大韓建築學會 學術發表論文集
第23卷 第2號 2003年 10月 24~25日

T형 합성보의 Shear Connector 형태에 따른 전단내력 평가

Shear Strength of Shear Connector Type for T-type Steel Composite Beam

○이 상 업* 표 현 석** 김 도 훈*** 이 창 남**** 김 상 섭*****
Lee, Sang-Eob Pyo, Hyun-Seok Kim, Do-Hoon Lee, Chang-Nam Kim, Sang-Seup

Abstract

Stud connector has been used by shear connector of composite beam. Shear connector is important element to heighten composition rate of composite beam. This study based on the experiments of 15 specimens by Push-Out Test. In this paper, we analyze shear connector of other form instead of stud connector through an experimental study and wish to present application possibility to T-type Steel Composite beam.

키워드 : T형 합성보, 쉬어 코넥터, 수평전단력, 합성효과
key word : T-type Steel Composite Beam, Shear Connector, Horizontal Shearing Force, Composite Effects

1. 서론

오늘날의 고층 철골 건축물의 골조는 바닥구조를 철근콘크리트로 하는 합성보 구조시스템을 많이 사용되고 있다. 합성보의 Shear Connector(이하 쉬어 코넥터)는 철골보와 콘크리트의 합성작용을 통해 철골보와 콘크리트 슬래브의 경계면에서 발생하는 수평전단력에 저항하는 역할을 하는 부재이다. 이러한 쉬어 코넥터의 작용은 합성보에서 철골보의 효율적인 사용과 더불어 구조물 전체의 강성과 내력을 높일 수 있다.

이러한 합성구조의 합성효과와 전단내력에 대한 실험방법은 압발실험(押拔實驗, 이하 Push-Out Test)과 보실험이 있으나, 보실험에 비해 Push-Out Test가 간편하고 안전측의 내력식을 얻을 수 있기 때문에 쉬어 코넥터의 전단내력을 평가하는 방법으로 Push-Out Test를 보편적으로 사용하고 있다.

철골구조에서의 처짐, 진동과 같은 사용성의 문제점과 철근콘크리트구조의 단면이 커지는 단점을 보완하기 위해서 최근 합성구조의 개발이 활발히 진행 중이며, 일부는 이미 현장에서 사용되고 있다. 이에 새로이 제안된 T형 합성보(이하 TSC : T-type Steel Composite beam)에서는 기존의 Stud Connector(이하 스터드)를 대신할 새로운 형태와 재료를 갖는 쉬어 코넥터를 제안하고자 한다.

이에 본 연구는 새로운 합성보 구조시스템이라 할 수 있는 TSC 합성보에 대한 연구결과의 일부로, 스터드를 대신할 새로운 형태의 쉬어 코넥터의 전단내력과 하중-변위의 관계를 실험을 통해서 규명하고, 이형철근과 C-Channel을 이용한 쉬어 코넥터가 스터드 이상의 전단내력과 합성효과를 보유하고 있는지에 대한 연구를 목적으로 하고 있다.

2. 실험체 및 실험 방법

2.1 실험체의 개요

실험체의 제작에 사용된 이형철근과 H형강의 기계적 성질은 표 1과 같다.

또한 실험체에 사용된 콘크리트의 배합비와 압축강도 압축시험결과는 표 2와 같다. 콘크리트 압축시험은 콘크리트 타설 후 28일 강도를 기준으로 측정하였다.

Push-Out 실험체는 BS CP 117, Part 1에 따라 그림 1과 같이 제작하였으며, 각 시리즈 실험체 마다 3개씩 모두 15개를 제작하였다. 스터드 및 쉬어 코넥터는 H형강에 아크모살용접으로 접합되어 있다.

표 1 소재의 인장강도 시험결과

구 분	항복강도 (tf/cm^2)	인장강도 (tf/cm^2)	탄성계수 ($10^6 kgf/cm^2$)	연신율 (%)
D16 이형철근	4.21	6.27	2.23	30.72
H형강 플랜지(14mm)	2.82	4.39	2.03	41.40
H형강 웨브(9mm)	3.09	4.45	1.98	36.12

표 2 콘크리트 배합비

설계강도 (kgf/cm^2)	W/C	S/A	단위 골재량(kgf/m^3)				평균 압축강도 (kgf/cm^2)
			W	C	S	G	
240	50.4	46.9	177	353	843	943	243.7

주) W : 물 C : 시멘트 S : 잔골재량
G : 굵은 골재(최대치수 25mm)

* 정회원, (주)대민건설 대표이사. 한국기술교육대 석사과정
** 정회원, 한국기술교육대학교 건축공학과 석사과정
*** 정회원, (주)센구조연구소, 연구개발팀
**** 정회원, (주)센구조연구소, 대표이사
***** 정회원, 한국기술교육대학교 건축공학과 교수, 공학박사

실험체에 사용된 쉬어 코넥터의 형상, 사용소재 및 접합위치는 그림 1 및 표 3과 같다.

