

패널존의 강도비에 따른 기둥 - 보 접합부의 내진성능 평가

Seismic Performance Evaluation of Beam-Column Connection for Panel Zone Strength

김 성 용* / 신 창 훈**

Kim, Sung Young / Shin, Chang Hoon

Abstract

The study proposes the method to cancel the scallop to avoid fracture of the circumstance of the scallop at H shape column-to-beam connection and reinforce at beam flange two faces with the cover plates and rib. A total of four specimens were tested to enhance seismic performance of building structure by reducing the frequency of stress concentration and preventing the brittle fracture of scallop. For this purpose, four full-scale test specimens were made and loaded with quasi-static reversed cyclic loading. The main analytical parameters are panel-zone-strength ratio, yield strengths, initial stiffness, total plastic rotation, contribution of each element to total plastic rotation and energy dissipation capability. For the specimens tested under repeated loading, the experimental result was satisfied with seismic performance requirement as the Special Moment Frames (SMF). The analysis results show that all of the test specimens were found to have good performance to 4% story drift and satisfied the criteria for the plastic rotation capacity of SMFs that is 0.03 rad. according to the 1997 AISC seismic provision.

key words : scallop, brittle fracture, yield strengths, initial stiffness, total plastic rotation, energy dissipation capability, Special Moment Frames

요 지

본 연구에서는 H형 기둥-보 접합부에서 스칼롭 주변의 파단을 피하기 위해 스칼롭을 생략하고 보와 기둥의 쉬어탭을 볼트로 체결한 후 보 플랜지의 양면에 커버 플레이트와 리브로 보강하는 방법을 제안하였다. 스칼롭을 생략함으로써 스칼롭에서의 응력집중의 빈도를 줄이고 용접부 주위에서의 취성파괴를 방지하여 건축물의 내진성능을 향상시키는데 본 연구의 목적을 둔다. 본 목적을 위해 총 4개의 실험체를 제작하고 반복 가력 실험을 실시하였다. 주요 실험변수는 패널존 강도비이고 실험체의 항복강도, 초기강성, 총소성회전에 대한 각 부재의 기여도, 에너지 소산능력으로부터 제작된 실험체들이 특수모멘트골조 내진규정에 만족을 하는지와 실험에 사용된 변수에 대한 여러 영향을 밝히고자 하였다. 그 결과 모든 실험체는 층간변위 4%, 총소성회전 0.03rad.에 충분이 도달하여 1997 AISC의 내진규정에 따라 특수모멘트골조에 만족할 것이라 판단된다.

핵심용어 : 스칼롭, 취성파괴, 항복강도, 초기강성, 총소성회전, 에너지 소산능력, 특수모멘트골조

* 정희원 · ES 건축구조엔지니어링 (e-mail: highbolt@dreamwiz.com)

** 서일대학 건축과 교수

1. 서 론

철골모멘트골조의 패널존(Panel Zone)은 보-기둥 접합부에 불균형 보 모멘트를 유발하는 풍하중이나 지진하중이 작용할 경우 큰 전단력이 유입되는 부위이다. 노스리지 지진 이후 패널존에서의 전단변형이 보-기둥 접합부의 지진시 거동에 미치는 영향에 대한 많은 이론적, 실험적 연구가 진행되어 왔다. 이러한 연구의 결과로 골조의 비선형 연성거동을 전제로 하는 접합부의 보강개념은 기둥의 외주면 부근이 아니라, 보 스패의 내부 쪽의 의도한 위치에 소성힌지가 발생하는 패널존의 설계법이 제시되어왔다. 그러나 이러한 패널존 설계가 과도한 비선형거동에 대한 부담을 보에 집중시키며 FEMA 350에서 제시한 개선된 접합부 디테일 및 용접재료와 방법에 의한 강재접합부의 경우에도 문제없이 적용될 수 있는지 의문이 야기되고 있다. 이러한 이유로 국내외에서는 FEMA350에서 추천하는 철골모멘트접합부중 Welded Unreinforced Flange-Welded Web(WUF-W) 와 Welded Unreinforced Flange-Bloted Web(WUF-B)의 상세를 갖는 접합부에 대한 실험적 연구가 진행되고 있다. 이를 통해 약한 패널존으로 설계된 접합부가 강한 패널존으로 설계된 접합부에 비하여 좋은 소성회전능력을 나타낸다는 사실이 실험을 통해 밝혀졌으며 과도한 패널존의 변형은 국부적인 비틀림을 야기할 수 있다고 판단되고 있다. 이는 SAC project에서 실험한 접합부 실험결과인 패널존의 강도가 강할수록 좋은 소성회전능력을 나타낸다는 기존의 연구결과와 상반되는 내용이다.

본 연구에서는 스킨립 주변의 파단을 피하기 위해 스킨립을 생략하고 보와 기둥의 쉬어 탭을 볼트로 체결한 후 보 플랜지의 양면에 커버플레이트와 리브로 보강하는 방법을 제안하였다. 스킨립을 생략하여 응력 집중의 빈도를 줄이고 용접부 주위에서의 취성파괴를 방지하여 보에서 충분한 소성거동을 유도함으로써 고층화, 대형화되어 가는 건축구조물의 내진성능을 향상 시키는데 본 연구의 목적을 둔다. 내진성능 테스트를 위해 실물 크기의 실험체를 제작하여 패널존의 강도비에 따라 비교하였다. 수행된 실험의 결과에 대한 항복 내력 및 강성, 총소성회전 및 각 부재가 부담한 소성회전, 에너지 소산능력분석을 통하여 기존에 쓰던 WUF-B 형식의 접합부를 포함하여 제작된 총4개의 접합부가 특별연성모멘트골조(SMF)로서의 내진성능 요구에 만족하는지와 패널존 강도에 따른 영향을 밝히고자 하였다. 또 기존의 접합부(WUF-B)와 비교하여

성능을 알아보고 이를 통해 우리나라의 실정에 맞는 보다 개선된 보-기둥 접합부의 형태를 제안하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험체 계획

