

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**BỘ XÂY DỰNG**

**VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG**

-----\*\*\*-----

**PHAN VĂN CHƯƠNG**

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG SƠN PHỦ BẢO VỆ CHỐNG ĂN MÒN  
CHO CỐT THÉP TRONG BÊ TÔNG VÙNG BIÊN VIỆT NAM**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ**

**CHUYÊN NGÀNH KỸ THUẬT VẬT LIỆU**

**Mã số: 9520309**

**HÀ NỘI – 2022**

Luận án được hoàn thành tại  
**VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG**

Người hướng dẫn khoa học

**1. TS. Phạm Văn Khoan**

Viện KHCN Xây dựng

**2. TS. Nguyễn Nam Thắng**

Viện KHCN Xây dựng



Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Viện tại Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, 81 Trần Cung, Phường Nghĩa Tân, Quận Cầu Giấy, Hà Nội, vào hồi .....giờ .... phút, ngày .... tháng .... năm 2022.

Có thể tìm luận án tại:

- Thư viện Quốc Gia Việt Nam
- Thư viện Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của luận án

Bê tông cốt thép trong môi trường biển thường chứa lượng clorua (ion clo) lớn hơn so với bê tông cách xa mặt nước biển trên 30 km. Khi hàm lượng clorua trong bê tông đạt ngưỡng ( $1,2 \div 1,4$ )  $\text{kg/m}^3$  hay 0,4% lượng xi măng trong bê tông (ACI 222R [19]), màng thụ động bảo vệ cốt thép ( $\text{FeO} \dots$ ) bị phá hủy, nước và oxy xâm nhập từ môi trường ngoài phản ứng với thép làm cốt thép trong bê tông bị gỉ, phá vỡ bê tông bảo vệ cốt thép và kết cấu. Hàm lượng clorua càng cao, nhiệt độ và độ ẩm môi trường càng lớn thì quá trình ăn mòn cốt thép càng mạnh, kết cấu bị phá hủy càng nhanh. Để đảm bảo độ bền lâu (tuổi thọ thiết kế) của kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường biển, các tiêu chuẩn hiện hành trong và ngoài nước đều giới hạn hàm lượng clorua ban đầu trong bê tông (ví dụ  $\leq 0,6$   $\text{kg/m}^3$  theo TCVN 9346:2012 [9] hay 0,15% hàm lượng xi măng - ACI 318 [22]) và quy định mức chất lượng bê tông bảo vệ thích hợp, thông qua mác chống thấm nước W (hay tỷ lệ N/X) và chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép để giảm thiểu mức xâm nhập clorua, nước, oxy vào vùng cận cốt thép ở giai đoạn khai thác sử dụng.

Đối với một số kết cấu bê tông cốt thép vùng biển tiềm ẩn khả năng tích tụ hàm lượng ion clo lớn như các kết cấu bê tông cốt thép sau:

(i) Kết cấu bị ăn mòn nặng hay hết thời hạn sử dụng theo thiết kế cần sửa chữa lại. Bê tông trong các kết cấu này thường chứa hàm lượng clorua rất lớn ( $2,0 \div 3,2$   $\text{kg/m}^3$ ) làm cho bê tông sửa chữa bị tái nhiễm clorua nhanh, từ cả môi trường biển lẫn từ chính bê tông cũ;

(ii) Kết cấu không thể thiết kế đủ chiều dày bảo vệ theo TCVN 9346:2012 [9] hoặc không thể thi công đảm bảo chất lượng như quy định của TCVN 4453:1995 [11] hoặc vật liệu ban đầu để chế tạo bê tông chứa lượng clorua cao hơn quy định của tiêu chuẩn. Khi đó, sau khoảng thời gian sử dụng ngắn, bê tông bị nhiễm clorua vượt ngưỡng phá vỡ màng thụ động cốt thép, làm cho kết cấu không duy trì được tuổi thọ thiết kế theo quy định của TCVN 5574:2018 [10] là 50 năm.

Trong các tình huống như vậy, để đảm bảo độ bền lâu (tuổi thọ thiết kế) cho kết cấu bê tông cốt thép, thì cần giải pháp khác bảo vệ cốt thép trong bê tông, không như quy định thông thường của tiêu chuẩn. Đề tài “Nghiên cứu ứng dụng sơn phủ bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trong bê tông vùng biển Việt Nam” được luận án đặt ra nhằm để tìm kiếm giải pháp hợp lý cho các tình huống như vậy.

Phương án bảo vệ cốt thép dự kiến nghiên cứu được dựa trên **hệ sơn phủ cốt thép kết hợp bê tông bảo vệ chất lượng thích hợp**, trong đó, sơn phủ cốt thép nhằm để cách ly cốt thép khỏi bê tông nhiễm clorua cao (hiều là từ  $1,2$   $\text{kg/m}^3$  trở lên), tránh sự phá hủy màng thụ động của cốt thép; bê tông bảo vệ chất lượng thích hợp (hiều là có mác chống thấm nước W và/hoặc chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép  $\Delta$  bằng hoặc cao hơn mức quy định của tiêu chuẩn TCVN 9346:2012) nhằm để giảm thiểu sự xâm nhập của nước và oxy, hạn chế phản ứng ăn mòn cốt thép trong bê tông. Đề tài cần thiết cho các trường hợp như vậy.

### 2. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

2.1. Phạm vi nghiên cứu bao gồm:

Nghiên cứu bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao trong phạm vi (1,2÷2,4) kg/m<sup>3</sup> bằng sơn phủ cốt thép kết hợp bê tông bảo vệ chất lượng thích hợp, áp dụng cho các kết cấu bê tông cốt thép vùng biển Việt Nam sau:

- Kết cấu bê tông cốt thép vùng biển bị hư hỏng do ăn mòn hoặc hết tuổi thọ sử dụng theo thiết kế cần được sửa chữa lại để tiếp tục sử dụng;
- Kết cấu bê tông cốt thép làm mới không đảm bảo hoặc không thể đảm bảo chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép theo TCVN 9346: 2012.

## 2.2. Đối tượng nghiên cứu

a) Sơn bảo vệ cốt thép gồm 4 loại: epoxy 2 thành phần, epoxy giàu kẽm, polyurethane và xi măng polyme;

b) Bê tông nhiễm clorua: 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m<sup>3</sup> có tính năng trong giới hạn sau:

- Độ chống thấm nước: W10 (M300); W12 (M400) và W16 (M500);

- Chiều dày bê tông bảo vệ  $\Delta$ : 30, 50 và 70mm;

Trong đó bê tông có hàm lượng clorua 0,6 kg/m<sup>3</sup>, độ chống thấm W10 tương ứng mức theo cường độ M300, chiều dày bảo vệ 30 mm (viết tắt là W10M300 $\Delta$ 30[Cl]0,6) được lấy làm mẫu chuẩn.

