

강섬유 혼입에 따른 고유동 자기충전 콘크리트의 유동특성

Flowing Characteristic of High Flowing Self-Compacting Concrete with mixing Steel Fiber

최연왕* 최욱** 김기범*** 정재권**** 안태호***** 엄주한*****
Choi, Yun Wang Choi, Wook Kim, Gi Beom Jeong, Jae Gwon Ahn, Tae Ho Eom, Joo Han

ABSTRACT

This study is compactability and Passing ability to get to know the flowing characteristic of high flowing self-compacting concrete with mixing steel fiber of various size and diameter. After flowing test, size and diameter are getting longer, flowing performance is getting lower. It meets the standard of combined high flowing self-compacting concrete of JSCE 2 grade and passing performance from ASTM C 1621. Through this study, it can be possible to be applied in site of HSCC with mixing steel fiber.

요약

본 연구에서는 직경 및 길이를 변화시킨 강섬유를 혼입한 고유동 자기충전 콘크리트의 유동특성을 알아보기 위하여 충전성 및 간극통과성 실험을 실시하였다. 유동성 평가를 실시한 결과 강섬유의 직경 및 길이가 증가할수록 유동성능은 감소하지만 JSCE 2등급 병용계 고유동 콘크리트의 기준에 만족하였으며, ASTM C 1621에서 제시한 통과 성능을 만족하였다. 본 연구를 통하여 강섬유를 혼입한 고유동 자기충전 콘크리트의 현장 적용이 가능할 것으로 판단된다.

-
- * 정회원, 세명대학교 토목공학과 교수
 - ** 정회원, 한국시설안전공단 팀장
 - *** 정회원, 동부건설 기술지원팀 차장
 - **** 정회원, 세명대학교 토목공학과 박사과정
 - ***** 정회원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

1. 서론

콘크리트는 성형성 및 경제성이 탁월하며 우수한 강도발현으로 인해 보편화된 구조재료로 인정받고 있으나 우수한 강도 발현에 비하여 인장 및 휨강도가 작아서 본질적으로 취약적인 단점을 가지고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방법 중 하나로 강섬유 혼입으로 역학적인 단점을 해결하려고 하지만 이러한 강섬유를 혼입한 콘크리트는 유동성이 크게 감소되며, fiber ball 현상에 의하여 강섬유의 분산성이 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 또한 최근 건설현장은 작업자의 고령화, 숙련공의 부족, 초고층화, 대형화 및 특수화 되어감에 따라 시공의 효율성을 증대시킨 고유동 자기충진 콘크리트(High flowing Self-Compacting Concrete 이하 HSCC로 약함)의 적용이 증가되고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 강섬유보강 콘크리트의 시공성 향상 방안의 일환으로 HSCC에 형상 변화를 달리한 강섬유(Steel Fiber 이하 SF로 약함)를 혼입한 고유동 자기충진 콘크리트를 제조하여 일반 강섬유보강 콘크리트(Conventional Concrete 이하 CC로 약함)와 유동특성을 비교 검토하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 분체 및 골재

시멘트는 밀도 3.15g/cm³의 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 혼화재료는 국내 S사의 석회석 미분말(이하 LSP로 약함) 및 플라이애쉬(이하 FA로 약함)를 사용하였다. 각각의 물리·화학적 특성은 표 1과 같다. 잔골재는 밀도가 2.56g/cm³인 낙동강 강모래를 사용하였다. 굵은골재는 밀도가 2.7g/cm³이며, 최대치수(G_{max}) 20mm인 부순골재를 사용하였다.


표 1. 시멘트 및 분체의 물리·화학적 특성

Item Type	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	L.O.I	Density	Specific Surface Area (cm ² /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
F A	58.20	26.28	7.43	6.51	0.80	-	1.10	0.30	3.20	2.18	3,550

2.1.2 화학혼화제 및 강섬유

혼화제는 국내 H사에서 생산되는 밀도 1.1±0.02g/cm³인 액상의 폴리칼본산계 고성능 감수제(이하 SP로 약함) 및 사카라이드계의 증점제를 사용하였다. 또한, SF는 크기가 다른 3가지의 SF를 사용하였으며, 표 2는 CC 및 HSCC에 혼입된 SF의 물리적 특성 및 사진이다.

