

KIỂM ĐỊNH, ĐÁNH GIÁ NGUYÊN NHÂN ĂN MÒN CÔNG TRÌNH BÊ TÔNG CỐT THÉP 8 TẦNG BỆNH VIỆN VÀ GIẢI PHÁP PHỤC HỒI INSPECTION AND ASSESSMENT OF CORROSION CAUSES FOR 8 - STORY HOSPITAL BUILDING AND RESTORATION SOLUTIONS

Nguyễn Nam Thăng¹, Vũ Thành Trung², Phan Văn Chương³, Phạm Trung Thành⁴

¹*Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (IBST), namthangibst@yahoo.com.vn*

²*Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (IBST), trungvuthanh@gmail.com*

³*Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (IBST), chuongibst@gmail.com*

⁴*Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (IBST), phamthanh.ibst@gmail.com*

TÓM TẮT: Bài báo trình bày kết quả kiểm định, phân tích đánh giá nguyên nhân gây ăn mòn phá hoại kết cấu bê tông cốt thép của công trình bệnh viện 8 tầng và giải pháp phục hồi đảm bảo khả năng chịu lực và chống ăn mòn cho công trình. Công tác khảo sát hiện trạng công trình bằng thiết bị chuyên dụng, phương pháp phân tích kết cấu theo lý thuyết kết hợp phương pháp chuyên gia được sử dụng để đánh giá mức độ ăn mòn phá hoại và khả năng chịu lực hiện tại của kết cấu bê tông cốt thép từ đó đưa ra giải pháp phù hợp đảm bảo khả năng chịu lực và chống ăn mòn cho kết cấu.

TỪ KHÓA: Ăn mòn bê tông cốt thép, giải pháp phục hồi, công trình bệnh viện.

ABSTRACTS: This article presents results of inspection, analysis and assessment of the cause of corrosion damage to reinforced concrete structures of the 8-storey hospital building and restoration solutions to ensure the strength and anti-corrosion of the works. The survey of the current state of the work by specialized equipment, the method of structural analysis according to theory and professional solution used to assess the degree of erosion and the current bearing capacity of the reinforced concrete structure, from which to provide suitable solutions to ensure the bearing capacity and corrosion resistance of the structure.

KEYWORDS: Corrosion of reinforced concrete, restoration solutions, hospital building.

1. MỞ ĐẦU

Ăn mòn bê tông cốt thép (BTCT) là nguyên nhân chính gây hư hỏng công trình dưới tác động của môi trường biển và môi trường công nghiệp. Qua khảo sát sơ bộ công trình BTCT 8 tầng bệnh viện nhận thấy mặc dù không chịu tác động môi trường xâm thực nêu trên, tuy nhiên các kết cấu (cột, dầm, sàn) bị ăn mòn nặng, nứt, bong bục lớp bê tông bảo vệ, cốt thép bị suy giảm tiết diện. Dựa trên kinh nghiệm thực tế kiểm định, đánh giá hiện trạng công trình BTCT bị ăn mòn nhận thấy đây là một dạng ăn mòn hiểm gặp, ít được chú ý nên khi phát hiện ra thì đã bị hư hỏng nặng, trên diện rộng, chi phí sửa chữa khắc phục rất tốn kém.

Hiện nay, chưa có tiêu chuẩn riêng để đánh giá mức độ ăn mòn cho các công trình y tế, vì vậy phải vận dụng tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 cho kết cấu BTCT vùng biển để phân tích đánh giá, kết hợp với kinh nghiệm chuyên gia. Đây là công trình bệnh viện có quy mô lớn, bị ăn mòn nặng, trên diện rộng, lần đầu được kiểm định, phân tích đánh giá theo tiêu chuẩn Việt Nam từ đó đưa ra giải pháp gia cường chống ăn mòn phù hợp và đã ứng dụng thành công trong thực tiễn.

2. KHÁI QUÁT CÔNG TRÌNH 8 TẦNG BỆNH VIỆN

Công trình 8 tầng bệnh viện do Thụy Điển thiết kế năm 1974-1975, thi công và đưa vào sử dụng khoảng năm 1981, vì hồ sơ thiết kế (trong đó có phần thuyết minh) không còn lưu giữ nên không xác định được công trình thiết kế theo tiêu chuẩn nào. Kết cấu chịu lực chính của công trình là khung sàn bê tông cốt thép lắp ghép. Mỗi tầng có 26 bước cột khoảng cách tim cột là 3,6 m. Mặt bằng công trình như hình 1.

Kết cấu móng: Cọc BTCT 300x300 (mm). Đài móng có chiều cao 600 mm và 800 mm trên hệ cọc bê tông cốt thép.

Kết cấu thân: Hệ khung, cột, dầm, sàn lắp ghép. Tiết diện dầm chính 650x250 (mm) và 250x550 (mm). Tấm panel sàn hộp tầng điển hình có tiết diện 400x1192 (mm). Dầm chính được đặt lên vai cột theo phương dài của công trình, tấm panel sàn được đặt lên dầm theo phương ngắn của công trình. Hệ cột lắp ghép, sử dụng bê tông cấp độ bền B15 (mác 200) chủ yếu chịu tải trọng đứng. Từ tầng 1 đến tầng 5 tiết diện cột có kích thước 500x500 (mm), từ tầng 5 đến tầng 8

tiết diện cột có kích thước 250x500 (mm). Cột được đúc sẵn với chiều cao bằng 2 tầng.

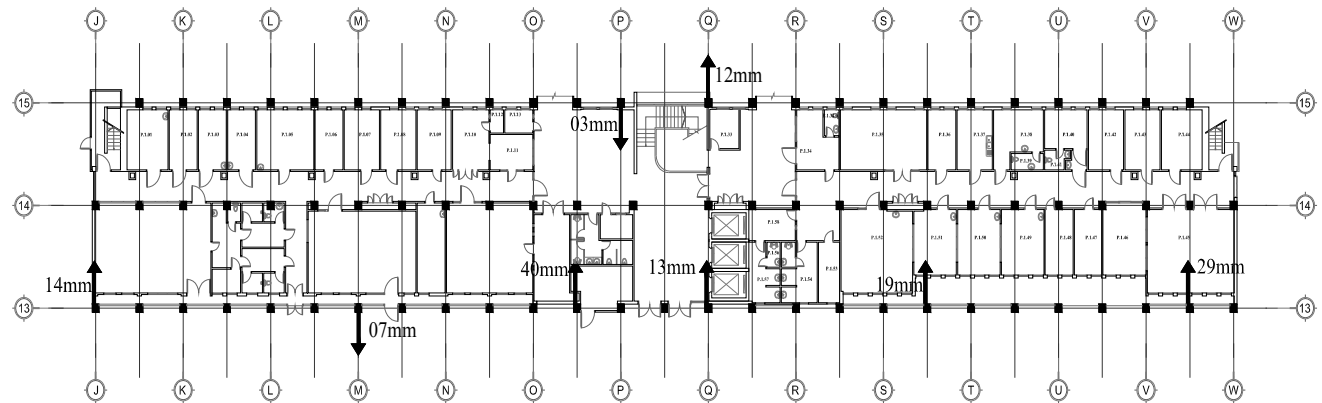
Kết cấu tầng mái: là panel chữ U kích thước 400x1192 (mm).

3. KẾT QUẢ KIỂM ĐỊNH HIỆN TRẠNG CÔNG TRÌNH

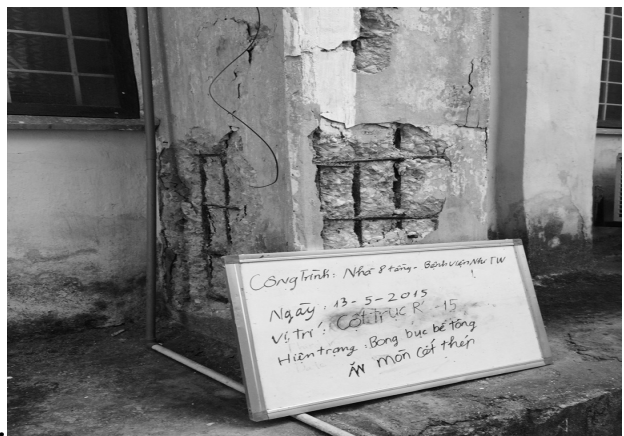
3.1 Kết quả kiểm định hiện trạng

Các cấu kiện cột, dầm, sàn, mái, vách, cầu thang, ban công, ô văng.... và một số cấu kiện bên trong các phòng trên từng tầng đã bị ăn mòn hư hỏng xuống cấp.

Kết cấu cột: công trình có 3 hàng cột chịu lực dọc trục 13, 14 và 15 với khoảng cách giữa các cột là 7200 mm. Trong đó 02 hàng cột biên trục 13 và trục 15 (nhất là các cột nằm trong phạm vi ban công từ trục L' đến N' và từ trục Q' đến T'), trục 15 hầu như các cột đều bị ăn mòn. Ngoài ra còn một số cột trục 14 cũng bị ăn mòn khá nặng. Kết quả kiểm định cho thấy lớp bê tông bảo vệ bị nứt vỡ, bong tách hoàn toàn thành từng mảng để lộ cốt thép chịu lực đã bị gỉ. Bê tông tại các vị trí nứt đã bị cacbonat hóa, một số vị trí cốt liệu chủ yếu là sỏi, ròi rạc không còn tính dính kết như hình 2.



Hình 1. Mặt bằng công trình 8 tầng bệnh viện



Hình 2. Hiện trạng chân cột bê tông cốt thép, cốt thép bị ăn mòn nặng

Cốt thép ngang và dọc của một số cột có hiện tượng bị uốn cong, có thể do mất ổn định khi chịu nén. Lực uốn cong, làm biến dạng thanh thép so với thiết kế. Các thanh thép hở tiếp xúc trực tiếp với môi trường bên ngoài trong một thời gian dài đã bị han gỉ nghiêm trọng.

Kết cấu dầm: Bị hư hỏng do ăn mòn khá nhiều tập trung ở hai hàng cột biên trục 13 và trục 15 và các dầm ở khu vực có ban công từ tầng 3 đến tầng 8.

Kết cấu sàn BTCT đổ liền khối tại các ban công từ tầng 3 đến tầng 8 hư hỏng rất nặng (phần ban công thường dùng để phơi quần áo trẻ em và thường xuyên bị ẩm ướt).

Lan can: các tấm lan can BTCT lắp ghép bị hư hỏng ăn mòn khá nặng.

Khối xây viên bê tông trang trí: một số vị trí ăn mòn thép gia cường trong lớp mạch vữa xây

3.2. Kết quả kiểm tra cường độ nén bê tông bằng phương pháp khoan lấy mẫu

Khoan lấy mẫu tại các vị trí cột, vách (các vị trí khoan lấy mẫu không trong vùng bê tông bị bong buột):

- Cột: O/13, M/3, N/14, J/14: Cường độ nén của bê tông cột dao động từ 20,8 đến 28,5 MPa;

Vách BTCT: (J+2,5M)/(14+2,5M-15), (14+2,5M)/(J-K): Cường độ bê tông vách dao động từ 23,0 MPa đến 23,4 MPa.

Đánh giá theo TCXDVN 239:2006 cho thấy tại thời điểm kiểm định bê tông đạt mức thiết kế 20MPa.

3.3. Kết quả kiểm tra mức độ ăn mòn cốt thép bằng phương pháp đo điện thế

Kiểm tra mức độ ăn mòn cốt thép bằng phương pháp đo điện thế tại các cấu kiện như sau:

Đối với cột, kiểm tra các cột : Tầng 1: L/15, K/13, (J+3,6m)/13, K/15, (K+3,6m)/13, (N+3,6m)/14; tầng 2: L/15, M/15; tầng 3: L/14, N/13, M/13, (J+3,6m)/14; tầng 4 : (N+3,6m)/13, (L+3,6m)/13; tầng 5 : L/13, N/13, (K+3,6m)/13; tầng 6 : J/13, tầng 7 : L/14 : điện thế ăn mòn cốt thép dao động từ -422mV đến - 257mV như hình 3 và hình 4.

Đối với dầm, kiểm tra các dầm: (L-K)/13 tầng 3, (K-L)/13 tầng 6 điện thế ăn mòn cốt thép dao động từ -430mV đến - 265mV;

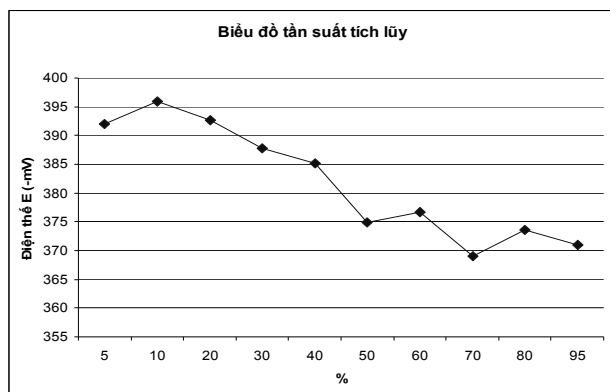
Đối với vách: J/(13-14) tầng 3, (J-K)/(14+2,5m) tầng 6, (J+2,5m)/(14-15) tầng 7 điện thế ăn mòn cốt thép dao động từ - 380mV đến - 211mV;

Đối với sàn: tầng 4: (N-O)/(14-15) tầng 4, (M-N)/(14-15) tầng 7, (K+3,6m-L)/(14+2,5m) tầng 7, điện thế ăn mòn cốt thép dao động từ - 376mV đến - 211mV.

Như vậy, đánh giá theo TCVN 9348:2012 các cấu kiện đã bị ăn mòn cốt thép.



Hình 3. Kiểm tra mức độ ăn mòn cốt thép trong bê tông bằng phương pháp đo điện thế, thiết bị CANIN



Hình 4. Biểu đồ tần suất tích lũy ăn mòn của một số cấu kiện BTCT

3.4. Kết quả phân tích hàm lượng Cl- trong bê tông

Mẫu bột bê tông bột được khoan lấy mẫu tại hiện trường như hình 5. Lớp bê tông bảo vệ dày trung bình 3cm, mẫu bột khoan được lấy theo 2 lớp: mỗi lớp sâu 1,5cm từ bề mặt bê tông vào gần cốt thép. Phương pháp thử theo TCVN 9339: 2012, TCVN 7572-15:2006

Để đánh giá hàm lượng ion clorua trong bê tông đối với công trình bệnh viện 8 tầng, đã áp dụng tiêu chuẩn TCVN 9346 :2012, theo đó tất cả các mẫu bột bê tông tại miền gần cốt thép của cấu kiện cột, dầm, sàn và vách bị ăn mòn với hàm lượng ion clorua vượt ngưỡng cho phép (0,6 kg/m³ bê tông), cụ thể:

Đối với cột có cốt thép bị ăn mòn: Cột (N + 3,6m)/13, tầng 3 hàm lượng Cl- là 0,086% tương ứng với 2,06 kg/m³ bê tông gấp khoảng hơn 3 lần, cột (L + 3,6m) [L']/13 là 0,112% tương ứng với 2,68 kg/m³, vách JK(14+2,5m) tầng 6 là 2,46 kg/m³ bê tông gấp khoảng hơn 4 lần giá trị giới hạn cho phép.

Đối với cột chưa có dấu hiệu ăn mòn: cột 14L tầng 8 khi kiểm tra có hàm lượng Cl- thấp 0,05 kg/m³ bê tông, và cột 14K, tầng 7 hàm lượng Cl- là 0,25 kg/m³ bê tông.

3.5. Kết quả phân tích pH trong bê tông

Thông thường, khi mới đổ pH của bê tông dao động từ 12-13. Kết quả kiểm tra các cột và vách bị ăn mòn, pH phổ biến dao động từ 10-12,5 như vậy pH cũng đã giảm. Đối với một số cột chưa có dấu hiệu ăn mòn, giá trị pH xác định được là 12-1,5 suy giảm không đáng kể như hình 6.



Hình 5. Khoan lấy mẫu bê tông bột kiểm tra hàm lượng clorua, pH



Hình 6. Đo độ pH của mẫu bột bê tông tại phòng thí nghiệm

Nhận xét: Công trình BTCT bệnh viện 8 tầng đã bị hư hỏng xuống cấp. Kết quả kiểm tra cho thấy hư hỏng tập trung chủ yếu ở 2 hàng cột và dầm biên trục 13 và 15, một số cột trục 14, một số ô sàn, toàn bộ các cấu kiện khu vực ban công, và rất nhiều các tấm lan can, mặt trước và sau nhà. Nhiều kết cấu đã bị nứt vỡ, ăn mòn cốt thép nặng làm bong bục lớp bê tông bảo

vệ, lộ cốt thép. Hư hỏng của các cấu kiện nhà 8 tầng được đánh giá là nghiêm trọng ảnh hưởng đến an toàn của công trình.

4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN KIỂM TRA

Tính toán khả năng chịu lực bộ phận kết cấu móng, cột, dầm, sàn theo các tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam và các tiêu chuẩn nước ngoài được chấp thuận tại Việt Nam. Phần kết cấu công trình được mô hình tính toán trên cơ sở phản ánh sát nhất sự làm việc của kết cấu. Sử dụng phần mềm phân tích kết cấu ETABS 9.7.4 để phân tích nội lực phát sinh, trong đó các cấu kiện dầm, cột được mô tả bởi các phần tử thanh, sàn được mô tả bằng các phần tử shell làm việc theo một phương. Các cấu kiện tính toán: Cột kích thước 500x500 (mm), 500x250 (mm); dầm kích thước 250x550 (mm), 250x650 (mm) và các ô sàn kích thước điển hình 400x1192 (mm).

Tính toán dựa trên bản vẽ thiết kế và kết quả kiểm định, tải trọng tác động bao gồm tĩnh tải, hoạt tải, tải trọng gió (áp lực gió được lấy theo TCVN 2737:1995), tải trọng động đất (xác định theo TCVN 9386:2012). Tổ hợp tải trọng vào sơ đồ tính toán đều là tải trọng tiêu chuẩn, hệ số vượt tải của tĩnh tải và hoạt tải tuân theo tiêu chuẩn TCVN 2737: 1995.

Kết quả kiểm tra cho thấy, khả năng chịu lực của kết cấu móng, cột, dầm, sàn hiện tại vẫn đảm bảo khả năng chịu lực [1, 2, 3], tuy nhiên hệ số an toàn thấp đặc biệt là kết cấu cột có hệ số an toàn 1,03. Nguyên nhân cơ bản dẫn đến hệ số an toàn thấp là do cường độ bê tông thấp, tiết diện thép chủ đã bị suy giảm do ăn mòn, tiết diện cấu kiện cột bị suy giảm do bị ăn mòn bong bụi bê tông so với thời điểm ban đầu.

5. ĐÁNH GIÁ NGUYÊN NHÂN GÂY HƯ HỎNG CÔNG TRÌNH

Theo kết quả kiểm tra, hư hỏng chính của công trình chủ yếu là do ăn mòn kết cấu bê tông cốt thép. Biểu hiện chung là hiện tượng gỉ cốt thép (thể tích thép sẽ tăng 4-6 lần) dẫn đến nứt vỡ lớp bê tông bảo vệ làm giảm tiết diện chịu lực. Tình trạng ăn mòn cốt thép trong các kết cấu là nghiêm trọng xảy ra rải rác trên các tầng trong đó tập trung nhiều từ tầng 1 đến tầng 6, cấu kiện cột, dầm, sàn 2 hàng biên trục 13 và 15 và một số cột trục 14. Có cả hai nguyên nhân chủ quan và khách quan dẫn tới tình trạng ăn mòn và xuống cấp công trình.

Nguyên nhân chủ quan:

Theo tiêu chuẩn áp dụng TCVN 9346:2012, chất lượng bê tông chưa đáp ứng yêu cầu kỹ thuật. Với tốc độ thâm thấu ion clorua như đã kiểm định, sau hơn 30 năm sử dụng có cấu kiện hàm lượng ion clorua tới 2,68 kg/m³ bê tông vượt ngưỡng giới hạn hơn 4 lần, thì tối thiểu mức xâm thực tại công trình này cũng phải tương đương mức xâm thực của vùng khí quyển biển. Đối với loại kết cấu này tối thiểu phải dùng

bê tông M250. Cụ thể nếu kết cấu thiết kế M250 thì chiều dày lớp bê tông bảo vệ cho kết cấu ngoài nhà là 40 mm và trong nhà là 30 mm hoặc nếu kết cấu thiết kế M300 thì chiều dày lớp bê tông bảo vệ cho kết cấu ngoài nhà là 30 mm và trong nhà là 25 mm. Tuy nhiên trong thực tế bê tông chỉ có M200 và chiều dày lớp bê tông bảo vệ tại các kết cấu cột, dầm bị ăn mòn trung bình 15mm - 25mm, cá biệt có vị trí là 5 mm. Sàn panel hộp có lớp bảo vệ rất mỏng (có cấu kiện lộ thép) cũng là nguyên nhân làm gỉ cốt thép nhanh. Cường độ bê tông không đồng đều, nhiều khuyết tật và rỗ (quan sát trên mẫu bê tông khoan). Mặt khác với chiều dày lớp bê tông bảo vệ mỏng như vậy không đủ ngăn cản quá trình thâm thấu clorua từ môi trường và quá trình gỉ cốt thép diễn ra nhanh. Sự suy giảm độ pH do hiện tượng cacbonat hóa bề mặt bê tông ở tốc độ bình thường.

Sử dụng và bảo trì không tốt: Khu vực ban công thường được dùng để phơi đồ (trẻ em) dẫn tới tình trạng đổ nước trực tiếp lên sàn, chảy dọc theo các cột, dầm biên, có thể thấy rõ hiện tượng loang trắng do tiết vôi. Sàn ban công bằng BTCT mặt trên là lớp granito không bị ngấm nước không bị ăn mòn, ngược lại mặt dưới thường xuyên bị ẩm ướt dẫn đến ăn mòn BTCT. Hệ thống thoát nước mái, khu vệ sinh bị tắc, vỡ cũng là nguyên nhân gây ẩm ướt công trình. Tình trạng hư hỏng kéo dài nhưng không có biện pháp khắc phục kịp thời cũng làm cho mức độ ăn mòn cốt thép ngày càng tăng. Một số kết cấu được sửa chữa bằng phương pháp trám vá thông thường hoặc nẹp góc cột bằng inox chỉ là giải pháp tạm thời không đem lại hiệu quả.

