

Thí nghiệm đánh giá các đặc điểm cơ học của bê tông siêu tính năng UHPC và UHPFRC với việc sử dụng một số cốt liệu ở Việt Nam

Experimental evaluation of some mechanical properties of UHPC and UHPFRC employing aggregates in Vietnam

Lê Hoàng An

Nhóm nghiên cứu Phát triển bền vững trong Xây dựng và Giao thông vận tải (SDCT), Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Email liên hệ: hoangan.le@ut.edu.vn

Tóm tắt:

Bài báo này trình bày kết quả thí nghiệm của một số đặc điểm cơ học thuộc bê tông siêu tính năng UHPC (Ultra high performance concrete) và UHPFRC (Ultra high performance fiber reinforced concrete) sử dụng các cốt liệu ở Việt Nam. Các thí nghiệm xác định cường độ chịu nén, mô đun đàn hồi tương ứng và cường độ ép chẻ được thực hiện trên mẫu hình trụ tròn 100 x 200 mm và cường độ chịu uốn ba điểm được thực hiện trên mẫu dầm 150 x 150 x 700 mm. Kết quả thí nghiệm cho thấy tăng hàm lượng sợi thép sẽ làm tăng đáng kể các giá trị cường độ nén, ép chẻ và chịu uốn, tuy nhiên không ảnh hưởng nhiều đến mô đun đàn hồi. Sợi thép có tác dụng hạn chế phá hoại giòn của mẫu và chuyển thành phá hoại dẻo. Hàm lượng sợi thép 2% cho các giá trị cường độ tăng nhiều nhất và mẫu phá hoại dẻo nhất. Ngoài ra bài báo còn so sánh các giá trị cường độ đạt được từ thí nghiệm trong nghiên cứu này với những kết quả thí nghiệm trong các nghiên cứu trước và các giá trị cường độ được quy định trong các tiêu chuẩn trên thế giới.

Từ khóa: UHPC; UHPFRC; Sợi thép; Cường độ; Đặc điểm cơ học.

Abstract:

This paper is aimed at presenting the test results of some mechanical properties of UHPC (Ultra high performance concrete) and UHPFRC (Ultra high performance fiber reinforced concrete) with employing aggregates in Vietnam. The tests to determine compressive strength, elastic modulus and splitting strength were conducted using the cylinders of 100 x 200 mm, while three-point flexural tests to determine flexural strength were conducted using the prisms of 150 x 150 x 700 mm. The test results indicated that higher volume of steel fibers lead to a significant increase in mechanical strengths, however there is no effect in elastic modulus. The addition of steel fibers mitigates the brittle failure and increases the ability of ductile failure. The steel fiber volume of 2% gave the most significant increase in the strength and ductile failure. Furthermore, the comparison between the mechanical properties obtained from the current test and those obtained from the previous tests and international guidelines was conducted to evaluate the reliability of the test results.

Keywords: UHPC; UHPFRC; Steel fibers; Strength; Mechanical properties.

1. Giới thiệu

Bê tông siêu tính năng UHPC (Ultra-high performance concrete) là loại vật liệu composite gốc xi măng thế hệ mới, dựa trên nguyên tắc tối ưu

hóa vật liệu, giảm tỉ lệ nước/xi măng (N/XM) và sử dụng phụ gia siêu dẻo để hạn chế các lỗ rỗng trong vi cấu trúc của bê tông sau khi đông cứng và có độ chặt khít lớn nhất [1]. Theo nhiều nghiên cứu trước đây, UHPC có cường độ chịu nén của mẫu hình trụ

tròn tối thiểu là 120 MPa và cường độ chịu kéo trực tiếp khi bắt đầu xuất hiện vết nứt tối thiểu là 5 MPa [1], [2]. UHPC có cường độ và độ bền vượt trội hơn rất nhiều so với các loại bê tông truyền thống. Việc sử dụng cốt sợi gia cường là một trong những đặc điểm quan trọng của bê tông siêu tính năng (Ultra high performance fiber reinforced concrete – UHPFRC). Cốt sợi có tác dụng hạn chế sự hình thành và lan truyền vết nứt bê tông dưới tác dụng của ứng suất kéo [2]. Do đó, UHPFRC có khả năng chịu kéo và độ dẻo dai rất cao. Tùy theo loại sợi, hàm lượng, đường kính, chiều dài, bề mặt, cấu tạo hình học và sự phân tán của sợi, dẫn đến cường độ cơ học của UHPFRC có sự thay đổi khác nhau [1-4]. Chính vì vậy, UHPC và UHPFRC mang lại nhiều ưu điểm khi áp dụng vào các kết cấu xây dựng như: Giảm tiết diện, giảm hàm lượng thép chủ, tăng khả năng chịu lực, tăng cường độ bền dưới tác động của các yếu tố môi trường và theo thời gian, tính thẩm mỹ cao và phù hợp với cấu kiện bê tông đúc sẵn. Hiện nay, ở Việt Nam, sau thành công của việc ứng dụng UHPFRC trong gia cường kết cấu bản mặt cầu thép liên hợp bê tông của cầu Thăng Long và chế tạo các dầm cầu giao thông nông thôn, bê tông siêu tính năng đã thu hút được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học. Do đây là loại vật liệu mới nên các nghiên cứu về UHPC và UHPFRC ở Việt Nam vẫn còn nhiều hạn chế, chưa chuyên sâu và các áp dụng chưa có tính đại trà. Trên cơ sở tổng quan các vấn đề về UHPC và UHPFRC, bài báo này trình bày một đánh giá thực nghiệm cường độ chịu nén, mô đun đàn hồi, cường độ ép chẻ và cường độ chịu uốn của loại bê tông này với việc sử dụng một số cốt liệu ở Việt Nam và hàm lượng sợi thép khác nhau. Bài báo cũng trình bày về việc lựa chọn cấp phối, quy trình trộn bê tông siêu tính năng, phương pháp thí nghiệm. Bên cạnh việc phân tích các kết quả thí nghiệm, bài báo đánh giá so sánh các kết quả thí nghiệm với các nghiên cứu trước và các tiêu chuẩn của thế giới.

