

# 직교보 단면크기 변화에 따른 RCS구조 보-기둥 접합부의 전단내력에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Shear Strength of RCS System Beam-Column Joints  
with Various Transverse Beam Sections

안 재 혁\*  
An, Jae-Hyeok

박 천 석\*\*  
Park, Cheon-Seok

## Abstract

Recently, in order to realization of construction and economical saving, various studies are progressing. Also, the study on RCS system which is consisted of reinforced concrete column and steel beam is progressing actively. Actually, however, resisting mechanism of panel zone is influenced by transverse beams when the stress transfers inner panel to outer panel but existing literature didn't reflect the effect of transverse beams. This paper is to analyze the test result of five inner beam-column joints specimen with a variable such as web, flange thickness of transverse beam and face bearing plate(FBP) for RCS systems were tested under cyclic loadings conforming to NEHRP recommendation to investigate the effect of transverse beams and the structural performance of beam-column joints. From the test result, it was shown that transverse beams are effective to enhance the shear strength and structural performance of beam-column joints.

## 요 지

최근 시공의 합리화와 경제성의 목적으로 한 다양한 연구가 진행되고 있다. 철근 콘크리트 기둥과 철골 보로 이루어진 RCS 구조의 개발에 대한 연구 역시 활발해지고 있다. RCS 구조 보-기둥 접합부 패널존의 저항기구는 내부패널에서 외부패널로 응력이 전달될 때 직교보의 영향을 받지만, 기존연구에는 직교보의 영향을 고려하지 않고 있다. 본 연구에서는 웹, 플랜지, 직교보의 두께, FBP의 유무등 다양한 변수들을 가지는 5개의 철근콘크리트 기둥과 철골보로 이루어진 보-기둥 내부접합부 실험체의 실험을 통해 직교보들의 영향과 구조적 성능을 조사하고자 한다. 이러한 실험결과들로부터, 보-기둥 접합부의 직교보가 전단내력과 구조성능을 향상시키는데 효과적이라는 것을 알 수 있다.

**Keywords** : Beam-Column joins of RCS system, Transverse beam, Shear strength

**핵심 용어** : RCS 구조 보-기둥 접합부, 직교보, 전단내력

\* 정회원, 부경대학교 대학원 박사수료

\*\* 정회원, 부경대학교 건축학부 교수

E-mail : archi-an@hanmail.net 051-620-1390

•본 논문에 대한 토의를 2006년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2007년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

최근 국내에서는 시공의 합리화, 공기단축 및 건축물들의 고층화, 대형화에 따른 다양한 구조시스템에 대한 개발이 활발하게 연구되고 있다. 이러한 관점에서 철근콘크리트구조, 철골구조와 같은 단일구조시스템으로 발휘하기 어려운 성능을 압축력에 우수한 철근콘크리트기둥과 휨 및 전단력에 대한 저항성이 우수한 철골을 보에 적용하여, 장스팬이 가능하도록 구성한 혼합구조(이하 RCS구조라 함)에 대한 연구가 진행되어져 왔다. 특히, 미국과 일본은 1993년부터 소위원회를 구성하여 RCS구조에 대해 다양한 연구를 진행하고 있다.<sup>(1)</sup>

그러나 RCS구조는 보-기둥 접합부에 서로 다른 종류의 재료가 혼재하여 이종부재 사이의 구성방식과 응력전달이 매우 복잡하고, 응력전달기구에 대한 명확한 대응성을 가진 합리적인 설계식이 제안되지 않아 적용시 어려움이 있다. 실제 설계에서 RCS구조와 거동차이가 미약해 RCS구조 중에서 보관통형은 철골철근콘크리트구조(이하 SRC조라 함)의 접합부에 기초해 평가하고, 기둥관통형은 철근콘크리트구조(이하 RC조라 함)의 접합부에 기초하여 내력을 평가하고 있는 실정이다.

