

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG THÍ ĐIỂM CÁT NHIỄM MẶN LÀM CỐT LIỆU
CHO KẾT CẤU BÊ TÔNG CỐT THÉP**
RESEARCH ON THE PILOT APPLICATION OF SALINE SAND AS AGGREGATE
FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

NGUYỄN NAM THẮNG^{a,*}, PHAN VĂN CHƯƠNG^a, NGUYỄN TIẾN BÌNH^a, PHẠM TRUNG THÀNH^a

^aViện Khoa học công nghệ xây dựng

*Tác giả đại diện: Email: namthangibst@gmail.com

Ngày nhận 24/10/2024, Ngày sửa 20/11/2024, Chấp nhận 25/11/2024

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2024.vi.vol4-8>

Tóm tắt: Tổng hợp các nghiên cứu trên thế giới và Việt Nam cũng như kết quả khảo sát trên công trình thực tế cho thấy, có thể nghiên cứu sử dụng cát nhiễm mặn làm cốt liệu cho kết cấu BTCT trong một số điều kiện cụ thể như ở những nơi khan hiếm cát sạch hoặc hải đảo xa xôi, nhưng phải đảm bảo yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép cũng như điều kiện làm việc của kết cấu trong môi trường biển vì thông thường hàm lượng clorua trong cát biển cao hơn mức quy định. Trong bài báo này, trên cơ sở các kết quả nghiên cứu trước về phân loại cát theo hàm lượng clorua, giải pháp sơn phủ cốt thép, chất ức chế ăn mòn cho bê tông, thực nghiệm sự làm việc của dầm BTCT cốt liệu cát nhiễm mặn trong phòng thí nghiệm đã ứng dụng thí điểm cát nhiễm mặn làm cốt liệu cho kết cấu BTCT nhà thí nghiệm (Nhà nghỉ công nhân kết hợp công tác thực nghiệm) tại nhà máy Vicosimex xã Phong Bình, huyện Phong Điền, tỉnh Thừa Thiên - Huế.

Từ khóa: Ăn mòn cốt thép, bảo vệ cốt thép, ứng dụng cát nhiễm mặn.

Abstract: Synthesizing studies in the World and Vietnam as well as survey results on actual works show that it is possible to study the use of saline sand as aggregate for reinforced concrete structures in some specific conditions such as in places where clean sand is scarce or on remote islands, but must ensure the requirements for corrosion protection for reinforcement as well as the working conditions of the structure in the marine environment because the chloride content in sea sand is usually higher than the prescribed level. In this article, based on previous research results on sand classification according to chloride content, reinforcement coating solutions, corrosion inhibitors for concrete, experimental work of reinforced concrete beams with saline sand aggregate in the laboratory, a pilot application of saline sand as aggregate for reinforced concrete structures of the laboratory (Workers' Rest House

with experimental work) at Vicosimex factory in Phong Binh commune, Phong Dien district, Thua Thien - Hue province has been carried out.

Keywords: reinforcement corrosion, reinforcement protection, application of saline sand

1. Mở đầu

Nguồn cát nhiễm mặn nước ta rất phong phú, tùy thuộc vị trí, mùa mà hàm lượng clorua trong cát khác nhau, nếu tận dụng được nguồn cát này sử dụng làm cốt liệu cho kết cấu BTCT thì giải quyết được phần nào tình trạng khan hiếm cát sạch hiện nay. Tuy nhiên, vấn đề lớn nhất khi sử dụng cốt liệu này là hàm lượng clorua vượt ngưỡng cho phép, có thể ăn mòn cốt thép nhanh hơn nếu không có biện pháp bảo vệ phù hợp. Thực tế cho thấy, một số công trình trên thế giới và Việt Nam ở những thập niên trước do điều kiện bắt buộc có sử dụng cát nhiễm mặn chế tạo BTCT. Trong một số trường hợp do chất lượng bê tông bảo vệ không đạt yêu cầu (so với tiêu chuẩn thời điểm hiện nay) mà quá trình ăn mòn, phá hủy BTCT diễn ra nhanh, số khác nhờ chất lượng BT bảo vệ tốt nên tuổi thọ được kéo dài.

