

# 데크플레이트 직봉과 전단연결재의 기능을 겸하는 신형상 전단연결재의 개발에 관한 연구

## A Study on the Development of New-shaped Shear Connector with Vertical Bars of Deck Plate

김 성 배\*                      박 동 수\*\*                      김 상 섭\*\*\*  
Kim, Sung-Bae              Park, Dong-Soo              Kim, Sang-Seup

### Abstract

Composite Beams have various effects as one unit structural member of a steel beam and a Reinforced Concrete Slab. In Composite Beam, install a Shear Connector to resist horizontal shear on an interface between steel beams and reinforced concrete slabs. Unified Composite beam(with shear connector) has various structural advantages because concrete slabs are used to part of cross section of beams. Also when applying to the Deck Plate Slab, vertical Bars are installed at the ends of steel truss girder for insure safety during the construction. Therefore, this study attempts to examine the ways to develop and utilize a New-Shaped Shear connectors which is functioning as vertical bars and also securing a higher shear capacity using new-shaped shear connector instead of Used-Stud Connector.

키워드 : 신형상 전단연결재, 직봉, 데크플레이트, 합성보

Keywords : New-shaped Shear Connector, Vertical Bar, Deck Plate, Composite Beam

### 1. 서      론

최근 각종 원자재 가격의 급등과 건설경기 위축, 무한 경쟁 등으로 경제성을 확보한 새로운 형상의 다양한 합성구조가 개발되어 적용되고 있다. 합성구조는 강재와 콘크리트를 조합한 형상이 가장 많이 개발되어 적용되고 있으며, 합성기둥과 합성보, 다양한 종류의 합성슬래브 또는 합성데크 등이 있다. 특히 합성보는 슬래브에 비해 차지하는 비중은 적으나, 기둥에 비해 부재 수가 많고 적용 시 경제성이 확보되는 효율이 우수한 부재이다<sup>1)~3)</sup>. 합성보는 기존의 강재보와 철근콘크리트 슬래브가 하나의 단일 부재로 거동하는 구조부재로써 각 구조의 장점을 극대화 시키고, 층고 절감과 사용성 증대, 경비 절감 등의 다양한 효과를 갖는다<sup>4)</sup>. 그러나 합성보는 강재보와 철근콘크리트 슬래브사이에서 발생하는 수평전단력에 저항하기 위해 전단연결재가 필요하며, 전단연결재의 종류는 일반적으로 스티드와 철근, 형강 등이 다양하게 사용되고 있다<sup>5)~6)</sup>. 전단연결재가 설치된 합성보는 콘크리트 슬래브 부분을 보의 단면 일부로 활용하여 사용할 수 있을 뿐만 아니라 바닥

슬래브의 단부조건을 결정함으로써 구조물 전체의 강성 및 내력이 증대되는 장점이 있다<sup>11),12),15)</sup>.

일반적으로 강재보는 데크플레이트 슬래브를 적용하고 있으며, 데크플레이트는 다양한 종류가 개발·적용되어 그 사용량이 크게 증가하고 있다. 데크플레이트는 합성용과 거푸집용으로 구분되는데, 최근에는 강판가격의 급등으로 거푸집용 데크플레이트가 주로 사용된다. 거푸집용 데크플레이트는 철근트러스가 끝나는 양단부에 직봉(Vertical bar)을 설치한다. 직봉은 데크플레이트가 강풍과 돌풍에 날아가지 않게 하기 위한 것으로, 미끄러짐으로 인한 탈락 및 낙하방지 등 시공 중 안전성을 확보하기 위해 설치한다<sup>8)</sup>. 직봉은 강재보의 상부 플랜지에 설치하여 철근트러스의 상부근과 연결되며, 전단연결재 역시 강재보의 상부 플랜지에 설치되기 때문에 플랜지의 한정된 폭 내에 직봉과 전단연결재가 설치되어 시공 중 번거로움이 발생할 수 있다. 따라서 전단연결재가 직봉의 기능과 본래의 역할을 동시에 수행할 수 있다면 시공성이 상당히 개선될 수 있을 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 데크플레이트에 사용되는 직봉을 전단연결재로 활용하는 방안을 검토하기 위해 새로운 형상의 전단연결재를 개발하였으며, 푸시아웃실험(Push-out Test)으로 성능평가를 하였다. 주요 변수는 콘크리트 강도와 신형상 전단연결재의 두께 등이며, 스티드커넥터와 비교 평가하였다. 스티드커넥터의 성능평가를 위한 소재 시험은 기존 연구결과를 활용하였다<sup>7)</sup>.

\* (주) 센구조연구소 소장, 공학박사

\*\* 한국기술교육대학교 건축공학부 석사과정

\*\*\* 한국기술교육대학교 건축공학부 교수, 공학박사

(교신저자, E-mail : kimss@kut.ac.kr)

“본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2010년도 산학연공동기술개발사업(No.00043608-1)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.”

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 개요

표 1은 각 실험체 계획 및 제원이다. 전단연결재는 일반적으로 사용되는 스티드커넥터 외에 강판(SS400)을 가공하여 새로운 형상을 제작하였다.

신형상 전단연결재의 형상은 그림 1과 같이 상부 수직 받침판과 경사판으로 이루어져 있다. 상부 수직 받침판은 중앙부를 절개하여 좌우 반대방향으로 벌려 V자형을 이루며, V자 형상의 개구부에 철근트러스 상부근을 고정하여 직봉 기능을 겸하도록 하였다. 또한 전단연결재를 강재보의 상부 플랜지에 용접 시 데크플레이트의 레티스(Lattice) 및 아연도강판과 중첩되지 않도록 60° 경사로 제작하였다. 전단연결재는 판 두께를 6, 9, 12(mm)로 제작하였고, 폭은 40mm이다. 전단연결재는 강재보 상부 플랜지에 모살용접 하였고, 모살사이즈는 판 두께를 기준으로 6, 7, 10(mm)이다<sup>9)</sup>.