현재 국·내외에서 RCS구조의 실용화를 위한 보-기둥 접합부 응력메카니즘에 대한 연구<sup>(2)(5)</sup>가 진행되고 있다. 그러나 실제 구조물에서 보-기둥 접합부에서 Fig. 1과 같이 직교보가 있음에도 불구하고, 기존의 RCS구조 보-기둥 접합부 전단내력식<sup>(3)(6)(9)</sup>은 전단저항기구를 모델화 하면서 직교보의 영향을 합리적으로

고려하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 직교보가 RCS구조 보-기둥 접합부의 전단내력에 미치는 영향을 검토하기 위하여 직교보 단면 크기와 FBPF(Face Bearing Plate)의 유무를 변수로 한 실험을 통하여 기존 접합부 전단내력식의 문제점을 파악하고 직교보의 영향을 고려한 RCS구조 보-기둥 접합부의 전단내력에 대한 설계방향을 제시하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험체 계획

RCS구조 보-기둥 접합부에서 직교보가 접합부 전단저항기구에 미치는 영향을 알아보기 위해 실제로 기둥은 철근콘크리트로, 보는 강재로 지어진 대구의 F건물을 대상으로 하여, 내부접합부에 대한 구조해석을 실시하고, 하중이 작용시 응력이 가장 크게 발생하는 보-기둥 접합부를 선정하여 Fig. 2와 같이 보 부재의 변곡점을 기준으로 1/2로 축소한 +형 실험체를 계획하였다. 실험체 계획시에 직교보의 크기는 강재보와 같이 변곡점을 기준으로 계획해야 직교보에 의한 실질적인 저항메카니즘에 의해 보-기둥 접합부에 미치는 영향을 알 수 있지만 본 연구에서는 RCS구조 보-기둥 접합부 패널존의 전단변형에 대한 보강효과를 알아보기 위해 철근콘크리트기둥의 단면크기와 같게 계획하였다. 실험체의 변수는 Table 1에서 나타난 것 같고 같이 직교보의 유무에 따라 내력 변화를 파악하기 위해 직교보가 없는 실험체를 기본형 실험체로 하고 직

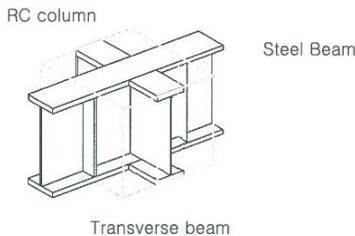


Fig. 1 RCS구조 보-기둥 접합부<sup>(5)</sup>

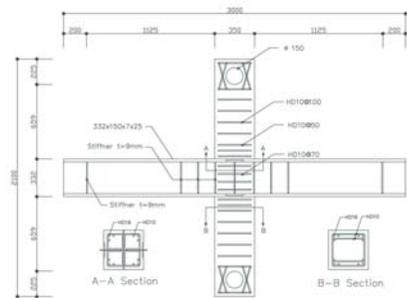


Fig. 2 실험체 상세도(TB1)

Table 1 실험체 일람표

실험체	직교보	보-기둥
SB	-	보 : H-332×150×7×25 stiffner t=9mm
TB1	H-312×150×6.5×15	단면 : 350mm×350mm 주근 : 12-HD16
TB2	H-300×150×10×9	스트립 : HD10@100 ※ 패널존 스트립 : HD10@70
TB3	H-300×150×6.5×9 + FBP	
TB4	H-250×125×6×9	

교보의 웨브의 두께를 보강한 실험체, 플랜지의 두께를 보강한 실험체, 직교보의 단부에 FBP를 보강한 실험체, 직교보 춤을 강재보 춤보다 작게한 실험체 등 모두 5개의 실험체를 제작하였다.

