

# ĐÁNH GIÁ ĐỘ THẨM CLORUA, HỆ SỐ SUY GIẢM KHUẾCH TÁN CLORUA VÀ DỰ BÁO TUỔI THỌ CỦA KẾT CẤU BÊ TÔNG Ở MÔI TRƯỜNG BIỂN VỚI BÊ TÔNG HẠT NHỎ CHỨA TRO BAY VÀ XỈ LÒ CAO

## ASSESSMENT OF CHLORIDE PERMEABILITY AND CHLORIDE DIFFUSION REDUCTION COEFFICIENT AND PREDICTION OF THE SERVICE LIFE OF CONCRETE STRUCTURES IN MARINE ENVIRONMENTS WITH FINE-GRAINED CONCRETE CONTAINING FLY ASH AND BLAST FURNACE SLAG

Hồ Văn Quân<sup>1\*</sup>, Nguyễn Tấn Khoa<sup>1</sup>, Nguyễn Thanh Sang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

<sup>2</sup>Trường Đại học Giao thông Vận tải, Hà Nội, Việt Nam

\*Tác giả liên hệ / Corresponding author: hvquan@ute.udn.vn

(Nhận bài / Received: 31/8/2023; Sửa bài / Revised: 03/10/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 09/10/2023)

**Tóm tắt** - Kết cấu bê tông (KCBT) ở môi trường biển phải chịu xâm thực mạnh mẽ từ nước biển, trong đó độ thẩm clorua thấp là một trong những tiêu chí bắt buộc để nâng cao tuổi thọ sử dụng (TTSD) của KCBT. Bài báo này phát triển hai loại bê tông hạt nhỏ (BTHN) có cường độ nén ở 28 ngày là 50 và 60 MPa, sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn (XL) và tro bay (TB) thay thế một phần xỉ măng, đánh giá độ thẩm clorua, xác định hệ số suy giảm khuếch tán clorua (m) và dự báo TTSD của KCBT ở môi trường biển. Kết quả cho thấy BTHN sử dụng 40%XL (XL) và 35%XL+20%TB (XLTB) làm giảm đáng kể độ thẩm clorua, hệ số m các BTHN đối chứng (ĐC), XL và XLTB lần lượt là 0,40, 0,48 và 0,60. TTSD của KCBT sử dụng BTHN XL và XLTB tăng khoảng 2,0 lần và 4,5-5,0 lần so với BTHN ĐC. Các bê tông XL và XLTB phù hợp cho công trình biển.

**Từ khóa** - Xi lò cao nghiền mịn; tro bay; độ thẩm clorua; hệ số suy giảm khuếch tán clorua; tuổi thọ sử dụng

### 1. Đặt vấn đề

Môi trường biển đòi hỏi phải sử dụng bê tông có độ thấm rất thấp để đảm bảo các kết cấu bê tông (KCBT) có độ bền lâu dài và tuổi thọ sử dụng cao. Thành phần hỗn hợp cũng như loại chất kết dính ảnh hưởng đến tính thấm của bê tông, việc sử dụng các phụ gia khoáng (PGK) như xỉ lò cao nghiền mịn (XL), tro bay (TB), muội silic (MS), ... được biết là làm giảm tính thấm của bê tông [1-5]. Để bê tông có tính thấm thấp thì ngoài việc sử dụng các PGK, cần phải sử dụng lượng nước thấp và phụ gia siêu dẻo. Chính vì vậy, đối với bê tông sử dụng cho KCBT ở môi trường biển thường yêu cầu tỉ lệ nước-chất kết dính (N/CKD) thấp. TCVN 12041:2017 [6] qui định tỉ lệ N/CKD tối đa là 0,45-0,40, cường độ nén trung bình tối thiểu là 45 MPa, các tiêu chuẩn quốc tế cũng qui định rất chặt chẽ, chẳng hạn tiêu chuẩn BS EN 206-1:2013 [7] qui định tỉ lệ N/CKD tối đa là 0,45, cường độ nén trung bình tối thiểu là 45 MPa; tiêu chuẩn Canada CSA A23.1:2004 [8] qui định tỉ lệ N/CKD tối đa là 0,37-0,40, độ thẩm clorua nhỏ hơn 1500 Culong ở 56 ngày.

Bê tông hạt nhỏ (BTHN) còn gọi là bê tông cát, là loại bê tông mới có tính chất cơ học tương đương với bê tông

**Abstract** - Concrete structures (CS) in marine environments are strongly eroded by seawater, in which low chloride permeability is one of the mandatory criteria to increase the service life (SL) of CS. Ground granulated blast furnace slag (GS), fly ash (FA) were used to replace cement to develop two types of fine-grained concrete (FGC) with compressive strength of 50 and 60 MPa, evaluate their effects on chloride permeability and chloride diffusion reduction coefficient (m) and predict the SL of CS in marine environments. The results show that FGCs using 40%GS (GS) and 35%GS+20%FA (GSFA) significantly reduces chloride permeability, the m coefficients of control FGC (C), GS and GSFA are 0.40, 0.48 and 0.60 respectively. The SL of CS with GS and GSFA increased about 2.0 and 4.5-5.0 times compared with that of C. GS and GSFA concretes are suitable for marine construction.

