

Nghiên cứu so sánh đặc tính nhiệt của một số loại bê tông cốt sợi

Trần Hồng Hải¹, Nguyễn Quang Đạt^{1*}, Lê Mạnh Cường², Phạm Tiến Tới¹, Vũ Anh Tuấn¹, Lê Đình Tiến¹

¹ Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE)

² Khoa Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE)

TỪ KHOÁ

Bê tông cốt sợi
Đặc tính nhiệt
Hệ số dẫn nhiệt
Độ khuếch tán nhiệt
Nhiệt dung
Loại sợi

TÓM TẮT

Bê tông cốt sợi (BTCS) đã và đang được nghiên cứu rộng rãi nhằm khắc phục các hạn chế cơ bản của bê tông thông thường như độ giòn cao, cường độ kéo thấp và khả năng chống nứt kém. Bên cạnh đó, các đặc tính nhiệt của BTCS cũng đang thu hút sự quan tâm ngày càng lớn. Một số nghiên cứu cho thấy rằng việc bổ sung sợi có thể ảnh hưởng đến quá trình phát triển nhiệt và độ đồng đều nhiệt trong khối bê tông, từ đó tác động đến quá trình thủy hóa và chất lượng của kết cấu. Tuy nhiên, hiệu quả của từng loại sợi và mối quan hệ giữa đặc tính nhiệt của sợi với nền bê tông vẫn còn nhiều tranh luận. Bài báo đã tổng hợp, phân tích và so sánh các nghiên cứu về ảnh hưởng của các loại sợi khác nhau đến đặc tính nhiệt của BTCS, từ đó cung cấp cơ sở khoa học cho việc lựa chọn vật liệu và tối ưu hóa quá trình thi công.

KEYWORDS

Fiber-reinforced concrete
Thermal Properties
Thermal Conductivity
Thermal Diffusivity
Thermal Capacity
Type of Fibers

ABSTRACT

Fiber-reinforced concrete (FRC) has been extensively studied as a solution to the fundamental limitations of conventional concrete, such as high brittleness, low tensile strength, and poor crack resistance. Furthermore, the thermal properties of FRC have increasingly drawn scholarly attention. Several studies have indicated that the incorporation of fibers can influence the development and distribution of temperature within the concrete mass, thereby affecting cement hydration and the overall quality of the final structure. However, the effectiveness of different fiber types and the relationship between their thermal properties and the concrete matrix remain subjects of ongoing debate. This paper reviews, analyzes, and compares existing studies on the influence of various fiber types on the thermal behavior of FRC, providing a scientific basis for material selection and construction process optimization.

1. Giới thiệu

Bê tông cốt sợi (BTCS) đã được nghiên cứu rộng rãi trong nhiều thập kỷ gần đây như một giải pháp nhằm cải thiện tính năng của bê tông thường, vốn bị giới hạn bởi tính giòn, cường độ kéo thấp và dễ nứt [1–3]. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng việc bổ sung các loại sợi khác nhau như thép, thủy tinh hay polymer tổng hợp có thể cải thiện đáng kể khả năng chịu kéo, độ dẻo dai và độ bền nứt của bê tông [3–5].

Tuy nhiên, bên cạnh đặc tính cơ học, đặc tính nhiệt của BTCS cũng ngày càng được quan tâm vì có ảnh hưởng trực tiếp đến nhiệt thủy hóa, chênh lệch nhiệt độ trong bê tông khối lớn và sự ổn định nhiệt của cấu kiện [6–8]. Việc bổ sung sợi không chỉ làm thay đổi cấu trúc vi mô mà còn tác động đáng kể đến khả năng dẫn nhiệt, nhiệt dung riêng và độ khuếch tán nhiệt của vật liệu. Các nghiên cứu cho thấy sợi thép, với khả năng dẫn nhiệt cao, thường làm tăng hệ số dẫn nhiệt của bê tông [6, 7], trong khi sợi thủy tinh và polypropylene (PP) lại làm giảm hệ số này, góp phần cải thiện khả năng cách nhiệt [6, 9–11].

Mặc dù vậy, các kết quả công bố hiện còn phân tán và đôi khi mâu thuẫn, trong khi chưa có nhiều đánh giá so sánh trực tiếp giữa các loại BTCS trong cùng một hệ quy chiếu [6, 8]. Trong bối cảnh đó, nghiên cứu này tập trung tổng hợp và phân tích các kết quả thí nghiệm điển

hình về đặc tính nhiệt của bê tông cốt sợi thép, cốt sợi thủy tinh và cốt sợi phi kim. Mục tiêu của bài báo là làm rõ mức độ ảnh hưởng của từng loại sợi đến hệ số dẫn nhiệt, độ rỗng, độ khuếch tán nhiệt và nhiệt dung riêng, đồng thời thảo luận ý nghĩa thực tiễn của các kết quả này. Bằng cách đưa ra một so sánh có tính hệ thống, nghiên cứu hướng tới việc xây dựng cơ sở khoa học cho việc lựa chọn loại BTCS phù hợp với yêu cầu thiết kế và điều kiện sử dụng cụ thể.

2. Bê tông cốt sợi và các loại sợi phổ biến

2.1. Giới thiệu chung về bê tông cốt sợi

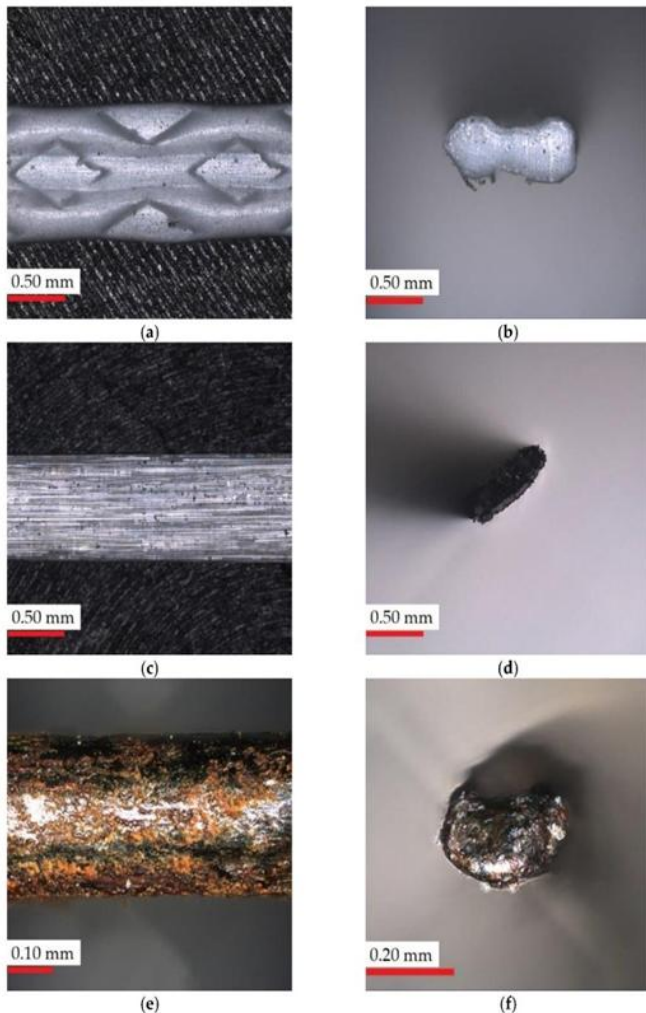
BTCS là loại bê tông được chế tạo chủ yếu từ chất kết dính, cốt liệu và các sợi gia cường rời rạc. Các sợi này thường có chiều dày từ vài mm đến vài cm [1] (Hình 1). Các loại sợi thích hợp để gia cường bê tông có thể được sản xuất từ thép, thủy tinh và các polymer hữu cơ. Ngoài ra, các sợi tự nhiên như sợi amiăng và sợi thực vật, ví dụ như sisal, đay hay sợi xơ dừa cũng có thể được sử dụng với mục đích gia cường. Hỗn hợp bê tông cốt sợi có thể là vữa, cấp phối thông thường, hoặc cấp phối được thiết kế đặc biệt cho một ứng dụng cụ thể. Việc bổ sung sợi vào hỗn hợp bê tông nhằm hạn chế sự hình thành và phát triển

