

TSC 합성보의 제작방법에 따른 구조적 거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Structural Behavior for TSC composite beams with various manufacturing methods

○이 지 운* 김 도 훈** 김 성 배*** 이 창 남**** 김 상 섭***** 김 규 석*****
Lee, Ji-Woon Kim, Do-Hoon Kim, Sung-Bae Lee, Chang-Nam Kim, Sang-Seup Kim, Kyu-Suk

Abstract

Composite action can be achieved by providing shear connectors between steel top flange and concrete topping. Composite sections have larger stiffness than the summation of the individual stiffness of slab and beam, therefore, can carry larger load or similar loads with appreciably smaller deflection and are less prone to transient vibration. T-type Steel Composite beam(TSC-beam) is developed and tested. To make the part of steel beam, we used the way of welding two steel plates as well as the way of folding one steel plate.

키워드 : T형 합성보, 쉬어키, 쉬어커넥터, 수평전단력, 합성효과

key word : T-type Steel Composite Beam, Shear Key, Shear Connector, Horizontal Shear Strength, Composite Effects

1. 서론

강구조 건축물은 콘크리트 건축물보다 휨강성이 우수하기 때문에 고층 건축물에서는 강구조가 많이 도입되고 있는 실정이다. 그러나 강구조 건축물은 원자재비 상승과 층고의 증가에 따른 경제성뿐만 아니라 처짐, 진동과 같은 사용성에 문제점을 드러내고 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위해 본 연구의 T형 합성보(이하 TSC라 칭함 ; T type Steel Composite beam)는 철골보 부분의 제작에 있어서 하나의 강판만을 절곡해서 ㄱ형태로 만들거나 하부 쉬어키와 보의 내력에 기여할 것으로 기대되는 보 하부에 돌기 부분(ㄱ)을 만든 두개의 강판을 용접하여 ㄱ형태로 제작한다. 즉, 골이 큰 데크플레이트 형상으로 시공시 거푸집의 기능과 인장재 역할을 극대화함으로써 휨 강성을 증가시킨 보로 기존 RC보를 강판으로 감싼 구조형상이다. 따라서, TSC보는 철골구조와 철근콘크리트구조의 장점을 조합한 구조로서 철근콘크리트구조의 경제성과 철골구조의 공기단축 그리고 휨 강성 개선에 의한 층고절감 및 처짐, 진동 등의 사용성을 개선시킨 구조형식이다.

본 연구는 TSC 합성보에 대한 연구결과의 일부로, 각기 다른 방법으로 철골보를 제작한 TSC보의 구조성능을 실험에 의해 분석하고, 내력평가를 통하여 TSC보의 구조설계 및 시공에 필요한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 실험체

실험체의 단면형상은 그림 1과 같다. 그림 1(a)는 철골보를 하나의 강판을 절곡·성형하여 만든 실험체이고, 그림 1(b)는 보의 내력에 기여할 것으로 기대되는 보 하부에 돌기부분(ㄱ)을 만든 두개의 강판을 중앙부 용접하여 ㄱ형태로 제작한 실험체이다. 그림 1(a)의 일체형 실험체는 하부 쉬어키의 간격에 대한 영향과 스테드와의 비교를 위해 하부 쉬어키의 종류와 간격을 변수로 하였고, 그림 1(b)의 용접형 실험체는 시공의 편리성을 고려하여 쉬어커넥터를 변수로 계획하였으며, 쉬어키의 역할을 할 것으로 기대되는 보 하부 돌기부분(ㄱ)의 성능을 검증코자 하였다. 표 1은 본 연구의 실험체 종류와 변수를 정리한 것이다.