**Key words** - Ground granulated blast furnace slag; fly ash; chloride permeability; chloride diffusion decay coefficient; service life

thường (sử dụng cốt liệu thô đá dăm) [9, 10]. BTHN thường sử dụng cốt liệu là cát (không có đá dăm hoặc có đá dăm cỡ hạt 4,75-9,5 mm không quá 30% cát), xỉ măng, nước, chất độn và PGK [11]. Các PGK như TB, XL, bột đá vôi, ... và các puzolan tự nhiên thường được sử dụng làm chất độn để sản xuất BTHN [12]. Trên thế giới, BTHN thường được sử dụng ở những quốc gia thiếu cốt liệu thô, phong phú nguồn cát mịn như Pháp, Nga, Đức, Algeria, ... Với các tính chất cơ học và độ bền tương tự như bê tông thường nên BTHN được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau như công trình dân dụng, hạ tầng, giao thông và công trình biển. Hiện nay, đã có nhiều công trình nghiên cứu về BTHN [9-12], các nghiên cứu này đều khẳng định các tính chất của BTHN gần như bê tông thường.

Nhu cầu sử dụng cát sông (CS) để sản xuất bê tông xây dựng công trình ngày càng lớn do sự phát triển mạnh của cơ sở hạ tầng. Việc khai thác cát trên sông đã gây ra nhiều vấn đề nghiêm trọng đến sinh thái và môi trường như giảm khả năng chứa nước, mất thảm thực vật, ô nhiễm nguồn nước và đặc biệt là gây xói mòn, trượt lở bờ sông, thay đổi dòng chảy và lũ lụt [2, 13]. Đối với bê tông thường, thường phải sử dụng CS hạt thô (mô đun độ lớn  $M_{dl} \geq 2,0$ ) mà ít

<sup>1</sup> The University of Danang - University of Technology and Education, Danang, Vietnam (Ho Van Quan, Nguyen Tan Khoa)

<sup>2</sup> University of Transport and Communications, Hanoi, Vietnam (Nguyen Thanh Sang)

khí sử dụng cát hạt mịn ( $M_{dl} < 2,0$ ). Tuy nhiên, đối với BTHN, do làm nhỏ hóa đường kính của các hạt cốt liệu nên hoàn toàn có thể sử dụng cát mịn (CM) thay cho CS [11]. Các nguồn CM ở nước ta hiện rất dồi dào và hầu như chưa được khai thác trong lĩnh vực sản xuất bê tông [2, 13], vì vậy việc sử dụng CM thay cho CS trong BTHN sẽ hạn chế khai thác và sử dụng CS, góp phần bảo vệ tài nguyên thiên nhiên và môi trường.

Nghiên cứu này phát triển hai loại BTHN có cường độ nền trung bình ở 28 ngày là 50 và 60 MPa, trong thành phần vật liệu sử dụng CM thay cho CS, XL và TB thay thế một phần XM, định hướng ứng dụng cho công trình biển. Độ thấm clorua, hệ số suy giảm khuếch tán clorua và tuổi thọ sử dụng của các KCBT là những chỉ tiêu chính được đánh giá.

## 2. Vật liệu chế tạo và thiết kế thành phần bê tông

Chất kết dính: sử dụng xi măng (XM) poóc lăng hỗn hợp PCB40 thỏa mãn TCVN 6260:2009; PGK gồm TB Vĩnh Tân loại F và XL S95 Hòa Phát phù hợp với TCVN 10302:2014 và TCVN 11586:2016. Thành phần hóa học của XM, XL và TB được trình bày trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Thành phần hóa học của XM, TB và XL

Thành phần	Xi măng	Tro bay	Xi lò cao
CaO (%)	50,12	4,13	39,20
SiO <sub>2</sub> (%)	24,12	55,84	35,18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4,47	4,95	0,32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	6,84	21,98	12,36
MgO (%)	4,23	0,40	8,26
K <sub>2</sub> O (%)	0,74	3,55	0,68
Na <sub>2</sub> O (%)	0,68	0,19	0,39
SO <sub>3</sub> (%)	1,21	1,01	0,02
Cl <sup>-</sup> (%)	0,017	0,001	0,008
MKN (%)	6,37	6,58	0,00

Cốt liệu: Sử dụng CM ở huyện Mộ Đức, Quảng Ngãi có  $M_{dl} = 1,71$ , khối lượng riêng (KLR) = 2,64 g/cm<sup>3</sup>, hàm lượng ion clo Cl<sup>-</sup> là 0,0365%; cát nghiền (CN) ở mỏ đá Trì Bình, Bình Sơn, Quảng Ngãi có  $M_{dl} = 3,20$ , KLR = 2,71 g/cm<sup>3</sup>, hàm lượng clo Cl<sup>-</sup> là 0,0013%, các tính chất khác của CM và CN phù hợp với TCVN 7570:2006. Thành phần hạt của CM và CN không thỏa mãn loại cát thô theo TCVN 7570:2006, tuy nhiên khi phối hợp 65%CN và 35%CM thì thỏa yêu cầu. Thành phần hạt của CM và CN được trình bày trong Bảng 2.

