

KHẢO SÁT CÁC TÍNH CHẤT VẬT LIỆU MÔI TRƯỜNG Bùn ĐỎ LÀM PHỤ GIA KHOÁNG HOẠT TÍNH TRONG SẢN XUẤT VẬT LIỆU XÂY DỰNG

● LÊ MINH SƠN

Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

Email: lmsn@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT:

Nghiên cứu khảo sát toàn diện các tính chất vật liệu và môi trường của bùn đỏ nhằm đánh giá khả năng sử dụng như một phụ gia khoáng hoạt tính trong sản xuất vật liệu xây dựng, đặc biệt là trong hệ vật liệu xi măng Portland. Các mẫu bùn đỏ được phân tích thành phần hóa học bằng phương pháp XRF, đặc trưng khoáng vật bằng XRD và đánh giá các tính chất vật lý. Kết quả cho thấy bùn đỏ chứa hàm lượng đáng kể các oxit hoạt tính như Fe_2O_3 , Al_2O_3 và SiO_2 , có khả năng tham gia phản ứng pozzolan khi được hoạt hóa thích hợp. Thí nghiệm sử dụng bùn đỏ làm phụ gia hoạt tính, khảo sát các tính chất của nguyên liệu trong sản xuất vật liệu xây dựng. Kết quả nghiên cứu khẳng định, bùn đỏ là một nguồn vật liệu tiềm năng, góp phần thúc đẩy xu hướng phát triển vật liệu xây dựng bền vững và kinh tế tuần hoàn.

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

1. Đặt vấn đề

Trên thế giới, tổng lượng bùn đỏ tồn trữ đã vượt 4 tỷ tấn và tiếp tục tăng khoảng 150 triệu tấn mỗi năm. Tại Việt Nam, các dự án bauxite ở Tây Nguyên tạo ra hàng triệu tấn bùn đỏ mỗi năm, gây áp lực lớn về môi trường và quỹ đất lưu chứa.

Bùn đỏ là chất thải rắn phát sinh với khối lượng lớn trong quá trình sản xuất nhôm từ quặng bauxit theo phương pháp Bayer, gây ra nhiều vấn đề nghiêm trọng về môi trường do tính kiềm cao, khả năng phát tán bụi mịn và nguy cơ rò rỉ kim loại nặng.

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 $Ca(OH)_2$, 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 đề tài 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

Đề tài đã sử dụng loại xi măng PCB40 - 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.

2.2. Bùn đỏ

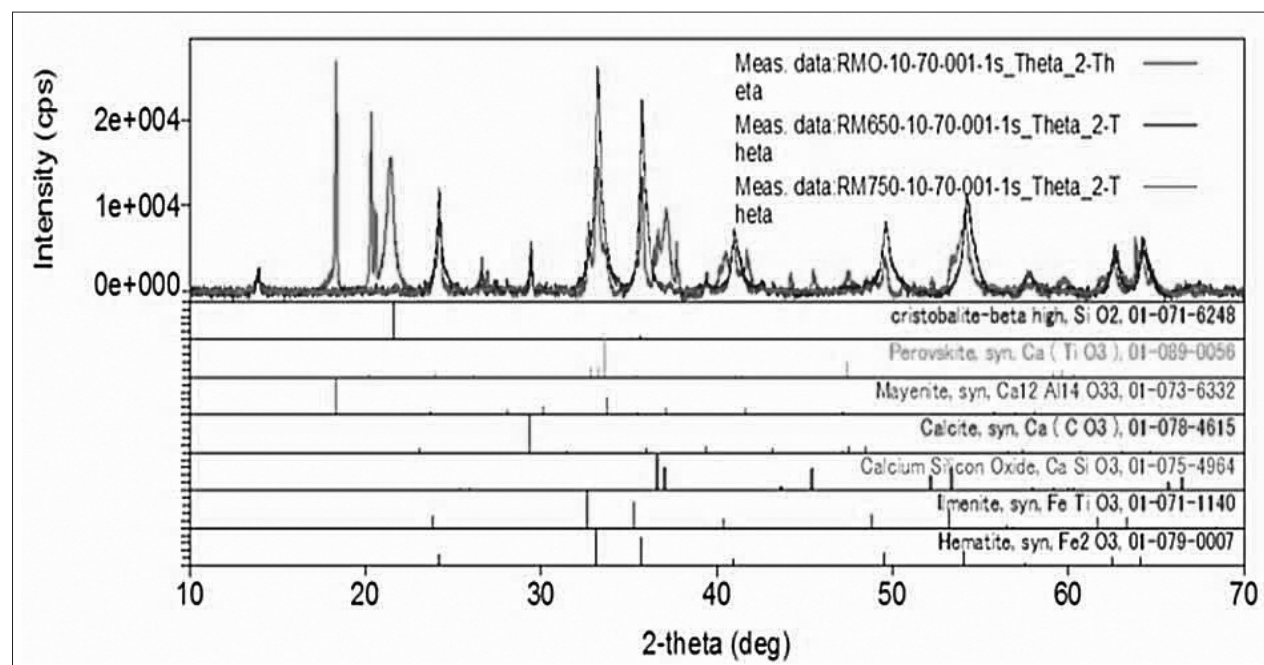
Nghiên cứu sử dụng bùn đỏ được lấy từ Nhà máy nhôm alumin Tân Rai, Lâm Đồng. Nguyên liệu được kiểm tra các tính chất ứng với tiêu chuẩn kỹ thuật TCVN 6882:2016. [2,4]