실험체 설계시 접합부 거동 및 내력을 평가하기 위하여 철근비, 배근방법, 정착길이 등을 고려하여 보의 휨파괴가 발생하지 않고, 접합부의 전단파괴가 발생하도록 강재보의 단면을 보강하였다. 모든 실험체의 RC기둥 단면은 350mm×350mm로 하고 강재보는 H-332×150×7×25를 사용하였다. 기둥의 주근은 HD16을 각 모서리부분에 3개씩 배근하여 총 12개를 배근하였으며 기둥의 전단보강근은 HD10을 100mm 간격으로, 접합부의 전단보강근은 HD10을 70mm 간격으로 배근하였다. 그리고 접합부의 전단파괴에 선행하여 보 휨파괴가 발생하지 않도록 플랜지는 t=25mm를 사용하여 보강하였으며 가력점에는 t=9mm의 스티프너(stiffener)를 설치하였다.

## 2.2 사용재료

실험체에 사용한 콘크리트는 설계기준강도가 24.1 MPa 기성 레미콘 제품을 사용하였다. 콘크리트 타설 시 10개의 공시체를 제작하고 기건양생과 수중양생을 각각 5개씩하여 압축강도시험을 실시한 결과 21.2 MPa로 나타났다. 기둥 주근 및 스트립으로 사용한 철근 재질은 SD40이고 강재보는 SM400을 사용하였다.

## 2.3 실험방법

실험체의 설치는 Fig. 3과 같이 수직하중에 의한 접합부의 거동 및 내력을 평가하기 위해 베이스 프레

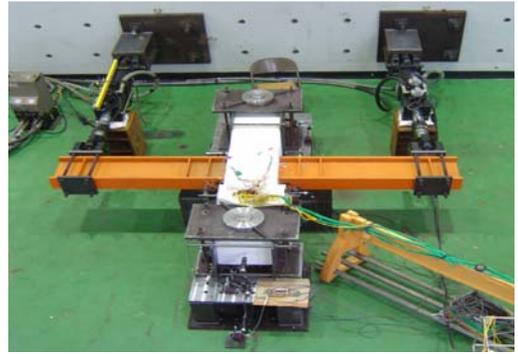


Fig. 3 가력장치도

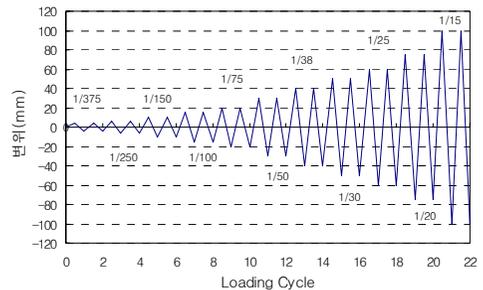


Fig. 4 하중가력 사이클

임 위에 실험체를 놓혀 기둥 상·하부를 힌지로 연결하였다.

실험체의 가력은 강재보 양단부에 250kN 액츄에이터(actuator)를 사용하여 역대칭으로 반복가력을 하였다. 가력방법은 Fig. 4에 나타난 것과 같이 부재각(R)에 따라 1/375, 1/250, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/38, 1/30, 1/25, 1/20, 1/15 까지 정·부 반복가력을 단계별로 각 2회씩 부재각에 따른 변위 제어방식으로 가력하였다.

모든 실험체의 콘크리트 기둥 표면에는 균열 발생 및 진행상태를 관찰하기 위해서 백색 수성페인트를 칠하였다. 실험체 패널존의 전단변형을 측정하기 위해 기둥의 패널존 부분에 4개의 변위계(LVDT)를 설치하였다. 또한 기둥 부분에 2개, 부재변형을 측정하기 위해 2개, 프레임의 미소한 이동 여부를 측정하기 위해 2개 등 총 10개의 LVDT를 설치하였다. 철근의 변형을 측정하기 위해 Fig. 5에 나타난 것과 같이 기둥 주

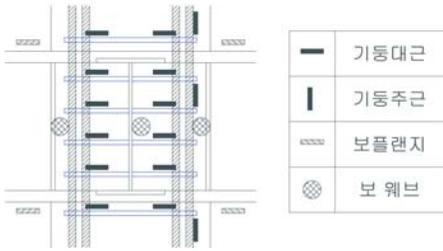


Fig. 5 게이지 부착 위치

근과 패널존의 스트립에 스트레인 게이지와 강제 웨브의 변형을 측정하기 위해 로켓 게이지를 부착하였으며 측정된 데이터는 자동 디지털 측정기(TDS-601)를 이용하여 저장하였다.