**Bảng 2.** Thành phần hạt của cát mịn và cát nghiền

Mắt sàng (mm)	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,075
Lượng lọt sàng (%)	CN	100	71,73	48,96	36,02	19,11	3,61
	CM	100	99,83	97,07	80,4	36,99	14,36
	65%CN+35%CM	100	81,57	65,80	51,55	25,37	7,37
	TCVN 7570	95-100	80-100	50-85	25-60	5-30	0-10

Phụ gia siêu dẻo (SD): Sử dụng SD Master Glenium SKY 8713 của Công ty Master Builders Solutions Việt Nam phù hợp với ASTM C494 loại F.

Thành phần vật liệu của các loại BTHN được thiết kế

theo phương pháp thể tích đặc lớn nhất [14]. Hai loại BTHN có tỉ lệ N/CKD tương ứng là 0,32 và 0,36, mỗi BTHN gồm 3 loại: bê tông đối chứng (ĐC) không sử dụng PGK, bê tông sử dụng 40%XL (XL) và bê tông sử dụng 35%XL+20%TB (XLTB). Thành phần vật liệu, độ sụt của các loại BTHN được trình bày trong Bảng 3.

**Bảng 3.** Thành phần của các loại BTHN

Vật liệu	N/CKD = 0,32			N/CKD = 0,36		
	32ĐC	32XL	32XLTB	36ĐC	36XL	36XLTB
XM (kg/m <sup>3</sup> )	580	348	261	550	330	247
TB (kg/m <sup>3</sup> )	0	0	116	0	0	110
XL (kg/m <sup>3</sup> )	0	232	203	0	220	193
N (lít/m <sup>3</sup> )	186	186	186	198	198	198
CN (kg/m <sup>3</sup> )	1039	1039	1039	1039	1039	1039
CM (kg/m <sup>3</sup> )	561	545	506	563	549	512
SD (kg/m <sup>3</sup> )	11,6			8,7		
Độ sụt (cm)	2,5	7,5	14,0	3,0	8,5	16,0
R <sub>n28</sub> (MPa)	65,2	66,6	62,0	57,1	58,9	54,8

## 3. Chế tạo mẫu và phương pháp thí nghiệm

Các mẫu trụ bê tông kích thước 150x300 mm và 100x200 mm được đúc và dưỡng hộ theo TCVN 3105:2022 cho đến ngày thí nghiệm. Các mẫu 150x300 mm dùng để xác định cường độ nén, các mẫu 100x200 mm dùng để xác định độ thấm clorua.

Cường độ nén ở 28 ngày ( $R_{n28}$ ) của các BTHN được xác định theo TCVN 3118:2022. Cường độ nén của các BTHN ở 28 ngày là giá trị trung bình của 3 mẫu và được trình bày trong Bảng 3.

Độ thấm clorua của BTHN được thí nghiệm trên các mẫu trụ đường kính 100 mm, dày 50 mm được cắt ra từ mẫu trụ 100x200 mm theo ASTM C1202 [15]. Trước khi thí nghiệm, các mẫu bê tông được xử lý quét chống thấm và hút chân không theo theo qui định. Kết quả độ thấm clorua của mỗi bê tông là giá trị trung bình của 3 mẫu.

## 4. Tính toán tuổi thọ của các kết cấu bê tông cốt thép ở môi trường biển

Theo TCVN 12041:2017 [6], phương trình thiết kế dự báo tuổi thọ của KCBT cốt thép (thời gian bắt đầu ăn mòn cốt thép) là:

$$(C_s - C_0) \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{\sqrt{4 \cdot D_a(t) \cdot t}} \right) \right) + C_0 = C_{Cr} \quad (1)$$

Hệ số khuếch tán clorua biểu kiến  $D_a(t)$  phụ thuộc và suy giảm theo thời gian như sau [3, 16, 17]:

$$D_a(t) = D_{a28} \cdot \left( \frac{t_{28}}{t} \right)^m \quad (2)$$

Với  $D_{a28}$ ,  $D_a(t)$  (mm<sup>2</sup>/năm) - hệ số khuếch tán clorua biểu kiến của bê tông ở tuổi tiêu chuẩn  $t_{28} = 28$  ngày (0,0767 năm) và ở thời điểm  $t$  (năm).

