

# 구조용 강철과 구조용 집성재 복합재료 보의 역학적 성질\*1

장 상 식\*2 · 김 윤 희\*2† · 장 영 익\*2

## Mechanical Properties of Composite Materials Composed of Structural Steel and Structural Glued Laminated Timber\*1

Sangsik Jang\*2 · Yunhui Kim\*2† · Youngik Jang\*2

### 요 약

목재를 이용한 구조의 효율적인 사용은 자원의 낭비를 줄이고 세계 환경을 보호할 수 있다. 이 연구는 대단면 목조건축을 위해 강재와 구조용 집성재를 이용한 내화성능을 지닌 복합재료의 개발을 목적으로 한다. 내화 시험에 앞서 구조용 강재와 구조용 집성재를 이용한 복합재료의 휨강도 특성을 확인하고자 한다. 구조용 강재 보(H type)와 구조용 집성재 보, 구조용 강재와 구조용 집성재를 이용한 복합재료 보의 휨시험을 시행하였다. 구조용 집성재간의 접착제로는 레졸시놀계를 사용하였으며 구조용 강재와 구조용 집성재 간의 접착제로는 폴리우레탄 수지를 사용하였다. 휨시험은 KS F 2150에 의거하여 시행하였으며 각각의 평균 최대하중은 복합재료가 137.5 kN, 구조용 집성재가 106.5 kN, 구조용 강재가 48 kN을 나타내었다. 구조용 집성재가 높은 휨탄성력을 지니고 있기 때문에 복합재료를 사용할 경우 구조적 안정성을 부여할 뿐 아니라 친환경적인 재료로 이용될 수 있을 것이다.

### ABSTRACT

The effective utilization of wood structure is encouraged to preserve natural resources and the global environment. Long-span and large-scale structures are preferred to promote demand for wood. This study attempts to develop new Fire-resistance Composite Material composed of Structural steel and Structural glued laminated timber for long-span and large-scale structures. Prior to take a fire-resistance test, compare properties of bending strength with Composite material composed of Structural steel and Structural glued laminated timber, structural steel and structural

\* 1 접수 2009년 1월 2일, 채택 2009년 3월 24일

\* 2 충남대학교 환경임산자원학부, Faculty of Environmental Science and Forest Resources, Chungnam National University, Deajeon 305-764, Korea

† 주저자(corresponding author) : 김윤희(e-mail: yunikim@cnu.ac.kr)

provides the stability of the structure, but the structural glued laminated timber has high value elasticity of bending. Using the Composite material will improve structural stability and Eco-friendly construction environment.

**Keywords:** composite material, structural steel, structural glued laminated timber, bending

## 1. 서 론

현대 사회에 들어서면서 여러 가지 문화와 재료들의 복합화가 이루어지는 양상이 두드러지고 있다. 건축물 또한 단일재로 구성되기보다는 각 용도에 알맞은 여러 가지 복합재료들의 집합체가 되기도 한다. 목재와 토양을 재료로 사용하던 초기 건축형태에서 공학목재, 콘크리트, 강재 등의 여러 가지 다른 건축재료들의 발전에 이르기까지 건축재료들은 그 필요와 기능에 따라 발전되어 왔다. 그 중에서도 공학목재는 일반 제재목에 비해 많은 장점을 갖고 있으며, 막힘없는 큰 공간을 구성하기 위한 긴 경간구조 같은 새로운 건축기술을 제공하고 있다. 공학목재는 수명이 낮고 직경이 작은 나무와 조림목 등 재생가능자원에서부터 제작되어지기 때문에 재료과학의 발전에 따라 더 많은 형태의 공학목재가 제작 가능할 것으로 여겨진다. 건축에 있어서의 혁명은 새로운 용도와 새로운 건축시공체계를 지칭하며 공학목재는 효율적인 목재자원의 이용을 통한 경제성과 낮은 재료성질의 변이성을 지닌 목질구조용 재료로 손색이 없다고 할 수 있다.

다목적 대형건물의 수요가 늘어남에 따라 그에 상응하는 충분한 강도적 성능을 요구하는 복합재료의 개발과 웰빙에 대한 관심의 증가로 친환경적인 건축자재의 개발이 가속화 되고 있는 가운데 최근 변화하고 있는 각종 국내외 건축법규(KS, ICBO, AITC, NDS)들을 살펴보면 대형화된 건축물의 실정에 맞는 새로운 건축자재 기준과 친환경적인 자재에 대한 항목을 쉽게 발견할 수 있다. 흡음성, 차음성, 조습효과를 두루 갖춘 목재를 이용한 집성재는 일반 건축은 물론 공동주택, 체육관, 수영장, 공장 및 공공시설에 이르기까지 다양한 부분에 이용가능하며 관련법규에 충족되는 충분한 강도적 성능과 친환경적인 면을 고

려할 때 건축재료를 구성할 수 있는 좋은 재료 중에 하나이다.

