

Ảnh hưởng của tro bay đến cường độ chịu nén của bê tông xi măng có sử dụng phụ gia ninh kết nhanh

Effect of fly ash on the compressive strength of cement concrete using accelerating admixture

ThS. Lê Châu Tuấn^{1,*}, ThS. Võ Bá Huy¹, Nguyễn Cao Trí², Mai Nhật Phàm², Đinh Thị Như Ý²

¹ Khoa Kỹ thuật Hạ tầng Đô thị, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây,

² Sinh viên lớp Kỹ thuật xây dựng công trình giao thông, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây.

*Email: lechautuan@mtu.edu.vn

■ Nhận bài: 04/06/2024 ■ Sửa bài: 22/06/2024 ■ Duyệt đăng: 12/08/2024

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ban đầu về việc sử dụng tro bay để thay thế một phần xi măng trong chế tạo bê tông xi măng. Thí nghiệm được thực hiện trên 3 cấp phối bê tông xi măng được thiết kế mác M250, M300, M350. Có 24 tổ mẫu có thay thế xi măng bằng tro bay, 2 tổ mẫu đối chứng được đúc. Tất cả các mẫu được xác định cường độ chịu nén ở 7 ngày và 28 ngày tuổi. Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc thay thế 20% tro bay đã cải thiện đáng kể cường độ chịu nén của bê tông. Cụ thể, cường độ chịu nén ở 7 ngày tăng từ 2,7% đến 10,3%, cường độ chịu nén ở 28 ngày tăng từ 16,6% đến 22,4% so với mẫu đối chứng.

Từ khóa: tro bay, bê tông xi măng, hàm lượng thay thế tro bay trong bê tông.

ABSTRACT

This article presents initial research results on using fly ash to partially replace cement in making cement concrete. The experiment was carried out on 3 cement concrete mixes designed as M250, M300, M350. Among them, 24 sample groups replaced cement with fly ash, and 2 control sample groups. All samples had their compressive strength determined at 7 days and 28 days of age. Research results show that replacing 20% of fly ash has significantly improved the compressive strength of concrete. Specifically, the compressive strength at 7 days increased from 2.7% to 10.3%. Compression resistance at 28 days increased from 16.6% to 22.4% compared to the control sample.

Keywords: fly ash, cement concrete, fly ash replacement content in concrete.

1. GIỚI THIỆU

Trong quá trình đốt cháy than để sản xuất điện, khoảng 20% chất vô cơ không cháy và cả lượng than chưa cháy hết bị dính vón thành các hạt lớn và rơi xuống đáy lò gọi là xỉ than hay tro đáy và 80% chất vô cơ không cháy còn lại sẽ bay theo khói lò thoát ra ngoài thành tro bay. Dự báo tổng lượng tro bay và xỉ than tích trữ tại Việt Nam sẽ lên tới hơn 422 triệu tấn vào năm 2030 [1]. Nếu không có biện pháp tái chế, tái sử dụng hợp lý, lượng tro bay này sẽ gây ảnh hưởng tới môi trường và sức khỏe người dân. Tái sử dụng nguyên liệu tro bay nhằm giải quyết vấn đề chất thải rắn đang là vấn đề được quan tâm. Trong đó, tro bay sử

dụng để thay thế cốt liệu trong chế tạo bê tông xi măng là một giải pháp.

Có nhiều nghiên cứu ảnh hưởng của tro bay đến bê tông ở trong nước và trên thế giới trong nhiều lĩnh vực về giá trị kinh tế, môi trường, tính công tác của bê tông.

Trên thế giới, tro bay đã được nghiên cứu và sử dụng làm phụ gia khoáng cho bê tông [2-11] góp phần quan trọng vào giảm ô nhiễm môi trường và đặc biệt là giảm lượng khí thải nhà kính do sản xuất xi măng. Sử dụng tro bay thay thế một phần xi măng trong bê tông làm tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông, giảm nhiệt thủy hóa, nâng cao cường độ của bê tông [3,5,7-11].

