내진 각형강관 기둥-H형강 보 접합상세의 구조성능평가

Structural Performance Evaluation of

Seismic Wide-flanged Beam-to-Rectangular Steel Tube Column Connection Details

장 보 라1) 심 현 주²⁾ 김 용 익3) 정 진 안4) Shim, Hyun Ju Kim, Yong Ick Jang, Bo Ra Chung, Jin An 오 영 석5) 김 상 섭6) 최 병 정7) 이 은 택8)† Oh. Young Suk Kim, Sang Seup Choi, Byong Jeong Lee. Eun Taik

약 : 본 연구의 목적은 모멘트 접합 골조에서 각형강관 기둥-H 형강 보 접합부의 내진성능평가이다. 각형강관은 H형강에 비해서 효율적 이고 많은 장점이 있음에도 불구하고, 아직 접합 디테일의 부족과 경험 부족 등의 이유로 현장에서 적용이 제한적이다. 각형강관을 사용한 기존의 모멘트 접합부는 주로 관통형 다이아프램 형식을 사용하고 있는데 이는 시공과정이 복잡하여 현장에서의 적용을 어렵게 한다. 그러므로 이 연구에 서는 각형강관 기둥을 절단하지 않는 접합상세에 대하여 구조성능 및 내진성능을 평가하고자 하였다. 엔드플레이트와 헌치를 이용한 용접접합의 접 합상세에 대하여 내력 및 강성, 에너지흡수능력을 비교분석하였다.

ABSTRACT: The objective of this paper is to examine the structural performance of steel moment-resisting frames on the various connection details of Seismic Wide-flanged Beam-to-Rectangular Steel Tube Column connections. Although compared to an H-shaped steel tube, a rectangular steel tube has many advantages and is more efficient, its application is limited due to the lack of experience in using it and the connection details. Existing steel moment connections using the rectangular steel tube are mainly used through plate diaphragms. The processing of construction of the rectangular steel tube is so complicated that it is hard to apply it in the field. In this study, the structural performance and the earthquake capacity of the connection details that do not cut the rectangular steel tube column were investigated. A comparative analysis of the strength, rigidity, and energy absorption capacity of the welded connection details using an end-plate and a haunch was also performed.

핵 심 용 어 : 모멘트 골조, 각형강관 기둥-H형강 보 접합부, 반복 가력 실험, 소성회전

KEYWORD: moment-resisting frame, rectangular steel tube column-to-H beam connection, cyclic loading test, plastic rotation

1. 서 론

최근 건축구조물이 초고층화, 대형화될 뿐만 아니라 빈번히 발생하는 지진 피해에 대한 인식이 확산되면서 내진설계규준 강화 및 건축구조용강에 대한 요구 성능이 강화되는 추세에 있다. 개정된 KBC 2009에서는 지진력저항시스템에 속하는 강구조 중 특수모멘트골조. 중간모멘트골조 등 에서는 내진성 이 뛰어난 강재인 SN 및 SHN강 또는 TMC강을 사용하여야

한다고 정의하고 있다. 철골 모멘트 접합부는 골조의 횡변위 에 저항하면서 보에 작용하는 휨모멘트와 전단력을 기둥으로 전달하여 높은 연성능력을 보유하는 것으로 간주되어 강진지 역에서 많이 사용되어 왔다. 하지만 1994년 미국 노스리지 (Northridge) 지진으로 많은 철골 모멘트 접합부에서 취성 파괴가 발생하면서 모멘트골조의 내진성능향상을 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다(김태진 등, 2007; FEMA, 2000). 지진활동이 활발하여 규모가 큰 지진(고베지진 1995년)이 빈

본 논문에 대한 토의를 2011년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

¹⁾ 중앙대학교 건축학과 석사(bora7014@nate.com)

²⁾ 중앙대학교 건축학과 공학박사(iwandh@paran.com)

³⁾ 경기대학교 대우교수, 공학박사(ti9261@hanmail.net)@nate.com)

⁴⁾ 포항과학기술연구원 선임연구원, 공학박사(jchung@rist.re.kr)

⁵⁾ 대전대학교 건축공학과 정교수, 공학박사(ohys@dju.ac.kr)

⁶⁾ 한국기술교육대학교 건축공학부 교수, 공학박사(Kimss@kut.ac.kr)

⁷⁾ 경기대학교 건축공학부 교수, 공학박사(bjchoi@kyonggi.ac.kr)

