보통강도 고유동 자기충전 철근 콘크리트 보의 휨거동

Flexural Behavior of RC Beams made of High Flowing Self-Compacting Concrete with Normal Strength

최 연 왕* 김 지 상** 주 석 범*** 이 행 기**** 안 태 호***** 하 성 국******

Choi, Yun Wang Kim, Jee Sang Chu, Seok Beom Lee, Haeng Ki An, Tae Ho Ha, Sung Kug

ABSTRACT

The research conducts a four-point loading test by making two reinforced concrete beams(HSCC test specimen and conventional concrete test specimen) in order to apply an HSCC with a normal strength(30MPa) to a structure. Also, it compares and analyzes the characteristics of the flexural behavior of HSCC and conventional concrete. The stiffness and ductility of the test specimens of HSCC and conventional concrete show similar behavior, but HSCC is more effective in crack control than conventional concrete. The result of the research demonstrates that HSCC can be applied in the construction site.

요 약

본 연구는 보통강도(30MPa) 고유동 자기충전 콘크리트를 구조체에 적용하기 위하여 두개의 철근콘크리트 보(고유동 자기충전 콘크리트 실험체, 일반 콘크리트 실험체)를 제작하여 4점 재하실험을 수행하고, 고유동 자기충전 콘크리트와 일반 콘크리트의 휨 거동 특성을 비교 분석 하였다. 실험 결과 모든 실험체는 휨에 의해 연성적인 파괴양상을 보였다. 고유동 자기충전 콘크리트와 일반 콘크리트 실험체의 강성 및 연성은 유사한 거동을 보였으나, 고유동 자기충전 콘크리트가 일반 콘크리트에 비해 균열제어 효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 이상의 결과로 고유동 자기충전 콘크리트는 현장 적용이 가능할 것으로 판단된다.

* 정회원, 세명대학교 토목공학과, 교수
** 정회원, 서경대학교 토목공학과, 교수
*** 정회원, 세명대학교 토목공학과, 교수
**** 정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과, 교수
***** 정회원, 세명대학교 토목공학과, 석사과정
****** 정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과, 박사과정

1. 서 론

최근 국내의 경우 구조물들이 초고층화 및 특수화 됨에 따라 고유동 자기충전 콘크리트(이하, HSCC로 약함)의 필요성이 요구되고 있다. HSCC는 유동 및 점성을 개선시켜 무진동·무다짐으로 연속타설이 가능하여 시공성능 및 공기 단축을 크게 향상 시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 HSCC의 국내 연구는 재료, 배합 특성, 굳지않은 콘크리트의 특성 및 역학적 특성에 대한 연구가 대부분을 차지하고 있다. 또한 HSCC에 대한 콘크리트의 강도수준은 대부분 50MPa이상의 고강도 콘크리트 영역에서 많은 연구가 수행되고 있으나, 30MPa 수준의 보통강도 영역에서의 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 30MPa 수준의 HSCC를 실제 구조물에 적용하기 위해서 HSCC 보를 제작하여 일반 콘크리트(이하, CC로 약함) 보와 휨에 대한 구조적 거동특성을 비교 분석하였다.

2. 실험개요

2.1 실험체의 제원

실험체의 단면치수는 160×250㎜이고 피복두께를 40㎜로 하였으며, 지지점 사이의 경간은 1,800㎜이며 전단경간비(a/d)는 3.72이다. 전단파괴를 방지하기 위해 전단철근(D10)을 100㎜간격으로 배치하여 전단보강 하였다. 모든 실험체 인장철근 중앙부에 스트레인 게이지를 부착하였다. 그림 1은 실험체 상세도 및 치수를 나타낸 것이다.

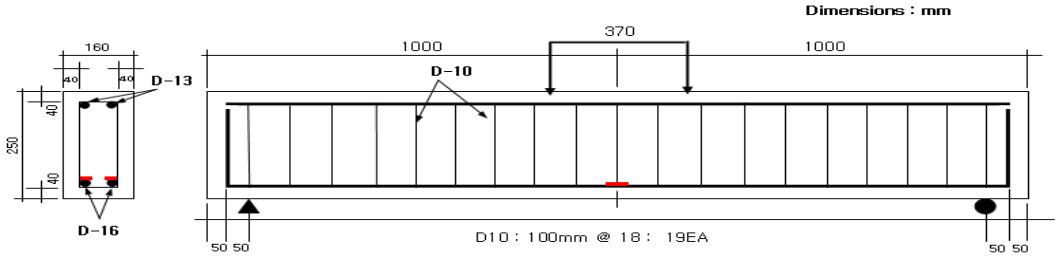

그림 1. 시험체 상세도 및 치수 (Choi et al, 2008)