Ở Việt Nam, cũng đã có nhiều nghiên cứu về thành phần, hàm lượng tro bay tối ưu trong cấp phối bê tông. Tro bay thay thế một phần xi măng đã được sử dụng cho bê tông chất lượng siêu cao đã mang lại hiệu quả tích cực. Sử dụng tro bay thay thế 20% thể tích xi măng đã cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông chất lượng siêu cao [12], hay cải thiện tính công tác và độ hút nước của mẫu bê tông cường độ cao khi hàm lượng tro bay thay thế đến 40% xi măng trong cấp phối [13]. Ngoài ra, ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến một số tính chất của bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng xi măng cũng được nghiên cứu [14].

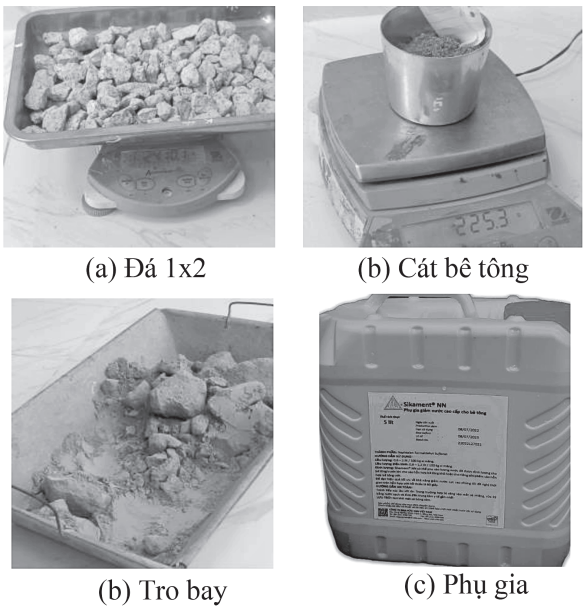
N. T. Lam cùng đồng sự [15] nghiên cứu cho thấy cường độ chịu nén của bê tông giảm nhẹ nhưng vẫn đạt mức thiết kế khi thay thế đến 30% và giảm từ 31,4% đến 41,6% khi thay thế đến 40% xi măng bằng tro bay. N.V Huong và cộng sự [16] nghiên cứu cải thiện được khả năng chống nứt sớm cho bê tông khi thay thế 15% và 25% xi măng bằng tro bay. N.C. Thang và cộng sự [17] sử dụng tổ hợp phụ gia khoáng silica fume và tro bay để thay thế một phần xi măng nhằm cải thiện tính công tác và tăng cường độ nén của bê tông. Cường độ nén lớn nhất của tổ hợp này đạt được khi lượng dùng tro bay là 20%. Nhìn chung, hàm lượng tro bay thay thế xi măng có hiệu quả và đảm bảo cường độ bê tông theo thiết kế ban đầu dao động từ 15% đến 30% [15-21].

Phụ gia đông cứng nhanh sử dụng cho bê tông có tác dụng rút ngắn thời gian ninh kết của hỗn hợp, tăng nhanh cường độ bê tông trong thời gian ban đầu, nhưng có thể làm giảm cường độ lâu dài của bê tông. Trong thực tế thi công, loại phụ gia này đã được sử dụng khá phổ biến nhằm rút ngắn thời gian thi công. Tuy nhiên, ảnh hưởng của phụ gia ninh kết nhanh hầu như ít được quan tâm. Bài báo này trình bày nghiên cứu thực nghiệm sử dụng tro bay và phụ gia đông kết nhanh tham gia vào cấp phối bê tông. Thí nghiệm được thực hiện trên 3 thiết kế cấp phối bê tông mác 250, 300, và 350, với tỷ lệ thay thế xi măng từ 15 đến 30% bằng tro bay. Chi tiết thí nghiệm và các kết quả thí nghiệm được thể hiện ở phần sau.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Các loại vật liệu: đá 1x2 Tân Hóa An, cát bê tông, xi măng PCB40 Hà Tiên, tro bay của nhà máy nhiệt điện Duyên Hải 1 và phụ gia đông kết nhanh Sikament® NN (Hình 1) được sử dụng trong nghiên cứu này. Tất cả đều được thực hiện các thí nghiệm về thành phần hạt, chỉ tiêu cơ lý, độ ẩm, đảm bảo yêu cầu kỹ thuật để sử dụng cho bê tông xi măng. Kết quả thí nghiệm một số tính chất cơ lý của vật liệu được tổng hợp ở Bảng 1.



