

Mục lục

Mục lục	1
1. Mở đầu.....	2
2. Tổng quan về polyme vô cơ	3
2.1. Khái niệm vật liệu polyme vô cơ	3
2.2. Cơ chế đóng rắn của polyme vô cơ.....	4
3. Những nghiên cứu xử lý bùn đỏ bằng công nghệ geopolyme ở Việt Nam.....	6
4. Những nghiên cứu ngoài nước trong xử lý bùn đỏ bằng công nghệ geopolyme	8
5. Các phương pháp đặc trưng vật liệu geopolyme từ bùn đỏ.....	11
6. Kết luận.....	13
Tài liệu tham khảo	14

1. Mở đầu

Trên thế giới nói chung, ngành công nghiệp khai khoáng đã và đang đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển kinh tế. Tuy nhiên, khai thác khoáng sản cũng là ngành sản xuất tác động lớn đến môi trường. Điển hình như để sản xuất ra 1 tấn alumina (nguyên liệu để sản xuất nhôm) từ quặng bauxit bằng phương pháp Bayer sẽ thải ra khoảng 1,3-1,5 tấn bùn thải (bùn đỏ) [1]. Hàng năm, lượng bùn đỏ thải ra trên thế giới là rất lớn, lên tới 82 triệu tấn [1-3]. Bùn thải này có độ pH rất cao từ 11-13,2 (do sử dụng xút để chế biến bauxit) và chính là tác nhân gây nguy cơ ô nhiễm môi trường như: i) ô nhiễm nguồn nước ngầm và nước mặt do có chứa kiềm và các tạp chất kim loại nặng [4]; ii) tác động trực tiếp tới thảm động, thực vật [5]; iii) nguy cơ gây ảnh hưởng và khó có thể khắc phục trên diện rộng, như sự cố bùn đỏ ở Ajka (Hungary) năm 2010 [6, 7]. Chính vì vậy, việc nghiên cứu xử lý, biến tính bùn đỏ đã và đang được các nhà khoa học trên thế giới quan tâm nghiên cứu: làm vật liệu hấp phụ xử lý môi trường [8-11], tổng hợp zeolite [12, 13], làm chất xúc tác trong quá trình hóa học [14-18], làm vật liệu xây dựng [2, 19-23].

2. Tổng quan về polyme vô cơ

2.1. Khái niệm vật liệu polyme vô cơ

Thuật ngữ “polyme vô cơ” (hay còn gọi là geopolyme) do nhà khoa học người Pháp là giáo sư Joseph Davidovits đề xuất đầu tiên vào những năm 1970 [24]. Ban đầu, những nghiên cứu nhằm ứng dụng vật liệu polyme vô cơ chủ yếu là làm vật liệu chống cháy. Tuy nhiên sau đó, ứng dụng của polyme vô cơ được tập trung chuyển sang lĩnh vực liên quan đến xây dựng.

Về công nghệ chất kết dính vô cơ không xi măng hay còn gọi là các polyme vô cơ, cho đến hiện nay, có rất ít các công trình được công bố. Một mặt do vấn đề còn mới mẻ, mặt khác do cơ chế đóng rắn theo kiểu polyme hóa trong điều kiện khô của các polyme này chưa được chứng minh một cách thuyết phục; cho nên các công trình nghiên cứu và ứng dụng thường chỉ tìm thấy trong một vài bản quyền, một vài công thức ứng dụng mà không thấy xuất hiện trên các tạp chí khoa học trên thế giới cũng như trong nước. Công nghệ đóng rắn các chất bở rời bằng các polyme vô cơ nói trên thường được gọi với cái tên “công nghệ bê tông polyme”. Công nghệ bê tông polyme được phát hiện từ lâu dựa trên sự hình thành từ các chất kết dính được tạo ra của phản ứng giữa dung dịch kiềm và các loại vật liệu có chứa hàm lượng lớn hợp chất silic và nhôm với các chất độn trơ (để làm xương bê tông) [18]. Các chất kết dính này cũng có thể gọi là chất kết dính kiềm hoạt hóa. Chất kết dính kiềm hoạt hóa chủ yếu do Purdon nghiên cứu [19] vào những năm 1940. Tác giả đã sử dụng xỉ lò cao được kích hoạt bằng dung dịch hydroxit natri. Theo ông quá trình phát triển cấu trúc gồm 2 bước: trước tiên xảy ra quá trình giải phóng các hợp chất nhôm- silic và hydroxit canxi. Sau đó xảy ra sự hydrat hóa nhôm và silic đồng thời tái tạo dung dịch kiềm. Tuy nhiên, người ta nói rằng Glushkovsky [20] là người đầu tiên đã khảo sát loại chất kết dính được sử dụng trong xây dựng công trình ở thời kỳ La mã và Ai cập cổ đại. Ông cho rằng các công trình này được tạo nên bởi hợp chất hydro canxi aluminat giống như một loại xi măng poóc lăng và cũng có pha thủy tinh analcite, một loại đá tự nhiên. Điều đó có thể giải thích tính bền vững của những loại chất kết dính này. Trên cơ sở khảo sát này Glushkovsky đã phát triển một loại chất kết dính mới và gọi là xi măng đất (Soil-cement). Từ đất do chúng giống một loại đất đá còn từ xi măng do nó có khả năng gắn kết. Xi măng đất có thành phần từ hỗn hợp đất chứa muối Aluminosilicat và phế thải công nghiệp giàu kiềm.

