



(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ**

(11)



2-0002817

(51) **C04B 14/02; C04B 14/06**
2020.01

(13) **Y**

(21) 2-2021-00448

(22) 25/09/2020

(67) 1-2020-05540

(45) 25/02/2022 407

(43) 25/12/2020 393

(73) Trung tâm Phát triển công nghệ cao, Viện Hàn Lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VN)

Số 18 Hoàng Quốc Việt, Phường Nghĩa Đô, Quận Cầu Giấy, Hà Nội

(72) Phạm Mạnh Hào (VN); Nguyễn Văn Thao (VN); Nguyễn Văn Tuấn (VN); Nguyễn Công Thắng (VN); Lương Như Hải (VN).

(54) **HỖN HỢP BÊ TÔNG TÍNH NĂNG SIÊU CAO VÀ PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT HỖN HỢP NÀY**

(57) Giải pháp hữu ích thuộc lĩnh vực vật liệu xây dựng, cụ thể là đề cập đến hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao (UHPC) đáp ứng các tiêu chí để phục vụ xây dựng các công trình đặc biệt làm việc trong môi trường xâm thực mạnh.

Hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao theo giải pháp hữu ích bao gồm: chất kết dính, cát thạch anh, chất phụ gia siêu dẻo, chất phụ gia siêu mịn có kích thước nanomet và cốt sợi phân tán, trong đó chất kết dính gồm xi măng pooclan, tro bay và muối silic oxit theo tỷ lệ khối lượng là 7 phần xi măng, 2 phần tro bay, 1 phần muối silic oxit; chất phụ gia siêu dẻo là polycarboxylat ete (PCE); chất phụ gia siêu mịn có kích thước nanomet là tổ hợp của nano silic oxit (NS) với hàm lượng 0,3% khối lượng và ống nano cacbon (CNT) với hàm lượng 0,05 - 0,5% khối lượng, tính theo khối lượng chất kết dính.

Giải pháp hữu ích cũng đề cập đến phương pháp sản xuất hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao bao gồm các công đoạn: (i) chuẩn bị và định lượng các vật liệu thành phần; (ii) trộn khô; (iii) trộn thấm nước; (iii) trộn ướt; và (iv) trộn đồng nhất, trong đó công đoạn chuẩn bị và định lượng các vật liệu thành phần bao gồm cả bước trộn chất phụ gia siêu dẻo với 30% lượng nước trộn, tiếp đó hòa trộn NS và CNT vào dung dịch này và phân tán đều bằng thiết bị siêu âm với tần số siêu âm 40kHz trong thời gian 30 phút.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích thuộc lĩnh vực vật liệu xây dựng, cụ thể là đề cập đến phương pháp sản xuất hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao và hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao với một số tính năng phù hợp để xây dựng các công trình đặc biệt làm việc trong điều kiện khắc nghiệt như các công trình ngầm, các công trình trên biển đảo.

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Bê tông tính năng siêu cao (UHPC, ultra-high performance concrete) là loại bê tông được chế tạo từ hỗn hợp gồm cốt liệu nhỏ, xi măng, phụ gia khoáng hoạt tính, chất phụ gia siêu dẻo và nước, trong đó tỷ lệ nước/chất kết dính (N/CKD) rất thấp, thường $N/CKD \leq 0,25$. UHPC có độ chảy cao, cường độ nén rất cao (thường lớn hơn 150 MPa) cùng với cường độ uốn lớn (khi sử dụng cốt sợi), độ thấm thấp và độ bền rất cao. UHPC có những ứng dụng rất tiềm năng chẳng hạn như các kết cấu mỏng, lớn, các sản phẩm mới, các kết cấu trong cầu đường, nhà cao tầng, kết cấu bền ăn mòn, v.v.. Để nâng cao các đặc tính của bê tông có nhiều giải pháp khác nhau như giảm kích thước lớn nhất của cốt liệu, tối ưu thành phần để tăng độ lèn chặt, sử dụng biện pháp dưỡng hộ nhiệt ẩm để cải thiện vi cấu trúc của bê tông và sử dụng phụ gia siêu mịn để tăng độ đặc cấu trúc. Việc áp dụng các giải pháp trên sẽ làm tăng độ đặc chắc, tăng cường độ và đặc biệt là độ bền lâu của UHPC, điều này sẽ góp phần làm tăng khả năng chống lại sự tác động của các tác nhân xâm thực gây ăn mòn và phá hủy kết cấu.

Trong những năm gần đây, tại một số nước tiên tiến trên thế giới đã có những kết quả được công bố về chế tạo bê tông tính năng siêu cao.

Đơn đăng ký sáng chế của Mỹ số 15/781949 nộp ngày 06/12/2016 đề cập đến hỗn hợp UHPC bao gồm xi măng pooclan, cát silic, bột đá vôi, muối silic oxit (silica fume), chất phụ gia siêu dẻo, sợi kim loại phân tán và nước, được phối trộn theo tỷ lệ và trình tự xác định để tạo ra hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao.

Công bố đơn đăng ký sáng chế Hàn Quốc số KR20160144058A (2015) đề cập đến hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao gồm chất kết dính, sợi bazan, sợi thép, cốt liệu thô, cốt liệu mịn, nước và chất phụ gia siêu dẻo.

Công bố đơn quốc tế số WO2018030728A1 (2018) đề cập đến hỗn hợp bê tông bao gồm xi măng, bột micro silic oxit chứa ziricon, cốt liệu mịn, chất phụ

gia siêu dẻo, sợi thép loại lớn (macro), sợi thép loại nhỏ (micro), phụ gia phá bọt và nước.

Bảng sáng chế Trung Quốc số CN105622009B (2017) đề cập đến hỗn hợp UHPC (tính cho 1m^3 bê tông) bao gồm: 575,6 - 825,8 kg/m^3 xi măng, 130,0 - 140,0 kg/m^3 metacaolan, 380,2 - 390,2 kg/m^3 bột đá vôi mịn, 380,2 - 390,2 kg/m^3 bột đá vôi thô, 424,2 - 436,8 kg/m^3 cát thạch anh, 6,74 - 12,81 kg/m^3 chất phụ gia và 202,3 - 210,2 kg/m^3 nước.

