

Nghiên cứu khả năng chống ăn mòn biển của bê tông siêu tính năng UHPC, ứng dụng cho xây dựng công trình biển đảo

Trần Bá Việt¹, Bùi Xuân Chiến¹

¹ Hội Bê tông Việt Nam (VCA)

TỪ KHOẢ

Bê tông siêu tính năng- UHPC

Chống ăn mòn

Thấm Clo

Mù muối

Chu kỳ nhiệt ẩm

Cường độ nén

Cường độ kéo trực tiếp

Modul đàn hồi

Hệ số poat xong

KEYWORDS

Concrete material system -

UHPC

Anti-corrosion

Chậm lợngorine permeability

Salt spray

Temperature/humidity cyclic

compression strength

Direct tensile strength

young's modulus

Poisson's ratio

TÓM TẮT

Việt Nam có 3300 km bờ biển và rất nhiều đảo. Nghiên cứu hệ vật liệu bê tông siêu tính năng - UHPC với các tính chất chống ăn mòn biển là điều kiện quan trọng cho việc ứng dụng xây dựng nhà và công trình cho vùng biển đảo. Trong bài đã trình bày các kết quả nghiên cứu về biến đổi cường độ nén, kéo theo thời gian trong môi trường nước biển, hệ số thấm ion Clo, các phương pháp gia tốc trong tủ khí hậu, mô phỏng tuổi thọ công trình theo hệ số thấm Clo. Các kết quả cho thấy bê tông UHPC có khả năng chống chịu trong môi trường biển rất cao, đồng nghĩa là tuổi thọ công trình theo tính toán mô phỏng kéo dài tới 234 năm. Các kết luận là cơ sở và có giá trị cho các nghiên cứu và nhân rộng ứng dụng cho xây dựng công trình trên biển đảo trong thời gian tới.

ABSTRACT

Vietnam has 3300 km of coastline and lots of islands. Research on Ultra high performance Concrete material system - UHPC, with marine anti-corrosion properties is an important condition for the application of building houses and buildings at marineand islands environment area. This article presents the results of compressive strength, tensile strength with time in marine environment, chậm lợngoride ion permeability coefficient, methods of acceleration in climate box, simulation of building life according to Chậm lợngorine permeability coefficient. The results proved UHPC concrete has a very high resistance to the marine environment, which means that the construction life according to simulation calculations lasts up over 234 years. The conclusions are the basis and valuable for research and application extended for construction in the coming time.

1. Tổng quan

Với vài trăm năm phát triển, bê tông và bê tông cốt thép đã làm thay đổi cơ bản công nghệ xây dựng từ khảo sát, thi công, sử dụng, bảo dưỡng, sửa chữa và nó đang được tiếp tục nghiên cứu nhằm tăng cả về chủng loại và chất lượng để phục vụ tốt hơn theo nhu cầu của con người. Trong khoảng 30 năm gần đây các nước tiến tiến cũng như Việt nam đã nghiên cứu bê tông tính năng siêu cao (Ultra High Performance Concrete- UHPC) có cường độ 150 MPa mẫu trụ D100 × H200. Trên nền bê tông này sẽ bổ sung sợi thép, sợi tổng hợp, hay sợi lai Hybrid để tạo ra bê tông tính năng siêu cao cốt sợi thép mảnh (UHSFC), thường gọi tắt là UHPC, không chỉ có cường độ chịu nén siêu cao mà còn có cường độ chịu kéo cao, mô đun đàn hồi rất cao, độ dẻo dai cao, khả năng chống ăn mòn cao bởi chất lượng cũng như cấu trúc vô cùng đặc chắc của bê tông UHPC.

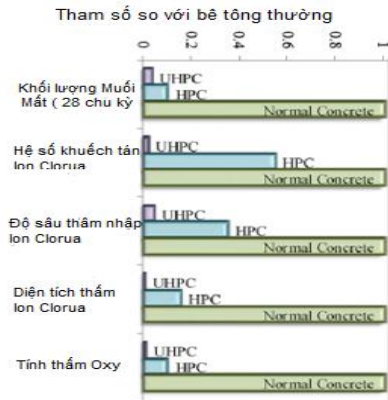
Kinh nghiệm cho tới nay chỉ ra rằng, nếu một loại bê tông có cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày trên 120 MPa được đầm tốt thì sự ăn mòn sợi thép sẽ được giới hạn ở bề mặt bên ngoài của bê tông. Kể cả khi những sợi thép trên bề mặt kết cấu bị ăn mòn, không có sự lan truyền ăn mòn sâu tới 5 mm phía dưới bề mặt. Sự ăn mòn bề mặt hạn chế này tồn tại thậm chí cả khi bê tông bị bão hòa cao với ion Clo. Vì các sợi thép là ngắn, và không liên tục, và hiếm khi chạm vào nhau,

nên không có đường dẫn liên tục nào cho các dòng phân tán cảm ứng – dòng Fuco hoặc dòng từ điện thể điện động giữa các vùng khác nhau của bê tông.

