Phát triển gạch không nung sử dụng chất kết dính kiềm hoạt hóa

Development of unfired bricks using alkali-activated binder

Trần Vũ An[1], Nguyễn Hoàng Anh[1,*], Hong-Phuc Nguyen[1], Huy Nguyen[2], Huy-Long Nguyen[2], Nhat -Truong Nguyen[3]

[1] Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Cần Thơ, TP. Cần Thơ;
[2] Công ty TNHH thương mại dịch vụ Xây dựng An Hưng Phát, TP. Cần Thơ;
[3] Công ty Phát triển hạ tầng khu công nghiệp Hậu Giang, TP. Cần Thơ;
*Tác giả liên hệ: hoanganh@ctu.edu.vn

■ Nhận bài: 04/02/2026 ■ Sửa bài: 02/03/2026 ■ Duyệt đăng: 10/03/2026

DOI: https://doi.org/10.66195/mtu.2026.16.171

TÓM TẮT

Nghiên cứu này khảo sát việc phát triển gạch không nung sử dụng chất kết dính kiềm hoạt hóa từ tro bay và xỉ lò cao nghiền. 4 cấp phối gạch được chuẩn bị với tỷ lệ theo khối lượng tro bay và xỉ thay đổi 0/100, 10/90, 30/70 và 50/50. Các thí nghiệm khối lượng thể tích, độ hút nước, cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn, độ co khô và vận tốc xung siêu âm được thực hiện theo tiêu chuẩn liên quan. Kết quả thí nghiệm cho thấy sự tăng lên hàm lượng tro bay làm giảm khối lượng khối lượng thể tích và đô độ co khô nhưng làm tăng nhẹ độ hút nước của gạch. Gạch không nung sử dụng chất kết dính từ tro bay và xỉ lò cao nghiền đạt mác M75 và M100 theo yêu cầu của TCVN 6447.

Từ khóa: Gạch không nung, chất kết dính kiềm hoạt hóa, tro bay, xỉ lò cao nghiền

ABSTRACT

This study investigates the development of unfired bricks using alkali-activated binders made from fly ash and ground blast furnace slag (GBFS). Four brick mixtures were prepared with varying fly ash/GBFS mass ratios of 0/100, 10/90, 30/70, and 50/50. Tests on bulk density, water absorption, compressive strength, flexural strength, drying shrinkage, and ultrasonic pulse velocity were conducted in accordance with relevant standards. The experimental results show that increasing the fly ash content leads to a reduction in bulk density and drying shrinkage, but slightly increases the water absorption of the bricks. The unfired bricks produced using fly ash and GGBFS-based binders achieved grades of M75 and M100, meeting the requirements of TCVN 6477.

Keywords: Unfired brick, alkali-activated binder, fly ash, ground blast furnace slag

1. GIỚI THIỆU

Việt Nam là một trong những quốc gia châu Á có tốc độ phát triển nhanh chóng trong những năm gần đây. Do đó, nhu cầu sử dụng vật liệu xây dựng để phát triển cơ sở hạ tầng, bao gồm cả gạch xây dựng, là rất lớn. Tuy nhiên, việc sản xuất gạch đất sét nung tại Việt Nam đang gây ra những vấn đề về ô nhiễm môi trường và làm giảm diện tích đất canh tác nông nghiệp. Hiện nay, trên thế giới đã phát triển nhiều công nghệ sản xuất gạch không nung nhằm hạn chế ô nhiễm môi trường trong quá trình khai thác và sản xuất. Những công nghệ này đã mang lại nhiều kết quả tích cực, như tận dụng hiệu quả các nguồn nguyên liệu sẵn có, giá rẻ ở các vùng miền; đồng thời tạo ra các loại vật liệu xây dựng có chi phí thấp, hiệu quả sử dụng cao và thân thiện với môi trường. Bên cạnh đó, vật liệu xây dựng không nung còn góp phần tạo việc làm ổn định cho

người lao động, phù hợp với chủ trương, chính sách của Đảng và Nhà nước cũng như nguyện vọng của nhân dân, giúp tiết kiệm thời gian và chi phí, mang lại lợi ích thiết thực cho xã hội.

