



NGHIÊN CỨU NÂNG CAO ĐỘ BỀN CỦA BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG SIÊU CAO SỬ DỤNG TRONG MÔI TRƯỜNG AXÍT SUNPHURIC

Văn Viết Thiên Ân¹

Tóm tắt: Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của phụ gia tro trấu hoạt tính đến cường độ nén, độ đặc chắc và khả năng chống ăn mòn axit sunphuric của bê tông chất lượng siêu cao có hoặc không có xỉ lò cao. Các kết quả của bê tông có tro trấu được so sánh với các kết quả của bê tông có muội silic. Kết quả nghiên cứu cho thấy với cùng lượng dùng nước và phụ gia siêu dẻo, tính công tác và cường độ nén của bê tông có tro trấu là tương đương so với bê tông có muội silic. Độ đặc chắc ở tuổi sớm (7 ngày) của bê tông chứa tro trấu cao hơn một ít so với bê tông chứa muội silic. Tuy nhiên, ở tuổi 28 ngày thì độ đặc chắc của mẫu chứa muội silic lại tốt hơn mẫu chứa tro trấu do khả năng cải thiện vi cấu trúc bê tông theo thời gian của muội silic tốt hơn tro trấu. Mẫu chứa tro trấu có khả năng chống ăn mòn axit sunphuric kém hơn so với mẫu có muội silic. Sự kết hợp tro trấu với xỉ lò cao đã cải thiện được các tính chất của bê tông chỉ sử dụng tro trấu.

Từ khóa: Bê tông chất lượng cực cao; tro trấu; xỉ lò cao; muội silic; độ bền axit.

Summary: The present study assessed the effects of rice husk ash (RHA) on compressive strength, density and sulfuric acid resistance of ultra-high performance concrete (UHPC) with and without ground granulated blast-furnace slag (GGBS). The results were compared with those of UHPCs containing silica fume (SF). With the same water and superplasticizer content, workability and compressive strength of UHPC containing RHA is similar to those of UHPC containing SF. The density of UHPC containing RHA at the age of 7d is slightly higher than that of UHPC containing SF. With increasing hydration time (28d) the refining effect of SF on the microstructure of UHPC is stronger than that of RHA. The deterioration of UHPC containing RHA in the sulfuric acid is higher than that of UHPC containing SF. The combination of RHA and GGBS clearly improves the properties of UHPC containing RHA.

Keywords: UHPC; rice husk ash; GGBS; silica fume; acid resistance.

Nhận ngày 6/6/2015, chỉnh sửa ngày 18/6/2015, chấp nhận đăng 30/6/2015



1. Giới thiệu

Với cường độ nén lớn hơn 150 MPa ở tuổi 28 ngày trong điều kiện dưỡng hộ thường và nhiều tính năng vượt trội khác, bê tông chất lượng siêu cao (Ultra-high performance concrete- UHPC) được xem là một phân loại mới của bê tông sử dụng chất kết dính xi măng [1-3]. UHPC đang được nhiều nhà nghiên cứu và ứng dụng quan tâm [4, 5]. Để đạt được các tính năng siêu cao, UHPC sử dụng với hàm lượng lớn muội silic (silica fume-SF) và xi măng, có thể lên đến 200 kg SF và 1000 kg xi măng cho 1 m³ bê tông. Bên cạnh việc tăng cường độ nén, cải thiện vi cấu trúc và độ bền cho UHPC thì các vấn đề về cải thiện tính công tác, giá thành và tính bền vững của loại vật liệu này cũng đang được đặt ra cho các nhà nghiên cứu và ứng dụng [5].

Năng suất lúa hàng năm trên toàn thế giới là khoảng 700 triệu tấn [6]. Vì vậy khoảng 140 triệu tấn vỏ trấu sẽ được thải ra môi trường, nó đang gây ô nhiễm nguồn nước và không khí ở các nước sản xuất gạo như Việt Nam, Trung Quốc, Thái Lan... Sản lượng lúa của Việt Nam là khoảng 40 triệu tấn lúa/năm [6], với hàm lượng trấu chiếm khoảng 20% sản lượng lúa, một lượng lớn trấu có thể được thu hồi từ quá trình sản xuất gạo. Với chế độ đốt hợp lý, tro trấu có độ hoạt tính pozzolaníc rất cao. Tro trấu (rice husk ash-RHA) - nguồn vật liệu silic hoạt tính có thể tái tạo này có thể sử dụng để thay thế hoàn toàn SF và một phần xi măng

¹ TS, Khoa Vật liệu Xây dựng. Trường Đại học Xây dựng. Email: thien.an-weimar@daad-alumni.de.

trong sản xuất bê tông [7-10]. Nó góp phần làm giảm giá thành, tăng tính thân thiện với môi trường cho bê tông, đặc biệt với UHPC có hàm lượng lớn xi măng và SF. Đồng thời việc sử dụng tro trấu trong công nghiệp sản xuất xi măng và bê tông cũng giúp tăng thu nhập cho người nông dân.