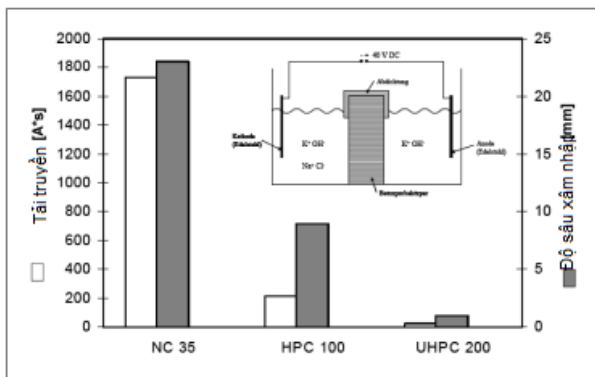
Sự ăn mòn sợi trong những ứng dụng phụ thuộc vào chu kỳ nhiệt. Sợi thép có chiều dài ngắn không mất liên kết khi gặp tác động của chu kỳ nhiệt, cho dù sự mất liên kết này có thể xảy ra với thanh thép cốt truyền thống hoặc lưới thép. Vì cơ chế ăn mòn xuất hiện trong những vùng bị mất liên kết, UHPC đã cải thiện được độ bền so với bê tông thường đối với ứng dụng này.

Hầu hết các thử nghiệm ăn mòn của UHPC đã được thực hiện trong môi trường Clo bão hòa trong phòng thí nghiệm hoặc ngoài trời tại vùng thủy triều ở biển. Mức độ ăn mòn của UHPC trong môi trường xâm thực không bão hòa hoặc khi tiếp xúc với nước sạch đều được hạn chế tối đa.

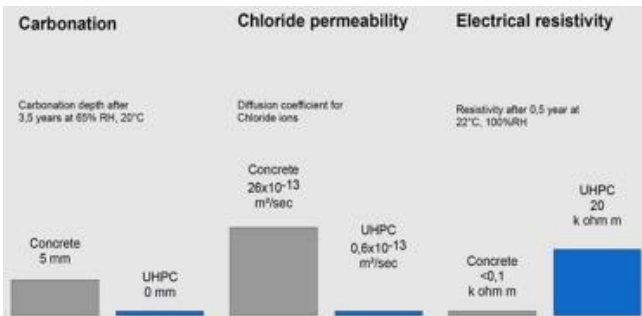
Để giảm bớt khả năng ăn mòn tại các vết nứt hoặc bề mặt UHPC, sử dụng các loại sợi thép cacbon hợp kim, sợi thép không gỉ, hoặc sợi thép cacbon mạ kẽm là một giải pháp hiệu quả. Tuy nhiên, cũng cần phải chú ý về việc sử dụng thép mạ kẽm trong bê tông phải tuân thủ các yêu cầu trong tiêu chuẩn ACI 54.



Hình 1. Khả năng chống ăn mòn muối và Clo của bê tông thường so với bê tông cường độ cao và UHPC.



Hình 2. So sánh mức độ thấm Clo đối với bê tông thường, HPC và UHPC.



Hình 3. Khả năng chống ăn mòn Carbonat hóa và hệ số thấm Clo của bê tông thường so với UHPC.

Qua các biểu đồ trên có thể nhận thấy UHPC có mức độ thấm ion Clo rất nhỏ so với bê tông thường. Hệ số thấm 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.

Đây là một định hướng rõ ràng cho việc lựa chọn UHPC để chế tạo cấu kiện trong môi trường biển.

Theo KICT (Viện KHCN XD Quốc gia Hàn Quốc), kết cấu bê tông UHPC cấp 200 MPa có tuổi thọ trên 200 năm trong môi trường biển.

Và với cường độ trên 150 MPa tuổi thọ của kết cấu UHPC trong môi trường biển, với chiều dày lớp bảo vệ > 20 mm có thể đạt trên 150 năm.

Như vậy việc định hướng lựa chọn UHPC cho kết cấu tiền chế cho công trình dân dụng trong vùng khí hậu biển có thể đảm bảo tuổi thọ công trình tới 150 năm, với chiều dày lớp bảo vệ 20 mm. Chiều dày này nhỏ hơn nhiều so với bê tông thường là từ 30 mm đến 50 mm. Và thậm chí đối với bê tông thường tuổi thọ trong môi trường biển cũng chỉ nằm trong khoảng 30 năm - 50 năm. Chất lượng, tuổi thọ của kết cấu bê tông thường phụ thuộc rất nhiều vào chất lượng thi công và giám sát, đặc biệt chất lượng dao động rất lớn khi thi công trong môi trường biển đảo.

