Journal of Korean Society of Steel Construction

Vol.33, No.6, pp.355-362, December, 2021

Check for updates

ISSN(print) 1226-363X ISSN(online) 2287-4054 DOI https://doi.org/10.7781/kjoss.2021.33.6.355

각형강관 기둥-H형강 보 무용접 모멘트접합부(KONNECTION)의 내진성능평가

진주호 $^{1} \cdot$ 이경구 $^{2^{*}} \cdot$ 박구연 $^{3} \cdot$ 김대희 $^{1} \cdot$ 서희선 4

¹박사과정수료, 단국대학교, 건축공학과, ²교수, 단국대학교, 건축공학과, ³연구소장, 기술연구소, ㈜가우리안, ⁴선임, 기술연구소, ㈜가우리안

Seismic Performance Evaluation of Non-Welded Moment Connection (KONNECTION) Between Rectangular Tubular Section Column and H-Shaped Beam

Jin, Jooho¹, Lee, Kyungkoo^{2*}, Park, Kooyun³, Kim, Daehee¹, Seo, Heesun⁴

¹Graduate Student (Doctor Candidate), Dept. of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin, 16890, Korea ²Professor, Dept. of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin, 16890, Korea ³CTO, Technical Research Center, Gaurian Co., Ltd., Goyang, 10401, Korea ⁴Senior Assistant, Technical Research Center, Gaurian Co., Ltd., Goyang, 10401, Korea

Abstract - The rectangular tubular section (RTS) columns have been broadly used in the steel structures and an interest in the bolted connections rather than the welded connections between RTS columns and H-shaped beams has increased because welding experts are rare and the welding in the field is unsafe. In this study, a oneway-bolted non-welded moment connection (KONNECTION) between RTS column and H-shaped beam was proposed, which consists of bolted end-plates, internal reinforcement plates and slotted internal diaphragms. And the seismic performance of the proposed connection was experimentally evaluated. To this end, the cyclic tests of the proposed connections with various RTS column sections and H-shaped beam sections were conducted. The experimental results showed that the proposed non-welded moment connection has an excellent strength and rotational capacity.

Keywords - Rectangular tubular section column, Oneway bolt, Non-welded moment connection, Seismic performance, Rotational capacity

1.서론

각형강관 기둥은 여러 장점으로 인해 강구조물에 널리 사 용되고 있다. 각형강관의 폐단면성으로 인해, 기둥 패널존 에 보에서 기둥으로 힘을 전달하는 다이아프램을 설치하는

Copyright © 2021 by Korean Society of Steel Construction *Corresponding author.

Tel. +82-31-8005-3742 Fax. +82-31-8021-7225 E-mail. kklee@dankook.ac.kr 접합부 형식이 적용되고 있으며, 다이아프램은 기둥 외측 또는 내측에 설치되는데, 각형강관 기둥과 다이아프램은 용 접으로 연속된다.

용접접합부 대체 방안으로 엔드플레이트 접합부가 개발 되고 있으나, 초기강성 감소로 인한 처짐 및 최대하중 등의 접합부 설계가 어려워 연구가 필요하다^{[1],[2]}. 각형강관 기둥 과 H형강 보의 볼트접합부로 원웨이 볼트(Oneway bolt)를 사용한 엔드플레이트 접합부에 대한 연구가 많이 진행되고 있다^{[3],[4]}. 그러나 H형강 기둥과 달리 각형강관 기둥 플랜지 의 면외변형으로 인해 완전강접접합부로서의 강성이 충분 히 발현되기 어려우며 기둥 내측에 다이아프램을 용접해야 하므로 완전한 무용접 접합부라고 할 수 없다. 이에 국내에

Note.-Discussion open until June 30, 2022. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on October 18, 2021; revised on November 15, 2021; approved on November 15, 2021.

서 내측 슬롯형 다이아프램과 각형강관 기둥 사이에 용접이 없는 조립식 볼트접합부가 개발되었다.

