목재공학 31(5): 65~71, 2003
Mokchae Konghak 31(5): 65~71, 2003

집성재 단면구성에 따른 휨성능 평가*1

이 전 제*2† · 김 광 모*2 · 한 재 수*3 · 김 재 건*3

Evaluation of the Bending Properties of Glulam with Different Cross-Section*1

Jun-Jae Lee*2† · Kwang-Mo Kim*2 · Jae-Su Han*3 · Jae-Keon Kim*3

요 약

본 연구에서는 몇 가지 새로운 집성재 단면구성 방법을 제안하고, 국산 낙엽송과 합판으로 제조된 집성재의 휨시험을 통해 단면 구성에 따른 집성재의 휨성능을 평가 비교하였다. 수평적층(BH), 수직적층(BVN), 수직으로 합판보강된 수직적층(BVV)과 수평으로 합판보강된 수직적층(BVH)의 총 네가지 형태의 단면구성 방법에 대하여 실험을 실시하였다. 파괴모드를 관찰하고, 실험을 통해 얻어진 하중-변형 곡선으로부터 MOR 및 MOE를 계산하여 이를 바탕으로 각 단면구성 방법의 휨성능 개선효과를 비교하였다.

MOR의 경우에는 결함의 분산으로 인해 수직적층에서 수평적층에 비해 23% 정도의 개선효과를 얻을 수 있었으나, MOE의 경우에는 거의 유사한 값을 나타내었다. 수평으로 합판보강된 경우에는 상대적으로 휨성능이 약한 합판이 사용됨에 따라 MOE가 15% 정도 감소하였으나, 수직으로 합판보강된 경우에는 합판이 사용되었음에도 불구하고 MOE의 감소 없이 MOR이 개선되는 효과를 나타내었는데 이는 전단보강의 효과로 생각되며 이러한 효과를 파괴모드의 관찰을 통해서도 확인하였다. 이상의 결과로부터 집성보의 단면 구성시 라미나의 적절한 배치 및 전단보강 등을 통하여 전체적인 휨성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, bending capacities of glulams with different configurations of cross-section were evaluated. These configurations included horizontal(BH), vertical(BVN), vertical with vertical plywood (BVV) and vertical combination of lamination with horizontal plywood(BVH). Full-scale bending

* 1 접수 2003년 1월 6일, 채택 2003년 1월 22일
* 2 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea
* 3 한라대학교 건축공학과 Department of Architecture, Halla University, Wonju 220-712, Korea
† 주저자(corresponding author) : 이전제(e-mail: junjae@snu.ac.kr)

tests were performed to investigate the effect of different section configurations on bending strength (MOR) and stiffness(MOE) of glulam.

Compared with type BH, MOR of glulam with type BVN configuration was improved about 23%, which was considered to be caused by defect dispersion effect, while MOE of glulams with these two types of configurations were similar. Because MOE of plywood is generally smaller than that of solid wood laminar, MOE of type BVH glulam decreased about 15%, but in the case of type BVV glulam, MOR was improved without any reduction of MOE. The reason of this result could be undersood in the view of shear-reinforcement effect, which was verified from analysis of fracture mode.

From the results of this study, it was concluded that bending capacity of glulam could be improved by proper section design, such as laminar arrangement and shear reinforcement.

Keywords: Glulam, Section Design, Fracture Mode, MOR, MOE

1. 서 론

국내 목재산업은 대량 생산되는 철근 콘크리트구조의 뛰어난 실용성과 가격경쟁력 그리고 산림보호 정책에 밀려 수입목을 중심으로 일부 한옥과 문화재보존 · 보수 그리고 고급 건축물의 내부 마감재로 그 명맥을 유지해왔다. 그러나 산림보호육성정책의 성공으로 임목축적량이 증가하고, 이에 따라 간벌의 필요성이 대두되기 시작하면서 1980년대 후반 이를 활용한 통나무집이 개발되기 시작했고, 1990년대 초반부터 경제 성장과 더불어 경골 목조건축기술의 수입이 확대되면서 이 건축기법은 매년 건축물량이 80% 정도씩 증가할 만큼 급격한 신장을 보이면서 이제까지와 다른 새로운 목조건축문화를 형성하기 시작하였다.

