



SHN490강종의 보-기둥 접합부 형태에 따른 실험적 연구

김소영¹ · 변상민² · 이 호³ · 신경재^{4*}

¹석사과정, 경북대학교, 건축공학과, ²건축구조기술사, 명성구조기술사사무소,

³공학박사, 경북대학교, 건축공학과, ⁴교수, 경북대학교, 건축공학과

Test Results on the Type of Beam-to-Column Connection using SHN490 Steel

Kim, So Yeong¹, Byeon, Sang Min², Lee, Ho³, Shin, Kyung Jae^{4*}

¹Master's program student, Dept. of Architecture Engineering, Kyungpook National University, Korea

²Professional Engineer, Myeongsung Structural Engineer Office, Korea

³Ph.D., Dept. of Architecture Engineering, Kyungpook National University, Korea

⁴Professor, Dept. of Architecture Engineering, Kyungpook National University, Korea

Abstract - In this study, an experimental study to evaluate the seismic performance of beam-to-column connection for medium and low-rise building was conducted. Five connections using SHN490 steel were made with test variables such as flange welded or bolted, web welded or bolted. Specimen SHN-W-W is web welded and flange welded type. Specimen SHN-W-B is web welded and flange bolted type. Specimen SHN-B-W is web bolted and flange welded type. Specimen SHN-B-B is web bolted and flange bolted type. Specimen SHN-EP is a connection with the end plate to the beam ends. Cyclic loadings was applied at the tip of beam following KBC2009 load protocol. The load vs rotation curves for different connection are shown and final failure mode shapes are summarized. The connections are classified in terms of stiffness and strength as semi-rigid or rigid connection. Energy dissipation capacities for seismic performance evaluation were compared.

Keywords - Steel moment connection, Beam-to-column connections, Classification for connections, SHN490, Stiffness

1. 서론

1.1 연구배경

지진은 사전에 예측하기 어려운 자연현상으로 최근 그 빈도가 급증하는 추세이다. 지진으로 인한 지반운동은 구조체에 횡변형을 일으키며 이로 인해 관성력이 발생하고, 관성력이 구조체에 응력을 발생시켜 지진하중으로 작용한다. 이러한 지진하중은 자연재해 중 건축구조물에 가장 큰 영향을 미

친다. 과거 연구에서는 지진하중에 의한 영향에도 모멘트접합골조는 충분한 연성능력으로 강진에 충분한 저항능력을 발휘하는 것으로 간주되었다. 그러나 노스리지 지진과 효고현 남부지진 등의 재해로 철골모멘트골조 접합부가 다수의 피해를 입었다. 이로 인해 철골모멘트골조의 접합부에 대한 연구가 Yang and Kim(2006)^[1], Kim *et al.*(2007)^[2], Ha *et al.*(2011)^[3] 등과 같이 활발히 진행되어 왔다. 많은 연구들을 통해 철골모멘트골조의 접합부에서 특히 보-기둥접합부가 전체골조의 모멘트, 회전각, 강성이 접합부에너지소산에 영향을 미치는 것으로 알려졌다. 또한 건축 구조용 강재인 SHN강종의 경우 성능의 편차가 적어 내진구조물에 많이 적용되고 있다. 본 연구에서는 중저층 철골 접합부를 가정하여 5개의 실험체를 반복가력 실험하였다. SHN강종을 이용한 모멘트 접합부의 성능에 대한 연구를 통하여 효율적인 내진설계를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

Note.-Discussion open until December 31, 2015. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on December 19, 2014; revised March 23, 2015; approved on April 21, 2015.

Copyright © 2015 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-53-950-5591 Fax. +82-53-950-6590

E-mail. shin@knu.ac.kr

1.2 연구 범위 및 목적

본 연구에서는 건축구조용 압연강재 SHN490(KS D3866)으로 이루어진 모멘트골조접합부 실험체를 설계하였다. 실험체 설계는 국내 건축구조기준(KBC2009)^[4]과 AISC 내진기준^[5]을 참고하였다. 소규모 중·저층 공장건물 및 3층 이하의 저층건물의 경우 경제성의 문제에 의해 보와 기둥의 부재를 동일한 크기로 설계하는 경우가 많다. 이로 인해 본 연구의 접합부 실험체의 보와 기둥의 부재를 동일한 크기로 설계하였다. 실험체는 실제 소규모건축물에 흔히 적용하는 H-600×200×11×17의 사이즈를 사용하려 하였으나 실험실의 규모 및 장비 재원의 제한으로 인해 실험체 사이즈는 실제 중저층 구조물에 이용되는 부재의 1/2 크기의 H-300×150×6.5×9로 제작하였다. 실험체는 보-기둥접합부의 보의 웨브와 플랜지의 접합형태에 따라 5가지로 분류하였다. 반복재하인증실험을 진행하여 실험체 별 접합부의 하중-회전각, 접합부 파괴양상, 초기강성 및 강도에 따른 접합부의 분류, 에너지소산능력의 비교를 통해 내진성능을 분석하였다. 이를 통해 현재 내진설계가 적용되지 않은 국내 소규모 중·저층 공장건물 및 3층 이하의 저층건물의 접합부 거동특성을 분석하여 내력성능을 평가하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 실험체의 설계 및 제작

Table 1은 실험체 알람을 나타낸다. 실험체는 보-기둥접

Table 1. Beam-to-column specimens

No.	Specimen	Connection type		Steel
		Web	Flange	
①	SHN-W-W	Welded	Welded	SHN490
②	SHN-W-B	Welded	Bolted	
③	SHN-B-W	Bolted	Welded	
④	SHN-B-B	Bolted	Bolted	
⑤	SHN-EP	End plate		
Steel section (mm)	Beam	H-300×150×6.5×9		
	Column	(SHN490)		
	Connection Angle	L-75×75×9 (SS400)		
	End plate	PL-10×145×480 (SM490)		

합부의 보의 웨브와 플랜지의 접합형태에 따라 분류하였다. 보의 웨브와 플랜지를 모두 용접한 접합부(SHN-W-W), 보의 웨브는 용접, 플랜지는 고력볼트접합한 접합부(SHN-W-B), 보의 웨브는 고력볼트접합, 플랜지는 용접한 접합부(SHN-B-W), 보의 웨브와 플랜지 모두 고력볼트접합한 접합부(SHN-B-B), 보의 웨브와 플랜지는 엔드플레이트를 이용해 용접하여 접합한 접합부(SHN-EP)로 총 5가지 Type의 실험체를 제작하였다.

