

Nghiên cứu một số đặc tính cơ lý của bê tông hạt nhỏ có độ chảy cao sử dụng cốt sợi thép phân tán

A study on some physical and mechanical properties of high-flow fine-grained concrete using steel fiber reinforcement

Nguyễn Tiến Dũng^{1,*}, Nguyễn Hoàng Quân¹, Trần Khải Hoàn²

¹Trường Đại học Giao thông vận tải

²Kiểm toán nhà nước chuyên ngành II, Kiểm toán nhà nước

*Tác giả liên hệ: nguyen.tiendung@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/10/2023; Ngày chấp nhận đăng: 12/12/2023

Tóm tắt:

Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm về một số đặc tính cơ lý của bê tông hạt nhỏ có độ chảy cao sử dụng cốt sợi thép, bao gồm: độ chảy loang, cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn. Hai loại sợi thép có chiều dài 12,7 mm và 35 mm được sử dụng với các hàm lượng 40, 60, 80 kg cho 1 m³ bê tông. Sự có mặt của cốt sợi thép có ảnh hưởng rõ rệt đến tính công tác của hỗn hợp bê tông. Với hàm lượng cốt sợi sử dụng từ 40-80 kg cho 1 m³ bê tông, ảnh hưởng của cốt sợi đến cường độ chịu nén của bê tông là không lớn. Đối với ứng xử chịu kéo uốn, các mẫu sử dụng hàm lượng cốt sợi thép từ 40-60 kg cho 1 m³ bê tông có ứng suất lớn nhất cao hơn so với bê tông đối chứng khoảng 35-65%. Các kết quả thu được về chuyển vị lớn nhất của các mẫu dầm đã cho thấy vai trò của cốt sợi thép trong quá trình làm chậm tốc độ phát triển của vết nứt, tăng tính dẻo cho cấu kiện dầm bê tông cốt sợi thép.

Từ khóa: Bê tông cốt sợi thép; Độ chảy loang; Cường độ chịu nén; Cường độ chịu kéo khi uốn.

Abstract:

High-flow fiber-reinforced concrete represents an emerging material with growing prominence in contemporary construction practices. This paper presents experimental research on some physical and mechanical properties of high-flow fine-grained concrete using steel fiber reinforcement, including: slump flow, compressive strength and flexural tensile strength. Two types of steel fibers with lengths of 12,7 mm and 35 mm were utilized at dosages of 40, 60, and 80 kg per cubic meter of concrete. The presence of steel fiber reinforcement significantly influences the workability of fresh concrete. With fiber dosages ranging from 40-80 kg per cubic meter of concrete, the influence of fibers on the compressive strength of concrete is not substantial. For flexural tensile behavior, samples using a steel fiber content of 40-60 kg per 1 m³ of concrete have a stress about 35-65% higher than that of control concrete. The largest displacement of samples with dispersed steel fiber reinforcement shows the role of steel fiber reinforcement in slowing down the rate of crack development and increasing the ductility of the beam structure.

Keywords: Steel fiber reinforced concrete (SFRC); Slump flow; Compressive strength; Flexural tensile strength.

1. Giới thiệu

Hiện nay, bê tông là loại vật liệu được sử dụng nhiều trong ngành xây dựng do có nhiều ưu điểm như khả năng chịu nén tốt, độ bền cao, dễ tạo hình

và giá thành cạnh tranh so với các vật liệu xây dựng khác. Tuy nhiên, vật liệu này cũng tồn tại một số nhược điểm như tính dẻo kém, khả năng chịu kéo thấp. Để khắc phục các hạn chế này, một