## 3. Ý nghĩa khoa học:

a) Kết quả nghiên cứu theo các phương pháp gia tốc của luận án cho thấy một số quan hệ phụ thuộc như sau:

- Khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông W10 $\Delta$ 30 (không sơn) với hàm lượng [Cl<sup>-</sup>] tăng từ 0,6 tới 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m<sup>3</sup> bị giảm mạnh, chỉ còn lại tương ứng (71÷80)%; (57÷60)% và (29÷35)% so với bê tông [Cl<sup>-</sup>]=0,6 kg/m<sup>3</sup>. Mặc dù khả năng bảo vệ cốt thép nêu trên có thể tăng thêm (1,5÷2,0) lần bằng việc nâng mức chống thấm nước của bê tông từ W10 lên W12 và W16; tăng thêm (1,2÷1,5) lần khi nâng chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép  $\Delta$  từ 30 lên 50 và 70 mm, nhưng sự gia tăng này không đủ bù lại mức giảm do sự nhiễm clorua cao, lại tiềm ẩn rủi ro về kỹ thuật và đòi hỏi chi phí lớn nên phương án dùng bê tông nhiễm clorua cao như biện pháp bảo vệ chính cho cốt thép trong bê tông không hiệu quả.

- Khả năng bảo vệ cốt thép của sơn phủ cốt thép kết hợp bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 9436: 2012 cho thấy, sơn E-Z dày (175±18)  $\mu$ m; sơn P – (150±15  $\mu$ m); sơn X - (1500 ± 150)  $\mu$ m có mức bảo vệ cốt thép ổn định, ít phụ thuộc mức nhiễm mặn của bê tông và chiếm tỷ trọng tương ứng (85÷92); (82÷90) và (45÷50)%, trong khi đó, tùy mức nhiễm clorua, bê tông chỉ đóng góp (15÷8); (18÷10) và (53÷50)%. Vì vậy, để bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao, sơn cần phải đóng vai trò chính, bê tông chỉ đóng vai trò bảo vệ hỗ trợ. Giải pháp bảo vệ cốt thép hợp lý trong bê tông nhiễm mặn cho các môi trường vùng biển là sơn E (hoặc Z, P) kết hợp bê tông tiêu chuẩn TCVN 9346:2012. Giải pháp có thể xem xét áp dụng cho môi trường khí quyển biển ([Cl<sup>-</sup>] < 1,8 kg/m<sup>3</sup>) là dùng sơn X kết hợp với bê tông bảo vệ tính năng nâng cao ( $\Delta$ , W cao hơn tiêu chuẩn TCVN 9346: 2012).

b) Kết quả nghiên cứu hiệu quả bảo vệ cốt thép của các loại sơn trên 11 công trình sửa chữa thực tế cho các trường hợp sau:

-Thời hạn sử dụng theo thiết kế sửa chữa kết cấu trong môi trường nước lên xuống – sóng táp và khí quyển biển Việt Nam có thể đạt 35 năm khi áp dụng sơn E kết hợp bê tông tiêu chuẩn TCVN 9346: 2012.

- Thời hạn sử dụng theo thiết kế sửa chữa kết cấu trong môi trường khí quyển biển Việt Nam có thể đạt 25 năm khi dùng sơn X kết hợp bê tông tính năng nâng cao ( $\Delta$ , W cao hơn tiêu chuẩn TCVN 9346: 2012).

#### **4. Ý nghĩa thực tiễn :**

a) Giải pháp dùng sơn E phủ cốt thép kết hợp bê tông tiêu chuẩn TCVN 9346: 2012 có thể áp dụng cho công tác sửa chữa, gia cố kết cấu bê tông cốt thép trong các môi trường vùng biển Việt Nam; Lớp phủ sơn X kết hợp bê tông tính năng nâng cao ( $\Delta$ , W cao hơn tiêu chuẩn TCVN 9346: 2012) có thể xem xét áp dụng cho công tác sửa chữa, gia cố kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường khí quyển biển Việt Nam;

b) Định hướng giải pháp bảo vệ kết cấu bê tông cốt thép làm mới khi không thể đảm bảo độ dày bê tông bảo vệ theo TCVN 9346: 2012.

#### **5. Đóng góp mới của Luận án**

Kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm và trên 11 công trình vùng biển bị ăn mòn sau (14÷32) năm sửa chữa đã chứng tỏ rằng: Sơn epoxy (E, dày  $175\pm 18$   $\mu\text{m}$ ) kết hợp bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 có hiệu quả bảo vệ chống ăn mòn tốt nhất cho cốt thép trong bê tông kết cấu sửa chữa tại vùng biển Việt Nam và có thể đạt thời hạn sử dụng theo thiết kế 35 năm.

#### **6. Các bài báo liên quan đến luận án đã công bố**

1. Phan Văn Chương, Phạm Văn Khoan, Nguyễn Nam Thắng, *Nghiên cứu áp dụng phương pháp gia tốc để đánh giá mức độ ăn mòn cốt thép trong bê tông cát nhiễm mặn*, tạp chí KHCN Xây dựng số 4/2019, trang 33-38.

2. Phan Văn Chương, Phạm Văn Khoan, Nguyễn Nam Thắng, *So sánh mức ăn mòn cốt thép trong bê tông có hàm lượng clorua và chống thấm khác nhau*, tạp chí KHCN Xây dựng số 1/2020, trang 47-52.

3. Chuong Phan Van, Khoan Pham Van, Thang Nguyen Nam, *Mitigation of Salt-Induced Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete using Rebar-Coating Technique*, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, ISSN: 2321-9653, Volume 8 Issue VIII, Aug 2020, pp1146-1153.

4. Chuong Phan Van, Khoan Pham Van, Thang Nguyen Nam, *A study on the corrosion rate of rebar in concrete with different salinity and concrete cover thickness*. Proceedings of The 3<sup>rd</sup> International Conference on Sustainability in Civil Engineering, November 2020, Ha Noi, Viet Nam, pp 68-75, ISBN: 978-604-76-2284-9.