Khi xét đến điều kiện môi trường tiếp xúc ( $k_{en}$ ), điều kiện bảo dưỡng bê tông ( $k_{cu}$ ), điều kiện thi công bê tông ngoài hiện trường ( $k_{co}$ ) và sự suy giảm khuếch tán clorua theo thời gian chỉ có giá trị tối đa đến 25 năm. Phương trình

(2) được viết lại như sau [16]:

$$D(t) = D_{a28} \cdot k_{cu} \cdot k_{en} \cdot k_{co} \cdot \left(\frac{t_{28}}{t}\right)^m \quad \text{Khi } t \leq 25 \text{ năm} \quad (3.a)$$

$$D(t) = D_{a28} \cdot k_{cu} \cdot k_{en} \cdot k_{co} \cdot \left(\frac{t_{28}}{25}\right)^m \quad \text{Khi } t > 25 \text{ năm} \quad (3.b)$$

Trong đó:  $x$  – chiều dày lớp bê tông bảo vệ (LBTBV) (mm);  $C_0$  – hàm lượng clorua ban đầu tại bề mặt cốt thép trong bê tông (% khối lượng bê tông) kể cả trong các nguyên liệu;  $\text{erf}$  – hàm sai số;  $t$  – thời gian bắt đầu ăn mòn cốt thép của KCBT (năm);  $C_{Cr}$  – nồng độ clorua tới hạn gây ăn mòn cốt thép (% khối lượng bê tông);  $C_s$  – nồng độ clorua bề mặt KCBT (% khối lượng bê tông);  $m$  – hệ số suy giảm khuếch tán clorua của bê tông.

H.V. Quân và cộng sự [18] đã xác định được nồng độ clorua bề mặt bê tông theo thời gian với các công trình đang khai thác ven biển ở khu vực miền Trung như sau:

- Đối với vùng khí quyển biển cách mép nước biển 100 m:

$$C_s(t) = 0,128 \cdot t^{0,476} \quad (4)$$

- Đối với vùng thủy triều:

$$C_s(t) = 0,291 \cdot t^{0,426} \quad (5)$$

Nồng độ clorua bề mặt bê tông phụ thuộc chủ yếu vào điều kiện và thời gian phơi nhiễm, phụ thuộc không đáng kể vào chất lượng của bê tông, đặc biệt khi thời gian phơi nhiễm tăng lên thì sự phụ thuộc vào chất lượng bê tông càng không đáng kể [19, 20, 21]. Do đó, có thể sử dụng công thức (4) và (6) để tính tuổi thọ cho KCBT với các BTHN. Thay các công thức (3), (4) và (5) vào (1), rút ra được thời gian bắt đầu ăn mòn cốt thép ( $t_{bd}$ ) của các KCBT ở môi trường biển khi có xét đến dung sai của lớp bê tông bảo vệ  $\Delta x$  (khi thi công KCBT, chiều dày LBTBV  $x$  rất khó đảm bảo đúng như thiết kế mà thường bị sai lệch với một sai số cho phép  $\Delta x$ ) như sau:

- Đối với vùng khí quyển biển:

$$t_{bd} = \frac{(x - \Delta x)^2}{4D_{28}k_{En}k_{Cu}k_{Co} \cdot \left(\frac{t_{28}}{t}\right)^m \cdot \left(\text{erf}^{-1}\left(1 - \frac{C_{Cr} - C_0}{0,128 \cdot t^{0,476} - C_0}\right)\right)^2} \quad (6)$$

- Đối với vùng thủy triều:

$$t_{bd} = \frac{(x - \Delta x)^2}{4D_{28}k_{En}k_{Cu}k_{Co} \cdot \left(\frac{t_{28}}{t}\right)^m \cdot \left(\text{erf}^{-1}\left(1 - \frac{C_{Cr} - C_0}{0,291 \cdot t^{0,426} - C_0}\right)\right)^2} \quad (7)$$

Khi xét đến thời gian lan truyền ăn mòn, lấy thời gian lan truyền ăn mòn cốt thép trong các KCBT là 6 năm [17], tuổi thọ sử dụng của các KCBT là:

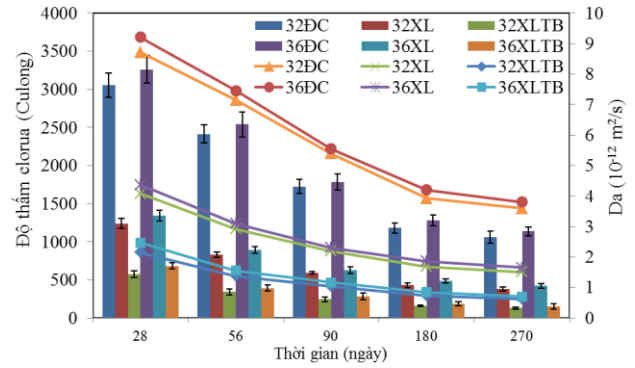
$$T_{sd} = t_{bd} + 6 \text{ (năm)} \quad (8)$$

## 5. Kết quả và thảo luận

### 5.1. Độ thấm clorua

Độ thấm clorua của các BTHN được thể hiện trên Hình 1. Kết quả cho thấy, độ thấm clorua của các BTHN có tỉ lệ N/CKD = 0,32 luôn thấp hơn so với BTHN có tỉ lệ N/CKD = 0,36. Nhóm BTHN ĐC có độ thấm clorua cao nhất ở các độ tuổi, tiếp theo là nhóm BTHN sử dụng

