

## NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ ĐẶC TRƯNG TÍNH CHẤT VẬT LIỆU GEOPOLYME ĐÓNG RẮN TỪ Bùn ĐỎ VÀ CAO LẠNH

Công Tiến Dũng<sup>1\*</sup>, Phương Thảo<sup>2</sup>, Lê Thị Phương Thảo<sup>1</sup>, Nguyễn Việt Hùng<sup>1</sup>,  
Lê Thị Duyên<sup>1</sup>, Võ Thị Hạnh<sup>1</sup>, Vũ Thị Minh Hồng<sup>1</sup>, Nguyễn Mạnh Hà<sup>1</sup>,  
Đặng Văn Kiên<sup>3</sup>, Nguyễn Duyên Phong<sup>3</sup>

**Tóm tắt:** Trong nghiên cứu này, vật liệu geopolyme trên cơ sở bùn đỏ và cao lanh đã được nghiên cứu chế tạo nhằm tạo ra vật liệu vô định hướng ứng dụng trong lĩnh vực xây dựng. Hỗn hợp cao lanh, bùn đỏ được trộn với dung dịch chất hoạt hóa kiềm,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , nhiệt độ và thời gian dưỡng mẫu khác nhau tạo thành vật liệu geopolyme. Kết quả nghiên cứu cho thấy vật liệu geopolyme chế tạo được sau xử lý đóng rắn bùn đỏ có khả năng cho cường độ chịu nén cao nhất là ~21 MPa. Sự có mặt của  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  tạo ra thành phần C-S-H/C-A-S-H làm tăng cường độ chịu nén của vật liệu chế tạo được.

**Từ khóa:** Geopolyme; Polyme vô cơ; Bùn đỏ; Cao lanh.

### 1. MỞ ĐẦU

Đề 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]. Tại Việt Nam, nhà máy nhôm Tân Rai (Lâm Đồng) cũng thải ra cỡ 1,5 triệu tấn bùn đỏ/năm. Bùn thải này có độ pH rất cao từ 11-13,2 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 xử lý bùn đỏ đã và đang được các nhà khoa học trên thế giới quan tâm nghiên cứu: làm vật liệu zeolit, hấp phụ [8-11], làm chất xúc tác [12, 13], làm vật liệu xây dựng [2, 14, 15].

Polyme vô cơ (còn gọi là geopolyme) là hợp chất aluminosilicat ở dạng từ vô định hình đến mạng lưới bán tinh thể không gian 3 chiều [16]. Mạng lưới cấu trúc của polyme vô cơ dựa trên cơ sở ngưng tụ liên kết các tứ diện  $[\text{SiO}_4]$  và  $[\text{AlO}_4]$  tạo thành từ sự hoạt hóa kiềm nguồn tiền chất aluminosilicate như cao lanh [2], tro bay [17], tro trấu [18],... Các polyme vô cơ hình thành có khả năng giúp cứng hóa các vật liệu bỏ rời theo cơ chế kết dính và bao bọc các hạt vật liệu với nhau bằng các liên kết hóa học xảy ra trong quá trình geopolyme hóa. Hợp chất polyme vô cơ thu được có khả năng sử dụng làm vật liệu xây dựng mà không cần qua giai đoạn nung tốn nhiều năng lượng.

Trong bài viết này, chúng tôi nghiên cứu một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chế tạo và đặc trưng tính chất vật liệu đóng rắn từ bùn đỏ bằng phương pháp geopolyme sử dụng chất kết dính cao lanh, định hướng làm vật liệu xây dựng không nung.

### 2. THỰC NGHIỆM

#### 2.1. Hóa chất

Bùn đỏ cục lấy từ bãi thải của nhà máy sản xuất nhôm Tân Rai (Lâm Đồng) được sấy, nghiền nhỏ và rây lấy kích thước hạt <90  $\mu\text{m}$ . Cao lanh được sử dụng trong nghiên cứu là cao lanh Trúc Thôn (Chí Linh, Hải Dương) ở dạng bột mịn. Các nguyên liệu đều được sấy khô ở 105  $^\circ\text{C}$  trong 24 h trước khi tiến hành thí nghiệm. Các chất hoạt hóa kiềm sử dụng trong nghiên cứu là NaOH dạng hạt (Trung Quốc 98%),  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dạng bột mịn (Trung Quốc, 99%).

