백합나무 스킨티머의 압축 성능에 관한 연구*¹

김 광 철*^{2†}

A Study on the Compressive Capacity of Yellow Poplar Skin-timber*¹

Gwang-Chul Kim*^{2†}

요 약

백합나무(yellow poplar)는 기후변화의 주범인 이산화탄소의 흡수율이 매우 뛰어나고 오존흡수율도 뛰어나 저탄소 녹색성장 시대에 적합한 수종이다. 속성수인 백합나무는 구조용 부재로의 성능은 약간 부족하지만 가구 재나 내장재, 합판용재 등 다양한 용도로 활용가능한 수종이다. 본 연구에서는 백합나무를 이용하여 대단면 스킨티머를 개발하고 압축 성능을 평가하였으며 다양한 용도 개발을 위해 수치해석 모델을 개발하였다. 정각형 스킨티머는 소재에 대해 56.3%의 잔존 강도를 보여서 우수한 성능을 나타내었으며 원통형 스킨티머의 경우 잔존면적율이 25%임에도 불구하고 소재에 대해 50% 가까운 압축 성능을 나타내어 가구용 뿐만 아니라 대단면 재료로써 다양한 쓰임새가 가능함을 보여주었다. 정각형과 원통형 모두 Brooming or end rolling이 주요 파괴모드로 나타났으며 부분적으로 splitting 파괴 모드도 나타났다. 잔존면적률이 큰 정각형 스킨티머의 압축성능이 원통형 스킨티머보다 높게 나타났지만 두 집단간에 압축성능에 있어 통계적 유의성은 보이지 않아 사용자의 편의대로 혼용하여 활용 가능할 것으로 판단된다. 수치해석 모델은 실제 압축성능 실험과 상당히 유사한 결과를 보였다. 따라서 다양한 형태와 치수에 대한 수치해석 모델 적용을 통해 백합나무 스킨티머의 다양한 용도 개발에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

The yellow poplar is an appropriate species for the age of low carbon green growth, because its absorption rates of ozone is greatly excellent, and also the absorption rates of carbon dioxide

*¹ 접수 2011년 5월 12일, 채택 2011년 7월 11일

본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호 : 140201001)'의 지원에 의하여 이루어졌음.

*² 전북대학교 주거환경학과, Dept. of Housing Environmental Design, Chonbuk National University, Jeonju, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 김광철(e-mail: gckim@jbnu.ac.kr)

causing climate changes is very remarkable. The yellow poplar, which is a kind of rapid growth tree, shows a lack of performance as a structural member, however, it is suitable to use a variety of purposes like furniture materials, interior materials, plywood materials, and so on. In this study, the structural size skin-timbers were made by using the yellow poplar, and the compressive capacity was evaluated, also the numerical model was developed for the various uses. The rectangular shape skin-timber presented a good performance by showing 56.3% residual strength about the solid material. In case of the cylinder shape skin-timber showed a possibility to use diversely as a furniture material, as well as a structural uses, because almost 50% compressive capacity of material even though its residual area rates was 25%. Both rectangular shape and the cylinder shape represented that 'Brooming or end rolling' were the major failure mode, and partly splitting failure mode. The compressive capacity of the rectangular shape which residual area rates was large was higher than the cylinder shape, but it did not show statistical significance about the compressive capacity between them. Thus, it will be possible to use them mixed for a convenience of users. The result of the numerical analysis model was quite similar to actual test of the compressive capacity. Therefore, the yellow poplar can be utilized in the development of various uses by applying numerical analysis model about a variety of shapes and dimensions.

Keywords: yellow poplar, compressive capacity, failure type, statistical significance, numerical analysis model.

1. 서 론

국산목재 자급률이 아주 낮은 상황에서 우리 기후 풍토에 맞는 적절한 수종을 골라 대경재로 키워 시장 경쟁력이 있는 나무를 확보하는 것은 아주 시급한 과제이다. 기존의 수종 중 이러한 가능성이 있는 수종으로는 침엽수의 경우 낙엽송을 들 수 있고 활엽수 중에서 찾는다면 백합나무(*Liriodendron tulipifera*)가 그 대안이 될 것으로 생각한다. 백합나무의 경우 나무가 물러 성장과정에서 잘 부러지고 목재색깔이 심재와 변재가 다른 것 등의 흠이 있기도 하지만, 백합나무는 토심이 좋은 기름진 땅에서는 빨리 크고 통직하게 자란다는 장점이 있는 나무이며 그 용도로는 구조재로는 강도적 성질이 약간 부족할 지라도 가구재나 내장재, 비구조용 건축재 등 다양하다. 또한 백합 나무는 기후변화의 주범인 이산화탄소의 흡수율이 매우 뛰어나 저탄소 녹색성장을 위한 산림바이오 순환림 조성에 적합한 나무로 알려지고 있다. 산림청 산하 국립산림과학원 환경정화연구팀의 결과에 의하

