

개정된 육안등급 구분에 따른 휨강도 특성 평가*¹

방성준*² · 오정권*² · 박천영*³ · 박주생*⁴ · 박문재*⁴ · 이진제*^{2,3†}

Characteristic Evaluation of Bending Strength Distributions on Revised Korean Visual Grading Rule*¹

Sung-Jun Pang*² · Jung-Kwon Oh*² · Chun-Young Park*³ · Joo-Saeng Park*⁴ ·
Mun-Jae Park*⁴ · Jun-Jae Lee*^{2,3†}

요 약

최근 재종에 따른 등급별 품질기준 및 결점의 측정방법이 개정되었다. 외국 규격과의 호환성을 비롯하여 보다 현실에 맞고 적용하기 쉽게 개선하기 위해서는 개정에 따른 구조용제재의 구조성능에 대한 고찰이 필요하다. 본 연구에서는 국산 침엽수재 중 대표적으로 사용되는 낙엽송과 잣나무를 대상으로 구조용제재 규정 개정에 따른 휨강도 성능을 구명하였다. 개정된 등급구분규정은 구조재로 적합한 1, 2등급의 비율을 높인다는 측면과 1, 2 등급과 3등급 이하 등급과의 구분을 보다 명료하게 한다는 점에서 개정전의 등급구분에 비해 효과적인 것으로 나타났고, 각 등급별 5% 하한치와 허용응력은 전체적으로 감소하였다. 특히, 건축구조기준(KBC 2009)에서 제시하고 있는 기준허용응력은 실대재 실험값에 비해 더 낮은 값을 제시하고 있으므로 보다 정확한 허용응력의 사용과 효율적인 구조설계를 위해서는 기준허용응력의 개선 또한 필요할 것으로 판단된다.

*¹ 접수 2010년 7월 7일, 채택 2010년 9월 2일

*² 서울대학교 농업생명과학연구원. Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

*³ 서울대학교 산림과학부 환경재료과학전공 목구조연구실. Lab. of Timber Engineering, Program in Environmental Materials Science, Department of Forest Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

*⁴ 국립산림과학원 녹색자원이용부. Department of Forest Resources Utilization, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 이진제(e-mail: junjae@snu.ac.kr)

ABSTRACT

Recently, the visual grading rule of Korea Forest Research Institute (KFRI) was revised and it is necessary to investigate the distribution characteristics of visual graded lumber in accordance with the revised rule. Therefore, in this study, the distribution characteristics of bending strength was investigated with revised visual grading rule and changed prior rule, respectively. The size of specimens was $38 \times 140 \times 3,000$ (mm) and the species were *Larix kaempferi* and *Pinus koraiensis*. The moisture content was under 18% and the specimens were tested in accordance with ASTM D-198. The number of No. 1 and 2 grades, suitable for structural lumber, was increased when the revised visual grading rule was applied. Moreover, the revised rule was more effective to distinguish sharply between No. 1 and 2 grades and below No. 3 grade. Meanwhile, the lower 5% exclusion limit and allowable stresses were generally decreased when revised visual grading rule had been applied. However, the announcement of Korea Forest Service, tested with small clear specimen, was much lower than the allowable stresses of this test, tested with structural lumber. Therefore, the revision of allowable design values should be considered for more exact use and effective structural design.

Keywords: visual grading rule, bending strength (MOR), allowable design values, softwood structural lumber

1. 서 론

전 세계적인 기후변화의 영향으로 산림의 중요성이 더욱 부각되고 있으며, 탄소배출권 확보를 위한 체계적인 산림 경영과 더불어 산림자원의 효율적인 이용이 중요시되고 있다. 산림자원의 부산물인 목재는 재생 가능한 천연자원으로서 철강재 등의 다른 소재와 비교하여 가공에 따른 탄소배출량이 적고 장기적으로 탄소를 저장할 수 있는 장점이 있다(산림청, 2009). 이에 따라 국산재의 부가가치를 높이고, 이용의 효율성을 높이기 위한 연구가 수행되고 있으며, 특히, 탄소배출이 적은 목조주택, 목조 시설물 등에 활용되는 구조용 부재에 대한 연구는 건설산업과 사회·문화적 측면에 있어서도 매우 중요하다(임업연구원 1998).

