

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ CÁC TÍNH CHẤT CỦA GẠCH KHÔNG NUNG GEOPOLYMER SỬ DỤNG Bùn ĐỎ

TS. HOÀNG MINH ĐỨC, TS. LÊ PHƯỢNG LY, ThS. ĐOÀN THỊ THU LƯƠNG

Viện KHCN Xây dựng

TS. LÊ VĂN QUANG

Viện Vật liệu Xây dựng

Tóm tắt: Xử lý phế thải bùn đỏ của nhà máy sản xuất alumina từ bô xít theo công nghệ Bayer đang là vấn đề có tính thời sự ở nước ta nhằm đảm bảo các vấn đề môi trường, xã hội. Bài báo này trình bày hướng sử dụng bùn đỏ làm gạch không nung geopolymer theo công nghệ chưng áp và các tính chất kỹ thuật của loại gạch này. Các kết quả nghiên cứu cho thấy gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ, tạo hình bằng phương pháp ép bán khô hoặc đùn dẻo, gia công nhiệt bằng chưng áp đạt cường độ từ 6,8 MPa đến 12,5 MPa, hệ số hóa mềm lớn hơn 0,82, giá trị pH nhỏ hơn 9,5, thân thiện với môi trường, có thể sử dụng làm khối xây trong các công trình xây dựng.

Từ khóa: Bùn đỏ, geopolymer, gạch không nung, cường độ, hệ số hóa mềm, pH

Abstract: Utilization of red mud - industrial waste of alumina producing process from bauxite by Bayer technology is a actual topic in Vietnam to ensure the environmental and social problems. This article focuses on the application of red mud in production of non-fired autoclaved geopolymer bricks and the technical properties of this type of brick. The research results show that non-fired geopolymer bricks shaped by semi-dry pressing or plastic extrusion, heat-processed by autoclave achieve compressive strength from 6,8 MPa to 12,5 MPa, softening coefficient more than 0,82, pH value less than 9,5. This bricks are environmental-friendly materials and can be used as masonry units for buildings.

Keywords: Red mud, geopolymer, non-fired brick, strength, softening coefficient, pH

1. Bùn đỏ và sử dụng bùn đỏ trong sản xuất gạch không nung

Cho đến nay, hai dự án sản xuất alumina từ bô xít theo công nghệ Bayer ở Việt Nam là Tân Rai và

Nhân Cơ đã đi vào sản xuất thương mại với công suất đạt và vượt thiết kế. Sản phẩm alumina xuất xưởng có chất lượng tốt. Trên cơ sở các kinh nghiệm thu được, nhà nước đang có chủ trương nâng công suất và triển khai thêm các dự án tiếp theo. Tuy nhiên, vấn đề xử lý phế thải của các nhà máy, nhất là bùn đỏ vẫn đang là thách thức lớn cho sự phát triển bền vững của ngành sản xuất này.

Bùn đỏ là chất thải dạng hạt mịn có thành phần chủ yếu gồm Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 và các oxit khác. Tùy theo đặc điểm của quặng bô xít sử dụng, bùn đỏ có thể chứa một số nguyên tố phóng xạ (U, Th). Tuy nhiên theo báo cáo nghiên cứu đã tiến hành, bùn đỏ Tân Rai có hàm lượng các nguyên tố phóng xạ khá thấp, đáp ứng các yêu cầu về an toàn. Bên cạnh đó, một vấn đề ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường nếu không được xử lý thích đáng là bùn đỏ luôn chứa một lượng lớn NaOH dư (khoảng 4-6%) khiến độ pH của bùn đỏ có giá trị khá cao, có thể lên đến 13 [1, 2].

Đã có nhiều đề xuất hướng xử lý bùn đỏ như tận thu các kim loại trong bùn đỏ mà chủ yếu là sắt, sử dụng bùn đỏ làm chất hấp thụ kim loại nặng, sử dụng bùn đỏ trong sản xuất gạch nung, sử dụng bùn đỏ sản xuất gạch không nung hệ geopolymer. Tuy nhiên cho đến nay, do các vấn đề về hiệu quả kinh tế, hạn chế về mặt kỹ thuật,... vẫn chưa có giải pháp nào chứng minh được tính hiệu quả trong việc xử lý một lượng lớn phế thải bùn đỏ [2 -7]. Bài báo trình bày hướng xử lý bùn đỏ phế thải trong sản xuất vật liệu không nung geopolymer theo công nghệ chưng áp giúp giải quyết được các hạn chế về mặt kỹ thuật, đảm bảo hiệu quả kinh tế.