본 연구에서는 접합형식에 따른 철골모멘트 골조의 내진성능을 파악하기 위해 기존의 WUF-B(Welded Unreinforced Flange-Bolted web)접합부를 갖는 실험체를 기준형 실험체라 하였고 실험체명은 BS 실험체라 하였다. BS 실험체를 포함하여 표 1과 같이 T자형 실물크기의 총4개 기둥-보 접합부 실험체를 제작하였다. 그림 1~그림 4는 실험체의 형상을 나타낸 것이며 BS 실험체는 기둥과 보를 접합함에 있어 보의 웨브를 4개의 F10T M16 고력볼트로 체결하고 보 웨브에 스킨립을 두어 뒷담채를 대어 용접 제작된 것이다. PW 실험체를 제외한 모든 실험체 기둥의 단면은 H-300×300×10×15(SM490)를 사용하고 보의 단면은 H-400×200×8×13(SS400)을 사용하였다. 그러나 패널존의 강도비를 조절하기 위하여 PW실

표 1. 실험체 일람

실험체명	재질	리브	특징	강도비	
BS	기둥	SM490	없음	기본형	1.132
	보	SS400			
PW	기둥	SS400	있음	패널존 약	0.824
	보	SS400			
PM	기둥	SM490	있음	패널존 중	1.132
	보	SS400			
PH	기둥	SM490	있음	패널존 강	2.152
	보	SS400			