Có nhiều nghiên cứu về chất kiềm hoạt hóa sau kết quả nghiên cứu của tác giả người Pháp Davidovits. Ông đã nghiên cứu phát triển và được nhận bằng sáng chế về chất kết dính meta cao lanh sử dụng kiềm hoạt hóa, sau này gọi là Geopolymer vào năm 1978. Theo Davidovits, geopolymer là loại polymer vì có sự chuyển biến thù hình, polyme hóa và đóng rắn ở nhiệt độ thấp. Nhưng chúng cũng là hợp chất vô cơ, cứng và ổn định ở nhiệt độ cao đồng thời không bị cháy. Có chín loại geopolymer khác nhau, nhưng loại có khả năng ứng dụng nhiều nhất trong xây dựng là loại vật liệu aluminosilicat. Những loại geopolymer này dựa vào quá trình nhiệt hoạt hóa các vật liệu tự nhiên (như Mêtacaulanh) hoặc sản phẩm của công nghiệp (như tro bay, xỉ) nhằm cung cấp nguồn vật liệu silic (Si) và nhôm (Al) sẽ được hòa tan với dung dịch kiềm kích hoạt rồi sau đó thực hiện quá trình trùng hợp tạo thành chuỗi phân tử tạo đá của chất kết dính [21].

2.2. Cơ chế đóng rắn của polyme vô cơ

Cơ chế đóng rắn của geopolymer tương tự như cơ chế tổng hợp những khoáng feldspat và zeolite nhân tạo. Thực chất của quá trình là những phản ứng trùng ngưng của các khoáng aluminosilicate khoáng sét, xảy ra ở điều kiện thủy nhiệt ở nhiệt độ từ 20 – 150°C, trong môi trường có độ pH cao, áp suất khí quyển.

Sản phẩm tổng hợp từ các aluminosilicate là những POLYMER VÔ CƠ, có xương là các nguyên tố Si – O – Al, cấu trúc vô định hình đến nửa kết tinh, cơ bản có những loại sau:

Polysialate -Si-O-Al-O-,

Polysialate-siloxo -Si-O-Al-O-Si-O-,

Những POLYMER cơ bản dựa trên những silicate nhôm là poly sialate. Khung sialate bao gồm những tứ diện SiO₄ và AlO₄ được nối xen kẽ với nhau bằng các nguyên tố oxy. Những ion dương Na⁺, K⁺, Li⁺, Ca²⁺, Ba²⁺, NH₄⁺, H₃O⁺ hiện diện trong các hốc của khung để cân bằng điện tích của Al³⁺.

Công thức kinh nghiệm của poly sialate :

$M_n \{-SiO_2z-AlO_2\}_n, wH_2O.$

Trong đó :

M – các cation kim loại kiềm hay kiềm thổ.

n - mức độ pôlime hóa

3. Những nghiên cứu xử lý bùn đỏ bằng công nghệ geopolyme ở Việt Nam

Ở Việt Nam, hai nhà máy sản xuất alumina lớn nhất là Tân Rai (Lâm Đồng) và Nhân Cơ (Đắk Nông) thải ra lượng bùn đỏ khoảng gần 1 triệu tấn/năm [25]. Lượng bùn đỏ thải ra rất lớn và có nguy cơ gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng. Việc nghiên cứu xử lý bùn đỏ cũng đã được các nhà khoa học trong nước rất quan tâm nghiên cứu để làm vật liệu hấp phụ [26-29], tổng hợp zeolite [30, 31], làm chất độn, chất phụ gia [32].

