



춤이 큰 하이브리드 합성보와 SRC기둥 접합부의 내진성능에 관한 연구

김성배¹ · 전용한² · 조성현² · 최영한² · 김상섭^{3*}

¹소장, (주)더나은구조엔지니어링, ²석사과정, 한국기술교육대학교 건축공학과, ³교수, 한국기술교육대학교, 디자인·건축공학부

Seismic Performance of HyFo Beam with High Depth-to-SRC Column Connections

Kim, Sung Bae¹, Jeon, Yong Han², Cho, Seong Hyun², Choi, Young Han², Kim, Sang Seup^{3*}

¹Manager, The Naeun Structural Engineering, Seoul, 07205, Korea

²Master Course, Department of Architectural Engineering, KOREATECH, Cheonan, 31253, Korea

³Professor, School of Design & Architectural Engineering, KOREATECH, Cheonan, 31253, Korea

Abstract - This study is a secondary study that is a cyclic seismic test of High depth hybrid composite beam and column connection after the primary bending strength test of a high depth Hybrid composite beam. Total of 3 seismic test specimens were prepared to cyclic test. The bracket and beam web spliced by high strength bolt and the bracket and beam upper flange was spliced by welding. Test results showed that the seismic strength was higher than the plastic moment (M_p) in the positive-negative moment section, the requirement of composite intermediate moment frame was satisfied. Therefore, the requirement of intermediate moment frame can be secured by applying the details of connection of this study results.

Keywords - Hybrid composite beam, Seismic performance test, Inter-story drift angle, Detail of connection

1. 서론

기술의 발전과 더불어 건설 시스템은 점점 기계화 및 대형화 되고 있으며, 발달된 기술은 문명의 한계에 계속해서 도전하고 있다. 오늘날 건설기술의 한계에 도전하는 초고층, 장스팬 건축물이 지속적으로 건설되고 있다. 이러한 대규모 건축물은 일자리 창출 및 새로운 경제 기반을 제시하여 국가 경제를 활성화 시킨다. 건축물들은 지속적으로 고층화, 대형화 될 것으로 전망된다. 따라서 효율적인 구조시스템을 구축한다면 경제 발전에 큰 도움이 될 것이라고 판단된다^{[1],[2]}.

한편 경기 침체로 인한 건설 환경의 어려움에도 불구하고

인구의 노령화와 3D산업 기피 등으로 국내 건설산업의 인건비가 상승하여, 공장생산과 현장설치가 가능한 건식공법에 대한 연구와 도입이 필수적인 상황에 직면했다. 또한 경제성 및 시공성을 확보하고 콘크리트와 강재의 재료적 장점을 극대화 시킨 합성부재가 각광 받고 있으며, 기둥과 보, 슬래브 등 각 요소에 걸쳐 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 다양한 형상의 합성보에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 새로운 합성보를 연구하는 경우 보의 휨강성, 기둥-보 접합부의 내진성능, 보의 내화성능 등의 연구가 필요하다^{[3],[4],[5]}.

이에 본 연구는 앞서 연구되었던 춤이 큰 하이브리드 합성보의 휨성능 평가^[6]에 이어 춤이 큰 하이브리드 합성보-SRC 기둥 접합부의 내진성능을 실험을 통해 평가하였다. 또한 접합부상세는 브라켓에 합성보를 이음하였으며, 실물대 사이드로 실험체를 제작하여 내진성능을 평가하였다.

Note.-Discussion open until October 31, 2017. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on October 9, 2016; revised December 12, 2016; approved on December 12, 2016.

Copyright © 2017 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-41-560-1330 Fax. +82-41-560-1224

E-mail. kimss@koreatech.ac.kr

2. 실험 개요

2.1 실험 계획

본 연구에서는 축이 큰 하이브리드 합성보-SRC기둥 접합부의 내진성능을 평가하기 위하여 강기둥-약보 설계 개념으로 실물크기의 실험체를 제작하였다. 실험체는 하이브리드 합성보와 SRC기둥을 브라켓을 통해 접합하였으며, 총 3개의 실험체를 제작하였다. Fig. 1은 접합부 실험체의 실물 모형 및 설치전경이고 Table 1은 실험체의 실험 변수를 정리한 것이다.

실험에 사용된 하이브리드 합성보는 보 축이 600mm, 800mm 두 가지이며, 기둥은 SRC기둥 내부의 철골 사이즈는 보 축 600mm의 경우 H-400×400×13×21이고, 보 축 800mm의 경우 H-414×405×18×28이다. 기둥 중심에서 엑추에이터의 가력지점 중심까지 거리(L)는 3,280mm이

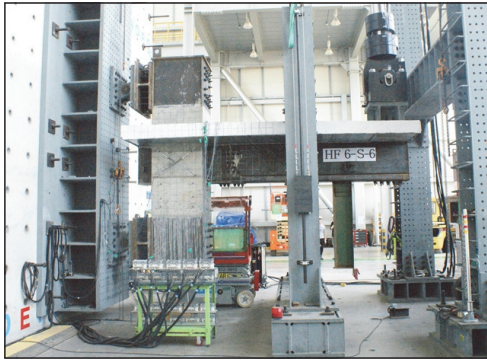


Fig. 1. Set-up of HyFo beam-SRC column

며, 보의 순길이(L_b)는 2,880mm이고, 기둥 상하부의 지점 간 길이는 2,500mm이다. 슬래브의 폭은 2,000mm이고, 두께는 180mm이다.

슬래브는 평테크플레이트를 사용하였으며, 접합부의 부모멘트에 저항하기 위해 Fig. 2와 같이 슬래브 내부에 길이 방향으로 부모멘트 철근(HD22)을 배치하였다. 부모멘트 철근은 HF6-S-6의 경우 6개이고 HF6-S-10, HF8-S-10의 경우 10개이다.

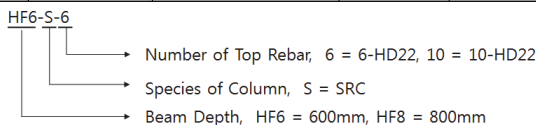
콘크리트 슬래브와 하이브리드 합성보는 스티드커넥터를 이용하여 일체화하였다. 스티드커넥터는 하이브리드 합성보와 부모멘트 철근 내력의 합이 되는 수평전단력에 저항할 수 있도록 완전 합성 설계하였고, 등간격 배치하였다. 강재의 연성파괴를 유도하기 위하여 콘크리트에 의한 압축력이 강재에 의한 인장력보다 크도록 설계하여 소성중립축이 슬래브 내에 위치하도록 하였다^{[7],[8]}.

