

소경재를 이용한 집성 arch재의 강도 특성¹

박준철² · 홍순일²

Strength properties of arch type laminated lumber produced from domestic small lumbers

Jun-Chul Park² · Soon-Il Hong²

요 약

본 연구에서는 국산 소경재(소나무, 낙엽송)로 제작한 집성 아치재의 강도와 제작방법을 연구하였다. 아치형 집성재는 강도와 초기강성을 향상시키기 위하여 여러 가지 다른 라미나의 조합으로 제작하여 강도를 평가하였다.

실험결과 낙엽송 집성재의 강도가 소나무 집성재보다 높게 나타났으며, 7ply 집성재의 최대하중이 5ply보다 약 2배 높은 경향을 보였다. 또한, 핑거 조인트된 라미나로 제작된 집성재는 무중첩합 집성재보다 약 15.8% 낮은 강도를 나타내었다. 이 같은 문제해결의 한 방안으로 집성재의 최외각층에 베니어를 적층시켜 보강하였을 때, 베니어 집성재가 베니어로 보강하지 않은 집성재보다 월등히 높은 강도를 나타내었다. 본 연구결과 알맞은 라미나 조합으로 부재를 제작한다면 소경재의 활용이 가능하고 부가가치를 높일 수 있을 것으로 생각된다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the strength and technical feasibility of arch type laminated lumber from the domestic small lumbers(*Pinus densiflora* S. et Z. and *Larix kampferi* Carr.). Arch type lumbers manufactured with different compositions of laminae. It was designed to improve the strength and stiffness.

Strength of the *Larix kampferi* Carr. laminated lumbers were higher than that of the *Pinus densiflora* S. et Z. Ultimate load of 7-ply laminated lumbers were 2 times higher than the 5-ply laminated lumbers. The strength of finger jointed lumbers were found to be about 15.8% less than that of the no joint lumber.

1. 접수 2001년 6월 21일 Received June 21, 2001

본 연구는 2000년도 한국과학재단 산학협력연구 지원으로 수행되었음.

2. 강원대학교 산림과학대학 임산공학과 Dept. of Wood Science & Technology,

College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea

One solution for this problem is to use veneer as the face lamina. The veneer laminated lumbers was considerably greater than that of the non-veneer laminated lumbers. It was suggested that this small lumber may be a candidate for high valued product member to provide the proper combination of laminae.

Keyword : domestic small lumbers, arch type laminated lumber, combination of laminae

서 언

우리 나라는 국내 목재류 소비량의 87% 이상을 외재에 의존하고 있다. 80년대 중반에 들어오면서 자원보유국들이 자국내 임산업 보호와 고부가가치 산업 육성을 위해 원목 수출 금지, 또한 산림보호 운동 확산으로 벌채규제도 더욱 강화되어서 목재의 수요량이 급증하는 추세에 있는 국내의 목재 시장은 상당히 어려운 상황에 있다. 최근에는 수입선이 동남아시아 위주에서 시베리아, 북미, 남미 등으로 다변화되고 있으나 장기간의 수요를 안정적으로 충족시키기는 어려울 것으로 추정된다. 국산재의 수종별 공급비율을 살펴보면 소나무가 20.3%, 낙엽송이 38.7%, 리기다 11.1%, 잣나무 11.1%로 침엽수가 대부분 차지하고 있으며, 활엽수는 16.5% 차지하고 있다¹³⁾. 경급 구성비는 소경재(말구지름 15cm미만) 48.3%, 중경재(말구지름 15~30cm미만) 48%, 대경재(말구지름 30cm) 3.7%로서 국산재는 주로 소, 중경재로 공급되고 있다. 현재 국산 원목 공급은 약 6% (주벌, 간벌)이며, 이들은 주로 간벌 작업에서 얻어지는 소경재로 국산재 용도별 생산량의 75%를 차지한다. 목재의 자급율을 높이기 위해서는 경제림 조성 및 대경목 생산에 집중되어야겠지만 우선은 이들 저질재, 미성숙재, 소경 간벌재등의 소재를 유효하게 이용하기 위한 연구^{2,5,14,15)}가 시급하다. 주요 국산 공급 수종인 소나무와 낙엽송의 소경재는 통직의 장척재를 얻기 어렵고 용이의 빈도가 높을 뿐만 아니라 미성숙재이기 때문에 활렬, 비틀림 등의 건조 결함이 발생하기 쉬우며 또한, 목재의 공업적 측면에서도 질과 양을 만족하기 어렵기 때문에

펠프, 갯목, 표고골목등의 저차가공만이 이용의 주체로 목질재료로서의 이용연구는 많지 않다.