목재를 구조용도로 사용하기 위해서는 등급에 따른 성능평가가 필수적이며, 해외(미국, 일본 등)에서는 제재의 응력등급구분에 관한 규정을 범규화하여 사용하고 있다(WWPA Grading Rules '91, 全國木材

組合聯合會編, 1992). 우리나라 또한 한국산업규격(KS F 3020)과 건축구조기준(KBC 2009)에 등급구분에 따른 기준허용응력을 규정하고 있으나, 실효를 거두기 위해서는 국산재를 적용한 연구를 통하여 외국 규격과의 호환성 등의 미비점을 꾸준히 보완 하여야 한다.

오 등(1993, 1995)은 미국의 등급구분규정에 국산재를 적용하기 위해서는 세심한 고려가 필요함을 밝혔고, 국산재에는 국내의 등급체계에 따른 허용응력을 별도로 산정하여 적용하는 것이 타당하다고 보고하였다. 그리고 임업연구원(1998)은 국산재의 실험 결과를 분석하여 구조용제재의 허용응력 결정체계를 개발하는 연구를 수행하였다. 한편, 세계적 추세가 신뢰성 설계(Reliability-Based Design)로 전환되면서 국산재의 신뢰성 설계를 위한 연구가 수행되었고(이 등, 2003; 박 등, 2004; Park *et al.*, 2010), 휨 허용응력을 상향 조정하여 보다 효율적으로 사용할 수 있음이 제시되었다. 이러한 연구 성과와 국내의 관련 규격을 근거로 최근 재종에 따른 등급별 품질기준 및

Table 1. Results of visual grading

Grade	Number of Specimens			
	<i>Larix kaempferi</i>		<i>Pinus koraiensis</i>	
	2007	2009	2007	2009
No. 1	273 (34.7%)	382 (48.5%)	59 (11.9%)	117 (23.5%)
No. 2	297 (37.7%)	285 (36.2%)	234 (47.1%)	231 (46.5%)
No. 3	214 (27.2%)	118 (15.0%)	131 (26.4%)	98 (19.7%)
Under No. 3	3 (0.4%)	2 (0.3%)	73 (14.7%)	51 (10.3%)
Total	787 (100.0%)		497 (100.0%)	

Table 2. Diameter ratios of knot for visually grading

Grade	2007			2009		
	Narrow face	Wide face		Narrow face	Wide face	
		Edge Knots	Centerline Knots		Edge Knots	Centerline Knots
No. 1	under 20%	under 20%	under 30%	under 25%	under 25%	under 30%
No. 2	under 40%	under 30%	under 45%	under 35%	under 35%	under 45%
No. 3	under 60%	under 40%	under 60%	under 45%	under 45%	under 60%



Fig. 1. Test set-up for evaluating the bending strengths of specimens (third-point loading).

결점의 측정방법이 개정되었다(국립산림과학원 2009).

침엽수의 구조용제재에 대한 규정은 산림청고시(1995-27호)에 의거하여 제정된 후, 두 번의(2000, 2007)의 개정이 있었다. 그리고 최근 개정된 규정(국립산림과학원고시 제2009-1호)에는 용어, 표준치수, 허용오차 등의 변경이 있고, 특히, 등급구분에 영

향하는 결점사항 중 목재의 강도 감소에 가장 큰 영향을 주는 인자로 알려진 옹이지름비의 반영 기준에 대한 변경이 포함되어 있다(Oh *et al.*, 2010). 그러나 개정된 규정에 따른 구조용제재의 등급별 성능특성은 고찰되지 않았고, 구조용제재 규정을 보다 현실에 맞고 적용하기 쉽게 보완하기 위해서는 국산재를 대상으로 검토될 필요가 있다.

