

# TSC 합성보의 거동 분석

## T type Steel Concrete Composite Beam Analysis

○ 최재우\* 김상모\*\* 김영호\*\*\* 김상섭\*\*\* 이창남\*\*\*\* 김규석\*\*\*\*\*  
Choi, Jae-Woo Kim, Sang-Mo Kim, Young-Ho Kim, Sang-Sup Lee, Chang-Nam Kim, Kyu-Suk

### Abstract

Composite beam have long been recognized as the most economical elements for floor systems built of a concrete slab and supporting steel sections. But general composite beam are limited to height of story and performance for construction work in the apartment building. TSC(T type Steel Concrete) beam system is developed to overcome these limites. Ten specimens are tested. During the experiment, crack pattern and deflection of beam were measured. The test result of TSC beam system is compared with the general composite beam and RC beam.

키워드 : 합성보, TSC beam, 바닥시스템, 합성효과

key word : Composite Beam, T type Steel Concrete Beam, Floor System, Composite Effects

### 1. 서론

현재 국내에서 건설되는 주거용 건축물의 골조형식은 최대 연면적 확보를 위해 내력벽식 구조형식을 일반적으로 사용해 왔다. 그러나 내력벽식 구조형식은 입주 후 구조적 변경이 불가능하기 때문에 급변하는 사회적 요구를 만족시키지 못하고 있는 실정이다. 최근 이러한 문제점을 극복하고자 공간의 자유도를 높일 수 있는 강재를 활용한 골조-전단벽식 구조형식으로 주거용 고층건축물이 도입되고 있다. 그러나 이러한 강구조 건축물도 원자재비 상승과 층고의 증가에 따른 경제성뿐만 아니라 소음, 진동과 같은 사용성에 문제점을 드러내고 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위해 새롭게 제안된 TSC보(T type Steel Concrete beam)는 기존 RC보에 C형강(좌우측) 및 강판(하부측)을 보강한 구조형식이다(그림 1(a)). 즉, C-단면 강판(좌우측)과 하부강판을 용접하여 내부 RC보 단면을 구축함으로써 휨강성을 증가시켜 층고 및 사용성의 문제점을 개선시킨 구조형식이다.

TSC보는 기존 합성보에 비해 단면 성능이 뛰어난 것으로 판단되며, 3면에 보강된 강판은 거푸집의 역할을 할 수 있기 때문에 시공성을 향상시킬 수 있다.

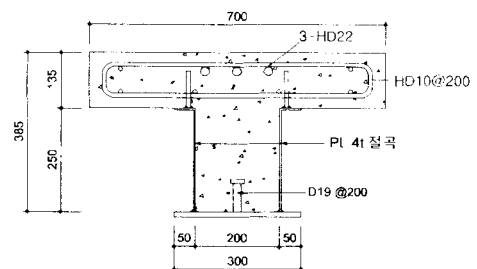
본 연구에서는 기존의 많은 연구결과로 구조성능이 입증된 충전강관기둥(CFT column)에 접합이 간편하며, 층고 및 사용성의 한계를 극복할 수 있는 새로운 합성보 시스템인 TSC보의 구조성능을 실험에 의거 분석하는데 그 목적

이 있다. 또한 TSC보의 구조설계 및 시공에 필요한 기초 자료를 제시하고자 한다.

