

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA MỨC ĐỘ ẪN MÒN CỐT THÉP ĐẾN ỨNG SUẤT BÁM DÍNH GIỮA BÊ TÔNG VÀ CỐT THÉP

Nguyễn Ngọc Tân^{a,*}, Trần Anh Dũng^a, Nguyễn Công Thế^a, Trịnh Bá Tuấn^a, Lương Tuấn Anh^a

^a*Khoa Xây dựng dân dụng và công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 29/06/2018, Sửa xong 27/08/2018, Chấp nhận đăng 26/09/2018

Tóm tắt

Trong nghiên cứu này, một mô hình thí nghiệm ăn mòn điện hóa đã được thiết lập để tạo ra các mẫu thử bê tông cốt thép có mức độ ăn mòn mong muốn trong thời gian ngắn (đơn vị ngày). Các mẫu thí nghiệm được chế tạo bằng các loại bê tông khác nhau có cấp độ bền lần lượt là B30, B40, B50 và các thanh cốt thép có đường kính 12 mm. Hệ số K xác định bởi tỷ lệ giữa mức độ ăn mòn thực tế tính toán bằng khối lượng mất mát của thanh cốt thép và mức độ ăn mòn lý thuyết tính toán dựa trên định luật Faraday, cho phép ước lượng chính xác hơn thời gian ăn mòn điện hóa. Tiếp theo, thí nghiệm kiểm tra lực bám dính giữa bê tông và cốt thép đã được thực hiện trên các mẫu thử để xác định ảnh hưởng của các mức độ ăn mòn khác nhau, đó là: (i) mức độ nhỏ trong khoảng 0 - 2%, (ii) mức độ ăn mòn trung bình 6,5% và (iii) mức độ ăn mòn lớn hơn 8,4%.

Từ khoá: bê tông cốt thép; ăn mòn điện hóa; ion clorua; định luật Faraday; ứng suất bám dính bê tông và cốt thép.

AN EXPERIMENTAL STUDY TO IDENTIFY THE INFLUENCE OF REINFORCEMENT CORROSION ON STEEL-CONCRETE BOND STRESS

Abstract

In this study, a testing disposition of electrochemical corrosion was established to obtain reinforced concrete samples having different corrosion rates of steel bars in a short time (unit by days). The samples tested were made of different concretes with strength class B30, B40, B50, respectively, and steel bars of diameter of 12 mm. The ratio K between the actual corrosion rate by mass loss of steel bars and the theoretical corrosion rate by Faraday's law, was determined to better estimate the duration of accelerated electrochemical corrosion process. The steel-concrete bond test was carried out on the samples to identify the relation between bond stress and different corrosion rates: (i) corrosion rate ranging from 0 to 2%, (ii) corrosion rate of about 6,5%, (iii) corrosion rate of more than 8,4%.

Keywords: reinforced concrete; electrochemical corrosion; chloride ions; Faraday's law; steel-concrete bond stress.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(6\)-04](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(6)-04) © 2018 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Đặt vấn đề

Bê tông cốt thép (BTCT) đã được sử dụng từ cách đây hơn một thế kỉ bởi vì nó là một loại kết cấu có tính linh hoạt, kinh tế và bền vững. Trong quá trình khai thác và sử dụng công trình, sự ăn mòn cốt

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: tannn@nuce.edu.vn (Tân, N. N.)

thép trong bê tông là một trong những bệnh lý chính xuất hiện trên các kết cấu BTCT. Quá trình ăn mòn cốt thép gây ra những hư hỏng trên bề mặt kết cấu, lớp bê tông bảo vệ bị nứt và bong tróc, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến thẩm mỹ và kiến trúc của công trình. Đồng thời, những cốt thép bị ăn mòn cũng bị mất mát khối lượng, giảm tiết diện làm việc so với tính toán, gây nguy hiểm cho người và quá trình sử dụng, vận hành. Một trong những xuống cấp về khả năng chịu lực, đó là sự suy giảm ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép do ăn mòn. Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm đã được thực hiện trên các mẫu bê tông cốt thép được chế tạo bằng các loại bê tông có cấp độ bền lần lượt là B30, B40, B50 và cốt thép gai có đường kính D12 mm. Những kết quả được tính toán và phân tích nhằm xác định ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép đến ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép.

Trong thực tế, có hai nguyên nhân chính gây ra sự ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép, đó là: (i) Sự cacbonat hóa bê tông do sự xâm nhập của khí CO_2 ; (ii) Sự xâm nhập của các ion clorua. Trường hợp thứ nhất, khí CO_2 trong không khí xâm nhập vào trong bê tông qua mạng lưới các lỗ rỗng, khe nứt. Với sự có mặt của pha lỏng có trong bê tông và các sản phẩm thủy hóa của xi măng, đặc biệt là $\text{Ca}(\text{OH})_2$, các phản ứng cacbonat hóa xảy ra tạo thành CaCO_3 (đá vôi). Độ pH của môi trường giảm từ khoảng 12,5 - 13,5 xuống xấp xỉ 9, dẫn đến sự phá vỡ lớp màng thụ động bảo vệ cốt thép. Trường hợp thứ hai, nhờ có pha lỏng, các ion clorua xâm thực vào trong kết cấu, làm thay đổi điều kiện của môi trường bảo vệ của bê tông đối với cốt thép, dẫn đến thay đổi hình thái lớp màng thụ động, và từ đó thúc đẩy quá trình ăn mòn diễn ra trong kết cấu.

