

Khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng natri hydroxit đến cường độ chịu nén của hệ nền chất kết dính với hàm lượng lớn tro bay

Trần Quốc Khải^{1,2}, Phan Trung Anh^{1,2}, Bùi Phương Trinh^{1,2*}

¹Bộ 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.

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

TỪ KHÓA

Chất hoạt hóa
Cường độ chịu nén
Hệ nền chất kết dính
Natri hydroxit
Tro bay

TÓM TẮT

Bài báo này tập trung khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng natri hydroxit (NaOH) đến cường độ chịu nén của hệ nền chất kết dính (CKD) với hàm lượng lớn tro bay (cụ thể: 80, 85 và 90% theo khối lượng) nhằm tìm ra hàm lượng NaOH tối ưu để hướng đến việc sản xuất cốt liệu tro bay nhân tạo thay thế cốt liệu thiên nhiên trong sản xuất bê tông. Hàm lượng NaOH được thêm vào hệ nền là 0; 2,5; 3,0; 3,5 và 4,0 % theo khối lượng. Tỷ lệ nước/CKD cho tất cả hệ nền là 0,22. Kết quả thực nghiệm đã chỉ ra rằng hàm lượng NaOH ảnh hưởng đáng kể đến cường độ chịu nén của hệ nền CKD với hàm lượng lớn tro bay. Việc sử dụng NaOH đã cải thiện cường độ chịu nén từ 8,6 % đến 40,7 % ở độ tuổi sớm (3 ngày tuổi) của tất cả hệ nền; và hệ nền chứa 3,5 % NaOH có cường độ chịu nén đạt giá trị cao nhất. Tuy nhiên, đến 28 ngày tuổi, cường độ chịu nén của hệ nền đối chứng không chứa NaOH và hệ nền chứa 3,5 % NaOH tương đương nhau. Kết luận rằng việc thêm NaOH đã giúp thúc đẩy sự phát triển cường độ chịu nén ở độ tuổi sớm của hệ nền CKD với hàm lượng tro bay lớn và hàm lượng NaOH tối ưu là 3,5 % theo khối lượng.

KEYWORDS

Activator
Compressive strength
Cementitious matrix
Sodium hydroxide
Fly ash

ABSTRACT

This paper focuses on investigating effect of sodium hydroxide (NaOH) amount on compressive strength of cementitious matrix with high amounts of fly ash (i.e., 80, 85 and 90% by mass) to find out an optimum NaOH amount towards production of artificial fly ash aggregate as natural aggregate replacement for manufacturing concrete. The NaOH amounts added to the matrix were 0, 2.5, 3.0, 3.5, and 4.0% by mass. A ratio of water-to-binder for all mixture proportions was 0.22. The experimental results showed that NaOH amount significantly affected compressive strength of cementitious matrix with high amounts of fly ash. The NaOH use increased compressive strength by 8.6–40.7% at an early age (i.e., 3 days) of all the matrixes, and the matrix containing 3.5% NaOH reached highest compressive strength. However, at the age of 28 days, the compressive strengths of the control matrix without NaOH and the matrix containing 3.5% NaOH were nearly the same. Consequently, the addition of NaOH helped promoting the compressive strength at the early age of the cementitious matrix containing high volumes of fly ash and the optimum NaOH amount was 3.5% by mass.

1. Giới thiệu

Vào những năm 1980, mục tiêu của các nghiên cứu tập trung về tro xỉ hướng đến việc loại bỏ lượng than lẫn vào tro xỉ [1]. Đến đầu những năm 1990, việc sử dụng tro xỉ đã dần trở nên phổ biến hơn do một số nhà máy xi măng ở Hải Phòng, Bìn Sơn ... đã dùng tro xỉ để làm chất phụ gia; tuy nhiên, việc sử dụng tro xỉ chỉ ở mức hạn chế (chiếm khoảng 15 %) [2]. Vào khoảng thời gian từ 1995–1997, Viện Khoa học Vật liệu, Viện Khoa học Công nghệ Việt Nam đã nghiên cứu về khả năng tái sử dụng của việc trộn lẫn tro xỉ trong quá trình xây đắp nền đường giao thông hay gạch dùng trong xây dựng; và hàm lượng tro xỉ tái sử dụng vẫn còn quá ít (khoảng 30%) [3]. Đến đầu những năm 2000, tro

xi được dùng phổ biến hơn với hàm lượng tái sử dụng cao hơn [4]. Nhìn chung, việc tái sử dụng tro bay trong sản xuất bê tông khối lớn, xi măng ít tỏa nhiệt hay bê tông đầm dúc sẵn đều góp phần làm giảm ô nhiễm môi trường do lượng phát thải tro bay từ các nhà máy nhiệt điện và giảm lượng dùng xi măng. Theo thống kê của Bộ Công Thương, đến năm 2022, cả nước hiện có 29 nhà máy nhiệt điện than đang vận hành, làm phát thải lên đến 16 triệu tấn tro xỉ mỗi năm; trong khi thực trạng chỉ mới xử lý được từ 3 đến 4 triệu tấn/năm [5]. Đặc biệt, căn cứ vào tổng sơ đồ điện VII quy hoạch điều chỉnh đến năm 2030, dự kiến Việt Nam sẽ có 46 nhà máy nhiệt điện than hoạt động với tổng công suất thiết kế đạt 41,500 MW điện [6], đồng nghĩa với việc phát thải lên đến 62,25 triệu tấn tro xỉ/năm [5]. Do đó, trong vài năm tới, lượng phát

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

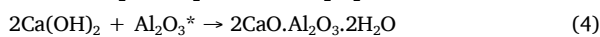
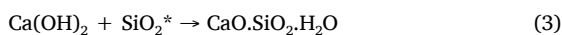
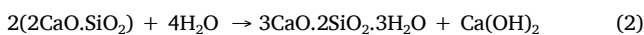
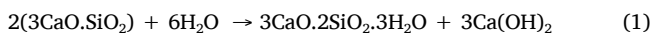
Nhận ngày 20/11/2023, sửa xong ngày 20/09/2024, chấp nhận đăng ngày 25/09/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.05.2024.601>

thải tro bay gia tăng sẽ gây sức ép lớn đến môi trường nếu không có hướng giải quyết triệt để.