#### 2.2. Đóng rắn bùn đỏ theo phương pháp polyme vô cơ

Thành phần phối liệu cao lanh, bùn đỏ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  được trộn đều với nhau, rồi cho từ từ

dung dịch kiềm hoạt hóa NaOH vào hỗn hợp rồi nhào trộn trong 15 phút. Trong nghiên cứu này, tỉ lệ phối liệu bùn đỏ/cao lanh được cố định là 1/3 (75 g/225 g) theo hàm lượng cao nhất của bùn đỏ thay thế lượng cao lanh trong nghiên cứu của Hajjaji [2]. Hàm lượng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  thay đổi từ 15 – 75g, nồng độ NaOH từ 4 – 12 M. Tỉ lệ khối lượng chất lỏng/rắn được giữ không đổi là 0,37. Hỗn hợp sau đó được đưa vào khuôn tạo hình mẫu vật liệu có kích thước 40×40×40 (mm). Các mẫu được giữ ở nhiệt độ xác định (nhiệt độ phòng, 60 °C hoặc 80 °C) trong vòng 24 h. Sau đó, các mẫu được tháo khuôn và dưỡng ở nhiệt độ phòng cho đến khi được đem đo cường độ chịu nén (3; 7; 14; 28 hoặc 42 ngày).

### 2.3. Phương pháp đặc trưng tính chất vật liệu

Thành phần hóa học của nguyên liệu của cao lanh, bùn đỏ được đo bằng phương pháp phổ huỳnh quang tia X (XRF) trên hệ máy S4-Pioneer. Phân bố kích thước hạt của cao lanh và bùn đỏ được đo trên máy Horiba LA-960. Giảm độ nhiễu xạ tia X (XRD) được đo trên máy D8 Advance - Bruker (anot Cu,  $\lambda = 1,504 \text{ \AA}$ ). Phổ hồng ngoại (IR) của mẫu vật liệu được đo trên máy FTIR 1S - Shimadzu. Ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) được đo trên máy model Quanta 450. Cường độ chịu nén của mẫu vật liệu polyme vô cơ được đo bằng máy Advantest 9 Controls Model 50-C9030 với tốc độ gia tải 500 kN/giây. Cường độ chịu nén (MPa)  $R = F/A$ ; trong đó: F là lực nén khi mẫu bị phá hủy (N); A là giá trị trung bình cộng diện tích hai mặt chịu nén ( $\text{mm}^2$ ).

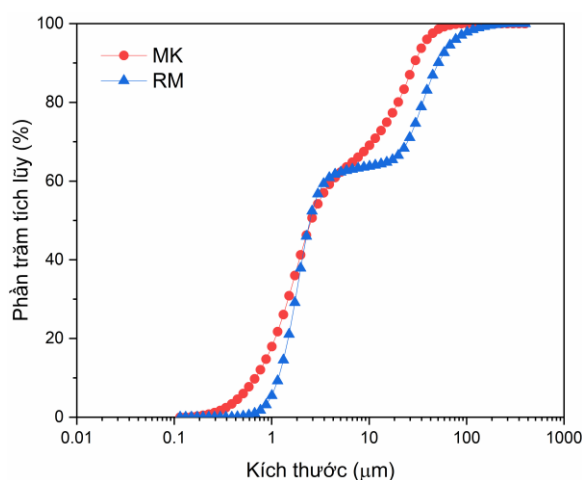
## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Tính chất của nguyên liệu cao lanh, bùn đỏ

Thành phần hóa học các mẫu bùn đỏ, cao lanh trong bảng 1 cho thấy bùn đỏ có hàm lượng sắt oxit chiếm phần lớn (~48%), hàm lượng nhôm oxit và silic oxit chiếm lần lượt là ~16% và 6%; cao lanh có hàm lượng silic oxit chiếm tỉ lệ cao nhất trong mẫu (~48,8%), hàm lượng nhôm oxit cao thứ hai (chiếm ~35%). Thành phần silic và nhôm cao trong cao lanh chính là nguồn chất kết dính đóng vai trò quan trọng cho quá trình đóng rắn bùn đỏ theo công nghệ geopolyme.

