

반복하중을 받는 강섬유보강 고강도 콘크리트 외측보-기둥 접합부의 거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Behavior of Exterior Beam-Column Joints with Steel Fiber Reinforced High Strength Concrete Subjected to Cyclic Loads

한형섭* 김명성** 박인철** 김윤일***
Han, Hyung Sub Kim, Myung Sung Park, In chul Kim, Yoon Il

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the hysteretic behaviors of exterior beam-column joints with high strength concrete($f'_c=1000\text{kg/cm}^2$) subjected to cyclic loads. Four exterior subassemblages scaled down about 60% were tested, whose variables were with/without shear reinforcements and with/without slab and spandrel beams. Hoop bars and hooked steel fibers were used as the shear reinforcements.

The test results showed that using hooked steel fiber reinforced concrete with volume ratio 1.5% at beam-column joints was very effective to resist shear stress due to cyclic loads.

1. 서론

본 연구에서는 압축강도가 1000kg/cm^2 정도의 콘크리트를 사용한 보-기둥 접합부에 관한 실험연구로서 흑트강섬유보강 콘크리트를 사용한 접합부, 띠근으로 횡보강한 접합부를 보강하지 않은 접합부와 이력거동을 비교하여 보강효과를 밝히고자 한다.

2. 실험 개요

2.1 사용재료 및 콘크리트 배합

본 실험에 사용된 잔골재는 비중 2.6, 조립률 2.87, 흡수율 1.56%인 산사를, 굵은골재는 비중 2.64, 조립률 6.04, 흡수율 1.11%인 최대치수 13mm 이하의 쇄석을 사용하였으며, 강섬유보강 고강도 콘크리트의 강도증진과 유동성 확보를 위하여 실리카 흙(10%)과 고성능 감수제를 사용하였다. 강섬유는 형상비 60(0.6×36)인 갈고리형강섬유(hooked fiber)이다. 실험체 제작에 사용된 배합표는 표 1이며, 표 2의 콘크리트의 강도는 재령 37~49일 사이의 강도로서 실험당일을 나타낸다. 실험된 공시체의 양생은 실험체와 동일한 방법으로서 재령 28일까지 양생포로 덮어 습윤양생한 것과, 수조에서 양생한 2종류로 하였다.

* 과학재단 인턴연구원
** 관동대학교 건축공학과 석사과정
*** 정회원. 관동대학교 건축공학과 교수

· 본 연구는 과학재단 특정기초(과제번호 : 97060201013) 연구의 일부임.

Table 1. Material properties of concrete

concrete type	W/C (%)	S/a (%)	slump (cm)	proportion by unit weight (kg/m ³)					V _r ^{*4} (%)	SP ^{*5} (%)
				W	C	S	G	SF ^{*3}		
HSC ^{*1}	30	45	20	183	549	734.9	905.1	61	0	1.5
SFHSC ^{*2}	30	60	16-19	183	549	979.9	658.2	61	1.5	2.8

*1: High-Strength Concrete, *2: Steel Fiber High-Strength Concrete
 *3: Silica Fume, *4: Volume ratio of steel fiber
 *5: Superplasticizer-polycarboxylic acid

Table 2. Measured strength of concrete
(kg/cm²)

strength specimen	V _r (%)	Comp. strength	Splitting tensile	curing method
J1, J2	0	947	60.8	in air
J3A	1.5	951	-	in air
J3A	1.5	970	96.2	in water
J3B	0	970	98.2	in air
J3B	1.5	993	105	in water
J3B	1.5	1008	115	in water

Table 3. Design of test specimens.

Specimen name		J1	J2	J3A	J3B
Column	section(mm)	250×250	250×250	250×250	250×250
	deformed bar	8-D19	8-D19	8-D19	8-D19
	hoop	D10@150	D10@150	D10@150	D10@150
Beam	section(mm)	300×200	300×200	300×200	300×200
	deformed bar	4-D16 3-D16	4-D16 3-D16	4-D16 3-D16	4-D16 3-D16
	hoop	D10@100	D10@100	D10@100	D10@100
Slab	thick(mm)	-	-	-	80
	width(mm)	-	-	-	1200
	top. bar	-	-	-	∅6@150
	bot. bar	-	-	-	∅6@150
Span-drel beam	section(mm)	-	-	-	300×200
	deformed bar	-	-	-	2-D16 2-D16
	hoop	-	-	-	D10@100
Joint reinforcement		None	Hoop (D10@75)	Steel Fiber	Steel Fiber

