

T-스티프너 보강 CFT 기둥 - H형강보 실대형 접합부의 거동

Behavior of CFT Column to H-Beam Full-scale Connections with External T-Stiffeners

김 영 주¹⁾ · 강 창 훈²⁾ · 신 경 재³⁾
Kim, Young Ju Kang, Chang Hoon Shin, Kyung Jae
오 영 석⁴⁾ · 문 태 섭⁵⁾
Oh, Young Suk Moon, Tae Sup

요 약 : 이 논문은 T-스티프너보강된 CFT기둥-H형강보 실대형 접합부의 거동을 나타낸다. 수직요소와 수평요소로 구성된 6개 실험체의 T-스티프너는 보의 전소성모멘트에 대한 강도비를 주요변수로 하여 제작되었다. 실험을 통하여 얻은 주요 내용은 강도, 강성과 소성회전능력이다. 모든 실험체는 대체로 안정된 이력거동을 나타내었으며, 특히 수평 요소는 수직요소보다 강도와 강성에 더욱더 큰 영향을 준다. 보의 소성회전성능에 있어서, 조기에 파단한 TS-2를 제외한 실험체들의 평균 보소성회전각은 2.97% rad.이다.

ABSTRACT : This paper represents the behavior of CFT column to H-beam full-scale connection with external T-stiffener. 6 specimens whose T-stiffeners which are compounded of vertical element and horizontal element were made under the parameter of the strength ratio of each elements(vertical element and horizontal element in T-stiffener) to the beam full plastic moment. The analysis-parameters demonstrated in the base of the data that we get in experiment are strength stiffness, and plastic rotational capacity. All of specimen showed stable hysteretic behavior, and the horizontal element is more critical than vertical element in strength and stiffness. The mean beam plastic rotation of all specimen except the TS-2 specimen is 2.97% rad.

핵심용어 : 기둥-보 접합부, 콘크리트충전 각형강관 기둥, T-스티프너, 소성회전능력
KEYWORDS : beam-to-column connection, CFT column, T-stiffener, plastic rotational capacity

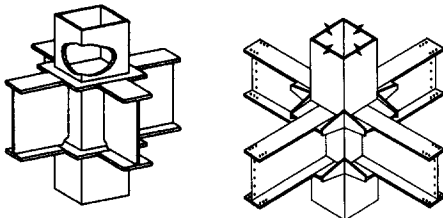
1) 한양대학교 건축공학과 박사과정
2) 정회원, 한양대학교 건축공학과 공학박사
3) 정회원, 한남대학교 건축공학과 교수
4) 정회원, 대전대학교 건축공학과 교수
5) 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수

본 논문에 대한 토의를 2002년 6월 30일까지 학회로 보내
주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

철골골조의 모멘트 접합부가 내진성을 갖기 위해서는 보-기둥 접합부의 취성 파괴 없이 반복적 소성변형능력을 통해 많은 에너지를 흡수할 수 있어야 한다. 하지만, 1994년 캘리포니아 노스리지 지진과 1995년 고베 지진에 의한 철골조 건물의 보-기둥 접합부의 파괴는 철골접합부의 설계와 시공의 확신에 의문을 갖게 하였다. 미국에서는 SAC Joint Venture를 결성하여, 이러한 문제들을 해결하기 위해서 많은 다른 타입의 접합부 상세를 제시하였다.⁽¹⁾

일본에서는 콘크리트 충전각형강관(CFT)을 기둥으로 한 접합부 상세를 지속적으로 연구하고 있다. 콘크리트 충전 강관기둥은 강관의 구속효과에 의한 충전콘크리트의 내력상승과 충전콘크리트에 의한 강관의 국부좌굴 방지효과에 의해 내력 및 변형능력 등 구조성능면에서 우수한 성능을 보유하고, 단면의 증가 없이 내력이 크게 증가하므로 강관의 효율성을 증진시킬 수 있고, 결과적으로 건물의 유효공간을 넓힐 수 있다. 기존의 CFT 접합공법으로 외부다이아프램형, 내부다이아프램형과 관통다이아프램형의 세 가지가 주로 사용되고 있다. 외부다이아프램형은 강관의 충전 정확보에는 좋으나, 강관의부에만 다이아프램을 두어 응력전달이 원활히 이루어지기를 기대하기 어렵고, 내부 및 관통다이아프램형(그림 1.a)은 응력전달은 원활히 이루어지나, 기둥 강관을 절단해야 하는 공정상 번거로움이 있다.



a) 관통형 다이아프램형 b) T-stiffener 형

그림 1. 접합부 형식

따라서, 이러한 문제점들을 해결하고 동시에 시공성 및 구조성이 개선된 T-stiffener가 보강된 접합부(그림 1.b)를 제시하였고, 이미 수차례의 실험을 통하여 이 접합부의 우수성을 검증하였다.^{(2),(3),(4),(5),(6)}

본 연구에서는 이러한 연구들을 바탕으로 실험형 접합부 실험체를 제작하여, 실제 접합부의 거동을 명확히 파악하고자 한다.