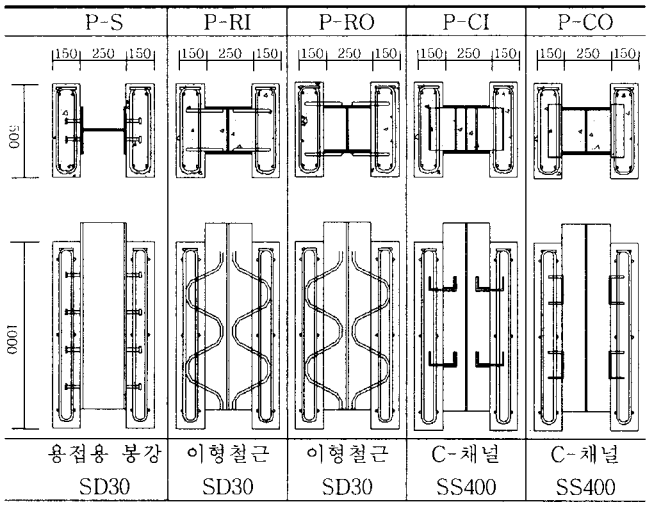


그림 1 실험체 형상 및 치수

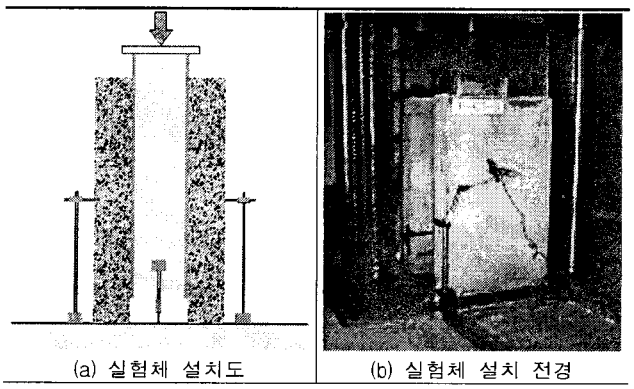
표 3 쉬어 코넥터 종류 및 접합위치

실험체	쉬어코넥터	접합위치
P-S-1,2,3	D16@200	2열4줄 양쪽플랜지
P-RI-1,2,3	D16 이형철근	H-형강 플랜지 안쪽
P-RO-1,2,3	D16 이형철근	H-형강 플랜지 바깥쪽
P-CI-1,2,3	150×75×6.5×10 C-채널	H-형강 플랜지 안쪽면
P-CO-1,2,3	150×75×6.5×10 C-채널	H-형강 플랜지 바깥면

P-S-1
- Series 1, 2, 3
- S : Stud Connector
- RI : Re-Bar In　　RO : Re-Bar Out
- CI : C-Channel In　　CO : C-Channel Out
- Push-Out Test

2.2 실험 방법

Push-Out Test는 용량이 200tf인 만능재료 실험기(이하 U.T.M이라고 한다)를 이용하여 그림 2와 같이 설치한 후 단순 가력으로 재하하였다. 가력속도는 분당 2mm의 속도로 변위 제어로 재하하였다.



(a) 실험체 설치도　　(b) 실험체 설치 전경

그림 2 실험체의 설치 및 실험 전경

변위 측정은 Push-Out 실험체의 상대변위를 알기위해 LVDT(100mm)를 H형강 플랜지에 그림 2와 같이 양면에 설치하였고, 콘크리트의 탈락 및 벌어짐을 측정하기 위해 콘크리트면의 좌우에 LVDT(50mm)를 설치하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 최대하중 및 파괴성상

3.1.1 P-S (기준형)시리즈

P-S 시리즈 실험체는 쉬어 코넥터로 기존의 스터드를 사용한 실험체로 플랜지 양쪽에 2열 4줄로 총 16개의 스터드를 아크모살용접으로 접합되어 있다. 전반적으로 콘크리트의 파쇄 이전에 스터드가 모두 전단파괴되는 파괴성상으로 나타났다. 스터드를 아크모살용접으로 H형강에 접합하는 방법은 스터드의 모살용접 부분이 전단파괴되므로 내력을 충분히 발휘할 수 없는 것으로 판단된다.

