

Nghiên cứu ảnh hưởng của cốt sợi đến tính chất của bê tông nhẹ cường độ cao sử dụng hạt vi cầu rỗng cenospheres từ tro bay

Nguyễn Công Thắng^{1,2}, Phạm Văn Tuấn³, Lê Việt Hùng³, Nguyễn Văn Tuấn^{1,2*}, Lê Trung Thành^{2,4}

¹ Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, Quận Hai Bà Trưng, Hà Nội

² Nhóm nghiên cứu mạnh Vật liệu xây dựng tiên tiến (HUCEMAT), Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, Quận Hai Bà Trưng, Hà Nội

³ Viện Vật liệu xây dựng, 235 Nguyễn Trãi, Quận Thanh Xuân, Hà Nội

⁴ Vụ Vật liệu xây dựng, Bộ Xây dựng, 37 Lê Đại Hành, Quận Hai Bà Trưng, Hà Nội

TỪ KHOÁ

Cốt sợi
Bê tông nhẹ cường độ cao
Vi cầu rỗng cenosphere
Cường độ nén
Co ngót

TÓM TẮT

Nội dung của bài báo sẽ trình bày kết quả nghiên cứu về việc sử dụng cốt sợi phân tán để cải thiện tính chất cơ học của bê tông nhẹ cường độ cao, được sản xuất từ hạt cầu rỗng (cenospheres). Các nhà nghiên cứu đã tiến hành thử nghiệm để đánh giá ảnh hưởng của sợi PP và PVA với hàm lượng khác nhau. Kết quả cho thấy, việc sử dụng cốt sợi phân tán giúp tăng cường độ chịu uốn và giảm co ngót của bê tông nhẹ. Các hạt vi cầu rỗng được chọn làm nguyên liệu chính vì tính nhẹ và cách nhiệt tốt, giúp nâng cao tính chất cách âm và cách nhiệt của bê tông. Nghiên cứu này đề xuất một hướng tiếp cận mới trong việc tối ưu hóa thành phần của bê tông nhẹ cường độ cao, nhằm đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật và môi trường trong xây dựng.

KEYWORDS

Fiber
High-strength lightweight concrete
Cenosphere
Compressive strength
Shrinkage

ABSTRACT

This paper presents experimental results using reinforced fibers to improve the mechanical properties of high-strength lightweight concrete made from hollow spherical particles called cenospheres. Experiments were conducted to evaluate the effectiveness of incorporating various types of fibers into lightweight concrete. The results demonstrated that the use of reinforcing fibers increased the flexural strength and reduced the shrinkage of lightweight concrete. Cenospheres were chosen as the main material due to their lightweight and excellent thermal insulation properties, which enhance the acoustic and thermal insulation properties of concrete. This study proposes a novel method for optimizing the mix composition of high-strength lightweight concrete, addressing both technical and environmental requirements.

1. Giới thiệu

Bê tông nhẹ (BTN) có thể định nghĩa theo cấu tạo là loại bê tông được chế tạo bằng cách sử dụng cốt liệu nhẹ, nhờ các kết cấu đặc biệt với các lỗ rỗng chứa khí trong thể tích bên trong mà bê tông nhẹ có trọng lượng nhẹ hơn so với bê tông thường. Theo tiêu chuẩn TCVN 9029:2017 [1], bê tông nhẹ được định nghĩa là loại bê tông có khối lượng thể tích khô (KLTT) nhỏ hơn 1800 kg/m³, trong khi đó theo tiêu chuẩn theo ACI 213R-14 [2] quy định bê tông nhẹ kết cấu là loại bê tông cốt liệu nhẹ có KLTT trong khoảng 1440–1920 kg/m³, cường độ nén ở tuổi 28 ngày lớn hơn 17,2 MPa. Bê tông nhẹ cường độ cao (HSLWC) thường sử dụng chất kết dính là xi măng pooc lăng, kết hợp với phụ gia khoáng như tro bay, xỉ lò cao nghiền mịn, silica fume,... và cốt liệu là hỗn hợp của cốt liệu nhỏ tự nhiên và cốt liệu nhẹ hay toàn bộ cốt liệu nhẹ từ đất sét, đá phiến sét nung phòng nờ, kết hợp cùng với phụ gia giảm nước tầm trung hoặc tầm cao. Hiện nay, một số loại HSLWC có thể đạt cường độ chịu nén trên 50 MPa, nhưng phổ biến hơn cả là loại HSLWC trên 40 MPa, với KLTT thường trong khoảng