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 균열 및 파괴양상

실험체의 균열 및 파괴양상을 살펴보면, 직교보가 없는 기본형 실험체와 직교보가 있는 실험체 모두 부재각 1/250에서 초기휨균열이 발생하였다. 그리고 기둥을 따라 균열이 계속 진행되면서, 부재각 1/100에서 접합부의 전단균열이 발생하였다. 이후 전단균열은 기둥면을 따라 확장되고, 보 거동에 의한 기둥 측면의 전단균열과 강제보 상·하부에서 지압응력에 의해 강제보와 콘크리트의 박리가 진행되었다. 하지만 전단균

열의 진행양상에서는 기본형 실험체와 직교보가 있는 실험체의 균열양상이 차이를 보인다. 기본형 실험체는 기둥 측면과 정면에 여러 갈래의 균열이 진행되면서 기둥 정면에 X자 형태의 전단균열 양상을 보이면서 균열이 확장되지만, 직교보가 있는 실험체의 전단균열은 직교보 웨브의 양 측면에서 전단균열이 각각 발생하고 전단균열이 진행되면서 직교보 플랜지에서 시작되는 균열과 이어지게 된다.

직교보에 FBP를 보강한 TB3 실험체는 다른 직교보 실험체에 비해 전단균열의 정도가 상대적으로 작게 발생하고, 접합부의 전단균열이 기둥 주근의 부착균열로 발전되었고, 강제보 상하부의 콘크리트 박리현상도 크게 나타났다.

직교보의 춤이 작은 TB4 실험체는 접합부 패널 상부는 다른 직교보 실험체와 동일한 균열 양상을 보이거나, 강제보의 웨브에 용접된 직교보 상부 플랜지 보다 하부 플랜지에서 많은 전단균열과 응력집중이 발생하였다.

또한 직교보 플랜지에서 발생한 균열이 확장되면서 부착균열로 발전하였다. 기둥에서의 휨균열도 확장되면서 다수 발생되었고, 강제보 상하부에 지압에 의한 균열도 확장되어 다수의 지압균열이 발생하였다. 기둥 주근의 부착균열이 더욱 확장되면서 전단균열 폭이 2mm까지 증대되었다. 플랜지 상하부에 콘크리트의 박리가 시작되고, 기둥주근의 부착파괴균열이 다량 발생되었다. 실험체의 최종 균열 형상은 Fig. 6과 같이 나타났다.

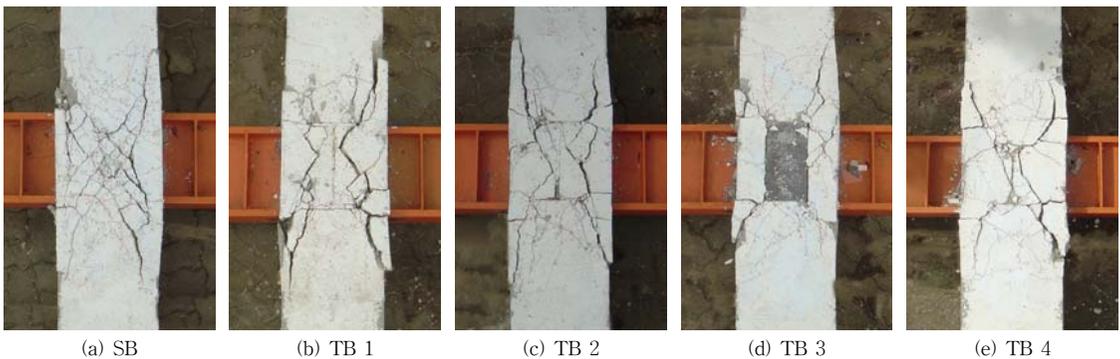


Fig. 6 실험체 최종 파괴 양상

### 3.2 하중-부재각 곡선의 거동 비교

실험체의 계획단계에서 패널존의 전단파괴로 인하여 극한내력에 도달하도록 설계하였고, 실험결과 기본형 실험체 SB와 직교보를 가지고 있는 나머지 실험체의 파괴모드는 패널존의 전단파괴로 나타났다.

