

NGHIÊN CỨU PHẢN ỨNG KIỂM SILIC CỦA MỘT SỐ LOẠI CỐT LIỆU
THEO CÁC PHƯƠNG PHÁP NHANH
STUDY ON THE ALKALI-SILICA REACTION OF SEVERAL AGGREGATES
USING RAPID TEST METHODS

HOÀNG MINH ĐỨC^{a,*}, NGUYỄN VĂN THẠNH^a

^aViện Khoa học công nghệ xây dựng

*Tác giả đại diện: Email: hmduc@yahoo.com

Ngày nhận 15/12/2025, Ngày sửa 27/12/2025, Chấp nhận 29/12/2025

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2025.vi.vol4-5>

Tóm tắt: Phản ứng kiểm silic là một trong những nguyên nhân gây xuống cấp, hư hại kết cấu bê tông, do đó cần phải kiểm soát ngay từ khi lựa chọn vật liệu sử dụng. Nghiên cứu đánh giá khả năng phản ứng kiểm silic của một số loại cốt liệu tại Việt Nam theo phương pháp nhanh trình bày trong bài báo này cho thấy phương pháp hóa học theo TCVN 7572-14:2006 không phát hiện được khả năng phản ứng kiểm silic của cốt liệu là đá phiến biến chất từ đá rhyolit và bazan, trong khi ASTM C1260 cho kết quả ở mức phản ứng mạnh. Kết quả phân tích thạch học đá phiến phát hiện sự có mặt của quartz vi tinh - thành phần có khả năng phản ứng. Kiểm tra trên mẫu bê tông lấy từ kết cấu hiện hữu xác nhận đã xảy ra phản ứng kiểm silic với cốt liệu này. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy sử dụng xi măng póc lăng hỗn hợp giúp hạn chế phản ứng kiểm silic tốt hơn so với xi măng póc lăng. Tuy nhiên, với đá phiến trong nghiên cứu, biện pháp này chưa đủ để loại bỏ nguy cơ phản ứng kiểm silic, cần tiếp tục nghiên cứu các biện pháp công nghệ bổ sung. Qua đây, kiến nghị hủy bỏ tiêu chuẩn TCVN 7572-14:2006 và biên soạn các tiêu chuẩn thay thế dựa trên ASTM C1260 và ASTM C1293.

Từ khóa: phản ứng kiểm - silic; cốt liệu; bê tông; độ nở thanh vữa; phương pháp thử tiêu chuẩn

Abstract: Alkali-silica reaction (ASR) is a major cause of deterioration in concrete structures, requiring preventive measures beginning with raw material selection. This study evaluates the ASR potential of several aggregates in Vietnam using rapid test methods. Results show that the chemical procedure specified in TCVN 7572-14:2006 failed to detect reactivity in aggregates derived from metamorphosed rhyolitic and basaltic shale, whereas ASTM C1260 indicated high reactivity. Petrographic analysis confirmed the presence of microcrystalline quartz in shale - a reactive component. Examination

of concrete samples taken from existing structures further verified the occurrence of ASR with these aggregates. In addition, blended Portland cement was found to reduce ASR compared with ordinary Portland cement; however, for shale aggregates, this measure alone was insufficient to eliminate risk, highlighting the need for supplementary technological solutions. Based on these findings, we recommend the withdrawal of TCVN 7572-14:2006 and the development of replacement standards aligned with ASTM C1260 and ASTM C1293.

Keywords: alkali-silica reaction, aggregate, concrete, mortar bar expansion; standard test method

1. Mở đầu

Cốt liệu là thành phần chính, chiếm đến khoảng 80% thể tích và hình thành bộ khung chịu lực cho bê tông. Tuy nhiên, tùy thuộc vào thành phần khoáng hóa mà cốt liệu có thể tham gia vào phản ứng hóa học với kiềm trong xi măng. Hiện tượng này, được gọi là phản ứng kiểm silic, đã được Stanton T. phát hiện từ cuối những năm 30 của thế kỷ trước và được xác nhận là nguyên nhân gây nứt và hư hại kết cấu bê tông đường cao tốc tại Hoa Kỳ [1]. Các nghiên cứu tiếp theo cho đến nay đã phát hiện hàng loạt trường hợp phản ứng kiểm silic trong bê tông các loại ở nhiều nước trên thế giới. Ảnh hưởng của phản ứng kiểm silic tới chất lượng và khả năng vận hành cũng như những thiệt hại nó mang lại là vô cùng to lớn. Đây cũng là mối lo ngại lớn nhất khi lựa chọn các nguồn cốt liệu địa phương để sản xuất bê tông [2-5].

Phản ứng kiểm silic là quá trình hóa học diễn ra giữa các ion kiềm (Na^+ , K^+) có trong dung dịch lỗ rỗng của bê tông và các dạng oxit silic hoạt tính trong cốt liệu với sản phẩm là gel kiềm silic. Gel kiềm silic này có khả năng hút nước mạnh, trương nở và gây ứng suất nội bộ, dẫn đến nứt vi mô và cuối cùng là

phá hoại cấu kiện [4, 5]. Mức độ phản ứng kiềm - silic phụ thuộc vào loại và lượng SiO_2 hoạt tính trong cốt liệu, nồng độ môi trường kiềm, nước trong lỗ rỗng cũng như các điều kiện khác và có thể diễn ra dần dần trong một thời gian dài đến hàng chục năm. Để đánh giá khả năng xảy ra phản ứng kiềm silic của cốt liệu, nhiều quốc gia và tổ chức đã nỗ lực phát triển các tiêu chuẩn thí nghiệm, đánh giá và liên tục hoàn thiện, đổi mới các tiêu chuẩn này.

