

## 철근콘크리트 기둥 및 철골보로 구성된 복합구조의 접합부 거동에 관한 실험적 연구

최근도<sup>1)</sup> · 유영찬<sup>1)\*</sup> · 이리형<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>한국건설기술연구원 <sup>2)</sup>한양대학교 건축공학과

(2002년 12월 2일 원고접수, 2003년 3월 10일 심사완료)

### Experimental Study on the Behavior of Hybrid Beam-Column Joints Consisted of Reinforced Concrete Column and Steel Beam

Keun-Do Choi<sup>1)</sup>, Young-Chan You<sup>1)</sup>, and Li-Hyung Lee<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Korea Institute of Construction Technology, 411-712, Korea

<sup>2)</sup> Dept. of Architectural Engineering Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

(Received December 2, 2002, Accepted March 10, 2003)

#### ABSTRACT

This paper presents the test results of RCS(Reinforced Concrete Steel) beam-column joint with various types of transverse reinforcements such as small-column-type transverse reinforcements, four-piece  $\Gamma$ -shape assembled hoops and four-piece  $\Gamma$ -shape welded hoops. Five interior beam-column joint specimens were tested to examine the seismic performance and the shear strengths. From the test results, it was found that all the specimens sustained their strength at large levels of story drift( $\theta=0.035$ ) without significant loss of strength and stiffness. Therefore it was concluded that the seismic performance and shear strength of the proposed RCS joint are at least the same as those of the specimen with conventional reinforcing details. Also, the contribution of the outer panel to the shear strength of the joint should be evaluated by the compression strut mechanism rather than compression field mechanism.

**Keyword :** seismic performance, RCS(Reinforced Concrete Steel), moment resisting frame, small-column type transverse reinforcement, compression strut mechanism

#### 1. 서 론

일반적으로 기존의 건축물은 그 용도와 목적에 따라 철근콘크리트 구조 또는 철골구조의 단일 구조형식을 사용하여 건설되어 왔다. 그러나 건설기술의 발전과 건축물의 고기능화 및 고품질화의 요구에 따라 최근에는 철골구조와 철근콘크리트 구조의 장점을 각각 살린 복합구조가 다양한 형태로 개발되고 있다. 이러한 복합구조의 하나로 철근콘크리트와 철골을 혼합한 RCS (Reinforced Concrete Steel) 구조의 개발이 활발히 이루어지고 있다. RCS 구조란 기둥에는 압축력 및 횡강성 측면에서 유리한 철근콘크리트 구조를, 보에는 장스팬화 및 경량화에 유리한 철골을 사용하여 구성된 복합 구조시스템이다<sup>2)</sup>.

그러나 RCS 구조는 철골과 철근콘크리트라는 이질 구조재료로 구성되어 있으므로 이들 구조재료간의 응력전달

이 발생하는 접합부의 구조성능이 전체 구조물의 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 효율적인 RCS 구조의 개발과 적용을 위해서는 이들 구조부재가 접합되는 접합부의 응력전달기구의 특성과 구조적 성능에 대한 파악이 필요하다<sup>3)</sup>.

RCS 구조에 대한 대부분의 기존연구에서는 현행의 철근콘크리트 및 철골구조의 설계방법을 사용하여 RCS 구조의 응력전달기구를 파악하고 접합부의 내력을 평가하는 방향으로 진행되어 왔다. 이와 같은 최근의 연구결과를 바탕으로 미국 및 일본에서는 RCS 구조에 관한 다양한 접합부 상세에 대하여 설계식을 제안하는 단계에까지 이르렀다<sup>4)</sup>. 그러나 많은 기존연구에도 불구하고 RCS 접합부의 설계는 철근콘크리트 접합부에 대한 설계방법을 그대로 사용하고 있는 실정이다. 이에 대하여 최근의 연구결과에 의하면 RCS 접합부에 발생하는 응력전달 메커니즘은 기존에 제시된 설계방법과 다소 상이한 거동을 보이

\* Corresponding author

Tel : 031-910-0364 Fax : 031-910-0361

E-mail : ycyou@kict.re.kr

는 것으로 보고되고 있으며 이에 대한 명확한 파악도 미흡한 실정이다<sup>5)</sup>.

한편, RCS 구조에서는 직교하는 철골보에 의해 접합부 콘크리트가 4분되므로 기존의 RC 기둥과 같이 폐쇄형의 횡보강근을 사용할 수 없다. 이에 따라 기존공법에서는 Fig. 1(b)에서와 같이 보 웨브에 구멍을 성형하고 7 자형의 4조각 횡보강근을 각각 4 방향에서 조합하여 사용한다<sup>6)</sup>. 그러나 이러한 배근방법은 현장 시공이 매우 어려우며, 약간의 시공오차가 발생될 경우에도 반복적인 위치 조정 작업 및 심지어 철골 보 웨브의 구멍을 추가적으로 확장해야 하는 문제점이 추가로 발생한다.

따라서 본 연구에서는 RCS 구조의 가장 큰 문제점으로 지적되고 있는 횡보강근의 시공성 개선과 효율적인 RCS 복합화 골조 구조시스템의 실현을 위해서 Fig. 1(a) 및 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 접합부 판넬존에서 가로보에 의해 분할되는 4모서리의 기둥철근을 자주(子柱; small column)의 기둥철근으로 고려하여 각각 폐쇄형의 횡보강근으로 보강한 RCS 복합화 공법을 제안하고, 이에 대한 실험적 연구를 통하여 RCS 접합부의 횡보강근 상세에 따른 구조적 특성을 평가하고자 한다.