40%XL và thấp nhất là nhóm BTHN sử dụng kết hợp 35%XL+20%TB. Đối với nhóm BTHN ĐC, BTHN 32ĐC và 36ĐC có độ thấm clorua ở 28 ngày là 3054 và 3262 Culong, ở 270 ngày là 1062 và 1136 Culong. Đối với nhóm BTHN XL, BTHN 32XL và 36XL có độ thấm clorua ở 28 ngày là 1238 và 1345 Culong, ở 270 ngày là 397 và 420 Culong. Trong khi đó, BTHN 32XLTB và 36XLTB có độ thấm clorua ở 28 ngày là 576 và 781 Culong, ở 270 ngày là 131 và 152 Culong. Kết quả trên cho thấy, sự kết hợp của XL và TB trong BTHN tạo ra hiệu quả vượt trội về khả năng chống thấm clorua.



Hình 1. Độ thấm và hệ số khuếch tán clorua của các BTHN

Các bê tông XL và XLTB có độ thấm clorua thấp là do chế chèn khe và phản ứng puzolan của XL và TB, làm giảm độ rỗng, bổ sung lượng CSH theo thời gian, cải thiện cấu trúc vùng giao diện cốt liệu – đá xi măng, từ đó làm tăng độ đặc chắc và giảm độ thấm của bê tông [1, 2]. Ngoài ra, XL và TB có hàm lượng  $Al_2O_3$  cao nên có khả năng liên kết các ion clorua để tạo thành muối Friedel ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ ) cao hơn so với XM, điều này cũng góp phần làm giảm độ thấm clorua [22, 23].

### 5.2. Hệ số suy giảm khuếch tán clorua

Hệ số khuếch tán clorua biểu kiến  $D_a(t)$  của các bê tông có thể tính gần đúng theo các công thức thực nghiệm của Berke và Hicks [24] từ độ thấm clorua ở thời điểm  $t$  là  $Q_t$  như sau:

$$D_a(t) = 1,03 \times 10^{-14} (Q_t)^{0,84} \text{ (m}^2/\text{s)} \quad (9)$$

Kết quả tính đổi hệ số khuếch tán clorua  $D_a(t)$  của các bê tông được thể hiện trong Hình 1.

Từ hệ số  $D_a(t)$  và thời gian  $t$  trên Hình 1, hồi qui theo phương trình (2) dựa trên phương pháp bình phương bé nhất xác định được các hệ số  $m$ . Hệ số  $m$  của các BTHN 32ĐC, 32XL và 32XLTB được thể hiện trong Hình 2. Hệ số  $m$  của các BTHN khác được thực hiện tương tự, kết quả được thể hiện trong Bảng 4.

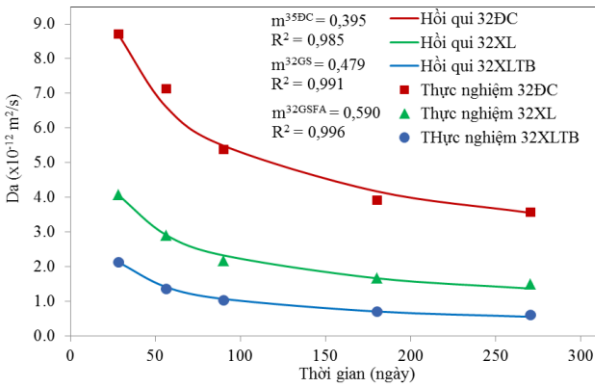
Theo Life 365 [17], hệ số suy giảm khuếch tán clorua  $m$  của bê tông phụ thuộc vào hàm lượng XL, TB và được xác định như sau:

$$M = 0,2 + 0,4 \left( \frac{TB}{50} + \frac{XL}{70} \right) \quad (10)$$

Kết quả tính hệ số  $m_{Life365}$  được ghi trong Bảng 4.

Ta thấy rằng, đối với nhóm BTHN ĐC, hệ số  $m$  lớn hơn so với hệ số  $m_{Life365}$  khoảng 100%; trong khi nhóm BTHN XL và XLTB có hệ số  $m$  lớn hơn  $m_{Life365}$  khoảng 11,63% và 7,14%. Sở dĩ hệ số  $m$  của các BTHN đều lớn

hơn so với  $m_{Life365}$  là do các loại bê tông này sử dụng xi măng hỗn hợp PCB, trong khi  $m_{Life365}$  tính theo (10) là áp dụng đối với xi măng poóc lăng PC. Kết quả trong Bảng 4 cho thấy, việc sử dụng XL và TB trong BTHN có tác dụng cải thiện hệ số m, trong đó TB cải thiện hệ số m lớn nhất, kết quả này có xu hướng tương đồng với nghiên cứu trước đây của H.V. Quân [1].



