



Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <https://jmes.humg.edu.vn>

Determining the diffusion coefficient of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in concrete with age in an artificial seawater environment



Hung Xuan Ngo ^{1,*}, Bulgakov B. I. ²

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

² Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), Moscow, Russian Federation

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 01st May 2024

Revised 02nd Aug. 2024

Accepted 01st Sep. 2024

Keywords:

Calcium hydroxide,
Concrete corrosion,
Concrete structure lifespan,
Diffusion coefficient,
Marine environment.

Concrete structures exposed to marine environments, which contain high levels of Cl^- and SO_4^{2-} ions, accelerate the diffusion process of calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), particularly in tidal zones due to the combined effects of carbonation and mechanical erosion from waves. The characteristic feature of the diffusion process of calcium hydroxide in concrete within marine environments is the diffusion coefficient of calcium hydroxide (k). This study involves an experiment to determine the calcium hydroxide content in concrete submerged in water containing 5% NaCl. Experimental results were combined with the solution of the uncertainty diffusion problem to determine the diffusion coefficient of calcium hydroxide in concrete samples with a standard compressive strength of 28.7 MPa. Comparisons with previous studies indicate that the diffusion coefficient of calcium hydroxide in concrete varies depending on the type of concrete. Additionally, the study reveals that the diffusion coefficient of calcium hydroxide in conventional concrete increases with prolonged immersion time. In previous studies, for high-strength concrete types using active mineral additives, this coefficient decreases over time. This study indicates that the different pore structures between conventional and high-strength concrete lead to different effects of permeability on these concrete types, resulting in varying trends of calcium hydroxide diffusion over time.

Copyright © 2024 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: ngoxuanhung@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2024.65(5).08



Nghiên cứu xác định hệ số khuếch tán $\text{Ca}(\text{OH})_2$ trong bê tông theo thời gian ở môi trường nước biển nhân tạo

Ngô Xuân Hùng^{1,*}, Bulgakov B. I.²

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

² Đại học nghiên cứu Quốc gia Xây dựng Moscow, Moscow, Liên Bang Nga

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 01/5/2024

Sửa xong 02/8/2024

Chấp nhận đăng 01/9/2024

Từ khóa:

Ăn mòn bê tông,
Canxi hydroxit,
Môi trường biển,
Hệ số khuếch tán,
Tuổi thọ kết cấu bê tông.

TÓM TẮT

Kết cấu bê tông (BT) làm việc trong môi trường biển, nơi có chứa nhiều ion Cl^- , SO_4^{2-} , làm thúc đẩy quá trình khuếch tán Canxi hydroxit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), đặc biệt là tại vùng nước dao động lên xuống do có sự cộng hưởng của hiện tượng Cacbonat hóa và ăn mòn cơ học do sóng. Đặc trưng của quá trình khuếch tán Canxi hydroxit trong BT ở môi trường nước biển là hệ số khuếch tán Canxi hydroxit (k). Nghiên cứu này thực hiện thí nghiệm xác định hàm lượng Canxi hydroxit trong BT ngâm trong nước có chứa 5% NaCl. Kết hợp kết quả thí nghiệm với lời giải của bài toán khuếch tán bất định nhằm xác định hệ số khuếch tán Canxi hydroxit trong các mẫu BT có cường độ nén tiêu chuẩn 28,7 MPa. So sánh với các nghiên cứu trước đây cho thấy hệ số khuếch tán Canxi hydroxit trong BT là khác nhau tùy vào từng loại BT. Đồng thời, nghiên cứu cũng chỉ ra hệ số khuếch tán Canxi hydroxit trong các loại BT thông thường tăng theo thời gian ngâm mẫu. Trong các nghiên cứu trước đây, với các loại BT cường độ cao có sử dụng các loại phụ gia khoáng hoạt tính, hệ số này giảm dần. Có thể thấy rằng, do cấu trúc đặc chắc khác nhau giữa BT thường và BT cường độ cao dẫn đến ảnh hưởng của dòng thấm trong các loại BT khác nhau, do đó mức độ khuếch tán Canxi hydroxit theo thời gian giữa các loại BT này có xu hướng không giống nhau.