2. Nghiên cứu về thành phần vật liệu UHPC

Xi măng: 42,5 MPa/52,5 MPa: Tiêu chuẩn TCVN 2682: 2009; PC 40 / PC50 (Việt Nam)

Silicafume- SF: ASTM C1240 Silicafume- SF

Quartz:



Hình 4. Mỏ cát quatz ở Cam Ranh.



Hình 5. Quatz nghiền d < 300 micromet.



Hình 6. Sợi thép.

Sợi thép: Có độ bền kéo 2800 MPa. Sợi có hình dạng thẳng hoặc có đầu neo, tỷ lệ hướng sợi là 65 - 125. Chiều dài từ 11 mm - 25 mm, đường kính từ 0,15 mm đến 0,25 mm, mạ đồng.

Phụ gia siêu dẻo: ASTM C494 loại F, hàm lượng chất rắn > 45%. Khả năng giảm nước 40 %.

Nước- W: Tiêu chuẩn TCVN: 4506: 2012.

Thành phần cấp phối của UHPC. Khối lượng thể tích: 2440 kg - 2550 kg/m³

- Xi măng: 850 kg - 1100 kg

- Quatz: 500 kg - 650 kg

- Quatz nghiền: 200 kg - 300 kg

- SF : 200 kg - 300 kg

- Sợi thép MSF: 0, 1, 2, 3, 4 % thể tích tương đương

- Phụ gia siêu dẻo: 2,0 - 3 % khối lượng xi măng

- Nước / Chất kết dính (B): 0.15-0.18

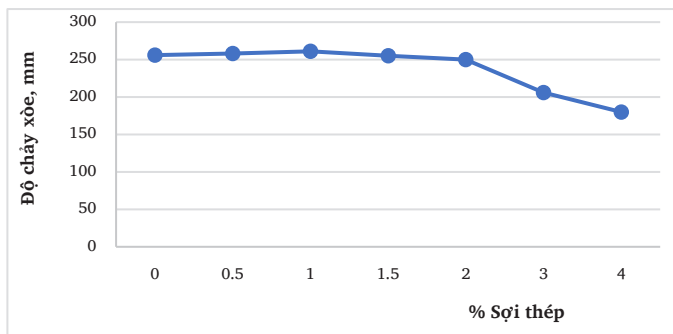
3. Kết quả nghiên cứu bê tông UHPC:03/2/2020

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

Bảng 1.

Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến độ chảy xòe.

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

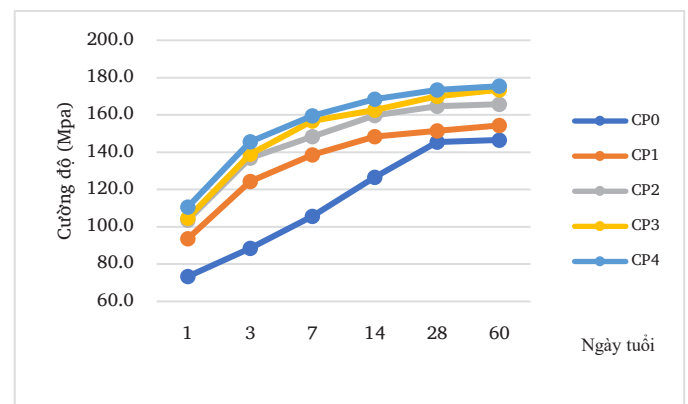


Hình 7. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến độ chảy xòe của hỗn hợp UHPC.



Hình 8. Thí nghiệm độ chảy xòe.

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ chịu nén mẫu trụ D10 × H20 cm theo thời gian. Cường độ chịu nén mẫu trụ D10 × H20 cm, tại các ngày tuổi 1, 3, 7, 14, 28, 60.



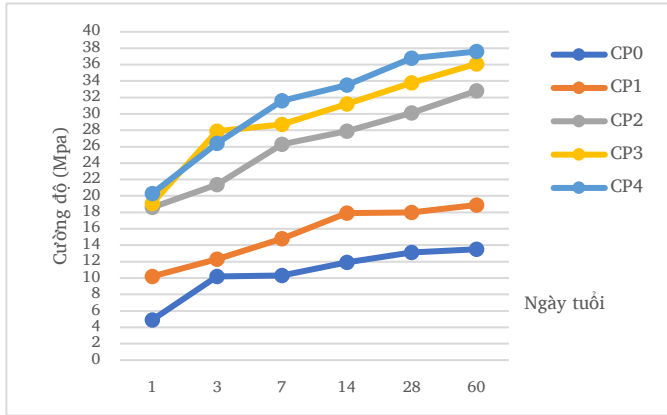
Hình 9. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến cường độ chịu nén theo thời gian (ngày) -mẫu trụ D10 × H20 cm, MPa.

3.3. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ chịu uốn mẫu 10 × 10 × 40 cm theo thời gian. Cường độ chịu uốn tại các ngày tuổi 1, 3, 7, 14, 28, 60.

Bảng 2.

Modul đàn hồi theo K-UHPC.