P-S-1 실험체는 가력을 시작한 후 최대하중 96.88tf에서 하중이 떨어지기 시작하였으며 콘크리트의 파괴 이전에 스터드의 용접부가 전단파괴되면서, H형강과 콘크리트와의 이격현상이 나타났다.

P-S-2 실험체는 최대하중 88.44tf에서 실험체의 한쪽 콘크리트가 사진 1-(a)와 같이 완전히 탈락되었다.

P-S-3 실험체의 경우에는 가력시작 이후로 최대하중 88.92tf에서 하중이 떨어지기 시작했으며, 두 실험체와 마찬가지로 콘크리트에 별다른 균열 없이 스터드가 전단파괴되었다.

(a) P-S-2 실험체 파괴형상　　(b) P-RI-3 실험체 파괴형상

사진 1 실험체 파괴형상

3.1.2 P-RI 시리즈

TSC 합성보에 새로이 적용되는 쉬어 코넥터의 형태로서 D16의 이형철근을 절곡하여 H형강의 플랜지 안쪽에 아크모살용접으로 접합하였다. TSC 합성보에 적용되는 형식에 따라 Push-Out 실험체를 제작하였으므로 콘크리트와 H형강의 마찰 및 부착력에 의해 쉬어 코넥터의 전단내력이 증가될 것으로 판단된다.

P-RI-1 실험체는 U.T.M의 용량한도까지 하중-변형 곡선이 탄성상태로 나타났으며, 콘크리트 면에도 하중저감의 원인이 되는 크랙은 발견되지 않았다. 따라서 U.T.M의 최대하중인 195.04tf에서 가력을 중지하였다.

P-RI-2 실험체는 P-RI-1 실험체와 동일하게 U.T.M의 용량한도까지 하중-변형 곡선이 탄성상태로 나타났다. 콘크리트면의 초기 크랙은 130tf 부근에서 발생하였으며, 하중 저감의 원인이 되는 크랙은 발견되지 않았다.

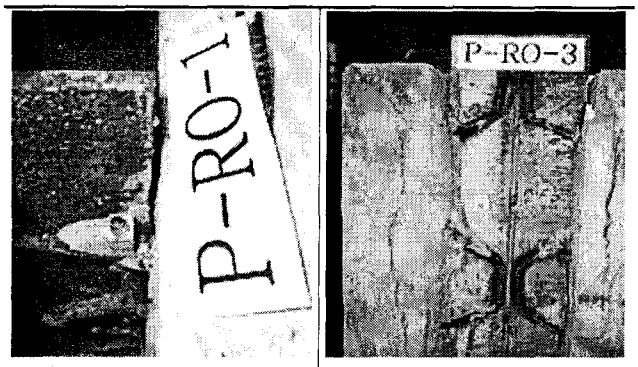
P-RI-3은 최대하중이 188.6tf으로 나타났으며 최대하중 이후 콘크리트면의 압괴와 H형강 내부에 있는 콘크리트가 전단파괴되는 균열이 발생했다. H형강과 콘크리트의 이격이 보이며 하부 콘크리트에 심한 균열이 발생하였다.

3.1.3 P-RO 시리즈

P-RI 시리즈 실험체와 비교하기 위하여 D16의 이형철근을 플랜지 바깥쪽 면에 용접하고, 용접부위에 콘크리트가 묻히지 않도록 계획한 실험체이다. 따라서 콘크리트의 마찰과 부착력이 없기 때문에 쉬어 코넥터의 순수 전단력을 확인할 수 있을 것으로 예상된다.

P-RO-1 실험체는 최대하중이 55.64tf으로 나타났으며, 쉬어 코넥터 주변의 콘트리트가 파괴되는 현상이 나타나면서 H형강과 콘크리트면의 이격현상이 발생하였다.

P-RO-2 및 P-RO-3 실험체는 최대하중이 각각 60.16tf, 67.8tf으로 나타났으며, 쉬어 코넥터 주변에 균열이 발생하기 시작하여 콘크리트 면으로 진전되는 현상으로 나타났다. P-RO-1 실험체와 같이 H형강과 콘크리트면의 이격현상이 발생하였다.



(a) 콘크리트 이격 형상 (b) 콘크리트 균열 형상

사진 2 P-RO 시리즈 파괴형상

3.1.4 P-CI 시리즈

TSC 합성보 연구에서 새롭게 제안하는 쉬어 코넥터로 C-Channel을 쉬어 코넥터로 사용하여 수평전단력에 저항하도록 만든 실험체이다. 콘크리트 속에 쉬어 코넥터가 완전히 매입되고, H형강 안쪽에도 콘크리트가 타설되기 때문에 마찰 및 부착력에 의해 전단내력이 증가될 것으로 판단된다.

