

# ĐÁNH GIÁ ĐỘ BỀN ĂN MÒN CỐT THÉP CỦA KẾT CẤU CẦU BÊ TÔNG CỐT THÉP MÔI TRƯỜNG VEN BIỂN BẰNG MÔ HÌNH KHUẾCH TÁN CLO CỦA FICK

ThS. PHẠM MỸ LINH

Trường Đại học Giao thông Vận tải

Phản biện: TS. Nguyễn Lộc Kha

TS. Nguyễn Đức Hiếu

## TÓM TẮT

Ăn mòn cốt thép do sự xâm nhập của ion clo là một trong những nguyên nhân chính làm suy giảm độ bền và tuổi thọ của các công trình cầu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường ven biển. Trong đó, chiều dày lớp bê tông bảo vệ và đặc tính khuếch tán clo của bê tông có ảnh hưởng quyết định đến thời điểm khởi phát ăn mòn.

Bài báo này trình bày kết quả đánh giá thời điểm bắt đầu ăn mòn cốt thép của một số cấu kiện điển hình của cầu Văn Thánh (tỉnh Lâm Đồng) trong điều kiện môi trường ven biển, dựa trên mô hình khuếch tán clo theo định luật Fick. Việc tính toán được thực hiện cho bốn loại cấu kiện với các chiều dày lớp bê tông bảo vệ và cường độ bê tông khác nhau, sử dụng các tham số đầu vào phù hợp với điều kiện khí hậu - môi trường khu vực nghiên cứu. Kết quả cho thấy thời điểm khởi phát ăn mòn tăng lên đáng kể khi chiều dày lớp bê tông bảo vệ tăng, trong khi việc sử dụng bê tông có cường độ cao hơn chỉ mang lại hiệu quả hạn chế nếu chiều dày lớp bảo vệ nhỏ. Kết quả nghiên cứu góp phần làm rõ vai trò của các tham số thiết kế trong việc nâng cao độ bền ăn mòn và tuổi thọ khai thác của cầu bê tông cốt thép trong môi trường xâm thực.

**Từ khóa:** ăn mòn cốt thép, ion clo, lớp bê tông bảo vệ, mô hình Fick, cầu bê tông cốt thép

## SUMMARY

Corrosion of reinforcing steel caused by chloride ingress is one of the main factors reducing the durability and service life of reinforced concrete bridges operating in marine environments. Among the governing parameters, the thickness of the concrete cover and the chloride diffusion properties of concrete play a decisive role in determining the time to corrosion initiation.

This paper presents an assessment of the corrosion initiation time of reinforcing steel in typical structural members of Van Thanh Bridge (Lam Dong Province) under coastal environmental conditions, based on the chloride diffusion model according to Fick's law. Calculations were carried out for four different structural components with varying concrete cover thicknesses and concrete strength levels, using input parameters representative of the local marine environment. The results indicate that the time to corrosion initiation increases significantly with increasing concrete cover thickness, whereas the use of higher-strength concrete provides limited improvement when the cover thickness is small. The findings highlight the importance of appropriate design parameters in enhancing corrosion resistance and extending the service life of reinforced concrete bridges in aggressive environments.

**Keywords:** steel corrosion, chloride ingress, concrete cover thickness, Fick's model, reinforced concrete bridge.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ:

Các công trình cầu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường ven biển thường chịu tác động mạnh của ion clo, dẫn đến ăn mòn cốt thép và suy giảm độ bền lâu dài của kết cấu. Việc xác định thời điểm bắt đầu ăn mòn có ý nghĩa quan trọng trong thiết kế và đánh giá tuổi thọ công trình.

Hiện nay, thời điểm khởi phát ăn mòn cốt thép có thể được dự báo bằng các công thức giải tích dựa trên định luật khuếch tán Fick hoặc bằng các phần mềm chuyên dụng như Life-365. Tuy nhiên, sự sai khác giữa hai phương pháp và ảnh hưởng của các tham số thiết kế, đặc biệt là chiều dày lớp bê tông bảo vệ, cần được làm rõ đối với từng công trình cụ thể.

Vì vậy, bài báo này tập trung tính toán và so sánh độ bền ăn mòn cốt thép của cầu Văn Thánh bằng công thức giải tích và phần mềm Life-365, qua đó đánh giá vai trò của chiều dày lớp bê tông bảo vệ và đề xuất cơ sở khoa học cho việc nâng cao độ bền lâu dài của cầu bê tông cốt thép trong môi trường ven biển.

