

SRC 기둥-TSC 보 접합부의 거동에 관한 연구

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

김성배* 함정태**
Kim, Sung-Bae Ham, Jeong-Tae
이창남*** 김상섭****
Lee, Chang-Nam Kim, Sang-Seup

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. However, concrete filled with U-type steel plate can be resisted local buckling by sharing compression force due to negative bending moment. And the detail of composite beam-to-column connection can achieve the SMF(special moment frame) completment with 'Seismic Provision for Structural Steel Building'.

키워드 : 기둥-보 접합부, TSC 보, SRC 기둥, 내진 성능

Keywords : 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 철골 철근콘크리트구조, 합성구조 및 PS 콘크리트구조가 적용되고 있고, 최근 철근콘크리트 기둥+철골 보 혼합구조와 층고 절감형 바닥 슬래브 등이 연구·개발되고 있다^{(4),(6)~(8)}.

합성보는 철근콘크리트 바닥 슬래브와 철골보에 의해 하중에 저항하도록 구성된 보이며, 콘크리트 슬래브로 만들어진 바닥시스템에 있어서 가장 경제적인 요소로 알려져 왔다^{(3),(15)~(17)}.

철골보와 콘크리트 슬래브의 경계면에서 발생하는 수평 전단력에 저항하기 위한 시어 커넥터(Shear Connector)가 배치된 합성보 구조는 슬래브의 콘크리트 부분이 보 단면의 일부로 사용되어 휨 응력을 받을 때 압축력의 대부분은 콘크리트가 부담하고, 인장력은 강재가 부담하는 효율적인 구조부재로 보의 휨을 줄여 층고 감소가 가능케 한다. 또한 바닥구조의 강성 증대로 장 스펜 구조물이 가능하게 하고 극한하중까지 내력이 증대되는 장점이 있다. 한편, 어떠한 구조의 건축물이든지 기둥과 보가 만나게 되는 접합부를 갖게 마련이다. 접합부에서의 힘의 흐름이 원활하지 못할 경우는 건물이 붕괴되는 주요한 원인이

될 수 있다. 일반적인 합성보의 접합부는 WF-BW (Welded Flange-Bolted Web)의 접합형식을 사용하고 있으며, Northridge 지진(1994, Richter Magnitude 6.8)과 Kobe 지진(1995, Richter Magnitude 7.2) 이후로 활발히 연구되어 오고 있다^{(5),(9)~(14)}.

최근 새롭게 제안된 U자형 강판을 이용한 T형 합성보는 기존의 철근콘크리트 보에 철판을 U자형으로 둘러싼 형태로 슬래브를 포함한 단면형상을 갖는다. 즉, 골이 큰 데크 플레이트 형상으로 시공 시 거푸집의 기능을 수행하며 보의 최외각에 철골을 배치시켜 인장재 역할을 극대화함으로써 휨 강성을 증가시킨 보이다.

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 구조설계 및 시공에 필요한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험 계획

2.1 실험방법

실험체는 기둥-보 접합부에 횡력이 가해진 골조를 재현하기 위해 기둥 상·하단을 반력벽에 힌지 상태로 유지하였고, 보 단부는 용량이 1,961kN, 최대 스트로크 ±300mm인 액추에이터로 가력하였다. 또한 가력 시 보의 면외 변형을 막기 위해 가력 끝단 양쪽에 횡지지 지그를 설치하였다. 그림 1과 그림 2는 실험체 설치도와 설치 전경이다.

* (주)센구조연구소 연구개발팀 팀장, 공학박사
** (주)센구조연구소 연구개발팀, 공학석사
*** (주)센구조연구소 대표이사, 기술사
**** 한국기술교육대학교 건축공학과 교수, 공학박사

실험체 가력방법은 그림 3과 같이 ANSI/AISC SSPEC-2002 Cyclic Loading Program(AISC, 2002)에 준하여 실시하였으며, 기둥 중앙에서 가력점까지의 거리를 기준으로 층간 변위비(interstory drift ratio, SDR)를 산정하여 이를 기준으로 변위제어 하였다⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾. 하중가력은 층간 변위비를 기준으로 0.375, 0.5, 0.75 % 일 때 각각 6 cycle, 1% 4 cycle, 1.5% 이상의 경우 2 cycle씩 반복 가력 하였다.