## 2. 실험개요

### 2.1 실험체 계획

콘크리트의 압축강도 시험용 공시체는 직경 10 cm, 높이 20 cm의 실린더형으로 제작한다. 철근의 재질은 SD40으로 3개의 HD25를 각 모서리에 배치한다. 보 부재로 사용된 H형강은 SS400으로 H-350×175×7×11을 사용한다. 접합부의 보강철물로 사용한 FBP, E-FBP 및 stiffener 등은 SS400을 사용한다. 실험체 제작에 사용된 재료시험 결과는 Table 1과 같다.

실험체는 Table 2에 나타낸 바와 같이 총 5개로, 2/3의 축척에 따라 내부접합부 형태로 제작하였다. 실험체의 종류는 접합부의 내진성능을 파악하기 위한 실험체(B-계열)와 접합부의 횡보강근 상세별 전단성능을 평가하기 위한 실험체(J-계열)로 구성된다. 또한 제안된 자주식(子柱式) 횡보강근 공법의 구조적 성능을 객관적으로 비교하기 위하여 기존공법에 의한 실험체를 동시에 제작하여 상호 비교·평가하였다. 실험체의 형상은 Fig. 3과 같다.

### 2.2 실험

RCS 접합부의 성능평가를 위한 실험에서는 접합부의

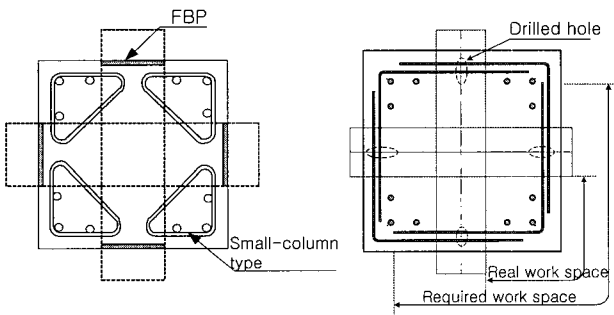


Fig. 1 Details of transverse reinforcement

Table 1 Material properties of specimen

Specimen	Concrete (kgf/cm <sup>2</sup> )	Steel bar (kgf/cm <sup>2</sup> )	H-beam (kgf/cm <sup>2</sup> )
JL1-1	293.9		Web : f <sub>y</sub> =3071.0
JS-1	282.2	HD10 : f <sub>y</sub> =4067.0	Flange : f <sub>y</sub> =2922.0
JS-2	267.8	HD13 : f <sub>y</sub> =4069.0	FBP, E-FBP
BL1-1	303.3	HD25 : f <sub>y</sub> =3879.0	: f <sub>y</sub> =2583.0
BS	324.9		Stiffner : f <sub>y</sub> =2583.0

Table 2 Details of specimen

Specimen	Details of joint		f <sub>ck</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	Note
	Type of transverse reinforcement	Failure mode		
JL1-1	Small-column type	Joint shear	270	• Steel beam : H-350×175×7×11
JS-1	Conventional (4-piece assembled)	Joint shear	270	
JS-2	Conventional (4-piece welded)	Joint shear	270	• Column : 480×480
BL1-1	Small-column type	Beam flexure	270	
BS	Conventional (4-piece assembled)	Beam flexure	270	• FBP+ E-FBP

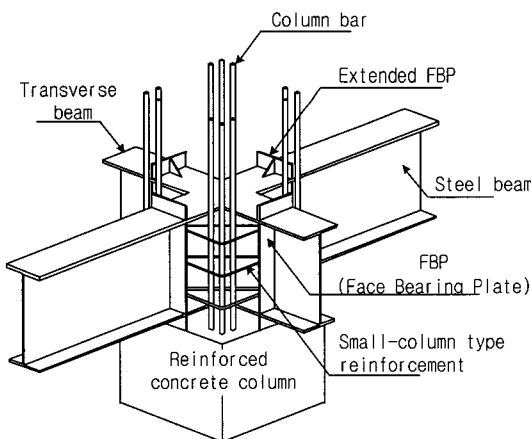


Fig. 2 Small-column type RCS joint detail

내력에 안정적인 효과를 미치는 축력의 효과를 배제하기 위하여 축력은 가력하지 않고 실시한다. 실험체의 설치 상세를 나타내면 Fig. 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 기둥 양 단부는 회전이 가능한 힌지를 부착하고 반력상(reaction floor)으로부터 약 60cm 정도 띄워서 수평으로 세워 설치한다. 또한 보에 도입되는 반복하중으로 인한 기둥부재의 상·하 및 좌·우 방향의 이동을 방지하기 위하여 4개의 강재블록을 각각 기둥 상·하부와 측면에 배치한 후, 기둥 단부에 고정되어 있는 힌지와 블록 사이에 100 tonf 용량의 screw jack을 설치하여 실험체 상·하 힌지부를 구속한다. RCS 접합부에 대한 반복하중은 반력벽(strong wall)에 부착된 100tonf 용량의 엑츄에이터를 이용하여 철골보의 단부를 통하여 도입하며, 접합부에 최대전단력을 유도하기 위하여 역대칭 모멘트가 작용하도록 하였다. 본 실험에 사용된 변위이력(displacement history)은 NEHRP의 권고사항에서 제안된 변위각 이력에 따라 실시하였으며<sup>7)</sup>, 본 실험 이전에 변위  $\pm 3$ mm로 한 차례 재하하여 가력장치의 유격으로 인한 측정오차를 최소화한다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 균열양상 및 파괴모드