(1440–1920) kg/m³ [2]. Các kết quả nghiên cứu về bê tông nhẹ cường độ cao có khả năng chế tạo cấu kiện chịu lực chủ yếu đạt được với KLTT lớn hơn 1800 kg/m³, khi KLTT của hỗn hợp bê tông giảm xuống thì cường độ chịu nén của bê tông thường đạt nhỏ hơn 30 MPa [3, 4].

Bê tông nhẹ sử dụng cenospheres (Fly ash Cenospheres Lightweight Concrete - FACLWC) là loại bê tông nhẹ sử dụng hệ chất kết dính xi măng và hạt vi cầu rỗng từ tro bay (FAC) có KLTT nhẹ hơn bê tông thông thường. Loại bê tông này đã được nghiên cứu và ứng dụng từ sớm, đến cuối thế kỷ 19 và đầu thế kỷ 20 đã có nhiều nghiên cứu và ứng dụng loại bê tông này [5-7]. Khi đưa các hạt FAC vào bê tông sẽ làm giảm KLTT của bê tông. Tùy thuộc vào hàm lượng FAC sử dụng trong bê tông mà bê tông chứa FAC có KLTT từ (760–2000) kg/m³. Bê tông nhẹ cường độ cao sử dụng hạt vi cầu từ tro bay (FAC-HSLWC) thường sử dụng hàm lượng xi măng lớn, bộ khung cốt liệu không đặc chắc như bê tông thông thường dẫn đến bê tông có tính giòn và biến dạng lớn hơn bê tông thông thường, đặc biệt khi chịu tác động của tải trọng. Ngoài ra, với hàm lượng xi măng cao và tỷ lệ N/X thấp sẽ làm tăng biến dạng co ngót trong bê tông, điều này sẽ ảnh hưởng rất lớn đến các tính chất của bê tông đặc biệt bê tông

*Liên hệ tác giả: tuannv@huce.edu.vn

Nhận ngày 28/04/2024, sửa xong ngày 20/05/2024, chấp nhận đăng ngày 24/05/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2024.690>

đã rắn chắc. Để cải thiện tính giòn cũng như cường độ uốn, giảm co ngót cho bê tông, một trong những giải pháp được sử dụng hiệu quả đó là bổ sung thêm các loại cốt sợi phân tán vào trong bê tông như sợi thép, sợi polypropylene (PP), sợi polyvinyl alcohol (PVA)... [8]. Các cốt sợi này có tác dụng làm phân tán tốt các hạt cenospheres trong hỗn hợp bê tông (có đặc tính nhẹ hơn so với hồ xi măng do vậy dễ phân tầng trong hỗn hợp). Việc kết hợp cốt sợi trong bê tông giúp cải thiện tính dẻo dai, tăng khả năng chống nứt (do chúng tạo ra các lực kết nối giữa các vết nứt và do đó ngăn chúng phát triển), tăng khả năng chịu va đập. Vai trò của sợi trong bê tông được thể hiện rõ khi bê tông bị nứt toàn bộ ứng suất truyền qua sợi thông qua lực bám dính giữa sợi và bê tông, từ đó sẽ góp phần làm giảm bề rộng của vết nứt đơn, và hình thành đa nứt với chiều rộng nứt nhỏ hơn nhiều. Như vậy, cốt sợi sử dụng trong bê tông sẽ đóng vai trò là cầu nối, giúp ổn định cấu trúc trong bê tông, chống lại những biến dạng dưới tác động của tải trọng từ đó cải thiện cường độ uốn của bê tông. Mặc dù rất nhiều đặc tính ưu việt trên, nhưng việc nghiên cứu sử dụng cốt sợi phân tán cho hệ bê tông FAC-HSLWC hiện nay vẫn còn hạn chế trên thế giới và đặc biệt tại Việt Nam. Do vậy, bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu sử dụng cốt sợi phân tán để nâng cao cường độ chịu uốn và giảm co ngót của bê tông nhẹ cường độ cao từ hạt cầu rỗng cenospheres. Cốt sợi PVA, PP khi thêm vào bê tông FAC-HSLWC với hàm lượng từ 0 đến 1% theo thể tích hỗn hợp bê tông (HHBT) sẽ ngăn ngừa sự hình thành vết nứt, tăng cường độ uốn và giảm co ngót khô. Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc bổ sung cốt sợi đã làm giảm đáng kể độ co ngót