Hiện nay, tại Hoa Kỳ để đánh giá khả năng phản ứng kiềm silic của cốt liệu, trước tiên cần thực hiện phân tích thạch học theo ASTM C295 [6]. Nếu phân tích thạch học cho thấy cốt liệu có chứa các khoáng có khả năng tham gia phản ứng với kiềm thì cần tiến hành thử nghiệm nhanh trên thanh vữa theo ASTM C1260 [7]. Kết quả này cần được xác nhận thông qua thử nghiệm dài ngày trên mác bê tông theo ASTM C1293 [8]. Cần chú ý rằng, cả hai phương pháp trên đều dựa trên biểu hiện gây trương nở thể tích mẫu và là phương pháp gia tốc, tức là thiết lập một điều kiện khắc nghiệt hơn điều kiện thực tế để tăng tốc phản ứng. Trong trường hợp ASTM C1260, đó là việc ngâm mẫu trong dung dịch NaOH 1N ở nhiệt độ 80°C trong vòng 14 ngày, còn trong trường hợp ASTM C1293, hàm lượng kiềm tương đương (NaO eq) được nâng lên đến 1,25 % khối lượng xi măng và mẫu được lưu trong điều kiện nhiệt độ 38°C trong vòng 1 năm. Thực tế cũng cho thấy rằng, với một số loại cốt liệu, thí nghiệm theo ASTM C1260 và theo ASTM C1293 có thể cho kết quả không thống nhất. Khi đó, cần ưu tiên kết luận dựa trên kết quả thí nghiệm theo ASTM C1293.

Tại Châu Âu, các phương pháp thử đánh giá khả năng phản ứng kiềm silic được trình bày trong bộ tiêu chuẩn RILEM AAR với các phần từ 1 đến 13 [9]. Các phương pháp thử này sử dụng các mẫu thử và áp dụng các điều kiện thử nghiệm đa dạng hơn, nhưng nhìn chung, có nhiều nét tương đồng với các phương pháp của Hoa Kỳ.

Tại Việt Nam, vấn đề phản ứng kiềm cốt liệu được đề cập đến vào những năm 90 của thế kỷ trước khi phát hiện các biểu hiện phá hủy, nứt kết cấu khi sử dụng cát sông địa phương. Từ đó, tiêu chuẩn TCXD 238:1999 [10] và TCXD 246:2000 [11] đã được biên soạn trên cơ sở tiêu chuẩn ASTM C289 [12] và ASTM C227 [13]. Đến năm 2006, hai tiêu

chuẩn này được hợp nhất trong tiêu chuẩn TCVN 7572-14:2006 [14] với phương pháp hóa học (Phương pháp A) và phương pháp thanh vữa (Phương pháp B) và được sử dụng rộng rãi ở nước ta cho đến nay. Trong đó, phương pháp hóa học được coi là phương pháp nhanh cho kết quả sau 2 ngày còn phương pháp thanh vữa cho kết quả sau ít nhất 3 tháng.

Trong trường hợp cốt liệu được kết luận là có khả năng tham gia phản ứng kiềm silic, có thể áp dụng một số biện pháp công nghệ như bổ sung các loại phụ gia khoáng hay phụ gia chuyên biệt khác để kiểm soát phản ứng kiềm silic [4, 5]. Khi đó, khả năng phản ứng kiềm silic của tổ hợp chất kết dính và cốt liệu được đánh giá theo tiêu chuẩn ASTM C1567 [15]. Về cơ bản, điều kiện thử nghiệm quy định trong ASTM C1567 là tương tự như trong ASTM C1260. Sự khác biệt chủ yếu ở các hướng dẫn về sử dụng xi măng và phụ gia khoáng, theo đó cho phép sử dụng phụ gia giảm nước khi dùng phụ gia khoáng thay thế xi măng.

Thực tế nước ta hiện nay, xi măng poóc lăng hỗn hợp được sử dụng khá phổ biến trong xây dựng. Theo TCVN 6260:2020 [16], xi măng poóc lăng hỗn hợp có thể chứa tổng lượng các phụ gia khoáng (không kể thạch cao) lên đến 40 % khối lượng xi măng, còn khi sử dụng xỉ hạt lò cao với tỷ lệ lớn hơn 10 % trở lên thì tổng lượng các phụ gia khoáng sử dụng có thể lên đến 50 %. Với thành phần như trên, xi măng poóc lăng hỗn hợp được cho là có khả năng hạn chế được phản ứng kiềm silic với các loại cốt liệu có hoạt tính. Tuy nhiên, phương pháp nhanh theo TCVN 7572-14:2006 chưa phù hợp để đánh giá khả năng này. Nghiên cứu trình bày trong bài báo này tập trung vào việc đánh giá khả năng phản ứng kiềm silic của một số loại cốt liệu tại Việt Nam theo phương pháp nhanh bao gồm TCVN 7572-14:2006 (phương pháp hóa học) và ASTM C1260 cũng như khả năng sử dụng xi măng poóc lăng hỗn hợp để hạn chế phản ứng kiềm silic.

2. Vật liệu và phương pháp

Xi măng sử dụng trong nghiên cứu là xi măng poóc lăng PC 40 của nhà máy xi măng Bút Sơn và PCB40 của nhà máy xi măng Yên Bình với các tính chất được trình bày tại Bảng 1.

Bảng 1. Tính chất của xi măng sử dụng trong nghiên cứu

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị ứng với	
			PC40	PCB40
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	3,07	2,97
2	Bề mặt riêng	g/cm ²	3920	4110
3	Sốt trên sàng 0,045 mm	%	7,0	6,0
4	Độ dẻo tiêu chuẩn	%	28,5	29,5
5	Độ ổn định thể tích	mm	1,0	1,0
6	Thời gian đông kết	min		
	- Bắt đầu		120	175
	- Kết thúc	195	255	
7	Mất khi nung	%	2,96	8,75
8	Hàm lượng SO ₃	%	2,15	1,52
9	Hàm lượng MgO	%	3,43	2,81
10	Hàm lượng Na ₂ O	%	0,53	0,50
11	Cặn không tan	%	1,45	5,33
12	Cường độ chịu nén ở tuổi	MPa		
	- 03 ngày		32,9	29,5
	- 28 ngày		52,1	47,5

Cốt liệu sử dụng trong nghiên cứu bao gồm cát sông (CS) và các loại cát nghiền từ đá được trình bày trên Hình 1 bao gồm: cát nghiền từ các loại đá bao

gồm: đá cacbonat (DC), đá granit (DG), đá phiến biến chất từ rylit (PR) và đá phiến biến chất từ bazan (PB).