따라서, 본 실험에서는 소경재의 고부가가치화 방안으로서 소나무와 낙엽송 소경재를 이용한 아치형 집성재를 제작하여 제작과정의 합리화 및 제작된 집성재의 수종, 적층수, 단면에 따른 강도 특성을 알아보았다. 또한, 집성재의 강도 성능을 지배하는 각 라미나의 강성 추정이 가능하다면 제조하는 집성재의 강도 성능에 대한 신뢰성^{1,3,4,6-12)}을 높일 수 있으므로 라미나의 조합에 따른 강도 특성 평가를 행하였다.

재료 및 실험방법

2.1 라미나 제작 및 선별

아치형 집성재 제작에 사용된 공시재료는 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.), 낙엽송(*Larix kaempferi* Carr.) 소경재와 중경재에서 각재를 제재하고 남은 죽더끼를 이용하였다. 종접합용 라미나는 두께 0.6cm, 폭 4.5cm의 치수로 제재하고 핑거 조인트로 종접합하여 길이 210cm의 라미나를 제작하였으며 무종접합용 라미나는 중경재 죽더끼에서 제재하여 준비하였다. 라미나용 제재판의 함수율은 10~13%였다.

라미나용 제재판은 육안적, 기계적 선별을 통해 등급을 결정하였다. 종접합용 제재판은 Pundit 초음파 측정기(그림 1)를 이용한 비파괴 방법으로 영계수(MOE)에 따라 4등급(1등급 11만이상, 2등급 10만이상, 3등급 9만이상, 4등급 8만이상)으로 구분하였다. 종접합 라미나는 MOE등급에 따라 선별된 제재판을 동일한 등

급끼리 종접합한 것과 무작위로 선별하여 종접합한 라미나로 제작하였다.

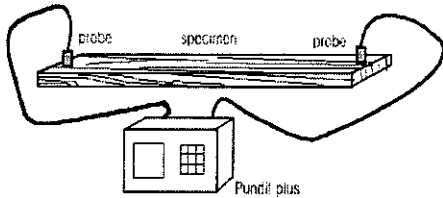


Fig. 1 Schematic diagram of ultrasonic test equipment.

그리고, 무종접합용 라미나의 등급은 MOE 8만 이상의 제재판 중에서 집중 용이 절경비에 의한 육안적 식별을 통해 구분하였다. 집중 용이 절경비는 라미나를 길이방향으로 3등분하여 중간부분에서 15cm 재면에 존재하는 용이 직경의 합과 재면 폭의 비로 4등급(Table 1)으로 구분하였다.

Table. 1 Knot grade of *Pinus densiflora* and *Larix kaempferi* lamina

Grade	Grouped knot diameter ratios (K)	MOE(E) 10 ⁴ kgf/cm ²
1	K ≤ 1/8	E > 8
2	K ≤ 1/4	E > 8
3	K ≤ 1/3	E > 8
4	K ≤ 1/2	E > 8

2.2 아치형 집성재의 제작

용이 및 MOE 등급 구분으로 선별된 라미나의 조합은 그림 2와 같이 조합하여 아치형 집성재를 제작하였다. 집성재는 라미나의 조합 형식에 따라 아래와 같이 구분하였다.