그러나 1980년 후반부터 전 세계적으로 등장하기 시작한 환경문제가 산림자원 보호에 대한 각국의 관심을 새롭게 고조시켜나가자 그동안 외국으로부터 공급받았던 양질의 원목 수입은 점차 어려워지고 있으며 산업 패러다임의 변화는 국경 없는 문화전쟁의 시작을 이미 예고하고 있다. 이러한 상황에서 국내 임산계의 실정을 살펴보면 그동안 지속적으로 증가해온 임목축적으로 국산재의 생산 잠재력의 증대로 간벌의 필요성과 국산재의 소비가 절실해졌다. 뿐만 아니라 건축문화의 대외 경쟁력 강화와 정체성 확립의 기초를 이루고 있는 전통주거건축문화 개발 작업은 중요한 문화전략이 되고 있다. 이러한 두 가지 관점에서 볼 때 국산재의 결점인 주로 중 · 소경재이기 때문에 생산비와 목재 유통구조 그리고 산업화에 상당한 문제를 갖고 있다는 사실이 해결해야 하는 시급한 당면과제이다. 따라서 본 연구에서는 국산재의 새로운 수요창출을 위한 대안의 하나로 중소경 저급재인 국산재의 건축 부재화 연구를 제안하고자 하며 일차 연구대상으로 긴 스팬의 한옥개발에 필요한 구조용 집성재에 관하여 연구하고자 한다.[2]

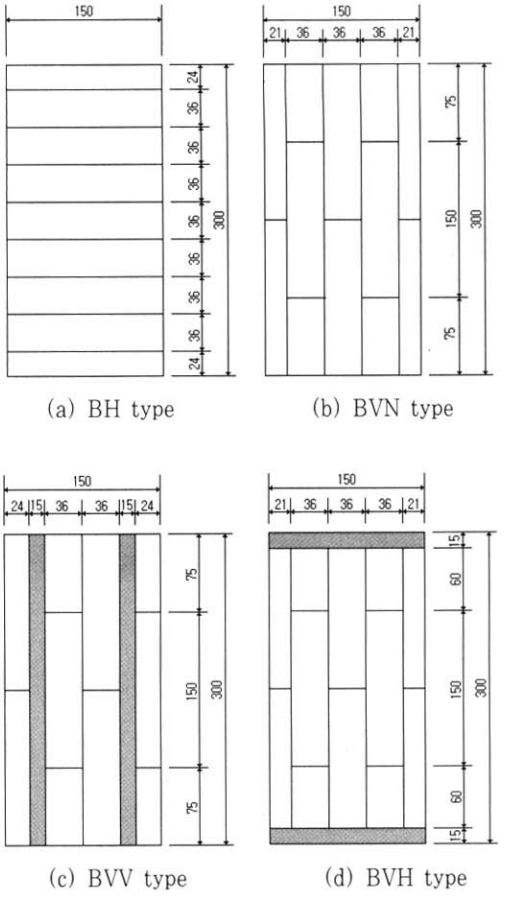
2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

구조용 집성재를 제작하기 위한 목재는 비교적 통직하며 우리나라에 대량으로 식재되어 있어 공급이 원활하고 강도 및 내구성 등의 구조적 성능이 우수한 낙엽송(*Larix leptolepis*)을 대상으로 하였으며, 전북 진안군과 남원군 일대에서 벌채된 간벌재 중 직경이 210 mm 이상인 원목을 구입하여 사용하였다.

집성부재 제조시 라미나의 치수는 경급 특성상 보다 높은 수율을 얻기 위하여 두께와 폭을 36×150 mm로 제재하여 집성재 제조용 라미나로 사용하였으며, 집성재는 단면 150×300 mm, 길이 3.6 m의 크기로 제작하였다.

