

Nghiên cứu chế tạo bê tông hạt mịn cường độ chịu nén trên 100 MPa sử dụng hạt xỉ thép thay thế cát

Lê Huy Việt ^{1,2*}, Nguyễn Văn Khuây ¹, Lê Ngọc Nam ¹, Phạm Văn Khải ¹, Trần Đình Tú ¹, Tăng Văn Lâm ^{1,2}, Phạm Xuân Thủy ¹

¹ Bộ môn Kỹ thuật xây dựng, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam.

² Nhóm nghiên cứu mạnh GECS, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam.

TỪ KHOÁ

Bê tông hạt mịn
Cường độ cao
Điều kiện bảo dưỡng
Muội silic
Xi thép

TÓM TẮT

Cùng với sự phát triển của nền kinh tế, nhu cầu xây dựng các công trình nhà cao tầng và cơ sở hạ tầng có nhịp và quy mô lớn ngày càng cao, đi kèm với nó là yêu cầu về sử dụng các vật liệu cường độ cao. Bê tông cường độ cao đang được nghiên cứu ngày càng nhiều, tuy nhiên bê tông cường độ cao có cường độ chịu nén trên 100 MPa sử dụng xỉ thép làm cốt liệu mịn chưa được nghiên cứu ở Việt Nam. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng hạt xỉ thép PS Ball, sản xuất theo công nghệ nguyên tử hóa xỉ - Slag Atomizing Technology (SAT) dạng hình cầu, đường kính trung bình 0,4 mm làm cốt liệu mịn thay thế một phần hoặc toàn bộ (0, 30, 50 và 100 %) cát trong chế tạo bê tông cường độ cao. Xi măng PCB40 Bút Sơn và muội silic (SF90) được sử dụng làm chất kết dính. Hàm lượng nước trên xỉ măng được giữ ở tỷ lệ 0,2 kết hợp với phụ gia siêu dẻo để giảm lượng nước thừa cho thủy hóa nhưng vẫn đảm bảo độ lưu động của bê tông. Các điều kiện bảo dưỡng bao gồm nhiệt ẩm, ngâm trong nước và để ngoài không khí ở các độ tuổi khác nhau được đánh giá. Bên cạnh đó, ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia khoáng hoạt tính silica fume (5, 15 và 25 %) được nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng, khi hàm lượng xỉ thép thay thế cát tăng từ 0 đến 100%, độ chảy xê của bê tông tăng từ 220 lên 300 mm. Khi hàm lượng xỉ thép thay thế 50% cát và hàm lượng silica fume 25 % ở điều kiện bảo dưỡng nhiệt ẩm 80°C trong 3 ngày, bê tông đạt cường độ chịu nén trung bình là 102,5 MPa.

KEYWORDS

Curing condition
Fine-grained concrete
High strength
Silica fume
Steel slag

ABSTRACT

Along with the development of the economy, the need to build high-rise buildings and large-scale infrastructure projects is increasing, accompanied by the requirement to use high-strength materials. High-strength concrete is being studied more and more, however high-strength concrete with compressive strength over 100 MPa using steel slag as fine aggregate has not been investigated in Vietnam. In this study, the authors used steel slag particles (PS Ball), produced using Slag Atomizing Technology (SAT) in spherical shape, average diameter of 0.4 mm as a replacement fine aggregate (0, 30, 50 and 100%). PCB40 But Son cement and silica fume (SF90) were used as binders. The water per cement ratio was kept at a ratio of 0.2 combined with the superplasticizer to reduce excess water for hydration but still ensure the flowability of concretes. Curing conditions including air, water, and moisture heat at different ages were evaluated. Besides, the effect of silica fume content (5, 15, and 25%) was investigated. Test results indicated that as the content of steel slag aggregate replacing sand increased from 0 to 100%, the flowability of fresh concrete notably increased from 220 to 300 mm. The concretes, which was manufactured by using the steel slag aggregate content replacing 50 % of sand and 25% silica fume content under moist heat curing conditions of 80oC for 3 days, produced an average compressive strength of 102.5 MPa.

1. Giới thiệu

Cùng với sự phát triển của kinh tế xã hội, quy mô và số lượng các công trình nhà cao tầng được xây dựng ngày càng tăng. Để đáp ứng với những đòi hỏi đặc biệt về kết cấu, khả năng chịu lực và điều kiện thi

công, vật liệu bê tông cường độ cao đã, đang được nghiên cứu, phát triển và áp dụng. Một số công trình nhà cao tầng đã sử dụng vật liệu bê tông cường độ cao như Hanoi Landmark Tower (Hà Nội, Việt Nam) và Petronas Twin Tower (Malaysia) sử dụng bê tông cường độ đến 70 MPa

*Liên hệ tác giả: lehuyviet@humg.edu.vn

Nhận ngày 15/08/2023, sửa xong ngày 07/11/2023, chấp nhận đăng 14/11/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2023.552>

trong khi Federasia Tower - Moscow City (Nga) sử dụng bê tông cường độ đến 90 MPa.

Tiêu chuẩn TCVN 10306:2014 [1] hướng dẫn thiết kế cấp phối và chế tạo cho bê tông cường độ cao trong khoảng 62 đến 83 MPa và có thể lên tới tối đa là 100 MPa. Tuy nhiên, hiện tại ở Việt Nam chưa có tiêu chuẩn hướng dẫn chế tạo bê tông cường độ cao trên 100 MPa cũng như bê tông cường độ siêu cao trên 150 MPa.

