

# 합성보의 화재거동에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Fire Behaviour of Composite Beam

한 상 훈<sup>1),†</sup> · 최 승 관<sup>2)</sup> · 김 성 배<sup>3)</sup> · 박 원 섭<sup>4)</sup> · 이 철 호<sup>4)</sup>

*Han, Sanghoon Choi, Sengkwon Kim, Sung Bea Park, Won Sup Lee, Cheol Ho*

요 약 : 본 연구는 H형강과 콘크리트 슬래브로 구성된 합성보의 화재시 구조거동에 관한 연구 중에서 실험적 연구에 해당하는 부분으로, 내화실험으로 계획된 시험체 단면에 대하여 합성율과 재하율의 영향을 파악하는 것을 목적으로 한다. 시험체는 동일한 단면으로 설계된 단순지지 평슬래브 합성보이며, 전단연결재의 간격으로 완전 및 부분합성력을 갖도록 조절하였다. 무피복 표준화재실험을 실시하여 하중율이 다른 재하조건에서 한계치점에 도달하는 내화시간을 측정하였다. 또한 강재와 콘크리트 및 스테드에 설치된 열전대에 기록된 보 단면의 온도 분포를 나타내었다.

ABSTRACT : This paper is an experimental study from the whole research of the composite beam's flexural capacity and structural behaviour in fire conditions. It is measured the fire resistance time of the specimen which are consisted with steel beam and concrete slab, same section dimensions and moment strength but various number of connectors. It was tested with degrees of shear connection and load ratios at simple support condition. Also, it shows the temperature distributions of the unprotected beam section and stud from gauged thermocouples in several parts of its section.

핵심용어 : 합성보, 내화, 전단합성율, 재하율

KEYWORDS : composite beam, fire resistance, degree of shear connection, load ratio

### 1. 서론

합성구조는 구조 및 경제적인 장점으로 인하여 많은 건축물과 교량 등에 사용되어왔다. 합성부재의 강도 및 강성은 강재와 철근콘크리트의 각 특성과 합성정도 즉, 전단연결부의 설계에 의해 달라진다. 또한 화재에 대하여 강재는 콘크리트에 매입, 노출 또는 충전의 정도에 따라 내화피복이 필요하게 되므로, 최근에 여러 단면 형태의 구조 및 내화성능이 향상된 합성보, 합성기둥에 대한 연구가 진전되었다.

본 연구는 합성보의 내화성능 및 화재거동에 관한 기초실험을 통하여 향후 합성부재의 내화설계를 위한 자료 획득을 목적으로 하였다. 합성율과 재하율의 변수로 계획된 무피복 합성보의 화재실험을 수행하여 단면의 온도분포와 보 중앙치짐을 측정하였다.

### 2. 실험개요

본 실험은 구조물 화재거동의 파악을 위한 기초 실험으로, 계획된 시험체 단면에 대하여 합성율과 재하율의 영향을 파악하는 것을 목적으로 한다. 이를 통하여 피복 및 무피복 또는 구속조건에 따른 구조거동의 실험계획 및 해석의 자료로 활용할 것이다.

#### 2.1 시험체 계획

시험체는 동일한 단면으로 설계된 단순지지 조건의 평슬래브 합성보이며, 전단연결재(스터드)의 배치로 조절된 3종류의 합성율(60, 80, 100%)을 변수로 제작 하였다. 사용강재는 H-244×175×7×11이며, 스테드 볼트의 간격은 각각 200, 150, 115mm이다. 콘크리트의 압축강도( $f_{ck}$ )는 24MPa를 적용하였다.(그림 1)

다음 식은 BS 5950-3.1에서 제시하는 합성보의 모멘트 강도(식 1, 식 2)와 완전합성(full shear connection)에 요구되는 정모멘트 전단스팬 구간의 스테드(headed stud) 개수(식 3)이고, 표 1은 스테드의 공칭강도(characteristic resistance)를 나타낸다.

