

Ảnh hưởng của cốt liệu tái chế tới khả năng tự liền vết nứt của vữa trương nở

Nguyễn Thị Bích Thủy^{1*}, Trần Cao Minh¹, Hoàng Phi Hùng¹, Trà Hoàng Minh Thuận¹

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh

TỪ KHOÁ

Tro bay
Phụ gia trương nở
Cốt liệu tái chế
Cường độ nén
Khả năng liền vết nứt

TÓM TẮT

Vữa thải từ quá trình xây dựng là một trong những rác thải rắn cần được xử lý. Nghiên cứu này tập trung sử dụng vữa thải thay thế một phần cốt liệu nhỏ trong vữa trương nở. Tính công tác, cường độ chịu nén, độ giãn nở và đặc biệt là khả năng tự liền vết nứt của vữa trương nở được khảo sát. Cốt liệu tái chế này được thay thế 0, 10%, và 20% theo thể tích cát trong vữa. Kết quả thí nghiệm thể hiện độ chảy xèo của vữa sử dụng cốt liệu tái chế cao hơn so với mẫu đối chứng. Cường độ chịu nén có xu hướng giảm nhẹ khi sử dụng cốt liệu tái chế do cấu trúc rỗng của cốt liệu này. Độ giãn nở của vữa tăng lên khi sử dụng cốt liệu tái chế. Điều này giúp nâng cao khả năng tự liền vết nứt trong vữa trương nở. Dựa theo kết quả thu được, việc sử dụng cốt liệu tái chế để thay thế cát đến 20% theo thể tích là khả thi và hiệu quả đối với vữa trương nở.

KEYWORDS

Fly ash
Expansive agent
Recycled aggregate
Compressive strength
Self cracking ability

ABSTRACT

Mortar waste from construction is one of the solid wastes that need to be managed. This study focuses on using mortar waste to partially replace fine aggregate in expansive mortar. The compressive strength, expansion, and especially the self-healing cracking ability of expansive mortar were investigated. The recycled aggregate replaced 0, 10%, and 20% by volume of sand in the mortar. The tested results showed that the compressive strength tended to decrease slightly when using recycled aggregate due to its porous structure. The expansion of the mortar increased with the use of recycled aggregate. The enhanced expansion helps to improve the self-healing cracking ability of the expansive mortar. Based on the obtained results, using recycled aggregate to replace sand up to 20% by volume is feasible and effective for expanding mortar.

1. Giới thiệu

Trong những thập kỷ gần đây, với tốc độ tăng trưởng kinh tế và xã hội cao, thực trạng nhu cầu xã hội và cơ sở hạ tầng ở Việt Nam đang trong thực trạng cầu vượt xa cung, đặc biệt là những thành phố lớn như Hồ Chí Minh và Hà Nội. Những thành phố lớn này với mật độ dân số đông đúc cùng với sự gia tăng dân số cơ học đã gây ra một sức ép rất lớn đến sự phát triển về nhà ở và cơ sở hạ tầng. Theo Báo điện tử chính phủ, ngày 21/12/2025 thống kê trong năm 2025, Việt Nam đã hoàn thành hơn 102 nghìn căn nhà ở xã hội và hướng tới hoàn thành 1 triệu căn nhà sớm hơn 2 năm (2028) [1]. Đặc biệt, đối với những thành phố lớn tại Việt Nam như Hồ Chí Minh và Hà Nội, những thành phố lớn này với mật độ dân số đông đúc cùng với sự gia tăng dân số cơ học đã gây ra một sức ép rất lớn đến sự phát triển về nhà ở và cơ sở hạ tầng. Theo Báo điện tử chính phủ chuyên trang Thành phố Hồ Chí Minh, Thành phố đặt mục tiêu đến năm 2030, sẽ phát triển khoảng 199.400 căn nhà ở xã hội [2]. Ngoài ra, mục tiêu xây dựng cơ sở hạ tầng của thành phố tập trung nâng cao tỉ lệ đất giao thông trên đất xây dựng đô thị, hoàn thiện các tuyến đường vành đai, các tuyến đường sắt đô thị, cao lộ liên vùng. Trong quá trình xây dựng và hoàn thiện lượng công trình đồ sộ đó, một lượng lớn nguyên

liệu dư như vữa thừa hoặc không sử dụng bị loại bỏ cần thiết được xử lý. Nguồn vữa dư thừa hoặc có tên gọi là vữa thải cần có phương án xử lý triệt để, đây là một trong những yêu cầu để nghiệm thu công trình và cũng hướng tới xây dựng những công trình xanh. Việc quản lý phế thải xây dựng (PTXD) và phá dỡ ở Việt Nam đã được nghiên cứu. Giải pháp quan trọng được đề xuất là các chiến lược quản lý và tái chế PTXD phù hợp với các điều kiện này, với lợi ích đã được chứng minh cho tất cả các bên liên quan [3]. Phế thải xây dựng cũng đã được nghiên cứu và chế tạo những vật liệu xây dựng như gạch bê tông rỗng với đặc trưng kỹ thuật phù hợp để ứng dụng tại các bãi đỗ xe, vỉa hè, lối đi bộ, tránh được hiện tượng ngập lụt, đọng nước cũng như có tác dụng giảm hiệu ứng nhiệt đô thị [4].