2. 재료 실험

2.1 강재 인장강도 시험

실험체 제작에 사용된 강재의 역학적 성질을 파악하기 위해 KS B 0801의 금속재료 인장시험편 규정에 따라 인장시험편을 제작하였다. 강재종류는 각형강관, 보플랜지, 보웨브 및 강판 모두 SS400이다. 인장강도 시험결과는 표 1과 같다.

2.2 콘크리트 압축강도 시험

시험체 제작에 사용된 콘크리트는 설계기준강도 240kg/cm², 굵은 골재 최대치수 19mm, 슬럼프 21cm인 레미콘을 사용하였다. 강도시험용 공

표 1. 강재인장강도시험 결과

시험체	σ_y (tf/cm ²)	σ_u (tf/cm ²)	σ_y/σ_u	Elo.(%)
BF-20	3.12	4.54	0.69	24
BF-19	2.94	4.29	0.69	37
BW-12	3.26	4.49	0.73	28
BW-11	3.14	4.54	0.69	30
SC-12	2.77	4.67	0.59	26
ST-20	3.77	5.83	0.65	26
ST-19	2.91	4.71	0.62	34
ST-12	2.95	5.29	0.56	26

BF-20 - 두께 (mm)

강종(BF 보플랜지, BW 보웨브, SC 각형강관, ST 스티프너)

σ_y :항복점, σ_u :인장강도, σ_y/σ_u :항복비, Elo.:연신율

시체는 KSF 2404에 따라 10개를 제작하며, 본 실험과 동시에 압축강도 시험을 실시하였다. 강도 시험용 공시체는 ϕ -100×200(mm)인 원주형 공시체로서 표준 공시체(ϕ -150×300(mm))에 대한 보정값은 측정된 압축강도의 97%로 하였다.

압축강도는 설계기준강도 240kg/cm²보다 다소 높은 270kg/cm²로 나타났고, 탄성계수는 2.4×10^5 kg/cm²로 나타났다.

표 2. 콘크리트 압축강도 시험결과

설계기준강도 (kg/cm ²)	f_c' (kg/cm ²)	E_c (kg/cm ²)	Slump (cm)
240	270	2.4×10^5	21

f_c' : 콘크리트 압축강도, E_c : 콘크리트 탄성계수(할선계수)

3. 실험

3.1 실험체 계획

그림 2와 같이 실험체 형상은 건물의 외곽부분을 설계하여 외팔보로 계획하였다. 실험체 제작에 사용된 CFT기둥부재는 용접조립(built-up)각형강관 □-500×500×12를 사용하고, H형강보는 H-588×300×12×20과 H-506×201×11×19, 수직요소의 두께는 강관의 두께와 동일한 12mm, 수평요소는 보플랜지의 두께와 같은 두께인 각각

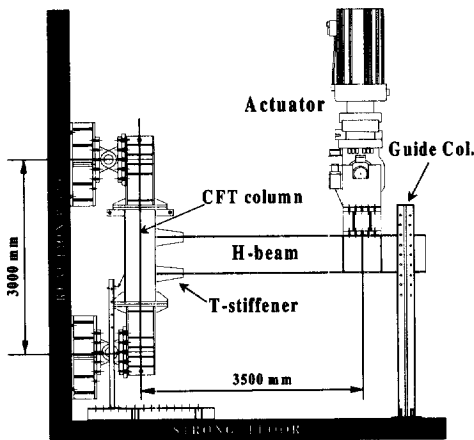


그림 2. 실험체 설치상황

20mm, 19mm로 한다. T-스티프너는 수평요소와 사다리꼴형태의 수직요소로 구성되고, 수직요소의 짧은변의 길이는 긴변의 길이의 50%로 한다. 그림 3에서 H_s 및 L_s 은 각각 수직 및 수평요소의 높이와 길이를 나타낸다. 본 접합부는 스티프너의 용접의 질이 매우 중요하며, 용접조건으로 용접기명은 WM-650A, 용접봉은 SF71, 용접전압은 36 (V), 그리고, 입열량은 29.3KJ/Cm이다. 각 실험체 일람은 표 3에 나타내었다.

