

Ảnh hưởng của một số phế phẩm công nghiệp đến cường độ chịu nén của bê tông Geopolymer

Effects of some industrial wastes on compression strength of geopolymer concrete

> TS PHẠM ĐỨC THIÊN¹, PGS.TS PHAN ĐỨC HÙNG², NGUYỄN TRỌNG-NAM^{B*}

¹ Giảng viên, Khoa Xây Dựng, Trường Đại Học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh. Email: thienpd@hcmute.edu.vn, Điện thoại: 0949596128

² Giảng viên, Khoa Xây Dựng, Trường Đại Học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh. Email: hungpd@hcmute.edu.vn, Điện thoại: 0916548639

* Công ty Cổ phần Lilama 45.4

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày nghiên cứu thực nghiệm về ảnh hưởng của một số phế phẩm công nghiệp như bùn đỏ, xỉ thép và xúc tác thải dầu khí đến cường độ chịu nén của bê tông geopolymer. Bài báo đồng thời trình bày nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố như thời gian dưỡng hộ nhiệt, nồng độ dung dịch NaOH và tỷ lệ sodium silicat/sodium hydroxit đến khả năng chịu nén của bê tông geopolymer sử dụng phế phẩm công nghiệp. Kết quả thực nghiệm cho thấy, bùn đỏ và xỉ thép, khi thay thế một phần tro bay, làm giảm khả năng chịu nén của bê tông geopolymer. Trong khi đó xúc tác thải dầu khí có tác dụng ngược lại làm tăng khả năng chịu nén của vật liệu geopolymer.

Từ khóa: Bê tông geopolymer, Tro bay, Bùn đỏ, Xỉ thép, Xúc tác thải dầu khí.

ABSTRACT

The paper presents experimental research on the effects of some industrial wastes such as red mud (RM), steel slag (StS) and residue fluid catalytic cracking (RFCC) on the compressive strength of geopolymer concrete. This study also focuses on the influence of factors such as heat curing time, concentration of NaOH solution and the sodium silicate/sodium hydroxide ratio (SS/SH) on the compressive resistance of geopolymer concrete using industrial wastes. Experimental results show that red mud and steel slag, when partially replacing fly ash, reduces the compressive strength of geopolymer concrete. Meanwhile, RFCC has the opposite effect to increase the compressive capacity of the geopolymer material.

Keywords: Geopolymer concrete, Fly ash, Red mud, Steel slag, Residue fluid catalytic cracking (RFCC).

1. Giới thiệu

Ngày nay, ở Việt Nam nói riêng và trên thế giới nói chung, quá trình công nghiệp hóa vẫn đang diễn ra với tốc độ ngày càng nhanh và quy mô ngày càng đồ sộ. Bên cạnh những lợi ích kinh tế mang lại cho đời sống xã hội, rất nhiều ngành công nghiệp còn tận dụng tài nguyên thiên nhiên và thải ra các phế phẩm gây ô nhiễm môi trường. Một số ví dụ như, ngành công nghiệp xi măng khai thác đá vôi, đất sét và phát thải khí CO₂ trong quá trình nung clinker; Công nghiệp nhiệt điện phát thải CO₂ và tro bay; Ngành khai thác bauxite xả thải bùn đỏ ra môi trường; Công nghiệp luyện thép xả thải phế phẩm xỉ thép; cũng như RFCC là phế phẩm của ngành công nghiệp hóa dầu,...

Để giảm thiểu xả thải trực tiếp các phế phẩm công nghiệp ra môi trường rất nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước đã được thực hiện nhằm tận dụng nguồn phế phẩm này làm nguyên liệu cho nhiều dạng sản phẩm khác nhau. Trong số các sản phẩm tận dụng phế phẩm công nghiệp đó, bê tông geopolymer gốc tro bay đã được nghiên cứu từ khá lâu và được áp dụng ở nhiều dạng công trình trên thế giới [1-3]. Rất

nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước đã minh chứng cho tính tương đồng và có phần vượt trội hơn của bê tông geopolymer khi so sánh với bê tông xi măng truyền thống về khả năng chịu nén, khả năng chịu kéo, tính chống thấm, chống ăn mòn, khả năng ứng dụng vào cấu kiện xây dựng,...[4-19].

Tiếp tục xu hướng tận dụng các phế phẩm công nghiệp vào sản xuất bê tông, nghiên cứu này được thực hiện để khảo sát ảnh hưởng của các dạng phế phẩm phổ biến trong nước như bùn đỏ, xỉ thép và RFCC đến khả năng chịu nén của bê tông geopolymer. Nghiên cứu được thực hiện cho việc thay thế một phần tro bay bằng từng phế phẩm riêng lẻ và thay thế một phần tro bay bằng hỗn hợp của các cặp đôi phế phẩm để khảo sát ảnh hưởng của chúng đến cường độ bê tông geopolymer cũng như tính khả thi của việc ứng dụng các phế phẩm này vào thực tế sản xuất các sản phẩm bê tông geopolymer. Phạm vi nghiên cứu được giới hạn ở khảo sát khả năng chịu nén của các cấp phối vật liệu.

2. Nguyên vật liệu và cấp phối thí nghiệm

Nguyên vật liệu cơ bản dùng để chế tạo bê tông geopolimer bao gồm cốt liệu nhỏ (cát), cốt liệu lớn (đá dăm, sỏi,...), tro bay và dung dịch hoạt hóa ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$). Nghiên cứu này sử dụng thêm các nguyên liệu tái chế từ chất thải công nghiệp như: bùn đỏ, xỉ thép, và xúc tác thải dầu khí (RFCC) để thay thế một phần tro bay trong các cấp phối và nghiên cứu ảnh hưởng của các chất này đến cường độ chịu nén của bê tông geopolimer.

2.1. Cốt liệu

Cốt liệu lớn sử dụng đá dăm được khai thác từ mỏ đá Tân Đông Hiệp, xã Tân Đông Hiệp, huyện Dĩ An, Bình Dương. Đá dăm đa số có dạng khối cầu, ít hạt dẹt và ít góc cạnh. Cỡ hạt đá lớn nhất $D_{max} = 20 \text{ mm}$, khối lượng riêng 2700 kg/cm^3 , khối lượng thể tích 1510 kg/cm^3 và các tính chất cơ lý thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 7570:2006 về cốt liệu cho bê tông và vữa [20].

Cốt liệu nhỏ sử dụng cát sông đáp ứng yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 7570:2006 [20]. Để loại bỏ các tạp chất, cát được rửa sạch và sấy khô trước khi được sử dụng trong thí nghiệm. Cát có môđul độ lớn là $M_{dl} = 2.1$ và lượng sót sàng tích lũy $A_{0.63} = 21.95\%$ thuộc cát hạt trung bình – nhỏ. Kết quả thí nghiệm cho thấy cát có khối lượng riêng 2610 kg/m^3 và khối lượng thể tích 1450 kg/m^3 .