이 연구에서는 일반구조용 압연강재와 구조용 집성재를 이용하여 복합재료를 개발할 경우 구조적 안정성 및 향상된 강도성능을 기본으로 내화성능 향상까지 도모할 수 있으며 화재 시 인명피해 감소와 친환경적인 면까지 겸비한 새로운 건축재료의 제작이 가능할 것으로 예상하고 새로운 복합재료를 구상하였다. 또한 내화실험에 앞서 상용되고 있는 일반 구조용 압연강재와 국산 낙엽송을 이용하여 제작한 구조용 집성재 보의 휨강도시험을 실시하여 강도성능을 비교하고, 일반 구조용 압연강재와 구조용 집성재의 표면접착 방식을 이용한 복합재료를 제작 및 KS F2150에 따라 실험 및 강도를 측정 비교하였다.

## 2. 재료 및 실험방법

### 2.1. 실험재료

일반적으로 보의 경우 윗면에 다른 부재가 배치되기 때문에 3면이 노출되는 것이 대부분이다. 단일 시험체를 제외하고 복합 시험체 제작시에는 구조용 압연강재 H형강 3면에 구조용 집성재를 표면접착방식을 이용하여 접착하고 나머지 1면은 H형강이 노출되도록 제작하였다.

일반 압연강재와 구조용 집성재의 강성을 비교하기 위해 허용응력을 기준으로 단면치수를 계산하였다. 일반 압연강재 H형강 보의 경우 기성제품이 생산되며 현장에서 특별한 추가 가공 없이 사용하기 때문에 길이조건을 보의 실대재 조건에 맞추어 5 m로 제한하였으며 단면 계산을 통하여 구조용 집성재와 복합재료(구조용 압연강재 H형강-구조용 집성재) 보 시험체를 제작하였다.



Fig. 1. Composite material beam (Steel H-Glued laminated timber).

압연강재 보는 KS D 3503 (일반구조용 압연강재)에 명시된 SS400 등급의 H형강 보를 사용하여 KS D 3502에 명시된 75 mm × 150 mm (나비 × 높이)로 제작하고 길이는 5 m (경간 4.8 m)로 제작하였다. 시험체에 사용한 H형강의 특성으로는 건축구조설계기준 2005를 통하여 항복강도 235 N/mm<sup>2</sup>, 인장강도 400 N/mm<sup>2</sup>임을 확인할 수 있었다. H형강의 Web부재와 Flange부재의 두께는 각각 5 mm와 7 mm로 측정되었다. 압연강재 H형강 보의 단면적은 1,785 mm<sup>2</sup>이며 단면계수는 132,000 mm<sup>3</sup>이다. 단면의 2차 모멘트는 6,660,000 mm<sup>4</sup>으로 항복강도와 단면계수를 이용하여 모멘트를 구한 후 적용계수를 적용시켜 허용 하중 3.957 kgf를 도출 할 수 있다.

압연강재 보(150 mm × 75 mm × 5 m)에 대응하는 구조용 집성재 보는 상용되고 있는 국산 낙엽송을 사용하여 KS F 3021의 비대칭 다른 등급구성 집성재 12S-36B 등급에 맞추어 제작하였으며 제시된 H형강 보에 대응되는 단면치수 350 mm × 150 mm (높이 × 나비)와 대조군 455 mm × 150 mm (높이 × 나비)로 제작하였다. 구조용 집성재 보 부재의 길이는 압연강재와 동일하게 5 m로 하고 목재-목재 접합은 상온경화형 레조시놀 접착제를 사용하였다.

150 mm × 75 mm × 5 m 압연강재 H형강 보의 허용휨응력은 건축구조설계기준 2005를 통하여 12 N/mm<sup>2</sup>으로 확인할 수 있었다. 150 mm × 75 mm × 5 m 압연강재 H형강 보와 동일한 휨응력 값을 보일 것으로 예상되는 구조용 집성재 보와 상용되고 있는 평강보와 같은 허용응력을 적용하여 대조군 455 mm × 75 mm × 5 m (높이 × 나비)의 단면계산은 다음과 같이 시행하였다.

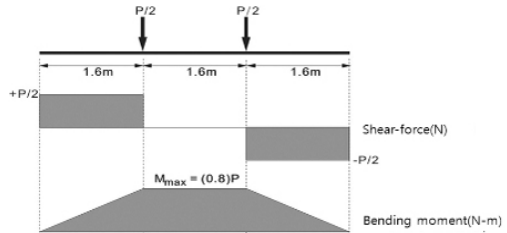


Fig. 2. Shear-force diagram & Bending moment diagram of steel-H.

