

Nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia khoáng hoạt tính cao và sợi hỗn hợp lên các tính chất của bê tông tính năng cao sử dụng nguyên vật liệu phía Nam

Nguyễn Công Hậu^{1*}, Nguyễn Thị Thu Thủy¹

¹ Trường Đại học Giao thông vận tải

TỪ KHOÁ

Bê tông tính năng cao (HPC)
Phụ gia khoáng hoạt tính cao
Tính chất cơ học
Sợi thép
Sợi polypropylene

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính cao Silicafume và tro bay (FA) của nhà máy nhiệt điện Phú Mỹ với hàm lượng lớn và các nguyên vật liệu phía Nam, sợi thép (SF) và sợi Polypropylene (PP) để chế tạo bê tông tính năng cao (HPC). Loại bê tông này có thể đạt cường độ chịu nén thiết kế 28 ngày cao hơn 80MPa, tuy nhiên có mẫu thực tế đạt trên 100 MPa. Nghiên cứu các cấp phối bê tông ở các tỷ lệ phối trộn Phụ gia Silicafume 7 %, 10 %; Tro bay 40 %, 50 % so với xi măng; thể tích sợi thép lần lượt là 0,4 %, 0,8 %, 1,2 %; tỷ lệ phối trộn sợi PP là 1,2 %, và cấp phối hỗn hợp 0,6% SF và 0,6 % PP. Nhận thấy tại hàm lượng Phụ gia Silicafume 7 % và tro bay 50 % thì độ linh động hỗn hợp bê tông tốt đạt 18 cm và cường độ chịu nén cao (102,8 MPa). Khi cho sợi thép và sợi PP vào hỗn hợp bê tông thì độ sụt giảm, nhất là sợi PP giảm mạnh từ 18 cm xuống còn 5 cm; cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi ép chẻ ở 28 ngày tăng 9 % đến 14 % so với mẫu không có sợi; độ hút nước cũng giảm. Nghiên cứu đề xuất tỷ lệ phối trộn hợp lý của bê tông HPC là Silicafume 7 %; tro bay 50 %; 0,6 % SF và 0,6 %PP để đáp ứng đồng thời các tiêu chí về tính công tác, cường độ, độ hút nước và giá thành.

KEYWORDS

High-performance concrete (HPC)
Highly active pozzolanic admixtures
Mechanical properties
Steel Fiber
Polypropylene Fiber

ABSTRACT

This paper presents the results of research on the use of highly active pozzolanic admixtures Silica fume and high volume of fly ash (FA) of Phu My thermal power plant, and other raw materials from the Southern Vietnam, steel fiber (SF) and Polypropylene fiber (PP) to produce high- performance concrete (HPC). This type of concrete can achieve a 28-day design compressive strength of more than 80 MPa, however, there are actual samples that reach over 100 MPa. Research on concrete mixes at mixing ratios of Silica fume Additive 7%, 10%; Fly ash 40%, 50%; Steel fiber volume is 0,4%; 0,8%, 1,2%; The PP fiber mixing ratio is 1,2%, and the mixed gradation is 0,6% SF and 0,6% PP. It was found that when adding 7% Silicafume and 50% fly ash, the concrete mixture had quite good flexibility reaching 18cm and high compressive strength (102,8MPa). When adding steel fibers and PP fibers to the concrete mixture, the slump decreases, especially PP fibers decrease sharply from 18cm to 5cm; Compressive strength and tensile strength when pressed and split at 28 days also increased by 9% to 14% compared to samples without fibers; Water absorption also decreases sharply. The study suggests that the appropriate mixing ratio of HPC concrete is Silicafume 7%; fly ash 50%; 0,6% SF and 0,6% PP to simultaneously meet the criteria of workability, strength, water absorption and cost.