Bảng sáng chế Trung Quốc số CN105693166B (2017) đã bộc lộ hỗn hợp UHPC bao gồm (tính cho 1m^3 bê tông): chất kết dính gồm: 450 - 600kg xi măng, 70 - 120kg muối silic oxit, 100 - 200kg tro bay và 70 - 120kg xỉ nghiền mịn; cốt liệu gồm: 550 - 650 kg cốt liệu mịn, 800 - 1000kg cốt liệu thô; chất phụ gia siêu dẻo giảm nước ít nhất 15% với lượng dùng 0,8 - 1,2 % theo khối lượng chất kết dính, và tỷ lệ nước/chất kết dính là 0,14 - 0,20.

Nhìn chung, các giải pháp đã biết nêu trên đều hướng tới mục tiêu chế tạo hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao có các tính chất cơ lý vượt trội so với bê tông thông thường như cường độ nén đạt trên 140MPa, mô đun đàn hồi trên 50GPa, v.v.. Tuy nhiên, không có giải pháp nào đề cập đến việc nâng cao khả năng chống thấm thấu clorua vào trong vật liệu này, hay nói cách khác là khả năng chống lại sự khuếch tán ion clo từ môi trường vào trong bê tông để bảo vệ kết cấu được xây dựng từ vật liệu này trong môi trường xâm thực.

Đối với các kết cấu bê tông khi chịu tác động của điều kiện môi trường xâm thực như các yếu tố vật lý, các yếu tố hóa học hoặc cơ học sẽ dẫn đến sự suy giảm chất lượng của bê tông, các tác động này thường không xảy ra đơn lẻ, mà xảy ra đồng thời, tương hỗ với nhau, làm đẩy nhanh tốc độ suy giảm chất lượng của bê tông. Một trong những nguyên nhân gây ăn mòn cốt thép và tác động rất lớn đến kết cấu đó là quá trình xâm nhập của ion clo vào trong bê tông, khi nồng độ này vượt quá ngưỡng an toàn sẽ phá vỡ lớp thụ động bảo vệ cốt thép và gây ăn mòn cốt thép. Vì vậy, việc tìm kiếm các giải pháp nhằm nâng cao khả năng chống lại sự xâm nhập ion clo vào UHPC để bảo vệ, nâng cao tuổi thọ các công trình làm việc trong điều kiện khắc nghiệt như công trình ngầm có nước xâm thực, công trình trên biển, đảo, v.v. là vấn đề cần được quan tâm giải quyết.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Mục đích của giải pháp hữu ích là đề xuất hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao có độ bền chống thấm cao (cấp chống thấm theo TCVN 3116 đạt trên cấp B16), tính năng chống thấm nhập ion clo cao (hệ số khuếch tán ion clo biểu kiến

theo tiêu chuẩn ASTM C1556 của Mỹ, $D_a \leq 2 \times 10^{-14}$) nhằm kéo dài tuổi thọ, bảo vệ công trình làm từ vật liệu này trong điều kiện môi trường xâm thực mạnh như nước ngầm, nước biển, v.v..

Mục đích khác của giải pháp hữu ích là đề xuất phương pháp sản xuất hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao đáp ứng các tiêu chí nêu trên để phục vụ xây dựng các công trình làm việc trong điều kiện môi trường xâm thực khắc nghiệt.

Để đạt được mục đích nêu trên, giải pháp hữu ích đề xuất hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao (UHPC) có thành phần cấp phối bao gồm: chất kết dính, cốt liệu mịn, cốt sợi phân tán, chất phụ gia siêu dẻo, chất phụ gia siêu mịn có kích thước nanomet (nm) và nước, trong đó chất phụ gia siêu mịn có kích thước nanomet là tổ hợp gồm nano silic oxit (NS) và ống nano cacbon (CNT) theo hàm lượng xác định sao cho bê tông được tạo ra từ hỗn hợp này có độ đặc chắc cao, vùng chuyển tiếp giữa cốt liệu và đá xi măng (vùng ITZ, interfacial tranzition zone) được lấp đầy gần như hoàn toàn nhằm ngăn chặn sự thâm nhập của các tác nhân xâm thực vào trong bê tông.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Giải pháp hữu ích sẽ được mô tả chi tiết và cụ thể hơn dưới đây cùng với các hình vẽ kèm theo, trong đó:

- Hình 1 là biểu đồ thể hiện kết quả đo hàm lượng ion clo trong các mẫu bê tông ứng với các chiều sâu khác nhau;
- Hình 2 là biểu đồ thể hiện kết quả tính hệ số khuếch tán ion clo biểu kiến của các mẫu bê tông ứng với các hàm lượng CNT khác nhau;
- Hình 3 là hình ảnh SEM vi cấu trúc của mẫu bê tông thể hiện vùng chuyển tiếp ITZ khi không có thành phần phụ gia nano;
- Hình 4 là hình ảnh SEM của mẫu bê tông thể hiện vùng chuyển tiếp ITZ khi có thành phần phụ gia nano; và
- Hình 5 là sơ đồ công nghệ sản xuất hỗn hợp UHPC theo giải pháp hữu ích.

Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích

Vật liệu để sản xuất hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao

Hỗn hợp UHPC theo giải pháp hữu ích bao gồm: (i) chất kết dính, (ii) cốt liệu mịn, (iii) cốt sợi phân tán, (iv) chất phụ gia siêu dẻo, (v) chất phụ gia siêu

mịn có kích thước nanomet (nm) và (vi) nước, được lựa chọn theo các yêu cầu cụ thể sau đây.

