

Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của sợi phi kim đến một số đặc trưng cơ lý của vữa cường độ cao định hướng ứng dụng cho công trình biển

Ngô Xuân Hùng¹, Ngô Trung Hiếu¹, Ngô Tôn Hiếu¹, Đỗ Mạnh Nam¹, Nguyễn Vũ Sơn Tùng¹, Nguyễn Văn An¹, Nguyễn Sỹ Đức¹, Lê Huy Việt^{1, 2*}

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

² Nhóm nghiên cứu mạnh GECS, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

TỪ KHOẢ

Vữa cường độ cao
Sợi PP
Công trình biển
Cường độ chịu nén
Cường độ chịu uốn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của sợi phi kim đến các đặc trưng cơ lý của vữa cường độ cao (HSM) nhằm định hướng ứng dụng cho công trình biển. HSM với cường độ và độ đặc chắc cao có nhiều ưu điểm khi áp dụng cho công trình biển với sự xâm thực của ion clorua, sulfat, sóng biển và chu kỳ thủy triều tuy nhiên có nhược điểm chống nứt kém và độ giòn cao. Nghiên cứu này tập trung đánh giá ảnh hưởng của sợi phi kim (polypropylene, PP với ưu điểm vượt trội về chống ăn mòn, khối lượng riêng thấp, không dẫn điện và chống hóa chất tốt) đến một số đặc trưng vật liệu như độ chảy, cường độ nén, cường độ kéo khi uốn, khối lượng thể tích của HSM. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, khi tăng tỷ lệ sợi PP từ 0,25 % đến 1,0 % trong vữa, độ chảy xẹp có xu hướng giảm. Khối lượng thể tích của các mẫu dao động từ 2223 đến 2432 kg/m³. Hàm lượng sợi phi kim từ 0,25 % trở lên làm giảm đáng kể cường độ nén và uốn, cho thấy sự gián đoạn trong cấu trúc vật liệu. Khi hàm lượng sợi PP tăng từ 0,25 đến 1 %, cường độ chịu nén có xu hướng giảm từ 92,65 MPa đến 80,56 MPa. Cường độ chịu uốn của HSM đạt giá trị lớn nhất khi hàm lượng sợi PP đạt 0,5 % (11,95 MPa). Các kết quả này cung cấp cơ sở khoa học và dữ liệu thực nghiệm để thiết kế và ứng dụng HSM hiệu quả, bền vững cho công trình biển.

KEYWORDS

High-Strength Mortar
PP Fibers
Marine Structures
Compressive Strength
Flexural Strength

ABSTRACT

This study evaluates the influence of non-metallic fibers on the mechanical and physical properties of high-strength mortar (HSM) to guide its application in marine structures. HSM, characterized by high strength and compactness, offers numerous advantages for marine structures exposed to aggressive environments involving chloride and sulfate ions, sea waves, and tidal cycles; however, it has drawbacks such as poor crack resistance and high brittleness. This research focuses on assessing the effects of non-metallic fibers (polypropylene, PP, which exhibits superior corrosion resistance, low specific gravity, non-conductivity, and excellent chemical resistance) on selected material properties, including flowability, compressive strength, flexural tensile strength, and bulk density of HSM. The results indicate that as the PP fiber content increases from 0.25% to 1.0% in the mortar, the flow spread tends to decrease. The bulk density of the samples ranges from 2223 to 2432 kg/m³. As the PP fiber content rises from 0.25% to 1%, the compressive strength tends to decrease from 92.65 MPa to 80.56 MPa. Fiber contents starting from 0.25% significantly reduce compressive strengths, suggesting disruptions in the material structure. The flexural strength of HSM reaches its maximum value at 0.5% PP fiber content (11.95 MPa). These findings provide a scientific basis and reliable experimental data for the efficient and sustainable design and application of HSM in marine structures.

