

ỨNG DỤNG TRO BAY THAY THẾ HẠT MỊN TRONG VẬT LIỆU CƯỜNG ĐỘ THẤP (CLSM)

Đường Hoàng Trung Hiếu¹, Lê Hữu Quốc Phong¹ và Nguyễn Thanh Tuấn¹

¹Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ

Email: dhthieu@ctu.edu.vn

Thông tin chung:

Ngày nhận bài:

18/6/2025

Ngày nhận bài sửa:

19/9/2025

Ngày duyệt đăng:

25/9/2025

TÓM TẮT

Nghiên cứu này xem xét tiềm năng của tro bay (FA) để thay thế các hạt mịn trong bê tông như một đánh giá trong phòng thí nghiệm về vật liệu cường độ thấp (CLSM). Sau các thí nghiệm về các tính chất vật lý cơ bản của FA, tro bay lò đốt được thay thế bằng các hạt mịn để thử nghiệm vữa với tỷ lệ thay thế là 0, 25, 50, 75 và 100%. Kết quả của thí nghiệm cho thấy cường độ chịu nén và giá trị Ultrasonic pulse velocity (UPV) của các mẫu bê tông đều giảm khi tỷ lệ thay thế tăng. Bên cạnh đó, dựa trên việc thử nghiệm các mẫu CLSM với lượng xi măng là 150 kg/m³, FA thay thế các hạt mịn theo tỷ lệ 0, 25, 50, 75 và 100%, các kết quả cho thấy việc thay thế hơn 50% cốt liệu mịn bằng FA làm suy giảm đáng kể các thông số kỹ thuật như cường độ nén, khối lượng riêng, giá trị UPV. Dựa trên kết quả của thí nghiệm, FA có cơ hội thay thế các hạt mịn của CLSM tuy nhiên mức độ thay thế không nên vượt quá 50%.

Từ khóa:

CLSM, , chất thải kinh doanh, tro bay lò đốt, vật liệu cường độ thấp được kiểm soát

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tại Việt Nam, xử lý chất thải rắn trong nhiều năm qua chủ yếu dựa vào phương pháp chôn lấp và xếp chồng, phương pháp này không chỉ chiếm dụng diện tích đất ngày càng khan hiếm mà còn tiềm ẩn nhiều rủi ro cho môi trường sinh thái như ô nhiễm đất, nước ngầm và khí thải độc hại [1]. Trong bối cảnh dân số ngày càng gia tăng và áp lực đô thị hóa mạnh mẽ, nhu cầu xử lý chất thải hiệu quả, thân thiện với môi trường trở nên cấp thiết hơn bao giờ hết.

Nhằm giảm thiểu tác động môi trường, Việt Nam đã chuyển hướng sang công nghệ đốt chất thải trong các lò đốt hiện đại. Phương pháp này giúp giảm đáng kể thể tích và khối lượng rác thải so với chôn lấp truyền thống [2]. Tuy nhiên, lượng tro xỉ sau khi đốt – đặc biệt là xỉ đáy (bottom ash) và tro bay (fly ash – FA) – vẫn là một thách thức lớn trong quản lý và xử lý chất thải thứ cấp [3].

Để giải quyết vấn đề này, xu hướng tái sử dụng tro xỉ làm vật liệu xây dựng đang được nghiên cứu rộng rãi. Trong đó, một hướng đi đầy tiềm năng là ứng dụng xỉ đáy và tro bay trong sản xuất vật liệu lấp có độ bền thấp có thể kiểm soát được (Controlled Low Strength Material – CLSM). CLSM là loại vật liệu có khả năng tự lấp, cường độ thấp, dễ đào xới khi cần thiết, thường dùng để trám lấp hố móng, lỗ kỹ thuật hoặc nền móng cho các công trình không chịu tải trọng lớn [4].

Xét về thiết kế, CLSM không đòi hỏi nghiêm ngặt về loại cốt liệu sử dụng, có thể sử dụng đất đào tại chỗ, cốt liệu tự nhiên, hoặc cốt liệu tái chế như xỉ đáy [5]. Việc tận dụng các vật liệu phế thải này không chỉ góp phần giảm thiểu ô nhiễm môi trường mà còn tiết kiệm chi phí sản xuất và tài nguyên thiên nhiên. Bên cạnh đó, tro bay từ lò đốt tầng sôi đốt rác (Circulating Fluidized Bed – CFB) cũng là một phụ phẩm giàu tiềm năng được đề

xuất để thay thế một phần cốt liệu mịn trong hỗn hợp CLSM [6].

