

인장바 혼합구조에 의한 역삼각 목재 트러스(Inverted King-Post Timber Truss)의 휨성능 평가 Assessment of Bending Performance of Inverted King-Post Timber Truss Hybrid with Steel Tension Bar

So-Min LEE¹ · Ga-Won LEE¹ · Jae-Yun PARK¹ · Min-Ji KIM¹ · Kug-Bo SHIM^{1,†}

¹Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

초록 : 목조건축은 철근 콘크리트 건축에 비해 탄소 저장 능력이 우수하고, 온실가스 배출량이 현저히 적어 2050 탄소중립 목표 달성을 위한 핵심 대안으로 주목받고 있다. 목조건축의 활용 범위를 확대하기 위해서는 다양한 건축 설계에 적용 가능한 구조 부재의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 혼합구조 역삼각 목재 트러스를 구성하는 부재 특성을 기반으로 휨하중에 대한 구조 성능 및 거동 특성을 분석하였다. 혼합구조 역삼각 목재 트러스는 대조군인 집성재에 비해 단면적이 절반임에도 불구하고 동등 이상의 성능을 발휘하였다. 인장 부재에 고강도 재질의 철물을 적용하고 부재의 직경을 증가시켜 성능을 개선한 혼합구조 역삼각 목재 트러스(B-3-a)는 최대 휨하중, 휨 탄성계수, 휨 파괴계수에서 가장 높은 값을 보여 구조용 부재로서의 활용 가능성을 확인하였다. 이 혼합구조 역삼각 목재 트러스를 휨하중을 지지하는 구조 부재로 사용될 경우, 목재 사용량을 줄이고 건물의 공간 효율을 높임으로써 산림 자원의 효율성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 혼합구조 역삼각 목재 트러스는 전체 구조물에 작용하는 하중을 각 부재에 적절히 분산시키고, 각 부재에 작용하는 최대 휨하중을 지지할 수 있도록 설계함으로써 성능을 극대화하였다. 본 연구는 특히, 높은 하중 지지능력이 요구되는 대형 고층 목조건축물에 국내산 소경재를 활용한 구조용 집성재와 고강도 철물을 결합한 하이브리드 목재 트러스의 적용 가능성을 제시한다.

1. 서론

탄소 저장고인 목재의 건축재료 이용은 건축분야의 온실가스 배출 저감 목표를 달성하기 위해 전 세계적으로 중요성이 커지고 있다. 특히 목질계 건축재료는 우리나라에서 많이 사용하는 건축재료인 시멘트와 철에 비하여 제조와 가공, 운반 과정에서 적은 에너지를 소모한다(Kwon *et al.*, 2024; Seo *et al.*, 2008). 탄소배출이 적은 건축으로 기후변화를 완화하는 장점이 알려진 목조건축(Hafner and Schäfer, 2017; Pang *et al.*, 2022)은 전 세계적으로 수요가 급증하고 있다(Chang *et al.*, 2017).

건축물의 주요 구조 부재가 목재 또는 목질계 재료로 이루어진 건축물을 목조건축이라 한다. 목조건축에 이용하는 구조용 재료는 그 하중 지지성능을 예측할 수 있어야 하며, 이를 바탕으로 목조건축물의 구조 설계가 가능하다.

대형 또는 고층 목조건축은 대경간 보 또는 대단면 기둥재료가 필요하다. 단면과 길이를 확대한 구조용 공학목재의 개발에 따라 대형 고층 목조건축물이 가능하게 되었다(Kwon and Kim, 2020). 대표적인 구조용 공학목재는 구조용 집성재(GLT, glued laminated timber)와 구조용 직교 집성판(CLT, cross laminated timber)이다. 구조용 공학목재의 강도성능 개선은 목조건축의 설계 자유도를 확장하기 위해 반드시 필요하다.

