



THE EFFECT OF THE BINDER ON POROSITY AND CHLORIDE DIFFUSION DECAY COEFFICIENT OF HPC

Ho Van Quan*

The University of Danang - University of Technology and Education, 48 Cao Thang Street, Danang, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 17/11/2020

Revised: 18/12/2020

Accepted: 26/12/2020

Published online: 28/12/2020

<https://doi.org/10.47869/tcsj.71.9.10>

* *Corresponding author*

Email: Vanquan0877@gmail.com, hvquan@ute.udn.vn; Tel: 0905.548169

Abstract. The use of mineral additives such as ground granulated blast furnace slag, fly ash, ... to replace a part of cement in concrete has received a lot of attention in recent times due to its effect of improving chloride resistance and properties related to the durability of concrete in aggressive environments. The paper presents the effect of binder types on the porosity and chloride diffusion decay coefficient of high performance concrete (HPC). Three types of high-performance concrete, including portland cement concrete (OPC), concrete containing 35% ground granulated blast furnace slag (HPC1) and concrete containing 35% ground granulated blast furnace slag and 20% fly ash (HPC2) with the same water-binder ratio of 0.30. They are tested to determine porosity (r) and chloride diffusion coefficient (D_{cl}) at 28, 56, 120 and 210 days. The study results show that the porosity and the chloride diffusion decay coefficient of HPC are significantly affected by the type of binder used, the use of mineral additives such as ground granulated blast furnace slag, fly ash reduces porosity and significantly improves chloride diffusion decay coefficient of HPC. The chloride diffusion decay coefficients of OPC, HPC1 and HPC2 concretes are 0.190, 0.384 and 0.617, respectively. Through regression showed that there is a close relationship between chloride diffusion coefficient D_{cl} and porosity r .

Keywords: high performance concrete, porosity, chloride diffusion decay coefficient, ground granulated blast furnace slag, fly ash.



ẢNH HƯỞNG CỦA CHẤT KẾT DÍNH ĐẾN ĐỘ RỠNG VÀ HỆ SỐ SUY GIẢM KHUẾCH TÁN CLORUA CỦA HPC

Hồ Văn Quân*

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng, 48 Cao Thắng, Đà Nẵng, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 17/11/2020

Ngày nhận bài sửa: 18/12/2020

Ngày chấp nhận đăng: 26/12/2020

Ngày xuất bản Online: 28/12/2020

<https://doi.org/10.47869/tcsj.71.9.10>

* Tác giả liên hệ

Email: Vanquan0877@gmail.com, hvquan@ute.udn.vn; Tel: 0905.548169

Tóm tắt. Việc sử dụng các phụ gia khoáng như xỉ lò cao, tro bay, ... để thay thế một phần xi măng trong bê tông đã nhận được rất nhiều sự quan tâm trong thời gian gần đây do các phụ gia khoáng cải thiện độ chống thấm clorua và các tính chất liên quan đến độ bền của bê tông trong các môi trường xâm thực. Bài báo trình bày ảnh hưởng của loại chất kết dính đến độ rỗng và hệ số suy giảm khuếch tán clorua của bê tông tính năng cao (HPC). Ba loại bê tông tính năng cao gồm bê tông xi măng poóc lăng (OPC), bê tông chứa 35% xỉ lò cao (HPC1), bê tông chứa 35% xỉ lò cao và 20% tro bay (HPC2) có cùng tỉ lệ nước - chất kết dính là 0,30. Chúng được thí nghiệm để xác định độ rỗng (r) và hệ số khuếch tán clorua (D_{cl}) ở các độ tuổi 28, 56, 120 và 210 ngày. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng độ rỗng và hệ số suy giảm khuếch tán clorua (m) của HPC bị ảnh hưởng đáng kể bởi loại chất kết dính được sử dụng, việc sử dụng các phụ gia khoáng như xỉ lò cao, tro bay làm giảm độ rỗng và cải thiện đáng kể hệ số suy giảm khuếch tán clorua của HPC. Hệ số suy giảm khuếch tán clorua m của các bê tông OPC, HPC1 và HPC2 tương ứng là 0,190, 0,384 và 0,617. Thông qua hồi quy cho thấy mối quan hệ chặt chẽ giữa hệ số khuếch tán clorua D_{cl} và độ rỗng r .

Từ khóa: bê tông tính năng cao, độ rỗng, hệ số suy giảm khuếch tán clorua, xỉ lò cao, tro bay.

© 2020 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đối với các kết cấu bê tông (KCBT) tiếp xúc với các môi trường chứa clorua như môi trường biển, sau một thời gian sử dụng chúng sẽ bị suy thoái. Sự hư hại của KCBT có thể là do sự ăn mòn của bê tông, sự ăn mòn của cốt thép trong bê tông hoặc sự kết hợp của cả hai.