Nguyên nhân khách quan:

Môi trường bệnh viện có một số yếu tố mang tính xâm thực cao tới BTCT. Điều này đã không lường trước được khi thiết kế và trong quá trình sử dụng. Trên thực tế trong thành phần của nước giặt quần áo (trẻ em), nước lau rửa sàn có chứa tác nhân clorua, đồng thời để khử trùng nhiều lần/ngày trong môi trường y tế cũng thường dùng các chất tẩy rửa có chứa ion clorua. Lâu năm ion clorua thâm thấu dần vào trong bê tông, ngoài ra có thể có các tác nhân khác như dung dịch thuốc có hại bị đổ hoặc bay hơi trong quá trình bảo quản, vận chuyển, sử dụng... Sau 30 năm sử dụng, tốc độ ion clorua xâm thực vào bê tông có cấu kiện tới 0,086% và 0,112% khối lượng bê tông là mạnh tương tự như các công trình vùng khí quyển biển. Điều này cho thấy để đảm bảo độ bền lâu cho kết cấu BTCT thì bên cạnh việc gia cố đảm bảo khả năng chịu lực đồng thời phải có giải pháp chống ăn mòn cho kết cấu BTCT.

6. GIẢI PHÁP PHỤC HỒI KẾT CẤU

Căn cứ vào hiện trạng hư hỏng của công trình và yêu cầu sử dụng, việc phục hồi kết cấu được chia

thành các nhóm giải pháp khác nhau cho các dạng cấu kiện như sau [6]:

Đối với nhóm cấu kiện bị hư hỏng do ăn mòn nhưng chưa ảnh hưởng nghiêm trọng đến khả năng chịu lực cần xử lý như sau: Đục tẩy bỏ phần bê tông bảo vệ dọc theo cốt thép đã bị ăn mòn vào tới sâu tới chỗ chưa gỉ; Đánh sạch gỉ cốt thép bằng máy (hoặc chất biến đổi gỉ); Sơn chống ăn mòn cốt thép toàn bộ

phần thép đã đánh gỉ; Quét hồ XM-polime tạo dính lên mặt bê tông cũ, ghép cốp pha rót vữa tự chảy không co tính năng chống ăn mòn cao, chiều dày tối thiểu 50 mm.

Đối với nhóm cấu kiện bị ăn mòn ảnh hưởng nghiêm trọng đến khả năng chịu lực cần xử lý như sau: Gia cường phục hồi khả năng chịu lực bằng thép hình đồng thời chống ăn mòn cho kết cấu.



Hình 7. Hình ảnh công trình trước và sau khi sửa chữa hoàn thành đưa vào sử dụng

Đối với nhóm cấu kiện chưa bị ăn mòn để đảm bảo ngăn ngừa sự tiếp tục thâm thấu của các tác nhân gây ăn mòn, hơi ẩm và oxy vào kết cấu thì toàn bộ bề mặt kết cấu phải được chống ăn mòn bằng phủ 1 lớp sơn chống ăn mòn (hoặc trát vữa chống ăn mòn).

Với các nhóm giải pháp sửa chữa gia cường chống ăn mòn cụ thể và đồng bộ như trên, toàn bộ cấu kiện công trình được phục hồi khả năng chịu lực cũng như đảm bảo chống ăn mòn. Đặc biệt giải pháp gia cường thép hình xung quanh kết cấu bê tông cốt thép cũ vừa tăng khả năng chịu lực của cấu kiện BTCT mà còn phát huy tốt sự làm việc đồng thời của kết cấu thép.

7. KẾT LUẬN

Sau hơn 30 năm sử dụng, công trình bê tông cốt thép 8 tầng bệnh viện đã bị ăn mòn hư hỏng xuống cấp, một số bộ phận công trình bị ăn mòn nghiêm trọng không đảm bảo an toàn sử dụng. Nguyên nhân chính được xác định là do thiết kế chưa tính đến yêu cầu chống ăn mòn cho kết cấu bê tông cốt thép trong điều kiện môi trường y tế cũng có các tác nhân clorua thâm thấu mạnh vào bê tông dẫn đến ăn mòn cốt thép và công tác kiểm tra định kỳ sửa chữa bảo trì công trình chưa kịp thời. Viện KHCN Xây dựng đã kiểm định, phân tích đánh giá mức độ hư hỏng xuống cấp công trình, xác định rõ nguyên nhân từ đó đưa ra giải pháp sửa chữa phục hồi đảm bảo khả năng chịu lực và chống ăn mòn cho kết cấu. Đến nay, công trình đã hoàn thành và đưa vào sử dụng đảm bảo khả năng chịu lực, khả năng chống ăn mòn lâu dài, đáp ứng các yêu cầu về kỹ thuật và mỹ thuật như hình 7.

Bài học rút ra là cũng như môi trường biển và công nghiệp, môi trường y tế cũng tiềm ẩn nhiều tác nhân gây ăn mòn kết cấu BTCT trong quá trình sử dụng như: nước thải, khí thải, hóa chất, chất tẩy rửa, môi trường khô ẩm thường xuyên... dẫn đến ăn mòn phá hủy sớm như công trình này, vì vậy để đảm bảo tuổi thọ thiết kế cho công trình y tế cần phải đặc biệt quan tâm đến yêu cầu kỹ thuật bảo vệ chống ăn mòn cho kết cấu BTCT khi thiết kế và tuân thủ các quy định hiện hành về kiểm tra, bảo trì công trình trong quá trình khai thác sử dụng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 2737:1995 Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế.
- [2] TCVN 5574:2012 Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế.
- [3] TCVN 229:1999 Chi dẫn tính toán thành phần động của tải trọng gió.
- [4] TCVN 9386: 2012 Thiết kế công trình chịu động đất.
- [5] TCVN 9346:2012 Kết cấu BT và BTCT- yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường biển.
- [6] Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, *Báo cáo kết quả kiểm định chất lượng công trình Nhà 8 tầng Bệnh viện*, năm 2015.
- [7] Nguyễn Mạnh Phát (2012). *Lý thuyết ăn mòn và chống ăn mòn bê tông - bê tông cốt thép trong xây dựng*. Nhà xuất bản Xây dựng.

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA PHỤ GIA PCI 3000 ĐẾN MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG VÀ KHẢ NĂNG BẢO VỆ CHỐNG ĂN MÒN CHO CỐT THÉP

STUDY ON THE AFFECTION OF PCI 3000 ADMIXTURE TO SOME PROPERTIES OF CONCRETE AND ANTI-CORROSION ABILITY FOR REBARS

Nguyễn Nam Thăng¹, Phan Văn Chương²

¹Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (IBST), namthangibst@yahoo.com.vn

²Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (IBST), chuongibst@gmail.com

TÓM TẮT: Hiện nay, việc sử dụng phụ gia chống ăn mòn cho cốt thép ngày càng trở nên cần thiết. Khi thiết kế, thi công các công trình bê tông cốt thép vùng biển phải đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật quy định trong TCVN 9346:2012. Theo đó, đối với môi trường có tính chất xâm thực mạnh như môi trường vùng biển thì bên cạnh việc đảm bảo các biện pháp bảo vệ cơ bản như: tăng mác bê tông, độ chống thấm, tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép... còn phải sử dụng thêm các biện pháp bảo vệ hỗ trợ như sử dụng phụ gia chống ăn mòn. Phụ gia PCI 3000 có khả năng ức chế chống ăn mòn cốt thép tốt, đồng thời còn có tính năng giảm nước tẩm cao sẽ cải thiện đáng kể chất lượng của bê tông. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của phụ gia PCI 3000 đến tính chất của bê tông, khả năng chống ăn mòn cho cốt thép và sự tương hợp với các loại xi măng PC và PCB trong điều kiện Việt Nam là rất cần thiết. Các kết quả thử nghiệm bước đầu đã làm rõ về khả năng áp dụng của sản phẩm PCI 3000 chống ăn mòn cho kết cấu BTCT công trình vùng biển Việt Nam.

ABSTRACTS: Nowadays, the using anti-corrosion admixture for rebars is becoming more and more necessary. The design and construction of marine concrete structures have to satisfy technical requirements in TCVN 9346:2012. Therefore, for the environment which is strong corrosion such as sea environment, not only basic methods as increasing grade or waterproofing of concrete, increasing thickness of cover layer ect.. are applied but also using anti-corrosion admixture. PCI300 admixture has excellent anti-corrosion, and it also has water reducing property at high level. The study to this admixture, the quality of concrete go up significantly. Thus, study on the affection of PCI300 admixture to property of concrete, anti-corrosion ability for rebars and compatibility with cement PC and PCB in Vietnam condition is very importance. Several initial testing results have showed clearly applied ability of PCI300 product for marine concrete structures in Vietnam.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ăn mòn phá hủy các công trình xây dựng ở vùng ven biển Việt Nam dưới tác động xâm thực của môi trường biển là hiện tượng phổ biến. Qua thực tế khảo sát dọc bờ biển Việt Nam từ Bắc đến Nam của Viện Khoa học Công nghệ xây dựng cho thấy hầu hết các công trình xây dựng có xuất hiện dấu hiệu ăn mòn bê tông, cốt thép với các mức độ khác nhau, cá biệt một số công trình đã bị phá hủy nghiêm trọng chỉ sau một thời gian ngắn đưa vào sử dụng.

Hiện nay tốc độ xây dựng ở Việt Nam phát triển nhanh, đặc biệt là vùng ven biển, do đó đòi hỏi phải có các giải pháp chống ăn mòn đa dạng và hữu hiệu cho bê tông cốt thép nhằm nâng cao độ bền duy trì tuổi thọ các công trình xây dựng.

Ngày nay, sử dụng phụ gia chống ăn mòn cho cốt thép ngày càng trở nên phổ biến. Khi thiết kế, thi công các công trình vùng biển cần đáp ứng yêu cầu kỹ thuật TCVN 9346:2012. Tuy nhiên đối với các kết cấu có chiều dày mỏng thì rất khó đảm bảo yêu cầu bảo vệ, vì vậy cần sử dụng biện pháp bảo vệ bổ sung nhằm

bảo vệ lâu dài cho cốt thép. Kết quả thử nghiệm, đánh giá ảnh hưởng của phụ gia PCI 3000 đến một số tính chất của bê tông và khả năng bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép là hiệu quả.

2. VẬT LIỆU, MỤC ĐÍCH VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu dùng cho nghiên cứu

2.1.1. Chất kết dính

Trong quá trình nghiên cứu, đề tài đã sử dụng các loại xi măng khác nhau để đánh giá tổng quát ảnh hưởng của phụ gia PCI 3000 đến các tính chất của bê tông:

- Xi măng Sông Gianh PC40;
- Xi măng Sông Gianh PCB40;
- Xi măng Nghi Sơn PCB40;
- Xi măng Bút Sơn PC40.

Xi măng các loại trên đáp ứng yêu cầu tiêu chuẩn TCVN 2682:2009 Xi măng pooc lăng - Yêu cầu kỹ thuật có thể sử dụng chế tạo vữa và bê tông.

2.1.2. **Cốt liệu mịn:** Cát vàng sông Lô.

Các chỉ tiêu cơ lý của cát sông Lô đạt tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 có thể sử dụng để chế tạo vữa và bê tông.

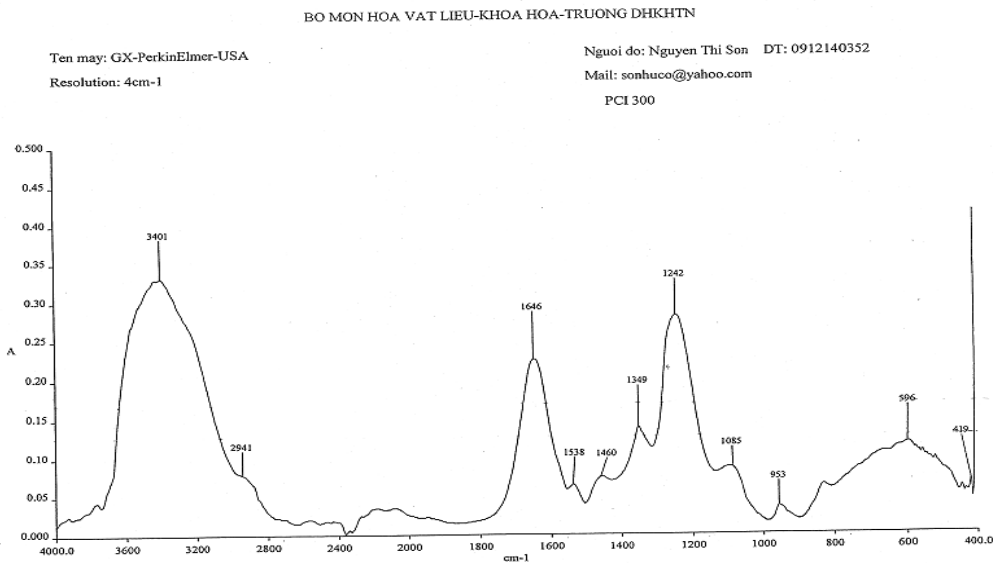
2.1.3. **Cốt liệu thô:** Đá 1x2 Kiện Khê, cấp phối hạt nằm trong giới hạn cho phép theo TCVN 7572-2:2006

2.1.4. **Thép:** CT3 Thái Nguyên.

2.1.5. **Phụ gia:** PCI 3000 của hãng Silkroad, một số tính chất của phụ gia như trong các bảng 1, 2, 3 và hình 1, 2 dưới đây:

Bảng 1. Kết quả bản chụp IR

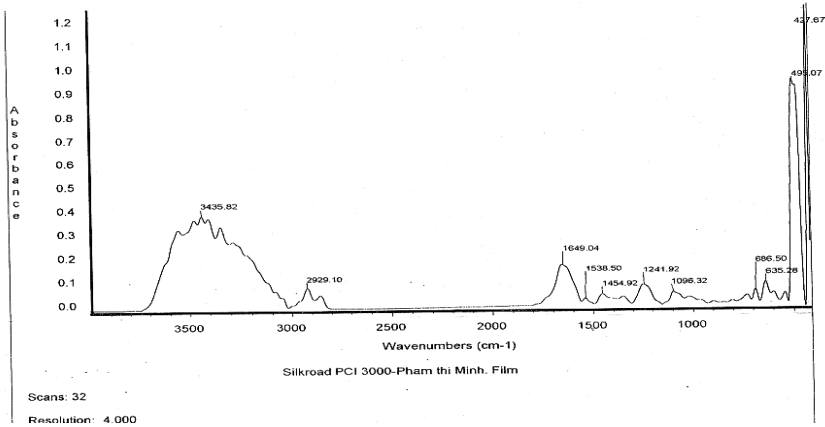
STT	Bước sóng	Cấu tạo nhóm
1	3401	OH
2	1646	C=O
3	1538	vòng benzen
4	1242	C-O-C hoặc C-O của C-OH



Hình 1. Kết quả phân tích IR của PCI 3000

Bảng 2. Kết quả kiểm tra hàm lượng nguyên tố hóa học của phụ gia PCI 3000

TT	Chỉ tiêu phân tích	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả
1	Al	mg/l	SMEWW 3125: 2012	1,420
2	Si	mg/l		12,80
3	Fe	mg/l		32,10
4	SO ₄ ²⁻	mg/l	SMEWW 4500 SO ₄ ²⁻ E: 2012	353
5	Cl ⁻	mg/l	SMEWW 4500 Cl ⁻ B: 2012	1949
6	MKN	%	TCVN 8826:2011	19,67



Hình 2. Kết quả phân tích hàm lượng nguyên tố hóa học của PCI 3000

Bảng 3. Kết quả kiểm tra tính chất của phụ gia PCI 3000

TT	Chi tiêu thử	Phương pháp thử	Đơn vị	Kết quả
1	Độ pH	TCVN 6492:2011	-	10,16
2	Tỷ trọng	ASTM D 1475: 1998	kg/l	1,23
3	Hàm lượng chất khô	TCVN 8826:2011	%	38,12

2.1.6. Cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu

Cấp phối bê tông sử dụng là cấp phối thử nghiệm trong tiêu chuẩn TCVN 8826:2011.

2.2. Mục đích và phương pháp nghiên cứu

Mục đích nghiên cứu: đánh giá ảnh hưởng đến một số tính chất và hiệu quả chống ăn mòn của phụ gia

chống ăn mòn PCI 3000 cho bê tông cốt thép trong điều kiện của môi trường biển Việt Nam

Phương pháp nghiên cứu: là tiến hành thực nghiệm trong phòng thí nghiệm trên cơ sở vật liệu, thiết bị và điều kiện của Việt Nam, có so sánh đối chiếu với bê tông không sử dụng phụ gia chống ăn mòn. Dựa vào kết quả thực nghiệm phân tích đánh giá toàn diện khả năng sử dụng sản phẩm phụ gia PCI 3000.

3. ẢNH HƯỞNG CỦA PHỤ GIA PCI 3000 ĐẾN MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của phụ gia PCI 3000 đến một số tính chất của bê tông bao gồm: cường độ nén, cường độ uốn, thời gian bắt đầu và kết thúc đông kết. Các thí nghiệm theo tiêu chuẩn TCVN 376:2006, cấp phối thí nghiệm theo TCVN 8826:2011. Các mẫu bê tông được chế tạo và bảo dưỡng theo TCVN 3105:1993.

3.1. Thử nghiệm dùng xi măng Nghi Sơn PCB 40

Bảng 4. Kết quả kiểm tra ảnh hưởng của phụ gia 3000 đến tính chất cơ lý của bê tông khi sử dụng xi măng Nghi Sơn PCB 40

Loại mẫu	Tuổi mẫu	Cường độ nén, MPa	% Cường độ nén so với đối chứng	Cường độ uốn, MPa	% Cường độ uốn so với đối chứng	Thời gian bắt đầu đông kết, (giờ: phút)	Thời gian kết thúc đông kết, (giờ: phút)
Mẫu đối chứng	3	25,1	100	4,1	100	4:25	6:15
	7	28,9	100	5,3	100		
	28	36,6	100	6,4	100		
Mẫu có phụ gia	3	38,2	152	6,1	149	4:50	6:50
	7	43,2	149	7,8	147		
	28	46,1	126	9,0	141		

3.2. Thử nghiệm dùng xi măng Bút Sơn PC 40

Bảng 5. Kết quả kiểm tra ảnh hưởng của phụ gia PCI 3000 đến tính chất cơ lý của bê tông khi sử dụng xi măng Bút Sơn PC 40

Loại mẫu	Tuổi mẫu	Cường độ nén, MPa	% Cường độ nén so với đối chứng	Cường độ uốn, MPa	% Cường độ uốn so với đối chứng	Thời gian bắt đầu đông kết, (giờ: phút)	Thời gian kết thúc đông kết, (giờ: phút)
Mẫu đối chứng	3	25,2	100	3,9	100	4:20	6:35
	7	29,8	100	5,0	100		
	28	36,7	100	6,3	100		
Mẫu có phụ gia	3	39,5	157	5,9	151	5:00	6:55
	7	44,4	149	7,2	144		
	28	49,9	136	8,6	137		

3.3. Thử nghiệm dùng xi măng Sông Gianh PC 40

Bảng 6. Kết quả kiểm tra ảnh hưởng của phụ gia PCI 3000 đến tính chất cơ lý của bê tông khi sử dụng xi măng Sông Gianh PC 40

Loại mẫu	Tuổi mẫu	Cường độ nén, MPa	% Cường độ nén so với đối chứng	Cường độ uốn, MPa	% Cường độ uốn so với đối chứng	Thời gian bắt đầu đông kết, (giờ: phút)	Thời gian kết thúc đông kết, (giờ: phút)
Mẫu đối chứng	3	23,9	100	3,7	100	4:05	5:50
	7	28,2	100	5,1	100		
	28	36,9	100	5,9	100		
Mẫu có phụ gia	3	39,6	166	5,5	149	3:55	5:20
	7	43,8	155	7,5	147		
	28	47,7	129	7,9	134		

3.4. Thử nghiệm dùng xi măng Sông Gianh PCB 40

Bảng 7. Kết quả kiểm tra ảnh hưởng của phụ gia PCI 3000 đến tính chất cơ lý của bê tông khi sử dụng xi măng Sông Gianh PCB 40

Loại mẫu	Tuổi mẫu	Cường độ nén, MPa	% Cường độ nén so với đối chứng	Cường độ uốn, MPa	% Cường độ uốn so với đối chứng	Thời gian bắt đầu đông kết, (giờ: phút)	Thời gian kết thúc đông kết, (giờ: phút)
Mẫu đối chứng	3	23,3	100	3,4	100	3:45	5:45
	7	28,5	100	4,6	100		
	28	33,2	100	5,0	100		
Mẫu có phụ gia	3	37,1	159	5,2	153	3:30	5:20
	7	42,0	147	6,8	148		
	28	46,7	141	6,0	120		

Nhận xét:

- Các kết quả thử nghiệm cho thấy với xi măng PCB 40 Nghi Sơn và PC 40 Bút Sơn cho kết quả thời gian bắt đầu đông kết và kết thúc đông kết đều chậm hơn so với mẫu đối chứng, xi măng Sông Gianh PCB 40, PC40 cho kết quả nhanh hơn so với mẫu đối chứng.

- Cường độ nén, uốn ở các ngày 3, 7, 28 khi thí nghiệm trên 4 loại xi măng khác nhau đều cao hơn so với mẫu đối chứng.

4. KHẢ NĂNG BẢO VỆ, CHỐNG ĂN MÒN CHO CỐT THÉP CỦA PHỤ GIA PCI 3000

4.1. Mức độ thấm ion Clorua

Mức độ thấm ion clorua được thí nghiệm tại LAS XD-05, thử nghiệm theo tiêu chuẩn TCVN 9337:2012 Bê tông nặng- Đo độ thấm ion clo bằng phương pháp đo điện lượng. Mẫu đối chứng là mẫu sử dụng các xi măng khác nhau nhưng không sử dụng phụ gia PCI 3000, mẫu nghiên cứu là mẫu sử dụng phụ gia PCI 3000.