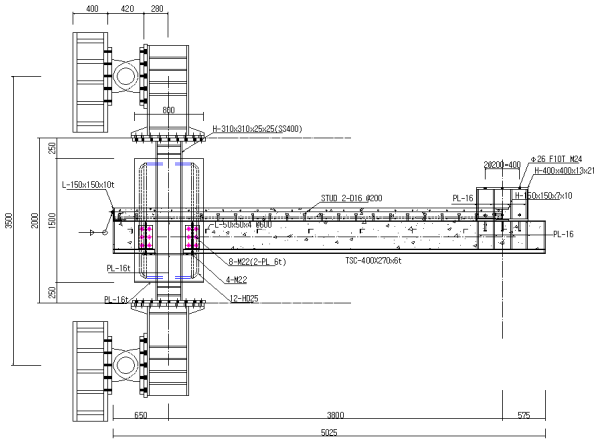


그림 1. 실험체의 설치도



그림 2. 실험체 설치 전경

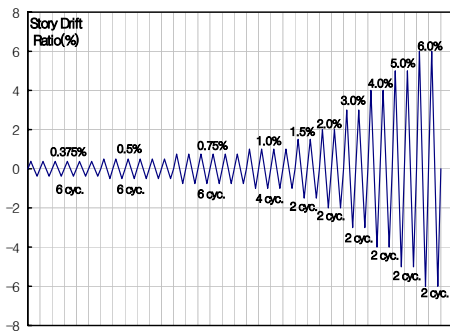


그림 3. 가력방법

변위계는 H형강 보의 경우 6개, TSC 보의 경우 8개를 설치하였다. 전체 변위는 가력점에서 보 하부의 줄변위계(Wire Gauge)로 측정하였고, 기둥 보 접합부의 기둥면에서 20cm 떨어진 곳에 변위계(LVDT)를 설치하여 보 회전각을 측정하였다.

패널존 거동 측정은 단변방향 보 마구리면에 두개의 다이얼게이지를 설치하였으며, 기둥의 거동 측정을 위해 장변방향의 짧은 보 마구리면에 변위계를 설치하였다.

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 설치하여 실험체의 변형률 분포를 확인하였다.

2.2 실험체 계획

본 연구에서는 TSC 보를 사용한 3개의 실험체와 기존 H형강을 적용한 한 개의 실험체로 총 4개의 접합부 실험체를 계획하였다. 기둥은 철골 철근콘크리트이며, 내부의 철골은 BH-310×310×25×25(SS400), 콘크리트 기둥은 800×800을 적용하였다. 보는 H-446×199×8×12 (As=84.3cm²)형강과 TSC 부재 450×270×6(As=84.1cm²)을 사용하였다. TSC 부재의 단면치수는 그림 4와 같다.

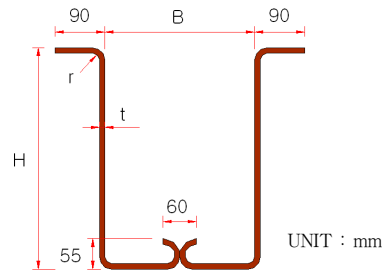


그림 4. TSC 보의 단면치수

표 1. 실험체 일람표

실험체 명	보	부모멘트 철근 (슬래브 배근)	철근단면적 (cm ²)
H-W-B	H-446×199×8×12 (A _s =84.3)	12-HD13	A _r =15.24 기준 실험체
TSC-N-B	TSC-450×270×6 (A _s =84.1)	12-HD13	A _r =15.24
TSC-N-4		4-HD22+ 12-HD13	A _r =15.24 +15.48
TSC-W-8		8-HD22+ 12-HD13	A _r =15.24 +30.96

TSC - W - B

- 슬래브 배근 - B : 기본 배근
- 4, 8 : 보 상부 철근 개수
- 용접 위치 - N : None
- W : 상부 플레이트와 플랜지 용접
- 보 종류

TSC : TSC 보, H : H형강 보

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

비교 대상 실험체인 H-W-B와 TSC-N-B의 경우 보 상부 철근이 없이 슬래브 철근(12-HD13)만을 배치하였고, TSC-N-4와 TSC-W-8의 경우 12-HD13의 슬래브 철근 외에 HD22 철근을 4, 8개 배치하여 보 상부철근에 의한 접합부 성능을 평가하였다.

접합부 실험에 사용된 기둥은 빌트 업(Built-Up) BH-310×310×25×25(SS400)로 제작하였고, 그림 5와 같이 내부에 철근 16-HD22를 배근한 800×800 사이즈의 철골 콘크리트 기둥이다. 반력부를 포함한 지점간 거리는 3,500mm이고, 그 중 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 HD-13 철근을 200mm 간격으로 데크 플레이트 상부근 아래에 배근하였다. 그림 6은 TSC 보-기둥 접합부의 형상을 나타낸 것이다.

H-W-B와 TSC-W-B 실험체는 HD13@200의 슬래브 배근만 하였고, TSC-N-4와 TSC-W-8 실험체는 HD13@200의 슬래브 배근 외에 기둥 폭 사이에 HD22를 4, 8개씩 기둥을 관통하여 추가 배근하였다.