Trong thực tế, vật liệu hoạt hóa kiềm và vật liệu geopolymer có sử dụng bùn đỏ đã được nghiên cứu bởi các nhà khoa học trong và ngoài nước. Tuy nhiên, do sử dụng kiềm để kích hoạt nên trong sản phẩm dạng này vẫn còn một lượng lớn kiềm dư.

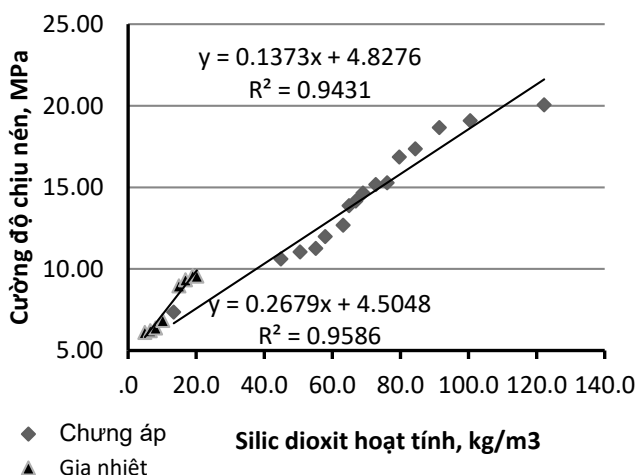
Ngoài ra, khi xử lý theo công nghệ thông thường, SiO₂ trong bùn đỏ không tham gia phản ứng nên cần phải sử dụng nguồn SiO₂ bổ sung bên ngoài. Do đó, hạn chế lượng dùng bùn đỏ trong vật liệu. Ngoài ra, phế thải bùn đỏ được hình thành và lưu trữ ở khu vực Tây Nguyên, trong phạm vi nhà máy. Do đó, vấn đề vận chuyển nguyên vật liệu phục vụ sản xuất tại nguồn phát thải hay vận chuyển phế thải đến địa điểm khác có nguồn vật liệu bổ sung để xử lý cũng ảnh hưởng đến hiệu quả kinh tế của sản phẩm hoặc môi trường.

Để giải quyết vấn đề này, nghiên cứu [8] đã tiến hành với bùn đỏ phế thải của Nhà máy Alumin Tân Rai cho thấy, bằng phương pháp gia công chưng áp có thể kích hoạt được SiO₂ trong thành phần của bùn đỏ, đồng thời thúc đẩy phản ứng liên kết trong vật liệu ở nồng độ NaOH thấp. Ngoài ra, có thể sử dụng tro bay phế thải của nhà máy nhiệt điện của dự án làm nguồn cung cấp SiO₂ bổ sung nhằm nâng cao chất lượng sản phẩm. Qua đó, có thể chế tạo được geopolymer trên cơ sở bùn đỏ và tro bay-bùn đỏ đáp ứng các yêu cầu làm gạch không nung.

Các nghiên cứu đã tiến hành cho thấy, cường độ chịu nén của vật liệu tăng khi tăng nồng độ NaOH trong dung dịch. Tuy nhiên, tăng nồng độ NaOH ban đầu làm tăng lượng kiềm dư và tăng pH sản phẩm. Vượt quá ngưỡng nhất định, trong quá

trình bay hơi nước, kiềm trong sản phẩm có thể thoát ra, tác dụng với CO₂ trong không khí để hình thành Na₂CO₃.7H₂O, kết tinh trên bề mặt vật liệu. Để khắc phục hiện tượng này cần phải giảm nồng độ NaOH ban đầu trong dung dịch mà vẫn giữ nguyên được khả năng phản ứng hình thành các liên kết trong cấu trúc vật liệu. Các nghiên cứu đã tiến hành cho thấy rằng, nhờ áp dụng chế độ gia công chưng áp, có thể kích hoạt được SiO₂ trong bùn đỏ tham gia phản ứng. Mức độ kích hoạt phụ thuộc vào thời gian và nhiệt độ gia công. Tăng thời gian hoặc nhiệt độ gia công là tăng tỷ lệ SiO₂ hòa tan hay SiO₂ hoạt tính, thúc đẩy các phản ứng tạo liên kết hình thành cấu trúc và cường độ. Bản thân bùn đỏ khi được kích hoạt ở chế độ gia công thích hợp có thể đạt cường độ chịu nén trên 10 MPa. Tuy nhiên, hệ số hóa mềm không lớn hơn 0,75. Để nâng cao chất lượng vật liệu, cần cung cấp lượng SiO₂ bổ sung thông qua việc sử dụng tro bay. Khi đó cường độ chịu nén của vật liệu có thể đạt trên 20 MPa với hệ số hóa mềm lên đến 0,90 và độ pH nhỏ hơn 10 [8].

