

Nghiên cứu các đặc tính cơ lý của vữa tự lèn có gia cường sợi thủy tinh

Nguyễn Thị Thu Hương^{1*}

¹ Khoa Công trình - Trường Đại học Thủy lợi

TỪ KHOẢ

Vữa tự lèn
Sợi thủy tinh
Hàm lượng sợi
Chiều dài sợi
Độ chảy
Cường độ nén
Cường độ uốn
Cường độ kéo bừa
Phục hồi và sửa chữa

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm đánh giá các chỉ tiêu cơ lý của vữa tự lèn M50 gia cường cốt sợi thủy tinh ở cả trạng thái tươi và đông cứng. Thí nghiệm được tiến hành với ba hàm lượng sợi 0,2 %, 0,3 % và 0,4 % (theo thể tích), kết hợp với ba chiều dài sợi 9 mm, 13 mm và 17 mm. Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi hàm lượng và chiều dài sợi tăng, độ chảy của hỗn hợp vữa giảm, cho thấy ảnh hưởng rõ rệt đến tính công tác của vữa ở trạng thái tươi. Ở trạng thái rắn, cường độ nén không bị ảnh hưởng rõ rệt, trong khi cường độ uốn và độ bền kéo khi bừa lại tăng đáng kể theo cả hàm lượng và chiều dài sợi. Từ đó, nghiên cứu cho thấy tiềm năng ứng dụng của vữa tự lèn cốt sợi thủy tinh trong các công trình dân dụng và thủy lợi, đặc biệt là trong các giải pháp phục hồi và sửa chữa kết cấu.

KEYWORDS

Self-Compacting Mortar
Glass fiber
Fiber content
Fiber length
Flowability
Compressive strength
Flexural strength
Splitting tensile strength
Rehabilitation and Repair

ABSTRACT

This study aims to evaluate the physico-mechanical properties of M50-grade self-compacting mortar reinforced with glass fibers in both fresh and hardened states. The experimental program was conducted with three fiber volume fractions (0,2 %, 0,3 %, and 0,4 %) and three fiber lengths (9 mm, 13 mm, and 17 mm). The experimental results showed that increasing both the fiber content and fiber length led to a reduction in the flowability of the mortar mixture, indicating a significant impact on the workability of the fresh mortar. In the hardened state, compressive strength was not significantly affected, whereas flexural strength and splitting tensile strength showed significant improvement with higher fiber volume and longer fiber lengths. These findings show the potential applicability of glass fiber-reinforced self-compacting mortar in civil and hydraulic structures, particularly for structural rehabilitation and repair solutions.

1. Giới thiệu

Vữa tự lèn là một thành phần không thể thiếu của bê tông tự lèn, được ứng dụng rộng rãi trong công tác cải tạo, phục hồi và sửa chữa các kết cấu bê tông cốt thép [1–3]. Theo định nghĩa của EFNARC [4], bê tông tự lèn là “bê tông có khả năng chảy dưới tác dụng của chính khối lượng bản thân, lấp đầy hoàn toàn ván khuôn – ngay cả khi có cốt thép dày đặc – mà không cần rung động cơ học, đồng thời vẫn duy trì được tính đồng nhất”. Đây được xem là một công nghệ bê tông tiên tiến, mang lại nhiều lợi ích vượt trội về mặt kỹ thuật, môi trường và sức khỏe lao động so với bê tông truyền thống.

Trong trường hợp vữa tự lèn, ưu điểm nổi bật là khả năng tự chảy và lấp đầy khuôn mà không cần đầm rung, đồng thời hạn chế được hiện tượng phân tầng, giúp cải thiện chất lượng thi công, đặc biệt phù hợp cho các công tác sửa chữa kết cấu ở những vị trí khó tiếp cận [5].

Tuy nhiên, cả vữa và bê tông đều có bản chất giòn, dẫn đến những hạn chế trong khả năng chịu kéo và độ bền dai. Để khắc phục nhược điểm này, việc bổ sung sợi vào hỗn hợp vữa hoặc bê tông là một giải pháp hiệu quả, giúp tăng cường khả năng kháng nứt, cải thiện tính chất cơ học và độ bền lâu của vật liệu. Trong đó, vữa tự lèn cốt sợi (fiber-reinforced self-compacting mortar – FR-SCM) là một vật liệu đang được sử dụng phổ biến trong sửa chữa các kết cấu bê tông hư hỏng [6].