*Liên hệ tác giả: nqdat.egch@gmail.com

Nhận ngày 25/08/2025, sửa xong ngày 09/10/2025, chấp nhận đăng ngày 10/10/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.05.2025.1138>

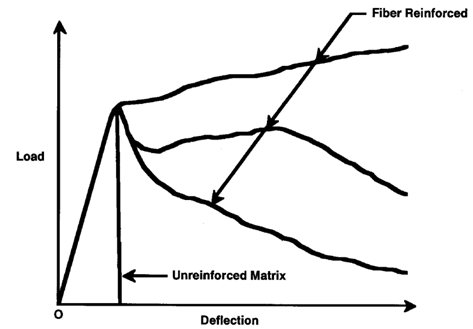
của các vết nứt nhỏ, cải thiện độ bền uốn, độ va đập, và đặc biệt là các đặc tính nhiệt trong điều kiện thi công và vận hành công trình.



(a) Sợi polypropylene; (b) Mặt cắt sợi polypropylene; (c) Sợi thủy tinh; (d) Mặt cắt sợi thủy tinh; (e) Sợi thép; (f) Mặt cắt sợi thép.

Hình 1. Hình ảnh thực tế của một số loại cốt sợi dưới hiển vi [6].

Việc bổ sung sợi vào hỗn hợp bê tông có thể cải thiện đáng kể khả năng chống nứt do co ngót dẻo và các dạng nứt phát sinh trong quá trình khai thác công trình, đặc biệt trong các ứng dụng như bê tông phun và lớp phủ mỏng, nơi không thể bố trí cốt thép dạng thanh truyền thống. Sự hiện diện của sợi cũng giúp nâng cao khả năng chống va đập, rung động và tác động từ các vụ nổ [1]. Tuy nhiên, BTCS vẫn tồn tại một số hạn chế như một số loại sợi kim loại có thể bị ăn mòn khi bê tông bị nứt trong môi trường xâm thực, độ phân tán và định hướng các sợi chưa đều trong quá trình trộn, giá thành một số loại sợi còn cao, ... Đặc biệt trong thi công, khi hàm lượng sợi tăng, hỗn hợp BTCS có độ sụt thấp, khó đầm và đòi hỏi các phụ gia riêng hoặc cần điều chỉnh cấp phối [1]. Đặc biệt, đối với vài loại sợi như sợi polypropylene, sợi thép dài, việc trộn cấp phối bê tông và thi công gặp nhiều khó khăn.



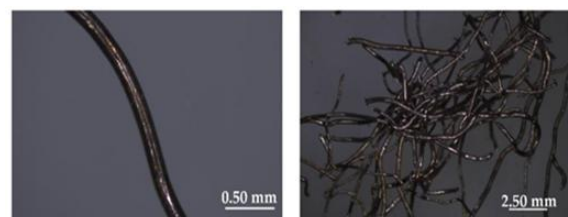
Hình 2. Biểu đồ thể hiện các đường tải trọng – độ võng của bê tông nền không gia cường sợi và bê tông cốt sợi [1].

BTCS được sử dụng rộng rãi trong các công trình đòi hỏi khả năng chống nứt cao, môi trường làm việc khắc nghiệt hoặc yêu cầu hiệu suất cao trong điều kiện nhiệt độ thay đổi. Các ứng dụng tiêu biểu bao gồm đường băng sân bay, kết cấu chịu va đập, hầm ngầm, cầu đường hoặc tấm sàn tiền chế [1].

2.2. Giới thiệu một số loại bê tông cốt sợi phổ biến

2.2.1. Bê tông cốt sợi thép

Bê tông cốt sợi thép (BTCST) được chế tạo từ các chất kết dính, kết hợp với cốt liệu mịn hoặc thô, và gia cường bằng các sợi thép rời rạc, không liên tục. Các sợi thép thường có chiều dài dưới 80mm và đường kính nhỏ hơn 1mm, phân bố ngẫu nhiên trong khối bê tông. Việc bổ sung các sợi thép giúp cải thiện khả năng chịu kéo, độ dẻo dai và khả năng kháng nứt của vật liệu [1]. Đồng thời, các sợi thép có thể tăng dẫn nhiệt tổng thể của khối bê tông do thép có hệ số dẫn nhiệt cao hơn so với bê tông. Chính vì vậy, khi thêm sợi thép vào bê tông, các sợi này sẽ tạo ra các đường dẫn nhiệt hiệu quả hơn so với nền bê tông thông thường và làm tăng hệ số dẫn nhiệt (k) tổng thể của hỗn hợp. Tiếp đó, sự hiện diện của sợi thép cũng làm tăng khả năng truyền nhiệt và hạn chế nứt do chênh lệch nhiệt độ khi thi công bê tông khối lớn.

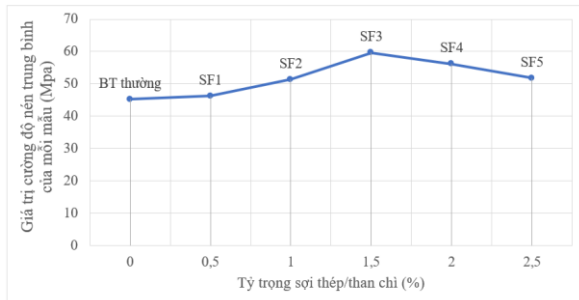


Hình 3. Hình ảnh sợi thép sử dụng trong chế tạo bê tông cốt sợi [6].

Từ đầu những năm 1910, việc sử dụng các phần tử thép gia cường rời rạc như đinh, đoạn dây thép hoặc mặt kim loại để cải thiện tính chất bê tông đã được thử nghiệm và đăng ký sáng chế từ rất sớm [1, 2]. Đến đầu thập niên 1960, tại Hoa Kỳ, các nhà nghiên cứu đã thực hiện cuộc nghiên cứu quy mô lớn nhằm đánh giá khả năng ứng dụng của sợi thép làm cốt gia cường cho bê tông. Từ đó đến nay, BTCST tiếp

tục trở thành đối tượng của hàng loạt công trình nghiên cứu, phát triển công nghệ, thử nghiệm và ứng dụng trong công nghiệp.