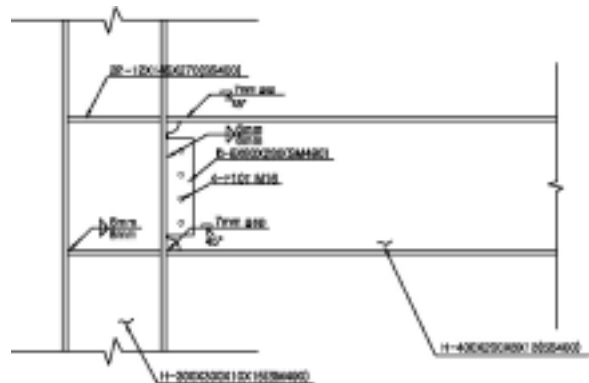


그림 1. BS 실험체 형상

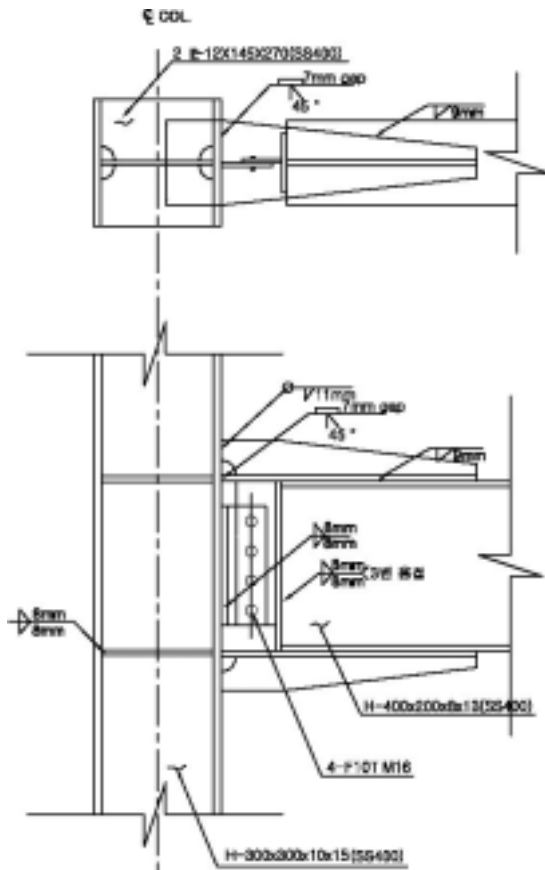


그림 2. PW 실험체 형상

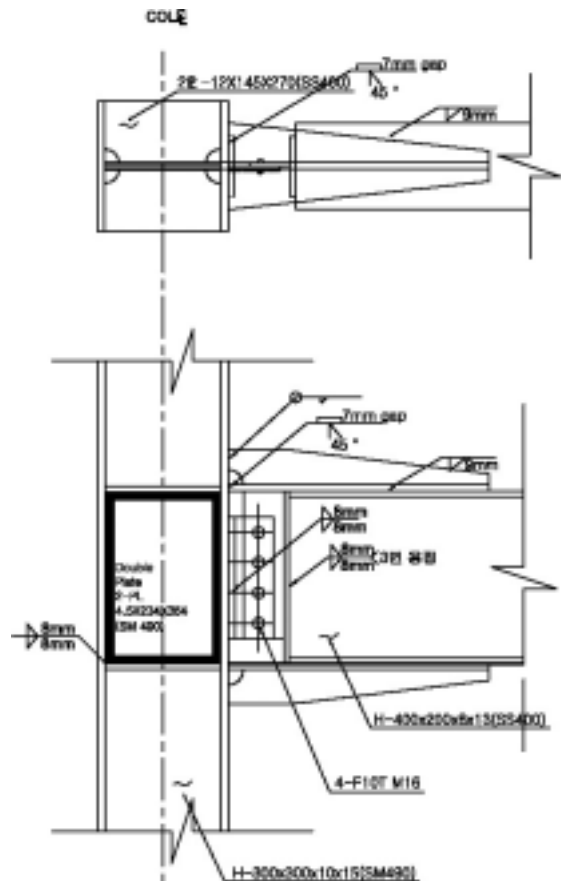


그림 4. PH 실험체 형상

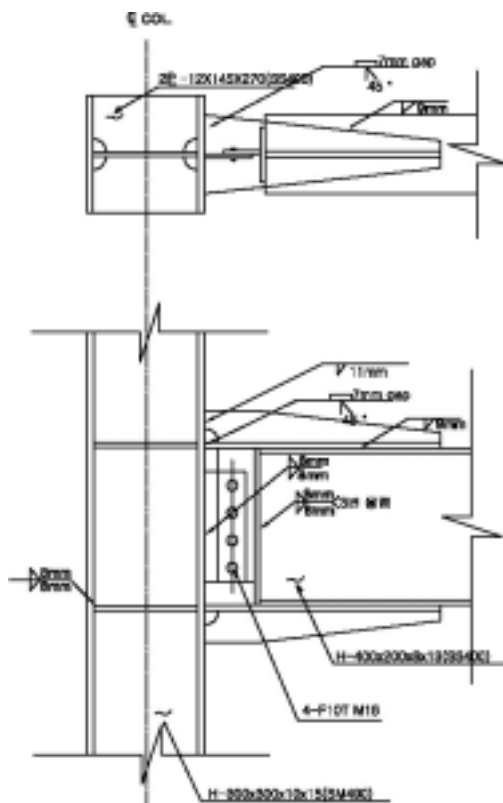


그림 3. PM 실험체 형상

험체의 기둥은 SS400을 사용하였다. 실험체의 보 플랜지는 완전용입(CJP) 맞댐용접으로 설계를 하였으며 보의 웨브는 기둥 플랜지에 양면모살용접으로 접합한 쉬어 탭(Shear Tab)에 F10T M16의 고력볼트 4개를 사용하여 1면 마찰접합을 하였다. 쉬어 탭은 PL-10×105×280 (SM490)을 이용하였으며 양면으로 모살용접을 하였다. 보 플랜지의 용접 시 보의 휨 성능을 보장하기 위해 T형강(SM490)을 덧대어 9mm 모살용접으로 접합하고 보 플랜지 용접시 필요한 스캘럽은 반경 35mm로 설계하였다. 실험체 PH는 패널존을 PL-4.5×234×364(SM490) 덧판을 기둥 웨브 양면에 사용하여 보강하였다. 실험체 기둥의 힌지간의 거리는 2850mm, 보와 인접한 기둥의 플랜지에서 가력지점까지는 2275mm, 보 끝단까지는 2425mm로 설계하였다. 모든 실험체는 공장제작하여 실험실로 반입하였으며 패널존의 강도에 따라 실험체를 구분하였다.

PH, PM, PW는 각각 패널존의 강도비(V_y / V_{plMy})가 각각 2.152, 1.132, 0.824인 실험체이고, 여기서 V_y 는 패널존의 항복강도이며 V_{plMy} 는 보가 항복할 때 패널존에 전달되는 전단력이다. 패널존 강도 산정

식은 (1)식과 (2)식에 나타낸 Krawinkler(1978)의 제안식을 이용하였다.

$$V_y = 0.55F_{yc}d_c t \left(1 + \frac{3b_c t_{fc}^2}{d_b d_c t} \right) \quad (1)$$

여기서,

b_c = 기둥플랜지의 폭

d_b = 보의 춤

d_c = 기둥의 춤

t = 패널존의 보강판을 포함한 기둥 웨브의 두께

t_{fc} = 기둥 플랜지의 두께

F_{yc} = 기둥 웨브의 항복강도

$$V_{pzM_y} = \frac{M_c}{d_b} - V_c \quad (2)$$

여기서,

M_c = 보가 항복할 때의 힘에 대한 기둥중심에서의 모멘트

V_c = 기둥의 전단력(패널존의 바깥에 작용하는)

2.2 실험방법

사진 1은 실험전경을 나타낸 것이고 실험체는 그림 5와 같이 반력 프레임에 수평으로 위치시키고 보의 뒤틀림이나 수평이동이 억제되도록 보의 끝단에서 보 길이의 1/3되는 지점에 횡변위를 억제하는 횡 지지대를 설치하였다. 1000kN 용량의 복동식 유압잭을 사용하여 반복하중을 제어하여 가력 하였다. 유압잭을 고정시키기 위한 블록과 유압잭 사이에 로드셀을 장착하여 실험체에 가해지는 하중을 측정하였다.

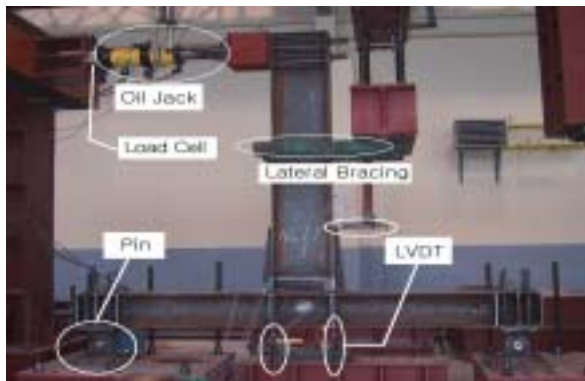


사진 1. 실험전경

실험체의 가력은 그림 6과 같이 SAC Technical Report 1996에 제시된 변위제어에 따라 반복하중을 가하였으며 재하 프로그램에 대한 각 단계별 사이클 횟수와 변위 그리고 회전각은 표 2에 나타내었다. 하중 가력 시 0.04rad 이후에는 유압잭 스트로크의 압축방향 측정 한계 때문에 인장(-)방향의 스트로크 한계까지 가력 하였다. 하중 가력시 회전각은 제어된 변위를 보 단부의 가력중심에서 기둥 중심까지의 거리를 나눈 값으로 정의하였다.

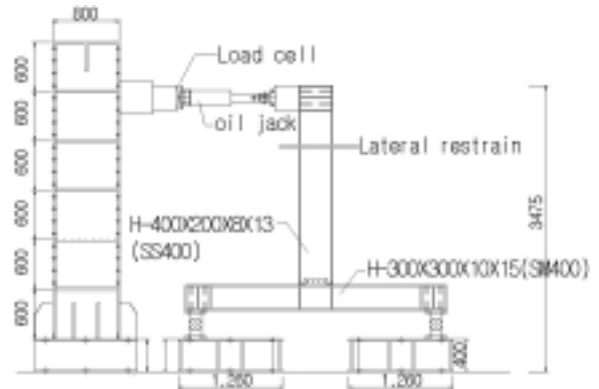


그림 5. 실험전경 상세도

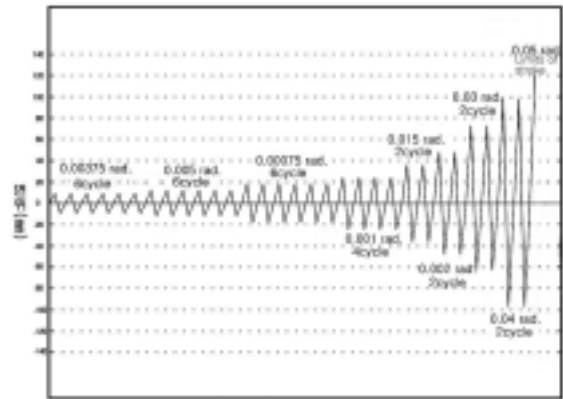


그림 6. 변위제어 재하프로그램

표 2. 변위제어 재하 프로그램 일람표

재하 단계	1	2	3	4	5	6	7	8	9
최대 변위 (mm)	9.09	12.12	18.18	24.25	36.37	48.52	72.75	97.00	121.25
회전각 (rad.)	0.0037	0.005	0.0075	0.01	0.015	0.02	0.03	0.04	0.05
사이클 횟수	6	6	6	4	2	2	2	2	-

실험체의 각 부위의 변위를 측정하기 위해 설치한 LVDT의 배치는 그림 7에 나타난 것과 같다. 그림 7의 1과 2는 보 단부의 변위를 3과 4는 기둥의 변형을

측정하기 위해 설치된 LVDT이다. 5와 6은 패널존의 전단변형을 측정하기 위해 설치하였다.