Sự xâm nhập của các ion clorua vào bê tông gây ăn mòn cốt thép được coi là yếu tố quan trọng nhất gây hư hại KCBT ở môi trường biển [1]. Các ion clorua xâm nhập vào bê tông và tích tụ trên bề mặt cốt thép, khi nồng độ ion clorua tại bề mặt cốt thép đạt đến ngưỡng nồng độ gây ăn mòn, cốt thép bắt đầu bị ăn mòn và làm nứt bê tông dẫn đến giảm cường độ liên kết giữa bê tông và cốt thép, làm giảm khả năng chịu lực của kết cấu. Kết quả là, sự ăn mòn của cốt thép ảnh hưởng xấu đến sự an toàn, khả năng sử dụng của kết cấu bê tông và làm giảm tuổi thọ của chúng [2].

Các ion clorua trong bê tông tồn tại ở ba trạng thái, đó là trạng thái liên kết hóa học, trạng thái hấp thụ vật lý và trạng thái tự do [3]. Các ion clorua ở trạng thái tự do có thể được ngăn cách bằng dung dịch giữa các lỗ rỗng. Số lượng ion clorua tự do trong bê tông càng nhiều càng thúc đẩy nhanh quá trình ăn mòn cốt thép, các ion clorua tự do chủ yếu từ môi trường bên ngoài khuếch tán vào bê tông. Quá trình khuếch tán clorua vào bê tông liên quan đến hàm lượng clorua trong môi trường và độ thấm của bê tông [4, 5]. Để hạn chế sự ăn mòn cốt thép và kéo dài tuổi thọ của các KCBT ở môi trường biển, người ta thường sử dụng các loại bê tông bền có chứa các phụ gia khoáng như xỉ lò cao (XLC), tro bay (TB) và muối silic (MS), ... [6, 7, 8, 9, 10]. Việc sử dụng XLC và TB trong bê tông ngoài việc cải thiện khả năng chống lại sự xâm nhập clorua, chúng còn có tác dụng liên kết các ion clorua trong bê tông để tạo thành muối Friedel ($C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$) do sự có mặt của Al_2O_3 trong XLC và TB [11, 12], khả năng liên kết này làm giảm các ion clorua tự do có liên quan đến sự ăn mòn cốt thép trong KCBT.

Để đảm bảo độ bền của các KCBT ở môi trường biển, một số nước đã phát triển các phương pháp thiết kế độ bền [13, 14, 15]. Các thông số chính trong các mô hình dự báo tuổi thọ của KCBT tiếp xúc với môi trường biển là hàm lượng clorua bề mặt bê tông C_s , hàm lượng clorua tới hạn gây ăn mòn của cốt thép C_{cr} , hệ số khuếch tán clorua D_{cl} và hệ số suy giảm khuếch tán clorua m (hệ số tuổi). Đặc biệt, hệ số D_{cl} và hệ số m là các thông số quan trọng và ảnh hưởng lớn nhất đến tuổi thọ của KCBT [16, 17]. Theo [13, 14], hệ số m cho các loại bê tông khác nhau dựa trên loại chất kết dính và điều kiện môi trường tiếp xúc biển. Tuy nhiên, các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng sự xâm nhập clorua vào bê tông là một quá trình phức tạp, phụ thuộc vào thời gian và nhiều thông số khác nhau [18, 19]. Các yếu tố chính ảnh hưởng đến sự khuếch tán clorua vào bê tông bao gồm tỷ lệ nước - chất kết dính (N/CKD), nhiệt độ môi trường xung quanh, điều kiện tiếp xúc, điều kiện bảo dưỡng, loại xi măng, loại và hàm lượng các phụ gia khoáng sử dụng. Hiện tại, khi sử dụng các mô hình để dự báo tuổi thọ của các KCBT ở môi trường biển, phần lớn phải sử dụng các dữ liệu liên quan có sẵn công bố ở nước ngoài vì ở trong nước thiếu các dữ liệu này, điều này có thể dẫn đến kết quả dự báo tuổi thọ của KCBT không đáng tin cậy. Do vậy cần phải tích lũy dữ liệu thí nghiệm về hệ số D_{cl} và hệ số m để có thể dự báo tuổi thọ của các KCBT ở môi trường biển đảm bảo độ tin cậy.

