

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG VẬT LIỆU TÁI CHẾ MÔI TRƯỜNG Bùn ĐỎ LÀM PHỤ GIA HOẠT TÍNH TRONG SẢN XUẤT XI MĂNG PORTLAND

● LÊ MINH SƠN

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT:

Bùn đỏ là chất thải của quá trình sản xuất nhôm hoặc hydroxit nhôm từ tinh quặng bauxit theo công nghệ Bayer. Trong công nghệ Bayer, bùn đỏ được tạo ra ở công đoạn hóa tách. Trong công nghệ thiêu kết, bùn đỏ được tạo ra nhiều hay ít phụ thuộc vào chất lượng quặng bauxit và công nghệ chế biến quặng bauxit cũng như công nghệ xử lý bùn đỏ trước khi thải. Một số mẫu công nghệ của các mỏ bauxit ở khu vực Tây Nguyên của Việt Nam cho kết quả trung bình 1 tấn nhôm sẽ hình thành khoảng 1,5 tấn bùn đỏ. Do đó, bài viết nghiên cứu hàm lượng sử dụng bùn đỏ làm nguyên liệu trong sản xuất xi măng, hạn chế khai thác khoáng sản đá vôi, đất sét góp phần bảo vệ môi trường đảm bảo các tính chất của xi măng PCB 40 theo TCVN 6260: 2020 nhằm tiết kiệm tài nguyên khoáng sản, giảm chi phí sản xuất, giảm hiệu ứng nhà kính.

Từ khóa: bùn đỏ, xi măng, bảo vệ môi trường, tài nguyên khoáng sản.

1. Đặt vấn đề

Bùn đỏ có tính kiềm mạnh (pH 10-13), chứa các oxit như Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 và Na_2O . Nếu không được xử lý phù hợp, bùn đỏ có thể gây ô nhiễm đất, nước và hệ sinh thái. Hiện nay, một số hướng xử lý chính bao gồm: chôn lấp an toàn, thu hồi kim loại, sử dụng trong vật liệu xây dựng và ứng dụng xử lý môi trường. Trong đó, hướng sử dụng bùn đỏ làm phụ gia trong xi măng được đánh giá là hiệu quả nhờ khả năng tiêu thụ khối lượng lớn và chi phí thấp.

Các thành phần SiO_2 và Al_2O_3 trong bùn đỏ có khả năng tham gia phản ứng pozzolan với $\text{Ca}(\text{OH})_2$, tạo sản phẩm C-S-H góp phần cải thiện tính chất cơ học của xi măng. Tuy nhiên, cần xử lý bùn đỏ

bằng các phương pháp như rửa giảm kiềm, nghiền mịn và hoạt hóa nhiệt để nâng cao hoạt tính. Do đó, nghiên cứu sử dụng bùn đỏ làm phụ gia cho xi măng là hướng đi có ý nghĩa cả về kinh tế và môi trường. [1,2]

2. Nguyên liệu

Nguyên liệu bùn đỏ được lấy từ Tân Rai, Lâm Đồng, nguồn phế thải trong quá trình luyện nhôm. Nguyên liệu được lấy đại diện để làm thử nghiệm. Mẫu nghiền mịn bằng máy nghiền siêu tốc có độ mịn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật. Chuẩn bị các mẫu bùn đỏ có độ đồng nhất đại diện mẫu. Mẫu có thể được tạo bằng cách trộn xi măng, bùn đỏ, các thành phần khác theo tỷ lệ và phương pháp trộn bằng thiết bị để đảm

bảo tính đồng nhất và đại diện của mẫu trong quá trình thử nghiệm.[2,5]

Các nguyên liệu sử dụng trong nghiên cứu là: xi măng, bùn đỏ, cát tiêu chuẩn. Mỗi nguyên liệu được kiểm tra chất lượng và thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật trước khi sử dụng.