2. Thí nghiệm

2.1. Lựa chọn cấp phối

Dựa trên các nghiên cứu tương tự trước đây cho bê tông UHPC [1]-[6], hành phần vật liệu cơ bản của UHPC gồm xi măng (XM), silicafume, cát nghiền, cát sạch hạt mịn, phụ gia siêu dẻo, nước sạch (N), cốt sợi gồm sợi thép hoặc sợi tổng hợp. Ngoài ra, có thể sử dụng các phụ gia khoáng thay thế một phần xi măng như: Tro trấu, tro bay, xỉ lò cao. Có thể thấy, nguyên tắc chung cơ bản của cấp phối bê tông siêu tính năng đã nghiên cứu ở Việt Nam đó chính là tỉ lệ nước trên chất kết dính (N/CKD) (CKD gồm xi măng và silicafume) từ 0.15 đến 0.17 và tỉ lệ N/XM thấp từ 0.2 đến 0.27. Hàm lượng phụ gia siêu dẻo/xi măng khoảng 2 – 3%. Với việc sử dụng tỉ lệ N/CKD thấp và phụ gia siêu dẻo cũng như tối ưu hóa kích thước của các thành phần hạt cốt liệu, cường độ chịu nén của các cấp phối thử nghiệm ở Việt Nam đạt được trung bình từ 120 đến 150 MPa [3]-[6]. Cường độ kéo uốn trong cấp phối của nhóm nghiên cứu Trần Bá Việt [3], UHPC không có sợi thép là 10 MPa, UHPC dùng sợi thép 3% lên đến 25 MPa. Bảng 1 mô tả thành phần cấp phối UHPC và UHPFRC được thiết kế để đạt cường độ nén trung bình 120 MPa trong nghiên cứu này. Cấp phối sử dụng ở bảng 1 có hàm lượng xi măng khá cao trung bình 1000 kg/m³, tỉ lệ N/CKD là 0.2 cao hơn so với các cấp phối tham khảo ở Việt Nam để tạo ra hỗn hợp bê tông dẻo hơn so với các cấp phối tham khảo để dễ dàng cho việc rót vào khuôn, không cần tác động đầm rung. Ngoài ra, hàm lượng phụ gia siêu dẻo sử dụng với tỉ lệ so với lượng xi măng là 3% cao hơn so với các cấp phối tham khảo nhằm làm cho hỗn hợp bê tươi UHPC có tính linh động – tính chảy cao để rót. Hàm lượng silicafume so với xi măng là 25%, tỉ lệ này được sử dụng trong các cấp phối của các nghiên cứu trước. Hình 1 mô tả các loại vật liệu cơ bản dùng để trộn UHPC trong đề tài này dựa trên hiệu chỉnh cấp phối của nhóm nghiên cứu Trần Bá Việt [3].

Bảng 1. Cấp phối UHPC và UHPFRC.

Vật liệu	UHPC	UHPFRC 1 % sợi thép	UHPFRC 2% sợi thép
Xi măng loại PCB50 [kg/m ³]	1000	967.90	966.85

Vật liệu	UHPC	UHPFRC 1 % sợi thép	UHPFRC 2% sợi thép
Silicafume [kg/m ³]	250	242.00	242.00
Cát hạt mịn [kg/m ³]	665	643.70	642.95
Cát nghiền [kg/m ³]	250	242.00	242.00
Phụ gia siêu dẻo ADVA [lít/m ³]	30	29.05	29.00
Nước [kg/m ³]	250	242.00	242.00
Sợi thép [kg/m ³]	-	78.50	157.00

Xi măng loại PCB50 (Fico Tây Ninh): Do yêu cầu của UHPC thông thường mác của xi măng nén sau 28 ngày phải được 52.5 MPa. Xi măng PCB50 được sản xuất bởi công ty xi măng Fico Tây Ninh một trong những đơn vị uy tín của lĩnh vực xi măng. Loại này có cường độ chịu nén 03 ngày là 32.1 Mpa và 28 ngày là 53.2 MPa rất phù hợp với việc chế tạo UHPC.