So với tro bay truyền thống từ các nhà máy nhiệt điện than, tro bay CFB có đặc điểm khác biệt về thành phần hóa học, hình thái hạt và hoạt tính pozzolanic [7, 8]. Tro bay nhiệt điện thường được nghiên cứu rộng rãi và ứng dụng nhiều trong sản xuất xi măng, bê tông do có độ mịn cao và tính ổn định tương đối. Trong khi đó, tro bay CFB từ đốt rác lại mang đến ưu điểm lớn về khả năng tận dụng chất thải đô thị, giảm gánh nặng chôn lấp, song vẫn tồn tại thách thức về tính không đồng nhất và nguy cơ tồn dư các thành phần có hại. Chính vì vậy, việc nghiên cứu các đặc tính lý hoá của tro bay CFB này không chỉ làm rõ giá trị khoa học mà còn góp phần nhân mạnh tính cấp thiết trong việc khai thác, tái sử dụng tro bay đốt rác cho các ứng dụng xây dựng bền vững.

Theo tiêu chuẩn ASTM D4832 [9] và nghiên cứu của Huệ và cộng sự [10], CLSM cần đáp ứng một số yêu cầu kỹ thuật như độ sụt tối thiểu 40 cm, độ thấm sau 24 giờ không vượt quá 7,6 cm, cường độ chịu nén sau 28

ngày tối đa là 8,23 MPa và hàm lượng ion clorua nhỏ hơn hoặc bằng 0,15 kg/m³. Dựa trên các yêu cầu này, nghiên cứu hiện tại tập trung đánh giá khả năng sử dụng tro bay làm phụ gia thay thế cốt liệu mịn trong CLSM, nhằm ứng dụng vào các công trình phi kết cấu như tôn nền, lấp hố kỹ thuật hoặc công trình hạ tầng phụ trợ. Qua đó, nghiên cứu kỳ vọng sẽ góp phần thúc đẩy hướng tái sử dụng hiệu quả chất thải sau đốt, giảm thiểu tác động môi trường và nâng cao hiệu quả kỹ thuật trong xây dựng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đặc trưng tính chất vật lý và hóa học của tro bay (FA) và cốt liệu

Trong giai đoạn đầu, các tính chất vật lý và hóa học của tro bay thu được từ lò đốt được tiến hành phân tích nhằm đánh giá khả năng sử dụng làm vật liệu hạt trong hỗn hợp CLSM. Các thí nghiệm bao gồm:

- Tính chất vật lý: xác định độ mịn, tỉ lệ bùn, độ hút nước. Kết quả được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Tính chất vật lý của vật liệu CLSM

	Cốt liệu thô	Cốt liệu mịn	Tro bay
Khối lượng riêng (tấn/m ³)	2,74	2,75	2,12
Độ hút nước (%)	2,0	2,6	-
Tỉ lệ bùn (%)	3,6	5,0	-
Tỉ lệ chất hữu cơ (%)	1,0	1~2	-

- **Tính chất hóa học:** thực hiện phân tích thành phần hóa học chủ yếu gồm thí nghiệm chiết lọc độc tính TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) và thử nghiệm phân tích Di-oxin để đánh giá mức độ an toàn môi trường. Kết quả được trình bày trong Bảng 2 và Bảng 3.

Các kết quả phân tích phải tuân thủ quy định kỹ thuật chất thải kinh doanh do cho thấy FA đủ điều kiện sử dụng làm hạt trong CLSM dựa theo báo cáo của ACI 229 [11].

Cốt liệu mịn và cốt liệu thô được sử dụng là đá tự nhiên được khai thác từ quặng đá và thông qua rây sàng để phù hợp với kích thước tiêu chuẩn ASTM C33.

Bảng 2: Tính chất hoá học của vật liệu CLSM

Nguyên tố	Kết quả thí nghiệm (mg/L)	Tiêu chuẩn (mg/L)	Phương pháp nghiên cứu
Cu	0,137	15,0	
Cd	0,017	1,0	
Pb	1,37	5,0	NIEA R201. 15C
Cr	0,055	5,0	NIEA M104. 02C
Cr ⁶⁺	ND	2,5	NIEA R314. 12C
As	0,03	5,0	NIEA R200. 10C
Hg	ND	0,2	NIEA R208. 03C
Se	ND	1,0	NIEA R309. 12C
Ba	9,95	100	

Bảng 3. Tỷ lệ Dioxin của vật liệu CLSM

Mẫu	Dioxin (ng-TEQ/g)		Phương pháp nghiên cứu
	Kết quả thí nghiệm	Tiêu chuẩn	
Tro bay	0,027	1,0	NIEA M801. 13B

2.2. Đánh giá tính chất cơ học của vữa chứa FA

Ở giai đoạn thứ hai, tro bay được sử dụng để thay thế một phần cốt liệu mịn trong hỗn hợp vữa theo thể tích với các mức thay thế lần lượt là 0%, 25%, 50%, 75% và 100%. Tất cả các mẫu vữa được điều chỉnh để đạt độ sụt tiêu chuẩn ($21 \pm 0,5$ cm) nhằm đảm bảo tính đồng nhất về độ linh động. Thí nghiệm được thực hiện là thí nghiệm đo tốc độ siêu âm (Ultrasonic Pulse Velocity – UPV) nhằm đánh giá tính toàn vẹn cấu trúc bên trong của vật liệu, độ giãn nở của mẫu để đảm bảo tính ổn định thể tích bê tông.

