

Mô Phỏng Tính Toán Sức Kháng Của Dầm Bê Tông Cốt Thép Có Xét Đến Ăn Mòn Cốt Thép

Võ Văn Nam

Phòng Quản trị Cơ sở vật chất

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

nam.vo@ut.edu.vn

Tóm tắt—Ở các khu vực ven biển, hạ tầng giao thông sử dụng kết cấu dầm bê tông cốt thép luôn làm việc trong điều kiện môi trường với các tác nhân ăn mòn cao, dưới tác dụng của tải trọng mức độ gỉ cốt thép chịu lực trong kết cấu dầm càng trở nên nghiêm trọng, điều này dẫn đến sự suy giảm khả năng kháng uốn của dầm. Nội dung của bài báo đề cập đến việc sử dụng phần mềm mô phỏng tính toán, phân tích quá trình thay đổi sức kháng uốn của dầm bê tông cốt thép bị gỉ. Đồng thời so sánh với kết quả phân tích thực nghiệm quá trình mất dần khả năng kháng uốn của dầm bị gỉ ở môi trường ăn mòn diễn tiến nhanh.

Từ khóa—Ăn mòn cốt thép, tải trọng, mức độ gỉ, phần mềm mô phỏng.

I. GIỚI THIỆU

Hạ tầng giao thông vận tải sử dụng kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) ở Việt Nam luôn làm việc với điều kiện khắc nghiệt của môi trường chứa nhiều tác nhân gây ăn mòn bê tông và cốt thép. Đặc biệt, đối với các vùng ven biển, khí hậu biển đặc trưng với hàm lượng muối natri clorua (NaCl) có nhiều trong không khí từ gió biển mang vào. Việc tiếp xúc liên tục và diễn ra lâu dài với môi trường xâm thực mạnh, cùng với tác dụng của tải trọng, như vậy dầm bê tông cốt thép sẽ bị ăn mòn. Quá trình ăn mòn kéo dài dẫn đến lớp bê tông bảo vệ không ngăn được sự xâm nhập của các tác nhân ăn mòn như O_2 , Cl⁻, CO₂, ... tiếp cận và tấn công làm gỉ cốt thép. Dầm bê tông cốt thép khi bị ăn mòn cốt thép sẽ suy giảm sức kháng; với mục tiêu làm sáng tỏ vấn đề liên quan đến ảnh hưởng của việc giảm khả năng kháng uốn thuộc cấu kiện dầm BTCT do quá trình cốt thép bị ăn mòn dưới ảnh hưởng của các tác nhân gây ăn mòn, rất nhiều tác giả trên thế giới và trong nước đã triển khai thực nghiệm đặt các mẫu nghiên cứu trong môi trường nhân tạo chứa nhiều tác nhân gây ăn mòn. Môi trường giả lập này được xem như môi trường thực tế khai thác của cấu kiện cần nghiên cứu. Trên cơ sở đó, các nhóm nghiên cứu tiến hành

đo đạc, theo dõi, ghi nhận, phân tích, đánh giá các ứng xử của mẫu. [1]-[4].

Với sự phổ biến của công nghệ hiện đại; việc sử dụng các phần mềm số để mô phỏng và phân tích, so sánh nhằm đưa ra những đánh giá mang tính cụ thể hơn về sự suy giảm khả năng kháng uốn của dầm BTCT khi cốt thép bị ăn mòn đã được nhiều nhà khoa học ứng dụng triển khai và có những kết quả công bố rộng rãi. Bằng việc đề xuất mô hình 3D-FE, nhóm tác giả đến từ trường Đại học Công nghệ Chalmers, Thụy Điển đã tiến hành đánh giá khả năng của dầm bê tông cốt thép bị ăn mòn bằng mô hình phần tử hữu hạn (FE), kết quả nghiên cứu đã kết luận quá trình ăn mòn làm thay đổi tiết diện chịu lực của cốt thép, giảm lực liên kết giữa bê tông và cốt thép qua đó ảnh hưởng đến sức chịu tải của dầm BTCT [5]. Tác giả L. C. Nguyen đã phân tích và mô phỏng cụ thể ảnh hưởng của sự ăn mòn cốt thép đến lực dính bám giữa bê tông và cốt thép trên phần mềm 3D-RBSM, qua đó đưa ra kết luận về sự suy giảm khả năng kháng uốn của dầm bê tông cốt thép khi cốt thép bị ăn mòn [6]. Nhóm nghiên cứu đến từ trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh với đề xuất thuật toán và phát triển một chương trình tính toán độc lập nhằm đánh giá hành vi ăn mòn ảnh hưởng đến khả năng chịu uốn của kết cấu bê tông cốt thép [7].