2.2. Dung dịch hoạt hóa

Dung dịch hoạt hóa để phản ứng tạo chất kết dính là hỗn hợp của thủy tinh lỏng Na_2SiO_3 (sodium silicate – SS) và kiềm NaOH (sodium hydroxit – SH). Thủy tinh lỏng là dung dịch màu trắng sệt có tổng hàm lượng Na_2O và SiO_2 dao động từ 36% đến 38%, tỷ trọng 1.42 g/ml . Dung dịch sodium hydroxit được pha chế từ Na_2O ở dạng vảy rắn, màu trắng đục, độ tinh khiết trên 90%, khối lượng riêng 2130 kg/m^3 . Nghiên cứu này thực hiện với nồng độ dung dịch NaOH 14 mol và 16 mol. Bên cạnh đó, nước sử dụng để pha chế dung dịch và nhào trộn bê tông là nước thủy cục, đáp ứng đầy đủ tiêu chuẩn TCVN 4560:2012 [21] về nước cho bê tông và vữa.

2.3. Phế phẩm công nghiệp dùng trong thành phần chất kết dính

Tro bay sử dụng trong thí nghiệm là tro bay loại F, có hàm lượng CaO thấp hơn 6%, theo tiêu chuẩn ASTM C618 [22]. Hàm lượng các oxit trong tro bay được trình bày trong Bảng 1. Thành phần chủ yếu của tro bay là SiO_2 (chiếm 51.7%) và Al_2O_3 (chiếm 31.9%), lượng mất khu nung khá cao ở mức 9.63%.

Nguyên liệu bùn đỏ sử dụng trong nghiên cứu này được lấy từ nhà máy của Công ty trách nhiệm hữu hạn một thành viên Nhóm Lâm Đồng tại thị trấn Lộc Thắng, huyện Bảo Lâm, tỉnh Lâm Đồng. Bùn đỏ nguyên liệu ở dạng khô và có thành phần hóa học được trình bày trong Bảng 1. Hai thành phần khoáng chủ yếu có trong bùn đỏ là Al_2O_3 và Fe_2O_3 (chiếm 63.95%) lượng mất khu nung rất cao ở mức 20.33%.

Xỉ thép dạng bột mịn được lấy từ các nhà máy luyện thép ở khu công nghiệp Phú Mỹ 1, Huyện Tân Thành, Tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. Thành phần khoáng chủ yếu trong xỉ thép bao gồm SiO_2 , Fe_2O_3 và CaO (chiếm đến 72.65% khối lượng hỗn hợp, Bảng 1).

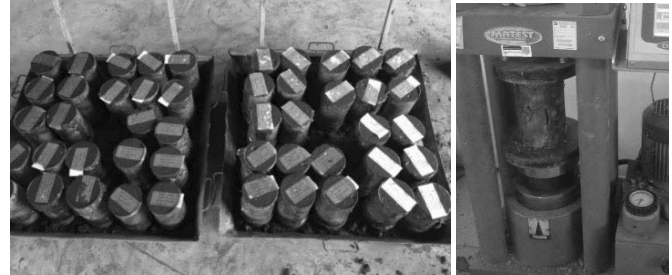
Phế phẩm xúc tác dầu khí sử dụng trong thí nghiệm được thu thập từ nhà máy lọc dầu Dung Quất, có thành phần hạt trung bình từ 60-88 μm . RFCC được cấu thành chủ yếu từ 2 thành phần khoáng SiO_2 và Al_2O_3 (chiếm đến 94% khối lượng hỗn hợp)

2.4. Cấp phối, dưỡng hộ nhiệt và thí nghiệm cường độ chịu nén của bê tông geopolimer

Bảng 7 trình bày thành phần cấp phối cho 1m^3 bê tông Geopolimer dùng trong các thí nghiệm. Nhóm cấp phối A (từ A1 đến A8) sử dụng 100% tro bay trong thành phần chất kết dính như bê tông geopolimer thông thường, các cấp phối này dùng để thí nghiệm số liệu cơ sở đối chứng cho các thí nghiệm còn lại. Nhóm cấp phối B sử dụng 20% bùn đỏ thay thế cho tro bay trong hỗn hợp. Nhóm cấp phối C sử dụng 20% xỉ thép kết hợp với 80% tro bay và nhóm cấp phối D thay thế 20% tro bay bằng chất thải RFCC dầu khí. Bên cạnh đó nghiên cứu còn thực hiện cho các nhóm cấp phối kết hợp 60% tro bay, 20% bùn đỏ, 20% xỉ thép (nhóm cấp phối E) và 60% tro bay, 20% xỉ thép, 20% RFCC (nhóm cấp phối F).

Bê tông geopolimer thí nghiệm được chế tạo dạng mẫu trụ kích thước $D \times H = 100 \times 200 \text{ mm}$. Bê tông geopolimer sau khi đúc mẫu được

tĩnh định trong điều kiện nhiệt độ phòng trong vòng 24 giờ sau đó được dưỡng hộ nhiệt ở nhiệt độ 90°C trong thời gian 8 giờ hoặc 12 giờ. Mẫu bê tông geopolimer thành phẩm sau đó được thí nghiệm xác định cường độ chịu nén bằng thiết bị nén Matest tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh tuân thủ tiêu chuẩn TCVN 3118:1993 về phương pháp xác định cường độ nén [23].



Hình 1: Mẫu bê tông geopolimer và thí nghiệm cường độ chịu nén.

3. Kết quả thực nghiệm

3.1. Ảnh hưởng của thời gian dưỡng hộ nhiệt đến cường độ chịu nén của bê tông Geopolimer sử dụng phế phẩm công nghiệp

Hình 2 trình bày so sánh khả năng chịu nén của các mẫu bê tông geopolimer khi được dưỡng hộ nhiệt trong 8 giờ và 12 giờ. Kết quả thực nghiệm cho thấy, tất cả các mẫu dưỡng hộ trong 12 giờ đều cho cường độ chịu nén tốt hơn mẫu dưỡng hộ nhiệt trong 8 giờ, chênh lệch cường độ ghi nhận từ 4% đến 29% (chênh lệch trung bình 12%). Có thể nhận thấy, khi tăng thời gian dưỡng hộ, nhiệt lượng được cung cấp nhiều hơn quá trình geopolimer hóa tạo chất kết dính, phản ứng trùng ngưng polymer xảy ra triệt để hơn từ đó làm tăng cường độ của bê tông geopolimer. Bên cạnh đó, thời gian dưỡng hộ nhiệt lâu hơn cũng làm cho lượng hơi nước (sinh ra từ phản ứng trùng ngưng polymer) được thoát ra khỏi mẫu nhiều hơn, cùng với sự tự sắp xếp lại cấu trúc làm cho mẫu bê tông geopolimer được đặc chắc hơn và gia tăng cường độ.