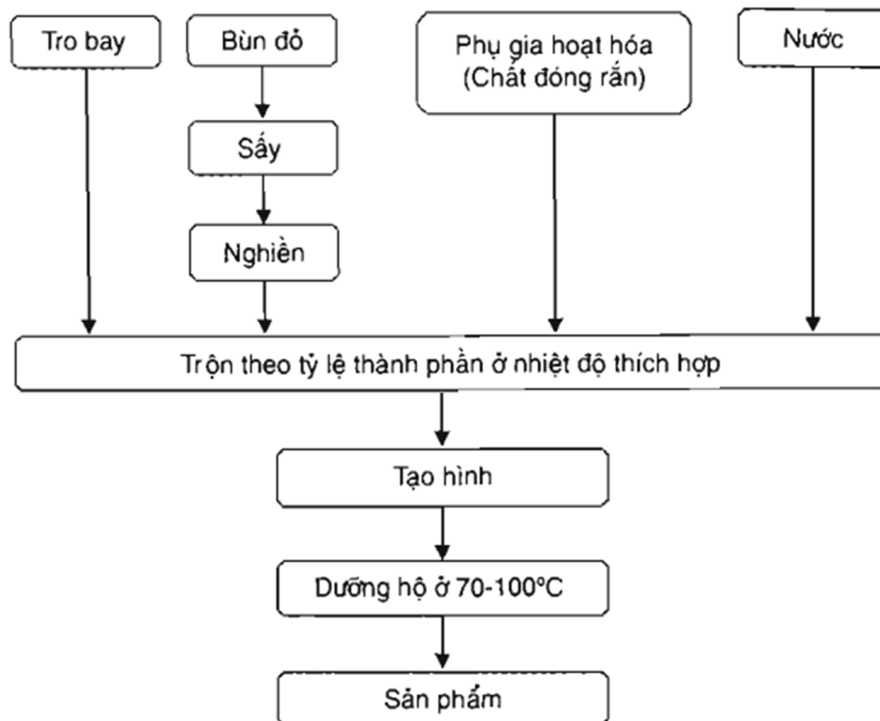


Hình ảnh hồ chứa bùn đỏ ở dự án bauxit Tân Rai (Ảnh: Minh Anh – Báo Dân trí).

Cho tới nay, mới có một vài công trình nghiên cứu dựa trên cơ sở bùn đỏ để chế tạo polyme vô cơ nhằm định hướng làm vật liệu ứng dụng trong ngành xây dựng ở Việt Nam:

Nguyễn Văn Chánh và nkk [33] của trường Đại học Bách khoa TP HCM đã nghiên cứu chế tạo gạch không nung bằng công nghệ polyme vô cơ. Trong nghiên cứu này, các tác giả đã sử dụng nguyên liệu chế tạo gạch là tro bay và bùn đỏ. Bùn đỏ được lấy từ nhà máy hóa chất Tân Bình, TP HCM có thành phần hóa học là Al_2O_3 : 31,26%, Fe_2O_3 : 47,44%, SiO_2 : 6,17%, TiO_2 : 6,73%, Na_2O : 6,64%,... và tro bay loại F (hàm lượng canxi thấp) lấy từ nhà máy nhiệt điện có thành phần là SiO_2 : 48,8%, Al_2O_3 : 18,6%, Fe_2O_3 :

6,3%, CaO: 0,8%, K₂O: 3,5%, Na₂O: 0,98%, ... (tỉ lệ SiO₂/Al₂O₃ = 2,6). Quy trình chế tạo polyme vô cơ:



Các tác giả đã nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình geopolymer hóa và cường độ chịu nén của vật liệu như: ảnh hưởng của hàm lượng nước tạo hình (có chứa phụ gia hoạt hóa kiềm) đến khối lượng thể tích khô, ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia hoạt hóa và tro bay đến độ hút nước và đến hệ số mềm. Khi tăng hàm lượng phụ gia hoạt hóa và tro bay thì cường độ chịu nén của vật liệu polyme vô cơ thu được tăng, độ hút nước giảm, và hệ số mềm tăng. Với hàm lượng tro bay từ 40 – 80% và hàm lượng phụ gia hoạt hóa từ 4 – 10 ml/100 g hỗn hợp thì cường độ chịu nén đạt được từ 100 – 190 KG/cm², độ hút nước từ 5,2 – 12,7% và hệ số mềm từ 0,7 – 0,92. Công thức cấp phối được các tác giả đề xuất là hàm lượng tro bay 50 – 60%, hàm lượng phụ gia hoạt hóa là 6 – 8 ml/100 g hỗn hợp, nhiệt độ dưỡng là 70°C, cường độ chịu nén là 130 – 150 KG/cm², độ hút nước là 6,3 – 9,7%, hệ số mềm 0,8 – 0,9. Các tác giả kết luận rằng vật liệu polyme thu được từ tro bay và bùn đỏ có khả năng dùng để chế tạo gạch không nung.