© 2024 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

*Tác giả liên hệ

E - mail: ngoxuanhung@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2024.65(5).08

1. Mở đầu

Khi đánh giá độ bền bê tông cốt thép (BTCT) làm việc trong môi trường nước biển được thể hiện trong các nghiên cứu trước đây của các tác giả Tran (2005), Nguyen (2007), Truong và nnk. (2008), Dong và nnk. (2011), Dao (2014), Pham (2020) chủ yếu xét yếu tố ăn mòn cốt thép trong BT do thẩm thấu ion Clo. Trong các nghiên cứu trên, tác giả xem yếu tố thẩm thấu ion Clo vào trong kết cấu BT là nguyên nhân chính gây hư hỏng công trình. Các nghiên cứu tập trung xác định thời gian thẩm thấu ion Clo đến cốt thép, và coi đây là thời điểm kết cấu BTCT bắt đầu bị ăn mòn. Tuy nhiên, trong nghiên cứu của Nguyen (2007) về hiện tượng ăn mòn các kết cấu BTCT công trình biển đã kết luận rằng, tại vùng nước thay đổi dưới ảnh hưởng của sóng và thủy triều, hiện tượng khuếch tán Canxi hydroxit từ kết cấu BT ra môi trường nước biển dẫn tới phá hủy cấu trúc BT.

Trong báo cáo của Bộ Xây dựng (2006) chỉ ra rằng, hàm lượng Canxi hydroxit trong BT khoảng 8÷18% tính theo khối lượng CaO ở các tuổi đóng rắn khác nhau. Dựa trên cấu trúc của kết cấu BT và thành phần hoá học có trong nước mà kết cấu BT đó làm việc, mức độ hoà tan Canxi hydroxit từ kết cấu BT vào môi trường chất lỏng khác nhau. Sự có mặt của các ion khác trong môi trường nước sẽ ảnh hưởng đến sự hoà tan Canxi hydroxit: các ion Ca^{2+} , OH^- làm chậm quá trình khuếch tán, trong khi các ion SO_4^{2-} , Cl^- , K^+ , Na^+ đẩy nhanh quá trình này. Trong thành phần nước biển có chứa nhiều Cl^- , SO_4^{2-} . Do vậy, đối với kết cấu BTCT công trình biển, hiện tượng khuếch tán Canxi hydroxit diễn ra nhanh hơn nhiều so với các kết cấu BTCT làm việc ở môi trường khác, nhất là đối với các vùng nước lên xuống vì có sự cộng hưởng của hiện tượng Cacbonat hóa và ăn mòn cơ học do sóng.

Nguyen (2012) tiến hành đánh giá trên các kết cấu BT và BTCT của các công trình thủy, đặc biệt tại vị trí có sự thay đổi mực nước. Tác giả của nghiên cứu cho thấy quá trình nước thẩm vào BT làm hòa tan Canxi hydroxit và cuốn Canxi hydroxit theo dòng thẩm ra ngoài, quá trình này diễn ra gây biến đổi cấu trúc của kết cấu BT, dẫn tới kết quả kết cấu BT dần bị rỗng, giảm cường độ của BT theo thời gian.

Sự ảnh hưởng của lỗ rỗng do quá trình mất Canxi hydroxit trong BT ở môi trường biển cũng đã được phân tích và đánh giá trong nghiên cứu

của Choi và Yang (2013). Thông qua các thí nghiệm đẩy nhanh quá trình khuếch tán Canxi hydroxit trong BT bằng dòng điện, khi đó các mẫu BT bị mất Canxi hydroxit có mức độ thẩm ion Clo cao hơn hẳn các mẫu BT thông thường.

Yang và nnk. (2018) đã xem xét ảnh hưởng của quá trình khuếch tán Canxi hydroxit trong các mẫu BT ở môi trường ẩm làm tăng độ xốp của kết cấu, điều này gây ra quá trình suy giảm cường độ của BT và tham gia vào sự thúc đẩy các dạng ăn mòn Clo phát triển nhanh hơn. Nghiên cứu cũng cho thấy BT có sử dụng phụ gia khoáng có thể làm tăng mật độ cấu trúc của BT, từ đó giảm tốc độ khuếch tán Canxi hydroxit ra môi trường nước.

Khi nghiên cứu ăn mòn BTCT trong điều kiện môi trường biển cần quan tâm đến đồng thời ảnh hưởng của quá trình thẩm thấu ion Clo và quá trình khuếch tán Canxi hydroxit. Các nghiên cứu trên đều chỉ ra rằng quá trình khuếch tán Canxi hydroxit dẫn tới thúc đẩy quá trình thẩm thấu ion Clo và được xem là nguyên nhân quan trọng không thể bỏ qua. Tuy nhiên các nghiên cứu trên chưa đánh giá cụ thể mức độ thay đổi hàm lượng $Ca(OH)_2$ trong bê tông theo thời gian khi kết cấu việc ở môi trường nước biển..

