

T형 합성보의 시어 커넥터 형상에 따른 전단내력 평가에 관한 연구

An Evaluation on the Shear Strength for Different Forms of Shear Connector in T-type Composite Beam

김 성 배¹⁾ · 김 상 섭^{2)†}
Kim, Sung Bae Kim, Sang Seup

요약 : 합성보의 전단연결재는 국내외에서 연구가 진행되어 콘크리트 슬래브와 철골보의 합성율을 개선시킬 수 있는 디테일이 많이 개발되어 사용 중에 있다. 현재 보편적으로 사용되는 스티드는 내력산정의 편이성과 시공성 등이 조합되어 가장 많이 적용되고 있으나, 철근이나 C형강 등도 일부 개발되어 적용되고 있다. 본 연구는 합성보 연구의 일부로서 기존에 사용되던 스티드와 동등 이상의 내력과 연성을 확보할 수 있는 전단연결재를 개발하고, 합성보의 시어 커넥터에 대한 구조설계 및 시공에 필요한 기초 자료를 제시한 것이다.

ABSTRACT : A stud connector was used by the shear connector of a composite beam. The shear connector is an important element in heightening the composition rate of a composite beam. study was based on the experiments conducted on 15 specimens using the push-out test. In this paper, through an experiment, the shear connector of other forms was analyzed instead of the stud connector. It is hoped that this application can be used in composite beams.

핵심용어 : T형 합성보, 압발실험(푸시아웃 실험), 전단연결재, 스티드, 철근, C형강

KEYWORDS : T-type Composite Beam, Push-out Test, Shear Connector, Stud, Re-bar, C-Channel

1. 서론

철골구조의 처짐, 진동 등에 대한 사용성 문제와 철근콘크리트구조의 단면이 커지는 단점을 보완하기 위해 최근 합성구조의 개발이 활발히 진행되고 있다(천성철 등, 2002; 허병욱 등, 2004). 합성보는 기존의 철골보와 철근콘크리트 슬래브를 합성하여 각 구조의 장점을 극대화 시키고, 층고 절감과 사용성 증대, 경비 절감 등의 다양한 효과를 갖는다.

본 연구는 합성보 구조시스템 중 T형 합성보에 대한 연구결과의 일부이다. T형 합성보는 상부 개방형으로 제작된 강재를 외부에 설치하고, 내부에 콘크리트를 타설하여 슬래브와 일체화시켜 사용성 등이 개선된 형태이다. 또한 최외단에 강재를 배치하므로 강재의 효율적인 사용과 이를 통한 층고절감이 가능하다. 그림 1은 T형 합성보의 형상이다.

합성보는 철골보와 콘크리트 슬래브의 경계면에서 발생하는 수평전단력에 저항하기 위해 Shear Connector(이하 시어 커

넥터)가 설치된 구조시스템이다. 시어 커넥터는 철골보와 콘크리트 슬래브를 일체화시켜 구조물 전체의 강성과 내력을 높일 수 있다.

이러한 합성구조의 시어 커넥터에 대한 평가방법은 압발실험(押拔實驗, 이하 Push-out Test)과 보실험(Beam Test)이 있으나, Beam Test에 비해 Push-out Test가 간편하고 안전측의 내력식을 얻을 수 있으므로 보편적으로 사용되고 있다(Eurocode 4(1994)). 그러나 Push-out 실험에서 얻은 전단 스티드의 합성거동과 실제 합성보의 전단거동에는 차이점이 존재한다고 보고되고 있다(이필규 등 2003; 신현섭 2005). 또한 T형 합성보는 시어 커넥터의 종류에 따라 기존의 적용 상세와 형상이 다소 상이하며, 내부에 콘크리트가 일체로 타설되므로 콘크리트와 강재의 부착 영향 등으로 전단내력은 기존의 평가식과 다른 결과를 갖을 것으로 예측된다.

이에 본 연구는 새로운 형태인 T형 합성보에 시어 커넥터로 사용되었던 스티드를 평가 기준으로 Push-out 실험을 통해

1) 정회원, (주)센구조연구소 연구팀장, 공학박사(ksb2020@senkuzo.ac.kr)

2) 교신저자, 정회원, 한국기술교육대학교 건축공학부 교수, 공학박사

(Tel. 041-560-1330, Fax. 041-560-1224, E-mail : kimss@kut.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2006년 10월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

여러 가지 시어 커넥터의 적용성 등의 전단내력을 평가한 것이다. 시어 커넥터는 D16의 이형철근과 150×75×6.5×10의 C형강 등이다.

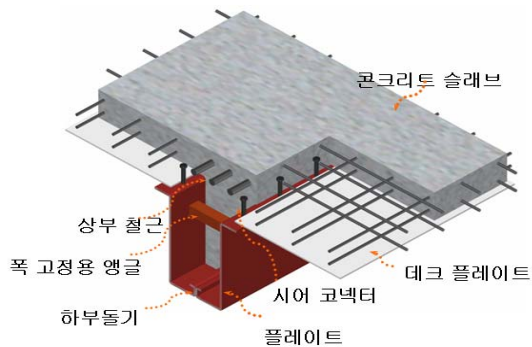


그림 1. T형 합성보 형상

표 1. 시어 커넥터 종류 및 접합위치

실험체	시어 커넥터	접합위치
P-S-#	스터드 D16@200	2열 4줄 양쪽 플랜지
P-RI-#	D16 이형철근	H-형강 플랜지 안쪽
P-RO-#	D16 이형철근	H-형강 플랜지 바깥쪽
P-CI-#	150×75×6.5×10 C형강	H-형강 플랜지 안쪽
P-CO-#	150×75×6.5×10 C형강	H-형강 플랜지 마구리

P-S-1
 └─ 실험체 번호 1, 2, 3
 └─ 시어 커넥터 종류
 S : Stud
 RI : Re-Bar In RO : Re-Bar Out
 CI : C-Channel In CO : C-Channel Out
 Push-Out Test

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험체 계획

실험체는 전단연결재의 형상과 종류에 따른 성능평가, 시공성 검토 등을 위해 현재 적용되고 있는 스테드를 기준으로 철근과 C형강에 대해 5종류의 실험체를 각 3개씩 제작하였다. 전단연결재의 배치는 스테드를 기준으로 동등한 내력을 확보도록 계획하였다.