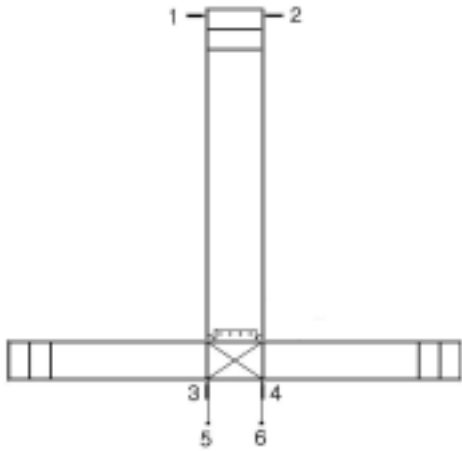


그림 7. 변위측정장치의 위치

3. 실험결과 및 분석

3.1 재료시험 결과

실험체에 사용된 강재의 기계적 특성을 조사하기 위해 인장시험을 실시하였다. 실험체의 보 웨브 및 플랜지(SS400)와 기둥의 웨브 및 플랜지(SS400, SM490)에서 KS B 0801에 따라 강재를 채취하여 인장시험편을 제작하였다. 인장시험은 KS B 0802 규정에 따라 실시하였으며 표 3은 각각의 인장시험편에 대해 실시된 시험결과의 평균값을 나타낸 것이다.

표 3. 재료의 기계적 성질

시험편		항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	항복비	연신율 (%)
기둥 (SM490)	웨브	379	526	0.69	21.5
	플랜지	353	527	0.67	21.0
기둥 (SS400)	웨브	346	455	0.75	29.6
	플랜지	313	439	0.71	32.3
보 (SS400)	웨브	374	510	0.73	21.0
	플랜지	359	524	0.69	21.6

3.2 하중-변위 관계

각 실험체의 부재에 따른 하중-변위 곡선을 그림 8~그림 11에 나타내었으며 실험체의 거동과 파괴모드를 살펴보았다.

(1) BS 실험체(기준형 실험체)

그림 8(a)에서 BS 실험체는 0.01rad.까지 탄성적

인 거동을 보이고 그 이후에는 비탄성 거동을 보였다. 0.015rad.에서는 항복에 의해 리브에서 스케일이 떨어지기 시작하였으며 리브에서의 변형률은 항복값을 초과하였다. 0.03rad.이후 내력저하 현상을 보이기 시작하였으며 0.04rad.에서 실험이 종료됐다.

(2) PW 실험체(패널존 약)

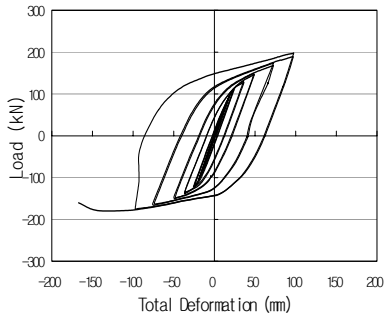
PW 실험체는 리브보강을 하였으며 기둥의 강재를 SM490 대신 SS400으로 사용하여 패널존의 강도를 약하게 설계한 실험체이다. 실험체는 0.0075rad.까지 탄성거동을 보였으며 0.01rad.부터 비탄성거동을 하였다. 0.02rad.에 접어들면서 스티프너의 변형이 생김과 동시에 커버플레이트와 기둥 플랜지 그리고 스티프너에 변형이 시작되었다. 이 변형은 패널존의 전단변형이 진행됨에 따라 스티프너의 응력이 집중되면서 발생되었다. 0.04rad.에 접어들면서 리브의 응력집중으로 용접부가 파단됨과 동시에 실험이 종료되었다. 그림 9(b)의 보의 하중-변위곡선에서 다른 곡선과는 달리 비대칭 형상이 나타나는데 이것은 전단 탭의 비대칭 설계가 보의 성분에만 영향을 미친 까닭으로 사료된다. 곡선이 음쪽 들어간 형상을 하는 이유는 파단된 리브의 영향으로 가력방향이 바뀔 때마다 발생하는 보의 불규칙한 움직임 때문으로 판단된다.

(3) PM 실험체(패널존 중)

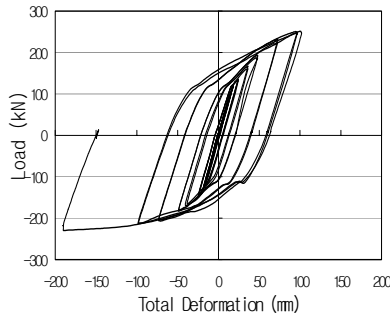
PM 실험체는 리브보강이 되었으며 패널존의 강도가 중간으로 설계된 실험체이다. 0.0075rad.까지는 안정적인 탄성 이력곡선을 보여주었다. 0.01rad. 이후 서서히 비탄성 영역에 들어가면서 보 플랜지에 외관상 변화가 없었으나 리브와 기둥플랜지 사이 용접부에는 응력집중이 생기면서 밀스케일이 떨어지는 현상이 보였다. 0.015rad.에서는 스티프너에서 항복이 일어났으며 리브와 플랜지 용접부 주위에서 미세한 균열과 항복 현상이 관찰되었다. 0.03rad.에서는 점점 비선형 거동을 하기 시작하였고, 이때 리브 용접부 주위에 균열과 항복하는 현상이 뚜렷하게 관찰되었다.