Đá cacbonat (DC)



Đá granit (DG)



Đá phiến (PR)



Đá phiến (PB)

Hình 1. Cốt liệu sử dụng trong nghiên cứu

Xác định khả năng phản ứng kiềm silic theo phương pháp hóa học được thực hiện theo Phương pháp A trong TCVN 7572-14:2006. Các mẫu cốt liệu được gia công về cỡ hạt có kích thước từ 140 µm đến 315 µm và đưa vào bình phản ứng với NaOH 1N ở nhiệt độ (80±1) °C trong vòng (24±0,25) h. Phần

dung dịch được sử dụng để xác định hàm lượng SiO₂ hòa tan (Sc) và độ giảm kiềm (Rc) theo phương pháp chuẩn độ. Dựa trên các giá trị Sc và Rc thu được, căn cứ vào giản đồ phân vùng khả năng phản ứng kiềm silic (Hình 2), cốt liệu được đánh giá là vô hại hoặc có khả năng gây hại. Cũng theo tiêu chuẩn này,

cốt liệu được đánh giá là vô hại có thể sử dụng ngay, cốt liệu được đánh giá là có khả năng gây hại cần được đánh giá thêm theo phương pháp thanh vữa.

Khác với phương pháp hóa học, khả năng phản ứng kiềm silic theo ASTM C1260-22 được đánh giá dựa trên tính năng, tức là theo độ nở mẫu vữa được chế tạo từ cốt liệu cần đánh giá khi ngâm trong dung dịch kiềm. Mẫu cốt liệu trong thử nghiệm này cần tuân thủ quy định chặt chẽ về thành phần hạt (Bảng 2). Mẫu cát sông được sàng và phối trộn lại, còn các mẫu đá được đập, nghiền, sàng và phối trộn lại các

cỡ hạt theo quy định. Chất kết dính sử dụng theo ASTM C1260 là xi măng poóc lăng, tuy nhiên trong nghiên cứu này đã sử dụng PC40 và PCB40. Tỷ lệ xi măng trên cốt liệu bằng 2,25 và tỷ lệ nước trên xi măng bằng 0,47. Hỗn hợp vữa sau khi tháo khuôn, được ngâm trong nước ở (80 ± 2) °C, sau đó đưa vào ngâm trong dung dịch NaOH 1N cũng ở (80 ± 2) °C. Định kỳ tiến hành đo, xác định thay đổi chiều dài thanh vữa. Thay đổi chiều dài thanh vữa ngâm trong NaOH được theo dõi đến ngày thứ 14 sau khi bắt đầu ngâm.

Bảng 2. Thành phần hạt của cốt liệu nhỏ khi thử theo ASTM C1260-22

TT	Cỡ sàng		Khối lượng, %
	Lọt qua	Sót	
1	4,75 mm	2,36 mm	10
2	2,36 mm	1,18 mm	25
3	1,18 mm	600 µm	25
4	600 µm	300 µm	25
5	300 µm	150 µm	15

Để xác định các thành phần khoáng có khả năng tham gia phản ứng kiềm silic và các biểu hiện của phản ứng này trên mẫu bê tông đã tiến hành phân tích thạch học các mẫu đá và mẫu bê tông trên kính hiển vi phân cực thấu quang Leica DM 750P theo TCVN 8734:2012 [17] và ASTM C295-08 [18], cũng như khảo sát mẫu bê tông được mài nhẵn trên kính hiển vi nổi.

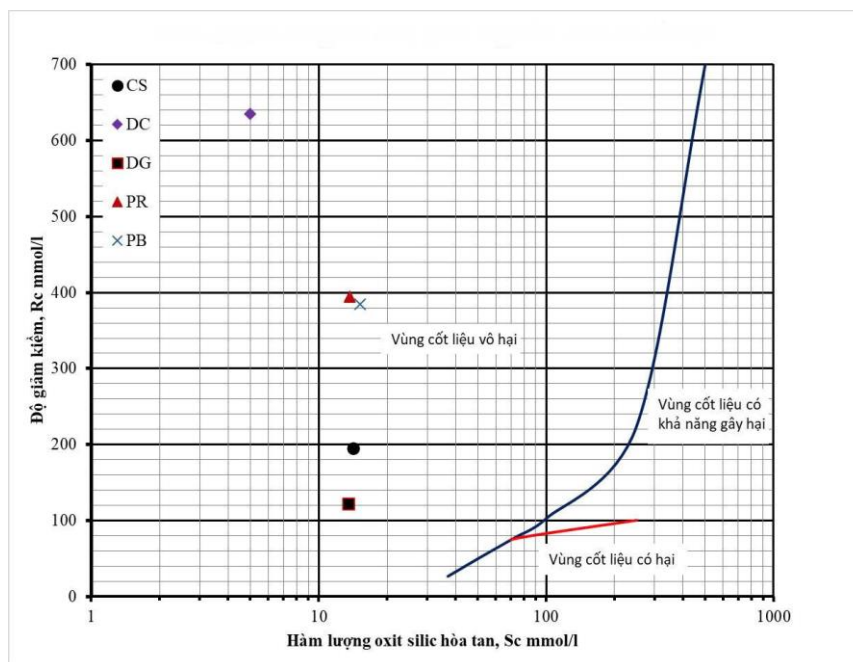
3. Kết quả và bình luận

Phương pháp hóa học theo TCVN 7572-14:2006 về bản chất là phương pháp gián tiếp, đánh giá khả

năng phản ứng thông qua mức độ tiêu hao các thành phần tham gia phản ứng trong điều kiện cực đoan. Theo đó cốt liệu, sau khi nghiền đến kích thước 140 µm - 315 µm được phản ứng với NaOH 1N ở (80 ± 1) °C trong vòng $(24\pm 0,25)$ h. Thử nghiệm này không sử dụng xi măng nên kết quả chỉ liên quan đến khả năng phản ứng tiềm tàng của bản thân cốt liệu với dung dịch kiềm ở nhiệt độ cao. Kết quả thí nghiệm được trình bày tại Bảng 3. Số liệu về độ giảm kiềm và hàm lượng SiO₂ hòa tan, được sử dụng để xác định các vị trí ứng với 5 loại cốt liệu trong nghiên cứu trên giản đồ phân vùng khả năng phản ứng kiềm silic (Hình 2).