⁸⁾ 교신저자. 중앙대학교 건축학과 교수, 공학박사 (Tel. 02-820-5340, Fax. 02-813-8052, E-mail: etlee@cau.ac.kr)

번히 발생하는 일본 등 에서는 중 저층 빌딩의 구조시스템으 로 각형강관 기둥과 H형강 보로 구성되는 철골 모멘트 접합 골조를 가장 일반적으로 사용하고 있다(M. Nakashima 등, 1998; 정진안 등, 2004). 각형강관 기둥은 폐단면 부재로서 일반 H-형강과 같은 개단면 부재에 비해 효율적인 단면으로 강재량 절감 및 도장면적 감소, 건물 유효면적을 증가시키는 등의 많은 장점이 있다. 각형강관은 폐단면이라는 특성으로 인해 기둥-보 접합부의 강도 및 강성의 확보가 매우 어려워 특수한 보강형식이 필요하게 되므로 접합부의 설계가 복잡하 며 제작비용이 크게 증가하는 단점이 있다. 각형강관을 사용 한 기존의 모멘트 접합부는 주로 관통형 다이아프램 형식을 사용하고 있는데 이는 기둥을 절단하여 그 사이에 다이아프램 을 삽입하고 완전 그루브용접으로 시공하기 때문에 과정이 복 잡하여 현장에서의 적용을 어렵게 한다. 이러한 이유로 인해 접합부의 경제성 및 접합 디테일 부족, 경험부족 등의 문제가 실제 현장에서 제한적으로 적용되어 각형강관 접합부의 실용 화에 걸림돌로 작용하고 있다.

따라서 지금까지 미국과 일본 등을 중심으로 연직 스티프너와 헌치를 적용한 외부 다이아프램 형식 등를 여러 가지 형태의 각형강관 접합부가 연구 개발 되어 왔으나(Kyung-Jae Shin 등, 2008; 정진안 등, 2004; Sean Wilkinson 등, 2006) 각 형식마다 장점에 못지않게 단점을 가지고 있어 적극적인 사용이 이루어지지 않고 있다. 그러므로 각형강관 기둥을 절단하지 않아 시공성이 뛰어나고 강관에 콘크리트를 충전할 경우 다이아프램 사이의 공극발생에 대한 우려가 없는 구조적인 신뢰성을 보유한 접합방법에 대해 평가하고자 한다. 각형강관에 적합한 다양한 보-기둥 접합부에 대하여 실험적연구를 토대로 성능평가를 수행하고자 한다. 본 연구에서는 각형강관 접합부에서 가장 일반적인 접합 방법인 관통형 다이아프램 형식의 실험체와 5개의 접합 디테일에 대하여 각 디테일의 이론값과 실험값을 비교하고, 관통형 다이아프램 형식의 실험체에 대하여 5개의 실험체들을 비교하였다.

2. 실험체 계획

2.1 실험체 개요

모든 실험체는 SN강재를 적용한 SPAP의 냉간 프레스 성형 방법에 의해서 제작하였고, TD와 WEP, WVS, WEV는 실험체는 H-420×200×8×11 보와 □-300×300×11 각형강관 기둥을 WEP-S와 WVS-S 실험체는 H-400×200×8×11 보와 □-300×300×15 각형강관 기둥을 사용하였다. 다음에 오는 표 1과 그림 1은 실험체의 일람과 접합부 상세

이다. 가장 많이 사용되고 있는 각형강관의 접합 형태 1개와 엔드플레이트, 수직 스티프너를 사용한 5개로 본 실험에 사용 되는 용접은 모두 모살용접으로 하였다. 각 실험체의 세부 설 명은 다음과 같다.

표 1. 실험체 일람

(Unit: mm)

c		Colu	mn([Beam(H-shape)					Commontion		
Ž.	Specimen	Н	В	t	L	Н	В	tw	tf	L	Connection
	TD	300	300	11	1350	420	200	8	11		Diaphragm (the fundamental form)
	WEP									3500	Extended-Endplate connection
I	WVS										Vertical Stiffener(haunch)
	WEV										Endplate connection + Vertical Stiffener(haunch)
	WEP-S	300	300 300	15	1500	400	200	8	11	3500	Extended-Endplate connection (+Side Endplate)
	WVS-S										Vertical Stiffener (haunch) + Side Endplate connection

