

# ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ KỸ THUẬT CỦA BÊ TÔNG ĐẾN QUÁ TRÌNH ẨM MÒN CỐT THÉP

TRẦN VIỆT PHƯƠNG ĐÔNG\*, NGUYỄN BÁ PHÚ

Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh

\*Tác giả liên hệ: tranvietphuongdong@iuh.edu.vn

DOIs: <https://doi.org/10.46242/jstih.v67i01.5036>

**Tóm tắt.** Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến tốc độ ăn mòn của cốt thép. Các yếu tố khảo sát trong nghiên cứu gồm: các thông số kỹ thuật của bê tông, thời gian tiếp xúc với môi trường xâm thực, và chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép. Kết quả nghiên cứu chỉ ra tốc độ ăn mòn giảm khi độ đặc chắc của lớp bê tông bao phủ cốt thép tăng. Độ đặc chắc của lớp bê tông nền tăng khi bê tông có tỷ số nước trên chất kết dính thấp và có sử dụng tro bay trong thành phần chế tạo bê tông. Bên cạnh đó, giá trị đo đặc tốc độ ăn mòn cốt thép tăng ở những mẫu có chiều dày lớp bê tông bảo vệ thấp và những mẫu có thời gian tiếp xúc môi trường ăn mòn lâu dài.

**Từ khóa.** Bê tông, ăn mòn, cốt thép, chloride, tro bay, thí nghiệm không phá hủy.

## 1 TỔNG QUAN

Trong nhiều năm, tình trạng ăn mòn cốt thép trong bê tông được xem như vấn đề nghiêm trọng làm giảm tuổi thọ các kết cấu công trình bê tông cốt thép. Đặc biệt là các công trình bê tông cốt thép ở các vùng ven biển có khả năng cao bị hư hại do xâm thực chloride. Nếu hiểu được quá trình ăn mòn bê tông cốt thép, sớm phát hiện, theo dõi và đưa ra các biện pháp thích hợp thì có thể ngăn cản hoặc làm chậm các hư hại do ăn mòn gây ra, sau đó phần lớn nhân lực và tiền của được dùng cho việc sửa chữa và khắc phục, từ đó có thể tránh được các tai nạn đáng tiếc xảy ra.

Bên cạnh sự xuất hiện không mong muốn của ion chloride trong bê tông, các yếu tố khác như tỷ lệ nước trên chất kết dính, hàm lượng tro bay, v.v. đều có thể ảnh hưởng đến quá trình ăn mòn cốt thép trong bê tông [1-6]. Do sự phức tạp trong quá trình đo đạc, đa phần các nghiên cứu trước đánh giá quá trình ăn mòn cốt thép gián tiếp thông qua các thông số điện trở suất, điện thế ăn mòn, hàm lượng chloride [3, 5, 7-11]. Phương pháp so sánh gián tiếp mặc dù có nhiều ưu điểm nhưng phần nào chưa phản ánh đúng tình trạng ăn mòn cốt thép. Nghiên cứu này vì thế tập trung vào việc đánh giá trực tiếp các ảnh hưởng của các thông số kỹ thuật của bê tông, thời gian kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường xâm thực, và chiều dày lớp bảo vệ cốt thép. Các thông số kỹ thuật đặc trưng của bê tông được đánh giá trong nghiên cứu là tỷ số nước trên chất kết dính và hàm lượng tro bay sử dụng trong bê tông.

## 2 QUI TRÌNH THỰC NGHIỆM

### 2.1 Vật liệu

Vật liệu được sử dụng để đúc mẫu thí nghiệm bao gồm: xi măng, tro bay, cốt liệu, nước, và muối. Bảng 1 tóm tắt các mô tả và tiêu chuẩn phân loại vật liệu sử dụng trong nghiên cứu này.

Bảng 1. Mô tả thành phần hỗn hợp bê tông sử dụng trong nghiên cứu.

Vật liệu	Mô tả
Xi măng	Sử dụng xi măng Portland loại 1 (OPC) theo phân loại của tiêu chuẩn ASTM C150 [12].
Tro bay	Sử dụng tro bay loại C dựa theo phân loại của tiêu chuẩn ASTM C618 [13].
Cốt liệu	Nghiên cứu sử dụng đá dăm làm cốt liệu lớn và cát làm cốt liệu nhỏ. Các chỉ tiêu cốt liệu thỏa mãn các yêu cầu trong tiêu chuẩn ASTM C33 [14].

Nước	Nước máy được dùng để trộn hỗn hợp bê tông.
Muối	Muối sodium chloride được trộn trước vào nước dùng đúc mẫu. Đóng vai trò làm chất thúc đẩy quá trình ăn mòn cốt thép.