Kết quả nghiên cứu của Ahmad và cộng sự [12] cho thấy cường độ nén mẫu thử tăng dần khi hàm lượng sợi thép được bổ sung đến 2 %, sau đó có xu hướng giảm. Tại tuổi 28 ngày, bê tông chứa 2 % sợi thép đạt cường độ nén lớn nhất, cao hơn khoảng 25 % so với bê tông đối chứng.



Hình 4. Ảnh hưởng tỷ trọng sợi thép và cường độ chịu nén của bê tông [7].

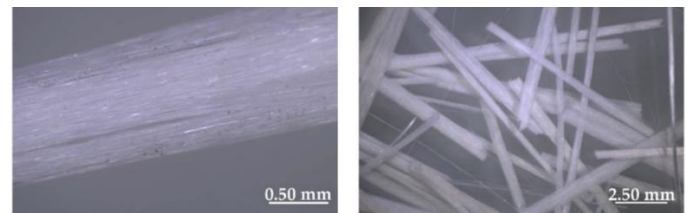
Đồng thời, nghiên cứu của Xiang Ren và cộng sự [7] chỉ ra rằng, cường độ mẫu thử đạt cực đại khi thể tích sợi thép/than chì bổ sung chiếm 1,5 % thể tích mẫu thử, cao hơn khoảng 32 % so với mẫu bê tông gốc. Kết quả được minh họa tại Hình 4. Đồng thời, nghiên cứu cũng chỉ ra lý do tại sao giá trị cường độ nén lại giảm khi bổ sung thêm tỷ trọng cốt sợi thép. Cụ thể, sự giãn nở ngang của mẫu BTCST khi chịu nén được hạn chế nhờ lực kéo của sợi. Tuy nhiên, khi hàm lượng sợi thép vượt quá 1,5 % thể tích, ma trận xi măng không còn đủ khả năng bao bọc toàn bộ sợi và cốt liệu, dẫn đến suy giảm lực bám dính giữa sợi và nền. Mặt khác, sự gia tăng tỷ lệ sợi cũng khiến các sợi dễ chổng chéo và kết tụ, làm giảm hiệu quả gia cường. Do đó, mặc dù hàm lượng sợi lớn có thể tạo thêm cơ chế khổng chế nứt, nhưng hiện tượng phân bố không đồng đều lại là nguyên nhân khiến cường độ nén suy giảm.

2.2.2. Bê tông cốt sợi thủy tinh

Bê tông cốt sợi thủy tinh (BTCSTT) là loại bê tông trong đó các sợi thủy tinh rời rạc, được phân tán đồng đều trong nền xi măng – cốt

liệu để gia tăng độ bền kéo, khả năng kháng nứt và cải thiện tính dẻo dai [1, 3]. Có thể phân loại các loại sợi thủy tinh thành hai dạng khác biệt rõ rệt. Dạng thứ nhất là gia cường liên tục, sử dụng các sợi dài được đưa vào trong ma trận thông qua các kỹ thuật như quấn sợi hoặc xếp lớp thảm sợi. Dạng thứ hai là gia cường rời rạc, với các sợi ngắn có chiều dài thường nhỏ hơn 20 mm, được đưa vào ma trận bằng các phương pháp như phun hoặc trộn [5].

BTCSTT lần đầu được nghiên cứu và phát triển từ đầu những năm 1960. Các nhà khoa học thuộc Viện Nghiên cứu Xây dựng Anh Quốc đã thành công trong việc phát triển thành phần thủy tinh có tính kháng kiềm cao [2]. Trong giai đoạn từ năm 1970-1980, nhiều nhà sản xuất đã tham gia phát triển và thương mại hóa loại thủy tinh kháng kiềm khiến loại BTCSTT kháng kiềm trở nên phổ biến trong các loại BTCSTT nói chung. [8]



Hình 5. Sợi thủy tinh sử dụng trong chế tạo bê tông cốt sợi [6].

Trong lịch sử phát triển BTCSTT, loại sợi thủy tinh kiềm vôi và sợi thủy tinh loại E (Electrical) đã từng được sử dụng để làm sợi gia cường nhựa và đồng thời gia cường cho BTCSTT. Tuy nhiên, do khả năng kháng kiềm thấp, khiến cho loại sợi bị suy giảm nhanh chóng trong môi trường giàu kiềm của hỗn hợp xi măng [3, 13] (Bảng 1). Để khắc phục, các công thức thủy tinh đặc biệt có khả năng kháng kiềm đã được phát triển.

Nhiều bằng sáng chế về sợi thủy tinh kháng kiềm đã được cấp, trong đó thành phần thương mại thường chứa ZrO_2 để tăng khả năng kháng kiềm [14]. Tuy nhiên, hàm lượng ZrO_2 cao khiến thủy tinh khó nóng chảy. Vì vậy, khi thiết kế, các nhà sản xuất phải cân bằng giữa khả năng nóng chảy, kéo sợi và độ kháng kiềm. Ngoài ra, lớp phủ bề mặt cũng ảnh hưởng đáng kể đến tính kháng kiềm.

Bảng 1. So sánh đặc tính kháng kiềm của các sợi thủy tinh kiềm vôi, sợi Electrical và sợi kháng kiềm [3, 13].

Đặc tính	Sợi thủy tinh kiềm vôi	Sợi thủy tinh loại E	Sợi thủy tinh kháng kiềm
Thành phần chính	$SiO_2 \sim 72,2\%$, $Na_2O + K_2O \sim 13\%$, $Al_2O_3 \sim 1,8\%$, $MgO \sim 3,5\%$, $CaO \sim 9,5\%$	$SiO_2 \sim 52,4\%$, $Na_2O + K_2O \sim 0,8\%$, $B_2O_3 \sim 10,4\%$, $Al_2O_3 \sim 14,4\%$, $MgO \sim 5,2\%$, $CaO \sim 16,6\%$	$SiO_2 \sim 71\%$, $Na_2O + K_2O \sim 11\%$, $ZrO_2 \sim 16\%$, $Al_2O_3 \sim 1\%$, $Li_2O \sim 1\%$
Khả năng kháng kiềm khi ngâm trong dung dịch NaOH trong 1,5 giờ	Kém : Giảm 15 % đường kính sợi.	Rất kém: Giảm 59 % đường kính sợi	Tốt nhất: Giảm 5 % đường kính sợi.
Độ bền trong môi trường xi măng	Bị phá hủy, xuất hiện vết nứt nhanh.	Suy giảm nhanh, không bền lâu.	Ổn định trong xi măng và thích hợp lâu dài.

