

ĐÁNH GIÁ TÍNH KHẢ THI CỦA PHƯƠNG PHÁP THỨC ĐẨY ĂN MÒN CỐT THÉP TRONG KẾT CẤU BÊ TÔNG CỐT THÉP BẰNG DÒNG ĐIỆN

NGUYỄN THỊ HẢI YẾN, BUI VĂN HỒNG LĨNH

Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh
nguyenthihaiyen@iuh.edu.vn

Tóm tắt. Ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) là một trong các nguyên nhân chính gây hư hỏng công trình BTCT. Vô số các nghiên cứu, thực nghiệm lẫn mô phỏng, được thực hiện nhằm đánh giá các yếu tố ảnh hưởng cũng như cơ chế của quá trình ăn mòn BTCT. Từ đó, các biện pháp phù hợp nhằm gia tăng độ bền và tuổi thọ công trình được đề xuất. Tuy nhiên, ăn mòn cốt thép là một quá trình lâu dài, có thể kéo dài hàng chục năm. Do đó, các phương pháp thúc đẩy ăn mòn nhằm rút ngắn thời gian thí nghiệm là yêu cầu thiết yếu. Sử dụng dòng điện là một trong những phương pháp phổ biến dùng để thúc đẩy quá trình ăn mòn trong BTCT. Tuy nhiên, mức độ tin cậy của phương pháp này trong việc mô phỏng cơ chế ăn mòn tự nhiên là vấn đề đáng tranh cãi. Trong nghiên cứu này, mức độ chính xác của phương pháp này nhằm thúc đẩy ăn mòn trong BTCT sẽ đánh giá thông qua các thay đổi vi mô trên lớp bảo vệ cốt thép.

Từ khóa. Bê tông cốt thép, dòng điện ăn mòn, thúc đẩy ăn mòn, lớp bảo vệ cốt thép

RELIABILITY OF IMPRESSED CURRENT METHOD ON SIMILATING NATURAL CORROSION IN REINFORCED CONCRETE

Abstract. Corrosion of steel rebar in reinforced concrete is one of the primary causes for the reduction of load capacity, then shortening of service life of structure. Various research have been done to characterize the behavior of steel in reinforced concrete under various aspects. However, the corrosion process of steel rebar in concrete can take place for several decades. The impressed current method has been employed widely in order to provoke and accelerate the corrosion process. Unfortunately, the reliability of this method is still unclear if it is fully able to simulate the natural corrosion of steel in concrete. In this research, the microstructure of mill-scale and the damage of this protective layer under the effect of impressed current was studied to evaluate the reliability of impressed current method.

Keywords. Corrosion, impressed current method, corrosion products

1 GIỚI THIỆU

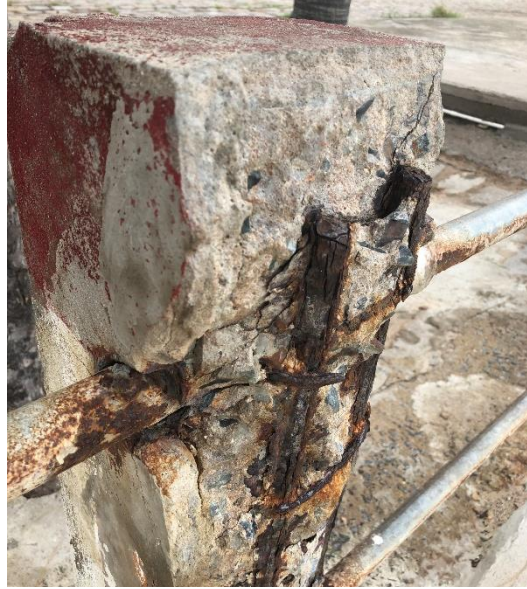
Có thể nói, bê tông cốt thép là vật liệu được sử dụng phổ biến nhất trong xây dựng. Bê tông, với pH xấp xỉ 12, được coi là môi trường hoàn hảo giúp cốt thép chống lại các tác động gây ăn mòn. Tuy nhiên, bê tông luôn chứa một độ rỗng nhất định. Chính các lỗ rỗng này đã tạo điều kiện cho các tác nhân gây ăn mòn có thể xâm nhập vào bê tông, tiếp xúc cốt thép và gây ăn mòn cốt thép. Từ đó, khả năng chịu lực của các công trình và tuổi thọ của công trình bị suy giảm đáng kể [1,2].