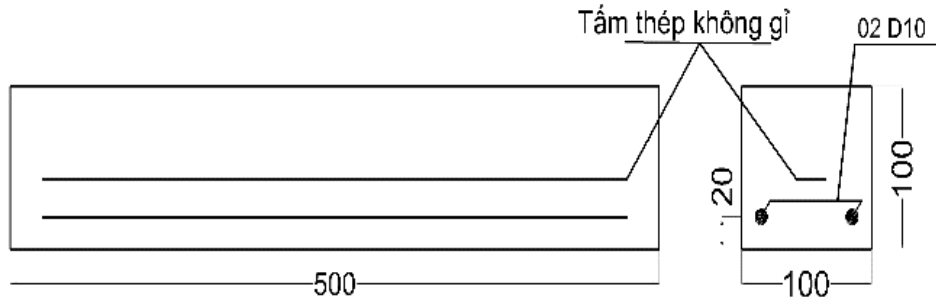
Nội dung bài báo, với việc sử dụng chương trình ATETA, tác giả đã tiến hành mô phỏng kết cấu dầm với tác dụng của tải trọng và các điều kiện ăn mòn ở các mức độ khác nhau: 5%, 10%, 15%, 20%, 25%; qua đó xây dựng đường cong liên quan giữa sức kháng uốn và mức độ mất mát tiết diện cốt thép trên phần mềm mô phỏng. Nhằm mục đích kiểm tra, đối sánh với kết quả thực nghiệm ăn mòn, tác giả tiến hành so sánh đường cong quan hệ ăn mòn và sức kháng ở kết quả mô phỏng với kết quả đường cong thực nghiệm ở mức ăn mòn 25% và đưa ra một số đánh giá kết luận.

II. QUÁ TRÌNH THỰC NGHIỆM

MÔI TRƯỜNG ẨM MÒN DIỄN TIẾN NHANH VÀ KẾT QUẢ ĐƯỜNG CONG QUAN HỆ TẢI TRỌNG VÀ CHUYỂN VỊ THỰC NGHIỆM

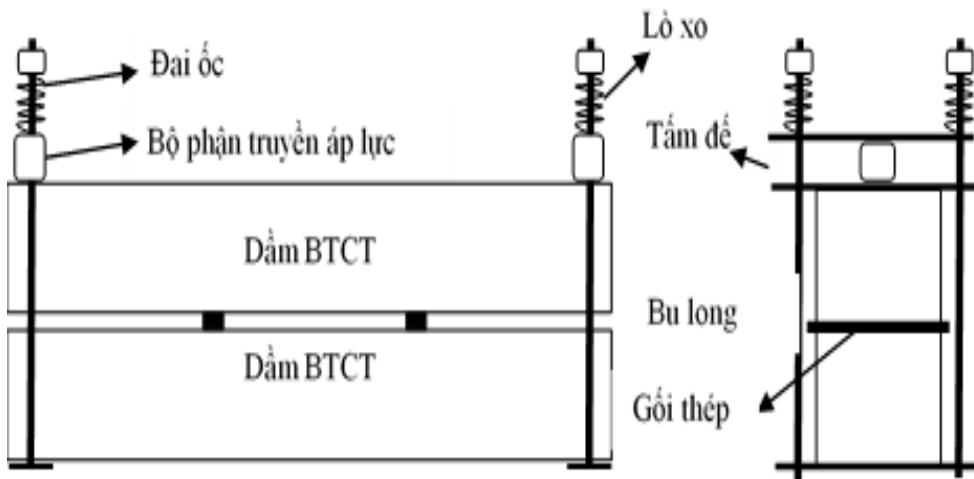
A. Sơ bộ quá trình thực hiện thí nghiệm thực nghiệm

Thực hiện thực nghiệm đối với nhóm mẫu dầm BTCT, tiết diện mặt cắt chữ nhật có kích thước $L/h = 500/100$ mm. Dầm có sử dụng hai thanh cốt thép tròn trơn, có đường kính $D = 10$ mm.