현재 일반적으로 사용되고 있는 집성재는 Fig. 1 (a)와 같은 라미나 적층방식을 택하고 있다. 그러나



(a) BH type (b) BVN type

(c) BVV type (d) BVH type

Fig. 1. Configuration of cross section.

이와 같은 집성방법을 사용할 경우 집성재의 강도는 최외각 층에 배치된 라미나의 특성과 핑거 접합부(finger joint) 및 옹이와 같은 결함부에 의해서 결정되므로[1] 본 연구에서는 이와 같은 결함부의 영향을 최소화시키기 위한 방법으로 라미나의 구성을 Fig. 1 (b)와 같이 세로로 겹쳐 단면을 구성하여 최종적인 파괴가 라미나 결함부의 국부적인 파괴에서 발생하는 것을 억제하고자 하였으며, Fig. 1 (c) 및 (d)와 같이 합판을 이용하여 단면의 결함을 보강 구성하였다. 일반적으로 핑거 접합부의 강도는 제재목 강도의 75%인 것으로 보고 되고 있다.[6]

이때 사용된 합판은 일반적으로 사용하는 두께 15 mm 합판을 이용하였다. 집성재 제조시의 제조조건을 Table 1에 나타내었다.[4]

Table 1. Manufacturing condition of glulam

Adhesive	Cold-set Resorcinol Resin (resin solid : 58%)
Glue spread	300 g/m^2
Pressure	7.0 kgf/cm^2
Pressure Time	24 hr

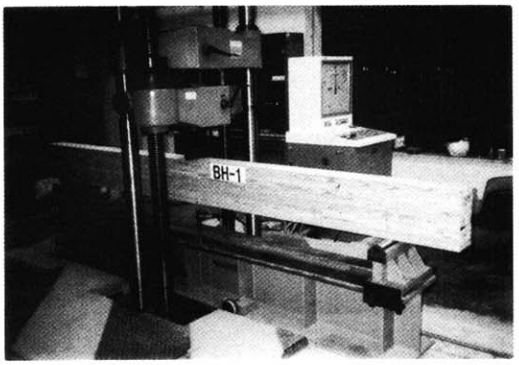


Fig. 2. Setup for three-point bending test.

2.2. 실험방법

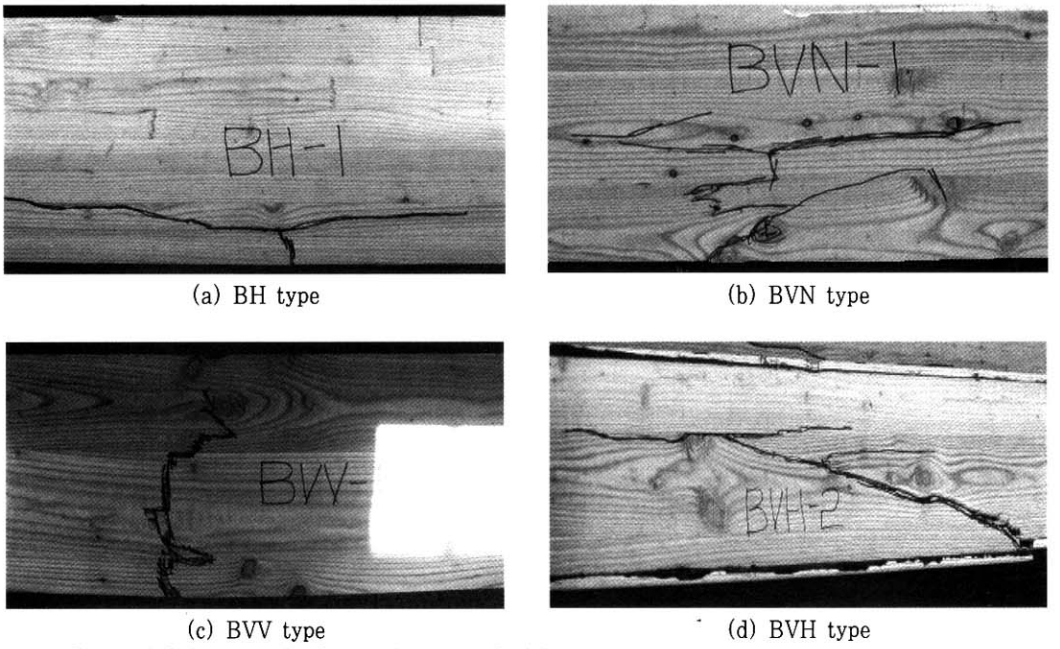
집성재의 휨성능을 측정하기 위하여 각각의 단면구성에 대하여 총 3회의 휨시험을 실시하였다.