### 2. 실험

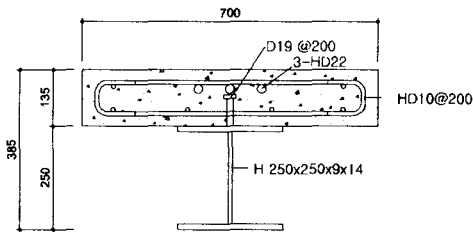
#### 2.1 실험체 계획

본 연구에는 TSC보의 효율성을 평가하기 위해 기존에 주로 사용된 H형강 합성보 및 RC 보를 제작하였으며, 각 실험체의 단면형상은 그림 1과 같다. 새롭게 제안된 TSC보의 성능을 평가하기 위해, TSC보 실험체의 주요 변수는 쉬어코넥터의 배치방식, 측면 보강판과 하부강판의 용접접합방식 그리고 하부강판의 두께(PL-6, 12, 18 mm)를 주요 변수로 하여 7종류의 실험체를 제작하였다. TSC실험체는 인장철근을 배근하지 않았으며 압축철근만 3-D22 (SD40)로 배근하였다. 기존 합성보(H-형강) 실험체는 TSC보(기준형) 실험체와 동일한 강도를 갖게 하였으며, RC보 실험체는 동일 형상에 최대철근비로 배근하였다. 실험체의 지점간 거리는 4.0m(실험체길이 : 4.5m)이고, 슬래브 폭은 70cm로 선정하였다. TSC보의 웹보강판의 두께는 폭두께비를 고려하여 4mm로 하였다.

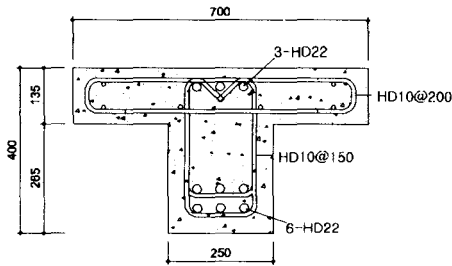


(a) TSC 기준형 실험체

\* 정회원, 동국대학교 대학원 석사과정  
\*\* 정회원, 동국대학교 대학원 박사과정  
\*\*\* 정회원, 한라대학교 건축공학과 강의전담교수, 공학박사  
\*\*\*\* 정회원, 한국기술교육대학교 건축공학과 조교수, 공학박사  
\*\*\*\*\* 정회원, (주)센구조연구소, 대표이사  
\*\*\*\*\* 정회원, 동국대학교 건축공학과 교수, 공학박사



(b) H형강 합성보



(c) RC 보

그림 1. 실험체의 형상

### 2.2 실험체 가력 및 측정방법

실험체의 가력은 그림 2와 같이 200tf의 UTM을 사용하여 2점 가력을 하였으며, 처짐량을 측정하기 위해 가력점 하부와 보의 중앙부 및 하중점과 지점부 중앙에 변위계를 설치하였다. 또한 지점 외측의 회전각을 측정하기 위해 변위계를 설치하였다.

스트레인게이지는 인장응력을 받는 하부 인장플레이트에 변위계의 설치위치와 동일하게 4개를 부착하였으며, 콘크리트 슬래브 중앙부 3개소에 콘크리트용 스트레인게이지를 부착하였다. 또한 중립축의 위치를 파악하기 위해 철골부재의 웹과 콘크리트 내부에 각각 3개, 2개의 스트레인게이지를 부착하였다.

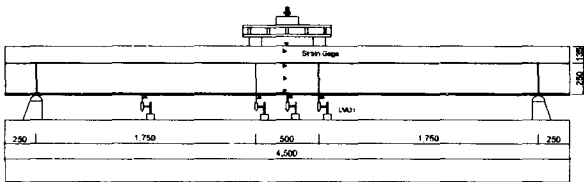


그림 2. 실험체 설치도

### 2.3 소재 시험

실험체에 사용된 각 두께별 철판(SS400)과 철근(SD40)의 인장강도 시험결과는 아래의 표 1과 같고 콘크리트의 배합비는 표 2와 같으며, 시험체 제작시 공시체를 제작하여 동일한 환경조건에서 양생(26일)한 후 본 실험에서 시험한 결과 강도가 242.5 kgf/cm<sup>2</sup>로 설계강도와 거의 일치하게 나타났다.

