

# Dự báo tuổi thọ của kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường biển bằng phần mềm Life-365

■ **ThS. NCS. NGUYỄN LONG KHÁNH**

*Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải*

■ **PGS. TS. NGUYỄN THỊ TUYẾT TRINH**

*Trường Đại học Giao thông vận tải*

**TÓM TẮT:** Tuổi thọ công trình bê tông cốt thép (BTCT) trong môi trường biển phụ thuộc vào nhiều yếu tố như đặc tính kết cấu (cường độ bê tông, khả năng chống thấm, khả năng chống ăn mòn, loại xi măng, phụ gia...), tác động của môi trường (nhiệt độ môi trường, chu kỳ khô ướt, nồng độ ion clorua tích lũy trên bề mặt kết cấu), chất lượng thi công, biện pháp quản lý và khai thác công trình... Dự đoán tuổi thọ công trình là việc làm cần thiết ngay trong quá trình thiết kế, dựa trên lý thuyết tính toán tuổi thọ công trình hoặc bằng phần mềm tính toán. Bài báo trình bày kết quả dự báo tuổi thọ công trình BTCT tại vùng biển Hải Phòng bằng phần mềm Life-365, kết quả ban đầu cho thấy thời gian khởi đầu ăn mòn của công trình BTCT tại vùng biển Hải Phòng là khá sớm. Nghiên cứu cũng đề xuất việc sử dụng phần mềm Life-365 làm công cụ để dự báo tuổi thọ công trình.

**TỪ KHÓA:** Độ bền, tuổi thọ, hệ số khuếch tán clo, nồng độ clo tích lũy, Life-365.

**ABSTRACT:** The lifecycle of reinforced concrete structures in marine environment depends on many factors such as the properties of structures (concrete strength, permeability, corrosion resistance, type of cement, mixtures.etc), environmental effects (temperature, wet/dry cycle, chloride concentration), design, construction quality, construction management and exploitation methods.etc. Lifecycle prediction based on life cycle computation theory or software is an essential process when designing. This article presents the lifecycle forecasting results of reinforced concrete constructions in Hai Phong's sea using Life-365 software, the initial results show that the corrosion beginning time of reinforced concrete constructions in Hai Phong's sea is pretty soon. And, the study also proposes the use of Life-365 software as a tool for planning project life.

**KEYWORDS:** Durability, lifecycle, chloride diffusion factor, chloride concentration, Life-365.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, nhằm đáp ứng tốc độ tăng trưởng của nền kinh tế quốc dân, cơ sở hạ tầng của nước ta đang được đầu tư xây

dựng, phát triển. Với đặc điểm địa lý nhiều sông ngòi trải dài từ Bắc vào Nam, đường bờ biển dài hơn 3.260 km chưa kể các hải đảo, việc xây dựng các công trình cầu đường bằng vật liệu BTCT đang phải đối mặt với hiện tượng ăn mòn của môi trường biển gây ra. Tuy nhiên, Tiêu chuẩn TCVN 9346-2012 [1] chưa quy định thiết kế tính toán theo độ bền của kết cấu bê tông trong môi trường nước biển. Thay vào đó, Tiêu chuẩn TCVN 9346-2012 chỉ yêu cầu sử dụng bê tông bền sun-phát và các phụ gia khoáng pouzzolan. Mặt khác, phương pháp thiết kế công trình theo độ bền chưa thực sự được thực hiện hiệu quả do thiếu các phần mềm, công cụ hỗ trợ tính toán tuổi thọ công trình trong khi thiết kế. Nội dung bài báo trình bày cơ sở lý thuyết tính toán tuổi thọ công trình BTCT, tính toán thử nghiệm dự báo tuổi thọ công trình BTCT của một công trình tại vùng biển Hải Phòng bằng công cụ phần mềm Life-365.

Sau hơn 20 năm, phần mềm Life-365 chứng minh được hiệu quả của mình trong việc nghiên cứu sự ảnh hưởng của môi trường clorua đến tuổi thọ sử dụng của công trình BTCT. Phần mềm này đã bắt đầu phát triển từ năm 1998, khi mà nhu cầu cấp thiết về một "mô hình tiêu chuẩn" trong việc nghiên cứu tuổi thọ sử dụng của bê tông từ các kỹ sư và nhà khoa học được đón nhận và đáp ứng lại bởi Hội đồng Phát triển chiến lược (Strategic Development Council - SDC) của Hiệp hội Bê tông Mỹ (American Concrete Institute - ACI) [2].