Các số liệu thu thập được cho thấy tần suất và các chi phí sửa chữa công trình cho những hư hỏng và xuống cấp do ăn mòn ngày một tăng cao [1]. Tại Nhật Bản, một nghiên cứu chỉ ra, 90% các công trình tiếp xúc với môi trường biển có lớp bê tông bảo vệ không đủ lớn và các công trình chỉ mới 10 tuổi đã bị hư hỏng chiếm một tỷ lệ lớn. Tại Hoa Kỳ, dựa trên việc theo dõi 586000 cầu đường bộ cao tốc, 15% trong số đó có kết cấu bị giảm yếu, nguyên nhân chủ yếu là do sự ăn mòn phát triển mạnh. Ở Việt Nam, các tác động của ăn mòn là càng rõ rệt so với các nước trên thế giới, do điều kiện khí hậu nhiệt độ, độ ẩm cao, thời gian ẩm ướt lớn, nồng độ ion clorua cao. Nhiều công trình bị ảnh hưởng nghiêm trọng bởi quá trình ăn mòn sau một thời gian ngắn sử dụng. Hình 1 minh họa hiện trạng ăn mòn của một số công trình thực tế ở miền Bắc và miền Nam: (a) Cảng Cửa Cấm - Hải Phòng, cách biển 25 km, sau 30 năm sử dụng; (b) Cảng Thương vụ - Vũng Tàu, sau 15 năm sử dụng. Số liệu chỉ ra rằng kết cấu bị ăn mòn nghiêm trọng lên đến 45%, thép đai nhiều vị trí bị đứt, lớp bê tông bảo vệ bị bong tróc hoặc vỡ hết [2].



(a) Cảng Cửa Cấm - Hải Phòng



(b) Cảng Thương vụ - Vũng Tàu

Hình 1. Hiện trạng ăn mòn cốt thép trên một số công trình thực tế [2]

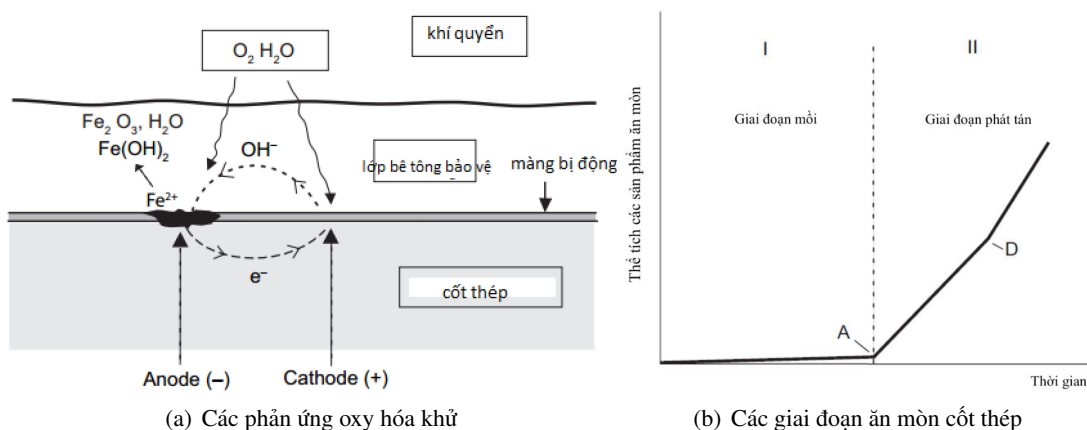
Ở nước ta, nhiều công trình ven biển được xây dựng từ những năm 1960 đến nay đều áp dụng theo quy phạm xây dựng thông thường, ít chú ý đến những yêu cầu về bảo vệ chống ăn mòn theo tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 [3]. Các nghiên cứu về vấn đề ăn mòn và các ảnh hưởng vẫn chưa được phổ biến rộng rãi, do thời gian ăn mòn thực tế được tính theo đơn vị năm. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đưa ra một quy trình thí nghiệm cho phép tạo ra các kết cấu BTCT ở các trạng thái ăn mòn khác nhau trong phòng thí nghiệm với thời gian ngắn bằng cách sử dụng phương pháp gia tốc ăn mòn điện hóa. Từ đó, các thí nghiệm sẽ được thực hiện trên các mẫu thử để xem xét ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép đến ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép.