Trong các tác nhân gây ăn mòn cốt thép thì ion clo Cl^- được xem là yếu tố gây ăn mòn phổ biến và nguy hại nhất [1,2]. Hình 1 cho thấy tác động nghiêm trọng của môi trường biển đến ăn mòn cốt thép trong bê tông cốt thép. Do đó, vô số các nghiên cứu đã được thực hiện nhằm đánh giá tác động của môi trường clo đến kết cấu bê tông cốt thép nhằm tìm hiểu cơ chế ăn mòn cũng như đánh giá khả năng chịu lực còn lại của kết cấu tại những mức độ ăn mòn khác nhau [3-9]. Tuy nhiên, ăn mòn cốt thép trong bê tông là một quá trình lâu dài, có thể lên đến vài thập niên [1,10]. Điều đó đã gây khó khăn đáng kể cho việc thực hiện các nghiên cứu cũng như các công tác thu thập kết quả. Việc sử dụng dòng điện nhằm kích hoạt và thúc đẩy nhanh quá trình ăn mòn nhằm phục vụ cho các nghiên cứu về ăn mòn đã và đang được thực hiện tương đối phổ biến [3-5, 11-14]. Tuy nhiên, mức độ tin cậy và độ chính xác của phương pháp này vẫn còn chưa rõ ràng.

Phương pháp này được phát triển dựa trên Định luật 2 của Faraday, như được nêu ở Phương trình 1. Trong đó, cốt thép trong bê tông được nối với cực dương và một điện cực âm được lắp đặt bên ngoài.

$$\Delta m = \frac{Mit}{zF} \quad (1)$$

Trong đó: Δm là khối lượng thép bị ăn mòn (g).
F: số Faraday, $F= 96500 \text{ C/mol}$.
M: Khối lượng mol nguyên tử của Fe (56) nguyên tố (kg).
z: hóa trị của Fe (2).
I: Cường độ dòng điện (mA).
t: thời gian áp dụng (s).



Hình 1: Ăn mòn cốt thép trong bê tông trong khu vực bờ biển Phan Thiết

Một số tác giả cho rằng, ưu điểm của phương pháp (rút ngắn thời gian nghiên cứu) là vượt trội với độ chính xác chấp nhận được [11,12]. Một số cho rằng, sự khác biệt trong cơ chế ăn mòn có thể dẫn đến suy luận sai biệt trong nghiên cứu cơ chế và sản phẩm ăn mòn, từ đó tạo sai số rất lớn trong dự đoán tuổi thọ công trình dựa vào kết quả nghiên cứu này [13,14].

Dưới tình hình đó, việc sử dụng dòng điện để kích hoạt và rút ngắn thời gian ăn mòn trở nên đáng tranh cãi và cần được nghiên cứu rõ ràng hơn. Đặc biệt là tác động của dòng điện trong giai đoạn ban đầu của quá trình ăn mòn, khi lớp bảo vệ cốt thép mới bắt đầu bị phá hoại.

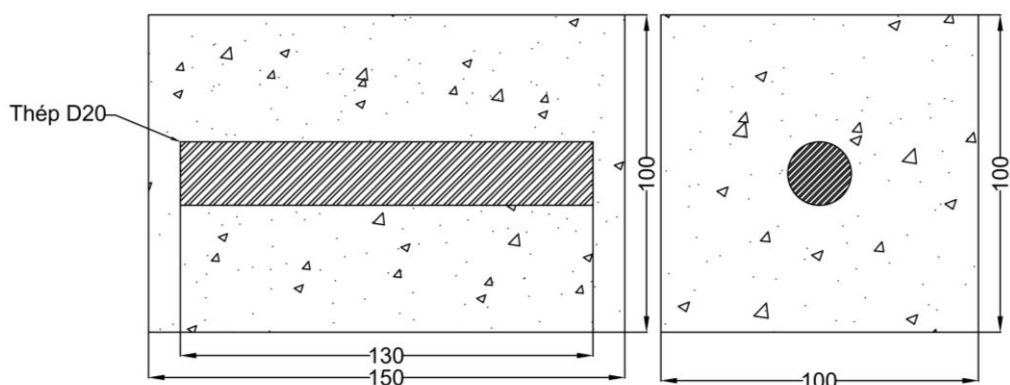
Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá độ chính xác của phương pháp sử dụng dòng điện để thúc đẩy quá trình ăn mòn thông qua sự thay đổi và phá hoại của lớp bảo vệ cốt thép cũng như sự tích tụ của các sản phẩm ăn mòn tại bề mặt tiếp giáp giữa cốt thép và bê tông.

