

Khảo sát ảnh hưởng của cát thải từ cát xây tô tại công trường đến độ lưu động và cường độ của vữa xây dựng

Phan Quang Hưng^{1,2*} và Bùi Phương Trinh^{1,2}

¹Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa Tp.HCM

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TỪ KHOẢ

Cát thải
Cường độ chịu nén
Cường độ chịu kéo khi uốn
Độ lưu động
Vữa xây dựng

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, tại Việt Nam, nguồn cát sông thiên nhiên ngày càng cạn kiệt bên cạnh các tác động bất lợi đến môi trường của việc khai thác cát sông. Trong khi đó, một lượng cát thải (khoảng 4 %) từ cát xây tô được loại bỏ trước khi sử dụng cho vữa xây tô và hoàn thiện tại công trường. Việc tái sử dụng cát thải này để thay thế cát sông thiên nhiên vào trong xây dựng góp phần đem lại hiệu quả kinh tế và bảo vệ môi trường. Do đó, nghiên cứu này tập trung vào việc khảo sát ảnh hưởng của việc thay thế cát xây tô bằng cát thải từ 25, 50, 75 đến 100% đến các tính chất kỹ thuật của vữa xây dựng với tỷ lệ nước/xi măng là 0,5 và tỷ lệ cốt liệu nhỏ/xi măng là 3. Kết quả thực nghiệm đã chỉ ra rằng việc sử dụng cát thải từ 25 đến 100 % đã làm giảm độ lưu động của vữa tươi từ 2,94 đến 35,29 %, cường độ chịu kéo khi uốn từ 5,94 đến 18,13 % và cường độ chịu nén từ 5,17–24,10% của vữa ở độ tuổi 28 ngày. Kết luận rằng, việc thay thế cát xây tô bằng 25% cát thải đem lại hiệu quả trong việc ứng dụng chế tạo và sản xuất vữa xây tô và hoàn thiện vì vẫn đảm bảo độ lưu động và cường độ của vữa theo TCVN 4314:2022.

KEYWORDS

Waste sand
Compressive strength
Flexural strength
Consistency
Mortar for masonry

ABSTRACT

In recent years, natural river resource at Vietnam is increasingly depleted in addition to the negative impacts on environmental from river sand exploitation. Meanwhile, waste sand (occupying about 4.0%) is released from construction sand before applying into mortar for masonry at the construction sites. The utilization of waste sand as a replacement of natural river sand used for construction contributes to bringing effective economy and environmental protection. Therefore, this study concentrates on investigating the effect of the natural river sand replacement with waste sand at mass ratios of 25, 50, 75, and 100% on engineering properties of cement-based mortar with a water-to-cement ratio of 0.5 and a fine aggregate-to-cement ratio of 3. Results indicated that the use of waste sand from 25–100% reduced consistency of fresh mortar from 2.94–35.29%, flexural strength from 5.94–18.13%, and compressive strength from 5.17–24.10% of mortar at an age of 28 days. Consequently, the replacement of river sand with 25% waste sand was effective in producing mortar for masonry because this replacement still ensured consistency and strengths of mortar as per TCVN 4314:2022.

1. Giới thiệu

Ngành công nghiệp xây dựng đã và đang được xem là một trong những ngành gây tác động bất lợi đến môi trường; cụ thể: nguồn tài nguyên thiên nhiên (đá vôi, đất sét, cát sông, đá sỏi ...) ngày càng cạn kiệt do khai thác quá mức để chế tạo xi măng và bê tông ứng dụng trong xây dựng [1], việc phát thải khí CO₂ chiếm khoảng 35 % so với toàn cầu [2], việc xói lở bờ sông ảnh hưởng đến môi trường sống của thủy sinh và con người [3], biến đổi khí hậu [4] Trong khi đó, sự phát triển bền vững đang là vấn đề mà xã hội và con người chú trọng trong hầu hết mọi lĩnh vực nhằm giúp cải thiện cuộc sống, cho phép con người sống trong môi trường xanh, sạch, khỏe và nâng cao các điều kiện về kinh tế, xã hội và môi trường [5]. Một trong những mục tiêu của phát triển bền vững

hiện nay là việc quản lý bền vững tài nguyên thiên nhiên và môi trường cũng như đảm bảo khả năng thích ứng với khí hậu và thiên tai. Vì thế, vấn đề hao hụt, cạn kiệt nguồn tài nguyên thiên nhiên và bảo vệ môi trường trong ngành công nghiệp xây dựng luôn được quan tâm ở cả các quốc gia phát triển và đang phát triển [5]. Từ đây, có thể nhận định được rằng việc sử dụng các nguồn vật liệu nhân tạo, vật liệu phế thải nhằm thay thế vật liệu thiên nhiên để chế tạo xi măng và bê tông trong xây dựng đang là vấn đề cấp bách hiện nay.