면, 국내에서 조림에 주로 사용되는 30년생 나무 다섯 종류를 대상으로 그루당 연간 이산화탄소 흡수량을 측정한 결과 백합나무가 39.6 kg으로 소나무(11.9 kg)의 3.3배나 되었다. 백합나무에 이어 상수리나무(21.2 kg), 낙엽송(17.2 kg), 잣나무(16.8 kg) 순으로 흡수량이 많았다. 이산화탄소 배출량이 연간 10억 5,000만 t 정도로 세계 9위의 규모인 우리나라에서 선진국과 함께 지구 온난화 방지에 기여하고, 현재 10% 미만에 불과한 목재 자급률을 높이기 위해 백합 나무를 많이 보급해야 할 필요성은 아주 크다. 오존 흡수율($245.3 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$)도 뛰어나 저탄소 녹색성장 시대에 적합한 수종으로 볼 수 있을 것이다[9].

특히 백합나무는 잣나무, 낙엽송 등 주요 조림 수종보다 성장 속도가 2~3배 빠른 특징을 가지고 있고 가로수나 공원수로도 적합하고 가구, 목공예품, 합판원료, 펄프 등 다양한 용도로 사용 가능하다[10]. 이러한 백합나무의 국가적 차원의 연도별 조림 계획은 Table 1과 같다[11].

최근 들어 소수의 연구자들에 의해 개발된 스킨 팀

Table 1. Annual plan of afforestation for the yellow poplar (Unit : ha)

계	'09년까지	'10년	'11년	'12년	'13년	'14~20년
62,213	5,613	2,800	4,800	6,000	7,200	34,800

Fig.1. The cylinder shape (left) and rectangular shape (right) of skin-timber.

버(Skin Timber)란 원주기둥 또는 네모기둥의 횡단면 중심부위에 기둥재 외경의 약 90%에 해당하는 관통 구멍을 개설한 부재를 일컫는 것으로서 극히 제한적인 연구자들에 의해서 논의되기 시작한 까닭에 아직 학술적으로 정의된 바는 없다[1-8,15-17].

본 연구에서는 중공재(center-boring member)에 비해 많은 양의 목질부를 천공함으로써 대단면 재료로 활용 가능한 백합나무 스킨티머를 제작하였다. 직경 200 mm 이상의 대단면 백합나무를 길이 700 mm의 스킨티머로 제작하여 압축성능을 평가하였다. 더불어 다목적으로 스킨티머의 성능 예측에 활용하기 위해 수치해석법을 적용하여 압축 성능 예측과 변형에 관한 연구를 실시하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 저탄소·녹색성장에 적절하다고 판단되는 백합나무를 대표 수종으로 선정하였고 시편

Fig. 2. The compressive test of skin-timber (cylinder shape).

의 치수는 목공예품 제작에 필요한 적절한 길이인 700 mm로, 단면은 원통형과 정각형 각각에 대해서 외부직경을 200~300 mm로 다양하게 제작하였다. (Fig. 1, Tables 2, 3) 압축강도는 KSF 2206-2004-06(Method of compression test for wood)[18]에 따라 측정하였다. 하중 부하 속도는 10 mm/min이었다. 압축 강도 시험은 최대 부하 가능 하중 200톤인 만능강도 시험기를 사용하였다. 실제 압축 하중 부하 실험은 Fig. 2와 같다[7,8].