1. Giới thiệu

Cùng với sự phát triển kinh tế xã hội và cơ sở hạ tầng, ngành xây dựng đang đối mặt với những thách thức ngày càng lớn về việc xây dựng các công trình có khả năng chịu lực vượt trội, tuổi thọ cao và khả năng chống chịu tốt trong những điều kiện môi trường khắc nghiệt. Vữa cường độ cao (High-Strength Mortar - HSM) với cường độ nén cao, độ bền vượt trội và khả năng chống thấm ưu việt là vật liệu đáp ứng

tốt các yêu cầu này. Những đặc tính nổi bật của HSM cho phép thiết kế các cấu kiện có tiết diện nhỏ hơn, tối ưu hóa không gian kiến trúc, giảm tải trọng bản thân kết cấu và kéo dài chu kỳ bảo trì, mang lại hiệu quả kinh tế đáng kể trong suốt vòng đời của công trình.

Tuy nhiên, bên cạnh những ưu điểm vượt trội, vữa cường độ cao và bê tông nói chung có nhược điểm là tính giòn và khả năng chịu kéo, chống nứt kém. Khi đạt đến cường độ chịu kéo giới hạn, vật liệu có thể nứt và phá hủy một cách đột ngột, thiếu tính dẻo cần thiết để phân bố

*Liên hệ tác giả: lehuyviet@humg.edu.vn

Nhận ngày 08/07/2025, sửa xong ngày 25/08/2025, chấp nhận đăng ngày 26/08/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2025.1041>

lại ứng suất và cảnh báo sự cố trước khi sập đổ hoàn toàn. Đối với các công trình quan trọng, đặc biệt là công trình biển, tính giòn này đặt ra những rủi ro lớn. Môi trường biển đặc trưng bởi sự xâm thực của ion clorua và sulfat, tác động ăn mòn liên tục lên cốt thép cùng với sự tác động do sóng biển và sự thay đổi nhiệt độ, độ ẩm. Trong môi trường này, những vết nứt nhỏ hình thành trong bê tông giúp các tác nhân xâm thực tấn công vào bên trong, gây ăn mòn cốt thép và làm giảm đáng kể khả năng chịu lực và tuổi thọ của kết cấu. Do đó, việc cải thiện tính dẻo và khả năng chống nứt, kiểm soát vết nứt của vữa cường độ cao là một yêu cầu cấp thiết, đặc biệt là khi vật liệu này được định hướng ứng dụng cho các cấu kiện tiếp xúc trực tiếp với môi trường biển.

Để giải quyết vấn đề tính giòn của vật liệu gốc xi măng, việc bổ sung các loại sợi gia cường đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi. Các loại sợi kim loại, đặc biệt là sợi thép, đã chứng minh được hiệu quả vượt trội trong việc nâng cao các đặc trưng cơ học của vữa và bê tông, bao gồm cường độ kéo khi uốn, khả năng hấp thụ năng lượng và độ bền sau nứt [1–5]. Sợi thép phân bố ngẫu nhiên trong vữa giúp hình thành các cầu nối qua các vết nứt nhỏ, ngăn chặn sự lan truyền của vết nứt và tăng cường tính dẻo dai. Tuy nhiên, nhược điểm lớn nhất của sợi thép khi sử dụng trong môi trường biển là khả năng bị ăn mòn. Sự ăn mòn của sợi thép không chỉ làm suy giảm khả năng chịu lực của sợi mà còn có thể gây nở thể tích, tạo ra ứng suất cục bộ và gây nứt vỡ vữa/bê tông, từ đó đẩy nhanh quá trình xuống cấp của toàn bộ kết cấu.