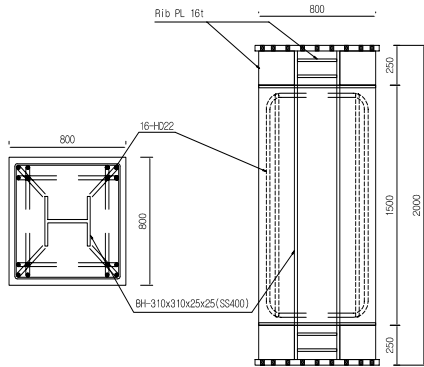


그림 5. 기둥 단면 형상

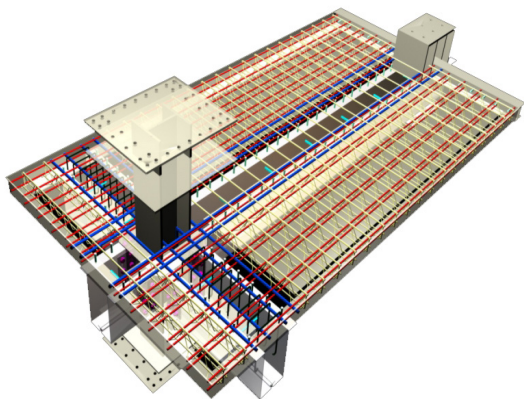


그림 6. TSC 보 기둥-보 접합부 실험체

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, 웹은 고력볼트로 접합하였다. 보 플랜지의 용접은 현재 일반적으로 적용되는 1/4 원형 스켈럽으로 하였고, 기둥 보 접합은 현장용접형식으로 하였다.

보 웹은 고장력 볼트 F10T M22 4개로 접합하였다. 수평 스티프너는 보 플랜지와 동일두께로 하였다. 그림 7은 H-W-B 실험체의 기둥-보 접합상세이며, 그림 8은 TSC 보-기둥 접합부 실험체의 접합상세이다.

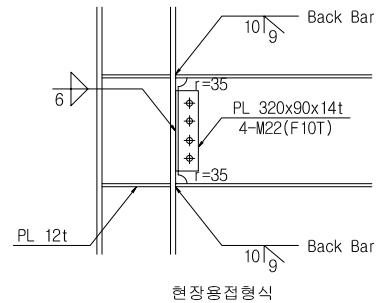


그림 7. H-W-B 접합부 상세

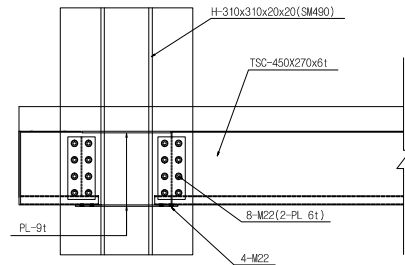


그림 8. TSC 보 접합부 상세

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 (%)	비 고
플레이트 P-6	378.3	452.8	83.55	30.68	TSC 보
플레이트 P-12	336.1	490	68.60	19.14	H형강 플랜지
플레이트 P-25	384.2	503.7	76.26	20.74	기둥 플랜지
철근 D-13	440.0	640.9	68.65	17.67	슬래브 주근
철근 D-22	427.3	628.2	68.02	17.05	보 상부 철근

3. 실험결과

3.1 소재시험 결과

실험체 제작에 사용된 콘크리트는 설계기준강도(f_{ck}) 30MPa이며, 슬래브 주근은 HD13, 보 상부철근은 HD22 이형철근을 사용하였고 시어 커넥터는 스티드 D16 이다. 기둥은 BH-310×310×25×25로 하였고, 보는 H 형강의 H-446×199×8×12와 TSC 부재 450×270×6으로 하였으며 강종은 모두 SS400이다.

콘크리트 배합비 및 압축강도 시험결과는 표 2와 같고, 강재의 인장강도 시험결과는 표 3과 같다.

표 4. 각 실험체의 휨모멘트

실험체 명칭	휨모멘트					
	실험값				이론값	
	M_y^+	M_y^-	M_u^+	M_u^-	M_p^+	M_p^-
	kN·m	kN·m	kN·m	kN·m	kN·m	kN·m
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_y^+, M_y^- : 항복 정·부모멘트
 M_u^+, M_u^- : 최대 정·부모멘트
 M_p^+, M_p^- : 보 소성 정·부모멘트

표 5. 각 실험체의 회전각

실험체 명칭	회전각			
	$\theta_y^+(\delta_y/l)$	$\theta_y^-(\delta_y/l)$	$\theta_u^+(\delta_u/l)$	$\theta_u^-(\delta_u/l)$
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_y^+, θ_y^- : 항복 정·부모멘트 시 회전각
 θ_u^+, θ_u^- : 최대 정·부모멘트 시 회전각

3.2 각 실험체의 모멘트-회전각 관계 및 파괴양상

AISC(1997) 내진규정은 내진설계에 사용된 반응수정계수 R값을 기준으로, 특별모멘트골조 (SMF, special moment frame, R=8), 중간모멘트골조(IMF, intermediate moment frame, R=6), 보통모멘트골조 (OMF, ordinary moment frame, R=4)의 경우 각각 최소 0.03, 0.02, 0.01 radian의 접합부 소성회전각을 확보할 것을 요구하고 있다.