Silicafume: Dùng loại có tên gọi SikaCrete PP-1 được cung cấp bởi Sika Việt Nam có hàm lượng silic rất cao khoảng hơn 95%.

Cát hạt mịn: Loại cát được lấy từ mỏ cát Cam Ranh đảm bảo độ sạch của cốt liệu và độ mịn của các hạt cốt liệu lớn nhất với đường kính trung bình khoảng 0.8 mm

Bột cát nghiền: Chứa hàm lượng thể tích của silic trung bình đến 99%, được chế tạo sau quá trình nghiền cát thạch anh, có đường kính trung bình của hạt cốt liệu cao nhất là 0.075 mm.

Phụ gia siêu dẻo (PGSD): Dùng loại ADVA Cast 5388V được chế tạo bởi Grace. Khi sử dụng loại phụ gia này, nước có thể giảm đến 40% trong khi các loại PGSD khác chỉ giảm nước 30-35%.

Cốt sợi: Là loại Radmix, có khả năng chống ăn mòn, có đường kính (0.2±0.008) mm, chiều dài (13±0.05) mm, giới hạn chảy là 2850 MPa, khối lượng riêng khoảng 7.85 g/cm³.

2.2. Quy trình trộn

Máy trộn dạng cánh quay cưỡng bức với thể tích tối đa 30 lít được dùng để chế tạo bê tông UHPC như

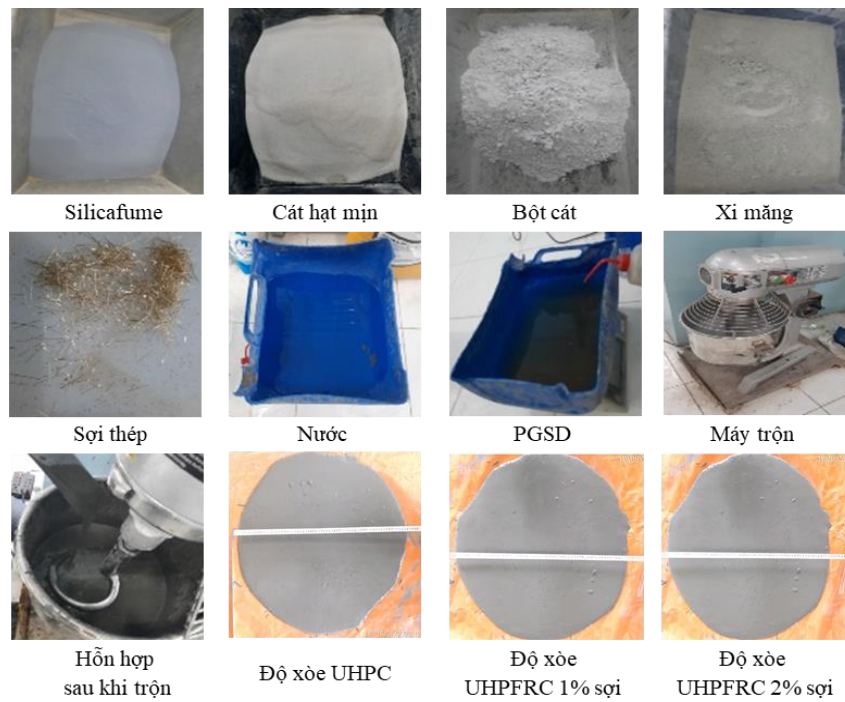
hình 1. Để tránh làm máy bị nghẽn khi trộn khối lớn, cần chia nhỏ khối trộn ra thành mỗi lần tối đa 10 lít. Một số nguyên tắc trộn UHPC cần thiết như sau:

- (i) Các hạt cốt liệu trộn lẫn đều cài đan xen nhau;
- (ii) PGSD phân bố đều trong hỗn hợp dẻo;
- (iii) Tránh hiện tượng sợi thép tạo thành những cục quệnh vào nhau cục bộ;
- (iv) Đảm bảo độ dẻo yêu cầu của UHPC với độ chảy lan lớn hơn 60 cm.

Các bước trộn hỗn hợp bê tông siêu tính năng bao gồm:

- (i) Trộn khô các loại cốt liệu với nhau với tốc độ chậm;
- (ii) Châm nước và PGSD với tỉ lệ phù hợp, trộn đến khi bắt đầu có hiện tượng vón cục và bắt đầu tốc độ trộn nhanh nhất;
- (iii) Trộn cho đến khi hỗn hợp có độ dẻo nhất định và bỏ sợi thép vào;
- (iv) Tiếp tục trộn nhanh để sợi thép phân tán đều.

Trộn cấp phối UHPC không sợi mất khoảng 16 phút trong khi UHPFRC có sợi là 22 phút. Các mẻ trộn khác nhau sẽ có sự chênh lệch thời gian nhưng không quá nhiều. UHPC chế tạo trong bài báo này có độ chảy xòe (được thử bằng côn đo độ sụt của bê tông thường) khoảng 700 mm khi không sử dụng sợi và 600 mm khi sử dụng sợi thép với hàm lượng 1% và 2%.



Hình 1. Vật liệu sử dụng và độ xòe.

