

Nghiên cứu phát triển chất kết dính thân thiện môi trường sử dụng hoàn toàn phụ phẩm công nghiệp

Huỳnh Trọng Phước^{1*}, Lưu Hoàng Tùng¹, Bùi Minh Toàn², Lâm Trí Khang³

¹Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

²Khoa Phát triển Nông thôn, Trường Đại học Cần Thơ

³Khoa Sau Đại học, Trường Đại học Cần Thơ

TỪ KHOÁ

Chất kết dính
Xi lò cao nghiền mịn
Na₂SO₄
Thời gian ninh kết
Cường độ chịu nén
Độ co khô

KEYWORDS

Sulfate-activated binder,
Ground granulated blast-furnace slag
Na₂SO₄
Setting time
Compressive strength
Drying shrinkage

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục đích đánh giá tiềm năng tái sử dụng nguồn phụ phẩm công nghiệp xi lò cao vào chế tạo loại chất kết dính mới có các tính chất tương tự như xi măng và có thể thay thế xi măng truyền thống trong các hoạt động xây dựng. Ảnh hưởng của các hàm lượng Na₂SO₄ (1,5 %, 3 %, 4,5 %, 6 % và 7,5 % theo khối lượng của xi lò cao) dùng làm chất hoạt hóa đến các tính chất kỹ thuật của chất kết dính được đánh giá thông qua các thí nghiệm như xác định độ chảy xòe, thời gian ninh kết, cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn, độ hút nước và độ co khô. Kết quả thí nghiệm cho thấy hàm lượng Na₂SO₄ có ảnh hưởng đáng kể đến tất cả các tính chất kỹ thuật của các mẫu chất kết dính. Khi tăng hàm lượng Na₂SO₄ thì độ chảy xòe, thời gian ninh kết và độ hút nước giảm, trong khi cường độ và độ co khô tăng. Kết quả thí nghiệm chứng tỏ rằng sử dụng 7,5 % Na₂SO₄ mang lại hiệu quả đáng kể trong việc cải thiện các tính chất kỹ thuật của loại chất kết dính mới được phát triển trong nghiên cứu này.

ABSTRACT

The present study aims to evaluate the potential use of ground granulated blast-furnace slag in the development of an innovative sulfate-activated binder, which has similar properties to plain Portland cement paste and can be used to replace cement in construction activities. The effects of Na₂SO₄ contents (1.5%, 3%, 4.5%, 6%, and 7.5% by mass of slag) as an activator on engineering properties of the sulfate-activated binder were investigated through the tests of flowability, setting time, compressive and flexural strengths, water absorption, and drying shrinkage. The experimental results show that the Na₂SO₄ content had significant influences on all of the engineering properties of the binders. Increasing the Na₂SO₄ content resulted in reducing flowability, setting time, and water absorption, while increasing the strength and drying shrinkage of the sulfate-activated samples. The test results further indicate that using 7.5% Na₂SO₄ provided a significant improvement in the engineering properties of the newly developed binders.

1. Giới thiệu

Trong những năm qua, ngành công nghiệp xi măng phải đối mặt với việc gây cạn kiệt nguồn dự trữ nhiên liệu hóa thạch và khan hiếm nguyên liệu thô. Thực tế cho thấy, quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa nhanh chóng làm cho nhu cầu về xi măng và bê tông ngày càng tăng cao, mang đến nhiều lo ngại về ô nhiễm môi trường, biến đổi khí hậu và hiệu ứng nhà kính. Trung bình mỗi năm ngành công nghiệp xi măng trên toàn thế giới thải ra khoảng 5 đến 7 % tổng lượng khí thải CO₂ do con người tạo ra [1]. Trong năm 2014, ngành công nghiệp xi măng đã thải ra môi trường khoảng 1,51 Gt CO₂, trong năm 2015 và 2016 thì con số này lần lượt là 1,44 Gt và 1,46 Gt. Như vậy, tổng lượng khí thải CO₂ tích lũy từ năm 1928 đến năm 2016 là khoảng 39,3 Gt. Trong đó, Trung Quốc là quốc gia có lượng xi măng

được sản xuất lớn nhất, chiếm 57% tổng lượng xi măng trên thế giới vào năm 2016, và phát thải đến 52% lượng khí thải toàn cầu [2]. Mặc dù đã có nhiều cố gắng để giảm thiểu lượng khí thải CO₂ bằng nhiều cách khác nhau, nhưng vẫn không đáp ứng mục tiêu đề ra [1]. Để góp phần hạn chế và giải quyết các mặt trái còn tồn tại liên quan đến việc sản xuất và sử dụng xi măng như vừa đề cập ở trên, nhu cầu phát triển một loại vật liệu mới làm chất kết dính tương tự như xi măng để có thể thay thế một phần hoặc hoàn toàn lượng xi măng truyền thống dùng trong các hoạt động xây dựng đã trở nên bức thiết.