Bên cạnh bê tông, vữa cũng được xem là vật liệu xây dựng chủ yếu với mục đích xây tô và hoàn thiện công trình. Vữa xây dựng thường được chế tạo chủ yếu từ xi măng Portland, một hàm lượng lớn cát sông thiên nhiên, nước và phụ gia (nếu có). Chính vì thế, việc tìm kiếm các nguồn vật liệu có tiềm năng thay thế một phần cát sông trong vữa xây

*Liên hệ tác giả: pghung@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 20/09/2023, sửa xong ngày 25/10/2023, chấp nhận đăng 27/10/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2024.572>

đựng cũng đang là vấn đề cần thiết để hướng đến phát triển bền vững cho ngành công nghiệp xây dựng. Nhận định được vấn đề thiếu hụt cát sông cũng như tác động bất lợi của cát sông đến môi trường, các nghiên cứu gần đây chủ yếu tập trung hướng đến việc sử dụng hạt cát keramiz (từ đất sét nung nở phồng) [6], tro đáy (phế thải từ nhà máy nhiệt điện) [7], phế thải từ gạch [8], cốt liệu granite phế thải [9], cốt liệu từ bê tông tái chế [10-13] ... để thay thế cát sông trong việc chế tạo vữa và bê tông xây dựng. Cao và cộng sự [6] đã kết luận rằng việc thay thế 100 % cát sông bằng hạt cát keramzit đã cải thiện đáng kể cường độ chịu nén của bê tông cường độ cao. Bui và cộng sự [7] đã thực nghiệm ảnh hưởng của việc thay thế tro đáy đến các đặc tính cơ học của bê tông và đánh giá tro đáy là vật liệu tiềm năng có thể thay thế cát sông thiên nhiên để sản xuất bê tông. Zhao và cộng sự [8] đã đánh giá tính khả thi của việc thay thế cát từ gạch phế thải với các mức khác nhau (0, 5, 10, 25 và 50 %) trong vữa tự lên. Việc thay thế này đã làm giảm cường độ chịu nén của vữa ở 28 ngày tuổi (3,3 và 16,9 % tương ứng khi thay thế 25 và 50 %); tuy nhiên, giá trị cường độ vẫn đảm bảo yêu cầu theo tiêu chuẩn châu Âu EN 998-2 cho vữa xây dựng. Do đó, Zhao và cộng sự đã đề xuất việc sử dụng gạch phế thải thay thế 25 % cát để chế tạo vữa tự lên. Gupta và Vyas [9] đã tận dụng nguồn cốt liệu granite phế thải thay thế cốt liệu truyền thống từ 30–40 % và nhận thấy rằng, các tính chất cơ học (cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo) của vữa sử dụng cốt liệu granite đã được cải thiện hơn khi so với vữa đối chứng; từ đó, kiến nghị việc sử dụng loại cốt liệu này để chế tạo vữa ứng dụng cho công tác xây tô và hoàn thiện. Dapena và cộng sự [10] đã tái sử dụng cốt liệu nhỏ từ bê tông phế thải để thay thế 0, 5, 10, 15, 20 và 50 % cát sông trong vữa và kết luận rằng việc thay thế trên 20 % đã làm giảm cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của vữa. Zhao và cộng sự [11] cũng nhận định rằng cường độ chịu nén của vữa giảm tỷ lệ thuận với sự gia tăng của việc thay thế cát từ bê tông phế thải. Heidari và cộng sự [12] đã sử dụng cốt liệu tái chế từ hỗn hợp bao gồm 30–40 % đá, 10–20 % gôm, 5–15 % gạch và 50–60 % bê tông để thay thế cát từ 0 đến 100 % với tỷ lệ cát/xi măng lần lượt là 2,0; 2,5 và 3,0. Kết quả đã chỉ ra rằng cường độ chịu nén của mẫu vữa với tỷ lệ cát/xi măng là 3 cao hơn so với các mẫu vữa với tỷ lệ cát/xi măng là 2,0 và 2,5. Việc sử dụng hàm lượng cốt liệu tái chế thấp và tỷ lệ cát/xi măng là 3 góp phần tạo ra vữa có cường độ cao; cụ thể hơn, việc thay thế 20% cát đã tạo ra vữa có cường độ ở 28 ngày tuổi đạt 58,06 MPa. Ferro và cộng sự [13] cũng nhận định rằng tính công tác, cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của vữa giảm khi tăng hàm lượng cát từ cốt liệu bê tông tái chế. Tóm lại, hầu hết các nghiên cứu trước kết luận rằng các loại phế thải này có tiềm năng thay thế một phần cát sông trong việc chế tạo vữa và bê tông xây dựng.

Ngoài các loại phế thải đề cập trên, nhóm tác giả trong bài báo này nhận định rằng trên thực tế, trong quá trình xây dựng công trình tại Việt Nam, một lượng cát thải (chiếm khoảng 4%) được loại bỏ từ lượng cát xây tô trước khi đưa vào sử dụng cho vữa xây tô và hoàn thiện.

Từ đây, nhóm tác giả hướng đến việc tận dụng lượng cát thải này (một nguồn vật liệu phế thải khác so với các loại phế thải đã được

tái sử dụng trong các nghiên cứu đi trước) để thay thế cát xây tô ứng dụng cho vữa xây dựng. Để đánh giá tính khả thi của việc tái sử dụng loại cát thải này nhằm hướng đến hiệu quả kinh tế và khía cạnh bảo vệ môi trường, mục tiêu của nghiên cứu này tập trung vào việc khảo sát ảnh hưởng của việc thay thế cát xây tô bằng cát thải từ công trường thực tế đến các tính chất kỹ thuật của vữa xây dựng.