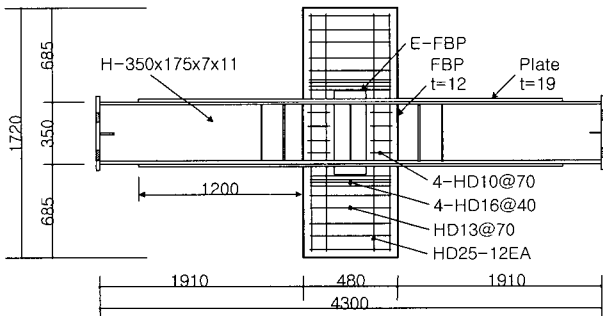


Fig. 3 Details of specimen

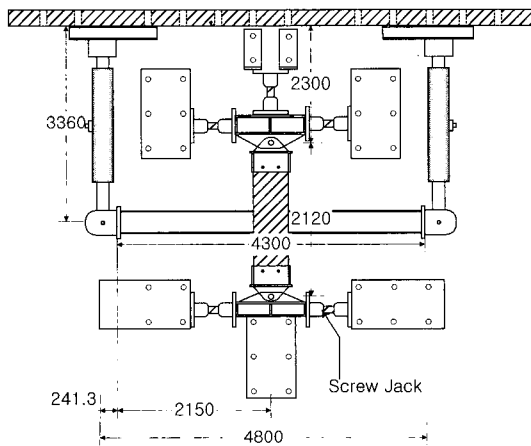


Fig. 4 Test set-up

#### 3.1.1 내진성능형 실험체

자주식 횡보강근을 사용한 BL1-1 실험체의 초기균열은 변위각 0.0035(변위, 8.4 mm)에서 접합부 플랜지 위치의 기둥 상·하부에 수평 휨균열이 발생하였고, 변위이력이 증가됨에 따라 변위각 0.0075(18 mm)에서 접합부내 초기 전단균열이 발생하였으며, 이때의 하중은 7.7~7.8 tonf 정도의 값을 나타내었다. 인장플랜지의 항복은 변위각 0.01(24 mm)에서 약 9~10 tonf의 하중을 유지하면서 발생되었으며, 이후 계속되는 변위이력에 따라 휨균열 및 전단균열이 증가되었으나 접합부의 내력저하는 발견되지 않았으며 최대 균열폭도 0.2 mm 이내를 유지하였다. 그러나 변위각 0.05(120 mm) 이후에서 압축 플랜지의 국부좌굴이 발생되면서 내력이 서서히 저하되었다. 이때의 하중은 15 tonf 정도로 접합부 콘크리트의 큰 손상없이 철골 보의 소성좌굴에 의해 실험이 종료되었다.

BS 실험체는 접합부의 횡보강근 상세를 4조각 조합형으로 제작된 것으로 초기의 변위이력은 BL1-1 실험체와 유사한 이력거동을 나타내었다. 그러나 변위각 0.035 (8.4 mm)에 이르러서는 14~15 tonf의 하중을 유지하면서 접합부의 전단균열이 급격히 증가되기 시작하였고 균열폭도 약 0.3~0.5 mm 정도로 BL1-1 실험체에 비해 다소 증가되었다. BS 실험체의 최종파괴 역시 BL1-1 실험체와 동일하게 강재 보의 소성좌굴에 의해 실험이 종료되었다.

#### 3.1.2 전단성능형 실험체

전단성능형 실험체의 전반적인 거동은 접합부의 횡보강근 상세에 따라서 균열양상이 다소 다르게 나타났지만 기본적으로는 기둥의 수평 휨균열 및 접합부의 전단균열, 강재보와 콘크리트가 만나는 부분의 지압균열 및 기둥 피복 콘크리트의 탈락 등의 순서로 발생되었으며, 접합부 사인장 균열에 의한 전단파괴가 지배적으로 나타났다. 이와 같은 전단파괴형 실험체의 파괴 진행상황은 다음과 같다. 즉, 접합부의 초기 수평 휨균열은 변위각 0.0035(변위, 8.4 mm)에서 코너부 기둥 플랜지 위치에서 발생되었으며, 이후 변위각이 증가함에 따라 수평균열의 발생과 진전이 반복되었고, 변위각 0.0075(18.0 mm)에서 가로보의 E-FBP 주위에서 초기 전단균열이 발생되었다. 이때의 하중은 10~12 tonf 정도로, 접합부의 횡보강근 상세와는 관계없이 거의 유사한 값을 나타내었다.

이후 변위각의 증가에 따라 변위각 0.015~0.0175(33.6~42.0 mm)에서 보 플랜지 상부 E-FBP와 콘크리트 접합면에서 지압부 들뜸이 일부 관측되었다. 변위각 0.028~0.035에서 전단균열과 기둥 주근의 복합작용에 의해 기둥주근을 따라 수직균열이 일부 발생되었다. 이후 변위이력의 증가에 따라 접합부의 전단균열이 진전·확장되면서 기둥 코너부의 피복 콘크리트가 탈락되었고 하중이 서서히 감소되어 최종파괴에 도달하였다. 본 연구의 주요 실험체별 최종파괴상황은 Fig. 5와 같다.

### 3.2 하중-이력거동

RCS 접합부의 내진성능 평가를 위한 실험체들의 하중-변위각 곡선을 나타내면 Fig. 6과 같다. 그림에서 수직방향으로 표기한 점선은 0.035의 한계변위각을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 BL1-1 및 BS 실험체 모두 실험의 초기단계에서부터 종료시까지 유사한 이력거동을 나타내고 있다. 즉, NEHRP 권고사항에서 한계변형각으로 설정하고 있는 0.035의 변위각까지 접합부에서의 내력저하는 발생되지 않았으며, 최대하중은 약 14~15 tonf 정도로 철