1. Đặt vấn đề

Bê tông HPC là loại bê tông được thiết kế với các đặc tính vượt trội so với bê tông thông thường, bao gồm độ bền cơ học cao, khả năng chống thấm tốt, độ bền lâu dài và tính linh hoạt trong sử dụng. Với cường độ nén thường đạt từ 60 MPa trở lên, HPC giúp giảm kích thước cấu kiện và tiết kiệm vật liệu trong xây dựng. Đồng thời, cấu trúc đặc chắc của nó giúp chống lại sự thấm nước, khí và các tác nhân gây xâm thực như ion clorua, bảo vệ cốt thép và tăng tuổi thọ công trình. Tuy nhiên, HPC cũng tồn tại một số hạn chế như chi phí sản xuất cao do sử

dụng các vật liệu và phụ gia chất lượng tốt, cùng với yêu cầu kỹ thuật thi công phức tạp là những rào cản chính. Bên cạnh đó, nếu không được bảo dưỡng đúng cách, HPC dễ gặp phải hiện tượng co ngót và nứt nhiệt. Trong những năm gần đây, các nghiên cứu trong nước tập trung vào việc ứng dụng HPC vào các công trình cầu cảng, nhà cao tầng và cấu kiện chịu lực lớn, đồng thời tìm cách tối ưu hóa thành phần vật liệu và sử dụng phụ gia vô cơ hoạt tính như Silicafume, tro bay, cát nhân tạo và các phụ gia siêu dẻo để tăng độ bền, giảm chi phí. Trên thế giới, HPC đang được cải tiến với công nghệ nano và tích hợp sợi như sợi SF, sợi PP hoặc sợi carbon nhằm cải thiện độ dẻo, khả năng chống nứt và thân

*Liên hệ tác giả: haunc_ph@utc.edu.vn

Nhận ngày 19/03/2025, sửa xong ngày 22/04/2025, chấp nhận đăng ngày 23/04/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2025.934>

thiện môi trường. Với những ưu điểm vượt trội và tiềm năng ứng dụng rộng rãi, HPC đang trở thành xu hướng quan trọng trong ngành xây dựng hiện đại, đáp ứng các yêu cầu về vật liệu bền vững và hiệu quả trong điều kiện khắc nghiệt [12].

Silicafume là vật liệu siêu mịn, chứa SiO_2 vô định hình, thu được trong quá trình sản xuất silic và hợp kim silic bằng hồ quang, chứa 87 % đến 98 % SiO_2 . Trong bê tông, Silicafume tham gia phản ứng thủy hóa xi măng tạo khoáng mới giúp tăng độ đặc chắc, tăng độ bền và khả năng bảo vệ cốt thép trong môi trường xâm thực. Trên thế giới, việc tái sử dụng tro bay trên tổng lượng tro ở mức trung bình, đối với Việt Nam tỷ lệ tận dụng lại chưa cao và tốn hàng trăm hecta để làm bãi chứa tro bay gây ảnh hưởng rất lớn đến môi trường. Những nghiên cứu gần đây về tro bay có thể thay thế lên tới 50 % ứng dụng cho bê tông làm mặt đường ô tô, hoặc một số nghiên cứu thay thế tro bay lên tới 60 % chất kết dính để chế tạo bê tông cường độ cao lên tới trên 60 MPa. Như vậy, việc sử dụng phế thải tro bay vừa giải quyết được vấn đề ô nhiễm môi trường, mà còn thay thế được một lượng lớn xi măng giúp giảm giá thành bê tông, hạn chế lượng khí thải CO_2 gây hiệu ứng nhà kính trong quy trình sản xuất xi măng [1]. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu sử dụng 7 % Silicafume và 50 % tro bay thay thế cho xi măng để chế tạo bê tông tính năng cao có cốt sợi.

Bê tông được sử dụng rộng rãi vì có nhiều ưu điểm như cường độ chịu nén cao, chi phí thấp, nguyên liệu sẵn có, dễ tạo hình, ứng dụng lớn, ... Tuy nhiên bê tông là vật liệu giòn và độ giòn tăng theo cường độ chịu nén, độ bền kéo tương đối thấp và khả năng chống mở rộng và lan truyền vết nứt kém là nhược điểm chính của bê tông xi măng. Bê tông cốt sợi hỗn hợp đã được nghiên cứu và đưa vào ứng dụng rộng rãi trên thế giới. Các nghiên cứu cho thấy: mỗi loại sợi khi đưa vào thành phần của bê tông sẽ tạo ra những loại bê tông hỗn hợp khác nhau. Khi sử dụng sợi thép, bê tông được cải thiện đáng kể về cường độ uốn, kéo dọc trục, môđun đàn hồi, chống nứt do co cứng. Khi sử dụng sợi PP, bê tông sẽ được cải thiện đáng kể về hạn chế biến dạng mềm, giúp cho khả năng kháng va đập rất cao. Do vậy, sử dụng kết hợp 2 loại sợi này cho phép tạo ra bê tông có những ưu điểm vượt trội so với việc sử dụng riêng biệt từng loại sợi, đặc biệt là làm tăng tính dẻo dai, chống nứt do co mềm và co cứng cho bê tông. Loại bê tông tính năng cao này có thể dùng cho các lớp phủ bề mặt có cường độ cao như: đường băng, sân bay, đường cao tốc, đập tràn, chống thấm, sửa chữa và gia cường kết cấu dầm, cầu, hầm, các kết cấu phải chịu tải trọng cao hoặc chịu tải trọng hỗn hợp [2].

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên vật liệu

Nguyên vật liệu đầu vào được sử dụng để nghiên cứu được tóm tắt trong Bảng 1 [3].

2.2. Tỷ lệ phối trộn

Nghiên cứu thực nghiệm tiến hành thiết kế thành phần bê tông sử dụng phụ gia vô cơ hoạt tính Silicafume và hàm lượng tro bay cao có sử dụng sợi SF và sợi PP có cường độ chịu nén yêu cầu ở 28 ngày tuổi là $f_c = 80$ MPa. Thiết kế thành phần bê tông theo tiêu chuẩn ACI211.1-91 [4]. Thiết kế cấp phối có tỷ lệ N/CKD = 0,26 cố định; ký hiệu các mẫu với tỷ lệ phối trộn các cấp phối và mục đích chọn các tỷ lệ cấp phối như sau:

- M0: Silicafume 0 % + Tro bay 0 % + SF 0 % + PP 0 %: mẫu đối chứng không dùng phụ gia vô cơ, không dùng sợi

- M1: Silicafume 10 % + Tro bay 40 % + SF 0 % + PP 0 %: mẫu để nghiên cứu chỉ ảnh hưởng phụ gia vô cơ hoạt tính với % Silicafume 10 %; tro bay 40 %

- M2: Silicafume 7 % + Tro bay 50 % + SF 0 % + PP 0 %: mẫu để nghiên cứu chỉ ảnh hưởng phụ gia vô cơ hoạt tính với % Silicafume 7 %; tro bay 50 %

- MSF04: Silicafume 7 % + Tro bay 50 % + SF 0,4 % + PP 0 %: mẫu tối ưu về hàm lượng phụ gia vô cơ, chỉ dùng 1 loại sợi SF hàm lượng thấp 0,4 %

- MSF08: Silicafume 7 % + Tro bay 50 % + SF 0,8 % + PP 0 %: mẫu tối ưu về hàm lượng phụ gia vô cơ, chỉ dùng 1 loại sợi SF hàm lượng tăng 0,8 %

- MSF12: Silicafume 7 % + Tro bay 50 % + SF 1,2 % + PP 0 %: mẫu tối ưu về hàm lượng phụ gia vô cơ, chỉ dùng 1 loại sợi SF hàm lượng cao 1,2 %

- MPP12: Silicafume 7 % + Tro bay 50 % + SF 0 % + PP 1,2 %: mẫu tối ưu về hàm lượng phụ gia vô cơ, chỉ dùng 1 loại sợi PP hàm lượng cao 1,2 %

- MSFPP: Silicafume 7 % + Tro bay 50 % + SF 0,6 % + PP 0,6 %: mẫu tối ưu về hàm lượng phụ gia vô cơ, dùng cả 2 loại sợi SF và PP hợp lý.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu đã áp dụng các tiêu chuẩn thí: TCVN 7570:2006; TCVN 6260:2020; TCVN 14136:2024; TCVN 8827:2011; TCVN 8826:2024; TCVN 4506:2012; TCVN 12392-1:2018; TCVN 12392-2:2018; ACI211.1-91; TCVN 3106:2022; TCVN 3118:2022; TCVN 8862:2011; TCVN 3113:2022.

Công tác chế tạo và thí nghiệm mẫu hỗn hợp bê tông và bê tông tuân thủ các yêu cầu của các tiêu chuẩn Việt Nam và được tiến hành nghiên cứu tại phòng thí nghiệm LAS-XD225 thuộc Phân hiệu trường Đại học Giao Thông Vận Tải tại TP. Hồ Chí Minh.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Tính chất của hỗn hợp bê tông

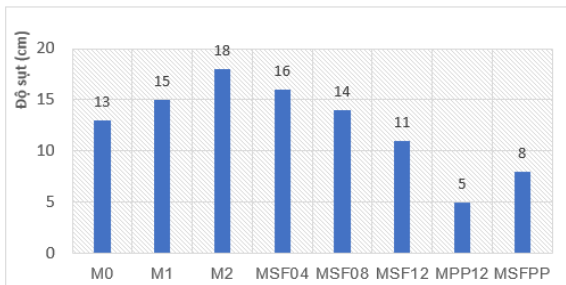
Quy trình xác định độ sụt của hỗn hợp bê tông nặng được tiến hành theo TCVN 3106:2022 [5]. Tất cả các cấp phối trộn đều không có sự phân tầng, tách nước.

Bảng 1. Đặc tính của nguyên vật liệu đầu vào.

STT	Loại nguyên liệu	Tên nguyên liệu	Nơi sản xuất	Tiêu chuẩn	Đặc tính thử nghiệm
1	Xi măng	PCB40	Xi măng Fico	TCVN 6260:2020	Khối lượng riêng 3,10 g/cm ³ ; độ mịn (lượng sót trên sàng 90µm) 3,0 %; Cường độ chịu nén, uốn tuổi 28 ngày 53 MPa; 6,1 MPa.
2	Cốt liệu mịn	Cát sông	Sông Đồng Nai	TCVN 7570:2006	Mô đun độ lớn 2,6; khối lượng riêng 2,65 g/cm ³ ; khối lượng thể tích 1360 kg/m ³ ; độ rỗng 41,7 %
3	Cốt liệu thô	Đá dăm	Tỉnh Bình Dương	TCVN 7570:2006	D _{max} = 20mm; Khối lượng riêng 2,70 g/cm ³ ; khối lượng thể tích xấp 1 440 kg/m ³ , độ hút nước: 0,5 %
4	Tro bay	Phú Mỹ	Nhà máy Nhiệt điện Phú Mỹ, Bà Rịa-Vũng Tàu	TCVN 14136:2024	Phù hợp với yêu cầu của tro bay loại F
5	Silicafume	Mụi Silic	Công ty xuất nhập khẩu Vi Khanh-Hồ Chí Minh	TCVN 8827:2011	Hàm lượng SiO ₂ 92,2 %; Lượng sót sàn 45 µm 1,2 %; bề mặt riêng 15,27 m ² /g
6	Phụ gia	Sika ViscoCrete-8168	Sika	TCVN 8826:2024	Phụ gia siêu dẻo gốc Polycarboxylate loại F
7	Nước	Nước máy		TCVN 4506:2012	
8	Sợi SF	Sợi thép tròn Dramix	Hàn Quốc	TCVN 12392-1:2018	Sợi thép tiết diện tròn; Chiều dài 35 mm; đường kính 0,7 mm; tỷ lệ hướng sợi 50; tổng diện tích bề mặt 6600 cm ² /kg; số lượng sợi 8600 sợi/kg; Cường độ chịu kéo hơn 10000 daN/cm ²
9	Sợi PP	Sợi tổng hợp PP	Công Ty THT International	TCVN 12392-2:2018	Chiều dài/đường kính (l/d) = 150; khối lượng riêng 0,9 g/cm ³ ; Mô đun đàn hồi 3,5 GPa; Cường độ chịu kéo 0,55-0,75 GPa

Bảng 2. Thành phần bê tông xi măng với các cấp phối khác nhau cho 1 m³.

TT	Vật liệu thành phần	M0	M1	M2	MSF04	MSF08	MSF12	MPP12	MSFPP
1	XM PCB40, kg/m ³	530	265	228	228	228	228	228	228
2	Silicafume, kg/m ³	0	53	37	37	37	37	37	37
3	Tro bay, kg/m ³	0	212	265	265	265	265	265	265
4	Cát, kg/m ³	632	632	632	632	632	632	632	632
5	Đá dăm, kg/m ³	1157	1157	1157	1157	1157	1157	1157	1157
6	Nước, lít	140	140	140	140	140	140	140	140
7	Phụ gia siêu dẻo, lít - %CKD	5,3-1%	5,3-1%	5,3-1%	5,83-1,1%	6,36-1,2%	6,36-1,2%	7,42-1,4%	6,89-1,3%
8	Sợi SF (%)	0	0	0	0,4	0,8	1,2	0	0,6
9	Sợi PP (%)	0	0	0	0	0	0	1,2	0,6
10	Nước/CKD	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
11	Độ sụt (cm)	13	15	18	16	14	11	5	8



Hình 1. Độ sụt của hỗn hợp bê tông ứng với các cấp phối khác nhau.

Từ kết quả ở Hình 1, nhận thấy khi giữ nguyên tỷ lệ N/CKD = 0,26 ở tất cả các mẻ trộn thì độ sụt của mẫu M2 là cao nhất 18 cm, mẫu M1 là 15 cm, mẫu đối chứng M0 là 13 cm. Điều này có thể được giải thích là khi thay thế cùng khối lượng xi măng bởi Silicafume, tro bay chưa có thêm sợi thì thể tích hồ sẽ tăng lên (do khối lượng riêng của xi măng cao hơn của Silicafume và tro bay), lượng hồ chất kết dính tăng thì lớp hồ bao bọc xung quanh hạt cốt liệu tăng, khi đó các hạt cốt liệu sẽ trượt lên nhau dễ dàng và làm tăng độ linh động cho hỗn hợp bê tông. Ngoài ra Silicafume và tro bay

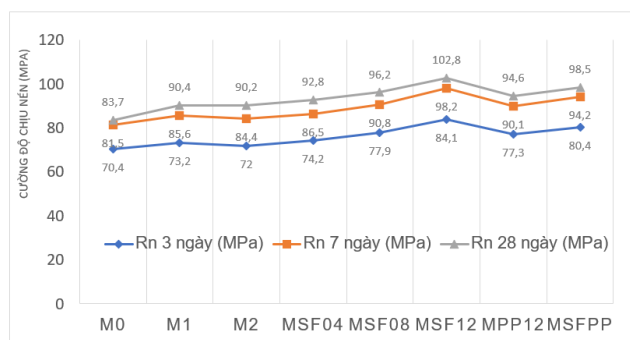
có dạng hình cầu, bề mặt trơn nhẵn, kích thước nhỏ hơn so với hạt xi măng sẽ tạo hiệu ứng “bi lẩn”, nhất là tro bay sẽ làm tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông khi nhào trộn [6, 7, 8]. Như vậy với cấp phối M2 thay thế 7 % silicafume và 50 % tro bay cho độ linh động khá cao 18 cm phù hợp cho việc thi công loại bê tông tính năng cao đa phần đều có cốt thép dày đặc; và tỷ lệ thay thế này được cố định cho các cấp phối nghiên cứu tiếp theo khi trộn thêm sợi. Tiếp đến các mẫu có pha trộn sợi thép lần lượt là 0,4 %; 0,8 %; 1,2 % so với khối lượng bê tông thì độ sụt giảm dần tương ứng là 16 cm, 14 cm, 11 cm; mặc dù ứng với các tỷ lệ phối trộn sợi thép này có tăng lượng dùng phụ gia siêu dẻo từ 1 % lên 1,2 %. Mẫu có pha trộn 1,2 % sợi PP có độ sụt thấp nhất là 5cm với lượng dùng phụ gia siêu dẻo cao nhất 1,4 %, còn mẫu hỗn hợp giữa 2 loại sợi có độ sụt trung gian là 8 cm. Kết quả cho thấy, việc sử dụng sợi thép ít ảnh hưởng tới độ linh động của hỗn hợp. Tuy nhiên, việc sử dụng sợi PP có ảnh hưởng đáng kể tới sự linh động của hỗn hợp do sợi PP có đường kính rất nhỏ, mảnh, dài và dễ bị rối hoặc bị uốn cong nên cản trở một phần sự chuyển dịch của các cấu tử bên trong hỗn hợp [9,10].

3.2. Cường độ chịu nén

Quy trình xác định cường độ chịu nén (R_n) của bê tông được tiến hành theo tiêu chuẩn TCVN 3118:2022 [11], đúc mẫu trụ chuẩn $d \times h = 15 \times 30$ (cm). Kết quả xác định R_n được thể hiện ở Hình 2 và 3.



Hình 2. Thử R_n và dạng vết nứt sau khi nén.



Hình 3. Biểu đồ quan hệ cường độ R_n ở 3,7 và 28 ngày tuổi với các tỷ lệ cấp phối.

Cường độ chịu nén ở tất cả các ngày tuổi của mẫu M1 và M2 khi có phụ gia vô cơ hoạt tính đều cao hơn so với mẫu đối chứng M0 (cao hơn khoảng 8 % ở 28 ngày). Điều này có thể được giải thích do sử dụng phụ gia Silicafume và tro bay chứa SiO_2 hoạt tính sẽ thực hiện phản ứng puzzolan hóa tạo khoáng CSH làm tăng cường độ, ngoài ra Silicafume có kích thước hạt nhỏ hơn cả trăm lần so với xi măng nên sẽ lấp đầy các lỗ rỗng vi cấu trúc làm tăng độ đặc chắc giúp tăng cường độ nén bê tông [12]. So sánh giữa M1 và M2 cho thấy, M2 sử dụng 50 % tro bay, cao hơn M1(40 %), nhưng cường độ nén 28 ngày giảm không đáng kể. Với giá tro bay rẻ hơn xi măng và silicafume, cùng khả năng giảm nhiệt thủy hóa, tăng cường độ muộn ngày, cấp phối M2 (7 % silicafume, 50 % tro bay) được chọn làm tối ưu cho các cấp phối sau.

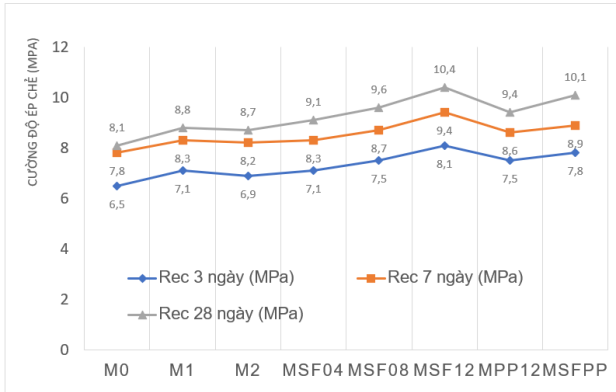
Việc trộn sợi thép và sợi PP riêng lẻ hay hỗn hợp ở bất kỳ tỷ lệ nào cho các cấp phối tiếp theo đều cho cường độ chịu nén cao hơn so với mẫu M2 ở tất cả các ngày tuổi. Tuy nhiên, khi hàm lượng sợi thép trộn riêng lẻ càng cao thì cường độ chịu nén càng tăng và cao hơn so với khi trộn sợi PP và trộn hỗn hợp. Cụ thể, xét ở cùng tỷ lệ trộn 1,2 % sợi SF và 1,2 % sợi PP thì cường độ 28 ngày của sợi SF cao hơn 8,6 % so với dùng sợi PP. Điều này được giải thích do cường độ, mô đun đàn hồi của sợi thép cao hơn so với sợi PP nên mang lại hiệu quả cao trong việc lấp đầy các vết nứt vĩ mô giúp tăng khả năng chịu nén. Ngoài ra, còn nhận thấy việc sử dụng sợi riêng lẻ hay hỗn hợp đều không ảnh hưởng đến tốc độ phát triển cường độ chịu nén mà chỉ làm tăng giá trị cường độ chịu nén ở tất cả các ngày tuổi. Sự tăng cường độ chịu nén khi dùng sợi này có thể được giải thích là do sợi có khả năng hạn chế sự mở rộng vết nứt, làm thay đổi hướng của vết nứt và làm chậm tốc độ phát triển vết nứt. Mẫu trộn sợi hỗn hợp MSFPP có R_n 28 ngày gần đạt 100 MPa, đây là cường độ rất cao phù hợp cho loại bê tông HPC cần chế tạo [10, 12].

3.3. Cường độ kéo khi ép chế

Thí nghiệm xác định cường độ kéo khi ép chế được tiến hành theo TCVN 8862:2011, đúc mẫu trụ chuẩn [14]. Kết quả thí nghiệm cường độ kéo khi ép chế được thể hiện ở Hình 4 và Hình 5.



Hình 4. Thí nghiệm xác định cường độ kéo khi ép chế.

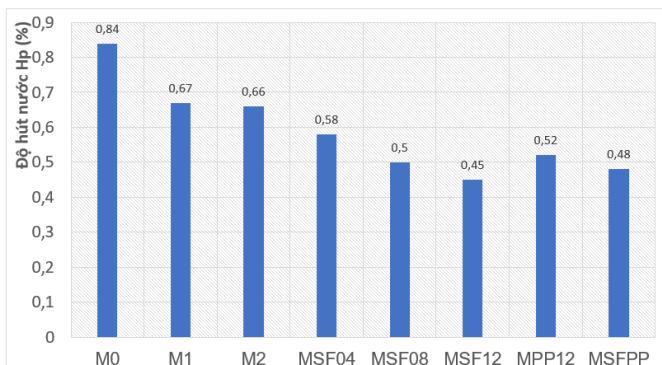


Hình 5. Quan hệ giữa cường độ kéo khi ép chế ở 3, 7 và 28 ngày tuổi với các tỷ lệ trộn.

Cũng như cường độ chịu nén, quy luật phát triển cường độ chịu kéo khi ép chế cũng tăng nhanh giai đoạn sớm ngày 3, 7 ngày và chậm lại giai đoạn sau cho tất cả các cấp phối. Phụ gia vô cơ hoạt tính Silicafume và tro bay ít làm tăng cường độ ép chế, việc dùng nhiều loại phụ gia này có thể làm bê tông giòn hơn. Tuy nhiên, việc dùng sợi đặc biệt là sợi thép làm tăng đáng kể cường độ chịu kéo khi ép chế. Cụ thể, mẫu MSF12 có Rec 28 ngày gấp 1,3 lần so với Rec 28 ngày mẫu đối chứng. Việc dùng sợi thép giúp tăng Rec cao hơn so với dùng sợi PP ở cùng tỷ lệ, điều này có thể do sợi PP ngắn và có độ bền kéo và mô đun đàn hồi thấp hơn so với sợi thép. Tuy nhiên, Rec của mẫu hỗn hợp MSFPP phối trộn tỷ lệ SF và PP bằng nhau khá cao tới 10,1 MPa. Nên nếu xét về hiệu quả kinh tế khi giảm hàm lượng sợi thép và tăng hàm lượng sợi PP mà vẫn cho giá trị Rn và Rec khá cao thì đây là tỷ lệ phối trộn tối ưu về giá thành và cường độ mong muốn [10, 13].

3.4. Độ hút nước

Thử nghiệm độ hút nước của bê tông cốt sợi được tiến hành theo tiêu chuẩn TCVN 3113:2022 [15]. Kết quả độ hút nước của bê tông cốt sợi được thể hiện trong Hình 6.



Hình 6. Độ hút nước của các mẫu bê tông cốt sợi với tỷ lệ phối trộn khác nhau.

Độ hút nước của bê tông là một trong những yếu tố chính ảnh hưởng đến độ bền của bê tông, đặc biệt bê tông tính năng cao thì độ bền rất quan trọng. Độ hút nước gián tiếp thể hiện đặc tính lỗ rỗng, tính thấm, độ mài mòn, ... của bê tông. Từ số liệu về độ hút nước Hình 6 chỉ ra rằng mẫu M1, M2 có độ hút nước thấp hơn so với mẫu đối chứng M0 do thêm phụ gia vô cơ hoạt tính dẫn đến bê tông tăng độ đặc chắc, độ hút nước sẽ giảm. Điều này có thể được giải thích do phụ gia vô cơ hoạt tính phản ứng với Ca(OH)_2 tạo gel C-S-H, lấp đầy lỗ rỗng trong bê tông, tăng độ đặc chắc. Các hạt mịn của phụ gia giảm kích thước và số lượng lỗ mao dẫn, tăng mật độ vật liệu rắn trong bê tông, cải thiện cấu trúc vi mô, giảm sự xuất hiện vùng chuyển tiếp yếu vốn là nơi dễ thấm nước. Nhờ đó, bê tông giảm độ hút nước và bền hơn. Khi hàm lượng SF và PP pha trộn vào bê tông càng tăng thì độ hút nước càng giảm do cấu trúc bê tông càng đặc chắc, cường độ nén, kéo càng cao khi hàm lượng sợi pha trộn càng tăng. Tất cả các giá trị độ hút nước của các mẫu bê tông cốt sợi đều rất thấp ($< 1\%$) rất phù hợp cho ứng dụng của bê tông HPC trong nghiên cứu này.

