

Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán tăng cường khả năng chống thấm dòn trong kết cấu hạ tầng kỹ thuật ven sông khu vực thành phố Hồ Chí Minh

Lê Anh Tuấn^{1*}, Lê Nguyễn Thiện Huy²

¹ Viện Quy hoạch xây dựng miền Nam

² Công ty TNHH Xây dựng và Thương mại Bình Trang

TỪ KHOẢ	TÓM TẮT
Bê tông cường độ cao Sợi phân tán Cốt sợi thủy tinh Kè ven sông Cường độ nén Tính công tác	Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán với mục tiêu cải thiện khả năng chịu nén, chống nứt và chống thấm nước nhằm ứng dụng trong các kết cấu kè ven sông tại khu vực TP. Hồ Chí Minh. Năm cấp phối bê tông được thiết kế theo ACI 211.4R-08 với sự kết hợp giữa xi măng Portland hỗn hợp PCB40, tro bay nhiệt điện Duyên Hải, silica fume SF-90 và sợi thủy tinh ngắn phân tán. Các tính chất công tác, cơ lý và chống thấm của bê tông được xác định theo tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành. Kết quả thí nghiệm cho thấy bê tông đạt cường độ nén trung bình ở tuổi 28 ngày từ 55,8 MPa đến 68,6 MPa, cường độ kéo khi uốn từ 6,25 đến 7,03 MPa và mô đun đàn hồi lên đến 33,2 GPa. Độ hút nước dưới 7%, khả năng chống thấm đạt mức W6 đến W8 theo TCVN 3116:2022. Hỗn hợp bê tông có độ sụt cao, ổn định theo thời gian và không xảy ra phân tầng, phù hợp cho điều kiện thi công tại công trường thực tế. Từ kết quả thu được trong nghiên cứu này có thể khẳng định rằng, bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán là giải pháp bền vững và hiệu quả cho xây dựng kết cấu kè ven sông tại TP. Hồ Chí Minh, đồng thời góp phần giảm sử dụng xi măng, tận dụng phế thải công nghiệp và hướng tới vật liệu xây dựng thân thiện môi trường.

KEYWORDS

High strength concrete
Dispersed fiber
Glass fiber
River bank revetment
Compressive strength
Workability

ABSTRACT

This paper presents the research results on developing high-strength fiber-reinforced concrete aimed at improving its compressive strength, crack resistance, and water impermeability for application in river bank protection structures in Ho Chi Minh City. Five concrete mix designs were developed according to ACI 211.4R-08, combining Portland cement PCB40, Duyen Hai thermal power plant fly ash, SF-90 silica fume, and short dispersed glass fibers. The workability, mechanical, and impermeability properties of the concrete were determined according to current Vietnamese standards. Experimental results show that the concrete achieved an average compressive strength at 28 days ranging from 55,8 MPa to 68,6 MPa, flexural tensile strength from 6,25 to 7,03 MPa, and elastic modulus up to 33,2 GPa. Water absorption was below 7%, and water impermeability reached W6 to W8 according to TCVN 3116:2022. The concrete mixture exhibited high slump, remained stable over time, and showed no segregation, making it suitable for practical construction site conditions. Based on the results obtained in this study, it can be concluded that high-strength concrete reinforced with dispersed fibers is a sustainable and effective solution for riverbank structure construction in Ho Chi Minh City. At the same time, it helps reduce cement usage, utilize industrial waste, and promote environmentally friendly building materials.

1. Phần mở đầu

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh chóng và sự tác động ngày càng rõ nét của biến đổi khí hậu tại các đô thị lớn như Thành phố Hồ Chí Minh, có hệ thống sông ngòi, kênh rạch dày đặc đang đứng trước thách thức lớn trong việc bảo vệ các vùng ven sông khỏi tình trạng sạt lở, xói mòn và xâm nhập mặn. Tình trạng sạt lở bờ kè, bờ sông diễn ra thường xuyên và phức tạp, đe dọa trực tiếp đến an toàn hạ tầng, đời sống của

người dân và sự phát triển bền vững của đô thị [1, 2]. Do đó, việc xây dựng và gia cố các công trình địa tầng đô thị ven sông trở thành nhu cầu cấp thiết và mang tính cấp bách.

Tuy nhiên, các kết cấu công trình hạ tầng kỹ thuật ven sông đòi hỏi vật liệu xây dựng không chỉ có cường độ cao mà còn phải sở hữu khả năng chống thấm tốt, độ dẻo dai, chống nứt hiệu quả và ổn định lâu dài. Điều này đặc biệt quan trọng trong điều kiện môi trường khắc nghiệt của TP. Hồ Chí Minh – nơi các công trình hạ tầng kỹ thuật tiếp

*Liên hệ tác giả: kts.tuan8181@gmail.com

Nhận ngày 17/07/2025, sửa xong ngày 21/07/2025, chấp nhận đăng ngày 22/07/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2025.1057>

xúc thường xuyên với nước, chịu áp lực dòng chảy, có khí hậu nhiệt đới ẩm, nền đất yếu và hàm lượng sunfat, clorua cao trong nước ngầm và nước mặt [4, 5]. Những yếu tố này làm tăng nguy cơ hư hỏng và xuống cấp của các công trình xây dựng.



