

약축 접합부 형식에 따른 강축 접합부의 구조적 거동 - 연직하중이 작용하는 경우 -

The Structural Behavior of Strong Axis Connections by Type of Weak Axis Connection - In Case of Loading Gravity Load -

김 상 섭¹⁾ · 이 도 형²⁾ · 함 정 태³⁾
Kim, Sang Seup · Lee, Do Hyung · Ham, Jeong Tae

요 약 : 기둥-보 약축 접합 디테일 개발을 위해서 접합부의 거동을 파악하는 것이 선행되어야한다. 약축 접합부의 형식에 따른 강축 접합부의 거동을 파악하기위하여 기존 브라켓타입 용접접합부의 각 요소들 즉 패널존, 수평스티프너의 유무 및 위치를 변수로 고려하였다. 본 연구에서는 접합부에 수평스티프너가 있는 경우는 접합부를 수직스티프너로 보강한 단순보로 치환하여 접합부의 내력을 산정하였으며, 수평스티프너가 없는 경우는 기둥플랜지의 국부휨강도, 기둥 웨브의 국부인장강도, 기둥 웨브의 크립플링강도 및 기둥웨브의 최대 좌굴강도를 고려한 내력 평가식을 사용하였고 이론해석결과와 실험결과를 비교·분석하였다.

ABSTRACT : The behavior of the connection for beam-to-column weak axis connection and its details should be identified. Thus, each element is considered a panel zone, and the horizontal stiffener's presence or absence and position in bracket-type welding connection are used as variables to compare the behavior of strong axis connection and weak axis connection. In this study, the strength of connection is calculated by substituting the simple beam-strengthened vertical stiffeners for connection in the presence of horizontal stiffeners. In the absence of horizontal stiffeners, the strength of connection can be calculated using local flange bending strength considering local web yielding strength, web crippling, and web buckling strength. The results of the theoretical analysis and experiments are compared.

핵심 용어 : 강축접합, 접합디테일, 플랜지의 국부휨강도, 웨브의 국부인장강도, 웨브의 크립플링강도, 웨브의 좌굴강도

KEYWORDS : Strong axis connection, Connection detail, Local flange bending, Local web yielding, Web crippling, Web buckling

1. 서론

현재 국내에서도 공사기간단축 및 공사비 절감, 시공의 간편성 등 여러 가지 경제적 이득으로 중·저층 건축물에도 철골조를 사용하는 경향이 점차 증가하고 있는 추세이다.

그러나 철골조에서 기둥-보 접합방법으로 주로 사용하고 있는 브라켓 형식 용접접합은 과도한 용점으로 취성파괴의 위험이 있으며, 또한 운송비 증가로 인해 공사비 증가의 한 요인으로 작용하고 있어 기둥-보 접합 디테일의 개발이 요구되고 있는 실정이다.

그러나 강축에 대한 접합부는 미국 Northrige 지진

(1994, Richter Magnitude 6.8)과 일본의 Kobe 지진(1995, Richter Magnitude 7.2)이후 많이 개선되었으나, 약축 접합부에 대한 디테일 개발 및 연구는 국내·외적으로 거의 없는 실정이다.

H형강의 강축에 접합된 보부재 사이의 응력을 원활히 전달하기 위하여 약축에 수평스티프너를 필요로 하고 있으나, 이러한 수평스티프너는 약축접합부의 디테일을 개발하는데 커다란 장애 요인이 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 연직하중이 주로 작용하는 중·저층 철골 구조물에 대한 약축 접합부 디테일 개발을 위하여, 수평스티프너의 유무 및 설치 위치와 패널존의 유무를 변수로 하

1) 정회원, 한국기술교육대학교 건축공학과 교수, 공학박사
(Tel:041-560-1330, Fax:041-560-1224, E-mail:kimss@kut.ac.kr)
2) 정회원, 동국대학교 대학원 건축공학과, 박사과정수료(narase@chol.com)
3) 정회원, 한국기술교육대학교 대학원, 석사과정(achoss@kut.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2004년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 동의 회답을 게재하겠습니다.

여 약축접합형식이 강축 접합부의 구조적 거동에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

2. 실험 계획

2.1 실험체 계획

본 연구에서는 기존 브라켓 형식 용접접합의 거동과 접합부의 각 요소들 즉, 패널존과 수평스티프너 그리고 약축 접합부 형식에 따른 강축 접합부의 거동을 파악하고자 약축접합부 형식에 따른 강축접합부 실험을 수행하였다.

기본형 실험체로써 단순보 실험체인 BA-B-0-0을 계획하였으며 기존 브라켓타입 용접접합부의 각 요소들 즉 패널존, 수평스티프너의 유무 및 위치를 변수로 고려하였다.

현장에서의 H형강 기둥의 약축에 접합을 고려하여 보 플랜지에서 수평스티프너까지의 수직거리를 변수로써 15cm와 0cm로 하였다.

연직하중이 작용하는 경우, 강축접합부에서 패널존의 기여도를 파악하기 위하여, 수평스티프너의 위치에 따라서 패널존의 유무, 약축접합형식을 주요 변수로 하여 총 9개의 실험체를 계획하였다.

그림 2는 본 연구에서 계획한 강축 접합부 실험체의 디테일이다. 표 1은 실험체 계획을 나타낸 것이다.

강축에 접합되는 보는 맞댐 용접으로 기둥 플랜지와 접합하였고, 약축에 접합되는 보는 기존 브라켓 형식 용접접합과 스플릿 티접합, 엔드플레이트 접합 그리고 스플릿 티접합 후 스플릿 티의 웨브를 기둥 플랜지와 용접하는 용접스플릿 티접합으로 기둥과 접합하였다.

실험체는 중저층 철골구조물에서 일반적으로 사용되는 보 부재와 기둥부재를 사용하여 제작하였다. 기둥부재는 압연형강 H-300×300×10×15(높이 800mm), 보부재는 압연형강 H-200×200×8×12(스팬 1200mm)를 사용하였으며, 부재의 강종은 모두 SM490A를 사용하였다.

2.2 실험 방법

본 연구에서는 기둥-보 강축 접합부의 기본적 거동을 파악하기 위하여 그림 1과 같이 단조 가력하였다.

스팬이 120cm인 힌지 지지대에 실험체를 단순 지지시키고 힌지 가력대를 설치 후 200톤 용량의 UTM을 사용하여 가력하였으며, 가력속도는 3mm/min으로 하였다.