khô và cải thiện cường độ uốn của bê tông FAC-HSLWC. Việc giảm đáng kể độ co ngót khô và cải thiện cường độ uốn trên có ý nghĩa lớn trong việc làm tăng tuổi thọ cho kết cấu sử dụng loại vật liệu này.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu sử dụng

Trong nghiên cứu, chất kết dính gồm xi măng poóc lăng PC50 (XM) của Công ty xi măng Nghi Sơn. Silica fume (SF) dạng hạt rời của hãng Elkem, SF có kích thước hạt trung bình khoảng 0,10 μm . Cốt liệu gồm cát mịn có cỡ hạt D_{max} là 1,25 mm, các tính chất của cát đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 7570:2006. Cenospheres (FAC) từ Công ty cổ phần Sông Đà Cao Cường với khối lượng riêng đạt 0,768 g/cm^3 , khối lượng thể tích xấp xỉ đạt 430 kg/m^3 với kích thước hạt trung bình khoảng 120 μm . Phụ gia siêu dẻo (PGSD) gốc polycarboxylate Viscocrete 3000-20M của hãng Sika - loại F được sử dụng để điều chỉnh tính công tác của hỗn hợp bê tông. Cốt sợi sử dụng trong nghiên cứu gồm hai loại, sợi polypropylene (PP) và sợi polyvinyl alcohol (PVA), đây đều là loại đa sợi, chiều dài sợi từ 12–18 mm, đường kính sợi từ 15-20 μm , có cường độ chịu kéo lần lượt là 450, 1790 MPa và mô đun đàn hồi lần lượt là 3,5 GPa và 37 GPa (Hình 1). Các tính chất cơ lý của xi măng được trình bày trong Bảng 1. Thành phần hóa của vật liệu được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của xi măng.

STT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị	Kết quả
1	Khối lượng riêng	g/cm^3	3,10
2	Độ mịn, theo phương pháp Blaine	cm^2/g	3850
3	Lượng nước tiêu chuẩn	%	29,0
4	Thời gian đông kết	Phút	
	Bắt đầu		120
	Kết thúc		170
5	Cường độ nén	MPa	
	3 ngày		37,8
	28 ngày		56,3

Bảng 2. Thành phần hóa của vật liệu sử dụng trong nghiên cứu.

Vật liệu	Thành phần hóa (%)									
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	TiO_2	MKN
XM	0,00	1,61	5,22	19,4	2,25	63,5	3,40	0,91	0,45	1,23
SF	-	-	-	91,8	-	-	-	-	-	-
FAC	0,58	1,81	26,61	60,2	0,00	0,28	2,79	5,91	0,28	0,43



(a) Sợi PP



(b) Sợi PVA

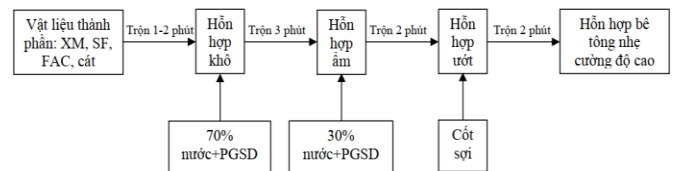
Hình 1. Hình ảnh sợi sử dụng trong nghiên cứu.

2.2. Các phương pháp sử dụng trong nghiên cứu

Để nghiên cứu xác định các tính chất vật liệu, tính chất hỗn hợp bê tông (HHBT) và bê tông đóng rắn dễ tái sử dụng tiến hành nghiên cứu theo các phương pháp như sau:

