

## 국산 백합나무 구조용 제재목의 이용가능성 평가\*1

임진아\*2 · 오정권\*2,3 · 여환명\*2,3 · 이진제\*2,3†

### Feasibility of Domestic Yellow Poplar (*Liriodendron tulipifera*) Dimension Lumber for Structural Uses\*1

Jin-Ah Lim\*2 · Jung-Kwon Oh\*2,3 · Hwanmyeong Yeo\*2,3 · Jun-Jae Lee\*2,3†

#### 요약

본 연구는 국산 백합나무의 육안 특성을 이용한 등급구분과 실대재 휨시험을 실시하여 이들의 강도 및 강성의 특성 구명을 통해 국산 백합나무의 구조용재로서의 이용가능성을 평가하였다. 활엽수의 육안등급구분규정이 국내에 존재하지 않아 몇몇 활엽수 제재목에 대한 규정을 포함하고 있는 NSLB (Northern Softwood Lumber Bureau) 규정에 따라 육안등급을 수행하였다. 수행 결과로부터 계산된 백합나무의 휨허용응력을 NDS (National Design Specification)에 제시된 설계치와의 비교를 통해 국산 백합나무가 충분한 강도성능을 가지고 있음을 확인하였다. 또한 백합나무 제재목을 국내 등급규정에 따라 허용응력을 산정하여 이를 적용하는 데 있어 타당성을 평가하기 위해 국내 국립산림과학원 고시에 따라 육안등급을 수행하였다. 백합나무는 국립산림과학원 고시에 제시된 비중에 따른 수종군 중 소나무류에 포함되었다. 적합분포로 판단된 웨이블분포에 따른 휨허용응력은 1등급 10.0 MPa, 2등급 7.4 MPa, 3등급 4.1 MPa로 제시된 설계치보다 높은 값이 나타났다. 본 실험의 결과로부터 국내 규정에 준하여 국산 백합나무를 구조용재로 이용이 가능함을 확인하였다. 국산 백합나무의 휨탄성계수는 국내의 기준 설계치를 모두 충족시키지 못하였으나, 국산백합나무를 구조용재로 이용하기 위해 본 실험을 통해 얻어진 백합나무의 평균 휨탄성계수를 제안하되, 1등급과 2등급은 9,000 MPa, 3등급 이하는 8,000 MPa를 적용하는 것이 타당한 것으로 보인다.

\* 1 접수 2010년 5월 3일, 채택 2010년 7월 5일

\* 2 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부, Dept. of Forest Sciences, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

\* 3 농업생명과학연구원, Research Institute for Agriculture and life Sciences, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

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

## ABSTRACT

In this study, the visual grading based on the visual characteristics and structural timber bending test were conducted for domestic yellow poplar dimension lumber. Structural performance of domestic yellow poplar dimension lumber was conducted through the evaluation of strength and stiffness. Visual grading rule of yellow poplar dimension lumber did not exist in Korea. Visual grading of yellow poplar dimension lumber was performed according to the NSLB (Northern Softwood Lumber Bureau) standard grading rules including several hardwood dimension lumber. The allowable bending stress was calculated from the results of a visual grading. Compared with NDS (National Design Specification), the yellow poplar dimension lumber showed enough strength for structural uses. In addition, the visual grading was performed according to the KFRI (Korea Forest Research Institute) grading rule to calculate allowable bending stress and to evaluate the feasibility. The yellow poplar was classified into the pine groups by the KFRI criteria regulated by specific gravity. Allowable bending stress based on weibull distribution had become highly than KFRI criteria, as No. 1 (10.0 MPa), No. 2 (7.4 MPa) and No. 3 (4.1 MPa). And the availability of yellow poplar dimension lumber for structural uses had been confirmed. The Modulus of Elasticity (MOE) of domestic yellow poplar dimension lumber had not met the NDS and KFRI criteria. However, for the use of domestic yellow poplar, average values of MOE which obtained through this test were suggested as design value for domestic yellow poplar. Design values were supposed No. 1, 2 (9,000 MPa) and No. 3 (8,000 MPa).