Trên đường bùn đỏ khô (RM0) xác định được 7 loại khoáng chứa các pha chính là: calcite (CaCO_3), hematite (Fe_2O_3), mayenite ($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$,

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

Hình 1: Phân tích XRD mẫu bùn đỏ



β -cristobalite dạng tinh thể kết tinh, có công thức hóa học như thạch anh (quartz: SiO_2), calcium silicate (CaSiO_3), perovskite (CaTiO_3), ilmenite (FeTiO_3);

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Kết quả kiểm tra chỉ số hoạt tính cường độ

Để kiểm tra hoạt tính bùn đỏ là phương pháp kiểm tra hoạt tính cường độ được tiến hành theo TCVN 6882:2016. Chỉ số hoạt tính cường độ (IR) là tỷ số giữa độ bền nén của mẫu xi măng portland pha 20% phụ gia khoáng sau 28 ngày (RB) và độ bền nén của mẫu xi măng portland nền (không chứa phụ gia) sau 28 ngày (RA), tính bằng phần trăm, được xác định theo công thức sau:

Chỉ số hoạt tính cường độ như sau:

$$I_R = \frac{R_B}{R_A} \times 100\% = \frac{32,4}{45,3} \times 100\% = 71,52\%$$

Nhận xét:

Bùn đỏ là nguyên liệu có chỉ số hoạt tính làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng. Hoạt tính trung bình vẫn đảm bảo hoạt tính của phụ gia.

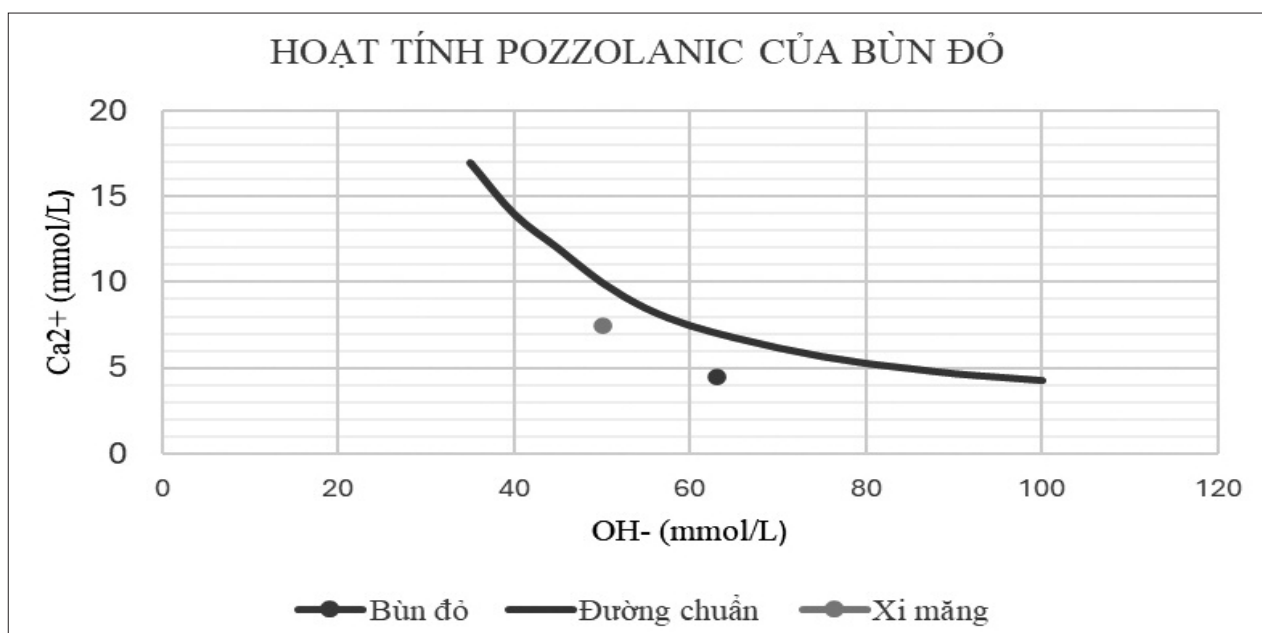
3.2. Kết quả kiểm tra hoạt tính của bùn đỏ theo phương pháp pozzolanic

