

국산 침엽수재의 육안 등급구분방법 및 허용응력설정에 관한 총설¹

공진혁² · 정기영^{2,†}

Review of Visual Grading and Allowable Stress Determination Methodologies for Domestic Softwood¹

Jin Hyuk Kong² · Gi Young Jeong^{2,†}

요약

본 연구에서는 국산 침엽수재의 육안 등급구분과 허용응력설정에 관한 국내의 학술논문을 정리하였다. 국립산림과학원 고시(KFRI 1995-27, KFRI 2000-39, KFRI 2007-3, KFRI 2009-1)를 활용하여 국산 낙엽송재의 육안 등급 구분한 연구를 비교한 결과 등급구분 비율이 연구자마다 상이했다. 보다 신뢰할 수 있는 등급구분 분류를 위해서 공증된 목재 이용 기관에서 숙련된 연구자에 의한 등급구분을 시행하여야 할 것으로 사료된다. 허용응력설정에 관한 연구를 고찰한 결과, 연구자마다 허용응력산출 방법이 ASTM D 245, KS F 2152, JAS 1990으로 모두 상이했다. 이는 침엽수 구조용재(KS F 3020)에서 기준허용응력을 제시하고 있지만 허용응력을 산출하는 명확한 방법이 제시되어 있지 않기 때문인 것으로 나타났다. 따라서 공식적인 허용응력 결정방법이 제정되어야 할 것으로 사료된다.

ABSTRACT

The goal of this study was to review the visual grading and allowable stress determination methodologies for the domestic softwood. Previous studies used different grading (KFRI 1995-27, KFRI 2000-39, KFRI 2007-3, KFRI 2009-1) and allowable stress determination methodologies (ASTM D 245, KS F 2152, JAS 1990). The results of the visual grading were different by each researcher. Compared to the 1st grade proportion from the previous studies using the previous specification on visual grading (KFRI 1995-2007), a higher 1st grade proportion was found from the studies using the current specification (KFRI 2009). Compared to the allowable stress values from the small clear sample, the higher allowable stress values from the structural size were found. The results indicated that the strength reduction factor used in small clear sample was too conservative for the different grades. To obtain consistent results for the grade, it is required to have experts in visual grading and authorized organizations. An official standard methodology for the allowable stress value determination needs to be defined for the reliable stress value.

¹ Date Received August 28, 2014, Date Accepted December 5, 2014

² 전남대학교 임산공학과. Department of Wood Science and Engineering, Research Institute for Agriculture & Life Sciences, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro Buk-gu, Gwangju 500-757, Korea

[†] 교신저자(Corresponding author) : 정기영(e-mail: gjeong1@jnu.ac.kr)

Keywords : domestic softwood, visual grading rules, allowable stress, adjustment factor, strength ratio

1. 서 론

친환경 목조건축의 수요가 증가함에 따라 국산재를 활용한 구조재에 대한 관심이 증가하고 있다. 국산재를 구조용재로 사용하기 위해서는 등급구분 및 허용응력산출이 필요하다. 이에 국산 침엽수재의 육안 등급구분과 허용응력설정에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다.

우리나라에서 사용하는 침엽수 구조용재에 대한 육안 등급구분방법 및 규정은 국립산림과학원 고시(KFRI 1995-27, KFRI 2000-39, KFRI 2007-3, KFRI 2009-1), 침엽수 구조용재(KS F 3020), 건축구조기준(KBC 2009)에서 제시하고 있다. 하지만 KBC (2009)의 경우 KS F 3020 (2013)을 인용하고 있으며, KS F 3020 (2013)의 경우 KFRI 1995-27호의 품질기준을 인용하고 있다. 육안 등급구분 기준인 KFRI 1995-27호가 제정된 후 KFRI 2000-39호, KFRI 2007-3호로 개정되어 왔지만 등급별 품질기준의 변경사항은 없었다. KFRI 2009-1 (2009)호로 개정되었을 때 1종 구조재(규격구조재), 2종 구조재(보재), 3종 구조재(기둥재)에 따른 등급별 품질기준에서 용이, 등근모, 할열, 섬유주행경사, 굽음에 관해 각각 1등급 기준을 완화하였고, 2, 3등급은 강화하는 것으로 개정되었다.

육안 등급구분에 관한 선행연구는 개정 전 국립산림과학원 고시(KFRI 1995-27, 2000-39, 2007-3)를 활용하여 낙엽송을 대상으로 연구가 이루어졌고(Lee and Kim 1997; Park and Shim 1998; Oh *et al.* 2000; Lee and Oh 2000; Lee *et al.* 2003; Park *et al.* 2010; Pang *et al.* 2011a), 개정 후 국립산림과학원 고시(KFRI 2009-1)를 활용한 연구도 진행되었다(Pang *et al.* 2011a, 2011b, 2013). 이 중 Lee and Kim (1997)의 연구에서 구조용 집성재의 라미나를 대상으로 등급구분이 진행되었고, Pang *et al.* (2011a, 2011b, 2013)의 연구에서는 낙엽송, 잣나무, 소나무 구조재를 육안 등급구분하여 비교하였다. 하지만 국내의 선

행된 육안 등급구분 관련 연구들은 대부분 낙엽송을 대상으로 이루어져 왔으며, 구조재로 사용 가능한 국내 수종 및 부재크기에 대한 연구가 제한적이었다.