Bên cạnh đó, cốt liệu sử dụng chính trong bê tông cường độ cao là cát và đá đều là nguyên liệu tự nhiên đang ngày càng khan hiếm. Việc tìm kiếm các vật liệu thay thế cho cốt liệu trong bê tông đặc biệt là bê tông cường độ cao ngày càng trở nên cấp thiết. Các nghiên cứu gần đây chỉ ra rằng, hạt xi thép (một phế phẩm của quá trình sản xuất thép) là vật liệu tiềm năng để thay thế một phần cốt liệu trong bê tông [2-4]. Xi thép là vật liệu phế thải đang được quan tâm và xử lý để không ảnh hưởng tới môi trường. Theo báo cáo của tổng công ty thép Việt Nam [5], năm 2020, sản lượng thép ở Việt Nam đạt 20,9 triệu tấn. Lượng xỉ thải ra từ các nhà máy thông thường chiếm từ 11% - 12% khối lượng phối đầu vào [2]. Công ty TNHH Vật Liệu Xanh [4] báo cáo rằng xi thép có độ cứng, độ ma sát và khả năng chống mài mòn cao và chỉ số bong tróc thấp hơn nhiều so với đá. Ngày 15 tháng 6 năm 2017, Bộ Xây dựng ban hành Quyết định số 430/QĐ-BXD của Bộ trưởng Bộ Xây dựng về chỉ dẫn kỹ thuật “Xi gang và xi thép sử dụng làm vật liệu xây dựng” [6]. Xi thép đã được hợp chuẩn được phép làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng và vật liệu trong các công trình xây dựng, giao thông [7]. Tuy nhiên, các nghiên cứu sử dụng xi thép cho bê tông cường độ cao cũng như đánh giá các đặc trưng cơ học của bê tông cường độ cao chưa được tìm thấy.

Nghiên cứu này có mục đích chế tạo và đánh giá được một số đặc trưng cơ lý của bê tông hạt mịn cường độ chịu nén trên 100 MPa sử dụng xi thép công nghiệp thay thế cát. Nghiên cứu được tiến hành qua hai bước: (1) Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao sử dụng các nguyên liệu tại chỗ dựa trên thay đổi các yếu tố ảnh hưởng như hàm lượng silica fume, điều kiện bảo dưỡng; (2) nghiên cứu chế tạo và đánh giá một số đặc trưng cơ lý của bê tông cường độ cao sử dụng xi thép công nghiệp với các hàm lượng xi thép thay thế cát khác nhau để đạt được cấp phối có cường độ đạt trên 100 MPa.

2. Vật liệu và thí nghiệm

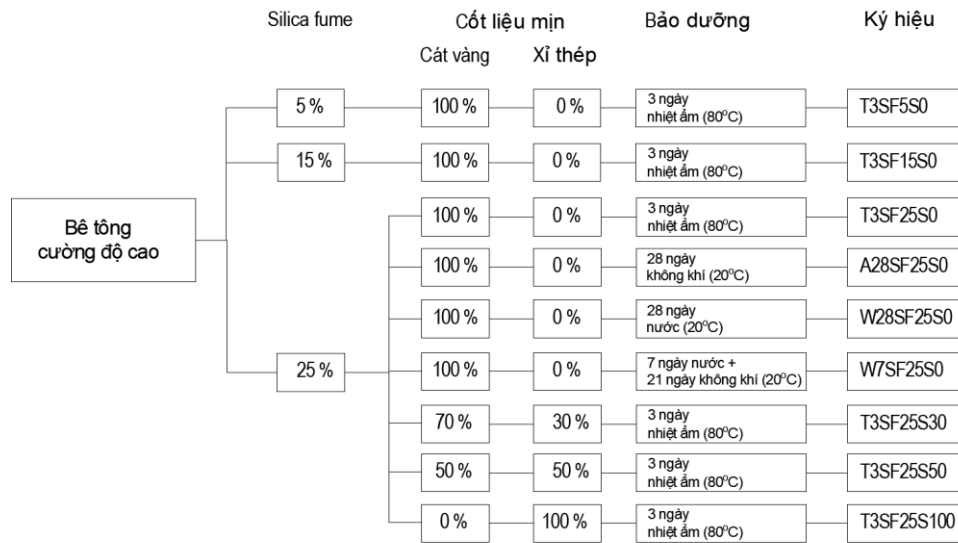
Để chế tạo bê tông cường độ cao trên 100 MPa, các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ bê tông cường độ cao được xem xét đánh giá dựa trên các kết quả nghiên cứu đã được thực hiện ở Việt Nam và trên thế giới như trong Bảng 1.

Từ các cấp phối đã được nghiên cứu trong Bảng 1 và các nghiên cứu đã triển khai trên thế giới, một số đặc điểm của bê tông cường độ trên 100 MPa được tổng hợp như sau: (1) Cấp phối không sử dụng cốt liệu thô, chỉ sử dụng cốt liệu mịn; (2) Tỷ lệ nước trên xi măng hoặc nước trên chất kết dính thấp, nhỏ hơn 0,2 và sử dụng kết hợp với phụ gia siêu dẻo; (3) Muối silic thường được sử dụng làm phụ gia khoáng hoạt tính, hàm lượng sử dụng dao động từ 10 đến 25%; có thể sử dụng tro bay hoặc xỉ lò cao (GGBS) với tỷ lệ với chất kết dính là 20%; (4) Điều kiện bảo dưỡng nhiệt ẩm thường được áp dụng (nhiệt độ điều chỉnh từ 60 đến 90 °C). Bê tông có thể thủy hóa gần như hoàn toàn sau khi được bảo dưỡng nhiệt ẩm sau 2 đến 3 ngày.