표 2. 강섬유의 물리적 특성 및 사진

Sample name	Length (mm)	Diameter (mm)	Aspect ration (l/d)	Type	Tensile strength (MPa)	
SF1	31.03	0.50	62.06	Hooked type	1064	
SF2	50.19	0.69	72.74		969	
SF3	59.23	0.89	66.55		865	

2.2. 실험방법

HSCC 유동성능평가는 일본토목학회(이하 JSCE로 약함)의 “자기충전형 고유동 콘크리트의 시험방법”에 준하여 Slump flow, U-Box, V-funnel 유하시간 및 Slump flow 500mm 도달시간을 실시하였다. 또한 부재의 통과성능을 평가하기 위하여 ASTM C 1621의 J-ring 실험을 실시하였으며, CC 유동성능평가는 KS F 2402의 Slump 시험에 의하여 실시하였다.

2.3. 콘크리트배합

CC 및 HSCC의 압축강도는 설계기준강도 30MPa를 기준으로 하였으며, CC 배합은 현장에서 주로 사용되는 콘크리트 배합을 고려하여 슬럼프 170mm 배합을 기준으로 하였다. 또한 HSCC 배합은 골재 채움율을 이용한 LSP와 FA를 사용한 3성분계 병용계 배합으로 제조하였다. SF의 혼입량은 국내 기관별 시방기준에서 권장하고 있는 40kg/m³으로 정하였다. 표 3은 CC 및 HSCC의 배합표이다.

표 3. 콘크리트 배합표

Type	PF	S/a (%)	W/C (%)	W/P (%)	FA/(C+FA) (%)	Unit mass(kg/m ³)						Steel fiber (kg/m ³)	SP (*P%)	증점제 (*W)	
						W	P			S	G				
							C	LSP	FA						
CC	Plain	-	44	46	46	0	189	412	0	0	732	986	0	0.1	0
	SF1-1												40	0.1	
	SF1												40	0.3	
	SF2												40	0.3	
	SF3												40	0.3	
HSCC	Plain	1.12	48	59	39	30	175	298	64	88	769	864	0	0.9	0.3
	SF1												40		
	SF2												40		
	SF3												40		

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유동특성

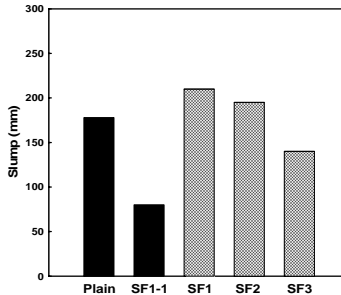


그림 1. CC의 Slump

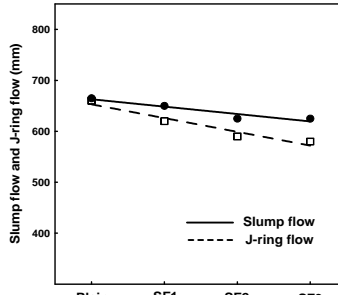


그림 2. HSCC의 Slump flow 및 J-ring flow

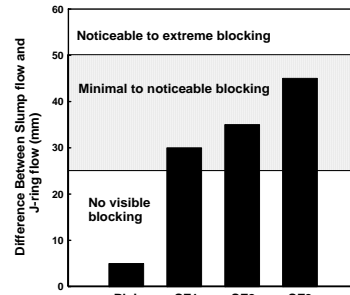


그림 3. HSCC의 Slump flow 와 J-ring flow 차이값

그림 1은 SF를 혼입한 CC의 유동성능을 평가하기 위하여 Slump값을 정리한 것이다. 그림 1의 결과 SF1-1은 SF를 사용하지 않은 기준배합과 동일한 SP제 양을 사용한 결과 Slump값이 약 55% 정도 크게 감소되는 결과를 나타내었다. 따라서 동일한 유동성능을 확보하기 위하여 SP제 양을 증가시킨 SF1, SF2 및 SF3의 경우 SF의 직경 및 길이가 커짐에 따라 비례적으로 슬럼프가 감소되어 유동성이 저하되는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 SF 자체가 콘크리트의 변형 및 유동성을 구속하기 때문으로 판단된다. 또한 SF의 길이가 길어짐에 따라 fiber ball 현상이 더욱 현저하게 발생하여 SF의 분산성이 떨어지는 결과를 나타내었다.