Trong nghiên cứu này, ba loại bê tông tính năng cao gồm bê tông xi măng poóc lăng (OPC), bê tông chứa 35% xỉ lò cao (HPC1), bê tông chứa 35% xỉ lò cao và 20% tro bay (HPC2) có cùng tỉ lệ nước - chất kết dính là 0,30 được thí nghiệm xác định độ rỗng và hệ số khuếch tán clorua ở các độ tuổi 28, 56, 120 và 210 ngày. Từ các kết quả thu được, xác lập được mối quan hệ giữa độ rỗng r và hệ số khuếch tán clorua D_{cl} , và hồi quy xác định được các hệ số suy giảm khuếch tán clorua m của các loại bê tông tính năng cao.

2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu

Đá dăm (Đ): Sử dụng đá dăm $D_{max} = 19$ mm, thành phần hạt và các chỉ tiêu của đá dăm phù hợp với TCVN 7570:2006. Cát (C): Sử dụng cát sông (C) có mô đun độ lớn $M_{dl} = 2,54$,

các chỉ tiêu và thành phần hạt của cát phù hợp với TCVN 7570:2006. Xi măng (X): Sử dụng xi măng PC50, các chỉ tiêu của xi măng PC50 phù hợp với TCVN 2682:2009 và được trình bày trong Bảng 1. Xi lò cao (XLC): Sử dụng XLC S95, các chỉ tiêu của XLC S95 phù hợp với TCVN 11586:2016 và được thể hiện trong Bảng 2. Tro bay (TB): Sử dụng TB loại F, các chỉ tiêu của TB phù hợp với TCVN 10302:2014 và được thể hiện trong Bảng 3. Phụ gia siêu dẻo (SD): Sử dụng phụ gia siêu dẻo loại F phù hợp với TCVN 8826:2011.

Bảng 1. Các chỉ tiêu của xi măng PC50.

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	TCVN 6260:2009
1	Cường độ nén: - 3 ngày - 28 ngày	MPa	29,4	Min 25
			53,8	Min 50
2	Thời gian đông kết: - Bắt đầu - Kết thúc	Phút	130	Min 45
			190	Max 375
3	Độ ổn định thể tích	mm	1,45	Max 10
4	Độ nghiền mịn trên sàng 0,09 mm	%	2,75	Max 10
5	Bề mặt riêng	cm ² /g	3480	Min 2800
6	Hàm lượng SO ₃	%	2,12	Max 3,5
7	Khối lượng riêng	g/cm ³	3,12	--
8	Lượng nước tiêu chuẩn	%	31,0	--

Bảng 2. Các chỉ tiêu của xi lò cao S95.

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	TCVN 11586:2016
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,87	≥ 2,8
2	Bề mặt riêng	cm ² /g	5145	≥ 5000
3	Chỉ số hoạt tính cường độ: - 7 ngày - 28 ngày	%	-	75
			98	95
4	Tỷ lệ độ lưu động	%	111	≥ 90
5	Độ ẩm	%	0,2	≤ 1,0
6	Hàm lượng MgO	%	7,5	≤ 10,0
7	Hàm lượng SO ₃	%	1,18	≤ 4,0
8	Hàm lượng ion clorua	%	0,017	≤ 0,02
9	Hàm lượng mất khi nung	%	0,88	≤ 3,0

Bảng 3. Các chỉ tiêu của tro bay loại F.

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	TCVN 10302:2014
1	Tổng hàm lượng ôxit SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	%	83,5	≥ 70
2	Hàm lượng CaO	%	3,78	-
3	Hàm lượng SO ₃	%	0,17	≤ 3
4	Hàm lượng CaO tự do	%	0	≤ 2
5	Chỉ số hoạt tính ở 28 ngày	%	87,11	≥ 75
6	Lượng nước yêu cầu	%	96,3	≤ 100
7	Lượng sót trên sàng 45µm	%	24,4	≤ 34
8	Hàm lượng MKN	%	6,3	≤ 8
9	Hàm lượng kiềm có hại (kiềm hòa tan)	%	0,54	≤ 1,5
10	Độ ẩm	%	0,6	≤ 3
11	Hàm lượng ion clorua	%	0,015	≤ 0,1
12	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,12	-

Thành phần bê tông xi măng được thiết kế tham khảo theo tiêu chuẩn ACI 211.4R. Trong nghiên cứu này, ba loại bê tông tính năng cao (HPC) có tỉ lệ N/CKD là 0,30, gồm bê tông sử dụng 100% xi măng poóc lăng (OPC), bê tông sử dụng 35%XLC thay thế xi măng (HPC1) và bê tông sử dụng kết hợp với 35%XLC và 20%TB thay thế xi măng (HPC2), thành phần của các loại HPC được ghi trong Bảng 4.

Bảng 4. Thành phần của các loại bê tông tính năng cao.

