

국내산 목재-콘크리트 복합적층재의 정적 휨 강도성능¹

변진웅² · 조영준² · 이재룡² · 박한민^{2,†}

Static Bending Strength Performance of Domestic Wood-Concrete Hybrid Laminated Materials¹

Jin-Woong Byeon² · Young-June Cho² · Je-Ryong Lee² · Han-Min Park^{2,†}

요약

이 연구에서는 환경부하가 적은 산림훼손지 생태복원용 단위격자재를 개발하기 위하여 콘크리트와 국내산 침엽수 4종과 활엽수 3종을 각각 복합적층한 7종류의 목재-콘크리트 복합적층재를 제작하였고, 정적 휨 강도성능에 미치는 수종의 밀도의 영향을 조사하였다. 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 탄성계수는 전반적으로 수종의 밀도에 비례하여 증가하였고, 대부분 콘크리트에 비해 높은 휨 탄성계수를 나타내어 복합적층에 의한 밀도감소와 탄성계수향상의 효과가 나타났다. 휨 탄성계수 실측치는 각 라미나의 탄성계수로부터 등가단면법을 이용하여 계산한 예측치보다 약간 낮은 값을 나타내었고, 그 차이는 10% 미만인 것이 확인되었다. 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 비례한도 응력은 콘크리트보다 1.2-1.6배의 높은 값을 나타내었다. 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 강도는 전반적으로 수종의 밀도에 비례하여 증가하였고, 복합적층에 의해 콘크리트의 그것보다 현저한 강도향상을 나타내어 목재-콘크리트 복합적층재는 환경부하가 적으면서 내구성을 지닌 생태복원용 재료로 응용가능 할 것으로 판단된다.

ABSTRACT

In this study, to develop the lattice materials with a low environmental load for restoring the destroyed forest, 7 types of wood-concrete hybrid laminated materials were manufactured with domestic four softwoods, three hardwoods and concrete, and the effects of density of wood species on static bending strength performances were investigated. Bending MOEs of wood-concrete hybrid laminated materials increased with increasing density of wood species on the whole, and the values were higher than that of concrete by hybrid-laminating woods on the concrete. It was found that the measure values of bending MOEs were slightly lower than the calculated values calculated using equivalent cross-section method from MOE of each laminae of hybrid laminated materials and the difference between them was less than 10%. Bending proportional limit stresses of hybrid laminated materials showed 1.2-1.6 times higher than that of concrete by hybrid-laminating. Bending strength (MOR) of hybrid laminated materials increased with the density of wood species. By hybrid-laminating, the MOR of concrete was considerably increased. Therefore, it is considered that

¹ Date Received August 24, 2015, Date Accepted September 22, 2015

² 경상대학교 환경재료과학과, 농업생명과학연구원. Department of Environmental Materials Science, Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 박한민(e-mail: phm0691@gnu.ac.kr)

wood-concrete hybrid laminated materials can be applied as a materials with a low environmental load and durability for ecological restoration.

Keywords : softwoods, hardwoods, concrete, hybrid laminated materials, modulus of elasticity, proportional limit stress, modulus of rupture

1. 서 론

최근 자연재해와 각종 산림개발에 따른 산림 훼손 면적이 매년 증가하고 있다. 특히 지구온난화에 따른 기후변화로 태풍, 집중호우, 강우패턴변화 등의 자연재해로 인해 훼손된 산림은 고유 산림식물의 서식환경 악화와 더불어 산림 생태계 교란과 산림의 건강성을 저하시키고 있다. 산림청 연차보고서(산림청, 2014)에 의하면 태풍과 집중호우 등의 자연재해로 인해 발생한 우리나라의 산사태 면적은 2004년 이후 연평균 456 ha로 1980년대의 231 ha보다 1.9배 증가한 것으로 나타났다. 이외에도 경제성장에 따른 사회간접시설 확충, 신도시 건설 및 신도로개발 등 각종 개발사업으로 인해 산림훼손지가 발생하고 있다. 이러한 훼손된 산지의 녹화를 위해 사용되는 국내 녹화공법은 비교적 내구성 및 내후성이 우수하고 경제적으로 저렴한 콘크리트를 이용해 격자를 붙이기, 솟크리트공법, 앵커박기 등을 시행하고 있다. 하지만 콘크리트의 주재료가 되는 시멘트 산업에서 연간 1600만 톤의 CO₂를 배출시켜 환경적으로 많은 문제를 일으키고 있다(Kim and Hwang, 2013). 또한, 콘크리트는 휨 강도와 인장강도가 낮아 균열발생에 대한 취약성을 가지고 있고, 구조물이 화염, 화학적 반응, 염화물, 탄산가스 및 황산염 등 외기 노출조건에서 유해 인자들로 인한 환경문제가 발생한다(Ryou *et al.*, 2012). 이러한 단점을 줄이기 위해 콘크리트의 공극률을 높여 수서 식물의 서식공간을 제공하고 생육기반을 마련해주는 식생기반 콘크리트(Jo, 2008), 콘크리트 사용연한을 증가시킨 고내구성 콘크리트(Ryou *et al.*, 2005, Park *et al.*, 2007) 및 콘크리트 제작 과정에서 재료의 사용량을 감소시킨 콘크리트(Ryou *et al.*, 2012) 등의 개발을 통해, 시멘트 사용량을 절감하여 환경부하를 줄이기 위한 연구가 지속