Bảng 3. Đánh giá khả năng phản ứng kiềm silic theo TCVN 7572-14:2006, phương pháp hóa học

TT	Loại cốt liệu	Độ giảm kiềm, Rc, mmol/L	Hàm lượng SiO ₂ hòa tan Sc, mmol/L	Đánh giá
1	CS	195,0	14,15	Vô hại
2	DC	635,0	5,00	Vô hại
3	DG	122,5	13,49	Vô hại
4	PR	395,0	13,65	Vô hại
5	PB	385,0	15,15	Vô hại



Hình 2. Phân loại cốt liệu theo khả năng phản ứng kiềm silic

Các kết quả tại Bảng 3 cho thấy hàm lượng SiO₂ của các mẫu cốt liệu trong nghiên cứu đều ở mức khá nhỏ, biến động trong khoảng từ 5,00 mmol/L ứng với DC đến 15,15 mmol/L ứng với PB. Trong khi đó, mức độ giảm kiềm của cốt liệu biến động trong khoảng rộng, từ 122,5 mmol/L ứng với DG đến 635,0 mmol/L ứng với DC. Nhóm cốt liệu PR, PB có giá trị tương ứng 395,0 mmol/L và 385 mmol/L. Các số liệu trên cũng cho thấy hàm lượng SiO₂ hòa tan và mức độ giảm kiềm không có mối tương quan với nhau. Ví dụ như cốt liệu DC (gốc đá vôi) mặc dù có hàm lượng SiO₂ hòa tan khá thấp (5,00 mmol/L) nhưng lại có độ giảm kiềm lên đến 635,0 mmol/L, trong khi đó cốt liệu CS có hàm lượng SiO₂ hòa tan 14,15 mmol/L nhưng độ giảm kiềm chỉ là 195,0 mmol/L.

Cơ chế phản ứng giữa kiềm trộn bê tông và oxit silic trong cốt liệu được thể hiện qua phương trình (1) như sau:



Trong điều kiện phản ứng giữa đơn chất, tương quan giữa độ giảm kiềm và hàm lượng SiO₂ hòa tan sẽ tuân theo phương trình (1). Tuy nhiên, cốt liệu thử nghiệm luôn bao gồm nhiều loại khoáng khác nhau và các tạp chất. Các nghiên cứu đã cho thấy sét hay felspar trong cốt liệu có thể phản ứng với kiềm và làm tăng đáng kể độ giảm kiềm. Trong khi đó, hàm lượng SiO₂ hòa tan phụ thuộc vào bản chất khoáng, mức độ kết tinh của SiO₂, cũng như mức độ vi nứt, biến

dạng và cấu trúc tinh thể. Duy trì phản ứng ở (80±1) °C trong vòng (24±0,25) h có thể là điều kiện tốt để xác định lượng SiO₂ hòa tan từ pha vô định hình như trong opal, các khoáng như chalcedony, cristobalite, tridymite hay quartz biến dạng, nhưng lại không thể hiện chính xác mức độ phản ứng của các dạng tinh thể có mức độ kết tinh tốt hơn. Trong khi quartz biến dạng với các khuyết tật và vi nứt trong cấu trúc có thể phản ứng tốt với kiềm thì quartz vi tinh (< 10 μm), quartz hạt mịn (10-100 c) phản ứng chậm còn quartz hạt thô (>0,1 mm) có mức độ phản ứng rất thấp. Hay như quartzite có phản ứng nhưng mức độ hòa tan thấp.

Khi áp dụng các giá trị thí nghiệm vào giản đồ Hình 2, có thể thấy rằng tất cả các cốt liệu trong nghiên cứu đều nằm trong vùng cốt liệu vô hại và theo TCVN 7572-14:2006 có thể sử dụng trong sản xuất bê tông mà không cần phải kiểm tra theo phương pháp B. Quy định này có khác biệt nhất định với quy định trong tiêu chuẩn Hoa Kỳ ASTM C289 và các nghiên cứu về phương pháp này.

Khác với phương pháp hóa học, thử nghiệm theo ASTM C1260 tập trung đánh giá sự thay đổi về tính năng mà ở đây là biến dạng của mẫu vữa. Trong nghiên cứu này đã tiến hành thử nghiệm với các loại cốt liệu có chứa quartz bao gồm: CS, DG, PR và PB. Các kết quả thử nghiệm và đánh giá được trình bày tại Bảng 4.

Bảng 4. Đánh giá khả năng phản ứng kiềm silic theo ASTM C1260-22

TT	Loại cốt liệu	Viên mẫu	Độ nở thanh vữa, % ở ngày thứ				Đánh giá
			3	7	10	14	
1	CS	1	0,008	0,051	0,064	0,091	R0
		2	0,009	0,045	0,062	0,088	
		3	0,013	0,052	0,068	0,094	
		TB	0,01	0,05	0,06	0,09	
2	DG	1	0,016	0,041	0,063	0,089	R0
		2	0,013	0,039	0,063	0,086	
		3	0,018	0,043	0,068	0,092	
		TB	0,02	0,04	0,06	0,09	
3	PR	1	0,063	0,147	0,215	0,324	R2
		2	0,071	0,160	0,229	0,335	
		3	0,065	0,153	0,223	0,331	
		TB	0,07	0,15	0,22	0,33	
4	PB	1	0,082	0,205	0,273	0,353	R2
		2	0,080	0,200	0,271	0,356	
		3	0,076	0,219	0,266	0,365	
		TB	0,08	0,21	0,27	0,36	

Kết quả tại Bảng 4 cho thấy, theo độ nở thanh vữa, các mẫu cốt liệu trong nghiên cứu có sự khác biệt rõ rệt. Mẫu CS và DG có độ nở thanh vữa sau 14 ngày đạt 0,09 %. Theo ASTM C1778-2023 [19], các mẫu cốt liệu này được xếp loại thuộc nhóm R0 - không phản ứng, còn mẫu PR đạt 0,33 % và PB đạt 0,36 % được xếp loại thuộc nhóm R2 - phản ứng mạnh. Độ nở thanh vữa của các mẫu PR và PB sau 7 ngày đã vượt giá trị 0,1 % ứng với mức quy định giữa nhóm không phản ứng và phản ứng vừa trung bình.

