

고로슬래그 미분말이 초고강도 SFRCC의 압축강도에 미치는 영향

Influence of Ground Granulated Blast-Furnce Slag on Compressive Strength of Ultra-High Strength SFRCC

박정준* 고경택** 류금성* 강수태* 김성욱***

Park, Jung Jun Koh, Kyung Taek Ryu, Gum Sung Kang, Su Tae Kim, Sung Wook

ABSTRACT

In ultra-high strength SFRCC(Steel Fiber Reinforced Cementious Composites), much silica fume are used to improve strength, flowability and durability. Silica fume have merits of filling the voids, enhancement of rheological characteristics, production of secondary hydrates by pozzolanic reaction in reactive powder concretes. However silica fume has been imported in high-cost in domestic industry, we need to investigate replaceable material in stead of silica fume in a view of economy

Therefore, in this paper, in order to investigate replacement of silica fume in ultra-high strength SFRCC we used the granulate blast-furnce slag with finess 4000, 6000, 8000. As a results, we have evaluated that the bigger the finess the more increase compressive strength of ultra-high strength SFRCC using the blast-furnce slag and there was no problem from the viewpoint of flowability and compressive strength when we use blast-furnce 50% with replacement ratio of silica fume

1. 서론

물-결합재비를 약 0.2%로 대폭 낮추고 굵은 골재를 사용하지 않고 시멘트, 실리카 흙, 0.5mm이하의 모래, 고성능 감수제로 시멘트 매트릭스의 균질성 및 유동성을 확보하여 강섬유를 혼입하고 고온증기 양생을 통해 조기에 강도를 확보하여 초고강도인 동시에 인성을 대폭 향상시킨 시멘트 복합체인 RPC(Reactive Powder Concrete)는 유럽, 미국, 일본 등지에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 국내에서도 선유도 보도교 등을 통해 관심이 높아지고 있으며 이에 대한 연구가 진행 중에 있다¹⁾.

RPC가 발휘하는 보편적인 압축강도는 160~200MPa의 초고강도를 나타내는데 이를 위해 사용되는 재료중의 하나인 실리카 흙은 시멘트 입자사이의 공극을 메우는 필러(filler)역할, 수화시 포졸란 반응으로 수화물질 생성, 시멘트 페이스트의 유동성 증가 등의 특성을 나타내고 있어 RPC에서의 실리카 흙은 강도와 유동성 증진에 있어 매우 중요한 요소라 할 수 있다.

그러나 국내에서는 실리카 흙 전량을 수입에 의존하기 때문에 경제적인 면과 재료수급 등의 문제가 제기될 수 있으므로 이에 대한 대체재료를 검토하는 것이 반드시 필요하다.

따라서 본 연구에서는 초고강도 SFRCC(Steel Fiber Reinforced Cementious Composites)를 제조함에 있어 실리카 흙을 대체하기 위하여 고로슬래그 미분말 사용을 검토하였다. 이에 광물질 혼화재료를

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원

사용하였을 때 유동성에 미치는 영향과 압축강도 발현 등을 검토하여 경제성 있는 초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체(이하, 초고강도 SFRCC)를 제조할 수 있는 가능성을 검토하여 향후 경제적인 초고강도 SFRCC 개발을 위한 기초 데이터로 활용하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 결합재

본 실험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며 혼화재는 비표면적 약 $200,000\text{cm}^2/\text{g}$ 을 갖는 실리카 흙을 사용하였고 이를 대체사용 하고자 검토한 혼화재료는 분말도 약 4000, 6000, $8000\text{cm}^2/\text{g}$ 을 갖는 고로슬래그 미분말에 대한 사용을 검토하였다..

(2) 골재

잔골재는 0.5mm 이하의 SiO_2 99% 이상인 모래를 사용하였고, 굵은 골재는 사용하지 않았다.

(3) 충전재

충전재는 입자들의 평균 크기가 약 $10\mu\text{m}$ 이고 SiO_2 성분이 99%이상인 재료를 사용하였다.

(4) 고성능 감수제

고성능 감수제는 폴리칼본산계로 밀도 $1.01\text{g}/\text{cm}^3$, 고형성분 30%의 암갈색 액상형태를 사용하였다.