Hình 1. Sạt lở đường giao thông ven sông khu vực TP. Hồ Chí Minh [3].

Bê tông cường độ cao kết hợp với cốt sợi phân tán (như sợi thép, sợi polypropylene, sợi PVA hoặc sợi bazan) được xem là một hướng đi cần thiết để đáp ứng yêu cầu kỹ thuật khắt khe của kết cấu hạ tầng kỹ thuật đô thị ven sông [6, 7]. Việc ứng dụng chủng loại bê tông cường độ cao này trong các kết cấu hạ tầng kỹ thuật ven sông tại TP Hồ Chí Minh đã cho thấy một số lợi ích như sau: i) - Tăng cường độ nén và khả năng chống thấm của bê tông; ii) - Giảm nguy cơ nứt do co ngót, nhiệt độ và tải trọng thủy lực lặp lại; iii) - Tăng độ bền dẻo, chống xói mòn và khả năng tác động thủy lực lâu dài [8].

Tuy nhiên, tại Việt Nam nói chung và TP. Hồ Chí Minh nói riêng, việc áp dụng rộng rãi bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao vào trong các công trình kè ven sông vẫn còn hạn chế do thiếu các nghiên cứu đồng bộ, chi phí phụ gia hóa học, phụ gia khoáng hoạt tính và sợi phân tán còn cao trong khi phương pháp cấp phối tối ưu phù hợp với điều kiện nguyên vật liệu sẵn có trong nước vẫn chưa được nghiên cứu toàn diện.

Do đó, việc nghiên cứu chế tạo và đánh giá đặc tính cơ học, vật lý, cùng độ bền lâu dài của bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao dùng trong các kết cấu kè ven sông khu vực TP. Hồ Chí Minh là vô cùng cần thiết và cấp bách trong bối cảnh hiện nay, nhằm tìm kiếm giải pháp hiệu quả và bền vững cho vấn đề sạt lở và bảo vệ bờ sông.

2. Vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu sử dụng

- Xi măng Portland hỗn hợp PCB40 (XM) của công ty INSEE, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 6260:2020 (Hình 2a);

- Silica fume SF-90 (SF) của công ty Elkem có hàm lượng SiO₂ trên 90 %, độ mịn cao, kích thước hạt nano. Phụ gia silica fume SF-90 được sử dụng với mục đích tăng cường độ đặc của vi cấu trúc bê tông, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 8827:2012 (Hình 2b);

- Tro bay nhiệt điện (TB) nhận từ nhà máy nhiệt điện Duyên Hải 1 (Trà Vinh). Lượng tro bay nhiệt điện Duyên Hải 1 sẽ thay thế từ

10 ÷ 30 % khối lượng xi măng, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 10302:2014 (Hình 2c);



a. Xi măng Portland hỗn hợp PCB40 INSEE



b. Silica fume SF-90 của công ty Elkem



c. Tro bay nhiệt điện Duyên Hải 1

Hình 2. Chất kết dính sử dụng trong nghiên cứu.

- Cốt liệu nhỏ: Cát vàng tự nhiên (CV) loại thô, chất lượng tốt của sông Đồng Nai đã qua rửa sạch loại bỏ tạp chất, thành phần hạt từ 0,15 ÷ 5,0 mm, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 (Hình 3a);

- Cốt liệu lớn: Đá dăm (ĐD) từ đá vôi của mỏ đá ở Đồng Nai, kích thước 10 ÷ 20 mm, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 (Hình 3b);

- Sợi phân tán sử dụng trong nghiên cứu này là sợi thủy tinh dạng sợi thẳng (STT) với chiều dài 20 ÷ 30 mm và đường kính 20 ÷ 50 μm, thỏa mãn tiêu chuẩn ASTM C1116M - 19 (Hình 3c);



a. Cát vàng hạt thô sông Đồng Nai



b. Đá dăm từ đá vôi của mỏ đá ở Đồng Nai



c. Cốt sợi thủy tinh phân tán

Hình 3. Cốt liệu và cốt sợi thủy tinh phân tán.

- Phụ gia siêu dẻo trong nghiên cứu này dùng Sika ViscoCrete®-10 của công ty Sika Việt Nam (SD). Đây là phụ gia siêu dẻo thể hệ 3, giúp duy trì độ sụt cao, giảm nước trộn hiệu quả, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 8826:2024 (Hình 4);

- Nước sạch sinh hoạt (NS) được sử dụng để làm nước trộn hỗn hợp bê tông và bảo dưỡng mẫu thí nghiệm, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.