Rõ ràng rằng, với cốt liệu PR và PB, kết quả đánh giá dựa trên ASTM C1260 có sự khác biệt đáng kể so với kết quả đánh giá theo TCVN 7572-14:2006 phương pháp hóa học. Nguyên nhân ở đây là do sự khác biệt về cách tiếp cận và bản chất của phương pháp.

Được công bố lần đầu vào năm 1947 [20], phương pháp hóa học được phát triển bởi Engineering Laboratories of the Bureau of Reclamation, được áp dụng trong so sánh đối chiếu kết quả thử nghiệm khoảng 70 loại cốt liệu khác nhau, trong đó 22 loại cốt liệu có biểu hiện phản ứng kiềm silic trên công trình. Sau đó phương pháp này đã được Corps of Engineers, United States Army chuẩn hóa trong CDC-C 128-48 và American Society for Testing Materials trong ASTM C289-52 và được sử dụng rộng rãi để phân loại nhanh cốt liệu theo khả năng phản ứng kiềm silic. Các nghiên cứu ban đầu cho thấy, phương pháp này có thể phân loại nhanh cốt liệu theo mức độ phản ứng và có thể thiết lập được tương quan với độ nở thanh vữa xác định theo

ASTM C227 cho một số loại cốt liệu. Tuy nhiên, cùng với sự phổ cập của phương pháp và tích lũy các số liệu thí nghiệm với các loại cốt liệu khác nhau, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra một số nhược điểm của phương pháp hóa học.

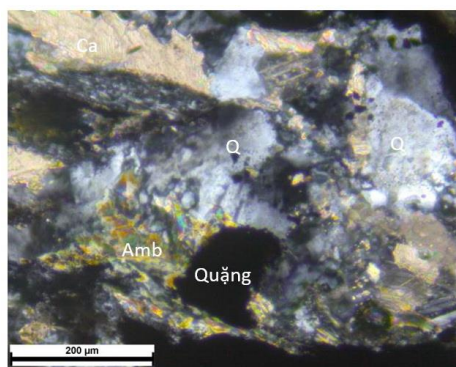
Ngay từ những nghiên cứu ban đầu, Mielenz R.C. [21] bên cạnh việc thiết lập tương quan giữa phương pháp hóa học với các phương pháp đánh giá khác, đã lưu ý về việc áp dụng phương pháp này với một số loại cốt liệu. Sau nhiều năm nghiên cứu và tổng hợp số liệu, Hobbs, D.W. [22] chỉ ra các sai lệch trong đánh giá bằng phương pháp hóa học nhất là đối với quartzite và các loại đá biến chất. Trong các nghiên cứu trên nhiều nguồn cốt liệu khác nhau tại Canada, Fournier, B. và Bérubé, M.A. [23] đã cho thấy sự thiếu tương quan giữa kết quả đánh giá theo phương pháp hóa học và các phương pháp khác như ASTM C1260 và ASTM C1293 và với thực tế trên công trình. Hooton, R.D. [24] sau khi tổng hợp các kết quả nghiên cứu từ nhiều nguồn khác nhau đã cho thấy phương pháp hóa thiếu độ tin cậy khi đánh giá phản ứng kiềm silic và đề xuất thay thế phương pháp này. Kết quả là đến năm 2016, sau khi xem xét các số liệu nghiên cứu đánh giá được thực hiện phạm vi toàn thế giới, Hiệp hội thí nghiệm vật liệu Hoa Kỳ ASTM đã hủy bỏ tiêu chuẩn ASTM C289-07.

Trong khi đó, với khởi đầu là các nghiên cứu được thực hiện tại Viện nghiên cứu xây dựng quốc gia (NBRI), Nam Phi [25, 26], phương pháp thử nghiệm nhanh sử dụng thanh vữa ngâm trong NaOH ở nhiệt độ cao đã nhanh chóng được phổ biến trên phạm vi toàn thế giới. Năm 1992, Hiệp hội thí nghiệm

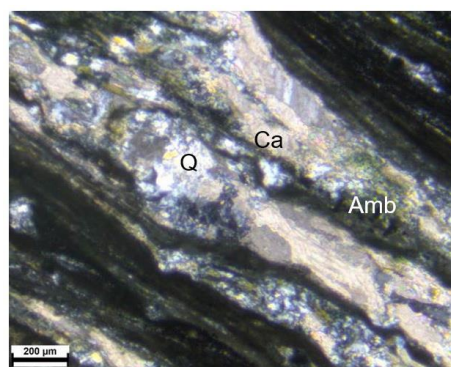
vật liệu Hoa Kỳ ASTM đã công bố tiêu chuẩn ASTM C1260-92 được biên soạn dựa trên phương pháp của NBRI. Tiêu chuẩn này, sau đó đã được soát xét vào các năm 2007, 2014 và 2022. Tuy nhiên, phương pháp này cũng có một số hạn chế nhất định do có thể cho kết quả dương tính giả đối với một số loại cốt liệu. Để khắc phục điều này, Hiệp hội thí nghiệm vật liệu Hoa Kỳ đã khuyến cáo cần đánh giá thêm dựa trên kết quả thử nghiệm trên mẫu bê tông theo ASTM C1293. Do các kết quả theo ASTM C1293 chỉ có thể có được sau 1 năm theo dõi, nên có thể tham khảo thêm các thông tin từ phân tích thạch học cốt liệu sử

dụng để xác định sự có mặt của các khoáng có khả năng tham gia phản ứng kiềm silic, phân tích thạch học mẫu thanh vữa đã thử nghiệm để tìm kiếm các dấu hiệu đã xảy ra phản ứng hoặc các kết quả thực tế tại hiện trường của bê tông đã sử dụng loại cốt liệu này.

Với kết quả tại Bảng 4, có thể thấy rằng cốt liệu PR và PB cần được đánh giá thêm về khả năng phản ứng kiềm silic để có kết luận chính xác. Trong phạm vi nghiên cứu này, đã tiến hành phân tích thạch học lát mỏng mẫu đá gốc (Hình 3).