Kí hiệu bê tông	X (kg)	N (lit)	XLC (kg)	TB (kg)	C (kg)	Đ (kg)	N/CKD	SD (%X)
OPC	500	150	0	0	710	1120	0,30	1,35
HPC1	325	150	175	0	697	1120	0,30	1,35
HPC2	225	150	175	100	662	1120	0,30	1,35

2.2. Phương pháp thí nghiệm

2.2.1. Chế tạo và bảo dưỡng các mẫu thử

Các mẫu trụ bê tông kích thước 100x200 mm được đúc và dưỡng hộ theo TCVN 3105:1993, các mẫu sau khi tháo khuôn được bảo dưỡng ngâm trong nước ở nhiệt độ 25±2⁰C cho đến ngày thí nghiệm.

2.2.2. Độ sụt và cường độ nén

Kết quả thử độ sụt và thí nghiệm xác định cường độ nén của các mẫu trụ bê tông 100x200 mm ở 3, 7, 28 và 56 ngày được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. Độ sụt và cường độ nén của các loại bê tông tính năng cao.

Kí hiệu bê tông	Độ sụt (cm)	Cường độ nén (MPa)			
		3 ngày	7 ngày	28 ngày	56 ngày
OPC	8,0	55,73	68,13	81,89	84,47
HPC1	12,0	51,62	67,56	82,82	86,40
HPC2	15,0	48,07	64,53	76,57	82,93

2.2.3. Thí nghiệm xác định độ rỗng

Độ rỗng của các mẫu bê tông được thí nghiệm xác định theo ASTM C642 [20]. Các mẫu thí nghiệm được cắt ra từ mẫu trụ 100x200 mm đảm bảo thể tích của mẫu thử không được nhỏ hơn 350 cm³ hoặc không nhỏ hơn 800 g, mẫu phải đảm bảo không có vết nứt, gãy hoặc cạnh bị vỡ. Độ rỗng của bê tông xi măng được tính theo công thức:

$$r = \frac{B - A}{B - C} \cdot 100 \quad (1)$$

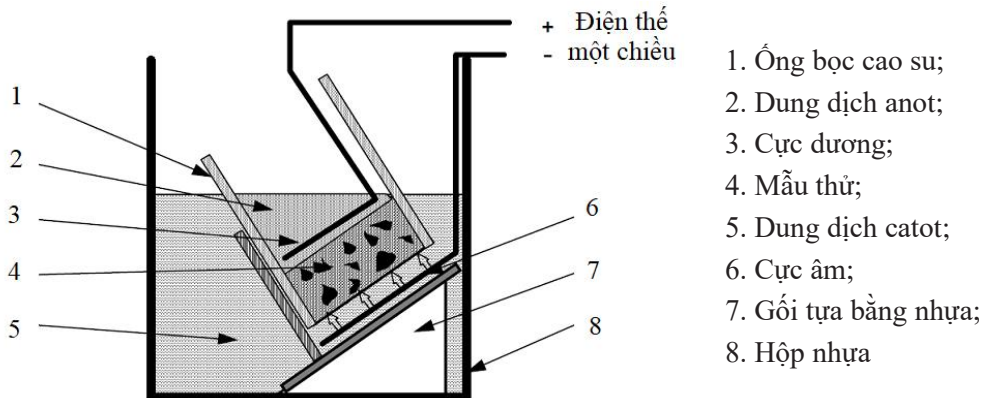
Trong đó: A là khối lượng của mẫu khô (g); B là khối lượng của mẫu bảo hòa trong nước sôi (g); C là khối lượng của mẫu bảo hòa trong nước sôi cân trong nước (g);

2.2.4. Thí nghiệm xác định hệ số khuếch tán clorua

Độ xâm nhập clorua vào các mẫu bê tông xi măng được thí nghiệm xác định theo NT Build 492 [21]. Các mẫu trụ có đường kính 100 mm và độ dày 50 mm được cắt từ các mẫu trụ dxh = 100x200 mm. Chuẩn bị dung dịch catot là 12 lít NaCl 10%; dung dịch anot là 300 ml NaOH 0,3 N. Sơ đồ thí nghiệm điện di như Hình 1.

