

철골 철근콘크리트 기둥과 TSC 보를 이용한 기둥 보 접합부에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Structural Behavior of TSC Beam to SRC Column Connection

서동민*

함정태*

김성배*

이창남*

김상섭**

Seo, Dong-Min Ham, Jeong-Tae Kim, Sung-Bae Lee, Chang-Nam Kim, Sang-Seup

요약 : 본 연구는 U자형 강판을 이용한 합성보(이하 TSC 보)와 철골 철근콘크리트기둥(이하 SRC기둥)의 접합부에 대한 반복가력 실험을 통해 접합부의 구조 성능 평가를 하고, 구조설계에 필요한 기초 자료를 제시하고자 하였다. TSC 보 기둥 보 접합부의 성능 평가를 위해 실시한 철골 콘크리트 기둥 TSC 보 접합부 실험결과는 다음과 같다. 첫째 ; TSC 보를 이용한 기둥-보 접합부 3개 실험체 모두 정·부모멘트 구간이 0.04 radian 까지 전소성모멘트의 80% 이상을 확보하며, 급격한 하중 저감 없이 안정적인 거동을 하였다. 둘째 ; TSC 보를 이용한 기둥 보 접합부는 상부 철근이 인장을 받는 부 휨 모멘트 작용 시 최대내력은 H형강 보를 적용한 실험체 보다 150% 이상 크게 증가하였다. 이것은 TSC 보 내부에 타설 된 중립축 하부의 콘크리트가 부 모멘트 작용 시 압축으로 기여하기 때문이다.

Abstract : In this study, experiment is cycle loading about TSC beam with slab reinforced influence to capacity of connection behavior. Purpose of this experiment is that TSC beam-to-SRC column connection is satisfied to 'Seismic Provision for Structural Steel Building' in AISC and SAC. The results can be shown as follows; The major causes to fail of specimens are local buckling and cracks on the top slab concrete due to negative bending moment. And the detail of composite beam-to-column connection can achieve the SMF(special moment frame) completement with 'Seismic Provision for Structural Steel Building'.

핵심용어 : 기둥-보 접합부, TSC 보, SRC 기둥, 내진 성능

Keyword : Beam-to-Column Connection, TSC Beam, SRC Column, Seismic Provision

1. 서론

현재 국내에서 건설되는 건축물의 골조형식은 일반적으로 철근콘크리트와 철골구조가 대표적이다. 상기 두 가지 구조 시스템과 함께 철근콘크리트 기둥+철골 보 혼합구조와 층고 절감형 바다 슬래브 등이 연구·개발되고 있다. 합성보는 철근콘크리트 바다 슬래브와 철골보에 의해 하중에 저항하도록 구성된 보이며, 콘크리트 슬래브로 만들어진 바닥시스템에 있어서 경제적인 요소로 알려져 왔다.

최근 연구 개발되고 있는 U자형 강판을 이용한 T형 합성보는 기존의 철근콘크리트 보에 철판을 U자형으로 둘러싼 형태로 슬래브를 포함한 단면형상을 갖는다. 본 연구는 U자형 강판을 이용한 합성보(이하 TSC 보)와 철골 철근콘크리트기둥(이하 SRC기둥)의 접합부에 대한 반복가력 실험을 통해 접합부의 구조 성능 평가를 하고, 구조설계에 필요한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험 계획

2.1 실험방법

실험체는 기둥 상·하단을 반력벽에 힌지 상태로 유지하고, 보 단부는 용량이 1,961kN, 최대 스트로크 ±300mm인 액추에이터로 가력하였다. 그림 1은 실험체 설치도와 설치 전경이다.

가력은 ANSI/AISC SSPEC-2002 Cyclic Loading Program(AISC, 2002)에 준하였으며, 기둥 중앙에서 가력점까지의 거리를 기준으로 층간 변위비를 산정하여 변위제어 하였다. 하중가력은 층간 변위비를 기준으로 0.375, 0.5, 0.75% 일 때 각각 6 cycle, 1% 4 cycle, 1.5% 이상의 경우 2 cycle씩 반복가력 하였다. 전체 변위는 가력점에서 보 하부의 줄변위계(Wire Gauge)로 측정하였고, 기둥 보 접합부의 기둥면에서 20cm 떨어진 곳에 변위계(LVDT)를 설치하여 보 회전각을 측정하였다. 변형률 게이지(strain gauge)는 슬래브 상부, 상부 기둥의 콘크리트 면, 슬래브, 보 주근(HD13, HD22), 상부 플레이트, H형강 보 상부 플랜지, 가셋 플레이트, 보 측면 및 하부에 각각 설치하였다.

