

Phân tích đặc tính gạch không nung chứa bùn đỏ và bụi đá

Phan Minh Tâm¹, Huỳnh Kỳ Phương Hạ^{2,4}, Võ Việt Hải^{3,4*}

¹ Khoa Xây Dựng, Trường Đại học Quốc Gia Kunsan, Hàn Quốc

² Khoa Kỹ thuật Hóa học, Trường Đại Học Bách khoa

³ Khoa Kỹ thuật Xây Dựng, Trường Đại Học Bách khoa

⁴ Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TỪ KHOÁ

Gạch không nung
Bùn đỏ
Bụi đá
Cường độ nén
Độ hút nước

TÓM TẮT

Việc tận dụng các vật liệu thải từ quá trình khai thác nhôm để sản xuất gạch không nung mang lại lợi ích kép: vừa tiết kiệm tài nguyên đất sét, vừa góp phần giải quyết vấn đề ô nhiễm môi trường, đồng thời tạo ra một nguồn nguyên liệu mới cho sản xuất. Trong nghiên cứu này, bùn đỏ thu được từ một cơ sở khai thác nhôm cùng với bụi đá đã được sử dụng để sản xuất gạch không nung. Bên cạnh hai thành phần chính này, các sản phẩm phụ khác như tro trấu và tro bay cũng được đưa vào hỗn hợp gạch như những chất phụ gia, với tỷ lệ pha trộn khác nhau. Việc đánh giá các đặc tính của gạch không nung bao gồm các thử nghiệm vật lý, kiểm tra khả năng chịu nén, đo độ hút nước, phân tích hiển vi điện tử quét (SEM) và nhiễu xạ tia X (XRD). Kết quả thử nghiệm cho thấy tiềm năng của việc kết hợp bùn đỏ và bụi đá trong việc cải thiện các đặc tính của gạch không nung, ví dụ cấp phối với 5% bùn đỏ (R05) cho cường độ chịu nén lên đến 6,3 MPa sau 28 ngày, độ hút nước 9,7 %, phù hợp với tiêu chuẩn Việt Nam về gạch bê tông.

KEYWORDS

Unfired bricks
Red mud
Stone dust
Compressive strength
Water absorption

ABSTRACT

Utilizing waste materials generated from the aluminum extraction process to produce unfired bricks provides multiple advantages, including land resource conservation, reduction of environmental pollution, and the creation of an alternative raw material supply. In this study, red mud (RM) obtained from an aluminum processing plant, combined with stone dust, served as the main ingredients for fabricating unfired bricks. Additionally, supplementary materials such as rice husk ash and fly ash were incorporated as additives in varying proportions within the brick formulation. The bricks were evaluated through a series of tests, including physical property assessments, compressive strength testing, water absorption analysis, scanning electron microscopy (SEM), and X-ray diffraction (XRD) analysis. The test results indicate the potential of combining red mud and stone dust in improving the properties of non-fired bricks. For example, a mixture containing 5% red mud (R05) achieved a compressive strength of up to 6.3 MPa after 28 days and a water absorption rate of 9.7%, meeting Vietnamese standards for concrete bricks.

1. Giới thiệu

Gạch đã trở nên phổ biến trên toàn thế giới như một vật liệu xây dựng nhờ những đặc tính nổi bật như khả năng chịu lửa, cách nhiệt, cách âm và độ bền theo thời gian [1]. Các loại gạch này có thể được phân thành ba nhóm chính dựa trên phương pháp sản xuất: gạch nung, gạch xi măng và gạch geopolimer [2]. Tuy nhiên, các phương pháp sản xuất truyền thống như gạch nung và gạch xi măng đã làm gây ra nhiều lo ngại về môi trường, chủ yếu do tiêu thụ nhiều năng lượng và phát thải khí carbon dioxide (CO₂). Ví dụ, khí thải carbon dioxide của gạch nung ở Ấn Độ trung bình là 0,15 tấn CO₂/tấn, trong khi việc sản xuất gạch xi măng tạo ra khoảng 0,1 tấn CO₂/tấn. Đáng chú ý, quy trình sản xuất gạch từ đất sét tiêu tốn nhiều năng lượng và tạo ra lượng lớn chất thải cùng khí nhà kính (khoảng 2,0 kWh và 0,41 kg CO₂ cho mỗi viên gạch) [3].