Đề đo độ sâu thâm nhập clorua, sử dụng dung dịch AgNO₃ 0,1 M phun lên bề mặt của mẫu bê tông đã được bẻ gãy. Hệ số khuếch tán clorua ở trạng thái không ổn định được xác định theo phương trình:

$$D_{cl} = \frac{0,0239.(273+T).L}{(U-2).t} \left(x_d - 0,0238.\sqrt{\frac{(273+T).L.x_d}{U-2}} \right) \quad (2)$$



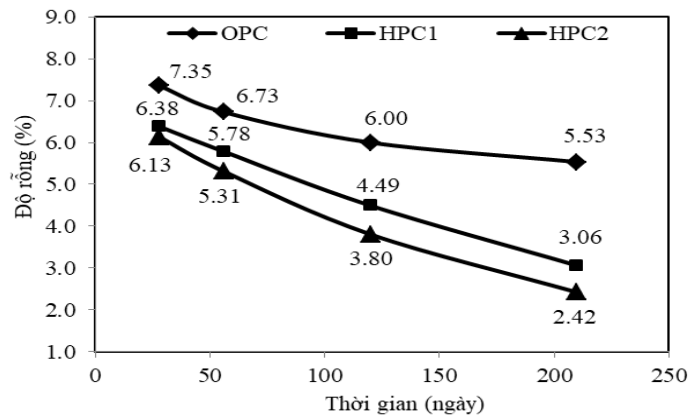
Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm xác định hệ số D_{cl} .

Trong đó: D_{cl} là hệ số khuếch tán clorua ở trạng thái không ổn định ($10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$); U là giá trị của điện áp sử dụng trong quá trình thí nghiệm (V); T là giá trị trung bình của nhiệt độ ban đầu và nhiệt độ khi kết thúc thí nghiệm trong dung dịch anốt (NaOH 0,3 M) ($^{\circ}\text{C}$); L là chiều dày của mẫu thử (mm); x_d là giá trị trung bình của độ sâu thâm nhập clorua vào mẫu thử (mm); t là thời gian thí nghiệm (h).

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

3.1. Độ rỗng r

Độ rỗng của các loại bê tông tính năng cao được thí nghiệm ở 28, 56, 120 và 210 ngày tuổi. Kết quả thí nghiệm độ rỗng là giá trị trung bình của 3 mẫu và được thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Độ rỗng của các loại bê tông tính năng cao theo thời gian.

Hình 2 cho thấy độ rỗng của tất cả các bê tông đều giảm dần theo thời gian. Độ rỗng của các bê tông HPC1 và HPC2 giảm đáng kể ở mọi độ tuổi so với bê tông OPC, đặc biệt bê tông HPC2 có độ rỗng giảm rất sâu theo thời gian. Độ rỗng của các loại bê tông HPC1 và HPC2 ở các độ tuổi 28, 56, 120 và 210 giảm lần lượt là 0,98%, 0,94%, 1,51%, 2,48% và 1,23%, 1,42%, 2,2%, 3,12% so với bê tông đối chứng OPC. Việc giảm độ rỗng của bê tông HPC1 là do các hạt XLC có độ mịn lớn hơn các hạt xi măng nên chúng có khả năng chèn lấp vào các

kẽ hở giữa các hạt xi măng dẫn đến làm giảm độ rỗng; đối với bê tông HPC2, trong chúng có 3 loại hạt mịn có độ mịn khác nhau là xi măng, XLC và TB nên sự chèn lấp giữa các hạt hiệu quả hơn dẫn đến chúng có độ rỗng bé nhất. Ngoài ra, các phản ứng puzolan của XLC và TB ở các độ tuổi muộn cũng góp phần làm tăng độ đặc và giảm độ rỗng của bê tông HPC1 và HPC2 theo thời gian [6, 7, 8, 9, 10, 12, 19, 22].

3.2. Hệ số khuếch tán clorua D_{cl}

Hệ số khuếch tán clorua của các loại bê tông tính năng cao được thí nghiệm ở 28, 56, 120 và 210 ngày tuổi và xác định theo công thức (2). Hệ số khuếch tán clorua D_{cl} là giá trị trung bình của 3 mẫu thí nghiệm và được thể hiện trong Bảng 6.



Hình 3. Thí nghiệm điện di và đo chiều sâu xâm nhập clorua trong các mẫu bê tông.

Bảng 6. Hệ số khuếch tán clorua của các loại bê tông tính năng cao.

Kí hiệu bê tông	$D_{cl} (10^{-12} \text{ m}^2/\text{s})$			
	28 ngày	56 ngày	120 ngày	210 ngày
OPC	7,116	6,382	5,555	4,664
HPC1	3,220	2,450	1,905	1,441
HPC2	3,002	1,884	1,300	0,844

Kết quả ở Bảng 6 thấy rằng bê tông đối chứng OPC có hệ số D_{cl} cao nhất, tiếp đến là bê tông HPC1, bê tông HPC2 có hệ số khuếch tán clorua thấp nhất ở mọi lứa tuổi. Hệ số D_{cl} của bê tông OPC ở các độ tuổi 28, 56, 120, 210 ngày cao hơn khoảng 2,14; 2,53; 2,83; 3,14 lần so với bê tông HPC1; và cao hơn khoảng 2,37; 3,39; 4,27; 5,28 lần so với bê tông HPC2. Các bê tông HPC1 và HPC2 có độ thấm clorua thấp hơn rất nhiều so với bê tông OPC là do chúng có độ rỗng bé (Hình 2) và do hiệu quả của các phản ứng puzolan ở độ tuổi muộn.

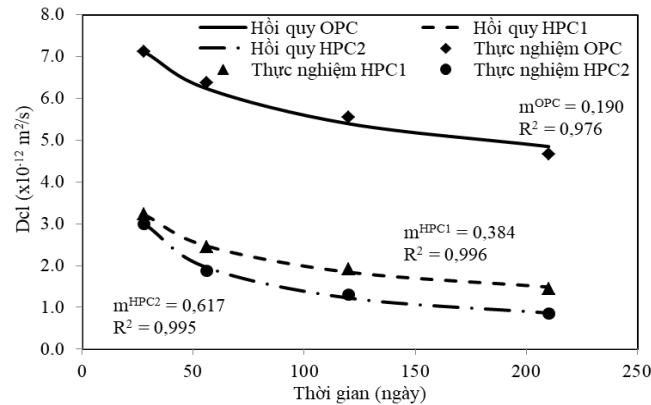
3.3. Dự đoán hệ số suy giảm khuếch tán clorua m

Hệ số khuếch tán clorua của bê tông giảm dần theo thời gian do cấu trúc lỗ rỗng của chúng dần được hoàn thiện và lấp đầy bởi các sản phẩm hydrat hóa. Phương trình thể hiện sự phụ thuộc thời gian của hệ số khuếch tán clorua được hiển thị như sau [13, 14, 15, 21]:

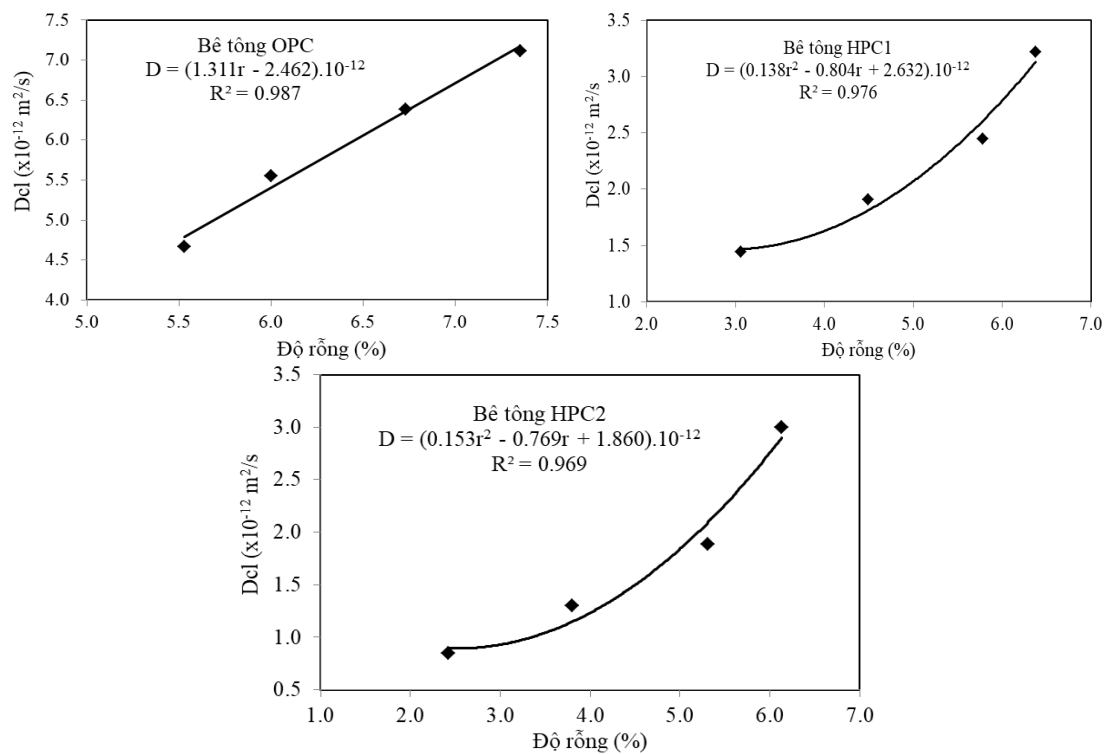
$$D(t) = D_{28} \left(\frac{t_{28}}{t} \right)^m \quad (3)$$

Trong đó: $D(t)$ là hệ số khuếch tán clorua ở tuổi t (ngày); D_{28} là hệ số khuếch tán clorua ở tuổi 28 ngày; m là hệ số suy giảm khuếch tán clorua.