**Bảng 1.** Thành phần hóa học của nguyên liệu bùn đỏ, cao lanh.

Nguyên liệu	Thành phần (% khối lượng)									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	LOI (mất khi nung)
Bùn đỏ	6,01	16,16	48,29	6,44	0,08	4,27	0,09	3,35	0,13	14,30
Cao lanh	48,85	35,45	0,64	0,03	0,18	0,05	1,47	0,06	0,04	12,98



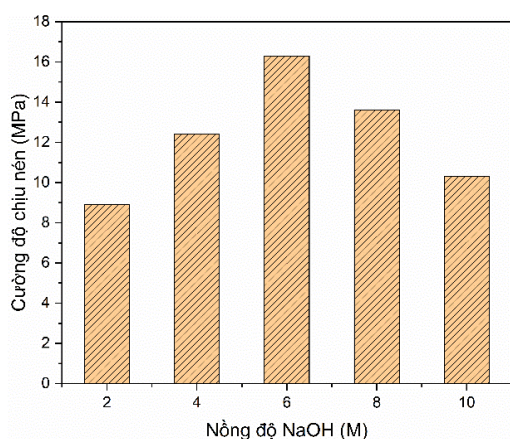
**Hình 1.** Phân bố kích thước hạt của nguyên liệu cao lanh, bùn đỏ.

Kích thước hạt của nguyên liệu có ảnh hưởng quan trọng đến khả năng hòa tan nguồn tiền chất nhôm, silic cho quá trình geopolymer hóa của chất hoạt hóa kiềm [19]. Phân bố kích thước hạt trên hình 1 cho thấy phần lớn nguyên liệu cao lanh và bùn đỏ trong nghiên cứu này có kích thước hạt nhỏ, tập trung ở dải từ 0,1 - 2  $\mu\text{m}$ . Kích thước hạt nhỏ sẽ tốt cho sự hòa tan nguồn nhôm, silic để thực hiện quá trình geopolymer hóa.

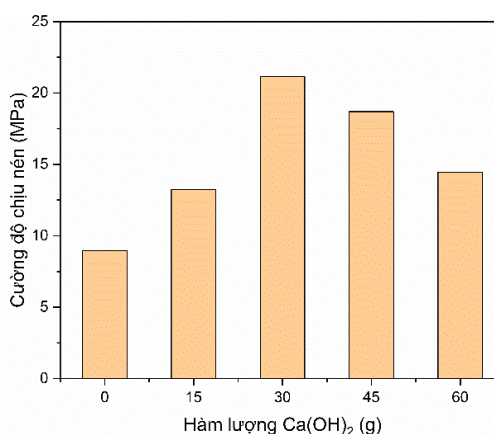
### 3.2. Chế tạo vật liệu polyme vô cơ

#### 3.2.1. Ảnh hưởng của hàm lượng chất hoạt hóa kiềm NaOH

Chúng tôi đã tiến hành thực nghiệm với nồng độ NaOH thay đổi từ 2 M; 4 M; 6 M; 8 M và 10 M; 45 g  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; sấy ở 60 °C trong 24h đầu tiên, sau đó được dưỡng ở nhiệt độ phòng trong 28 ngày.



**Hình 2.** Cường độ chịu nén của vật liệu polyme vô cơ chế tạo được với NaOH ở các nồng độ khác nhau.



**Hình 3.** Cường độ chịu nén của vật liệu geopolymer theo hàm lượng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ở NaOH 6 M.

