

## 국내산 낙엽송 소경각재의 허용응력 산출

김 윤 희, 신 일 중, 양 정 모, 장 상 식<sup>†</sup>

충남대학교 환경소재공학과

### Allowable Stress Calculation of Domestic Japanese Larch Small Diameter Lumbers

Yunhui Kim, Iljoong Shin, Jungmo Yang, Sangsik Jang<sup>†</sup>

Department of Biobased materials, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University,  
Daejeon 305-764, Korea

**Abstract:** Sustainable energy consumption and increasing CO<sub>2</sub> emissions stimulate Eco-friendly industry. Wood has positive various properties as alternative energy such as solar, wind and water. Wood provide lumber, pallet, paper, pulp and fuel through production process. Even Korea republic has 63.7% of forest rates, weather condition makes low forestry production capacity. For utilization of domestic small diameter log needs study mechanical properties. In this study, various properties tested on domestic Japanese Larch small diameter lumbers and make mechanical properties table for allowable stress calculation. Result of compressive test, allowable compressive stress is 13 MPa. Allowable bending stress is 12 MPa.

**Keywords:** domestic small diameter log, allowable stress, Japanese larch

## 1. 서 론

지속적인 환경오염 및 기후 변화로 인하여 세계 각국에서는 탄소배출량 감소와 친환경산업에 관심이 집중되고 있다. 대체 에너지로써 목재는 지속적인 생산이 가능하며 생산과정에서의 환경오염을 최소화시킬 수 있다는 점에서 기후변화에 대응할 수 있는 높은 가능성을 지니고 있다. 2011년에 발간된 임업 통계연보에 따르면 우리나라 국토면적의 63.7%가 산림으로 구성되어 OECD 국가 중 핀란드(72.9%), 일본(68.5%), 스웨덴(68.7%)에 이어 네 번째로 산림 비율이 높은 편이다. 주요수종별 구성비를 살펴보면

침엽수림에서는 천연소나무림 56.1%, 낙엽송 16.5%, 잣나무 8.3%, 삼나무, 편백 순으로 분포되어 있다. 목재를 구조용 목재로 구조용재로 사용하기 위한 방법으로는 현재 KS F 3021 (구조용 집성재)에 의한 집성재 제조가 대표적인 방법이며 집성재 제조를 위한 층재의 두께는 50 mm 이하로 규정되어 있다. 실제로 통직한 부재를 만들기 위해서는 35 mm 두께의 층재 그리고 만곡집성재를 제조하기 위해서는 19 mm 두께의 층재가 가장 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 유라시아대륙에 위치하고 있어 대륙성 기후에 속해 있는 우리나라에서 조림되어진 원목의 경우 1개의 원목을 제재하여 여러 층재를 얻기 위해서는 오랜 시간이 소요되기 때문에 최근에는 국산 소경 간벌재에 대한 관심이 높아지고 있다. 국산 소경 간벌재의 경우 지름이

2012년 3월 6일 접수; 2012년 4월 2일 수정; 2012년 4월 4일 게재확정

<sup>†</sup> 교신저자 : 장 상 식 (ssjang@cnu.ac.kr)

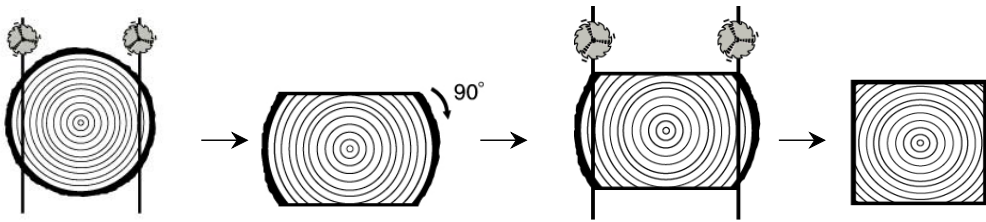


Fig. 1. Double-faces sawing methods.