SAC(2000)의 의사정적 반복하중 내진성능실험을 통해 특별모멘트골조의 접합부로서 인정받기 위해서는 4% 층간변위수준(또는 0.03 radian 소성회전각 수준)을 적어도 1 cycle 저항할 수 있어야 하고 동시에 강도가 원단면 공

칭소성모멘트의 80%이하로 저하되어서는 안 된다.

표 4, 표5는 각 실험체의 실험결과에 따른 휨모멘트와 회전각이다.

(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.

엑츄에이터가 상향가력에서 변위 171mm까지 가력이 가능하여 0.05 radian의 상향가력에서 171mm까지만 가력하였으며, 0.06 radian 하향가력(228mm)의 1cycle 후 가력을 종료하였다. 그림 9는 H-W-B실험체의 모멘트-회전각 관계이다. 모멘트는 하중에 보의 가력점과 기둥면 사이의 거리를 곱한 값이고, 회전각은 가력점의 변위를 보의 길이로 나눈 값이다(AISC 내진규정, 1997).

그림 9와 같이 접합부의 정모멘트 구간은 모두 전소성 모멘트를 상회하는 모멘트 값을 보였으며, 부모멘트 구간 역시 0.04 radian까지 전소성모멘트의 80% 이상의 값을 나타내어, 특별모멘트골조의 요구치인 0.04 radian일 때 M/M_p 의 값이 0.8 이상을 만족하였다. 그림 10은 최종실험 종료 후 접합부의 파괴양상이다.