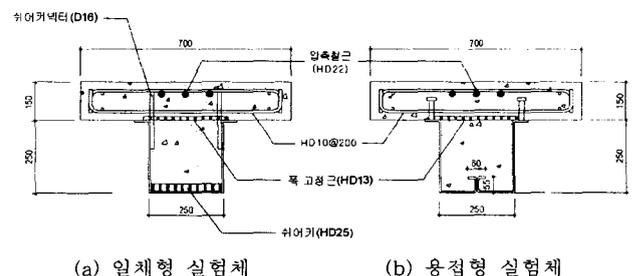


그림 1. 실험체의 단면형상

그림 1(a) 일체형 실험체의 쉬어커넥터는 D16 이형철근을 200mm 간격으로 갈매기 모양(ㄷ)으로 하여 보 안쪽 웨브에 용접하여 설치하였다. 하부 쉬어키는 HD25 이형철근을 200mm, 400mm, 600mm 간격으로 하여 철골보 길이 방향에 수직방향으로 철골보에 용접하여 배치하였고, 또한 D16 스테드를 200mm, 400mm 간격으로 배치하였다.

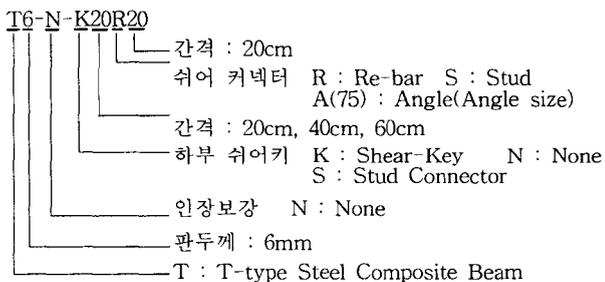
* 정회원, 한국기술교육대학교 대학원 건축공학과 석사과정
** 정회원, (주)센구조연구소 연구개발팀
*** 정회원, (주)센구조연구소 연구개발팀 팀장, 공학박사
**** 정회원, (주)센구조연구소 대표이사
***** 정회원, 한국기술교육대학교 건축공학과 교수, 공학박사
***** 정회원, 동국대학교 건축공학과 교수, 공학박사

그림 1(b) 용접형 실험체의 쉬어커넥터는 ㄱ형강 (75×75×6, 65×65×6, 50×50×6)을 200mm 간격으로 하여 철골보 상부 플랜지 위에 얹어서 용접하였다. 그리고 하부 돌기부분의 성능을 평가하기 위해 철골보 안쪽 바닥에 돌기부분의 양쪽으로 스타드를 400mm 간격으로 교차 배치하였다. 또한 ㄱ형강 쉬어커넥터의 기준 실험체로 스타드를 철골보 상부 플랜지에 200mm 간격으로 용접한 실험체를 계획하였다.

모든 실험체의 철골보 부분 강판은 6mm의 SS400을 사용하였으며, 압축철근은 3-HD22 (SD40)로 배근하였다. 실험체의 지점간 거리는 4000mm(실험체길이 : 4400mm)이고, 슬래브 폭과 두께는 각각 700mm, 150mm이다.

표 1. 실험체 일람표

실험체 명	판두께 (mm)	하부쉬어키	쉬어커넥터	비고
T6-N-K20R20	6	HD25@200	D16@200	하나의 강판으로 제작된 TSC보 (일체형)
T6-N-K40R20	6	HD25@200	D16@200	
T6-N-K60R20	6	HD25@200	D16@200	
T6-N-S20R20	6	D16@200	D16@200	
T6-N-S40R20	6	D16@400	D16@200	
T6-N-NS20	6	×	D16@200	두장의 강판으로 제작된 TSC보 (용접형)
T6-N-NA(75)20	6	×	Angle@200 (75×75×6)	
T6-N-NA(65)20	6	×	Angle@200 (65×65×6)	
T6-N-NA(50)20	6	×	Angle@200 (50×50×6)	
T6-N-S40A(75)20	6	D16@400	Angle@200 (75×75×6)	



2.2 가력 및 측정방법

실험체의 가력은 그림 2와 같이 200tf의 만능시험기(UTM)를 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 인장강판 중앙부에 2개를 부착하였으며, 상부 콘크리트 슬래브 중앙부 1개소에 콘크리트용 스트레인게이지를 부착하였다. 또한 중립축의 위치를 파악하기 위해 철골부재의 웹에 3개, 콘크리트 슬래브 측면 중앙부에 1개의 스트레인게이지를 부착하였다.

