변형경화형 시멘트 복합체(SHCC)로 보-기둥 접합부 단면이 증설된 휨항복형 철근콘크리트 보의 구조성능

Structural Performance of Flexural Dominant Reinforced Concrete Beams strengthened in Beam-Column Joint with SHCC

송 선 화* 장 광 수* 김 윤 수* 김 선 우** 김 용 철*** 윤 현 도****
Song, Seon Hwa Jang, Gwang Soo Kim, Yun Su Kim, Sun Woo Kim, Yong Cheol Yun, Hyun Do

ABSTRACT

Reinforced concrete rahmen structures has been required ductility as well as strength of beam-column joint in seismically hazard area. Some investigations have been presented for retrofitting and/or strengthening structural elements in structure. Strain-hardening cementitious composite(SHCC) has been expected excellent reinforcement performance in beam-column joint area. The properties of reinforcing fiber, as tensile strength, aspect ratio and elastic moudulus, have great effect on the fracture behavior of SHCC. The purpose of this experimental study is to evaluate structural performance of exterior reinforced concrete beam-column joint strengthened with SHCC under cyclic loading.

요 약

대부분의 철근콘크리트 라멘 구조물은 지진하중 작용 시 가장 취약한 부분인 보-기둥 접합부 영역에서 큰 피해를 유발할 수 있다. 이러한 피해를 방지하기 위하여 보수 및 보강에 관한 연구가 이루어지고 있으며, 전 세계적으로 내진규정이 강화되고 구조물의 내진성능이 중요시되면서 지진에 효율적으로 저항할 수 있는 성능을 확보한 재료 개발이 증가되고 있다. 변형경화형 시멘트 복합체(Strain-hardening cementitious composite, SHCC)는 연성능력이 우수하여 보-기둥 접합부 영역에서 상당한 보강효과가 기대된다. 따라서 본 연구에서는 SHCC로 접합부를 보강한 철근콘크리트 보의 보강특성을 평가하고자 총 3개의 실험체를 제작하였다. 실험을 통하여 균열 및 파괴양상에 대하여 휨거동 특성을 평가하고 섬유혼입률에 따른 SHCC의 보강효과에 대한 강도를 비교하였다.

* 정회원, 충남대학교, 고지능 콘크리트 구조연구실, 석사과정
** 정회원, 충남대학교, 고지능 콘크리트 구조연구실, 박사과정
*** 정회원, (주)동양구조엔지니어링 대표이사, 공학박사
**** 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

1. 서 론

철근콘크리트 구조물에서 보-기둥 접합부의 성능은 구조물 전체의 거동에 영향을 미치는 가장 큰 요인 중 하나이다. 특히 지진 지역에서는 접합부의 강도뿐 아니라 연성능력을 확보할 수 있는 연결부가 요구된다. 그러나 대부분의 철근콘크리트 라멘 구조물은 비내진 상세를 사용하거나 적절하지 못한 내진상세로 설계되어 있어 지진하중 작용 시 큰 피해를 유발할 가능성이 있다. 이를 방지하기 위하여 구조물의 보수 및 보강에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.[1] 기존 연구[2]에 따르면 변형경화형 시멘트 복합체(Strain-hardening cementitious composite, SHCC)는 일반 콘크리트보다 높은 인장강도와 우수한 연성능력을 가지고 있다. 이러한 SHCC는 라멘 구조물과 같은 취약한 보-기둥 접합부 영역에서 상당한 연성능력을 제공할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 철근콘크리트 보의 보-기둥 접합부 단면이 SHCC로 증설되었을 때의 반복하중 하에서의 이력거동과 보강효과에 대한 실험을 통해 보-기둥 접합부에서 SHCC를 사용한 보강공법에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. SHCC로 단면이 증설된 보-기둥 접합부 실험

2.1 실험체 계획

표 1 및 그림 1은 본 연구의 실험체 계획을 나타낸 것이다. 기존 철근콘크리트 보-기둥 접합부에 횡보강 철근 대신 SHCC로 단면이 증설되었을 때 보강성능을 실험적으로 검토하기 위하여 일반적인 철근콘크리트 실험체(CBN)를 기준으로 PVA1.3+PE0.2의 섬유혼입률을 갖는 SHCC로 보강된 CBF-30-1 실험체와 PVA0.75+PE0.75의 섬유혼입률을 갖는 SHCC로 보강된 CBF-30-2 실험체를 제작하여 CBN 실험체와 비교하고자 하였다. 실험체 보의 실험구간 600㎜에서 30㎜두께로 SHCC를 타설하였고, SHCC을 타설한 보-기둥 실험체는 타설 2일이 경과된 후 탈형하여 28일동안 수중양생(23±2℃)하였다.