길이 5 m (경간 4.8 m)의 구조용 집성재 보에 3점 휨 하중이 작용하는 경우에 전단력선도 및 모멘트선도는 Fig. 2와 같다. 150 mm × 75 mm × 5 m 압연강재 H형강 보에 대응하는 구조용 집성재 보의 나비( $b = 150$  mm)를 설정하고 높이를 구하였다. 구조용 집성재의 경우 한층의 두께가 35 mm이므로 계산식에서 구해진 322 mm에 근접한 시험체를 만들기 위해 10층의 집성재 적층을 통하여 150 mm × 350 mm 구조용 집성재 보 시험체를 제작하여 시험하였다. 또한 150 mm × 350 mm 구조용 집성재 보의 예상 허용휨하중을 계산하기 위하여 건축구조설계기준 2005의 허용휨응력 12 N/mm<sup>2</sup>을 적용하여 길이 5 m (경간 4.8 m) 부재의 허용하중을 계산하였다.

강재 평강 보의 경우 실제 실험체로 제작 및 시험하지 않았으나 KS D 3503 (일반구조용 압연강재) SS400 등급 재질로 235 N/mm<sup>2</sup> (건축구조설계기준 2005) 항복강도와 400 N/mm<sup>2</sup> (건축구조설계기준 2005) 인장강도를 지닌 것을 확인하고 두께(12 mm)와 나비(340 mm)에 대한 단면적 4,080 mm<sup>2</sup>을 얻을 수 있었다. 단면계수는 231,200 mm<sup>3</sup>이며 단면의 2차 모멘트는 39,304,000 mm<sup>4</sup>이다. 강재 평강 보에 대응하는 구조용 집성재를 제작하여 대조군으로 사용하였다.

강재 평강 보에 대응되는 구조용 집성재 보를 대조군으로 제작하기 위하여 재질은 KS F 3021 (구조용 집성재) 비대칭 다른 등급구성 집성재 12S-36B에 기준하여 제작하고 허용휨응력은 12 N/mm<sup>2</sup> (건축구조설계기준 2005)임을 확인하였다. 단면계산을 위해 나비( $b = 150$  mm)를 설정하고 높이 426 mm에 근접한 455 mm 높이(35 mm 두께 층재 13층 적층)의 구

Table 1. Condition of manufacturing

Temperature (°C)	Related humidity (%)	Time (hour)	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Adhesive (g/m <sup>2</sup> )
12	34	18	7~10	250

조용 집성재 보 시험체를 제작하여 시험하였다.

150 mm × 455 mm 구조용 집성재 보의 예상 허용휨하중을 계산하기 위하여 허용휨응력 값 12 N/mm<sup>2</sup> (건축구조설계기준 2005)를 적용시켜 단면계수와 길이 5 m (경간 4.8 m) 보 부재 허용휨하중을 계산하였다.

복합재료(구조용 압연강재 H형강-구조용 집성재) 보 부재를 제작하기 위하여 위에서 선택된 KS D 3503의 SS400 등급 압연강재 H형강 보와 KS F 3021의 비대칭 다른 등급구성 집성재 12S-36B 등급의 구조용 집성재를 사용하였다. 비대칭 다른 등급 구성재를 사용할 경우 부재중 압축응력과 인장응력이 집중되는 부분인 최외층과 내층을 구분하여 다양한 등급의 구조용 집성재를 효율적으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 구조용 집성재 제조와 목재-목재의 접착을 위하여 상온경화형 레조르시놀 접착제를 사용하였으며 목재-강재 이종재 사이의 접착을 위하여 상온경화형 폴리우레탄수지를 사용하였다. 복합재료(구조용 압연강재 H형강-구조용 집성재) 보 부재는 단면치수 75 mm × 150 mm (나비 × 높이)의 압연강재 H형강 보와 구조용 집성재 표면접착 방식으로 제작하여 최종 단면치수가 200 mm × 210 mm가 되도록 제작하였다.

복합재료(구조용 압연강재 H형강-구조용 집성재) 보 부재의 제조를 위하여 적용된 압착조건은 Table 1과 같다.

## 2.2. 강재 및 구조용 집성재간의 이종재 접합방법

복합재료를 제작하는데 있어서의 주안점은 이종재간의 접착일 것이다. 본 연구에서도 강재-목재 사이의 접착성능이 발휘되지 않을 경우 화재시 예상한 내화성능을 보여줄 수 없기 때문에 많은 노력과 시간을 투자한 부분이다. 복합재료 보 부재 제작에 있어 접착제를 이용한 접착 접합방법과 철물을 이용한 철물

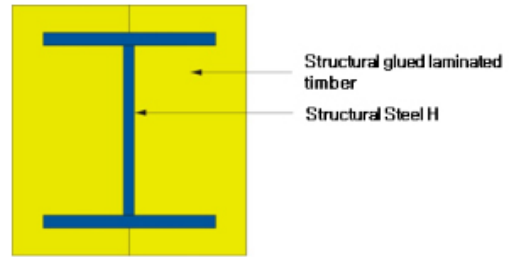


Fig. 3. Modeling of composite material I (Steel H - Glued laminated timber).

