

TSC 기둥-보 접합부의 거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Behavior of TSC Beam-Column Connection

○표 현 석* 김 성 배** 김 상 모*** 이 창 남**** 김 상 섭***** 김 규 석*****
Pyo, Hyun-Seok Kim, Sung-Bea Kim, Sang-Mo Lee, Chang-Nam Kim, Sang-Seup Kim, Kyu-Seok

Abstract

Connection is necessary element of every structure. Connection is important element to increase composition rate of composite beam. Welding joint has been used at composit beam-column connection. Welding joint's quality control is harder than high strength bolt's one. This study based on the experiments of 4 specimens by beam-column connection test. In this paper, we analyze behavior of composite beam-column connection through an experimental study and wish to present application possibility to TSC beam.

키워드 : TSC 합성보, 접합부, 고력볼트, 합성효과

key word : TSC Composite Beam, Connection, High Strength Bolt, Composite Effects

1. 서론

지금까지 국내에서 건설되는 대부분의 주거용 건축물은 평면 변경이 불가능한 내력벽식 구조를 사용해왔다. 그러나 최근 공간의 자유도를 높이기 위해 골조-전단벽식 구조방식을 적용하는 사례가 늘어나고 있다. 그러나 이런 골조-전단벽식 구조의 건축물은 층고의 증가에 따른 경제성뿐만 아니라 처짐, 진동과 같은 사용성에 문제점을 드러내고 있다.

이런 문제점을 해소하기 위해 철근콘크리트 바닥 슬래브와 철골보의 합성작용으로 하중에 저항하도록 구성된 합성보 구조시스템이 개발되고, 합성보를 구성하는 철골보와 콘크리트 슬래브의 경계면에서 발생하는 수평전단력에 저항하기 위해서는 쉬어커넥터(Shear Connector)가 필요하다. 쉬어커넥터가 배치된 합성보 구조는 철골보의 효율적인 사용뿐만 아니라 구조물 전체의 강성 및 내력을 높일 수 있다.

TSC 합성보는 U자 모양(□)의 철골보에 이형철근 또는 ㄷ형강을 쉬어커넥터로 사용하여 철골보 웹 안쪽면 또는 상부 플랜지 위에 용접하고, 이형철근과 스티드를 하부 쉬어키로 사용하여 하부 플랜지에 용접·접합하고 내부공간에 콘크리트를 채워서 바닥슬래브와 일체화시킨 합성 구조이다. TSC 합성보의 휨내력과 쉬어커넥터의 전단내력은 보 실험과 Push-Out Test "TSC보의 휨특성에 관한 평가연구"로 검증하였다.

본 연구에서는 TSC 합성보 접합부를 개발하고 실험을 통해 접합성능과 내력을 검증하고자 한다.

2. 실험체 및 실험 방법

2.1 실험체의 개요

실험체는 TSC 합성보와 H형강 합성보의 기둥 접합부의 접합성능을 평가하기 위해 H형강 합성보 접합부를 기준 실험체로 하고, TSC 합성보의 접합형태를 변수로 하여 실험체를 제작하였다. 보 부재에 사용된 강재의 단면적과 단면2차모멘트 값은 각각 H형강 합성보는 37.66cm², 4,050cm⁴이고, TSC 합성보는 52.56cm², 4,921cm⁴으로 비슷한 단면적과 단면2차모멘트 값을 갖도록 하였다. H형강 합성보의 접합부는 보의 웹과 플랜지를 용접하는 일반적인 접합형태를 사용하였다. TSC 합성보의 접합형태는 전단 접합, 인장 접합, 전단 및 인장 접합을 한 실험체로 구별된다. 전단 접합은 TSC보 웹에 8mm 플레이트를 대고 한쪽 면에 F10T M22 고력볼트 3개씩, 총 6개로 접합하였고, 인장 접합은 TSC보 하부 플랜지에 15mm 플레이트를 대고 F10T M22고력볼트 6개로 접합하였다. 또한 전단 및 인장 접합 실험체는 두 가지 방법을 병행하여 사용하였다. 표 3은 실험체의 종류와 변수를 정리한 것이다.

실험체의 압축철근은 6-HD22로 배근하였으며, 그중 2본의 압축철근은 H형강 플랜지에 구멍을 뚫어 관통시켰다. 쉬어커넥터는 D16의 이형철근을 갈매기 모양(ㄷ)으로 절곡하여 200mm간격으로 보웹에 아크모살용접으로 일체화 시켰다.

실험체 제작에 사용된 콘크리트는 240kgf/cm²으로 설계하였고, 강재는 SS400을 사용하였으며, 콘크리트 및 강재의 재료시험 결과는 표 1 및 표 2와 같다.