접합부에서의 거동을 파악하기 위하여 그림 1과 같이 기둥과 보 밑의 양쪽에 변위계를 설치하였다.

또한, 기둥 플랜지와 보 플랜지의 변형을 알아보기 위하여 기둥 플랜지와 보 플랜지의 길이 방향으로 스트레인 게이지를 부착하였다.

표 1. 실험체 계획

약축 접합방법		수평스티프너	패널존	고력볼트 수
철골보	BA-B-0-0	-	-	-
기존 브라켓타입 용접접합	BA-S-N-0	무	-	무
	BA-S-0-0	유	유	무
	BA-S-0E-0	유	무	무
	BA-S-15-0	15cm 이동	유	무
	BA-S-15E-0	15cm 이동	무	무
스플릿 티	ST-S-15-4	15cm 이동	유	4
용접 스플릿 티	WST-S-0-4	유	유	4
엔드플레이트	EP-S-15-8	15cm 이동	유	8

주) BA-S-15-0

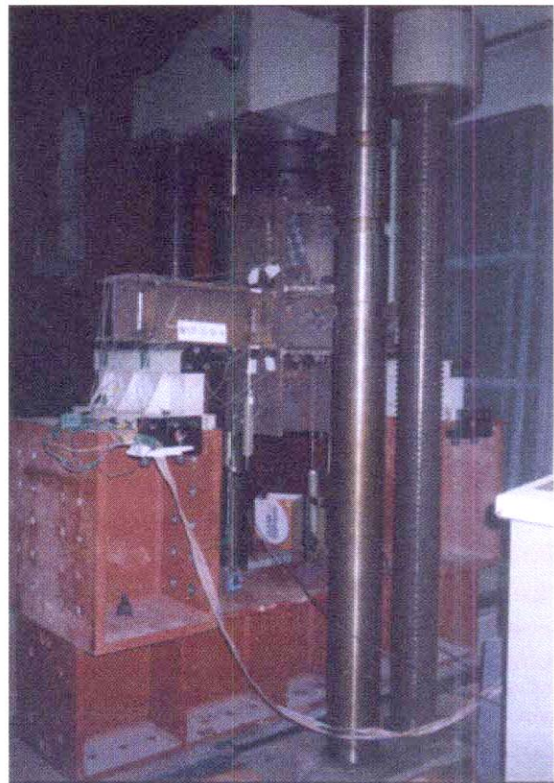
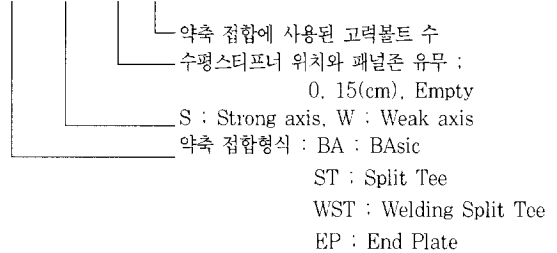
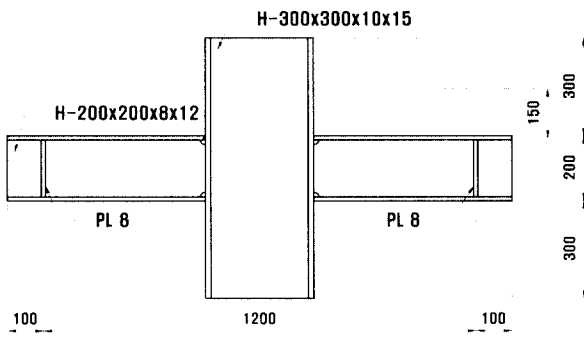
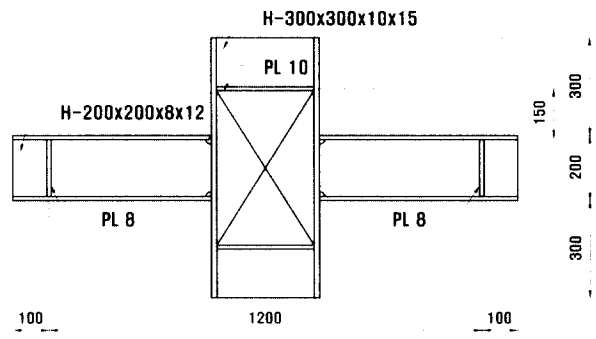


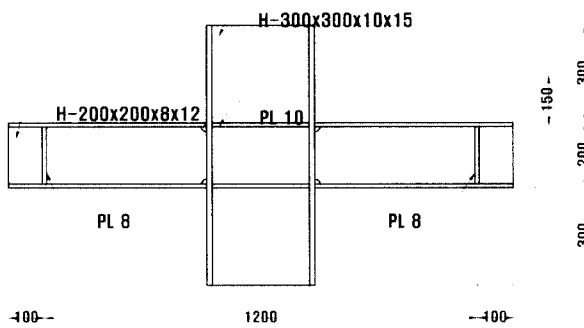
그림 1. 가력방법 및 변위계 위치



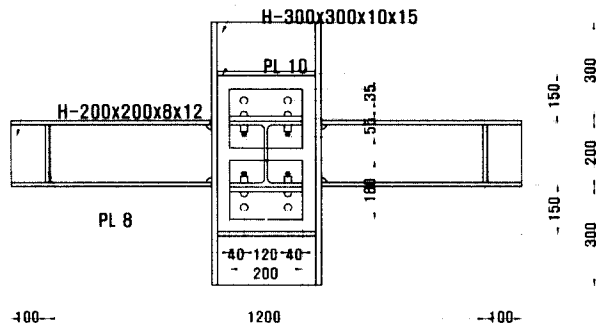
(a) BA-S-N-0 (수평스티프너 제거 실험체)



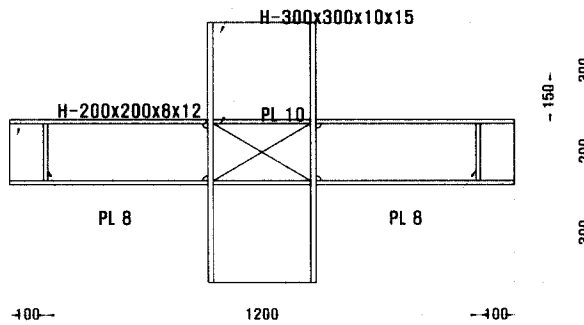
(b) BA-S-15E-0 (수평스티프너 이동 및 패널존 제거 실험체)