교실 또는 강당과 같이 건축물의 용도에 따라 넓은 경간이 필요한 건축물을 목구조로 완성하기 위해서는 넓은 경간에서 휨하중을 충분히 지지하고 처짐량이 적은 휨 부재 또는 휨 저항 시스템이 필요하다(Kim *et al.*, 2010). 대경간에 사용하는 휨 부재는 일반적으로 재료의 단면, 즉 너비와 높이를 늘려서 설계한다. 그러나 휨 부재의 높이를 비용의 증가 또는 건축물

본 문서는 출판된 영문논문의 국문서입니다. 출판된 영문논문은 아래의 DOI를 통해서 확인하실 수 있습니다.
Journal of The Korean Wood Science and Technology 53(3): 273-286. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2025.53.3.273>

실내공간의 제약이나 미관에 따라 원하는 만큼 늘리지 못하는 경우가 있다. 또한 구조용 공학목재로는 요구되는 휨성능을 발휘하지 못하는 경우가 있다. 이러한 경우에는 다른 재료와 목재의 혼합구조(hybrid structure)에 의해 요구하는 성능을 발휘하게 할 수 있다. 따라서 혼합구조에 의한 휨하중 지지 구조체를 구성하는 것이 필요하며 이에 따른 연구가 진행되어 왔다(Winter *et al.*, 2012).

대공간에서 큰 하중을 지지하기에 적합한 혼합구조는 목재와 철재의 장점을 발휘하도록 조합하여 설계할 수 있다(Khorasani, 2011). 즉 좌굴의 영향이 적으며 우수한 압축하중 지지성능이 있는 공학목재와 인장하중 지지에 우수한 철재의 조합으로 하중 지지성능이 좋은 혼합구조의 설계가 가능하다. 혼합구조는 경간의 확장이 가능하고 구조체의 단면적을 줄일 수 있으며, 다양한 외형으로 설계할 수 있는 장점이 있다(Lee and Jang, 2023; Wang *et al.*, 2021).

본 연구에서는 목재와 철재의 장점을 활용한 혼합구조 역삼각 목재 트러스(inverted king-post timber truss)로 단면이 큰 구조용 집성재의 대체 가능성을 평가하였다. 또한, 하중의 증가에 따라 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 응력 집중 위치와 하중 지지기작을 분석하여 트러스 구조의 하중 지지성능의 정량적인 평가를 바탕으로 하중 지지성능을 개선하기 위해 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 혼합구조 역삼각 목재 트러스 설계

혼합구조 역삼각 목재 트러스는 상현재로는 구조용 집성재를 사용하여 압축하중만을 지지하도록 하였으며, 하현재로는 철재 인장바를 사용하여 인장하중만을 지지하도록 하였다. 휨하중을 지지하는 역삼각 트러스 형태로 설계하였다(Fig. 1). 트러스의 부재 연결점은 핀접합으로 가정하였다. 중앙 집중하중의 크기와 중앙 수직 웹재의 길이에 따라 상현재와 하현재에 작용하는 압축하중과 인장하중의 크기를 트러스 해석 방법으로 계산하였다.

트러스 구조의 하중 설계는 KS F 3021 구조용 집성재 중 같은 등급 구성 집성재(10S34B) 압축 허용응력이 상현재에 작용하도록 계산하였다. 이를 바탕으로 중앙 집중하중(73.5 kN)에서 하현 인장바의 인장력과 수직 웹재의 압축력을 계산하였다(Korean Agency for Technology and Standard, 2022). Table 1에 표시된 각 부재에 작용하는 축력은 식 (1), (2) 및 (3)을 사용하여 계산되었다.

$$F_{Web} = -P \quad (1)$$

$$F_{topchord} = -\frac{P}{2\sin\theta} \quad (2)$$

$$F_{bottomchord} = F_{topchord} \cdot \cos\theta \quad (3)$$

여기서 P: 중앙 집중하중(kN), F_{Web} : 수직 웹재의 압축력(kN), $F_{topchord}$: 상현재의 압축력(kN), $F_{bottomchord}$: 하현재의 인장력(kN), θ : 상현재와 하현재 사이의 각도(°).