Nhiều công trình nghiên cứu, khảo sát cát nhiễm mặn ở nước ta [1], [2] cho thấy một số tính chất cơ lý đáp ứng yêu cầu kỹ thuật TCVN 7570:2006 tuy nhiên hàm lượng clorua thì tùy thuộc vào vị trí của cát, khai thác theo mùa, năm mà có khác nhau. Sử dụng cát nhiễm mặn có hàm lượng clorua lớn hơn 0,05% là vấn đề phức tạp đối với kết cấu BTCT vì cần phải phân loại theo mức nhiễm clorua, cũng như định hướng lựa chọn biện pháp bảo vệ cốt thép phù hợp để đảm bảo tuổi thọ kết cấu BTCT.

2. Kết quả khảo sát một số tính chất của cát nhiễm mặn vùng biển Việt Nam

2.1 Tính chất cơ lý của cát

Khảo sát 19 loại cát nhiễm mặn ở các vùng biển khác nhau, kết quả thí nghiệm tính chất cơ lý của cát có thể nhận xét chung như sau:

- Các chỉ tiêu khối lượng riêng, khối lượng thể tích bão hòa, khối lượng thể tích khô, độ hút nước khối lượng thể tích xốp, độ rỗng, lượng hạt > 5mm tương tự như cát vàng;

- Mô đun độ lớn của cát nhiễm mặn dao động từ 0,1 (cát nhiễm mặn Bạc Liêu) đến 2,6 (cát nhiễm mặn Trà Khúc - Quảng Ngãi);

- Hàm lượng tạp chất hữu cơ sáng hơn màu chuẩn;

- Hàm lượng bụi, bùn sét $\leq 1\%$, duy chỉ có cát nhiễm mặn Duyên Hải - Trà Vinh là 1,2%;

- Hàm lượng clorua trong cát: dao động từ 0,012% đến 0,547%. Như vậy, trong số các loại cát được khảo sát, sẽ có loại đáp ứng quy định về hàm lượng clorua trong TCVN 7570:2006 (nhỏ hơn 0,05%) và có loại cát không đáp ứng.

2.2 Phân loại cát nhiễm mặn

Kết quả nghiên cứu đã báo cáo trong tài liệu [5], đề xuất phân loại clorua trong cát thành các mức thấp, trung bình, cao, rất cao như sau:

- Mức thấp: từ 0,05% đến dưới 0,15%;

- Mức trung bình: từ 0,15% đến dưới 0,2%;

- Mức cao: từ 0,2% đến dưới 0,3%

- Mức rất cao: $\geq 0,3\%$ (không đề cập trong nghiên cứu này).

Hàm lượng clorua trong bê tông tương đương với cát có thể phân ra gần đúng như sau:

- Mức thấp: từ 0,05% đến dưới 0,15% tương đương clorua trong bê tông từ 0,6 đến dưới 1,2 kg/m³;

- Mức trung bình: từ 0,15% đến dưới 0,2% tương đương clorua trong bê tông từ 1,2 đến dưới 1,8 kg/m³;

- Mức cao: từ 0,2% đến dưới 0,3% tương đương clorua trong bê tông từ 1,8 đến dưới 2,4 kg/m³.

3. Một số kết quả nghiên cứu trước đây về chống ăn mòn cho BTCT cốt liệu cát nhiễm mặn

3.1 Nghiên cứu giải pháp sơn phủ bảo vệ cốt thép [3]

Trong nghiên cứu giải pháp sơn phủ bảo vệ cốt thép [3], các tác giả đã sử dụng cát nhiễm mặn Thuận An, Trà Khúc và Vân Đồn trên cấp bê tông B20, B30, B45, cốt thép được sơn epoxy trước khi đổ bê tông,

chiều dày bê tông bảo vệ là 25 mm. Cát vàng theo tiêu chuẩn TCVN 7570:2006.

Kết quả đo ăn mòn các mẫu thí nghiệm tại thời điểm 12 tháng cho thấy, hiệu quả bảo vệ chống ăn mòn của sơn epoxy thí nghiệm trên 3 cấp bê tông cho thấy: sơn epoxy (2-3) lớp làm giảm tốc độ ăn mòn mạnh, ví dụ: tốc độ ăn mòn cốt thép của bê tông cát nhiễm mặn B20 sơn epoxy 3 lớp giảm 161 lần so với bê tông cát nhiễm mặn cùng cấp độ bền, không sơn. Sơn epoxy đã đóng vai trò như một màng chắn, ngăn cách cốt thép tiếp xúc trực tiếp với môi trường clorua.

Kết quả nghiên cứu này cho thấy sơn epoxy cốt thép là biện pháp bảo vệ chống ăn mòn hiệu quả cho bê tông cát nhiễm mặn.