Trước những hạn chế của sợi kim loại trong môi trường xâm thực, việc nghiên cứu và phát triển các loại sợi phi kim trong vữa cường độ cao được quan tâm. Sợi phi kim, bao gồm các loại như sợi polypropylene (PP), sợi polyvinyl alcohol (PVA), sợi thủy tinh (Glass Fiber - GF), sợi bazan (Basalt Fiber - BF), sợi tự nhiên và sợi carbon (Carbon Fiber - CF), mang lại nhiều ưu điểm nổi bật như khả năng chống ăn mòn, khối lượng riêng thấp, không dẫn điện [6,7]. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc bổ sung sợi phi kim giúp cải thiện đáng kể các đặc tính của vật liệu gốc xi măng như cường độ kéo sau nứt, tính dẻo, khả năng chống co ngót. Sợi PP và sợi PVA thường được sử dụng để kiểm soát vết nứt vi mô và giảm co ngót, trong khi sợi thủy tinh và sợi bazan có thể đóng góp vào việc tăng cường cường độ chịu kéo và uốn nhờ cường độ riêng cao. Tuy nhiên, việc đánh giá ảnh hưởng của sợi phi kim như sợi PP trong vữa cường độ cao đến đặc trưng cơ lý còn hạn chế ở Việt Nam.

Do đó, nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của việc bổ sung sợi phi kim phân tán đến các đặc trưng cơ lý quan trọng của vữa cường độ cao. Cụ thể, các đặc trưng được khảo sát bao gồm độ chảy xèo của hỗn hợp vữa tươi, khối lượng thể tích, cường độ chịu nén, cường độ kéo khi uốn của mẫu đóng rắn. Kết quả của nghiên cứu này sẽ cung cấp cơ sở khoa học và dữ liệu thực nghiệm đáng tin cậy để định hướng cho việc thiết kế, lựa chọn vật liệu và ứng dụng hiệu quả, bền vững trong các công trình xây dựng, đặc biệt là công trình biển đòi hỏi tính năng và độ bền cao.

2. Vật liệu sử dụng và cấp phối thí nghiệm

Vật liệu trong nghiên cứu được chọn lựa dựa trên cấp phối để chế tạo HSM đã thực hiện tại Việt Nam và trên thế giới. Cấp phối chỉ

gồm chất kết dính (xi măng, khoáng hoạt tính), nước, phụ gia tăng dẻo và cốt liệu nhỏ, không sử dụng cốt liệu lớn. Hình 1 biểu diễn hình ảnh các vật liệu sử dụng trong nghiên cứu. Trong nghiên cứu, để xét ảnh hưởng của hàm lượng sợi PP đến tính chất của HSM, 3 cấp phối được sử dụng gồm P0,25, P0,5 và P1. Trong đó, hàm lượng cốt sợi dùng trong nghiên cứu có tỷ lệ 0,25; 0,5; 1,0 % thể tích bê tông (Bảng 1).

Xi măng trong nghiên cứu sử dụng xi măng PCB40 Hoàng Thạch (XM, Hình 1a). Phụ gia khoáng sử dụng trong nghiên cứu là muội silic (Silica fume, Hình 1e), tỷ lệ so với xi măng theo khối lượng là 0,25. Silica fume được dùng để lấp đầy các lỗ rỗng do nước tự do thoát ra trong xi măng. Bên cạnh đó, silica fume còn có tác dụng tăng quá trình thủy hóa giúp tăng cường độ của bê tông. Cốt liệu nhỏ sử dụng trong nghiên cứu là cát thạch anh và bột silica (silica powder). Phân bố kích thước hạt của cát được thể hiện qua đường cấp phối hạt trong Hình 2. Nước sạch được sử dụng để làm nước trộn và dùng để bảo dưỡng mẫu với tỷ lệ nước trên xi măng trong cấp phối là 0,2. Phụ gia siêu dẻo giảm nước là phụ gia SR5000P của SilkRoad (Hình 1) giúp tăng độ chảy và giảm nước trong hỗn hợp. Cốt sợi phi kim loại (sợi polypropylene – PP, Hình 1g) được sử dụng với tác dụng chính là khống chế nứt vi mô (Micro-crack control). Sợi PP có kích thước rất nhỏ (đường kính ~20–50 μm), phân bố đều trong hỗn hợp HSM, giúp giữ nước cục bộ và kiểm soát ứng suất gây nứt.

