

국내산 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 크리프 성능¹

조 영 준² · 변 진 웅² · 이 제 룡² · 성 은 종² · 박 한 민^{2,†}

Bending Creep Performance of Domestic Wood-Concrete Hybrid Laminated Materials¹

Young-june Cho² · Jin-Woong Byeon² · Je-Ryong Lee² · Eun-Jong Sung² · Han-Min Park^{2,†}

요 약

이 연구에서는 환경부하가 적은 산림훼손지 생태복원재료의 개발을 목적으로, 콘크리트와 국내산 침엽수 4종, 국내산 활엽수 3종의 제재라미나를 복합적층하여, 휨 크리프 성능에 미치는 수종의 밀도의 영향을 조사하였다. 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 크리프곡선은 수중에 관계없이 시간에 따라 크리프곡선의 우측상변이 현저히 증가하는 형태를 나타내었고, 하중부하 후 약 30분 - 1시간 이후에서는 목재 및 목질재료와 같이 거의 직선적인 거동을 나타내는 것이 확인되었다. 목재-콘크리트 복합적층재의 초기변형은 수종의 밀도의 증가에 비례하여 변형이 감소하였고, 이 값은 콘크리트의 0.9 - 1.2배의 값을 나타내었다. 목재-콘크리트 복합적층재의 크리프변형은 콘크리트의 0.4 - 0.8배의 낮은 값을 나타내어 복합적층에 의한 콘크리트의 크리프변형의 현저한 감소가 확인되었다. 목재-콘크리트 복합적층재의 상대 크리프는 8.2 - 17.0%의 범위로 복합적층에 의해 콘크리트의 그것보다 0.3 - 0.7배의 매우 낮은 값을 나타내는 것이 확인되었다. 이 결과는 목재와 콘크리트의 복합적층에 의해 기존 콘크리트재료의 크리프변형을 감소시킨 산림훼손지 생태복원재료로 응용가능성을 나타낸다.

ABSTRACT

In order to develop materials with a low environmental load for restoring the destroyed forest, seven types of wood-concrete hybrid laminated materials were manufactured with four softwoods, three hardwoods and concrete, and the effect of wood density on bending creep property was investigated. The bending creep curves showed a shape to considerably increase at the upper right side, and the curves were found to show a linear behavior beyond about 30 min - 1 hour, as behaviors of solid woods and wood-based materials. The initial compliances of wood-concrete hybrid-laminated materials decreased with an increase in the wood density, and those values showed 0.9 - 1.2 times of the concrete one. The creep compliances of hybrid laminated materials showed very low values, which were 0.4 - 0.8 times of the concrete ones. The relative creep were very low with a range from 8.2% to 17.0% range, which were 0.3 - 0.7 times of the concrete ones. These results indicate that these materials can be applied for restoring the

¹ Date Received September 15, 2015, Date Accepted October 20, 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)

destroyed forest to reduce creep deformation of the conventional concrete materials by hybrid-laminating concrete and woods.

Keywords : wood density, concrete, hybrid laminated materials, initial compliance, creep compliance

1. 서 론

근년, 한국은 급격한 산업화로 고도의 경제성장을 이루었고, 경제성, 내후성 등 많은 장점을 지닌 콘크리트재료가 산업화재료로 적합하여 사용 환경에 관계없이 다량 사용되어 왔다. 그러나 콘크리트는 자중이 크고, 제조 및 시공시 이산화탄소(CO₂)의 배출량이 많을 뿐만 아니라 토양의 알칼리화 및 공극률이 낮아 수서식물의 서식환경으로 적합하지 않은 등 많은 문제점들이 보고되고 있다(Cho, 2011; Kim and Hwang, 2013). 따라서 최근, 우리나라를 포함한 OECD 회원국에서는 콘크리트에 친환경적인 이종재료를 첨가 및 복합적층하여 콘크리트의 양을 줄이는 동시에 역학적 성능을 향상시킬 새로운 복합재료를 개발하는 연구가 다각도로 이루어지고 있다(Choi and Moon, 2012; Cho, 2011; Lee *et al.*, 2009; Gerber and Tannert, 2015; Kim *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2006). 친환경재료인 목재는 가볍고, 가공이 용이하며, 섬유방향의 우수한 비강도 성능 등 다양한 장점을 지닌 반면, 바이오재료인 특수성 때문에 지면에 접촉하든지 습한 환경에 노출되면 다양한 부후균과 세균의 공격대상이 되고, 내구성 및 내후성의 감소에 의한 내구연한이 줄어드는 단점을 지니고 있다. 따라서 다양한 보강 재료와의 복합을 통해 내구성 향상을 기함과 동시에 내후성을 증진시킬 필요가 있다. 목재의 내구성을 향상시키기 위하여, 집성재에 구조용 강철을 보강한 구조용 복합집성재(Jang *et al.*, 2009) 및 목재에 유리섬유강화 플라스틱(Glass Fiber Reinforced Plastic, GFRP)을 보강한 복합집성재(Park and Hong, 2008)의 개발 및 역학적 성능에 관한 연구가 보고되고 있다. 그러나 목재의 내후성을 연장하기 위한 연구는 방부제를 주입한 방부목에 대한 연구 외에는 그 연구축적량이 매우 적고, 특히, 타 재료와의 복합적층을 통한 내후성 향상을 위한