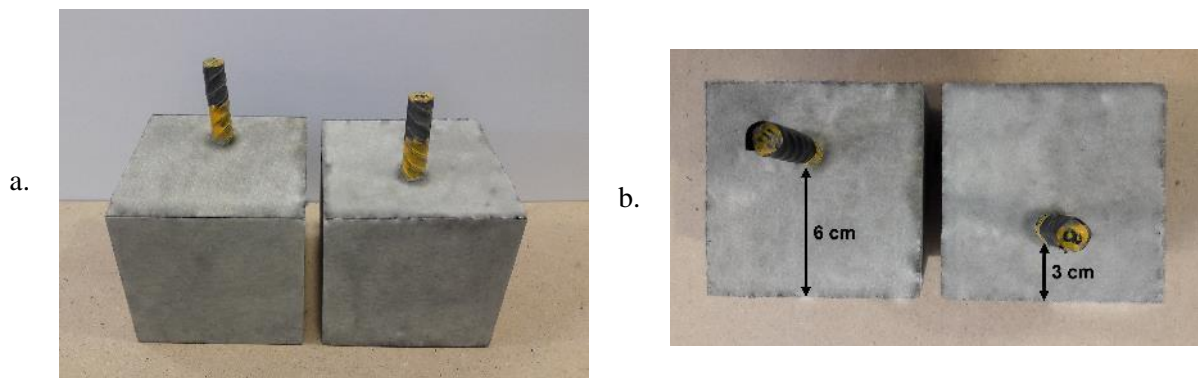
Do giới hạn của thời gian thực hiện nghiên cứu nên các tác giả thực hiện biện pháp đẩy nhanh sự xuất hiện của ăn mòn cốt thép trong bê tông. Cụ thể là trộn trước vào hỗn hợp bê tông trong quá trình nhào trộn một hàm lượng chloride cụ thể. Bên cạnh đó, các mẫu thí nghiệm còn có một thanh thép được đặt ở giữa các mẫu. Thanh thép có đường kính là 10 mm và chiều dài là 150 mm. Thanh thép sử dụng trong nghiên cứu được thể hiện ở Hình 1. Nhằm cố định diện tích tiếp xúc của thanh thép với các điều kiện khảo sát trong nghiên cứu, một phần thanh thép được sơn phủ 1 lớp epoxy.



Hình 1. Thanh thép đặt trong các mẫu bê tông.

## 2.2 Mẫu thực nghiệm

Mẫu thực nghiệm dùng trong nghiên cứu được thể hiện trong Hình 2. Mẫu có dạng hình lập phương với kích thước là 10x10x10 cm. Có thể nhận thấy, có hai nhóm mẫu thực nghiệm khác nhau ở chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép. Chiều dày lớp bảo vệ là khoảng cách tính từ bề mặt bê tông tới bề mặt cốt thép. Cụ thể, hai chiều dày lớp bê tông bảo vệ được khảo sát trong nghiên cứu là 3 cm và 6 cm. Mẫu được đúc và dưỡng hộ trong 28 ngày.



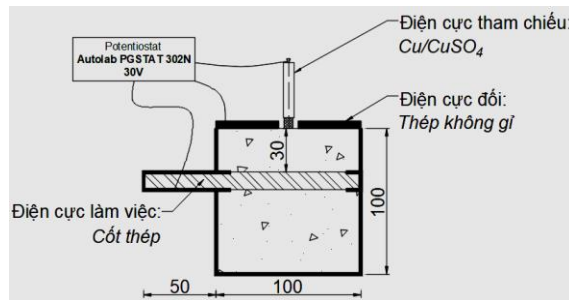
Hình 2. Mẫu thực nghiệm khảo sát tốc độ ăn mòn cốt thép.

Kết thúc giai đoạn đúc và dưỡng hộ, các mẫu thực nghiệm được đặt vào trong các điều kiện xâm thực có độ ẩm cao được kiểm soát trong suốt quá trình thực nghiệm. Trong các điều kiện xâm thực, các mẫu thí nghiệm được tiếp xúc với độ ẩm  $\geq 90\%$  và nhiệt độ  $28^{\circ}\text{C}$ . Kết quả khảo sát độ ẩm vào nhiệt độ của điều kiện xâm thực được thể hiện trong nghiên cứu trước của các tác giả [9]. Các điều kiện xâm thực trong nghiên cứu nhằm đảo bảo quá trình ăn mòn cốt thép diễn ra liên tục.

## 2.3 Phương pháp đo đạc

Tốc độ ăn mòn cốt thép trong bê tông có thể đo đạc theo phương pháp phá hủy hoặc phương pháp không phá hủy. Cụ thể, khi sử dụng pháp phá hủy mẫu trên các kết cấu bê tông cốt thép thì một phần bề mặt bê tông bên ngoài và cốt thép tại vị trí đó sẽ bị tác động, nhằm xác định được tốc độ ăn mòn cốt thép. Ngược lại, các phương pháp đo đạc không phá hủy sẽ sử dụng các nguyên lý điện hóa để xác định được tốc độ ăn mòn. Việc lựa chọn phương pháp đo đạc phụ thuộc vào kết cấu và yêu cầu khảo sát. Trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp đo đạc không phá hủy với các thiết lập của phép đo được thể hiện trong Hình 3. Trong thiết lập thí nghiệm này sử dụng điện cực tham chiếu là đồng/đồng sulfate. Điện cực khảo sát trong nghiên cứu là thanh thép đặt giữa mẫu bê tông. Điện cực đối sử dụng trong nghiên cứu là thép không gỉ.

Chi tiết của phương pháp xác định tốc độ ăn mòn cốt thép được trình bày trong các công bố khác của các tác giả [1, 2, 11].

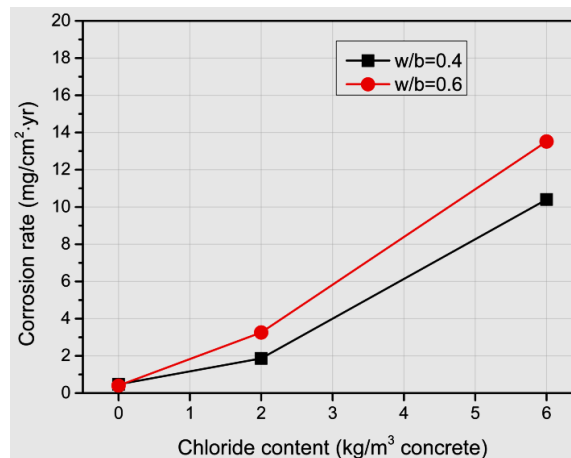


Hình 3. Đo đạc xác định tốc độ ăn mòn của cốt thép trong bê tông.