TD = Through Diaphragm

W = Weld

EP = End-PlateEV = EP + VS

(d) WEV 실험체

VS = Vertical Stiffener

S = Side End-plate

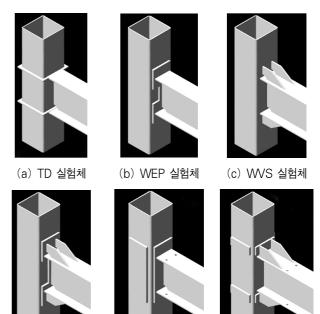


그림 1. 실험체 접합부 상세

TD 실험체는 현재 현장에서 가장 많이 쓰이고 있는 관통형 다이아프램 접합 형식으로 내부에 다이아프램을 관통시키고 보와 연결하는 접합부 형식이다. 각형강관 기둥에 H형강 보

(e) WEP-S 실험체

(f) WVS-S 실험체

를 접합하기 위해 각형강관 기둥을 절단하여 그 내부에 상하 다이아프램을 설치하고 각형강관 기둥과 상ㆍ하 다이아프램을 용접으로 접합한 것이다. 설치된 다이아프램에 H형강 보를 현장용접으로 접합한 시스템이다.

WEP 실험체는 엔드플레이트(End-plate) 접합방법을 채 용하여 현장용접을 사용한 시스템이다. 엔드플레이트를 기둥 플랜지에 직접 용접하고, 보를 엔드플레이트에 용접한 시스템 형식이다.

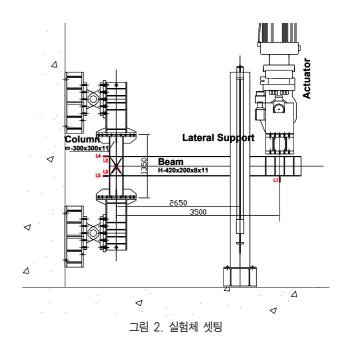
WVS 실험체는 H형강 보를 각형강관 기둥에 현장용접한 후에 H형강 보의 상·하부에 수직 보강재인 헌치(haunch) 를 용접한 시스템이다.

WEV 실험체는 엔드플레이트 접합방법을 채용하여 엔드플 레이트 부분과 H형강 보의 상·하부에 수직 보강재인 헌치를 용접한 시스템이다.

WEP-S과 WVS-S 실험체는는 각각 WEP와 WVS 실험체 에 대하여 보강한 실험체이다. 기둥 플랜지를 보강하기 위해 기둥의 두께를 15mm로 증가시키고. 측면에도 엔드플레이트 를 추가함으로 단면 증가와 패널존 보강을 유도하여 기둥의 변형을 최소화하였다.

2.2 실험체 셋팅 및 재하 프로그램

실험은 Seismic design manual APPENDIX S.(AISC, 2006)에 의한 보-기둥 접합부의 반복재하 인증실험에 의거하 여 실험을 수행하였다. 그림 2와 같이 반력벽에 고정된 힌지 와 기둥단부의 플레이트를 볼트로 체결하여 양단이 힌지인 기 등을 구성하고 보의 가력점에 2000kN급 액츄에이터 (Actuator)를 볼트로 연결하였다. 가력시 보의 횡좌굴 방지 를 위하여 횡지지대를 설치하고 횡지지대와 보 플랜지의 마찰 을 최소화하기 위해 보와 횡지지대가 맞닿는 부위는 마찰계수 가 작은 합성수지를 삽입하였다. 하중이력은 그림 3에서 보는 바와 같이 Seismic design manual S6.2.(AISC, 2006) 의 Cyclic Loading Program에 의해 가력하였다. 하중은 층간 변위각에 의해 조절된다. 보 끝단의 변위는 층간 변위각 에 따라 보 단부의 가력중심에서 각형강관 기둥 중심까지의 거리를 이용하여 정하였으며, 액츄에이터의 변위제어로 하중 가력을 실시하였다. 하중가력방식은 층간변위각이 0.375. 0.5와 0.75%일 때 각각 6 사이클, 1%일 때는 4사이클, 2% 이후로는 2 사이클씩 연속해서 반복가력하며 3% 이후에 는 파괴될 때까지 2사이클마다 1%씩 증가시킨다.



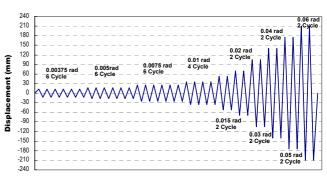


그림 3. 재하 프로그램

2.3 계측 계획 및 설치

그림 4와 같이 변위계(L1~L5)는 전체적인 거동과 패널존 의 영향을 계측하기 위해 설치하였고. 그림 5의 변형도 측정 게이지는 실험체의 국부 변형을 알기 위한 위치에 설치하였 다. 보 끝단(L1)에는 줄 변위계를 설치하여 측정된 액츄에 이터의 수직 변위로 실험체 변위를 조절하였다. 가력하중의 크기는 액츄에이터에 있는 로드 셀(Load cell)에 의해 측정 된다.

