

실리카 폼의 첨가량에 따른 UHPC의 강도와 내부조직에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Effect on Strength and Internal Structure for UHPC by Silics Fume Replacement Ratio

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

ABSTRACT

Silica fume is a very important gradient in UHPC(Ultra High Performance Concrete) and its amount is normally over 25% of cement(wt.%). But we surely need to comprehend the influence of the amount of silica fume on the UHPC.

In this paper, it was investigated how the amount of silica fume influence on the properties such as fluidity, compressive strength, elastic modulus, and flexural strength. Furthermore, it was examined the internal micro structure on UHPC through the test of SEM and MIP.

In results, If we properly use silica fume in UHPC, fluidity and strength of UHPC was increased. It can be ascertained through the test of MIP that silica fume effectively increased density of UHPC by posolanic reaction and acting as filler. Especially, In case of Cement to silica fume ratio 0.1~0.25, we can be concluded that UHPC has similar to mechanical property.

요 약

UHPC에서의 실리카 폼은 강도와 유동성 증진에 있어 매우 중요한 요소라 할 수 있으며 그 사용량은 시멘트에 대해 25%이상(중량비)을 보편적으로 사용하고 있으나 실리카 폼의 사용량에 따른 UHPC에 미치는 영향을 파악하는 노력들이 필요하다. 이에 본 연구에서는 실리카 폼의 사용량에 따른 유동성, 압축강도, 탄성계수, 휨강도의 역학적 특성과 SEM 및 MIP(Mercury Intrusion Porosimetry)를 통한 내부조직을 검토하였다. 검토결과, 적절한 실리카 폼의 사용은 유동성과 강도를 증진시키는데 이는 포졸란 반응에 의한 수화물질의 증대와 필러역할에 의한 콘크리트 내부의 밀도가 효과적으로 증진되어 강도가 증가한 것을 MIP 실험을 통해 알 수 있었다. 또한 시멘트에 대해 중량비로 10~25% 범위 내에서는 비슷한 역학적 특성을 나타내는 것으로 판단된다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 책임연구원

1. 서 론

콘크리트는 압축강도가 증가할수록 콘크리트의 취성 파괴 등의 문제점을 지니게 되는데 이런 콘크리트의 결함 및 문제점을 개선하기 위해 섬유를 보강하여 인성을 향상시켜 연성거동을 함과 동시에 약 100MPa 이상의 초고강도를 지닌 UHPC(Ultra-High Performance Concrete)가 개발되어 주목을 받고 있다. UHPC의 재료구성을 살펴보면 물-결합재비를 약 0.2~0.3%로 대폭 낮추고 굵은 골재를 사용하지 않은 상태에서 시멘트, 광물질 혼화재, 모래, 고성능 감수제로 시멘트 매트릭스의 균질성 및 유동성을 확보하여 강섬유를 혼입하여 초고강도인 동시에 인성을 대폭 향상시킨 시멘트 복합체로 구성되어 있다. 특히 프랑스의 경우, RPC(Reactive Powder Concrete) 계열의 Ductal[®]로 상품화되어 상당한 연구가 진척되어 있으며 세계 각국에 RPC로 건설되는 구조물에 대해 재료와 기술을 공급하고 있고 선유도 보도교 건설을 통해 국내에서도 잘 알려져 있다. 독일은 최근 들어 Nanodur[®]라는 UHPC용 시멘트를 개발하여 상품화하였으며 미국은 Naaman 교수를 중심으로 기존 직선(straight)형태나 훅(hook)형태를 벗어나 Torex라는 새로운 타입의 강섬유를 개발하여 UHPC의 인성거동을 더욱 늘리려는 노력이 진행되고 있는 등, 유럽, 미국, 일본 등지에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 그러나 국내에서는 이에 대한 연구는 전무한 상태였으나 최근 들어 본 연구진을 통해 RPC 계열인 압축강도 200MPa, 휨강도 30MPa를 발휘하는 UHPC가 개발되어 주목을 받고 있다¹⁾.

한편, UHPC에서 초고강도를 얻기 위해 사용되는 재료중의 하나인 실리카 폼은 시멘트 입자사이의 공극을 메우는 필러(filler)역할 및 수화 시 포졸란 반응에 따른 수화물질 생성으로 인한 강도증진, 시멘트 페이스트의 유동성 증가 등의 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 UHPC에 실리카 폼이 미치는 영향을 파악하기 위하여 실리카 폼의 사용량에 따른 유동성, 압축강도, 탄성계수, 휨강도의 역학적 특성을 검토하였고 내부조직을 관찰하기 위하여 SEM 촬영 및 MIP 시험을 실시하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 결합재

본 실험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며 혼화재는 비표면적 약 200,000cm²/g을 갖는 실리카 폼을 사용하였다.