**Keywords:** hardwood, dimension lumber, yellow poplar, visual grading, allowable bending stress

## 1. 서 론

미국 동부 지방 전역에 분포하는 활엽수종인 백합나무(*Liriodendron tulipifera*, Yellow poplar)는 구조용재, 건축내장재, 가구재, 악기재 및 펄프용으로 그 용도가 다양하여 북미에서 상업적 가치가 높은 활엽수종 중의 하나이다. 백합나무는 줄기가 통직하며 거목으로의 성장이 빠르고, 입지 적응성 및 재적성장 면에서 다른 조림 권장 수종들에 비해 우수할 뿐만 아니라(류 등, 2003), 벌기령이 30년으로 다른 수종에 비해 짧다. 이러한 백합나무를 국립산림과학원에서는 조림수종으로 발굴할 목적으로 1967~1973년까지 원산지인 북미로부터 3차에 걸쳐 도입하여 전국 6개 지역에 시험림을 조성하였다. 또한 산림청에서는 백합나무를 제 4차 산림기본계획의 경제림 육성대책에서 주요 조림 경제수종으로 선정하고 조림

을 적극 권장하고 있어 향후 풍부한 생산이 기대되고 있다.

북미에서는 건축구조용 및 트러스 제작에 사용되는 백합나무 규격제재목(Faust 등, 1990; Green 등, 1993)의 구조 성능을 제시하였으며, 백합나무를 이용한 대형 건축물, 목교를 위한 집성재 제작(Hernandez 등, 1997) 등에 대한 연구를 진행해 왔고, 이미 1970년대부터 백합나무를 구조용재로서 이용해 오고 있다. 국내에서는 국산 백합나무의 물리적, 해부학적 특성(소와 채, 1998; 박 등, 2006; 이 등, 2008)의 구명, 건축내장재 및 가구재 등의 용도로 활용하는데 있어 제한이 되고 있는 국산 백합나무의 심·변재의 재색 차이를 개선하기 위한 연구(김 등, 2010; 윤 등 2009)와 목공예재로 이용하기 위해 건조할 때 발생하는 할렬을 감소시키기 위한 건조스케줄 개발(이 등, 2008) 등 재질개선을 통해 백합나무를 이용하기

위한 연구가 국내에서 주로 수행되어 왔다. 그러나 백합나무를 건축용 구조용재로 이용하기 위한 연구가 진행된 바 없어, 백합나무를 구조부재로 활용하기 위한 품질 및 성능의 구명에 대한 연구가 필요하다.

북미의 ALSB (American Lumber Standard Board of Review)로부터 인증을 받은 NSLB (Northern Softwood Lumber Bureau)에서 규격제재목에 한하여 활엽수종인 미루나무와 백합나무에 대한 등급규정을 적용하고 있으며, NDS (National Design specification for wood construction)에 이들의 설계치 (design value)가 제시되어 있다. 그러나 국내의 경우 활엽수를 이용하기 위한 규정으로 국립산림과학원 고시 제2007-1호에 가구 및 건축내외장용으로 이용하기 위한 표준치수 및 치수의 허용한도가 제시되어 있을 뿐, 활엽수를 구조부재로 이용하기 위한 어떠한 등급구분 규정 및 설계치 기준을 찾아보기 힘들다. 백합나무를 보다 효율적이고 고부가가치재로 이용할 수 있는 방안이 필요하지만 역학적 성능을 필요로 하는 구조부재 등의 용도로 활용하려고 해도 적용할 수 있는 설계치가 없어 구조부재로서 활용이 불가능하다. 이러한 백합나무를 구조용재로 이용하기 위한 설계치를 산정하기 위해 북미 육안등급규정인 Standard Grading Rule (NSLB, 2007)에 백합나무에 대한 등급규정을 적용하는 것보다는, 목재는 개체간 변이뿐만 아니라, 성장지역에 따른 변동이 존재하기 때문에 국내의 등급규정에 따라 허용응력을 별도로 산정하여 이를 적용하는 것이 타당한 것으로 보인다(오, 1996).

본 연구에서는 국산백합나무가 충분한 구조 성능을 가지고 있음을 밝히고, 국내 등급규정에 따른 육안등급구분 수행을 통해 적절한 허용응력을 구명, 제시함으로써 건축, 토목 등 설계에 활용이 가능한 설계응력자료를 제공하고 국산재의 신뢰성 향상과 이용을 위한 자료로 활용하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

본 연구에서는 국산 백합나무(*Liriodendron tulipifera*, Yellow poplar)를 공시수종으로 선정하였다.

백합나무는 경기도 고양에서 벌채하였다. 벌채된 원목은 인천에 위치한 제재소로 운반되어 제재, 건조하여 길이 2.7 m, 크기 38 mm × 140 mm (2 × 6)로 마감하였다. 백합나무 제재목 202개를 본 연구에 사용하였다.