### 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1 Ảnh hưởng của ion chloride đến tốc độ ăn mòn

Dựa theo sự phá hủy bề mặt kim loại, ta có thể phân ra làm hai dạng ăn mòn là: ăn mòn toàn bộ hay ăn mòn đều và ăn mòn cục bộ. Trong đó ăn mòn cục bộ là ăn mòn nguy hiểm hơn, kiểu ăn mòn này thường xảy ra do ion chloride xâm nhập vào kết cấu bê tông cốt thép. Đối với kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường xâm thực chloride thì ion chloride sẽ tấn công lớp màng thụ động quanh cốt thép. Cơ chế tái hoạt động cốt thép do chloride có chút khác biệt so với quá trình carbonation. Khi bê tông cốt thép bị carbonation thì lớp màng thụ động bị trung hòa, nhưng trong môi trường xâm thực chloride, ion chloride sẽ tấn công lớp màng thụ động nhưng không làm giảm độ pH.



Hình 4. Sự biến đổi của tốc độ ăn mòn khi thay đổi hàm lượng ion chloride trong bê tông.

Nghiên cứu trình bày trong bài báo này tập trung vào quá trình ăn mòn cốt thép gây ra do xâm thực chloride. Hình 4 thể hiện kết quả đo đạc tốc độ ăn mòn cốt thép trong bê tông dưới ảnh hưởng của ion chloride. Có thể nhận thấy, tốc độ ăn mòn cốt thép nhanh hơn khi tăng hàm lượng chloride trong bê tông. Cụ thể, nhóm mẫu bê tông xi măng Portland (OPC) với tỷ lệ nước trên chất kết dính (w/b) là 0.4 cho tốc độ ăn mòn của cốt thép tăng từ 1.5 đến 1.9 lần khi tăng hàm lượng chloride trong bê tông lên 2 kg/m³ và 6 kg/m³. Trong trường hợp nhóm mẫu với tỷ lệ w/b, giá trị tốc độ ăn mòn tăng từ 1.75 đến 1.94 lần khi tăng hàm lượng chloride. Kết quả này phản ánh đúng các phát biểu trong các nghiên cứu trước đây [1, 2, 5, 6, 11, 15].

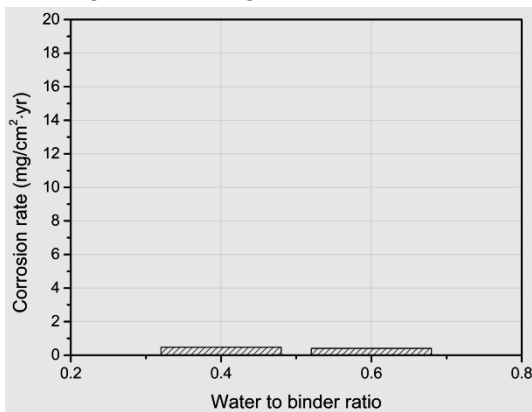
Sự có mặt của ion chloride như một chất xúc tác làm đẩy nhanh quá trình ăn mòn cốt thép. Tuy nhiên, cũng phải chú ý rằng quá trình ăn mòn do xâm thực chloride chỉ xảy ra hàm lượng chloride trên bề mặt cốt thép đạt đến một giá trị nhất định. Hàm lượng chloride này phải đủ để phá hủy lớp màng thụ động trên mặt cốt thép, đồng thời nồng độ ion chloride sẽ không giảm trong suốt quá trình ăn mòn. Ăn mòn do chloride thường tập trung trên một diện tích nhỏ còn gọi là ăn mòn điểm, dạng ăn mòn này tạo thành một vùng rỗ

mặt và bao bọc xung quanh là cốt thép chưa bị ăn mòn.

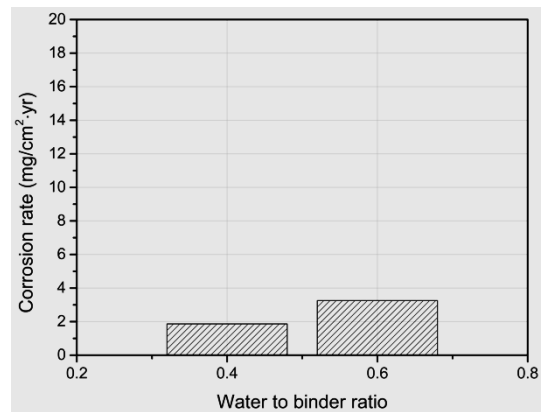
Nhiều nghiên cứu cho thấy rằng trong bản thân bê tông cốt thép đã có sẵn một hàm lượng ion chloride rất thấp trước khi tiếp xúc với môi trường xâm thực, hàm lượng này tồn tại trong mỗi nguyên liệu sử dụng làm bê tông. Tuy nhiên theo thời gian làm việc, nồng độ ion chloride tăng lên và khi đạt tới một giới hạn nhất định sẽ ảnh hưởng tới lớp màng thụ động quanh cốt thép. Trong dung dịch lỏng rỗng chloride có thể tồn tại ở hai trạng thái là ion chloride ở trạng thái tự do trong dung dịch lỏng rỗng và ion chloride liên kết. Nếu dạng đầu tiên có thể được đưa vào trong bê tông từ nguồn bên ngoài, hay quá trình carbonation hóa cũng có thể giải phóng ion chloride liên kết trở thành ion chloride tự do. Aluminate có thể kết hợp với chloride tự do tạo thành ion chloride liên kết, từ đó góp phần làm giảm nồng độ ion chloride tự do và giảm nguy cơ ăn mòn cốt thép do chloride tự do gây ra. Ở dạng thứ hai, các ion chloride liên kết mạnh do liên kết hóa học, chúng chủ yếu là calcium chloriderualuminat –  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$  muối Friedel và calcium chloride ferrit –  $3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$  hình thành do phản ứng của calcium aluminate hydrate với ion chloride. Trong các dạng tồn tại của ion chloride trong bê tông, chỉ có các ion chloride ở dạng tự do là tác nhân chủ yếu gây ra quá trình ăn mòn cốt thép.