giải pháp hiệu quả được áp dụng là bổ sung thành phần cốt sợi phân tán. Loại sợi được sử dụng phổ biến nhất hiện nay là sợi thép. Bê tông cốt sợi thép (SFRC) có nhiều ứng dụng rộng rãi như: làm sàn nhà công nghiệp, hầm, đập thủy điện, ổn định bờ dốc, sửa chữa các kết cấu bê tông cốt thép chịu tải trọng động đất, làm lớp bảo vệ chống cháy,...[1]. Sự có mặt của các sợi thép trong bê tông góp phần làm chậm quá trình hình thành và phát triển các vết nứt thông qua hiện tượng vết nứt bắc cầu qua sợi [2], [3]. Nhờ đó, bê tông cốt sợi thép có tính dẻo cao, khả năng tiêu hao năng lượng lớn [4], [5]. Nghiên cứu của Afroughsabet và cộng sự [6] đã tập trung đánh giá khả năng cải thiện các tính chất cơ học của bê tông cốt sợi. Nhóm tác giả đã làm rõ ảnh hưởng của các yếu tố liên quan đến cốt sợi như các đặc tính cơ học, hình học của cốt sợi, hàm lượng sợi, loại sợi đến các tính chất cơ lý của bê tông. Nghiên cứu cũng nhấn mạnh tầm quan trọng về sự phân tán đồng đều của cốt sợi trong bê tông để đạt được chất lượng như mong đợi. Bên cạnh đó, Marar và cộng sự [7] đã thực hiện một nghiên cứu chi tiết về hiệu ứng của hàm lượng và kích thước cốt sợi thép phân tán đến tính chất của SFRC. Kết quả của nghiên cứu này đã chỉ ra một số cách thức tối ưu hóa việc sử dụng cốt sợi thép phân tán để tăng cường khả năng chịu lực của SFRC. Ngoài ra, nghiên cứu của Alyousef [8] đã đi sâu vào đánh giá tính năng và ứng dụng thực tế của bê tông có độ chảy cao sử dụng nhiều loại cốt sợi khác nhau. Điều này đã cung cấp thông tin quý giá về hiệu suất và ưu điểm thực tế của các loại vật liệu bê tông cốt sợi trong môi trường xây dựng thực tế.

Bên cạnh các ưu điểm, các đặc trưng cơ học mang tính phân tán cao là nhược điểm lớn của vật liệu này bởi sự phân bố không đồng đều của các sợi thép trong bê tông. Công nghệ chế tạo bê tông, cấp phối bê tông không phù hợp sẽ dẫn đến những vùng bê tông có ít hoặc không có sợi thép. Các khu vực này làm giảm khả năng chịu lực của kết cấu [9]. Bê tông hạt nhỏ có độ chảy cao là một giải pháp đảm bảo cho cốt sợi có thể phân bố đồng đều trong bê tông. Nhờ đó, người chế tạo có thể lựa chọn phương pháp đổ phù hợp, đảm bảo cho các

sợi thép được phân bố theo phương của ứng suất kéo lớn nhất trong các cấu kiện chịu lực.

Xuất phát từ những phân tích kể trên, bài báo này giới thiệu một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm về bê tông hạt nhỏ có độ chảy cao sử dụng cốt sợi thép phân tán, từ đó, góp phần bổ sung thêm nguồn dữ liệu nghiên cứu về chủ đề này. Tính công tác, cường độ chịu nén, ứng xử chịu kéo uốn của bê tông cốt sợi thép là những tính chất được giới thiệu trong bài báo.

2. Vật liệu chế tạo và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu chế tạo

Các vật liệu chính sử dụng trong nghiên cứu này:

- Xi măng: Nghiên cứu này sử dụng xi măng PC40 (xi măng Xuân Thành) có các đặc trưng kỹ thuật phù hợp tiêu chuẩn TCVN 2682:2020 [10];
- Tro bay: Sử dụng loại F được lấy từ nhà máy nhiệt điện Phả Lại, có các yêu cầu kỹ thuật thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 10302:2014 [11];
- Cốt liệu: Cát tự nhiên có thành phần hạt thỏa mãn tiêu chuẩn ASTM C33 [12]. Một số đặc tính kỹ thuật của cát được giới thiệu ở Bảng 1.

Bảng 1. Các đặc tính kỹ thuật của cát.