3.2 Nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc của dầm [4]

Trong nghiên cứu giải pháp sơn phủ bảo vệ cốt thép [4], các tác giả đã chế tạo ba cặp dầm bê tông cốt thép tương ứng cấp bền bê tông B20, B30 và B45 trong đó ba dầm bê tông cốt thép có cốt liệu cát nhiễm mặn đồng thời sử dụng chất ức chế ăn mòn trong bê tông và sơn phủ epoxy cho cốt thép; ba dầm còn lại là dầm đối chứng sử dụng cát sạch.

Kết quả thí nghiệm các dầm như đã thiết kế đảm bảo khả năng chịu lực theo tính toán lý thuyết. Dầm BTCT đối chứng và dầm BTCT cát nhiễm mặn sơn phủ cốt thép có khả năng làm việc tương đương nhau trong giai đoạn đàn hồi, ảnh hưởng của sơn epoxy chống ăn mòn cốt thép đến yếu tố liên kết giữa cốt thép và bê tông là không đáng kể. Hai loại dầm này có thể được tính toán khả năng chịu uốn như dầm BTCT thông thường theo TCVN 5574:2018.

4. Ứng dụng thí điểm cát nhiễm mặn làm cốt liệu cho kết cấu BTCT dùng trong công trình dân dụng

4.1 Xây dựng công trình kết cấu BTCT cốt liệu cát nhiễm mặn để nghiên cứu thực nghiệm

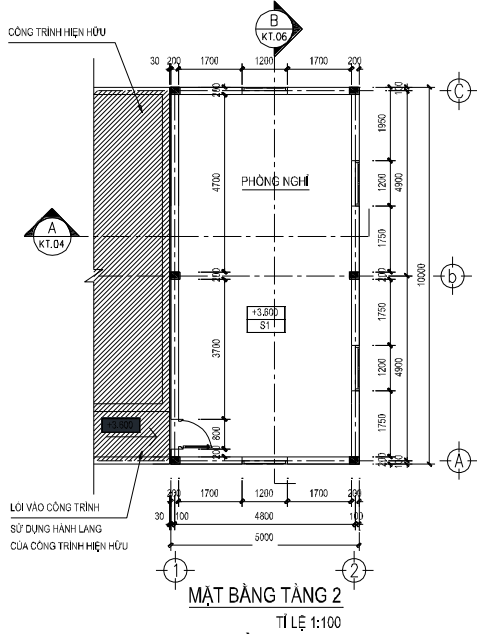
Để bước đầu đánh giá khả năng sử dụng cát nhiễm mặn trong thực tiễn, đã nghiên cứu ứng dụng cho công trình nhà 2 tầng tại thửa đất số 01, tờ bản đồ số 00 tại xã Phong Bình, huyện Phong Điền, tỉnh Thừa Thiên - Huế, công trình làm việc trong môi trường khí quyển biển, cách mép nước 9 km.

Về kiến trúc: Công trình bao gồm 02 tầng, chiều cao đỉnh mái là 8,4 m tính từ cos 0,00, diện tích xây dựng 50 m², tổng diện tích sàn 100 m². Công năng tầng 1 và tầng 2 là phòng nghỉ, với diện tích mỗi tầng là 50 m². Giao thông theo phương đứng là hệ thống cầu thang bộ, giao thông theo phương ngang

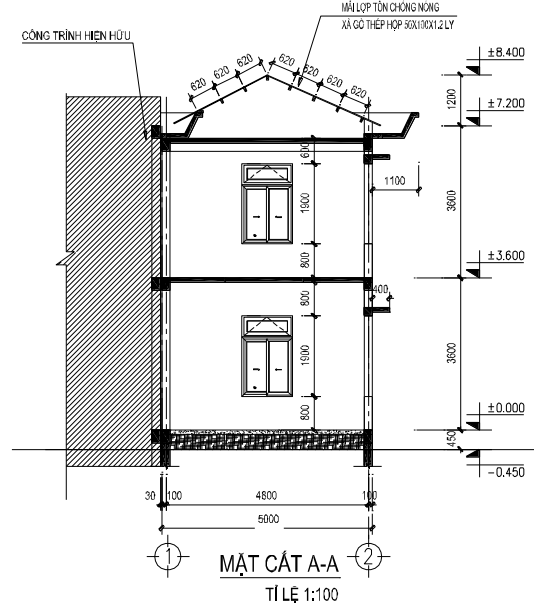
VẬT LIỆU XÂY DỰNG - MÔI TRƯỜNG

là hành lang được nối liền với công trình hiện hữu. Nền nhà và sàn các tầng được lát gạch Granit màu vàng nhạt kích thước 600x600 mm. Lớp vữa xi măng mác 75 dày 30 mm. Mái lợp tôn chống nóng sóng vuông màu xanh rêu dày 0,45 mm, xà gỗ thép

