

시공성 향상을 위한 제4세대 H형강 기둥-보 약축접합부의 개발 및 성능평가

Development and Performance Evaluation of the Fourth Generation H-section Beam-to-Column Weak Axis Connection for Improving Workability

김 필 중¹⁾ · 부 윤 섭²⁾ · 양 재 근³⁾ · 이 은 택⁴⁾ · 김 상 섭⁵⁾
Kim, Pil Jung · Boo, Yoon Seob · Yang, Jae Guen · Lee, Eun Taik · Kim, Sang Seup

요약 : 국내외적으로 강구조 약축접합부의 접합방법으로는 브라켓타입이 주로 사용되고 있다. 브라켓타입의 약축접합부는 기둥-보접합부를 공장에서 제작한 후, 현장에 운반하여 시공하므로 보이음부가 추가된다. 따라서 보이음부의 설치비용 및 공사기간이 증가되므로 강구조물의 경쟁력이 저하된다. 본 연구에서는 기존의 표준약축접합부를 개선하여 힘의 흐름이 명확하고, 접합상세가 간결하며, 시공성을 향상시킨 신형상 약축접합부를 제안하였다. 실험결과를 통하여 신형상 약축접합부는 기존의 표준약축접합부보다 최대내력이 크게 나타났으며, 또한 연성적으로 거동하는 것으로 나타났다. 여기서 기존의 표준약축접합부는 스칼립 또는 보이음용접부에서 응력집중으로 인하여 파괴되는 반면에, 신형상 약축접합부는 응력이 집중되는 스칼립 및 보이음용접부가 없으며, 또한 H형강기둥과 보를 결합하기 위한 용접플레이트의 두께를 자유롭게 조절할 수 있으므로 이러한 차이가 기둥-보접합부의 최대내력 증가 및 연성적 거동에 기여하는 것으로 판단된다.

ABSTRACT : Bracket-type connection is often used for the weak-axis steel connection. In general, a beam-to-column connection for the bracket type is fabricated at the shop and a beam splice is additionally attached to the bracket in the site. Therefore, steel construction would not be competitive due to the increase of beam splice fabrication cost and overall construction period. This paper now proposes the new weak-axis connection types without a scallop, which has more definite strength flow, simple connection details, and better workability. From the series of experiments, the proposed connections showed better strength and ductility in comparison with standard details with scallop because the thickness of the welding plate for wide-flanged, beam-to-column connection can be easily adjusted.

핵심 용어 : 시공성 향상, 기둥-보접합, 약축접합, 용접플레이트

KEYWORDS : Improving Workability, Beam to Column Connection, Weak Axis connection, Welding Plate

1. 서론

강구조의 기둥-보접합부에 대한 연구는 국내는 물론 국외에서도 오랜 기간 진행되어 접합부의 강도나 내진성능을 개선시킬 수 있는 다양한 접합부디테일이 개발되어 사용 중에 있다. H형강의 강축접합은 많은 연구가 진행되고 있으며, 제1세대·제2세대·제3세대 접합부가 차례로 개발되고 다양한

개선방안이 마련되어 실용화가 되었다. 그러나, H형강의 약축접합은 과거에 사용되었던 약축접합디테일을 그대로 사용하고 있는 실정으로 그에 대한 연구 또한 미비한 상태이다.⁶⁾ 기존의 약축접합부는 현장용접 기피 및 시공성을 고려하여 브라켓접합을 사용하고 있다. 그러나 브라켓형식으로 적용되고 있는 약축접합부는 공장에서 기둥과 보를 용접접합 한 후, 현장에 운반하여 시공하므로 보이음부가 추가된다.

1) 인천대학교 도시건축학부, 교수(pjkim@incheon.ac.kr)
2) 한국기술교육대학교 건축공학부, 석사과정(kingpunch@naver.com)
3) 인하대학교 건축학부 부교수(jyang@inha.ac.kr)
4) 중앙대학교 건축학부 교수(etlee@cau.ac.kr)
5) 교신저자, 한국기술교육대학교 건축공학부 교수
(Tel: 041-560-1330, Fax: 041-560-1224, E-mail: kimss@kut.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2011년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다

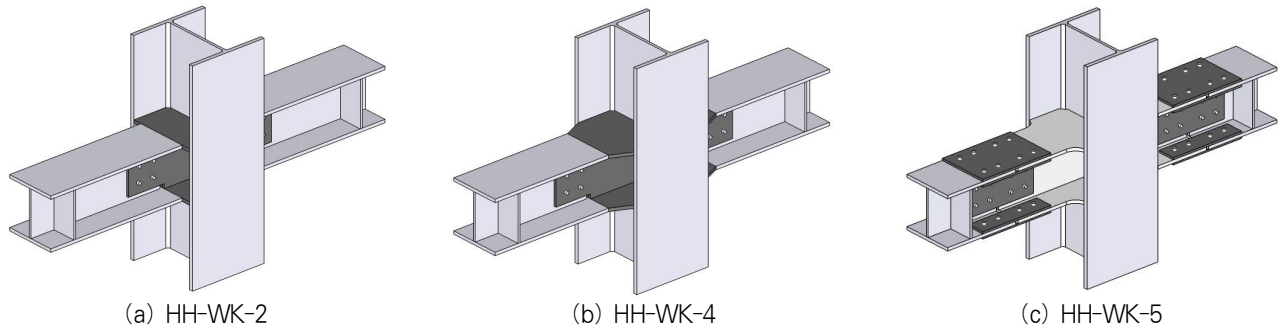


그림 1. 표준약축접합부 실험체의 입체도 (건축강구조 표준접합상세지침 참조)