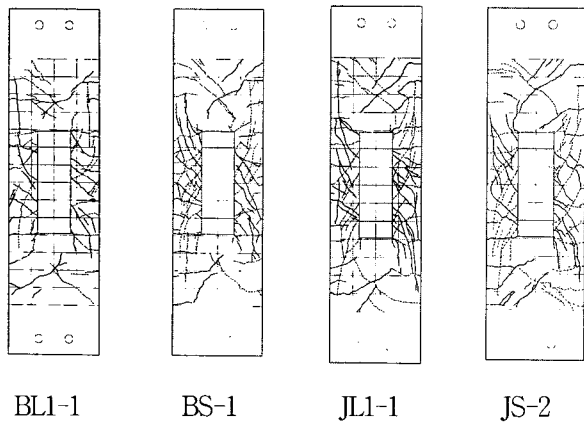
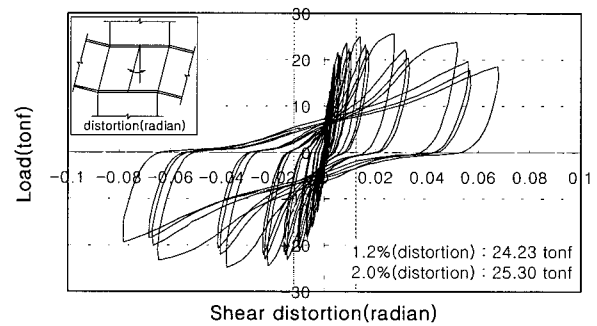
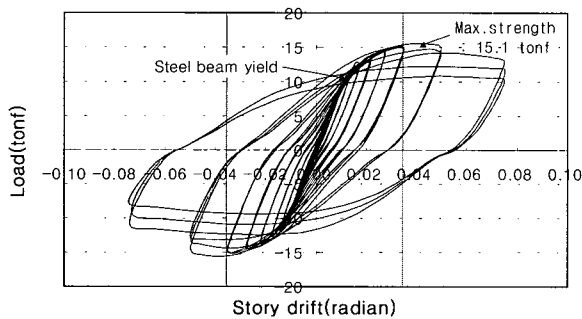


Fig. 5 Crack pattern at failure stage

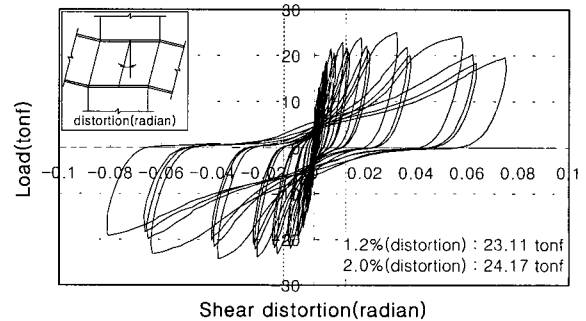
골보의 전소성 휨내력인 11.3 tonf를 초과하여 강재의 변형경화 영역까지 이른 것으로 판단된다. 이와 같은 실험 결과를 종합하면 자주식(子柱式) 횡보강근을 사용한 BL1-1 실험체의 하중-변위각 곡선은 전형적인 보-휨과괴형 접합부 거동을 나타내는 것으로, 구조적으로 매우 안정적임을 알 수 있었다. 또한, RCS 접합부의 전단강도 평가를 위하여 제작된 자주식 횡보강근을 이용한 실험체와 기존공법에 의한 실험체의 하중-전단회전각 곡선을 나타내면 Fig. 7과 같다. 그림에서 보는 바와 같이, 모든 실험체의 하중-이력거동은 보-기둥 접합부의 횡보강근 배근방법에 관계없이 실험초기에서부터 실험종료시까지 거의 동일한 양상을 나타내고 있다.



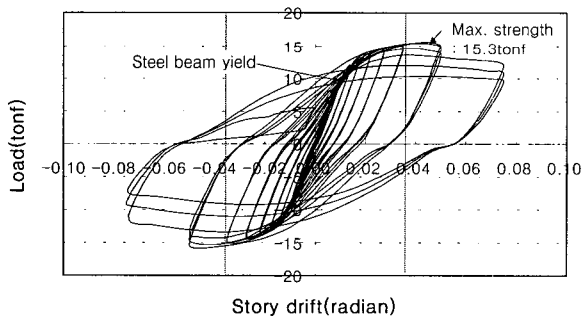
(a) JL1-1 (small-column type)



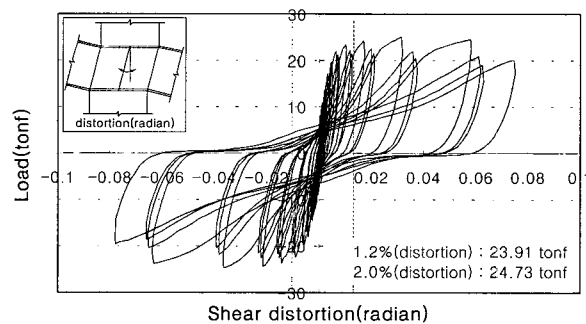
(a) BL1-1 (small-column type)



(b) JS-1 (conventional type : 4-piece assembled)



(b) BS (conventional type : 4 piece composed)



(c) JS-2 (conventional type : 4-piece welded)

Fig. 6 Load-story drift curve of specimens

Fig. 7 Load-shear distortion curve of specimens

그림에서 수직방향으로 표기한 점선은 0.012의 전단회전 각도로 이때의 전단내력을 공칭 전단강도로 평가하면<sup>2)</sup>, JL1-1, JS-1 및 JS-2 실험체는 각각 24.5 tonf, 23.1 tonf 및 23.9 tonf으로, 본 연구에서 제안한 JL1-1 실험체가 기존공법 실험체에 비하여 약간 높은 전단강도값을 나타내었다. 따라서 자주식(子柱式) 횡보강근 배근방법은 기존의 4조각 조합형 및 용접형과 비교하여 동등 이상의 전단강도를 지니고 있는 것으로 판단된다.