Table 2과 3에는 각각 백합 스킨티머의 정각형과 원통형에 대한 세부 치수를 표시하였다. 정밀한 가공을 하더라도 정확한 직각이나 원형을 얻기가 힘들므로 윗면과 아랫면 각각에 대해 4곳을 측정하여 그 평균값을 치수로 산정 하였다. Table 2에는 정각형 백합나무 스킨티머의 세부치수와 잔존면적률을, Table 3에는 원통형 스킨티머에 관련된 자료를 제시하였다. 정각형 스킨티머의 잔존면적율이 원통형 스킨티머에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 이는 스킨티머의 모양상 정각형의 경우 원통형에 비해 천공된 후 남은 부분이 상대적으로 많기 때문이다. 정각형 스킨티머는 최종 함수율 8%까지, 원통형 스킨티머는 최종 함수율 5%까지 건조하였으며 본 연구에 사용한 백합나무의 비중은 0.42이었다.

Table 2. The dimensions of yellow poplar skin-timber with rectangular shape

No.	Outer (mm)	Inner (mm)	Origin area (mm ²)	Inner area (mm ²)	Residual area (mm ²)	Residual ratio (%)
1	229	198	52,613	30,697	21,915	41.7
2	229	197	52,441	30,542	21,899	41.8
3	227	199	51,643	30,931	20,712	40.1
4	227	192	51,472	28,788	22,685	44.1
5	230	191	52,728	28,713	24,015	45.5
6	228	193	52,098	29,203	22,895	43.9
7	228	198	51,813	30,814	20,999	40.5
8	229	198	52,212	30,814	21,398	41.0
9	229	198	52,441	30,853	21,588	41.2
10	227	200	51,472	31,400	20,072	39.0
11	228	196	51,756	30,234	21,523	41.6
12	229	196	52,327	30,272	22,054	42.1
13	228	197	51,927	30,504	21,423	41.3
14	229	195	52,384	29,773	22,611	43.2
15	229	197	52,212	30,388	21,824	41.8
16	229	193	52,269	29,278	22,991	44.0
Avg	228	196	52,113	30,200	21,913	42.0

Table 3. The dimensions of yellow poplar skin-timber with cylinder shape

No.	Outer (mm)	Inner (mm)	Origin area (mm ²)	Inner area (mm ²)	Residual area (mm ²)	Residual ratio (%)
17	248	215	48,281	36,371	11,910	24.7
18	250	215	49,112	36,202	12,909	26.3
19	233	198	42,434	30,620	11,814	27.8
20	252	219	49,752	37,521	12,231	24.6
21	254	223	50,446	39,081	11,365	22.5
22	253	219	50,297	37,649	12,647	25.1
23	252	219	49,752	37,649	12,102	24.3
24	256	221	51,396	38,297	13,099	25.5
25	253	220	50,396	37,994	12,402	24.6
26	253	218	50,297	37,435	12,862	25.6
27	248	216	48,232	36,625	11,607	24.1
28	253	218	50,148	37,392	12,756	25.4
29	255	219	51,145	37,649	13,495	26.4
30	252	217	49,851	37,093	12,758	25.6
31	254	221	50,545	38,297	12,249	24.2
32	238	205	44,466	32,909	11,556	26.0
Avg	250	216	49,159	36,799	12,360	25.2

Table 4. The ultimate compressive strength for yellow poplar skin-timber with rectangular shape

No.	Ultimate load (t)	Residual area (mm ²)	Compressive strength (N/mm ²)
1	73.32	21,915	32.79
2	64.32	21,899	28.78
3	41.58	20,712	19.67
4	111.28	22,685	48.07
5	32.40	24,015	13.22
6	27.40	22,895	11.73
7	27.78	20,999	12.96
8	74.56	21,398	34.15
9	17.80	21,588	8.08
10	18.10	20,072	8.84
11	39.94	21,523	18.19
12	26.43	22,054	11.74
13	80.40	21,423	36.78
14	24.80	22,611	10.75
15	65.80	21,824	29.55
16	44.10	22,991	18.80
Avg. (Std.dev)	48.13 (27.07)	21913 (969.02)	21.51 (11.98)

3. 결과 및 고찰

3.1. 백합나무 스킨 티머의 압축 성능

Table 4에 정각형 백합나무 스킨티머의 최대하중과 압축강도를 나타내었다. 이 [12]의 자료에 의하면 국내에 식재된 백합나무의 경우 일본산은 압축강도가 310 kg/cm²(≒ 30.4 MPa)이며, 미국산 백합나무의 경우 Wood handbook [14]에 따르면 5,540 psi(≒ 38.2 MPa)으로 알려져 있다. Table 4에 나타난 바와 같이 본 연구에서 개발한 정각형 백합나무 스킨티머는 파괴까지의 최대압축하중이 17.8톤에서 111.28톤으로 상당히 넓은 범위를 보인다. 이는 스킨티머를 제작하는 가공 과정 중 발생한 크랙이나 찢어짐 등의 제조 결점으로 인한 것으로 보인다. 평균값으로는 48.1톤의 최대하중이 얻어졌다.

