

국산 침엽수구조재의 허용응력설정에 관하여*1

— 1종 구조재를 중심으로 —

오 세 창*2

Assignment of the Allowable Design Values for Domestic Softwood Structural Lumber*1

— Structural I-grade —

Sei-Chang Oh*2

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present a summary of assignment design values according to domestic softwood structural lumber grading rules. Allowable stresses for visually graded lumber were determined from basic data on small, clear specimens. The data corrected for variability such as natural defects and other factors. The procedure adopted by Japan was used for assigning allowable design values. Strength ratios in relation to each defect were taken from ASTM D 245-81. Korean pine (*Pinus koraiensis* S. et Z.), Korean red pine (*Pinus densiflora* S. et Z.), Japanese larch (*Larix leptolepis* Gordon) and Needle fir (*Abies holophylla* Max.) were applied to this study. The calculated allowable stresses were same in Korean pine and Korean red pine. These values were highest in Japanese larch, lowest in Needle fir. So, it is desirable for these species to be classified into different categories, Species Group.

However, accurate comparison in design values on lumber grading rules among U.S., Japan and Korea was somewhat difficult. And full scale testing will be necessary for accurate determination of the correction factors to setting up design values.

Keywords : Allowable design values, strength ratios, visually graded lumber, Korean pine, Korean redpine, Japanese larch, Needle fir, correction factors

*1 접수 1995년 8월 4일 Received, 1995

*2 대구대학교 자연자원대학 College of Natural Resources, Taegu University, Kyongsan 713-714, Korea

1. 서 론

현재 국내에서 사용되는 구조부재로서의 목재는 대부분 북미등지에서 수입되는 침엽수재가 주류를 이루고 있으며 이 목재들은 자국의 등급규정(U.S. Dept. of Commerce, 1986 : WWPA, 1991) 및 이에 따른 허용응력치(NFPA, 1991)가 설정되어 있어 이용상 상당히 편리한 점이 많다. 반면 추후 구조부재로서 사용이 기대되는 국산 침엽수재에 관해서는 관련 응력등급규정과 등급구분에 따른 허용응력의 설정이 미비하여 목구조물의 설계 및 시공에 있어서 용도가 크게 제한되어 있는 실정이다. 특히 '90년대들어 지속적인 증가추세를 보이고 있는 목구조택의 건식공법으로서의 뛰어난 장점으로 인하여 향후에는 그 보급이 급속하게 확대될 것으로 기대되는 상황에서 목구조주택을 위시한 목구조물의 설계와 축조에 있어서 가장 중요시되는 것은 주요 구조부재의 규격화와 사용재료인 제재목의 응력등급체계 및 허용응력의 설정이다. 구조부재의 규격화와 응력등급체계는 기존의 제재규격에 "침엽수 구조용 제재규격"(안)(임업연구원, 1995)이 포함되어 곧 고시될 예정(1995. 11. 8. 고시)으로 있으나 이 규격에 따른 허용응력의 산정이 미흡하여 구조부재의 설계시 응력의 산정 및 구조안전설계에 있어서 국산침엽수제재목의 사용에 장애가 될 것으로 사료된다.

재료의 허용응력은 외력에 대해 구조부재의 안전성을 확보하기 위한 것으로 설계시 각 부재에 생기는 응력이 어느 한계 이상을 넘지 않도록 정한 일정한도의 응력이며 보통 허용응력은 재료의 기준강도에 안전율을 나누어서 구한다. 이 경우 기준강도는 재료의 품질과 종류에 따라 정해지며 안전율은 재료의 변이로서 작용되는 응력의 종류, 사용조건을 포함한 공학적 판단이 개입된 1보다 큰 숫자가 된다. 그러나 목재는 천연재료로서 그 자체의 변이성 및 용이, 활렬, 목리경사 등 강도에 영향을 미치는 인자가 많은 변이성이 큰 재료이므로 허용응력의 산정은 무결점 표준시험체의 기준강도에 이들 각각의 영향인자에 관한 강도저감율을 곱하여 산출하는 방법(日本建築學會, 1990)과 가장 영향이 큰 감소인자에 안전율을 나누어서 구하는 방법(ASTM, 1986)이 있다.