작기 때문에 기존의 집성재 제조를 위한 층재 치수를 적용할 경우 생산된 층재는 수율이 매우 낮고 제재, 건조, 취급 및 관리 등의 생산 비용의 과다로 경제성을 잃게 될 수도 있다. 간벌재의 효율적인 활용을 위하여 수심을 포함하는 최대치수로 소경 간벌재를 제재하는 방법을 들 수 있다. 또한 생산에 필요한 40년 이상의 시간을 20~30년으로 감소시켜 지속가능한 자원 공급이 좀 더 용이할 수 있을 것이다. 이 연구에서는 국내 주요 수종인 낙엽송의 소경 간벌재의 기초물성을 조사하여 수심이 포함된 구조재로써의 가능성을 확인해 보고자 한다.

## 2. 재 료

### 2.1. 공시재료

시험용 재료로는 국내의 조림 수종 대부분을 차지하고 있는 낙엽송과(Japanese Larch.) 국산재를 사용하였다. 현재 대부분의 간벌재는 경제성이 낮기 때문에 산속에 버려지거나 1차 부가가치만을 생산하는 화목, MDF, PB, 펄프용 칩, 연료용 펠릿 등으로 사용되고 있다. 이 연구에서는 조림 후 20~30년의 3별기령에 해당하는 흉고지름 120~180 mm 정도의 목재로 특정용도가 정해지지 않은 목재를 재료로 사용하여 간벌재의 부가가치를 높이고자 하였으며 제재 후에 배출되는 죽대기는 화목, MDF, PB, 펄프용 칩, 연료용 펠릿 등으로 사용하도록 하였다.

### 2.2. 간벌재 제재

소경각재의 제작을 위하여 지름 120~180 mm인 간벌재를 수심을 포함하는 80 × 80 × 2,700 mm

정각재로 제재하였다. 수심이 포함된 정각재로 제재할 경우 일반 제재목 마감재의 수율인 30~40%보다 향상된 40~57%의 수율을 나타낼 것으로 예상되었다. 소경 간벌재는 대경재와 달리 원목이 조금만 휘어도 제재면이 원목을 벗어날 가능성이 많기 때문에 소경각재 생산을 위한 간벌재 원목 선별시 힘이나 비틀림 등의 변형이 심한 원목은 배제하여야 한다. 또한 간벌재 원목은 미성숙재인 수심 주변의 유령목이 많이 포함되기 때문에 변형이 크게 발생할 가능성이 있어 목재의 특성상 수심을 중심으로 대칭을 이룰 수 있도록 제재하여야 변형의 발생 가능성을 줄일 수 있다. 비틀림의 발생을 최소화하기 위해 대경재에 사용하는 기존의 1면 1회 제재 방법 대신 Fig. 1과 같이 양면 동시 제재방법을 적용하였으며 2면의 제재만으로 수심을 포함하는 소경 정각재의 생산이 가능하므로 생산성을 향상시킬 수 있다.

## 3. 실험방법

### 3.1. 육안 식별

소경목에 대한 사용기준이 기존의 규정에는 존재하지 않아 KS F 3021 (구조용 집성재)의 육안 식별 층재의 품질 기준을 적용하였다.

### 3.2. 소경각재의 비파괴시험

비파괴시험은 목재를 직접 파괴시키지 않고도 목재의 강도를 어느 정도 정확하게 예측할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 현재 실용화되어 있는 방법 중 초음파와 응력파를 이용하는 비파괴 시험 방법을 사용하였다. 초음파를 활용한 비파괴 시험을 위해 영국 C.N.S. Electronics사에서 제작

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

	Quality standard			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
Maximum diameter	17%	25%	33%	50%
rate of knot	and less	and less	and less	and less
Slope 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			

된 초음파 비파괴시험 장비인 Ultrasonic Tester BP-5를 사용하였으며 응력파를 이용한 비파괴 시험을 위해 미국 Metriguard사의 응력과 비파괴시험 장비인 Stress Wave Timer 239A를 사용하였다.