Fedasov và nnk. (2021) đã đưa ra lý thuyết xác định sự thay đổi hàm lượng $Ca(OH)_2$ trong BT theo thời gian bằng phương pháp giải tích. Trong đó, đại lượng đặc trưng cho quá trình khuếch tán Canxi hydroxit trong BT là hệ số khuếch tán (k), thông qua lời giải của bài toán khuếch tán bất định với các điều kiện biên được xác định qua các thí nghiệm, có thể đánh giá được tốc độ mất khối lượng $Ca(OH)_2$ trong BT. Do vậy, biết được hệ số k có thể đánh giá được cấu trúc rỗng của BT gây ra bởi tượng khuếch tán Canxi hydroxit tại các thời điểm trong tương lai, là tham số quan trọng trong bài toán thiết kế và dự báo tuổi thọ công trình biển. Tuy nhiên, các kết quả chưa được kiểm định bằng thực nghiệm. Luận án của Ngo (2022) đã tiến hành nghiên cứu quá trình khuếch tán $Ca(OH)_2$ đối với các loại BT có cường độ nén trên 55 MPa. Gần đây, Ngo và nnk. (2023) đã trình bày thí nghiệm xác định hệ số khuếch tán $Ca(OH)_2$ đối với bê tông có cường độ nén 15 MPa trong môi trường nước thông thường và nước biển nhân tạo. Tuy nhiên, theo TCVN 9396-2012, kết cấu BT dùng cho công trình trình biển yêu cầu có cường độ nén 30-50 MPa, chưa được nghiên cứu đầy đủ. Do vậy, nghiên cứu này trình bày thí nghiệm xác định hệ

số khuếch tán Canxi hydroxit trong kết cấu BT ở môi trường nước biển nhân tạo đối với BT cho công trình biển ở Việt Nam.

2. Phương pháp nghiên cứu quá trình khuếch tán Canxi hydroxit

Hiện tượng khuếch tán Canxi hydroxit xảy ra sau khi các phân tử Canxi hydroxit trên bề mặt BT tại vị trí tiếp xúc với môi trường chất lỏng hoà tan trong nước và sự cân bằng hàm lượng bị phá vỡ. Để đảm bảo sự cân bằng, các phân tử Canxi hydroxit khác từ kết cấu BT tiếp tục bị khuếch tán và hoà tan vào môi trường. Kết quả cuối cùng là trong đá BT chỉ còn lại các gel silic dạng Silic hydroxit, hình thành các cấu trúc rỗng trong BT. Đại lượng đặc trưng cho quá trình khuếch tán Canxi hydroxit là hệ số khuếch tán (k). Trong nghiên cứu của Fedosov và nnk. (2021) đã xây dựng bài toán xác định hệ số khuếch tán Canxi hydroxit của BT. Sơ đồ quá trình khuếch tán Canxi hydroxit của BT trong môi trường nước biển được thể hiện trong Hình 1. Trong đó, hàm lượng Canxi hydroxit trong BT ban đầu tại mọi điểm trên kết cấu đều có giá trị bằng nhau. Sau khi tiếp xúc với môi trường chất lỏng, Canxi hydroxit trong BT liên tục bị khuếch tán ra môi trường cho đến khi hàm lượng này đạt đến giá trị cân bằng. Khối lượng Ca(OH)_2 bị mất đi là do tổng hợp của quá trình dịch chuyển Ca(OH)_2 trong bê tông và quá trình hoà tan Ca(OH)_2 từ pha rắn vào pha lỏng (quá trình rửa trôi). Hệ số khuếch tán trong nghiên cứu này được xác định từ sự thay đổi hàm lượng Ca(OH)_2 gây ra bởi tổng hợp của cả 2 quá trình trên.

