

# 재료요인이 초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체의 압축강도에 미치는 영향

## The effect of material factors on the compressive strength of ultra-high strength Steel Fiber Reinforced Cementitious Composites

박 정 준\* 고 경 태\*\* 강 수 태\* 류 금 성\* 김 성 욱\*\*\* 이 장 화\*\*\*\*  
Park, Jung Jun Go, Gyung Taek Kang, Su Tae Ryu, Gum Sung Kim, Sung Wook Lee, Jang Hwa

### ABSTRACT

In this paper, to make ultra-high strength SFRCC with the range of compressive strength 180MPa, it was investigated the constitute factors of ultra-high strength SFRCC influenced on the compressive strength. The experimental variables were water-cementitious ratio, replacement of silica fume, size and proportion of sand, type and replacement of filling powder, and using of steel fiber in ultra-high strength SFRCC. As a result, in water-binder ratio 0.18, we could make ultra-high strength SFRCC with compressive strength 180MPa through using of silica fume, quartz sand with below 0.5mm, filling powder and steel fiber.

### 1. 서 론

고강도 콘크리트의 실용화에 따른 압축강도의 증가로 콘크리트의 취성과파괴가 문제가 되고 있다. 이런 콘크리트의 결함 및 문제점을 개선하고자 섬유를 보강하여 인성을 향상시킨 다양한 섬유 보강 시멘트 복합체가 사용되고 있다. 특히, 최근 압축강도 100MPa 이상을 지닌 초고강도 시멘트 매트릭스에 강섬유를 혼입하여 고인성을 부여한 초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체가 개발되어 주목을 받고 있다<sup>1,2)</sup>. 그러나 초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체 중에서 RPC(Reactive Powder Concrete)는 국내에서도 선유도 보도교에 적용된 사례가 있어 관심이 높아지고 있으나, 이 분야에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 매트릭스의 구성요소가 초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체(이하, 초고강도 SFRCC)의 압축강도에 미치는 영향을 검토하여, 초고강도 SFRCC 개발에 있어서 기초 데이터로 활용하고자 한다.

### 2. 실험개요

#### 2.1 사용재료

##### (1) 결합재

본 실험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며 혼화제는 비표면적 약  $200,000\text{cm}^2/\text{g}$ 을 갖는 실리카폼을 사용하였다.

\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구위원

\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

(2) 골재

잔골재는 0.5mm 이하의 국내산 모래를 사용하였고, 굵은 골재는 사용하지 않았다. 잔골재는 A(밀도 2.62g/cm<sup>3</sup>, 평균입경 0.3~0.5mm, SiO<sub>2</sub> 93%)와, B(밀도 2.62g/cm<sup>3</sup>, 평균입경 0.17~0.3mm, SiO<sub>2</sub> 93%)를 사용하였다.

(3) 충전재

충전재는 입자들의 평균 크기가 약 100 $\mu$ m, 10 $\mu$ m이고 SiO<sub>2</sub>성분이 99%이상인 재료를 사용하였다.

(4) 고성능 감수제

고성능 감수제는 폴리칼본산계로 밀도 1.01g/cm<sup>3</sup>, 고형성분 30%의 암갈색 액상형태를 사용하였다.

(5) 강섬유

강섬유는 인성 향상을 목적으로 사용되는 고탄성용 강섬유(밀도 7.5g/cm<sup>3</sup>, 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

표 1 고강도 강섬유 시멘트 복합체의 배합(중량비)

재 료	상 대 비
시멘트	1
물	0.14~0.22
실리카폼	0~0.25
골재	1~1.3
충전재	0~0.3
고성능감수제	0.016
강섬유	콘크리트 체적의 2%

(2) 압축강도

초고강도 SFRCC의 압축강도는 50×50×50mm 크기의 공시체를 만들어 KS L 5105에 준하여 측정하였으며, 압축강도 값은 공시체 6개의 평균값이다.