Độ chảy của hỗn hợp bê tông được thực hiện với côn nhỏ trên cơ sở tiêu chuẩn TCVN 3121-3:2022; Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông được xác định theo TCVN 3121-6:2022; cường độ uốn của bê tông được xác định trên cơ sở TCVN 3121-11:2022, trên mẫu có kích thước 40×40×160 (mm); cường độ nén của bê tông được xác định trên cơ sở TCVN 3121-11:2022, trên mẫu kích thước 40×40×160 (mm) với diện tích chịu nén là 1600 mm². Biến dạng co ngót của mẫu được thực hiện trên cơ sở TCVN 8824:2011, xác định trên mẫu kích thước 25×25×285 (mm). Ngay sau khi tạo hình xong, khuôn và mẫu được chuyển vào tủ khí hậu để bảo dưỡng trong khoảng thời gian 24h±30 phút. Sau đó tháo mẫu ra khỏi khuôn để đo thời điểm ban đầu. Mẫu tiếp tục được đặt trong tủ khí hậu ở điều kiện 27±2°C và độ ẩm 50±4% cho các lần đo tiếp theo.

Quy trình chế tạo mẫu: Máy trộn sử dụng trong nghiên cứu là máy trộn hành tinh loại 5 lít, quá trình trộn mẫu được thực hiện theo sơ đồ tại Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ quy trình trộn hỗn hợp FAC-HSLWC.

2.3. Cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu

Để tiến hành thí nghiệm, đánh giá ảnh hưởng của cốt sợi phân tán đến tính chất cơ lý và co ngót khô của bê tông nhẹ cường độ cao từ hạt cầu rỗng cenospheres dễ tái sử dụng khảo sát trên 2 loại sợi với tỷ lệ sử dụng từ (0-1)% theo thể tích HHBT; tỷ lệ nước và chất kết dính (N/CKD) là 0,3 tính theo khối lượng; các tỷ lệ chất kết dính và cốt liệu (CKD/CL); cát và cốt liệu (C/CL) và cenosphere và cốt liệu (FAC/CL) được tính theo thể tích, trong đó tỷ lệ CKD/CL là 0,67 và tỷ lệ C/CL là 0,35 [9]. Trên cơ sở đó đề tài nghiên cứu đã tiến hành tính toán thành phần cấp phối dựa trên nguyên tắc thể tích tuyệt đối với mục tiêu đạt ra là chế tạo ra loại bê tông có độ chảy xèo từ (180–200) mm, KLTT của hỗn hợp bê tông trong khoảng từ (1600–1800) kg/m³, cường độ nén lớn hơn 35 MPa và cường độ uốn lớn hơn 5 MPa. Tỷ lệ cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu được trình bày trong Bảng 3.

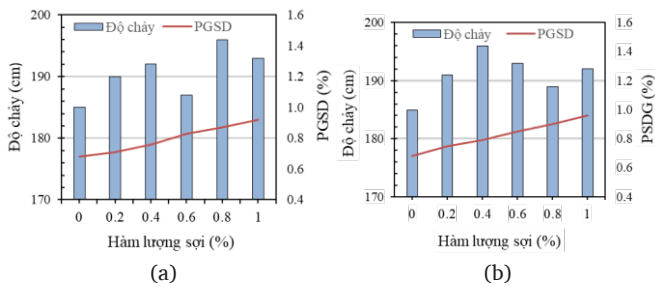
Bảng 3. Tỷ lệ thành phần cấp phối bê tông.

Cấp phối	Sợi (% theo khối lượng)	N/CKD (theo khối lượng)	CKD/CL (theo thể tích)	FAC/CL (theo thể tích)	C/CL (theo thể tích)	CKD (kg/m ³)
M0	0,0	0,3	0,67	0,65	0,35	839
PP1	0,2	0,3	0,67	0,64	0,36	837
PP2	0,4	0,3	0,67	0,64	0,36	835
PP3	0,6	0,3	0,67	0,63	0,36	832
PP4	0,8	0,3	0,67	0,63	0,37	830
PP5	1,0	0,3	0,67	0,62	0,38	828
PVA1	0,2	0,3	0,67	0,64	0,36	837
PVA2	0,4	0,3	0,67	0,64	0,36	835
PVA3	0,6	0,3	0,67	0,63	0,37	832
PVA4	0,8	0,3	0,67	0,63	0,37	830
PVA5	1,0	0,3	0,67	0,62	0,38	828

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến tính công tác của hỗn hợp bê tông