Nhóm mẫu thử	CP0	CP1	CP2	CP3	CP4
Cường độ chịu nén (MPa)	108	110	130	136	136
ε1(mm/mm)	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005
ε2(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

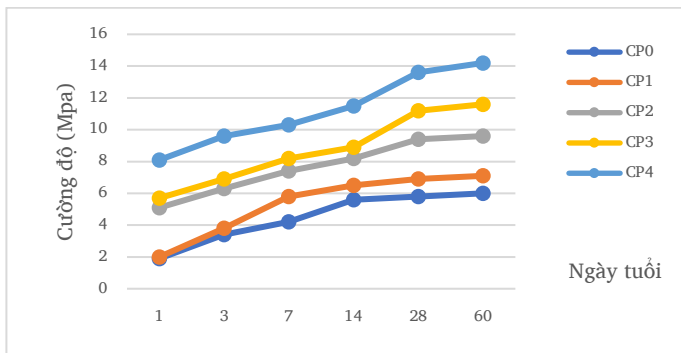


Hình 10. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ uốn mẫu $10 \times 10 \times 40$ tại 28 ngày.

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

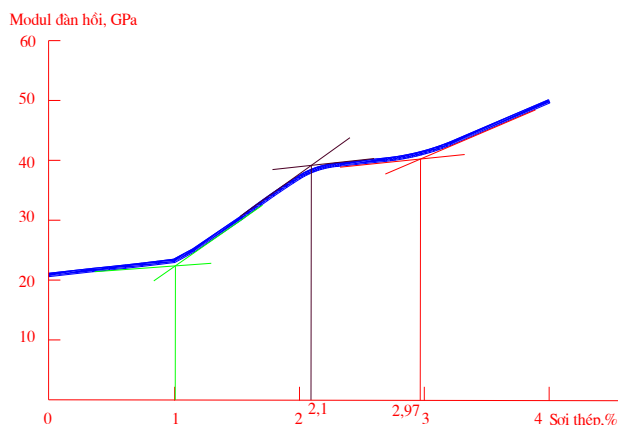
Sử dụng khuôn có kích thước tiết diện chịu kéo $5 \times 10 \times 50$ cm để thử nghiệm, kết quả thử nghiệm được thể hiện qua bảng và biểu đồ sau.

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



Hình 11. Ảnh hưởng hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ chịu kéo.

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



Hình 12. Modul đàn hồi- mẫu trụ $D15 \times H30$ cm.

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: $E = (S2-S1)/(\epsilon2-\epsilon1)$.

3.6. 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 phối thử 3 viên, kết quả cho trong bảng là kết quả trung bình cộng được cho trong Bảng 3:

Bảng 3.

Kết quả thí nghiệm mài mòn.

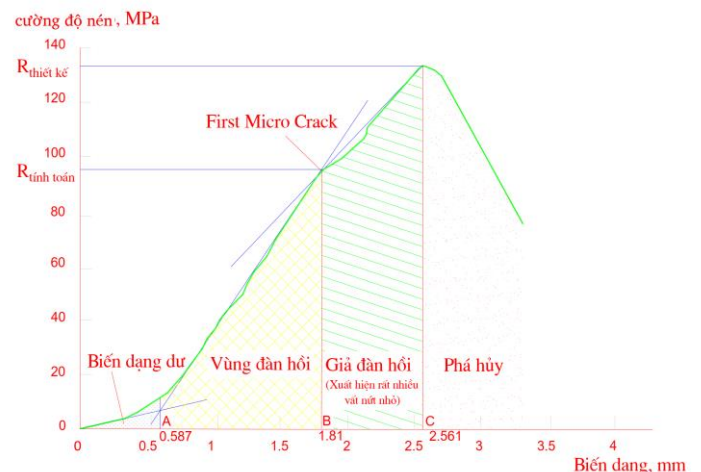
Số TT	Tên mẫu	Hàm lượng sợi thép,(%)	Độ mài mòn (g/ cm ²)
1	UHPC-0	0	0,17
2	UHPC-2	2	0,13
3	UHPC-3	3	0,11

UHPC khi cho thêm sợi thép từ 2 đến 3 %, khả năng chống mài mòn tăng lên từ 18 % đến 23 %. Còn nếu so với bê tông thường độ mài mòn khoảng 0,4 g/cm², thì khả năng chống mài mòn tăng khoảng 300 % đến 350 %.

Như vậy có thể sử dụng UHPC cho các bề mặt bị mài mòn, bào mòn. Đặc biệt là hiệu quả khi sử dụng cho kết cấu trong vùng khí hậu biển, khu vực chịu tác động trực tiếp của sóng biển, như cầu cảng, trụ cầu cảng, kè, đê biển.

3.7. Ứng suất biến dạng khi nén.

Quan hệ ứng suất và biến dạng trên mẫu biến dạng nén trụ $D15 \times H30$ cm. Biểu đồ quan hệ ứng suất biến dạng thu được biểu diễn trên Hình 12.