2.2 콘크리트 배합 및 타설

시멘트는 밀도 3.15 g/㎤인 보통포틀랜드 시멘트(이하, OPC로 약함)를 사용하였으며, OPC에 대체한 분체는 석회석미분말(이하, LSP로 약함) 및 플라이애쉬(이하, FA로 약함)를 사용하였다. 각각의 물리·화학적 특성은 표 1과 같다. 굵은골재는 밀도 2.68g/㎤, 최대치수(G_{max}) 20㎜인 부순골재를 사용하였으며, 잔골재는 밀도 2.57g/㎤, 낙동강산 강모래를 사용하였다. 혼화제는 국내 H사에서 생산되는 밀도 1.1±0.02 g/㎤인 액상 폴리칼본산계 고성능 감수제(이하, SP로 약함)를 사용하였다. HSCC 및 CC는 설계기준 강도 30MPa로 제작하였으며, 사용된 배합표는 표 2와 같다. HSCC 배합은 현재까지 국내규정이 정립되지 않아 일본토목학회(JSCE) 기준안 2등급에 준하여 간편 배합인 골재 채움율(PF)을 사용하여 배합설계를 실시하였으며, CC배합은 현장에서 주로 사용되는 콘크리트 배합을 고려하여 슬럼프 150±10㎜로 배합을 실시하였다. 콘크리트 타설시 CC는 철근 간격이 진동기 보다 작아, 진동기를 사용할 수 없으므로 거푸집 500㎜ 간격으로 충분히 다짐봉으로 다짐을 실시하였으며, HSCC는 무진동·무다짐으로 타설을 실시하였다.

표 1. 시멘트 및 분체의 물리·화학적 특성 (Choi et al, 2008)

Item / Type	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	MgO (%)	SO_3 (%)	L.O.I	Density (g/㎤)	Specific Surface Area (㎠/g)
OPC	21.60	6.00	3.10	61.40	-	-	3.40	2.50	0.03	3.15	3,540
LSP	11.06	4.13	1.44	43.80	0.18	1.02	1.42	0.30	35.66	2.69	4,170
FA	58.20	26.28	7.43	6.51	0.80	-	1.10	0.30	3.20	2.18	3,550

표 2. 콘크리트 배합표 (Choi et al, 2008)

Type	PF	S/a (%)	LSP/P (%)	FA/P (%)	W/P (%)	W/C (%)	Unit Mass(kg/㎥)						SP (P×%)
							W	P			S	G	
								OPC	LSP	FA			
HSCC	1.12	49	20	20	38	55	178	326	87	56	768	848	0.7
CC	-	45	-	-	50	50	178	356	-	-	768	979	0.1

2.3 가력 및 측정방법

HSCC의 철근 콘크리트 보의 휨성능을 실험하기 위하여 3,000kN용량의 만능시험기(UTM)를 이용하여 0.005㎜/sec속도의 변위제어방법(Displacement Control Method)으로 4점 가력 하였다. 실험데이터는 데이터 로거가 연결된 컴퓨터의 Smart Strain 프로그램을 통해 실험 자료를 기록하였으며, 매 3초마다 자동으로 데이터를 기록하였다. 처짐 거동을 측정하기 위해서 실험체 중앙지점 상부에 2개의 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)를 설치하였으며, 지점부 침하여부를 측정하기 위해서 각 지점부에 LVDT를 설치하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 하중-처짐 특성

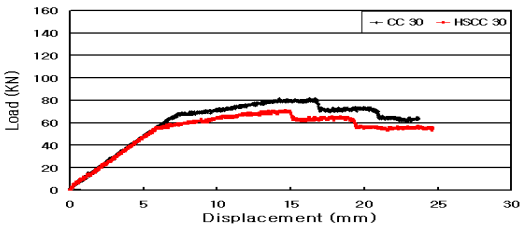

그림 2. 보의 하중-처짐곡선
(Choi et al, 2008)

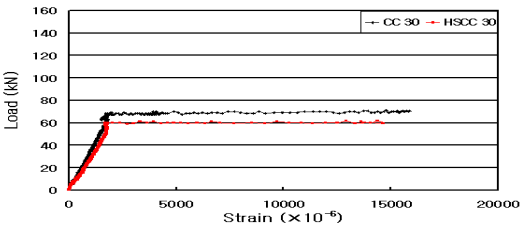

그림 3. 철근의 하중-변형률 곡선
(Choi et al, 2008)