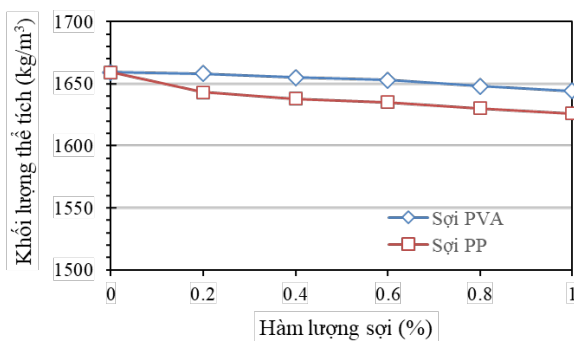
Ảnh hưởng của loại sợi và hàm lượng sợi đến tính công tác của hỗn hợp bê tông được thể hiện trên Hình 3. Kết quả thí nghiệm có thể thấy rằng, với tỷ lệ N/CKD=0,3 để duy trì cùng độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông trong khoảng từ (180–200) mm, khi tăng hàm lượng sợi thì PGSD cũng phải tăng, mức độ tăng từ (0,03–0,05) % tính theo khối lượng CKD ứng với mỗi 0,2 % tỷ lệ sợi tăng thêm. Ngoài ra, khi so sánh giữa hai loại sợi ở cùng tỷ lệ sử dụng, thì lượng dùng PGSD thực tế đối với nhóm sợi PVA có xu hướng cao hơn so với sợi PP từ (0,02–0,04) %.



Hình 3. Tính công tác của HHTT FAC-HSLWC sử dụng sợi PP (a) và sợi PVA (b).

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến KLTT của hỗn hợp bê tông

KLTT của HHTT sử dụng cốt sợi tỷ lệ khác nhau thể hiện trong Hình 4 cho thấy, KLTT của HHTT giảm khi sử dụng sợi PP và PVA với hàm lượng sử dụng từ (0–1) %, tuy nhiên mức giảm không đáng kể. Cụ thể, với mẫu đối chứng, hàm lượng sợi là 0 % có KLTT đạt là 1660 kg/m³, khi tăng hàm lượng sợi PP từ (0–1) % thì KLTT của bê tông có xu hướng giảm, tương ứng là 1643 kg/m³, 1638 kg/m³, 1635 kg/m³, 1630 kg/m³, 1626 kg/m³, tương ứng với mức giảm là 0,96, 1,27, 1,45, 1,75, 1,99 %. Trong khi đó, đối với sợi PVA khi tăng hàm lượng sợi từ (0–1) % thì KLTT giảm tương ứng 1658 kg/m³, 1655 kg/m³, 1652 kg/m³, 1648 kg/m³ và 1644 kg/m³, tương ứng với mức giảm 0,06, 0,24, 0,42, 0,66, 0,90 %. Như vậy, về xu hướng thì khi tăng hàm lượng sợi PP và PVA thì KLTT của hỗn hợp bê tông giảm, tuy nhiên mức độ giảm KLTT không đáng kể và có thể được coi là nằm trong khoảng sai số của phép đo.

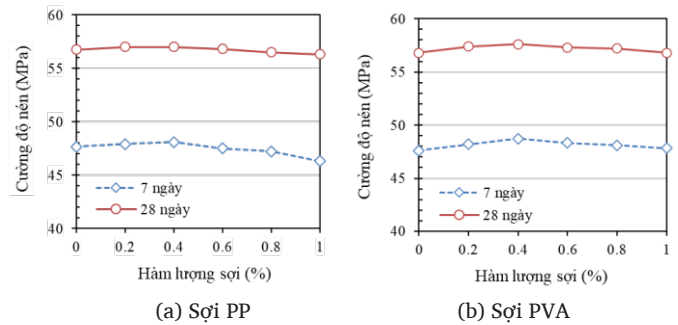


Hình 4. Ảnh hưởng của sợi đến KLTT của HHTT.

3.3. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến cường độ nén của bê tông

Kết quả thí nghiệm ảnh hưởng của loại và hàm lượng sợi đến cường độ nén của bê tông được thể hiện trong Hình 5. Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi sử dụng sợi PP, cường độ nén của bê tông có sự thay đổi, cường độ nén có xu hướng tăng nhẹ ở hàm lượng (0,2–0,4) % nhưng khi sợi tăng lên 0,6 đến 1 % thì cường độ giảm nhẹ trong khoảng (1–3) %, Tuy nhiên, mức thay đổi này được đánh giá là không đáng kể (nằm trong sai số phép đo). Ngoài ra, khi so sánh về sự phát triển cường độ, ở tuổi 7 ngày cường độ có xu hướng phát triển tương đối tốt, đạt khoảng từ (80–85) % so với tuổi 28 ngày.