Phương trình thể hiện quá trình truyền khối lượng canxi hydroxit từ cấu trúc BT ra thành biển tiếp xúc với môi trường chất lỏng theo lý thuyết khuếch tán bất định được thể hiện theo hệ phương trình sau (Fedosov và nnk. 2021):

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial t} = k \frac{\partial^2 C(x, t)}{\partial x^2}, \quad (1)$$

$$t > 0, 0 \leq x \leq \delta$$

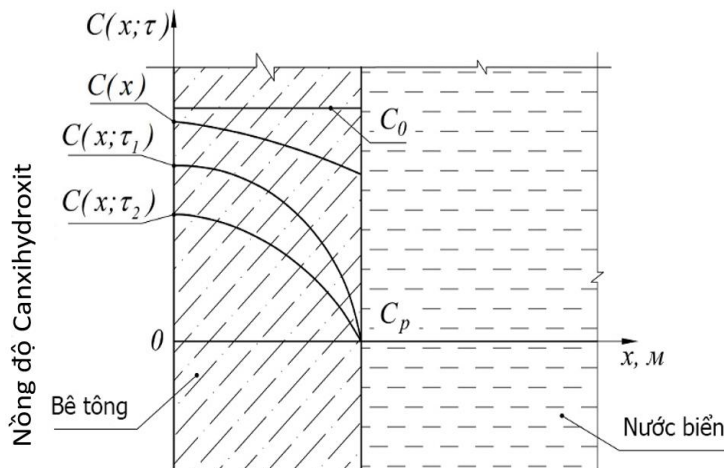
$$C(x, 0) = C_0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$\beta [C(\delta, t) - C_p] = -k \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \quad (4)$$

Trong đó: C_0 - lượng ban đầu của Canxi hydroxit tự do trong BT, tính theo khối lượng Canxi oxit, kg CaO/kg bê tông; $C(x, t)$ - lượng Canxi hydroxit tự do trong bê tông tại thời điểm t theo tọa độ x , tính theo khối lượng Canxi oxit, kg CaO/kg bê tông; k - hệ số khuếch tán Canxi hydroxit trong bê tông, m^2/s ; β - hệ số khuếch tán Canxi hydroxit trong môi trường chất lỏng, m/s ; C_p là hàm lượng cân bằng của thành phần được chuyển trên bề mặt chất rắn; kg CaO/kg bê tông; δ - chiều dày của kết cấu, m.

Biểu diễn phương trình $C(x, t)$ bằng hàm số theo sự phân bố hàm lượng Canxi hydroxit theo chiều dày kết cấu BT theo Hình 1 (t_i là thời điểm thứ i). Trong đó, hàm lượng Canxi hydroxit phân



Hình 1. Sơ đồ quá trình khuếch tán Canxi hydroxit. (Fedosov và nnk, 2021).

bố trong BT được biểu diễn là các hàm bậc 2 có dạng:

$$C(x, t_i) = a_{t_i}x^2 + b_{t_i}x + c_{t_i} \quad (5)$$

Từ đây, cần tìm giá trị của các hệ số từ mối quan hệ phụ thuộc giữa hàm lượng $C(x, t_i)$ vào tọa độ, nghĩa là tại thời điểm t_i giá trị Canxi hydroxit chuyển dời trong BT tại các điểm x_1, x_2, x_3 được coi là giá trị trung bình hàm lượng Canxi hydroxit trong mỗi lớp bê tông và được biểu diễn dưới các hàm số bậc 2 (Fedosov và nnk. 2017, 2018):

$$C(x_1, t_i) = a_{t_i}x_1^2 + b_{t_i}x_1 + c_{t_i} \quad (6)$$

$$C(x_2, t_i) = a_{t_i}x_2^2 + b_{t_i}x_2 + c_{t_i} \quad (7)$$

$$C(x_3, t_i) = a_{t_i}x_3^2 + b_{t_i}x_3 + c_{t_i} \quad (8)$$

Giải hệ 3 phương trình (6), (7), (8), ta thu được giá trị các hệ số $a_{t_i}, b_{t_i}, c_{t_i}$.

Vế trái của phương trình khuếch tán Canxi hydroxit trong BT là đạo hàm bậc nhất của hàm lượng của thành phần được vận chuyển theo thời gian, vậy ta có (Fedosov và nnk. 2017, 2018):

$$\frac{\partial C(x_j, t_i)}{\partial t} = \frac{C(x_j, t_i) - C(x_j, t_{i-1})}{\Delta t} \quad (9)$$

Vế phải của phương trình (1) là đạo hàm bậc 2 của hàm lượng Canxi hydroxit theo chiều sâu trong BT. Đạo hàm bậc 2 phương trình (5) ta có:

$$\frac{\partial^2 C(x_j, t_j)}{\partial x^2} = 2a_{t_i} \quad (10)$$

Vậy hệ số khuếch tán trong BT tại thời điểm t_{i+1} được xác định:

$$k(x_j, t_{i+1}) = \frac{2C(x_j, t_i) - C(x_j, t_{i-1}) - C(x_j, t_{i+1})}{2\Delta t(a_{t_i} - aa_{t_{i+1}})} \quad (11)$$