(3) 양생방법

온도 20℃, 상대습도 65%가 되는 조건에서 젖은 양생포를 이용한 습윤양생을 1일간 실시한 후 공시체를 탈형하고, 그 후 온도 90±2℃에서 수증고온 양생을 4일 동안 실시하여 20℃에서 상대습도 65% 유지된 상태에서 2일간 양생 후 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 물-결합재비의 영향

그림 1은 물-결합재비 변화에 따른 압축강도 값을 나타낸 것이다. 이때 실리카폼의 첨가비는 시멘트-실리카폼비를 0.25로 고정하였다. 실험결과, 물-결합재비가 감소할수록 압축강도가 증진되는 효과가 있으나, 본 연구에서 목표로 하는 압축강도 180MPa에 상당히 부족한 것으로 나타났다.

따라서 물-결합재비를 낮추는 방법만으로는 목표 압축강도 180MPa를 갖는 초고강도 SFRCC를 제조하는데 한계가 있으므로 충전재 사용방법 등을 함께 검토할 필요가 있다.

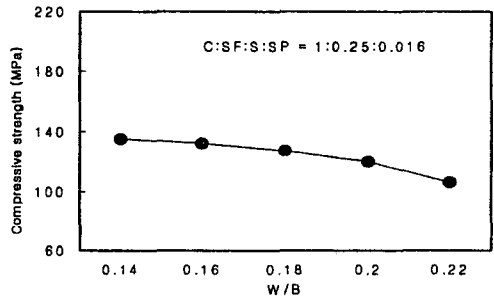


그림. 1 물-결합재비에 따른 압축강도

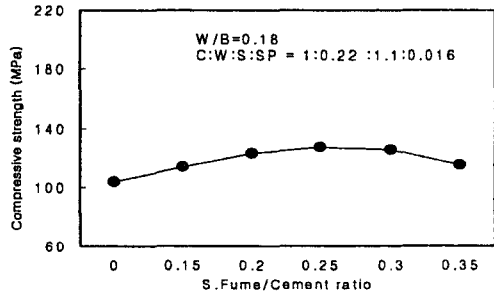


그림. 2 실리카폼-시멘트비에 따른 압축강도

### 3.2 실리카폼의 영향

실리카폼의 적정의 첨가비를 구하기 위해 첨가비에 따른 초고강도 SFRCC의 압축강도 시험을 하여 그림 2에 나타내었다. 실험 결과, 압축강도는 실리카폼 첨가비 0.25에서 가장 높고, 그 이상의 첨가비부터 강도가 저하되는 것으로 나타났다. 이는 실리카폼이 포졸란 반응을 하기 위해서는 시멘트가 수화반응을 하며 생산되는 수산화칼슘이 필요한데 실리카폼 첨가비 0.25까지는 실리카폼의 포졸란 반응에 필요한 수산화칼슘의 양이 충분히 존재하여 강도증진에 효과가 있었으나, 0.25이상의 첨가비부터는 시멘트량이 감소하기 때문에 포졸란 반응에 필요한 수산화칼슘 양이 상대적으로 부족하여 압축강도 증진에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

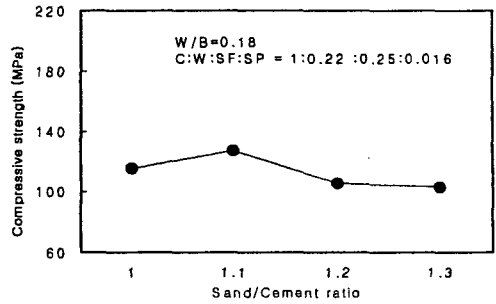


그림 3 모래-시멘트비에 따른 압축강도

### 3.3 골재의 영향

그림 3은 석영질 모래 투입비가 압축강도에 미치는 영향이다. 그 결과, 골재-시멘트 비가 1.1인 경우가 압축강도가 가장 높게 나타났다. 이것은 골재-시멘트 비 1.1인 경우가 가장 밀실히 충전이 된 결과로 사료된다.