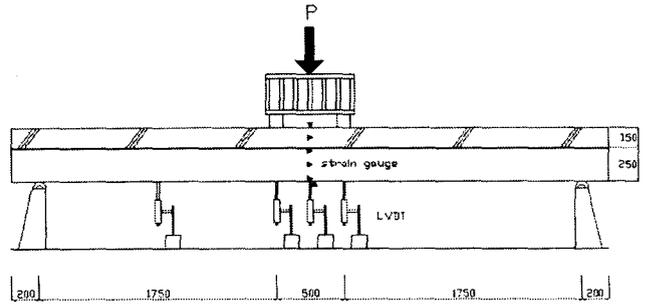


그림 2. 실험체 설치도

2.3 소재 시험

실험체에 사용된 이형철근은 KS B 0801(금속재료 인장시험편 규정)에 따라 10호 시험편으로 제작하였고, 강판(SS400)은 KS B 0801에 따라 5호 시험편으로 제작하여 인장시험을 실시하였으며, 그 결과는 표 2와 같다.

콘크리트의 압축강도 시험용 공시체는 KSF 2404에 따라 직경 100mm, 높이 200mm의 실린더형 몰드를 사용하여 제작하였으며, 공시체는 본 실험체와 동일한 조건 하에서 양생킨 후 본 실험과 동시에 압축강도시험을 실시하였다. 캐핑(Capping) 후 실시한 콘크리트 압축강도는 5개 공시체의 평균값으로 하였으며, 결과는 표 3과 같다.

표 2 강재의 인장강도 시험 결과

시험편	항복강도 (tf/cm ²)	인장강도 (tf/cm ²)	탄성계수 (10 ⁶ kgf/cm ²)	연신율 (%)	
P6	일체형	3.07	3.63	2.17	42.97
	용접형	3.73	5.06	2.07	24.11
D10	4.49	6.58	-	22.88	
D13	4.24	6.53	-	19.86	
D16	4.21	6.28	2.23	30.72	
D22	4.47	7.27	1.97	26.77	
D25	5.17	6.37	2.25	32.02	

표 3 콘크리트 압축강도 시험결과

설계기준강도 (kgf/cm ²)	28일 압축강도 시험결과 (kgf/cm ²)
240	243.7

3. 실험 결과 및 비교

3.1 일체형 실험체에 대한 하부 쉬어키의 영향

한 장의 강판을 ㄱ 형태로 성형하여 제작한 5개의 일체형 실험체를 대상으로 하부 쉬어키의 영향을 비교하였다. 그림 3은 하부 쉬어키를 변수로 한 실험체들의 하중-변위 곡선이다.

200mm 간격의 HD25 이형철근을 하부 쉬어키로 배치한 T6-N-K20R20 실험체를 기준으로 하여, HD25 이형철근을 400mm, 600mm 간격으로 배치, D16 스타드를 200mm, 400mm 간격으로 배치하여 비교하였다.

기준형 실험체인 T6-N-K20R20 실험체와 비교 결과 하부쉬어키를 변수로 한 일체형 실험체들은 모두 강성과 최대내력 및 변형능력에서 큰 차이가 없고, 최대하중에 도달한 후에도 내력 변화가 거의 없이 최대하중의 값을 유지하여 충분한 변형능력을 발휘하였다. 그러므로 하부쉬어키는 HD25 이형철근을 이용하는 경우 600mm, D16 스티드는 400mm까지 내력 및 변형능력의 저감이 없는 것으로 확인되었고, 모두 휨과파괴에 의한 상부 콘크리트 슬래브 압괴의 파괴양상을 보였다. 그림 4는 하부쉬어키에 따른 실험체의 파괴양상이다.