Phân tích thống kê các kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ chịu nén của vật liệu có tương quan tuyến tính đồng biến với tổng lượng SiO₂ hòa tan trong 1m³ hỗn hợp (hình 1). Tương quan này có thể sử dụng trong lựa chọn thành phần geopolymer trên cơ sở bùn đỏ và bùn đỏ - tro bay.



Hình 1. Tương quan giữa SiO₂ hoạt tính và cường độ

Các kết quả nghiên cứu trên đã cho thấy có thể sử dụng bùn đỏ và bùn đỏ phối hợp với tro bay để chế tạo geopolymer làm gạch không nung. Các nghiên cứu tiếp theo tập trung vào việc xây dựng các chỉ tiêu kỹ thuật đối với sản phẩm, nghiên cứu các tính chất của gạch không nung kích hoạt kiềm và triển khai sản xuất ở quy mô công nghiệp.

2. Chỉ tiêu kỹ thuật đối với gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ

Gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ là sản phẩm mới có các đặc điểm riêng liên quan đến bản chất vật liệu và quá trình chế tạo. Do đó, việc xây dựng bộ chỉ tiêu kỹ thuật riêng cho sản

phẩm là cần thiết. Các yêu cầu này được xác định dựa trên các quy định hiện hành trong các tiêu chuẩn kỹ thuật cho các vật liệu xây dựng cũng như các quy định riêng đối với geopolymer sử dụng bùn đỏ.

2.1 Kích thước và các chỉ tiêu ngoại quan

Gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ có thể được sản xuất với các kích thước khác nhau, từ kích thước của viên gạch tiêu chuẩn đến các kích thước lớn hơn như của gạch bê tông. Việc thay đổi kích thước sản phẩm có thể thực hiện một cách linh hoạt theo yêu cầu của thị trường. Trong giai đoạn đầu ứng dụng, để thuận tiện cho việc ứng dụng, có thể áp dụng kích thước của gạch đặc đất sét nung trong TCVN 1451:1998 với các quy định về sai số kích thước và các yêu cầu ngoại quan khác

2.2 Cường độ chịu nén

Các vật liệu xây hiện nay như gạch đất sét nung (TCVN 1451:1998, TCVN 1450:2009), gạch bê tông (TCVN 6477:2016) đều quy định mức gạch theo cường độ chịu nén với các mức từ M3,5 đến M20. Đây là chỉ tiêu quan trọng đối với viên xây, quyết định khả năng chịu lực của khối xây.

Với gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ, có thể áp dụng việc phân loại này với các mức cường độ M3,5; M5,0; M7,5; M10; M12,5; M15 và M20. Các kết quả nghiên cứu cho thấy, geopolymer từ bùn đỏ và bùn đỏ - tro bay hoàn toàn có thể đáp ứng yêu cầu về cường độ như trên.

2.3 Độ hút nước

Độ hút nước của gạch đặc đất sét nung được quy định trong TCVN 1451:1998 là không lớn hơn 16%, của gạch bê tông mức M3,5 và M5,0 là không lớn hơn 14% còn đối với gạch bê tông M7,5 trở lên là không lớn hơn 12%.

Để tạo hình gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ có thể dùng phương pháp ép bán khô hay phương pháp đùn dẻo. Độ ẩm của phối liệu đầu vào khi tạo hình theo hai phương pháp này là khác nhau. Mặt khác, phản ứng trùng ngưng các monomer để hình thành vật liệu geopolymer có giải phóng nước. Do đó, với cùng độ ẩm tạo hình, độ rỗng của vật liệu geopolymer sử dụng bùn đỏ sẽ có giá trị lớn hơn so với đất sét nung. Các kết quả thí nghiệm cho thấy, giá trị độ hút nước có thể được

phân loại theo các mức bao gồm không lớn hơn 16% và không lớn hơn 20% tùy theo phương pháp tạo hình.