하중 재하방법은 용량 100 tonf의 유압식 만능강도 시험기를 사용하여 Fig. 2에서와 같이 지점 사이의 거리를 3 m로 하여 시험체 양단을 단순지지 조건으로 하는 중앙 집중하중 재하방법을 취하여 부재의 중앙부에 최대 휨 모멘트가 가해지도록 하였다. 부재의 수직변형은 중앙부 하부에 수직으로 설치한 변위계(Displacement Transducer)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 파괴모드

각각의 단면구성에 대한 대표적인 파괴형태를



(a) BH type (b) BVN type

(c) BVV type (d) BVH type

Fig. 3. General failure mode for each type of glulam.

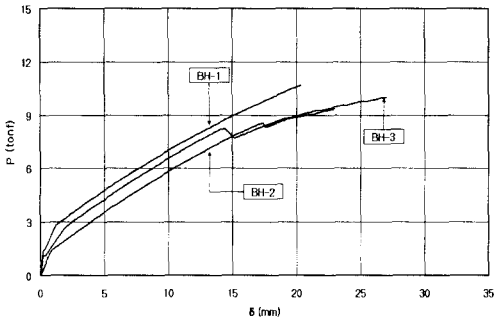
Fig. 3에 나타내었다.

BH계열의 경우에는 하부 최외곽층 라미나에 있는 핑거 접합부에서 파괴가 시작되어 점차 인접한 라이나의 목리 또는 접착층을 따라 파괴가 진행되는 것으로 나타났다. 이는 핑거 접합부가 최외곽층 라미나의 단면 전체에 걸쳐 존재함에 따라 옹이나 목리경사 등의 다른 결함에 비해 핑거 접합부의 영향이 크게 작용하기 때문인 것으로 사료된다.(Fig. 3(a))

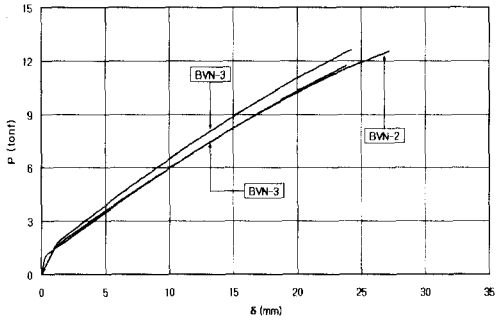
BVN계열의 경우에는 세 개의 시편 모두에서 보의 중앙하부에 있는 옹이로부터 파괴가 시작되어 목리를 따라 파괴가 진행되었다. 이는 가장 큰 인장력을 받는 보의 하부에서 보았을 때 핑거 접합부가 서로 엇갈리게 분산되어 배치됨에 따라 핑거 접합부의 영향은 줄어들고 하나의 라미나 폭에 대하여 옹이가 차지하는 비가 높아짐에 따라 옹이의 영향이 더 크게 작용한 것이라 생각된다. 핑거 접합부에 의한 결함이 제거됨에 따라 BVN계열의 시편에서 가장 높은 최대강도를 나타내었다.(Fig. 3(b))