Tuy nhiên, thống kê từ thí nghiệm cho thấy sau 8 giờ dưỡng hộ nhiệt, trên 70% số mẫu thí nghiệm đạt trên 90% cường độ so với dưỡng hộ nhiệt 12 giờ. Điều này một lần nữa khẳng định, phản ứng geopolimer hóa tạo chất kết dính và cường độ của bê tông geopolimer phát triển nhanh ở giai đoạn dưỡng hộ nhiệt ban đầu và cường độ tăng chậm dần về sau, kết quả này tương đồng với những nhận định đã được chỉ ra trong một số nghiên cứu của Krishnan [24], Rangan [25] và một số nghiên cứu khác. Trên quan điểm tối ưu chi phí sản xuất, ta có thể lựa chọn thời gian dưỡng hộ nhiệt 8 giờ là phù hợp.

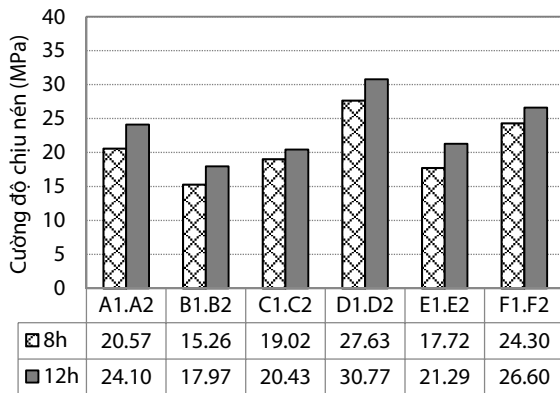
Kết quả thực nghiệm cũng cho thấy khi có sự hiện diện 20% bùn đỏ thay thế tro bay (nhóm cấp phối B và E), sự chênh lệch cường độ chịu nén giữa dưỡng hộ nhiệt 8 giờ và 12 giờ là lớn nhất, từ 16% đến 29% (chênh lệch trung bình 21%). Điều này có nghĩa, phế phẩm bùn đỏ khi thay thế một phần tro bay làm giảm tốc độ phản ứng geopolimer hóa và làm chậm quá trình gia tăng cường độ của bê tông geopolimer. Hơn nữa thời gian dưỡng hộ nhiệt 8 giờ là không đủ để cung cấp nhiệt lượng cho loại bê tông này đạt cường độ mong muốn.

Ở chiều hướng ngược lại, khi có sự hiện diện của 20% RFCC thay thế tro bay trong hỗn hợp (nhóm cấp phối D và F), cường độ chịu nén của mẫu dưỡng hộ nhiệt 8 giờ đạt từ 89% đến 96% cường độ chịu nén của mẫu dưỡng hộ nhiệt 12 giờ. Kết quả thực nghiệm này chỉ ra rằng RFCC làm tăng tốc độ phản ứng geopolimer hóa tạo cường độ cho bê tông geopolimer.

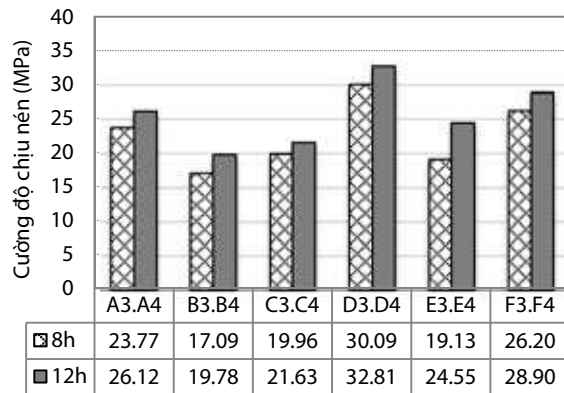
Hai xu hướng tăng giảm tốc độ đông rắn của bê tông geopolimer như trên có thể được giải thích thông qua thành phần khoáng của 2 loại phế phẩm. Ta dễ dàng nhận thấy trong RFCC có chứa 55% SiO_2 và 39% Al_2O_3 (Bảng 1), hàm lượng SiO_2 và Al_2O_3 trong RFCC còn cao hơn cả trong tro bay, đây là tác nhân chính của phản ứng trùng ngưng polymer tạo cường độ vật liệu. Ngược lại, bùn đỏ chỉ chứa 8.47% hàm lượng SiO_2 , thấp hơn từ 6.1 đến 6.5 lần lượng SiO_2 có trong tro bay hoặc FRCC, điều này dẫn đến sự giảm tốc độ đông rắn và giảm cường độ chịu nén của bê tông geopolimer khi bùn đỏ được thêm vào hỗn hợp.

Bảng 1: Thành phần hóa học của các phế phẩm công nghiệp dùng trong nghiên cứu (%).

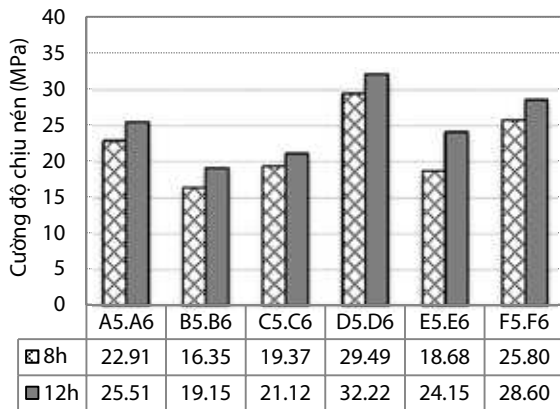
Oxit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O và Na ₂ O	MgO	SO ₃	TiO ₂	Mất khi nung
Tro bay	51.7	31.9	3.48	1.21	1.02	0.81	0.25	-	9.63
Bùn đỏ	8.47	27.67	36.28	0.06	0.02	0.05	0.22	5.39	20.33
Xỉ thép	23.11	12.52	22.55	26.99	4.93	3.77	0.30	-	5.83
RFCC	55	39	0.38	0.5	0.21	-	<1	-	-



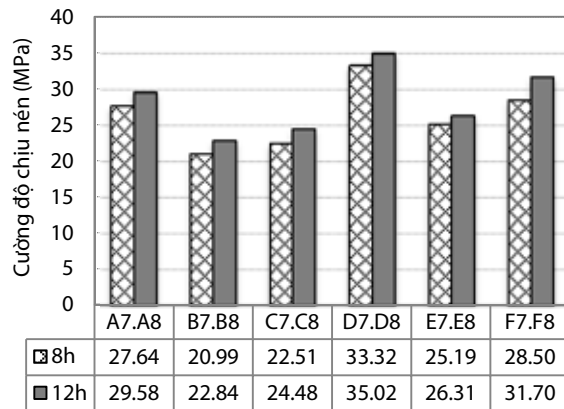
a) NaOH 14mol, SS/SH = 2



b) NaOH 14mol, SS/SH = 3



c) NaOH 16mol, SS/SH = 2



d) NaOH 16mol, SS/SH = 3

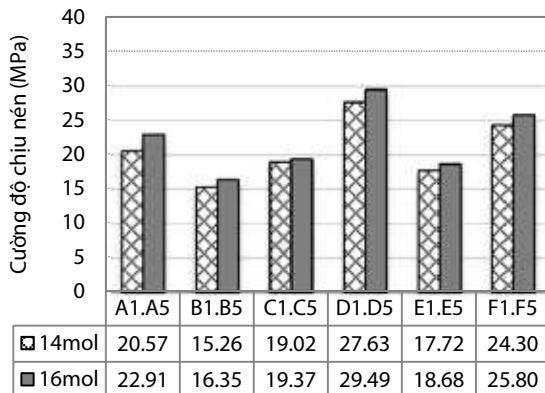
Hình 2: Ảnh hưởng của thời gian dưỡng hộ nhiệt đến cường độ chịu nén của bê tông Geopolymer.

