

Nghiên cứu ảnh hưởng của thành phần chất kết dính và hàm lượng kiềm đến cường độ của vữa kiềm hoạt hóa

Cao Nguyên Thi^{1*}, Nguyễn Quốc Phong¹, Bùi Hữu Hiệp¹, Trần Việt Phương Đông²

¹Trường Đại học Tiền Giang; Số 119 Ấp Bắc, phường 5, thành phố Mỹ Tho, tỉnh Tiền Giang

²Trường Đại học Công nghiệp Tp.HCM; 12 Nguyễn Văn Bảo, Phường 4, Gò Vấp, Thành phố Hồ Chí Minh

TỪ KHOÁ

Vật liệu kiềm hoạt hóa

Tro bay

Xi lò cao

TÓM TẮT

Nội dung nghiên cứu này liên quan việc áp dụng hệ vật liệu gồm tro bay và xi lò cao nhằm chế tạo ra chất kết dính thân thiện môi trường dạng vật liệu kiềm hoạt hóa thay thế xi măng truyền thống. Chất hoạt hóa sử dụng là sodium metasilicate pentahydrate dạng khan và hàm lượng tro bay/xi lò cao là 30 %, 40 % và 50 %; tỷ lệ Na_2O được khảo sát ở các mức 5 %, 5,5 % và 6 %. Ảnh hưởng của các thông số nêu trên được đánh giá thông qua sự thay đổi về cường độ chịu nén và uốn của các mẫu vữa tại các thời điểm 3, 7, 14, 28, 56 và 91 ngày tuổi, so sánh với vữa xi măng truyền thống. Các mẫu vữa kiềm hoạt hóa được dưỡng hộ ở nhiệt độ phòng và không dùng nước dưỡng hộ hay các biện pháp gia nhiệt khác. Kết quả thí nghiệm cho thấy các mẫu vữa có sự phát triển cường độ chịu nén và uốn rõ rệt sau 7 ngày tuổi, đạt được các giá trị tương đương mẫu vữa xi măng đối chứng và vẫn có khả năng duy trì cường độ sau 28 ngày tuổi. Ngoài ra, khi tỷ lệ Na_2O sử dụng là 5 % thì hàm lượng tro bay/xi lò cao 50 % sẽ đạt được giá trị cường độ chịu nén và uốn tối ưu.

KEYWORDS

Alkali-activated material

Fly ash

Blast furnace slag

ABSTRACT

The study presented a material system that using fly ash and blast furnace slag to produce an environmentally friendly binder in the form of alkali activated material to replace traditional cement. The activator used is sodium metasilicate pentahydrate and the fly ash/blast furnace slag content is 30%, 40% and 50%; the Na_2O ratio is investigated at the levels of 5%, 5.5% and 6%. The influence of the above parameters is evaluated through the change in compressive and flexural strength of mortar samples at 3, 7, 14, 28, 56 and 91 days of age compared with traditional cement mortar. Alkali-activated mortar samples are cured at room temperature without using curing water or other heating measures. The experimental results showed that the Alkali-activated mortar samples had a clear development of compressive and flexural strength after 7 days, reaching values equivalent to the control cement mortar sample and still had the ability to maintain the strength after 28 days. In addition, when the Na_2O ratio used was 5%, the fly ash/blast furnace slag content of 50% would achieve the optimal compressive and flexural strength values.

1. Giới thiệu

Trung bình hàng năm, các nhà máy nhiệt điện tại Việt Nam tiêu thụ khoảng 40 triệu tấn than, đồng thời phát sinh khoảng 8-10 triệu tấn tro xỉ [1]. Trên thế giới, tro xỉ được ứng dụng rất nhiều trong ngành xây dựng, dùng cho nền đường và cho sản xuất bê tông, thậm chí là thay thế xi măng truyền thống vì quá trình sản xuất xi măng cũng không thân thiện môi trường do thải ra CO_2 . Chính vì thế nên việc nghiên cứu về các vật liệu xây dựng mới tận dụng các phế phẩm công nghiệp như trên đã được nhiều nghiên cứu quốc tế thực hiện, tạo ra chất kết dính dạng geopolimer hay kiềm hoạt hóa. Để đánh giá về khả năng thay thế vữa xi măng truyền thống, nhiều nghiên cứu về các đặc tính cơ lý của vữa geopolimer đã được tiến hành [2-9], trong nhiều thực nghiệm xi lò cao được dùng thay thế một phần tro bay

trong hỗn hợp geopolimer [10]. Các kết quả nghiên cứu cho thấy việc sử dụng xi lò cao trong hỗn hợp geopolimer làm geopolimer ninh kết nhanh hơn. Hiện tượng này là do sự cải thiện của quá trình ngưng tụ của tro bay/xi lò cao trong dung dịch kiềm hoạt hóa, từ đó làm tăng tốc độ kết tinh và quá trình động học của các phản ứng.

