

광물질 혼화제를 사용한 초고강도 SFRCC의 특성

The propertise of the compressive strength of ultra-high strength Steel Fiber Reinforced Cementitious Composites with mineral admixtures

박 정 준* 고 경 택** 강 수 태* 류 금 성* 김 성 옥***
Park, Jung Jun Go, Gyung Taek Kang, Su Tae Ryu, Gum Sung Kim, Sung Wook

ABSTRACT

Silica fume has 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 investigation replacement of silica fume in ultra-high strength SFRCC we used another mineral admixtures like that fly-ash, blast slag.

1. 서 론

고강도 콘크리트의 취성과파괴를 개선하고자 초고강도 시멘트 매트릭스 강섬유를 보강하여 인성을 대폭 향상시킨 시멘트 복합체인 RPC(Reactive Powder Concrete)는 국내에서도 선유도 보도교에 적용된 사례가 있어 관심이 높아지고 있으며 국내에서도 이에 대한 연구가 진행 중에 있다¹⁾. 특히 RPC가 발휘하는 보편적인 압축강도인 160~200MPa의 초고강도를 나타내기 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 국내의 경우 실리카 흙 전량을 수입에 의존하기 때문에 경제성을 고려한다면 제조비용면에서 문제점을 제기할 수 있으므로 이에 대한 대체재료를 검토하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 초고강도 SFRCC(Steel Fiber Reinforced Cementitious Composites)를 제조함에 있어 실리카 흙을 대체하기 위하여 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말과 같은 광물질 혼화재료 사용을 검토하고자 하였다. 이에 광물질 혼화재료를 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 초고강도 SFRCC 개발을 위한 기초 데이터로 활용하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

- * 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원
- ** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원
- *** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원

(1) 결합재

본 실험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며 혼화제는 비표면적 약 $200,000\text{cm}^2/\text{g}$ 을 갖는 실리카 흙을 사용하였고 이를 대체사용 하고자 검토한 혼화제로는 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 사용 검토하였다. 이들의 분말도는 각각 $3,618\text{cm}^2/\text{g}$, $4,530\text{cm}^2/\text{g}$ 이다.

(2) 골재

잔골재는 0.5mm 이하의 국내산 모래를 사용하였고, 굵은 골재는 사용하지 않았다. 잔골재는 A(밀도 $2.62\text{g}/\text{cm}^3$, 평균입경 0.3~0.5mm, SiO_2 93%)와, B(밀도 $2.62\text{g}/\text{cm}^3$, 평균입경 0.17~0.3mm, SiO_2 93%)를 70:30으로 혼합 사용하였다.

(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 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 그것에 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
	플라이애쉬	0.1, 0.2, 0.3
	고로슬래그 미분말	0.2, 0.4, 0.6
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 실리카 흙과 강섬유를 제외한 국내산 재료를 적극적으로 활용하여 제조한 초고강도 SFRCC에 있어서 물-결합재비의 변화, 실리카 흙의 혼입률, 골재의 입경조절 및 투입비, 충전재의 사

용유무 및 종류, 강섬유의 사용유무에 따른 압축강도 특성을 분석하여 적정의 매트릭스 구성인자를 검토하여, 그림 1~그림 2와 같이 압축강도 180MPa를 상회하는 초고강도 SFRCC 배합이 도출되었다.

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 시멘트복합체내에서 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 여러 가지 문제점이 제기될 수 있으므로 실리카 흙을 대체할 수 있는 재료를 검토하는 것이 필요하다. 이에 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 사용하여 검토하였다.

3.2 유동성

그림 3에 표 1을 따라 제조한 초고강도 SFRCC의 유동성을 혼화재 사용종류에 따라 나타내었다. SF 0.25는 압축강도 180MPa를 발현하는 적정 배합의 플로우를 나타낸 것으로 225mm의 플로우 값을 나타내고 있다.

한편 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 사용한 경우 혼화재의 첨가비가 증가할수록 유동성이 향상되고 있음을 알 수 있었다. 특히 고로슬래그 미분말은 첨가비 0.4에서는 265mm, 첨가비 0.6에서는 290mm의 플로우 값을 나타내 오히려 플라이애쉬나 실리카 흙 0.25를 사용한 경우보다 상당히 우수한 유동특성을 나타내었다. 따라서 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 실리카 흙 대체재료로 선택하여 사용한다면 고성능 감수제의 추가 사용없이도 소정의 유동성을 확보하는 데는 어려움이 없을 것으로 판단된다.

3.3 압축강도

그림 4는 표 1을 따라 제조한 초고강도 SFRCC를 3일간의 90℃의 증기양생을 거쳐 20℃에서 상대

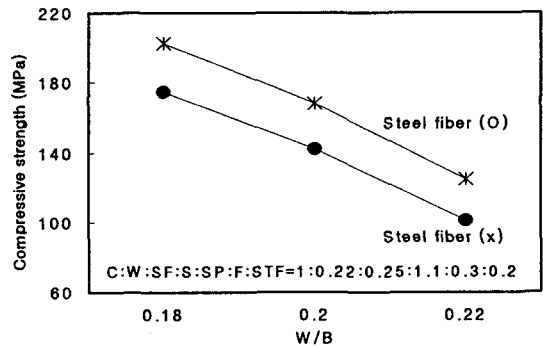


그림 1 강섬유 사용유무에 따른 압축강도

이러한 복합적인 효과를 시멘트복합체내에서 충분히 얻기 위한 실리카 흙의 적정사용량은 시멘트에 대한 중량비로 나타낼 때 첨가비가 0.25정도로 많이 사용된다.