2.2 실험체 계획 및 설계

실험체 모델은 30층 규모의 RC골조 외측보-기둥 접합부로서 지상10층의 실제 크기를 60% 축소하여 실험체를 제작하였다. 압축강도 1000kg/cm²의 고강도 콘크리트를 사용하였으며, 보-기둥의 주근, 기둥의 띠근, 보의 늑근은 SD40의 철근을 사용하였으며 슬래브는 항복강도 49kgf/mm²의 철근을 사용하였다. 실험체는 슬래브 없는 보-기둥 실험체 3개와 보-기둥-슬래브와 스패드럴보가 있는 실험체 1개 총 4개가 제작되었다. 이들 실험체는 접합부 보강이 없는 시험체(J1), 접합부를 철근으로 횡보강(hoop)한 시험체(J2), 접합부에 훅트강섬유보강 콘크리트(hooked fiber reinforced concrete)를 사용한 시험체(J3A, J3B)로 구분되며 실험체 설계내용은 표3, 그림 1과 같다.

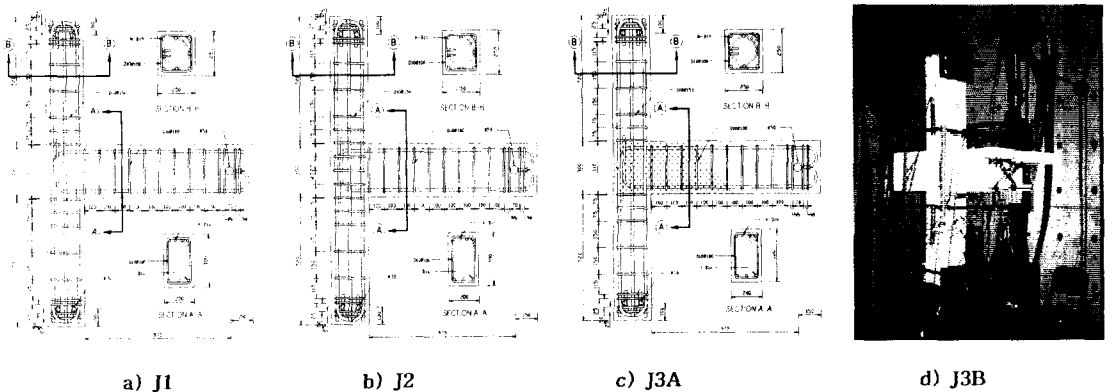


Fig 1. Detail of Specimens

2.3 실험방법

그림 2에서와 같이 기둥 상하단에 힌지를 설치하여 65t(약 0.1f_c'A_g)의 축력을 가하였고, 보 단부의 힌지

에서 25t 용량 액추에이터(actuator)로 반복하중을 가하였다. 하중 재하는 실험체 항복변위의 $0.5\Delta_y$ 까지 재하한 후 그림 3과 같이 변위 제어를 통하여 항복변위의 배수로 하였다. 이력변위는 보 단부에 설치된 변위계를 통하여 제어하였으며 접합부의 전단변형과 부재 회전을 측정하기 위해 변위계(LVDT)를 설치하여 측정하였다.

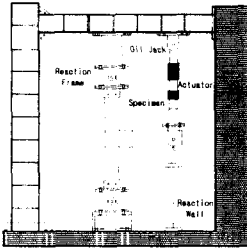


Fig 2. Test Setup

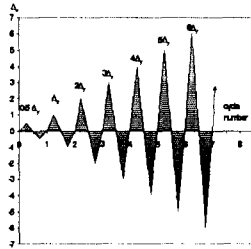


Fig 3. Loading History

3. 실험결과 및 분석

3.1 파괴상황 및 하중-변위곡선

각 실험체의 실험결과는 표 4와 같으며, 그림 4는 하중-변위 곡선을 보여주고 있다. 그림 6은 각 실험체 접합부 파괴 형태를 나타낸 것이다. 전단보강이 없는 실험체 J1은 보의 소성힌지가 발생된 이후 접합부에 X자 형태로 전단파괴되었다. 반면에 접합부에 전단보강근을 사용한 J2 실험체와 강섬유보강을 한 J3A 실험체는 접합부에 미소한 사인장 균열(0.1~0.3mm)만 보일 뿐 대부분 보 소성힌지 부분이 집중적으로 파괴되었다. J3B 실험체는 슬래브-스팬드럴보 접합면과 보 소성힌지부에서 집중적인 파괴를 보였다. 또한 스펀드럴보에서 비틀림 균열($4\Delta_y$ 에서 최대 균열폭 3mm)이 발생되었다.