### 2.2. 시험방법

#### 2.2.1. 육안등급구분

백합나무 시험편의 등급도, 평균연륜폭, 섬유주행경사, 용이의 위치와 크기들을 모두 측정하여 기록하였다.

국내 활엽수에 대한 등급구분에 대한 규정이 국립산림과학원고시와 한국산업표준 내에 제시되어 있지 않아, ALSB (American Lumber Standard Board of Review)로부터 인증을 받아 등급규정 내 백합나무가 포함된 NSLB (Northern Softwood Lumber Bureau)의 Standard Grading Rules 2007를 참조하여 육안등급구분을 수행하였다. 이 때 백합나무 제재목의 육안등급은 Structural light framing의 Select Structural, No.1, No. 2와 No. 3으로 구분하였다.

비록 국산 활엽수재에 대한 규정이 존재하지 않지만, 백합나무의 국내 등급규정에 따른 허용응력을 산정하고 이를 적용하기 위해 국립산림과학원(Korea Forest Research Institute (KFRI)) 고시 제2009-1호 침엽수 구조용재와 동일한 절차에 따라 백합나무의 육안적 특성을 이용하여 등급을 구분하였다. 국립산림과학원 고시내 1종 구조재(규격구조재)의 1, 2, 3등급으로 구분하였다.

#### 2.2.2. 함수율 및 밀도

함수율과 비중은 백합나무 제재목의 파괴시험이 완료된 후, 시험편의 파괴부위 근처에서 채취하여 ASTM D 4442에 따라 전건법으로 함수율을 측정하였다. 백합나무 제재목의 비중은 ASTM D 2395에 따라 목재의 전건중량과 목재용적을 측정하여 구하였다. 제재목의 평균함수율은 14.4% (± 2.2)이었고, 비중은 0.46 (± 0.04)이었다.

#### 2.2.3. 휨시험

휨파괴시험은 만능강도시험기(Zwick, 10 t)를 사

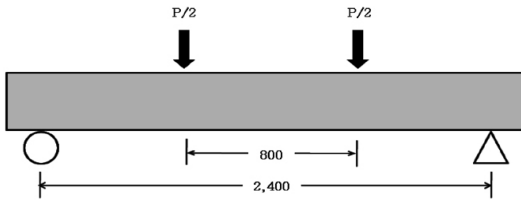


Fig. 1. Test setup of four point bending test.

용하여 Fig. 1과 같이 3등분점 4점하중으로 휨과괴 시험을 수행하였다(ASTM D 198). 스패ンは 2.4 m, 제하속도는 15 mm/min이었다.

#### 2.2.4. 무결점 소시험편 시험

실대재 휨시험이 완료된 시험편으로부터 25 mm × 25 mm × 410 mm의 무결점 소시험편을 제작하였다. ASTM D 143에 따라 시험편의 중앙에 수직으로 하중을 가하여 시험을 실시하였다.

#### 2.2.5. 허용응력

휨시험결과로부터 휨허용응력을 계산하여 분석하기 위해 백합나무의 휨강도와 휨탄성계수를 함수율 15%에서의 고유치수(characteristic size) 38 mm × 184 mm × 3,658 mm의 표준조건으로 조정하였다(ASTM D 1990).

정규분포, 대수정규분포, 웨이블분포를 대상분포로 하여 각 분포별 확률밀도함수를 구하고, 등급별 적합분포를 판정하기 위해 Kolmogorov-Smirnov Test (KS test)를 실시하였다(송과 박, 1994). 적합하다고 평가된 분포로부터 5% 하한치를 계산하였다. 또한 실험값을 순위로 정렬하여 순위 5% 하한치 값을 구하였다. 이들로부터 산출된 값에 식 (1)과 같이 보정인자로 나누어 허용응력을 산출하였다(ASTM D 2915).

$$\sigma_{allow} = \frac{MOR_{0.05}}{Adjustment\ factor} \quad (1)$$

여기서,  $MOR_{0.05}$  : the fifth percentile bending strength

$Adjustment\ factor$  : 2.1 (Modulus of Rupture)