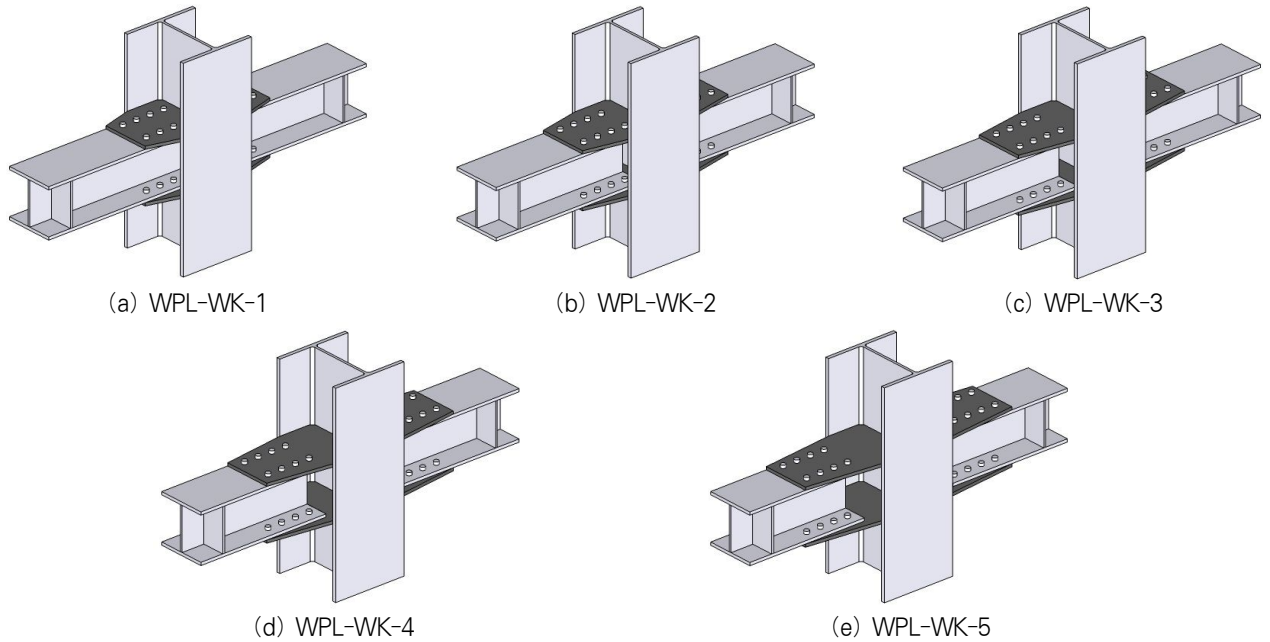


그림 2. 신형상 약축접합부 실험체의 입체도 (시공성을 고려하여 기둥웹과 보의 단부 간격을 조정함)

표 1. 약축접합부 실험체계획

분류	실험체명	접합축	스팬 (mm)	고력볼트 개수	플레이트의 두께 (mm)	필릿 용접부 유효목두께 (mm)	보 접합방식	스칼럽 유무	실험변수 (mm)	기 타
HH 시리즈 (표준 약축접합부)	HH-WK-2	약축	1200	8	12	7	플랜지 용접접합 웹브 고력볼트접합	유	-	Stick Out(0mm)
	HH-WK-4	약축	1200	8	12	7	플랜지 용접접합 웹브 고력볼트접합	유	-	Stick Out(75mm)
	HH-WK-5	약축	1200	48	12	7	플랜지 고력볼트접합 웹브 고력볼트접합	무	-	-
WPL 시리즈 (신형상 약축접합부)	WPL-WK-1	약축	1200	32	15	10.5	플랜지 고력볼트접합	무	15	-
	WPL-WK-2	약축	1200	32	15	10.5	플랜지 고력볼트접합	무	60	-
	WPL-WK-3	약축	1200	32	15	10.5	플랜지 고력볼트접합	무	100	-
	WPL-WK-4	약축	1200	32	15	10.5	플랜지 고력볼트접합	무	150	-
	WPL-WK-5	약축	1200	32	15	10.5	플랜지 고력볼트접합	무	195	-

주) 실험체 명칭 : ① HH : H형강 기둥-보, ② WPL : Welding Plate, ③ WK : Weak axis connection, ④ 1...5 : 실험체 번호

또한 공장에서 수평보를 설치하기 위해 브라켓을 제작하여야 하며, 브라켓을 기둥에 용접으로 접합하므로 용접량이 많아 취성적 파괴가 우려된다. 그리고 접합상세가 복잡하여 힘의 흐름이 명쾌하지 않으므로 구조설계가 복잡하며, 브라켓제작과 설치, 용접량 과다, 보이음부의 추가로 접합부제작 및 설치에 많은 비용이 소요된다고 할 수 있다. 이것은 바로 강구조물의 경쟁력을 저하시키는 요인이 된다.

따라서 약축접합부의 접합상세를 간결하고 실용적인 형태로 개선한다면 구조설계뿐만 아니라 시공성 향상에도 크게 기여할 것으로 생각된다.

이에 본 연구는 새로운 형태의 기둥-보약축접합부(이하 신형상 약축접합부라고 한다)의 접합상세를 개발하기 위한 것이다. 신형상 약축접합부는 기존의 약축접합부와 동등이상의 성능을 발휘해야 한다는 전제조건이 요구된다.

따라서 한국강구조학회에서 제시한 '건축 강구조 표준접합상세지침'에서의 기둥-보약축접합상세(이하 표준약축접합부라고 한다)와 본 연구에서 제안한 신형상 약축접합부에 대해 각각의 내력과 구조적 특성을 파악하고자 한다.