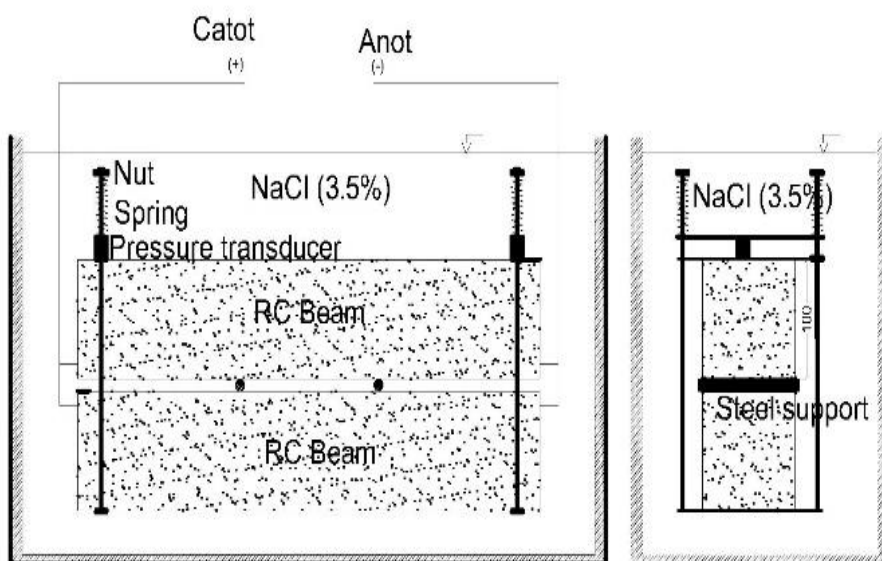


Hình.1. Bố trí cốt thép và kích thước mẫu dầm [1].

Vật liệu sử dụng là bê tông có cường độ 30 MPa, cốt thép có cường độ kéo chảy 560 MPa.



Hình.2. Gông dầm tạo ứng suất [1].



Hình.3. Mô hình diễn tiến ăn mòn điện cực.



Hình 4. Dụng cụ tạo điều kiện ăn mòn điện.

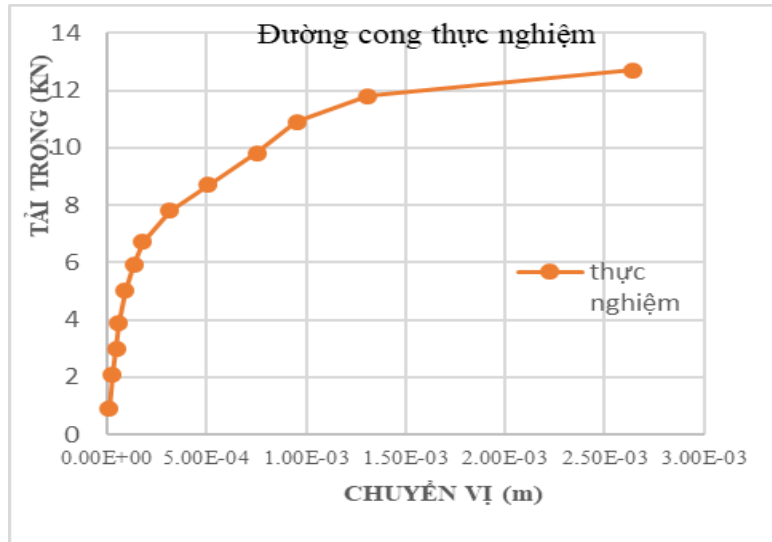


Hình 5. Quá trình ngâm thực nghiệm ăn mòn mẫu.



Hình 6. Tiến hành uốn 04 điểm đối với mẫu sau khi ngâm 30 ngày.

B. Kết quả thực nghiệm



Hình 7. Biểu đồ thực nghiệm mối quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị.

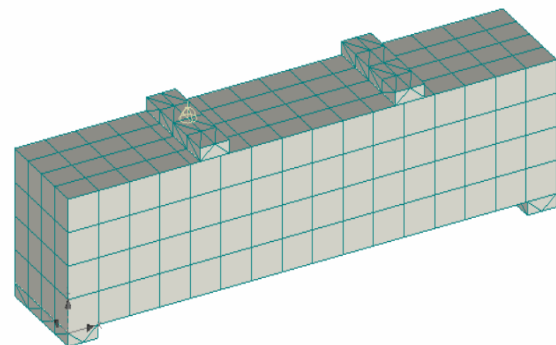
III. MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG
 QUAN HỆ TẢI TRỌNG VÀ SỨC KHÁNG