Fig. 2는 중·저층구조물 모델의 입면도이며 본 연구에 사용된 실험체는 Fig. 1의 점선박스 부분의 모델을 나타낸다.

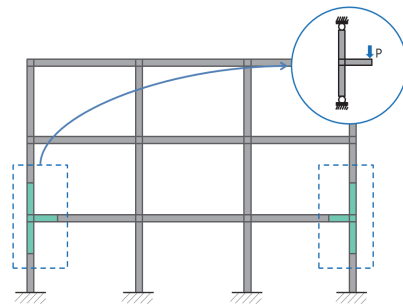


Fig. 1. Type of specimen from frame

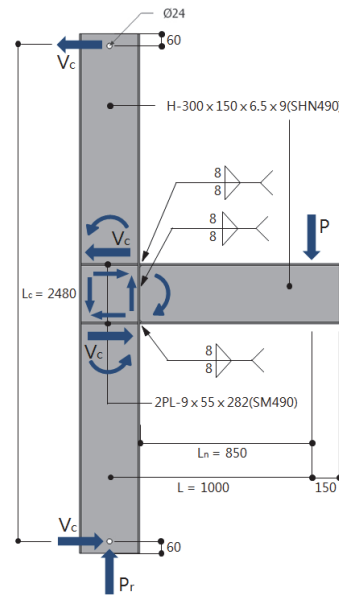


Fig. 2. Shape of specimen (① SHN-W-W)

Table 2. Mill sheet for specimens

Steel	F_y	F_u	F_y/F_u	Elongation
SHN490	419.0	545.0	0.768	23.8
SM490A	381.0	544.0	0.700	26.2

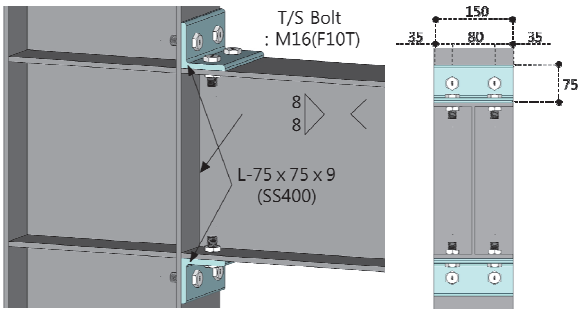


Fig. 3. Connection details (2) SHN-W-B)

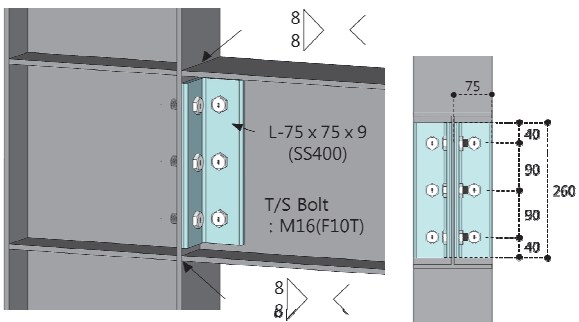


Fig. 4. Connection details (3) SHN-B-W)

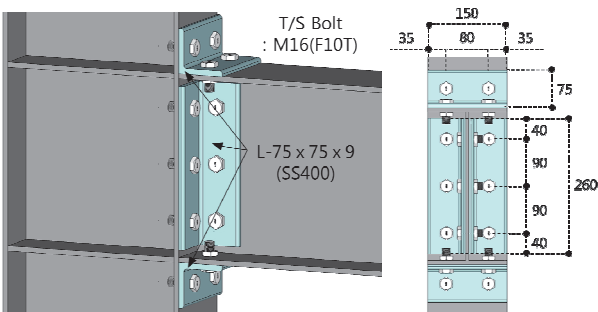


Fig. 5. Connection details (4) SHN-B-B)

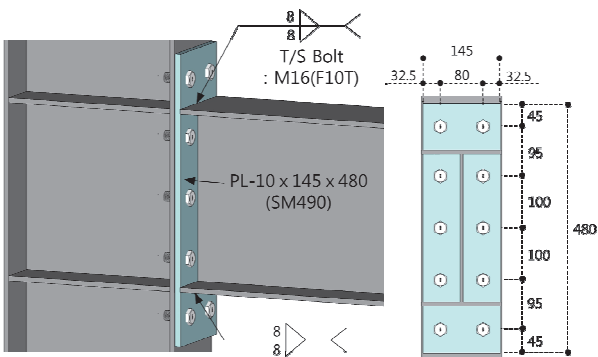


Fig. 6. Connection details (5) SHN-EP)

보-기둥접합부의 경우 건물내측의 접합부에 비해 건물외측의 접합부에 모멘트 부담이 커져서 접합부의 내력특성을 파악할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 소규모 건축물 보-기둥접합부의 내력성능 및 특성을 살펴보고자 한다.

Table 2는 SHN490과 SM490A 강재의 시험성적서에 따른 특성을 나타낸다. Fig. 2~Fig. 6은 실험에 사용된 실험체의 형상 및 부재의 형태와 보-기둥의 접합부 상세를 나타낸다. Fig. 2는 보-기둥 접합이 모두 용접된 SHN-W-W 실험체를 나타낸다. SHN-W-W의 용접은 8mm 사이즈로 모살용접을 하였고, 기둥에는 패널존의 전단보강을 위해 스티프너를 설치하였다. 스티프너의 두께는 9mm 사이즈로 보 플랜지의 두께와 동일하게 제작하였다.

모든 실험체는 Fig. 2와 같은 강재와 같은 형상으로 제작하였고, 보-기둥접합부의 형태에 따라 5가지 형태로 분류된다. Fig. 3~Fig. 6은 볼트접합이 있는 접합부 상세를 나타낸다. 볼트는 M16의 T/S고력볼트를 사용하였다.

Fig. 3은 SHN-W-B 실험체 접합부 상세도면을 나타낸다. L형강을 이용해 보 플랜지부분과 기둥을 볼트접합 하였으며 웨브는 8mm 사이즈로 모살용접 하였다. Fig. 4는 SHN-B-W 실험체 접합부 상세도면을 나타낸다. L형강을 이용해 보 웨브부분과 기둥을 볼트접합 하였으며 보 플랜지는 8mm 사이즈로 모살용접하였다. Fig. 5는 SHN-B-B 실험체 접합부 상세도면을 나타낸다. 보 플랜지와 웨브 모두 L형강을 이용해 볼트접합 하였다. Fig. 6은 SHN-EP 실험체 접합부 상세도면을 나타낸다. 엔드플레이트를 이용하여 볼트접합을 한 형태이다.