연구는 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트의 환경부하를 줄임과 동시에 약한 휨강도, 휨 크리프성능을 개선하고, 목재의 내후성을 향상시킨 훼손지 생태복원용 친환경재료를 개발하기 위하여, 콘크리트와 목재라미나를 복합적층한 목재-콘크리트 복합적층재를 제작하였고, 휨 크리프시험을 실시하여 휨 크리프성능에 미치는 수종의 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험편

이 연구에서는 시판용 콘크리트보드(concrete board, CNT)와 국내산 침엽수 4종: 삼나무(Japanese cedar, S), 편백나무(Japanese cypress, H), 낙엽송(Japanese larch, L), 소나무(Red pine, P), 국내산 활엽수 3종: 밤나무(Chestnut, C), 백합나무(Tulip tree, T), 굴참나무(Oriental oak, O) 제재라미나를 공시재료로 채택하였다.

콘크리트라미나와 목재라미나는 20 mm (W) × 6.25 mm (T) × 360 mm (L) 크기로 각 수종별 10개씩 제작하였고, 제작된 라미나는 20℃, 65%RH의 항온항습실에서 2주일 이상 조습하여 밀도를 측정한 후, 만능재료시험기(Instron 5969)를 이용하여 휨 탄성계수를 측정하였다. 휨 탄성계수가 측정된 콘크리트라미나와 목재라미나를 탄성계수가 평균에 비해 매우 큰 것과 작은 것을 제외한 후, 에폭시수지(Cemedine Co. Ltd.)로 적층접착하였고, 그 도포량은 300 g/m²로 하였다. 압체는 적층몰드에 넣어 토크렌치를 이용하여 실시하였고, 압제압력 0.34 MPa의 조건으로 24시간 동안 실시하였다. 해압 후, 적층몰드에서 꺼내어 여분의 접착제를 제거하고, 20℃, 65%RH의 항온항습실에서 7일 이상 양생한 후, 20 mm

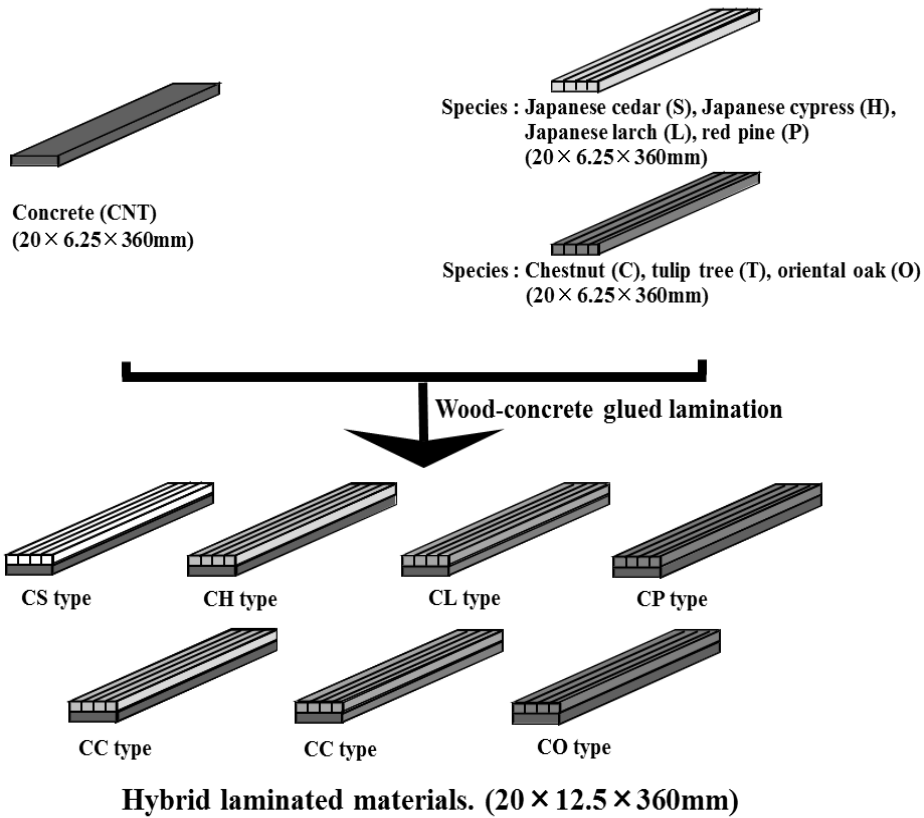


Fig. 1. Wood - Concrete hybrid laminated wood specimens and their preparation.

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 (Byeon *et al.*, 2016).

(W) × 12.5 mm (T) × 360 mm (L)의 크기로 마무리 가공한 후, 복합적층재 시험편으로 사용하였다. 시험편의 모식도를 Fig. 1에 나타낸다. 그 복합적층재의 종류는 삼나무-콘크리트(CS), 편백나무-콘크리트(CH), 낙엽송-콘크리트(CL), 소나무-콘크리트(CP)의 침엽수-콘크리트 복합적층재 4종류 및 밤나무-콘크리트(CC), 백합나무-콘크리트(CT), 굴참나무-콘크리트(CO)의 활엽수-콘크리트 복합적층재 3종류로 하여, 총 7종류로 하였고, 시험편의 개수는 각 타입 당 3개씩 총 21개로 하였다.