Trong vữa tự lèn cốt sợi, các sợi thường ở dạng ngắn, không liên tục và phân bố ngẫu nhiên trong ma trận xi măng. Khi vật liệu đông cứng, các sợi đóng vai trò như các cầu nối giúp ngăn chặn sự phát triển của các vết nứt vi mô, đồng thời giữ chặt các vết nứt lớn hiện có, từ đó giảm thiểu nguy cơ phá hoại cấu kiện [6]. Tương tự như trong bê tông cốt sợi, sự cải thiện tính chất cơ học của vữa chủ yếu đến từ lực bắc cầu vết nứt do sợi tạo ra, giúp phân tán ứng suất, hạn chế hiện tượng tập trung ứng suất cục bộ, từ đó nâng cao khả năng chịu tải và biến dạng của vật liệu [7–9].

Trong số các loại sợi được sử dụng, sợi thủy tinh (glass fibers) là một lựa chọn phổ biến nhờ đặc tính cơ học tốt và tính sẵn có. Việc trộn các sợi thủy tinh ngắn, rời rạc và không liên tục vào bê tông hoặc vữa tự lèn đã cho thấy hiệu quả rõ rệt trong việc nâng cao các đặc tính cơ lý tổng thể của vật liệu.

Bê tông cốt sợi thủy tinh (GFRC) là một vật liệu xây dựng đã chứng minh được giá trị kinh tế, công nghệ và thẩm mỹ trong ngành xây dựng toàn cầu trong hơn 40 năm qua [10]. Dù tiềm năng của sợi thủy tinh đã được nhận biết từ những năm 1940, nhưng khả năng kháng kiềm thấp đã hạn chế việc ứng dụng trong bê tông – vốn có tính kiềm cao. Để khắc phục hạn chế này, vào giữa những năm 1960, một loại sợi thủy tinh mới có hàm lượng ZrO₂ cao đã được phát triển, giúp cải thiện đáng kể độ bền trong môi trường kiềm. Từ đó, loại sợi này đã

*Liên hệ tác giả: huongvldx@tlu.edu.vn

Nhận ngày 22/07/2025, sửa xong ngày 16/08/2025, chấp nhận đăng ngày 18/08/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2025.1066>

được thương mại hóa rộng rãi, và nhiều sản phẩm cũng như ứng dụng mới đã được cấp bằng sáng chế [11].

Tính chất của vữa tự lên cốt sợi thủy tinh phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: thành phần hỗn hợp, loại sợi, hàm lượng sợi, chiều dài và định hướng sợi, cùng với các phụ gia khoáng và hóa học đi kèm. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm khảo sát các chỉ tiêu cơ lý của vữa tự lên gia cường bằng sợi thủy tinh ở cả trạng thái tươi và trạng thái đông cứng, với các tỷ lệ và chiều dài sợi khác nhau. Kết quả nghiên cứu sẽ là cơ sở cho các ứng dụng sâu hơn trong việc phục hồi các kết cấu xây dựng, bao gồm cả công trình dân dụng và công trình thủy lợi.



Hình 1. Sợi thủy tinh kháng kiềm dùng trong nghiên cứu.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu thí nghiệm

- Xi măng: Sử dụng xi măng Pooclăng thường (PC) loại PC40 Bút Sơn thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 2682:2009.
- Silacafume (Muội silic): Sử dụng muội silic của hãng Elkem thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 8827:2011.
- Cốt liệu mịn: Dùng cát nghiền từ nguồn Kiện Khê – Hà Nam, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 7570:2006.
- Phụ gia hóa dẻo: Sử dụng phụ gia giảm nước bậc cao của công ty VMAT.
- Phụ gia điều chỉnh độ nhớt: Sử dụng phụ gia điều chỉnh độ nhớt của hãng Sika.
- Sợi thủy tinh: Sử dụng sợi thủy tinh loại kháng kiềm, phù hợp với tiêu chuẩn ASTM C1666. Để khảo sát sự thay đổi của kích thước sợi đến các đặc tính cơ lý của vữa tự lên, trong nghiên cứu sử dụng 3 loại sợi có kích thước là 9 mm, 13 mm, và 17 mm. Hình ảnh sợi thủy tinh dùng trong nghiên cứu như Hình 1.

2.2. Các cấp phối nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, hỗn hợp vữa tự lên được thiết kế làm mẫu chống chững yêu cầu đạt độ chảy xòe khoảng 20 cm và cường độ nén ở tuổi 28 ngày đạt 50 MPa.

