

국산 낙엽송 부재에 대한 ASD에서 RBD로의 코드 전환에 관한 연구*¹

박천영*^{2†} · 김호기*² · 이전제*²

Study on Soft Conversion from ASD to RBD Code in Larch*¹

Chun-Young Park*^{2†} · Ho-Ki Kim*² · Jun-Jae Lee*²

요 약

현재 국내의 목구조 설계는 ASD (Allowable Structural Design)에 기초하여 이루어지고 있다. 그러나 이 설계 방법은 재료의 변이와 설계에 따른 다양한 조건들을 충분히 고려하고 있지 못하고 있어 과설계의 원인이 되고 있다. 따라서 외국의 경우는 이를 극복하기 위하여 1990년 초반부터 확률론적인 접근을 통한 설계에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔으며, 현재는 이에 기초한 설계 기준을 마련, 활용하고 있는 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 국산재에 이러한 설계법을 도입하기 위하여 기존 연구에서 밝혀진 제재목과 집성재의 강도적 성능에 대한 분포 특성을 충분히 고찰하여 평균, 표준 편차, 분산, 변이 계수 등의 인자를 얻었고, 이를 통해서 국산낙엽송 부재에 대해서 기존의 ASD 코드를 RBD (Reliability Based Design) 코드로 전환하여 기본적인 코드 전환 체계를 갖추고자 하였으며, RBD 코드로의 전환 시 따르게 되는 중요 변수 즉 시편 수에 대한 고찰을 하였다. 또한, 적어도 각 시편에 대해서 적어도 500개 이상의 반복수가 있어야만 어느 정도 정확한 값을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Currently, structural design of wood structure has been based on ASD (Allowable Structural Design) in Korea. However, the results from this method was known as greater than real value because variations of materials and various conditions were not considered sufficiently. So the study about the design method with probabilistic approach is being performed to overcome this problem. And the standard design method of RBD (Reliability Based Design) has been established and applied. In this study, to

*¹ 접수 2004년 5월 19일, 채택 2004년 7월 2일

*² 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture & Life Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea
† 주저자(corresponding author) : 박천영(e-mail: bunny119@hanmail.net)

apply this method on the domestic wood, the distribution property of the lumber and Glulam was analyzed from the previous report and the basis of the standardized design method was established as soft conversion method from allowable stress used in ASD into reference resistance used in RBD. And through the additional study about the sample size as a important factor to effect on soft conversion, condition to be required in more accurate conversion was evaluated.

Keywords: ASD (Allowable Structural Design), RBD (Reliability Based Design), soft conversion

1. 서 론

구조물에 대한 설계는 1990년대 초반까지는 ASD (Allowable structural design) 방법으로 목재를 단성체라는 가정 하에 역학적인 계산을 통해 허용응력을 구하고 여기에 보정계수를 곱하여 이루어졌다. 그러나 이 방법은 하중의 조합에 관계없이 동일한 인자를 사용하여 신뢰성에 문제가 있을 수 있으며, 구조물의 안전성을 확보하기 위한 영향인자가 강도적 측면만을 고려되고 있고, 목재의 특징인 재료 자체의 변이가 충분히 고려되고 있지 못하다. 따라서 지나치게 과설계가 이루어지고 이로 인한 재료의 낭비를 통한 경제성이 떨어지며, 구조물에 정확한 신뢰도를 부여할 수가 없다. 그러므로 최근에는 확률론적인 방법을 구조 설계에 도입하여 이러한 문제점들을 극복하고 보다 신뢰성이 높은 설계를 하려는 설계방법을 사용하려고 하고 있으며 미국이나 호주, 캐나다 등지에서는 이 방법을 사용한 표준이 만들어져 활용되고 있는 상태이다. 이 설계법은 가해지는 하중이나 저항에 대한 통계적인 불확실성을 고려하여 일관된 신뢰도를 유지하는 것으로 RBD (Reliability Based Design) 방법이라 한다.