Trong những năm gần đây nhiều nhà khoa học trong nước và ngoài nước đã thực hiện nhiều nghiên cứu về gạch không nung. Quá trình sản xuất của gạch không nung tiêu thụ năng lượng thấp và sử dụng ít tài nguyên thiên nhiên so với gạch nung truyền thống [1]. Hơn nữa, sử dụng chất thải công nghiệp và nông nghiệp để sản xuất gạch không nung giúp giảm chi phí sản xuất cũng như giải quyết các vấn đề môi trường [1-6]. Kết quả của một nghiên cứu cho thấy cường độ chịu nén và cường độ uốn ở 28 ngày tuổi của gạch không nung được sản xuất từ việc sử dụng tro trấu dao động từ 18.1 đến 42.1 MPa và từ 6.0 đến 14.4 MPa. Hơn nữa, sử dụng tro trấu sẽ làm giảm đáng kể khối lượng thể tích của gạch và cường độ nén và uốn gạch ở 28 ngày tuổi giao động tương ứng từ 18,1-42.1 MPa và 6-4.4 MPa [3]. Gạch không nung có thể được sản xuất bằng cách sử dụng hỗn hợp của đất sét và tro bay thông qua phản ứng kềm hoạt hóa của xỉ lò cao [6]. Võ Duy Đăng Khoa và nhóm cộng tác cũng thực hiện nghiên cứu về chế tạo gạch không nung từ đất bồi lắng và tro trấu với cường độ chịu nén từ 2.4 đến 4.3 MPa, độ hút nước từ 12.91 đến 14.88 % [7]. Gạch không nung đã nghiên cứu chế tạo từ nguồn chất thải rắn vô cơ trong công nghiệp sản xuất bột giấy và giấy [8]. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi hàm lượng bùn vôi tăng thì độ bền nén và độ bền uốn của các mẫu gạch giảm còn độ hút nước tăng. Tuy nhiên, còn hạn chế các nghiên cứu sản xuất gạch không nung sử dụng chất kết dính kiềm hoạt hóa từ tro bay và xỉ lò cao. Vì vậy, nghiên cứu phát triển gạch không nung sử dụng chất kết dính kiềm hoạt hóa là một giải pháp định hướng phát triển vật liệu xây dựng bền vững.

Mục tiêu của nghiên cứu là phát triển gạch không nung sử dụng chất kết dính kiềm hoạt hóa từ tro bay và xỉ lò cao nghiền. Trong nghiên cứu này, 4 loại loại gạch không nung được sản xuất với tỷ lệ theo khối lượng tro bay và xỉ lò cao nghiền khác nhau. Mặt khác, nghiên cứu cũng thực hiện phân tích các tính chất kỹ thuật của gạch không dựa theo các tiêu chuẩn liên quan.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Xỉ lò cao nghiền thương phẩm S95 (Ground blast furnace slag-GBFS) của Tập đoàn Hòa Phát và tro bay loại F (Fly ash-FA) từ nhà máy nhiệt điện Duyên Hải - Trà Vinh được sử dụng làm bột chính trong nghiên cứu này. Thành phần hóa học của tro bay và xỉ lò cao nghiền cũng được xác định thông qua thí nghiệm Quang phổ huỳnh quang tia X (XRF) và kết quả được hiển thị trong Bảng 1. Bên cạnh đó, sodium hydroxide (NaOH >98%) là có dạng miếng móng với khối lượng riêng 2.1 g/cm^3 được sử dụng để tạo dung dịch kiềm hoạt hóa. Nước được lấy từ hệ thống cung cấp nước của thành phố với khối lượng thể tích bằng 1 g/cm^3.

Bột mịn	GBFS	FA
SiO_2, wt.%	38.03	58.75
Al_2O_3, wt.%	13.10	26.15
Fe_2O_3, wt.%	0.58	5.62
CaO, wt.%	36.80	2.03
MgO, wt.%	5.78	1.63
Others, wt.%	5.71	5.82
Khối lượng riêng (g/cm^3)	2.86	2.12

Cốt liệu bao gồm cát nghiền và đá mi lấy từ mỏ đá địa phương ở Đồng Bằng Sông Cửu Long. Cát nghiền có mô đun độ lớn 3.19, khối lượng riêng 2.57 g/cm^3 và độ hút nước là 3.95% trong đá mi có D_{max}=20mm, D_{min} = 5mm, khối lượng riêng biểu kiến là 2.68 g/cm^3 và độ hút nước là 1.16%.