본 연구에서 얻어진 백합나무 스킨티머의 경우 정각형 스킨티머는 Table 4에 제시된 바와 같이 압축강도에 있어서 8에서 48 MPa의 범위로 나타났고, 평균

21.5 MPa로서 국내에 식재된 대부분의 미국산 백합나무 소재의 압축강도(38.2 MPa)에 대해 56.3%의 압축강도를 보이고 있다.

Table 5에는 원통형 백합나무 스킨티머의 최대하중과 최대압축강도를 나타내었다. 파괴까지의 최대압축하중은 4.6톤에서 49.68톤으로 정각형 스킨티머에 비해서는 좁은 범위로 분포하였다. 압축강도는 3.8 MPa에서 40.88 MPa로 나타났다. 평균압축강도는 18.89 MPa로 미국산 백합나무 소재 압축강도(38.2 MPa)의 49.5%를 나타내고 있다. 하지만 Table 3의 평균 잔존면적률 25.2%를 고려한다면 목재실질량의 75%가 손실되었음에도 불구하고 소재 압축강도의 반 정도를 지탱한다는 것을 고려하면 상당한 수준의 잔존강도를 가진다고 판단할 수 있을 것이다. 특히 정각형 스킨티머에 비해 원통형 스킨티머는 가공과정에서 잔존면적률이 낮음에 따라 크랙이나 손상이 많이 발생해 육안으로도 강도적 성능이 약할 것으로 예측되었다. Fig. 3에 제시한 것처럼 단순한 평균값과 표준편차만으로 정각형 스킨티머와 원

Table 5. The ultimate compressive strength for yellow poplar skin-timber with cylinder shape

No.	Ultimate load (t)	Residual area (mm ²)	Compressive strength (N/mm ²)	note
17	49.68	11,910	40.88	origin crack
18	37.40	12,909	28.39	
19	4.60	11,814	3.82	
20	14.28	12,231	11.44	
21	11.02	11,365	9.50	
22	9.88	12,647	7.66	full fracture
23	17.28	12,102	13.99	
24	23.72	13,099	17.75	
25	27.18	12,402	21.48	
26	13.30	12,862	10.13	
27	44.70	11,607	37.74	
28	13.26	12,756	10.19	
29	22.80	13,495	16.56	
30	25.18	12,758	19.34	
31	17.62	12,249	14.10	
32	46.30	11,556	39.26	
Avg. (Std.dv)	23.64 (13.98)	12360 (610.31)	18.89 (11.70)

Fig. 3. Compressive strength of yellow poplar skin timber.

통형 스킨티머의 성능 비교를 하면 정각형 스킨티머의 압축능력이 조금 더 우수한 것으로 나타난다. 하지만 좀더 과학적인 성능 비교를 위해서는 파괴모드 분석과 3.3절의 통계적 유의성 검증을 통해 비교 분석할 필요가 있다고 판단된다.

3.2. 백합나무 스킨 티머의 파괴모드 분석

KS규격에는 파괴모드에 대한 자세한 사항이 없어, ASTM D 143-94 (Reapproved 2007)에 의해 압축실험

힘에 따른 파괴 모드를 분석하였다. Table 6에 백합나무 스킨티머의 파괴모드를 정리해 제시하였다. 시편번호 1번부터 16번까지는 정각형 스킨티머이며 17번부터는 원통형 스킨티머이다. 전체적으로 정각형과 원통형 모두 일반소재의 압축파괴 실험에서도 가장 많이 나타나는 Brooming or end rolling가 주요 파괴모드이며 splitting을 보이는 시편도 몇 개 있었다. Fig. 4에 splitting 파괴모드에 대한 실험 시편 사진을 제시하였다.