* 정회원, 한국기술교육대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, (주)센구조연구소, 연구개발팀장, 공학박사

*** 정회원, (주)센구조연구소, 부장

**** 정회원, (주)센구조연구소, 대표이사

***** 정회원, 한국기술교육대학교 건축공학과 교수, 공학박사

***** 정회원, 동국대학교 건축공학과 교수, 공학박사

표 1 콘크리트 압축강도 시험결과

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

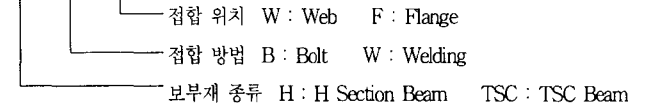
표 2 강재의 인장 시험결과

시험편	항복강도 (tf/cm ²)	인장강도 (tf/cm ²)	탄성계수 (10 ⁶ kgf/cm ²)	연신율 (%)
P-6	3.14	3.68	2.17	42.97
P-9	3.32	4.54	1.98	36.12
P-14	2.94	4.43	2.03	41.40
D-16	4.21	6.28	2.23	30.72
D-22	4.47	7.27	1.97	26.77
D-25	5.19	6.39	2.25	32.02

표 3 실험체 일람표

실험체	접합 형식	단면적 (cm ²)	단면2차모멘트 (cm ⁴)	비고
H-W-WF	용접 접합	37.66	4,050	기준 실험체
TSC-B-W	고력볼트 접합	52.56	전단 접합	
TSC-B-F	고력볼트 접합	52.56	4,921	인장 접합
TSC-B-WF	고력볼트 접합	52.56	4,921	전단 및 인장 접합

TSC - B - WF



2.2 실험 방법

접합부의 실험은 용량이 200tf인 만능재료 실험기(이하 U.T.M)를 이용하여 사진 1과 같이 설치한 후 단순 가력하였다. 일반 건물의 접합부에서는 부모멘트가 발생하여 인장과 압축이 바뀌기 때문에 사진 1과 같이 실험체를 뒤집은 상태에서 가력하였다. 가력속도는 분당 2mm의 속도로 변위 제어했다.

실험체의 상대 변위 측정을 위해 기둥 하부 웹 중앙과 플랜지 중앙 두 곳에 LVDT를 설치하고 보의 회전각을 측정하기 위해 보 측면과 보 하부 플랜지에 각각 한 개의 LVDT를 설치하였다. 또한 중립축의 위치를 판단하기 위해 철골보 웹에 3개, 콘크리트 슬래브 측면 중앙부에 1개의 스트레인 게이지(strain gauge)를 부착하였다. LVDT 및 스트레인 게이지의 부착위치는 그림 2와 같다.