Cấp phối vữa trong nghiên cứu được xác định dựa trên khuyến nghị thiết kế hỗn hợp bê tông tự lên do Giáo sư Okamura phát triển, người đầu tiên giới thiệu khái niệm này đến cộng đồng khoa học [12], kết hợp với các hướng dẫn kỹ thuật của EFNARC [4]. Quy trình thiết kế cấp phối chi tiết được tham khảo từ luận văn thạc sĩ của Ngô Thị Ly [13].

Sau quá trình thí nghiệm và điều chỉnh cấp phối để đáp ứng các chỉ tiêu kỹ thuật yêu cầu, 9 cấp phối vữa tự lên được lựa chọn cho nghiên cứu và trình bày trong Bảng 1. Tất cả các cấp phối sử dụng cùng một loại vật liệu nền, chỉ khác nhau về hàm lượng sợi thủy tinh (0,2 %, 0,3 %, và 0,4 % theo thể tích) và chiều dài sợi (9 mm, 13 mm, và 17 mm).

Bảng 1. Bảng tổng hợp các cấp phối vữa thí nghiệm.

TT	KH mẫu	XM (kg)	SF (kg)	Cát (kg)	PGHD (l)	PG điều chỉnh độ nhớt (l)	Nước (l)	Sợi thủy tinh (kg)
1	F0,2L9	390	63,5	1775	2,7	0,76	195	5,8
2	F0,2L13	390	63,5	1775	2,7	0,76	195	5,8
3	F0,2L17	390	63,5	1775	2,7	0,76	195	5,8
4	F0,3L9	390	63,5	1775	2,7	0,76	195	8,7
5	F0,3L13	390	63,5	1775	2,7	0,76	195	8,7
6	F0,3L17	390	63,5	1775	2,7	0,76	195	8,7
7	F0,4L9	390	63,5	1775	2,7	0,76	195	11,6
8	F0,4L13	390	63,5	1775	2,7	0,76	195	11,6
9	F0,4L17	390	63,5	1775	2,7	0,76	195	11,6

Trong đó:

XM: Xi măng; SF: Silica-Fume (Muội silic); PGHD: Phụ gia hóa dẻo;

F_{0,2(0,3; 0,4)}: Tỷ lệ sợi thủy tinh pha trộn tương ứng là 0,2 %, 0,3 %, và 0,4 % theo thể tích;

L_{9,13,17}: Sử dụng sợi thủy tinh có chiều dài tương ứng là 9 mm, 13 mm, và 17 mm.

2.3. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm

Với 9 cấp phối vữa được trình bày trong Bảng 1, sau khi trộn theo quy trình tiêu chuẩn, tất cả hỗn hợp được thí nghiệm ở trạng thái

tươi để xác định độ chảy theo TCVN 9204:2012 [14], như minh họa ở Hình 2(a) và (b). Đồng thời, khối lượng thể tích của vữa tươi cũng được đo theo TCVN 3108:1993 [15]. Tiếp theo, các mẫu thử được đúc với ba hình dạng: lập phương (150×150×150 mm), lăng trụ

(100 × 100 × 400 mm), và trụ tròn (đường kính 150 mm, chiều cao 300 mm), nhằm xác định: Cường độ nén theo TCVN 3118:2022 [16]; Cường độ uốn theo TCVN 3119:2022 [17]; Cường độ kéo bừa theo TCVN 3120:2022 [18], tại tuổi 28 ngày.

Hình ảnh đúc mẫu và thí nghiệm uốn với mẫu hình lăng trụ được thể hiện trong Hình 3(a) và (b).



(a) Bộ dụng cụ nhốt kế Suttard (b) Đo độ chảy xòe của hỗn hợp vữa
Hình 2. Thí nghiệm xác định độ chảy của hỗn hợp vữa.