2.2. Thành phần và quy trình sản xuất gạch không nung sử dụng chất kết dính kiềm hoạt hóa

Thành phần của hỗn hợp gạch không nung gồm: xỉ lò cao, tro bay, nước, NaOH, đá mi và cát nghiền. Trong nghiên cứu này, 4 loại

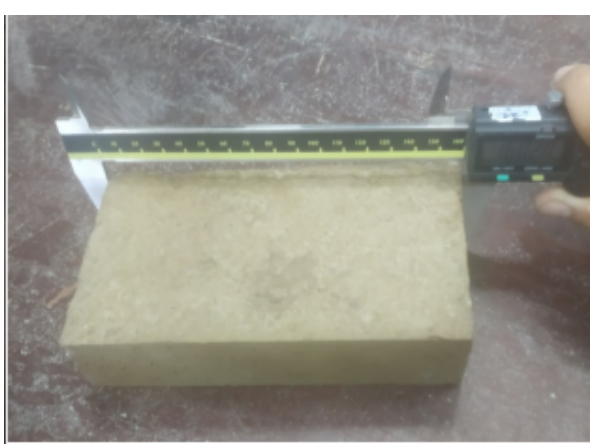
gạch không nung với hàm lượng tro bay được sử dụng thay thế cho xỉ lò cao nghiền với tỷ lệ khối lượng gồm 0, 10, 30 và 50% khối lượng. Dung dịch kiềm hoạt hóa được tính toán dựa vào thành phần trăm của natri hydroxit (Na_2O) trên tổng thành phần rắn được sử dụng với giá trị 4% và tỷ lệ nước và tổng phần rắn được cố định với giá trị 0.4. Bên cạnh đó, các hỗn hợp gạch không nung sử dụng 37% thể tích chất kết dính với giữ nguyên tỉ lệ khối lượng giữa đá mi và cát nghiền là 50:50 [9]. Thành phần của gạch không nung được hiển thị trên Bảng 2.

Bảng 2. Cấp phối vật liệu cho 1 m^3 hỗn hợp gạch không nung (kg)

Hỗn hợp	GBFS	FA	NaOH	Nước	Cát	Đá
FA0	472	0	26	258	796	796
FA10	418	46	25	255	796	796
FA30	315	135	25	249	796	796
FA50	219	219	24	244	796	796

Ghi chú Fx: F là ký hiệu tro bay, x là hàm lượng tro bay thay thế

Nước được cho vào cối trộn đầu tiên, sau đó hợp gồm xỉ lò cao nghiền, tro bay và NaOH được cho từ từ vào cối và tiến hành trộn trong khoảng 3 phút đến khi đạt được hỗn hợp chất kết dính kiềm hoạt hóa đồng nhất. Tiếp theo cho tuần tự lượng cát nghiền và đá mi đã chuẩn bị vào cối và tiến hành trong thêm khoảng 3 phút cho đến khi đạt được hỗn bê tông đồng đều. Bước cuối cùng cho hỗn hợp bê tông vào khuôn có kích thước 160x85x40mm, cho vào bàn dằn mẫu trong khoảng 30 giây, dưỡng hộ mẫu mẫu trong điều kiện nhiệt độ phòng và tháo khuôn sau 1 ngày. Mẫu gạch không nung tiếp tục được dưỡng hộ trong điều kiện nhiệt độ phòng đến khi đạt độ tuổi thí nghiệm. Dàng dạng mẫu mẫu gạch được hiển thị trên Hình 1.