주요한 실험변수로는 보의 전소성모멘트에 대한 수평·수직요소별 강도비에 따라 70%, 100%, 및 130%로 되게 하였다. 이것은 수평·수직요소의 강도⁽⁵⁾에 따라 접합부의 거동을 관찰할 뿐 아니라, 궁극적으로는 수평하중을 받는 모멘트 접합부가 스티프너의 적절한 보강으로 인해 보붕괴형의 안정한 거동을 유도하기 위함이다.

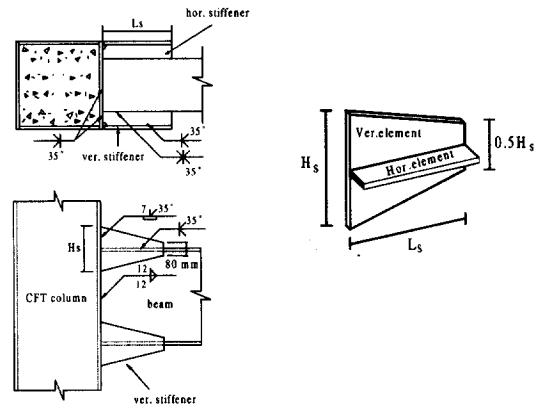


그림 3. T-stiffener의 수평·수직요소 상세

표 3. T-스티프너 보강 실대형 접합부 실험체 일람

실험체명	T-스티프너 수평요소		T-스티프너 수직요소		H형강보 각형강관
	강도비* (%)	길이 (mm)	강도비* (%)	길이 (mm)	
TS-1	70%	240	100%	360	H-588×300×12×20 □-500×500×12
TS-2	130%	440	70%	230	
TS-3	130%	440	100%	360	
TS-4	70%	160	130%	280	H-506×201×11×19 □-500×500×12
TS-5	130%	300	70%	150	
TS-6	130%	300	130%	280	

강도비* : 보 전소성모멘트에 대한 요소별 강도비

3.2 가력 및 측정방법

실험은 200톤 엑츄에이터를 이용하여 H형강보의 전소성모멘트(M_p)를 기준한 점증변위제어(δ_p)를 하여 파괴모드가 확인될 때까지 반복가력을 실시하였다(그림 4). 변위 측정은 보단부에서 측정되는 총변위, 패널존, 기둥 또는 접합부의 변형을 측정하기 위해 각 위치별 변위계(LVDT) 및 다이알 게이지를 각각의 위치에 설치한다. 강관과 H형강보 및 스티프너의 응력 메카니즘을 파악하기 위해 주요부분에 변형게이지(wire strain gauge)를 부착하여 응력의 흐름을 파악한다.

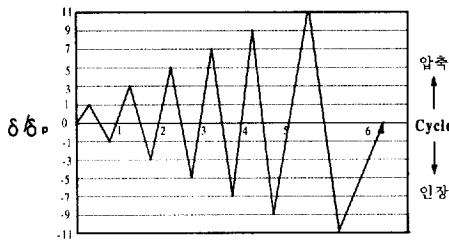


그림 4. 점증변위제어

4. 실험 결과

(1) TS-1

보의 전소성모멘트에 대하여 T-스티프너의 수평 및 수직요소의 내력이 각각 70%, 100%로 제작된 접합부로서, 먼저 하중 -31.14 tf에서 후면 하부 수평요소와 보와의 용접부에서 균열이 발생하였고, 상부는 수평요소 용접지단부에서 보플랜지로 균열이 진전되었다. 따라서, 취성적으로 파단하지 않고 하중이 서서히 감소한 후 하부수평요소와 보플랜지와의 용접부가 완전히 벌어졌으며, -31.5tf에서 하부플랜지가 파단하였다.

(2) TS-2

보의 전소성모멘트에 대하여 T-스티프너의 수평 및 수직요소의 내력이 각각 100%, 70%로

제작된 접합부로서, 수직요소의 강도비가 수평요소에 비해 상대적으로 낮은 결과 수직요소에 응력이 집중되었다. 따라서 수직요소는 충분한 응력을 부담하지 못하고, 또한 기둥 웹에 응력을 제대로 전달하지 못하였다. 47.32tf의 하중에서 기둥과 수직요소와의 용접부분의 열영향부 파단을 일으켰다.