2.3. Chế tạo mẫu và thí nghiệm

Các mẫu hình trụ tròn 100 x 200 mm được đúc bằng khuôn nhựa để thí nghiệm chỉ tiêu cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi. Mỗi cấp phối UHPC và UHPFRC chế tạo 03 mẫu hình trụ tròn. Các mẫu đúc sau 01 ngày được tháo khuôn và bảo dưỡng ngâm nước ít nhất 07 ngày để mang đi mài mẫu và tiếp tục ngâm nước bảo dưỡng cho đến ngày thí nghiệm. Tổng cộng có 18 mẫu hình trụ tròn 100 x

200 mm để thí nghiệm nén và ép chẻ. Các mẫu dầm 150 x 150 x 700 mm được làm bằng ván khuôn gỗ để thí nghiệm cường độ kéo uốn thông qua thí nghiệm uốn ba điểm. Ứng với hàm lượng sợi 0%, 1% và 2% chế tạo 03 mẫu dầm. Tổng cộng có 09 mẫu dầm được đúc để thí nghiệm. Tương tự như mẫu trụ, các mẫu dầm sau 01 ngày được tháo khuôn và bảo dưỡng bằng cách ngâm trong nước cho đến ngày thí nghiệm.



Hình 2. Đúc mẫu và thí nghiệm.

Đối với thí nghiệm cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi, để đảm bảo độ kín khít và bằng phẳng của tấm nén bằng thép với hai mặt tiếp xúc của mẫu cylinder, các mẫu cylinder được mài phẳng

mặt trên và mặt dưới bằng máy mài chuyên dụng theo tiêu chuẩn DIN EN 1048-5 [7]. Thí nghiệm cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi được thực hiện dựa trên tiêu chuẩn DIN EN 12390-3:2009-

07 của Đức [8], đây là tiêu chuẩn phù hợp và thường được sử dụng với bê tông UHPC ở châu Âu. Máy nén chuyên dụng có sức chịu tải 1200 kN được sử dụng cho thí nghiệm nén mẫu hình trụ tròn. Lực tác dụng lên mẫu với tốc độ 0.5 - 0.6 MPa/s được áp dụng khi thí nghiệm nén mẫu. Sử dụng ba cảm biến (strain gauges) dán dọc theo chiều cao tại vị trí ở giữa mẫu. Ba cảm biến này dùng để đo biến dạng dài của mẫu bê tông. Biến dạng trung bình đo được từ biến dạng của ba cảm biến này dùng để tính mô đun đàn hồi. Theo DIN EN 12390-3:2009-07 [8], giá trị mô đun đàn hồi được tính theo công thức:

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0.0005} \quad (1)$$

Trong đó: E_c là mô đun đàn hồi cần xác định; σ_1 là ứng suất tại biến dạng dọc trục 0.05‰; σ_2 là ứng suất tại điểm có ứng suất bằng 40% cường độ chịu nén f_c ; ε_2 là biến dạng dọc trục tại điểm có ứng suất bằng 40% cường độ chịu nén f_c .

Thí nghiệm ép chèn mẫu hình trụ 100 x 200 mm được thực hiện theo TCVN 8862:2011 [9]. Một tải trọng nén tác dụng đều dọc theo đường sinh của mẫu thử hình trụ, nằm trong mặt phẳng thẳng đứng đi qua đường kính của hai đáy mẫu thử. Tải trọng nén được tăng liên tục và đều với tốc độ gia tải là 0.025 MPa/s cho đến khi mẫu trụ bị phá hủy. Tải trọng tương ứng với trạng thái mẫu bị phá hủy được ghi lại và dùng để tính cường độ kéo khi ép chèn của vật liệu thông qua các kích thước của mẫu như sau:

$$f_{spl} = \frac{2P}{\pi HD} \quad (2)$$

Trong đó: f_{spl} là cường độ kéo khi ép chèn; P là tải trọng khi phá hủy mẫu hình trụ; H là chiều cao của mẫu hình trụ; D là đường kính đáy mẫu hình trụ.

Thí nghiệm uốn ba điểm mẫu dầm được thực hiện theo TCVN 3119 : 1993 [10]. Tốc độ gia tải khi uốn là 0.001 kN/s. Cường độ kéo uốn trong thí nghiệm uốn ba điểm được tính theo công thức:

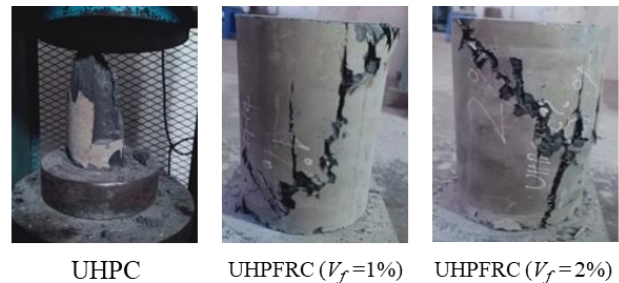
$$f_{spl} = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (3)$$

Trong đó: P là lực tác dụng lớn nhất; l là Chiều dài nhịp của dầm; b là bề rộng mẫu dầm; h là chiều cao mẫu dầm.