접합부를 보강하지 않은 J1 실험체에서는 보의 소성힌지가 형성된 후 휨파괴가 진행되다가 $3\Delta_y$ 에서부터는 접합부 전단파괴가 심하게 진행되었다. 이러한 접합부 전단파괴로 하중-변위곡선이 핀칭(Pinching)되어 에너지 소산능력이 크게 저하되고 급격한 내력저하를 보였다. 접합부를 띠근 3개로 횡보강한 J2 실험체에서는 초기에 발생한 접합부 사인장 균열의 진행이 $3\Delta_y$ 에서부터는 둔화되었고, 하중-변위곡선에서 보면 $6\Delta_y$ 까지 내력 저하가 거의 나타나지 않았으며 안정된 이력거동을 보였다. 접합부를 흑트강섬유 콘크리트로 보강

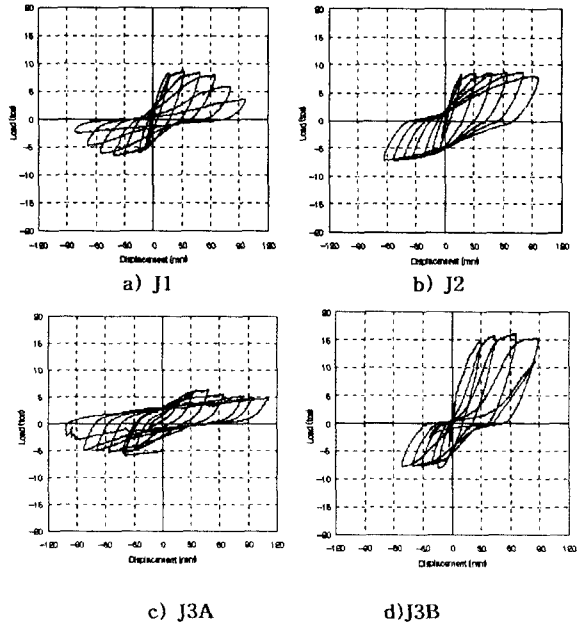


Fig 4. Hysteretic Loops of specimens (Load vs. Displacement)

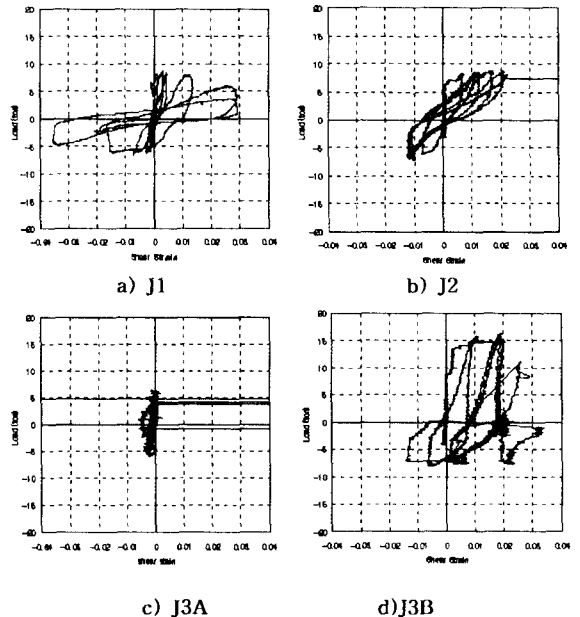


Fig 5. Hysteretic Loops of specimens (Load vs. Shear Strain)

Table 4. Summary of test results

Specimen name		J1	J2	J3A	J3B
yield load P _y (ton)	+cycle	+8.1	+8.1	-	+14.7
	-cycle	-6.0	-6.1	-	-7.3
yield defl. Δ _y (mm)	+cycle	+14.5	+13.6	-	+30.0
	-cycle	-13.4	-13.0	-	-10.5
max. load P _m (ton)	+cycle	+8.72	+8.73	+6.3	+16.1
	-cycle	-6.6	-7.2	-5.6	-8.0
Failure Mode		SJ ⁽¹⁾	FCH ⁽²⁾	FCH	FCH