Tên chỉ tiêu	Giá trị
Khối lượng riêng (g/cm^3)	2,67
Khối lượng thể tích đầm chặt (g/cm^3)	1,58
Mô đun độ lớn	2,8
Độ hút nước (%)	1,1

• Phụ gia siêu dẻo (PGSD): Loại phụ gia giảm nước cao Sikament NN, gốc Naphthalene Sulfonate Formaldehyde của SIKA. Loại phụ gia này có khối lượng thể tích là $1,19 g/cm^3$ và liều lượng dùng khuyến nghị là 0,6 - 2 lít/100 kg xi măng;

• Sợi thép: Nhằm mục đích nghiên cứu ảnh hưởng của loại sợi thép đến các tính chất của bê tông cốt sợi thép phân tán, nghiên cứu này sử dụng hai loại là sợi thép ngắn (sợi thẳng, chiều dài $L = 12,7 mm$) và sợi thép dài (sợi thép Dramix 3D có

móc ở 2 đầu, chiều dài $L = 35$ mm). Hình 1 thể hiện hình ảnh của hai loại sợi thép sử dụng trong nghiên cứu.



(a)



(b)

Hình 1. Sợi thép sử dụng trong nghiên cứu:

(a) Sợi ngắn $L = 12,7$ mm; (b) Sợi dài $3D L = 35$ mm.

Các thông số kỹ thuật của hai loại sợi được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Các thông số kỹ thuật của sợi thép.

Tên thông số	Sợi ngắn 12,7 mm	Sợi dài 35 mm
Chiều dài sợi l (mm)	12,7	35
Đường kính sợi d (mm)	0,2	0,55
Tỷ lệ chiều dài/đường kính sợi (l/d)	63,5	63,63
Cường độ chịu kéo (MPa)	1000	1350

2.2. Thiết kế cấp phối bê tông

Thành phần bê tông được thiết kế dựa trên nguyên tắc thể tích đặc tuyệt đối và trên cơ sở tham khảo một số công thức thành phần đã được sử dụng trên thế giới cho loại bê tông này [6], [8]. Thông thường với bê tông sử dụng cốt sợi thép, hàm lượng cốt sợi phổ biến được dùng trong khoảng 0,5 - 2% theo thể tích bê tông, tương đương

khoảng 40 - 160 kg cho 1 m^3 bê tông. Tuy nhiên, khi dùng với hàm lượng 1 - 2%, gây khó khăn trong việc đảm bảo tính công tác của hỗn hợp bê tông. Bên cạnh đó, giá thành của SFRC tăng cao. Do đó, để đảm bảo hài hòa giữa hai yếu tố kỹ thuật và kinh tế, nghiên cứu này đã lựa chọn hàm lượng cốt sợi thép trong khoảng 0,5 - 1%. Ba loại hàm lượng cốt sợi được lựa chọn lần lượt là 40 kg, 60 kg và 80 kg cho 1 m^3 bê tông. Mẫu bê tông đối chứng (BTĐC) được kí hiệu là SFRC-0. Ba cấp phối bê tông sử dụng loại sợi ngắn 12,7 mm được kí hiệu lần lượt là SFRCn-40, SFRCn-60, SFRCn-80. Ba cấp phối bê tông sử dụng loại sợi dài 35 mm được kí hiệu lần lượt là SFRCd-40, SFRCd-60, SFRCd-80. Sau khi tính toán và điều chỉnh thành phần bê tông bằng thực nghiệm tại phòng thí nghiệm, thành phần các cấp phối bê tông được giới thiệu ở Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần cấp phối cho 1 m^3 của các hỗn hợp bê tông.