A. Mô hình hóa kết cấu

Mô hình trên nền tảng phần mềm ATENA được đề xuất để mô hình hóa dầm BTCT giản đơn khi xét đến sự ăn mòn cốt thép bên trong và mối quan hệ của chúng đối với khả năng chịu tải của dầm BTCT khi chịu ứng suất. Với mô hình như vậy, cần quan tâm đến các đặc tính vật liệu của bê tông và thép phù hợp với mẫu dầm trong thực nghiệm, có xét đến ảnh hưởng của đặc tính dính bám giữa bê tông và cốt thép. Mô hình đánh giá là hư hỏng khi cốt thép trong dầm BTCT ở trạng thái chảy dẻo, các cốt liệu có tính đàn hồi. Các chỉ tiêu cơ lý thủy văn của cấu kiện bê tông được hiệu chỉnh từ kết quả thí nghiệm của thực nghiệm ngâm mẫu trong dung dịch muối natri clorua (3% ÷ 5%).

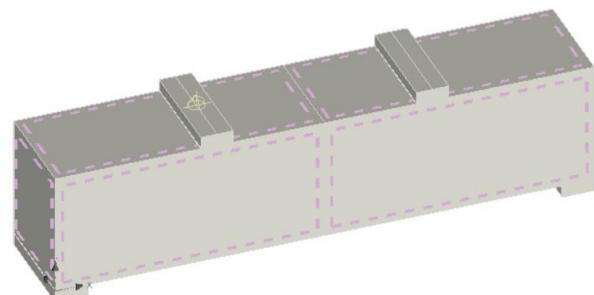
Để quan sát cả hiện tượng nứt và giảm liên kết gây ra bởi ăn mòn và tải trọng bên ngoài, một mô hình 3D cho chùm chịu uốn 04 điểm trong điều khiển chuyển vị và ăn mòn được phân tích. Mô hình được chuẩn bị phù hợp với thí nghiệm cho thực nghiệm trên. Dầm dài 500 mm, kích thước mặt cắt ngang 100 x 100 mm. Cho rằng sự gỉ của thép mất mát thông qua giảm diện tích mặt cắt ngang của cốt thép theo từng mức độ ăn mòn. Do đó, đường kính thanh thép lần lượt là 10 mm, 9,7 mm, 9,5 mm, 8,9 mm và 8,7 mm tương ứng với các mức độ ăn mòn 0%, 5%, 10%, 20% và 25%. Bề dày lớp bê tông bảo vệ là 20 mm. Trong mô hình tác giả không bố trí cốt thép kháng cắt, mô hình phân tử hữu hạn (FE) đã được nhóm nghiên cứu xây dựng bằng cách sử dụng

phần mềm ATENA. Phân tích thực hiện dưới dạng ba chiều, bằng cách phân chia các lưới phần tử với kích thước ô lưới là 30 mm. Sử dụng phần tử khối dạng tứ diện và lăng trụ cho thép và bê tông, như trong hình 8.

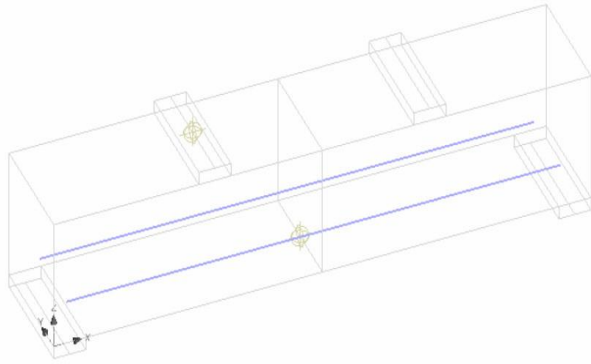


Hình 8. Phân chia lưới phần tử.

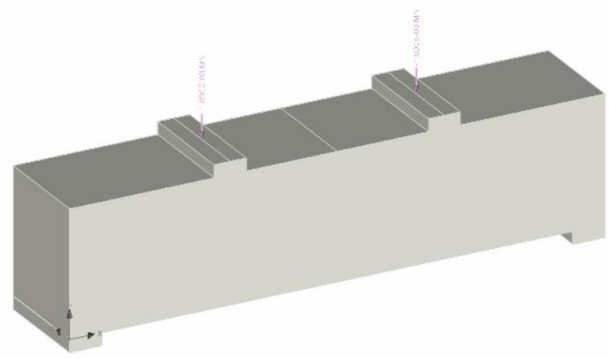
Các bộ phận được kết nối bằng cách sử dụng liên kết hoàn hảo. Để khắc phục vấn đề phụ thuộc vào lưới, thông số độ nhớt μ được sử dụng như một thước đo ổn định số ($\mu = 0,0001$).