Hình 1. Vật liệu đúc mẫu

Bảng 1: Các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu

Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả
Cát bê tông		
Độ ẩm	%	1,89
Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	1,419
Mô đun độ lớn		1,81
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,515
Đá 1x2		
Độ ẩm	%	0,33
Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	1,435
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,505

Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả
Tro bay		
Độ ẩm	%	0,28
Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	944
Tỷ trọng	g/cm ³	2,24
Hàm lượng mất khi nung	%	6,48
Hàm lượng SiO ₂	%	56,02
Hàm lượng Fe ₂ O ₃	%	6,61
Hàm lượng Al ₂ O ₃	%	22,47
Hàm lượng SO ₃	%	0,22
Xi măng		
Khối lượng riêng	g/cm ³	3,00
Cường độ nén (28 ngày ± 2h)	MPa	40
Thời gian đông kết		
- Bắt đầu đông kết	phút	135
- Kết thúc đông kết	phút	240

Sikament® NN là một dung dịch có hai tính năng vừa là chất siêu hoá dẻo được dùng để sản xuất bê tông chảy lỏng và là tác nhân giảm nước đáng kể để đạt cường độ ban đầu và cuối cùng cao. Sikament® NN phù hợp tiêu chuẩn ASTM C494 loại F.

2.2 Phương pháp nghiên cứu

Kết hợp phương pháp tổng hợp và phương pháp thực nghiệm:

Phương pháp tổng hợp: Tổng hợp các nghiên cứu về ảnh hưởng của tro bay đến cường độ của BTXM từ đó lựa chọn cấp phối hợp lý. Tiến hành thực nghiệm đúc mẫu và thí nghiệm hiện trường bao gồm mẫu đối chứng. Cuối cùng, so sánh, đánh giá kết quả.

Phương pháp thực nghiệm: Thí nghiệm vật liệu đầu vào, đúc mẫu và xác định cường độ chịu nén của bê tông thông thường và bê tông sử dụng tro bay theo tỷ lệ % tại Trung tâm thí nghiệm thuộc Trường ĐHXD Miền Tây.

2.3 Thiết kế thành phần cấp phối thử nghiệm

Bảng 2: Thành phần cấp phối của các nhóm tổ mẫu (tính cho 1m³ BTXM)

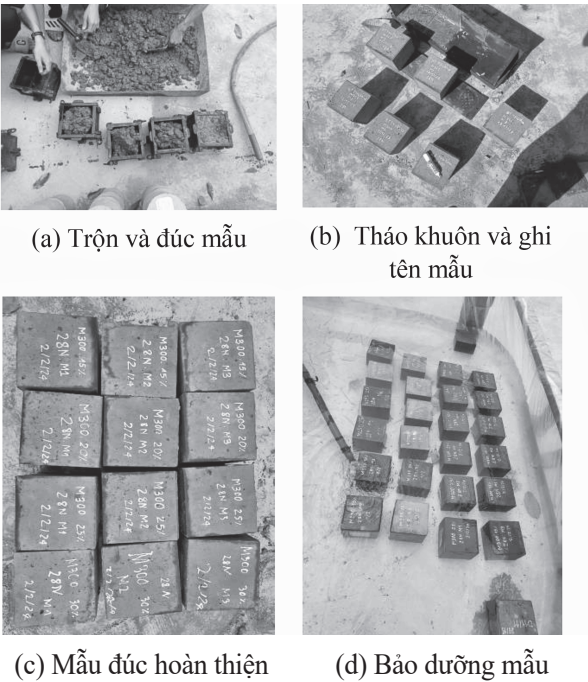
Mác bê tông	Cát (kg)	Đá 1x2 (kg)	XM (kg)	TB (kg)	Nước (lít)	Sika (lít)
M250	513	1234	356,3	0,0	174,6	1,8
M250TB15	513	1234	302,8	53,4	174,9	1,5
M250TB20	513	1234	285,0	71,3	175,0	1,4
M250TB25	513	1234	267,2	89,1	175,1	1,3
M250TB30	513	1234	249,4	106,9	175,2	1,2
M300	475	1225	408,5	0,0	176,2	2,0
M300TB15	475	1225	347,2	61,3	176,5	1,7
M300TB20	475	1225	326,8	81,7	176,6	1,6
M300TB25	475	1225	306,4	102,1	176,7	1,5
M300TB30	475	1225	286,0	122,6	176,8	1,4
M350	430	1208	460,8	0,0	183,8	2,3
M350TB15	430	1208	391,6	69,1	184,1	2,0
M350TB20	430	1208	368,6	92,2	184,2	1,8
M350TB25	430	1208	345,6	115,2	184,4	1,7
M350TB30	430	1208	322,5	138,2	184,5	1,6