2.4 Hệ số hóa mềm

Hệ số hóa mềm được tính bằng tỷ lệ giữa cường độ của vật liệu ở trạng thái bão hòa nước trên cường độ của vật liệu ở trạng thái khô hoàn toàn. Sự suy giảm cường độ của vật liệu ở trạng thái bão hòa so với ở trạng thái khô là do ứng suất bổ sung xuất hiện khi nước thâm nhập vào các khe nứt, vị trí khuyết tật. Ngoài ra, dưới tác động của nước, các liên kết thuần túy cơ học dưới tác động của lực ép, rung ép cũng sẽ bị suy giảm đáng kể. Do đó, hệ số hóa mềm cho phép đánh giá một cách tương đối về mức độ khuyết tật của cấu trúc. Dựa trên giá trị hệ số hóa mềm có thể phân loại độ bền nước của các vật liệu và khuyến cáo phạm vi sử dụng. Theo đó, khi hệ số hóa mềm lớn hơn 0,75-0,80 thì vật liệu có thể được coi là bền nước [9].

Các thí nghiệm đã tiến hành cho thấy, ngay sau khi tạo hình, gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ đã có cường độ nhất định. Tuy nhiên, trước khi gia công nhiệt, hệ số hóa mềm của vật liệu có thể coi là bằng 0 vì không có liên kết hóa học. Hệ số hóa mềm chỉ được cải thiện khi gia công nhiệt, nhất là gia công chưng áp, tức là khi xuất hiện các liên kết hóa học trong cấu trúc. Do đó, đối với hệ vật liệu này, hệ số hóa mềm là một chỉ tiêu quan trọng đánh giá mức độ phản ứng và mức độ hoàn thiện cấu trúc. Do đó, đối với gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ, cần quy định hệ số hóa mềm ở mức không nhỏ hơn 0,75.

2.5 Độ pH

Bản thân bùn đỏ có chứa một lượng NaOH dư nhất định. Ngoài ra, trong quá trình phối liệu, có thể cần bổ sung một lượng NaOH phù hợp. Lượng SiO₂ hoạt tính và cường độ của vật liệu sẽ được cải thiện khi tăng hàm lượng NaOH. Tuy nhiên, khi tăng NaOH hàm lượng NaOH dư trong sản phẩm sẽ tăng theo. Lượng kiềm dư này có ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường và chất lượng các lớp hoàn thiện trong quá trình sử dụng. Do đó, với mức cường độ cho trước, cần khống chế lượng kiềm dư ở mức độ thấp nhất. Xác định chính xác lượng kiềm dư có thể thực hiện thông qua phân tích hóa. Tuy nhiên, có thể đánh giá một cách tương đối lượng

kiểm dư thông qua độ pH của vật liệu. Để đo độ pH, trước tiên vật liệu được nghiền mịn qua sàng 0,09 mm và ngâm trong nước cho đến khi độ pH đạt giá trị không đổi. Các nghiên cứu sơ bộ cho thấy, có thể quy định độ pH của geopolymer sử dụng bùn đỏ ở mức nhỏ hơn 10. Giá trị này là nhỏ hơn độ pH của bê tông và vữa xi măng. Ngoài ra, theo dõi dài ngày cho thấy ở mức pH 10, các sản phẩm không bị tiết kiềm tạo thành các vết ố trắng và không ảnh hưởng tới các lớp hoàn thiện.

Các chỉ tiêu kỹ thuật trên là cơ sở để biên soạn tiêu chuẩn cơ sở cho sản phẩm gạch không nung

geopolymer sử dụng bùn đỏ. Các chỉ tiêu này cũng có thể tham khảo khi xây dựng tiêu chuẩn quốc gia.

3. Một số tính chất của gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ

Trên cơ sở các nghiên cứu trên, đã tiến hành sản xuất lô sản phẩm thử nghiệm gạch không nung từ bùn đỏ và tro bay Tân Rai. Việc tạo hình sản phẩm được thực hiện theo công nghệ ép tĩnh (RM.N) và đùn dẻo (RM.D). Gia công nhiệt được thực hiện trong autoclave công nghiệp. Các chỉ tiêu kỹ thuật của sản phẩm được xác định và trình bày tại bảng 1 và bảng 2.