미국과 일본등지에서 확립된 구조용재에 관한 허용응력과는 달리 아직 국내에서는 이에 대한 체계적인 설정방법 및 정리가 되어 있지 않아 향후 본격적으로 생산될 국산재의 구조재료의 이용을 크게 제한할 수 있으므로 부가 가치재료로서의 국산재의 의미가 축소되어 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국산침엽수재를 구조부재로 사

용하기 위한 하나의 지침으로 허용응력의 설정을 통하여 규격화된 구조재로서 성능기준에 관한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 대상수종

국산 침엽수재 중 대표적으로 구조부재로 사용될 수 있을 것으로 판단되는 소나무, 잣나무, 낙엽송, 전나무를 대상수종으로 하였으며 각 수종에 관한 기준강도는 임업연구원 연구자료 제 95호(1994)에 나와있는 표준강도치를 채택하여 허용응력의 산정에 필요한 기준강도치로 반영하였으며 각각의 기준강도값은 다음과 같다.

Table 1. Mechanical properties of selected domestic softwoods.

Species	Sp.Gr. ¹	(Unit : kgf/cm ²)		
		Fb ²	Fc ³	Pt ⁴
Korean pine	0.43	772	425	788
Red pine	0.44	747	430	885
Japanese larch	0.56	986	532	584
Needle-fir	0.38	520	371	826

*1 Specific gravity based on oven dried weight and volume.

*2 Fiber stress in bending.

*3 Compression parallel to grain.

*4 Tension parallel to grain.

2.2 허용응력의 산정 및 강도비의 설정

허용응력의 산정방법은 각 나라마다 접근방식이 약간씩 다르고 보통 미국과 일본의 산정방법이 대표적이나 여기서는 강도에 미치는 영향인자를 간소화하고 사용조건에 따라 별도의 보정치를 적용하는 방법을 쓰는 일본의 방법을 채택하였다. 사실 미국 및 일본의 산정방법은 다르나 양쪽의 결과가 큰 차이가 없음(李, 1990)이 밝혀졌으므로, 일본의 목구조 설계기준에서 적용되는 허용응력의 설정방법(日本建築學會, 1990; 後藤, 1980)을 적용하여 아래와 같은 식을 통하여 산출하였다. 이 식에 관련된 각종결합에 의한 강도감소율은 ASTM D-245의 각 항목으로부터 산출하였다.

$$\text{단기허용응력} : sf = F0 \times 4/5 \times \alpha \times 2/3 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{장기허용응력} : lf = sf \times \beta \dots\dots\dots (2)$$

여기서 F0 : 무결점표준시험체의 기준강도,

α : 각종 결점에 따른 강도비
(= 용이 × 목리경사 × 둥근모),

β : 하중지속시간에 따른 조정인자(=1/2).

3. 결과 및 고찰

3.1 허용응력의 산정

3.1.1 제재규격에 따른 제한 결점사항

침엽수구조용재의 규격(안)(임업연구원, 1995)은 구조용재를 3가지로 구분하고 있으며 이 중에서 휨성능을 필요로 하는 1종 및 2종의 구조용재와 기둥재 등 압축성을 필요로 하는 3종의 구조용재에 관한 제한 결점사항 중 1종 구조재와 관련된 허용응력의 산정에 필요한 결점사항은 다음 표 2와 같다.