실험체의 형상은 리하이(Lehigh) 대학 적용 예(Ivan M. Viest, 1997)와 영국 기준(BS CP 117, Part 1) 등을 참고하여 동일한 크기의 H형강 두께와 보 춤을 그림 3과 같이 검토하여 제작하였다. 콘크리트 타설은 실험체 제작 등을 고려하여 세워서 한 번에 하였다. 실험체별 시어 커넥터 종류와 형상은 표 1, 그림 2와 같고, 그림 3은 각 실험체의 시어 커넥터 용접 접합 상세이다.

P-S 시리즈 실험체는 스테드를 전단연결재로 적용한 기준 실험체이며, 스테드는 D16이 사용되었다.

표 2. 소재의 인장강도 시험결과

구 분	항복강도 (N/mm ²)	인장강도 (N/mm ²)	탄성계수 (10 ³ N/mm ²)	연신율 (%)
D16 이형철근	309.9	460.9	207.9	32.26
플랜지(10mm)	276.5	430.5	199.1	41.40
웹브(6.5mm)	303.0	436.4	194.2	36.12

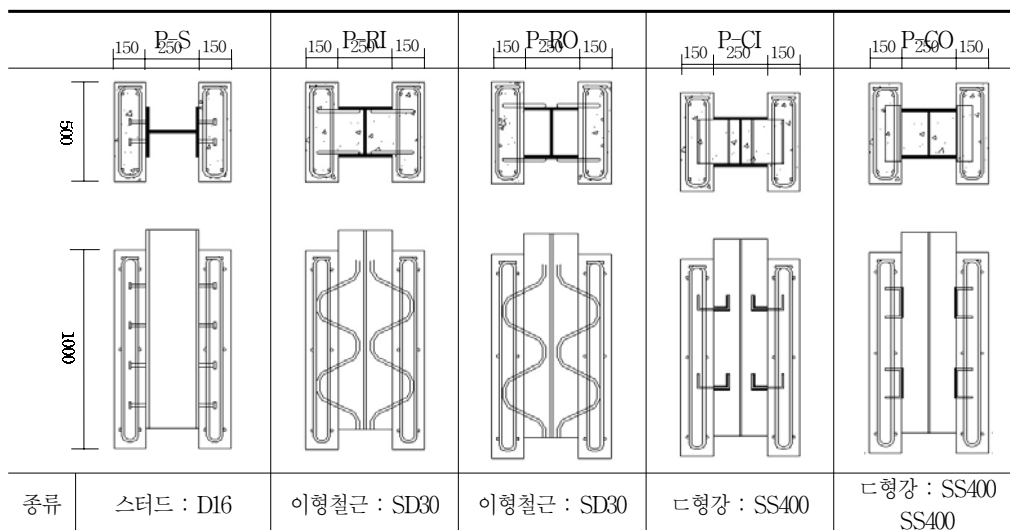
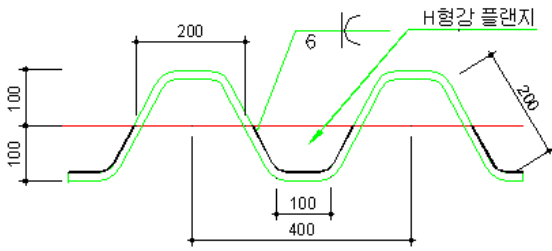


그림 2. 시어 커넥터 형상 및 설치 위치

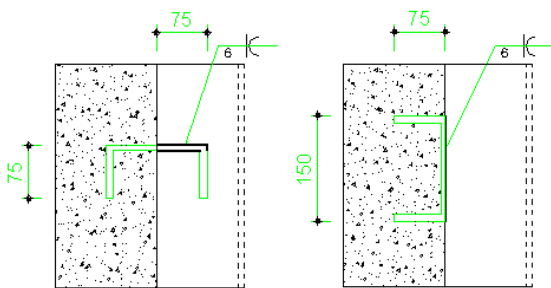
표 3. 콘크리트 배합비

설계강도 (N/mm ²)	W/C (%)	S/A (%)	단위 골재량(kg/m ³)				평균 압축강도 (N/mm ²)
			W	C	S	G	
23.5	50.4	46.9	177	353	843	943	23.9

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



(a) P-RI, P-RO 시리즈 실험체의 이형철근 상세



(b) P-CI 시리즈 실험체 (c) P-CO 시리즈 실험체
그림 3. 시어 커넥터 접합 상세

P-R 시리즈 실험체는 D16(SD30) 이형철근이 H형강의 내부 또는 외부에 모살용접된 것이며, 용접 사이즈는 6mm이고, 용접은 이형철근과 H형강이 접하는 부분의 상부가 용접된 것이다. 이 때 용접량 산정은 기준 실험체(P-S)의 스티드와 비교하여 충분한 내력이 확보되도록 하였으며, 이형철근의 전 길이는 1,200mm이다. 이형철근이 H형강 플랜지 내부에 용접된 P-RI 시리즈 실험체는 그림 2의 T형 합성보에 전단연결재로서 적용이 가능한 형상이다. 또한, H형강 플랜지 외부에 이형철근이 용접된 P-RO 시리즈 실험체는 이형철근의 전단내력만을 확인하여, P-RI 시리즈 실험체와 비교 평가하기 위한 실험체이다. 이형철근의 용접 상세는 그림 3(a)와 같다.

P-C 시리즈 실험체는 150×75×6.5×10 C형강이 H형강 플랜지의 내부 및 외부의 마구리에 모살용접된 실험체이다. P-CI 시리즈 실험체는 C형강이 H형강 플랜지 내부에 삽입된 후, 안쪽의 플랜지면과 웨브가 모살용접된 것이다. P-CO 시리즈 실험체는 H형강 플랜지 위에 C형강을 얹고 H형강 플랜지 마구리면과 C형강의 웨브가 용접되어 있는 형상으로 시공성이 우수할 것으로 예측되어 적용 검토된 것이다.

이 때 용접 사이즈는 6mm이고, 용접량의 산정은 P-R 시리즈 실험체와 동일하게 스티드의 전단내력 이상이 확보되도록 용접 길이가 산정되었다. C형강의 길이는 P-CI 시리즈 실험체의 경우 222mm이고, P-CO 시리즈 실험체는 280mm이다. P-C 시리즈 실험체의 상세는 그림 3(b), (c)와 같다.