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN TUỔI THỌ CÔNG TRÌNH BTCT

### 2.1. Phương trình lan truyền ion clo

Theo Tuutti [3], tuổi thọ sử dụng của kết cấu BTCT gồm hai giai đoạn kế tiếp nhau: giai đoạn khởi đầu ăn mòn ( $t_1$ ) và giai đoạn lan truyền ăn mòn ( $t_2$ ). Trong đó, thời gian khởi đầu ăn mòn  $t_1$  là thời gian tính từ khi kết cấu bắt đầu tiếp xúc với ion clo cho đến khi nồng độ ion clo xâm nhập vào bê tông tập trung trên bề mặt cốt thép đạt đến ngưỡng nồng độ gây ăn mòn. Giai đoạn lan truyền ăn mòn ( $t_2$ ) là thời gian kể từ khi cốt thép bắt đầu bị ăn mòn cho tới khi ăn mòn gây nứt hoàn toàn bê tông bảo vệ hoặc tới khi tiết diện cốt thép bị giảm không thỏa mãn trạng thái giới hạn chịu lực. Phạm vi nghiên cứu tập trung tính toán thời gian khởi đầu ăn mòn ( $t_1$ ) sử dụng phần mềm Life-365, do vậy cơ sở lý thuyết trình bày dưới đây được sử dụng để tính ( $t_1$ ).

Trong đó: C - Hàm lượng clo; D - Hệ số khuếch tán; x - Chiều sâu từ bề mặt bê tông; t - Thời gian.

Mô hình Life-365 sử dụng trong phần mềm được giới thiệu lần đầu tiên vào năm 2000 bởi Thomas và Bentz [4] và

được xây dựng dựa trên định luật thứ hai của Fick với hệ số khuếch tán biểu kiến  $D_a(t)$  phụ thuộc vào thời gian [5]:

$$\frac{dc}{dt} = D_a \frac{d^2c}{dx^2} \quad (1)$$

Trong đó, hệ số khuếch tán thay đổi theo thời gian được biểu diễn bằng quan hệ sau:

$$D_a(t) = D_{a,28} \left( \frac{t_{ref}}{t} \right)^m \quad (2)$$

- $D_a(t)$  - Hệ số khuếch tán tại thời gian  $t$ ;
- $D_{a,28}$  - Hệ số khuếch tán tại tuổi 28 ngày;
- $m$  - Hệ số suy yếu của khuếch tán, là một hằng số;
- $t_{ref}$  - Thời gian tiêu chuẩn (năm).

Phần mềm Life-365 lựa chọn các giá trị  $D_{a,28}$  và  $m$  dựa trên chi tiết thành phần cấp phối của bê tông sử dụng (tỷ lệ nước/xi măng N/X, loại xi măng cùng với hàm lượng phụ gia khoáng) hoặc các giá trị này được nhập trực tiếp thông qua các phép đo hiện trường và phòng thí nghiệm. Với các công trình vừa xây dựng có thể làm thí nghiệm để xác định giá trị đặc trưng của hệ số khuếch tán  $D_{a,28}$ . Năm 1997, Stanish và các cộng sự [6] đã phát triển mối quan hệ giữa  $D_{a,28}$  và tỷ lệ N/X cho bê tông đã chuẩn hóa ở nhiệt độ 20°C dựa trên một cơ sở dữ liệu lớn các thí nghiệm khuếch tán đối với bê tông xi măng pooc-lăng thông thường, ông đã đưa ra quan hệ thực nghiệm để tính cho bê tông xi măng pooc-lăng thông thường như phương trình sau:

$$D_{a,28} = 1 \times 10^{-12.06 + 2.4 N/C} \quad (3)$$

Giải phương trình sai phân hữu hạn (1) với giá trị  $D_a$  được tính tại mỗi bước thời gian sử dụng phương trình (2) và (3) cho nghiệm là thời gian khởi đầu ăn mòn  $t_i$ .

