

목재와 목질보드 복합적층재의 휨강도성능*1

박한민*2† · 문성재*2 · 최윤은*2 · 박정환*3 · 변희섭*2

Static Bending Strength Performances of Hybrid Laminated Woods Composed of Wood-Wood Based Boards

Han-Min Park*2† · Sung-Jae Moon*2 · Yoon-Eun Choi*2 ·
Jung-Hwan Park*3 · Hee-Seop Byeon*2

요 약

이 연구에서는 목재의 효율적인 이용의 일환으로 스프루스 직교형적층재의 중층을 중밀도섬유판(medium density fiberboard, MDF), 파티클보드(particle board, PB) 및 배향성스트랜드보드(oriented strand board, OSB)의 3종류의 시판용 목질보드를 복합적층한 3층 목질계 복합적층재(패널)를 제작하여, 중층목질재료라미나의 구성엘리먼트가 복합적층재(패널)의 휨 강도성능에 미치는 영향을 조사하였다. 목질계 복합적층재의 휨 탄성계수는 중층에 배향성스트랜드보드(OSB)를 배열한 복합적층재에서 가장 높은 값을 나타내었고, 중밀도섬유판(MDF)을 중층에 배열한 복합적층재에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 이 값은 중층에 섬유직각방향라미나를 배열한 다양한 종류의 직교형적층재 보다 높은 값을 나타내는 것이 확인되었다. 표층이 스프루스 섬유직각방향으로 된 복합적층재의 휨 탄성계수 예측치는 실측치와 비슷한 값을 나타내었으나, 표층이 스프루스 섬유방향으로 된 복합적층재의 휨 탄성계수 예측치는 실측치보다 높은 값을 나타내었다. 복합적층재의 휨 강도는 배향성스트랜드보드(OSB)를 중층에 배열한 타입에서 가장 높은 값을 나타내었고, 파티클보드(PB)를 중층에 배열한 타입에서 가장 낮은 값을 나타내어 휨 탄성계수와 약간 차이를 나타내었다. 복합적층에 의해, 복합적층재의 휨강도성능의 이방성은 스프루스소재의 그것에 비해 현저히 감소하였고, 보드상호간의 강도성능의 차이도 현저히 감소하는 것이 확인되었다.

* 1 접수 2009년 6월 24일, 채택 2009년 9월 28일

* 2 경상대학교 환경산림과학부, 농업생명과학연구원. Faculty of Forest Science, Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea.

* 3 (주)리바트. Livart Co. Ltd. Yeongam 54-10, Korea.

† 주저자(corresponding author) : 박한민(e-mail: phm0691@gnu.ac.kr)

ABSTRACT

To study an effective use of woods, three-ply hybrid laminated woods instead of cross-laminated woods which are composed of spruce in the face and three kinds of wood-based boards (MDF, PB, OSB) in the core were manufactured, and the effect of constitution elements for the core laminae on bending strength performances was investigated. Bending modulus of elasticity (MOE) of hybrid laminated woods had the highest values for the hybrid laminated wood types arranging OSB laminae in the core, and had the lowest values for those arranging MDF laminae in the core. These values were higher than those of various cross-laminated woods. The estimated bending MOEs of the hybrid laminated woods which were composed of perpendicular-direction lamina of spruce in the faces were similar to their measured values, regardless of wood-based boards in the core. However, those of the hybrid laminated woods which were composed of parallel-direction lamina of spruce in the faces had much higher values than those of their measured values, and it was necessary to revise the measured values. Bending modulus of rupture (MOR) of the hybrid laminated woods had the highest value for those arranging OSB laminae in the core, and had the lowest values for those arranging PB laminae in the core unlike the bending MOE. By hybrid laminating, the anisotropy of bending strength performances was markedly decreased, and the differences of strength performances among wood-based boards were also considerably decreased.

Keywords: hybrid laminated wood, MOE, MOR, anisotropy, deflection

1. 서 론

우리나라는 산림면적이 전 국토면적의 64%에 달하고, 그 비율은 OECD 30개 회원국 중 핀란드, 일본, 스웨덴 다음으로 높다. 지속적인 치산녹화사업을 추진하여 임목축적량은 1996년 이후 현저히 증가되어 목재이용의 중요성이 점점 높아지고, 그 이용기술의 개발이 요망되고 있다(산림청, 2008). 최근, 목재산업 발전에 따라 다양한 목질재료가 개발되어 사용되고 있다. 그러나 무분별한 벌채로 인한 산림파괴 등으로 우량 대경목이 현저히 감소하였고, 더욱이 전 세계적으로 자국의 자원보호정책이 강화되면서 원목획득이 점점 어려워지고, 목질재료의 복합화에 따른 효율적인 자원이용뿐만 아니라 사용환경에 부합하고 기능성을 갖춘 새로운 재료의 개발에 대한 요구가 점점 증가되고 있는 실정이다. 목질재료에 대한 연구는 집성재(차, 1996; Keenan 등, 1985; 심 등, 2005), 합

판(淺野 등, 1963; 平嶋 등, 1984; 澤田 등, 1959), 파티클보드(川井 등, 1987; 村上 등, 1999; 오 등, 2002), 배향성스트랜드보드(박, 1994; 吹野 등, 1996; Zhang 등, 1998; 김과 濼澤, 2000; Kwon, 2007; Febrianto 등, 2009), 섬유판(北原, 1963; Moslemi, 1964; Park 등, 2001) 등으로 세분되어 각 목질재료별로 다양한 연구가 행해져왔지만, 목재와 이들 목질재료를 복합화한 연구는 적고, 웰빙을 넘어 로하스시대의 도래에 따라 지속가능한 사회실현이라는 현세의 요청에 따라, 그 수요가 지속적으로 증가하고 있는 목재를 복합화하여 보다 효율적으로 이용할 필요가 절실히 요망되고 있다.