Nhóm nghiên cứu của Trần Ngọc Tuyên – Đại học Huế - đã nghiên cứu một yếu tố ảnh hưởng đến tính chất của polymer vô cơ được điều chế từ bùn đỏ và tro trấu [25]. Các tác giả đã nghiên cứu ảnh hưởng của tỉ lệ nguyên liệu bùn đỏ và tro vỏ trấu, thời gian và nhiệt độ dưỡng đến quá trình geopolymer hóa. Điều kiện tối ưu để chế tạo geopolymer

là tỉ lệ mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 4$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2$, nhiệt độ dưỡng = 100°C trong thời gian = 24 giờ. Với điều kiện tối ưu vật liệu có cường độ chịu nén là 22,8 MPa, tỉ khối là 2,39 g/cm^3 , độ co giãn thể tích là 15%. Theo các tác giả, gạch không nung điều chế được bằng phương pháp trên đáp ứng các tiêu chuẩn của vật liệu sử dụng trong ngành xây dựng.

Trong một nghiên cứu khác, PGS. TS. Trần Ngọc Tuyền và các cộng sự [34] đã chế tạo gạch nung ở 1000°C từ khoáng sét thương mại và bùn đỏ. Các tác giả đã khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng bùn đỏ và các yếu tố khác như độ ẩm, nhiệt độ nung đến tính chất hóa lý của vật liệu thu được. Hàm lượng của bùn đỏ trong vật liệu có thể thay đổi từ 10 – 50% khối lượng. Với mẫu có hàm lượng 50% bùn đỏ và được nung ở 1000°C trong 1 giờ thì có tính chất cơ lý tốt, cũng đáp ứng được tiêu chuẩn VS1451-1998.

Có thể thấy rằng, việc nghiên cứu chế tạo polyme vô cơ từ nguồn khoáng sét với bùn đỏ làm vật liệu không nung ở Việt Nam hầu như chưa có và còn rất hạn chế.

4. Những nghiên cứu ngoài nước trong xử lý bùn đỏ bằng công nghệ geopolyme

W. Hajjaji và các cộng sự [2] đã nghiên cứu thành phần và tính chất của polyme vô cơ chế tạo từ metakaolin và bùn đỏ. Quá trình hoạt hóa kiềm được thực hiện bởi hỗn hợp natri silicat và natri hidroxit. Thành phần bùn đỏ trong geopolyme điều chế được có thể lên đến 25% theo khối lượng. Pha kiềm aluminosilat vô định hình chiếm khoảng 90% theo khối lượng mẫu vật liệu. Đặc điểm cấu trúc vô định hình của vật liệu polyme vô cơ không bị biến đổi bởi sự có mặt của thành phần bùn đỏ. Tính chất vật lý của vật liệu điều chế được cũng không thay đổi lớn sau khi trộn với bùn đỏ. Độ bền hóa học của vật liệu được cho là tốt, khi mà độ thôi cation Na^+ từ vật liệu ra môi trường nước chỉ khoảng 100 ppm và không làm giảm tính chất cơ học của vật liệu. Nhìn chung, kết quả nghiên cứu sơ bộ cho thấy có thể dùng bùn đỏ để điều chế polyme vô cơ ứng dụng làm vật liệu xây dựng khi kết hợp với meta cao lanh theo tỉ lệ thích hợp.

Cyril Scribot và các cộng sự [35] đã nghiên cứu tái sử dụng bùn đỏ làm vật liệu ceramic (gốm) bằng cách trộn bùn đỏ với khoáng sét (clay) với tỉ lệ từ 0 – 30% khối lượng ở quy mô phòng thí nghiệm. Bùn đỏ và khoáng sét đều được biến tính bằng cách sấy khô rồi nghiền thành các hạt nhỏ cỡ $100\mu\text{m}$. Khoáng sét được trộn với bùn đỏ theo tỉ lệ khối lượng từ 0-30% khối lượng khô, sau đó được thêm nước và trộn đều thành khối vật liệu dẻo rồi được đóng vào khuôn. Vật liệu được nung trong lò điện ở 950°C và

1015°C. Các tác giả thấy có mối liên hệ hồi quy tuyến tính giữa độ chắc đặc (compactness) của vật liệu và hàm lượng bùn đỏ được cho vào. Tăng tỉ lệ của bùn đỏ làm giảm độ chịu nén của vật liệu. Điểm đặc biệt là vật liệu với hàm lượng 30% bùn đỏ có độ chịu nén (64,9 MPa) cao hơn khá nhiều so với vật liệu có hàm lượng 20% (39,1 MPa) và 10% (54,2 MPa). Các tác giả cho rằng đó là do bùn đỏ bị tinh thể hóa ở gần nhiệt độ 1015°C.

Kardelen Kaya và các cộng sự [36] đã nghiên cứu hiệu quả của việc tiền xử lý bùn đỏ bằng axit đến quá trình geopolyme hóa và độ bền nhiệt của vật liệu polyme vô cơ thu được. Các tác giả đã dùng axit HCl nồng độ 2M và 6M để tiền xử lý bùn đỏ ở 85°C và 220°C, sau đó nung mẫu ở 800°C trước khi sử dụng làm nguyên liệu đầu cho quá trình chế tạo polyme vô cơ. Các kết quả cho thấy việc tiền xử lý bằng axit và nung ở nhiệt độ cao đóng vai trò quan trọng, nâng cao khả năng polyme hóa và độ bền nhiệt của polyme vô cơ.