Trước những thách thức về môi trường này, các nhà nghiên cứu đang tìm kiếm những giải pháp thay thế, đặc biệt là sản xuất gạch không nung bằng cách tích hợp nhiều loại phế phẩm để thay thế đất sét [4–6]. Hướng đi này xuất phát từ nhiều vấn đề, bao gồm sự cạn kiệt tài nguyên đất sét, quy trình sản xuất tiêu tốn nhiều năng lượng và nhu cầu cấp thiết trong việc xử lý phế phẩm, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển. Một trong những phế phẩm công nghiệp tiềm năng là bùn đỏ (red mud – RM), một loại chất thải nguy hại sinh ra trong quá trình chiết xuất nhôm hoặc hydroxit nhôm từ bôxit theo phương pháp Bayer [7].

Các nghiên cứu gần đây đã cho thấy những kết quả đầy hứa hẹn trong việc tận dụng bùn đỏ cho nhiều ứng dụng khác nhau, bao gồm cả sản xuất gốm geopolimer [8–10]. Ví dụ, nghiên cứu của Singh và cộng sự đã đạt được cường độ chịu nén ấn tượng 8,7 MPa với tỷ lệ chất kết dính và cốt liệu là 1:1 [2], trong khi Zhao và Gou đã chế tạo

*Liên hệ tác giả: haivo@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 22/05/2025, sửa xong ngày 30/07/2025, chấp nhận đăng ngày 31/07/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2025.989>

thành công gạch không nung sử dụng bùn đỏ và xi măng calcium sufflaminate [4]. Nisa và Singh cũng cho thấy rằng việc bổ sung bụi đá có thể làm giảm nhu cầu sử dụng cát tự nhiên trong sản xuất gạch geopolymers [11]. Tuy nhiên, việc sử dụng bùn đỏ hiện vẫn đối mặt với thách thức về tính ổn định và độ bền lâu dài. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm khai thác tiềm năng sử dụng bùn đỏ trong sản xuất gạch không nung, góp phần giảm sử dụng cốt liệu truyền thống và xử lý phế thải hiệu quả hơn.

Nhìn chung, việc sử dụng các sản phẩm phụ từ quá trình sản xuất nhôm và vật liệu cốt liệu để thay thế đất sét tự nhiên trong gạch không nung có tiềm năng tạo ra các sản phẩm thay thế chất lượng cao và thân thiện với môi trường. Nghiên cứu này nhằm đánh giá hiệu quả của việc sản xuất gạch không nung bằng cách kết hợp bụi đá và bùn đỏ. Các tỷ lệ bùn đỏ khác nhau đã được sử dụng (5 %, 10 %, 15 % khối lượng), đồng thời hỗn hợp còn chứa bụi đá, xi măng, tro trấu và tro bay. Nghiên cứu cũng tiến hành phân tích thành phần hóa học bằng phương pháp nhiễu xạ tia X và khảo sát cấu trúc bên trong thông qua hiển vi điện tử quét. Tổng thể, kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng của việc tích hợp các sản phẩm phụ vào gạch không nung dựa trên các đặc tính hiệu suất của chúng.

2. Vật liệu và quy trình thí nghiệm

Nghiên cứu này đã sử dụng nhiều loại phế phẩm khác nhau, bao gồm bụi đá và bùn đỏ được lấy từ tỉnh Lâm Đồng, như thể hiện trong

Hình 1. Các chất phụ gia như tro bay và tro trấu cũng được đưa vào sử dụng. Ngoài ra, dung dịch natri silicat, Na_2SiO_3 (thủy tinh lỏng) 10 M được sử dụng làm chất kết dính cho gạch không nung, kết hợp với bùn đỏ và tro bay. Các đặc tính hóa học của bụi đá và bùn đỏ được trình bày trong

Bảng 1.