허용응력설정은 크게 무결점 소시편을 이용한 허용응력산출(Oh 1996; Park and Shim 1998)과 실대재를 이용한 허용응력산출(Lee and Oh 2000; Lee *et al.* 2003; Park *et al.* 2010; Pang *et al.* 2011a, 2011b, 2013)로 나눌 수 있다. 국내 침엽수 구조용재의 허용응력설정에 관한 연구는 침엽수 구조용재의 허용성질 결정 방법(KS F 2152, 2004), 구조용재의 등급구분방법 및 허용응력설정에 관한 미국기준(ASTM D 245, 2006), 실대재 허용응력 설정에 관한 기준(ASTM D 1990, 2007), 일본기준(JAS, 1990)이 활용되었다. KS F 2152는 무결점 소시편과 실대재의 허용응력 산출에 관한 내용을 모두 포함하고 있다. ASTM D 245는 허용응력 산출방법에 대한 전반적인 과정 및 무결점 소시편의 조정인자를 포함하고 있고, 실대재의 경우 ASTM D 1990에서 조정인자를 제시하고 있다. ASTM D 2915에서 실험 강도의 5% 하한 값을 산출하는 방법을 제시하고 있다. KS F 2152 (2004)와 ASTM D 245 (2006), ASTM D 1990 (2007)은 무결점 소시편과 실대재 강도의 5% 하한 값에 조정인자를 곱하여 산출하고, JAS (1990)의 기준에서는 무결점 소시편의 평균강도에 강도비를 곱하여 산출한다는 점에서 차이가 있다.

소시편을 이용한 허용응력산출 연구에서 Park and Shim (1998)은 ASTM D 245에 기준하여 낙엽송의 허용응력을 산출하였고, Oh (1996)는 JAS (日本建築學會 1990)에 기준하여 낙엽송, 잣나무, 소나무, 전나무에 대해 허용응력을 산출하였다. 실대재를 이용한 허용응력산출 연구에서 Lee and Oh (2000), Lee *et al.* (2003), Park *et al.* (2010)은 ASTM D 245를 적용하여 낙엽송의 허용응력을 산출하였고, Pang *et al.* (2011, 2011, 2013)은 ASTM D 245, KS F 2152, ASTM D 1990을 적용하여 낙엽송, 잣나무, 소나무의 허용응력을 산출하였다.

Table 1. Comparison of the previous grading methods (KFRI 1995-27, 2000-39, 2007-3) with the current grading method (KFRI 2009-1)

Grading method			Previous methods			Current method		
			KFRI 1995-27, 2000-39, 2007-3			KFRI 2009-1		
Defects		Grade	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
			Diameter ratio of knot	Narrow face		Under 20%	Under 40%	Under 60%
Wide face	Edge	Under 20%		Under 30%	Under 40%	Under 25%	Under 35%	Under 45%
	Centerline	Under 30%		Under 45%	Under 60%	Under 30%	Under 45%	Under 60%
Checks		Splits	No	Less than the width of surface, less than 1/6 of length	Less than the width of 2 times the surface, less than 1/6 of length	Less than the width of the length	Less than the width of 1.5 times the length	Less than the width of twice the length
Slope of grain			Under 1:12	Under 1:8	Under 1:6	Under 1:10	Under 1:8	Under 1:4
Crook			Under 0.2%	Under 0.5%	Under 0.5%	Under 0.3%	Under 0.4%	Under 0.5%

국산재의 허용응력산출에 관한 연구는 대부분 낙엽송을 대상으로 한 휨 허용응력으로 제한적이었으며, 시편 크기에 따라 무결점 소시편과 실대재의 허용응력산출 결과 및 허용응력 산출방법에 따른 결과가 상이하게 나타났다. 연구자들마다 각기 다른 허용응력산출방법을 사용하여 허용응력 값을 산출하였다.

본 연구의 목적은 한국목재공학회지에 게재된 연구문헌 가운데 국산 구조용재에 대한 육안 등급구분 및 허용응력설정을 주제로 다루고 있는 학술논문들의 내용을 정리하였다. 각 연구의 결과를 비교, 분석하여 등급구분 및 허용응력산출방법의 효율적인 방향을 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

선행된 연구에서 사용한 육안 등급구분방법, 허용응력산출방법, 수종, 시편크기에 따른 등급구분결과와 허용응력산출결과를 비교분석 하였다. 육안 등급구분 품질 기준의 개정에 따른 등급 비율의 변화를 알아보기 위해 선행 연구에서 사용한 육안 등급구분 기준에 따른 결과를 정리하였다(KRFI 1995-27, KFRI 2000-39, KRFI 2007-3, KFRI 2009-1). 허용응력산출방법에 따른 소시편 및 실대재의 허용응력의

변화를 비교하기 위해 허용응력산출방법 별로 분석하였다(ASTM D 245, ASTM D 1990, KS F 2152, JAS 1990).