응력등급규정상의 각종 제한요건 중 일본의 허용응력 산출방식에서는 직접적으로 강도비와 관련된 결점사항으로 용이, 목리경사 및 둥근모를 주요소로 보고 있으며(木材工業ハントフック編纂委員會, 1982; 大熊等, 1991), 대부분의 등급규정이 그렇듯이 용이에 있어서는 넓은 재면에 있어서 중앙부의 용이의 제한요건보다는 가장자리부의 제한요건이 강도에 미치는 영향이 크기 때문에 제한요건을 강화한 것은 강도에 미치는 영향이 보다 크기 때문이다.

3.1.2 제한 결점사항과 관련된 강도비

등급규정상의 제한결점사항과 관련된 강도비를 산정함에 있어서 용이와 목리경사에 관련된 강도비는 ASTM

D-245의 규정으로부터 산출하였다. 특히 용이에 의한 강도감소율은 이 규정의 표 2, 3, 4에 나타난 용이의 크기(직경)에 따른 강도비를 용이의 경비(재폭에 대한 직경의 백분율)에 따른 강도비로 환산하여 그림 1과 같은 그래프를 작성하여 이 그래프로부터 등급규정상의 해당 경비에 따른 휨과 압축에 관한 강도비를 산출하였으며 그 결과는 표 3에 나타난 바와 같다. 여기서 채택된 강도비 산정의 기준이 되는 값은 현재 고시된 규격 중 1종 구조재에 해당되며 두께를 2종류로 하였기에 보다 큰 치수를 적용하였고 재의 폭은 8가지 중에서 중간 정도에 해당하는 값을 적용하여 작성하였다.

앞서 언급한 바와 같이 용이에 관한 강도비 중 가장 강도에 미치는 영향이 큰 것으로는 가장자리부의 용이와 관련된 강도비로 용이에 의한 휨강도비는 등급에 따라 각각 0.69, 0.55, 0.47로 3급을 제외하고는 가장 낮은 값을 나타내어 가장자리부의 용이의 제한요건이 허용응력의 산정시 용이에 의한 강도감소율에 영향을 미치는 주 인자로 고려된다.

둥근모는 강도에 미치는 영향이 크지 않으므로 등급간에는 별 차이가 없는 것으로 나타났다. 목리경사에 의한

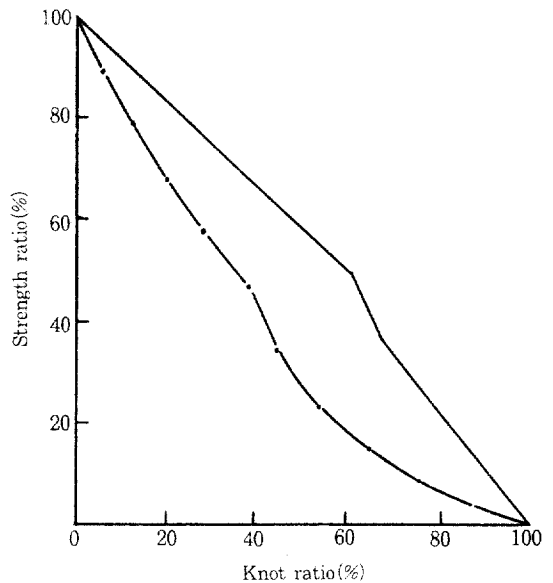
Table 2. Limiting characteristics in domestic softwood grading rules for Structural I-grade lumber in relation to strength ratios.

Grade defects	No. 1	No. 2	No. 3
Knot			
N ¹ . face	20%	40%	60%
W ² . face			
Edge	20%	30%	40%
Center	30%	45%	60%
Slope of grain	1 : 12	1 : 8	1 : 6
Wane	25% ³	35%	50%

*1 Narrow face.

*2 Wide face.

*3 Restricted in width or thickness.



Notes :

----- : Center line knot in wide face of bending members and knot in compression members.

..... : Edge knot in wide face.

Fig. 1. Strength ratios corresponding to knot ratios on Structural-I grade softwood lumber.

Table 3. Strength ratios of softwood structural lumbers(Structural-I grade) on limiting characteristics.