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 국산 백합나무의 구조 성능

무결점 소시험편과 실대재 시험결과와 함께 기존 연구를 통해 제시된 북미지역 백합나무의 비중과 휨강도를 Table 1에 나타냈다. 먼저 소시험편의 경우 본 실험을 통해 제시된 비중은 0.49로 북미지역에서 성장한 백합나무의 비중보다 16.7~20.0% 높게 측정되었다. 비중뿐만 아니라 무결점 소시험편의 휨강도 역시 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 높은 비중과 휨강도는 국산 백합나무의 다른 무결점 소시험편결과(임업연구원, 2000)와 유사한 값을 보이고 있다. 이러한 경향은 실대재에서도 나타났으며 본 실험에서 측정된 실대재의 비중은 0.46으로 다른 연구자들(Green and Evans, 1987; Koch, 1981; Faust 등, 1990)에 의해 측정된 값보다 높게 나타났다. 특히 본 연구에서 사용된 2 × 6 백합나무 제재목의 평균강도 값은 47.4 MPa로 Green과 Evans (1987)에 의해 측정된 No. 2에 해당하는 값을 보여주고 있다. 이는 2 × 4, 2 × 8 제재목에서도 비슷한 결과를 보이고 있지만, Koch (1981)와 Faust 등(1990)의 연구결과와 비교하였을 때 국산백합나무가 상당히 높은 값을 가지는 것으로 나타났다. 이를 통해 국산 백합나무가 상당한 휨강도를 지니고 있음을 확인할 수 있었다.

국내에 활엽수에 대한 등급구분에 대한 규정이 국립산림과학원고시와 한국산업표준 내에 제시되어 있지 않아, ALSB (American Lumber Standard Board of Review)로부터 인증을 받아 백합나무가 등급규정 내에 포함된 NSLB (Northern Softwood Lumber Bureau)의 Standard Grading Rules 2007를 참조하여 육안등급 구분을 수행하였다. NSLB 기준에 따른 백합나무의 육안등급구분 결과는 Table 2와 같다. NSLB 규정에 따른 육안등급구분 결과에 따르면, Select structural (SS), No.1, No.2 등급이 비교적 균일하게 분포하고 있으며, SS 등급이 35.1%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 일반적인 주거용 경골목조 건축의 구조용재로 사용되는 2등급 이상의 비율은 77.7%이었다. 휨강도는 SS등급이 가장 높았으며,

Table 1. Summary of Modulus of Rupture (MOR) for yellow poplar dimension lumber

Reference	Specimen size (mm)	Sample size (n)	MC* (%)	SG**	MOR (MPa)
Wood handbook	1999	small, clear	-	Green	41.0
			-	120	70.0
Koch, C.B	1981	small, clear	-	120	80.7 (11.6)***
KFRI****	2000	small, clear	-	120	82.9 (7.2)
experimental result		small, clear	30	105	95.1 (13.6)
Koch, C.B.	1981	2 × 4	300	120	34.5 (15.6)
Green G. W. and Evans J. W.	1987	2 × 4	SS*****	15.0*****	-
		No. 2	60		63.3
		2 × 6	SS		55.4
		No. 2	60		57.0
		2 × 8	SS		48.0
		No. 2	64		55.4
					43.5
Faust <i>et al.</i>	1990	2 × 4	142	7.6	0.43
		2 × 8	105	8.5	0.44
Experimental result		2 × 4*****	202	15.0*****	0.46
		2 × 6			50.6 (18.3)
		2 × 8*****			47.4 (17.3)
					41.1 (14.9)

MC\* : Moisture Content  
 SG\*\* : Specific Gravity  
 ( )\*\*\* : Standard Deviation  
 KFRI\*\*\*\* : Korea Forest Research Institute  
 SS\*\*\*\*\* : Select Structural  
 15\*\*\*\*\* : adjusted to 15 % MC according to ASTM D 1990  
 2 × 4\*\*\*\*\* : characteristic size 2 × 4 according to ASTM D 1990  
 2 × 8\*\*\*\*\* : characteristic size 2 × 8 according to ASTM D 1990

Table 2. Bending strength of yellow poplar dimension lumber according to the NSLB grading rule

Grading agency	Grade	Sample size (%)	Average (MPa)	SD* (MPa)
NSLB***	SS**	71 (35.1)	46.2	11.3
	No. 1	43 (21.3)	42.7	16.3
	No. 2	43 (21.3)	35.0	12.3
	No. 3	22 (10.9)	36.3	18.9
	Reject	23 (11.4)	-	-
	Total	202 (100.0)	-	-

SD\* : Standard Deviation  
 SS\*\* : Select Structural  
 NSLB\*\*\* : Northern Softwood Lumber Bureau, 2007 Standard Grading rules

SS, No.1, No. 2에 따라 휨강도가 점차 감소하는 경

향이 나타났다.