표 1. 실험체 일람표

실험체 명		전단연결재 종류 및 형상	콘크리트 강도(MPa)	전단연결재 두께(mm)
Stud 시리즈	P-27-S-1	 스티드	27	φ16
	P-27-S-2			
PL6 시리즈	P-21-PL6	 SS400	21	6
	P-24-PL6		24	
	P-27-PL6		27	
	P-30-PL6		30	
PL9 시리즈	P-21-PL9	 SS400	21	9
	P-24-PL9		24	
	P-27-PL9		27	
	P-30-PL9		30	
PL12 시리즈	P-21-PL12	 SS400	21	12
	P-24-PL12		24	
	P-27-PL12		27	
	P-30-PL12		30	

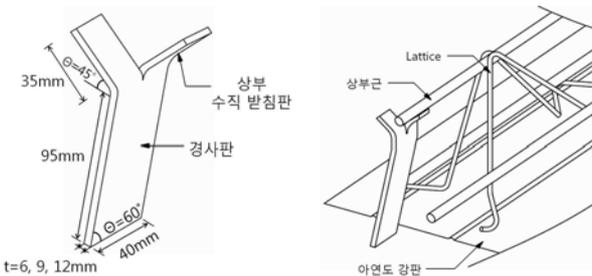


그림 1. 신형상 전단연결재

콘크리트 압축강도가 전단연결재의 내력에 미치는 영향을 평가하기 위해 21, 24, 27, 30(MPa)로 강도를 변수로 하였다.

실험체의 형상은 리하이(Lehigh) 대학 적용 예와 BS CP 117, Part 1 등을 검토하여 적용하였다<sup>13),14)</sup>. H형강은 250×250×9×14(mm, SS400) 이고, 양측면의 콘크리트 슬래브는 500×1,000×150(mm, 폭×길이×두께)이다. 콘크리트 타설은 실험체 제작 등을 고려하여 세워져 한 번에 하였다. 그림 2는 실험체 기호 및 명칭이고, 그림 3은 실험체 형상 및 상세이다.

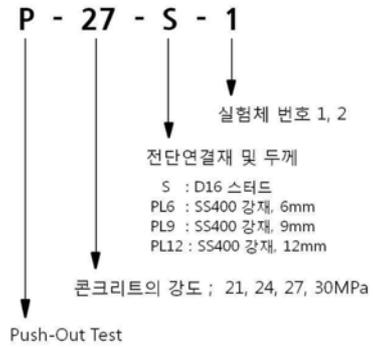
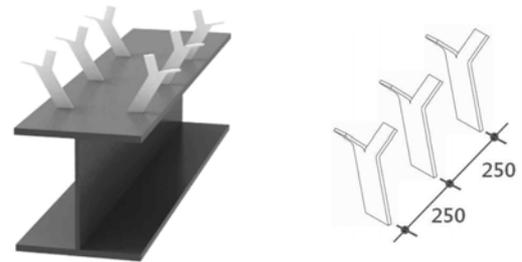
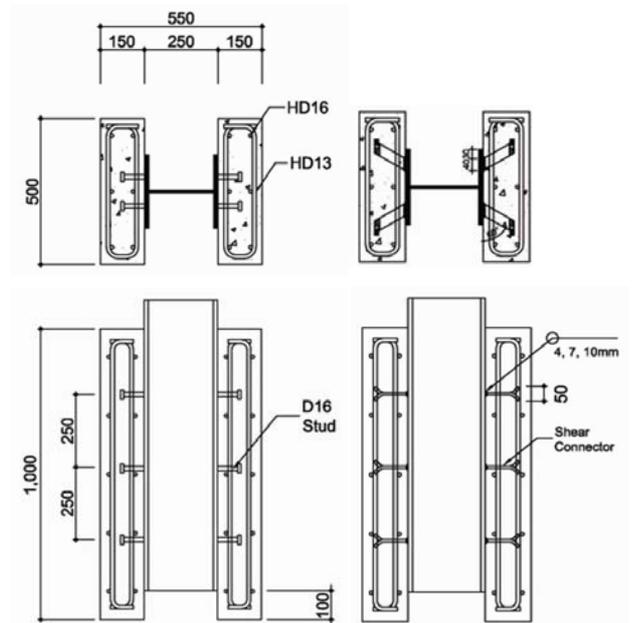


그림 2. 실험체 기호 및 명칭



a) 신형상 전단연결재 설치도



b) P-27-S 실험체 c) 신형상 전단연결재 실험체

그림 3. 전단연결재 형상 및 상세

P-27-S 시리즈 실험체는  $\phi 16$  스티드커넥터를 전단연결재로 사용한 기준 실험체이며, 플랜지 한쪽 면에 2열 3줄로 총 12개의 스티드커넥터를 탄산가스아크용접으로 접합하였다. 각 실험체의 용접방법은 모두 동일하다.

PL6 시리즈 실험체는 SS400 6mm 강재를 그림 1과 같이 가공 후, 강재보 플랜지와 60° 경사지게 설치하였다. 신형상 전단연결재의 설치는 플랜지 양면에 2열로 하였으며, 모살사이즈는 6mm이다. 용접길이는 전단연결재 1개소의 한 면 당 40mm이고, 양면 모살용접하였다.