Hình 1. Mẫu gạch không nung thành phẩm

2.3. Phương pháp thử nghiệm

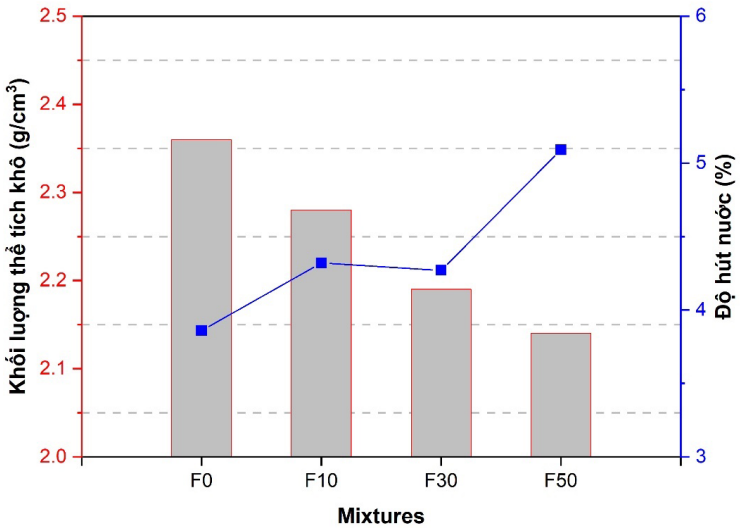
Trong nghiên cứu này, các tính chất chất cơ lý của gạch như cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn, độ hút nước và khối lượng thể tích khô được xác định dựa trên hướng dẫn của các tiêu chuẩn TCVN 6355-2, TCVN 6355-3, TCVN 6355-4 và TCVN 6355-5 tương ứng. Bên cạnh đó, đúc mẫu hình lăng trụ với kích thước 285x75x75 mm nhằm xác định độ co khô và vận tốc xung siêu âm truyền qua mẫu tương ứng theo tiêu chuẩn TCVN 3117 và TCVN 13537 ở các độ tuổi thí nghiệm 3, 7, 14 và 28 ngày.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Khối lượng thể tích khô và độ hút nước

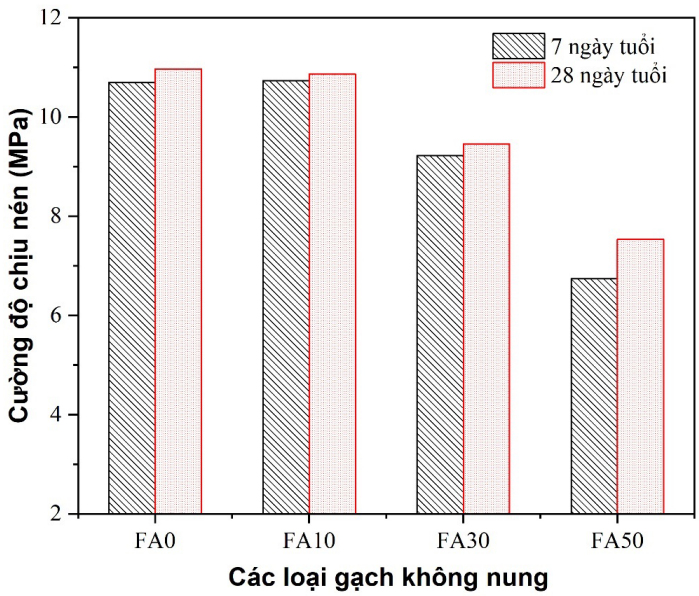
Hình 2 mô tả sự thay đổi khối lượng thể tích khô và độ hút nước các mẫu gạch không nung sử dụng chất kết dính kiềm hoạt hóa ở 28 ngày tuổi. Khối lượng thể tích khô của các mẫu gạch có xu hướng giảm đáng kể ứng với việc tăng tỉ lệ tro bay thay thế xỉ lò cao nghiền trong hỗn hợp. Khối lượng thể tích khô giảm từ 2.36 xuống 2.14 g/cm^3 khi tỷ lệ thay thế của tro bay tăng từ 0 đến 50% khối lượng xỉ lò cao nghiền. Sự giảm khối lượng thể tích khô có liên quan đến khối lượng riêng của tro bay thấp hơn so khối lượng riêng của xỉ lò

cao nghiền mịn. Kết quả thí nghiệm trên Hình 2 cũng cho thấy độ hút nước của gạch có xu hướng ngược lại so với khối lượng thể tích khô khi tăng hàm lượng tro bay trong hỗn. Độ hút nước giao động trong khoảng 3.86 % đến 5.09% khi hàm lượng tro bay thay đổi từ 0% đến 50%. Tuy nhiên, với hàm lượng tro bay thay thế 10% và 30% độ hút có sự tăng nhẹ. Kết quả thí nghiệm cũng cho thấy độ hút nước nước của tất cả các mẫu gạch không vượt quá ngưỡng 14% theo yêu cầu của tiêu chuẩn Việt Nam tiêu TCVN 6477 áp dụng cho gạch bê tông hoặc gạch block.