Zhang và các cộng sự [11] đã thực hiện nghiên cứu đánh giá các tính chất của hỗn hợp vữa, các tính chất cơ học, độ bền và cấu trúc vi mô của vữa geopolimer đã đóng rắn. Tính bền vững và những đặc tính tương đồng giữa geopolimer và xi măng là những lợi thế của geopolimer, ngày càng có nhiều nghiên cứu và ứng dụng của loại vật liệu này trong thực tế xây dựng. Các tính chất của vữa geopolimer ở trạng thái trước và sau khi đóng rắn chỉ ra tiềm năng và tính khả thi trong việc ứng dụng geopolimer như một vật liệu xây dựng thân thiện môi trường, có thể là một lựa chọn trong việc thay thế xi măng truyền thống.

*Liên hệ tác giả: caonguyenthithi@gmail.com

Nhận ngày 05/05/2024, sửa xong ngày 21/08/2024, chấp nhận đăng ngày 23/08/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.05.2024.695>

Rất nhiều các nghiên cứu sử dụng hệ nguyên vật liệu bao gồm tro bay, xi lò cao nhằm giải quyết các phế phẩm công nghiệp góp phần tạo ra vật liệu thân thiện môi trường dạng kiềm hoạt hóa. Hỗn hợp tro xi sẽ được nhào trộn với dung dịch chất hoạt hóa bao gồm sodium silicate và sodium hydroxide với những tỷ lệ nhất định để tạo ra vữa geopolimer. Nghiên cứu chỉ ra rằng khi tăng tỉ lệ sodium silicate/sodium hydroxide có thể làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông [12, 13] mà nguyên nhân được cho là do sodium silicate có độ nhớt cao nhất trong dung dịch kiềm. Khi tăng tỉ lệ sodium silicate/sodium hydroxide từ 1,5 lên 2,5 thì độ nhớt của hỗn hợp bê tông có xu hướng tăng làm giảm tính công tác. Nồng độ sodium hydroxide có ảnh hưởng lên cường độ chịu nén của geopolimer. Ngoài ra, việc tăng nồng độ dung dịch từ 10M lên 12M làm tăng cường độ chịu nén của bê tông [12, 13], việc này được giải thích là do phản ứng của thành phần Si, Al, và Ca dẫn đến việc nồng độ sodium hydroxide tăng. Nghiên cứu cũng cho thấy cường độ chịu nén của bê tông tỷ cũng phụ thuộc vào tỉ số kiềm/chất kết dính. Deb và các cộng sự [14] đã nghiên cứu về hàm lượng xi lò cao thay đổi từ 0 %, 10 %, và 20 % so với tổng lượng chất kết dính và tỉ lệ sodium silicate/sodium hydroxide được thay đổi trong khoảng 1,5 đến 2,5. Kết quả từ nghiên cứu cho thấy cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày có thể đạt được 51 MPa đối với bê tông geopolimer chứa 20 % xi và 80 % tro bay với tỉ lệ sodium silicate/sodium hydroxide 1.5. Nghiên cứu còn chỉ ra rằng áp dụng đường hộ ở nhiệt độ phòng cho geopolimer là khả thi [15] bằng việc kết hợp với xi lò cao trong hỗn hợp nhào trộn.