Các vật liệu khô bao gồm bụi đá, bùn đỏ, xi măng, tro trấu và tro bay được trộn đều với tốc độ 60 vòng/phút trong khoảng 5–10 phút để đạt được trạng thái đồng nhất. Dung dịch thủy tinh lỏng và nước cũng được pha trộn đều, sau đó hai hỗn hợp được ép trong khuôn để tạo thành gạch 4 lỗ có kích thước $80 \times 80 \times 180$ mm với độ rỗng 35 %, sử dụng áp suất ép khoảng $400\text{--}450 \text{ kg/cm}^2$. Sau khi ép, gạch được giữ ẩm trong 1 ngày và sau đó được làm khô ở môi trường tự nhiên (nhiệt độ phòng). Tiếp theo, sản phẩm sẽ được kiểm tra các đặc tính theo tiêu chuẩn TCVN sau 7 ngày và 28 ngày [12]. Tỷ lệ pha trộn của hỗn hợp được trình bày trong Bảng 2.



Hình 1. Bụi đá (a) và bùn đỏ (b).

Bảng 1. Thành phần hóa học của bụi đá và bùn đỏ dựa theo phân tích XRF (% khối lượng).

	MgO	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅
Bụi đá	0,9	-	22,50	57,14	0,96	6,65	1,48	1,39	8,34	-	-
Bùn đỏ	-	6,58	31,26	6,17	-	-	0,41	6,73	47,50	6,58	0,24

Bảng 2. Cấp phối thí nghiệm (1 m³).

Mẫu	Xi măng	Bụi đá	Bùn đỏ	Tro trấu : Tro bay (1:1)	Thủy tinh lỏng	Nước
R00	10 %	85 %	0 %	5 %	30 ml/kg chất rắn	5 %
R05	10 %	80 %	5 %	5 %	30 ml/kg chất rắn	5 %
R10	10 %	75 %	10 %	5 %	30 ml/kg chất rắn	5 %
R15	10 %	70 %	15 %	5 %	30 ml/kg chất rắn	5 %

Sau quá trình dưỡng hộ, các mẫu thử – mỗi mẫu đại diện cho một trong bốn hỗn hợp khác nhau – đã được tiến hành đánh giá toàn diện, bao gồm cả kích thước hình học và cường độ chịu nén. Việc đánh giá này được thực hiện theo các thông số quy định trong Tiêu chuẩn Việt Nam về gạch. Để đảm bảo độ tin cậy của kết quả, các giá trị có sai số vượt quá 15 % so với giá trị trung bình đã được loại bỏ một cách cẩn thận khỏi quá trình phân tích. Kết quả thử nghiệm cuối cùng được tính trung bình từ các dữ liệu còn lại, góp phần nâng cao tính chính xác và độ tin cậy của kết luận. Bên cạnh đó, nhằm hiểu rõ hơn về thành phần cấu tạo cũng như đặc tính cấu trúc của các vật liệu được sử dụng trong gạch bùn đỏ, các kỹ thuật phân tích như SEM và XRD đã được áp dụng. Những phương pháp này cho phép khám phá sâu về các đặc điểm vi cấu trúc của các thành phần trong gạch bùn đỏ, đồng thời cung cấp cái nhìn chi tiết về cấu trúc tinh thể của vật liệu ở cấp độ vi mô.