2.2. 휨 크리프 성능 측정방법

목재-콘크리트 복합적층재의 휨 크리프 성능을 조사하기 위하여 실시한 크리프 시험은 스패น 300 mm, 하중점과 지점사이의 거리 100 mm의 3등분점에 의한 4점 하중방식으로 실시하였다. 정적 휨 시험으로부터 얻은 휨강도의 25%에 상당하는 일정응력(Table 1)을 시험편에 가해, 20℃, 65%RH의 항온항습실에서 168시간 동안 실시하였다. 단, 부하응력은 휨 시험편 4개의 평균으로 하였다. 시험편 중앙부의 처짐을 다이얼게이지를 통해 초기변형 후 30분까지는 0.5, 1, 3, 5, 10분 간격, 2시간까지는 30분 간격, 그리고 1, 2, 3시간의 간격으로 10시간까지 측정하였

Table 1. Applied stresses for concrete, woods and woods-concrete hybrid laminated materials.

Species	Applied stress (MPa)	Types	Applied stress (MPa)
CNT	2.83	-	-
S	17.7	CS	3.8
H	20.7	CH	5.0
L	27.8	CL	6.78
P	16.9	CP	3.95
C	20.5	CC	5.00
T	19.9	CT	5.18
O	29.0	CO	7.53

Notes; Each value is the average of four measurements. CNT: Concrete, S: Japanese cedar, H: Japanese cypress, L: Japanese larch, P: Red pine, C: Chestnut, T: Tulip tree, O: Oriental Oak, 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.

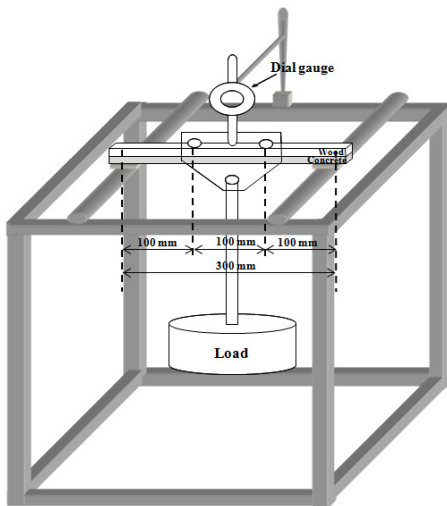


Fig. 2. Schematic diagram of bending creep test.

다. 그 후 2일은 12시간 간격, 그리고 나머지는 24시간의 간격으로 측정하였다. 각 시간의 처짐으로부터 다음의 식(1)과 식(2)를 통해 크리프 컴플라이언스 $D(t)$ 와 크리프 양 $D_c(t)$ 을 구하였다. 휨 크리프 시험의 모식도를 Fig. 2.에 나타낸다.

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

여기서, P : 하중, l : 스패, b : 폭, h : 두께, $y(t)$: 시간 t 에서의 처짐 a : 하중점과 지점간의 거리.

$$D_c(t) = D(t) - D(0.008) \dots\dots\dots (2)$$

여기서, $t = 0.008h(30s)$ 에 있어서의 크리프 컴플라이언스.

3. 결과 및 고찰

3.1. 콘크리트, 목재 및 복합적층재의 휨 크리프곡선

국내산 침엽수 4종 및 활엽수 3종과 콘크리트를 복합적층한 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 크리프 곡선의 대표적인 예를 Fig. 3에 나타낸다. 침엽수재와 활엽수재, 콘크리트 모두 재종에 관계없이 휨 크리프곡선은 각 증가폭의 차이는 있었지만, 시간에 따라 변형이 증가하는 지수함수 그래프를 나타내었고, 그 증가폭은 콘크리트와 소나무에서 큰 양상을 보였고, 전반적으로 침엽수재가 활엽수재에 비해 약간 큰 것이 확인되었다.

목재-콘크리트 복합적층재의 휨 크리프 곡선도 재종에 관계없이 시간에 따라 변형이 증가하는 지수함

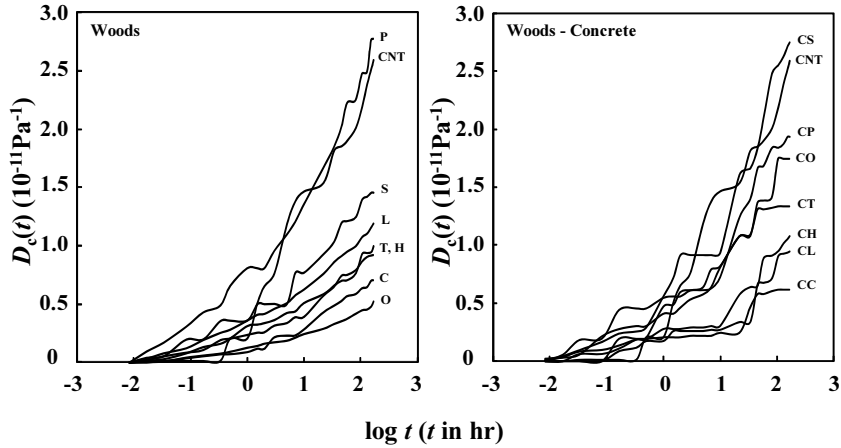


Fig. 3. Typical examples of creep curves for woods lamina and woods-concrete hybrid laminated materials.