2.1. Xi măng

Nghiên cứu đã sử dụng loại xi măng PC50 - Công ty Xi măng Vicem Hà Tiên kiểm tra các chỉ tiêu thí nghiệm đáp ứng theo TCVN 6260: 2009 có cường độ 28 ngày đạt 45,25 MPa. Các pha khoáng

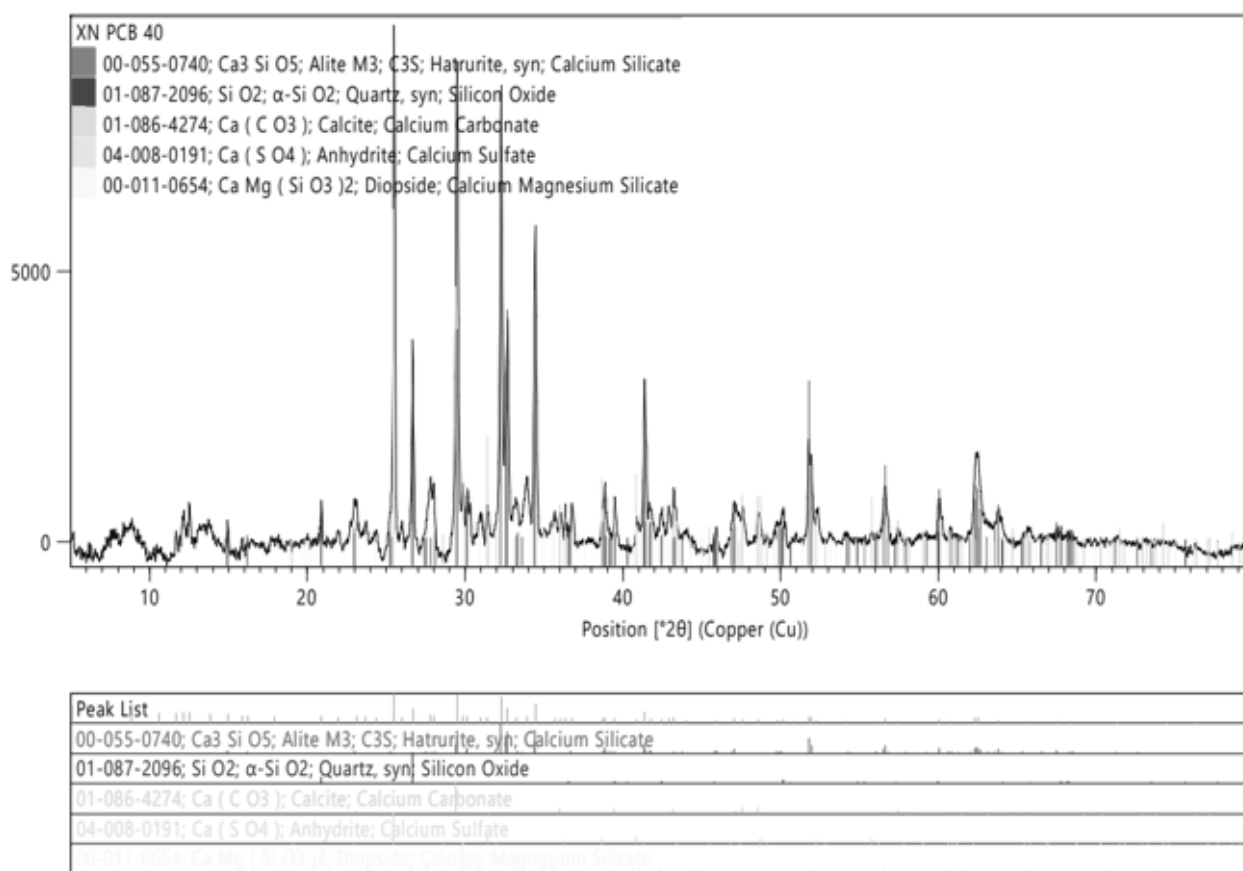
chính được xác định gồm alite (C_3S), belite (C_2S), aluminate (C_3A) và ferrite (C_4AF), cùng với một số pha phụ như thạch anh (SiO_2), calcite ($CaCO_3$) và anhydrite ($CaSO_4$).[1] (Hình 1)

2.2. Bùn đỏ

Nghiên cứu sử dụng bùn đỏ được lấy từ Nhà máy Nhôm alumin Tân Rai, Lâm Đồng. Nguyên liệu được kiểm tra các tính chất ứng với tiêu chuẩn kỹ thuật TCVN 6882:2016. [2,4] (Bảng 1)

3. Kết quả nghiên cứu

Hình 1: Phân tích XRD mẫu xi măng



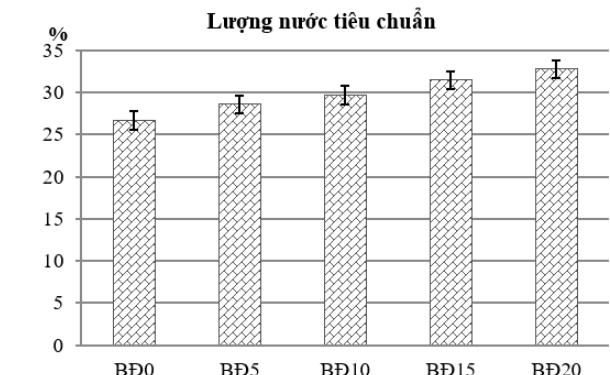
Bảng 1. Thành phần hóa học của xi măng và bùn đỏ

