

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA SILICA FUME KẾT NÉN CÓ ĐỘ MỊN KHÁC NHAU VÀ TRO TRẤU ĐẾN TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG CAO

Văn Viết Thiên Ân^{a,*}, Bùi Danh Đại^a

^a*Khoa Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Xây dựng,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 17/05/2019, Sửa xong 29/05/2019, Chấp nhận đăng 30/05/2019

Tóm tắt

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của silica fume kết nén có kích thước hạt ban đầu khác nhau đến các tính chất của bê tông chất lượng cao như lượng dùng phụ gia siêu dẻo, sự phát triển cường độ nén và độ thấm ion clo. Các tính chất của bê tông sử dụng tro trấu cũng được so sánh với các mẫu có chứa silica fume để đánh giá khả năng thay thế silica fume bằng tro trấu trong bê tông chất lượng cao. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi nghiền mịn thêm silica fume kết nén nhằm tăng khả năng phân tán trong bê tông sẽ làm tăng tính công tác, cải thiện cường độ nén và khả năng chống thấm ion clo của bê tông. Khi tro trấu và silica fume kết nén được nghiền đến độ mịn tương đương nhau thì cho hỗn hợp bê tông có tính công tác và cường độ nén cũng tương đương nhau. Sử dụng phụ gia khoáng silica fume hoặc tro trấu nghiền mịn đã cải thiện rõ rệt các tính chất của hỗn hợp bê tông so với mẫu đối chứng.

Từ khoá: bê tông chất lượng cao; silica fume kết nén; tro trấu; độ nghiền mịn.

EFFECT OF DENSIFIED SILICA FUME WITH DIFFERENT FINENESS AND RICE HUSK ASK ON PROPERTIES OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE

Abstract

In this study, superplasticizer dosage, compressive strength and chloride permeability of high performance concrete (HPC) containing different ground densified silica fume (SF) were tested to evaluate the effect of fineness of densified silica fume on the properties of concrete. The properties of concrete containing rice husk ash (RHA) were also compared to those of concrete containing SF to evaluate the possibility of replacement of SF by RHA. The results showed that increasing the fineness of SF by grinding enhanced workability, strength and chloride permeability resistance of concrete. Concrete containing RHA possesses comparable workability and strength compared to concrete containing well-ground densified silica fume. Using SF or RHA with suitable fineness can improve the properties of high performance concrete.

Keywords: high performance concrete; densified silica fume; rice husk ash; fineness.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(2V\)-02](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(2V)-02) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

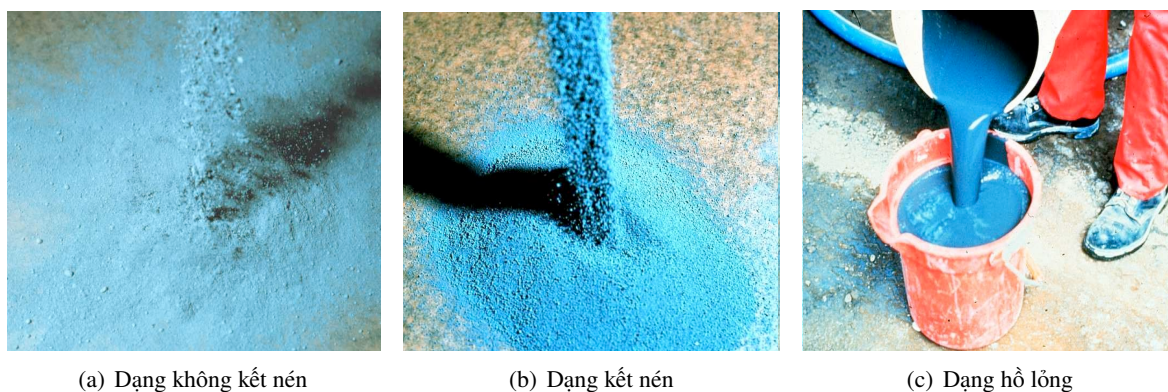
1. Đặt vấn đề

Bê tông chất lượng cao là loại bê tông có tính công tác tốt sau khi nhào trộn, có cường độ và độ bền cao sau khi rắn chắc [1]. Loại bê tông này được chế tạo với tỷ lệ nước/xi măng (N/X) thấp hơn nhiều so với bê tông thông dụng, và do đó khi rắn chắc nó có cấu trúc đặc chắc hơn. Trong thành phần