2.2 실험장치 및 가력방법

Fig. 7은 실험에 사용된 실험체 설치전경을 나타낸다. 접합부 실험체의 기둥의 양단을 힌지로 고정프레임에 연결하여 설치하였으며 용량 2000kN의 Load Cell이 부착된 Actuator를 이용해 보 단부를 가력하였다. 수평변위에 대해서는 그림과 같이 Wire Gauge를 통해 측정하였으며, 패널존 하부 및 기둥의 좌측 중앙부에 LVDT를 설치하여 수직변위를 측정하였다.

Fig. 8은 가력 Cycle 및 각 실험체의 파괴시점을 나타낸다. 가력 Cycle은 KBC2009^[4]에서 제시하는 반복재하인증 실험으로 층간변위각(θ)을 제어하기 위한 변위 제어방식으로 실시하였다. Positive와 Negative를 각각 1주기씩 변위 3.75mm에서 6주기, 5mm에서 6주기, 7.5mm에서 4주기,

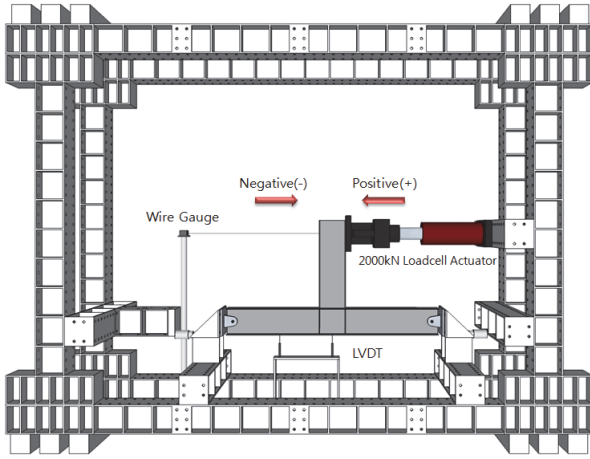


Fig. 7. Test set-up

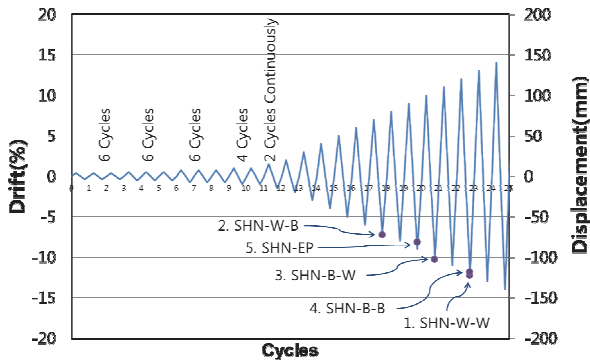


Fig. 8. Load protocol

10mm에서 4주기, 15mm부터 150mm까지 2주기씩 실험을 진행하였다. 실험진행 중 실험체의 파단이 일어났을 때 더 이상 성능을 확인할 수 없다고 판단하여 실험을 중단하였다. 그래프를 보면 SHN-W-W, SHN-W-B, SHN-B-W, SHN-B-B, SHN-EP의 순으로 각각 -122.4, -72.2, -102.3, -118.3, -81.3mm 시점에서 접합부의 완전한 파괴가 일어났다.

3. 재료인장시험

3.1 재료시험방법

시편 제작은 시험체 제작에 사용된 형강의 잔여부분에서 KS B 0801 금속재료 인장시험편^[6]에 따라 SHN강재로 제작된 플랜지와 웹 시편의 경우 압연방향으로 1A호로 절취하였으며, SM강재로 제작된 엔드플레이트 시편은 압연방향으

로 5호로 인장시편을 절취하였다. 용량 600kN의 UTM(만능재료시험기)을 이용하여 인장시험을 수행하였다. 시험체는 강종별 각 3편씩 시험하여 평균값을 측정하였다.

3.2 재료인장시험결과

Table 3은 재료인장시험결과로 항복강도, 인장강도, 항복비를 나타낸다. 인장시험결과 시험체의 항복강도와 인장강도는 규정치($F_y=325\text{MPa}$, $F_u=490\text{MPa}$) 이상을 모두 만족하고 있는 것으로 나타났다.

Table 3. Mechanical properties of steel

Test coupons	Steel	F_y (MPa)	F_u (MPa)	F_y/F_u
Flange	SHN490	435.6	563.0	0.77
		456.6	575.6	0.79
		452.9	574.2	0.79
mean		448.4	570.9	0.79
Web	SHN490	477.6	599.2	0.80
		479.1	593.5	0.81
		475.9	599.0	0.79
mean		477.5	597.2	0.80
End Plate	SM490A	462.1	587.2	0.79
		425.4	620.7	0.69
		479.9	658.9	0.73
mean		455.8	622.2	0.73

4. 실험결과 및 분석

4.1 실험체 거동특성

접합부 실험체의 반복재하실험결과는 Table 4에 나타내었다. 기둥중심으로부터 하중 가력점까지의 거리에 작용하중을 곱하여 기둥면에서의 보의 휨 모멘트를 산정하였고, 보 단부의 변위를 변위측정 위치에서 기둥의 중심선까지의 거리로 나누어 층간변위각(θ)을 계산하였다. 이때 기둥에 발생하는 모멘트에 의한 변위는 실험값에서 제외하여 산정하였다.

접합부 실험체의 반복재하실험 결과를 재료에 따라 분석한 결과 실험체 SHN-W-W, SHN-W-B, SHN-B-W, SHN-B-B, SHN-EP의 회전각이 각각 0.0501, 0.0150, 0.0479, 0.0570, 0.0403(rad)일 때 최대모멘트는 각각

Table 4. Maximum moment and rotation

Specimen	Moment (kN·m)		Rotation angle (rad)	
	Negative (-)	Positive (+)	Negative (-)	Positive (+)
① SHN-W-W	237.5	206.8	0.0501	0.0501
② SHN-W-B	118.1	131.3	0.0300	0.0150
③ SHN-B-W	245.5	216.6	0.0479	0.0510
④ SHN-B-B	124.0	129.4	0.0565	0.0570
⑤ SHN-EP	182.0	166.0	0.0403	0.0300

237.50, 131.32, 245.49, 129.36, 182kN·m으로 나타났다.