Hình 2. Khối lượng thể tích khô và độ hút nước của gạch không nung

3.2. Cường độ chịu nén



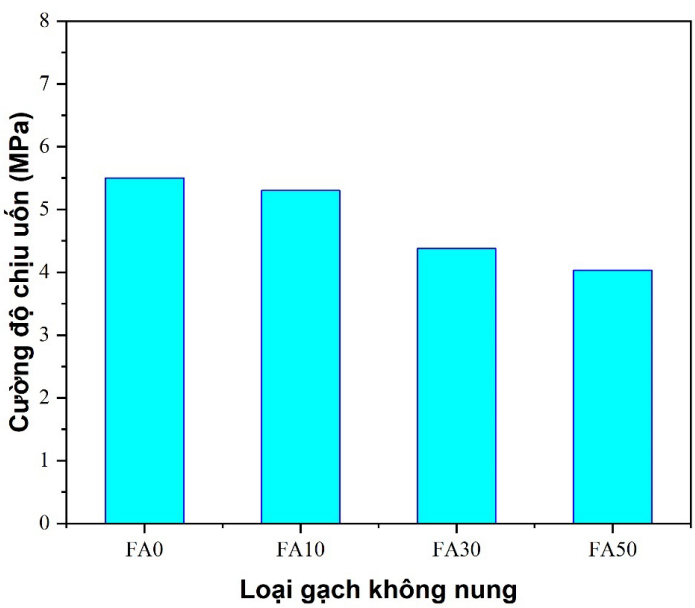
Hình 3. Cường độ chịu nén của gạch không nung

Hình 3 mô tả sự phát triển cường độ chịu nén trung bình của các mẫu gạch không nung với hàm lượng khác nhau của tro bay thay thế xỉ lò cao nghiền ở tuổi bảo dưỡng 7 và 28 ngày. Cường độ chịu nén ở 7 và 28 ngày của gạch không nung thay đổi tương ứng từ 10,79 đến 6,74 MPa và từ 10,97 đến 7,53 MPa. Như dự đoán, khi hàm lượng tro bay tăng lên thì cường độ nén của gạch không nung có xu hướng giảm dần. Ở mức thay thế 10% tro bay, cường độ của gạch không nung hầu như không bị ảnh hưởng đáng kể so với mẫu đối

chứng, cho thấy ở tỷ lệ này tro bay vẫn có thể tham gia phản ứng pozzolan và đóng góp một phần vào quá trình hình thành cấu trúc gel liên kết trong vật liệu. Có thể thấy rằng gạch không nung đạt giá trị cường độ nén thấp nhất khi thay thế 50% khối lượng xỉ lò cao nghiền bằng tro bay. Điều này có thể được giải thích bởi thành phần hóa học và khả năng phản ứng khác nhau của hai loại phụ gia khoáng. Xỉ lò cao nghiền mịn chứa hàm lượng CaO tương đối cao, đóng vai trò quan trọng trong quá trình hình thành các sản phẩm kiềm hoạt hóa như gel C-A-S-H (calcium–aluminosilicate–hydrate). Loại gel này có cấu trúc đặc chắc, giúp lấp đầy các lỗ rỗng trong ma trận vật liệu, từ đó làm tăng độ đặc chắc và cải thiện đáng kể cường độ chịu nén của gạch. Ngược lại, tro bay loại F chủ yếu chứa SiO_2 và Al_2O_3 với hàm lượng canxi rất thấp, do đó sản phẩm phản ứng chủ yếu hình thành là gel N-A-S-H (sodium–aluminosilicate–hydrate). Loại gel này thường có tốc độ hình thành chậm hơn và khả năng phát triển cường độ ở giai đoạn đầu không cao bằng gel C-A-S-H [10]. Bên cạnh đó, việc tăng hàm lượng tro bay còn làm giảm lượng pha hoạt tính giàu canxi trong hệ vật liệu, dẫn đến sự suy giảm mật độ sản phẩm phản ứng và làm cho cấu trúc vi mô của gạch trở nên kém đặc chắc hơn. Điều này làm tăng độ rỗng mao dẫn và làm giảm khả năng chịu lực của vật liệu. Tuy nhiên, tro bay vẫn có vai trò nhất định trong việc cải thiện tính công tác của hỗn hợp và có thể góp phần vào quá trình phát triển cường độ ở tuổi dài ngày nhờ các phản ứng pozzolan thứ cấp.