2.2. 공시 재료

국산 낙엽송(*Larix kaempferi*)으로 구조용 집성재를 제작하였다. 구조용 집성재는 KS F 3021 기준에 따라 E11 등급의 낙엽송 층재를 사용하였으며, PRF(phenol resorcinol formaldehyde) 수지를 도포량 250 g/m², 가압력 11.8 MPa로 4층의 같은 등급 구성 집성재(10S34B)를 제작하였다(Table 2).

2.2.1. 함수율과 비중 및 무게

구조용 집성재의 휨파괴 시험 후 파괴 지점에서 가까운 위치의 무결점 부위에서 함수율 시편(20 × 20 × 20 mm)과 비중 시편(20 × 20 × 30 mm)을 채취하여 함수율과 비중을 측정하였다. 함수율은 KS F 2199 목재의 함수율 측정 방법과 비중은 KS F 2198 목재의 밀도 및 비중 측정 방법에 따라 측정하였다. 무게는 구조용 집성재의 체적에 비중을 곱하여 산정하였다.

2.2.2. 혼합구조 역삼각 목재 트러스 구조체 제작

혼합구조 역삼각 목재 트러스 구조체는 중앙의 수직 웹재의 높이를 150 mm와 300 mm로 하여 2가지의 혼합구조 역삼각 목재 트러스(hybrid inverted king-post timber truss) 형태로 제작하였다[Fig. 2(a), 2(b)]. 하이브리드 구조에서, 수직 웹재의 높이 150 mm는 대조군인 GLT와 같은 높이를 목표로 설정하였으며, 300 mm는 대조군 GLT와 동등 이상의 휨성능 발휘하도록 설정하였다. 시험체 제작에 사용한 철물은 수직 웹재(SS275, 직경 60 mm, 두께 4 mm, 길이 206.300 mm와 354.300 mm), 턴버클(SS275 직경 12.700 mm, STS304 직경 15.875 mm), 인장바(SS275 직경 12 mm, STS304 직경 16 mm), 측면 철물(SS275 너비 140 mm, 두께 6 mm, 높이 75 mm)로 구성하였다[Fig. 2(c); Table 3 and 4].

2.2.3. 시험체 설계

수직 웹재와 상현 집성재 보는 육각 스크류 볼트와 드리프트 핀을 교차 배치하여 고정하였다. 부재 양단의 측면 철물과 인장바는 목재 전용 스크류로 체결하였으며, 인장바는 측면 철물을 관통시킨 후 두 개의 너트로 고정하였다. 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 연결부위는 Fig. 3과 같았다.

시험편은 Inverted king-post timber truss A형 5개, B형 5개, 대조군으로 GLT 시편 5개로 총 15개로 하였다. Inverted king-post timber truss A, B형 제작에 사용된 철물의 총 무게는 각 10.47 kg, 11.33 kg이었다. 각 시편의 특성은 Table 5와 같았다. 혼합구조 역삼각 목재 트러스(hybrid inverted king-post timber truss)의 상현 집성재와 하현 철물의 총 무게는 32.50 kg으로 구조용 집성재의 무게 40.27 kg 대비 약 19.29% 감소하였다.

2.3. 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 휨 시험

휨 시험은 RB 301 Unitech-M(R&B Co., Korea)를 이용하여 KS F 3021 구조용 집성재의 B형 휨 시험(3점 하중 시험)을 실시하였다(Fig. 4).

경간은 각 시험편의 하현 인장바가 하중 지지점에 간섭하지 않도록 3,600 mm에서 3,960 mm로 조절하였으며, 하중 속도를 10 mm/min으로 파괴 시까지 실험하였다. 변위는 재료시험기의 시험 한계치인 300 mm로 제한하였다(Table 6).