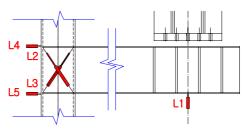
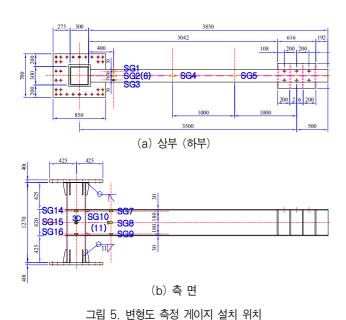


그림 4. 변위계 설치 위치



3. 실험결과 및 분석

3.1 재료실험결과

표 2에 각각 실험체에 사용된 강재(8T=보 웨브, 11T=보 플랜지와 기둥, 15T=기둥, 21T=접합부에 사용된 플레이트)에 대한 역학적 성질에 대한 실험 평균값을 나타내었으며 그림 6에 응력-변형률 관계를 나타내었다. SN400 강재인 전시험편이 항복강도 235kN/mm²을 초과하고 있고, 극한강도 400~510kN/mm²사이의 값을 나타내고 있다. 항복비의 경우 69.5~73.1%로 상한 값 80~85%에 비해 비교적 낮은 항복비를 나타내고 있고, 연신율은 25.3~28.8%를 보이고 있다.

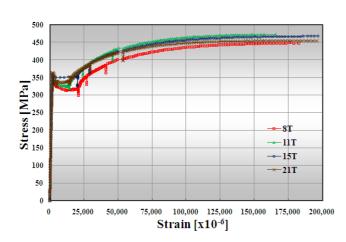


그림 6. 응력-변형률 관계 그래프

표 2. 강재의 인장강도시험 결과

		Stre	ngth	Young's	Viald Dakia	Elongation	
Coupor	Thick.	Yield	Tensile	modulus	rieid Katio		
		Fy(MPa)	Fu(MPa)	Es(GPa)	Fy/Fu(%)	(%)	
1	8T	312	450	220	69.5	25.3	
2	11T	324	473	219	68.5	28.0	
3	15T	326	453	232	71.9	27.2	
4	21T	332	454	222	73.1	28.8	

3.2 실험결과

표 3은 각 실험체의 실험결과를 나타낸 것이다. 보의 모멘 트(M)는 하중 가력점에서 각형강관 기둥 표면까지의 거리에 하중을 곱하여 계산하였고, 총 회전각(total rotation, θ)은 하중 가력점 위치에서의 수직 변위를 하중 가력점에서 부터 강관의 중심선까지의 거리로 나눈 것이다. 보의 소성모멘트 (M_P) 는 보의 소성단면계수에 보의 항복응력을 곱하여 구한다.

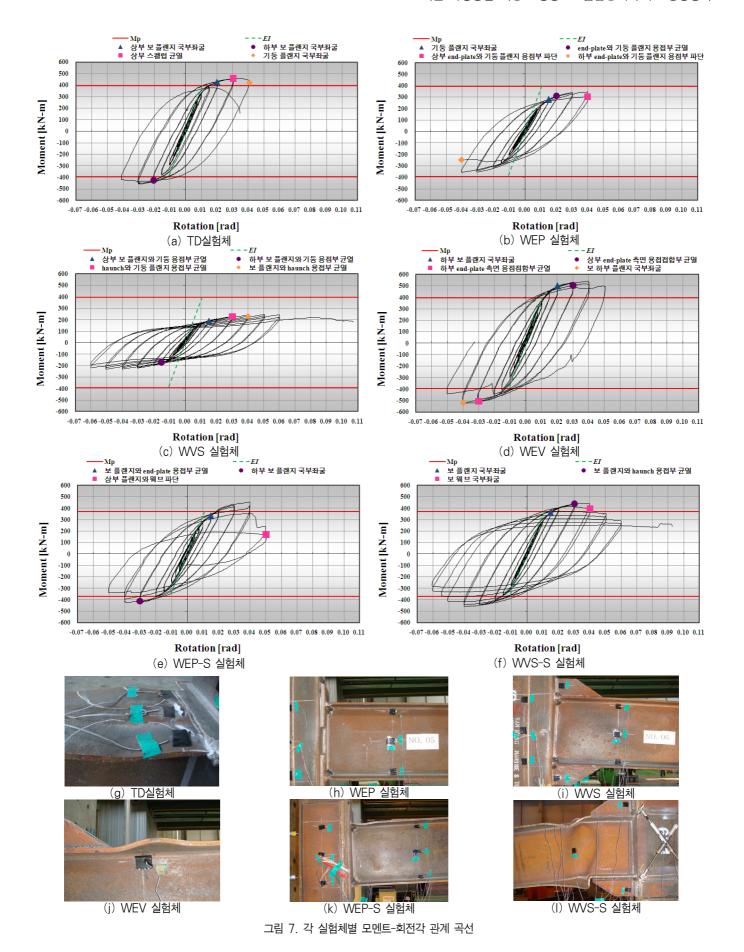
$$\begin{split} M &= P \times (L - \frac{d_c}{2}) \\ \theta &= \frac{\delta}{L} \end{split}$$