**Hình 2.** Hồi quy xác định hệ số suy giảm khuếch tán clorua theo thời gian m của BTHN

**Bảng 4.** Hệ số suy giảm khuếch tán clorua m của các loại BTHN

Loại BTHN	m	R <sup>2</sup>	m <sub>tb</sub>	m <sub>Life365</sub>	(m <sub>thực nghiệm</sub> - m <sub>Life365</sub> )/m <sub>Life365</sub>
32ĐC	0,395	0,981	0,40	0,20	+ 100%
36ĐC	0,400	0,985			
32XL	0,479	0,991	0,48	0,43	+ 11,63%
36XL	0,476	0,985			
32XLTB	0,590	0,996	0,60	0,56	+ 7,14%
36XLTB	0,602	0,993			

**5.3. Dự báo tuổi thọ của các kết cấu bê tông ở môi trường biển**

Trong nghiên cứu này, giả định tính toán tuổi thọ sử dụng cho các KCBT ở vùng biển Việt Nam trong 2 điều kiện: vùng khí quyển trên bờ cách mép nước biển 100 m và vùng thủy triều. Các thông số tính toán như sau:

-  $t_{28} = 28$  ngày (0,0767 năm);  $k_{Cu} = 1,0$  ứng với điều kiện bảo dưỡng 7 ngày;  $k_{En} = 1,0$  cho cả vùng khí quyển và vùng thủy triều;  $k_{Co} = 1,15$  ứng với BTHN chế tạo trong phòng thí nghiệm [16]; chọn  $\Delta x = 10$  mm.

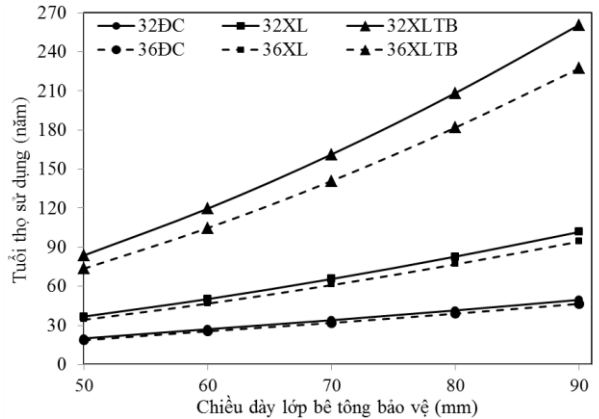
- Nồng độ clorua ban đầu trong bê tông  $C_0$ : Các vật liệu CN và CM chế tạo bê tông có hàm lượng clorua lần lượt là 0,0013% và 0,0365%. Căn cứ vào thành phần của các loại BTHN (Bảng 3), tính được nồng độ clorua ban đầu của các loại BTHN như sau:  $C_0^{32ĐC} = C_0^{36ĐC} = 0,0093\%$ ;  $C_0^{32XL} = C_0^{36XL} = 0,0091\%$ ;  $C_0^{32XLTB} = C_0^{36XLTB} = 0,0087\%$ ;

- Nồng độ clorua tới hạn gây ăn mòn cốt thép  $C_{CR}$ : đối với bê tông sử dụng hoàn toàn xi măng,  $C_{CR} = 0,45\%CKD$  [6], lấy  $C_{CR}^{32ĐC} = C_{CR}^{36ĐC} = 0,45\%CKD$  tương đương với  $C_{CR}^{32ĐC} = 0,111\%$  bê tông và  $C_{CR}^{36ĐC} = 0,105\%$  bê tông (khối lượng thể tích của bê tông khoảng  $2350 \text{ kg/m}^3$ ); đối với bê tông sử dụng (15-30%)PGK,  $C_{CR} = 0,35\%CKD$  [6], chọn  $C_{CR}^{32XL} = C_{CR}^{36XL} = 0,30\%CKD$ , tương đương với  $C_{CR}^{32XL} = 0,074\%$  bê tông,  $C_{CR}^{36XL} = 0,070\%$  bê tông; đối với bê tông sử dụng (35-50%)PGK,  $C_{CR} = 0,30\%CKD$  [6], chọn  $C_{CR}^{32XLTB} = C_{CR}^{36XLTB} = 0,20\%CKD$ , tương đương với

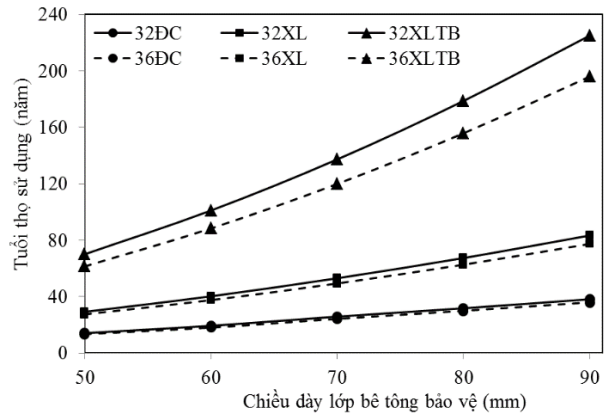
$C_{CR}^{32XLTB} = 0,049\%$  bê tông,  $C_{CR}^{36XLTB} = 0,047\%$  bê tông.

- Chiều dày LBTBV x: Đối với KCBT ở môi trường biển, chiều dày tối thiểu của LBTBV là  $x_{min} = 50$  mm [6], ở đây chiều dày LBTBV lấy trong phạm vi từ 50-90 mm.