### 3.3. 밀도 및 함수율 측정 방법

소경각재의 휨 시험을 실시한 후 각 시험편들의 밀도 및 함수율을 측정하기 위하여 소경각재의 양 끝면으로부터 100 mm 이상 떨어진 지점에서 미결점부분에서 시료를 채취하여 KS F 2198 (목재의 밀도 및 비중 측정 방법)과 KS F2199 (목재의 함수율 측정 방법)에 따라 밀도와 함수율을 측정하였다.

### 3.4. 압축강도 측정

목재의 압축강도 측정 방법으로는 무결점 소시험편에 대한 압축 시험방법(KS F 2206)과 실대재의 압축 시험방법(ASTM D 198)이 있다. 실대재의 압축 시험방법은 아직까지 KS 표준으로는 재정되어 있지 않지만 실제로 결함을 포함하고 있는 상태로 사용되는 실대재의 압축강도를 측정하게 될 경우 무결점 소시험편에 대한 압축 시험방법에 비하여 응력의 특성이 포함된 시험결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되어 ASTM D 198을 적용한 실대재 실험을 실시하였다. 소경각재의 압축강도 측정을 위한 소경각재의 길이는 2.5 m로 100 tonf

**Fig. 2.** Compressive strength test of specimens.

용량의 압축강도 시험기에 설치하고 좌굴의 영향을 배제하기 위한 지지대를 시험편의 길이를 따라 500 mm 간격으로 시험편의 4면에 설치하였다.

소경각재의 압축시험에서 변형을 측정하기 위하여 시험편의 마주보는 양 측면에 라인형 LVDT를 부착하여 시험 중에 변형을 연속적으로 측정하였으며 2개의 LVDT 변형값의 평균을 부재의 변형으로 사용하였다. 시험편의 탄성계수(1), 비례한도 응력(2) 및 압축강도(3)는 다음의 식을 적용하여 계산하였다.

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

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

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

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>)

Δp : 비례한도 변형(mm)

σ<sub>cpl</sub> : 비례한도 응력(N/mm<sup>2</sup>)

σ<sub>max</sub> : 압축강도(N/mm<sup>2</sup>)

P<sub>max</sub> : 최대하중(N)

3.5. 휨강도 측정

목재의 휨 시험 방법으로는 무결점 소시험편의 휨 시험 방법(KS F 2208)과 실대재의 휨 시험 방법(KS F 2150)이 있다. 기존의 무결점 소시험편에 대한 휨 시험 결과의 결과를 반영하기 위해서는 조정계수를 적용하여 허용응력을 산출할 필요가 있으나 이론적인 분석에 근거한 것이기 때문에 실제로 결점을 포함하고 있는 목재의 강도와와의 오차가 발생할 수 있다. 이 연구에서는 KS F 2208의 중앙 집중하중 방식을 채택하여 휨시험을 진행하였으며 얻어진 결과를 통해 MOE (4) 및 MOR (5)을 다음의 식을 적용하여 산출하였다.

$$MOE (N/mm^2) = \frac{P_1 L^3}{4\Delta_1 b h^3} \quad (4)$$

$$MOR (N/mm^2) = \frac{3P_{max} L}{2bh^2} \quad (5)$$

$P_1$  : 비례한도 내에서 상한 하중과 하한 하중의 차이(N)

$L$  : 지간 거리(mm)

$\Delta_1$  :  $P_1$ 일 때의 지간 거리 중앙의 처짐의 차이(mm)

$b$  : 시험편의 폭(mm)

$h$  : 시험편의 깊이(mm)

$P_{max}$  : 최대 하중(N)

4. 결과 및 고찰

4.1. 육안 식별

KS F 3021 (구조용 집성재)의 육안 식별 층재의 품질 기준에 따라 낙엽송 소경각재들을 분류한 결과 대부분 원목의 성장방향과 동일한 방향으로 제재되었기 때문에 섬유주행경사는 1등급의 기준인 1 : 16 이하에 해당하였다. Table 2에서 보는 바와 같이 낙엽송은 2등급과 3등급이 30%대로 분류되었으며 1등급도 전체 수의 약 20%정도를 차지하였다.