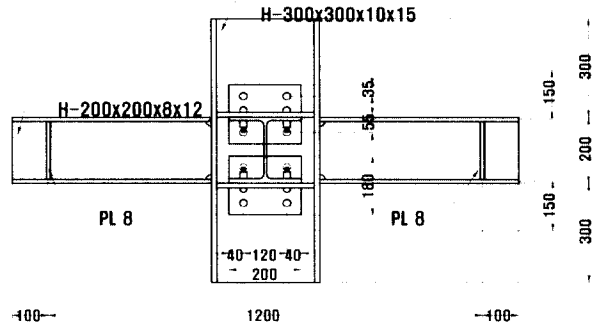
(c) BA-S-0-0 (기존 브래킷 타입 접합 실험체)



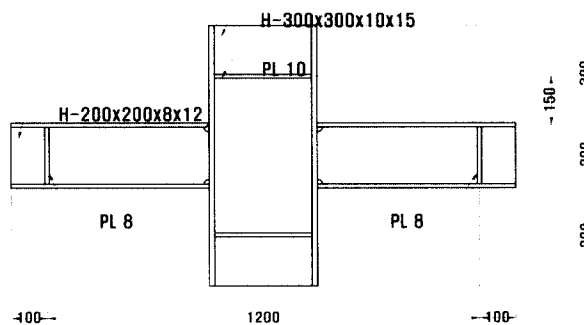
(d) ST-S-15-4 (스플릿 티접합 실험체)



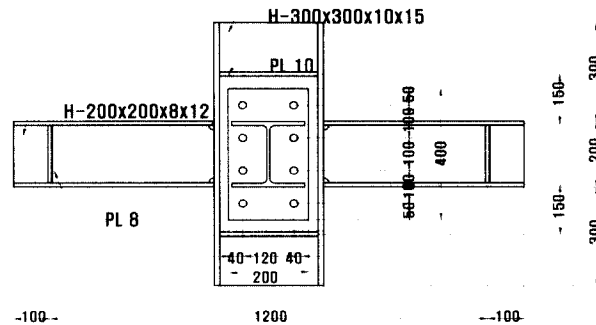
(e) BA-S-0E-0 (패널존 제거 실험체)



(f) WST-S-0-4 (용접스플릿 티접합 실험체)



(g) BA-S-15-0 (수평스티프너 이동 실험체)



(h) EP-S-15-8 (엔드플레이트 접합 실험체)

그림 2. 실험체 디테일

3. 접합부의 내력평가

3.1 수평스티프너가 있는 경우

충분한 강도의 수평스티프너가 있는 경우는 보 플랜지로부터 집중력에 의한 기둥 플랜지의 면외 국부휨과 기둥 웨브의 국부항복 등이 생기지 않는 것을 전제로 하여, 접합부를 수직스티프너를 보강한 단순보로 치환함으로써 접합부의 전소성 휨내력 M_u 는 식 1과 같다.

$$M_u = Z_p \cdot F_y \quad (1)$$

여기에서, Z_p : 보의 소성단면계수

F_y : 보의 항복강도

3.2 수평스티프너가 없는 경우

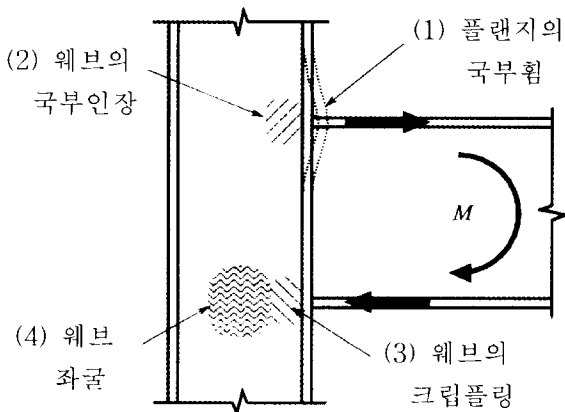


그림 3. 수평스티프너가 없는 경우의 국부거동

수평스티프너가 없는 경우는 그림 3에 나타난 기둥 플랜지의 국부 휨, 웨브의 국부항복, 크리플링 및 좌굴에 의해 접합부의 내력이 결정되며 최대 휨내력은 식 2와 같다.

$$M_u = d_b \cdot \text{MIN} [R_{u1}, R_{u2}, R_{u3}, R_{u4}] \quad (2)$$

여기에서, d_b : 상하 보 플랜지 판 두께 중심간 거리

3.2.1 기둥 플랜지의 최대 국부 휨강도

보 플랜지로부터 인장력에 의해 면외 휨을 받는 기둥 플랜지의 국부 휨강도는 식 3과 같다.

$$R_{u1} = 6.25 \cdot c t_f^2 \cdot c F_{fu} \quad (3)$$

여기에서, $c t_f$: 기둥 플랜지의 두께

$c F_{fu}$: 기둥 플랜지의 인장강도

3.2.2 기둥 웨브의 국부 인장강도

보 플랜지로부터의 집중하중이 작용하는 기둥 웨브 필렛 선단의 국부인장으로 결정되는 기둥 웨브의 국부 인장강도는 식 4와 같다.

$$R_{u2} = h_w \cdot c t_w \cdot c F_{wu} \quad (4)$$

여기에서, h_w : 기둥 웨브의 국부항복영역의 높이

$e \leq h_c$ 일 때 $h_w = 2.5 \cdot c h_f + b t_f$

$e > h_c$ 일 때 $h_w = 5.0 \cdot c h_f + b t_f$

$c h_f$: 기둥 플랜지 표면으로부터 기둥 웨브 필렛 선단까지의 거리

$b t_f$: 보 플랜지의 두께

$c t_w$: 기둥 웨브의 두께

$c F_{wu}$: 기둥 웨브의 인장강도

h_c : H형 단면 기둥의 춤

3.2.3 기둥 웨브의 최대 크리플링강도

웨브의 크리플링은 집중력의 작용점 밑에 웨브가 면외로 구부러져 나오는 현상으로서, 3.2.4의 웨브 좌굴과는 구별되어 진다. 보 플랜지로부터의 집중력을 받는 기둥 웨브의 최대 크리플링 강도는 Roberts의 연구 성과에 근거하여 식 5로 나타낸다.

$$R_{u3} = 0.78 \cdot c t_w^2 \left[1 + 3 \frac{b t_f}{h_c} \left(\frac{c t_w}{c t_f} \right)^{3/2} \right] \times \left(\frac{E \cdot c F_{wu} \cdot c t_f}{c t_w} \right)^{1/2} \quad (5)$$

여기에서, E : 탄성계수

보 플랜지 판 두께 중심부터 기둥부재 단부(최상층 등)까지의 거리 e 가 $h_c/2$ 보다 작을 경우, 식 5의 값을 1/2로 저감한다.