* (주)센구조연구소

** 한국기술교육대학교 건축공학과 교수

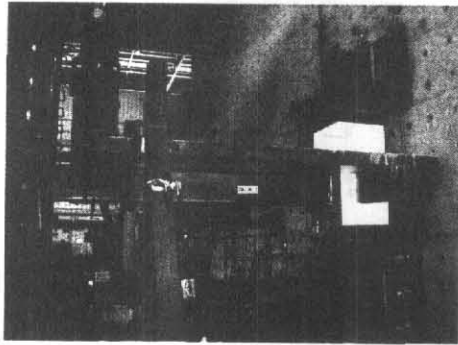


그림 1. 실험체 설치 전경



그림 2. TSC 보 접합상세

2.2 실험체 계획

TSC 보를 사용한 3개의 실험체와 기존 H형강을 적용한 하나의 실험체로 총 4개의 접합부 실험체를 계획하였다. 기둥은 철골 철근콘크리트구조를 사용하였고, 내부의 철골은 BH-310×310×25×25(SS400)이다. 콘크리트 기둥은 800×800이며, 보는 H-446×199×8×12($A_s=84.3\text{cm}^2$)형강과 TSC 보 450×270×6($A_s=84.1\text{cm}^2$)를 사용하였다.

H형강 보는 TSC 보와 동일한 단면적으로 성능 평가를 하였다. TSC 보는 부 모멘트 영역인 상부슬래브 배근을 변수로 하였으며, 표 1은 실험체 일람이다.

접합부 실험에 사용된 기둥은 빌트 업 BH-310×310×25×25(SS400)로 제작하였고, 내부에 철근 16-HD22를 배근한 800×800(mm)의 철골 철근콘크리트 기둥이다. 반력부를 포함한 지점간 거리는 3,500mm이고, 콘크리트가 타설된 부분은 1,500mm이다. 기둥 주근은 상·하부 플레이트에 용접하여 정착시켰다. 접합부 실험체 슬래브 폭은 2,500mm, 기둥 중심과 가력점 사이의 거리는 3,800mm이며, 슬래브 두께는 150mm이다. 슬래브는 HD13 철근을 200mm 간격으로 데크 플레이트 상부근 아래에 배근하였다.

H-W-B와 TSC-W-B 실험체는 슬래브 배근만 하였고, TSC-N-4와 TSC-W-8 실험체는 슬래브 배근 외에 기둥 폭 사이에 HD22를 4, 8개씩 기둥을 관통하여 추가 배근하였다. 또한 상부 슬래브와 보 배근은 슬래브의 연속을 고려하여 기둥 뒷면의 앵글에 모살 용접하여 정착시켰다. H-W-B 실험체는 H-446×199×8×12형강을 보 부재로 사용하였고, 기둥

-보 접합은 플랜지는 용접접합, 웨브는 고력볼트로 접합하였다. 보 플랜지의 용접은 현재 일반적으로 적용되는 1/4 원형 스캘럽으로 하였고, 기둥 보 접합은 현장용접형식으로 하였다. 보 웨브는 고장력 볼트 F10T M22 4개로 접합하였다. 그림 2는 TSC 보-기둥 접합부 실험체의 접합상세이다.

표 1. 실험체 일람표

실험체 명	부모멘트 철근 (슬래브 배근)	비고
H-W-B	12-HD13	철골보 실험체
TSC-N-B	12-HD13	기본 배근
TSC-N-4	4-HD22+12-HD13	보 배근 추가
TSC-W-8	8-HD22+12-HD13	보 배근 추가

표 2. 콘크리트 배합비

설계기준 강도 (MPa)	압축강도 (MPa)	물 시멘트 비(%)	콘크리트 배합량 (kg/m ³)			
			시멘트	물	잔골재	굵은 골재
30	31.27	43.2	405	143	834	919

표 3. 강재의 인장강도 시험 결과

시험편	항복강도 σ_y (MPa)	인장강도 σ_u (MPa)	항복비 σ_y/σ_u (%)	연신율 (%)	비고
P-6	378.3	452.8	83.55	30.68	TSC 보
P-12	336.1	490	68.60	19.14	철골보 플랜지
P-25	384.2	503.7	76.26	20.74	기둥 플랜지
D-13	440.0	640.9	68.65	17.67	슬래브 주근
D-22	427.3	628.2	68.02	17.05	보 상부근

3. 실험결과 및 고찰

3.1 소재시험 결과

콘크리트 배합비 및 압축강도 시험결과는 표 2와 같고, 강재의 인장강도 시험결과는 표 3과 같다. 각 소재시험결과는 모두 한국산업규격을 만족하는 것으로 나타났다.