#### **7. Kết cấu của luận án**

Luận án gồm các nội dung chính như sau:

Chương 1. Tổng quan về nghiên cứu bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao tại vùng biển

Chương 2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

Chương 3. Nghiên cứu thí nghiệm trong phòng khả năng bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao

Chương 4. Nghiên cứu hiệu quả sơn phủ bảo vệ cốt thép trên công trình thực, hiệu quả kinh tế và phương án lựa chọn  
Kết luận và kiến nghị  
Tài liệu tham khảo  
Phụ Lục

## **CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU BẢO VỆ CỐT THÉP TRONG BÊ TÔNG NHIỄM CLORUA CAO TẠI VÙNG BIỂN**

### **1.1 .Tình hình nghiên cứu trên thế giới**

#### **1.1.1 . Một số kết quả nghiên cứu**

Fukute [25] đã nghiên cứu tỷ lệ ăn mòn và độ sâu ăn mòn tối đa của cốt thép trong BT chịu tác động của môi trường thủy triều bằng phương pháp trực quan, sau đó được tác giả Otsuki [28] nghiên cứu phát triển. Chiều dày lớp BT bảo vệ có ảnh hưởng lớn đến ăn mòn cốt thép, theo đó khi tăng chiều dày từ 20 đến 70 mm thì sự xuất hiện gỉ đen giảm dần.

Các tác giả Akira [20] và Yonamine [35] đã nghiên cứu ăn mòn cốt thép bằng trực quan trong BT sau 26 năm phơi nhiễm trong vùng thủy triều. Hàm lượng clorua lớn nhất sau 15 năm tại thử nghiệm tại Pari từ 2 đến 4 kg/m<sup>3</sup>BT, sau 26 năm thử nghiệm tại cảng Kagoshima lên đến 10 kg/m<sup>3</sup>BT. Kết quả cho thấy với cùng chiều dày BT bảo vệ, mức độ ăn mòn sẽ khác nhau nếu BT có hàm lượng clorua khác nhau từ ban đầu và chiều dày BT càng cao thì mức độ ăn mòn cốt thép càng thấp.

Tác giả Katano và cộng sự [26] đã nghiên cứu ăn mòn cốt thép, các tác giả đã sử dụng cốt thép phủ epoxy và cốt thép thường để nghiên cứu. Kết quả cho thấy các cốt thép thường đã bị ăn mòn hoàn toàn, thép được sơn phủ epoxy chưa bị ăn mòn.

#### **1.1.2 . Một số công trình BTCT nhiễm clorua cao**

Theo báo cáo [34], ngọn hải đăng Uku Nagasakibana trộn nước biển có cường độ nén BT là 28,0 MPa, hàm lượng clorua là 3,4 kg/m<sup>3</sup> BT. Chiều dày lớp BT bảo vệ trung bình từ 120 mm đến 140 mm. Mặc dù công trình đã được xây dựng hơn 60 năm, nhưng đến thời điểm hiện tại sự hư hỏng là không đáng kể.

Nhóm tác giả M. Kusinoki [27] đã kiểm tra các công trình BTCT ở đảo Gimkanjima, Nhật Bản được xây dựng từ năm 1916 [36], các công trình sử dụng cát biển hoặc sỏi biển để làm cốt liệu, nước biển được trộn nên BT bị nhiễm mặn ngay từ đầu. Một số vị trí kiểm tra cho thấy cốt thép chỉ bị ăn mòn ở mức độ nhẹ mặc dù BT có hàm lượng Cl<sup>-</sup> cao (trên 3 kg/m<sup>3</sup>), nguyên nhân được xác định là do lớp BT bảo vệ có chiều dày trên 60 mm.

Tác giả Rick A Emert [23] đã nghiên cứu các tài liệu xây dựng công trình trên các đảo tại Thái Bình Dương. Chiều dày lớp BT bảo vệ trung bình của 3 nhà tương ứng là 100 mm, 120 mm, 120 mm và nhận thấy rằng chiều dày BT có ảnh hưởng đáng kể đến mức độ ăn mòn cốt thép do hàm lượng clorua ban đầu gây ra.

Báo cáo của Viện BT Nhật Bản về vấn đề nhiễm mặn của BT do sử dụng vật liệu nhiễm mặn (nước biển) cho BT và BTCT [32] cũng đã nhận định rằng nếu BT đảm bảo các điều kiện đầy đủ như chống thấm nước, chất lượng BT, chiều dày lớp BT bảo vệ, thi công đảm bảo thì có thể hạn chế ăn mòn cốt thép do nhiễm mặn gây ra.

Tóm lại, kết quả nghiên cứu, khảo sát một số công trình BTCT trên thế giới có hàm lượng clorua cao do điều kiện cụ thể phải sử dụng cát biển hoặc nước biển, nhưng ngay từ đầu việc thiết kế và thi công đã quan tâm áp dụng các giải pháp kỹ thuật đảm bảo chất lượng chống ăn mòn lâu dài cho cốt thép (chiều dày bê tông bảo vệ từ 60 ÷ 100 mm). Nhờ vậy, các công trình này vẫn có niên hạn sử dụng tới trên 50 năm, đây là minh chứng thực tiễn rất cần được quan tâm nghiên cứu phát triển.

## **1.2 . Tình hình nghiên cứu tại Việt Nam**

### **1.2.1 . Một số kết quả nghiên cứu**

Báo cáo tổng kết [8] đã nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng clorua trong cát là 0,015%, 0,126%, 0,06% tương ứng với cát biển Cẩm Phả, Cửa Hội, Sầm Sơn cũng như cát đã rửa đến ăn mòn cốt thép, chiều dày BT bảo vệ là 10, 20 và 40 mm với 3 loại cát Cửa Hội. Kết quả nghiên cứu cho thấy sử dụng cát biển để chế tạo BTCT nếu tăng chiều dày lớp BT bảo vệ thì mức độ ăn mòn giảm đi rõ rệt.

Nghiên cứu [1, 33] đã sử dụng sơn Epoxy được biến tính bằng hai loại hạt nano liên quan đến nano-SiO<sub>2</sub> và nano-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> và phủ trên cốt thép đặt trong vữa xi măng nhiễm mặn. Kết quả cho thấy hiệu quả làm giảm dòng ăn mòn đối với vữa có hàm lượng clorua 0,3%.

Nghiên cứu [6] đã sử dụng nước biển nhân tạo hàm lượng clorua là 3,4 kg/m<sup>3</sup>BT. Đề tài đã sử dụng sơn epoxy sơn cốt thép vẫn Φ12, chiều dày BT bảo vệ 31 mm. Phương pháp nghiên cứu chu kỳ khô-nhiệt-ẩm. Khi phá mẫu: không thấy vết nứt trên bề mặt BT, không thấy hiện tượng ăn mòn trên tất cả thanh thép, bề mặt thép có hiện tượng đổi màu, không sáng loáng.