2.3. Thiết kế và thử nghiệm hỗn hợp bê tông sử dụng cho vật liệu CLSM

Dựa trên kết quả từ giai đoạn vữa, các thiết kế cấp phối CLSM được thực hiện với lượng xi măng (binder) là 150 kg/m^3 bê tông. Lượng cốt liệu thô được giữ cố định ở mức 300 kg/m^3 . Tro bay được sử dụng để thay thế cốt liệu mịn theo thể tích ở tỷ lệ: 0%, 25%, 50%, 75% và 100% với tên của các mẫu theo thứ tự FAV0, FAV25, FAV50, FAV75, FAV100. Mục tiêu là đạt độ sụt chuẩn (48 ± 3 cm), đồng thời đảm bảo tính thi công và hiệu quả kinh tế. Tỷ lệ trộn của các mẫu bê tông thí nghiệm được trình bày trong Bảng 4.

Các thí nghiệm trong giai đoạn này bao gồm tính chất của vật liệu sau khi rắn chắc (Hardened Properties): cường độ nén ở 28 ngày và hàm lượng ion clorua (Chloride Ion Content) để đánh giá độ bền và tính an toàn khi sử dụng trong thực tế, khối lượng riêng

của mẫu để đánh giá để đánh giá khả năng thi công và tháo dỡ.

Các thí nghiệm được thực hiện dựa trên các tiêu chuẩn ASTM và CNS được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 4. Tỷ lệ trộn của các mẫu thí nghiệm

Tên mẫu	Xi măng (kg/m ³)	Hàm lượng tro bay (kg/m ³)	Hàm lượng cốt liệu mịn (kg/m ³)	Hàm lượng cốt liệu thô (kg/m ³)	Nước (kg/m ³)
FAV0	150	0	225	300	60
FAV25	150	56,25	168,75	300	60
FAV50	150	112,5	112,5	300	60
FAV75	150	168,75	56,25	300	60
FAV100	150	225	0	300	60

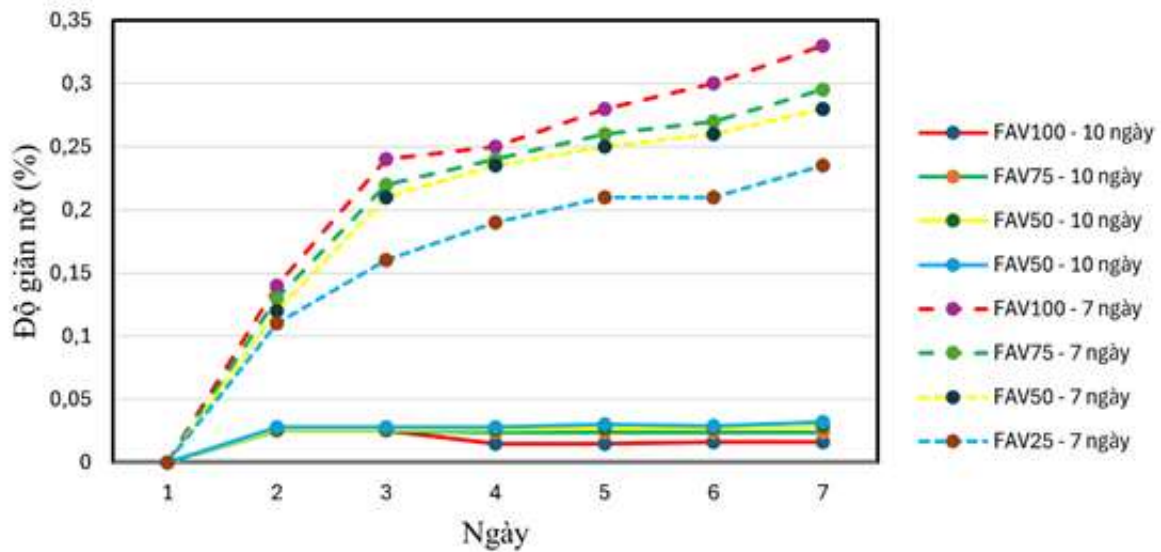
Bảng 5. Các tiêu chuẩn thực hiện thí nghiệm

Thí nghiệm	Tiêu chuẩn thực hiện	Tương đương TCVN
Kích thước cốt liệu	ASTM C33	TCVN 7570:2006
Yêu cầu của vật liệu CLSM	ASTM D4832 [11]	-
Tỷ lệ Dioxin của vật liệu CLSM	NIEA M801. 13B	-
Khối lượng riêng	ASTM C642	TCVN 3113:2022
Độ giãn nở	CNS 15311	TCVN 7572-14:2006
Cường độ nén	ASTM C39	TCVN 3118:2022