2.1. 육안 등급구분 품질 기준

Table 1은 육안 등급구분에 관한 개정 전 국립산림과학원고시(KFRI 1995-27, KFRI 2000-39, KFRI 2007-3)에서 현행 국립산림과학원고시(KFRI 2009-1)로 개정되었을 때 1종구조재에 대한 등급별 품질기준의 변경사항을 보여준다. 1종구조재의 등급을 결정짓는 주요인자인 용이지름비의 좁은 재면과 넓은 재면에 대해 1등급은 20% 이하인 것에서 25% 이하인 것으로 완화되었지만, 2등급과 3등급은 40% 이하에서 35% 이하, 60% 이하에서 45% 이하인 것으로 각각 강화되었다.

2.2. 허용응력산출방법

Table 2는 소시편과 실대재의 허용응력산출 과정을 보여준다. 무결점 소시편은 휨, 압축, 인장, 전단 실험의 각 강도에 대한 5% 하한 값을 Table 3의 조정인자에 따라 나누고, 허용응력산출 기준(ASTM D

Table 2. Allowable stress calculation process of small clear sample and structural size sample

Sample size	Grading methodology	Grade	Experimental tests	Allowable stress design	Allowable stress value
Small clear sample	N/A	N/A	Bending Compression Tensile Shear	ASTM D 245 KS F 2152 JAS 1990	No. 1 No. 2 No. 3
Structural size sample	KFRI 1995-27 KFRI 2000-39 KFRI 2007-3 KFRI 2009-1	No. 1 No. 2 No. 3	Bending Compression Tensile Shear	ASTM D 1990 KS F 2152	No. 1 No. 2 No. 3

Table 3. Property reduction factors to convert adjusted characteristic values to allowable properties

Standards	Size	F_b	E_b	F_t	$F_{c//}$	F_v	$F_{c\perp}$
ASTM D 245	Small clear	2.1	0.94	2.1	1.9	2.1	1.67
KS F 2152	Small clear	2.1	0.94	2.1	1.9	4.1	1.67
ASTM D 1990	Full size	2.1	1.00	2.1	1.9	4.1	1.5
KS F 2152	Full size	2.1	1.00	2.1	1.9	4.1	1.5

F_b : Bending strength

E_b : Modulus of elasticity in bending

F_t : Tensile strength parallel to the grain

$F_{c//}$: Compressive strength parallel to the grain

F_v : Horizontal shear strength

$F_{c\perp}$: Proportional limit and stress at deformation in compression perpendicular to grain

245, KS F 2152, JAS 1990)에 따라 각 결점에 따른 강도비를 적용하여 등급별 허용응력을 산출한다.

실대재를 이용한 허용응력산출은 등급구분고시(KFRI 1995-27, KFRI 2000-39, KFRI 2007-3, KFRI 2009-1)에 기준하여 등급 구분을 진행한 후 휨, 압축, 인장, 전단 실험을 진행한다. 각 강도에 대한 5% 하한 값을 허용응력산출 기준(ASTM D 1990, KS F 2152)에 따라 Table 3의 보정인자로 나누어 등급별 허용응력을 산출한다.

Table 3은 무결점 소시편의 보정인자(ASTM D 245, KS F 2152)와 실대재 강도 보정인자(ASTM D 1990, KS F 2152)를 보여준다. 휨 강도(F_b), 인장강도(F_t), 섬유평행 압축강도($F_{c//}$)의 보정인자의 경우 크기와 상관없이 세 기준에서 동일한 보정인자를 제시하는 반면, 휨 탄성계수(E_b), 전단강도(F_v), 섬유 직교방향 압축강도($F_{c\perp}$)는 시편크기에 따라 다른 보정인자 값을 제시하고 있다. 무결점 소시편 전단강도

(F_v)에 대해서 2.1과 4.1로 두 기준간(ASTM D 245, ASTM D 1990) 다른 보정인자를 제시하고 있다. 각각의 보정인자는 정상 하중 기간과 안전 계수에 대한 고려를 포함하고 있다.

식 (1), (2)는 KS F 2152, ASTM D 245에서 제시한 무결점 소시편의 허용응력 설정방법을 보여준다. 무결점 소시편의 압축, 인장, 휨, 전단 실험방법(KS F 2206, KS F 2207, KS F 2208, KS F 2209 및 ASTM D 143)을 통하여 강도를 측정하고, ASTM D 2915에 의거하여 강도의 5% 하한 값을 결정한다. 이 값에 Table 3에 제시된 응력의 종류에 따른 조정인자로 나누어 산출한 후 침엽수 구조용재의 육안 등급 구분 방법(KS F 2151, 1999), 소시편 강도 설정에 관한 미국기준(ASTM D 2555, 2011)에 제시되어 있는 각 결점인자의 강도감소비를 곱하여 허용응력을 산출한다. 소시편의 경우 각 응력 등급별로 허용되는 결점에 따라 강도감소비를 곱한다. 이와 같이 계산된

값은 정상 하중 기간 동안의 구조용재에 대한 허용
응력 값을 나타낸다.

$$\sigma_{\text{Allow_KSF 2152}} = \frac{\text{Lower 5\% clear wood strength value}}{\text{Adjustment factor from KSF 2152}} \times \frac{\text{Strength ratio}}{\text{Size factor (bending)}} \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{Allow_ASTM D 245}} = \frac{\text{Lower 5\% clear wood strength value}}{\text{Adjustment factor from ASTM D 245}} \times \frac{\text{Strength ratio}}{\text{Seasoning adjustment} \times \text{Special factor (bending)}} \quad (2)$$

식 (3), (4)는 KS F 2152, ASTM D 1990에서 제시한 실대재의 허용응력 산출방법을 보여준다. 국립산림과학원 고시(KFRI 1995-27, KFRI 2000-39, KFRI 2007-3, KRFI 2009-1)에 따라 육안 등급구분을 진행한 후 각 등급별로 실대재 강도 실험 방법(KS F 2150 및 ASTM D 198, ASTM D 4761)에 따른 실대재의 실험 강도 값의 5% 하한 값을 산출한다. 이 값에 KS F 2152와 ASTM D 1990에서 제시한 조정 인자를 나누어 산출한다.

$$\sigma_{\text{Allow_KSF 2152 from structural size lumber}} = \frac{\text{Lower 5\% strength value of structural size lumber}}{\text{Adjustment factor from KSF 2152}} \quad (3)$$

$$\sigma_{\text{Allow_ASTM D 1990 from structural size lumber}} = \frac{\text{Lower 5\% strength value of structural size lumber}}{\text{Adjustment factor from ASTM D 1990}} \quad (4)$$

식 (5), (6)은 Oh (1996)의 연구에서 채택한 JAS1990의 허용응력설정방법을 보여준다. 단기허용응력은 식 (5)에 따라 무결점 소시편의 기준강도에 각 결점에 따른 강도감소비를 곱하여 산출한다. 장기허용응력은 식 (6)에 따라 단기허용응력에 하중지속기간에 따른 조정인자를 곱하여 산출한다.

$$sf = F_0 \times \frac{2}{3} \times \alpha \quad (5)$$

$$lf = sf \times \frac{1}{2} \quad (6)$$

sf : 단기허용응력

F₀ : 무결점표준시편체의 기준강도

α : 각종 결점에 따른 강도비(= 용이목리경사등근모)

lf : 장기허용응력

$\frac{1}{2}$: 하중지속시간에 따른 조정인자

KS F 2152, ASTM D 245는 실험강도 분포 값 중 5% 하한 값에 Table 3의 조정인자를 곱하고, JAS는 시편의 기준강도에 JAS에서 제시하는 조정인자를 곱하여 허용응력을 산출하는 점에서 차이가 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 육안 등급구분결과

Table 4는 선행 연구자들의 국산 낙엽송, 잣나무, 소나무의 등급구분 관련 연구에 관한 요점을 보여준다. 동일한 등급별 품질기준을 갖고 있는 육안 등급구분에 관한 고시(KFRI 1995-27, KFRI 2000-39, KFRI 2007-3)에 기준하여 국산 낙엽송을 대상으로 등급구분 한 연구결과 등급간 비율에 대한 상이한 결과를 나타냈다(Lee and Kim 1997; Park and Shim 1998; Oh *et al.* 2000; Lee and Oh 2000; Lee *et al.* 2003; Park *et al.* 2010; Pang *et al.* 2011a). 구조재로 적합한 1, 2등급의 비율은 42.7%~80.5%로 각 연구자 마다 등급별 비율의 차이가 크게 나타났다.

개정 전(KFRI 2007-3), 개정 후 국립산림과학원고시(KFRI 2009-1)에 대한 낙엽송과 잣나무를 대상으로 한 육안 등급구분 결과를 비교하였다(Pang *et al.* 2011a). KFRI 2007-3 보다 KFRI 2009-1에 의거하여 등급구분 하였을 때 두 수종 모두 1등급에서 12%~14% 증가하였고 2, 3등급에서 각각 1% 감소, 7~12% 감소하였으며, 구조재로 적합한 1, 2등급의 비율이 높아졌다. 이는 개정 후 등급별 품질 기준에서

Table 4. Grading method, species, size from the previous study

Researcher	Grading Method	Species	Size (mm)	Number of sample	Grade (%)			
					no. 1	no. 2	no. 3	Out of grade
Lee and Kim (1997)	KFRI 1995-27	Larch (<i>Larix leptolepis</i>)	40 × 145 × 3600	194	13.4	29.4	43.8	13.4
Park and Shim (1998)	KFRI 1995-27	Larch (<i>Larix leptolepis</i>)	38 × 88 × 2700	600	40.5	37.7	17.4	4.1
Oh <i>et al.</i> (2000)	KFRI 1995-27	Larch (<i>Larix leptolepis</i>)	38 × 140 × 3600	692	28.6	51.9	14.5	5.1
Lee and Oh (2000)	KFRI 1995-27	Larch (<i>Larix leptolepis</i>)	38 × 140 × 2500	498	29.7	30.9	20.7	18.7
Lee <i>et al.</i> (2003)	KFRI 2000-39	Larch (<i>Larix leptolepis</i>)	38 × 140 × 3000	498	29.7	30.9	20.7	18.7
Park <i>et al.</i> (2010)	KFRI 2007-3	Larch (<i>Larix leptolepis</i>)	38 × 140 × 3600	945	24.9	35.8	24.6	9.5
Pang <i>et al.</i> (2011a)	KFRI 2007-3	Larch (<i>Larix kaempferi</i>)	38 × 140 × 3600	787	34.7	37.7	27.2	0.4
	KFRI 2009-1			48.5	36.2	15.0	0.3	
	KFRI 2007-3	Nut pine (<i>Pinus koraiensis</i>)		497	11.9	47.1	26.4	14.7
	KFRI 2009-1			23.5	46.5	19.7	10.3	
Pang <i>et al.</i> (2011b)	KFRI 2009-1	Larch (<i>Larix kaempferi</i>)	409	66.0	31.0	5.0	N/A	
		Nut pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	187	5.0	51.0	44.0	N/A	
		Pine (<i>Pinus densiflora</i>)	253	13.0	58.0	29.0	N/A	
Pang <i>et al.</i> (2013)	KFRI 2009-1	Larch (<i>Larix kaempferi</i>)	514	71.1	21.5	6.6	N/A	
		Nut pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	255	45.4	40.7	13.7	N/A	

* SS Grade (35.1%) + no. 1 grade (21.3%)

가장 영향이 큰 인자인 용이저름비의 좁은 재면과 넓은 재면에 대해 1등급은 20% 이하인 것에서 25% 이하인 것으로 완화되었지만, 2등급과 3등급은 40% 이하에서 35% 이하, 60% 이하에서 45% 이하인 것으로 각각 강화된 것에 따른 영향인 것으로 보인다.

시편의 크기 별로 낙엽송의 육안 등급 구분한 결과를 비교했을 때, 시편의 폭이 작을수록 1, 2등급의 비율이 높아지는 경향을 보였다. 시편크기 38 × 88 × 2700 mm, 38 × 140 × 3600 mm에서 1, 2등급의 비율이 각각 78%, 80%로 가장 높았으며(Park and Shim 1998; Oh *et al.* 2000), 38 × 140 × 2500 mm 시편은 약 61%였다(Lee and Oh 2000). 가장 큰 폭

을 가진 40 × 145 × 3600 mm 시편에서 1, 2등급의 비율이 43%로 가장 낮은 비율을 나타냈다(Lee and Kim 1997). 시편의 폭 크기에 따라 등급의 차이가 발생하는 이유는 폭이 증가할수록 결점의 포함 비율도 높아지기 때문인 것으로 사료된다.

현행 육안 등급에 관한 국립산림과학원고시(KFRI 2009-1, 2009)에 기준하여 시편 크기에 따른 수종별 등급비율 변화를 알아보기 위해 낙엽송, 잣나무의 육안 등급구분 결과를 비교하였다(Pang *et al.* 2011b; Pang *et al.* 2013). 낙엽송, 잣나무의 1, 2등급을 합친 비율은 38 × 140 mm 크기일 때 각각 92.6%, 86.1%였으며, 120 × 180 mm 크기일 때 97%, 56%였다.

시편 크기가 커짐에 따라 낙엽송은 4% 증가한 반면, 잣나무의 경우 30% 감소하였다. 잣나무의 경우 모인 용이가 많아 단면이 큰 2종구조재인 120 × 180 mm 시편보다 단면이 작은 1종구조재인 38 × 140 mm 시편이 더 유리한 것으로 보인다. 이는 등급을 결정하는데 영향이 가장 큰 인자인 모인 용이가 존재할 가능성이 단면이 클수록 증가하며, KFRI 2009-1의 등급별 품질기준 중 용이지름비의 비율이 2, 3종구조재보다 1종구조재에서 5~15% 더 완화된 기준을 갖고 있기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 KFRI 2009-1의 등급별 품질기준은 낙엽송보다 모인 용이가 많은 잣나무에서 영향이 큰 것으로 나타났다.