3.2. Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch NaOH và tỷ lệ SS/SH đến cường độ chịu nén của bê tông Geopolymer sử dụng phế phẩm công nghiệp

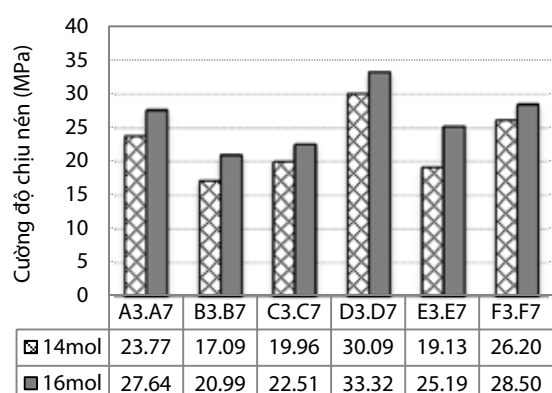
Hình 3 trình bày sự thay đổi cường độ chịu nén của các nhóm cấp phối bê tông geopolymer khi thay đổi nồng độ dung dịch sodium hydroxit từ 14 mol lên 16 mol. Tổng quan số liệu thí nghiệm có thể chỉ ra rằng, khi tăng nồng độ dung dịch NaOH cường độ chịu nén của bê tông geopolymer đều tăng ở tất cả các nhóm cấp phối từ 2% đến 16%. Đây là xu hướng tăng khá rõ ràng và có thể tiên lượng trước khi thực hiện thí nghiệm. Tăng nồng độ mol của dung dịch NaOH nghĩa là tăng

hàm lượng kiềm trong hỗn hợp, làm cho phản ứng geopolymer hóa của hỗn hợp được xảy ra triệt để hơn từ đó gia tăng cường độ.

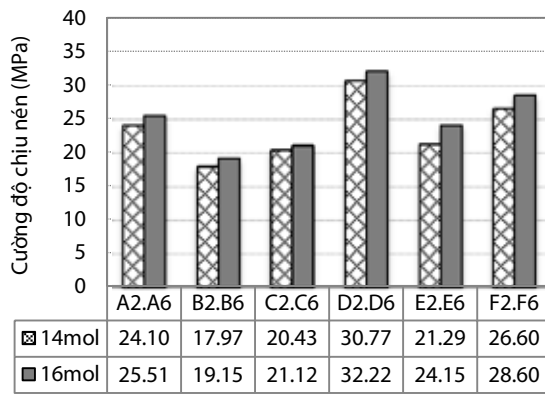
Thống kê kết quả thực nghiệm cũng cho thấy 88% số cấp phối bê tông geopolymer sử dụng dung dịch NaOH nồng độ 14 mol đạt từ 85% đến 98% cường độ so với các cấp phối bê tông sử dụng NaOH nồng độ 16 mol. Điều này chỉ ra rằng, tăng nồng độ dung dịch sodium hydroxit không phải là giải pháp tốt để gia tăng cường độ cho bê tông geopolymer.



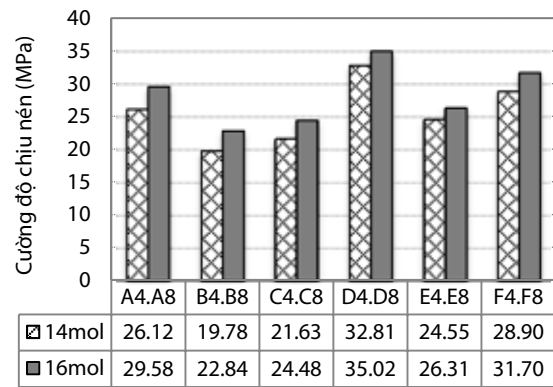
a) Dưỡng hộ nhiệt 8h, SS/SH = 2



b) Dưỡng hộ nhiệt 8h, SS/SH = 3



c) Dưỡng hộ nhiệt 12h, SS/SH = 2



d) Dưỡng hộ nhiệt 12h, SS/SH = 3

Hình 3: Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch NaOH đến cường độ chịu nén của bê tông Geopolymer.

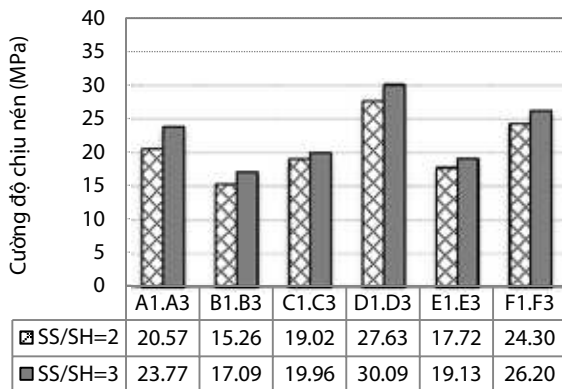
Sự gia tăng cường độ chịu nén của bê tông geopolymer khi thay đổi nồng độ dung dịch NaOH từ 14 mol lên 16 mol khá tương đồng giữa các cấp phối sử dụng hoàn toàn tro bay và các cấp phối có phế phẩm công nghiệp thay thế một phần tro bay. Điều này cho thấy các phế phẩm công nghiệp có ít ảnh hưởng đến cường độ chịu nén của bê tông geopolymer khi thay đổi nồng độ dung dịch NaOH.

Khi tỷ lệ SS/SH thấp chênh lệch cường độ chịu nén của bê tông geopolymer dùng NaOH 14 mol và 16 mol khá ít với giá trị chênh lệch trung bình 7% (Hình 3a, c). Ngược lại khi tăng tỷ lệ SS/SH lên thành 3, thì sự chênh lệch cường độ nén giữa các mẫu có NaOH 14 mol và 16 mol trung bình là 14% (Hình 3b, d). Điều này có thể giải thích do khi tăng tỷ lệ SS/SH thì hàm lượng SiO₂ được gia tăng, lượng SiO₂ là thành phần quan trọng tạo cường độ cho chất kết dính geopolymer.