- (i) **Chất kết dính:** Chất kết dính (CKD) là một hỗn hợp gồm xi măng pooclan PC40 (XM) theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2682:2009, tro bay (Fly Ash - FA) loại F theo TCVN 10302:2014, có cỡ hạt trung bình $5,83\mu\text{m}$, khối lượng riêng $2,40\text{g/cm}^3$, chỉ số hoạt tính 93,4% và muội silic oxit (Silica Fume – SF) theo TCVN 8827:2011, có kích thước trung bình $0,151\mu\text{m}$, khối lượng riêng $2,2\text{g/cm}^3$, khối lượng thể tích đổ đồng 250kg/m^3 , với tỷ lệ các thành phần trên tổng khối lượng CKD là: 70% XM, 20% FA và 10% SF (Tỷ lệ XM/FA/SF = 7/2/1)
- (ii) **Cốt liệu mịn:** Cốt liệu mịn là cát thạch anh (C), cỡ hạt từ 100 đến $600\mu\text{m}$, khối lượng riêng $2,65\text{g/cm}^3$, khối lượng thể tích đổ đồng 1460kg/m^3 , độ rỗng 44,91%.
- (iii) **Cốt sợi phân tán:** Là sợi thép thẳng mạ đồng, đường kính $d = 0,2\text{mm}$, chiều dài $l = 13\text{mm}$ (tỷ lệ hướng sợi $l/d = 65$), cường độ kéo đứt 2750MPa .
- (iv) **Chất phụ gia siêu dẻo:** Chất phụ gia siêu dẻo (PGSD) được lựa chọn là polycacboxylat ete (PCE), tỷ trọng $1,07\text{g/cm}^3$, không độc hại theo tiêu chuẩn TCVN 8826:2011.
- (v) **Chất phụ gia siêu mịn có kích thước nanomet:** Chất phụ gia siêu mịn có kích thước nanomet là tổ hợp của hai loại vật liệu cỡ nanomet gồm nano silic oxit (NS) có hàm lượng SiO_2 không nhỏ hơn 98%, cỡ hạt trung bình không lớn hơn 30nm , các tính chất cụ thể của NS được sử dụng như được thể hiện trong Bảng 1 và ống nano cacbon (CNT) là loại ống nano cacbon đa lớp đã được biến tính có các tính chất như được thể hiện trong Bảng 2.
- (vi) **Nước:** Nước (N) được sử dụng là nước theo TCVN 4506:2012.

Bảng 1. Tính chất của nano silic oxit (NS)

TT	Tính chất	Đơn vị	Giá trị
1	Hàm lượng SiO_2	%	99,6
2	Đường kính trung bình	nm	15
3	Diện tích bề mặt riêng	m^2/g	170

Bảng 2. Tính chất của ống nano cacbon (CNT)

TT	Tính chất	Đơn vị	Giá trị
1	Màu sắc		Màu đen
2	Độ tinh khiết	%	> 90

3	Hàm lượng OH ⁻	%	2,48
4	Đường kính trong	nm	5-10
5	Đường kính ngoài	nm	10-30
6	Chiều dài	μm	10-30
7	Tỷ diện tích bề mặt	m ² /g	> 140
8	Khối lượng thể tích	g/cm ³	0,14
9	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,1
10	Điện trở	s/cm	> 100

Để đánh giá ảnh hưởng của ống nano cacbon (CNT) đến khả năng chống thấm thấu ion clo vào bê tông UHPC, đã tiến hành thử nghiệm các mẫu bê tông được tạo ra theo tỷ lệ thành phần cấp phối như được nêu trong Bảng 3, trong đó tỷ lệ nước/chất kết dính (N/CKD) được duy trì ở mức cố định là 0,16, tỷ lệ cát/chất kết dính (C/CKD) theo khối lượng là 1, nghĩa là khối lượng cát và chất kết dính bằng nhau, tỷ lệ các thành phần khác được tính theo % khối lượng so với chất kết dính. Chất kết dính bao gồm các thành phần vật liệu như đã nói ở trên. Hàm lượng CNT trong các mẫu được thay đổi từ 0% (mẫu đối chứng) đến các giá trị lần lượt là 0,05%, 0,1%, 0,3% và 0,5% theo khối lượng chất kết dính. Hàm lượng sợi thép sử dụng 2% thể tích bê tông (tương đương khối lượng 157kg/m³ hỗn hợp bê tông).

Bảng 3. Tỷ lệ thành phần cấp phối của hỗn hợp UHPC

TT	Tỷ lệ N/CKD theo khối lượng	Tỷ lệ C/CKD theo khối lượng	SF % theo khối lượng CKD	FA % theo khối lượng CKD	NS % theo khối lượng CKD	CNT % theo khối lượng CKD	PGSD % theo khối lượng CKD	Sợi thép % theo thể tích bê tông
1	0,16	1	10	20	0,3	0	0,52	2
2	0,16	1	10	20	0,3	0,05	0,51	2
3	0,16	1	10	20	0,3	0,10	0,53	2
4	0,16	1	10	20	0,3	0,30	0,64	2
5	0,16	1	10	20	0,3	0,50	0,85	2

Nguyên tắc của phương pháp xác định hệ số khuếch tán ion clo là mẫu UHPC trước khi ngâm vào dung dịch chứa ion clo, được tách thành mẫu thử và một mẫu dùng để xác định hàm lượng ion clo ban đầu (C_i). Nghiền mẫu thử ion clo ban đầu và xác định hàm lượng ion clo ban đầu trong axit. Với mẫu thử sẽ được bọc kín tất cả các mặt bằng lớp phủ ngăn nước thích hợp, trừ bề mặt được

hoàn thiện. Làm bão hòa mẫu thử đã bọt kín trong dung dịch canxi hydroxyt $\text{Ca}(\text{OH})_2$, rửa sạch mẫu dưới vòi nước, sau đó cho vào dung dịch clorua natrivi nồng độ 165g trên 1 lít ở nhiệt độ 23°C trong thời gian 35 ngày. Sau thời gian ngâm quy định, lấy mẫu ra và cắt thành các lát mỏng song song với bề mặt nhiễm clorua. Xác định hàm lượng ion clo tan trong axit của mỗi lớp. Tính hệ số khuếch tán clorua biểu kiến (D_a) và nồng độ ion clo bề mặt (C_s) bằng cách dùng hàm lượng ion clo ban đầu (C_i). Ít nhất phải có 6 giá trị tương ứng với hàm lượng ion clo và chiều sâu dưới bề mặt dung dịch ngâm.