Fig. 9~Fig. 13은 가력 Cycle별 실험체의 모멘트-회전각을 나타내며, 각 Cycle별 최대하중 값을 연결한 포락선을 그래프에 표시하였다. 그래프 상의 P_p 는 강접합에서 소성힌지가 발생하는 시점의 가력하중을 나타낸다. 실험체의 단면 성능 및 재료시험 값에 따라 식 (1)에 의해 $P_p = 285.9\text{kN}$ 으로 나타났다.

$$P_p = \frac{M_p}{L_n} = \frac{Z_x F_{yf}}{L_n} \quad (1)$$

여기서, P_p : 보 접합부에 소성힌지가 발생하는 시점의 가력하중 (kN)

M_p : 보부재의 소성모멘트 (kN·mm)

Z_x : 보부재의 소성단면계수 (mm³)

F_{yf} : 재료시험에 의한 플랜지의 항복강도 (MPa)

L_n : 가력점으로부터 접합면까지의 거리 (mm)

P_{pz} 는 패널존 공칭전단강도(R_v)에 도달하기 위한 하중을 나타낸다. P_{pz} 의 값은 패널존에 작용하는 전단력(V_u)과 동일해질 때의 하중 값으로 $P_{pz} = 183.8\text{kN}$ 으로 계산되었다. 이때 V_c 는 기둥에 작용하는 전단력으로 가력하중과 가력점에서 기둥의 중심까지의 거리(L)의 곱을 기둥의 힌지 간의 거리(L_c)로 나눈 것과 같다.

$$V_c = \frac{PL}{L_c} \quad (2)$$

$$P_{pz}L = M_{pz} = (R_v + V_c)(d_b - t_f) \quad (3)$$

여기서, R_v : 패널존 전단내력 (식 (4)참조)

V_c : P 에 의해 기둥에 작용하는 전단력 (kN)

d_b : 보의 춤 (mm)

t_f : 보 플랜지 두께 (mm)

L : 하중 가력점으로 부터 기둥 중심까지의 거리 (mm)

L_c : 기둥의 힌지 간 전체 길이 (mm)

보의 웨브와 플랜지 모두 용접 접합한 실험체 SHN-W-W의 최대모멘트 값이 가장 클 것으로 예상했으나, 실험결과 실험체 SHN-B-W의 최대모멘트 값이 SHN-W-W의 최대모멘트 값에 비해 3.3% 더 큰 값으로 나타났다. 실험체 SHN-W-W와 SHN-B-W 모두 패널존의 전단내력보다 패널존에 작용하는 전단력이 크게 나타나 패널존의 항복에 의한 파괴형상이 얻어졌으므로 실험강도는 오차범위 안에 있는 것으로 판단된다. 또한 0.05rad 이후 강도저하를 보면 SHN-W-W가 적게 나타났다. 즉, SHN-W-W의 내진성능

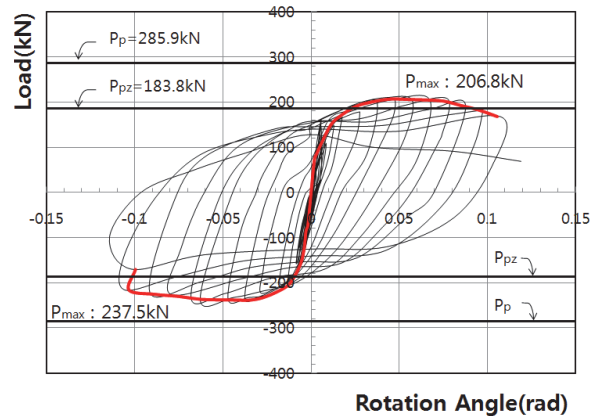


Fig. 9. Load vs rotation (① SHN-W-W)

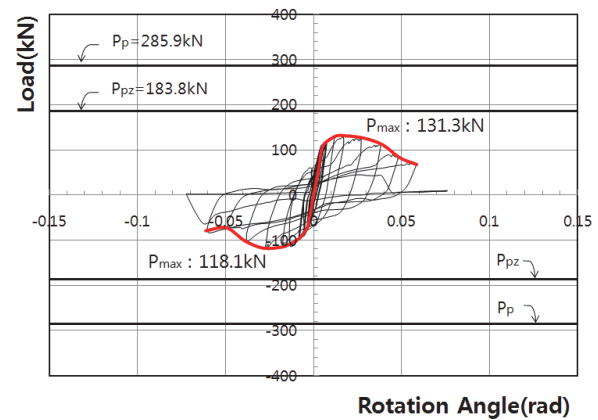


Fig. 10. Load vs rotation (② SHN-W-B)

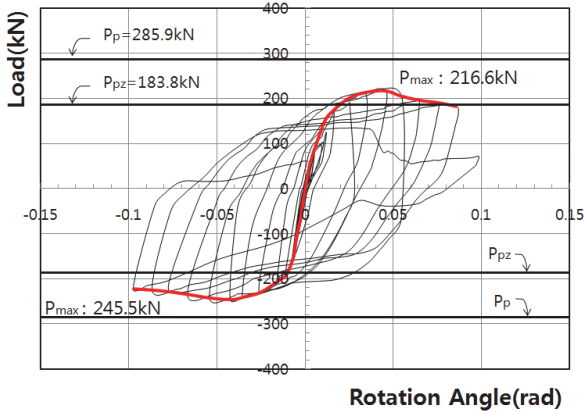


Fig. 11. Load vs rotation (③ SHN-B-W)

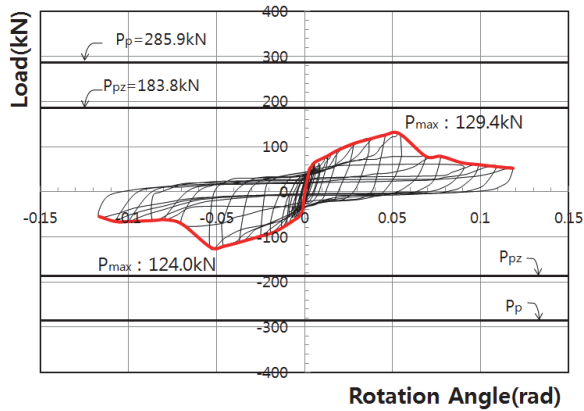


Fig. 12. Load vs rotation (④ SHN-B-B)

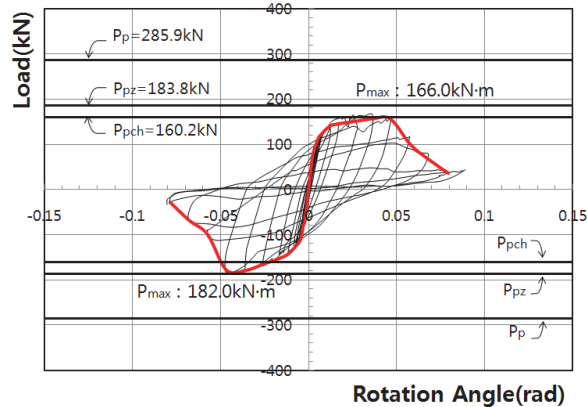


Fig. 13. Load vs rotation (⑤ SHN-EP)

이 다소 우수한 것으로 판단된다. 나머지 실험체 SHN-W-B, SHN-B-B, SHN-EP의 경우 P_{max} 값이 P_{pz} 값에 미치지 못한 것으로 보아 패널존이 항복하기 전 접합부분이 먼저 항복한 것으로 판단된다.