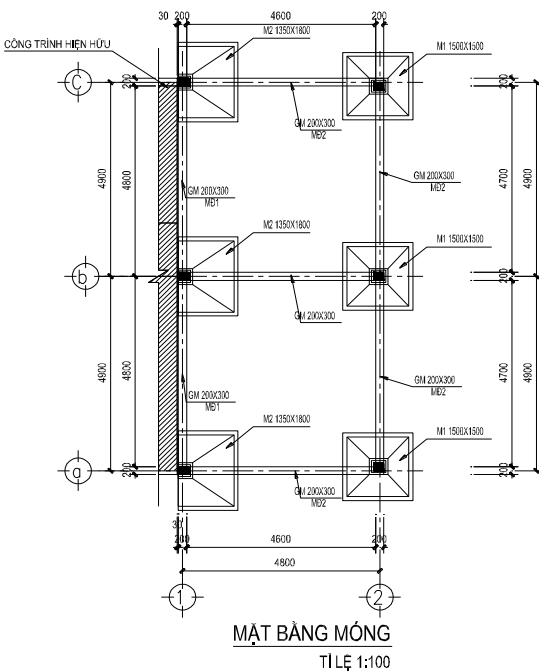
để lấy ánh sáng và điều hoà không khí. Kiến trúc mặt đứng của ngôi nhà là hài hoà trong kiến trúc chung của khu vực xây dựng, hình khối là điển hình cho ngôi nhà 2 tầng.



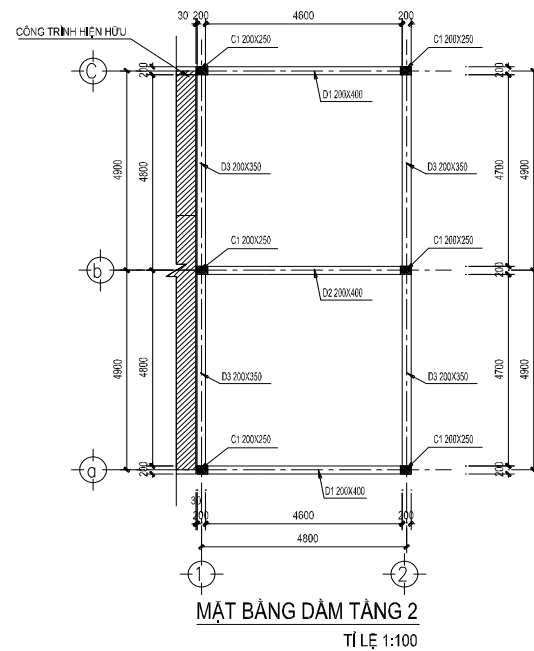
Hình 1. Mặt bằng công trình



Hình 2. Mặt đứng công trình



Hình 3. Mặt bằng móng



Hình 4. Mặt bằng dầm tầng 2

Về kết cấu công trình: Công trình sử dụng kết cấu khung bê tông cốt thép (BTCT) toàn khối cấp bê tông B30 cốt liệu cát nhiễm mặn Trà Khúc - Quảng Ngãi có hàm lượng clorua 0,116% tương đương 0,94kg/m³ và một số cấu kiện bê tông cát sạch làm đối chứng. Bê tông B20 sử dụng cát nhiễm mặn Thuận An - Huế cho

chi tiết lan tô. Hai cấp phối B20 và B30 dùng hai loại cát trên vì có modul phù hợp cho từng cấp bê tông. Lựa chọn cấp bê tông B20, B30 phù hợp với TCVN 9346:2012 cho công trình chịu tác động của môi trường khí quyển biển. Cấp phối và cường độ nén tuổi 28 ngày như Bảng 1 dưới đây:

Bảng 1. Thành phần cấp phối bê tông đối chứng

Mức thiết kế	Độ sụt Y/C cm	Thành phần cấp phối thiết kế					PG PCI 3000, lít	N/X	R ₂₈ , MPa
		XM Bút Sơn PCB 40, kg	Cát, kg	Đá, kg	Nước, lít	PG giảm nước, lít			
Bê tông đối chứng									
B30 (Cát vàng sạch)	16±2	390	816	1067	172	3,12		0,45	42,8
Bê tông cốt liệu cát nhiễm mặn									
B20 (Cát Thuần An)	14±2	345	690	1209	177	-	3,8	0,52	32,6
B30 (Cát Trà Khúc)	16±2	395	810	1065	173	-	4,35	0,45	42,25

Ghi chú: Phụ gia ức chế ăn mòn PCI 3000 là tổ hợp phụ gia giảm nước và ức chế ăn mòn (NO₂⁻), lượng dùng 1,1% so với lượng xi măng, hàm lượng hiệu quả này thỏa mãn [Cl⁻]/[NO₂⁻]= 0,21 (yêu cầu ≤2).