Nguyên nhân phát thải tro bay gây ô nhiễm môi trường bởi vì tro bay là một dạng bụi mịn thu được từ quá trình đốt cháy than đá trong các lò nhiệt cao của các nhà máy nhiệt điện [7]. Về cơ bản, tro bay có màu xám, độ mịn cao, hạt hình cầu và có độ hoạt tính cao. Trong lĩnh vực xây dựng, tro bay thường được dùng để thay thế một phần xi măng ứng dụng chế tạo bê tông với các đặc tính kỹ thuật vẫn đảm bảo theo yêu cầu chất lượng [8]. Việc sử dụng tro bay thay thế một phần xi măng có các ưu điểm như giảm lượng nhiệt hydrat hóa tỏa ra trong quá trình đóng rắn của xi măng trong bê tông và giảm giá thành sản xuất bê tông [9] [10]. Tuy nhiên, việc thay thế một phần xi măng bằng tro bay trong sản xuất bê tông có nhược điểm. Đó là, việc thêm tro bay vào bê tông làm kéo dài quá trình đóng rắn của bê tông ở những ngày tuổi đầu, dẫn đến cường độ của bê tông chứa tro bay thấp. Nguyên nhân là do phản ứng pozzolanic trong tro bay diễn ra sau 7 ngày tuổi và việc chi phối phát triển cường độ cho bê tông từ tro bay chỉ thực sự xảy ra sau 28 ngày tuổi [11].

Gần đây, việc sử dụng các chất hoạt hóa trong hệ nền tro bay - xi măng đang được nghiên cứu để thúc đẩy phản ứng pozzolanic của tro bay như natri sulfat trong nghiên cứu của Nguyễn và các cộng sự [12], Búi và các cộng sự [13], chất hoạt hóa natri hydroxit và Na_2SiO_3 trong nghiên cứu của Tăng và Nguyễn [14]. Các chất hoạt hóa này đóng vai trò tạo môi trường kiềm để bào mòn lớp vỏ kiên cố của tro bay và từ đó, giải phóng SiO_2 và Al_2O_3 hoạt tính để tham gia vào quá trình phản ứng với Ca(OH)_2 được tạo ra từ quá trình hydrat hóa của xi măng [15] theo phương trình phản ứng (1) và (2). Phản ứng giữa SiO_2 và Al_2O_3 với Ca(OH)_2 được gọi là phản ứng pozzolanic theo phương trình phản ứng (3) và (4).



Chú thích: *hoạt tính

Từ những cơ sở trên kết hợp với thực trạng phát thải tro bay ngày càng tăng hiện nay tại Việt Nam và tiềm năng ứng dụng trong ngành công nghiệp bê tông phát triển bền vững, nghiên cứu này hướng đến mục tiêu khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng chất hoạt hóa NaOH được thêm vào lần lượt từ 0; 2,5; 3,0; 3,5 và 4,0% đến cường độ chịu nén của hệ nền chất kết dính (CKD) với hàm lượng lớn tro bay (80, 85 và 90 % theo khối lượng) để đánh giá và tìm ra được hàm lượng chất hoạt hóa tối ưu cũng như hàm lượng tro bay phù hợp trong hệ nền để từ đó hướng đến việc sản xuất cốt liệu tro bay nhân tạo thay thế cốt liệu thiên nhiên trong sản xuất bê tông. Kết quả nghiên cứu có thể xem như một giải pháp hiệu quả trong việc xử lý và tái sử dụng đáng kể lượng phát thải tro bay nhưng vẫn đảm bảo đặc tính kỹ thuật nhằm tạo ra loại vật liệu xây dựng mới thân thiện với môi trường, hướng đến tính phát triển bền vững cho nền công nghiệp xây dựng.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu thí nghiệm

Xi măng sử dụng trong nghiên cứu là xi măng Portland PC40 loại 1 được cung cấp bởi công ty xi măng Hà Tiên, phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 2682:2020 [16]. Tro bay sử dụng trong nghiên cứu được lấy từ nhà máy nhiệt điện Duyên Hải là tro bay loại F có màu xám tro. Bảng 1 và Bảng 2 lần lượt thể hiện chỉ tiêu kỹ thuật và thành phần hóa học của xi măng và tro bay trong nghiên cứu này. Từ kết quả trên, nhận thấy rằng tro bay Duyên Hải có các thông số kỹ thuật phù hợp theo TCVN 10302:2014 [17].

Bảng 1. Các chỉ tiêu kỹ thuật của xi măng và tro bay.

