

Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia khoáng hoạt tính SF đến tính chất bê tông siêu tính năng - UHPC

Research on effects of active mineral additional SF content on properties of ultra high performance concrete - UHPC

> TS TRẦN BÁ VIỆT¹, KS LƯƠNG TIẾN HÙNG², KS LÊ HOÀNG PHÚC²

¹Hội bê tông Việt Nam – VCA; Email: vietbach57@yahoo.com

²LAS XD-468, Công ty CP Sáng tạo và CGCN Việt Nam.

TÓM TẮT:

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về sự ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia khoáng hoạt tính – Silica Fume đến tính chất hỗn hợp UHPC và UHPC: Độ chảy xoè, hàm lượng bọt khí, thời gian đông kết, cường độ chịu nén, Modul đàn hồi, cường độ chịu kéo và cường độ chịu uốn.

Từ khoá: Bê tông siêu tính năng – UHPC, phụ gia khoáng hoạt tính – Silica Fume, sợi thép, bảo dưỡng nhiệt ẩm, cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo trực tiếp, cường độ chịu kéo khi uốn, Modul đàn hồi và hệ số Poisson.

ABSTRACT:

This paper presents the research results on the influence of mineral additive content - Silica Fume on the properties of UHPC and UHPC mixtures: flow, air bubble content, setting time, compressive strength, Modul elasticity, tensile strength and flexural strength.

Keywords: Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete – UHPC, mineral additives – Silica Fume, Micro Steel fiber, heat moisture curing, compressive strength, tensile strength, flexural strength, Modulu elasticity and Poisson's.

I. TỔNG QUAN VỀ UHPC

Bê tông siêu tính năng (UHPC) hiện đang được ứng dụng rộng khắp trên mọi miền tổ quốc, đặc biệt là trong lĩnh vực xây dựng kết cấu hạ tầng giao thông – cầu dân sinh nông thôn. Ưu điểm nổi bật của UHPC là thể hiện sự vượt trội về các đặc tính như cường độ và độ dẻo dai, độ bền lâu với cường độ chịu nén lên tới 200 MPa, kéo 17 MPa, modul đàn hồi 55 Gpa.



Hình 1. Dầm cốt UHPC chữ U ứng suất trước căng sau được chế tạo lần đầu tiên tại Việt Nam

Vật liệu thành phần có thể sử dụng để sản xuất UHPC tại Việt Nam bao gồm: xi măng PC, cát thạch anh, cát nghiền từ đá granite, các loại phụ gia khoáng hoạt tính, phụ gia hóa học, sợi thép cường độ cao, sợi tổng hợp và một tỷ lệ nước trên chất kết dính rất thấp.

Nhờ sử dụng phụ gia hoạt tính – Silica Fume thay thế một phần xi măng mà hỗn hợp thành phần UHPC có được sự tối ưu hoá về độ đặc chắc và thành phần khoáng đóng rắn. Ngoài ra, Silica Fume còn giúp UHPC có sự tăng cường rất lớn về mặt cường độ thông qua các phản ứng pozzolanic.



Hình 2. Một trong nhiều cây cầu UHPC được xây dựng gần đây tại vùng đồng bằng sông Cửu Long

Nội dung			Đơn vị	Kết quả
Xi măng PC50	Khối lượng riêng		g/cm ³	3,09
	Độ dẻo tiêu chuẩn		%	29,3
	Độ ổn định thể tích		mm	1,1
	Độ bền nén	3 ngày	MPa	41,6
		28 ngày	MPa	56,4
	Độ bền uốn	3 ngày	MPa	8,7
28 ngày		MPa	13,4	
Silica fume (bán nén)	Khối lượng riêng		g/cm ³	2,22
	Khối lượng thể tích xốp		kg/m ³	310
	Độ ẩm		%	2,6
	Hàm lượng mất khi nung		%	0,6
	Hàm lượng SiO ₂		%	91,6
	Chỉ số hoạt tính cường độ tuổi 7 ngày		%	118
GGBS	Khối lượng riêng		g/cm ³	2,86
	Độ ẩm		%	0,85
	Mất khi nung		%	2,2
Cát thạch anh	Khối lượng riêng		g/cm ³	2,66
	Độ ẩm		%	< 1,0
	Độ hút nước		%	0,2
	Hàm lượng mất khi nung		%	2,2
	Dmax		mm	2,5
	Hàm lượng SiO ₂		%	98,3
	Hàm lượng ion Cl ⁻		%	< 0,01
Sợi thép	Tỉ lệ hướng sợi		-	65
	Hàm lượng tạp chất		%	0
	Tỉ lệ sợi sai kích thước hình học		%	0,5
	Cường độ chịu kéo		MPa	3200