Nghiên cứu trước đây [10, 11] chỉ ra rằng với cấu trúc xốp rỗng, tro trấu nghiền mịn có thể hút một lượng nước lớn hơn nhiều SF. Lượng nước hấp thụ trong các lỗ rỗng này cho phép Ca^{2+} ions thẩm thấu vào bên trong hạt tro trấu làm tăng độ hoạt tính pozzolanic. Đồng thời, với khả năng hút nước khá lớn, tro trấu còn có thể đóng vai trò như một chất dưỡng hồ trong cho bê tông [11]. Vì thế quá trình thủy hóa của xi măng và tro trấu trong hồ xi măng có chứa tro trấu với tỷ lệ nước và chất kết dính (N/CKD) 0,22 được kéo dài ở tuổi dài ngày [10]. Tro trấu có thể thay thế hoàn toàn cho SF trong sản xuất UHPC [12-14]. Sự phối hợp tro trấu và xi lò cao cải thiện tính công tác và cường độ nén của UHPC có tro trấu [12, 13]. Tuy nhiên, độ bền của bê tông chất lượng siêu cao sử dụng tro trấu trong các môi trường ăn mòn mạnh như axit sunphuric có độ pH thấp vẫn chưa được nghiên cứu một cách chi tiết. Môi trường ăn mòn axit sunphuric có độ pH thấp ở điều kiện nhiệt độ cao thường gặp phải trong ống khói của các nhà máy nhiệt điện đốt than ở Việt Nam cũng như các nước.

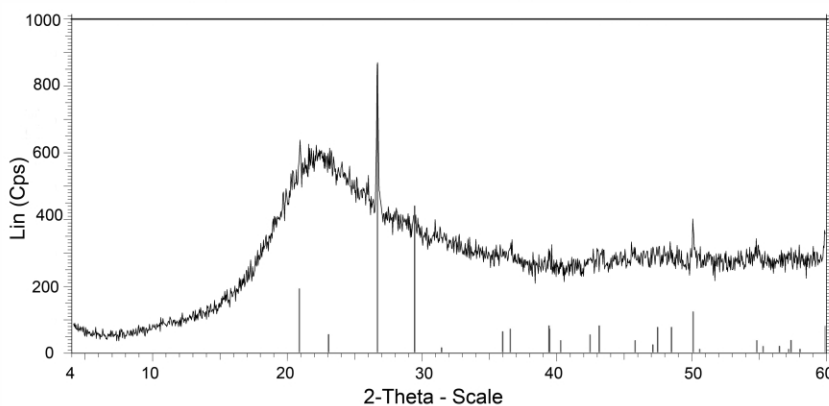
Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của tro trấu và sự kết hợp tro trấu-xi lò cao đến độ đặc chắc và độ bền trong môi trường axit H_2SO_4 có độ pH thấp (pH=2,5). Các kết quả nghiên cứu của UHPC chứa tro trấu được so sánh với kết quả của UHPC chứa muối silic.



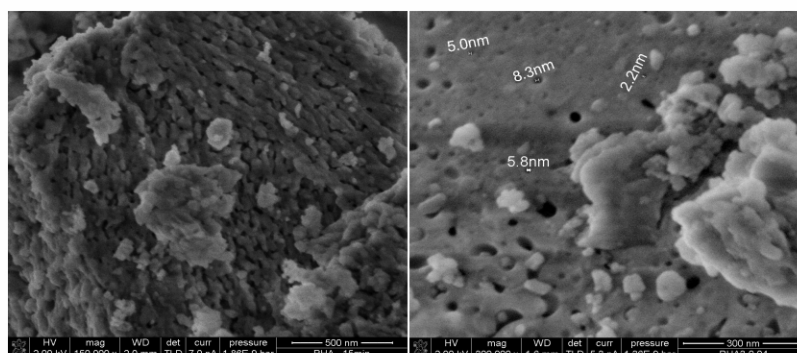
2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1 Vật liệu

Xi măng, xi lò cao, tro trấu và muối silic phân tán là các vật liệu chất kết dính được sử dụng trong nghiên cứu. Cát và bột quartz là cốt liệu và chất điền đầy trong UHPC. Các đặc tính hóa lý của vật liệu sử dụng được trình bày ở Bảng 1 và Bảng 2. Mẫu tro trấu là loại vật liệu cao silic với 97,4% khối lượng ở dạng vô định hình được xác định thông qua phương pháp phân tích định lượng nhiễu xạ tia X (The quantitative X-ray diffraction-QXRD-Hình 1). Hạt tro trấu nghiền mịn có cấu trúc rỗng xốp với các lỗ rỗng có kích thước 2-50 nm (Hình 2). Mẫu tro trấu có độ rỗng 0,12 cm^3/g (đo bằng phương pháp Barrett-Joyner-Hanlenda). Các tính chất khác của tro trấu được trình bày chi tiết tại các nghiên cứu trước đây [10]. Phụ gia siêu dẻo (SP) có gốc polycarboxylate với hàm lượng chất rắn 40% được sử dụng để chế tạo UHPC.