따라서 이 연구에서는 목재의 효율적인 이용의 일환으로 직교형적층재의 중층을 중밀도섬유판(MDF), 파티클보드(PB), 배향성스트랜드보드(OSB)로 대체한 3층 목질계 복합적층재(패널)를 제작하여 중층목질보드라미나의 구성엘리먼트가 복합적층재의 휨 강

도성능에 미치는 영향을 조사하였다. 또한, 복합적층재의 각각의 라미나로부터 등가단면법을 이용하여 복합적층재의 휨 탄성계수의 예측치를 구하여 실험치와 비교하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험편

본 연구에서는 수입산 스프루스(*Picea engelmannii*, 밀도: 0.43 Mg/m^3), 국내산 시판용 파티클보드 (particle board; PB, 사용접착제: 요소수지), 중밀도섬유판 (medium density fiberboard; MDF, 사용접착제: 요소수지) 및 수입산 배향성스트랜드보드 (oriented strand board, OSB, 사용접착제: 페놀수지)를 공시재료로 채택하였다. 복합적층재 (패널)의 표층라미나는 스프루스의 섬유방향과 섬유직각방향라미나의 2종류로 구성되었는데, 전자는 스프루스의 섬유방향에 평행하게 $20 \text{ mm (R)} \times 5 \text{ mm (T)} \times 360 \text{ mm (L)}$ 의 치수로 제작하였고, 후자는 스프루스 섬유방향라미나를 18개씩 폭 접합하여 양생한 후, 섬유직각방향으로 폭 20 mm 로 절단하여 $20 \text{ mm (L)} \times 5 \text{ mm (T)} \times 360 \text{ mm (R)}$ 의 치수로 제작하여 섬유직각방향라미나로 사용하였다. 그리고 복합적층재의 중층라미나는 $12 \text{ mm (H)} \times 1220 \text{ mm (W)} \times 2440 \text{ mm (L)}$ 크기의 배향성보드(OSB), 파티클보드(PB), 중밀도섬유판(MDF)으로부터 $12 \text{ mm (H)} \times 20 \text{ mm (W)} \times 360 \text{ mm (L)}$ 의 치수로 제작하여 중층라미나로 사용하였다. 각각의 라미나는 20°C , $65\% \text{ RH}$ 에서 2주일 이상 조습하여 밀도와 휨 탄성계수를 측정하였고, 표층과 중층라미나는 휨 탄성계수의 치우침이 적게 세분하여 조합한 후, 수성비닐우레탄 접착제(MPU-500)를 사용하여 적층접착하였고, 0.34 MPa 의 압체압력으로 24시간동안 압체하였다. 압체 후 항온항습실에서 2주일 이상 양생하고 여분의 접착제를 제거한 후, $20 \text{ mm (W)} \times 15 \text{ mm (H)} \times 340 \text{ mm (L)}$ 크기의 2종류의 평행형적층재와 $20 \text{ mm (W)} \times 22 \text{ mm (H)} \times 340 \text{ mm (L)}$ 크기의 6종류의 복합적층재 (패널)를 제작하였다. 시험편제작의 모식도를 Fig. 1에 나타낸

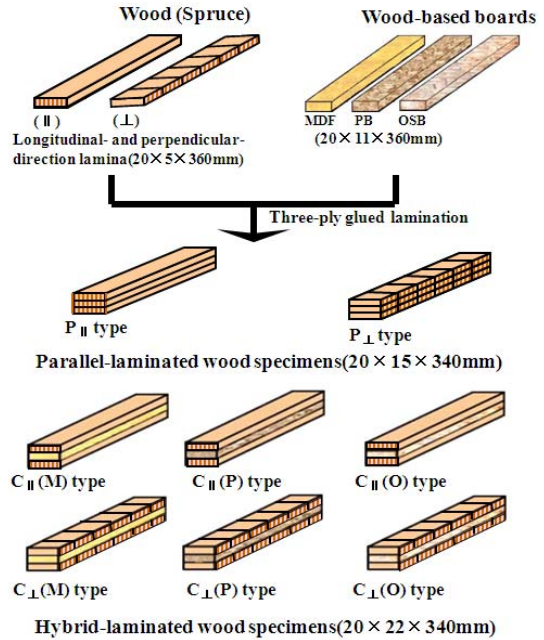


Fig. 1. Wood-based hybrid laminated wood specimens and their preparation.

다. 복합적층재 시험편의 개수는 각 타입 4개로 하였다.

2.2. 정적 휨 시험

목질보드(MDF, PB, OSB: $20 \text{ mm} \times 11 \text{ mm} \times 360 \text{ mm}$), 스프루스 섬유방향 및 섬유직각방향 평행형적층재 및 복합적층재의 휨 시험은 스패 300 mm, 하중점과 지점사이의 거리 100 mm, 하중속도 5 mm/min 의 4점 하중방식으로 실시하였다. 하중은 라미나 및 복합적층재의 축방향에 직교하게 부하하였으며, 시험편의 처짐(변위)을 측정하여 하중-처짐 곡선으로부터 식 (1)을 이용하여 휨 탄성계수(E)를 구하였다. 또한 각 라미나의 휨 탄성계수로부터 복합적층재의 휨 탄성계수의 예측치(E_0)를 식 (2)의 등가단면법을 통해 구하여 실험치와 비교하였다.