본 연구에서는 국산 침엽수재 중 대표적으로 사용되는 낙엽송과 잣나무를 대상으로 구조용제재 규정 개정에 따른 휨 강도 성능을 구명하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 재료

국산 침엽수재 중 구조재로 이용 가능한 낙엽송(*Larix kaempferi*)과 잣나무(*Pinus koraiensis*)를 공시 수종으로 선정하였으며, 목조주택의 경골목조공법에 주로 사용되는 크기인 2 × 6 (38 mm × 140 mm), 길이 3,000 mm인 제재목을 사용하였다. 모든

Table 3. Results of MOR

Grade	MOR (MPa)			
	<i>Larix kaempferi</i>		<i>Pinus koraiensis</i>	
	2007	2009	2007	2009
No. 1	61.7 (0.25)*	57.8 (0.28)	41.1 (0.31)	38.6 (0.34)
No. 2	47.6 (0.32)	46.5 (0.34)	30.6 (0.39)	28.5 (0.39)
No. 3	44.1 (0.36)	43.5 (0.36)	27.2 (0.41)	26.8 (0.41)

* Coefficient of Variation.

Table 4. Comparison of Square Errors ($\times 10^{-3}$)

Distribution	<i>Larix kaempferi</i>						<i>Pinus koraiensis</i>					
	2007			2009			2007			2009		
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
Weibull	0.40	0.09	0.31	0.21	0.24	0.19	0.10	0.31	0.10	0.09	0.16	0.07
Normal	0.48	0.11	0.30	0.34	0.24	0.26	0.37	0.35	0.18	0.12	0.21	0.19
Lognormal	1.81	0.42	0.29	1.33	0.37	0.40	0.14	0.04	0.11	0.30	0.07	0.19

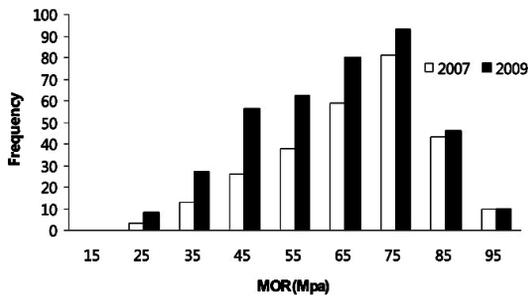


Fig. 2. Histogram of MOR for No. 1 grade (*Larix kaempferi*).

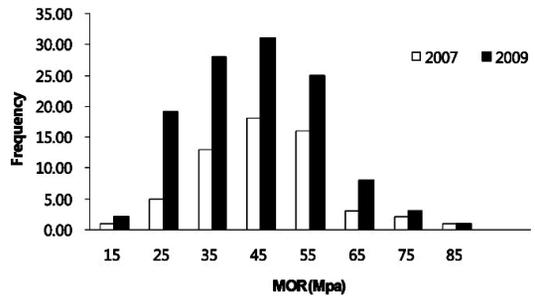


Fig. 3. Histogram of MOR for No. 1 grade (*Pinus koraiensis*).

부재는 함수율 18% 이하로 건조하였으며, 시편 수 및 등급구분 결과는 Table 1과 같다.

중으로 실시하였다(Fig. 1). 스펠은 2.7 m, 하중속도는 10 mm/min으로 하였다.

2.2. 시험방법

육안등급구분은 국립산림과학원 고시 '제2007-3호(2007. 3. 29)'와 개정된 고시인 '제2009-1호(2009. 2. 11)'의 제재목 육안 등급 구분 기준을 각각 적용하여 1등, 2등, 3등, 및 등외로 등급구분하였다. 휨강도 실험은 ASTM D-198에 준하였고, 만능강도시험기(Zwick Co., Ltd.)를 사용하여 3등분점에 의한 4점하

3. 결과 및 고찰

Table 1은 낙엽송과 잣나무를 개정 전(국립산림과학원 고시 제2007-3호)과 개정 후(국립산림과학원 고시 제2009-1호)의 규정에 맞추어 각각 육안등급한 결과이며, 각각의 규정에 의한 등급별 시편 수와 등급별 비율을 보여준다. 2009년 개정된 등급구분기준을 적용하였을 때 두 수종 모두 1등급의 비율은

Table 5. Comparison of 5 percentile value (MOR)

Grade	5 percentile value (MPa)					
	<i>Larix kaempferi</i>			<i>Pinus koraiensis</i>		
	2007	2009	Ratio (%)*	2007	2009	Ratio (%)
No. 1	33.7	29.7	-11.7	19.8	17.5	-11.5
No. 2	22.8	21.3	-6.8	14.7	13.9	-5.4
No. 3	19.6	18.7	-4.5	10.5	9.7	-7.4

* Decreasing rate of 5% value at 2009 to 2007; (2009-2007)/2007.