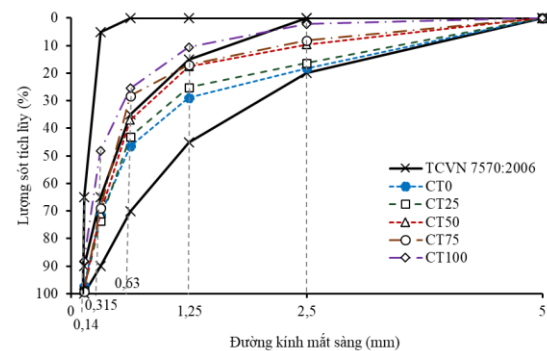
2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu thí nghiệm

Chất kết dính sử dụng trong nghiên cứu này là xi măng Portland hỗn hợp PCB40 của công ty xi măng Vicem Hà Tiên với khối lượng riêng 2,95 g/cm³ và các đặc trưng kỹ thuật khác phù hợp với TCVN 6260:2020 [14]. Nước trộn vữa là nước thủy cục có chất lượng phù hợp với TCVN 4506:2012 [15]. Cốt liệu nhỏ bao gồm cát xây tô từ cát sông thiên nhiên và cát thải. Cát thải là loại cát còn sót lại trên sàng 5 mm tại công trường thực tế (do yêu cầu nghiêm ngặt nhằm đảm bảo chất lượng vữa xây tô trong giai đoạn hoàn thiện công trình) và sau đó được đem về phòng thí nghiệm. Tiếp đến, cát thải được sấy khô trong lò sấy và được rây qua sàng 5 mm để loại bỏ một lần nữa các hạt đá, sỏi sạn trước khi xác định các tính chất kỹ thuật để thay thế cát sông thiên nhiên. Bảng 1 mô tả các tính chất kỹ thuật của cốt liệu nhỏ; trong khi đó, thành phần hạt được xác định theo TCVN 7572:2006 [16] được thể hiện ở Hình 1.

Bảng 1. Các tính chất kỹ thuật của cốt liệu nhỏ.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Cát xây tô	Cát thải
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,79	2,65
Khối lượng thể tích	kg/m ³	1450	1430
Độ ẩm	%	0,65	0,70
Mô đun độ lớn	-	2,62	1,75
Hàm lượng tạp chất (bụi, bùn, sét)	%	1,88	2,31



Hình 1. Thành phần hạt của cốt liệu nhỏ bao gồm cát xây tô (CT0), cát thải (CT100) và hỗn hợp phối trộn giữa cát xây tô và cát thải (CT25, CT50, CT75) so sánh với TCVN 7570:2006 [17].

Nhận thấy rằng, cát xây tô (CT0) có mô đun độ lớn là 2,62 và nằm trong vùng phạm vi cho phép của cát xây dựng với cỡ hạt thô theo

TCVN 7570:2006 [17]; trong khi đó, cát thải (CT100) sau khi được sấy khô và loại bỏ các hạt đá sỏi sạn, có mô đun độ lớn là 1,75 và nằm trong vùng phạm vi cho phép của cát xây dựng với cỡ hạt mịn theo TCVN 7570:2006 [17].

2.2. Cấp phối vữa

Thành phần cấp phối vữa đối chứng sử dụng 100% cát xây tô được thiết kế dựa trên tỷ lệ khối lượng của hệ nguyên vật liệu bao gồm xi măng (X), cốt liệu nhỏ (CLN) và nước (N), cụ thể $N/X = 0,5$ và $CLN/X = 3$. Các tỷ lệ thành phần N/X và CLN/X được tham khảo từ các nghiên cứu đi trước [10, 12]. Để khảo sát ảnh hưởng của cát thải đến các tính chất kỹ thuật của vữa, cát thải được sử dụng để thay thế cát xây tô từ 25, 50, 75 đến 100% theo khối lượng và các tỷ lệ hệ nguyên vật liệu bao gồm $N/X = 0,5$ và $CLN/X = 3$ được giữ cố định. Bảng 2 thể hiện các cấp phối của 1 m³ vữa có và không có sử dụng cát thải; trong đó: VCT0 là cấp phối vữa đối chứng chứa 100 % cát xây tô và VCT25, VCT50, VCT75 và VCT100 là các cấp phối vữa chứa cát thải ở 25, 50, 75 và 100 % theo khối lượng.

Bảng 2. Cấp phối của 1 m³ vữa có và không có sử dụng cát thải.

Cấp phối	N/X	CLN/X	Xi măng (kg)	Nước (lít)	Cát xây tô (kg)	Cát thải (kg)
VCT0	0,5	3	522	261	1566	0
VCT25	0,5	3	518	259	1166	389
VCT50	0,5	3	515	257	772	772
VCT75	0,5	3	511	256	383	1150
VCT100	0,5	3	507	254	0	1522

2.3. Quy trình nhào trộn, chuẩn bị mẫu thử và dưỡng hộ

Quy trình nhào trộn và chuẩn bị mẫu thử được thực hiện theo TCVN 3121-2:2022 [18] và TCVN 3121-11:2022 [19]. Sau khi cân định lượng vật liệu của từng cấp phối theo Bảng 2, các vật liệu bao gồm xi măng, cát xây tô và cát thải (nếu có) được trộn khô đến khi đồng nhất trong máy trộn vữa trong phòng thí nghiệm. Sau đó, nước được cho vào cối trộn và tiếp tục nhào trộn trong 3 phút để có được vữa. Tiếp theo, vữa được đổ vào các khuôn mẫu hình lăng trụ kích thước 40×40×160 mm và được dưỡng hộ trong khuôn. Sau khi đúc trong 20±4 giờ, các mẫu vữa được tháo ra khỏi khuôn và được dưỡng hộ nước trong bể dưỡng hộ ở nhiệt độ 27±2 °C cho đến đủ ngày tuổi xác định các chỉ tiêu kỹ thuật bao gồm cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của vữa.