· 5PS, 7PS(5LS, 7LS) - 무종접합 소나무(낙엽송) 라미나를 5ply, 7ply 적층시킨 집성재

· 5PF, 7PF(5LF, 7LF) - 같은 MOE등급의 제재판으로 핑거 조인트한 소나무(낙엽송) 라미나를 5ply, 7ply 적층시킨 집성재

· 5PFR, 7PFR(5LFR, 7LFR) - 제재판의 MOE 등급을 선별하지 않고 핑거 조인트한 소나무(낙엽송) 라미나를 5ply, 7ply 적층시킨 집성재

· 5PFV, 7PFV(5LFV, 7LFV) - MOE등급으로 선별된 라미나를 사용하여 제작된 집성재의 최외각층에 라왕 베니어로 각각 2ply씩 총 4ply 적층시킨 소나무(낙엽송) 집성재

· 5PFRV, 7PFRV(5LFRV, 7LFRV) - MOE등급으로 선별하지 않은 집성재의 최외각층에 라왕 베니어로 각각 2ply씩 총 4ply 적층시킨 소나무(낙엽송) 집성재

5, 7 : 적층수

P : 소나무

L : 낙엽송

S : 무종접합 라미나

F : 종접합 라미나

R : MOE등급으로 선별하지 않고 제작한 라미나

V : 최외각층에 2mm 라왕 베니어로 각각 2ply씩 총 4ply 적층시킨 집성재

Knot	Knot	Knot	Knot
1	1	1	1
1	1	1	1
4	4	4	4
2	2	2	3
1	1	1	1

5PS1 5PS2 5LS1 5LS2

1	1	1	1
1	1	1	1
3	2	2	2
4	4	4	4
3	3	4	4
1	1	1	1
1	1	1	1

7PS1 7PS2 7LS1 7LS2

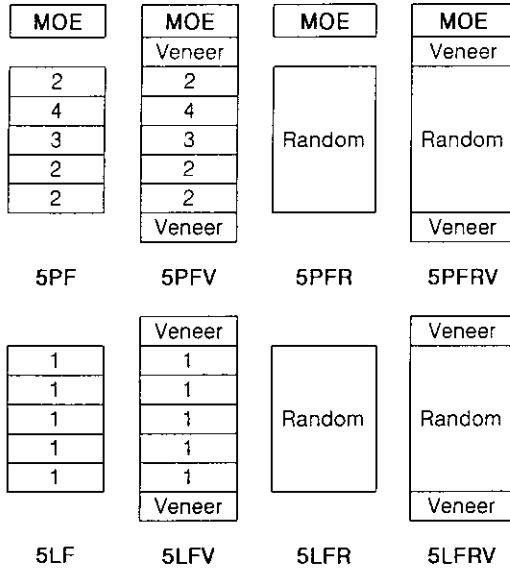


Fig. 2. Cross-sectional composition of laminae.

폭의 차이에 의해 단면계수가 증가된 8(b)×0.6(h)×210(l)cm의 무종접합 소나무 제재판 라미나를 이용한 집성재의 조합은 저급재를 내층에 적층시키고 양호한 재를 외층에 적층시키는 방법으로 5ply, 7ply를 제작하였다. 각 조합별 집성재는 각각 2본씩 제작하였다.

아치형 집성재의 제작은 반지름 50cm의 반원 형태의 집성 치구(그림 3)를 사용하였다. 접착제는 목재 집성용 상온 및 열경화성 접착제인 비닐 우레탄 합성수지 접착제(MPU-500)를 사용하였다. 수지율은 50%였으며 도포량은 300g/m²으로 도포하였다. 무종접합 라미나로 아치형의 집성재를 제작시 용이 부분에서 파단이 일어나는 것을 막기 위해 용이등급이 낮은 재를 중간에 위치시켜 3~4ply씩 동시에 적층시켰다. 압제압력은 10kgf/cm²로 총 18개의 clamp를 사용하였고 적층시 측면으로 밀리는 것을 방지하기 위해 집성재의 측면에서도 clamp로 고정을 시켜주며 8시간동안 상온 경화시켰다.

평거 조인트로 종접합한 라미나로 집성재를 제작할 경우 두께가 얇기 때문에 조인트부에서

파단되지 않을까 하는 염려가 되었으나 실험결과 제작시에는 파단이 일어나지 않았다.