-접착 접합방법을 시행하였다.

### 2.2.1. 접착 접합방법

복합재료(구조용 압연강재-구조용 집성재)의 구조는 목재의 내화성능을 이용하여 내부 강재를 보호하는 구조이기 때문에 강재와 표면 접착이 이루어진 외부 구조용 집성재 사이의 접합부가 화재 하에서도 벌어지지 않고 내화성능 시간 동안 그대로 유지하는 것이 필수적이다. 접착제를 사용하지 않고 접합부를 형성할 경우 화재하에서 열에 의해 수축변형현상이 일어날 수 있다. 이러한 목재의 해부학적 성질에 따른 접합부의 벌어짐 현상을 예상할 수 있으며 화염의 내부 침투는 강재 보와 기둥의 온도 상승에 큰 영향을 미쳐 강도손실 및 구조적 안전성 감소라는 결과를 가져올 수 있다. 이 연구에서는 내화성능시간 동안 화재하에서 목재의 접합부가 변형수축되는 현상을 줄이고 접합부의 벌어짐을 최소화하기 위하여 접착 접합방법을 개발하게 되었으며 접착제는 기존의 다양한 접착제중 열적 특성이 우수한 접착제를 선별 사용하게 되었다.

본 연구에서 개발한 표면접착방법으로는 강재의 모양과 동일한 모양으로 구조용 집성재에 홈가공 후 접착제를 도포하여 강재 H형강과 구조용 집성재의 표면을 접착시키는 방법이다. 목재-목재의 접착을 위하여 상온경화형 레조르시놀 접착제를 사용하였으며 목재-강재 이종재 사이의 접착을 위하여 상온경화형 폴리우레탄수지를 사용하였다. 시험체 압착조건은 모든 시험체를 동일한 조건하에서 비교하기 위하여 Table 1을 따르도록 하였다.

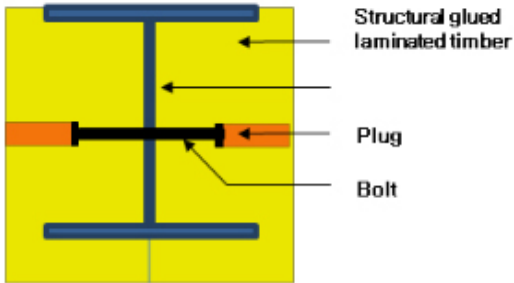


Fig. 4. Modeling of composite material II (Steel H-Glued laminated timber).



Fig. 6. Bending test of structural steel H beam on three point loading.



Fig. 5. Bending test of glued laminated timber beam on three point loading.



Fig. 7. Bending test of composite material beam on three point loading.

### 2.2.2. 접착-철물 복합 접합방법

경화를 위한 압제 시간이 필요 없고 현장에서 바로 조여서 완성할 수 있다는 철물의 장점과 접착을 통하여 완전히 밀착된 접합부를 구성할 수 있으며 화재 하에서도 벌어지지 않는다는 접착제의 장점을 효율적으로 결합시키기 위하여 접착-철물 복합 접합방법을 사용하였다.

복합재료(구조용 강재 H형강-구조용 집성재)는 Fig. 4의 모형과 같이 제작하였다. 이 접합방법에서는 강재-목재 부재 사이에 접착제를 사용하지 않고 볼트만으로 접합하며 목재-목재 사이에는 목재용 접착제(상온경화형 레조르시놀 접착제)를 사용하도록 하였다. 볼트 설치를 위하여 뚫은 구멍은 목재마개로 막아서 마감한다.

### 2.3. 시험방법

구조용 집성재 및 강재 보의 휨 시험을 위하여 KS F 2150 (구조용 실대재의 휨 시험 방법)의 3점 하중 방법을 적용하여 경간 4.8 m의 삼등분 두 지점에 동일한 하중으로 10 mm/min 속도로 휨 시험을 실시하였다. Figs. 5, 6 및 Fig. 7에서 보는 바와 같이 시험편의 중앙부 처짐과 하중점에서의 처짐을 측정하기 위하여 중앙부에는 시험편의 좌우측에 레이저 변형 측정기를 각각 1개씩 부착하여 그 평균값을 변형으로 하였으며 하중점에는 시험편의 좌우측에 LVDT를 각각 1개씩 부착하여 4개의 LVDT 측정값의 평균값을 하중점 위치의 변형으로 구하였다.