⁽¹⁾ SJ : Shear failure of Joint

⁽²⁾ FCH: Flexural Compression failure of plastic Hinge

한 J3A 실험체는 실험 초기에 액츄에이터(actuator) 조작 잘못으로 보 주근이 항복되고 보 소성힌지부에 최대균열폭 10mm, 접합부의 사인장 균열 0.2mm의 손상을 입었다. 이와 같이 손상 받은 실험체를 그림 3과 같은 이력하중으로 실험을 실시하여 그림 4-c와 같은 하중-변위곡선을 얻었으며 최대 내력이 J1, J2 실험체에 비하여 약 30% 정도 감소되었으나 6Δ_y까지 편칭되지 않고 안정된 이력거동을 보였다. 접합부를 강섬유 콘크리트로 보강하고 슬래브와 스펀드럴보가 있는 J3B 실험체는 슬래브-기둥 접합면에서 주된 균열의 진행을 보였으며, 하중-변위곡선을 보면 슬래브 철근으로 인하여 정(+)방향으로 최대 내력이 80%증가를 보였으며 4Δ_y까지 내력의 저하가 거의 없었다.

3.2 접합부의 전단변형도

그림 5의 하중-전단변형률 곡선을 보면 접합부에 전단보강근이 없는 J1 실험체의 전단변형율이 3Δ_y이전에는 작으나 그 이후 접합부의 전단파괴로 이력곡선이 편칭되면서 급격한 전단변형율의 증가를 보이고 있다. 접합부를 횡보강한 J2 실험체는 접합부의 사인장 균열의 진행이 둔화되고 보 소성힌지에 파괴가 집중되면서 접합부의 전단변형율은 점진적인 증가를 보였다. 접합부를 강섬유로 보강한 J3A 실험체는 접합부에 사인장 균열의 진행이 극히 작아서 전단변형률 변화가 거의 없게 나타났다. 이는 강섬유 보강효과로서 높은 전단내력을 지니고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

이상과 같이 압축강도가 약 1000kg/cm²의 고강도 콘크리트 외측보-기둥 접합부를 반복가력 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 보-기둥 접합부를 전혀 전단보강하지 않았을 경우 3Δ_y변형까지는 안정적인 이력거동을 기대할 수 있다고 판단되나 슬래브 효과를 고려할 때 전단보강이 필요하다고 사료된다.
- 2) 보-기둥 접합부를 흑트강섬유 체적비 V_f=1.5%로 보강하였을 경우 접합부의 전단내력이 크게 향상되며 매우 안정적인 이력거동을 얻을 수 있다고 판단된다. 또한 연성능력의 목표가 3~4일 때는 강섬유보강 양을 V_f=1.0%이하로 감소할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) Tang Jiuru, and Yan Yongcheng "Seismic Behavior and Shear Strength of Framed Joint Using Steel-Fiber Reinforced Concrete" ASCE, Vol. 118, No.2, February, 1992, pp. 341~358.
- 2) Ioan Olariu, Adrian M. Ioani & Nicolae Poienar "Seismic behavior of steel fiber concrete beam-column" Earthquake Engineering, Tenth World Conference, 1992, pp. 3169~3174.

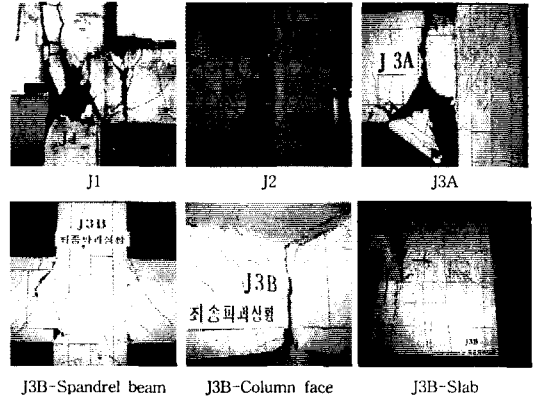


Fig 6. Typical crack pattern of specimens at final loading stage