Căn cứ theo tiêu chuẩn TCVN 6477 về gạch bê tông, các mẫu gạch F0 và F10 đạt yêu cầu mác gạch M100 do cường độ nén trung bình lớn hơn 10 MPa. Trong khi đó, các mẫu gạch F30 và F50 có cường độ nén thấp hơn nhưng vẫn đạt yêu cầu mác M75. Kết quả này cho thấy việc thay thế một phần xỉ lò cao nghiền bằng tro bay vẫn có thể đảm bảo yêu cầu kỹ thuật của gạch không nung nếu tỷ lệ thay thế được lựa chọn hợp lý. Đồng thời, việc sử dụng tro bay trong sản xuất gạch không nung còn góp phần tận dụng phế thải công nghiệp, giảm tiêu thụ tài nguyên thiên nhiên và mang lại ý nghĩa tích cực về mặt môi trường và phát triển vật liệu xây dựng bền vững

3.3. Cường độ chịu uốn

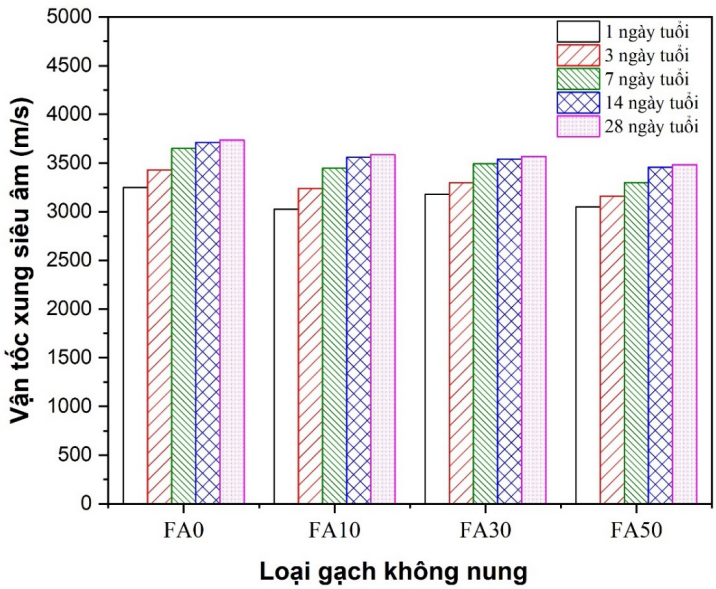


Hình 4. Cường độ chịu uốn của gạch không nung

Cường độ chịu uốn trung bình của các mẫu gạch không nung với các tỷ lệ tro bay và xỉ lò cao nghiền khác nhau được hiển thị ở Hình 4. Xu hướng phát triển cường độ chịu uốn của gạch cũng phát triển giống như xu hướng của cường độ chịu nén của gạch. Các

giá trị cường độ chịu uốn của của gạch không nung giảm khi tăng lượng thay thế xỉ lò cao nghiền bằng tro bay. Kết quả từ biểu đồ trên Hình 4 cho thấy cường độ uốn trong 28 ngày của các mẫu gạch không nung giảm từ 5.50 xuống 4.03 MPa khi hàm lượng thay thế tro bay tăng từ 0 đến 50%. Nguyên nhân của sự giảm cường độ chịu uốn đã được thảo luận ở phần cường độ chịu nén.

3.4. Vận tốc xung siêu âm



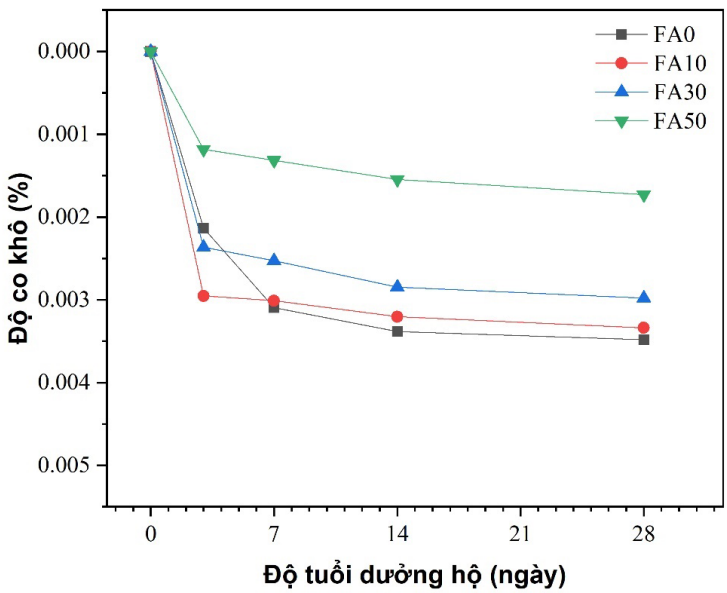
Hình 5. Cường độ chịu uốn của gạch không nung