4.2 접합부 파괴형상

패널존의 파괴모드를 정확히 분석하기 위해 보와 기둥의 부재사이즈를 동일하게 제작하였다. 그 결과 패널존의 항복과 접합부의 파괴가 뚜렷히 구분되었다.

패널존 전단내력을 KBC2009 기준^[4]에 따라 아래 식을 이용해 구하면 $R_v = 558.70\text{kN}$ 의 값을 구할 수 있다.

$$R_v = 0.6F_{yw}d_c t_w \quad (4)$$

여기서, R_v : 패널존의 전단내력 (kN)

F_{yw} : (재료시험에 의한) 웹 항복응력 (MPa)

d_c : 기둥부재의 전체 춤 (mm)

t_w : 기둥부재의 웹두께 (mm)

실험 시 P 에 의해 패널존에 작용하는 전단력 V_u 는 아래 식을 통해 산정할 수 있다.

$$V_u = \frac{M_u}{d_b - t_{fb}} - V_c \quad (5)$$

여기서, V_u : 가력하중 P_{max} 에 의한 패널존의 전단력 (kN)

M_u : 보-기둥 접합부 중심에서의 모멘트(PL)(kN·mm)

d_b : 보의 전체 춤 (mm)

t_{fb} : 보 플랜지 두께 (mm)

V_c : 기둥에 발생하는 전단력 (kN)

Table 5는 최대하중 및 전단강도 비교를 나타낸 표이다.

Table 5. Maximum load and shear force

Specimen	P_{max} (kN)	P_{pz} (kN)	V_u (kN)	R_v (kN)	Panel Zone
① SHN-W-W	237.5	183.8	711.9	558.7	Yield
② SHN-W-B	131.3		326.0		-
③ SHN-B-W	245.5		735.9		Yield
④ SHN-B-B	129.4		387.8		-
⑤ SHN-EP	182.0		545.6		-

* V_u is the shear force exerted on the panel zone by P_{max}

P_{max} 는 실험에서 얻은 최대하중을 나타낸다. R_u 는 패널 존의 전단내력을 나타낸다. 이때 실험체 SHN-W-W와 SHN-B-W의 경우 패널존에 작용하는 전단력(V_u)을 산정하면 각각 711.89kN, 735.94kN으로 패널존의 전단내력보다 패널존에 작용하는 전단력의 값이 크게 나타났고, 파괴양상을 보면 패널존이 항복하여 변형이 생기는 것을 발견 할 수 있었다. 반면 실험체 SHN-W-B, SHN-B-B, SHN-EP의 경우 패널존에 작용하는 전단력(V_u)을 산정하면 각각 325.99kN, 387.80kN, 545.60kN으로 패널존의 전단내력이 크게 나타났으며 패널존의 변형은 비교적 미미하며, 접합부의 변형이 생긴 것을 확인할 수 있었다.

- ① SHN-W-W의 경우 패널존의 전단변형이 5개의 실험체 중 가장 뚜렷하게 나타났으며 보 플랜지와 웹의 용접접합부분이 찢어지는 듯한 형상을 나타내었다.
- ② SHN-W-B의 경우 보 플랜지에 볼트접합을 위한 연결재인 L형강이 모멘트에 저항하여 파단이 난 형상을 확인할 수 있었으며 보 웹의 용접접합부도 전단력에 의해 찢어지는 듯한 형상을 나타내었다.
- ③ SHN-B-W의 경우 SHN-W-W와 마찬가지로 패널 존 전단변형을 육안으로 확인할 수 있었다. 또한 보 플랜지부분용접부가 모멘트에 저항하여 파단이 난 형상을 확인할 수 있었으며, 웹 L형강의 볼트접합부는 지압파괴가 일어난 것을 확인할 수 있었다.
- ④ SHN-B-B의 경우 SHN-W-B와 마찬가지로 보 플랜지 부분 L형강이 파단이 났으며 보 웹의 볼트접합부에서는 지압파괴가 일어난 형상을 확인할 수 있었다.
- ⑤ SHN-EP의 경우 기존의 엔드플레이트접합부에서는 흔히 볼 수 없는 볼트접합부의 볼트에 의한 기둥 플랜지의 Punching현상이 발생하였다. 아래 식을 이용하여 펀칭된 플랜지의 설계전단강도를 산정하였으며 $R_{pch} = 232.44\text{kN}$ 으로 나타났다.

$$R_{pch} = \pi Bt \times 0.6F_u \tag{6}$$

여기서, R_{pch} : 볼트머리의 펀칭에 의한 플랜지의 전단강도 (kN)

- B : 볼트머리 직경 (24mm)
- t : 플랜지의 두께 (9mm)
- F_u : 플랜지 인장강도 (MPa)

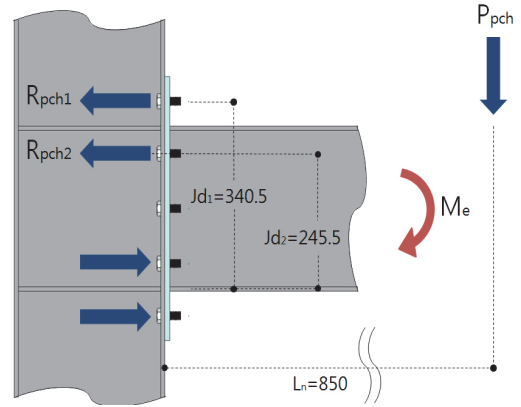


Fig. 14. Punching (⑤ SHN-EP)

펀칭현상이 일어난 볼트에 작용한 전단력은 식 (7)과 같이 구할 수 있다. 여기서 R_{pch1} 과 R_{pch2} 의 값은 큰 차이가 없으므로 동일하다고 가정하여 계산하였다^[7].