각 실험체의 시어 커넥터 용접은 아크용접 하향자세이며, H형강은 SS400의 250×250×9×14이 사용되었다.

2.2 소재 시험

표 2는 실험체 제작에 사용된 이형철근 D16(SD30)과 C형강 C-150×75×6.5×10(SS400)의 기계적 성질이고, 표 3은 콘크리트의 압축강도 배합표와 압축시험결과이다. 소재시험은 한국산업규격에 따라 시험편을 제작하여 실시하였으며, 시험결과는 한국산업규격에 만족하는 것으로 나타났다.

2.3 실험 방법

실험은 용량이 1,960kN인 만능 재료시험기(이하 U.T.M)를 이용하여 그림 4와 같이 설치한 후 단순 가력 하였으며, 가력속도는 분당 2mm이고, 변위 제어로 하였다. 변위 측정은 그림 4와 같이 H형강 플랜지 양면에 변위계를 설치하여 중앙부의 철골과 양측의 콘크리트의 상대 변위를 측정하여 하중 변위 곡선의 변위로 적용하였고, 콘크리트의 탈락 및 벌어짐을 측정하기 위해 콘크리트면의 좌우에도 변위계를 설치하였다.

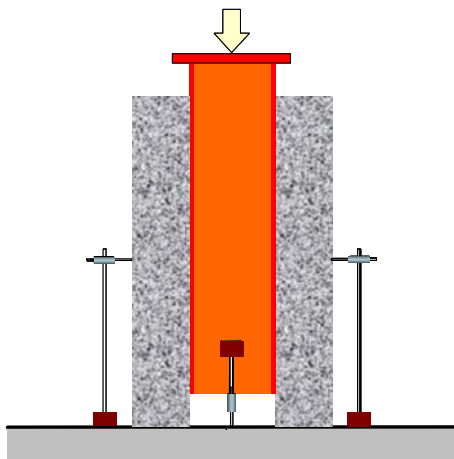


그림 4. 실험체 및 변위계 설치도

그 밖의 P-R 시리즈와 P-C 시리즈 실험체는 그림 1의 H형강 웨브를 기준으로 외부 플레이트와 상부 슬래브로 구성되어 있으며, T형 합성보가 좌우에 설치되어 있는 형상이다.

3. 실험결과

3.1 최대내력 및 파괴양상

표 4는 각 실험체의 최대하중 및 파괴양상이다. 일부 실험체의 경우 만능 재료시험기의 용량이 초과되어 실험이 종료된 경우도 발생하였다. 설계하중의 산정 및 평가방법은 4장 에 서술되었으며, 각 실험체의 파괴양상은 다음과 같다.

3.1.1 P-S 시리즈 실험체(기준형)

P-S 시리즈는 기준 실험체로 스테드를 전단연결재로 사용한 실험체이다. H형강 플랜지 양쪽에 D16 스테드를 2열 4줄로 총 16개가 수동으로 모살용접된 것이다. 파괴양상은 콘크리트 하단이 일부 파쇄 되었으나 콘크리트 파괴 이전에 스테드가 모두 전단파괴 되었다.

P-S-1 실험체는 최대하중 949.4kN에서 하중이 저하되었고, 콘크리트 파괴 이전에 스테드의 용접부가 전단파괴 되어 H형강과 콘크리트의 이격현상이 나타났다.

P-S-2 실험체는 최대하중 866.7kN에서 실험체의 한쪽 콘크리트가 완전히 분리되었다. 이것은 일부 스테드가 용접불량으로 인하여 파괴된 것으로 판단되며, 파괴양상은 그림 5의 (a)(b)와 같다.



(a) 실험 종료 후 전경 (b) 스테드 전단파단
그림 5. P-S 시리즈 실험체의 파괴양상



(a) 실험 종료 후 전경 (b) H형강과 콘크리트 분리
그림 6. P-RI-3 실험체의 파괴양상

표 4. 실험체의 최대하중 및 파괴양상

실험체	최대하중 (kN)	최대하중시 변위(mm)	파괴양상
P-S-1	949.4	3.22	스테드 전단파괴
P-S-2	866.7	3.72	스테드 전단파괴
P-S-3	871.4	3.44	스테드 전단파괴
P-RI-1	1,911.4	4.13	가력 중단
P-RI-2	1,911.4	4.99	가력 중단
P-RI-3	1,848.3	5.74	전단연결재 부위 콘크리트 압괴
P-RO-1	545.3	2.15	전단연결재 부위 콘크리트 압괴
P-RO-2	589.6	3.39	
P-RO-3	664.4	2.22	
P-CI-1	1,211.3	5.98	하부 콘크리트 압괴
P-CI-2	1,152.1	4.52	하부 콘크리트 압괴
P-CI-3	1,015.3	12.22	전단연결재 파단
P-CO-1	1,604.1	4.50	전단연결재 용접부파괴
P-CO-2	1,910.6	2.22	가력 중단
P-CO-3	1,742.8	3.41	하부 콘크리트 압괴



커넥터 주변 콘크리트파괴 (a) 하부 콘크리트 압괴
그림 7. P-RO-2 실험체 파괴양상 그림 8. P-CI-1 실험체 파괴양상

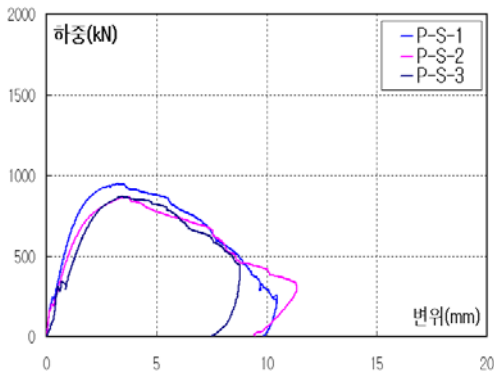


(a) 시어 커넥터 용접부 파괴 (b) 하부 콘크리트 파괴
그림 9. P-CO 시리즈 실험체 파괴양상

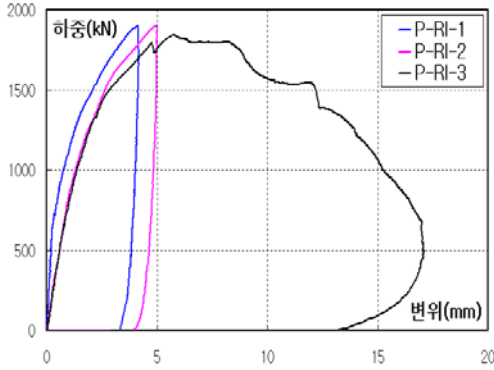
P-S-3 실험체는 가력 후 최대하중 871.4kN에서 하중이 저하되면서, 두 실험체와 마찬가지로 콘크리트에 별다른 균열 없이 스티드의 용접불량으로 인한 전단파괴로 나타났다.