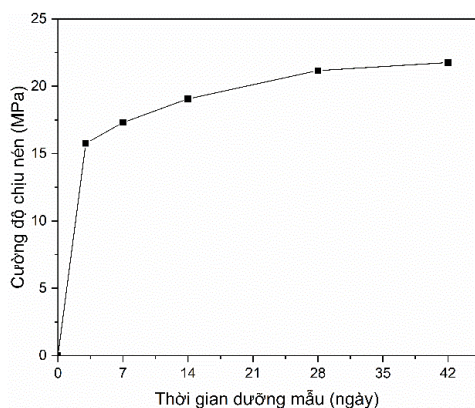
Kết quả khảo sát trên hình 2 cho thấy: Khi tăng hàm lượng chất hoạt hóa kiềm NaOH thì cường độ chịu nén của các mẫu vật liệu cũng tăng lên. Tuy nhiên, nếu hàm lượng NaOH tăng quá 6 M thì cường độ chịu nén của các mẫu vật liệu geopolymer lại giảm xuống. Điều này có thể giải thích là: khi tăng nồng độ chất kiềm hoạt hóa thì khả năng hòa tan nguồn nhôm, silic tạo monome cho quá trình geopolymer hóa nhiều hơn nên cường độ chịu nén của vật liệu chế tạo được tăng lên; Tuy nhiên, khi nồng độ NaOH tăng quá 6 M thì có thể hàm lượng chất kiềm trong mẫu vật liệu đã quá dư làm giảm khả năng gắn kết cấu trúc, dẫn đến cường độ chịu nén giảm. Trong nghiên cứu này, nồng độ chất kiềm hoạt hóa NaOH 6 M là cho giá trị cường độ chịu nén cao nhất và được lựa chọn cho các nghiên cứu tiếp theo.

#### 3.2.2. Ảnh hưởng của hàm lượng chất phụ trợ $\text{Ca}(\text{OH})_2$

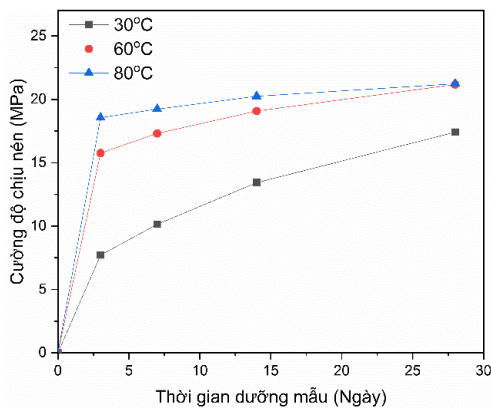
Vật liệu được chế tạo với hàm lượng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  thay đổi từ 0 - 60g, trộn với chất kiềm hoạt hóa NaOH 6 M, sấy ở 60 °C trong 24 h đầu tiên, sau đó được dưỡng ở nhiệt độ phòng trong 28 ngày. Kết quả khảo sát cường độ chịu nén của các vật liệu được đưa ra trên hình 3. Kết quả trên hình 3 cho thấy cường độ chịu nén của vật liệu geopolymer chế tạo được có xu hướng tăng lên khi tăng hàm lượng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  có mặt trong hỗn hợp phối liệu và đạt giá trị cao nhất khi hàm lượng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  trong mẫu là 30 g. Cường độ chịu nén của vật liệu chế tạo được khi thêm 30 g  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ở NaOH 6 M (21,17 MPa) đã tăng 236% so với khi không có mặt  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (8,96 MPa). Rõ ràng rằng sự có mặt của thành phần  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  đã ảnh hưởng tích cực tới khả năng đóng rắn bùn đỏ trên cơ sở chất kết dính cao lanh. Ảnh hưởng tích cực của  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  tới cường độ chịu nén của vật liệu geopolymer phù hợp với các kết quả nghiên cứu M.J.A. Mijarsh [20] và Maria Luz Granizo [21].

#### 3.2.3. Ảnh hưởng của thời gian dưỡng mẫu

Thành phần nguyên vật liệu được sử dụng như sau: 225 g cao lanh, 75 g bùn đỏ, dung dịch NaOH 6 M và 30 g  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Các mẫu được sấy ở  $60^\circ\text{C}$  trong 24h, sau đó được dưỡng ở nhiệt độ phòng với các thời gian dưỡng khác nhau từ 3; 7; 14; 28 và 42 ngày.



**Hình 4.** Cường độ chịu nén của vật liệu ở các thời gian dưỡng mẫu khác nhau.



**Hình 5.** Cường độ chịu nén theo thời gian dưỡng mẫu của các vật liệu chế tạo được với nhiệt độ dưỡng khác nhau trong 24 h đầu tiên.