표 1. 인장강도 시험결과

시험편	항복강도 (tf/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (tf/cm <sup>2</sup> )	항복비	연신율 (%)	단면수축율 (%)
PL-4	2.56	4.18	0.61	33.40	55.73
PL-6	2.60	4.49	57.9	34.96	64.58
PL-12	2.54	4.15	61.3	38.54	63.54
PL-18	2.44	4.46	54.8	43.00	60.17
D10	-	5.54	-	27.88	46.05
D22	-	5.66	-	30.22	48.06

주) \* 항복비 = 항복강도/인장강도

\*\* 강재 인장시험편 강종 : SS400

\*\*\* 철근 인장시험편 강종 : SD40

표 2. 콘크리트의 배합비

설계강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	W/C	S/A	단위 골재량 (kgf/m <sup>3</sup> )			
			W	C	S	G
240	50.4	46.9	177	353	843	943

주) W : 물

C : 시멘트

S : 잔골재량

G : 굵은 골재(최대치수25mm)

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 실험결과

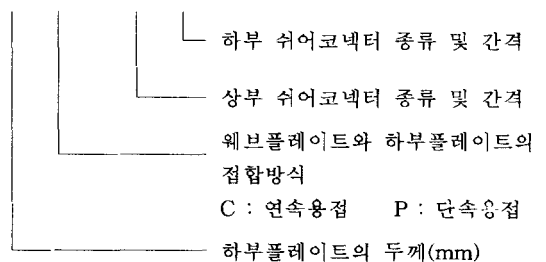
최대내력 및 항복내력을 측정한 결과 표 3과 같이 모든 실험체에서 설계내력 이상으로 나타났다. TSC보 실험체는 RC 보와 H형강 합성보에 비하여 초기강성이 큰 것으로 나타났다. 같은 소성내력(40.25 tm)을 갖도록 설계한 TSC 보의 기준형과 H형강 합성보의 최대내력은 각각 50.4 tm, 40.87 tm로 나타났다.

표 3. 실험결과

실험체명 <sup>1)</sup>	항복내력		최대내력		M <sub>u</sub> /M <sub>y</sub>
	M <sub>y</sub> (tf·m)	처짐 (mm)	M <sub>u</sub> (tf·m)	처짐 (mm)	
TSC12C-R20S20-1	29.24	10.47	50.39	54.61	1.72
TSC12C-R20S20-2	28.89	10.33	50.39	58.46	1.75
TSC06C-R20S20	20.08	10.33	37.35	65.83	1.89
TSC18C-R20S20	44.75	13.30	52.15	32.59	1.18
TSC12C-R00S20	27.83	12.85	28.54	40.19	1.03
TSC12C-R20S00	26.78	10.16	38.76	44.15	1.45
TSC12C-B40S20	29.95	11.35	40.87	47.01	1.37
TSC12P-R20S20	30.30	11.15	47.92	58.98	1.59
H형강합성보	23.26	10.87	41.58	55.98	1.82
RC T형보	18.67	15.10	25.37	50.21	1.37

주) 실험체명

TSC 12 C - R20 S20



### 3.2 하중-변위 곡선

#### 3.2.1 인장축(보 하부) 플레이트의 두께별 비교

그림 3은 하부플레이트의 두께에 따른 실험체의 하중-변위 곡선을 나타낸 것이다. 하부 플레이트의 두께가 18 mm인 가장 두꺼운 실험체가 초기강성 및 인장 플레이트의 항복시 내력이 가장 크게 나타났으나 상부 쉬어코넥터의 내력부족(부분합성거동)으로 최대내력에 도달하지 못하고 조기에 수평전단파괴가 일어나 내력이 저하되었다. 하부 플레이트의 두께가 12 mm인 기준형 실험체는 최대내력에 도달한 후 상부 쉬어코넥터의 파괴와 함께 내력이 저하되었다. 두께가 6 mm인 실험체는 최대내력에 도달한 후 지속적인 연성거동을 하다가 상부 쉬어코넥터의 파괴에 따라 내력이 저하되었다.