Bảng 8. Kết quả kiểm tra độ thấm ion Clorua

STT	Loại mẫu thí nghiệm	Tổng điện lượng (culông)	Độ thấm ion clorua, đánh giá theo TCVN 9337:2012	Nhận xét
1	Xi măng Nghi Sơn PCB40	2739	Trung bình	Thấp hơn mẫu đối chứng 45,7%
	Xi măng Nghi Sơn PCB40 + PCI 3000	1252	Thấp	
2	Xi măng Bút Sơn PC40	3008	Trung bình	Thấp hơn mẫu đối chứng 54,3% cấp
	Xi măng Bút Sơn PC40 + PCI 3000	1634	Thấp	
3	Xi măng Sông Gianh PC40	4381	Cao	Thấp hơn mẫu đối chứng 48,1%
	Xi măng Sông Gianh PC 40 + PCI 3000	2324	Trung bình	
4	Xi măng Sông Gianh PCB40	3879	Trung bình	Thấp hơn mẫu đối chứng 55,9%
	Xi măng Sông Gianh PCB40 + PCI 3000	2169	Trung bình	

Nhận xét:

- Kết quả kiểm tra độ thấm ion Clorua cho thấy mẫu bê tông khi sử dụng phụ gia PCI3000 sẽ có điện tượng truyền qua bê tông giảm đi hay mức độ thấm ion clorua giảm đi so với mẫu đối chứng, chứng tỏ phụ gia PCI 3000 có hiệu quả trong việc ngăn cản ion clorua xâm nhập vào bê tông.

- Thử nghiệm đối với xi măng Sông Giang PCB40, Bút Sơn PC40, Sông Gianh PC40, Nghi Sơn PCB40 cho kết quả mức độ thấm ion clorua giảm so với mẫu đối chứng tương ứng là: 55,9%; 54,3%; 48,1% và 45,7%.

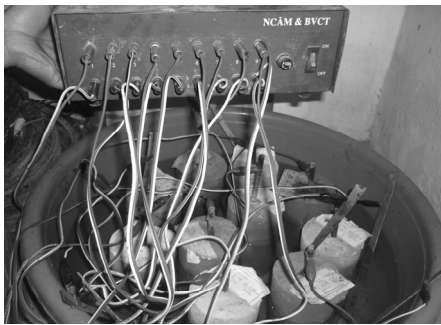
Như vậy, phụ gia PCI3000 có hiệu quả trong việc giảm độ thấm ion clorua vào trong bê tông.

4.2. Kết quả thí nghiệm ăn mòn cốt thép trong bê tông bằng phương pháp gia tốc dùng dòng điện ngoài

Phương pháp gia tốc dùng dòng điện ngoài được thử nghiệm theo tiêu chuẩn của Phần Lan NT Build 356.

Bảng 9. Kết quả thí nghiệm ăn mòn cốt thép trong bê tông bằng phương pháp gia tốc

STT	Loại mẫu thí nghiệm	Thời gian đo	Thời gian xuất hiện gỉ thép và nứt mẫu, ngày
1	Xi măng Nghi Sơn PCB40	Đo 01 tháng liên tục trên máy đo gia tốc ăn mòn	06
	Xi măng Nghi Sơn PCB40 + PCI 3000		Chưa gỉ
2	Xi măng Bút Sơn PC40		04
	Xi măng Bút Sơn PC40 + PCI 3000		Chưa gỉ
3	Xi măng Sông Gianh PC40		05
	Xi măng Sông Gianh PC 40 + PCI 3000		Chưa gỉ
4	Xi măng Sông Gianh PCB40		04
	Xi măng Sông Gianh PCB40 + PCI 3000		Chưa gỉ



Hình 3. Phương pháp gia tốc dùng dòng điện ngoài thí nghiệm ăn mòn cốt thép



Hình 4. Đo mức độ thấm ion clo bằng phương pháp đo điện lượng

Nhận xét:

- Sau hơn 1 tháng thử nghiệm ăn mòn cốt thép trong bê tông bằng phương pháp gia tốc cho thấy: thử nghiệm với bê tông đối chứng đều xuất hiện gỉ thép rất nhanh. Trong đó cấp phối bê tông sử dụng xi măng Bút Sơn PC40 và Sông Gianh PCB40 xuất hiện gỉ và nứt mẫu sau 04 ngày, cấp phối Sông Gianh PCB40 sau 05 ngày xuất hiện gỉ thép và nứt mẫu, cấp phối bê tông sử dụng mẫu Xi măng Nghi Sơn PCB40 sau 06 ngày xuất hiện gỉ thép và nứt mẫu.

- Các mẫu thử nghiệm có cấp phối bê tông sử dụng phụ gia PCI 3000 đều chưa xuất hiện gỉ sau 1 tháng.

- Như vậy khi thí nghiệm ăn mòn cốt thép trong bê tông bằng phương pháp gia tốc sử dụng dòng điện ngoài thì phụ gia PCI 3000 có hiệu quả rõ rệt ngăn cản ion clorua xâm nhập qua bê tông đến bề mặt cốt thép hay làm chậm tốc độ ăn mòn cốt thép.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1. Kết luận

Căn cứ vào các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm, có thể rút ra một số kết luận sau:

- Phụ gia PCI3000 khi thử nghiệm ảnh hưởng đến thời gian bắt đầu ninh kết và kết thúc ninh kết của hỗn hợp bê tông;

- Phụ gia PCI3000 làm tăng cường độ nén và uốn của bê tông so với mẫu đối chứng ở các tuổi 3, 7, 28 ngày;

- Phụ gia PCI 3000 có tác dụng chống ăn mòn: ngăn cản ion clorua thấm vào trong bê tông, giảm đáng kể ăn mòn cốt thép trong bê tông.

5.2. Kiến nghị

Các thí nghiệm kiểm tra khả năng chống ăn mòn của phụ gia PCI 3000 cần được tiếp tục nghiên cứu lâu dài và thử nghiệm hiện trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 9346:2012 Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường biển.
- [2] QCVN 16-3 : 2011/BXD Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về sản phẩm, hàng hóa VLXD, Phần 3: Nhóm sản phẩm phụ gia cho xi măng và bê tông.
- [3] TCVN 9337:2012: Bê tông nặng - Xác định độ thấm ion Clo bằng phương pháp đo điện lượng.
- [4] NT Build 356: Concrete, repairing materials and protective coating: Embedded steel method, chloride permeability.

NGHIÊN CỨU BÊ TÔNG SIÊU TÍNH NĂNG - UHPC
VÀ ỨNG DỤNG TẠI VIỆT NAM

TS. Trần Bá Việt¹, TS. Lê Minh Long², Ths. Ưông Hồng Sơn³, Ths. Nguyễn Hồng Sơn⁴, Ths. Vũ Ngọc Luyến⁵,
Ks. Bùi Xuân Chiến⁶, Ks. Phạm Văn Đạo⁷, Ks. Lê Văn Đức⁸, Ths. Nguyễn Trung Hòa⁹

¹*Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, email: vietbach57@yahoo.com*

²*Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, email: leminhlongibst@gmail.com*

³*Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, email: sonuh@ibst.vn*

⁴*Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, email: hongson2606@gmail.com*

⁵*Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, email: vnluyen.ibst@gmail.com*

⁶*Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, email: ksxuanchien1209@gmail.com*

⁷*Công ty Amacao, email: canhgocvuong@gmail.com*

⁸*Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, email: anhduck49utc@gmail.com*

⁹*Đại học Vinh, Nghệ An, email: trunghoacn@yahoo.com*

TÓM TẮT: Bài báo đã trình bày toàn diện kết quả nghiên cứu mới nhất về các tính chất và độ bền lâu của bê tông siêu tính năng- UHPC sử dụng nguyên vật liệu Việt Nam trong điều kiện công nghệ và khí hậu nước ta. Từ đó đưa ra các lĩnh vực ứng dụng và kết quả đã ứng dụng UHPC vào xây dựng hạ tầng như cầu UHPC, nắp và hố ga đô thị, các bộ phận kết cấu công trình xây dựng như Mặt dựng, bể chứa, kiến trúc, dầm.... Các kết luận rút ra làm cơ sở và có giá trị cho các nghiên cứu và ứng dụng tiếp theo về UHPC tại Việt Nam trong thời gian tới.

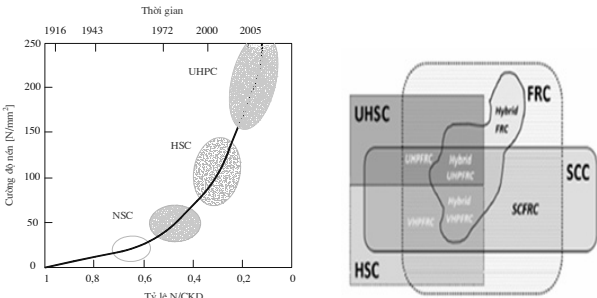
This article presents the latest research results on the study of the properties and durability of UHPC using Vietnamese materials in terms of technology and climate in Vietnam. From there, the fields of application and results have been applied UHPC to build infrastructure such as UHPC bridge, urban cap and manhole, structural components such as façade, reservoir, beams ... Conclusions are the basis and valid for further UHPC research and application in Vietnam in the near future.

TỪ KHÓA: Bê tông siêu tính năng- UHPC, sợi thép, độ chảy, cường độ nén, uốn, kéo, độ dẻo dai, độ bền lâu, chống thấm, chống ăn mòn, thấm clo, hệ số quy đổi cường độ, biến động cường độ, cầu UHPC, façade UHPC.

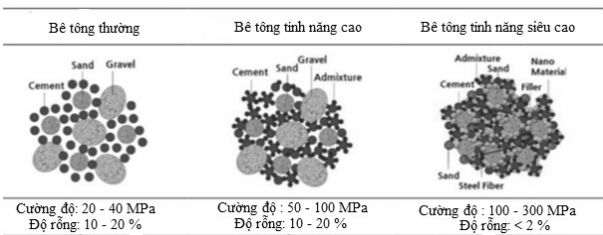
KEYWORDS: Ultra High Performance Concrete- UHPC, steel thread, flow, compressive strength, bending, tensile, toughness, durability, waterproofing, anti-corrosion, anti chlorine corrosion, UHPC bridge, UHPC façade.

1. GIỚI THIỆU

Trong khoảng 30 năm gần đây các nước tiên tiến đã nghiên cứu bê tông tính năng siêu cao Ultra High Performance Concrete- UHPC, có cường độ trên 150 MPa mẫu trụ D100 xH200, trên nền bê tông này sẽ bổ sung sợi thép, sợi tổng hợp, hay sợi lai Hybrid (Sợi thép- Sợi Tổng hợp) để tạo ra bê tông UHSCF không chỉ có cường độ chịu nén siêu cao mà còn có cường độ chịu uốn và kéo cao, mô đun đàn hồi rất cao, độ dẻo dai cao.

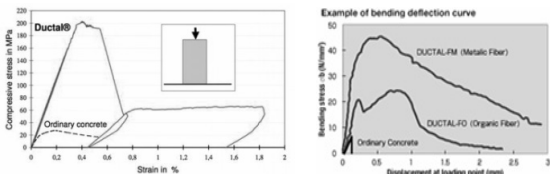


Hình 1: Đồ thị tổng quát sự phát triển bê tông UHPC



Hình 2: Mặt cắt của mẫu UHPC sợi thép với các hàm lượng khác nhau

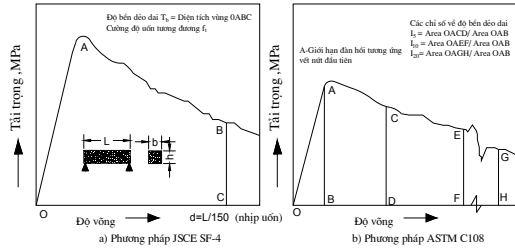
Cường độ nén, cường độ tối hạn chỉ chịu ảnh hưởng nhỏ bởi sự có mặt của sợi, với mức tăng quan sát được biến đổi trong phạm vi 0 đến 1,5% cho lượng sợi thép sử dụng lên tới 1,5 theo thể tích.



Hình 3: Quan hệ cường độ chịu nén và ứng suất khi chịu nén của bê tông thường và UHPC- Ductal

Khi chịu uốn có thể tăng hơn 2 lần khi sử dụng khoảng 4% thể tích sợi trong vữa xi măng-cát. Hiện nay, các nghiên cứu khác cho thấy sự có mặt của cốt liệu thô cùng với việc sử dụng công tác trộn và đổ hợp lý có thể giúp giảm lượng dung sợi xuống chỉ còn 1,5 – 2% theo thể tích mà vẫn tăng cường độ chịu uốn lên đến 2 lần. Tuy nhiên, sự phân bố và hướng sợi có ảnh hưởng khá nhiều đến khả năng tăng cường độ chịu uốn cho UHPC.

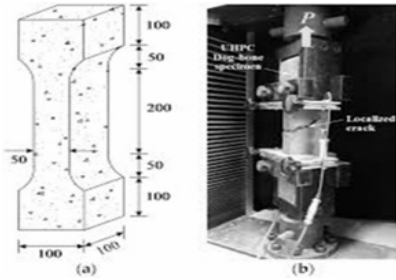
Khả năng chịu uốn và biến dạng của bê tông thường so với bê tông cốt sợi PP và bê tông UHPC cốt sợi thép



Hình 4: Đường cong tải trọng độ võng và các chỉ số đánh giá độ bền dẻo dài[1]

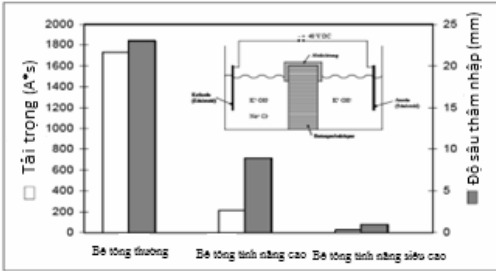
Khả năng chịu kéo trực tiếp [1]

Khi chịu kéo trực tiếp, cường độ được cải thiện khoảng 30 đến 40% với lượng sợi thép sử dụng > 1,5% theo thể tích.



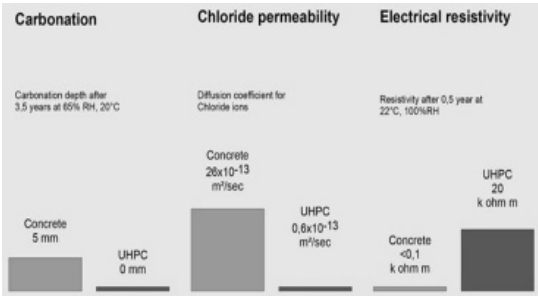
Hình 5: Quan hệ cường độ chịu kéo trực tiếp với biến dạng khi kéo của bê tông thường so với UHPC

Chỉ số dẻo dai: Thông số này được cho là đặc trưng phân biệt rõ nhất UHPC với bê tông thường không cốt sợi. Trước điều kiện va đập, độ bền dẻo dai có thể được biểu thị định tính bằng cách thử nghiệm sự phá hủy kết cấu UHPC bằng búa tạ hoặc thả rơi bi thép từ các chiều cao xác định.



Hình 6: Mức độ thẩm ion Clo đối với bê tông thường, Bê tông tính năng cao và siêu cao

Độ bền lâu: Ăn mòn cốt thép trong Bê tông tính năng siêu cao UHPC



Hình 7: Khả năng chống ăn mòn Carbonat hóa và hệ số khuếch tán ion Clo của bê tông thường so với UHPC

Qua các biểu đồ trên có thể nhận thấy UHPC có mức độ thẩm Ion Clo rất nhỏ so với bê tông thường. Hệ số khuếch tán ion Clo nhỏ hơn 45 lần so với bê tông thường. Hay nói cách khác là khả năng bảo vệ cốt thép trong bê tông UHPC cao hơn rất nhiều so với bê tông thường. Điều đó có nghĩa là nếu so với bê tông thường tuổi thọ của bê tông UHPC tăng lên nhiều lần. Và điều này càng hiệu quả rõ khi kết cấu UHPC trong môi trường khí hậu biển.

2. CƠ SỞ KHOA HỌC CỦA ĐỀ TÀI

2.1. Sự làm việc đồng thời của cốt sợi thép và nền bê tông tính năng siêu cao

Bản chất của sự tăng cường cốt sợi thép phân tán trong hỗn hợp bê tông nhằm hạn chế sự phát triển những vết nứt nhỏ.

Mặt khác, các sợi được phân bố không liên tục và ngẫu nhiên trong đá xi măng cả ở những vùng chịu nén và chịu kéo của một bộ phận kết cấu. Chúng có thể nâng cao độ cứng và điều chỉnh vết nứt thông qua việc ngăn chặn các vi vết nứt lan chuyển và mở rộng và còn tăng độ dai do khả năng hấp thụ năng lượng của chúng. [2]

2.2. Chế tạo bê tông tính năng siêu cao theo lý thuyết tối ưu độ đặc, thể tích tuyệt đối

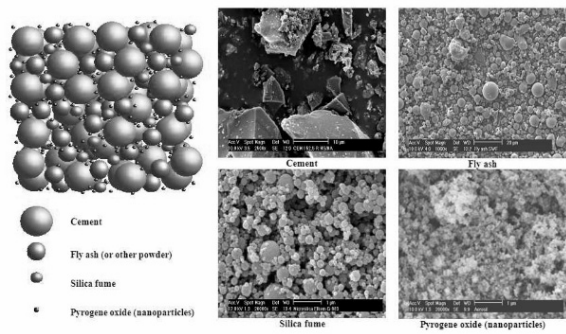
2.2.1. Chế tạo bê tông tính năng siêu cao theo phương pháp thể tích tuyệt đối [3]

Để độ đặc đạt tối ưu khi thiết kế cấp phối UHPC có thể coi tổng thể tích của các vật liệu thành phần là 1000 (l), bỏ qua thể tích các bọt khí chiếm chỗ có trong hỗn hợp UHPC. Theo phương pháp thể tích có thể thấy rằng để độ đặc tối ưu thì các vật liệu phải có kích thước hạt bé làm cho khả năng phân tán của các hạt trong hỗn hợp UHPC là lớn. Vì vậy sẽ ít các lỗ rỗng trong cấu trúc, đảm bảo độ đặc tối ưu.

2.2.2. Chế tạo bê tông tính năng siêu cao theo lý thuyết tối ưu về độ đặc [3]

Nguyên tắc cơ bản để cải thiện các tính chất của bê tông là tăng độ đặc của vữa xi măng và cải tiến

vùng tiếp giáp giữa đá xi măng và hạt cốt liệu. Với bê tông tính năng siêu cao tỷ lệ N/X từ 0,155 đến 0,22. Chất kết dính baogồm xi măng, Silica fume và được thay thế một phần bằng cốt liệu mịn như bột Quartz có đường kính trung bình là 10 - 30µm. Cốt liệu nhỏ thường được dùng là cát Quartz có cỡ hạt lớn nhất từ 0,5 đến 1mm. Thiết kế hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao thường được sử dụng phương pháp lý thuyết đi đôi với thực nghiệm.



Hình 8: Cấu trúc vi mô của bê tông tính năng siêu cao và bê tông cường độ cao

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ VẬT LIỆU

3.1. Vật liệu sử dụng



Hình 9: Thông số kỹ thuật cơ bản của vật liệu sử dụng

3.2. Các phương pháp

Các tính chất của vật liệu sử dụng được xác định theo các tiêu chuẩn được nêu trong bảng:

Bảng 1: Các phương pháp nghiên cứu.

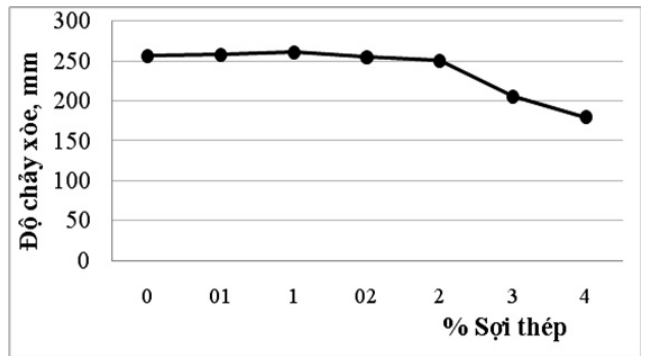
Thí nghiệm		Phương pháp thử
Xác định độ chảy xòe		TCVN 9204:2012
Xác định cường độ	Nén	TCVN 9204:2012
	Uốn	
	Kéo	K-UHPC: 2014
Modul đàn hồi		TCVN 5726 - 1993
Ứng suất - biến dạng		K-UHPC: 2014
Hệ số khuôn		TCVN 5574-2012 K-UHPC
Xác định điện lượng thấm qua mẫu		TCVN 9337:2012
Kiểm tra độ thấm ion Clo theo chiều sâu mẫu		TCVN 9492:2012 ASTM C1556 - 11a

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

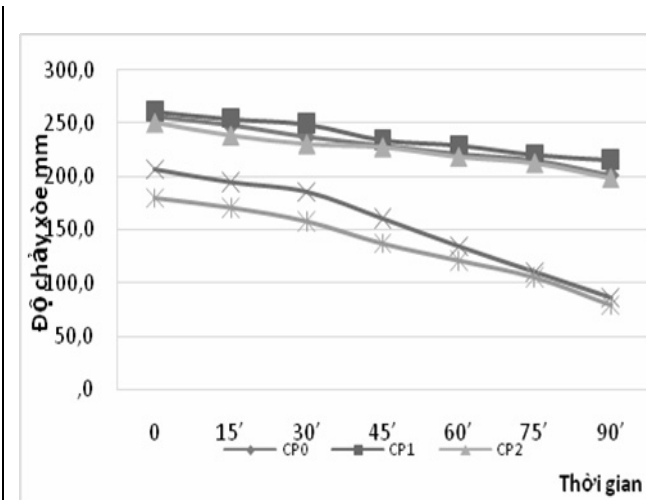
4.1. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến tính công tác của hỗn hợp UHPC

Bảng 2: Ảnh hưởng của HL sợi thép đến độ chảy xòe

Tính công tác Cấp Phối	Độ chảy xòe (mm)
CP 0.0 - 0% sợi	256
CP 0.5 - 0,5	258
CP 1.0 - 1,0	261
CP 1.5 - 1,5	255
CP 2.0 - 2,0	250
CP 3.0 - 3,0	206
CP 4.0 - 4,0%	180



Hình 10: Biểu đồ ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến độ chảy xòe của hỗn hợp UHPC



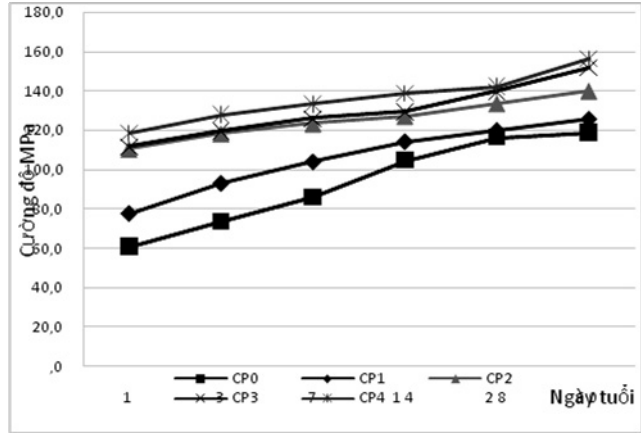
Hình 11: Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến tổn thất độ chảy xòe theo thời gian

4.2. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ nén mẫu trụ D10xH20cm

Cường độ nén mẫu trụ D10xH20cm, tại các ngày tuổi 1,3,7,14,28,60.