(5) 강섬유

강섬유는 초고강도 시멘트 복합체의 인성 향상을 목적으로 사용되는 고탄성용 강섬유(밀도 $7.5\text{g}/\text{cm}^3$, 길이 13mm, 직경 0.2mm, 인장강도 2500 MPa)를 콘크리트 체적비로 2%를 혼입하였다.

2.2 배합 및 실험방법

(1) 배합

본 연구에 사용된 초고강도 SFRCC 배합설계는 표 1과 같이 보통 콘크리트와 같이 단위 체적당의 배합으로 구성하지 않았으며, 시멘트량을 기준으로 다른 구성재료의 상대적인 비로 설정하였다.

(2) 플로우 시험

배합된 초고강도 SFRCC의 유동성을 평가하기 위하여 KS L 5105에서 제시된 시험기구를 이용하여 시멘트 페이스트의 이동이 멈춘 후 퍼진 최대직경과 그것이 교차하는 위치에서의 직경을 측정하여 두 직경의 평균치를 플로우치로 측정하였다.

(3) 양생방법

온도 20°C , 상대습도 65%가 되는 조건에서 젖은 양생포를 이용한 습윤양생을 1일간 실시한 후 공시체를 탈형하고, 그 후 온도 $90\pm 2^\circ\text{C}$ 에서 증기양생을 3일 동안 실시하여 20°C 에서 상대습도 65% 유지된 상태에서 3일간 양생 후 압축강도를 측정하였다.

(4) 압축강도

초고강도 SFRCC의 압축강도는 $\Phi 100 \times 200\text{mm}$ 크기의 공시체를 만들어 (3)과 같은 양생과정을 거쳐 KS L 2405에 준하여 측정하였으며, 압축강도 값은 공시체 6개의 평균값이다.

표 1 초고강도 SFRCC의 배합(중량비)

재 료		상 대 비			
물/결합재비		0.20			
시멘트		1			
결합재	실리카 흙	0.25	0.125	0	
	고로슬래그 미분말	4000	0	0.125	0.25 0.2, 0.4, 0.6
			0	0.125	0.25
		6000	0	0.125	0.25
	8000	0	0.125	0.25	
골 재		1.1			
충전재		0.3			
고성능감수제		0.02			
강섬유		콘크리트 체적의 2%			

3. 실험결과 및 고찰

3.1 초고강도 SFRCC의 기존 연구¹⁾

본 연구진들은 초고강도 SFRCC에 대한 연구에 있어서 물-결합재비의 변화, 실리카 흙의 혼입률, 골재의 입경조절 및 투입비, 충전재의 사용유무 및 종류, 강섬유의 사용유무에 따른 압축강도 특성을 분석하여 적정의 매트릭스 구성인자를 검토하여, 그림 1과 같이 압축강도 180MPa를 상회하고 그림 2와 같은 휨강도 특성을 갖는 초고강도 SFRCC 개발 및 배합기법이 도출되었다(그림 3 참조).

한편, 초고강도 SFRCC에서 실리카 흙은 강도와 유동성 증진에 있어 매우 중요한 역할을 한다. 다시 말하여 실리카 흙은 시멘트 입자사이의 공극을 메워 높은 시멘트 매트릭스의 높은 밀도를 만드는 필러(filler) 역할과 90℃의 고온 증기양생을 통한 시멘트 수화시 포졸란 반응의 활성화로 인한 수화물질 생성으로 강도를 증진시키고 구형입자로 구성되어 마찰을 감소시킴으로서 시멘트 페이스트의 유동학적 특성 강화 등의 효과를 얻을 수 있게 한다. 이러한 복합적인 효과를 시멘트 복합체내에서 충분히 얻기 위한 실리카 흙의 적정사용량은 시멘트에 대한 중량비로 나타낼 때 첨가비가 0.25정도로 많이 사용된다. 그러나 국내의 경우 실리카 흙 전량을 수입에 의존하기 때문에 경제성을 고려한다면 제조비용면에서 제조원가 상승 문제, 균질한 재료의 원활한 수급 문제 등의 문제점이 제기될 수 있으므로 실리카 흙을 대체할 수 있는 재료를 검토하는 것이 필요하다. 이에 고로슬래그 미분말을 분말도를 4000, 6000, 8000으로 변화시켜 실리카흙 대체재료로서의 사용가능성을 검토하였다.