Trong những năm gần đây, loại chất kết dính xanh được phát triển từ các loại phụ phẩm của các hoạt động công nghiệp được xem là một giải pháp thay thế khả thi cho xi măng Portland thông thường. Hoàn toàn có thể phát triển loại xi măng xanh với các yêu cầu kỹ thuật phù hợp với tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành. Trong số các loại

*Liên hệ tác giả: htphuc@ctu.edu.vn

Nhận ngày 02/08/2021, sửa xong ngày 15/10/2021, chấp nhận đăng 04/11/2021

phụ phẩm công nghiệp được dùng để chế tạo các loại vật liệu xây dựng theo hướng thân thiện môi trường nói chung và chất kết dính xanh nói riêng thì xi lò cao nghiền mịn là loại được dùng tương đối phổ biến. Xi lò cao nghiền mịn là một dạng phụ phẩm của công nghiệp luyện gang bằng lò cao, thu được bằng cách làm lạnh nhanh xỉ gang bằng nước hay hơi nước để tạo ra xỉ hóa hạt và nghiền mịn để tăng độ hoạt tính khi sử dụng [3]. Một số báo cáo trong nước cho thấy, trữ lượng xỉ lò cao được tạo ra trung bình mỗi năm vào khoảng 60 – 70 ngàn tấn, riêng năm 2020 con số này ước tính hơn 7 triệu tấn [4, 5]. Đây được xem là một nguồn tài nguyên thứ sinh quý giá, là nguồn nguyên liệu đầu vào rất hiệu quả cho ngành vật liệu xây dựng. Tận dụng tốt nguồn nguyên liệu này vừa là một giải pháp bảo vệ môi trường hiệu quả, vừa hạn chế được tình trạng khai thác quá mức và cạn kiệt dần nguồn vật liệu có nguồn gốc tự nhiên, mang lại hiệu quả nhất định về mặt kinh tế và thân thiện hơn với môi trường. Hiện tại, xỉ lò cao thương phẩm có giá thành thấp hơn so với xi măng. Bên cạnh đó, xỉ lò cao còn có các thành phần và một số tính chất tương tự như xi măng. Do vậy, xỉ lò cao được ứng dụng khá phổ biến để thay thế một phần xi măng trong sản xuất vữa và bê tông [6]. Nhiều nghiên cứu còn chỉ ra rằng có thể ứng dụng xỉ lò cao để sản xuất bê tông mà không cần sử dụng xi măng làm chất kết dính như loại bê tông thông thường [7]. Ở Việt Nam, xỉ lò cao cũng thường được sử dụng để thay thế một phần xi măng trong chế tạo một số loại bê tông [8–10]. Tuy nhiên, cho đến nay thì có rất ít các nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan đến việc sử dụng xỉ lò cao trong phát triển chất kết dính bằng phương pháp sulfate hoạt hóa.

Do đó, để mở rộng khả năng ứng dụng của xỉ lò cao cũng như bổ sung thêm thông tin vào nguồn tài liệu tham khảo, nghiên cứu này được tiến hành nhằm đánh giá tiềm năng tái sử dụng nguồn phụ phẩm công nghiệp xỉ lò cao trong nước vào chế tạo loại chất kết dính mới bằng phương pháp sulfate hoạt hóa. Hóa chất công nghiệp Na_2SO_4 được sử dụng là chất kích hoạt phản ứng trong hệ vật liệu. Ảnh hưởng của các hàm lượng Na_2SO_4 khác nhau đến các tính chất kỹ thuật của chất kết dính sẽ được khảo sát và đánh giá thông qua các

chương trình thí nghiệm theo các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành, bao gồm đánh giá độ chảy xòe, thời gian ninh kết, cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn, độ hút nước và độ co khô. Dựa trên kết quả thí nghiệm thu được, cấp phối chất kết dính sulfate hoạt hóa hợp lý cũng sẽ được đề xuất vào thảo luận.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu

Các loại vật liệu dùng để chế tạo chất kết dính trong nghiên cứu này được thể hiện ở Hình 1, bao gồm: xi măng (loại PCB40 đa dụng của hãng Insee, dùng cho cấp phối đối chứng), xỉ lò cao nghiền mịn (loại S95 của tập đoàn Hòa Phát) và muối Na_2SO_4 khan (loại hóa chất công nghiệp, dùng làm chất sulfate hoạt hóa). Khối lượng riêng và thành phần hóa học xi măng và xỉ lò cao được thể hiện ở Bảng 1. Có thể thấy, xỉ lò cao có khối lượng riêng nhỏ hơn xi măng, được kì vọng làm giảm khối lượng của chất kết dính. Kết quả phân tích thành phần hóa học ở Bảng 1 còn cho thấy xỉ lò cao có thành phần hóa học tương tự như xi măng và phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 11586:2016.

2.2. Phương pháp thí nghiệm

2.2.1. Thiết kế thành phần cấp phối

Dựa trên mục tiêu nghiên cứu đã được đề cập ở phần giới thiệu, sáu cấp phối vật liệu đã được thiết kế cho nghiên cứu này, với thành phần cụ thể được thể hiện ở Bảng 2. Trong đó, mẫu đối chứng (kí hiệu C100) sử dụng hoàn toàn xi măng. Các cấp phối còn lại sử dụng hoàn toàn xỉ lò cao và được kích hoạt phản ứng bằng Na_2SO_4 khan với các hàm lượng khác nhau (so với khối lượng xỉ lò cao) là 1,5% (mẫu N1.5), 3% (mẫu N3.0), 4,5% (mẫu N4.5), 6% (mẫu N6.0) và 7,5% (mẫu N7.5). Dựa trên kết quả thử nghiệm sơ bộ được tiến hành trong phòng thí nghiệm thì tỉ lệ nước/xi măng hoặc nước/xỉ lò cao (kí hiệu chung là w/p) là 0,3 được áp dụng cho tất cả các cấp phối chất kết dính trong nghiên cứu này.