### 3.2 Ảnh hưởng của tỷ số nước trên chất kết dính đến tốc độ ăn mòn

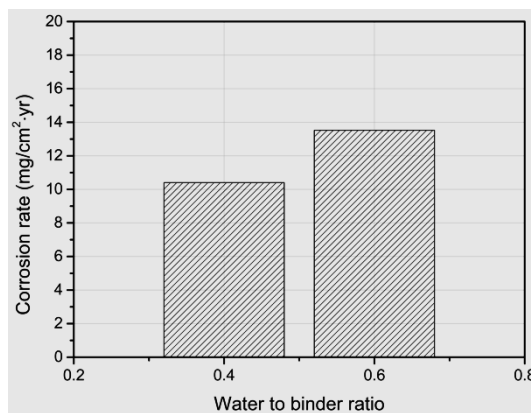
Khả năng kháng ăn mòn của kết cấu bê tông cốt thép phụ thuộc nhiều vào nhân tố, và các thông số kỹ thuật của bê tông luôn là đòn bẩy vai trò chủ đạo. Các thông số kỹ thuật của bê tông được quan tâm nhiều khi nghiên cứu độ bền của kết cấu gồm tỷ số nước trên chất kết dính (w/b), hàm lượng xi măng, loại xi măng, công tác tạo hình, và quá trình bảo dưỡng bê tông. Trong phần này của nghiên cứu, tỷ số w/b được quan tâm đánh giá tác động của nó đến tốc độ ăn mòn của cốt thép khi sử dụng bê tông OPC. Hình 5 thể hiện kết quả đo đặc tốc độ ăn mòn của cốt thép trong bê tông khi thay đổi tỷ số w/b. Tốc độ ăn mòn cốt thép trong bê tông OPC tăng từ 0.26 đến 0.5 lần khi tỷ số w/b tăng từ 0.4 lên 0.6 (Hình 5). Các kết quả tương đồng cũng được đưa ra trong bởi các tác giả khác [1-3, 9-11, 15-19].



a. Bê tông không chứa chloride



b. Bê tông chứa chloride với hàm lượng 2 kg/m<sup>3</sup>



c. Bê tông chứa chloride với hàm lượng 6 kg/m<sup>3</sup>

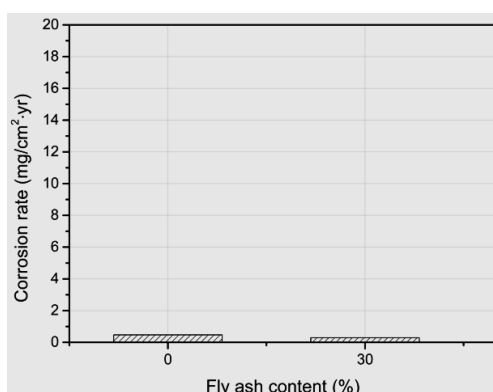
Hình 5. Sự biến đổi của tốc độ ăn mòn khi thay đổi tỷ số nước trên chất kết dính của bê tông.

Khi cân nhắc yếu tố độ bền của kết cấu, việc thiết lập tỷ số w/b cho kết cấu phụ thuộc nhiều vào môi trường làm việc của kết cấu, hàm lượng các yếu tố gây hại trong môi trường, v.v. Bên cạnh đó cũng phải đề cập đến các khía cạnh cơ lý như cường độ, co ngót, và loại kết cấu (bê tông cốt thép thông thường, bê tông cốt thép ứng lực, v.v.). Tỷ số w/b ảnh hưởng lớn đến độ rỗng và sự phân bố các lỗ rỗng trong lớp nền bê tông, hay nói cách khác thông số w/b gián tiếp quyết định đến tính thấm của bê tông. Tính thấm của bê tông sẽ quyết định tốc độ thâm nhập của các yếu tố có hại môi trường bên ngoài vào trong bê tông. Bê tông có độ rỗng xấp xỉ thấp với tỷ lệ nước trên chất kết dính thấp, các lỗ rỗng kín chiếm đa số và các đường mao dẫn trong lớp nền bê tông là nhỏ, dẫn đến hệ số thấm của bê tông thấp. Trong khi đó, bê tông có tỷ số nước trên chất kết dính cao thường thấy trong các lớp bê tông chất lượng thấp, các lỗ rỗng trong bê tông lớn và liên kết với nhau, từ đó tạo nên dự thâm nhập dễ dàng của các ions có hại vào trong nền bê tông.

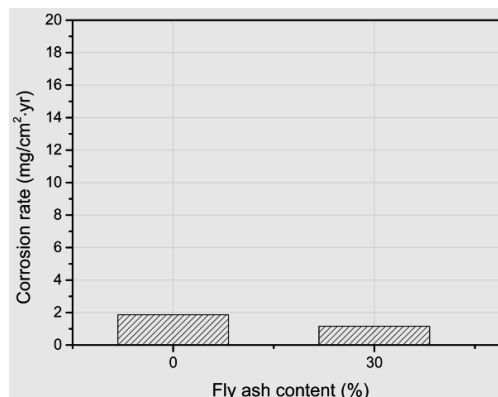
Hơn nữa, mức độ ảnh hưởng của ion chloride đến quá trình ăn mòn cốt thép cũng bị ảnh hưởng bởi tỷ lệ w/b. Điều này thể hiện qua mức độ tăng của tốc độ ăn mòn giảm khi tỷ lệ w/b giảm từ 0.6 xuống 0.4 như thể hiện ở Hình 4.