1) 정회원, 한국건설기술연구원 화재및설비연구센터 연구원, 공학박사  
(Tel. 031-369-0524, Fax. 031-369-0540, E-mail: hans@kict.re.kr)

2) 정회원, University of Ulster, Lecturer in Structural Fire Engineering, 공학박사  
(sengkwanchoi@hotmail.com)

3) 정회원, (주)센구조연구소 연구팀장, 공학박사 (ksb2020@senkuzo.co.kr)

4) 정회원, 한국건설기술연구원 화재및설비연구센터 연구원, 공학석사

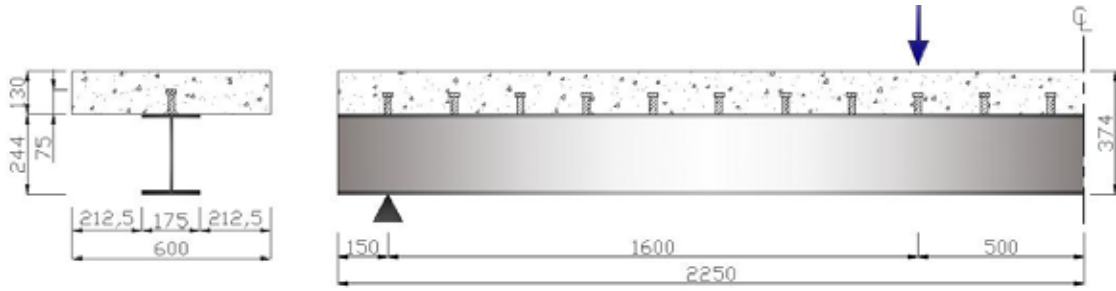


그림 1. 합성보 시험체의 형상

표 1. 보통종량 콘크리트에서 스티드의 공칭 저항력(Qk, kN)

스티드줄기 직경(mm)	스티드높이 (mm)	콘크리트 공칭강도 (f <sub>cu</sub> , MPa)			
		25	30	35	40
25	100	146	154	161	168
22	100	119	126	132	139
19	100	95	100	104	109
19	75	82	87	91	96
16	75	70	74	78	82
13	65	44	47	49	52

표 2. 합성보 시험체 일람

시험체명	최대모멘트 (하중)	재하하중 (하중율)	스티드 간격 (전단 합성율)
200-1	212.7kNm	121kN (30%)	200mm (60%)
200-2	(405kN)	243kN (60%)	
150-1	221.8kNm	126kN (30%)	150mm (80%)
150-2	(422kN)	253kN (60%)	
115-1	230.8kNm	132kN (30%)	115mm (100%)
115-2	(439kN)	264kN (60%)	

\*스티드볼트 : d=19mm, h=75mm

소성중립축이 콘크리트 슬래브에 위치한 경우,

$$M_c = R_s (D_s + D/2) - R_c' y_p/2 \quad (1)$$

여기서,  $R_c' = 0.45 f_{cu} B_e y_p$  (콘크리트 압축구역의 내력)

$R_s = p_y A$  (강재의 내력)

$D_s$  : 콘크리트 플랜지 두께

$D$  : 강재 단면의 깊이(depth of steel section)

$p_y$  : 강재 설계강도 (design strength of steel)

$f_{cu}$  : 콘크리트 공칭강도 (compressive cube strength)

$B_e$  : 슬래브 유효폭 (effective breadth of conc. slab)

$y_p = (R_s/R_c) D_s \leq D_s$  (상연부터 중립축 까지 거리)

소성중립축이 강재 상부플랜지에 위치한 경우,

$$M_c = R_s D/2 + R_c D_s/2 - p_y B y^2 \quad (2)$$

여기서,  $R_c = 0.45 f_{cu} B_e D_s$  (콘크리트의 내력)

$y = (R_s - R_c)/(2 B p_y) = (R_s - R_c)/(2 R_f T)$

: 강재플랜지 상연부터 중립축 까지 거리)

$R_f = p_y B T$  (플랜지 내력)

$B$  : 강재 플랜지 폭

$T$  : 강재 플랜지 두께

$$N_p = F_c / Q_p \quad (3)$$

여기서,  $F_c = A p_y$  (소성중립축이 콘크리트에 있는 경우)