Ngoài việc chú trọng số lượng công trình xây dựng theo mục tiêu đề ra thì chất lượng công trình cũng cần được đảm bảo. Trong những hư hỏng, sự cố của công trình thì hiện tượng nứt là một trong những hiện tượng phổ biến nhất. Cơ chế hình thành vết nứt trong công trình chủ yếu do nội ứng suất kéo vượt quá giới hạn chịu kéo của vật liệu. Nguyên nhân chính là do quá trình co ngót thường là do mất nước, chênh lệch nhiệt độ trong cấu kiện, hay do quá tải [5]. Khi công trình hình thành vết nứt, những hiện tượng như thấm nước, xâm nhập các tác nhân gây ăn mòn như ion clo, ion sulfate, ion

*Liên hệ tác giả: thuy.ntbich@ou.edu.vn

Nhận ngày 04/02/2026, sửa xong ngày 12/05/2026, chấp nhận đăng ngày 13/05/2026

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2026.1248>

carbonate sẽ diễn ra nhanh hơn và gây hậu quả nghiêm trọng. Chúng làm giảm chất lượng và tuổi thọ của công trình.

Để hạn chế vết nứt xuất hiện, trong thi công có sử dụng lưới thép chống nứt hay kiểm soát chất lượng bê tông như kiểm soát tỉ lệ nước trên xi măng, chất lượng của hệ nguyên vật liệu, cũng như có quá trình dưỡng hộ ẩm cho bê tông một cách phù hợp. Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp, vết nứt vẫn xuất hiện gây mất thẩm mỹ và ảnh hưởng tới chất lượng công trình. Phương pháp bơm keo epoxy hay trám keo xử lý thường được áp dụng trong thực tế. Ngoài ra, phương pháp sử dụng phụ gia trương nở để chữa liền vết nứt cũng đã được ứng dụng có hiệu quả [6-8].

Phụ gia trương nở (expansive agent - EA) thường ở dạng bột mịn, được dùng để thay thế một phần nhỏ xi măng nhằm giúp thể tích bê tông giãn nở trong thời điểm sớm. Phụ gia trương nở gồm có hai loại chính là phụ gia gốc Calcium Sulfoaluminate (CSA) với sản phẩm hình thành chủ yếu là ettringite và gốc Calcium oxide với sản phẩm hình thành là Portlandite. Cả hai sản phẩm này đều có tỉ lệ giãn nở thể tích lớn hơn nhiều so với thể tích vật liệu ban đầu. Độ giãn nở thể tích này bù vào phần thể tích bị giảm do hiện tượng co ngót khô. Bằng việc sử dụng phụ gia trương nở, cấu trúc đặc chắc hơn và tăng khả năng chống thấm cho bê tông, đặc biệt là hiện tượng nứt do co ngót cũng giảm [9, 10]. Ngoài ra, phụ gia trương nở kết hợp với tro bay cũng cải thiện đáng kể độ giãn nở thể tích của bê tông kết quả làm giảm khả năng xuất hiện vết nứt [11, 12].

Trong xây dựng hiện nay, thực trạng thiếu cát sông trong xây dựng hay làm vật liệu lấp đầy đang ở mức báo động. Một số vật liệu được nghiên cứu và dùng để thay thế một phần cát sông như tro xỉ, xỉ lò cao, cốt liệu tro bay...Chúng đều có những tác động tích cực nhất định tới cường độ hay độ bền của vữa hay bê tông [13-15].

Vữa thải sau khi được đập vụn cũng có kích cỡ hạt tương đương cốt liệu nhỏ và hoàn toàn có thể dùng để thay thế một phần cát. Việc nghiên cứu sử dụng cốt liệu tái chế được làm từ vữa thải để thay thế một phần cát trong bê tông trương nở vẫn chưa được nghiên cứu. Do đó, nghiên cứu này muốn thực hiện bước đầu khảo sát ảnh hưởng của cốt liệu vữa thải tới cường độ chịu nén, độ giãn nở, và khả năng tự liền vết nứt của vữa sử dụng phụ gia trương nở. Dựa trên kết quả nghiên cứu, đây được xem là tiền đề để ứng dụng cốt liệu vữa thải trong chế tạo bê tông trương nở hay những loại bê tông khác. Điều này có đóng góp lớn tới việc giải quyết vấn đề gây ô nhiễm môi trường và hướng tới sử dụng vật liệu xanh trong lĩnh vực xây dựng.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Hệ vật liệu

Hệ vật liệu được sử dụng trong nghiên cứu này là xi măng Portland, tro bay, phụ gia trương nở loại K, cát, cốt liệu tái chế và nước. Khối lượng riêng của xi măng, tro bay và chất phụ gia trương nở lần lượt là 3,1 g/cm³, 2,27 g/cm³ và 2,24 g/cm³. Thành phần hóa học của xi măng, tro bay và phụ gia trương nở được thể hiện trong Bảng 1. Chất phụ gia trương nở chủ yếu chứa Al₂O₃, CaO và SO₃ nên

đây là loại Canxi Sulfoaluminat (C-S-A). Sản phẩm chính của phụ gia trương nở này là ettringite, chất này có thể tích giãn nở lớn và độ ổn định thể tích lâu dài.

