larix leptolepis* by visual stress grading.

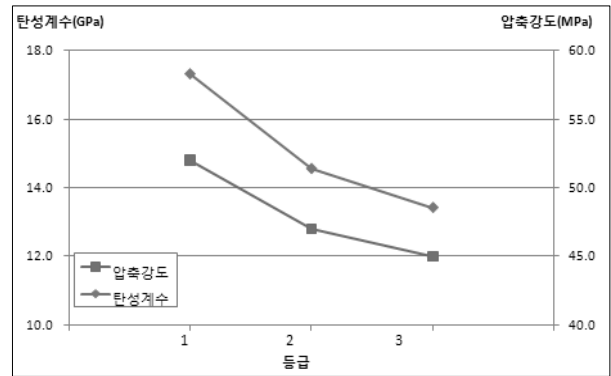


Fig. 5. MOR and MOE of *Chamaecyparis obtusa* by visual stress grading.

Table 5. Average MOE and MOR of multi-layer glued columns.

species	sign	size		maximum KN	MOR N/mm <sup>2</sup> (MPa)	MOE KN/mm <sup>2</sup> (GPa)	allowable stress KN/mm <sup>2</sup> (GPa)
		cross-sectional area (mm <sup>2</sup> )	length (mm)				
<i>Larix leptolepis</i>		80×80	3000	247.11	37.7	11.614	0.013
	80D2	160×160	3000	855.07	35.4	9.425	
	90D2	180×180	3000	1136.37	34.5	8.440	
	80T3	240×240	3000	1963.07	34.1	8.111	
	80T3E	240×240	3000	1732.37	33.8	7.803	
<i>Chamaecyparis obtusa</i>		80×80	3000	293.71	46.6	14.317	0.019
	80D2	160×160	3000	876.90	34.3	9.390	
	90D2	180×180	3000	1122.30	34.6	8.408	
	80T3	240×240	3000	1962.90	34.1	8.898	
	80T3E	240×240	3000	1820.20	33.6	8.214	

백보다 낮게 판정되었고 편백의 경우에는 작은 용이 전면에 비교적 골고루 분포하였으며 4등급에 해당하는 부재는 관찰되지 않았다. Table 4 및 Fig. 4와 Fig. 5에서 보면 낙엽송과 편백 모두에서 육안 등급이 높을수록 탄성계수 및 압축강도가 높은 경향을 나타내었으며 동일 등급의 경우에는 편백이 낙엽송보다 높은 탄성계수 및 압축강도를 나타내었다.

## 2. 다중접착접합 기둥부재 압축강도

다중접착 접합 기둥부재의 최대하중과 압축강도, 탄성계수는 Table 5에 나타내었다.

Fig. 6, 7의 소경각재로부터 산출한 허용응력을 통해 다

중접착접합 기둥부재의 최대하중을 예상하였고, 그 값을 실제 측정된 다중접착접합 기둥의 최대하중과 비교한 것을 그래프를 통해 Fig. 8, 9에 나타내었다.

Table 4의 소경각재에 대한 압축 시험 결과를 보면 낙엽송은 탄성계수 및 압축강도가 각각 11.1 Gpa 및 37.7 MPa을 나타내었으며 편백은 탄성계수 및 압축강도가 각각 14.3 GPa 및 46.6 MPa을 나타내었다.

Table 5에서 240 mm×240 mm 단면의 낙엽송과 편백 다중접착접합 기둥 부재 80T3은 압축강도 시험기의 최대 하중인 200톤의 하중에서도 파괴가 발생하지 않았다.