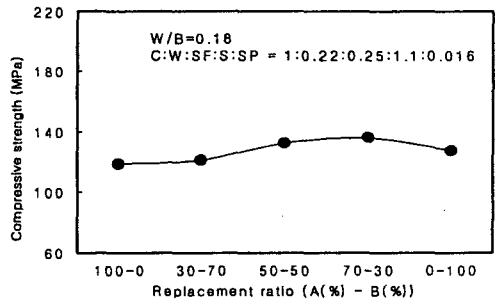


그림 4 모래입경변화에 따른 압축강도

그림 4는 골재 입경변화에 따른 압축강도 변화이다. 동일한 크기의 골재를 사용한 경우보다는 입경이 다른 골재를 조합하여 사용하는 것이 강도증진에 유리한 것을 알 수 있었으며, 그 가운데에서도 골재 A 70%와, 골재 B 30%를 조합하여 사용할 경우 압축강도가 가장 크게 나타났다.

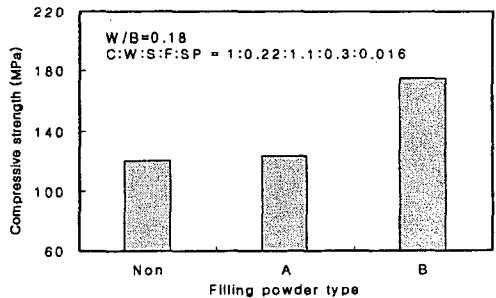


그림 5 충전재 종류에 따른 압축강도

### 3.4 충전재의 영향

그림 5는 충전재의 입경크기에 따라 압축강도를 실험한 결과이다. 실험결과, 입자 크기 100 $\mu$ m인 충전재 A는 강도증진 효과가 거의 없으나, 입자 크기 10 $\mu$ m인 충전재 B는 충전재를 사용하지 않은 Non 시험체에 비해 55MPa(31%) 정도 강도가 증진되는 것으로 나타났다. 이 결과에 의하면, 충전재는 시멘트와 골재 사이의 계면에 충전되어 필러 역할을 통해 강도가 증진되는데 이를 위해 충전재 입자는 10 $\mu$ m 정도가 강도증진에 효과적인 것으로 분석되었다.

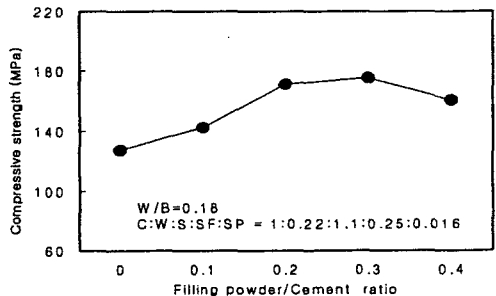


그림 6 충전재-시멘트비에 따른 압축강도

그림 6은 입자 크기 10 $\mu$ m 충전재 A에 대해 충전재-시멘트 비를 변화시켜 압축강도를 실험한 결과로 충전재-시멘트 비가 0.3인 경우가 압축강도가 가장 크게 나타나 적정 혼입률로 판단된다.

그림 7은 물-결합재비 변화에 대해 충전재 사용 유무에 대한 압축강도의 결과이다. 충전재를 사용함으로써

물-결합재비에 상관없이 강도가 향상되며, 물-결합재비가 낮을수록 압축강도가 증진되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 본 연구와 같이 물-결합재비가 낮은 초고강도 시멘트 복합체에서의 강도는 시멘트 페이스트 파괴가 아닌 시멘트 페이스트와 골재 사이의 계면 파괴에 의해 결정되는 것으로 사료된다.

### 3.5 강섬유의 영향

본 연구에서 초고강도 SFRCC 제조에 사용된 강섬유량은 콘크리트 체적의 2%를 혼입하였으며, 물-결합재비에 따른 압축강도를 측정하였다.