Hình 4. Phụ gia siêu dẻo vào nước sạch nhào trộn.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Thiết kế cấp phối bê tông cốt sợi cường độ cao được thực hiện theo hướng dẫn thiết kế của tiêu chuẩn Mỹ ACI 211.4R - 08 [9] và được hiệu chỉnh theo tính chất của các nguyên vật liệu tại Việt Nam;

- Lấy mẫu, đúc mẫu và bảo dưỡng mẫu bê tông được thực hiện theo TCVN 3105:1993, TCVN 3106:2003;

- Xác định độ sụt của hỗn hợp bê tông được xác định bằng độ sụt của côn hình nón cụt tiêu chuẩn theo yêu cầu của TCVN 9340:2012 hoặc TCVN 3016:1993 (Hình 5a);

- Giá trị cường độ kháng nén trung bình của bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao được xác định trên mẫu hình lập phương kích thước 150x150x150 mm theo TCVN 3118:2022 (Hình 5b và Hình 5c);

- Giá trị cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao được xác định trên mẫu hình lăng trụ kích thước 100x100x400 mm theo TCVN 3119:1993;

- Độ thấm nước của mẫu bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao được xác định trên mẫu hình trụ với kích thước $D \times H = 150 \times 150$ mm theo TCVN 3116:2022;

- Xác định lực liên kết giữa bê tông và cốt thép;

- So sánh tính chất của bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao với bê tông truyền thống (100 % xi măng, cát vàng, đá dăm tiêu chuẩn);

- Phân tích đánh giá hiệu quả kinh tế và kỹ thuật.

2.3. Cấp phối bê tông cường độ cao

Trong giới hạn của nghiên cứu này đã đưa ra được các yêu cầu kỹ thuật đối với hỗn hợp bê tông và sản phẩm bê tông như sau:

- Hỗn hợp bê tông cường độ cao có tính công tác tốt, độ sụt xác định ngay sau khi trộn: $SN = 180 \div 200$ mm;

- Cường độ nén trung bình ở tuổi 28 ngày trên mẫu hình lập phương kích thước 150x150x150 mm là trên 60 MPa;

- Bê tông sau khi rắn chắc ở tuổi 28 ngày đảm bảo không thấm nước.

Trong giới hạn của nghiên cứu này đã chọn được các tỷ lệ vật liệu sử dụng như sau:

- Tổng hàm lượng chất kết dính sử dụng trong nghiên cứu này là: $CKD = 850$ kg/m³;

- Tỷ lệ $\frac{NS}{XM} = 0,30$.

- Tỷ lệ $\frac{CL}{CKD} = 1,56$.

- Cốt liệu lớn có kích thước lớn nhất $D_{max} = 20$ mm và được sử dụng với tỷ lệ là 60 % tổng khối lượng cốt liệu;

- Sợi thủy tinh phân tán được sử dụng với hàm lượng 1,5 % hàm lượng xi măng;

- Hàm lượng tro bay trong nghiên cứu thay đổi dao động từ 10 %; 15 %; 20 % và 25 % hàm lượng xi măng;

- Hàm lượng silica fume sử dụng bằng 10 % hàm lượng xi măng;

- Hàm lượng siêu dẻo sử dụng bằng 1,0 % hàm lượng xi măng;

Tham khảo tiêu chuẩn Mỹ ACI 211.4R - 08 [9, 10] và các tỷ lệ vật liệu sử dụng đã xác định được các cấp phối bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán trong nghiên cứu này được trình bày trên Bảng 1.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Các tính chất của hỗn hợp bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao ở trạng thái dẻo

Các tính chất của bê tông cốt sợi phân tán ở trạng thái dẻo được xác định theo các tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành và được trình trong Bảng 2.

Các quy trình xác định tính công tác và quá trình tạo hình mẫu thí nghiệm được thể hiện trong Hình 5.



a) Xác định tính công tác



b) Khuôn mẫu bê tông



c) Mẫu bê tông thí nghiệm

Hình 5. Xác định tính công tác và tạo hình mẫu thí nghiệm.

a) Tính công tác (độ sụt ngay sau khi nhào trộn xong, mức suy giảm độ sụt sau 30 phút, 60 phút và khả năng phân tầng tách lớp) của hỗn hợp bê tông cốt sợi phân tán

Độ sụt ban đầu của các tổ mẫu dao động từ 19,5 ÷ 23,0 cm, cho thấy hỗn hợp có tính lưu động cao, phù hợp với bê tông cường độ cao có sử dụng phụ gia siêu dẻo thể hệ mới (Sika ViscoCrete®-10).