3. Đánh giá kết quả thí nghiệm

Hình 2 minh họa các mẫu gạch không nung sau thời gian dưỡng hộ 7 ngày. Nhìn chung, các viên gạch không nung có hình dạng tốt và không xuất hiện vết nứt trên bề mặt, đáp ứng các yêu cầu quy định trong tiêu chuẩn Việt Nam [13]. Khối lượng thể tích của bốn hỗn hợp lần lượt đo được là 1.685; 1.495; 1.476; và 1.459 kg/m³, tương ứng với các mẫu R00, R05, R10 và R15. Việc tăng hàm lượng bùn đỏ trong hỗn hợp dẫn đến sự giảm nhẹ khối lượng riêng thể tích của gạch không nung. Tuy nhiên, các giá trị này vẫn nằm trong giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn hiện hành [12].



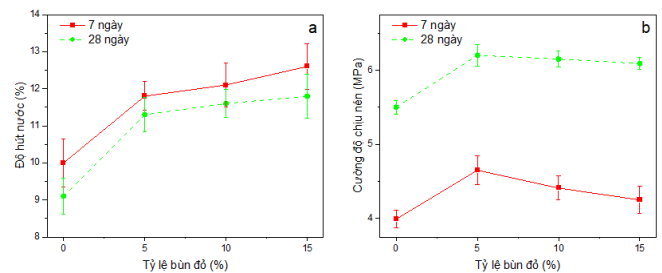
Hình 2. Gạch không nung chứa bùn đỏ (bên trái) và không chứa bùn đỏ (bên phải).

Kết quả đo độ hút nước được trình bày trong

Hình 3a. Nhìn chung, độ hút nước tăng lên khi hàm lượng bùn đỏ trong hỗn hợp tăng. Đáng chú ý, tại hàm lượng bùn đỏ 15 %, độ hút nước đạt 12,6 % sau 7 ngày dưỡng hộ và giảm còn 11,8 % sau 28 ngày. Việc kéo dài thời gian dưỡng hộ có xu hướng làm giảm

nhẹ độ hút nước, dao động quanh mức xấp xỉ 6 %. Trong khi đó, mẫu R00 (không chứa bùn đỏ) ghi nhận độ hút nước thấp nhất, lần lượt là 10,0 % và 9,1 % sau cùng thời gian dưỡng hộ. Khi tăng tỷ lệ bùn đỏ từ 10 % lên 15 %, độ hút nước có xu hướng tăng nhẹ khoảng 5 %. Tuy nhiên, điều này không hoàn toàn phản ánh mức độ rỗng của gạch. Một phần nước có thể đã tham gia phản ứng với Na₂O hoặc CaO – như đã nêu trong

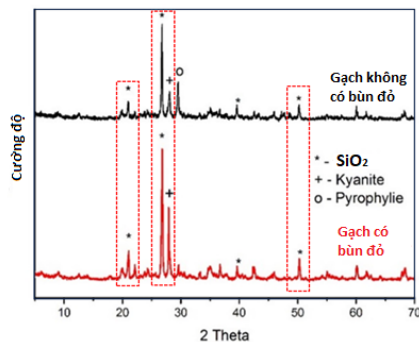
Bảng 1. Bên cạnh đó, sau 28 ngày, một số hydroxit trong hỗn hợp đã trải qua quá trình thủy hóa, làm giảm lượng nước cần thiết cho các phản ứng tiếp theo, từ đó dẫn đến độ hút nước thấp hơn.



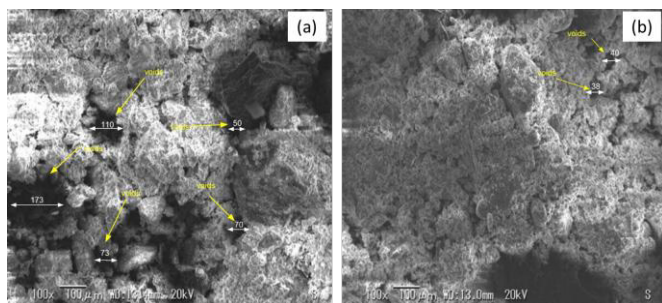
Hình 3. Độ hút nước (a), cường độ chịu nén (b).