BVV계열의 경우에 파괴는 주로 목재부분에서 시작되는 것으로 확인되었으며, 합판이 파괴됨에 따라 결국 보가 파괴되었다. 특히, 보의 옆면에서 파괴를 관찰하였을 때, 일반적인 목재보에서 파괴는 최외곽 인장층에서 파괴가 시작되어 목리방향을 따라 파괴가 진행되는 것과는 달리 목리방향에 수직하게 파괴가 진행됨을 확인할 수 있었다. 이는 합판의 제조시 단판의 목리를 서로 엇갈리게 배치함에 따라 합판을 이용하여 보를 수직으로 보강할 경우에 보의 두께방향에 평행한 목리방향을 가지는 단판층이 존재하게 되며, 이러한 단판층의 존재로 인하여 보의 전단보강이 이루어진 결과라고 생각된다. 일반적으로 목재는 인장이나 압축강도에 비해 전단강도가 약한 것으로 알려져 있다.[3] BVV-3 시편의 경우 보의 윗면에서 합판과 라미나의 접착이 떨어지는 파괴도 관찰되었다.(Fig. 3(c))

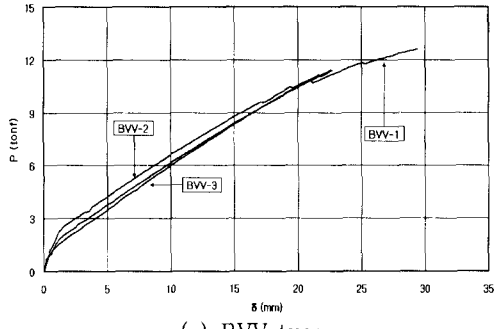
BVH계열의 경우, 두개의 시편에서는 하부에 있는 합판의 이음부에서 파괴가 시작되는 것을 관찰할 수 있었다. 다른 하나의 시편은 합판의 이음부와 무관하게 중앙 하부에서 목재와 합판이 동시에 파괴되었으며, 전체적으로 목재의 파괴가 결국 보의 파괴로 이어졌다. 전체적으로 BVN과 BVV계열에 비하여 낮은 하



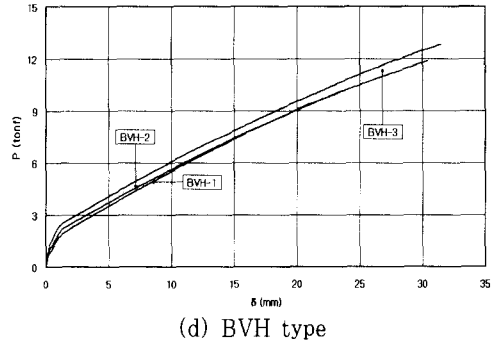
(a) BH type



(b) BVN type



(c) BVV type



(d) BVH type

Fig. 4. Load-displacement relationship for each type of glulam.

Table 2. Bending test results

Specimen No.	Maximum Load (tonf)	Maximum Displacement (mm)	MOR (kgf/cm^2)	MOE ($10^4 kgf/cm^2$)
BH-1	10.7	20.4	357	97.1
BH-2	9.34	23.0	311	85.3
BH-3	10.1	27.0	335	89.4
Average	**10.0**	**23.5**	**335**	**90.6**
BVN-1	11.8	23.9	392	87.4
BVN-2	12.6	27.2	419	90.5
BVN-3	12.6	24.2	421	95.7
Average	**12.3**	**25.1**	**411**	**91.2**
BVV-1	12.6	29.4	421	93.3
BVV-2	11.5	22.6	382	88.5
BVV-3	11.4	22.7	381	90.0
Average	**11.8**	**24.9**	**395**	**90.6**
BVH-1	10.2	24.0	341	76.6
BVH-2	11.9	30.4	396	73.7
BVH-3	12.9	31.5	429	81.7
Average	**11.7**	**28.6**	**389**	**77.3**

중에서 파괴가 일어났으나 BH계열에 대해서는 개선된 효과를 얻을 수 있었다.(Fig. 3(d))

3.2. MOR 및 MOE

Fig. 4에 각각의 단면구성 방법에 대한 하중-변위 관계곡선을 나타내었으며, 시험결과를 Table 2에 나타내었다.