Notes; CNT: Concrete, S: Japanese cedar, H: Japanese cypress, L: Japanese larch, P: Red pine, C: Chestnut, T: Tulip tree, O: Oriental Oak, 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.

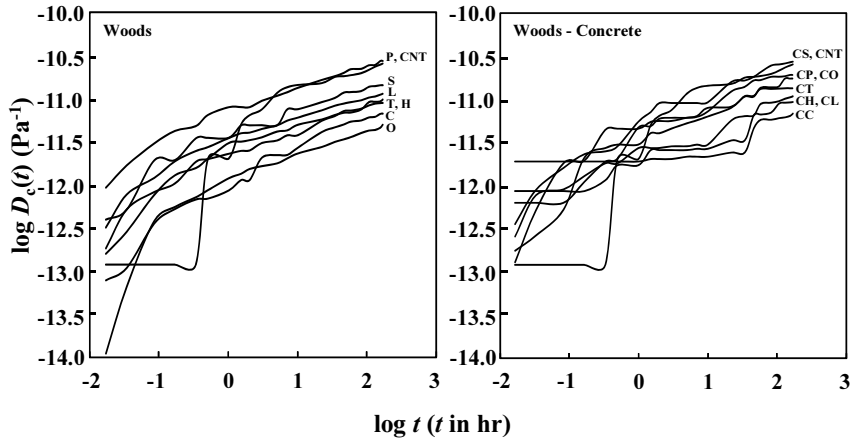


Fig. 4. Double logarithm plots of creep deformation and time for typical examples of woods and woods-concrete hybrid laminated materials.

Notes; CNT, S, H, L, P, C, T, O, CS, CH, CL, CP, CC, CT and CO: See the notes in Fig. 3.

수 그래프를 나타내었으나, 점진적인 변형의 증가를 보인 목재의 크리프곡선에 비해 변형이 뚜렷하지는 않으나 단계적으로 증가하는 형태의 크리프곡선을 나타내었다. 복합적층재의 수종의 밀도에 따른 크리프곡선의 명확한 차이는 확인되지 않았다.

Fig. 4는 목재, 콘크리트 및 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 크리프 컴플라이언스와 시간을 양 대수로

취해 각 타입간의 비교를 행한 것이다. 일반적으로 목재와 목질재료의 크리프곡선은 다음 식(power law)에 적합하게 된다.

$$D_c(t) = At^N \dots\dots\dots (3)$$

여기서, A , N 은 정수, t 는 시간.

Table 2. Results of bending creep tests for concrete lamina, woods lamina and woods- concrete hybrid laminated materials

Species/Types	Density (Mg/m ³)	<i>N</i>	<i>A</i> (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	<i>D</i> (0.008) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	<i>D_c</i> (168) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	<i>R_c</i> (%)
CNT	1.41 (2.7)	0.348 (3.4)	0.393 (28.2)	9.32 (2.7)	2.42 (28.5)	26.0 (28.6)
S	0.362 (7.5)	0.264 (1.0)	0.341 (42.1)	12.42 (15.6)	1.29 (41.6)	10.3 (36.9)
H	0.436 (2.2)	0.268 (11.3)	0.171 (28.1)	9.33 (16.2)	0.67 (33.7)	7.0 (17.0)
L	0.555 (7.8)	0.231 (2.5)	0.217 (59.4)	7.51 (18.2)	0.71 (60.8)	9.0 (43.1)
P	0.602 (4.5)	0.326 (45.7)	0.392 (80.6)	10.75 (21.1)	1.73 (53.3)	15.4 (32.5)
C	0.533 (0.9)	0.336 (17.0)	0.131 (31.8)	9.74 (13.7)	0.68 (7.8)	7.1 (20.8)
T	0.550 (2.6)	0.314 (27.5)	0.152 (86.4)	8.88 (13.6)	0.73 (64.1)	7.8 (58.5)
O	0.862 (2.2)	0.280 (5.1)	0.124 (8.5)	6.17 (3.1)	0.53 (4.9)	8.6 (5.0)
CS	0.932 (5.6)	0.235 (25.3)	0.477 (28.4)	11.49 (7.2)	1.77 (51.5)	15.1 (44.7)
CH	0.904 (1.7)	0.229 (34.7)	0.606 (90.5)	9.70 (3.1)	1.67 (62.9)	17.0 (59.7)
CL	0.982 (0.3)	0.341 (7.8)	0.165 (6.6)	8.88 (4.0)	0.97 (14.9)	10.9 (13.1)
CP	1.005 (2.2)	0.280 (26.0)	0.501 (58.4)	11.18 (17.2)	1.83 (30.8)	16.3 (25.3)
CC	0.957 (2.1)	0.308 (17.6)	0.179 (20.4)	10.33 (11.9)	0.85 (43.3)	8.2 (40.8)
CT	0.985 (2.6)	0.286 (19.5)	0.293 (54.0)	10.02 (9.4)	1.16 (29.2)	11.4 (21.8)
CO	1.108 (0.9)	0.311 (12.0)	0.257 (31.5)	8.28 (5.4)	1.19 (41.3)	14.2 (36.0)