### **1.2.2 . Một số công trình BTCT nhiễm clorua cao**

Công trình khu tập thể Gốc Bàng ở mỏ than Cao Sơn Cẩm Phả- Quảng Ninh [7] , Công trình bệnh viện chống lao Quảng Ninh (K67) [5]...Bê tông nhiễm clorua cao vẫn có thể xảy ra trong một số trường hợp. Cụ thể là:

- Khi kết cấu trong môi trường biển bị hư hỏng do ăn mòn hoặc hết tuổi thọ thiết kế lần đầu cần được sửa chữa lại.

- Khi chiều dày lớp bê tông bảo vệ không đủ hoặc không thể thiết kế đủ theo TCVN 9346: 2012[9];

- Khi tất cả vật liệu chế tạo bê tông đều đúng tiêu chuẩn TCVN 9346:2012, nhưng trong quá trình vận chuyển, bảo quản chúng vẫn có thể bị nhiễm mặn thêm; hoặc khi tất cả vật liệu chế tạo đều đúng tiêu chuẩn quy định cho riêng chúng nhưng do không khống chế được hàm lượng clorua tổng theo TCVN 9346:2012 (0,6 kg/m<sup>3</sup>);

## **1.3 . Ứng dụng sơn phủ bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép**

Trong điều kiện vùng biển Việt Nam, đã có một số công trình nghiên cứu ứng dụng sơn bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trong bê tông. Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu chưa có đủ hệ thống, chưa đúc kết thành các quan hệ phụ thuộc giữa tính năng bê tông, sơn phủ cốt thép kết hợp bê tông với hiệu quả bảo vệ cốt thép của chúng, chưa đánh giá đầy đủ hiệu quả bảo vệ cốt thép trên các công trình ứng dụng. Vì vậy, vấn đề bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trong bê tông cần được nghiên cứu bổ sung và hoàn thiện thêm.

#### **1.4 . Cơ chế ăn mòn và khả năng bảo vệ cốt thép trong BT vùng biển**

Điều kiện để cốt thép trong bê tông bị ăn mòn là: (i) màng thụ động bảo vệ cốt thép bị phá hủy và (ii) có đủ ô xy và nước tiếp cận bề mặt cốt thép.

Khi ăn mòn xảy ra,  $O_2$  và  $H_2O$  tham gia trực tiếp vào các phản ứng hóa học để tạo ra gỉ thép. Trên góc độ này, nếu ngăn chặn hay hạn chế được sự cung cấp  $O_2$  hoặc  $H_2O$ , hoặc cả hai thì có thể đình chỉ hoặc giảm thiểu quá trình hình thành gỉ thép (như sơn phủ cốt thép trước khi đổ BT) hoặc hạn chế sự cung cấp  $O_2$  và  $H_2O$  (như nâng cao mác BT, tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ tới mức cần thiết).

#### **1.5 . Các biện pháp bảo vệ cốt thép trong bê tông**

Tiêu chuẩn ACI 222.R [14] đưa ra quan hệ tổng quát về ngưỡng clorua gây ăn mòn cốt thép và các biện pháp cơ bản để bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trong bê tông. Khi bê tông bị nhiễm mặn đạt ngưỡng để lớp màng thụ động bị phá hủy, nếu có oxy và nước xâm nhập, cốt thép bắt đầu quá trình gỉ.

##### **1.5.1 . Biện pháp nâng cao chất lượng bê tông bảo vệ**

###### **1.5.1.1 . Nâng cao độ chống thấm nước**

Bản chất thẩm dò cấu trúc bê tông quyết định nên hiệu ứng này đúng với bê tông có hàm lượng clorua thấp lẫn bê tông có hàm lượng clorua cao.

*Vùng ngập nước:* Tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 [9] Bảng 1 có yêu cầu mác bê tông từ M300 đến M400, độ chống thấm nước từ W8 đến W10. Tiêu chuẩn ACI 357R [30], ACI 318R [22] và AS 3600:2018 [31] quy định cường độ nén của bê tông tối thiểu là 40 MPa..

*Vùng nước lên xuống và sóng tấp:* TCVN 9346:2012 [9] yêu cầu độ chống thấm nước từ W10 đến W12. Tiêu chuẩn ACI 357R[30], ACI 318R[22] và AS 3600:2018[31] quy định cường độ nén của bê tông tối thiểu là 50 MPa.

*Vùng khí quyển biển:* Tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 [9] có phân thành 3 tiểu vùng khác nhau. Tùy từng vùng có mác BT và độ chống thấm khác nhau. Tiêu chuẩn ACI 357R[30], ACI 318R[22] quy định cường độ nén của bê tông tối thiểu là 50 MPa nhưng và AS 3600:2018[31] quy định là 32 MPa và 40 MPa.

Tiêu chuẩn TCVN 12251: 2020 [4] khuyến nghị độ bền chống ăn mòn của kết cấu chịu tác động của nước biển cần được đảm bảo bằng biện pháp bảo vệ ban đầu như giảm độ thấm của bê tông.

###### **1.5.1.2 . Tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ**

Hiện nay, trong các tiêu chuẩn, tùy thuộc vào từng môi trường xâm thực mà chiều dày BT bảo vệ cũng khác nhau. Cụ thể:

*Vùng ngập nước:* Tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 [9] quy định từ 30 mm đến 40 mm tùy thuộc vào vùng nước lợ cửa sông hay nước biển. Tiêu chuẩn ACI 357R [30] và ACI 224R [29] quy định chiều dày BT bảo vệ tối thiểu là 50 mm trong khi Tiêu chuẩn AS 3600:2018 [31] là 35 mm.

*Vùng nước lên xuống và sóng tấp:* TCVN 9346:2012 [9] yêu cầu chiều dày BT bảo vệ từ 50 mm đến 70 mm tùy thuộc vào vùng nước lợ cửa sông hay nước biển. Tiêu chuẩn ACI 357R [30] và ACI 224R [29] quy định chiều dày BT bảo vệ tối thiểu là 65 mm trong khi Tiêu chuẩn AS 3600:2018 [31] là 50 mm.

*Vùng khí quyển biển:* tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 [9] có phân thành 3 tiểu vùng khác nhau. Tùy từng vùng có chiều dày BT bảo vệ khác nhau. Tiêu chuẩn ACI 357R



[30] và ACI 224R [29] quy định chiều dày BT bảo vệ tối thiểu là 50 mm trong khi Tiêu chuẩn AS 3600:2018 [31] là 35 mm. Tiêu chuẩn TCVN 12251: 2020 [4] phụ lục D có quy định chiều dày lớp bê tông bảo vệ tối thiểu cao nhất là 50 mm tương ứng với từng môi trường ăn mòn.