Kết quả khảo sát cho thấy: Cường độ chịu nén của vật liệu tăng lên khi thời gian dưỡng mẫu tăng. Độ tăng cường độ chịu nén tăng nhanh trong thời gian đầu của quá trình dưỡng mẫu, sau đó cường độ vẫn tiếp tục tăng nhưng chậm dần theo thời gian. Ta có thể quan sát thấy sau 3 ngày dưỡng, cường độ chịu nén của mẫu vật liệu đã lớn hơn 15 MPa. Sau 7 ngày và 14 ngày dưỡng mẫu, cường độ chịu nén của các mẫu vật liệu geopolyme vẫn tăng tương đối rõ (khoảng 7 - 15%). Tuy nhiên, sau 28 ngày dưỡng, giá trị cường độ chịu nén của vật liệu tăng không đáng kể, có thể do cấu trúc vật liệu đã tương đối ổn định.

### 3.2.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ dưỡng mẫu

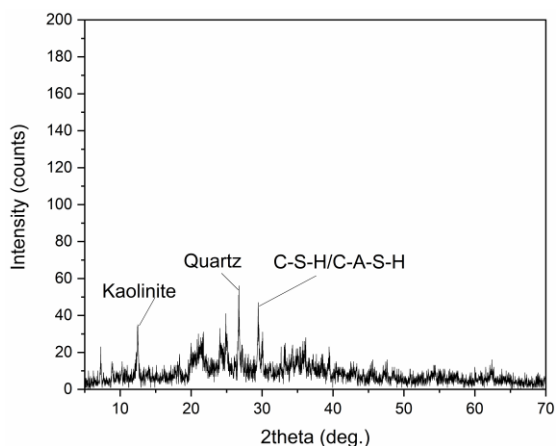
Các mẫu vật liệu được chế tạo với thành phần 225 g cao lanh, 75 g bùn đỏ, dung dịch kiềm hoạt hóa NaOH 6 M và  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  là 30 g. Các mẫu vật liệu được dưỡng ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau như nhiệt độ phòng ( $\sim 30^\circ\text{C}$ ),  $60^\circ\text{C}$  và  $80^\circ\text{C}$  trong 24h đầu tiên, sau đó được tháo khuôn và đều được dưỡng tiếp ở nhiệt độ phòng trong 28 ngày. Qua kết quả nghiên cứu hình 5 cho thấy: Đường cong cường độ chịu nén của các mẫu vật liệu dưỡng ở các nhiệt độ khác nhau đều có hình dạng và xu hướng giống nhau là tiệm cận tới giá trị cường độ chịu nén cao nhất. Cường độ chịu nén của vật liệu dưỡng ở  $80^\circ\text{C}$  tiệm cận nhanh hơn ở  $60^\circ\text{C}$  và chậm nhất là ở nhiệt độ phòng. Các vật liệu geopolyme khác nhau có thể phù hợp với các nhiệt độ dưỡng mẫu khác nhau như Zahariki và các cộng sự [22] nghiên cứu ở  $80^\circ\text{C}$ , Kaya [23] làm ở  $60^\circ\text{C}$ , Hajjaji [2] nghiên cứu ở  $50^\circ\text{C}$  hay Ascensão [24] làm ở nhiệt độ phòng. Trong nghiên cứu này, dưỡng vật liệu ở nhiệt độ phòng ngay từ 24 giờ đầu tiên không phù hợp do quá trình đóng rắn vật liệu diễn ra chậm, cường độ chịu nén thấp và bị cacbonat hóa bề mặt. Nhiệt độ dưỡng trong 24 h đầu tiên là  $60^\circ\text{C}$  thì phù hợp cho quá trình đóng rắn mẫu vì vừa đảm bảo cường độ chịu nén tốt, vừa không mất quá nhiều năng lượng.