본 연구는 시공성이 우수하고, 힘의 흐름이 명확하며 접합상세가 단순한 신형상 약축접합부의 접합상세를 계획하여 실험을 통한 접합부성능의 검증 및 그에 따른 역학적 거동을 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 표준약축접합부와 신형상 약축접합부의 비교

2.1 표준약축접합부의 특징

한국강구조학회에서 제시한 표준약축접합부는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- (1) 국내의 문헌을 근거로 하여 가장 범용적으로 사용되는 기둥-보접합에 관한 표준접합상세를 제안하였다.
- (2) 표준접합상세는 최소한의 것을 포함하였고, 구조기술사의 판단에 의해 다양한 접합상세를 사용할 수 있다.
- (3) 향후 개정작업을 통하여 지속적으로 접합부의 보완이 가능하다.

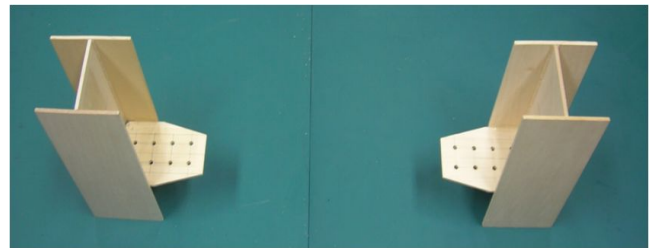
2.2 신형상 약축접합부의 특징

본 연구에서 제안한 신형상 약축접합부는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- (1) 그림 2에 (a)~(e)와 같이 상부 및 하부의 용접플레이트가 수평스티프너와 이음판의 역할을 동시에 수행하며, 전단접합에 필요한 수평스티프너가 없다.

- (2) 용접플레이트의 두께를 자유롭게 조정할 수 있으므로 약축접합부의 내력 및 강성의 조절이 가능하다.
- (3) 접합부디테일이 단순하여 접합개소의 수가 적고, 용접량도 적으며 보의 이음을 위한 스칼럽이 존재하지 않는다.
- (4) 구조계산이 용이하기 때문에 구조설계가 간편하다.
- (5) 접합부제작 및 현장에서 접합부시공이 용이하여 용접플레이트와 수평보의 설치기간이 단축되므로 공기단축으로 인한 공사비절감의 효과가 기대된다.

2.3 신형상 약축접합부의 시공방법 및 순서



(a) 하부 용접플레이트와 H형강기둥의 공장제작 및 설치



(b) 수평보 설치 및 하부 용접플레이트와 수평보의 고력볼트접합



(c) 수평보와 상부 용접플레이트의 고력볼트접합 및 H형강기둥과 상부 용접플레이트의 용접접합

그림 3. 신형상 약축접합부의 시공방법 및 순서

- (1) 강판을 절단하여 H형강기둥 플랜지 및 웨브에 접합되는 용접플레이트를 제작한다. 그리고, 그림 3(a)와 같이 공장에서 하부 용접플레이트를 H형강기둥에 용접제작하여 현장에 반입 및 설치를 한다.
- (2) 그림 3(a)의 상태에서 크레인을 사용하여 수평보를 하부 용접플레이트 위에 설치한다. 그 다음 그림 3(b)와 같이 하부 용접플레이트와 수평보의 하부플랜지를 고력볼트로 조립한다.
- (3) 그림 3(b)의 상태에서 상부 용접플레이트를 설치하고

수평보의 상부플랜지와 상부 용접플레이트를 고력볼트로 조립한다.

- (4) 그림 3(c)의 상태에서 상부 용접플레이트와 H형강 기둥 웨브는 1면 필릿(모살)용접을 하고, 상부 용접플레이트와 H형강기둥플랜지는 그루브(맞댐)용접을 하여 신형상 약축접합부를 시공한다.

3. 약축접합부 내력평가

3.1 보의 휨내력 평가

3.1.1 보에 횡좌굴이 생기지 않는 비지지길이 L_b

플랜지 및 웨브 모두 조밀(콤팩트)단면이므로 국부좌굴이 발생하지 않고 횡좌굴강도에 의해 보부재의 공칭휨강도가 결정된다.

따라서 보에 횡좌굴이 발생하지 않도록 하기 위하여 식 (1)과 같이 보의 비지지길이 L_b 는 소성한계비지지길이 L_p 보다 작게 한다. 여기서, 소성한계비지지길이 L_p 는 식 (2)와 같이 산정한다.

$$L_b \leq L_p \tag{1}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \tag{2}$$

여기서, r_y : 약축에 대한 단면2차반경(mm)

E : 강재의 탄성계수(N/mm²)

F_y : 강재의 항복강도(N/mm²)

3.1.2 보의 항복모멘트 M_y 및 소성모멘트 M_p

압연H형강 보단면의 최연단이 강재의 항복강도에 도달할 때 보의 항복모멘트는 식 (3)과 같이 산정하며, 추가적인 모멘트의 저항능력이 상실되어 소성한계가 생성되는 보의 소성모멘트는 식 (4)와 같이 산정한다.

$$M_y = S \cdot F_y \tag{3}$$

$$M_p = Z \cdot F_y \tag{4}$$

여기서, S : 보 단면의 탄성단면계수(mm³)

Z : 보 단면의 소성단면계수(mm³)

3.2 접합부의 내력평가

3.2.1 보에 작용하는 전단력 V_{wu} 및 인장력 T_u

전강도설계법에서는 부재의 설계휨강도 $\phi_b M_n$ 를 소요휨강도 M_u 로 설계하므로 소요휨강도 $M_u = \phi_b M_n$ 으로 된다. 그리고, 횡좌굴이 발생하지 않는 경우의 공칭휨강도 M_n 는 소성모멘트 M_p 와 같으므로 소요휨강도 $M_u = \phi_b M_p$ 로 된다. 따라서, 단순보에 작용하는 전단력과 인장력은 각각 식 (5)와 (6)을 사용하여 산정한다.