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1 Độ giãn nở của mẫu

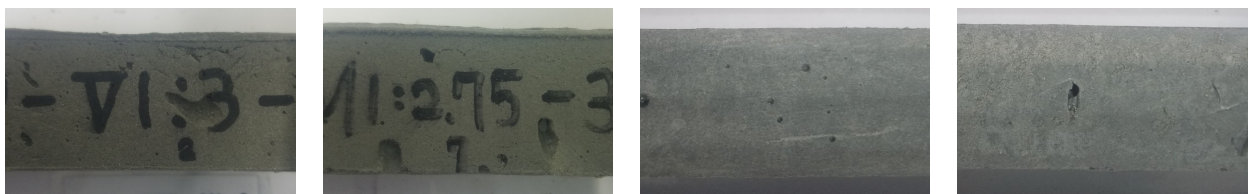
Kết quả độ giãn nở của các mẫu vữa khi sử dụng tro bay thay thế cốt liệu mịn được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Độ giãn nở của các mẫu khi sử dụng tro bay thay thế cốt liệu mịn

Theo đó, có thể thấy xu hướng gia tăng độ giãn nở tỷ lệ thuận với mức độ thay thế tro bay. Cụ thể, khi tăng tỷ lệ tro bay thay thế cho cốt liệu mịn trong thành phần hỗn hợp vữa, các mẫu cho thấy sự gia tăng rõ rệt về độ giãn nở theo thời gian. Điều này có thể được lý giải bởi đặc tính vật lý và hóa học của tro bay – loại vật liệu có cấu trúc hạt mịn, khả năng phản ứng pozzolanic, và hàm lượng

aluminosilicate cao, từ đó làm ảnh hưởng đến quá trình thủy hóa cũng như cấu trúc vi mô của vữa. Sự thay đổi về thành phần hạt mịn trong hỗn hợp dẫn đến biến đổi trong sự phân bố lỗ rỗng và cấu trúc mạng tinh thể, gây ra hiện tượng trương nở lớn hơn so với mẫu đối chứng không sử dụng tro bay. Hình ảnh so sánh độ giãn nở được trình bày trong Hình 2.



(a) FAV0 sau 7 ngày (b) FAV25 sau 7 ngày (c) FAV0 sau 10 ngày (d) FAV25 sau 10 ngày

Hình 2. Độ giãn nở của các mẫu khi sử dụng tro bay thay thế cốt liệu mịn

Ngoài ra, tro bay còn có khả năng giữ nước và phản ứng chậm, khiến sản phẩm thủy hóa phát triển kéo dài, từ đó tạo áp suất nội tại và góp phần làm tăng độ giãn nở của

mẫu vữa theo thời gian. Kết quả này cho thấy việc sử dụng tro bay tuy mang lại một số lợi ích về môi trường và tính bền vững, nhưng cần được kiểm soát chặt chẽ về hàm lượng để

tránh ảnh hưởng tiêu cực đến sự ổn định thể tích của vật liệu.

3.2 Cường độ chịu nén

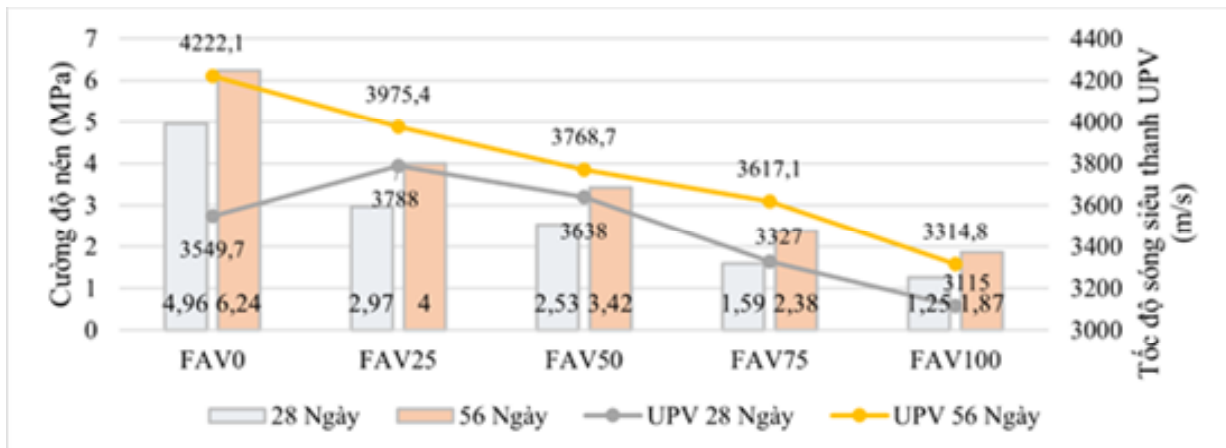
Kết quả thử nghiệm cường độ chịu nén và UPV được thể hiện chi tiết trong Hình 3. Hình ảnh thí nghiệm cường độ chịu nén và UPV được trình bày trong Hình 4 và Hình 5. Thể tích FA được tính thay cho một phần cốt liệu mịn, và các mẫu thử được đúc theo tỷ lệ FA lần lượt là 25%, 50%, 75% và 100% so với tổng khối lượng vữa. Để đảm bảo tính đồng nhất, hỗn hợp vữa được điều chỉnh hàm lượng nước nhằm duy trì độ sụt tiêu chuẩn ở mức $21 \pm 0,5$ cm. Mẫu thử nén được đúc theo kích thước tiêu chuẩn là $5 \times 5 \times 5$ cm.

