

Khảo sát ảnh hưởng của ăn mòn cốt thép đến sự suy giảm khả năng chịu lực của cột bê tông cốt thép

Investigation of the effects of corrosion on the residual load-carrying capacity of reinforced concrete columns

> CẦN TRUNG ĐỊNH¹, CHU BẢO NGỌC¹, NGUYỄN TRUNG HIẾU²

¹Khoa Cơ khí và Xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp Việt - Hung

²Khoa Xây dựng dân dụng & Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TÓM TẮT:

Ăn mòn cốt thép là nguyên nhân chính gây ra sự hư hỏng của kết cấu cột bê tông cốt thép (BTCT). Ăn mòn cốt thép làm suy giảm khả năng chịu lực của cột BTCT do cốt thép chịu lực bị suy giảm tiết diện, giảm cường độ, đồng thời tiết diện ngang của kết cấu bê tông bị giảm yếu do lớp bê tông bảo vệ cốt thép bị bong, vỡ và suy giảm bám dính. Trong bài báo này, tác động của ăn mòn cốt thép và bong vỡ lớp bê tông bảo vệ đến sự làm việc của cột BTCT được xác định bằng cách thiết lập các biểu đồ tương tác mô men - lực dọc (M-P) của cột dựa theo tiêu chuẩn TCVN 5574: 2018. Những kết quả thu được từ nghiên cứu cho thấy với cột bị hư hỏng, sự suy giảm khả năng chịu lực phụ thuộc vào vị trí và mức độ ăn mòn cốt thép trong cột. Bên cạnh đó, nghiên cứu này là cơ sở cho việc sửa chữa và gia cường kết cấu cột BTCT.

Từ khóa: Cột BTCT; ăn mòn; biểu đồ tương tác; gia cường.

ABSTRACT:

Corrosion of reinforcement is the principal cause of the deterioration of reinforced concrete (RC) columns. Corrosion may affect the residual strength of an RC column in several ways such as section loss of reinforcement, reduction in the strength of corroded reinforcement, reduction in the concrete cross-section due to corrosion-induced cracking and spalling, and loss of bond strength. In this paper, the effect of reinforcement corrosion and loss of concrete cover on the structural behavior of RC columns is quantified by developing moment-axial load (M-P) interaction diagrams based on TCVN 5574-2018 standard. The obtained results of this study show that for deteriorated columns, the amount of strength loss depends on the location and amount of corrosion of steel bars. Besides, the present investigation is the basis for the repair and strengthening of RC columns.

Keywords: RC column; corrosion; interaction diagrams; strengthening.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ăn mòn cốt thép trong kết cấu BTCT là một trong những nguyên nhân cơ bản gây ra hư hỏng của các kết cấu công trình bằng BTCT. Hư hỏng công trình do ăn mòn cốt thép xảy ra chủ yếu với các công trình xây dựng ở các khu vực chịu tác động của khí các-bo-níc (CO₂) như môi trường đô thị, các khu vực chịu nhiều tác động của các yếu tố hóa học như khu vực ven biển, khu vực các nhà máy công nghiệp sử dụng hóa chất (nhà máy giấy, nhà máy phân bón...). Theo thống kê của nhiều tổ chức nghiên cứu trên thế giới, ăn mòn cốt thép là nguy cơ hàng đầu gây ra hư hỏng công trình. Nhiều nghiên cứu cho thấy có đến 90% các công trình xây dựng nhà ở vùng ven biển không đảm bảo yêu cầu về chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép và số lượng các công trình bị hư hỏng nặng sau 10 năm sử dụng chiếm một số lượng đáng kể.

Trên Hình 1 trình bày một số hình ảnh hư hỏng kết cấu BTCT có nguyên nhân do ăn mòn cốt thép gây ra. Trên Hình 1.a là dạng hư hỏng điển hình của cột BTCT, sự tăng thể tích cốt thép khi xảy ra ăn mòn làm nứt, bong tách lớp bê tông bảo vệ dọc theo cốt thép.