$$E = P_1(3I^2 - 4I_1^2)/4bh^3y \quad (1)$$

여기서, P : 하중,

Table 1. Results of static bending test of three-ply hybrid laminated woods

Type	ρ (Mg/m ³)	E_s (GPa)	σ_{PLST} (MPa)	ϵ_{PLSN} (%)	σ (MPa)	ϵ (%)
MDF	0.621 (03)	336 (24)	16.9 (43)	5.04 (4.8)	31.9 (1.6)	14.9 (5.2)
PB	0.719 (0.4)	296 (26)	9.61 (5.1)	3.26 (2.9)	13.7 (1.4)	5.10 (3.0)
OSB	0.598 (5.9)	6.77 (24.9)	16.4 (30.9)	2.44 (16.2)	24.1 (36.7)	3.99 (17.7)
P_{\parallel}	0.447 (1.9)	14.2 (4.3)	45.2 (4.1)	3.18 (2.0)	76.2 (2.5)	14.0 (2.0)
P_{\perp}	0.472 (1.2)	0.714 (5.7)	43.4 (13.8)	6.13 (16.7)	4.58 (14.7)	6.53 (17.7)
$C_{\parallel}(M)$	0.560 (0.8)	8.77 (8.2)	29.0 (5.1)	3.34 (3.3)	36.4 (3.7)	5.02 (11.5)
$C_{\parallel}(P)$	0.618 (1.3)	9.33 (8.9)	25.6 (8.3)	2.91 (3.4)	31.4 (4.5)	3.80 (9.7)
$C_{\parallel}(O)$	0.563 (0.9)	9.83 (6.6)	29.5 (3.7)	3.00 (5.2)	4.21 (6.2)	6.44 (25.2)
$C_{\perp}(M)$	0.554 (0.8)	1.05 (3.3)	4.41 (20.3)	4.16 (19.0)	8.58 (2.1)	13.8 (9.5)
$C_{\perp}(P)$	0.621 (0.9)	1.06 (6.1)	4.81 (8.0)	4.50 (7.1)	5.55 (4.8)	5.73 (21.3)
$C_{\perp}(O)$	0.555 (3.1)	1.62 (15.5)	7.91 (25.6)	4.80 (15.2)	13.1 (13.2)	12.3 (11.3)

Notes: M : Medium density fiberboard, P : Particle board, O : Oriented strand board. ρ : Density, E_s : Static bending modulus of elasticity, σ_{PLST} : Proportional limit stress, ϵ_{PLSN} : Proportional limit strain, σ : Modulus of rupture, ϵ : Maximum strain. Each value is the average value for four measurement, Parentheses: Coefficient of variation.

- l_1 : 하중점과 지점사이의 거리,
- l : 스패,
- b : 시험편의 폭,
- h : 시험편의 두께,
- y : 처짐.

$$E_e = (E_1I_1 + E_2I_2 + E_3I_3)/I \quad (2)$$

여기서, E_1, E_2, E_3 는 복합적층재 각층라미나의 휨 탄성계수(E_1, E_3 는 표층, E_2 는 중층), I_1, I_2, I_3 는 단면의 중립축에 대한 각층라미나의 단면 2차모멘트, I 는 전단면 2차모멘트.

3. 결과 및 고찰

3.1. 복합적층재의 휨 탄성계수

3.1.1. 휨 탄성계수

목질보드, 평행형적층재, 목재-목질보드 복합적층재의 휨 시험의 결과를 Table 1에 나타낸다. 3층 모두가 스프루스 섬유방향 라미나로 구성된 P_{\parallel} 타입이 가장 높은 14.2 GPa의 값을 나타내었고, 3층 모두가 섬유직각방향 라미나로 구성된 P_{\perp} 타입이 0.714

GPa로 가장 낮은 값을 나타내었고, 양 타입 사이에 약 20배 정도의 차이가 확인되었다. 목질보드의 휨 탄성계수는 3종류의 목질보드 모두 2.96~6.77 GPa로 P_{\parallel} 타입과 P_{\perp} 타입의 중간에 위치하였고, 그 값의 크기는 OSB > MDF > PB의 순이었다. 각 보드상호간의 비는 MDF : PB : OSB = 1.00 : 0.88 : 2.01이었고, 그 값은 P_{\parallel} 타입의 0.21배(PB)~0.48배(OSB), P_{\perp} 타입의 4.1배(PB)~9.5배(OSB)의 값을 나타내는 것이 확인되었다.

Fig. 2는 복합적층재의 휨 탄성계수를 나타낸다. 표층이 스프루스 섬유직각방향라미나로 된 C_{\perp} 타입의 경우, OSB를 중층에 배열한 $C_{\perp}(O)$ 타입이 1.62 GPa로 가장 높은 값을 나타내었고, PB와 MDF를 중층에 배열한 $C_{\perp}(P)$ 와 $C_{\perp}(M)$ 타입은 각각 1.06 GPa와 1.05 GPa를 나타내어 상호간에 뚜렷한 차이를 나타낸 목질보드와 달리 양자 간의 차이는 복합적층에 의하여 현저하게 감소하였다. 중층에 MDF, PB, OSB를 배열한 $C_{\perp}(M) : C_{\perp}(P) : C_{\perp}(O)$ 의 비는 1.00 : 1.01 : 1.54로 목질보드 상호간의 휨 탄성계수비보다 현저하게 감소하였고, 중층에 목질보드를 배열하는 것에 의해 P_{\perp} 타입보다 1.5배($C_{\perp}(M)$)~2.3배($C_{\perp}(O)$)의 높은 값을 나타내는 것이 확인되었다. $C_{\perp}(O)$ 타입은 진보(Park 등, 2003)의 삼나무와 너도밤나무