$$M_u = \frac{Pl}{4} \Rightarrow P = \frac{4M_u}{l}, V_{wu} = \frac{P}{2} \tag{5}$$

$$T_u = \frac{M_u}{d - t_f} \tag{6}$$

여기서, l : 보의 길이(mm)

d : H형강의 높이(mm)

t_f : H형강의 플랜지두께(mm)

3.2.2 보 웨브 및 플랜지의 고력볼트 미끄럼강도 R_n

보의 웨브 및 플랜지에 고력볼트를 사용하여 접합하는 경우 고력볼트의 미끄럼강도는 식 (7)을 사용하여 산정한다.

$$R_n = \mu h_{sc} T_o N_s \tag{7}$$

여기서, μ : 미끄럼계수(= 0.5)

h_{sc} : 표준구멍(= 1.0)

T_o : 설계볼트장력(N)

N_s : 전단면의 수

3.2.3 보의 웨브 이음판의 전단항복강도 및 전단파단강도 R_n

보의 웨브이음판에 대한 전단항복강도 및 전단파단강도는 각각 식 (8)과 (9)를 사용하여 산정한다.

$$R_n = (0.6F_y)A_g \tag{8}$$

$$R_n = (0.6F_u)A_n \tag{9}$$

여기서, A_g : 이음판의 총단면적(mm²)

A_n : 이음판의 순단면적(mm²)

F_u : 강재의 인장강도(N/mm²)

3.2.4 수평스티프너와 용접플레이트의 필릿(모살)용접 및 그루브(맞댐)용접의 이음부공칭강도 P_w

보의 웹 이음판, H형강 기둥의 수평 스티프너 및 용접플레이트에 대한 필릿(모살)용접 및 그루브(맞댐)용접의 공칭강도는 식 (10)을 사용하여 산정한다.

$$P_w = A_w F_w \quad (10)$$

여기서, A_w : 용접유효면적(mm²)

F_w : 용접모재의 공칭강도(N/mm²)

3.2.5 신형상 약축접합부에서 용접플레이트의 용접 이음부 안전성 검토

신형상 약축접합부에서 휨모멘트에 의해 상부용접플레이트의 용접부에 작용하는 인장응력 σ_u 및 전단력에 의한 전단응력 v_u 은 각각 식 (11)과 (12)를 사용하여 산정한다. 그리고, 이러한 조합응력을 받는 상부용접플레이트의 용접이음부는 식 (13)을 사용하여 안전성을 검토한다.

$$\sigma_u = \frac{T_u}{A_w} \quad (11)$$

$$v_u = \frac{V_{wu}}{A_w} \quad (12)$$

$$\sqrt{\sigma_u^2 + v_u^2} < 0.6F_y \quad (13)$$

4. 실험체 계획

본 연구에서는 약축접합부에 대한 내력 및 구조특성을 파악하기 위하여 한국강구조학회에서 제시한 표준약축접합부(이하 HH시리즈라고 한다) 실험체 3개와 신형상 약축접합부(이하 WPL시리즈라고 한다) 실험체 5개를 포함하여 총 8개의 실험체를 제작하였다.

각 접합부실험체의 기둥부재는 압연H형강 H-300×300×10×15(높이 800mm)를 사용하였으며, 보부재는 압연 H형강 H-200×200×8×12(스팬 1200mm)를 사용하였고 기둥, 보 및 플레이트는 모두 SS400으로 제작하였다.

H형강 기둥과 보접합에 사용된 고력볼트는 웹에는 F10T(M20) 고력볼트, 플랜지에는 F10T(M22) 고력볼트를 사용하였다.

그리고, 표 1은 약축접합부의 실험체계획 및 실험체명칭을 나타냈다.

4.1 HH시리즈(표준약축접합부) 실험체 계획

HH시리즈 실험체는 접합형식에 따라 크게 2종류로 구성되어 있다. 그림 1(a), (b)는 공장에서 H형강기둥에 웹이음판과 상하부 수평스티프너를 용접으로 접합하고, 현장에서 보플랜지는 수평스티프너에 그루브(맞댐)용접을 하고 웹은 고력볼트로 접합한 형식이다. 또한, 그림 1(c)는 브라켓을 수평스티프너의 역할을 할 수 있도록 제작하여 H형강기둥에 용접으로 접합한 후, 웹과 보플랜지는 현장에서 이음판을 이용하여 고력볼트로 접합한 형식이다.

4.2 WPL시리즈(신형상 약축접합부) 실험체 계획

WPL시리즈 실험체는 그림 2의 (a)~(e)와 같이 상부 및 하부용접플레이트를 사용하여 보플랜지를 각각 고력볼트로 접합하였다. 하부용접플레이트는 H형강기둥의 웹 및 플랜지에 양면 필릿(모살)용접으로 접합하였으며, 상부용접플레이트는 H형강기둥의 웹에 1면 필릿(모살)용접, 플랜지에 그루브(맞댐)용접으로 접합하였다.

4.3 WPL시리즈(신형상 약축접합부) 실험체의 실험변수

WPL시리즈의 실험변수는 H형강기둥의 웹 끝에서 보 단부 사이의 간격이 실험체마다 45mm씩 증가하는 것으로 설정하였다. 즉, H형강의 기둥플랜지와 보단부의 겹침거리가 점점 짧아지는 것이다. 겹침거리가 짧아질수록 시공성은 향상되지만 기둥-보접합부의 내력이 저하될 우려가 있다. 따라서 본 연구의 실험변수는 접합부의 시공성을 고려함과 동시에 신형상 약축접합부의 내력 및 구조특성을 파악하기 위한 것이다.