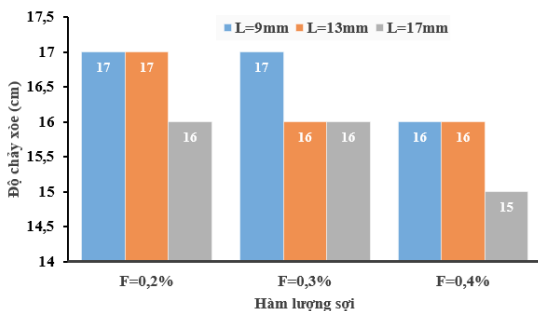


(a) Chuẩn bị mẫu theo kích thước chuẩn (b) Thí nghiệm uốn mẫu
Hình 3. Chuẩn bị mẫu và thí nghiệm uốn mẫu vữa đóng rắn.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Độ chảy của hỗn hợp vữa

Kết quả thí nghiệm độ chảy của hỗn hợp vữa với hàm lượng và kích thước sợi khác nhau được thể hiện trên Hình 4. Từ biểu đồ có thể thấy, khi hàm lượng sợi và kích thước sợi tăng thì độ dẻo của hỗn hợp vữa có xu hướng giảm. Cụ thể, với hàm lượng sợi tăng từ 0,2 lên 0,4% thì độ chảy giảm từ 17 cm xuống 16 cm với sợi có kích thước 9 mm, 13 mm và giảm từ 16 cm xuống 15 cm với sợi có kích thước 17 mm. Kết quả thí nghiệm này phản ánh đúng cơ chế vật lý khi dùng sợi trong hỗn hợp vữa.

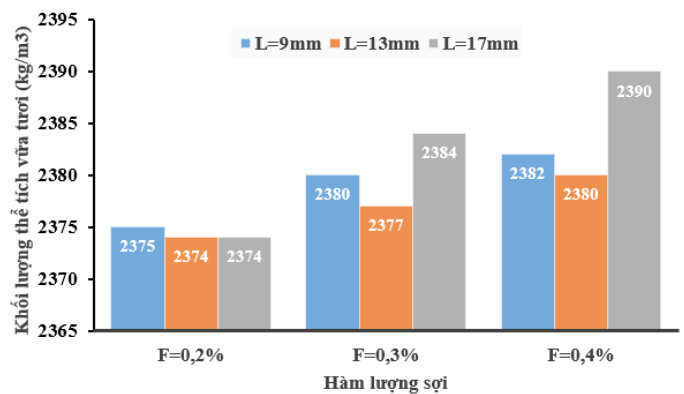


Hình 4. Độ chảy xòe của hỗn hợp vữa.

Hiện tượng độ dẻo của hỗn hợp vữa giảm khi hàm lượng sợi tăng có thể được giải thích là do lượng sợi tăng làm sự va chạm giữa các sợi và giữa sợi với hạt cốt liệu tăng lên dẫn đến sự tăng ma sát nội bộ trong hỗn hợp vữa, từ đó làm hỗn hợp ít chảy và kém dẻo hơn. Ngoài ra khi sử dụng sợi thủy tinh, sợi sẽ phân bố trong hỗn hợp vữa tạo thành mạng lưới không gian ba chiều, làm hỗn hợp trở nên giống như một khối rắn hơn là chất lỏng chảy. Hiệu ứng này gọi là hiện tượng tạo mạng (fiber network), càng nhiều sợi, mạng càng dày làm hạn chế khả năng dịch chuyển của hạt và nước từ đó làm giảm độ dẻo của hỗn hợp vữa.

Khi sợi có kích thước dài hơn sẽ dễ bị rối, móc nối, chồng chéo lên nhau, tạo thành các cụm mạng sợi. Điều này làm tăng ma sát nội bộ trong hỗn hợp, gây cản trở dòng chảy nghiêm trọng hơn so với sợi ngắn, làm các hạt mịn và nước khó di chuyển xung quanh các mạng sợi, hỗn hợp vữa khó chảy hơn. Sợi dài cũng dễ tạo thành mạng không gian ba chiều giống như một “lồng lưới” giữ các hạt bên trong. So với sợi ngắn, sợi dài có khả năng kết nối nhiều hạt hơn và trên diện rộng hơn, từ đó hỗn hợp mất tính linh động. Sợi càng dài thì khó phân bố đều trong hỗn hợp, dễ xảy ra hiện tượng vón cục, tắc nghẽn trong quá trình trộn, tạo ra vùng cứng và vùng mềm, mất tính đồng nhất cũng làm cho hỗn hợp kém dẻo hơn.

3.2. Khối lượng thể tích của vữa tươi



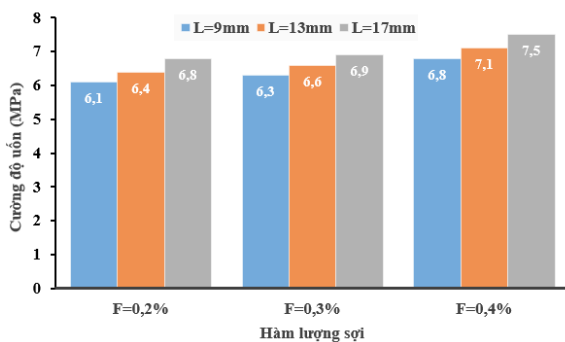
Hình 5. Khối lượng thể tích của vữa tươi.