3. Phân tích và đánh giá kết quả thí nghiệm

3.1. Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi

Hình 3 mô tả hình dạng phá hoại tiêu biểu của các mẫu hình trụ 100 x 200 mm. Ngoại trừ mẫu UHPC không sử dụng sợi thép phá hoại giòn với tiếng nổ lớn khi đạt cường độ nén lớn nhất và bị phân mảnh ra thành các phần khác nhau, các mẫu UHPFRC sử dụng sợi thép bị phá hoại dẻo với các vết nứt dọc và xiên.



Hình 3. Hình dạng phá hoại của mẫu khi chịu nén.

Mẫu UHPC do năng lượng tích lũy lớn khi đạt cường độ chịu nén rất cao cho nên vết nứt xuất hiện tại điểm gần với điểm có cường độ chịu nén lớn nhất và mẫu bị phá hoại giòn thành các mảnh vỡ khác nhau. Trái lại, do sử dụng cốt sợi thép cho nên mẫu UHPFRC không có tiếng nổ tại điểm đạt cường độ nén lớn nhất, mẫu bị phá hủy theo các vết nứt đường chéo. Nguyên nhân là do tác dụng của sợi thép kiềm chế sự mở rộng của vết nứt và lan truyền vết nứt từ vị trí này sang vị trí khác. Mẫu UHPFRC sử dụng 2% cốt sợi cho vết nứt chéo có góc xiên lớn hơn so với mẫu UHPFRC sử dụng 1% cốt sợi. Lý do khi tăng hàm lượng sợi, khả năng kháng sự mở rộng vết nứt lớn hơn. Đúng lẽ, tại vị trí phần vết nứt của mạch vữa bê tông sẽ xuất hiện vết nứt dọc phân tách và vết nứt do nở hông của bê tông. Tuy nhiên khi có sự xuất hiện của nhiều sợi thép nên vết nứt dọc và nứt ngang do nở hông trên sẽ bị hạn chế và có xu hướng lan truyền theo đường chéo đến những chỗ có lực kéo vượt quá khả năng chịu kéo của bê tông.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm nén.

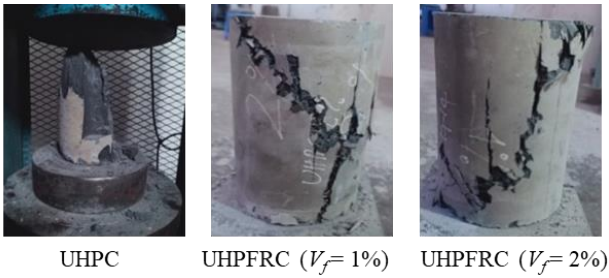
Loại bê tông	Số hiệu mẫu cylinder 100x200 mm	Cường độ chịu nén (MPa)	Mô đun đàn hồi (GPa)
UHPC	UHPCV0-1	120.62	43.48
	UHPCV0-2	121.05	43.53
	UHPCV0-3	120.60	42.55
Trung bình		120.76	43.19
Độ lệch chuẩn		0.25	0.55
UHPFRC ($V_f = 1\%$)	UHPCV1-1	126.94	44.23
	UHPCV1-2	125.67	44.08
	UHPCV1-3	126.53	44.18
Trung bình		126.38	44.16
Độ lệch chuẩn		0.65	0.08
UHPFRC ($V_f = 2\%$)	UHPCV2-1	144.97	45.23
	UHPCV2-2	141.53	45.07
	UHPCV2-3	141.50	44.05
Trung bình		144.00	44.78
Độ lệch chuẩn		0.84	0.64

Có thể thấy hàm lượng cốt sợi thép tăng sẽ làm tăng đáng kể cường độ chịu nén của mẫu. Khi tăng hàm lượng sợi thép từ 0 đến 2%, cường độ chịu nén trung bình tăng từ 120.76 đến 144 Mpa, tức tăng 16.03%. Trong khi đó, tăng hàm lượng sợi thép từ 1 đến 2%, cường độ chịu nén trung bình tăng từ 126.38 đến 144 Mpa, tức tăng 13.94%. Qua đó, cho thấy hàm lượng sợi thép 2% có khả năng tăng cường độ chịu nén rất cao, trong khi đó hàm lượng sợi thép 1% chỉ làm tăng tương đối cường độ chịu nén. Tuy nhiên, khi tăng hàm lượng sợi, mô đun đàn hồi tăng nhưng không đáng kể. Kết quả nghiên cứu đã chế tạo được UHPC có sợi và không sợi đạt cường độ nén từ 120.8 đến 144.0 MPa và mô đun đàn hồi từ 43.2 đến 44.8 GPa, với độ lệch chuẩn trung bình thấp. Có thể thấy, hầu hết các tiêu chuẩn và nghiên cứu ở châu Âu, châu Mỹ đều yêu cầu cường độ chịu nén của UHPC lớn hơn 150 MPa (mẫu hình trụ

100 x 200 mm) và mô đun đàn hồi lớn hơn 45 GPa [13-18]. Tuy nhiên, ở châu Á, một số nghiên cứu chỉ ra các tính toán kết cấu trong các quy trình ít thay đổi khi cường độ bê tông nhỏ hơn 120 MPa, chính vì thế UHPC được quy định có cường độ chịu nén của mẫu hình trụ tròn 100 x 200 mm lớn hơn 120 MPa và mô đun đàn hồi ít nhất là 40 GPa (tùy thuộc loại cốt liệu sử dụng) [11, 12]. Hiện nay, tại Việt Nam, dự án sửa chữa mặt cầu thép cầu Thăng Long sử dụng UHPC có cường độ nén yêu cầu tối thiểu 120 MPa và mô đun đàn hồi tối thiểu 40.6 GPa. Như vậy, kết quả nghiên cứu hoàn toàn phù hợp với các tiêu chuẩn và nghiên cứu trên thế giới.