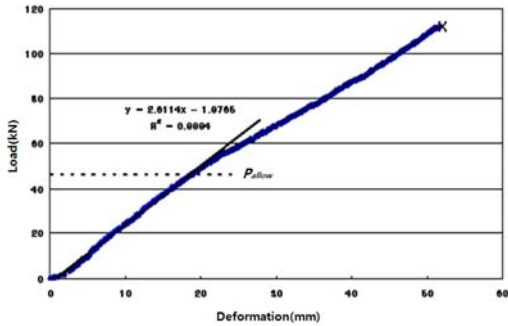


Fig. 8. Load-deformation in bending test of glued laminated timber beam (150 mm × 350 mm × 5 m).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 구조용 집성재 휨 성능 비교 및 파괴형태

실대재 실험을 위하여 길이 5 m의 구조용 집성재를 단면치수 150 mm × 350 mm로 제작하고 경간을 4.8 m로 설정하여 휨 시험을 실시한 결과 하중-변형 선도를 Fig. 8과 같이 구할 수 있었다. 단기하중에 의한 변형을 측정하였기 때문에 비교를 위한 기준으로 탄성계수(MOE)와 휨강도(MOR)를 정하여 비교 분석 및 성능향상을 함께 확인해 보았다. 5개의 시험편의 평균 최대 휨 하중은 106.5 kN이었고 KS F 2150의 하중-변형도의 직선 구간 내에서 하중의 증가분, 즉 비례 한도 하중을 적용하는 탄성계수(MOE)와 휨강도(MOR)를 구하기 위한 최대하중의 10% 및 40%에서의 하중과 변형 평균값은 각각 10.9 kN, 5.36 mm 및 42.7 kN, 17.75 mm이었다.

KS F 2150의 실대재에 대한 3점 휨 시험을 통한 탄성한계 하중( $P_e$ ) 및 탄성한계 변형( $\Delta_e$ )은 하중-변형 선도에서 최대하중의 40%에 해당하는 하중과 변형 및 최대하중의 10%에 해당하는 하중과 변형의 차를 이용하여 탄성계수(MOE)가 9,390 N/mm<sup>2</sup>임을 확인할 수 있었고, 휨강도(MOR)는 27.8 N/mm<sup>2</sup>임을 확인하였다. 이론적으로 계산된 구조용 집성재 보(단면치수 150 mm × 350 mm, 길이 5 m, 경간 4.8 m)의 허용

휨 하중( $P_{allow}$ )은 45.9 kN이며 이것은 Fig. 8에서의 최대휨 하중의 43%부분에 해당되며 부재의 탄성한계와 비슷한 값을 보여줌을 확인할 수 있다.

대조군으로 제작하였던 구조용 집성재 보(단면치수 150 mm × 455 mm, 길이 5 m, 경간 4.8 m)의 경우 H형강 구조용 압연강재와 대응되는 구조용 집성재와 동일한 방법으로 휨 시험을 실시하여 그 결과를 비교해 보았으며 하중-변위선도도 구조용 집성재 보(단면치수 150 mm × 350 mm, 길이 5 m, 경간 4.8 m)의 결과와 비슷한 모양을 나타냄을 알 수 있었다. 5개의 시험편의 동일한 시험방법을 통한 평균 최대 휨 하중은 241.2 kN이었으며 최대하중의 10% 및 40%에서의 하중과 변형 평균값은 각각 24.1 kN, 3.62 mm 및 96.6 kN, 23.15 mm임을 알 수 있었다.

구조용 집성재 보(단면치수 150 mm × 455 mm, 길이 5 m, 경간 4.8 m)에서 8,683 N/mm<sup>2</sup>의 탄성계수(MOE)와 37.3 N/mm<sup>2</sup>의 휨강도(MOR)를 얻을 수 있었다. 또한 이론적으로 계산된 구조용 집성재 보(단면치수 150 mm × 455 mm, 길이 5 m, 경간 4.8 m) 허용 휨 하중은 77.6 kN으로서 그림에서 보는바와 같이 최대 휨 하중의 약 32.2%에 해당되는 수치이며 부재의 탄성한계와 비슷한 값으로 확인할 수 있다. 하중에 따른 처짐량은 중앙부가 하중점에 비해 좀 더 큰 값을 보여주었고 시간과 변위가 증가할수록 그 차이는 점차 증가하는 경향을 발견할 수 있었다.

Table 2를 통하여 시험체의 특징적인 파괴형태를 알아볼 수 있으며 휨강도 시험 시 나타날 수 있는 대표적인 파괴형태인 핑거조인트 부분의 파괴가 주로 나타났으며 용이부근의 경사방향으로 파괴가 시작된 형태와 나뉘는 방향을 따라 파괴가 진행된 형태를 관찰 할 수 있었다.