2.2.3. Bê tông cốt sợi polypropylene (BTCSP)

Ngoài các cốt sợi thép, cốt sợi thủy tinh hay cốt sợi tự nhiên, nhiều loại sợi khác đã được phát triển để sử dụng trong ngành xây dựng cho bê tông cốt sợi. Các loại sợi này được phân loại chung là sợi phi kim và khi gia cường cho bê tông sẽ tạo thành bê tông cốt sợi phi kim (BTCSPK). Các cốt sợi điển hình có gốc từ polyme hữu cơ và đã được nghiên cứu, thử nghiệm trong lịch sử như acrylic, carbon, nylon, polyester, ... Chúng có khả năng chịu nhiệt và tính chất vật lý rất khác nhau. Trong lịch sử, việc ứng dụng các sợi phi kim trong xây dựng bắt đầu từ năm 1965 với sợi monofilament trong các kết cấu chống nổ, cho thấy cải thiện đáng kể về độ dẻo và khả năng chịu va đập khi bổ sung 0,5 % thể tích sợi. Sau năm 1980, các nhà nghiên cứu đã giúp cho sợi phi kim được mạnh hơn và được sử dụng với hàm lượng thấp hơn (0,1–0,3 % thể tích) nhưng vẫn duy trì hiệu quả cải thiện phân bố vết nứt và tăng diện tích tiếp xúc trong bê tông [1].

Nhiều nghiên cứu gần đây [15] đã chỉ ra rằng việc bổ sung một hàm lượng nhỏ sợi polypropylene (sợi PP) có thể làm giảm rõ rệt nứt do co ngót dẻo của bê tông ở giai đoạn sớm. Đồng thời, các sợi này cũng giúp hạn chế hiện tượng phân tầng và lắng của cốt liệu trong bê tông tươi, từ đó ngăn ngừa sự hình thành các vết nứt do đông kết. Trước đó, sợi PP đã được ứng dụng trong bê tông chủ yếu nhằm kiểm soát nứt do co ngót [16], và ở mức độ hạn chế hơn, để cải thiện độ dẻo dai cũng như khả năng kháng va đập, qua đó nâng cao năng lực hấp thụ năng lượng của bê tông.

Đồng thời, nghiên cứu của Al-Katib và cộng sự [17] đã cho thấy rằng loại cốt sợi này có thể tăng cường độ bê tông khi tăng tỷ trọng phần trăm sợi trong mẫu thử. Khi bổ sung sợi PP với các tỷ trọng khác nhau như kết quả trong bảng (2), ta nhận thấy rằng việc bổ sung các sợi phi kim này giúp gia tăng đáng kể giá trị cường độ chịu nén, kéo và uốn khi so sánh với bê tông thường.

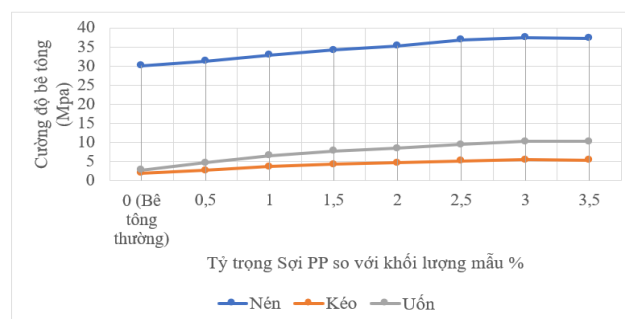
Tuy nhiên, các nghiên cứu khác của Ahmad và cộng sự [12, 18] đã chỉ ra rằng, cường độ nén cũng có xu hướng bị suy giảm ở liều lượng sợi cao hơn. Nói cách khác, việc thêm sợi có thể làm tăng cường độ nén của bê tông đến một giới hạn nhất định, sau đó sẽ suy giảm do tính công tác kém. Nguyên nhân có thể là do lượng sợi và chiều dài sợi lớn gây khó khăn trong quá trình đầm nén, làm hình thành các lỗ rỗng trong mẫu thí nghiệm. Do vậy, khi nghiên cứu chế tạo vật liệu bê tông cốt sợi PP, ta cần tính toán đến khả năng cường độ chịu nén và nứt của vật liệu dù rằng khả năng dẫn nhiệt tăng cao.

Từ những năm 1965, các nghiên cứu ban đầu ở Mỹ đã cho thấy rằng sợi PP giúp cải thiện độ dẻo và khả năng kháng va đập [1]. Trong giai đoạn 1980-2000, các ứng dụng thương mại được mở rộng trong sản xuất sàn công nghiệp, đường băng, hầm chống cháy nhờ hiệu quả chống nứt do co ngót nhựa và chống nổ tách lớp bê tông ở nhiệt độ cao. Loại cốt sợi này tỏ ra ưu việt với đặc điểm nhẹ, tỷ trọng thấp, không hút ẩm, chịu kiềm tốt và dẫn nhiệt kém. Điều này khiến loại bê tông này có thể ứng dụng cho bê tông sàn công nghiệp và các kết cấu chịu lửa. Trong thi công, dù việc bổ sung sợi PP có thể gây khó khăn

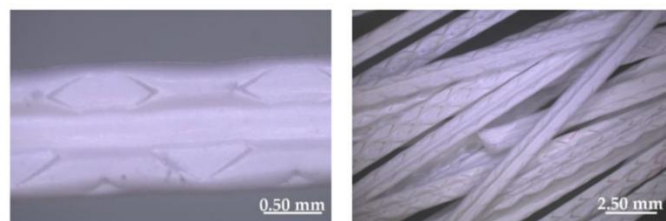
trong quá trình trộn và thi công nhưng các nghiên cứu lại cho thấy cường độ nén được cải thiện khi sử dụng loại bê tông này.

Bảng 2. Ảnh hưởng của tỷ trọng sợi PP và cường độ bê tông [17].

Tỷ trọng sợi PP so với khối lượng mẫu %	Cường độ bê tông (MPa)		
	Nén	Kéo	Uốn
0 (Bê tông thường)	30,12	1,95	2,73
0,5	31,26	2,68	4,70
1	32,91	3,72	6,61
1,5	34,18	4,25	7,74
2	35,28	4,66	8,41
2,5	36,86	5,21	9,46
3	37,45	5,46	10,25
3,5	37,27	5,37	10,29



Hình 6. So sánh ảnh hưởng của tỷ trọng sợi PP đối với cường độ bê tông [6].

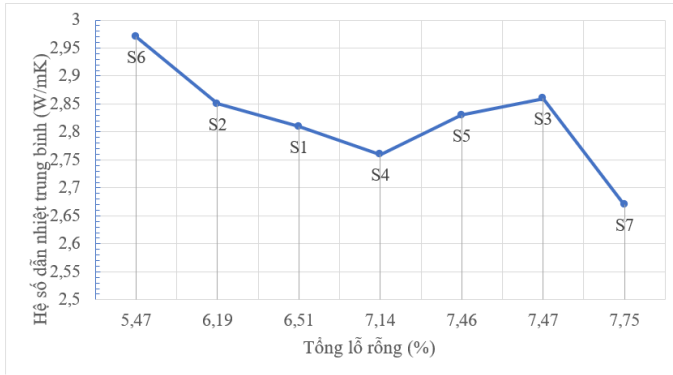


Hình 7. Sợi PP sử dụng trong chế tạo bê tông cốt sợi [6].