본 연구에서는 슬롯형 다이아프램을 사용한 각형강관 기 등과 H형강 보 무용접 모멘트접합부의 내진성능을 평가하 였다. 이를 위해 기둥과 보 단면 크기를 달리한 T형 접합부 실험을 수행하여 제안된 각형강관 기둥-H형강 보 무용접 모멘트접합부의 국부적 거동을 분석하였다.

2. 접합부 상세

제안한 각형강관 기둥-H형강 보 무용접 모멘트접합부는 기존 다이아프램(관통, 내측, 외측)을 대체할 수 있는 슬롯 형 다이아프램과 내부보강판을 각형강관 기둥에 원웨이 볼 트를 연결한 무용접 볼트접합 형식이다.

Fig. 1에서와 같이, 내부보강판을 다이아프램 슬롯에 관 통하여 설치하고, 패널 존 및 상하부 기둥을 내부보강판과 조립한다. 최종적으로 보의 엔드플레이트, 패널 존 및 상하 부 기둥, 내부보강판을 원웨이 볼트로 체결하여 일체화한다. 제안한 접합부(KONNECTION)의 제작 순서는 다음과 같 다: (1) 하부 슬롯형 다이아프램과 내부보강판을 조립한다. (2) 기둥 패널 존을 조립한다. (3) 상부 슬롯형 다이아프램과 내부보강판을 조립한다. (4) 패널 존 상하부 기둥을 조립한 다. (5) 보 엔드플레이트, 기둥(패널 존 포함), 내부보강판을 원웨이 볼트로 접합한다(공장 제작공정에서 접합부 패널 존 제작시 원웨이 볼트의 체결 불량여부를 확인할 수 있어, 현 장에서 시공오차를 최소화하여 고속시공이 가능하다).

H형강 보 모멘트의 우력이 엔드플레이트를 통해 전달되고, 기둥에 전달된 압축력과 인장력에 의해 각형강관 기둥 면외변형이 발생하는 것을 방지하기 위하여 내부보강판을 추가하였다. 또한 내부보강판을 통해 슬롯형 다이아프램으 로 압축력과 인장력이 전달된다.

엔드플레이트의 국부적 변형을 제어하고 모멘트 우력팔 길이를 크게 하여 다이아프램에 전달되는 힘을 감소시키기



(a) Slotted diaphragm and internal reinforcement plate (b) Detail of beam-column connection

Fig. 1. Proposed connection configuration

위하여 Fig. 1(b)에서와 같이 다이아프램을 보 플랜지보다 외측에 위치하였다. 또한 힘 작용점에 따라 보 엔드플레이 트의 국부적 변형을 제어하기 위하여 보 플랜지와 엔드플레 이트 사이에 삼각T형의 수직스티프너를 설치하였다. 보, 엔 드플레이트, 수직스티프너는 공장에서 용접하여 제작하고, 기둥과 보 접합부를 현장에서 볼트로 조립하는 개념이다.

3. 실험계획

제안하는 각형강관 기둥-H형강 보 접합부 실험체의 설치 개념은 Fig. 2와 같다. 내진성능을 실험적으로 평가하기 위 하여 T형의 실험체를 계획하였다.





실험체의 기둥과 보의 단면 크기가 다른 3개의 실험체 K300, K350, K400을 계획하였고, 각형강관 기둥 단면 크기 와 기둥 단면 크기에 상응하는 보 단면 크기를 변수로 설정 하였으며, 실험체별 상세를 Fig. 3, Table 2에 나타내었다.

H형강 보에서 전달되는 압축력과 인장력 발생시, 각형강 관 기둥 면외변형을 방지할 수 있도록 슬롯형 다이아프램의 각 단면 둘레에서 압축력과 인장력이 전달된다.