2.4. Chế tạo mẫu

Có 26 tổ mẫu được đúc, mỗi tổ mẫu có 3 mẫu. Trong đó, 12 tổ mẫu thí nghiệm cường độ chịu nén ở 7 ngày, 12 tổ mẫu thí nghiệm cường độ chịu nén ở 28 ngày và 2 tổ mẫu đối chứng.

Trước khi đúc mẫu, tiến hành thiết kế cấp phối bê tông. Có 3 mác bê tông được thiết kế trong thí nghiệm này gồm: M250, M300 và M350. Tương ứng với từng mác bê tông, xác định hàm lượng tro bay thay thế xi măng trong cấp phối. Hàm lượng tro bay thay thế xi măng có hiệu quả, đảm bảo cường độ bê tông theo thiết kế dao động từ 15% đến 30% [11-13]. Tỷ lệ tro bay thay thế trong nghiên cứu này là 15%, 20%, 25% và 30%. Hàm lượng phụ

gia ninh kết nhanh lấy theo chỉ dẫn kỹ thuật trên bao bì của nhà sản xuất ở mức 0,5 lít cho 100kg xi măng. Thống kê mẫu bê tông thiết kế được thể hiện ở



Hình 2. Các công đoạn đúc mẫu và bảo dưỡng mẫu

Bảng 3: Thống kê mẫu bê tông thiết kế

Tên tổ mẫu	Nhóm mẫu	Mác thiết kế (MPa)	Tỷ lệ tro bay (%)
7M250TB0	7 ngày	25	0
7M250TB15		25	15
7M250TB20		25	20
7M250TB25		25	25
7M250TB30		25	30
7M300TB0		30	0
7M300TB15		30	15
7M300TB20		30	20
7M300TB25		30	25
7M300TB30		30	30
7M350TB0		35	0
7M350TB15		35	15
7M350TB20		35	20
7M350TB25		35	25
7M350TB30		35	30

Tên tổ mẫu	Nhóm mẫu	Mác thiết kế (MPa)	Tỷ lệ tro bay (%)
28M250TB0	28 ngày	25	0
28M250TB15		25	15
28M250TB20		25	20
28M250TB25		25	25
28M250TB30		25	30
28M300TB0		30	0
28M300TB15		30	15
28M300TB20		30	20
28M300TB25		30	25
28M350TB30		30	30
28M350TB0		35	0
28M350TB15		35	15
28M350TB20		35	20
28M350TB25		35	25
28M350TB30		35	30

Các mẫu được nén để xác định cường độ ở 7 ngày và 28 ngày tuổi. Quá trình nén mẫu được thực hiện tại Phòng LAS – XD 1233 Trung tâm Thí nghiệm xây dựng và môi trường thuộc Trường ĐHXD Miền Tây (Hình 3).

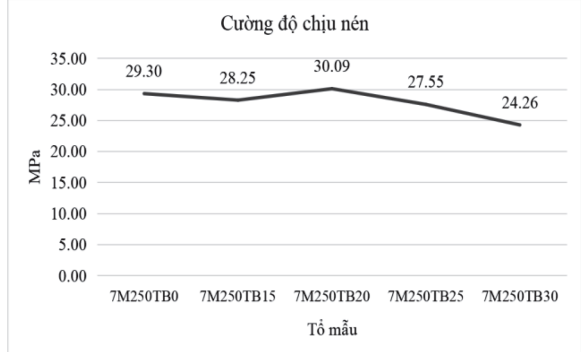
Giá trị cường độ chịu nén là giá trị trung bình của 3 mẫu trong tổ mẫu. Nếu so sánh các giá trị cường độ nén các mẫu trong tổ với viên mẫu trung bình lệch quá 15% thì loại bỏ giá trị đó.