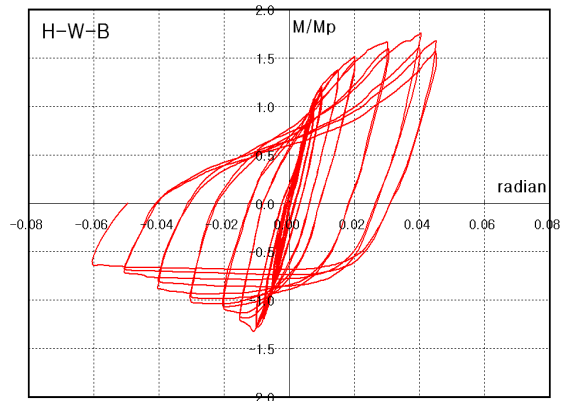


그림 9. H-W-B 실험체의 모멘트-회전각 관계

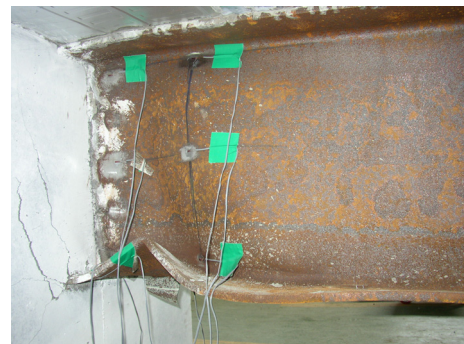


그림 10. H-W-B 실험체 파괴형상

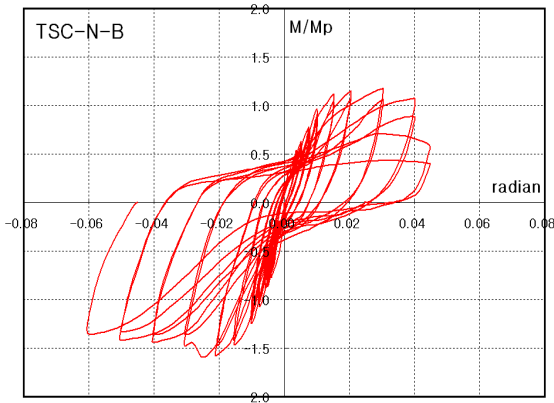


그림 11. TSC-N-B 실험체의 모멘트-회전각 관계

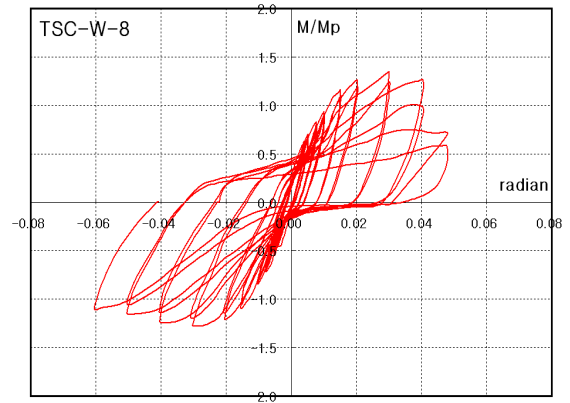


그림 15. TSC-w-8 실험체의 모멘트-회전각 관계



그림 12. TSC-N-B 실험체 파괴양상

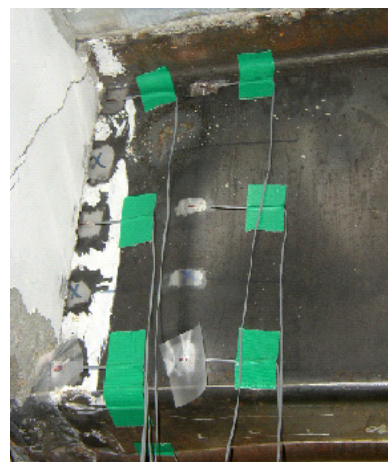


그림 16. TSC-W-8 실험체 파괴양상

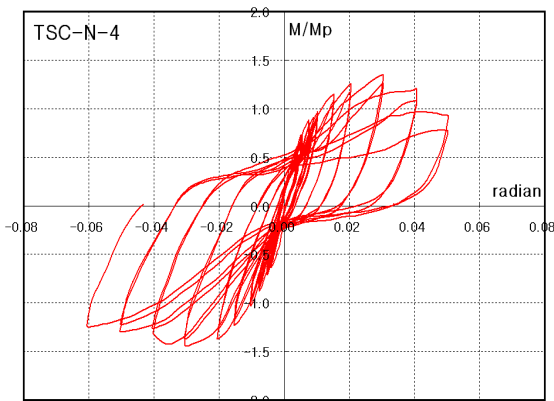


그림 13. TSC-N-4 실험체의 모멘트-회전각 관계

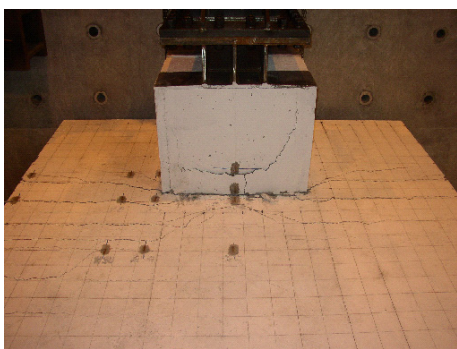


그림 14. TSC-N-4 실험체 파괴양상

(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. 0.0075 radian 3cycle에는 기둥 상부에 균열이 발생되었고, 0.015 radian 1cycle에서는 하부 기둥의 콘크리트가 탈락되기 시작하였다. 0.03 radian에서 보 하부 플랜지에 좌굴이 발생되었고, H-W-B 실험체와 마찬가지로 0.05 radian의 상향가력에서 171mm까지 가력하였으며, 0.06 radian 하향가력(228mm)의 1cycle 후 가력을 종료하였다. 그림 11은 TSC-N-B 실험체의 모멘트-회전각 관계이다.

모멘트 회전각 관계의 경우 접합부의 정모멘트 구간은 0.04 radian 까지 전소성모멘트를 상회하는 모멘트 값을 보였으며, 부모멘트 구간은 가력종료 시점인 0.06 radian 1cycle까지 전소성모멘트를 상회하는 값을 나타내어, 특별모멘트골조의 요구치인 0.04 radian 일 때 M/M_p 의 값이 0.8 이상을 만족하였다. 그림 12는 실험 종료 후 접합부의 파괴양상이다.

(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. 0.0075 radian 1cycle에서 기둥 상부에 균열이 발생되었고, 0.02 radian 2cycle에서 기둥하부 접합부 부근의 균열이 발전하였다. 0.05 radian에서 보 하부 플랜지의 좌굴이 발생되었고, 기존 실험체와 마찬가지로 0.06 radian 1cycle 후 가력을 종료하였다. 그림 13은 TSC-N-4실험체의 모멘트-회전각 관계이다.

접합부의 정모멘트 모든 구간은 전소성모멘트의 80%를 상회하는 모멘트 값을 보였으며, 부모멘트 구간은 가력종료 시점인 0.06 radian 1cycle까지 전소성모멘트를 상회하여, 특별모멘트골조의 요구치인 0.04 radian 일 때 M/M_p 의 값이 0.8 이상을 만족하였다. 그림 14는 실험 종료 후 접합부의 파괴양상이다.

(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 발견되었으며, 0.02 radian 2cycle에서 기둥 하부의 콘크리트가 탈락되기 시작하였다. 0.03 radian에서 보 하부 플랜지에서 좌굴이 발생되었고, 기존 실험체와 마찬가지로 0.06 radian 1cycle 후 가력을 종료하였다. 그림 15는 TSC-W-8 실험체의 모멘트-회전각 관계이다.

모멘트 회전각 관계의 경우 접합부 정모멘트 구간은 0.04 radian 까지 전소성모멘트를 상회하였으며, 부모멘트 구간은 가력종료 시점인 0.06 radian 1cycle까지 전소성모멘트를 상회하는 값을 나타내어, 특별모멘트골조의 요구치인 0.04 radian 일 때 M/M_p 의 값이 0.8 이상을 만족하였다. 그림 16은 실험체의 가력 종료 후 파괴양상이다.