각각 실험체별로 부재각에 따라 인장과 압축으로 실험체에 재하되는 하중을 Table 2에 나타냈다.

Fig. 7은 각 실험체의 하중-부재각 곡선을 나타낸 것으로 세로축에는 보 단부의 재하하중을 나타내고 가로축에는 보 단부의 부재각을 나타낸 것으로 모든 실험체의 하중-부재각 곡선은 방추형으로 나타났다. Fig. 7에서 SB 실험체가 가장 작은 내력을 보이고, TB3 실험체가 가장 높은 내력을 나타내고 있다. TB1 실험체는 최대내력을 이후 급속히 내력이 저감되는 현상을 보이고, TB2 실험체와 TB3 실험체는 최대내력 이후 하중의 변화가 적고 연성적인 거동을 나타내고 있고, 에너지 소산능력의 향상에도 기여하는 것으로 나타나 직교보의 구성요소 중 웨브와 직교보의 전단보강요소인 FBP가 내력증진에 더 효과적인 것으로 나타났다.

Table 2 부재각에 따른 하중

부재각 (변위)	가력 방향	하중				
		SB	TB1	TB2	TB3	TB4
1/375 (4mm)	압축	32.1	35.3	39.3	43	37.1
	인장	29.2	34.7	37.3	39.8	33.2
1/250 (6mm)	압축	46.5	51.2	56.4	57	58.3
	인장	46.2	48.8	57.3	49.4	52.2
1/150 (10mm)	압축	70.2	69.2	72.5	77.2	79.6
	인장	70.5	81.4	85.3	86.3	82.9
1/100 (15mm)	압축	81.5	91.4	92.1	95.9	101.6
	인장	91.5	92.8	110.6	122.9	102.6
1/75 (20mm)	압축	101.0	114.2	117.3	125.9	118.7
	인장	113.4	111.1	132.6	142.9	113.0
1/50 (30mm)	압축	137.1	140.3	145.2	147.4	146.1
	인장	145.4	134.0	154.3	160	134.6
1/38 (40mm)	압축	136.2	155.6	163.8	164.8	139.9
	인장	133.6	149.4	160.9	168.8	113.7
1/30 (50mm)	압축	123.4	172.7	178.3	183.4	130.7
	인장	124.5	162.1	164.9	175.1	105.1
1/25 (60mm)	압축	112.7	154.9	158	159.8	119.4
	인장	112.0	154.7	152.8	163.0	96.5
1/20 (75mm)	압축	110.2	136.2	147	149.9	105.6
	인장	108.2	146.6	146.0	151.1	85.7
1/15 (100mm)	압축	97.8	123.9	130.6	133	86.1
	인장	98.8	132.5	135.9	133.3	81.5