II. TIÊU CHUẨN – VẬT LIỆU

1. Tiêu chuẩn, phương pháp nghiên cứu

- TCVN 2682:2009, Xi măng Poóc lăng – Yêu cầu kỹ thuật;
- TCVN 8827:2020, Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa – Silica fume và Tro trấu nghiền mịn;
- TCVN 9036:2011, Nguyên liệu để sản xuất thủy tinh – Cát – Yêu cầu kỹ thuật;
- TCVN 11586:2016, Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa;
- TCVN 12392-1:2018, Sợi cho bê tông – Phần 1: Sợi thép;
- TCCS 02:2017/IBST, Bê tông tính năng siêu cao UHPC – hướng dẫn thiết kế kết cấu;
- NF P18-470, Concrete – Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete (UHPC) – Specifications, performance, production and conformity;

- ASTM C469/C469M-14e1, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression;

2. Vật liệu thành phần

Bảng 1. Kết quả kiểm tra các tính chất cơ lý của vật liệu thành phần



Hình 3. Silica fume và Sợi thép sử dụng trong nghiên cứu này

3. Cấp phối đánh giá

Bảng 2. Cấp phối đánh giá UHPC

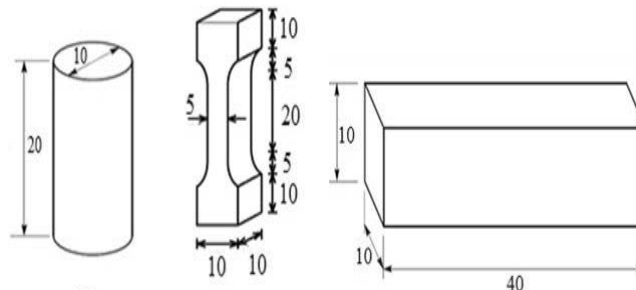
Tên vật liệu	Đơn vị	10%-SF	15%-SF	20%-SF
Tổng chất kết dính	kg	1175,0	1175,0	1175,0
Cát thạch anh	kg	980,0	980,0	980,0
Sợi thép	kg	236,0	236,0	236,0
Phụ gia	kg	24,0	24,0	24,0
Tổng	kg	2532		
N/CKD	-	0,155		



Hình 4. Thiết bị trộn tăng cường UHPC tốc độ cao tại phòng thí nghiệm

Các mẫu thí nghiệm tính chất cơ lý có kích thước như sau:

- Cường độ chịu nén, Modul đàn hồi: mẫu trụ d10xh20 cm;
- Cường độ chịu kéo: mẫu 5x10x50 cm;
- Cường độ chịu uốn: mẫu lập phương 10x10x40 cm;



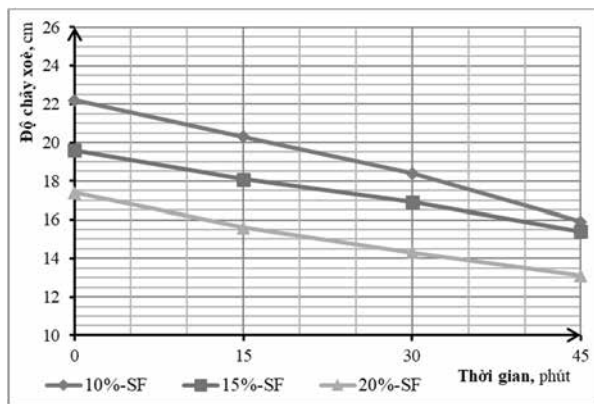
Hình 5. Kích thước của các mẫu thử nghiệm nén, kéo, uốn trong nghiên cứu này

III. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

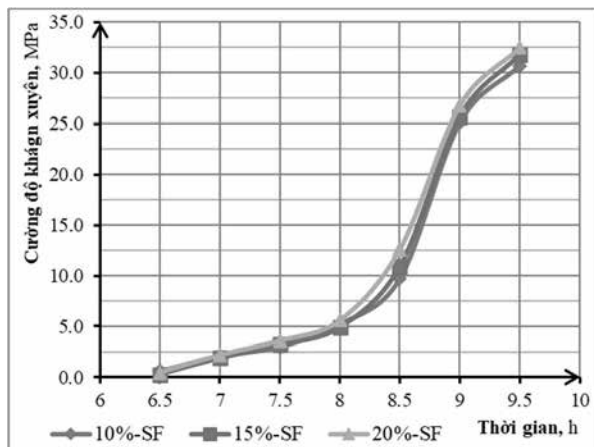
1. Các tính chất của hỗn hợp UHPC

Bảng 3. Kết quả kiểm tra các tính chất của các mẫu hỗn hợp UHPC-SF sau trộn

Chỉ tiêu		Đơn vị	10%-SF	15%-SF	20%-SF
Độ chảy xòe	Sau trộn	cm	22,2	19,6	17,4
	Sau trộn 15 phút		20,3	18,1	15,6
	Sau trộn 30 phút		18,4	16,9	14,3
	Sau trộn 45 phút		15,9	15,4	13,1
		kg/m ³	2470	2495	2510
Hàm lượng bọt khí		%	3,1	2,7	1,6
Setting time	Bắt đầu	giờ:phút	7:40	7:35	7:30
	Kết thúc		9:10	9:05	8:55



Hình 6. Tồn thất độ chảy xòe của các mẫu hỗn hợp UHPC-SF theo thời gian



Hình 7. Cường độ kháng xuyên – thời gian đông kết của các mẫu hỗn hợp UHPC-SF



Hình 8. Các thử nghiệm liên quan đến tính công tác của các mẫu hỗn hợp UHPC-SF

2. Các tính chất của UHPC

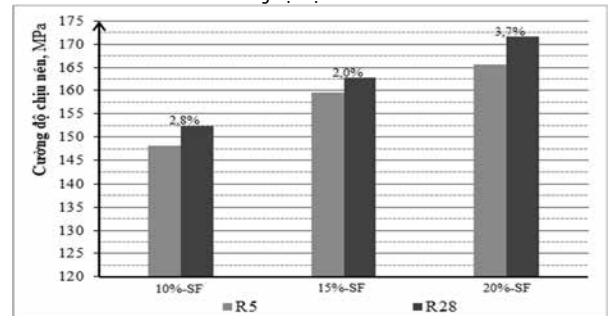
a) Cường độ chịu nén

Bảng 4. Kết quả kiểm tra cường độ chịu nén của các mẫu UHPC-SF

Tuổi mẫu	Đơn vị	10%-SF		15%-SF		20%-SF	
R5 (sau hấp 72h)	MPa	155,0	148,1	154,4	159,6	163,9	165,6
		143,2		152,7		160,7	
		145,8		167,7		170,3	
		147,9		166,9		162,4	
		153,6		158,2		168,5	
		143,0		157,6		167,6	
R28 (sau hấp 72h)	MPa	150,7	152,3	166,3	162,8	173,9	171,7
		150,1		161,8		174,2	
		158,2		158,4		171,4	
		145,6		167,5		169,5	
		157,3		162,9		177,6	
		151,7		159,8		163,7	



Hình 9. Mẫu nén và kiểm tra cường độ chịu nén của các mẫu UHPC-SF



Hình 10. Sự phát triển cường độ chịu nén của các mẫu UHPC-SF sau bảo dưỡng nhiệt ẩm

Bảng 5. Kết quả kiểm tra Modul đàn hồi và hệ số Poisson's của các mẫu UHPC-SF

Nội dung	Đơn vị	10%-SF		15%-SF		20%-SF	
Modulus of elasticity	GPa	44,51	46,46	53,82	51,11	52,83	51,16
		48,40		48,40		48,05	
		-		-		52,59	
Poisson's ratio	-	0,19	0,21	0,20	0,20	0,23	0,20
		0,22		0,19		0,17	
		-		-		0,21	