Grade defects	No. 1	No. 2	No. 3
Knot(Kk)			
N.face	0.86	0.71	0.53
W.face			
edge	0.69	0.57	0.47
Center	0.74	0.60	0.44
Slope of grain(Kg)	0.69 (0.82) ^{*1}	0.53 (0.66)	0.40 (0.56)
Wane(Kw)	0.96	0.95	0.93
Str. Ratio ^{*2} (=Kk×Kg×Kw)	0.46 (0.61)	0.29 (0.40)	0.16 (0.25)

*1 Strength ratio in compression.

*2 Strength ratio in bending.

강도비는 그 차이가 매우 크게 나타나므로 강도비를 산정할 때에는 이에 관한 세심한 주의가 필요하다. 용이에 의한 강도감소를 중 가장 낮은 값과 목리경사 및 등근모에 의한 강도감소를 곱하여 최종강도비로 산정한 결과 각 등급에 관한 휨강도비는 0.46, 0.28, 0.16으로 나타났다. 미국 및 일본의 등급규정에 따른 강도비와 비교하여 볼 때 표 4에서 보듯이 1급재는 미국산재의 2급재(0.45), 2급재는 미국산재의 3급재(0.26)와 유사한 경향을 보여 주고 있으며 이렇게 등급간 차이가 나는 이유는 규격에 따른 각 결점사항의 제한요건의 차이 때문인 것으로 절대적인 비교는 되지 않는다. 미국과 일본의 경우 강도비는 유사한 것으로 나타났으며 이는 일본의 구조용제재의 등급체계가 미국의 용력등급구분체계와의 연계성에 기인하는 것이며, 최근에는 새로이 규정된 일본침엽수재의 구조용재에 관한 규정(日本全國木材組合聯合會, 1993)에서는 구조용재의 등급을 1급, 2급, 3급의 3단 체계로 구분해 놓고 있어 전술한 강도비와는 다를 것으로 판단된다.

일본목구조설계기준(1990)의 상급 구조재 및 보통 구조재는 제재규격에서 특등 및 1등에 해당하는 것으로 보고 있기 때문에 휨강도비는 상급구조재는 0.56, 보통 구조재는 0.45로 나타나 있으며 국내규격과 비교하면 1급재의 강도비는 보통 구조재의 강도비와 유사함을 알 수 있다.

3.1.3 국산 침엽수 구조용재의 각 등급별 허용용력 산정된 각 강도비를 적용하여 1종 구조용재의 휨과 종 압축에 관한 등급별 허용용력을 산출하였다. 종 인장강

Table 4. Bending strength ratio in structural grade softwood lumber in Korea, U.S. and Japan grading rules.

Class	Grade	Strength Ratio
Structure-I ^{*1} (Korea)	No.1	0.46
	No.2	0.28
	No.3	0.16
Structural Light Framing ^{*2} (U.S.A.)	Sel.Str.	0.67
	No.1	0.57
	No.2	0.47
	No.3	0.26
Structure-I ^{*3} (Japan)	Sel.Str.	0.65
	No.1	0.55
	No.2	0.45
	No.3	0.26

*1 임업연구원, 1995. 침엽수 구조용 제재규격(안)

*2 Bodig & Jayne, 1982. Mechanics of wood and wood composites : 712

*3 大熊幹章 等, 1991. 木材の工學 : 242

도는 과거에는 휨과 동일한 허용용력으로 취급되었으나 미국 및 일본에서 수행된 일련의 등급규정에 따른 강도평가시험(In-grade testing)결과(Vokey & Jones, 1989)에서 보듯이 휨 허용용력의 60% 정도를 인장에 관한 허용용력으로 보고 있기 때문에 휨 허용용력의 60%를 종인장에 관한 허용용력으로 산정하였다. 식 (1)에 따라 단기용력을 산정한 후 이를 식 (2)에 반영하여 장기용력에 관한 허용용력도로 산출하였으며 그 결과는 표 5에 나타난 바와 같다.