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: anvvt@nuce.edu.vn (Ân, V. V. T.)

của bê tông chất lượng cao, ngoài các nguyên vật liệu vẫn dùng để chế tạo bê tông thông dụng như xi măng poóc lăng, cát, đá dăm và nước, còn có thể có thêm hai thành phần khác là phụ gia siêu dẻo và phụ gia khoáng hoạt tính [1, 2]. Bê tông chất lượng cao thường được sử dụng trong xây dựng nhà cao tầng, cầu, đường hầm, và các công trình ven biển và ngoài biển. . .

Phụ gia khoáng hoạt tính cao thường được sử dụng trong bê tông chất lượng cao là silica fume (muối ôxit silic) [1, 3]. Sản phẩm silica fume có thể được sản xuất dưới dạng không kết nén, kết nén và hồ lỏng (Hình 1). Các sản phẩm dạng kết nén hoặc hồ lỏng có khối lượng thể tích lớn, không phát sinh bụi giúp quá trình vận chuyển thuận lợi hơn. Trong thực tế, vật liệu silica fume bán trên thị trường thường được cung cấp ở dạng kết nén. Dạng silica fume kết nén sẽ khó phân tán đồng đều trong quá trình trộn bê tông từ đó có thể ảnh hưởng đến tính chất của bê tông [4–6]. Ở Việt Nam, silica fume là sản phẩm nhập ngoại với giá thành 0,5-0,8 USD/kg. Trong 1 m³ bê tông, lượng silica fume thường sử dụng khoảng 40-50 kg, do đó giá thành của bê tông tăng lên khoảng 32-40 USD/m³. Do giá thành cao (gấp đôi so với bê tông thường) nên ở Việt Nam bê tông có chứa silica fume chỉ được sử dụng rất hạn chế trong một số công trình đặc biệt.



Hình 1. Sản phẩm silica fume

Theo các công trình nghiên cứu trước đây [7–13] cho thấy có thể sử dụng trấu, một thải phẩm trong sản xuất nông nghiệp, để chế tạo phụ gia khoáng hoạt tính cao. Việc sử dụng nguồn phế thải dồi dào này để sản xuất phụ gia khoáng hoạt tính cao thay thế silica fume trong bê tông chất lượng cao là rất thiết thực và có ý nghĩa thực tiễn. Mặt khác, nếu sản xuất tro trấu với quy mô công nghiệp trong lò có thiết kế hiện đại thì có thể tận dụng nhiệt toả ra khi đốt trấu để tạo ra năng lượng điện, góp phần bảo vệ môi trường.

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của độ mịn ban đầu của silica fume kết nén đến các đặc tính của bê tông chất lượng cao. Các kết quả của bê tông sử dụng silica fume kết nén có độ nghiền mịn khác nhau được so sánh với các mẫu có chứa tro trấu nghiền mịn nhằm đánh giá khả năng sử dụng tro trấu làm phụ gia khoáng hoạt tính thay thế silica fume trong chế tạo bê tông chất lượng cao.

2. Nguyên vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên vật liệu

Xi măng PC40 Bút Sơn, silica fume và tro trấu nghiền mịn là các vật liệu chất kết dính được sử dụng trong nghiên cứu. Tro trấu được đốt trong lò giỏ lưới thép sau đó được nghiền trong máy nghiền bi rung để chế tạo mẫu tro trấu - được ký hiệu TTU có độ mịn là 5,1 μ m. Silica fume là dạng sản

phẩm kết nén cũng được nghiền trong máy nghiền bi rung để tạo thành 03 mẫu silica fume - được ký hiệu SFN, SFK và SFU có độ mịn tương ứng là 61 μm , 47,93 μm và 5,25 μm nhằm đánh giá ảnh hưởng của độ mịn của silica fume kết nén đến tính chất của bê tông. Tro trấu có khối lượng riêng 2,1 g/cm³, trong khi các mẫu silica fume có khối lượng riêng 2,3 g/cm³. Cát vàng Sông Lô và đá dăm Kien Khê được sử dụng làm cốt liệu cho bê tông. Các đặc tính hóa lý của vật liệu sử dụng được trình bày ở Bảng 1 đến Bảng 3.