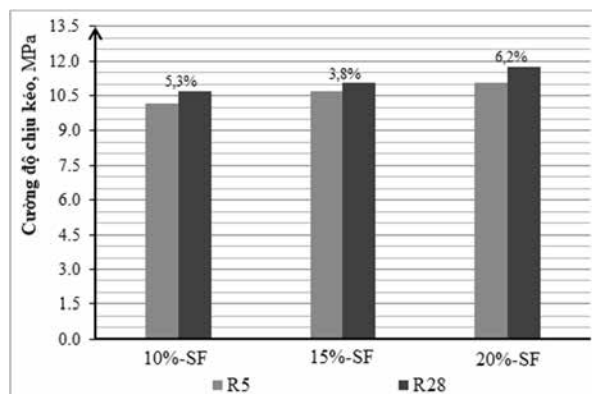


Hình 11. Xác định Modul đàn hồi và hệ số Poisson's của các mẫu UHPC-SF

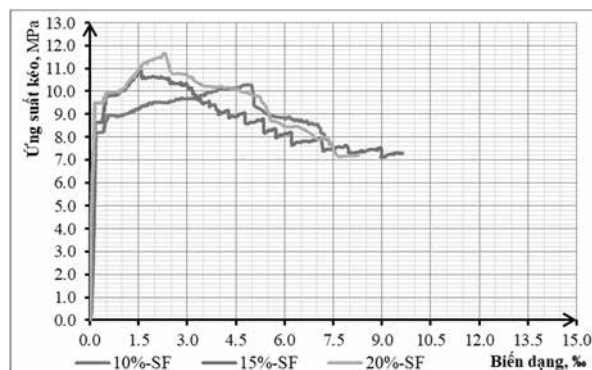
b) Cường độ chịu kéo, cường độ chịu uốn

Bảng 6. Kết quả kiểm tra cường độ chịu kéo của các mẫu UHPC-SF

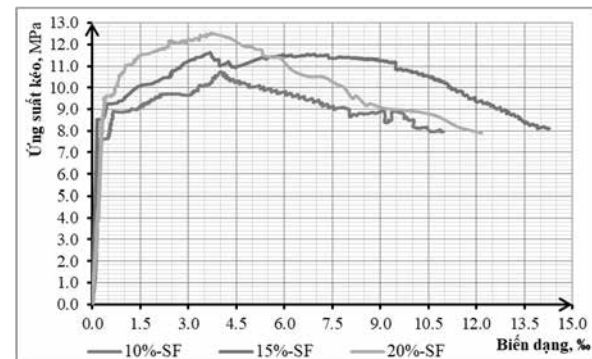
Kí hiệu mẫu	Tuổi mẫu	Đơn vị	Vết nứt đầu tiên		Giá trị phá huỷ	
10%-SF	R5 (Sau hấp 72h)	MPa	8,20	7,62	10,31	10,38
			7,14		10,47	
			7,53		10,37	
		%	73,4			
	R28 (Sau hấp 72h)	MPa	7,41	7,60	10,88	10,86
			7,80		10,95	
			7,60		10,74	
		%	70,0			
15%-SF	R5 (Sau hấp 72h)	MPa	8,63	8,35	11,00	11,07
			7,63		10,92	
			8,79		11,29	
		%	75,4			
	R28 (Sau hấp 72h)	MPa	7,52	8,02	11,39	11,50
			8,53		11,64	
			8,01		11,48	
		%	69,7			
20%-SF	R5 (Sau hấp 72h)	MPa	9,49	9,37	11,65	11,78
			7,82		11,31	
			10,81		12,38	
		%	79,5			
	R28 (Sau hấp 72h)	MPa	9,60	9,29	12,51	12,23
			9,45		12,80	
			8,82		11,39	
		%	76,0			



Hình 12. Sự phát triển cường độ chịu kéo của các mẫu UHPC-SF sau bảo dưỡng nhiệt ẩm



Hình 13. Ứng suất biến dạng – kéo mẫu UHPC-SF (R5, sau hấp 72h)



Hình 14. Ứng suất biến dạng – kéo mẫu UHPC-SF (R28, sau hấp 72h)

Bảng 7. Thống kê giá trị biến dạng của các mẫu UHPC-SF khi chịu kéo

Kí hiệu mẫu	Tuổi mẫu	Đơn vị	Vết nứt đầu tiên	Giá trị phá huỷ
10%-SF	R5	‰	0,19	4,80
	R28		0,20	4,01
15%-SF	R5	‰	0,17	1,55
	R28		0,15	3,68
20%-SF	R5	‰	0,17	2,32
	R28		0,48	3,70

Như vậy:

- Trung bình cường độ chịu kéo của mẫu UHPC 10%-SF tại vết nứt đầu tiên bằng 71,7% so với giá trị phá huỷ;
- Trung bình cường độ chịu kéo của mẫu UHPC 15%-SF tại vết nứt đầu tiên bằng 72,6% so với giá trị phá huỷ;



Hình 15. Kiểm tra ứng suất – biến dạng kéo và uốn của các mẫu UHPC-SF

- Trung bình cường độ chịu kéo của mẫu UHPC 20%-SF tại vết nứt đầu tiên bằng 77,8% so với giá trị phá hủy.