Kết quả thử nghiệm hoạt tính pozzolanic của hỗn hợp 100ml nước và 20g xi măng gồm: 20% phụ gia hoạt tính bùn đỏ BĐ và 80% xi măng PCB như tại Bảng 2, Hình 2.

Bảng 2. Kết quả Pozzolanic của bùn đỏ.

Mẫu	Thời gian ngâm mẫu	Thể tích HCl (ml)	Thể tích EDTA (ml)	[OH] ⁻ (mmol/lít)	[CaO] (mmol/lít)
XM	8 ngày	24,80	15,40	49,60	7,70
		24,70	15,30	49,40	7,60
Trung bình				49,5 ± 0,15	7,65 ± 0,05
BĐ	8 ngày	32,40	8,70	64,60	4,60
		32,20	8,60	64,30	4,40
Trung bình				64,45 ± 0,26	4,5 ± 0,05

Hình 2: Phân tích hoạt tính Pozzolanic của bùn đỏ



Nhận xét: Kết quả cho thấy với mẫu xi măng PCB 40 (XM), bùn đỏ (BĐ) sử dụng nghiên cứu đã chỉ ra điểm biểu diễn nồng độ $[\text{OH}]^-$ và $[\text{CaO}]$ đều cho kết quả nằm dưới đường bão hòa nên từ đó kết luận bùn đỏ có hoạt tính pozzolanic.