Sự ăn mòn có thể xảy ra ở một vùng tiết diện (cạnh cột) hoặc trên toàn tiết diện. Hình 1.b và 1.c cho thấy sự ăn mòn xảy ra trên kết cấu dầm và sàn BTCT chịu uốn, lớp bê tông bảo vệ bị bong vỡ, cốt thép bị suy giảm tiết diện và với mức độ ăn mòn lớn thì có thể gây ra đứt cốt thép chịu kéo (Hình 1.c). Có thể thấy điểm chung của sự hư hỏng kết cấu BTCT do ăn mòn cốt thép là sự suy giảm tiết diện bê tông và tiết diện cốt thép, suy giảm lực bám dính giữa cốt thép và bê tông, dẫn đến sự suy giảm khả năng chịu lực của tiết diện.



a- Cột BTCT bị nứt vỡ dọc theo cốt thép

b- Dầm BTCT bị bong, vỡ lớp bê tông bảo vệ, cốt thép dọc bị gỉ

c- Sàn BTCT bị bong, vỡ lớp bê tông bảo vệ, cốt thép chịu kéo bị gỉ, đứt

Hình 1. Hư hỏng kết cấu BTCT do ăn mòn cốt thép

Ở nước ta, tình trạng ăn mòn cốt thép xảy ra rất phổ biến trên các kết cấu BTCT của các công trình xây dựng vùng ven biển. Theo tác giả Phạm Văn Khoan [8], tình trạng ăn mòn và hư hỏng các công trình BTCT là nghiêm trọng và ở mức báo động. Tốc độ ăn mòn diễn ra khá nhanh. Bên cạnh một số công trình có tuổi thọ trên 30 năm, có nhiều công trình đã bị ăn mòn và hư hỏng nặng chỉ sau 20 đến 25 năm đưa vào sử dụng, thậm chí nhiều kết cấu bị phá hủy nặng nề chỉ sau 10 đến 15 năm.

Đánh giá hiện trạng khả năng chịu lực của kết cấu BTCT nói chung và kết cấu cột BTCT nói riêng bị hư hỏng do ăn mòn là cơ sở cho việc tiến hành sửa chữa, gia cường một cách hiệu quả kết cấu bị hư hỏng. Nội dung của bài báo này trình bày một khảo sát sự suy giảm khả năng chịu lực của cột BTCT bị hư hỏng do ăn mòn trong một số trường hợp điển hình như ăn mòn cốt thép xảy ra trên toàn tiết diện, ở vùng tiết diện làm việc chịu kéo, ở vùng tiết diện làm việc chịu nén, dựa trên cơ sở đánh giá mối tương quan của biểu đồ tương tác lực dọc - mô men uốn (P- M) của cột.

2. CƠ SỞ XÁC ĐỊNH SỰ SUY GIẢM KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA CỘT BTCT DO ĂN MÒN CỐT THÉP

Sự suy giảm khả năng chịu lực của kết cấu cột BTCT khi xảy ra hư hỏng do ăn mòn cốt thép liên quan trực tiếp đến sự suy giảm đặc trưng cơ học và vật liệu của hai loại vật liệu là cốt thép và bê tông cũng như sự tương tác giữa hai loại vật liệu thông qua lực bám dính.

2.1. Sự suy giảm tiết diện cốt thép dọc chịu lực

Khi cốt thép bị ăn mòn, ngoài việc suy giảm diện tích tiết diện ngang thì các đặc trưng cơ lý của cốt thép như độ dẻo, biến dạng tương đối cực hạn và cường độ chịu kéo của cốt thép cũng có sự suy giảm. Trong nghiên cứu này, sử dụng công thức thực nghiệm đề xuất bởi Du et al [1] để xác định sự suy giảm của cường độ, diện tích tiết diện ngang của cốt thép như sau:

$$f_{y,corr} = (1 - 0,005Q_{corr})f_{y,0} \quad (1)$$

$$A_{s,corr} = A_{s,0}(1 - 0,01Q_{corr}) \quad (2)$$

$$Q_{corr} = 1 - \left(\frac{d_{corr}}{d_0} \right)^2 \quad (3)$$

Trong các công thức trên: $f_{y,0}$ và $f_{y,corr}$ lần lượt là cường độ chịu kéo của cốt thép ban đầu và khi bị ăn mòn; $A_{s,0}$ và $A_{s,corr}$ lần lượt là diện tích cốt thép ban đầu và khi bị ăn mòn; Q_{corr} là mức độ cốt thép bị ăn mòn (%); d_0 và d_{corr} lần lượt là đường kính cốt thép ban đầu và đường kính cốt thép còn lại sau khi bị ăn mòn.

2.2. Sự bong, vỡ lớp bê tông bảo vệ và suy giảm diện tích tiết diện cột

Cốt thép bị ăn mòn có hiện tượng tăng thể tích, điều này tạo ra một áp lực đẩy lên lớp bê tông bảo vệ cốt thép. Khi áp lực này vượt quá khả năng chịu kéo của bê tông sẽ làm cho lớp bê tông bảo vệ bị nứt và khi mức độ ăn mòn tăng lên dẫn đến bong, vỡ lớp bê tông bảo vệ. Quá trình này phụ thuộc vào nhiều thông số như chiều dày lớp bê tông bảo vệ, mức độ ăn mòn của cốt thép, cường độ của bê tông... Theo [2], tỷ lệ giữa chiều dày lớp bê tông bảo vệ và đường kính cốt thép dọc (c/d) là một thông số quan trọng ảnh hưởng đến khả năng chịu lực còn lại của kết cấu cột sau khi xảy ra ăn mòn cốt thép. Sự phá hoại lớp bê tông bảo vệ xảy ra khi mức độ ăn mòn cốt thép dọc $Q_{corr} = 2,25\%$ và $5,25\%$ tương ứng với các trường hợp $c/d = 1$ và $c/d = 2,5$ [2].

2.3. Sự suy giảm cường độ bê tông khi xảy ra ăn mòn cốt thép

Mohsen et al [3] đã tiến hành các thí nghiệm ăn mòn điện hóa cốt thép trong môi trường chứa ion clorua. Các kết quả thu được cho thấy sự suy giảm cường độ bê tông phụ thuộc vào mức độ ăn mòn cốt thép dọc. Các tác giả đã đề xuất công thức

thực nghiệm xác định cường độ bê tông khi xảy ra ăn mòn cốt thép như sau:

$$f'_{c,corr} = (1 - \lambda)f'_c \quad (4)$$

trong đó f'_c và $f'_{c,corr}$ là cường độ bê tông ở thời điểm ban đầu và thời điểm cốt thép bị ăn mòn; λ là phần trăm giảm cường độ chịu nén của bê tông, phụ thuộc vào mức độ ăn mòn cốt thép và tỷ lệ nước/xi măng (N/X), được xác định như sau:

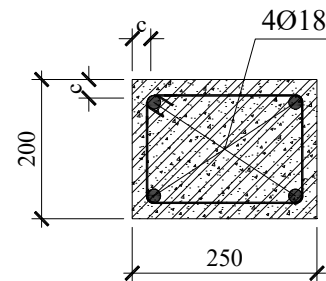
với $N/X = 0,4$: $\lambda = 2,72Q_{corr} - 1,98$ (5)

với $N/X = 0,45$: $\lambda = 2,29Q_{corr} - 1,73$ (6)

với $N/X = 0,5$: $\lambda = 2,57Q_{corr} - 1,87$ (7)