3. Quy trình chế tạo lớp vữa cường độ cao sử dụng sợi phi kim

Quá trình trộn mẫu được thực hiện đồng bộ để đảm bảo đồng đều giữa các mẻ trộn (Hình 3). Cốt liệu nhỏ được sấy khô và sàng để kiểm tra thành phần hạt, các hạt không lọt sàng kích thước 1,25 mm sẽ được loại bỏ (Hình 3a). Xi măng và silica fume được sàng để loại bỏ các hạt vón cục do bị ẩm trong quá trình lưu trữ. Nước và phụ gia siêu dẻo được chuẩn bị và cân theo khối lượng của cấp phối. Hỗn hợp gồm xi măng, cát, silica fume, silica powder được trộn khô trong vòng 5 phút. Nước được thêm từ từ vào cối trộn và trộn đều hỗn hợp trong vòng 2 phút. Phụ gia siêu dẻo được thêm vào hỗn hợp và quay trong vòng 2 phút. Khi hỗn hợp đảm bảo về độ chảy, sợi phi kim được cho từ từ vào và quay trong vòng 2 phút.

Các khuôn được vệ sinh, làm sạch và quét chống dính. Hỗn hợp vữa được đổ vào các khuôn và tiến hành đầm mẫu để bọt khí thoát ra không ảnh hưởng đến cường độ của mẫu. Mẫu được tháo ván khuôn sau 2 ngày bảo dưỡng ở điều kiện phòng. Sau khi tháo mẫu, tất cả các mẫu được bảo dưỡng nhiệt ẩm (nhiệt độ duy trì ở 80 °C) trong 3 ngày, sau đó được bỏ ra lưu trữ ở điều kiện phòng đến khi thí nghiệm.

4. Đánh giá ảnh hưởng hàm lượng sợi PP đến tính chất của vữa cường độ cao

Tính chất cơ lý của các mẫu vữa cường độ cao được tiến hành thí nghiệm xác định trên hệ thống máy nén uốn tự động Advantest 9, Controls, Italy tại Phòng thí nghiệm xây dựng công trình Ngầm và Mỏ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Kết quả thí nghiệm của mẫu được tổng hợp trong Bảng 3.

Bảng 1. Cấp phối HSM.

Thành phần	Đơn vị	Cấp phối bê tông cho 1m ³		
		P0,25	P0,5	P1
Xi măng PCB40	kg	867,4	867,4	867,4
Cát thạch anh	kg	867,4	867,4	867,4
Nước	kg	173,5	173,5	173,5
Phụ gia siêu dẻo 5000F	kg	58,113	58,11	58,1
Silica fume	kg	216,8	216,8	216,8
Silica powder	kg	216,8	216,8	216,8
Sợi phi kim (%)	kg	3,4	6,8	13,5
Tổng		2403,4	2406,8	2413,5



a) Xi măng



b) Cát thạch anh



c) Nước



d) Siêu dẻo



e) Silica fume

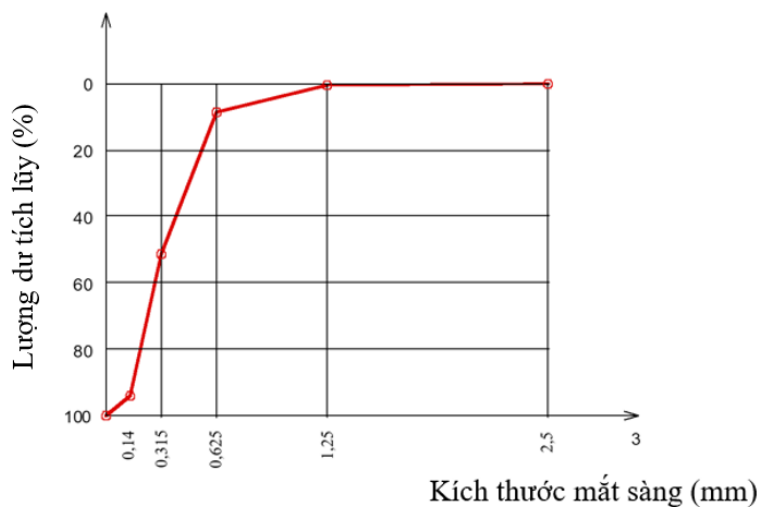


f) Silica powder



g) Sợi phi kim

Hình 1. Vật liệu sử dụng.