Z형 측판과 C형 하부강판은 고장력볼트(F10T M20)를 400mm 간격으로 배치하여 접합하였다. 또한 하이브리드 합성보의 강재와 콘크리트 일체화 거동을 위하여 C형 하부강판 내부에 한 개의 철근을(HD25, $f_y=500\text{MPa}$) 부착하였다. 하이브리드 합성보는 기둥 강축 방향으로 설치하여 가력되도록 설계하였으며, 건축물 실 조건을 반영하기 위하여 가력 반대 방향에도 동일한 형상의 합성보를 설치하였다.

또한 합성보와 기둥의 접합을 위하여 브라켓을 철골 기둥면에 접합하였으며, 브라켓의 상, 하부플랜지의 두께는 합성보 플랜지 두께의 2배를 사용하였고, 브라켓 웨브의 두께는 합성보 웨브와 동일한 두께를 사용하였다. 브라켓과 하이브리드 합성보의 이음은 웨브와 하부강판의 경우 고장력볼

Table 1. Specimens for seismic test

No.	Specimen	Beam (HyFo)			Column (SRC)		Slab		Material strength
		Beam (mm)	Negative moment rebar	Space of stud (mm)	Column (mm)	Main rebar	Width (mm)	Thk. (mm)	
1	HF6-S-6	HF-600×270×6×6	6-HD22	2-φ16 @130	□-800×800 H-400×400×13×21	12-HD22	2,000	180	• Steel: SM490 $F_y=315\text{MPa}$ • Rebar: HD500 $f_y=500\text{MPa}$ • Concrete: $F_{ck}=27, 35\text{MPa}$
2	HF6-S-10	HF-600×270×6×6	10-HD22	2-φ16 @130	□-800×800 H-400×400×13×21	12-HD22	2,000	180	
3	HF8-S-10	HF-800×270×8×8	10-HD22	2-φ19 @120	□-800×800 H-414×405×18×28	24-HD25	2,000	180	



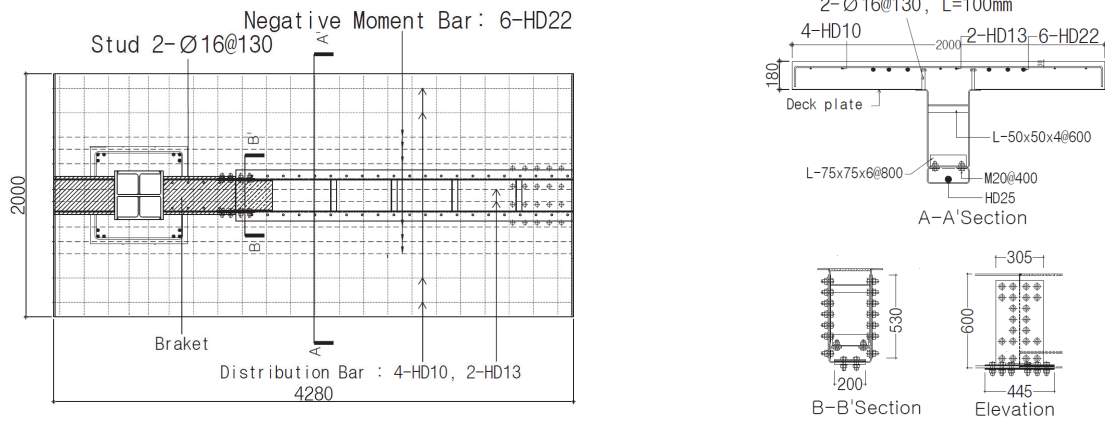


Fig. 2. Detail of HF6-S-6 specimens (unit: mm)

트 F10T M22로 접합하였고, 상부 플랜지는 그루브 용접 접합하였다. 볼트접합부 설계는 마찰 접합에 의한 설계미끄럼 강도와 설계지압강도 중 작은 값을 적용하여 설계하였다.

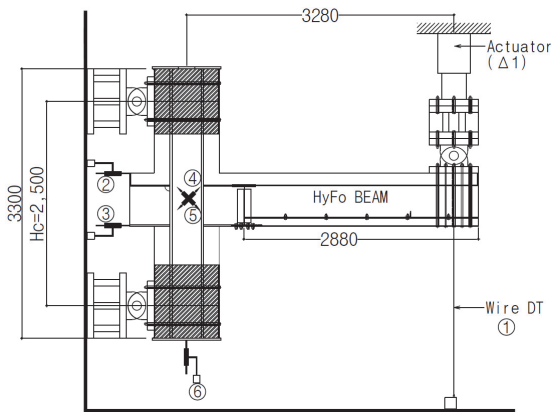


Fig. 3. Location of LVDT and test set-up

Table 2. Loading program for seismic test

No.	Story drift ratio (%rad)	Cycle	Displacement
1	±0.375	6	±12.3
2	±0.5	6	±16.4
3	±0.75	6	±24.6
4	±1.0	4	±32.8
5	±1.5	2	±49.2
6	±2.0	2	±65.6
7	±3.0	2	±98.4
8	±4.0	2	±131.2
9	±5.0	2	±164.0
10	±6.0	2	±196.8

2.2 실험체 셋팅 및 재하프로그램

합성보-기둥 접합부의 내진성능을 평가하기 위하여 Fig. 3 과 같이 변위계(LVDT) 5개와 줄변위계(Wire DT) 1개를 이용하여 패널존과 기둥의 변형 및 실험체의 층간변위를 계측하였다. 또한 Fig. 4와 같이 변형률계이치를 통하여 부모멘트 철근, 기둥 H형강, 브라켓의 변형을 계측하였다.

실험은 포스코 글로벌 R&D센터(송도)에서 진행하였으며, 최대 용량 2000KN, 최대 스트로크 ±250mm의 엑추에이터를 이용하여 반복가력 하였다. 하중 계획은 Seismic design manual S6.2의 Cyclic loading Program에 준하여 가력하였다. Table 2는 본 실험에서의 각 가력 단계별 가력 변위를 나타낸 것이다. 보 단부에 설치된 줄변위계로부터 실험체 전체변위를 확인하였으며, 가력하중의 크기는 엑추에이터 내부의 로드 셀로 측정하였다.