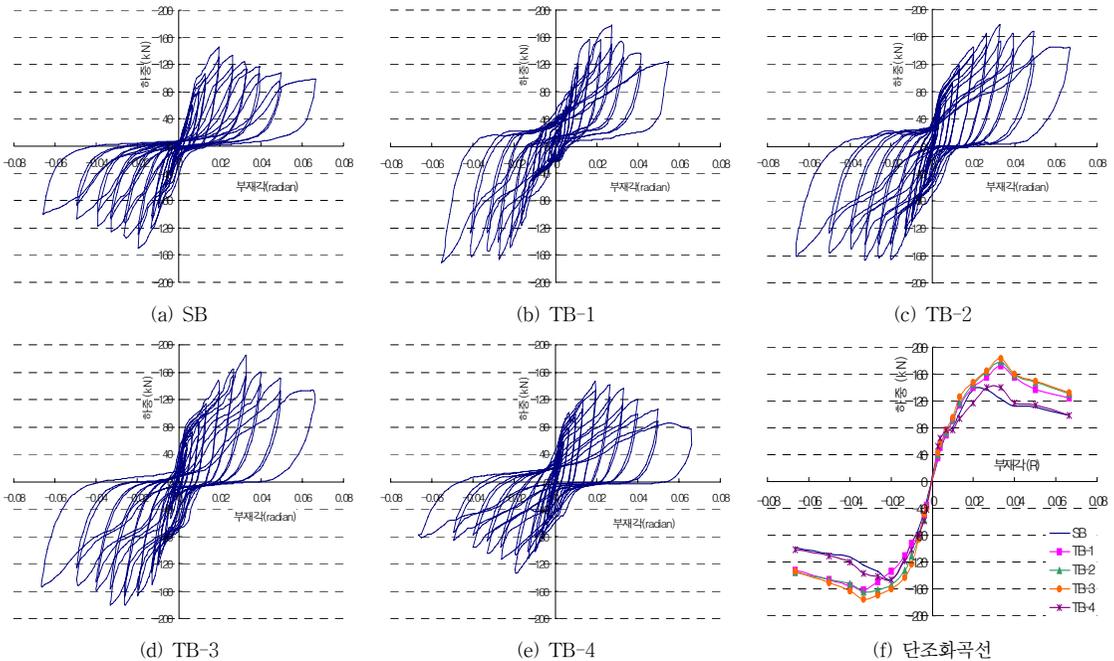


Fig. 7 하중-부재각 곡선

### 3.3 구조적 거동의 비교

#### 3.3.1 최대강도의 변화

각 실험체의 사이클 진행에 따른 최대강도의 변화를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 SB 와 TB4 실험체는 13사이클에서 최대강도를 보이고, 나머지 TB1, TB2, TB3 실험체는 15사이클에서 최대강도를 보인 후 강도가 저하되었다. 직교보가 있는 실험체는 직교보가 없는 실험체에 비해 최대강도가 약 16%(12kN) 정도가 증가했고 직교보에 FBP가 있는 TB3 실험체는 직교보에 FBP가 없는 실험체에 비해 최대강도가 약 4%(5kN)정도 증가했다. 최대하중 이후의 실험체 내력저하 현상에서 TB2 실험체는 패널존에 대한 직교보의 면적비가 TB1 실험체보다 작지만 내력저하는 거의 일어나지 않는 것으로 나타났고 최대하중도 TB1 실험체와 거의 비슷하게 나와 실제 직교보의 웨브가 플랜지 보다 큰 영향을 가지는 것으로 나타났다. 그리

고 직교보의 크기가 작은 TB4는 직교보가 없는 패널 존 아래부분의 콘크리트 파괴에 의해 최대하중 이후의 내력저하가 크게 나타났다.

#### 3.3.2 강성의 변화

Fig. 9는 각각 실험체들의 강성을 알아보기위해 부재각에 재하는 하중에 변위를 나눈 값을 나타낸 것이다. 실험체별 강성변화는 부재각 1/75까지는 비슷한 양상을 보이다가, 부재각 1/50부터 뚜렷한 차이를 보인다. TB3 실험체가 강성변화 폭이 가장 낮고, 직교보가 없는 기본형 실험체인 SB 실험체가 가장 큰 것으로 나타났다. 직교보가 있는 실험체 중 TB3 실험체를 제외한 TB1, TB2 실험체는 부재각 1/50에서 차이를 보이는데 TB2 실험체가 TB1 실험체에 비해 강성변화가 적어 직교보의 구성요소 중 웨브가 플랜지보다 8%정도 강성저감효과가 있는 것으로 나타났다.