2.4. Kiểm tra các chỉ tiêu kỹ thuật của vữa

Sau khi nhào trộn, độ lưu động của vữa tươi được đánh giá theo TCVN 3121-3:2022 [20] thông qua việc sử dụng khâu hình côn và bàn dần. Quy trình thực hiện bao gồm các bước sau: (1) đổ vữa tươi vào

vành khâu theo hai lớp và đầm khoảng 10 cái cho mỗi lớp, (2) dùng bay gạt phẳng mặt vữa trên mặt khâu, (3) từ từ nhấc vành khâu theo phương thẳng đứng và sử dụng bàn dần để dần 15 lần trong vòng 15 giây và (4) sử dụng thước đo đường kính vuông góc của vữa tươi. Độ lưu động của vữa tươi tương ứng mỗi cấp phối là giá trị trung bình cộng của hai lần đo đường kính.

Cường độ của vữa được khảo sát trong nghiên cứu này bao gồm cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của mẫu vữa hình lăng trụ kích thước 40×40×160 mm ở 1, 3, 7 và 28 ngày tuổi theo TCVN 3121-11:2022 [19]. Cường độ chịu kéo khi uốn của mẫu vữa được thí nghiệm bằng máy uốn nén thủy lực trong phòng thí nghiệm với tốc độ tăng tải từ 10–50 N/s và được xác định theo công thức (1).

$$R_u = 1,5 \frac{P_u \times l}{b \times h^2} \quad (1)$$

trong đó:

- R_u : cường độ chịu kéo khi uốn của mẫu vữa (N/mm² hoặc MPa)
- P_u : lực uốn gây phá hủy mẫu (N)
- l : khoảng cách giữa hai gối uốn (mm) (= 100 mm)
- b, h : chiều rộng, chiều cao mẫu thử (mm) (= 40, 40 mm)

Trong khi đó, cường độ chịu nén của mẫu vữa là giá trị trung bình cường độ chịu nén của 6 nửa viên mẫu gãy sau khi uốn thông qua máy uốn nén thủy lực trong phòng thí nghiệm với tốc độ tăng tải từ 100–300 N/s và được xác định theo công thức (2).

$$R_n = \frac{P_n}{A} \quad (2)$$

trong đó:

- R_n : cường độ chịu nén của mẫu vữa (N/mm² hoặc MPa)
- P_n : lực nén gây phá hủy mẫu (N)
- A : diện tích tiết diện nén của mẫu (mm²) (= 40×40 = 1600 mm²)

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

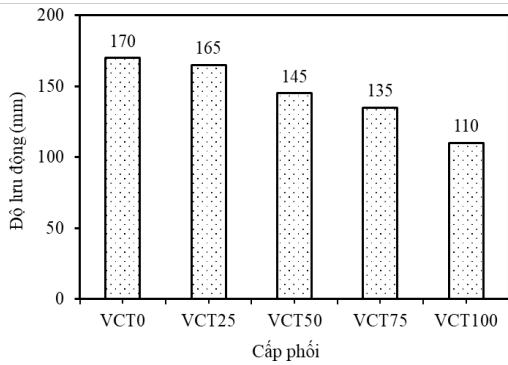
3.1. Ảnh hưởng của cát thải đến độ lưu động của vữa tươi

Hình 2 thể hiện độ lưu động của vữa tươi sử dụng các loại cốt liệu nhỏ khác nhau như 100% cát xây tô (VCT0), 100 % cát thải (VCT100) và hỗn hợp phối trộn giữa cát xây tô và cát thải (VCT25, VCT50, VCT75). Nhận thấy rằng độ lưu động của vữa tươi nằm trong khoảng từ 110 đến 170 mm. Việc sử dụng cát thải đã làm giảm độ lưu động của vữa tươi với giá trị giảm từ 2,94–35,29 % khi thay thế từ 25–100 % cát thải. Việc thay thế cát thải càng nhiều, độ lưu động của vữa tươi càng giảm. Xu hướng giảm tính công tác, độ lưu động của vữa tươi khi sử dụng vật liệu phế thải cũng được quan sát trong các nghiên cứu trước [8, 9, 21, 22, 23].

Nguyên nhân làm giảm tính công tác là do vật liệu phế thải có độ rỗng nhiều, độ hút nước cao hơn, có bề mặt góc cạnh hơn, tỷ diện tích bề mặt cao hơn so với cốt liệu nhỏ tự nhiên [8, 9, 21, 22, 23]. Cát thải trong nghiên cứu này có cỡ hạt mịn hơn so với cát xây tô (xem Bảng 1 và Hình 1) là một trong những yếu tố đã làm giảm độ lưu động của vữa tươi. Theo Dapena và cộng sự [10], khi hàm lượng cát tái chế tăng hơn 50 %, việc tạo hình lên chặt mẫu vữa khó hơn; điều này cũng được ghi nhận trong nghiên cứu này. Trong khi đó, theo TCVN 4314:2022 [24],

độ lưu động của vữa tươi nằm trong khoảng từ 145 đến 205 mm phù hợp cho các ứng dụng xây tô và hoàn thiện.