3. 실험 결과

3.1 소재의 기계적 특성

실험에 적용된 콘크리트의 설계기준 압축강도는 SRC기둥의 경우 35MPa, 콘크리트 슬래브의 경우 27MPa로 설계하였다. Table 3은 콘크리트의 배합비이다. 콘크리트 압축강도시험을 위해 KS F 2403에 의거하여 공시체를 제작하였으며, KS F 2405에 준하여 콘크리트 압축강도시험을 하였다. 압축강도 시험결과 콘크리트의 압축강도는 각각 42.6MPa, 26.8MPa로 측정되었다.

강재의 소재시험은 실험에 사용된 보 플랜지 및 웹, H

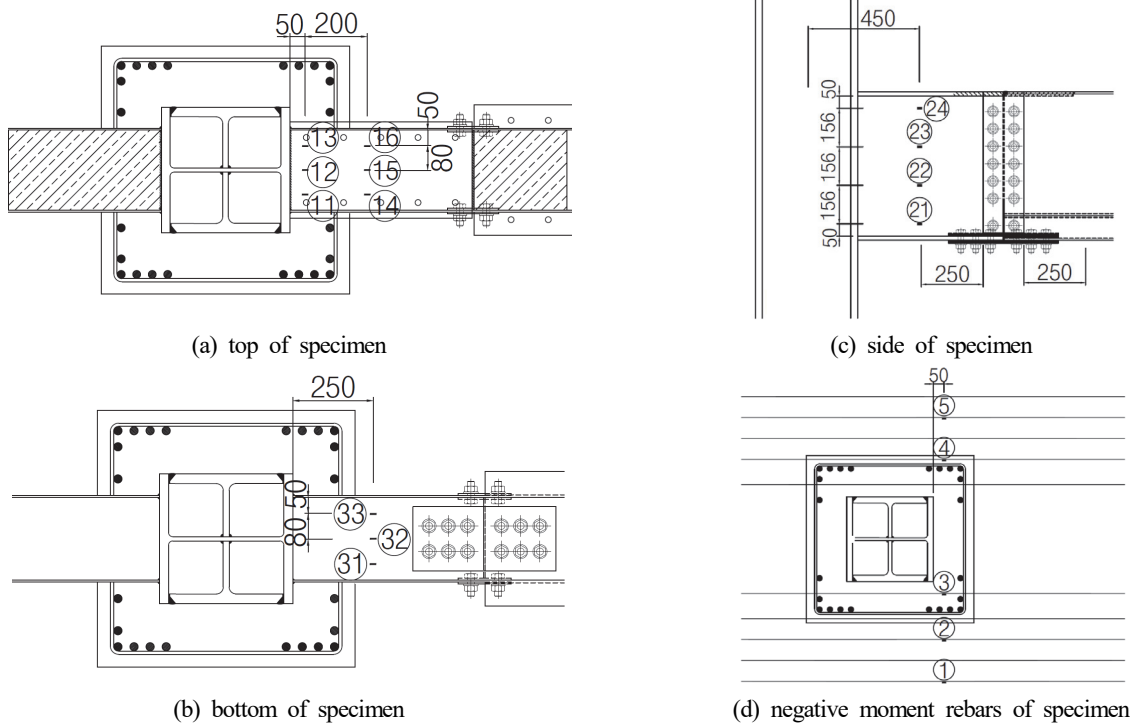


Fig. 4. Locations of strain gauge

Table 3. Concrete mix proportion

Design criterion strength	W/C ratio (%)	Slump (mm)	Max. size of coarse aggregate (mm)	Fine aggregate ratio (%)	Air content (%)	Minimum of salt content (kg/m ²)
27MPa	48.1	120	25	26.8	4.5±1.5	0.30
35MPa	40.0	120	25	42.6	4.5±1.5	0.30

Table 4. Tensile test results of rebar and steel

Division		Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	
Rebar	HD22	600.7	732.3	14.7	
	HD25	587.3	721.3	21.9	
Steel	Beam	PL6	419.3	509.7	32.3
		PL8	422.0	532.0	53.9
		PL9	366.6	520.7	39.7
	Column	PL16	370.0	508.3	47.8
		PL21	402.7	532.7	44.8
		PL28	379.3	515.7	40.7

Table 5. Nominal strength of beam and column

Division		HF6-S-6	HF6-S-10	HF8-S-10
HyFo beam	Plastic positive moment M_p^+ (kN·m)	1,824.6	1,824.6	3,368.9
	Plastic negative moment M_p^- (kN·m)	1,300.5	1,685.3	2,760.0
Column	Moment performance (kN·m)	2,658.3		4,118.9
Beam-column moment performance ratio		1.46		1.22

Table 6. Moment of specimen

Specimen	M_{est} (kN·m)				$M_{heo.}$ (kN·m)	
	M_y^+	M_y^-	M_u^+	M_u^-	M_p^+	M_p^-
HF6-S-6	1,346.1	1,684.9	1,984.7	2,058.1	1,824.6	1,300.5
HF6-S-10	1,539.6	1,821.1	2,114.1	2,440.3	1,824.6	1,685.3
HF8-S-10	2,663.6	2,714.8	3,811.6	3,129.6	3,368.9	2,760.0

Table 7. Inter-story drift angle of specimen

Specimen	Inter-story drift angle (radian)					
	θ_y^+	θ_y^-	θ_u^+	θ_u^-	$\theta_{0.8p}^+$	$\theta_{0.8p}^-$
HF6-S-6	0.008	0.012	0.031	0.020	0.03	0.04
HF6-S-10	0.007	0.011	0.029	0.027	0.03	0.04
HF8-S-10	0.009	0.009	0.031	0.011	0.04	0.03

형강 기둥, 이음판에 대하여 진행하였다. 소재시험은 KS B 0801의 금속 재료 인장 시험편에 따라 인장시험편을 각각 3개씩 제작하였고, KS B 0802의 금속재료 인장시험방법에 따라 인장시험을 실시하였다. 시험결과는 Table 4와 같다.