Hình 2. Tổng hợp lượng dư tích lũy qua mắt sàng của cát.



Hình 3. Trộn, đúc mẫu và tháo khuôn.

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm ảnh hưởng hàm lượng sợi PP đến tính chất của HSM.

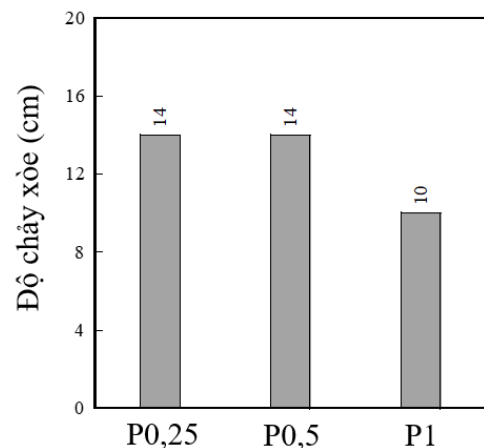
Thông số		P0,25	P0,5	P1
Cường độ chịu nén (MPa)	Mẫu 1	104,81	84,66	85,34
	Mẫu 2	82,38	83,93	79,04
	Mẫu 3	90,76	80,84	77,29
	Giá trị trung bình	92,65	83,14	80,56
	Độ lệch	11,33	2,03	4,23
Cường độ chịu kéo khi uốn (MPa)	Mẫu 1	10,50	10,33	11,91
	Mẫu 2	11,30	10,56	11,93
	Mẫu 3	10,91	14,95	9,03
	Giá trị trung bình	10,90	11,95	10,96
	Độ lệch	0,40	2,60	1,67
Khối lượng thể tích (kg/m ³)		2223	2256	2278
Độ chảy xòe (cm)		14	14	10

Phân tích độ chảy xòe các mẫu vữa cường độ cao cho thấy, khi tăng tỷ lệ hàm lượng sợi PP từ 0,25 đến 0,5 % độ chảy xòe của hỗn hợp vữa gần như không đổi (140 mm). Nhưng khi tăng hàm lượng đến 1 % thì độ chảy xòe của các mẫu vữa có xu hướng giảm (100 mm, gần như không chảy). Zhao và cộng sự [8] đã chỉ ra rằng, độ chảy xòe của vữa phụ thuộc chính vào lượng nước tự do trong hỗn hợp. Sợi PP phân tán đều trong vữa có khả năng giữ nước ở bề mặt, ngăn cản hiện tượng nước thoát ra khỏi hỗn hợp. Lượng nước giữ lại ở bề mặt dẫn đến giảm lượng nước tự do trong hỗn hợp bê tông. Do đó, khi hàm lượng sợi PP tăng đến 1 %, độ chảy xòe của hỗn hợp giảm rõ rệt.

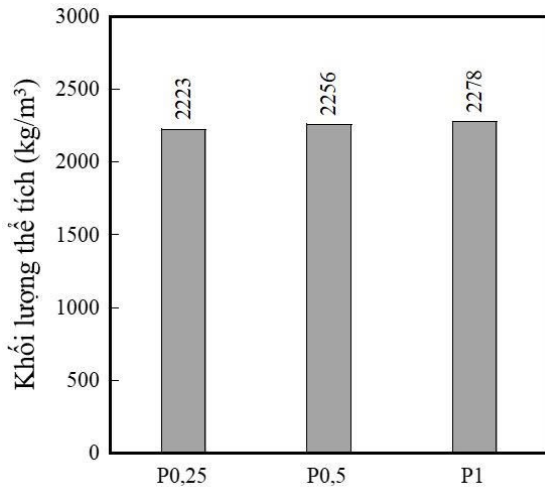
Như biểu diễn trên Hình 5, khối lượng thể tích của các mẫu dao động từ 2223 đến 2278 kg/m³. Do khối lượng riêng của sợi PP nhỏ (~0,91 g/cm³) nên khi hàm lượng sợi tăng từ 0,25 đến 1 %, ảnh hưởng trên khối lượng thể tích của mẫu là không đáng kể. Khối lượng thể tích của mẫu gần tương đương với các mẫu bê tông hạt mịn (khối lượng thể tích đạt trung bình 2224 kg/m³) trong nghiên cứu được công bố bởi Lê và cộng sự [9].