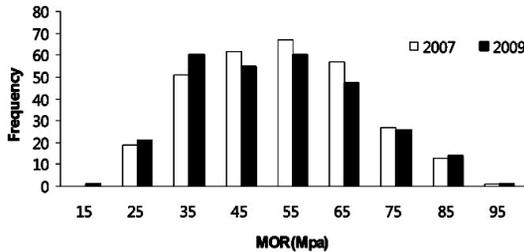


Fig. 4. Histogram of MOR for No. 2 grade (*Larix kaempferi*).

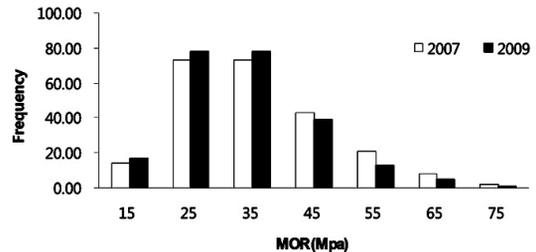


Fig. 5. Histogram of MOR for No. 2 grade (*Pinus koraiensis*).

10% 이상 증가하는 경향을 보였지만, 그 외 등급의 비율은 모두 감소하였다. 그리고 구조재로 적합한 1, 2등급을 합한 경우는 두 수종 모두에서 10% 이상 증가하였다.

이는 개정 전·후의 육안등급기준을 비교하였을 때, '침엽수 1종 구조재의 등급별 품질기준' 중 용이 지름비 반영 비율의 변화에 따른 영향으로 판단된다. 즉, 1등급의 경우, 용이 지름비의 비율이 좁은 재면과 넓은 재면의 가장자리에서 모두 20%에서 25%로 완화된 반면, 2등급과 3등급의 경우는 5% 이상씩 강화되었기 때문이다(Table 2). 개정된 등급구분기준에서 이러한 용이 지름비 반영 기준의 변화는 현재 목재의 자급률이 낮은 국내 실정을 감안할 때, 구조재로 적합한 1, 2등급의 비율을 높여 목재를 효율적으로 사용할 수 있다는 측면에서 개정전의 등급구분에 비해 효과적일 것으로 판단된다.

한편, 등급별 휨 강도(MOR) 도수(Frequency)를 보면, 1등급의 경우 두 수종 모두 전체적으로 도수가 증가하였고(Figs. 2 and 3), 2등급의 경우는 45 Mpa를 기준으로 45 Mpa 이상의 도수는 증가한 반면 45

Mpa 미만의 도수는 감소하였다(Figs. 4 and 5). 그리고 3등급은 전체적으로 도수가 감소하는 경향을 보였다(Figs. 6 and 7). 이는 개정된 등급구분이 구조용재로 적합한 1, 2 등급과 3등급 이하와의 구분을 보다 명료하게 한다는 점에서도 개정전의 등급구분에 비해 우수성이 있다는 것을 의미한다.

Table 3은 등급별 평균 휨 강도와 변동계수(coefficient of variation)를 Table 4는 가장 적합한 분포모형을 선택하기 위한 root mean square errors (RMSE)를 보여준다. 본 연구에서는 확률 기반 설계법(Probability based design, PBD)의 적용시 기초 자료로 사용될 수 있도록 하고자 정규분포, 대수정규분포, 웨이블 분포를 대상분포로 가정하여 RMSE를 산출하였고, 각 수종 및 등급에서 적합하다고 평가된 분포를 사용하여 목재의 역학적 성질로 사용되는 5% 하한치를 각각 산출하였다(Table 5). RMSE 결과(Table 4)에 의하면, 수종 및 등급에 관계없이 웨이블 분포 및 대수정규분포가 가장 작은 값을 갖는 것으로 나타났다. 이는 기존의 실대재 휨성능 분포연구(이 등, 2003; 국립산림과학원, 2008; 2009)에서도

Table 6. Comparison of allowable stresses (MOR)

Grade	Allowable bending stress								
	<i>Larix kaempferi</i>				<i>Pinus koraiensis</i>				
	2007	2009	Lee*	KFRI**	KBC***	2007	2009	KFRI**	KBC***
No. 1	16.0	14.1	15.0	13.6	8.0	9.4	8.3	9.0	6.0
No. 2	10.9	10.1	13.0	10.6	6.0	7.0	6.6	4.7	5.0
No. 3	9.3	8.9	9.3	9.8	3.5	5.0	4.6	4.6	3.0

* Research test result of Lee *et al.* (2003).

