

NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ ĐIỆN HÓA CỦA CỐT THÉP TRONG KẾT CẤU BÊ TÔNG MẢNG VÁ

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/jstiuh.v71i5.4955>

Tóm tắt. Nghiên cứu này tập trung đánh giá ứng xử điện hóa của cốt thép trong các kết cấu bê tông cốt thép, đặc biệt là các kết cấu làm việc trong môi trường dễ xảy ra xâm thực chloride. Việc sử dụng phương pháp sửa chữa mảng vá khá phổ biến trong việc sửa chữa các kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn, nhưng việc đánh giá sai nguyên nhân cũng như mức độ ăn mòn có thể dẫn đến việc đẩy nhanh quá trình hư hại của kết cấu. Do đó, việc cần có các kỹ thuật phù hợp theo dõi hiệu quả làm việc của các kết cấu sau khi sửa chữa là rất quan trọng. Nghiên cứu xem xét hai thông số ăn mòn, gồm điện thế ăn mòn và điện trở suất, để đánh giá sự hiệu quả của phương pháp sửa chữa mảng vá. Các kết quả cho thấy phương pháp sửa chữa mảng vá có ảnh hưởng đáng kể đến sự phục hồi của kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn, và việc đánh giá điện thế ăn mòn và điện trở suất là cơ sở để đánh giá hiệu quả của phương pháp sửa chữa.

Từ khóa. Ăn mòn, mảng vá, cốt thép, bê tông, điện hóa.

1 TỔNG QUAN

Quá trình ăn mòn cốt thép gây nguy hiểm cho sự toàn vẹn của kết cấu bê tông cốt thép (BTCT), đặc biệt là các kết cấu đặt trong môi trường biển càng dễ xảy ra các hư hại gây ra quá trình xâm thực chloride. Hiện tượng này tác động mạnh đến tuổi thọ và tính ổn định của các kết cấu nói trên. Một nguyên nhân phổ biến của quá trình ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép là quá trình xâm thực chloride, là nhân tố có thể xâm nhập qua lớp bê tông bảo vệ và tích tụ trên bề mặt cốt thép [1-6]. Phương pháp sửa chữa mảng vá là một phương pháp phổ biến để sửa chữa các kết cấu BTCT bị ăn mòn. Tuy nhiên, việc đánh giá chưa đúng nguyên nhân gây ăn mòn cũng như mức độ ăn mòn của kết cấu cần sửa chữa có thể dẫn đến việc tăng nhanh sự hư hại và xuống cấp của kết cấu.

Việc thiết kế sửa chữa mảng vá không phù hợp có thể ảnh hưởng đến tính toán vẹn của kết cấu, khả năng chịu tải, và tính an toàn trong quá trình sử dụng, như mô tả cụ thể trong Bảng 1. Việc đánh giá điện thế ăn mòn của cốt thép trong kết cấu BTCT mảng vá là rất quan trọng. Đầu tiên, kết quả đo đặc điện thế cho phép đánh giá được về tính toàn vẹn của kết cấu. Nếu sự ăn mòn không được đánh giá đúng và được xử lý phù hợp, điều đó sẽ dẫn tới các hư hỏng kết cấu, cũng như là ảnh hưởng đến tính an toàn của kết cấu. Hơn nữa, việc đánh giá điện thế ăn mòn giúp việc quyết định được các qui trình sửa chữa và bảo dưỡng hợp lý. Các nhân tố ảnh hưởng đến tốc độ ăn mòn của cốt thép trong kết cấu BTCT mảng vá gồm có các yếu tố môi trường xung quanh, chiều dày lớp bê tông bảo vệ, hàm lượng chloride ion, và thời gian tiếp xúc [1, 7-12].

Việc bỏ qua các đánh giá dựa trên các khảo sát về điện thế ăn mòn trong kết cấu BTCT mảng vá có thể dẫn đến các hậu quả nghiêm trọng. Nếu quá trình ăn mòn không thể được đánh giá và xử lý chính xác, nó có thể gây ra các hư hỏng về mặt kết cấu cũng như giảm tính toàn vẹn của kết cấu BTCT đã sửa chữa mảng vá. Việc này có thể giảm tính an toàn và tăng chi phí sửa chữa kết cấu. Nhằm ngăn chặn các ảnh hưởng xấu do quá trình ăn mòn gây ra trong kết cấu BTCT mảng vá, một số biện pháp ngăn ngừa có thể được tiến hành. Các biện pháp đó bao gồm:

- Duy trì quy trình kiểm tra và đánh giá điện thế ăn mòn bằng các phương pháp điện hóa.
- Lựa chọn các vật liệu sửa chữa phù hợp với phần bê tông hiện hữu và ngăn chặn sự xâm nhập của các tác nhân gây ăn mòn.
- Ứng dụng các lớp phủ bảo vệ trên các vùng sửa chữa để cung cấp một lớp ngăn chặn sự xâm nhập của hơi ẩm và chloride từ bên ngoài.

Bảng 1. Mô tả sự ảnh hưởng của sửa chữa mảng vá đến kết cấu BTCT.

Yếu tố	Mô tả
Tính toàn vẹn	Quá trình ăn mòn làm giảm diện tích mặt cắt ngang của thép cốt thép và vì thế giảm cường độ chảy dẻo và cường độ kéo tới hạn của cốt thép. Sự suy giảm ảnh hưởng đến tính toàn vẹn của toàn bộ kết cấu mảng vá, làm tăng nguy cơ kết cấu bị sụp đổ.
Khả năng chịu tải	Cốt thép bị ăn mòn dẫn đến nguy cơ suy giảm khả năng chịu tải của kết cấu. Cốt thép không còn cung cấp đủ khả năng chống chịu cần thiết, từ đó làm giảm năng chịu tải của các phần tử kết cấu đã được sửa chữa mảng vá. Do đó, việc theo dõi và kiểm tra tình trạng của kết cấu để phát hiện các dấu hiệu ăn mòn và thực hiện các biện pháp sửa chữa là yêu cầu bắt buộc.
Tính an toàn	Quá trình ăn mòn gây ra các vết nứt và bong tróc trên bề mặt lớp bê tông bảo vệ, làm lộ ra phần cốt thép bị ăn mòn và làm tăng nguy cơ kết cấu bị hư hại. Vì thế, việc kiểm tra định kỳ là rất quan trọng để phát hiện ra các vùng bị ăn mòn và tiến hành các biện pháp sửa chữa cần thiết.