되고 있다. 또한, 고인성시멘트 복합재료(High performance fiber reinforced cementitious composites: HPFRCC)에 관한 연구(V.C.Li, 2004; Yun *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2009) 및 섬유보강 콘크리트(Kang *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2007) 등의 연구를 통해 내구성을 높이는 연구가 이루어지고 있다.

이 연구에서는 콘크리트의 환경부하를 줄이고, 내구성 향상을 도모함과 동시에 목재의 약한 내후성을 보완한 친환경 생태복원용 단위격자틀을 개발하기 위하여 콘크리트와 국내산 목재 7수종을 복합적층한 7종류의 복합적층재를 제작하였고, 정적 휨 강도성능에 미치는 수종밀도의 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험편

이 연구에서는 콘크리트(concrete)와 삼나무(Japanese cedar), 편백나무(Japanese cypress), 낙엽송(Japanese larch), 소나무(red pine)의 국내산 침엽수 4수종과 밤나무(chestnut), 백합나무(tulip tree), 굴참나무(oriental oak)의 국내산 활엽수 3수종을 공시재료로 사용하였으며, 콘크리트는 시멘트(25%), 석영(30%), 석회(25%), 천연펄프(15%), 진주안분(5%)을 혼합하여 제조한 콘크리트보드를 사용하였다. 목재는 제재 후, 2년 이상 충분히 건조한 것을 사용하였으며, 콘크리트 라미나와 목재라미나는 20 mm (W) × 6.25 mm (T) × 360 mm (L)의 크기로 제작하였다. 이들 라미나는 20℃, 65%RH의 항온항습실에서 2주일 이상 조습한 후, 밀도를 측정하였고, 휨 파괴하중의 약 10%의 하중을 부하하여 비파괴적으로 휨 탄성계수를 측정하여 복합적층용으로 분류하였다. 목재-콘크리트 복합적층을 위한 접착제는 에폭시 수지

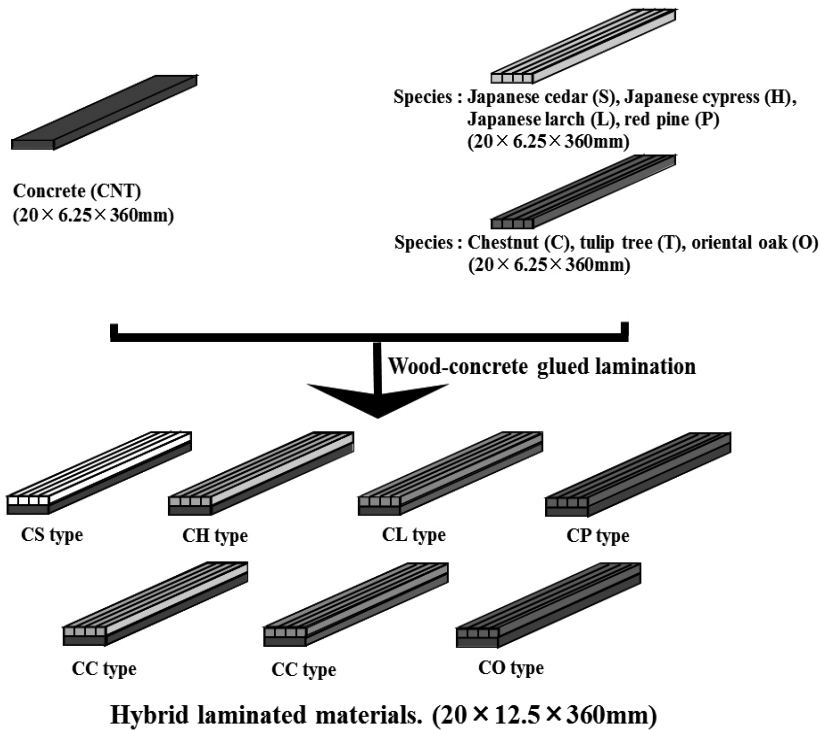


Fig. 1. Woods-concrete hybrid laminated material specimens.