3.2 실험결과

SAC(2000)의 의사정적 반복하중 내진성능실험을 통해 특별모멘트골조의 접합부로서 인장반기 위해서는 4% 층간변위 수준(또는 0.03 radian 소성회전각 수준)을 적어도 1 cycle 저항할 수 있어야 하고 동시에 강도가 원단면 공칭소성모멘트의 80%이하로 저하되어서는 안 된다.

표 4, 표5는 각 실험체의 실험결과에 따른 휨모멘트와 회전각이다. 그림 3은 각 실험체의 모멘트-회전각 관계이고, 그림 4는 대표적인 실험체의 실험 종료 후 파괴양상이다.

표 4. 각 실험체의 휨모멘트

실험체 명칭	실험값				이론값	
	M^+_v	M^-_v	M^+_u	M^-_u	M^+_p	M^-_p
H-W-B	907.5	-510.4	1239.9	-644.5	708.5	485.1
TSC-N-B	598.4	-623.8	902.0	-968.0	765.4	606.6
TSC-N-4	677.0	-860.9	1034.3	-1281.9	765.4	887.9
TSC-W-8	566.9	-1066.6	1030.3	-1495.1	765.4	1169.1

M^+_v, M^-_v (kN·m) : 항복 정·부모멘트
 M^+_u, M^-_u (kN·m) : 최대 정·부모멘트
 M^+_p, M^-_p (kN·m) : 보 소성 정·부모멘트

표 5. 각 실험체의 회전각

실험체 명칭	$\theta^+_v(\delta_v/l)$	$\theta^-_v(\delta_v/l)$	$\theta^+_u(\delta_u/l)$	$\theta^-_u(\delta_u/l)$
H-W-B	0.013	-0.006	0.041	-0.011
TSC-N-B	0.009	-0.007	0.032	-0.026
TSC-N-4	0.009	-0.010	0.031	-0.032
TSC-W-8	0.008	-0.011	0.032	-0.031

θ^+_v, θ^-_v : 항복 정·부모멘트 시 회전각
 θ^+_u, θ^-_u : 최대 정·부모멘트 시 회전각

(1) H-W-B 실험체

H-W-B 실험체는 0.00375 radian 3cycle에서 기둥 주변의 상부 슬래브에서 균열이 발생되어 가력지점 방향으로 균열이 진행되었다. 0.02 radian 1cycle에서는 철골 보 하부 플랜지에서 국부좌굴이 발생되어 더 이상 하중의 증가가 없었다. 가력은 0.05 radian의 상향가력에서 171mm까지 하였으며, 0.06 radian 하향가력(228mm)의 1cycle 후 가력을 종료하였다.

(2) TSC-N-B 실험체

TSC-N-B 실험체는 0.00375 radian 3cycle에서 상부 슬래브에 균열이 발생하였으며, 0.005 radian 2cycle에서 SRC 기둥 하부에 균열이 발생되었다. 0.015 radian 1cycle에서는 하부 기둥의 콘크리트가 탈락되기 시작하였고, 0.03 radian에서 보 하부 플랜지에 좌굴이 발생되었다. 모멘트 회전각 관계의 경우 접합부의 정모멘트 구간은 0.04 radian 까지 전 소성모멘트를 상회하는 모멘트 값을 보였다.

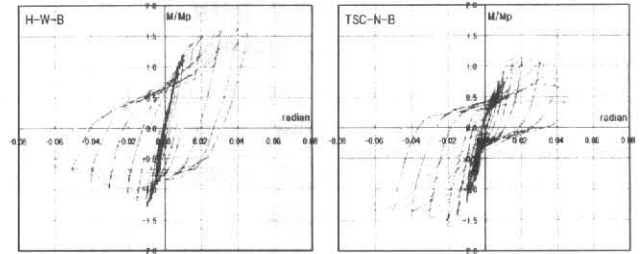
(3) TSC-N-4 실험체

TSC-N-4는 TSC 보를 사용하고, 슬래브에 12-HD13과 4-HD22를 배근한 실험체이다. 파괴양상은 0.00375 radian 2cycle에서 상부 슬래브 균열이 발견되었으며, 0.005 radian 4cycle에서 기둥 하부에 균열이 발생되었다. 0.02 radian 2cycle에서 기둥하부 접합부 부근의 균열이 발전하였다.