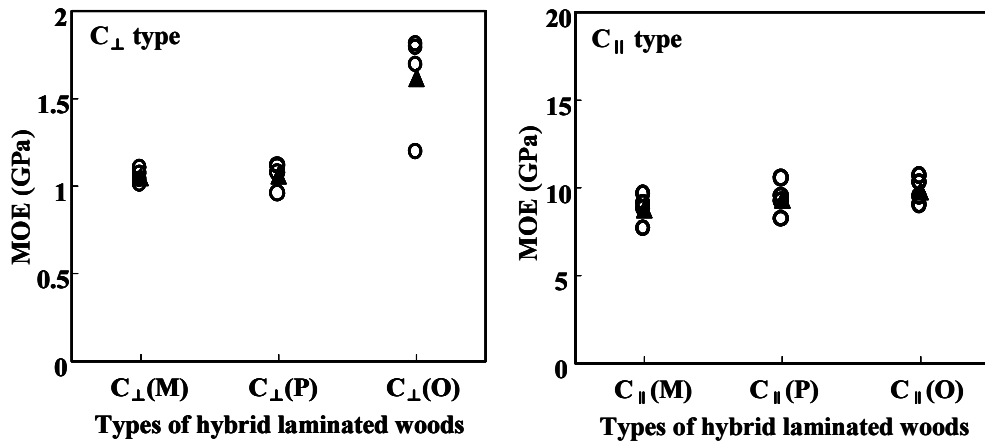


Fig. 2. Static bending MOE of three-ply hybrid laminated woods.
 Legend: ▲: Averaged values of four measurements.

표층에 계수나무를 삽입한 직교형적층재(1.59~1.60 GPa)와 비슷한 값을 나타내었고, $C_{\perp}(P)$ 와 $C_{\perp}(M)$ 타입은 전보(Park 등, 2003)의 삼나무와 너도밤나무의 표층에 삼나무를 배열한 직교형적층재의 그것(1.04~1.06 GPa)과 비슷한 값을 나타내는 것이 확인되었다.

한편, 표층이 스프루스 섬유방향라미나로 된 C_{\parallel} 타입에서는 OSB를 중층에 배열한 $C_{\parallel}(O)$ 타입이 9.83 GPa로 가장 높은 값을 나타내었고, 그 다음은 PB를 중층에 배열한 $C_{\parallel}(P)$ 타입이 9.33 GPa를 나타내었고, 그리고 MDF를 중층에 배열한 $C_{\parallel}(M)$ 타입이 8.77 GPa로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이 값은 중층에 배열한 보드상호간의 휨 탄성계수의 순서와 차이를 나타내었고, 목질보드의 구성엘리먼트의 크기에 비례하여 그 값이 증가하는 것이 확인되었다. 이것은 중층목질보드라미나의 구성엘리먼트가 커질수록 목재의 섬유방향으로 강한 강도성능의 기여가 커지고, 특히 수평전단의 기여가 가장 큰 중층라미나의 전단 탄성률의 증가를 기대할 수 있어 전단력에 의한 처짐의 영향이 감소한 결과로 생각된다. 이것은 다음 항에서 상세히 다룬다. 이 값은 P_{\parallel} 타입의 0.62배($C_{\parallel}(M)$)~0.69배($C_{\parallel}(O)$)의 낮은 값을 나타내었으나, 목질보드보다는 1.5배($C_{\parallel}(O)$)~3.2배($C_{\parallel}(P)$)의 현저히 높은 값을 나타내었다. 각 타입 상호간의 비는

$C_{\parallel}(M) : C_{\parallel}(P) : C_{\parallel}(O)$ 의 비는 1.00 : 1.06 : 1.12로 복합적층에 의해 목질보드상호간의 비보다 현저히 감소하는 것이 확인되었다. 이 값은 전보(Park 등, 2003)의 삼나무와 너도밤나무 표층에 오동나무, 삼나무, 편백나무, 계수나무, 너도밤나무를 배열한 직교형적층재보다 1.14~1.85배의 높은 값을 나타내었다. 이것은 중층 목질보드라미나의 탄성계수가 전보에서 중층라미나로 사용한 섬유직각방향라미나의 그것보다 컸기 때문으로 생각된다.

복합적층재의 표층섬유방향대한 표층섬유직각방향 휨 탄성계수이방성은 1 : 0.114(PB)~0.165(OSB)로 복합적층에 의해 스프루스소재의 1 : 0.050보다 현저하게 감소하는 것이 확인되었다.

3.1.2. 복합적층재의 휨 탄성계수의 계산치와 실측치와의 관계

3종류의 목질보드 및 복합적층재라미나의 실측치 휨 탄성계수로부터 식 (2)의 등가단면법을 이용하여 계산한 복합적층재의 예측치 휨 탄성계수에 대한 실측치 휨 탄성계수의 비(R_e)를 구하여 Fig. 3에 나타낸다.

표층이 스프루스 섬유직각방향라미나이고, 중층이 3종류의 목질보드로 구성된 C_{\perp} 타입의 R_e 값은 0.94(MDF)~1.04(OSB)로 거의 1에 가까운 값을 나타내

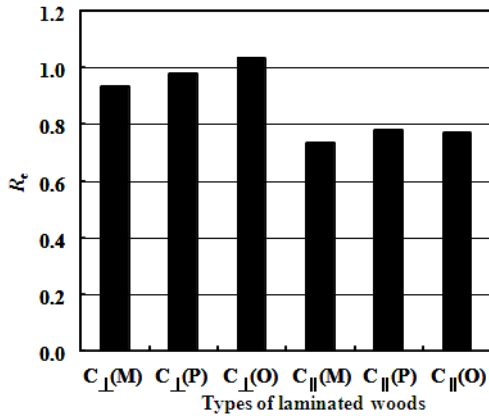


Fig. 3. R_e (ratio of measured value of MOE to value calculated from measured value of hybrid laminated wood laminae) for three-ply hybrid laminated wood specimens.