Hình 13. Ứng suất biến dạng khi nén trung bình.

3.8. 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.

UHPC có thể chịu được cấp áp lực trên 20 MPa. 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.

Bảng 4.

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

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

Nghiên cứu xác định hàm lượng SO²⁻₄, Cl⁻, pH, hàm lượng kiềm thải của UHPC với 2 % sợi thép.

Các mẫu được tiến hành thí nghiệm tại Viện VLXD, kết quả trong bảng sau:

Bảng 5.

Hàm lượng Clorua của Bê tông UHPC.

Chi tiêu kỹ thuật	Đơn vị	Kết quả
Hàm lượng SO ₃	%	1,03
Hàm lượng Clorua	ppm	35,5
Hàm lượng kiềm thải sau 28 ngày:		0,1
- K ₂ O	%	
- Na ₂ O		0,3

Bê tông UHPC có hàm lượng Clorua rất nhỏ. Hàm lượng kiềm thải ra gây có hại cho bê tông cũng rất nhỏ, nhỏ hơn nhiều yêu cầu trong tiêu chuẩn TCVN 6882:2001.

Số liệu này cho thấy bê tông bền kiềm cao, có khả năng chống ăn mòn Sunphat và chống ăn mòn Cl đối với cốt thép cũng rất cao.

3.10. Nghiên cứu hệ số suy giảm cường độ của UHPC 2 % sợi thép trong các môi trường axit, kiềm mạnh

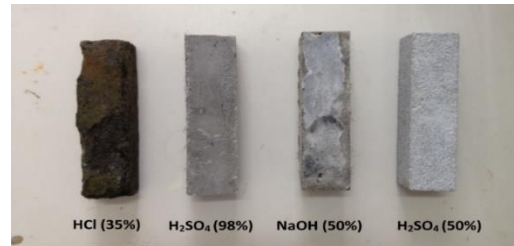
Để rút ngắn thời gian tác dụng của axit và kiềm nên đã sử dụng những dung dịch axit, kiềm có nồng độ cao để ngâm mẫu trong 30 ngày.

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

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

Quan sát bằng mắt thường ta thấy mẫu ngâm H₂SO₄ – 98 %, NaOH – 50 % bị ăn mòn ít nhất, gần như chưa bị hư hại gì nhiều

Mẫu ngâm vào HCl – 35 % bị ăn mòn hư hại mạnh nhất, mẫu bị ăn mòn.



Hình 14. Mẫu ngâm trong các môi trường.

Mẫu ngâm vào H₂SO₄ – 50 % bị ăn mòn đều xung quanh, bị ăn mòn để lộ lớp cát Quazit nhưng không bị suy giảm nhiều về kích thước.

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.

R_n: Cường độ của mẫu ngâm ở điều kiện dưỡng hộ thường.

R_{hc}: Cường độ của mẫu ngâm trong hóa chất.

Kết quả được cho ở bảng sau:

Bảng 6.

Hệ số suy giảm cường độ chịu nén.

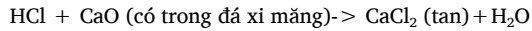
	Mẫu thường	H ₂ SO ₄ 98 %	H ₂ SO ₄ 50 %	NaOH 50 %	HCl 35 %
Cường độ chịu nén	142,5	135,2	140,1	136,0	14,4
Hệ số K _n	1	0,95	0,98	0,95	0,1

Bảng 7.

Hệ số suy giảm cường độ chịu uốn.

	Mẫu thường	H ₂ SO ₄ 98 %	H ₂ SO ₄ 50 %	NaOH 50 %	HCl 35 %
Cường độ chịu uốn	24,4	23,5	20,2	22,8	6,5
Hệ số K _u	1	0,96	0,83	0,93	0,27

Qua phân tích hệ số suy giảm cường độ trong các môi trường có thể xác định thứ tự các môi trường ăn mòn mà bê tông UHPC chịu được theo thứ tự từ cao đến thấp: H₂SO₄ 98 % > NaOH 50 % > H₂SO₄ 50 % > HCl 35 %. Trong đó HCl 35 % có khả năng xâm thực mạnh đến bê tông UHPC, vì khả năng làm tăng tốc độ chiết kiềm do



làm suy giảm cường độ nhanh.

Các môi trường mặc dù ở nồng độ cao UHPC vẫn rất bền, chỉ bị suy giảm cường độ từ 4 đến 17 %.

3.11. 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

Các kết quả nghiên cứu được cho trong bảng sau

Bảng 8.

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/4MKCl)	
> - 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 9.

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

Bảng 10.

Kết quả thử thấm ion clo của mẫu UHPC bằng phương pháp điện lượng.