Mức suy giảm độ sụt sau 30 phút và 60 phút lần lượt trong khoảng 3,5 ÷ 6,0 cm, tương ứng tỷ lệ tổn thất chỉ từ 15 ÷ 25 % so với độ sụt ban đầu. Điều này chứng tỏ hỗn hợp bê tông có khả năng duy trì tính công tác tốt trong thời gian thi công thực tế, kể cả trong điều kiện môi trường nhiệt đới nóng ẩm như TP. Hồ Chí Minh.

Khả năng phân tầng – tách lớp: Tất cả các tổ mẫu đều được đánh giá là “có tính dẻo tốt đến rất tốt”, cho thấy sự ổn định của cấu trúc hỗn hợp, không xảy ra hiện tượng tách nước, tách lớp – đặc biệt quan trọng khi thi công kè ven sông có điều kiện nền yếu hoặc bị rung động.

b) Giá trị khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông ngay sau khi nhào trộn

Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông dao động từ 2360 ÷ 2426 kg/m³. Xu hướng giảm nhẹ về giá trị khối lượng thể tích khi tăng tro bay và sợi thủy tinh là hoàn toàn phù hợp với lý thuyết: Với mẫu BTCDC-01 (không tro bay) giá trị khối lượng thể tích là 2426 kg/m³ – lớn nhất, nhưng với mẫu BTCDC-05 (213 kg Tro bay + 12,8 kg sợi thủy tinh) giá trị khối lượng thể tích là 2360 kg/m³ – nhỏ nhất. Điều này phản ánh rằng tro bay và sợi thủy tinh là các vật liệu nhẹ hơn xi măng, đồng thời gây cản trở chuyển động chặt khít giữa các hạt, làm giảm nhẹ mật độ vật liệu [11].

c) Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thủy tinh và hàm lượng tro bay đến tính công tác của hỗn hợp bê tông

Việc tăng hàm lượng tro bay từ 0 đến 213 kg/m³ và hàm lượng sợi thủy tinh phân tán từ 7,7 kg/m³ xuống còn 5,5 kg/m³ cho thấy ảnh hưởng rõ rệt đến tính công tác của hỗn hợp bê tông. Khi hàm lượng tro bay tăng, độ sụt ban đầu có xu hướng giảm dần từ 23,0 cm (BTCDC-01) còn 19,5 cm (BTCDC-05), đồng thời mức suy giảm độ sụt sau 60 phút tăng nhẹ từ 6,0 cm lên 7,8 cm. Hiện tượng này được lý giải do tro bay làm tăng độ nhớt và giảm khả năng chảy của hồ xi măng, mặc dù vẫn giữ nước tốt hơn và làm chậm quá trình tách nước.

Mặt khác, sợi thủy tinh dạng ngắn phân bố đều trong hỗn hợp bê tông đóng vai trò như một “khung xương mềm” cản trở sự di chuyển tự do của các hạt mịn và nước, từ đó làm giảm độ sụt và tăng độ ổn định của hỗn hợp [12]. Tuy nhiên, nếu hàm lượng sợi vượt ngưỡng tối ưu, hỗn hợp có xu hướng mất tính chảy, khó thi công và làm tăng mức suy giảm độ sụt theo thời gian. Trong nghiên cứu này, hàm lượng sợi được lựa chọn trong khoảng cho phép (khoảng 0,25 ÷ 0,55 % theo thể tích), nên hỗn hợp vẫn duy trì được tính công tác tốt, không xảy ra hiện tượng phân tầng tách lớp.

Nhìn chung, tro bay và sợi thủy tinh đều có ảnh hưởng nhất định đến tính công tác của bê tông. Tuy nhiên, nhờ sự kết hợp hợp lý giữa phụ gia siêu dẻo, cốt liệu mịn chất lượng cao và tỷ lệ phối trộn tối ưu,

hỗn hợp bê tông thu được vẫn đảm bảo độ sụt lớn, tính ổn định cao và khả năng thi công thuận lợi trong điều kiện thực tế.

3.2. Các tính chất của bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao ở trạng cứng rắn

Các tính chất cơ lý của bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán ở trạng thái cứng rắn được xác định theo các tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành và được trình trong Bảng 3 và Bảng 4.