PL9, PL12 시리즈 실험체는 모살사이즈가 각각 7, 10mm이고, 나머지 실험체의 특징은 PL6 시리즈 실험체와 동일하다.

2.2 소재 시험

실험체 제작에 사용된 콘크리트의 배합비는 표 2와 같다. KS F 2404에 따라 제작된 직경 100mm, 높이 200mm의 실린더형 공시체를 제작하여 본 실험체와 동일한 조건하에서 양생시켰으며, 실험과 동시에 압축강도시험을 하였다. 실험결과 콘크리트의 압축강도는 각각 23.9, 25.0, 29.8, 33.6(MPa) 이다.

실험체에 사용된 강재는  $\phi 16$  스티드커넥터, 전단연결재와 H형강의 플랜지, 웨브이며 사용강종은 SS400 이다. 강재에 대한 인장시험은 KS B 0802에 의하여 철근 및 강재에 대한 항복강도와 인장강도, 연신율 등을 측정하였으며, 실험결과는 표 3과 같다.

표 2. 콘크리트 배합비

설계 강도 (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	단위 재료 소요량(kg/m <sup>3</sup> )					평균 압축강도 (MPa)
			물	시멘트	잔골재	굵은 골재	혼화제	
21	56.2	48.8	174	310	866	926	1.55	23.9
24	48.0	47.5	165	344	860	968	1.72	25.0
27	45.0	47.5	163	362	854	962	1.81	29.8
30	43.1	46.9	169	392	825	952	1.91	33.6

표 3. 인장강도 시험결과

구 분		항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
Stud	$\phi 16$	381.2	510.6	24.83
전단 연결재 (SS400)	6mm	318.0	459.3	25.74
	9mm	350.1	404.6	27.65
	12mm	317.5	431.2	27.65
H형강	플랜지:14mm	276.4	430.2	41.40
	웨브:9mm	302.8	436.1	36.12

2.3 실험 방법

실험은 최대용량이 2,000kN인 만능시험기(이하 U.T.M)를 이용하여 사진 1과 같이 설치한 후 단조가력 하였다.

가력속도는 1mm/min이고, 변위제어 하였다. 변위측정은 H형강 웨브에 변위계를 설치하였고, 콘크리트의 탈락 및 벌어짐을 측정하기 위해 콘크리트면의 좌우에도 동일하게 설치하였다.



사진 1. 실험체 설치도

3. 실험결과

3.1 최대내력 및 파괴양상

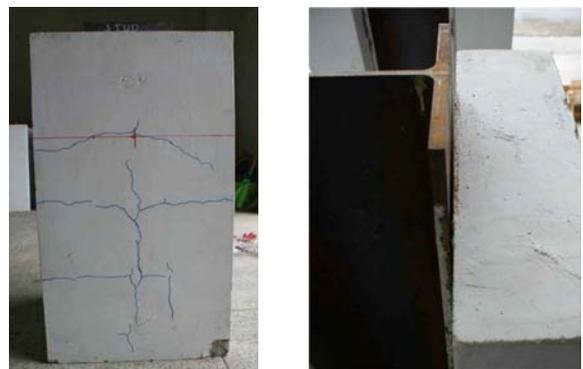
3.1.1 P-27-S 시리즈 실험체(기준형)

P-27-S 시리즈 실험체는 기준 실험체로  $\phi 16$  스티드커넥터를 전단연결재로 사용한 실험체이다. 플랜지 일면에 2열 3줄로 6개씩 총 12개의 스티드커넥터가 설치되었다. 전반적인 파괴양상은 콘크리트 파괴 이전에 스티드커넥터가 전단파괴 되는 양상을 보였다.

P-27-S-1 실험체는 가력시작 후 최대하중 1,023kN에서 하중이 저하되기 시작하였고, 콘크리트의 파괴 이전에 스티드커넥터의 용접부가 전단파괴 되어 최상단 H형강과 콘크리트면 사이에 최대 9.0mm 이격현상이 나타났다.

P-27-S-2 실험체는 가력시작 후 최대하중 988.1kN에서 하중이 저하되기 시작하였고, P-27-S-1 실험체와 마찬가지로 콘크리트의 파괴 이전에 스티드커넥터 용접부가 전단파괴 되어 H형강과 콘크리트면 사이에 최대 7.7mm 이격현상이 나타났다.

사진 2는 P-27-S 시리즈 실험체의 파괴양상이다.



a) 실험 종료 후 전경 b) H형강과 콘크리트 분리

사진 2. P-27-S 시리즈 실험체의 파괴양상

3.1.2 PL6 시리즈 실험체

PL6 시리즈 실험체는 SS400 6mm 강재로 전단연결재를 제작하였고, H형강 플랜지 면에 60°의 경사를 이루도록 양면 모살용접하였다. 모살사이즈는 6mm이고, 용접길이는 전단연결재 한 개소의 한 면당 40mm이다.

P-21-PL6 실험체는 가력시작 후 최대하중 930.5kN에 도달한 후 하중이 서서히 감소하였고, 사진 3(a)와 같이 전단연결재가 있는 위치에서 균열이 발생하였다. 이 균열의 진전으로 전단연결재가 파괴되어 H형강과 콘크리트면 사이에 최대 8.9mm 이격현상이 나타났다.

P-24-PL6 실험체는 최대하중 984.2kN에 도달한 후 하중이 서서히 감소하였고, 콘크리트의 파괴 이전에 전단연결재의 용접부가 전단파괴 되었다. 파괴양상은 사진 3(b)와 같이 실험체 하부 콘크리트면과 H형강 마구리면이 탈락되었다. 또한 전단연결재의 파단으로 H형강과 콘크리트면 사이에 최대 15.5mm 이격현상이 나타났다.