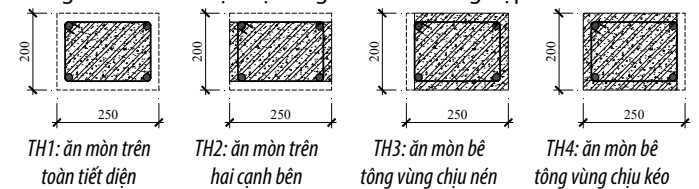
3. KHẢO SÁT SỐ SỰ SUY GIẢM KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA CỘT CHỊU NÉN LỆCH TÂM DO CỐT THÉP DỌC BỊ ĂN MÒN

Khảo sát số được thực hiện trên cơ sở xác định biểu đồ tương tác P-M của cột chịu nén lệch tâm khi xảy ra sự ăn mòn cốt thép dọc trong cột, dựa trên cơ sở tính toán khả năng chịu lực của cột theo tiêu chuẩn TCVN 5574: 2018 [10]. Trên hình 2 trình bày tiết diện ngang ban đầu khi chưa bị ăn mòn của cột BTCT khảo sát. Cột có tiết diện ngang 200×250 mm. Bê tông chế tạo cột có các thông số như: tỷ lệ $N/X = 0,45$, cường độ chịu nén của bê tông $f'_c = 20$ MPa. Cốt thép dọc chịu lực của cột bố trí $4\phi 18$ có các thông số: diện tích cốt thép $A_{s0} = 1017,4$ mm² (hàm lượng $\mu = 2,0$ %), cường độ chịu kéo $f_y = 300$ MPa.



Hình 2. Mặt cắt ngang tiết diện cột khảo sát (TH0)

Xét trường hợp cột BTCT bị hư hỏng do ăn mòn cốt thép, gây bong vỡ lớp bê tông bảo vệ cốt thép. Trên hình 3 trình bày 04 trường hợp hư hỏng tiết diện cột: a) ăn mòn gây hư hỏng trên toàn bộ tiết diện, b) ăn mòn gây hư hỏng hai mặt bên của cột, c) ăn mòn gây hư hỏng vùng bê tông chịu nén, d) ăn mòn gây hư hỏng vùng bê tông chịu kéo. Để đánh giá được sự suy giảm khả năng chịu lực ứng với các trường hợp trên, cần xây dựng được biểu đồ tương tác mô men - lực dọc ứng với mỗi trường hợp khảo sát.



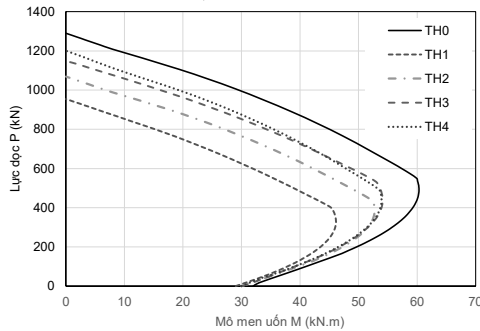
Hình 3. Các trường hợp khảo sát cột bị hư hỏng do ăn mòn

Trên Bảng 1 trình bày các số liệu tính toán các đặc trưng cường độ, tiết diện ngang của cốt thép bị suy giảm do ăn mòn theo các công thức (1), (2) và sự suy giảm cường độ bê tông theo công thức (4), (6) ứng với hai trường hợp $c/d = 1$ và $c/d = 2,5$

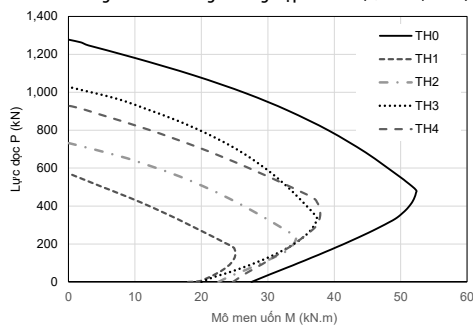
Bảng 1. Các giá trị tính toán của cốt thép và bê tông khi xảy ra ăn mòn cốt thép