엔드플레이트와 볼트의 설계는 AISC 358-16^[5], AISC Design Guide 4^[6], AISC Design Guide 16^[7] 등의 설계기준 에 따라 검토하였다. 현행 설계기준에서는 H형강 기둥 접합 부 항복선이론에 근거한 해석 및 설계방법이 체계적으로 정 립되어 있으나, 각형강관 기둥 접합부에 의한 해석 및 설계 방법이 정립되어 있지 않다. 이를 위해 현행 설계기준의 볼 트 게이지 간격 최대 152 mm는 H형강 기둥 웨브를 중심의

배치를, 각형강관 기둥에 적용하기 위해서는 각형강관 기 둥 플랜지면으로 배치하고 슬롯형 다이아프램을 보 플랜지 상단에 배치하여 보에서 전달되는 힘의 흐름으로 면외변형 을 방지할 수 있어 각형강관 기둥에도 적용가능하다.

H형강 기둥의 웨브를 각형강관 기둥 웨브로 정의하여 Fig. 1과 같이 각형강관 기둥에 엔드플레이트 볼트 게이지 간격을 허용간격 이내로 설계하여 보 부재의 항복을 유도 하였다.

엔드플레이트 접합부는 보 부재의 항복을 유도할 수 있는 8-bolt type, 기둥-보 접합부에 모든 접합이 집중되는 문제 를 해결하기 위해 기둥 이음에 추가적으로 4-bolt type으로 설정한 변수를 Table 1에 나타내었다.

T	ab	le	1.	End	p	late	type	;
---	----	----	----	-----	---	------	------	---

Specimens	Numl lower	ber of bolts	Bolt diameter	Bolt gauge (mm)	
	Column	Beam	(mm)		
K300	4	8	20	120	
K350	4	8	22	150	
K400	4	8	24	190	

기둥의 강재는 SRT355, 보의 강재는 SHN355, 강판은 SM355를 사용하였다. 두께 16 mm 이하인 경우, SRT355의 공칭항복강도는 355 MPa 이상, 공칭인장강도는 500 MPa 이 상이다. 두께 16 mm 이하인 경우, SHN355의 공칭항복강도 는 355 MPa - 475 MPa, 공칭인장강도는 490 MPa - 610 MPa 이다. 재료시험결과, 모든 강재의 항복강도는 공칭항복강도 를 초과하였다. 모든 SHN355 및 SRT355 강재에 대한 재료 시험결과를 Table 2에 정리하였다.

Fig. 2와 같이 실험체를 세팅하고, 보 단부에 변위제어의 반복가력을 수행하기 위해 ANSI/AISC 341-16(2016) cyclic loading program^[8]의 하중 프로토콜을 적용하였다. 각형강 관기둥 플랜지면으로부터 가력점까지의 거리는 3,500 mm 이고, 기둥 상·하 지점 사이의 거리는 3,000 mm이다. 전체 적인 거동과 패널 존 거동을 계측하기 위해 LVDT 변위계를 설치하였으며, 보의 가력점 위치에서는 다이얼 게이지를 설 치하여 실험체의 변위를 계측하였다. 또한 국부적으로는 접 합부 내의 하중전달에 따른 응력, 변형률의 집중, 이에 따른 항복, 국부좌굴 등을 관찰하기 위하여 각형강관 기둥, 엔드 플레이트, 보 플랜지와 웨브에 변형률계를 설치하였다.

Specimens	Member	Nominal size	Steel grade	Thickness (mm)	Fy (MPa)	F _u (MPa)
	Column	□-300×300×12	SRT355	12	381	537
	Deam	H-446×199×8×12	SHN355	8	439	564
V200	Beam			12	397	559
K300	End plate	PL-210×1190×25	SM355	25	392	568
	Diaphragm	PL-300×300×16	SM355	16	386	558
	Inner plate	PL-210×1190×12	SM355	12	364	541
	Column	□-350×350×16	SRT355	16	386	558
	D	H-496×199×9×14	SHN355	9	472	577
V250	Beam				14	364
K350	End plate	PL-230×1240×28	SM355	28	386	552
	Diaphragm	PL-350×350×16		16	357	500
	Inner plate	PL-230×1240×16				
	Column	□-400×400×16	SRT355	16	386	558
	Deam	H-596×199×10×15	SHN355	10	464	569
V 400	Deam			15	384	529
K400	End plate	PL-270×1340×28		28	386	552
	Diaphragm	PL-400×400×16	SM355	16	357	500
	Inner plate	PL-270×1340×16				