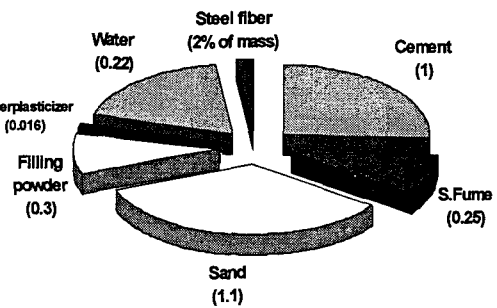


그림 2 초고강도 SFRCC의 적정배합

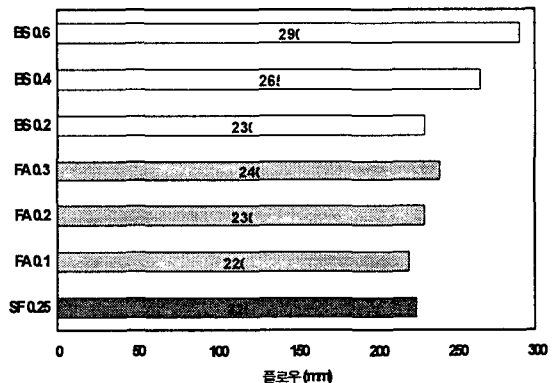


그림 3 혼화재 사용종류에 따른 유동성

습도 65%가 유지된 상태에서 3일간 양생한 후 시험재령 7일에 압축강도를 측정하여 혼화재 사용종류에 따라 나타낸 것이다. 초고강도 SFRCC의 적정 배합을 통해 제조된 SF0.25는 압축강도가 약 180MPa를 나타내고 있다. 플라이애쉬의 경우 첨가비 0.1, 0.2는 약 140MPa를 나타내었고 첨가비 0.3에서는 약 130MPa로 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 플라이애쉬 0.3이상의 첨가비부터는 상대적으로 시멘트량이 감소하여 포졸란 반응에 필요한 수산화칼슘 양이 상대적으로 부족하여 압축강도가 감소한 것으로 판단된다. 한편 고로슬래그의 경우 모든 첨가비에서 약 150MPa 정도로 비슷한 압축강도를 나타내었다. 이는 90℃의 증기양생을 한다면 첨가비 0.6정도까지는 압축강도의 감소가 없음을 알 수 있다. 따라서 초고강도 SFRCC 제조에 있어 실리카 흙 대신 플라이애쉬나 고로슬래그 미분말을 사용하여도 140~150MPa의 압축강도를 얻을 수 있으며 그림 3에서와 같이 유동성 또한 양호하기 때문에 실리카 흙 대체재료로 충분이 가능성이 있음을 알 수 있었다. 그러므로 이들 재료에 대해 강도증진요소를 검토를 한다면 보다 경제적인 초고강도 SFRCC를 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

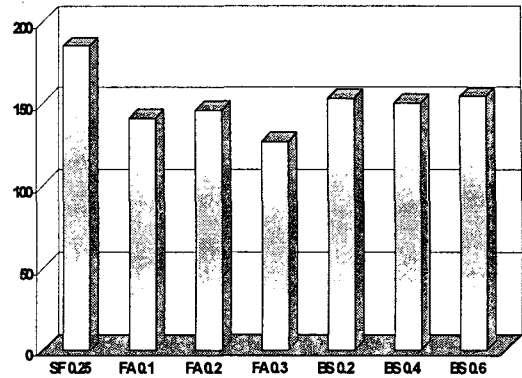


그림 4 혼화재 사용종류에 따른 압축강도

한편 그림 4에서 압축강도의 발현형태가 실리카 흙>고로슬래그>플라이애쉬 순으로 나타난 것을 알 수 있다. 이러한 혼화재 종류에 따른 압축강도의 차이는 원인을 고찰하면 분말도 차이에서 오는 필터 효과의 차이로 볼 수 있다. 특히 본 연구에서는 3일간의 90℃ 증기양생을 실시하기 때문에 시멘트의 수화반응과 광물질 혼화재의 포졸란 반응이 모두 이루어졌다고 가정한다면 이들 혼화재 종류에서 오는 압축강도의 차이는 첨가비의 차이도 있겠지만 분말도 차이에서 오는 필터효과²⁾의 차이로 설명할 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 실리카 흙과 플라이애쉬, 고로슬래그, 메타카올린 등의 혼화재를 병행사용하여 강도 증진을 검토하고자 하며 이에 진행중에 있다.

4. 결론

- 1) 초고강도 SFRCC 제조에 있어 실리카 흙 대신 플라이애쉬나 고로슬래그 미분말을 사용하여도 140~150MPa의 압축강도를 얻을 수 있으며 유동성 또한 양호하기 때문에 실리카 흙 대체재료로 충분이 가능성이 있음을 알 수 있었다. 그러므로 이들 재료에 대해 보다 적극적인 검토가 한다면 보다 경제적인 초고강도 SFRCC를 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 박정준,고경택,강수태,김성욱, "초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체의 구성인자가 압축강도에 미치는 영향", 콘크리트학회 논문집, 제17권 1호, 2005.2, pp.35-41
2. G.C.Isaia,A.L.G.Gastaldini,R.Moraes "Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete", Cement & Concrete Composites 25, 2003, pp.69-76