3.1.2 P-RI 시리즈 실험체

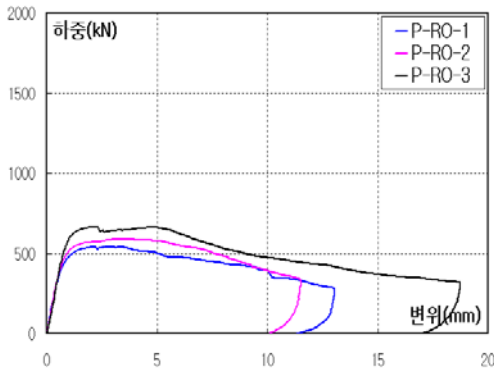
P-RI 시리즈 실험체는 D16 이형철근을 전단연결재로 사용한 실험체이다. 그림 3의 (a)는 전단연결재의 형상을 나타낸 것이다. 파형으로 제작된 전단연결재는 H형강 내부 플랜지에 부착되어 있으며, 모살용접으로 되어 있다.



(a) P-S 시리즈 실험체



(b) P-RI 시리즈 실험체



(c) P-RO 시리즈 실험체

이 때 용접 사이즈는 6mm, 한 변 당 용접 길이는 100mm 씩 4개소이며, 이형철근 상부에 대해 횡방향으로 용접되었다.

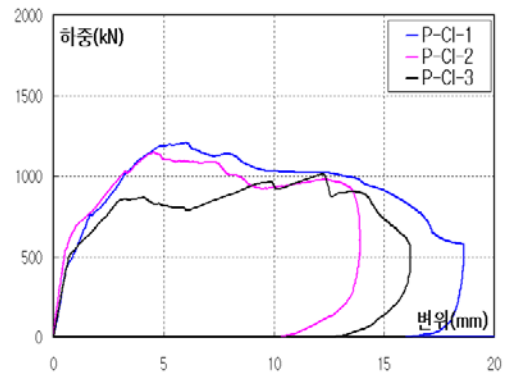
이형철근의 모살용접은 돌기와 마디가 부착되어 있어 용접이 까다롭고, 목두께 확보 등이 어려워 시공성이 다소 저하되는 것으로 나타났다.

P-RI-1 실험체는 1,911.4kN까지 내력 저감이 발생하지 않았고 콘크리트면도 크랙이 거의 발견되지 않았으나, U.T.M의 가력한계로 실험이 중단되었다. P-RI-2 실험체는 P-RI-1 실험체와 거의 동일한 양상을 보였으며, 동일하중에서 U.T.M의 가력 한계로 실험이 중단되었다.

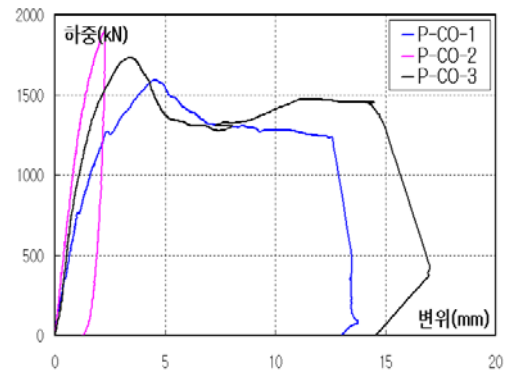
P-RI-3 실험체는 최대하중이 1,848.3kN으로 나타났으며 최대하중 이후 콘크리트면의 압괴와 H형강 내부에 있는 콘크리트가 전단파괴 되면서 균열이 발생되었다. H형강과 콘크리트의 이격이 발생되면서, 하부 콘크리트 일부에 압괴가 발생되었다. 그림 6은 실험체의 파괴양상이다.

3.1.3 P-RO 시리즈 실험체

P-RO 시리즈 실험체는 P-RI 시리즈 실험체와 비교하기 위해 이형철근이 플랜지 바깥쪽 면에 용접되었으며, H형강의 내부에는 콘크리트가 타설 되어 있지 않다.



(d) P-CI 시리즈 실험체



(e) P-CO 시리즈 실험체

그림 10. 각 시리즈 실험체의 하중 변위곡선

P-RO-1 실험체는 최대하중 545.3kN에서 하중이 저감되었고, 시어 커넥터 주변의 콘크리트가 파괴되면서 H형강과 콘크리트면의 분리현상이 발생되었다.

P-RO-2와 P-RO-3 실험체는 최대하중이 589.64kN, 664.4kN으로 나타났으며, 시어 커넥터 주변에 균열이 발생되어 콘크리트면으로 진전되었다. 이러한 파괴양상은 P-RO-1 실험체와 거의 동일하며, 파괴양상은 그림 7과 같고, 파괴 시작점은 사진에 원형으로 표시되어 있다.

3.1.4 P-CI 시리즈 실험체

P-CI 시리즈 실험체는 전단연결재로 π 형강을 이용하여 수평전단력에 저항하는 시어 커넥터의 기능과 발판 및 폭 고정근 등의 겸용이 가능하도록 제안된 상세이다. 또한 P-CI 시리즈 실험체는 전단연결재로 150×75×6.5×10의 π 형강을 한 면당 2개소씩 H형강 플랜지 내부에 층의 절반을 삽입한 후 용접한 실험체이다.

용접은 모살용접으로 6mm 사이즈 원 패스(one pass)로 되어 있으며, 용접방법은 가능한 H형강 플랜지 내부에 묻히는 안쪽 면과 층 길이방향 등을 용접한 것이다.