2. Cơ chế của quá trình ăn mòn cốt thép

Sự ăn mòn được thể hiện thông qua sự phá hủy kim loại do các phản ứng điện hóa, làm trao đổi ion và electron ở bề mặt kim loại và dung dịch hòa tan, tương ứng với hai loại phản ứng diễn ra như sau: (1) Phản ứng ở anode (phản ứng oxy hóa kim loại): phản ứng tạo ra các ion dịch chuyển trong dung dịch hòa tan: $\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{n+} + ne$; (2) Phản ứng ở cathode: các chất tan nhận các electron được tạo ra bởi anode, sản phẩm tạo thành của quá trình này là các ion OH^- .

Các phản ứng chính của quá trình oxy hóa khử diễn ra tiếp theo các phản ứng thứ phát để hình thành các sản phẩm ăn mòn trên bề mặt kim loại là các kết tủa của các oxit sắt. Các phản ứng này được minh họa trong Hình 2(a).

Các dấu hiệu bên ngoài của một công trình bị ăn mòn (các vết gỉ sắt, vết nứt, cốt thép bị ăn mòn lộ ra ngoài, bong tróc bê tông) là hậu quả sau cùng của các phản ứng hóa học nội sinh bắt đầu từ rất lâu trước khi các hư hỏng xuất hiện. Sự phát triển ăn mòn có thể được phân biệt theo hai giai đoạn (Hình 2(b)): (i) Trong giai đoạn mồi, tính ổn định của kết cấu cốt thép giảm dần, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển phát triển ăn mòn cốt thép; (ii) Trong giai đoạn phát tán, hình thành các sản phẩm của quá trình ăn mòn cốt thép. Các sản phẩm này là các phân tử oxit, hydroxit có thể tích lớn hơn so với nguyên tử sắt. Chúng gây ra ứng suất trong kết cấu, tạo ra các vết nứt dọc theo các thanh thép, làm giảm sự bám dính giữa bê tông và thép, đồng thời gây ra sự bong tróc lớp bê tông bảo vệ.



Hình 2. Cơ chế phản ứng ăn mòn điện hóa của cốt thép trong bê tông [1]

3. Mẫu thí nghiệm

3.1. Vật liệu sử dụng

Tại Phòng thí nghiệm và kiểm định công trình - Trường Đại học Xây dựng, các mẫu thí nghiệm được chế tạo bằng các loại bê tông có các cấp độ bền thay đổi lần lượt là B30, B40, B50. Bảng 1 giới thiệu thành phần cấp phối của từng loại bê tông và cường độ chịu nén (R_{28}) ở 28 ngày tuổi. Thí nghiệm nén được thực hiện trên các tổ mẫu chuẩn hình lập phương có kích thước 150x150x150 mm theo tiêu chuẩn TCVN 3118:1993 [4]. Cường độ chịu nén của bê tông là giá trị trung bình của một tổ mẫu có ba viên. Cốt thép sử dụng là thép thanh vân đường kính danh nghĩa D12 mm, mác thép là CB300-V (theo TCVN 1651-2:2008 [5]). Một tổ mẫu gồm 3 thanh thép đã được thí nghiệm kéo theo tiêu chuẩn TCVN 197-1:2014 [6], để xác định cường độ chịu kéo thực tế. Kết quả thu được giới hạn chảy là 374,5 MPa và giới hạn bền là 552,9 MPa. Tất cả các thanh thép đều được cân để xác định khối lượng trước khi bị ăn mòn.

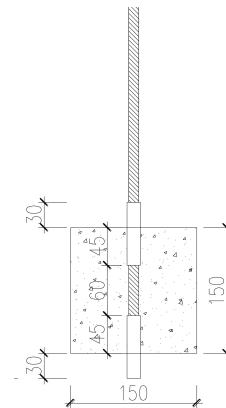
Bảng 1. Thành phần cấp phối và cường độ chịu nén của bê tông

Cấp độ bền	R_{28} (MPa)	Xi măng (kg)	Cát (kg)	Đá dăm (kg)	Nước (lít)	Tro bay (kg)	Phụ gia (lít)
B30	38,5	477	596	1250	185	-	-
B40	50,4	480	740	1080	160	60	5
B50	61,8	480	760	965	147	85	5

Bê tông cấp độ bền B30 sử dụng đá dăm có kích thước lớn nhất là 10×20 mm và không sử dụng thêm các phụ gia. Các loại bê tông cấp độ bền B40, B50 sử dụng đá dăm có kích thước lớn nhất 5×10 mm và sử dụng thêm các phụ gia, đó là tro bay và phụ gia siêu dẻo. Các thành phần phụ gia khoáng này được chứng minh có ảnh hưởng đến khả năng khuếch tán của các ion clorua trong bê tông.