4.2. 소경각재의 비파괴시험

낙엽송 소경각재에서 응력파의 속도와 초음파의

Table 2. Result of visual stress grading of small square lumbers

	Number of graded small square lumbers				Total
	No. 1	No.2	No.3	No. 4	
Number	26	52	51	9	138
Ratio (%)	18.8	37.7	37.0	6.5	100

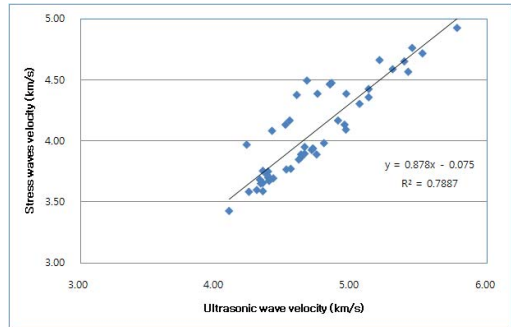


Fig. 3. Relationship between stress wave velocity and ultrasonic wave velocity.

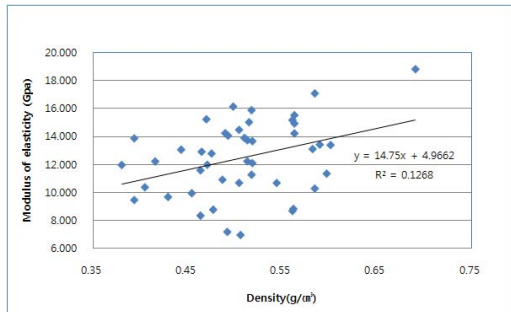


Fig. 4. Relationship between modulus of elasticity and density.

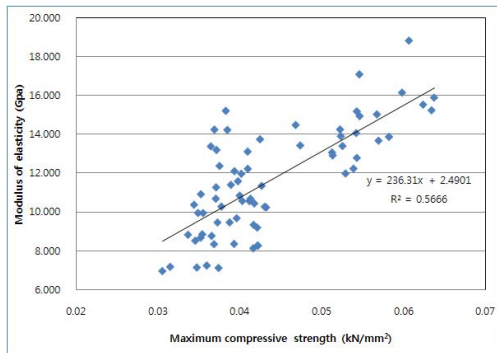
속도 사이의 상관관계를 Fig. 3을 통해 확인할 수 있으며 비록 응력파의 속도가 초음파의 속도보다 조금 낮은 경향을 보이나 매우 높은 상관관계가 있음을 확인할 수 있었다.

4.3. 밀도 및 함수율 측정결과

일본잎갈나무 시험편의 평균밀도는 508 kg/m<sup>3</sup> (0.508 g/cm<sup>3</sup>)이며 평균 함수율은 12.5%를 나타내었다. 비파괴 시험을 통해 확인된 탄성계수와 낙엽송의 밀도 사이의 관계는 Fig. 4와 같이 비례

**Table 3.** Compression strength of small square lumbers

Visual stress grade	Numbers	Ratio (%)	Compressive strength (MPa)
1	13	18.6	40
2	21	30.0	38
3	27	38.6	37
4	9	12.9	36
Total	70	100	



**Fig. 5.** relationship between modulus of elasticity and maximum compressive strength.

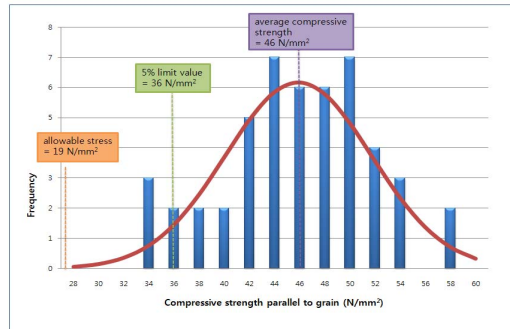
하는 것으로 나타났으나 상관계수는 높지 않았다.