Notes; Each value is an average of three measurements. The values in parentheses are the coefficient of variation (%). *N* and *A* are the constant values in the exponential regression between creep compliance and time [$D_c(t) = At^N$], *D* (0.008) is initial compliance at 0.008 h, *D_c* (168) is creep compliance except for initial compliance at 168 h (D (168) - D (0.008)), *R_c* is relative creep (100 (D_c (168)/ D (0.008))). CNT, S, H, L, P, C, T, O, CS, CH, CL, CP, CC, CT and CO: See the notes in Table 1.

대부분의 목재와 복합적층재 뿐만 아니라 콘크리트의 경우에도 초기변형 후 30분 - 1시간 이전에는 크리프곡선이 곡선적인 거동을 나타내었으나, 그 이후 168시간까지는 거의 직선적인 거동을 나타내는 것이 확인되었다. 최소자승법으로 1시간에서 168시간까지의 크리프곡선 $D_c(t)$ 를 At^N 에 적합시켜 크리프곡선의 기울기 *N*과 절편 *A*의 값을 구하였고, 그 평균값을 Table 2에 나타낸다. 양자 간의 상관계수는 콘크리트에서는 0.950, 목재에서는 0.975 - 0.997, 복합적층재에서는 0.941 - 0.994로 매우 높은 값을 나타내었다. *N*값은 콘크리트에서 0.348의 값을 나타낸 것에 반해, 목재에서는 밤나무(C)가 0.336으로 가장 높은 값을 나타내었고, 낙엽송(L)이 0.231로 가장 낮은 값을 나타내었다. 그 크기는 밤나무(C) > 소나무(P) > 백합나무(T) > 굴참나무(O) > 편백나무(H) > 삼나무(S) > 낙엽송(L)의 순으로 나타났으며, 침엽수재의 *N*값은 콘크리트의 0.7 - 0.9배, 활엽수재의 *N*값

은 콘크리트의 0.8 - 1.0배의 값을 나타내어 활엽수가 침엽수의 그것보다 약간 높은 값을 나타내었다. 그러나 양자간의 차이는 매우 근소하였다.

복합적층재의 *N*값은 낙엽송-콘크리트(CL)에서 0.341로 가장 높은 값을 나타내었고, 편백나무-콘크리트(CH)에서 0.229로 가장 낮은 값을 나타내었다. 그 크기는 낙엽송-콘크리트(CL) > 굴참나무-콘크리트(CO) > 밤나무-콘크리트(CC) > 백합나무-콘크리트(CT) > 소나무-콘크리트(CP) > 삼나무-콘크리트(CS) > 편백나무-콘크리트(CH)의 순으로 나타났으며, 침엽수-콘크리트 복합적층재의 *N*값은 콘크리트의 0.7 - 1.0배의 값을 나타내었고 활엽수-콘크리트 복합적층재의 그것은 0.8 - 0.9배의 값을 나타내어 양자의 차이는 거의 없었다. 목재-콘크리트 복합적층재에서는 *N*값은 대체적으로 밀도에 비례하여 증가하는 것이 확인되었다. 이 값은 직교형적층재 표층섬유 방향(Park *et al.*, 2002; 2006) 및 목재-알루미늄 복합

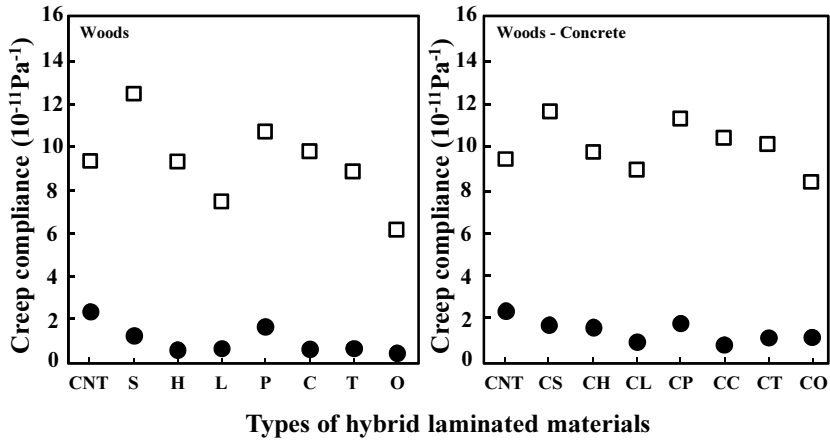


Fig. 5. Initial and creep compliance of woods lamina and woods-concrete hybrid laminated materials.

Notes; □ : Initial compliance at 0.008 h, ● : Creep compliance at 168 h. CNT, S, H, L, P, C, T, O, CS, CH, CL, CP, CC, CT and CO : See the notes in Fig. 3.