Table 6. Failure types for yellow poplar skin timber

No.	Failure types	No.	Failure types
1	Splitting	17	Brooming or end rolling
2	Splitting	18	Brooming or end rolling
3	Brooming or end rolling	19	partial splitting
4	Brooming or end rolling	20	Brooming or end rolling
5	Brooming or end rolling	21	Brooming or end rolling
6	Brooming or end rolling	22	partial splitting
7	Brooming or end rolling	23	Brooming or end rolling
8	Brooming or end rolling	24	Brooming or end rolling
9	Brooming or end rolling	25	Brooming or end rolling
10	Brooming or end rolling	26	Brooming or end rolling
11	Brooming or end rolling	27	Fully fractured
12	Brooming or end rolling	28	Brooming or end rolling
13	Brooming or end rolling	29	Brooming or end rolling
14	Brooming or end rolling	30	partial splitting
15	Brooming or end rolling	31	Brooming or end rolling
16	Brooming or end rolling	32	Brooming or end rolling

No. 1

No. 2

No. 19

No. 22

No. 27

No. 30

Fig. 4. Failure features of yellow poplar skin-timber.

3.3. 정각형 스킨팀버와 원통형 스킨팀버의 압축성능에 대한 유의성 검증

Fig. 3에 제시된 바와 같이 정각형 백합나무 스킨팀버와 원통형 스킨팀버의 경우 평균값을 기준으로

본다면 상당한 성능의 차이를 보이는 것으로 나타난다. 하지만 두 집단의 정확한 성능 차이를 분석하기 위해서는 통계적 유의성 검증이 필요하다. MS사의 Excel 패키지를 사용하여 95% 신뢰수준에서 통계 분석을 실시하였다. 우선 정각형 스킨팀버와 원통형 스

Table 7. Anova table for the yellow poplar skin-timber

F-test	Variable 1	Variable 2
Mean	21.50629	18.88911
Variance	143.6315	136.9556
Observations	16	16
df	15	15
F	1.048745	
P value	0.46389	
F critical	2.403447	

킨티머 두 집단의 성질을 파악하기 위해 F-검정을 실시하였다. 결과는 Table 7과 같다.

정각형 스킨티머와 원통형 스킨티머간의 F-검정의 결과 유의확률값이 0.46으로서 0.05보다 크므로 등분산가정 t-검정을 실시해야 함을 알 수 있다. t-검정의 결과는 Table 8과 같다.

정각형 스킨티머와 원통형 스킨티머간의 t-검정의 결과 유의확률값이 0.05보다 크게 나타나므로 두 집단간 평균값에 있어서 유의한 차이가 있다고 결론 내릴 수 없다. 즉 정각형 백합나무 스킨티머와 원통형 스킨티머의 압축성능에 있어서는 통계적으로 차이가 있다고 볼 수 없다. 따라서 백합나무 스킨티머를 활용할 경우 정각형과 원통형의 압축강도에 차이가 없으므로 용도에 따라 구분하여 사용할 필요가 없으며 주어진 여건에 따라 편하게 취사선택할 수 있다고 판단된다.

3.4. 스킨티머 압축성능에 대한 수치해석

다양한 형태와 여러 치수의 재료에 대해 강도적 성능을 파악하고자 할 때 각각의 형태나 치수에 대해 각 상황별로 강도실험을 수행한다는 것은 비경제적이며 비효율적이다. 따라서 특정한 몇 가지 형태와 치수에 대해 직접적인 실험을 실시하고 그 기준에 맞추어 수치해석 모델을 개발하고 그 결과와 비교 분석하여 적절한 수치모델을 개발한다면 보다 효율적이며 경제적으로 사용 가능할 것이다. 따라서, 본 연구에서도 대단면 스킨티머의 압축 성능 분석에 있어 적

Table 8. T-test results for the yellow poplar skin-timber

t-test : (assuming equal variances)

	Variable 1	Variable 2
Mean	21.50629	18.88911
Variance	143.6315	136.9556
Observations	16	16
Pooled variance	140.2936	
Hypothesized Mean difference	0	
df	30	
t value	0.62497	
P (T <= t) one-tail	0.268358	
t critical one-tail	1.697261	
P (T <= t) two-tail	0.536716	
t critical two-tail	2.042272	

절한 수치모델을 개발하였다. 수치해석은 범용 유한요소 해석 프로그램인 Ansys ver.10을 사용하였다. 압축성능에 대한 수치해석이므로 내부의 원형을 가정한 beam 요소를 사용하여 간단하게 해석을 할 수 있지만 추후 응력에 대한 자료를 검토하여 반영할 경우와 재료의 국부적인 응력분포나 변형량 예측을 대비하여 solid 요소를 사용한 수치해석 모델링까지 동시에 실시하였다. 각각의 모델링을 통해 백합나무 스킨티머의 최대압축강도를 예측하였으며 그에 따른 변형량을 예측할 수 있도록 수치모델을 개발하였다. 주의해야 할 것은 백합나무 스킨티머의 압축성능을 시뮬레이션하기 위해 beam 요소를 사용할 경우와 solid요소를 사용할 경우 finite element model 개발 과정에서 좌표축이 상이하므로 이에 유의하여야 한다는 것이다.