RBD는 각각의 부재의 강도와 가해지는 하중에 대한 분포를 통해서 구조물이 파괴될 확률을 구하고, 이를 통해 신뢰 지수(Reliability index, β)를 결정함으로써 구조물을 확률론적인 방법을 통해 과학적이고 좀더 실증적인 신뢰성을 부여하게 된다.

외국의 경우에는 이 두 가지 방법을 사용한 기준이 제시되어 있고, 현재 함께 사용되고 있다. 그러나 국내의 경우 지금까지는 ASD방법을 통한 설계만이 이루어지고 있으며, 국산재에 대한 연구도 여기에 초점이 맞추어 진행되어 오고 있다. 그러나 머지 않아

RBD 개념이 국내에도 도입되어 사용될 것이 자명하며 따라서 이에 대한 준비가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 기존 연구에서 밝혀진 제재목과 집성재의 강도적 성능에 대한 분포 특성을 충분히 고찰하여 평균, 표준 편차, 분산, 변이 계수 등의 인자를 얻고, 이를 통해서 국산낙엽송 부재에 대해서 기존의 ASD 코드를 RBD 코드로 전환하여 기본적인 코드 전환 체계를 갖추고자 하였으며, RBD 코드로의 전환 시 따르게 되는 중요 변수 즉 시편 수에 대한 고찰을 통해 보다 정확한 코드 전환을 위한 요건을 고찰하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 재료

신뢰성 기초 설계를 위한 수종으로 본 연구에서는 국산 낙엽송(*Larix leptolepis*)을 사용하였으며 기존 연구 결과를 활용하였다. 모든 부재는 함수율 18% 이하로 건조하여 사용하였으며, 제재목의 경우는 2×6(38 mm×140 mm), 길이 2.5 m 부재 498개, 집성재의 경우는 2×6 낙엽송을 6매 적층(198 mm×139.7 mm)하여 10개의 조합을 각각 6개씩 60개의 집성재를 제조하여 사용하였다.

2.2. RBD 코드 전환 방법

2.2.1. 재료의 분포 특성

2.2.1.1. 제재목

국산 낙엽송 제재목의 휨 강도를 기존 연구 결과를

Table 1. Distribution property of bending strength of Larch (Lumber)

Visual grade	Mean (kg/cm ²)	Standard deviation	x*	α**	β***	Distribution type
No. 1	449	91	259	2.2	214	Weibull
No. 2	421	105	202	2.4	249	Weibull
No. 3	378	131	118	2.2	299	Weibull

* moving length to x-axis ** shape parameter *** scale parameter

Table 2. Allowable stress of each combination of Larch (Glulam)

Combination	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Average (kg/cm ²)	757	498	412	622	542	439	708	665	472	589
Standard Deviation (kg/cm ²)	132	90	80	102	93	83	120	117	87	97
95% percentile (kg/cm ²)	498	322	255	422	360	276	473	436	3013	399
Allowable stress (kg/cm ²)	237	153	122	201	171	132	225	207	144	190

바탕으로 분석하고 Table 1과 같은 분포 특성을 얻었다.

2.2.1.2. 구조용 집성재

국산 낙엽송으로 제조된 구조용 집성재의 휨 강도 예측 프로그램을 사용하여 10개의 집성재 조합에 대한 허용 응력값을 산출하고 분포특성을 조사하여 Table 2와 같은 특성치를 얻었으며 분포형태는 정규 분포이다.

2.2.2. RBD 코드 전환 방법

미국이나 캐나다 등에서 사용하고 있는 한계 상태 법에 기초한 코드는 기존 코드의 전환을 통해 이루어졌다. 전환 방법은 크게 hard conversion과 soft conversion으로 나뉜다. hard conversion은 필요한 각각의 부재 사이즈나 접합부 형태, 사용 조건별 실험과 조사를 통한 충분한 자료를 근거로 확률론적인 방법을 통해서 설계값을 찾는 것이며, soft conversion은 기존의 코드를 바탕으로 해서 새로운 코드로 각 인자들의 관계와 알려진 특성을 사용하여 전환하는 것이다. 따라서 hard conversion은 그 양이 방대하므로, 실질적으로 불가능하며, 따라서 soft conversion이 이루어진 후 hard conversion을 통해 수정되어지게 된다.