Trong nghiên cứu này tro bay và xi lò cao vẫn được sử dụng như các nghiên cứu trước đây nhằm mục đích góp phần tái sử dụng những phế phẩm công nghiệp tại Việt Nam để chế tạo ra loại vữa kiềm hoạt hóa thay thế vữa xi măng truyền thống. Tuy nhiên, điểm khác biệt so với các nghiên cứu trước là nghiên cứu này sẽ sử dụng chất hoạt hóa là sodium metasilicate pentahydrate dạng khan, sẽ rất thuận tiện khi thi công thực tế với khả năng sản xuất các hỗn hợp vữa khô trộn sẵn. Các tính chất cơ lý như cường độ chịu nén và chịu uốn của các mẫu vữa sẽ được đánh giá để thấy được ảnh hưởng của các hàm lượng tro bay/xi lò cao khác nhau gồm 30 %, 40 % và 50 % và ảnh hưởng của tỷ lệ Na₂O lần lượt 5 %, 5,5 % và 6 %. Hơn nữa các mẫu vữa trong nghiên cứu sẽ chỉ đường hộ ở nhiệt độ phòng mà không dùng nước như vữa xi măng truyền thống hoặc các biện pháp gia nhiệt khác để xem xét tính khả thi trong việc áp dụng vào thực tế công tác thi công.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1 .Vật liệu thí nghiệm

Loại vữa kiềm hoạt hóa trong nghiên cứu này được chế tạo từ hệ nguyên vật liệu bao gồm: tro bay có nguồn gốc từ nhà máy nhiệt điện Duyên Hải, Trà Vinh (Hình 1.a). Các chỉ tiêu hóa, lý của tro bay được thể hiện ở Bảng 1, các số liệu được cung cấp từ nhà máy. Tro bay có khối lượng riêng là 2,28 g/cm³, tỷ diện bề mặt là 3163 cm²/g.

Bảng 1. Các chỉ tiêu của tro bay.

STT	Tên các chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả thử nghiệm
1	Hàm lượng SO ₃	%	QTNB 06-A	0,11
2	Hàm lượng SiO ₂	%	TCVN9911:2013	51,92
3	Hàm lượng Al ₂ O ₃	%	TCVN9915:2013	29,44
4	Hàm lượng Fe ₂ O ₃	%	TCVN9914:2013	4,41
5	Hàm lượng FeO	%	TCVN9914:2013	0,61
6	Hàm lượng MgO	%	TCVN9916:2013	1,81
7	Hàm lượng Na ₂ O	%	QTNB 09	0,55
8	Hàm lượng CaO	%	TCVN9912:2013	2,07
9	Hàm lượng TiO ₂	%	TCVN9913:2013	0,97
10	Hàm lượng MKN	%	QTNB 18	6,45
11	Hàm lượng H ₂ O	%	Si13	0,43
12	Kích cỡ hạt nhỏ hơn 45 mm	%	ASTM C311-02	75,5

Xi hạt lò cao nghiên mìn được sử dụng trong nghiên cứu này là loại thương phẩm S95 (Hình 1.b), sản phẩm của tập đoàn Hòa Phát, phân phối rộng rãi trong cả nước. Theo số liệu cung cấp từ công ty, thành phần hóa và một số chỉ tiêu chất lượng của xi hạt lò cao nghiên mìn S95 được thể hiện ở các Bảng 2 và Bảng 3.

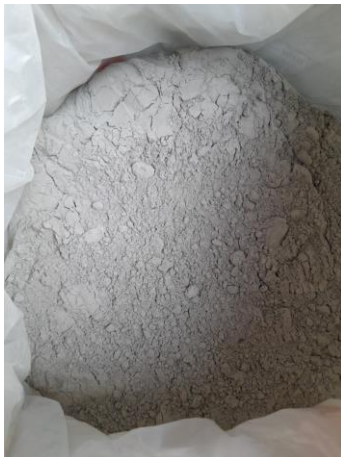
Chất hoạt hóa được sử dụng trong nghiên cứu này là sodium metasilicate pentahydrate dạng khan Na₂SiO₃.5H₂O. Đây chính là điểm khác biệt so với nhiều nghiên cứu trước đây thường dùng chất hoạt hóa ở dạng dung dịch lỏng. Sử dụng chất hoạt hóa dạng khan, bột mịn (Hình 2) sẽ giúp cho công đoạn nhào trộn trở nên thuận tiện và dễ dàng hơn với việc có thể nhào trộn hỗn hợp khô trước, rất thuận tiện cho việc đóng gói sẵn hỗn hợp chất kết dính, dễ dàng cho thi công vận chuyển tương tự như đối với thi công vữa xi măng truyền thống. Sodium metasilicate pentahydrate là muối của natri (sodium) và axit metasilicic, còn được gọi là natri metasilicat đa nước, tồn tại dưới dạng tinh thể rắn, khối lượng riêng trong khoảng 2,0 - 2,4 g/cm³. Ngoài ra, nghiên cứu cũng sử dụng xi măng PCB40 thông dụng hiện có trên thị trường dùng để đúc các mẫu vữa đối chứng. Các đặc tính của xi măng đáp ứng theo tiêu chuẩn TCVN 4030:2003 xác định bởi nhà sản xuất. Cốt liệu dùng cho các mẫu vữa đối chứng và vữa kiềm hoạt hóa đều là cát sông có thành phần hạt được kiểm tra theo TCVN 7572-2:2006.