Kết quả trên Hình 5 cho thấy, khi hàm lượng sợi tăng thì khối lượng thể tích của vữa tươi đều tăng với các sợi có độ dài khác nhau, trong đó sử dụng sợi có độ dài 17 mm có mức tăng khối lượng thể tích lớn nhất, từ 2374 kg/m³ với lượng dùng sợi 0,2 % tăng lên 2390 kg/m³ với lượng dùng sợi là 0,4 %. Nguyên nhân chính là sợi thủy tinh sử dụng trong nghiên cứu có khối lượng riêng tương đối cao, 2,9 g/cm³, lớn hơn nhiều so với nước và một số thành phần khác trong vữa. Khi hàm lượng sợi tăng lên, một phần thể tích của hỗn hợp được thay thế bằng vật liệu có tỷ trọng lớn hơn, làm tăng tổng khối lượng trên một đơn vị thể tích. Bên cạnh đó, nếu sợi được phân tán đều, chúng có thể làm giảm độ rỗng của hỗn hợp do hiệu ứng chèn lấp, qua đó tiếp tục góp phần làm tăng khối lượng thể tích. Tuy nhiên, khi hàm lượng sợi vượt quá ngưỡng tối ưu, hiện tượng vón cục và giảm độ chảy có thể

xảy ra, gây khó khăn trong quá trình tự lèn và dẫn đến hình thành các khoảng rỗng, từ đó làm suy giảm hoặc không cải thiện khối lượng thể tích như mong đợi.

Kích thước sợi cũng có ảnh hưởng đến khối lượng thể tích của vữa tươi. Các sợi ngắn có xu hướng phân tán đều hơn, giúp giảm độ rỗng và làm tăng khối lượng thể tích. Ngược lại, các sợi dài, nếu không được phân bố đồng đều, có thể tạo ra hiện tượng vón cục và làm giảm khả năng tự lèn của hỗn hợp, dẫn đến giảm khối lượng thể tích. Các sợi dài nếu được phân tán tốt vẫn có thể tăng khối lượng thể tích, phụ thuộc nhiều vào khả năng thi công. Do đó, cần tối ưu hóa kích thước sợi để đảm bảo hiệu quả phân tán và tính chất lý-hóa của vữa.

3.3. Cường độ uốn



Hình 6. Cường độ uốn của vữa đóng rắn.

Hình 6 thể hiện mối quan hệ giữa hàm lượng sợi thủy tinh (F = 0,2 %, 0,3 %, 0,4%) và chiều dài sợi (L = 9 mm, 13 mm, 17 mm) đối với cường độ uốn của vữa. Nhìn chung, khi tăng hàm lượng sợi và chiều dài sợi, cường độ uốn của vữa có xu hướng tăng rõ rệt.

Ở mỗi mức hàm lượng, cường độ uốn tăng dần theo chiều dài sợi. Tại F=0,2%, mẫu sử dụng sợi dài 9 mm đạt 6,1 MPa, trong khi mẫu sử dụng sợi 17 mm đạt tới 6,8 MPa. Xu hướng này lặp lại ở F=0,3% và 0,4%, với giá trị cường độ uốn cao nhất lần lượt là 6,9 MPa và 7,5 MPa tương ứng với chiều dài sợi 17 mm. Như vậy, hiệu quả tăng cường uốn của sợi thủy tinh tỷ lệ thuận với chiều dài sợi trong khoảng khảo sát.

Bên cạnh đó, khi tăng hàm lượng sợi từ 0,2% lên 0,4%, cường độ uốn của vữa cũng tăng rõ rệt ở tất cả các chiều dài sợi. Ở chiều dài sợi 13 mm, giá trị cường độ uốn tăng từ 6,4 MPa (F=0,2%) lên 7,1 MPa (F=0,4%). Điều này cho thấy hàm lượng sợi lớn hơn góp phần đáng kể vào khả năng kháng uốn của vật liệu, nhờ vào việc cải thiện khả năng phân tán ứng suất kéo trong vùng chịu uốn.