Hình 1. QXRD của tro trấu



Hình 2. Cấu trúc bề mặt của hạt tro trấu

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	SO ₃	L.O.I
Xi măng	21,6	5,1	3,7	64,3	0,17	0,36	0,6	2,4	0,9
Muội silic	96,0	0,0	0,1	0,6	0,20	0,69	0,2	0,4	1,2
Tro trấu	87,4	0,3	0,4	0,9	0,04	3,39	0,6	0,4	4,6
Xi lò cao	37,8	0,5	8,0	39,7	0,38	0,74	10,8	0,1	0,2

Chú thích: L.O.I-Mất khi nung

Bảng 2. Tính chất cơ lý của vật liệu

	Xi măng	Muội silic	Tro trấu	Xi lò cao	Bột quartz	Cát quartz
Dung trọng [g/cm ³]	3,19	2,27	2,19	2,91	2,64	2,64
Độ mịn- Blaine (BET) [m ² /g]	0,462	(21,05)	(52,28)	0,670	0,438	-
Kích thước hạt trung bình [µm]	9,15	0,31	7,41	2,93	14,58	323,60
Cường độ xi măng [MPa]	3 ngày:	36,6	7 ngày:	49,8	28 ngày:	62,2

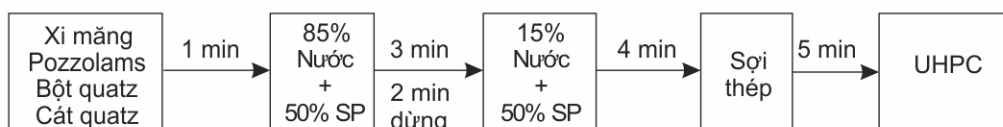
2.2 UHPC và phương pháp thí nghiệm

Căn cứ vào kết quả của nghiên cứu trước đây [13], cấp phối UHPC sử dụng trong nghiên cứu này được đưa ra ở Bảng 3. Tỷ lệ W/F_v là tỷ lệ giữa thể tích nước với thể tích vật liệu mịn (xi măng, pozzolan và bột quartz). Thể tích của tro trấu và muối silic trong các cấp phối là giống nhau. Hàm lượng phụ gia siêu dẻo được tính theo hàm lượng chất khô đối với tổng khối lượng vật liệu chất kết dính (xi măng và pozzolan). 1% thể tích sợi thép (chiều dài 9 mm và đường kính 0,15 mm) được cho vào hỗn hợp để chế tạo mẫu xác định cường độ nén. Khi sử dụng sợi thép, thể tích cát quartz được thay thế bởi thể tích sợi thép.

Bảng 3. Cấp phối UHPC

UHPC	Xi măng	Cát quartz	Bột quartz	RHA (SF)	GGBS	Nước	SP	N/CKD	W/F _v
	[kg/m ³]						[%]		
U1-22,5RHA	780,8	1029,6	207,8	155,1		-216,5	1,0	0,231	0,55
U1-22,5SF				(162,9)				0,229	
U2-22,5RHA	579,3			155,1	183,2		0,8	0,236	
U2-22,5SF				(162,9)				0,234	

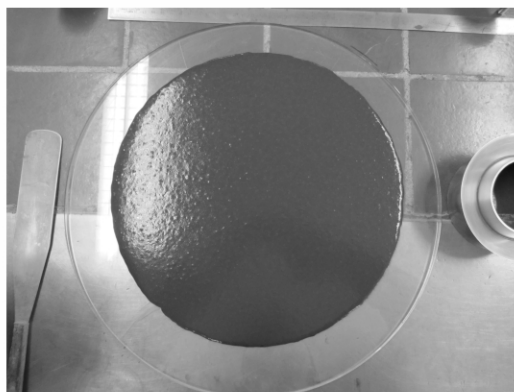
Chú thích: RHA-tro trấu; SF-muội silic; GGBS-xi lò cao



Hình 3. Quá trình trộn UHPC

UHPC được trộn trong máy trộn vữa Hobart (5 lít) với tốc độ 140 rpm trong thời gian 15 phút. Quy trình trộn được trình bày trên Hình 3. Mẫu thí nghiệm được tạo hình với 30 giây rung trên bàn rung, giữ trong khuôn ở 20°C với độ ẩm 95% trong 48 giờ. Sau khi tháo khuôn, mẫu được ngâm trong nước ở 20°C cho đến lúc thí nghiệm.

Độ chảy của UHPC được đo bởi côn đo loại nhỏ ($h=60$; $d=70$ và $D=100$) ngay sau khi trộn. Giá trị độ chảy được đo sau 2 phút tự chảy loang của UHPC (Hình 4). Cường độ nén được thí nghiệm trên mẫu $40 \times 40 \times 160$ mm³ theo DIN EN 196-1. Phân bố đường kính lỗ rỗng và tổng độ rỗng của UHPC ở tuổi 7 ngày và 28 ngày được xác định theo phương pháp xâm nhập thủy ngân dưới áp suất cao (Mercury intrusion porosimetry-MIP).