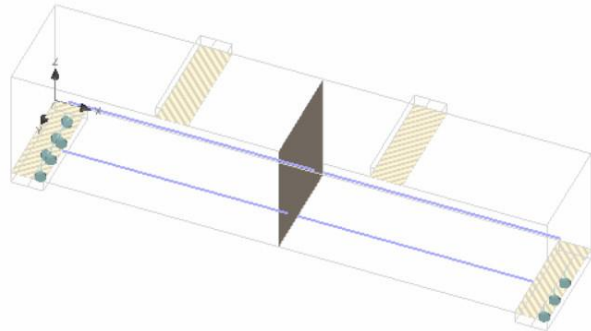
Hình 9. Mô hình hóa dầm hình hộp chữ nhật.



Hình 10. Mô hình hóa cốt thép.



Hình 12. Mô hình hóa tải trọng.

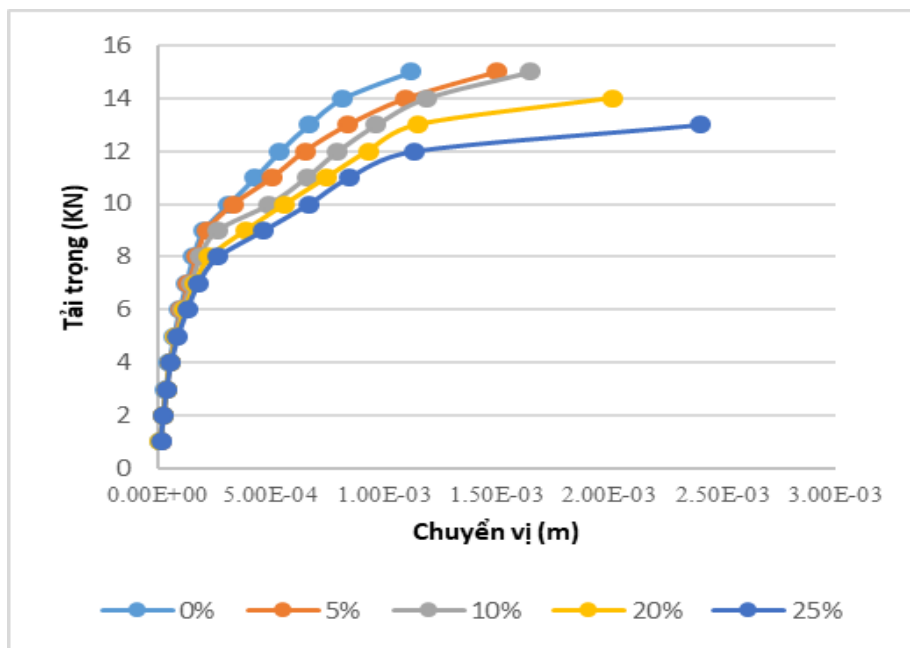


Hình 11. Mô hình hóa liên kết.

B. Kết quả mô phỏng

Sau khi thực hiện mô phỏng và tính toán đối với tất cả các mẫu có kích thước như nhau theo các mức độ ăn mòn cốt thép: 0%, 5%, 10%, 20%, 25%, quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị tương ứng với các trường hợp ăn mòn được thể hiện ở hình 13.

Kết quả mô phỏng cho thấy mức độ ăn mòn tăng lên cùng một tải trọng tác dụng thì độ võng tương ứng cũng tăng lên. Đồng thời, khi cốt thép bị ăn mòn dẫn tới diện tích cốt thép tăng lên do quá trình trương nở thể tích của gỉ cốt thép, gây nứt bê tông xung quanh cốt thép làm cho cường độ chịu kéo, mô đun (module) đàn hồi của bê tông giảm xuống.