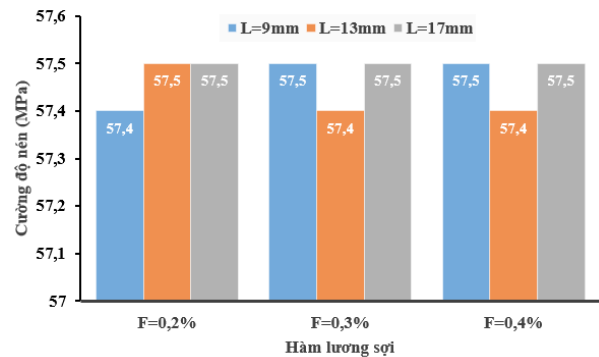
Việc tăng hàm lượng và kích thước sợi thường góp phần cải thiện cường độ chịu uốn của vật liệu nhờ vào các cơ chế kháng nứt hiệu quả và sự gia tăng khả năng phân bố ứng suất trong ma trận. Các sợi phân bố đều trong vữa đóng vai trò như các cầu nối tại các khe nứt vi mô, giúp hạn chế sự phát triển và lan rộng của các vết nứt khi vữa chịu tác dụng của tải trọng uốn. Khi hàm lượng sợi tăng, số lượng cầu nối cũng tăng, qua đó nâng cao khả năng chống nứt và gia tăng độ bền uốn. Đồng

thời, khi chiều dài sợi lớn hơn, giúp tăng diện tích bám dính và lực ma sát giữa sợi với nền xi măng, từ đó nâng cao hiệu quả truyền tải ứng suất và khả năng chống kéo đứt hoặc rút sợi ra khỏi nền.

Từ kết quả trên, có thể khẳng định rằng cả hàm lượng và chiều dài sợi thủy tinh đều đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao cường độ uốn của vữa. Việc lựa chọn kết hợp tối ưu giữa hai yếu tố này sẽ giúp cải thiện đáng kể khả năng kháng nứt và độ dẻo dai của vật liệu vữa cốt sợi.

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng việc tăng hàm lượng hoặc kích thước sợi vượt quá giới hạn tối ưu có thể làm giảm tính tự lèn và khả năng phân bố đồng đều của sợi trong vữa, dẫn đến hiện tượng tách nước, phân tầng hoặc tạo rỗng, từ đó ảnh hưởng tiêu cực đến cường độ và độ đồng nhất của vật liệu.

3.4. Cường độ nén



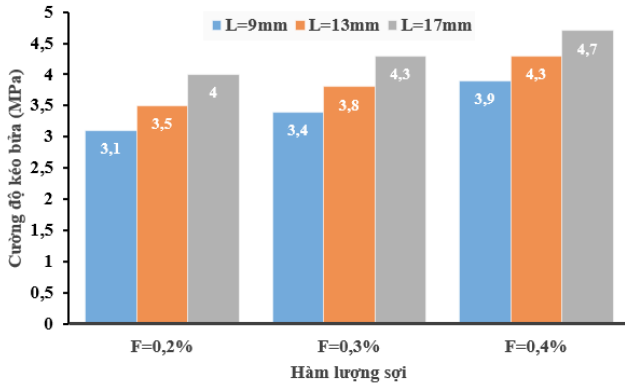
Hình 7. Cường độ nén của vữa đóng rắn.

Biểu đồ kết quả trên Hình 7 cho thấy sự thay đổi hàm lượng và chiều dài sợi trong khoảng khảo sát (F = 0,2–0,4 %; L = 9–17 mm) không gây ảnh hưởng đáng kể đến cường độ nén của vữa tự lèn. Cụ thể, ở tất cả các mức hàm lượng sợi, giá trị cường độ nén dao động trong khoảng hẹp từ 57,4 đến 57,5 MPa. Khi tăng hàm lượng sợi từ 0,2 % lên 0,4 %, cường độ nén hầu như không thay đổi, cho thấy rằng sự hiện diện của sợi ở mức thấp không gây suy giảm cấu trúc nền xi măng đến mức ảnh hưởng tiêu cực đến khả năng chịu nén của vật liệu. Mặt khác, xét theo chiều dài sợi, sợi 17 mm thường cho giá trị cường độ nén cao nhất tại mọi mức hàm lượng. Điều này cho thấy rằng việc sử dụng sợi dài hơn có thể hỗ trợ gia tăng mức độ ổn định vi cấu trúc của vữa, nhờ khả năng phân tán ứng suất vi mô và tăng liên kết cơ học trong ma trận. Tuy nhiên, do mức dao động cường độ là không đáng kể, có thể kết luận rằng sợi trong khoảng chiều dài và hàm lượng khảo sát chủ yếu đóng vai trò cải thiện các đặc tính cơ học khác như khả năng kháng nứt, trong khi tác động đến cường độ nén là không rõ rệt.