Table 2. Specimen parameters and material properties



Fig. 3. Specimens details

4. 실험결과

4.1 파괴모드

Figs. 4-5는 각형강관 기둥-H형강 보 무용접 모멘트 접합 부실험체의 파괴양상이며, 최대 반복가력에서 촬영된 결과 이다.

모든 실험체는 0.01 rad에서 H형강 보 플랜지에서 변형 이 시작되었으며, 점진적으로 진행되어 최초 항복한 후 강 도 증가와 함께 안정적인 소성변형을 보였다. K300의 경우, 0.05 rad에서 보 플랜지의 국부좌굴이 발생하였고, 0.06 rad 에서 국부좌굴이 지속적으로 증가하여 강도가 저하하였다. K350과 K400의 경우, 0.04 rad에서 보 플랜지의 국부좌굴 이 발생하였고, 0.06 rad에서 국부좌굴이 지속적으로 증가 하여 강도가 저하하였다. 각 실험체별로 2회의 실험을 수행 한 결과, 모두 동일한 파괴모드를 보였으며, 엔드플레이트 볼트 인장파단이나 볼트 미끄럼 등은 발생하지 않았다.

K300, K350, K400 실험체는 최대내력 이후 80% 내력으 로 감소되어 실험이 종료되었으며, 실험체의 파괴모드는 찢 어짐, 파단 등의 양상은 나타나지 않았다. 또한 엔드플레이 트와 각형강관 기둥 사이의 이격은 국부좌굴 직전까지 육안 으로 확인할 수 없을 정도로 변형이 미비하였다. 이는 H형 강 보에서 전달되는 힘의 흐름이 원웨이 볼트에서 슬롯형 다 이아프램과 내부보강판으로 원활하게 전달된 것으로 판단 된다.

4.2 하중-변위 관계

Fig. 6는 층간변위각(회전각)과 정규화된 모멘트의 관계 를 나타냈다. 정규화된 모멘트는 기둥면에서의 모멘트와 재 료시험강도에 기반한 소성모멘트의 비로 정의하였다. 층간 변위각(회전각)은 기둥, 패널 존, 보로 구분하여 산정하였다. 승간부재각을 패널 존, 기둥, 보의 회전각으로 분해하여 비교한 결과 K300, K350, K400 실험체에서 보의 회전각이



(a) K300 (0.06 rad)

(b) K350 (0.05 rad) Fig. 4. Failure modes



(c) K400 (0.05 rad)

(b) K350 (0.05 rad) Fig. 5. Gap between end plate and column





지배적임을 알 수 있다. K300, K350, K400 실험체는 볼트접 합으로 인하여 보의 소성 거동이 진행됨에 따라 회전각이 증가하는 것을 확인하였으며, 보에서 발생되는 힘의 흐름이 원활하게 패널 존에 전달되면서 회전각이 증가한 것으로 판 단된다. 실험체의 층간변위각과 보, 패널, 기둥만의 부재각 은 Fig. 7에 의해 산출하였다. 모멘트는 하중에 보의 가력점 과 기둥중심 사이의 거리를 곱하여 나타냈다. 각 부재에서 발생되는 부재각을 도식화하여 Fig. 7과 같이 나타내었다.