Hệ móng đơn đặt trên nền tự nhiên, bề rộng là 1500x1500 mm, chiều cao 500mm. Giằng móng có kích thước 200x300 mm đặt tại cos 0,00. Cột BTCT có kích thước điển hình là 200x250 mm. Dầm BTCT có kích thước điển hình là 200x350 mm. Sàn BTCT có chiều dày 100 mm. Chiều dày lớp bảo vệ móng là 50 mm, chiều dày lớp bảo vệ dầm cột là 25mm, chiều

dày lớp bê tông bảo vệ sàn là 20mm. Cốt thép sử dụng Nhóm CB240T: φ ≤10 R_s = 210 MPa; Nhóm CB300V: φ > 10 R_s = 260 MPa. Cốt thép sơn phủ epoxy trước khi đổ bê tông có chiều dày 175±18μm, phụ gia ức chế chống ăn mòn PCI 3000.

Thiết kế cấp phối và vật liệu đầu vào thi công được kiểm tra tại phòng LAS XD 578 Trung tâm triển khai công nghệ xây dựng Miền Trung - Viện KHCN Xây dựng và trực tiếp tại hiện trường, có hồ sơ nghiệm thu riêng. Kết quả các loại vật liệu đầu vào đạt yêu cầu.



Hình 5. Quá trình thi công công trình

Công trình được khởi công tháng 4 năm 2022 và hoàn thành đưa vào sử dụng tháng 8 năm 2022. Trong quá trình thi công, một số vị trí kết cấu được gắn các đầu đo để theo dõi điện thế ăn mòn cốt thép.

4.2 Kiểm tra, theo dõi điện thế ăn mòn cốt thép

4.2.1 Mục đích

Đối với công trình Nhà thí nghiệm (nhà nghỉ công nhân) sử dụng cát nhiễm mặn cho kết cấu BTCT (một số cấu kiện sử dụng cát sạch làm đối chứng), cốt thép được bảo vệ bằng sơn epoxy trước khi đổ bê

tông kết hợp với sử dụng chất ức chế ăn mòn theo như các kết quả nghiên cứu [3; 4]. Tuy nhiên, đây là vấn đề khoa học công nghệ mới, phức tạp, vì vậy cần kiểm chứng kết quả nghiên cứu trong công trình thực tế trong đó có kiểm tra đo điện thế ăn mòn cốt thép các cấu kiện BTCT cốt liệu cát nhiễm mặn so sánh với cấu kiện đối chứng làm cơ sở đề xuất ứng dụng cụ thể.