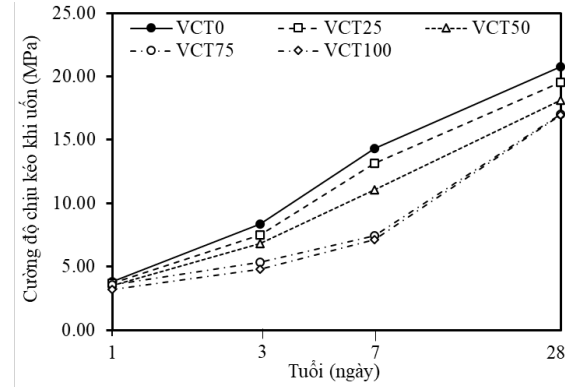
Chính vì thế, cấp phối VCT0, VCT25 và VCT50 có độ lưu động phù hợp theo TCVN 4314:2022 [24] do các cấp phối này có thành phần hạt CT0, CT25 và CT50 nằm trong vùng phạm vi cho phép của cốt liệu nhỏ với cỡ hạt thô theo TCVN 7570:2006 [17].



Hình 2. Độ lưu động của của vữa tươi có và không có sử dụng cát thải.

3.2. Ảnh hưởng của cát thải đến cường độ chịu kéo khi uốn của vữa

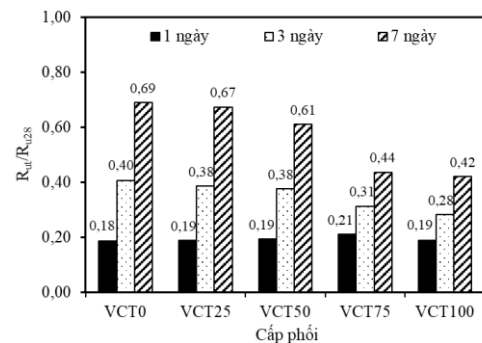
Hình 3 mô tả sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của các mẫu vữa có và không có chứa cát thải. Độ lệch chuẩn của cường độ chịu kéo khi uốn của vữa nằm trong khoảng 0,04–1,85 MPa. Nhận thấy rằng cường độ chịu kéo khi uốn của vữa sử dụng 100 % cát xây tô (VCT0) đạt giá trị lớn nhất; trong khi đó, cường độ chịu kéo khi uốn của vữa sử dụng 100 % cát thải (VCT100) đạt giá trị thấp nhất ở tất cả các độ tuổi. Việc thay thế cát thải càng nhiều, cường độ chịu kéo khi uốn của vữa càng giảm. Cụ thể: ở 1 ngày tuổi, cường độ chịu kéo khi uốn của vữa sử dụng 100 % cát xây tô (VCT0) đạt giá trị 3,83 MPa; trong khi đó, cường độ chịu kéo khi uốn của vữa sử dụng 25 %, 50 %, 75 % và 100 % cát thải (VCT25, VCT50, VCT75 và VCT100) đạt giá trị 3,68 MPa; 3,50 MPa; 3,58 MPa và 3,18 MPa; tức thấp hơn lần lượt 3,91 %; 8,61 %; 6,52 % và 16,96 %. Ở 3 ngày tuổi, cường độ chịu kéo khi uốn của vữa sử dụng 100 % cát xây tô (VCT0) đạt giá trị 8,40 MPa; trong khi đó, cường độ chịu kéo khi uốn của vữa sử dụng 25 %, 50 %, 75 % và 100% cát thải (VCT25, VCT50, VCT75 và VCT100) đạt giá trị 7,51 MPa; 6,81 MPa; 5,33 MPa và 4,78 MPa; tức thấp hơn lần lượt 10,52 %; 18,86 %; 36,48 % và 43,07 %. Ở 7 ngày tuổi, cường độ chịu kéo khi uốn của vữa sử dụng 100% cát xây tô (VCT0) đạt giá trị 14,29 MPa; trong khi đó, cường độ chịu kéo khi uốn của vữa sử dụng 25 %, 50 %, 75 % và 100 % cát thải (VCT25, VCT50, VCT75 và VCT100) đạt giá trị 13,14 MPa; 11,09 MPa; 7,43 MPa và 7,15 MPa; tức thấp hơn lần lượt 8,09 %; 22,43 %; 48,02 % và 49,98 %. Ở 28 ngày tuổi, cường độ chịu kéo khi uốn của vữa sử dụng 100 % cát xây tô (VCT0) đạt giá trị 20,76 MPa; trong khi đó, cường độ chịu kéo khi uốn của vữa sử dụng 25 %, 50 %, 75 % và 100 % cát thải (VCT25, VCT50, VCT75 và VCT100) đạt giá trị 19,52 MPa; 18,15 MPa; 17,05 MPa và 16,99 MPa; tức thấp hơn lần lượt 5,94 %; 12,56 %; 17,86 % và 18,13 %.



Hình 3. Sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của vữa có và không có sử dụng cát thải.

Zhao và cộng sự [11] cũng thu được kết quả cường độ chịu kéo khi uốn của vữa khi sử dụng cát từ bê tông tái chế giảm khoảng 32,3% khi so với vữa sử dụng cát truyền thống. Xu hướng giảm cường độ chịu kéo khi uốn do vật liệu phế thải thay thế cát cũng được báo cáo trong các nghiên cứu của Dapena và cộng sự [10], Ferro và cộng sự [13]. Nguyên nhân làm giảm cường độ chịu kéo khi uốn của vữa khi sử dụng cát thải sẽ được thảo luận ở mục 3.3 về ảnh hưởng của cát thải đến cường độ chịu nén của vữa.