다중접착접합 기둥 부재의 압축강도 시험 결과를 소경각재의 압축강도와 비교해 보면 낙엽송의 경우에 MOE와 MOR은 조금 감소하는 경향을 나타내었고 편백의 경우도

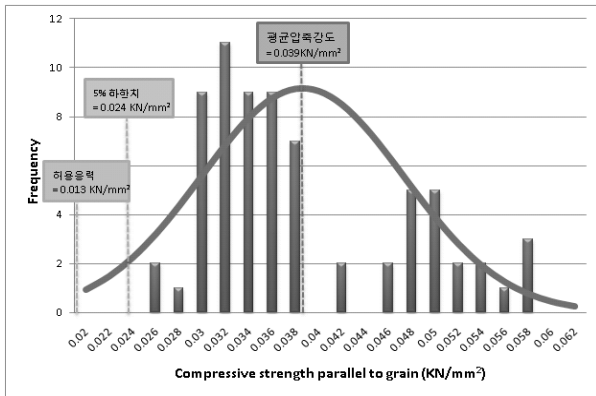


Fig. 6. Allowable stress calculation of small square lumbers of *Larix leptolepis*.

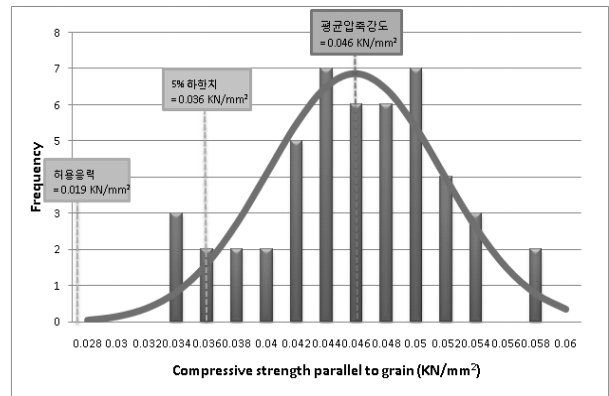


Fig. 7. Allowable stress calculation of small square lumbers of *Chamaecyparis obtusa*.

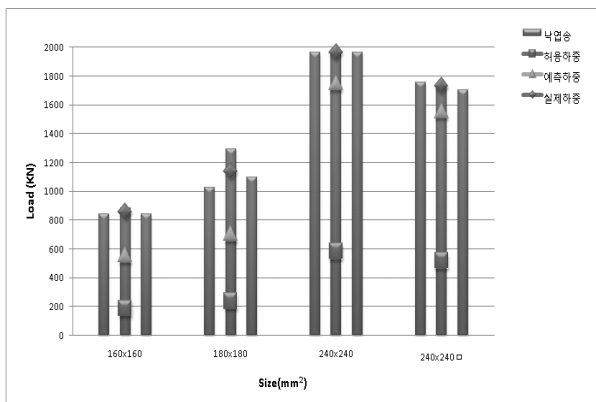


Fig. 8. Prediction load of multi-layer glued columns of *Larix leptolepis*.

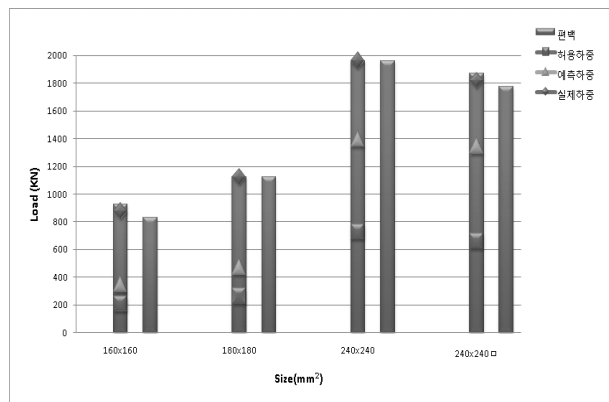


Fig. 9. Prediction load of multi-layer glued columns of *Chamaecyparis obtusa*.

MOE와 MOR 모두 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 시험결과는 다중접착접합 기둥 부재의 파괴 형태와 매우 유사한 관계가 있는 것으로 판단되었다. 소경각재 기둥은 압축시험을 실시할 때에 좌굴이 발생하지 않도록 4면을 모두 500 mm 간격으로 측면 지지하면서 압축시험을 실시하였기 때문에 소경각재의 압축강도는 좌굴의 요소는 배제되고 결점의 영향만이 고려된 값이다. 그러나 다중접착접합 기둥 부재의 경우에는 측면을 지지하지 않고 자유롭게 좌굴이 발생할 수 있도록 한 상태에서 시험을 실시하였기 때문에 목재 자체의 결점의 영향과 함께 좌굴의 영향까지 포함되어 있는 것이 다중접착접합 기둥 부재의 압축강도이다. 따라서 결점의 영향만 포함된 소경각재의 압축강도보다 좌굴의 영향까지 함께 포함된 다중접착접합 기둥 부재의 압축강도가 더 낮을 것으로 예상할 수 있다.