표 3. 실험 결과 일람

	항복하중 (Yield Load)				최대하중 (Maximum Load)				최대실험하중 (Maximum test Moment)			
Speci- men	Positive (+)		Negative [-]		Positive [+]		Negative [-]		Positive (+)		Negative (-)	
men	Py	$\delta_{\rm y}$	Py	$\delta_{\rm y}$	P _{max}	δ_{max}	P _{max}	δ_{max}	M_{max}	Θ_{max}	M_{max}	Θ_{max}
	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN-m)	(rad)	(kN-m)	(rad)
TD	88	26	-110	-45	137	112	-137	-101	459	0.0321	-459	-0.0289
WEP	58	23	-79	-44	103	140	-106	-139	344	0.0401	-356	-0.0398
WVS	39	19	-46	-39	74	177	-69	-177	246	0.0504	-231	-0.0505
WEV	104	26	-113	-45	161	137	-157	-140	540	0.0393	-526	-0.0400
WEP-S	65	19	-80	-9	135	140	-127	-135	454	0.0398	-425	-0.0386
WVS-S	78	26	-98	-42	131	131	-137	-140	440	0.0373	-459	-0.0400

3.3 각 실험체별 거동 및 파괴 양상

그림 7은 각 실험체의 모멘트-회전각 이력곡선과 파괴 양상을 나타낸다. 이력곡선에서 M_p 는 보의 소성모멘트로 TD와 WEP, WVS, WEV는 394.18kN·m 이고, WEP-S과 WVS-S은 369.87kN·m 이다.



기준인 TD실험체는 가력 중, ±0.02(70 mm)라디안 (radian)에서 보 접합부의 플랜지에 국부좌굴이 발생하였고, 보 웨브의 용접접근공(scallop)에 균열이 관측되었다. ±0.04(140 mm)라디안에서 보의 용접접근공이 설치된 상부 플랜지가 찢어지면서 파괴되었다. 이는 웨브 상부에 용접접근 공으로 인한 단면결손으로 상부 플랜지 및 웨브 상부에 작용하는 인장력 때문이다.

엔드플레이트를 이용한 WEP실험체는 ±0.015(52.5 mm)라디안에서 기둥 플랜지에 좌굴이 발생하였고, 엔드플레이트와 용접된 기둥 플랜지에서 균열이 발생하였다. ±0.04(140 mm)라디안에서 각형강관 기둥에 부착된 엔드플레이트용접부가 HAZ부분이 찢어지면서 파괴되었다.

헌치를 사용한 WVS실험체는 ±0.015(52.5 mm)라디안에서 기둥 플랜지에 좌굴이 발생하였고, 보와 용접된 기둥 플랜지에서 균열이 발생하였다. 또 ±0.03(105 mm)라디안에서는 헌치와 용접된 기둥 플랜지에서 균열이 발생하였다. ±0.06(210 mm)라디안에서 각형강관 기둥에 부착된 상부헌치 용접부의 HAZ부분이 인장력에 의해 각형강관 기둥으로부터 찢어지면서 파괴되었다.

엔드플레이트와 헌치를 적용한 WEV실험체는 ±0.03(105 mm)라디안에서 보의 하부 플랜지에 국부좌굴이 발생하였고, 각형강관 기둥에 부착된 엔드플레이트용접부에 균열이 발생하였다. ±0.05(175 mm)라디안에서 각형강관 기둥에 부착된 엔드플레이트용접부의 HAZ부분이 찢어지면서 파괴되었다.