Hình 4 minh họa kết quả phân tích nhiễu xạ tia X cho thành phần pha tinh thể của cả viên gạch đối chứng (đường màu đen) và viên gạch có chứa bùn đỏ (đường màu đỏ). Thành phần chính được xác định là tinh thể thạch anh (SiO₂), đi kèm với một số khoáng chất bổ sung như Kyanite và Pyrophyllite trong cấu trúc. Ngược lại, bùn đỏ cho thấy sự hiện diện của nhiều pha ôxít khác nhau, được hình thành qua quá trình phân hủy của các khoáng vật trong bôxít. Đáng chú ý, các pha chính trong bùn đỏ bao gồm canxit (CaCO₃), hematit (Fe₂O₃), cùng với một số pha phụ như thạch anh (SiO₂). Kết quả XRD đã khẳng định rằng viên gạch chứa bùn đỏ vẫn giữ được các thành phần chính như trong viên gạch đối chứng. Trong khi đó, sự so sánh về cấu trúc Hình 5. Đường kính của các lỗ rỗng được xác định bằng phần mềm vi mô giữa các viên gạch không chứa bùn đỏ và viên gạch có chứa bùn đỏ được thể hiện ở Hình 6. Hình 6 được bằng công cụ ‘Analyze Particles’, loại bỏ các lỗ nhỏ hơn 10 μm. Nhìn chung, cấu trúc của viên gạch không chứa bùn đỏ cho thấy số lượng lỗ rỗng nhiều hơn, với kích thước dao động từ 50 đến 173 μm. Ngược lại, viên gạch có chứa bùn đỏ có cấu trúc đặc hơn, với số lượng lỗ rỗng ít hơn và kích thước trung bình khoảng 40 μm. Cấu trúc đặc này giúp tăng khả năng chống nứt và góp phần nâng cao đáng kể cường độ chịu nén của viên gạch. Lấy ví dụ như cấp phối R05

(5 % bùn đỏ) đạt cường độ 6.3 MPa sau 28 ngày, đáp ứng yêu cầu cường độ tối thiểu theo TCVN 6477:2016 đối với gạch bê tông thông thường ($\geq 5,0$ MPa).



Hình 4. Mẫu nhiễu xạ tia X của gạch đối chứng (màu đen) và gạch không nung có chứa bùn đỏ (màu đỏ).



Hình 5. Ảnh SEM của gạch không nung không chứa bùn đỏ (a) và có chứa bùn đỏ (b).

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã chứng minh tính khả thi của việc kết hợp bùn đỏ và bụi đá trong sản xuất gạch không nung. Sau 7 ngày dưỡng hộ, các viên gạch thu được có hình dạng hoàn chỉnh, không xuất hiện vết nứt trên bề mặt, đáp ứng các yêu cầu trong tiêu chuẩn Việt Nam. Mặc dù hàm lượng bùn đỏ tăng lên, khối lượng thể tích của gạch vẫn nằm trong phạm vi 1,3–2,0 g/cm³ theo TCVN 6477:2016. Độ hút nước có xu hướng tăng theo tỷ lệ bùn đỏ – với hỗn hợp chứa 15 % bùn đỏ ghi nhận giá trị hút nước cao hơn. Tuy nhiên, khi kéo dài thời gian dưỡng hộ, độ hút nước của gạch giảm nhẹ. Cường độ chịu nén được cải thiện nhờ sự có mặt của bùn đỏ, với mức tăng lần lượt là 17 % sau 7 ngày và 21 % sau 28 ngày dưỡng hộ. Đặc biệt, cấp phối R05 với 5 % bùn đỏ đạt cường độ chịu nén 6,3 MPa, khối lượng thể tích 1.495 kg/m³ và độ hút nước 9,7 % sau 28 ngày. Sự gia tăng này có thể được lý giải bởi vai trò của bùn đỏ trong việc thúc đẩy quá trình geopolymer hóa và tăng độ kiềm của hỗn hợp geopolymer. Phân tích nhiễu xạ tia X xác nhận rằng các thành phần khoáng chính trong gạch chứa bùn đỏ tương đồng với gạch đối chứng. Trong khi đó, phân tích SEM cho thấy cấu trúc vi mô của gạch không nung có bùn đỏ đặc chắc hơn, với ít lỗ rỗng hơn và kích thước lỗ rỗng nhỏ hơn, giúp nâng cao khả năng chống nứt và tăng cường cường độ chịu nén. Những kết