Bảng 1. Thành phần hóa học của vật liệu bột.

Thành phần hóa học	Xi măng	Tro bay	Phụ gia trương nở
SiO ₂	18,15	50,26	0,25
Al ₂ O ₃	3,15	22,51	10,64
Fe ₂ O ₃	3,23	6,96	0,04
CaO	70,12	2,58	46,49
MgO	1,32	1,17	0,19
Na ₂ O	0,04	0,31	0,09
K ₂ O	0,52	3,98	0,07
SO ₃	2,84	0,55	41,24
LOI	-	9,70	0,99

Vữa thải được thu gom từ quá trình xây dựng công trình, đập nhỏ và sàng qua sàng số 5, được dùng làm cốt liệu tái chế để thay thế một phần cát trong vữa. Khối lượng riêng của cát và cốt liệu tái chế lần lượt là 2.58 g/cm³ và 2.14 g/cm³. Trước khi sử dụng trong vữa, cốt liệu tái chế được ngâm trong nước và chuẩn bị tới trạng thái bão hòa khô bề mặt. Do cốt liệu tái chế có cấu trúc lỗ rỗng lớn nên độ hút nước bão hòa của cốt liệu tái chế là 18.24 %, trong khi độ hút nước bão hòa của cát chỉ là 1.05 %.

Trong nghiên cứu này, tất cả mẫu vữa cùng được kiểm soát tỉ lệ nước/xi măng là 0.35, tỉ lệ theo khối lượng cốt liệu nhỏ với xi măng là 3 :1. Dựa trên những nghiên cứu về cốt liệu nhẹ, tỉ lệ thay thế cát được khuyến cáo nhỏ hơn 20 % để không ảnh hưởng quá xấu tới tính chất của vữa hay bê tông. Cốt liệu tái chế thay thế cát theo thể tích với tỉ lệ 0, 10 %, và 20 % trong nghiên cứu này. Phụ gia trương nở là loại Canxi Sulfoaluminate (C-S-A) cũng được khuyến dùng với tỉ lệ 5 % với khối lượng xi măng để đảm bảo về cả cường độ nén và độ giãn nở của vữa trương nở. Trong nhiều nghiên cứu, tỉ lệ tro bay thay thế 30 % khối lượng xi măng khi kết hợp cùng phụ gia trương nở cải thiện rõ độ trương nở thể tích [16]. Tỉ lệ cấp phối của hệ nguyên vật liệu được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Tỉ lệ cấp phối vữa trương nở.

Tên mẫu	N/X	EA/X	FA/X	CLN/X	RA/CLN
EA5			0		0
EA5RA10			0		10 %
EA5RA20			0		20 %
EA5FA30	0.35		30 %		0
EA5FA30RA10		5 %	30 %	3	10 %
EA5FA30RA20			30 %		20 %

Trong đó:

N/X: là tỉ lệ nước/xi măng;

EA/X : là tỉ lệ phụ gia trương nở/xi măng;
FA/X : là tỉ lệ tro bay/xi măng;
CLN/X : là tỉ lệ cốt liệu nhỏ/xi măng;
RA/CLN : là tỉ lệ cốt liệu tái chế/cốt liệu nhỏ;

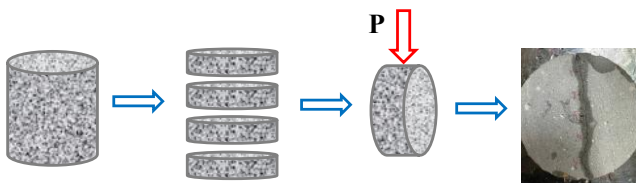
2.2. Phương pháp thí nghiệm

Để làm rõ ảnh hưởng của cốt liệu tái chế tới tính chất của vữa trương nở, nghiên cứu này sử dụng những cấp phối vữa với kiểm soát tỉ lệ N/X bằng 0.35, tỉ lệ EA/X bằng 5 %, và tỉ lệ CLN/X bằng 3. Cường độ nén, độ giãn nở, và khả năng liền vết nứt của vữa trương nở.

Mẫu vữa lập phương kích thước 5x5x5 cm được chuẩn bị cho thí nghiệm xác định cường độ nén. Quy trình thực hiện thí nghiệm được tuân theo tiêu chuẩn ASTM C109 [17]. Mẫu vữa được dưỡng hộ hoàn toàn trong nước và đo cường độ tại 7, 28, và 91 ngày tuổi.



Hình 1. Khuôn tạo mẫu đo biến dạng dài của vữa.



Hình 2. Quy trình chuẩn bị mẫu kiểm tra khả năng liền vết nứt.