Bảng 1. Tổng hợp cấp phối bê tông cường độ cao theo tỷ lệ về khối lượng.

TLTK	Xi măng	Cát	Muối silic	Tro bay	GGBS	Bột thạch anh	N/CKD	PGSD	Sợi thép, vol. %	f _c , MPa	Độ chảy, mm
[8]	1	1,1	0,25	-	-	-	0,15	0,052	-	194	-
	1	1,1	0,25	-	-	-	0,17	0,052	2,5	193	-
[9]	1	1,1	0,125	0,085	-	-	0,157	0,011	-	135	-
	1	1,3	0,14	0,096	-	-	0,174	0,012	-	140	-
	1	1,5	0,164	0,111	-	-	0,195	0,014	-	145	-
	1	1,75	0,194	0,131	-	-	0,221	0,017	-	149	-
[10]	1	1	0,1	-	0,3	-	0,16	0,008	-	155	270
[11]	1	1	-	-	-	-	0,18	0,01	-	130	230
[12]	1	1	0,15	-	-	0,25	0,2 *	0,067	2	180	230
[13]	1	1	0,15	-	-	0,3	0,2 *	0,042	2	182,6	240
[14]	1	1	0,15	-	-	0,25	0,2 *	0,039	2	179	268
[15]	1	1,1	0,25	-	-	0,3	0,2 *	0,067	-	180	-

TLTK: tài liệu tham khảo; GGBS: xỉ lò cao; *: tỷ lệ nước/xi măng (N/X); N/CKD: nước/chất kết dính; PGSD: phụ gia siêu dẻo; vol. %: phần trăm thể tích; f_c: cường độ chịu nén.



Ảnh hưởng của silica fume Ảnh hưởng xi thép Ảnh hưởng bảo dưỡng

Hình 1. Chương trình thí nghiệm.

Bảng 2. Cấp phối bê tông tính theo tỷ lệ về khối lượng.

Mẫu	Xi măng	Silica fume	Cát đen	Cát vàng	Xi thép	Nước	Phụ gia siêu dẻo	Bảo dưỡng
A28SF25S0	1	0,25	-	1,25	-	0,2	0,067	28D, A
W28SF25S0	1	0,25	-	1,25	-	0,2	0,067	28D, W
W7SF25S0	1	0,25	-	1,25	-	0,2	0,067	7D, W
T3SF25S0	1	0,25	-	1,25	-	0,2	0,067	3D, T
T3SF5S0	1	0,05	-	1,25	-	0,2	0,067	3D, T
T3SF15S0	1	0,15	-	1,25	-	0,2	0,067	3D, T
T3SF25S30	1	0,25	-	0,875	0,375	0,2	0,067	3D, T
T3SF25S50	1	0,25	-	0,625	0,625	0,2	0,067	3D, T
T3SF25S100	1	0,25	-	-	1,25	0,2	0,067	3D, T

28D, A: 28 ngày trong không khí; 28D, W: 28 ngày trong nước; 7D, W: 7 ngày trong nước và 21 ngày trong không khí; 3D, T: 3 ngày nhiệt ẩm ở 80°C.

Để tiến hành chế tạo và đánh giá đặc trưng cơ lý của bê tông hạt mịn cường độ cao trên 100 MPa sử dụng xi thép công nghiệp, chương trình thí nghiệm được thiết kế như trong Hình 1. Các yếu tố ảnh hưởng được đánh giá trong nghiên cứu này bao gồm: (1) đánh giá ảnh hưởng của điều kiện bảo dưỡng gồm bảo dưỡng trong không khí ở 28 ngày, bảo dưỡng trong nước ở 28 ngày, bảo dưỡng trong nước 7 ngày và không khí 21 ngày, bảo dưỡng nhiệt ẩm trong 3 ngày ở 80 °C; (2) đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng silica fume bao gồm 5 %, 15 % và 25 %; và (3) sau khi chọn được cấp phối bê tông cường độ cao, hàm lượng xi thép thay thế cát được sử dụng để đánh giá là 30 %, 50 % và 100 %.

Cấp phối chế tạo bê tông cường độ cao trong nghiên cứu này được cung cấp trong Bảng 2. Các cấp phối thí nghiệm để đánh giá các yếu tố

ảnh hưởng trên bao gồm A28SF25S0, W28SF25S0, T3SF25S0, T3SF5S0, T3SF15S0, T3SF25S30, T3SF25S50, T3SF25S100.