어, 예측치와 실측치의 차이는 거의 없었다. 그러나 표층이 스프루스 섬유방향라미나이고, 중층이 3종류의 목질보드로 구성된 C_{\parallel} 타입의 경우, R_e 는 0.74(MDF)~0.78(PB)로 실측치가 예측치보다 현저하게 낮을 나타내었다. 이것은 전보(Park 등, 2001, 2003, 2004, 2006, 2009)의 직교형적층재 및 목재-알루미늄 복합적층재의 휨 탄성계수의 예측치와 실측치를 비교한 결과와 같이 복합적층재의 휨 탄성계수에 대한 전단탄성률의 비(E/G)에 의존하는 전단력에 의한 처짐이 하나의 주요한 원인으로 생각된다. 전보(Park 등, 2001, 2003, 2004, 2006)에서는 삼나무의 연륜경각 및 표·중층라미나의 구성비율을 달리한 직교형적층재, 침엽수 2수종 및 활엽수 3수종으로 구성된 직교형적층재, 삼나무와 알루미늄을 복합한 복합적층재의 휨 모멘트에 대한 전단력에 의한 처짐의 영향을 조사하였고, 그 결과 16.1~51.8%의 높은 비율의 전단력에 의한 처짐의 영향이 있는 것을 보고하였다. 또한, 적층재의 각각의 라미나의 전단탄성률로부터 적층재의 전단탄성률을 예측하는 계산식을 유도하여, 적층재의 전단력에 의한 처짐의 영향을 보다 명확히 이론적으로 입증하였다(Park 등, 2009).

4점 휨 하중에 있어서 들보의 처짐(y_a)은 다음의

식으로 나타낼 수 있다.

$$y_a = y_m + y_s = \frac{Pl_1(3l^2 - 4l_1^2)}{4bh^3E} + \frac{kPl_1}{2AG} \quad (3)$$

$$= \frac{Pl_1(3l^2 - 4l_1^2)}{4bh^3E} \left[1 + \frac{2.4h^2}{3l^2 - 4l_1^2} \cdot \frac{E}{G} \right]$$

여기서, y_m 은 휨 모멘트에 의한 처짐, y_s 는 전단력에 의한 처짐, E 는 진 휨 탄성계수, G 는 전단탄성률, P 는 하중, b 와 h 는 들보의 폭 및 두께, l 은 스패, l_1 은 하중점과 지지점사이의 거리($l/3$), k 는 들보가 장방형단면의 경우 6/5(酒井, 1970).

상기 식 (3)에서 알 수 있듯이 들보의 총 처짐은 휨 모멘트에 의한 처짐과 전단력에 의한 처짐으로 나누어지고, 전단력에 의한 처짐은 식 (3)의 우측항의 E/G 에 비례하는 것을 알 수 있다. 따라서 C_{\perp} 타입은, 표층 섬유직각방향라미나의 휨 탄성계수(E)는 적고, 중층 목질보드라미나의 전단탄성률(G)은 상대적으로 크기 때문에 E/G 의 비가 적어지고, 예측치와 실측치의 차이는 적어진다. 그러나 C_{\parallel} 타입은, 표층 스프루스 섬유방향라미나의 높은 휨 탄성계수(E)와 중층 목질보드라미나의 상대적으로 낮은 전단탄성률(G)에 의해, 식 (3)의 E/G 의 비가 증가하고, 전단력에 의한 처짐의 비율이 증가할 것으로 예측된다. 따라서 실측치 휨 탄성계수는 예측치 휨 탄성계수보다 전단력에 의한 처짐의 영향으로 적어지고, 양자의 차이가 발생하게 된다.

또한, 목재-알루미늄 복합적층재(Park 등, 2004)에서 나타난 것과 같이 접착층의 미끄러짐에 의한 처짐의 증가와 본 실험에서는 전보와 달리 다이얼게지로 시험편의 중앙부의 처짐을 측정하지 않고, cross-head의 변위를 측정하였기 때문에 발생하는 하중블록에 의한 시험편의 부분적 압축변형도 양자의 차이를 발생시키는 한 원인으로 생각할 수 있다. 따라서 차후의 과제로 상기 언급한 여러 가지 변형의 증가 원인을 명확히 밝혀 실측치를 보정해 줄 필요가 있을 것으로 생각된다.

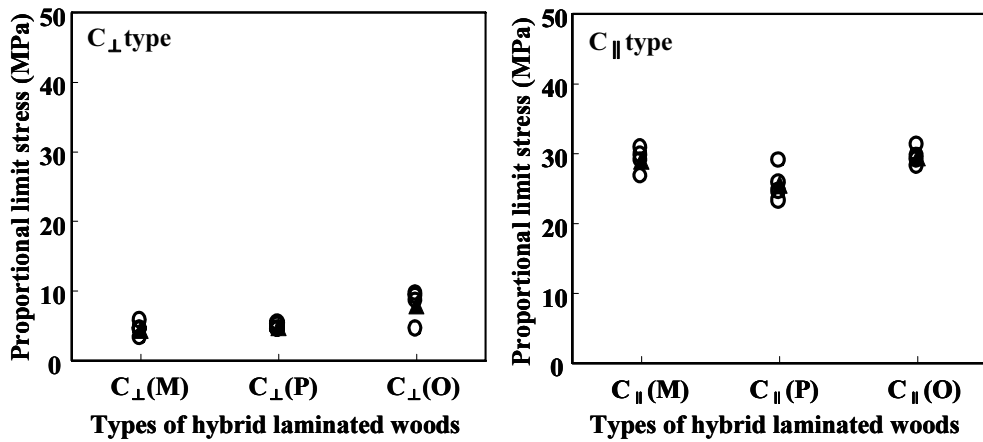


Fig. 4. Proportional limit stress of three-ply hybrid-laminated woods.