## 2.2. Các thông số đầu vào cần thiết để tính thời gian khởi đầu ăn mòn

Căn cứ vào đặc điểm của từng công trình (vị trí địa lý, đặc điểm kết cấu, vật liệu sử dụng...), mô hình cung cấp các thông số cần thiết có sẵn trong cơ sở dữ liệu để tính thời gian khởi đầu ăn mòn. Tuy nhiên, nếu các thông tin trên không đầy đủ thì các thông số độ bền cần phải khai báo như sau:

- Nồng độ clo tích lũy lớn nhất tại bề mặt bê tông  $C_s$ ;
- Nồng độ clo tới hạn tại bề mặt cốt thép  $C_f$ ;
- Thời gian công trình tiếp xúc với môi trường clo để có được nồng độ clo tích lũy lớn nhất tại bề mặt  $t_f$ ;
- Hệ số khuếch tán biểu kiến  $D_{a,28}$ ;  $m$  hệ số tính đến ảnh hưởng thời gian đến sự thay đổi hệ số khuếch tán biểu kiến;
- Nhiệt độ hàng tháng;
- Điều kiện tiếp xúc với môi trường clo;
- Cấp phối: Tỷ lệ nước/xi măng, hàm lượng phụ gia (muội silic, tro bay, xỉ lò cao, chất gây ức chế ăn mòn);
- Hình dạng kết cấu: 1D, 2D (chữ nhật, tròn), chiều dày lớp bê tông bảo vệ  $x_d$ .

Trong phần tiếp theo, nghiên cứu sẽ dự đoán thời gian khởi đầu ăn mòn của một kết cấu BTCT tại vùng biển cửa biển Hải Phòng bằng phần mềm Life-365.

## 3. TÍNH TOÁN THỬ NGHIỆM THỜI GIAN KHỞI ĐẦU ĂN MÒN CỦA KẾT CẤU TRỤ BTCT KHU VỰC BIỂN HẢI PHÒNG

### 3.1. Các thông số đầu vào

Theo nghiên cứu của X. Mari và các cộng sự [7], nồng độ muối cao nhất tại khu vực biển Hải Phòng được công bố

từ 10 - 15 g/kg nước biển. Số liệu này cho thấy, vùng cửa biển Bạch Đằng (Việt Nam) có hàm lượng muối hoàn toàn giống với vùng biển Träslövsläge (Thụy Điển). Do đó, nghiên cứu sử dụng các thông số độ bền đầu vào (có sẵn trong phần mềm) của các cầu thuộc khu vực biển Träslövsläge (Thụy Điển) để tính toán thời gian khởi đầu ăn mòn.

Thời gian khởi đầu ăn mòn của công trình BTCT được tính toán trong hai trường hợp: (i) tại vùng hoàn toàn ngập nước, (ii) tại vùng không khí.

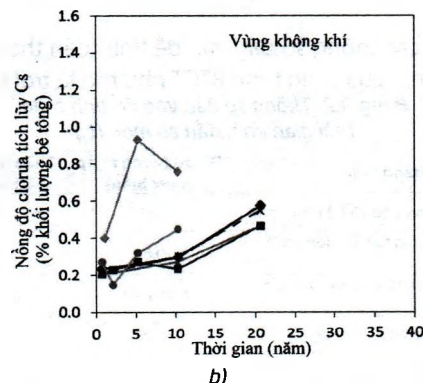
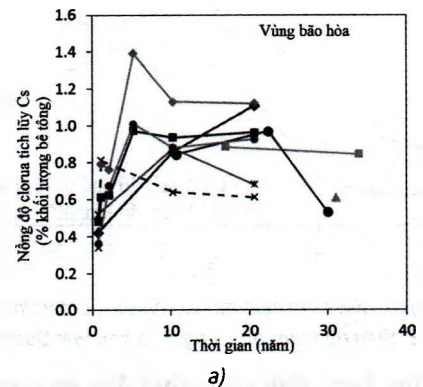
#### 3.1.1. Kết cấu nghiên cứu thử nghiệm