Notes; CNT: Concrete, CS: Japanese cedar-concrete, CH: Japanese cypress-concrete, CL: Japanese larch-concrete, CP: Red pine-concrete, CC: Chestnut-concrete, CT: Tulip tree-concrete, CO: Oriental oak-concrete.

(Cemedine Co., Ltd.)를 사용하였으며, 도포량은 단면도포로 약 300 g/m^2 으로 하였다. 압체는 토크렌치를 사용하여 0.34 MPa 의 압력으로 24 h동안 실시하였다.

해압 후, 여분의 접착제를 제거하고 20°C , $65\% \text{RH}$ 의 항온항습실에서 1주일 이상 양생한 후, $20 \text{ mm (W)} \times 12.5 \text{ mm (T)} \times 360 \text{ mm (L)}$ 의 크기로 마무리가공하여 시험편으로 사용하였다. 목재-콘크리트 복합적층재 시험편의 종류는 Fig. 1에 나타낸 것처럼, 침엽수와 콘크리트 복합적층재 4종류, 삼나무-콘크리트(CS), 편백-콘크리트(CH), 낙엽송-콘크리트(CL), 소나무-콘크리트(CP)와 활엽수와 콘크리트 복합적층재 3종류, 밤나무-콘크리트(CC), 백합나무-콘크리트(CT), 굴참나무-콘크리트(CO)의 총 7종류로 하였고, 시험편의 수는 각 조건 당 4개씩 총 28개로

하였다.

2.2. 목재-콘크리트 복합적층재의 정적 휨 강도 시험

목재-콘크리트 복합적층재의 정적 휨 강도성능을 평가하기 위해 실시한 정적 휨 시험은 스패ن 300 mm , 하중점과 지점 사이의 거리 100 mm (3등분점), 하중속도 5 mm/min 의 4점하중 방식으로 만능재료 시험기(Instron 5969)를 이용하여 실시하였다. 하중은 복합적층재의 축방향에 직교하게 부하하였으며, 시험편의 하중-변위(처짐)곡선으로부터 휨 탄성계수(MOE), 휨 강도(MOR)를 다음의 식(1)과 식(2)를 통해 계산하였다. 또한 각 라미나의 휨 탄성계수로부터 복합적층재의 휨 탄성계수 예측치(E_c)를 식(3)의 등

Table 1. Results of the bending test of concrete, woods and woods-concrete hybrid laminated materials.

Type	ρ (Mg/m ³)	E (GPa)	σ_{PLST} (MPa)	ε_{PLSN} (10 ⁻² mm/mm)	σ (MPa)	ε (10 ⁻² mm/mm)
CNT	1.43 (1.2)	9.50 (3.0)	7.74 (10.9)	0.09 (16.9)	11.3 (2.5)	0.16 (8.9)
S	0.410 (10.8)	9.96 (21.8)	39.4 (20.5)	0.42 (6.1)	70.7 (18.1)	1.34 (13.1)
H	0.440 (0.0)	14.2 (17.8)	49.3 (13.2)	0.37 (7.1)	82.9 (10.1)	1.39 (10.6)
L	0.573 (6.3)	17.4 (19.1)	63.5 (22.1)	0.39 (9.6)	111 (14.0)	1.37 (23.6)
P	0.573 (2.7)	10.4 (30.2)	34.3 (27.4)	0.35 (4.3)	67.5 (29.5)	1.08 (13.1)
C	0.533 (2.8)	12.5 (13.8)	47.8 (11.5)	0.41 (7.7)	81.9 (8.1)	1.24 (12.6)
T	0.560 (3.5)	13.4 (17.9)	41.5 (19.3)	0.33 (1.3)	79.5 (14.2)	1.27 (17.8)
O	0.850 (3.3)	18.8 (6.5)	59.2 (8.9)	0.33 (1.3)	116 (6.1)	1.11 (6.1)
CS	0.871 (3.2)	8.58 ^a (14.9)	10.8 ^c (22.8)	0.14 (20.2)	15.2 ^c (18.5)	2.05 (48.7)
CH	0.903 (3.0)	10.3 ^b (8.9)	10.3 ^c (16.1)	0.12 (18.1)	20.0 ^c (7.8)	2.42 (4.9)
CL	0.973 (2.6)	11.0 ^c (6.3)	10.3 ^c (10.8)	0.12 (6.8)	27.1 ^c (11.3)	2.40 (11.5)
CP	1.01 (0.4)	9.12 ^a (7.5)	11.3 ^b (6.5)	0.15 (10.0)	15.8 ^b (28.7)	1.24 (81.7)
CC	0.963 (2.4)	10.1 ^b (9.1)	9.27 ^c (25.5)	0.12 (16.7)	20.0 ^c (21.0)	2.88 (1.8)
CT	0.979 (1.9)	10.7 ^a (8.8)	12.1 ^c (13.2)	0.15 (17.5)	20.7 ^c (13.0)	2.50 (15.1)
CO	1.11 (2.2)	12.2 ^c (4.4)	12.0 ^c (13.8)	0.10 (61.4)	30.1 ^c (4.7)	2.57 (4.0)