3.5. Cường độ kéo bừa

Kết quả thể hiện trong Hình 8 cho thấy cường độ kéo bừa của vữa chịu ảnh hưởng rõ rệt bởi cả hàm lượng sợi (F) và chiều dài sợi

(L). Khi hàm lượng sợi tăng từ 0,2 % lên 0,4 %, cường độ kéo bừa tăng đáng kể ở tất cả các mức chiều dài sợi. Cụ thể, với sợi có chiều dài 9 mm, cường độ kéo bừa tăng từ 3,1 MPa (F=0,2 %) lên 3,4 MPa (F=0,3 %) và đạt 3,9 MPa tại F=0,4 %, tương ứng với mức tăng tổng cộng khoảng 25,8 %. Đối với chiều dài sợi 13 mm, cường độ tăng từ 3,5 MPa lên 4,3 MPa khi hàm lượng sợi tăng từ 0,2 % lên 0,4 % (tăng khoảng 22,9 %). Trong khi đó, với sợi dài 17 mm, cường độ kéo bừa đạt mức cao nhất, tăng từ 4,0 MPa lên 4,7 MPa (tăng 17,5 %) trong cùng điều kiện tăng hàm lượng sợi.



Hình 8. Cường độ kéo bừa của vữa đóng rắn.

Bên cạnh đó, ở mỗi mức hàm lượng sợi cố định, việc tăng chiều dài sợi từ 9 mm lên 17 mm cũng cải thiện đáng kể cường độ kéo bừa. Cụ thể, tại F=0,2 %, cường độ tăng từ 3,1 MPa (L=9 mm) lên 4,0 MPa (L=17 mm), tương ứng mức tăng 29,0 %. Tại F=0,3 %, cường độ tăng từ 3,4 MPa lên 4,3 MPa (tăng 26,5 %), và tại F=0,4 %, giá trị cường độ kéo bừa tăng từ 3,9 MPa lên 4,7 MPa, tương đương với mức tăng 20,5 %.

Những kết quả này cho thấy việc tăng hàm lượng sợi và chiều dài sợi đều có tác động tích cực đến khả năng chống nứt và cường độ kéo bừa của vữa. Sợi phân bố đều trong nền vữa giúp ngăn chặn và hạn chế sự phát triển của vết nứt, trong khi sợi dài hơn có khả năng gia cường hiệu quả hơn nhờ tương tác cơ học tốt hơn với ma trận xi măng. Tuy nhiên, hiệu quả tăng cường có xu hướng giảm dần khi hàm lượng và chiều dài sợi vượt qua một mức nhất định, điều này gợi ý rằng cần tối ưu hóa các thông số này để đạt hiệu quả gia cường tốt nhất mà vẫn đảm bảo tính công tác của vữa trong thi công thực tế.

4. Kết luận

Trên cơ sở kết quả thực nghiệm, nghiên cứu đã đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng và chiều dài sợi thủy tinh đến các đặc tính cơ lý của vữa tự lên ở cả trạng thái tươi và đóng rắn. Một số kết luận chính được rút ra như sau:

(1) Đối với vữa ở trạng thái tươi:

- Việc bổ sung sợi thủy tinh làm giảm độ chảy xèo của hỗn hợp vữa. Mức giảm này tỷ lệ thuận với cả hàm lượng và chiều dài sợi do sự gia tăng ma sát nội bộ và hiện tượng hình thành mạng sợi ba chiều gây

cản trở dòng chảy.

- Khối lượng thể tích của vữa tươi có xu hướng tăng theo hàm lượng và chiều dài sợi, do ảnh hưởng của khối lượng riêng cao của sợi thủy tinh và hiệu ứng lấp đầy các lỗ rỗng trong hỗn hợp.

- Tuy nhiên, ở các mức sợi cao hoặc sợi quá dài, khả năng phân bố sợi kém có thể gây hiện tượng vón cục, ảnh hưởng tiêu cực đến tính công tác và đồng nhất của hỗn hợp.