Nguyên liệu	Thành phần hóa học (%)									
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	P_2O_5	MKN
Bùn đỏ	7,56	18,78	48,54	6,38	-	1,21	5,78	3,12	-	7,63
Xi măng	18,70	5,77	3,09	61,14	5,37	0,30	0,15	-	0,07	2,70

3.1. Kết quả lượng nước tiêu chuẩn

Kết quả thí nghiệm khảo sát sự thay đổi của lượng nước cho độ dẻo tiêu chuẩn theo TCVN 6017:2015 khi lần lượt thay thế 0, 5, 10, 15, 20% khối lượng xi măng bằng bùn đỏ được trình bày ở Hình 2.

Hình 2: Lượng nước tiêu chuẩn của hỗn hợp xi măng và bùn đỏ

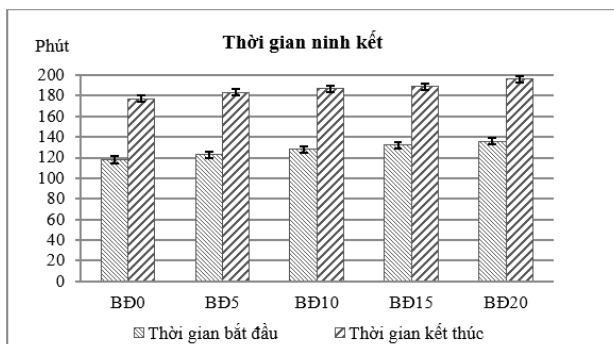


Nhận xét: Kết quả thử nghiệm ghi nhận được, lượng nước của hồ xi măng thông thường là 26,7%. Trong khi đó, hồ xi măng pha trộn với bùn đỏ dao động từ 28,6% đến 32,8%. Như vậy, lượng nước của hồ xi măng có bùn đỏ sẽ tăng lên khi hàm lượng bùn đỏ tăng lên để tăng tính linh động của hỗn hợp hồ xi măng.

3.2. Kết quả thời gian đông kết

Kết quả thí nghiệm khảo sát thời gian đông kết theo TCVN 6017:2015 của hồ vữa xi măng khi lần lượt thay thế 0, 5, 10, 15, 20% khối lượng xi măng bằng phụ gia bùn đỏ để biết thời gian bắt đầu và kết thúc ninh kết của hỗn hợp. (Hình 3)

Hình 3: Thời gian ninh kết của hỗn hợp xi măng và bùn đỏ



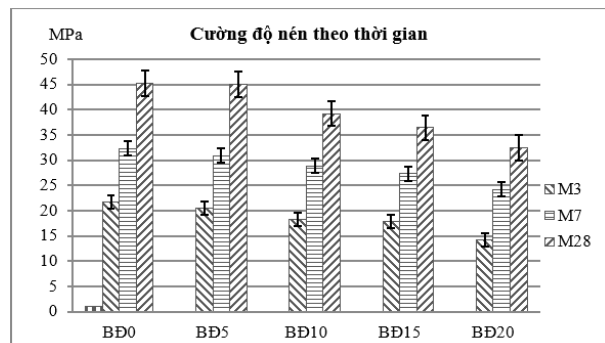
Nhận xét: Mẫu BĐ0 với lượng nước thấp hơn thì thời gian ninh kết cũng giảm. Thời gian đông kết

ban đầu và kết thúc của xi măng chứa phụ gia bùn đỏ cũng kéo dài khi hàm lượng bùn đỏ tăng lên. Bùn đỏ có tác dụng làm chậm quá trình hydrat hóa của xi măng. Thời gian bắt đầu và kết thúc ninh kết của mẫu không có bùn đỏ là 118 phút và 177 phút. Khi tăng hàm lượng bùn đỏ thì thời gian ninh kết và kết thúc tăng dần lên tương ứng 136 phút và 196 phút với hàm lượng 20% bùn đỏ.