Notes; ρ : Density, E : Modulus of elasticity, σ_{PLST} : Proportional limit stress, ε_{PLSN} : Proportional limit strain, σ : Modulus of rupture, ε : Strain, Each value is the average of four measurements. The values in parentheses are the coefficients of variation (%). ^a: Not statistically significant between woods and hybrid laminated materials, ^b: Statistically significant at 5% level between woods and hybrid laminated materials, ^c: Statistically significant at 1% level between woods and hybrid laminated materials.

가단면법을 통해 구하여 실측치와 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

$$MOE = Pa(3l^2 - 4a^2) / 4bh^3y \dots\dots\dots (1)$$

여기서, P : 하중, l : 스패, a : 하중점과 지점사이의 거리, b : 시험편의 폭, h : 시험편의 두께, y : 처짐.

$$MOR = 3P_{max}a / bh^2 \dots\dots\dots (2)$$

여기서, P_{max} : 최대하중, a : 하중점과 지점사이의 거리, b : 시험편의 폭, h : 시험편의 두께.

$$E_e = \frac{\sum_{i=1}^n E_i I_i}{I} \dots\dots\dots (3)$$

여기서, E_i 는 복합적층재 각 라미나의 휨 탄성계수, I_i 는 단면의 중립축에 대한 각층라미나의 단면 2차모멘트, I 는 전단면 2차모멘트.

3.1. 복합적층재의 휨 탄성계수

3.1.1. 휨 탄성계수

침엽수, 활엽수 및 콘크리트의 휨 탄성계수를 Table 1에 나타낸다. 콘크리트의 휨 탄성계수는 9.50 GPa를 나타내었다. 목재의 휨 탄성계수는 굴참나무(O)가 18.6 GPa로 가장 높은 값을 나타내었고, 삼나무(S)가 9.96 GPa로 가장 낮은 값을 나타내었다. 그 크기는 굴참나무(O) > 낙엽송(L) > 편백나무(H) > 백합나무(T) > 밤나무(C) > 소나무(P) > 삼나무(S) 순으로 나타났으며, 목재의 휨 탄성계수는 콘크리트의 1.1 - 2.0배 높은 값을 나타내었고, 전반적으로 밀도가 높은 수종이 높은 휨 탄성계수를 나타내는 것이 확인되었다.

Table 1과 Fig. 2는 목재-콘크리트 복합적층재의

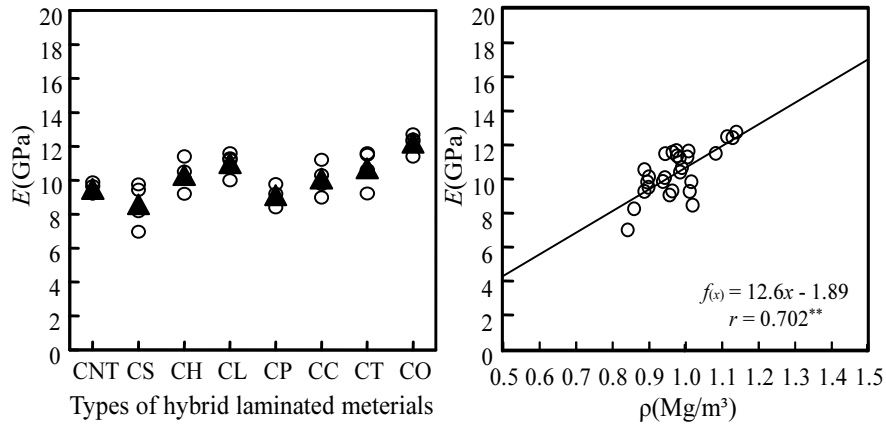


Fig. 2. Static bending modulus of elasticity (MOE) and the relation between the density and the MOE of wood-concrete hybrid laminated materials.

Notes; CNT: Concrete, CS: Japanese cedar-concrete, CH: Japanese cypress-concrete, CL: Japanese larch-concrete, CP: Red pine-concrete, CC: Chestnut-concrete, CT: Tulip tree-concrete, CO: Oriental oak-concrete. ▲: Average MOE. **: Significant at 1% level, r: Coefficient of correlation.

휨 탄성계수를 나타낸다. 복합적층재의 휨 탄성계수는, 굴참나무-콘크리트(CO)가 12.2 GPa로 가장 높은 값을 나타내었고, 삼나무-콘크리트(CS)가 8.58 GPa로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이 값은 콘크리트의 휨 탄성계수에 비해 0.9 - 1.3배의 값을 나타내었고, 그 크기는 참나무-콘크리트(CO) > 낙엽송-콘크리트(CL) > 백합나무-콘크리트(CT) > 편백-콘크리트(CH) > 밤나무-콘크리트(CC) > 소나무-콘크리트(CP) > 삼나무-콘크리트(CS)의 순으로 나타났다. 이 값은 Fig. 2의 우측에 나타난 것처럼, 밀도에 비례하여 증가하였고, 양자간에 1% 수준의 유의성이 확인되었다. 그리고 이 값은 국내산 낙엽송과 유리섬유강화 플라스틱을 초산비닐계 수지로 적층접합한 복합집성재(Park and Hong, 2008)의 휨 탄성계수 8.26 - 8.51 GPa와 국내산 삼나무를 이용한 구조용집성재(Kim Park *et al.*, 2009)의 휨 탄성계수 5.95 - 6.34 GPa에 비해 다소 높은 값을 나타내었고, 목재와 목질보드로 구성된 표층 섬유방향 복합적층재(Park *et al.*, 2009)의 8.77 - 9.83 GPa와 국내산 낙엽송을 이용한 탄소섬유강화 플라스틱 복합집성재(Park *et al.*, 2009)의 휨 탄성계수 8.03 - 10.6 GPa와는 비슷한 값을 나타내었다. 그러나 이 값은 수종의

밀도에 따라 다소 차이를 나타냈다.

3.1.2. 복합적층재의 휨 탄성계수의 예측치와 실측치와의 관계

7종류의 목재라미나와 콘크리트라미나의 휨 탄성계수로부터 식(3)의 등가단면법을 이용하여 계산된 복합적층재의 예측치 휨 탄성계수에 대한 실측치 휨 탄성계수의 비(R_e)를 구하여 Fig. 3에 나타낸다.

목재-콘크리트 복합적층재의 R_e 값은 0.90 - 0.97의 값을 나타내어 실측치가 예측치보다 약간 낮은 값을 나타내었다. 전반적으로 활엽수에 비해 침엽수가 양자의 차이가 컸고, 수종의 밀도에 따른 뚜렷한 차이는 확인되지 않았다. 이 값은 Park *et al.* (2001, 2003)이 보고한 오동나무, 삼나무, 편백, 계수나무, 너도밤나무 3층 섬유방향 적층재의 그것과 비슷한 경향을 나타내었고, 이것은 에폭시수지의 접착층이 두껍고, 구성라미나 보다 탄성계수가 적은 것에 기인하는 접착층의 영향으로 생각된다. 그러나 그 차이는 10% 이내로 비교적 적었고, 일반 목재적층재의 그것과 큰 차이를 나타내지 않아, 예측치의 산출에 등가 단면법이 유용할 것으로 판단된다.

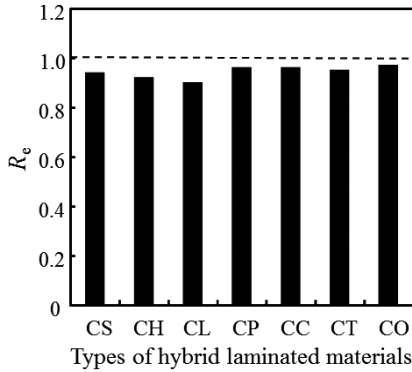


Fig. 3. R_c (ratio of measured value of MOE to value calculated from MOE of each lamina of hybrid laminated materials) of wood-concrete hybrid laminated materials.