4.4. 압축강도 측정결과

소경각재의 실대재 압축강도 시험 전 실시한 육안 등급 구분에 따라 등급별 압축강도를 Table 3에 나타내었다.

1, 2, 3, 및 4등급이 각각 18.6, 30, 38.6, 및 12.9%를 나타내었으며 일본잎갈나무 시험체 내의 큰 웅이가 존재하여 등급 구분의 주요요인으로 작용되었다. 표를 통해 낙엽송의 육안등급이 높을수록 높은 압축강도를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 낙엽송의 압축강도와 밀도와의 관계는 비례하였으나 상관계수는 밀도와의 관계에서보다 더 낮은 값을 나타내었다. 낙엽송 소경각재에서 탄성계수와 압축강도 사이의 관계는 비례하였으며 상관계수는 Fig. 5를 통해 확인할 수 있었다.

소경각재의 압축강도 시험 결과로부터 압축강도에 대한 허용응력을 산출하기 위하여 압축강도 결과에 대하여 도수분포 그래프를 작성하였다. 또한 정규분포곡선으로 가정하여 정규분포곡선을 구하



**Fig. 6.** allowable compressive strength of small diameter lumbers.

고 이 정규분포곡선으로부터 5% 하한값을 다음의 식 (6)에 의하여 계산하였다.

$$\sigma_{5\%} = \sigma_c - 1.645 \times s_d \tag{6}$$

$\sigma_{5\%}$  : 압축강도의 5% 하한값(MPa)

$\sigma_c$  : 압축강도의 평균값(MPa)

$s_d$  : 압축강도의 표준편차(MPa)

식을 통해 구한 5% 하한값에 안전을 고려한 여러 가지 조정계수를 곱하여 허용응력을 계산하게 된다. 우리나라에서는 아직까지 5% 하한값으로부터 허용응력을 산출할 수 있는 표준화된 방법이 없기 때문에 이 연구에서는 ASTM D 2915 (Standard practice for evaluating allowable properties for grades of structural lumber)의 Table 5를 적용하여 허용응력을 산출하였다. ASTM D 2915에 따르면 강도시험 결과로부터 허용응력을 산출하기 위해서는 안전계수와 함께 10년간의 누적된 하중 작용기간(정상하중) 효과를 고려하여 계수를 적용하도록 하고 있다. 낙엽송 소경각재 압축강도의 5% 하한값에 섬유방향 압축강도 계수를 곱하여 Fig. 8에 표시된 바와 같이 13 MPa의 기준허용 압축응력을 산출할 수 있었다.

소경각재의 실대재 압축시험에서 나타나는 파괴의 형태는 다음과 같으며 큰 웅이 또는 모인 웅이 주변에서 목재가 파괴되는 형태를 나타내었다. 큰 웅이나 모인 웅이 주변에서는 섬유경사를 따라서 파괴가 발생하거나 응력집중이 발생하여 파괴가



Fig. 7. Failure mode of compressive strength test.

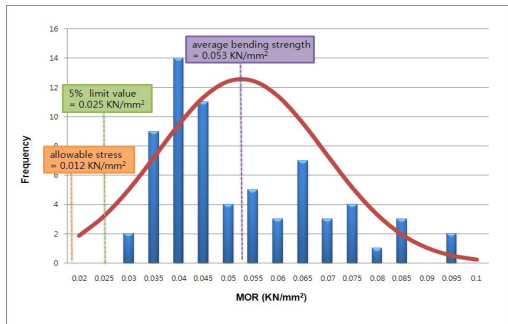


Fig. 8. allowable bending stress of small diameter lumbers.

발생하였다. 일부 시험체에서 접선 단면의 나무결을 따라 전단파괴가 발생하였으며 방사단면에서는 전단응력에 의한 파괴보다는 섬유와 섬유가 서로 눌러서 파괴되는 압착파괴가 일어났다.