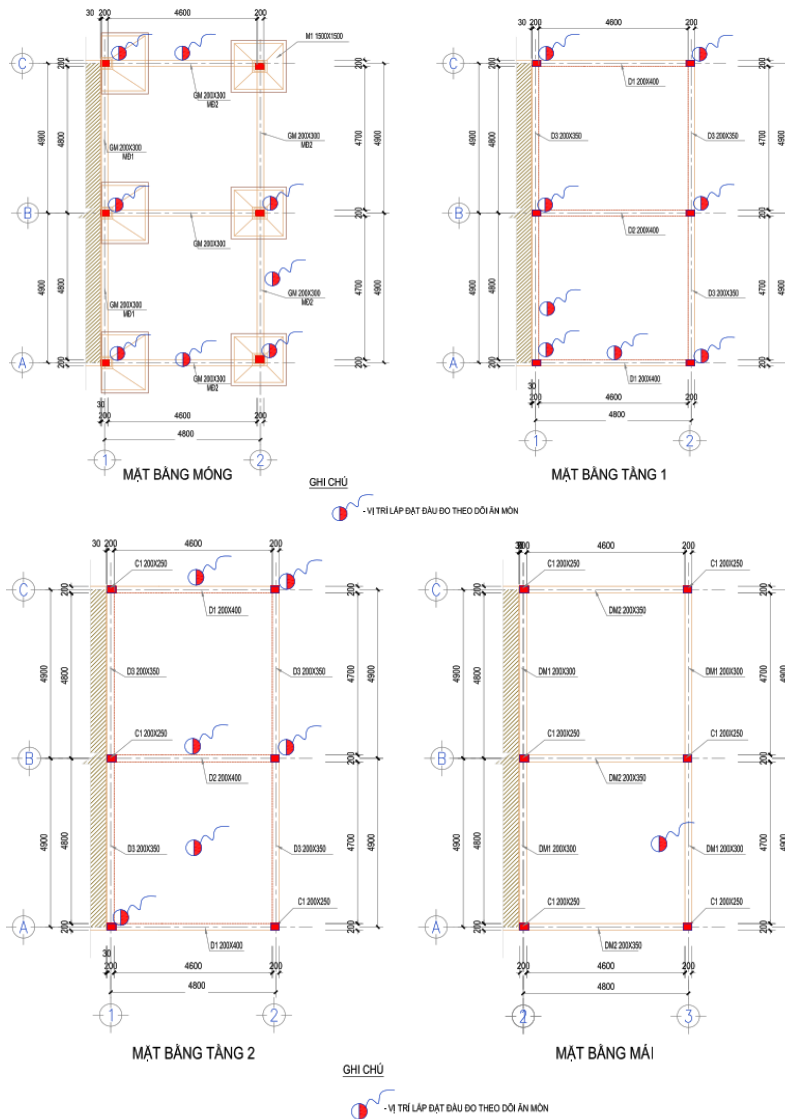
4.2.2 Sơ đồ bố trí đầu đo

Để đo điện thế ăn mòn cốt thép lâu dài, trong quá trình gia công, lắp dựng, cốt thép được gắn

VẬT LIỆU XÂY DỰNG - MÔI TRƯỜNG

đầu đo bằng dây đồng đơn 1,5mm. Các cấu kiện có lắp đầu đo mang tính đại diện. Đối với cốt thép có sơn epoxy thì đầu đo được gắn trước khi sơn

phủ đảm bảo kín, tránh khuyết tật bề mặt sơn. Các vị trí đầu đo được bố trí như Hình 6 dưới đây:



Hình 6. Mặt bằng bố trí các đầu đo cấu kiện BTCT



Hình 7. Cách lắp đặt đầu đo trong cấu kiện BTCT

4.2.3 Phương pháp

Sử dụng phương pháp đo hiệu điện thế theo tiêu chuẩn TCVN 9348: 2012. Mỗi chu kỳ là 02 tháng, quá trình theo dõi giai đoạn đầu là 12 chu kỳ (24 tháng).

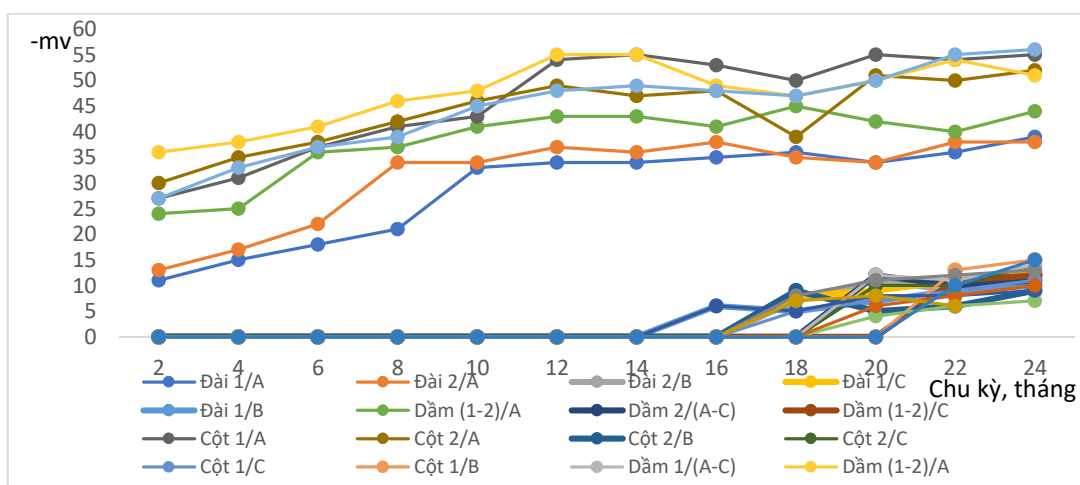


Hình 8. Kiểm tra bằng phương pháp đo hiệu điện thế

4.2.4 Kết quả

Kết quả đo ăn mòn cốt thép bằng phương pháp hiệu điện thế theo tiêu chuẩn TCVN

9348:2012 bằng máy CORMAP của Hoa Kỳ được thực hiện 12 chu kỳ (24 tháng) như trong Hình 9.