P-27-PL6 실험체는 가력시작 후 최대하중 1,037.5kN에 도달한 후 하중이 감소하였으며, 파괴양상은 P-21-PL6 실험체와 비슷하다. 균열은 전단연결재 주변에서 발생되어 콘크리트 면으로 진전되었으며, 전단연결재의 파단으로 H형강과 콘크리트면 사이에 최대 6.2mm 이격현상이 발생하였다. 사진 3(c)는 P-27-PL6 실험체의 파괴양상이다.

P-30-PL6 실험체는 최대하중 1,196.9kN에 도달한 이후 앞의 실험체와 비슷한 양상을 보였다. 그러나 P-30-PL6 실험체의 경우 콘크리트의 파괴 이전에 한 쪽 면의 전단연결재가 모두 전단파괴 되어 사진 3(d)와 같이 H형강과 콘크리트면이 탈락되었다.

3.1.3 PL9 시리즈 실험체

PL9 시리즈 실험체는 SS400 9mm 강재로 전단연결재를 제작하였으며, 모살사이즈는 7mm이고, 나머지 실험체의 특징은 PL6 시리즈 실험체와 동일하다. 사진 4는 PL9 시리즈 실험체의 파괴양상이다.

P-21-PL9 실험체는 최대하중 1,081.8kN에 도달한 후 하중이 서서히 감소하였다. 파괴양상은 사진 4(a)와 같이 전단연결재가 있는 위치에서 균열이 발생되어 콘크리트면으로 진전되었으며, 하부 콘크리트의 압괴현상이 나타났다. 또한 전단연결재 주변의 콘크리트가 파괴되면서 H형강과 콘크리트면 사이에 최대 8.9mm 이격이 발생하였다.

P-24-PL9 실험체는 최대하중 1,102.1kN에 도달하였고, 이후의 파괴양상은 P-21-PL9 실험체와 유사하다. 전단연결재 위치에서 발생한 균열의 진전으로 파괴되었으며, H형강과 콘크리트면 사이에 최대 11.2mm 이격이 발생하였고, 하부 콘크리트의 압괴현상이 나타났다. 사진 4(b)는 P-24-PL9 실험체의 파괴양상이다.



a) P-21-PL6 실험체의 파괴양상



b) P-24-PL6 실험체의 파괴양상



a) P-21-PL9 실험체의 파괴양상



b) P-24-PL9 실험체의 파괴양상



c) P-27-PL6 실험체의 파괴양상



d) P-30-PL6 실험체의 파괴양상



c) P-27-PL9 실험체의 파괴양상



d) P-30-PL9 실험체의 파괴양상

사진 3. PL6 시리즈 실험체의 파괴양상

사진 4. PL9 시리즈 실험체의 파괴양상

P-27-PL9 실험체는 최대하중이 1,222.4kN이며, 전단연결재가 있는 위치에서 균열이 발생하여 콘크리트 면으로 진전되었다. 또한 전단연결재의 파단으로 H형강과 콘크리트면 사이에 최대 6.1mm 이격현상이 나타났다.

P-30-PL9 실험체는 가력시작 후 최대하중 1,293.4kN에 도달한 이후 하중이 약 1,217.7kN까지 감소하였고, 이후 하중이 약간 재상승한 후 다시 하중이 감소하는 양상을 나타내었다. 또한 전단연결재가 있는 위치에서 균열이 발생하여 콘크리트 면으로 진전되었고, H형강과 콘크리트면 사이에 최대 5.4mm 이격현상이 나타났다.

### 3.1.4 PL12 시리즈 실험체

PL12 시리즈 실험체는 SS400 12mm 강재로 전단연결재를 제작하였다. 모살사이즈는 10mm이고, 나머지 실험체의 특징은 PL6 시리즈 실험체와 동일하다. 사진 5는 PL12 시리즈 실험체의 파괴양상이다.

P-21-PL12 실험체는 최대하중 1,341.1kN에 도달한 후 하중이 서서히 감소하는 양상이 나타났으며, 사진 5(a)와 같이 전단연결재 주변에서 심각한 균열이 발생하여 콘크리트면으로 진전되었다. 또한 하부 콘크리트가 압괴되면서 균열이 심화되었고, 전단연결재 주변의 콘크리트가 파괴되면서 H형강과 콘크리트면 사이에 최대 8.0mm 이격현상이 나타났다.

P-24-PL12 실험체는 최대하중이 1,290.9kN으로 나타났고, 이 후의 파괴양상은 P-21-PL12 실험체와 비슷하다. 전단연결재 주변에서 균열이 발생하였고, H형강과 콘크리트면 사이에 최대 13.1mm 이격현상이 나타났다.

P-27-PL12 실험체는 최대하중 1,504.0kN에 도달한 후 하중이 감소하였으며, 이 후의 파괴양상은 P-24-PL12 실험체와 비슷한 양상이 나타났다.

P-30-PL12 실험체는 가력시작 후 최대하중 1,545.7kN에 도달하였고, 전단연결재 주변에 심각한 균열이 발생하였다. 실험체 전체적으로 심각한 균열이 발생하였으며, 하부 콘크리트의 압괴현상이 나타났다. 또한 전단연결재 주변의 콘크리트 파괴로 H형강과 콘크리트면 사이에 최대 10.6mm 이격현상이 나타났다.

### 3.2 하중-변위 곡선

그림 4는 시리즈별 각 실험체의 하중-변위 곡선이다. 하중-변위곡선에서 실험종료는 파괴가 심각하여 실험진행이 어렵거나, 최대하중의 70% 이하로 저하될 때까지 가력 하였다.