(3) TS-3

보의 전소성모멘트에 대하여 T-스티프너의 수평 및 수직요소의 내력이 각각 130%, 100%로 제작된 접합부로서, 하중이 47.06tf일때 상부 플랜지에서 응력이 집중되었고, 하중이 -49.52tf일때 하부플랜지가 압축에 의해 좌굴이 발생하였다. 보단부에서 소성힌지가 발생함을 확인할 수 있었고, 안정된 방추형의 이력거동을 나타내었다.

(4) TS-4

보의 전소성모멘트에 대하여 T-스티프너의 수평 및 수직요소의 내력이 각각 70%, 130%로 제작된 접합부로서, +2 사이클에서 하중 18.97tf일 때 상부 수평요소의 균열이 시작되었고, 2사이클 끝까지의 변위에서 수평요소 길이의 30%까지 균열이 진전되었다. +3 사이클에서 상부 수평요소와 보플랜지 용접부가 완전히 벌어졌고, -3 사이클에서 수평요소와 보플랜지가 닫히면서, 하중이 상승하였다. 그러나, 다시 하부 수평요소 용접부에서 하중이 -18.97tf일 때 균열이 발생하여 수평요소와 보플랜지 사이가 완전히 벌어졌다. 상하부 수평요소 용접부가 대각방향으로 2개 모두 파단된 후 실험을 종료하였다. 이 접합부에서 알 수 있는 사실은 T-스티프너의 수평·수직요소가 1차적으로 파단하여 하중 및 강성은 저하하지만, 파단 후에도 강관에 용접된 H형강보가 많은 변형능력을 발휘하였다.

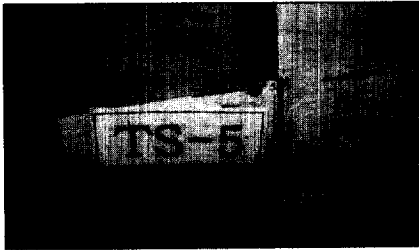
(5) TS-5

보의 전소성모멘트에 대하여 T-스티프너의 수

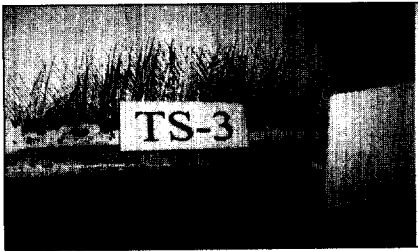
평 및 수직요소의 내력이 각각 130%, 70%로 제작된 접합부로서, +4 사이클까지 안정된 방추형의 이력거동을 보이다가 -34.24tf에서 수직요소와 강관 용접부가 파단하였다.



(a) 수평요소 파단.



(b) 수직요소 파단



(c) 보플랜지 좌굴

그림 5. 실험체 파단사진

표 4. 접합부 실험체 실험결과

실험체명	eP_y (tf)	eP_u (tf)	bP_p (tf)	eP_y/bP_p	eP_u/bP_p	K_i (tf/mm)	파괴모드
TS-1	26.69	39.98	37.72	0.71	1.06	1.07	하부수평요소
TS-2	39.14	47.32	37.72	1.04	1.25	1.19	상부수직요소
TS-3	38.37	59.41	37.72	1.03	1.58	1.35	상부보플랜지
TS-4	12.17	20.89	20.61	0.59	1.01	0.63	상하부수평요소
TS-5	20.05	31.38	20.61	0.97	1.52	0.66	하부수직요소
TS-6	23.50	29.48	20.61	1.14	1.43	0.66	상부수평요소

eP_y : 실험항복내력 eP_u : 실험최대내력
 bP_p : 계산된 보의 소성하중 K_i : 초기강성

(6) TS-6

보의 전소성모멘트에 대하여 T-스티프너의 수평 및 수직요소의 내력이 모두 130%로 제작된 접합부로서, -3 사이클까지 안정된 방추형의 이력거동을 보이다가, +4 사이클의 32.73tf, 115.73mm에서 상부 수평요소와 보플랜지와의 용접부에서 균열이 발생하였으며, 하중이 서서히 감소하다가 수평요소와 보플랜지 용접부가 이탈하여 하중이 급격히 감소하였다. 수평요소가 130%보강되었음에도 용접부가 파괴된 이유는 수평요소와 보플랜지 사이를 용접할 때 완전 맞댐 용접을 하지 않고 부분 맞댐 용접을 하였기 때문이다.

그림 5는 실험체의 파단사진을 나타낸 것이다.

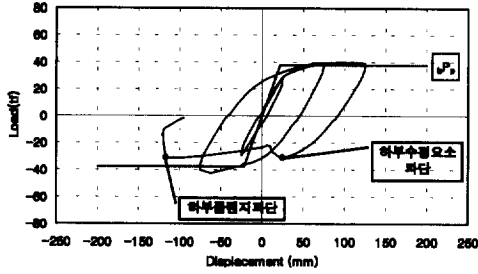
표 4는 각 실험체의 초기강성, 항복내력, 최대내력 및 파괴모드를 나타내었으며, 하중-변위관계 곡선은 그림 6에 나타나 있다.

5. 분석 및 고찰

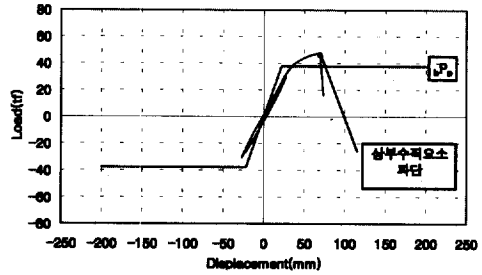
5.1 내력 및 강성

T-스티프너 보강 접합부는 보강요소의 응력 분담율에 따라 강성이 달라지는데, 70%의 강도비를 지닌 수평요소를 부착한 TS-1과 TS-4의 경우 평균강성값(각각 TS-1, TS-2, TS-3의 강성평균 및 TS-4, TS-5, TS-6의 강성평균)에 비해 각각 약 11%, 4%정도강성을 확보하지 못함을 확인하였다.

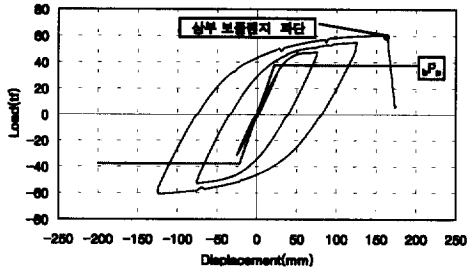
수평·수직요소의 내력이 보내력에 대해 100% 이상 상회하는 TS-3의 경우 TS-1 및 TS-2보다 내력 면에서 각각 33%, 20%, 강성측면에서는 각각 20%, 12% 정도 높게 나타났다. 또한 수평요소가 130%로 설계된 TS-5, TS-6 실험체는 내력 면에서 강도비 70%로 설계된 TS-4실험체보다 각각 50%, 41%, 강성면에서 5% 높게 나타났다. 수평요소가 강도비 70%로 설계된 실험체(TS-1, TS-4)는 보 전소성하중에 비해 각각 1.06, 1.01의 분포를 나타내고 있는 반면, 강도



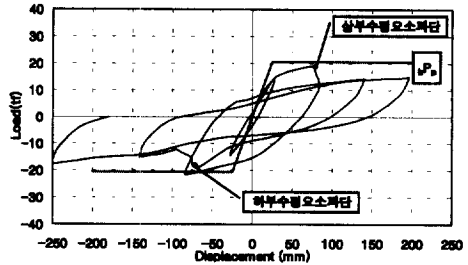
(a) TS-1 실험체



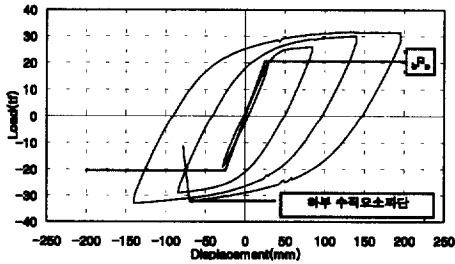
(b) TS-2 실험체



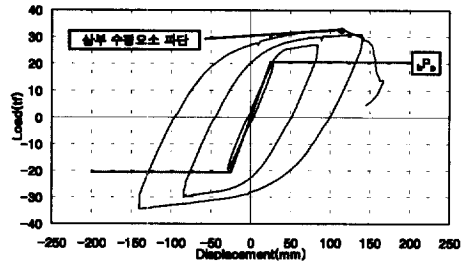
(c) TS-3 실험체



(d) TS-4 실험체



(e) TS-5 실험체



(f) TS-6 실험체

그림 6. 접합부 하중-변위관계곡선

비가 100% 이상 확보된 수평요소의 경우는 1.25~1.58의 분포로 안정된 거동을 나타내었다. 따라서 수평요소의 길이는 접합부의 강성 및 내력에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

5.2 변형 능력

T-스티프너를 보강한 접합부의 변형능력을 검토하기 위해 각요소별 회전각을 표 5에서와 같이 보회전각, 기둥회전각, 패널존회전각으로 분류하였다. 표 5에서 알 수 있듯이 접합부나 패널존은

표 5. 접합부 각 요소별 최대회전각

실험체명	θ_c (rad)	θ_{DZ} (rad)	θ_b (rad)	
			θ_{be} (rad)	θ_{bp} (rad)
TS-1	0.0016	0.0016	0.0105	0.0260
TS-2	0.0017	0.0027	0.0113	0.0084
TS-3	0.0025	0.0038	0.0129	0.0302
TS-4	0.0021	0.0011	0.0098	0.0213
TS-5	0.0022	0.0014	0.0143	0.0425
TS-6	0.0013	0.0013	0.0150	0.0287

θ_c : 기둥회전각

θ_{DZ} : 패널존회전각

θ_{be} : 보단성회전각

θ_{bp} : 보소성회전각

탄성에 머물러서 변형량이 미소했으나, 보는 항복 이후 소성화하여 많은 에너지 흡수를 하였다. 이는 접합부의 강성을 크게 하여 보에서 많은 에너지를 흡수시켜서, 보단에서 소성힌지가 발생하도록 하려는 실험목적에 잘 반영하였다고 사료된다. 표 5에서 보의 소성회전각은 보의 전체 회전각에서 항복모멘트까지의 회전각을 나타내는 탄성회전각을 뺀 나머지를 나타낸 것이다.

그림 7은 총회전각과 총소성회전각을 나타낸 것이다. 수평·수직요소를 100%이상 보강한 경우에는 대체로 우수한 소성 회전능력을 갖고 있다고 할 수 있다. 이는 표 6과 같이 AISC (1997)⁽⁷⁾에서 제안한 내진성능 요구치를 통하여 확인할 수 있다.

표 6. 골조 종별 내진성능 요구치

골조 구분	접합부 소성회전능력	접합부 층간변위능력
보통모멘트 골조(OMF)	0.01 rad	층고의 2%
중간모멘트 골조(IMF)	0.02 rad	층고의 3%
특별모멘트 골조(SMF)	0.03 rad	층고의 4%

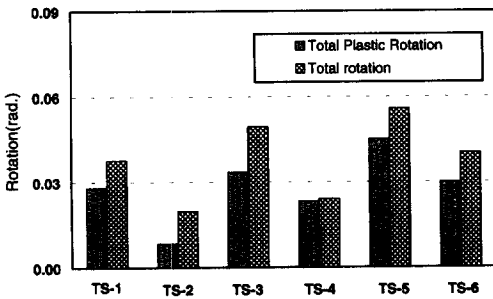


그림 7. 총회전각과 총소성회전각

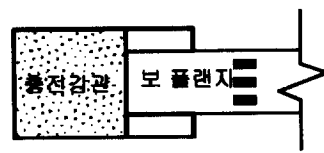
5.3 변형도 분포

보플랜지와 웨브 및 기둥플랜지의 주요변형상황을 알아보기 위하여, 최대내력 사이클까지의 변형도를 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 보의 전소성모멘트에 대해 수평요소가 70%로 설계된 TS-1 실험체와 수평·수직요소 모두 100%로 설계된

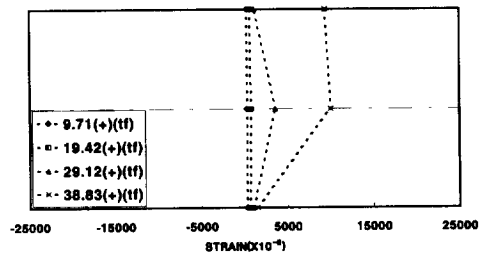
TS-3 실험체를 대표적으로 비교하였다.

TS-1 실험체는 보내력에 비해 상대적으로 약한 수평요소로 설계되었기 때문에, 보 상부 플랜지에서 항복이 일어났지만, 하부 수평요소에서 균열이 진전된 후 하중이 감소하였다. 따라서, 보 플랜지 뿐만 아니라 수직요소가 강관에 전달하여 생기는 기둥 상·하부의 변형도 거의 일어나지 않았음을 알 수 있다. 따라서, 접합부의 충분한 변형을 확보하기 위해서는 수평요소가 100%이상의 내력을 확보해야 할 것으로 사료된다.

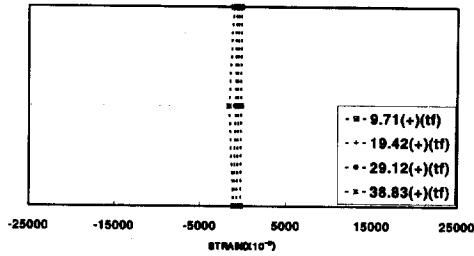
TS-3 실험체는 보내력에 비해 수평, 수직요소가 각각 130%, 100%로 설계되어 보에서 소성화하여 많은 변형에너지를 얻고자 하였다. 그림 8의 (a,b)에서 알 수 있듯이, 보플랜지는 항복하여 많은 변형을 확보하였으며, 플랜지로부터 수직요소에 의해 전달되는 강관 웨브의 변형값도 매우 많이 진전되었다. 기둥 웨브에는 3개의 변위계를 설치하여 변형을 관찰한 결과, 상하 2 개의 변형은 거의 일어나지 않았지만, 보플랜지 연장선상에 위치한 게이지의 변형이 매우 크게 나타났다. 따라서, 보가 매우 큰 변형을 가질 뿐 아니라, 기둥 웨브도 일부의 변형을 분담하여 접합부가 전체적으로 충분한 소성변형능력을 발휘할 수 있다고 사료된다.



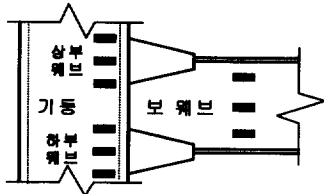
(a) 보플랜지 변형게이지의 위치



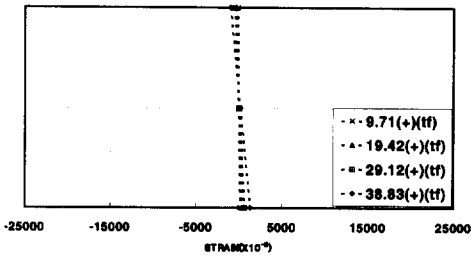
(b) 보 상부 플랜지



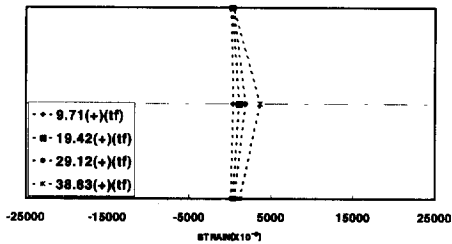
(c) 보 하부 플랜지



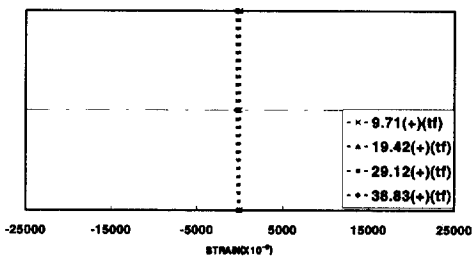
(d) 보 웨브 및 기둥 웨브 변형게이지 위치



(e) 보 웨브

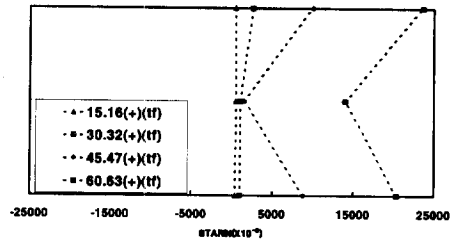


(f) 기둥 상부 웨브

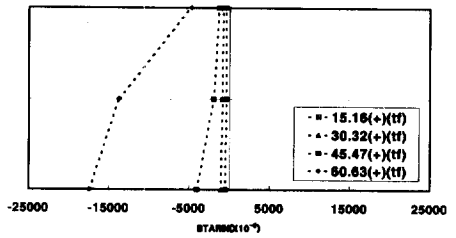


(g) 기둥 하부 웨브

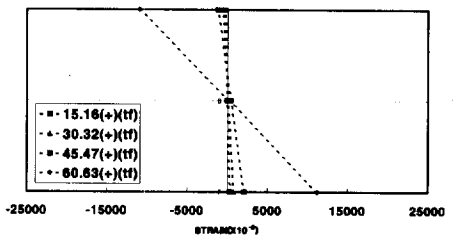
그림 8. TS-1 변형도 분포



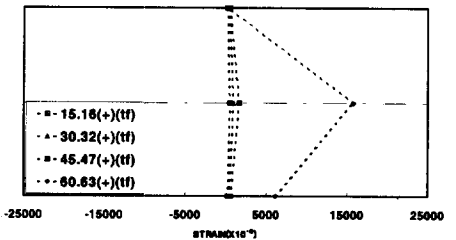
(a) 보 상부 플랜지



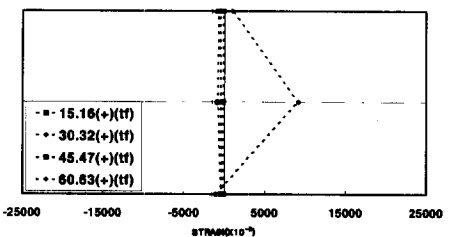
(b) 보 하부 플랜지



(c) 보 웨브



(d) 기둥 상부 웨브



(e) 기둥 하부 웨브

그림 9. TS-3 변형도 분포

5. 결 론

T-스티프너로 보강된 CFT 기둥-H형강보 접합부 실험 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) T-스티프너의 수평·수직요소가 보의 내력에 비해 100%이상 확보한 경우에는 보에서 소성힌지가 발생하였으며, 많은 에너지를 흡수하는 안정된 방추형의 이력거동을 나타내었다.
- (2) 수평·수직요소의 거동을 살펴보면, 두 요소 모두가 강성 및 내력에 미치는 영향이 크지만, 수직요소는 일정한 내력을 확보한 경우 기둥 웨브로 단순히 응력을 전달하지만, 수평요소의 길이는 강성 및 내력에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 나타났다.
- (3) TS-2를 제외한 다른 실험체들의 보 소성회전각은 2.13%~4.25%(rad)의 분포를 나타내었으며, 이를 평균하면 2.97%(rad)이다. 이는 AISC(1997)의 내진성능요구치에 나타난 접합부 회전각을 대체로 만족하였다. 따라서, 본 접합부는 수평하중으로 작용하는 지진에 대해 우수한 회전성능을 보유한 접합부라고 사료된다.
- (4) 변형도 분포를 살펴본 결과, 보 내력에 비해 70% 확보한 접합부는 접합부에서 파단이 발생하여 보 플랜지의 변형이 매우 미소했으며, 강관에 응력을 적절하게 전달하지 못했지만, 100%이상 확보한 접합부는 보 플랜지 및 보 웨브에서 항복하여 많은 변형을 하였으며, 수직요소로 통하여 강관웨브로 많은 응력을 전달하였다. 따라서, 접합부 전체의 소성회전능력을 향상시키고 동시에 보에서 소성힌지가 발생하는 보 붕괴형 시스템을 유도하기에 적합한 접합부라고 사료된다.

감사의 말

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터(STRESS)의 후원과 포항제철(주)의 석좌교수 기금으로 수행한 연구입니다.

참 고 문 헌

1. SAC Joint Venture, "Experimental Investigations of Column Subassemblages", Rep. No. SAC 96-01, Federal Emergency Management Agency, Sacramento, Calif, 1996.
2. 이정훈, 강창훈, 신경재, 오영석, 문태섭, T형 스티프너를 갖는 철근·강판보강형 콘크리트 충전 각형강관 기둥-H형강 보 접합부의 거동, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 1998, pp.139-144
3. 강창훈, 신경재, 오영석, 문태섭, "외부 T-스티프너 보강콘크리트충전 각형강관 기둥-H형강 보 접합부의 거동", 대한건축학회 논문집, 2000.
4. 강창훈, 신경재, 오영석, 문태섭, "외부 T-스티프너 보강 콘크리트충전 각형강관 기둥-H형강 보 접합부의 거동, 한국강구조학회 논문집, 제 12권, 1호, 55-63, 2000
5. 최낙중, 강창훈, 신경재, 오영석, 문태섭, "T-스티프너 보강 콘크리트충전 각형강관 기둥-보플랜지 접합부의 인장거동", 한국강구조학회 학술발표대회, 2000. 6
6. Chang-Hoon Kang, Kyung-Jae Shin, Young-Suk Oh, Tae-Sup Moon, "Hysteresis behavior of CFT column to H-beam connections with external T-stiffeners and penetrated elements", Engineering Structures, Vol. 23(9), 1194-1201, 2001
7. *Seismic provisions for structural steel buildings.*(1997). 1st Ed. AISC, Chicago.

(접수일자 : 2001년 6월 14일)