Hình 4. Đo độ chảy loãng của UHPC

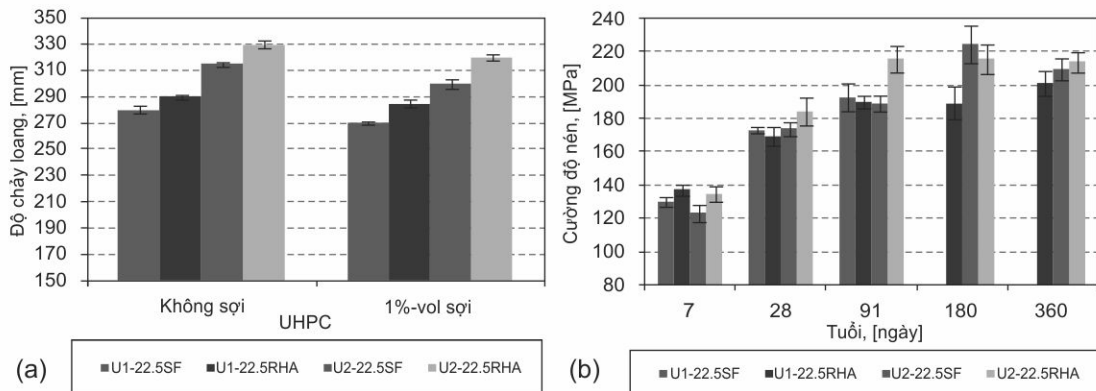
Để thí nghiệm độ bền của UHPC trong dung dịch axit H_2SO_4 (pH=2,5), mỗi cấp phối sử dụng 3 mẫu có kích thước $10 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ đã được tạo hình với đầu đo chiều dài gắn ở 2 đầu và dưỡng hộ trong nước đến 28 ngày tuổi. Các mẫu thí nghiệm sẽ được ngâm trong dung dịch axit H_2SO_4 (pH=2,5) ở $20^\circ C$ với thể tích dung dịch/thể tích bê tông là 4. Để duy trì độ pH của dung dịch, dung dịch sẽ được đo độ pH hàng tuần bởi pH kế và một lượng H_2SO_4 (pH=1) sẽ được tính toán và bổ sung. Dung dịch H_2SO_4 ngâm mẫu sẽ được thay mới sau 2 tháng ngâm mẫu. Sự thay đổi khối lượng và chiều dài mẫu UHPC sẽ được xác định hàng tuần trong suốt quá trình thí nghiệm. DIN 52450 được sử dụng để xác định sự thay đổi kích thước của mẫu UHPC. Kỹ thuật điện tử tán xạ ngược (BSE) kết hợp với kỹ thuật quét phổ tán sắc năng lượng tia X (EDX-mapping) đã được áp dụng trên thiết bị kính hiển vi điện tử quét có độ phân giải cực cao (Nova NanoSEM 230, FEI) nhằm để đánh giá mức độ xâm nhập ion sunphua vào trong đá xi măng của mẫu UHPC.

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Tính công tác và cường độ

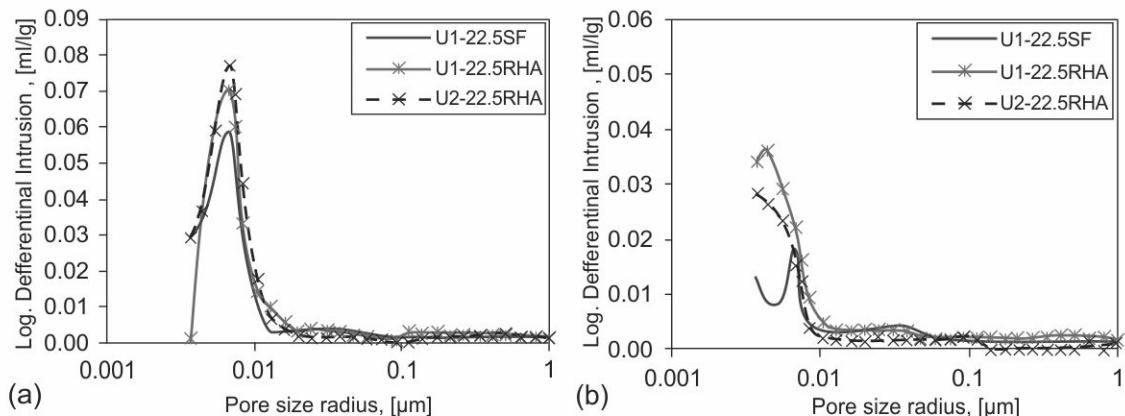
Kết quả độ chảy loãng của UHPC ở Hình 5a cho thấy tất cả hỗn hợp UHPC đều cho độ chảy sau khi trộn vượt trên 270 mm. Vì vậy các hỗn hợp UHPC có thể đạt đến trạng thái của bê tông tự lèn. 1% thể tích sợi thép làm giảm đôi chút tính công tác của UHPC. Hỗn hợp UHPC có chứa tro trấu có độ chảy lớn hơn tuy nhiên khó trộn hơn so với hỗn hợp chứa muối silic. Xi lò cao cải thiện tính công tác của các hỗn hợp bê tông.

Kết quả cường độ nén của UHPC sử dụng các loại pozzolan được trình bày tại Hình 5b. Ở tuổi 7 ngày, cường độ nén của UHPC có tro trấu cao hơn mẫu có muối silic. Sau đây cường độ của U1-22,5SF and U1-22,5RHA là giống nhau ở tuổi 28 và 91 ngày. So sánh cường độ của mẫu có chứa xi lò cao (U2-22,5SF và U2-22,5RHA), sau 91 ngày thủy hóa cường độ của U2-22,5RHA vượt quá U2-22,5SF. Tuy nhiên, ở tuổi dài hơn (180 và 360 ngày tuổi) cường độ của mẫu sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng RHA-GGBS hoặc SF-GGBS là xấp xỉ nhau. Kết quả tại Hình 5b cũng cho thấy rằng từ 7 đến 91 ngày xi lò cao ảnh hưởng không lớn đến cường độ của mẫu có chứa muối silic. Trong khoảng thời gian từ 28 đến 360 ngày xi lò cao rõ ràng nâng cao cường độ của mẫu có sử dụng tro trấu.