Hình 1. Các loại vật liệu dùng trong nghiên cứu.

Bảng 1. Các tính chất vật lý và hóa học của xi măng và xỉ lò cao.

Loại vật liệu	Khối lượng riêng (g/cm ³)	Thành phần hóa học (% theo khối lượng)						
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₃	Khác
Xi măng	2,99	23,5	6,0	3,7	2,0	59,9	0,4	1,1
Xi lò cao	2,85	36,6	13,7	0,3	7,7	39,2	0,2	2,3

Bảng 2. Thành phần cấp phối vật liệu dùng để chế tạo mẫu chất kết dính.

Kí hiệu cấp phối	w/p	Xi măng (%)	Xi lò cao (%)	Na ₂ SO ₄ (%)	Nước (%)
C100	0,3	76,9	0	0	23,1
N1.5		0	76,1	1,1	22,8
N3.0		0	75,3	2,2	22,5
N4.5		0	74,4	3,3	22,3
N6.0		0	73,5	4,4	22,1
N7.5		0	72,7	5,5	21,8

2.2.2. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm

Quy trình chuẩn bị mẫu thí nghiệm được tiến hành gồm các bước chính sau: Đầu tiên, cân định lượng từng loại vật liệu theo bảng cấp phối đã thiết kế (sử dụng cân điện tử có độ chính xác đến 0,1 g). Sau đó, khuấy cho Na₂SO₄ khan tan đều trong nước, cho toàn bộ xi lò cao vào máy trộn (sử dụng máy trộn cưỡng bức trực đứng) và tiến hành trộn đều với nước có chứa Na₂SO₄ hòa tan trong khoảng thời gian 3 phút. Ngừng máy trộn, vét tất cả các vật liệu còn bám trên thành và đáy cối trộn và tiếp tục cho máy trộn thêm khoảng 2 phút để được hỗn hợp chất kết dính đồng nhất. Cuối cùng, lấy hỗn hợp đã được trộn xong ra khỏi máy trộn, tiến hành lấy mẫu thử độ chảy xòe và thời gian ninh kết và rồi cho hỗn hợp vào khuôn đúc để tạo mẫu

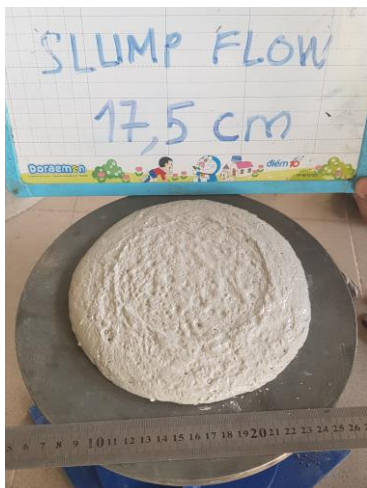
cho các thí nghiệm. Các mẫu được tạo hình xong thì lưu ở phòng thí nghiệm, sau 24 giờ thì tiến hành tháo khuôn và ngâm bảo dưỡng trong nước cho đến tuổi thí nghiệm theo thiết kế.

2.2.3. Phương pháp thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, tính chất kỹ thuật của các mẫu chất kết dính sẽ đánh giá thông qua các thí nghiệm bao gồm: xác định độ chảy xòe, thời gian ninh kết, cường độ chịu uốn, cường độ chịu nén, độ hút nước và độ co khô. Thông tin chi tiết cho mỗi thí nghiệm như kích thước mẫu, tuổi thí nghiệm và tiêu chuẩn áp dụng được tổng hợp ở Bảng 3. Ngoài ra, các thiết bị được dùng để đánh giá các tính chất kỹ thuật của các mẫu chất kết dính cũng được trình bày ở Hình 2.

Bảng 3. Tổng hợp các phương pháp thí nghiệm.

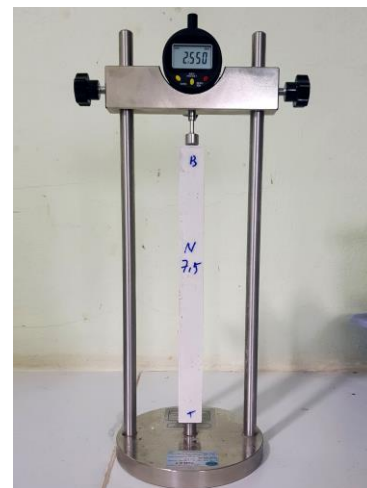
Stt.	Tên thí nghiệm	Kích thước mẫu (mm)	Tuổi mẫu (ngày)	Tiêu chuẩn áp dụng
1	Độ chảy xòe	-	Sau khi trộn	TCVN 3121-3:2003
2	Thời gian ninh kết	-	Sau khi trộn	TCVN 6017:2015
3	Cường độ chịu uốn	40 × 40 × 160	1, 28	TCVN 6016:2011
4	Cường độ chịu nén	40 × 40	1, 28	TCVN 6016:2011
5	Độ hút nước	50 × 50 × 50	28	TCVN 3121-18:2003
6	Độ co khô	2,5 × 2,5 × 285	1, 7, 14, 28	ASTM C596-18