Fig. 7. Definition of slope by relative story displacement

실험체별 보 소성모멘트와 실험최대내력을 Table 3에나 타내었다. K300의 경우 정모멘트 구간에서 소성모멘트의 131 %, 부모멘트 구간에서 140 %로 나타났으며, K350의 경우 정모멘트 구간에서 소성모멘트의 124 %, 부모멘트 구 간에서 129 %로 나타났다. K400의 경우 정모멘트 구간에 서 소성모멘트의 129 %, 부모멘트 구간에서 138 %로 나타 났다. 제안한 접합부는 보 소성모멘트를 24 % - 40 % 크게 초과한 내력을 확보하고 있다.

또한, Fig. 6에서와 같이, 모든 실험체가 각형강관 기둥과 패널존의 변형이 매우 적고, 보 회전각 0.02 rad 이내에서 보 소성모멘트에 도달하였다. 엔드플레이트에서 슬롯형 다이 아프램으로 힘이 합리적으로 전달된 것으로 판단된다.

Speci	mens	M _{test} (kN·m)	M_p (kN·m)	M_{test}/M_p
K200	Positive	815.1	620.4	1.31
K300	Negative	870.4	620.4	1.40
W250	Positive	1,030.1	828.4	1.24
K330	Negative	1,072.6	828.4	1.29
V 400	Positive	1,420.7	1,103.3	1.29
K 400	Negative	1,517.1	1,103.3	1.38

Table 3. Test results of seismic performance

K300은 회전각 0.05 rad에서 최대내력 도달 후 강도저 감하여 회전각 0.06 rad까지 소성모멘트 강도를 유지하였 다. K350과 K400은 0.04 rad에서 최대내력 도달 후 강도 저감하여 회전각 0.05 rad까지 소성모멘트 강도를 유지하 였다. 또한 소성모멘트에 상응하는 항복회전각을 제외한 소성회전각이 0.03 rad 이상으로 나타났다. 따라서 현행 내 진설계기준(ANSI/AISC-341)에서 제시하는 중간모멘트골 조의 요구사항인 총 층간변위각(탄성과 소성 회전각 포함) 2%의 회전능력과 최대 휨내력 도달 이후 기둥 외주면에서 의 측정된 접합부의 휨강도는 2% 층간변위에서 공칭항복 강도로 구한 보 소성모멘트의 80% 이상을 만족하는 결과 를 보였다.

4.3 보 변형률 분석

Fig. 8은 국부좌굴이 발생한 위치에서의 H형강 보 상부 플랜지 변형률 게이지를 비교 분석하였다. 모든 실험체가 0.01 rad 회전각 정도에서 플랜지가 항복 한 것을 알 수 있다. K300 실험체는 0.04 rad 회전각까지 다 른 실험체에 비해 플랜지 중앙부 변형률이 상대적으로 크 지 않고, 플랜지 좌우 분포가 대칭적이다. 이는 플랜지 국부 좌굴이 0.05 rad 회전각에서야 발생하였기 때문이다. K350 과 K400 실험체는 0.02 rad 회전각부터 좌우 비대칭성이 커짐을 알 수 있었으며, 플랜지 국부좌굴이 0.04 rad 회전각 에서 발생된 것으로 확인하였다.



Fig. 8. Beam top flange strain distribution

한국강구조학회 논문집 제33권 제6호(통권 제175호) 2021년 12월 361

5. 결 론

본 연구는 원웨이 볼트를 적용한 무용접 모멘트접합부의 내진성능을 평가하였으며, 실험결과를 기반으로 연구 결론 을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 파괴모드는 소성후 보 플랜지 국부좌굴에 의한 강도
 저감으로 확인되었으나 엔드플레이트 파단이나 볼
 트 인장파단과 같은 취성적 파괴가 발생하지 않았다.
- (2) 모든 실험체에서 보 소성모멘트보다 제안한 무용 접 모멘트접합부가 큰 내력을 발휘한 것으로 확인하 였다. 최대내력은 보 소성모멘트의 1.24~1.40배로 나타났으며, 0.01 rad - 0.02 rad 회전각에서 소성모 멘트에 도달한 것으로 나타났다. 특히 전체 회전각 0.05 rad - 0.06 rad, 소성회전각 0.03 rad 이상의 고연 성 능력을 발휘하는 것으로 평가된다.
- (3) H형강 보 플랜지의 소성화 및 원활한 힘의 흐름, 충 분한 소성변형 후 국부좌굴 거동을 확인함으로써 각 형강관 기둥에 엔드플레이트 접합부 설계가 가능한 것으로 판단된다.