P-CI-1 실험체는 최대하중 1,211.3kN이고, 하부 콘크리트 압괴와 시어 커넥터가 있는 위치에서의 심한 균열로 파괴되었다.

P-CI-2 실험체는 최대하중 1,152.1kN에 도달한 후, 하중이 880kN까지 저감하다 980kN으로 재상승한 후 하중이 급격히 감소되었다. 또한, H형강 내부의 콘크리트가 분리되면서 콘크리트면의 균열 진전과 하부 콘크리트의 압괴가 진전되면서 파단되었다.

P-CI-3 실험체는 882.6kN 정도에서 하중이 저하되다 다시 상승하여 최대하중 1,015.3kN에 도달 후 점차적으로 파괴되었다. 또한, 콘크리트면과 H형강 마구리면을 따라 크랙이 발생되었고, 이러한 크랙이 진전되면서 전단연결재의 파단으로 전단파괴되었다. 그림 8은 콘크리트면의 크랙진전 양상이다.

3.1.5 P-CO 시리즈 실험체

P-CO 시리즈 실험체는 π 형강을 H형강 플랜지 마구리 위에 280mm 길이로 절단하여 얹고 π 형강을 H형강이 접하는 면을 따라 길이방향으로 모살용접된 것이다. P-CO 시리즈 실험체는 π 형강의 단위 중량이 타 시리즈의 실험체에 비해 다소 많으나 시공성이 우수하다.

P-CO-1 실험체는 초기 766.9kN에서 콘크리트 크랙 진전으로 하중이 저하된 후, 내부의 이형철근과 전단연결재 등에 의해 내력이 재상승 하였으나, 콘크리트의 압괴가 심화되면서 파괴되었다. 그림 9(a)는 π 형강과 H형강 마구리면의 용접부

가 파단된 것을 나타낸 것이다.

P-CO-2 실험체는 콘크리트 면에서 약간의 크랙이 발생한 것을 제외하고는 파괴양상이 나타나지 않았으며, U.T.M의 가력한도로 인하여 1,910.6kN에서 실험이 중지되었다.

P-CO-3 실험체는 최대하중 1,742.8kN으로 나타났으며, 최대하중 이후 1,274.9kN 부근에서 재상승 하였으나, 하부 콘크리트 압괴와 H형강과 콘크리트의 분리로 파괴되었다. 그림 9(b)는 P-CO 시리즈 실험체의 파괴양상을 나타낸 것이다.

3.2 하중 변위 곡선

그림 10은 각 시리즈 실험체의 변수별 하중-변위곡선이다. 일부 시리즈 실험체의 경우, U.T.M의 용량이 초과되어 실험이 중단되었으나, 그 외 대부분의 실험체는 콘크리트 면에 크랙이 발생된 후, 이러한 크랙이 진전되면서 파단되었다.

각 실험체의 하중-변위곡선은 모두 최대하중에 도달한 후, 점차적으로 하중 감소와 함께 내력이 저하되는 것으로 나타났다.

P-S 시리즈 실험체는 전단연결재인 스티드의 전단파괴로 인해 점차적인 하중 감소와 함께 파단되었다. P-RO 시리즈 실험체도 동일하나, P-S 시리즈 실험체 보다 하중 감소가 완만하게 나타났으며, 전단연결재의 전단파괴가 점차적으로 진행되면서 파괴되었다.

P-CO 시리즈 실험체의 경우, 최대하중 이후 내력이 저감하다가 재상승 후, 갑자기 하중이 저하되면서 파괴되었다. 이것은 콘크리트의 균열 발생 및 진전으로 하중이 저감되면서, 내부의 이형철근과 상부 π 형강 전단연결재의 저항으로 하중이 재상승 되는 것으로 판단된다. 그러나 일부 실험체는 하중 상승 후 하부 콘크리트의 압괴로 급작스럽게 파괴되었다.

P-RI 시리즈와 P-CI 시리즈 실험체의 경우, 전단연결재의 전단파괴와 콘크리트의 압축파괴가 조합된 것으로 판단된다.

4. 고찰 및 분석

4.1 전단내력 평가방법

본 연구는 시어 커넥터의 전단내력을 본 실험에 적용된 스티드와 이형철근, π 형강 등에 대해 기존의 연구결과 등을 중심으로 평가방법 및 평가식을 검토한 것이다.

4.1.1 스티드

스티드 전단내력은 현재 설계기준으로 적용되고 있는 식(1)과 함께 여러 연구자들에 의한 실험결과를 중심으로 적용되고

있다(강구조설계기준 및 해설, 1983).

현재 설계기준으로 적용되고 있는 식(1)은 미국의 J. W. Fisher에 의해 제안된 것이다.

그 밖에 식(2)는 Eurocode 4의 스티드에 대한 설계 전단강도 내력식이고(Eurocode 4(1994)), 국내 연구자들에 의해서 식(3)과 (4)가 제안되었다(박상철 외, 1983; 김규석 외, 1988).

$$V_{sn} = 0.5A_{sc}\sqrt{f_{ck} \cdot E_c} \quad (1)$$

$$P_{Rd} = \text{Min}[0.8f_u(\pi d^2/4)/\gamma_{\nu}, 0.29\alpha d^2 \sqrt{f_{ck}E_{cm}}/\gamma_{\mu}] \quad (2)$$

$$V_{sn} = 0.58A_{sc}\sqrt{f_{ck} \cdot E_c} \quad (3)$$

$$V_{sn} = 1.38A_{sc}^{0.89} \cdot f_{ck}^{0.3} \cdot E_c^{0.52} \quad (4)$$

여기서, V_{sn} : ($=P_{Rd}$)스티드의 중국전단내력(kN)

A_{sc} : 스티드의 축단면적(mm²)

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도(N/mm²)

E_c : ($=E_{cm}$)콘크리트의 탄성계수(N/mm²)

γ_{ν} : 부분안전계수(=1.25)

d : 스티드의 직경(mm)

f_u : 스티드의 인장강도(500N/mm² 이하)

h_{sc} : 스티드 길이(mm)

α : $3 \leq h_{sc}/d \leq 4$ 일 때 $\alpha = 0.2(h_{sc}/d + 1)$
 $h_{sc}/d > 4$ 일 때 $\alpha = 1$

4.1.2 이형철근

이형철근에 대한 전단내력은 일부 연구자들에 의해 실험을 통해 확인되고 있다(홍순조, 1982; 한상운 외, 1987). 국내에서 발표된 연구결과는 철근의 배치방향과 직경에 따라 전단내력이 상이하고, 철근의 직경이 증가할수록 내력이 저하되는 것으로 나타났다.