Để khảo sát khả năng liền vết nứt, mẫu thí nghiệm được chuẩn bị như sau: vữa được cho vào khuôn hình trụ đường kính 10 cm và chiều cao 20 cm; sau 1 ngày trong khuôn, mẫu được tháo ra và dưỡng hộ trong nước 28 ngày; mẫu vữa được cắt thành lát với chiều dày 5 cm; lát vữa được bửa làm đôi sau đó được gắn chặt lại nhờ vòng kim loại; cuối cùng, bề rộng vết nứt của mẫu vữa được xác định trước khi mẫu được dưỡng hộ ẩm. Bề rộng vết nứt ban đầu được khống chế từ 0.1 đến 0.2 mm. Mỗi cấp phối vữa gồm 4 viên mẫu. Trên bề mặt mỗi viên mẫu được đánh dấu tại 5 điểm cách đều nhau. Quy trình chuẩn bị mẫu được thể hiện ở Hình 2. Hình ảnh vết nứt được khảo sát tại 2 tháng tuổi bằng thiết bị chụp ảnh điện tử. Bề rộng vết nứt được đo tại những điểm đã đánh dấu tại 1 tuần, 4 tuần, 8 tuần, và 12 tuần tính từ khi bắt đầu tạo vết nứt.

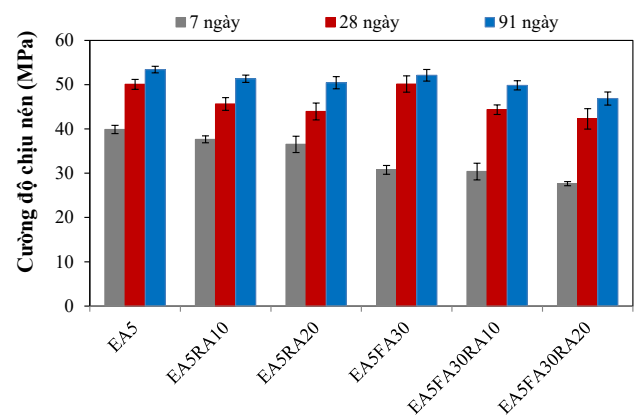
Thí nghiệm xác định độ giãn nở theo chiều dài sử dụng mẫu là hình lăng trụ với kích thước 25x25x285 mm, xem Hình 1. Các bước tạo hình và tiến hành đo độ biến dạng tuân theo tiêu chuẩn TCVN

12003:2018 [18]. Sau khi tạo hình và dưỡng hộ 1 ngày trong khuôn, mẫu vữa được dưỡng hộ trong nước và đo độ biến dạng mỗi ngày bằng thiết bị đo độ dài thanh mẫu. Thời gian dưỡng hộ nước kéo dài 6 ngày. Lý do lựa chọn 6 ngày là do độ giãn nở của mẫu giữ ở mức tương đối ổn định, không có xu hướng tăng hay giảm.

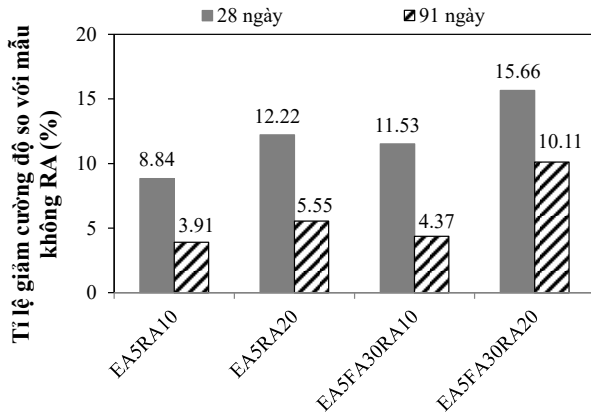
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của cốt liệu tái chế tới cường độ nén

Ảnh hưởng của cốt liệu tái chế tới cường độ nén của vữa trương nở được thể hiện ở Hình 3. Kết quả thí nghiệm khảo sát hai nhóm mẫu gồm nhóm mẫu không sử dụng tro bay và nhóm mẫu sử dụng tro bay. Khi hàm lượng cốt liệu tái chế tăng từ 10 % lên 20 %, cường độ của vữa có xu hướng giảm. Xu hướng này xuất hiện ở cả hai nhóm vữa. Cốt liệu tái chế được làm từ vữa thải có cấu trúc rỗng hơn so với cát sông. Vì bản chất vữa thải được thu gom từ quá trình hoàn thiện công trình. Thành phần chính của vữa là xi măng, cát, và nước. Tuy nhiên, cường độ của cốt liệu vữa thải rất thấp do quá trình thủy hóa của xi măng không được đảm bảo. Kết quả là hàm lượng lỗ rỗng lớn bên trong cấu trúc cốt liệu tái chế. Đây là nguyên nhân chính dẫn tới sự giảm sút cường độ nén của vữa. Tỉ lệ cường độ giảm của vữa sử dụng cốt liệu tái chế được thể hiện ở Hình 4. Cường độ nén của vữa sử dụng cốt liệu tái chế tại 28 ngày tuổi có tỉ lệ giảm mạnh hơn so với kết quả tại 91 ngày tuổi. Tại 28 ngày tuổi, tỉ lệ giảm của các mẫu hầu hết trên 10 %, đặc biệt là mẫu EA5FA30RA20 lên tới 15.66 %. Tuy nhiên, tại 91 ngày tuổi, tỉ lệ giảm cường độ đã được thu hẹp lại gần như thấp hơn 10 %. Như đã đề cập, vữa thải là vật liệu composite gồm nền chất kết dính là xi măng. Khi cốt liệu vữa thải được sử dụng thay thế cát, quá trình thủy hóa của xi măng trong cốt liệu vữa thải vẫn tiếp tục diễn ra dù tốc độ và hiệu suất không cao như quá trình thủy hóa của xi măng bột. Tuy nhiên, điều này cũng cải thiện cường độ của bê tông và làm giảm khoảng cách chênh lệch cường độ so với mẫu không sử dụng cốt liệu tái chế. Dựa trên kết quả thí nghiệm, hầu hết tỉ lệ cường độ khi sử dụng cốt liệu tái chế nhỏ hơn 10 % tại 91 ngày tuổi, nên tỉ lệ 20 % cốt liệu tái chế dùng để thay thế cát có thể chấp nhận được.