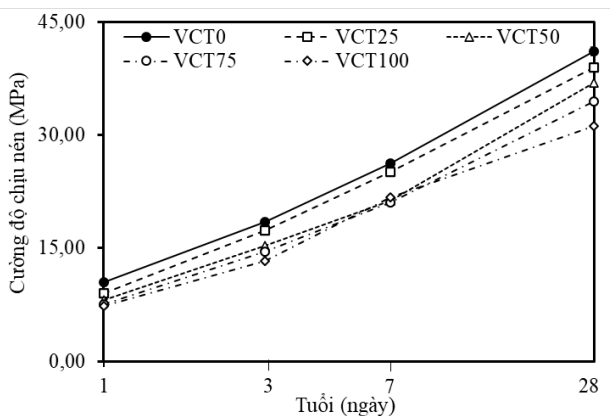
Hơn thế, cường độ chịu kéo khi uốn của vữa tăng theo thời gian, không phụ thuộc việc thay thế cát thải (xem Hình 3). Điều này chứng tỏ rằng quá trình hydrat hóa của xi măng Portland hỗn hợp vẫn đang tiến triển theo thời gian trong vữa. Tỷ lệ cường độ chịu kéo khi uốn của các mẫu vữa có và không có chứa cát thải ở các độ tuổi 1, 3 và 7 ngày so với 28 ngày tuổi được thể hiện ở Hình 4. Nhận thấy rằng, cường độ chịu kéo khi uốn của các mẫu vữa có và không có chứa cát thải ở độ tuổi 1, 3 và 7 ngày đạt từ 18–21 %, 28–40 % và 42–69 % so với độ tuổi 28 ngày. Tỷ lệ cường độ chịu kéo khi uốn ở 7 ngày so với 28 ngày tuổi (R_{u7}/R_{u28}) ở mẫu VCT75 và VC100 thấp đáng kể so với mẫu VCT0, VCT25 và VCT50; điều này là do giá trị cường độ chịu kéo khi uốn ở 28 ngày tuổi ở cả 2 mẫu này tăng đáng kể và xấp xỉ nhau. Nguyên nhân gia tăng đáng kể này cần được triển khai phân tích ở các nghiên cứu tiếp theo.



Hình 4. Tỷ lệ cường độ chịu kéo khi uốn của các mẫu vữa có và không có chứa cát thải ở các độ tuổi 1, 3 và 7 ngày so với 28 ngày tuổi (R_{u1}/R_{u28}).

3.3. Ảnh hưởng của cát thải đến cường độ chịu nén của vữa

Hình 5 mô tả sự phát triển cường độ chịu nén của các mẫu vữa có và không có chứa cát thải. Độ lệch chuẩn của cường độ chịu nén của các mẫu vữa nằm trong khoảng 0,29–2,10 MPa. Nhận thấy rằng cường độ chịu nén của vữa sử dụng 100 % cát xây tô (VCT0) đạt giá trị lớn nhất; trong khi đó, cường độ chịu nén của vữa sử dụng 100 % cát thải (VCT100) đạt giá trị thấp nhất ở tất cả các độ tuổi. Việc thay thế cát thải càng nhiều, cường độ chịu nén của vữa càng giảm. Cụ thể: ở 1 ngày tuổi, cường độ chịu nén của vữa sử dụng 100 % cát xây tô (VCT0) đạt giá trị 10,48 MPa; trong khi đó, cường độ chịu nén của vữa sử dụng 25 %, 50 %, 75 % và 100 % cát thải (VCT25, VCT50, VCT75 và VCT100) đạt giá trị 9,04 MPa; 8,08 MPa; 7,52 MPa và 7,32 MPa; tức thấp hơn lần lượt 13,74 %; 22,89 %; 28,27 % và 30,14 %. Ở 3 ngày tuổi, cường độ chịu nén của vữa sử dụng 100% cát xây tô (VCT0) đạt giá trị 18,51 MPa; trong khi đó, cường độ chịu nén của vữa sử dụng 25 %, 50%, 75% và 100% cát thải (VCT25, VCT50, VCT75 và VCT100) đạt giá trị 17,37 MPa; 15,34 MPa; 14,59 MPa và 13,26 MPa; tức thấp hơn lần lượt 6,12%; 17,09%; 21,17% và 28,35%. Ở 7 ngày tuổi, cường độ chịu nén của vữa sử dụng 100% cát xây tô (VCT0) đạt giá trị 26,21 MPa; trong khi đó, cường độ chịu nén của vữa sử dụng 25%, 50%, 75% và 100% cát thải (VCT25, VCT50, VCT75 và VCT100) đạt giá trị 25,11 MPa; 21,32 MPa; 21,08 MPa và 21,79 MPa; tức thấp hơn lần lượt 4,20%; 18,65%; 19,56% và 16,85%. Ở 28 ngày tuổi, cường độ chịu nén của vữa sử dụng 100% cát xây tô (VCT0) đạt giá trị 41,13 MPa; trong khi đó, cường độ chịu nén của vữa sử dụng 25%, 50%, 75% và 100% cát thải (VCT25, VCT50, VCT75 và VCT100) đạt giá trị 39,01 MPa; 37,00 MPa; 34,43 MPa và 31,22 MPa; tức thấp hơn lần lượt 5,17%; 10,04%; 16,29% và 24,10%.