Chỉ tiêu	Xi măng	Tro bay
Khối lượng riêng (g/cm^3)	3,10	2,25
Lượng sót trên sàng 0,09 mm (%)	0,3	-
Lượng sót trên sàng 0,045 mm (%)	-	16,80
Độ hoạt tính ở 28 ngày tuổi (%)	-	98,20
Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi (MPa)	52	-

:- không thí nghiệm

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

Thành phần hóa học	Xi măng	Tro bay
CaO	64,50	1,00
Al_2O_3	4,16	21,70
SiO_2	22,46	64,80
Fe_2O_3	1,98	5,50
MgO	1,38	0,60
SO_3	2,51	0,06
Na_2O	2,30	0,57
K_2O	0,85	2,25
Mất khi nung	1,56	2,50

Nước được sử dụng trong nghiên cứu này là nước thủy cục tại phòng thí nghiệm, không chứa váng dầu hoặc váng mỡ, độ pH nằm trong khoảng từ 4 đến 12,5 và không lẫn tạp chất, không màu, không mùi, không vị và thỏa mãn theo TCVN 4506:2012 [18]. Trong khi đó, NaOH tồn tại ở dạng rắn, màu trắng, không mùi và có tính bazơ mạnh, khối lượng riêng là $2,13 \text{ g/cm}^3$ được sử dụng như chất hoạt hóa nhằm thúc đẩy phản ứng pozzolanic của tro bay trong hệ nền.

2.2. Thành phần cấp phối

Dựa theo các nghiên cứu của Dương và các cộng sự [19] và Nguyễn và các cộng sự [12]; kết hợp quá trình thực nghiệm tại phòng thí nghiệm, tỷ lệ nước/CKD (N/CKD) cho tất cả cấp phối được khảo sát

là 0,22 và hàm lượng tro bay trong hệ nền là 80 %, 85 % và 90 %. Để đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng chất hoạt hóa NaOH đến cường độ chịu nén của hệ nền, hàm lượng này được khảo sát từ 0; 2,5 %, 3,0 %; 3,5 % đến 4,0 % so với khối lượng CKD. Bảng 3 thể hiện tất cả cấp phối được thực hiện trong nghiên cứu này.

Bảng 3. Tất cả các cấp phối của hệ nền CKD (% theo khối lượng).

Cấp phối	N/CKD	Xi măng (%)	Tro bay (%)	NaOH (%)
FA80N0	0,22	20	80	0
FA80N2,5				2,5
FA80N3				3,0
FA80N3,5				3,5
FA80N4				4,0
FA85N0	0,22	15	85	0
FA85N2,5				2,5
FA85N3				3,0
FA85N3,5				3,5
FA85N4				4,0
FA90N0	0,22	10	90	0
FA90N2,5				2,5
FA90N3				3,0
FA90N3,5				3,5
FA90N4				4,0

Chú thích ký hiệu: FAxxNy với FA là tro bay, xx là phần trăm khối lượng tro bay trong hệ nền, N là chất hoạt hóa NaOH và y là phần trăm NaOH sử dụng trong hệ nền.

2.3. Quy trình nhào trộn

Việc nhào trộn hệ nền CKD được thực hiện bằng máy trộn vữa tự động tuân theo TCVN 6016:2011 [20]. Quy trình nhào trộn gồm các bước sau: (1) chất hoạt hóa NaOH được hòa tan với nước theo tỷ lệ của từng cấp phối ở Bảng 3, để tạo thành dung dịch; (2) xi măng và nước được cho vào cối trộn theo tỷ lệ đã thiết kế ở Bảng 3; (3) dung dịch kiềm được đổ vào cối trộn; (4) hỗn hợp được trộn theo tốc độ chậm trong vòng 30 giây; (5) sau khi vết sạch lượng hồ còn bám dính ở thành cối trộn, tiếp tục trộn với tốc độ nhanh trong vòng 90 giây đến khi thu được hỗn hợp đồng nhất.

2.4. Quy trình chuẩn bị mẫu và dưỡng hộ

Sau khi tiến hành nhào trộn đồng nhất, hỗn hợp được đổ vào các khuôn thép có kích thước 40 × 40 × 160 mm đã được vệ sinh và bôi dầu,

và được đầm chặt để đảm bảo hỗn hợp lấp đầy khuôn. Sau đó, bề mặt mẫu trong khuôn được hoàn thiện.

Các mẫu trong khuôn được phủ kín và dưỡng hộ ẩm trong không khí trong vòng 24 giờ [21]. Sau đó, các mẫu được tháo khuôn và được dưỡng hộ trong bể nước ở nhiệt độ $27 \pm 2^\circ\text{C}$ cho đến các ngày tuổi cụ thể (3, 7, 14 và 28 ngày tuổi) để thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của hệ nền CKD.

2.5. Kiểm tra cường độ chịu nén

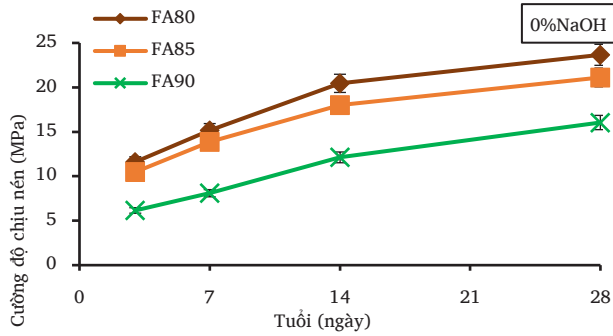
Cường độ chịu nén của hệ nền CKD là giá trị trung bình của ba mẫu trong mỗi cấp phối được tiến hành kiểm tra bằng máy nén thủy lực theo TCVN 6016:2011 [20] ở các độ tuổi 3, 7, 14 và 28 ngày.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