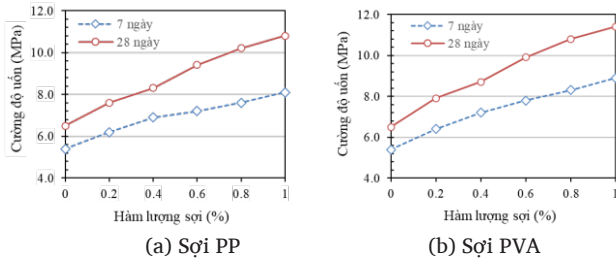
Đối với sợi PVA thì cường độ nén sử dụng loại sợi này cao hơn so với sợi PP, cường độ nén tăng hoặc tương đương với mẫu đối chứng khi sử dụng đến 1 % hàm lượng sợi. Nguyên nhân của hiện tượng này là do khi bổ sung sợi, nó sẽ tăng sự liên kết của thành phần trong cấu trúc với nhau từ đó giúp cải thiện được cường độ nén ở tỷ lệ sử dụng hợp lý.



Hình 5. Ảnh hưởng của sợi đến cường độ nén của bê tông FAC-HSLWC.

3.4. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến cường độ uốn của bê tông

Ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến cường độ uốn của bê tông được thể hiện trên Hình 6. Qua quá trình thí nghiệm, phân tích số liệu có thể thấy rằng, khi sử dụng cốt sợi, cường độ uốn của bê tông có xu hướng tăng, mức độ tăng cường độ uốn tỷ lệ thuận với hàm lượng sử dụng sợi từ (0–1) %. Cụ thể, khi sử dụng sợi PP có cường độ uốn tăng từ (6,2–8,1) MPa, tương ứng mức độ tăng so với mẫu đối chứng từ (14,8–50) % so với mẫu đối chứng (0 % sợi) ở tuổi 7 ngày và cường độ uốn tăng từ (7,6–10,8) MPa, với mức độ tăng từ (16,9–66) % so với mẫu đối chứng ở tuổi 28 ngày. Khi so sánh sự phát triển cường độ, mẫu ở tuổi 7 ngày có cường độ bằng (75–83) % ở tuổi 28 ngày, tốc độ phát triển cường độ tương tự như mẫu bê tông thông thường. Khi sử dụng sợi PVA có cường độ uốn tăng từ (6,4–8,9) MPa, tương ứng mức độ tăng so với mẫu đối chứng từ (18,5–64,8) % ở tuổi 7 ngày và cường độ uốn tăng từ (7,9–11,4) MPa, với mức độ tăng từ (21,5–75,4) % so với mẫu đối chứng ở tuổi 28 ngày.

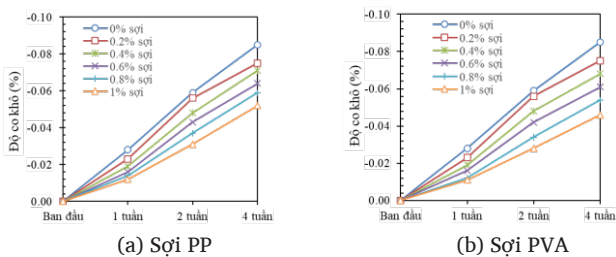


Hình 6. Ảnh hưởng của sợi đến cường độ uốn của bê tông FAC-HSLWC.