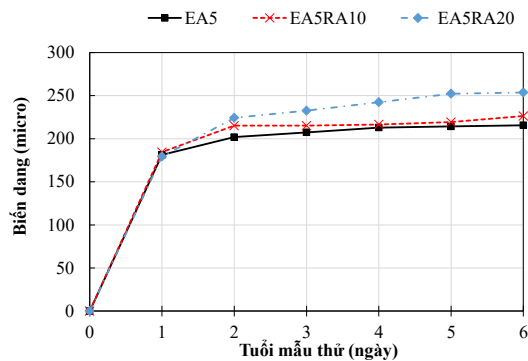


Hình 3. Ảnh hưởng của cốt liệu tái chế tới cường độ chịu nén của vữa.

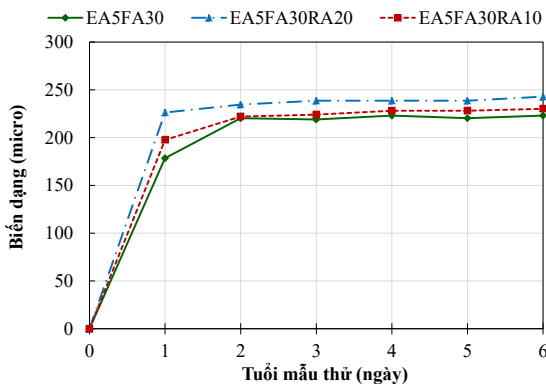


Hình 4. Tỷ lệ giảm cường độ của mẫu sử dụng cốt liệu tái chế.

3.2. Ảnh hưởng của cốt liệu tái chế tới độ giãn nở



a. Nhóm mẫu không sử dụng tro bay

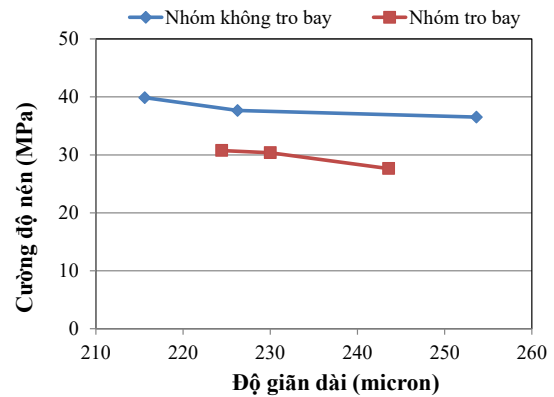


b. Nhóm mẫu sử dụng tro bay

Hình 5. Ảnh hưởng của cốt liệu tái chế tới biến dạng dài.

Ảnh hưởng của cốt liệu tái chế tới độ giãn nở của vữa được thể hiện ở Hình 5. Mục đích chính của việc sử dụng phụ gia trương nở là làm tăng thể tích ban đầu của mẫu thí nghiệm. Độ giãn nở thể tích này sẽ bù đắp lượng thể tích bị co ngót trong quá trình co ngót khô của mẫu. Kết quả biến dạng dài của hai nhóm vữa sử dụng và không sử dụng tro bay được thể hiện lần lượt tại Hình 5a và 5b. Khi mẫu sử dụng cốt liệu tái chế, độ biến dạng dài cụ thể là độ trương nở của

mẫu tăng lên. Mẫu vữa sử dụng 10 % cốt liệu tái chế có độ giãn nở tăng rất nhỏ so với mẫu không sử dụng cốt liệu tái chế. Tuy nhiên, tại mẫu sử dụng 20 % cốt liệu tái chế, độ giãn nở tăng lên rõ ràng. Cốt liệu tái chế có cấu trúc không đặc chắc, tại tuổi sớm, quá trình thủy hóa của xi măng và phụ gia trương nở diễn ra rất nhanh và mãnh liệt làm thể tích của mẫu giãn nở lớn. Theo thời gian, cấu trúc của vữa sử dụng cốt liệu tái chế có độ rỗng lớn, cường độ nhỏ hơn nên thể tích của vữa dễ dàng giãn nở hơn. Kết quả thu được độ giãn dài lớn hơn.



Hình 6. Mối tương quan giữa cường độ nén và độ giãn dài của mẫu vữa.

Hình 6 thể hiện mối tương quan giữa giá trị cường độ nén tại 7 ngày tuổi và độ giãn dài của mẫu vữa tại 6 ngày dưỡng hộ trong nước (tương đương với 7 ngày tuổi, do 1 ngày dưỡng hộ trong khuôn). Kết quả thể hiện rất rõ ràng rằng cường độ nén càng thấp thì giá trị độ giãn dài càng tăng. Mẫu có cường độ nén thấp có nghĩa là độ cứng của mẫu cũng thấp, khi sản phẩm thủy hóa của xi măng và phụ gia trương nở tăng lên, dẫn đến thể tích của mẫu dễ dàng giãn ra.