휨 파괴계수(MOR, modulus of rupture)와 휨 탄성계수(MOE, modulus of elasticity)는 식 (4)와 (5)로 계산하였다. 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 휨 파괴계수와 휨 탄성계수의 계산을 위한 단면은 대조군과의 비교를 쉽게 하기 위하여 대조군 집성재의 단면적을 적용하여 계산하였다.

$$MOR\left(\frac{N}{mm^2}\right)=\frac{3P_m L}{2bh^2} \quad (4)$$

$$MOE(N/mm^2)=\frac{P_e L^3}{4\Delta_e bh^3} \quad (5)$$

여기서, P_m : 최대 하중(N), L : 경간 거리(mm), b : 시편 폭(mm), h : 시편 두께(mm), P_e : 비례 한계 하중(N), Δ_e : 비례 한계 변위(mm).

3. 결과 및 고찰

3.1. 비중과 무게 및 함수율

휨파괴 시험을 한 구조용 집성재의 함수율은 평균 $8.24 \pm 0.33\%$, A(15)의 상현 구조용 집성재는 평균 $7.55 \pm 0.57\%$, B(30)의 상현 구조용 집성재는 평균 $7.82 \pm 0.71\%$ 로 측정되었다. 구조용 집성재의 전건 비중은 0.43 ± 0.06 이며, 평균 무게는 40.27 kg이었다. A(15)의 전건 비중은 평균 0.46 ± 0.06 , 평균 무게는 20.29 kg이었으며, 트러스 B(30)의 전건 비중은 평균 0.48 ± 0.04 , 평균 무게는 21.17 kg이었다.

3.2. 휨 시험

3.2.1. 파괴 모드

구조용 집성재의 휨성능과 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 휨성능을 비교하였다(Fig. 5).

대조군인 구조용 집성재의 하중-변위 곡선은 초기 하중 단계부터 파괴에 이르기까지 거의 선형에 가까운 취성 파괴 거동을 보였다. 모든 구조용 집성재는 최대 하중에 도달한 직후 최외곽의 인장 층재에서 발생하는 인장응력에 의한 파괴가 관찰되었다. 구조용 집성재의 최대 하중은 21.29 ± 4.07 kN, 휨 탄성계수는 10.38 ± 0.48 GPa, 휨 파괴계수는 36.49 ± 6.99 MPa로 측정되었다.

혼합구조 역삼각 목재 트러스의 경우, 최대 하중에 도달한 이후 완만한 기울기를 유지하였다. 하중은 증가하지 않는 반면 휨변형은 지속적으로 늘어나는 형태로 연성 거동이 관찰되었다. 혼합구조 역삼각 목재 트러스에서 하현 인장바에 작용하는 인장하중에 의해 인장 탄성구간을 벗어나는 항복구간 이후 소성에 의한 인장변형이 발생하였으며, 이에 따라 트러스 시스템의 소성거동이 나타낸 것으로 판단되었다(Mei et al., 2021). A-2-a에서는 턴버클 내부의 고정 볼트에서 휨파괴가 발생했다(Fig. 6). 턴버클 본체 길이 방향으로 A-3[Fig. 7(2)]에서 약 0.7 cm, B-3[Fig. 7(1)]에서 약 1.5 cm 늘어난 것으로 확인되었다.

A-1과 B-1은 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 철물 중 하현 인장바의 연결부 나사산에서 인장소성변형이 발생하였고 최종적으로 인장파괴가 발생했다(Fig. 8). 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 하현 인장바 연결부의 나사산에 의해 인장바의 유효 단면적이 줄어들며 인장응력의 집중을 유도하여 파괴가 발생한 것으로 판단된다.