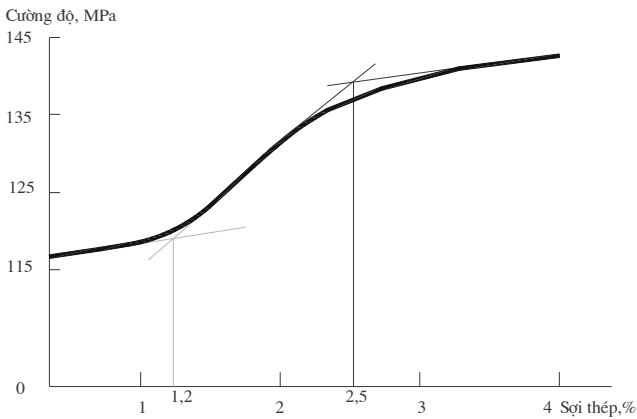
Bảng 3: Ảnh hưởng hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ nén theo thời gian (ngày) mẫu trụ D10xH20cm, MPa

	Sợi thép, %	1	3	7	14	28	60
CP0	0	61.1	73.8	86.4	105.1	116.7	119.1
CP1	1	78.0	93.3	104.3	114.6	120.4	126.1
CP2	2	110.8	118.5	123.6	127.4	133.8	140.1
CP3	3	112.1	120.3	126.4	129.9	140.1	152.2
CP4	4	119.0	128.4	133.8	139.1	142.7	156.7



Hình 12: Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến cường độ nén theo thời gian (ngày) -mẫu trụ D10xH20cm, MPa

Cường độ nén mẫu trụ D10xH20cm, tại tuổi 28 ngày.



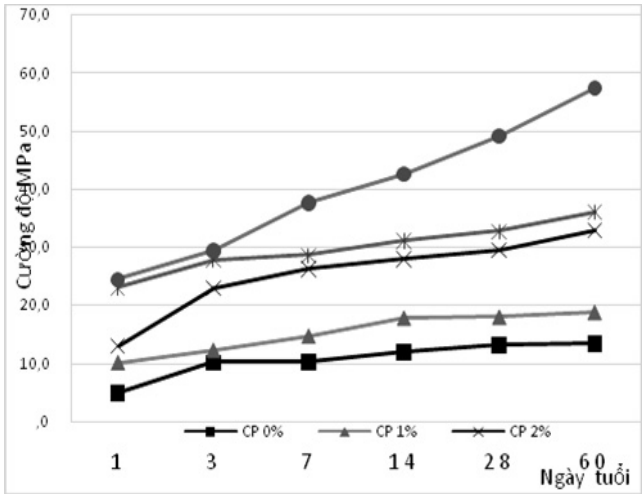
Hình 13: Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến tốc độ phát triển cường độ nén - mẫu trụ D10xH20cm tại 28 ngày

4.3. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ uốn mẫu 4x4x16cm.

Cường độ uốn tại các ngày tuổi 1,3,7,14,28,60.

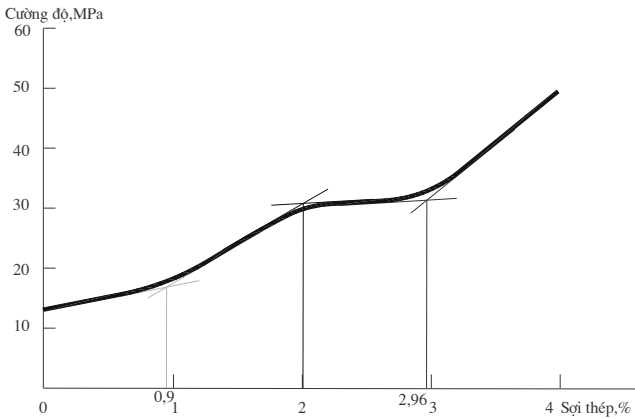
Bảng 4: Ảnh hưởng hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ nén theo thời gian (ngày) mẫu uốn 4x4x16cm, MPa

	Sợi thép, %	1	3	7	14	28	60
CP0	0	4.9	10.2	10.3	11.9	13.1	13.5
CP1	1	10.2	12.3	14.8	17.9	18.0	18.9
CP2	2	13.1	23.0	26.3	27.9	29.5	32.8
CP3	3	23.1	27.9	28.7	31.2	32.8	36.1
CP4	4	24.6	29.5	37.7	42.7	49.2	57.4



Hình 14: Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ uốn mẫu 4x4x16 tại 28 ngày

Cường độ uốn mẫu 4x4x16 tại tuổi 28 ngày



Hình 15: Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ uốn mẫu 4x4x16cm tại 28 ngày

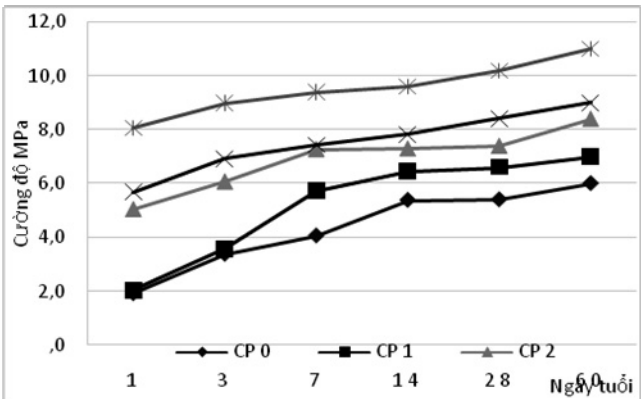
4.4. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ chịu kéo của UHPC theo thời gian

Sử dụng khuôn có kích thước tiết diện chịu kéo 5x10cm để thử nghiệm, kết quả thử nghiệm được thể hiện qua bảng và biểu đồ sau.

Cường độ kéo tại các ngày tuổi 1, 3, 7, 14, 28, 60.

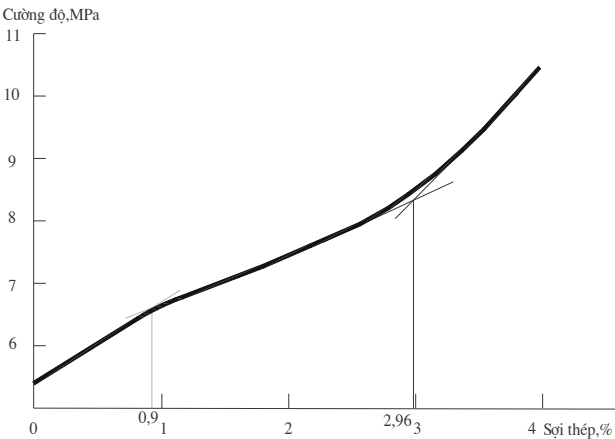
Bảng 5: Ảnh hưởng hàm lượng sợi thép đến tốc độ cường độ nén theo thời gian (ngày) trên mẫu kéo, MPa

	Sợi thép, %	1	3	7	14	28	60
CP0	0	1.9	3.4	4.1	5.4	5.4	6.0
CP1	1	2.0	3.6	5.7	6.5	6.6	7.0
CP2	2	5.1	6.1	7.3	7.3	7.4	8.4
CP3	3	5.7	6.9	7.4	7.8	8.4	9.0
CP4	4	8.1	9.0	9.4	9.6	10.2	11.0



Hình 16: Ảnh hưởng hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ chịu kéo

Cường độ kéo tại tuổi 28 ngày.



Hình 17: Ảnh hưởng hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ kéo 28 ngày



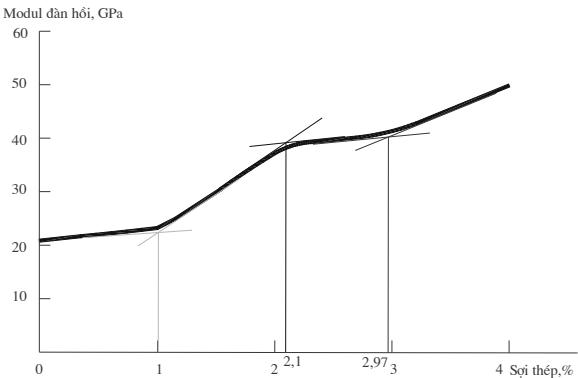
Hình 18: Đường cong ứng suất - biến dạng khi kéo.

4.5. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến Modul đàn hồi

Một trong những chỉ tiêu quan trọng nhất nói lên bản chất của vật liệu là Modul đàn hồi. Hơn nữa đối với bê tông cốt sợi thép thì Modul đàn hồi thể hiện khả năng biến dạng dưới tải trọng khác biệt rất lớn so với bê tông thường và modul đàn hồi là một chỉ số quan trọng trong tính toán thiết kế bê tông. Modul đàn hồi được tính theo công thức: $E=(S2-S1)/(\epsilon2-\epsilon1)$.

Bảng 6: Modul đàn hồi theo K-UHPC.

Nhóm mẫu thử	CP0	CP1	CP2	CP3	CP4
Cường độ nén (MPa)	108	110	130	136	136
ϵ_1 (mm/mm)	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005
ϵ_2 (mm/mm)	0.00103	0.00104	0.001042	0.001041	0.001041
S1 (MPa)	1.98	2.41	2.55	2.55	2.61
S2 (MPa)	43.16	44.32	52.28	54.52	59.08
Modul (E), GPa	42.02	42.33	50.13	52.44	56.98



Hình 19: Modul đàn hồi - mẫu trụ D15xH30cm

4.6. Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến khả năng chống mài mòn của bê tông

Các kết quả thử nghiệm độ mài mòn của bê tông UHPC với các hàm lượng sợi thép khác nhau (mỗi cấp

phôi thử 3 viên, kết quả cho trong bảng là kết quả trung bình, được cho trong bảng sau:

Bảng 7: Kết quả thí nghiệm mài mòn

Số TT	Tên mẫu	Hàm lượng sợi thép, (%)	Độ mài mòn (g/cm ²)
1	UHPC-0	0	0.18
2	UHPC-2	2	0.14
3	UHPC-3	3	0.11

4.7. Nghiên cứu xác định hệ số khuôn.

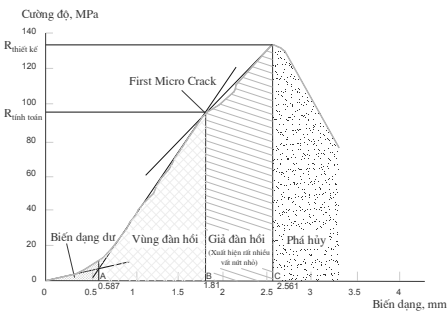
Nghiên cứu xác định hệ số khuôn theo K-UHPC: Để thiết lập được hệ số quy đổi cường độ nén (α) nhóm nghiên cứu đã chế tạo các mẫu 15x15x60cm, 4x4x16 (cm), 10x10x10(cm) trụ D15xH30cm và trụ D10H20cm, và thử cường độ nén ở độ tuổi 28 ngày. Theo Tiêu Chuẩn K-UHPC 2/2014 “*Phương pháp sản xuất viên mẫu để thử nghiệm cường độ của bê tông.*” Lấy kết quả nén mẫu (D10H20) là chuẩn với hệ số bằng 1. Quy đổi sang các mẫu khác với các kết quả như sau:

Bảng 8: Kết quả nén phá hủy, và hệ số các mẫu tuổi 28 ngày của CP2% sợi thép

Khuôn	D10xH20	4x4x16	10x10x10	D15xH30
Lực phá hủy, kN	1013.8	247.9	1416.5	2323.9
	1039.8	249.4	1360.3	2323.9
	1173.1	283.4	1587.0	2380.6
	1039.8	255.1	1564.2	2550.6
	1158.6	300.4	1337.4	2392.0
	1163.3	283.4	1587.0	2408.1
Lực trung bình, kN	1098.1	269.9	1475.4	2396.5
Cường độ trung bình, MPa	140	155	148	136
Hệ số khuôn	1	0.9	0.95	1.03

4.8. Ứng suất biến dạng khi nén

Quan hệ ứng suất và biến dạng trên mẫu biến dạng nén Trụ D15xH30cm. Biểu đồ quan hệ ứng suất biến dạng thu được biểu diễn trên các hình bên dưới.



Hình 20: Ứng suất biến dạng khi nén trung bình

Bảng 9: Quy đổi cường độ tính toán

Viên	H, mm	$\frac{R_t}{R_{tk}}$	Biến dạng dư, mm	Vùng đàn hồi, mm	Vùng giả đàn hồi, mm	Hệ số biến dạng đàn hồi, % AB/H	Hệ số biến dạng tuyệt đối, % AC/H
1	300	0,702	0,653	1,116	0,963	0,372	0,693
2	301	0,723	0,436	1,323	0,653	0,440	0,656
3	300	0,723	0,672	1,234	0,634	0,411	0,623
Trung bình	300,3	0,716	0,587	1,224	0,750	0,408	0,657
Cấp cường độ mẫu 15x15x60cm, MPa (TCVN 5574-2012)							115
Cấp cường độ mẫu Trụ D10xH20cm, MPa (K-UHPC)							140
Cường độ trung bình mẫu Trụ D15xH30cm, MPa							136
Hệ số quy đổi cường độ mẫu trụ D15xH30cm về cấp cường độ							
Theo K-UHPC 2-2014 : 1,03							

Khi tăng dần tải trọng từ 10 đến 97MPa độ biến dạng thay đổi lần lượt là 1,116mm;1,323mm; 1,234mm và tính được hệ số biến dạng đàn hồi lần lượt là 0,00372; 0,00440; 0,00411.

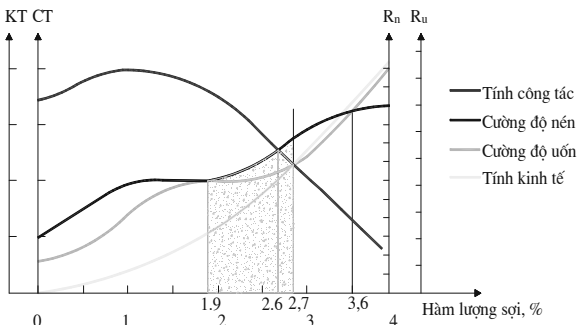
Cường độ tính toán $R_{tt} = 97\text{MPa}$ nếu giảm tải trọng thì cấu kiện sẽ biến dạng về trạng thái ban đầu, đây là vùng đàn hồi , là khoảng làm việc an toàn của cấu kiện. Cường độ tính toán/ cường độ = 71,3%.

Khi tăng từ 97MPa đến 136MPa bắt đầu xuất hiện những vết vi nứt nhỏ đầu tiên (First Micro-Crack) đây là vùng giả đàn hồi.

Tính toán được độ biến dạng lần lượt là 0,963mm; 0,653mm; 0,634mm và xác định được tổng biến dạng lần lượt là 0,00693; 0,00656; 0,00623 cùng cường độ thiết kế $R_{tk} = 136\text{MPa}$.

Có thể xác định được hệ số tương quan cường độ mẫu trụ D15xH30cm và cấp cường độ theo tiêu chuẩn K – UHPC 2-2014 là 1,03.

4.9. Hiệu quả kinh tế - kỹ thuật



Hình 21: Xác định vùng cấp phối tối ưu

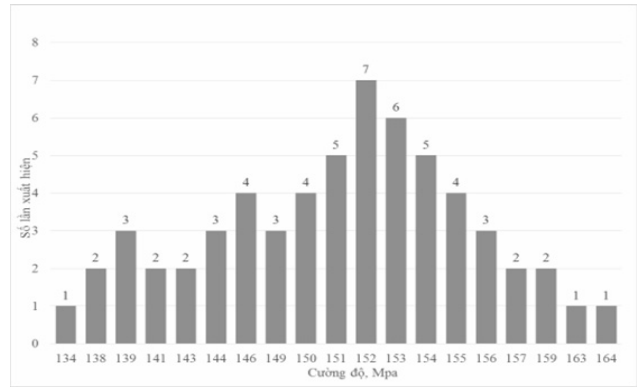
Từ hình 21 lựa chọn hàm lượng phần trăm sợi thép hợp lý nằm trong khoảng (1,9 – 3,6)%.

Nếu ưu tiên về mặt kỹ thuật (cường độ uốn) khi hàm lượng sợi thép sử dụng khoảng 3,6%.

Nếu tối ưu về kinh tế khi hàm lượng sợi thép sử dụng khoảng 2,6 - 2,7%.

4.10. Nghiên cứu sự biến động chất lượng cường độ nén

Nghiên cứu hệ số biến động cường độ chịu nén tại 28 ngày tuổi của UHPC, 2% sợi thép, sử dụng mẫu D100 x H200mm, số lượng mẫu 60 viên, chế tạo trong 10 ngày liên tục.

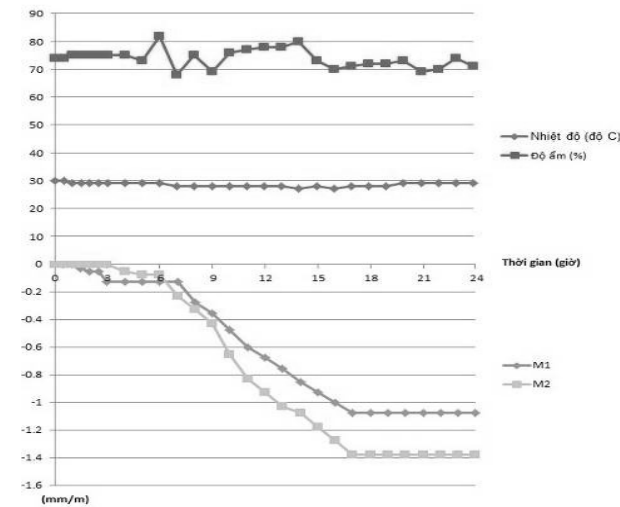


Hình 22: Biến động cường độ chịu nén mẫu D10x H20

4.11. Nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện khí hậu đến độ co mềm và co khô của UHPC

4.11.1. Độ co mềm trong điều kiện khí hậu tự nhiên của UHPC

Mẫu thí nghiệm với 2% sợi thép. Hỗn hợp bê tông được đổ vào khuôn 10x10x40 cm để ổn định trong 30 phút sau đó gắn đồng hồ, vạch chia 0,01mm rồi bắt đầu đo liên tục trong 24 giờ.



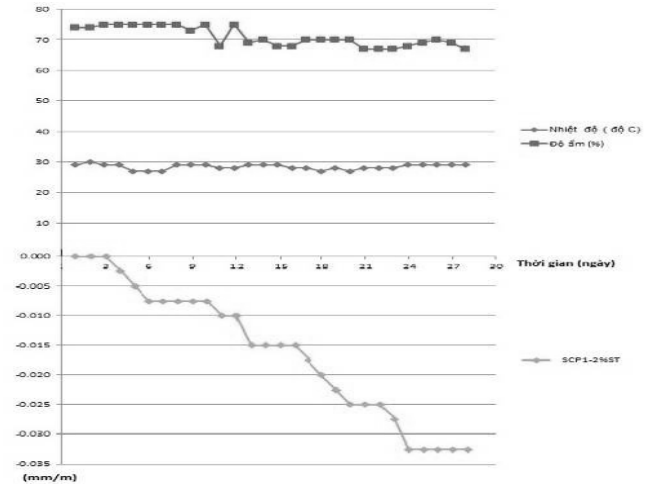
Hình 23: Độ co mềm trong điều kiện phòng thí nghiệm của hỗn hợp UHPC theo thời gian

Qua các biểu đồ ta thấy độ co mềm của UHPC lớn hơn rất nhiều độ co khô. Đo trong 24 giờ là thời gian

co do bê tông đóng rắn và bị mất nước, chỉ số co tại 24 giờ trung bình là 1,225 mm/m.

4.11.2. Độ co khô trong điều kiện phòng thí nghiệm của UHPC

Mẫu thí nghiệm với 2% sợi thép, sau khi thực hiện xong đo co mềm, để ổn định mẫu trong 1 ngày, sau đó gắn đồng hồ với vạch chia 0,002 mm đo trong thời gian 28 ngày tiếp theo.



Hình 24: Độ co khô trong điều kiện trong phòng của hỗn hợp UHPC theo thời gian

Chỉ số co khô tại 28 ngày là 0,033 mm/m. Do tỷ lệ N/CKD thấp nên co do bốc hơi nước mao quản ko xảy ra. Khi có sợi thép có tác dụng chống nứt (như trạng thái bị ứng suất trước), làm cho vết nứt không lớn thêm được.

4.12. Nghiên cứu khả năng chống thấm của UHPC

Mẫu thử với 2 % sợi thép. Liên quan đến mức độ thấm Ion Cl⁻, có thể đánh giá trước hết gián tiếp thông qua khả năng chống thấm của bê tông.

Bảng 10. Kết quả xác định khả năng chống thấm của UHPC

Áp lực thí nghiệm MPa	Kết quả quan sát hiện tượng thấm trên từng mẫu					
	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5	Mẫu 6
14	Chưa thấm	Chưa thấm	Chưa thấm	Chưa thấm	Chưa thấm	Chưa thấm
18	Chưa thấm	Chưa thấm	Chưa thấm	Chưa thấm	Chưa thấm	Chưa thấm
20	Chưa thấm	Chưa thấm	Chưa thấm	Chưa thấm	Chưa thấm	Chưa thấm

UHPC có thể chịu được cấp áp lực trên 20MPa. Cấp chống thấm đạt được >20 MPa, chứng minh bê tông UHPC có mật độ cao và độ đồng nhất rất cao, không rạn nứt. Các mẫu bê tông có độ đồng đều rất tốt. Điều đó cho phép tiên liệu là hệ số thấm Ion Cl⁻ cũng sẽ rất thấp.

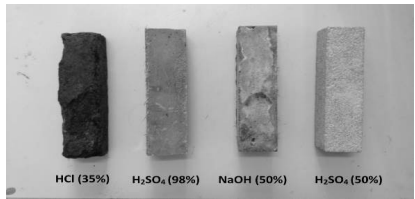
4.13. Nghiên cứu khả năng chống ăn mòn cho bê tông UHPC

4.13.1. Xác định hệ số suy giảm cường độ của UHPC 2% sợi thép trong các môi trường axit, kiềm mạnh

Để rút ngắn thời gian tác dụng của axit và kiềm nên đã sử dụng những dung dịch axit, kiềm có nồng độ cao để ngâm mẫu trong 30 ngày.