Các thí nghiệm nhằm xác định tính chất cơ lý của mẫu bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán được thể hiện trong Hình 6.



a) Xác định khối lượng thể tích của mẫu bê tông thí nghiệm



b) Các mẫu bê tông bị nén phá hủy



c) Nén mẫu bê tông thí nghiệm

Hình 6. Thí nghiệm xác định tính chất cơ lý của mẫu bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán.

a) Giá trị cường độ nén, cường độ kéo khi uốn và mô đun đàn hồi của mẫu bê tông cường độ cao thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm cho thấy các mẫu bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán đều đạt cường độ nén 28 ngày từ 55,8 MPa đến 68,6 MPa,

trong đó mẫu BTCDC-02 có giá trị cao nhất là 68,6 MPa. Đồng thời, giá trị cường độ kéo khi uốn dao động trong khoảng $6,25 \div 7,03$ MPa, phù hợp với các kết cấu cần khả năng kháng nứt tốt. Ngoài ra, mô đun đàn hồi tĩnh được xác định dao động từ $29,5 \div 33,2$ GPa, với mẫu BTCDC-02 tiếp tục thể hiện giá trị lớn nhất (33,2 GPa). Các kết quả này cho thấy vật liệu không chỉ đạt được cường độ chịu nén cao mà còn có độ cứng và khả năng kháng kéo đáng kể, phù hợp cho các kết cấu chịu lực yêu cầu cao trong công trình hạ tầng kỹ thuật ven sông.

b) Đánh giá được tốc độ phát triển cường độ nén của các mẫu bê tông cường độ cao thí nghiệm tác các tuổi 1 ngày, 3 ngày, 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày

Quá trình phát triển cường độ nén của các mẫu cho thấy tốc độ tăng cường độ diễn ra mạnh trong 7 ngày đầu tiên. Ở tuổi 1 ngày, các mẫu đạt khoảng $30 \div 35$ % cường độ nén 28 ngày; đến tuổi 3 ngày đạt từ $50 \div 60$ %; đến 7 ngày đạt khoảng $70 \div 80$ %. Trong giai đoạn từ 7 đến 14 ngày, cường độ tiếp tục tăng đều, đạt trên 90 %, và sau 28 ngày thì ổn định ở mức thiết kế. Mẫu BTCDC-02 thể hiện tốc độ phát triển tốt nhất trong toàn bộ quá trình, cho thấy hiệu quả phối trộn tối ưu giữa xi măng, tro bay và phụ gia [13, 14]. Tốc độ phát triển cường độ như trên là rất phù hợp cho thi công công trình yêu cầu tháo dỡ ván khuôn sớm hoặc đưa vào sử dụng nhanh.

c) Ảnh hưởng của hàm lượng cốt sợi thủy tinh và hàm lượng tro bay đến tính cường độ nén, cường độ kéo khi uốn của bê tông

Sự gia tăng hàm lượng tro bay (từ 0 đến 213 kg/m³) và sợi thủy tinh (giảm từ 7,7 kg/m³ xuống 5,5 kg/m³) có ảnh hưởng rõ đến cường độ nén và cường độ uốn. Mẫu không chứa tro bay (BTCDC-01) có cường độ nén thấp hơn đáng kể so với các mẫu có hàm lượng tro bay từ $85 \div 170$ kg/m³, chứng minh hiệu quả của tro bay trong việc tăng mật độ vi cấu trúc và cường độ dài hạn thông qua phản ứng pozzolan. Tuy nhiên, khi hàm lượng tro bay tăng quá cao (213 kg/m³ – BTCDC-05), cường độ nén giảm do độ thiếu hụt xi măng trong giai đoạn đầu, dẫn tới quá trình thủy hóa chậm. Về sợi thủy tinh, việc giảm hàm lượng sợi từ 7,7 kg/m³ xuống 5,5 kg/m³ cũng kéo theo sự giảm nhẹ cường độ kéo khi uốn từ 7,03 MPa xuống còn 6,25 MPa. Điều này cho thấy sợi thủy tinh góp phần quan trọng vào khả năng kháng kéo và kiểm soát nứt, tuy nhiên cần xác định giới hạn tối ưu để không ảnh hưởng tiêu cực đến độ chảy và phân tán.

d) Xác định khối lượng thể tích và tính chống thấm nước của mẫu bê tông cường độ cao thí nghiệm

Khối lượng thể tích của bê tông sau 28 ngày dao động từ $2347 \div 2405$ kg/m³, giảm dần khi tăng hàm lượng tro bay và sợi thủy tinh do các vật liệu này nhẹ hơn xi măng và không có khả năng đóng đặc như cốt liệu khoáng. Khả năng chống thấm của các tổ mẫu được đánh giá thông qua thí nghiệm áp lực nước theo TCVN 3116:2022, với mức chống thấm từ W5 đến W8. Mẫu BTCDC-02 và BTCDC-03 đạt giá trị W6–W8, tương ứng áp suất chịu nước lên đến 0,7 MPa, cho thấy hiệu quả cải thiện độ đặc chắc nhờ kết hợp hợp lý giữa tro bay, silica fume và sợi thủy tinh [15, 16]. Độ hút nước của tất cả mẫu đều nằm trong khoảng từ $5,7 \div 7,0$ %, hoàn toàn đáp ứng yêu cầu kỹ thuật cho vật liệu bê tông chống thấm dùng ngoài trời, tiếp xúc lâu dài với nước.