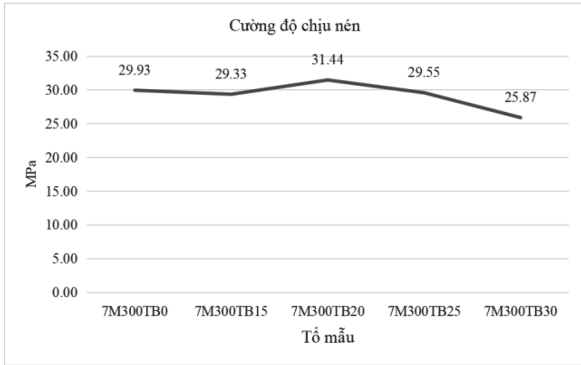
Hình 3. Thí nghiệm cường độ chịu nén

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

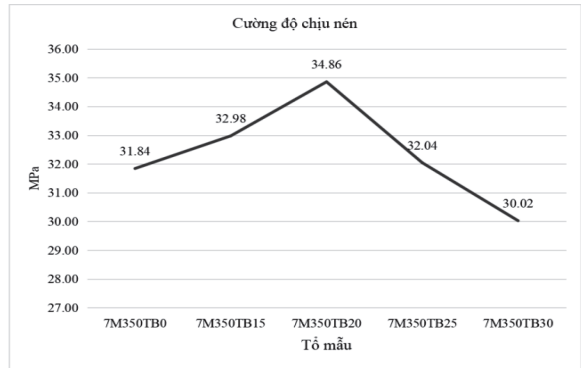
3.1. Cường độ chịu nén của mẫu ở 7 ngày



(a) Bê tông M250



(b) Bê tông M300



c) Bê tông M350

Hình 4. Cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi của tổ mẫu

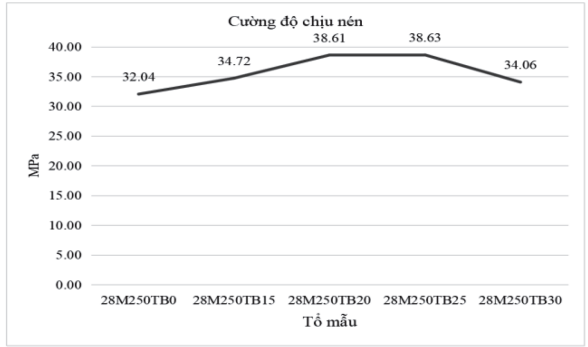
Hình 4 thể hiện các giá trị cường độ chịu nén của mẫu ở 7 ngày tuổi. Hình 4a là biểu đồ thể hiện giá trị cường độ chịu nén của mẫu được thiết kế bê tông với mác M250 có tỷ lệ thay thế xi măng bằng tro bay lần lượt là 0%, 15%, 20%, 25% và 30%. Mẫu 7M250TB20 có cường độ chịu nén 30,06 MPa, lớn nhất trong nhóm mẫu này, tăng 2,7% so với mẫu đối chứng (7M250TB0). Khi thay thế xi măng bằng tro bay ở tỷ lệ càng lớn hơn (25% và 30%) thì cường độ chịu nén của mẫu càng giảm. Cụ thể, mẫu 7M250TB25, 7M250TB30

lần lượt có cường độ chịu nén lần lượt là 27,55 MPa và 24,26 MPa, giảm tương ứng so với mẫu đối chứng là 6% và 17,2%.