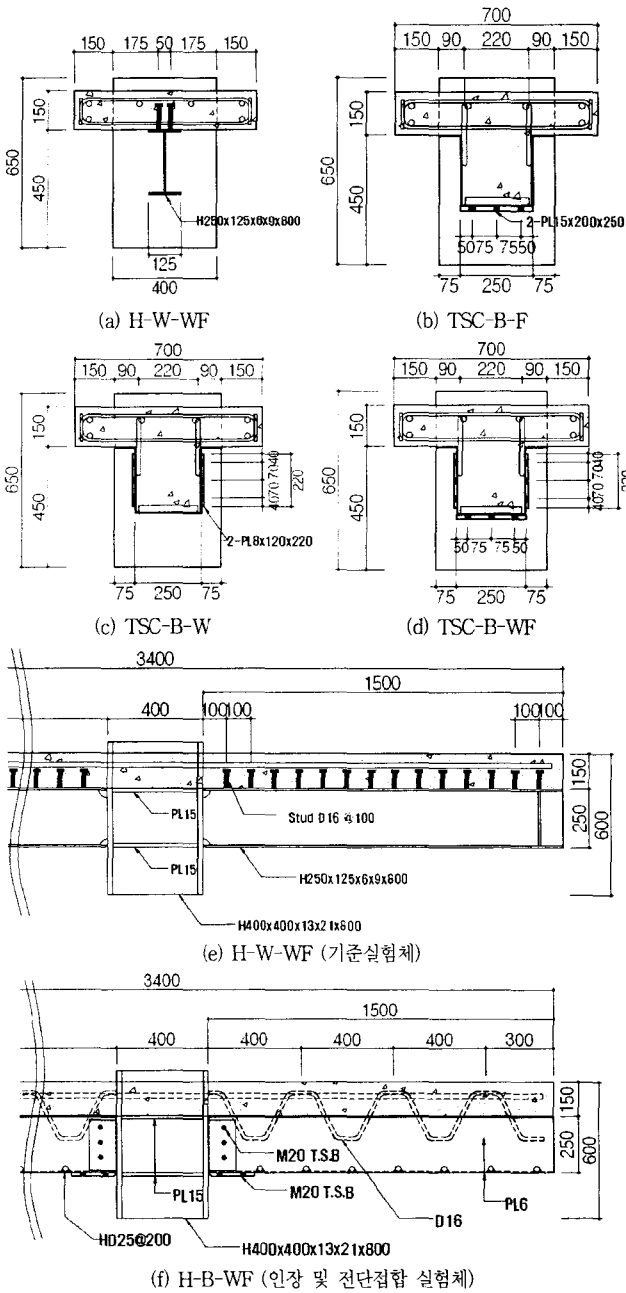


그림 1 실험체 형상 및 치수

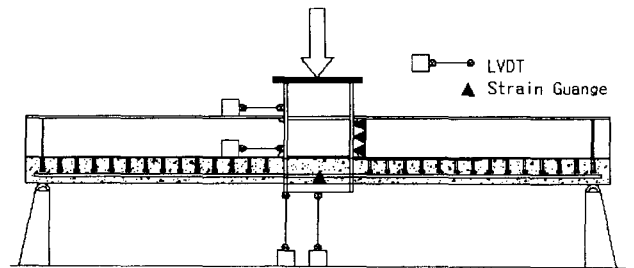


그림 2 실험체 가력도 및 게이지 부착위치

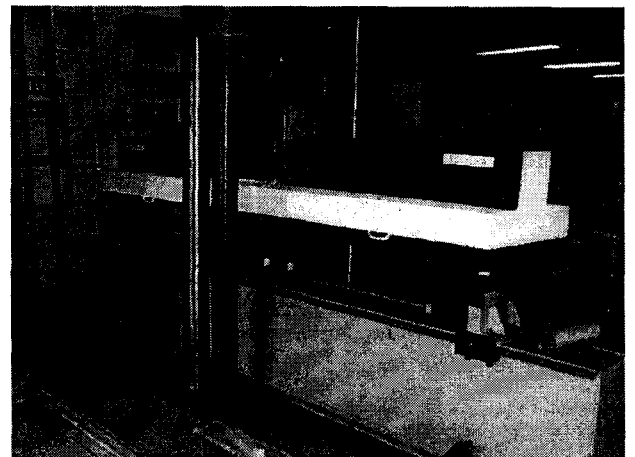


사진 1 실험체 설치 전경

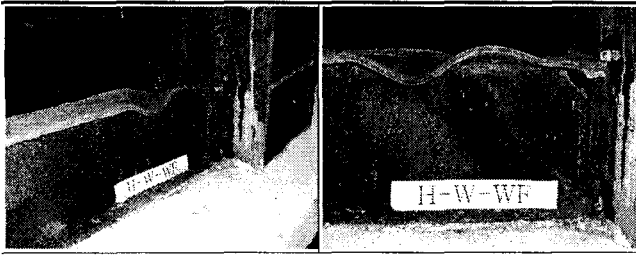


사진 2 H-W-WF 실험체 파괴형상

3. 실험결과 및 고찰

3.1 최대하중 및 파괴성상

3.1.1 H-W-WF 실험체

H-W-WF 실험체는 TSC 합성보 접합부의 성능을 평가하기 위한 기준 실험체로 제작하였다. 보 부재는 기둥 플랜지에 강축접합으로 용접접합 하였다. 합성보의 수평 전단력을 분담하기 위한 쉬어키넥터로 총 28개의 D16의 스티드를 사용하였다. H-W-WF 실험체는 가력 시작 후 9.24tf에서 초기 균열이 발생하여, 최대하중 32.45tf에 도달하였다. 최대하중 도달 후에도 급격한 내력 저하는 발견되지 않았으며, H형강에 사진 2와 같이 국부좌굴을 일으키며 파괴되었다.

3.1.2 TSC-B-W 실험체

TSC-B-W 실험체는 총 12개의 F10T M22 고력볼트로 TSC 합성보를 H형강 기둥 강축에 전단 접합한 실험체이다. TSC-B-W 실험체는 가력 시작 후 6.36tf에서 가력지점의 인장측 콘크리트에서 균열이 발생하기 시작하여, 최대하중 53.41tf에 도달한 후 서서히 내력 저하를 보이며 파괴되었다. 기둥 H형강과 TSC 합성보의 접합된 부위의 덧댄 플레이트에서 국부좌굴이 사진 3과 같이 발견되었다.