Hình 9. Kết quả kiểm tra ăn mòn cốt thép 12 chu kỳ

Có 23 cấu kiện được lắp đầu đo kiểm tra điện thế ăn mòn như trong Bảng 2.

Kết quả kiểm tra ăn mòn cốt thép 24 tháng cho thấy: nhóm đối chứng có xuất hiện hiệu điện thế nhỏ hơn nhiều so với ngưỡng -200mV. Nhóm sử dụng cát nhiễm mặn có biện pháp bảo vệ chất ức chế kết hợp với sơn phủ cốt thép, có cấu kiện xuất hiện hiệu điện thế từ 14 tháng đến 20 tháng, tuy nhiên giá trị này đo được rất nhỏ so với ngưỡng - 200mV, cốt thép được bảo vệ. Công trình mới được sử dụng (2

năm) nên ảnh hưởng của các yếu tố trong nhà, ngoài trời, chôn trong đất cũng như môi trường khí quyển biển cách mép nước 9km là chưa đáng kể và cần có thời gian dài để theo dõi thêm.

Việc xuất hiện điện thế từ tháng thứ 14 có thể coi đây là giai đoạn ủ của quá trình ăn mòn. Đó là thời kỳ tích tụ điều kiện đủ trên bề mặt cốt thép để gây ăn mòn cốt thép (ô xy, nước, clorua từ bê tông đi qua khuyết tật màng sơn đến mặt cốt thép). Tuy nhiên với lớp sơn phủ epoxy đủ dày và chất ức chế có trong

VẬT LIỆU XÂY DỰNG - MÔI TRƯỜNG

thành phần bê tông thì việc tái tạo màng ô xít thụ động sẽ diễn ra ngay sau khi clorua xâm nhập, quá trình này diễn ra thường xuyên và phản ứng hóa học ngay lập tức. Do vậy cần phải có thời gian rất dài nữa

thì clorua tại vùng khuyết tật mới đủ lớn tới ngưỡng gi để xảy ra ăn mòn cốt thép. Theo dự đoán, sau hai năm, giá trị tuyệt đối điện thế có thể chuyển về ngưỡng nhỏ hơn tại thời điểm đo và ổn định.

Bảng 2. Các cấu kiện kiểm tra điện thế ăn mòn cốt thép

STT	Loại cấu kiện	Vị trí	Ghi chú	STT	Loại cấu kiện	Vị trí	Ghi chú
1	Móng	Đài 1/A	Đối chứng	13	Tầng 1	Cột 1/C	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế
2		Đài 2/A	Đối chứng	14		Cột 1/B	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế
3		Đài 2/B	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế	15		Dầm 1/(A-C)	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế
4		Đài 1/C	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế	16		Dầm (1-2)/A	Đối chứng
5		Đài 1/B	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế	17	Tầng 2	Cột 1/A	Đối chứng
6		Dầm (1-2)/A	Đối chứng	18		Cột 2/C	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế
7		Dầm 2/(A-C)	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế	19		Cột 2/B	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế
8		Dầm (1-2)/C	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế	20		Dầm (1-2)/C	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế
9	Tầng 1	Cột 1/A	Đối chứng	21	Mái	Dầm (1-2)/B	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế
10		Cột 2/A	Đối chứng	22		Sàn (1-2)/(A-C)	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế
11		Cột 2/B	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế	23		Sàn (1-2)/(A-C)	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế
12		Cột 2/C	Cát nhiễm mặn + Sơn+ chất ức chế				

Ghi chú:

- Cấu kiện đối chứng là cấu kiện sử dụng cát sạch;

- Cấu kiện đài móng để phân biệt với trụ/cột của tầng 1 khi được gắn đầu đo để kiểm tra ăn mòn cốt thép.

6. Kết luận

Cát nhiễm mặn được phân bố từ Bắc vào Nam có các tính chất cơ lý, hóa học và một số tính chất khác về cơ bản đáp ứng yêu cầu làm cốt liệu cho bê tông ngoại trừ hàm lượng ion clorua một số nơi cao hơn ngưỡng quy định.