Như vậy, để đảm bảo bảo khả năng bảo vệ chống ăn mòn cho kết cấu BTCT thì tùy thuộc vào mức độ xâm thực của môi trường, vị trí, điều kiện làm việc của kết cấu BTCT mà các tiêu chuẩn đưa ra các yêu cầu về mức bê tông, độ chống thấm nước và chiều dày BT bảo vệ tương ứng. Nguyên tắc này có thể xem xét áp dụng cho các trường hợp BT có hàm lượng clorua vượt quá ngưỡng 0,6 kg/m<sup>3</sup>BT.

### **1.5.2 . Biện pháp sơn phủ cốt thép**

Bảo vệ cốt thép bằng các lớp sơn phủ là một trong các phương pháp phổ biến nhằm cô lập cốt thép khỏi tác động của môi trường xâm thực. Sự có mặt của lớp che phủ trên bề mặt cốt thép sẽ kìm hãm sự hình thành các pin tế vi (microcell) [2, 3]. Các lớp phủ sơn bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép theo 2 cơ chế: cô lập vật lý kim loại khỏi các tác nhân xâm thực như clorua, oxy, hơi nước...(hiệu ứng che chắn- barrier), tác động hóa học thông qua các phản ứng điện hóa từ các chất ức chế ăn mòn (các pigmen đưa vào lớp phủ) [2].

## **1.6 . Cơ sở khoa học của đề tài**

### **1.6.1 . Giả thuyết khoa học**

Giả thuyết khoa học được nêu là: Màng thụ động cốt thép là vị trí xung yếu cần được bảo vệ khi bê tông bị nhiễm clorua cao. Chức năng này do sơn phủ đảm nhận và đóng vai trò quyết định. Sơn có chất lượng bảo vệ (ngăn chặn tác nhân gây ăn mòn) càng cao, hiệu quả bảo vệ cốt thép càng cao. Nhiệm vụ nghiên cứu chính là tìm ra loại sơn, thông số công nghệ sơn, giải pháp phối hợp với bê tông bảo vệ thích hợp cho các môi trường vùng biển Việt Nam.

### **1.6.2 . Nguyên tắc bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao**

Dựa trên tiêu chuẩn EN 1504 - 9 [13] và tiêu chuẩn SP 349.1325800.2017 [37].

### **1.6.3 . Chọn loại sơn**

#### **1.6.3.1 . Sơn epoxy**

- *Sơn epoxy đóng rắn bằng nhiệt:*

Tiêu chuẩn yêu cầu kỹ thuật của sơn này được thể hiện trong tiêu chuẩn ASTM A775/ A775M [16], ASTM A934/ A934M [17] và AASHTO M 284M 284M [18].

- *Sơn epoxy đóng rắn ở nhiệt độ thường:*

Đây là loại sơn phổ biến trên thị trường, phù hợp TCVN 9014:2011. Tiêu chuẩn SP 349.1325800.2017 [37] Phụ lục K chỉ rõ có thể sử dụng sơn epoxy đóng rắn ở nhiệt độ thường để sơn phủ bảo vệ cốt thép trong công tác sửa chữa kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn. Sơn epoxy tương đồng Sikadur – 32, tương đồng với sản phẩm ЗІСМ-М-ррyт L.B. Nga là sơn epoxy biến tính, được ГОСТ 31384: 2017 (Phụ lục K) [15] khuyến cáo áp dụng.

#### **1.6.3.2 . Sơn epoxy giàu kẽm**

Có thể sử dụng sơn hai thành phần hoặc một thành phần. Tiêu chuẩn TCVN 12251: 2020 [4] mục 5.5, Tiêu chuẩn ГОСТ 31384: 2017 [15] mục 9.5. Lớp phủ theo tiêu chuẩn EN 1504-9: 2008 [13] có khả năng bảo vệ theo cơ chế catot như sơn epoxy giàu

kẽm đều có thể sử dụng bảo vệ cốt thép. Tiêu chuẩn ACI 222R-01[19] mục 3.4.2 cũng chỉ ra biện pháp bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép bằng biện pháp sơn phủ lớp phủ có kẽm. Sơn epoxy giàu kẽm tương đồng sơn Краска ЦИХОЛ của Nga – loại sơn polymer giàu kẽm, bảo vệ dạng protector, được ГОСТ 31384: 2017 (Phụ lục K) [15] khuyến cáo sử dụng cho việc bảo vệ kết cấu thép và chi tiết liên kết bằng thép; cũng là sản phẩm có chức năng bảo vệ kép theo khuyến cáo của ACI 222.R và EN 1504 – 9.

### **1.6.3.3 . Sơn polyurethane**

Tiêu chuẩn EN 1504-9: 2008 [13] có đưa ra nhóm sơn bảo vệ cốt thép là các polymer có tác dụng che chắn, cách ly cốt thép khỏi môi trường ăn mòn. Xét tính tương đồng với epoxy về cơ chế bảo vệ thép, polyurethane cũng có thể xem xét sử dụng làm sơn phủ bảo vệ cốt thép trong bê tông để đa dạng thêm sản phẩm sơn.

### **1.6.3.4 . Sơn xi măng polyme**

Tiêu chuẩn EN 1504-9: 2008 [13] khuyến nghị sản phẩm sơn bảo vệ cốt thép khi sửa chữa chống ăn mòn là sơn polyme hoạt tính có chứa xi măng. Mục 9.2.6 tiêu chuẩn GB 50212: 2002 [21] có yêu cầu nhựa acrylic và lớp phủ bảo vệ chống ăn mòn biến tính phải thỏa mãn các yêu cầu trong tiêu chuẩn.

### **1.6.4 . Bê tông bảo vệ**

Luận án dự kiến nghiên cứu trên các loại bê tông có các mức nhiễm clorua khác nhau 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m<sup>3</sup> tương đồng với 3 môi trường sử dụng vùng biển khí quyển gần bờ, trên bờ và vùng nước thay đổi, bê tông tiêu chuẩn M300W10Δ30 và chất lượng nâng cao về chiều dày lên (50÷70) mm, về mác chống thấm lên W12÷W16 để xem xét khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông này khi nhiễm clorua cao và để phối hợp với sơn phủ cốt thép trong các biện pháp bảo vệ ở các môi trường biển khác nhau.

### **1.6.5 .Phương pháp trong phòng – hiện trường**

Hai phương pháp trên được đề tài chọn bổ trợ cho nhau để đảm bảo các kết luận, nhận định đưa ra có tính khoa học và khả thi thực tế.

## **1.7 . Mục tiêu và nhiệm vụ nghiên cứu**

### **1.7.1 . Mục tiêu luận án**

Xây dựng giải pháp sơn phủ bảo vệ cốt thép kết hợp bê tông chất lượng cao cho công tác sửa chữa kết cấu bê tông cốt thép vùng biển bị ăn mòn và kết cấu làm mới khi không đảm bảo được chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép tối thiểu theo TCVN 9436: 2012.