3.2. Kích thước của mẫu thí nghiệm

Các mẫu thí nghiệm được chế tạo với các kích thước hình học như trong Hình 3. Đối với mỗi loại bê tông được nghiên cứu, 12 mẫu thí nghiệm được chế tạo với cùng một cấp phối. Các thanh thép D12 được đặt xuyên qua chính tâm của khuôn đúc mẫu hình lập phương kích thước $150 \times 150 \times 150$ mm. Hai đầu của mẫu thép ở vị trí tiếp xúc với khuôn được bọc bởi hai ống nhựa PVC có chiều dài 45 mm. Chiều dài bám dính giữa bê tông và cốt thép là $L = 60$ mm, để đảm bảo chiều dài neo là 5D, lấy dựa theo hướng dẫn trong RILEM RC6 [7]. Hai đoạn ống này có tác dụng giảm chiều dài bám dính giữa bê tông và cốt thép, tránh gây ra hiện tượng vỡ bê tông trước khi cốt thép được kéo ra khỏi mẫu, cũng như tránh các trường hợp ăn mòn cục bộ.



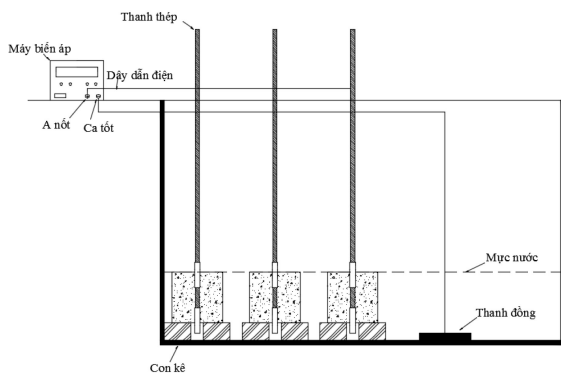
Hình 3. Kích thước mẫu thí nghiệm

4. Mô hình thí nghiệm gia tốc ăn mòn điện hóa

4.1. Sơ đồ thí nghiệm

Sơ đồ thí nghiệm được minh họa trong Hình 4(a), trong đó các mẫu thử được nối đồng thời vào cực dương của máy biến áp theo sơ đồ mạch điện song song. Cực âm của máy biến áp được nối với một thanh đồng đặt trong dung dịch nước muối NaCl có nồng độ 3,5% (35g NaCl trong 1 lít nước). Nước muối có độ mặn tương đương với nước biển trong vùng biển Việt Nam và trên thế giới, và trong thí nghiệm đóng vai trò là dung dịch chất điện ly.

Máy biến áp cho phép đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều, hiệu điện thế hoặc cường độ dòng điện có thể được cố định trước. Trong thí nghiệm này, đối với mỗi loại bê tông, 9 mẫu thử được nối đồng thời (3 mẫu đối chứng ko bị ăn mòn) với một máy biến áp, do đó hiệu điện thế được lựa chọn giữ ổn định ở mức $U = 32 \text{ V}$ (Hình 4(b)). Cường độ dòng điện tác dụng lên từng mẫu thử được xác định là giá trị trung bình của cường độ dòng điện tổng chia cho số lượng mẫu. Trong quá trình tiến hành thí nghiệm, cường độ dòng điện được ghi chép lại ở các thời gian khác nhau.



(a) Minh họa sơ đồ thí nghiệm



(b) Quá trình thực hiện thí nghiệm

Hình 4. Sơ đồ thí nghiệm gia tốc ăn mòn điện hóa

4.2. Quy trình thí nghiệm

Nghiên cứu này đã đề xuất một quy trình thí nghiệm gia tốc ăn mòn điện hóa đối với kết cấu BTCT gồm có 5 bước cơ bản, như sau:

Bước 1: Tại thời điểm bê tông đạt 28 ngày tuổi, các mẫu thí nghiệm được cho vào bể dung dịch. Thời gian ngâm mẫu thí nghiệm tối thiểu là 48 giờ để tất cả các mẫu đều ở cùng một trạng thái bão hòa nước hoàn toàn, đồng thời tạo điều kiện cho ion clorua khuếch tán vào bên trong môi trường bê tông.

Bước 2: Tiến hành kết nối các thanh cốt thép của các mẫu thí nghiệm với một máy biến áp theo sơ đồ mạch điện song song.

Bước 3: Tiến hành thí nghiệm gia tốc ăn mòn cốt thép bằng phương pháp điện hóa. Trong quá trình thí nghiệm, cường độ dòng điện hiển thị trên máy biến áp được ghi chép sau mỗi 6 giờ trong 2 ngày đầu tiên và 12 giờ trong những ngày tiếp theo.