Bảng 1. Thành phần hóa của vật liệu chất kết dính, [%]

	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	MKN
Xi măng	20,65	3,43	5,42	62,84	0,16	0,74	2,01	1,14
Silica fume	88,68	1,02	1,04	1,19	0,79	1,18	1,51	4,12
Tro trấu	88,42	0,24	0,64	1,13	0,11	2,20	0,38	6,67

Bảng 2. Tính chất cơ lý cơ bản của xi măng

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Yêu cầu theo TCVN 2682:2009	Kết quả
1	Cường độ nén, R_n - 3 ngày $\pm$ 45 phút - 28 ngày $\pm$ 8 giờ	MPa	≥ 21 ≥ 40	28,5 49,0
2	Thời gian đông kết: - Bắt đầu - Kết thúc	Phút Phút	≥ 45 ≤ 375	115 160
3	Kích thước hạt trung bình	μm	-	23,72
4	Khối lượng riêng	g/cm ³	-	3,1
5	Lượng nước tiêu chuẩn	%	-	29,0

Bảng 3. Tính chất cơ lý cơ bản của cốt liệu

STT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Cát	Đá 5-10	Đá 10-20
1	Khối lượng riêng ở trạng thái khô	g/cm ³	2,61	2,74	2,77
2	Khối lượng riêng ở trạng thái bão hòa khô bề mặt	g/cm ³	2,63	2,75	2,78
3	Khối lượng thể tích ở trạng thái lèn chặt	kg/m ³	1700	1583	1544
4	Độ rỗng ở trạng thái lèn chặt	%	35,0	42,9	42,1
5	Mô đun độ lớn	-	2,36	-	-
6	Độ hút nước bão hòa khô bề mặt	%	0,75	0,84	0,84

2.2. Cấp phối bê tông

So với bê tông thông thường, bê tông chất lượng cao có tỷ lệ nước trên chất kết dính (N/CKD) thấp (dưới 0,4) và lượng dùng chất kết dính (xi măng + phụ gia khoáng hoạt tính) tương đối lớn [1]. Một trong các yếu tố ảnh hưởng tới tính công tác của hỗn hợp bê tông và cường độ của bê tông là tỷ lệ giữa thể tích hồ xi măng và thể tích cốt liệu. Thông thường khi tăng lượng hồ xi măng, nghĩa là tăng

chiều dày lớp hồ xi măng bao quanh cốt liệu, thì độ lưu động của hỗn hợp bê tông và cường độ của bê tông tăng. Nhưng sự tăng cường độ do tăng chiều dày lớp đá xi măng chỉ đến một giới hạn nhất định rồi dừng lại. Hơn nữa để tăng lượng hồ xi măng thì phải tăng lượng dùng xi măng, là một biện pháp vừa không kinh tế vừa làm tăng lượng nhiệt thủy hoá, tăng sự co ngót của bê tông. Theo Mehta và Aitcin [14], trong bê tông chất lượng cao, lượng hồ chất kết dính (chất kết dính + nước) tối ưu chiếm khoảng 32-35% thể tích bê tông, tương ứng với lượng dùng chất kết dính khoảng 450-550 kg/m³.

Để nghiên cứu ảnh hưởng của tro trấu và silica fume tới tính chất của bê tông chất lượng cao, 03 cấp phối đối chứng sử dụng 100% xi măng với tỷ lệ N/CKD tương ứng 0,39; 0,36 và 0,33 được tính toán theo phương pháp thể tích tuyệt đối. Bảng tổng hợp các cấp phối đối chứng được đưa ra ở Bảng 4. Để đánh giá ảnh hưởng của tro trấu và silica fume đến các tính chất của bê tông chất lượng cao, các mẫu phụ gia khoáng (TTU, SFN, SFK, SFU) được sử dụng lần lượt để thay thế 10% khối lượng xi măng ở các cấp phối đối chứng có tỷ lệ N/CKD khác nhau. Phụ gia siêu dẻo (SD) tính theo hàm lượng dung dịch so với chất kết dính được sử dụng để điều chỉnh tính công tác của hỗn hợp bê tông đạt trong khoảng 150-220 mm.