Dựa trên kết quả thực nghiệm, nhận thấy rằng cường độ chịu nén của mẫu vữa có xu hướng giảm dần khi tăng tỷ lệ tro bay thay thế cho cốt liệu mịn, đặc biệt rõ rệt ở các mốc tuổi 28 và 56 ngày. Nguyên nhân chính là do việc thay thế FA làm gia tăng nhu cầu nước trộn để đạt được độ sụt tiêu chuẩn, trong khi lượng nước dư thừa sẽ gây ra sự gia tăng độ rỗng trong cấu trúc vi mô của vật liệu, từ đó ảnh hưởng đến sự phát triển cường độ lâu dài. Tuy nhiên, kết quả từ phép đo vận tốc sóng siêu âm lại cho thấy vận tốc truyền sóng cao nhất tại tuổi 28 ngày đạt được ở mẫu có tỷ lệ FA thay thế là 25%. Điều này có thể lý giải là do việc bổ sung FA ở mức hợp lý giúp cải thiện sự đóng gói hạt và làm giảm khoảng trống giữa các hạt trong hỗn hợp, từ đó làm tăng tính đặc chắc và đồng nhất của mẫu. Tuy nhiên, khi tỷ lệ FA quá cao như ở mức 75%, lượng FA lớn kết hợp với hàm lượng nước bổ sung nhiều hơn sẽ làm tăng các lỗ rỗng, khiến cấu trúc trở nên xốp hơn và làm giảm hiệu quả truyền sóng siêu âm. Điều này phản ánh rõ ràng mối tương quan giữa tỷ lệ thay thế FA, độ đặc chắc của cấu trúc và các chỉ tiêu

cơ lý như cường độ nén và vận tốc sóng siêu âm trong các mẫu vữa.

Các nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng việc bổ sung tro bay ở mức vừa phải (thường trong khoảng 15–30%) có thể cải thiện độ đặc chắc nhờ hiệu ứng điền đầy và phản ứng pozzolan ở giai đoạn đầu, từ đó cải thiện một số chỉ tiêu cơ lý. Tuy nhiên, khi hàm lượng tro bay tăng quá cao, cấu trúc vi mô trở nên kém đặc chắc hơn, dẫn đến sự suy giảm rõ rệt cường độ cơ học. Điểm khác biệt trong nghiên cứu hiện tại là mặc dù xu hướng tổng thể tương đồng, song sự sụt giảm cường độ xảy ra sớm hơn khi tỷ lệ tro bay đạt mức 50%, trong khi ở [12], [13] hiện tượng này chỉ rõ rệt ở mức thay thế >60%. Nguyên nhân có thể do đặc điểm tro bay CFB sử dụng trong nghiên cứu có kích thước hạt thô hơn, độ hoạt tính pozzolan thấp hơn so với tro bay truyền thống, làm hạn chế khả năng bù đắp cường độ.