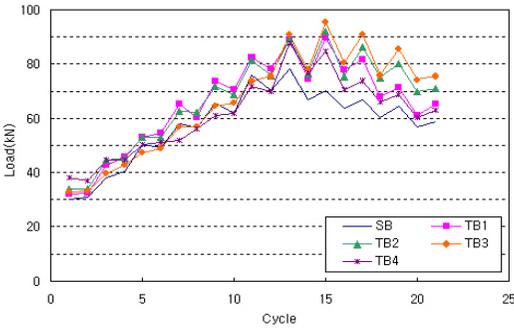


Fig. 8 실험체의 최대강도

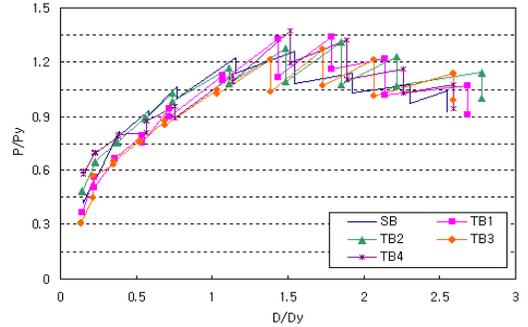


Fig. 10 실험체의 연성비에 대한 강도비

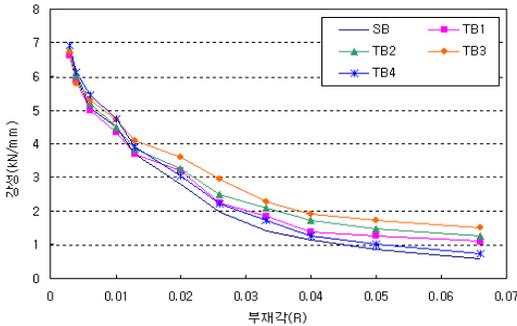


Fig. 9 실험체의 강성

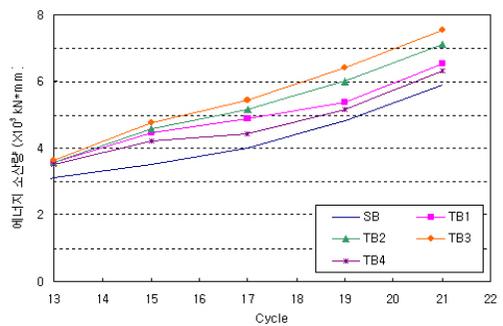


Fig. 11 사이클별 에너지 소산량

### 3.3.3 연성비에 대한 내력

실험체의 연성비에 따른 내력의 차이를 비교하기 위하여 연성비( $D/D_y$ )에 따른 강도비( $P/P_y$ )를 Fig. 10에 나타내었다. SB 실험체는 초기 연성비에 대한 강도비의 증가폭이 크게 나타났으나, 연성비 1.5 이후 강도비가 급격히 떨어지는 것으로 나타났다. 직교보가 있는 나머지 실험체는 연성비 1.2까지는 거의 비슷한 강도비대 연성비의 양상을 보인다. 그 후에도 비슷한 연성비를 보이나 강도비에서 약간의 차이를 보이고, 특히 TB2 실험체는 연성비 폭의 증가가 두드러지는데 이는 접합부 패널존의 콘크리트의 전단이나 지압파괴에 의한 취성적인 영향 보다는 직교보 웹브가 전단에 대해 강재의 연성적인 거동을 나타냄으로서 이와 같은 결과가 나타나는 것으로 판단된다.

### 3.3.4 에너지 소산능력

각 실험체에 대한 에너지 소산능력을 평가하기 위하여 부재각과 싸이클에 따른 에너지 소산량을 각각 Fig. 11에 나타내었다. SB 실험체는 다른 실험체에 비해 내력저하로 인해 에너지 소산량이 상대적으로 낮게 나타났다. TB1 실험체는 TB2 실험체에 비해 17 싸이클 이후 에너지 소산량이 많이 감소하는 것으로 나타나, 접합부 내력에 직교보의 플랜지보다 웹브의 영향이 더 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. TB3 실험체는 가장 큰 에너지 소산량을 나타내고 있어 직교보 FBP가 내력 상승에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났고, TB4 실험체는 15싸이클 이후 에너지 소산량이 감소하면서 다른 직교보가 있는 실험체에 비해 상대적으로 낮은 에너지 소산량을 나타내고 있다.