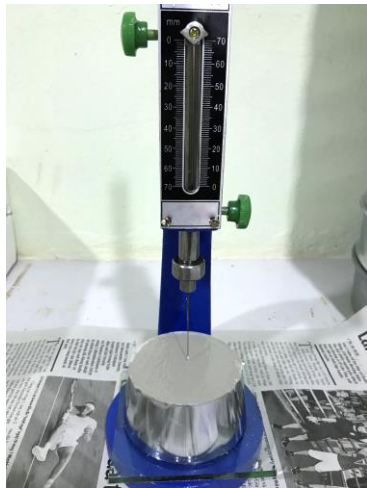
(a) Xác định độ chảy xòe



(b) Xác định độ hút nước



(c) Xác định độ co khô



(d) Xác định thời gian ninh kết



(e) Xác định cường độ chịu uốn



(f) Xác định cường độ chịu nén

Hình 2. Hình ảnh thí nghiệm kiểm tra các tính chất của chất kết dính

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Độ chảy xòe và thời gian ninh kết

Các giá trị độ chảy xòe và thời gian ninh kết của các hỗn hợp chất kết dính được xác định và trình bày ở Bảng 4. Kết quả cho thấy, tất cả các hỗn hợp chất kết dính Na_2SO_4 hoạt hóa có giá trị độ chảy xòe trong khoảng 160 – 200 mm, thấp hơn so với mẫu đối chứng có giá trị là 230 mm. Nguyên nhân là do xi lò cao có độ mịn lớn hơn so với xi măng, độ mịn cao của xi lò cao tương ứng với diện tích bề mặt lớn và lượng nước được hấp thụ trên bề mặt các hạt xi lò cao nhiều hơn, làm giảm lượng nước tự do trong hỗn hợp [11]. Kết quả là, độ linh động của hỗn hợp chất kết dính giảm hay nói cách khác là giảm độ chảy xòe của hỗn hợp. Đối với nhóm cấp phối sử dụng Na_2SO_4 hoạt hóa với các hàm lượng từ 1,5% đến 7,5%, độ chảy xòe của hỗn hợp có xu hướng giảm khi tăng hàm lượng Na_2SO_4 trong cấp phối. Hiện tượng này chủ yếu là do khi hàm Na_2SO_4 tăng thì độ pH của hỗn hợp cũng tăng, thúc đẩy các phản ứng hóa học bên trong hỗn hợp

diễn ra với tốc độ nhanh hơn, rút ngắn thời gian ninh kết và giảm độ chảy xòe của hỗn hợp [12].

Mặt khác, thời gian ninh kết ban đầu của các hỗn hợp chất kết dính dao động trong khoảng 89 – 188 phút, trong khi đó thời gian ninh kết sau cùng được ghi nhận từ 166 phút đến 247 phút. Trong đó, mẫu đối chứng C100 có thời gian ninh kết dài hơn so với nhóm mẫu sử dụng Na_2SO_4 hoạt hóa. Ngoài ra, kết quả ở Bảng 4 cũng cho thấy thời gian ninh kết của các hỗn hợp chất kết dính giảm khi tăng hàm lượng Na_2SO_4 . Nguyên nhân của hiện tượng này chủ yếu là do Na_2SO_4 làm tăng độ pH của hỗn hợp, thúc đẩy các phản ứng hóa học làm cho các hỗn hợp chất kết dính ninh kết sớm hơn [12]. Nguyen và các cộng sự [6] cũng chỉ ra rằng hàm lượng sulfate có ảnh hưởng đáng kể đến thời gian ninh kết. Cụ thể, hàm lượng sulfate càng cao thì thời gian bắt đầu và kết thúc ninh kết càng ngắn.

Bảng 4. Độ chảy xòe và thời gian ninh kết của các hỗn hợp chất kết dính.

Kí hiệu cấp phối	Độ chảy xòe (mm)	Thời gian ninh kết (phút)	
		Bắt đầu	Kết thúc
C100	230	188	247
N1.5	200	139	219
N3.0	190	126	212
N4.5	180	114	177
N6.0	175	91	171
N7.5	160	89	166

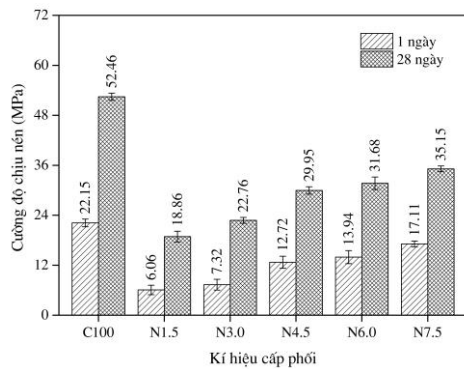
3.2. Cường độ chịu nén và chịu uốn

Kết quả xác định cường độ chịu nén và chịu uốn của các mẫu chất kết dính được trình bày tương ứng ở Hình 3 và Hình 4. Có thể thấy, so với ở tuổi mẫu 1 ngày thì cường độ của tất cả các mẫu chất