2.1. Vật liệu

Các cấp phối của bê tông gồm chất kết dính (xi măng, khoáng hoạt tính), nước, phụ gia tăng dẻo và cốt liệu mịn (cát và xi thép), không sử dụng cốt liệu thô. Xi măng PCB40 Bút sơn được sử dụng sản xuất theo tiêu chuẩn [16]. Đây là loại xi măng sẵn có và được sử dụng rộng rãi trên thị trường. Cốt liệu nhỏ sử dụng trong thí nghiệm này là cát vàng sông Lô (C), loại hạt thô, chất lượng tốt, thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 [17] được sử dụng làm cốt liệu nhỏ trong hỗn hợp chất kết dính. Trong nghiên cứu này, cốt liệu cát vàng sử dụng

phần cốt liệu có kích thước lọt sàng 1,25mm, các hạt kích thước lớn hơn 1,25 mm được loại bỏ. Bên cạnh đó, cát đen được sử dụng để so sánh với cát vàng. Cát đen có đường kính lớn nhất 0,63 mm. Nước sạch được sử dụng để làm nước trộn bê tông và để bảo dưỡng mẫu. Nước sạch sử dụng trong cấp phối thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 4506:2012 [18]. Phụ gia khoáng sử dụng trong nghiên cứu là muội silic (Silica fume). Silica fume hay còn được gọi là microsilia có được từ việc khử

thạch anh, dạng bột siêu mịn có đường kính nhỏ hơn 1 μm , trung bình là khoảng 0,15 μm . Silica fume có tác dụng tăng quá trình thủy hóa giúp tăng cường độ của bê tông. Đồng thời, hạt silica fume có kích thước nhỏ hơn nhiều so với kích thước hạt xi măng và cốt liệu khác sẽ có tác dụng chèn đầy các lỗ rỗng trong cấu trúc của bê tông. Xi măng và silica fume được sàng trước khi trộn mẫu để loại bỏ các hạt vón cục do bị ẩm trong quá trình lưu trữ.



a) Hình ảnh xi thép PS Ball



b) Hình ảnh phóng to

Hình 2. Hình ảnh xi thép PS Ball.

Để tăng khả năng làm việc (độ chảy) của bê tông với tỷ lệ nước trên xi măng thấp, phụ gia siêu dẻo giảm nước là phụ gia SR5000F của SilkRoad. Phụ gia siêu dẻo SR 5000 F có khối lượng riêng 1,12 g/m^3 ở nhiệt độ 25 ± 5 $^{\circ}\text{C}$. Đây là loại phụ gia giảm nước tầm cao, thể hệ 3, có thành phần dựa trên gốc Polycarboxylate, có các đặc tính thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 8826:2011 [19].

Xi thép trong nghiên cứu này (Hình 2) sử dụng loại xi thép nhập khẩu Precious Slag Ball (PS Ball), đây là loại xi thép được sản xuất theo công nghệ nguyên tử hóa xi (slag atom technology, SAT) của hãng Ecomaister, Hàn Quốc. Loại xi thép này đang được sử dụng rộng rãi ở thị trường Việt Nam trong công nghệ phun bi làm sạch và xử lý ăn mòn. Bên cạnh đó, xi thép PS Ball có thể sử dụng trong các công nghệ lọc hoặc cốt liệu cho bê tông [20]. Đặc điểm của xi thép sản xuất theo công nghệ SAT là xi thép có dạng hình cầu, bề mặt nhẵn, đường kính từ 0,1 đến 2 mm gần như không có thành phần Cao và MgO tự do nên không bị mất ổn định thể tích hoặc gây trương nở bê tông [20]. Đường kính trung bình của xi thép trong nghiên cứu này là 0,4 mm. Xi thép có thể sử dụng thay thế một phần hoặc toàn bộ cốt liệu mịn trong bê tông.

2.2. Quá trình đúc mẫu

Để đảm bảo cho kết quả không bị sai lệch do quá trình đúc mẫu nên quy trình được đúc đồng bộ theo quy trình 05 bước như sau: (1) Trộn khô xi măng cùng với silica fume trong máy trộn trong vòng 3 phút; (2) thêm xi thép và cát vào cối và trộn trong vòng 5 phút; (3) Đổ

Cường độ chịu nén của mẫu được xác định sử dụng hệ thống máy nén uốn tự động ADVANTEST 9 (Controls - Italia). Tốc độ gia tải là 1000 N/s.

từ từ nước vào cối trộn và trộn đều trong vòng (3 phút); (4) Thêm từ từ chất phụ gia siêu dẻo vào cối trộn và trộn đều hỗn hợp trong 2 phút đến khi mẫu đạt độ chảy dẻo yêu cầu; (5) Hỗn hợp vữa bê tông được kiểm tra đảm bảo độ chảy xòe trước khi đổ hỗn hợp vữa bê tông vào khuôn. Khuôn mẫu kích thước 50x50x50 mm^3 được sử dụng để đánh giá cường độ chịu nén của bê tông hạt mịn (không có cốt liệu lớn) theo tiêu chuẩn ASTM C109. Khi đổ mẫu vào khuôn, mỗi bên ván khuôn được gõ đều 25 lần để cho bọt khí được thoát ra. Mẫu được đậy kín bằng tấm nilon và tháo ván khuôn sau 2 ngày bảo dưỡng ở điều kiện phòng. Sau khi tháo mẫu, các mẫu được bảo dưỡng trong các điều kiện không khí, nhiệt ẩm và nước theo chương trình thí nghiệm.