Các kỹ thuật theo dõi trình trạng kết cấu như đo đặc điện trở suất và khảo sát điện thế có thể được sử dụng để đánh giá mức độ phát triển của quá trình ăn mòn của cốt thép trong bê tông mảng vá. Các kỹ thuật này cho phép phát hiện sớm và khoanh vùng có nguy cơ cao xảy ra ăn mòn, tạo điều kiện thực hiện kịp thời các biện pháp ngăn ngừa. Hơn nữa, việc kết hợp các mô hình đánh giá sự phát triển cấu trúc vi mô của bê tông cho thép đánh giá chính xác hơn mức độ nghiêm trọng do quá trình ăn mòn gây ra cho phần khu vực mảng vá và phần bê tông hiện hữu [7]. Các nhân tố như tỉ lệ nước trên chất kết dính, hàm lượng tro bay, hàm lượng chloride có thể ảnh hưởng đáng kể đánh tốc độ ăn mòn của cốt thép trong kết cấu BTCT nói chung và kết cấu BTCT mảng vá nói riêng.

Các yếu tố đề cập ở trên cho thấy sự cần thiết của qui trình theo dõi hiệu suất của kết cấu BTCT sau khi được sửa chữa bằng phương pháp mảng vá. Bên cạnh đó, ảnh hưởng lớn của ứng xử điện hoá của cốt thép vào thành phần bê tông cần được chú trọng xem xét trong kết cấu mảng vá, nơi có sự không đồng nhất thành phần bê tông. Trên cơ sở đó, bài báo tập trung nghiên cứu đánh giá hiệu quả phục hồi của kết cấu BTCT sau khi được thực hiện sửa chữa bằng phương pháp mảng vá. Cụ thể, nghiên cứu tiến hành xem xét ảnh hưởng của các thông số của bê tông trong vùng mảng vá và vùng bê tông hiện hữu đến sự phát triển của quá trình ăn mòn cốt thép. Hai thông số ăn mòn được đo đạc trong nghiên cứu là đồ thị điện thế ăn mòn và sự phân bố điện trở suất.

2 QUI TRÌNH THỰC NGHIỆM

2.1 Vật liệu

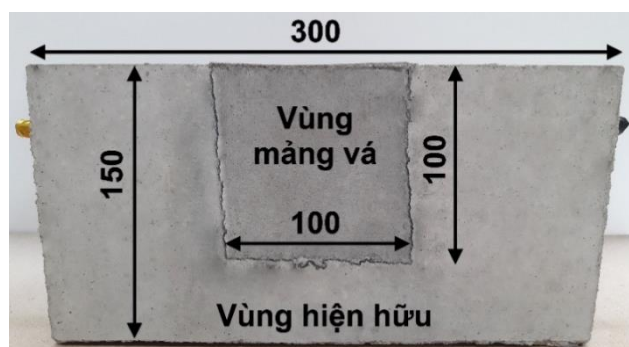
Quá trình đúc mẫu thực nghiệm đã sử dụng một loạt các vật liệu, bao gồm Xi măng Portland loại 1 (OPC) được phân loại theo tiêu chuẩn ASTM C 150 [13], đá dăm và cát sông đáp ứng các tiêu chí kỹ thuật được quy định trong tiêu chuẩn ASTM C 33 [14], cùng với tro bay loại C tuân theo phân loại của tiêu chuẩn ASTM C 618 [15], và nước máy. Bên cạnh những thành phần cơ bản của bê tông, một lượng muối sodium chloride – NaCl đã được trộn trước vào trong bê tông nhằm tạo ra một môi trường xâm thực nhân tạo, thúc đẩy quá trình ăn mòn cốt thép trong bê tông.

Một thanh thép, với đường kính 10 mm và chiều dài 400 mm, đã được đặt vào trong mẫu bê tông. Những thanh thép này đã được đo lường và cắt trước, sau đó được làm sạch bằng dung dịch acetone. Phần thép tiếp xúc trực tiếp với bê tông không được phủ lớp epoxy, trong khi phần bên ngoài được phủ một lớp epoxy. Phần thép ở hai đầu mẫu được dùng để kết nối với thiết bị thí nghiệm để khảo sát các thông số ăn mòn.

2.2 Mẫu thực nghiệm

Trong nghiên cứu này, mẫu bê tông cốt thép được sử dụng được mô tả trong Hình 1. Mẫu thực nghiệm có hình hộp chữ nhật, kích thước 30 cm x 15 cm x 15 cm, và gồm hai phần. Phần bê tông đầu tiên, biểu diễn

các đặc điểm của lớp bê tông cũ, được đúc trước. Hỗn hợp bê tông trong vùng bê tông cũ có chất lượng thấp hơn và đã nhiễm một lượng chloride nhất định. Sau khi phần bê tông cũ được đúc và dưỡng hộ trong 24 giờ, phần bê tông thứ hai, biểu diễn các đặc điểm kỹ thuật của bê tông mới, được đúc. Hỗn hợp bê tông sử dụng trong vùng bê tông mới không nhiễm chloride và có chất lượng bê tông tốt. Chất lượng bê tông mới được đánh giá dựa trên việc sử dụng tỷ lệ nước trên chất kết dính thấp, sử dụng tro bay như phụ gia khoáng làm tăng độ đặc chắc và cường độ của bê tông. Phần bê tông mới được đúc ở trung tâm mẫu bê tông cốt thép, như được mô tả trong Hình 1. Kích thước vùng mảng vá được thiết lập là 10 cm x 10 cm x 15 cm. Phần bê tông mới sau đó cũng được dưỡng hộ trong 24 giờ. Đáng chú ý là mỗi mẫu thực nghiệm có một thanh thép, chiều dài 400 mm, được nhúng vào trong mẫu bê tông tại vị trí cách mặt bê tông khoảng 30 mm.



Hình 1. Mẫu thực nghiệm dùng trong nghiên cứu.