(4) PH 실험체(패널존 강)

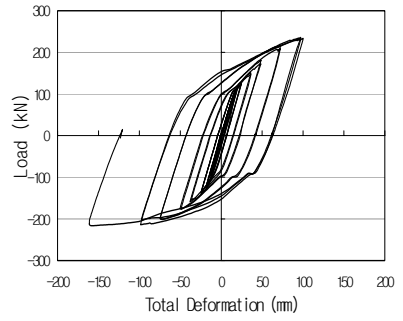
PH 실험체는 패널존에 4.5mm의 더블 플레이트 보강을 하여 패널존의 강도가 강으로 설계된 실험체이다. 0.01rad.까지는 탄성거동을 보이며 0.02rad.에서는 비탄성 상태를 보였다. 0.02rad.에서는 패널존의 변형은 거의 없었으며 0.03rad.에 접어들면서 응력집중으로 리브의 스캘럽에서 밀스케일이 떨어지는 현상이 발견되었다. 기존에 계획한 0.04rad. 사이클 이후 실험체의 뚜렷한 변형이 보이지 않아 오일 잭 스트로크



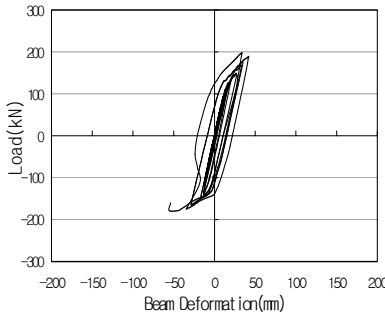
(a) 전체 하중-변위곡선



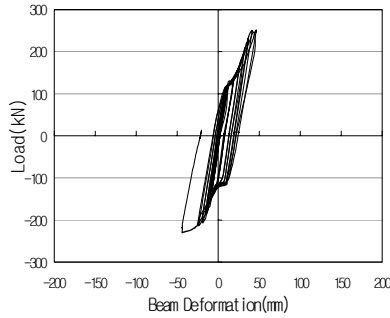
(a) 전체 하중-변위곡선



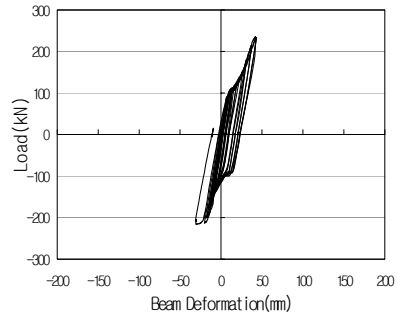
(a) 전체 하중-변위곡선



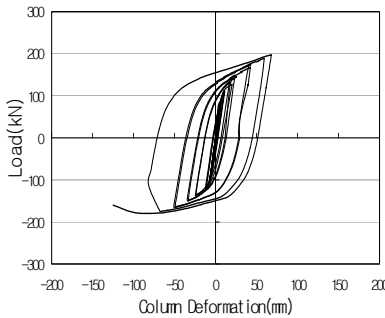
(b) 보 하중-변위곡선



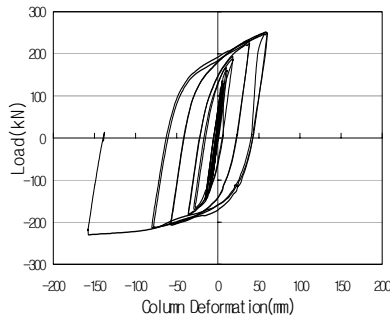
(b) 보 하중-변위곡선



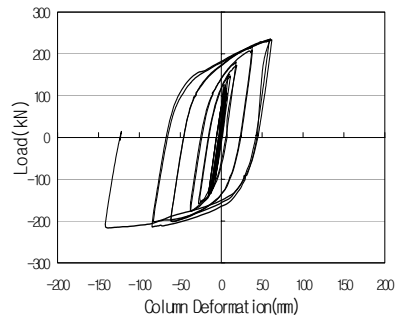
(b) 보 하중-변위곡선



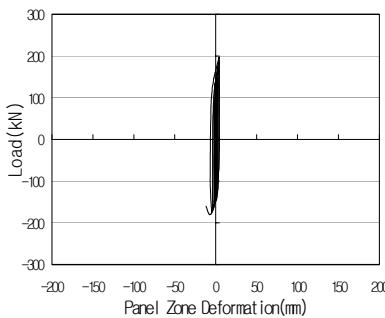
(c) 기둥 하중-변위곡선



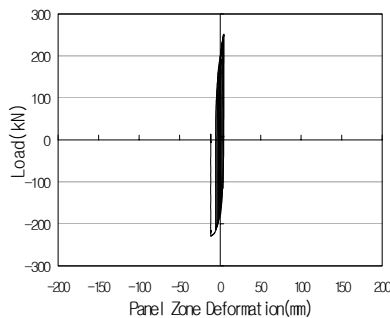
(c) 기둥 하중-변위곡선



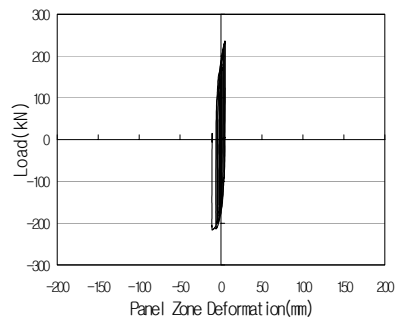
(c) 기둥 하중-변위곡선



(d) 패널존 하중-변위곡선



(d) 패널존 하중-변위곡선



(d) 패널존 하중-변위곡선

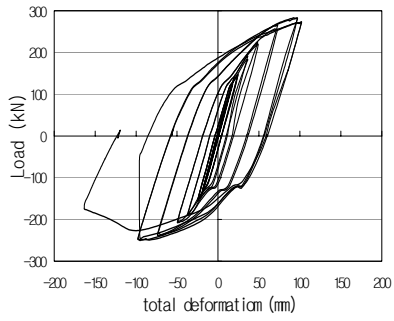
그림 8. 실험체 BS 하중-변위곡선

그림 9. 실험체 PW 하중-변위곡선

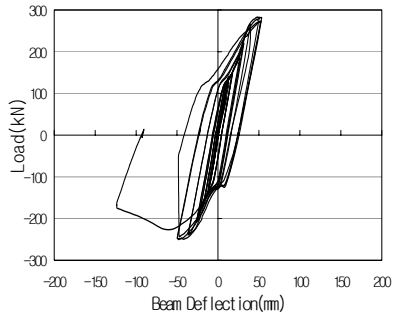
그림 10. 실험체 PM 하중-변위곡선

한계까지 가력하는 도중 사진 2와 같이 0.05rad.에서 보의 커버플레이트 끝단 주위의 보 플랜지에서 좌굴 현상이 일어나고 동시에 가력을 중단하였다. 그림 11에서 실험체 각 부위의 0.04rad.에서의 최대 변위를

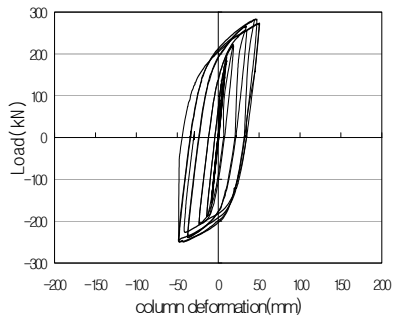
살펴보면 보는 53.45mm, 기둥은 47.47mm, 패널존은 0.60mm 로 보에서 변형이 가장 많이 일어난 것을 알 수 있으며, 패널존의 변형은 거의 없는 것을 확인할 수 있다.