Cường độ chịu nén của tất cả các mẫu HSM với sợi PP đều đạt trên 55 MPa. Cường độ chịu nén của P0,25, P0,5 và P1 là 92,65, 83,14, 80,56 MPa. Khi hàm lượng sợi tăng, cường độ chịu nén có xu hướng giảm nhẹ (Hình 6). Phan Đức Hùng và Lê Anh Tuấn [10] cũng báo cáo

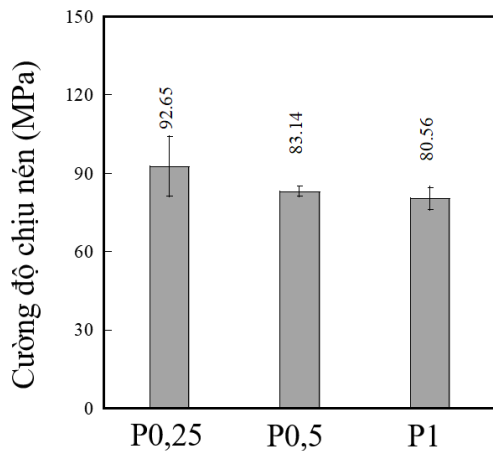
rằng khi hàm lượng sợi PP tăng từ 0,5 tới 1,5 %, cường độ chịu nén của bê tông geopolyme giảm. Kết quả này là do ảnh hưởng của sợi phi kim đến độ đặc chắc của bê tông, do các sợi làm gián đoạn bê tông nền và tạo ra các vi lỗ rỗng hoặc điểm giảm yếu trong cấu trúc vật liệu. Do đó, dưới tải trọng nén, cấu trúc vật liệu sẽ bắt đầu phá hủy từ các điểm giảm yếu và lan dần dẫn đến cường độ chịu nén giảm.



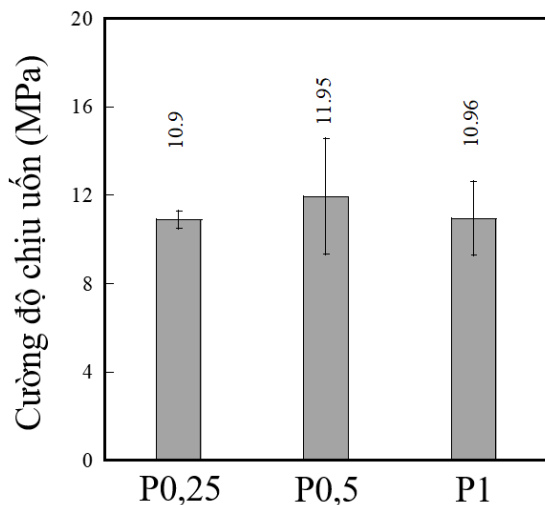
Hình 4. Kết quả độ chảy xòe của HSM.



Hình 5. Kết quả khối lượng thể tích của các cấp phối HSM với sợi PP.



Hình 6. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi PP đến cường độ chịu nén của HSM.



Hình 7. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi PP đến cường độ chịu uốn của HSM.