2 THỰC NGHIỆM

Mẫu bê tông cốt thép có kích thước $100 \times 100 \times 150 \text{ mm}$ được chuẩn bị. Trong đó, một thanh thép có đường kính 20 mm và chiều dài 130 mm được đặt ở giữa mẫu. Hình 2 mô tả cấu tạo chi tiết của mẫu. Trước khi đổ bê tông, thanh thép được nối với dây điện nhằm thực hiện quá trình kích hoạt ăn mòn bằng dòng điện. Thành phần hóa học và các tính chất cơ lý của xi măng sử dụng được nêu trong Bảng 1 và Bảng 2. Thành phần cấp phối của bê tông được nêu trong Bảng 3.

Sau khi đổ bê tông và dưỡng hộ 14 ngày, mẫu được đem đi kích hoạt ăn mòn bằng dòng điện. Dòng điện $300 \mu\text{A}/\text{m}^2$ được chạy qua mẫu trong vòng 360 giờ nhằm kích hoạt và thúc đẩy quá trình ăn mòn của cốt thép như Hình 3. Sau đó, mẫu được cắt, đúc khối với epoxy và mài phẳng như Hình 4 nhằm thực hiện thí nghiệm qua quan sát dưới Kính hiển vi điện tử quét kết hợp với phân tích phổ tán sắc năng lượng tia X SEM-EDS (Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy).

ĐÁNH GIÁ TÍNH KHẢ THI CỦA PHƯƠNG PHÁP THỨC ĐẨY ẪN MÒN CỐT THÉP TRONG KẾT CẤU BÊ TÔNG CỐT THÉP BẰNG DÒNG ĐIỆN



Hình 2: Cấu tạo chi tiết của mẫu (mm)

Bảng 1: Thành phần hóa học của xi măng (%)

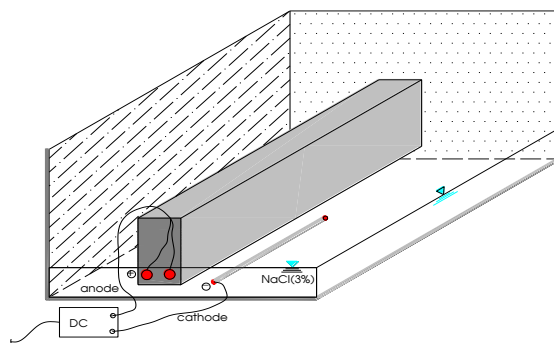
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	I.L
21.9	5.2	64.4	3.1	1.4	1.7	0.2	0.4	0.2	0.3	2.26

Bảng 2: Các đặc trưng vật lý của xi măng

Tỷ trọng	Diện tích bề mặt Blaine (cm ² /g)	Cường độ (MPa)		
		3 ngày	7 ngày	28 ngày
3.16	3340	30.3	45.1	61.6

Bảng 3: Thành phần cấp phối bê tông

Tỷ lệ nước/xi măng	Xi măng (kg/m ³)	Cát (kg/m ³)	Đá dăm (kg/m ³)
0.5	430	735	1183



Hình 3: Thúc đẩy ăn mòn cốt thép trong bê tông cốt thép bằng dòng điện [15]



Hình 4: Mẫu trước khi thực hiện thí nghiệm SEM-EDS.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

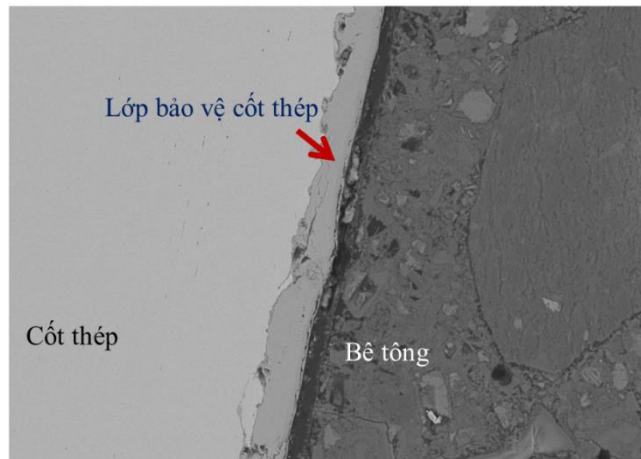
3.1 Cấu trúc vi mô của lớp bảo vệ cốt thép mill-scale trước khi kích hoạt ăn mòn