Kết quả thí nghiệm xác định hàm lượng ion clo trong mẫu UHPC với chiều sâu khác nhau và hàm lượng CNT khác nhau được thể hiện trên Hình 1. Kết quả nghiên cứu cho thấy với mẫu đối chứng (0% CNT) với chiều sâu của mẫu tại vị trí 1mm có nồng độ ion clo là lớn nhất đạt 0,0859%, khi chiều sâu của mẫu tăng lên đến 2mm thì hàm lượng ion clo giảm đi tới 38,4% và tại độ sâu của mẫu là 4mm thì hầu như không quan sát thấy có sự xâm nhập của ion clo.

Khi tăng hàm lượng CNT lên 0,05% thì hàm lượng ion clo trong mẫu UHPC ở các chiều sâu khác nhau đều giảm, tuy nhiên mức độ giảm không nhiều so với mẫu sử dụng 0% CNT. Khi tiếp tục tăng hàm lượng CNT lên 0,1% thì hàm lượng ion clo trong mẫu UHPC ở các chiều sâu từ 1mm đến 2mm giảm mạnh so với mẫu đối chứng 0% CNT, ở chiều sâu 1mm mức độ giảm đã đạt tới 35% và ở chiều sâu 2mm đã hầu như đã không có sự gia tăng hàm lượng ion clo so với mẫu không ngâm trong dung dịch clorua natri. Khi hàm lượng CNT tiếp tục tăng lên đến 0,3% và 0,5% thì hàm lượng ion clo trong UHPC có giảm so với mẫu sử dụng 0,1% CNT nhưng mức độ giảm không đáng kể. Hơn nữa, việc tăng hàm lượng CNT trên mức 0,1% làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông, cần tăng lượng chất phụ gia siêu dẻo để duy trì tính công tác theo yêu cầu. Như vậy, hàm lượng CNT ở mức 0,1% so với chất kết dính là hợp lý nhất xét cả về khía cạnh kỹ thuật và kinh tế, vì CNT là vật liệu đắt tiền và tương đối khó phân tán trong hỗn hợp bê tông.

Kết quả tính hệ số khuếch tán ion clo biểu kiến của UHPC theo giải pháp hữu ích đối với các mẫu cùng thành phần cấp phối như nhau, chỉ có hàm lượng CNT khác nhau được thể hiện trên Hình 2. Đối với mẫu không có CNT (hàm lượng bằng không), hệ số khuếch tán ion clo (D_a) bằng xấp xỉ 4.10^{-14} , khi tăng hàm lượng CNT lên 0,05%, hệ số khuếch tán ion clo đã giảm đi rõ rệt, đạt giá trị $2,06.10^{-14}$, giá trị này tiếp tục giảm mạnh khi hàm lượng CNT tăng lên mức 0,1%, đạt giá trị $1,32.10^{-14}$. Khi tiếp tục tăng hàm lượng CNT lên đến 0,2% và 0,3%, hệ số D_a giảm không đáng kể. Thậm chí khi hàm lượng CNT tăng lên đến 0,4% và 0,5%, hệ số này có xu hướng tăng nhẹ. Điều này có thể giải thích là khi hàm lượng CNT trong bê tông quá lớn, việc phân tán đều trong bê tông sẽ trở nên khó khăn hơn, các sợi ống nano cacbon có xu hướng vón tụ, gây cản trở cho

quá trình lấp đầy các lỗ rỗng vì cấu trúc và vùng ITZ của bê tông, làm giảm khả năng chống thấm thấu ion clo.

Thí nghiệm đo cấp áp lực thấm của các mẫu bê tông cho kết quả là tất cả các mẫu khi được thử đến cấp B16 (áp suất đến 16 atm) vẫn không có mẫu nào bị nước thấm qua. Do vậy, có thể kết luận mẫu UHPC được tạo ra theo giải pháp hữu ích đạt cấp áp lực thấm trên cấp B16.

Kết quả chống thấm thấu ion clo và chống thấm nước cao như vậy của bê tông tính năng siêu cao được tạo ra theo giải pháp hữu ích có thể được giải thích là do chất chất phụ gia siêu mịn có kích thước nanomet được đưa vào thành phần cấp phối bê tông đã cải thiện vi cấu trúc của bê tông, tạo ra cấu trúc đặc chắc, ngăn chặn sự thâm nhập của các tác nhân xâm thực như nước, clorua, v.v..

Như có thể quan sát được trên Hình 3, đối với các mẫu đối chứng, không có phụ gia kích thước nano mét, vùng đá xi măng và vùng chuyển tiếp ITZ thể hiện cấu trúc xốp, rỗng, đặc biệt rõ nét là vùng ITZ, mặc dù đã được cải thiện nhiều so với bê tông thường và bê tông cường độ cao, hình ảnh thu lại được cho thấy độ rộng của vùng ITZ chỉ khoảng 40-500nm. Tuy vậy, đây vẫn là các “khe hở” để các tác nhân xâm thực thâm nhập vào bê tông.

Hình 4 thể hiện rõ vùng chuyển tiếp ITZ và các lỗ rỗng của đá xi măng đã được lấp đầy bằng nano silic oxit (dạng hạt màu trắng) và CNT (dạng sợi) trong mẫu bê tông có sử dụng chất phụ gia siêu mịn kích thước nanomet gồm nano silic oxit và ống nano cacbon. Ở đây có thể quan sát được vi cấu trúc của bê tông được cải thiện rõ rệt cả vùng đá xi măng và vùng chuyển tiếp ITZ.

Theo một phương án thực hiện cụ thể của giải pháp hữu ích, thành phần cấp phối hỗn hợp UHPC tính cho 1m³ hỗn hợp được thể hiện trong Bảng 4 sau đây.