Trong giai đoạn dưỡng hộ, tất cả các mẫu bê tông cốt thép được bọc bằng nhiều lớp nhựa và được đặt trong điều kiện phòng thí nghiệm với độ ẩm 65% và nhiệt độ trung bình 29°C trong 20 ngày. Tiếp theo, một lớp sơn epoxy được phủ lên bề mặt bê tông, chỉ để lại mặt trên, như được mô tả trong Hình 2. Sau khi để lớp phủ epoxy này tĩnh định trong khoảng 7 ngày, các mẫu sẽ lần lượt được đặt vào các môi trường xâm thực với độ ẩm trên 90% và nhiệt độ trung bình khoảng 28%. Trong điều kiện này, quá trình ăn mòn cốt thép trong bê tông được đảm bảo diễn ra liên tục. Bảng 2 thể hiện các thông số của lớp bê tông cũ và bê tông mới được sử dụng để đúc các mẫu thí nghiệm.

Bảng 2. Các thông số của mẫu bê tông cốt thép.

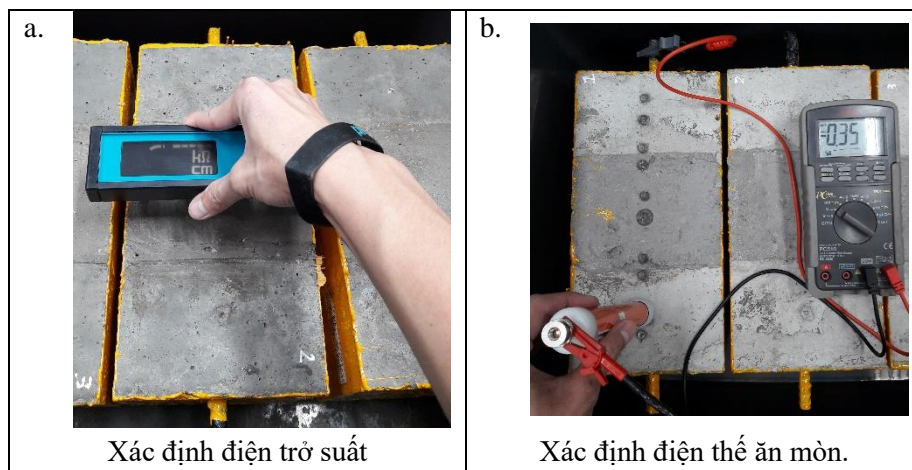
Nhóm mẫu	Vùng	Thông số bê tông		
		Tỉ số N/CKD	Hàm lượng tro bay (% khối lượng CKD)	Hàm lượng ion chloride (% khối lượng bê tông)
Không áp dụng phương pháp mảng vá (Đối chứng)	Hiện hữu	0.6	0	0.08
	Mảng vá	0.4	30	0
Sử dụng tro bay trong vùng mảng vá	Hiện hữu	0.6	0	0.08
	Mảng vá	0.4	30	0
Sử dụng OPC trong vùng mảng vá	Hiện hữu	0.6	0	0.08
	Mảng vá	0.4	0	0
Sử dụng tro bay trong vùng hiện hữu	Hiện hữu	0.6	30	0.08

	Mảng vá	0.4	30	0
Sử dụng tỉ lệ N/CKD thấp trong vùng mảng vá	Hiện hữu	0.4	0	0.08
	Mảng vá	0.4	30	0
Hàm lượng chloride cao trong vùng bê tông hiện hữu	Hiện hữu	0.6	0	0.25
	Mảng vá	0.4	30	0

Trong đó: CKD là chất kết dính. Tỉ số N/CKD là tỉ số nước trên chất kết dính.

2.3 Phương pháp thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, hai thí nghiệm chính được thực hiện là đo điện trở suất và hiện thế ăn mòn. Các thí nghiệm này được tiến hành sau khi các mẫu đã được đặt trong môi trường xâm thực trong vòng 60 ngày. Điện trở suất của bê tông được đo lường bằng phương pháp thanh dò Wenner, như được minh họa trong Hình 2a. Giá trị điện trở suất của bê tông được xác định tại ba khu vực, bao gồm hai điểm trong khu vực bê tông cũ và một điểm trong khu vực bê tông mới (Hình 2b). Giá trị điện trở suất được trình bày trong bài viết này là kết quả trung bình của ít nhất ba lần đo tại mỗi vị trí. Điện thế ăn mòn của cốt thép được xác định bằng điện cực đối chứng là đồng/đồng sulfate (Cu/CuSO_4). Giá trị điện thế ăn mòn được xác định dọc theo chiều dài thanh thép để đánh giá sự biến đổi điện thế ăn mòn của cốt thép trong khu vực mảng vá và khu vực hiện hữu.



Hình 2. Các phương pháp đo đạc các thông số ăn mòn.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

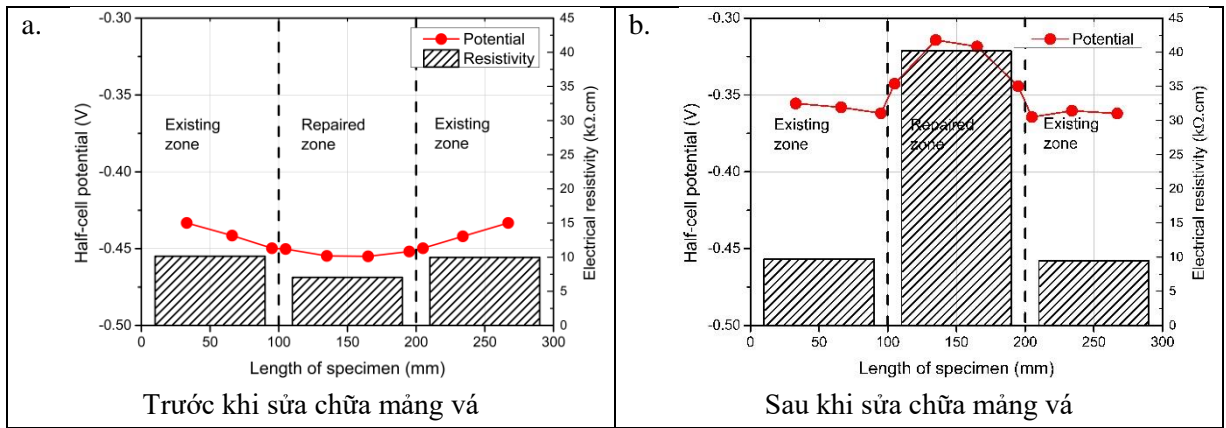
3.1 Ảnh hưởng của sửa chữa mảng vá

Độ hiệu quả của phương pháp sửa chữa mảng vá đối với các kết cấu bê tông cốt thép bị hư hỏng do quá trình ăn mòn thường được đánh giá thông qua phân tích phân bố điện thế trước và sau khi thực hiện phương pháp sửa chữa mảng vá. Kết quả thực nghiệm, như được minh họa trong Hình 3, trình bày mối tương quan giữa điện thế ăn mòn của cốt thép và điện trở suất của bê tông trong vùng bê tông cũ và mới.

Quan sát trong Hình 3a cho thấy rằng trước khi tiến hành sửa chữa bằng phương pháp mảng vá, điện thế của cốt thép trong bê tông thấp. Giá trị điện thế thấp nhất được ghi nhận ở vùng giữa mẫu. Cụ thể, giá trị điện thế trung bình của cốt thép trung vùng bê tông xung quanh là khoảng -442 mV , so với giá trị là -455 mV ở vùng trung tâm mẫu. Sự chênh lệch ngày chỉ là 2.9%. Đối với điện trở suất của bê tông ở trung tâm, đo được là $7.0 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$, thấp hơn so với các vùng bê tông xung quanh, đo được là $10.0 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$. Chênh lệch này lên đến 35.3% trước khi áp dụng phương pháp sửa chữa mảng vá.

Trong các mẫu đối chứng, cấu trúc bê tông cốt thép được thiết lập trước khi thực hiện phương pháp

mảng vữa. Lưu ý rằng lượng ion chloride đã được trộn trong bê tông trước đó phân bố không đồng đều, với hàm lượng chloride cao tập trung ở trung tâm mẫu, trong khi ở vùng bê tông xung quanh hàm lượng chloride thấp hơn. Sự xuất hiện của chloride xung quanh cốt thép dẫn đến suy yếu lớp thụ động trên bề mặt cốt thép và giảm điện thế ăn mòn của cốt thép. Điều quan trọng hơn, sự phân bố không đều của hàm lượng chloride cũng ảnh hưởng trực tiếp đến đồ thị điện thế ăn mòn của cốt thép, như thể hiện trong Hình 3a, với điện thế của cốt thép thấp nhất ở vùng trung tâm mẫu, đồng nghĩa với vùng có hàm lượng chloride cao nhất.



Hình 3. Đồ thị điện thế ăn mòn và điện trở suất trước và sau khi ứng dụng phương pháp mảng vữa.

Ngược lại, Hình 3b trình bày sự biến đổi của điện thế ăn mòn trong trường hợp kết cấu bê tông cốt thép sau khi được sửa chữa bằng phương pháp mảng vữa. Để thể hiện đặc điểm của cấu trúc mảng vữa, bê tông ở vùng giữa mẫu, nơi có hàm lượng chloride cao, đã được thay thế bằng bê tông mới có chất lượng cao, các thông số kỹ thuật đã được mô tả trong Bảng 2. Sự xuất hiện của bê tông mới không chứa chloride đã dịch chuyển đồ thị điện thế của cốt thép lên cao đáng kể. Điện thế ăn mòn của cốt thép trong vùng bê tông xung quanh dao động vào khoảng $-362 \div -358$ mV, trong khi giá trị điện thế của cốt thép tại vùng trung tâm là khoảng -316 mV. Giá trị điện thế cao nhất được ghi nhận tại vùng trung tâm, với sự tăng lên khoảng $12.5 \div 13.6\%$ so với vùng bê tông xung quanh. Đo đặc điện trở suất của bê tông chỉ ra rằng vùng bê tông ở trung tâm đạt 40.1 kΩ.cm, cao hơn so với giá trị tại vùng bê tông xung quanh, là khoảng $9.5 \div 9.75$ kΩ.cm. Chênh lệch về điện trở suất giữa vùng bê tông cũ và mới đạt khoảng 122.7% .

Thay thế lớp bê tông cũ nhiễm chloride lớn bằng lớp bê tông mới không chứa chloride và có chất lượng cao đã góp phần làm tăng điện thế của cốt thép lên 20.4% và 36.1% tương ứng trong vùng bê tông xung quanh và vùng bê tông trung tâm. So với trước khi thực hiện sửa chữa mảng vữa, thay đổi trong đồ thị điện thế ăn mòn của cốt thép được quan sát thấy ở cả hai vùng bê tông mới và cũ. Kết quả nghiên cứu làm rõ rằng phương pháp sửa chữa mảng vữa có ảnh hưởng trực tiếp ứng xử điện hóa của cốt thép trong bê tông. Sau khi áp dụng phương pháp sửa chữa mảng vữa, điện thế của cốt thép đã trải qua sự điều chỉnh, dẫn đến sự tăng cao trong đồ thị điện thế ăn mòn của cốt thép. Đặc biệt, giá trị điện trở suất của cả hai vùng không thể thấy sự biến đổi đáng kể ở vùng bê tông xung quanh, trong khi tại vùng bê tông trung tâm, giá trị điện trở suất tăng độ ngót khoảng 140.6% , do sự hiện diện của lớp bê tông mới có chất lượng cao trong phương pháp mảng vữa. Những tác động tương tự được báo cáo trong các nghiên cứu trước đây [6, 8, 16, 17].