적층재(Park *et al.*, 2007)의 $N = 0.240 - 0.377$ 과 거의 비슷한 범위에 있었고, 수분평형상태의 집성재의 $N = 0.300 - 0.340$ 와 비슷하거나 약간 적었고, 수분 비평형상태의 집성재의 $N = 0.322 - 0.378$ 보다는 다소 적은 값을 나타내었다(Hoyle, 1994; Aratake & Arima, 1995; Aratake *et al.*, 2002). 또한, 이 값은 합판, 파티클보드 등의 목질보드류 및 목재와 목질보드 복합적층재의 수분평형상태의 N 값과도 거의 비슷한 범위에 있었다(Nakai, 1978a; Nakai, 1978b; Arima, 1981; Park *et al.*, 2010).

목재 및 목재-콘크리트 복합적층재의 A 값은 크리프 변형량에 비례하여 전체적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 활엽수재가 침엽수재에 비해 비교적 낮은 값을 나타내었고, 콘크리트는 목재에 비해 비교적 높은 값을 나타내는 것이 확인되었다.

3.2. 콘크리트, 목재 및 복합적층재의 초기 변형과 크리프 변형

목재, 콘크리트 및 목재-콘크리트 복합적층재의 휨 크리프시험의 결과를 Table 2에 나타내고, 초기변형과 크리프변형의 관계를 Fig. 5에 나타낸다.

Fig. 5에 나타난 것처럼, 목재의 초기변형은 삼나무(S)가 가장 높은 값을 나타내었고, 굴참나무(O)가 가장 낮은 값을 나타내었다. 이 값은 콘크리트의 0.7 - 1.3배의 값을 나타내었고, 침엽수에 비해 활엽수가 낮은 초기변형을 나타내었다.

밀도에 비례하여 초기변형이 감소하였고, 양자간에 비교적 뚜렷한 밀도의존성이 확인되었다. 목재의 크리프변형은 소나무(P)가 가장 높은 값을 나타내었고, 굴참나무(O)가 가장 낮은 값을 나타내었다. 그 크기는 소나무(P) > 삼나무(S) > 백합나무(T) > 낙엽송(L) > 밤나무(C) > 편백나무(H) > 굴참나무(O)의 순으로 나타났으며, 크리프변형의 밀도의존성은 확인되지 않았다. 이 값은 콘크리트의 0.2 - 0.7배의 매우 적은 값을 나타내었고, 활엽수가 침엽수보다 현저히 변형량이 적은 것이 확인되었다.

한편, 복합적층재의 초기변형은 삼나무-콘크리트(CS)가 가장 높은 값을 나타내었고, 굴참나무-콘크리트(CO)가 가장 낮은 값을 나타내었다. 그 크기는 삼나무-콘크리트(CS) > 소나무-콘크리트(CP) > 밤나무-콘크리트(CC) > 백합나무-콘크리트(CT) > 편백나무-콘크리트(CH) > 낙엽송-콘크리트(CL) > 굴참나무-콘크리트(CO)의 순이었고, 전체적으로 목재소재의 그것과 같이 밀도에 비례하여 초기변형이 감소하였고, 밀도와 초기변형간에 목재소재보다는 명확하지

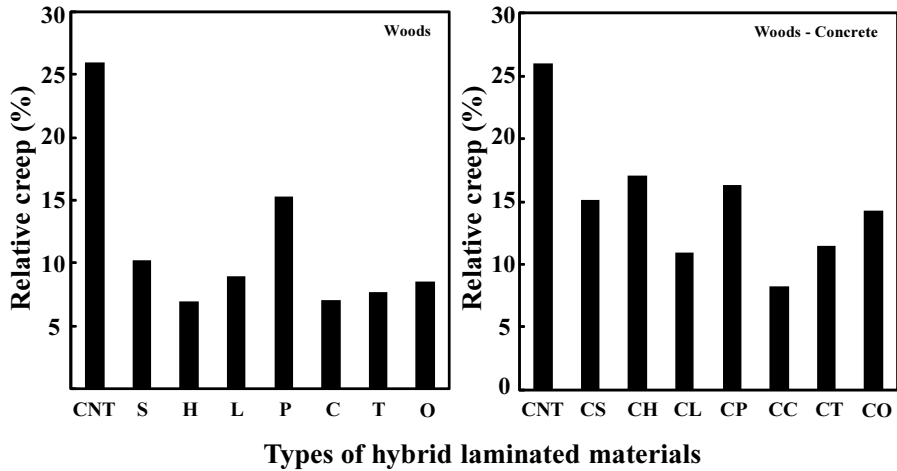


Fig. 6. Relative creep compliance of woods lamina and woods-concrete hybrid laminated materials
 Notes; CNT, S, H, L, P, C, T, O, CS, CH, CL, CP, CC, CT and CO: See the notes in Fig. 3.