WEP 실험체를 보강한 WEP-S 실험체는 ±0.03(105 mm)라디안에서 보 플랜지의 국부좌굴이 발생되었고, ±0.04(140 mm)라디안 재하 단계의 마지막 사이클에서 최대내력을 보이며, 균열 부위가 찢어지기 시작하였다. ±0.04(140 mm)라디안 재하 단계의 마지막 사이클에서 균열발생부위가 파단 되어 보 웨브 및 용접접근공까지 찢어지면서 실험을 종료하였다.

WVS 실험체를 보강한 WVS-S 실험체는 ±0.04(140 mm)라디안에서 보 웨브의 국부좌굴이 발생되면서, 하중이 저하되기 시작하였다. 실험의 조건상 ±0.06(210 mm)라디안의 재하 단계에서 최대 내력을 보기위해 압축하중을 350mm까지 가력하였으나 모멘트-회전각 이력곡선은 같은 패턴을 유지하였다.

3.4 내력

그림 8는 각 실험체 별 최대하중을 비교하고 내력상승률을 나타낸 그래프이다. 그래프의 실선은 최대하중의 이론값을 나 타낸다. TD와 WEV, WEP-S, WVS-S 실험체가 최대하중의 이론값보다 약 16~35% 높은 값을 상회하고, WVS 실험체는 이론값보다 약 40%, WEP 실험체는 약 10% 정도 낮은 값을 보이고 있다. 각각의 내력 이론값에 대해 WEP-S와 WVS-S 실험체는 보강하지 않은 WEP와 WVS실험체보다 34%, 100% 상승된 내력을 보였고, TD 실험체와 비교하여 각각 2%, 4%만큼 높은 내력을 보유하고 있는 것으로 나타났다.

항복강도에 의해 각 실험체별 내력 상승률을 평가한 결과, 내력상승률은 WEP-S 실험체가 가장 크게 나타났다. 엔드플 레이트를 사용한 실험체의 경우 WEP 실험체가 WEP-S 실험체보다 내력상승률이 18% 크게 나타났으나 수직 스티프너인 헌치를 사용한 실험체의 경우 WVS 실험체가 WVS-S 실험체보다 내력상승률이 10% 작게 나타났다. 하지만, 다른 모든 실험체가 TD 실험체보다 5~30% 크게 나타났다.

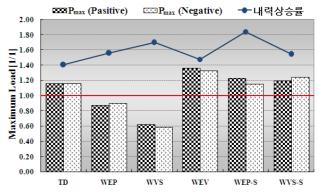


그림 8. 각 실험체별 최대하중과 내력상승률

3.5 초기강성

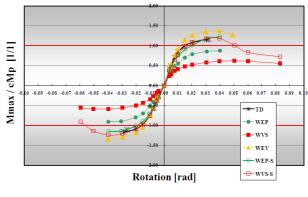


그림 9. 단조화 곡선

그림 9는 각 실험체들의 반복실험 결과를 단조화한 곡선이고, 그림 10은 각 실험체의 초기강성을 그림 11는 각 실험체의 단계별 강성 저하율을 비교한 그래프이다. 초기강성을 살

펴보면 WEV과 WEP-S, WVS-S 실험체가 기준 실험체인 TD와 비슷한 강성 값을 갖고 있다. 하지만. WEV 실험체는 TD 실험체보다 강성이 급격히 낮아지면서 강성 저하율이 높 은 것으로 보여진다. WEP와 WVS 실험체는 기준 실험체에 비해 약 35%, 45% 낮은 강성 값을 갖고 있다. 이는 엔드플 레이트와 헌치만의 이용이 관통형 다이어프램 보다 높은 강성 을 발휘하지는 못했음을 알 수 있다. WEP-S과 WVS-S 실 험체는 WEP와 WVS 보다 높은 강성 값을 갖고 있고, 특히 WVS-S 실험체는 약 60% 이상 큰 폭으로 상승한 것을 알 수 있다. 이는 기둥 단면 증가와 엔드플레이트에 의한 패널존 보강이 높은 강성을 발휘하는데 영향을 주는 것임을 나타내 고. 강성 저하율 또한 각각 보강 전의 실험체 보다 보강 후의 실험체가 낮은 것으로 나타났다.