Bảng 1. Các chỉ tiêu về kích thước và ngoại quan của gạch không nung

TT	Loại gạch	Kích thước, mm			Khuyết tật		
		Dài	Rộng	Cao	Cong đáy, mm	Nứt xuyên	Sứt cạnh
1	RM.D5	221	105	61	3	ko	ko
2	RM.D10	222	106	62	2	ko	ko
3	RM.N5	180	80	40	1	ko	ko
4	RM.N10	180	80	40	2	ko	ko

Bảng 2. Tính chất của gạch không nung

TT	Loại gạch	Tính chất			
		Cường độ chịu nén, MPa	Độ hút nước, %	Hệ số hóa mềm	pH
1	RM.D5	6,8	16,8	0,85	9,4
2	RM.D10	11,2	17,9	0,88	9,5
3	RM.N5	7,3	16,4	0,82	9,2
4	RM.N10	12,5	15,8	0,84	9,3

Các chỉ tiêu kỹ thuật trong bảng 1 cho thấy, gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ đáp ứng các yêu cầu đặt ra. Để làm rõ hơn tương tác của gạch không nung với các vật liệu liên quan trong khối xây, đã tiến hành các thí nghiệm bổ sung về phát triển cường độ, khả năng tiết kiềm, khả năng bám dính của gạch với vữa và cường độ của khối xây gạch không nung.

Khác với gạch bê tông xi măng, cường độ gạch không nung geopolymer trong nghiên cứu sau khi sản xuất thay đổi không đáng kể, và nằm trong khoảng $\pm 5\%$. Điều này là do các phản ứng tạo liên kết giúp hình thành cấu trúc và cường độ diễn ra chủ yếu ở điều kiện gia công autoclave. Ở điều kiện vận hành bình thường, cường độ gạch ổn định theo thời gian.

Do bản chất của vật liệu là được kích hoạt bằng kiềm nên trong mục 2.5 có quy định giá trị độ pH của vật liệu. Để làm rõ mức độ tiết kiềm của vật liệu đã thực hiện thí nghiệm đánh giá mức độ thay đổi

độ pH của dung dịch nước sau khi ngâm mẫu có và không có lớp trát sau các khoảng thời gian khác nhau. Nước sử dụng để ngâm mẫu là nước máy có độ pH bằng 7.

Với các mẫu không có lớp trát, độ pH của nước ngâm có sự thay đổi đáng kể trong vòng 28 ngày đầu. Sau đó độ pH ổn định dần và sau 180 ngày hầu như không thay đổi. Độ pH của nước ngâm các mẫu gạch không nung có giá trị lớn nhất ở 180 ngày không vượt quá 8,8. Giá trị này nhỏ hơn so với giá trị độ pH đo được khi ngâm mẫu đã nghiền mịn do ảnh hưởng độ đặc chắc của mẫu.

Các mẫu gạch không nung được trát lớp vữa xi măng M75 dày 10 mm và được phủ parafine trên các bề mặt còn lại. Độ pH của nước ngâm tăng nhanh ở ngay những ngày đầu và ổn định sau khoảng 7 ngày ở giá trị 10,6. Độ pH của mẫu có lớp vữa trát có giá trị cao hơn mẫu không trát là do hydroxyt canxi trong vữa tiết vào nước. Điều này được khẳng định khi phân tích nồng độ ion Na^+ và

Ca²⁺ trong nước ngầm. Điều này cho thấy gạch không nung geopolymer không ảnh hưởng tới môi trường.

Độ bám dính của viên xây với vữa có vai trò lớn trong việc đảm bảo sự làm việc đồng thời của viên xây và vữa. Độ bám dính phụ thuộc không những vào bản chất viên xây mà còn phụ thuộc vào độ ẩm viên xây, bản chất của vữa và điều kiện thi công. Các mẫu gạch không nung được giữ ở độ ẩm cân bằng với môi trường phòng thí nghiệm, vữa trát là vữa xi măng cát M75. Kết quả thí nghiệm cho thấy, cường độ bám dính của vữa với viên xây sau 28 ngày đạt 0,18 MPa. Giá trị này có thể coi là tương đương với cường độ bám dính của vữa cùng loại với gạch đất sét nung (0,15 MPa) và gạch bê tông (0,2 MPa). Như vậy, gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ có thể sử dụng với vữa xây thông thường như gạch đất sét nung và gạch bê tông.