### 3.3 Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến tốc độ ăn mòn

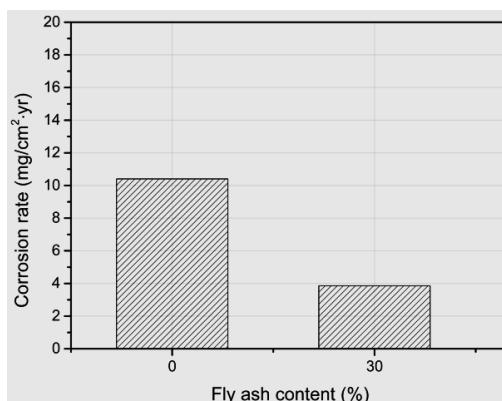
Bên cạnh tỷ số nước trên chất kết dính, loại xi măng và hàm lượng sử dụng cần được chú trọng đối với các kết cấu làm việc trong các môi trường xâm thực chloride. Trong nghiên cứu này xem xét sự ảnh hưởng của việc sử dụng tro bay như một loại phụ gia khoáng thay thế trong xi măng, đến sự phát triển của quá trình ăn mòn cốt thép. Kết quả đo đặc tốc độ ăn mòn của cốt thép khi thay đổi hàm lượng tro bay được sử dụng trong bê tông được thể hiện trong Hình 6. Dễ dàng nhận thấy tốc độ ăn mòn cốt thép tỷ lệ nghịch với hàm lượng tro bay trong bê tông. Với việc tăng hàm lượng chloride trong bê tông từ 0 lên 6 kg/m<sup>3</sup>, tốc độ ăn mòn của cốt thép trong bê tông sử dụng xi măng Portland và tro bay giảm từ 46 đến 92 % so với giá trị đo được khi chỉ sử dụng xi măng Portland (Hình 6).



a. Bê tông không chứa chloride



b. Hàm lượng chloride trong bê tông là 2 kg/m<sup>3</sup>



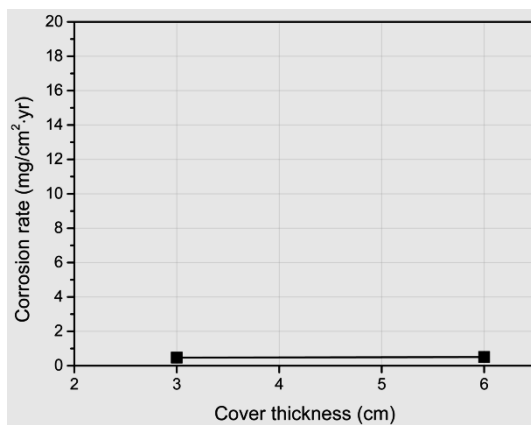
c. Hàm lượng chloride trong bê tông là 6 kg/m<sup>3</sup>

Hình 6. Sự biến đổi của tốc độ ăn mòn khi thay đổi hàm lượng tro bay trong bê tông.

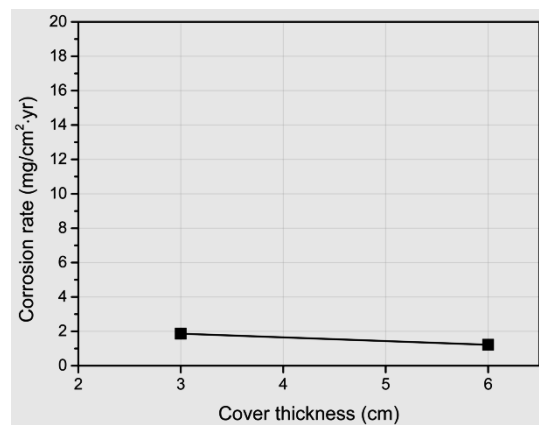
Rõ ràng việc sử dụng tro bay đã cải thiện chất lượng lớp bê tông và từ đó giảm tốc độ ăn mòn của cốt thép do xâm thực chloride. Việc sử dụng tro bay được cho là đóng góp lớn vào việc giảm lượng ion chloride tự do vốn là nguyên nhân chính gây nên quá trình ăn mòn. Tro bay có thể giảm lượng chloride tự do bằng cách tham gia vào phản ứng tạo thành các chloride liên kết [6]. Bên cạnh đó là sự cải thiện độ đặc chắc của lớp bê tông khi sử dụng tro bay trong thành phần chế tạo. Phản ứng pozzolanic trong bê tông tro bay góp phần giảm độ rỗng xốp của lớp bê tông nền, hay tăng tính đặc chắc cho bê tông. Phản ứng này được cho là xảy ra dài hạn và cải thiện chất lượng của lớp bê tông, gồm giảm độ rỗng xốp, giảm tốc độ ăn mòn, giảm tính thấm, v.v. [3, 5, 6, 16, 18]. Như đã đề cập ở trên, quá trình ăn mòn cốt thép phụ thuộc vào tốc độ dịch chuyển của các hạt mang điện hay electron trong nền bê tông. Khi bê tông tro bay đặc chắc, sự dịch chuyển này bị ngăn cản hay tốc độ dịch chuyển của electron trong phản ứng giảm. Do đó tốc độ ăn mòn của cốt thép trong bê tông tro bay thấp hơn so với khi xác định trong bê tông OPC.