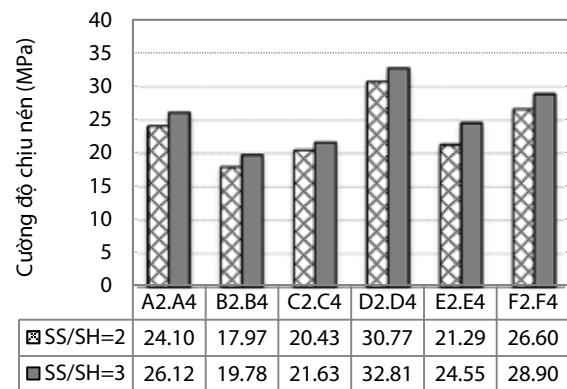
Ảnh hưởng của tỷ lệ hoạt chất trong dung dịch hoạt hóa (sodium silicat/sodium hydroxit) đến sự phát triển cường độ của bê tông geopolymer được trình bày trong Hình 4. Trong nghiên cứu này, 2 cấp

tỷ lệ SS/SH bằng 2 và 3 được sử dụng để so sánh sự khác biệt về cường độ của bê tông geopolymer. Tổng quan kết quả thí nghiệm cho thấy, khi tăng tỷ lệ SS/SH thêm 50%, cường độ chịu nén của tất cả các nhóm cấp phối đều tăng, chênh lệch ghi nhận từ 5% đến 35% (giá trị trung bình 13%). Xu hướng tăng này có thể được giải thích khi tăng tỷ lệ SS/SH thì hàm lượng SiO₂ trong dung dịch hoạt hóa được tăng lên, lượng SiO₂ tăng làm tăng số lượng phản ứng geopolymer hóa tạo chất kết dính, từ đó làm tăng độ đặc chắc và tăng cường độ của vật liệu.

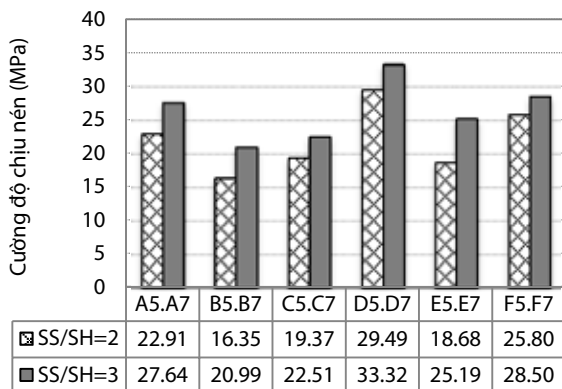
Khi nồng độ dung dịch NaOH là 14 mol, sự chênh lệch cường độ nén của bê tông có SS/SH=2 và bê tông có SS/SH=3 là khá nhỏ, từ 5% đến 16%, chênh lệch trung bình 9%. Ngược lại khi nồng độ dung dịch NaOH là 16 mol, chênh lệch cường độ nén là khá lớn từ 9% đến 35%, chênh lệch trung bình 17%. Kết quả thực nghiệm này một lần nữa khẳng định vai trò của NaOH trong hỗn hợp bê tông geopolymer, khi tăng nồng độ mol của dung dịch NaOH, hàm lượng chất kiềm này được tăng lên, từ đó thúc đẩy quá trình geopolymer hóa diễn ra triệt để hơn từ đó làm gia tăng cường độ của vật liệu.



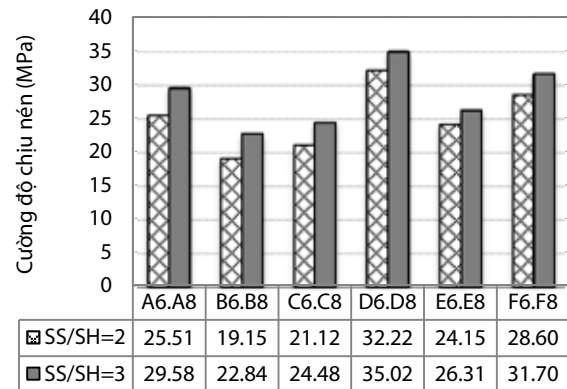
a) Dưỡng hộ nhiệt 8h, NaOH 14mol



b) Dưỡng hộ nhiệt 12h, NaOH 14mol



c) Dưỡng hộ nhiệt 8h, NaOH 16mol



d) Dưỡng hộ nhiệt 12h, NaOH 16mol

Hình 4: Ảnh hưởng của tỷ lệ SS/SH đến cường độ chịu nén của bê tông Geopolymer.

Bảng 2: Thành phần cấp phối cho 1m³ bê tông Geopolymer thí nghiệm

Cấp phối	Mô tả	Tro bay FA (kg)	Bùn đỏ RM (kg)	Xi thép StS (kg)	RFCC dầu khí (kg)	SH 14 Mol (kg)	SH 16 Mol (kg)	SS (kg)	SS/SH	Thời gian dưỡng hộ (giờ)
A1	100% FA	418				86.67		173.33	2	8
A2		418				86.67		173.33	2	12
A3		418				65		195	3	8
A4		418				65		195	3	12
A5		418					86.67	173.33	2	8
A6		418					86.67	173.33	2	12
A7		418					65	195	3	8
A8		418					65	195	3	12
B1	80% FA + 20% RM	334.4	83.6			86.67		173.33	2	8
B2		334.4	83.6			86.67		173.33	2	12
B3		334.4	83.6			65		195	3	8
B4		334.4	83.6			65		195	3	12
B5		334.4	83.6				86.67	173.33	2	8
B6		334.4	83.6				86.67	173.33	2	12
B7		334.4	83.6				65	195	3	8
B8		334.4	83.6				65	195	3	12
C1	80% FA + 20% StS	334.4		83.6		86.67		173.33	2	8
C2		334.4		83.6		86.67		173.33	2	12
C3		334.4		83.6		65		195	3	8
C4		334.4		83.6		65		195	3	12
C5		334.4		83.6			86.67	173.33	2	8
C6		334.4		83.6			86.67	173.33	2	12
C7		334.4		83.6			65	195	3	8
C8		334.4		83.6			65	195	3	12
D1	80% FA + 20% RFCC	334.4			83.6	86.67		173.33	2	8
D2		334.4			83.6	86.67		173.33	2	12
D3		334.4			83.6	65		195	3	8
D4		334.4			83.6	65		195	3	12
D5		334.4			83.6		86.67	173.33	2	8
D6		334.4			83.6		86.67	173.33	2	12
D7		334.4			83.6		65	195	3	8
D8		334.4			83.6		65	195	3	12
E1	60% FA + 20% RM + 20% StS	250.8	83.6	83.6		86.67		173.33	2	8
E2		250.8	83.6	83.6		86.67		173.33	2	12
E3		250.8	83.6	83.6		65		195	3	8
E4		250.8	83.6	83.6		65		195	3	12
E5		250.8	83.6	83.6			86.67	173.33	2	8
E6		250.8	83.6	83.6			86.67	173.33	2	12
E7		250.8	83.6	83.6			65	195	3	8
E8		250.8	83.6	83.6			65	195	3	12
F1	60% FA + 20% StS + 20% RFCC	250.8		83.6	83.6	86.67		173.33	2	8
F2		250.8		83.6	83.6	86.67		173.33	2	12
F3		250.8		83.6	83.6	65		195	3	8
F4		250.8		83.6	83.6	65		195	3	12
F5		250.8		83.6	83.6		86.67	173.33	2	8
F6		250.8		83.6	83.6		86.67	173.33	2	12
F7		250.8		83.6	83.6		65	195	3	8
F8		250.8		83.6	83.6		65	195	3	12