$F_c = 0.45 f_{cu} B_e D_s$  (소성중립축이 강재에 있는 경우)

$Q_p = 0.8 Q_k$  (스티드 설계강도, slab rib와 보가 적교)

## 2.2 실험 방법

화재에 노출된 합성보 부재의 휨강도 저하에 미치는 전단합성율과 하중율의 영향을 파악하기 위하여 제작된 각 시험체에 대하여 하중율에 따라 재하한 상태에서 표준화재곡선으로 가열실험을 수행하고 거동을 측정하였다.

가력은 4점 재하하여 중앙부의 처짐을 측정하고, 부재의 온도분포는 열전대를 부착하여 측정하였다. 열 측정 위치는 그림 2와 같으며, 각 시험체에 12개의 열전대를 설치하였다.

합성보 시험체의 화재실험은 부재를 스패 4.2m(가열구간 : 4m)의 로에 설치하고 로와 시험체의 상부를 덮개로 막은 후 3면 가열하였다. 가열온도는 로내의 측정온도를 기준으로 표준화재곡선을 따랐다.

가력은 액추에이터 2개와 가력 빔을 이용하여 4점 재하 하였으며, 각 시험체 최대모멘트 하중의 0.3과 0.6의 하중율에 해당하는 재하하중 상태에서 가열을 시작하여, 보의 중앙 처짐이 L/20에 도달하면 실험을 종료하였다.

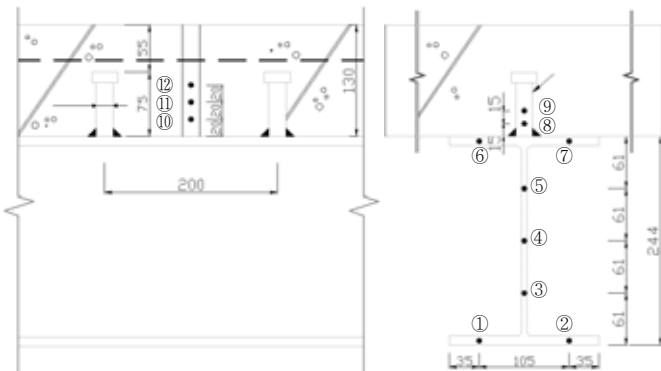
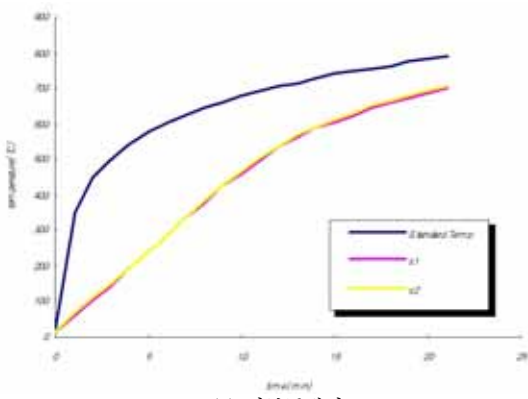
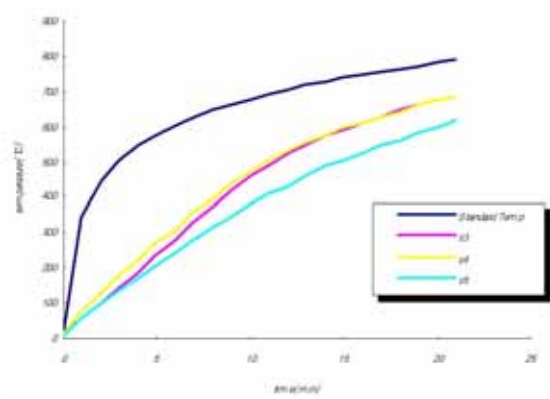