Abdel-Gawwad và các cộng sự [37] đã nghiên cứu chế tạo xi măng polyme vô cơ từ bụi xi măng lò vôi và trường thạch (feldspar). Trong nghiên cứu, hỗn hợp đồng nhất của bụi xi măng lò vôi/trường thạch có tỉ lệ khối lượng 60/40 được nung ở nhiệt độ cao với soda (Na_2CO_3) để tạo thành vật liệu dạng thủy tinh nóng chảy. Sau đó, vật liệu này được làm nguội nhanh bằng không khí và được nghiền để tạo thành bột polyme vô cơ. Ba thông số quan trọng của quá trình là nhiệt độ (1200 và 1300°C), thời gian nung (2 và 3 giờ), hàm lượng Na_2CO_3 (10 và 20% theo khối lượng).

Na Ye và các cộng sự [38] đã nghiên cứu chế tạo và tối ưu hóa khả năng chịu nén của polyme vô cơ điều chế được từ bùn đỏ. Trong nghiên cứu, polyme vô cơ được điều chế theo phương pháp khô với nguồn silic là silica fume. Bùn đỏ được xử lý trước bằng phương pháp hoạt hóa kiềm-nhiệt. Khi polyme vô cơ chỉ có thành phần bùn đỏ thì cường độ chịu nén không cao vì sự polyme hóa không được bền do tỉ lệ $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ thấp (=1.41). Mục đích của việc cho nguồn silica fume vào là để tăng tỉ lệ Si/Al lên. Cho thêm 25% khối lượng bằng Silica fume thì cường độ chịu nén sau 28 ngày dưỡng của polyme vô cơ có tỉ lệ $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3.45$ đạt 31.5 Mpa ở tỉ lệ nước/chất rắn là 0.45. Natri silicat trong bùn đỏ hoạt hóa sẽ tan vào trong nước và tạo ra môi trường kiềm để hòa tan silica fume.

Yuancheng Li và các cộng sự [39] đã nghiên cứu chế tạo polyme vô cơ từ bùn đỏ và tro bay của quá trình đốt chất thải rắn đô thị. Quá trình nghiền cơ học được dùng để hoạt

hóa nguyên liệu (bằng máy nghiền bi trong 30 phút ở tốc độ 500 rpm) cơ kích thước hạt cỡ 80 μm . Chất hoạt hóa kiềm là hỗn hợp dung dịch natri silicat và natri hidroxit với tỉ lệ lỏng-rắn là 10:1,1. Trong thí nghiệm, tro chất thải rắn được nghiền cứu thay thế lượng bùn đỏ với tỉ lệ 20%, 30%, 40% và 50%. Lượng chất hoạt hóa kiềm: hỗn hợp rắn (bùn đỏ + tro chất thải rắn) được nghiền cứu thay đổi từ 8:100 đến 16:100 theo khối lượng. Để đảm bảo quá trình phản ứng của bùn đỏ và tro chất thải diễn ra hoàn toàn, tỉ lệ dung dịch chất hoạt hóa và hỗn hợp rắn (bùn đỏ + tro chất thải rắn) là 50mL:100g. Hỗn hợp sau khi trộn đều trong 3 phút thì được đóng khuôn thành các mẫu có kích thước 20mm x 20mm x 20mm. Thời gian dưỡng được nghiền cứu là sau 3, 7, và 28 ngày. Hàm lượng thiếc của các kim loại nặng như Cu, Zn, Cr, Pb được đo bằng phương pháp ICP-OES. Độ hấp thụ nước và cường độ chịu nén của vật liệu cũng được nghiền cứu. Các tác giả thấy rằng khi tăng hàm lượng tro chất thải rắn thì cường độ chịu nén tăng. Nguyên nhân là do kiềm trong tro chất thải rắn cao, làm tăng hàm lượng kiềm có trong hỗn hợp, tăng khả năng hòa tan nhôm silicat, từ đó tạo thuận lợi cho quá trình polymer hóa. Mặt khác, hàm lượng canxi có trong tro chất thải rắn sẽ phản ứng với nhôm silicat hòa tan để tạo thành phức ngậm nước. Các phức này có độ cứng cao và còn góp phần cố định các kim loại nặng. Tuy nhiên, nếu hàm lượng tro chất thải rắn cao quá 30% thì cường độ chịu nén giảm do tro chất thải rắn cũng chứa nhiều ion clorua – là tác nhân gây ra sự gián đoạn cấu trúc trong quá trình polyme hóa. Chất hoạt hóa kiềm là natri silicat đóng hai vai trò: cung cấp môi trường kiềm cho quá trình polyme hóa và cung cấp nguồn silic, tăng tốc độ phản ứng. Cường độ chịu nén đạt cao nhất khi hàm lượng natri silicat là 14% - ứng với tỉ lệ mol của $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,08$. Khi tỉ lệ $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ lớn hơn 2,2 thì vật liệu polymer vô cơ sẽ bị ngưng; nếu tỉ lệ thấp thì quá trình polymer hóa sẽ không hoàn toàn và cũng làm cường độ chịu nén giảm. Một số nghiên cứu khác cũng cho thấy cường độ chịu nén cao nhất khi tỉ lệ $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ nằm trong khoảng từ 1,8 – 2,2. Các tác giả đã nghiên cứu vai trò của việc trộn cơ học (mechanical activation) bằng cách không cho chất hoạt hóa kiềm, chỉ so sánh 2 mẫu vật liệu không trộn và được trộn trong 30 phút. Khi được trộn cơ học trong 30 phút, hàm lượng nhôm hòa tan tăng lên đáng kể. Tuy vậy, hàm lượng silic không tăng nên cường độ chịu nén không tăng đáng kể. XRD cho thấy trộn hoạt hóa trong 30 phút làm tăng sự hòa tan katoite và alumnite; trong khi đó, kiềm hoạt hóa làm tăng sự tạo thành ettringite; một phần $\text{Ca}(\text{OH})_2$ phản ứng với natri silicat hoặc đi vào cấu trúc natri silicat tạo thành ettringite. Kết quả FTIR (đỉnh 785 cm^{-1}) cho thấy rõ hơn việc cho chất