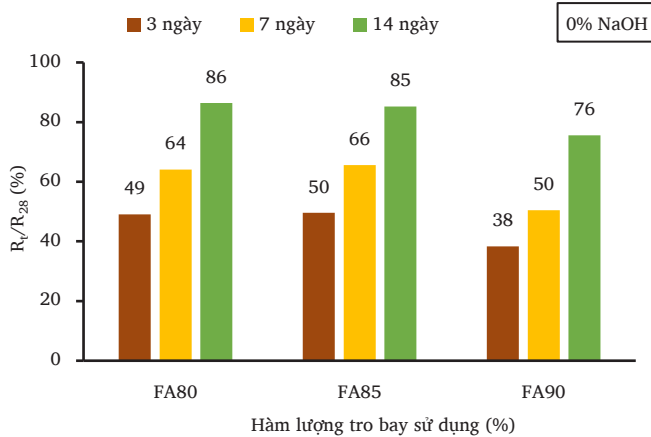
3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay

Hình 1 thể hiện ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến cường độ chịu nén của hệ nền CKD không sử dụng chất hoạt hóa NaOH ở 3, 7, 14 và 28 ngày tuổi. Nhận thấy rằng, cường độ chịu nén của hệ nền phát triển theo thời gian, không phụ thuộc vào hàm lượng tro bay. Điều này chứng tỏ rằng các phản ứng hydrat hóa và pozzolanic của tro bay vẫn tiến triển theo thời gian. Ở cùng độ tuổi, cường độ chịu nén của hệ nền CKD giảm khi hàm lượng tro bay trong hệ nền càng tăng. Cụ thể: các hệ nền CKD có hàm lượng tro bay 80% (FA80), 85% (FA85) và 90% (FA90) có cường độ chịu nén lần lượt là 11,61; 10,48; 6,15 MPa ở 3 ngày tuổi; và 23,66; 21,12; 16,05 MPa ở 28 ngày tuổi. Xu hướng giảm cường độ do tro bay cũng đã được quan sát ở nhiều nghiên cứu đi trước, điển hình như nghiên cứu của Durán-Herrera và cộng sự [22]. Điều này được giải thích là do phản ứng pozzolanic của tro bay xảy ra rất chậm [21], đặc biệt trong hệ nền CKD với hàm lượng tro bay lớn và hàm lượng xi măng thấp (Bảng 3).

Hình 2 thể hiện tỷ lệ cường độ chịu nén của hệ nền CKD đối chứng không chứa NaOH ở các ngày tuổi ban đầu (3, 7 và 14 ngày tuổi) so với 28 ngày tuổi (R_t/R_{28}). Nhận thấy rằng cường độ chịu nén của hệ nền chứa hàm lượng lớn tro bay ở 3 ngày tuổi đạt từ 38 đến 50 %, ở 7 ngày tuổi đạt từ 50 đến 66 % và ở 14 ngày tuổi đạt từ 76 đến 86 % so với 28 ngày tuổi. Hơn thế, hàm lượng tro bay càng nhiều thì tỷ lệ R_t/R_{28} của hệ nền càng thấp, chứng tỏ rằng hàm lượng tro bay không những ảnh hưởng đến cường độ chịu nén mà còn ảnh hưởng đến tốc độ phát triển cường độ chịu nén theo thời gian. Điều này có thể giải thích do phản ứng pozzolanic trong tro bay diễn ra thường sau 7 ngày tuổi và việc đóng góp cường độ cho hệ nền trong bê tông chỉ có ý nghĩa sau 28 ngày tuổi và phản ứng này xảy ra khi hệ nền CKD có nồng độ kiềm OH⁻ cao [22]. Do đó, khi tăng hàm lượng tro bay, nồng độ kiềm OH⁻ của hệ nền CKD giảm, dẫn đến việc làm giảm cường độ chịu nén của hệ nền không những ở độ tuổi ban đầu mà còn ở độ tuổi về sau [23]. Trong khi, đối với các hệ nền có hàm lượng xi măng cao, phản ứng hydrat hóa của xi măng tạo ra nhiều khoáng và các khoáng này lấp đầy các lỗ rỗng theo thời gian, giúp cải thiện cường độ chịu nén của hệ nền [24].



Hình 1. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến cường độ chịu nén của hệ nền CKD không có chất hoạt hóa NaOH.



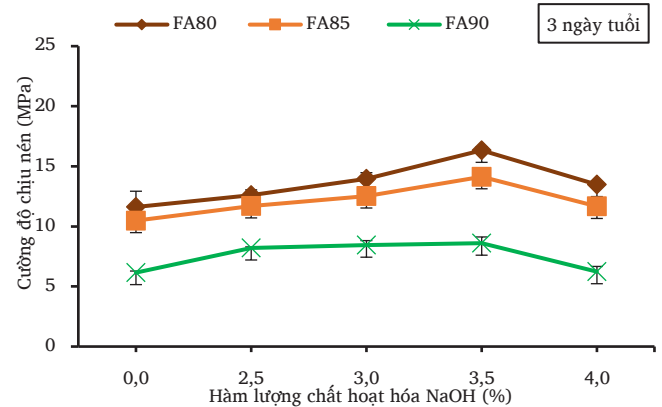
Hình 2. Tốc độ phát triển cường độ chịu nén ở các độ tuổi của hệ nền đối chứng không có chất hoạt hóa NaOH so với 28 ngày tuổi.

Chú thích: R_t/R_{28} là tỷ lệ cường độ chịu nén ở các ngày tuổi ban đầu (3, 7 và 14 ngày tuổi) so với 28 ngày tuổi.

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng chất hoạt hóa

Hình 3, 4, 5 và 6 thể hiện ảnh hưởng của hàm lượng chất hoạt hóa NaOH đến cường độ chịu nén của các hệ nền CKD lần lượt ở 3, 7, 14 và 28 ngày tuổi. Nhận thấy rằng hàm lượng chất hoạt hóa NaOH đã ảnh hưởng đáng kể đến cường độ chịu nén và sự phát triển cường độ chịu nén của hệ nền CKD, và sự ảnh hưởng này có xu hướng khác nhau ở từng độ tuổi. Ở 3 ngày tuổi, cường độ chịu nén của hệ nền CKD có bổ sung hàm lượng NaOH có giá trị cao hơn so với mẫu đối chứng không bổ sung NaOH (xem Hình 3). Cụ thể hệ nền CKD sử dụng 80 % tro bay (FA80) với 0 % NaOH có cường độ chịu nén đạt 11,61 MPa; trong khi, hệ nền FA80 với 2,5 %; 3,0 %; 3,5 % và 4,0 % NaOH có cường độ chịu nén lần lượt là 12,61; 13,97; 16,33; 13,48 MPa; tức cao hơn 8,6 %; 20,3 %; 40,7 % và 16,1%. Hệ nền CKD sử dụng 85% tro bay (FA85) với 0% NaOH có cường độ chịu nén đạt 10,48 MPa; trong khi, hệ nền FA85 với 2,5 %; 3,0 %; 3,5 % và 4,0 % NaOH có cường độ chịu nén lần lượt là 11,71; 12,53; 14,13 và 11,66 MPa; tức cao hơn 11,7; 19,6; 34,8 và 11,3 %. Hệ nền CKD sử dụng 90 % tro bay (FA90) với 0 % NaOH có cường độ chịu nén đạt 6,15 MPa; trong

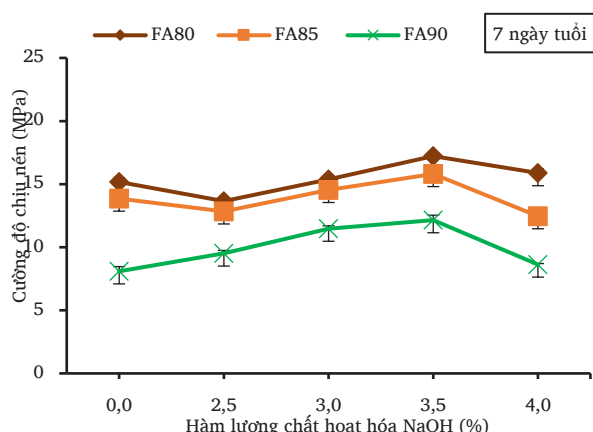
khi, hệ nền FA90 với 2,5 %; 3,0 %; 3,5% và 4,0% NaOH có cường độ chịu nén lần lượt là 8,20; 8,44; 8,60; 6,23 MPa; tức cao hơn 33,3; 37,2; 39,8 và 1,3 %. Từ đây, có thể thấy rằng ở 3 ngày tuổi, hệ nền chứa 80 % tro bay (FA80) được hoạt hóa bằng 3,5 % NaOH có giá trị cường độ chịu nén cao nhất ở 3 ngày tuổi; tuy nhiên, hệ nền chứa 85 % tro bay (FA85) được hoạt hóa bằng 3,5 % NaOH có giá trị cường độ chịu nén cao hơn so với hệ nền chứa 80 % tro bay (FA80) và 0 % NaOH. Điều này chứng tỏ rằng 3,5 % NaOH là hàm lượng tối ưu cho hệ nền chứa 85 % tro bay (FA85) khi xét về khía cạnh tận dụng hàm lượng tro bay lớn.



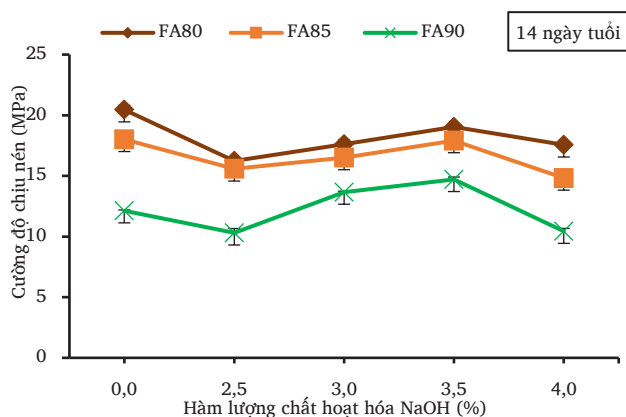
Hình 3. Ảnh hưởng của hàm lượng chất hoạt hóa NaOH đến cường độ chịu nén của các hệ nền CKD chứa 80% (FA80), 85% (FA85) và 90% (FA90) tro bay ở 3 ngày tuổi.

Ở 7 ngày tuổi, cường độ chịu nén của hệ nền có hàm lượng chất hoạt hóa NaOH là 3,0; 3,5 % và 4,0 % có giá trị cao hơn so với hệ nền đối chứng không bổ sung NaOH (xem Hình 4). Cụ thể hệ nền CKD sử dụng 80 % tro bay (FA80) với 0 % NaOH có cường độ chịu nén đạt 15,17 MPa; trong khi, hệ nền FA80 với 3,0 %; 3,5 % và 4,0 % NaOH có cường độ chịu nén lần lượt là 15,37; 17,22; 15,87 MPa; tức cao hơn 1,3 %; 13,5 %; 4,6 % và với hệ nền chứa 2,5 % NaOH có cường độ chịu nén là 13,65 MPa, tức là nhỏ hơn hệ nền đối chứng 10,0 %. Hệ nền CKD sử dụng 85 % tro bay (FA85) với 0 % NaOH có cường độ chịu nén đạt 13,86 MPa; trong khi, hệ nền FA85 với 3,0% và 3,5% NaOH có cường độ chịu nén lần lượt là 14,54 và 15,81 MPa; tức cao hơn 4,9 % và 14,1 %; trong khi, hệ nền chứa 2,5% và 4,0 % NaOH có cường độ chịu nén giảm so với hệ nền đối chứng, cụ thể đạt giá trị lần lượt 12,84 và 12,46 MPa; tức thấp hơn 7,4% và 10,1%. Hệ nền CKD sử dụng 90% tro bay (FA90) với 0 % NaOH có cường độ chịu nén đạt 8,09 MPa; trong khi, hệ nền FA90 với 2,5 %; 3,0 %; 3,5 % và 4,0 % NaOH có cường độ chịu nén lần lượt là 9,51; 11,47; 12,15; 8,63 MPa; tức cao hơn 17,6 %; 41,8 %; 50,2 % và 6,7 %. Tương tự ở 3 ngày tuổi, có thể thấy rằng ở 7 ngày tuổi, hệ nền chứa 85 % tro bay (FA85) được hoạt hóa bằng 3,5 % NaOH có giá trị cường độ chịu nén cao nhất khi xét về khía cạnh hiệu quả tận dụng hàm lượng lớn tro bay; chứng tỏ rằng 3,5 % NaOH là hàm lượng tối ưu cho hệ nền FA85.

Ở 14 ngày tuổi, cường độ chịu nén của hệ nền FA80 và FA85 sử dụng chất hoạt hóa NaOH có giá trị thấp hơn so với hệ nền đối chứng không bổ sung NaOH (xem Hình 5). Cụ thể, hệ nền CKD sử dụng 80% tro bay (FA80) với 0% NaOH có cường độ chịu nén đạt 20,45 MPa; trong khi, hệ nền FA80 với 2, 5%; 3,0 %, 3,5 % và 4,0 % NaOH có cường độ chịu nén lần lượt là 16,23; 17,62; 19,04; 17,55 MPa; tức thấp hơn 20,6 %; 13,8 %; 6,9 % và 14,2 %. Hệ nền CKD sử dụng 85% tro bay (FA85) với 0% NaOH có cường độ chịu nén đạt 18,01 MPa; trong khi, hệ nền FA85 với 2,5 %; 3,0 %; 3,5 % và 4,0 % NaOH có cường độ chịu nén lần lượt là 15,57; 16,51; 17,91; 14,82 MPa; tức thấp hơn 13,5 %; 8,3 %; 0,6 % và 17,7. Hệ nền CKD sử dụng 90 % tro bay (FA90) với 0% NaOH có cường độ chịu nén đạt 12,13 MPa; trong khi, hệ nền FA90 với 3,0 % và 3,5 % NaOH có cường độ chịu nén lần lượt là 13,66 và 14,71 MPa; tức cao hơn và 12,6 % và 21,3 %. Bên cạnh đó, có thể thấy rằng ở 14 ngày tuổi, hệ nền chứa 85 % tro bay (FA85) và 3,5 % NaOH có giá trị cường độ chịu nén xấp xỉ với hệ nền đối chứng không chứa NaOH.

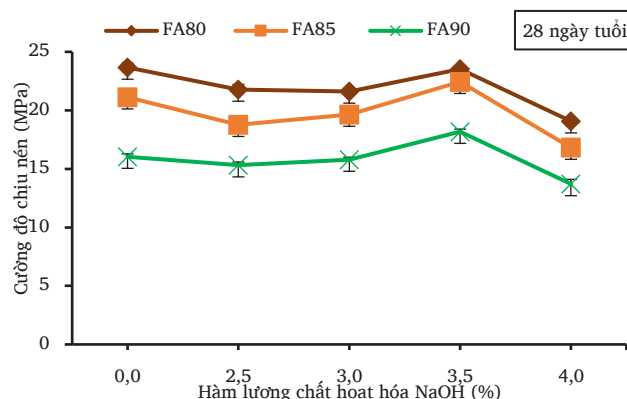


Hình 4. Ảnh hưởng của hàm lượng chất hoạt hóa NaOH đến cường độ chịu nén của các hệ nền CKD chứa 80% (FA80), 85% (FA85) và 90% (FA90) tro bay ở 7 ngày tuổi.



Hình 5. Ảnh hưởng của hàm lượng chất hoạt hóa NaOH đến cường độ chịu nén của các hệ nền CKD chứa 80% (FA80), 85% (FA85) và 90% (FA90) tro bay ở 14 ngày tuổi.

Ở 28 ngày tuổi, cường độ chịu nén của hệ nền CKD có bổ sung hàm lượng NaOH là 3,5 % có giá trị xấp xỉ hoặc cao hơn so với hệ nền đối chứng không bổ sung NaOH, tùy theo hàm lượng tro bay (xem Hình 6). Cụ thể, hệ nền CKD sử dụng 80 % tro bay (FA80) với 0 % NaOH có cường độ chịu nén đạt 23,66 MPa; trong khi, hệ nền FA80 với 3,5 % NaOH có cường độ chịu nén là 23,51 MPa; tức thấp hơn 0,6 %. Hệ nền CKD sử dụng 85 % tro bay (FA85) với 0 % NaOH có cường độ chịu nén đạt 21,12 MPa; trong khi, hệ nền FA85 với 3,5 % NaOH có cường độ chịu nén là 22,44 MPa; tức cao hơn 6,3 %. Hệ nền CKD sử dụng 90 % tro bay (FA90) với 0 % NaOH có cường độ chịu nén đạt 16,05 MPa; trong khi, hệ nền FA90 với 3,5 % NaOH có cường độ chịu nén là 18,18 MPa; tức cao hơn 13,3 %. Hơn thế, có thể thấy rằng ở 28 ngày tuổi, hệ nền chứa 85 % tro bay (FA85) được hoạt hóa bởi 3,5 % NaOH có giá trị cường độ chịu nén cao nhất khi so với các hệ nền được hoạt hóa bằng 2,5 %; 3,0 % và 4,0 % NaOH. Điều này chứng tỏ rằng 3,5 % NaOH là hàm lượng tối ưu.