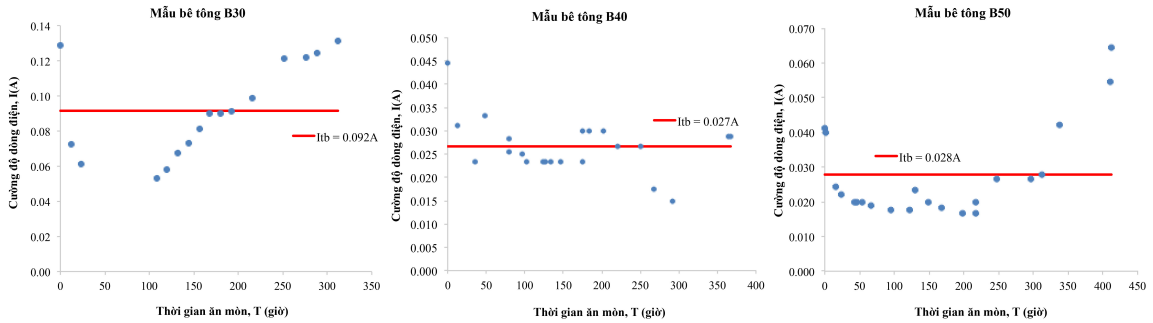
Bước 4: Kết thúc thí nghiệm gia tốc ăn mòn cốt thép bằng phương pháp điện hóa khi cốt thép bị ăn mòn đến trạng thái mong muốn. Thời gian thí nghiệm được dự đoán bằng định luật Faraday.

Bước 5: Mẫu thép bị ăn mòn được tẩy rửa sạch hoặc đánh gỉ để xác định chiều dài thực tế bị ăn mòn (L). Tiến hành cân khối lượng thanh thép để xác định khối lượng kim loại bị mất đi do ăn mòn.

4.3. Quy luật biến thiên cường độ dòng điện

Những kết quả ghi chép cường độ dòng điện tác dụng lên các thanh cốt thép được giới thiệu trên các biểu đồ trong Hình 5 đối với các mẫu thí nghiệm của từng loại bê tông. Trong nghiên cứu này, thời gian tiến hành ăn mòn điện hóa từ 312 đến 413 giờ, tương ứng với các mẫu thí nghiệm có cấp độ bền bê tông từ B30 đến B50 (Bảng 2).

Sự biến thiên cường độ dòng điện có thể được chia làm ba giai đoạn: (i) Trong khoảng 100 giờ đầu tiên, cường độ dòng điện giảm dần so với giá trị ở thời điểm bắt đầu thí nghiệm; (ii) Trong khoảng 100 giờ tiếp theo, cường độ dòng điện có xu hướng ổn định; (iii) Trong thời gian tiếp theo, các sản phẩm ăn mòn bắt đầu tạo ra nhiều (quan sát được trên bề mặt dung dịch nước muối và trên bề mặt mẫu), cường độ dòng điện tăng lên.



Hình 5. Quy luật biến thiên cường độ dòng điện trong các thanh cốt thép

4.4. So sánh mức độ ăn mòn lý thuyết và thực tế

Mức độ ăn mòn của cốt thép, ký hiệu c (%), được xác định theo công thức (1), trong đó m_0 (g) là khối lượng kim loại trước khi ăn mòn, m (g) là khối lượng kim loại sau khi bị ăn mòn, Δm (g) là khối lượng kim loại bị mất đi do ăn mòn. Giá trị c thay đổi trong khoảng từ 0 – 100%, giá trị càng lớn thì cốt thép bị ăn mòn càng nhiều.

$$c = \frac{m_0 - m}{m_0} = \frac{\Delta m}{m_0} \quad (1)$$

Theo lý thuyết, khối lượng kim loại bị đi do ăn mòn theo thời gian, có thể được xác định theo định luật Faraday [8], mô tả bằng công thức (2), trong đó I (A) là cường độ dòng điện trong kim loại, t (giây) là thời gian điện phân, M là nguyên tử khối của kim loại bị ăn mòn, n là số lượng electron trao đổi, $F = 96485$ C/mol là hằng số Faraday. Dựa trên định luật này, thời gian tiến hành thí nghiệm ăn mòn điện hóa có thể được ước lượng gần đúng.

$$\Delta m = \frac{ItM}{nF} \quad (2)$$

Đối với từng loại bê tông, ba tổ mẫu được tiến hành ăn mòn điện hóa với thời gian khác nhau để thu được các mức độ ăn mòn khác nhau. Hình 6 giới thiệu một số mẫu cốt thép sau khi bị ăn mòn điện hóa: (a) mẫu thí nghiệm bị ăn mòn với sản phẩm gỉ sắt; (b) các mẫu cốt thép sau khi tẩy rửa gỉ sắt. Tổ mẫu được tác dụng dòng điện trong thời gian dài nhất sẽ có mức độ ăn mòn lớn nhất.

Bảng 2 trình bày kết quả tính toán các mức độ ăn mòn cốt thép, đặc trưng bởi các thông số như sau: I (A) là cường độ dòng điện trung bình, t (giờ) là thời gian tiến hành ăn mòn điện hóa, c_t (%) là