kiềm hoạt hóa vào làm giảm hàm lượng Al hòa tan, từ đó khẳng định vai trò của hoạt hóa cơ học.

5. Các phương pháp đặc trưng vật liệu geopolyme từ bùn đỏ

- Tính chất cơ lý của vật liệu được xác định theo phương pháp của tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6477:2011. Theo đó, cường độ chịu nén R (MPa) được tính bằng phương trình:

$$R = \frac{F}{S}$$

trong đó: F (N): là lực nén vỡ khối vật liệu khảo sát;

S (mm²): là diện tích bề mặt chịu lực nén của vật liệu khảo sát.

- Tổng độ co dãn T(%) được tính theo phương trình:

$$T = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100$$

trong đó: V₀ và V (cm³): lần lượt là thể tích của vật liệu khảo sát trước và sau khi dưỡng.

- Tỷ khối D (g/cm³) được tính bằng tỉ số giữa khối lượng (m) và thể tích (V) của vật liệu khảo sát.

- Pha tinh thể của bùn đỏ, vật liệu polymer vô cơ, được xác định bằng phương pháp XRD.

- Phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng (TGA) và đo năng lượng quét vi sai (DSC – Differential Scanning Calorimetry) được dùng để khảo sát tính chất của bùn đỏ.

- Thành phần hóa học của bùn đỏ, tro vỏ trấu, ... được xác định bằng phương pháp XRF (X ray Fluorescence).

- Kích cỡ hạt bùn đỏ, được xác định bằng phương pháp phân tích phân bố kích cỡ hạt laze phân tán (Laser scattering particle size distribution analyzer – LA-950V2 (Horiba)).

- Thành phần nguyên tử của vật liệu geopolyme được xác định bằng phương pháp EDX (Energy dispersive X-ray spectrometry).

- Hình thái học của các loại vật liệu được xác định bằng phương pháp SEM (Scanning Electron Microscope).

- Mức độ geopolymer hóa của vật liệu được đặc trưng bằng phương pháp IR (Infrared Spectrometry).

- Độ thôi của kim loại (leaching test of cation) [2]: đo theo tiêu chuẩn EN 12457-2. Geopolymer được nghiền và sấy khô (rây để thu cỡ hạt $\sim 200 \mu\text{m}$). 5g bột geopolymer được cho vào 100 mL nước (deionized) và khuấy trộn với tốc độ 10 rpm trong 24h. Sau đó lọc dung dịch và đo hàm lượng cation bằng phương pháp AAS (Flame atomic absorption spectroscopy).

- Phương pháp “làm lạnh – tan băng” (freeze-thaw) [39]: dùng để khảo sát độ bền của vật liệu geopolymer. Tốc độ giảm khối lượng của vật liệu qua mỗi vòng “làm lạnh – tan băng” thường cần nhỏ hơn 5%.