Legend: ▲: Averaged values of four measurements.

3.2. 복합적층재의 비례한도응력

Table 1에 평행형적층재 및 목질보드의 비례한도응력을 나타낸다. 단, 비례한도응력은 응력-변형률 곡선의 비례역에 평행하게 직선을 그어 그 응력-변형률곡선의 비례역을 이탈하는 최초의 부분으로 결정하였다. Table 1에 나타난 것 같이, 평행형적층재의 비례한도응력은 3층 모두가 스프루스 섬유방향 라미나로 구성된 평행형적층재 P_∥ 타입이 45.2 MPa의 값을 나타내었고, 3층 모두가 섬유직각방향 라미나로 구성된 P_⊥ 타입이 4.34 MPa의 값을 나타내었다. 양 타입사이에 약 10.4배의 차이가 확인되었다. 목질보드의 비례한도응력은 9.61~16.9 MPa의 범위를 나타내었고, 목질보드상호간의 비례한도응력비는 MDF : PB : OSB = 1.00 : 0.569 : 0.970이었다. 그 값은 P_∥ 타입의 0.21배(PB)~0.37배(OSB), P_⊥ 타입의 2.2배(PB)~3.9배(MDF)의 값을 나타내는 것이 확인되었다.

Fig. 4는 복합적층재의 비례한도응력을 나타낸다. 표층이 스프루스 섬유직각방향으로 구성된 C_⊥ 타입의 경우, OSB를 중층에 배열한 타입이 7.91 MPa로 가장 높은 값을 나타내었고, PB와 MDF를 중층에 배열한 타입은 각각 4.81 MPa과 4.41 MPa의 값을 나타내어 휨 탄성계수와 동일한 경향을 나타내었다. 중

층에 MDF, PB, OSB를 배열한 C_⊥(M) : C_⊥(P) : C_⊥(O)의 비는 1.00 : 1.09 : 1.79를 나타내었고, 복합적층에 의해 목질보드상호간의 차이는 현저히 감소하였다. 중층에 목질보드를 복합적층하는 것에 의해 P_⊥ 타입보다 1.02배(C_⊥(M))~1.82배(C_⊥(O))의 높은 값을 나타내는 것이 확인되었다.

한편, C_∥ 타입에서는 OSB를 중층에 배열한 C_∥(O)타입이 29.5 MPa로 가장 높은 값을 나타내었고, 그 다음은 MDF를 중층에 배열한 C_∥(M)타입이 29.0 MPa, 그리고 PB를 중층에 배열한 C_∥(P)타입이 25.6 MPa의 가장 낮은 값을 나타내었다. 이 값은 P_∥ 타입의 0.57배(C_∥(P))~0.65배(C_∥(O))의 낮은 값을 나타내었으나, 목질보드보다는 1.72배(C_∥(M))~2.66배(C_∥(P))의 현저히 높은 값을 나타내었다. 각 타입 상호간의 비는 C_∥(M) : C_∥(P) : C_∥(O)의 비는 1.00 : 0.883 : 1.02를 나타내었다.

복합적층에 의한 복합적층재의 표층섬유방향대향 표층섬유직각방향 비례한도응력의 이방성은 1 : 0.152(MDF)~0.286(OSB)로 스프루스 소재의 1 : 0.096보다 현저히 감소하는 것이 확인되었다.

3.3. 복합적층재의 휨 강도

Table 1에 나타난 것처럼, 평행형적층재의 휨 강도

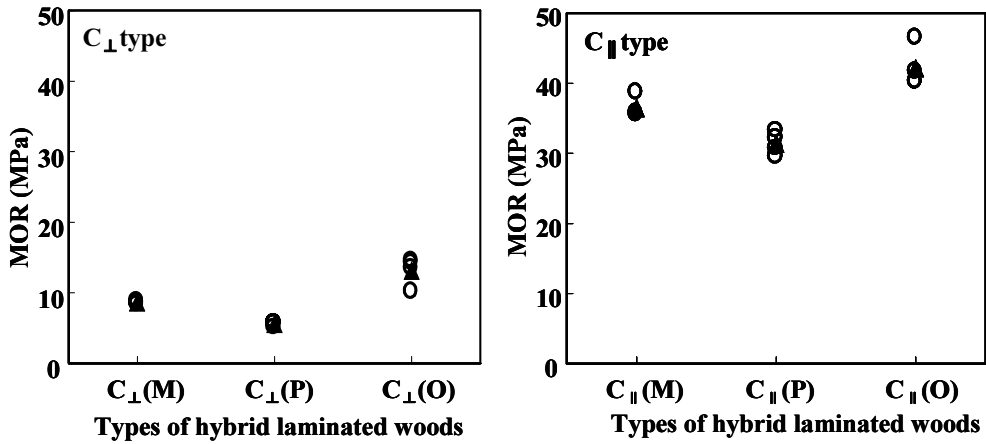


Fig. 5. Bending MOR of three-ply hybrid laminated woods.

Legend: ▲: Averaged values of four measurements.