(a) Cốt thép bị ăn mòn

(b) Cốt thép sau khi tẩy rửa gỉ sắt

Hình 6. Minh họa trạng thái cốt thép bị ăn mòn điện hóa

Bảng 2. Mức độ ăn mòn cốt thép trong các mẫu thí nghiệm

Cấp độ bền	I (A)	t (giờ)	c_{lt} (%)	c_{tt} (%)	$K = c_{tt}/c_{lt}$
B30	0,092	312	56,0	28,0	0,500
B40	0,027	366	19,1	6,5	0,340
B50	0,028	413	22,5	1,9	0,084

mức độ ăn mòn lý thuyết (dự đoán) theo công thức (2), và c_{tt} (%) là mức độ ăn mòn thực tế xác định bằng cách cân khối lượng kim loại bị mất đi do ăn mòn. Hệ số K được tính toán bằng tỷ lệ c_{tt}/c_{lt} . Giá trị của hệ số K giảm từ 0,50 xuống 0,084 khi cấp độ bền của bê tông tăng từ B30 đến B50. Trong trường hợp cường độ dòng điện được xác định trước, dựa trên định luật Faraday và hệ số K cho phép ước lượng chính xác hơn thời gian tác dụng dòng điện lên kết cấu thí nghiệm để đạt được mức độ ăn mòn mong muốn.

5. Xác định ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép ở các mức độ ăn mòn khác nhau

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện để xem xét ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép bị ăn mòn ở các mức độ khác nhau [9]. Trong khi đó, ở Việt Nam, số lượng các công trình xây dựng dọc theo bờ biển là rất nhiều, tuy nhiên số lượng các nghiên cứu đã được thực hiện đối với kết cấu BTCT bị ăn mòn còn hạn chế. Ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép đã được nghiên cứu, nhưng trên các kết cấu không bị ăn mòn [10]. Do đó, một trong những mục tiêu của nghiên cứu này là xác định ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép đến lực bám dính giữa bê tông và cốt thép, đối với các loại bê tông có cường độ chịu nén trung bình trong khoảng 38,5–61,8 MPa.

5.1. Sơ đồ thí nghiệm

Thí nghiệm xác định lực bám dính giữa bê tông và thép được thực hiện theo sơ đồ thí nghiệm nén (đẩy thanh thép tuột ra khỏi bê tông). Trong nghiên cứu này, lực bám dính giữa bê tông và cốt thép được dự đoán lớn hơn tải trọng gây đứt thép, do cường độ bê tông cao, cường độ thép sử dụng tương đối nhỏ (loại CB-300V). Do đó, sơ đồ thí nghiệm nén đã được áp dụng để không gây ra hiện tượng thanh thép bị đứt trước khi liên kết bám dính bị phá hủy. Tải trọng tác dụng được tạo ra bởi kích thủy

lực, gắn với loadcell để đo lực. Các dụng cụ đo được nối với data logger TDS-530 cho phép ghi số liệu thí nghiệm liên tục và tự động trong quá trình thực hiện (Hình 7). Tải trọng gây phá hủy mẫu được sử dụng để tính toán ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép.

5.2. Kết quả thí nghiệm

Từ các kết quả thí nghiệm thu được, ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép, ký hiệu τ (MPa), có thể được xác định theo công thức (3), trong đó P_{ph} (kN) là lực phá hoại mẫu thí nghiệm, $d = 12$ (mm) là đường kính danh nghĩa của cốt thép và $L = 60$ (mm) là chiều dài cốt thép bám dính với bê tông. Bảng 3 tổng hợp kết quả tính toán ứng suất bám dính, đặc trưng bởi giá trị trung bình của một số chỉ tiêu như sau: $\bar{c}_{tt}$ (%) mức độ ăn mòn thực tế, $\bar{P}_{ph}$ (kN) lực phá hoại, $\bar{\tau}$ (MPa) ứng suất bám dính trung bình giữa bê tông và cốt thép.

$$\tau = \frac{P_{ph}}{\pi d L} \quad (3)$$



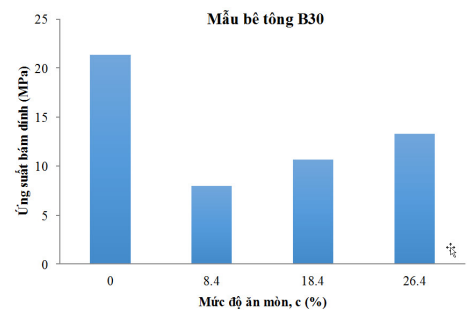
Hình 7. Sơ đồ thí nghiệm kiểm tra lực bám dính giữa bê tông và cốt thép

Bảng 3. Ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép ở các mức độ ăn mòn khác nhau