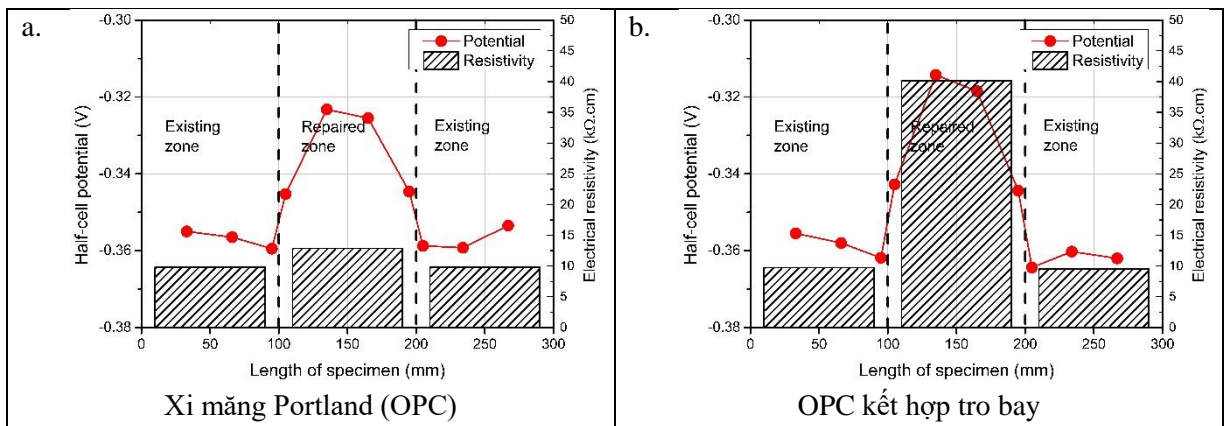
3.2 Ảnh hưởng của loại chất kết dính sử dụng làm mảng vữa

Việc thay thế phần bê tông hư hỏng bằng lớp bê tông mới có chất lượng cao trong phương pháp mảng vữa có thể gây tăng điện thế ăn mòn của cốt thép. Trong phần này, hai loại chất kết dính khác nhau, bao gồm xi măng Portland thông thường (OPC) và hỗn hợp OPC kết hợp tro bay, để đánh giá tác động của loại chất kết dính đến kết cấu bê tông mảng vữa.

Hình 4 trình bày kết quả đo đặc về sự phân bố điện thế ăn mòn và điện trở suất khi sử dụng hai loại chất kết dính trong phương pháp sửa chữa mảng vữa. Trong trường hợp sử dụng bê tông OPC làm bê tông sửa chữa, điện thế của cốt thép đo được là khoảng -324 mV và -357 mV tương ứng trong vùng bê tông mảng vữa và vùng bê tông hiện hữu. Sự chênh lệch điện thế giữa hai vùng là khoảng 9.7% . Giá trị điện trở suất

trung bình đo được trong hai vùng lần lượt là 12.9 kΩ.cm và 9.8 kΩ.cm

Kết quả đo đạc cho thấy xu hướng tương đồng khi sử dụng hai loại chất kết dính khác nhau. Theo đó, giá trị điện thế ăn mòn và điện trở suất cao nhất được quan sát thấy tại vùng trung tâm và giảm dần về phía bê tông xung quanh. Tuy nhiên, sự chênh lệch lớn đáng kể, lên đến 104.8%, xuất hiện trong giá trị điện trở suất tại vùng trung tâm. Sự chênh lệch này có nguyên nhân từ việc sử dụng tro bay trong việc sản xuất bê tông sửa chữa ở vùng trung tâm, làm tăng độ đặc chắc đáng kể của bê tông sau khi thực hiện phương pháp mảng vá. Phản ứng pozzolanic trong bê tông tro bay đóng góp vào việc giảm độ rỗng xốp trong lớp bê tông nền, làm tăng tính đặc chắc. Phản ứng này được cho là xảy ra dài hạn và cải thiện chất lượng của lớp bê tông, bao gồm giảm độ rỗng xốp, giảm tốc độ ăn mòn, giảm tính thấm, và nhiều điểm khác [3, 5, 6, 18, 19]. Như đã biết, tốc độ ăn mòn của cốt thép trong bê tông phụ thuộc vào sự dịch chuyển của các hạt mang điện trong lớp bê tông. Vì vậy, lớp bê tông sửa chữa với giá trị điện trở suất cao, hay khả năng kiềm hãm sự dịch chuyển của các hạt mang điện, sẽ giảm tốc độ ăn mòn trên kết cấu bê tông mảng vá.

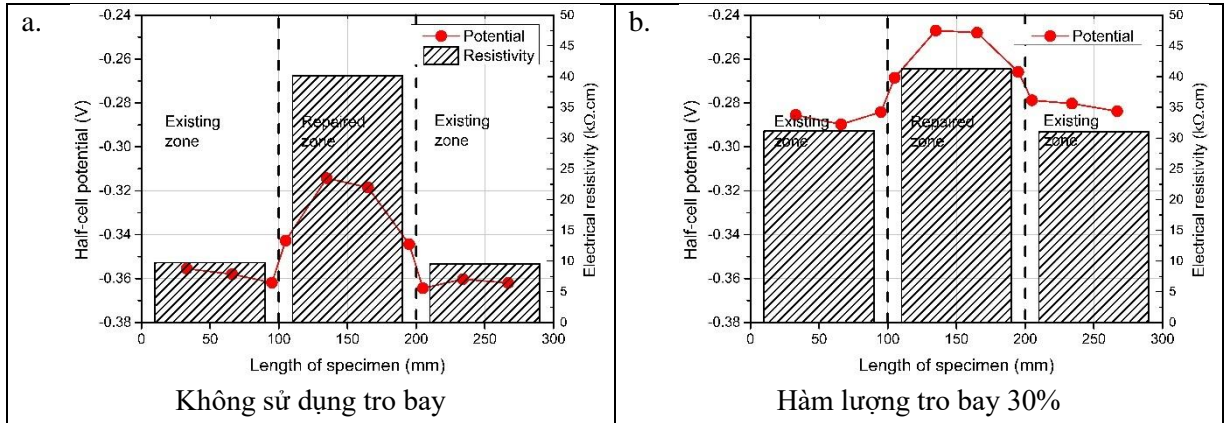


Hình 4. Đồ thị điện thế ăn mòn và điện trở suất với các loại chất kết dính khác nhau trong mảng vá.

3.3 Ảnh hưởng của tro bay trong vùng bê tông hiện hữu

Tính hiệu quả của phương pháp sửa chữa mảng vá không chỉ phụ thuộc vào chất lượng của lớp bê tông sửa chữa mà còn phụ thuộc đáng kể vào hiện trạng của phần bê tông xung quanh khu vực thực hiện mảng vá, hay phần bê tông hiện hữu. Tác động của tình trạng này lên phương pháp mảng vá sẽ được xem xét qua ba yếu tố quan trọng: hàm lượng tro bay, tỉ số nước trên chất kết dính, và hàm lượng chloride. Yếu tố đầu tiên được xem xét là hàm lượng tro bay ban đầu được sử dụng trong kết cấu bê tông cốt thép. Hình 5 minh họa biến đổi trong đồ thị điện thế ăn mòn và điện trở suất khi sử dụng các hàm lượng tro bay khác nhau trong phần bê tông hiện hữu. Khi sử dụng 30% hàm lượng tro bay trong bê tông tại khu vực xung quanh, hiệu suất sửa chữa thay đổi đáng kể. Đồ thị điện thế có xu hướng tăng cao như thể hiện trong Hình 5b. Cụ thể, giá trị điện thế trong khu vực bê tông xung quanh dao động từ -286 đến -280 mV, trong khi ở khu vực trung tâm là -247 mV. Chênh lệch điện thế ăn mòn giữa hai khu vực bê tông dao động từ 12.5% đến 14.6%. Giá trị điện trở suất của bê tông đo được lần lượt là 31 kΩ.cm và 41 kΩ.cm cho khu vực bê tông xung quanh và trung tâm.

Hình 5a tương tự chỉ ra sự tương đồng trong phân bố điện thế ăn mòn và điện trở suất ở cả hai trường hợp, tuy vẫn có sự chênh lệch về giá trị. Sự chênh lệch điện thế ăn mòn tại vùng trung tâm là 24.5%, trong khi chênh lệch này là 23.4% ở các vùng xung quanh. Bên cạnh sự chênh lệch tương đối đều về điện thế ăn mòn ở các vùng, sự chênh lệch điện trở suất rõ rệt được quan sát ở vùng bê tông xung quanh khu vực sửa chữa. Khi có sử dụng tro bay, giá trị điện trở suất đo được cao hơn khoảng 105.4% so với khi chỉ sử dụng bê tông OPC. Việc sử dụng tro bay trong phần bê tông hiện hữu được xem là nguyên nhân chính dẫn đến kết quả thực nghiệm nêu trên. Một mặt, tro bay gia tăng độ đặc chắc và từ đó làm tăng giá trị điện trở suất của khu vực bê tông xung quanh. Mặt khác, đóng góp của tro bay vào việc giảm lượng ion chloride tự do, nguyên nhân chính gây ra quá trình ăn mòn, là một yếu tố quan trọng. Tro bay có khả năng giảm lượng chloride tự do bằng cách tham gia vào các phản ứng tạo thành các chloride liên kết [6].

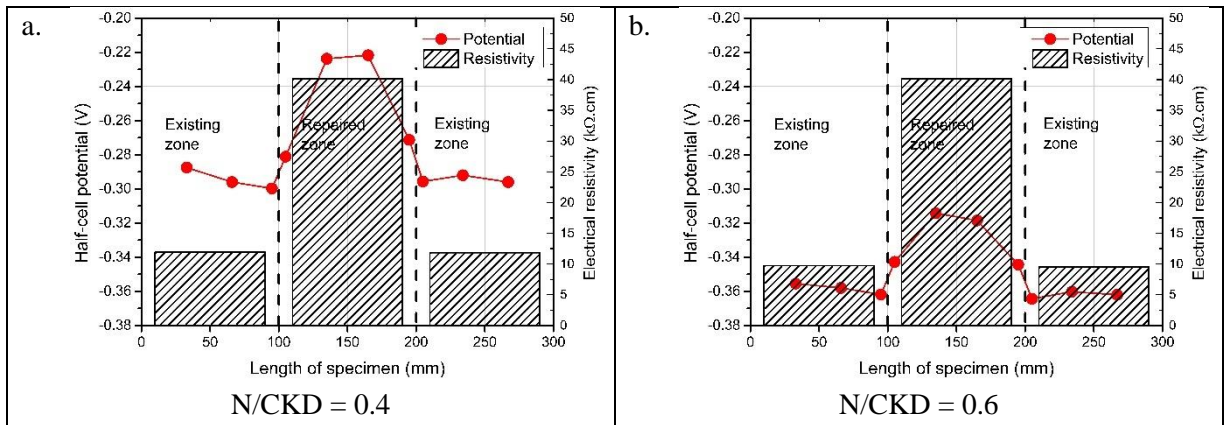


Hình 5. Đồ thị điện thế ăn mòn và điện trở suất với các hàm lượng tro bay khác nhau trong phần bê tông hiện hữu.

3.4 Ảnh hưởng của tỉ lệ nước trên chất kết dính của vùng bê tông hiện hữu

Yếu tố thứ hai có thể ảnh hưởng đến hiệu quả của phương pháp màng vá là tỉ số nước trên chất kết dính (N/CKD). Trong Hình 6, có thể quan sát sự biến đổi của điện thế ăn mòn và điện trở suất với hai tỉ lệ nước trên chất kết dính khác nhau trong vùng bê tông hiện hữu. Khi sử dụng bê tông có tỉ số nước trên chất kết dính thấp, giá trị điện thế ăn mòn ghi nhận được là -293 mV và -222 mV tương ứng ở khu vực xung quanh và trung tâm cấu trúc màng vá (Hình 6a). Chênh lệch điện thế giữa hai khu vực là 27.6%.

Ngoài ra, giá trị điện trở suất đo được trong khu vực trung tâm là 40.1 kΩ.cm, trong khi ở khu vực xung quanh là 11.9 kΩ.cm. Hình 6b thể hiện rõ sự tương đồng giữa đồ thị điện thế ăn mòn và điện trở suất khi sử dụng bê tông có tỉ số nước trên chất kết dính lớn trong khu vực xung quanh màng vá. Tuy nhiên, có sự chênh lệch về độ lớn của điện thế ăn mòn và điện trở suất dưới tác động của tỉ lệ nước trên chất kết dính. Kết quả so sánh cho thấy giá trị điện thế ăn mòn ở hai khu vực bê tông xung quanh và trung tâm sai khác khoảng 20.0% và 34.9% khi thay đổi tỉ lệ nước trên chất kết dính trong vùng bê tông xung quanh màng vá. Cùng với đó, giá trị điện trở suất cho thấy sự chênh lệch đáng kể ở vùng bê tông xung quanh là 21.4%, trong khi ở khu vực trung tâm thì không có sự chênh lệch đáng kể.