2.3. Mô tả các thí nghiệm

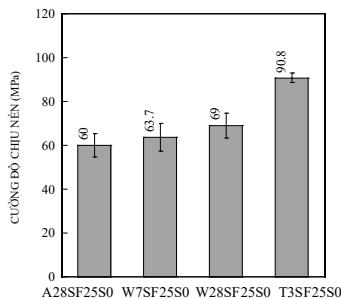
Thí nghiệm xác định độ chảy xòe được thực hiện sử dụng côn mini (flow table test) cho bê tông hạt mịn. Các bước thí nghiệm được tiến hành như sau: (1) đổ đầy hỗn hợp đã trộn vào côn đo độ xòe; (2) dùng thước gạt hỗn hợp vữa bê tông bằng mặt với côn đo; (3) rút côn theo phương thẳng đứng bằng hai tay; dùng thước đo kích thước độ xòe của bê tông khi rút côn sau 1 phút theo hai chiều vuông góc và ghi kết quả. Giá trị trung bình của hai kích thước được sử dụng là giá trị độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông tươi.

Khối lượng thể tích của bê tông hạt mịn cường độ cao được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 3115: 1993.

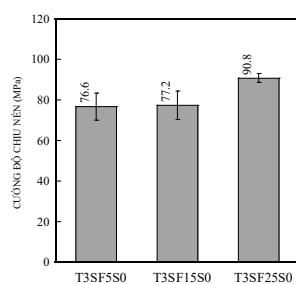
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng silica fume, điều kiện bảo dưỡng đến một số đặc trưng của bê tông hạt mịn

Hình 3 trình bày ảnh hưởng các phương pháp bảo dưỡng đến cường độ chịu nén của bê tông. Bảng 3 tổng hợp giá trị cường độ chịu nén, khối lượng thể tích của các mẫu bê tông hạt mịn. Ở cùng độ tuổi 28 ngày, cường độ chịu nén của mẫu bảo dưỡng 28 ngày ngoài không khí (60 MPa) nhỏ hơn so với bảo dưỡng 7 ngày trong nước và 21 ngày trong không khí (63,7 MPa) và nhỏ hơn bảo dưỡng 28 ngày trong nước (69 MPa). Mẫu bảo dưỡng nhiệt ẩm có cường độ chịu nén lớn nhất đạt 90,8 MPa, tăng 50% so với bảo dưỡng 28 ngày trong không khí và 30,4% so với bảo dưỡng 28 ngày trong nước. Hồ Ngọc Khoa và cộng sự [21] cũng chỉ ra rằng, bảo dưỡng điều kiện không khí tự nhiên cho giá trị cường độ chịu nén bê tông thấp do sự bay hơi nước ở bề mặt của bê tông. Bên cạnh đó, các nghiên cứu về ảnh hưởng của phương pháp bảo dưỡng chỉ ra rằng, phản ứng thủy hóa và phản ứng pozzolanic là yếu khi mẫu được bảo dưỡng ở điều kiện 20 ± 5 °C [22]. Bảo dưỡng ở điều kiện nhiệt độ cao giúp tăng phản ứng pozzolanic của silica fume với sản phẩm quá trình thủy hóa ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, calcium hydroxide - CH) giúp tăng số lượng sản phẩm thủy hóa ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$, calcium silicate hydrate - CSH), cải thiện độ đặc chắc của vi cấu trúc và kết quả trong cải thiện cường độ của bê tông [22, 23]. Wang và cộng sự [24] cũng báo cáo rằng các sản phẩm thủy hóa của bê tông cường độ siêu cao chứa xi măng và khoáng hoạt tính như muối silic có xảy ra hoàn toàn chỉ sau 3 ngày bảo dưỡng nhiệt ẩm. Do đó, mẫu bê tông cường độ cao sử dụng bảo dưỡng nhiệt ẩm (80 °C) sau 3 ngày ở nghiên cứu này đạt cường độ chịu nén cao hơn rõ ràng so với các điều kiện bảo dưỡng không khí hay nước ở độ tuổi 28 ngày.



Hình 3. Ảnh hưởng của điều kiện bảo dưỡng đến cường độ chịu nén của bê tông.



Hình 4. Ảnh hưởng của phụ gia silica fume đến cường độ chịu nén của bê tông.

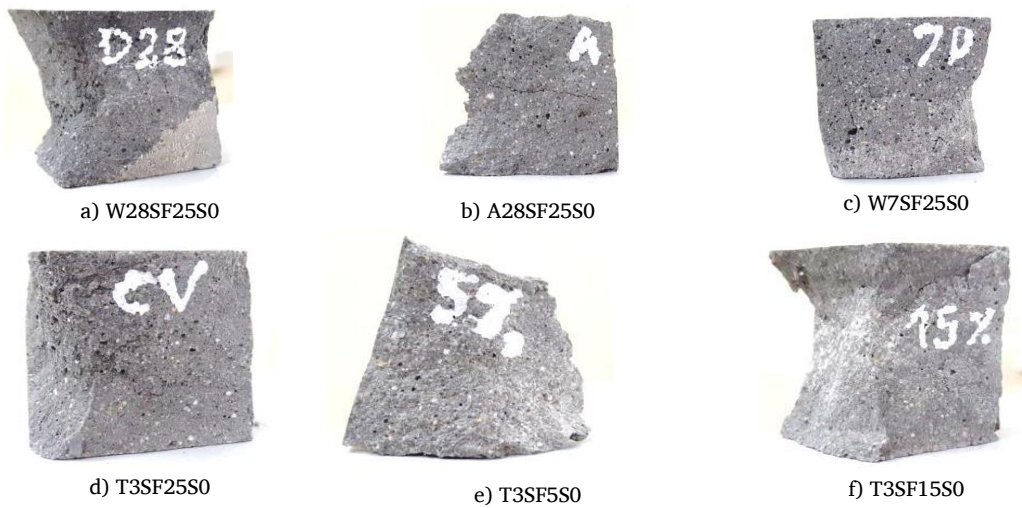
Hình 4 biểu diễn kết quả ảnh hưởng của hàm lượng silica fume đến cường độ chịu nén của bê tông. Khi hàm lượng silica fume tăng từ 5 % đến 25 %, cường độ chịu nén của bê tông tăng từ 76,6 MPa đến 90,8 MPa (14,9 %). Mẫu có hàm lượng silica fume bằng 25 % khối lượng xi

măng cho kết quả cường độ chịu nén cao nhất. Silica fume có tác dụng tăng phản ứng pozzolanic từ đó tăng cường độ của bê tông đặc biệt dưới tác dụng của bảo dưỡng nhiệt. Khi lượng silica fume quá nhiều có thể tạo ra màu đen bề mặt bê tông và tăng chi phí bê tông. Nghiên cứu của [22] chỉ ra rằng hàm lượng silica fume tối ưu phụ thuộc vào lượng N/X, lượng N/X thấp yêu cầu lượng silica fume thấp hơn. Richard và cộng sự [22] báo cáo rằng lượng silica fume nên trong khoảng 25 % của xi măng. Chan và cộng sự [25] cũng chỉ ra hàm lượng silica fume tối ưu trong khoảng 20 đến 30 % cho bê tông cường độ cao. Hình 5 biểu diễn hình ảnh các mẫu sau khi thí nghiệm nén. Hình ảnh của các mẫu sử dụng bảo dưỡng nhiệt rõ ràng có số lượng các lỗ rỗng đơn ít hơn và có cấu trúc đặc chắc hơn. Sự khác biệt về hình ảnh của các mẫu cùng được bảo dưỡng nhiệt không được rõ ràng.

Do vậy, để chế tạo bê tông hạt mịn cường độ cao, bảo dưỡng nhiệt ẩm ở 80 °C trong 3 ngày và hàm lượng silica fume chiếm 25 % khối lượng xi măng cần được sử dụng và áp dụng cho đánh giá ảnh hưởng của xi thép công nghiệp PS Ball đến các đặc trưng cơ lý của bê tông ở phần tiếp theo.

Bảng 3. Tổng hợp cường độ chịu nén và khối lượng thể tích.

Tên Mẫu	Cường độ chịu nén (MPa)	Khối lượng thể tích (kg/m ³)
T3S25X0	SP1	89
	SP2	89,6
	SP3	94
	Trung bình	90,8
	Độ lệch	2,2
T3S25X30	SP1	88,17
	SP2	91
	SP3	98,5
	Trung bình	92,6
	Độ lệch	4,34
T3S25X50	SP1	105,3
	SP2	99
	SP3	103,2
	Trung bình	102,5
	Độ lệch	2,6
T3S25X100	SP1	83,6
	SP2	85,6
	SP3	89,5
	Trung bình	86,3
	Độ lệch	6,4

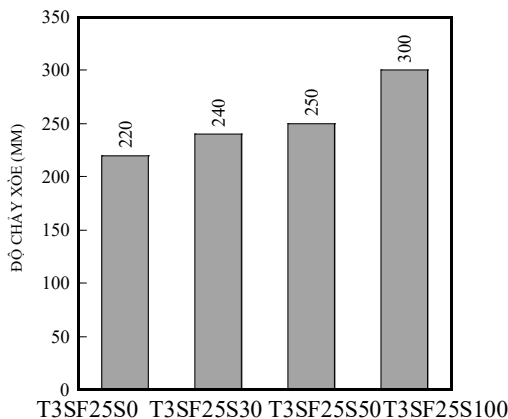


Hình 5. Hình ảnh các mẫu bê tông hạt mịn sau khi phá hủy.

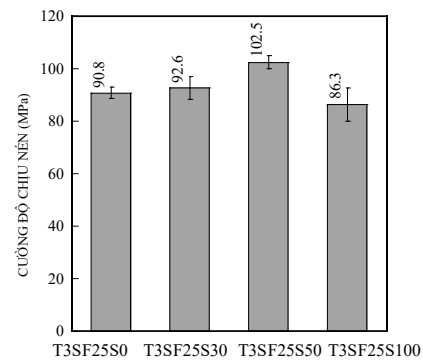
3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng xi thép đến một số đặc tính của bê tông cường độ cao

3.2.1. Ảnh hưởng đến độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông tươi

Hình 6 biểu diễn độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông tươi với hàm lượng xi thép khác nhau. Độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông tăng từ 220 mm lên 300 mm, khi hàm lượng xi thép tăng từ 0 đến 100 % thay thế cát. Zhao và cộng sự [26] chỉ ra rằng, lượng nước tự do trong bê tông ảnh hưởng chính đến độ chảy của hỗn hợp bê tông tươi. Khi lượng nước tự do tăng, độ chảy của bê tông tăng. Công ty Ecomaister đã báo cáo rằng, độ hấp thụ nước của xi thép PS Ball nhỏ hơn 30-40% so với cát [20]. Do đó, khi hàm lượng xi thép thay thế cát tăng, lượng nước bị hấp thụ trên bề mặt cốt liệu giảm hay lượng nước bị tự do trong bê tông tăng. Vì vậy, độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông tươi tăng khi lượng xi thép thay thế cát tăng.