### 3.3. Đặc trưng cấu trúc của của vật liệu geopolyme

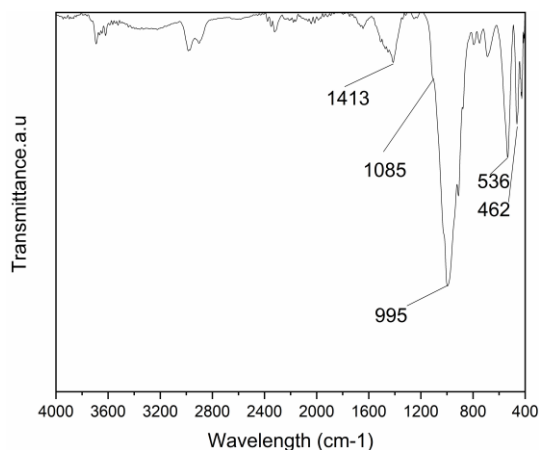
Vật liệu geopolyme được nghiên cứu là mẫu vật liệu chế tạo trong điều kiện: 225 g cao lanh, 75 g bùn đỏ, dung dịch NaOH 6 M và 30 g  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , sấy ở  $60^\circ\text{C}$  trong 24 h và sau đó dưỡng ở nhiệt độ phòng.

Trên hình 6 là giản đồ nhiễu xạ tia X của mẫu vật liệu. Kết quả cho thấy một số pic đặc trưng cho pha tinh thể kaolinite, quartz đã xuất trên giản đồ nhiễu xạ mặc dù cường độ pic là tương đối yếu. Bên cạnh đó, đỉnh pic ở  $2\theta = 29,3$  đặc trưng cho pha tinh thể của canxi silicat hydrat (C-S-

H)/canxi aluminosilicat hydrat (C-A-S-H) cũng được thấy rõ trên giản đồ nhiễu xạ [25]. Theo I. Garcia-Lodeiro và các cộng sự [25] khi có mặt hàm lượng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  trong môi trường kiềm cao thì gel C-S-H và C-A-S-H có thể được tạo thành – đây là thành phần rất quan trọng làm tăng độ cứng của vật liệu, từ đó làm cường độ chịu nén tăng lên.



**Hình 6.** Giản đồ nhiễu xạ tia X của mẫu vật liệu geopolymer chế tạo được.



**Hình 7.** Phổ IR của mẫu vật liệu geopolymer chế tạo được.

Kết quả phổ hồng ngoại (IR) trên hình 7 cho thấy: Dải phổ có đỉnh thấp ở  $1413\text{ cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động liên kết O-C-O của muối cacbonat do khí cacbonic phản ứng với kiềm dư của vật liệu tạo thành. Vai phổ ở  $1085\text{ cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động kéo căng của liên kết Si-O trong cấu trúc cao lanh vô định hình. Đỉnh phổ ở  $995\text{ cm}^{-1}$  là đặc trưng dao động Si-O/Al-O có liên kết với canxi chứng tỏ thành phần C-S-H/C-A-S-H đã được tạo thành. Maria Luz Granizo và các cộng sự [21] đã nghiên cứu ảnh hưởng của  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  đến quá trình hoạt hóa kiềm meta cao lanh và thấy rằng có sự dịch chuyển dải phổ tại  $1050\text{ cm}^{-1}$  đặc trưng cho liên kết Si-O/Al-O trong meta-cao lanh về cùng thấp hơn ở  $995\text{ cm}^{-1}$  ( $<1000\text{ cm}^{-1}$ ) khi có mặt  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  trong thành phần tạo geopolymer. Trong nghiên cứu của Garcia-Lodeiro [25] thì đỉnh pic đặc trưng cho C-S-H/C-A-S-H thậm trí còn dịch chuyển sâu hơn về dải  $960\text{ cm}^{-1}$ . Các đỉnh  $462\text{ cm}^{-1}$  và  $536\text{ cm}^{-1}$  lần lượt là các dao động bề cong của các liên kết Si-O/Al-O và Si-O-Al. Như vậy, kết quả phổ hồng ngoại cũng khẳng định sự tạo thành C-S-H/C-A-S-H và hoàn toàn phù hợp với kết quả đã được thảo luận về giản đồ nhiễu xạ tia X hình 6 ở trên.

#### 4. KẾT LUẬN

Hàm lượng chất kiềm hoạt hóa NaOH, thời gian và nhiệt độ dưỡng mẫu có ảnh hưởng rõ đến cường độ chịu nén của vật liệu sau xử lý đóng rắn. Sự có mặt của thành phần  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  làm tăng mạnh ( $\sim 230\%$ ) giá trị cường độ chịu nén của vật liệu. Sự có mặt của thành phần C-S-H/C-A-S-H đã được chứng minh và có thể là yếu tố làm tăng giá trị cường độ chịu nén của vật liệu. Trong phạm vi khảo sát, điều kiện thích hợp để chế tạo vật liệu polyme vô cơ đóng rắn từ cao lanh và bùn đỏ cho có giá trị cường độ chịu nén cao nhất ( $\sim 21\text{ MPa}$ ) là 225 g cao lanh, 75 g bùn đỏ, 30 g  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , NaOH 6 M, tỉ lệ hàm lượng rắn/lỏng = 0,37, sấy ở  $60\text{ }^\circ\text{C}$  trong 24 h đầu tiên và dưỡng ở nhiệt độ phòng.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu được thực hiện với sự hỗ trợ của đề tài KHCN mã số B2019-MDA-03. Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn các ý kiến phân biện và nhận xét góp phần nâng cao chất lượng bài báo.

#### 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 CO<sub>2</sub> 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]. 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.
- [10]. 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.
- [11]. Belviso, C., et al., *Red mud as aluminium source for the synthesis of magnetic zeolite*. Microporous and Mesoporous Materials, 2018. 270: p. 24-29.
- [12]. 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.
- [13]. 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.
- [14]. 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.
- [15]. 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.
- [16]. Davidovits, J., *Properties of geopolymer cements*. in First international conference on alkaline cements and concretes, 1994.
- [17]. Hu, W., et al., *Mechanical and microstructural characterization of geopolymers derived from red mud and fly ashes*. Journal of Cleaner Production, 2018. 186: p. 799-806.
- [18]. Mijarsh, M.J.A., M.A. Megat Johari, and Z.A. Ahmad, *Compressive strength of treated palm oil fuel ash based geopolymer mortar containing calcium hydroxide, aluminum hydroxide and silica fume as mineral additives*. Cement and Concrete Composites, 2015. 60: p. 65-81.
- [19]. Granizo, M., et al., *Alkaline Activation of Metakaolin: Effect of Calcium Hydroxide in the Products of Reaction*. Vol. 85. 2004. 225-231.
- [20]. Zaharaki, D., M. Galetakis, and K. Komnitsas, *Valorization of construction and demolition (C&D) and industrial wastes through alkali activation*. Construction and Building Materials, 2016. 121: p. 686-693.
- [21]. Kaya, K. and S. Soyer-Uzun, *Evolution of structural characteristics and compressive strength in red mud-metakaolin based geopolymer systems*. Ceramics International, 2016. 42(6): p. 7406-7413.
- [22]. Ascensão, G., et al., *Red mud-based geopolymers with tailored alkali diffusion properties and pH buffering ability*. Journal of Cleaner Production, 2017. 148: p. 23-30.
- [23]. Garcia-Lodeiro, I., et al., *Compatibility studies between N-A-S-H and C-A-S-H gels. Study in the ternary diagram Na<sub>2</sub>O-CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O*. Cement and Concrete Research, 2011. 41(9): p. 923-931.

**ABSTRACT**

**PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF GEOPOLYMERIC MATERIALS  
SOLIDIFIED FROM RED MUD AND KAOLIN**

*In this paper, geopolymer materials based on red mud and kaolin were prepared and characterized. Red mud and kaolin were mixed with different amount of alkaline activator and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  at different temperature and curing time to form geopolymeric materials. Compressive strength of materials obtained was measured. The results show that the highest compressive strength of the materials was ~21 MPa. The presence of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  component could make the C-S-H/C-A-S-H formation resulting the highly increasing in compressive strength of materials.*

**Keywords:** Geopolymer; Inorganic polymer; Red mud; Kaolin.

*Nhận bài ngày 22 tháng 10 năm 2020*

*Hoàn thiện ngày 16 tháng 11 năm 2020*

*Chấp nhận đăng ngày 14 tháng 12 năm 2020*

*Địa chỉ:* <sup>1</sup> Bộ môn Hóa, Khoa Khoa học Cơ bản, Trường Đại học Mở - Địa chất;  
<sup>2</sup> PTN Hóa môi trường, Khoa Hóa học, Trường Đại học KHTN – ĐHQGHN;  
<sup>3</sup> Bộ môn Xây dựng công trình ngầm và mỏ, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở - Địa chất.  
\* Email: congtiendung@humg.edu.vn.