그림 2는 SF를 혼입한 HSCC의 유동성능을 평가하기 위하여 Slump flow 및 J-ring flow값을 정리한 것이다. 그림 2의 결과 SF의 직경 및 길이가 커질수록 Slump flow 와 J-ring flow는 SF에 시멘트 페이스트가 부착됨으로써 콘크리트의 Slump flow가 비례적으로 저하되지만 Slump flow의 경우 JSCE 2등급 병용계 HSCC의 기준($\geq 600\text{mm}$)에 만족하였다.

그림 3은 SF를 혼입한 HSCC의 Slump flow 및 J-ring flow의 차이 값을 정리한 것이다. 그림 3의 결과 SF의 직경 및 길이가 커질수록 Slump flow 및 J-ring flow의 차이 값은 증가하였지만 ASTM C 1621에서 제시한 최소 성능을 만족하였다.

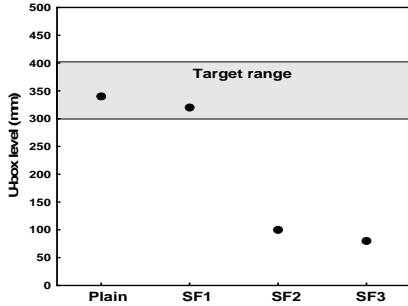


그림 4. HSCC의 U-Box 충전높이

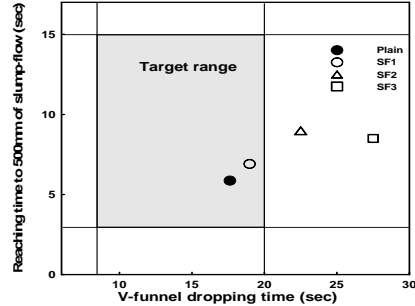


그림 5. HSCC의 V-funnel 유하시간 및 Slump flow 500mm 도달시간의 관계

그림 4는 SF를 혼입한 HSCC의 충전성 및 간극통과성을 알아보기 위하여 U-box의 충전높이를 정리한 것이다. 그림 4의 결과 SF1을 혼입한 HSCC는 JSCE 2등급 규정을 만족하였으나, SF2, SF3은 섬유망침(fiber ball)현상에 의해 규정 범위를 만족하지 못한 것으로 판단된다.

그림 5는 SF를 혼입한 HSCC의 재료분리저항성을 평가하기 위하여 V-funnel의 유하시간과 Slump flow 500mm도달시간의 관계를 나타낸 것이다. 그림 5의 결과 SF의 직경 및 길이가 증가함에 따라 모든 HSCC는 V-funnel 유하시간 및 Slump flow 500mm 도달시간이 크게 증가하는 경향을 나타냈지만 SF1은 JSCE 2등급 규정을 만족하였다.

4. 결론

1. 직경 및 길이를 달리한 SF를 혼입한 CC 및 HSCC의 유동성은 CC의 경우 소량의 유동성능을 만족하기 위해서는 SP제 양을 크게 증가시켜야 하지만 HSCC의 경우 동일한 SP제 사용으로 JSCE 및 ASTM C 1621에서 제시한 Slump flow 및 통과성능을 만족하였다.
2. 길이 60mm이하의 SF를 혼입한 모든 HSCC는 유동성을 만족하였으나 50mm 이상의 길이를 가진 SF를 혼입한 HSCC는 충전성 및 재료분리 저항성을 만족하지 못하였다.
3. 이상의 결과로부터 길이 30mm 및 직경 0.5mm인 SF를 혼입한 고유동 자기충전 콘크리트는 현장에서 고유동 자기충전 콘크리트로 현장적용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의글

본 연구는 동부건설로부터 발주된 「배면그라우팅이 필요 없는 자기충전 라이닝콘크리트의 시공기술 연구개발」에 관한 일련의 연구로 세명대학교와 공동으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Mustafa Sahmaran, Alperen Yurtseven, I. Ozgur Yaman, "Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete," Building and Environment, Vol. 40, Issue 12, 2005, pp.1672-1677
2. Yun Wang Choi, Yong Jic Kim, Hwa Cheol Shin, Han Young Moon, "An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete," Cement and Concrete Research, Vol. 36, Issue 9, 2006, pp.1595-1602