3.2. Kết quả thí nghiệm cường độ ép chế

Hình 4 mô tả hình ảnh phá hoại đặc trưng của các mẫu hình trụ có sợi và không có sợi tại điểm đạt lực lớn nhất.



Hình 4. Hình dạng phá hoại của mẫu khi chịu nén.

Có thể thấy với mẫu UHPC không có sợi tại thời điểm phá hoại có tiếng nổ đi kèm với việc mẫu bị tách ra và phân mảnh ra hai bên. Mẫu có sợi 1% và 2% phá hoại dẻo với các vết nứt chạy vòng góc với phương tác dụng của lực. Điều này hiển nhiên xảy ra là do ảnh hưởng của sợi thép ngăn chặn sự phát triển của vết nứt khi bê tông bị kéo theo phương vuông góc với lực tác dụng. Giữa mẫu 1% và 2% sợi, quan sát thấy mẫu 1% sợi có vết nứt ngoài vết nứt chính ở giữa mặt cắt còn có vết nứt một số vùng lân cận, trong khi đó mẫu 2% sợi chỉ có 1 vết nứt chính ở giữa mặt cắt. Điều đó cho thấy tăng hàm lượng sợi lên sẽ hạn chế được số lượng vết nứt.

Bảng 3 liệt kê kết quả thí nghiệm của từng mẫu thí nghiệm. Có thể thấy khi hàm lượng sợi tăng, cường độ ép chế tăng đáng kể. Cụ thể khi hàm lượng sợi tăng từ 0 đến 1%, cường độ ép chế trung bình tăng 31.2%, trong khi tăng hàm lượng sợi từ 1 đến 2%, cường độ ép chế trung bình tăng 27.6%. Tăng hàm lượng sợi từ 0 đến 2%, cường độ ép chế trung bình tăng 67.3%.

Bảng 4 tóm tắt một số tiêu chí về cường độ ép chế trong các tiêu chuẩn và nghiên cứu trên thế giới cho mẫu hình trụ tròn 100 x 200 mm và hàm lượng sợi thép từ 0 đến 2%. Cường độ ép chế của các mẫu hình trụ UHPC và UHPFRC trong nghiên cứu này hoàn toàn phù hợp với tiêu chí của các tiêu chuẩn và nghiên cứu trong bảng 4. Các mẫu hình trụ trong nghiên cứu có cường độ ép chế trung bình là 10.7, 14.1 và 18.0 MPa ứng với mỗi hàm lượng sợi 0, 1 và 2%. Như vậy số liệu này phù hợp nhất với số liệu cung cấp bởi công ty Dura [11] (một công ty chuyên về sản xuất cấu kiện UHPC ở Malaysia)

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm ép chế.

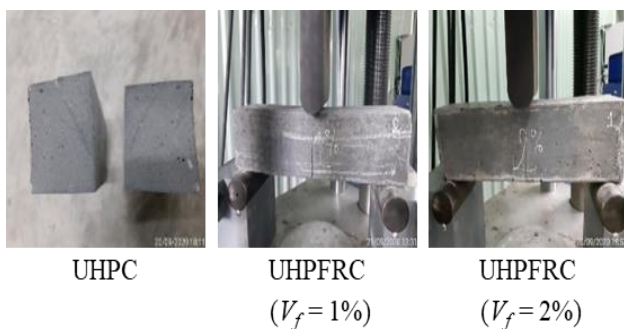
Loại bê tông	Số hiệu mẫu hình trụ	Cường độ ép chế (MPa)
UHPC	UHPCV0S-1	10.8
	UHPCV0S-2	10.9
	UHPCV0S-3	10.6
Trung bình		10.7
Độ lệch chuẩn		0.1
UHPFRC ($V_f=1\%$)	UHPCV1S-1	13.4
	UHPCV1S-2	13.9
	UHPCV1S-3	14.9
Trung bình		14.1
Độ lệch chuẩn		0.7
UHPFRC ($V_f=2\%$)	UHPCV2S-1	18.3
	UHPCV2S-2	17.9
	UHPCV2S-3	17.7
Trung bình		18.0
Độ lệch chuẩn		0.2

Bảng 4. Cường độ ép chèn trong một số tiêu chuẩn và nghiên cứu trên thế giới.

Tiêu chuẩn/tác giả	Cường độ nén (MPa)	Cường độ ép chèn (MPa)
JSCE (2006) [12]	194	11.7
FWHA (2018) [13]	120 – 150	15 – 20
EDRC [14]	179 - 217	18.7 – 25.2
Dura [11]	120 – 170	10 – 18
El Helou (2014) [15]	120 – 140	7.2 – 21.2

3.3. Kết quả thí nghiệm cường độ uốn

Hình 5 mô tả sự phá hoại của mẫu dầm tại điểm có lực uốn cực đại. Tất cả các mẫu đều có vết nứt ngay tại vị trí mặt cắt trùng với đường tải trọng uốn. Với mẫu không có sợi, xuất hiện bị phá hoại giòn với vết nứt chạy qua toàn bộ mặt cắt và tách dầm ra làm đôi. Tuy nhiên, các mẫu có sợi 1% và 2%, xuất hiện phá hoại dẻo với vết nứt chỉ chạy trong một phần của mặt cắt này, độ mở rộng vết nứt nhỏ hơn so với mẫu dầm không cốt sợi và dầm không bị tách đôi. Mẫu có 1% sợi thép, vết nứt chạy từ dưới lên hơn một nửa chiều cao mặt cắt ngang, dầm, trong khi mẫu có 2% sợi thép, vết nứt chỉ chạy từ dưới lên gần một nửa chiều cao mặt cắt ngang. Mẫu 2% có độ mở rộng vết nứt nhỏ hơn so với 1%. Như vậy, sợi thép có tác dụng hạn chế độ mở rộng vết nứt và tăng độ dẻo dai của dầm. Hàm lượng sợi thép tăng từ 1 đến 2%, ảnh hưởng này càng rõ rệt.



Hình 5. Hình dạng phá hoại của mẫu khi chịu uốn 3 điểm.

Bảng 5 thể hiện kết quả thí nghiệm cường độ uốn của các mẫu dầm. Khi hàm lượng sợi thép tăng từ 0 đến 1%, cường độ trung bình uốn tăng 50%, nếu hàm lượng sợi thép tăng từ 1 đến 2%, cường độ uốn trung bình tăng khoảng 30%. Hàm lượng sợi thép tăng, khả năng hạn chế độ mở rộng vết nứt của dầm càng tăng, cho nên cường độ uốn tăng rõ rệt.

Bảng 6 tóm tắt một số tiêu chí về cường độ uốn mẫu dầm thu thập từ một số tiêu chuẩn và nghiên cứu trên thế giới cũng như Việt Nam. Cường độ uốn phụ thuộc chủ yếu và sự phân bố sợi, cách đổ bê tông theo chiều thẳng đứng hay dọc mẫu dầm, loại sợi và hàm lượng sợi. Ngoài ra cường độ uốn còn phụ thuộc vào kích thước mẫu. Khi kích thước mẫu tăng, cường độ uốn giảm. Theo nghiên cứu của Lê Trung Thành và cộng sự [4], sơ đồ chịu tải uốn ba điểm hay bốn điểm không làm ảnh hưởng nhiều đến giá trị cường độ uốn. Có thể thấy kết quả thí nghiệm phù hợp với phạm vi cường độ kéo uốn của các tiêu chuẩn đưa ra và các nghiên cứu tương tự. Cường độ uốn đạt được từ 19.5 MPa (0% sợi), 30 MPa (1% sợi) và 37.6 MPa (2% sợi) phù hợp nhất với phạm vi giá trị đạt được của tiêu chuẩn Đức (DafStb) [18] và kết quả thí nghiệm của nhóm nghiên cứu Trần Bá Việt và cộng sự [3].

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm cường độ uốn.

Loại bê tông	Số hiệu mẫu dầm	Cường độ uốn (MPa)
UHPC	UHPCV0D-1	19.9

Loại bê tông	Số hiệu mẫu đầm	Cường độ uốn (MPa)
	UHPCV0D-2	19.2
	UHPCV0D-3	19.3
Trung bình		19.5
Độ lệch chuẩn		0.2
	UHPCV1D-1	31.3
UHPFRC ($V_f=1\%$)	UHPCV1D-2	30.1
	UHPCV1D-3	28.6
Trung bình		30.0
Độ lệch chuẩn		0.7
	UHPCV2D-1	38.1
UHPFRC ($V_f=2\%$)	UHPCV2D-2	37.7
	UHPCV2D-3	37.1
Trung bình		37.6
Độ lệch chuẩn		0.4

Bảng 6. Cường độ chịu uốn UHPC và UHPFRC quy định trong các tiêu chuẩn và đạt được trong các nghiên cứu trước đây.