육안 등급구분에 관한 선행 연구결과는 같은 수종, 동일한 크기와 기준으로 비교하였을 때 연구자에 따라 등급구분 비율이 상이했다. 또한 수종과 크기, 기준에 따라 구조재로 적합한 1, 2등급의 비율에 차이를 보이는 것을 보아, 보다 신뢰할 수 있는 등급구분분류를 위해서 공증된 목재이용 기관에서 숙련된 연구자에 의한 등급구분을 시행하여야 할 것으로 사료된다.

3.2. 허용응력설정

Table 5는 선행 연구자들의 국산수종의 허용응력 산출에 관한 연구 결과를 보여준다. 소시편을 이용한 허용응력산출의 경우 JAS (1990)와 ASTM D 245 (2006)를 활용한 연구가 진행되었다(Oh 1996; Park & Shim 1998). ASTM D 245와 JAS에 따라 낙엽송 소시편의 허용응력을 비교하였을 때, 휨 허용응력과 인장 허용응력에서 JAS가, 압축 허용응력에서 ASTM D 245가 더 높게 나타났다. ASTM D 245와 JAS에 따른 휨 허용응력과 인장 허용응력은 모두 KBC (2009)에서 제시하고 있는 기준허용응력보다 높게 나타났지만 압축 허용응력은 기준에 못 미쳤다. 소시편을 이용한 허용응력산출 결과의 경우 두 기준 (ASTM D 245 2006, JAS 1990) 모두 등급간의 차이가 확연하게 나타났다. 이는 소시편에 적용되는 임의의 등급별 강도감소비가 실대재의 육안등급구분에 의해 결정된 등급별 강도 차이보다 크게 제시되어

있기 때문인 것으로 사료된다.

실대재의 경우 대부분 ASTM D 245의 기준을 이용하여 허용응력이 산출되었다(Park and Shim 1998; Lee *et al.* 2003; Park *et al.* 2010; Pang *et al.* 2011a, 2011b). 낙엽송 실대재 38 × 88 mm, 38 × 140 mm, 120 × 180 mm 크기별 휨 허용응력 값을 비교하였을 때 1등급은 각각 13.2~14.8 MPa, 2등급은 9.0~13.2 MPa, 3등급은 8.8~9.1 MPa로 부재의 크기와 허용응력 값의 상관관계를 보이지 않은 반면, 잣나무 실대재의 휨 허용응력은 38 × 140 mm의 폭 크기에서 보다 120 × 180 mm에서 더 큰 휨 허용응력 값이 나타났다(Pang *et al.* 2011b).

허용응력산출기준(KS F 2152, ASTM D 245)에 따라 비교하였을 때, 낙엽송의 경우 1등급에서 14.0~16.0 MPa, 2등급은 10.0~13.0 MPa로 비슷한 결과값을 나타냈으나 잣나무의 경우 국내 기준(KS F 2152)을 활용하였을 때 2등급의 휨 허용응력이 4.5 MPa로, 북미 기준(ASTM D 245)을 이용하여 산출한 3등급의 결과인 4.6~6.7 MPa보다 낮거나 비슷한 값을 나타냈다.

국산재의 허용응력산출에 관한 선행 연구에서 사용한 허용응력산출 방법이 서로 상이한 것을 보였으며, 각 기준에서 사용되는 조정인자, 강도감소비, 소시편, 실대재에 따른 허용응력 값의 차이를 보였다. 소시편은 휨, 압축, 인장 허용응력별로 결과 값이 있지만, 등급 별 허용응력의 차이가 커 2, 3등급의 경우 KBC (2009)의 허용응력 기준에 못 미치는 경우가 많다. 실대재의 경우 주로 낙엽송, 잣나무가 활용되어 수종이 제한적이고 휨 허용응력 위주의 연구가 진행되었지만 모두 KBC 2009의 기준 허용응력 값보다 높게 나타났다. 국산 침엽수 중 구조용재로 활용 가능한 낙엽송, 소나무, 잣나무, 삼나무를 대상으로 다양한 크기별 등급구분 및 압축, 인장, 전단허용응력에 대한 추가적인 연구가 이루어져야 할 필요가 있다. 또한 침엽수 구조용재(KS F 3020)에서 허용응력 산출방법을 지정하여 국산재 허용응력 값에 대한 일관성 및 신뢰도를 높일 필요가 있다. 건축구조기준 (KBC, 2009)에서 기준허용응력을 국산재를 활용한 구조설계에 맞는 허용응력산출방법을 지정해야 한다