Đá phiến (PR)



Đá phiến (PB)

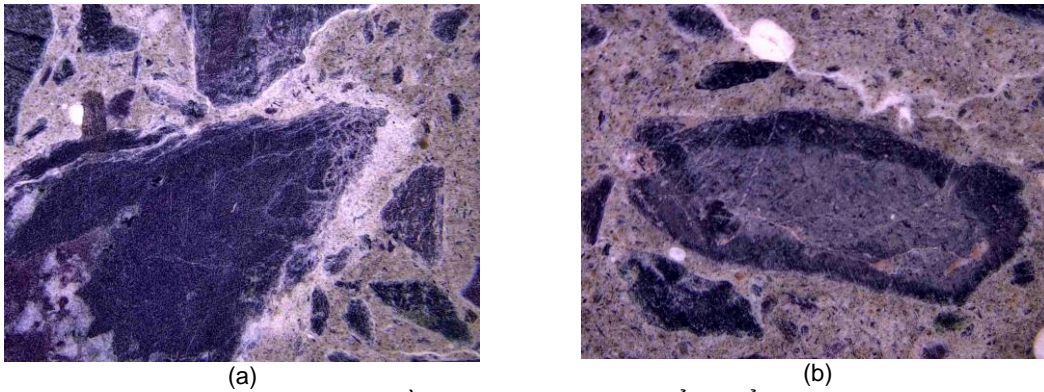
Hình 3. Phân tích thạch học lát mỏng đá gốc

Phân tích thạch học cho thấy mẫu PR có màu xám, phớt hồng, được xác định là đá phiến - đá biến chất từ đá magma có thành phần axit (ryolit). Đá có cấu tạo dạng khối, bị ép phiến với kiến trúc ban tinh hạt mịn, vi tinh. Cấu tạo phiến tạo thành các dải khoáng vật sáng màu và sẫm màu xen kẽ nhau gồm các khoáng vật thạch anh, feldspar, chlorit kết thành dải xen với các dải quặng sẫm màu không thấu quang. Thành phần PR bao gồm: 25 % thạch anh, 25 % feldspar, 20 % chlorit, 10 % canxit, 10 % amphibol và 10 % quặng màu đen.

Mẫu PB có màu xám đen với các dải màu xen kẽ được xác định là đá phiến - đá biến chất từ đá magma phun trào có thành phần mafic (bazan). Đá có cấu tạo dạng phiến với kiến trúc vi tinh, tạo thành từng dải khoáng vật sáng màu và sẫm màu xen kẽ nhau. Khoáng vật sáng màu chủ yếu gồm thạch anh, plagioclas biến tinh và canxit thứ sinh. Thành phần PB bao gồm: 10 % thạch anh, 20 % plagioclas, 10 % canxit, 20 % amphibol, 10 % pyroxen, 20 % chlorit và 10 % quặng màu đen.

Các phân tích trên cho thấy mẫu đá PR và PB đều thuộc nhóm đá biến chất bị ép phiến, có thành phần phức tạp, bao gồm quartz ở dạng vi tinh. Đây là các thành phần có khả năng tham gia phản ứng với kiềm trong bê tông [4, 27].

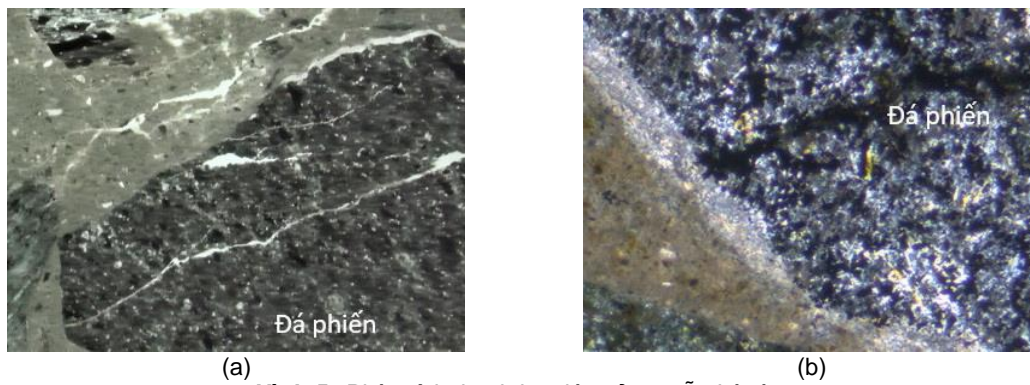
Trong nghiên cứu này cũng đã tiến hành lấy mẫu bê tông sử dụng đá PR và PB trên công trình hiện hữu. Theo hồ sơ thi công công trình, bê tông được thiết kế với cường độ đạt M300, sử dụng đá lấy từ cùng mỏ với các mẫu PR và PB, được thi công khoảng trên 10 năm trước đây. Đến nay, khảo sát sơ bộ bề mặt của kết cấu cho thấy đã xuất hiện nhiều vết nứt có dạng mạng lưới. Tuy nhiên, kết quả thí nghiệm cho thấy, bê tông chưa có dấu hiệu suy giảm về cường độ. Mẫu bê tông được lấy từ kết cấu chịu lực bằng khoan ống với mũi khoan kim cương, sau đó được gia công tại phòng thí nghiệm. Khảo sát mặt cắt mẫu sau khi đã mài bóng được thực hiện bằng kính hiển vi nổi (Hình 4). Đánh giá thạch học được thực hiện trên mẫu lát mỏng bằng kính hiển vi thấu quang được trình bày trên Hình 5.



Hình 4. Bề mặt bê tông qua kính hiển vi nổi

Hình 4.a cho thấy đã xuất hiện mạng lưới vết nứt tại rìa ngoài của hạt cốt liệu. Các vết nứt bị chèn đầy bởi vật chất màu trắng. Vùng đá xi măng tiếp giáp với vùng cốt liệu bị nứt có sự biến đổi rõ rệt với các vật chất màu trắng. Hình ảnh này tương đồng với các báo cáo tại các nước trên thế giới [27, 28] về hiện tượng phá hủy cốt liệu do phản ứng kiềm silic có tạo

các gel màu trắng. Trên Hình 4.b có thể thấy rõ vùng rìa theo chu vi của hạt cốt liệu có màu đậm hơn vùng bên trong. Đây cũng là dấu hiệu đặc trưng giai đoạn đầu của phản ứng kiềm silic khi kiềm bắt đầu xâm nhập vào vùng rìa ngoài của hạt cốt liệu và phản ứng với SiO₂ nhưng chưa gây nứt, phá hủy và tạo gel mạnh.