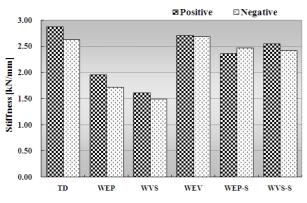


그림 10. 각 실험체의 초기강성 비교

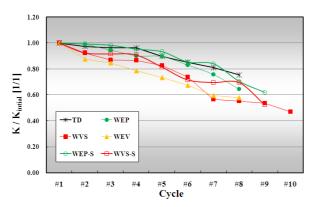


그림 11. 각 실험체의 단계별 강성 저하율 비교

3.6 에너지 흡수 능력

소산에너지는 구조물의 중요한 내진 특성 중의 하나이다. 소산에너지는 하중-변위 이력관계에 의해 둘러싸인 면적을 누 적시켜 구할 수 있다.

그림 12는 각 실험체가 파단에 도달할 때까지 흡수한 누적

소산에너지를 비교한 것이다. WEP 와 WVS 실험체는 8단 계(±0.04 라디안)까지 관통형 TD 실험체 보다 낮은 능력을 발휘했지만, WVS 실험체는 이후 10단계(±0.06 라디안)까 지 진행되어 소산 능력이 28% 상승하는 것을 알 수 있다. WEV 실험체는 각 단계별로 관통형 TD 실험체보다 비교적 큰 소산 능력을 발휘하였고 최종적으로는 더 큰 에너지 흡수 능력을 발휘하고 있다. WEP-S 실험체는 WEP 실험체보다 89% 상승된 능력을 보였고. WVS-S 실험체는 WVS보다 90%로 상승되어 높은 에너지 소산 능력을 갖는 것을 알 수 있다. WEP실험체는 8단계(±0.04 라디안)까지, WEP-S 실 험체는 8단계(±0.05 라디안)까지 능력을 발휘하여 기둥 패 널존 보강이 에너지 소산 능력에 도움을 주는 것을 알 수 있 었고, 반면에 WVS와 WVS-S 실험체는 10단계(±0.06 라디 안)까지 진행되어 또한 헌치의 적용으로 인해 누적에너지소산 량이 더 커지는 것을 알 수 있다.

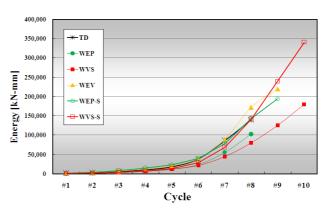


그림 12. 총 누적 소산에너지

3.7 AISC code 비교

표 4. AISC code 비교

		M for	0.04ra	Total		Plastic				
Speci-	Pos	sitive	(+)	Ne	gative	·(-)	rotation (0.04rad ↑)		rotation (0.03rad↑)	
men	M	M /	М /	M	M /	М /	Θ_{max}	Θ _{max} /	Өр	Өр /
	(kN-m)	0.8M _r	$0.8 \mathrm{M}_{\mathrm{max}}$	(kN-m)	0.8M _p	$0.8 M_{max}$	(rad)	0.04rad	(rad)	0.03rad
TD	415	1.32	1.13	-422	1.34	1.15	0.0407	1.02	0.0305	1.02
WEP	344	1.09	1.25	-356	1.13	1.25	0.0402	1.01	0.0307	1.02
WVS	241	0.76	1.22	-230	0.73	1.24	0.0601	1.50	0.0518	1.73
WEV	540	1.71	1.25	-526	1.67	1.25	0.0503	1.26	0.0401	1.34
WEP-S	454	1.53	1.25	-425	1.44	1.25	0.0504	1.26	0.0435	1.45
WVS-S	440	1.49	1.25	-459	1.55	1.25	0.0606	1.52	0.0509	1.70
Aver.	-	1.32	1.23	-	1.31	1.23	-	1.26	-	1.38
S.D.	-	0.34	0.05	-	0.34	0.04	-	0.22	-	0.31

AISC code 2005의 내진규정은 내진설계에 사용되는 반응수 정계수 R값을 기준으로 특수모멘트골조, 중간모멘트골조와 보통모멘트골조로 나누고 있다. 여기서, 특수모멘트골조는 반응수 정계수 8로서 비탄성회전각 0.03 라디안을 수용할 수 있도록 설계되어야 하고, 0.04 라디안 총 층간변위각을 수용할 수 있는 것으로 고려되어야 한다. 지진하중저항시스템에 속하기 위한 보-기둥 접합부는 최소 0.04 라디안의 층간변위각을 발휘할 수 있어야 하고, 접합부의 계측휨강도는 0.04 라디안의 층간변위 에서 적어도 보 M_n 의 80% 이상이 유지되어야 한다.