Tỷ số c/d	N/X	Q_{corr} (%)	$A_{s,0}$ (MPa)	$A_{s,corr}$ (mm ²)	$f_{y,0}$ (MPa)	$f_{y,corr}$ (MPa)	$f'_{c,0}$ (MPa)	$f'_{c,corr}$ (MPa)
$c/d = 1$	0,45	2,25	300	248	300	296	30	28,9
$c/d = 2,5$	0,45	5,25	300	240	300	292	30	26,9

Trên Hình 4 và Hình 5 lần lượt trình bày kết quả biểu đồ tương tác P-M của các trường hợp nghiên cứu ứng với $c/d=1$ và $c/d=2,5$. Có thể nhận thấy, sự suy giảm khả năng chịu lực của tiết diện cột giảm đáng kể do sự ăn mòn cốt thép. Trong trường hợp $c/d=1$ thì sự suy giảm khả năng chịu lực khi ăn mòn xảy ra ở vùng chịu kéo tương đương với trường hợp ăn mòn xảy ra ở vùng chịu nén của tiết diện. Trong trường hợp $c/d=2,5$, kết quả phân tích cho thấy có sự suy giảm khả năng chịu lực đáng kể khi xảy ra ăn mòn cốt thép ở vùng chịu nén so với khi xảy ra ăn mòn cốt thép ở vùng chịu kéo.



Hình 4. Biểu đồ tương tác P-M trong trường hợp $c/d=1$ ($Q_{corr}=2,25\%$)



Hình 5. Biểu đồ tương tác P-M trong trường hợp $c/d=2,5$ ($Q_{corr}=5,25\%$)

4. KHẢO SÁT SỰ SUY GIẢM KHẢ NĂNG CHỊU LỰC THEO THỜI GIẠN DO CỐT THÉP BỊ ẼN MÒN

Theo [4] và [5], khi xảy ra ăn mòn cốt thép, sự suy giảm đường kính cốt thép có thể được xác định theo công thức sau đây:

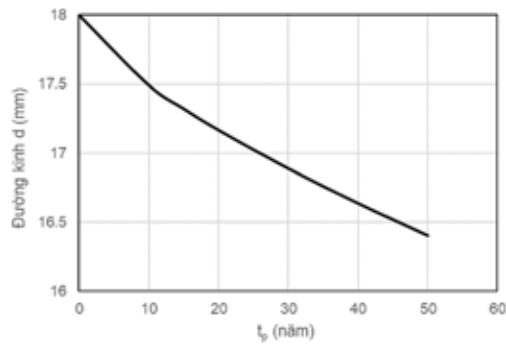
$$d_{corr} = d_0 - 0,0232 I_{corr}(t) t_p \quad (8)$$

Trong đó: I_{corr} là tốc độ ăn mòn cốt thép (đơn vị $\mu A/cm^2$), t_p là khoảng thời gian tính từ thời điểm cốt thép bắt đầu bị ăn mòn đến thời điểm tính toán sự suy giảm đường kính cốt thép. Theo [6], độ lớn của I_{corr} phụ thuộc vào hai thông số là tỷ lệ nước/xi măng (N/X) và chiều dày lớp bê tông bảo vệ, c , được xác định theo công thức sau:

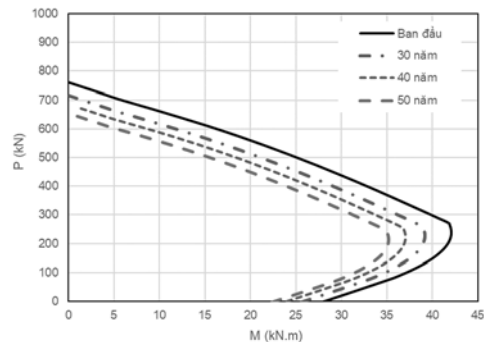
$$I_{corr}(t) = 32, I \frac{\left(1 - \frac{N}{X}\right)^{-1,64}}{c} t_p^{-0,29} \quad (9)$$

Dựa trên cơ sở này, xét trường hợp cột BTCT làm việc trong môi trường ven biển, và bắt đầu xuất hiện sự ăn mòn cốt thép ở thời điểm 10 năm kể từ khi đưa vào sử dụng, có thể dự báo được sự suy giảm đường kính của cốt thép theo thời gian như trên Hình 6.