### 3.3 접합부의 구조성능 평가

#### 3.3.1 접합부의 전단강도

본 연구의 실험체에 대한 기존 설계식의 적용 가능성을 평가하기 위하여 ASCE 식 및 수정 일본 SRC(M-AIJ)식을 사용하여 접합부의 전단강도를 계산하였으며, 그 결과를 나타내면 Table 3과 같다. 여기서, 내력식에 의한 전단강도값은 보의 전단력으로 환산한 값이다. ASCE 제안식은 아래식 (1)과 같이 내부판넬을 구성하는 철골웹( $V_s$ ) 및 내부콘크리트( $V_{ic}$ )와 외부판넬( $V_o$ )의 공칭전단강도값을 누계하여 산정하며, 각각의 전단저항요소에 대한 전단강도의 산정방법은 식(2), (3) 및 (4)와 같다.

$$V_{total} = V_s + V_{ic} + V_o \quad (1)$$

$$\text{여기서, } V_s = 0.6f_{yw}t_w h \quad (2)$$

$$V_{ic} = 5.43\sqrt{f_{ck}b_p}h \quad (3)$$

$$V_o = V_{oc} + V_{sh} \quad (4)$$

$$V_{oc} = 1.28\sqrt{f_{ck}b_o}h \quad (5)$$

$$V_{sh} = A_{sh}f_{ys} \frac{0.9h}{s_h} \quad (6)$$

ASCE 제안식에서 철골웹의 전단강도는 식(2)에서와 같이 웹의 전단항복강도를 전단저항범위에 곱하여 산정한다. 여기서, 철골웹의 유효범위는 접합부의 지압강도와 전단강도의 평형을 고려하여 산정하기 때문에 실험체 별로 다소 차이가 발생하게 된다. 이에 따라, Table 3에

보인 바와 같이 전단으로 파괴된 JL1-1, JS-1 및 JS-2 실험체에서 ASCE 식에 의한 철골웹의 전단강도값은 4.8~5.1 tonf 로 실험체에 따라 다소 차이를 나타내고 있다. 한편, 내부콘크리트의 전단강도는 식(3)에서와 같이 철근콘크리트 보-기둥 접합부와 동일한 전단강도값을 사용하여 산정한다. 이상과 같이 내부판넬의 전단강도는 Table 3의 철골웹과 내부콘크리트의 합에 의해 10.0~10.4 tonf 정도인 것을 알 수 있다. 이는 실험에서 나타난 전단파괴형 실험체의 전단강도값, 23.1~24.5 tonf의 43% 정도이며, 철골웹의 변형경화(철골웹의 전단강도×1.2)를 고려하는 경우 내부판넬의 전단강도는 실험값의 50%로 나타났다. 또한 ASCE 식에서 안전측으로 고려하는 가로보에 의한 전단기여도는 접합부의 전단강도에 있어 약 15% 이상 증가되는 것으로 보고되고 있다<sup>5)</sup>. 따라서 실험값에서 내부판넬과 가로보의 전단기여분을 각각 50% 및 15%로 고려하여 외부판넬의 전단기여분을 산정하면 JL1-1 실험체는 8.5 tonf 이며 JS-1 및 JS-2 실험체는 각각 8.0 tonf, 8.3 tonf 정도임을 알 수 있다.

이상에서 분석한 바와 같이, 자주식 횡보강근을 사용한 JL1-1 실험체 및 기존의 횡보강근 상세를 사용한 JS-1, JS-2 실험체 모두 ASCE 식 및 수정 일본 SRC 식에 의한 전단강도 예측치를 상회하는 실험결과값을 보여주고 있다. 더욱이 자주식 횡보강근을 사용한 JL1-1 실험체의 전단강도는 24.5 tonf로 ASCE 식에 의한 예측치, 12.2 tonf 보다 2배 정도 높은 실험값을 나타내었다. 이와 같은 결과는 본 공법에 사용되는 자주식(子柱式) 횡보강근의 전단기여도가 ASCE 식에서는 반영되지 않았기 때문이라 사료된다. 따라서 자주식 횡보강근의 전단기여도를 설계에 충분히 반영하기 위해서는 외부판넬의 전단저항기구에 대한 검토가 필요할 것으로 판단되며, 본 연구에서는 압축스트리트에 의한 전단저항 메커니즘을 검토하였다.

즉, 기존연구에서 제시된 외부판넬의 전단저항기구는 Fig 8(a)에 보인 바와 같이 E-FBP에 의한 외부판넬의 압축장 형성으로 전단에 저항하는 것으로 가정하고, 외부판넬의 전단강도는 각각 식(5)와 (6)과 같이 외부콘크리트와

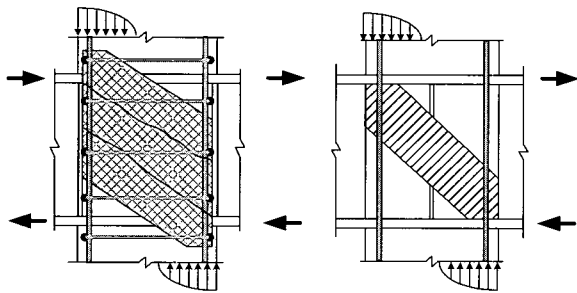
Table 3 Comparisons of the observed shear strength with the calculated shear strength