#### 3.2.2 쉬어코넥터 배치별 비교

그림 4는 쉬어코넥터의 배치 형식에 따른 실험체의 하중-변위 곡선을 나타낸 것이다. 하부 인장플레이트에 쉬어코넥터( $\phi 19@200$ )를 설치한 TSC12C-R00S20 실험체는 하부 플랜지가 항복변형율에 도달(가력하중 28.88 tf)한 후 상부 콘크리트 슬래브와 보의 경계에서 수평전단 파괴로 내력저하가 일어났다. 상부의 쉬어코넥터(HD10@200용 접접합)대신 보의 웹 상단에 전산볼트(@400)를 사용한 TSC12C-B40S20 실험체는 상부 쉬어코넥터가 없는 실험체보다 약간의 내력은 상승하나 수평전단에 전적으로 저항하지는 못한 것으로 판단된다. 하부에 쉬어코넥터가 없는 TSC12C-R20/00 실험체는 가력하중 30.63 tf에서부터 강성이 급격히 저하하였다. 최대내력도 기준형의 83%정도에 머물렀다. 이는 보부분의 콘크리트 휨균열이 분산되지 못하고 집중되어 조기에 파괴한 것으로 판단된다.

#### 3.2.3 하부 플레이트의 용접 방식별 비교

그림 5는 하부 인장 플레이트와 웹 플레이트의 용접 형식에 따른 실험체의 하중-변위 곡선을 나타낸 것이다. 하부 인장플레이트와 웹플레이트의 이음매를 전 길이에 걸쳐 용접한 TSC12C-R20S20 실험체와 단속용접(100@100)한 TSC12P-R20S20 실험체는 강성, 내력 및 변형능력 모두 큰 차이가 없이 나타났다.

#### 3.2.4 TSC보 및 기존형 보의 비교

그림 6은 기존에 사용되어온 RC 및 합성보와 TSC보의 하중-변위 곡선을 비교하여 나타낸 것이다. RC 보는 초기강성 및 최대내력 모두 다른 실험체에 비해 크게 떨어졌으나, 균열이 진행되면서 급격한 내력의 저하 없이 지속적인 연성거동을 보였다. TSC12C-R20S20 실험체와 동일한 내력으로 설계한 H형강 합성보는 강성과 내력면에서 TSC보에 비해 다소 떨어지나 상부 쉬어코넥터의 파괴 후에도 상부 플랜지의 압축저항 거동에 의해 급격한 하중저하 현상은 없었다. TSC 보는 동일내력의 H형강 합성보와 비교하여 초기강성과 내력이 크게 나타났다. 다만, 상부 쉬어코넥터의 파단 후 철골부분에 압축플랜지가 미약하므로 하중저하 현상이 두드러졌다.