(2) 골재

잔골재는 0.5mm 이하의 모래를 사용하였고, 굵은 골재는 사용하지 않았다. 잔골재는 밀도 2.62g/cm³, SiO₂ 98% 정도의 특성을 나타내었다.

(3) 충전재

충전재는 입자들의 평균 크기가 약 2 μ m이고 밀도 2.65g/cm³, SiO₂성분 99%이상인 재료를 사용하였다.

(4) 고성능 감수제

고성능 감수제는 폴리칼본산계로 밀도 1.01g/cm³의 암갈색 액상형태를 사용하였다.

(5) 강섬유

강섬유는 인장강도 2,500MPa, 직경 0.2mm, 길이 13mm, 형상계수 65의 고탄성 강섬유를 사용하였다.

2.2 배합 및 실험방법

(1) 배합

본 연구에 사용된 UHPC 배합설계는 표 1과 같이 시멘트량을 기준으로 다른 구성재료의 상대적인 비로 설정하였다.

(2) 플로우 시험

배합된 UHPC의 유동성을 평가하기 위하여 KS L 5105에서 제시된 시험기구를 이용하여 플로우치로 측정하였다.

(3) 양생방법

온도 20℃, 상대습도 65%가 되는 조건에서 습윤양생을 1일간 실시한 후 공시체를 탈형하고, 그 후 온도 90±2℃의 고온수중양생을 3일 동안 실시한 후 20℃에서 상대습도 65% 유지된 상태에서 3일간 양생 후 압축강도 및 휨강도를 측정하였다.

(4) 압축강도

UHPC의 압축강도는 Φ100×200mm 크기의 공시체를 만들어 (3)과 같은 양생과정을 거쳐 KS L 2405에 준하여 측정하였으며, 압축강도 값은 공시체 6개의 평균값이다.

(5) 휨강도

UHPC의 휨강도는 그림 1에 나타낸 바와 같이 시험체 중앙부에 노치(notch)낸 보 공시체를 만들어 (3)과 같은 양생과정을 거쳐 4점 재하실험으로 측정하였으며 공시체 5개의 평균값이다.

(6) SEM 및 MIP 측정

SEM 및 MIP 측정용 시편은 압축강도 시험을 실시한 UHPC에 대해 5~10mm 크기로 채취하여 1일 정도 아세톤에 침지시켜 시멘트 경화체의 수화를 정지시킨 후 40℃에서 1일 정도 건조시킨 후 각 실험용도에 맞게 가공처리하여 측정하였다.

표 1 UHPC 배합(중량비)

재 료	상 대 비
물 결합재비(W/B)	0.2
시멘트	1
실리카 폼	0.05~0.3
골재	1.1
충전재	0.3
고성능감수제	0.018
강섬유	콘크리트 체적의 2%

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유동성 및 역학적 특성

그림 1은 실리카 폼 사용량에 따른 UHPC의 유동성과 압축 및 휨강도를 나타낸 것이고 그림 2는 실리카 폼 사용량에 따른 탄성계수를 나타낸 것이다. 선행연구²⁾에서 UHPC 제조 시 적절한 실리카 폼의 사용은 유동성과 강도를 증진시키며 시멘트에 대해 중량비로 10~25% 범위 내에서는 비슷한 역학적 특성을 나타내는 것으로 판단하였다.

3.2 SEM

그림 3은 실리카 폼 사용량에 따른 UHPC의 SEM 측정결과를 나타낸 것이다. UHPC에 포함된 모래 및 충전재의 영향으로 SiO₂성분의 석영질의 결정체가 대부분 관찰되어 Ca(OH)₂등의 수화물의 존재유무를 파악하기는 어렵지만 혼입율이 증가할수록 내부조직의 공극이 메워져 보다 밀실해 지는 것을 알 수 있다. 실리카 폼의 혼입율에 따른 수화물질의 영향을 파악하기 위해서는 시멘트와 실리카 폼만을 혼입한 페이스트 상태에서 관찰하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