3.3. Kết quả xác định cường độ chịu nén

Bùn đỏ đóng vai trò giống như những loại phụ gia khác thay thế xi măng có thể kể đến đó là xi thép, tro bay, puzolan, bazan... với mục đích chủ yếu là để giảm bớt phần nào chi phí sản xuất xi măng nhưng vẫn đảm bảo được chất lượng cũng như không làm ảnh hưởng quá nhiều đến cường độ của vữa xi măng. Kết quả số liệu xác định cường độ nén của các mẫu được trình bày trong Hình 4.

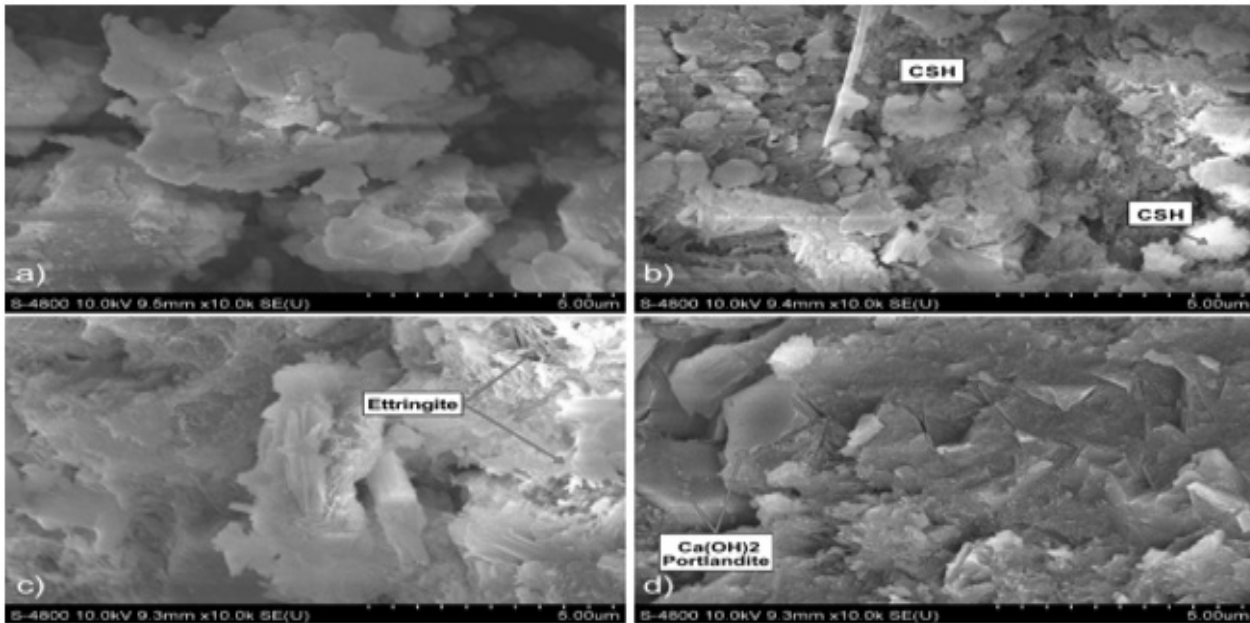
Hình 4: Cường độ nén theo 3;7;28 ngày tuổi



Nhận xét: Kết quả từ Hình 4 cho thấy, bùn đỏ có ảnh hưởng rõ ràng đến cường độ nén khi càng thêm bùn đỏ thì cường độ nén đạt được ở mọi ngày tuổi càng giảm. Hiện tượng này có thể là do phản ứng pozzolanic bùn đỏ diễn ra chậm, các phản ứng pozzolanic phụ thuộc vào sự sẵn có của canxi hydroxit (CH). Cường độ nén ở 3 ngày; 7 ngày; 28 ngày ở mức phối trộn 5% tương ứng 20,52 MPa; 30,91 MPa; 44,98 MPa đạt theo tiêu chuẩn TCVN PCB 40.

3.4. Phân tích cấu trúc vữa bằng phương pháp SEM

Mẫu vữa có bùn đỏ sau 28 ngày có cường độ nén thỏa mãn tiêu chuẩn. Sau khi đo cường độ nén 28 ngày ta lấy mẫu đem chụp SEM với các độ phóng đại 10000 lần để quan sát cấu trúc hình thành và phát triển bên trong ở các độ phóng đại khác nhau. (Hình 5)

Hình 5: Ảnh SEM mẫu đối chứng BĐ0 và BĐ5 ở tuổi 28 ngày**Nhận xét:**

Dựa trên hình ảnh SEM của mẫu vừa chụp ở độ phóng đại 10.000 lần có thể thấy mẫu vừa có cấu trúc đặc chắc, chứng tỏ khả năng thủy hóa và kết dính của xi măng và bùn đỏ tốt. Mẫu có nhiều khoáng dạng tấm là khoáng C-S-H, khoáng giúp tăng cường độ hoạt tính. Ngoài ra còn xuất hiện khoáng Portlandite dạng tấm lục giác đan xen lẫn nhau và tinh thể ettringite hình kim. Đối với mẫu có 5% bùn đỏ xuất hiện nhiều CAH hay còn gọi là ettringite có dạng que hình kim và các khoáng Portlandite tạo cường độ cho xi măng.