Bảng 8. Kết quả kiểm tra cường độ chịu uốn của các mẫu UHPC-SF

Bảng 8: Kết quả kiểm tra cường độ chịu uốn của các mẫu thử C-30

Kí hiệu mẫu	Tuổi mẫu	Đơn vị	Vết nứt đầu tiên		Giá trị phá hủy	
10%-SF	R28 (Sau hấp 72h)	MPa	15,73	16,0	22,56	22,67
			16,12		24,00	
			16,15		21,46	
		%	70,58			
15%-SF	R28 (Sau hấp 72h)	MPa	18,48	19,54	28,08	29,11
			20,08		29,61	
			20,05		29,64	
		%	67,12			
20%-SF	R28 (Sau hấp 72h)	MPa	23,21	22,90	32,56	32,26
			24,22		32,47	
			21,26		31,74	
		%	70,99			

Bảng 9. Thống kê giá trị độ võng của các mẫu UHPC-SF khi chịu uốn

Bảng 3: Thông kê giá trị độ rộng của các mẫu SFH C-SF khi chịu uốn					
Kí hiệu mẫu	Đơn vị	Vết nứt đầu tiên		Giá trị phá hủy	
10%-SF	mm	0,34	0,31	0,74	0,66
		0,33		0,68	
		0,26		0,57	
	%	47,0			
15%-SF	mm	0,36	0,35	0,67	0,71
		0,43		0,84	
		0,26		0,61	
	%	49,3			
20%-SF	mm	0,21	0,20	0,57	0,54
		0,21		0,56	
		0,19		0,50	
	%	37,0			

IV. KẾT LUẬN

- Các cấp phối UHPC đảm bảo được yêu cầu về tính công tác trong thi công.

- Sử dụng 10%-SF cấp phối UHPC đạt cấp cường độ 145/9 MPa. Sử dụng 15%-SF UHPC đạt cấp cường độ 155/10 MPa. Sử dụng 20%-SF UHPC đạt cấp cường độ 165/11 MPa.

- Mẫu 20%-SF có kết quả kiểm tra cao nhất, cường độ chịu nén trung bình là 171,7 MPa, cường độ chịu kéo trung bình là 12,23 MPa, cường độ chịu uốn trung bình 32,26 MPa và Modul đàn hồi trung bình 51,16 GPa.

- Cường độ chịu nén của UHPC-SF tỉ lệ thuận với hàm lượng Silica fume sử dụng, mức tăng của các mẫu 15% và 20% so với 10% lần lượt là 7,3% và 12,3%.

- Cường độ chịu kéo của UHPC-SF tỉ lệ thuận với hàm lượng Silica fume sử dụng, mức tăng của các mẫu 15% và 20% so với 10% lần lượt là 6,6% và 13,2%.

- Cường độ chịu uốn của UHPC-SF tỉ lệ thuận với hàm lượng Silica fume sử dụng, mức tăng của các mẫu 15% và 20% so với 10% lần lượt là 28,4% và 42,3%.

- Quan hệ giữa cường độ chịu kéo và cường độ chịu uốn của UHPC-SF là 1,00:2,47.

- Cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo tại tuổi 28 ngày (sau hấp 72h) so với tuổi 5 ngày (sau hấp 72h) cao hơn lần lượt là 2,8% và 4,2%.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- FHWA TechNote HRT-11-038, Ultra-High Performance Concrete;
- FHWA-HRT-18-036, Properties and Behavior of UHPC-Class Material;
- FHWA-HRT-06-103, Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete;
- ASTM C1609/C1609M-19a, Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third – Point Loading);
- ASTM C1579-21, Standard Test Method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete (Using a Steel Form Insert);