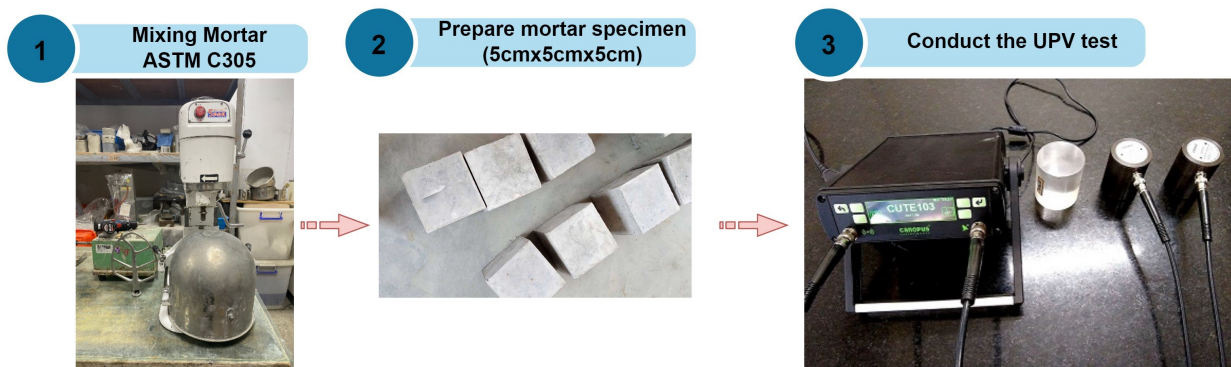
Đối với kết quả vận tốc xung siêu âm (UPV), một hiện tượng đáng chú ý là ở mẫu FA25, giá trị UPV ở 28 ngày đạt cao nhất (3788 m/s), mặc dù cường độ nén chưa phải cao nhất. Điều này phản ánh rằng UPV không chỉ phụ thuộc vào cường độ cơ học mà còn chịu ảnh hưởng mạnh từ tính đồng nhất và mức độ đặc chắc vi mô của vật liệu. Như đã được nhấn mạnh trong [14], một mẫu có độ đặc chắc cao, lỗ rỗng nhỏ và phân bố đều có thể cho giá trị UPV lớn, ngay cả khi cường độ nén không cao tương ứng. Ngược lại, ở các mẫu FA75 và FA100, mặc dù cường độ vẫn duy trì ở mức nhất định, nhưng sự gia tăng lỗ rỗng và tính không đồng nhất trong cấu trúc đã làm giảm đáng kể tốc độ truyền sóng siêu âm. Điều này lý giải hiện tượng “UPV cao nhưng cường độ thấp” và cho thấy cần kết hợp đồng thời cả hai chỉ tiêu để đánh giá chính xác chất lượng vật liệu.



Hình 3. Kết quả thử nghiệm cường độ chịu nén và UPV trong 28 ngày và 56 ngày



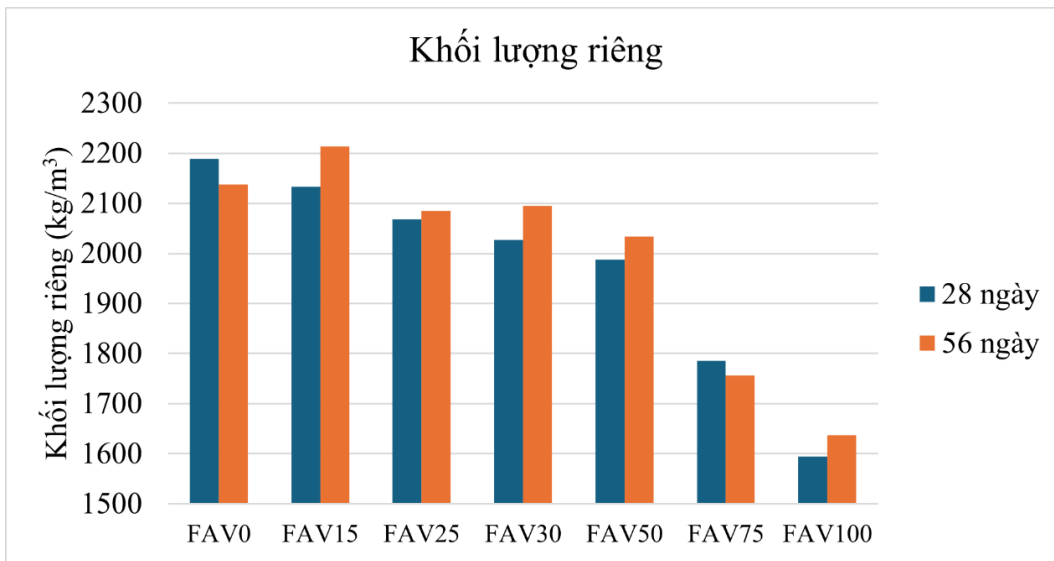
Hình 4. Hình ảnh thí nghiệm đo cường độ chịu nén trong 28 ngày và 56 ngày



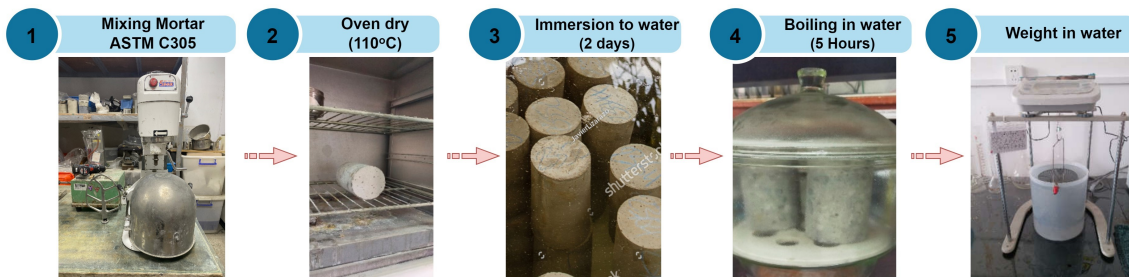
Hình 5. Hình ảnh thí nghiệm đo UPV trong 28 ngày và 56 ngày

3.3 Kết quả khối lượng riêng

Kết quả về khối lượng riêng của các mẫu bê tông cường độ thấp (CLSM) khi sử dụng tro bay thay thế một phần cốt liệu mịn được trình bày trong Hình 6 và Hình 7.