Vật liệu	Hàm lượng cốt sợi thép			
	0	40	60	80
Xi măng (kg)	545	545	545	545
Cát (kg)	1468	1454	1447	1440
Tro bay (kg)	164	164	164	164
Nước (kg)	180	180	180	180
Sợi thép (kg)	0,0	40,0	60,0	80,0
PGSD (kg)	14,3	14,3	14,3	14,3

2.3. Chế tạo mẫu và phương pháp thí nghiệm

Với bê tông cốt sợi thép, việc phân bố/phân tán đồng đều sợi thép trong bê tông rất quan trọng. Cần chú ý trong công tác chế tạo mẫu để kiểm soát vấn đề này. Các tính chất của bê tông cốt sợi thép được nghiên cứu gồm có: Độ chảy loãng của hỗn hợp bê tông, cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn. Thí nghiệm độ chảy loãng được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C161 [13]. Độ chảy loãng tiến hành thí nghiệm hai lần cho mỗi cấp phối.



Hình 2. Thí nghiệm xác định độ chảy loãng của hỗn hợp bê tông.

Cường độ chịu nén được xác định trên mẫu hình lập phương cạnh 150 mm theo tiêu chuẩn TCVN 3118:2022 [14]. Mỗi cấp phối được đúc 06 mẫu cho hai ngày tuổi thí nghiệm (7 và 28 ngày tuổi).



Hình 3. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của SFRC.

Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo khi uốn được thực hiện trên 4 tổ mẫu dầm có kích thước 100 x 100 x 400 mm theo tiêu chuẩn TCVN 3119:2022 [15]. Cụ thể như sau:

- Tổ mẫu 1: gồm 3 dầm không có cốt sợi thép phân tán, sử dụng làm dầm đối chứng (cấp phối SFRC-0).
- Tổ mẫu 2: gồm 3 dầm sử dụng sợi dài 35 mm, với hàm lượng sợi là 40 kg cho 1 m³ bê tông (cấp phối SFRCd-40).
- Tổ mẫu 3: gồm 3 dầm sử dụng sợi ngắn 12,7 mm, với hàm lượng sợi là 60 kg cho 1 m³ bê tông (cấp phối SFRCn-60).
- Tổ mẫu 4: gồm 3 dầm sử dụng sợi dài 35 mm, với hàm lượng sợi là 60 kg cho 1 m³ bê tông (cấp phối SFRCd-60).

Tất cả các mẫu được chế tạo và bảo dưỡng trong phòng thí nghiệm theo TCVN 3105:2022 [16] đến ngày tuổi thí nghiệm.



Hình 4. Mẫu SFRC bị phá hoại sau thí nghiệm xác định cường độ chịu nén.



Hình 5. Chế tạo mẫu xác định cường độ chịu kéo khi uốn của SFRC.

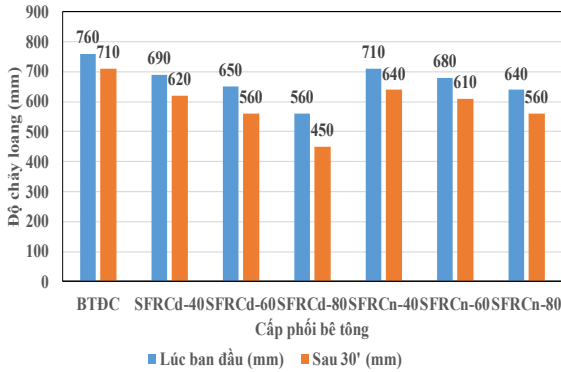


Hình 6. Thí nghiệm uốn bốn điểm xác định cường độ chịu kéo khi uốn của SFRC.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Độ chảy loang

Độ chảy loang của các hỗn hợp bê tông tại thời điểm kết thúc nhào trộn và sau 30 phút được thể hiện trên Hình 7.



Hình 7. Độ chảy loang của các hỗn hợp bê tông thời điểm ban đầu và sau 30 phút.