(2) Đối với vữa ở trạng thái đóng rắn:

- Hàm lượng và chiều dài sợi trong phạm vi khảo sát không ảnh hưởng đáng kể đến cường độ nén. Sự khác biệt giữa các cấp phối là không rõ rệt và nằm trong giới hạn dao động cho phép.

- Cường độ uốn và cường độ kéo bừa cải thiện đáng kể khi tăng hàm lượng và chiều dài sợi. Các sợi thủy tinh đóng vai trò như cầu nối vi mô trong ma trận xi măng, giúp ngăn chặn và hạn chế sự phát triển của vết nứt, từ đó nâng cao khả năng chịu tải và độ bền kéo-uốn của vữa.

- Mức cải thiện cơ học cao nhất đạt được với cấp phối sử dụng sợi có chiều dài 17 mm và hàm lượng 0,4 %. Tuy nhiên, cần cân nhắc giới hạn tối ưu để đảm bảo sự cân bằng giữa khả năng gia cường và tính công tác khi thi công của vật liệu.

Tổng kết các kết quả nghiên cứu cho thấy vữa tự lên gia cường sợi thủy tinh có tiềm năng ứng dụng cao trong các công trình dân dụng và công trình thủy lợi, đặc biệt là trong các giải pháp phục hồi và sửa chữa kết cấu. Đây cũng là cơ sở khoa học hữu ích cho các nghiên cứu mở rộng và chuyên sâu trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Dey S, Kumar VP, Goud KR, Basha SKJ, State of art review on self compacting concrete using mineral admixtures, Journal of Building Pathology and Rehabilitation, 2021, 6(1):18.
- [2]. Felekoğlu B, Tosun K, Baradan B, Altun A, Uylgan B, The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars, Cement and Concrete Research, 2006, 36:1719–1726.
- [3]. Türkel S, Altuntaş Y, The effect of limestone powder, fly ash and silica fume on the properties of self-compacting repair mortars, Sadhana, 2009.
- [4]. European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC), Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems: Norfolk, UK, 2002; pp. 1–32.
- [5]. Mahdikhani M, Ramezani-pour AA, New methods development for evaluation rheological properties of self-consolidating mortars, Construction and Building Materials, 2015, 75:136–43.
- [6]. Abdolpour H, Niewiadomski P, Sadowski Ł, Kwiecień A, Engineering of ultra-high performance self-compacting mortar with recycled steel fibres extracted from waste tires, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2022, 22:175.
- [7]. Ramkumar KB, Kannan Rajkumar PR, Gunasekaran K, Performance of hybrid steel fiber-reinforced self-compacting concrete RC beam under flexure, Engineering Science and Technology, 2023, 42:101432.
- [8]. Li B, Chi Y, Xu L, Shi Y, Li Ch, Experimental investigation on the flexural behavior of steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete, Construction and Building Materials, 2018,191(10):80–94.

- [9]. Koniki S, Prasad DR, Influence of hybrid fibres on strength and stress-strain behaviour of concrete under uni-axial stresses, *Construction and Building Materials*, 2019, 207:238–248.
- [10]. Masuelli, M.A, *Fiber Reinforced Polymers–The Technology Applied for Concrete Repair*, Open Acess E-Book, 2013.
- [11]. Masood, U., *Studies on Characteristics of Mixed Fiber Reinforced Concrete for Structural Applications*, Doctoral Thesis Document, Jawaharlal Nehru Technological University, Hyderabad, 2014.
- [12]. Okamura, H. & Ouchi M, *Self-Compacting Concrete*. *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol. 1, No.1, p. 5-15, 2003.
- [13]. Ngô Thị Ly, *Nghiên cứu sử dụng bê tông hạt mịn kết hợp cốt sợi để sửa chữa bảo trì các công trình bảo vệ kè bờ biển Giao Thủy - Nam Định*, Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Thủy lợi, 2020.
- [14]. TCVN 9204:2012 – Bê tông – Vữa xi măng khô trộn sẵn không co
- [15]. TCVN 3108:1993 – Hỗn hợp bê tông nặng – Phương pháp xác định khối lượng thể tích
- [16]. TCVN 3118:2022 – Bê tông – Phương pháp xác định cường độ chịu nén
- [17]. TCVN 3119:2022 – Bê tông – Phương pháp xác định cường độ chịu kéo khi uốn
- [18]. TCVN 3120:2022 – Bê tông – Phương pháp xác định cường độ chịu kéo khi bẻ