Như vậy, thông qua hàm lượng Canxi hydroxit trong BT tại các thời điểm khác nhau khi ngâm mẫu trong môi trường chất lỏng, ta xác định được hệ số khuếch tán Canxi hydroxit trong BT tại thời điểm đó.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Lựa chọn vật liệu thí nghiệm

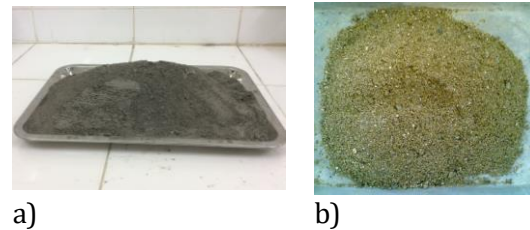
Nghiên cứu này đã sử dụng cấp phối BT như trong Bảng 1 dựa trên phương pháp thể tích tuyệt

đối. Thành phần chính của BT là xi măng và cát có tính chất cơ lý theo quy định về vật liệu dùng cho BT (Hình 2).

Bảng 1. Cấp phối BT làm thí nghiệm.

TT	Mẫu	Thành phần cho 1 m ³ BT (kg)		
		XM	C	N
1	M1	415	1654	190

Trong đó: XM - khối lượng xi măng; C - khối lượng cát; N - khối lượng nước.



Hình 2. Vật liệu dùng trong thí nghiệm

a - Xi măng, b - Cát.

Cường độ nén của BT tại các ngày tuổi được xác định bằng hệ thống máy nén uốn tự động Advantest 9 tại phòng thí nghiệm Bộ môn Xây dựng Công trình Ngầm, Trường Đại học Mỏ - Địa chất (Hình 3).



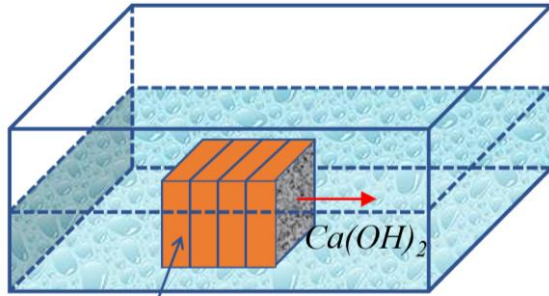
Hình 3. Thí nghiệm nén mẫu BT

Phân tích kết quả nén mẫu BT tại 3; 7; 28 ngày tuổi cho kết quả được tổng hợp trong Bảng 2.

Bảng 2. Cường độ chịu nén của BT.

TT	Mẫu	R _{bt} (MPa)		
		R ₃	R ₇	R ₂₈
1	M1	10,5	20,1	28,7

Để thử nghiệm, các mẫu BT có kích thước 50x50x50 mm theo GOST 27677-88 (2021) sau khi đủ 28 ngày tuổi đã được ngâm trong môi trường nước biển nhân tạo có chứa 5% NaCl (Hình 4). Các bề mặt của mẫu được bảo vệ bằng lớp sơn chống thấm, để lại một mặt không được bảo vệ cho Canxi hydroxit khuếch tán vào bề chứa dung dịch (Hình 5 và 6).



Mẫu bê tông

Hình 4. Sơ đồ thí nghiệm xác định hệ số khuếch tán canxi hydroxit theo chiều dày kết cấu BT (Ngo, 2022).



Hình 5. Quá trình quét sơn chống thấm và chuẩn bị mẫu thí nghiệm.



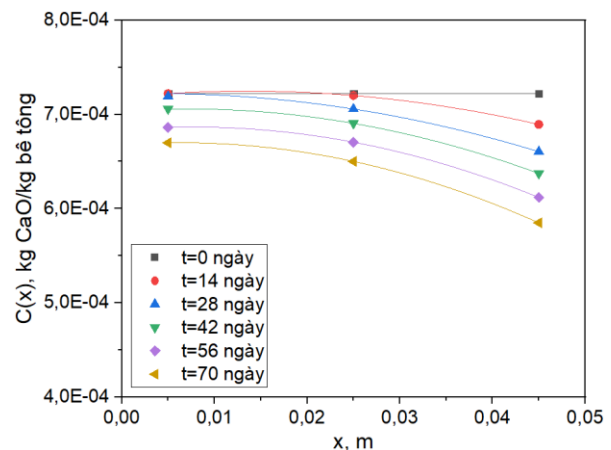
Hình 6. Mẫu BT sau khi quét sơn chống thấm.