Fig. 9는 최하층재의 중앙부에 위치한 핑거조인트가 인장응력에 의하여 파괴되고 그 부위로부터 전단 파괴가 진행된 형태이다. Fig. 10은 최하층재의 핑거조인트에서 파괴가 발생하지 않고 최하층재의 중앙부에서 인장응력에 의한 파괴가 발생하고 그 부위로부터 전단파괴가 진행된 형태를 보여주고 있다. Fig. 10과 같이 최하층재가 인장응력에 의하여 파괴된 경우가 Fig. 9와 같이 최하층재의 핑거조인트 부분이

Table 2. Failure mode of Structural glued laminated timber beam






No.	1	2	3	4	5
Failure mode					



Fig. 9. Breaking shape of glued laminated timber beam I (Finger-joint).



Fig. 10. Breaking shape of glued laminated timber beam II.

파괴된 경우에 비하여 집성재 보의 휨강도가 매우 높게 나타났다. Fig. 10의 부재에서는 최하층재의 핑거조인트 부분이 중앙부가 아닌 지점 부근의 가장자리에 위치하였기 때문에 핑거조인트부분에는 인장응력이 약하게 작용하였으며 최하층재의 중앙부에 있는 웅이 부근의 경사나뭇결로부터 파괴가 시작된 것으로 판단된다.

Fig. 9에서 보면 최하층재의 중앙부 근처에 위치한 핑거조인트가 가장 취약한 부분인 것을 알 수 있으며 최하층재의 핑거조인트가 보의 중앙부에 위치하는 것을 피하거나 또는 핑거조인트의 인장강도를 증가시키는 것이 집성재 보의 휨 성능 개선에 필수적인 사항임을 알 수 있다. 이미 많은 구조용 집성재 실험에서 지적되고 있는 핑거조인트 부분의 파괴현상에 대한 해결책으로는 최하층에 가능하면 웅이 등의 결점이 있는 부재의 사용을 피하고 특히 결점이 중앙부

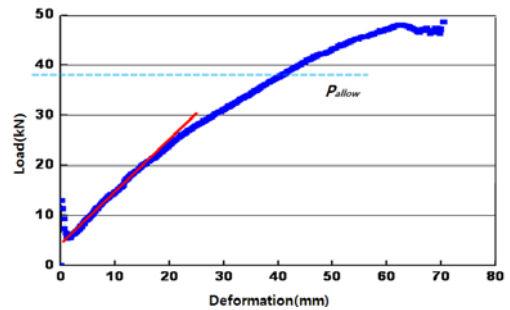


Fig. 11. Load-deformation of Bending Test of Steel H Beam (75 mm × 150 mm × 5 m).

에 위치하는 것을 피하는 방법 등을 제시할 수 있으나 이번 실험의 경우 현재 상용중인 집성재를 사용하여 강도 시험 후 내화시험으로 이어질 것을 감안하여 특별한 조건을 제시하지 않은 상태로 현재 업체에서 일반적으로 제작되는 집성재를 사용하게 되었다.

### 3.2. 구조용 강재 H 형강 휨 성능 비교 및 파괴형태

구조용 압연강재 H형강 보(단면치수 75 mm × 150 mm, 길이 5 m, 경간 4.8 m)의 휨 시험결과 하중-변



Fig. 12. Shape of after bending test steel H beam.

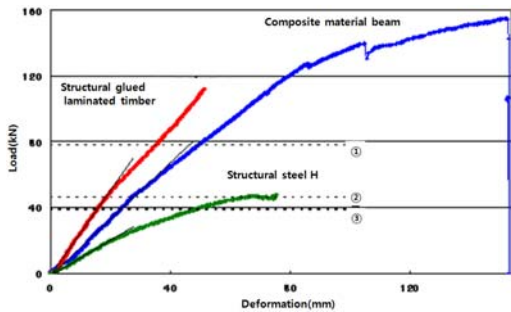


Fig. 13. Load-deformation of bending test of steel H beam, glued laminated timber beam and composite material beam.

형선도는 Fig. 11과 같다. 5개의 시험편 휨시험 결과를 비교하여 48.0 kN의 평균 최대 휨 하중을 확인하였으며 최대하중의 10% 및 40%에서의 하중과 변형 평균값은 각각 4.8 kN, 4.62 mm 및 19.2 kN, 20.23 mm이었다.

철재 보는 MOE 또는 MOR 보다는 항복강도가 중요한 의미를 갖지만 이 연구에서는 구조용 집성재 보와의 비교를 위하여 MOE 및 MOR을 계산하였다. 강재 보는 H형 단면(또는 I형 단면)을 가지고 있으며 직사각형 이외의 단면을 갖는 보에 대한 MOE 및 MOR 계산식은 다음 식 (1) 및 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$MOE = \frac{23P_c \ell^3}{1,296 \Delta_c I} \quad (1)$$

$$MOR = \frac{M_{max} c}{I} = \frac{P_{max} \ell h}{12I} \quad (2)$$

여기서  $I$  = 단면의 2차모멘트( $\text{mm}^4$ )

$M_{max}$  = 최대 휨모멘트( $\text{N} \cdot \text{mm}$ )

$P_{max}$  = 최대하중( $\text{N}$ )

위의 식 (1) 및 (2)에 의하여 계산된 단면치수 75 mm × 150 mm 강재 H형강 보의 탄성계수(MOE) 및 휨강도(MOR)은 각각 271,027  $\text{N}/\text{mm}^2$  및 432.4  $\text{N}/\text{mm}^2$ 를 나타내었다.