Hình ảnh thu được từ kính hiển vi điện tử quét cho thấy, trên bề mặt cốt thép luôn tồn tại một lớp bảo vệ cốt thép, như Hình 5. Lớp bảo vệ cốt thép này có chiều dày khá đồng đều, xấp xỉ 15-20 μm . Tuy nhiên lớp bảo vệ cốt thép này không hoàn toàn đồng nhất mà bị hư hỏng, mức độ hư hỏng rất khác nhau tại những vị trí khác nhau.

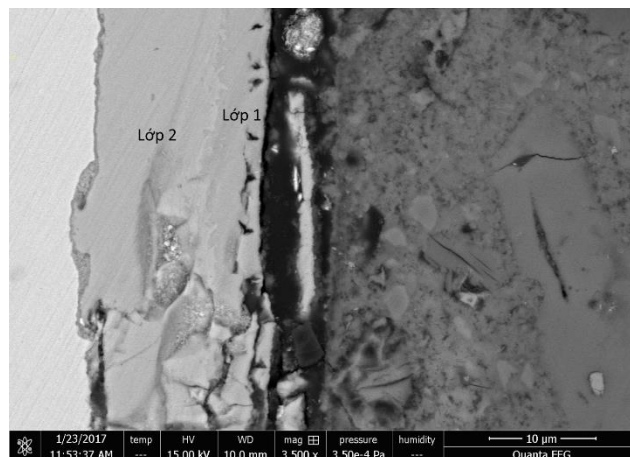
Hơn nữa, Hình 6 cho thấy, lớp bảo vệ cốt thép này được cấu thành từ hai lớp khác nhau, lớp 1 và lớp 2. Dưới kính hiển vi điện tử quét, lớp 1 có độ sáng thấp hơn lớp 2 và có độ dày xấp xỉ 5 μm . Kết quả phân tích thành phần hóa EDS cho thấy, lớp 1 được tạo thành từ oxit sắt. Trong đó, tỷ lệ Fe/O xấp xỉ 0.71- 0.81. Từ đó có thể thấy, lớp 1 được cấu thành chủ yếu từ wustite FeO, magnetite Fe₃O₄ và hematite α -Fe₂O₃.

Trong khi đó, lớp 2 có chiều dày xấp xỉ 11-15 μm . Kết quả phân tích EDS cho thấy, lớp 2 cũng là oxit sắt nhưng có tỷ lệ Fe/O xấp xỉ 1.02. Rõ ràng, lớp 2 được tạo thành từ wustite FeO.

Kết quả phân tích cho thấy, lớp bảo vệ cốt thép được tạo thành trên bề mặt cốt thép thông qua vài giây thanh thép tiếp xúc môi trường không khí trong quá trình cán nóng, tạo thành lớp oxit sắt đặc chắc trên bề mặt thanh thép và có khả năng bảo vệ thanh thép chống lại các tác nhân gây ăn mòn [16].



Hình 5: Cấu trúc vi mô của lớp bảo vệ cốt thép trên bề mặt cốt thép



Hình 6: Cấu tạo của lớp bảo vệ cốt thép

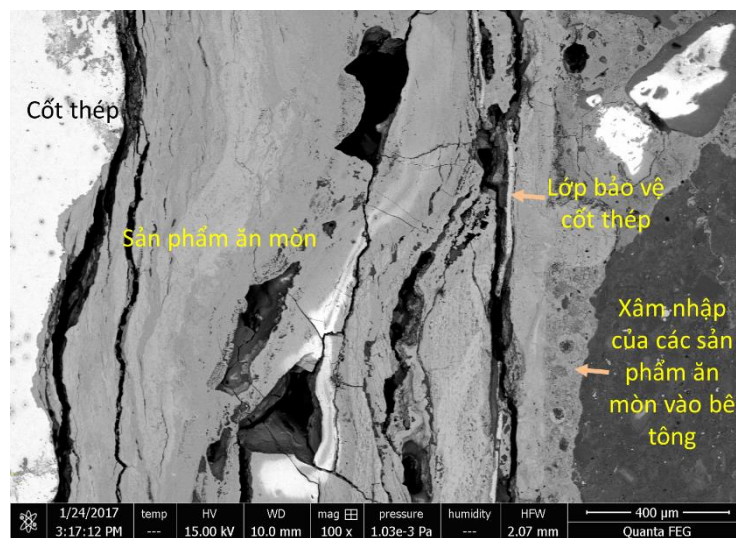
Tuy nhiên, lớp bảo vệ cốt thép không hoàn toàn hoàn hảo mà phân bố không đồng đều và dễ hư hỏng. Điều đó tạo điều kiện cho các tác nhân ăn mòn dễ dàng tiếp xúc lớp thép bê trong và gây ăn mòn.