4. Kết luận

Dựa vào các kết quả trên ta thấy, bùn đỏ lấy từ chất thải của quá trình khai thác khoáng sản làm vật liệu xây dựng có hoạt tính cao, đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật làm phụ gia hoạt tính trong sản xuất xi măng. Xi măng sử dụng hàm lượng 5% bùn đỏ đạt tiêu chuẩn TCVN 6260: 2020 cho PCB 40 với cường độ nén sau 28 ngày đạt 44,98 MPa, thời gian ninh kết bắt đầu 123 phút, kết thúc 183 phút, lượng nước tiêu chuẩn 28,6%. Phân tích ảnh SEM của mẫu bùn đỏ có hoạt tính pozzolanic, trong cấu trúc có xuất hiện các khoáng Portlandite, tinh thể hình kim ettringite tạo cường độ.

TÀI LIỆU TRÍCH DẪN VÀ THAM KHẢO:

- [1] Đỗ Quang Minh, Trần Bá Việt (2017). Công nghệ sản xuất xi măng Poóc-lăng và các chất kết dính vô cơ. NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
- [2] Nguyễn Văn Hương (2019). Nghiên cứu sử dụng bùn đỏ Tân Rai để thay thế một phần xi măng. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng.
- [3] Tiêu chuẩn Quốc Gia. TCVN 6882:2016. Phụ gia khoáng cho xi măng - Mineral additive for cement. Truy cập tại <https://caselaw.vn/van-ban-phap-luat/345258-tieu-chuan-quoc-gia-tcvn-6882-2016-ve-phu-gia-khoang-cho-xi-mang-nam-2016>
- [4] Evans K. (2016). The History, Challenges, and New Developments in the Management and Use of Bauxite Residue (Red Mud). Springer International Publishing. DOI:

- [6] Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (4/2006). Phương pháp dùng phụ gia đặc biệt trong sản xuất vật liệu xây dựng. Công thông tin điện tử Bộ Xây Dựng. Truy cập tại https://moc.gov.vn/Images/FileOld/48304/8361/Phuong_phap_phu_gia.doc
- [7] Li G. et al. (2024). Bauxite residue (red mud) treatment: Current situation and future perspectives. Science of the Total Environment. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171234>
- [8] Silveira L.M.V. et al. (2025). Early-age properties of Portland cement with untreated red mud. Construction and Building Materials. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.130287>
- [9] Patangia J. et al. (2023). Utilization of red mud as cement replacement: A review. Construction and Building Materials. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132717>.
- [10] Mohamed M.A. et al. (2026). A review on the utilization of red mud in concrete. Journal of Building Engineering. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2026.105784>.

Ngày nhận bài: 23/01/2026

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 6/02/2026

Ngày chấp nhận đăng bài: 26/02/2026

UTILIZATION OF RECYCLED RED MUD AS A REACTIVE SUPPLEMENTARY MATERIAL IN PORTLAND CEMENT PRODUCTION

● LE MINH SON^{1,2}

¹Ho Chi Minh City University of Technology

²Vietnam National University - Ho Chi Minh City

ABSTRACT:

Red mud, a by-product of alumina or aluminum hydroxide production from bauxite via the Bayer process, is generated during the chemical separation stage and poses significant environmental challenges due to its large volume. In Vietnam's Central Highlands, technological assessments indicate that approximately 1.5 tons of red mud are produced per ton of alumina, depending on ore quality, processing methods, and red mud treatment technologies. This study investigates the potential utilization of red mud as a supplementary raw material in cement production, aiming to reduce reliance on natural limestone and clay resources. The study evaluates its suitability in ensuring the performance of PCB 50 cement in accordance with TCVN 6260:2020 standards, while contributing to resource conservation, cost reduction, and mitigation of greenhouse gas emissions.

Keywords: red mud, cement, environmental protection, mineral resources.