Từ công thức (6), (7) và (8) tính được tuổi thọ sử dụng  $T_{sd}$  của các KCBT và được trình bày trong Hình 3 và 4.



**Hình 3.** Tuổi thọ sử dụng của các KCBT sử dụng BTHN ở vùng khí quyển



**Hình 4.** Tuổi thọ sử dụng của các KCBT sử dụng BTHN ở vùng thủy triều

Đối với BTHN ĐC, khi chiều dày LBTBV đạt đến giá trị tối đa là 90 mm,  $T_{sd}$  của KCBT ở vùng khí quyển đạt được lần lượt là 49,62 và 46,54 năm với BTHN 32ĐC và 36ĐC,  $T_{sd}$  của KCBT ở vùng thủy triều đạt được lần lượt là 38,23 năm và 36,00 năm. Như vậy cần thận trọng khi sử dụng các BTHN ĐC để thiết kế các KCBT ở môi trường biển với tuổi thọ tối thiểu là 50 năm, đặc biệt là ở vùng thủy triều.

Đối với BTHN XL, ở vùng khí quyển chỉ cần  $x = 60$  mm để KCBT đạt  $T_{sd}$  khoảng 50 năm (50,20 năm đối với BTHN 32XL và 46,70 năm đối với BTHN 36XL), cần  $x = 80$  mm để KCBT đạt  $T_{sd}$  khoảng 75 năm (82,80 năm đối với BTHN 32XL và 76,80 năm đối với BTHN 36XL). Ở vùng thủy triều, cần  $x = 70$  mm để KCBT đạt  $T_{sd}$  khoảng 50 năm (53,10 năm đối với BTHN 32XL và 49,40 năm đối với BTHN 36XL). Khi  $x_{tk} = 70$  mm,  $T_{sd}$  của KCBT với BTHN 32XL và 36XL ở vùng khí quyển đạt khoảng 65,60 năm và 60,90 năm, ở vùng thủy triều đạt khoảng 53,10 năm và 49,40 năm,  $T_{sd}$  của KCBT với BTHN XL tăng khoảng 2,0 lần so với BTHN ĐC.

Đối với BTHN XLTB, ở vùng khí quyển chỉ cần  $x_{min} = 50$  mm để KCBT đạt  $T_{sd}$  khoảng 75 năm (83,70 năm

đối với BTHN 32XLTB và 73,50 năm đối với BTHN 36XLTB), cần  $x = 70$  mm để KCBT đạt  $T_{sd}$  khoảng 150 năm (161,20 năm đối với BTHN 32XLTB và 140,80 năm đối với BTHN 36XLTB). Ở vùng thủy triều, cần  $x = 60$  mm để KCBT đạt  $T_{sd}$  khoảng 75 năm (101,10 năm đối với BTHN 32XLTB và 88,40 năm đối với BTHN 36XLTB). Khi  $x_{tk} = 70$  mm,  $T_{sd}$  của KCBT với BTHN 32XLTB và 36XLTB ở vùng khí quyển đạt khoảng 161,20 năm và 140,80 năm, ở vùng thủy triều đạt khoảng 137,30 năm và 119,90 năm,  $T_{sd}$  của KCBT với BTHN XLTB tăng khoảng 4,5-5,0 lần so với BTHN ĐC.

## 6. Kết luận

Một số kết luận được rút ra như sau:

Các BTHN sử dụng XL và TB làm giảm đáng kể độ thấm clorua so với BTHN không sử dụng PKG, sự kết hợp của XL và TB trong BTHN tạo ra hiệu quả vượt trội về khả năng chống thấm clorua.

XL và TB cải thiện đáng kể hệ số suy giảm khuếch tán clorua  $m$ , hệ số  $m$  của BTHN XL và XLTB cao hơn khoảng 1,2 lần và 1,5 lần so với BTHN ĐC.

Khi chiều dày LBTBV thiết kế  $x_{tk} = 70$  mm, tuổi thọ sử dụng của KCBT với BTHN chứa 40%XL tăng khoảng 2,0 lần, với BTHN chứa 35%XL+20%TB tăng khoảng 4,5-5,0 lần so với BTHN đối chứng.