Hình 6. Độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông tươi sử dụng xi thép.



Hình 7. Ảnh hưởng của hàm lượng xi thép đến khối lượng thể tích.

3.2.2. Ảnh hưởng đến cường độ chịu nén và khối lượng thể tích

Hình 7 biểu diễn ảnh hưởng của hàm lượng xi thép đến cường độ chịu nén của bê tông cường độ cao. Khi hàm lượng xi thép thay thế cát tăng từ 30 đến 50 %, cường độ chịu nén của mẫu bê tông cường độ cao tăng từ 92,6 đến 102,5 MPa. Tuy nhiên, khi hàm lượng xi thép tiếp tục tăng từ 50 % đến 100 %, cường độ chịu nén của mẫu giảm từ 102,5 MPa xuống 86,3 MPa. Như vậy, hàm lượng xi thép thay thế cát 50 % cho cường độ chịu nén tối ưu. Hình 8 biểu diễn hình ảnh cấu trúc bên trong của các mẫu bê tông hạt mịn với các hàm lượng xi thép khác nhau. Cấu trúc của mẫu T3SF25S100 rõ ràng có số lượng và kích thước lỗ rỗng nhiều hơn so với mẫu T3SF25S50. Một trong các nguyên nhân có thể do độ chảy của mẫu chứa 100 % xi thép quá cao (300 mm) có thể dẫn đến hiện tượng phân tầng và cuốn khí trong bê tông. Như tổng hợp trong Bảng 2, khối lượng thể tích của bê tông tăng từ 2224 kg/m³ đến 2782,7 kg/m³ khi hàm lượng xi thép tăng từ 0 đến 50% và giảm còn 2511,7 kg/m³ khi hàm lượng xi thép thay thế 100 % cát. Do đó, khi hàm lượng xi thép tăng từ 0 đến 50 %, cấu trúc và độ đặc chắc của bê tông tăng trong khi hàm lượng xi thép tăng từ 50 % tới 100 %, cấu trúc và độ đặc chắc của bê tông giảm. Vì vậy, hàm lượng xi thép thay thế

cát là 50 % là hàm lượng tối ưu sử dụng để chế tạo bê tông cường độ cao hạt mịn.



Hình 8. Hình ảnh các mẫu bê tông hạt mịn với hàm lượng xi thép khác nhau.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã chế tạo được bê tông hạt mịn cường độ cao trên 100 MPa từ các nguyên liệu sẵn có trong nước và sử dụng một phần xi thép (PS Ball) làm cốt liệu mịn thay thế cát. Một số kết luận được đưa ra như sau:

- Điều kiện bảo dưỡng ảnh hưởng rõ ràng đến sự phát triển cường độ của bê tông. Bảo dưỡng ở điều kiện nhiệt ẩm (80 °C) trong 3 ngày, cường độ chịu nén bê tông đạt 90,8 MPa, tăng 50% so với bảo dưỡng 28 ngày không khí và 30,4 % so với bảo dưỡng 28 ngày trong nước.
- Khi hàm lượng muối silic tăng từ 5 % đến 25 %, cường độ chịu nén của bê tông tăng từ 76,6 đến 90,8 MPa.
- Hàm lượng xi thép ảnh hưởng đến độ chảy xè và cường độ chịu nén của bê tông cường độ cao. Khi hàm lượng xi thép thay thế cát tăng từ 30 đến 100 %, độ chảy xè của bê tông tăng từ 240 mm đến 300 mm do bề mặt xi thép ít hấp thụ nước hơn so với cát.
- Khi hàm lượng xi thép thay thế cát tăng từ 30 % đến 50 %, cường độ chịu nén của bê tông tăng từ 92,6 MPa đến 102,5 MPa tuy nhiên khi hàm lượng xi thép tăng từ 50 % đến 100 %, cường độ chịu nén giảm xuống còn 86,3 MPa. Hàm lượng xi thép thay thế 50 % cát trong cấp phối là lựa chọn tối ưu trong các cấp phối nghiên cứu.
- Vật liệu xi thép (PS Ball) chế tạo theo công nghệ SAT là vật liệu tiềm năng để làm cốt liệu mịn trong bê tông cường độ cao. Tuy nhiên, các công nghệ xử lý xi thép ở Việt Nam hiện nay còn nhiều hạn chế nên chất lượng xi thép chưa cao, gây ô nhiễm môi trường, các nhà máy cần cải tiến và áp dụng công nghệ mới như công nghệ SAT để tận dụng, sử dụng hợp lý nguồn nguyên liệu này từ các nhà máy sản xuất thép.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đề tài Khoa học công nghệ cấp Bộ, Mã số B2022-MDA-05. Nhóm tác giả xin được gửi lời cảm ơn tới Phòng thí nghiệm Bộ môn Xây dựng Công trình Ngầm và Mỏ, Khoa Xây dựng, Đại học Mỏ - Địa chất đã hỗ trợ thiết bị thực hiện thí nghiệm của bài báo.