편백의 경우에는 이러한 예상대로 소경각재의 압축강도보다 다중접착접합 기둥 부재의 압축강도가 더 낮은 값을 나타내었다. 이는 예상대로 좌굴이 다중접착접합 기둥 부

재의 압축강도에 영향을 미쳤음을 나타내는 것이라고 할 수 있다. 그러나 낙엽송의 경우에는 소경각재나 다중접착접합부재나 거의 비슷한 압축강도를 나타냄으로써 다중접착접합부재에서도 좌굴의 영향보다는 결점의 영향이 더욱 컸음을 알 수 있다. 실제로 압축시험에서 파괴된 다중접착접합 부재의 모습을 보면 낙엽송의 경우에는 큰 용이 등의 주변에서 파괴가 많이 이루어졌음을 알 수 있었고 편백의 경우에는 좌굴에 의하여 휘어 들어간 한쪽 측면에 작은 압착 파괴 형태(목재 표면에 가느다란 실금의 형태로 나타남)가 많이 나타남을 관찰할 수 있었다.

### 3. 소경각재의 압축시험 결과로부터 다중접착접합 기둥 부재의 허용응력 산출

먼저 소경각재의 압축강도 시험 결과로부터 구한 압축강도에 대하여 Fig. 6, 7과 같이 도수분포 막대그래프를 나타내었다. 이 도수분포 막대그래프에 해당하는 정규분포곡선

을 구하고 이 정규분포곡선으로부터 5% 하한값을 식(4)에 의하여 계산하였다.

$$\sigma_{5\%} = \sigma_c - 1.645 \times sd \quad (4)$$

여기서,  $\sigma_{5\%}$  : 압축강도의 5% 하한값(MPa)  
 $\sigma_c$  : 압축강도의 평균값(MPa)  
 $sd$  : 압축강도의 표준편차(MPa)

식(4)에 의하여 구한 5% 하한값에 안전을 고려한 여러 가지 조정계수를 곱하여 허용응력을 계산하게 된다. 우리나라에서는 아직까지 5% 하한값으로부터 허용응력을 산출할 수 있는 표준화된 방법이 정하여져 있지 않기 때문에 이 연구에서는 ASTM D 2915(Standard practise for evaluating allowable properties for grades of structural lumber)의 내용을 적용하여 허용응력을 산출하였다. ASTM D 2915에 따르면 강도시험 결과로부터 허용응력을 산출하기 위해서는 안전계수와 함께 10년간의 누적된 하중작용기간(정상하중) 효과를 고려하는데 기둥의 경우는 (1/1.9) 계수를 적용하도록 하고 있다.

이에 따라서 낙엽송과 편백 소경각재 압축강도의 5% 하한값에 (1/1.9)을 곱하여 Fig. 6, 7에 기준허용 압축응력을 산출하였다.

본 연구에서 산출된 소경각재의 허용응력을 KS F 3020 침엽수 구조용재 허용응력과 비교해 본 결과 낙엽송의 경우 1등급 8.8 Mpa인 것에 비해 더 높은 값을 나타냈음을 확인 하였고, 편백 또한 1등급 7.4 Mpa보다 높은 값을 나타내었다.

이로써 다중접착접합부재를 기둥으로 사용하는 경우에 구조설계에 사용할 수 있는 기준허용 압축응력으로 앞에서 구한 13 MPa(낙엽송) 및 19 MPa(편백)을 사용할 수 있다고 판단 되었다.