3.2.2. 휨 탄성계수(MOE)와 휨 파괴계수(MOR)

휨하중에 의한 하현 인장바의 인장응력과 파괴거동은 Table 7에 나타내었다. 하현 인장바 연결부의 나사산에서 파괴가 발생한 A-1의 경우 평균 휨 탄성계수(MOE) 3.47 ± 0.36 GPa, 평균 휨 파괴계수(MOR)는 21.23 ± 3.50 MPa로 대조군 구조용 집성재 대비 휨 탄성계수는 33.43%, 휨 파괴계수 58.18%로 작았다. 휨하중을 지지하는 혼합구조 역삼각 목재 트러스는 하현 인장바와 연결철물의 나사산 부위에서 인장하중에 의한 소성변형과 이에 의한 인장파괴가 발생하였다. 하현 인장바의 인장성능이 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 하현재에 작용하는 인장하중을 충분히 지지하지 못하도록 설계되었다고 할 수 있었다. 하현 인장바의 인장하중 지지성능을 개선하기 위해 인장바의 직경을 12 mm에서 16 mm로, 연결철물(turnbuckle)을 12.700 mm에서 15.875 mm로 증가(A-2)하였다. 그 결과 A-2는 탄성계수 3.72 GPa, 휨 파괴계수(MOR)는 21.07 MPa로 대조군 구조용 집성재에 비해 휨 탄성계수와 휨 파괴계수는 각각 35.84%, 57.74%로 작았다. A-2의 경우에도 연결철물(turnbuckle)에서 인장소성변형이 관찰되었다. 따라서 연결철물의 재질을 M10에서 M12로 개선하여 A-3 시험체를 제작하였다.

A-3는 탄성계수 4.10 ± 1.04 GPa, 휨 파괴계수(MOR)는 25.28 ± 2.41 MPa로 대조군 구조용 집성재 대비 40%, 69%로 작았다. 연결 철물의 지름 증가, 강성과 강도가 높은 재료의 적용으로 하현 인장바의 인장 탄성성능은 개선되어 탄성계수는 높아졌으며, 인장 항복강도의 증가로 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 휨성능이 개선된 것으로 판단하였다. 그럼에도 불구하고 수직 웹재의 길이(150 mm)가 짧아 하현 인장바에 작용하는 인장하중이 매우 커서 직경과 재료의 개선으로 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 휨성능 개선은 쉽지 않았다고 할 수 있다.

하현 인장바에 인장하중의 부담을 줄여주는 방법으로 수직 웹재의 길이를 150 mm에서 300 mm로 증가한 혼합구조 역삼각 목재 트러스에서 인장바와 연결철물의 재질이 A-1과 같은 B-1의 경우 MOR은 대조군 구조용 집성재 96%, MOE는 108%로 나타났다. 수직 웹재의 길이 증가로 인해 혼합구조 역삼각 목재 트러스 구조의 하현 인장바에 가해지는 인장하중의 감소로 트러스의 하중 지지능력은 증가하였으나, 하현 인장바와 연결철물의 연결부위에서 인장소성변형과 파괴로 트러스의 하중 지지성능이 결정되었다. 따라서 혼합구조 역삼각 목재 트러스 B-3과 같이 인장바의 직경을 12 mm에서 16 mm로, 연결철물(turnbuckle) 직경을 12.700 mm에서 15.875 mm로, 연결철물 볼트의 치수를 M10에서 M12로 보강하여 실험을 진행하였다. B-3은 대조군 구조용 집성재와 비교하여 MOR은 약 $145 \pm 30\%$, MOE는 약 $124 \pm 7\%$ 를 나타내었다.

혼합구조 역삼각 목재 트러스의 수직 웹재의 길이가 늘어날수록 혼합구조 목재 트러스의 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다(Kim et al., 2006; Mei et al., 2021).

3.3. 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 부재간 응력 해석

휨 탄성계수는 수직 웹재가 300 mm로 긴 혼합구조 역삼각 목재 트러스 B가 높게 나타났으며, B-3은 12.83 ± 0.39 GPa으로 가장 높게 나타났다. 혼합구조 트러스의 경우 각 부재에서 지지하는 하중의 크기를 균등하게 분산하거나 하중이 집중되는 부재에서 높은 강도와 강성을 갖는 재료를 사용하는 것이 혼합구조 시스템의 성능을 향상하는 방법이라고 할 수 있다(Chesnokove et al., 2024).