5. 실험방법

실제 구조물에서는 등분포하중이 작용하나, 그림 4와 같이 양단에 휨모멘트가 0이 되는 부분에 실험체의 지점을 설정하고, 부모멘트를 발생시키기 위하여 실험체의 상하를 반전시켜 가력하였다. 가력은 용량 2,000kN 인 만능시험기를 이용하여 2mm/s 속도의 변위제어로 단조가력하였다.

접합부 전체의 변위와 보단부의 변위는 H형강기둥의 최하부플랜지와 기둥플랜지에서 양쪽 100mm 간격으로 와이어식 변위센서를 설치하여 계측하였다. 그림 5는 약축접합부실험체의 설치전경을 나타낸 것이다.

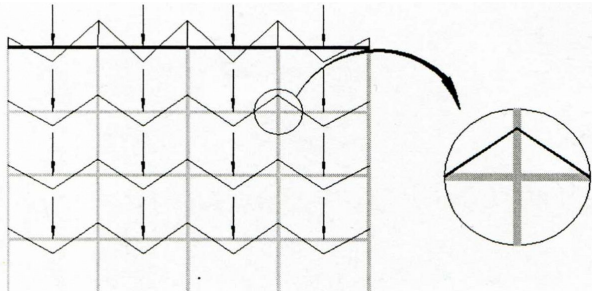


그림 4. 집중하중이 작용하는 강구조물의 힘모멘트도



그림 5. 약축접합부 실험체의 설치전경

6. 실험결과 및 분석

6.1 소재시험

본 실험에서는 사용한 H형강의 웨브 및 플랜지와 용접플레이트에서 각각 3개의 인장시험편을 KS B 0801(1A호 시험편)에 따라 제작하여 인장시험을 실시하였다. 또한 표 2는 약축접합부실험체에 사용된 F10T(M20), F10T(M22)고력볼트의 인장시험결과를 나타낸 것이며, 소재의 시험결과를 표 3과 같다.

6.1.1 항복하중 산정 방법

항복하중 및 항복변위의 산정방법은 그림 6과 같다. 항복변위는 초기강성과 최대하중의 수평선이 만나는 점으로 산정하였고, 이 항복변위와 하중-변위곡선이 만나는 점의 하중을 항복하중으로 정의하였다.

표 2. 고력볼트의 기계적 성질

	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	단면수축률 (%)	연신율 (%)
M20	1052	1097	66.35	18.98
M22	1060	1093	66.37	19.73

표 3. 소재의 기계적 성질

구분	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	연신율 (%)
H-8	316	470	202.9	21.5
H-10	303	494	208.0	20.2
H-12	302	451	198.4	22.9
H-15	281	472	202.6	23.1
PL-12	299	448	213.6	27.0
PL-15	256	419	208.1	24.8

주) H-8, H-12 : H-200×200×8×12의 웨브 및 플랜지
 H-10, H-15 : H-300×300×10×15의 웨브 및 플랜지
 PL-12, PL-15 : 두께 12mm, 15mm의 플레이트

6.2 실험체의 파괴형상 및 하중-변위 곡선

표 4는 본 연구의 실험결과를 나타낸 것이며, 각 시리즈별 실험체의 항복하중 P_y , 최대하중 P_u , 항복하중 시 변위 δ_y , 최대하중 시 변위 δ_u 등을 정리하였다.

표 4. 실험결과

분류	실험체명	P_y (kN)	P_u (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)
HH 시리즈	HH-WK-2	543.12	748.41	6.31	48.05
	HH-WK-4	561.42	793.41	6.61	53.21
	HH-WK-5	532.65	780.16	7.61	106.91
WPL 시리즈	WPL-WK-1	607.60	939.23	8.88	82.60
	WPL-WK-2	620.18	1000.70	6.51	87.19
	WPL-WK-3	651.58	1054.91	8.51	90.70
	WPL-WK-4	619.36	918.65	8.66	78.53
	WPL-WK-5	566.32	793.02	10.51	77.68

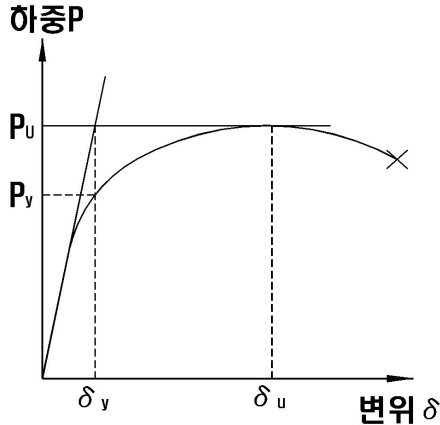


그림 6. 항복하중 및 항복변위 산정방법

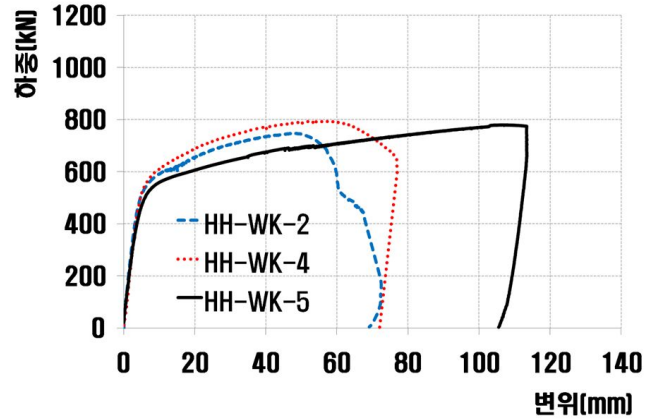


그림 7. 표준약축접합부의 하중-변위곡선

6.2.1 표준약축접합 (HH시리즈)

그림 7은 HH시리즈의 하중-변위곡선을 나타낸 것이다.