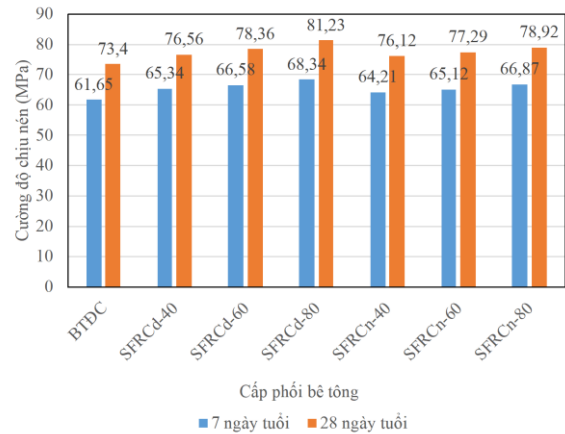
Có thể thấy độ chảy loang giảm dần khi tăng hàm lượng sợi thép. Cấp phối đối chứng (CPĐC) có độ chảy loang lớn nhất đạt 760 mm, trong khi các cấp phối SFRCn-40, SFRCn-60, SFRCn-80 có độ chảy loang lần lượt là 710, 680 và 640 mm. Xu hướng này cũng được ghi nhận nếu dùng loại sợi dài. Khi đó các cấp phối SFRCd-40, SFRCd-60, SFRCd-80 có độ chảy loang lần lượt là 690, 650, 560 mm. Điều này có thể được giải thích bởi sự có mặt của sợi thép làm cản trở sự dịch chuyển tương đối của các hạt cốt liệu, qua đó, làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông.

Các kết quả thể hiện với cùng một hàm lượng cốt sợi, hỗn hợp bê tông sử dụng cốt sợi ngắn 12,7 mm có tính công tác tốt hơn cốt sợi dài 35 mm. Ảnh hưởng của loại sợi đến độ chảy loang của hỗn hợp bê tông càng rõ nét hơn khi tăng hàm lượng sợi. Điều này có thể được giải thích bởi sự khác biệt về kích thước và đặc trưng hình học của hai loại sợi. Loại sợi dài có chiều dài gấp 3 lần so với sợi ngắn, hơn nữa, đây là loại sợi 3D có móc ở hai đầu. Do đó, mức độ ảnh hưởng của sợi dài đến tính công tác của hỗn hợp bê tông là lớn hơn so với sợi ngắn. Chênh lệch về độ chảy loang là lớn nhất đối với hai cấp phối SFRCd-80 và SFRCn-80. Mặt khác, sự suy giảm tính

công tác theo thời gian có sự khác biệt giữa cấp phối BTĐC với các cấp phối sử dụng cốt sợi thép. Sau 30 phút, độ chảy loang của cấp phối BTĐC giảm 50 mm xuống 710 mm. Trong khi đó, các cấp phối sử dụng 40-80 kg cốt sợi thép có độ chảy loang suy giảm trong khoảng 70-110 mm. Cấp phối SFRCd-80 và SFRCn-80 có mức độ suy giảm tính công tác lớn nhất, với độ chảy loang sau 30 phút còn lần lượt là 450 mm và 560 mm. Đây là một đặc điểm cần lưu ý khi sử dụng hàm lượng cốt sợi thép lớn trong trường hợp thời gian vận chuyển, thi công bê tông kéo dài.

3.2. Cường độ chịu nén

Kết quả thí nghiệm về cường độ chịu nén của các cấp phối SFRC ở 7 và 28 ngày tuổi được thể hiện trên Hình 8.



Hình 8. Cường độ chịu nén của các cấp phối bê tông ở 7 và 28 ngày tuổi.

Các kết quả thu được cho thấy cường độ chịu nén của các cấp phối sử dụng cốt sợi đều cao hơn so với CPĐC. Khi sử dụng sợi ngắn, cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi của các cấp phối SFRCn-40, SFRCn-60, SFRCn-80 tăng lần lượt là 4,2%, 5,6%, 8,5% so với CPĐC (Bảng 4).