3.3. Phân tích hàm lượng Canxi hydroxit và xác định hệ số khuếch tán

Tiến hành ngâm mẫu trong nước có hàm lượng 5% NaCl, sau đó xác định hàm lượng Canxi hydroxit trong mẫu BT tại các mốc thời điểm cách nhau một khoảng thời gian $\Delta t = 14$ ngày bằng cách nghiền BT thành bột mịn, sau đó nung nóng lượng mẫu có khối lượng 0,255 g từ 25÷1150 °C và xác định khối lượng nước bay hơi trong suốt quá trình gia nhiệt.

Khi đó, Hàm lượng Canxi hydroxit trong BT được xác định thông qua hàm lượng CaO khi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ phân huỷ ở nhiệt độ từ 500÷600 °C.

Hàm lượng Canxi hydroxit tại các vị trí trên mẫu BT theo chiều sâu mẫu tại 3 vị trí $x=0,5$ cm; 2,5 cm; 4,5 cm được thể hiện trong Hình 7. Phương trình biểu hiện hàm lượng Canxi hydroxit trong BT tại các thời điểm 0; 14; 28; 42; 56 và 70 ngày ngâm mẫu (Bảng 3), được coi như các phương trình đường cong bậc 2 (Fedosov và nnk. 2017, 2018).



Hình 7. Kết quả hàm lượng Canxi hydroxit đối với mẫu BT M1.

Bảng 3. Phương trình biểu hiện hàm lượng Canxi hydroxit trong mẫu BT.

Thời gian (ngày)	Phương trình biểu diễn hàm lượng Canxi hydroxit theo thời gian
0	$C_0 = 7,22107 \cdot 10^{-4} - 1,64316 \cdot 10^{-17} \cdot x + 2,34737 \cdot 10^{-16} \cdot x^2$
14	$C_{14} = 7,18134 \cdot 10^{-4} + 9,7359 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0,03582 \cdot x^2$

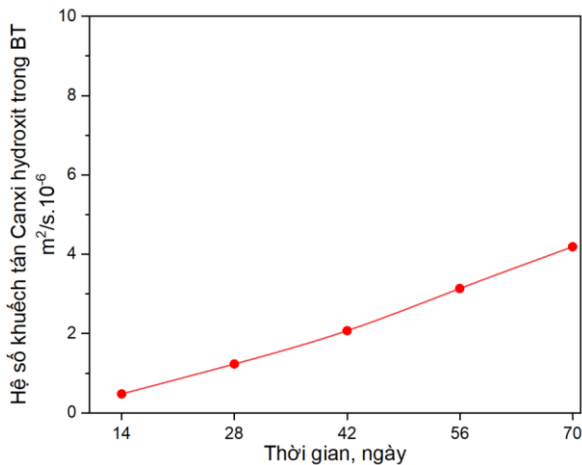
28	$C_{28} = 7,1746 * 10^{-4} + 5,28696 * 10^{-4} * x - 0,03986 * x^2$
42	$C_{42} = 7,0368 * 10^{-4} + 6,57099 * 10^{-4} * x - 0,04734 * x^2$
56	$C_{56} = 6,83573 * 10^{-4} + 8,19799 * 10^{-4} * x - 0,05358 * x^2$
70	$C_{70} = 6,67769 * 10^{-4} + 7,15536 * 10^{-4} * x - 0,05677 * x^2$

Giải phương trình vi phân (1) bằng phần mềm Matlab, hoặc công thức (11) sẽ thu được giá trị hệ số khuếch tán Canxi hydroxit trong BT theo thời gian (Bảng 4).

Bảng 4. Hệ số khuếch tán Canxi hydroxit trong BT.

Mẫu	Hệ số khuếch tán Canxi hydroxit trong BT, m ² /s.10 ⁻⁶				
	t, ngày				
	14	28	42	56	70
M1	0,474	1,232	2,072	3,134	4,188

Biểu diễn nồng độ Canxi hydroxit trong BT theo thời gian (Hình 8) có thể thấy rằng, hệ số khếch tán Ca(OH)₂ trong BT tăng theo thời gian ngâm mẫu.