Các mẫu thí nghiệm gồm có: H₂SO₄ - 98%, H₂SO₄ - 50%, HCl - 35%, NaOH - 50%.

Sau 30 ngày ngâm mẫu, mẫu được vớt ra làm và xác định các chỉ tiêu cường độ uốn và nén để so sánh với mẫu chuẩn, tính ra được hệ số suy giảm cường độ trong các môi trường khác nhau.



Hình 25: Các mẫu thí nghiệm được ngâm hóa chất trong 30 ngày

Nghiên cứu kiểm tra cường độ nén uốn, tìm ra chỉ số suy giảm cường độ K. Chỉ số suy giảm cường độ được tính bằng cường độ của mẫu ngâm hóa chất trong 30 ngày và cường độ của mẫu chuẩn, tỷ lệ ngâm hóa chất.

$$K = (R_n/R_{hc}) \times 100$$

K: Hệ số suy giảm cường độ.

Bảng 11. Hệ số suy giảm cường độ nén

	Mẫu thường	H ₂ SO ₄ 98%,	H ₂ SO ₄ 50%	NaOH 50%	HCl 35%
R _{nén}	142.5	135.2	140.1	136.0	14.4
Hệ số K _n	1	0,95	0,98	0,95	0,1

Bảng 12. Hệ số suy giảm cường độ uốn

	Mẫu thường	H ₂ SO ₄ 98%,	H ₂ SO ₄ 50%,	NaOH 50%	HCl 35%
R _{uốn}	24.4	23.5	20.2	22.8	6.5
Hệ số K _u	1	0,96	0,83	0,93	0,27

4.13.2. Nghiên cứu khả năng chống ăn mòn của cốt thép và sợi thép trong bê tông bằng phương pháp xác định hiệu điện thế ăn mòn

Trong nghiên cứu này xác định hiệu điện thế ăn mòn bằng phương pháp đo điện thế.

Căn cứ vào giá trị điện thế trên bản đồ đánh giá kết quả theo bảng dưới đây:

Bảng 13: Đánh giá kết quả thí nghiệm khả năng cốt thép bị ăn mòn trong bê tông

Kết quả đo điện thế cốt thép theo các điện cực chuẩn, mV			Đánh giá khả năng cốt thép bị ăn mòn tại thời điểm kiểm tra
Đồng Sunphat bão hòa (Cu/CuSO ₄)	Calomen bão hòa (Hg/Hg ₂ Cl ₂ /KCl)	Bạc Clorua (Ag/AgCl/4 MKCl)	
> - 200	> - 126	> -106	Cốt thép chưa bị ăn mòn (xác suất trên 90%)
từ - 350 đến - 200	từ - 276 đến - 126	từ - 256 đến - 106	Khả năng cốt thép bị ăn mòn không chắc chắn
< - 350	< - 276	< - 256	Cốt thép đã bị ăn mòn (xác suất trên 90%)

Trong thí nghiệm này sử dụng với điện cực Đồng Sunphat bão hòa.

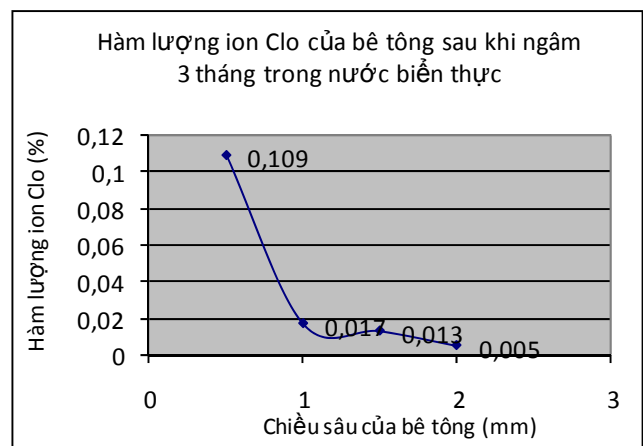
Bảng 14: Kết quả thí nghiệm đo điện thế ăn mòn của mẫu UHPC

Vị trí	Điện thế đo được (mV)			
	1	2	3	4
1	-50	-96	-69	-61
2	-37	-78	-82	-60
3	-53	-64	-51	-51
4	-36	-64	-63	-22
5	-30	-37	-29	-31
Trung bình	-41 > -200	-68 > -200	-59 > -200	-45 > -200

4.13.3. Độ thấm Clo theo chiều sâu mẫu theo thời gian 3 tháng ngâm mẫu

Bảng 15: Kết quả độ thấm clo theo chiều sâu mẫu theo thời gian 3 tháng

TT	Tên mẫu	Độ sâu (cm)	Hàm lượng Cl ⁻ hòa tan trong axit (%)
1	Lớp 1	0 – 0,5	0,109
2	Lớp 2	0,5 – 1	0,017
3	Lớp 3	1 – 1,5	0,013
4	Lớp 4	1,5 - 2	0,005



Bảng 16: Xác định mức độ thấm ion clo

TT No	No	Units	Results		Require of ASTM C1202 -12	
			Charge passed	Chloride ion penetrability	Charge passed	Chloride ion penetrability
1	Viên 1	Cu lông	24	Không thấm	> 4000	High
2	Viên 2		24		2000 - 4000	Moderate
3	Viên 3		29		1000 - 2000	Low
4	Viên 4		33		100 - 1000	Very low
5	Viên 5		45		<100	Negligible
6	Viên 6		28			

4.14. Nghiên cứu về ảnh hưởng của nước biển thực đến suy giảm cường độ mẫu và cường độ bê tông trên cầu kiện theo thời gian ngâm mẫu trong nước biển

4.14.1. Cường độ nén của mẫu theo các giai đoạn ngâm mẫu

Bảng 17: Cường độ nén của mẫu D10H20 theo các giai đoạn ngâm mẫu

Mẫu	D10 x H20, MPa			
	Không ngâm	90d	210d	365d
CP2%	141,0	138,9	132,9	
CP3%	143,1	142,3	135,9	
CP2% Bột màu	143,5	134,6	129,9	
CP Sợi thô	105,7	101,9	96,8	

4.14.2. Cường độ uốn của mẫu theo các giai đoạn ngâm mẫu

Bảng 18: Cường độ uốn của mẫu 15x15x60 theo các giai đoạn ngâm mẫu

Mẫu	Uốn 15 x 15 x60			
	Không ngâm MPa	90d MPa	210d MPa	365d MPa
CP2%	25,2	24,9	23,9	
CP3%	25,5	24,6	23,5	
CP2% Bột màu	25,8	24,1	22,8	
CP Sợi thô	26,6	26,1	24,7	

Theo K- UHPC hay NF P18-470 chiều dày lớp bảo vệ tối thiểu là 20mm, trong nghiên cứu này cũng sử dụng chiều dày lớp bảo vệ là 20mm.

5. CÁC CÔNG TRÌNH ỨNG DỤNG BÊ TÔNG TÍNH NĂNG SIÊU CAO - UHPC TẠI VIỆT NAM

Nguyễn Trung Hòa, Trần Bá Việt, Lê Minh Long (2016) “*Nghiên cứu thiết kế cầu nông thôn sử dụng bê tông UHPC*”. Hội nghị ACF 2016.

Trần Bá Việt, Lê Minh Long, Nguyễn Trung Hòa (2016). “*Nghiên cứu về bê tông cốt sợi tính năng siêu cao ứng dụng vào cầu nông thôn tại Hậu Giang*”. Hội nghị ACF 2016.

Trần Bá Việt các cộng tác viên, công ty tư vấn Thăng long về làm chủ thiết kế kết cấu dầm cầu UHPC trên MIDAS 2018 và thi công chế tạo dầm cầu UHPC tại Đà Nẵng, Sơn Tây - Hà Nội với số lượng 11 cầu UHPC nhịp từ 8 đến 15m, rộng 4m, tải thiết kế 0,65HL93.

Trần Bá Việt và cộng sự thiết kế thi công cầu UHPC tại Vĩnh Long, Long An, Khánh Hòa với cầu nhịp 15m, rộng 4m. Đặc biệt có cầu UHPC Cả Sách, Tân Hưng, Vĩnh Long gồm 5 nhịp x 15m, tải 0,95HL93 đã thi công xong trong tháng 9 năm 2018 là minh chứng cho việc làm chủ công nghệ thiết kế kết cấu, chế tạo UHPC, và thi công lắp đặt dầm UHPC cho 6 tỉnh thành trong cả nước (2018).

Đã nghiên cứu thiết kế và chế tạo các modul façade UHPC để xây dựng mặt tiền kiến trúc công trình nhà Beta Đại học FPT Cần Thơ. Công trình đã được hoàn thành và khánh thành ngày 10 tháng 8 năm 2018, đã tạo ra động lực mới cho việc ứng dụng UHPC cho các công trình chất lượng cao ở Việt Nam (2018).

Đã nghiên cứu chế tạo các nắp hồ ga UHPC thay thế nắp gang, cấp tải A, B, C, D với dạng tròn và vuông. Các nắp ga cho khả năng chịu tải tương đương

nắp gang, chống mài mòn cao, không bị mất trọng với giá thành cạnh tranh. Kết quả được ứng dụng trong thực tiễn với 200 nắp hố ga đã được cung ứng ra thị trường (2016).

Lê Minh Long, Trần Bá Việt và các cộng sự đã nghiên cứu ứng dụng UHPC cho xây dựng nhà biển đảo bằng phương pháp lắp ghép sử dụng cấu kiện UHPC tiên chế cho kết quả đáp ứng các yêu cầu thiết kế và sử dụng và có hiệu quả kinh tế.

Nội dung mà các đề tài nêu trên hướng đến việc nghiên cứu sử dụng các loại vật liệu trong nước để chế tạo UHPC. Từ đó, bước đầu đưa loại bê tông này áp dụng vào trong kết cấu cầu và kết cấu nhà cao tầng. Các nghiên cứu này được xem là những nghiên cứu tiên phong và được ứng dụng công nghệ, sản phẩm UHPC ở Việt Nam.

* Những ứng dụng của UHPC tại Việt Nam



Hình 26: Mặt dựng UHPC cho toàn nhà Beta – Đại học FPT Cần thơ (8/2018)



Hình 27: Cầu UHPC – Kim Sơn, Ninh Bình (6/2016)



Hình 28: Cầu UHPC Cả Sạch, Tân Hưng, Long An (8/2018)



Hình 29: Giàn hoa UHPC, sân Golf Sóc Sơn, Hà Nội (6/2018)

KẾT LUẬN

1. Lựa chọn vật liệu phù hợp, thiết kế tính toán được thành phần bê tông có cường độ chịu nén tới 193,8MPa và cường độ chịu uốn tới 49,2MPa (mẫu 4x4x16cm), 28 ngày, cường độ chịu nén trên mẫu lập phương 100x100x100mm tại 28 ngày tuổi là 156MPa, uốn trên mẫu lăng trụ 100 x100 x400mm là 44 MPa.

2. Xác định được ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến độ chảy xòe; tổn thất độ chảy xòe theo thời gian; sự phát triển cường độ nén, uốn, kéo theo thời gian, hệ số quy đổi cường độ khuôn, Modul đàn hồi và ứng suất biến dạng của bê tông UHPC.

3. Hàm lượng sợi thép < 1% không có hiệu quả. Hàm lượng sợi thép từ 1-3%, các tính chất của bê tông UHPC tăng lên rõ rệt khi tăng hàm lượng sợi. Hàm lượng sợi >3% hiệu quả không cao. Sợi thép có thể tăng cường độ uốn rõ rệt lên 2,5 lần và tăng cường độ chịu kéo lên 2 lần.

4. Xác định hệ số quy đổi khuôn từ các mẫu 4x4x16 cm, 100x100x100mm và trụ D150xH300mm sang mẫu trụ D100xH200mm, theo K-UHPC 2-2014 lần lượt là 0,9; 0,95 và 1,03 .

5. Modul đàn hồi biến đổi từ 42.02 GPa đến 56.98 GPa với bê tông có cường độ chịu nén từ 108 đến 136MPa.

6. Bê tông UHPC 2 % sợi thép có mác chống thấm rất cao > B20. Bê tông UHPC có khả năng chống ăn mòn sun phat, chống ăn mòn Cl-, chống ăn mòn trong các môi trường axit, kiềm là rất tốt, có khả năng chống ăn mòn cho thép cốt trong bê tông rất tốt.

7. Bê tông UHPC với 2% sợi thép có độ co mềm trung bình sau 1 ngày đêm là 1,225 mm/m và co khô trung bình sau 28 ngày là 0,033 mm/m. Chế độ bảo dưỡng ban đầu rất quan trọng.

8. Phân tích các yếu tố kinh tế- kỹ thuật đã xác định được khoảng hàm lượng sợi thép phù hợp là từ 1,9 - 3,6%. Cấp phối tối ưu về kỹ thuật - kinh tế có hàm lượng sợi khoảng 1,90 - 2,65%.

9. Đối với các ứng dụng tại Việt nam nên lựa chọn UHPC với hàm lượng sợi thép 2%, độ chảy > 22cm, cường độ nén mẫu trụ D100xH200mm là

150 MPa, Uốn trên mẫu 100x100x400mm là 44 MPa, kéo trực tiếp theo K- UHPC là 8MPa, Modul đàn hồi > 48 GPa, co mềm sau 24 h là 1,225mm/m, co khô sau 28 ngày là 0,033mm/m. Mác chống thấm > B20. Dòng ăn mòn của bê tông nền UHPC là < 100 Culong.

10. Đã nghiên cứu sử dụng UHPC cho công trình xây dựng đã thực hiện tại Việt Nam trong thời gian qua như các công trình hạ tầng cầu, hồ ga, ống kích; cho các công trình dân dụng công nghiệp như nhà lắp ghép chống ăn mòn biển, cầu thang, facade, dầm. Các kết quả ứng dụng cho kết quả tin cậy và đáp ứng các yêu cầu thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] US.Department of Transportation Federal highway administration (FHWA), Ultra-high performance Concrete a state – of – the – art Report for the Bridge Community, June, 2013.
- [2] US. Department of Transportation Federal highway administration (FHWA), Material property characterization of Ultra-high performance Concrete, August, 2006.
- [3] Kim Jee-sang; Kim Byung-suk, Design Guidelines for K-UHPC, Korea Institute of construction technology, Feb., 2014.
- [4] Francoi TOUTLEMONDE and Jacques RESPLENDINO, Proceedings of the RILEM-fib-AFGC International Symposium on Ultra-high Performance fiber-Reinforced Concrete, UHPFRC, 2013.
- [5] French Standard NF P18-710, National addition of Eurocode 2 – Design of Concrete Structures: Specific rules for Ultra high performance fiber – Reinforced Concrete (UHPFRC), 16 April, 2016.
- [7] Iowa State University, Design, construction, and field testing of an Ultra-high performance Concrete Pi-Girder bridge, Final report January, 2011.
- [8] French Standard, Product and Design standards for UHPFRC in France, January, 2016.
- [9] Stephen J.Foster, Yen Lei VooUHPFRC as a Material for Bridge Construction, ACF, 2015.
- [10] CHEN Baochun. Pilot UHPFRC Bridges in China, ACF, Ha Noi, 2016
- [11] SETRA, AFGC. Béton fibrés à ultra-hautes performances, recommandation.

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG CÁT NGHIÊN THAY THẾ CÁT TỰ NHIÊN
TRONG BÊ TÔNG CHO KHU VỰC ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG
STUDY ON THE USE OF CRUSHED SAND AS AN ALTERNATIVE OF
NATURAL SAND IN CONCRETE IN MEKONG DELTA REGION

Lê Hoài Bảo¹, Đặng Văn Hợi², Mai Thị Hoa³

¹Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, Email: lehoaiobao204@gmail.com

²Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, Email: danghoi2010@gmail.com

³Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, Email: maihoaxdmt@gmail.com

TÓM TẮT: Trong bối cảnh giá cát dùng trong xây dựng tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) tăng cao, nguồn khai thác cạn kiệt, chất lượng không đảm bảo, việc khai thác quá mức gây ảnh hưởng đến môi trường. Với tình hình đó, tác giả nghiên cứu sử dụng cát nghiền được sản xuất từ công ty Khai thác và chế biến đá An Giang để thay nguồn cát tự nhiên ở ĐBSCL. Qua việc thí nghiệm một số tính chất vật lý của cát nghiền, đồng thời so sánh tính công tác và cường độ chịu nén giữa bê tông cát nghiền và bê tông cát tự nhiên ở cấp độ bền B15 và B20 không phụ gia. Từ kết quả thu được, nhóm tác giả đánh giá khả năng thay thế cát tự nhiên bằng cát nghiền.

TỪ KHÓA: bê tông, cát nghiền, cát tự nhiên, Đồng bằng sông Cửu Long.

ABSTRACT: In the context of rising natural sand used in construction prices, the available sources of natural sand are getting exhausted, the quality is not guaranteed and exploitation affects the environment. With that situation, the researcher study on the use of crushed sand which is manufactured by the company An Giang Stone Exploitation and Processing to replace natural sand in the Mekong Delta. Through the experiments of some physical properties of crushed sand, at the same time compare the workability and compressive strength between concrete crushed sand and natural sand concrete at the level of B15 and B20 non-admixture. Based on the results of the study, the authors evaluate the possibility of replacing natural sand with crushed sand.

KEYWORDS: concrete, artificial sand, natural sand, Mekong Delta.

1. TÌNH HÌNH KHAI THÁC, SỬ DỤNG CÁT TỰ NHIÊN KHU VỰC ĐBSCL

Theo Nghị định 24a/2016/NĐ-CP ngày 05/4/2016 của Chính phủ [1] đã xếp cát xây dựng là vật liệu xây dựng thông thường và do cấp tính quản lý, vì vậy việc quản lý hiện nay thiếu sự thống nhất trên toàn quốc về điều tra, đánh giá trữ lượng đến cấp phép, sử dụng. Nhu cầu sử dụng cát san lấp tại ĐBSCL được thể hiện trong bảng 1.

Hiện nay việc đánh giá trữ lượng cát tự nhiên được thực hiện chưa đầy đủ, chưa có sự thống nhất toàn quốc về theo dõi, điều tra, quản lý. Các số liệu hoàn toàn do các địa phương tự đánh giá dựa vào kết quả điều tra của các doanh nghiệp là chủ yếu. Theo số liệu hiện có của trung tâm Quy hoạch thì cả nước hiện có 331 mỏ cát với tổng trữ lượng khoảng 2.079,72 triệu m³ [3]. Riêng tại ĐBSCL phân bố cụ thể theo bảng 2.

Bảng 1. Dự báo nhu cầu vật liệu san lấp tại ĐBSCL giai đoạn 2016 - 2020 [2]

STT	Tỉnh	Giai đoạn 2016 - 2020 (triệu m ³)	
		Từ	Đến
1	Long An	60	65
2	Tiền Giang	40	45
3	Bến Tre	36	40
4	Trà Vinh	50	55
5	Vĩnh Long	30	35
6	Đồng Tháp	35	40
7	An Giang	42	45
8	Kiên Giang	70	75
9	Cần Thơ	50	55
10	Hậu Giang	30	35
11	Sóc Trăng	45	50
12	Bạc Liêu	15	18
13	Cà Mau	12.5	15
Tổng cộng		515.5	573

Bảng 2. Tổng hợp tài nguyên khoáng sản cát, cuội, sỏi một số tỉnh ĐBSCL [2]

STT	Tỉnh	Cát, cuội, sỏi	
		Số mỏ	Trữ lượng (triệu m ³)
1	Long An	5	0,03
3	Bến Tre	30	317,13
4	Trà Vinh	10	19,02
5	Vĩnh Long	9	103,75
6	Đồng Tháp	2	218,43
7	An Giang	13	92,60
8	Kiên Giang	5	2,45
Tổng cộng		74	753,41

Với trữ lượng cát tự nhiên như trên, nếu dùng cát để san lấp thì đến năm 2020 Việt Nam sẽ hết cát, còn chỉ dùng để xây trát và bê tông thì đáp ứng được thêm 15-20 năm. Bên cạnh đó, trong những năm gần đây, nhiều cá nhân tổ chức khai thác cát tại các lòng sông khu vực ĐBSCL đã gây ra nhiều hậu quả nghiêm trọng, làm biến đổi dòng chảy gây sạt lở, xói mòn bờ sông.

2. SO SÁNH MỘT SỐ TÍNH CHẤT VẬT LÝ GIỮA CÁT TỰ NHIÊN VÀ CÁT NGHIÊN

Cát nghiền là loại vật liệu được nghiền nhỏ từ đá tự nhiên, là nguồn vật liệu thay thế rất tốt cho cát tự nhiên. Hiện nay cát nghiền đang được sử dụng chế tạo bê tông do có nhiều ưu điểm như: hạt cát đồng đều, có thể điều chỉnh module độ lớn và tỷ lệ thành phần hạt, tuy nhiên những tính chất này thay đổi phụ thuộc vào nguồn đá gốc và công nghệ nghiền. Trong phạm vi nghiên cứu so sánh, nguồn cát nghiền thí nghiệm được lấy từ công ty Khai thác và chế biến đá An Giang; nguồn cát sông đại diện cho ĐBSCL được lấy từ cát Phan Thành (Cần Thơ) do loại cát này đã qua sàng rửa nên có chất lượng cao hơn so với các nguồn cát khác trong khu vực ĐBSCL.

2.1. Thành phần cỡ hạt và module độ lớn

Bảng 3. Chỉ tiêu thành phần hạt cát sông

Kích thước mắt sàng (mm)	Khối lượng trên từng sàng (g)	Lượng sót sàng riêng a _i (%)	Lượng sót sàng tích lũy A _i (%)
Đáy sàng	41,40	3,76	100,00
0,140	279,00	25,34	96,24
0,315	500,00	45,41	70,90
0,630	194,30	17,64	25,50
1,25	49,00	4,45	7,86
2,5	37,50	3,41	3,41
5	0,00	0,00	0,00
Module độ lớn M _{dl} = 2,04			

Bảng 4. Chỉ tiêu thành phần hạt cát nghiền

Kích thước mắt sàng (mm)	Khối lượng trên từng sàng (g)	Lượng sót sàng riêng a _i (%)	Lượng sót sàng tích lũy A _i (%)
Đáy sàng	56,00	5,60	100
0,140	141,00	14,1	94,4
0,315	205,00	20,5	80,3
0,630	153,00	15,3	59,8
1,25	214,00	21,4	44,5
2,5	231,00	23,1	23,1
5	0,00	0,0	0,0
Module độ lớn M _{dl} = 3,02			

Nhận xét: Cát nghiền đạt yêu cầu quy định, cát thuộc loại to. Có thành phần cỡ hạt tốt hơn so với cát sông.