그림 8은 강섬유 유무에 따른 초고강도 SFRCC의 압축강도이며 강섬유를 혼입함으로써 물-결합재비에 관계없이 약 13%의 압축강도 증진효과가 있는 것으로 나타났다. 특히, 물-결합재비 0.18의 경우 강섬유를 혼입하였을 때 압축강도가 200MPa 정도로 나타나 초고강도 SFRCC 제조에 있어 가능성을 나타내었다.

### 3.6 적정 구성인자 배합예

이상과 같이 본 연구에서는 실리카폼과 강섬유를 제외한 국내산 재료를 적극적으로 활용하여 제조한 초고강도 SFRCC에 있어서 적정의 매트릭스 구성인자를 검토한 결과, 압축강도 180MPa를 상회하는 초고강도 SFRCC 배합이 도출되었다. 3.1~3.5절에서 기술한 바를 바탕으로 압축강도 180MPa에 도달할 수 있는 초고강도 SFRCC에 대한 배합예를 제시하면 그림 9와 같이 정리할 수 있다.

향후 실리카폼을 대체할 수 있는 재료의 개발과 강섬유의 국내생산 문제가 해결된다면 기존의 RPC나 CRC와 같은 초고강도 SFRCC를 외국의 값비싼 재료를 사용하지 않고 보다 경제적으로 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

## 4. 결론

- 1) 물-결합재비의 조절, 실리카폼, 0.5mm 이하의 석영질 골재, 충전재 및 강섬유 등의 재료요인이 초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체의 압축강도에 미치는 영향을 검토하여 압축강도 180MPa를 확보할 수 있는 적정배합을 제시하였다

### 참고문헌

1. N.Gowripalan, "Reactive Powder Concrete(RPC) for Precast Structural Concrete-Research and Development in Australia", The 21st Biennial Conference of The Concrete Institute of Australia, Concurrent session 1 materials, 2003.
2. Pierre Richard, Marcel Cheyrezy "COMPOSIT ION OF REACTIVE POWDER CONCRETES", Cement and Concrete Research, Vol.25, No.7, pp.1501-1511, 1995.

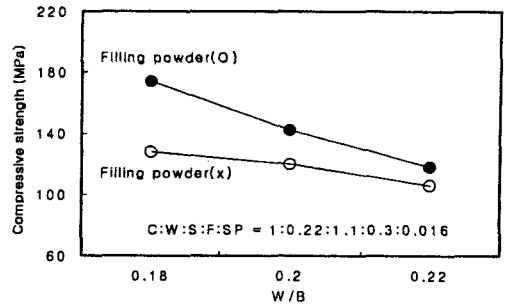


그림 7 충전재 사용유무에 따른 압축강도

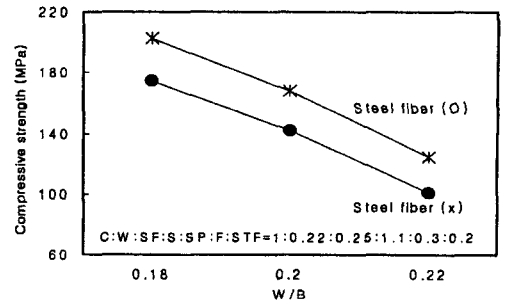


그림 8 강섬유 사용유무에 따른 압축강도

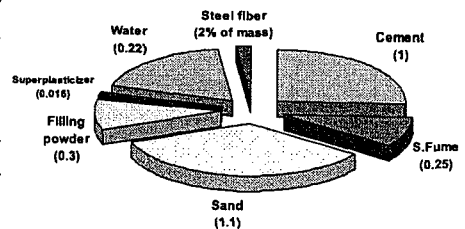


그림 9 초고강도 강섬유 시멘트 복합체의 적정 적정배합 예