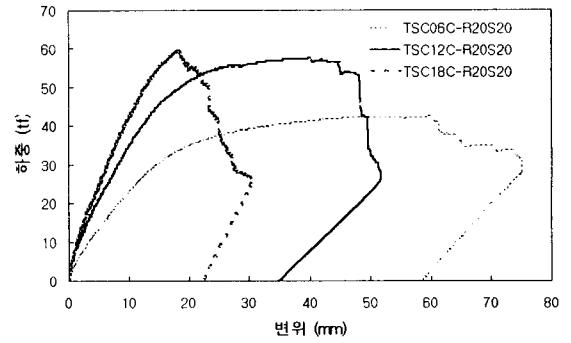


그림 3. 하부플레이트의 두께에 따른 하중-변위 곡선

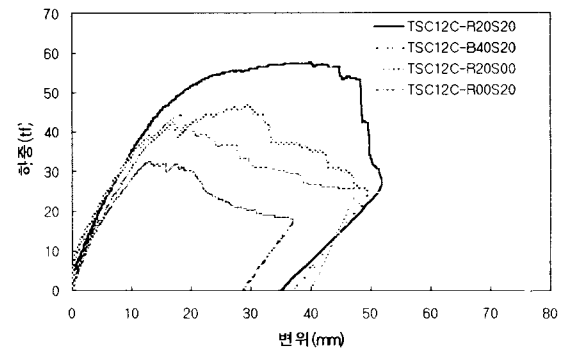


그림 4. 쉬어코넥터 배치에 따른 하중-변위 곡선

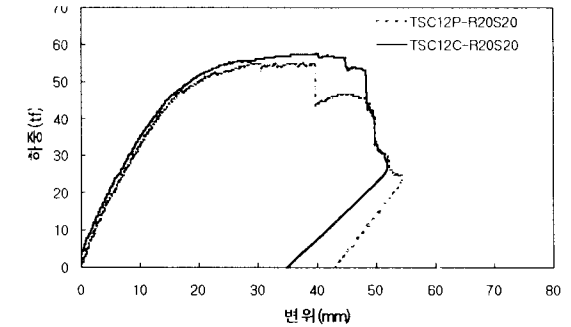


그림 5. 하부플레이트 용접방식에 따른 하중-변위 곡선

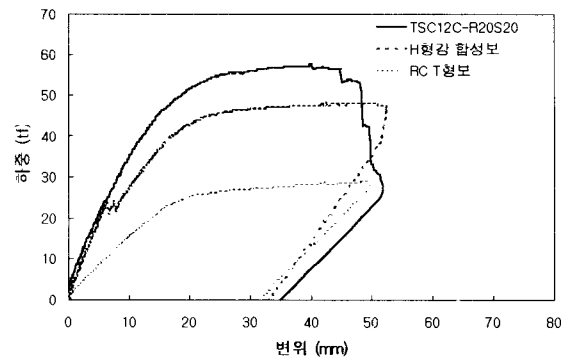


그림 6. TSC보 및 기존형 보의 하중-변위 곡선

### 3.3 파괴성상

1) TSC12C-R20S20(기준형) : 최대하중에 도달한 후 상부의 쉬어코넥터가 점차적으로 파단되면서 상부 플레이트가 국부좌굴을 일으키고 웹부분에 국부좌굴이 발생하였다. 콘크리트 부분의 균열은 수평전단에 의해 발생한 균열

및 보의 하단에서부터 진전된 휨 균열이 슬래브 측면으로 진행되면서 최종파괴에 이르렀다(그림 7).

2) TSC12P-R20S20 : 하부 인장플레이트와 웹플레이트의 이음매를 단속용접(100@100)한 실험체는 기준형 실험체와 거의 유사하게 거동하였으며 파괴시에도 용접부위는 전혀 손상을 입지 않았고 기준형과 동일하게 상부 쉬어코넥터가 파단된 부위에서 콘크리트가 슬래브 부분과 보 부분에 작용하는 수평전단력을 견디지 못하고 파괴되어 합성작용을 상실하고 파괴에 도달하였다.

3) TSC06C-R20S20 : 상, 하부 쉬어코넥터를 기준형과 동일하게 설치하고 인장플레이트의 두께를 6mm로 제작한 실험체로서 기준형과 비교하여 초기강성은 떨어지나 하중이 증가하여도 완전합성작용을 하여 상, 하부 쉬어코넥터의 파단 또는 웹의 국부좌굴 현상은 발생하지 않았으며 전단면이 소성내력을 발휘할 때까지 충분한 변형 능력을 발휘하였다.

4) TSC18C-R20S20 : 상, 하부 쉬어코넥터를 기준형과 동일하게 설치하고 인장플레이트의 두께를 18mm로 제작한 실험체로서 기준형과 비교하여 초기강성이 우수하고 최대내력도 높았지만 인장플레이트 하단이 항복변형도에 도달할 때 상부 쉬어코넥터가 파단되면서 충분한 소성내력을 발휘하지 못하고 52.5 tf부근에서 파괴되었다(그림 8).