### 3.4 Ảnh hưởng của chiều dày lớp bê tông bảo vệ đến tốc độ ăn mòn

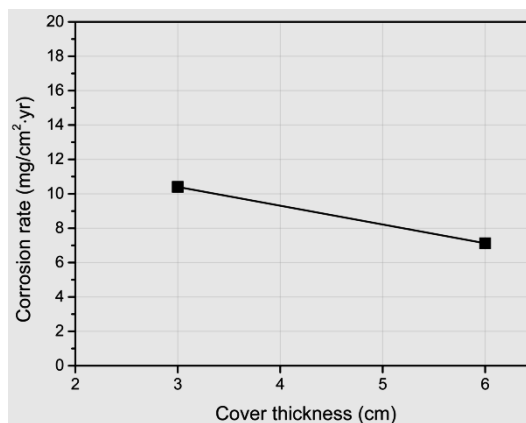
Bên cạnh yếu tố chất lượng lớp bê tông bao phủ cốt thép, chiều dày của lớp bê tông cũng được xem xét trong nghiên cứu này. Nghiên cứu khảo sát sự tương quan giữa tốc độ ăn mòn và chiều dày lớp bê tông với hai giá trị chiều dày là 3 cm và 6 cm. Hình 7 thể hiện kết quả đo đạc tốc độ ăn mòn của cốt thép khi thay đổi chiều dày lớp bê tông bảo vệ. Tổng quát, có thể nhận thấy tốc độ ăn mòn giảm khi tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ. Tốc độ ăn mòn cốt thép trong bê tông OPC là 0.47, 1.86, 10.40 mg/cm<sup>2</sup>.yr khi thay đổi hàm lượng chloride trong bê tông với chiều dày lớp bê tông bảo vệ là 3 cm. Các giá trị này của nhóm mẫu với chiều dày lớp bê tông bảo vệ là 6 cm lần lượt là 0.50, 1.22, 7.12 mg/cm<sup>2</sup>.yr.



a. Bê tông không chứa chloride



b. Bê tông chứa chloride với hàm lượng 2 kg/m<sup>3</sup>



c. Bê tông chứa chloride với hàm lượng 6 kg/m<sup>3</sup>

Hình 7. Sự biến đổi của tốc độ ăn mòn khi thay đổi chiều dày lớp bê tông bảo vệ.

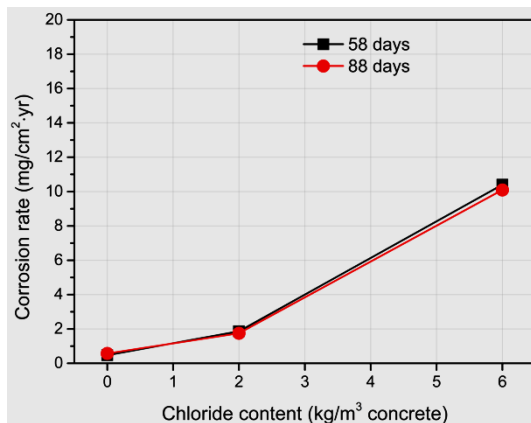
Có nhiều lợi ích khi tăng chiều dày lớp bê tông bao phủ cốt thép. Lợi ích đầu tiên khi tăng chiều dày lớp bê tông là tăng lớp ngăn cách giữa cốt thép và các yếu tố gây hại từ môi trường bên ngoài và cốt thép trong

bê tông. Điều này sẽ làm tăng thời gian quá trình ăn mòn cốt thép được kích hoạt. Cũng nên chú ý rằng các đặc tính kỹ thuật của bê tông và tác nhân gây ăn mòn cốt thép (chloride và quá trình carbonation) sẽ có ảnh hưởng đến quá trình dịch chuyển vật chất trong quá trình ăn mòn. Các nghiên cứu trước chỉ ra sự ăn mòn do quá trình carbonation xảy ra trong khoảng thời gian dài, do đó khi tăng chiều dày lớp bê tông đến một giá trị nhất định thì thời gian cần để xảy ra quá trình ăn mòn cốt thép sẽ giảm đáng kể [1, 2, 5, 6, 8, 11]. Ngược lại, thời gian kích hoạt quá trình ăn mòn này rất khó xác định chính xác trong trường hợp cốt thép ăn mòn do chloride. Với điều kiện thiết lập ban đầu trong nghiên cứu, ion chloride được trộn trước vào bê tông trong giai đoạn đúc mẫu. Do đó, sự thay đổi chiều dày lớp bê tông bảo vệ được cho là sẽ tác động đến các yếu tố ăn mòn như khí oxygen và hơi nước trong quá trình ăn mòn cốt thép. Nói cách khác, khi tăng chiều dày lớp bê tông sẽ làm giảm sự thâm nhập của khí oxygen và hơi nước qua lớp bê tông đến bề mặt cốt thép. Khi thiếu vắng hai yếu tố cần thiết cho quá trình ăn mòn là hơi nước và khí oxygen, quá trình ăn mòn cốt thép sẽ không thể kích hoạt.

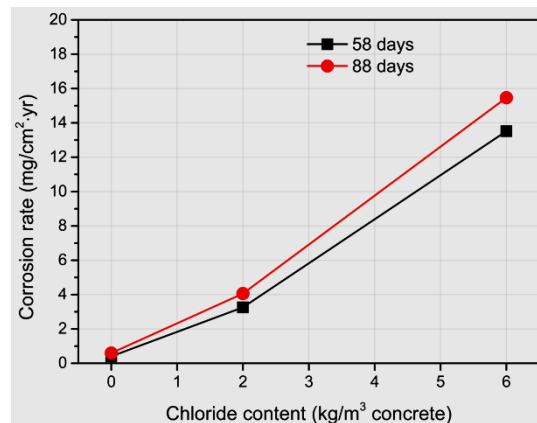
Dù có tăng khả năng bảo vệ cốt thép, việc tăng chiều dày lớp bê tông cũng đưa đến nhiều khó khăn về khía cạnh cơ học và trong ứng dụng thực tế. Trong nhiều tình huống, việc tăng chiều dày lớp bê tông không mang lại hiệu quả như mong đợi. Cụ thể, nhiều trường hợp lớp bê tông bao phủ dày có thể xuất hiện các vết nứt co ngót do chênh lệch độ ẩm giữa lớp bê tông bề mặt và lớp bê tông bên trong lòng. Thực tế chỉ ra chiều dày lớp bê tông không nên vượt quá từ 7 cm đến 9 cm.