3.2 Sự phá hoại của lớp bảo vệ cốt thép, các sản phẩm ăn mòn và tính chất bề mặt tiếp giáp giữa bê tông-cốt thép

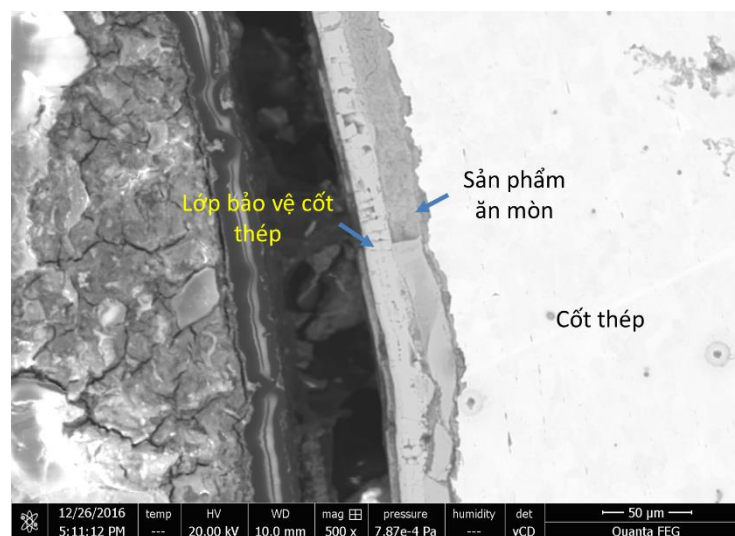
Sau khi được kích hoạt và thúc đẩy quá trình ăn mòn bằng dòng điện, cốt thép bị ăn mòn nghiêm trọng, như thể hiện trên Hình 7. Chiều dày lớp cốt thép bị ăn mòn có thể lên đến hơn 1 mm. Lớp bảo vệ cốt thép bị phá hoại nghiêm trọng (vỡ vụn).

Trong khi đó, các sản phẩm ăn mòn được tạo ra có thể xâm nhập sâu vào bên trong bê tông. Chiều dày của lớp bê tông bị xâm nhập thay đổi lớn, phụ thuộc vào cấu trúc và độ rỗng của bê tông tại bề mặt tiếp xúc bê tông và cốt thép.

Tuy nhiên, trong một số vị trí khác, lớp bảo vệ cốt thép vẫn còn tồn tại hoàn toàn giống như trước khi kích hoạt ăn mòn, như Hình 8. Bên dưới lớp bảo vệ cốt thép lại là các sản phẩm ăn mòn với chiều dày lớp ăn mòn xấp xỉ 25-50 μm , như trên Hình 8. Từ Hình 7 và Hình 8 có thể thấy, việc sử dụng dòng điện để thúc đẩy quá trình ăn mòn cốt thép trong bê tông có thể tạo ra lớp ăn mòn không đồng đều, tương tự như sự ăn mòn xảy ra do ăn mòn tự nhiên trong môi trường clo.



Hình 7: Ăn mòn của cốt thép sau khi kích hoạt ăn mòn bằng dòng điện

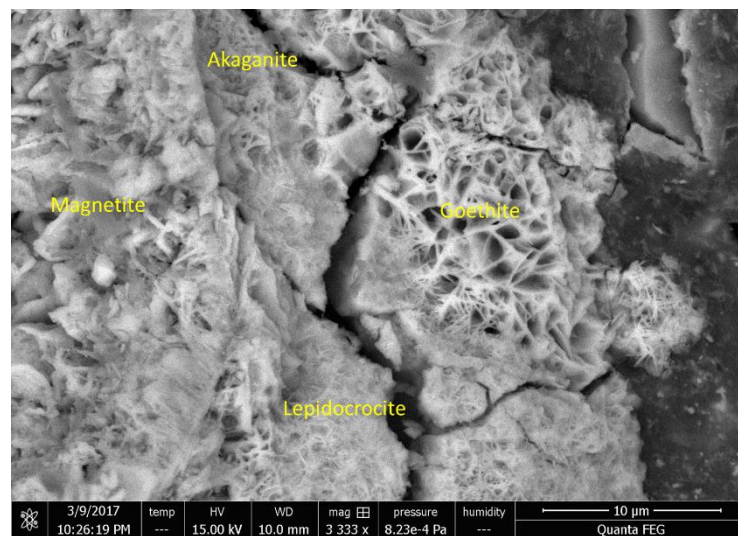


Hình 8: Sự phân bố của sản phẩm ăn mòn bê trong lớp bảo vệ cốt thép

SEM-EDS cho thấy, các sản phẩm ăn mòn bao gồm magnetite, akageneite, goethite và lepidocrocite như Hình 9. Các sản phẩm này tương tự như các sản phẩm thu được từ ăn mòn tự nhiên, đặc biệt là akageneite, sản phẩm ăn mòn chỉ xuất hiện khi quá trình ăn mòn xảy ra trong môi trường clo [17].

Tuy nhiên, cơ chế ăn mòn do dòng điện xảy ra lại rất khác biệt. Trong ăn mòn tự nhiên, quá trình ăn mòn của cốt thép chủ yếu phụ thuộc vào quá trình oxy hóa của Fe và nồng độ oxy tại bề mặt cốt thép. Ngược lại, quá trình oxy hóa của cốt thép dưới tác dụng của dòng điện lại chủ yếu phụ thuộc vào tỷ lệ Cl-/OH- tại bề mặt cốt thép. Sự khác biệt trong cơ chế ăn mòn có thể tạo ra các sản phẩm ăn mòn với tỷ lệ khác nhau. Trong khi đó, các sản phẩm ăn mòn có độ giãn nở khác nhau, tạo nên nội lực khác nhau. Hơn nữa, sự xâm nhập sâu của các chất ăn mòn vào trong bê tông lớn hơn đáng kể so với ăn mòn tự nhiên. Điều đó cho thấy, cơ chế ăn mòn do dòng điện gây ra là hoàn toàn khác biệt so với ăn mòn tự nhiên.

Sự xâm nhập của các sản phẩm ăn mòn vào trong bê tông xảy ra dưới tác dụng của lực điện trường, hoàn toàn khác biệt so với cơ chế ăn mòn tự nhiên. Điều đó làm giảm thiểu ảnh hưởng của sự tích tụ của các sản phẩm ăn mòn, dẫn đến sự sai lệch trong đánh giá khả năng chịu lực còn lại của kết cấu.



Hình 9: Các sản phẩm ăn mòn tạo thành sau khi thúc đẩy ăn mòn

4 KẾT LUẬN

Các kết luận chính của nghiên cứu này được rút ra như sau:

- (1) Sử dụng dòng điện một chiều có thể tạo ra lớp ăn mòn không đều.
- (2) Các sản phẩm ăn mòn được tạo ra tương tự với ăn mòn tự nhiên, đặc biệt là sự tạo thành của Akageneite, sản phẩm được cho là chỉ tạo thành trong môi trường có chứa clo.
- (3) Cơ chế ăn mòn xảy ra do sử dụng dòng điện hoàn toàn khác so với ăn mòn tự nhiên. Sự khác biệt trong cơ chế ăn mòn dẫn đến sự khác biệt trong tỷ lệ tạo thành của các sản phẩm ăn mòn. Do đó có thể dẫn đến sự sai lệch trong đánh giá khả năng chịu lực còn lại của kết cấu.

Phương pháp sử dụng dòng điện để thúc đẩy quá trình ăn mòn có thể tạo ra ăn mòn không đồng đều tương tự như ăn mòn tự nhiên xảy ra trong môi trường ăn mòn clo. Tuy nhiên, sự khác biệt trong cơ chế ăn mòn có thể gây sai biệt trong một số khía cạnh cụ thể. Do đó, tùy thuộc vào vấn đề cần khảo sát mà cần đánh giá lại tính khả thi của việc sử dụng phương pháp này, đặc biệt là khảo sát sự xâm nhập của các sản phẩm ăn mòn vào trong bê tông.

LỜI CẢM ƠN

Chủ nhiệm đề tài và nhóm nghiên cứu trân trọng cảm ơn Trường Đại học Công nghiệp Tp. HCM đã cấp kinh phí thực hiện đề tài với hợp đồng số No. 20/1.2XD01.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Poursaei, "Corrosion of Steel in Reinforced Concrete Structures", Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 1st Edition, 2016.
- [2] P.G. Malerba, L. Sgambi, D. Ielmini, G. Gotti, "Influence of corrosive phenomena on bearing capacity of RC and PC beams", *Advances in Concrete Construction*, 5(2), pp 117-143, 2017. DOI: <https://doi.org/10.12989/acc.2017.5.2.117>
- [3] C.M. Hansson, A. Poursaei, S.J. Jaffer, "Corrosion of Reinforcing Bars in Concrete", Portland Cement Association (PCA), PCA R&D Serial No. 3013, 2007.
- [4] A.K. Azad, S. Ahmad, S.A. Azher, "Residual Strength of Corrosion-Damaged Reinforced Concrete Members", *ACI Materials Journal*, 104, pp 303-310, 2007.
- [5] D.A. Koleva, J. Hu, A.L.A. Fraaij, P. Stroeven, N. Boshkov, J.H.W. De Wit, "Quantitative characterisation of steel/cement paste interface microstructure and corrosion phenomena in mortars suffering from chloride attack", *Corrosion Science*, 48, pp 4001-4019, 2006.
- [6] T.H.Y. Nguyen, K. Tsuchiya, D. Atarashi, "Microstructure and composition of fly ash and ground granulated blast furnace slag cement pastes in 42-month cured samples", *Construction and Building Materials*, 191, pp 114-124, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.206>
- [7] T.H.Y. Nguyen, T.H.Y., K. Tsuchiya, D. Atarashi, H. Yokota, "Electrokinetic properties and mechanism of chloride binding in 42-month cured cement pastes with fly ash and ground granulated blast furnace slag exposed to seawater", *Construction and Building Materials*, 240, 117944, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117944>
- [8] T.H.Y. Nguyen, W. Pansuk, P. Sanchaen, "The Effects of Electro-Chemical Chloride Extraction on the Migration of Ions and the Corrosion State of Embedded Steel in Reinforced Concrete", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22, pp 2942-2950, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-2022-7>
- [9] T.H.Y. Nguyen, H. Yokota, K. Hashimoto, "Effects of electrochemical chloride extraction on hydrated products of various cement paste systems", *Journal of Advanced Concrete Technology*, 13, pp 564-582, 2015. <https://doi.org/10.3151/jact.13.564>
- [10] E. Rossi, R. Polder, O. Copuroglu, T. Nijland, B. Šavija, "The influence of defects at the steel/concrete interface for chloride-induced pitting corrosion of naturally-deteriorated 20-years-old specimens studied through X-ray Computed Tomography", *Construction and Building Materials*, 235, 117474, 2020.
- [11] S. Care, A. Raharinaivo, "Influence of impressed current on the initiation of damage in reinforced mortar due to corrosion of embedded steel", *Cement and Concrete Research*, 37, pp 1598-1612, 2007.
- [12] S. Care, S., Q.T. Nguyen, V. L'Hostic, V. Berhaud, "Mechanical properties of the rust layer induced by impressed current method in reinforced mortar", *Cement and Concrete Research*, 38, pp 1079-1091, 2008.
- [13] W. Zhang, J. Chen, X. Luo, "Effects of impressed current density on corrosion induced cracking of concrete cover", *Construction and Building Materials*, 204, pp 213-223, 2019.
- [14] H. Ye, C. Fu, N. Jin, X. Jin, "Performance of reinforced concrete beams corroded under sustained service loads: A comparative study of two accelerated corrosion Techniques", *Construction and Building Materials*, 162, pp 286-297, 2018.

- [15] V.H.L. Bui, S. Boonchai, T. Ueda, “Ductility of concrete beams reinforced with both FRP and steel tension bars”, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 16, pp 531-548, 2018
- [16] W. Melfo, R.J. Dippenaar, “In situ observations of early oxide formation in steel under hot-rolling conditions”, *Journal of Microscopy*, 225, pp 147-155, 2007.
- [17] W. Chitty, P. Dillmann, V. L’Hostis, C. Lombard, “Long-term corrosion resistance of metallic reinforcements in concrete-a study of corrosion mechanisms based on archaeological artefacts”, *Corrosion Science*, 47, pp 1555-1581, 2005.

Ngày nhận bài: 03/01/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/03/2021