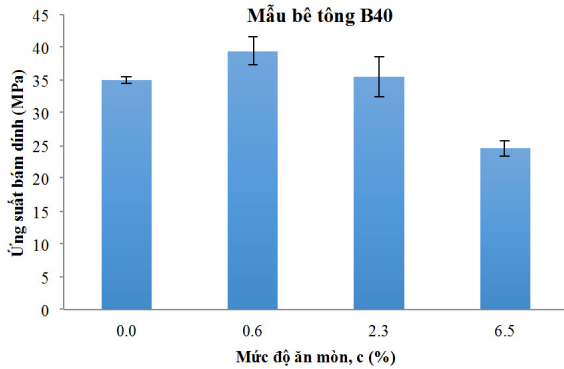
Tổ mẫu	Mẫu bê tông B30			Mẫu bê tông B40			Mẫu bê tông B50		
	$\bar{c}_{tt}$ (%)	$\bar{P}_{ph}$ (kN)	$\bar{\tau}$ (MPa)	$\bar{c}_{tt}$ (%)	$\bar{P}_{ph}$ (kN)	$\bar{\tau}$ (MPa)	$\bar{c}_{tt}$ (%)	$\bar{P}_{ph}$ (kN)	$\bar{\tau}$ (MPa)
M1	0,0	48,2	21,3	0,0	79,2	35,0	0,0	83,1	36,7
M2	17,7	24,0	10,6	0,6	89,2	39,5	0,4	81,0	35,8
M3	-	-	-	2,3	80,3	35,5	1,3	81,4	36,0
M4	-	-	-	6,5	55,7	24,6	1,9	67,0	29,6

5.3. Phân tích kết quả thí nghiệm

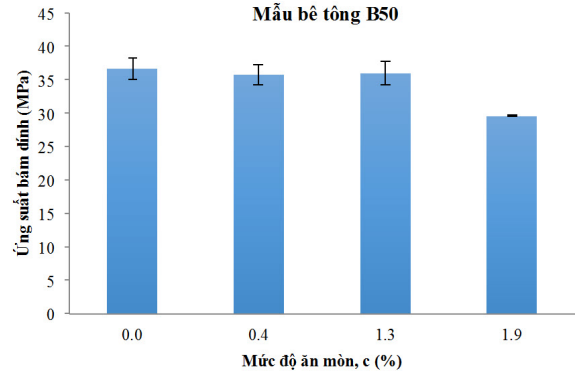
Đối với các mẫu thí nghiệm của bê tông cấp độ bền B30, nếu cốt thép không bị ăn mòn thì ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép có giá trị trung bình bằng 21,3 MPa. Một tổ mẫu có các mức độ ăn mòn cốt thép tương đối biến động, lần lượt là 8,4%, 18,4% và 26,4%, đã được khảo sát lực bám dính. Các mẫu thí nghiệm này đều xuất hiện vết nứt bê tông dọc theo thanh cốt thép, với bề rộng lớn có thể quan sát được bằng mắt thường. Đối với tổ mẫu này, ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép giảm rõ rệt, có giá trị thay đổi trong khoảng 8,0 - 13,3 MPa (Hình 8). Do đó, ứng suất bám dính giảm so với trạng thái không ăn mòn, giảm từ 37,5% đến 62%. Kết quả này bị ảnh hưởng nhiều bởi hình thái cụ thể của vết nứt trên từng mẫu thí nghiệm.



Hình 8. Biểu đồ quan hệ ứng suất bám dính và mức độ ăn mòn cốt thép đối với các mẫu bê tông B30



Hình 9. Biểu đồ quan hệ ứng suất bám dính và mức độ ăn mòn cốt thép đối với các mẫu bê tông B40



Hình 10. Biểu đồ quan hệ ứng suất bám dính và mức độ ăn mòn cốt thép đối với các mẫu bê tông B50

Đối với các mẫu thí nghiệm của bê tông cấp độ bền B40, bốn tổ mẫu đã được kiểm tra, với mức độ ăn mòn cốt thép thực tế thay đổi trong khoảng 0 - 6,5% (Hình 9). Các sản phẩm gỉ sắt đã xuất hiện ở bề mặt giữa bê tông và cốt thép, tuy nhiên chưa xuất hiện vết nứt trên bề mặt mẫu thí nghiệm. Ở trạng thái cốt thép không bị ăn mòn, ứng suất bám dính có giá trị trung bình bằng 35,0 MPa. Ở các mức độ ăn mòn nhỏ, trong khoảng 0,6% - 2,3%, ứng suất bám dính có xu hướng tăng từ 35,0 MPa lên đến 39,5 MPa. Ở mức độ ăn mòn lớn hơn, trung bình 6,5%, thì ứng suất bám dính giảm đến giá trị 24,6 MPa, tương đương giảm 30% so với trạng thái cốt thép không bị ăn mòn.

Đối với các mẫu thí nghiệm của bê tông cấp độ bền B50, bốn tổ mẫu cũng đã được kiểm tra, với mức độ ăn mòn cốt thép thực tế tương đối nhỏ, trong khoảng 0 - 1,9% (Hình 10). Các sản phẩm gỉ sắt xuất hiện ít hơn nhiều so với các mẫu thí nghiệm của các loại bê tông B30 và B40. Vết nứt chưa xuất hiện trên các mẫu thí nghiệm. Ở các mức độ ăn mòn từ 0 đến 1,3%, ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép gần như bằng nhau, ít có sự biến động, thay đổi trong khoảng 35,8 - 36,7 MPa. Ở mức độ ăn mòn trung bình 1,9%, ứng suất bám dính bằng 29,6 MPa, giảm một lượng tương đương 20% so với trạng thái không bị cốt thép ăn mòn.