4. 분석 및 고찰

4.1 최대내력

표 6은 각 실험체의 실험결과 분석이다. 표에는 초기강성과 에너지, 내력비, 변형능력 등을 정리하였다.

각 실험체의 내력과 강성을 평가하기 위해 단조화 곡선(Skelton curve)으로 치환하였다. 그림 17은 각 실험체를 단조 곡선으로 치환한 것이고, 그림 18은 내력비와 회전각 곡선을 비교한 것이다.

정 휨 모멘트(하부 인장) 작용 시 H형강 보를 이용한 실험체(H-W-B)의 최대 휨내력은 1,239.9(kN·m)이고, TSC 보를 이용한 실험체(TSC-N-B, TSC-N-4, TSC-W-8)는 각각 902.0, 1034.3, 1030.3(kN·m)이다. 또한 상부플랜지의 연속성을 검토하기 위해 TSC 보 상부 플랜지와 상부 접합용 플레이트를 모살용접한 실험체(TSC-W-8)와 용접하지 않은 실험체(TSC-N-4)의 최대

내력을 비교한 결과 용접으로 인한 내력의 증가는 없는 것으로 나타났다.

보 소성모멘트를 기준으로 한 내력비(M_{max}/M_p)는 H형강 보를 적용한 경우 175% 이고 TSC 보를 적용한 경우 TSC-N-B실험체가 다소 낮은 값을 보이고 있으나 약 130%의 내력비를 확보하였다.

표 6. 실험 결과 분석

	초기강성		에너지		내력비		변형비	
	K^+ kN/mm	K^- kN/mm	E^+ kN·mm	E^- kN·mm	M^+_u / M^+_p	M^-_u / M^-_p	δ^+_u / δ^+_y	δ^-_u / δ^-_y
H-W-B	7569.9	8535.0	34974.1	5952.5	1.75	1.33	3.25	1.89
TSC-N-B	7574.8	10354.3	19854.8	21558.0	1.18	1.60	3.42	3.61
TSC-N-4	8777.0	10026.1	20443.8	24513.7	1.35	1.44	3.45	3.20
TSC-W-8	10123.1	10151.5	20807.4	25271.3	1.35	1.28	4.01	2.69

M^+_u, M^-_u : 최대 정·부모멘트
 M^+_p, M^-_p : 보 소성 정·부모멘트
 K^+, K^- : 정·부모멘트 시 초기강성
 E^+, E^- : 정·부모멘트 시 소산에너지

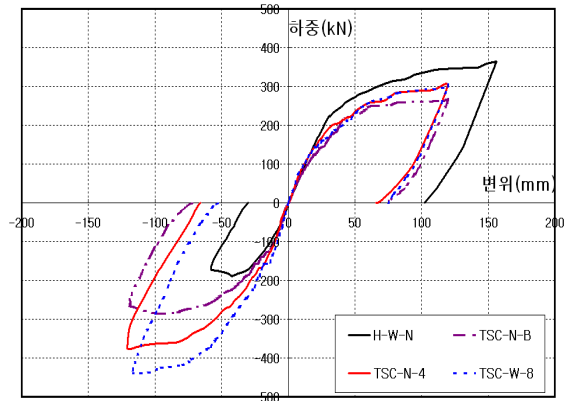


그림 17. 각 실험체의 하중-변위 단조화 곡선

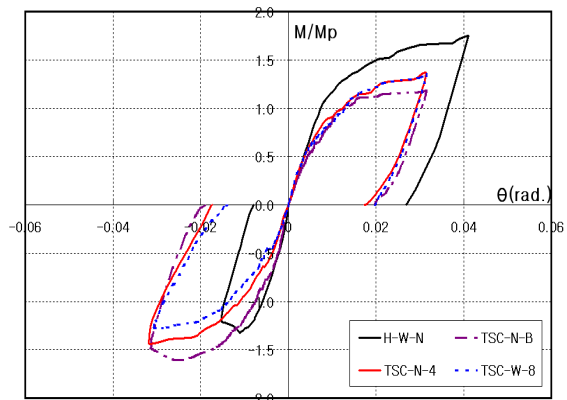


그림 18. 각 실험체의 내력비-회전각 곡선

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 타설 된 중립축 하부의 콘크리트가 압축으로 기여하기 때문으로 판단된다.

4.2 초기강성

초기강성은 그림 17에서 나타난 하중-변위 곡선의 초기접선 기울기로 하였다.

정 휨 작용 시 H-W-B 실험체는 7671.5kN/mm, TSC-N-B 실험체는 7577.1, TSC-N-4 실험체는 8579.8, TSC-W-8 실험체는 10123.1(kN/m)로 나타났다. 부 휨 작용 시에는 H-W-B 실험체는 8535.0 kN/m, TSC-N-B 실험체는 10354.3, TSC-N-4 실험체는 10026.1, TSC-W-8 실험체는 12178.2(kN/m)이다. 그림 19는 각 실험체의 초기강성을 비교한 것이다.