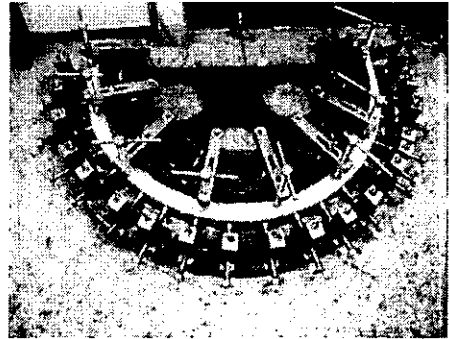


Fig. 3. Photographs of arch frame.

2.3 강도 측정

아치형 집성재의 강도 시험은 유압가력장치를 이용하여 지점을 편 type으로 고정시키고 변위계를 다섯 곳에 설치하여 중앙 부위의 수직 변형과 45° 위치의 수평 변형, 양끝 지점에서 약 5cm 위쪽의 수평 변형을 측정하였다. 하중 및 변형의 측정은 컴퓨터 제어가 가능한 Data Logger (TDS-303)를 이용하여 측정하였다.

결과 및 고찰

아치형 집성재의 전형적인 파괴경향(그림 4)을 보면 최대하중에서 인장응력을 받는 하단부에 1차 파단이 일어난 후 급격한 하중의 감소 없이 2차 파단이 일어나는 경향을 보이고 있다. 이 결과 중앙에 하중이 가해지면 인장응력을 받는 최하단층에서 파단(1~2ply)이 일어날 때 모든 층이 한번에 파괴되는 것이 아니라 1차 파단 후 어느 정도 하중을 견디다 인장응력 층에서부터 압축응력층으로 순차적 파단이 진행되는 경향을 보이고 있으며 제작된 모든 아치형 집성재에서 비슷한 경향을 보였다. 실험 결과는 조합 조건에 따라 최대하중과 수직변형의 평균을 나타낸 것이다.

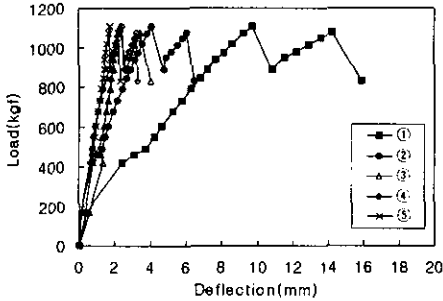


Fig. 4. Load-deflection curve of typical laminated arch.(7PS1)

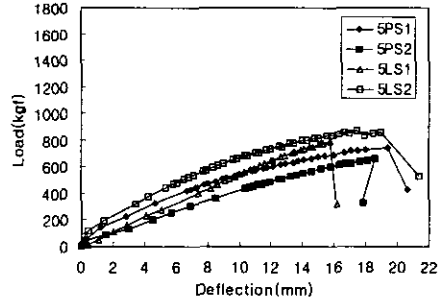


Fig. 5. Load-deflection curve of no finger joint laminated arch.(5ply)

3.1 수종 및 적층수에 따른 강도

수종에 따른 집성재의 초기강성은 소나무재와 낙엽송재가 큰 차이를 보이지 않았다.(그림 5, 6) 하지만, 최대하중은 낙엽송재는 5ply 830kgf, 7ply 1530kgf로 소나무재 5ply 690kgf, 7ply 1230kgf보다 1.23배 높은 강도값을 나타내었다. 적층수에 따른 강도값은 7ply와 5ply를 비교해보면 초기강성은 7ply가 5ply보다 약 2배 높은 결과를 보였으며 최대하중 역시 7ply 소나무재가 1230kgf, 낙엽송재가 1540kgf로 5ply 소나무재 690kgf, 낙엽송재 830kgf보다 1.82배의 높은 값을 가지고 있었다. 또한, 수직 변형은 최대하중과 반대로 5ply가 7ply보다 약 2배 많은 변형을 보였다.