4.5. 휨강도 측정결과

소경각재의 실대재 휨강도 시험 전 육안등급 기준에 따라 구분한 후 등급별 MOE 및 MOR을 나타내었다. 육안등급에 따라 MOE와 MOR 또한 감소하는 경향을 나타내었으며 육안 등급이 높을

Table 4. MOE and MOR of small diameter lumbers

Visual stress grade	Numbers	Ratio (%)	MOE (GPa)	MOR (MPa)
1	13	19.1	10.3	49
2	30	44.1	9.5	47
3	21	30.9	9.3	46
4	4	5.9	9.2	45
Total	68	100		

수록 MOE와 MOR이 상승함을 확인할 수 있었다.

소경각재의 휨 하중에 대한 허용응력을 산출하기 위하여 실시된 휨 시험 결과에 대하여 도수분포 막대그래프를 그린 후 정규분포곡선으로 가정하여 정규분포곡선을 구해 위의 기준허용 압축응력 산출과 동일한 방법으로 5% 하한값을 계산하였다. 5% 하한값에 휨 강도 조정계수를 적용하여 12 MPa의 기준 허용 휨응력을 구할 수 있었다.

시험체의 휨 하중 하에서 처짐이 발생하는 처진 부분의 하단에 최대 인장응력이 발생하며 상단에 최대 압축응력이 발생하게 되어 최대 인장응력이 발생하는 부분에서 대부분 파괴가 발생하였으며 특히 웅이나 섬유경사가 존재하는 경우 섬유경사를 따라 인장 및 전단파괴가 발생하였다.

Fig. 9에서와 같이 웅이 주변에서의 다양한 파괴형태를 보여주며 큰 웅이가 인장응력이 작용하는 하단부에서 파괴가 존재하거나 웅이가 인접하여 모여 있음으로써 그 주변을 따라서 섬유경사가 크게 나타나는 경우에는 웅이가 강도에 미치는 영향이 더욱 큰 것으로 관찰되었다.

5. 결 론

소경재의 경우 소경재 단일부재로 사용되기 보다는 다중접착접합부재로 제작되어 기둥재 또는 보부재로 사용될 가능성이 높다. 구조용 집성재의 경우 물리적 특성에 따라 등급을 구분하여 집성시 요구되는 성능을 발휘할 수 있도록 활용하고 있으며 이는 KS 규격을 통해 명시되어 있다. 본 연구에서 시행한 낙엽송 소경각재에 대한 다양한 시험 결과는 소경각재를 구조용재로 사용하기 위한 기초연구로써 소경각재를 활용한 다중접착접합부재

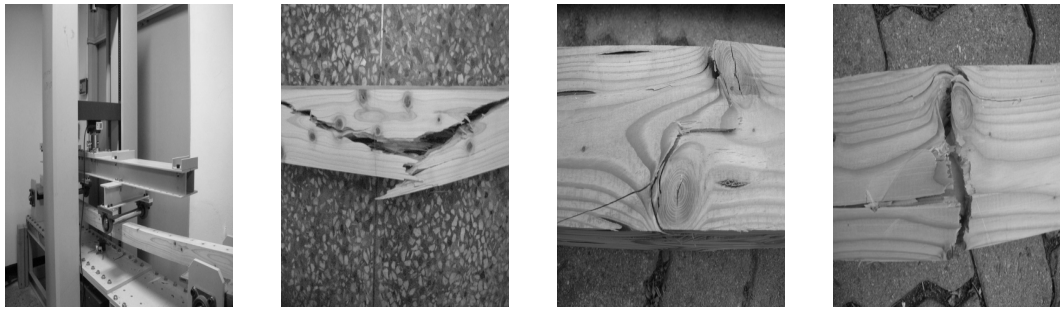


Fig. 9. Failure mode of bending stress test.