## 4. 결 론

본 연구에서 직교보의 크기가 RCS구조 보-기둥 접합부의 전단내력에 미치는 영향을 파악하기 위해 직교보 단면 크기와 직교보 FBP의 유무를 변수로 한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) RCS구조 보-기둥 접합부에서 직교보가 있는 실험체의 경우 직교보가 없는 실험체보다 16%의 강도

증가를 보이고, 직교보에 FBP가 있는 실험체가 FBP가 없는 실험체 보다 7% 정도 강도가 증가하는 것으로 나타났다.

- 2) 직교보가 있는 실험체와 직교보가 없는 실험체는 직교보 웹브의 영향에 의해 전단균열양상 및 강도에서 많은 차이를 보이는 것으로 나타났다.
- 3) 직교보가 있는 실험체 중 FBP로 보강한 실험체가 연성능력이 가장 크게 나타났고, 직교보의 구성요소 중 웹브가 플랜지보다 8% 정도의 강성 저감효과가 있는 것으로 나타났다.
- 4) 직교보가 있는 실험체가 직교보가 없는 실험체에 비해 에너지 소산량이 7~21% 정도 높게 나타났고, 직교보에 FBP와 웹브가 보강된 실험체가 다른 실험체에 비해 8~14% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

앞으로의 과제로서 RCS구조 보-기둥 접합부에 대한 직교보의 영향을 합리적으로 고려한 RCS구조 보-기둥 접합부의 전단저항기구를 제안하기 위한 실험 및 해석적 연구가 계속 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 최완철, "콘크리트 기둥/철골보 합성구조의 최근연구", 대한건축학회학술발표논문집, 제17권 제2호, 1997.10, pp.1207~1212.
2. 삼성물산(주) 건설부문, "LC Frame을 이용한 복합화 공법의 개발 및 성능 평가", 1999.
3. 최근도 외, "자주식 띠근을 이용한 RCS 보-기둥 접합부의 거동에 관한 실험적 연구", 대한건축학회학술발표논문집, 제22권 제1호, 2002.4, pp.95~98.
4. 김광연, "RC기둥과 S보 혼합구조 접합부의 전단내력에 관한 연구", 대한건축학회학술발표논문집, 제15권 제10호, 1999.10, pp.55~62.
5. Kanno. R., "Strength, Deformation and Seismic Resistance of Joints between Steel Beams and Reinforced Concrete Columns", Vol. 1.1,2, Cornell University, 1993.
6. Deierlein, G.G. et. al., "Beam-Column Moment Connections for Composite Frames", Journal of Structural Engineering, Vol. 115, No.11, Nov., 1989, pp.2877~2895.
7. ASCE Task Committee on Design Criteria for

- 
- Composite Structure in Steel and Concrete.,  
“Guidelines for Design of Joints between Steel  
Beams and Reinforced Concrete Columns”,  
Journal of Structural Engineering, Vol.120,  
No.8, Aug., 1994, pp.2331~2557.
8. Wakabayashi, M., Minami, K., and Nishimura, Y., “Load Carrying Capacity of Composite Exterior Joint with Steel Beam”, Transactions of The Japan Concrete Institute, Vol.5, 1983, pp.339~346.
9. Gustavo Parra-Montesinos, James K. Wight., “Seismic Response Exterior RC Column-to-Steel Beam Connections”, Journal of Structural Engineering, Vol.126, No.10, Oct., 2000, pp.1113~1121.
10. ASCE-ACI Committee 445 on Shear and Torsion, “Recent Approaches to Shear Design of Structural Concrete”, Journal of Structural Engineering, Vol.124, No.11, Dec., 1998, pp.1375~1417.
11. Gustavo Parra-Montesinos, James K. Wight., “Modeling Shear Behavior of Hybrid RCS Beam-Column Connections”, Journal of Structural Engineering, Vol.127, No.1, Jan., 2001, pp.3~11.
12. 渡邊一弘 외, “柱RC造・梁S造接合部のせん断耐力にする実験的研究”, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, 1995, pp.1059~1064.

(접수일자 : 2006년 2월 22일)