코드의 전환은 우선 각각의 설계식에 대한 고찰에서 출발해야 한다.

$$RBD: \lambda \phi_c R_n \geq 1.2D + 1.6L$$

$$ASD: K_d F_x \geq D + L$$

코드의 전환은 기본적으로 ASD의 허용응력값을 RBD의 resistance (reference resistance)로 사용할 수 있도록 전환하는 과정이다. 이러한 전환 과정은 ASTM D 5457에 따라서 수행하였다. 전체 Flow chart와 전환 프로그램의 입출력 Flow chart는 다음과 같다.

Fig. 1에서 보듯 프로그램의 데이터의 입력은 실험값을 사용하는 경우와 NDS에 주어진 값을 사용하는 경우로 나뉘며 각각의 분포 특성과 하중조건에 따라서 K_R , Ω , R_p 값을 산출하여 다음 식에 따라서 최종적인 Reference resistance를 산출하게 된다.

$$R_n = R_p \times \Omega \times K_R$$

R_p = distribution percentile estimate

Ω = data confidence factor

K_R = reliability normalization factor

Fig. 1. Flow chart (left) and type of input and output valuable in program (right).

Fig. 2. Effect of sample size on reference resistance of Larch.

Table 3. Reference resistance (bending) of Larch lumber

	No. 1	No. 2	No. 3
Reference resistance	271	239	168
Reference resistance (NDS)	218	155	88

3. 결과 및 고찰

3.1. 국산 낙엽송 제재목

제재목의 시편 수, 적합 분포, 분포 특성에 따른 reference resistance를 프로그램을 통해 얻었다. 전환된 값은 Table 3과 같다.

Table 3에서 보면, 실험 결과의 분석을 통한 분포 특성을 사용하여 얻어진 값(위)과 NDS 코드에서 제시하고 있는 값을 전환한 값(아래) 사이에 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 국산 낙엽송이 동일 비중의 외국 수종에 비해 강도가 높은 것을 그대로 반영하고 있으며, 각 시편에 대한 충분한 반복수를 통해 얻어진 통계량이 필요하기 때문이다. 또한, 각 등급별 반복수가 미치는 영향을 고찰하기 위하여 프로그램 상으로 반복수를 다르게 입력하여 결과의 변화 추이를 분석하였으며 그 결과는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 보면, 시편수가 500개 이전에서는 값의 증가량이 급격히 변하지만 그 이상이 되면 거의 일정함을 알 수 있다. 이는 시편과 reference resistance 사이의 관계 그래프를 미분하여 변화율을 고찰하면

Table 4. Reference resistance(bending) of Glulam

Combination	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Reference resistance (1000)	647	411	325	550	466	351	612	555	386	520
Reference resistance (100)	628	394	312	534	452	336	594	532	370	505
Conversion of allowable stress	602	389	310	511	435	335	572	526	366	483

극명하게 알 수 있다(우). 따라서 제재목을 코드 전환하고자 할 때 최소 500개 이상의 반복수가 필요하다는 것을 확인할 수 있었으며, 본 연구에서는 시편수가 등급별 100여 개로 많이 부족함을 알 수 있다. 따라서 충분한 데이터의 축적이 요구되며 그 값은 더 커질 수 있다.

3.2. 구조용 집성재

국산 낙엽송으로 제조한 구조용 집성재의 경우 10개 조합의 각각에 대해서 simulation 반복수 1000회를 통해 얻어진 데이터를 가지고 reference resistance를 구하였다. 본 결과에서는 반복수에 따른 변이를 고찰하기 위하여 100회와 1000회 두 가지로 나누어서 진행하였다.