3.2 용접형 실험체에 대한 쉬어커넥터의 영향

쉬어커넥터의 영향은 Γ 형으로 제작한 두 개의 강판에 대해 하부를 용접 제작한 5개 실험체를 비교하였다. 쉬어커넥터 D16 스티드를 200mm 간격으로 배치한 T6-N-NS20 실험체를 기준 실험체로 하여 200mm 간격으로 Γ 형강(75×75×6, 65×65×6, 50×50×6)을 쉬어커넥터로 사용한 실험체들과 비교하였다. 그림 5는 쉬어커넥터를 변수로 한 실험체들의 하중-변위 곡선이다.

Γ 형강이 75와 65인 실험체의 경우(T6-N-NA(75)20, T6-N-NA(65)20) 기준 실험체(T6-N-NS20)와 비교하여 강성과 내력 및 변형능력에서 큰 차이가 없었다.

최대내력 후 콘크리트 슬래브 상부의 크랙이 진전하면서 하중이 저하되기 시작하였지만, 급격한 하중저하 없이 실험 종료 시까지 항복하중 이상의 내력을 유지하면서 거동하였다. 그러나 50×50×6의 Γ 형강을 200mm 간격으로 배치한 T6-N-NA(50)20 실험체의 경우 Γ 형강의 불완전 합성으로 한순간 하중이 급격히 저하되면서 보마구리 부분이 약 25mm 정도 밀리는 현상이 발생하였고 그 후 항복하중을 유지하면서 거동하였지만 기준실험체와 비교하여 강성과 최대내력 및 변형능력에서는 큰 차이가 없었다. 쉬어커넥터를 변수로 한 실험체 또한 모두 휨과파괴에 의한 상부 콘크리트 슬래브 압괴의 파괴양상을 보였다. 그림 6은 실험체의 파괴양상이다.

일체형 실험체의 하중-변위 곡선인 그림 3과 용접형 실험체의 하중-변위 곡선인 그림 5를 비교해보면, 일체형 실험체는 항복 후 최대하중의 값을 계속 유지하면서 거동하였고, 용접형 실험체는 최대하중 후 하중이 약간 감소한 후 항복하중의 값을 유지하면서 거동한 차이가 있다. 이런 차이는 제작방법에 의한 영향 보다는, 재료시험의 결과에서 알 수 있듯이 일체형 실험체의 강판은 항복비가 작고 연신율이 큰 반면 용접형 실험체의 강판은 항복비가 크고 연신율이 작았으므로 강재의 재료적 특성에 따른 영향이 있었다고 판단된다.