3. Cơ sở khoa học về đặc tính nhiệt của bê tông cốt sợi

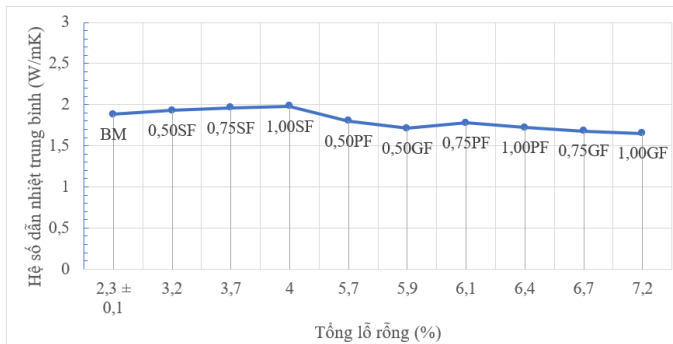
3.1. Cơ chế truyền nhiệt ở bê tông cốt sợi

Ở bê tông thường, truyền nhiệt chủ yếu diễn ra qua ma trận xi măng–cốt liệu và hệ thống lỗ rỗng chứa khí hoặc nước; trong đó, lỗ rỗng chứa không khí có xu hướng làm giảm hệ số dẫn nhiệt, còn lỗ rỗng chứa nước lại làm tăng khả năng truyền nhiệt. Khi bổ sung gia cường bằng các sợi có hệ số dẫn nhiệt rất cao, các pha sợi này trở thành những chất dẫn nhiệt tốt trong hỗn hợp bê tông, làm tăng đáng kể khả năng dẫn nhiệt tổng thể, bất chấp sự tồn tại của lỗ rỗng [8]. Tuy nhiên, khi bổ sung loại sợi có hệ số dẫn nhiệt thấp, hỗn hợp bê tông cốt sợi khi này sẽ giảm hệ số dẫn nhiệt, đồng thời tác động gián tiếp đến tính dẫn nhiệt thông qua sự thay đổi cấu trúc vi rỗng [6].



Hình 8. Biến động giữa độ rỗng và hệ số dẫn nhiệt của các mẫu BTCS [8].

Nghiên cứu của Nagy và các cộng sự [8] đã thí nghiệm và đưa ra các thông số của lỗ rỗng và khả năng truyền nhiệt trung bình của một số mẫu thử bê tông cốt sợi và bê tông thường. Kết quả thí nghiệm cho thấy khi bổ sung một lượng nhỏ cốt sợi vào hỗn hợp bê tông, độ rỗng mẫu thử có xu hướng giảm. Tuy nhiên, khi bổ sung thêm hàm lượng sợi, số lượng lỗ rỗng trong mẫu cũng tăng cao. Hiện tượng này cho thấy quá trình trộn cốt sợi vào bê tông có thể kéo theo sự cuốn khí, từ đó làm tăng tổng thể độ rỗng của vật liệu và đồng thời dẫn đến sự suy giảm hệ số dẫn nhiệt.



Hình 9. Quan hệ giữa hệ số dẫn nhiệt và tổng lỗ rỗng BTCST theo kết quả thí nghiệm của Małek và cộng sự [6].

Trong khi đó, theo nghiên cứu của Małek và cộng sự [6] chỉ ra rằng khi tăng hàm lượng cốt sợi, lượng lỗ rỗng trong mẫu thử có xu hướng tăng lên [Bảng 4]. Đồng thời, kết quả chỉ ra rằng việc bổ sung hàm lượng cốt sợi cũng khiến lượng tỉ lệ lỗ rỗng và khối lượng mẫu thử tăng cao đáng kể (2,3 % của bê tông thường và 3,2-7,2 % so với các loại bê tông cốt sợi khác nhau).

3.2. So sánh đặc tính truyền nhiệt của một số loại bê tông cốt sợi

3.2.1. Bê tông cốt sợi thép (BTCST)

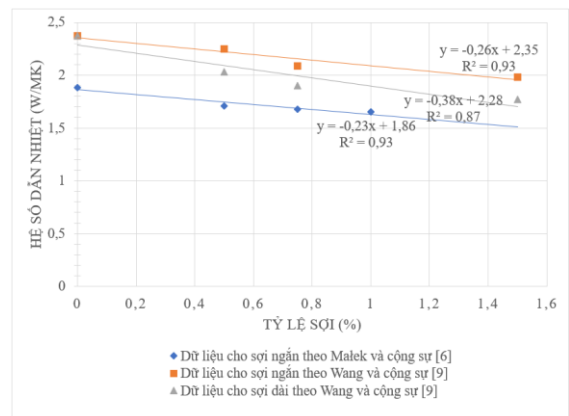
Bổ sung sợi thép làm thay đổi đáng kể đặc tính truyền nhiệt của bê tông. Phần lớn là vì thép là vật liệu có hệ số dẫn nhiệt cao hơn nhiều so với hồ xi măng và cốt liệu. Theo một nghiên cứu thực nghiệm của

Małek và cộng sự [6], hệ số dẫn nhiệt của mẫu BTCST cao hơn 1.05 lần so với mẫu bê tông thường (xem bảng 5). Nagy và cộng sự [8] cũng đã chỉ ra rằng BTCST có mật độ và hệ số dẫn nhiệt cao hơn so với bê tông gia cường bằng sợi nhựa hoặc sợi thủy tinh. Tuy nhiên, việc cứ liên tục gia tăng hàm lượng sợi thép không đồng nghĩa rằng hệ số dẫn nhiệt tăng. Nguyên nhân là do khi hàm lượng sợi thép tăng cao, dẫn đến việc tăng độ rỗng tổng thể của khối và khiến giảm mật độ trong khối.

Hệ số dẫn nhiệt của BTCST cao hơn so với bê tông thường, đưa đến lợi ích lớn trong việc sử dụng BTCST thay cho bê tông thường giúp làm giảm chênh lệch nhiệt độ trong bê tông khối lớn. Từ đó giúp hạn chế phát sinh ứng suất nhiệt và kiểm soát được nứt do nhiệt thủy hóa trong kết cấu bê tông khối lớn. Tuy nhiên, trong những trường hợp cần yêu cầu cách nhiệt tốt, như các kết cấu chống cháy hay tường cách nhiệt, việc sử dụng BTCST lại là không phù hợp.

3.2.2. Bê tông cốt sợi thủy tinh (BTCSTT)

Kết quả nghiên cứu của Małek và cộng sự [6] cho thấy khi hàm lượng sợi thủy tinh tăng từ 0,5 % đến 1,0 % thể tích, hệ số dẫn nhiệt giảm từ 1,71 W/mK xuống 1,65 W/mK, trong khi bê tông thường đạt khoảng 1,88 W/mK. Đồng thời, độ rỗng tổng thể tăng từ 5,9 % lên 7,2 %, dẫn đến giảm khối lượng thể tích và kéo theo việc giảm khả năng dẫn nhiệt.