$$R_{pch}(jd_1 + jd_2) = P_{pch} \times L_n \tag{7}$$

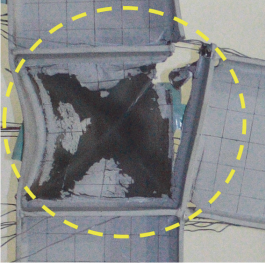
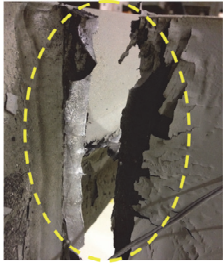
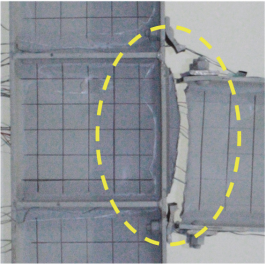
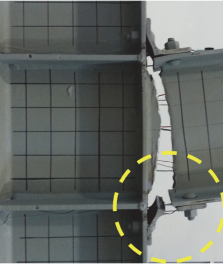
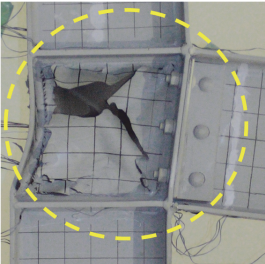
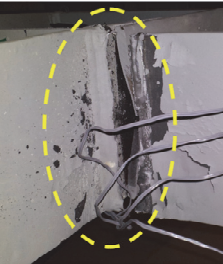
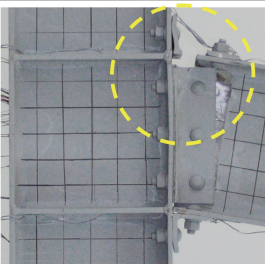

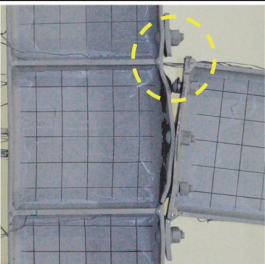

$$P_{pch} = \frac{R_{pch}(jd_1 + jd_2)}{L_n} = \frac{232.4(586)}{850} = 160.2\text{kN}$$

따라서 $P_{pch} = 160.2\text{kN}$ 으로 나타났다. 볼트의 설계내력(전단력)보다 최대하중 값이 더 크게 나타난 것으로 보아 볼트머리가 기둥의 플랜지부분을 뚫고 나오는 펀칭현상이 발생한 것으로 사료된다.

Table 6은 실험체별 접합부의 파괴형상을 나타낸다.

- ① SHN-W-W는 패널존이 완전항복하였고 패널존 항복 후 보 플랜지와 용접부 기둥플랜지의 모살용접부와 열영향부(HAZ : Heat Affected Zone)가 최종적으로 파단되었다.
- ② SHN-W-B는 플랜지 앵글이 파단되고 보 웹의 모살용접주위의 열영향부가 파단되었다. 패널존은 항복되지 않았다.
- ③ SHN-B-W는 SHN-W-W와 마찬가지로 패널존이 완전 항복하였고, 패널존 항복 후 보 플랜지와 용접부 기둥플랜지의 모살용접부와 열영향부가 최종적으로 파단되었다.
- ④ SHN-B-B는 플랜지 앵글이 파단되고 보 웹의 고력 볼트부는 지압파괴가 일어난 것을 확인할 수 있었다. 패널존은 항복되지 않았다.

Table 6. Failure modes

① SHN-W-W	
Panel zone shear failure	HAZ fracture of flange
	
② SHN-W-B	
Beam web fracture	Seat angle fracture
	
③ SHN-B-W	
Panel zone shear failure	HAZ fracture of flange
	
④ SHN-B-B	
Seat angle fracture	Web bearing failure
	
⑤ SHN-EP	
End plate shear failure	Bolt head punching failure
	

⑤ SHN-EP는 고력볼트에 의해 기둥의 플랜지에 펀칭현상이 발생하였으며 최종적으로 엔드플레이트의 파단이 일어났다. 기둥 플랜지의 펀칭과 함께 약간의 변형도 있었으나 패널존은 항복하지 않았다.

4.3 초기강성 비교

Fig. 15은 초기강성 산정방법을 나타낸다. 그림과 같이 하중을 변위로 나누어 산정하고 상부와 하부 인장 시 강성의 평균값을 Table 7에 나타냈다^{[8],[9],[10]}.

초기강성 값은 예상한 바와 같이 SHN-W-W가 19.5kN/mm로 가장 큰 값을 나타냈으며 SHN-EP, SHN-W-B, SHN-B-B, SHN-B-W의 순서로 각각 17.9, 17.4, 14.4, 14.0kN/mm의 초기강성이 나타났다.

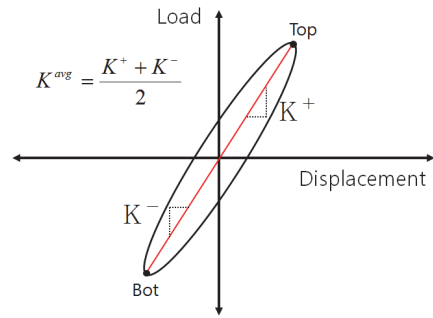


Fig. 15. Initial stiffness evaluation method

Table 7. Initial stiffness

Specimen	Initial stiffness, <i>k</i> (kN/mm)
① SHN-W-W	19.5
② SHN-W-B	17.4
③ SHN-B-W	14.0
④ SHN-B-B	14.4
⑤ SHN-EP	17.9

4.4 접합부의 분류

강재의 접합부는 크게 Rigid, Semi-Rigid, Flexible로 분류할 수 있다. Fig. 16은 실험 데이터를 무차원화 시킨 $M/M_p - \phi/\phi_p$ 그래프를 통해 초기강성 값을 비교하여 강성에 따른 접합부 분류^[11]를 나타낸다. Fig. 17은 초기강성 및 극한강도에 따른 접합부 분류를 위한 그래프^[11]이다.

Fig. 18을 보면 강성의 경우 SHN-W-W와 SHN-EP가

Rigid이며 SHN-W-B, SHN-B-W, SHN-B-B는 Semi-Rigid로 나타났다. 반면, 강도에 따른 접합부 분류는 SHN-W-W와 SHN-B-W가 Rigid이며 SHN-W-B, SHN-B-B, SHN-EP가 Semi-Rigid로 나타났다. Table 8은 실험체별 강성 및 강도에 따른 접합부 분류를 나타낸다. SHN-EP의 경우 접합부 형상에 따라 상이한 양상을 나타내어 Table 8과 같이 구분하였다.