정 휨 작용 시 H-W-N 실험체와 상부 철근을 보강하지 않은 실험체(TSC-N-B)는 초기 강성이 유사하나 TSC보 상부에 4-HD22를 보강한 실험체(TSC-N-4)와 8-HD22를 보강한 실험체(TSC-W-8)의 초기강성은 각각 H형강을 합성보로 제작한 실험체(H-W-B)에 비해 12%, 32% 증가하였다. 이는 상부 철근이 정 휨 작용 시 압축력에 저항하였기 때문인 것으로 판단된다.

부 휨 작용 시 초기강성은 H-W-N 실험체에 비해 TSC-N-B 실험체는 21%, TSC-N-4 실험체는 17%, TSC-W-8 실험체는 42% 높게 나타났다. 또한 그림 19와 같이 보 상부 슬래브의 철근량에 비례하여 초기강성이 증가하는 경향을 보이고 있다.

4.3 변형능력

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

정 휨 작용 시 변형능력은 H 형강 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 H 형강 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. H 형강 보 실험체(H-W-N)에 비해 부모멘트 작용 시 변형능력이 크게 증가한 것은 U자형 보 내부에 충전된 콘크리트의 영향으로 판단된다.

그림 20은 각 실험체의 변형능력을 도식화한 것이다.

TSC 보를 적용한 실험체의 경우 상부 슬래브의 인장 철근이 증가할수록 부 휨 작용 시 변형능력이 반비례하며 감소하였다.

4.4 소산 에너지

각 실험체의 내진성능을 평가하기 위해 소산 에너지를 비교·분석하였다. 소산 에너지는 그림 17의 단조화 곡선의 내부 면적을 정량적으로 평가 하였으며 그림 21은 각 실험체의 소산 에너지이다.

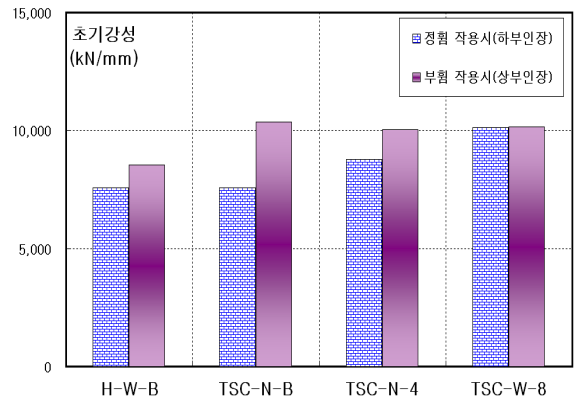


그림 19. 초기강성 비교

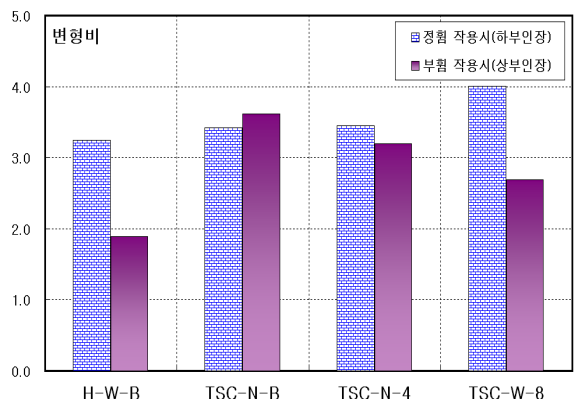


그림 20. 변형능력 비교

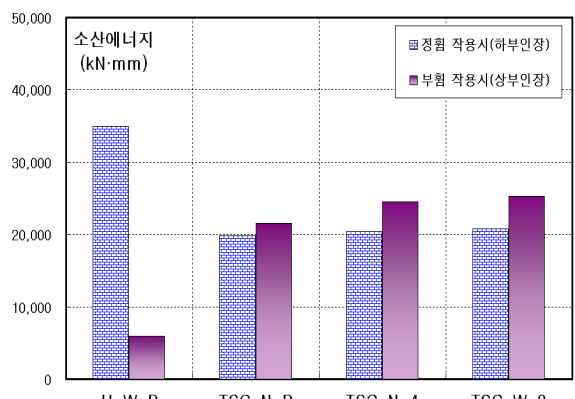


그림 21. 소산에너지 비교

정 휨 작용 시 H형강 합성보(H-W-N)는 소산에너지가 34,974.2kN·m 이며, TSC 합성보 (TSC-N-B, TSC-N-4, TSC-W-8)는 각각 19,854.8, 20,443.8, 20,807.4(kN·m)이다.

부 휨 작용 시에는 H-W-N 실험체는 5,952.5kN·m, TSC-N-B 실험체는 21,558.0, TSC-N-4 실험체는 24513.7, TSC-W-8 실험체는 25,271.3(kN·m)이다.