산출된 휨용력을 보면 잣나무와 소나무는 허용용력이 같음을 알 수 있으며 비슷한 허용용력을 갖는 수종간 그룹을 구분할 경우에는 같은 그룹에 속할 수 있을 것으로 생각된다. 낙엽송의 경우 다른 수종과 비교하여 볼 때 1급재의 경우 매우 높은 수준의 허용용력으로 생각되며 이는 표준강도치가 다른 수종에 비하여 매우 높은 것에 기인한다. 전나무는 대상수종 중 가장 낮은 허용용력치를 나타내어 수종간 그룹을 지을 때에는 다른 수종군에 포함시키는 것이 타당하리라 생각된다. 등급간 허용용력의 차이는 약 60% 정도로 산출되어 미국 및 일본규정의 등급간 허용용력의 차이보다는 약간 낮은 것으로 보이며 추후 용력등급의 제정시 등급간 허용용력의 차이를 고려하여 제정하는 것도 바람직할 것이다.

미국의 구조용 경골재 및 일본의 갑종 구조재와 국산 침엽수재와의 허용용력을 비교하여 보면 등급간 규정 및 제내결점사항과 기준강도가 서로 다르기 때문에 절대적

Table 5. Allowable design values for Structural-I grade softwood lumber.

		(Unit : kgf/cm ²)			
Group	Species	Grade	Bending	Tension ¹	Compression ²
Structural -I	Korean pine	1	95	60	70
		2	65	35	45
		3	35	20	30
	Korean red pine	1	95	60	70
		2	65	35	45
		3	35	20	30
	Japanese larch	1	125	75	90
		2	75	45	60
		3	45	30	35
	Needle fir	1	65	40	60
		2	40	25	40
		3	25	15	25

*1 Tension parallel to grain.

*2 Compression parallel to grain.

인 비교는 할 수 없으나 유사수종간의 비슷한 치수의 규격재에 대하여 허용응력을 비교하여 보면 낙엽송의 경우에는 대체적으로 일본 규정상의 Douglas fir-larch급보다는 비슷하거나 약간 낮고 S-P-F급보다는 약간 높은 경향을 나타내고 있다. 전나무는 일본규정상의 S-P-F급보다도 낮은 허용응력치를 보였다. 소나무와 전나무는 두 개 그룹의 중간 정도의 허용응력치를 보였다.

또 국산 잣나무재의 실험재에 의한 실험결과(吳等, 1993)에서 미국규정에 따라 등급구분을 시행하고 허용응력을 산출한 결과와 본 연구결과를 비교하여 보면 현 규정상의 1급은 실험재 시험의 특급과 1급의 중간 정도, 2급은 3급의 허용응력에 해당하는 값을 보여주었다.

이상에서 보듯이 현재 목재의 자급율이 매우 낮은 실정을 감안하여 도입 외재에 관한 허용응력은 도입된 국가의 응력등급체계에 따른 허용응력을 그대로 설계에 반영하고 국산재는 국내의 등급체계에 따른 허용응력을 별도로 산정하여 이를 적용하는 것이 바람직하리라 생각되며 보다 정확한 허용응력의 산정을 위해서는 미국의 예에서 보듯이 등급규정에 따른 실험재에 관한 보다 폭넓은 연구가 선행되어야 할 것으로 생각된다. 또 도입외재와 국산재상호산의 등급체계 및 허용응력, 국산재에 관한 등급체계에 따른 실험재의 강도시험에 따른 성능평가를 통하여 국산 침엽수 구조용재에 관한 구조성능의 정확한 평가와 이에 따른 수종그룹의 선정에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

Table 6. Allowable working stresses in structural softwood lumbars.