### 3.5 Ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc môi trường xâm thực đến tốc độ ăn mòn

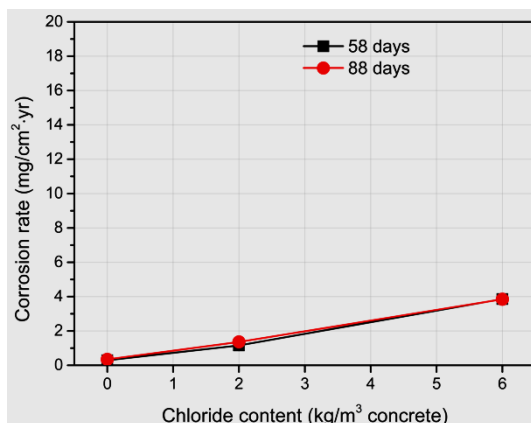
Quá trình ăn mòn cốt thép phụ thuộc nhiều vào thời gian kết cấu tiếp xúc với các tác nhân xâm thực có trong môi trường. Quá trình ăn mòn cốt thép trong bê tông cốt thép có thể được mô tả bằng hai giai đoạn là: giai đoạn khởi đầu và giai đoạn ăn mòn.



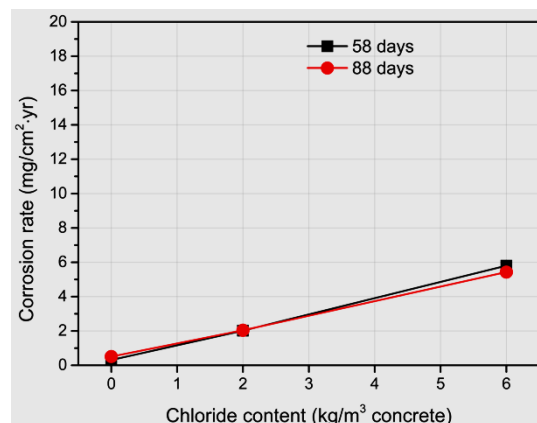
a. Bê tông xi măng Portland với w/b = 0.4



b. Bê tông xi măng Portland với w/b = 0.6



c. Bê tông xi măng Portland + tro bay với w/b = 0.4



d. Bê tông xi măng Portland + tro bay với w/b = 0.6

Hình 8. Sự biến đổi của tốc độ ăn mòn cốt thép theo thời gian.

Trong giai đoạn đầu, cốt thép trong bê tông vẫn ở trạng thái thụ động hay nồng độ các ion có hại còn thấp. Có thể nói trong giai đoạn này các ion có hại xâm nhập từ từ qua lớp bê tông, giai đoạn này được xác định bằng thời gian phản ứng giữa bê tông với môi trường, hay nói cách khác, thời gian của giai đoạn này phụ thuộc vào độ đặc chắc của lớp bê tông bảo vệ. Ở giai đoạn kế tiếp, trạng thái thụ động của cốt thép bị khur đến khi ăn mòn phát triển tới giới hạn làm giảm khả năng chịu lực của kết cấu. Cuối giai đoạn này trên bề mặt cốt thép tạo thành vô số các sản phẩm ăn mòn và gây nội ứng suất phá vỡ lớp bê tông bảo vệ, khi đó khả năng chịu lực của kết cấu bê tông cốt thép suy giảm nghiêm trọng.

Một phần trong nghiên cứu này xem xét ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc thực đến tốc độ ăn mòn của cốt thép. Sự thay đổi tốc độ ăn mòn của cốt thép trong bê tông OPC và bê tông tro bay theo thời gian được thể hiện trong Hình 8. Tốc độ ăn mòn được xác định sau 58 ngày và 88 ngày kể từ khi mẫu được tạo hình. Có thể nhận thấy tốc độ ăn mòn cốt thép tăng theo thời gian trong đa số các nhóm mẫu dùng trong nghiên cứu. Hơn nữa, tốc độ tăng của tốc độ ăn mòn là khác nhau trong bê tông OPC và bê tông tro bay khi các yếu tố khác được giữ không đổi. Tốc độ tăng của ăn mòn trong bê tông tro bay thấp hơn đáng kể so với kết quả đo được trong bê tông OPC. Nguyên nhân là do phản ứng pozzolanic trong bê tông tro bay đã tăng độ đặc chắc của lớp bê tông và giảm hàm lượng ion chloride tự do trong bê tông. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự tương đồng với các nghiên cứu trước [11, 20-24].

## 4 KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu chỉ ra quá trình ăn mòn của cốt thép trong bê tông phụ thuộc vào các thông số kỹ thuật của bê tông, thời gian tiếp xúc với môi trường xâm thực, và chiều dày lớp bê tông bảo vệ. Khi giảm tỷ lệ nước trên chất kết dính làm giảm tốc độ ăn mòn của cốt thép. Trong khi việc tăng hàm lượng sử dụng tro bay trong bê tông cũng cho kết quả tương tự. Nguyên nhân chính của hiện tượng này là sự tăng mức độ đặc chắc của lớp bê tông, do đó quá trình ăn mòn cốt thép bị hạn chế nhiều. Đồng thời, khi tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép, các yếu tố oxygen và hơi nước khó xâm nhập đến bề mặt cốt thép hơn nên quá trình ăn mòn cốt thép cũng bị hạn chế. Kết quả nghiên cứu chỉ ra giá trị đo đạc tốc độ ăn mòn cốt thép nhỏ hơn ở mẫu có chiều dày lớp bê tông bảo vệ lớn. Cuối cùng, khi các yếu tố xâm thực còn hiện diện trong môi trường xung quanh kết cấu bê tông cốt thép, tốc độ ăn mòn nhìn chung sẽ tăng theo thời gian. Kết quả nghiên cứu được dự kiến được sử dụng để phát triển cho các nghiên cứu về ăn mòn cốt thép có kết hợp với các yếu tố khác, như tải trọng, sự xuất hiện về nứt, v.v. Từ quan điểm đó độ bền xâm thực của kết cấu bê tông cốt thép trong thực tế sẽ được đánh giá chính xác hơn.

## LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu trình bày trong bài báo được hỗ trợ tài chính bởi Trường Đại học Công Nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh (IUH) với số hợp đồng 21.2XD03.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. V. P. Tran, "Time-dependent model for evaluating corrosion potential and electrical resistivity of reinforced concrete," *Engineering Journal*, vol. 25, no. 1, pp. 125-135, 2021.
- [2] D. V. P. Tran, P. Sanchaoren, P. Klomjit, and S. Tangtermsirikul, "Electrical resistivity and corrosion potential of reinforced concrete: Influencing factors and prediction models," *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 34, no. 19, pp. 2107-2119, 2020.
- [3] J. P. Broomfield, *Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair*. London, UK: E & FN Spon, 1997.
- [4] *Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*, ASTM C 876, 2015.
- [5] A. Bentur, S. Diamond, and N. Berke, *Steel Corrosion in Concrete: Fundamentals and Civil Engineering Practice*. London: E & FN Spon, 1997.
- [6] L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedferri, and R. Polder, *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair*. Weinheim: John Wiley & Sons, 2004.
- [7] M. V. Tran and D. V. P. Tran, "Effect of thermal-humid media on durability of CFRP-wrapped reinforced concrete columns," presented at the CIGOS, Ho Chi Minh City, Viet Nam, 2017.
- [8] D. V. P. Tran, "Study on electrical resistivity of concrete," in *Young Scientists Conference 2021*, Viet Nam, 2021, vol. Lĩnh vực Kỹ thuật - Công nghệ thông tin: Industrial University of Ho Chi Minh City, pp. 197-202.



- [9] D. V. P. Tran, P. Sanchaoren, P. Klomjit, and S. Tangtermsirikul, "Factors affecting half-cell potential profile of patching repaired concrete," in *3rd ACF Symposium*, Sapporo, Japan, 2019.
- [10] M. V. Tran and D. V. P. Tran, "Effect of temperature and humidity cycling on reinforcement corrosion," in *11th SEATUC Symposium*, Viet Nam, 2017.
- [11] D. V. P. Tran, P. Sanchaoren, P. Klomjit, and S. Tangtermsirikul, "Effects of Concrete Mix Proportion and Chloride Content on Electrochemical Properties of Reinforcing Steel in Concrete," *Engineering Journal*, vol. 24, no. 3, pp. 23-34, 2020.
- [12] *Standard Specification for Portland Cement*, ASTM C 150, 2007.
- [13] *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*, ASTM C 618-19, 2019.
- [14] *Standard Specification for Concrete Aggregates*, ASTM C 33, 2010.
- [15] D. V. P. Tran, P. Sanchaoren, P. Klomjit, and S. Tangtermsirikul, "Electrochemical compatibility of patching repaired reinforced concrete: Experimental and numerical approach," *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 34, no. 8, pp. 828-848, 2019.
- [16] P. K. M. Mehta, Paulo J. M., *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, Third ed. McGraw-Hill, 2006.
- [17] S. Mindess, J. F. Young, and D. Darwin, *Concrete*, Second ed. New Jersey, US: Prentice-Hall, 1981.
- [18] A. M. Neville, *Properties of concrete*, Fourth ed. England: Pearson Education Limited, 2002.
- [19] M. G. Richardson, *Fundamentals of durable reinforced concrete*. London: Spon Press, 2002.
- [20] R. R. Hussain and T. Ishida, "Enhanced electro-chemical corrosion model for reinforced concrete under severe coupled action of chloride and temperature," *Construction and Building Materials*, vol. 25, pp. 1305-1315, 2011.
- [21] A. Michel, M. Otieno, H. Stang, and M. R. Geiker, "Propagation of steel corrosion in concrete: Experimental and numerical investigations," *Cement and Concrete Composites*, vol. 70, pp. 171-182, 2016.
- [22] M. Otieno, H. Beushausen, and M. Alexander, "Chloride-induced corrosion of steel in cracked concrete-Part II: Corrosion rate prediction models," *Cement and Concrete Research*, vol. 79, pp. 386-394, 2016.
- [23] M. Otieno, H.-D. Beushausen, and M. Alexander, "Chloride-induced corrosion of steel in cracked concrete - Part I: Experimental studies under accelerated and natural marine environments," *Cement and Concrete Research*, vol. 79, pp. 373-385, 2016.
- [24] M. V. Tran, D. V. P. Tran, and M. M. A. B. Abdullah, "Effect of Interrupting Electricity Period on Electrochemical Chloride Extraction of Reinforced Concrete," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 754-755, pp. 342-347, 2015.

## EFFECTS OF CONCRETE SPECIFICATIONS ON CORROSION OF REINFORCEMENT

TRAN VIET PHUONG DONG\* and NGUYEN BA PHU

*Faculty of Civil Engineering, Industrial University of Ho Chi Minh City, Ho Chi Minh City, Viet Nam*

*\* Corresponding Author: tranvietphuongdong@iuh.edu.vn*

**Abstract.** This study aims to evaluate factors affecting the corrosion rate of reinforcing steel. Specifically, the factors concerned in this study include the specifications of concrete, the exposure period, and the thickness of the concrete cover. The results reveal that the corrosion rate of steel decreases with the increase in the density of the concrete cover. The concrete density increases when using a low water-to-binder ratio and the introduction of fly ash in the concrete mix proportion. Besides, the measured results of corrosion rate also increase in reinforced concrete specimens with low cover thickness and exposure to aggressive conditions for a long period.

**Keywords.** Concrete, corrosion, reinforcement, chloride, fly ash, nondestructive.

*Ngày nhận bài: 29/11/2022*

*Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2022*