백합나무의 강도분포에 가장 적합한 분포를 선정하기 위해 정규, 대수, 웨이블 분포의 확률밀도함수를 구하고 KS test를 실시하였다(Table 3). KS test에 결과에 따르면 백합나무의 휨강도 특성은 국산 낙엽송(이 등, 2003)과 같이 분포형태가 대칭형태를 가지는 정규분포보다 편향되는 분포형태인 웨이블 분포가 적합한 것으로 확인할 수 있었다.

적합분포로 판정된 웨이블 분포의 5% 하한치를 산출하였다. 또한 순위 5% 하한치 값을 구하였다. 웨이블분포의 5% 하한치와 순위 5% 하한값에 식 (1)을 이용하여 계산된 휨허용응력을 Table 4에 제시하였다. 웨이블 분포의 5% 하한치와 순위 5% 하한값로부터 산출한 휨허용응력이 모든 등급에서 NDS에서 제시된 설계치보다 높은 값으로 나타났다. NDS

Table 3. Result of the Kolmogorov-Smirnov test (KS test) of yellow poplar dimension lumber graded by NSLB grading rule for goodness-of-fit

Grading agency	Grade	Normal	Lognormal	Weibull
NSLB**	SS***	0.0610	0.1000	0.0513*
	No. 1	0.1270	0.1762	0.1139*
	No. 2	0.0814	0.0997	0.0581*
	No. 3	0.1294	0.1966	0.1032*

\* : Goodness of fit distribution  
 NSLB\*\* : Northern Softwood Lumber Bureau, 2007 Standard Grading rules  
 SS\*\*\* : Select Structural

Table 4. Comparison of allowable bending stress for yellow poplar dimension lumber graded by NSLB grading rule

Grade	NDS* (MPa)	Experimental result (MPa)	
		Weibull	5% exclusion limit
SS**	6.9	11.5	10.6
No. 1	5.0	6.9	5.1
No. 2	4.8	6.6	4.9
No. 3	2.8	4.2	4.4

NDS\* : National Design Specification for Wood Construction  
 SS\*\* : Select Structural

에서 제시된 설계치와 비교하여 웨이블분포의 5% 하한치를 이용하여 얻은 휨허용응력은 SS, No.1, No.2, No.3에서 37.8~66.7% 높게 나타났으며 순위 5% 하한값으로부터 산출된 휨허용응력 역시 NDS의 설계치보다 높게 나타나 국산 백합나무가 북미산 백합나무와 비교하여 충분한 강도성능을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 국산 백합나무는 상대적으로 높은 비중과 NDS에 제시된 설계치 이상의 휨허용응력을 나타남을 확인할 수 있었고, 북미에서 백합나무가 규격제재목과 트러스, I-joist 제작 등의 상업적 용도로 생산되어 이용되어 왔던 점을 고려할 때 (Green, 2009) 국산 백합나무를 구조용재로 이용이 가능할 것으로 사료된다.

Table 5. Bending strength of yellow poplar dimension lumber according to the KFRI grading rule

Grading agency	Grade	Sample size (%)	Average (MPa)	SD* (MPa)
KFRI***	No. 1	78 (38.6)	45.9	13.1
	No. 2	54 (26.7)	40.1	13.4
	No. 3	33 (16.3)	35.9	14.4
	Reject	37 (18.3)	-	-
	Total	202 (100.0)	-	-

SD\* : Standard Deviation  
 SS\*\* : Select Structural  
 KFRI\*\*\* : Korea Forest Research Institute, Notification No. 2009-1 Softwood Structural Lumber Specification

Table 6. Result of the Kolmogorov-Smirnov test (KS test) of yellow poplar dimension lumber graded by KFRI grading rule for goodness-of-fit

Grading agency	Grade	Normal	Lognormal	Weibull
KFRI**	No. 1	0.1031	0.1319	0.1025*
	No. 2	0.0766	0.1231	0.0664*
	No. 3	0.1384	0.1634	0.1044*

\* : Goodness of fit distribution  
 KFRI\*\* : Korea Forest Research Institute, Notification No. 2009-1 Softwood Structural Lumber Specification

### 3.2. 국산 백합나무의 설계치 산출

국산 백합나무의 국내 등급규정에 따른 허용응력을 산정하고, 계산된 허용응력의 적용가능성을 평가하기 위해, 국립산림과학원고시의 침엽수 구조용재와 동일하게 육안등급 구분을 수행하였다. 육안등급 수행 결과 1등급의 비율이 38.6%로 가장 높았으며, 2등급 이상의 비율은 65.3%로 나타났다. 1등급의 휨강도가 45.9 MPa로 가장 높았으며, 등급이 내려감에 따라 휨강도는 감소하였다(Table 5).