Bảng 2. Thành phần hóa của xi hạt lò cao nghiên mìn.

Ô xít	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
Hàm lượng %	0,32	35,88	12,99	38,13	7,99	0,23	0,78	0,76

Bảng 3. Các chỉ tiêu của xi hạt lò cao nghiền mịn.

Chỉ tiêu	Kết quả thí nghiệm của công ty	TCVN 11586:2016
1. Khối lượng riêng g/cm ³	2,8	≥ 2,8
2. Bề mặt riêng cm ² /g	4500	≥ 4000
3. Chỉ số hoạt tính cường độ (%)		
- 7 ngày	83	≥ 75
- 28 ngày	97	≥ 95
4. Tỷ lệ độ lưu động, %	92	≥ 90
5. Độ ẩm, %	0,8	≤ 1,0
6. Hàm lượng MgO, %	8,0	≤ 10,0
7. Hàm lượng SO ₃ , %	1,0	≤ 4,0
8. Hàm lượng Cl, %	0,001	≤ 0,02
9. Hàm lượng MKN, %	1,0	≤ 3,0



(a) Tro bay



(b) Xi hạt lò cao nghiền mịn

Hình 1. Tro bay và xi hạt lò cao nghiền mịn được sử dụng trong nghiên cứu.



Hình 2. Chất hoạt hóa Na₂SiO₃.5H₂O dạng bột mịn.

2.2. Phương pháp thí nghiệm

2.2.1. Thiết kế cấp phối

Tỷ lệ các thành phần nguyên liệu (Bảng 4) dùng để chế tạo mẫu vữa kiểm hoạt hóa nhìn chung được tính toán sao cho tỉ lệ nước/chất kết dính là 0,3. Trong đó, chất kết dính được đề cập bao gồm phần tro bay, xi lò cao nghiền mịn và chất hoạt hóa; trong đó chất hoạt hóa được sử dụng trong nghiên cứu này là sodium metasilicate dạng khan Na₂SiO₃.5H₂O. Đây chính là điểm khác biệt so với nhiều nghiên cứu

trước đây thường dùng chất hoạt hóa ở dạng dung dịch lỏng. Trong thành phần hỗn hợp chất kết dính thì hàm lượng tro bay so với xi lò cao nghiền mịn sẽ được sử dụng ở các tỉ lệ 30 %, 40 % và 50 %; ngoài ra đối với những trường hợp này các mẫu sẽ được chế tạo với cùng tỉ lệ Na₂O = 5 %. Trong khi đó, để đánh giá ảnh hưởng của tỉ lệ Na₂O đến các tính chất cơ lý của mẫu vữa thì một loạt mẫu thử khác với tỉ lệ tro bay và xi lò cao không chế như nhau 50:50 và hàm lượng Na₂O thay đổi khác nhau, cụ thể là 5 %, 5,5 % và 6 %, cũng được triển khai thí nghiệm trong nghiên cứu này.

Bảng 4. Thành phần nguyên liệu phối trộn.

STT	Nước (gam)	Chất hoạt hóa (gam)	Tro bay (gam)	Xi (gam)	Tỉ lệ Tro bay / (xi + tro bay)	Tỉ lệ N/CKD	Cát (gam)	Ký hiệu mẫu
1	21,29	20,52	44,10	44,10	50 %	0,3	200	T50N6.0
2	22,02	18,81	44,59	44,59	50 %			T50N5.5
3	22,74	17,10	45,08	45,08	50 %			T50N5.0
4	22,74	17,10	36,06	54,10	40 %			T40N5.0
5	22,74	17,10	27,05	63,11	30 %			T30N5.0