식(5)과 (6)은 국내 연구자들에 의해 발표된 것으로 실험결과를 회귀분석한 결과이다(선병택 외, 1981). 식(7)은 실험결과 중 D16에 대한 보 방향 배치와 보 직각 방향 배치에 대한 전체 평균치이다. 보 방향과 보 직각 방향의 평균치로 산정한 것은 본 실험의 경우, 이형철근의 배치가 사선으로 배치되어 두 방향에 대해 평균치로 산정하는 것이 적절할 것으로 판단되었기 때문이다.

$$V_{sn} = 3.472A_s + 4.785 \text{ (보 방향 배치)} \quad (5)$$

$$V_{sn} = 3.472A_s + 8.535 \text{ (보 직각 방향 배치)} \quad (6)$$

$$V_{sn} = 1.86A_s \cdot \sigma_y \quad (7)$$

여기서, A_s : 철근의 단면적(mm²)

σ_y : 실험에 의한 철근의 항복강도(N/mm²)

4.1.3 C형강

C형강에 대한 전단내력은 C형강 웨브와 플랜지의 두께, C형강의 길이 및 콘크리트의 압축강도에 의해 결정된다. 설계기준은 식(8) 또는 표 5가 적용되고 있다.

식(8)은 전단연결재의 중국전단내력이고, 표 5는 중국전단내력에 안전율($n = 2$)로 나눈 허용전단내력을 나타낸 것이다(김상식 외, 2000).

$$V_{sn} = 3.6(t_2 + 0.5t_1)l\sqrt{f_{ck}} \quad (8)$$

여기서, t_2 : C형강의 플랜지 두께(mm)

t_1 : C형강의 웨브 두께(mm)

l : C형강의 길이(mm)

표 5. C형강 시어 커넥터의 허용내력 단위 : kN

	$f_{ck}=17.6$ (N/mm ²)	$f_{ck}=20.6$ (N/mm ²)	$f_{ck}=23.5$ (N/mm ²)	$f_{ck}=26.5$ (N/mm ²)
C - 75×40×5×7	7.3 l	7.8 l	8.4 l	8.9 l
C - 100×50×5×7.5	7.6 l	8.3 l	8.8 l	9.4 l
C - 125×60×6×8	8.4 l	9.1 l	9.7 l	10.3 l

※ l : C형강의 길이(mm)

4.2 각 종류별 전단내력 평가

각 종류별 시어 커넥터의 전단내력은 4.1절의 전단내력 평가 방법을 기준으로 설정되었으며, 평가 시 강도는 설계기준강도로 되어 있다. 각 종류별 시어 커넥터의 전단내력 분석결과는 다음과 같다.

4.2.1 P-S 시리즈 실험체

P-S 시리즈 실험체는 스티드의 전단내력을 평가한 실험체이다. 표 6은 P-S 시리즈 실험체의 전단내력 평가결과이고, 실험결과는 3개 실험체의 평균치이다.

표 6 P-S 시리즈 실험체의 전단내력 평가 단위 : kN

실험결과 평균 (A)	중국전단내력 식(1) (B)	허용내력 (C)	비교(%)	
			A/B	A/C
895.8	1,190.7	595.4	75.2	150.5

현재 강구조설계기준은 식 (1)에 안전율($n = 2$)을 포함하여 허용내력으로 설계하고 있다. 실험결과를 스티드의 허용내력으로 비교 시 실험결과는 약 150%가 되고 있으나, 중국내력으로 검토 시 80%이하가 되고 있다. 이러한 결과는 스티드의 용접관

리가 불충분하여 나타난 것으로 용접부 관리의 중요성을 나타낸 것이다.

4.2.2 P-RO 시리즈 실험체

P-RO 시리즈 실험체는 이형철근을 철골보 외부에 부착하여 이형철근의 시어 커넥터의 적용성을 평가한 실험체이다. P-RO 시리즈 실험체의 전단내력은 이형철근에 대한 전단내력 [식(9)], 이형철근의 용접부 내력[식(10)], 이형철근과 접하는 콘크리트면의 압축강도[식(11)] 등의 내력 중 가장 작은 값으로 평가될 수 있다.

표 7은 P-RO 시리즈 실험체의 실험결과와 기존식 등을 이용한 이론치를 비교한 결과이다. 표 7에서 실험결과를 이형철근 용접부의 내력평가와 비교하면 현저한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이형철근 용접부의 전단내력은 식(10)과 같으며, 이 때 용접길이는 600mm, 목두께는 6.4mm이다.

표 7에서와 같이 P-RO 시리즈 실험체의 실험결과를 이형철근에 대한 전단내력인 식(9)와 비교하여 평가하면, 실험결과와 전단내력 비는 약 105.6%로 실험결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

그러므로 P-RO 시리즈 실험체의 전단내력은 시어 커넥터로 사용된 이형철근이 항복하면서 콘크리트 면이 압괴 되는 것으로 평가하는 것이 적절하다고 판단된다.

$$V_{sn} = A_s \cdot \sigma_y / \sqrt{3} \tag{9}$$

$$V_{sn} = (l_e \cdot a) \cdot \sigma_y / \sqrt{3} \tag{10}$$

$$V_{sn} = A_c \cdot f_{ck} \tag{11}$$

여기서, A_c : 이형철근과 접하는 콘크리트 면적(mm²)

l_e : 유효모살용접 길이(mm)

a : 모살용접 목두께($a = 0.7s$, s : 용접 사이즈)

σ_y : 실험에 의한 철근의 항복강도(N/mm²)

표 7. P-RO 시리즈 실험체의 전단내력 평가 단위 : kN

실험결과 평균 (A)	식(9) (B)	식(10)	식(11)	비고(%) A/B
599.8	568.1	1,717.2	611.4	105.6

4.2.3 P-RI 시리즈 실험체

P-RI 시리즈 실험체는 이형철근을 철골보 내부에 부착하여 시어 커넥터로 적용한 실험체이다.

