

Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng chất hoạt hóa natri sulfat đến cường độ chịu nén của chất kết dính có sử dụng hàm lượng lớn tro bay

Nguyễn Trần Đăng Khoa^{1,2}, Bùi Phương Trinh^{1,2*}, Nguyễn Ngọc Thành^{1,2}

¹ Bộ môn Vật liệu Xây dựng, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM (HCMUT), 268 Lý Thường Kiệt Quận 10 TP.HCM

² Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, P. Linh Trung, TP. Thủ Đức, TP. HCM

TỪ KHÓA

Chất kết dính
Tro bay
Chất hoạt hóa
Natri sulfat
Cường độ chịu nén

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng chất hoạt hóa natri sulfat (Na_2SO_4) đến cường độ chịu nén của chất kết dính với hàm lượng lớn tro bay. Lượng tro bay có trong cấp phối lần lượt là 85, 88, 90, 93, 95 và 97 % theo khối lượng chất kết dính. Hàm lượng Na_2SO_4 được cho vào hỗn hợp theo tỉ lệ 0; 1,5; 2,0; 2,5 và 3,0 % theo khối lượng chất kết dính. Tỉ lệ nước/chất kết dính cho tất cả cấp phối là 0,20. Sau 24 giờ đúc, các mẫu lập phương có kích thước $50 \times 50 \times 50$ mm được dưỡng hộ trong bể nước ở nhiệt độ 27 ± 2 °C. Kết quả chỉ ra rằng ở độ tuổi sớm 3 ngày, các mẫu sử dụng chất hoạt hóa có cường độ chịu nén phát triển gấp 2 đến 4 lần khi so với mẫu đối chứng không có Na_2SO_4 . Ở 7 và 14 ngày tuổi, giá trị cường độ chịu nén của các mẫu chứa Na_2SO_4 vẫn còn tiếp tục tăng cao khoảng 1,5 đến 2,0 lần so với mẫu đối chứng. Đến 28 ngày tuổi, giá trị cường độ chịu nén của mẫu đối chứng xấp xỉ gần bằng cường độ của các mẫu có chứa chất hoạt hóa. Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng chất hoạt hóa Na_2SO_4 được thêm vào đã giúp thúc đẩy sự phát triển cường độ ở độ tuổi sớm cho chất kết dính có chứa hàm lượng lớn tro bay và hàm lượng Na_2SO_4 tối ưu là 2,5 % theo khối lượng chất kết dính.

KEYWORDS

Cement paste
Fly ash
Activator
Sodium sulfate
Compressive strength

ABSTRACT

This study focuses on evaluating effect of sodium sulfate (Na_2SO_4) as an activator on compressive strength of the cement pastes with high fly ash volume. The replacement ratios of cement by fly ash in the paste were 85, 88, 90, 93, 95, and 97% by mass of binder. The Na_2SO_4 contents added to the mixture were 0, 1.5, 2.0, 2.5, and 3.0% by mass of the binder. The ratio of water-to-binder for all mixture proportions was 0.20. After 24 hours of casting, the cubic specimens with dimensions of $50 \times 50 \times 50$ mm were immersed in water at temperature of 27 ± 2 °C until the designated test ages. The experimental results showed that the specimens using the activator had compressive strength 2 to 4 times higher than the control specimens without Na_2SO_4 at the early age of 3 days. At the ages of 7 and 14 days, the compressive strength of the specimens containing Na_2SO_4 continued to be 1.5 to 2.0 times higher than that of the control specimens. Up to the age of 28 days, the compressive strength of the control specimens was approximately equal to that of the specimens having the activator. Consequently, the content of Na_2SO_4 as the activator added to the mixture helped promote the strength development at the early age for the pastes containing a high volume of fly ash and the optimum Na_2SO_4 content was 2.5% by mass of binder.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu, cạn kiệt tài nguyên hiện nay, ngành bê tông đặc biệt chú ý sử dụng hợp lý nguồn tài nguyên có sẵn, đẩy mạnh tái chế, phát triển kinh tế tuần hoàn bền vững. Ngành sản xuất bê tông trong giai đoạn sắp tới cần phải sử dụng các loại cốt liệu tái chế, phế thải thay thế nguyên liệu tự nhiên, phát triển các phụ gia khoáng và phụ gia hóa học để đưa vào làm thành phần bắt buộc, nâng cao chất lượng và phát triển mở rộng các tính chất cho bê tông. Theo số liệu tổng hợp của Bộ Công Thương, hiện cả nước có 25 nhà máy

nhiệt điện đốt than đang hoạt động, phát thải ra tổng lượng tro, xỉ khoảng 13 triệu tấn/năm, trong đó: tro bay chiếm từ 80 % đến 85 % [1]. Nhằm tiếp tục tăng cường, đẩy mạnh việc xử lý và sử dụng tro, xỉ, thạch cao, ngày 12/4/2017 Thủ tướng Chính phủ đã tiếp tục ban hành Quyết định số 452/QĐ-TTg về việc Phê duyệt Đề án đẩy mạnh xử lý, sử dụng tro, xỉ, thạch cao làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng và sử dụng trong các công trình xây dựng [2]. Qua gần 4 năm triển khai thực hiện, mặc dù đã có nhiều nỗ lực nhưng kết quả thực tế vẫn chưa đạt mục tiêu đề ra. Tính đến cuối năm 2020, tổng lượng tro,

*Liên hệ tác giả: buiphuongtrinh@hcmut.edu.vn

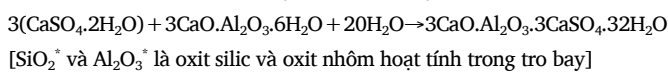
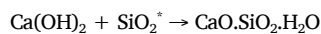
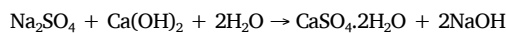
Nhận ngày 21/05/2022, sửa xong ngày 15/06/2022, chấp nhận đăng 08/09/2022

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.05.2022.347>

xi nhiệt điện đã tiêu thụ trên cả nước khoảng 44,5 triệu tấn, tương đương với 42 % tổng lượng phát thải qua các năm [1].

Tro bay là một dạng vật liệu pozzolan được sử dụng rất nhiều trong lĩnh vực xây dựng với các ưu điểm: độ mịn cao, hạt hình cầu, độ hoạt tính cao, giảm được đáng kể lượng dùng xi măng mà vẫn đảm bảo các yêu cầu của bê tông [3]. Việc sử dụng chất độn mịn tro bay giúp đạt được 3 mục đích: (1) giảm được lượng nhiệt sinh ra trong khối bê tông, (2) giảm giá thành bê tông một cách đáng kể, và (3) đảm bảo tính công tác, dễ thi công và cường độ cho bê tông [3]. Tuy nhiên, việc bổ sung tro bay trong bê tông làm trì hoãn quá trình hydrat hóa của xi măng ở độ tuổi sớm, khiến cho cường độ của bê tông có chứa tro bay ban đầu thấp hơn so với bê tông sử dụng 100 % xi măng, đặc biệt là khi bê tông có hàm lượng lớn tro bay. Điều này là do tốc độ phản ứng pozzolan chậm của tro bay. Các nghiên cứu cho thấy phản ứng pozzolan xảy ra không đáng kể cho đến 7 ngày tuổi và sự đóng góp tăng cường độ đáng kể có thể xảy ra chỉ sau 28 ngày [4].

Hiện nay, việc sử dụng các chất hoạt hóa đặc biệt như natri sulfat (Na_2SO_4) đang được đề xuất để thúc đẩy phản ứng pozzolan của tro bay. Chất hoạt hóa Na_2SO_4 phản ứng với sản phẩm hydrat hóa của đá xi măng (tức $\text{Ca}(\text{OH})_2$) theo phương trình (1) tạo ra NaOH làm tăng độ pH của dung dịch, đẩy nhanh sự hòa tan tro bay và tăng tốc độ phản ứng pozzolan theo phương trình (2) và (3) [5]. Cùng với đó, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ tiếp tục phản ứng với khoáng $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ của đá xi măng tạo ra ettringite ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) theo phương trình (4). Đồng thời, Na_2SO_4 cũng góp phần tăng nồng độ SO_4^{2-} và từ đó giúp hình thành ettringite nhiều hơn [6].



Sự hình thành của ettringite làm tăng lượng khoáng lấp đầy lỗ rỗng trong cấu trúc đá xi măng. Điều này cho thấy, chất hoạt hóa Na_2SO_4 góp phần thúc đẩy sự phát triển cường độ của đá xi măng chứa tro bay ở tuổi sớm [6]. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng khi sử dụng Na_2SO_4 với hàm lượng 4 % giúp cường độ ban đầu tăng nhanh nhưng giảm dần và đạt giá trị tương đương với mẫu không có chất hoạt hóa sau 28 ngày; tuy nhiên, hàm lượng tro bay chỉ sử dụng tối đa ở mức 40 – 60 % [7], [8]. Trong khi đó, Dương và cộng sự đã sử dụng tro bay với hàm lượng lớn từ 86 đến 97 % khối lượng chất kết dính nhưng không có sử dụng chất hoạt hóa Na_2SO_4 và đạt hiệu quả cường độ tối ưu ở đá xi măng chứa 86, 88 và 90 % tro bay [9]. Nguyễn và Hồ đã nghiên cứu chế tạo mẫu xi măng với tỷ lệ nước/chất kết dính là 0,28 và sử dụng tro bay với hàm lượng 85, 90 và 95 %, và có bổ sung thêm chất hoạt hóa Na_2SO_4 với tỷ lệ 1, 2, 3 và 4 % theo khối lượng chất kết dính [10]. Kết quả cho thấy hàm lượng tro bay tối ưu theo thực nghiệm là 85 % với lượng sử dụng Na_2SO_4 hiệu quả ở 7 ngày tuổi là 2 % và ở 28 ngày tuổi là 4 % [10].

Dựa trên thực trạng phát thải tro bay hiện nay và tiềm năng ứng dụng trong ngành bê tông ở tương lai, nghiên cứu này hướng đến

mục tiêu khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng chất hoạt hóa Na_2SO_4 lần lượt từ 1,5; 2,0; 2,5 và 3,0 % đến sự phát triển cường độ của mẫu đá xi măng chứa tro bay với hàm lượng lớn 85, 88, 90, 93, 95 và 97 % theo khối lượng chất kết dính nhằm đánh giá và tìm ra được tỉ lệ chất hoạt hóa và tro bay phù hợp để chế tạo loại chất kết dính đạt cường độ tối ưu nhất và hiệu quả cải thiện cường độ ở độ tuổi sớm. Kết quả nghiên cứu như một giải pháp hiệu quả trong việc xử lý lượng tro bay tồn đọng, tái sử dụng hàm lượng lớn tro bay nhưng vẫn đạt cường độ mong đợi, tạo ra loại vật liệu xây dựng mới chất lượng và thân thiện môi trường.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu thí nghiệm

Các nguyên liệu sử dụng để thí nghiệm trong nghiên cứu gồm xi măng Portland PC40 của Công ty Nghi Sơn phù hợp với TCVN 2682:2009 [11], tro bay loại F phù hợp với TCVN 10302:2014 [12] với các chỉ tiêu cơ lý và thành phần hóa học được thể hiện trong Bảng 1 và 2. Nước sử dụng để nhào trộn là nước thủy cục, không chứa dầu mỡ, không lẫn tạp chất, không màu, không mùi và phù hợp với TCVN 4506:2012 [13]. Chất hoạt hóa natri sulfat được sử dụng ở dạng rắn khan, tinh thể màu trắng, không mùi và có khối lượng riêng là 2,66 g/cm³.

Bảng 1. Chỉ tiêu cơ lý của xi măng và tro bay.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Xi măng	Tro bay
Khối lượng riêng	g/cm ³	(1)3,1	2,25
Lượng sót trên sàng 0,09 mm	%	(2)0,3	-
Lượng sót trên sàng 0,045 mm	%	(3) -	20
Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi	N/mm ²	(4)58,3	-

∴ Không thí nghiệm

Bảng 2. Thành phần hóa học của xi măng và tro bay (% theo khối lượng).

Thành phần hóa học	Đơn vị	Xi măng	Tro bay
SiO ₂	%	23,8	56,4
Al ₂ O ₃	%	4,3	24,9
Fe ₂ O ₃	%	2,5	8,1
CaO	%	62,6	2,0
Na ₂ O	%	0,1	0,4
K ₂ O	%	0,7	5,2
MgO	%	1,5	0,8
SO ₃	%	2,4	0,5
Mất khi nung	%	2,6	7

2.2. Thành phần cấp phối

Nhằm mục tiêu tận dụng hàm lượng lớn tro bay đồng thời cải thiện cường độ sớm cho chất kết dính, nghiên cứu này quyết định lựa chọn tỷ lệ nước/chất kết dính (N/CKD) thấp là 0,20 và lượng tro bay

thay thế xi măng lần lượt là 85, 88, 90, 93, 95 và 97 % theo khối lượng chất kết dính dựa trên các nghiên cứu của Dương và cộng sự [9] và Nguyễn và Hồ [10]. Hàm lượng chất hoạt hóa Na_2SO_4 thêm vào hỗn hợp là 0; 1,5; 2,0; 2,5 và 3,0 % theo khối lượng chất kết dính dựa trên nghiên cứu của Nguyễn và Hồ [10]. Nghiên cứu này được thử nghiệm dựa trên 30 cấp phối được thiết kế như trong Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần cấp phối (% theo khối lượng).

Cấp phối	N/CKD	Xi măng (%)	Tro bay (%)	Na_2SO_4 (%)
F85N0,0	0,20	15	85	0,0
F85N1,5				1,5
F85N2,0				2,0
F85N2,5				2,5
F85N3,0				3,0
F88N0,0	0,20	12	88	0,0
F88N1,5				1,5
F88N2,0				2,0
F88N2,5				2,5
F88N3,0				3,0
F90N0,0	0,20	10	90	0,0
F90N1,5				1,5
F90N2,0				2,0
F90N2,5				2,5
F90N3,0				3,0
F93N0,0	0,20	7	93	0,0
F93N1,5				1,5
F93N2,0				2,0
F93N2,5				2,5
F93N3,0				3,0
F95N0,0	0,20	5	95	0,0
F95N1,5				1,5
F95N2,0				2,0
F95N2,5				2,5
F95N3,0				3,0
F97N0,0	0,20	3	97	0,0
F97N1,5				1,5
F97N2,0				2,0
F97N2,5				2,5
F97N3,0				3,0

2.3. Quy trình nhào trộn

Việc nhào trộn hồ chất kết dính được thực hiện thông qua máy trộn vữa tự động theo TCVN 6016:2011 [14]. Việc trộn đều xi măng và tro bay đã định lượng theo tỷ lệ được thực hiện bằng máy trộn. Đối với chất kết dính có chứa chất hoạt hóa, Na_2SO_4 được hòa tan với nước để tạo thành dung dịch kiềm. Sau đó, tiến hành cho nước (hoặc dung dịch kiềm đã chuẩn bị trước) vào cối trộn, và bắt đầu trộn ở tốc độ chậm trong 30 giây. Sau đó, dừng máy và tiến hành vét lượng hồ bám dính ở thành cối và tâm cối, tiếp tục nhào trộn hỗn hợp ở tốc độ nhanh trong 90 giây. Khi hỗn hợp đồng nhất, dừng máy trộn, rồi tiến hành đúc mẫu.

2.4. Quy trình đúc và dưỡng hộ

Sau khi kết thúc quá trình nhào trộn, hỗn hợp được cho vào các khuôn thép có kích thước 50x50x50 mm đã được vệ sinh và bôi dầu. Chia hỗn hợp thành 3 lớp và mỗi lớp đầm 40 cái để đảm bảo lấp đầy khuôn.

Sau khi tạo hình, các khuôn mẫu được phủ bằng tấm nilong dưỡng ẩm trong 24 giờ. Sau đó, mẫu được tháo ra khỏi khuôn và cho vào bể dưỡng hộ nước ở nhiệt độ $27 \pm 2^\circ\text{C}$ cho đến đủ ngày tuổi xác định cường độ chịu nén.

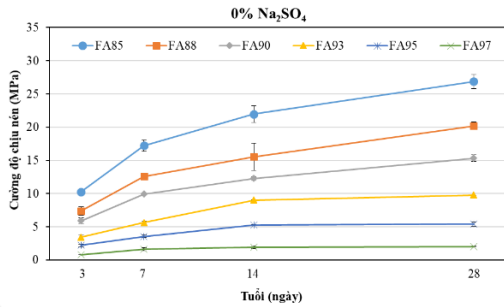
2.5. Kiểm tra cường độ chịu nén

Cường độ chịu nén của ba mẫu trong mỗi cấp phối được tiến hành kiểm tra bằng máy nén thủy lực theo TCVN 6016:2011 [14] ở các độ tuổi 3, 7, 14 và 28 ngày.

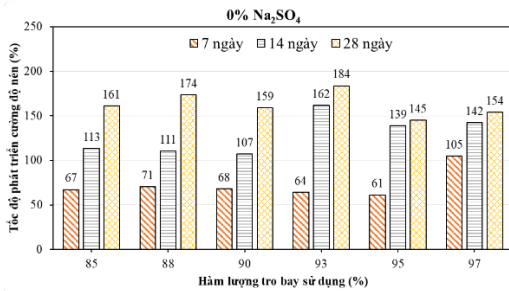
3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay

Kết quả cường độ chịu nén theo thời gian của các mẫu không sử dụng chất hoạt hóa Na_2SO_4 được thể hiện trên Hình 1. Có thể dễ dàng nhận thấy khi hàm lượng tro bay thay thế xi măng ngày càng cao, cường độ giảm dần ở tất cả các ngày tuổi khác nhau. Cụ thể, cường độ chịu nén ở 3 ngày tuổi của mẫu sử dụng 85, 88, 90, 93, 95 và 97 % tro bay lần lượt là 10,3; 7,4; 5,9; 3,4; 2,2 và 0,8 MPa; ở 28 ngày tuổi tương ứng lần lượt là 26,9; 20,2; 15,3; 9,8; 5,4 và 2,0 MPa, xem Hình 1. Hình 2 thể hiện tốc độ phát triển cường độ chịu nén ở các ngày tuổi khác nhau so với 3 ngày tuổi của mỗi cấp phối với từng lượng tro bay và không sử dụng Na_2SO_4 . Nhận thấy rằng cường độ của mẫu chứa 97 % tro bay tăng từ 105 % ở 7 ngày tuổi lên 154 % ở 28 ngày tuổi; trong khi đó, mẫu chứa 85% tro bay có cường độ tăng từ 67 % ở 7 ngày tuổi lên 161 % ở 28 ngày tuổi. Điều này chứng tỏ mẫu có hàm lượng tro bay ít hơn có tốc độ phát triển cao hơn so với mẫu chứa nhiều tro bay, do hàm lượng xi măng lớn trong mẫu, theo thời gian phản ứng hydrat hóa sinh khoáng lấp đầy lỗ rỗng, giúp cường độ tăng thêm [15]. Bên cạnh đó, phản ứng pozzolanic cũng xảy ra chậm hơn khi thay thế hàm lượng lớn tro bay, dẫn đến giảm cường độ chịu nén của đá xi măng đặc biệt là ở độ tuổi sớm, điều này phù hợp với kết quả của nghiên cứu của Durán-Herrera và cộng sự [16].



Hình 1. Sự phát triển cường độ chịu nén theo thời gian của mỗi cấp phối với từng lượng tro bay và không sử dụng Na₂SO₄.



Hình 2. Tốc độ phát triển cường độ chịu nén ở các ngày tuổi khác nhau so với 3 ngày tuổi của mỗi cấp phối với từng lượng tro bay và không sử dụng Na₂SO₄.

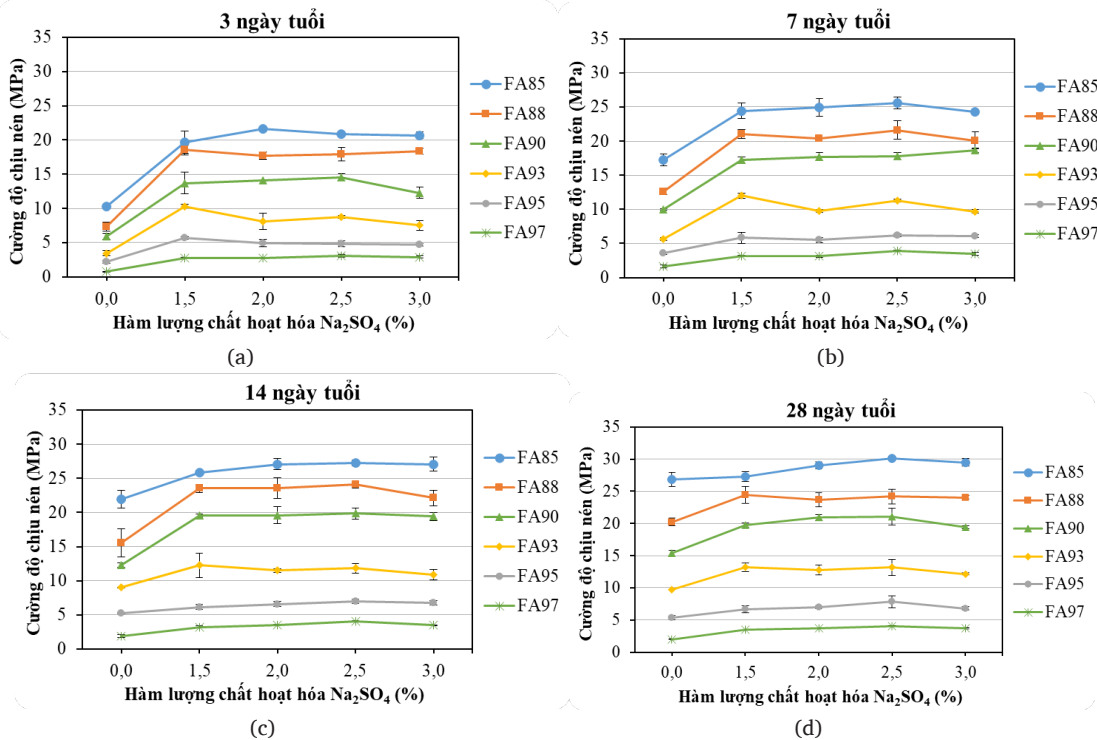
Tóm lại, khi càng nhiều xi măng được thay thế bởi tro bay, tốc độ phản ứng ban đầu càng chậm. Điều này có thể lý giải là do đặc

tính pozzolan của tro bay chỉ xảy ra khi hệ nền có nồng độ kiềm OH⁻ cao được tạo ra từ phản ứng hydrat hóa của xi măng, và khi hệ nền có ít xi măng, tức nồng độ OH⁻ rất thấp, dẫn đến phản ứng pozzolan xảy ra chậm và làm giảm cường độ sớm của mẫu; tuy nhiên, theo thời gian sự phát triển cường độ càng ngày được cải thiện [17].

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng chất hoạt hóa

Việc bổ sung thêm chất hoạt hóa Na₂SO₄ với hàm lượng lần lượt 1,5; 2,0; 2,5 và 3,0 % so với lượng chất kết dính (xi măng + tro bay) có ảnh hưởng lớn đến sự phát triển cường độ của mẫu được thể hiện trên Hình 3. Cường độ chịu nén ở tất cả các mẫu bổ sung Na₂SO₄ từ 1,5 đến 3,0 % trong nghiên cứu đều cho kết quả cao hơn so với mẫu đối chứng không sử dụng chất hoạt hóa ở tất cả các ngày tuổi.

Vì hàm lượng tro bay được sử dụng trong cấp phối là rất lớn nên cần thời gian để phát triển cường độ (sau 28 ngày). Trong thời gian đầu, có thể thấy phản ứng pozzolan đã diễn ra; tuy nhiên, với lượng ít xi măng có trong mẫu nên việc tạo ra kiềm OH⁻ rất ít nên phản ứng xảy ra ưu tiên cho các hạt tro bay mịn hơn, hoạt tính hơn [18]. Do đó, giá trị cao nhất của cường độ chịu nén ở 3 ngày tuổi có sự khác nhau giữa các cấp phối. Cụ thể như sau: giá trị cường độ chịu nén lớn nhất ở mẫu chứa 85 % tro bay là 21,7 MPa với 2,0 % Na₂SO₄, mẫu chứa 88, 93 và 95% tro bay lần lượt là 18,6; 10,3 và 5,7 MPa với 1,5 % Na₂SO₄, mẫu chứa 90 và 97 % tro bay là 14,5 và 3,1 MPa với 2,5 % Na₂SO₄, xem Hình 3 (a).

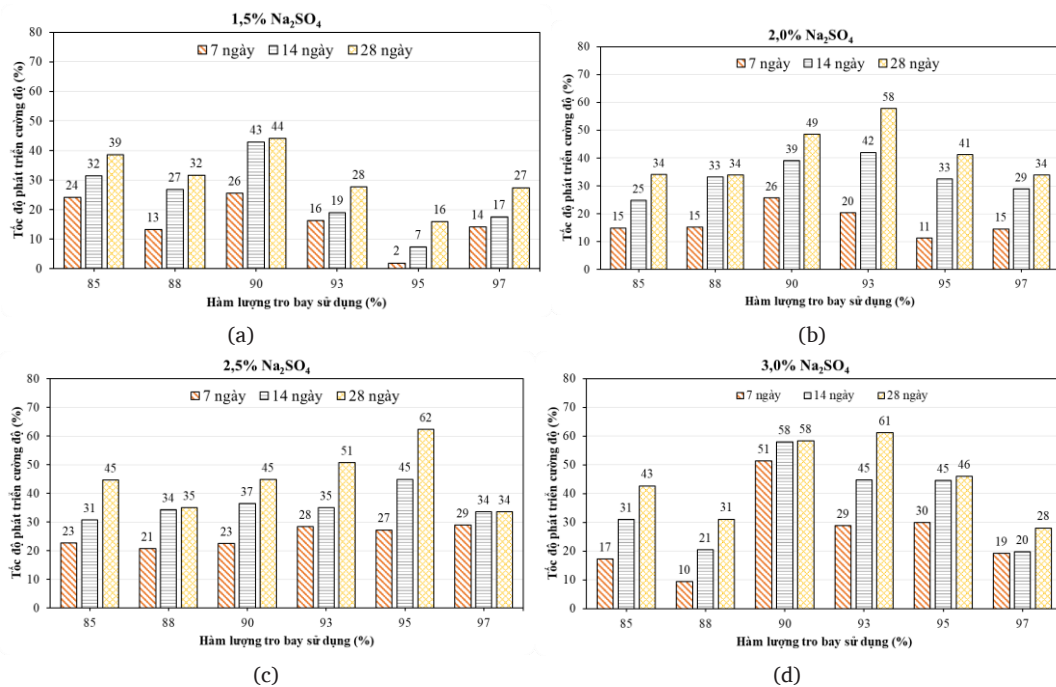


Hình 3. Ảnh hưởng của hàm lượng Na₂SO₄ đến cường độ chịu nén của các mẫu ở (a) 3, (b) 7, (c) 14 và (d) 28 ngày tuổi.

Đến giai đoạn 7 và 14 ngày tuổi, sự phát triển cường độ của các mẫu rõ ràng và có xu hướng cụ thể hơn. Cường độ chịu nén của tất cả các cấp phối tăng dần từ 0,0 đến 2,5 % lượng dùng Na_2SO_4 và giảm xuống khi hàm lượng chất hoạt hóa được nâng lên đến 3,0 %, xem Hình 3 (b) và (c). Ở 7 ngày tuổi, các cấp phối sử dụng 85, 88, 90, 93, 95 và 97 % tro bay kết hợp với hàm lượng Na_2SO_4 2,5 % có cường độ lần lượt cao gấp 1,49; 1,72; 1,79; 1,99; 1,74 và 2,44 lần so với mẫu đối chứng không có Na_2SO_4 . Ở 14 ngày tuổi, các cấp phối tương tự cho cường độ lần lượt cao gấp 1,24; 1,55; 1,62; 1,31; 1,33 và 2,14 lần so với mẫu đối chứng. Nguyên nhân là do chất hoạt hóa Na_2SO_4 làm tăng nồng độ SO_4^{2-} tạo khoáng ettringite, đồng thời giải phóng các hạt tro bay và thúc đẩy phản ứng pozzolan góp phần lấp đầy lỗ rỗng, tăng độ đặc chắc, tăng cường độ cho đá xi măng [6]. Tuy nhiên, khi tăng đến mức độ nhất định (3,0 % Na_2SO_4), cường độ của mẫu giảm dần, điều này có thể giải thích là do hàm lượng nước sử dụng ($N/CKD = 0,2$) quá ít, chỉ đủ để tham gia vào quá trình hydrat hóa cho xi măng, không đủ cho Na_2SO_4 tham gia phản ứng tạo ettringite sớm [17]; và với lượng dùng 3,0 % Na_2SO_4 đã tạo ra nhiều OH⁻ ở tuổi 3 ngày cũng có thể góp phần làm chậm phản ứng hydrat hóa của xi măng, dẫn đến

không có sự cải thiện về mặt cường độ ở mức sử dụng hàm lượng chất hoạt hóa này [7].

Ở 28 ngày tuổi, cường độ chịu nén của các mẫu không sử dụng Na_2SO_4 vẫn tiếp tục phát triển, tăng cao nhất ở mẫu sử dụng 85 % tro bay với tỷ số 161 % khi so với cường độ chịu nén ở 3 ngày tuổi, xem Hình 2. Mặt khác, cường độ chịu nén của các mẫu có sử dụng Na_2SO_4 lại có xu hướng bão hòa và tăng tương đối ít với tốc độ phát triển chỉ từ 20 đến 60 % khi so với cường độ ở 3 ngày tuổi tương ứng, xem Hình 4. Điều này là do Na_2SO_4 đã giúp thúc đẩy cường độ của các mẫu ở tuổi sớm 3, 7 và 14 ngày; trong khi đối với mẫu đối chứng không dùng chất hoạt hóa, cần có thời gian để xi măng hydrat hóa tạo khoáng và OH⁻ đủ để tham gia vào phản ứng pozzolan của tro bay và khi đó, cường độ của mẫu mới được cải thiện, cụ thể là sau 28 ngày. Cường độ chịu nén đạt giá trị lớn nhất vẫn thuộc về cấp phối sử dụng 85 % tro bay và 2,5 % Na_2SO_4 là 30,14 MPa, xem Hình 3 (d). Hàm lượng thay thế tro bay càng tăng thì cường độ của mẫu càng giảm, cường độ chịu nén của các cấp phối sử dụng 88, 90, 93, 95 và 97 % tro bay kết hợp với 2,5 % Na_2SO_4 đạt giá trị lớn nhất lần lượt là 24,19; 21,04; 13,19; 7,85 và 4,08 MPa, xem Hình 3 (d).



Hình 4. Tốc độ phát triển cường độ chịu nén ở các ngày tuổi so với 3 ngày tuổi của các mẫu sử dụng (a) 1,5%, (b) 2,0%, (c) 2,5% và (d) 3,0% Na_2SO_4 .

Tóm lại, việc sử dụng chất hoạt hóa Na_2SO_4 đã giúp cải thiện đáng kể cường độ chịu nén ban đầu (3, 7 và 14 ngày) cho mẫu xi măng sử dụng hàm lượng lớn tro bay (từ 85 % đến 97 %). Cấp phối thiết kế sử dụng 85 % tro bay và 2,5 % Na_2SO_4 cho hiệu quả tối ưu nhất về mặt cường độ, về tốc độ phát triển cũng như đảm bảo hiệu quả làm việc ở tuổi ngày dài hơn. Kết quả nêu trên được thấy tương tự ở mẫu với tỷ lệ $N/CKD = 0,28$ trong nghiên cứu của Nguyễn và Hồ [10].

4. Kết luận

Từ những kết quả thực nghiệm, có thể rút ra một số kết luận như sau:

- Hàm lượng tro bay tối ưu giúp mẫu phát triển cường độ chịu nén là 85% với giá trị cường độ ở 3, 7, 14 và 28 ngày lần lượt là 10,3; 17,2; 22,0 và 26,9 MPa.

- Hàm lượng Na_2SO_4 tối ưu cho mẫu sử dụng 85% tro bay là 2,5% theo khối lượng chất kết dính với giá trị cường độ chịu nén của mẫu có tỷ lệ N/CKD ở mức thấp 0,20 ở 3, 7, 14 và 28 ngày lần lượt là 20,8; 25,6; 27,2 và 30,1 MPa.
- Khi hàm lượng Na_2SO_4 càng tăng, cường độ chịu nén của mẫu với tỷ lệ N/CKD ở mức thấp 0,20 ngày càng tăng, tuy nhiên không nên vượt quá 2,5% theo khối lượng chất kết dính.

Do đó, đề xuất việc sử dụng chất hoạt hóa Na_2SO_4 để thúc đẩy cường độ sớm trong việc chế tạo chất kết dính có sử dụng hàm lượng lớn tro bay. Từ đây, việc nghiên cứu sử dụng chất kết dính bao gồm xi măng và tro bay để chế tạo cốt liệu nhẹ thay thế đá trong bê tông sẽ được triển khai tiếp theo nhằm hướng đến việc sản xuất cốt liệu xanh thân thiện môi trường, phát triển ngành công nghiệp xây dựng bền vững.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số đề tài C2022-20-31. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian và phương tiện vật chất cho nghiên cứu này. Chúng tôi cũng xin gửi lời cảm ơn đến Phạm Quốc Nhật và Nguyễn Minh Trí – sinh viên ngành Công nghệ Kỹ thuật Vật liệu Xây dựng đã cùng hỗ trợ thực hiện nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Toàn T., “Xử lý tro xỉ thải nhiệt điện: Thực trạng và những nút thắt cần gỡ”, *Báo điện tử Chính phủ*, 2020.
- [2]. Thủ Tướng Chính Phủ, “Quyết định Phê duyệt Đề án đẩy mạnh xử lý, sử dụng tro, xỉ, thạch cao của các nhà máy nhiệt điện, nhà máy hóa chất, phân bón làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng và trong các công trình xây dựng”, *Văn phòng Chính phủ*, Số 452/QĐ-TTg, 2017.
- [3]. Tạp chí Nông nghiệp & Phát triển Nông thôn, “Một số vấn đề về sử dụng tro bay để xây dựng các đập bê tông đầm lăn của Việt Nam”, 2010.
- [4]. Deschner F. và cộng sự, “Hydration of portland cement with high replacement by siliceous fly ash”, *Cement and Concrete Research*, vol 42, số p.h 10. tr 1389–1400, 2012.
- [5]. Nguyễn T. L., Nguyễn N. L., Trần V. N., Vũ D. K., Trần V. K., và Phùng Đ. H., “Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay thay thế xi măng và quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm đến mức độ phản ứng pozzolanic của hệ xi măng - tro bay”, *Tap chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXD*, vol 14, số p.h 4V. tr 96–105, 2020.
- [6]. Nguyễn N. H. và Nguyễn A. K., “Nghiên cứu ảnh hưởng của sodium sunfat đến cường độ nén ban đầu của hệ nền xi măng - tro bay”, *Luận văn tốt nghiệp Đại Học Bách Khoa TP.HCM, Khoa Kỹ thuật Xây dựng*, tr 1–8, 2018.
- [7]. Donatello S., Fernández-Jimenez A., và Palomo A., “Very high volume fly ash cements. Early age hydration study using Na_2SO_4 as an activator”, *J. Am. Ceram. Soc.*, vol 96, số p.h 3, tr 900–906, 2013.
- [8]. Bùi P. T., Nguyễn A. K., Nguyễn N. H., Ogawa Y., và Kawai K., “Effects of Sodium-Sulfate Addition on Consistency, Setting Time and Compressive Strength at Early Ages of Fly Ash-Cement Paste”, *The 8th International Conference of Asian Concrete Federation*. tr 335–342, 2018.
- [9]. Dương H. B. K., “Nghiên cứu sản xuất bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu nhẹ dựa trên nguồn nguyên liệu phế phẩm địa phương là tro bay”, 2019.
- [10]. Nguyễn V. C. T. và Hồ Q. N., “Nghiên cứu ảnh hưởng của cốt liệu nhân tạo từ hỗn hợp tro bay - xi măng - Na_2SO_4 thay thế một phần đá dăm đến cường độ chịu nén của bê tông”, *Luận văn tốt nghiệp Đại học Bách Khoa TP.HCM, Khoa Kỹ thuật Xây dựng*, 2021.
- [11]. Tiêu chuẩn Việt Nam, “TCVN 2682:2009 Xi măng Portland - Yêu cầu kỹ thuật”, 2009.
- [12]. Tiêu chuẩn quốc gia, “TCVN 10302:2014 - Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng”, 2014.
- [13]. Tiêu chuẩn Việt Nam, “TCVN 4506:2012 Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật”, 2012.
- [14]. Tiêu chuẩn Việt Nam, “TCVN 6016:2011 Xi măng - Phương pháp thử - Xác định cường độ”, 2011.
- [15]. Nguyễn T. D và cộng sự, “Effect of fly ash on the strength of cement paste at early age”, *J. Min. Earth Sci.*, vol 61, số p.h HTCS6, tr 10–18, 2020.
- [16]. Durán-Herrera A., Juárez C. A., Valdez P., và Bentz D. P., “Evaluation of sustainable high-volume fly ash concretes”, *Cem. Concr. Compos.*, vol 33, số p.h 1, tr 39–45, 2011.
- [17]. Bùi P. T. và Trần V. M., “Đánh giá hiệu quả của việc sử dụng natri sunfat đến cường độ nén ban đầu của hệ nền xi măng - tro bay”, *Tap chí Xây dựng*, 2018.
- [18]. Vũ V. H., Đàm Q. P., Trần H. V., và Lê V. Q., “Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng vôi và silica fume đến đặc tính cơ lý của vữa xi măng sử dụng hàm lượng tro bay cao”, *Tap chí Vật liệu Xây dựng - Bộ Xây dựng*, 2022.