Specimen	Observed (tonf)	Failure mode	Bearing strength (tonf)	ASCE(tonf)					M-AIJ (tonf)	Observed/calculated	
				Steel <sup>1)</sup> web	Inner <sup>2)</sup> conc.	Outer <sup>3)</sup>		$V_{total}$ (1+2+3)		Observed/ASCE	Observed/M-AIJ
						Concrete	Hoop				
JL1-1	24.5	Joint shear	20.4	5.1	5.3	1.8	0.0	12.3	10.8	2.01	2.27
JS-1	23.1	Joint shear	20.4	4.8	5.2	1.8	3.4	15.2	11.5	1.52	2.01
JS-2	23.9	Joint shear	20.4	4.8	5.2	1.8	3.4	15.2	11.5	1.57	2.08
BL1-1	15.1	Beam plastic buckling	20.0	4.8	5.1	1.6	0	11.5	10.1	-	-
BS	15.3	Beam plastic buckling	20.0	4.5	5.1	1.6	3.0	14.2	10.7	-	-

횡보강근의 전단강도를 누계하는 방법을 사용하고 있다. 그러나, 본 연구에서 검토한 자주식 횡보강근은 가로보에 의해 4분할된 코너부에 불연속적으로 배근되므로 압축장에 의한 전단저항은 발생되지 않으나, 외부콘크리트에서의 전단저항 능력은 기존방식에 의한 배근상세와 거의 동일한 것으로 실험을 통하여 입증되었다. 따라서 외부판넬의 전단저항 메커니즘은 Fig. 8(b)에 나타난 바와 같이 접합부의 전체 대각방향으로 형성되는 단일 압축스트러트와 이를 구속하는 횡보강근의 효과로 설명하는 것이 보다 적절할 것으로 판단된다.

### 3.3.2 에너지 소산면적

RCS구조와 같은 복합구조에서는 이질 구조재료가 교차되는 보-기둥 접합부의 콘크리트에 응력이 집중되어 과도한 지압변형 및 전단변형이 발생될 수 있다. 이와 같은 응력집중 현상은 하중 반전 후의 쪼그라짐(퀵칭) 현상의 원인이 되어 에너지 소산능력이 감소되므로 전체 구조물의 연성거동에 장애요인으로 등장한다. 따라서 본 연구에서는 각 실험체의 하중단계별 소산 에너지를 평가하여 에너지 소산능력의 확보여부를 검토하였다. 각 실험체의 하중단계별 소산 에너지의 누적치를 비교하여 나타내면 Fig. 9와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 각 실험체의 누적에너지 소산면적은 전단성능 실험체의 경우, 자주식(子柱式) 횡보강근을 적용한 JL1-1 실험체는 약 2871.8 tonf·cm, 기존 배근상세를 적용한 실험체인 JS-1 및 JS-2 실험체



(a) Compression field (b) Compression strut  
Fig. 8 Shear mechanism of outer panel in RCS joint

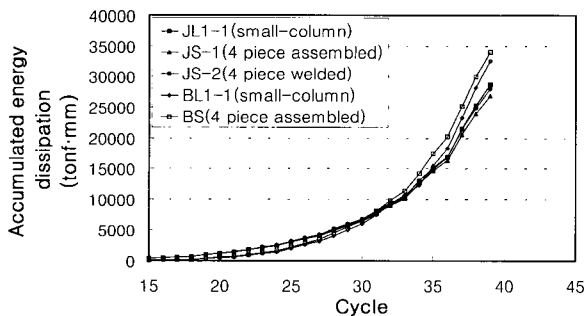


Fig. 9 Comparisons of energy dissipation

는 각각 2691.9 tonf·cm 및 2799.4 tonf·cm 로 나타나, JL1-1 실험체의 에너지 소산능력이 가장 높게 나타났다. 또한 내진성능 실험에서도 자주식(子柱式) 횡보강근을 적용한 실험체는 기존공법 실험체와 유사한 에너지 소산면적을 나타내었다. 따라서 에너지 소산능력 측면에서도 자주식(子柱式) 횡보강근을 사용한 RCS 구조시스템이 기존 시스템과 비교하여 동등 이상의 성능을 지니는 것으로 판단된다.

### 3.3.3 강성의 평가

RCS구조의 접합부 일체성을 평가하기 위하여 실험결과와 이력곡선에 대한 포락선(envelop)을 대상으로 접합부의 실험강성을 평가하고 이를 탄성강성과 비교하였다. 실험체의 탄성강성은 식(7)에 따라 계산하였다. 탄성강성의 기준은 철골보의 항복강도인 10 tonf 으로 하고, 이에 대응하는 실험강성과 비교하였다. 또한 강성비는 실험강성에 대한 탄성강성의 비로 평가하였다<sup>8)</sup>.

$$\delta_b = \frac{PL_1^3}{3E_b I_b} + \frac{PL_1^2 L_2}{3E_c I_c} \quad (7)$$

여기서,  $L_1$  = 보스팬/2

$L_2$  = 기둥길이/2

$E_b$  = 강재 탄성계수 ( $=2.1 \times 10^6$  kgf/cm<sup>2</sup>)

$E_c$  = 콘크리트 탄성계수 ( $=15,000 \sqrt{f_{ck}}$ )

$I_b$  = 강재보 단면 2차 모멘트

$I_c$  = 기둥 단면 2차 모멘트( $0.7I_g$ )

자주식(子柱式) 횡보강근을 사용한 실험체와 기존형 실험체의 강성을 비교하여 나타내면 Fig. 10 및 Table 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 전단성능형 실험체 JL1-1, JS-1, JS-2의 초기강성은 내진성능형 실험체에 비하여 상당히 높은 것을 알 수 있다. 이는 전단성능형 실험체의 경우 접합부의 전단파괴가 철골보의 휨파괴 보다 선행되도록 하기 위하여 철골보 플랜지를 보강함에 따라 동일하중에 대해 보의 처짐이 작게 발생되었기 때문으로 판단된다.