P-RI 시리즈 실험체는 P-RO 시리즈 실험체와 같이 이형철근의 전단내력만으로 평가하면 실험결과가 상당히 높게 나타나고 있다. 그러므로 P-RI 시리즈 실험체는 이형철근의 전단내

력과 함께 이형철근 및 철골과 콘크리트의 부착내력이 혼합된 것으로 판단된다.

표 8은 P-RI 시리즈 실험체의 실험결과와 기존식을 이용한 이론치를 비교한 결과이다. 표 8에서 실험결과와 예측치는 두 개의 실험체가 종국하중에 도달하기 전에 U.T.M의 가력 한계로 불명확하나, 실험이 종료된 P-RI-3 실험체와 유사한 거동으로 예측하면 3개 실험체의 평균치는 약 2,000~2,100kN 정도가 될 것으로 판단된다.

P-RI 시리즈 실험체의 실험결과와 평균치를 2,050kN으로 예상하면, 실험결과는 식(7)로 평가하는 것보다 약 112%로서 약간 상회하는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 P-RI 시리즈 실험체의 경우, 이형철근의 부착 또는 썩기 역할로 인하여 철골면과 콘크리트의 부착강도가 상승되는 것으로 판단된다.

표 8. P-RI 시리즈 실험체의 전단내력 평가 단위 : kN

실험결과 예측치 (A)	식(7) (B)	비 고 (%) A/B
2,050	1,830.6	112.0

4.2.4 P-CI 시리즈 실험체

P-CI 시리즈 실험체는 C형강이 H형강 내부에 75mm 삽입되어 있으며, 삽입된 C형강의 내측과 수직부를 용접한 형상으로 총 용접 길이는 225mm, 용접 사이즈는 6mm이다. C형강의 하부는 용접 시 품질확보가 어려우므로 이 부분의 용접은 생략되었다.

표 5의 허용내력 평가는 C형강의 춤과 콘크리트 강도에 따라 내력이 증가한다. P-CI 시리즈 실험체의 전단내력은 사용한 C형강(150×75×6.5×10)이 H형강 내부에 절반정도 묻히므로 식(8)로 평가하기가 곤란할 것으로 판단된다.

따라서, 식(8)을 변형하면 식(12)와 같이 표현된다. P-CI 시리즈 실험체의 경우, C형강의 반이 T형보의 속에 묻혀있기 때문에 C형강 전면적이 시어 커넥터로서 거동하지 않고 돌출된 부분만이 시어 커넥터 역할을 수행한다. 그러므로 P-CI 시리즈 실험체의 C형강 시어 커넥터의 전단내력은 식(12)에 적용하여 변형하면 식(13)과 같이 표현될 수 있다.

표 9는 P-CI 시리즈 실험체의 전단내력 평가결과이다. 실험결과는 식(13)으로 평가한 것보다 약 88.2%로서 약간 낮게 나타났다. 이러한 차이는 기존의 평가식을 변형한 식(13)과 P-CI 시리즈 실험체 조건의 다소 차이와 실험체 제작 시 C형강의 하부에 콘크리트가 밀실하게 충전되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

$$V_{sn} = 1.8(2t_2 + t_1)l\sqrt{f_{ck}} \tag{12}$$

$$V_{sn} = 1.8(t_2 + t_1)l\sqrt{f_{ck}} \quad (13)$$

여기서, t_2 : C형강의 플랜지 두께(mm)

t_1 : C형강의 웨브 두께(mm)

표 9. P-CI 시리즈 실험체의 전단내력 평가 단위 : kN

실험결과 평균 (A)	식(13) (B)	비 고 (%) A/B
1,126.2	1,276.9	88.2

4.2.5 P-CO 시리즈 실험체

P-CO 시리즈 실험체는 C형강을 H형강 부재 위에 얹고 H형강 플랜지면과 C형강의 웨브가 모살용접된 것이다.

$$V_{sn} = 3.6 t_2 l \sqrt{f_{ck}} \quad (14)$$

여기서, t_2 : C형강의 플랜지 두께(mm)

l : C형강의 길이(mm)

표 10. P-CI 시리즈 실험체의 전단내력 평가 단위 : kN

실험결과 평균 (A)	식(13) (B)	비 고 (%) A/B
1,752.5	1,741.5	100.6

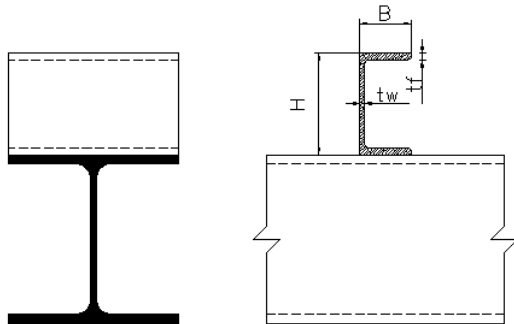


그림 11. 규준에 명시된 C형강 시어 커넥터의 접합방법

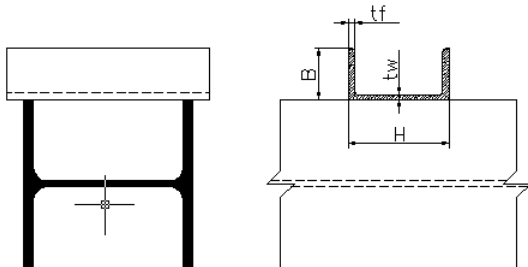


그림 12. P-CO 시리즈 실험체의 C형강 시어 커넥터의 접합방법

표 5에 의한 허용내력 평가는 C형강의 춤과 콘크리트 강도

에 따라 내력이 증가한다. P-CO 시리즈 실험체의 전단내력은 C형강(150×75×6.5×10)을 H형강 부재 위에 얹고 H형강 플랜지면과 C형강의 웨브를 모살 용접한 것이므로 식(8)로 바로 평가하기가 곤란할 것으로 판단된다.

식(8)의 중국전단내력 평가는 그림 11과 같이 C형강이 보 플랜지 상부에 용접되는 형상이나, P-CO 시리즈 실험체는 그림 12와 같이 양 플랜지의 마구리에 얹혀지므로 플랜지와 웨브의 방향이 바뀌게 된다. 따라서 P-CO 시리즈 실험체의 C형강 시어 커넥터 전단내력은 식(8)에서 플랜지와 웨브가 바뀌어진 상태에서, 안전측으로 웨브의 기여도를 무시하면 식(14)와 같이 표현될 수 있다.