Table 5. Mechanical properties and standard of grading of small diameter lumbers

Nondestructive grade	Stress grading (MOE)	Stress wave grading (km/s)	Ultrasonic wave grading (km/s)	MOE (GPa)	MOR (MPa)	Allowable bending stress of (MPa) <sup>(1)</sup>	Modulus of elasticity (GPa)	Compressive strength (MPa)	Allowable compressive stress (MPa) <sup>(2)</sup>
LOW	5 less	2.9 less	2.8 less	3.8	25.3	3.5	3.2	19.1	3.3
E5	5 and over 7 less	2.9 and over 3.3 less	2.8 and over 3.6 less	6.9	38.0	5.9	6.9	23.1	5.6
E7	7 and over 9 less	3.3 and over 3.8 less	3.6 and over 4.4 less	8.1	40.4	7.0	8.2	31.3	7.7
E9	9 and over 11 less	3.8 and over 4.3 less	4.4 and over 5.2 less	10.2	47.8	10.5	10.2	32.1	12.4
E11	11 and over 13 less	4.3 and over 4.7 less	5.2 and over 6.0 less	12.1	49.8	11.5	12.1	34.8	13.8
E13	13 and over 15 less	4.7 and over 5.2 less	6.0 and over 6.8 less	13.8	52.9	13.4	13.8	37.8	15.4
E15	15 and over	5.2 and over	6.8 and over	16.6	54.0	16.1	16.1	43.1	18.2

(1) apply factor from Table. C10 in ASTM D 2915, multiply 5% limit value of MOR by 1/2.1

(2) apply factor from Table. C10 in ASTM D 2915, multiply 5% limit value of compressive strength by 1/1.9

를 구조용재로 사용하기 위한 자료로 활용하고자 한다. 요구되는 성능을 발현할 수 있도록 다중접착 접합부재를 제작하기 위해서는 층재의 배치가 중요하며 층재 배치를 위한 물리적 특성을 구분할 필요가 있다. 본 연구를 통해 얻어진 다양한 시험 결과에 근거하여 산출된 각 등급별 휨 탄성계수, 휨강도, 압축 탄성계수 및 압축강도를 포함한 기계적 성질들을 다음의 Table 5에 정리하였다. 소경각재의 MOE에 근거하여 비파괴 등급을 7등급으

로 구분하였으며 응력파와 초음파의 속도와 MOE와의 상관계수가 높지는 않지만 목재 내의 음 전달 속도를 이용하여 간단하게 MOE를 예측하고 소경각재의 MOE와 MOR 사이의 관계로부터 등급별 휨강도를 결정하는 방법이 가능하며 응력파 또는 초음파의 목재 내 전달 속도에 따른 등급을 구분하면 탄성계수에 따른 등급 구분과 동일하게 7등급으로 구분할 수 있다.

이 연구를 통해 얻어진 국산 낙엽송 소경각재의

기계적 성질들은 국내 목재이용을 위한 기초자료로 활용할 수 있으며 집성재와 같이 목재의 다양한 이용을 위해서는 다양한 접근방법을 통한 연구가 더욱 필요할 것으로 보인다.

## 사 사

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

## 참 고 문 헌

산림청. 2011. 입엽통계연보. 제41호, 서울, 한국.  
한국표준협회. 2004. KS F 2150 목구조용 실대재의 휨 시험 방법. 서울, 한국.

한국표준협회. 2001. KS F 2198 목재의 밀도 및 비중 측정 방법. 서울, 한국.

한국표준협회. 2001. KS F 2199 목재의 함수율 측정 방법, 서울, 한국.

한국표준협회. 2004. KS F 2206 목재의 압축 시험 방법. 서울, 한국.

한국표준협회. 2004, KS F 2208 목재의 휨 시험 방법. 서울, 한국.

한국표준협회. 2005. KS F 3021 구조용 집성재. 서울, 한국.

ASTM. 2009. ASTM D 198:09 Standard test methods of static tests of lumber in structural sizes, USA.

ASTM. 2010. ASTM D 2915:10 Practice for sampling and data-analysis for structural wood and wood-based products. USA.