3.3. Ảnh hưởng của cốt liệu tái chế tới khả năng liền vết nứt

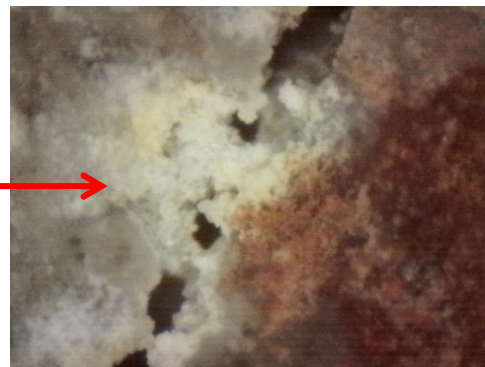
Một trong những hiệu quả của phụ gia trương nở chính là khả năng tự liền vết nứt của vữa hay bê tông. Bốn mẫu vữa được lựa chọn để khảo sát gồm mẫu EA5, EA5RA20, EA5FA30, và EA5FA30RA20 để đánh giá ảnh hưởng của cốt liệu tái chế tới khả năng làm liền vết nứt. Mỗi mẫu vữa được tạo vết nứt nhân tạo bằng cách nén bừa mẫu thành 2 phần, sau đó ép chặt 2 nửa mẫu lại, giữ cố định và dưỡng hộ ẩm tới thời điểm xác định lại vết nứt. Vết nứt ban đầu được tạo ra có bề rộng khoảng 0.1 đến 0.2 mm. Hình 7 thể hiện hình ảnh của vết nứt mẫu vữa tại 56 ngày. Việc khảo sát khả năng liền vết nứt này mang tính chất định tính nhiều hơn định lượng do vết nứt dài, tốc độ phản ứng thủy hóa tại mọi điểm trên vết nứt khác nhau. Nên hình ảnh được lựa chọn trong Hình 7 cũng mang tính chất ngẫu nhiên. Mỗi vị trí được quan sát với độ phóng đại 50 lần và 120 lần. Bằng trực quan, cả 4 mẫu đều có sản phẩm thủy hóa hình thành tại vị trí vết nứt. Mẫu sử dụng cốt liệu tái chế có khả năng liền vết nứt cao hơn mẫu không sử dụng cốt liệu tái chế, quan sát Hình 7c,7d với Hình 7a, 7b, và quan sát Hình 7g, 7h với Hình 7e, 7f. Rất nhiều tinh thể được hình thành

bên trong khe nứt, giúp vết nứt có khả năng liền lại nhanh hơn. Hai giả thuyết được đưa ra để lý giải hiện tượng này là khả năng dưỡng hộ trong của cốt liệu tái chế và quá trình thủy hóa của chính cốt liệu tái chế. Trong giả thuyết đầu tiên, cốt liệu tái chế có độ rỗng lớn, khi mẫu thí nghiệm được dưỡng hộ ẩm, lượng nước bên trong cốt liệu tái chế có tác dụng duy trì quá trình thủy hóa của xi măng và phụ gia trương nở. Kết quả thu được nhiều sản phẩm thủy hóa được hình thành và tăng tốc độ liền vết nứt. Giả thuyết thứ hai chính là quá trình thủy hóa của chính cốt liệu tái chế. Cốt liệu tái chế là vữa thừa gồm xi măng, cát, và nước. Xi măng mới được trộn thành vữa chưa qua quá trình dưỡng hộ nên tốc độ thủy hóa của xi măng trong vữa thải bị hạn chế. Khi được sử dụng làm cốt liệu tái chế và được dưỡng hộ ẩm, lượng xi măng trong vữa thải có cơ hội tiếp tục quá trình thủy hóa. Quá trình này cũng góp phần hình thành các sản phẩm thủy hóa và làm liền vết nứt.

Để đánh giá ảnh hưởng của hệ nguyên vật liệu tới khả năng liền vết nứt, bề rộng vết nứt được khảo sát theo thời gian. Cụ thể, mỗi mẫu vữa được xác định bề rộng vết nứt tại 1, 4, 8, và 12 tuần. Ảnh hưởng của tro bay, và cốt liệu tái chế được thể hiện ở Hình 8. Bề rộng vết nứt ban đầu của các mẫu có thể không giống nhau, nhưng vết nứt ban đầu được kiểm soát từ 0.1 đến 0.2 mm. Kết quả cho thấy hầu như trong 4 tuần đầu tiên, bề rộng vết nứt của cả 6 mẫu đều không thay đổi. Tuy nhiên, tại 8 tuần và 12 tuần, bề rộng vết nứt bắt đầu được thu hẹp. Hình 9 thể hiện rõ tỉ lệ liền vết nứt so với bề rộng vết nứt tại tuần đầu tiên. Mẫu sử dụng cốt liệu tái chế có tốc độ liền vết nứt cao hơn so với mẫu không sử dụng cốt liệu tái chế. Đặc biệt, nhóm cấp phối mẫu sử dụng tro bay kết hợp với phụ gia trương nở có tốc độ liền vết nứt rất cao trên 40 % tại 12 tuần. Kết quả này phù hợp với hai giả thuyết vừa được trình bày ở phần trên, và cũng tương đồng với những nghiên cứu sử dụng phụ gia trương nở [19, 20].