2.2 사용재료

표 2는 실험체 보강에 사용된 SHCC의 강도 특성을 나타낸 것이며, 보-기둥 실험시 SHCC의 재료시험을 동시에 실시하였으며 압축, 휨, 직접인장거동을 그림 3에 나타내었다. 사용된 SHCC는 PVA 섬유와 PE 섬유를 혼입한 시멘트 복합체로써 인장강도 및 탄성계수를 비롯한 기계적 특성이 매우 우수한 PE 섬유와 PE 섬유에 비해 기계적 특성은 다소 떨어지나 시공성능이 좋고 경제성이 우수한 PVA 섬유를 사용하였다. 또한 기존 실험결과에 따라 체적비에 따른 섬유의 혼합 시 비교적 성능이 우수한 것으로 평가되었던 PVA1.3+PE0.2와 PVA0.75+PE0.75의 체적비를 갖는 SHCC를 사용하였다.

표1. 실험체 일람

실험체명	콘크리트 압축강도 (f_{ck})	폭×깊이 (유효깊이) (㎜)	길이 (㎜)	경간비	철근		섬유혼입률		보강형태
					주근	전단보강근	PVA	PE	
CBN	30.4	200×360 (297.5)	1800	6.9	3-D25	D10@100	-	-	-
CBF-30-1							1.3	0.2	Patching(30㎜)
CBF-30-2							0.75	0.75	

표2. SHCC의 강도 특성

	압축강도 (MPa)	변형률 ($\times10^{-6}$)	탄성계수 (GPa)	휨강도 (MPa)	직접인장강도 (MPa)
Concrete	30.42	2440.5	21.32	-	-
PVA1.3+PE0.2	50.75	4291.7	16.62	8.95	4.53
PVA0.75+PE0.75	42.99	3772.5	16.62	14.44	4.49

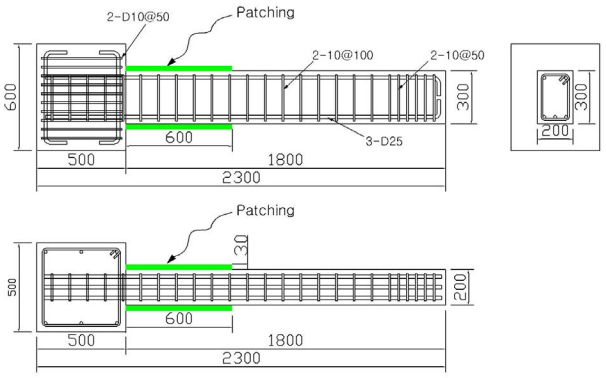


그림1. 배근상세 (단위 : mm)

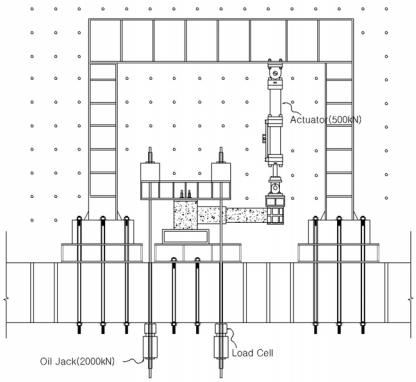
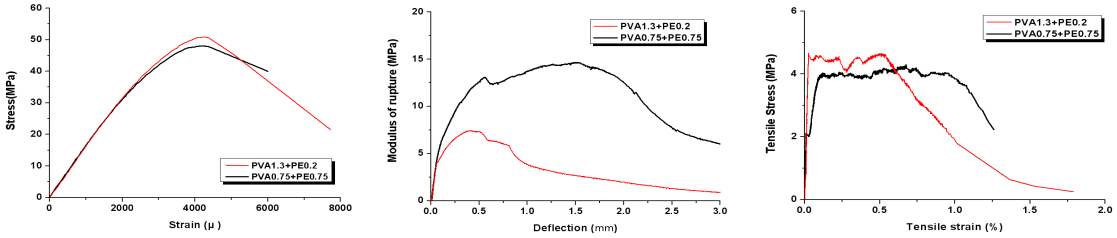


그림2. 실험체 가력장치



(a) 압축거동 (b) 휨거동 (c) 직접인장거동

그림3. SHCC의 역학적 특성

2.3 실험방법

보-기둥 접합부의 보강특성을 평가하기 위해 가력장치를 그림 2와 같이 설치하였다. 2000kN의 용량을 갖는 오일잭(Oil-jack)을 반력바닥 하부에 설치하여 기둥에 1200kN($0.2f_{cu}$)의 축력을 가력한 상태에서 500kN 용량의 액츄에이터(Actuator)를 이용하여 변위제어방식(Displacement control method)으로 보를 가력하였다. 이 때, 반복가력 시 강도저하를 평가하기 위하여 각 2회씩 반복하여 가력하도록 하였다. 또한 실험체의 외부변위를 측정하기 위해 실험구간 단부에 50㎜용량을 갖는 변위계(LVDT)를 설치하였다.