3.2.4 기둥 웨브의 최대 좌굴 강도

연직 하중시와 같이 좌우 보 플랜지에 집중압축력이 작용하는 경우의 기둥의 무보강 웨브의 최대 좌굴 강도는 식 6과 같다.

$$R_{wt} = \frac{23.7t_w^3 \sqrt{E F_{wu}}}{d_f} \quad (6)$$

여기에서, d_f : 기둥 부재의 웹 필렛간 거리

$$d_f = h_c - 2_c h_f$$

4. 실험결과 및 분석

4.1 소재시험

본 연구의 실험에 사용된 H형강과 플레이트의 기계적 특성을 파악하기 위하여, H형강과 스플릿 티의 웹과 플랜지에서 각각 3개씩의 인장 시험편을 KS B 0801에 따라 1A호 시험편으로 제작하여 인장시험을 실시하였다. 표 2는 인장시험결과를 정리한 것이다.

표 2에서와 같이 소재시험결과, 본 연구에서 사용된 모든 시험편은 KS에서 규정한 기계적 성질을 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 H형강 웹의 항복강도는 KS 규준값보다 약 30%정도 더 높게 나타났으며, 플랜지의 항복강도는 약 15% 정도 크게 나타났으며, 표 3은 본 연구에서 약축 접합부에 사용된 F10T M20(전단접합부)과 M22(인장접합부)의 기계적 성질을 나타낸 것이다.

4.2 하중-변위 곡선 및 파괴형상

표 4는 각 실험체의 최대내력, 최대변위 및 파괴 형상 등을 정리한 것으로써 각 실험체의 항복하중은 참고문헌 6에서 제시한 방법에 따라 그림 4와 같이 초기접선이 최대하중 시 갖는 변위를 항복변위로 하였고, 이 때의 내력을 항복하중으로 하였다.

4.2.1 수평스티프너의 위치에 따른 거동 특성

그림 5는 수평스티프너의 위치에 따른 거동 특성을 파악하고자 BA-S-N-0, BA-S-15-0, BA-S-0-0 실험체들의 하중-변위 곡선을 비교하여 놓은 것이다.

일반적으로 사용하는 브라켓형식 용접접합 실험체인 BA-S-0-0 실험체의 최대내력 및 최대변위는 각각 93.86tf, 48.24mm이며, 그림 6과 같이 보 스칼럼부위에서 취성파괴되었다.

수평스티프너를 15cm이동시킨 BA-S-15-0 실험체는 최대내력이 87.97tf로 BA-S-0-0과 비슷한 내력을 보였다. 또한 최대변위 91.87mm까지 집중력을 받는 기둥 플랜지와 보 플랜지의 국부 좌굴로 인하여 파괴되었다.

표 2. 소재의 기계적 성질

	항복강도 (tf/cm ²)	인장강도 (tf/cm ²)	탄성계수 (tf/cm ²)	연신율(%)
H-8	4.37	5.76	2029.1	21.5
H-10	4.19	6.05	2079.9	20.2
H-12	3.69	5.52	1984.2	22.9
H-15	3.88	5.78	2025.8	23.1
P-15	3.54	5.13	2080.6	24.8
P-20	3.49	5.38	2133.5	27.6

주) H-8, H-12 : H-200×200×8×12의 웹 및 플랜지
 H-10, H-15 : H-300×300×10×15의 웹 및 플랜지
 P-15, P-20 : T-15×20의 웹 및 플랜지

표 3. 고력볼트의 기계적 성질 (F10T)

	항복강도 (tf/cm ²)	인장강도 (tf/cm ²)	단면수축률 (%)	연신율(%)
M20	10.52	10.97	66.35	18.98
M22	10.60	10.93	66.37	19.73

표 4 실험 결과

실험체명	P_y (tf)	P_u (tf)	δ_y (mm)	δ_u (mm)
BA-B-0-0	67.74	102.16	8.85	94.66
BA-S-N-0	53.52	82.57	8.36	84.48
BA-S-0-0	64.61	93.86	6.37	48.24
BA-S-0E-0	63.78	88.61	6.18	44.24
BA-S-15-0	59.98	87.97	8.87	91.87
BA-S-15E-0	22.18	30.29	12.08	90.95
ST-S-15-4	59.06	88.66	8.38	61.74
WST-S-0-4	61.75	95.57	5.472	96.44
EP-S-15-8	57.62	88.46	8.17	88.05

P_y : 실험체의 항복하중, P_u : 실험체의 최대하중
 δ_y : 실험체의 항복하중시의 변위, δ_u : 실험체의 최대하중시의 변위

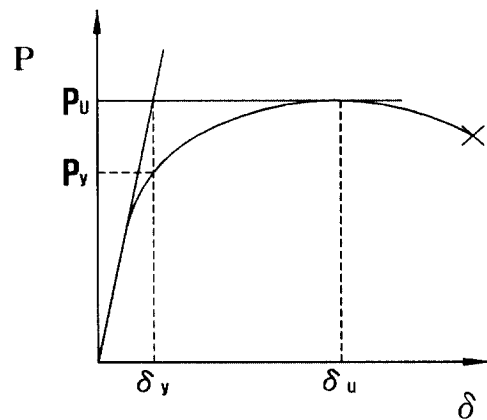


그림 4. 항복강도 산정방법

BA-S-N-0실험체는 BA-S-15-0실험체에서 수평스티프너를 제거한 실험체로써 최대내력 82.57tf에 도달할 때까지 기둥 플랜지의 국부좌굴로 인하여 연성적인 거동을 나타냈으나, 그림 7과 같이 기둥 플랜지의 큰 변형으로 인하여 기둥 플랜지와 보 플랜지의 용접부위에서의 취성파괴로 이어졌다.