3.2 모멘트-회전각 및 파괴 양상

모멘트 성능은 설계기준강도를 반영하여 산정하였다. 기둥과 보의 휨모멘트 내력비는 기둥내력이 보의 1.2배 이상이 되는 조건에서 실제 적용되는 부재 크기를 기준으로 설계하였다^{[9],[10]}. Table 5는 각 실험체의 보와 기둥의 소성휨모멘트 값이다. KBC 2009 내진규정에서는 내진설계 시 모멘트 골조시스템에 따라 반응수정계수(R)를 다르게 적용하고 있다^[11]. 합성구조 각 골조시스템의 반응수정계수는 특수모멘트골조(SMF)의 경우 R=8, 중간모멘트골조(IMF)의 경우 R=5, 보통모멘트골조(OMF)의 경우 R=3으로 구분된다. 또한 접합부의 총 층간변위각은 각각 최소 0.04, 0.03, 0.01(rad)을 확보해야 하며, 최대변형에서 보의 공칭소성모멘트의 80%가 유지되어야 한다. Table 6과 Table 7은 각 실험체의 실험결과에 따른 휨모멘트와 층간변위각이다.

3.2.1 HF6-S-6 실험체

HF6-S-6의 SRC기둥 크기는 800×800, 내부 철골은 H-400×400×13×21, 주근은 12-HD22이다. 하이브리드 합성보는 HF-600×270×6×6이고 부모멘트 철근은 6-HD22이다. 실험은 정 모멘트 방향으로 시작하여 반복가력하였다. 실험 시작 후 층간변위각 0.00375rad, 1cycle, 250kN에서 슬래브 중앙부에 균열이 관찰되었다.

Fig. 5는 HF6-S-6의 회전각에 대한 모멘트비이다. 정휨모멘트 구간에서의 최대 내력은 0.03rad에서 소성휨모멘트(M_p^+)의 109%로 나타났다. 또한 부휨모멘트 구간의 최대 내력은 0.02rad에서 소성휨모멘트(M_p^-)의 152%로 나타났으며, 0.03rad에서 127%, 0.04rad에서 126%로 나타났다. 0.03rad에서 M_n/M_p 의 값이 0.8이상을 만족하여 합성중간모멘트골조의 요구치를 만족하였다. 최종적으로 하이브리드 합성보-SRC 기둥 접합부에서 웹 이음판의 지압파괴로가 발생하여 0.04rad 2cycle에서 실험을 종료하였다. Fig. 6은 실험 종료 후 실험체의 파괴 양상이다.

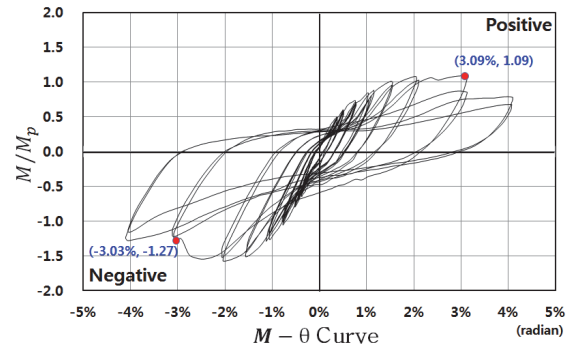


Fig. 5. M-θ curve of HF6-S-6 specimen



(a) web section



(b) slab section

Fig. 6. Failure shape of HF6-S-6 specimen

3.2.2 HF6-S-10 실험체

HF6-S-10의 SRC기둥 크기는 800×800, 내부 철골은 H-400×400×13×21, 주근은 12-HD22이다. 하이브리드 합성보는 HF-600×270×6×6이고 부모멘트 철근은 10-HD22이다. 실험 시작 후 층간변위각 0.00375rad, 1cycle에서 슬래브 상부에 균열이 관찰되었으며, 균열의 형태는 보 중앙 부분에서부터 나타났다.

Fig. 7은 HF6-S-10의 회전각에 대한 모멘트비이다. 정휨모멘트 구간에서의 최대 내력은 0.03 rad에서 소성휨모멘트(M_p^+)의 116%로 나타났다. 또한 부휨모멘트 구간에서 최대내력은 0.03rad에서 소성휨모멘트(M_p^-)의 144%로 나타

났다. 0.03rad에서 M_n/M_p 의 값이 0.8이상을 만족하여 합성중간모멘트골조의 요구치를 만족하였다. 최종적으로 하이브리드 합성보-SRC기둥 접합부에서 하부 이음판의 인장파단으로 0.04rad에서 실험을 종료하였다. Fig. 8은 실험 종료 후 접합부 및 슬래브의 파괴 양상을 보여준다.

HF6-S-6와 HF6-S-10의 변수는 부모멘트 철근의 개수와 브라켓과 합성보의 이음부 고장력볼트 개수이며, 두 실험체의 파괴양상(Figs. 6, 8)의 차이는 다음과 같다. 부모멘트 철근의 개수에 의한 슬래브 상부의 균열정도는 HF6-S-6이 HF6-S-10보다 크게 나타나 슬래브에 설치된 부모멘트 철근의 수가 증가할수록 슬래브의 균열이 감소하는 것으로 판단된다. 또한 브라켓과 합성보의 이음부 고장력볼트 개수에

의한 차이는 하부 플레이트 고장력볼트의 개수의 경우, HF6-S-6는 12개이고, HF6-S-10은 20개이다. HF6-S-6의 경우 웹 플레이트가 지압파괴 되었고, HF6-S-10의 경우 하부 플레이트 중앙부에서 인장파단 되었다.

3.2.3 HF8-S-10 실험체

HF8-S-10의 SRC기둥 크기는 800×800, 내부 철골은 H-414×405×18×28, 주근은 24-HD25이다. 하이브리드 합성보는 HF-800×270×8×8이고, 부모멘트 철근은 10-HD22이다. 실험시작 후 층간변위각 0.00375rad, 1cycle에서 슬래브 상부에 균열이 관찰되었으며, 슬래브의 균열은 앞의 두 실험체와 마찬가지로 하이브리드 합성보의 중앙 부분