Do khuếch tán ion clorua giả thiết theo một hướng nên nghiên cứu lựa chọn kết cấu trụ cầu tại vùng biển Hải Phòng, đây là kết cấu loại 1D (khuếch tán đẳng hướng) với chiều dày lớp cốt thép bảo vệ ( $x_d$ ) như sau:

- Bệ trụ:  $x_d = 8,6$  cm
- Thân trụ:  $x_d = 9,1$  cm

#### 3.1.2. Hàm lượng clo tích lũy trong bê tông ( $C_{f,max}$ )

Henrik và Søren [8] đã thực hiện nhiều nghiên cứu về nồng độ clo tích lũy trên bề mặt bê tông trên nhiều công trình cầu khác nhau ở vùng biển Träslövsläge (Thụy Điển) trong thời gian dài. Các phép đo được thực hiện ở các độ sâu khác nhau trong khoảng 10 mm đầu trên bề mặt bê tông tại những khu vực mà bê tông chịu tác động của môi trường khác nhau là môi trường ngập nước và môi trường không khí. Công trình nghiên cứu của Henrik và Søren được thực hiện trên nhiều loại bê tông khác nhau, tuy nhiên trong khuôn khổ nghiên cứu chỉ khai thác số liệu đối với xi măng pooc-lăng bền sunfate (đường nét đứt) do cùng loại với xi măng được sử dụng trong công trình cầu đang tính toán. Số liệu cụ thể như sau:



Hình 3.1: Biểu đồ phụ thuộc hàm lượng clo tích lũy theo thời gian trong khu vực ngập nước (a) và khu vực không khí biển (b) [8]



Từ biểu đồ trên, thu được số liệu cụ thể như sau:  
**Bảng 3.1. Hàm lượng clo tích lũy trên bề mặt công trình C<sub>1</sub> (% khối lượng bê tông) [8]**

t <sub>0</sub>	Đối với bê tông sử dụng xi măng pooc-lăng bền sunfate	
	Vùng ngập nước	Vùng không khí
28 (ngày)	0,43	0,24
10 (năm)	0,86	0,30
20 (năm)	1,12	0,58

**3.1.3. Hệ số khuếch tán biểu kiến**

Hệ số khuếch tán (D) được tính tự động theo lập trình của Life-365, dựa trên nghiên cứu của Stanish, 2000 đã phát triển mối quan hệ giữa D<sub>28</sub> và tỷ lệ nước/xi măng cho bê tông đã chuẩn hóa ở nhiệt độ 20°C dựa trên một cơ sở dữ liệu lớn các thí nghiệm khuếch tán.

Phương trình thực nghiệm áp dụng tính như sau:

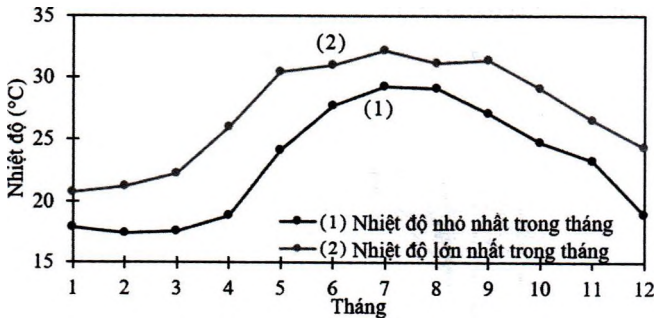
$$D_{28} = 1 \times 10^{(-12,06 + 2,4 N/X)} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

Áp dụng với trường hợp cầu tại khu vực biển Hải Phòng với thiết kế thành phần bê tông sử dụng tỷ lệ N/X là 37,5%.

$$\text{Do đó: } D_{28} = 1 \times 10^{(-12,06 + 2,4 \times 0,375)} = 6,91 \times 10^{-12} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

**3.1.4. Nhiệt độ**

Nhiệt độ phải khai báo trong khi tính toán sử dụng phần mềm Life-365 được sử dụng dữ liệu nhiệt độ trong năm tại khu vực Quảng Ninh, gần nơi công trình BTCT xây dựng. Theo dữ liệu của nhiệt độ nước biển toàn cầu, nhiệt độ của vùng biển Quảng Ninh được biểu diễn trong Hình 3.2:



(Nguồn: <http://www.seatemperature.org/asia/vietnam/ha-long.htm>)

**Hình 3.2: Biểu đồ nhiệt độ trong năm khu vực Quảng Ninh**

**3.2. Tính toán thời gian khởi đầu ăn mòn của trụ cầu BTCT**

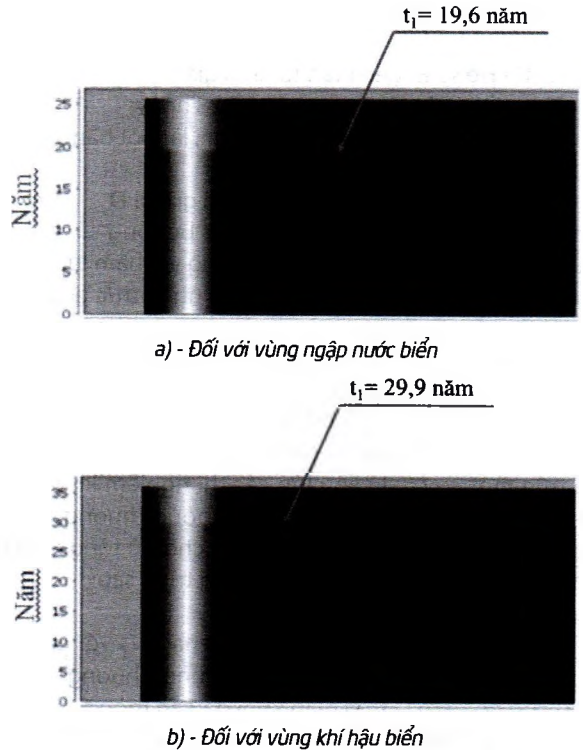
Nhập các thông số đầu vào để tính toán thời gian khởi đầu ăn mòn t<sub>1</sub> của công trình BTCT như mô tả trong Bảng 3.2:

**Bảng 3.2. Thông số đầu vào để tính toán thời gian khởi đầu ăn mòn (t<sub>1</sub>)**

Hạng mục	Bệ trụ (vùng ngập nước biển)	Thân trụ (vùng khí hậu biển)
d - Chiều dày lớp bảo vệ bê tông (cm)	9,1	8,6
C <sub>1</sub> - Hàm lượng clo tích lũy lớn nhất trong 10 năm	0,86	0,3
D - Hệ số khuếch tán clo sau 28 ngày (m <sup>2</sup> /s)	6,91 x 10 <sup>-12</sup>	6,91 x 10 <sup>-12</sup>
m - Hệ số điều chỉnh nhiệt độ [9]	0,26	0,26
Thời gian hydrat hóa hoàn toàn (năm)	25	25
C <sub>1</sub> - Ngưỡng hàm lượng clo tới hạn (% khối lượng bê tông) [10]	0,05	0,05

**Phân tích kết quả:**

Dựa trên thông số từ những phân tích trên, kết quả tính toán thời gian khởi đầu ăn mòn (t<sub>1</sub>) bằng phần mềm Life - 365 đối với vùng ngập nước biển (kết cấu bệ trụ) bằng 19,6 năm và với khu vực khí hậu biển (kết cấu thân trụ) là 29,9 năm (Hình 3.3).



**Hình 3.3: Kết quả tính toán thời gian khởi đầu ăn mòn của trụ cầu BTCT**

Kết quả tính toán cho thấy, thời gian khởi đầu ăn mòn (t<sub>1</sub>) là khá sớm so với tuổi thọ theo thiết kế của các công trình cầu BTCT. Mặc dù kết cấu sử dụng xi măng pooc-lăng bền sunfate có khả năng chống ăn mòn cao hơn xi măng pooc-lăng thông thường. Quá trình thiết kế cũng tính đến vị trí xây dựng công trình trong khu vực ăn mòn cao (cửa biển) nên chiều dày lớp bê tông bảo vệ được thiết kế tương đối lớn ngay cả trong khu vực khí hậu biển. Tuy nhiên, các kết cấu BTCT vẫn bị ảnh hưởng nghiêm trọng bởi những yếu tố gây ăn mòn trong nước biển, dẫn đến suy giảm tuổi thọ.