Table 5. Allowable stress values of different species from the previous study

Researcher	Design	Species	Size (mm)	Grade	Allowable stress (MPa)			
					B ¹	C ²	T ³	S ⁴
KBC (2009)	N/A	Larch		no.1	8.0	9.0	5.5	1.25
				no.2	6.0	6.0	4.0	1.25
				no.3	3.5	3.5	2.5	1.25
		Pine		no.1	7.5	7.5	5.0	1.10
				no.2	6.0	4.5	3.5	1.10
				no.3	3.5	3.0	2.0	1.10
		Nut pine		no.1	6.0	7.0	5.0	0.95
				no.2	5.0	4.5	3.5	0.95
				no.3	3.0	3.0	2.0	0.95
		Japanese cedar		no.1	5.0	6.0	4.0	0.90
				no.2	4.0	4.0	2.5	0.90
				no.3	2.5	2.5	1.5	0.90
Oh (1996)	JAS	Larch (<i>Larix leptolepis</i>)	Small clear	no.1	12.2	7.3	8.8	N/A
				no.2	7.3	4.4	5.8	N/A
				no.3	4.4	2.9	3.4	N/A
		Red pine (<i>Pinus densiflora</i>)	Small clear	no.1	9.3	5.8	6.8	N/A
				no.2	6.3	3.4	4.4	N/A
				no.3	3.4	1.9	2.9	N/A
		Nut pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	Small clear	no.1	9.3	5.8	6.8	N/A
				no.2	6.3	3.4	4.4	N/A
				no.3	3.4	1.9	2.9	N/A
		Needle fir (<i>Abies holophylla</i>)	Small clear	no.1	6.3	3.9	5.8	N/A
				no.2	3.9	2.4	3.9	N/A
				no.3	2.4	1.4	2.4	N/A
Park & Shim (1998)	ASTM D 245	Larch (<i>Larix leptolepis</i>)	Small clear	no.1	9.3	12.0	7.0	N/A
				no.2	5.6	8.0	5.6	N/A
				no.3	3.0	5.0	3.1	N/A
		Larch (<i>Larix leptolepis</i>)	38 × 88 × 2700	no.1	13.3	N/A	N/A	N/A
				no.2	10.3	N/A	N/A	N/A
				no.3	9.6	N/A	N/A	N/A
Lee & Oh (2000)		Larch (<i>Larix leptolepis</i>)	38 × 140 × 2500	no.1	14.8	N/A	N/A	N/A
				no.2	13.0	N/A	N/A	N/A
				no.3	9.1	N/A	N/A	N/A
Lee <i>et al.</i> (2003)		Larch (<i>Larix leptolepis</i>)	38 × 140 × 3000	no.1	14.8	N/A	N/A	N/A
				no.2	13.0	N/A	N/A	N/A
				no.3	9.1	N/A	N/A	N/A
Park <i>et al.</i> (2010)	ASTM D 245	Larch (<i>Larix leptolepis</i>)	38 × 140 × 3600	no.1	16	15	1.9	1.9
				no.2	10	N/A	N/A	N/A
				no.3	9	N/A	N/A	N/A
Pang <i>et al.</i> (2011a)	ASTM D 245	Larch (<i>Larix kaempferi</i>)	38 × 140 × 3600	no.1	14.0	N/A	N/A	N/A
				no.2	10.0	N/A	N/A	N/A
				no.3	8.8	N/A	N/A	N/A
		Nut pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	38 × 140 × 3600	no.1	8.2	N/A	N/A	N/A
				no.2	6.5	N/A	N/A	N/A
				no.3	4.6	N/A	N/A	N/A

Researcher	Design	Species	Size (mm)	Grade	Allowable stress (MPa)			
					B ¹	C ²	T ³	S ⁴
Pang <i>et al.</i> (2011b)	ASTM D 245	Larch (<i>Larix kaempferi</i>)	120 × 180 × 3600	no.1	13.2	N/A	N/A	N/A
				no.2	10.9			
				no.3	9.8			
		Nut pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	120 × 180 × 3600	no.1	9.4	N/A	N/A	N/A
				no.2	7.9			
				no.3	6.7			
		Red pine (<i>Pinus densiflora</i>)	120 × 180 × 3600	no.1	10.5	N/A	N/A	N/A
				no.2	7.8			
				no.3	6.8			
Pang <i>et al.</i> (2013)	KS F 2152	Larch (<i>Larix kaempferi</i>)	38 × 140 × 3000	no.1	14.5	N/A	N/A	N/A
				no.2	9.1			
				no.3	N/A			
		Nut pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	38 × 140 × 3000	no.1	7.9	N/A	N/A	N/A
				no.2	4.5			
				no.3	N/A			

¹ Bending, ² Compression parallel to the grain, ³ Tensile, ⁴ Shear

고 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 국산재의 육안 등급구분과 허용응력설정에 관한 국내 학술논문 결과 정리를 통해, 개선점을 파악하고 앞으로의 연구 방향을 제시하고자 하였다. 동일 기준, 시편 크기, 수종에 따라 육안 등급 구분한 선행 연구결과를 비교한 결과 등급구분 비율이 연구자 마다 상이했다. 보다 신뢰할 수 있는 육안 등급구분 분류를 위해 공증된 목재이용 기관의 교육 및 검증을 통하여 숙련된 연구자에 의한 등급구분을 시행하여야 할 것으로 사료된다.