6. Kết luận

Trong báo cáo này, một số vấn đề liên quan đến bùn đỏ và công nghệ geopolyme đã được đề cập:

- Đã tìm hiểu và cập nhật những khái niệm cơ bản về công nghệ polyme vô cơ;
- Đã đưa ra tổng quan thực trạng, nguy cơ ô nhiễm bùn đỏ và một số nghiên cứu xử lý bùn đỏ tại Việt Nam;
- Đã tổng quan những tiến bộ trong nghiên cứu xử lý bùn đỏ bằng công nghệ geopolyme trên thế giới. Công nghệ geopolyme có tính khả thi cao trong việc xử lý, tận dụng bùn đỏ vào mục đích làm vật liệu ứng dụng trong lĩnh vực xây dựng.

Tài liệu tham khảo

1. Liu, Y., C. Lin, and Y. Wu, *Characterization of red mud derived from a combined Bayer Process and bauxite calcination method*. Journal of Hazardous Materials, 2007. **146**(1): p. 255-261.
2. Hajjaji, W., et al., *Composition and technological properties of geopolymers based on metakaolin and red mud*. Materials & Design (1980-2015), 2013. **52**: p. 648-654.
3. Rai Suchita, W.K., Mukhopadhyay J, Yoo Chang Kyoo, Uslu Hasan, *Neutralization and utilization of red mud for its better waste management*. Arch Environ Sci, 2012. **6**: p. 13-33.
4. Sahu, R.C., R.K. Patel, and B.C. Ray, *Neutralization of red mud using CO2 sequestration cycle*. Journal of Hazardous Materials, 2010. **179**(1): p. 28-34.
5. Tamotia, S.K., *Management of red mud*. In: International symposium on processing of fines, vol. 2. Jamshedpur: NML Jamshedpur, 2000: p. 430–434.
6. Burke, I.T., et al., *Speciation of Arsenic, Chromium, and Vanadium in Red Mud Samples from the Ajka Spill Site, Hungary*. Environmental Science & Technology, 2012. **46**(6): p. 3085-3092.
7. Renforth, P., et al., *Contaminant mobility and carbon sequestration downstream of the Ajka (Hungary) red mud spill: The effects of gypsum dosing*. Science of The Total Environment, 2012. **421-422**: p. 253-259.
8. Liang, W., et al., *Effect of strong acids on red mud structural and fluoride adsorption properties*. Journal of Colloid and Interface Science, 2014. **423**: p. 158-165.
9. Mesgari Abbasi, S., et al., *Synthesis, processing, characterization, and applications of red mud/carbon nanotube composites*. Ceramics International, 2016. **42**(15): p. 16738-16743.
10. Deihimi, N., M. Irannajad, and B. Rezai, *Equilibrium and kinetic studies of ferricyanide adsorption from aqueous solution by activated red mud*. Journal of Environmental Management, 2018. **227**: p. 277-285.
11. Pepper, R.A., S.J. Couperthwaite, and G.J. Millar, *Re-use of waste red mud: Production of a functional iron oxide adsorbent for removal of phosphorous*. Journal of Water Process Engineering, 2018. **25**: p. 138-148.

12. Xie, W.-M., et al., *Accelerated crystallization of magnetic 4A-zeolite synthesized from red mud for application in removal of mixed heavy metal ions*. Journal of Hazardous Materials, 2018. **358**: p. 441-449.
13. Belviso, C., et al., *Red mud as aluminium source for the synthesis of magnetic zeolite*. Microporous and Mesoporous Materials, 2018. **270**: p. 24-29.
14. Shim, W.G., et al., *Recycling of red mud as a catalyst for complete oxidation of benzene*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2018. **60**: p. 259-267.
15. Oliveira, A.A.S., et al., *Red mud based gold catalysts in the oxidation of benzyl alcohol with molecular oxygen*. Catalysis Today, 2017. **289**: p. 89-95.
16. Weber, J., et al., *Effect of metal oxide redox state in red mud catalysts on ketonization of fast pyrolysis oil derived oxygenates*. Applied Catalysis B: Environmental, 2019. **241**: p. 430-441.
17. do Prado, N.T., et al., *PET-modified red mud as catalysts for oxidative desulfurization reactions*. Journal of Environmental Sciences, 2017. **57**: p. 312-320.
18. Hamid, S., S. Bae, and W. Lee, *Novel bimetallic catalyst supported by red mud for enhanced nitrate reduction*. Chemical Engineering Journal, 2018. **348**: p. 877-887.
19. Alam, S., S.K. Das, and B.H. Rao, *Characterization of coarse fraction of red mud as a civil engineering construction material*. Journal of Cleaner Production, 2017. **168**: p. 679-691.
20. Senff, L., D. Hotza, and J.A. Labrincha, *Effect of red mud addition on the rheological behaviour and on hardened state characteristics of cement mortars*. Construction and Building Materials, 2011. **25**(1): p. 163-170.
21. Senff, L., et al., *Formulations of sulfobelite cement through design of experiments*. Construction and Building Materials, 2011. **25**(8): p. 3410-3416.
22. Ribeiro, D.V., J.A. Labrincha, and M.R. Morelli, *Effect of the addition of red mud on the corrosion parameters of reinforced concrete*. Cement and Concrete Research, 2012. **42**(1): p. 124-133.
23. Singh, M., S.N. Upadhyay, and P.M. Prasad, *Preparation of special cements from red mud*. Waste Management, 1996. **16**(8): p. 665-670.
24. John L. Provis and J.S.J.v. Deventer, eds. *Geopolymers: Structure, processing, properties and industrial applications*. ed. F. edition. 2009, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.