Bảng 4. Cấp phối bê tông đối chứng ở các tỷ lệ N/CKD khác nhau

N/CKD	XM (kg)	SD (%)	Cát (kg)	Đá dăm (kg)		Nước (kg)	Độ sụt (mm)
				5-10	10-20		
0,33	500	0,87	739	313	749	165	195
0,36	500	0,80	722	306	733	180	215
0,39	450	0,80	745	316	755	175,5	190

2.3. Chế tạo mẫu thử và phương pháp nghiên cứu

Hỗn hợp bê tông sau khi nhào trộn được xác định độ sụt và tạo hình mẫu lập phương có kích thước 10 × 10 × 10 cm³ trên bàn rung chấn động. Hỗn hợp bê tông được đổ vào khuôn thành 2 lớp, mỗi lớp rung 10 giây. Mẫu được dưỡng hộ trong phòng thí nghiệm và tháo khuôn sau 24 giờ sau đó được ngâm trong nước cho đến tuổi thí nghiệm. Mẫu thí nghiệm chống thấm ion clo có đường kính 100 mm, dày 50 mm được cắt từ các mẫu hình trụ 100 × 200 mm. Nghiên cứu sử dụng các phương pháp thí nghiệm theo hệ thống tiêu chuẩn TCVN để xác định các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông đã rắn chắc.

3. Kết quả thực nghiệm và bàn luận

3.1. Đánh giá ảnh hưởng của độ nghiền mịn của silica fume kết nén đến tính chất của bê tông

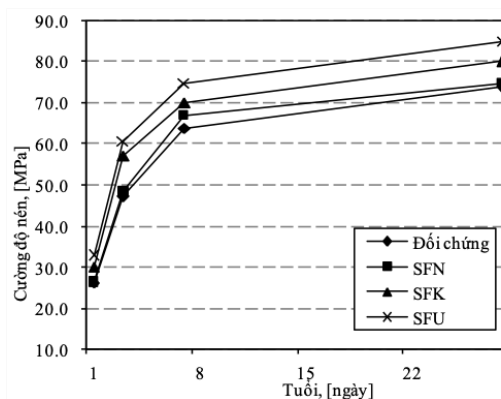
Hàm lượng phụ gia siêu dẻo, độ sụt và cường độ nén ở các ngày tuổi của các cấp phối bê tông có tỷ lệ N/CKD khác nhau sử dụng các loại phụ gia khoáng khác nhau được đưa ra trên Bảng 5. So sánh kết quả về độ sụt và hàm lượng sử dụng phụ gia siêu dẻo khi sử dụng các mẫu silica fume có độ phân tán mịn khác nhau bê tông sử dụng mẫu silica fume kết nén (SFN) có kích thước hạt trung bình đến 61 µm thì lượng phụ gia siêu dẻo yêu cầu tăng lên đến 0,5% để đạt được tính công tác tương tự cấp phối đối chứng. Một điểm khác biệt dễ dàng quan sát thấy khi trộn hỗn hợp bê tông, thử nghiệm độ sụt và tạo hình mẫu bê tông là hỗn hợp bê tông có chứa silica fume kết nén rất quánh và suy giảm độ sụt nhanh hơn so với hỗn hợp đối chứng. Lượng phụ gia siêu dẻo cần sử dụng để đạt độ sụt tương

đương mẫu đối chứng giảm dần từ silica fume kết nén có kích thước hạt trung bình rất lớn (SFN) đến mẫu silica fume có kích thước hạt trung bình nhỏ hơn (SFU). Điều này cho thấy mức độ phân tán của mẫu silica fume ảnh hưởng rõ ràng đến hiệu ứng điền đầy và hiệu ứng ổ bi của các hạt silica fume trong hỗn hợp rắn chất kết dính từ đó ảnh hưởng đến tính công tác hoặc lượng cần nước (phụ gia siêu dẻo) của hỗn hợp bê tông. Các cấp phối có chứa silica fume đều có lượng cần phụ gia siêu dẻo cao hơn cấp phối đối chứng để đạt cùng độ sụt.