4. Kết luận

Với nguồn nguyên vật liệu chủ yếu phía Nam, tro bay nhà máy nhiệt điện Phú Mỹ, Silicafume nhập khẩu và các sợi SF và sợi PP có thể chế tạo bê tông có cường độ chịu nén hơn 80 MPa.

Việc thay thế lượng xi măng bởi 7 % Silicafume và 50 % tro bay là một tỷ lệ thay thế khá lớn giúp giảm giá thành cho bê tông, hạn chế ô nhiễm môi trường do phế thải tro bay gây ra mà còn làm tăng độ linh động hỗn hợp bê tông, cải thiện cường độ muộn ngày, giúp hỗn hợp bê tông bớt tỏa nhiệt (giảm nguy cơ gây nứt).

Việc trộn sợi SF và sợi PP vào bê tông làm giảm độ linh động hỗn hợp bê tông nhưng lại làm tăng cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi ép chế, giảm độ hút nước của bê tông, cải thiện cơ tính và tăng độ bền cho bê tông, nâng cường độ chịu nén của HPC đạt trên 100 MPa.

Trong các tỷ lệ phối trộn phụ gia vô cơ, sợi SF, sợi PP riêng lẻ và trộn hỗn hợp thì tỷ lệ trộn 7 % Silicafume, 50 % Tro bay; 0,6 % SF và 0,6 % PP là tỷ lệ tối ưu về nhiều yếu tố giúp giảm giá thành bê tông nhưng độ linh động, cường độ, độ hút nước đều ở mức rất tốt cho loại bê tông HPC. Loại bê tông này có thể ứng dụng cho nhiều công trình xây dựng lớn, dùng thi công lớp phủ mặt cầu - đường, đường băng, bãi đỗ ... vừa chống thấm, bền với khí hậu thời tiết của Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- [1]. C. Heidrich, H.-J. Feuerborn, A. Weir (2013), Coal combustion products: a global perspective, in: World of Coal Ash Conference.
- [2]. TS. Nguyễn Thanh Bình (2007), "Nghiên cứu chế tạo bê tông cốt sợi thép cường độ chịu uốn cao trong điều kiện Việt Nam", Luận án TSKT, Viện KHCN Xây dựng, Hà Nội.
- [3]. GS.TS Phạm Duy Hữu (2011), Giáo trình vật liệu xây dựng, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải.

- [4]. ACI 211.1-91, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.
- [5]. I. U.M. Bazenov, Bạch Đình Thiên, Trần Ngọc Tính (2004), Công nghệ bê tông, Nhà xuất bản Xây dựng.
- [6]. Thomas, M. D. A. (2007), Optimizing the use of fly ash in concrete, volume 5420. Portland Cement Association Skokie, IL.
- [7]. Bentz, D. P., Ferraris, C. F., Snyder, K. A. (2013), Best Practices Guide for High-Volume Fly Ash Concretes: Assuring Properties and Performance, Technical report, U.S. Department of Commerce.
- [8]. Titarmare, A. P., Deotale, S. R. S., Bachale, S. B. (2012), Experimental Study Report on Use of Fly Ash in Ready Mixed Concrete, International Journal of Scientific & Engineering Research, 3:2–10.
- [9]. TS. Trần Bá Việt (2008), Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng cao sử dụng cốt sợi nhân tạo dùng cho các công trình ở Hà Nội, Đề tài mã số TC-ĐT/5-04-03.
- [10]. Vahid Afrouhsabet, Togay Ozbakkaloglu (2015), Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers, Construction and Building Materials 94, page73–82.
- [11]. TCVN 3118:2022, Bê tông nặng - phương pháp xác định cường độ nén.
- [12]. GS.TS Phạm Duy Hữu (2008), Giáo trình Bê tông tính năng cao và chất lượng cao, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải.
- [13]. S.P.Singh*, A.P.Singh (2010), Strength and flexural toughness of concrete reinforced with steel-polypropylene hybrid fibres, Asian journal of civil engineering vol.11, No 4.
- [14]. TCVN 8862:2011, Quy trình thí nghiệm xác định cường độ kéo khi ép chế của vật liệu hạt liên kết bằng các chất kết dính.
- [15]. TCVN 3113:2022, Bê tông nặng - Phương pháp xác định độ hút nước