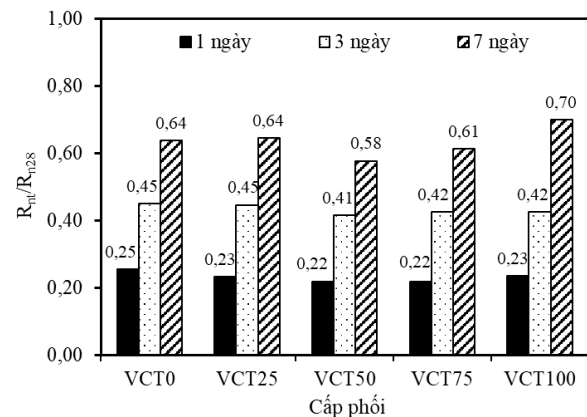


Hình 5. Sự phát triển cường độ chịu nén của vữa có và không có sử dụng cát thải.

Zhao và cộng sự [11] cũng quan sát được xu hướng cường độ chịu nén của vữa sử dụng cát từ bê tông tái chế giảm khoảng 30,8% khi so với vữa sử dụng cát truyền thống. Xu hướng giảm cường độ chịu nén do vật liệu phế thải thay thế cát cũng được báo cáo trong các nghiên cứu của Zhao và cộng sự [8], Dapena và cộng sự [10], Ferro và cộng sự [13].

Nguyên nhân được giải thích là do tính chất rỗng của cát từ bê tông tái chế so với cát truyền thống; điều này là do lượng vữa cũ có nhiều lỗ rỗng còn tồn tại trong cốt liệu bê tông tái chế [11]. Trong khi đó, cát thải được sử dụng trong nghiên cứu này có nguồn gốc chính từ cát xây tô; do đó, yếu tố có khả năng chi phối đến việc giảm cường độ (bao gồm cường độ chịu kéo khi uốn và cường độ chịu nén) của vữa là do cát thải có hàm lượng cát mịn nhiều hơn so với cát xây tô (xem Hình 1). Ngoài ra, việc giảm độ lưu động do cát thải có cỡ hạt mịn hơn (Hình 2) đã làm gia tăng nhu cầu hồ xi măng trong vữa, dẫn đến việc làm giảm cường độ [25]. Hơn thế, cát thải có hàm lượng bụi bùn sét (2,31 %) cao hơn so với cát xây tô (1,88) (xem Bảng 1) nên hàm lượng này đã làm giảm sự liên kết giữa hệ nền xi măng và cốt liệu nhỏ, dẫn đến cường độ của vữa giảm. Tuy nhiên, cường độ chịu nén của vữa chứa 25 % cát thải (VCT25) có giá trị xấp xỉ với cường độ chịu nén của vữa chứa 100 % cát xây tô (VCT0) (xem Hình 5), chứng tỏ rằng việc thay thế cát xây tô bằng cát thải ở 25 % mang tính khả thi trong việc tạo ra vữa xây tô và hoàn thiện.

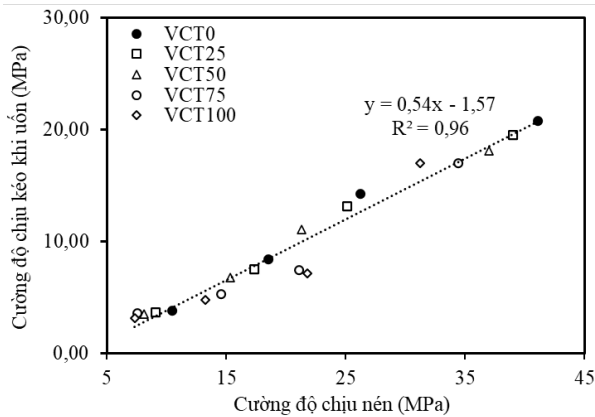
Tương tự cường độ chịu kéo khi uốn, cường độ chịu nén của vữa tăng theo thời gian, không phụ thuộc việc thay thế cát thải. Điều này khẳng định rằng quá trình hydrat hóa của xi măng Portland hỗn hợp vẫn đang tiến triển theo thời gian trong vữa. Tỷ lệ cường độ chịu nén của các mẫu vữa có và không có chứa cát thải ở các độ tuổi 1, 3 và 7 ngày so với 28 ngày tuổi được thể hiện ở Hình 6. Nhận thấy rằng, cường độ chịu nén của các cấp phối vữa có và không có chứa cát thải ở độ tuổi 1, 3 và 7 ngày đạt từ 22–25 %, 41–45 % và 58–70 % so với độ tuổi 28 ngày. Tỷ lệ cường độ chịu nén ở 7 ngày so với 28 ngày tuổi (R_{n7}/R_{n28}) ở mẫu VCT50 thấp hơn so với các mẫu khác; điều này là do giá trị cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi ở mẫu này tăng đáng kể.



Hình 6. Tỷ lệ cường độ chịu nén của các mẫu vữa có và không có chứa cát thải ở các độ tuổi 1, 3 và 7 ngày so với 28 ngày tuổi (R_{n1}/R_{n28}).

3.4. Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn

Hình 5 thể hiện mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của các mẫu vữa. Nhận thấy rằng cường độ chịu nén tỷ lệ thuận cao (với $R^2 = 0,96$) với cường độ chịu kéo khi uốn của vữa, không phụ thuộc vào việc thay thế cát thải.



Hình 5. Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của vữa.

4. Kết luận

Từ những kết quả thực nghiệm trên, nghiên cứu này đưa đến một số kết luận sau:

- Cát thải có những ảnh hưởng đáng kể đến tính chất kỹ thuật của vữa xây dựng; cụ thể: việc thay thế cát xây tô bằng cát thải từ 25–100 % đã làm giảm độ lưu động của vữa tươi từ 2,94–35,29 %, cường độ chịu kéo khi uốn từ 5,94–18,13 % và cường độ chịu nén từ 5,17–24,10 % của vữa ở độ tuổi 28 ngày.