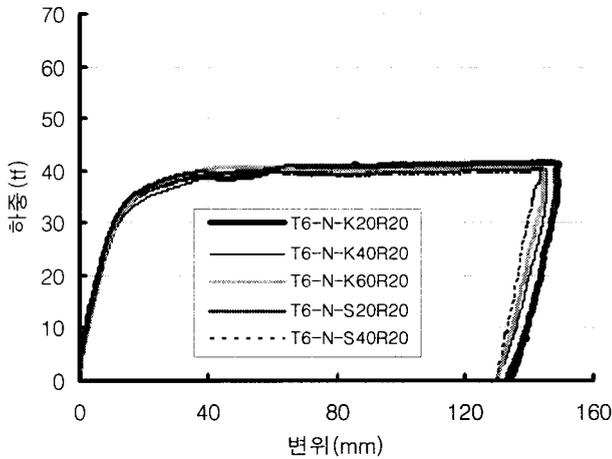


그림 3. 하부 쉬어키에 따른 하중-변위 곡선

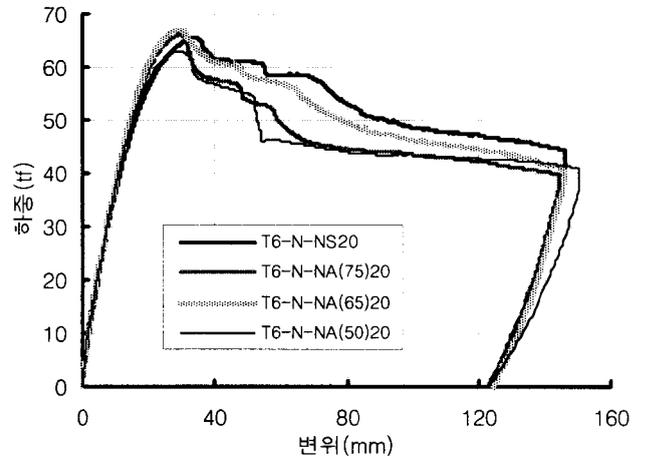


그림 5. 쉬어커넥터에 따른 하중-변위 곡선

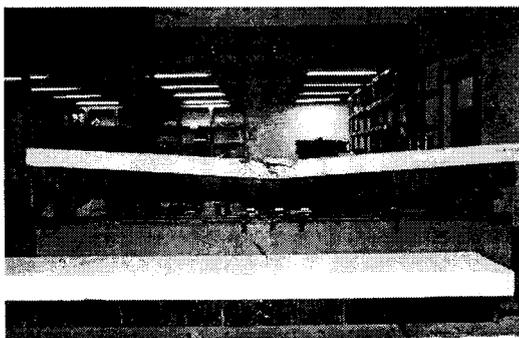


그림 4. T6-N-S40R20 실험체의 파괴양상



그림 6. T6-N-NA(75)20 실험체의 파괴양상

3.3 돌기부분의 영향

용접형 실험체의 하부에 있는 돌기부분(\perp)의 성능을 평가하고자 철골보 하부에 스티드가 없고 돌기부분만 있는 T6-N-NA(75)20 실험체와 하부에 돌기와 함께 스티드를 400mm 간격으로 교차 배치한 T6-N-S40A(75)20 실험체를 비교하였다. 그림 7은 돌기부분의 영향을 변수로 한 실험체의 하중-변위 곡선이다.

비교 결과 최대내력 및 변형능력의 차이가 없는 것으로 보아 보 하부의 돌기부분(\perp)이 쉬어키 역할을 충분히 하는 것으로 판단된다.

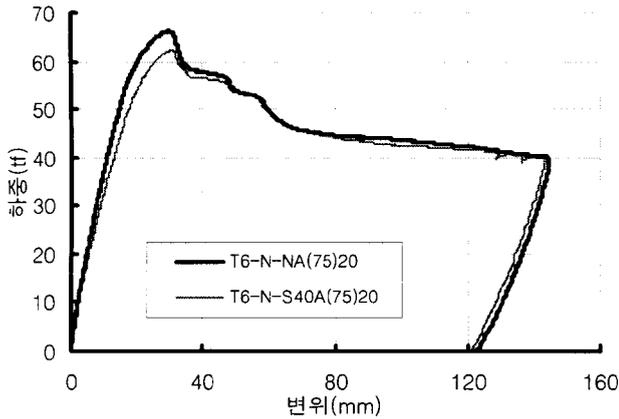


그림 7. 돌기부분의 영향에 따른 하중-변위 곡선

표 4. 실험결과

실험체	항복하중시		최대하중시		(1)	(2)
	하중	변위	하중	변위		
T6-N-K20R20	33.86	17.75	41.53	149.2	1.23	8.41
T6-N-K40R20	32.01	16.27	40.30	145.8	1.26	8.96
T6-N-K60R20	33.00	15.54	40.81	144.6	1.24	9.31
T6-N-S20R20	33.71	15.49	41.73	148.6	1.24	9.59
T6-N-S40R20	33.23	14.79	40.12	144.2	1.21	9.75
T6-N-NS(20)	44.16	13.78	65.52	35.60	1.48	2.58
T6-N-NA(75)20	42.35	12.00	66.20	30.80	1.56	2.57
T6-N-NA(65)20	47.33	13.78	67.02	30.20	1.42	2.19
T6-N-NA(50)20	45.29	13.87	63.13	30.20	1.39	2.18
T6-N-NS40A(75)20	41.61	13.75	62.12	31.00	1.49	2.25