Bảng 4. Thành phần cấp phối cho 1m³ hỗn hợp UHPC

TT	Vật liệu thành phần	Đơn vị	Số lượng
1	Xi măng PC40	kg	770
2	Tro bay (FA)	kg	220
3	Muội silic oxit (SF)	kg	110
4	Cát thạch anh (C)	kg	1100
5	Chất phụ gia siêu dẻo (PCE) dạng bột khô	kg	5,8
6	Nano silic oxit (NS)	kg	3,3
7	Ống nano cacbon (CNT)	kg	1,1
8	Sợi thép	kg	157
9	Nước (N)	lít	176

Với thành phần cấp phối nêu trên, UHPC được tạo ra theo giải pháp hữu ích đã đạt được các chỉ tiêu kỹ thuật chính như được thể hiện trong Bảng 5 sau đây:

Bảng 5. Các chỉ tiêu kỹ thuật chính của UHPC được tạo ra

Chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị	Chỉ số
- Cường độ nén, R_n :	MPa	171
- Cường độ kéo khi uốn, R_{ku} :	MPa	45
- Mô đun đàn hồi, E :	MPa	58,5
- Độ chảy loang, D :	cm	58
- Cấp áp lực thấm: B	-	Trên B16
- Hệ số khuếch tán ion clo, D_a :	-	$1,32.10^{-14}$
- Độ nở sulfat	%	0,076

Giải pháp hữu ích cũng đề cập đến phương pháp sản xuất hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao bao gồm các công đoạn sau:

- (i) Chuẩn bị và định lượng các vật liệu thành phần;
- (ii) Phối trộn khô các vật liệu thành phần;
- (iii) Phối trộn thấm nước các vật liệu thành phần;
- (iv) Phối trộn ướt các vật liệu thành phần;
- (v) Trộn đồng nhất các vật liệu thành phần.

Như được thể hiện trên Hình 5, phương pháp sản xuất hỗn hợp UHPC theo giải pháp hữu ích sẽ được trình bày chi tiết hơn sau đây.

(i) Công đoạn chuẩn bị và định lượng các vật liệu thành phần: Các vật liệu thành phần được lựa chọn theo cấp phối đã định và được kiểm tra việc đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật đối với từng vật liệu. Tùy theo thể tích bê tông cần trộn đối với mỗi mẻ trộn, các vật liệu thành phần được tính toán trên cơ sở cấp phối bê tông cho 1m^3 nêu trong Bảng 4, và được cân đong chính xác, đối với các vật liệu kích thước nanomet cần được cân bằng cân điện tử chính xác đến $0,001\text{g}$, đối với các vật liệu khác có thể cân bằng cân cơ khí thông thường, chính xác đến $0,1\text{kg}$.

Công đoạn chuẩn bị vật liệu thành phần còn bao gồm cả việc chuẩn bị trước hỗn hợp CNT và nano silic oxit và khuấy trộn, phân tán hỗn hợp này trong dung dịch nước và chất phụ gia siêu dẻo (PGSD): Hòa lượng PGSD với 30% lượng nước trộn và khuấy đều bằng máy khuấy với tốc độ 1200 vòng/phút trong thời gian 10 phút, tiếp đó cho từ từ CNT và nano silic oxit vào dung dịch và tiếp tục khuấy trong 10 phút để hỗn hợp phụ gia kích thước nanomet phân tán đều trong dung dịch. Sau đó hỗn hợp tiếp tục được phân tán trong thiết bị siêu âm (ultrasonic) với tần số siêu âm 40kHz trong thời gian 30 phút.

(ii) Công đoạn phối trộn khô các vật liệu thành phần: Các thành phần vật liệu khô như xi măng, tro bay, muối silic oxit, và cát thạch anh, sau khi định lượng cho một mẻ trộn, được đưa vào máy trộn chuyên dụng và trộn với tốc độ 24-30 vòng/phút trong thời gian 4 – 6 phút để tạo thành hỗn hợp vật liệu khô.

(iii) Công đoạn trộn thấm nước: cho từ từ 70% nước vào hỗn hợp vật liệu khô đã trộn ở công đoạn (2); để máy chạy tốc độ 48 – 50 vòng/phút trong thời gian 3-5 phút, đến khi hỗn hợp vật liệu được thấm ướt đều trên bề mặt.

(iv) Công đoạn trộn ướt: Cho từ từ hỗn hợp bao gồm 30% nước, chất phụ gia siêu dẻo và hỗn hợp phụ gia nano (CNT + NS) đã phân tán ở công đoạn (1) vào máy trộn và trộn tiếp trong thời gian 3-5 phút, tốc độ trộn được duy trì là 48 – 50 vòng/phút đến khi hỗn hợp trở nên chảy dẻo.

(v) Công đoạn trộn đồng nhất: Duy trì tốc độ trộn 48 – 50 vòng/phút, đồng thời đưa từ từ cốt sợi thép vào máy trộn, tiếp tục trộn trong thời gian 5-7 phút đến khi thu được hỗn hợp bê tông dẻo, đồng nhất.

Ví dụ thực hiện giải pháp hữu ích

Sản xuất hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao (UHPC) để đổ một cầu kiện có thể tích 1m^3 . Các công việc cần thực hiện như sau:

Công đoạn (i) - Chuẩn bị và định lượng vật liệu thành phần: Để chuẩn bị vật liệu cho 1m^3 bê tông thành phẩm, cần tính đến hệ số hư hao vật liệu là 10%, nghĩa là các thành phần cấp phối như thể hiện trong Bảng 4 phải nhân với hệ số 1,1 khi định lượng các vật liệu thành phần. Cụ thể như được thể hiện ở Bảng 6 sau đây.

Bảng 6. Thành phần cấp phối UHPC tính cho 1m^3 bê tông thành phẩm

TT	Vật liệu thành phần	Yêu cầu kỹ thuật	Đơn vị	Số lượng
1	Xi măng PC40	Theo TCVN 2682:2009	kg	847
2	Tro bay (FA)	Theo TCVN 10302:2014, cỡ hạt trung bình $5,83\mu\text{m}$, khối lượng riêng $2,40\text{g/cm}^3$, chỉ số hoạt tính cường độ 93,4%	kg	242
3	Muối silic oxit (SF)	Theo TCVN 8827:2011, kích thước trung bình $0,151\mu\text{m}$, khối lượng riêng $2,2\text{g/cm}^3$, khối lượng thể tích 250kg/m^3	kg	121
4	Cát thạch anh (C)	Cỡ hạt $100 \div 600\mu\text{m}$, khối lượng riêng $2,65\text{g/cm}^3$, khối lượng thể	kg	1210

		tích 1460kg/m ³ , độ rỗng 44,91%.		
5	Chất phụ gia siêu dẻo PCE (dạng bột khô)	Tỷ trọng 1,07g/cm ³ , không độc hại theo tiêu chuẩn TCVN 8826:2011.	kg	6,38
6	Nano silic oxit (NS)	Theo các tiêu chuẩn tại Bảng 1	kg	3,63
7	Ống nano cacbon (CNT)	Theo các tiêu chuẩn tại Bảng 2	kg	1,21
8	Cốt sợi phân tán	Sợi thép thẳng mạ đồng, đường kính d = 0,2mm, chiều dài l = 13mm, cường độ kéo đứt 2750MPa	kg	172,7
9	Nước (N)	Theo TCVN 4506:2012	lít	193,6

Công đoạn này bao gồm cả bước chuẩn bị trước dung dịch bao gồm 30% lượng nước trộn, chất phụ gia siêu dẻo và các phụ gia kích thước nanomet: Hòa 6,38kg chất phụ gia siêu dẻo vào 58,1 lít nước và khuấy đều bằng máy khuấy với tốc độ 1200 vòng/phút trong thời gian 10 phút, tiếp đó cho từ từ 3,63kg NS và 1,21kg CNT vào dung dịch và tiếp tục khuấy trong 10 phút để hỗn hợp phụ gia kích thước nanomet phân tán đều trong dung dịch. Sau đó hỗn hợp tiếp tục được phân tán trong thiết bị siêu âm (ultrasonic) với tần số siêu âm 40kHz trong thời gian 30 phút để tạo ra dung dịch đồng nhất.

Công đoạn (ii) – Phối trộn khô các vật liệu thành phần: Các vật liệu thành phần gồm 847kg xi măng pooclan PC40; 242kg tro bay; 121kg muối silic oxit và 1210kg cát thạch anh đã được lựa chọn và chuẩn bị theo các yêu cầu kỹ thuật nêu trên, được đưa vào máy trộn khô và trộn với tốc độ 24-30 vòng/phút trong thời gian 4 – 6 phút để tạo thành hỗn hợp vật liệu khô.

Công đoạn (iii) – Trộn thấm nước: Đổ từ từ 135,5 lít nước (70% lượng nước trộn) vào hỗn hợp vật liệu khô đã trộn ở công đoạn (2); để máy chạy tốc độ 48 – 50 vòng/phút trong thời gian 3-5 phút, đến khi hỗn hợp vật liệu được thấm ướt đều trên bề mặt.

Công đoạn (iv) – Trộn ướt: Cho từ từ dung dịch gồm 30% lượng nước trộn, chất phụ gia siêu dẻo và hỗn hợp phụ gia kích thước nanomet đã trộn và phân tán ở công đoạn (1) vào máy trộn và trộn tiếp trong thời gian 3-5 phút, tốc độ trộn được duy trì là 48 – 50 vòng/phút đến khi hỗn hợp trở nên chảy dẻo.

Công đoạn (v) - Trộn đồng nhất: Cho từ từ 172,7kg cốt sợi thép vào máy trộn, duy trì tốc độ trộn 48 – 50 vòng/phút và tiếp tục trộn trong thời gian 5-7 phút đến khi thu được hỗn hợp bê tông dẻo, đồng nhất.

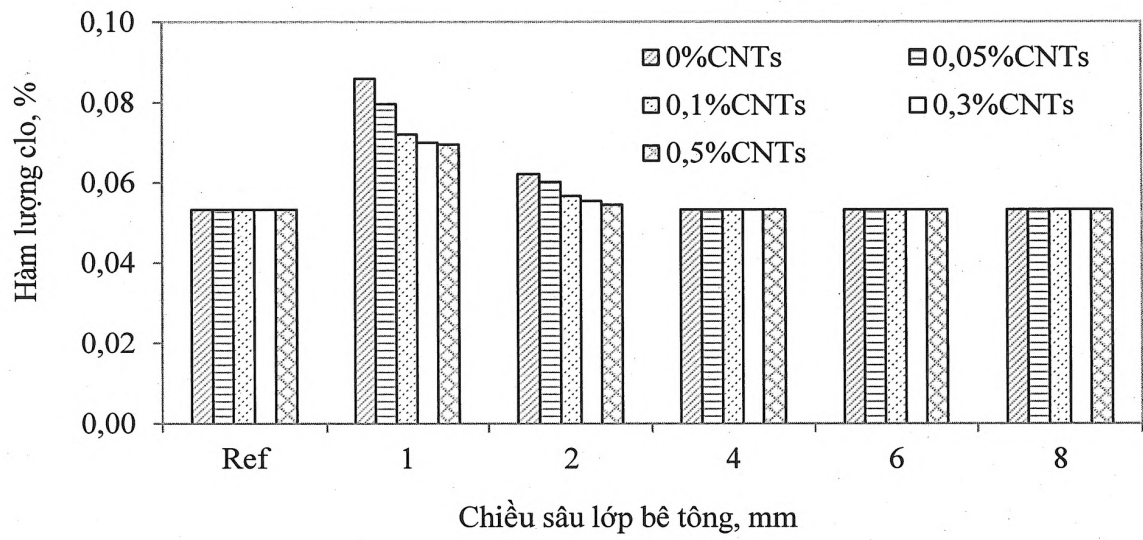
Hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao thu được trên đây được đổ vào ván khuôn (cốp pha) để tạo ra cấu kiện bê tông UHPC có thể tích thành phẩm 1m³ với các tính năng kỹ thuật như được nêu ở Bảng 5 trên đây.