그림 2는 HSCC 및 CC 보의 하중-처짐 곡선을 나타낸 것이다. 시험체의 파괴양상은 하중 증가에 따라 보의 중앙부 가력점 하부에서 초기 휨 균열이 생긴 후 보의 중앙부 및 지점부 안쪽에서 여러개의 휨균열이 발생하고 하중이 증가할수록 균열이 보의 상부 쪽으로 진행 동시에 균열폭이 넓어지며, 최종 파괴에 이르는 양상을 보였다. 최대하중 수준을 오랫동안 지속하면서 더 큰 처짐능력을 나타내는 연성적 파괴양상을 보였으며, HSCC 및 CC는 유사한 강성 및 연성능력을 보였다. 그림 3은 인장 철근의 하중-변형률 곡선을 나타낸 것이다. HSCC 및 CC 모든 철근의 항복시 변형률은 0.002 부근에 나타났으며, 철근의 항복하중은 보 실험체들의 항복하중과 일치하여 보 실험체의 항복은 철근의 항복과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

3.2 균열 특성

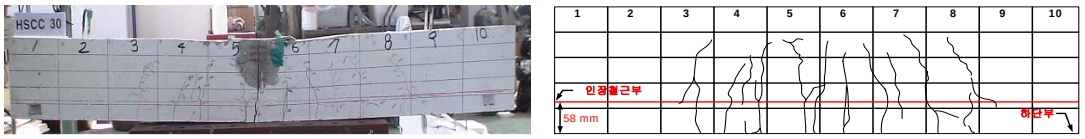

그림 4. HSCC 30 균열 양상 (Choi et al, 2008)

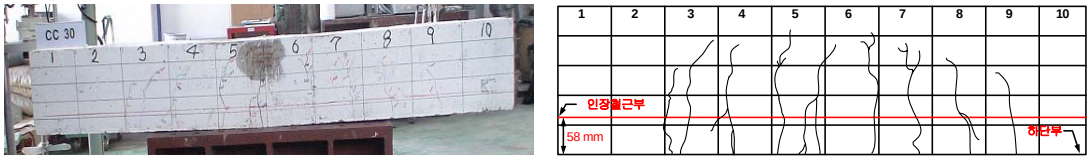

그림 5. CC 30 균열 양상 (Choi et al, 2008)

표 3. 항복강도와 균열폭의 관계 (Choi et al, 2008)

Type	항복강도 (kN)	Section	균열폭 (㎜)		$\frac{B}{A}\times 100(\%)$
			하단부(A)	인장철근부(B)	
HSCC 30	60.27	5	0.30	0.10	33
CC 30	69.09	5	0.53	0.34	64

그림 4 및 5는 HSCC 및 CC의 균열 양상을 나타낸 것이다. 표 3은 항복강도와 균열폭의 관계를 나타낸 것이다. HSCC 및 CC의 최초 휨 균열은 순수 휨 구간내에서 발생하였다. 균열폭을 비교한 결과 HSCC가 CC보다 하단부 및 인장철근부 모두 낮은 균열폭을 보였으며, 하단부에 대한 인장 철근부의 균열폭의 비는 HSCC가 낮게 나타났음을 알 수 있다. 이러한 원인은 HSCC의 경우 많은 분체량과 높은 점성때문에 콘크리트와 철근의 계면을 밀실하게 채워 인장철근부의 부착력을 향상시킴으로 CC에 비해 균열제어 효과를 보여 주고 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

1. HSCC 및 CC의 휨 실험 결과 최대하중 수준을 오랫동안 지속하면서 더 큰 처짐능력을 나타내는 연성적 파괴양상을 보였으며, 유사한 강성 및 연성능력이 나타났다.
2. HSCC 및 CC의 균열폭을 비교한 결과 HSCC가 CC보다 하단부 및 인장철근부 모두 낮은 균열폭을 보였으며, 하단부에 대한 인장 철근부의 균열폭의 비는 HSCC가 더 낮게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 고성능・다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술(05 건설핵심 D11-1)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 소형석, 소양섭, “손상수준에 따른 GFRP로 보강된 철근콘크리트 보의 내력회복,” 대한건축학회논문집, VOL.15, No.9, 1998, pp.11～18
2. Choi, Y. W. et al, "Invesgation of Flexural Performance of RC Beams made of High Flowing Self-Compacting Concrete, " in preparation