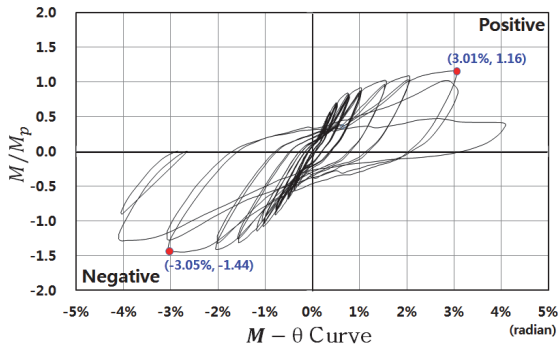


Fig. 7. M-θ curve of HF6-S-10 specimen

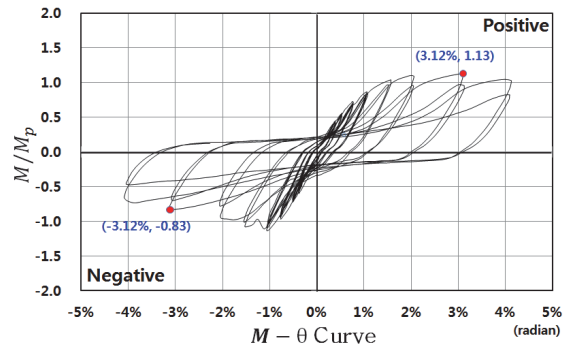


Fig. 9. M-θ curve of HF8-S-10 specimen



(a) bottom plate section



(b) slab section

Fig. 8. Failure shape of HF6-S-10 specimen



(a) web section



(b) slab section

Fig. 10. Failure shape of HF8-S-10 specimen

에서부터 나타났다.

Fig. 9는 HF8-S-10의 회전각에 대한 모멘트비이다. 정 휨모멘트 구간에서 최대 내력은 0.03rad에서 소성휨모멘트 (M_p^+)의 113%이다. 또한 부 휨모멘트 구간에서의 내력은 0.03rad에서 소성휨모멘트(M_p^-)의 83%로 나타났다. 0.03rad에서 M_u/M_p 의 값이 0.8이상을 만족하여 합성중간모멘트골조의 요구치를 만족하였다.

HF8-S-10은 브라켓과 합성보의 웹 이음부 하단에서 지압파괴와 액츄레이터 가력지점 부근에서 슬래브가 파괴되어 0.04rad에서 실험을 종료하였다. Fig. 10은 실험종료 후 접합부 및 슬래브 파괴양상이다. 앞의 두 실험체와 실험결과를 비교하면, HF8-S-10의 최대 내력은 정 모멘트 구간의 경우 HF6-S-10의 2배 이상으로 나타났고, 부 모멘트 구간의 경우 1.5배 정도로 나타났다. 정 모멘트보다 부 모멘트의 최대 내력 차이가 작은 이유는 가력지점 부근에서 슬래브가 파괴되어 나타난 현상으로 판단된다.

4. 분석 및 고찰

4.1 하중-변위 관계

Table 8은 실험결과를 실험체별로 정리한 것이다. 소재실험의 경우 항복하중 산정은 변위-하중 그래프에서 하위항복점의 하중을 이용하고, 하위항복점을 찾기 어려운 경우는 0.2% 영구변형도의 강도를 적용한다. 본 연구에서는 Fig. 11과 같이 초기강성에 해당하는 선형 방정식에 최대하중을

적용한 결과 값으로 항복하중을 정의하였다^[12].

각 실험체의 내력과 강성을 평가하기 위해서 각 실험체들의 실험결과를 단조화곡선(Skeleton Curve)으로 치환하였다. Fig. 12는 각 실험체의 내력비와 회전각곡선을 단조화곡선으로 나타낸 것이다.

Fig. 13은 각 층간변위각 첫 번째 사이클에서 평균 강성의

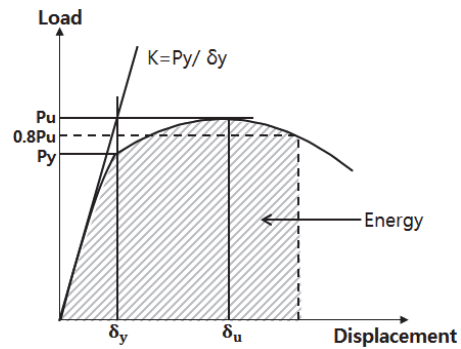


Fig. 11. Estimation of yield load

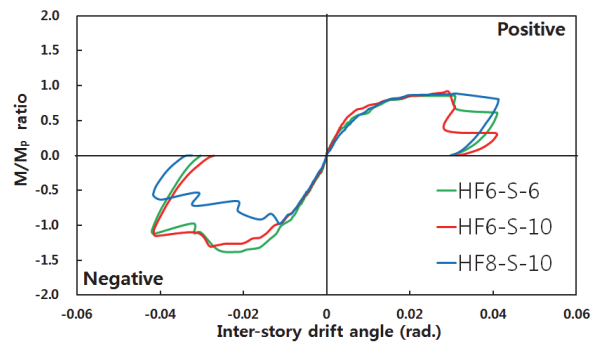


Fig. 12. Skeleton curve for $M/M_p - \theta$ of each specimen

Table 8. Results of seismic test

Specimen	HF6-S-6		HF6-S-10		HF8-S-10	
	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive	Negative
Nominal Strength M_p , kN·m	1,824.6	1,300.5	1,824.6	1,685.3	3,368.9	2,760.0
Yield Strength M_y , kN·m	1,346.1	1,684.9	1,539.6	1,821.1	2,663.2	2,714.8
Maximum Strength M_u , kN·m	1,984.7	2,058.1	2,114.1	2,440.3	3,811.6	3,129.6
M_u/M_p ratio	1.09	1.58	1.16	1.45	1.13	1.13
M_u/M_y ratio	1.47	1.22	1.37	1.34	1.43	1.15
Yield Strength Displacement δ_y , mm(%rad)	24.73 (0.75)	40.34 (1.22)	24.52 (0.74)	35.94 (1.10)	30.13 (0.92)	30.63 (0.93)
Maximum Strength Displacement δ_u , mm(%rad)	101.2 (3.09)	66.76 (2.04)	96.24 (2.93)	90.59 (2.76)	101.8 (3.10)	34.73 (1.06)
Displacement Capacity, δ_u/δ_y Ratio	4.09	1.65	3.92	2.52	3.37	1.13
Stiffness K , kN/mm	16.59	12.73	19.14	15.45	26.95	27.01

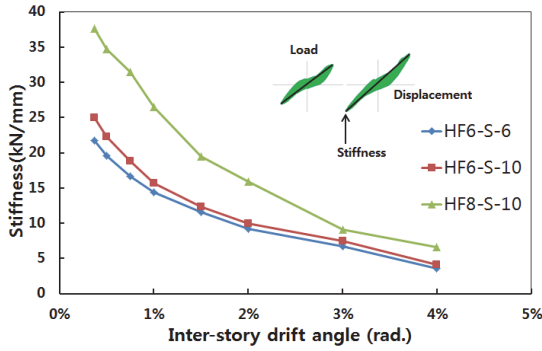


Fig. 13. A change of specimen stiffness for inter-story drift angle

변화이다. 평균강성은 각 층간변위 첫 번째 사이클에서 정방향과 부방향 최대값의 차를 그에 대응하는 변위 차로 나누어 구하였다. 일반적으로 층간변위가 증가할수록 강성이 감소되는 경향을 보였다. 대체적으로 모든 실험체에서 0.03 rad의 층간변위각의 강성은 초기강성의 약 24%로 나타났다.