Từ các kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm đã ứng dụng thử nghiệm cát nhiễm mặn làm cốt liệu bê tông cho 01 công trình nhà thí nghiệm cấp III, 02 tầng, diện tích xây dựng 50 m², khung BTCT cốt liệu cát nhiễm mặn có sử dụng chất ức chế ăn mòn, sơn epoxy chống ăn mòn cốt thép. Vị trí công trình cách biển khoảng 9km. Công trình đã hoàn thành đưa vào sử dụng.

Kết quả kiểm tra bước đầu sau hơn 2 năm cho thấy các cấu kiện BTCT cốt liệu cát nhiễm mặn với chất lượng bê tông đúng quy định, lượng dùng chất ức chế ăn mòn đạt hiệu quả, cốt thép được bảo vệ

bằng sơn phủ epoxy theo kết quả nghiên cứu nên công trình đảm bảo các tiêu chí kỹ thuật đề ra, điện thế ăn mòn cốt thép không đáng kể.

Ăn mòn kết cấu BTCT là một quá trình lâu dài, cần tiếp tục nghiên cứu theo dõi trên công trình dài hơn để có đủ cơ sở khoa học thực tiễn khi lựa chọn biện pháp bảo vệ cốt thép trong bê tông cốt liệu cát nhiễm mặn.

Nguồn cát nhiễm mặn nước ta rất phong phú. Do vậy nếu khai thác sử dụng để làm cốt liệu cho BTCT cần tuân thủ yêu cầu trong các quy định hiện hành và có biện pháp bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép phù hợp.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Khoa học và Công nghệ trong khuôn khổ đề tài cấp Nhà nước mã số 34/19- ĐTĐL.CN.CNN.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Mạnh Kiểm (5/1992), "*Nghiên cứu sử dụng cát biển làm cốt liệu trong bê tông*", Tuyển chọn các công trình nghiên cứu khoa học 1960-1975, Hà Nội.
- [2] Đặng Văn Phú (1997), "*Nghiên cứu xử lý cát, sỏi biển để chế tạo vữa và bê tông- Phương pháp rửa cát biển*", mã số RD 9433", tháng 8, tr. 63.
- [3] Nguyễn Nam Thắng, Phan Văn Chương (2022), "*Nghiên cứu giải pháp sơn phủ bảo vệ cốt thép trong bê tông cát nhiễm mặn*", Tạp chí KHCN Xây dựng số 3, ISSN 1859-1566.
- [4] Nguyễn Nam Thắng, Phan Văn Chương, Phạm Trung Thành (2022), "*Nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc của dầm bê tông cát nhiễm mặn cốt thép phủ sơn epoxy*", Tạp chí KHCN Xây dựng số 4, ISSN 1859-1566.
- [5] Nguyễn Nam Thắng, Phan Văn Chương, Nguyễn Tiến Bình, Phạm Trung Thành (2023), "*Khảo sát, phân loại và định hướng sử dụng cát nhiễm mặn làm cốt liệu cho kết cấu bê tông cốt thép*", Hội nghị khoa học quốc tế Kỷ niệm 60 năm thành lập Viện KHCN Xây dựng, NXB Xây dựng 11, ISBN: 978-604-82-7527-3.
- [6] Lê Việt Hùng và ctv, (2020), "*Nghiên cứu chế tạo cấu kiện bê tông sử dụng tro xỉ nhiệt điện và vật liệu tại chỗ (cát biển, cát nhân tạo)*", Báo cáo tổng kết đề tài R 79-18, Viện Vật liệu Xây dựng, 200 trang, Hà Nội.
- [7] Phan Văn Chương (3/2022), "*Nghiên cứu ứng dụng sơn phủ bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trong bê tông vùng biển Việt Nam*", Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Viện KHCN Xây dựng.
- [8] Cao Duy Tiến và ctv (1999), "*Nghiên cứu các điều kiện kỹ thuật đảm bảo độ bền lâu cho kết cấu bê tông và bê tông cốt thép xây dựng ở vùng ven biển Việt Nam*", ĐTĐL 40/94, Viện KHCN Xây dựng".
- [9] ASTM A775/A775M-01, "*Standard Specification for Epoxy-Coated Reinforcing Steel Bars*".
- [10] TCVN 9346:2012, "*Kết cấu BT và BTCT- Yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường biển*".
- [11] TCVN 9348:2012, "*Bê tông cốt thép – Kiểm tra khả năng cốt thép bị ăn mòn - Phương pháp điện thế*".
- [12] TCVN 7570:2006, "*Cốt liệu cho bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật*".