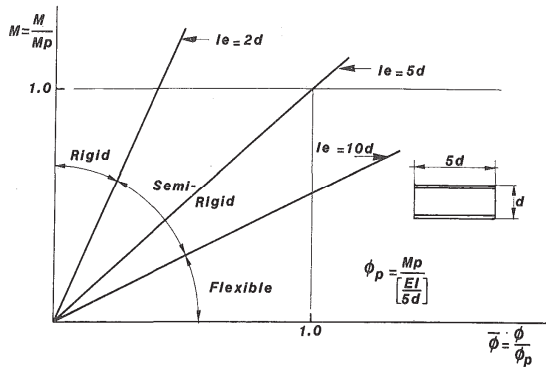


Fig. 16. Nondimensional classification of initial stiffness

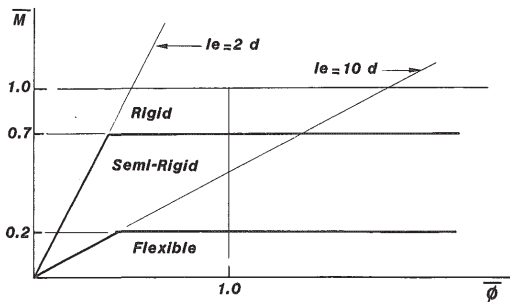


Fig. 17. Nondimensional classification of connections

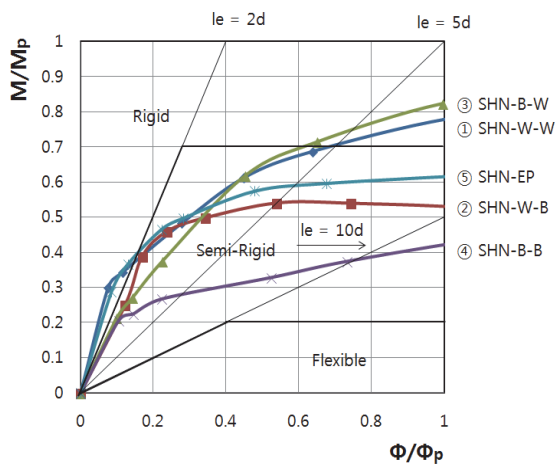


Fig. 18. $M/M_p - \phi/\phi_p$

Table 8. Classification of connection

Specimen	Connection classification	
	Stiffness	Strength
① SHN-W-W	Rigid	Rigid
② SHN-W-B	Semi-rigid	Semi-rigid
③ SHN-B-W	Semi-rigid	Rigid
④ SHN-B-B	Semi-rigid	Semi-rigid
⑤ SHN-EP	Full strength	Partial strength

4.5 에너지 소산능력 비교^[12]

에너지 소산능력은 모멘트-층간변위각 곡선으로부터 사이클별 면적을 누적시켜 산정할 수 있다. Fig. 19는 주기별 에너지소산량을 실험체 별로 비교한 것을 나타낸다. Fig. 20은 각 접합부 실험체에서 측정된 누적 에너지소산능력 비교를 나타낸다.

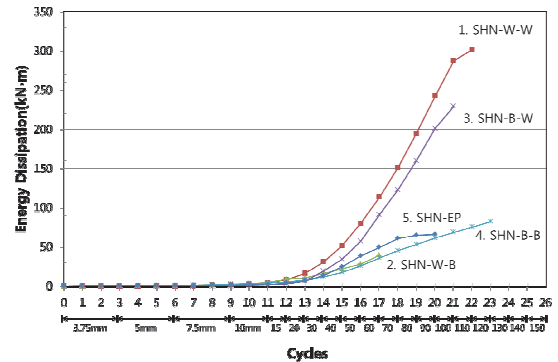


Fig. 19. Comparison of energy dissipation capacity per cycle

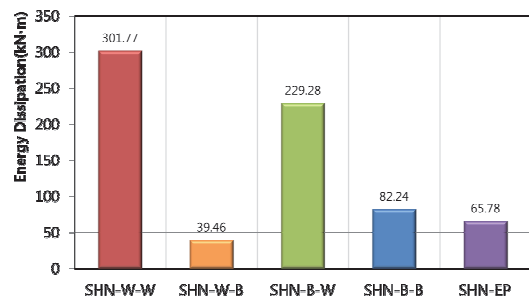


Fig. 20. Total energy dissipation

Table 9. Comparison of total energy dissipation

Specimen	Total (kN-m)	Note (%)
① SHN-W-W	301.77	100
② SHN-W-B	39.46	13.08
③ SHN-B-W	229.28	75.98
④ SHN-B-B	82.24	27.25
⑤ SHN-EP	65.78	21.80

Table 9는 실험체 별 에너지소산 누적량에 따른 비교를 나타내었다. 실험체 SHN-W-W를 100%로 두고 비율을 환산하면 SHN-W-W에 비해 SHN-W-B는 약 13.08%, SHN-B-W는 약 75.98%, SHN-B-B는 약 27.25%, SHN-EP는 약 21.80%의 에너지소산능력을 보였다. 에너지소산능력 누적량 비교 결과 실험체 SHN-W-W, SHN-B-W, SHN-B-B, SHN-EP, SHN-W-B의 순서로 에너지소산능력을 발휘하였다.

5. 결론

SHN490 강재의 보-기둥 접합부에 따른 실험결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 실험결과 최대모멘트는 SHN-W-W, SHN-W-B, SHN-B-W, SHN-B-B, SHN-EP 각각 237.5kN·m, 131.32kN·m, 245.49kN·m, 129.36kN·m, 182kN·m으로 나타났으며 이때 회전각은 각각 0.0501rad, 0.0150rad, 0.0479rad, 0.0570rad, 0.0403rad으로 나타났다.
- (2) 패널존 설계전단강도는 558.70kN으로 나타났으며 SHN-W-W와 SHN-B-W의 경우 패널존 전단강도가 각각 711.89kN, 735.94kN으로 설계전단강도보다 크게 나타났으며, 패널존의 항복으로 인한 변형을 보였다. 반면, SHN-W-B, SHN-B-B, SHN-EP의 경우 패널존 전단강도가 각각 325.99kN, 387.80kN, 545.60kN으로 패널존의 내력(전단강도)보다 작게 나타났으며, 패널존의 변형은 거의 나타나지 않았다.
- (3) 초기강성 및 최대 하중점에서의 강성 비교 결과, 초기강성은 1mm변위에서 SHN-W-W, SHN-W-B, SHN-B-W, SHN-B-B, SHN-EP 각각 19.5kN/mm, 17.4kN/mm, 14kN/mm, 14.4kN/mm, 17.9kN/mm으로 나타났다.
- (4) 접합부 분류 결과 초기강성에서 SHN-W-W와 SHN-EP의 경우 Rigid한 것으로 나타났으며 SHN-W-B, SHN-B-W, SHN-B-B의 경우 Semi-Rigid한 것으로 나타났다. 강도는 SHN-W-W와 SHN-B-W의 경우 Rigid로 나타났으며, SHN-W-B, SHN-B-B, SHN-EP의 경우 Semi-Rigid한 것으로 나타났다.
- (5) 에너지 소산능력 누적량 비교 결과 SHN-W-W, SHN-W-B, SHN-B-W, SHN-B-B, SHN-EP 각각 301.77kN·m,

39.46kN·m, 229.28kN·m, 82.24kN·m, 65.78kN·m로 나타났다. 따라서 최종 가력사이클까지의 에너지소산능력은 SHN-W-W, SHN-B-W, SHN-B-B, SHN-EP, SHN-W-B의 순서로 나타났다.