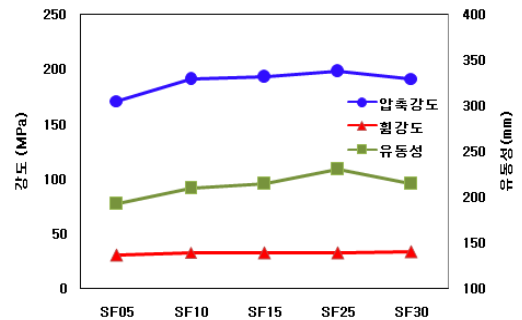


그림 1 UHPC의 유동성과 압축 및 휨강도

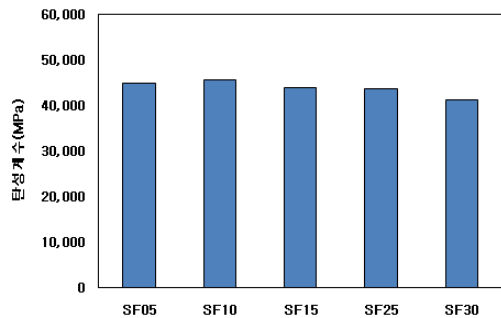


그림 2 UHPC의 탄성계수²⁾

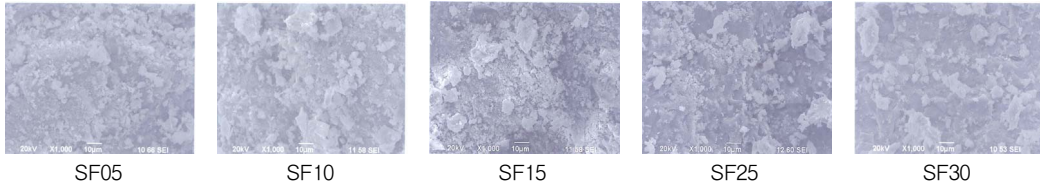


그림 3 SEM 측정결과(×1000)

3.3 공극분포

그림 4은 실리카 폼 사용량에 따른 UHPC의 공극분포를 MIP에 의해 측정된 결과를 나타낸 것이다. SF05의 경우, 대부분의 공극이 다른 시험체에 비해 공극량이 많은 것으로 나타나 강도저하의 원인을 알 수 있다. 한편 콘크리트의 내구성에 영향을 미치는 Capillary 영역인 0.03~10 μ m의 범위에 대한 공극량과 압축강도의 관계를 그림 5에 나타내었다. 실리카 폼의 첨가량이 25%까지는 공극량이 감소하며 이에 따라 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 포졸란 반응에 의한 수화물질의 증대와 필러역할에 의한 콘크리트 내부의 밀도가 효과적으로 증진되어 강도가 증가한 것을 알 수 있으며 이에 내구성도 향상될 것으로 판단된다.

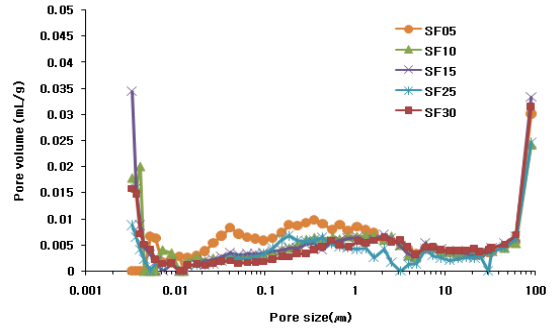


그림 4 MIP에 의한 UHPC의 공극분포

4. 결론

본 연구는 UHPC를 제조함에 있어 실리카 폼의 사용량에 따른 영향을 파악하기 위하여 UHPC의 유동성에 미치는 영향과 압축강도 및 휨강도 발현, SEM 및 MIP 실험을 통한 내부조직 등을 검토하였다. 검토결과, 적절한 실리카 폼의 사용은 유동성과 강도를 증진시키는데 이는 포졸란 반응에 의한 수화물질의 증대와 필러역할에 의한 콘크리트 내부의 밀도가 효과적으로 증진되어 강도가 증가한 것을 MIP 실험을 통해 알 수 있었다. 또한 시멘트에 대해 중량비로 10~25% 범위 내에서는 비슷한 역학적 특성을 나타내는 것으로 판단된다.

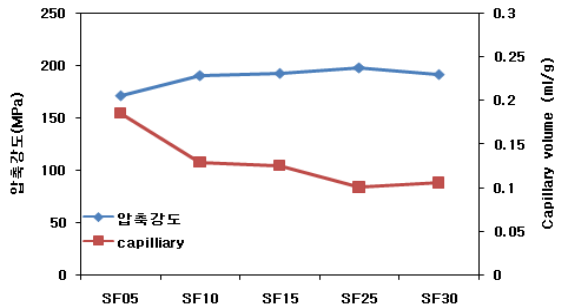


그림 5 압축강도와 Capillary와의 관계

감사의 글

이 논문은 한국건설기술연구원 기본연구사업인 “하이브리드 사장교용 초고성능 콘크리트 개발” 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원, 콘크리트 교량의 내구성 향상 기술 개발, 2006.
2. 박정준, 강수태, 류금성, 고경택, 김성욱, 이장화, “실리카 폼 사용량에 따른 UHPC 역학적 특성 검토”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회, 제19권 2호, 2007.