Từ các kết quả so sánh trên của hai loại sợi có thể thấy, sợi PVA cho kết quả cường độ uốn cao hơn sợi PP, với mức độ tăng từ (3,95–5,56) %. Kết quả này cũng tương đồng với kết quả nghiên cứu của tác giả Walderma Pichór [10] cho rằng cường độ uốn của mẫu chứa sợi PVA lớn hơn mẫu chứa sợi PP. Điều này được giải thích là do sợi PVA vốn có đặc tính độ bền kéo cao hơn sợi PP. Với đặc tính này đã cho thấy sự cải thiện đáng kể nhược điểm về cường độ uốn và tính giòn đối với loại bê tông này. Việc cải thiện cường độ uốn của bê tông khi sử dụng cốt sợi có thể thấy, cốt sợi đã thể hiện vai trò làm vật liệu liên kết trong vật liệu nền đá xi măng, phân bố tải trọng trong bê tông và bắc cầu qua vết nứt vì vậy sẽ cải thiện rất lớn các tính chất cơ học và ngăn ngừa được sự mở rộng vết nứt trong FAC-HSLWC, dưới tác dụng của tải trọng, quá trình phá hủy của mẫu sẽ diễn ra chậm hơn và kéo dài hơn qua đó cải thiện rõ ràng tính dẻo và cường độ uốn cho bê tông.

3.5. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến biến dạng co ngót của bê tông

Kết quả thí nghiệm về biến dạng co ngót của bê tông khi sử dụng hàm lượng sợi khác nhau được thể hiện trên Hình 7. Từ kết quả thí nghiệm có thể thấy rằng, khi sử dụng sợi độ co ngót khô của loại bê tông này có xu hướng giảm dần, mức độ giảm từ (7,06–60,71) % so với mẫu đối chứng tùy vào tuổi thí nghiệm, loại và hàm lượng sợi sử dụng. Với các nhóm cấp phối có hàm lượng đến 1 % sợi PP, PVA (theo thể tích HHTT) đã cho thấy hiệu quả của sử dụng sợi trong việc giảm co ngót khô của bê tông FAC-HSLWC. So với mẫu đối chứng (0% sợi) thì biến dạng co ngót của bê tông sau 28 ngày giảm tới 7,06 % khi sử dụng 0,2 % sợi PP và khi tăng hàm lượng sợi PP lên đến 0,4 %, 0,6 %, 0,8 % và 1 % thì biến dạng co ngót của bê tông giảm tương ứng là 16,47 %, 24,71 %, 30,59 % và 38,82 %. Tương tự như vậy, khi tăng hàm lượng sợi PVA từ (0–1) % thì biến dạng co ngót của bê tông giảm tương ứng là 11,76 %, 20,00 %, 28,24 %, 36,47 % và 48,88 %.



Hình 7. Ảnh hưởng của sợi đến cường độ uốn của bê tông FAC-HSLWC.

Có thể thấy rằng, độ co ngót khô của bê tông FAC-HSLWC lớn hơn so với bê tông thông thường (với cốt liệu gồm cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ) thường được ghi nhận trong khoảng (200–800) μm ($N/XM = 0,4$) trong các nghiên cứu công bố [11]. Biến dạng co ngót của bê tông FAC-HSLWC giảm khi sử dụng cốt sợi phân tán có thể giải thích do các hạt FAC trong bê tông không chỉ đóng vai trò là vi cốt liệu [9], mà tương tự như các hạt tro bay, trong môi trường thủy hóa của xi măng sinh ra $\text{Ca}(\text{OH})_2$, khi đó phản ứng pozzolanic giữa các hạt FAC và CH sinh ra các khoáng C-S-H làm tăng độ đặc chắc của đá bê tông. Hiện tượng này đã được chỉ ra nhờ phân tích vi cấu trúc đá chất kết dính [12]. Bên cạnh đó, các hạt FAC cũng có khả năng hút một lượng nước nhất định vào bên trong, do vậy chúng có vai trò như các nguồn giữ ẩm phân bố đều trong cấu trúc bê tông, làm duy trì độ ẩm cho bê tông. Điều này góp phần làm giảm co ngót của bê tông. Bên cạnh đó, hiệu quả giảm co ngót khô của bê tông cũng được tác giả Kok-Seng [13] khi nghiên cứu trên cốt sợi phân tán chỉ ra rằng cơ chế của hiện tượng này là do khi sử dụng sợi có vai trò neo giữ, cố định cấu trúc trong bê tông, chống lại những biến dạng do quá trình co ngót tạo ra từ đó cải thiện độ co ngót khô của bê tông.