Hình 6. Khối lượng riêng các mẫu CLSM sử dụng tro bay



Hình 7. Khối lượng riêng các mẫu CLSM sử dụng tro bay theo ASTM C642

Qua số liệu thu được, có thể quan sát thấy xu hướng giảm dần khối lượng riêng của các mẫu khi tỷ lệ tro bay thay thế tăng lên. Hiện tượng này có thể được giải thích dựa trên đặc tính vật lý của tro bay: tro bay là một loại vật liệu có cấu trúc rỗng, hình cầu và có khối lượng riêng thấp hơn đáng kể so với cốt liệu mịn tự nhiên như cát. Khi tăng tỷ lệ tro bay trong hỗn hợp, các hạt tro bay thay thế dần các hạt cốt liệu mịn nặng hơn, dẫn đến sự sụt giảm tổng thể về khối lượng riêng của mẫu.

Ngoài ra, việc sử dụng tro bay có thể làm tăng độ rỗng bên trong hỗn hợp CLSM do khả năng phân bố không đồng đều của các hạt mịn và hình dạng cầu của tro bay làm giảm mật độ đóng gói. Điều này cũng góp phần làm giảm khối lượng riêng của mẫu. Tuy nhiên, mức độ ảnh hưởng còn phụ thuộc vào cấp phối, tỷ lệ nước/xi măng và phương pháp trộn. Sự giảm

khối lượng riêng này có thể mang lại lợi ích nhất định trong các ứng dụng yêu cầu tải trọng thấp hoặc cải thiện khả năng thi công, đặc biệt là trong các công trình nền móng hoặc lấp đầy kỹ thuật.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên kết quả thí nghiệm vữa và hỗn hợp đất xi măng chảy (CLSM), việc sử dụng tro bay (FA) thay thế một phần cốt liệu mịn cho thấy nhiều tiềm năng trong cải thiện tính chất của vật liệu. Cường độ chịu nén của vữa tại 28 và 56 ngày tuổi có xu hướng giảm khi FA được sử dụng, do việc thay thế này làm tăng nhu cầu nước trộn để duy trì độ linh động, từ đó ảnh hưởng đến cường độ. Tuy nhiên, kết quả đo vận tốc sóng siêu âm (UPV) tại 28 ngày cho thấy mẫu chứa 25% FA có vận tốc cao nhất, phản ánh mật độ vật liệu cao hơn, chứng tỏ FA có thể cải thiện cấu trúc vi

mô khi được sử dụng ở mức hợp lý. Ngược lại, tỷ lệ thay thế FA quá cao làm tăng độ rỗng do lượng nước bổ sung lớn, ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng vật liệu. Đối với hỗn hợp CLSM, các đặc tính của hỗn hợp tươi như độ sụt (40–60 cm), độ lún sau 24 giờ, hàm lượng ion clorua, khối lượng thể tích và hàm lượng không khí đều đạt yêu cầu kỹ thuật. Về các tính chất cơ học ở trạng thái rắn, cường độ chịu nén tại 28 ngày cho thấy ở mức hàm lượng xi măng là 150 kg/m^3 và tỷ lệ thay thế FA từ 0% đến 100%, cường độ nén nằm trong giới hạn tiêu chuẩn (0,7-8,23 MPa). Đáng chú ý, mẫu thay thế trên 50% cốt liệu mịn bằng FA có cường độ thấp hơn 2,5 Mpa và có khối lượng riêng suy giảm đáng kể, cho thấy việc chỉ nên thay thế khoảng 50% tro bay CFB khi sản xuất vật liệu CLSM để đảm bảo độ đồng nhất của khối lượng, thể tích và cường độ. Tổng hợp các kết quả cho thấy tro bay là vật liệu có tiềm năng cao trong việc thay thế cốt liệu mịn, góp phần sản xuất CLSM thân thiện với môi trường và nâng cao hiệu quả sử dụng phế thải công nghiệp trong xây dựng. Bên cạnh đó, việc sử dụng tro bay CFB thay thế cốt liệu mịn phụ thuộc nhiều vào tỷ lệ thay thế và điều kiện trộn. Do đó, các nghiên cứu tiếp theo sẽ tập trung vào khảo sát sâu hơn ảnh hưởng của các loại phụ gia khoáng và phụ gia hóa học khác nhau như phụ gia chống thấm, phụ gia tăng cường độ nén sớm hoặc thay đổi tỉ lệ trộn nhằm tối ưu đồng thời giá thành, tính công tác và cường độ lâu dài của bê tông. Bên cạnh đó, nghiên cứu tiếp theo cũng tiến hành đánh giá hiệu suất của FA trong các điều kiện thực tế công trình, bao gồm độ bền lâu dài (kháng xâm thực sunfat, clo, cacbonat hóa) nhằm xây dựng cơ sở khoa học cho việc ứng dụng rộng rãi tro bay CFB trong sản xuất CLSM ứng dụng vào các công trình cầu, cống thoát nước, đê ngăn mặn.