Bảng 5. Tính chất của bê tông chất lượng cao sử dụng các loại phụ gia khoáng

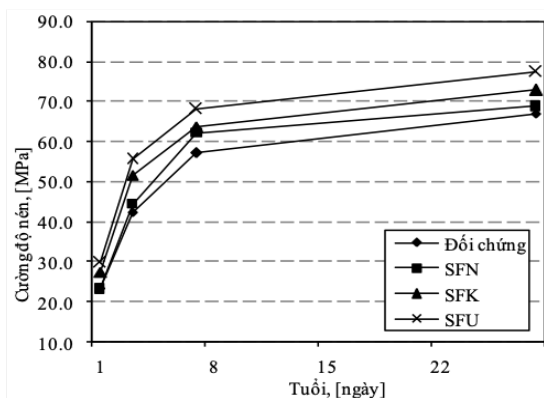
STT	N/CKD	SD	XM	SFN	SFK	SFU	TTU	Độ sụt (mm)	Cường độ chịu nén, MPa			
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		1 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày
1	0,33	0,87	100	0	0	0	0	195	26,2	47,1	63,9	74,0
2	0,36	0,80	100	0	0	0	0	215	23,5	42,4	57,1	67,0
3	0,39	0,80	100	0	0	0	0	190	21,6	38,8	52,7	61,0
4	0,33	1,40	90	10	0	0	0	200	26,4	48,5	67,0	74,9
5	0,36	1,30	90	10	0	0	0	210	23,2	44,4	62,1	68,8
6	0,39	1,30	90	10	0	0	0	170	22,1	40,7	56,3	62,8
7	0,33	1,20	90	0	10	0	0	190	30,1	57,2	70,1	80,1
8	0,36	1,10	90	0	10	0	0	200	27,6	51,8	63,9	72,9
9	0,39	1,10	90	0	10	0	0	170	25,2	47,2	59,4	67,8
10	0,33	0,93	90	0	0	10	0	220	32,7	60,8	74,9	85,1
11	0,36	0,82	90	0	0	10	0	175	29,8	55,6	68,2	77,3
12	0,39	0,85	90	0	0	10	0	190	27,6	50,5	63,1	71,6
13	0,33	0,83	90	0	0	0	10	185	32,1	60,0	74,1	84,2
14	0,36	0,82	90	0	0	0	10	210	29,2	54,5	67,1	76,5
15	0,39	0,82	90	0	0	0	10	180	26,6	49,1	61,5	69,9

Kết quả cường độ nén của các cấp phối trên Bảng 5 và Hình 2-4 cho thấy độ nghiền mịn ban đầu của silica fume có ảnh hưởng rõ rệt đến cường độ nén. Đối với cấp phối sử dụng silica fume, không phụ thuộc vào tỷ lệ N/CKD và tuổi thí nghiệm, cường độ bê tông có giá trị cao nhất khi sử dụng silica fume có kích thước hạt trung bình nhỏ nhất (SFU) và có giá trị thấp nhất khi sử dụng silica fume ở dạng kết nén (SFN). Các mẫu có chứa silica fume đều cho cường độ nén cao hơn mẫu đối chứng ở tất cả các ngày tuổi. Do các mẫu silica fume này có cùng thành phần khoáng hoá, chỉ khác nhau về độ mịn nên có thể khẳng định rằng cường độ của bê tông tỷ lệ thuận với độ mịn hay mức độ phân tán của silica fume. Kết quả nghiên cứu của Diamond và Shahu [4] đã cho thấy các viên silica fume kết nén vẫn còn tồn tại thậm chí sau 2 giờ nghiền mịn. Những viên silica fume kết nén có kích thước đến 50 μm vẫn còn tồn tại trong mẫu bê tông chất lượng cao. Điều này sẽ ảnh