3.2 유동성

그림 4에 표 1을 따라 제조한 초고강도 SFRCC의 유동성을 고로슬래그 미분말의 분말도 및 사용량에 따라 나타내었다. SF 0.25는 압축강도 180 MPa를 발현하는 적정 배합의 플로우를 나타낸 것으로 225mm의 플로우 값을 나타내고 있다.

한편 고로슬래그 미분말을 사용한 경우 분말도 4000의 경우 첨가비가 증가할수록 유동성이 향상되고 있음을 알 수 있었다. 첨가비 0.4에서는 265mm, 첨가비 0.6에서는 290mm의 플로우 값을 나타내 오히려 플라이애쉬나 실리카 흙 0.25를 사용한 경우보다 상당히 우수한 유동특성을 나타내 고성능 감수제의 추가사용 없이도 유동성을 확보하는데 유리할 것으로 판단된다. 또한 고로슬래그 미분말의 분말도를 변화시킨 경우 분말도의 증가에 따라 유동성이 다소 감소하는 경향을 나타내었고 실리카 흙

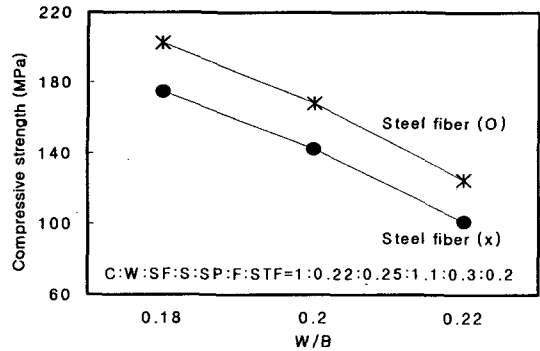


그림 3 강섬유 사용유무에 따른 압축강도

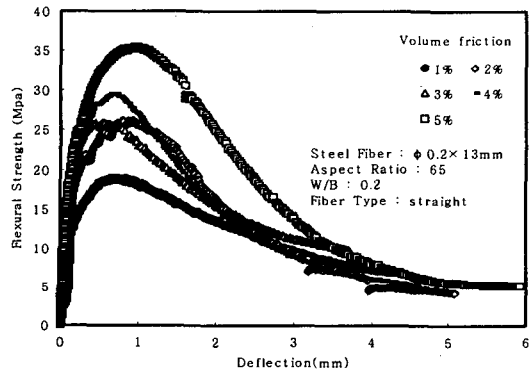


그림 2 강섬유 혼입률에 따른 휨강도-처짐 곡선

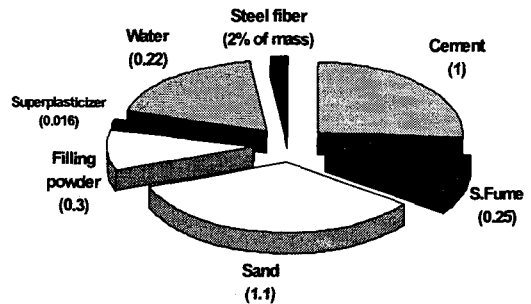


그림 5 초고강도 SFRCC의 적정배합 예

0.25에 대해 고로슬래그 미분말로 50% 치환한 0.125 배합시리즈가 실리카흙에 대해 고로슬래그 미분말로 완전히 치환한 0.25 배합시리즈에 비해 다소 유동성이 높게 나타났다. 그러나 모두 200mm이상의 플로우 값을 나타내 유동성이 SF 0.25에 비해 차이가 매우 적으며 오히려 고로슬래그 미분말의 사용량을 늘리거나 고성능감수제 사용량의 조절을 통해 소정의 유동성을 확보하는데는 어려움이 없을 것으로 판단된다.