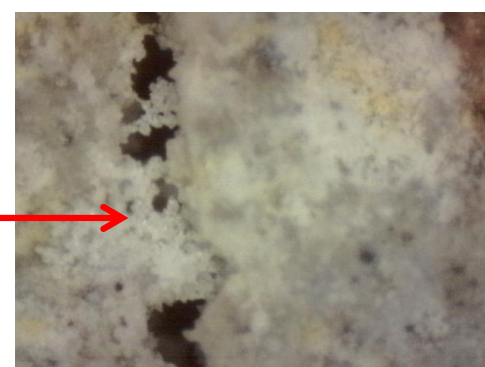
a. Mẫu EA5 (x50 lần)



b. Mẫu EA5 (x120 lần)



c. Mẫu EA5RA20 (x50 lần)



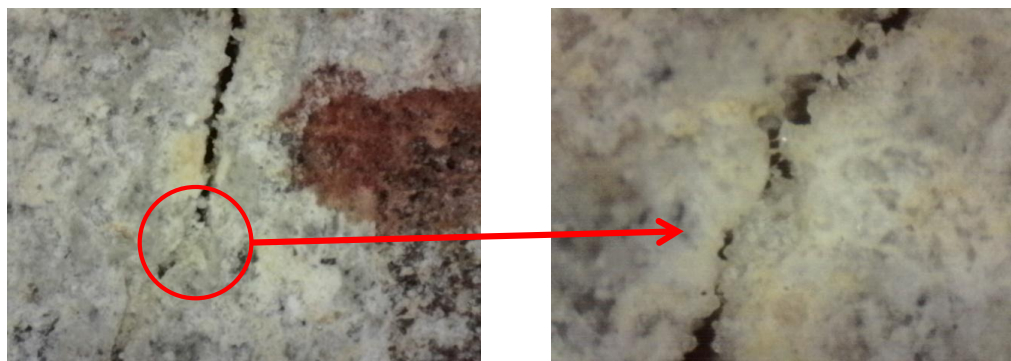
d. Mẫu EA5RA20 (x120 lần)



e. Mẫu EA5FA30 (x50 lần)



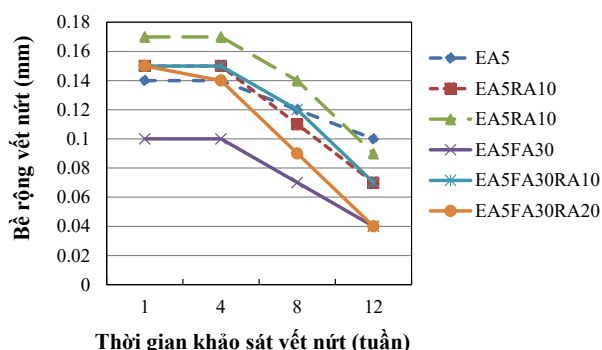
f. Mẫu EA5FA30 (x120 lần)



g. Mẫu EA5FA30RA20 (x50 lần)

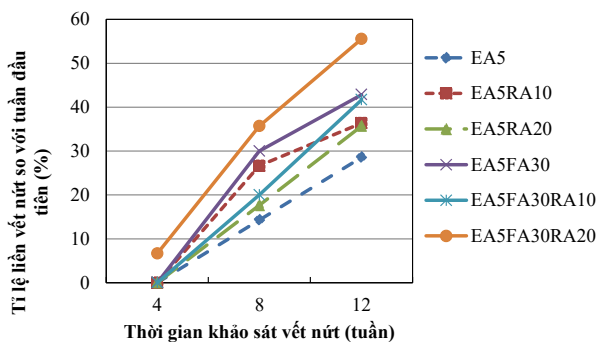
h. Mẫu EA5FA30RA20 (x120 lần)

Hình 7. Vết nứt mẫu vữa tại 56 ngày tuổi.



Thời gian khảo sát vết nứt (tuần)

Hình 8. Bề rộng vết nứt theo thời gian.



Thời gian khảo sát vết nứt (tuần)

Hình 9. Tỷ lệ liên vết nứt so với tuần đầu tiên.

4. Kết luận

Nghiên cứu tập trung khảo sát ảnh hưởng của cốt liệu tái chế tới cường độ, độ giãn nở, và khả năng liên vết nứt của vữa sử dụng phụ gia trương nở. Kết quả thu được từ thực nghiệm được trình bày dưới đây:

- Cường độ của vữa có xu hướng giảm dần khi sử dụng cốt liệu tái chế. Xu hướng này diễn ra ở cả nhóm vữa không sử dụng tro bay và nhóm vữa có tro bay. Tuy nhiên, tại 91 ngày tuổi, tỉ lệ giảm cường độ của vữa sử dụng cốt liệu tái chế hầu hết nhỏ hơn 10 %.