Cường độ chịu uốn của HSM đạt giá trị lớn nhất khi hàm lượng sợi là 0,5 % (Hình 7). Hàm lượng sợi PP 0,5 % có thể đảm bảo đồng thời giữa khả năng làm việc của hỗn hợp vữa tươi cũng như khả năng gia cường khả năng chịu kéo của HSM. Cường độ chịu uốn tăng nhẹ từ 10,9 đến 11,95 MPa sau đó giảm nhẹ xuống 10,96 MPa khi hàm lượng sợi tăng từ 0,25 đến 0,5 và 1 %. Độ chảy xê của hỗn hợp giảm ở P1 cũng dẫn đến tăng lượng lỗ rỗng trong HSM dẫn đến giảm nhẹ cường độ chịu uốn tổng thể của HSM. Bên cạnh đó, cường độ chịu kéo của sợi PP không quá cao dẫn đến khả năng cải thiện khả năng chịu uốn khi bê tông đạt cường độ không đáng kể. Phạm Đức Hùng và Lê Anh Tuấn [10] cũng báo cáo hàm lượng sợi PP 0,5 % giúp cải thiện đặc trưng cường độ chịu kéo khi hàm lượng sợi đạt 0,5 %.

Như vậy, HSM với hàm lượng sợi PP từ 0,25 đến 1 % đều thỏa mãn đặc điểm của vữa cường độ cao (cường độ chịu nén lớn, trên 80 MPa, cường độ chịu uốn trên 10 MPa) có nhiều tiềm năng ứng dụng cho các công trình biển đảo ở Việt Nam.

5. Kết luận

Nghiên cứu này đã đánh giá ảnh hưởng của việc bổ sung sợi polypropylene (PP) phân tán với các hàm lượng 0,25 %, 0,5 % và 1 % theo thể tích đến các đặc trưng cơ lý của vữa cường độ cao (HSM), nhằm định hướng ứng dụng cho các công trình biển.

Kết quả cho thấy, hàm lượng sợi PP ảnh hưởng đáng kể đến tính chất của hỗn hợp vữa tươi và vữa đóng rắn. Cụ thể, độ chảy xê của hỗn hợp giảm rõ rệt ở hàm lượng 1 % do khả năng giữ nước bề mặt của sợi, trong khi khối lượng thể tích của các mẫu dao động trong khoảng 2223–2278 kg/m³ và không bị ảnh hưởng đáng kể bởi sự gia tăng hàm lượng sợi nhờ khối lượng riêng thấp của PP. Về cường độ chịu nén, các mẫu đều đạt trên 80 MPa, nhưng có xu hướng giảm nhẹ khi hàm lượng sợi tăng, chủ yếu do sự gián đoạn cấu trúc vật liệu và hình thành vi lỗ rỗng. Ngược lại, cường độ chịu uốn đạt giá trị cao nhất (11,95 MPa) ở hàm lượng 0,5 %, chứng tỏ mức này mang lại sự cân bằng tối ưu giữa khả năng làm việc của hỗn hợp tươi và hiệu quả gia cường chịu kéo.

Những kết quả nghiên cứu khẳng định tiềm năng của sợi PP trong việc cải thiện tính dẻo, khả năng chống nứt vi mô của HSM, đặc biệt phù hợp với môi trường biển khắc nghiệt nơi các yếu tố ăn mòn như ion clorua và sulfat có thể đẩy nhanh quá trình xuống cấp kết cấu. Sử dụng vữa cường độ cao cốt sợi phi kim có nhiều tiềm năng ứng dụng cho các công trình biển đảo. Việc tăng cường sợi phi kim giúp tăng khả năng chống nứt, co ngót của bê tông, là vật liệu tiềm năng khi nghiên cứu ứng dụng cho các công trình biển đảo.

Tuy nhiên, nghiên cứu cũng chỉ ra nhu cầu tiếp tục đánh giá các đặc trưng dài hạn như độ bền trong môi trường biển mô phỏng, khả năng chống thấm và hiệu suất dưới tải trọng động. Các nghiên cứu tương lai có thể mở rộng bằng cách kết hợp sợi PP với các loại sợi phi kim khác hoặc tối ưu hóa cấp phối để đạt hiệu quả cao hơn. Kết quả của nghiên cứu này cung cấp cơ sở dữ liệu thực nghiệm, hỗ trợ các kỹ sư và nhà nghiên cứu trong việc phát triển vật liệu bền vững cho các công trình hạ tầng ven biển tại Việt Nam.