3.3. Phân tích hiệu quả kinh tế - kỹ thuật khi sử dụng bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao ứng dụng trong kết cấu kè ven sông

a) Khả năng ứng dụng bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao trong kết cấu hạ tầng kỹ thuật ven sông

Bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao mang lại nhiều ưu điểm vượt trội, đặc biệt phù hợp cho các kết cấu kè ven sông trong điều kiện khắc nghiệt như tại TP. Hồ Chí Minh. Đối với các tường kè chịu áp lực nước và tải trọng dòng chảy, bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao giúp tăng cường khả năng chịu lực lâu dài, hạn chế đáng kể hiện tượng nứt do co ngót và biến đổi nhiệt độ, từ đó nâng cao độ bền tổng thể của công trình khi tiếp xúc trực tiếp với dòng chảy mạnh.

Trong các bộ phận như mái kè, bản mặt kè hay các lớp phủ bảo vệ, bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao có khả năng hạn chế nứt bề mặt, chống xói mòn cơ học hiệu quả và ngăn chặn sự xâm nhập của nước mặn cùng ion clorua. Điều này đảm bảo tính chống thấm và chống xâm thực hóa học cho kết cấu, kéo dài tuổi thọ công trình.

Đối với các kết cấu móng và chân khối kè tiếp xúc với nền đất yếu, bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao giúp nâng cao độ dẻo dai và khả năng phân bố ứng suất, giảm thiểu rủi ro nứt gãy do lún không đều. Đặc biệt, tại các khu vực đê, kè ven sông chịu tác động triều mạnh, bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao tăng cường khả năng kháng môi thủy lực, đảm bảo sự ổn định của công trình trước sự dao động mực nước liên tục. Hơn nữa, việc tận dụng các vật liệu nội địa như xi măng PCB40, tro bay, đá vôi trong thành phần bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao không chỉ giúp giảm chi phí nguyên liệu mà còn hỗ trợ phát triển vật liệu xây dựng thân thiện với môi trường. Về lâu dài, việc ứng dụng bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao còn giúp giảm chi phí duy tu, sửa chữa đáng kể do hạn chế được các hư hỏng do nứt hoặc xâm thực, từ đó kéo dài tuổi thọ của kết cấu kè trong điều kiện khí hậu khắc nghiệt và nước nhiễm mặn.

b) Hiệu quả kinh tế kỹ thuật

Việc áp dụng bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao không chỉ mang lại lợi ích về mặt kỹ thuật mà còn đạt được hiệu quả kinh tế đáng kể. Nhờ cường độ cao và khả năng chống xâm thực vượt trội, bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao cho phép giảm chiều dày lớp bê tông bảo vệ và mặt kè, qua đó tiết kiệm vật liệu xây dựng và không gian thi công.

Khả năng tự bảo vệ nứt của loại bê tông này cùng với việc giảm thiểu yêu cầu gia cố cốt thép giúp tiết kiệm chi phí cốp pha và đặc biệt thuận lợi cho việc thi công dưới nước [17, 18]. Đồng thời, việc giảm bớt các bước lắp đặt thép phụ chống nứt hoặc lưới neo sẽ rút ngắn đáng kể thời gian thi công và nâng cao năng suất lao động. Quan trọng hơn, việc sử dụng bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao góp phần tăng cường độ an toàn và độ bền cho công trình trong môi trường xâm thực nặng, từ đó giảm thiểu rủi ro sạt lở, bảo vệ vững chắc hạ tầng đô thị ven sông của TP. Hồ Chí Minh.

Sự khác biệt về hiệu quả giữa bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao và bê tông xi măng truyền thống được tổng hợp trong Bảng 5.

Bảng 1. Cấp phối bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán.

STT	Ký hiệu mẫu	Cấp phối bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán							
		XM	TB	SF	STT	SD	ĐD	CV	NS
1	BTCDC-01	765	0	85	12,8	7,7	796	530	230
2	BTCDC-02	680	85	85	12,8	6,8	796	530	204
3	BTCDC-03	638	128	85	12,8	6,4	796	530	191
4	BTCDC-04	595	170	85	12,8	6,0	796	530	179
5	BTCDC-05	553	213	85	12,8	5,5	796	530	166

Bảng 2. Tính chất của hỗn hợp bê tông cốt sợi phân tán.