결론적으로, 각형강관 기둥 내부에 보강하는 내부보강 판과 H형강 보 플랜지 상단으로 설계된 슬롯형 다이아프램 으로 보에서 전달되는 힘의 흐름이 기둥 면외로 전달되어 높은 내력과 고연성 능력 등의 우수한 구조적 성능을 확보 하고 있음을 확인하였다.

이 제한된 실험결과를 기반으로 향후 정밀유한요소해석 을 통해 실험결과를 검증하고 다양한 변수해석을 수행하여 일반화된 접합부 설계 방법을 제시할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원 으로 수행된 연구임(21RMPP-C163162-01).

참고문헌(References)

- Lee, J.-S., Shin, K.-J., Lee, S.-H., Lee, H.-D., and Kim, C.-H. (2017) Rotational Stiffness Reduction Factors of End-Plate Connection for PEB Using Finite Element Analysis, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.29, No.4, pp.323-330 (in Korean).
- [2] Chu, D.-S., Shin, K.-J., Lee, H.-D., and Kim, S.-Y. (2018) Experimental Study on Behavior of H-Beam with End-Plate Connection at High Temperature, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.30, No.4, pp.175-184 (in Korean).
- [3] Jin, J., Kim, D.H., Kim, H., Shin, J., Park, K., and Lee, K. (2018) Experimental Evaluation of New Seismic Connections Between Rectangular Steel Tube Column and H-Shaped Beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.30, No.2, pp.77-85 (in Korean).
- [4] Jin, J.H., Jung, J.W., Kim, H.S., Hwang, S.H., Park, K.Y., and Lee, K.K. (2019) Experimental Evaluation of Seismic Capacity of the Bolted Connection Between RHSS Column and H-Shaped Beam Using Slotted Diaphragm, *Proceedings of Annual Conference* of Korean Society of Steel Construction, KSSC, pp. 155-156 (in Korean).
- [5] American Institute of Steel Construction (2016) Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications (ANSI/ AISC 358-16), USA.
- [6] Murray, T.M., and Summer, E.A. (2003) Steel Design Guide 4: Extended End-Plate Moment Connections: Seismic and Wind Applications (2nd Ed.), American Institute of Steel Construction, USA.
- [7] Murray, T.M., and Shoemaker, W.L. (2002) Steel Design Guide Series 16: Flush and Extended Multiple-Row Moment End-Plate Connections, American Institute of Steel Construction, USA.
- [8] American Institute of Steel Construction (2016) Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (ANSI/ AISC 341-16), USA.

핵심용어 : 각형강관 기둥, 원웨이 볼트, 무용접 모멘트접합부, 내진성능, 회전능력

요 약: 많은 장점을 가진 각형강관 기둥은 강구조사업에 광범위하게 사용되고 있으며, 용접기능사의 부재와 현장 용접의 안전 문 제로 인해 각형강관 기둥-H형강 보 용접접합부가 아닌 볼트접합부에 대한 관심이 증가되고 있다. 이 연구에서는 원웨이 볼트를 이용한 각형강관 기둥-H형강 무용접 모멘트접합부를 제안하고, 제안한 접합부의 내진성능을 실험적으로 평가하였다. 제안한 접합부는 내부 보강판, 엔드플레이트, 슬롯형 다이아프램으로 구성된다. 이를 위해 다양한 기둥과 보 크기로 제안한 접합부의 반복실험을 수행하였다. 실험결과, 무용접 모멘트접합부는 우수한 강도와 회전능력을 확보하고 있음을 확인하였다.