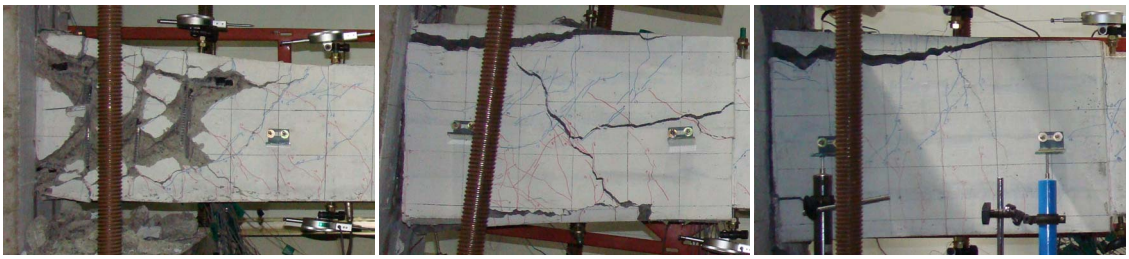
3. 실험결과

3.1. 균열 및 최종파괴양상

SHCC로 보-기둥 접합부 단면이 증설된 휨파괴형 철근콘크리트 보의 최종파괴양상을 나타내면 그림 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 섬유혼입률에 따른 SHCC의 보-기둥 접합부 보강효과는 균열발생 및 최종파괴양상에서 다소 차이를 보였다. 모든 실험체의 초기 휨균열이 실험체의 상·하부면에 나타나고 균열이 보의 양 단부로 진전되는 양상을 나타냈으나, SHCC로 보-기둥 접합부 단면이 증설된 실험체에 비해 기준 실험체인 CBN 실험체가 철근 항복 이후 균열폭이 급격히 증가되면서 최종파괴 되었다.

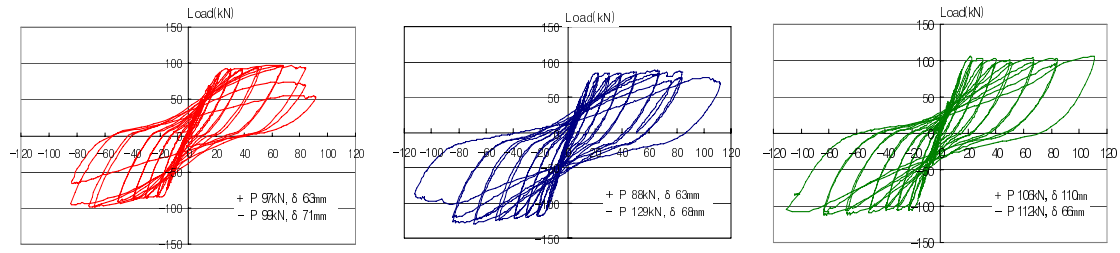
3.2. 하중-변위 관계

그림 5는 하중과 변위와의 관계를 나타낸 것으로, 변위는 실험체 보의 실험구간 단부에 설치된 변위계를 통해 측정하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 다른 실험체에 비해 CBF-30-2 실험체의 초기균열하중이 다소 높게 나타났으며, 기준 실험체인 CBN 실험체에 비해 SHCC로 보-기둥 접합부 단면이 증설된 실험체가 매 사이클마다 정·부하중 모두 최대하중이 높게 나타났다. 또한 CBN 실험체가 최대하중 이후



(a) CBN 실험체 (b) CBF-30-1 실험체 (c) CBF-30-2 실험체

그림4. 최종파괴양상



(a) CBN 실험체 (b) CBF-30-1 실험체 (c) CBF-30-2 실험체

그림5. 하중-변위 관계

다소 취성적인 파괴 경향을 나타낸 것에 비하여 CBF-30-1 실험체와 CBF-30-2 실험체는 안정적인 거동특성을 보이는 것으로 나타났다. PVA1.3+PE0.2의 섬유혼입률을 갖는 SHCC로 보강된 CBF-30-1 실험체와 PVA0.75+PE0.75의 섬유혼입률을 갖는 SHCC로 보강된 CBF-30-2 실험체는 유사한 강도 특성을 나타내었다.

4. 결 론

본 연구는 SHCC를 사용한 보강공법에 대한 연구의 일환으로, 철근콘크리트 보의 보-기둥 접합부 단면이 SHCC로 증설되었을 때의 반복하중 하에서의 이력거동과 보강효과에 대한 본 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) SHCC로 보-기둥 접합부 단면이 증설된 실험체에 비해 기준 실험체인 CBN 실험체가 철근 항복 이후 균열폭이 급격히 증가되면서 최종파괴 되었다.
2) CBN 실험체가 최대하중 이후 다소 취성적인 파괴 경향을 나타낸 것에 비하여 SHCC로 보강한 CBF-30-1 실험체와 CBF-30-2 실험체는 안정적인 거동특성을 보이는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청이 시행하는 2007년도 산학연공동기술개발콘소시엄 사업(2007-0604)의 지원비로 수행된 연구의 일부이며, 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 홍건호(2005), 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 보수 및 보강공법, 콘크리트학회지, 17(4), 57-67
2. 윤현도, 김용철, 김선우(2008), 보강섬유 종류에 따른 변형경화형 시멘트 복합체의 거동특성, 대한건축학회 논문집(구조계), 24(5), 141-148