Hình 5. Phân tích thạch học lát mỏng mẫu bê tông

Hình 5.a cho thấy hạt cốt liệu trong bê tông có cấu trúc tương tự các mẫu đá phiến trong nghiên cứu. Mẫu bê tông có cấu trúc đặc chắc nhưng đã xuất hiện nhiều vết nứt trong đá xi măng và trong hạt cốt liệu. Khe hở của các vết nứt đều được chèn đầy bằng vật chất màu trắng. Một phần của đường tiếp giáp giữa cốt liệu và đá xi măng có vùng chuyển tiếp với vật liệu màu trắng. Phân tích chi tiết vùng chuyển tiếp tại Hình 5.b cho thấy bề mặt hạt cốt liệu có dấu hiệu khác thường so với vùng bên trong với sự xuất hiện của các thể màu trắng. Đây là các dấu hiệu đặc trưng của phản ứng kiềm silic, đã được các nghiên cứu trên thế giới ghi nhận [28, 29].

cho thấy các kết quả đánh giá theo phương pháp hóa học TCVN 7572-14:2006 là không chính xác đối với cốt liệu này. Do đó, trong thời gian tới, một mặt cần nghiên cứu chi tiết hơn về khả năng phản ứng kiềm silic của các loại cốt liệu theo các phương pháp như ASTM C1260, ASTM C1293, mặt khác cần hủy bỏ tiêu chuẩn TCVN 7572-14:2026 để tránh các kết quả âm tính giả đối với một số loại cốt liệu chứa các thành phần phản ứng chậm.

Như vậy, thông qua phân tích thạch học lát mỏng đá gốc và mẫu bê tông đã xác nhận phản ứng kiềm silic giữa cốt liệu PR và PB trong bê tông. Điều này

Phân tiếp theo của nghiên cứu tập trung đánh giá ảnh hưởng của loại xi măng tới khả năng phản ứng kiềm silic thông qua độ nở thanh vữa. Trong nghiên cứu đã sử dụng xi măng PCB40 khi chế tạo mẫu thử theo ASTM C1260. Kết quả xác định độ nở thanh vữa được trình bày tại Bảng 5.

Bảng 5. Độ nở thanh vữa khi sử dụng xi măng PCB để chế tạo mẫu

TT	Loại cốt liệu	Viên mẫu	Độ nở thanh vữa, % ở ngày thứ			
			3	7	10	14
1	CS	1	0,003	0,016	0,028	0,039
		2	0,005	0,018	0,031	0,044
		3	0,006	0,020	0,030	0,040
		TB	0,00	0,02	0,03	0,04
2	DG	1	0,006	0,016	0,031	0,042
		2	0,007	0,019	0,033	0,044
		3	0,006	0,018	0,030	0,043
		TB	0,01	0,02	0,03	0,04
3	PR	1	0,060	0,121	0,174	0,241
		2	0,055	0,114	0,166	0,233
		3	0,057	0,119	0,169	0,233
		TB	0,06	0,12	0,17	0,24
4	PB	1	0,043	0,091	0,130	0,171
		2	0,042	0,112	0,136	0,178
		3	0,050	0,086	0,129	0,175
		TB	0,05	0,10	0,13	0,17

So sánh kết quả tại Bảng 5 của các mẫu sử dụng xi măng PCB40 so với tại Bảng 4 của các mẫu sử dụng xi măng PC40 cho thấy độ nở thanh vữa của các nhóm cốt liệu ở tất cả các ngày đều giảm đáng kể. Sau 14 ngày ngâm mẫu, độ nở thanh vữa của mẫu sử dụng cốt liệu CS và DG giảm còn 0,04 %. Giá trị với mẫu sử dụng cốt liệu PR và PB tương ứng là 0,24 % và 0,17 %. Với các kết quả này, khi sử dụng xi măng PCB40, độ nở thanh vữa của cốt liệu PR và PB tương ứng với mức độ R1 - phản ứng trung bình, thấp hơn so với khi sử dụng xi măng PC40. Do được thay thế một phần bằng phụ gia khoáng nên tỷ lệ clanhker trong xi măng PCB40 thấp hơn so với trong xi măng PC40, làm giảm hàm lượng kiềm tương đương trong xi măng đóng góp bởi clanhker. Ngoài ra, phụ gia khoáng hoạt tính trong xi măng PCB40 có khả năng phản ứng với hydroxit canxi để tạo khoáng mới. Mặc dù độ nở thanh vữa khi sử dụng xi măng PCB40 đã giảm nhưng vẫn thuộc nhóm có nguy cơ phản ứng kiềm silic, chứng tỏ thay thế loại xi măng trong trường hợp này chưa giải quyết triệt để vấn đề. Để có thể sử dụng cốt liệu PR, PB trong thực tế, cần tiến hành các thí nghiệm bổ sung theo hướng tăng cường tỷ lệ thay thế xi măng bằng phụ gia khoáng, hoặc sử dụng các loại phụ gia chuyên dụng hạn chế phản ứng kiềm silic.

5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu trình bày trong nghiên cứu này cho phép rút ra một số kết luận và kiến nghị sau.