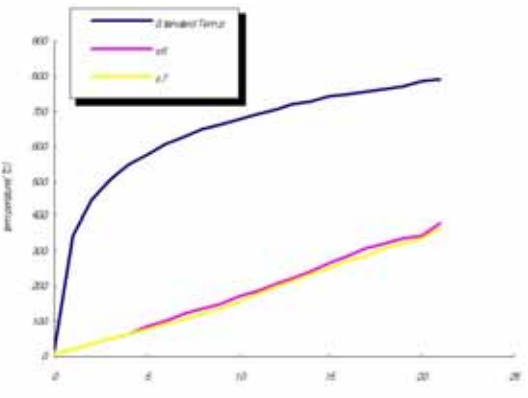
그림 2. 합성보 시험체의 열전대 설치



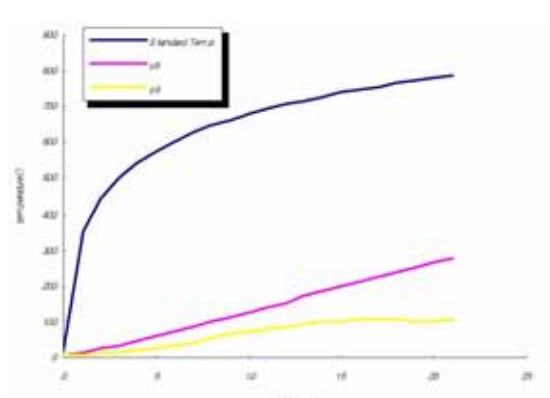
(a) 하부플랜지



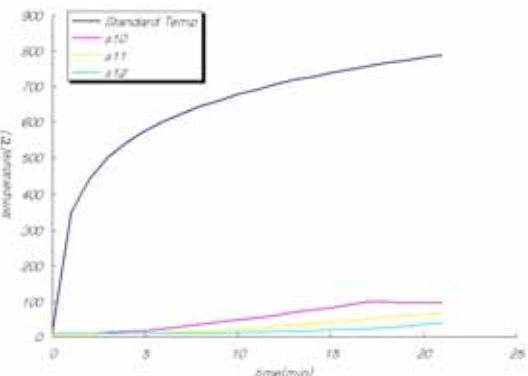
(b) 웨브



(c) 상부플랜지

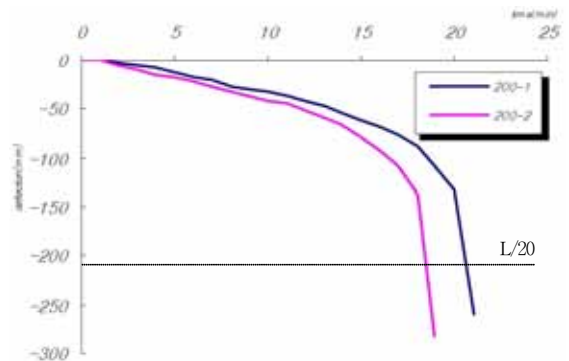


(d) 스티브

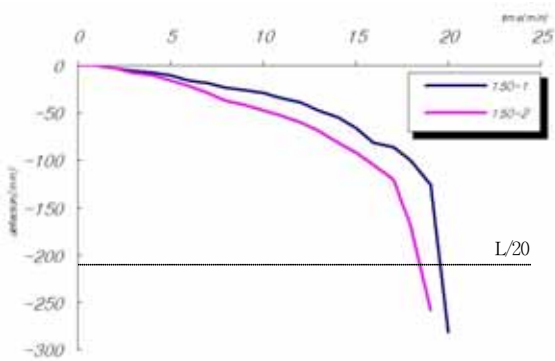


(e) 콘크리트 내부

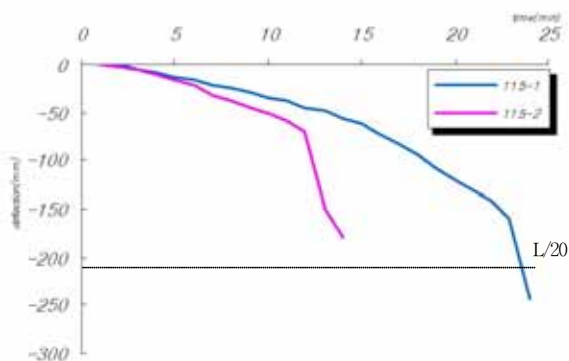
그림 3. 합성보 단면의 온도분포



(a) 200 시리즈



(b) 150 시리즈



(c) 115 시리즈

그림 4. 합성보 시험체의 화재시 중앙 처짐



그림 5. 합성보 시험체의 가열실험 전후 모습

### 3. 실험결과 및 고찰

화재실험 결과, 세 종류의 시험체 모두 동일한 크기의 단면 이므로 화재시 인장측 단면의 내력감소로 인하여 휨압축 파괴의 경향을 보였으며, 내화시간은 시험체 시리즈 별로 재하하중의 값에 따라 약간의 차이(약 1~6분)를 보였다.

합성보 시험체의 가열에 따른 단면의 온도분포를 그림 3에 나타내었다. H형강, 스티드 그리고 콘크리트 내부에 설치된 열전대에서 측정된 값으로 스티드와 콘크리트의 내부 온도는 온도상승이 강재에 비하여 매우 느리게 진행됨을 알 수 있다. 무피복 조건의 본 실험에서 하부플랜지와 웨브의 중앙부까지는 온도상승이 거의 같으며, 15분 가열 이내에 600°C에 도달하였다.

그림 4는 가열 시간 경과에 따른 시험체 중앙 처짐을 나타낸 것이다. 점선으로 표시된 L/20에 도달하는 시간은 23분(200-1시험체)에서 15분(115-2시험체) 사이인 것으로 나타났다. 스티드와 상부플랜지가 비교적 충분한 강도를 가지고 있는 시점(전단슬립변형은 무시할만한 수준)이라도 무피복의 하부 강재의 내력상실로 인하여 휨변형이 과도하게 발생하였으며 콘크리트 슬래브의 압축파괴가 동반하였다.

한편, 전단접합부의 스티드의 강도 및 강성이 30분 이내의 가열에서는 노출된 강재에 비하여 충분한 잔존율(상온의 70% 이상)을 갖는 것은 온도분포에서 확인가능하며, 별도의 고온 슬립실험을 수행하면 거동을 상세히 분석할 수 있을 것이다.