Bảng 4. Mức độ cải thiện cường độ chịu nén của bê tông cốt sợi thép so với BTĐC

Cấp phối	Mức độ cải thiện cường độ chịu nén (%)	
	7 ngày tuổi	28 ngày tuổi
SFRCn-40	4,2	3,7
SFRCn-60	5,6	5,3
SFRCn-80	8,5	7,5

Cấp phối	Mức độ cải thiện cường độ chịu nén (%)	
	7 ngày tuổi	28 ngày tuổi
SFRCd-40	6,0	4,3
SFRCd-60	8,10	6,8
SFRCd-80	10,9	10,7

Ở 28 ngày tuổi, mức chênh lệch về cường độ chịu nén của các cấp phối này so với CPĐC lần lượt là 3,7%, 5,3% và 7,5%. Các kết quả tương tự đã được tìm thấy khi sử dụng sợi dài. Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi của các cấp phối SFRCd-40, SFRCd-60, SFRCd-80 tăng lần lượt là 4,3%, 6,8%, 10,7% so với CPĐC.

Như vậy, mức cải thiện cường độ chịu nén rõ nét nhất khi sử dụng hàm lượng sợi lớn nhất (80 kg cho 1 m³ bê tông). Ảnh hưởng của loại sợi đến cường độ chịu nén không rõ ràng. Khi sử dụng với cùng một hàm lượng sợi, mức chênh lệch về cường độ chịu nén của các cấp phối sử dụng hai loại sợi là tương đối nhỏ ở cả 7 ngày tuổi và 28 ngày tuổi.

3.3. Cường độ chịu kéo khi uốn

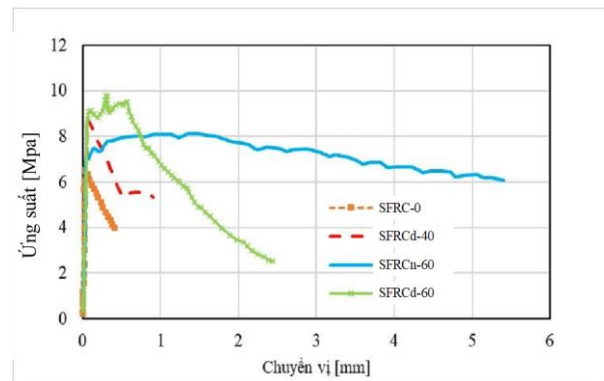
Với các kết quả thí nghiệm về độ chảy loang, hai cấp phối SFRCn-80 và SFRCd-80 (sử dụng hàm lượng cốt sợi là 80 kg cho 1 m³ bê tông) có mức độ suy giảm tính công tác theo thời gian là tương đối lớn. Nếu sử dụng hai cấp phối bê tông này để chế tạo kết cấu dầm thì có thể làm ảnh hưởng đến mức độ phân tán đồng đều của cốt sợi trong dầm. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung xác định ứng xử chịu kéo uốn của một số cấp phối sử dụng hàm lượng cốt sợi là 40 và 60 kg cho 1 m³ bê tông. Hình 9 a, b, c, d lần lượt thể hiện dạng phá hoại của các mẫu đối chứng, mẫu SFRCd-40, SFRCn-60 và SFRCd-60. Quan sát thấy rằng, các mẫu đều có dạng phá hoại đặc trưng là xuất hiện một vết nứt trong khoảng giữa hai điểm đặt lực. Vết nứt này xuất hiện từ đáy dầm và loang truyền gần như thẳng đứng đến biên đặt lực. Bên cạnh đó, với mẫu đối chứng, do không có cốt sợi thép phân tán nên độ mở rộng vết nứt lớn hơn so với các mẫu có cốt sợi thép (mẫu đối chứng bị gãy đôi). Điều

này chứng minh hiệu quả của cốt sợi thép phân tán trong việc hạn chế độ mở rộng nứt.



Hình 9. Dạng phá hoại của các mẫu dầm.