Đóng góp của các tác giả

Ngô Xuân Hùng viết bản thảo ban đầu, chỉnh sửa bản thảo; Ngô Tôn Hiếu, Ngô Trung Hiếu, Nguyễn Vũ Sơn Tùng, Đỗ Mạnh Nam, Nguyễn Văn An, Nguyễn Sỹ Đức chuẩn bị mẫu, thí nghiệm, phân tích dữ liệu, viết bản thảo ban đầu; Lê Huy Việt: viết bản thảo ban đầu, chỉnh sửa bản thảo, lên ý tưởng và triển khai thí nghiệm.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đề tài Khoa học công nghệ cấp Bộ, Mã số B2024-MDA-05. Nhóm tác giả xin được gửi lời cảm ơn tới Phòng thí nghiệm Bộ môn Xây dựng Công trình Ngầm và Mỏ, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất đã hỗ trợ thiết bị thực hiện thí nghiệm của bài báo.

Tài liệu tham khảo

- [1]. D.J. Kim, G.J. Park, H.V. Le, D. Moon, Fresh and hardened properties of steel fiber-reinforced grouts containing ground granulated blast-furnace slag, *Constr. Build. Mater.* 122 (2016) 332–342. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.005>.
- [2]. D. Vo, K.T. Thi, N. Phan, Ảnh hưởng của sợi thép đến tính chất kỹ thuật của bê tông cường độ cao, *Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ Đại Học Đà Nẵng*

- (2020) 16–19.
- [3]. D.M. Hiệp, B. Lê, A. Tuấn, N.V. Thanh, N. Đình, G. Nam, Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng cốt sợi thép đến tính chất của bê tông cốt liệu nhẹ, *Tạp Chí Vật Liệu và Xây Dựng* (2023) 23–29.
- [4]. Đặng Văn Phi, Tăng Văn Lâm, Lê Huy Việt, Đàm Anh Tuấn, Hồng Tiến Thắng, Vũ Ngọc Trụ, Ảnh Hưởng Của Nanosilica Đến Cường Độ Liên Kết Bề Mặt Cốt Sợi Thép Trong Bê Tông Cường Độ Siêu Cao, *Tạp Chí Vật Liệu và Xây Dựng - Bộ Xây Dựng* 14 (2024) 23–29. <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2024.701>.
- [5]. P.T. Tùng, N.T. Hiếu, N. Quang Văn, Nghiên cứu thực nghiệm hiệu quả gia cường kháng uốn của dầm bê tông cốt thép bị ăn mòn bằng tấm sợi composite cfrp, *Xây Dựng* 15 (2024) 1–16.
- [6]. N.T. Thắng, V.P. Lê, Nghiên cứu ảnh hưởng của cốt sợi phân tán đến một số tính chất của bê tông trong môi trường ăn mòn, *Xây Dựng* 8 (2022) 90–95.
- [7]. T. Nguyễn Anh, Nghiên cứu ảnh hưởng của sợi tự nhiên trong bê tông NFRC tại Việt Nam, *Xây Dựng* 07 (2023) 106–110.
- [8]. M. Zhao, X. Zhang, Y. Zhang, Effect of free water on the flowability of cement paste with chemical or mineral admixtures, *Constr. Build. Mater.* 111 (2016) 571–579. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.057>.
- [9]. L.H. Viet, N. Van Khuay, L.N. Nam, P. Van Khai, T.D. Tu, L. Tang Van, T. Pham Xuan, Nghiên cứu chế tạo bê tông hạt mịn cường độ chịu nén trên 100 MPa sử dụng hạt xi thép thay thế cát, *Vật Liệu và Xây Dựng* 13 (2023) 5–12.
- [10]. P.Đ. Hùng, L.A. Tuấn, Tính chất cơ học của bê tông Geopolymer sử dụng tro bay gia cường sợi Poly-propylene, *Tạp Chí KHCN Xây Dựng* 01 (2016) 60–67.