P-CI-1 실험체는 최대하중이 123.6tf으로 나타났으며, 하부 콘크리트의 압괴와 쉬어 코넥터가 있는 위치에서의 심한 균열이 파괴의 원인으로 판단된다.

P-CI-2 실험체는 최대하중 117.56tf에 도달한 후 하중이 감소하다가 90tf부근에서 다시 100tf 정도까지 올라간 후 하중이 급격히 감소하는 양상으로 나타났다. 그리고, H형강 속에 콘크리트가 이격되면서 하부 콘크리트 압괴와 콘크리트면의 균열이 파괴의 원인으로 판단된다.

P-CI-3 실험체는 90tf 정도의 하중에서 하중이 떨어지다 다시 상승하여 최대하중 103.6tf에 도달하는 양상으로 나타났다. H형강 속에 묻힌 콘크리트 면에서 플랜지 양쪽을 잇는 선이 전단파괴 되었고, 하부의 콘크리트 또한 압괴 되었다.

(a) P-CI-3 실험체 파괴형상 (b) P-CO-1 용접부 파괴형상

사진 3 실험체 파괴형상

3.1.5 P-CO 시리즈

P-CI 시리즈와의 비교 변수로 C-Channel을 양쪽 플랜지 위에 놓고 용접하여 쉬어 코넥터를 만드는 형식으로 제작되었다. H형강 속에 콘크리트가 타설되기 때문에 마찰 및 부착력에 의해 내력의 증가될 것으로 예상된다.

P-CO-1 실험체는 초기 78.2tf에서 하중이 약간 하강한 후 상승한 것으로 보아 마찰에 의한 내력의 증가가 있었던 것으로 판단된다. 163.7tf에서 최대하중을 기록한 후 하중이 떨어지다가 120tf에서 40tf으로 급격한 하중의 감소를 보였다. 이는 용접부 파괴에 의한 하중의 하락으로 판단된다. 하부 콘크리트의 압괴와 H형강 속의 콘크리트 탈락현상이 나타났다.

P-CO-2 실험체는 콘크리트 면에서의 약간의 크랙이 발생한 것을 제외하고는 파괴양상이 나타나지 않았다. U.T.M의 용량한도인 194.96tf에서 가력을 중지하였다.

P-CO-3 실험체는 최대하중이 177.84tf으로 나타났으며, 최대하중 이후 130tf 부근에서 재상승하다가 하부 콘크리트 압괴, H형강 속의 콘크리트 탈락으로 파괴되었다.

표 4 각 실험체 별 항복하중 및 최대하중

실험체	항복하중 (tf)	최대하중 (tf)	항복하중/ 최대하중	비고
P-S-1	79.31	96.88	0.82	
P-S-2	72.56	88.44	0.82	
P-S-3	78.56	88.92	0.88	
평 균	76.81	94.41	0.84	
P-RI-1	-	195.04	-	
P-RI-2	-	195.04	-	
P-RI-3	137.58	188.6	0.73	
평 균	137.58	192.89	0.73	
P-RO-1	47.22	55.64	0.85	
P-RO-2	51.45	60.16	0.86	
P-RO-3	59.37	67.80	0.88	
평 균	52.68	61.20	0.86	
P-CI-1	76.52	123.60	0.62	
P-CI-2	72.04	117.56	0.61	
P-CI-3	62.86	103.60	0.61	
평 균	70.47	114.92	0.61	
P-CO-1	128.78	163.68	0.52	
P-CO-2	-	194.96	-	
P-CO-3	147.83	177.84	0.58	
평 균	138.31	178.83	0.55	

3.2 하중 변위 곡선

각 실험체의 항복하중 산정 방법은 하중-변위 곡선에서 초기 접선과 최대하중(P_u)에서 X축(변위 축)에 평행한 선과 만나는 점에서의 변위(δy)가 항복하중시 변위라 산정하고, 그 변위에서의 하중을 항복하중(P_y)으로 산정하였다.(참고문헌 6)

3.2.1 전체 파라메타별 하중-변위 곡선

총 15개의 실험체 중에 각 실험 변수를 대표하는 한 개씩의 실험체를 선정하였다. 최대하중은 P-RI 시리즈의 평균값이 가장 높게 나타났고, 항복하중은 P-RI 시리즈와 P-CO 시리즈의 평균값이 비슷하게 나타났다.

또한 항복하중을 최대하중으로 나눈 값인 항복비는 C-Channel을 쉬어 코넥터로 이용한 실험체가 0.52~0.61의 값을 보여 다른 시리즈에 비해 높은 것으로 나타났다.