Hình 10. Quan hệ giữa hệ số dẫn nhiệt và tỷ lệ sợi trong BTCSTT theo Małek và cộng sự [6], Wang và cộng sự [9].

Trong khi đó, Wang và cộng sự [9] cũng đã thí nghiệm so sánh 2 mẫu thử ở điều kiện nhiệt độ cao với hai chiều dài sợi khác nhau (0,6 cm và 2,54 cm). Các mẫu thử bê tông ở tuổi 28 ngày được nung nóng ở nhiệt độ 440 °C trong 48 phút. Kết quả thu được cũng cho thấy xu hướng tương tự, hệ số dẫn nhiệt của BTCSTT thấp hơn so với mẫu đối chứng không sợi. Điều này chứng minh rằng cơ chế giảm truyền nhiệt do bổ sung sợi thủy tinh duy trì cả ở điều kiện thường và điều kiện nhiệt cao.

Như vậy, trái ngược với BTCST, BTCSTT có vai trò như một vật liệu giúp hạn chế truyền nhiệt, thích hợp cho các ứng dụng yêu cầu tính cách nhiệt, giảm ứng suất nhiệt trong bê tông khối lớn hoặc trong các

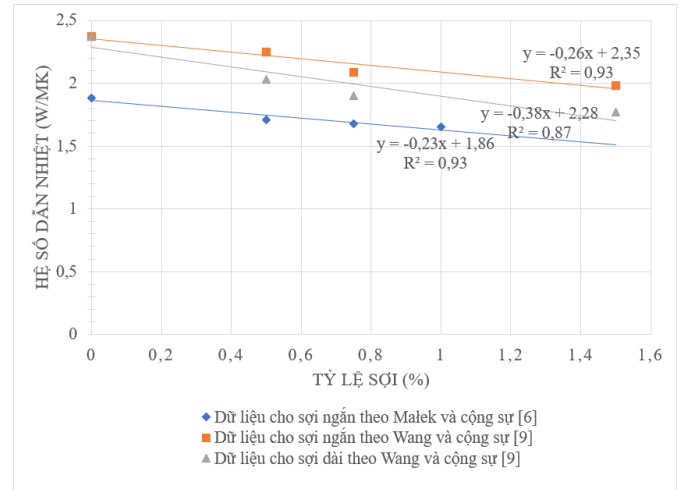
kết cấu chịu tác động nhiệt chu kỳ. Tuy nhiên, hiệu quả giảm dẫn nhiệt phụ thuộc vào tỷ lệ sợi, mức độ phân tán và độ bền kiềm của sợi trong môi trường xi măng.

3.2.3. Bê tông cốt sợi polypropylene (BTCSP)

Kết quả thí nghiệm của Małek và cộng sự [6] cho thấy với hàm lượng 1 % sợi PP, hệ số dẫn nhiệt của mẫu giảm xuống 1,72 W/mK, thấp hơn bê tông thường (1,88 W/mK) và thấp hơn cả mẫu gia cường bằng sợi thép ($\approx 1,96$ W/mK). Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng mặc dù độ rỗng tăng lên (từ 2,3 % ở mẫu bê tông thường lên 6,4 % ở mẫu BTCSP), song chính bản chất dẫn nhiệt thấp của sợi PP là yếu tố quyết định làm giảm khả năng truyền nhiệt.

Các kết quả nghiên cứu của Fraternali và cộng sự [10], và Anglade [11] cũng cho thấy xu hướng tương tự khi so sánh giữa mẫu BTCSP và bê tông thường ở các tỷ lệ sợi khác nhau. Các tác giả đã chỉ ra rằng do sợi PP có khối lượng riêng thấp và chiếm thể tích lớn, vật liệu này có khả năng giữ nhiệt lâu hơn, từ đó góp phần cải thiện tính cách nhiệt của bê tông. Tuy nhiên, kết quả thí nghiệm (Hình 11) cho thấy hệ số dẫn nhiệt giảm dần khi tăng hàm lượng sợi, song mức giảm không đáng kể. Điều này cho thấy khi hàm lượng sợi vượt quá một ngưỡng nhất định, tốc độ suy giảm hệ số dẫn nhiệt có xu hướng chậm lại. Cơ chế có thể được lý giải bởi sự hình thành lỗ rỗng bổ sung trong

quá trình trộn ở hàm lượng sợi cao, khi đó hiệu quả giảm dẫn nhiệt không còn chủ yếu đến từ bản thân sợi PP mà chủ yếu do độ rỗng gia tăng. Do đó, việc bổ sung thêm sợi ở mức cao chủ yếu làm tăng độ rỗng của vật liệu, trong khi mức cải thiện đặc tính cách nhiệt là không đáng kể.



Hình 11. Quan hệ giữa hệ số dẫn nhiệt và tỷ lệ sợi PP theo các kết quả nghiên cứu của Małek, Fraternali và Anglade [6, 10, 11].

Bảng 3. So sánh độ rỗng và các trị số truyền nhiệt của các mẫu bê tông cốt sợi khác nhau của Nagy và cộng sự [8].

Mẫu	Loại sợi	Khối lượng riêng (kg/m ³)	Hàm lượng sợi (kg/m ³)	Hệ số dẫn nhiệt trung bình (W/mK)	Độ rỗng (%)	Nhiệt dung riêng trung bình (J/kgK)
S1	Thép	1913	35	2,86	7,47	832,2
S2	Thép	1916	27,5	2,85	6,19	831,1
S3	Thép	1920	20	2,97	5,47	830,7
S4	Không sợi	1925	0	2,83	7,46	832
S5	Sợi macro Concix ES hai thành phần polyolefin	1920	2	2,76	7,14	832,4
S6	Sợi macro Concix ES hai thành phần polyolefin	1923	1	2,81	6,51	831,5
S7	Sợi thủy tinh loại E HP Aveeglass dài 12 mm	1924	1	2,67	7,75	832,4

Bảng 4. So sánh độ rỗng và các thông số nhiệt của các mẫu BTCS và bê tông thường [6].

Các mẫu thử	Hàm lượng sợi trong mẫu (%)	Độ rỗng (%)	Hệ số dẫn nhiệt (W/mK)	Độ khuếch tán nhiệt (10 ⁻¹² m ² /s)	Nhiệt dung riêng (mJ/m ³ K)
Bê tông thường	0	2,3 ± 0,1	1,88 ± 0,06	0,94 ± 0,03	1,98 ± 0,01
0,50SF	0,5	3,2 ± 0,1	1,93 ± 0,05	0,92 ± 0,04	1,99 ± 0,01
0,75SF	0,75	3,7 ± 0,1	1,96 ± 0,06	0,91 ± 0,03	2,01 ± 0,01
1,00SF	1	4 ± 0,1	1,98 ± 0,05	0,89 ± 0,03	2,03 ± 0,01
0,50PF	0,5	5,7 ± 0,1	1,8 ± 0,05	1,04 ± 0,04	1,90 ± 0,01
1,00PF	0,75	6,4 ± 0,1	1,72 ± 0,05	1,16 ± 0,03	1,80 ± 0,01
0,75PF	1	6,1 ± 0,1	1,78 ± 0,06	1,11 ± 0,03	1,85 ± 0,01
0,50GF	0,5	5,9 ± 0,1	1,71 ± 0,05	1,21 ± 0,04	1,46 ± 0,01
0,75GF	0,75	6,7 ± 0,1	1,68 ± 0,06	1,34 ± 0,03	1,42 ± 0,01
1,00GF	1	7,2 ± 0,1	1,65 ± 0,05	1,48 ± 0,03	1,39 ± 0,01

Bảng 5. So sánh đặc tính nhiệt của BTCST và bê tông thường [6].