표 10에서와 같이 P-CO 시리즈 실험체의 실험결과를 C형강에 대한 전단내력인 식(14)와 비교하여 평가하면, 실험결과와 전단내력비는 약 100.6%로 실험결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

T형 합성보에서 C형강을 시어 커넥터로 사용하는 경우, C형강을 플랜지 마구리면에 얹고 용접하는 P-CO 시리즈 실험체가 C형강을 H형강 내부에 삽입하는 P-CI 시리즈 실험체보다 내력이 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 현상은 P-CI 시리즈 실험체의 경우 C형강의 절반이 H형강 내부에 묻혀 시어 커넥터로 저항하는 면적이 감소하기 때문으로 판단된다. 그러므로 용접량이 확보된다면 시어 커넥터로 작용하는 부담면적의 증가가 전단내력을 상승시키는 것으로 판단되며 이러한 전단내력과 부담면적과의 비는 계속적인 검토가 필요하다고 생각된다.

5. 결 론

T형 합성보의 연구결과 중 하나인 시어 커넥터 형태에 따른 전단내력 평가는 Push-out 실험을 통하여 실시되었고 실험에 의한 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 스티드를 사용한 P-S 시리즈 실험체의 전단내력은 용접 부가 파단되어 식(1)의 75%정도로 나타났다. 이것은 용접부의 품질관리가 스티드의 전단내력에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- (2) 이형철근을 사용한 실험체 중 T형 합성보에 적용된 형식으로 내부에 콘크리트가 채워진 P-RI 시리즈 실험체의 전단내력은 식(7)의 103.6%로 나타나, 기존의 전단내력 평가식을 적용할 수 있다고 판단된다.
- (3) 순수 이형철근만으로 전단력을 받도록 계획된 P-RO 시리즈 실험체의 전단내력은 이형철근의 전단강도와 이형철근과 접하는 콘크리트의 압축강도 중 작은 값으로 평

가되었다. 실험결과는 위의 두 식 중 작은 값의 98.1%로 나타났으며, 시어 커넥터로 사용된 이형철근이 항복하면서 콘크리트면이 압괴되는 것으로 판단된다.

- (4) C형강을 H형강 내부에 삽입한 P-CI 시리즈 실험체의 전단내력은 기존식을 변형하여 제안한 식(13)의 88.2%로 나타났다. 이러한 차이는 기존의 평가식을 변형한 식(13)과 P-CI 시리즈 실험체 조건의 다소 차이와 실험체 제작시 C형강의 하부에 콘크리트가 밀실하게 충전되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.
- (5) C형강을 H형강 부재 위에 얹고 H형강 플랜지면과 C형강의 웨브가 모살용접 된 P-CO 시리즈 실험체는 기존식을 변형하여 제안한 식(14)의 100.6%로 나타나, 식(14)을 전단내력 평가식으로 적용될 수 있는 것으로 나타났다.
- (6) C형강을 시어 커넥터로 사용하는 경우, P-CO 시리즈 실험체가 P-CI 시리즈 실험체 보다 내력이 더 큰 것으로 나타났다. 이것은 P-CO 시리즈 실험체의 경우 C형강이 시어 커넥터로 작용하는 부담면적의 증가가 전단내력을 상승시키는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

대한건축학회(1983), 강구조설계기준 및 해설
 김상식, 윤성기(2000), 철골구조설계, 문운당
 선병택, 송현수(1981), 이형철근을 이용한 합성보의 Shear Connector내력에 관한 연구, 대한건축학회지 25권 101호 pp.47-51.
 홍순조(1982), 합성보 Shear Connector 설계 및 시공에 관한 연구, 대한건축학회지 26권 105호 pp.48~53.
 박상철, 김필중, 김규석(1983), 스티드 코넥터의 내력에 관한 실험적 연구(I), 대한건축학회지 27권 113호 pp.55~59
 한상윤, 정현수, 김덕재(1987), 합성보에 있어서 이형철근을 사용한 Shear Connector의 내력에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집 7권 제1호, pp.445~448.

김영규, 김영호, 정화용, 김진호, 김상섭, 김규석(2000), 강 구조 매립형 주각부의 하중전달 및 내력평가, 대한건축학회논문집 구조계 16권 9호, pp.61~68
 천성철, 주영광, 정광량, 김상대(2002), 비대칭 유공 합성보 iTECH beam의 휨성능평가, 대한건축학회논문집 구조계 18권 4호, pp.67~74
 이필구, 심창수, 윤태양(2003), 대직경 스티드 전단연결재의 정적거동, 한국강구조학회 논문집, 제15권 6호, pp.611~620
 김상섭, 김상모, 김성배, 서동기, 김규석(2004), 단순지지 T형 합성보의 휨거동에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회 논문집, 16권 2호 pp.225~233
 허병욱, 배규웅, 문태섭(2004), 매립형(슬립플로어) 합성보의 휨성능 평가-춤이 깊은 테크 플레이트와 비대칭 H형강 철골보, 한국강구조학회 논문집, 16권 2호 pp.235~246
 신현섭(2005), 합성보 전단연결부의 구조거동에 대한 비교 분석, 강구조학회 논문집 제17권 6호, pp.737~747
 British Standard Code of Practice, CP 117; Part 1; Composite Construction in Structural Steel and Concrete Part 1; Simply Supported Beams in Buildings
 D.L.Mullet(1988), Composite Floor Systems, The Steel Construction Institute
 Ivan M. Viest, Joseph P. Colaco et. al(1997), Composite Construction Design For Buildings, ASCE, McGraw-Hill
 Eurocode 4(1994), Design of Composite Steel and Concrete Structures: Part 1.1, EN1994-1-1
 金圭石, 金相燮(1988), 스태드코넥타의せん斷耐力と合成ばりの擧動に關する實驗的研究, 日本建築學會構造系論文報告集, 第389號, pp.79~87, 1988. 7.
 日本建築學會(1987), 鐵骨鐵筋コンクリート構造計算規準・同解説,
 (접수일자 : 2005. 9. 14 / 심사일 2005. 10. 5 / 심사완료일 2006. 2. 2)