## 2. TÍNH ĐỘ BỀN ĂN MÒN CỐT THÉP CỦA CÁC KẾT CẤU CẦU CÔNG THỨC GIẢI TÍCH DỰA VÀO MÔ HÌNH DỰ BÁO CỦA FICK:

Bài báo sẽ tính thời điểm bắt đầu ăn mòn cho cầu Văn Thánh, phường Phan Thiết, tỉnh Lâm Đồng, cầu có vị trí ven biển. Tính thời điểm bắt đầu ăn mòn cốt thép cho các kết cấu sau:

Mặt ngoài dầm dự ứng lực với chiều dày lớp bê tông bảo vệ  $h=30\text{mm}$ , cường độ bê tông  $fc'=50\text{MPa}$

Thân mố, thân và xà mũ trụ với chiều dày lớp bê tông bảo vệ  $h=50\text{mm}$ , cường độ bê tông  $fc'=35\text{MPa}$

Bệ mố, bệ trụ với chiều dày lớp bê tông bảo vệ  $h=75\text{mm}$ , cường độ bê tông  $fc'=35\text{MPa}$

Cọc khoan nhồi với chiều dày lớp bê tông bảo vệ  $h=100\text{mm}$ , cường độ bê tông  $fc'=35\text{MPa}$

Quá trình ăn mòn của cốt thép bắt đầu khi nồng độ ion clo tại bề mặt cốt thép đạt đến nồng độ clo tới hạn, tức là khi:

$$C(x,t) = C_{cr} \quad (1)$$

tại vị trí  $x=h$ , trong đó  $h$  là chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép.

Khi đó, phương trình (1) có thể được viết lại như sau:

$$C_{cr} = C_s \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{h}{2\sqrt{D_{cc}T_{in}}} \right) \right] \quad (2)$$

Bằng cách biến đổi phương trình (2), thời điểm bắt đầu ăn mòn cốt thép  $T_{in}$  được xác định theo biểu thức:

$$T_{in} = X_i \left[ \frac{h^2}{4D_{cc}} \left( \operatorname{erf}^{-1} \left( \frac{C_s - C_{cr}}{C_s} \right) \right)^{-2} \right]^{\frac{1}{n}}$$

Trong đó:

$T_{in}$  là thời gian bắt đầu ăn mòn (năm)

$h$  là chiều dày lớp bê tông bảo vệ (mm)

$C_s$  là nồng độ clorua bề mặt sau thời gian 1 năm (% khối lượng bê tông). Đối với cầu Văn Thánh nằm ở khu vực ven biển Mũi Né (cách

biển khoảng 2 km theo đường chim bay) thuộc vùng khí hậu ven biển thì  $C_s=0.12$  [3]

$C_{cr}$  là nồng độ clorua tới hạn, được xác định bằng 0.05% theo khối lượng bê tông (theo EN206 concrete) [4]

$X_i$  là hệ số không chắc chắn của mô hình để tính đến sự lý tưởng hóa được ngụ ý bởi định luật Fick thứ hai ( $X_i=1$ ) [3]

$n$  là hệ số thời gian.  $n=0.23$

$D_{cc}$ : hệ số khuếch tán clo của bê tông có nứt ( $\text{mm}^2/\text{năm}$ );

$$D_{cc}(t) = k_e k_f k_c D_{28} \left( \frac{t}{28} \right)^{-n}$$

Trong đó:

$k_e$ : là hệ số môi trường. Đối với cầu Văn Thánh nằm ở khu vực ven biển Mũi Né, thuộc vùng khí quyển biển nên hệ số được lấy bằng 0.68 [3]

$k_f$ : đại diện cho ảnh hưởng của các phương pháp thử để xác định hệ số khuếch tán thực nghiệm  $D_0$ ,  $k_f = 0.832$ [3]

$k_c$ : hệ số ảnh hưởng của việc bảo dưỡng.  $k_c=1$ [3]

$t$  là tuổi bê tông ( $t=28$  ngày)

$D_{28}$ : Hệ số khuếch tán clo tại 28 ngày.

$D_{28}$  xác định thông qua các thí nghiệm khuếch tán đối với bê tông xi măng Pooclang thông thường. Stanish và các cộng sự [5] đã phát triển mối quan hệ giữa  $D_{28}$  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:

$$D_{28} = 1 \times 10^{(-12.06 + 2.4N/X)}$$

Hệ số này phụ thuộc vào tỷ lệ N/X, tỷ lệ này được lấy theo “Chỉ dẫn kỹ thuật chọn bê tông các loại” theo quyết định số 778/1998/QĐ-BXD