위 결과에 따라, 낙엽송 다중접착접합 기둥 부재의 경우에는 13 MPa의 기준허용응력을 사용하여 구조설계를 할 수 있었으며 기둥 부재의 치수가 정해지면 해당 부재에 대한 기둥안정계수를 계산하여 기준허용 압축응력에 곱하여 구조설계에 사용할 수 있는 설계허용 압축응력을 구할 수 있었다. 이렇게 산출된 설계허용 압축응력에 부재의 단면적을 곱하여 해당 부재에 대한 허용하중의 크기를 구할 수 있었다.

또한 다중접착접합 기둥 부재가 지지할 수 있는 최대 하중의 크기를 예측하기 위하여 소경각재의 압축강도 평균값에 다중접착접합 기둥 부재들에 대한 기둥안정계수를 곱하여 각 종류의 기둥 부재들에 대한 예측 최대하중을 계산하여 실제 압축강도 시험결과와 비교한 결과를 Fig. 8, 9에 나타내었다.

Fig. 8 및 Fig. 9에서 보는 바와 같이 각각의 기둥 부재들에 대한 허용하중의 크기는 실제 최대하중의 1/3 정도로서 매우 낮았으며 이는 허용응력을 산출하는 과정에서 안전을 위하여 5% 하한값을 구하고 여기에 다시 조정계수를 적용하였기 때문이다. 또한 소경각재의 평균 압축강도값 37.7 MPa(낙엽송) 및 46.6 MPa(편백)으로부터 산출한 예측 최대하중도 실제 최대하중보다 낮게 나왔으며 편백의 경우에는 그 차이가 더 크게 나타났다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 한옥 건축용 기둥부재의 개발을 위해 편백과 낙엽송에서 소경각재를 제재하여 허용응력 값을 산출하고, 산출해 낸 허용응력을 통하여 다중접착접합 기둥 부재의 허용하중을 구하였다. 또한 실제 다중접착접합 기둥 부재의 최대하중과 실험을 통해 예측한 예측하중과의 비교를 해본 결과 예측하중이 실제하중을 초과하지 않으므로 그 값을 사용하여도 안전하다고 판단되었다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 국산 편백과 낙엽송에서 제재한 소경각재 기둥부재의 허용응력은 편백이 19 Mpa, 낙엽송이 13 MPa로서 이는 KS F 3020 침엽수 구조용재 허용응력, KS F 3021의 구조용 집성재에 대한 허용응력과 비교해서도 가장 높은 등급의 집성재와 비슷한 수준으로서 다중접착접합부재를 한옥건축용 기둥으로 사용하여도 충분한 강도성능을 나타낼 수 있을 것으로 판단되었다.
2. 소경각재 기둥부재의 허용응력을 통해 다중접착접합 기둥부재의 허용하중을 산출할 수 있었다.
3. 소경각재 기둥부재의 압축강도 평균값인 39 MPa(낙엽송) 및 46 MPa(편백)에 해당 부재에 대한 기둥안정계수를 곱하여 그 부재가 기둥으로서 사용되었을 때에 지지할 수 있을 것으로 예상되는 최대하중의 크기를 계산한 결과 실제 다중접착접합 기둥부재의 하중

값보다 낙엽송은 약 10~15%, 편백은 약 20~30% 낮은 값을 나타낸다는 것을 확인하였다.

### 감사의 글

이 연구는 농업산림기술개발 프로젝트(2010)의 일환으로 농림수산식품기술기획평가원의 지원을 받아 수행한 것임.

### 참고 문헌

- KS. 2007. Softwood structural lumber. In *KS F 3020*. [in Korean]
- KS. 2005. Structural glued-Laminated timber. In *KS F 3021*. [in Korean]
- KS. 2004. Method of compression test for wood. In *KS F 2206*. [in Korean]
- ASTM. 2009. Test methods of static tests of timber in structural sizes. In *ASTM D 198-09*.
- ASTM. 2003. Standard practise for evaluating allowable properties for grades of structural lumber. In *ASTM D 2915-03*.
- Kim KM, Shim SR, Shim KB, Park JS, Kim WS, Kim BN, Yeo HM. 2008. Development of structural glued laminated timber with domestic cedar. *Mokchae Konghak* 37(3): 184-191.