혼합구조 역삼각 목재 트러스에서 탄성구간 이후 소성변형이 발생한다. 압축하중을 지지하는 상현 집성재 보의 탄성이 매우 높은 재료이다(Jang *et al.*, 2009). 특히 목리 평행방향 압축하중의 경우는 좌굴현상이 발생하지 않는 한 허용 설계하중을 지지할 수 있으며, 목리 평행방향의 압축파괴는 취성파괴 양상이다(Branco *et al.*, 2010). 따라서 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 휨하중에 의한 소성변형은 하현 인장바 부재의 소성변형에 의해 나타난다. 하현 인장바에 작용하는 인장하중은 트러스에 가해지는 휨하중의 증가에 비례하여 증가한다.

본 연구에서 인장바는 탄소강인 SS275와 합금강인 STS304로 각각 구성하였다(Table 4). 금속 재질의 특성에 따라 재료의 항복강도를 초과하면 소성변형에 의해 영구변형이 발생하게 된다. 소성구간 동안 금속재료는 인장하중을 지지하며 소성변형을 보여 혼합구조 트러스에 연성 거동이 발생한다(Kim *et al.*, 2006; Mei *et al.*, 2021). 튜버클과 인장바, 튜버클 고정 볼트는 동일한 인장 시스템 내에 있으므로 동일한 인장력을 받는다. 인장바에서 작용하는 인장력을 산정하기 위해 식 (6)과 (7)를 통해 각 트러스 요소의 부재력을 검토하였다. 수직 웹재에 작용하는 하중은 하이브리드 보의 연성 거동에서의 발생한 하중을 적용하여 분석하였다.

$$T = \frac{P}{2\sin\theta} \quad (6)$$

$$\sigma_T = \frac{T}{A} \quad (7)$$

여기서, T : 인장바의 인장력(N), P : 소성영역(비선형구간) 시작 하중(N), θ : 수평부재와 인장바 사이의 각도(°), σ_T : 인장바에 작용하는 인장응력(MPa), A : 인장바의 단면적(mm²).

혼합구조 역삼각 목재 트러스의 인장바에 작용하는 인장하중의 분석 결과를 Table 8에 제시하였다. 수직하중 P 는 휨 실험에서 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 소성변형 시작점의 하중으로 해당 하중에서의 인장바에 걸리는 인장하중을 산정하였다.

SS275 재질에 직경 12 mm인 A-1과 B-1 조건에서 인장바에 작용하는 인장력을 검토해 본 결과, 비교적 낮은 하중에서 파괴 또는 소성변형이 예측되었다. A-1-a는 약 7.56 kN의 휨하중에서 인장바의 인장응력이 443.20 MPa로 SS275의 인장강도(약 410 MPa)를 초과하였고, 실험에서도 인장바 나사산에서 파괴되었다. A-1-b는 휨하중 약 5.30 kN에서 인장응력은 310.62 MPa로 SS275의 항복강도(약 275 MPa)를 초과하였다. B-1에서도 9.12 kN의 휨하중에서 인장응력 279.02 MPa로 항복강도를 초과하여 소성변형이 예측되었으나, 실제 실험에서는 인장바 연결부의 나사산에서 파괴가 발생하였다. 이는 SS275가 STS304에 비해 항복강도 및 인장강도, 연신율이 낮고, 나사산의 가공에 의해 인장바의 직경까지 작아 국부적인 응력이 집중하여 나타난 결과로 판단된다.