따라서 수평스티프너의 위치 및 유무는 강축 접합부의 강성에는 크게 영향을 미치지 않지만, 접합부의 연성에는 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4.2.2 패널존 유무에 따른 거동 특성

그림 8은 패널존 유무와 수평스티프너의 위치에 따른 강축 접합부의 거동 특성을 파악하기 위하여 BA-S-0-0, BA-S-15-0, BA-S-0E-0, BA-S-15E-0실험체의 하중-변위 곡선을 비교하여 놓은 것이다. 그림 9, 10은 각 실험체의 파괴형상을 나타낸 것이다.

BA-S-0-0실험체는 일반적으로 사용되는 브래킷형식 용접 접합 실험체이며, BA-S-0E-0실험체는 BA-S-0-0실험체에서 패널존을 제거한 실험체이다.

BA-S-15-0실험체는 BA-S-0-0실험체에서 수평스티프너를 상하로 15cm이동시킨 실험체이며, BA-S-15E-0실험체는 BA-S-15-0실험체에서 패널존을 제거한 실험체이다.

BA-S-0-0실험체는 최대내력이 93.86tf으로 가장 높게 나타났으나, 그림 6과 같이 보 하부 스칼럽부위의 취성파괴로 인하여 취대변위 48.24mm에서 파괴되었다.

패널존을 제거한 BA-S-0E-0실험체는 최대내력이 88.61tf으로 나타났으며, BA-S-0-0실험체와 같이 최대내력에서 보 하부 스칼럽부분의 파괴로 인하여 취성적 거동을 보이면서 파괴되었다.

BA-S-0-0실험체와 BA-S-0E-0실험체는 보 하부 스칼럽에서의 취성파괴가 일어나기 전까지는 거의 동일한 거동을 보였다. 이는 본 연구에서와 같이 연직하중만을 고려할 경우, 패널존이 접합부의 최대내력에 영향을 적게 미치는 것으로 판단되며 이는 보 상하 플랜지에 발생하는 인장과 압축이 수평스티프너 보강만으로도 충분하기 때문인 것으로 판단된다.

BA-S-15-0실험체는 최대내력이 87.97tf으로 나타났으나, 그림 9와 같이 기둥 플랜지와 보 플랜지에 국부좌굴이 발생되면서 전체적으로 휨파괴 되면서 연성적인 거동을 보였다. 그리고 BA-S-15E-0실험체는 최대내력이 30.29tf으로 나타났으며, 그림 10과 같이 기둥 플랜지의 국부좌굴로 인하여 큰 변형이 발생되면서 연성적 거동을 보였다.

BA-S-15-0실험체의 최대내력은 BA-S-15E-0실험체보다 약 2.9배 크게 나타났으나, 최대변위는 비슷하게 나타났다.

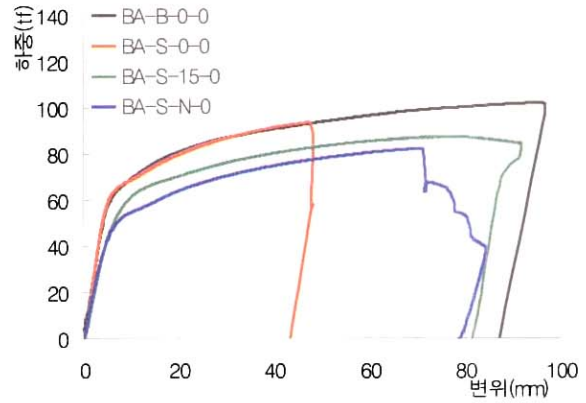


그림 5. 수평스티프너 위치에 따른 거동 특성



그림 6. 보 스칼럽부위의 파괴형상



그림 7. 기둥 플랜지의 취성 파괴형상

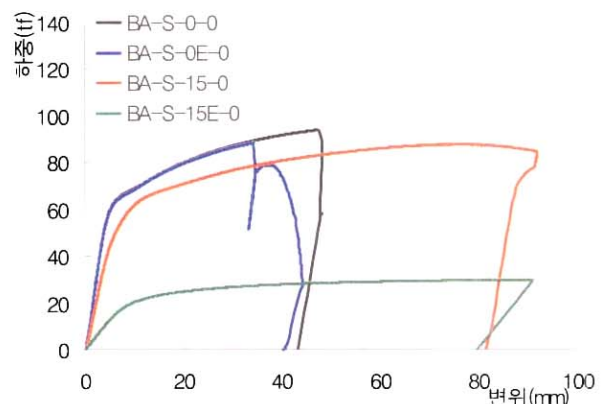


그림 8. 패널존 유무에 따른 거동 특성

따라서 본 실험과 같이 연직하중만을 고려한다면, 수평스티프너의 위치가 정위치에 있을 경우에는 접합부의 구조성능에 대한 패널존의 기여도는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 수평스티프너를 15cm이동시킨 경우에는 접합부의 구조성능에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4.2.3 약축접합 형식에 따른 강축 접합부의 거동 특성
(수평스티프너가 정위치에 있을 경우)

그림 11은 수평스티프너가 정위치에 있을 경우, 약축 접합 형식에 따른 거동 특성을 파악하고자 기존 브라켓 형식 용접 접합 실험체인 BA-S-0-0 실험체와 철골보를 기둥의 약축에 용접스플릿 티접합을 한 WST-S-0-4 실험체의 하중-변위 곡선을 비교하여 나타낸 것이다.

BA-S-0-0 실험체는 최대내력이 93.86tf로 나타났으며, 최대변위는 47.42mm로 그림 6과 같이 보 스킴부위에서 취성파괴가 발생하여 취성적 거동을 나타냈다.

WST-S-0-4 실험체는 최대내력이 95.57tf로 나타났으며, 최대변위는 96.44mm로 그림 12와 같이 보 플랜지의 휨 파괴로 연성적인 거동을 나타냈다.

두 실험체는 강축의 접합 형식과 수평스티프너의 위치와 형태가 동일한 실험체이지만 두 실험체의 거동은 크게 다르게 나타났다. 최대내력 면에서는 WST-S-0-4 실험체와 BA-S-0-0 실험체가 비슷하게 나타났으나, 연성적인 면에서는 BA-S-0-0 실험체보다 WST-S-0-4 실험체의 최대변위가 약 48% 정도 크게 나타났다.

이것은 두 실험체의 파괴부위가 다르기 때문에 일어난 현상이라고 판단된다. BA-S-0-0 실험체는 그림 6과 같이 보 스킴 부위의 파괴로 인하여 충분한 연성을 확보하지 못하고 취성적으로 파괴되었으나, WST-S-0-4 실험체는 보 스킴 부위에서의 취성파괴가 발생되지 않고, 그림 12와 같이 압축력을 받는 보 상부 플랜지의 국부 좌굴로 휨파괴 되었다.