		(Unit : kgf/cm ²)		
Group	Grade	Bending	Tension	Compression
SI ¹	1	120	70	95
	D.fir-L	2	100	60
Japanese larch	1	125	75	90
	2	75	45	60
	3	45	30	35
SII ¹	1	95	55	65
	S-P-F	2	75	45
Needle fir	1	65	40	60
	2	40	25	40
	3	25	15	25

*1 ASTM D245-81

4. 결 론

국산 침엽수 구조용재의 재재 등급규정의 제정과 관련하여 이에 따른 허용응력을 산정하기 위하여 해당수종의 무결점 소형시험체의 기준강도에 등급 규정상의 결점사항에 다른 각종의 강도 저감율을 산정하여 산출한 결과는 다음과 같다.

1. 국산 침엽수 구조용재의 규격 중 1종 구조재에 관한 허용응력을 산정하기 위하여 산정에 필요한 강도비를 조사한 바, 휨강도비는 1급의 경우 0.46, 2급의 경우 0.28, 3급의 경우 0.16으로 나타났으며 압축강도비는 각각 0.61, 0.40, 0.25로 나타났다.
2. 산정된 강도비는 미국 및 일본의 규정과 비교하여 볼 때 이들 규정의 2급, 3급에 대한 규정은 국산재의 1급 및 2급에 관한 강도비와 유사하였다.
3. 잣나무와 소나무의 산출된 허용응력은 동일하였으며 낙엽송은 가장 높게, 전나무는 가장 낮게 나타났다.
4. 도입외재에 관한 허용응력은 도입된 국가의 응력등급체계에 따른 허용응력을 그대로 설계에 반영하고 국산재는 국내의 등급체계에 따른 허용응력을 별도로 산정하여 이를 적용하는 것이 타당하리라 생각된다.
5. 국산재에 관한 등급체계에 따른 실험재의 강도성능평가를 통하여 국산 침엽수구조용재에 관한 등급에 따른 허용응력의 산정에 필요한 강도비에 관한 정확한 평가가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. American Standard for Testing Materials. 1986. Establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber. ASTM D245-81. Philadelphia, Pa.
2. Bodig, J. and B. A. Jayne. 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold : 712
3. National Forest Product Association. 1991. National design specification for wood construction. N.F.P.A. Washington, D.C. : 125
4. National Forest Product Association. 1991. Design values for wood construction. N.F.P.A. Washington, D.C. : 51
5. U.S. Dept. of Commerce. 1986. NBS Voluntary product standard PS20-70: American softwood lumber standard. Washington, D.C. : 26
6. Western Wood Product Association. 1991. Western lumber grading rules '91. Portland, Oregon : 238
7. Vokey, H. P. and E. D. Jones. 1989. In-grade data. a few comparisons. In-Grade Testing of Structural Lumber. Forest Product Research Society : 93~98
8. 全國木材組合聯合會. 1993. 針葉樹의 構造用製材의 日本農林規格并ひに解説. 全國木材組合聯合會 : 88
9. 宮島 寬. 1985. 構造用材의 強度性能評價方法. 木材學會誌 31(6) : 429~434
10. 木材工業ヘントフック編輯委員會. 1982. 木材工業ヘントフック. 丸善株式會社 : 1099
11. 日本建築學會. 1990. 木構造計算規準. 同解説. 日本建築學會 : 236
12. 大熊幹章 等. 1991. 木材の工學. 文永堂出版 : 242
13. 後藤一雄. 1980. 木構造の計算. 鹿島出版會 : 328
14. 오세창, 박문재, 심 근. 1993. 국산 침엽수 2×4구조재의 응력등급에 관한 연구. 한국가공학회지 4(1) : 8~13
15. 이진재. 1990. 목구조물의 설계. 목재가공기술(목재공학회편) : 121~142
16. 임업연구원. 1994. 한국산 주요목재의 성질과 용도. 임업연구원 연구자료 95 : 270
17. 임업연구원. 1995. 침엽수 구조용 제재규격(안)(미발표)
18. 장상식. 1989. 목재의 허용응력의 측정 및 수정. 목재공학 17(2) : 74~83