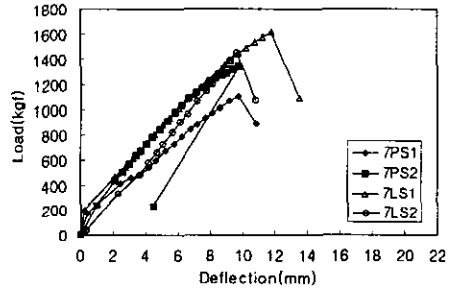


Fig. 6. Load-deflection curve of no finger joint laminated arch.(7ply)

3.2 단면의 증가에 따른 강도

그림 7과 같이 단면 차이에 따른 초기강성은 폭 8cm가 폭 4.5cm보다 약간 높은 경향을 보였으며 최대하중 역시 폭 8cm의 집성재는 5ply

Table 2. Values of ultimate strength and deflections(No finger joint)

Size	Species	Ply	P _{max} (kgf)	① (mm)	② (mm)	③ (mm)	④ (mm)	⑤ (mm)
b=4.5cm	<i>Pinus densiflora</i>	5-ply	690	19.0	6.1	8.0	4.4	4.8
		7-ply	1230	9.7	3.8	3.2	2.5	2.1
b=4.5cm	<i>Larix kampferi</i>	5-ply	830	16.6	5.3	6.5	3.6	3.6
		7-ply	1540	10.8	2.3	4.7	2.1	2.8
b=8cm	<i>Pinus densiflora</i>	5-ply	880	17.5	6.4	4.4	4.8	3.8
		7-ply	1600	14.1	4.6	4.4	3.1	3.1

880kgf, 7ply 1600kgf로 폭 4.5cm 집성재 5ply 690kgf, 7ply 1230kgf보다 1.29배 높았다. 그러나 수직변형에서는 4.5cm, 8cm 모두 비슷한 변형을 나타내었다.

본 실험에서 측정된 무종접합 라미나 집성재의 최대하중과 변형 결과는 Table 2에 나타내었다.

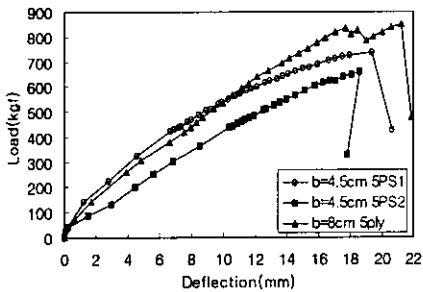


Fig. 7. Load-deflection curve of no finger joint laminated arch.(width 4.5cm and 8cm : *Pinus densiflora* S. et Z.)

3.3 종접합 집성재의 강도

종접합한 라미나 집성재와 무종접합 라미나 집성재의 강도 차이는 그림 8, 9와 같이 초기 강성은 비슷하게 나타났으며 최대하중은 무종접합의 경우 764kgf로 종접합한 경우 640kgf, 520kgf보다 약 1.32배 높은 하중값을 나타내었다. 또한, 수직변형도 무종접합의 경우가 17.8mm로 종접합한 경우인 12.7mm와 9.9mm보다 약 1.58배 많은 변형을 보였다. 초기강성은 비슷한 값을 가지지만 최대하중에서 높은 하중뿐만 아니라 많은 변형을 보이는 것은 종접합하여 제작한 집성재의 경우 조인트된 부분에서 파단이 일어나는 경향을 보였기 때문이라고 판단된다. 핑거 조인트는 강도적으로 결점으로 작용할 수 있다고 생각된다.

한편, 제재판의 등급을 선별하여 제작한 라미나로 제작한 경우는 최대하중 640kgf, 1210kgf로 선별하지 않은 경우 520kgf, 1070kgf보다 1.17배 높은 하중값을 나타내었으며 변형도 12.7mm, 14.3mm로 9.9mm, 12.5mm보다

1.21배 높은 변형을 나타내었다. 이 결과 핑거 조인트를 하여 제작할 때 제재판의 MOE등급을 선별하여 MOE값이 양호한 제재판으로 제작하면 높은 강도를 얻을 수 있다고 분석된다.

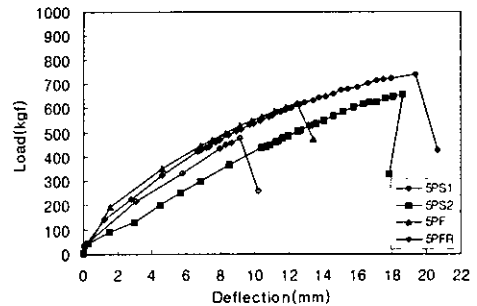


Fig. 8. Load-deflection curve of no finger joint and finger joint laminated arch. (*Pinus densiflora* S. et Z.)