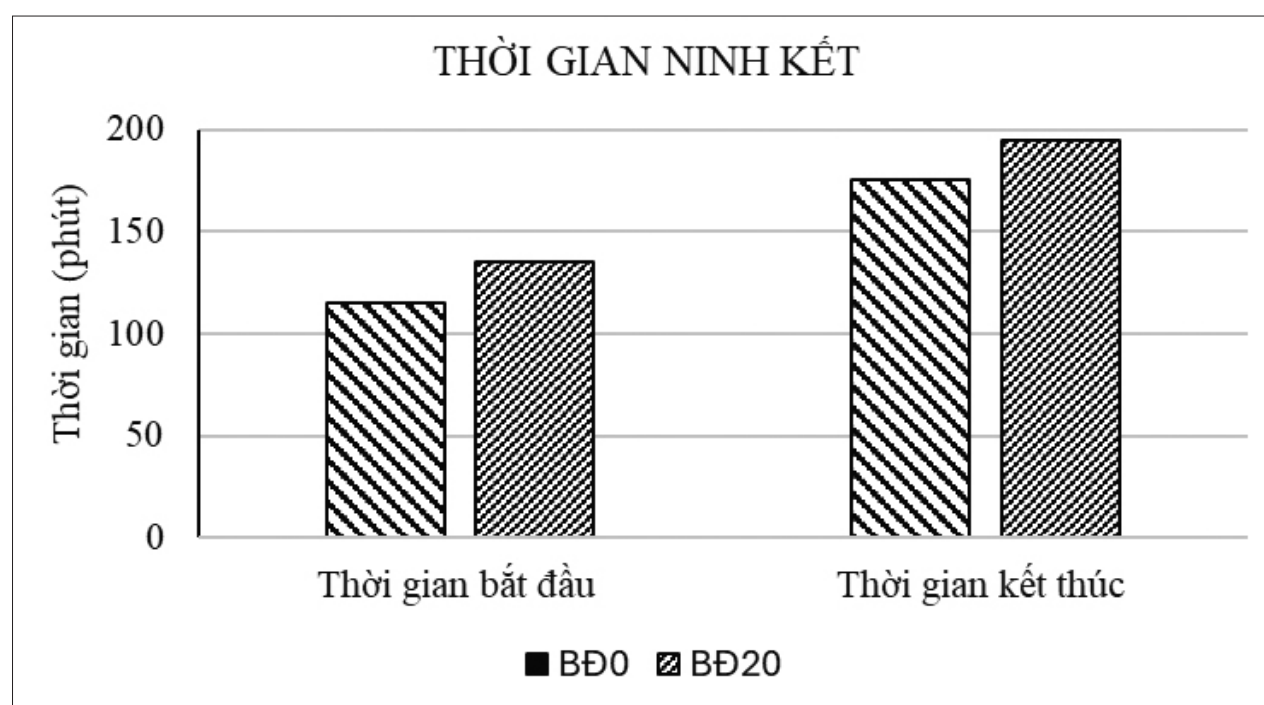
3.3. Kết quả thời gian đông kết

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, 20% khối lượng xi-măng bằng phụ

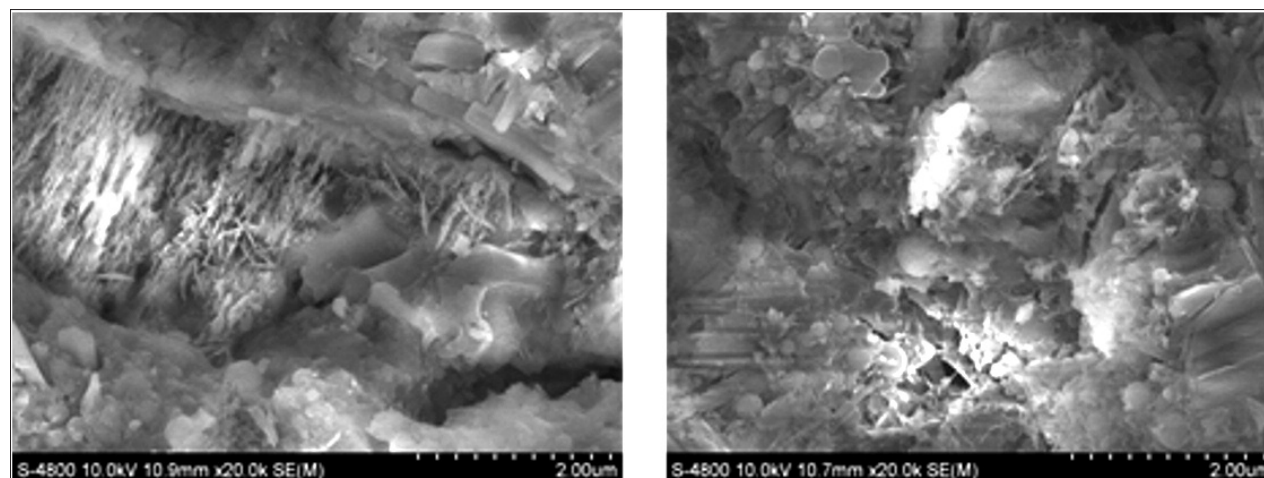
gia bùn đỏ để biết thời gian bắt đầu và kết thúc ninh kết của hỗn hợp.

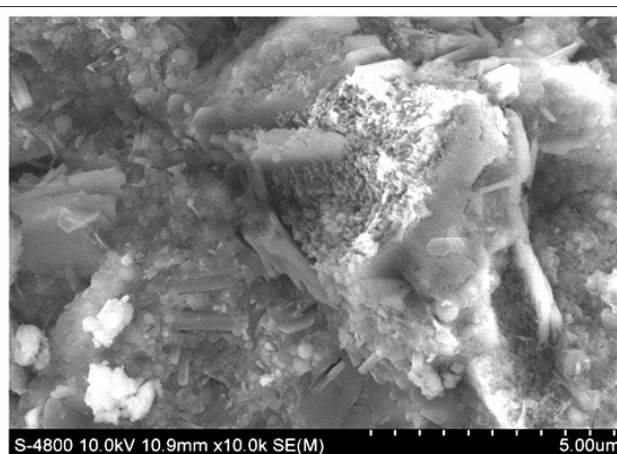
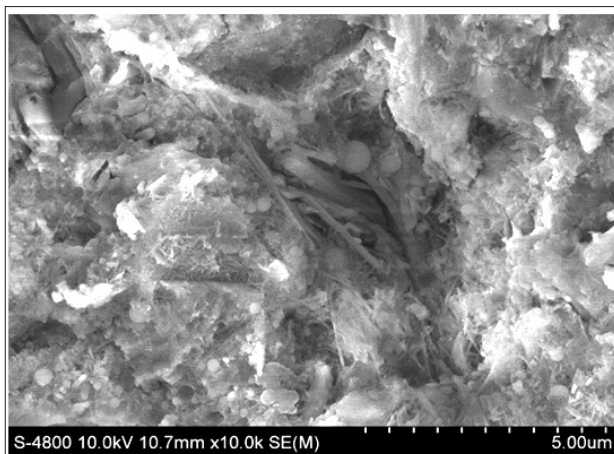
Nhận xét: Mẫu BĐ0 với lượng nước thấp hơn thì thời gian ninh kết cũng giảm. Thời gian đông kết ban đầu và kết thúc của xi-măng chứa phụ gia bùn đỏ cũng kéo dài khi hàm lượng bùn đỏ tăng lên. Bùn đỏ có tác dụng làm chậm quá trình hydrat hóa của xi-măng. Thời gian bắt đầu và kết thúc ninh kết của mẫu không có bùn đỏ là 115 phút và 175 phút. Khi thay