2.2.2. Chuẩn bị mẫu thử

Tất cả các cấp phối thiết kế được trình bày nêu trên sẽ được áp dụng để đúc các mẫu vữa và đánh giá cường độ chịu nén và uốn tại các thời điểm 3, 7, 14, 28, 56 và 91 ngày tuổi. Trong quy trình chế tạo các mẫu thử, trước tiên các loại vật liệu được chuẩn bị và cân xác định khối lượng theo thiết kế các cấp phối đã tính toán. Tiếp theo, quá trình nhào trộn được tiến hành bằng máy trộn vữa và thao tác đầu tiên là trộn khô tất cả các vật liệu trong khoảng một phút nhằm mục đích giúp cho hỗn hợp phân tán đồng đều tránh rủi ro hiện tượng phân bố cục bộ. Sau khi vật liệu đã được trộn đều, từ từ cho nước vào máy trộn. Hỗn hợp vữa sau khi được nhào trộn đều được cho vào khuôn định hình có kích thước 40 x 40 x 160 mm (Hình 3.a). Dùng phay làm bằng mặt khuôn và để mẫu khô tự nhiên trong 24 giờ. Sau 24 giờ, các mẫu được tháo khuôn và dưỡng hộ tự nhiên tại nhiệt độ phòng (Hình 3.b). Đây là điểm khác biệt đáng kể đối với vữa xi măng truyền thống yêu cầu phải được dưỡng hộ với nước. Trong khi đó, các mẫu vữa đối chứng sử dụng xi măng cũng được chuẩn bị và bảo dưỡng trong nước để đánh giá so sánh kết quả chịu nén và uốn tại các thời điểm dưỡng hộ tương tự.



(a) đúc mẫu thử



(b) bảo dưỡng mẫu

Hình 3. Các mẫu thử đổ khuôn (a) và dưỡng hộ điều kiện nhiệt độ phòng sau khi tháo khuôn (b).

2.2.3. Phương pháp thí nghiệm

Thí nghiệm cường độ chịu nén (Hình 4.a) và chịu uốn (Hình 4.b) sẽ được thực hiện trên các mẫu dạng dầm, kích thước 40x40x160 mm. Phương pháp thí nghiệm được dựa trên tiêu chuẩn TCVN 3121-11:2003 [15]. Ở tại mỗi mốc thời gian tương ứng với các tuổi mẫu khác nhau đề cập như trên, sẽ có 1 tổ mẫu gồm 3 mẫu vữa được tiến hành thí nghiệm, giá trị cường độ chịu nén, uốn là kết quả trung bình của 3 mẫu thử.



(a) thí nghiệm nén



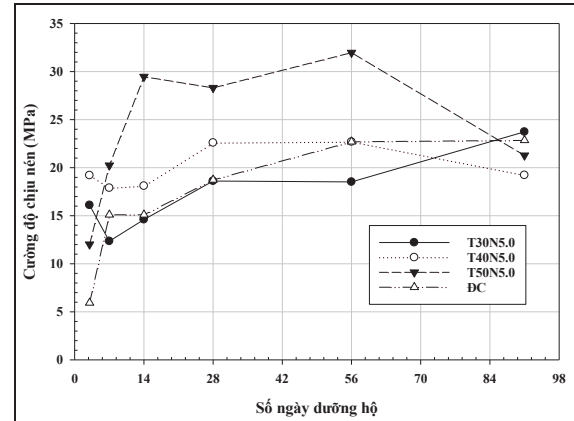
(b) thí nghiệm uốn

Hình 4. Thí nghiệm kiểm tra cường độ chịu nén và uốn.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Cường độ chịu nén

Sự phát triển cường độ chịu nén của các mẫu vữa kiểm hoạt hóa được xác định và trình bày ở Hình 5 và Hình 6. Giải thích kí hiệu: ĐC = cấp phối đối chứng, T = Tro bay, N = lượng Na_2O ; các con số theo sau là hàm lượng tương ứng.



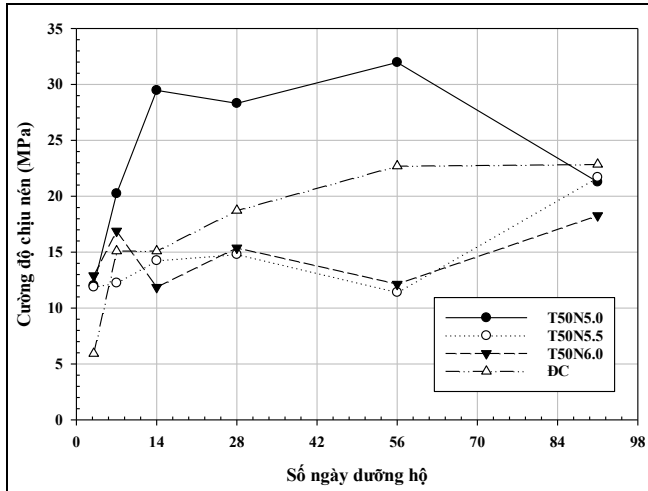
Hình 5. Ảnh hưởng của thành phần chất kết dính đến cường độ chịu nén của vữa kiểm hoạt hóa.