P-27-S 시리즈 실험체는 그림 4(a)와 같이 전단연결재인 스티르크넥터의 전단파괴로 인해 점차적인 하중 감소와 함께 내력이 저하되는 양상을 보였고, 콘크리트의 별다른 균열은 발생하지 않았다.

PL6 시리즈 실험체는 그림 4(b)와 같이 최대하중에 도달한 이후, 하중이 서서히 감소하는 양상을 보였다. 전단연결재의 파단으로 실험체에 큰 균열은 나타나지 않았으며, P-30-PL6 실험체의 경우 콘크리트의 파괴 이전에 콘크리트 한 쪽 면의 전단연결재가 모두 전단파괴 되어 H형강과 콘크리트면 사이가 탈락되는 현상이 나타났다.

PL9 시리즈 실험체는 그림 4(c)와 같이 전반적으로 PL6 시리즈 실험체와 비슷한 양상을 보였으나, 전단연결재 주변에서 발생한 균열의 진전으로 파괴되었다. 일부 하부 콘크리트의 압괴현상이 나타났으며, P-27-PL9 실험체와 P-30-PL9 실험체의 경우 다른 실험체에 비해 최대하중 이후 하중저하와 함께 변위량이 감소하였다.



a) P-21-PL12 실험체의 파괴양상



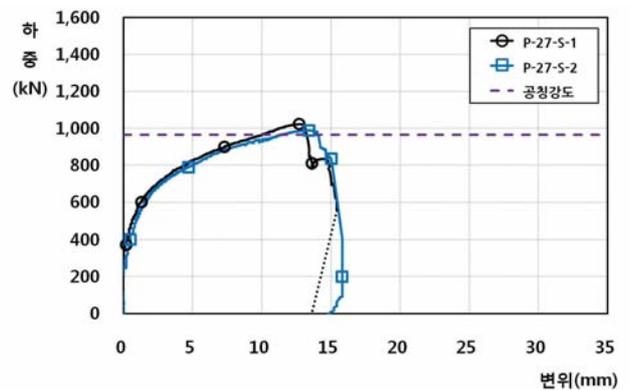
b) P-24-PL12 실험체의 파괴양상



c) P-27-PL12 실험체의 파괴양상

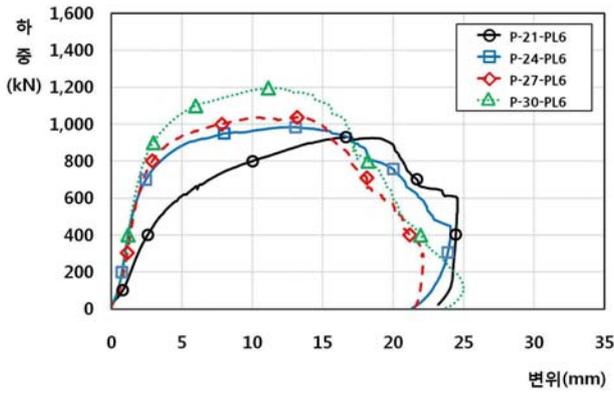


d) P-30-PL12 실험체의 전단연결재 주변의 균열

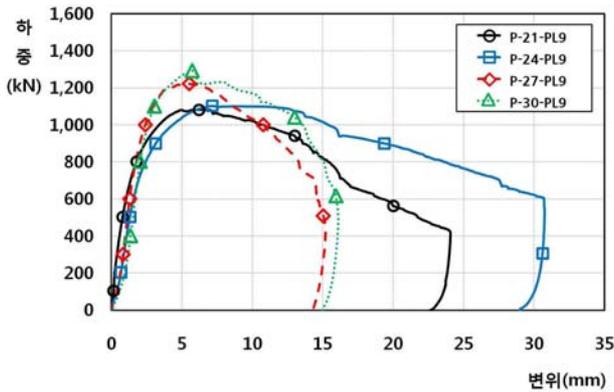


a) P-27-S 시리즈 실험체

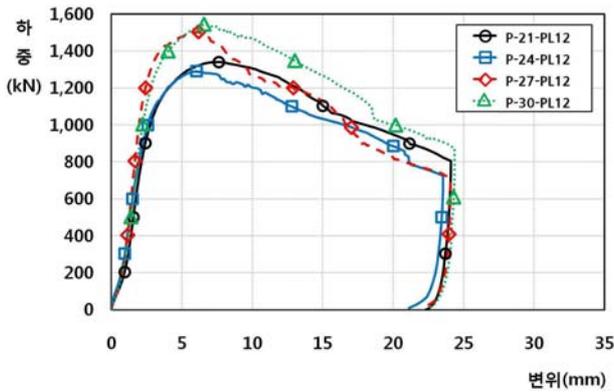
사진 5. PL12 시리즈 실험체의 파괴양상



b) PL6 시리즈 실험체



c) PL9 시리즈 실험체



d) PL12 시리즈 실험체

그림 4. 각 시리즈 실험체의 하중-변위 곡선

PL12 시리즈 실험체는 그림 4(d)와 같이 최대하중이 가장 높게 나타났으며, 최대하중 이후에 하중 감소와 함께 내력이 저하되는 것으로 나타났다. 전단연결재 주변에서 심한 균열이 발생하여 콘크리트면으로 진전 되었으며, 하부 압괴현상이 나타났다.

#### 4. 실험결과 분석

##### 4.1 항복하중 및 최대하중

표 4는 실험결과를 바탕으로 항복하중과 최대하중, 초

기강성 및 공칭강도 등을 정리한 것이다. 실험결과에서 항복하중은 초기강성과 최대하중의 선을 교차시켜 만나는 점을 항복변위로 산정하였고, 이 항복변위와 실험곡선이 만나는 점의 하중을 항복하중으로 정의하였다. 또한 강성은 탄성구간의 기울기로 정의하였다.