Dựa trên kết quả dự báo sự suy giảm đường kính và kết hợp với các công thức (1), (2), (4), xây dựng biểu đồ tương tác P-M cho cột BTCT khảo sát ở các mốc thời gian 30 năm, 40 năm và 50 năm kể từ khi đưa vào sử dụng (hình 6). Kết quả thu được cho thấy rõ mức độ suy giảm khả năng chịu lực của cột BTCT theo thời gian. Đây là cơ sở cho việc tiến hành sửa chữa, gia cường kết cấu ở trong quá trình khai thác, sử dụng nhằm đảm bảo được tuổi thọ yêu cầu.



Hình 6. Suy giảm đường kính cốt thép theo thời gian sau thời điểm bắt đầu xuất hiện ăn mòn



Hình 7. Biểu đồ tương tác P-M ở các tuổi thọ khác nhau của cột BTCT

5. KẾT LUẬN

Những kết quả trình bày trong nội dung bài báo cho phép hiểu rõ hơn ảnh hưởng của sự ăn mòn cốt thép đến khả năng chịu lực của cột BTCT chịu nén lệch tâm. Kết quả khảo sát sẽ cho thấy ăn mòn cốt thép xảy ra ở vùng chịu nén của tiết diện sẽ làm suy giảm khả năng chịu lực lớn hơn so với trường hợp ăn mòn cốt thép ở vùng chịu kéo. Bên cạnh đó, việc dự báo sự suy giảm khả năng chịu lực của cột BTCT theo thời gian dựa trên cơ sở mức độ ăn mòn cốt thép sẽ là cơ sở cho việc sửa chữa, gia cường kết cấu phù hợp nhằm đảm bảo độ bền lâu của kết cấu cột.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Du Y.G., Clark L.A., Chan A.H.C., 2005, Residual capacity of corroded reinforcing bars, *Magazine of Concrete Research*, 57(3): 135-147.
- Tapan M., Aboutaha R.S., 2011, Effect of steel corrosion and loss of concrete cover on strength of deteriorated RC columns, *Construction Building Materials*, 25: 2596 - 2603.
- Mohsen A.S., Mohamad A.B., Mohamad G.B., 2016, Effect of longitudinal rebar corrosion on the compressive strength reduction of concrete in reinforced concrete structure, *Advances in Structural Engineering*, 11 pages.
- Gonzalez J. A., Andrade C., Alonso C. and Feliu S., 1995, Comparison of rates of general corrosion and maximum pitting penetration on concrete embedded steel reinforcement, *Cement and Concrete Research*, 25(2): 257-264.
- Andrade C. and Alonso C., 2001, On-site measurements of corrosion rate of reinforcements, *Construction and Building Materials*, 15(2-3), 141-145.
- Vu K.A.T., Stewart M.G., 2000, Structural reliability of concrete bridges including improved chloride-induced corrosion models, *Structural Safety*, 22(4): 313-333.
- Phan Quang Minh, Ngô Thế Phong, Nguyễn Đình Công, 2008, *Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản*, Nhà Xuất bản Khoa học kỹ thuật.
- Nguyễn Trung Hiếu, 2022, Hư hỏng, sửa chữa và gia cường kết cấu công trình - Phần kết cấu bê tông cốt thép và gạch đá, Nhà Xuất bản Xây dựng.
- Phạm Văn Khoan, Nguyễn Nam Thắng, 2010, Tình trạng ăn mòn bê tông cốt thép ở vùng biển Việt Nam và một số kinh nghiệm sử dụng chất ức chế ăn mòn canxi nitrit, *Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng, Viện Khoa học công nghệ xây dựng*, số 2: 42-45.
- TCVN 5574: 2018, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế.