

Nghiên cứu đặc trưng cơ lý của bê tông hạt nhỏ cốt sợi hiệu suất cao dùng trong sửa chữa nhanh mặt đường bê tông xi măng

Study on the mechanical properties of high performance fiber reinforced fine aggregate concrete for rapid repair of cement concrete pavement

> TS TRẦN HỮU BẰNG¹, THS NGUYỄN TUẤN CƯỜNG^{2,*}

¹Trường Đại học Thủ Dầu Một

²Trường Đại học Giao thông vận tải; *Email: cuongnt_ph@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bê tông hạt nhỏ cốt sợi tính năng cao (HPFRC - High Performance Fiber Reinforced Concrete) là thế hệ bê tông tiên tiến sử dụng cốt liệu hạt nhỏ, được gia cường bằng sợi thép, sợi polymer hoặc sợi thủy tinh, giúp tăng cường độ chịu kéo, chống nứt và kéo dài tuổi thọ. Nghiên cứu đã sử dụng cát trắng mịn Khánh Hòa, xi măng Vicem PC40, tro bay loại F (được sử dụng để thay thế một phần xi măng), sợi polypropylene và chất siêu dẻo gốc polycarboxylate loại G để chế tạo HPFRC. Các đặc trưng cơ lý cần thiết được thực nghiệm trong phòng để bước đầu đánh giá mức độ đáp ứng yêu cầu sửa chữa nhanh kết cấu mặt đường bê tông xi măng.

Từ khóa: Công nghệ sửa chữa nhanh, bê tông hạt nhỏ cốt sợi, vật liệu composite kỹ thuật gốc xi măng, sợi polypropylene.

ABSTRACT

High-Performance Fiber-Reinforced Concrete (HPFRC) is an advanced generation of concrete that uses fine aggregates and is reinforced with steel fibers, polymer fibers, or glass fibers, enhancing tensile strength, crack resistance, and durability. In this study, HPFRC is produced using fine white sand from Khanh Hoa, Vicem PC40 cement, Class F fly ash (used as a partial cement replacement), polypropylene fibers, and a polycarboxylate-based superplasticizer type G. The essential mechanical properties were experimentally evaluated in the laboratory to preliminarily assess the suitability of HPFRC for rapid repair of cement concrete pavement structures.

Keywords: Rapid repair technology, high performance fiber reinforced concrete, engineered cementitious composites, PP fiber.

1. GIỚI THIỆU

Việc sửa chữa các hư hỏng mặt đường bê tông xi măng (BTXM) đòi hỏi phải nhanh chóng, bền vững và tận dụng được vật liệu sẵn có nhằm giảm giá thành. Chính vì vậy, các hư hỏng thường được sửa chữa bằng các vật liệu truyền thống gốc xi măng như vữa, bê tông,... Tuy các hư hỏng này hay tái xuất hiện trở lại bởi đặc tính của vữa hay bê tông thông thường làm giảm hiệu quả việc sửa chữa trong đó có ngót, đặc biệt là có ngót khô ảnh hưởng sự liên kết giữa bê tông cũ và mới. Hiện nay có một số vật liệu sửa chữa thương mại gốc xi măng (Sika Monotop®R, DelpatchTM, vữa không co GM-F của Viện Khoa học công nghệ xây dựng VN,...) mang lại kết quả sửa chữa hiệu quả hơn, tuy nhiên giá thành khá đắt, chỉ áp dụng cho các công trình hoặc vị trí đặc biệt.

Hiện nay, một trong những vật liệu mới được phát triển từ gốc xi măng là vữa cốt sợi tính năng cao hay Composite xi măng kỹ thuật (gọi tắt là ECC) là thế hệ bê tông hạt nhỏ cốt sợi tính năng cao, do Giáo sư Victor Li, Đại học Michigan Hoa Kỳ phát minh) đã được nghiên cứu và phát triển trong nhiều lĩnh vực như sửa chữa, bảo trì và xây dựng mới các công trình cơ sở hạ tầng [1,2,3].

Bài nghiên cứu nhằm đánh giá tính khả thi của việc sử dụng các thành phần có sẵn tại địa phương ở miền Nam Việt Nam và kết hợp một hàm lượng sợi polypropylene để sản xuất phiên bản của vật liệu composite kỹ thuật gốc xi măng (ECC) đã được cải tiến, tiết kiệm chi phí, tạm đặt tên loại vật liệu nghiên cứu là vữa sửa chữa cốt sợi (dùng sợi PP) tính năng cao viết tắt là HPFRC, có tính năng tốt hơn hoặc tương đương so với vữa/vữa xi măng thông thường hoặc các sản phẩm thương mại có sẵn.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết và phương pháp thí nghiệm trong phòng. Được thực hiện tại phòng thí nghiệm vật liệu xây dựng, Phân hiệu Trường Đại học Giao thông vận tải TP.HCM.

2.1. Vật liệu chế tạo

Nghiên cứu này sử dụng các thành phần có sẵn tại địa phương để sản xuất HPFRC: Xi măng Vicem Hà Tiên PC40 (được chứng nhận theo TCVN 2682-2009 và tiêu chuẩn ASTM C150 Loại I), loại FFA, là sản phẩm phụ của Nhà máy nhiệt điện Duyên Hải tỉnh Trà

Vinh nay là tỉnh (Vinh Long) và cát trắng mịn Khánh Hoà có khối lượng riêng, độ hấp thụ nước và mô đun độ mịn lần lượt là 2,65 g/cm³, 1,12% và 0,197, sợi polypropylene (PP) (Sika).

2.2. Thiết kế và tỷ lệ hỗn hợp

Bảng 1. Thành phần vật liệu của các cấp phối HPFRC

Cấp phối	Nước (lít)	XM (kg)	Tro bay (kg)	Silica fume (kg)	Cát mịn (kg)	Sợi PP (kg)	PGSD (lít)	PGTT (kg)
HPFRC_1%PP	286	781	137	78	803	9,1	15,62	7,81
HPFRC_1.5%PP	286	781	137	78	790	13,65	15,62	7,81
HPFRC_2%PP	286	781	137	78	777	15,42	15,62	7,81

Với các yêu cầu kỹ thuật dự kiến của vữa tính năng cao HPFRC như sau: độ chảy ≥ 200 mm, thời gian cho phép thi công $\sim 20-30$ phút (27°C / độ ẩm môi trường 65%), độ tách nước 0%, cường độ nén tối thiểu 20 MPa (1 ngày tuổi), tối thiểu 42 MPa (28 ngày tuổi), biến dạng phá hoại khi nén $>0,2\%$ và khi chịu kéo trực tiếp $> 2\%$, độ mài mòn cần phải nhỏ hơn $0,3 \text{ g/cm}^2$.



a)



b)



c)



d)

Hình 1. a) Vật liệu chế tạo, b) Máy trộn vữa phòng thí nghiệm, c) Rót vữa vào côn Suttard, d) Nhắc côn đo độ chảy xòe

Cấp phối 2% sợi PP (HPFRC_2.0%PP) rất khó trộn, hỗn hợp kém đồng nhất và độ xòe không đạt mục tiêu đặt ra. Hai cấp phối 1% sợi (HPFRC_1.0%PP), 1.5% sợi (HPFRC_1.5%PP) đạt yêu cầu về tính công tác: độ chảy xòe và duy trì độ chảy xòe theo tiêu chuẩn TCVN 9204:2012.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Độ bền uốn (TCVN 3121-6:2003) và cường độ nén (TCVN3121-11:2003)



a)



b)



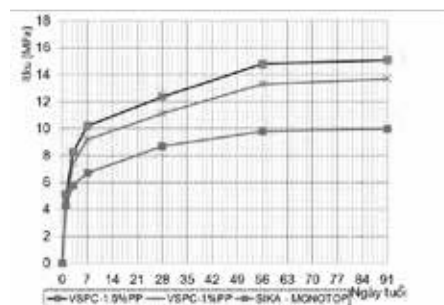
c)



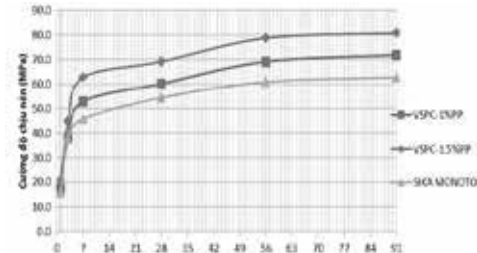
d)

Hình 4. Thí nghiệm kéo trực tiếp mẫu vữa HPFRC: a) Khuôn đúc mẫu; b) mẫu "dog-bone" thí nghiệm kéo trực tiếp; c) Thí nghiệm kéo; d) Bề mặt mẫu bị kéo đứt

Các cấp phối cho kế hoạch thí nghiệm trên cơ sở cấp phối tính toán sơ bộ: trong đề tài sẽ đưa ra ba cấp phối: Cấp phối HPFRC_2.0%PP; HPFRC_1.5%PP; HPFRC_1.0%PP (hàm lượng sợi PP tính theo thể tích bê tông).



Hình 2. Biểu đồ phát triển cường độ chịu kéo khi uốn ở ngày thứ 1,3,7, 28, 56, 91 ngày tuổi của cấp phối HPFRC_1.0%PP, HPFRC_1.5%PP và Sika MONOTOP



Hình 3. Biểu đồ phát triển cường độ chịu nén ở ngày thứ 1,3,7, 28, 56, 91 ngày tuổi của cấp phối HPFRC_1.0%PP, HPFRC_1.5%PP và Sika MONOTOP

Nhận xét

+ Cấp phối HPFRC_1.0%PP, HPFRC_1.5%PP có cường độ chịu kéo khi uốn ở các ngày tuổi 1,3,7, 28, 56, 91 cao hơn Sika MONOTOP khoảng 10-50%. Tuy nhiên, tốc độ phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của Sika MONOTOP ở tuổi 1 ngày nhanh hơn và chậm lại ở tuổi sau 7, 28 ngày. Điều này được lý giải là các cấp phối HPFRC sử dụng lượng tro bay khá lớn (32% theo khối lượng xi măng), mà đặc tính pozzolan của tro bay nên cường độ của các cấp phối nghiên cứu phát triển ở tuổi muộn.

+ Cấp phối HPFRC_1.0%PP, HPFRC_1.5%PP có cường độ chịu nén ở các ngày tuổi 1, 3, 7, 28, 56, 91 cao hơn Sika MONOTOP khoảng 10-30%. Tuy nhiên, chỉ có cấp phối HPFRC_1.5%PP đạt được mục tiêu đề ra là cường độ chịu nén ở 1 ngày tuổi tối thiểu 20 MPa để đáp ứng thi công sửa chữa nhanh. Các thí nghiệm tiếp theo sẽ chỉ thực hiện với cấp phối triển vọng HPFRC_1.5%PP.

3.2. Cường độ chịu kéo trực tiếp

- Đúc mẫu dạng xương chó "dog-bone" với kích thước $60 \times 330 \times 13 \text{ mm}$. Tiến hành bảo dưỡng và thí nghiệm kéo trực tiếp ở các ngày tuổi 28 ngày với tốc độ gia tải $0,2 \text{ mm/phút}$.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm kéo trực tiếp ở tuổi 28 ngày

Thông số	R_{k28} (MPa)	ε_{28} (%)
Mẫu 1	4,47	2,09%
Mẫu 2	4,57	2,27%
Trung bình	4,52	2,18%
So với BT thường	3	0,2%
Gấp BT thường	1,51 lần	10,9 lần

3.3. Khả năng bám dính giữa vữa cốt sợi polymer tính năng cao và BTXM thông thường

Phép thử này được thực hiện trên bề mặt bê tông sửa chữa (nửa mẫu uốn Mục 3.1) sau khi đã hoàn thành công việc sửa chữa ở 28 và 91 ngày tuổi. Tạo mẫu thử bằng cách khoan vuông góc vào bề mặt nền (đường kính trong danh nghĩa 50 mm), sao cho lõi khoan được giữ nguyên vẹn và liên kết với nền. Gắn đĩa thép (đường kính danh nghĩa 50 mm) lên bề mặt trên của mẫu thử. Tải trọng kéo được gia tăng lên đĩa thép cho đến khi mẫu thử bị phá hủy. Ghi lại tải trọng phá hủy mẫu thử và dạng phá hủy mẫu thử để tính toán ứng suất kéo.



Hình 5. Thí nghiệm bám dính giữa vữa HPFRC và BTXM thông thường: a) Khoan mẫu; b) Gắn đĩa thép và thiết bị gia tải kéo; c) Dạng phá hủy ở nền bê tông

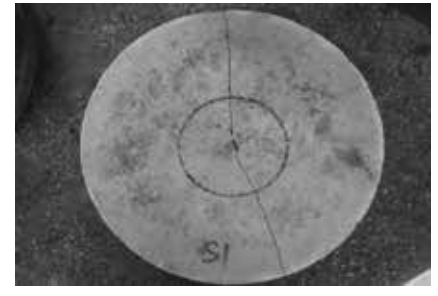
Bảng 3. Kết quả thí nghiệm bám dính giữa vữa HPFRC và Sika Monotop ở tuổi 28 và 91 ngày

Thông số	R_{db28} (MPa)	R_{db91} (MPa)	Tham khảo Sika Monotop (MPa)
Mẫu 1	1,92	2,86	-
Mẫu 2	2,24	3,08	-
Trung bình	2,08	2,97	1,5

3.4. Sức kháng va chạm

Thí nghiệm sức kháng va chạm được thực hiện theo phương pháp tải trọng rơi dựa trên chỉ dẫn của ACI544.2R. Trong thí nghiệm này, sử dụng bi thép D50 mm và mẫu tấm tròn D260xH(32-33) mm thay thế cho viên bi D63,5 mm và mẫu D150xH300 mm và mẫu được thí nghiệm ở 14 ngày tuổi. Quả nặng 4,5 kg được thả rơi tự do từ độ cao 46 cm đập vào bi thép đặt chính giữa mẫu. Xác định số lần thả quả nặng đến khi bề mặt mẫu xuất hiện vết nứt đầu tiên (N1) và đến khi mẫu chịu 45 lần thả (N2).