Notes; CNT, CS, CH, CL, CP, CC, CT, CO : See notes in Fig. 2

3.2. 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 비례한도 응력

목재, 콘크리트 및 복합적층재의 휨 비례한도 응력은 응력-변형률 곡선의 비례역에 평행하게 직선을 그어 응력-변형률 곡선의 비례역을 이탈하는 최초로 부분으로 결정하였다.

침엽수, 활엽수 및 콘크리트의 휨 비례한도 응력을 Table 1에 나타낸다. 콘크리트의 휨 비례한도 응

력은 7.74 MPa를 나타내었다. 목재의 휨 비례한도 응력은 낙엽송(L)이 63.5 MPa로 가장 높은 값을 나타내었고, 소나무가 34.3 MPa로 가장 낮은 값을 나타내었으며, 이 값은 콘크리트의 4.4 - 8.2배 높은 값을 나타내었다. 또한, 그 크기는 굴참나무(O) > 낙엽송(L) > 편백나무(H) > 백합나무(T) > 밤나무(C) > 소나무(P) > 삼나무(S) 순으로 나타났으며, 휨 탄성계수와 같이 대체로 밀도가 높은 수종이 휨 비례한도응력이 높은 경향을 나타내었다. Table 1과 Fig. 4는 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 비례한도 응력을 나타낸다. 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 비례한도 응력은 백합나무-콘크리트 복합적층재(CT)가 12.1 MPa로 가장 높은 값을 나타내었고, 밤나무-콘크리트 복합적층재(CC)가 9.27 MPa로 가장 낮은 값을 나타내었다. 그 크기는 백합나무-콘크리트(CC) > 굴참나무-콘크리트(CO) > 소나무-콘크리트(CP) > 삼나무-콘크리트(CS) > 편백-콘크리트(CH) > 낙엽송-콘크리트(CL) > 밤나무-콘크리트(CC) 순으로 나타났고, Fig. 4의 우편에 나타난 것처럼, 밀도에 따른 휨 비례한도 응력의 유의성은 확인되지 않았다. 이 값은 콘크리트의 1.2 - 1.6배 높은 값을 나타내었고, 밤나무-콘크리트 복합적층재를 제외하고 대부분 활엽수-콘크리트 복합적층재의 휨 비례한도 응력이 침엽수-콘크리트의 그것에 비해 높은 값을 나타내었다. 이 값은 목재와 목질보드로 구성된 표층섬유방향 복합

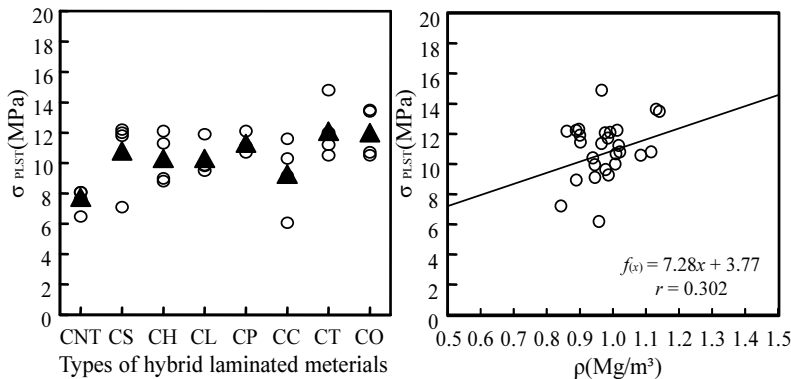


Fig. 4. Bending proportional limit stresses and the relation between the density and the proportional limit stresses of wood-concrete hybrid laminated materials.

Notes; CNT, CS, CH, CL, CP, CC, CT, CO : See notes in Fig. 2.

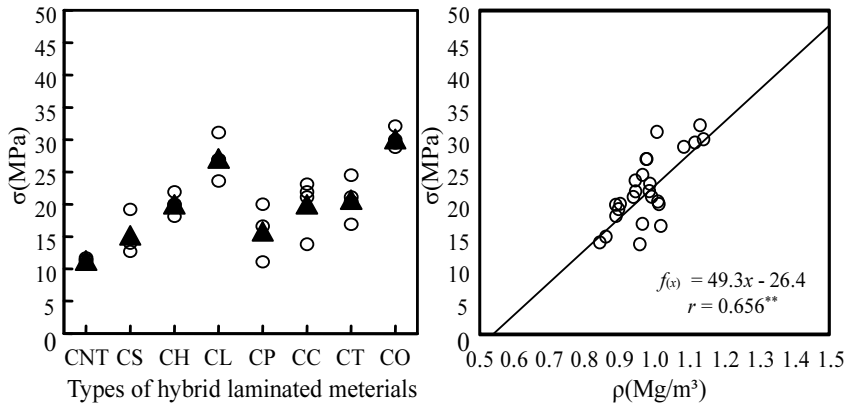


Fig. 5. Bending modulus of rupture (MOR, σ) and the relation between the density and the MOR of wood-concrete hybrid laminated materials.