Hình 6. Đồ thị điện thế ăn mòn và điện trở suất với các tỉ lệ nước trên chất kết dính khác nhau của vùng bê tông hiện hữu.

Có hai nhân tố quan trọng giúp gia tăng điện thế ăn mòn của cốt thép tăng cao khi sử dụng bê tông có tỉ lệ nước trên chất kết dính thấp. Thứ nhất, độ đặc chắc của bê tông tăng khi tỉ lệ nước trên chất kết dính giảm, dẫn đến tăng giá trị điện trở suất của bê tông ở vùng bê tông hiện hữu. Sự gia tăng này cản trở quá trình ăn mòn của cốt thép do tốc độ dịch chuyển electron giữa các vùng bị hạn chế, làm cho điện thế ăn mòn tăng cao hơn (Hình 6a). Thứ hai, sử dụng lượng lớn xi măng trong bê tông có tỉ lệ nước trên xi măng thấp giúp tạo ra ion chloride ở dạng liên kết, không gây ra quá trình ăn mòn cốt thép như ion chloride tự do. Điều này là kết quả của phản ứng giữa thành phần aluminat trong xi măng và ion chloride tự do, giúp

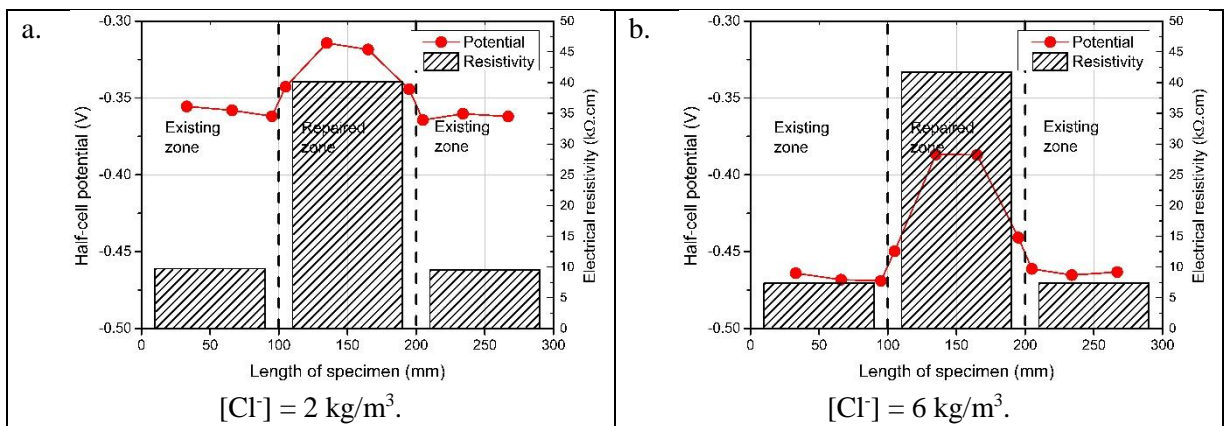
giảm lượng ion chloride tự do và ổn định quá trình ăn mòn.

3.5 Ảnh hưởng của hàm lượng chloride trong vùng bê tông hiện hữu

Nhân tố cuối cùng được đề cập trong nghiên cứu này là tác động của hàm lượng chloride còn lại trong khu vực bê tông xung quanh đến hiệu quả của phương pháp sửa chữa mảng vữa. Trong trường hợp nơi hàm lượng ion chloride vẫn cao xung quanh cốt thép, ngay cả sau quá trình sửa chữa mảng vữa, điều này có thể do kế hoạch thiết kế sửa chữa không hợp lý, với sự thiết sót trong quá trình khảo sát ban đầu và thông tin về tình trạng kết cấu cần sửa chữa, v.v. Các yếu tố này dẫn đến việc xác định không chính xác kích thước của vùng bê tông cần thay thế.

Kết quả đo đạc rõ ràng thể hiện ảnh hưởng của hàm lượng chloride trong vùng bê tông xung quanh. Khi hàm lượng chloride cao, điện thế ăn mòn của cốt thép trong vùng bê tông hiện hữu dao động từ -467 mV đến -463 mV, trong khi giá trị điện thế trong vùng trung tâm khoảng -387 mV. Chênh lệch điện thế giữa hai vùng là 18.3%. Hàm lượng lớn chloride trong vùng bê tông xung quanh làm giảm mạnh điện thế ăn mòn. Trong trường hợp này, khi vẫn còn lượng lớn chloride trong bê tông, độ thị điện thế ăn mòn giảm khoảng 20.2% và 25.5% tương ứng trong vùng bê tông trung tâm và vùng bê tông xung quanh so với trường hợp chỉ có lượng nhỏ chloride. Hơn nữa, tồn tại hàm lượng chloride cao trong vùng bê tông hiện hữu không có ảnh hưởng nhiều đến giá trị điện trở suất trong vùng trung tâm, nhưng có sự suy giảm khoảng 28.3%, ở vùng bê tông xung quanh.

Ảnh hưởng của ion chloride đến quá trình ăn mòn cốt thép đã được nghiên cứu rộng rãi trước đó [1, 2, 5, 6, 8]. Ion chloride thường có nguồn gốc từ môi trường bên ngoài, thâm nhập qua lớp bê tông bảo vệ và tích tụ trên bề mặt cốt thép. Sự tích tụ một ion chloride trên bề mặt cốt thép tạo ra lớp bảo vệ, thường gọi là lớp thụ động, bị mất ổn định, từ đó tạo thành quá trình ăn mòn cốt thép trong bê tông. Trong trường hợp được khảo sát trong nghiên cứu này, hàm lượng chloride trong vùng bê tông xung quanh, gấp ba lần (6 kg/m^3 so với 2 kg/m^3 bê tông), đã làm giảm điện thế ăn mòn của cốt thép xuống mức rất thấp. Do đó, sau quá trình cân bằng lại điện thế trong kết cấu bê tông mảng vữa, độ thị điện thế của cốt thép vẫn giữ ở mức rất thấp (Hình 7b).



Hình 7. Đồ thị điện thế ăn mòn và điện trở suất với hàm lượng chloride khác nhau trong vùng bê tông hiện hữu.

