

하중재하에 의한 T형 합성보의 내화성능에 관한 연구

An Experimental Study on the Fire Resistance Performance of T-type Composite Beam with Loading and Unloading

○ 유 덕 수* 김 상 섭** 김 성 배***

Ryu, Deog-Su Kim, Sang-Seup Kim, Sung-Bae

Abstract

In this study, the fire resistance performance of a simple support composite beam, which was sprayed with fire protection coatings, was evaluated. Primary valuables of the study are loading and unloading, shape of composite beam and metal lath of the web. The thickness of the fire protection coating to the three hour resistance is 40mm, but the fire resistance test was performed with 25mm coatings. The test result showed that TSC composite beams with 25mm fire protection coatings can resist on fire for three hours at the both loading and unloading tests. Average and maximum temperatures were less than 250°C and 310°C respectively, compared with the standard temperatures for fire resistance on the loading and unloading tests.

키워드 : TSC 합성보, 내화성능, 재하와 비재하, 내화피복재

Keywords : TSC composite beam, Fire resistance, Loading and unloading, Fire protection coating

1. 서 론

화재가 발생했을 때, 강재와 합성 구조물은 하중 능력과 강성을 잃게 된다. 생명을 보호하고 재산 손실을 막기 위해서, 건물의 필수적인 내화성이 요구된다. 전통적으로 구조부재의 내화 능력은 ISO표준 화재에 의해 가열된 독립 부재를 사용하여 실험하였다.¹⁾²⁾

일반적으로 합성구조는 콘크리트와의 조합으로 기존 H형강에 비해 성능이 향상되었으며, 내화성능 역시 우수할 것으로 판단된다. 그러나 합성구조에 대한 내화성능평가는 여전히 초기단계이며, 부재형상의 영향과 하중 재하의 영향, 온도특성에 의한 전단연결재의 평가, 내화피복재의 종류 등은 계속해서 연구해야 될 부분이다.^{3)~6)}

본 연구에서는 내화피복재를 뿔칠한 단순지지 TSC 합성보에 대해 하중 재하에 따른 영향과 합성보의 형상, 웨브에 설치한 메탈라스의 영향 등을 변수로 내화성능 평가를 하였다. 또한 강재 표면이 부착강도에 미치는 영향도 확인하였다. 내화피복재는 3시간 내화성능의 요구치가 40mm이나 25mm만 뿔칠한 후 내화실험을 실시하였고, 실험체 제작은 모두 6개를 하였다.

2. 실험계획 및 방법

* 한국기술교육대학교 건축공학부 대학원생

** 한국기술교육대학교 건축공학부 교수, 공학박사

*** (주)센구조연구소 연구개발부장, 공학박사

2.1 실험계획

본 실험은 단순지지 합성보에 대해 실험체의 형상과 메탈라스의 유·무, 하중 재하 유·무 등을 변수로 하였으며, 표 1은 실험체 변수를 정리한 것이다.

실험체 형상은 그림 1과 같이 상부플레이트와 수직재, 하부플레이트로 구성된 보를 TSC 보이며, 상부 플랜지가 바깥으로 나간 확장형 형상은 TSC II, 상부 플랜지가 안으로 폐쇄된 형상은 TSC IV로 구분하고, 일반적인 철골의 H형강보도 포함하였다. 또한 하중은 비재하와 재하로 구분하여 하중 가력의 영향을 평가하였으며, 재하 하중은 허용응력설계에 의한 부재내력으로 산정하였다.

보 측면은 KS F 4552의 메탈라스(평평라스 제1호)를 웨브 춤의 1/2크기를 웨브의 중심에 설치하였으며, 에폭시 본드와 핀을 이용하여 고정시켰다. 메탈라스는 TSC II 실험체를 제외한 나머지 실험체는 설치하지 않았다.