2.2. Độ hút nước của cát

Tiến hành thí nghiệm cho 2 mẫu cát thu được kết quả như trong bảng 5.

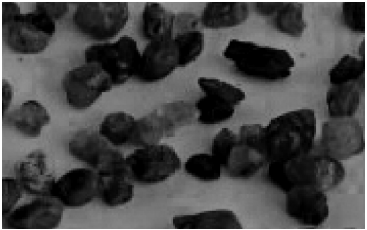
Bảng 5. Độ hút nước của cát sông và cát nghiền

TT	Loại cát	Khối lượng mẫu (g)		Độ hút nước (%)
		Khô bề mặt	Khô hoàn toàn	
1	Cát sông	447,4	438,31	2,12
2	Cát nghiền	446,5	440,3	1,41

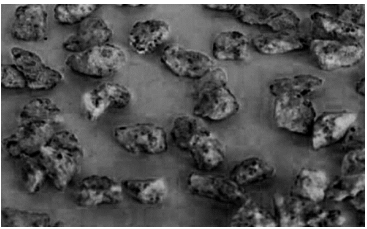
Từ kết quả trên cho thấy cát nghiền có độ hút nước thấp hơn cát sông nhưng chênh lệch không quá lớn.

2.3. Hình dạng bề mặt

So với cát sông thì cát nghiền có hình dạng hạt góc cạnh hơn, đồng thời cát tự nhiên có bề mặt trơn, tròn hơn cát nghiền. Qua các hình 1, hình 2 có thể nhìn rõ hơn hình dạng hạt cát.



Hình 1. Cát sông



Hình 2. Cát nghiền

2.4. Độ xốp hồng của cát

Độ xốp hồng của cát ảnh hưởng rất lớn đến tính chất của bê tông. Tính chất này phụ thuộc vào thành phần cỡ hạt và hình dáng hạt cát, do cát nghiền có thành phần cỡ hạt và hình dạng góc cạnh hơn cát sông nên độ rỗng lớn hơn.

Bảng 6. Khối lượng thể tích và độ xốp hồng của cát sông, cát nghiền

TT	Loại cát	Khối lượng thể tích ở trạng thái khô ρ_{vk} (g/cm ³)	Khối lượng thể tích xốp ρ_x (kg/m ³)	Độ xốp hồng (%)
1	Cát sông	2,41	1.527	36,6
2	Cát nghiền	2,51	1.533	38,9

Kết quả cho thấy cát nghiền có độ xốp hồng lớn hơn cát sông, chứng tỏ so với cát sông hình dáng bề mặt cát nghiền góc cạnh và gồ ghề hơn.

2.5. Một số chỉ tiêu khác của cát nghiền

Để đảm bảo cát nghiền tại công ty Khai thác và chế biến đá An Giang đáp ứng yêu cầu trong tiêu chuẩn 9205:2012, nhóm tác giả tiến hành một số thí nghiệm để xác định tính chất khác của cát nghiền. Kết quả được thể hiện trong bảng 7.

Bảng 7. Kết quả thí nghiệm một số tính chất của cát nghiền

Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	TCVN 9205:2012 [4]
Hàm lượng hạt sét	%	0,50	≤ 2
Hàm lượng ion clo (Cl ⁻)	%	0,0071	$\leq 0,05$
Hàm lượng hạt < 0.075mm	%	6,67	≤ 16
Khả năng phản ứng kiềm - silic	-	Trong vùng cốt liệu vô hại	

3. TÍNH CÔNG TÁC GIỮA BÊ TÔNG CÁT TỰ NHIÊN VÀ BÊ TÔNG CÁT NGHIỀN

Để thấy được sự ảnh hưởng của cát nghiền đến lượng dùng nước của hỗn hợp bê tông, nhóm nghiên cứu tiến hành thiết kế cấp phối sử dụng cát sông ở hai cấp độ bền B15 và B20, độ sụt 8 ± 2 cm theo phương pháp Bolomey - Skramtaev sau đó thay thế cát sông bằng cát nghiền có tỉ lệ phối trộn khác nhau theo nguyên lí thể tích, tiến hành đo độ sụt và so sánh với mẫu sử dụng 100% cát sông. Cấp phối bê tông (xi măng : cát : đá : nước) để kiểm tra độ sụt dùng 100% cát sông như sau:

- Bê tông có cấp độ bền B15: 295:623:1211:195;
- Bê tông có cấp độ bền B20: 360:577:1197:195.

Bảng 7. Tỉ lệ cát nghiền, cát sông và độ sụt của các cấp phối bê tông

Mẫu Thí nghiệm		Tỉ lệ cốt liệu mịn		Độ sụt SN (cm)
		Cát nghiền (%)	Cát sông (%)	
Bê tông cấp độ bền B15 (M200)				
BT1		0	100	9
BT2		25	75	8
BT3		50	50	6,5
BT4		75	25	5
BT5		100	0	4,5
Bê tông cấp độ bền B20 (M250)				
BT6		0	100	9
BT7		25	75	8,5
BT8		50	50	8
BT9		75	25	6,5
BT10		100	0	5

Từ các kết quả độ sụt có thể thấy: Nếu thay thế phần trăm cát nghiền càng nhiều thì độ sụt càng thấp. Giải thích hiện tượng này có một số nguyên nhân chủ yếu sau: Mặc dù độ hút nước của cát nghiền nhỏ hơn cát sông tuy nhiên bề mặt các hạt cát nghiền thường nhiều góc cạnh, hàm lượng hạt mịn (< 0,15mm), lớn hơn cát sông (5,6% so với 3,76%), vì vậy tổng diện tích bề mặt của cát nghiền sẽ lớn hơn nhiều so với cát sông. Đây chính là nguyên nhân chủ yếu gây nên hiện tượng giảm độ sụt, từ đó làm cho lượng dùng nước của bê tông sử dụng cát nghiền tăng hơn so với bê tông sử dụng cát sông.

Theo phương pháp Bolomey - Skramtaev để đảm bảo độ sụt 8 ± 2 cm của các cấp phối bê tông, tiến hành điều chỉnh lượng nước ở các mẫu BT3, BT9 bằng cách thêm 5 lít nước; ở các mẫu BT4, BT5, BT10 tiến hành tăng cả nước và xi măng đến khi đạt độ sụt như yêu cầu. Kết quả thành phần cấp phối bê tông sau khi điều chỉnh được thể hiện trong bảng 8.

**Bảng 8. Cấp phối cho 1m³ bê tông
sau khi điều chỉnh**

Ký hiệu		Thành phần bê tông					$\frac{X}{N}$
		XM (kg)	CN (kg)	CS (kg)	Đá (kg)	Nước (lít)	
Bê tông cấp độ bền B15 (M200)							
BT1		295	0	623	1211	195	1,51
BT2		295	156	467	1211	195	1,51
BT3		302	311,5	311,5	1211	200	1,51
BT4		310	467	156	1211	205	1,51
BT5		310	623	0	1211	205	1,51
Bê tông cấp độ bền B20 (M250)							
BT6		360	0	577	1197	195	1,85
BT7		360	144	433	1197	195	1,85
BT8		360	288,5	288,5	1197	195	1,85
BT9		370	433	144	1197	200	1,85
BT10		379	577	0	1197	205	1,85

**4. CƯỜNG ĐỘ CHỊU NÉN GIỮA BÊ TÔNG CÁT
TỰ NHIÊN VÀ BÊ TÔNG CÁT NGHIÊN**

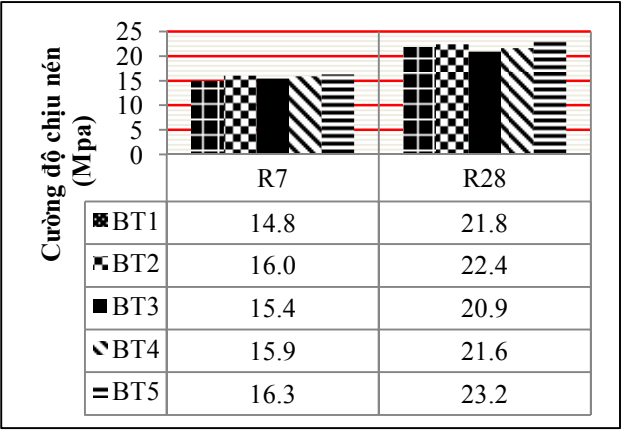
**Bảng 9. Cường độ chịu nén
của các cấp phối bê tông**

STT	Ký hiệu mẫu	Cường độ chịu nén, MPa		
		R7	R28	
Bê tông cấp độ bền B15 (M200)				
1	BT1		14,8	21,8
2	BT2		16,0	22,4
3	BT3		15,4	20,9
4	BT4		15,9	21,6
5	BT5		16,3	23,2
Bê tông cấp độ bền B20 (M250)				
6	BT6		20,1	30,1
7	BT7		22,0	27,3
8	BT8		21,6	26,1
9	BT9		19,8	27,9
10	BT10		21,3	30,5

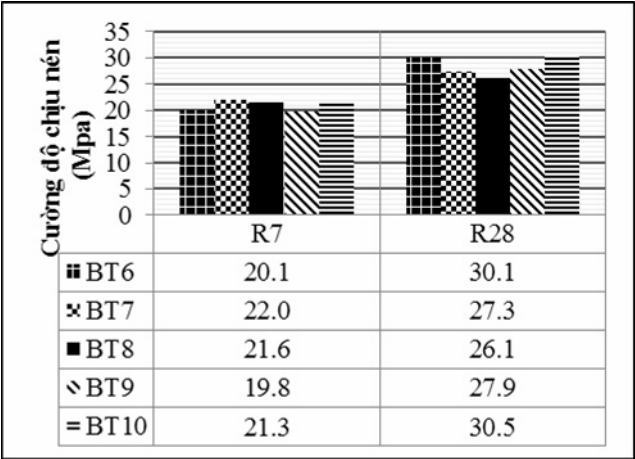
Để xác định chính xác cường độ chịu nén của bê tông sử dụng cát nghiền, nhóm nghiên cứu tiến hành sử dụng mẫu thí nghiệm có kích thước 15×15×15cm. Số lượng mẫu đủ cung cấp cho 10 cấp phối từ BT1 đến BT10 theo hai loại ngày tuổi, 7 ngày và 28 ngày. Các ký hiệu cấp phối và kết quả thí nghiệm cường độ nén của các được trình bày như trong bảng 9.

Từ các kết quả thu được như trong bảng 9 vẽ được các biểu đồ đánh giá sự ảnh hưởng của cát nghiền đến cường độ chịu nén của bê tông B15 và bê tông B20 thông qua các biểu đồ ở hình 3 và hình 4.

Qua kết quả thí nghiệm, ở các mẫu bê tông có sử dụng cát sông và cát nghiền với các tỉ lệ phối trộn khác nhau thì cường độ bê tông ở mẫu sử dụng 100% cát nghiền có cường độ nén ở 7 ngày tuổi và 28 ngày tuổi đều lớn hơn so với mẫu chỉ sử dụng 100% cát sông. Các mẫu bê tông sử dụng cát nghiền phối trộn với cát sông có cường độ chịu nén tuy khác nhau nhưng không quá chênh lệch, đa phần đạt mức thiết kế ban đầu đề ra.



Hình 3. Biểu đồ so sánh sự phát triển cường độ của bê tông cấp độ bền B15 sử dụng cát nghiền và cát sông



Hình 4. Biểu đồ so sánh sự phát triển cường độ của bê tông cấp độ bền B20 sử dụng cát nghiền và cát sông

Nhận xét: Từ các kết quả về cường độ nén của bê tông sử dụng cát nghiền và cát sông như trong bảng 9 có thể nhận thấy bê tông sử dụng cát nghiền có cường độ chịu nén đạt yêu cầu mác thiết kế.

Bê tông sử dụng cát nghiền tuy có lượng dùng nước cao hơn so với bê tông sử dụng cát sông nhưng do hình dáng bề mặt hạt cát nghiền gồ ghề, góc cạnh, ít tạp chất sét nên có độ bám dính với hồ xi măng tốt hơn.

5. KẾT LUẬN

Nguồn cát tự nhiên đang ngày càng cạn kiệt, đồng thời chất lượng cát có xu hướng giảm. Cát sông tại khu vực ĐBSCL hiện nay có module nhỏ, chủ yếu là cát hạt mịn đồng thời hàm lượng bụi, bùn, sét và các tạp chất khác đa phần đều vượt mức cho phép so với tiêu chuẩn.

Cát nghiền tại Công ty Khai thác và Chế biến đá An Giang đáp ứng một số yêu cầu quy định trong tiêu chuẩn TCVN 9205:2012 và hoàn toàn thay thế được cát sông trong chế tạo bê tông cấp độ bền B15 và B20.

So với cát sông tại khu vực ĐBSCL, cát nghiền có chất lượng tốt hơn được thể hiện qua một số tính chất vật lý như: hình dạng bề mặt hạt cát góc cạnh hơn, độ hút nước thấp (1,14% so với 2,12%), độ xốp hồng cao hơn (38,9% so với 36,6%), mô đun độ lớn cao hơn (3,02 so với 2,04). Tuy nhiên lượng dùng nước của bê

tông sử dụng cát nghiền cao hơn cát sông đồng thời lượng dùng xi măng cũng tăng theo nhưng lượng tăng này là không đáng kể.

Để đảm bảo tính dễ thi công, độ sụt và cường độ chịu nén với hệ số vượt mác 15%, nhóm tác giả kiến nghị nên sử dụng bê tông dùng 100% cát nghiền. Tỷ lệ thành phần vật liệu xi măng - cát nghiền - đá - nước cho 1m³ bê tông có cấp độ bền B15 lần lượt là 310kg - 623kg - 1211kg - 205 lít và bê tông có cấp độ bền B20 lần lượt là 379kg - 577kg - 1197 kg - 205 lít.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chính phủ (2016), Nghị định 24a/2016/NĐ-CP ngày 05/4/2016 của Chính phủ về *quản lý vật liệu xây dựng*.
- [2] Nguyễn Tiến Đình (2017). *Thực trạng khai thác, sử dụng cát tự nhiên tại Việt Nam. Giải pháp sử dụng vật liệu thay thế và các tiêu chuẩn định mức*. Tài liệu hội thảo cát nhân tạo và nước biển dùng trong bê tông - Tiêu chuẩn, kinh nghiệm thực tiễn ở Nhật Bản và Việt Nam.
- [3] <https://www.vatlieuxaydung.org.vn/vlxd-co-ban/cat-da-soi/cat-nhan-cao-loi-giai-cho-bai-toan-khai-thac-cat-hien-nay-10478.html>.
- [4] Tiêu chuẩn TCVN 9205:2012 (2012). *Cát nghiền cho bê tông và vữa*.

PREDICTION ON PIPE FLOW OF PUMPED CONCRETE FOR SUPER-TALL BUILDING

Myoung Sung Choi¹, Young Jin Kim²

¹Dongguk University, Department of Safety Engineering, E-mail: mschoi@dongguk.ac.kr

²Korea Concrete Institute, E-mail: kimcrete@naver.com

ABSTRACTS: The objective of this study is to investigate paramount factors in predicting pipe flow of pumped concrete. In order to use analytical method, the three-layer assumption inside the pipe when pumping was used. The dynamic segregation, especially shear-induced particle migration phenomena, was mainly investigated to illustrate the formation of lubrication layer which is considered as a governing factor facilitating concrete pumping. The computational modeling techniques found in the literature were also introduced to provide some ideas to characterize the pipe flow of pumped consistency against test data.

KEYWORDS: pumping, shear-induced particle migration, lubrication layer.

1. INTRODUCTION

Concrete pumping was first introduced in the 1930s and has since become the most extensively used approach to place concrete. Pumping allows concrete to reach normally inaccessible areas of the construction sites, while, at the same time, increasing the speed of delivery. Also, as the increase in demand for super structures such as high-rise buildings continues to grow, the optimization and development of prediction methods for concrete pumping are becoming a crucial issue for the concrete industry. However, there has not been an extensive reporting of research on pumping which, indeed, has been largely limited to a few thesis and papers. The major obstacle in conducting research on pumping is that it is no small undertaking, requiring concrete truck and pipes, combined with a large amount of material and instrumentation. Thus, developing realistic and simple measurements techniques and predictions tools remains a challenge that is of paramount importance for the concrete industry.

Clearly, as concrete pumping involves the flow of a complex fluid under pressure in a pipe, predicting its flow requires detailed knowledge of the rheological properties of concrete. However, the proper characterization needed to predict flow is not easy to achieve because it involves understanding a variety of factors such as dynamic segregation, geometry of the pumping circuit, a lubrication layer formed between the bulk concrete and the pipe wall, pressure, and flow rate. Interestingly, ACI terminology does not include a definition of pumpability, although the term is often used in practice to describe the ability of concrete to be pumped. This paper will attempt to provide ideas on what are the dominant factors to predict the pipe flow of pumped concrete and how to characterize them.

2. FLOW IN A PIPE

In the case of concrete, the pumping of aggregates may result in segregation as shown in Figure 1. As a result, the flow of a granular material with yield stress in a pipe will result in three layers: lubrication layer, shearing layer and plug layer. The plug layer depends on the yield stress, the shearing layer is governed by the viscosity and yield stress and lubrication layer are characterized by the tribology. The composition of each layer is difficult to know as it is impossible to extract material from each layer or to visually observe the various regions. The lubrication layer contains mainly cement paste and maybe very small sand particles [1-3], while the middle section contains coarse aggregates. Also, the diameter of the plug layer or the thickness of the lubrication layer is unknown. Thus, the characterization of each layer is paramount to understand the flow of the concrete in a pipe as well as to predict whether concrete would be pumpable.

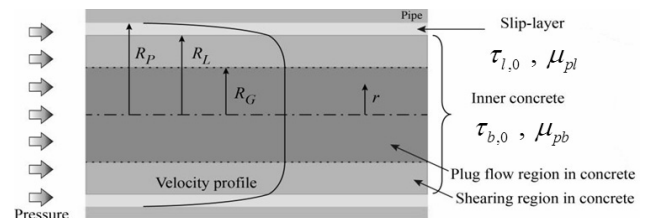


Figure 1. Profile of flow of concrete in a pipe [2]

3. ANALYTICAL APPROACH TO PREDICT THE PUMPABILITY

The analytical method for the pumpability of concrete could be obtained from previous studies [2, 4]. When pump pressure is applied to the pipe, the shear stress inside the pipe was induced so that it created a shear rate both in the lubrication layer and in

the concrete. The shear rate within the lubrication layer can be written as follows:

$$\dot{\gamma} = \frac{\tau(r) - \tau_{l,0}}{\mu_{pl}} \quad (1)$$

where $\dot{\gamma}$ is the shear rate inside the lubrication layer and μ_{pl} and $\tau_{l,0}$ are the viscosity and the yield stress of the lubrication layer. The difference between R_p and R_L in Figure 1 is the thickness of the lubrication layer. The same idea, that is the thickness of the lubrication layer should be considered in calculating the flow rate, has been adopted in the existing research [1, 2, 4]. The shear rate of the inner concrete is only induced when the applied shear stress is larger than the yield stress of the concrete and the size of the shearing layer should first be determined, as follows,

$$R_G = 2\tau_{b,0} \left(\frac{L_{pipe}}{P_{inlet}} \right) \leq R_L \quad (2)$$

where R_G is the radius at which the shear rate starts, and $\tau_{b,0}$ is the yield stress of the inner concrete. The shear rate of the inner concrete exists between R_G and R_L , and is expressed by the following equation.

$$\dot{\gamma} = \frac{\tau(r) - \tau_{b,0}}{\mu_{pb}} \quad (3)$$

The inner region where has a lower yield stress than the concrete has zero shear rate.

$$\dot{\gamma} = 0 \quad (4)$$

The velocity is the integral of the shear rates from the wall to any position in the radial direction and the flow rates are the integral of the velocity over the radius,

$$\begin{aligned} Q &= \int_{R_L}^{R_p} 2\pi r U_s dr + \int_{R_G}^{R_L} 2\pi r U_{p1} dr + \int_0^{R_G} 2\pi r U_{p2} dr \\ &= 3600 \frac{\pi}{24\mu_{pl}\mu_{pb}} [3\mu_{pb}\Delta P(R_p^4 - R_L^4) - 8\tau_{l,0}\mu_{pb}(R_p^3 - R_L^3) \\ &\quad + 3\mu_{pl}\Delta P(R_L^4 - R_G^4) - 8\tau_{b,0}\mu_{pl}(R_L^3 - R_G^3)] \end{aligned} \quad (5)$$

where Q is the flow rate (m³/h). The flow rate that characterizes pumpability can be analytically determined using rheological properties of each region with prescribed pumping pressure.

4. DYNAMIC SEGREGATION

The dynamic segregation plays an important role in characterizing concrete pumpability. When concrete is being pumped, three types of dynamic segregation can be considered: a particle migration,

a particle movement to forward and bleeding. Although all types of dynamic segregation can affect the pumpability of concrete, in the present study, to focus on the characterization of lubrication layer which is the primary goal, particle migration phenomena was mainly investigated. There are several conjectured mechanisms that could lead to the formation of the lubrication layer and investigated by experimental test methods. Firstly, the pumpability has been qualitatively estimated through bleeding tests, which indicate that bleeding water or free water may be concentrated near the pipe wall and this assists the formation of the lubrication layer. Secondly, the pipe wall prevents the uniform distribution of the solid particles, which results in a phenomenon called the wall effect. The exclusion of solid particles near the wall induces a region with a lower particle concentration. Another possible mechanism is the shear-induced particle migration, which explains that particles in suspension migrate across the streamlines from a region with a higher shear rate to a region with a lower shear rate. Particle migration should be a function of the particle concentration. In the pipe flow of pumped concrete, the shear stress is the highest at the pipe wall and linearly decreases as the position moves to the center of the pipe. The inhomogeneous distribution of the particle concentration leads to spatially varying rheological properties in the suspension because the higher shear stress near the wall moves the particles of concrete, sand, and gravel toward the center of the pipe, and the lubrication layer near the wall is the region where the viscosity and yield stress become much lower.