Hơn nữa, thời gian khởi đầu ăn mòn của kết cấu công trình trong vùng ngập nước (19,6 năm) sớm hơn kết cấu trong vùng khí hậu biển (29,9 năm). Điều này cho thấy, quá trình khuếch tán ion clorua đối với kết cấu công trình trong vùng ngập nước chịu sự tác động của nhiều yếu tố như thủy triều lên xuống... diễn ra nhanh hơn so với kết cấu trong vùng khí hậu biển.

**4. KẾT LUẬN**

Nghiên cứu dự báo tuổi thọ công trình là hạng mục cần thiết và quan trọng trong quá trình thiết kế. Dựa vào kết quả nghiên cứu dự báo tuổi thọ sẽ đề xuất các giải pháp mới như vật liệu mới (bê tông xi măng sử dụng muối silic, tro bay hay xỉ lò cao...) hoặc sử dụng những kết cấu đặc biệt... nhằm nâng cao tuổi thọ công trình.

Bằng phần mềm Life-365, nghiên cứu đã tính toán thử nghiệm thời gian khởi đầu ăn mòn của một kết cấu trụ có chiều dày bảo vệ lần lượt là 8,6 cm và 9,1 cm, sử dụng xi măng pooc-lăng bền sun phát, trong hai vùng khác nhau: vùng ngập nước và vùng trong không khí tại vùng biển Hải Phòng. Kết quả ban đầu cho thấy, thời gian khởi đầu ăn mòn của các công trình BTCT được xây dựng trong môi trường biển tại Hải Phòng nói riêng, tại Việt Nam là khá sớm, ngay cả với những công trình được thiết kế có yêu cầu tuổi thọ trên 100 năm. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy, nên sử dụng các công cụ dự báo tuổi thọ công trình (như phần mềm Life-365) vào bước lập hồ sơ thiết kế để nghiên cứu xây dựng phương pháp thiết kế thành phần BTCT theo độ bền, từ đó có những giải pháp về vật liệu mới (như bê tông xi măng sử dụng phụ gia khoáng pouzzolan), kết cấu mới nhằm nâng cao tuổi thọ của công trình.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. TCVN 9346-2012, *Kết cấu bê tông, BTCT - Yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường biển*.
- [2]. Mark A. Ehlen and Anthony N.Kojundic (2014), *Life-365 v2.2 Adding user estimates of chlorid exposure*, Concrete International.
- [3]. K. Tuutti (1982), *Corrosion of steel in concrete*, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm.
- [4]. M. D. A. Thomas and E. C. Bentz (2000), *Life-365 computer program for predicting the service life and life-cycle costs of reinforced concrete exposed to chlorides*, Am. Concr. Institute, Comm., vol.365, pp.1-87.
- [5]. D. H. Pham, T. T. Tran, K. C. Thai, V. D. Dao and T. S. Nguyen (2016), *Thiết kế kết cấu theo độ bền*, NXB. GTVT.
- [6]. K. D. Stanish, R. D. Hooton, and M. D. Thomas (1997), *Testing the Chloride Penetration Resistance of Concrete: A Literature Review*, Chloride Penetration Concr., p.31.
- [7]. X. Mari et al. (2012), *Aggregation dynamics along a salinity gradient in the Bach Dang estuary, North Vietnam*, Estuar. Coast. Shelf Sci., vol.96, pp.151-158.
- [8]. Søren Lundsted Poulsen, Henrik Erndahl Sørensen (2014), *Chloride Ingress In Old Danish Bridges*, International Congress on Durability of Concrete 2014, Dec. 4th.
- [9]. P. B. Bamforth (1999), *The derivation of input data for modelling chloride ingress from eight-year UK coastal exposure trials*, Mag. Concr. Res., vol.51, no.2, pp.87-96.
- [10]. Infociments (2005), *La norme béton NF EN 206-1*.

**Ngày nhận bài: 19/12/2020**

**Ngày chấp nhận đăng: 10/01/2021**

**Người phản biện: TS. Trần Văn Quân**

**TS. Lý Hải Bằng**