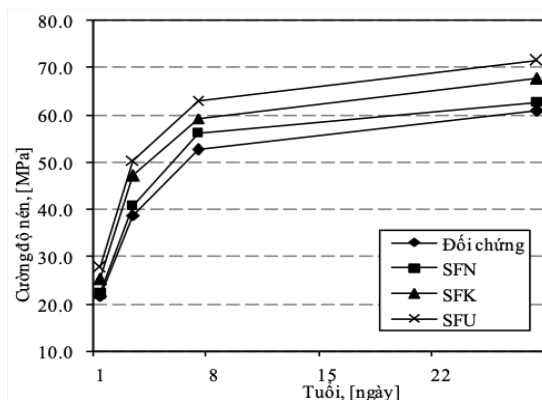


Hình 2. Ảnh hưởng của các loại silica fume có độ mịn khác nhau đến cường độ nén của bê tông có N/CKD = 0,33

hưởng lớn đến các hiệu ứng vật lý (điền đầy và ổ bi) và khả năng pozzolanic của silica fume trong bê tông [4].



Hình 3. Ảnh hưởng của các loại silica fume có độ mịn khác nhau đến cường độ nén của bê tông có N/CKD = 0,36

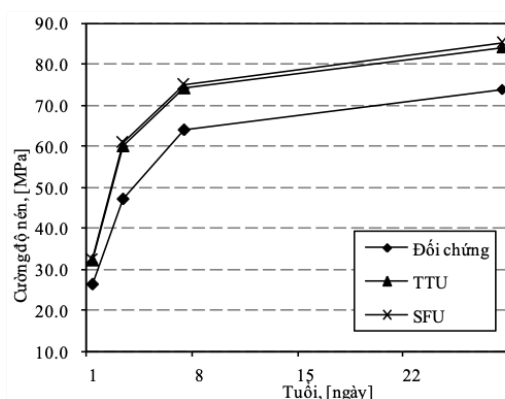


Hình 4. Ảnh hưởng của các loại silica fume có độ mịn khác nhau đến cường độ nén của bê tông có N/CKD = 0,39

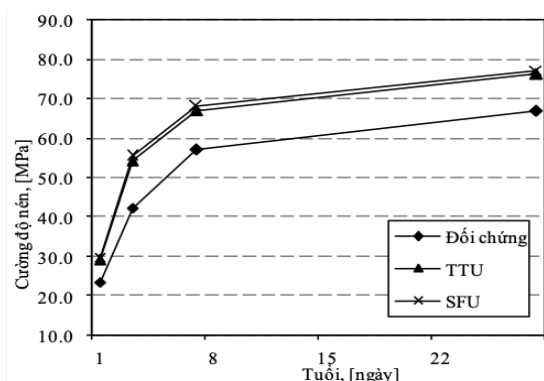
3.2. So sánh hiệu quả của tro trấu và silica fume trong bê tông chất lượng cao

So sánh các cấp phối có chứa 10% SFU và TTU trên Bảng 5 cho thấy lượng phụ gia siêu dẻo cần thiết để duy trì tính công tác giữa các cấp phối có tỷ lệ N/CKD thấp (N/CKD = 0,33) chứa tro trấu thấp hơn so với lượng dùng phụ gia siêu dẻo ở cấp phối có chứa SFU. Ở các cấp phối có tỷ lệ N/CKD cao hơn (N/CKD = 0,36 và 0,39) thì lượng dùng phụ gia siêu dẻo của hỗn hợp chứa SFU và TTU là tương đương nhau và cao hơn cấp phối đối chứng (Bảng 5).