는 3층 모두가 스프루스 섬유방향라미나로 구성된 평행형적층재 P_∥ 타입이 76.2 MPa의 값을 나타내었고, 3층 모두가 섬유직각방향라미나로 구성된 P_⊥ 타입이 4.58 MPa의 값을 나타내었고, 양 타입사이에 16.6배의 차이가 확인되었다. 목질보드의 휨 강도는 13.7~31.9 MPa로 3종류의 목질보드 모두 P_∥ 타입과 P_⊥ 타입의 중간에 위치하였고, 그 값의 크기는 휨 탄성계수와 달리 MDF>OSB>PB의 순이었다. 이것은 MDF의 변형률이 OSB와 PB보다 현저히 큰 것에 기인한 것으로 생각된다. 목질보드상호간의 비는 MDF : PB : OSB = 1.00 : 0.429 : 0.755이었다. 그 값은 P_∥ 타입의 0.18배(PB)~0.42배(MDF), P_⊥ 타입의 3.0배(PB)~7.0배(MDF)의 값을 나타내었다.

Fig. 5는 복합적층재의 휨 강도를 나타낸다. 표층이 스프루스 섬유직각방향라미나로 구성된 C_⊥ 타입의 경우, OSB를 중층에 배열한 C_⊥(O)타입이 13.1 MPa로 가장 높은 값을 나타내었고, 그 다음은 MDF를 중층에 배열한 C_⊥(M)타입이 8.58 MPa, 그리고 PB를 중층에 배열한 C_⊥(P)타입이 5.55 MPa로 가장 낮은 값을 나타내었다. C_⊥(M) : C_⊥(P) : C_⊥(O)의 비는 1.00 : 0.647 : 1.53 이었다. 중층에 목질보드를 배열하는 것에 의해 P_⊥ 타입보다 1.21배(C_⊥(P))~2.86배(C_⊥(O))의 높은 값을 나타내었다. C_⊥(O)타입은 전보(Park 등, 2003)의 삼나무 표층에 편백나무를

중층에 배열한 직교형적층재의 그것(12.8 MPa)과 비슷한 값을 나타내었고, C_⊥(P)와 C_⊥(M)타입은 전보(Park 등, 2003)의 직교형적층재의 그것(10.7~19.3 MPa)보다 낮은 값을 나타내는 것이 확인되었다. 이것은 표층 스프루스 섬유직각방향라미나의 구성비율이 감소하여 휨 강도에 대한 그 기여가 적어졌기 때문으로 생각된다.

한편, C_∥ 타입에서는 OSB를 중층에 배열한 C_∥(O)타입이 42.1 MPa로 가장 높은 값을 나타내었고, 그 다음은 MDF를 중층에 배열한 C_∥(M)타입이 36.4 MPa, 그리고 PB를 중층에 배열한 C_∥(P)타입이 31.4 MPa로 가장 낮은 값을 나타내었다. 휨 탄성계수와 달리 PB를 중층에 배열한 C_∥(P)타입이 MDF를 중층에 배열한 C_∥(M)타입에 비해 낮은 휨 강도를 나타낸 것은 PB를 중층에 배열한 타입이 MDF를 중층에 배열한 타입보다 그 변형률이 현저히 적었기 때문으로 생각된다. 이 값은 P_∥ 타입의 0.41(C_∥(P))~0.55(C_∥(O))배의 낮은 값을 나타내었으나, 목질보드보다는 1.14(C_∥(M))~2.29(C_∥(P))배의 높은 값을 나타내었다. 각 타입 상호간의 비는 C_∥(M) : C_∥(P) : C_∥(O)의 비는 1.00 : 0.863 : 1.16을 나타내었다. 이 값은 전보의 직교형적층재보다 1.01~2.2배의 전체적으로 낮은 값을 나타내었는데, 이것은 전보에 비해 적층재의 두께는 증가한 반면, 강도의 기여가 큰

표층 섬유방향라미나의 구성비율은 적어지고, 파괴가 표층이 아닌 중층의 목질보드라미나에서 대부분 일어났기 때문에 생각된다.

복합적층에 의한 복합적층재의 표층섬유방향대향 표층섬유직각방향의 휨 강도의 이방성은 1 : 0.177 (MDF)~0.311(OSB)로 스프루스소재의 1 : 0.060보다 현저하게 감소하였고, 그 감소비율은 휨 탄성계수와 휨 비례한응력보다 더 큰 것이 확인되었다.

4. 결 론

이 연구에서는 스프루스 직교형적층재의 중층을 중밀도섬유판(MDF), 파티클보드(PB), 배향성스트랜드보드(OSB)로 대체한 3층 목질 복합적층재를 제작하여 정적 휨 시험을 실시하였고, 중층목질보드 라미나의 구성엘리먼트가 복합적층재의 휨 강도성능에 미치는 영향을 조사하여 다음의 결과를 얻었다.

1) 복합적층재의 휨 강도성능은 중층목질보드의 밀도 및 강도특성치에 따라 달랐고, 칩의 크기가 큰 OSB를 중층에 넣을 경우 가장 우수한 휨 강도성능을 나타내어 효율적인 복합적층이 가능한 것이 확인되었다.

2) 목재와 목질보드의 복합적층에 의해, 스프루스 섬유직각방향 및 목질보드의 휨 강도성능은 현저하게 향상되었고, 목질보드 상호간의 휨 강도성능의 비는 현저히 감소하는 것이 확인되었다.

3) 표층이 스프루스 섬유직각방향으로 된 복합적층재의 휨 탄성계수의 예측치는 각층의 라미나로부터 구한 실측치와 비슷한 값을 나타내었으나, 표층이 스프루스 섬유방향으로 된 복합적층재의 휨 탄성계수의 예측치는 실측치보다 현저히 높은 값을 나타내었고, 이것은 중층라미나의 전단력에 의한 처짐과 접착층의 미끄러짐에 의한 변형 및 하중블록에 의한 시험편의 부분압축등의 영향으로 판단되고, 복합적층재의 실측치에 이들 요인을 고려할 필요가 있었다.