### **1.7.2 . Nhiệm vụ nghiên cứu của luận án**

a) Tổng quan về nghiên cứu bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao tại vùng biển;

b) Nghiên cứu trong phòng thí nghiệm:

- Khả năng bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao bằng bê tông chất lượng phù hợp (mác chống thấm nước và chiều dày bảo vệ tương đương hoặc cao hơn tiêu chuẩn);
- Khả năng bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao bằng sơn phủ cốt thép kết hợp bê tông chất lượng phù hợp;

b) Nghiên cứu trên các công trình thực:

Thời hạn, hiệu quả bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ kết hợp bê tông bảo vệ chất lượng thích hợp. Xây dựng phương án bảo vệ cốt thép cho kết cấu bê tông cốt thép sửa chữa và làm mới khi bê tông tiềm ẩn khả năng nhiễm clorua cao; đánh giá hiệu quả kinh tế của các phương án lập.

c) Đề xuất giải pháp bảo vệ cốt thép bằng sơn kết hợp bê tông chất lượng thích hợp áp dụng cho kết cấu bê tông cốt thép sửa chữa hoặc làm mới có hàm lượng clorua cao trong các môi trường vùng biển Việt Nam.

## CHƯƠNG 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

### 2.1 . Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

- Chất kết dính: Chất kết dính trong nghiên cứu sử dụng là xi măng PCB40 Bút Sơn.
- Cốt liệu nhỏ: Trong nghiên cứu đã khảo sát sơ bộ cát nhiễm mặn tại một số vị trí như đảo Quan Lạn, Vân Đồn, Vũng Tàu, bãi Nha Trang. Trong đó cát nhiễm mặn Nha Trang có hàm lượng Cl là 0,33% lớn nhất trong các loại cát khảo sát. Do vậy, đề tài lựa chọn sử dụng cát nhiễm mặn Nha Trang dùng cho nghiên cứu với mục tiêu đạt được hàm lượng clorua lớn nhất trong BT. Cát nhiễm mặn Nha Trang đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của cát chế tạo BT theo TCVN 7570:2006
- Cốt liệu lớn: Trong nghiên cứu sử dụng cốt liệu lớn là đá dăm Hòa Bình, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật TCVN 7570:2016
- Nước trộn BT: Nước trộn BT là nước máy, các chỉ tiêu đáp ứng theo yêu cầu kỹ thuật TCVN 4506 : 2012.
- Phụ gia hóa học: Sử dụng phụ gia BIFI HV252. Phụ gia này được nhà sản xuất công bố thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật trong tiêu chuẩn TCVN 8826 :2011.
- Cốt thép: Cốt thép  $\Phi 14$  có gờ là thép Hòa Phát. Trong thí nghiệm sử dụng cốt thép  $\Phi 10$  trơn bằng cách tiện tròn cốt thép  $\Phi 14$ .
- Sơn dùng cho nghiên cứu: Sơn gốc epoxy, Sơn Xi măng- polyme AC-05, Sơn gốc Polyurethane, Sơn epoxy giàu kẽm.

### 2.2 .Phương pháp nghiên cứu

- Thí nghiệm các chỉ tiêu cơ, lý, hóa của vật liệu theo các tiêu chuẩn hiện hành.
- Phương pháp nghiên cứu xuyên suốt trong luận án là kết hợp kết quả thí nghiệm trong phòng với kết quả nghiên cứu trên các công trình thực.
- Các phương pháp điện hóa.

Cấp phối, cường độ chịu nén và độ chống thấm nước của BT được thể hiện trong bảng dưới.

**Bảng 2.1. Cường độ chịu nén, mức chống thấm nước của BT có hàm lượng clorua khác nhau**

STT	Mác BT	Ký hiệu mẫu	Thành phần vật liệu trong 1m <sup>3</sup> BT					Hàm lượng clorua, kg/m <sup>3</sup> BT	R28, MPa	Cấp chống thấm
			Xi măng, kg	Cát, kg	Đá, kg	Nước, lít	Phụ gia siêu dẻo, lít			
1	M300	M30.3.0.6	348	725	1165	185	3,83	0,6	33,2	W10
2		M30.3.1.2	348	725	1165	185	3,83	1,2	33,9	W10
3		M30.3.1.8	348	725	1165	185	3,83	1,8	34,4	W10
4		M30.3.2.4	348	725	1165	185	3,83	2,4	34,8	W10
5	M400	M40.3.0.6	429	678	1147	183	4,72	0,6	43,2	W12
6		M40.3.1.2	429	678	1147	183	4,72	1,2	44,8	W12

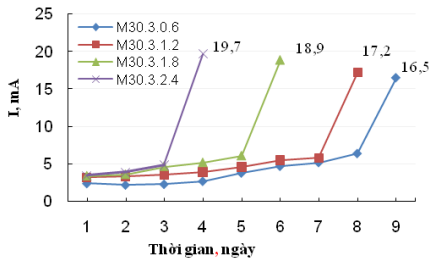
STT	Mác BT	Ký hiệu mẫu	Thành phần vật liệu trong 1m <sup>3</sup> BT					Hàm lượng clorua, kg/m <sup>3</sup> BT	R28, MPa	Cấp chống thấm
			Xi măng, kg	Cát, kg	Đá, kg	Nước, lít	Phụ gia siêu dẻo, lít			
7	M500	M40.3.1.8	429	678	1147	183	4,72	1,8	45,5	W12
8		M40.3.2.4	429	678	1147	183	4,72	2,4	46,1	W12
9		M50.3.0.6	507	634	1130	181	5,58	0,6	52,1	W16
10		M50.3.1.2	507	634	1130	181	5,58	1,2	53,6	W16
11		M50.3.1.8	507	634	1130	181	5,58	1,8	55,2	W16
12		M50.3.2.4	507	634	1130	181	5,58	2,4	55,7	W16

### CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU THÍ NGHIỆM TRONG PHÒNG KHẢ NĂNG BẢO VỆ CỐT THÉP BÊ TÔNG VÙNG BIÊN BẰNG BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG CAO VÀ SƠN PHỦ CỐT THÉP

#### 3.1. Nghiên cứu khả năng bảo vệ cốt thép bằng bê tông chất lượng cao

##### 3.1.1. Kết quả thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm bằng NT Build 356 được mô tả trên Hình 3.1.