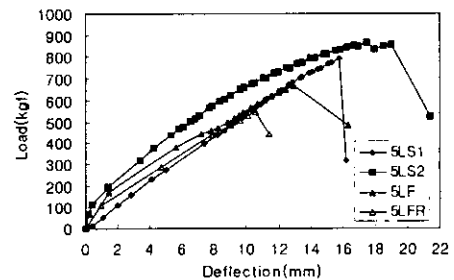


Fig. 9. Load-deflection curve of no finger joint and finger joint laminated arch. (*Larix kaempferi* Carr.)

3.4 라왕 베니어의 적층에 따른 강도

최외각층에 두께 2mm의 라왕 베니어를 각각 2ply씩 총 4ply를 추가로 적층시켰을 경우 그림 10, 11과 같이 최대하중이 1210kgf와 1070kgf로 보장하지 않은 경우 640kgf, 520kgf보다 약 2배의 높은 하중을 보였으며 수직변형도 14.3mm, 12.5mm로 12.7mm, 9.9mm보다 약 1.19배 높은 변형을 보였다. 베니어의 보강으로 조인트부의 결점을 보완할 수 있을 것으로 생각된다(Table 3).

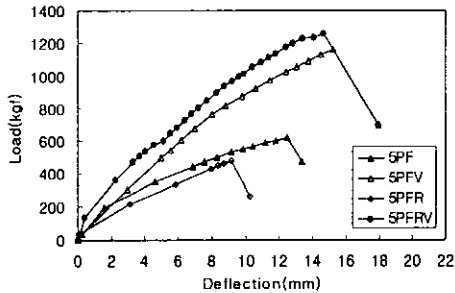


Fig. 10. Load-deflection curve of finger joint laminated arch. (*Pinus densiflora* S. et Z.)

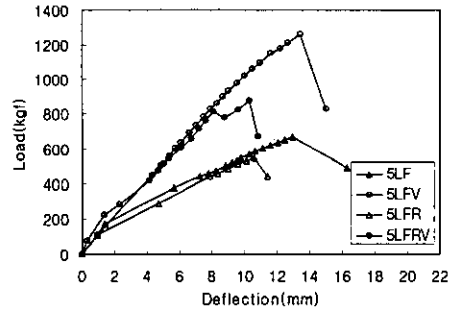


Fig. 11. Load-deflection curve of finger joint laminated arch. (*Larix kaempferi* Carr.)

Table 3. Values of ultimate strength and deflections. (Finger joint)

Sample		P_{max} (kgf)	① (mm)	② (mm)	③ (mm)	④ (mm)	⑤ (mm)	
Finger-joint	No-joint	5S	760	17.8	5.7	7.2	4.0	4.2
	No-veneer	5F	640	12.7	4.8	4.6	2.9	3.1
		5FR	520	9.9	2.6	5.2	2.0	3.0
	Veneer	5FV	1210	14.3	3.6	4.8	2.6	3.5
		5FRV	1070	12.5	3.4	4.9	2.5	3.0

결론

국산 소경재의 고부가가치화 방안으로 아치형 집성재의 강도적 특성을 통한 소경재의 활용 가능성을 알아보려고 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

아치형 집성재의 파괴 경향은 인장응력을 받는 최하단층부터 상층으로 순차적으로 일어나는 경향을 보였으며 1차 파단 후에도 최하층에 가까운 하층을 유지하였으며 2차 파단이 일어나는 것을 알 수 있었다.

수중에 따른 강도는 소나무재보다 낙엽송재가 약간 높은 강도를 나타내었으며 적층수의 2ply 증가로 약 2배 증가하였다.