Hình 8. Kết quả hàm lượng Canxi hydroxit đối với mẫu BT M1.

4. Thảo luận

Bằng cách xác định hàm lượng Canxi hydroxit trong BT được ngâm trong nước có chứa 5% NaCl, thông qua quá trình Canxi hydroxit phân huỷ ở nhiệt độ 500÷600 °C, xác định được hệ số khuếch tán Canxi hydroxit trong BT theo thời gian.

So sánh với các kết quả thí nghiệm trước đây, với mỗi loại BT khác nhau sẽ có hệ số khuếch tán Canxi hydroxit trong nước có chứa 5% NaCl là khác nhau. Cụ thể khi thí nghiệm với BT có cường độ nén thấp (25 MPa), hệ số khuếch tán Canxi hydroxit tăng lên theo thời gian ngâm mẫu. Trong nghiên cứu các loại BT cường độ cao, Ngo (2022) đã chỉ ra rằng hệ số này tăng trong thời gian đầu của quá trình ngâm mẫu và giảm dần đến giá trị cân bằng theo thời gian. Để giải thích về sự khác biệt này có thể hiểu rằng các loại BT có cường độ nén thấp thường có độ đặc chắc kém hơn rất nhiều so với BT cường độ cao. Trong quá trình ngâm mẫu BT trong môi trường 5% NaCl, mức độ thẩm cao hơn rất nhiều so với BT cường độ cao, dẫn đến quá trình khuếch tán tăng khi thời gian ngâm mẫu tăng. Trong khi với BT cường độ cao, mức độ thẩm rất hạn chế, quá trình khuếch tán gần như chỉ xảy ra ở lớp ngoài của BT.

Bên cạnh mất khối lượng Ca(OH)₂ còn có thể do quá trình Cacbonat hoá khi bê tông tiếp xúc với môi trường không khí do nước biển lên xuống. Trên thực tế rất khó tách biệt được khuếch tán Ca(OH)₂ vào dung dịch và hiện tượng Cacbonat hoá. Do vậy, để tăng độ chính xác, hệ số khuếch tán Ca(OH)₂ nên được xác định thông qua thí nghiệm đối với các mẫu bê tông làm việc theo chu kỳ khô ướt trùng với chu kỳ thủy triều của vùng biển nước ta để có đánh giá được tổng hợp các quá trình này.

5. Kết luận

Trong kết cấu BT làm việc ở môi trường nước biển hệ số khuếch tán Canxi hydroxit không phải giá trị tuyệt đối theo thời gian. Tại mỗi mốc thời gian, giá trị của hệ số khuếch tán là khác nhau.

Nghiên cứu này đã thực hiện thí nghiệm để so sánh về sự khác nhau của hệ số khuếch tán Canxi hydroxit theo thời gian trong các môi trường tương tự nước biển. Hệ số khuếch tán Canxi hydroxit từ BT ra môi trường chất nước biển thay đổi theo thời gian. Do vậy, cần xác định thêm hàm lượng Canxi hydroxit trong thời gian dài ngâm

mẫu để xác định chính xác hơn hệ số khuếch tán. Khi biết được hệ số khuếch tán Ca(OH)_2 , có thể đánh giá được sự suy giảm hàm lượng Ca(OH)_2 trong bê tông từ đó đánh giá được sự suy giảm cấu trúc, cường độ của bê tông trong vòng đời làm việc của công trình, qua đó có thể dùng làm thông số xác định tuổi thọ của kết cấu BT. Bên cạnh đó, cần thực hiện các nghiên cứu xác định hệ số khuếch tán Ca(OH)_2 cho cấp phối bê tông cường độ cao hơn trong điều kiện Việt Nam, ví dụ 50MPa, để phù hợp với các loại bê tông sử dụng trong công trình biển.

Bên cạnh đó, một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng, ảnh hưởng của quá trình khuếch tán Ca(OH)_2 ảnh hưởng lớn đến quá trình thâm nhập của ion clo trong môi trường biển. Tuy nhiên, hiện nay khi dự báo tuổi thọ công trình bê tông cốt thép với ion clo, thường hệ số thẩm và khuếch tán ion clo thường là hằng số. Từ kết quả nghiên cứu này cho thấy do quá trình mất Ca(OH)_2 cấu trúc của bê tông thay đổi theo thời gian, do đó việc xác định tuổi thọ công trình cũng cần kể đến đồng thời cả quá trình xâm nhập ion clo và quá trình mất Ca(OH)_2 . Đánh giá ảnh hưởng đồng thời của quá trình mất khối lượng Ca(OH)_2 và xâm nhập của ion clo đến tuổi thọ công trình cũng cần được nghiên cứu và làm rõ để đánh giá chính xác tuổi thọ công trình làm việc trong môi trường biển.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Mỏ Địa chất, Khoa Xây dựng, đề tài KHCN cấp cơ sở mã số T23-43 đã cấp kinh phí thực hiện thí nghiệm trong bài báo.