BTHN ĐC có thể sử dụng để thiết kế các KCBT ở môi trường biển với tuổi thọ sử dụng là 50 năm ở vùng khí quyển. BTHN XL có thể sử dụng để thiết kế cho các KCBT ở môi trường biển có tuổi thọ sử dụng lên đến trên 75 năm ở vùng khí quyển và 50 năm ở vùng thủy triều. BTHN XLTB có thể sử dụng để thiết kế cho các KCBT ở môi trường biển có tuổi thọ sử dụng đến trên 150 năm ở vùng khí quyển và trên 100 năm ở vùng thủy triều.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ kinh phí bởi Bộ Xây dựng trong đề tài có Mã số RD 79-19.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H. V. Quan, "The effect of the binder on porosity and chloride diffusion decay coefficient of HPC", *Transport and Communications Science Journal*, Vol. 71, No. 9, pp. 1120-1129, 2020. <https://doi.org/10.47869/tcsj.71.9.10>.
- [2] T. P. Huynh, S. L. Ho and Q. V. Ho, "Experimental investigation on engineering properties and durability performance of concrete incorporating fine sand and ground granulated blast-furnace slag", *Construction and Building Materials*, Vol. 347, 128512, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128512>.
- [3] H. V. Quan, "Effect of mineral additives and ambient temperature on the service life of reinforced concrete structures in the marine environment", *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, Vol. 20, No. 11.2, pp. 10-13, 2022.
- [4] A. R. Boğa and İ. B. Topçu, "Influence of fly ash on corrosion resistance and chloride ion permeability of concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 31, p. 258-264, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.106>.
- [5] X. Chen, H. Wang, H. Najm, G. Venkateela, and J. Hencken, "Evaluating engineering properties and environmental impact of pervious concrete with fly ash and slag", *J. Cleaner Prod.*, Vol. 237, 117714, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117714>.
- [6] TCVN 1204:2017, *Concrete and reinforced concrete structures - General requirements for design for durability and longevity in aggressive environments*, 2017.
- [7] BS EN 206-1:2013. *Concrete- Part 1: Specification, performance, production and conformity*, 2013.
- [8] CSA A23.1/A23.2, *Concrete materials and methods of concrete construction*, 2014.
- [9] M. Bédérina, M. M. Khenfer, R. M. Dheilly, and M. Queneudec, "Reuse of local sand: effect of limestone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different sand concretes", *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, No. 6, pp. 1172-1179, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.07.006>.
- [10] B. Belhadj, M. Bederina, K. Benguetache, and M. Queneudec, "Effect of the type of sand on the fracture and mechanical properties of sand concrete", *Advances in concrete construction*, Vol. 2, No. 1, pp. 13-27, 2014. <https://doi.org/10.12989/acc2014.2.1.013>.
- [11] T. S. Nguyen, L. T. Tran, and Q. N. Nguyen, "Incorporating high fly ash content into sand concrete for road base courses", *Transport and Communications Science Journal*, Vol. 31, No. 10, p. 84-91, 2010.
- [12] S. Subas, H. Ozturk, and M. Emiroglu, "Utilizing of waste ceramic powders as filler material in self-consolidating concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 149, p. 567-574, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.180>.
- [13] V. Q. Ho, T. K. Nguyen, C. T. Phan, and T. S. Nguyen, "Field experiment on small-grained concrete pavement using fine sand and mineral additives in Quang Ngai province", *Journal of Transport*, No 8, p.37-42, 2021.
- [14] AFNOR Standard NF P 18-500, *Bétons de sables*, 12 p, Juin 1995: French.
- [15] ASTM C1202, *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*, 2022.
- [16] H. V. Quan, "The Influence of Decrease in Chloride Diffusion Coefficient on the Service Life of Concrete Structures Based on Probability Analysis". *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, Vol. 18, No 5.2, pp. 1-5, 2020.
- [17] ACI-Committee-365, *Service Life Prediction Model, and Computer Program for Predicting the Service Life and Life-Cycle Cost of Reinforced Concrete Exposed to Chlorides*, 2020.
- [18] V. Q. Ho, V. T. Nguyen, T. U. Pham, and T. T. Tran, "Empirical analysis of the changes of surface concentration chloride on reinforced concrete over time in the marine environment", *Journal of Transport*, No 1+2: p. 91-94, 2016.
- [19] A. Costa and J. Appleton, "Chloride penetration into concrete in marine environment - Part (1): Main parameters affecting chloride penetration", *Materials & Structures*, Vol. 32, p. 252-259, 1999. <https://doi.org/10.1007/BF02479594>.
- [20] A. Costa and J. Appleton, "Chloride penetration into concrete in marine environment- Part (2): Prediction of long term chloride penetration" *Materials & Structures*, Vol. 32, p. 354-359, 1999. <https://doi.org/10.1007/BF02479627>.
- [21] J. Liu, K. Tang, D. Pan, Z. Lei, W. Wang, and F. Xing, "Surface Chloride Concentration of Concrete under Shallow Immersion Conditions", *Materials*, Vol. 7, No. 9, p. 6620-6631, 2014. <https://doi.org/10.3390/ma7096620>.
- [22] X. Chen, Y. He, L. Lu, F. Wang, and S. Hu, "Effects of curing regimes on the chloride binding capacity of cementitious materials", *Construction and Building Materials*, Vol. 342, Part B, 127929, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127929>.
- [23] M. D. A. Thomas, R. D. Hooton, A. Scott, and H. Zibara, "The effect of supplementary cementitious materials on chloride binding in hardened cement paste", *Cement and Concrete Research*, Vol. 42, No. 1, p. 1-7, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.01.001>.
- [24] N.S. Berke and M.C. Hicks, "Estimating the life cycle of reinforced concrete decks and marine piles using laboratory diffusion and corrosion data", in *Corrosion forms and control for infrastructure*. 1992, ASTM International.