Từ các số liệu thực đo được ở Bảng 6, hồi qui theo phương trình (3) dựa trên phương pháp bình phương bé nhất, xác định được các hệ số suy giảm khuếch tán clorua m và hệ số xác định R^2 được thể hiện trong Hình 4 và Bảng 7. Rõ ràng việc sử dụng kết hợp giữa XLC và TB trong bê tông tính năng cao cải thiện rất lớn hệ số m , điều này sẽ dẫn đến gia tăng tuổi thọ của KCBT ở môi trường biển.



Hình 4. Hồi qui xác định hệ số suy giảm khuếch tán clorua m của các loại bê tông



Hình 5. Quan hệ giữa hệ số khuếch tán clorua D_{cl} và độ rỗng r của các loại bê tông

Theo [14], hệ số m của các loại bê tông chứa XLC và TB được tính theo công thức:

$$m = 0,2 + 0,4 \left[\frac{TB}{50} + \frac{XLC}{70} \right] \quad (4)$$

Kết quả tính hệ số $m_{Life365}$ theo công thức (4) được ghi trong Bảng 7. Ta thấy đối với bê tông OPC và HPC1, hệ số m nhỏ hơn so với hệ số $m_{Life365}$ khoảng 4,85% và 4,10%; trong khi bê tông HPC2 có hệ số m lớn hơn $m_{Life365}$ khoảng 10,17%.

Bảng 7. Hệ số suy giảm khuếch tán clorua m của các loại bê tông tính năng cao.

Kí hiệu bê tông	$m_{\text{thực nghiệm}}$	R^2	m_{Life365}	$(m_{\text{thực nghiệm}} - m_{\text{Life365}})/m_{\text{Life365}}$
OPC	0,190	0,976	0,20	- 4,85%
HPC1	0,384	0,996	0,40	- 4,10%
HPC2	0,617	0,995	0,56	+ 10,17%

Quan hệ giữa hệ số khuếch tán clorua và độ rỗng được biểu diễn trên Hình 5. Ta thấy quan hệ giữa hệ số khuếch tán clorua và độ rỗng của các bê tông HPC1 và HPC2 có dạng một đường cong. Trong khi với bê tông OPC, quan hệ giữa D_{cl} và r lại có dạng gần tuyến tính, điều này có thể giải thích là do bê tông OPC có hệ số suy giảm khuếch tán clorua m nhỏ và sự giảm độ rỗng theo thời gian chậm, hơn nữa thời gian thí nghiệm xác định D_{cl} và r trong nghiên cứu này chưa đủ dài (210 ngày).

4. KẾT LUẬN

Các kết luận sau đây được rút ra từ nghiên cứu này như sau:

Các loại bê tông tính năng cao HPC1 và HPC2 cải thiện vi cấu trúc, giảm độ rỗng đáng kể so với với bê tông OPC ở mọi lứa tuổi. Theo thời gian, vi cấu trúc của các bê tông HPC1 và HPC2 càng dày đặc nhờ hiệu ứng puzolan.

Khả năng chống lại sự xâm nhập clorua của bê tông HPC1 và HPC2 cao hơn đáng kể so với bê tông OPC ở mọi lứa tuổi. Hệ số D_{cl} của bê tông OPC ở 28 và 210 ngày cao hơn khoảng 2,14 và 3,14 lần so với bê tông HPC1; và cao hơn khoảng 2,37 và 5,28 lần so với bê tông và HPC2.

Hệ số suy giảm khuếch tán clorua (m) của các loại bê tông tính năng cao phụ thuộc chủ yếu vào loại chất kết dính, việc sử dụng các phụ gia khoáng như XLC và TB cải thiện đáng kể hệ số m, đặc biệt bê tông sử dụng kết hợp của 35%XLC và 20%TB (HPC2) cho giá trị m cao gấp khoảng 3,25 lần so với bê tông OPC và cao gấp 1,61 lần so với bê tông chứa 35%XLC (HPC1).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. M. Vaysburd, P. H. Emmons, How to make today's repairs durable for tomorrow - Corrosion protection in concrete repair, *Construction and Building Materials*, 14 (2000) 189-197. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(00\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(00)00022-2)
- [2]. G. R. Meira, C. Andrade, C. Alonso, J. C. Borba, M. Padilha, Durability of Concrete Structure in Marine Atmosphere Zones - The Use of Chloride Deposition Rate on the Wet Candle as an Environmental Indicator, *Cement and Concrete Composites*, 32 (2010) 427-435. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.03.002>
- [3]. J. N. Enevoldsen, C. M. Hansson, B. B. Hope, Binding of Chloride in Mortar Containing Admixed or Penetrated Chlorides, *Cement and Concrete Research*, 24 (1994) 1525-1533. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90167-8](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90167-8)
- [4]. P. Liu, Z. Yu, Z. Lu, Y. Chen, X. Liu, Predictive Convection Zone Depth of Chloride in Concrete under Chloride Environment, *Cement and Concrete Composites*, 72 (2016) 257-267. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.06.011>
- [5]. C. C. Yang, S. W. Cho, L. C. Wang, The Relationship between Pore Structure and Chloride Diffusivity from Ponding Test in Cement-Based Materials, *Materials Chemistry and Physics*, 100 (2006) 203-210. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2005.12.032>