그에 반해 STS304, 직경 16 mm로 개선된 A-2와 A-3, B-3 조건에서는 높은 하중에서 탄성 및 소성변형이 예측되었다. A-2-a와 A-3-b는 각각 휨하중이 4.46 kN, 5.58 kN에서 인장응력이 약 147.10 MPa와 183.94 MPa로 산정되었으며, STS304의 항복강도(약 205 MPa)를 넘지 않아 탄성 거동을 하였다. B-3-a와 B-3-b는 각 휨하중 14.57 kN, 13.53 kN에서 인장응력은 250.69 MPa, 232.85 MPa로 항복강도를 초과하여 소성변형이 예측되었고, B-3-c와 B-3-d는 각 32.50 kN, 10.96 kN의 휨하중에서 인장응력은 161.67 MPa, 188.54 MPa로 STS304의 항복강도(약 205 MPa)를 넘지 않아 탄성 거동이 예측되었다. 이는 STS304의 인장강도가 높고, 인장바의 단면적이 상대적으로 커짐에 따라 하중 분배 능력과 강성이 증가한 결과로 판단되었다.

혼합구조 역삼각 목재 트러스에 사용된 집성재 보와 대조군 집성재 보의 단면 2차 모멘트(I , moment of inertia)와 단면계수(S , section modulus)를 산정하기 위해 식 (8)과 (9)로 계산하였다.

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (8)$$

$$s = \frac{bh^2}{6} \quad (9)$$

여기서, b : 보의 폭(mm), h : 보의 두께 (mm).

혼합구조 역삼각 목재 트러스에 사용된 집성재 보와 대조군 집성재 보의 단면성능 계산 결과를 Table 9에 제시하였다. 혼합구조 역삼각 목재 트러스(hybrid inverted king-post timber truss)에 사용된 구조용 집성재는 대조군 구조용 집성재 대비 단면 2차 모멘트(I)는 12.5%, 단면계수(S)는 25% 수준이었음에도 불구하고, 구조용 집성재와 동등 이상의 성능을 발휘할 가능성을 보였다.

혼합구조 역삼각 목재 트러스의 수직 웹재의 길이는 하현 인장바에 작용하는 하중 분배에 영향을 미치게 된다. 수직 웹재의 길이 150 mm인 A에서는 파괴 또는 소성변형이 예측되었으나, 300 mm인 B에서는 높은 하중에서도 탄성 또는 소성변형이 예측되었다. 특히, B-3-a에서 최대 휨하중이 14.57 kN으로 가장 높게 나타나 휨성능에 우수한 성능을 보였다. 수직 웹재의 높이가 증가함에 따라 인장바에 가해지는 하중의 크기가 작아져 혼합구조 역삼각 트러스의 하중 지지능력이 향상되어 강성과 구조 안전성을 확보할 수 있었다.

혼합구조 역삼각 목재 트러스의 휨하중 지지성능을 극대화하기 위해서는 1) 수직 웹재의 높이 증가, 2) 상현 구조용 집성재가 최대 압축강도에 도달할 때, 하현 인장바가 최대 인장강도에 도달하는 조건을 만족하는 경우로 판단되었다.

4. 결론

본 연구에서는 휨하중을 지지하는 혼합구조 역삼각 목재 트러스의 구성 부재 특성에 따른 휨하중 지지성능과 거동을 분석하고자 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

하현 인장바의 재질과 직경을 개선한 혼합구조 역삼각 목재 트러스(B-3-a)는 최대 휨하중, 휨 탄성계수와 휨 파괴계수에 서 가장 높은 값이 측정되어 구조재로서 활용 가능성을 확인하였다. 이를 휨하중을 지지하는 구조 부재로 활용할 경우 목재 사용량 절감을 통해 자원의 효율적 이용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 집성재 보의 두께 감소로 심미적인 천장 높이 차이가 있어 건축물의 공간 효율성을 크게 향상시킬 수 있을 것이라고 판단한다.

혼합구조의 트러스는 전체 구조체에 작용하는 하중을 각 부재에 적절히 분배하도록 시스템을 설계하고, 각 부재는 그 부재에 작용하는 최대 하중을 지지하도록 설계하는 것이 혼합구조 트러스의 성능을 최대화하는 방법이다. 특히 높은 하중을 요구하는 대형 고층 목조건축에 국산 중소경 목재를 활용한 구조용 집성재와의 혼합구조 목재 트러스 활용 가능성을 제시하였다고 판단한다.