않았으나 밀도의존성을 나타냈다. 이 값은 콘크리트의 0.9 - 1.2배의 값을 나타내었고, 침엽수-콘크리트와 활엽수-콘크리트 복합적층재 사이의 차이는 적은 것이 확인되었다. 복합적층재의 크리프변형은 소나무-콘크리트(CP)가 가장 높은 값을 나타내었고, 밤나무-콘크리트(CC)가 가장 낮은 값을 나타내었다. 그 크기는 소나무-콘크리트(CP) > 삼나무-콘크리트(CS) > 편백나무-콘크리트(CH) > 굴참나무-콘크리트(CO) > 백합나무-콘크리트(CT) > 낙엽송-콘크리트(CL) > 밤나무-콘크리트(CC)의 순이었다. 초기변형과 달리 수종의 밀도의존성은 거의 확인되지 않았다. 이 값은 콘크리트의 그것에 비해 0.4 - 0.8배의 낮은 값을 나타내었고, 목재와 콘크리트의 복합적층에 의해 콘크리트의 크리프변형의 현저한 감소가 확인되었다. 이 값은 오동나무, 삼나무, 편백나무, 계수나무, 너도밤나무 3층 섬유방향 평행형적층재의 크리프변형과 거의 비슷한 값을 나타내었고, 표층섬유방향 3층 직교형적층재보다는 1.9 - 3.1배 낮은 값을 나타내었다 (Park *et al.*, 2006). 또한, 이 값은 삼나무-알루미늄수평형 복합적층재보다 1.5 - 2.5배의 높은 값을 나타내었고, 삼나무-알루미늄 수직형 복합적층재보다는 4.3 - 6.4배의 높은 값을 나타내는 것이 확인되었다 (Park *et al.*, 2007).

3.3. 콘크리트, 목재 및 복합적층재의 상대 크리프

목재, 콘크리트 및 목재-콘크리트 복합적층재의 168시간에서의 초기변형에 대한 크리프변형 비를 백분율로 나타낸 상대크리프를 Table 2에 나타내고, 수종 및 복합적층재 상호간의 관계를 Fig. 6에 나타낸다.

콘크리트의 상대크리프는 26.0%였고, 목재의 상대크리프는 소나무가 15.4%로 가장 높은 값을 나타내었고, 편백나무에서 7.0%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 그 크기는 소나무(P) > 삼나무(S) > 낙엽송(L) > 굴참나무(O) > 백합나무(T) > 밤나무(C) > 편백나무(H) 순이었다. 목재의 상대크리프는 콘크리트의 0.3 - 0.6배의 매우 낮은 값을 나타내었고, 대체적으로 밀도에 비례하여 상대크리프가 감소하는 경향을 나타내었다.

복합적층재의 상대크리프는 편백나무-콘크리트(CH)가 17.0%로 가장 높은 값을 나타내었고, 밤나무-콘크리트(CC)가 8.2%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 그 크기는 편백나무-콘크리트(CH) > 소나무-콘크리트(CP) > 삼나무-콘크리트(CS) > 굴참나무-콘크리트(CO) > 백합나무-콘크리트(CT) > 낙엽송-콘크리트(CL) > 밤나무-콘크리트(CC)의 순이었다. 이 값은

복합적층에 의해 콘크리트의 0.3 - 0.7배의 매우 낮은 값을 나타내었다. 침엽수-콘크리트와 활엽수-콘크리트의 차이는 적었고, 밀도의 증가에 따른 뚜렷한 상대크리프의 증감의 경향은 확인되지 않았다. 이 값은 목재-알루미늄 수평형 복합적층재의 8.8 - 18.6%와 거의 비슷한 값을 나타내었고, 목재-알루미늄 수직형 복합적층재의 4.9 - 14.8%보다 다소 높은 값을 나타내었다(Park & Fushitani, 2007). 또한, 이 값은 오동나무, 삼나무, 편백나무, 계수나무, 너도밤나무로 제조된 5수종 평행형적층재(Park *et al.*, 2006)의 6.6 - 14.1%와 비슷하거나 약간 낮은 값을 나타내었고, 연륜경각을 변화시킨 삼나무 표층섬유방향 직교형적층재(Park *et al.*, 2002) 및 표층을 삼나무와 너도밤나무 섬유방향라미나라로 배열하고, 중층을 5수종 섬유직각방향라미나라로 배열한 직교형적층재(Park *et al.*, 2006)의 12.0 - 29.1%보다 낮은 값을 나타내었다.

4. 결 론

이 연구에서는 환경부하가 적은 산림훼손지 생태복원재료의 개발을 목적으로, 콘크리트와 국내산 침엽수 4종, 국내산 활엽수 3종의 제재라미나를 복합적층하였고, 휨 크리프 성능을 평가하여 다음의 결론을 얻었다.

목재-콘크리트 복합적층재의 크리프 곡선은 시간에 따라 변형이 증가하는 지수함수 그래프를 나타내었고, 하중부하 후 약 30분 - 1시간까지는 곡선적인 거동을 나타내었으나, 그 이후 거의 직선적인 거동을 나타내어 일반목재소재 및 목질재료의 그것과 같이 power law에 적합시켜 장기하중하의 변형예측이 가능하였다.