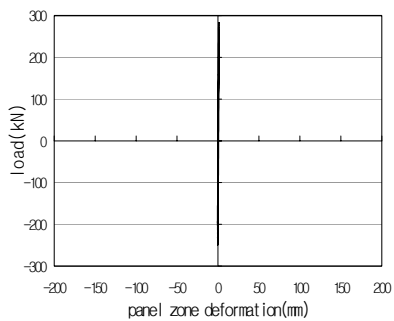
(a) 전체 하중-변위곡선



(b) 보 하중-변위곡선

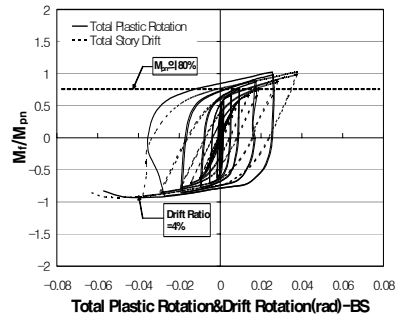


(c) 기둥 하중-변위곡선

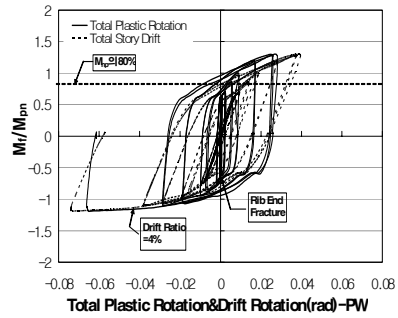


(d) 패널존 하중-변위곡선

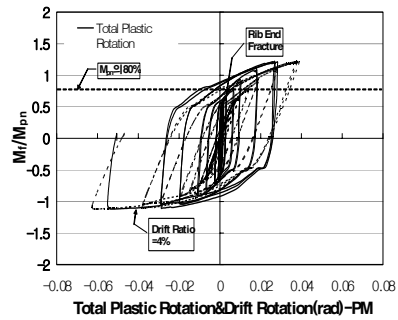
그림 11. 실험체 PH 하중-변위곡선



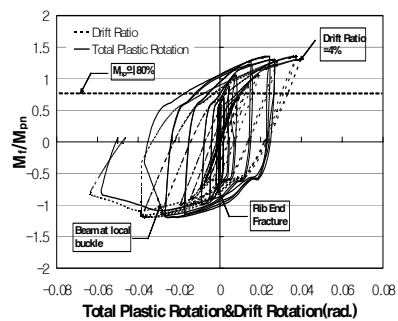
(a) BS 실험체



(b) PW 실험체



(c) PM 실험체



(d) PH 실험체

그림 13. 층간변위 및 총 소성회전각 이력곡선

3.3 단조하중-변위관계

그림 12의 단조하중-변위관계 곡선에서 초기강성 기울기를 갖는 직선과 초기강성 기울기의 1/3인 직선

을 평행이동시켜 곡선과 접선으로 만났을 때 초기강성 구배를 갖는 직선과 만나는 지점의 하중을 항복하중 Q_y 로 정하였고 이때의 변위를 항복변위 δ_y 라 하였다. 또한 곡선에서 가장 큰 값을 최대하중 Q_{max} , 이때

의 변위를 최대변위 δ_{max} 로 결정하였다. 표 4에서 살펴보면 내력은 압축일 때가 인장일 때보다 모두 높게 나타났다. 이는 쉬어탭의 비대칭 설계 때문이라 사료된다. 항복하중은 패널존의 강도가 강할수록 항복하중은 높게 나타났다. 최대하중 또한 패널존의 강도가 강할수록 높게 나타났다. 항복하중은 실험체 PW가 실험체 PH보다 낮게 나타났으나 중간 강도인 PM보다 높게 나타났다.



사진 2. PH 실험체 파괴형상

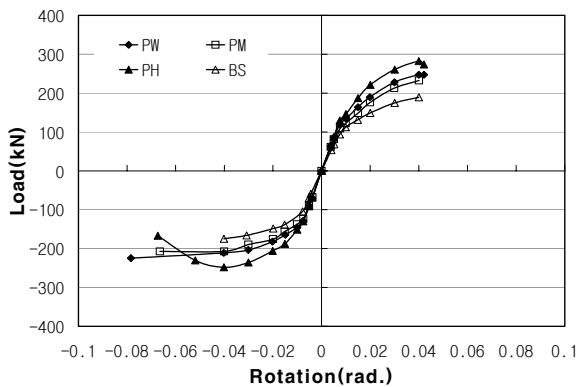


그림 12. 단조하중-변위 곡선

표 4. 실험체의 항복 내력

실험체	항복 하중 Q_y (kN)	항복 변위 δ_y (mm)	최대하중 Q_{max} (kN)	최대 변위 δ_{max} (mm)	초기 강성 K (kN/mm)
PW	압축	171.5	247.4	97.08	6.99
	인장	145.4	211.1	97.50	7.26
PM	압축	169.0	233.8	97.29	6.87
	인장	149.9	206.8	97.39	7.39
PH	압축	200.1	282.2	97.07	7.10
	인장	165.4	248.3	97.34	7.45
BS	압축	125.2	193.5	97.32	5.53
	인장	127.1	175.0	99.02	5.52

3.4 소성회전

총 소성회전각(θ_p)은 보의 순수 회전각에서 탄성성분을 뺀 회전각을 의미하며 기둥-보 접합부가 큰 전

단력과 에너지를 흡수할 수 있도록 일정한 소성변형 능력이 확보할 수 있도록 하는 중요한 요소이다. SAC에서는 SMF, IMF를 구분하지 않고 양자 모두 0.04rad.의 접합부의 총 회전각을 확보할 것을 요구하고 있으며 특별연성모멘트골조의 접합부로서 인정되기 위해서는 4%의 층간변위수준을 적어도 1사이클 저항할 수 있어야 하고 동시에 강도가 공칭소성모멘트($M_{pn}=F_y Z_n$)의 80% 이하로 떨어져서는 안된다.