Năng lượng va chạm được tính theo công thức trình bày ACI544.2R [4].



Hình 6. Thí nghiệm sức kháng va chạm: a) Mô hình thí nghiệm; b) Mẫu thí nghiệm va chạm và bi thép D50mm; c) Mẫu HPFRC sau khi va đập 45 lần (N2); d) Mẫu Sika bị phá hủy (N1). Kết quả thí nghiệm được thể hiện trong bảng sau:

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm va chạm

Mẫu	Số lần rơi		Năng lượng va chạm (J)	
	N1	N2	N1	N2
HPFRC_1.5%PP_1	9	45	182,6	912,9
HPFRC_1.5%PP_2	7	45	142,0	912,9
HPFRC_1.5%PP_TB	8	45	162,3	912,9
Sikagrout	4 (phá hủy rời nhau)	4	81,1	81,1

3.5. Độ mài mòn (TCVN 3114:2022)

- Đúc mẫu có hình khối lập phương kích thước cạnh 70,7 mm. Sau 24 giờ, tháo khuôn và bảo dưỡng đến khi thí nghiệm ở 7 và 91 ngày tuổi đem thí nghiệm theo TCVN 3114:2022)



Hình 7. Thí nghiệm mài mòn: a) Thiết bị mài mòn; b) Mẫu sau/trước khi mài mòn - 91 ngày; c) Mẫu trước khi mài mòn - 14 ngày; d) Mẫu sau khi mài mòn - 14 ngày

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm mài mòn

	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Trung bình
Khối lượng (g)				
14 ngày tuổi (m_0)	738	747	728,5	737,8
91 ngày tuổi (m_0)	762	761	758	760,3
14 ngày tuổi (m_4)	729	738,5	719,5	729
91 ngày tuổi (m_4)	757	756	752	755
Độ mài mòn (g/cm^2)				
14 ngày tuổi	0,18	0,17	0,18	0,18
91 ngày tuổi	0,1	0,1	0,12	0,11

Để bê tông được dùng làm mặt đường cao tốc, cấp I đến cấp III và cấp IV trở xuống độ mài mòn cần phải nhỏ hơn $0,3 g/cm^2$ và $0,6 g/cm^2$ [5]. Như vậy với độ mài mòn $< 0,3 g/cm^2$ vữa HPFRC thỏa mãn tiêu chí độ mài mòn khi sửa chữa bề mặt đường ô tô.

4. KẾT LUẬN

Với quy mô trong phòng thí nghiệm và sử dụng một số nguồn vật liệu khu vực phía Nam: cát, tro bay thải từ các nhà máy nhiệt điện phía Nam, cốt sợi PP, xi măng PC40... Nghiên cứu đã bước đầu thiết kế được thành phần cấp phối và chế tạo được vữa cốt sợi polymer tính năng cao (HPFRC_1.5%PP) với các yêu cầu kỹ thuật dự kiến của vữa tính năng cao như: độ chảy đạt 212,5 mm, thời gian cho phép thi công ~ 20-30 phút ($27^\circ C$ / độ ẩm môi trường 65%) với độ chảy đạt 182,5 mm, độ tách nước 0%, cường độ nén đạt 20,8 MPa ở tuổi 1 ngày; và 69,2 MPa ở tuổi 28 ngày; biến dạng phá hoại khi nén đạt 3,3% và khi chịu kéo trực tiếp đạt 2,18%, độ mài mòn $< 0,3 g/cm^2$. Các chỉ tiêu thuật ngữ có triển vọng cho việc sử dụng sửa chữa nhanh kết cấu mặt đường BTXM như rót trám vết nứt, vá, chữa rò rỉ bề mặt,... bê tông đông cứng

nhẹ đạt cường độ trong vòng 24h, và có thể chế tạo sẵn hỗn hợp khô, đóng gói tiện cho sử dụng ngoài hiện trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. V. C. Li, Introduction to engineered cementitious composites (ECC), in Engineered Cementitious Composites (ECC), Springer, Berlin, Heidelberg, (2019). https://doi.org/10.1007/978-3-662-58438-5_1.
- [2]. V. C. Li, Micromechanics and engineered cementitious composites (ECC): Design Basis, in Engineered Cementitious Composites (ECC), Springer, Berlin, Heidelberg, (2019). https://doi.org/10.1007/978-3-662-58438-5_2.
- [3]. A. Adesina, S. Das, Evaluation of the durability properties of engineered cementitious composites incorporating recycled concrete as aggregate, Journal of Materials in Civil Engineering, 33(2) (2021) 04020439. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003563](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003563).
- [4]. ACI Committee 544, American Concrete Institute, USA, ACI 544.2R, Measurement of properties of fiber reinforced concrete, 1999
- [5]. TCCS 40 : 2022/TCĐBVN - Thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông xi măng trong xây dựng công trình giao thông.