위의 결과를 보면 simulation을 통해 얻어진 데이터를 통계 분석한 결과를 통해 얻은 값(위)과 허용 응력을 직접 전환하여 얻은 값(아래) 사이에 큰 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 또한 시편 반복수가 충분한 경우에는 더 높은 reference resistance를 사용할 수 있음을 알 수 있다. 이는 simulation을 통해 실제 불가능한 실험을 1000회 이상 충분히 반복하였으며, 제재목 결과에서 알 수 있듯이 reference resistance 변화율이 거의 없는 통계적으로 안정된 데이터를 얻을 수 있었기 때문이다.

또한 동일한 분포를 갖더라도 COV (Coefficient of Variation)와의 관계를 고찰하였다. 이는 집성재 조합2에서 동일 평균에 표준 편차가 변함에 따라 Reference resistance가 어떻게 변하는지를 고찰하였다. 그 관계 그래프는 Fig. 3과 같다. 이를 Table4와 비교해 보았을 때 적정 COV는 0.2 정도이며, 0.4 이상 되

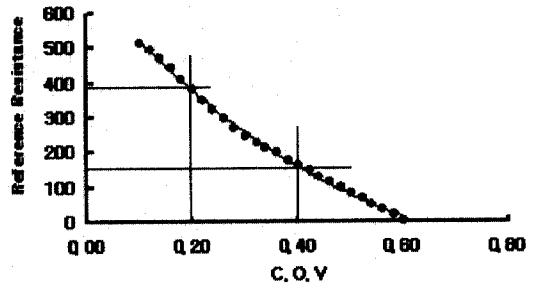


Fig. 3. Correlation between C.O.V and reference resistance.

면, 전환된 값과 같아져 의미가 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 각 등급별 통계량을 측정 시 정확한 등급 구분이 중요한 의미를 갖는다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구를 통해 국산 낙엽송에 대한 RBD 코드로의 전환을 위한 기본적인 체계가 수립할 수 있었다. 또한, 제재목과 집성재에서 알 수 있듯이 시편의 개수에 따라서 그 차이가 크음을 알 수 있었으며, 이는 앞으로의 연구에 있어서 꾸준한 데이터의 집적이 중요함을 말해 주고 있다. 따라서 RBD 코드를 실제 코드로 사용하기 위해서는 다양한 수종과 등급, 치수에 대한 많은 데이터의 수집이 요구된다. 실제 실험이 불가능한 경우는 집성재에서와 같이 simulation 기법을 통한 강도 예측 프로그램에 대한 연구 역시 중요하다. RBD는 반복수가 가장 큰 변수이다. 따라서 이에 대한 지속적인 데이터의 집적과 적정 프로그램의 개발에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

사 사

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

또한, 연구를 수행함에 있어서 박천영, 김호기는 두 뇌한국 21사업에 의한 장학지원을 받아 수행 하였음.

참 고 문 헌

1. Madsen, B. 1992. Structural Behaviour of Timber. Timber Engineering LTD.
2. Breyer, D. E. 1993. Design of wood structures. 3rd Ed.
3. Canadian Wood Council. 1995. Wood design manual.
4. Canadian Wood Council. 1999. Introduction to wood design.
5. American Forest and Paper Association. 1997. National Design Specification.
6. Erwin Kreyszig. 1993. Advanced Engineering Mathematics, John Wiley & Sons.
7. Abraham M. H. and C. L. Neils. 1974. Exact and Invariant Second-Moment Code Format. Journal of the Engineering Mechanics Division. ASCE. vol 100, No. Em1, pp. 111~121.
8. Cornell, C. A. 1967. A Proposal for a Reliability-Based Code Suitable for Immediate Implementation. Memorandum to Member of ASCE Task Committee on Structural Safety.
9. Alfredo H-S. Ang. 1973. Structural Risk Analysis and Reliability Based Design. Journal of the Structural Division. ASCE. vol 99, No. ST9, pp. 1891~1910.