Đóng góp của các tác giả

Lê Huy Việt: lập chương trình thí nghiệm, viết và chỉnh sửa bản thảo, chịu trách nhiệm chất lượng bài báo; Nguyễn Văn Khuây, Lê Ngọc Nam, Trần Đình Tú, Tăng Văn Lâm và Phạm Xuân Thủy: thực hiện thí nghiệm, tham gia viết bản thảo.

Tài liệu tham khảo

- [1]. TCVN 10306:2014. Bê tông cường độ cao - Thiết kế thành phần mẫu hình trụ. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [2]. Hiền, N. Q. (2016). Ứng dụng xi thép trong lĩnh vực công trình xây dựng. Tạp chí bộ giao thông vận tải.
- [3]. Bình, K. Q. (2019). Nghiên cứu sử dụng xi thép trong sản xuất vữa cường độ thấp. Trường Đại học Lạc Hồng.
- [4]. Công Ty Vật Liệu Xanh (2012). Dự án đầu tư nhà máy sản xuất vật liệu xây dựng từ xi lò điện hồ quang tại Khu công nghiệp Phú Mỹ I.
- [5]. Trang, P. Đ. Q. H., Hương, L. (2020). Báo cáo thị trường thép Việt Nam 2020.
- [6]. Quyết định số 430/QĐ-BXD (2017). Chi dẫn kỹ thuật: Xi gang và xi thép sử dụng làm vật liệu xây dựng. Bộ Xây dựng, Việt Nam.
- [7]. Nghị định 40/2019/NĐ-CP. Sửa đổi bổ sung một số điều của các nghị định quy định chi tiết, hướng dẫn thi hành Luật bảo vệ môi trường. Chính Phủ, Việt Nam.
- [8]. Thành, L. T. (2017). Ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ đến cường độ chịu nén của bê tông chất lượng siêu cao. Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng.
- [9]. Ân, V. V. T. , Đại, B. D. (2019). Nghiên cứu ảnh hưởng của silica fume kết nối có độ mịn khác nhau và tro trấu đến tính chất của bê tông chất lượng cao. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng NUCE.
- [10]. Thắng, N. C., Thắng, N. T., Hanh, P. H., Tuấn, N.V., Thành, L.T., Lâm, N.T, (2013). Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng silica fume và xi lò cao hạt hóa nghiền mịn ở việt nam. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng.
- [11]. Công, T.N, Tuấn, N. V., Hanh, P.H., (2015). Ảnh hưởng của phụ gia khoáng đến khả năng ăn mòn cốt thép trong bê tông chất lượng siêu cao. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng.
- [12]. Lee, S. Y., Le, H. V., Kim, D. J. (2019). Self-stress sensing smart concrete containing fine steel slag aggregates and steel fibers under high compressive stress,” Constr. Build. Mater. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.05.197.
- [13]. Viet, L. H., Lam, D. P., Thuong, N. T., Thanh, T. N., Nguyen, D. L., and Kim, D. J. (2023). Improvement of the stress sensing ability of ultra-high-performance concrete using short steel fibers and steel slag aggregates under high compression. Sensors Actuators A. Phys. doi: 10.1016/j.sna.2023.114616.
- [14]. Viet, L. H., Kyoung, K. M., Joo, K. D., and Park, J. (2021). Electrical properties of smart ultra-high performance concrete under various temperatures, humidities, and age of concrete. Cem. Concr. Compos. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2021.103979.
- [15]. Viet, L. H., and Joo, K. D. (2020). Detecting crack and damage location in self-sensing fiber reinforced cementitious composites. Constr. Build. Mater.

doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117973.

- [16]. TCVN 6260:2009. Xi măng poóc lăng hỗn hợp. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [17]. TCVN 7570:2006. Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [18]. TCVN 4506:2012. Nước trộn bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [19]. TCVN 8826:2011. Phụ gia hóa học cho bê tông. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [20]. www.ecomaister.com.
- [21]. Khoa, H. N., Cường, N. H. (2011). Lựa chọn phương pháp bảo dưỡng bê tông hiệu quả trong điều kiện khí hậu nóng ẩm. Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng.
- [22]. Shi, C., Wu, Z., Xiao, J., Wang, D., Huang, Z., and Fang, Z. (2015). A review on ultra high performance concrete: Part I. Raw materials and mixture design. *Constr. Build. Mater.* doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.088.
- [23]. Toàn, N. V., (2022). Nghiên cứu ảnh hưởng của xi lò cao hạt hóa, tro trấu đến một số tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông cát mịn cường độ cao. Tạp chí Vật liệu và xây dựng.
- [24]. Wang, D., Shi, C., Wu, Z., Xiao, J., Huang, Z., and Fang, Z. (2015). A review on ultra high performance concrete: Part II. Hydration, microstructure and properties. *Constr. Build. Mater.* doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.095.
- [25]. Chan, Y. W. and Chu, S. H. (2004). Effect of silica fume on steel fiber bond characteristics in reactive powder concrete. *Cem. Concr. Res.* doi: 10.1016/j.cemconres.2003.12.023.
- [26]. Zhao, M., Zhang, X., and Zhang, Y. (2016). Effect of free water on the flowability of cement paste with chemical or mineral admixtures. *Constr. Build. Mater.* doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.057.