백합나무 스킨티머의 압축 성능을 해석하기 위한 유한요소해석 모델에서 beam element를 사용하는 경우 y축이 목재의 길이 방향이 되며, x축이 방사방향 그리고 z축이 접선방향이 되므로 Wood Handbook (1999)의 자료에 따라 다음의 Table 9에 제시된 값을 사용해야 한다.

백합나무 스킨티머의 압축 성능을 해석하기 위한 유한요소해석 모델에서 beam element를 사용할 경

Table 9. Elastic constants for the finite element analysis of yellow poplar using the beam element (at approximately 12% moisture content)

E_x (MPa)	E_y (MPa)	E_z (MPa)	G_{xy} (MPa)	G_{yz} (MPa)	G_{xz} (MPa)	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
$E_L \times 0.092$	10900	$E_L \times 0.043$	$E_L \times 0.075$	$E_L \times 0.069$	$E_L \times 0.011$	0.030	0.392	0.703

Table 10. Elastic constants for the finite element analysis of yellow poplar using the solid element (at approximately 12% moisture content)

E_x (MPa)	E_y (MPa)	E_z (MPa)	G_{xy} (MPa)	G_{yz} (MPa)	G_{xz} (MPa)	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
$E_L \times 0.043$	$E_L \times 0.092$	10900	$E_L \times 0.011$	$E_L \times 0.075$	$E_L \times 0.069$	0.329	0.030	0.019

Table 11. Comparison of experimental values and numerical values

Rectangular shape skin-timber		Cylinder shape skin-timber		
Experimental value	FEM (S1)	Experimental value	FEM (S2)	FEM (B1)
481256 N	508570 N	236375 N	308800 N	272580 N

Fig. 5. FEM model for the yellow poplar skin-timber.

우와 달리 solid element를 사용하는 경우 z축이 목재의 길이 방향이 되며, x축이 접선방향 그리고 y축이 방사방향이 되므로 Wood Handbook (1999)의 자료에 따라 다음의 Table 10에 제시된 값을 사용한다.

본 연구에서 개발한 유한요소 모델은 Fig. 5와 같이 3개이며 solid 요소의 경우 목재의 이방성을 가장 정확히 묘사할 수 있는 solid 64 요소를 사용하여 개발하였고, beam 요소의 경우 3차원 해석이 가능한 beam 189 요소를 사용하였다. 각각의 축방향에 따라 달라지는 포아송비와 탄성계수 그리고 전단계수는 wood handbook (1999)에 따라 Tables 9, 10의 값을 대입하였다. 앞에서 밝힌바와 같이 beam 요소와 solid 요소간의 좌표축의 상이함을 반드시 고려하여야 한다.

정각형 스킨팁버의 최대 압축성능에 대한 수치해석을 통한 예측치와 실제 실험을 통한 실측치는 Table 11과 같다.

정각형 스킨팁버의 경우 Table 3의 실험값(481256 N)과 수치해석의 결과(508570 N-105.7%)가 상당히 유사함을 알 수 있다. 원통형 스킨팁버 역시 Table 11의 결과와 같이 Table 5의 실험값(236375 N)과 유사하게 얻어진다. 다만 solid 요소를 사용한 경우 (308800 N-130%)보다 보 요소를 사용한 경우 (272580 N-115%)가 더 유사하게 나타난다. 원통형 스킨팁버의 경우 가공과정에서 잔존면적이 낮아서 가공공구에 의한 손상을 많이 입어 육안으로도 실험 이전에 크랙이 상당히 심했던 것을 고려한다면 수치

Fig. 6. Eigenvalue for the beam model of cylinder shape skin-timber.