Từ biểu đồ ở Hình 5 có thể thấy rằng tất cả các mẫu vữa kiểm hoạt hóa trong nghiên cứu này hầu như đều đạt được giá trị cường độ chịu nén cao hơn so với mẫu vữa xi măng đối chứng ở các thời điểm khác nhau. Lưu ý rằng tất cả các mẫu vữa sử dụng kiểm hoạt hoá không dưỡng hộ bằng nước như mẫu vữa xi măng thông thường mà chỉ dưỡng hộ trong không khí ở điều kiện nhiệt độ phòng. Trong đó, mẫu vữa với hàm lượng tro bay:xi là 50:50 cho kết quả tốt hơn các mẫu khác chứng tỏ rằng hàm lượng tro bay cao ở mức tương đương với xi lò cao giúp cho các sản phẩm của quá trình geopolymer hóa đạt được nhiều hơn, tạo cường độ cao hơn.

Quan sát biểu đồ thời điểm sau 3 ngày tuổi, cường độ các mẫu đạt từ 60 % đến 70 % giá trị cường độ so với thời điểm 28 ngày tuổi, điều này rất khả quan hứa hẹn khả năng cao phù hợp để thi công thực tế loại vữa hoạt hóa kiểm không xi măng này mặc dù chỉ cần dưỡng hộ trong không khí. Ngoài ra, tính từ thời điểm 28 ngày tuổi trở đi các mẫu cũng ghi nhận giá trị cường độ chịu nén có gia tăng nhẹ chứng tỏ các phản ứng vẫn tiếp tục diễn ra.

Các so sánh về ảnh hưởng của tỷ lệ Na_2O đến cường độ chịu nén của các mẫu vữa được đánh giá dựa trên kết quả thí nghiệm thu thập được từ những mẫu có hàm lượng tro bay và xi lò cao tương đương nhau; các kết quả này được thể hiện thông qua các biểu đồ ở Hình 5. Qua so sánh tổng thể có thể thấy rằng khi sử dụng tỷ lệ Na_2O là 5,0 % thì giá trị cường độ chịu nén ở các thời điểm khác nhau đều cho giá trị cao hơn so với hai tỷ lệ còn lại. Như vậy, tỷ lệ này có thể là tối ưu để tro bay và xi thực hiện tốt các phản ứng geopolymer hóa và phát triển cường độ theo thời gian trong trường hợp lượng tro bay và xi sử dụng tương đương nhau.

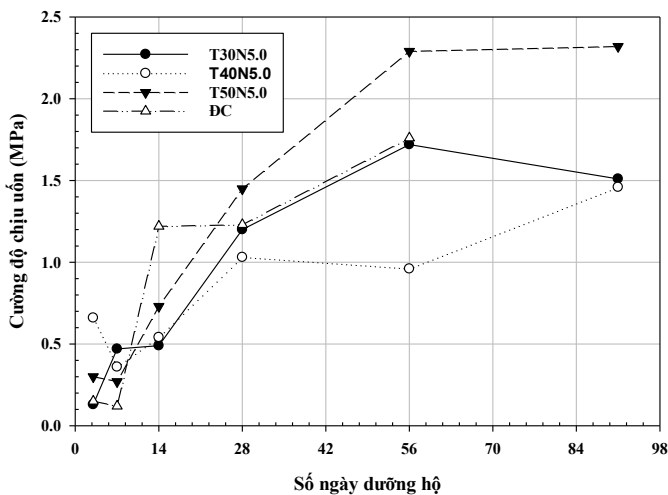
Ngoài ra, việc sử dụng nhiều Na_2O không có khả năng thúc đẩy quá trình geopolymer hóa, ngược lại còn ảnh hưởng đến quá trình hòa tan SiO_2 hoạt tính trên bề mặt tro bay từ đó ảnh hưởng đến sự phát triển cường độ geopolymer đồng thời có khả năng tạo ra hiện tượng efflorescence.



Hình 6. Ảnh hưởng của hàm lượng dung dịch kiềm đến cường độ chịu nén của vữa kiềm hoạt hóa.

3.2. Cường độ chịu uốn

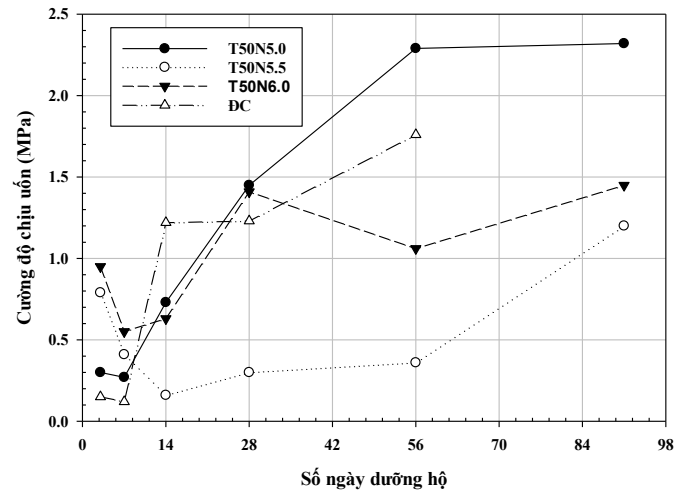
Tương tự như trên, sự phát triển cường độ chịu uốn của các mẫu vữa kiềm hoạt hóa cũng được xác định và trình bày ở Hình 7 và Hình 8 để đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng tro bay, xi lò cao và tỷ lệ Na_2O đến giá trị cường độ chịu uốn.



Hình 7. Ảnh hưởng của thành phần chất kết dính đến cường độ chịu uốn của vữa kiềm hoạt hóa.

Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ chịu uốn trên các mẫu đều có xu hướng tăng dần theo thời gian dưỡng hộ, điều này khẳng định các phản ứng geopolymer hóa vẫn diễn ra mặc dù các mẫu

dưỡng hộ trong không khí tại nhiệt độ phòng mà không sử dụng nước như vữa xi măng thông thường. Giá trị cường độ chịu uốn của các mẫu có tỷ lệ tro bay : xi = 50 :50 cho kết quả cao hơn khi so sánh với các mẫu còn lại; kết quả này cũng tương đồng với trường hợp cường độ chịu nén như đề cập bên trên. Hơn nữa, có thể thấy ở thời điểm sau 56 ngày mẫu vữa với hàm lượng tro bay và xi tương đương nhau đạt giá trị cường độ chịu uốn cao nhất và cao hơn hẳn so với mẫu đối chứng. Điều này cũng ghi nhận tương tự trong trường hợp so sánh các giá trị cường độ chịu nén.



Hình 8. Ảnh hưởng của hàm lượng dung dịch kiềm đến cường độ chịu uốn của vữa kiềm hoạt hóa.

Hình 8 thể hiện sự so sánh về cường độ chịu uốn trong trường hợp sử dụng các tỷ lệ Na_2O khác nhau. Giá trị thí nghiệm ở 7 ngày đầu không thể hiện rõ được sự phát triển cường độ ; trong khi đó, từ 14 ngày tuổi thì cường độ các mẫu có xu hướng phát triển dần theo thời gian và các giá trị cao nhất tương ứng với các mẫu có tỷ lệ Na_2O là 5%. Ở cả hai biểu đồ cường độ chịu uốn nêu trên, giá trị ghi nhận được tại thời điểm 91 ngày đối với mẫu đối chứng đã không được thể hiện do các giá trị ghi nhận được có độ sai lệch không đảm ứng được tiêu chuẩn ghi nhận giá trị thí nghiệm, nguyên này có thể là do sai sót trong quá trình thao tác kỹ thuật trên máy trong trường hợp các mẫu này.

4. Kết luận

Dựa trên kết quả thí nghiệm thu được, có thể rút ra được một số kết luận chủ yếu như sau:

- Các kết quả về cường độ chịu nén và chịu uốn ở các thời điểm dưỡng hộ khác nhau của các mẫu vữa kiềm hoạt hóa đã cho thấy xu hướng chung là đều có sự phát triển cường độ theo thời gian nhất là sau 7 ngày tuổi và đạt các giá trị tương đương so với mẫu vữa xi măng đối chứng. Điều này chứng tỏ các cấp phối thử nghiệm trong nghiên cứu này là khả thi để chế tạo vữa xây thay thế vữa xi măng truyền thống và đặc biệt là không cần dùng nước dưỡng hộ.