Nguyên nhân của hiện tượng này được giải thích là do sự biến đổi trong thành phần bê tông giữa hai khu vực khác nhau. Khu vực trung tâm, nơi bê tông mới hoặc bê tông sửa chữa được áp dụng, là bê tông tro bay không chứa chloride, trong khi khu vực xung quanh vị trí mảng vữa là bê tông xi măng Portland thông thường và đã chứa một lượng nhất định ion chloride. Có thể nhận thấy rõ ràng rằng ion chloride có thể giảm điện thế ăn mòn của cốt thép, do đó tăng khả năng xảy ra quá trình ăn mòn.

Việc sử dụng tro bay trong bê tông đã dẫn đến việc có giá trị điện trở suất cao, điều này cũng đóng góp và sự chênh lệch điện thế giữa hai khu vực. Xu hướng này có thể được quan sát rõ ràng trong nhóm mẫu có hàm lượng chloride cao trong khu vực bê tông ban đầu (Hình 7b). Sự chênh lệch giữa hai đồ thị điện thế ăn mòn với hai hàm lượng chloride khác nhau trong khu vực bê tông ban đầu là rất rõ ràng. Nguyên nhân của hiện tượng này được giải thích là do sự cân bằng lại điện thế dọc theo chiều dài thanh thép sau khi thực

hiện phương pháp sửa chữa mảng vữa.

4 KẾT LUẬN

Nghiên cứu chỉ ra rằng phương pháp sửa chữa mảng vữa có thể ảnh hưởng đến hiệu suất của kết cấu bê tông cốt thép, và việc đánh giá điện thế ăn mòn và điện trở suất là quan trọng để đánh giá hiệu quả của phương pháp sửa chữa. Từ kết quả thực nghiệm có thể nhận thấy, đồ thị điện thế ăn mòn của cốt thép và điện trở suất của bê tông bị ảnh hưởng đáng kể sau khi áp dụng phương pháp sửa chữa mảng vữa. Trước khi thực hiện phương pháp mảng vữa, đồ thị điện thế ăn mòn của cốt thép rất thấp. Tuy nhiên, việc thay thế phần bê tông nhiễm hàm lượng chloride lớn bằng phần bê tông mới, có chất lượng cao hơn, đã dịch chuyển đồ thị điện thế ăn mòn lên cao hơn. Thêm vào đó, hiện tượng tái cân bằng điện thế chắc chắn sẽ xảy ra, nhưng mức độ của nó phụ thuộc nhiều vào thành phần bê tông. Kết quả nghiên cứu thấy rằng việc nghiên cứu và áp dụng các phương pháp đánh giá và sửa chữa kết cấu bê tông cốt thép là rất cần thiết để đảm bảo tính an toàn và tính toàn vẹn của cấu trúc. Nghiên cứu này cũng mở ra hướng phát triển mới trong việc nghiên cứu và áp dụng các phương pháp đánh giá và sửa chữa kết cấu bê tông cốt thép. Bên cạnh đó để tăng khả năng ứng dụng của phương pháp sửa chữa mảng vữa, ảnh hưởng của các yếu tố môi trường và các thông số phụ thuộc vào thời gian nên được nghiên cứu thêm.

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 23.1XD01.

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. Sancharoen, 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] D. V. P. Tran, P. Sancharoen, P. Klomjit, S. Tangtermsirikul, and T. H. Y. Nguyen, "Prediction equations for corrosion rate of reinforcing steel in cement-fly ash concrete," *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, vol. 8, no. 2, pp. 91-99, 2023/04/03 2023.
- [8] D. V. P. Tran, P. Sancharoen, 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.
- [9] D. V. P. Tran, P. Sancharoen, 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 thermal-humid media on durability of CFRP-wrapped reinforced concrete columns," presented at the CIGOS, Ho Chi Minh City, Viet Nam, 2017.
- [11] M. V. Tran and D. V. P. Tran, "Effect of temperature and humidity cycling on reinforcement corrosion," in *11th SEATUC Symposium*, Viet Nam, 2017.
- [12] G. H. Ahmed, G. B. Jumaa, and N. H. Askandar, "Degradation Mechanisms and Residual Mechanical Properties of Reinforcing Steel Bars Exposed to Natural and Artificial Corrosion – Review & Analysis," *Polytechnic Journal*, 2023.
- [13] *Standard Specification for Portland Cement*, ASTM C 150, 2007.
- [14] *Standard Specification for Concrete Aggregates*, ASTM C 33, 2010.

- [15] *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*, ASTM C 618-19, 2019.
- [16] S. Qian, J. Zhang, and D. Qu, "Theoretical and experimental study of microcell and macrocell corrosion in patch repairs of concrete structures," *Cement & Concrete Composites*, vol. 28, pp. 685-695, 2006.
- [17] S. W. Hnin, P. Sanchaen, and S. Tangtermsirikul, "Effects of mix proportion on electrical resistivity of concrete with fly ash," *ASEAN Engineering Journal*, vol. 7, pp. 53-65, 2017.
- [18] P. K. M. Mehta, Paulo J. M., *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, Third ed. McGraw-Hill, 2006.
- [19] A. M. Neville, *Properties of concrete*, Fourth ed. England: Pearson Education Limited, 2002.

INVESTIGATING THE ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF REINFORCING STEEL IN PATCHING-REPAIRED CONCRETE

TRAN VIET PHUONG DONG*, 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 focuses on evaluating the electrochemical behavior of steel reinforcement in reinforced concrete structures, particularly those located in marine environments where chloride-induced corrosion is a common problem. The use of patch repair is a popular method for repairing corroded reinforced concrete structures, but improper evaluation of the corrosion cause and extent can lead to rapid deterioration and degradation of the structure. Therefore, it is crucial to monitor the performance of the repaired structure using appropriate methods. The study measures two corrosion parameters, the corrosion potential and the electrical resistivity, to evaluate the effectiveness of the patch repair method. The results show that the patch repair method can significantly affect the performance of the reinforced concrete structure, and the evaluation of the corrosion potential and resistivity distribution is essential to assess the effectiveness of the repair method.

Keywords. Corrosion, patching repair, reinforcement, concrete, electrochemical.

Ngày nhận bài: 16/01/2024

Ngày chấp nhận đăng: 26/4/2024