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



Hình 4: Ảnh SEM mẫu đối chứng BĐ0 và BĐ20





hàm lượng bùn đỏ 20% thì thời gian ninh kết và kết thúc tương ứng 135 phút và 195 phút.

3.4. Phân tích cấu trúc vữa bằng phương pháp SEM

Mẫu vữa có bùn đỏ 20% ta lấy mẫu đem chụp SEM với các độ phóng đại 10.000 lần để quan sát cấu trúc hình thành và phát triển bên trong ở các độ phóng đại khác nhau. (Hình 4)

Nhận xét: Dựa trên hình ảnh SEM của mẫu vữa chụp ở độ phóng đại 10.000 lần có thể thấy mẫu vữa có cấu trúc đặc chắc, chứng tỏ khả năng thủy hóa và kết dính của xi măng và bùn đỏ tốt.

4. Kết luận

Dựa vào các kết quả trên ta thấy bùn đỏ lấy từ chất thải của quá trình khai thác khoáng sản quặng Bauxite đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật làm phụ gia hoạt tính cho vật liệu xây dựng. Phân tích chỉ số hoạt tính đạt 71,52% đáp ứng phụ gia hoạt tính. Kết quả hoạt tính Pozzolanic theo phương pháp hóa học đạt kết quả hoạt tính. Thời gian ninh kết đảm bảo yêu cầu kỹ thuật theo tiêu chuẩn TCVN 6260:2020. Phân tích ảnh SEM của mẫu bùn đỏ trong cấu trúc có xuất hiện cấu trúc đặc chắc, không có lỗ xốp tạo cường độ cho mẫu xi măng ■

TÀI LIỆU TRÍCH DẪN VÀ THAM KHẢO:

1. Đỗ Quang Minh và Trần Bá Việt (2017). Công nghệ sản xuất xi măng Poóc-lăng và các chất kết dính vô cơ. NXB Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
2. Nguyễn Văn Hướng (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. Bộ Khoa học và Công nghệ (2016). TCVN 6882:2016 - Phụ gia khoáng cho xi măng. 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, USA.
5. Neville A. M. (2011). Properties of concrete (5th ed.). Pearson Education Limited, USA.
6. Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (2006). Phương pháp dùng phụ gia đặc biệt trong sản xuất vật liệu 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. Available at <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. Available at <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. Available at <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. Available at <https://doi.org/10.1016/j.job.2026.105784>.

Ngày nhận bài: 10/3/2026

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 25/03/2026

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/4/2026

A STUDY ON CHARACTERIZATION OF RED MUD AS AN ACTIVE MINERAL ADDITIVE FOR BUILDING MATERIAL PRODUCTION

● LE MINH SON

Ho Chi Minh City University of Technology, Ho Chi Minh City, Vietnam
Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam

ABSTRACT:

This study provides a comprehensive assessment of the material and environmental characteristics of red mud to evaluate its suitability as an active mineral additive in the production of building materials, with a particular focus on Portland cement systems. Red mud samples were characterized in terms of chemical composition using X-ray fluorescence (XRF), mineralogical composition using X-ray diffraction (XRD), and key physical properties. The results indicate that red mud contains substantial quantities of reactive oxides, notably Fe_2O_3 , Al_2O_3 and SiO_2 , which are capable of participating in pozzolanic reactions when appropriately activated. Experimental investigations incorporating red mud as an active additive further demonstrate its functional performance in building material applications. Overall, the findings confirm the viability of red mud as a promising alternative resource, supporting the development of sustainable construction materials and advancing circular economy practices.

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