4.2 에너지소산능력

Fig. 14는 실험체의 각 층간변위각에서 첫 번째 사이클에 대한 에너지 소산능력이다^[13]. 에너지소산능력은 0.01rad 이후 급격히 증가하는 경향이 나타났다. HF6-S-6과 HF6-S-10 실험체는 0.03rad 이후 에너지소산능력의 증가 폭이 현저하게 줄어들었다. 각 실험체는 0.04rad까지 에너지소산이 증가하였으며, 이는 각 실험체에서 급격한 하중감소 없이 연성능력이 발휘되고 있음을 보여준다.

Fig. 15는 단조곡선을 이용한 각 실험체의 정 휨모멘트와 부 휨모멘트에 대한 에너지소산능력을 비교한 것이다. HF6-S-6과 HF6-S-10 실험체의 경우 정 휨모멘트와 부 휨모멘트의 에너지소산능력은 유사하게 나타났다. 하지만, HF8-S-10 실험체는 정 휨모멘트의 에너지소산능력이 부 휨모멘트의 에너지소산능력 보다 1.5배 정도 높게 나타났다. 이러한 결과는 HF8-S-10의 상부 슬래브가 파괴되어 부 휨모멘트의 내력에 영향을 주어 나타난 현상으로 판단된다.

정 휨모멘트 구간에서, HF8-S-10 실험체의 에너지소산능력이 HF6-S-6과 HF6-S-10 실험체 보다 크게 상승한 이유는 보 휨 증가로 인한 내력 상승이 주요 원인으로 판단된다. 또한 HF6-S-10이 HF6-S-6 보다 부 휨모멘트 구간에서 에너지 소산능력이 큰 이유는 부 모멘트 철근의 차이로 인한 내력차이가 주원인으로 판단된다.

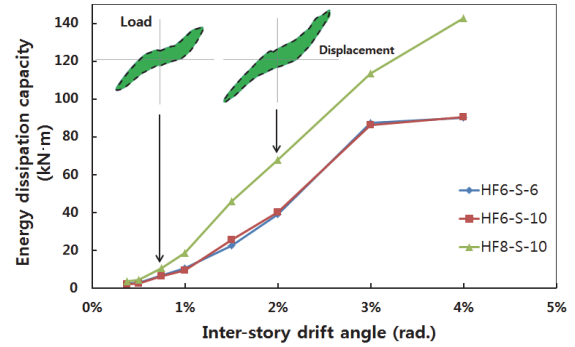


Fig. 14. Energy dissipation capacity for each cyclic load

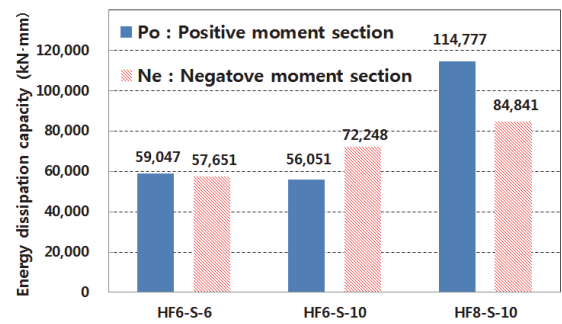


Fig. 15. Total Energy dissipation capacity

4.3 변형능력

변형능력은 각 실험체의 항복하중 시의 변위(δ_y)에 대한 최대하중 시의 변위(δ_u)의 비(δ_u/δ_y)로 정의하였다. Fig. 16과 같이 각 실험체의 경우, 정 휨모멘트가 부 휨모멘트보다 약 1.5배 이상 높은 변형능력을 나타냈다.

이러한 차이는 기존 1차 연구와 상이한 결과이다^[1]. 금회 실험의 경우 Table 9와 같이 정 휨모멘트의 변형능력 및 내력 확보를 위해 브라켓과 하이브리드 합성보의 이음부에 고강력볼트를 추가하였기 때문으로 판단된다. 그러므로 보 휨이

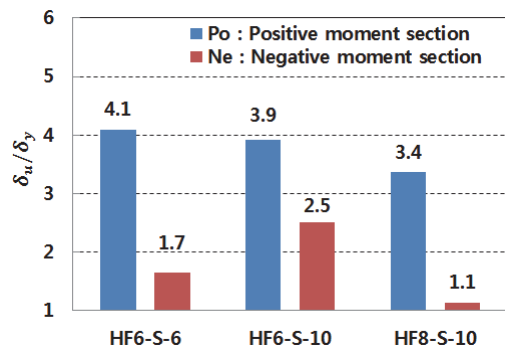


Fig. 16. Displacement capacity : δ_u/δ_y ratio

Table 9. Number of High Strength Bolts

No.	Specimen	Web	Bottom Flange
1	HF6-S-6	22	6
2	HF6-S-10	14	10
3	HF8-S-10	30	8

큰 경우 이음부의 웨브 또는 하부 플랜지 부분의 고장력볼트를 추가하면, 충분히 합성구조의 중간모멘트골조에 필요한 변형능력과 내력을 확보하는 것으로 판단된다.