국산 침엽수의 허용응력산출은 연구자에 따라 다른 방법을 사용했으며, 결과도 각 연구에 따라 상이했다. 소시편을 사용한 허용응력산출 결과는 강도감소비에 의해 실대재의 등급별 허용응력 값 보다 1, 2, 3등급에서 각각 29%, 48%, 69% 낮은 결과를 보였다. 이는 소시편의 허용응력산출에 적용되는 등급별 강도감소비가 높게 설정되어있기 때문인 것으로 사료된다. 허용응력설정에서 실대재를 사용한 경우 구조재 크기에 따른 강도를 산출할 수 있는 장점이

있지만 제한된 국산재와 다양한 수종을 이용하는데 있어 현실성이 부족하다. 소시편을 활용하여 수종, 등급, 응력의 종류에 따른 보다 신뢰할 수 있는 강도감소비를 적용한 허용응력설정 체계에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 산림청 “산림과학기술개발사업(과제번호 : S121414L040110)”의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

REFERENCES

- ASTM D 143-14. 2014. Standard test methods for small clear specimens of timber. American society for testing and materials. West Conshohocken, PA. United States.
- ASTM D 198-13. 2013. Standard methods of static tests of lumber in structural sizes. American society for testing and materials. West Conshohocken, PA. United States.

- ASTM D 245-06 2011. Standard Practice for establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA. United States.
- ASTM D 1990-07. 2007. Standard practice for establishing allowable properties for visually-graded dimension lumber from in-grade tests of full-size specimens. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA. United States.
- ASTM D 2555-06. 2011. Standard Practice for Establishing Clear Wood Strength Values. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA. United States.
- ASTM D 2915-10. 2010. Standard Practice for Sampling and Data-Analysis for Structural Wood and Wood-Based Products. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA. United States.
- ASTM D 4761-13. 2013. Standard test methods for mechanical properties of lumber and wood-base structural material. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA. United States.
- JAS. 1990. Japanese agricultural standard. Japanese Agricultural Standard Association.
- KFRI notification 1995-27. Korea Forest Research Institute.
- KFRI notification 2000-39. Korea Forest Research Institute.
- KFRI notification 2007-3. Korea Forest Research Institute.
- KFRI notification 2009-1. Korea Forest Research Institute.
- Korean Building Code 2009. Minister of Land, Transport and Maritime Affairs notification 2009-1245.
- KS F 2206. 2004. Method of compression test for wood. Korean Standard Association.
- KS F 2207. 2004. Method of tension test for wood. Korean Standard Association.
- KS F 2208. 2004. Method of bending test for wood. Korean Standard Association.
- KS F 2009. 2004. Method of shear test for wood. Korean Standard Association.
- KS F 2150. 2004. Method of static bending test for full sized structural lumber. Korean Standard Association.
- KS F 2151. 1999. Visual grading for softwood structural lumber. Korean Standard Association.
- KS F 2152. 2004. Establishing allowable properties of softwood structural lumber. Korean Standard Association.
- KS F 3020. 2013. Softwood structural lumber. Korean Standard Association.
- Lee, J.-J., Kim, K.-C. 1997. Study of predicting the strength of structural glulam. Proceedings of the Korean society of wood science and technology. 1997(1): 47-53.
- Lee, J.-J., Kim, G.-C., Kim, K.-M., Oh, J.-K. 2003. Distribution characteristics of bending properties for visual graded lumber of Japanese larch. Journal of The Korean Wood Science and Technology 31(5): 72-79.
- Oh, J.-K., Kim, K.-C., Lee, J.-J. 2000. Characteristics of knot distribution of domestic and grading using MSR (Machine Stress Rating) machine. Proceedings of the Korean society of wood science and technology. 2000(1): 41-47.
- Oh, S.-C. 1996. Assignment of the allowable design values for domestic softwood structural lumber - structural I-grade -. Journal of The Korean Wood Science and Technology 24(1): 11-16.
- Pang, S.-J., Oh, J.-K., Park, C.-Y., Park, J.-S., Park, M.-J., Lee, J.-J. 2011. Characteristic evaluation of bending strength distributions on revised Korean visual grading rule Journal of The

- Korean Wood Science and Technology 39(1): 1-7.
- Pang, S.-J., Park, J.-S., Hwang, K.-H., Jeong, G.-Y., Park, M.-J., Lee, J.-J. 2011. Bending Strength of Korean softwood species for 120 × 180 mm structural members. Journal of The Korean Wood Science and Technology 39(5): 444-450.
- Pang, S.-J., Lee, J.-J., OH, J.-K. 2013. Evaluation of Allowable Bending Stress of Dimension Lumber; Confidence Levels and Size-adjustment. Journal of The Korean Wood Science and Technology 41(5): 432-439.
- Park, C.-Y., Pang, S.-J., Park, J.-S., Kim, K.-M., Park, M.-J., Lee, J.-J. 2010. Study of the distribution properties and LRFD code conversion in Japanese larch. Journal of The Korean Wood Science and Technology. 38(2): 94-100.
- Park, M.-J., Shim, K.-B. 1998. Determining system for allowable stress of domestic structural timber. Proceedings of the Korean society of wood science and technology. 1998: 127-133.