여기서 층간변위는 보 단부의 총 변위를 기둥중심에서 보 단부까지의 거리로 나눈 것이다. 각 실험체에 대한 실험결과를 그림 13과 같이 기둥면에서의 모멘트 M_f 와 총 소성회전각 θ_p 의 그래프로 나타내었으며 층간변위각은 점선으로 표시하여 그래프에 함께 나타내었다. M_f 는 보의 소성모멘트 M_{pn} 로 나누어 정규화하였다. 각 실험체의 이력곡선에서 유압잭 스트로크의 한계로 실험을 변위제어 프로그램의 마지막 단계까지 실험을 이행하지 못했으나 스트로크의 최대한계까지 하중을 가한 압축(-)측에서 이력곡선의 양상을 볼 때 모든 실험체는 층간변위 4%를 충분히 만족한다. 총 소성회전각 역시 특수연성모멘트골조(SMF)의 요구치인 0.03 rad.에 충분히 도달할 것으로 판단된다. 모든 실험체는 공칭소성모멘트의 80%를 충분히 넘었으며 패널존이 강한 PH 실험체가 공칭소성모멘트의 약 135%로 가장 높은 값을 보인다. BS 실험체를 제외한 나머지 실험체는 0.015rad.에서 리브의 파단이 일어났으며 이로 인해 곡선에서 보이는 거와 같이 핀치(Pinch)현상이 일어나는 것으로 사료된다.

각 실험체의 부재별 소성회전을 그림 14에 나타내었다. 총 소성회전은 표 5에서와 같이 PM실험체가 0.03 rad.으로 가장 적은 소성회전을 나타낸 PW 실험체보다 약 12% 높게 나타났다. 총 소성회전각에는 보의 소성회전이 평균 약 49%로 가장 많이 기여했다. 패널존 강도에 따라 비교된 3개의 실험체는 모두 기준형 실험체인 BS 실험체 보다 높은 소성회전을 보였다.

표 5. P시리즈 실험체의 각 요소별 소성회전각

실험체	PW	PM	PH	BS
총 소성회전(rad.)	0.0271	0.0304	0.0287	0.027
패널존 소성회전(rad.)	0.0046	0.0070	0.0070	0.0137
기둥 소성회전(rad.)	0.0114	0.0081	0.0053	0.0060
보 소성회전(rad.)	0.0111	0.0153	0.0164	0.0073
Mf/Mpn (층간변위4%일때)	1.283	1.068	1.085	0.923

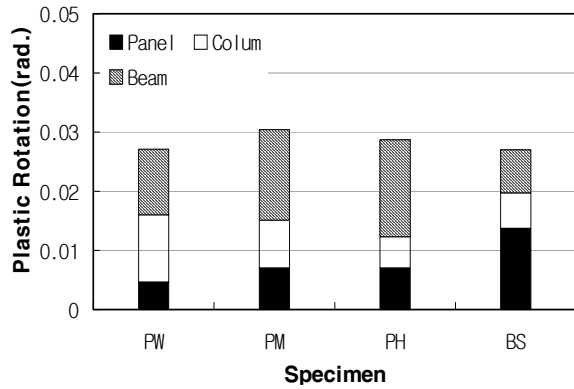


그림 14. 각 부재별 소성회전

층간변위 4% 에서의 공칭소성모멘트는 PW 실험체가 소성모멘트의 약 128%로 가장 높게 나타났으며 PM, PH 실험체는 비슷한 값을 나타내었다. 그림 15 에서 Ricles 연구와 같이 본 연구에서는 패널존의 강도가 강할수록 좋은 소성변형능력을 갖는 것으로 나타났다.

3.5 변형도 분석

실험체 각 부위의 변형률 분포와 게이지의 위치를 그림 16에 나타내었다. 기둥 플랜지와 가까운 커버 플레이트에서 변형률은 PM 실험체가 가장 높은 값을 나타냈으며 PW 실험체가 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 패널존이 약하게 설계되면서 패널존의 변형이 활발하여 보 플랜지와 접합된 커버 플레이트의 변형을 완화시킨 까닭으로 사료된다. 리브 끝단의 변형률은 패널존이 강도가 강할수록 높은 값을 나타내었다. 9, 10, 12번의 위치에서는 보 플랜지에 가까운 9번과 10번 위치에서 높았다. 9번 위치에서는 항복변형률인 0.002를 넘지 않았으며 PW 실험체가 가장 높은 변형

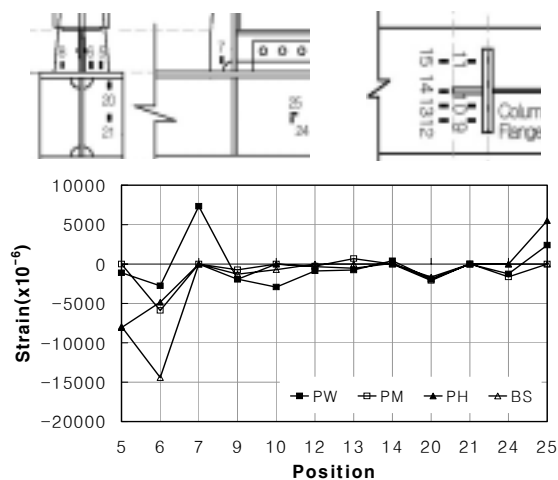


그림 16. 각 실험체의 변형률 분포

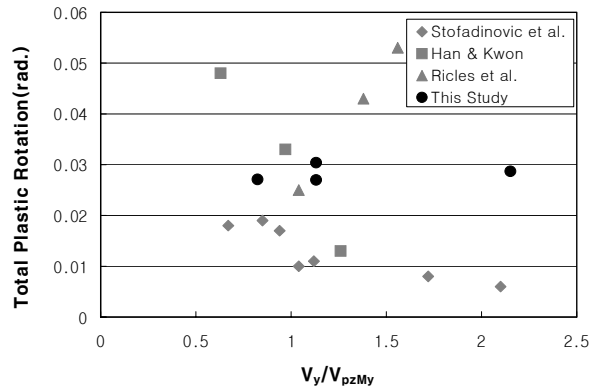


그림 15. 패널존 강도와 총소성회전

을 보였다. 24, 25 위치에서 축방향으로의 변형이 높은 것으로 확인 됐으며 PH 실험체에서 가장 높았다. 기존 실험체인 BS 실험체와 비교하면 게이지의 모든 위치에서 비슷한 양상을 나타내고 있다.