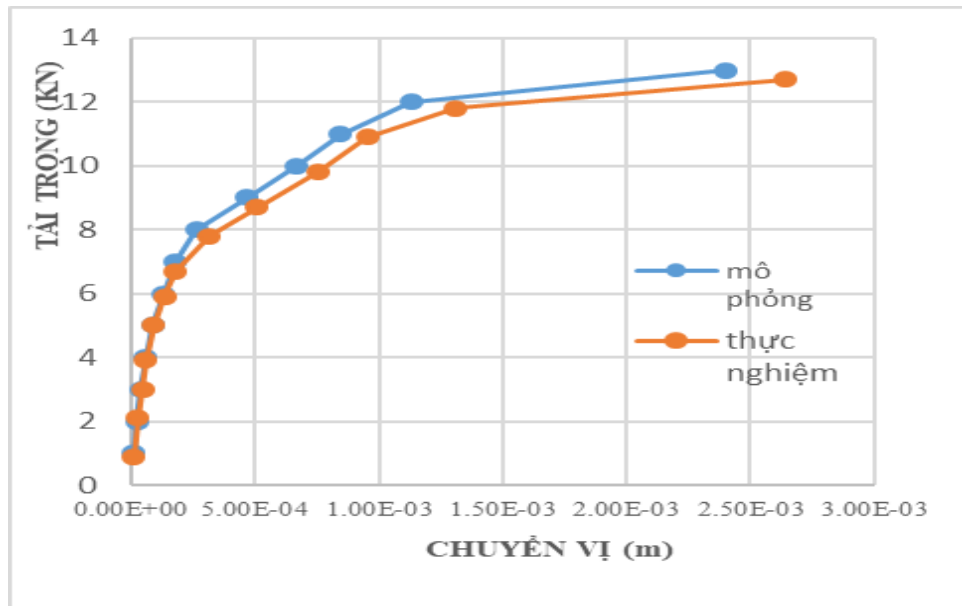


Hình 13. Biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị tương ứng với các trường hợp ăn mòn khác nhau.

C. So sánh đường cong quan hệ tải trọng và chuyển vị giữa kết quả thực nghiệm và mô phỏng

So sánh trường hợp ăn mòn 25% tại các cấp tải trọng 0% ÷ P_{max} giữa mô phỏng số với thực nghiệm

được thực hiện ở trên. Biểu đồ quan hệ tải trọng và chuyển vị của mẫu dầm BTCT ăn mòn 25% tại cấp tải trọng 0% ÷ P_{max} với thí nghiệm thực tế được thể hiện ở hình 14.



Hình 14. Biểu đồ quan hệ tải trọng và chuyển vị của mẫu dầm BTCT ăn mòn 25% tại cấp tải trọng $0\% \div P_{max}$ với thí nghiệm thực tế.

Qua hình 14 cho thấy sự tương đối đồng nhất về đường biểu diễn xu hướng với độ võng tại tải trọng xấp xỉ 13 KN là 2.5 mm. Tại thời điểm này, dầm bắt đầu bị phá hoại và không thể tiếp tục làm việc bình thường. Ta thấy mô hình phù hợp cho việc áp dụng để xét đến ứng xử các cấu kiện BTCT có cốt thép chịu lực bị gỉ. Đường cong quan hệ thực tế thực nghiệm và mô phỏng số có sự sai khác nhất định, do thực tế bê tông không hoàn toàn đồng nhất (vẫn có lỗ rỗng bên trong), ngoài ra bê tông thí nghiệm có các đặc trưng cơ học không hoàn toàn giống với mô hình.

Mặt khác, trong thực tế thí nghiệm khi ăn mòn cốt thép tăng, lực dính bám giữa bê tông và cốt thép cũng bị suy giảm, điều này không được xét đến trong mô phỏng.

IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

A. Kết luận

Phần mềm ATENA có thể mô hình hóa chính xác trạng thái làm việc của dầm giản đơn, giúp xác định được sức kháng của dầm dưới tác dụng của tải trọng có xét đến ăn mòn cốt thép trong dầm BTCT. Thông qua mô phỏng số có thể kết luận rằng:

- Sức kháng uốn của dầm BTCT giảm khi cốt thép trong dầm bị ăn mòn. Nguyên nhân là do tiết diện chịu lực của thép bị ăn mòn suy giảm so với tiết diện thiết kế yêu cầu ban đầu, gây ảnh hưởng đến khả năng kháng uốn của dầm;

- Mức độ ăn mòn cốt thép trong cấu kiện dầm gia tăng khi tăng tải trọng duy trì tác dụng lên dầm; do

dưới tác dụng của tải trọng, vùng chịu kéo của dầm xuất hiện nhiều vết nứt, các tác nhân gây ăn mòn xâm nhập qua đó tiếp xúc cốt thép và gây ăn mòn. Tải trọng tăng thì độ mở rộng vết nứt tăng lên, điều này càng xúc tiến quá trình xâm nhập của tác nhân gây ăn mòn cốt thép, dẫn đến quá trình ăn mòn diễn ra nhanh hơn.