Hàm lượng sợi trong mẫu (%)	Độ rỗng (%)	Khối lượng thể tích (kg/m ³)	Hệ số dẫn nhiệt (W/mK)	Độ khuếch tán nhiệt (10 ⁻¹² m ² /s)	Nhiệt dung riêng thể tích (mJ/m ³ K)
0	2,3 ± 0,1	2210 ± 2	1,88 ± 0,06	0,94 ± 0,03	1,98 ± 0,01
0,50	3,2 ± 0,1	2226 ± 2	1,93 ± 0,05	0,92 ± 0,04	1,99 ± 0,01
0,75	3,7 ± 0,1	2227 ± 3	1,96 ± 0,06	0,91 ± 0,03	2,01 ± 0,01
1,00	4 ± 0,1	2230 ± 2	1,98 ± 0,05	0,89 ± 0,03	2,03 ± 0,01

Bảng 6. So sánh đặc tính nhiệt của BTCSTT và bê tông thường theo nghiên cứu của Małek và cộng sự [6].

Hàm lượng sợi trong mẫu (%)	Độ rỗng (%)	Khối lượng thể tích (kg/m ³)	Hệ số dẫn nhiệt (W/mK)	Độ khuếch tán nhiệt (10 ⁻¹² m ² /s)	Nhiệt dung riêng thể tích (mJ/m ³ K)
0	2,3 ± 0,1	2210 ± 2	1,88 ± 0,06	0,94 ± 0,03	1,98 ± 0,01
0,50	5,9 ± 0,1	2215 ± 2	1,71 ± 0,05	1,21 ± 0,04	1,46 ± 0,01
0,75	6,7 ± 0,1	2217 ± 3	1,68 ± 0,06	1,34 ± 0,03	1,42 ± 0,01
1	7,2 ± 0,1	2219 ± 2	1,65 ± 0,05	1,48 ± 0,03	1,39 ± 0,01

Bảng 7. So sánh đặc tính nhiệt của BTCSPP và bê tông thường theo nghiên cứu của Małek và cộng sự [6].

Hàm lượng sợi trong mẫu (%)	Độ rỗng (%)	Khối lượng thể tích (kg/m ³)	Hệ số dẫn nhiệt (W/mK)	Độ khuếch tán nhiệt (10 ⁻¹² m ² /s)	Nhiệt dung riêng thể tích (mJ/m ³ K)
0	2,3 ± 0,1	2210 ± 2	1,88 ± 0,06	0,94 ± 0,03	1,98 ± 0,01
0,50	5,7 ± 0,1	2214 ± 2	1,8 ± 0,05	1,04 ± 0,04	1,90 ± 0,01
0,75	6,1 ± 0,1	2216 ± 3	1,78 ± 0,06	1,11 ± 0,03	1,85 ± 0,01
1	6,4 ± 0,1	2217 ± 2	1,72 ± 0,05	1,16 ± 0,03	1,80 ± 0,01

3.2.4. So sánh đặc tính nhiệt giữa các loại bê tông cốt sợi

Khi đặt các loại bê tông cốt sợi cạnh nhau, có thể nhận thấy sự khác biệt rõ rệt về hành vi truyền nhiệt. Kết quả thí nghiệm của Małek và cộng sự [6] chỉ ra rằng BTCST có hệ số dẫn nhiệt cao nhất, dao động từ 1,93–1,98 W/mK, cao hơn bê tông thường ($\approx 1,88$ W/mK). Ngược lại, BTCSTT và BTCSPP đều làm giảm hệ số dẫn nhiệt, với các giá trị tương ứng ở mức 1,65–1,72 W/mK. Sự khác biệt này phản ánh bản chất vật liệu: thép có độ dẫn nhiệt rất cao, trong khi thủy tinh và PP có hệ số dẫn nhiệt thấp hơn nhiều so với nền xi măng–cốt liệu.

Về độ rỗng, BTCST chỉ tăng nhẹ so với bê tông thường (3,2 đến 4,0 %), trong khi BTCSTT và BTCSPP ghi nhận sự gia tăng đáng kể (tới 7,2 % và 6,4 %). Độ rỗng lớn hơn đồng nghĩa với khối lượng thể tích giảm, góp phần làm giảm tính dẫn nhiệt của bê tông sử dụng hai loại sợi này. Điều này cũng đã được Nagy và cộng sự khẳng định trong [8] rằng BTCSTT và BTCSPP có hệ số dẫn nhiệt khá gần nhau nhưng đều thấp hơn so với bê tông cốt sợi thép.

Về nhiệt dung riêng và độ khuếch tán nhiệt, các nghiên cứu cho thấy sự chênh lệch giữa các loại BTCS là không quá lớn. Tuy nhiên, xu hướng chung là BTCSTT và BTCSPP duy trì khả năng tích trữ nhiệt ổn định nhưng với tốc độ truyền nhiệt thấp hơn, trong khi BTCST truyền nhiệt nhanh hơn. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Ren và cộng sự [7], khi nhóm tác giả khuyến nghị cần có tiêu chuẩn riêng để đánh

giá hệ số dẫn nhiệt của BTCS nhằm phản ánh chính xác mức độ khác biệt này.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã cho thấy rằng việc bổ sung sợi ảnh hưởng rõ rệt đến đặc tính nhiệt của bê tông, tuy mức độ khác nhau phụ thuộc vào từng loại sợi. BTCST có hệ số dẫn nhiệt cao hơn bê tông thường nhờ bản chất dẫn nhiệt mạnh của thép [6, 7]. Đặc tính này có thể giúp giảm chênh lệch nhiệt độ bên trong các kết cấu bê tông khối lớn, nhưng lại không phù hợp cho các ứng dụng yêu cầu cách nhiệt. Ngược lại, BTCSTT và BTCSPP đều cho thấy xu hướng giảm hệ số dẫn nhiệt so với bê tông thường [6, 9–11]. Mức giảm này không lớn về trị số tuyệt đối, song có ý nghĩa trong việc giảm tốc độ truyền nhiệt và cải thiện khả năng ổn định nhiệt cho kết cấu.