** Research report of Korea Forest Research Institute, tested with structural timber (1998).

*** Korean Building Code, tested with small clear specimen (2009).

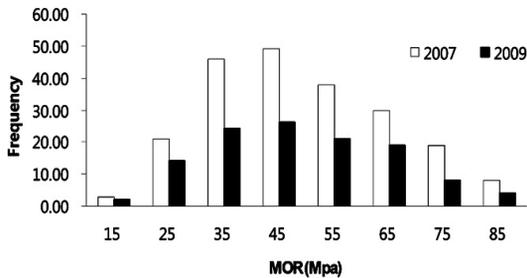


Fig. 6. Histogram of MOR for No. 3 grade (*Larix kaempferi*).

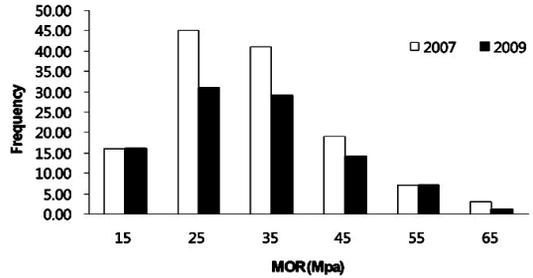


Fig. 7. Histogram of MOR for No. 3 grade (*Pinus koraiensis*).

보고 되었듯이, 대칭형태를 가지는 정규분포보다는 한쪽으로 편향되는 웨이블 분포나 대수정규분포가 더 적합하다는 것을 보여주며, 정규분포로 가정하고 허용응력을 산출하는 경우 재료의 강도특성을 저평가하는 경향 (Durran *et al.*, 1997; 1998)이 있음을 의미한다.

대상분포에 사용된 웨이블 분포, 정규분포, 대수정규분포의 확률밀도함수와 5% 하한치 계산식은 다음과 같다(Breyer, 1993).

웨이블분포:

$$f_T(t) = -\overline{F}_T(t) = \lambda(t) \exp\left[-\int_0^t \lambda(s) ds\right] \quad (1)$$

$$= \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) t^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{t^\alpha}{\beta}\right) I_{(0,\infty)}(t)$$

$$5\% \text{ 하한치: } 5\% = \beta(-\ln 0.95)^{\frac{1}{\alpha}}$$

정규분포:

$$f_x(x) = f_x(x, \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

$$-\infty < x < \infty, -\infty < \mu < \infty, 0 < \sigma \quad (2)$$

$$5\% \text{ 하한치: } 5\% = \mu - (\sigma \times 1.645)$$

대수정규분포:

$$f_x(x) = f_x(x, \mu, \sigma^2) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - \mu)^2\right]$$

$$0 < x < \infty, -\infty < \mu < \infty, 0 < \sigma \quad (3)$$

$$E(X) = e^{\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right)}$$

$$Var(X) = e^{2\mu+2\sigma^2} - e^{2\mu+\sigma^2}$$

$$5\% \text{ 하한치: } 5\% = \exp(\mu - (\sigma \times 1.645))$$

개정 전(2007)에 비하여 개정 후(2009)에 평균 휨 강도(Table 3)와 5% 하한치(Table 5)가 전체적으로 감소하였고, 특히, 1등급의 감소폭이 가장 크게 나타났다. 이는 한 단면의 중립축 근처에 있는 웅이보다는 양쪽 측면에 가까이 있는 웅이가 휨 강도 성능에 더 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있듯이(장 1989), 1등급 웅이지름비에서 넓은 재면의 중앙부는 변화가

없지만, 좁은 재면과 넓은 재면의 가장자리에서는 완화되었기 때문에 판단된다(Table 2).