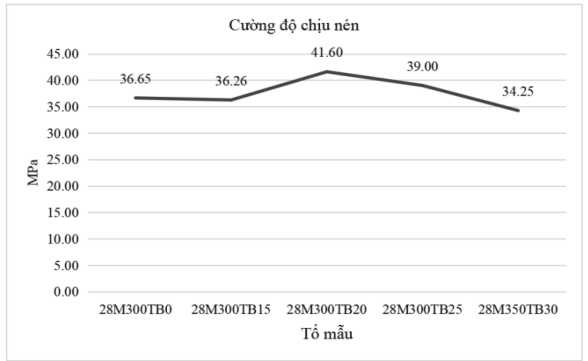
Hình 4b là biểu đồ thể hiện giá trị cường độ chịu nén của mẫu ở 7 ngày tuổi, được thiết kế bê tông với mác M300. Mẫu đối chứng có cường độ chịu nén là 29,93 MPa. Mẫu 7M300TB20 (tỷ lệ thay thế tro bay là 20%) có cường độ chịu nén 31,44 MPa tăng 5,2% so với mẫu đối chứng. Khi thay thế tro bay ở tỷ lệ càng lớn hơn (25% và 30%) thì cường độ chịu nén của mẫu càng giảm, cụ thể, mẫu 7M300TB25, 7M300TB30 lần lượt có cường độ chịu nén là 29,55 và 25,87 MPa, giảm tương ứng so với mẫu đối chứng là 1,3% và 13,8%.

Tương tự, ở hình 4c, với thiết kế bê tông mác M350, cường độ chịu nén của mẫu đạt giá trị lớn nhất khi thay thế 20% tro bay trong cấp phối bê tông, với cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi là 34,86 MPa (mẫu 7M350TB20) tăng đến 10,3% so với mẫu đối chứng (mẫu 7M350TB0 có cường độ chịu nén là 31,84 MPa. Với tỷ lệ thay thế tro bay 30% mẫu bê tông 7M350TB30 có cường độ chịu nén giảm 6,2% so với mẫu đối chứng.

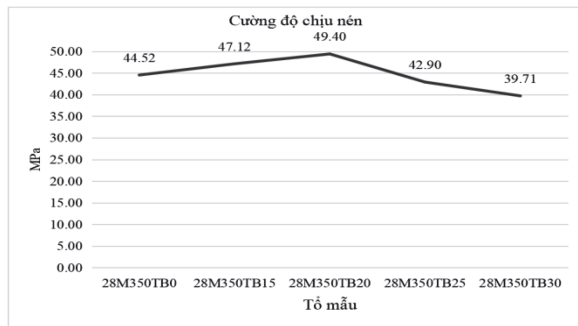
3.2. Cường độ chịu nén của mẫu ở 28 ngày



(a) Bê tông M250



(b) Bê tông M300



c) Bê tông M350

Hình 5. Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi của tổ mẫu

Hình 5a là biểu đồ thể hiện giá trị cường độ chịu nén ở 28 ngày của mẫu được thiết kế bê tông với mác M250 có tỷ lệ thay thế xi măng bằng tro bay lần lượt là 0%, 15%, 20%, 25% và 30%. Mẫu 28M250TB25, 28M250TB25 có cường độ chịu nén lần lượt 38,61 và 38,63 MPa, lớn nhất trong nhóm mẫu này, tăng trung bình 22,4% so với mẫu đối chứng (mẫu 28M250TB0 có cường độ chịu nén 32,04 MPa). Khi thay thế tro bay ở tỷ lệ 30% thì cường độ chịu nén của mẫu giảm, cụ thể, mẫu 28M250TB30 có cường độ chịu nén là 34,06 MPa giảm 6,9% so với mẫu đối chứng.

Hình 5b là biểu đồ thể hiện giá trị cường độ chịu nén của mẫu ở 28 ngày được thiết kế bê tông với mác M300. Mẫu đối chứng 28M300TB0 có cường độ chịu nén là 36,65 MPa. Mẫu thay thế tro bay 20% có cường độ lớn nhất. Cụ thể, mẫu 28M300TB20 có cường độ chịu nén 41,60 MPa tăng 16,9% so với mẫu đối chứng. Mẫu 28M300TB25 có cường độ chịu nén 39,0 MPa tăng 8% so với mẫu đối chứng. Khi thay thế tro bay ở tỷ lệ 30% thì cường độ chịu nén của mẫu giảm. Mẫu 28M300TB30 có cường độ chịu nén là 34,25 MPa, giảm so với mẫu đối chứng là 8,2%.