STT	Ký hiệu mẫu	Khối lượng thể tích hỗn hợp bê tông (kg/m ³)	Độ sụt ngay sau khi trộn (cm)	Độ sụt sau 30 phút (cm)	Độ sụt sau 60 phút (cm)	Sự phân tầng tách lớp của hỗn hợp bê tông
1	BTCDC-01	2426	23,0	19,0	17,0	Hỗn hợp bê tông có tính dẻo rất tốt
2	BTCDC-02	2400	22,5	18,5	16,4	Hỗn hợp bê tông có tính dẻo rất tốt
3	BTCDC-03	2386	22,0	17,5	16,5	Hỗn hợp bê tông có tính dẻo rất tốt
4	BTCDC-04	2373	20,5	17,0	16,0	Hỗn hợp bê tông có tính dẻo tốt
5	BTCDC-05	2360	19,5	16,5	15,2	Hỗn hợp bê tông có tính dẻo tốt

Bảng 3. Tính chất của bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán.

STT	Ký hiệu mẫu	Khối lượng thể tích của mẫu thí nghiệm ở tuổi 28 ngày (kg/m ³)	Mô đun đàn hồi tính của mẫu thí nghiệm ở tuổi 28 ngày (MGa)	Độ hút nước của mẫu thí nghiệm ở tuổi 28 ngày (%)	Độ chống thấm của tổ mẫu thí nghiệm ở tuổi 28 ngày (MPa)	Mác chống thấm (W) theo TCVN 3116:2022
1	BTCDC-01	2405	31,5	6,2	0,6	W6
2	BTCDC-02	2398	33,2	5,7	0,7	W6-W8
3	BTCDC-03	2375	32,5	5,9	0,7	W6-W8
4	BTCDC-04	2354	30,7	6,5	0,6	W6
5	BTCDC-05	2347	29,5	7,0	0,5	W5-W6

Bảng 4. Giá trị cường độ nén và cường độ kéo khi uốn của bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán.

STT	Ký hiệu mẫu	Giá trị cường độ nén trung bình (MPa) tại các tuổi:					Cường độ kéo khi uốn (MPa) tại tuổi 28 ngày
		1 ngày	3 ngày	7 ngày	14 ngày	28 ngày	
1	BTCDC-01	20,6	33,1	45,0	55,0	62,5	7,03
2	BTCDC-02	23,5	36,5	49,2	60,0	68,6	7,82
3	BTCDC-03	22,9	35,3	48,0	58,0	67,0	7,74
4	BTCDC-04	19,2	30,8	42,0	51,0	60,7	6,95
5	BTCDC-05	17,6	28,3	38,5	46,5	55,8	6,25

Bảng 5. So sánh bê tông cốt sợi thủy tinh cường độ cao và bê tông xi măng truyền thống.

Tiêu chí	Bê tông cốt sợi phân tán cường độ cao	Bê tông xi măng truyền thống
Cường độ nén	Cao, ổn định, đạt trên 60 MPa	Không cao và dễ nứt khi chịu tải kéo
Trọng lượng	Nhẹ hơn	Nặng hơn
Khả năng chống xói mòn	Tốt, không bị ăn mòn như thép truyền thống	Thép bên trong dễ bị ăn mòn, giảm tuổi thọ của bê tông
Tính công tác	Dễ thi công khi hàm lượng sợi nhỏ, nhưng khó thi công khi hàm lượng sợi tăng lên	Dễ thi công nhưng có thể cần gia cố thêm
Độ bền và tuổi thọ	Cao, ít bảo trì	Tuổi thọ phụ thuộc vào bảo dưỡng
Giá thành	Cao hơn khoảng 10-20 % do sợi thủy tinh và các loại phụ gia khoáng	Thấp hơn vì dùng các loại vật liệu phổ biến

4. Kết luận và kiến nghị

Từ những kết quả thực nghiệm trong điều kiện phòng thí nghiệm đã rút ra một số kết luận như sau:

- Bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán được thiết kế và chế tạo trong nghiên cứu đã đạt cường độ nén 28 ngày từ 55,8 MPa đến 68,6 MPa, đi kèm với cường độ kéo khi uốn từ 6,25 đến 7,03 MPa và mô đun đàn hồi lên tới 33,2 GPa, cho thấy khả năng chịu lực tổng thể cao, phù hợp cho các kết cấu có yêu cầu kháng nứt và độ cứng lớn.

- Hỗn hợp bê tông có tính công tác tốt, độ sụt lớn và ổn định theo thời gian, không xảy ra phân tầng – tách lớp, giúp đảm bảo khả năng thi công thuận lợi và đồng đều trong điều kiện thực tế tại các công trình ven sông TP. Hồ Chí Minh.

- Khả năng chống thấm nước của vật liệu được cải thiện rõ rệt nhờ sử dụng kết hợp tro bay, silica fume và sợi thủy tinh, với mức chống thấm đạt W6–W8, độ hút nước dưới 7 %, hoàn toàn đáp ứng tiêu chuẩn Việt Nam cho kết cấu tiếp xúc nước thường xuyên.