In this study, the shear-induced particle migration was considered as a major possible mechanism that contributes to the formation of the lubrication layer. Leighton et al. [5, 6] suggested phenomenological models for particle migration in non-homogeneous shear flows that typically result from spatial variation in irreversible interaction frequency and effective viscosity. Phillips et al. [7] adapted the scaling arguments of Leighton et al. [5, 6] and proposed a diffusive flux equation to describe the time evolution of the particle concentration based on a two-body interaction model. In this study, the particle diffusive model proposed by Phillips et al. [7], combined with general flow equations, was extended to solve the flow of concrete and predict the particle concentration distribution of suspensions in a pressure-driven pipe flow.

The governing equation of the shear-induced particle migration for the Poiseuille flow was as follows,

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial(u_z \phi)}{\partial z} = \nabla \cdot \left\{ a^2 K_c \phi \nabla \left(\phi \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) + K_\eta \phi^2 a^2 \frac{\partial u_z}{\partial r} \frac{\nabla \eta}{\eta} \right\} \quad (6)$$

where ϕ is the particle concentration, t is the time, u_z is the velocity component in the flow direction, a is the particle radius, z is the flow direction, r is the radial direction, η is the apparent viscosity of the concentrated suspension, and K_c and K_η are dimensionless phenomenological constants.

The stress gradient is a driving force to move particles toward the center of the pipe as described in the first term of the right side in Eq. (6). The increase of the particle concentration due to the migration may increase the viscosity and the yield stress, which hinder the additional migration of the particles as described in the second term of the right side in Eq. (6). As a result, the concentration of the particle inside the pipe is determined by the balance between the two actions, namely, the migration due to the stress gradient and the hindrance due to the increased rheological properties. Through the analysis of the shear-induced particle migration which is one type of the dynamic segregations, the formation of lubrication layer can be simulated and its layer properties could be determined.

5. NUMERICAL APPROACH TO PREDICT PUMPABILITY

For the prediction of pipe flow of pumped concrete, a numerical simulation using computational fluid dynamics could be used to solve complex flow problems. This would allow the prediction of the pumpability of concrete depending on its rheological properties and the pumping circuit. The computational modeling techniques found in the literature may be divided into three categories [8, 9]: single phase fluid approach, particle suspended in a fluid approach, and discrete particle approach. The first approach considers concrete as a homogeneous matrix. From a macro point of view, the flow characteristics of concrete can be considered as a continuum flow. Mori and Tanigawa [10] used the viscoplastic finite element method (VFEM) and the viscoplastic divided element method (VDEM) to simulate the flow of fresh concrete. Both the VFEM and VDEM assumed that the concrete could be described as a single homogeneous fluid. Thrane et al. [11] also simulated the self-consolidating concrete (SCC) flow during L-box and slump flow tests based on a single fluid approach assuming Bingham behavior.

In the second approach, from a micro point of view, materials that constitute concrete such as cement, sand, and aggregate can be considered in the effects of each component. There are two material formations in this method: a primary phase and a granular phase. The primary phase is a fluid-like flow consisting of cement and sand and the granular phase is particle flow consisting of coarse aggregate. Mori

and Tanigawa [10] also used the viscoplastic suspension element method (VSEM) to simulate the concrete flow in various tests with this method. Moreover, as stated in previous section, the shear-induced particle migration analysis which is used to illustrate the formation of lubrication layer is also included in this approach.

In the third method, the concrete flow by nature is dominated by granular media. Chu et al. [12] used the discrete element method (DEM) to simulate the SCC flow during various standard tests: slump flow, L-box, and V-funnel tests. Petersson and Hakami [13] and Petersson [14] also adopted this method in order to simulate the SCC flow during L-box and slump flow tests, and J-ring and L-box tests. These three different types of approaches could be used to simulate the concrete flow in a pipe.

6. DISCUSSION ON RESEARCH NEEDS

The pumping of concrete is a critical issue in construction site. From this study, the authors tried to provide paramount factors in predicting the concrete pumping and some ideas on how to characterize the pumpability. The following major conclusions are drawn.

1. It could be found that pumpability is governed mainly by the lubrication layer and dynamic segregation. The lubrication layer which is formed between the pipe and the concrete plays a dominant role to facilitate the pumping of concrete and dynamic segregation determines the flow condition in the pipe.

2. Regarding the dynamic segregation, the shear-induced particle migration was considered as a major possible mechanism that contributes to the formation of the lubrication layer.

3. The analytical prediction based on the assumption of the three layers in a pipe was obtained for predicting flow rate or pumping pressure.

4. The numerical simulation approaches to solve complex flow problems to predict the pipe flow of pumped concrete were demonstrated.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant (18AUDP-B106327-01) from Architecture & Urban Development Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean Government.

REFERENCES

- [1] Choi M., Roussel N., Kim Y., Kim J. (2012). *Lubrication layer properties during concrete pumping*. Cement and concrete Research, 45:69-78.
- [2] Choi M. (2012). *Prediction of Concrete Pumping Performance based on the Evaluation*

- of Lubrication Layer Properties*. Ph. D. Thesis Department of Civil and Environmental Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST).
- [3] Rio, O., Rodriguez A., Nabulsi S., Alvarez, M. (2011). *Pumping Quality Control Method Based on Online Concrete Pumpability Assessment*. ACI Materials Journal, 108(4): 423-431.
- [4] Kwon S.H., Park C.K., Jeong J. H., Jo S. D., Lee S.H. (2013). *Prediction of concrete pumping: Part I – Development of New Tribometer for Analysis of Lubricating Layer*. ACI Mat. J., 110(6): 647-655.
- [5] Leighton D., Acrivos A. (1987). *The shear-induced self-diffusion in concentrated suspensions*. Journal of Fluid Mech, 181: 415-439.
- [6] Leighton D., Acrivos A. (1987). *Measurement of shear-induced self-diffusion in concentrated suspensions of Spheres*. Journal of Fluid Mech, 177: 109-131.
- [7] Phillips R.J., Armstrong R.C., Brown R.A., Graham A.L., Abbot J.R. (1992). *A constitutive equation for concentrated suspensions that accounts for shear-induced particle migration*. Phys. Fluids, 4: 30-40.
- [8] Roueessl N., Geiker M.R., Dufour F., Thrane L.N., Szabo P. (2007). *Computational modeling of concrete flow: General overview*. Cement and Concrete Research, 37: 1298-1307.
- [9] Gram A., Silfwerbrand J. (2011). *Numerical simulation of fresh SCC flow: applications*. Materials and Structures, 44: 805-813.
- [10] Mori H., Tanigawa Y. (1992). *Simulation methods for fluidity of fresh Concrete*. Memoirs of the School of Engineering, Nagoya University, 44: 71-133.
- [11] Thrane L.N. et al. (2004). *Simulation of the test method “L-Box” for self-compacting concrete*. Annual Trans. of the Nordic Rheology Society, Reykjavik, Iceland, 12: 47-54.
- [12] Chu H., Machida A., Suzuki N. (1996). *Experimental investigation and DEM simulation of filling capacity of fresh concrete*. Transactions of the Japan Concrete Institute, 16: 9-14.
- [13] Petersson Ö., Hakami H. (2001). *Simulation of SCC - laboratory experiments and numerical modeling of slump flow and L-box tests*. Proc. of the 2nd Int. RILEM Symp. on SCC, Tokyo.
- [14] Petersson Ö. (2003). *Simulation of self - compacting concrete - laboratory experiments and numerical modeling of testing methods*. Proc. of the 3rd Int. Symp. on SCC, Reykjavik, Iceland.

SỬ DỤNG HIỆU QUẢ SỢI THÉP TRONG BTCS THÉP
USING STEEL FIBER EFFICIENCY IN STEEL FIBER CONCRETE

Nguyễn Thanh Bình
Viện Khoa học công nghệ xây dựng, Email: ngtbinhIBST@yahoo.com

TÓM TẮT: Sử dụng sợi thép trong bê tông làm tăng rõ rệt khả năng chịu kéo của bê tông. Tuy nhiên việc sử dụng sợi thép hiệu quả phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Bài này giới thiệu ảnh hưởng của cường độ bê tông và loại sợi thép đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông (hiệu quả của sợi thép) trong giới hạn bê tông có cường độ nén trong khoảng 50-80MPa và 120MPa, nhằm mục đích phát huy hiệu quả của sợi thép khi sử dụng trong bê tông cốt sợi thép (BTCST). Từ đó đề xuất lựa chọn cường độ bê tông và sợi thép phù hợp với các ứng dụng trong công trình xây dựng ở Việt Nam.

TỪ KHÓA: BTCST, cường độ chịu kéo khi uốn.

ABSTRACT: The use of steel fibers in concrete significantly increases the tensile strength of concrete. However, the effective use of steel fibers depends on many factors. This article introduces the effect of compressive strength of concrete and steel fibers on the bending strength of concrete (the effect of steel fibers) within concrete limits with a compressive strength of 50-80MPa and 120MPa. , aims to promote the efficiency of steel fibers when used in steel fiber reinforced concrete (BTCST). It is suggested to choose the strength of concrete and steel fibers suitable for construction applications in Vietnam.

KEYWORDS: BTCST, tensile strength when bending.

1. BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP VÀ CÁC LOẠI SỢI NGHIÊN CỨU

Bê tông thông thường có cường độ chịu kéo khi uốn và độ bền dẻo dai thấp, kháng nứt không cao. Những nhược điểm này có thể khắc phục bằng một số cách, trong đó việc bổ sung cốt sợi thép phân tán trong thành phần là giải pháp hiệu quả cao [3]. Việc đưa thêm sợi thép vào bê tông đã cải thiện một số tính chất của bê tông như [3, 5, 7]: tăng cường độ chịu uốn, tăng độ bền dẻo dai, tăng khả năng chịu va đập, tăng khả năng kháng nứt khi chịu tải trọng ... [8]. Trong đó rõ rệt nhất là tăng cao cường độ chịu kéo khi uốn từ 50-80%, thậm chí lớn hơn 100% [5, 7]. Bê tông cốt sợi thép (BTCST) đã được ứng dụng ở nhiều nước trên thế giới và đem lại hiệu quả cao trong các ứng dụng đòi hỏi cường độ chịu kéo khi uốn cao, độ bền dẻo dai cao, chịu va đập, chống nứt và các tính năng khác [7].

Từ các nghiên cứu [1, 2] cho thấy muốn tăng cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST một cách có

hiệu quả thì việc nghiên cứu ảnh hưởng của mác bê tông gốc (bê tông không sợi) và loại sợi thép đến cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST là rất cần thiết. Ngoài ra phương pháp trộn BTCST cũng ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng và cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST, đặc biệt khi chế tạo bê tông siêu cao cốt sợi thép. Tuy nhiên trong khuôn khổ bài báo này đã sử dụng kết quả nghiên cứu về phương pháp trộn phù hợp [1]. Theo kết quả nghiên cứu [1] với bê tông có cường độ nén khoảng 30 MPa thì sợi thép phát huy hiệu quả không nhiều, để thấy rõ ảnh hưởng của mác bê tông đến hiệu quả sử dụng sợi thép, chọn bê tông gốc cho BTCST với mác 500, 700, 800; đối với sợi thép siêu mảnh thử nghiệm trên bê tông gốc mác 1200.

Từ các kết quả nghiên cứu [1, 2] chọn 5 loại sợi với 5 tỷ lệ hướng sợi (chiều dài/đường kính) khác, đặc trưng cho sợi thép hiện có tại Việt Nam. Hình dạng loại sợi thép nghiên cứu cho tại hình 1, các thông số cho tại bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của sợi thép [1]

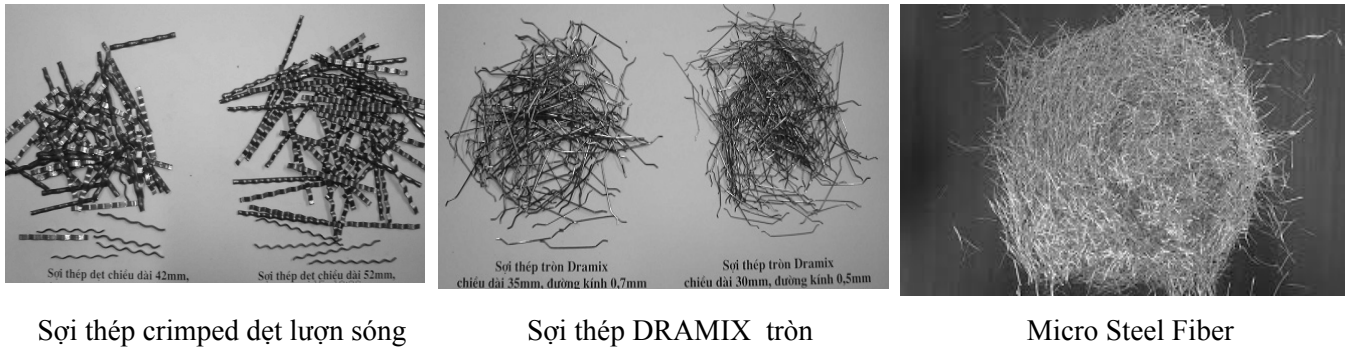
TT	Thông số thuật của sợi thép	Loại sợi thép				
		Dẹt dài 38mm	Dẹt dài 52mm	Tròn SF-35/0,7 (mm)	Tròn SF-30/0,5 (mm)	Tròn 13/0,5 (mm)
1	Tiết diện ngang	Hình vòng cung		Hình tròn		Hình tròn
2	Chiều dài sợi (mm)	38	52	35	30	13
3	Đường kính, đk tương đương (mm)	1,31	1,31	0,7	0,5	0,2
4	Tỷ lệ hướng sợi (d/đk)	29	39,7	50	60	65

TT	Thông số thuật của sợi thép	Loại sợi thép				
		Dẹt dài 38mm	Dẹt dài 52mm	Tròn SF-35/0,7 (mm)	Tròn SF-30/0,5 (mm)	Tròn 13/0,5 (mm)
5	Tổng diện tích bề mặt, cm ² /kg	≈ 3.890	≈ 3.890	≈ 7.270	≈ 10.190	≈ 25.470
6	Số lượng sợi (sợi /kg)	≈ 2.480	≈ 1.820	≈ 9.460	≈ 21.630	≈ 312.000
7	Cường độ chịu kéo (MPa)	> 1.000				2.000

Trong bảng 1, đường kính tương đương của sợi dẹt được tính theo tiêu chuẩn ACI 544.1R 96 [3]:

$d = f(D/SG)^{1/2}$. Trong đó: d là đường kính tương đương, đơn vị mm; f là hệ số, chuyển đổi, $f = 0,0120$; D là độ chối của sợi, gam; SG là khối lượng riêng của sợi thép, g/cm³.

Trong công thức tính [3]: Độ chối của sợi là khối lượng tính bằng gam của 9000 mét dài của một sợi đơn.



Hình 1. Các loại sợi thép sử dụng trong nghiên cứu

2. THÀNH PHẦN CẤP PHỐI CỦA BTSCT VÀ BÊ TÔNG KHÔNG SỢI ĐỐI CHỨNG

2.1. Vật liệu chế tạo

Vật liệu chế tạo bê tông mác 500-800

- Xi măng: PCB 40 Nghi Sơn: TCVN 2682:2009. Cường độ nén của xi măng ở tuổi 28 ngày đạt 48,9 N/mm² thử theo TCVN 6016-2011.

- Cát: Cát sông Lô: TCVN 7570:2006. Bê tông mác 500 và 700, mô đun độ lớn là 2,72; mác 800, mô đun độ lớn là 2,92.

- Đá dăm: TCVN 7570: 2006. $d_{max} = 20mm$, cấp phối hạt: $d = 5 \div 10mm / d = 10 \div 20mm$ là 45/55. Dùng đá xanh khai thác tại Hoà Bình.

- Phụ gia siêu dẻo: 2011 Phụ gia hóa học cho bê tông. Phụ gia siêu dẻo Glenium SP 51 của hãng BASF.

- Tro trấu nghiền mịn: TCVN 8827:2011 Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa – Silicafume và Tro trấu nghiền mịn.

- Tro bay: TCVN 10302: 2014 Phụ gia hoạt tro bay dùng cho Bê tông, vữa xây và xi măng.

- Nước: TCVN 4506: 2012.

- Sợi thép: ASTM A820-2009 [4].

Vật liệu chế tạo bê tông mác 1200

- Xi măng: PC 40: TCVN 2682: 2009: Xi măng Pooc lăng – Yêu cầu kỹ thuật. Cường độ nén khi kiểm tra > 50 MPa theo TCVN 6016-2011.

- Cát trắng sạch: đường kính hạt 0,34-1,0 mm, SiO₂ > 95%. Không chứa tạp chất hữu cơ, Ion Clo, vết: TCVN 9036:2011 Nguyên liệu để sản xuất thủy tinh – cát – Yêu cầu kỹ thuật;

- Cát nghiền sạch: đường kính hạt 0,1-0,34 mm, SiO₂ > 95%. Đáp ứng yêu cầu như cát trắng sạch.

- Phụ gia siêu dẻo: Polycarboxylic đáp ứng TCVN 8826: 2011 Phụ gia hóa học cho bê tông.

- Silicafume: TCVN 8827: 2011.

- Tro bay: TCVN 10302: 2014 Phụ gia hoạt tro bay dùng cho Bê tông, vữa xây và xi măng.

- Nước : TCVN 4506: 2012.

2.2. Thành phần cấp phối BTCS thép và bê tông không sợi đối chứng

Thành phần cấp phối bê tông nghiên cứu cho trong bảng 2, bê tông không sợi có độ sụt từ 18-20 cm với BT mác 500 và 700, độ sụt 20-22cm với bê tông mác 800. Sợi thép sử dụng với hàm lượng 50kg/m³ với 4 loại sợi, điều chỉnh hàm lượng phụ gia siêu dẻo để độ sụt của hỗn hợp BTCST đạt 16-18 cm, giữ nguyên tỷ lệ N/X. Ký hiệu trong bảng 2 như sau:

- CP50; CP70 và CP80 là bê tông không sợi mác 500; 700 và 800;

- BTCST: với A là sợi thép có tỷ lệ hướng sợi 29; B là sợi thép có tỷ lệ hướng sợi 39,7; C là sợi thép có tỷ lệ hướng sợi 50 và D là sợi thép có tỷ lệ hướng sợi 60.

Để thấy rõ ảnh hưởng của mác bê tông và loại sợi thép đến hiệu quả sử dụng sợi thép nhằm tăng cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông, nghiên cứu với bê tông mác 700 và 800 sử dụng 2 loại sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao là 50 và 60, với hàm lượng sợi cao hơn. Thành phần cấp phối BTCST cho trong bảng 3.

Nghiên cứu với bê tông mác 1200 sử dụng sợi thép siêu mảnh Micro Steel Fiber hàm lượng sợi 157 kg/m³ và 235 kg/m³ (2% và 3% theo thể tích BT), Thành phần cấp phối BTCST cho trong bảng 4.

Bảng 2. Thành phần cấp phối bê tông không sợi và BTCST mác 500, 700 và 800

TT	Mác bê tông	Ký hiệu	XM (kg)	T.trấu (kg)	T.bay (kg)	SD (lít)	Cát (kg)	Đá (kg)	N (lít)	Sợi thép (kg)	Độ sụt (cm)
1	Bê tông gốc mác 500	CP50	380	38,0	95,0	2,2	761	969	172,0	0	20,0
2		CP50A	380	38,0	95,0	3,23	752	958	172,0	50	18,0
3		CP50B	380	38,0	95,0	3,23	752	958	172,0	50	17,5
4		CP50C	380	38,0	95,0	3,23	752	958	172,0	50	17,0
5		CP50D	380	38,0	95,0	3,23	752	958	172,0	50	17
6	Bê tông gốc mác 700	CP70	480	48,0	48,0	3,0	743	947	171,5	0	20,0
7		CP70A	480	48,0	48,0	3,36	736	937	171,5	50	18,0
8		CP70B	480	48,0	48,0	3,48	735	937	171,5	50	18,0
9		CP70C	480	48,0	48,0	3,48	735	937	171,5	50	18,0
10		CP70D	480	48,0	48,0	3,48	735	937	171,5	50	18,0
11	Bê tông gốc mác 800	CP80	580	58,0	0	6,67	644	976	170,5	0	22,0
12		CP80A	580	58,0	0	6,67	637	966	170,5	50	18,0
13		CP80B	580	58,0	0	6,67	637	966	170,5	50	18,0
14		CP80C	580	58,0	0	6,67	644	976	170,5	50	17,5
15		CP80D	580	58,0	0	6,67	644	976	170,5	50	17,0

Bảng 3. Thành phần cấp phối BTCST mác 700 và 800 sử dụng sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao

TT	Loại sợi thép	Ký hiệu	XM (kg)	T.trấu (kg)	T.bay (kg)	SD (lít)	Cát (kg)	Đá (kg)	N (lít)	Sợi thép (kg)	Độ sụt (cm)
1	Tỷ lệ hướng sợi 50	CP70C1	480	48,0	48,0	4,32	731	931	171,5	75	17,0
2		CP70C2	480	48,0	48,0	5,28	726	925	171,5	100	17,0
3	Tỷ lệ hướng sợi 60	CP70D1	480	48,0	48,0	4,32	731	931	171,5	75	17,0
4		CP70D2	480	48,0	48,0	5,28	726	925	171,5	100	17,0
5	Tỷ lệ hướng sợi 50	CP80C1	580	58,0	0	6,67	634	961	170,5	75	17,5
6		CP80C2	580	58,0	0	7,25	630	955	170,5	100	16,0
7		CP80C3	580	58,0	0	8,12	625	949	170,5	125	15
8	Tỷ lệ hướng sợi 60	CP80D1	580	58,0	0	6,67	634	961	170,5	75	16,5
9		CP80D2	580	58,0	0	7,25	630	955	170,5	100	15,0
10		CP80D3	580	58,0	0	8,12	625	949	170,5	125	14,5

Bảng 4. Thành phần cấp phối BT siêu cao cốt sợi thép

TT	Ký hiệu	XM (kg)	Silica Fume (kg)	T.bay (kg)	SD (kg)	Cát nghiên (kg)	Cát trắng (kg)	N (lít)	Sợi thép (kg)	Độ chảy xòe (mm)
1	M0	1000	100	250	30	300	450	210	---	204
2	M1	1000	100	250	30	300	450	210	157	204
3	M2	1000	100	250	30	300	450	210	235	204

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Ảnh hưởng mức bê tông và loại sợi thép đến cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST

Kết quả nghiên cứu cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST sử dụng sợi thép có cùng hàm lượng 50 kg/m³, với 4 loại sợi và trên nền bê tông gốc mức 500;

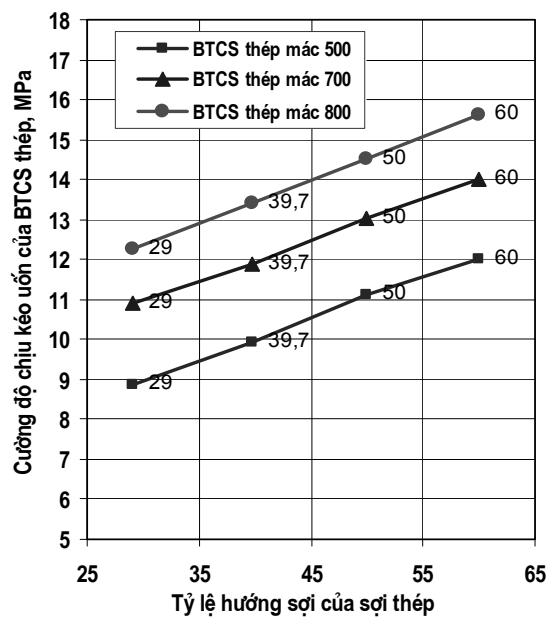
700 và 800 cho trong bảng 5. Ảnh hưởng của mức bê tông hay cường độ của bê tông và loại sợi thép (tỷ lệ hướng sợi thép) biểu diễn trên đồ thị hình 3. Kết quả nghiên cứu bê tông mức 700 và 800 với 2 loại sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao ở các hàm lượng khác nhau cho trong bảng 6 và cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST được biểu diễn trên đồ thị hình 5.