따라서 강축 용접접합부의 거동에 있어서 보 스킴부분의 결함에 의한 취성파괴가 연성에 크게 영향을 미치는 인자로 작용하는 것으로 판단된다.

4.2.4 약축접합 형식에 따른 강축 접합부의 거동 특성
(수평스티프너를 15cm이동시킨 경우)

그림 13은 수평스티프너를 15cm이동시킨 경우, 약축 접합 형식에 따른 강축 접합부의 거동 특성을 파악하고자, BA-S-15-0, ST-S-15-4, EP-S-15-8 실험체의 하중-변위 곡선을 비교하여 나타낸 것이다.

ST-S-15-4 실험체는 수평스티프너를 정위치에서 15cm 이동시킨 후 스플릿 티접합으로 철골보를 기둥의 약축에 접합



그림 9. BA-S-15-0의 파괴형상

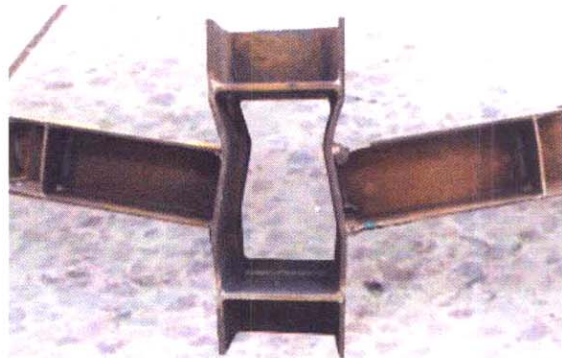


그림 10. 기둥 플랜지의 휨 파괴형상

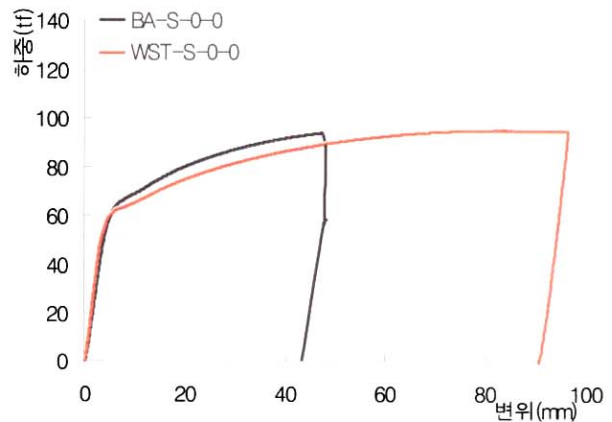


그림 11. 약축 접합법에 따른 거동 특성 (수평스티프너 정위치)



그림 12. WST-S-0-4의 파괴형상

한 실험체이며, EP-S-15-4실험체는 수평스티프너를 정위치에서 15cm이동시킨 후 엔드플레이트 접합방법으로 철골보를 기둥의 약축에 접합한 실험체이다. BA-S-15-0실험체와 EP-S-15-8실험체는 그림 9와 같이 기둥 플랜지와 보 플랜지에 국부좌굴이 발생되면서 전체적인 파괴모드는 휨파괴로서 연성적인 거동으로 나타났다. 그러나 ST-S-15-4는 최대내력이 88.66tf로 나타났으며, 최대 변위가 60.51mm에서 그림 6과 같이 보 스칼럽부분의 파괴로 세 개의 실험체중 가장 취성적인 거동을 보였다.

또한 본 실험에서, EP-S-15-8실험체와 BA-S-15-0실험체 모두 기둥 플랜지와 보 플랜지의 국부좌굴로 인하여 휨파괴 되었으나, EP-S-15-8실험체의 기둥 플랜지 좌굴정도가 BA-S-15-0실험체보다 적게 나타났다. 그러나 하중-변위관계에서 두 실험체는 그림 13에서와 같이 유사한 거동을 나타냈다.

H-형강 기둥-보 접합에서 수평스티프너의 위치를 정위치에서 15cm이동시킬 경우, 약축 접합형식에 따라 패널존의 간접 보강효과로 인하여 강축 접합부의 거동이 달라질 것으로 예상하였으나, 실험결과 약축접합이 있는 실험체와 약축접합이 없는 실험체가 그림 13에서와 같이 유사한 거동을 보임으로써 약축접합의 패널존 간접 보강효과는 없는 것으로 나타났으며, 이는 실험체의 내력이 플랜지의 최대 휨강도에 의해 결정되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 ST-S-15-4실험체의 실험결과 수평스티프너를 15cm이동시키더라도 보 하부 스칼럽의 결함이 더 큰 인자로 작용하여, 강축 용접접합부에서 취성파괴가 발생할 수 있는 것으로 나타났다.

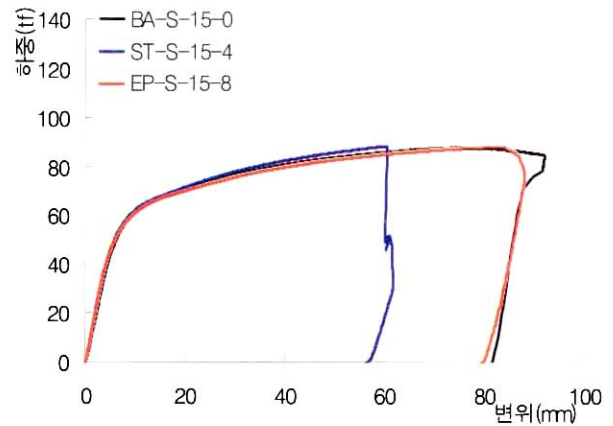


그림 13. 약축 접합형식에 따른 거동 특성 (수평스티프너 15cm 이동)

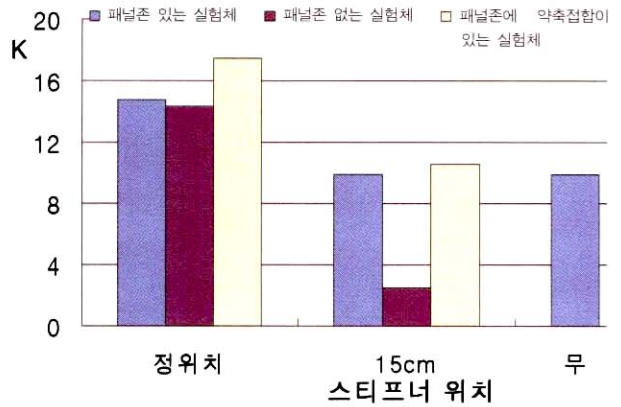


그림 14. 각 실험체의 초기강성 비교

4.3. 분석 및 고찰

4.3.1 초기강성

그림 14는 수평스티프너의 위치 및 패널존의 유무에 따라 각 실험체의 초기강성을 비교하여 놓은 것이다.