Notes; **: Significant at 1% level. CNT, CS, CH, CL, CP, CC, CT, CO : See notes in Fig. 2.

적층재(Park *et al.*, 2009)의 휨 비레한도 응력(25.6 - 29.5 MPa)에 비해 매우 낮은 값을 나타내었는데, 이것은 목재에 비해 취성재료인 콘크리트의 비레한도 변형률이 매우 낮은 것에 기인하는 것으로 생각된다.

3.3. 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 강도

Table 1에 나타난 바와 같이, 콘크리트의 휨 강도는 11.3 MPa를 나타내었다. 목재라미나의 휨 강도는 굴참나무가 116 MPa로 가장 높은 값을 나타내었고, 소나무가 67.5 MPa로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이 값은 콘크리트의 6.0 - 10.8배의 매우 높은 값을 나타내었고, 그 크기는 휨 탄성계수와 대체로 비슷한 순을 나타냈으며, 밀도에 비례하여 휨 강도가 증가하는 밀도의존성을 나타내었다.

목재-콘크리트 복합적층재의 휨 강도를 Table 1에 나타내고, 각 타입 복합적층재의 휨 강도에 미치는 수종의 영향을 Fig. 5에 나타낸다. 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 강도는 굴참나무-콘크리트(CO)가 30.1 MPa로 가장 높은 값을 나타내었고, 삼나무-콘크리트(CS)가 15.2 MPa로 가장 낮은 값을 나타내었다. 휨 강도의 크기는 굴참나무-콘크리트(CO) > 낙엽송-콘크리트(CL) > 백합나무-콘크리트(CT) > 밤나무-콘크리트(CC) = 편백나무-콘크리트(CH) > 소나무-콘크리트(CP) > 삼나무-콘크리트(CS) 순을 나타내었고, Fig. 5에 나타난 것처럼, 수종의 밀도에 비례하여 휨 강도는 증가하였고, 양자간에 1% 수준의 유의성이 확인되었다. 이 값은 콘크리트의 휨 강도에 비해 1.3 - 2.7배의 높은 값을 나타내었고, 낙엽송-콘크리트 복합적층재를 제외하고, 대부분 침엽수-복합적층재에 비해 활엽수-복합적층재가 높은 휨 강도를 나타내었다. 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 강도는 시멘트, 규사(silica sand)에 PVA (polyvinyl alcohol) 섬유를 혼입한 HPRCCs (Kim *et al.*, 2009)의 휨 강도 8.63 - 14.1 MPa에 비해 높은 값을 나타내었다. 그리고 콘크리트에 강섬유를 혼입한 강섬유 보강 콘크리트(Kang *et al.*, 2009)의 휨 강도 16.4 - 61.7 MPa에 비해 비슷하거나 다소 낮은 값을 나타내었다. 또한, 목재와 목질보드로 구성된 표층섬유방향 복합적층재(Park *et al.*, 2009)의 휨 강도 31.4 - 42.1 MPa, 국내산 낙엽송에 탄소 및 유리 섬유강화플라스틱을 복합한 집성재(Park *et al.*, 2008; Park *et al.*, 2009)의 48.8 - 77.1 MPa 및 국내산 삼나무를 이용한 구조용 집성재(Kim *et al.*, 2009)의 휨 강도 35.2 - 38.7 MPa에 비해 다소 낮은 값을 나타내었다. 이것은 인장축에 배열된 취성재료인 콘크리트가 소성 변형 없이 파괴되어 복합적층재의 변형률의 증가에 비해 응력의 증가가 적었기 때문으로 생각된다.