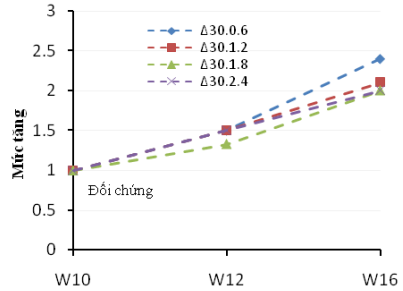
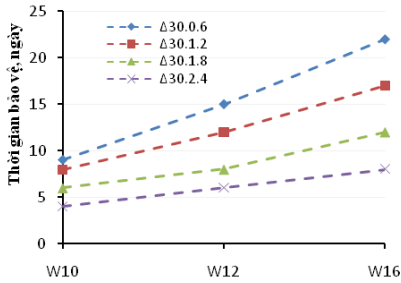


Hình 3.1. Khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông W10(M300) với hàm lượng Cl<sup>-</sup> trong bê tông 0,6; 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m<sup>3</sup>

Bảng 3.1. Khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông khi nâng cao mác chống thấm

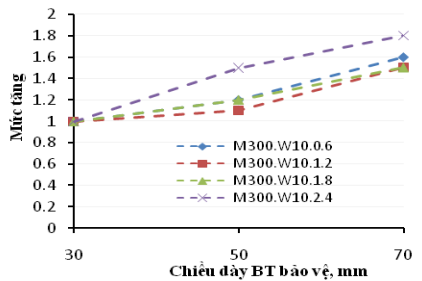
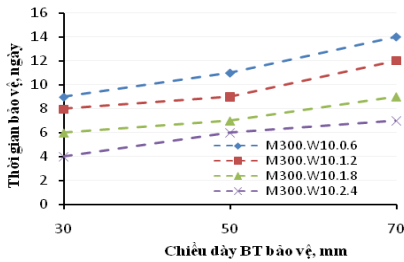
TT	Chất lượng bê tông bảo vệ			Thời gian bảo vệ, ngày/mức tăng so với đối chứng, ứng với hàm lượng [Cl <sup>-</sup> ]			
	Mác bê tông, M	Mác chống thấm, W	Chiều dày bảo vệ, mm	0,6 kg/m <sup>3</sup>	1,2 kg/m <sup>3</sup>	1,8 kg/m <sup>3</sup>	2,4 kg/m <sup>3</sup>
1	M300	W10 (đối chứng)	30	9/1,0	8/1,0	6/1,0	4/1,0
2	M400	W12		15/1,5	12/1,5	8/1,33	6/1,5
3	M500	W16		22/2,4	17/2,1	12/2,0	8/2,0

Từ các kết quả trong Bảng 3.1 về được biểu đồ trong Hình 3.2 về khả năng bảo vệ cốt thép của BT khi nâng cao độ chống thấm, mẫu BT có chiều dày 30 mm, [Cl<sup>-</sup>]= 0,6; 1,2; 1,8; 2,4 kg/m<sup>3</sup> ký hiệu là Δ30.0.6; Δ30.1.2; Δ30.1.8; Δ30.2.4.

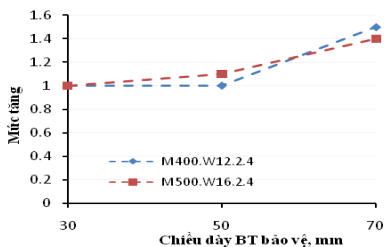
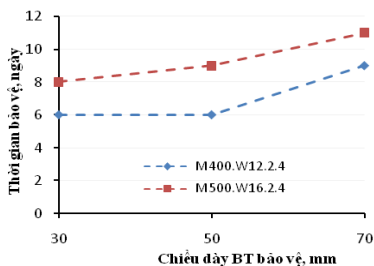


**Hình 3.2. Khả năng bảo vệ cốt thép của BT khi nâng cao mức chống thấm**  
**Bảng 3.2. Khả năng bảo vệ cốt thép khi nâng cao chiều dày bảo vệ**

TT	Chất lượng bê tông bảo vệ			Thời gian bảo vệ, ngày/mức tăng so với đối chứng, ứng với hàm lượng [C1]			
	Mác bê tông, M	Mức chống thấm, W	Chiều dày bảo vệ, mm	0,6 kg/m <sup>3</sup>	1,2 kg/m <sup>3</sup>	1,8 kg/m <sup>3</sup>	2,4 kg/m <sup>3</sup>
1	M300	W10	30 (đối chứng)	9/1,0	8/1,0	6/1,0	4/1,0
2			50	11/1,2	9/1,1	7/1,2	6/1,5
3			70	14/1,6	12/1,5	9/1,5	7/1,8
4	M400	W12	30 (đối chứng)	-	-	-	6/1,0
5			50	-	-	-	6/1,0
6			70	-	-	-	9/1,5
7	M500	W16	30 (đối chứng)	-	-	-	8/1,0
8			50	-	-	-	9/1,1
9			70	-	-	-	11/1,4



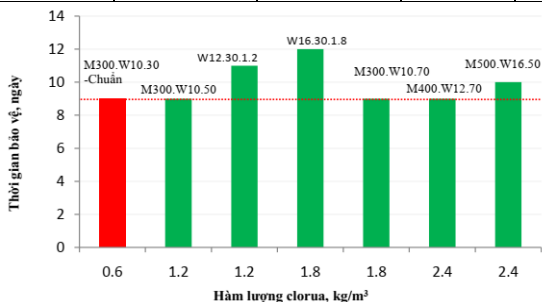
*a, Marc BT M300, chống thấm nước W10*



b, Mác BT M400, M500 chống thấm nước W12, W16

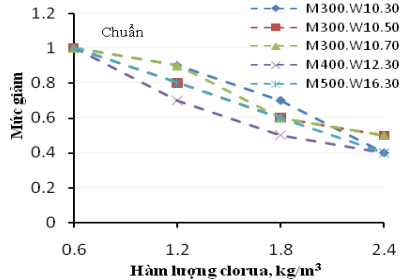
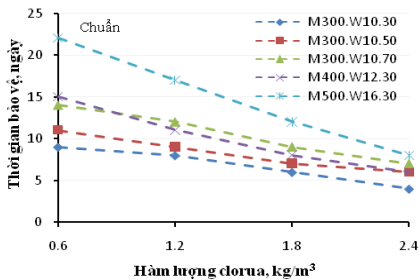
**Hình 3.3. Khả năng bảo vệ cốt thép của BT khi nâng cao chiều dày BT bảo vệ**  
**Bảng 3.3. Khả năng bảo vệ cốt thép tương đương mẫu chuẩn TCVN 9346:2012 khi nâng cao mác chống thấm hoặc/và chiều dày bảo vệ**