YÊU CẦU BẢO HỘ

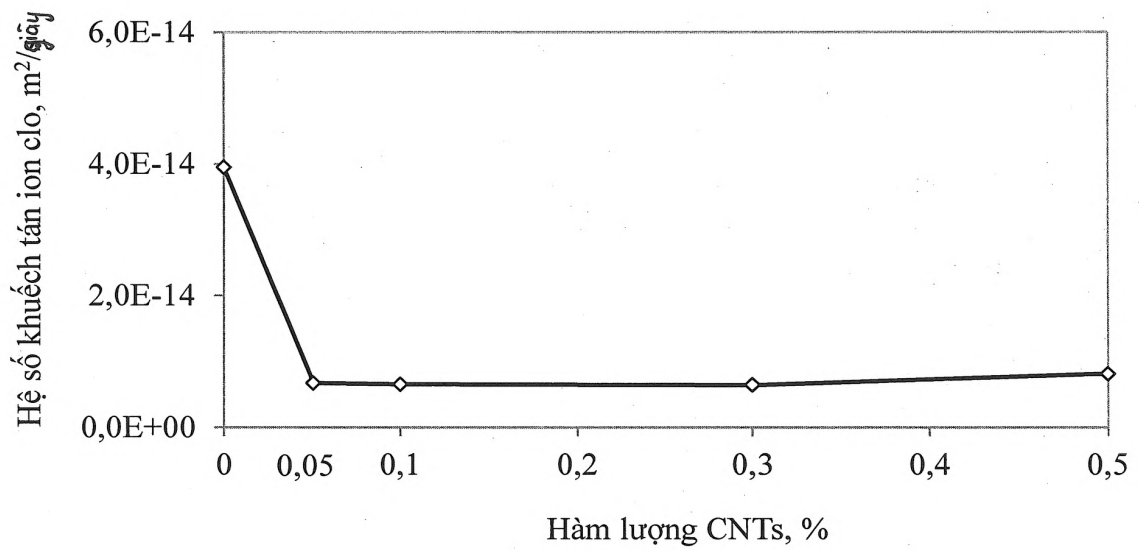
1. Hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao (UHPC, ultra high performance concrete) bao gồm: chất kết dính, cốt liệu mịn, chất phụ gia siêu dẻo, cốt sợi phân tán, chất phụ gia siêu mịn có kích thước nanomet và nước, trong đó chất kết dính bao gồm xi măng pooclan (XM), tro bay (FA) và muối silic oxit (SF) với tỷ lệ $XM/FA/SF = 7/2/1$, và trong đó chất phụ gia siêu mịn có kích thước nanomet là tổ hợp gồm nano silic oxit (NS) và ống nano cacbon (CNT) với hàm lượng NS là 0,3% khối lượng và hàm lượng CNT là 0,05 – 0,5% khối lượng tính theo khối lượng chất kết dính.
2. Hỗn hợp theo điểm 1, trong đó ống nano cacbon được sử dụng là loại ống nano cacbon đa lớp đã được biến tính, và trong đó nano silic oxit (NS) được sử dụng là loại có hàm lượng SiO_2 không nhỏ hơn 98% và cỡ hạt trung bình không lớn hơn 30nm.
3. Hỗn hợp theo một trong số các điểm nêu trên, trong đó cốt liệu mịn là cát thạch anh (C) có cỡ hạt từ 100 đến 600 μm , được đưa vào hỗn hợp với khối lượng bằng khối lượng chất kết dính (CKD) ($C/CKD=1$); chất phụ gia siêu dẻo là polycacboxylat ete (PCE), được đưa vào hỗn hợp với hàm lượng là 0,52 – 0,85% khối lượng chất kết dính; cốt sợi phân tán được sử dụng là sợi thép mạ đồng có đường kính 0,2mm, chiều dài 13mm, được đưa vào hỗn hợp theo tỷ lệ 2% thể tích bê tông; và nước được sử dụng là nước sinh hoạt sạch được đưa vào hỗn hợp với tỷ lệ nước (N)/chất kết dính (CKD) bằng 0,16 ($N/CKD = 0,16$).
4. Phương pháp sản xuất hỗn hợp bê tông tính năng siêu cao bao gồm các công đoạn:
 - (i) chuẩn bị và định lượng các vật liệu thành phần;
 - (ii) trộn khô;
 - (iii) trộn thấm nước;
 - (iv) trộn ướt; và
 - (v) trộn đồng nhất,

trong đó công đoạn chuẩn bị và định lượng vật liệu thành phần bao gồm các bước: phân tán ống nano cacbon (CNT) và nano silic oxit (NS) trong dung dịch chất phụ gia siêu dẻo (PGSD) và nước trộn bằng cách hòa lượng PGSD với 30% lượng nước trộn và khuấy đều bằng máy khuấy với tốc độ 1200 vòng/phút trong thời gian 10 phút, tiếp đó cho từ từ CNT và nano silic oxit vào dung dịch và tiếp tục khuấy trong 10 phút để hỗn hợp phụ gia kích thước nanomet phân tán đều trong dung dịch, và sau đó tiếp tục phân tán hỗn hợp trong thiết bị siêu âm với tần số siêu âm 40kHz trong thời gian 30 phút.