3.6 에너지 소산 능력

부재의 하중-변위곡선에서 면적이 에너지 흡수능력에 해당한다. 본 연구에서는 실험체의 변형 능력을 파악하기 위해 하중-변위곡선에서 사이클의 폐곡선의 면적을 구해 누적 에너지를 도출하였으며 마지막 단계의 0.04 rad.에서 소산된 에너지를 비교-분석하였다. 그림 17은 비교한 실험체의 각 부재별로 흡수된 에너지를 0.04rad.에서 비교하여 도출한 것이다. PW 실험체를 제외한 나머지 실험체는 기준 실험체인 BS 실험체보다 모두 높은 에너지 흡수능력을 보였으며 PW 실험체가 가장 낮은 에너지 소산능력을 보인 반면 PH 실험체는 가장 높은 에너지 소산능력을 보였다. PH, PM 실험체는 PW 실험체의 125%, 115% 수준의 에너지 소산을 보였다. 보의 에너지 소산능력은 PH 실험체에서 40%, PW 실험체에서 약 19%의 기여도를 보였다. 패널존이 강할수록 에너지의 소산은 많으며 소산된 총 에너지양에 대한 보의 기여도도 많

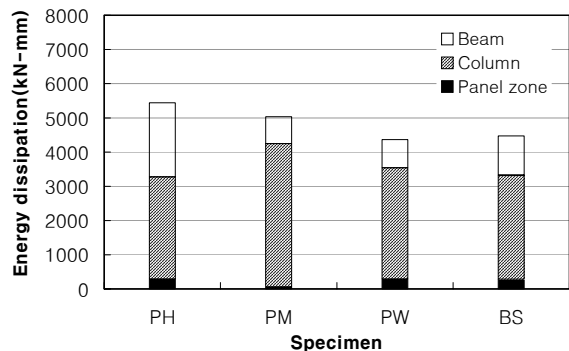


그림 17. 소산된 에너지 비교

다. 각 실험체의 소산된 에너지양에 대해 표 6에 구체적으로 표기하였다. 실험이 진행되는 동안의 각 실험체의 누적된 에너지 소산량은 그림 18에 도시된 바와 같이 BS 실험체가 낮은 양상을 나타내며 BS 실험체를 제외한 3개의 실험체 중 PH 실험체가 낮은 양상을 보였다. 0.01 rad.에서 BS 실험체와 PH 실험체의 누적 에너지양이 역전되는 모습을 보였다.

표 6. 실험체의 각 요소별 소산 에너지(kN-mm)

실험체	PW	PM	PH	BS
총 소산에너지	4366	5038	5440	4515
패널존 소산에너지	296	66	295	286
기둥 소산에너지	3245	4184	2981	3083
보 소산에너지	825	788	2164	1146

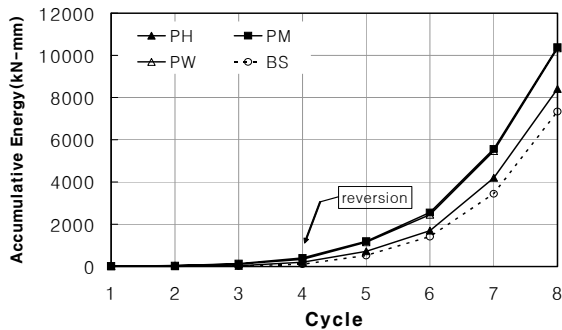


그림 18. 누적 에너지 비교

4. 결론

- (1) 실험체의 항복하중과 초기강성의 경우 패널존이 강할수록 높은 초기강성을 나타내며 모든 실험체는 항복하중과 초기 강성에 있어 기존 접합부 형식인 BS 실험체보다 높은 성능을 보였다.
- (2) 모든 실험체는 내진성능 요구치인 층간변위 4%를 만족하며 소성회전 0.03 rad.을 충분히 만족하여 특수연성 모멘트골조(SMF)로 정의해도 무방하다 판단된다. 총소성회전에는 보가 가장 많은 기여를 하였으며 패널존의 강도가 클수록 보에서의 소성회전은 높은 것으로 나타났다. 패널존의 강함에 의해 패널존의 비탄성 영역에서의 회전이 억제되어 패널존에서 억제된 만큼의 회전이 보에서 일어난다고 판단된다.
- (3) 총 소성회전에서 보의 소성회전에 대한 기여도가 높은 만큼 기둥 플랜지면에 접해있는 플레이트와 리브의 스캘럽에서 높은 변형도를 나타냈으며 패널존의 강도가 낮은 PW 실험체가 다른

실험체에 비해 동일한 사이클에서 가장 낮은 변형률을 나타냈으며 패널존의 회전이 많은 만큼 플레이트의 변형을 완화시킨 까닭으로 사료된다.

- (4) PW 실험체의 경우 기준형 실험체인 BS 실험체의 소산된 에너지양에 미치지 못했으며 PH 실험체는 가장 크게 나타났다. 소성회전이 적은 PH 실험체에서 가장 많은 에너지 흡수를 보였으며 패널존의 소성회전이 적으면 보의 비탄성 회전을 좋게 하여 에너지를 더욱 많이 흡수 할 수 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2005년도 서일대학 학술연구비에 의해 연구되었음

참고 문헌

한상환, 권건업 (2003). "WUF-B 접합부의 내진성능 평가 (1) WUF-B 접합부의 반복 가력 시험" 대한건축학회 논문집 구조계, 제19권, 제11호

박순규, 김한수, 이상훈 (2002). "CFT기둥-보 단부평판 접합부의 내진성능, 대한건축학회 구조계, 제18권, 제3호

이대용 (2004). "WUF-W 모멘트 접합부에서의 패널 존 거동과 AISC 설계기준", 한국강구조학회지, 제16권 제14호

SAC (1996). "Experimental Investigations of Beam-Column Subassemblages", SAC 96-01

FEMA 350 (2000). "Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings"

AISC. (1994). "Metric Load and Resistance Factor Design Specification for Structural steel Buildings" AISC Chicago Illinois

James M. Ricles, Changshi Mao, Le-Wu Lu, and John W. Fisher (2002). "Inelastic Cyclic Testing of Welded unreinforced Moment Connections" ASCE, Vol. 128, No. 4

Krawinkler, H. (1978). "Shear in beam-column joints in seismic design of steel frames." Engineering Journal, AISC, Vol. 3

- © 논문접수일 : 2007년 01월 17일
- © 심사의뢰일 : 2007년 02월 01일
- © 심사완료일 : 2007년 03월 27일