Kết quả vận tốc xung siêu âm của gạch không nung khi không và có sử dụng tro bay thay thế xỉ lò cao ở các độ tuổi từ 1 đến 28 ngày được thể hiện ở Hình 5. Như dự báo, so với mẫu gạch không sử dụng tro bay, các mẫu gạch có sử dụng từ 10% đến 50% tro bay thay thế xỉ lò cao cho thấy giá trị vận tốc xung siêu âm thấp hơn. Điều này cho thấy sự thay đổi trong cấu trúc vi mô của vật liệu khi thành phần xỉ lò cao nghiền mịn bị thay thế một phần bởi tro bay. Ngoài ra, tất cả các cấp phối đều cho thấy xu hướng vận tốc xung siêu âm tăng dần theo thời gian dưỡng hộ. Sự gia tăng này phản ánh quá trình tiếp tục diễn ra của các phản ứng hóa học trong hệ chất kết dính kiềm hoạt hóa, làm hình thành thêm các sản phẩm gel liên kết và góp phần làm đặc chắc cấu trúc bên trong của vật liệu. Khi thời gian dưỡng hộ tăng lên, các lỗ rỗng trong cấu trúc gạch dần được lấp đầy bởi các sản phẩm phản ứng như gel C-A-S-H và N-A-S-H, từ đó làm tăng mật độ vật liệu và tạo điều kiện thuận lợi cho sóng siêu âm truyền qua nhanh hơn. Ví dụ, vận tốc xung siêu âm giảm từ 3250 m/s xuống 3051 m/s ở tuổi 1 ngày và từ 3735 m/s xuống 3483 m/s ở tuổi 28 ngày khi hàm lượng tro bay tăng từ 0% lên 50%. Sự suy giảm này cho thấy việc tăng hàm lượng tro bay trong hỗn hợp gạch không nung có xu hướng làm giảm mức độ đặc chắc của cấu trúc vật liệu, đặc biệt là ở giai đoạn đầu của quá trình dưỡng hộ. Điều này có thể được lý giải bởi tro bay loại F có hoạt tính thấp hơn so với xỉ lò cao nghiền mịn, dẫn đến tốc độ hình thành sản phẩm phản ứng ban đầu chậm hơn.

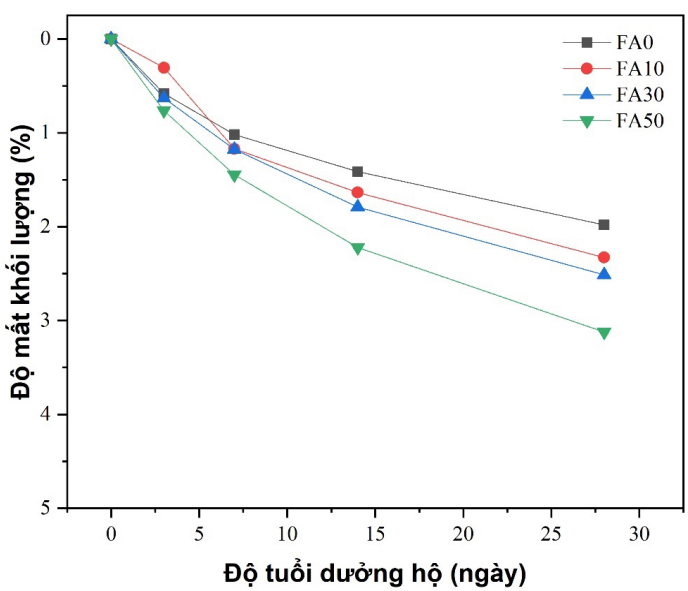
3.5. Độ co khô và độ mất khối lượng

Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến độ co khô của mẫu gạch không nung được thể hiện ở Hình 6. Độ co khô của tất cả các cấp phối gạch tăng khi thời gian dưỡng hộ tăng do quá trình mất nước và kiềm hoạt hóa diễn ra theo thời gian. Độ co khô đều đạt yêu cầu cho phép dưới 0,065% dựa theo quy định của tiêu chuẩn Mỹ ASTM C90. Hàm lượng tro bay thay thế càng tăng thì độ co khô của gạch không nung giảm. Nguyên nhân là khi thêm