**Bảng 1: Hệ số khuếch tán clo tại 28 ngày cho các cấp bê tông 35Mpa và 50MPa**

| Cấp bê tông (Mpa) | Tỷ lệ N/X | $D_{28}$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) |
|-------------------|-----------|------------------------------------|
| 35                | 0.39      | $7,52 \cdot 10^{-12}$              |
| 50                | 0.31      | $4,82 \cdot 10^{-12}$              |

Các thông số và kết quả tính toán thời điểm bắt đầu ăn mòn cốt thép được thể hiện theo bảng sau (Bảng 2):

Nhận xét:

- Khi tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ từ 50mm cho thân mố, trụ và xà mũ lên thành 100mm cho cọc khoan nhồi với cùng cường độ bê tông là 35Mpa thì thời gian khởi phát ăn mòn được tăng lên đáng kể, tăng khoảng gấp 6 lần

- Khi sử dụng bê tông có cường độ cao hơn là 50Mpa cho mặt ngoài dầm dự ứng lực sẽ làm giảm hệ số khuếch tán clo của bê tông có nứt, qua đó làm tăng thời gian khởi phát ăn mòn. Tuy nhiên chiều dày lớp bê tông bảo vệ của dầm nhỏ dẫn đến thời gian khởi phát ăn mòn của cấu kiện này vẫn nhỏ hơn nhiều so với các cấu kiện khác có

**Bảng 2: Các thông số và thời điểm khởi phát ăn mòn của các cấu kiện cầu Văn Thánh, Lâm Đồng.**

| Cấu kiện                   | h(mm) | fc' (Mpa) | Cs(%) | C <sub>cr</sub> (%) | D <sub>28</sub> ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) | T <sub>in</sub> (năm) |
|----------------------------|-------|-----------|-------|---------------------|---|-----------------------|
| Mặt ngoài dầm dự ứng lực   | 30    | 50        | 0.12  | 0.05                | $4,82 \cdot 10^{-12}$                     | 14.74                 |
| Thân mố, thân và xà mũ trụ | 50    | 35        | 0.12  | 0.05                | $7,52 \cdot 10^{-12}$                     | 31.18                 |
| Bệ mố, bệ trụ              | 75    | 35        | 0.12  | 0.05                | $7,52 \cdot 10^{-12}$                     | 89.39                 |
| Cọc khoan nhồi             | 100   | 35        | 0.12  | 0.05                | $7,52 \cdot 10^{-12}$                     | 188.7                 |

chiều dày lớp bê tông bảo vệ lớn hơn.

#### 4. KẾT LUẬN:

Kết quả tính toán cho thấy chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép là yếu tố chi phối chính đến thời điểm bắt đầu ăn mòn.

So sánh giữa các cấu kiện cho thấy bê tông có cường độ cao hơn là 50 MPa với hệ số khuếch tán

clo nhỏ hơn giúp kéo dài thời điểm khởi phát ăn mòn, tuy nhiên hiệu quả này không lớn bằng việc tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ. Cụ thể, mặc dù đảm dự ứng lực sử dụng bê tông 50 MPa, nhưng do lớp bảo vệ chỉ 30 mm nên vẫn là cấu kiện có nguy cơ ăn mòn sớm nhất trong các bộ phận của cầu.

Như vậy, để nâng cao tuổi thọ khai thác của cầu ven biển, cần ưu tiên

các biện pháp làm tăng thời điểm khởi phát ăn mòn cốt thép, trong đó hiệu quả nhất là tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ, kiểm soát nứt và giảm hệ số khuếch tán clo của bê tông. Việc kết hợp hợp lý giữa giải pháp thiết kế, lựa chọn vật liệu và công tác bảo trì phòng ngừa sẽ góp phần kéo dài đáng kể tuổi thọ công trình trong điều kiện môi trường xâm thực mạnh. ■

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO:

[1] Crank, J. (1975).

The Mathematics of Diffusion (2nd ed.).  
Oxford University Press, Oxford.

[2] Durability and Strength of Reinforced Concrete Bridges subject to Corrosion: Fuzzy Random and Probabilistic Analysis T. T. Tran<sup>1</sup>, T. M. Tran<sup>1</sup>, X. T. Nguyen<sup>2\*</sup>, V. T. Nguyen<sup>1</sup>, B. T. Vu<sup>1</sup>,

[3] Kết cấu công trình bê tông cốt thép trong môi trường ăn mòn. Gs Trần Thế Truyền và nhóm tác giả, NXB Xây dựng.

[4] EN206: Concrete-Specification, performance, production and conformity

[5] 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.

[5] AASHTO (2018). AASHTO Guide Specifications for Service Life Design of Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC

Ngày nhận bài: 30/01/2026

Ngày chấp nhận đăng: 28/3/2026