사진 3 TSC-B-W 실험체 파괴형상

3.1.3 TSC-B-F 실험체

TSC-B-F 실험체는 H형강 기둥 강축과 TSC 합성보 하부 접합부위에 15mm의 플레이트를 대고 F10T M22 고력볼트 총 12개를 체결하여 인장 접합한 실험체이다. TSC-B-F 실험체는 23.5tf에서 초기 균열이 발생하였고, 가력지점에서 양 지점 방향으로 균열이 발전하는 양상을 보였다. 최대하중 59.27tf에서 서서히 하중이 감소하였으며, 급격한 내력의 감소는 발견되지 않았다. 사진 4와 같이 덧댄 플레이트와 보하부의 플랜지에서 국부좌굴이 발견되었다.



사진 4 TSC-B-F 실험체 파괴형상

3.1.4 TSC-B-WF 실험체

TSC-B-WF 실험체는 앞서 설명한 두 가지의 TSC 합성보의 접합방식을 이용하여, 전단 접합과 인장 접합을 모두 한 실험체이다. H형강 강축과 TSC 합성보의 접합 부위에 플레이트를 대고 총 24개의 F10T M22 고력볼트를 이용하여 접합하였다. TSC-B-WF 실험체는 가력 시작 후로부터 하중이 18tf에 이르렀을 때 초기균열 발생하였다. 초기균열은 가력지점에서 지점 양단으로 점점 발전하는 양상을 보였으며, 최대하중 64.62tf에서 하중이 서서히 감소하기 시작하였다. 급격한 내력의 저하는 보이지 않았고, 사진 5와 같이 플레이트와 TSC 합성보의 웨브와 플랜지의 접합부위에서 국부좌굴을 보이며 파괴되었다.



사진 5 TSC-B-WF 실험체 파괴형상

3.2 하중 변위 곡선

모든 실험체의 하중 변위 곡선은 그림 3과 같다. 기준 실험체인 H-W-WF 실험체가 최대하중 및 변형 능력이 가장 불량한 것으로 나타났다. TSC 합성보 접합부의 경우 접합부에서 발생하는 부모멘트로 인하여 합성보의 하부가 압축력을 분담하게 되는데, 그 때의 압축력을 절곡된 철판내의 콘크리트가 분담하여 최대하중 및 변형능력이 증대된다고 판단된다. 반면 기존 H형강 합성보의 경우는 압축력을 H형강만이 분담하기 때문에 TSC 합성보와 비슷한 크기의 단면적 및 단면2차모멘트값을 적용하였는데도 좌굴로 인한 하중 저감과 변형능력의 저감이 보여진다. 또한 실험체의 초기강성을 나타내는 하중-변위 곡선의 초기 접선 또한 TSC 합성보의 접합부가 H형강 합성보의 접합부 보다 큰 것으로 나타났다.

플랜지와 웨브를 모두 고력볼트 접합한 TSC-B-WF 실험체의 경우에는 기준실험체인 H-W-WF 실험체보다 최대하중이 약 2배가량 높게 측정되었다.

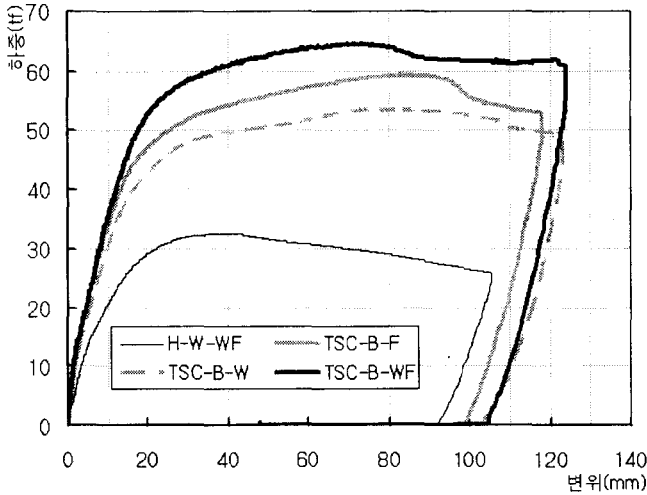


그림 3 실험체의 하중-변위 곡선

3.3 실험체의 항복하중

각 실험체의 항복하중 산정 방법은 그림 4와 같다.