quả này cho thấy tiềm năng trong việc tái sử dụng bùn đỏ và bụi đá làm nguyên liệu thay thế cho đất sét trong sản xuất gạch không nung, góp phần cải thiện chất lượng gạch, bảo vệ môi trường, và tận dụng hiệu quả phế thải công nghiệp. Tuy nhiên, nghiên cứu chưa đánh giá khả năng rửa trôi hoặc hòa tan kim loại nặng trong điều kiện thời tiết khắc nghiệt. Đây là hướng cần được nghiên cứu tiếp theo để đánh giá độ an toàn môi trường của vật liệu gạch chứa bùn đỏ.

Tài liệu tham khảo

- [1]. E. Atan, M. Sutcu, A.S. Cam, Combined effects of bayer process bauxite waste (red mud) and agricultural waste on technological properties of fired clay bricks, *J. Build. Eng.* 43 (2021) 103194. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103194>.
- [2]. S. Singh, M.U. Aswath, R. V Ranganath, Performance assessment of bricks and prisms: Red mud based geopolymer composite, *J. Build. Eng.* 32 (2020) 101462. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101462>.
- [3]. L. Zhang, Production of bricks from waste materials – A review, *Constr. Build. Mater.* 47 (2013) 643–655. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.043>.
- [4]. H. Zhao, H. Gou, Unfired bricks prepared with red mud and calcium sulfoaluminate cement: Properties and environmental impact, *J. Build. Eng.* 38 (2021) 102238. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102238>.
- [5]. T. Çiçek, Y. Çiçin, Use of fly ash in production of light-weight building bricks, *Constr. Build. Mater.* 94 (2015) 521–527. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.029>.
- [6]. T. Poinot, M.E. Laracy, C. Aponte, H.M. Jennings, J.A. Ochsendorf, E.A. Olivetti, Beneficial use of boiler ash in alkali-activated bricks, *Resour. Conserv. Recycl.* 128 (2018) 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.013>.
- [7]. W. Hu, Q. Nie, B. Huang, X. Shu, Q. He, Mechanical and microstructural characterization of geopolymers derived from red mud and fly ashes, *J. Clean. Prod.* 186 (2018) 799–806. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.086>.
- [8]. J. He, J. Zhang, Y. Yu, G. Zhang, The strength and microstructure of two geopolymers derived from metakaolin and red mud-fly ash admixture: A comparative study, *Constr. Build. Mater.* 30 (2012) 80–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.011>.
- [9]. W. Hajjaji, S. Andrejkovičová, C. Zanelli, M. Alshaaer, M. Dondi, J.A. Labrincha, F. Rocha, Composition and technological properties of geopolymers based on metakaolin and red mud, *Mater. Des.* 52 (2013) 648–654. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.05.058>.
- [10]. F. Zhu, J. Liao, S. Xue, W. Hartley, Q. Zou, H. Wu, Evaluation of aggregate microstructures following natural regeneration in bauxite residue as characterized by synchrotron-based X-ray micro-computed tomography, *Sci. Total Environ.* 573 (2016) 155–163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.108>.
- [11]. A.U. Nisa, P. Singh, An alkali activated geopolymer concrete brick incorporated with devri stone quarry dust, *Mater. Today Proc.* (2023). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.085>.
- [12]. TCVN 6355-2009, Bricks – Test methods, (2009).
- [13]. TCVN 6477-2016, Concrete bricks, (2016).