Như vậy, những kết quả thu được trong phần này đã khảo sát ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép trên các mẫu thí nghiệm có các mức độ ăn mòn khác nhau, đó là: (i) các mức độ ăn mòn nhỏ trong khoảng 0 – 2%, (ii) mức độ ăn mòn trung bình khoảng 6,5%, và (iii) các mức độ ăn mòn lớn hơn 8,4%. Đối với các mẫu thí nghiệm có mức độ ăn mòn nhỏ, ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép tăng lên so với trạng thái cốt thép không bị ăn mòn. Đối với các mẫu thí nghiệm có mức độ ăn mòn trung bình (đối với bê tông B40), thì ứng suất bám dính có thể giảm đến 30% so với trạng thái không bị ăn mòn. Đối với các mẫu thí nghiệm có mức độ ăn mòn lớn hơn (đối với bê tông B30), thì ứng suất bám dính có thể giảm từ 37,5% đến 62% so với trạng thái không ăn mòn, và tương đối biến động do xuất hiện nhiều các sản phẩm ăn mòn và vết nứt có độ mở rộng lớn.

6. Kết luận

Nghiên cứu này đã thiết lập một mô hình thí nghiệm ăn mòn điện hóa sử dụng dòng điện một chiều tác dụng lên kết cấu BTCT ngâm trong dung dịch nước muối NaCl có độ mặn tương đương nước biển, để thu được các mức độ ăn mòn cốt thép mong muốn, trong thời gian ngắn tính bằng đơn vị ngày. Các mẫu thí nghiệm đã được chế tạo bằng các loại bê tông có cấp độ bền khác nhau, lần lượt là B30, B40 và B50. Các giá trị của hệ số K được xác định bởi tỷ lệ giữa mức độ ăn mòn thực tế tính toán bằng cân khối lượng kim loại mất mát và mức độ ăn mòn lý thuyết dựa trên định luật Faraday,

cho phép ước lượng chính xác hơn thời gian tác dụng dòng điện lên kết cấu thí nghiệm để đạt được mức độ ăn mòn lựa chọn trước.

Các mẫu thử đã được tiến hành thí nghiệm kiểm tra lực bám dính giữa bê tông và cốt thép, để phân tích ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép. Những kết quả thu được trên các mẫu thử BTCT được kiểm tra cho phép đưa ra các kết luận như sau:

(i) Đối với các mẫu thí nghiệm có mức độ ăn mòn cốt thép nhỏ trong khoảng 0 - 2%, thì ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép tăng lên so với trạng thái cốt thép không bị ăn mòn;

(ii) Đối với các mẫu thí nghiệm có mức độ ăn mòn trung bình khoảng 6,5%, thì ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép có thể giảm đến 30% so với trạng thái không bị ăn mòn;

(iii) Đối với các mẫu thí nghiệm có mức độ ăn mòn cốt thép lớn hơn 8,4% và cường độ bê tông thấp, thì ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép giảm đáng kể, từ 37,5% đến 62% so với trạng thái cốt thép không bị ăn mòn.

Những kết quả thu được có thể được sử dụng để mở rộng nghiên cứu này trên các cấu kiện chịu lực chính (cột, dầm, sàn) trong kết cấu công trình, đặc biệt trong việc tính toán khả năng chịu lực còn lại của kết cấu có kể đến sự suy giảm ứng suất bám dính giữa bê tông và thép do ăn mòn.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Trường Đại học Xây dựng cho đề tài cấp Trường trọng điểm, mã số 150-2017/KH XD-TĐ.

Tài liệu tham khảo

- [1] Ollivier, J-P., Vichot, A. (2008). *La durabilité des bétons : bases scientifiques pour la formulation de bétons durables dans leur environnement*, Presses des Ponts, 844p.
- [2] Bộ Xây dựng (2016). *Tài liệu đào tạo, bồi dưỡng thí nghiệm ăn mòn bê tông và bê tông cốt thép* (Chương trình đào tạo thuộc Đề án 1511).
- [3] TCVN 9346:2012. Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường biển.
- [4] TCVN 3118:1993. Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén.
- [5] TCVN 1651-2:2008. Thép cốt bê tông - Phần 2: Thép thanh vằn.
- [6] TCVN 197-1:2014. Vật liệu kim loại - Thử kéo - Phần 1: phương pháp thử ở nhiệt độ phòng.
- [7] RILEM RC6 (1983). Bond test for reinforcement steel. 2. Pull-out test.
- [8] Roberge P. R. (2008). *Corrosion engineering: principles and practice*, McGraw-Hill Professional, 754p.
- [9] Hiếu, N. T., Anh, T. H. (2016). Nghiên cứu ảnh hưởng của cường độ chịu nén của bê tông đến lực bám dính giữa cốt thép và bê tông, *Tạp chí Kết cấu và công nghệ xây dựng*, (21):57–62.
- [10] Auyang Y., Balaguru P., Chung L. (2000). Bond behavior of corroded reinforcement bars, *ACI Materials Journals*, 97(2):214–221.