Hình 5. Tính công tác (a) và cường độ nén (b) của UHPC

3.2 Độ rỗng



Hình 6. Phân bố lỗ rỗng trong UHPC ở tuổi: a) 7 ngày; b) 28 ngày

Bảng 4. Tổng độ rỗng MIP của UHPC ở 7 và 28 ngày tuổi, [%]

Tuổi	U1-22,5SF	U1-22,5RHA	U2-22,5RHA
7 ngày	7,42	7,34	8,30
28 ngày	4,13	5,43	3,91

Phân bố kích thước lỗ rỗng và tổng độ rỗng trong UHPC ở tuổi 7 ngày và 28 ngày được thể hiện trên Hình 6 và Bảng 4. Kết quả trên Hình 6a cho thấy kích thước lỗ rỗng của UHPC ở tuổi 7 ngày có bán kính chủ yếu trong khoảng 0,005-0,01 μm . Sự phân bố đường kính lỗ rỗng trong U1-22,5SF đều hơn so với U1-22,5RHA. Tuy nhiên, tổng độ rỗng của U1-22,5SF lại cao hơn tổng lỗ rỗng trong U1-22,5RHA (Bảng 4). Điều này có thể do một lượng nước trong hỗn hợp bị tro trấu hút vào các lỗ rỗng làm cho lượng nước tự do trong hỗn hợp có tro trấu thấp hơn trong hỗn hợp có muối silic. Tỷ lệ nước tự do thấp đã cải thiện độ đặc chắc (Bảng 4) cũng như cường độ nén (Hình 5b) ở tuổi sớm của UHPC chứa tro trấu. Xi lò cao rõ ràng làm giảm độ đặc chắc của UHPC sử dụng tro trấu ở 7 ngày tuổi do tốc độ thủy hóa chậm của xi lò cao so với xi măng (Hình 6a và Bảng 4). Cấu trúc và độ đặc chắc của UHPC rõ ràng được cải thiện theo thời gian thủy hóa. Khả năng cải thiện vi cấu trúc của đá xi măng theo thời gian của muối silic mạnh hơn tro trấu. Độ đặc chắc của UHPC sử dụng phối hợp tro trấu-xi lò cao là lớn nhất. Độ đặc chắc của UHPC sử dụng tro trấu ở tuổi 28 ngày trong nghiên cứu này thậm chí còn cao hơn độ đặc chắc của UHPC sử dụng tro trấu có tỷ lệ N/CKD=0,18 trong nghiên cứu [14].

Những nghiên cứu trước đây cho thấy rằng sau 7 ngày thủy hóa ở chế độ dưỡng hộ thường, hàm lượng portlandite (CH) trong hồ xi măng chứa muối silic (N/CKD=0,22) tương tự hoặc thậm chí thấp hơn hàm lượng CH trong hồ xi măng chứa RHA [10, 14]. Đồng thời mức độ thủy hóa của xi măng trong hồ có tro trấu thấp hơn trong hồ có chứa muối silic có cùng N/CKD=0,18 [14]. Tuy nhiên, sau 7 ngày tuổi thì cường độ nén (Hình 5b) và độ đặc chắc (Bảng 4) của mẫu UHPC có tro trấu lại cao hơn của mẫu có muối silic. Tổng lượng nước trong các cấp phối là như nhau. Độ rỗng hở của tro trấu là 0,12 cm^3/g [10] và hàm lượng tro trấu trong cấp phối UHPC là 155,1 kg/m^3 (Bảng 3). Vì vậy lượng nước hấp phụ bởi tro trấu có thể tính theo lý thuyết là 17,15 l/m^3 . Theo đó, tỷ lệ W/F_v hữu ích trong hỗn hợp chứa tro trấu giảm từ 0,55 xuống còn 0,51. Điều đó cho thấy rằng sự tăng cường độ và độ đặc chắc ở tuổi sớm của mẫu chứa tro trấu chủ yếu do bởi ảnh hưởng của cấu trúc rỗng xốp của tro trấu (độ hút nước). Do độ hoạt tính pozzolanic của muối silic mạnh hơn tro trấu [10, 15] nên khả năng cải thiện vi cấu trúc của muối silic sau 28 ngày thủy hóa mạnh hơn so với tro trấu (Bảng 4) dẫn đến cường độ của UHPC chứa muối silic tăng lên ở tuổi dài ngày (Hình 5b).