본 연구의 결과와 기존에 제시된 허용응력 값을 비교하기 위하여 Table 5에 제시된 5% 하한치를 보정인자인 2.1로 나누어 허용응력 값을 도출하였다(Table 6). 비록, 개정 후의 5% 하한치와 허용응력 값이 개정 전에 비하여 다소 감소하는 경향이 있었지만, 실대재 시험편을 사용하고 적합한 분포특성을 고려하여 산출한 다른 연구(임업연구원, 1998; 이 등, 2003)에서 제시한 허용응력(KFRI, 1998; Lee *et al.*, 2003)과 비교할 때는 유사한 결과를 보였다. 즉, 개정에 따른 휨 강도의 감소폭이 다른 연구에서의 휨 강도 결과값과의 차이보다 적었다. 그리고 무결점 소시험편으로 실험한 결과인 건축구조기준(KBC 2009)에서 제시하고 있는 기준허용응력은 실대재 실험값에 비해 더 낮은 값을 제시하고 있으므로, 보다 정확한 허용응력의 사용과 효율적인 구조설계를 위해서는 허용응력의 상향 조정이 필요하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서 침엽수 구조용제재 규정 개정에 따른 육안 등급구분과 등급 내 휨강도 성능의 변화를 고찰하였다. 개정된 등급구분규정은 구조재로 적합한 1, 2등급의 비율을 높인다는 측면과 1, 2등급과 3등급 이하의 구분을 보다 명료하게 한다는 점에서 개정 전의 등급구분에 비해 효과적인 것으로 판단된다. 한편, 5% 하한치와 허용응력은 전체적으로 감소하였다. 그러나 건축구조기준(KBC 2009)에서 제시하고 있는 기준허용응력은 실대재 실험값에 비해 더 낮은 값을 제시하고 있으므로 보다 정확한 허용응력의 사용과 효율적인 구조설계를 위해서는 허용응력의 개선 또한 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 국립산림과학원고시. 2007. 제2007-3호 침엽수 구조용제재 규격.
2. 국립산림과학원고시. 2009. 제2009-1호 침엽수 구조용제재 규격.
3. 국립산림과학원. 2008. 실대 구조부재의 등급내 구조 성능 평가(낙엽송).
4. 국립산림과학원. 2009. 구조부재의 등급별 구조성능 평가(잣나무).
5. 국토해양부고시. 2009. 제2009-1245호. 건축구조기준(KBC 2009).
6. 박천영, 김호기, 이진제. 2004. 국산 낙엽송 부재에 대한 ASD에서 RBD로의 코드 전환에 관한 연구. 목재공학 32(5): 25~50.
7. 산림청. 2009. 산림과 임업 동향에 관한 연차보고서. p. 236.
8. 산림청고시. 1995. 제1995-27호 침엽수 구조용제재 규격.
9. 오세창, 박문재, 심근. 1993. 국산 침엽수 2 × 4 구조재의 응력등급에 관한 연구. 한국가공학회지 4(1): 8~13.
10. 오세창. 1995. 국산 침엽수구조재의 허용응력설정에 관하여 1종 구조재를 중심으로. 목재공학 24(1): 11~16.
11. 이진제, 김광철, 김광모, 오정권. 2003. 육안등급으로 구분된 낙엽송 제재목의 휨성능 분포 특성. 목재공학회 31(5): 72~79.
12. 임업연구원. 1998. 국산재의 신수요 개발. 농림부. pp. 37~94.
13. 임업연구원고시. 2000. 제2000-39호 침엽수 구조용제재 규격.
14. 한국산업규격. 2007. KS F 3020. 침엽수 구조용제.
15. 장상식. 1989. 목재의 허용응력의 측정 및 수정. 목재공학 17(2): 74~83.
16. American Society for Testing and Materials. 1994. ASTM D-198. Standard Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes.
17. Breyer, D. E. 1993. Design of wood structures. 3rd Ed. pp. 189~207.
18. Oh, J. K., K. M. Kim, and J. J. Lee. 2010. Use of Adjacent Knot Data in Predicting Bending Strength of Dimension Lumber by X-Ray. Wood and Fiber Science 24(1): 10~20.
19. Park, C. Y., S. J. Pang, J. S. Park, K. M. Kim, M. J. Park, and J. J. Lee. 2010. Study of the distribution properties and LRFD code conversion in Japanese larch. Mokchae Konghak 38(2): 94~100.
20. Western Wood Product Association. 1991. Standard grading rules for Western Lumber. WWPA, Portland, Oregon.
21. 全國木材組合聯合會編. 1992. 針葉樹の構造用製材の日本農林規格解説. 全國木材組合聯合會.