Hình 10 thể hiện mối quan hệ lực-chuyển vị thu được từ các tổ mẫu. Đối với mỗi tổ mẫu, đường cong thu được lấy bằng giá trị trung bình đo trên các mẫu của tổ mẫu đó. Nhận thấy rằng các mẫu đều có ứng xử đàn hồi tuyến tính đến khi đạt giá trị ứng suất lớn nhất, thể hiện thông qua mối quan hệ đường thẳng giữa ứng suất và chuyển vị đo được. Các đường thẳng có độ dốc là tương đương nhau. Do đó, có thể kết luận rằng, hàm lượng sợi của mẫu (40 hay 60 kg cho 1 m³ bê tông), loại sợi (sợi dài 35mm hay sợi ngắn 12,7mm) không ảnh hưởng đến độ cứng của mẫu dầm.



Hình 10. Mối quan hệ lực chuyển vị thu được trên các mẫu dầm.

Ảnh hưởng của hàm lượng sợi, loại sợi có thể nhận thấy rõ ràng sau khi mẫu dầm đạt tới cường độ chịu kéo lớn nhất. Bảng 5 thể hiện giá trị ứng suất và chuyển vị lớn nhất thu được trên các mẫu.

Bảng 5. Giá trị ứng suất lớn nhất và chuyển vị lớn nhất trên các mẫu dầm.

Loại mẫu	Ứng suất lớn nhất (MPa)	Chuyển vị lớn nhất (mm)
Mẫu đối chứng	6,58	0,4
Mẫu SFRCn-60	8,15	5,39
Mẫu SFRCd-40	8,86	0,9
Mẫu SFRCd-60	9,89	2,43

Nhận thấy rằng các mẫu sử dụng sợi thép phân tán đều có cường độ chịu kéo và chuyển vị lớn nhất cao hơn so với mẫu đối chứng. Các mẫu SFRCn-60, SFRCd-40, SFRCd-60 có ứng suất cao hơn so với mẫu đối chứng lần lượt bằng 34%, 50,3% và 65%. Chuyển vị lớn nhất của các mẫu có cốt sợi thép phân tán thể hiện vai trò của sợi ở giai đoạn đi xuống của đường cong ứng suất – chuyển vị, góp phần làm tăng tính dẻo cho dầm so với mẫu dầm đối chứng.

So sánh hai mẫu sử dụng cùng một hàm lượng sợi (60 kg cho 1 m³) là SFRCn-60 và SFRCd-60, Bảng 5 cũng chỉ ra rằng việc sử dụng loại sợi có móc, dài 35 mm cho cường độ chịu kéo lớn hơn so với sợi ngắn trơn dài 12,7 mm. Tuy nhiên, việc sử dụng sợi ngắn cho giá trị chuyển vị lớn nhất lớn hơn gấp đôi so với sợi có móc 35 mm. Điều này có thể giải thích rằng với cùng một hàm lượng thể tích, số lượng sợi ngắn nhiều hơn sợi dài. Khi đó, số lượng sợi phân bố ở khu vực giữa dầm nhiều hơn so với sợi dài, làm cho dầm có chuyển vị lớn hơn. Tuy nhiên, đối với trường hợp này, cần thực hiện bổ sung các thí nghiệm để có thể đưa ra một kết luận rõ ràng hơn.

4. Kết luận

Một số kết luận có thể rút ra từ nghiên cứu này như sau:

Sự có mặt của cốt sợi thép có ảnh hưởng rõ rệt đến tính công tác của hỗn hợp bê tông. Với cùng một hàm lượng cốt sợi sử dụng, hỗn hợp bê tông sử dụng cốt sợi ngắn có tính công tác tốt hơn so với khi sử dụng sợi dài. Cần lưu ý đến tính công tác và khả năng duy trì tính công

tác của SFRC khi sử dụng hàm lượng cốt sợi lên đến 80 kg cho 1 m³ bê tông.

Với hàm lượng cốt sợi sử dụng từ 40 kg đến 80 kg cho 1 m³ bê tông, sự có mặt của cốt sợi ảnh hưởng không lớn đến cường độ chịu nén của SFRC. Sự chênh lệch về cường độ chịu nén của SFRC so với BTĐC chỉ dao động trong khoảng 5 - 10%.