3.3 Độ bền sunphát

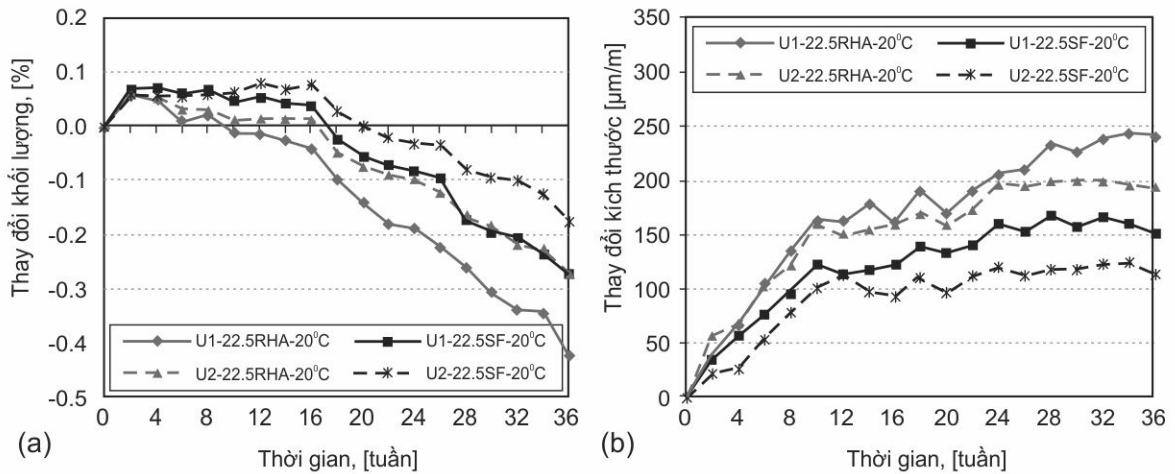
Kết quả sự thay đổi khối lượng và độ dài mẫu UHPC trong suốt 36 tuần ngâm trong dung dịch H_2SO_4 pH=2,5 được thể hiện trên Hình 7. Khối lượng các mẫu UHPC đều tăng lên trong 2 tuần đầu ngâm trong dung dịch axit. Sau 2 tuần đầu thì khối lượng mẫu chứa muối silic không thay đổi trong suốt 14 tuần tiếp theo. Trong khi đó khối lượng các mẫu chứa tro trấu đã bắt đầu giảm xuống. Từ tuần thứ 16 đến tuần 36, khối lượng của tất cả các mẫu UHPC đều suy giảm rõ ràng hơn. Sau 36 tuần ngâm trong dung dịch axit ăn mòn mạnh, mức độ ăn mòn khối lượng của mẫu có muối silic thấp hơn mẫu có tro trấu, xi lò cao cải thiện rõ ràng khả năng chống ăn mòn (theo khối lượng) của UHPC sử dụng muối silic hoặc tro trấu (Hình 7a).

Kết quả trên Hình 7b cho thấy độ giãn nở của mẫu UHPC tăng nhanh trong khoảng 10 tuần đầu ngâm trong dung dịch. Sau đó tốc độ giãn nở của các mẫu đều chậm lại. Mẫu có muối silic cho độ giãn nở thấp hơn mẫu có tro trấu. Xi lò cao cải thiện khả năng chống ăn mòn axit của UHPC sử dụng muối silic hoặc tro trấu.

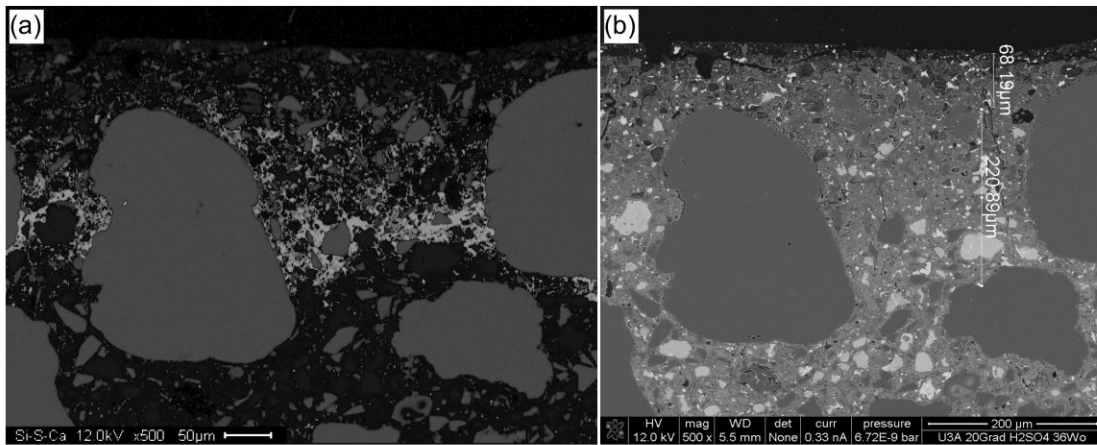
Kết quả trên Hình 8, Hình 9 và Hình 10 cho thấy mức độ xâm nhập ion sunphát từ môi trường vào trong đá xi măng phụ thuộc vào loại chất kết dính sử dụng trong UHPC. Mức độ ăn mòn sunphát của mẫu U1-22,5RHA sau 36 tuần là 290 μm (Hình 8), là 265 μm đối với mẫu U2-22,5RHA (Hình 9), và là 240 μm đối với mẫu U1-22,5SF (Hình 10). Kết quả này phù hợp với kết quả của mức độ thay đổi khối lượng và kích thước mẫu UHPC trên Hình 7. Như vậy, sự phối hợp giữa xi lò cao và tro trấu đã cải thiện khả năng chống ăn mòn H_2SO_4 so với UHPC chỉ sử dụng tro trấu. Mức độ ăn mòn H_2SO_4 của UHPC có chứa muối silic là thấp hơn so với mẫu có chứa tro trấu.