참고문헌(References)

- [1] 양철민, 김영문(2006) 축 하중을 받는 내부 철골 보-기둥 접합부의 이력거동에 대한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제22권, 제5호, pp.97-104.
Yang, C.-M., and Kim, Y.-M. (2006) Experimental Study on the Hysteretic Behavior of Interior Steel Beam-to-Column Connections Subjected to Axial Load, *Journal of Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.22, No.5, pp.97-104 (in Korean).
- [2] 김태진, 김은석, 김진구(2007) 중저층 철골건물 보-기둥 접합부의 내진 및 붕괴저항 성능평가, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제23권, 제10호, pp.59-66.
Kim, T.-J., Kim, E.-S., and Kim, J.-K. (2007) Evaluation of Seismic and Collapse-Resistant Performance of Beam-Column Connections in Mid/Low-Rise Steel Buildings, *Journal of Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.23, No.10, pp.59-66 (in Korean).
- [3] 하성환, 강철규, 한홍수, 한권규, 최병정(2011) 접합부와 보의 상대강성을 고려한 중층 철골 모멘트 골조의 내진 해석, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제23권, 제5호, pp.595-606.
Ha, S.H., Kang, C.K. Han, H.S., Han K.G., and Choi, B.J. (2011) Seismic Analysis of Mid Rise Steel Moment Resisting Frames with Relative Stiffness of Connections and Beams, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.23, No.5, pp.595-606 (in Korean).
- [4] 대한건축학회(2009) 건축구조기준 (KBC 2009) 및 해설, 기문당.
Architectural Institute of Korea (2009) *Korea Building Code (KBC 2009) and Commentary*, Kimoonang, Korea (in Korean).
- [5] American Institute of Steel Construction (2010) *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (ANSI/AISC 341-10), USA.
- [6] 국가기술표준원(2007) 금속재료 인장시험편(KS B 0801: 2007).
Korean Agency for Technology and Standards (2007) *Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0801: 2007), Korea (in Korean).

- [7] 박기연, 전상현, 김영호, 최성모(2013) 직결나사 연결 접합부에 관한 구조성능평가 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제5호, pp.543-553.
Park, K.Y., Jeon, S.H., Kim, Y.H., and Choi, S.M. (2013) A Study of Structural Performance of Self-Drilling Screw Connections, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.5, pp.543-553 (in Korean).
- [8] 이세정, 채홍석, 이성희, 김진호, 최성모(2011) SN강재를 이용한 엔드플레이트항복형 보-기둥접합부의 구조 거동, 대한건축학회논문집 - 구조계, 대한건축학회, 제27권, 제6호, pp.3-10.
Lee, S.-J., Chae, H.-S., Lee, S.-H., Kim, J.-H., and Choi, S.-M. (2011) Structural Behavior of Column to Beam Connections with Plastic Deformation in the End Plate Using SN Steel, *Journal of Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.27, No.6, pp.3-10 (in Korean).
- [9] 심현주, 조한솔, 김대희, 김상섭(2013) 실물크기의 H형강 기둥-보 신형상 약축접합부에 대한 구조성능평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제3호, pp.233-242.
Shim, H.J., Cho, H.S., Kim, D.H., and Kim, S.S. (2013) Performance Evaluation of Full-Scale H-Shape Beam-to-Column New-Shape Weak Axis Connection, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No. 3, pp.233-242 (in Korean).
- [10] 김희동, 양재근, 이재윤, 이형동(2014) 상-하부 T-Stub 접합부의 초기회전강성 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제26권, 제2호, pp.133-142.
Kim, H.D., Yang, J.G., Lee, J.Y., and Lee, H.D. (2014) Evaluation of the Initial Rotational Stiffness of a Double Split Tee Connection, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.2, pp.133-142 (in Korean).
- [11] Bjorhovde, R., Colson, A., and Brozzetti, J., (1990) Classification System for Beam-to-Column Connections, *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol.116, No.11, pp.3059-3076.
- [12] 김태진, 박종원, 조정혁, 김희동(2008) SHN 형강 보-기둥 접합부의 내진성능 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제20권, 제6호, pp.829-838.
Kim, T.J., Park, J.W., Cho, J.H., and Kim, H.D. (2008) Seismic Performance Evaluation of Welded Beam-Column Connections Fabricated with SHN Steel Sections, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.20, No.6, pp.829-838 (in Korean).

요 약 : 본 연구는 중·저층 건축물에 적용된 강재의 보-기둥 접합부에 따른 내진성능을 규명하기 위한 실험적 연구이다. 실험체는 보-기둥 접합부의 보 플랜지와 웨브의 접합형태에 따라 분류하여 총 5가지를 제작하였다. 실험체는 웨브와 플랜지 모두 용접한 접합부(SHN-W-W)와 웨브는 용접하고 플랜지는 고력볼트 접합한 접합부(SHN-W-B)와 웨브는 고력볼트 접합하고 플랜지는 용접접합한 접합부(SHN-B-W)와 웨브와 플랜지 모두 고력볼트 접합한 접합부(SHN-B-B)와 보 단부에 엔드플레이트를 이용하여 접합한 접합부(SHN-EP)이다. 실험은 KBC2009에서 제시하는 반복재하인증실험으로 층간변위각(θ)을 제어하기 위한 변위 제어방식으로 실시하였다. 실험으로부터 각 시험체의 하중-회전각 곡선을 나타내었으며, 접합부의 최종 파괴형상을 요약하였다. 접합부는 강성과 강도의 관점에서 강접합과 반강접합으로 분류하였으며 내진성능평가를 위한 에너지소산능력을 비교하였다.

핵심용어 : 철골모멘트접합부, 보-기둥접합부, 접합부 분류, SHN490, 강성