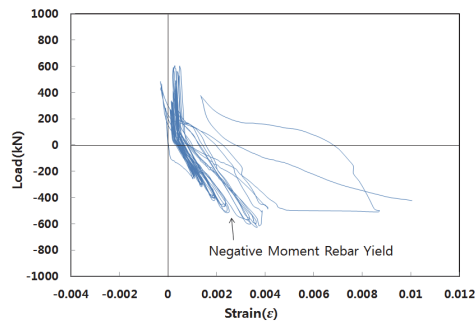
4.4 변형률

Fig. 17은 각 실험체에 부착된 스트레인게이지로 측정된 접합부의 부모멘트 철근과 하이브리드 합성보의 상하부강

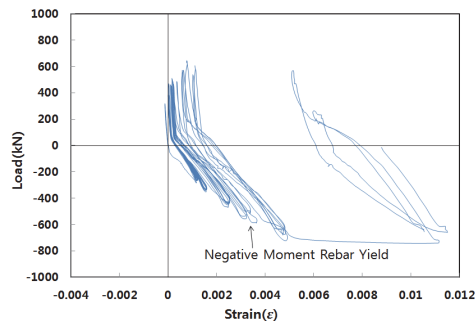
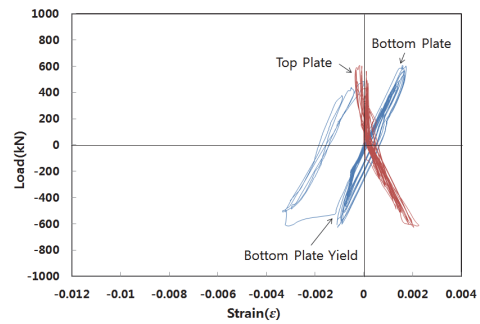
판의 변형률 변화이다.

HF6-S-6의 경우, 부모멘트 철근 부분에서는 0.0046의 변형도가 발생되었을 때 철근의 잔류변형이 크게 증가하여 항복상태에 도달하였으며, 상부플레이트(브라켓부분)는 0.001의 변형도가 발생되었을 때 상부플레이트의 잔류변형이 크게 증가하여 항복상태에 도달하였다. 또한 하이브리드 합성보 하부 c판의 경우 0.0012의 변형도에서 항복상태에 도달하였고 이후 소성변형을 보였다.

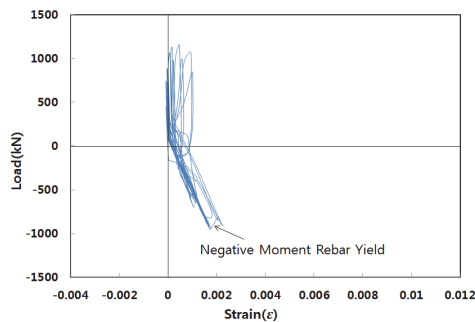
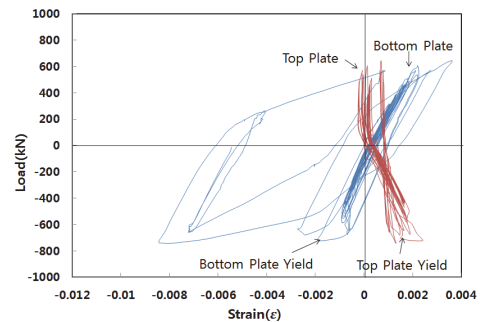
HF6-S-10의 경우, 부모멘트 철근 부분에서는 0.005의 변형도가 발생되었을 때 철근의 잔류변형이 크게 증가하여 항복상태에 도달하였으며, 상부플레이트(브라켓부분)는 0.0015의 변형도가 발생되었을 때 상부플레이트의 잔류변형이 크



(a) HF6-S-6 specimen



(b) HF6-S-10 specimen



(c) HF8-S-10 specimen

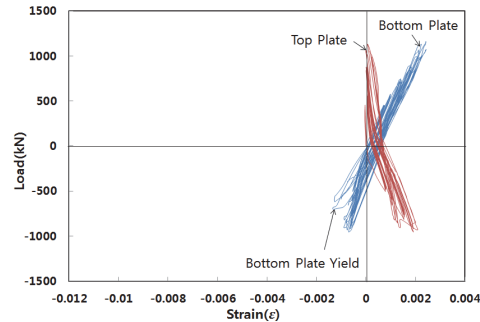


Fig. 17. A change of strain for HyFo beam-SRC column connection

게 증가하여 항복상태에 도달하였다. 또한 하이브리드 합성보 하부 2판의 경우 0.0016의 변형도에서 항복상태에 도달하였고 이후 소성변형을 보였다.

HF8-S-10의 경우, 부모멘트 철근 부분에서는 0.0017의 변형도가 발생되었을 때 철근의 잔류변형이 크게 증가하여 항복상태에 도달하였으며, 상부플레이트(브라켓부분)는 0.0015의 변형도가 발생되었을 때 상부플레이트의 잔류변형이 크게 증가하여 항복상태에 도달하였다. 또한 하이브리드 합성보 하부 2판의 경우 0.009의 변형도에서 항복상태에 도달하였고 이후 소성변형을 보였다.

그러므로 각 실험체의 철근과 하이브리드 보의 항복시점은 계산에 의한 철근($\epsilon_y = 0.0025$)과 보($\epsilon_y = 0.0016$)의 항복시 변형률과 유사하였다. 또한 항복 시 하이브리드 보의 상부와 하부 플레이트의 변형량 및 하중도 대칭관계를 보이고 있어, 항복하중을 기준으로 보면 변형량의 차이는 크지 않은 것으로 확인되었다.

5. 결론

본 연구에서는 춤이 큰 하이브리드 합성보와 SRC기둥 접합부의 접합상세를 제시하고, 실험을 통해 접합부의 내진성능을 평가하였다. 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) HF6-S-6, HF6-S-10, HF8-S-10은 모두 정·부 모멘트에 대한 휨강도가 보 소성모멘트(M_p)의 80%에서 기둥-보 접합부의 회전각이 0.03rad이상 확보되어 합성중간모멘트골조(IMF)에 적합한 내진성능을 확보하는 것으로 나타났다.
- (2) 보 춤이 큰 하이브리드 합성보를 적용하는 경우, 브라켓과 하이브리드 합성보의 이음부(웹브 또는 하부 플랜지)에 고장력볼트를 추가하면 합성구조의 중간모멘트골조에 필요한 변형능력과 내력을 확보 할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 에너지 소산 능력과 강성에 대한 실험결과를 바탕으로 비교 분석한 결과, 부모멘트 철근 개수에 따른 에너지소산능력과 강성의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 보 춤에 따른 에너지소산능력과 강성은 약 1.5배 이상의 차이를 보이고 있어 보 춤의 영향이 큰 것으로 확인되었다.
- (4) 기둥-보 접합부 실험결과를 토대로, 접합부 내진성능