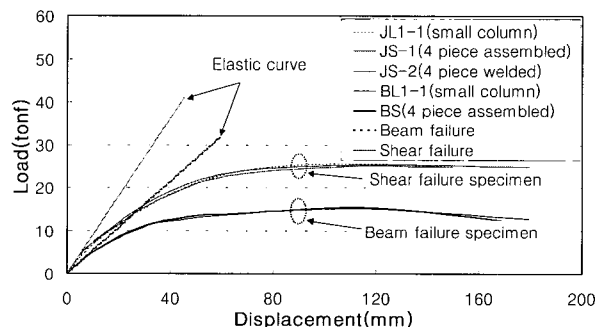


Fig. 10 Comparisons of joint stiffness

Table 4 Comparisons of initial stiffness

Specimen	Elastic stiffness			Observed stiffness			Stiffness ratio (%)
	Yield strength (tonf)	Yield displacement (mm)	Stiffness (tonf/mm)	Yield strength (tonf)	Yield displacement (mm)	Stiffness (tonf/mm)	
JL1-1	10.0	13.5	0.97	10.0	16.73	0.60	61.8
JS-1	10.0	13.5	0.97	10.0	16.16	0.62	63.8
JS-2	10.0	13.5	0.97	10.0	15.69	0.63	65.7
BL1-1	10.0	18.0	0.556	10.0	25.71	0.38	68.7
BS	10.0	18.0	0.556	10.0	24.57	0.41	73.0

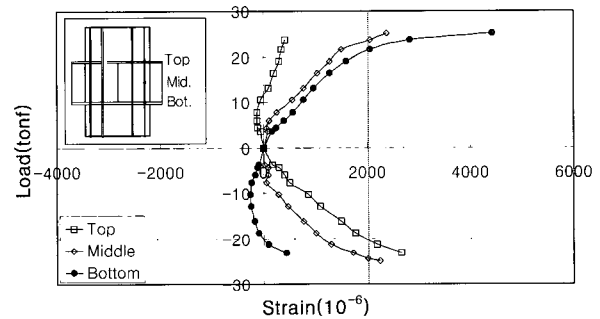
자주식 횡보강근이 배근된 JL1-1과 기존형 실험체 JS-1, JS-2의 하중-변위 포락선을 비교해 보면, 실험의 초기단계에서부터 종료시까지 강도 및 강성에 있어 거의 유사한 거동을 나타내고 있으며, 탄성강성에 대한 실험강성비도 JL1-1, JS-1, JS-2 실험체가 각각 61.8, 63.8, 65.7%를 나타냄으로써 거의 유사한 값을 나타내고 있다. 또한 내진 성능형 실험체의 탄성강성에 대한 실험강성비도 BL1-1 및 BS 실험체가 각각 69%, 73%를 나타내어 접합부의 일체성 확보가 거의 동일한 것으로 나타났다. 따라서 강성비에 대한 평가 측면에서도 자주식(子柱式) 횡보강근을 사용한 RCS 구조시스템은 기존시스템과 비교하여 거의 동등한 성능을 지니는 것으로 판단된다.

3.3.4 기둥주근의 부착응력

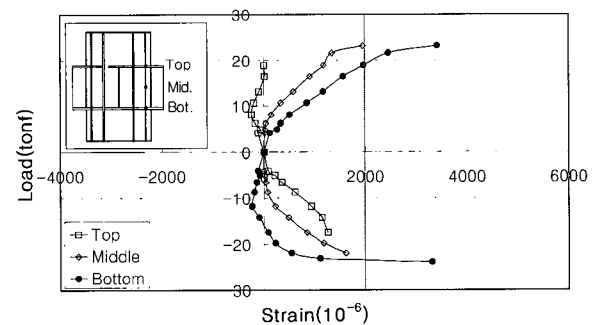
기둥주근의 부착력 상실로 인한 파괴는 RCS 보-기둥 접합부의 파괴모드 중의 하나로서, 기둥부재가 충분한 휨내력을 발휘하기 이전에 기둥주근과 콘크리트와의 부착력이 상실되어 하중-변위곡선이 접합부의 지압파괴형상과 동일하게 편칭현상을 나타내는 바람직하지 않은 파괴양상을 초래하게 된다<sup>4)</sup>. 본 연구에서 측정된 접합부 판넬존내에서의 기둥주근 변형도의 분포를 나타내면 Fig. 11과 같다. 기둥 주근의 변형도는 철골보 플랜지 위치의 상·하부와 접합부 중간 부위에서 각각 측정하였다.

그림에서 보는 바와 같이 두 개의 실험체 모두 각각의 위치별 변형도에 있어 거의 동일한 형상을 나타내고 있으며, 20 tonf 정도의 하중에서 거의 동일하게 항복변형도에 이르는 것으로 나타났다. 또한 접합부 콘크리트의 평균부착응력에 있어서도 Fig. 12에 보인 바와 같이 전단성능형 실험체 JL1-1 및 JS-1는 내진성능형 실험체 BS-1 보다 높은 부착응력도를 나타내면서 2개 실험체 모두 유사한 부착응력도 변화를 나타내어 횡보강근의 상세에 의한 부착응력의 차이는 크지 않은 것으로 판단된다. 아울러 기존의 연구에서는 접합부 구간내의 부착력 상실 여부를 하중-변형률 곡선에서 변형도가 (+)측으로 급격한 이동이 발생하였을 때 부착력의 상실이 발생된 것으로 간주하고 있다<sup>9)</sup>. 따라서 이를 JL1-1 및 JS-1 실험체의 결과와 비교

해 보면, 2개의 실험체 모두 부착성능은 양호한 것으로 나타나 횡보강근 상세와는 상관이 없는 것으로 나타났다.