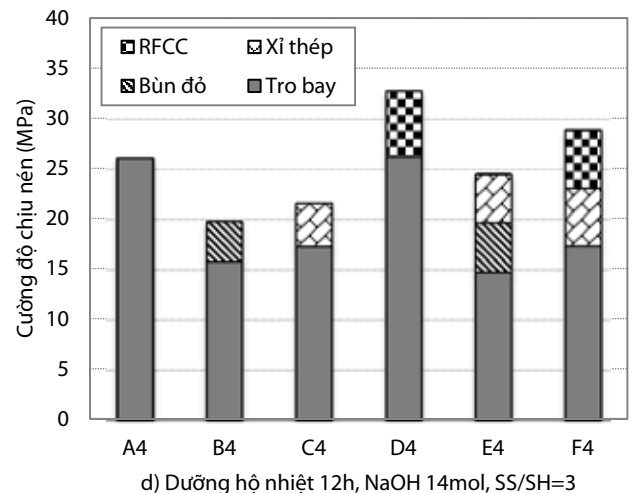
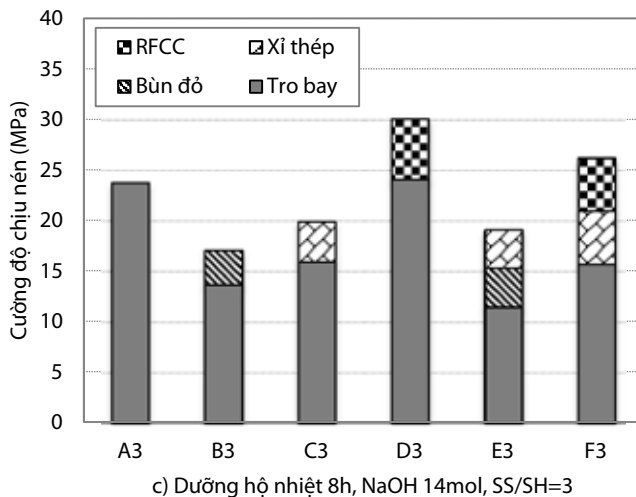
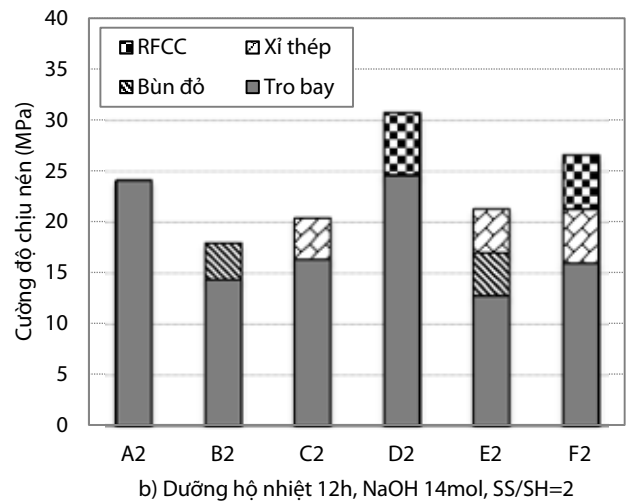
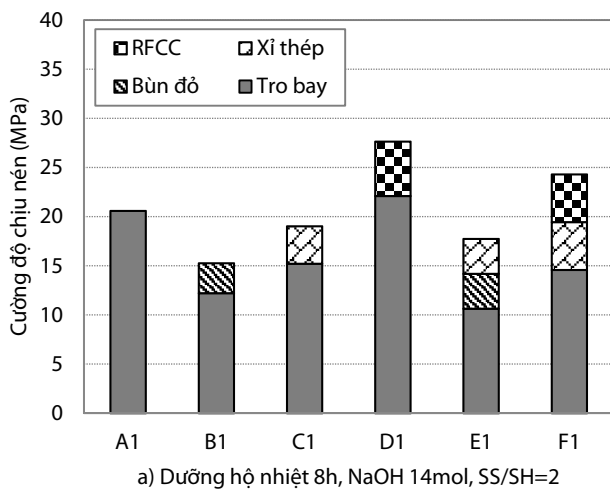
3.3. Ảnh hưởng của phế phẩm công nghiệp đến cường độ chịu nén của bê tông Geopolymer