Phân tích ứng xử chịu kéo uốn của SFRC cho thấy hiệu quả rõ rệt với cốt sợi thép phân tán trong việc tăng tính dẻo cho dầm ở giai đoạn đi xuống của đường cong ứng suất – chuyển vị. Các mẫu sử dụng sợi thép phân tán đều có cường độ chịu kéo và chuyển vị lớn nhất cao hơn so với mẫu đối chứng. Các mẫu sử dụng hàm lượng cốt sợi thép từ 40 kg đến 60 kg cho 1 m³ bê tông có ứng suất cao hơn so với BTĐC khoảng 35 - 65%.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong đề tài mã số B2022-GHA-06.

Tài liệu tham khảo

- [1] X. Wang, F. Fan, J. Lai, Y. Xie, “Steel fiber reinforced concrete: A review of its material properties and usage in tunnel lining,” *Structures*, vol. 34, pp.1080-1098, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.istruc.2021.07.086.
- [2] L. A. Le, G. D. Nguyen, H. H. Bui, A. H. Sheikh, A. Kotousov, “Incorporation of micro-cracking and fibre bridging mechanisms in constitutive modelling of fibre reinforced concrete,” *J. Mech. Phys. Solids*, vol. 133, Dec. 2019, Art. no. 103732, 10.1016/j.jmps.2019.103732.
- [3] L. P. Canal, M. Alfano, J. Botsis, “A multi-scale based cohesive zone model for the analysis of thickness scaling effect in fiber bridging,” *Compos. Sci. Technol.*, vol. 139, pp. 90–98, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.compscitech.2016.11.027.
- [4] S. J. Jang, G. Y. Jeong, H. D. Yun, “Use of steel fibers as transverse reinforcement in diagonally reinforced coupling beams with normal – and – high - strength concrete, ”

- Constr. Build. Mater.*, vol. 187, pp. 1020–1030, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.063.
- [5] K. M. Liew, A. Akbar, “The recent progress of recycled steel fiber reinforced concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 232, Jan. 2020, Art. no. 117232, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117232.
- [6] V. Afroughsabet, L. Biolzi, T. Ozbakkaloglu, “High-performance fiber-reinforced concrete: A review” *J. Mater. Sci.*, vol. 51, pp. 6517–6551, 2016, doi: 10.1007/s10853-016-9917-4.
- [7] K. Marar, Ö. Eren, H. Roughani, “The influence of amount and aspect ratio of fibers on shear behaviour of steel fiber reinforced concrete,” *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 21, pp. 1393–1399, 2021, doi: 10.1007/s12205-016-0787-2.
- [8] R. Alyousef, “Study and experimental investigation on performance self-compacting concrete using different type of fibers,” *Romanian J. Mater.*, vol. 48, no. 3, pp. 355–361, 2018.
- [9] J. C. Walraven, “High performance fiber reinforced concrete: progress in knowledge and design code,” *Mater. Struct.*, vol. 42, pp. 1247–1260, 2009, doi: 10.1617/s11527-009-9538-3.
- [10] *Xi măng poóc lăng*, TCVN 2682:2020, Bộ Xây dựng, HN, VN, 2020.
- [11] *Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng*, TCVN 10302:2014, Bộ Xây dựng, HN, VN, 2014.
- [12] *Standard Specification for Concrete Aggregates*, ASTM C33, ASTM International, PA, USA, 2018.
- [13] *Standard Test Method For Slump Flow Of Self-Consolidating Concrete*, ASTM C161, ASTM International, PA, USA, 2021.
- [14] *Bê tông – Phương pháp xác định cường độ chịu nén*, TCVN 3118:2022, Bộ Xây dựng, HN, VN, 2022.
- [15] *Bê tông – Phương pháp xác định cường độ chịu kéo khi uốn*, TCVN 3119:2022, Bộ Xây dựng, HN, VN, 2022.
- [16] *Hỗn hợp bê tông và bê tông – Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu*, TCVN 3105:2022, Bộ Xây dựng, 2022.