

섬유보강 복합재료를 보강한 트러스의 휨거동

Bending Behavior of Truss Reinforced by Fiber-Reinforced Beam

박세연¹ · 이방연^{2*}

Park, Se-Eon¹ · Lee, Bang Yeon^{2*}

Abstract : This paper presents an experimental study on the bending behavior of Kagome truss composite beams reinforced by fiber-reinforced composites (FRC). Two types of FRCs, i.e., high ductile FRC with a high tensile ductility and high strength FRC with high compressive strength were used; and three Kagome truss composite beams reinforced by FRCs were manufactured. In order to investigate the bending behavior of beams, bending tests were carried out. Test results showed that types of FRCs and reinforcement methods significantly influenced the bending behavior of Kagome truss composite beams.

키워드 : 섬유, 복합재료, 트러스, 휨거동

Keywords : fiber, composite, truss, bending behavior

1. 서론

카고메 트러스는 다공질 구조로써 부피에 비하여 경량이며, 다공질의 개방형 공간에 콘크리트 등 타 재료를 혼입하여 요구성능에 따라 다양한 제품군을 제조할 수 있는 매개역할을 할 수 있다. 또한 카고메 트러스 구조는 등방성을 가진 고강도, 고강성의 periodic cellular metal 구조로서 우수한 한중 분산능력을 바탕으로 건설재료로서 사용되기에 높은 가능성을 갖고 있다. 고연성 복합재료는 3% 이상의 연성을 나타내는 재료로서 높은 에너지 흡수능력을 나타내고, 고강도 복합재료는 압축강도 100 MPa 이상을 나타내는 재료이다. 이러한 재료들을 카고메 트러스와 결합하는 경우 우수한 구조적 거동을 기대할 수 있다. 이 연구의 목적은 카고메 트러스에 섬유보강 복합재료를 보강하여 제조한 보의 휨 성능을 실험적으로 조사하는 것이다.

2. 재료 및 실험 방법

사용한 카고메 트러스는 직경 2mm의 인장강도 360 MPa의 강선으로 절점간 거리는 20mm이다. 고연성 복합재료(D-FRC)의 압축강도, 균열강도, 인장강도, 인장변형성능은 각각 45.2MPa, 4.8MPa, 8.4MPa, 6.3%이고, 고강도 복합재료(S-FRC)의 압축강도, 균열강도, 인장강도, 인장변형성능은 각각 156.8MPa, 10.8MPa, 18.1MPa, 0.5%이다. 카고메 트러스의 치수는 1400mm×300mm×100mm이며, 실험변수는 보강 재료 및 방법이다. K-D는 카고메 트러스의 하단을 30mm 두께의 D-FRC로 보강한 보이다. K-S는 카고메 트러스의 하단을 30mm 두께의 S-FRC로 보강한 보이다. K-S-D는 카고메 트러스의 하단을 20mm 두께의 D-FRC로 보강하고, 상단을 20mm 두께의 S-FRC로 보강한 보이다. 이 보는 연성이 높은 D-FRC가 인장부를 보강하고, 강도가 높은 S-FRC가 압축부를 보강하여 보의 성능을 높이기 위하여 설계되었다. 휨실험에서 지점간 거리는 1200mm이며, 하중은 지점간 거리를 3등분한 지점에 가하였다. 3개 보 모두 동일한 방식으로 하중을 가하였으며, 1.0mm/min 속도의 변위제어 방식으로 가하였다. 실험은 보가 연화거동을 보일 때까지 수행하였다.

3. 실험 결과

하면에 D-FRC로 보강한 K-D 보와 K-S-D 보의 미세한 다중 균열이 일정한 간격으로 발생하였다. 특히 K-S-D 보의 경우 K-D 보에 비하여 균열간격이 더 좁게 나타났다. 두 보의 모두 큰 변형이 발생한 이후 순수 휨 구간 내에서 하나의 큰 균열이 발생하면서 최종 파괴가 발생하였다. 이에 반하여 연성이 낮은 S-FRC를 하면에 보강한 K-S 보의 하중 작용점 하부에 단일 균열이 발생하고 총 두 개의 하중 작용점 하부에 2 개의 균열만 발생하였으며, 균열폭이 증가하면서 보에 변형이 발생하였다. 동일한 실험 조건에서 K-S 보에서만

1) 전남대학교, 박사과정

2) 전남대학교, 교수, 교신저자(byee@jnu.ac.kr)

이러한 상대적 취성거동이 나타나는 것을 통해 연성이 낮은 S-FRC를 인장부위에 보강재로 사용하는 경우 연성이 큰 재료를 보강재로 사용하는 경우에 비하여 편심하중이나 응력집중 등에 의해 재료 성능이 충분히 발휘되지 못하는 것으로 나타났다.