각 단면구성 방법에 대하여 얻어진 MOR 및 MOE는 Table 2에서 확인할 수 있으며, Fig. 5에는 서로 다른 단면구성 방법에 의한 휨성능 개선 효과를 비교하기 위하여 각 단면구성 방법에 대한 평균값을 BH계열에 대한 비로 나타내었다.

MOR(kg/cm^2)은 실험에서 얻어진 최대하중으로부터 아래의 식(1)을 통해 구할 수 있다.[5]

$$MOR = \frac{M_{max}}{Z} = \frac{P_{max} L}{4Z} \quad (1)$$

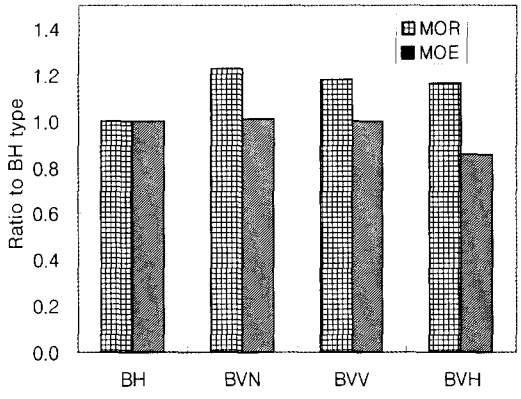


Fig. 5. Comparison of MOR and MOE.(ratio to BH type)

여기서, M_{max} : 최대 휨모멘트(kg · cm)
Z : 단면계수(cm^3)
P_{max} : 최대강도(kgf)
L : 스팬길이(cm)

MOR은 311~429 kgf/cm^2의 분포를 보이고 있으며, BH계열, BVH계열, BVV계열, BVN계열의 순으로 점차 높아지는 경향을 나타내었다. 앞에서도 언급하였듯이 MOR이 BH계열 보다 BV계열에서 높게 나타나는 것은 BH계열의 실험체에서 파괴에 주로 영향하는 최외곽 라미나에서의 핑거 접합부가 BV계열에서는 분산되어 배치됨에 따라 취약부위가 다소 보완되었기 때문이라고 생각된다.

합판을 최외곽층에 배치한 BVH계열의 경우에 합판 이음부에서의 파괴에 따른 보 단면의 감소로 BV계열 중에서 가장 낮은 MOR을 나타내었다. 그러나 중앙부에 합판 이음부가 배치되지 않았던 BVH-3 시편의 경우에, 목재의 결함을 분산시키는 합판 고유의 장점으로 인하여 전체 시편 중에서 가장 높은 MOR을 나타내었다.

집성보의 MOE(kgf/cm^2)는 보의 탄성이론을 이용, 하중(P)-변형(δ) 관계로부터 식 (2)를 통해 얻을 수 있다.[5]

$$MOE = \frac{PL^3}{48\delta I} \qquad (2)$$

여기서, P : 하중(kgf)
L : 스팬길이(cm)
δ : 변위(cm)
I : 단면2차모멘트(cm^4)

Table 2에서 나타낸 것과 같이 집성보의 MOE는 합판을 이용하여 보의 최외곽층을 수평으로 보강한 BVH 계열을 제외하고는 전체적으로 유사한 값을 나타내었다.

BVH 계열의 경우에 라미나보다 상대적으로 MOE가 낮은 합판이 휨응력을 가장 크게 받는 보의 최외곽층에 배치됨에 따라 전체적인 보의 휨저항 능력이 감소된 것으로 생각된다.[3] 따라서, 보의 최외곽층을 라미나에 비해 결함이 효과적으로 분산된 합판으로 보강하는 방법은 합판 사이의 이음부를 적절하게 배치할 경우에 높은 MOR을 얻을 수는 있지만, MOE 감소로 인한 과다한 처짐 등 전체적인 휨저항 능력이 떨어진다는 관점에서 효과적인 단면구성 방법이라고 보기는 어렵다.