### 4. 결론 및 향후과제

본 연구는 구조물 화재거동의 파악을 위하여 무피복 합성보의 합성율과 재하율을 변수로 실험하였고, 단면 온도분포와 내화성능을 측정하였다. 시험체별 내화시간을 분석하여 얻은 결론과 추후 과제는 다음과 같다.

- 1) 노출형 합성보 시험체의 강재(H-244×175)는 무피복 조건으로 15분 가열시에 웨브와 하부플랜지가 600°C에 도달하여 한계상태에 이르는 동일한 메커니즘을 보였다.
- 2) 재하하중의 영향은 시험체 시리즈 별로 재하하중의 값에 따라 내화시간(약 1~6분)의 차이를 보였다.
- 3) 향후 내화피복 조건의 실험에서는 강재와 전단연결재의 온도를 고려하여 휨강도에 미치는 영향을 분석하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 연구는 한국건설기술연구원의 지원(2008 기본과제)으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

Association of Specialist Fire Protection Contractors and Manufacturers Limited, (1992) Fire protection for structural steel in buildings, 2nd ed.

Chanakya Arya, (2003), Design of Structural Elements, 2nd ed, Spon Press

Deric J. Oehlers, Mark A. Bradford, (1999), Elementary Behaviour of Composite Steel and Concrete Structural Members, Butterworth-Heinemann

D. L. Mullett, (1998), Composite Floor Systems, Blackwell Science

D. L. Mullett, R. M. Lawson, (1999), Design of Slimflor Fabricated Beams using Deep Composite Decking, The Steel Construction Institute

신현섭, (2005), 합성보 전단연결부의 구조거동에 대한 비교 분석, 한국강구조학회 논문집, 제17권 6호

장승필, 심창수, (2005), 합성구조론, 구미서관