4. 결 론

이 연구에서는 환경부하가 적은 산림훼손지 생태 복원용 단위격자틀의 개발을 목적으로, 콘크리트와 국내산 침엽수 4종, 국내산 활엽수 3종을 각각 복합 적층한 복합적층재를 제작하였고, 정적 휨 강도성능 을 평가하여 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 탄성계수는 8.58 - 12.2 GPa의 범위에 있었고, 콘크리트의 휨 탄성계수에 비해 0.9 - 1.3배의 값을 나타내 었다. 이 값은 삼나무-콘크리트 복합적층재를 제외한 대부분의 수종에서 콘크리트의 휨 탄성 계수에 비해 높은 값을 나타내었고, 전반적으 로 수종의 밀도에 비례하여 탄성계수의 증가를 나타내는 것이 확인되었다.
- 2) 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 비례한도 응력 은 9.27 - 12.1 MPa의 범위에 있었고, 콘크리트 의 휨 비례한도 응력에 비해 1.2 - 1.6배 높은 값을 나타내는 것이 확인되었다. 그러나 이 값 은 콘크리트의 매우 적은 휨 비례한도 변형을 때문에 목재적층재에 비해 낮은 값을 나타내는 것이 확인되었다.
- 3) 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 강도는 15.2 - 30.1 MPa의 범위에 있었고, 콘크리트에 목재를 복합적층함에 따라 콘크리트의 휨 강도에 비해 1.3 - 2.7배의 현저히 높은 값을 나타내었다. 이 를 통해 목재-콘크리트 복합적층재가 콘크리트를 대체한 생태복원재료로 사용이 가능할 것으 로 생각된다.

사 사

이 연구는 산림청 “산림과학기술개발사업(과제 번 호: S211214L020410) 훼손지 생태복원 사업단”의 지원에 의하여 수행되었습니다.

REFERENCES

- Jo, Y.K. 2008. A Study on the Ph Reduction of Cement Concrete with Various Mixing Conditions. *Journal of the Korea Institute of Building Construction* 8(4): 79-85.
- Korea Forest Service. 2014. 2014 Annual report on forests and forestry. pp. 12-16.
- Kim, S.H., Hwang, J.P. 2013. The CO₂ Emission in the Process of Cement Manufacture Depending on CaO Content. *Journal of the Korea Concrete Institute* 25(4): 365-370.
- Kim, Y.W., Min, K.W., Yang, J.M., Yoon, Y.S., 2009. Flexural and Impact Resisting Performance of HPFRCCs Using Hybrid PVA Fibers. *Journal of the Korean Concrete Institute* 21(6): 705-712.
- Kang, S.T., Hong, K.N., Han, S.H., Kim, S.W., 2009. The Effect of Fiber Volume Fraction on the Tension Softening Behavior of Steel Fiber-Reinforced Ultra High Strength Concrete. *Journal of the Korean Concrete Institute* 21(1): 13-20.
- Kim, K.M., Shim, S.R., Shim, K.B., Park, J.S., Kim, W.S., Kim, B.N., Yeo, H.M. 2009. Development of Structural Glued Laminated Timber with Domestic Cedar. *Journal of the Korean Society of Wood Science Technology* 37(3): 184-191.
- Park, J.J., Koh, K.T., Ryou, G.S., Kim, S.W. 2007. Evaluation on Durability of Ultra-High Strength Cementitious Composites. *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 27(2A): 257-263.
- Park, H.M., Fushitani, M., Sato, K., Kubo, T., Byeon, H.S. 2003. Static bending strength performances of cross-laminated woods made with five species. *Journal of Wood Science* 49: 411-417.
- Park, J.C., Hong, S.I. 2008. Strength Properties of GFRP Reinforced Glulam Beams Bonded with Polyvinyl Acetate-Based Emulsion Adhesive.

- Journal of the Korean Society of Wood Science Technology 36(4): 19-25.
- Park, H.M., Fushitani, M., Ohtsuka, T., Nakajima, T., Sato, K., Byeon, H.S. 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
- Park, H.M., Moon, S.J., Choi, Y.E., Park, J.H., Byeon, H.S. 2009. Static Bending Strength Performances of Hybrid Laminated Woods Composed of Wood-Wood Based Boards. Journal of the Korean Society of Wood Science Technology 37(6): 546-555.
- Ryou, G.S., Koh, K.T., Kim, S.W., Kim, D.G. 2005. Development for Penetrative Performance Improving Agent to Prevent Deterioration of Concrete Structures. Journal of the Korean Concrete Institute 17(4): 489-498.
- Ryou, J.S., Lee, Y.S., Song, I.H. 2012. A Study on Application of High Molecular Compound for Development of Eco-friendly Concrete. Journal of Korean Society of Civil Engineers 32(5A): 299-305.
- V. C. Li. 2004. High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites as Durable Material for Concrete Structure Repair. International Journal for Restoration International Zeitschrift für Bauinstandsetzen 10(2): 163-180.
- Yun, H.D., Yang, I.S., Han, B.C., Jeon, E., Kim, S.W. 2005. Experimental Study on Tension Stiffening Behavior in High-Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composites (HPFRCCs). Journal of 21(10): 27-36.