3.3 압축강도

그림 5는 표 1을 따라 제조한 초고강도 SFRCC의 압축강도를 측정하여 나타낸 것이다. 이들 배합 중에서 SF 0.25는 압축강도가 약 200MPa를 나타내고 있다. 먼저 분말도 4000을 갖는 고로슬래그 미분말의 경우 모든 첨가비에서 약 150MPa정도로 비슷한 압축강도를 나타내었다. 이는 90℃의 증기양생을 한다면 첨가비 0.6정도까지는 압축강도의 감소가 없음을 알 수 있다. 한편, 실리카 흙 0.25에 대해 고로슬래그 미분말로 50% 치환한 0.125 배합시리즈에서 분말도 6000, 8000의 경우 압축강도가 각각 180MPa 이상을 나타내 실리카 흙만을 사용한 경우와 비교할 때 거의 비슷한 강도 발현을 나타내었다. 또한 고로슬래그 미분말로 완전히 치환하고 분말도를 변화시킨 경우 분말도가 증가할수록 압축강도가 증가하였고 분말도 8000의 경우 약 170MPa의 압축강도를 나타내었다. 따라서 고로슬래그 미분말의 분말도가 높을수록 압축강도에 유리하며 실리카 흙에 대해 50%를 치환하여 사용하면 유동성(그림 4 참조)과 강도 발현 측면에서 문제가 거의 없는 것으로 나타나 실리카 흙의 대체재료로 충분히 사용 가능하다고 판단된다. 한편, 고로슬래그 미분말을 초고강도 SFRCC의 실리카 흙 사용량에 대해 50% 치환할 경우 약 4%, 100% 치환할 경우 약 8%의 경제적인 초고강도 SFRCC를 제조할 수 있을 것으로 분석되었다.

4. 결론

- 1) 경제적인 초고강도 SFRCC 제조함에 있어 실리카 흙 대신 고로슬래그 미분말을 분말도 4000, 6000, 8000의 경우에 대해 검토한 결과 고로슬래그 미분말의 분말도가 높을수록 압축강도에 유리하며 실리카 흙에 대해 50%를 치환하여 사용하면 유동성과 강도 발현 측면에서 문제가 거의 없는 것으로 판단된다. 특히 고로슬래그는 유동성 또한 양호하기 때문에 실리카 흙 대체재료로 충분히 가능성이 있음을 알 수 있었다. 그러므로 이들 재료에 대해 보다 적극적인 검토가 한다면 보다 경제적인 초고강도 SFRCC를 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 박정준, 고경택, 강수래, 김성욱, "초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체의 구성인자가 압축강도에 미치는 영향", 콘크리트학회 논문집, 제17권 1호, 2005.2, pp.35-41

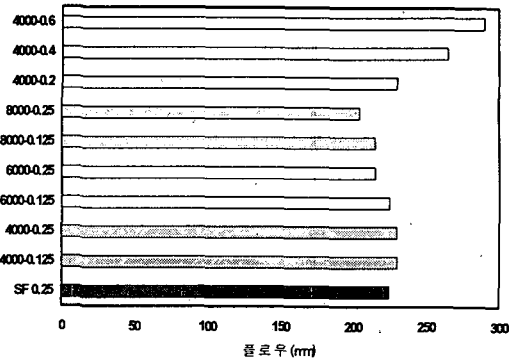


그림 6 고로슬래그 분말도 및 사용량에 따른 유동성

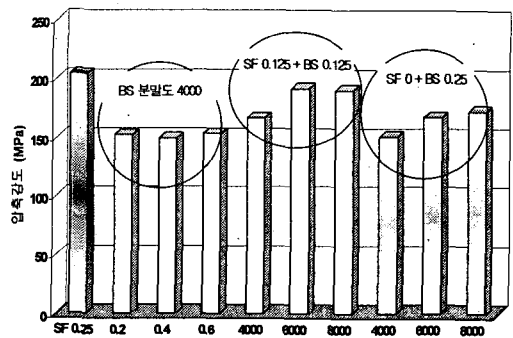


그림 7 고로슬래그 분말도 및 사용량에 따른 압축강도