HH-WK-2 실험체의 경우, 그림 7과 8에서와 같이 수평스티프너와 보플랜지의 그루브(맞댐)용접부에서 취성적 파괴를 나타냈다. 이러한 원인은 그루브(맞댐)용접이 시작되는 부분에서 뒷댐재(Backing strip)와 모재와의 용접불량으로 인해 응력이 집중되면서 나타난 현상으로 판단된다.

실제로 HH-WK-2 접합부는 현장에서 웨브를 고력볼트로 접합한 후, 수평스티프너와 보플랜지를 현장에서 용접한다. 따라서 현장용접은 상대적으로 공장용접보다 품질이 일정하지 않기 때문에 용접불량이 발생하기 쉬우며, HH-WK-2 약축접합부는 용접이음부에 응력이 집중되므로 이러한 용접불량은 취성적 파괴를 유발하게 되며, 이것은 바로 구조물의 붕괴로 이어진다.

HH-WK-4 실험체의 경우, 그림 7과 그림 9에서와 같이 수평스티프너와 보플랜지의 그루브(맞댐)용접을 위하여 제작된 스칼럽이 파괴되면서 내력이 저하되는 것으로 나타났다. 그러나 HH-WK-2 실험체에 비해 최대내력과 변형 등의 구조성능은 개선된 것으로 나타났다.

이것은 수평스티프너와 보플랜지의 그루브(맞댐)용접부가 H형강의 기둥플랜지의 끝에서 75mm (Stick out)가 떨어져 있기 때문에 용접이음부에서 응력집중이 작아서 HH-WK-2 실험체에 비해 최대내력 및 변형이 크게 나타난 것으로 판단된다.

HH-WK-5 실험체의 경우, 그림 7과 그림 10에서와 같이 모재와 브라켓의 휨파괴로 나타났다. 항복하중은 이전의 두 실험체보다 다소 낮지만 최대내력은 HH-WK-4 실험체와 거의 비슷하게 나타났다. 항복하중 이후에는 플랜지와 웨브의 고력볼트접합부에서 마찰접합이 지압접합으로 변화되었으며, HH-WK-2 및 HH-WK-4 실험체보다 변위가 크게 증가되는 것으로 나타났다.



그림 8. HH-WK-2 실험체의 파괴형상



그림 9. HH-WK-4 실험체의 파괴형상



그림 10. HH-WK-5 실험체의 파괴형상

6.2.2 신형상 약축접합 (WPL시리즈)

그림 11은 본 연구에서 제안한 신형상 약축접합부의 하중-변위곡선을 나타낸 것이다.

WPL-WK-1 실험체의 경우, H형강의 기둥웹브와 용접플레이트의 필릿(모살)용접을 고려하여 보단부가 기둥웹브 끝에서 15mm가 떨어져 접합되었다. 이것은 H형강의 기둥플랜지와 130mm가 겹쳐져 접합된 형태이다. 파괴형상은 그림 11과 그림 12에서와 같이 보부재의 단부에서 국부변형에 의한 연성적 파괴로 나타났다.

WPL-WK-2 실험체의 경우, 보단부가 기둥웹브 끝에서 60mm가 떨어져 접합되었다. 이것은 H형강의 기둥플랜지와 85mm가 겹쳐져 접합된 형태이다. 파괴형상은 그림 11과 그림 13에서와 같이 WPL-WK-1과 유사한 형태로써 보부재의 단부에서 국부변형에 의한 연성적 파괴로 나타났다.

WPL-WK-3 실험체의 경우, 보단부가 H형강기둥의 웹브 끝에서 105mm가 떨어져 접합되었다. 이것은 H형강의 기둥플랜지와 40mm가 겹쳐져 접합된 형태이다. WPL시리즈 중 최대내력이 가장 크게 나타났으며, 그림 11과 14에서와 같이 접합부의 변위가 가장 작게 나타났다.



그림 13. WPL-WK-2 실험체의 파괴형상



그림 14. WPL-WK-3 실험체의 파괴형상

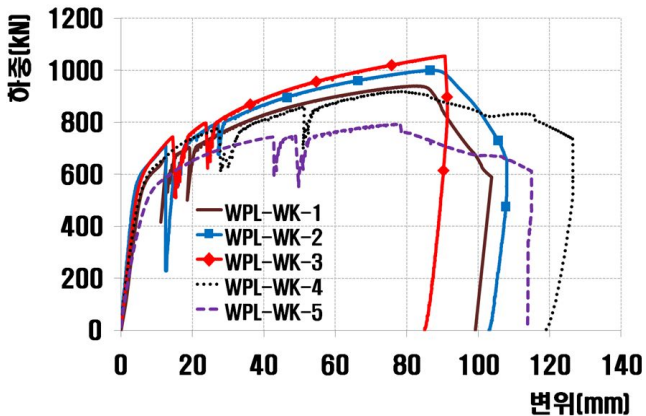


그림 11. 신형상 약축접합부의 하중-변위곡선



그림 15. WPL-WK-4 실험체의 파괴형상



그림 12. WPL-WK-1 실험체의 파괴형상



그림 16. WPL-WK-5 실험체의 파괴형상

WPL-WK-4 실험체의 경우, 보단부가 H형강기둥의 웹 끝에서 150mm가 떨어져 접합되었다. 이것은 H형강기둥플랜지와 보단부가 5mm의 간격을 보이며 접합된 형태이다. 보단부가 기둥의 플랜지를 벗어난 위치에 접합이 되어있지만 WPL-WK-1 실험체와 비교했을 때 최대내력의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. WPL-WK-4 실험체의 경우 다른 WPL시리즈 실험체와는 달리, 그림 11과 15에서와 같이 보단부가 H형강의 기둥플랜지를 벗어나 용접플레이트와 접합이 되어 있다. 따라서 힘의 흐름이 H형강의 기둥웹 및 플랜지로 원활하게 분산되지 않고, 보단부의 전단력이 용접플레이트 가장자리에 작용하였으며 용접플레이트의 변형으로 H형강기둥플랜지와 그루브(맞댐)용접한 부분에서 균열이 발생하여 파괴되었다. 최대내력은 이전의 WPL-WK-1, 2, 3 실험체보다 낮지만 H형강의 기둥플랜지와 용접한 용접플레이트의 변형으로 연성적 거동을 보이며 최대변위가 크게 나타난 것으로 판단된다.