- Độ giãn nở của vữa trương nở được cải thiện khi sử dụng tro

bay, đặc biệt đối với những mẫu sử dụng cốt liệu tái chế. Vữa có cốt liệu tái chế có cường độ thấp dẫn tới độ cứng cũng nhỏ hơn. Đây là điều kiện thích hợp để thể tích của vữa dễ thay đổi. Kết quả, mẫu vữa trương nở sử dụng cốt liệu tái chế có độ giãn nở lớn.

- Cốt liệu tái chế có tác dụng đẩy nhanh quá trình tự liền vết nứt của mẫu vữa trương nở.

Dựa vào kết quả thí nghiệm, việc sử dụng cốt liệu tái chế được làm từ vữa thải thay thế cát với hàm lượng tới 20 % cát có tính khả thi trong lĩnh vực xây dựng.

Trong nghiên cứu này, quá trình đánh giá khả năng liên vết nứt của vữa vẫn mang tính định tính hơn định lượng. Đây là một điều hạn chế của nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Hoàn thành vượt chỉ tiêu xây dựng 100 nghìn căn nhà ở xã hội trong năm 2025, *Báo điện tử Chính Phủ*, 21 tháng 12 năm 2025, <https://baochinhphu.vn/hoan-thanh-vuot-chi-tieu-xay-dung-100-nghin-can-nha-o-xa-hoi-trong-nam-2025-102251221124014493.htm>
- [2]. Thành phố đẩy mạnh ưu tiên phát triển nhà ở xã hội, *Báo điện tử chính phủ chuyên trang Thành phố Hồ Chí Minh*, 6 tháng 10 năm 2025, <https://tphcm.chinhphu.vn/thanh-pho-day-manh-uu-tien-phat-trien-nha-o-xa-hoi-101251005174746352.htm>
- [3]. N.K Tuấn, et al., Nghiên cứu hiện trạng quản lý phế thải xây dựng và phá dỡ ở Việt Nam, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 12(7V), 2018. [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(7\)-12](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(7)-12)
- [4]. N.K Tuấn, et al., Nghiên cứu sử dụng phế thải xây dựng và thải công nghiệp chế tạo gạch bê tông rỗng, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 14(4V), 2020. [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(4V\)-10](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(4V)-10)
- [5]. Z. Qu, et al., A review on early-age cracking of concrete: Causes and control, *Case Studies in Construction Materials*, 21, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03848>.
- [6]. D. Shen, et al., Restrained cracking failure behavior of concrete containing MgO compound expansive agent under adiabatic condition at early age, *Cement and Concrete Composites*, 135, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104825>.
- [7]. J. Du, et al., Reducing the cracking potential of ultra-high-performance concrete (UHPC) with the prewet expansive agent, *Construction and Building Materials*, 431, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136597>.

- [8]. Y. Zhang, et al., Shrinkage behavior of ultra-high-performance concrete (UHPC) in cold winter conditions with shrinkage reducing agent (SRA) and expansive agent (EA), *Construction and Building Materials*, 436, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136645>.
- [9]. Z. Pan, et al., Effect of expansive agents on the workability, crack resistance and durability of shrinkage-compensating concrete with low contents of fibers, *Construction and Building Materials*, 259, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119768>.
- [10]. L. Liu, et al., Effect and mechanism of compound expansive agent on rheological, mechanical, and shrinkage properties of UHPC, *Construction and Building Materials*, 444, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137730>.
- [11]. K. Liu, et al., Effects of combined expansive agents and supplementary cementitious materials on the mechanical properties, shrinkage and chloride penetration of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, 211, 2019, pp. 120-129. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.143>.
- [12]. K. Aghaee and K. H. Khayat, Effect of shrinkage-mitigating materials on performance of fiber-reinforced concrete – An overview, *Construction and Building Materials*, 305, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124586>.
- [13]. T. B. T. Nguyen, W. Saengsoy, and S. Tangtermsirikul, Influence of Bottom Ashes with Different Water Retainabilities on Properties of Expansive Mortars and Expansive Concretes, *Engineering Journal*, 23 (5), 2019. <https://doi.org/10.4186/ej.2019.23.5.107>.
- [14]. Z. Zhang, et al., Development of high-strength engineered cementitious composites using iron sand: Mechanical and shrinkage properties, *Journal of Building Engineering*, 95, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110272>.
- [15]. N. T. B. Thuy, D. T. T. Vi, and B. A. Kiet, Chế tạo cốt liệu tro bay và ứng dụng cốt liệu tro bay trong vữa xi măng, *Tạp chí Xây dựng*, 6, 2024.
- [16]. K. Aghaee, R. Sposito, and K. Khayat, Synergistic effect of shrinkage mitigating materials on rheological properties of flowable and thixotropic cement paste, *Cement and Concrete Composites*, 133, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104686>.
- [17]. ASTM C109/C109M-20, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens), *ASTM International*, West Conshohocken, PA, USA, 2020.
- [18]. TCVN 12003:2018, Xi măng – Phương pháp xác định độ nở thanh vữa trong môi trường nước, *Tiêu chuẩn Quốc gia*.
- [19]. J. Li, X. Guan, and C. Zhang, Inorganic capsule based on expansive mineral for self-healing concrete, *Cement and Concrete Composites*, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.105305>.
- [20]. S. Jeon, et al., Self-healing characteristics of cement concrete containing expansive agent, *Case Studies in Construction Materials*, 17, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01609>.