TT	Kết quả	Đơn vị	Kết quả		Yêu cầu kỹ thuật ASTM C1202-12	
			Điện lượng truyền qua mẫu thử	Mức độ thấm ion clo	Điện lượng truyền qua mẫu thử	Mức độ thấm ion clo
1	Viên 1	Cu lông	24	Không thấm	> 4000	Cao -
2	Viên 2		24		2000 – 4000	Trung bình
3	Viên 3		29		1000 – 2000	Thấp
4	Viên 4		33		100-1000	Rất thấp
5	Viên 5		45		< 100	Không thấm
6	Viên 6		28			

3.12. Nghiên cứu về ảnh hưởng của nước biển đến suy giảm cường độ mẫu và cường độ bê tông trên cấu kiện theo thời gian ngâm mẫu trong nước biển, cốt cứng trong cấu kiện đầm tiền chế UHPC.

Bảng 11.

Tính chất của nước biển tự nhiên dùng để ngâm mẫu UHPC

Kết quả thí nghiệm nước biển Sầm Sơn - Thanh Hóa							
TT	Chỉ tiêu thử	Đơn vị	Yêu cầu kỹ thuật (TCVN 4506:2012)			Kết quả	Phương pháp thử
			Loại 1	Loại 2	Loại 3		
1	Độ pH	-	4,0 - 12,5			7,87	TCVN 6492:2011
2	Ion clo (Cl ⁻)	mg/l	≤ 350	≤ 1000	≤ 3500	14768.00	TCVN 6194:1996
	Quy đổi theo NaCl, % khối lượng					2,42	
3	Ion sunphat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	≤ 600	≤ 2000	≤ 2700	2115.83	TCVN 6194:1996
	Quy đổi theo Na ₂ SO ₄ , % khối lượng					0,31	
4	Muối hòa tan	mg/l	≤ 2000	≤ 5000	≤ 10000	54084.00	TCVN 4560:1988
Loại 1: Nước trộn bê tông và nước trộn vữa bơm bảo vệ cốt thép cho các kết cấu bê tông cốt thép ứng lực trước.							
Loại 2: Nước trộn bê tông và nước trộn vữa chèn mối nối cho các kết cấu bê tông cốt thép.							
Loại 3: Nước trộn bê tông cho các kết cấu bê tông không cốt thép. Nước trộn vữa xây và trát.							

3.13. Cường độ chịu nén của mẫu theo các giai đoạn ngâm mẫu trong nước biển tự nhiên

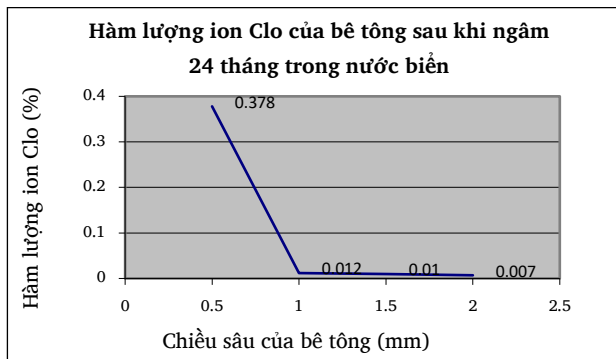
Bảng 12.

Kết quả thử mẫu theo giai đoạn ngâm mẫu.

CP 2 % sợi thép					
Mẫu (cm)	Không ngâm (MPa)	90d (MPa)	365d (MPa)	730d (MPa)	1150d (MPa)
D15 × H30	127,0	125,1	122,5	121,0	119,0
10 × 10 × 10	142,0	139,0	137,0	133,3	132,0
D10 × H20	141,0	139,7	134,2	130,4	128,4
Mẫu uốn 15 × 15 × 60	25,2	24,9	23,4	22,8	22,4
Mẫu kéo 5 × 10 × 50	9,0	9,0	8,6	8,1	8,1

3.14. Độ thấm Clo theo chiều sâu mẫu sau thời gian 24 tháng ngâm mẫu. Mẫu bê tông UHPC sử dụng 2 % Sợi thép.

Phương pháp thử: TCVN 7572-15:2006 (ASTM C 1152/C 1152M - 03)



Hình 15. Độ thấm Clo theo chiều sâu mẫu thời gian 24 tháng.

3.15. Kết quả thí nghiệm Độ mù muối

• Mẫu Bê tông UHPC (2 % Sợi thép)

Tên mẫu: Mẫu bê tông UHPC

- Số lượng mẫu: 8
- Tên phép đo: Thử nghiệm mù muối
- Đơn vị thực hiện: Phòng thí nghiệm Viện Độ bền nhiệt đới
- Phương pháp phân tích: ASTM B 117 - 16

Kết quả:

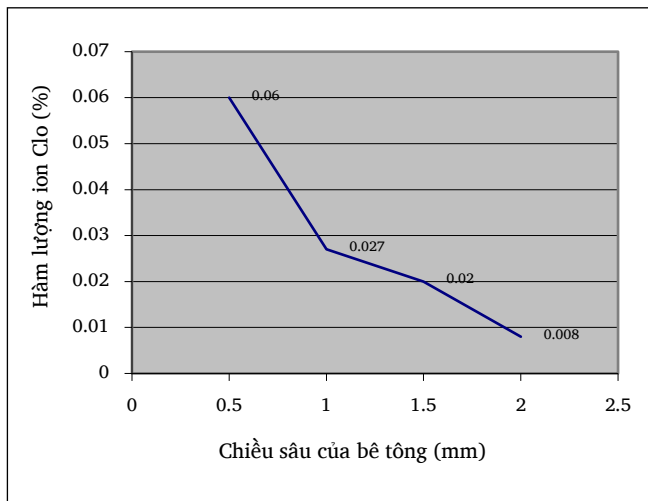
TT	Chỉ tiêu thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm	Kết quả thử nghiệm
1	Độ bền sương muối	ASTM B 117 - 16 - Dung dịch thử nghiệm: NaCl 5 % - Nhiệt độ: 35°C - Thời gian phun muối: 25 chu kỳ	Phần sợi thép thòi ra của các mẫu bê tông bị gỉ. Phần bê tông của các mẫu không thay đổi so với trước khi thử nghiệm.

3.16. Độ thấm Clo theo chiều sâu mẫu sau khi đã thử nghiệm mù muối ở 25 chu kỳ

• Mẫu bê tông UHPC sử dụng 2 % Sợi thép sau khi đã thử nghiệm mù muối ở 25 chu kỳ

Phương pháp thử :- TCVN 7572-15:2006 (ASTM C 1152/C 1152M - 03)

Thiết bị thí nghiệm :- Cân Satorius 210 g, tủ sấy Lenton



Thời gian khởi đầu ăn mòn

x_c (mm)	ΔX (mm)	C_{cr} %	γ_{Ccr}	$A_{Cs,cl}$	$\gamma_{Cs,cl}$	N/CKD	$R_{cl,0}^c$ năm/mm ²	$K_{e,cl}$	$K_{c,cl}$	t_0 (năm)	n_{cl}	γ_{Rcl}	D (m ² /s)	(năm)
40	14	0,9	1,06	10,3	1,4	0,25	0,06878	1,32	0,79	0,0767	0,3	2,35	4,610E-13	45,9
50	14	0,9	1,06	10,3	1,4	0,25	0,06878	1,32	0,79	0,0767	0,3	2,35	4,610E-13	116,3
60	14	0,9	1,06	10,3	1,4	0,25	0,06878	1,32	0,79	0,0767	0,3	2,35	4,610E-13	234,4

$$t_1 = \left[\left(\frac{2}{x_c - \Delta x} \operatorname{erf}^{-1} \left(1 - \frac{c_{cr}}{\gamma_{Ccr} A_{Cs,cl} \frac{w}{b} \gamma_{Cs,cl}} \right) \right)^{-2} \frac{R_{0,cl}^c}{k_{e,cl}^c k_{c,cl}^c t_0^{n_{cl}} \gamma_{Rcl}} \right]^{\frac{1}{1-n_{cl}}}$$

Theo K- UHPC hay NF P18-470 chiều dày lớp bảo vệ tối thiểu là 20 mm, trong nghiên cứu này sử dụng chiều dày lớp bảo vệ là 20 mm. Sau 3 và 12 tháng tại chiều sâu 20 mm.

3.17. Kết quả thí nghiệm độ bền Sốc nhiệt

- Tên mẫu: Mẫu bê tông UHPC
- Số lượng mẫu: 06
- Tên phép đo: Thử nghiệm Sốc nhiệt
- Đơn vị thực hiện: Phòng thí nghiệm Viện Độ bền nhiệt đới
- Phương pháp phân tích: MIL-STD-810G; METHOD 503.5

Kết quả:

TT	Chỉ tiêu thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm	Kết quả thử nghiệm
1	Độ bền sốc nhiệt	MIL-STD-810G; METHOD 503.5 - Nhiệt độ sốc nhiệt: 10°C đến 60°C - Thời gian sốc nhiệt: 15 chu kỳ (mỗi chu kỳ gồm 12 giờ ở nhiệt độ 10°C và 12 giờ ở nhiệt độ 60°C)	Mẫu bê tông không thay đổi so với mẫu ban đầu

3.18. Dự đoán tuổi thọ của Bê tông sau khi thử nghiệm Độ thấm Clo theo chiều sâu mẫu đã thử nghiệm độ bền Sương muối ở 25 chu kỳ

Sau khi Mẫu đã thử nghiệm độ bền sương muối ở 25 chu kỳ, tiến hành thử nghiệm độ thấm clo theo chiều sâu của mẫu. Sử dụng các số liệu thử nghiệm ở trên đem tính toán và dự đoán tuổi thọ của bê tông.

Phần tính toán dự đoán tuổi thọ của bê tông UHPC được chuyên gia Trường Đại học Giao thông Vận tải thực hiện (mô hình ăn mòn cốt thép Viện Paris- Nhật bản: mô hình thấm Clo).