단면치수 75 mm × 150 mm, 길이 5 m (경간 4.8 m)의 강재 H형강 보에 대하여 이론적으로 계산된 허용 휨 하중은 38.8 kN으로서 최대 휨 하중의 약 80.8%에 해당하며 Fig. 11에서 보편 부재의 탄성한계보다 2배 정도 높은 값을 나타내었다.



강재 H형강 보의 휨 하중에 의한 파괴형태는 Fig. 12과 같다. Fig. 12에서 보편 휨 하중 하에서 강재 H형강 보의 옆으로 좌굴이 일어나면서 파괴되는 것을 알 수 있다. 강재 보의 플랜지에 수직 방향으로 휨 하중이 작용하였지만 실제로 보가 휘어진 방향은 웹에 수직인 방향(플랜지에 평행한 방향)임을 알 수 있으며 강재 H형강 보에서 하중의 방향과 휘어진 방향 사이에 차이가 나타나는 것은 부재의 좌굴에 의한 것으로 판단된다.

### 3.3. 복합재료(구조용 강재 - 구조용 집성재) 보 휨 성능 비교 및 파괴형태

단면치수 200 mm × 210 mm, 길이 5 m (경간 4.8 m)의 복합재료(구조용 압연강재-구조용집성재) 보에 대한 휨 시험 결과 얻어진 하중-변형선도를 단면치수 150 mm × 350 mm 구조용 집성재 보 및 강재 H형강 보에 대한 하중-변형선도와 함께 Fig. 13에 수록하였다. 5개 시험편의 최대하중의 10% 및 40%



Table 3. Failure mode of composite material beam

No.	1	2	3	4
Failure mode				

서의 하중과 변형 평균값은 각각 13.8 kN, 7.72 mm 및 55.0 kN, 32.32 mm이었다. 또한 각 시험체의 평균 최대 휨 하중을 Fig. 14를 통하여 비교하였다. 구조용 집성재의 경우 평균 최대 휨 하중이 106.5 kN으로 복합재료(구조용 압연강재-구조용 집성재)의 137.5 kN 보다 낮은 값을 보였으며 H형강 보의 경우 가장 낮은 48.0 kN을 나타내었다.

Fig. 13에서 ①, ② 및 ③은 각각 단면치수 150 mm × 455 mm의 구조용 집성재, 단면치수 150 mm × 350 mm의 구조용 집성재 그리고 단면치수 75 mm × 150 mm의 강재 H형강 보에 대한 허용 휨 하중을 나타낸다. 강재 H형강 보의 초기 탄성곡선의 기울기가 가장 작았으며 구조용 집성재 보의 초기 탄성곡선의 기울기가 가장 높았고 복합재료(구조용 압연강재-구조용 집성재) 보의 초기 탄성곡선 기울기는 중간값을 나타내었다. 그러나 탄성한계 및 최대 휨 하중의 값은 복합재료(구조용 압연강재-구조용 집성재) 보의 경우가 월등히 높게 나타났으며 강재 H형강 보가 가장 낮은 값을 나타내었다.

Fig. 13와 Fig. 14을 보면 복합재료(구조용 압연강재-구조용 집성재) 보에서 구조용 집성재 표면접착 방식의 휨강도 보강기능이 매우 우수함을 알 수 있다. 강재와 구조용 집성재의 복합재료를 제작함으로써 강재 보의 휨 성능을 3배 이상 향상시킬 수 있으며 구조용 집성재 보 보다 휨 탄성은 감소하지만 휨강도는 매우 향상됨을 알 수 있다. 복합재료(구조용 압연강재-구조용 집성재) 보는 휨 하중 하에서 상당히 많은 양의 변형이 발생하며 중앙에 삽입된 강재의 영향으로 많은 변형에도 불구하고 시험체의 인장파괴가 감소한 것으로 판단되었다.

Table 3과 Fig. 15를 통하여 파괴형태의 특징을 확

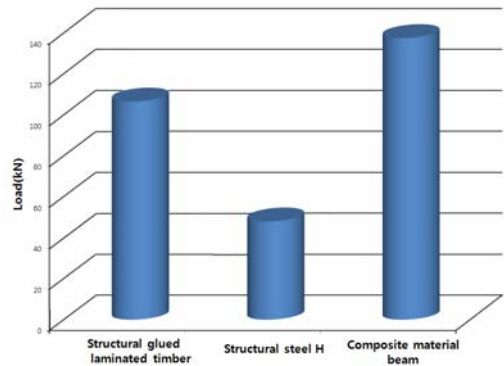


Fig. 14. Max-load of bending test of steel H beam, glued laminated timber beam and composite material beam.