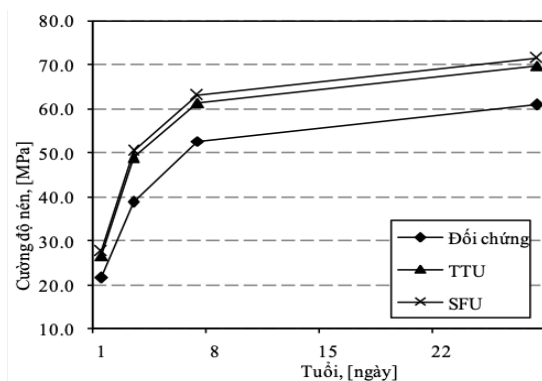
Kết quả trên các Hình 5–7 cho thấy rõ bê tông có chứa tro trấu hoặc silica fume có sự phát triển



Hình 5. Sự phát triển cường độ nén bê tông có chứa tro trấu và silica fume ở N/CKD = 0,33



Hình 6. Sự phát triển cường độ nén bê tông có chứa tro trấu và silica fume ở N/CKD = 0,36

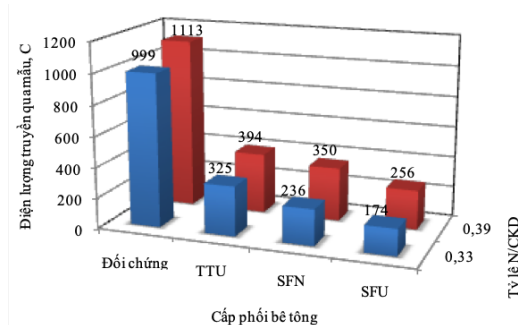


Hình 7. Sự phát triển cường độ nén bê tông có chứa tro trấu và silica fume ở N/CKD = 0,39

cường độ nhanh hơn so với mẫu đối chứng. Thậm chí sau 1 ngày dưỡng hộ, cường độ bê tông có chứa phụ gia khoáng hoạt tính đã bắt đầu cao hơn mẫu đối chứng. Ở các ngày tuổi 3, 7 và 28 ngày thì cường độ nén của các mẫu bê tông có chứa phụ gia khoáng đều cao hơn khoảng 10 MPa so với mẫu đối chứng ở tất cả các tỷ lệ N/CKD. Cường độ nén ở các ngày tuổi của bê tông có chứa TTU và SFU đều tương đương nhau. Vì vậy, về mặt cường độ hoàn toàn có thể sử dụng tro trấu để thay thế silica fume kết nén trong sản xuất bê tông chất lượng cao.

3.3. So sánh khả năng chống thấm ion clo của bê tông có chứa tro trấu hoặc silica fume

Kết quả thí nghiệm thấm ion clo trên Hình 8 cho thấy mức độ thấm ion clo của bê tông giảm khi giảm lượng dùng nước (N/CKD). Khi thay thế một phần xi măng bằng các loại phụ gia khoáng thì xu hướng trên vẫn không thay đổi. Điều này cho thấy khi giảm lượng dùng nước thì độ đặc chắc của bê tông tăng lên, kích thước lỗ rỗng trong bê tông giảm làm ngăn cản khả năng dịch chuyển pha lỏng và do đó ion clo. Rõ ràng, việc sử dụng phụ gia khoáng silica fume hoặc tro trấu đã làm tăng mạnh khả năng chống thấm ion clo của bê tông. Khả năng chống thấm ion clo của mẫu có chứa silica fume tốt hơn so với mẫu có chứa tro trấu. Độ nghiền mịn của silica fume kết nén ảnh hưởng rõ rệt tới độ chống thấm ion clo của bê tông. Silica fume có độ mịn hơn (SFU) cho độ thấm ion clo của bê tông thấp hơn mẫu có chứa silica fume có độ mịn kém hơn (SFN).



Hình 8. Độ thấm ion clo của bê tông chất lượng cao

4. Kết luận

Dựa vào các kết quả thực nghiệm thu được trong nghiên cứu, các kết luận sau đây được rút ra:

- Sản phẩm silica fume kết nén trên thị trường có kích thước hạt đạt đến 61 μm , khi sử dụng trong hỗn hợp bê tông chất lượng cao không được phân tán phù hợp sẽ ảnh hưởng lớn đến các tính chất của hỗn hợp bê tông. Lượng phụ gia siêu dẻo tăng 0,5% so với hỗn hợp đối chứng để hỗn hợp bê tông có chứa silica fume kết nén đạt cùng độ sụt. Khi tăng độ nghiền mịn của silica fume kết nén sẽ làm giảm lượng dùng phụ gia siêu dẻo (giảm lượng cần nước), tăng cường độ nén và tăng khả năng chống thấm ion clo của bê tông.