Trong đó:

c_{cr}^d Giá trị thiết kế của nồng độ clorua giới hạn

$c_{s,cl}^d$ Giá trị thiết kế của nồng độ clorua bề mặt

x_d Giá trị thiết kế của độ dày lớp bảo vệ bê tông

R_{cl}^d Giá trị thiết kế sức kháng clorua

Giá trị thiết kế của nồng độ Clorua giới hạn có thể được xác định như sau

$$c_{cr}^d = c_{cr}^c \frac{1}{\gamma_{ccr}}$$

Trong đó

γ_{ccr} hệ số riêng phần cho nồng độ clorua giới hạn

Giá trị thiết kế của nồng độ Clorua bề mặt được xác định theo công thức

$$c_{s,cl}^d = A_{Cs,cl}(w/b) \gamma_{Cc,cl}$$

$A_{Cs,cl}$ là một tham số hồi quy mô tả mối quan hệ giữa nồng độ bề mặt clorua và tỷ lệ nước chất kết dính (w/b),

$\gamma_{Cc,cl}$ là hệ số riêng phần cho nồng độ bề mặt.

Giá trị thiết kế của độ dày lớp bảo vệ xác định theo công thức

$$x^d = x^c - \Delta x$$

Với

Δx là dung sai chiều dày lớp bảo vệ

Cuối cùng, giá trị thiết kế của sức kháng phụ thuộc vào thời gian bắt nguồn từ

$$R_{cl}^d = \frac{R_{cl,0}^c}{k_{e,cl}^c \cdot k_{c,cl}^c \left(\frac{t}{t_0}\right)^{n_{c,cl}^c} \cdot \gamma_{Rcl}}$$

$R_{cl,0}^c$ sức kháng đối với xâm Clorua được xác định trên cơ sở các thử nghiệm tuân thủ

$k_{c,cl}^c$ hệ số bảo dưỡng

$k_{e,cl}^c$ hệ số môi trường

t_0 tuổi của bê tông khi các thử nghiệm tuân thủ được thực hiện

$n_{c,cl}^c$ hệ số tuổi

γ_{Rcl} hệ số riêng phần về sức kháng đối với xâm Clorua

$$R_{0,cl}^c = \frac{1}{D_{0,cl}}$$

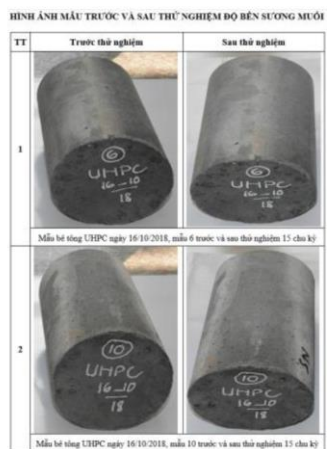
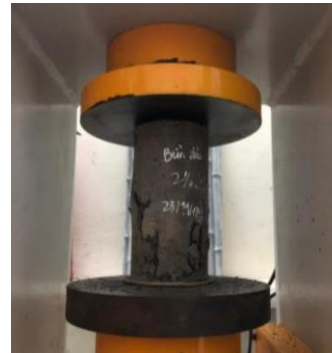
$D_{0,cl}$ hệ số khuếch tán Clo

Bê tông N/CKD = 0.25 trong vùng ngập nước biển

Kết quả như sau:

Tuổi thọ của Bê tông theo tính toán theo mô hình là 234,4 năm tuổi.

Một số hình ảnh trong quá trình nghiên cứu, thí nghiệm và ứng dụng ra thực tế





Kết luận

Xác định được vật liệu và thiết kế cấp phối bê tông siêu tính năng UHPC sử dụng nguyên liệu có ở Việt Nam, riêng sợi thép nhập khẩu. Chế tạo UHPC cường độ nén > 150 MPa, kéo trên 9,6 MPa và uốn trên 32 MPa, modul đàn hồi > 50 GPa.

Bê tông UHPC 2 % sợi thép đạt cấp chống thấm rất cao > B20.

Kết quả đo 20 vị trí cho thấy ngưỡng điện thế ≤ -200 mV, xác định khả năng chống ăn mòn bảo vệ cốt thép và sợi thép của UHPC ở mức cốt thép không bị ăn mòn (ASTM C1202-12).

Bê tông UHPC có khả năng chống ăn mòn sun phát, 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.

Tuổi thọ theo mô hình tính là 234 năm trong môi trường biển.

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, 2018.
- [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-
- [5]. Iowa State University, Design, construction, and field testing of an Ultra-high performance Concrete Pi-Girder bridge, Final report January, 2011.
- [6]. Plank J. New developments in admixtures for precast and ready-mix concrete. ICCX Middle East 2018 (International Concrete Conference & Exhibition), Sharjah (U.A.E.), November 25 – 26, 2018, Conference proceedings, p. 24-32.