시험에 사용된 질석계 내화피복재는 가열시간 3시간에 대해 40mm 두께로 한국건설기술연구원장으로부터 내화성능을 인정받은 제품이다. 그러나 본 실험에서는 내화피복재를 25mm 뿔칠한 후 3시간 내화시험을 수행하였다. 표 2는 내화피복재의 중량배합비이다.

실험체는 그림 1, 그림 2와 같이 길이가 5.0m, 슬래브 폭 600mm, 보 춤은 슬래브 두께 150mm를 포함하여 550mm이다. 또한 TSC 합성보 단면은 400×270×6(보 춤×보 폭×두께)이고, H형강은 내화구조 인정 및 관리업무 세부 운영지침에 따라 H-400×200×8×13을 적용하였다.

실험체 제작에 사용된 재료는 콘크리트의 경우 압축강도는 27MPa이고, 강재의 경우 항복강도는 235MPa(SS400)이며, 철근의 항복강도는 400MPa이다. 콘크리트와 강재의 재료특성은 검사증명서(Mill sheets)값을 적용하였으며, 각각 표 3, 표 4와 같다.

2.2 실험방법

재하 및 비재하시 실험체의 표면온도 측정을 위해 열전대를 그림 3과 같이 부착하였다. 열전대는 가열로 내의 폭이 4m이므로 보의 순경간의 1/4, 2/4, 3/4의 표면에 각각 4개씩 설치하였다. 열전대는 KS C 1615와 KS C 1602의 0.75급 이상의 성능을 가진 K형을 사용하였다. 열전대 설치하는 열전대의 소선을 3회 이상 접점을 발생시켜 설치 위치의 철골 단면 중앙부분에 위치하도록 하였다.⁷⁾

성능기준은 재하시험의 경우 KS F 2257-1에 의해 허용 변형량($D = L^2/400d$)과 허용변형속도($dD/dt = L^2/9000d$)를 모두 초과시 구조적 붕괴로 판정하며, 하중지지력은 시험 중 시험체가 시험 하중에 견디는 시간으로 하며, 시험 하중에 대한 지지 능력은 변형량 및 변형률 모두에 의해 결정한다. 안정된 상태에 도달할 때까지 상대적으로 급속한 변형이 생길 수 있으므로, 변형률의 성능기준은 변형량이 $L/30$ 을 초과하지 않아야 한다.⁸⁾ 비재하 시험의 경우 측정된 강재 단면의 평균온도가 538℃(1,000°F), 최고온도 649℃(1,200°F)를 넘지 않아야 한다. 본 실험의 경우 하중 지지력과 판정기준에 의한 변형량과 변형속도는 다음과 같다.

$$D = \frac{L^2}{400d} = \frac{4,000^2}{400 \times 550} = 72.7(\text{mm})$$

$$\frac{dD}{dt} = \frac{L^2}{9000d} = \frac{4,000^2}{9,000 \times 550} = 3.23(\text{mm/min})$$

$$\frac{L}{30} = \frac{4,000}{30} = 133.3(\text{mm})$$

각 실험체는 표준화재곡선에 의해 가열실험을 실시하였으며, 실험체의 세팅과 가력상황은 그림 2, 그림 4와 같다. 가력은 두 개의 오일 잭을 이용하여 4점 가력 하였고, 처짐은 줄변위계(wire DT)를 이용하여 중앙에서 측정하였다.

표 1. 실험체 변수

번호	실험체명	형태	하중	메탈라스
1	T4-U-1	TSC IV	비재하	미설치
2	T2-U-1	TSC II	비재하	설치
3	T2-U-2	TSC II	비재하	설치
4	T4-L-1	TSC IV	재하	미설치
5	T2-L-1	TSC II	재하	설치
6	H-L-1	H 형강	재하	미설치

표 2. 내화피복재의 중량배합비

분류	질석	시멘트	석고	탄산칼슘	부가물
중량비 (%)	30	24	23	6	17

표 3. 콘크리트의 재료특성

슬럼프 (cm)	W/C (%)	잔골재율 (%)	시멘트단위중량 (kg/m ³)
18	47.0	47.0	347

표 4. 강재의 재료특성

	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신률 (%)
TSC II	311	459	25
TSC IV	295	458	27