- Việc thay thế cát xây tô bằng 25 % cát thải hiệu quả trong việc ứng dụng chế tạo và sản xuất vữa xây tô và hoàn thiện vì vẫn đảm bảo độ lưu động và cường độ của vữa theo TCVN 4314:2022.

Tóm lại, việc tái sử dụng cát thải từ cát xây tô trong quá trình xây dựng công trình mang tính khả thi và ứng dụng thực tế cao, hướng đến sự phát triển bền vững cho ngành công nghiệp xây dựng.

Lời cảm ơn

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 sinh viên Lai Tăng Lịnh Khang đã cùng hỗ trợ thực hiện nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

[1]. M. Yölmaza, A. BakÖü, Sustainability in construction sector, *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 195 (2015) 2253–2262.
 [2]. L. Lima, E. Trindade, L. Alencar, M. Alencar, L. Silva, Sustainability in the construction industry: A systematic review of the literature, *Journal of Cleaner Production* 289 (2021) 125730.
 [3]. D. Padmalal, K. Maya, Sand mining: Environmental impacts and selected case studies, *Environmental Science and Engineering*, Springer, 162.
 [4]. H. Elhegazy, J. Zhang, O. Amoudi, J. N. Zaki, M. Yahia, M. Eid, I. Mahdi, An exploratory study on the impact of the construction industry on climate change, *Journal of Industrial Integration and Management* (2023) 1–23.
 [5]. O. Ortiz, F. Castells, G. Sonnemann, Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA, *Construction and Building Materials* 23 (2009) 28–39.

[6]. T.Đ. Cao, P. T. Bui, Q. H. Vũ, Nghiên cứu ảnh hưởng của hạt cát keramzit như vật liệu đưỡng hệ bên trong đến cường độ chịu nén và co ngót nội sinh của bê tông cường độ cao, *Tạp chí Xây dựng*, số 627 (2020) 50–54.
 [7]. P. T. Bui, T. H. Nguyen, V. C. Vo, X. L. Luu, Mechanical properties and length change of high strength concrete containing coal bottom ash as an internal curing agent, *Proceedings of the Second International Conference on Sustainable Civil Engineering and Architecture*, Lecture Notes in Civil Engineering, ICSCEA 2021, số 268 (2022) 507–515.
 [8]. Z. Zhao, J. Xiao, Z. Duan, J. Hubert, S. Grigoletto, L. Courard, Performance and durability of self-compacting mortar with recycled sand from crushed brick, *Journal of Building Engineering* 57 (2022) 104867.
 [9]. L. K. Gupta, A. K. Vyas, Impact on mechanical properties of cement sand mortar containing waste granite powder, *Construction and Building Materials* 191 (2018) 155–164.
 [10]. E. Dapena, P. Alaejos, A. Lobet, D. Pérez, Effect of recycled sand content on characteristics of mortars and concretes, *Journal of Materials in Civil Engineering* 23 (2011) 414–422.
 [11]. Z. Zhao, S. Remond, D. Damidot, W. Xu, Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars, *Construction and Building Materials* 81 (2015) 179–186.
 [12]. A. Heidari, M. Hashempour, H. Javdaniyan, M. Karimian, Investigation of mechanical properties of mortar with mixed recycled aggregates, *Asian Journal of Civil Engineering* 19 (2018) 155–164.
 [13]. G. A. Ferro, C. Spoto, J. M. Tulliani, K. Restuccia, Mortar made of recycled sand from C&D, *Procedia Engineering* 109 (2015) 240–247.
 [14]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 6260:2020 Xi măng Portland hỗn hợp – Yêu cầu kỹ thuật, 2020.
 [15]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 4506:2012 Nước cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật, 2012
 [16]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 7572:2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử, 2006.
 [17]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 7570:2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật, 2006.
 [18]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 3121-2:2022 Vữa xây dựng - Phương pháp thử - Phần 2: Lấy mẫu và chuẩn bị mẫu thử, 2022.
 [19]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 3121-11:2022 Vữa xây dựng – Phương pháp thử – Phần 11: Xác định cường độ uốn và nén của vữa đóng rắn, 2022.
 [20]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 3121-3:2022 Vữa xây dựng - Phương pháp thử - Phần 3: Xác định độ lưu động của vữa tươi (phương pháp bàn dần), 2022.
 [21]. E.F. Ledesma, J.R. Jim´enez, J. Ayuso, J.M. Fern´andez, J. De Brito, Maximum feasible use of recycled sand from construction and demolition waste for eco mortar production - Part-I: ceramic masonry waste, *J. Clean. Prod.* 87 (2015) 692–706.
 [22]. J. Dang, J. Zhao, W. Hu, Z. Du, D. Gao, Properties of mortar with waste clay bricks as fine aggregate, *Construct. Build. Mater.* 166 (2018) 898–907.
 [23]. G. S. Kumar, P. K. Saini, S. R. Karade, A. K. Minocha, Chemo-thermal treatment for quality enhancement of recycled concrete fine aggregates. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 21 (2019) 1197–1210.
 [24]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 4314:2022 Vữa xây dựng - Yêu cầu kỹ thuật, 2022.
 [25]. B. Jeyaprabha, G. Elangovan, P. Prakash, Strength and microstructure of fired mortars with river sand alternatives after air cooling, *Materials and Structures* 50 (2017) 76.