국립산림과학원고시의 등급규정에 따라 구분된 백합나무의 등급별 적합분포를 판단하기 위해 정규, 대수정규, 웨이블 분포의 확률밀도함수를 구하고 이에 대해 KS test를 수행하여 최적분포를 찾고자 하였다 (Table 6). NSLB 등급규정의 적합분포 모형과 마찬가지로

Table 7. Comparison of allowable bending stress for Yellow poplar dimension lumber graded by KFRI grading rule

Grade	KFRI* (MPa)	Experimental result (MPa)	
		Weibull	5% exclusion limit
No. 1	75	10.0	10.6
No. 2	60	7.4	6.9
No. 3	35	4.1	3.1

KFRI\* : Korea Forest Research Institute, Notification No. 2009-1 Softwood Structural Lumber Specification

가지로 웨이블 분포가 적합한 것을 확인하였다.

웨이블분포의 5% 하한치와 순위 5% 하한값에 식 (1)과 같이 보정인자를 곱하여 허용응력을 산출하였다(Table 7). 휨허용응력뿐만 아니라, 허용종인장, 허용종압축, 허용횡압축, 전단강도 및 휨탄성계수에 대한 충분한 고찰을 통해 기준허용응력에 상응하는 적합한 해당 수종군이 산정되어야 하지만 본 연구에서는 백합나무를 수종 비중에 따른 구조용재목의 수종군 분류에 따라 소나무류에 포함시켰다. 이에 국내 육안등급규정에 따라 구분된 백합나무의 등급별 휨허용응력을 산림과학원고시의 소나무류에 해당하는 기준허용응력과 비교하여 보았다. 국산 백합나무 2×6 제재목의 휨강도 분포에 적합하다고 판단된 웨이블 분포를 이용하여 산출된 허용응력은 제시된 기준허용응력보다 1등급 33.3%, 2등급 23.3%, 3등급 14.3%로 높은 결과를 보였다. 또한 순위 5% 하한 값으로부터 계산된 허용휨응력은 3등급을 제외한 백합나무의 전 등급에서 제시된 설계치를 만족시키는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 국내 규정에 따라 국산 백합나무를 이용하고자 할 때 비중에 따른 수종그룹에 따른 기준허용응력을 적용하는데 무리가 없을 것으로 판단된다.

### 3.3. 휨탄성계수

북미지역 백합나무의 휨탄성계수는 제재목의 폭과 등급에 따른 큰 차이를 나타나지 않았으며, 실대재 휨탄성계수의 값이 Wood handbook에 제시된 함수율 12%의 무결점 소시험편값과도 큰 차이를 보이지 않

았다(Table 8). 국산 백합나무의 휨탄성계수는 상대적으로 높은 비중과 휨강도를 나타냈던 반면 동일한 규격의 No. 2 (Green과 Evans, 1987) 보다 16.5% 낮은 결과를 확인할 수 있었다.

등급규정에 따라 구분된 백합나무의 휨탄성계수를 Table 9에 나타냈다. NDS와 국립산림과학원 고시에 제시된 휨탄성계수는 등급이 높아질수록 높은 설계치를 제안하고 있다. NSLB 규정에 따라 구분된 휨탄성계수를 살펴보면 SS, No. 1과 No. 2, No. 3 등급의 값이 유사하게 나타났으나 NDS에 제시된 설계치에는 미치지 못하였다. 국립산림과학원고시에 따라 구분된 휨탄성계수는 1, 2등급의 차이는 미미하였으나 3등급에 비해 높은 값을 나타냈다. 그렇지만 3 등급을 제외한 휨탄성계수는 국립산림과학원 고시에 제시된 동일비중군의 소나무류의 설계치보다 낮게 나타났다. 국내의 등급규정에 따라 수행된 육안등급구분 결과 국산 백합나무의 휨탄성계수는 규정에 제시된 설계치를 만족시키지 못하였다. 따라서 NDS나 국립산림과학원 고시에 제시된 탄성계수 설계값을 국산 백합나무에 그대로 적용하는 것은 어려운 것으로 보인다.