Kết quả so sánh cũng chỉ ra rằng khi tăng hàm lượng sợi, BTCST có độ rỗng tăng nhẹ, trong khi BTCSTT và BTCSPP có sự gia tăng đáng kể hơn, góp phần làm giảm khả năng dẫn nhiệt [6, 8]. Xét về nhiệt dung riêng và độ khuếch tán nhiệt, sự khác biệt giữa các loại BTCS không quá lớn, nhưng BTCSTT và BTCSPP nhìn chung duy trì khả năng tích trữ nhiệt ổn định hơn, trong khi BTCST dẫn nhiệt nhanh hơn [6, 8].

Từ những phân tích trên, có thể khẳng định rằng lựa chọn loại sợi cần gắn với mục tiêu thiết kế và yêu cầu sử dụng cụ thể. BTCST thích hợp với các kết cấu khối lớn nhằm kiểm soát chênh lệch nhiệt độ,

còn BTCSTT và BTCSPPP phù hợp cho các ứng dụng yêu cầu cách nhiệt hoặc chống cháy. Các nghiên cứu tiếp theo nên tập trung vào việc phân tích kết hợp cả đặc tính cơ học và nhiệt của BTCS dưới điều kiện môi trường khắc nghiệt để đưa ra khuyến nghị ứng dụng thực tiễn và hỗ trợ hoàn thiện tiêu chuẩn thiết kế [6–11].

Nhóm tác giả đề xuất các hướng nghiên cứu tiếp theo tập trung vào việc mô phỏng quá trình truyền nhiệt trong các loại BTCS khác nhau, đồng thời triển khai các thí nghiệm thực tế trên quy mô công trình nhằm kiểm chứng tính ứng dụng của kết quả. Ngoài ra, cần mở rộng phạm vi nghiên cứu sang đặc tính nhiệt của BTCS khi kết hợp với các loại bê tông đặc thù như bê tông bọt, bê tông cường độ cao hoặc khi sử dụng các loại sợi tự nhiên có khả năng tái chế. Những hướng đi này không chỉ góp phần nâng cao chất lượng và hiệu quả nhiệt của bê tông mà còn mang lại lợi ích về môi trường thông qua việc tận dụng vật liệu tái chế và giảm thiểu chất thải.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Steel, FRC and Glass, FRC and Natural, FRC, “State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, 544.1R-96”, *Am. Concr. Inst. U. S.*, 2001.
- [2]. R. F. Zollo, “Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development”, *Cem. Concr. Compos.*, vol 19, số p.h 2, tr 107–122, tháng 1 1997, doi: 10.1016/S0958-9465(96)00046-7.
- [3]. A. Bentur và S. Mindess, *Fibre Reinforced Cementitious Composites*, 2nd a.b. London: CRC Press, 2006. doi: 10.1201/9781482267747.
- [4]. M. Anas, M. Khan, H. Bilal, S. Jadoon, và M. N. Khan, “Fiber Reinforced Concrete: A Review”, trong *The 12th International Civil Engineering Conference*, MDPI, tháng 9 2022, tr 3. doi: 10.3390/engproc202202003.
- [5]. M. İskender và B. Karasu, “Glass Fibre Reinforced Concrete (GFRC)”, *El-Cezeri Fen Ve Mühendis. Derg.*, vol 5, số p.h 1, tr 136–162, tháng 1 2018, doi: 10.31202/ecjse.371950.
- [6]. M. Małek, M. Jackowski, W. Łasica, và M. Kadela, “Influence of Polypropylene, Glass and Steel Fiber on the Thermal Properties of Concrete”, *Materials*, vol 14, số p.h 8, tr 1888, tháng 4 2021, doi: 10.3390/ma14081888.
- [7]. X. Ren, Y. Ding, Q. Liu, S. Chen, và F. Song, “Effect of different volume fraction of steel fiber/graphite on thermal conductivity and compressive properties of concrete”, *Front. Mater.*, vol 9, tr 1003830, tháng 9 2022, doi: 10.3389/fmats.2022.1003830.
- [8]. B. Nagy, S. G. Nehme, và D. Szagri, “Thermal Properties and Modeling of Fiber Reinforced Concretes”, *Energy Procedia*, vol 78, tr 2742–2747, tháng 11 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.616.
- [9]. W.-C. Wang, H.-Y. Wang, K.-H. Chang, và S.-Y. Wang, “Effect of high temperature on the strength and thermal conductivity of glass fiber concrete”, *Constr. Build. Mater.*, vol 245, tr 118387, tháng 6 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118387.
- [10]. F. Fraternali, V. Ciancea, R. Chechile, G. Rizzano, L. Feo, và L. Incarnato, “Experimental study of the thermo-mechanical properties of recycled PET fiber-reinforced concrete”, *Compos. Struct.*, vol 93, số p.h 9, tr 2368–2374, tháng 8 2011, doi: 10.1016/j.compstruct.2011.03.025.
- [11]. J. Anglade, E. Benavente, J. Rodríguez, và A. Hinostroza, “Use of Textile Waste as an Addition in the elaboration of an Ecological Concrete Block”, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol 1054, số p.h 1, tr 012005, tháng 2 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1054/1/012005.
- [12]. J. Ahmad, A. Manan, A. Ali, M. W. Khan, M. Asim, và O. Zaid, “A Study on Mechanical and Durability Aspects of Concrete Modified with Steel Fibers (SFs)”, *Civ. Eng. Archit.*, vol 8, tr 814–823, tháng 10 2020, doi: 10.13189/cea.2020.080508.
- [13]. A. J. Majumdar và R. W. Nurse, “Glass fibre reinforced cement”, *Mater. Sci. Eng.*, vol 15, số p.h 2–3, tr 107–127, tháng 8 1974, doi: 10.1016/0025-5416(74)90043-3.
- [14]. W. A. Labib, “Fibre Reinforced Cement Composites”, trong *Cement Based Materials*, H. E.-D. M. Saleh và R. O. A. Rahman, B.t.v, InTech, 2018. doi: 10.5772/intechopen.75102.
- [15]. W. Yao và W. Zhong, “Effect of polypropylene fibers on the long-term tensile strength of concrete”, *J. Wuhan Univ. Technol.-Mater Sci Ed*, vol 22, số p.h 1, tr 52–55, tháng 2 2007, doi: 10.1007/s11595-005-1052-z.
- [16]. M. Nili và V. Afroughsabet, “The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete”, *Constr. Build. Mater.*, vol 24, số p.h 6, tr 927–933, tháng 6 2010, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.11.025.
- [17]. H. A. A. Al-Katib, H. H. Alkhudery, và H. A. Al-Tameemi, “Behavior of Polypropylene Fibers Reinforced Concrete Modified with High Performance Cement”.
- [18]. J. Ahmad, D. D. Burduhos-Nergis, M. M. Arbili, S. M. Alogla, A. Majdi, và A. F. Deifalla, “A Review on Failure Modes and Cracking Behaviors of Polypropylene Fibers Reinforced Concrete”, *Buildings*, vol 12, số p.h 11, tr 1951, tháng 11 2022, doi: 10.3390/buildings12111951.