강도에 미치는 핑거 조인트의 영향을 보면 핑거 조인트한 라미나로 제작한 집성재가 무

중접합 라미나 집성재보다 강도적으로 낮은 경향을 나타내었다. 하지만, 중접합시에 MOE 등급을 선별하여 제작하였을 때 강도의 향상을 보였으며 최외각층에 라왕 배니어를 보강하여 주었을 때 높은 강도의 증가를 보였다. 핑거 조인트는 초기 강성에는 영향을 주지 않으나 조인트부의 파단으로 강도는 약간 떨어지는 경향을 보였다.

부재의 강도는 단면계수보다는 적층수에 따라 큰 차이를 보였으며 중접합없이 제작하는 것이 약간 높은 강도를 나타내었다.

소경재를 이용하는 경우 대부분이 중접합하여야 하지만 중경재 이상의 재를 사용하는 무중접합 집성재와의 강도 특성은 큰 차이를 보이지 않고 있다.

소경재에서는 원하는 크기의 라미나를 얻을 수 없으므로 이용하기 위해서는 대부분 중접합

을 하여야 한다. 본 연구 실험결과 높은 하중의 파단은 조인트부에서 일어나며 결점으로 작용할 수 있었다. 하지만, 중경재 이상의 재에서 사용하는 무중첩합 집성재와의 강도특성은 큰 차이를 보이지 않고 있었으며 제재판의 선별 및 최외각층에 베니어나 양질의 무중첩합 라미나로 보강을 하여 준다면 조인트부의 결점은 보완될 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 아치형 집성재 제작시 얇은 라미나의 특성상 중첩합한 라미나는 조인트부에서 파단이 일어날지도 모른다고 생각하였지만 제작 중에는 파단이 일어나는 경우는 없었다. 소경재를 이용한 아치형 집성재는 강도적으로나 제작면에서 활용이 가능하다고 생각된다.

소경재로 제작된 아치형 집성재를 응용한 다양한 제품 개발의 가능성을 알 수 있었으며 소경재를 활용한 아치형 집성재의 제품 개발을 통한 소경재 수요 증가는 소경재의 부가가치를 높일 수 있을 것이다.

참고 문헌

- Bender, D. A., A. G. Burk, S. E. Taylor, J. A. Hooper. 1990. Predicting localized MOE and tensile strength in solid and finger-jointed laminating lumber using longitudinal stress waves. *Forest Prod. J.* 40(3) : 45-47.
- David W. P., 1998. Inside-out beams from small-diameter appalachian hardwood logs. *Forest Prod. J.* 48(1) : 76-80
- John Peterson. 1993. The effect of width on the bending strength of glulam beams. *Forest Prod. J.* 43(3) : 27-30
- Moody R. C., P. Pedro, De. Sousa, J. Kebvin Little. 1998. Variation in stiffness of Horizontally laminated glulam timber beams. *Forest Prod. J.* 30(10) : 39-45
- 山田節彦, 森 光正. 1986. 間伐小木を用い孔角たベネルの開発. *木材工業* 42-8 (360-364) : 12-16
- 小玉泰義. 1990. 音速による變断面形態を有する木材のヤング係數推定方法(第1報)
- 森 光正. 1989. 孔角集成ベネルを用いた耐力壁の性能. *木材工業* 44-7(16) : 320-323
- 林 知行. 1989. 曲律モデルによる集成加工材料の予側 (第1報) MOE 分布.
- 林 知行. 1992. 構造信賴性向上技術としての集成加工(I). *木材工業* 47(4) : 152-156
- 林 知行. 1992. 構造信賴性向上技術としての集成加工(II). *木材工業* 47-5(5) : 207-212
- 林 知行, 宮武 敦. 1991. スギ複合集成材の強度性能 (第1報). *木材學會誌* 37(3) : 200-205
- 林 知行, 宮武 敦. 1993. 集成加工材料の強度特性に及する欠占分散の影響 (第1報). *木材工業* 48(10) : 27-30
- 임업연구원. 2000. 임산물 수급현황. 임업경제 동향 년차 보고서 제167호 99~123
- 차재경. 1996. 국산 소경재를 이용한 집성재 개발을 위한 응력과 연구(I). *목재공학* 24(3) : 90-100
- 차재경. 1996. 국산 소경재를 이용한 집성재 개발을 위한 응력과 연구(II). *목재공학* 24(4) : 7-14