(4) TSC-W-8 실험체

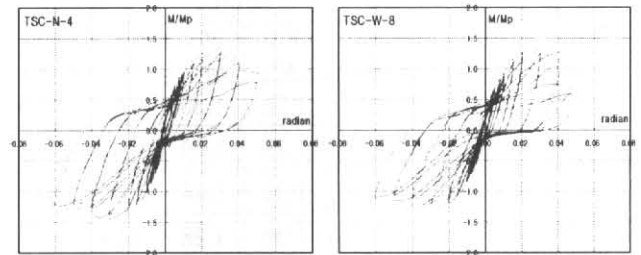
TSC-W-8 실험체는 TSC 보를 사용하고, 슬래브에

12-HD13과 8-HD22를 배근하였다. 또한 상부 접합용 플레이트와 TSC 보 상부 플랜지를 모살 용접하여 상부 플랜지의 연속성을 용접으로 검토한 실험체이다. 파괴양상은 0.00375 radian 4cycle에서 상부슬래브 균열이 발견되었고 0.02 radian 2cycle에서 기둥 하부의 콘크리트가 탈락하였다. 0.03 radian에서 보 하부 플랜지에서 좌굴이 발생되었다.



(a) H-W-B 실험체

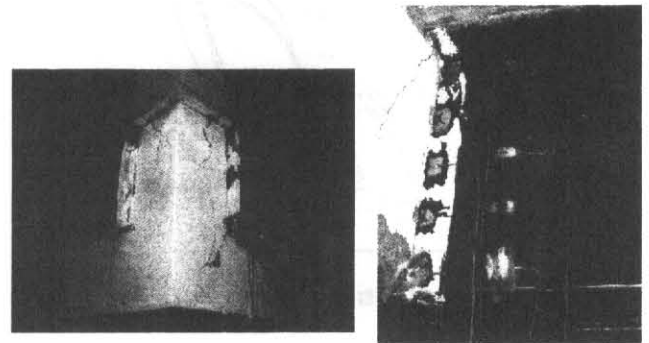
(b) TSC-N-B 실험체



(c) TSC-N-4 실험체

(d) TSC-w-8 실험체

그림 3. 각 실험체의 모멘트 회전각 관계



(a). TSC-N-B 실험체

(b) TSC-W-8 실험체

그림 4. 실험체 파괴양상

3.3 고찰 및 분석

(1) 최대내력

표 6은 각 실험체의 실험결과 분석이다. 표에는 초기강성 과 에너지, 내력비, 변형능력 등을 정리하였고, 그림 5는 내력비와 회전각 곡선을 비교한 것이다.

정 휨 모멘트(하부 인장) 작용 시 보 소성모멘트를 기준으로 한 내력비(M_{max}/M_p)는 H형강 보를 적용한 경우 175%

이고 TSC 보를 적용한 경우 TSC-N-B 실험체가 다소 낮은 값을 보이고 있으나 약 130%의 내력비를 확보하는 것으로 나타났다.

부 휨 모멘트 작용 시 최대 내력은 H형강 보를 이용한 경우 644.5(kN·m)이며 내력비(M_{max}/M_p)는 1.33이다. 그러나 TSC 보를 적용한 경우 부모멘트 최대내력은 H형강 보를 적용한 실험체 보다 150~230% 크게 증가하였다. TSC 보를 적용하는 경우 H형강 합성보 보다 부모멘트에서 내력이 크게 증가하는 이유는, 일반적으로 합성보의 경우 부모멘트는 슬래브 내의 철근 단면만으로 산정하고 슬래브에 포함된 콘크리트 부분을 인장역으로 무시하나, TSC 보의 경우 보 내부에 타설된 중립축 하부의 콘크리트가 압축으로 기여하기 때문으로 판단된다.