- 1) 목재와 목재-콘크리트 복합적층재의 초기변형은 수종의 밀도의 증가에 비례하여 변형이 감소하는 것이 확인되었고, 이 값은 콘크리트에 비해 목재는 0.7 - 1.3배의 값을 나타내었고, 복합적층재는 0.9 - 1.2배의 값을 나타내어 목재와 콘크리트의 복합적층에 의한 뚜렷한 초기변형의 변화는 확인되지 않았다.

- 2) 목재의 크리프변형은 콘크리트의 0.2 - 0.7배의 낮은 값을 나타내었고, 복합적층재의 크리프변형은 콘크리트의 0.4 - 0.8배의 낮은 값을 나타내어 복합적층에 의한 콘크리트의 크리프변형의 현저한 감소가 확인되었고, 이 값은 목재 3층 적층재와 비슷한 값을 나타내어 훼손지 복원용으로 응용가능 할 것으로 판단되었다.
- 3) 목재-콘크리트 복합적층재의 상대크리프는 8.2 - 17.0%의 범위로 복합적층에 의해 콘크리트의 그것보다 0.3 - 0.7배의 매우 낮은 값을 나타내는 것이 확인되었다.

사 사

이 연구는 산림청 “산림과학기술개발사업(과제번호: S211214L020410) 훼손지 생태복원 사업단” 및 2015년도 경상대학교 “연구년제연구교수 연구지원비”에 의하여 수행되었습니다.

REFERENCES

- Aratake, S., Arima, T. 1995. Creep of sugi sawn lumber in process of humidity changes. *Mokuzai Gakkaishi* 41: 359-366.
- Aratake, S., Morita, H., Arima, T. 2002. Creep of various structural members in ambient conditions-estimation of future deflections considering the longevity of wooden structures. *Mokuzai Gakkaishi* 48: 233-240.
- Arima, T., Masatoshi, S., Megumiware, M. 1981. Studies on the long-term strength evaluation of woody material and member. *Architectural research report*. 95: 35-38.
- Byeon, J.W., Cho, Y.J., Lee, J.R., Park, H.M. 2016. Static Bending Strength Performance of Domestic Wood-Concrete Hybrid Laminated Materials. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 44(1): 48-56.
- Cho, J.W. 2011. CO₂ Reduction Cement

- Technologies. Journal of Korea Concrete Institute 23(6): 32-35.
- Cho, E.R. 2011. A study on the Trend of Environmental preservation and Liability Law in European Union. Journal of Korean Environmental Law Association 33(2): 407-434.
- Choi, J.J., Moon, S.K. 2012. A Study of Trend for Recycling Technology of Waste Wood and Its Utilization as Lightweight Fine Aggregate. Journal of Korean Recycled Construction Resource Institute 7(2): 84-90.
- Gerber, A., Tannert, T. 2015. Timber-Concrete Composites Using Flat-Plate Engineered Wood Products. Structures Congress pp. 2314-2325.
- Hoyle, R.J., Itani, R., Anderson, J.T. 1994. The effect of moisture cycling on creep of small glued laminated beams. Wood Fiber Science 26: 556-562.
- Jang, S.S., Kim, Y.H., Jang, Y.I. 2009. Mechanical Properties of Composite Materials Composed of Structural Steel and Structural Glued Laminated Timber. Journal of the Korean Wood Science and Technology 37(4): 300-309.
- Kim, J.S., Cho, C.H., Go, S.K., Cho, C.H, Choi, J.S. 2004. An Experimental Study on the Strength and Behavior of Reinforced Concrete Beams Containing Shells. Journal of the Architectural Institute of Korea 20(1): 67-74.
- 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.
- Lee, H.S., Shin, S.W., Tae, S.H. 2009. The Development Status and the Future Research Trend of Sustainable Concrete. Journal of Korea Concrete Institute 21(2): 34-40.
- Nakai, K. 1978a. Bending creep test on wood-based boards I. Wood Industry 33(4): 158-160.
- Nakai, K. 1978b. Bending creep test on wood-based boards II. Wood Industry 33(6): 247-249.
- Park, H.M., Fushitani, M., Kubo, T., Sato, K., Byeon, H.S. 2002. Bending Creep Performance of Cross-Laminated Sugi Wood. Mokuzai Gakkaishi 48(3): 166-177.
- Park, H.M., Fushitani, M., Sato, K., Kubo, T., Byeon, H.S. 2006. Bending creep performances of three-ply cross-laminated woods made with five species. Journal of Wood Science 52: 220-229.
- Park, H.M., Fushitani, M. 2007. Bending Creep Property of Wood-Aluminum Hybrid Laminated Material. Mokuzai Gakkaishi 53: 14-24.
- Park, H.M., Kang, D.H., Choi, Y.E., Ahn, S.Y., Ryu, H.S., Byeon, H.S. 2010. Bending Creep Performances of Hybrid Laminated Woods Composed of Wood-Wood Based Boards. Journal of the Korean Wood Science and Technology 38(1): 1-10.
- 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 Wood Science and Technology 36(4): 19-25.
- Yang, K.H., Kim, S.Y., Song, J.K. 2006. The Mechanical Characteristics of Concrete Mixed with Activated Hwangtoh and Specialty Cellulose Fiber. Journal of the Architectural Institute of Korea 22(1): 111-118.