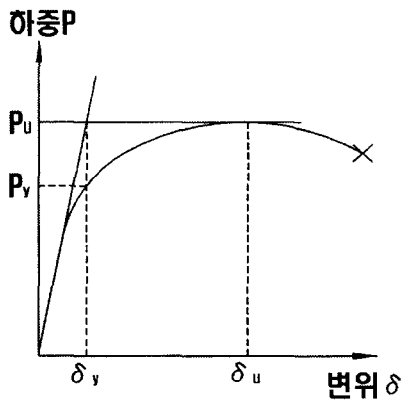


그림 4 항복하중 산정법

각 실험체의 항복하중과 항복하중시 변위 및 최대하중과 최대하중시 변위는 표 4와 같다. 항복하중은 전단 및 인장 접합을 한 TSC-B-WF 실험체가 52.85tf로 가장 높은 값을 나타냈다. 기준실험체인 H-W-WF 실험체는 항복하중이 21.91tf로 TSC 합성보의 접합부 실험체보다 낮은 값으로 측정되었다. TSC 합성보 접합부의 최대하중에 대한 항복하중의 비는 1.30~1.22의 값으로 나타났으며, 평균값은 1.27로 나타났다. 또한 최대하중시 변위와 항복하중시 변위의 비는 TSC 합성보 접합부의 경우에는 4.09~3.64의 값을 나타냈으며, 평균적으로 4.15의 값을 보였다. 이는 기준실험체인 H형강 합성보 접합부의 1.48 보다 큰 값으로 나타났으며, TSC 합성보 접합부가 H형강 합성보의 접합부보다 항복하중에 도달한 이후 최대하중까지 변형능력이 크기 때문이라고 판단된다. 모든 실험체가 최대하중에 도달한 이후 실험 종료 시까지 급격한 내력저하는 보이지 않고 완만한 변형이 보이며 파괴되었다.

표 4 실험결과

실험체	항복하중시		최대하중시		(1)	(2)
	하중	변위	하중	변위		
H-W-WF	21.91	7.43	32.45	11.00	1.48	1.48
TSC-B-W	41.10	18.00	53.41	73.70	1.30	4.09
TSC-B-F	45.67	18.00	59.27	84.90	1.30	4.72
TSC-B-WF	52.85	20.20	64.62	73.60	1.22	3.64

주) * 하중 : tf, 변위 : mm

** (1) : 최대하중 / 항복하중

*** (2) : 최대하중시 변위 / 항복하중시 변위

4. 결론

TSC 합성보의 접합부를 계획하고 실험을 통해 TSC 합성보 접합부의 구조적 성능을 검증하는데 그 목적을 두었으며, 실험 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) TSC 합성보의 접합부 실험체인 TSC-B-W, TSC-B-F, TSC-B-WF 실험체는 모두 기존의 H형강 합성보의 접합부보다 최대내력, 초기강성, 최대변위가 우수하게 나타났다. 전단 및 인장 접합을 한 TSC-B-WF 실험체의 경우에는 H-W-WF 실험체보다 최대내력 및 항복하중이 약 2배가량 높은 것으로 나타났다.

2) 모든 실험체에서 국부적인 좌굴이 발견되어 접합부의 파괴가 국부적인 좌굴에서 기인하는 것으로 보이나 TSC 합성보의 접합부 경우에는 부모멘트로 인한 보 하부의 압축력을 철골보와 콘크리트가 합성 작용하여 좌굴에 저항하는 것으로 판단된다.

3) 기준실험체인 H-W-WF 실험체는 항복 후 얼마 지나지 않아 최대하중에 도달하고 하중이 서서히 감소하나, TSC 합성보의 접합부 경우에는 항복 후에도 일정구간 하중이 증가하다가 최대하중에 도달한 후 서서히 하중이 감소하는 경향을 보였다. 이는 TSC 합성보의 접합부가 H형강 합성보의 접합부보다 접합부에서 발생하는 부모멘트에 효과적으로 저항할 수 있는 것으로 판단된다.

이상과 같은 결과로부터 전단 접합, 인장 접합, 전단 및 인장 접합 방법은 모두 TSC 합성보의 접합부 형태로 적용할 수 있다고 보여진다.

참고문헌

1. 최재우(2002), "TSC 합성보의 내력에 관한 해석적 연구" 대한건축학회 학술발표대회 제22권 제1호 pp.179-182
2. 이지운(2003), "T형 합성보의 구조거동에 대한 실험적 연구", 대한건축학회 학술발표대회 제23권 제2호 pp.265-268
3. 이상엽(2003), "T형 합성보의 Shear Connector 형태에 따른 전단내력 평가", 대한건축학회 학술발표대회 제23권 제2호 pp.269-272
4. 建設省建築研究所(1994.12), (社)鋼材俱樂部, '鋼構造物の耐震保有性能評價のための標準試験方法と評價基準の提案'.