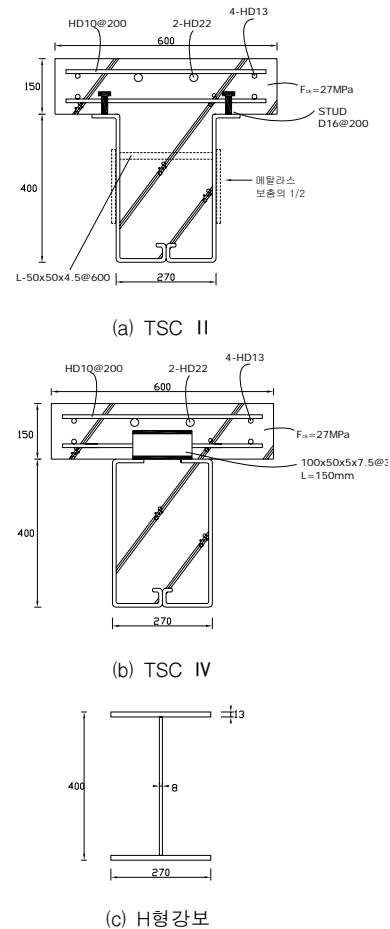


그림 1. 실험체 단면 상세(단위 : mm)

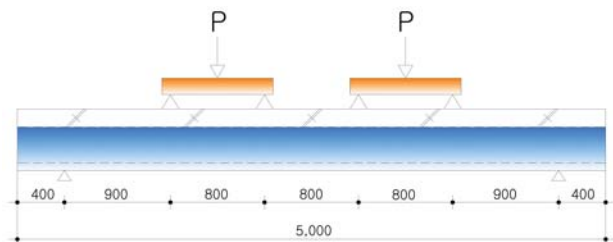


그림 2. 실험체 설치 및 가력방법

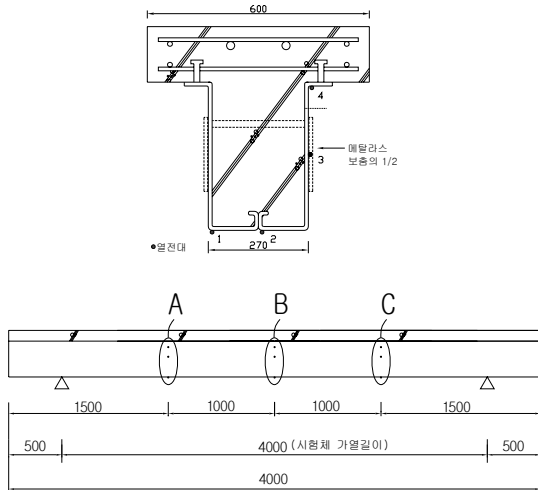


그림 3. 열전대 설치 상세



그림 4. 실험체 설치 전경

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험결과

표 5는 하중재하 유·무에 대한 합성보 실험결과를 나타낸 것이다. 내화성능 판정기준에 의하면 비재하 피복재시험의 경우 온도에 대하여 평가를 하지만, 재하의 경우에는 변위와 변형량으로 내화성능을 평가한다. 그러나 표 5에는 재하시험에서도 변형량과 온도를 같이 나타냈으며, 평균온도는 그림 3에서 열전대 설치위치 중 최고온도로 하였다.

시험결과 TSC 보를 합성보로 제작하여 25mm의 내화피복재를 뺀칠한 경우 재하와 비재하 시험 모두 3시간의 내화성능을 확보하는 것으로 나타났다. 온도를 기준으로 보면 평균온도와 최고온도가 각각 20℃ 정도의 오차는 발생하였으나 거의 동일한 온도를 나타내고 있다. 특히 시험변수로 선정된 보의 형상 및 메탈라스의 부착 유·무, 재하 유·무 등에 의한 온도의 영향은 확인되지 않았다. 그러나 H형강의 경우 내화시험 시간은 112분이며, 온도를 기준으로 하면 104분으로 TSC 합성보에 비해 상당히 낮게 나타났다.