B. Kiến nghị

- Đề xuất thêm các nghiên cứu thực nghiệm làm sáng tỏ tác động của quá trình ăn mòn đến tính liên kết giữa bê tông và cốt thép trong các cấu kiện dầm BTCT.

- Đề xuất kiểm chứng thêm các dạng kết cấu BTCT khác, phức tạp hơn, bằng các thử nghiệm thực. Nếu các thử nghiệm cho thấy kết quả tốt, có thể đề xuất tiêu chuẩn cơ sở cho việc sử dụng mô hình số nhằm đánh giá và dự đoán sức kháng của kết cấu BTCT tại các khu vực giáp biển thuộc Thành phố Hồ Chí Minh và Đồng bằng sông Cửu Long.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] V. V. Nam, T. T. Truyen, “Phân tích ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép trong bê tông đến ứng xử của dầm bê tông cốt thép,” Tạp chí Xây dựng, số tháng 10, tr. 62-65, 2021. Available: <http://tapchixaydungbxd.vn/nguyen-cuu-khoa-hoc/phan-tich-anh-huong-cua-muc-do-an-mon-cot-thep-trong-be-tong-den-ung-xu-cua-dam-be-tong-cot-thep.html>. Ngày truy cập: 18/4/2022.

[2] V. V. Nam, “Phân tích ảnh hưởng của ứng suất uốn đến mức độ ăn mòn cốt thép trong cấu kiện dầm bê tông cốt thép,” Tạp chí khoa học công nghệ Giao

- thông vận tải, tập 10, số 4, tr. 107-113, 2021. DOI: 10.55228/JTST.10(4).107-113.
- [3] V. V. Nam, T. D. Pham và T. T. Tran. “Đánh giá, phân tích thực nghiệm ảnh hưởng của ăn mòn cốt thép trong cấu kiện dầm bê tông cốt thép đến sức kháng uốn của dầm”. Kỷ yếu Hội nghị Khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn lần thứ XV, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - Đại học Thái Nguyên, Thái Nguyên, Việt Nam, tr. 720-730, 2021.
- [4] V. N. Anh, “Ăn mòn cốt thép và ảnh hưởng của nó tới ứng xử của kết cấu bê tông cốt thép,” 2014. Available: <http://www.vncold.vn/Web/Content.aspx?distid=3686>. Ngày truy cập: 18/4/2022.
- [5] H. Hussain, D. Miteva, “Structural behavior of corroded reinforced concrete structures - A study based on detailed 3D FE analyses,” Master dissertation, Department of Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2018. Available: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/255910/255910.pdf>. Accessed on: 18/4/2022.
- [6] L. C. Nguyen, “Nghiên cứu ảnh hưởng của hiện tượng ăn mòn cốt thép đến kết cấu bê tông cốt thép bằng mô hình 3D-RBSM”, Tạp chí KHKT & MT, số 62, tr. 17-24, 2018. Available: <https://vjol.info.vn/index.php/DHTL/article/view/37924>. Ngày truy cập: 18/4/2022.
- [7] T. H. Nguyen, A. T. Le, D. D. Nguyen, “Bending strength diagnosis for corroded reinforced concrete beams with attendance of deterministic, random and fuzzy parameters,” Journal of SI & M. 2020; vol. 5, issue 3, pp. 183-189. DOI:10.1080/24705314.2020.1765268.
- [8] H. Tang, J. Peng, L. Xiao, X. Liu and J. Zhang, “Numerical Simulation of Corroded Reinforced Concrete Beam Strengthened by a Steel Plate with Different Strengthening Schemes,” Hindawi Advances in Civil Engineering, 2020. DOI:10.1155/2020/4236943.
- [9] Y. Xu, J. Shen, Y. Zheng, J. Mao, P. Wu, “Corrosion Characteristics of Reinforced Concrete Under the Coupled Effects of Chloride Ingress and Static Loading: Laboratory Tests and Finite Element Analysis”, Materials Science (Medžiagotyra), vol. 24, no. 2, 2018. DOI: 10.5755/j01.ms.24.2.17963.