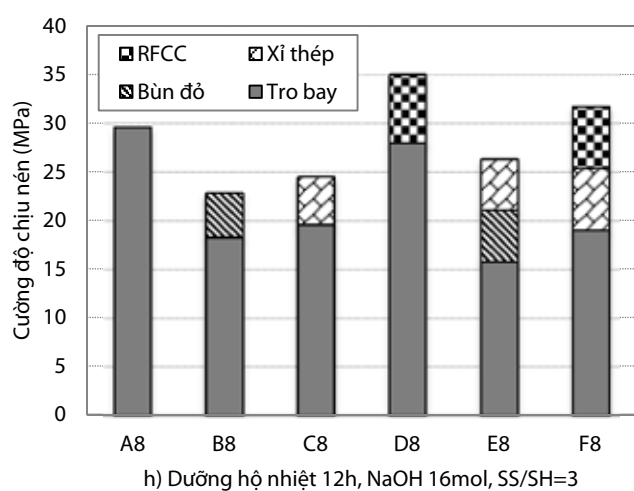
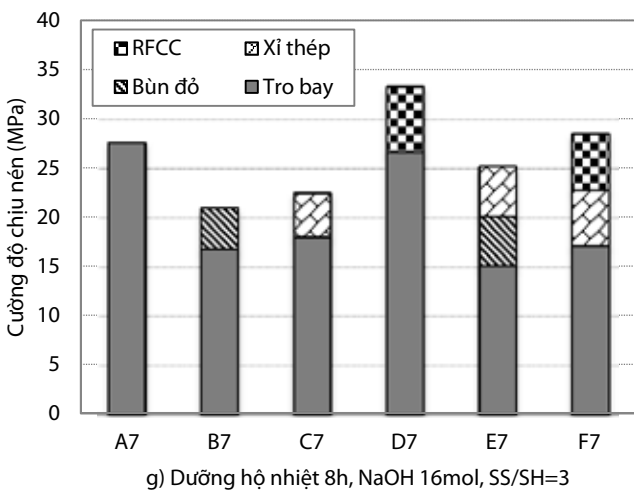
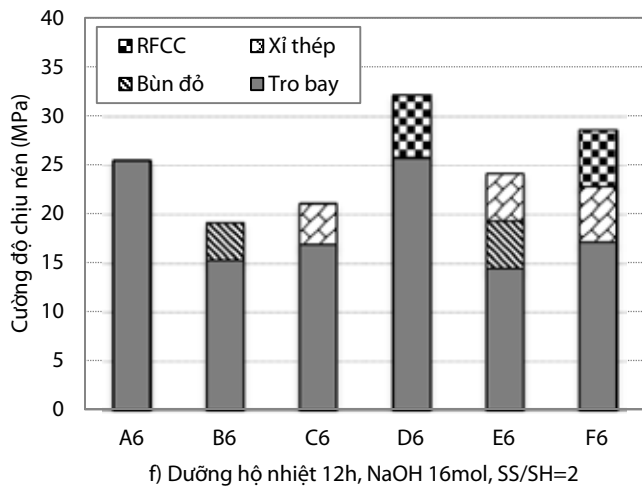
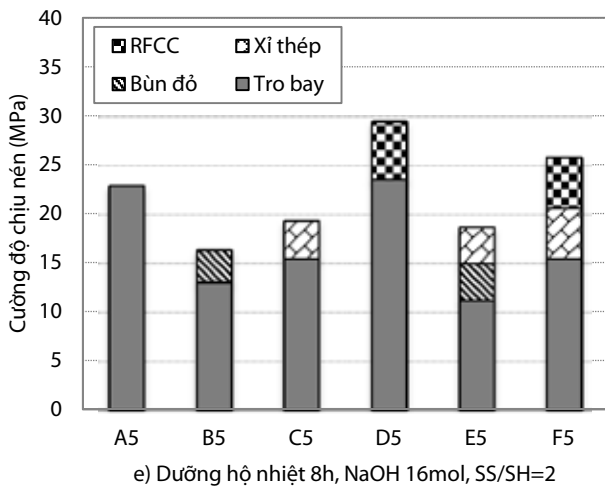
Hình 5 trình bày kết quả cường độ chịu nén của các cấp phối bê tông geopolymer và ảnh hưởng của các phế phẩm công nghiệp đến khả năng chịu nén của vật liệu. Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi sử dụng 100% tro bay làm chất kết dính, cường độ bê tông geopolymer đạt thấp nhất 20.57 MPa (khi nồng độ dung dịch NaOH 14 mol, SS/SH = 2 và dưỡng hộ nhiệt trong 8 giờ). Cường độ chịu nén tăng lên cao nhất 1.44 lần (thành 29.58 MPa) khi nồng độ dung dịch NaOH tăng 1.14 lần (thành 16 mol) kết hợp với tỷ lệ SS/SH tăng 50% (thành SS/SH = 3) và thời gian dưỡng hộ tăng 50% thành 12 giờ. Sự gia tăng cường độ chịu nén của bê tông geopolymer tỷ lệ thuận với sự gia tăng các nhân tố nồng độ dung dịch NaOH, tỷ lệ SS/SH và thời gian dưỡng hộ nhiệt, xu hướng phát triển cường độ này đã được thảo luận và giải thích ở các mục nội dung bên trên.

Khi thay thế 20% tro bay bằng phế phẩm bùn đỏ (nhóm cấp phối B), cường độ chịu nén của tất cả các cấp phối bê tông geopolymer

đều giảm từ 22.78% đến 28.61%, giá trị giảm cường độ trung bình 25.51%. Bùn đỏ cũng là tác nhân làm giảm cường độ bê tông geopolymer nhiều nhất so với các phế phẩm khác trong nghiên cứu này. Nguyên nhân gây ra sự giảm cường độ là do trong bùn đỏ chỉ chứa 8.47% SiO₂ (hàm lượng SiO₂ kém hơn trong tro bay và RFCC từ 6.1 đến 6.5 lần) là một trong số các khoáng chất quan trọng tạo cường độ của chất kết dính geopolymer.

Khi thay thế 20% bột xỉ thép vào tro bay (nhóm cấp phối C), cường độ các cấp phối bê tông geopolymer đạt từ 81.44% đến 92.44% so với bê tông geopolymer sử dụng 100% tro bay, giá trị giảm cường độ trung bình của toàn bộ các mẫu thí nghiệm là 15.56%. Tuy có làm giảm cường độ của bê tông geopolymer, do trong bột xỉ thép chỉ chứa 23.11% SiO₂ so với 51.7% SiO₂ trong tro bay, nhưng sự giảm cường độ cũng ít hơn đáng kể so với khi thay thế tro bay bằng bùn đỏ.





Hình 5: Ảnh hưởng của phế phẩm công nghiệp đến cường độ chịu nén của bê tông Geopolymer

Khi thay thế 20% bùn đỏ và 20% bột xi thép vào hỗn hợp (nhóm cấp phối E), cường độ bê tông geopolymer cũng giảm từ 5.35% đến 19.54%, giá trị giảm cường độ trung bình 11.85%. Xu hướng giảm cường độ này hoàn toàn hợp logic và phù hợp với những giải thích theo hàm lượng oxit SiO₂ đã trình bày bên trên.

Ở chiều hướng ngược lại, khi thay thế 20% tro bay bằng phế phẩm RFCC (nhóm cấp phối D), cường độ bê tông geopolymer lại tăng đáng ghi nhận từ 18.39% đến 34.27%, giá trị tăng cường độ trung bình 26.01%. Nhóm cấp phối có 20% RFCC cũng là nhóm đạt khả năng chịu nén cao nhất, giá trị cường độ chịu nén lớn nhất được ghi nhận là 35.02 MPa khi nồng độ dung dịch NaOH 16 mol, SS/SH = 3 và dưỡng hộ nhiệt trong 12 giờ. Khi thay thế tro bay bằng RFCC cường độ bê tông geopolymer tăng là do trong hỗn hợp RFCC ngoài hàm lượng SiO₂ cao hơn, hàm lượng Al₂O₃ trong RFCC cũng cao hơn trong tro bay đến 22.25%. Cùng với silic, nhôm cũng là một nhân tố quan trọng cấu thành chất kết dính geopolymer, do đó khi thay tro bay bằng RFCC, hàm lượng nhôm tăng làm tăng phản ứng geopolymer hóa và tạo nhiều chất kết dính hơn, làm cho mẫu bê tông geopolymer được đặc chắc hơn và gia tăng cường độ.