Kết quả xác định hàm lượng CH trong đá xi măng của các mẫu UHPC này cho thấy UHPC chứa muối silic có hàm lượng CH thấp hơn so với mẫu chứa tro trấu ở các tuổi dài ngày [11]. Kết quả độ rỗng (Bảng 4) cũng như hệ số hút nước mao quản [16] cho thấy vi cấu trúc của UHPC có chứa muối silic đặc chắc hơn so với UHPC có chứa tro trấu. Sự phối hợp tro trấu và xi lò cao cải thiện vi cấu trúc của UHPC. Tuy tổng lỗ rỗng

của U1-22,5SF ở tuổi 28 ngày cao hơn U2-22,5RHA (Bảng 4) nhưng hệ số hút nước mao quản của U1-22,5SF lại thấp hơn U2-22,5RHA [16]. Điều này có thể dẫn đến chiều dày lớp ăn mòn sunphua của U2-22,5RHA (Hình 9) lớn hơn chiều dày ăn mòn của U1-22,5SF (Hình 10). Vì vậy, độ bền của đá xi măng trong môi trường xâm thực H_2SO_4 không những phụ thuộc vào hàm lượng CH và độ đặc chắc của đá xi măng mà còn phụ thuộc nhiều vào khả năng hút nước mao quản của đá xi măng.

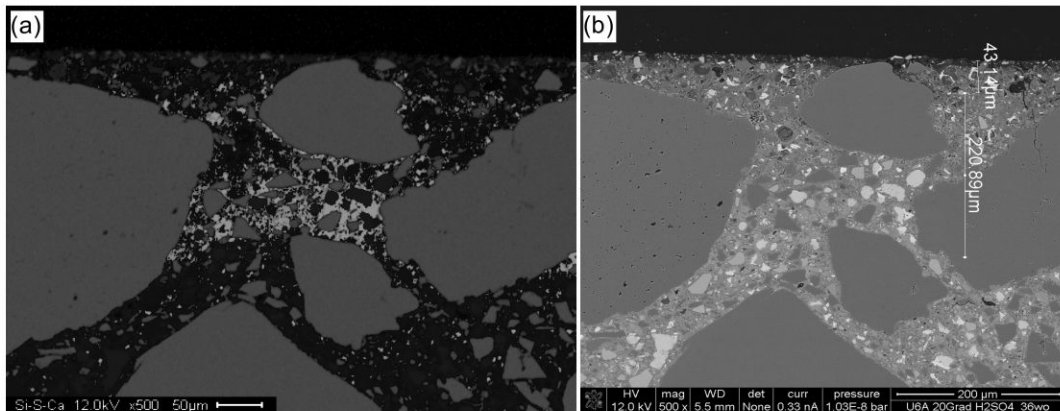


Hình 7. Thay đổi khối lượng (a) và chiều dài (b) mẫu UHPC trong H_2SO_4 pH=2,5



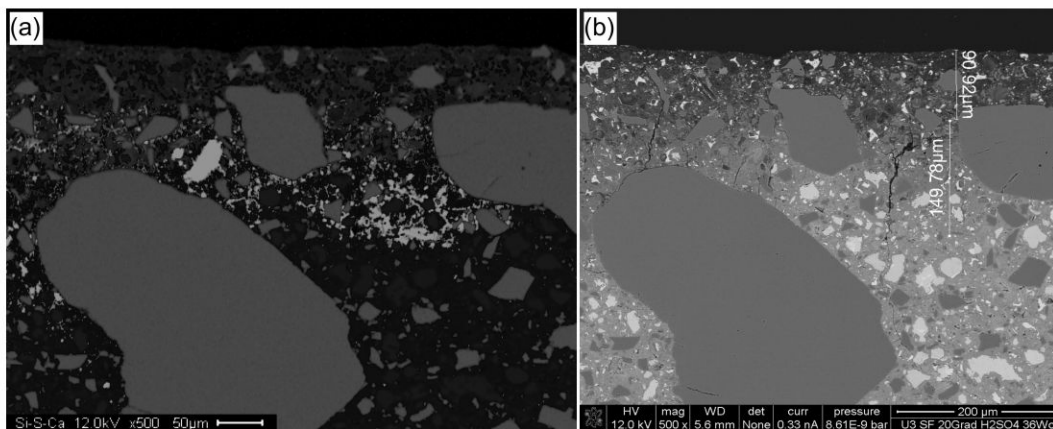
Hình 8. Mức độ bị ăn mòn của U1-22,5RHA sau 36 tuần ngâm trong H_2SO_4 pH 2,5:

- a) EDX mapping cho thấy Si là màu đỏ, S là màu xanh lá cây và Ca là màu xanh nước biển;
b) Chiều dày lớp ăn mòn sunphua tương ứng trên ảnh BSE



Hình 9. Mức độ bị ăn mòn của U2-22,5RHA sau 36 tuần ngâm trong H_2SO_4 pH 2,5:

- a) EDX mapping cho thấy Si là màu đỏ, S là màu xanh lá cây và Ca là màu xanh nước biển;
b) Chiều dày lớp ăn mòn sunphua tương ứng trên ảnh BSE



Hình 10. Mức độ bị ăn mòn của U1-22,5SF sau 36 tuần ngâm trong H_2SO_4 pH 2,5:
a) EDX mapping cho thấy Si là màu đỏ, S là màu xanh lá cây và Ca là màu xanh nước biển;
b) Chiều dày lớp ăn mòn sunphua tương ứng trên ảnh BSE



4. Kết luận

Các kết luận có thể được rút ra từ các kết quả nghiên cứu như sau:

- Có thể thay thế hoàn toàn muối silic bằng tro trấu trong chế tạo UHPC. Với cùng lượng dùng nước và phụ gia siêu dẻo thì UHPC có tro trấu cho độ chảy loãng, cường độ nén tương đương so với hỗn hợp sử dụng muối silic. Sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng tro trấu-xỉ lò cao sẽ cải thiện tính công tác và cường độ nén của UHPC có tro trấu.

- Ở tuổi 7 ngày, độ đặc chắc của UHPC có tro trấu có phần cao hơn so với độ đặc chắc của UHPC có muối silic. Xỉ lò cao làm giảm mạnh độ đặc chắc của UHPC có tro trấu ở tuổi sớm. Tuy nhiên, hiệu ứng cải thiện vi cấu trúc cho bê tông theo thời gian của muối silic hoặc của hỗn hợp tro trấu-xỉ lò cao mạnh hơn nhiều so với tro trấu.

- Khả năng chống ăn mòn axit mạnh H_2SO_4 pH=2,5 của UHPC có muối silic là tốt hơn so với UHPC có tro trấu. Hỗn hợp phụ gia khoáng tro trấu-xỉ lò cao cải thiện khả năng chống ăn mòn của UHPC có chứa tro trấu.

Tài liệu tham khảo

- Schmidt, M. and E. Fehling (2005), "Ultra-high-performance concrete: research, development and application in Europe", *The 7th International symposium on the utilization of high-strength-and high-performance-concrete*, ACI Washington, p. 51-78.
- Schmidt, M. (2006), "Von der Nanotechnologie zum Ultra-Hochfesten Beton", *The 16th International Conference on Building materials (ibausil)*, Weimar, Germany, p. (2)1405-(2)1416.
- Shah, S.P. (1995), "Recent Trends in the Science and Technology of Concrete", *Concrete Technology: New Trends, Industrial Applications-Proceedings of the International RILEM 26*, E & FN Spon, p. 1-18.
- Resplendino, J. (2012), "State of the art of design and construction of UHPFRC structures in France", *Proceedings of Hipermat 2012- the 3rd International Symposium on UHPC and Nanotechnology for High Performance Construction Materials*, Kassel, Germany, p. 27-41.
- Schmidt, M. (2012), "Sustainable building with UHPC-Coordinated research program in Germany", *Proceedings of Hipermat 2012-the 3rd International Symposium on UHPC and Nanotechnology for High Performance Construction Materials*. Kassel, Germany, p. 17-25.
- FAOSTAT. Rice production. Available from: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.
- Sugita, S., M. Shoya, and H. Tokuda (1992), "Evaluation of Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash", *Proceedings of the 4th CANMET/ACI International Conference on Fly ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzollans in Concrete*, Istanbul, Turkey, p. 495-512.

8. Chandrasekhar, S. and etc (2003), "Review Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk-an overview", *Journal of Materials Science*, 38(15): p. 3159-3168.
9. Nair, D.G. and etc (2008), "A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes", *Cement and Concrete Research*, 38(6): p. 861-869.
10. Van, V.-T.-A. and etc (2013), "Mesoporous structure and pozzolanic reactivity of rice husk ash in cementitious system", *Construction and Building Materials*, 43(0): p. 208-216.
11. Van, V.-T.-A. and etc (2014), "Rice husk ash as both pozzolanic admixture and internal curing agent in ultra-high performance concrete", *Cement and Concrete Composites*, 53(0): p. 270-278.
12. Van, V.-T.-A. and H.-M. Ludwig (2011), "Using rice husk ash and ground granulated blast-furnace slag to replace silica fume in UHPC", *Workshop on Performance-based Specifications for Concrete*, Leipzig, Germany, p. 80-89.
13. Van, V.-T.-A. and H.-M. Ludwig (2012), "Proportioning Optimization of UHPC Containing Rice Husk Ash and Ground Granulated Blast-furnace Slag", *Proceedings of Hipermat 2012- 3rd International Symposium on Ultra-High Performance Concrete and Nanotechnology for High Performance Construction Materials*, Kassel, Germany, p. 197-205.
14. Nguyen, V.T. (2011), *Rice husk ash as a mineral admixture for Ultra High Performance Concrete*, Delft University, The Netherlands.
15. Van, V.-T.-A. and etc (2014), "Pozzolanic reactivity of mesoporous amorphous rice husk ash in portlandite solution", *Construction and Building Materials*, 59(0): p. 111-119.
16. Van, V.T.A. (2013), *Characteristics of rice husk ash and application in ultra-high performance concrete*, Bauhaus University Weimar: Germany.