Hình 6. Ảnh hưởng của hàm lượng chất hoạt hóa NaOH đến cường độ chịu nén của các hệ nền CKD chứa 80 % (FA80), 85 % (FA85) và 90 % (FA90) tro bay ở 28 ngày tuổi.

Từ các kết quả quan sát ở Hình 3, có thể thấy rằng ở độ tuổi sớm (3 ngày tuổi), việc thêm chất hoạt hóa NaOH đã hiệu quả trong việc góp phần tạo thêm anion OH⁻ và thúc đẩy phản ứng pozzolanic của của tro bay [12]; vì thế, cường độ chịu nén của hệ nền CKD sử dụng NaOH ở 3 ngày tuổi có cải thiện đáng kể. Kết quả tương đồng với hệ nền CKD với hàm lượng lớn tro bay sử dụng chất hoạt hóa natri sulfat trong nghiên cứu của Nguyễn và Hồ [25]. Việc sử dụng 3,5 % NaOH đã đem lại hiệu quả cải thiện cường độ chịu nén của hệ nền tối ưu nhất. Trong khi, việc sử dụng 2,5 % và 3,0 % NaOH có thể chỉ vừa đủ để bào mòn lớp vỏ tro bay và thúc đẩy một phần pozzolanic của tro bay nên cường độ chịu nén của hệ nền cao hơn hệ nền đối chứng nhưng thấp hơn hệ nền chứa 3,5 % NaOH. Tuy nhiên, khi hàm lượng NaOH vượt qua

3,5 % (tức 4,0 %), nồng độ kiềm trong hệ nền quá cao có thể đã kiềm hãm một phần quá trình hydrat hóa của xi măng [13], dẫn đến cường độ chịu nén của hệ nền có xu hướng giảm so với hệ nền chứa 3,5 % NaOH. Ở các độ tuổi về sau (sau 7 ngày tuổi), cường độ chịu nén của hệ nền chứa NaOH có giá trị cường độ chịu nén xấp xỉ với hệ nền đối chứng. Nguyên nhân là do khi thêm hàm lượng chất hoạt hóa NaOH vào hệ nền đã giúp thúc đẩy cường độ chịu nén ở độ tuổi sớm (ở 3 ngày tuổi) và có xu hướng bão hòa ở độ tuổi về sau (sau 7 ngày tuổi); trong khi đó, đối với hệ nền đối chứng không dùng chất hoạt hóa, quá trình hydrat hóa xi măng diễn ra theo thời gian nhằm tạo ra các sản phẩm hydrat hóa và anion OH⁻ trong hệ nền. Khi lượng OH⁻ đủ lớn, phản ứng pozzolanic của tro bay mới thực sự được diễn ra và cường độ chịu nén của hệ nền được cải thiện về sau.

Tóm lại, việc bổ sung thêm hàm lượng chất hoạt hóa NaOH đã giúp cải thiện đáng kể cường độ chịu nén ban đầu cho hệ nền CKD với hàm lượng tro bay sử dụng lớn (bao gồm 80, 85 và 90 % theo khối lượng). Hệ nền CKD sử dụng 85% tro bay và hàm lượng 3,5 % NaOH cho hiệu quả tối ưu nhất về mặt cường độ chịu nén ở độ tuổi ban đầu cũng như đảm bảo cường độ chịu nén ở tuổi về sau xấp xỉ bằng cường độ chịu nén của hệ nền CKD không sử dụng NaOH tương ứng.

4. Kết luận

Qua những kết quả thu được từ thực nghiệm, những kết luận có thể được đưa ra khi xét về hiệu quả tận dụng hàm lượng lớn tro bay bao gồm:

+ Hàm lượng tro bay 85 % trong hệ nền CKD cho kết quả tối ưu với giá trị cường độ chịu nén ở 3, 7, 14 và 28 ngày tuổi lần lượt là 10,48; 13,86; 18,01 và 21,12 MPa.

+ Hàm lượng chất hoạt hóa NaOH 3,5 % theo khối lượng cho kết quả tối ưu về giá trị cường độ chịu nén ở 3, 7, 14 và 28 ngày tuổi lần lượt là 14,13; 15,81; 17,91 và 22,44 MPa tương ứng với hệ nền sử dụng 85 % tro bay. Do đó, hàm lượng chất hoạt hóa là 3,5 % NaOH là tối ưu cho hệ nền CKD sử dụng 85 % tro bay.

Từ đó, việc sử dụng chất hoạt hóa NaOH để thúc đẩy cường độ sớm trong việc chế tạo hệ nền có sử dụng hàm lượng lớn tro bay mang tính khả thi. Vì vậy, việc nghiên cứu sử dụng hệ nền CKD với 85% tro bay, 15 % xi măng Portland và 3,5 % NaOH cần được tiếp tục triển khai để chế tạo cốt liệu tro bay nhân tạo thay thế cốt liệu lớn ứng dụng trong bê tông 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 này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài với mã số SVPFIEV-2023-KTXD-27. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này. Chúng tôi cũng xin gửi lời cảm ơn đến Ông Lê Đại Thành thuộc công ty xi măng Hà Tiên 1 đã hỗ trợ nguyên vật liệu, và các bạn sinh viên ngành Công nghệ Kỹ thuật Vật liệu Xây dựng đã hỗ trợ thực hiện thí nghiệm.