WPL-WK-5 실험체의 경우, 보단부가 기둥웹 끝에서 195mm 떨어져 접합되었다. 이것은 H형강의 기둥플랜지와 보단부가 50mm의 간격을 보이며 접합된 형태이다. 최대내력은 WPL시리즈의 다른 실험체보다 낮지만, HH시리즈와 거의 비슷하게 나타났다.

WPL-WK-5 실험체는 그림 11과 16에서와 같이 용접플레이트와 H형강의 기둥플랜지와 그루브(맞댐)용접한 부분에서 균열이 발생하여 WPL-WK-4 실험체와 비슷한 형태를 보이면서 파괴되었다.

WPL-WK-5 실험체는 H형강의 기둥플랜지와 보단부 사이가 WPL-WK-4 실험체보다 간격이 45mm가 더 길다. 또한, WPL-WK-4 실험체와 달리 보플랜지와 용접플레이트의 접합된 부분이 실제 용접플레이트가 변형이 일어나는 구간에서는 접합부의 내력에 크게 영향을 주지 못했기 때문에 용접플레이트만이 커다란 변형을 일으켰다. 이것이 파괴형상은 비슷하지만 WPL-WK-4 실험체보다 최대내력과 최대변위가 작아진 주요 원인이라고 판단된다.

6.3 실험결과 분석

표 5는 각 실험체의 실험결과와 H형강보의 항복모멘트 및 소성모멘트와 비교한 것이다. 표에서와 같이 WPL시리즈 실험체는 H형강보의 항복모멘트와 거의 비슷하게 나타났으나, WPL-WK-5 실험체를 제외하고는 소성모멘트보다 약 30~50% 정도 크게 나타났다. HH시리즈 실험체는 H형강보의 항복모멘트의 약 85% 정도로 나타났으며, 소성모멘트보다 약 5~10% 정도 크게 나타났다.

표 5. 실험결과 분석

분류	실험체명	실험결과		
		K (kN/mm)	$\frac{M_{ytest}}{M_y}$ (kN·m)	$\frac{M_{utest}}{M_p}$ (kN·m)
HH 시리즈	HH-WK-2	86.07	0.85	1.05
	HH-WK-4	84.94	0.88	1.12
	HH-WK-5	69.99	0.84	1.10
WPL 시리즈	WPL-WK-1	68.42	0.96	1.32
	WPL-WK-2	95.27	0.97	1.41
	WPL-WK-3	76.57	1.02	1.49
	WPL-WK-4	71.52	0.97	1.29
	WPL-WK-5	53.88	0.89	1.12

주) M_{ytest}/M_y ; 실험결과 항복모멘트와 해석결과 항복모멘트의 비
 M_{utest}/M_p ; 실험결과 최대모멘트와 해석결과 소성모멘트의 비

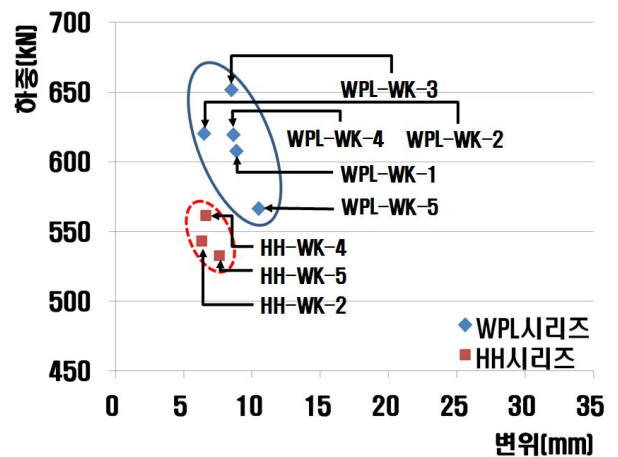


그림 17. 약축접합 실험체의 항복하중 및 항복하중 시 변위비교

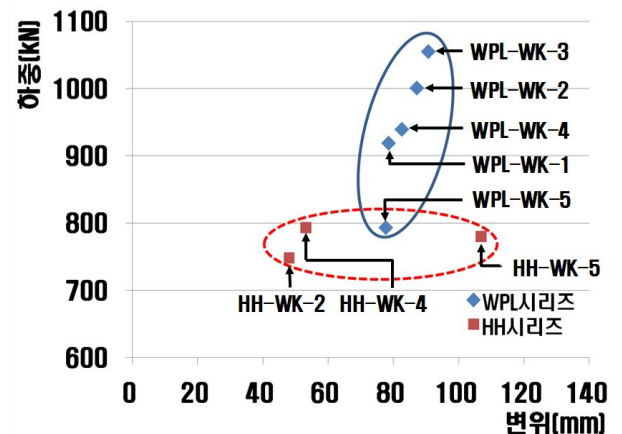


그림 18. 약축접합 실험체의 최대하중 및 최대하중 시 변위비교

이러한 결과는 보의 비지지길이가 짧아서 횡좌굴이 발생하지 않아 HH시리즈 실험체의 최대하중 시의 휨모멘트도 보의 소성모멘트보다 크게 나타난 것으로 판단된다.