정 휨 작용 시 H-W-N 실험체가 TSC 보 접합부 실험체에 비해 약 70%가량 크게 나타났으나, 부 휨 작용 시에는 H-W-N 실험체에 비해 TSC 보 접합부 실험체의 소성 에너지가 약 320%가량 더 크다. 부 휨 작용 시 TSC 보 접합부 실험체들이 우수한 소산 에너지 능력을 나타내는 것은 TSC 보 내부에 충전된 콘크리트가 부 휨 작용 시 압축력에 저항하기 때문으로 판단된다.

5. 결론

TSC 보 기둥 보 접합부의 성능 평가를 위해 실시한 철골 철근콘크리트 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 나타내어, 특별모멘트골조(SMF)의 내진성능을 확보하는 것으로 나타났다.
- 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. 또한 소산에너지의 경우 H형강 합성보를 적용한 실험체에 비해 약 300% 이상 증가하였다. 이것은 TSC 보 내부에 타설 된 중립축 하부의 콘크리트가 부 모멘트 작용 시 압축으로 기여하기 때문이다.
- 3) TSC 보를 이용한 합성 슬래브는 설계 내력과 최대 내력 비(M_{max}/M_p)가 1.2~1.6의 범위로 내력 확보가 우수한 것으로 판단된다.
- 4) H형강 합성보는 부모멘트 작용 시 강재 보의 국부 좌굴과 슬래브 콘크리트의 균열에 의해 파괴되었으나 TSC 보 접합부 실험체는 부모멘트 작용 시 강재 내부의 콘크리트가 좌굴에 효과적으로 저항하여 하중 저감이 상대적으로 적은 것으로 판단된다.
- 5) TSC 보를 이용한 기둥-보 접합부의 모멘트 회전각 관계는 급격한 하중 저감 없이 안정적인 거동을 하는 것으로 나타났다.

이상과 같이 본 연구에서는 철골 철근콘크리트 기둥과 TSC 보를 이용한 기둥-보 접합부 실험을 실시하였다. 실험결과 접합부는 우수한 변형 능력을 확보하는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 연구 결과는 한정된 실험체와 접합부 상세에 대한 것으로 이번 연구를 바탕으로, 추후 다양한 형태의 실험체 제작 및 실험을 통해 각 접합부 디테일의 성능을 검증할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국공업표준협회(1992). KS B 0801 금속 재료 인장 시험편.
2. 대한건축학회, 강구조 한계상태 설계기준 및 해설, 1998
3. 김규석, 철골구조학. 기문당, 2000
4. 천성철, 주영규, 정광량, 김상대, “비대칭 유공 합성보 iTECH beam의 휨성능평가”, 대한건축학회 논문집 구조계, 제18권 4호 pp.67~74, 2002. 4.
5. 김종락, 김성배, “고강도강(570N/mm²)기둥 보 접합부의 용접 형식과 접합부상세가 인성에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, 제19권 3호, pp.33-40, 2003. 3.
6. 김상섭, 김상모, 김성배, 서동기, 김규석, “단순지지 T형 합성보의 휨거동에 관한 실험적 연구”, 한국강구조학회논문집, 제16권 2호 pp.225~233, 2004. 4.
7. 허병욱, 배규용, 문태섭, “매입형(슬림플로어) 합성보의 휨성능 평가-층이 깊은 데크플레이트와 비대칭 H형강 철골보”, 한국강구조학회논문집, 제16권 2호 pp.235~245, 2004. 4.
8. 최윤철, 임재형, 권기혁, 문정호, 이리형, 김대중, “PC U형 단면을 사용한 포스트텐션된 넓은 보-기둥 외부접합부의 비탄성 거동”, 대한건축학회 논문집 구조계, 제20권 12호 pp.27~36, 2004.
9. 서성연, 정진안, 최성모, 김성용, “외측다이아프램을 사용한 현장용접형 각형 강관기둥-H형강보 접합부의 이력거동”, 한국강구조학회 논문집 제17권 제4호, 2005. 8.
10. 이철호, 김재훈, “웨브를 볼트 접합한 보 플랜지 절취형(RBS) 철골모멘트접합부의 내진설계 및 성능평가” 한국강구조학회 논문집 제17권 제6호, 2005. 12.
11. 建設省建築研究所, “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”, 1994.
12. 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關する實大實驗”, 1997
13. SAC Joint Venture, “Interim Guidelines Advisory No. 2, Evaluation, Repair, Modification and Design of Steel Moment Frames”, FEMA 267b, 1999.6.
14. AISC, “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings”, 1997.
15. Charles G. Salmon, “Steel Structures Design and Behavior”, 1996.
16. Ivan M. Viest, “Composite Construction Design for Buildings”, 1997
17. Bungale S. Taranath, “Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings”, 1998.

(接受: 2006. 3. 3)