Tương tự, ở Hình 5c, với thiết kế bê tông M350, cường độ chịu nén của mẫu đạt giá trị lớn nhất khi thay thế 20% tro bay trong cấp phối bê tông, với cường độ chịu nén ở 28 ngày là 49,40 MPa (mẫu 28M350TB20)

tăng 16,6% so với mẫu đối chứng (mẫu 28M350TB0 có cường độ chịu nén là 44,52 MPa). Với tỷ lệ thay thế tro bay 25%, 30% mẫu bê tông 28M350TB25 và 28M350TB30 có cường độ chịu nén giảm lần lượt là 5,6%, và 16,4%

Kết quả ở hình 4 và 5 cho thấy, khi thay thế tro bay ở mức 15%, giá trị cường độ chịu nén thay đổi tăng giảm ở mức nhỏ so với mẫu đối chứng, mức giảm cao nhất là 3,6% (mẫu 7M250TB15), mức tăng cao nhất là 9,1% (mẫu 28M250TB15). Khi thay thế tro bay 20% cường độ chịu nén của mẫu tăng, cụ thể cường độ chịu nén ở 7 ngày tăng từ 2,7% đến 10,3%, cường độ chịu nén ở 28 ngày tăng từ 16,6% đến 22,4% so với mẫu đối chứng. Khi thay thế tro bay từ 30% thì cường độ chịu nén của các mẫu giảm so với mẫu đối chứng, cụ thể cường độ chịu nén ở 7 ngày giảm từ 6,2% đến 17,2%, cường độ chịu nén ở 28 ngày giảm từ 8,2% đến 16,4%.

Mặc khác, mẫu bê tông có mác M250 ở 28 ngày tuổi, khi thay thế 25% và 30% tro bay cường độ tăng ở mức từ 22,5% và 6,9%. Mẫu 28M300TB25 có thiết kế M300 ở 28 ngày tuổi, thay thế 25% tro bay, cường độ tăng ở mức từ 8% so với mẫu đối chứng. Sự tăng giảm cường độ của các mẫu này có sự khác biệt nhỏ so với phân tích ở trên cho thấy rằng, giá trị cường độ chịu nén tăng giảm không chỉ phụ thuộc vào tỷ lệ tro bay thay thế mà còn chịu ảnh hưởng của ngày tuổi của bê tông và mác bê tông thiết kế.

4. KẾT LUẬN

Các kết quả nghiên cứu thí nghiệm đã chỉ ra một số ảnh hưởng của tro bay đến cường độ chịu nén của bê tông có sử dụng phụ gia ninh kết nhanh như sau:

Khi thay thế tro bay ở mức 15%, giá trị cường độ chịu nén thay đổi tăng giảm ở mức nhỏ (từ giảm 3,6% đến tăng 9,1%) so với mẫu đối chứng.

Khi thay thế tro bay 20% cường độ chịu

nén của mẫu tăng, cụ thể cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi tăng từ 2,7% đến 10,3%, cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi tăng từ 16,6% đến 22,4% so với mẫu đối chứng.

Khi thay thế tro bay từ 30% thì cường độ chịu nén của các mẫu giảm so với mẫu đối chứng, cụ thể cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi giảm từ 6,2% đến 17,2%, cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi giảm từ 8,2% đến 16,4%.