Tài liệu tham khảo

[1] Phạm Văn Định, Đinh Viết Cường và Phạm Văn Tới. Đánh giá hiện trạng và giải pháp ứng dụng công nghệ phân hủy kỵ khí trong xử lý chất thải rắn phân hủy sinh học ở

Việt Nam. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCN XD)-ĐHXDHN, 19(1V). 2025; 34-45.

[2] Lê Thị Kim Oanh. Công nghệ phân hủy kỵ khí chất thải rắn sinh hoạt và khả năng ứng dụng tại Việt Nam. Tạp chí Khoa học Đại học Văn Lang. 2017; 01: 62-72.

[3] Nguyễn Thị Thu Thủy, Vương Trường Xuân, Phạm Thị Thu Hà và cộng sự. Insight into heavy metal chemical fractions in ash collected from municipal and industrial waste incinerators in northern Vietnam. RSC Advances. 2024; 14: 16486 16500.

[4] Huỳnh Văn Sa Ren, Lê Anh Thắng, Trần Tuấn Kiệt. A review of chemical and physical properties of municipal solid waste incineration bottom ash and its impact on concrete production. Tra Vinh University Journal of Science. 2024; 14: 8-10.

[5] Zhang P., Zhao Y. Recycling of municipal solid waste incineration ash in construction materials: A review. Waste Management. 2019; 85: 165–179.

[6] Ngô Trà Mai, Nguyễn Duy Hải, Phan Thị Thanh Hằng và cộng sự. Characteristics of fly ash from the municipal solid waste incineration plant in Can Tho. Vietnam Journal of Science and Technology. 2023; 61(4): 681–691.

[7] Li, D., Sun, R., Wang, D., Ren, C., & Fang, K. Study on the pozzolanic activity of ultrafine circulating fluidized-bed fly ash prepared by jet mill. Fuel. 2021; 29 1: 120220.

[8] Jia, G., Wang, Y., & Yang, F. A review on the application of circulating fluidized bed fly ash in building materials. Advances in Materials Science and Engineering. 2022; 7099430.

[9] ASTM D4832-16. Standard Test Method for Preparation and Testing of Controlled Low Strength Material (CLSM) Test Cylinders. ASTM International. 2016.

[10] Nguyễn Thị Huệ, Phạm Quốc Việt, Nguyễn Thị Phương Mai và cộng sự. Distribution characteristics and ecological risks of heavy metals in bottom ash, fly ash, and particulate matter released from municipal solid waste incinerators in northern Vietnam. *Environmental Geochemistry and Health*. 2022; 45: 2579–2590.

[11] ACI Committee 229. Controlled Low-Strength Materials (CLSM) – Report ACI 229R-13. American Concrete Institute; 2013.

[12] Yan D., Tang I., Lo I. Development of controlled low-strength material derived from beneficial reuse of bottom ash and

sediment for green construction. *Construction and Building Materials*. 2014; 64: 201–207.

[13] Lin L., Wang S. Utilization of municipal solid waste incinerator bottom ash in controlled low-strength materials. *Waste Management*. 2009; 29(2): 704–709.

[14] Hawileh, R. A., Shaw, S. K., Assad, M., Dey, A., Abdalla, J. A., & Kim, J. H. Influence of Fly Ash on the Compressive Strength of Ultrahigh-Performance Concrete: A State-of-the-art Review Towards Sustainability. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2025; 19(1): 1-28.

USING CIRCULATING FLUIDIZED BED FLY ASH TO REPLACE FINE AGGREGATE FOR CLSM

ABSTRACT

This study investigated the potential of fly ash (FA) to replace fine aggregates in concrete as part of a laboratory evaluation of Controlled Low Strength Material (CLSM). After conducting tests on the basic physical properties of FA, fly ash from fluidized bed combustion (CFB) was used to replace fine aggregates in mortar and concrete at replacement ratios of 0, 25, 50, 75, and 100%. The experimental results indicated that both the compressive strength and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) of the concrete samples decreased as the replacement ratio increased. In addition, based on CLSM mixtures with a cement content of 150 kg/m³, where FA replaced fine aggregates at the same ratios (0, 25, 50, 75, and 100%), the results showed that replacing more than 50% of the fine aggregate with FA significantly reduced key performance parameters such as compressive strength, density, and UPV. Based on these findings, FA shows potential as a substitute for fine aggregates in CLSM; however, the replacement level should not exceed 50%.

Keywords: Business waste, Controlled low-strength materials, CLSM, Incinerator fly ash.