5) TSC12C-R00S20 : 상부에 쉬어코넥터를 설치하지 않은 실험체로서 기준형 실험체와 비슷한 강성으로 거동하다가 21.88 tf 부근에서 상부 콘크리트 슬래브와 철골 부분에 슬립현상이 시작되었으며 최대 30.63 tf 하중에 도달한 후 철골의 상부 플랜지 및 웹이 횡좌굴 형태를 보이며 콘크리트 부분과 분리되면서 최종 파괴에 도달하였다.



그림 7. TSC12C-R20S20실험체의 파괴성상

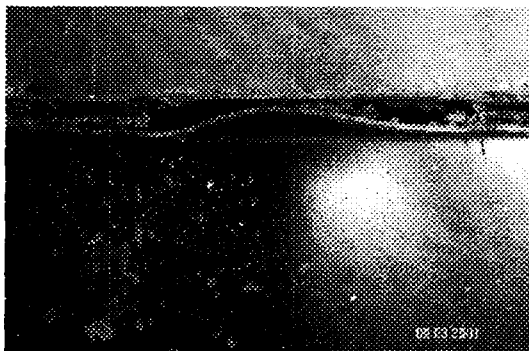


그림 8. TSC18C-R20S20실험체의 파괴성상

6) TSC12C-B40S20 : 상부 쉬어코넥터 대신 전산볼트를 사용한 실험체는 기준형과 같은 초기강성을 유지 하면서 TSC12C-R00S20 시범체보다 다소 큰 수평전단에 대한 구속력을 갖고 최대내력이 약 30%정도 상승한 후 수평전단 파괴에 의해 합성작용을 상실하였다. 전산볼트의 영향으로 상부플랜지 및 웹이 전체적인 횡좌굴형태가 아닌 국부좌굴 형상을 나타내며 최종파괴 하였다.

7) TSC12C-R20S00 : 하부에 쉬어코넥터를 설치하지 않은 실험체는 초기에 콘크리트 하부에 균열이 발생할 때 쉬어코넥터가 없으므로 인해 콘크리트를 구속하지 못하여 균열이 집중하여 발생한 것으로 추정된다. 집중된 균열이 슬래브 상부로 진전되어 상부 쉬어코넥터에 응력을 집중시키는 효과로 가력하중 38.5 tf 부근에서 상부 쉬어코넥터의 파단 및 수평전단파괴를 일으켜 기준형과 같이 최대내력에 도달하지 못하였다.

#### 4. 결 론

TSC system 보의 합성거동에 관한 실험적 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 거의 동등한 내력을 갖게 설계한 H형강 합성보에 비해 TSC12C-R20S20 보의 초기강성 및 최대내력이 우수하게 나타났다.
2. TSC18C-R20S20 실험체는 최대내력을 발휘하지 못하고 초기에 상부의 쉬어코넥터가 파괴되면서 내력이 저하했으며, TSC06C-R20S20 실험체는 최대내력에 도달한 후에도 충분한 연성거동을 보였다. 이는 상부 쉬어코넥터에 의한 합성거동이 최대내력 및 최대내력 이후 연성거동에 중요함을 알 수 있다.
3. 최대내력의 발현 및 연성거동에 있어서 하부 쉬어 코넥터의 역할은 응력의 집중 및 균열의 집중현상을 방지하기 위해 필요하다는 것을 알 수 있다.

이상과 같은 결과로부터 처짐 및 진동 등의 사용성을 개선할 수 있음을 강성 증가로부터 확인하였고, 최대내력의 확보에 의한 안전성, 철골물량의 감소에 의한 경제성을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. D.L.Mullet, The Steel Construction Institute, "Composite floor systems", 1998
2. 대한건축학회, "Composite Metal Deck Slab System 연구", 1996.12
3. 김복순, "역T형 합성보의 내력에 관한 연구", 명지대 석사논문, 1995
4. W.F.Chen & I. Sohal, "Plastic Design and Second-Order Analysis of Steel Frames", Springer-Verlag, 1995