- Với tỷ lệ Na_2O sử dụng là 5% thì hàm lượng tro bay/xi lò cao nên là 50/50 sẽ đạt được giá trị cường độ chịu nén và uốn tối ưu so sánh với mẫu vữa xi măng thông thường.

- Trong trường hợp hàm lượng tro bay/xi lò cao được khống chế ở mức 50/50 thì tỷ lệ Na_2O nếu sử dụng cao hơn 5% sẽ làm giảm cường độ của mẫu vữa.

- Tỷ lệ Na_2O có ảnh hưởng nhất định đến các thông số cơ lý của vữa geopolimer nhưng chưa thể hiện rõ nét trong nghiên cứu này, cần thiết có những thí nghiệm tiếp nối đặc biệt là các thí nghiệm có sử dụng kỹ thuật SEM hoặc tương tự để đưa ra những phân tích cụ thể và thành phần khoáng của các sản phẩm đông rắn.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Bộ Công Thương Việt Nam. *Xử lý hiệu quả tro xỉ của các nhà máy nhiệt điện để đảm bảo môi trường*. <https://moit.gov.vn/bao-ve-moi-truong/xu-ly-hieu-qua-tro-xi-cua-cac-nha-may-nhiet-dien-de-dam-bao-moi-truong.html>
- [2]. Joseph A. M., Snellings R., den Heede P. V., Matthys S., Belie N. D. , The use of municipal solid waste incineration ash in various building materials: A Belgian point of view, *Materials* 11(1), pp. 141, 2018.
- [3]. European Environment Agency, *Managing municipal solid waste – A review of achievements in 32 European countries*, European Environment Agency: Copenhagen, Denmark, 2013.
- [4]. Báo cáo Môi trường Quốc gia, *Chất thải rắn*, Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội, Việt Nam, 2017.
- [5]. Ngô Trà Mai, Bùi Quốc Lập, Nghiên cứu thành phần và đề xuất cách thức sử dụng tro xỉ từ lò đốt rác sinh hoạt phát điện, *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, số 48, tr. 50-56, 2015.
- [6]. Nguyen H. M., Huynh T. P., Le T. P., Ngo V. A., Chau M. K., Le N., Recycling of waste incineration bottom ash in the production of interlocking concrete bricks, *Journal of Science and Technology in Civil Engineering NUCE*, 15(2), (accepted manuscript), 2021.
- [7]. Olivia M. & Nikraz H. , “Properties of fly ash geopolimer concrete designed by Taguchi method”, *Materials & Design (1980-2015)*, 36, 191-198, 2012.
- [8]. Tống Tôn Kiên và cs, “Bê tông geopolimer - Những thành tựu, tính chất và ứng dụng”, *Hội nghị khoa học kỷ niệm 50 năm thành lập Viện KHCN Xây dựng*, Hà Nội, 2014.
- [9]. Trịnh Ngọc Duy, “*Nghiên cứu tính chất cơ lý của vữa geopolimer để chế tạo gạch nhẹ*”, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh, 2016.
- [10]. Chithambaram S. J., et al, “Thermo-mechanical characteristics of geopolimer mortar”, *Construction and Building Materials*, 213, 100-108, 2019.
- [11]. Zhang P., et al, “A review on properties of fresh and hardened geopolimer mortar”, *Composites Part B: Engineering*, 152, 79-95, 2018.
- [12]. Nath P. & Sarker P. K., “Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolimer concrete cured in ambient condition”, *Construction and Building Materials*, 66, 163-171, 2014.
- [13]. Deb P. S., et al, “The effects of ground granulated blast-furnace slag blending with fly ash and activator content on the workability and strength properties of geopolimer concrete cured at ambient temperature”, *Materials & Design (1980-2015)*, 62, 32-39, 2014.
- [14]. Ibrahim M., et al, “Enhancing the engineering properties and microstructure of room temperature cured alkali activated natural pozzolan based concrete utilizing nanosilica”, *Construction and Building Materials*, 189, 352-365, 2018.
- [15]. Bộ Khoa học và Công nghệ, *Vữa xây dựng- Phương pháp thử – Phần 11: Xác định cường độ uốn và nén của mẫu vữa đã đông rắn*, TCVN 3121-11:2003, Hà Nội, 2003.