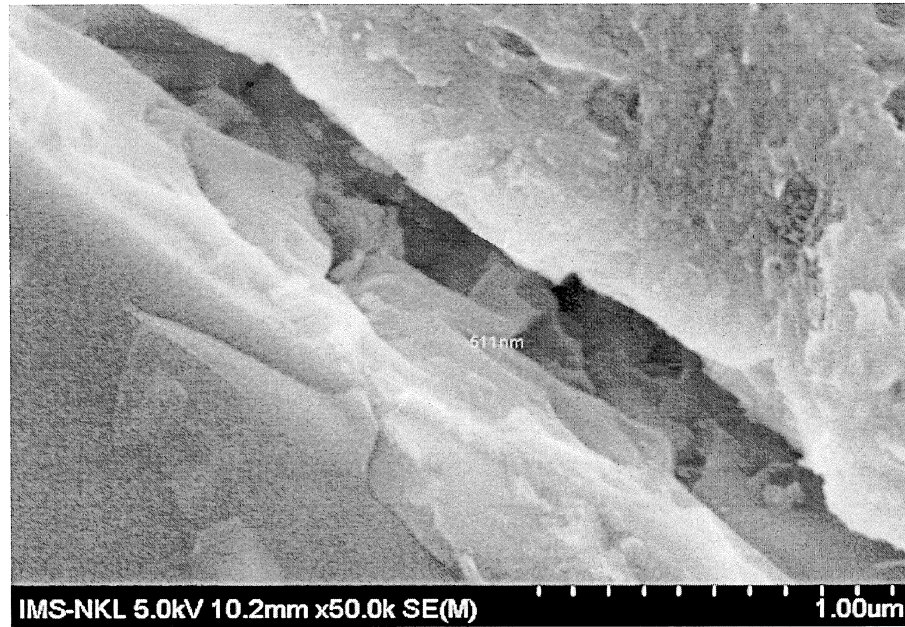
5. Phương pháp theo điểm 4, trong đó công đoạn trộn khô các vật liệu thành phần được thực hiện bằng cách nạp các vật liệu khô gồm: xi măng, tro bay, muối silic oxit và cát thạch anh, vào máy trộn chuyên dụng và trộn với tốc độ 24 – 30 vòng/phút trong thời gian 4 – 6 phút để tạo thành hỗn hợp vật liệu khô.
6. Phương pháp theo điểm 4 hoặc điểm 5, trong đó công đoạn trộn thấm nước được thực hiện bằng cách nạp hỗn hợp vật liệu khô sau khi được trộn ở công đoạn trộn khô vào máy trộn, cho từ từ 70% lượng nước trộn vào hỗn hợp vật liệu khô, và để máy chạy với tốc độ 48 – 50 vòng/phút trong khoảng thời gian 3 – 5 phút cho đến khi hỗn hợp vật liệu được thấm ướt đều trên bề mặt.
7. Phương pháp theo một trong số các điểm từ 4 đến 6, trong đó công đoạn trộn ướt được thực hiện bằng cách cho từ từ dung dịch gồm 30% lượng nước trộn, chất phụ gia siêu dẻo và hỗn hợp phụ gia kích thước nanomet đã được trộn và phân tán ở công đoạn (i) vào máy trộn và trộn tiếp trong thời gian 3 – 5 phút, tốc độ trộn được duy trì ở 48 – 50 vòng/phút cho đến khi hỗn hợp trở nên chảy dẻo.
8. Phương pháp theo một trong số các điểm từ 4 đến 7, trong đó công đoạn trộn đồng nhất được thực hiện bằng cách duy trì tốc độ trộn ở 48 – 50 vòng/phút, đồng thời nạp từ từ cốt sợi phân tán vào máy trộn, và tiếp tục trộn trong khoảng thời gian 5 – 7 phút cho đến khi thu được hỗn hợp bê tông dẻo và đồng nhất.



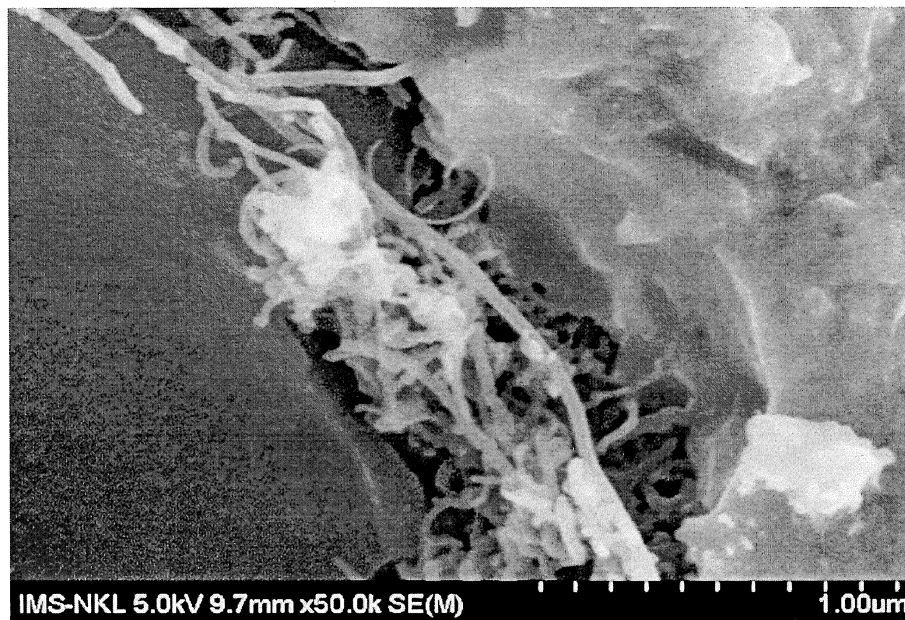
Hình 1



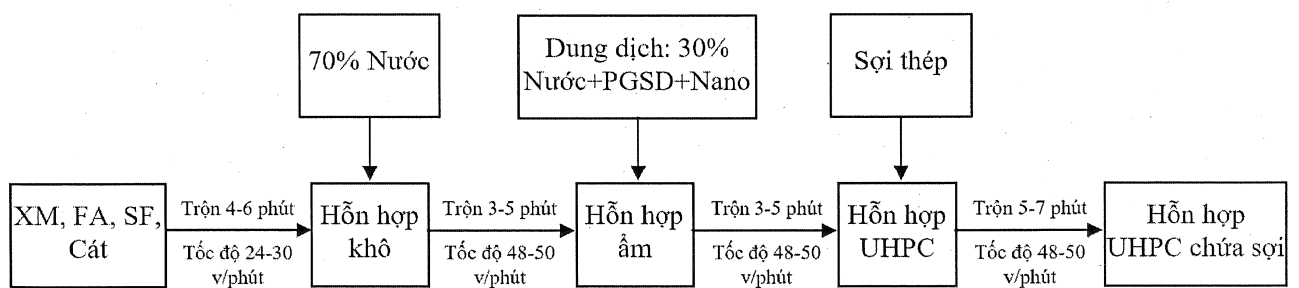
Hình 2



Hình 3



Hình 4



Hình 5