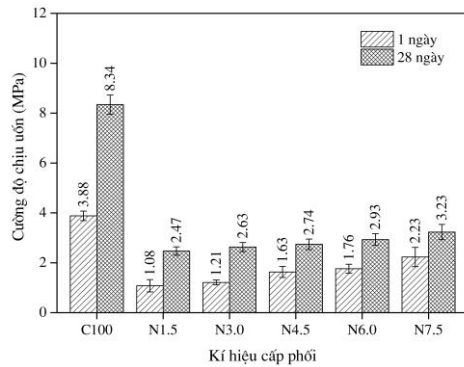
kết dính phát triển đáng kể sau 28 ngày bảo dưỡng. Điều này chứng tỏ các phản ứng hóa học bên trong hệ vật liệu được diễn ra liên tục theo thời gian bảo dưỡng [13]. Ngoài ra, kết quả thí nghiệm còn cho thấy các mẫu chất kết dính Na_2SO_4 hoạt hóa cho giá trị cường độ thấp hơn so với mẫu đối chứng. Cụ thể, giá trị cường độ chịu nén và chịu

uốn của các mẫu Na_2SO_4 hoạt hóa ở 28 ngày tuổi dao động tương ứng trong các khoảng 18,86 – 35,15 MPa và 2,47 – 3,23 MPa. Trong khi đó, mẫu đối chứng C100 ở 28 ngày tuổi có giá trị cường độ chịu nén và chịu uốn tương ứng là 52,46 MPa và 8,34 MPa. Nguyên nhân là do mức độ thực hiện phản ứng pozzolan của xi lò cao chậm hơn so với phản ứng thủy hóa của xi măng, nhất là ở các ngày tuổi đầu [14]. Mặt dù cường độ chịu nén của các mẫu chất kết dính sử dụng hoàn toàn xi lò cao thấp hơn so với mẫu đối chứng sử dụng hoàn toàn xi măng, cường độ của các mẫu chất kết dính Na_2SO_4 hoạt hóa vẫn ở đáp ứng cho sử dụng như loại vật liệu xây dựng phổ biến [15].

Mặt khác, kết quả trình bày ở Hình 3 và Hình 4 còn cho thấy hàm lượng Na_2SO_4 cũng có ảnh hưởng đáng kể đến cường độ chịu nén và chịu uốn của các mẫu chất kết dính. Cụ thể, tăng hàm lượng Na_2SO_4 làm cho cường độ của các mẫu chất kết dính cũng tăng lên tương ứng. Ở ngày tuổi đầu, mẫu chứa 1.5% Na_2SO_4 cho giá trị cường độ chịu nén là 6,06 MPa, giá trị này tăng dần tương ứng với các mẫu chứa từ 3% đến 7,5% Na_2SO_4 (bước tăng 1,5%) là 7,32 MPa, 12,72 MPa, 13,94 MPa và 17,11 MPa. Ở 28 ngày tuổi, giá trị cường độ chịu nén của các mẫu theo thứ tự nêu trên lần lượt là 18,86 MPa, 22,76 MPa, 29,95 MPa, 31,68 MPa và 35,15 MPa. Tuy nhiên, tất cả các mẫu chất kết dính Na_2SO_4 hoạt hóa đều có cường độ chịu nén thấp hơn so với mẫu đối chứng (22,15 MPa và 62,46 MPa tương ứng ở 1 và 28 ngày tuổi). Xu hướng tương tự cũng được ghi nhận đối với cường độ chịu uốn của các mẫu chất kết dính. Kết quả này có xu hướng tương đồng với kết quả nghiên cứu của Rashad và các cộng sự [16].



Hình 3. Cường độ chịu nén của các mẫu chất kết dính.

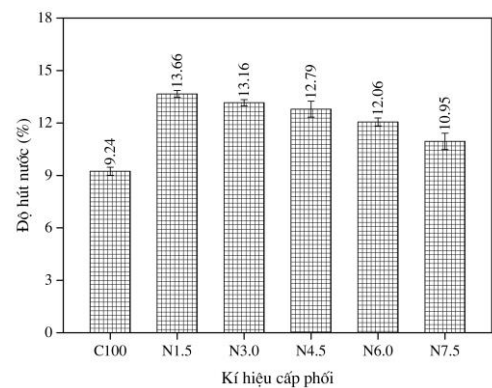


Hình 4. Cường độ chịu uốn của các mẫu chất kết dính.

Như vậy, hàm lượng Na_2SO_4 trong cấp phối càng nhiều thì cường độ của các mẫu chất kết dính càng được cải thiện. Trong trường hợp này, có thể giải thích sự tăng cường độ chịu nén của chất kết dính là do: (1) tăng hàm lượng Na_2SO_4 làm tăng độ pH, thúc đẩy quá trình phản ứng hóa học của xi lò cao, tạo nên nhiều sản phẩm sau phản ứng (chẳng hạn như keo C-S-H) và làm cho cấu trúc mẫu trở nên đặc chắc hơn và (2) ettringite ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$) được tạo ra cũng làm tăng cường độ chịu nén của mẫu [12, 17]. Cơ chế phản ứng cũng được lý giải ngắn gọn như sau: lượng kiềm được cung cấp bởi Na_2SO_4 có thể tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình phân tách của cấu trúc Al-Si trong xi lò cao, đồng thời xúc tiến sự hòa tan của các ion trong pha lỏng để tham gia vào phản ứng hydrate hóa. Song song đó, phản ứng trùng ngưng xảy ra và keo C-(A)-S-H được hình thành. Các sản phẩm phản ứng ban đầu như ettringite và calcite có thể hoạt động như những hạt nhân để hình thành keo C-(A)-S-H. Vì thế, càng nhiều Na_2SO_4 thì nồng độ của các ion sulfate càng cao, làm tăng $\text{Ca}(\text{OH})_2$ và tăng độ pH của hệ, thúc đẩy quá trình hydrate hóa xảy ra với tốc độ phản ứng càng cao. Cụ thể hơn, các ion calcium và aluminates hòa tan phản ứng với sulfate để sản xuất ra ettringite. Sự hình thành của ettringite tiêu thụ một lượng lớn các ion calcium và aluminates, làm tăng tốc độ hòa tan xi lò cao để cung cấp thêm lượng ion cho phản ứng và duy trì nồng độ kiềm. Từ đó, xúc tiến quá trình hydrate hóa toàn bộ xi lò cao và tạo ra keo C-(A)-S-H làm tăng cường độ chịu nén của mẫu [18, 19].

3.3. Độ hút nước

Hình 5 trình bày kết quả xác định độ hút nước của các mẫu chất kết dính ở 28 ngày tuổi. Có thể dễ dàng thấy được độ hút nước của tất cả các mẫu chất kết dính Na_2SO_4 hoạt hóa đều cao hơn so với mẫu đối chứng.



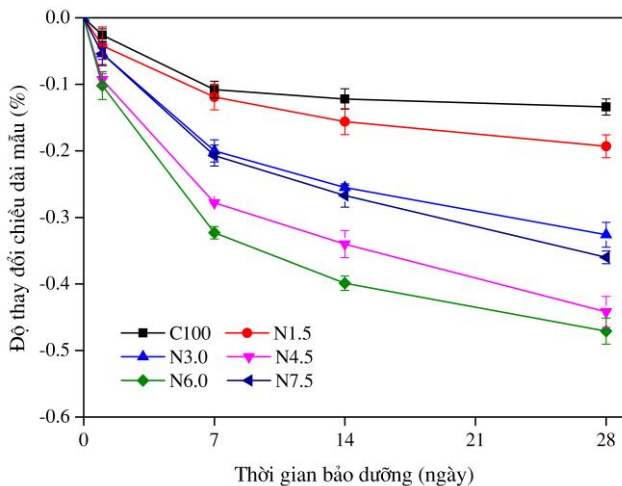
Hình 5. Độ hút nước của các mẫu chất kết dính.

Cụ thể, các mẫu chất kết dính sử dụng hoàn toàn xi lò cao có độ hút nước ghi nhận từ 10,95 % đến 13,66 %, trong khi mẫu chất kết dính sử dụng hoàn toàn xi măng có độ hút nước ở mức 9,24 %. Như đã trình bày ở phần trên, mức độ phản ứng pozzolan của xi lò cao chậm hơn so với phản ứng thủy hóa của xi măng [14], các sản phẩm

sau phản ứng trong hệ Na_2SO_4 hoạt hóa được tạo ra ít hơn, làm cấu trúc mẫu kém đặc chắc hơn và dĩ nhiên độ hút nước cũng cao hơn so với mẫu chất kết dính xi măng đối chứng. Mặt khác, kết quả trình bày ở Hình 5 cũng cho thấy độ hút nước có xu hướng giảm khi tăng hàm lượng Na_2SO_4 trong hỗn hợp. Cụ thể, mẫu chứa ít Na_2SO_4 nhất (mẫu N1.5) có độ hút nước cao nhất (13,66 %). Các mẫu chất kết dính chứa 3 %, 4,5 %, 6 % và 7,5 % Na_2SO_4 có độ hút nước lần lượt là 13,16 %, 12,79 %, 12,03 % và 10,95 %. Do đó, có thể kết luận rằng hàm lượng Na_2SO_4 ảnh hưởng đáng kể đến độ hút nước của các mẫu chất kết dính. Hàm lượng Na_2SO_4 càng cao thì độ hút nước của các mẫu chất kết dính càng giảm. Nguyên nhân của hiện tượng này là do khi tăng hàm lượng Na_2SO_4 thì độ pH của hỗn hợp cũng tăng tương ứng, tạo điều kiện thích hợp để thúc đẩy quá trình phản ứng hóa học của xi-lô cao, tạo nên nhiều sản phẩm sau phản ứng góp phần làm cho cấu trúc mẫu trở nên đặc chắc hơn [12, 17]. Vì thế, độ hút nước của các mẫu cũng được cải thiện đáng kể.

3.4. Độ co khô

Trong nghiên cứu này, độ co khô của các mẫu chất kết dính được đánh giá thông qua độ thay đổi chiều dài của mẫu với kết quả cụ thể được trình bày ở Hình 6.



Hình 6. Độ co khô của các mẫu chất kết dính.

Ở 28 ngày tuổi, độ co khô của tất cả các mẫu chất kết dính dao động trong khoảng -0,1 % đến -0,5 %. Trong đó, mẫu sử dụng hoàn toàn xi măng ít biến dạng chiều dài nhất (chỉ -0,134%) và các mẫu sử dụng hoàn toàn xi-lô cao chứa 1,5 %, 3 %, 4,5 %, 6 % và 7,5 % có độ thay đổi chiều dài được ghi nhận lần lượt là -0,193 %, -0,326 %, -0,442 %, -0,471 % và -0,36 %. Kết quả này chủ yếu là do độ hút ẩm ban đầu của các mẫu chất kết dính Na_2SO_4 hoạt hóa cao hơn so với mẫu đối chứng [20]. Kết quả tương tự cũng được công bố bởi Rashad [21]. Kết quả thí nghiệm chỉ ra rằng việc bổ sung Na_2SO_4 làm cho độ co khô lớn hơn. Điều này có thể là do sự tồn tại của Na_2SO_4 trong các mẫu chất kết dính làm giảm khả năng

chống lại hiện tượng mất độ ẩm của mẫu [6]. Ngoài ra, do mức độ chậm phản ứng của xi-lô cao so với xi măng như đã đề cập ở trên làm cho các sản phẩm sau phản ứng được tạo thành ít hơn. Kết quả là thể tích rỗng bên trong mẫu tăng lên. Điều này đã góp phần làm tăng cho độ co khô của các mẫu chất kết dính Na_2SO_4 hoạt hóa.

4. Kết luận

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá tiềm năng phát triển loại chất kết dính mới có các tính chất tương tự như xi măng và thân thiện hơn với môi trường, sử dụng phương pháp sulfate hoạt hóa xi-lô cao. Tính chất kỹ thuật của các mẫu chất kết dính đã được đánh giá thông qua các thí nghiệm như xác định độ chảy xè, thời gian ninh kết, cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn, độ hút nước và độ co khô. Dựa trên kết quả thí nghiệm thu được, có thể rút ra được một số kết luận chủ yếu như sau:

- Các mẫu chất kết dính Na_2SO_4 hoạt hóa có độ chảy xè, thời gian bắt đầu và kết thúc ninh kết dao động tương ứng trong các khoảng 160 – 200 mm, 89 – 188 phút và 166 – 247 phút. Khi tăng hàm lượng Na_2SO_4 trong hỗn hợp thì độ chảy xè và thời gian ninh kết của hỗn hợp cũng giảm tương ứng. Tuy nhiên, thời gian ninh kết của các mẫu chất kết dính sử dụng xi-lô cao ngắn hơn so với mẫu đối chứng sử dụng xi măng.

- Cường độ chịu nén và cường độ chịu uốn của các mẫu chất kết dính Na_2SO_4 hoạt hóa ở 28 ngày tuổi được ghi nhận lần lượt là 18,86 – 35,15 % và 2,47 – 3,23 %. Cường độ của các mẫu chất kết dính này có xu hướng tăng lên khi tăng hàm lượng Na_2SO_4 trong cấp phối. Nói cách khác, mẫu chứa càng nhiều Na_2SO_4 thì có cường độ càng cao. Mặt dù cường độ chịu nén của các mẫu chất kết dính Na_2SO_4 hoạt hóa thấp hơn nhiều so với mẫu đối chứng, cường độ của các mẫu chất kết dính Na_2SO_4 hoạt hóa vẫn ở đáp ứng cho sử dụng như loại vật liệu xây dựng phổ biến.

- Độ hút nước của các mẫu chất kết dính giảm khi tăng hàm lượng Na_2SO_4 trong cấp phối. Các giá trị cụ thể được ghi nhận ở các mẫu chất kết dính Na_2SO_4 hoạt hóa xi-lô cao dao động từ 10,95 % đến 13,66 %. Các giá trị này đều cao hơn so với độ hút nước của mẫu đối chứng (9,24 %). Trong khi xu hướng ngược lại được ghi nhận đối với độ co khô. Cụ thể, độ co khô của các mẫu tăng lên khi tăng hàm lượng Na_2SO_4 . Tuy nhiên, độ co khô của tất cả các mẫu chất kết dính trong nghiên cứu này ở mức tương đối thấp (từ -0,1 % đến dưới -0,5 %).

- Xét trên góc độ các tính chất kỹ thuật, mẫu chất kết dính N7.5 được xem là cấp phối hợp lý nhất trong nghiên cứu này khi đạt giá trị cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi ở mức > 30 MPa, độ co khô tương đối thấp (chỉ -0,36%) và độ hút nước xấp xỉ so với mẫu đối chứng (10,95% so với 9,24%) trong khi độ chảy xè vẫn đảm bảo khả năng làm việc (160 mm) và thời gian ninh kết ngắn nhất trong số các cấp phối được khảo sát. Tuy nhiên, cần đánh giá thêm ở các khía cạnh khác (chẳng hạn như đặc điểm vi cấu trúc, độ bền và tính kinh tế) để có cơ sở đề xuất cấp phối phù hợp nhất cho ứng dụng loại chất kết dính mới này trong thực tế.