표 4는 실험체의 code에 대한 비교 결과를 나타낸 것으로 거의 대부분의 실험체가 AISC code에서 요구하는 기준을 만족시키고 있다. WVS 실험체만이 0.04 라디안에서의 모멘트가 이론값을 적용할 경우 약 25% 낮은 내력을 발현하였지만, WVS-S 실험체 실험체에서 WVS 실험체에 기둥 패널존을 보강함으로써 내력이 상승되어 이론값을 적용한 경우 약50% 상회하는 것을 알 수 있다. 총 회전각(층간변위각)과 소성회전각(비탄성회전각)은 모든 실험체가 기준보다 각각 평균 26%, 38% 높게 만족시키고 있다.

4. 결 론

본 연구에서 기존 각형강관 기둥 접합부 형식의 대안으로 공정이 간편하고, 경제적인 접합 디테일을 제안하여 내진성능 에 대한 실험적 연구를 토대로 성능평가를 수행한 결과, 다음 과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 엔드플레이트와 헌치를 단독으로 사용한 WEP와 WVS 실험체를 제외한 다른 실험체들은 보의 전소성 내력 이 상의 내력을 발휘하였다. 내력상승률은 WEP-S 실험 체가 가장 크게 나타났고, 관통형 다이아프램 형식 TD 실험체가 가장 낮게 나타났다.
- (2) 엔드플레이트와 헌치를 함께 사용한 WEV 실험체는 관통형 다이아프램 형식 TD 실험체에 대해 16% 높은 내력을 발휘하였고, 에너지 흡수 능력이 57% 상승하였다. 또한 AISC code에서도 높은 내진성능을 나타냈다.
- (3) 엔드플레이트 접합과 헌치 접합 각각에 대해 기둥플랜 지와 패널존을 보강한 WEP-S와 WVS-S 실험체는 보 강하지 않은 각각의 실험체보다 34%, 100% 상승된 내력을 보였고, 에너지 흡수 능력 또한 각각 89%, 90% 상승되었다. 관통형 다이아프램 형식 TD 실험체에 비교하여 각각의 내력 이론값에 대해 WEP-S와 WVS-S 실험체는 2%, 4% 높은 비율을 보이고, AISC code(2005)에서 요구하는 특수모멘트골조의 성능도 모

두 TD 실험체보다 상회하면서 만족시키고 있다.

(4) 실험을 통해 기존의 관통형 다이어프램 형식 보다 엔드 플레이트와 헌치를 적용한 실험체와 엔드플레이트와 헌 치에 각각에 대해 보강한 실험체들이 시공성과 구조적 성능 측면에서 향상된 성과를 보였음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한 국연구재단의 지원(No. 314-2008-1-D00452)을 받아 수행 된 연구입니다.

참 고 문 헌

대한건축학회(2009) 건축구조 설계기준.

- 김영주, 오상훈.(2008) RHS 기둥-H형강보 접합부의 내진보강설계, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제20권, 제4호, pp.529-537.
- 오경현, 서성연, 김성용, 양영성, 김규석(2005) 전단접합 및 리 브 플레이트로 보강한 H형 보-기둥 접합부의 내진성능에 관 한 실험적 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제 17권, 제5호, pp.569-580.
- 정진안, 서성연, 최성모(2004) 모살용접을 사용한 각형강관 기둥 -H 형강보 모멘트 접합에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 제20권, 제5호, pp.27-34.
- 정진안, 최성모 (2004) 연직 스티프너 보강형 각형강관 기둥-보 접합부의 구조적 거동, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제20권, 제4호, pp.59-66.
- AISC (2006) Seismic Design Manual, American Institute of Steel Construction.
- FEMA (2000) Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings(FEMA-350), Federal Emergency Management Agency.
- Shin, K.J., Kim, Y.J., and Oh, Y.S. (2008) Seismic behaviour of composite concrete-filled tube column –to-beam moment connections, *Journal of Constructional Steel Research*, No. 64, pp.118–127.
- Nakashima, M., Inoue, K., and Tada, M. (1998) Classification of damage to steel buildings observed in the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake, Engineering Structures, Vol. 20, pp.271-281.
- Wilkinson, S., Hurdman, G., and Crowther, A. (2006) A moment resisting connection for earthquake resistant structures, *Journal of Constructional Steel Research*, No. 62, pp.295–302.

(접수일자 : 2010. 4. 15 / 심사일 2010. 5. 12 / 게재확정일 2010. 7. 29)