tro bay (đặc biệt loại F) có hoạt tính thấp, phản ứng kiềm chậm hơn xỉ lò cao nên dẫn đến giảm co ngót. Mặt khác, xỉ lò cao nghiền chứa nhiều CaO, nên tạo nhiều C-A-S-H gel, loại gel này khi hình thành có xu hướng co ngót nhiều do cấu trúc dày đặc và hút nước mạnh. Hình 7 biểu diễn xu thế trái ngược của độ mất khối lượng của các mẫu gạch so với độ co khô. Từ kết quả thực nghiệm trên ta thấy hàm lượng tro bay cao dẫn đến độ mất khối lượng tăng. Có thể giải thích hiện tượng này là do khi thay thế xỉ lò cao nghiền bằng tro bay, cấu trúc gel thay đổi từ C-A-S-H gel đặc chắc sang N-A-S-H gel ít đặc hơn. N-A-S-H gel tạo ra cấu trúc mao dẫn rộng hơn, làm cho nước bốc hơi dễ hơn khi bảo dưỡng trong điều kiện khô dẫn đến tăng độ mất khối lượng.



Hình 6. Độ co khô của gạch không nung



Hình 7. Độ mất khối lượng của gạch không nung

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu phát triển gạch không nung sử dụng chất kết dính kiềm hoạt hóa từ phụ phẩm trong sản xuất công nghiệp như tro bay và xỉ lò cao nghiền đạt được một số kết quả như sau:

1. Sự tăng lên hàm lượng tro bay làm giảm khối lượng khối lượng thể tích và làm tăng nhẹ độ hút nước của gạch không nung nhưng vẫn thấp hơn mức cho phép của TCVN 6447.

2. Cường độ chịu nén và chịu uốn của gạch không nung sử dụng chất kết dính kiềm hoạt hóa giảm từ 7.53 đến 10.97 MPa và từ 5.50 xuống 4.03 MPa khi hàm lượng thay thế tro bay tăng từ 0 đến 50%. Xu hướng này cũng được ghi nhận khi khảo sát vận tốc xung siêu âm. Trong nghiên cứu, gạch được sản xuất đạt mác M75 và M100 theo yêu cầu của TCVN 6447.

3. Khi thay thế xi lò cao nghiền bằng tro bay trong chất kết dính kiềm hoạt hóa cũng làm giảm độ co khô của gạch.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] J .E. Oti, J.M. Kinuthia, J. Bai, Engineering properties of unfired clay masonry bricks, Engineering Geology 107(3) (2009) 130-139.

[2] J.E. Oti, J.M. Kinuthia, Stabilised unfired clay bricks for environmental and sustainable use, Applied Clay Science 58 (2012) 52-59.

[3] V.-A. Tran, N.-D. Do, T.-D. Phan, G.-L. Le, Performance of unfired brick incorporating rice husk ash as fine aggregate, Vietnam Journal of Construction 608 (2018) 181-184.

[4] J.E. Oti, J.M. Kinuthia, R.B. Robinson, The development of unfired clay building material using Brick Dust Waste and Mercia mudstone clay, Applied Clay Science 102 (2014) 148-154.

[5] P. Chindaprasirt, K. Pimraksa, A study of fly ash–lime granule unfired brick, Powder Technology 182(1) (2008) 33-41.

[6] A.N. Raut, C.P. Gomez, Development of thermally efficient fibre-based eco-friendly brick reusing locally available waste materials, Construction and Building Materials 133 (2017) 275-284.

[7] V.D.Đ. Khoa, Đ.V.H. Thiện, N.Đ. Hùng, N.Q. Long, H.K.P. Hạ, Chế tạo gạch không nung từ đất bồi lắng, Tạp Chí khoa học Đại học Cần Thơ 40 (2019) 22-27.

[8] B.T.M. Anh, Nghiên cứu chế tạo gạch không nung từ nguồn chất thải rắn vô cơ trong công nghiệp sản xuất bột giấy và giấy, Khoa học công nghệ 3 (2020) 67-70.

[9] V.-A. Tran, H.-A. Nguyen, Evaluation on comprehensive properties and bonding performance of practical slag-fly ash blending based alkali-activated material, Journal of Building Engineering 62 (2022) 105350.

[10] P. Zhang, Z. Gao, J. Wang, J. Guo, S. Hu, Y. Ling, Properties of fresh and hardened fly ash/slag based geopolymer concrete: A review, Journal of Cleaner Production 270 (2020) 122389.