Tiêu chuẩn/tác giả	Cường độ nén (MPa)	Cường độ uốn (MPa)
PCA [16]	120 – 150	15 – 25
SETRA/AFGC [17]	197	41.8
German Guidelines (DafStb) [18]	≥ 150	15 – 40
EDRC [14]	179 - 217	17 – 24
Dura [11]	120 – 170	18 – 35
Lê Trung Thành và cộng sự [4]	≥ 120	12 – 30
Trần Bá Việt và cộng sự [3]	155.2 – 170.8	20.5 – 56.2

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén, mô đun đàn hồi, cường độ ép chẻ và cường độ uốn ba điểm của bê tông siêu tính năng UHPC và UHPFRC sử dụng một số cốt liệu ở Việt Nam. Trên cơ sở phân tích và đánh giá kết quả thí nghiệm, một số kết luận được rút ra như sau:

- Các giá trị trung bình của cường độ nén, mô đun đàn hồi, cường độ ép chẻ, cường độ uốn đạt được từ thí nghiệm phù hợp với các nghiên cứu trước và tiêu chuẩn thế giới;
- Sự xuất hiện của sợi làm các mẫu thí nghiệm chuyển từ phá hoại dòn sang phá hoại dẻo;
- Tăng hàm lượng sợi làm tăng đáng kể cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ và cường độ chịu uốn, tuy nhiên, không ảnh hưởng đến mô đun đàn

hồi. Hàm lượng sợi 2% cho giá trị cường độ tăng nhiều nhất;

- Hoàn toàn có thể chế tạo bê tông siêu tính năng sử dụng các cốt liệu ở Việt Nam để đạt được các thông số cường độ như trong quy định của một số tiêu chuẩn thế giới.

Tài liệu tham khảo

- [1] E. Fehling, M. Schmidt, J. Walraven, T. Leutbecher and S. Fröhlich; “Ultra-High Performance Concrete: Fundamental – Design – Example”. Berlin, Germany: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG. 2014.
- [2] L. H. An; “Behavior of circular steel tube confined UHPC and UHPFRC columns under axial compression”. Kassel, Germany: Kassel University press. 2018.
- [3] T. B. Việt, L. X. Lâm; “Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến các tính chất của bê tông tính năng siêu cao”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam. 2015; 57(7):1-6.
- [4] L. T. Thành “Ảnh hưởng của kích thước mẫu đến khả năng chịu uốn của bê tông chất lượng siêu cao”. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng. 2017; 11(5):37-43.
- [5] L. B. Danh, P. D. Hòa, N. C. Thắng, N. Đ. Linh, B. T. T. Dung, B. T. Lộc, Đ. V. Đạt; “Nghiên cứu thực nghiệm khả năng chịu tác động của tải trọng nổ của vật liệu bê tông chất lượng siêu cao (UHPC)”. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng. 2019; 13(3V):12-21. DOI:10.31814/stce.nuce2019-13(3V)-02.
- [6] N. C. Thắng, N. V. Tuấn, P. H. Hanh, N. T. Lâm; “Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng vật liệu sẵn có ở Việt Nam”. Tạp chí Xây dựng. 2012; 12:71-74.
- [7] German Institute for Standardisation Registered Association; “Testing concrete - Testing of hardened concrete (specimens prepared in mould); DIN EN 1048-5:1991-06; Berlin, Germany. 2013
- [8] German Institute for Standardisation Registered Association; “Testing hardened concrete-Part 3: Compressive strength of test specimens”, DIN EN 12390-3:2009; Berlin; Germany. 2009.
- [9] Viện Khoa học và Công nghệ Giao thông vận tải; “Quy trình thí nghiệm xác định cường độ kéo khi ép chèn của vật liệu hạt liên kết bằng các chất kết dính”; TCVN 8862:2011; Hà Nội, Việt Nam: Bộ Khoa học và Công nghệ; 2011.
- [10] Viện Khoa học và Công nghệ Giao thông vận tải; “Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ kéo khi uốn”; TCVN 3118:1993; Hà Nội, Việt Nam: Bộ Khoa học và Công nghệ; 1993.
- [11] Công ty Dura; Kuala Lumpur, Malaysia. Available: <http://dura.com.my/>. Ngày truy cập: 19/7/2022.
- [12] Japan Society of Civil Engineers; “Recommendation for design and construction of ultra high strength fiber reinforced concrete structures”; Tokyo, Japan. 2008.
- [13] Federal Highway Administration; “Properties and Behavior of UHPC-Class Materials”; FHW –HRT-18-036; Virginia, USA. 2018.
- [14] D. A. Scott, W. R. Long, R. D. Moser, B. H. Green, J. L. O’Daniel, and B. A. Williams; “Impact of Steel Fiber Size and Shape on the Mechanical Properties of Ultra-High Performance Concrete”; ERDC/GSL TR; Mississippi, USA: U.S. Army Engineer Research and Development Center. 2015.
- [15] R. G. El-Helou, C. D. Moen and G. Cusatis; “Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Concrete: Extensive Material Characterization, Model Validation, and Structural Simulations”; in presentation of ACI Fall 2014 Convention; 26-30 October 2014; Washington D.C, USA. Available: <https://www.dropbox.com/s/foekh131hez8bvz/El-Helou%20et%20al%2C%202014%20%28ACI%20Fall%202015%20Convention%29.pptx?dl=0>. Accessed on: 19/7/2022.
- [16] America’s Cement Manufacturers, Washington D.C, USA. Available: <https://www.cement.org/>. Accessed on: 19/7/2022.
- [17] French Association of Civil Engineering; “Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes”; Janvier, France; 2002.
- [18] German Committee for Structural Concrete; “Ultra-High Performance Concrete”; Berlin, Germany; 2017.