표 1은 보의 최대하중과 최대 하중의 50%에 해당하는 지점에서의 강성을 정리한 것이다. 3개의 보 모두 선형구간, 비선형 구간이 존재하고 최대 하중 후 하중이 감소하는 거동을 보였다. 하부에 고연성 재료인 D-FRC로 보강한 K-D 보와 K-S-D는 높은 연성을 보인 반면, 강도가 높은 S-FRC로 보강한 K-S 보는 다른 보에 비하여 연성이 낮게 나타났으며, S-FRC가 D-FRC에 비하여 2배 높은 인장강도를 갖고 있음에도 하중저항 능력의 증가가 크지 않았다. 하부에 연성이 높은 D-FRC로 보강하고 상부에는 S-FRC로 보강한 K-S-D 보는 각 재료의 보강 두께가 30mm에서 20mm로 줄었음에도 하중저항능력의 증가가 매우 큰 것으로 나타났다. K-S 보는 K-D 보에 비하여 최대하중이 9.4% 증가하였다. S-FRC의 인장성능을 고려하면 증가량이 크지 않는데 그 이유는 K-S 보는 두 개의 하중 작용점 하부에서만 국부적으로 균열이 발생하여 순수 모멘트 구간 전체가 하중저항에 기여하지 못하였기 때문인 것으로 판단된다.

K-S-D 보는 K-D 보에 비하여 최대하중이 392% (4.92배) 크게 나타났다. 이는 FRC로 카고메 트러스 상하부를 모두 보강하여 단면2차모멘트가 증가하였을 뿐만 아니라 재료 특성을 고려하여 인장연성이 높은 D-FRC는 하단부에 배치하고 강도가 높은 S-FRC는 상부에 배치함으로써 효과적으로 하중에 저항하도록 하였기 때문인 것으로 판단된다.

K-S 보의 강성은 K-D 보에 비하여 193% 높게 나타났으며, 이는 최대하중 증가에 비하여 매우 높은 향상비율이다. 이는 S-FRC에 균열이 발생하기 전에는 S-FRC가 탄성거동을 하기 때문에 재료의 강성이 그대로 보의 거동에 반영되기 때문이다. K-S-D 보의 강성은 K-D 보에 비하여 20.4배 큰 것으로 나타났으며, 이는 최대하중 증가량에 비하여 훨씬 크다. 종합적으로 실험을 통하여 적절한 보강 재료를 효율적으로 배치하여 사용하는 경우 카고메 트러스의 휨 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다. 실험을 통하여 카고메 트러스를 섬유보강 복합재료로 보강하는 경우 보강재료의 역학적 성능과 보강방법이 휨거동에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

표 1. 거푸집 관련 주요 연구

보	최대 하중 50%			최대하중	
	하중 (kN)	처짐 (mm)	강성 (kN/mm)	하중 (kN)	처짐 (mm)
K-D	1.70	3.84	0.44	3.40	74.5
K-S	1.86	1.44	1.29	3.72	6.5
K-S-D	8.36	0.93	8.99	16.72	62.3

4. 결론

이 연구를 통하여 카고메 트러스를 D-FRC로 보강하는 경우 하중저항능력 향상과 높은 연성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 순수 휨모멘트 전 구간에서 D-FRC가 미세 다중 균열 양상을 나타내었고, 최종적으로 국부파괴가 발생하는 것으로 나타났다. 카고메 트러스를 S-FRC로 보강하는 경우, D-FRC의 경우에 비하여 하중저항능력은 다소 증가하였지만 다중 균열이 발생하지 않고, 하중 작용점에서 국부 손상이 집중되면서 취성적인 휨거동이 나타났다. 카고메 트러스를 인장부에 D-FRC로 보강하고, 압축부에 S-FRC로 보강한 경우, 인장부만을 보강한 K-D와 K-S 보에 비하여 보강재료의 두께가 2/3로 줄었지만 하중저항능력은 각 4.5배, 4.9배 높은 것으로 나타났다. 또한 인장부 D-FRC는 미세 다중 균열 양상이 나타났고, 전체적인 보의 거동도 연성거동을 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1A2C2003539, No. 2022R1A4A1033838).