- [6]. J. I. Park et al., Diffusion Decay Coefficient for Chloride Ions of Concrete Containing Mineral Admixtures, *Advances in Materials Science and Engineering*, (2016), pp. 11 <http://dx.doi.org/10.1155/2016/2042918>
- [7]. J. Wang, P.A. Muhammed Basheer, S. V. Nanukuttan, A. E. Long, Y. Bai, Influence of service loading and the resulting micro-cracks on chloride resistance of concrete, *Construction and Building Materials*, 108 (2016) 56-66. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.005>
- [8]. Hồ Văn Quân, Phạm Duy Hữu, Nguyễn Thanh Sang, Cải thiện độ chống thấm ion clo và kéo dài tuổi thọ kết cấu bê tông ở môi trường biển bằng cách sử dụng kết hợp muối silic và tro bay, *Tạp chí Giao thông vận tải*, 12 (2015) 81-84.
- [9]. Nguyễn Tấn Khoa, Nguyễn Thanh Sang, Tính chất cơ học và độ bền của bê tông cát xỉ lò cao và khả năng ứng dụng trong công trình biển, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, 5 (2020) 568-582. <https://doi.org/10.25073/tcsj.71.5.9>
- [10]. Nguyễn Công Thắng, Nguyễn Văn Tuấn, Phạm Hữu Hanh, Ảnh hưởng của phụ gia khoáng đến khả năng ăn mòn cốt thép trong bê tông chất lượng siêu cao, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 2 (2018) 86-91.
- [11]. T. Cheewaket, C. Jaturapitakkul, W. Chalee, Long Term performance of chloride binding capacity in fly ash concrete in a marine environment, *Construction and Building Materials*, 24 (2010) 1352–1357. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.12.039>
- [12]. T. Ishida, S. Miyahara, T. Maruya, Chloride Binding Capacity of Mortars Made with Various Portland Cements and Mineral Admixtures, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 6 (2008) 287-301. <https://doi.org/10.3151/jact.6.287>
- [13]. DuraCrete: General Guidelines for Durability Design and Redesign, The European Union - Brite EuRam III, Project No. BE95-1347: “Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structures”, Document R15, 2000.
- [14]. ACI Committe 365, Life-365, Service Life Prediction Model and Computer Program for Predicting the Service Life and Life-Cycle Cost of Reinforced Concrete Exposed to Chlorides. Version 2.2.3, 2018.
- [15]. International Federation for Structural Concrete (fib), Model code for service life design, *Fib Bulletin* 34, 2006.
- [16]. R. Muigai, P. Moyo, M. Alexander, Durability design of reinforced concrete structures: a comparison of the use of durability indexes in the deemed-to-satisfy approach and the full probabilistic approach, *Materials and Structures*, 45 (2012) 1233-1244. [DOI 10.1617/s11527-012-9829-y](https://doi.org/10.1617/s11527-012-9829-y)
- [17]. Hồ Văn Quân, Thiết kế độ bền của kết cấu bê tông ở vùng khí quyển biển dựa trên xác suất, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, 70 (2019) 299-308. <https://doi.org/10.25073/tcsj.70.4.7>
- [18]. C. Andrade, M. Prieto, P. Tanner, F. Tavares, R. d'Andrea, Testing and modelling chloride penetration into concrete, *Construction and Building Materials*, 39 (2013) 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.012>
- [19]. A. Petcherdchoo, Time dependent models of apparent diffusion coefficient and surface chloride for chloride transport in fly ash concrete, *Construction and Building Materials*, 38 (2013) 497-507. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.041>
- [20]. ASTM C 642: Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, 2013.
- [21]. NT BUILD 492: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments, 1999.
- [22]. M. D. A. Thomas, M. H. Snehata, S. G. Shashiprakash, D.S. Hopkins, K. Cail, Use of Ternary Cementitious Systems Containing Silica Fume and Fly Ash in Concrete, *Cement and Concrete Research*, 29 (1999) 1207-1214. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00096-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00096-4)