Nhóm cấp phối F là hỗn hợp giữa các thành phần với tro bay và 1 nhân tố làm gia tăng mạnh cường độ (RFCC) và 1 nhân tố làm giảm nhẹ cường độ (xi thép) của bê tông geopolymer. Kết quả là các cấp phối nhóm F đạt khả năng chịu nén cao hơn bê tông geopolymer

100% tro bay từ 3.10% đến 18.11%, giá trị tăng trung bình 10.54%. Sự tăng cường độ này cũng chủ yếu do hàm lượng oxit SiO₂ và Al₂O₃ có trong các phế phẩm công nghiệp quyết định và đã được giải thích ở các mục bên trên.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày nghiên cứu thực nghiệm về khả năng chịu nén của bê tông geopolymer khi thay đổi các thông số như thời gian dưỡng hộ nhiệt, nồng độ dung dịch NaOH và tỷ lệ dung dịch hoạt hóa sodium silicat/sodium hydroxit. Bài báo đồng thời trình bày nghiên cứu ảnh hưởng của các phế phẩm công nghiệp như bùn đỏ, xi thép và RFCC đến cường độ chịu nén của bê tông geopolymer khi thay thế một phần tro bay. Một số kết luận chính có thể được tóm lược như sau:

- Gia tăng nhiệt lượng của quá trình dưỡng hộ thêm 50%, từ 8 giờ lên 12 giờ dưỡng hộ, khả năng chịu nén của các cấp phối bê tông geopolymer chỉ tăng trung bình 12%. Khi cần nhắc thêm các yếu tố thời gian và chi phí, thì dưỡng hộ nhiệt trong 8 giờ có thể xem là đạt hiệu quả tốt hơn.

- Đa số cấp phối bê tông geopolymer sử dụng dung dịch NaOH nồng độ 14 mol đạt từ 85% đến 98% cường độ so với các cấp phối bê tông sử dụng NaOH nồng độ 16 mol. Do đó, tăng nồng độ dung dịch sodium hydroxit không phải là giải pháp tốt để gia tăng cường độ cho bê tông geopolymer.

- Bùn đỏ có hàm lượng SiO₂ thấp nên làm giảm khả năng chịu nén của bê tông geopolimer khi thay thế tro bay trong hỗn hợp chất kết dính.

- Với hàm lượng SiO₂ cao hơn bùn đỏ, xi thép cũng làm giảm khả năng chịu nén của bê tông geopolimer, nhưng giảm ít hơn đáng kể ở mức trung bình 15.56% khi thay thế 20% tro bay. Xi thép cũng khả thi khi sử dụng trong bê tông geopolimer để giải quyết vấn đề môi trường.

- Do có hàm lượng SiO₂ cao hơn và hàm lượng Al₂O₃ cao hơn đáng kể so với tro bay, RFCC khi thay thế tro bay làm tăng mạnh cường độ chịu nén của bê tông geopolimer. Điều này minh chứng cho khả năng thay thế tro bay và khả năng ứng dụng RFCC trong bê tông geopolimer.

- Sự kết hợp giữa RFCC và xi thép trong hỗn hợp bê tông geopolimer gốc tro bay có thể đảm bảo khả năng chịu nén của sản phẩm và giải quyết các bài toán về xử lý phế phẩm công nghiệp và bảo vệ môi trường.

Lời cảm ơn: This work belongs to the project grant No: T2020-83TĐ funded by Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] J. Davidovits (1991), *Geopolymers - Inorganic polymeric new materials*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 37.

[2] J. Davidovits (1994), *Properties of Geopolymer cement*, Proceeding first International conference on Alkaline cements and concretes.

[3] J. Davidovits (2015), *Geopolymer Chemistry and Applications*, Geopolymer Science and Technics, Geopolymer Institute Library.

[4] A. Palomo et al. (1992), *Physical, chemical and mechanical characterization of Geopolymers*, 9th International Congress on Chemistry of Cements.

[5] J.L. Provis et al. (2009), *Valorisation of fly ash by Geopolymerisation*, Global NEST Journal, Vol. 11(2).

[6] A. M. Mustafa, Al Bakri Abdullah et al. (2011), *Microstructure of different NaOH molarity of fly ash-based green polymeric cement*, Journal of Engineering and Technology Research, Vol. 3(2).

[7] J.L. Provis, J.S.J van Deventer (2009), *Geopolymers: Structure, processing, properties and industrial applications*, Woodhead Publishing.

[8] Phạm Đức Thiện, Tạ Tuấn Anh, Phan Đức Hùng (2017), *Study on the bond between geopolimer concrete and reinforcing steel*, Vietnam Journal of Construction, ISSN 0866-8762.

[9] Phạm Đức Thiện, Lê Quốc Thái (2017), *Effect of fiberglass reinforcement on the properties of geopolimer mortar*, Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ X.

[10] Phan Việt Đức Hoàng, Lê Anh Thắng, Phạm Đức Thiện (2017), *Experiment and FE simulation of the bond strength between geopolimer concrete and reinforcing steel*, Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ X.

[11] PHAM Duc-Thien, Le Huu Hoang Du (2019), *Effect of anchor head shapes on the bond strength between geopolimer concrete and reinforcement*, Vietnam Journal of Construction, ISSN 0866-8762.

[12] PHAM Duc-Thien, PHAN Duc-Hung (2020), *Study on the bending capacity of 2-layers semi-precast beams using geopolimer-concrete and cement-concrete*, Vietnam Journal of Construction, ISSN 0866-8762.

[13] Phan Đức Hùng (2015), *Xác định độ bền của bê tông geopolimer trong các môi trường xâm thực*, Tạp chí Người Xây Dựng.

[14] Phan Đức Hùng, Lê Anh Tuấn (2015), *Ảnh hưởng của thành phần hoạt hóa đến cường độ chịu uốn và kéo gián tiếp của bê tông geopolimer*, Tạp chí KHCN Xây dựng.

[15] Phan Đức Hùng, Lê Anh Tuấn, Dương Văn Dũng (2016), *Ảnh hưởng của sợi polypropylene đến ứng xử chịu uốn của dầm bê tông geopolimer cốt thép sử dụng tro bay*, Tạp chí Người Xây Dựng.

[16] J. Davidovits and M. Davidovits (1987), *Geopolymer poly(sialate)/poly(sialate-siloxo) mineral matrices for composite materials*, 6th International Conference on Composite Materials.

[17] A. Palomo, M.W. Grutzeck, M.T. Blanco (1999), *Alkali-activated fly ashes: A cement for the future*, Cement and Concrete Research, Vol. 29.

[18] J.G.S. van Jaarsveld, J.S.J. van Deventer, G.C. Lukey (2002), *The effect of composition and temperature on the properties of fly ash and kaolinite-based geopolymers*, Chemical Engineering Journal, Vol. 89.

[19] Djwanto Hardjito, Steenie E. Wallah, Dody M.J. Sumajouw, B.V. Rangan (2004), *Factors influencing the compressive strength of fly ash based Geopolymer concrete*, Civil Engineering Dimension, Vol 6(2).

[20] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 7570:2006, *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*, Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

[21] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 4506:2012, *Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*, Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

[22] ASTM C618, *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*, American Society for Testing and Materials.

[23] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3118:1993, *Bê tông nặng - phương pháp xác định cường độ nén*, Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

[24] L. Krishnan, S.Karthikeyan, S.Nathiya and K.Suganya (2014), *Geopolymer concrete an eco-friendly construction material*, International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol. 3, pp.164-167.

[25] B. V. Rangan (2014), *Geopolymer concrete for environment protection*, The Indian Concrete Journal, pp.41-59.