항복하중에 대한 항복하중 시 변위의 비인 초기강성 K 는 표 5에서와 같이 수평스티프너의 위치별로 다르게 나타났다. 수평스티프너의 위치를 정 위치에서 상하로 15cm이동시킬 경우 강성이 약 33%줄었으며, 수평스티프너를 15cm이동시킨 실험체와 수평스티프너를 설치하지 않은 실험체는 비슷하게 나왔다.

또한 수평스티프너의 위치에 따라 패널존이 접합부의 강성에 기여하는 정도가 다르게 나타났다. 수평스티프너를 정 위치에 설치하고 패널존을 제거한 BA-S-0E-0실험체는 BA-S-0-0 실험체에 대하여 초기강성이 약 2.5% 감소하여 큰 영향이 없는 것으로 나타났으나, 수평스티프너를 15cm 이동

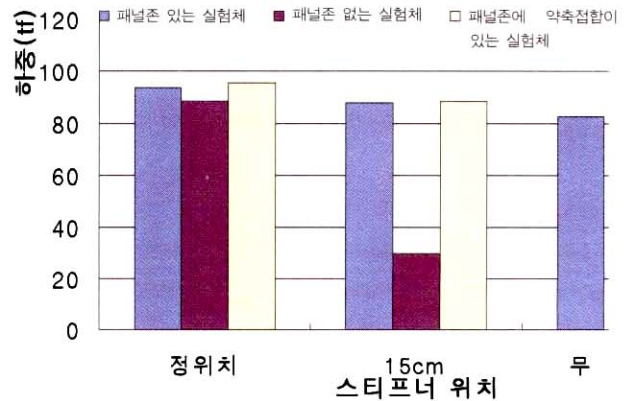


그림 15. 각 실험체의 최대 내력 비교

시키고 패널존을 제거한 BA-S-15E-0실험체의 초기강성은 BA-S-15-0실험체에 대하여 약 75%의 큰 폭으로 감소하여 수평스티프너가 정위치에 없을 경우 패널존의 영향이 큰 것으로 나타났다.

이는 모멘트에 의한 보 상하 플랜지의 인장·압축력이 수평스티프너가 있을 경우는 수평스티프너를 통하여 전달되므로

패널존의 영향이 적지만, 수평스티프너가 없거나 보 플랜지와 같은 위치에 있지 않을 경우는 수평스티프너와 기둥 웹브를 통하여 힘이 전달되기 때문인 것으로 판단된다.

4.3.2 최대하중

그림 15는 수평스티프너의 위치 및 패널존의 유무에 따라 각 실험체의 최대하중을 비교하여 놓은 것이다.

최대하중은 수평스티프너의 유무 및 위치에 따라 다르게 나타났으며 패널존이 접합부의 내력에 미치는 영향은 수평스티프너의 유무 및 위치에 따라 크게 다르게 나타났다. 하지만 약축접합의 유무에 따른 접합부 내력비교에서는 접합부의 내력이 기둥 플랜지의 휨강도에 의해 결정되면서 약축접합의 유무와 접합부의 내력 관계는 나타나지 않았다.

4.3.3 항복비

최대 하중에 대한 항복하중의 비로 평가한 항복비는 표 5에서와 같이 패널존의 유무에 따라 다르게 나타났다.

패널존을 제거한 실험체인 BA-S-0E-0, BA-S-15E-0 실험체를 제외한 다른 실험체들은 1.47에서 1.55의 항복비를 나타냈으며, 패널존을 제거한 BA-S-0E-0, BA-S-15E-0 실험체들은 각각 1.39, 1.37의 항복비를 보임으로써 다소 낮게 나타났다.

4.3.4 변형능력

변형능력은 최대하중 시 변위에 대한 실험에 의한 항복하중 시 변위의 비로 하였다. 표 5에서 비교적 변형능력이 떨어지는 BA-S-0-0, BA-S-0E-0, ST-S-15-4 실험체는 보 스

칼럼부분에서 취성파괴되었기 때문인 것으로 판단되며, BA-S-0-0 실험체와 BA-S-0E-0 실험체는 그림 8에서 나타난 것과 같이 보 스칼럼부분에서 취성파괴되기 전까지 거의 동일한 거동을 보였으며, 또한 이 두 실험체가 보 스칼럼부분에서 취성파괴되지 않았다면 약축접합부의 수평스티프너 보강 조건이 동일한 WST-S-0-4 실험체와 비슷한 거동을 할 것으로 판단된다. 또한 ST-S-15-4 실험체도 보 스칼럼부분에서 취성파괴되었으며, 약축접합부 수평스티프너의 보강 조건이 동일한 EP-S-15-8 실험체의 변형능력을 볼 때 보 스칼럼부분에서 결함이 없을 경우 변형능력이 우수할 것으로 판단된다.

4.3.5 에너지 흡수 능력

에너지는 하중-변위 곡선의 면적으로 평가하였다. 표 5에서와 같이 에너지는 변형능력과 비슷한 경향을 보여주며, 보 스칼럼부분에서의 결함이 접합부의 에너지에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4.3.6 실험결과와 해석결과의 비교

표 5는 본 연구에서 계획한 각 실험체들의 실험결과와 해석결과를 비교한 것이다. 표에서와 같이 수평스티프너를 15cm 이동시킨 실험체들을 제외하고는 모두 실험결과가 해석결과보다 약 8%에서 16% 정도 높게 나타났으며, 이는 일반적으로 실험결과가 해석결과보다 10에서 15% 정도 높게 나타나는 것을 감안할 때 본 논문에서 제시한 해석방법이 타당한 것으로 판단된다.