백합나무를 포함한 몇몇 활엽수종은 높은 휨강도 값을 가지고 있지만 이에 비해 낮은 휨탄성계수를 가지며, 침엽수에서 알려진 바와 같이 이들의 휨강도와 휨탄성계수 사이의 상관관계도 낮아, 휨탄성계수를 이용하여 휨강도를 예측하고자 할 때 이들 관계사이의 높은 변이수준을 고려하여 낮은 휨강도로 평가되지 않도록 할 필요가 있다(Green 등, 1993). 이에 국내 규정에 따라 국산백합나무의 휨탄성계수를 설계치로 이용하고자 할 때 1등급과 2등급은 9,000 MPa, 3등급 이하는 8,000 MPa를 설계치로 적용하는 것이 국산백합나무를 구조용재로 이용에 있어서 적합한 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 2×6 백합나무 제재목을 국내의 등급규정에 따라 육안등급을 수행하고, 휨시험결과로부터 백합나무 제재목의 구조 특성을 살펴보았다. 이 결과를 통해 허용응력을 산출하였으며 이를 규정에

Table 8. Summary of Modulus of Electricity (MOE) for yellow poplar dimension lumber

Reference	Specimen size (mm)	Sample size (n)	MC* (%)	SG**	MOE (MPa)
Wood handbook	1999	small, clear	-	Green	8,400.0
			-	120	10,900.0
Green G. W. and Evans J. W.	1987	2 × 4 SS****	55	15.0*****	10,390.4
			60	-	9,811.2
		2 × 6 SS	63	-	10,355.9
			60	-	9,921.6
2 × 8 SS	63	-	10,942.0		
	64	-	10,183.6		
Faust <i>et al.</i>	1990	2 × 4	142	7.6	11,455.3
		2 × 8	105	8.5	10,548.9
Experimental result	2 × 6	202	15.0*****	0.46	8,289.3 (1,606.5)

MC\* : Moisture Content      SG\*\* : Specific Gravity      ( )\*\*\* : Standard Deviation      SS\*\*\*\* : Select Structural  
 15\*\*\*\*\* : adjusted to 15 % MC according to ASTM D 1990

Table 9. Modulus of Elasticity (MOE) of yellow poplar dimension lumber according to the grading rules (MPa)

Gradingagency	Grade	NDS* (MPa)	Experimental result (MPa)		proposed design value
			Average	SD**	
NSLB***	SS****	10,342.0	9,106.0	1,654.5	9,000.0
	No. 1	9,652.7	9,197.2	1,295.1	9,000.0
	No. 2	8,963.2	8,610.0	1,631.0	8,000.0
	No. 3	8,273.7	8,359.9	1,512.0	8,000.0
KFRI****	No. 1	10,000.0	9,120.6	1,633.1	9,000.0
	No. 2	9,000.0	8,943.0	1,475.9	9,000.0
	No. 3	8,000.0	8,510.0	1,692.1	8,000.0

NDS\* : National Design Specification for Wood Construction  
 SD\*\* : Standard Deviation  
 NSLB\*\*\* : Northern Softwood Lumber Bureau, 2007 Standard Grading rules  
 KFRI\*\*\*\* : Korea Forest Research Institute, Notification No. 2009-1 Softwood Structural Lumber Specification  
 SS\*\*\*\* : Select Structural

제시된 값들과 비교하여 구조재로서 이용가능성을 평가하고자 하였다.

국산 백합나무는 높은 비중과 휨강도값을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 백합나무에 대한 규정을 포함한 NSLB 규정에 따라 국산 백합나무의 육안등급 구분을 수행하였고, 국산 백합나무의 휨허용응력

이 NDS에서 제시된 백합나무의 설계치보다 2.1~57.1% 높게 나타나 국산 백합나무가 충분한 강도성을 가지고 있음을 확인하였다.

또한, 활엽수인 백합나무의 국내 규정 적용가능성을 확인해보고자 국내 산림과학원고시에 제시된 침엽수 등급구분과 동일한 절차를 따라 육안등급을 수



행하였다. 육안등급구분 결과로부터 휨허용응력을 산정하였다. 비중에 따른 국내 구조용재제의 수중균에서 백합나무는 소나무류에 포함되며, 육안등급구분 결과로부터 계산된 휨허용응력이 국립산림과학원의 소나무류 설계치보다 높게 나타남이 확인됨에 따라 국립산림과학원 고시에 준하여 국산 백합나무를 구조용재로 이용이 가능할 것으로 판단된다.