4. Kết luận

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu đạt được, một số kết luận có thể rút ra như sau:

- Từ những loại vật liệu thông thường có sẵn trong nước, hoàn toàn có thể sử dụng cốt sợi phân tán để chế tạo được bê tông FAC-HSLWC với các tính chất cơ lý như: KLTT của bê tông trong khoảng từ (1600–1800) kg/m^3 , cường độ nén từ (56,1–57,6) MPa, cường độ uốn (7,6–11,4) MPa.

- Với cùng một cấp phối thí nghiệm, bê tông sử dụng cốt sợi PVA có cường độ nén và cường độ uốn tốt hơn so với sợi PP. Đặc biệt khi có mặt của hai loại sợi này trong bê tông FAC-HSLWC làm tăng cường độ chịu uốn của bê tông ở tất cả các ngày tuổi so với mẫu bê tông đối chứng (0 % sợi). Khi hàm lượng sợi sử dụng từ (0,2–1) %, với sợi PP sẽ cho mức độ tăng cường độ uốn từ (16,9–66) %, đối với sợi PVA mức tăng cường độ tương ứng (21,5–75,4) % so với mẫu đối chứng.

- Cốt sợi phân tán (PP và PVA) khi sử dụng trong bê tông sẽ hạn chế sự hình thành vết nứt, giảm co ngót. Việc bổ sung cốt sợi đã làm giảm đáng kể co ngót của bê tông FAC-HSLWC, khi hàm lượng sợi sử dụng từ 0,2–1,0 % biến dạng co ngót của bê tông giảm từ (7,06–60,71) % so với mẫu đối chứng.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ tài chính bởi Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (Mã số 03.2024-NNCM-DHXDHN) cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1]. TCVN9029:2017, *Bê tông nhẹ - Sản phẩm bê tông bọt và bê tông khí không chưng áp - Yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công Nghệ.
- [2]. 213-R14, A., *Guide for Structural Lightweight - Aggregate Concrete*. Reported by ACI Committee 213. American Concrete Institute. ISBN: 978-0-87031-897-9, 2014.
- [3]. Alduaij, J., et al., *Lightweight concrete in hot coastal areas*. Cement and Concrete Composites, 1999. **21**(5-6): p. 453-458.
- [4]. Inozemtcev, A.S. and E.V. Korolev, *Technical and Economical Efficiency for Application of Nanomodified High-Strength Lightweight Concretes*. Advanced Materials Research, 2014. **1040**: p. 176-182.
- [5]. Blanco, F., et al., *Characteristics and properties of lightweight concrete manufactured with cenospheres*. Cement and Concrete Research, 2000. **30**(2000): p. 1715 - 1722.
- [6]. Losiewicz, M., et al., *An investigation into the properties of micro-sphere insulating concrete*. Construction and Building Materials, 1996. **10**(8): p. 583-588.
- [7]. Montgomery, D. and S. Diamond, *The influence of fly ash cenospheres on the details of cracking in flyash-bearing cement pastes*. Cement and Concrete Research, 1984. **14**(6): p. 767-775.
- [8]. Hashim, A.M., et al., *Mechanical Properties of Lightweight Concrete Made with Shredded Waste Polypropylene Yogurt Containers*. 3rd International Conference on Recent Innovations in Engineering (ICRIE 2020). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 978 (2020) 012022, 2020.
- [9]. Hùng, L.V., *Nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ cường độ cao sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay (cenospheres)*. Luận án Tiến sỹ Kỹ thuật vật liệu, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Hà Nội, 2023.
- [10]. Pichór, W., *Properties of fiber Reinforced Cement composite with Cenospheres from Coal ash*. Brittle Matrix Composites, 2009. **9**: p. 245-254.
- [11]. Neville, A.M., *Properties of concrete (fourth edition)*. A.M. Neville. Longman Scientific & Technical Ltd. 1995. ISBN 0-582-23070-5. Cement and Concrete Research, Vol.26, Issue 28, pages 1290., 1995.
- [12]. Asad, H., L. Zeyu, and L. Zongjin, *Utilization of fly ash cenospheres as lightweight filler in cement-based composites - A review*. Construction and Building Materials, 2017. **14**: p. 373-384.
- [13]. Kok-Seng, C., *Experimental study on creep and shrinkage of high-performance ultra lightweight cement composite of 60 MPa*. Structural Engineering and Mechanics, 2014. **50**(5): p. 635-652.