4) 복합적층재의 휨 탄성계수는 전보의 직교형적층재보다 높은 값을 나타내었으나, 휨 강도는 전보의 그것보다 낮은 값을 나타내는 것이 확인되었다.

5) 복합적층에 의해 표층섬유방향에 대한 표층 섬유

유직각방향의 휨 강도성능의 이방성은 스프루스소재에 비해 현저하게 감소하였고, 목재의 결합인 이방성을 감소시켜, 효율적인 목재이용이 가능한 것이 확인되었다.

참 고 문 헌

1. 산림청. 2008. 2008년도 산림과 임업 동향에 관한 연차 보고서. p. 3~5.
2. Kwon, J. H. 2007. Effects of species on the isocyanate-bonded flakeboard properties. Mokchae Konghak 35(5): 38~45.
3. 김유정, 澁澤龍也. 2000. 스트랜드/파티클 복합체의 기계적 성질에 관한연구(I) - 단면구성이 기초물성에 미치는 영향. 목재공학 28(3): 1~8.
4. Park, B. D., Y. S. Kim, and B. Riedl. 2001. Effect of wood-fiber characteristics in Medium density fiberboard(MDF) performance. Mokchae Konghak. 29(3): 27~35.
5. 박현. 1994. Com-ply board와 oriented strand board (OSB)의 재질 비교에 관한 연구. 목재공학 22(3): 17~25.
6. 심상로, 여환명, 심국보. 2005. 이수종 구조용집성재의 전단접착력 및 접착내구성평가. 목재공학 33(1): 87~96.
7. 오용성, 차재경, 관준혁. 2002. 폐목재로 제조된 파티클 보드의 성능평가. 목재공학 30(4): 23~26.
8. 차재경. 1996. 국산 소경재를 이용한 집성재 개발을 위한 응력과연구(I). 목재공학 24(3): 90~100.
9. Febrianto, F., L. I. Royama, W. Hidayat, E. S. Bakar, J. H. Kwon, and N. H. Kim. 2009. Development of oriented stand board from acacia wood (Acacia mangium wild): Effect of pretreatment of strand and adhesive content on the physical and mechanical properties of OSB.
10. Keenan, F. J., J. Kryla, and B. Kyokong. 1985. Shear strength of spruce glued - laminated timber beams. Can. J. Civ. Eng. 12: 661~672.
11. 淺野猪久夫, 都築一雄. 1963. 合板の强度的異方性について. 材料 12(121): 761~768.
12. 平嶋義彦, 神谷文夫, 畑山義男. 1984. 針葉樹合板の強度試験とその解析(第1報)アメリカ針葉樹合板及びラワン合板の小試片曲げ. 木材學會誌 30(4): 287~292.
13. 澤田 稔, 畑 健一. 1959. 合板の弾性に關する研究(第1報)三層合板の引張と曲げにおける異方性. 木材學會誌

- 5(2): 45~49.
14. 川井秀一, 須田久美, 佐々木光. 1987. 低比重パーティクルボードの製造技術(第4報)原料比重および壓縮比の影響. 木材學會誌 33(5): 385~392
 15. 村上幸一, 上田 實, 松田鉄明, 張 敏, 河崎珠美, 川井秀一. 1999. 合板表層用單板廢材ストランドを表層の配向させた三層パーティクルボードの製造と性質(第1報)フェイス/コア構成比, 接着劑の種類および添加量の影響. 木材學會誌 45(5): 395~402.
 16. 吹野 信, 堀江秀夫, 佐藤 司. 1996. 國産材を用いた實大OSBの諸性能. 林産試験場報 10(1): 1~10.
 17. Zhang, M., E. Wong, S. Kawai, and J. Kwon. 1998. Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. *J. Wood Sci.* 44(3): 191~197.
 18. 北原覺一. 1963. ファイバーボード・パーティクルボードの異方性について. 材料 12(121): 722~726.
 19. Moslemi, A. A. 1964. Some aspects of viscoelastic behavior of hardboard. *Forest Prod. J.* 14(8): 337~342.
 20. Park, H. M., M. Fushitani, T. Ohtsuka, T. Nakajima, K. Sato, and H. S. Byeon. 2001. Effect of annual ring angle on static bending strength performances of cross-laminated woods made with sugi wood. *Mokuzai Gakkaishi* 47(1): 22~32.
 21. Park, H. M., M. Fushitani, K. Sato, T. Kubo, and H. S. Byeon. 2003. Static bending strength performances of cross-laminated woods made with five species. *J. Wood Sci.* 49: 411~417.
 22. Park, H. M., M. Fushitani, K. Sato, and T. Kubo. 2004. Static bending strength performances of wood -aluminum hybrid laminated material. *Trans. Mat. Res. Soc. Japan* 29(5): 2503~2506.
 23. Park, H. M. and M. Fushitani 2006. Effects of component ratio of the face and core laminae on static bending strength performances of three-ply cross-laminated woods panel made with sugi(*Cryptomeria japonica*). *Wood and Fiber Sci.* 38: 278~291.
 24. Park, H. M., M. Fushitani, and H. S. Byeon. 2009. Derivation of an equation for calculating shear modulus of three-ply laminated material beam from shear moduli of individual laminae and its application. *J. Wood Sci.* 55: 181~189.
 25. 酒井忠明. 1970. 「第4章 けたの応力およびたわみ」. 構造力學. 技報堂.: 77.