높은 비중과 휨강도에 비해 국산 백합나무의 휨탄성계수는 상대적으로 낮게 나타났으며, NDS와 국립산림과학원고시 규정에 따른 비중에 따른 수중균의 설계치보다 낮게 나타났다. 따라서 규정에 따라 제시된 설계치를 그대로 국산 백합나무에 적용하는 것보다 본 실험을 통해 구해진 등급별 휨탄성계수의 평균값을 설계치로 제안하되, 국내 규정에 따라 구분된 백합나무의 휨탄성계수를 1등급과 2등급은 9,000 MPa, 3등급 이하는 8,000 MPa를 설계치로 적용하는 것이 백합나무의 휨탄성계수를 이용하는데 있어 적합할 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호 : S120809L140120)'의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

## 참 고 문 헌

1. 국립산림과학원. 2009. 고시 제2009-1호. 침엽수 구조용재제규격.
2. 김광모, 박정환, 박병수, 손동원, 박주생, 김운섭, 김병남, 심상로. 2010. 백합나무 열처리재의 물리 및 역학적 특성. 목재공학 38(1): 17~26.
3. 류근욱, 장석성, 최완용, 금홍은. 2003. 우리나라에 식재한 백합나무의 적응력과 생장에 관한 연구. 한국임학회지 92(6): 515~525.
4. 박병수, 정두진, 이동식, 정성호, 박정환. 2006. 백합나무의 기초적인 목재성질. 산림과학원논문집 69: 65~72.
5. 소원택, 채정기. 1998. 백합나무의 기초재질특성. 가구 9(1): 1~8.
6. 송문섭, 박창순. 1994. 비모수통계학개론. 자유아카데미.
7. 오세창. 1996. 국산 침엽수구조재의 허용응력설정에 관하여 - 1 종 구조재를 중심으로 -. 목재공학 24(1): 1011~1016.
8. 윤경진, 엄창득, 박준호, 김호용, 최인규, 이진제, 여환명. 2009. 열처리에 의한 백합나무 재색제어와 내부후성제고. 목재공학 37(6): 457~496.
9. 이남호, Zhao X, 장세환, 신익현. 2008. 엔드테이핑 처리들이 백합나무 원반의 고주파진공건조 중 건조결함 예방에 미치는 영향. 목재공학 36(6): 59~68.
10. 이원희, 박병수, 정성호, 강호양, 황권환, 변희섭. 2008. 국산재의 응용물성연구III: 백합나무, 거제수나무, 오동나무의 수분흡착성 및 열적·전기적·음향적 성질. 목재공학 36(6): 1~12.
11. 이진제, 김광철, 김광모, 오정권. 2003. 육안등급으로 구분된 낙엽송 제재목의 휨성능 분포 특성. 목재공학 31(5): 72~79.
12. 임업연구원. 2000. 백합나무육성 보급을 위한 심포지움자료집.
13. American Society for Testing and Materials. 2007. Standard Test methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM D 143.
14. American Society for Testing and Materials. 2005. Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes. ASTM D 198.
15. American Society for Testing and Materials. 2000. Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Visually-Graded Dimension Lumber from In-Grade Tests of Full-Size Specimens. ASTM D 1990.
16. American Society for Testing and Materials. 2003. Standard Practice for Evaluation Allowable Properties for Grades of Structural Lumber. ASTM D 2915.
17. American Society for Testing and Materials. 2003. Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials. ASTM D 2395.
18. American Society for Testing and Materials. 1992. Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and wood-Base Materials. ASTM D 4442.
19. American Forest & Paper Association. 2007. National Design Specification for Wood Construction.
20. Koch, C. B. 1981. Prediction of bending strength of yellow-poplar 2 by 4s from estimated strength ratios. Forest Product Journal 31(7): 53~55.
21. Faust, T. D., R. H. Mcallister, and S. J. Zarnoch. 1990. Strength and stiffness properties of sweet-

- gum and yellow-poplar structural lumber. *Forest Product Journal* 40(10): 58~64.
22. Green D. W. and J. W. Evans. 1987. Mechanical properties of visually graded lumber: Volume 1, a summary. USDA Forest service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
  23. Green, D. W., R. J. Ross, and K. A. McDonald. 1993. Production of hardwood machine stress rated lumber. Proceedings of 9th International symposium on nondestructive testing of wood. Madison. WI 141~150.
  24. Gree, D. W., J. E. Winandy, and D. E. Kretschmann. 1999. Mechanical properties of wood; Wood handbook-Wood as an engineering materilas. USDA Forest Service Research. FPL-GTR-113.
  25. Green, D. W. 2009. Undervalued hardwood for engineered materials and components - Grading and properties of hardwood structural lumber. Madison. WI.
  26. Hernandez, F., F. J. Davalos, S. Sonti, K. Youngchan, and R. C. Moody. 1997. Strength and stiffness of reinforced yellow-poplar glued laminated beams. USDA Forest Service Research. FPL-RP-554.
  27. Northern softwood lumber bureau. 2007. Standard Grading rules.