향상을 위해 접합부 이음플레이트의 두께 및 연단거리, 하부 볼트의 수 및 슬래브의 영향 등에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No.NRF-2014R1A2A1A11052803) 및 2016년도 한국기술교육대학교 대학원 연구프로젝트 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌(References)

- [1] 김성배, 강민정, 조성현, 김상섭(2015) 신개념 하이브리드 합성보의 휨성능 및 내진성능에 관한 실험적 연구, 한국방재학회논문집, 한국방재학회, 제15권, 제4호, pp.1-12.
Kim, S.B., Kang, M.J., Cho, S.H., and Kim, S.S. (2015) An Experimental Study on Bending and Seismic Performance of New Concept Hybrid Composite Beam, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol.15, No.4, pp.1-12 (in Korean).
- [2] 김형섭, 이창남, 이승환, 김법렬(2012) 콘크리트 채움 U형 합성보와 선조립기둥의 내진접합부 성능실험, 대한건축학회논문집 - 구조계, 대한건축학회, 제28권, 제4호, pp.55-64.
Kim, H.-S., Lee, C.-N., Lee, S.-H., and Kim, B.-R. (2012) Seismic Performance Test of Concrete-Filled U-Shaped Steel Beam-to-Prefabricated Column Connections, *Journal of Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.28, No.4, pp.55-64 (in Korean).
- [3] 허병욱, 광명근, 배규웅, 정상민(2007) 강판성형 합성보의 휨성능 평가: 춤이 깊은 합성테크, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제19권, 제3호, pp.247-258.
Heo, B.W., Kwak, M.K., Bae, K.W., and Jeong, S.M. (2007) Flexural Capacity of the Profiled Steel Composite Beams: Deep Deck Plate, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.19, No.3, pp.247-258 (in Korean).
- [4] 김성배, 김상섭, 이원록, 김정연, 이승배, 유덕수, 김대회(2012) 신형상 U형 하이브리드 합성보의 휨성능에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제24권, 제5호, pp.521-534.

- Kim, S.B., Kim, S.S., Lee, W.R., Kim, J.Y., Lee, S.B., Ryu, D.S., and Kim, D.H. (2012) Study on the Flexible Strength of U-Shape Hybrid Composite Beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.24, No. 5, pp.521-534 (in Korean).
- [5] 심현주, 장보라, 정진안, 이은택(2010) 원사이드 볼트를 이용한 내진 각형강관 기둥-H형강 보 접합부의 구조성능평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제22권, 제4호, pp.355-363.
Shim, H.J., Jang, B.R., Chung, J.A., and Lee, E.T. (2010) Performance Evaluation of Connection of Seismic Rectangular Steel Tube Column-H Beam Using One-Side Bolts, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.22, No.4, pp.355-363 (in Korean).
- [6] 김성배, 조성현, 오광수, 전용한, 최영한, 김상섭(2016) 춤이 작은 신형상 고성능 하이브리드 합성보의 휨성능 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제28권, 제3호, pp.151-162.
Kim, S.B., Cho, S.H., Oh, K.S., Jeon, Y.H., Choi, Y.H., and Kim, S.S. (2014) Bending Performance Evaluation of Hybrid Composite Beam with Low Depth and New Shape, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.28, No.3, pp.151-162 (in Korean).
- [7] 한국강구조학회(2011) 하중 저항계수 설계법에 의한 강구조설계기준 해설, 구미서관.
KSSC (2011) *Korean Steel Structure Design Code and Commentary: Load and Resistance Factored Design*, Goomiseogwan, Korea (in Korean).
- [8] 김영주, 배재훈, 안태상, 장동운(2014) 합성보에 적용된 앵글 전단연결재의 Push-out 실험, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제26권, 제3호, pp.155-167.
Kim, Y.J., Bae, J.H., Ahn, T.S., and Jang, D.W. (2014) Push-out Test on Welded Angle Shear Connectors Used in Composite Beams, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.3, pp.155-167 (in Korean).
- [9] Viest, I.M., Colaco, J.P., Furlong, R.W., Griffis, L.G., Leon, R.T., and Wyllie, L.A., Jr. (1996) *Composite Construction: Design for Buildings*, McGraw-Hill, USA.
- [10] Salmon, C.G., Johnson, J.E., and Malhas, F.A. (2008) *Steel Structures: Design and Behavior* (5th Ed.), Prentice Hall, USA.
- [11] 대한건축학회(2009) 건축구조기준 및 해설, 기문당.
Architectural Institute of Korea (2009) *Korea Building Code and Commentary*, Kimoonang, Korea (in Korean).
- [12] 鋼材俱樂部, 建設省建築研究所(1994) 鋼構造物の耐震保有性能評価のための標準試験方法と評価基準の提案(標準化研究会研究報告書), 鋼材俱樂部/建設省建築研究所, 日本.
Building Research Institute, and Kozai Club (1994) *A Valuation Basis Proposal of Standard Test Method for a Seismic Capacity Evaluation Performance of Steel Structure*, BRI/Kozai Club, Japan (in Japanese).
- [13] SAC Joint Venture (2000) *Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings* (FEMA-350), Federal Emergency Management Agency, USA.

요 약 : 본 연구는 춤이 큰 하이브리드 합성보의 1차 휨 성능 평가 후, 2차 연구로써 춤이 큰 하이브리드 합성보와 기둥 접합부의 내진성능 평가 실험이다. 실험 변수는 보 춤, 부모멘트 철근 수, 브라켓과 보 이음부의 볼트 수 등으로 3개의 실험체를 제작하였다. 접합부 상세는 기둥에 브라켓을 접합 후, 브라켓에 하이브리드 보를 이음하였다. 브라켓과 보 이음은 하부와 웨브는 볼트접합, 상부는 용접접합하였다. 실험 결과 내력은 정·부모멘트 모두 소성모멘트(M_p) 이상을 확보하였으며, 변형능력은 3% 이상의 층간변위각을 확보하여 합성중간모멘트골조의 요구조건을 만족하는 것으로 나타났다. 그러므로 춤이 큰 하이브리드 합성보에 철골철근콘크리트 기둥을 적용하는 경우 본 연구결과의 접합부상세를 적용하면, 중간모멘트골조의 내진성능을 확보할 수 있다고 판단된다.

핵심용어 : 하이브리드 합성보(HyFo Composite Beam), 내진성능평가, 층간변위각, 접합부 상세