일 할 수 있다. 휨 하중 하에서 복합재료(구조용 압연강재-구조용 집성재) 보는 주로 인장쪽 최외층재의 중앙부에 위치한 핑거조인트에서 파괴가 시작되어 전단파괴로 진행되었음을 알 수 있다. 따라서 복합목재(구조용 압연강재-구조용 집성재) 보의 휨 성능 향상을 위해서는 구조용 집성재 보와 마찬가지로 인장쪽 최외층재의 핑거조인트를 보강하여야 하며 가능한 인장쪽 최외층재에서 핑거조인트가 보의 중앙부분에 위치하지 않도록 조절하는 것이 필요하다.

## 4. 결 론

보 부재의 휨강도 성능 비교를 위한 각 시험체의 제작을 위하여 구조계산을 통한 시험체크기를 정한 후 국산 낙엽송을 사용하여 KS F 3021의 비대칭 다 른 등급구성 집성재 12S-36B 등급에 맞추어 제작하



Fig. 15. Breaking shape of Composite material beam.

였으며 압연강재 보는 KS D 3502를 기준으로 제작하였다. 복합재료의 제작을 위하여 KS D 3502의 SS400 등급 압연강재 H 형강 보와 KS F 3021의 비대칭 다른등급구성 집성재 12S-36B 등급의 구조용 집성재를 사용하였다.

내화성능을 지닌 복합목재의 개발을 목적으로 내화성능시간 동안 화재하에서 목재의 접합부가 변형수축되는 현상을 줄이고 접합부의 벌어짐을 최소화하기 위하여 접착 접합방법을 개발하게 되었으며 접착제는 기존의 다양한 접착제 중 열적 특성이 우수한 접착제를 선별, 목재-목재 간 접착제로 상온경화형 레조르시놀 접착제를 사용하였으며 목재-강재 이중재 접착제로 상온경화형 폴리우레탄수지를 사용하였다.

보 부재의 휨강도 성능 비교를 위하여 각 시험체를 구조용 집성재 및 구조용 압연강재와 복합재료(구조용 압연강재 - 구조용 집성재)로 제작하여 휨 시험을 실시한 결과 평균 최대 휨 하중은 구조용 집성재의 경우 106.5 kN으로 복합재료(구조용 압연강재-구조용 집성재)의 137.5 kN보다 약간 낮은 수치를 나타내었으며 구조용 압연강재 H 형강 보의 경우 48.0 kN으로 시험체 중 가장 낮은 수치를 나타내었다. 복합재료(구조용 압연강재 H-구조용 집성재) 보의 경우 초기탄성곡선의 기울기에서 높은 값을 나타내지는 않지만 탄성한계 및 최대 휨 하중에서 다른 두 종류의 시험체에 비하여 월등히 높은 수치를 보여주었다. 또한 복합재료(구조용 압연강재 H - 구조용 집성재) 보 시험체의 경우 구조용 집성재 보 보다 휨 탄

성은 감소하지만 표면접착 방식의 휨강도 보강기능이 매우 우수하며 강재 H형강 보의 휨 성능을 3배 이상 향상시킬 있음을 알 수 있었다.

복합재료(구조용 압연강재 H-구조용 집성재) 보를 제작하여 사용할 경우 다른 구조용 재료에 비하여 높은 구조적 안정성을 부여할 수 있으며 재활용이 가능하고 가공이 용이한 목재를 사용한다는 측면에서 친환경적인 건축환경을 제시할 수 있을 것으로 보여진다.

## 참 고 문 헌

1. 대한건축학회. 2005. 건축구조설계기준(KBC). 기문당.
2. 대한건축학회. 2006. 건축구조설계기준(KBC) 및 해설. 기문당.
3. Andrew, H. 2001. Buchanan, Structural Design for Fire Safety, WILEY. pp. 273~365.
4. KS D 3052 열간 압연 평강의 모양·치수 및 무게와 그 허용차, 2007.
5. KS D 3503 일반 구조용 압연 강재, 2007.
6. KS F 2257-1 건축 부재의 내화 시험 방법 - 일반 요구 사항, 2005.
7. KS F 2257-6 건축 부재의 내화 시험 방법 - 보의 성능 조건, 2006.
8. KS F 3021 구조용 집성재, 2005.
9. KS F 4514 목구조용 철물, 2005.
10. Smulski, S. 1997. Engineered Wood Products, pp. 173~192, pp. 275~294.