- Phản ứng kiềm silic là một trong những nguyên nhân gây xuống cấp, hư hại kết cấu bê tông đã được ghi nhận tại nhiều nước trên thế giới. Phương án vật

liệu sản xuất bê tông bắt buộc phải loại trừ được nguy cơ phản ứng kiềm silic bằng cách lựa chọn cốt liệu không có nguy cơ phản ứng kiềm silic hoặc sử dụng các biện pháp công nghệ;

- Đã có nhiều đề xuất về phương pháp xác định, đánh giá khả năng phản ứng kiềm silic. Phương pháp có độ tin cậy cao và được công nhận rộng rãi hiện nay ASTM C1293 dựa trên biến dạng của mẫu bê tông đòi hỏi thời gian theo dõi đến 1 năm. Các phương pháp nhanh như phương pháp hóa học theo TCVN 7572-14:2006 và phương pháp thanh vữa theo ASTM C1260 có thể cho kết quả sớm nhưng đòi hỏi khi không chính xác đối với một số loại cốt liệu nhất định;

- Nghiên cứu trên một số mẫu cốt liệu tại Việt Nam cho thấy phương pháp hóa học theo TCVN 7572-14:2006 không phát hiện được khả năng phản ứng kiềm silic của cốt liệu là đá phiến biến chất từ đá rhyolit và bazan, trong khi ASTM C1260 cho kết quả ở mức phản ứng mạnh. Kết quả phân tích thạch học đá phiến phát hiện sự có mặt của quartz vi tinh - thành phần có khả năng phản ứng. Kiểm tra trên mẫu bê tông lấy từ kết cấu hiện hữu xác nhận đã xảy ra phản ứng kiềm silic với cốt liệu này;

- Sử dụng xi măng poóc lăng hỗn hợp thay thế xi măng poóc lăng làm giảm độ nở thanh vữa thí nghiệm theo ASTM C1260 chứng tỏ, xi măng hỗn hợp có khả năng hạn chế phản ứng kiềm silic tốt hơn xi măng poóc lăng. Tuy nhiên, với đá phiến trong nghiên cứu, biện pháp này chưa đủ để loại bỏ nguy cơ phản ứng kiềm silic, cần tiếp tục nghiên cứu các biện pháp công nghệ bổ sung;

- Dựa trên các kết quả thu được, kiến nghị hủy bỏ tiêu chuẩn TCVN 7572-14:2006 và biên soạn các tiêu chuẩn thay thế dựa trên ASTM C1260 và ASTM C1293. Trong thời gian chưa ban hành được tiêu chuẩn mới nên áp dụng trực tiếp tiêu chuẩn nước ngoài để đánh giá phản ứng kiềm silic của cốt liệu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Stanton T.E. (1940). *Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Aggregate*. American Society of Civil Engineers.
- [2] Taylor H.F.W. (1997). *Cement Chemistry*. Thomas Telford.
- [3] Hadley D.W. (1961). *Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*. Journal PCA.
- [4] Fournier B., Bérubé M.A. (2000). *Alkali-aggregate reaction in concrete: A review of basic concepts and engineering implications*. Canadian Journal of Civil Engineering, 27(2), 167–191.
- [5] Ichikawa T., Miura M. (2007). *Modified model of alkali-silica reaction*. Cement and Concrete Research, 37(9), 1291–1297.
- [6] ASTM C295-08. Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete.
- [7] ASTM C1260-22. *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*. ASTM International.
- [8] ASTM C1293-20. *Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction*. ASTM International.
- [9] RILEM AAR. Detection of potential alkali-reactivity (all part).
- [10] TCXD 238:1999. *Cốt liệu bê tông - Phương pháp hóa học xác định khả năng phản ứng kiềm – silic*.
- [11] TCXD 246:2000. *Cốt liệu bê tông - Phương pháp thanh vữa xác định khả năng phản ứng kiềm – silic*.
- [12] ASTM C289. *Standard Test Method for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method)*. ASTM International.
- [13] ASTM C227. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method).
- [14] TCVN 7572-14:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử - Phần 14: Xác định khả năng phản ứng kiềm – silic*.
- [15] ASTM C 1567-08. *Standard Test Method for Determining the Potential Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate (Accelerated Mortar-Bar Method)*.
- [16] TCVN 6260:2020. Xi măng poóc lăng hỗn hợp.
- [17] TCVN 8734:2012. Đá xây dựng công trình thủy lợi - Phương pháp phân tích thạch học bằng soi kính lát mỏng để xác định tên đá.
- [18] ASTM C295-08. Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete.
- [19] ASTM C1778-2023. Standard Guide for Reducing the Risk of Deleterious Alkali-Aggregate Reaction in Concrete.
- [20] Mielenz R. C., Greene K.T. (1947). *Chemical Test for the Reactivity of Aggregates with Cement Alkalies*. Chemical Processes in Cement Aggregate Reaction - Proceedings, American Concrete Institute, 44, p.193.
- [21] Mielenz R. C., Benton E. J. (1947). *Evaluation of the quick chemical test for alkali reactivity of coarse aggregate*. Journal Proceedings American Concrete Institute, 44(11), 193–222.
- [22] Hobbs D.W. (1978). *Expansion Due to Alkali-Silica Reaction and the Influence of Reactive Aggregate*. Magazine of Concrete Research, 30(104), 63–74.
- [23] Fournier B., Bérubé M.A. (1997). *Canadian Experience with Testing for Alkali-Aggregate Reactivity in Concrete*. Cement and Concrete Composites, 19(1), 45–63.
- [24] Hooton R.D. (2003). *Evaluation of Chemical and Accelerated Test Methods for Alkali-Silica Reactivity*. ACI Materials Journal, 100(2), 99–106.
- [25] Oberholster R. E., Davies, G. (1986). *An Accelerated Method for Testing the Potential Alkali Reactivity of Siliceous Aggregates*. Cement and Concrete Research, Vol 16, 181–189.
- [26] Davies G., Oberholster R. E. (1987) *Use of the NBRI Accelerated Test to Evaluate the Effectiveness of Mineral Admixtures in Preventing the Alkali-Silica Reaction*. Cement and Concrete Research, 17, 97–107.
- [27] Antolik A., Dąbrowski M., Józwiak-Niedźwiedzka D. (2023). *Petrographic Evaluation of Aggregate from Igneous Rocks: Alkali-Silica Reaction Potential*. Minerals 13(8), 1004.
- [28] Zahedi A., Trottier C., Sanchez L.F.M, Noël M. (2021). *Microscopic assessment of ASR-affected concrete under confinement conditions*. Cement and Concrete Research, 145, 106456.
- [29] Kazemi P., Nikudel M.R, Khomehchiyan M., Giri P., Taheri S., and Simon Martin Clark S.M. (2022). *Assessment of Alkali-Silica Reaction Potential in Aggregates from Iran and Australia Using Thin-Section Petrography and Expansion Testing*. Materials, 15(12), 4289.