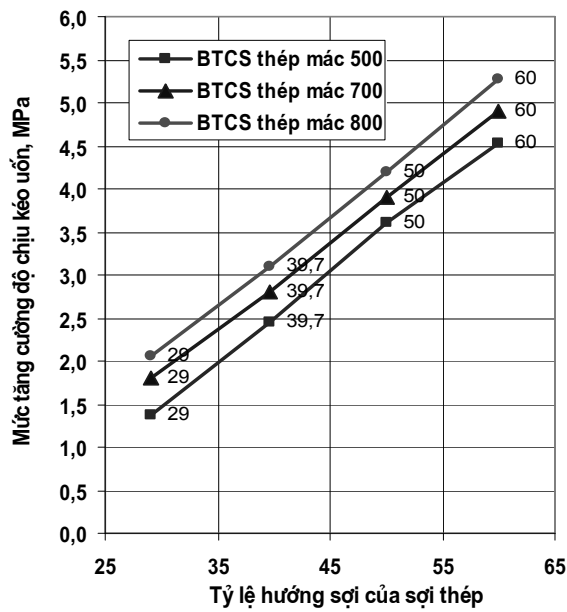
Hình 2. Thí nghiệm uốn mẫu BTCS thép

Bảng 5. Cường độ chịu kéo khi uốn của BT không sợi và BTCST ở tuổi 28 ngày

TT	Ký hiệu	R _{uốn} , MPa	Tăng so với BT không sợi	
			MPa	%
1	CP50	7,47	---	---
2	CP50A	8,85	1,38	18,5
3	CP50B	9,92	2,45	32,6
4	CP50C	11,12	3,65	48,8
5	CP50D	12,0	4,53	60,6
6	CP70	9,10	---	---
7	CP70A	10,75	1,65	18,1
8	CP70B	11,90	2,80	30,8
9	CP70C	13,05	3,95	41,7
10	CP70D	13,90	4,80	52,7
11	CP80	10,30	---	---
12	CP80A	12,15	1,85	17,9
13	CP80B	13,40	3,10	30,0
14	CP80C	14,50	4,20	40,7
15	CP80D	15,60	5,30	51,4

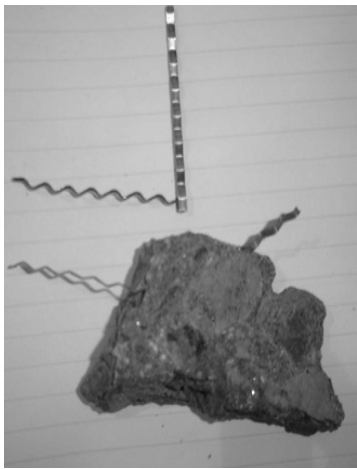


3a. Cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST tuổi 28 ngày



3b. Mức tăng cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST so với BT gốc không sợi tuổi 28 ngày

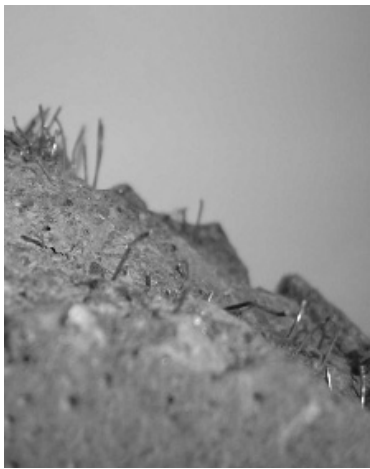
Hình 3. Ảnh hưởng của mác BT và tỷ lệ hướng sợi thép đến cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST ở tuổi 28 ngày (sợi 50kg/m³)



4a. Sợi giãn ít, tuột khỏi liên kết với đá xi măng khi uốn



4b. Sợi giãn nhiều, tuột khỏi liên kết với đá xi măng và 1 số sợi đứt khi uốn



4c. Sợi giãn nhiều, đứt sợi khi uốn

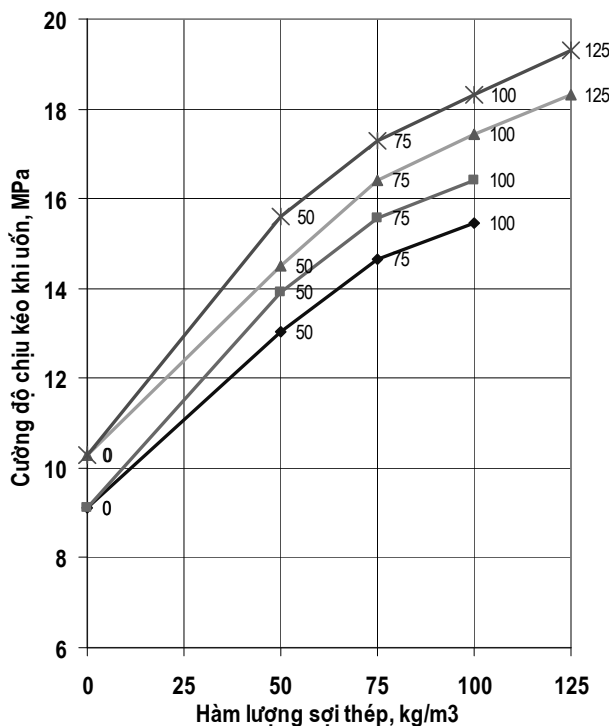
Hình 4. Sợi thép bị tuột, giãn và bị đứt tại bề mặt gãy của mẫu chịu kéo khi uốn

Bảng 6. Cường độ chịu kéo khi uốn của BT không sợi và BTCST với các hàm lượng sợi ở tuổi 28 ngày

Loại sợi	Ký hiệu	Hàm lượng sợi	R _{uốn} , MPa	Tăng so với BT không sợi	
				MPa	%
Không sợi	CP70		9,10	---	---
Tỷ lệ hướng sợi 50	CP70C	50	13,05	3,95	41,7
	CP70C1	75	14,65	5,55	61,0
	CP70C2	100	15,45	6,35	70,0
Tỷ lệ hướng sợi 60	CP70D	50	13,90	4,80	52,7
	CP70D1	75	15,55	6,45	70,8

Loại sợi	Ký hiệu	Hàm lượng sợi	$R_{uốn}$, MPa	Tăng so với BT không sợi	
				MPa	%
	CP70D2	100	16,42	7,32	80,4
Không sợi	CP80		10,30	---	---
Tỷ lệ hướng sợi 50	CP80C	50	14,50	4,20	4,07
	CP80C1	75	16,40	6,10	5,92
	CP82C2	100	17,42	7,12	6,91
	CP83C3	125	18,31	8,01	7,78
Tỷ lệ hướng sợi 60	CP80D	50	15,60	5,30	5,14
	CP80D1	75	17,30	7,00	7,00
	CP80D2	100	18,44	8,14	7,90
	CP80D3	125	19,55	9,25	8,98

Từ các kết quả nghiên cứu cường độ của bê tông gốc và BTCST thấy rằng cường độ nén của BTCST tăng hơn so với bê tông gốc không sợi, nhưng mức tăng không nhiều và không trình bày trong bài báo này.



Hình 5. Cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST

Kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của mác bê tông và tỷ lệ hướng sợi cho trong bảng 5 và biểu diễn trên đồ thị hình 3, thấy rằng sử dụng sợi thép với hàm lượng sợi 50 kg/m³ đã làm tăng đáng kể cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông. Kết hợp kết quả nghiên cứu bê tông mác 700 và 800 với sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao ở các hàm lượng khác nhau cho trong bảng 5 và cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST được biểu diễn trên đồ thị hình 5 cho thấy:

- Với cùng một loại sợi, cùng hàm lượng sợi thì *bê tông mác càng cao thì cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST càng cao* tức là tăng hiệu quả sử dụng sợi;

- Tỷ lệ hướng sợi tăng thì làm tăng cường độ chịu uốn của BTCST; đối với các loại sợi có tỷ lệ hướng sợi cao mức tăng cường độ chịu uốn của BTCST so với bê tông không sợi là rất lớn. Hay nói cách khác *sử dụng sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao hiệu quả hơn sợi thép có tỷ lệ hướng sợi thấp*;

- Hàm lượng sợi tăng thì cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST tăng;

- *Bê tông mác cao sử dụng sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao làm tăng rất cao cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST*. Có thể tạo ra được BTCST có cường độ chịu kéo khi uốn từ 10-19,5 MPa đối với bê tông gốc mác 500-800.

3.2. Sử dụng hiệu quả sợi thép trong BTCST

Theo các nghiên cứu đã được tổng kết trên thế giới thì sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền là vấn đề cơ bản ảnh hưởng đến chất lượng của BTCS thép [6] hay nói cách khác là khả năng liên kết tại bề mặt tiếp xúc giữa bê tông và sợi thép. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền, trong đó yếu tố chủ yếu là chất lượng vật liệu nền và diện tích bề mặt tiếp xúc giữa sợi thép và vật liệu nền. Khả năng cơ học của BTCS thép thường được mô tả ở 3 trạng thái của đường cong ứng suất - biến dạng [6]:

- (1) Giới hạn đàn hồi, đạt đến điểm nứt đầu tiên: vật liệu nền và sợi là đàn hồi tuyến tính;

- (2) Quá trình phát triển vết nứt mà biến dạng trong BTCS thép vượt qua biến dạng cho phép của vật liệu nền;

- (3) Giai đoạn sau vết nứt, trong suốt giai đoạn này sợi bị kéo giãn, đứt sợi hay kéo tuột ra khỏi vật liệu nền.

Kết quả nghiên cứu đối với bê tông mác 500, 700 và 800 sử dụng 4 loại sợi thép (có tỷ lệ hướng sợi là 29; 39,7; 50 60) với hàm lượng sợi 50 kg/m³, cùng với các kết quả nghiên cứu đối với bê tông mác 700 và 800 sử dụng 2 loại sợi có tỷ lệ hướng sợi cao (tỷ lệ hướng sợi 50 và 60) với các hàm lượng sợi từ 50-100 kg/m³ với bê tông gốc mác 700 và từ 50-125 kg/m³ với bê tông gốc mác 800. Cho thấy hiệu quả sử dụng sợi thép được dựa vào nhiều yếu tố, trong đó các yếu tố chính gồm:

- Chất lượng bê tông gốc (hay nói cách khác là vật liệu nền của BTCST). Bê tông mác cao tăng khả năng liên kết của sợi thép với bê tông;

- Tỷ lệ hướng sợi: Sợi thép có tỉ lệ hướng sợi cao thì thường tiết diện sợi mảnh và tổng diện tích bề mặt tiếp xúc trên một đơn vị thể tích hoặc một đơn vị khối lượng lớn (trong bảng 1: Sợi tỷ lệ hướng sợi 29,7 có tổng diện tích bề mặt ngoài là 3.890 cm²/kg; trong khi đó sợi tỷ lệ hướng sợi 60 có tổng diện tích bề mặt ngoài 10.190 cm²/kg);

- Bê tông mác cao sử dụng sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao làm tăng cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST chính là do chất lượng liên kết tại bề mặt tiếp

xúc tốt kết hợp với tổng diện tích bề mặt tiếp xúc cao từ đó tạo ra tổng lực liên kết lớn giữa sợi thép và vữa xi măng;

- Bê tông mác cao có hàm lượng xi măng và hàm lượng bột mịn cao, ngoài việc làm tăng khả năng liên kết tại bề mặt tiếp xúc giữa sợi thép và đá xi măng, mà còn tạo điều kiện phân tán tốt sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao với hàm lượng sợi cao dẫn tới tăng rất cao cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST;

Kết quả thí nghiệm nghiên cứu về cường độ chịu kéo khi uốn và cường độ nén của bê tông gốc siêu mác 1200 sử dụng sợi thép siêu mảnh có tỉ lệ hướng sợi 65 (số lượng sợi 312.000 sợi/kg; tổng diện tích bề mặt sợi khoảng 25.470 cm²/kg) với hàm lượng 2 và 3% thể tích bê tông cho trong bảng 7 đã cho thấy:

- Cường độ chịu nén của BTCST tăng so với bê tông gốc khoảng 10-20% khi dùng hàm lượng sợi cao. Vấn đề này sẽ phân tích ở nội dung khác;

- Cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông siêu cao cốt sợi thép tăng rất cao so với bê tông gốc và tạo ra được BTCST có cường độ chịu kéo khi uốn từ 35-46 MPa.

Bảng 7. Cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của BT siêu cao cốt sợi thép

TT	Ký hiệu	Hàm lượng sợi thép, (kg/m ³)	Cường độ chịu nén tại các tuổi, (MPa)			Cường độ chịu kéo khi uốn tại các tuổi, (MPa)		
			3ng	7ng	28ng	3ng	7ng	28ng
1	M0	---	97,5	118,8	138,0	14,5	18,3	20,2
2	M1	157	96,6	136,5	154,6	22,5	29,5	34,8
3	M2	235	121	150,8	168,0	31,2	36,5	46,9

Như vậy, bê tông mác cao có hàm lượng xi măng và hàm lượng bột mịn cao, ngoài việc làm tăng khả năng liên kết tại bề mặt tiếp xúc giữa sợi thép và đá xi măng, mà còn tạo điều kiện phân tán tốt sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao với hàm lượng sợi lớn dẫn tới tăng rất cao cường độ chịu kéo khi uốn và tạo ra được BTCST có cường độ chịu kéo khi uốn rất cao.

3.3. Một số tồn tại khi sử dụng sợi thép trong bê tông

Việc sử dụng sợi thép đem lại hiệu quả cao làm cải thiện tính chất của bê tông, đặc biệt là tạo ra được BTCST có cường độ chịu kéo khi uốn cao, tùy thuộc vào ứng dụng cụ thể khi có yêu cầu về cường độ chịu kéo khi uốn để lựa chọn mác bê tông gốc, loại sợi thép hiệu quả nhất về kỹ thuật – kinh tế, có thể tham khảo lựa chọn sơ bộ mác bê tông gốc, loại sợi thép và hàm lượng sợi thép tại bảng 3.16 tài liệu [1] để thiết kế thành phần BTCST theo cường độ chịu kéo khi uốn từ 5-15 MPa.

Hiện nay tại Việt Nam sử dụng bê tông có cường độ nén (mác bê tông) thông dụng đối với kết cấu

xây dựng công trình, cầu ... thường từ 40-80 MPa, do vậy việc lựa chọn loại sợi và hàm lượng sợi cần lưu ý:

- Thành phần cấp phối BTCST hợp lý;
- Phương pháp đưa sợi thép vào trong bê tông cả quy trình trộn hỗn hợp BTCST đảm bảo sợi phân tán đồng đều, tránh hiện tượng vón cục, búi sợi;
- Quy trình thi công và nghiệm thu BTCST.

Đối với bê tông siêu cao cốt sợi thép - UHPSFC (UHPSFC: Ultra - high performance steel fiber reinforced concrete) khi sử dụng đối với các ứng dụng có yêu cầu kỹ thuật đặc biệt về cường độ chịu kéo khi uốn và cường độ nén cao thì cần có lưu ý nhất định. Ở Việt Nam hiện nay chưa sử dụng phổ biến rộng rãi loại bê tông này đối với công trình xây dựng ngoài các lý do về giá thành đắt, nguyên vật liệu đắt, trang thiết bị trộn, tiêu chuẩn thiết kế... thì còn tồn tại một số lưu ý về mặt kỹ thuật do biến động chất lượng khi sử dụng sợi thép siêu mảnh với hàm lượng cao từ 3-4% theo thể tích bê tông (230- 310 kg/m³). Có thể dẫn ra một số hiện tượng sau:

- Sợi thép phân tán không đồng đều trong từng mẻ trộn và giữa các mẻ trộn với nhau, nhất là trạm trộn, mặc dù đều sử dụng trộn cưỡng bức;

- Cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST giữa các viên mẫu trong cùng 1 mẻ trộn và giữa các mẻ trộn với nhau cũng có biến động cao. Thậm chí đã có kết quả thí nghiệm cường độ chịu kéo khi uốn BTCST với hàm lượng sợi 3% theo thể (235 kg/m³) thấp hơn với hàm lượng 2% theo thể tích (157 kg/m³).

- Tại mặt cắt viên mẫu thí nghiệm, hoặc tại mặt cắt cấu kiện chế tạo sợi phân bố không đều, có chỗ nhiều sợi, chỗ ít sợi, có chỗ cả bụi sợi.

Nguyên nhân của các tồn tại trên có thể như sau:

- Sợi siêu mảnh có tiết diện rất mảnh (đường kính 0,2 mm, chiều dài 13 mm), số lượng sợi rất lớn (khoảng 312.000 sợi/kg sợi) do vậy ngay từ đóng bao, đóng gói thì các sợi này đã vón cục, bụi sợi với nhau;

- Việc đưa sợi thép vào nồi trộn (máy trộn cưỡng bức) hiện nay tại Việt Nam thường đổ sợi từ hộp, bao bì đóng gói vào nồi trộn, hoặc dùng 2 tay (đi găng tay) bốc sợi vào nồi trộn. Không tránh khỏi vón cục, bụi sợi với nhau;

- Bê tông siêu cao thành phần chủ yếu là bột mịn với tỉ lệ N/XM hoặc N/CKD rất thấp, hỗn hợp rất quánh thì việc phân tán sợi sau khi đã trộn âm hoặc trộn ướt thành phần cấp phối sẽ khó đồng đều sợi.

4. KẾT LUẬN

1 Mác bê tông có ảnh hưởng lớn đến hiệu quả sử dụng sợi thép trong BTCST, cụ thể: Bê tông mác càng cao thì càng làm tăng cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST với một loại sợi, cùng hàm lượng sợi.

2. Sợi thép làm tăng cao cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông, mức độ tăng cường độ chịu uốn của bê tông khi sử dụng sợi thép phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó tỷ lệ hướng sợi là yếu tố rất quan trọng:

- Tỷ lệ hướng sợi tăng thì cường độ chịu uốn của BTCST tăng. Sử dụng sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao hiệu quả hơn sợi có tỷ lệ hướng sợi thấp.

- Chênh lệch về mức tăng cường độ chịu kéo khi uốn khi dùng sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao và sợi thép có tỷ lệ hướng sợi thấp (ở các hàm lượng khác nhau) là rất lớn.

3. Bê tông mác cao cho phép phát huy cao hiệu quả của sợi thép, khi đó đồng thời cho phép sử dụng các loại sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao, làm tăng mạnh cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST.

4. Bê tông mác cao sử dụng các loại sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao với hàm lượng sợi hợp lý cao làm tăng rất cao cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST.

5. Có thể tạo ra BTCS thép đạt cường độ chịu kéo khi uốn từ 10,0-19,0 MPa với bê tông gốc mác 500-800 và cường độ chịu kéo khi uốn từ 30-45 MPa trên nền bê tông gốc mác 1200.

5. KIẾN NGHỊ

BTCST sẽ đem lại hiệu quả cao trong các ứng dụng đòi hỏi cường độ chịu kéo khi uốn cao, độ bền dẻo dai cao, chịu va đập, chống nứt và các tính năng khác, trong đó ưu tiên dùng cho các kết cấu, công trình sau:

- Sàn trên nền đàn hồi: sàn dân dụng, sàn công nghiệp, sàn kho hàng nặng, mặt sàn xưởng sản xuất và sửa chữa máy móc, sàn công cộng v.v...;

- Mặt công trình hạ tầng: mặt cầu, mặt cầu cảng, mặt đường băng sân bay, mặt sân đỗ máy bay, mặt đường cao tốc, mặt đập chắn sóng v.v...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] 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, 155 trang.
- [2] Trần Bá Việt, Nguyễn Thanh Bình và các cộng tác viên (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, 494 trang.
- [3] ACI 544.1R-96, *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete*, 66p.
- [4] ASTM A820-2009, *Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete*.
- [5] RILEM, *Fourth International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPRFCC4)*, Edited by A.E. Naaman and H.W. Reinhardt, June, 2003, 546 pp.
- [6] Balaguru, P.N., and Shah, S.P., *Fiber-Reinforced Cement Composites*, Mc Graw-Hill, New York, 1992, 550 pp.
- [7] Perumalsamy N. Balaguru, P.N., and Surendra P. Shah, *Fiber-Reinforced Cement Composites*, International Edition, 1992, 529 pp.
- [8] Prisco Marco Di., Felicetti, R., Plizzari, G.A., (2004) "Fibre - Reinforced Concretes - BEFIB 2004", *Proceeding of the 6th RILEM Symposium, RILEM PRO 39 Volume 1*, 20-22 September. 2004, Vanenna (LC), Italy, pp. 1-753.