해석의 결과는 상당한 정도의 유사성을 보인다고 할 수 있을 것이다. 최대 성능 예측은 수치해석에서 Fig. 6과 같이 하중-처짐량 수치해석 결과에서 기울기가 변하는 지점인 아이겐밸류를 사용한다.

최대 압축 성능을 보이는 단계에서의 변형량과 Von mises 응력 그리고 1차 주응력의 결과는 Fig. 7과 같다.

4. 결 론

이산화탄소 흡수율과 오존 흡수율이 뛰어나고 다른 수종에 비해 현저히 빨리 자라는 성질을 가져 저탄소 녹색성장에 적합한 백합나무를 사용하여 대단면 스킨티머를 개발하였다.

백합나무를 사용한 스킨티머의 경우 정각형 스킨티머는 소재에 대해 56.3%의 잔존 강도를 보여서 우수한 성능을 나타내었으며 원통형 스킨티머의 경우 잔존면적률이 25%임에도 불구하고 소재에 대해 50% 가까운 압축 성능을 나타내어 가구용 뿐만 아니라 대단면 재료로써 다양한 쓰임새가 가능함을 보여주었다. 전체적으로 정각형과 원통형 모두 일반소재의 압축파괴 실험에서 가장 많이 나타나는 Brooming or end rolling가 주요 파괴모드이며 부분적으로 splitting 파괴 모드도 나타났다.

정각형과 원통형 스킨티머 사이에는 통계적 유의성을 보이지 않아 각기 주어진 여건에 따라 취사선택

Fig. 7. Numerical results for three finite element model with yellow poplar skin-timber.

해서 사용할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 수치해석 모델을 적용한 결과 우수한 강도 예측이 가능하였고 이를 활용하여 다양한 치수와 다양한 잔존면적에 대한 성능 예측이 가능하여 활용도를 극대화 할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 김광철, 박희준, 정인수. 2009. 목재 폐기물 재활용의 의의 및 필요성에 대한 고찰. 한국 가구학회지 20(1): 31~41.
2. 김광철, 이남호, 오승원. 2009. Study on the prediction of structural capacity for the skin-timber I. 한국목재공학회 학술발표 요지집 35~36.
3. 김광철, 박희준. 2009. Study on the prediction of structural capacity for the skin-timber II. 한국목재공학회 학술발표 요지집 147~148.
4. 김광철, 정인수. 2009. Study on the dowel bearing strength for the development of skin-timber. 한국목재공학회 학술발표 요지집 149~150.
5. 김광철, 이남호, 오승원. 2010. 실대재 스킨티머의 압축 성능에 관한 연구. 한국목재공학회 학술발표 요지집 177~178.
6. 김광철, 박희준. 2010. 개량 스킨티머의 압축 성능에 관한 연구. 한국목재공학회 학술발표 요지집. 179~180.

7. 김광철. 2010. 개량 스킨 티버의 압축 강도에 대한 연구. 한국 목재 공학회지 38(4): 282~291.
8. 김광철. 2010. 가구용 및 중목구조용 실대재 스킨 티버의 압축 성능에 관한 연구. 한국가구학회지 21(4): 273~283.
9. 유근옥 외 5명. 2008. 백합나무의 생장특성과 이용기술. 국립산림과학원연구자료 제320호.
10. 이상태 외 5명. 2010. 백합나무의 특징 및 관리. 국립산림과학원 연구자료 제395호.
11. 이수원 외 3명. 2010. 백합나무 시설양묘사업기술. 국립산림과학원연구자료 제382호.
12. 이필우. 1997. 한국산 목재의 성질과 용도. 서울대출판사.
13. ASTM D 143. 2007. Standard test methods for small clear specimens of timber.
14. FPL. 1999. Wood handbook. UDSA.
15. Kim, G.-C., C.-W. Kang, and J. Matsumura. 2009. Studies On The Evaluation Of Dowel-Bearing Strength For The Manufacture Of Skin Timber. Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University 54(2): 449~455.
16. Kim, G.-C., C.-W. Kang, and J. Matsumura. 2010. Estimating The Structural Capacity Of Skin-timber. Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University 55(2): 287~295.
17. Kim, G.-C., C.-W. Kang, and J. Matsumura. 2010. A Regression Analysis For Estimating The Strength Of Skin Timber Using The Density And Boring Diameter. Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University 55(2): 297~306.
18. KSF 2206-2004-06. 2004 Method of compression test for wood.