- Việc sử dụng tro bay nhiệt điện thay thế một phần xi măng không chỉ duy trì hoặc cải thiện các chỉ tiêu cơ lý mà còn góp phần giảm phát thải CO₂, giảm chi phí vật liệu, hướng tới giải pháp bê tông xanh – thân thiện môi trường.

- Sản phẩm bê tông cường độ cao cốt sợi phân tán trong nghiên cứu có thể xem là giải pháp bền vững và hiệu quả trong xây dựng kết cấu kè ven sông tại khu vực TP. Hồ Chí Minh, đáp ứng đồng thời các yêu cầu về cơ học, thi công và môi trường.

- Đề xuất mở rộng nghiên cứu ngoài hiện trường (trên các tuyến bờ sông có nguy cơ sạt lở cao) nhằm đánh giá thực tế hiệu quả thi công, độ bền lâu dài và khả năng kháng dòng chảy, xâm thực của bê tông cốt sợi phân tán.

- Khuyến khích tận dụng tro bay, đá vôi, sợi thủy tinh và phụ gia nội địa để giảm giá thành sản phẩm, thúc đẩy kinh tế tuần hoàn và phát triển công trình hạ tầng bền vững, thích ứng biến đổi khí hậu tại khu vực kinh tế trọng điểm phía Nam.

Tài liệu tham khảo

[1]. Hallegatte S., et al. (2016). Increasing vulnerability to floods in new development areas: evidence from Ho Chi Minh City. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, DOI:10.1108/IJCCSM-12-2016-0169.

[2]. Nguyen T., Trường P. N. (2019). Diễn tiến tình hình sạt lở ven bờ sông Tiền

và sông Hậu, vùng Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 55(CĐ Môi trường), 125–133. DOI:10.22144/ctu.jsi.2019.139.

[3]. <https://laodong.vn/xa-hoi/phe-duyet-de-an-phong-chong-sat-lo-bo-song-bo-bien-den-nam-2030-821234.lido>

[4]. Minh, H. V. T., Ty T. V., Giang N. N. L., Tho N. V., Luan T. C., Tri, L. H. (2023). Impact of water and soil quality on the degradation of concrete strength in the Vietnamese Mekong Delta. *AIP Conference Proceedings*, 2482(1), 050018.

[5]. Trương Q. C., et al. (2023). Service life prediction of reinforced concrete coastal structures in Vietnam subjected to chloride ingress. *ResearchGate/Conference*.

[6]. Nguyễn Quang Chiêu (2008), Bê tông cốt sợi và bê tông cốt sợi thép, NXB Giao Thông Vận Tải, Hà Nội.

[7]. Phạm Hữu Hanh, Tống Tôn Kiên (2009), Nghiên cứu chế tạo bê tông hạt mịn sử dụng trong công trình biển, Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội.

[8]. Nguyễn Thành Công, Hoàng Phó Uyên. Nghiên cứu bê tông cốt sợi thủy tinh để sử dụng trong công trình thủy lợi ven biển, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2018.

[9]. American Concrete Institute. (2008). ACI 211.4R-08: Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute

[10]. Phạm Hữu Hanh (2009), Bê tông cường độ cao – Bê tông chất lượng cao, bài giảng dành cho học viên Cao học Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội.

[11]. Nguyễn Thị Thắng, Vũ Thị Hương Lê. Nghiên cứu ảnh hưởng của cốt sợi phân tán đến một số tính chất của bê tông trong môi trường, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng*, 2022.

[12]. Nguyễn Công Thắng, Phạm Văn Tuấn, Lê Việt Hùng, Nguyễn Văn Tuấn, Lê Trung Thành. Nghiên cứu ảnh hưởng của cốt sợi đến tính chất của bê tông nhẹ cường độ cao từ hạt vi cầu rỗng Cenospheres từ tro bay. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng*. Năm 2024

[13]. Nguyễn Tấn Quý, Nguyễn Thiện Ruệ (2007), Giáo trình công nghệ bê tông xi măng, tập I, NXB Giáo Dục.

[14]. Bùi Danh Đại (2010), Phụ gia khoáng hoạt tính cao cho bê tông chất lượng cao, Bài giảng dành cho Cao học Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây Dựng, Hà Nội.

[15]. P. Kumar Mehta, Paulo J.M. Monteiro (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* McGraw-Hill Education.

[16]. Phạm Hữu Hanh, Lê Trung Thành, Nguyễn Văn Tuấn. *Bê tông cho công trình biển*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2012.

[17]. B Joaquín Martí, 2024. Durability of reinforced concrete in marine environments. *Principia Ingenieros Consultores*.

[18]. Al-Tayeb, M. M., Abu-Lebdeh, T. M., & Huseien, G. F. (2018). Strength of Different Fiber Reinforced Concrete in Marine Environment. *ResearchGate*.