Tài liệu tham khảo

- [1]. V. Q. Lê và C. D. Nguyễn, "Xu hướng ứng dụng tro xỉ nhiệt điện trong sản xuất vật liệu xây dựng", *Sở Khoa học và Công nghệ TP.HCM, Trung tâm thông tin và KH&CN*, 63 trang, 2019.
- [2]. C. T. Kiều và Đ.Q. Nguyễn, "Tình hình và phương hướng tái chế, sử dụng tro xỉ của các nhà máy nhiệt điện ở Việt Nam", *Hiệp hội năng lượng Việt Nam*, 2013.
- [3]. Hội tuyến khoáng toàn quốc, "Báo cáo Hội nghị khoa học công nghệ tuyến khoáng toàn quốc lần III", 2010.
- [4]. V. Q. Lê, "Nghiên cứu chế tạo bê tông hàm lượng cao dùng cho mục đích kết cấu các công trình xây dựng", *Sở Khoa học và Công nghệ TP.HCM*, 2020.
- [5]. Bộ Công Thương, "Thực trạng phát thải và hướng xử lý nguồn tro, xỉ từ các nhà máy nhiệt điện: Tạo nguồn vật liệu xây dựng mới", *Tổng cục năng lượng, Bộ Công Thương*, 2022.
- [6]. Quyết định số 428/QĐ-TTg, "Phê duyệt điều chỉnh quy hoạch phát triển điện lực quốc gia giai đoạn 2011-2020 có xét đến năm 2030", *Thủ tướng Chính phủ*, 2016.
- [7]. Bộ Xây Dựng, "Phế thải tro bay: Vật liệu cách âm, cách nhiệt tối ưu", *Bộ Xây Dựng*, 2022.
- [8]. T. B. Nguyễn, T. T. Nguyễn và H. Q. Đình, "Nghiên cứu đánh giá chất lượng tro bay, xỉ lò cao của các nhà máy nhiệt điện và luyện kim ở Việt Nam", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, số 57, 27–39, 2019.
- [9]. S. H. Mai, "Một số vấn đề về sử dụng tro bay để xây dựng các đập bê tông đầm lăn của Việt Nam", *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, số 8, 67–69, 2006.
- [10]. O. J. Olatoyan, M. A. Kareem, A. U. Adebajo, S. O. A. Olawale and K. T. Alao, "Potential use of biomass ash as a sustainable alternative for fly ash in concrete production", *Hybrid Advances*, vol. 4, 100076, 2023, doi: 10.1016/J.HYBADV.2023.100076.
- [11]. T. Hemalatha and A. Ramaswamy, "Fly ash cement", *Handbook of Fly Ash*, 547–563, 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-817686-3.00016-5.
- [12]. T. Đ. K. Nguyễn, P. T. Bùi và N. T. Nguyễn, "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", *Tạp chí Vật liệu & Xây dựng - Bộ Xây dựng*, số 12, 2022, doi: 10.54772/JOMC.05.2022.347.
- [13]. P. T. Bùi, N. T. Nguyễn, Đ. P. Q. Nguyễn, T. H. Đăng và A. T. Lê, "Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ dưỡng hộ ban đầu đến cường độ nén của hệ nền xi măng chứa tro bay được hoạt hóa bằng Natri Sulfat", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, NUCE 2021*, số 15 (1V): 17–28, 2021.
- [14]. V. L. Tăng và Đ. T. Nguyễn, "Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng tro bay và xỉ lò cao hoạt tính đến tính chất của bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng chất kết dính xi măng", *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy Lợi và Môi trường*, số 76, 11–20, 2021.
- [15]. A. H. Abdullah, Y. Hin Taufiq-Yap, A. I. Al-Negheimish and J. Noorzaei, "The effect of various chemical activators on pozzolanic reactivity: A review", *Scientific Research and Essays*, vol. 7, 719–729, 2012, doi: 10.5897/SRE10.858.
- [16]. Bộ Khoa học và Công nghệ, "TCVN 2682:2020: Xi măng Portland - Yêu cầu kỹ thuật", 2020.
- [17]. Bộ Khoa học và Công nghệ, "TCVN 10302:2014: Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng", 2014.
- [18]. Bộ Khoa học và Công nghệ, "TCVN 4506:2012: Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật", 2012.
- [19]. H. B. K. Đường, "Nghiên cứu sản xuất bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu nhẹ dựa trên nguồn nguyên liệu phế phẩm địa phương là tro bay", *Luận văn thạc sỹ, Đại học Cần Thơ*, 2019.

- [20]. Bộ Khoa học và Công nghệ, “TCVN 6016:2011: Xi măng - Phương pháp thử - Xác định cường độ”, 2011.
- [21]. L. T. Nguyễn, “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”, *Tạp chí KHCN Xây dựng*, số 3, 34–41, 2018.
- [22]. A. Durán-Herrera, C.A. Juárez, P. Valdez, D.P. Bentz, “Evaluation of sustainable high-volume fly ash concretes”, *Cement Concrete Composite*, vol. 33, 39–45, 2011.
- [23]. Q. P. Nguyễn, “Nghiên cứu sử dụng CKD kiểm hoạt hóa để chế tạo bê tông ứng dụng cho các công trình thủy lợi”, *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, số 70, 10–16, 2020.
- [24]. D. T. Nguyen, L. V. Tang, H. X. Ngo, P. V. Dang, C. A. Ho and D. K. Vu, “Effect of fly ash on the strength of cement paste at early age”, *Journal of Mining and Earth Sciences*, vol. 61, Issue 6, 10–18, 2020.
- [25]. V. C. T. Nguyễn và Q. N. Hồ, “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, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP.HCM*, 2021.