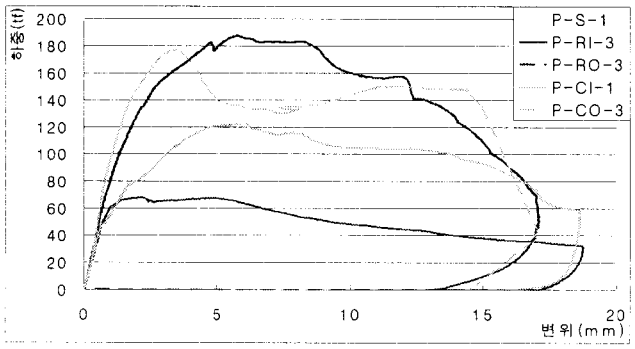


그림 3 전체 변수에 대한 하중-변위 곡선

3.2.2 쉬어 코넥터 위치에 대한 하중-변위 곡선

같은 쉬어 코넥터를 사용하고 용접위치를 달리한 실험체의 경우 P-RI 시리즈와 P-RO 시리즈 그리고 P-CI 시리즈와 P-CO 시리즈를 비교하였다.

P-RI 시리즈와 P-RO 시리즈를 비교하면 콘크리트 속에 묻혀있는 상태에서의 내력과 단순 이형철근일 때의 비교를 할 수 있는데, 콘크리트 속에 묻혀있을 때의 쉬어 코넥터의 내력이 월등한 것으로 나타났다. 이는 콘크리트의 부착 및 마찰강도가 쉬어 코넥터의 전단내력에 영향을 미치는 것이라고 판단된다.

그림 4 P-RI 와 P-RO 시리즈의 비교 곡선

P-CI 시리즈와 P-CO 시리즈를 비교하면, 같는 형태와 같은 강종의 쉬어 코넥터라도 접합위치에 따라 다른 성능을 발휘할 수 있는 것을 보여준다. 설험 결과에 의하면 채널형 쉬어 코넥터를 TSC 보위에 얹고 용접을 하는 것이 쉬어 코넥터의 역할이 우수한 것으로 나타났다.

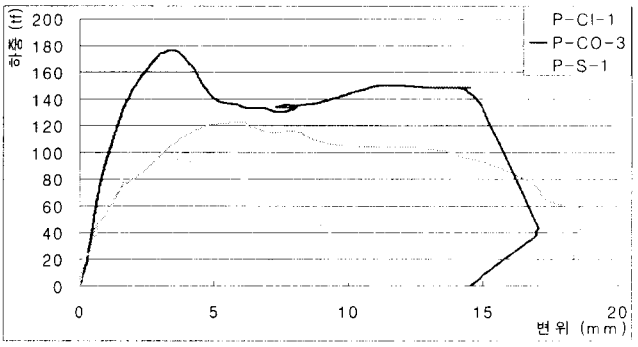


그림 5 P-CI 와 P-CO 시리즈의 비교 곡선

4. 결 론

T형 합성보의 Shear Connector 형태에 따른 전단내력에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가) 쉬어 코넥터는 쉬어 코넥터의 형태나 재료 뿐 아니라 콘크리트와 쉬어 코넥터의 부착 및 마찰력에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

나) 용접부의 품질 관리 및 용접 길이의 확보가 쉬어 코넥터의 전단내력에 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

다) 새로이 제안된 D16 이형철근과 C-Channel을 이용한 쉬어 코넥터의 경우 스터드 이상의 전단내력을 발휘할 수 있다고 판단된다.

이상과 같은 결과로부터 TSC 합성보에 사용되는 쉬어 코넥터의 새로운 디테일은 합성보의 수평전단에 대한 내력이 충분히 확보될 수 있다고 보여진다.

참고문헌

1. 박상철(1983), "스터드 코넥터의 내력에 관한 실험적 연구(Ⅰ) 대한건축학회지 27권 113호 pp.55-59

2. 선병택(1981), "이형철근을 이용한 합성보의 Shear Connector내력에 관한 연구", 대한건축학회지 25권101호 pp.47-51.

3. 한상윤(1987), "합성보에 있어서 이형철근을 사용한 Shear Connector의 내력에 관한 실험적 연구", 대한건축학회학술대회 논문집7권 제1호, pp.445-448.

4. 홍순조(1982), "합성보 Shear Connector 설계 및 시공에 관한 연구", 대한건축학회지 26권105호 pp.48-53.

5. D.L.Mullet(1988), "Composite floor systems", The Steel Construction Institute

6. 建設省建築研究所(1994.12), (社)鋼材倶樂部, '鋼構造物の耐震保有性能評價のための標準試驗方法と評價基準の提案'.