그림 5, 그림 6은 TSC 합성보와 H형강 보의 시험 후의 모습이다. H형강 실험체의 경우 하부 플랜지의 피복재가 휨변형에 의한 탈락현상과 콘크리트 슬래브의 폭열

에 의한 파괴가 발생하였으며, 이후 급격한 온도상승과 함께 내력이 저하되었고 단부가 크게 변형되었다. 반면 TSC 보 실험체는 재하 및 비재하 시험 모두 시험 종료 후 내화피복재의 탈락현상이 발생되지 않았다.

그림 7은 비재하 실험체의 온도와 시간 그래프이며, 그림 8은 재하 실험체의 변형-시간 그래프이다. 비재하 실험체의 경우 최고온도와 평균온도 모두 실험체의 종류 및 형상에 따른 차이를 보이지 않고 있다. 또한 재하 실험체의 경우 변형-시간 그래프는 H형강보 실험체의 경우 큰 차이를 보이고 있으나, TSC 보 실험체는 형상과 메탈라스 부착에 의한 영향은 없는 것으로 나타났다.

표 5. 실험 결과(*: 변위, **: 변형속도)

실험체명	평균온도 또는 실험 후 변위		최고온도 또는 실험 후 변위		내화 성능 시간
	시험 시간 (min)	온도 (℃)/ 변위* (mm)	시험 시간 (min)	온도 (℃)/ 변형속도** (mm/min)	
T4-U-1	180	237.3	180	308.6	180
T2-U-1	180	242.2	180	298.1	180
T2-U-2	180	250.1	180	306.6	180
T4-L-1	180	244.2	180	301.2	180
		10.2*		0.2**	
T2-L-1	180	237.4	180	287.4	180
		10.0*		0.7**	
H-L-1	106	590.9	105	649.8	112
	112	90.2*	109	4.2**	