항복하중과 실험에 의한 최대하중은 대체로 스티드커넥터를 적용한 P-27-S 시리즈의 기준 실험체 보다 높게 나타났다. 또한 항복하중 및 최대하중은 P-30-PL12 실험체가 가장 높으며, 최대하중을 항복하중으로 나눈 내력비는 1.17~1.38의 범위이다. 초기강성은 최대하중과 비례하는 경향이 보이며, P-27-12 실험체가 가장 높다.

#### 4.2 전단연결재의 공칭강도 산정

표 4에서 공칭강도의 산정은 스티드커넥터의 경우 (1)식을 적용한다. 실험결과에의 평균치를 (1)식에 의해 산정한 스티드커넥터의 공칭강도로 나누면 내력비는 1.04가 되어 실험결과를 다소 상회한다.

$$Q_{n1} = 0.5A_{sc} \sqrt{f_{ck} E_c} \leq R_y R_p A_{sc} F_u \quad (1)$$

$A_{sc}$  ; 스티드커넥터의 단면적(mm<sup>2</sup>)  
 $E_c$  ; 콘크리트 탄성계수(= 8500 $\sqrt[3]{f_{ck} + 8}$ )  
 $R_y, R_p$  ; 감소계수(본 연구,  $R_y = R_p = 1.0$ )  
 $F_u$  ; 스티드커넥터의 인장강도

본 연구에서 개발한 신형상 전단연결재의 내력평가는 다음과 같이 세 가지로 구분할 수 있다.

$$Q_{n2} = a l_e F_w \leq A_s F_u \quad (2)$$

$$Q_{n3} = A_s F_u \quad (3)$$

$$Q_{n4} = 0.5 A_s \sqrt{f_{ck} E_c} \times \alpha \leq A_s F_u \quad (4)$$

$a$  ; 목두께( $a = 0.7 \times s$ )       $s$  ; 모살사이즈  
 $l_e$  ; 유효용접길이( $l_e = l - 2s$ )       $F_u$  ; 전단연결재의 인장강도  
 $F_w$  ; 용접모재의 공칭강도  
 $f_{ck}$  ; 콘크리트 압축강도       $A_s$  ; 전단연결재의 단면적  
 $t$  ; 신형상 전단연결재의 두께  
 $\alpha$  ; 신형상 전단연결재의 두께에 따른 감소계수  
 (= 2.1551 $t^{-0.554}$ )

(2)식은 전단연결재의 용접부 강도를 기준으로 산정한 것이며, (1)식과 같이 용접부 강도는 강재의 강도(단면적×인장강도)이하로 제한된다<sup>10)</sup>. (3)식은 전단연결재의 경사부 모재에서 파단이 일어났을 경우를 나타낸 것이고, (4)식은 기존 (1)식에 전단연결재의 두께에 따른 감소계수( $\alpha$ )를 반영하여 산정한 식이다.

감소계수는 그림 5와 같이 신형상 전단연결재의 두께에 따라 최대하중을 (1)식으로 나누어 비선형 회귀분석을 통해 산출하였다. 신형상 전단연결재의 두께에 의한 영향을 감소계수를 도입하여 평가하면 전단연결재의 내력을 적절하게 평가할 수 있는 것으로 나타났다.

표 4는 (2)~(4)식으로 산정한 공칭강도를 세 가지로

구분하여 각 시리즈 실험체의 최대하중과 비교한 것이고, 표 5는 (2)~(4)식에 따른 전단내력비의 평균과 표준편차, 변동계수이다.

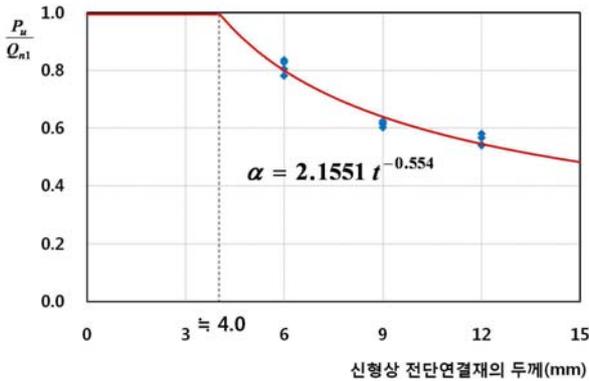


그림 5. 신형상 전단연결재의 두께에 따른 회귀분석

표 4. 실험결과 및 분석

실험체명	$P_y$ (kN)	$P_u$ (kN)	$\frac{P_u}{P_y}$	$K$ (kN/mm)	$\delta_u$ (mm)	$Q_{n2}$ (kN)	$Q_{n3}$ (kN)	$Q_{n4}$ (kN)	$\frac{Q_{test}}{Q_{n4}}$
P-27-S-1	747.4	1,023.2	1.37	311.1	12.71	965.1	965.1	965.1	1.06
P-27-S-2	744.6	988.1	1.33	275.5	13.41				1.02
P-21-PL6	690.2	930.5	1.35	128.4	16.64	1,277.8	1,322.8	923.2	1.01
P-24-PL6	720.7	984.2	1.37	411.7	13.06				949.5
P-27-PL6	783.8	1,037.5	1.32	449.7	13.19			1,060.4	0.98
P-30-PL6	865.3	1,196.9	1.38	529.0	11.14			1,144.1	1.05
P-21-PL9	829.0	1,081.8	1.31	514.3	6.20	1,398.9	1,747.9	1,106.1	0.98
P-24-PL9	817.1	1,102.1	1.35	487.7	7.14				1,137.7
P-27-PL9	962.6	1,222.4	1.27	651.7	5.52			1,270.6	0.96
P-30-PL9	1,067.1	1,293.4	1.21	588.6	5.73			1,370.9	0.94
P-21-PL12	1,057.7	1,341.1	1.27	550.4	7.65	2,260.2	2,483.7	1,257.6	1.07
P-24-PL12	1,041.6	1,290.9	1.24	553.9	6.03				1,293.5
P-27-PL12	1,287.6	1,504.0	1.17	691.1	6.18			1,444.5	1.04
P-30-PL12	1,305.5	1,545.7	1.18	552.2	6.57			1,558.6	0.99