그러나, WPL시리즈 실험체의 경우는 보단부와 고력볼트로

접합한 용접플레이트의 두께가 보의 플랜지두께보다 크기 때문에 보의 소성모멘트보다 크게 나타났다. 또한, 웨브의 전단 접합이 없어도 보단부에 작용하는 휨모멘트 및 전단력이 H형 강기둥의 웨브와 플랜지에 접합된 용접플레이트의 3면을 통하여 원활하게 분산되므로 접합부의 구조성능을 발휘하는데 문제가 없는 것으로 나타났다.

H형강 기둥플랜지와 보의 단부가 겹쳐져 있는 WPL-WK-1, 2, 3실험체는 겹침거리가 짧을수록 접합부의 내력이 오히려 상승하는 결과를 나타냈다. 보플랜지에서 국부좌굴이 발생하는 부분은 용접플레이트와 보플랜지의 접합이 끝나는 부분이며, WPL-WK-3실험체로 갈수록 겹침거리가 짧아지고 용접플레이트와 보플랜지의 접합부분이 H형강기둥플랜지로부터 멀어지기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 H형강의 기둥 플랜지와 보단부가 일정거리(약 40mm 정도)이상 겹쳐진다면 신형상 약축접합부의 내력저하는 없는 것으로 판단된다.

그림 17은 HH시리즈 및 WPL시리즈 실험체의 항복하중과 항복변위를 비교한 것이다.

HH시리즈 실험체는 항복하중에 따라 항복변위는 크게 변하지 않는 것으로 나타났다. 그러나, WPL시리즈 실험체는 항복하중의 변화에 따른 항복변위는 크게 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 신형상 약축접합부의 접합상세에 따라 항복하중을 자유롭게 조절할 수 있는 것으로 판단된다.

그림 18은 HH시리즈 및 WPL시리즈 실험체의 최대하중과 최대하중 시의 변위를 비교한 것이다.

HH시리즈 실험체는 최대하중에 따른 최대하중 시 변위의 변화가 큰 것으로 나타났다. HH-WK-5 실험체는 HH-WK-2, 4 실험체보다 용접량이 많으나, 플랜지 및 웨브의 고력 볼트와 이음판이 각각 응력을 분담하여 연성적인 휨파괴를 보이기 때문에 구조적인 측면에서는 만족할 만한 성능을 보였다고 판단된다.

그러나 HH-WK-5 실험체는 수평스티프너의 역할을 하는 브라켓의 제작이 까다롭고 H형강기둥과 브라켓을 접합하기 위해서는 용접량도 많아진다. 또한 보의 이음을 위하여 사용하는 이음판과 고력볼트 개수도 많기 때문에 접합부제작 및 설치에 많은 시간과 비용이 소요될 것으로 예상된다.

WPL시리즈 실험체는 실험변수인 H형강기둥플랜지와 보단 부와의 겹침거리에 따라 항복 및 최대내력의 차이가 나타나지만, 항복변위 및 최대하중 시 변위에 대한 편차는 크게 나타나지 않았다. 이것은 신형상 약축접합부의 접합상세에 따라 항복하중뿐만 아니라 최대하중도 자유롭게 조절할 수 있는 것으로 판단된다.

7. 결론

본 연구는 시공성이 탁월하며, 힘의 흐름이 명확하여 구조

설계가 용이한 신형상 약축접합부의 구조성능을 검증하는데 목적을 두었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 신형상 약축접합부는 전단접합에 필요한 수직스티프너가 없으며, H형강기둥에 접합된 용접플레이트의 3면을 통하여 플랜지 및 웨브에 효과적으로 응력이 분산되기 때문에 최대내력과 연성이 증가하며, 표준약축접합부에 비해 우수한 구조성능을 가지고 있는 것으로 판단된다.
- (2) 신형상 약축접합부는 H형강 기둥플랜지와 보단부의 겹침거리 유무에 따라 파괴모드가 각각 구분되며 또한, 용접량이 적고 스칼롭이 없기 때문에 연성적인 파괴양상으로 나타났다.
- (3) 본 실험에서의 신형상 약축접합부는 H형강 기둥플랜지와 보단부의 겹침거리가 H형강 기둥플랜지에서 약 40mm 정도일 때 구조성능의 저하가 없는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

김상섭, 이도형, 함정태, 김규석(2004) H형강 기둥의 약축에 대한 기둥-보 접합상세 개발 및 내력평가, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제16권, 제1호, pp.169-180.

김상섭, 이도형, 함정태(2004) 약축 접합부 형식에 따른 강축 접합부의 구조적 거동-연직하중이 작용하는 경우, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제16권, 제2호, pp.275-284.

이도형, 함정태, 김성배, 김영호, 김상섭(2004) 수평스티프너를 이용한 철골 기둥-보 약축접합부 상세 개발에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제16권, 제5호, pp.641-652.

박종원, 강승민, 오용준(2007) 약축 보-기둥 접합부의 경제성에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제19권, 제6호, pp.663-670.

이강민, 정희택, 윤석용, 이은모, 오경환(2008) 브라켓 및 WUF-B 형식 철골모멘트골조 약축접합부 내진성능평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제20권, 제4호, pp.483-491.

김태진, 박종원, 조정혁, 김희동(2008) SHN 형강 보-기둥 접합부의 내진성능 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제20권, 제6호, pp.829-838.

건축강구조 표준접합 상세지침(2010) 한국강구조학회, 구미서관.

KBC2009 강구조설계(2010) 한국강구조학회, 구미서관.

AISC (2005) Manual of Steel Construction, American Institute of Steel Construction.

(접수일자 : 2011. 2. 10 / 심사일 2011. 2. 17 / 심사완료일 2011. 5. 30)