표 6. 실험 결과 분석

	초기강성		내력비		변형비	
	K^+ kN/mm	K^- kN/mm	M^+_{u}/M^+_{p}	M^-_{u}/M^-_{p}	$\delta^+_{u}/\delta^+_{y}$	$\delta^-_{u}/\delta^-_{y}$
H-W-B	7569.9	8535.0	1.75	1.33	3.25	1.89
TSC-N-B	7574.8	10354.3	1.18	1.60	3.42	3.61
TSC-N-4	8777.0	10026.1	1.35	1.44	3.45	3.20
TSC-W-8	10123.1	10151.5	1.35	1.28	4.01	2.69

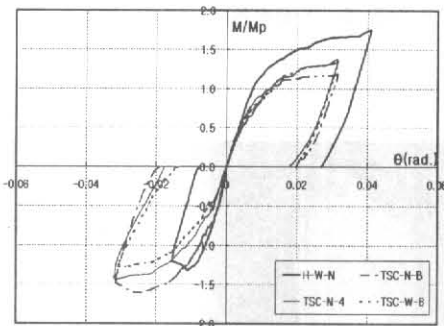


그림 5. 각 실험체의 내력비-회전각 곡선

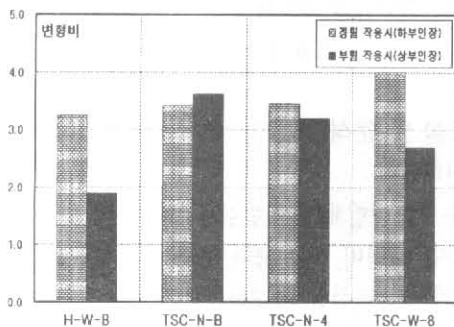


그림 6. 변형능력 비교

(2) 변형능력

변형능력은 각 실험체의 항복하중시의 변위에 대한 최대하중시의 변위 비(δ_u/δ_y)로 하였다.

정 휨 작용 시 변형능력은 H형강 보로 제작한 실험체(H-W-N)를 기준으로 상부 슬래브에 8-HD22로 철근을 배근한 실험체(TSC-W-8)의 경우 약 20% 이상 변형능력이 증가하였으나 그 외 실험체(TSC-N-B, TSC-N-4)는 약 5% 정도 상승하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 변형능력의 증가는 정 휨 작용 시 슬래브와 보에 배근된 압축 철근의 영향으로 판단된다.

부 휨 작용 시에는 기준 실험체인 H형강 보 실험체(H-W-N)를 기준으로 TSC-N-B 실험체는 약 90% 상승하였으며, TSC-N-4 실험체는 70%, TSC-W-8 실험체는 40% 증가하였다. H형강 보 실험체(H-W-N)에 비해 부모멘트 작용 시 변형능력이 크게 증가한 것은 U자형 보 내부에 충전된 콘크리트의 영향으로 판단된다.

4. 결론

TSC 보 기둥 보 접합부의 성능 평가를 위해 실시한 철골 콘크리트 기둥 TSC 보 접합부 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) TSC 보를 이용한 기둥-보 접합부 3개 실험체 모두 정·부모멘트 구간이 0.04 radian 까지 전소성모멘트의 80% 이상을 확보하며, 급격한 하중 저감 없이 안정적인 거동을 하였다.
- 2) TSC 보를 이용한 기둥 보 접합부는 상부 철근이 인장을 받는 부 휨 모멘트 작용 시 최대내력은 H형강 보를 적용한 실험체 보다 150% 이상 크게 증가하였다. 이것은 TSC 보 내부에 타설된 중립축 하부의 콘크리트가 부모멘트 작용 시 압축으로 기여하기 때문이다.
- 3) TSC 보를 이용한 합성 슬래브는 설계 내력과 최대내력비(M_{max}/M_p)가 1.2~1.6의 범위로 내력 확보가 우수하다.

참고문헌

1. 천성철 외 "비대칭 유공 합성보 iTECH beam의 휨성능평가", 대한건축학회 논문집 구조계, 제18권 4호 pp67~74
2. 이철호 외 "웨브를 볼트 접합한 보 플랜지 절취형(RBS) 철골모멘트접합부의 내진설계 및 성능평가" 한국강구조학회 논문집 제17권 제6호,
3. 日本建築學會近畿支部鐵骨構造學會, "通しダイヤフラム形式で角形鋼管柱に接合される H形鋼梁の塑性變形能力に関する實大實驗", 1997
4. AISC, "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", 1997.