$P_y$  ; 항복하중  $P_u$  ; 최대하중  $P_u/P_y$  ; 내력비  $K$  ; 강성  $\delta_u$  ; 최대하중 시 변위,  $Q_{n2}$  ; (2)식을 적용한 공칭강도  $Q_{n3}$  ; (3)식을 적용한 공칭강도,  $Q_{n4}$  ; (4)식을 적용한 공칭강도  $Q_{test}/Q_{n3}$  ; 전단내력비,  $Q_{test} = P_u$

표 5. (2)~(4)식에 따른 전단내력비의 평균, 표준편차, 변동계수

	용접부의 강도	전단연결재의 강도	스터드커넥터의 공칭강도 변형식
	$Q_{test}/Q_2$	$Q_{test}/Q_3$	$Q_{test}/Q_4$
평균	0.653	0.676	1.002
표준편차	0.214	0.104	0.037
변동계수	0.327	0.154	0.037

(2)식에 의한 공칭강도는 평균 0.653으로 실험값에 비해 높게 평가되었고, 변동계수 또한 0.327로 가장 크다. 또한 (3)식을 적용하면 평균값이 0.676으로 (2)식과 같이 공칭강도가 실험값을 크게 상회한다. 그러나 (4)식을 이용하면 실험값과 공칭강도가 거의 일치한다. 따라서 본 연구에서는 (4)식에 따라 신형상 전단연결재의 공칭강도를 평가할 수 있는 것으로 판단된다.

#### 4.3 변형능력 평가

전단연결재의 형상이 변형능력에 미치는 영향을 연성으로 평가하였다. 실험에 의한 항복하중 및 이때의 항복 변위를 기준으로 최대하중 이후 하중이 저감하여 항복하중( $P_y$ )에 도달할 경우의 변위를 최대변위( $\Delta_u$ )로 규정하였으며, 최대변위를 항복변위로 나누어 연성( $\Delta_u/\delta_y$ )으로 정의하였다.

표 6은 각 시리즈별 실험체의 연성과 스토퍼커넥터를 적용한 P-27-S 시리즈 실험체의 평균값을 기준으로 연성비를 정리한 것이다. 비교결과 연성비는 0.75~2.11의 범위로 나타났고, 신형상 전단연결재를 사용한 실험체가 기준 실험체 보다 평균 약 32.7% 더 높은 내력을 확보하는 것으로 나타났다. 또한 콘크리트 강도가 24MPa 이고, 전단연결재의 두께가 9mm인 P-24-PL9 실험체의 연성이 가장 우수하였다. 따라서 새로운 형상을 갖는 전단연결재를 사용하는 경우 기준 실험체인 스토퍼커넥터와 비교하여 충분한 연성이 확보되는 것으로 평가할 수 있다.

표 6. 연성의 상대평가

실험체명		$\delta_y$ (mm)	$\Delta_u$ (mm)	$\Delta_u/\delta_y$	
Stud 시리즈	P-27-S	3.50	14.97	4.28	1.00
PL6 시리즈	P-21-PL6	6.73	21.75	3.23	0.75
	P-24-PL6	2.61	20.46	7.84	1.83
	P-27-PL6	2.76	17.09	6.19	1.44
	P-30-PL6	2.70	17.18	6.36	1.48
PL9 시리즈	P-21-PL9	1.92	14.84	7.72	1.80
	P-24-PL9	2.53	22.85	9.03	2.11
	P-27-PL9	2.24	11.21	5.00	1.17
	P-30-PL9	2.87	12.52	4.36	1.02
PL12 시리즈	P-21-PL12	3.01	16.11	5.35	1.25
	P-24-PL12	2.73	14.65	5.36	1.25
	P-27-PL12	2.73	9.73	3.56	0.83
	P-30-PL12	3.28	13.99	4.26	0.99

#### 4.4 콘크리트 강도와 전단연결재 두께의 영향

그림 6은 콘크리트 강도에 따른 최대하중의 분포를 나타낸 것이다. 콘크리트의 강도가 증가할수록 최대하중도 증가하는 경향을 보였으며, 증가비율도 유사한 것으로 나타났다. 또한 그림 7은 신형상 전단연결재의 두께에 따른 최대하중을 나타낸 것으로 그림 6과 동일하게 신형상 전단연결재의 두께가 증가할수록 최대하중이 증가하였다.

표 7은 신형상 전단연결재의 두께에 따른  $\alpha$  값을 정리한 것이다. 그림 5와 같이 전단연결재의 두께가 4mm 이하인 경우는 공칭강도가  $A_s F_u$  값을 초과하기 때문에  $\alpha$  값을 1.0으로 산정하였다. 또한 두께가 15mm를 초과하는 경우 상부 수직 받침판을 V자형으로 가공 시 중앙 절개 부분이 파단 되는 현상이 나타나 신형상 전단연결재의 두께는 15mm 이하로 한정하였다.