그러나 수평스티프너를 15cm 이동시킨 실험체들의 경우에는, 약 18에서 23%의 오차를 보이고 있다. 이는 현재 기둥

표 5 실험결과 및 해석결과의 비교

실험체명	실험 결과					해석 결과			파괴모드
	K	$P_u^{1)}$ (tf)	$\frac{P_u}{P_y}$	$\frac{\delta_u}{\delta_y}$	에너지 흡수능력 (tf·mm)	$M_{exp.}^{2)}$ (tf·cm)	$M_{theo.}^{3)}$ (tf·cm)	$\frac{M_{exp.}^{4)}$ $M_{theo.}$	
BA-B-0-0	11.58	102.16	1.51	10.70	8071.3	2298.6	2028.43	1.133	휨파괴
BA-S-N-0	9.92	82.57	1.54	8.47	5523.3	1857.8	1625.6	1.143	기둥플랜지와 보 플랜지 용접부위의 취성파괴
BA-S-0-0	14.74	93.86	1.45	7.44	3566.6	2111.9	1850.1	1.142	스칼럼부분 취성파괴
BA-S-0E-0	14.37	88.61	1.39	5.56	3084.8	1993.7	1850.1	1.078	스칼럼부분 취성파괴
BA-S-15-0	9.92	87.97	1.47	8.46	6502.2	1979.3	1625.6	1.218	휨파괴
BA-S-15E-0	2.51	30.29	1.37	7.49	2228.7	681.5	576.7	1.182	휨파괴
ST-S-15-4	10.59	88.66	1.50	7.23	4372.3	1994.9	1625.6	1.227	스칼럼부분 취성파괴
WST-S-0-4	17.46	95.57	1.55	15.04	7865.1	2150.3	1850.1	1.162	휨파괴
EP-S-15-8	10.80	88.46	1.54	10.11	6398.0	1990.4	1625.6	1.224	휨파괴

주 1) 실험결과 실험체의 최대하중

2) 실험결과 파괴모드를 고려한 최대휨모멘트

3) 해석결과 파괴모드를 고려한 최대 휨내력

4) 실험결과 최대모멘트와 해석결과 최대 휨내력의 비

· 보 접합부에서 보 플랜지가 기둥플랜지에 인장과 압축을 가할 때 기둥 플랜지와 웨브에서 응력분포 범위를 본 연구의 식 3의 h_w 와 같이 보고 있으며, 본 연구에서 수평스티프너를 15cm이동 시킨 경우는 응력분포 범위 밖에 수평스티프너를 설치한 경우에 해당하며 즉, 수평스티프너가 없는 경우가 된다. 표 5에서의 해석 결과 또한 수평스티프너를 15cm 이동 시킨 실험체들의 내력을 수평스티프너가 없는 경우로 내력평가를 실시한 값들로서 표 5에서의 실험결과와 해석결과를 볼 때 식 4에서의 응력분포 범위는 타당하지 않는 것으로 판단되며 이에 대한 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 약축 접합부형식에 따른 강축 접합부의 거동 특성에 대한 연구결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) H형강 기둥-보 접합에서 수평스티프너를 보 플랜지 위치에서 15cm이동시킨 경우, 약축 접합형식에 따른 강축 접합부의 거동은 실험결과 약축접합이 없는 실험체와 약축접합이 있는 실험체가 비슷한 거동을 보였으며, 이는 실험체의 내력이 플랜지의 최대 휨강도에 의해 결정되었기 때문인 것으로 판단된다.
- (2) H형강 기둥-보 접합에서 중저층 철골 건축물에서와 같이 연직하중만을 고려할 경우, 수평스티프너의 위치에 따라 패널존이 강축 접합부의 연성에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- (3) H형강 기둥-보 접합에서 강축 접합부의 구조적 거동은 수평스티프너를 정위치에 두거나 제거했을 경우, 취성적인 면을 보일 수 있으며, 수평스티프너의 위치를 이동시킴으로써 강축 접합부의 내력 및 연성을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.
- (4) H형강 기둥-보 접합에서 강축 접합부가 연성적 거동으로 예상되는 경우라도, 보 스칼럽부분의 결합이 강축 용접접합부의 구조성능에 커다란 영향을 미치는 인자로 작용하는 것으로 판단된다.
- (5) H형강 기둥-보 접합에서 중저층 철골 건축물에서와 같이 연직하중만을 고려할 경우, BA-S-OE-0 실험체의 실험결과와 같이 접합부의 구조적 거동에 있어서 패널존의 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.
- (6) 본 연구에서는 현재 사용되고 있는 기둥-보 접합부의 내력 평가식을 사용하여 실험체들의 실험결과와 비교하여 본 결과, 수평스티프너를 15cm이동시킨 실험결과는 다소 해석결과가 높게 나타났으나, 안전 측으로

볼 때 내력평가식이 타당한 것으로 판단되며, 또한 이에 대한 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지역대학 우수과학자지원연구사업(과제번호 R05-2002-000275-0)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

김규석(2001.1), 철골구조학, 기문당
 김상섭(1994), 고장력 볼트 및 T/S 볼트의 품질관리, 대전사
 대한건축학회(1998.10), 강구조 한계상태설계기준 및 해설
 田中尚·田中淳夫(1975.12), 高力ボルト引張接合部の設計式
 について, JSSC Vol.11, No 120
 日本建築學會(1993.3), 高力ボルト接合設計施工指針
 建設省建築研究所(1996.12), (社)鋼材俱樂部, 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
 AISC(1994), Manual of Steel Construction, Load &
 Resistance Factor Design, 2nd ed. Volumes 1
 and 2. Chicago: AISC
 Charles G. salmon and John E. Johnson(1996),
 "Steel Structures Design and Behavior", Fourth
 Edition
 Michel Bruneau, Chia-Ming Uang, Andrew Whittaker
 (1998), Ductile Design of Steel Structures,
 McGraw- Hill
 Roberts T. M.(1981), Slender Plate Girders
 Subjected to Edge Loading, Proceedings of
 Institute of Civil Engineers, Part 2, 71
 William A. Thornton(Second Quarter 1985), Prying
 Action-A General Treatment, AISC, 22, 2,
 67-75.
 William A. Thornton(Fourth Quarter 1992), Strength
 and Serviceability of Hanger Connections,
 AISC, 29, 4, 145-149
 Larry E. Curtis, Thomas M. Murray(1989), Column
 Flange Strength at Moment End-Plate
 Connection, AISC
 (접수일자 : 2004. 1. 15 / 심사일 2004. 2. 25 /
 심사완료일 2004. 3. 26)