Giá trị cường độ chịu nén tăng giảm không chỉ phụ thuộc vào tỷ lệ tro bay thay thế mà còn chịu ảnh hưởng của ngày tuổi của bê tông và mác bê tông thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] <https://moc.gov.vn/vn/tin-tuc/1295/57486/vat-lieu-xay-dung-tu-tro-xi-giai-phap-bao-ve-moi-truong-va-hieu-qua-kinh-te.aspx>.
- [2] Anon, “An Investigation of the Pozzolanic Nature of Coal Ashes”, *Engineering News*, 71(24):1334-1335, 1914.
- [3] Davis, R. E., Carlson, R. W., Kelly, J. W., Davis, H. E.. “Properties of cements and concretes-containing fly ash”. *Proceedings American Concrete Institute*, 33(5):577-612, 1937.
- [4] Helmuth, R. “Fly ash in cement and concrete”. *Portland Cement Association*, Skokie, III, 1997.
- [5] Malhotra, V. M., Ramezaniapour, A. A. “Fly ash in concrete”, *CANMET*, Ottawa, 1994.
- [6] ACI 232.2R-96, “Use of fly ash in concrete”, *American Concrete Institute*, Detroit, 1996.
- [7] Mehta, P. K. “High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable development”, *Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, Iowa State University Ames, IA, USA, 3-14, 2014.
- [8] Fraay, A. L. A., Bijen, J. M., De Haan, Y. M. “The reaction of fly ash in concrete a critical examination”, *Cement and Concrete Research*, 19(2):235-246, 1989.
- [9] P. R. Lustosa, M. S. Magalhães, “Influence of fly ash on the compressive strength and young’s modulus of concrete”, *3rd International Conference on Bio-Based Building Materials*, Belfast, UK, 2019.
- [10] Dr. Ngo Si Huy, MEng. Le Thi Thanh Tam, “Effect of fly ash content on the compressive strength development of concrete”, *Tạp chí KHCN Xây Dựng*, số 2/2017.
- [11] Yongning Cui, Qingfu Li, Xiaoxia Wu, Ying MA, “Experimental Study on the Influence of Fly Ash on Mechanical Properties and Shrinkage Performance of Concrete”, *2016 International Conference on Architectural Engineering and Civil Engineering (AECE-16)*, volume 72, 2016.
- [12] V.V.T. An, B.D. Dai, T.D. Trung, “Ảnh hưởng của tro bay và xỉ lò cao đến độ bền của bê tông chất lượng siêu cao trong môi trường xâm thực”, *Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng*, 15, 6V (2021), DOI: 10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(6V)-05.
- [13] Chánh, Đoàn C., Nhuận, N. P., Khánh, T. V., & Phước, H. T, “Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay thay thế một phần xỉ măng đến các tính chất của bê tông cường độ cao”, *Tạp chí Vật liệu & Xây dựng*, 11(05), T6 –12, 2022.
<https://doi.org/10.54772/jomc.05.2021.222>
- [14] T.V. Lam, N.D. Trinh, “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 KHKT Thủy lợi và Môi trường*, 12(76):11-20, 2022.
- [15] N. T. Lam, N. N. Linh, T. V. Nam, V. D. Kien, T. V. Khai, & P. Đ. Hieu, “Ảnh hưởng của tro bay thay thế một phần xỉ măng đến tính chất của bê tông thương phẩm”, *Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng - ĐHXDHN*, 14(4V), 96-105.
[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(4V\)-09](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(4V)-09)
- [16] Nguyễn Văn Hường, “Ảnh hưởng của tro

bay đến khả năng nứt của bê tông trong điều kiện bị kiềm hãm”, *Tạp chí KH và CN Thủy lợi*, số 65, 2019.

- [17] Nguyễn Thị Thu Hương, “Phương pháp thiết kế cấp phối bê tông có sử dụng kết hợp phụ gia khoáng và phụ gia hóa”, *Tạp chí KH Kỹ Thuật Thủy lợi và Môi trường*, 38, 2022.
- [18] Ngô Anh Quân, “Nghiên cứu ảnh hưởng hàm lượng tro bay đến một số tính chất kỹ thuật của bê tông ứng dụng cho các công trình thủy lợi”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, số 78 - 2023.
- [19] Nguyễn Chí Thành, Đỗ Ngọc Thái, Đặng

Văn Kiên, “Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay thay thế xi măng đến cường độ của bê tông”, *Hội nghị toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2020)*.

- [20] Nguyễn Đình Hải, Trần Anh Tuấn, “Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay thay thế đến cường độ và co ngót của bê tông hạt nhỏ”, *Tạp chí Giao thông vận tải*, 2021.
- [21] Tống Tôn Kiên, “Ảnh hưởng của loại và hàm lượng tro bay cao đến cường độ và tính thấm của bê tông cường độ cao”. *Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng*, 17(2V), 108-122