Lời cảm tạ: Kết quả nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Cần Thơ thông qua hợp đồng số 17TSV/HĐ-QLKH2021, ngày 01 tháng 4 năm 2021.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Barcelo L., Kline J., Walenta G., Gartner E. (2013), Cement and carbon emissions, *Materials and Structures* 47, pp. 1055–1065.
- [2]. Andrew R. M. (2018), Global CO₂ emissions from cement production, *Earth System Science Data* 10, pp. 195–217.
- [3]. El-Chabib H. (2020), Properties of SCC with supplementary cementing materials, in: *Self-Compacting Concrete: Materials, Properties and Applications (eds.)*, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, pp. 283–308.
- [4]. Công thông tin điện tử Bộ Xây dựng, *Ứng dụng xi-lô cao vào sản xuất xi măng*, <https://moc.gov.vn/tin-tuc/49097/ung-dung-xi-lo-cao-vao-san-xuat-xi-mang.aspx> (Truy cập ngày 2/8/2021).
- [5]. Thời báo Tài chính, *Tái chế xi-gang thép: Vừa mang lại lợi ích kinh tế, vừa bảo vệ môi trường*, <http://thoibaotaichinhvietnam.vn/pages/kinh-doanh/2018-10-05/tai-che-xi-gang-thep-vua-mang-lai-loi-ich-kinh-te-vua-bao-ve-moi-truong-62796.aspx> (Truy cập ngày 2/8/2021).
- [6]. Nguyen H. A., Chang T. P., Thymotie A. (2020), Enhancement of early engineering characteristics of modified slag cement paste with alkali silicate and sulfate, *Construction and Building Materials* 230, pp. 117013.
- [7]. Amer I., Kohail M., El-Feky M. S., Rashad A., Khalaf M. A. (2021), A review on alkali-activated slag concrete, *Ain Shams Engineering Journal* 12(2), pp. 1475–1499.
- [8]. Nguyễn Công Thắng, Nguyễn Thị Thắng, Phạm Hữu Hanh, Nguyễn Văn Tuấn, Lê Trung Thành, Nguyễn Trọng Lâm (2013), Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng silica fume và xi-lô cao hoạt hóa nghiền mịn ở Việt Nam, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, số 15/3, tr. 83–92.
- [9]. Nguyễn Văn Chính, Phạm Công Tuấn Trung (2021), Nghiên cứu thực nghiệm khả năng chống xâm thực axit của bê tông sử dụng xi-lô cao và tro bay, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, số 15/3, tr. 79–92.
- [10]. Nguyễn Thanh Bằng, Nguyễn Tiến Trung, Đinh Hoàng Quân (2020), Ảnh hưởng của độ mịn xi-lô cao đến cường độ của bê tông chất kết dính kiềm hoạt hóa, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, số 61, tr. 16–24.
- [11]. Yuan B., Yu Q. L., Brouwers H. J. H. (2017), Evaluation of slag characteristics on the reaction kinetics and mechanical properties of Na₂CO₃ activated slag, *Construction and Building Materials* 131, pp. 334–346.
- [12]. Zhao Y., Qiu J., Zhang S., Guo Z., Ma Z., Sun X., Xing J. (2020), Effect of sodium sulfate on the hydration and mechanical properties of lime-slag based eco-friendly binders, *Construction and Building Materials* 250, pp. 118603.
- [13]. Mobasher N., Bernal S. A., Provis J. L. (2016), Structural evolution of an alkali sulfate activated slag cement, *Journal of Nuclear Materials* 468, pp. 97–104.
- [14]. Norrarat P., Tangchirapat W., Songpiriyakij S., Jaturapitakkul C. (2019), Evaluation on strengths from cement hydration and slag reaction of mortars containing high volume of ground river sand and GGBF slag, *Advances in Civil Engineering* 2019, pp. 4892015.
- [15]. Hambach M., Rutzen M., Volkmer D. (2019), Properties of 3D-printed fiber-reinforced Portland cement paste, *3D Concrete Printing Technology*, pp. 73–113.
- [16]. Rashad A. M., Bai Y., Basheer P. A. M., Collier N. C., Milestone N. B. (2012), Chemical and mechanical stability of sodium sulfate activated slag after exposure to elevated temperature, *Cement and Concrete Research* 42, pp. 333–343.
- [17]. Zhang J., Tan H., Bao M., Liu X., Luo Z., Wang P. (2021), Low carbon cementitious materials: Sodium sulfate activated ultrafine slag/fly ash blends at ambient temperature, *Journal of Cleaner Production* 280, pp. 124363.
- [18]. Tan H., Deng X., He X., Zhang J., Zhang X., Su Y., Yang J. (2019), Compressive strength and hydration process of wet-grinded granulated blast-furnace slag activated by sodium sulfate and sodium carbonate, *Cement and Concrete Composites* 97, pp. 387–398.
- [19]. Zhang L., Chen B. (2017), Hydration and properties of slag cement activated by alkali and sulfate, *Journal of Materials in Civil Engineering* 29, pp. 04017091.
- [20]. Lim S. N., Wee T. H. (2000), Autogenous shrinkage of ground-granulated blast furnace slag concrete, *ACI Material Journal* 5, pp. 587–593.
- [21]. Rashad A. M. (2015), Influence of different additives on the properties of sodium sulfate activated slag, *Construction and Building Materials* 79, pp. 379–389.