(a) JL1-1 (small-column type)



(b) JS-1 (4-piece assembled)

Fig. 11 Strain of column bar

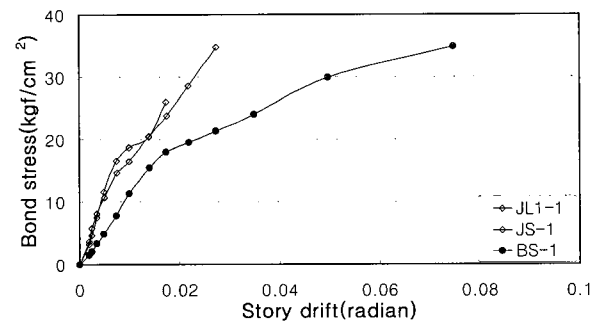


Fig. 12 Average bond strength of column bar

#### 4. 결 론

본 연구에서는 RCS 복합구조에서 접합부의 횡보강근 배근방법을 개선한 자주식(子柱式) 횡보강근 배근방법을 제시하고, 제안된 공법과 이와 대응되는 기존의 보웨이브 관통형 실험체를 계획하여 접합부의 전단성능 평가를 위한 실험을 실시하였다. 본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 자주식(子柱式) 횡보강근을 이용한 RCS 접합부의 전단강도 및 내진성능은 기존의 4조각 용접형 RCS 구조와 동등하며, 4조각 조합형 RCS 구조보다 우수한 것으로 나타났다. 따라서 제안된 RCS 복합구조시스템은 시공성 뿐만 아니라 구조적 성능도 우수한 합리적인 구조시스템이라 판단된다.
- 2) 접합부에 대한 강성평가 결과, 자주식(子柱式) 횡보강근을 사용한 RCS 접합부는 기존공법과 유사한 강성비를 나타내어 접합부의 일체성을 충분히 확보할 수 있는 것으로 판단된다.
- 3) 비선형 반복 횡하중을 받는 접합부의 에너지 소산면적을 비교해 본 결과, 본 공법에 의한 실험체는 기존의 4조각 조합형 및 용접형과 비교하여 거의 동일한 소산면적을 나타내고 있다. 따라서, 자주식(子柱式) 횡보강근의 보강에 의해 RCS 접합부의 연성적인 거동을 충분히 확보할 수 있는 것으로 판단된다.
- 4) RCS 접합부에서 횡보강근에 의한 외부패널의 전단강도는 기존의 압축장 모델 보다 압축스트리트 모델을 이용하여 설명하는 것이 보다 적절할 것으로 판단된다.
- 5) 향후 접합부에 큰 편심하중이 작용하는 경우에 대한 자주식 횡보강근의 구속성능에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 연구는 (주)현대산업개발의 연구비 지원으로 수행된 결과의 일부임.

#### 참고문헌

1. Tauqir M. Sheikh., Gregory G. Deierlein., Joseph A. Yura., James O. Jirsa., "Beam-Column Moment Connections for Composite Frames: Part 1," *ASCE Journal*, Vol. 115, No. 11, 1989, pp.2858~2876.
2. ASCE Task Committee on Design Criteria for Composite Structures in Steel and Concrete., "Guidelines for Design of Joints between Steel Beams and Reinforced Concrete Column," *ASCE Journal*, Vol. 127, No. 1, 2001, pp.3~11.
3. 坂口 昇., "鐵筋コンクリト柱と鐵骨梁で構成される柱梁接合部パネルのせん断耐力," *AIJ*, No. 428, 1991, pp.69~78.
4. 日本建築學會., "鐵筋コンクリト柱・鐵骨梁混合構造の設計と施工." 2001.
5. Gustavo Parra-Montesinos., James K. Wight., "Modeling Shear Behavior of Hybrid RCS Beams and Reinforced Concrete Columns," *ASCE Journal*, Vol. 129, No. 8, 1994, pp.2331~2557.
6. Joseph M. Bracci., Walter P. Moore Jr., Michael N. Bugeja., "Seismic Design and Constructability of RCS Special Moment Frames," *ASCE Journal*, Vol. 1999, pp.385~392.
7. Neil M. Hawkins., S. K. Ghosh., "Proposed Revisions to 1997 NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for Precast Concrete Structures Part 2 - Seismic-Force-Resisting Systems," *PCI Journal*, 2000, pp.34~44.
8. Sameh S. F. Mehanny., Hirochi Kuramoto., Gregory G. Deierlein., "Stiffness Modeling of Reinforced Concrete Beam-Columns for Frame Analysis," *ACI Structural Journal*, Vol. 98, No. 2, 2001, pp.215~225.
9. 佐藤 玲圭., 吉松 賢二., 濱田 眞., "柱 RC・梁 S混合構造の柱梁接合部に關する實驗的研究." 日本建築學會大會學術講演梗概集(九州), 1998, pp.1261~1262.

#### 요 약

본 연구에서는 철근콘크리트 기둥과 철골보로 구성된 혼합 골구조의 접합부에 대한 구조적 특성을 평가하였다. 주요변수로는 본 연구에서 제안한 자주식(子柱式) 횡보강근 상세와 기존의 RCS 공법에서 사용되고 있는 1-4조각 조합형 및 용접형 등의 횡보강근 상세를 대상으로 하였다. 실험체는 총 5개의 내부접합부를 대상으로 2/3 축소로 제작하여 접합부의 전단 및 내진성능을 평가하였다. 실험의 결과, 모든 실험체에서 최대내력 이후 강도 및 강성의 큰 저하없이 실험이 종료되었다. 따라서, 자주식(子柱式) 횡보강근을 사용한 RCS 접합부의 구조성능은 4조각 조합형 및 용접형 등의 기존 공법과 동등 이상의 구조적 성능을 확보하는 것으로 나타나 외부패널의 전단기여도는 압축스트리트에 의해 평가하는 것이 보다 적절할 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 내진성능, RCS 구조, 모멘트저항골조, 자주식(子柱式) 횡보강근, 압축스트리트 기구