그림 5. 실험 종료 후 T2-L-1의 모습



그림 6. 실험 종료 후 H-L-1의 모습

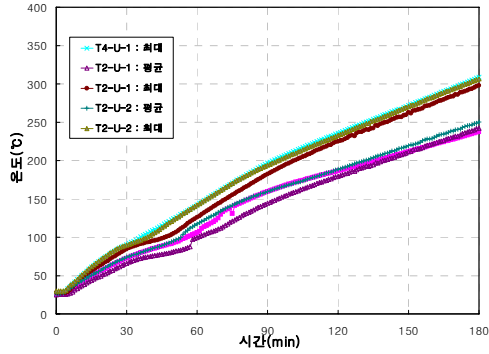


그림 7. 비재하시 온도-시간 곡선

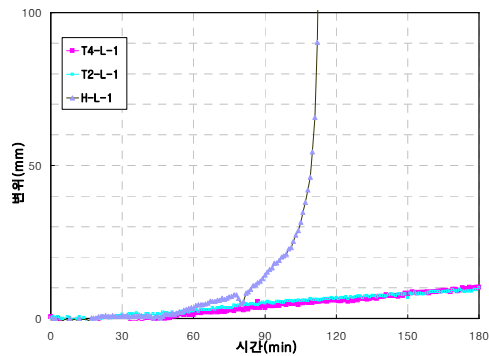


그림 8. 재하시 변위-시간 곡선

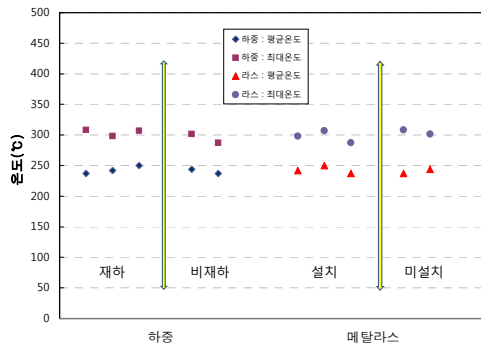


그림 9. 실험 변수에 대한 평균온도와 최고온도 비교

3.2 실험 변수의 영향

그림 9는 실험변수로 선정된 하중 재하여부와 메탈라스 설치 유·무에 따른 각 실험체의 평균온도와 최고온도에 대한 비교이다. 하중 재하와 비재하의 경우 평가방법이 상이하나 온도를 기준으로 보면 차이를 보이지 않고 있다. 또한 메탈라스 설치 유·무에 따른 영향은 비재하의 경우 온도를 기준으로 보면 큰 차이가 없어 메탈라스 유·무의 영향은 없다고 판단된다.

실험체 형상의 영향은 상부 플랜지 형상에 의한 TSC II와 TSC IV의 구분은 없으나, H형강과 비교시 온도 및 변형량·변형속도에 큰 차이를 보이고 있다. 이는 TSC 보의 경우 내부에 콘크리트가 타설되어 콘크리트부분이 고온

에서 온도를 축적시키고 일부 콘크리트 내부의 잉여수가 온도를 저하시키는 효과를 발휘하기 때문으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 단순지지 합성보에 대해 하중 재하와 웨브에 메탈라스 설치의 영향, 보의 형상 등을 변수로 내화 실험을 수행하였으며 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. TSC 합성보에 25mm의 내화피복재를 뿔칠한 경우 재하와 비재하 시험 모두 3시간의 내화성능을 확보하는 것으로 나타났다.

2. 재하와 비재하에 대한 내화성능 기준으로 온도를 비교하면, 평균온도는 250°C 이하, 최고온도는 310°C 이하가 되었다. 또한 보의 형상 및 메탈라스의 부착 유·무 등에 의한 온도의 영향은 없었다.

3. 열전대의 측정위치에 따른 온도 차이는 없었으나, 단면위치에 의한 온도차이가 크게 나타났다.

4. 단면위치에 의한 온도차는 하부 플랜지 모서리의 온도가 가장 높고 슬래브 쪽으로 올라갈수록 저하되었으며, 하부 플랜지 모서리의 온도와 하부 플랜지 중앙부의 온도차는 약 50°C에 달했다. 이러한 차이는 보 하부 플랜지 중앙부가 단부에 비해 콘크리트에 의한 열 흡수가 우수하기 때문으로 판단된다.

참고문헌

1. 민정기, 강석원, 김명한, 김상대 “iTECH 보의 내화성능에 대한 해석적 평가”, 대한건축학회 논문집(구조계), 21권 7호, p. 37~45, 2005
2. 천성철, 주영규, 정광량, 김상대, “비대칭 유공 합성보 iTEC H beam의 휨성능평가”, 대한건축학회 논문집(구조계), 18권 4호, pp.67~74, 2002
3. 한상훈, 최승관, 김희주, “비대칭 H형강을 사용한 슬림플로어 보의 내화성능에 관한 연구”, 한국강구조학회 논문집, 19권 4호, pp.235~246, 2006
4. 최승관, 김성배, “TSC 합성보의 화재시 거동 및 전열특성에 관한 실험적 연구-철근보강과 하중비에 의한 내화성능의 영향”, 대한건축학회 논문집(구조계), 24권 1호, pp.27~35
5. 김성배, 한상훈, 최승관, “H형강 합성보의 화재거동에 관한 실험적 연구”, 한국화재소방학회 논문집, 22권 2호, pp.84~90, 2008
6. Deric J. Oehler, Mark A. Bradford, “Elementary Behaviour of Composite Steel and Concrete Structural Members”, Butterworth-Heinemann, 1999
7. 건설교통부 고시 제2005-122호, “내화구조 인정 및 관리업무 세부운영지침-내화구조 품질 시험방법”
8. 한국표준협회, “KS F2257-1 - 건축 부재의 내화 시험 방법-일반요구사항”, 2005
9. 한국강구조학회, “전면개정 강구조의 설계”, 2004, 구미서관.