주) * 하중 : tf, 변위 : mm

** (1) : 최대하중 / 항복하중

*** (2) : 최대하중시 변위 / 항복하중시 변위

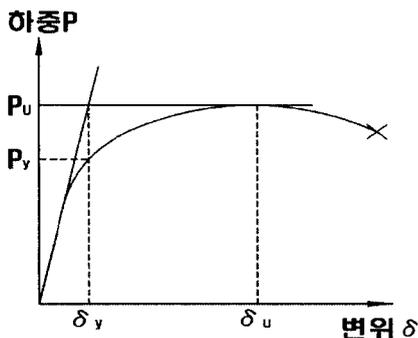


그림 8. 항복하중 산정법

3.4 항복하중 및 최대내력

실험결과에서 항복하중은 그림 8과 같은 방법으로 평가하였다.⁽⁶⁾ 항복하중은 초기강성과 최대내력의 선을 교차 시켜 만나는 점을 항복변위로 산정하였고, 이 항복변위와 실험곡선이 만나는 점의 하중을 항복하중으로 정의하였다. 초기강성은 실험곡선 상의 직선 구간의 기울기를 기준으로 산정하였다.

표 4는 실험결과를 바탕으로 항복하중, 최대내력 및 그때의 변위이다. 일체형 실험체의 경우 일정 변위 이상에서는 변위에 따른 하중변화가 거의 없기 때문에 실험 종료 시의 변위를 최대변위로 하였다.

5. 결론

본 연구에서는 하나의 강판을 성형하여 만든 일체형 실험체와 보 하부에 돌기부분을 포함한 두개의 강판을 용접 제작한 용접형 실험체를 제작하여 쉬어키넥터와 쉬어키의 영향을 확인하였고, 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 6mm 강판을 \perp 형태로 성형한 일체형 실험체의 경우 하부 쉬어키는 HD25 이형철근 사용 시 600mm, D16 스티드는 400mm까지 내력 및 변형능력의 감소가 없어 쉬어키의 종류와 배치간격에 의한 영향은 적은 것으로 판단된다.

2. 6mm 강판을 \perp 형태로 용접 제작한 실험체의 경우 쉬어키넥터는 \perp 형강 75×75×6과 65×65×6이 사용 가능한 것으로 판단된다.

3. 두 개의 플레이트를 용접제작한 실험체의 경우 보 하부의 돌기부분(\perp)이 있는 경우 별도의 쉬어키를 설치하지 않아도 내력 및 변형능력의 변화가 없어 돌기가 쉬어키의 역할을 하는 것으로 판단된다.

4. TSC 합성보의 철골보 제작은 일체형 실험체와 같이 하나의 강판을 절곡하여 제작하는 것이 가능하고, 또한 두개의 강판으로 제작한 용접형 실험체와 같이 두개의 강판을 용접하여 제작하는 것도 가능하다. 이 때 실험 결과의 차이는 강재의 항복비 및 연신율이 서로 다른 재료적 특성에 의한 차이라고 판단된다.

참고문헌

- 선병택(1981), "이형철근을 이용한 합성보의 Shear Connector내력에 관한 연구", 한양대, 대한건축학회지 25권101호 pp.47-51.
- 한상윤(1987), "합성보에 있어서 이형철근을 사용한 Shear Connector의 내력에 관한 실험적 연구", 중앙대, 대한건축학회학술대회 논문집7권 제1호, pp.445-448.
- 홍순조(1982), "합성보 Shear Connector 설계 및 시공에 관한 연구", 청주대, 대한건축학회지 26권105호 pp.48-53.
- 황만규, 이은택(1986) "합성보에 있어서 Bond Shear Connector의 내력에 관한 실험적 연구(I)(II)", 중앙대, 대한건축학회학술대회 논문집, pp.193-196.
- D.L.Mullet(1988), "Composite floor systems", The Steel Construction Institute
- 建設省建築研究所(1994.12), (社)鋼材俱樂部, '鋼構造の耐震保有性能評價のための標準試験方法及評價基準の提案'.