Cường độ khối xây được thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM C1314-16, theo đó, xây chồng 04 viên xây lên nhau bằng vữa xi măng cát M75. Các loại viên xây bao gồm gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ RM.N10, gạch đất sét nung có cường độ thực tế 13,5 MPa và gạch bê tông đặc có cường độ thực tế 14,7 MPa. Kết quả thí nghiệm cho thấy, khối xây gạch đất sét nung phá hoại nhanh, gần như không ghi nhận được vết nứt, khối xây gạch bê tông và gạch RM.N10 có thể ghi nhận được hình thành vết nứt ở giai đoạn đầu. Các vết nứt dọc từ trên xuống đi qua cả phần gạch và vữa xây. Cường độ của khối xây gạch đất sét nung đạt 6,5 MPa, gạch bê tông đạt 7,2 MPa và gạch RM.N10 đạt 6,6 MPa. Kết quả này cho thấy gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ có thể sử dụng cho khối xây tương tự như gạch đất sét nung và gạch bê tông.

4. Kết luận

Các kết quả nghiên cứu đã trình bày ở trên cho thấy, bùn đỏ phế thải Nhà máy nhôm Tân Rai có thể được sử dụng để chế tạo geopolymer theo công nghệ chưng áp. Sử dụng công nghệ này cho phép tận dụng được các thành phần có ích trong bùn đỏ, đồng thời giảm được lượng kiềm dư có hại cho môi trường.

Đã xây dựng các chỉ tiêu kỹ thuật cho gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ, đảm bảo khả năng sử dụng, thân thiện môi trường. Trên cơ sở đề xuất này có thể xây dựng tiêu chuẩn cơ sở cho sản phẩm.

Gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ có cường độ ổn định ngay sau khi sản xuất, ít tiết kiệm ra môi trường, có khả năng bám dính tốt với vữa xây thông thường. Khối xây dùng gạch không nung geopolymer sử dụng bùn đỏ có cường độ tương đương với khối xây dùng gạch đất sét nung và gạch bê tông.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Luu Duc Hai, Nguyen Manh Khai, Tran Van Quy, Nguyen Xuan Huan (2014). Material composition and properties of red mud coming from alumina processing plant Tan Rai, Lam Dong, Vietnam. *International Journal of Research in Earth & Environmental Sciences*, 1 (6), pp.1-7.
2. Vũ Đức Lợi và các ctv (2014). Nghiên cứu công nghệ sản xuất thép và vật liệu xây dựng không nung từ nguồn thải bùn đỏ trong quá trình sản xuất nhôm tại Tây Nguyên. *Báo cáo tổng kết đề tài Mã số KH-CN-TN3/11-15*.
3. Vũ Đức Lợi, Dương Tuấn Hưng, Nguyễn Văn Tuyến, Phạm Sơn Lâm, Đặng Quốc Trung (2016). Tổng quan các công nghệ thu hồi sắt từ bùn đỏ. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, 8(9), tr.15-23.
4. Lưu Đức Hải và các ctv (2014). Nghiên cứu khả năng chế tạo vật liệu xây dựng từ bùn đỏ phát sinh trong công nghệ sản xuất nhôm ở Tây Nguyên. *Báo cáo tổng kết đề tài NCKH. Đại học Quốc Gia Hà Nội*.
5. Nguyễn Thùy Linh, Lưu Đức Hải (2013). Phân tích chi phí lợi ích bài toán sản xuất gạch gốm nung từ bùn đỏ nhà máy Nhôm Tân Rai, Lâm Đồng, *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội*, 29(3S), tr.139-144.
6. Nguyễn Hồng Hải và các ctv (2019). Sử dụng tro bay (Vĩnh Tân) và bùn đỏ (Tân Rai - Nhân Cơ) làm chất kết dính Geopolyme để chế tạo các loại gạch không nung và cấu kiện xây dựng dùng trong xây dựng công trình vùng TP. Hồ Chí Minh. *Báo cáo tổng kết đề tài NCKH, Hà Nội*.
7. Đỗ Quang Minh (2009). Xi măng từ bùn đỏ. *Tạp chí Vật liệu xây dựng Việt Nam*, 1(25), tr 40-44.
8. Minh Duc Hoang, Quang Minh Do, Van Quang Le (2020). Effect of curing regime on properties of red mud based alkali activated materials. *Construction and Building Materials*, Vol. 259: pp. 119779.
9. The basic properties of building materials, in Building materials in civil engineering, Zhang H., Editor 2011, Woodhead Publishing. pp.423.

Ngày nhận bài: 26/11/2020.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 30/11/2020.