- Khi được nghiền mịn đến độ mịn tương đương nhau (khoảng 5,1 μm), bê tông chất lượng cao có chứa tro trấu nghiền mịn có lượng cần nước (phụ gia siêu dẻo) và cường độ nén tương đương bê tông có chứa silica fume nghiền mịn. Khả năng chống thấm ion clo của bê tông có chứa tro trấu thấp hơn mẫu có chứa silica fume. Phụ gia khoáng cải thiện rõ rệt các tính chất của bê tông so với mẫu đối chứng không sử dụng phụ gia.

- Khi sử dụng silica fume ở dạng kết nén, cần có các biện pháp phù hợp như nghiền mịn nhằm đảm bảo độ phân tán của silica fume trong hỗn hợp bê tông từ đó phát huy tối đa vai trò của phụ gia khoáng silica fume trong bê tông. Tro trấu với chế độ đốt hợp lý có thể thay thế silica fume kết nén để sản xuất bê tông chất lượng cao tại Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- [1] Aïtcin, P.-C. (2004). *High performance concrete*. The Taylor & Francis e-Library.
- [2] Tang, M.-C. (2004). High performance concrete—past, present and future. In *Proceedings of the 1st International Symposium on Ultra High Performance Concrete*, Kassel, Germany, 3–9.
- [3] Zain, M. F. M., Safiuddin, M., Mahmud, H. (2000). [Development of high performance concrete using silica fume at relatively high water–binder ratios](#). *Cement and Concrete Research*, 30(9):1501–1505.
- [4] Diamond, S., Sahu, S. (2006). [Densified silica fume: particle sizes and dispersion in concrete](#). *Materials and Structures*, 39(9):849–859.
- [5] Marusin, S. L., Shotwell, L. B. (2000). [Alkali-silica reaction in concrete caused by densified silica fume lumps: A case study](#). *Cement, Concrete and Aggregates*, 22(2):90–94.
- [6] Maas, A. J., Ideker, J. H., Juenger, M. C. G. (2007). [Alkali silica reactivity of agglomerated silica fume](#). *Cement and Concrete Research*, 37(2):166–174.
- [7] Zhang, M.-H., Malhotra, V. M. (1996). High-performance concrete incorporating rice husk ash as a supplementary cementing material. *ACI Materials Journal*, 93:629–636.
- [8] Rizwan, S. A. (2006). *High-performance mortars and concrete using secondary raw materials*. PhD thesis, Faculty of Maschinenbau, Verfahrens-und Energietechnik der Technischen Bergakademie Freiberg, Germany.
- [9] Chandrasekhar, S., Pramada, P. N., Raghavan, P., Satyanarayana, K. G., Gupta, T. N. (2002). [Microsilica from rice husk as a possible substitute for condensed silica fume for high performance concrete](#). *Journal of Materials Science Letters*, 21(16):1245–1247.
- [10] Isaia, G. C., Gastaldini, A. L. G., Moraes, R. (2003). [Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete](#). *Cement & Concrete Composites*, 25(1):69–76.
- [11] Bui, D. D. (2001). *Rice husk ash a mineral admixture for high performance concrete*. Delft University Press.
- [12] Röbller, C., Bui, D.-D., Ludwig, H.-M. (2013). [Mesoporous structure and pozzolanic reactivity of rice husk ash in cementitious system](#). *Construction and Building Materials*, 43:208–216.
- [13] Van, V.-T.-A., Röbller, C., Bui, D.-D., Ludwig, H.-M. (2014). [Pozzolanic reactivity of mesoporous amorphous rice husk ash in portlandite solution](#). *Construction and Building Materials*, 59:111–119.
- [14] Mehta, P. K., Aïtcin, P.-C. C. (1990). [Principles underlying production of high-performance concrete](#). *Cement, Concrete and Aggregates*, 12(2):70–78.