표 7과 같이 신형상 전단연결재의 두께가 증가함에 따라  $\alpha$  값은 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 신형상 전단연결재의 두께가 증가할수록 단위 면적당 전단내력은 감소하는 것으로 판단된다.

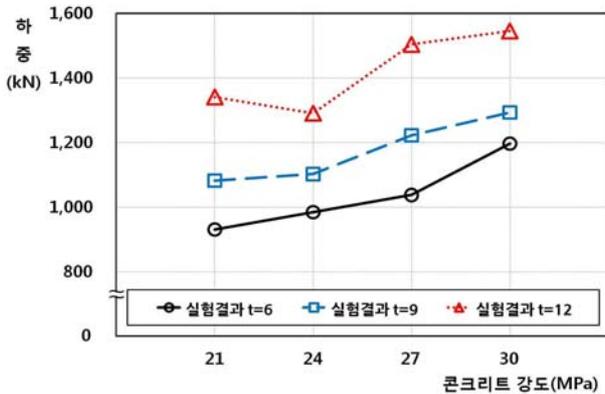


그림 6. 콘크리트 강도의 영향

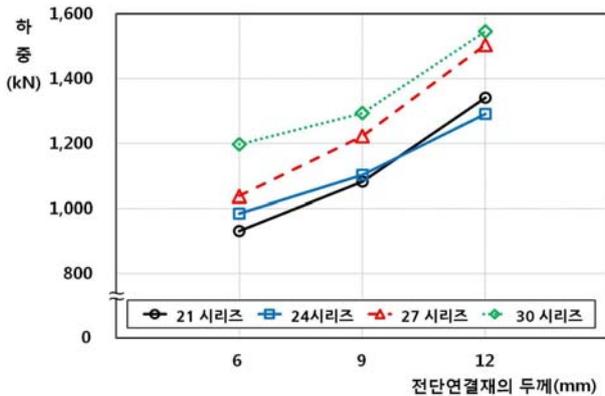


그림 7. 신형상 전단연결재 두께의 영향

표 7. 판 두께와  $\alpha$  값의 관계

$t$ (mm)	$\alpha$	$t$ (mm)	$\alpha$
4 이하	1.00	10	0.60
5	0.88	11	0.57
6	0.80	12	0.54
7	0.73	13	0.52
8	0.68	14	0.50
9	0.64	15	0.48

$t$  ; 신형상 전단연결재의 두께

$\alpha$  ; 신형상 전단연결재의 두께에 따른 감소계수

$$(\alpha = 2.1551t^{-0.554})$$

## 5. 결 론

본 연구에서는 테크플레이트의 직봉을 겸하는 새로운 형상의 전단연결재를 개발하여 푸시아아웃실험(Push-out Test)을 통해 평가하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전단연결재와 직봉을 겸용할 수 있는 신형상 전단연결재는  $\phi 16$  스테드커넥터 이상의 내력을 확보하는 것으로 나타났다.

2) 신형상 전단연결재의 두께가 전단내력에 미치는 영향을 평가한 결과, 두께가 증가할수록 단위 면적당 전단내력은 감소하는 것으로 나타났다.

3) 신형상 전단연결재의 공칭강도는 기존 스테드커넥터의 공칭강도 식에 전단연결재의 두께에 따른 감소계수( $\alpha$ )를 적용한 (4)식으로 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 신형상 전단연결재의 연성을 평가한 결과 기존 실험체에 비해 연성이 약 30% 이상 증가하여 충분한 연성을 확보하는 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 천성철, 주영규, 정광량, 김상대, 비대칭 유공 합성보 iTech beam의 휨성능평가, 대한건축학회논문집 구조계 18권 4호 (통권 162호) pp.67~74, 2002
2. 신현섭, 합성보 전단연결부의 구조거동에 대한 비교 분석, 한국강구조학회 논문집 제17권 6호(통권 79호) pp.737~747, 2005
3. 김상모, 김규석, T형 합성보의 내력평가에 관한 연구, 한국강구조학회 논문집, 제15권 4호(통권 65호), pp.467~474, 2003
4. 김성배, 김상섭, T형 합성보의 시어 커넥터 형상에 따른 전단내력 평가에 관한 연구, 한국강구조학회 논문집 제18권 2호(통권 81호) pp.279~288, 2006
5. 선병택, 송현수, 이형철근을 이용한 합성보의 Shear Connector내력에 관한 연구, 대한건축학회지 25권 101호 pp.47~51, 1981
6. 김성배, 박동수, 서동기, 이용교, 김상섭, 테크플레이트의 직봉을 전단연결재로 활용하는 방안에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계, pp.87~96, 2011
7. 박상철, 김필중, 김규석, 스테드 커넥터의 내력에 관한 실험적 연구 (I), 대한건축학회지 27권 113호, pp.55~59, 1983
8. 대한건축학회, 합성테크 바닥구조 시공지침서, 1998. 5
9. 한국강구조학회, 개정판 강구조설계, pp.78, 2011. 2
10. 대한건축학회, 건축구조기준 및 해설, 2009
11. D.I Mullet, Composite Floor Systems, The Steel Construction Institute, 1988
12. Ivan M. Viest, Joseph P. Colaco et. al, Composite Construction Design For Buildings, ASCE, McGraw-Hill, 1997
13. British Standard Code of Practice, CP 117; Part 1; Composite Construction in Structural Steel and Concrete Part 1; Simply Supported Beams in Buildings, 1965, 1967
14. Eurocode 4, Design of Composite Steel and Concrete Structures: Part 1.1, EN1994-1-1, 1994
15. 金圭石, 金相變(1988), 스태드코넥타의せん斷耐力と合成ばり舉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

(接受: 2011. 5. 5)