Đóng góp của tác giả

Ngô Xuân Hùng - Viết bản thảo bài báo, làm thí nghiệm; Bulgakov B. I. - Phương pháp luận, kiểm chứng.

Tài liệu tham khảo

- Tran, D. (2005). *Application of the Tang Luping-Olof Nilsson model to investigate the diffusion of Cl- ions in concrete and study the effect of additives on this process*. PhD Thesis, University of Science - Vietnam National University, Hanoi, Vietnam, 118 pages.
- Nguyen, M. P. (2007). *Theory of Corrosion and Corrosion Prevention of Reinforced Concrete in*

Construction. Construction Publishing House, Hanoi, 95 pages.

- Truong, H. C., Tran, V. Q., Nguyen, V. P., Huunh, Q. (2008). Study and Survey of the Current Corrosion Deterioration of Reinforced Concrete Structures and the Ingressibility of Coastal Environment in Da Nang City. *Journal of Science and Technology, University of Da Nang*, 6(29), 1-7.
- Dong, K. H., Duong, T. T. H. (2011). The Corrosion Status of Reinforced Concrete Structures and Anti-corrosion Solutions for Reinforced Concrete Structures in the Marine Environment of Vietnam. *Journal of Hydraulic Engineering and Environment*, 11(2011), 44-49.
- Dao, V. D. (2014). *Prediction of Service Life of Reinforced Concrete Coastal Bridges in Vietnam Due to Chloride Ingress*. PhD Thesis, University of Transport and Communications, Vietnam, 167 pages.
- Pham, D. T. (ed.)(2020). *Developing a Method for Predicting the Strength and Service Life of Concrete Structures in Marine Environments Using the Average Structure Model*. Report on Research Project with Code: B2019-MDA-06, Ha Noi University of Mining and Geology.
- Bộ Xây dựng (2006). *Các tính chất của xi măng xi. T/C thông tin Khoa học Kỹ thuật xi măng, số 1/2006*.
- Nguyen, T. B. (2012). Causes of corrosion in concrete and reinforced concrete structures in hydraulic engineering projects - Preventive solutions. *Journal of Hydraulic Engineering and Technology*, 8(2012).
- Choi, Y. S., Yang, E. I. (2013). Effect of calcium leaching on the pore structure, strength, and chloride penetration resistance in concrete specimens. *Nuclear Engineering and Design* 259(6/2013), 126-136.
- Yang, H., Che, Y., Leng, F. (2018). Calcium leaching behavior of cementitious materials in hydrochloric acid solution. *Sci Rep* 8, 8806 (2018), 126-136.
- Fedosov S. V., Roumyantseva V. E., Krasilnikov I. V., Narmania B. E. (2017). Formulation of

- mathematical problem describing physical and chemical processes at concrete corrosion. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2(13), 45-49.
- Fedosov S. V., Roumyantseva V. E., Krasilnikov I. V., Konovalova V. S. (2018). Physical and mathematical modelling of the mass transfer process in heterogeneous systems under corrosion destruction of reinforced concrete structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Novosibirsk, 2018, 012039.
- Fedosov S. V., Rumyantseva V. E., Krasilnikov I. V. (2021). *Methods of mathematical physics in applications to the problems of concrete corrosion in aggressive liquid environments*. M.: ACB, Moscow, 244 pages.
- GOST 27677-88, (2021). *Corrosion protection in construction. Concrete. General requirements for testing*. Russian technical standard, 7 pages.
- Ngo, X. H. (2022). *Corrosion-resistant concrete with Modified Structure for Marine Structures*. PhD Thesis, Moscow State University of Civil Engineering, Russia, 146 pages.
- Ngo. X. H. (ed.) (2023). *Determination of the mass conductivity coefficient of calcium hydroxides in concrete for marine structures*. *Journal "Vestnik GGTU. Technical Sciences"*, T. XIX, No. 4(34), 2023. 76-84.