합판을 이용하여 보를 수직으로 보강한 BVV 계열의 경우에는 상대적으로 MOE가 낮은 합판이 사용되었음에도 불구하고 라미나 만을 사용하여 단면을 구성한 BH 및 BVN 계열과 거의 유사한 MOE를 나타내었다. 앞의 파괴모드 부분에서도 언급하였듯이 이는 보의 두께방향과 평행한 목리방향을 가지는 단판의 존재로 인한 전단보강의 결과로 생각되며, 이러한 특성을 이용하여 보의 단면을 구성할 경우에 상당한 보의 휨성능 개선효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

집성재의 단면 구성방법이 집성재의 강도 및 강성에 미치는 영향을 파악하고자 집성재의 휨시험을 실시하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 수평적층법에 의한 집성재의 파괴형태는 가장 큰 인장력을 받는 최하층 라미나의 핑거접합부에서 파괴가 시작되어 목리 및 수평 접합면을 따라 균열이 진행되는 것으로 보아 최외곽층 라미나의 결함, 특히 핑거접합부의 위치가 부재전체의 휨성능에 중요한 역

할을 하는 것으로 나타났다. 수직 적층법에 의한 집성재는 이와 같은 최외곽 인장층의 핑거접합부가 서로 엇갈리게 분산 배치됨에 따라 집성재의 MOR을 23% 정도 향상시키는 효과를 얻을 수 있었다. MOE의 경우, 수평 및 수직 적층법 모두에서 유사한 결과가 나타남으로써 단면구성 방법에 의한 개선효과는 확인할 수 없었다.

2) 수직으로 합판보강된 수직적층재의 경우에 다른 경우와는 다르게 결함주위에서 시작된 파괴가 라미나의 목리방향과 수직하게 진행되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 합판에 의한 전단보강 효과로 판단되며, 앞으로 집성재 구성에 있어 전단보강에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

3) 수평으로 합판보강된 수직적층재의 경우에는 초기에 합판 이음부에서의 파괴가 발생함으로써 휨성능의 개선효과를 확인할 수 없었으며, 휨응력을 가장 많이 받는 최외곽층에 상대적으로 MOE가 낮은 합판이 배치됨에 따라 집성보의 MOE는 15% 정도 감소하였다.

4) 집성보의 단면 구성시 라미나의 적절한 배치 및 전단보강 등을 통하여 전체적인 휨성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대되며, 집성재의 단면성능에 대한 보다 정확한 검토를 위해서는 추후 단면형상비나 단면 스팬비 같은 다양한 변수를 고려한 연구가 필요하다고 생각된다.

사 사

본 연구는 2001년도 농림부 농림기술개발사업 및 2003년도 두뇌한국21사업의 지원에 의해 이루어진 것이며, 이 연구에 많은 도움을 주신 익산대 박희준 교수님과 농림기술관리센터의 김재현 박사님께 감사드린다.

참 고 문 헌

1. 김광철, 이전제. 2000. 집성재의 강도적 성질 예측에 대한 핑거 조인트와 라미나의 강도의 영향. 목재공학 28(1): 8~17
2. 농림부 임업연구원. 1998. 국산재 신수요 개발. pp 175-328
3. Bodig. J and B. A. Jayne. 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold Company. pp. 87~126
4. Chugg, W. A. 1964. The theory and practice of the manufacture of glued laminated timber structure. Benn. London. pp 21~22.
5. Faherty, K. F. and T. G. Williamson. 1995. Wood engineering and construction handbook. McGRAW-HILL, INC. Chapter 4.
6. Pooley B. D. 1994. Design of glued laminated timber. Wood Design FOCUS. 5(1): 3~8