25. Tran Ngoc Tuyen, et al., *Influence of synthesis factors on properties of geopolymers based on red mud and rice husk ash*. Vietnam Journal of Science and Technology 2017. **55**(4): p. 461 - 474.
26. Nguyễn Trung Minh, N.Đ.C., Cù Sỹ Thắng, Nguyễn Thị Thu, Nguyễn Kim Thương, Nguyễn Trung Kiên, Nguyễn Kim Thủy, Nguyễn Văn Thành, Huỳnh Minh Trí, Seong-Teak Yun, *Bùn đỏ bauxit Tây Nguyên: vật liệu xử lý ô nhiễm kim loại nặng trong nước thải* Tạp chí Địa chất, 2010. **320**(Loạt A): p. 227-235.
27. Vũ Xuân Minh, N.T.M., Lê Thị Mai Hương, Nguyễn Tuấn Dung, *Nghiên cứu hoạt hóa bùn đỏ bằng axit sulfuric và khảo sát khả năng hấp thụ Cr(VI)*. Tạp chí Hóa học, 2015. **53**(4): p. 475-479.
28. Phương Thảo, L.T.T.L., Trần Hồng Côn, *Preparation of adsorbents from red mud for removal of fluoride in industrial wastewater*. Vietnamese Journal of chemistry, 2012. **51**(2): p. 195-200.
29. Hoàng, B.T., *Kết quả bước đầu nghiên cứu xử lý Fe²⁺, Mn²⁺ trong nước thải mỏ than từ bùn đỏ Tây Nguyên*. KHCNM 10/2015 - Môi trường mỏ, 2015: p. 70-74.
30. Bùi Đăng Hạnh, L.X.T., La Văn Bình, *Tổng hợp zeolite A từ bùn đỏ*. Tạp chí Hóa học, 2003. **41**(2): p. 100-103.
31. Bùi Đăng Hạnh, L.X.T., La Văn Bình, *Nghiên cứu tổng hợp Zeolit A ở nhiệt độ thường từ dung dịch hòa tách bã thải bùn đỏ bằng axit sunfuric*. Kỷ yếu hội nghị: Hóa học thế kỷ XXI vì sự phát triển bền vững, 2003. **Tập 3**: p. 59-63.
32. Thái Hoang, N.V.G., Trần Hữu Trung, Nguyễn Thúy Chinh, *Nghiên cứu biến tính bùn đỏ bằng Axit Oleic*. Tạp chí Hóa học, 2012. **50**(4): p. 498-501.
33. Nguyễn Văn Chánh, Vũ Huyền Trân, and N.T.T. Thảo, *Nghiên cứu chế tạo gạch không nung bằng công nghệ geopolymer sử dụng tro bay và phế thải bùn đỏ để xây dựng nhà ở*. Người xây dựng, số tháng 12, 2010: p. 50 - 53.
34. Ngoc Tuyen Tran, et al., *The manufacturing of sintered bricks from clay and red mud derived from the alumina processing plant*. Journal of Ceramic Processing Research, 2017. **18**(5): p. 366 - 372.
35. Scribot, C., et al., *A laboratory-scale experimental investigation on the reuse of a modified red mud in ceramic materials production*. Construction and Building Materials, 2018. **163**: p. 21-31.

36. Kaya, K., et al., *Consequences of Simple Acid-Pretreatments on Geopolymerization and Thermal Stability of Red Mud-Based Geopolymers*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2018. **57**(21): p. 7156-7168.
37. Abdel-Gawwad, H.A. and K.A. Khalil, *Application of thermal treatment on cement kiln dust and feldspar to create one-part geopolymer cement*. Construction and Building Materials, 2018. **187**: p. 231-237.
38. Ye, N., et al., *Synthesis and strength optimization of one-part geopolymer based on red mud*. Construction and Building Materials, 2016. **111**: p. 317-325.
39. Li, Y., et al., *Preparation of red mud-based geopolymer materials from MSWI fly ash and red mud by mechanical activation*. Waste Management, 2019. **83**: p. 202-208.