TT	Mác bê tông, M	Mác chống thấm, W	Chiều dày bảo vệ, mm	[Cl] <sup>-</sup> , kg/m <sup>3</sup>	Thời gian bảo vệ, ngày/hệ số so với chuẩn
Mẫu chuẩn	M300	W10	30	0,6	9/1,0
Nâng cao Δ1			50	1,2	9/1,0
Nâng cao Δ2			70	1,8	9/1,0
Nâng cao W	M400	W12	30	1,2	11/1,2
Nâng cao W	M500	W16	30	1,8	12/1,3
Nâng cao WΔ2	M400	W12	70	2,4	9/1,0
Nâng cao WΔ1	M500	W16	50	2,4	10/1,1



**Hình 3.4. Khả năng bảo vệ CT khi tăng chiều dày BT và nâng độ chống thấm nước**  
**Bảng 3.4. Ảnh hưởng của hàm lượng clorua tới khả năng bảo vệ CT trong BT**

TT	Chất lượng bê tông bảo vệ			Thời gian bảo vệ, ngày/hệ số so với chuẩn, ứng với hàm lượng [Cl] <sup>-</sup>			
	Mác bê tông, M	Mác chống thấm, W	Chiều dày bảo vệ, mm	0,6 (chuẩn) kg/m <sup>3</sup>	1,2 kg/m <sup>3</sup>	1,8 kg/m <sup>3</sup>	2,4 kg/m <sup>3</sup>
1	M300	W10	30	9/1,0	8/0,9	6/0,7	4/0,4
2	M300	W10	50	11/1,0	9/0,8	7/0,6	6/0,5
3	M300	W10	70	14/1,0	12/0,9	9/0,6	7/0,5
4	M400	W12	30	15/1,0	11/0,7	8/0,5	6/0,4
5	M500	W16	30	22/1,0	17/0,8	12/0,6	8/0,4



**Hình 3.5. Ảnh hưởng của hàm lượng clorua tới khả năng bảo vệ CT trong BT**

### 3.1.2. Nhận xét và biện luận kết quả nghiên cứu

a, Kết quả trong Bảng 3.1 và Hình 3.2 cho thấy quan hệ: Khi tăng độ chống nước (hoặc mức bê tông) lên một cấp (từ M300W10 lên M400W12 và M500W16), khả năng bảo vệ cốt thép tăng lên 1,5 và 2,0 lần. Quan hệ này được duy trì với bê tông nhiễm lượng clorua khác nhau từ 1,2 đến 2,4  $\text{kg/m}^3$ . Mức gia tăng trên được giải thích nhờ năng lực chặn nước, ô xy cao hơn của bê tông khi nâng mức chống thấm nước.

b, Kết quả trong Bảng 3.2 và Hình 3.3 cho thấy quan hệ: Khi tăng chiều dày bê tông bảo vệ (từ 30 mm lên 50 và 70 mm), khả năng bảo vệ cốt thép tăng lên 1,2 và 1,5 lần. Quan hệ này gần đúng với bê tông có mức chống thấm và hàm lượng clorua trong bê tông khác nhau. Mức gia tăng này được giải thích do quy luật thẩm thấu nước, ô xy giảm dần theo khoảng cách từ bề mặt tới chiều sâu khác nhau của bê tông. Chiều dày bê tông bảo vệ càng lớn thì nước, ô xy ngấm từ môi trường tới cốt thép càng giảm.

c, Kết quả trong Bảng 3.3 và Hình 3.4 cho thấy, nếu lấy bê tông đủ khả năng bảo vệ cốt thép theo TCVN 9436:2012 (M300W10 $\Delta$ 30[Cl-]0,6 làm chuẩn thì khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông nhiễm clorua cao sẽ tương đương bê tông chuẩn khi:

- Đối với bê tông [Cl-] = 1,2  $\text{kg/m}^3$ : khi nâng  $\Delta$ 30 lên  $\Delta$ 50 mm hoặc W10 lên W12;
- Đối với bê tông [Cl-] = 1,8  $\text{kg/m}^3$ : khi nâng  $\Delta$ 30 lên  $\Delta$ 70 mm hoặc W10 lên W16;
- Đối với bê tông [Cl-] = 2,4  $\text{kg/m}^3$ : khi nâng đồng thời  $\Delta$  từ 30 lên 70 mm, W từ 10 lên 12 hoặc  $\Delta$  từ 30 lên 50 mm, W từ 10 lên 16.

Điều này cũng được giải thích nhờ sự hạn chế nước, ô xy thẩm thấu vào bê tông giảm khi tăng W và  $\Delta$ .

d, Kết quả trong Bảng 3.4 và Hình 3.5 cho thấy, khi bê tông nhiễm clorua cao mức 1,2; 1,8 và 2,4  $\text{kg/m}^3$ , khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông bị giảm mạnh, tương ứng chỉ còn 80; 60 và 40 % so với bê tông tiêu chuẩn (clorua 0,6  $\text{kg/m}^3$ ). Sự giảm này được giải thích bởi cơ chế: thời gian phá hủy mẫu là tổng thời gian của hai quá trình phá màng thụ động và ăn mòn cốt thép đủ để phá vỡ bê tông bảo vệ. Hàm lượng clorua trong bê tông càng cao thì thời gian cần thiết để clorua xâm nhập và phá màng thụ động càng ngắn.

Kết quả này cũng cho thấy, nếu bê tông bị nhiễm clorua cao (1,2  $\text{kg/m}^3$  và lớn hơn), hiệu quả bảo vệ cốt thép của bê tông bằng biện pháp tăng mức chống thấm nước hoặc chiều dày bảo vệ rất hạn chế. Trong trường hợp này cần có giải pháp khác (ví dụ dùng sơn phủ). Khi đó, màng sơn với tư cách là màng chắn xâm nhập các tác nhân gây

ăn mòn sẽ đóng vai trò bảo vệ chính cho cốt thép, bê tông bị nhiễm mặn đóng vai trò hỗ trợ, vừa bảo vệ màng sơn (nếu là vật liệu hữu cơ), vừa ngăn cản sự thâm thấu của oxy và nước tới bề mặt cốt thép.

### 3.2 . Nghiên cứu khả năng bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ

#### 3.2.1 . Lựa chọn chiều dày màng sơn cốt thép

##### 3.2.1.1 . Kết quả thí nghiệm đo chiều dày màng sơn

Kết quả thí nghiệm đo chiều dày màng sơn theo tiêu chuẩn TCVN 9760:2013 trên nền thép sau mỗi lần nhúng mỗi loại sơn cho chiều dày trung bình như Bảng 3.5.

**Bảng 3.5. Kết quả thí nghiệm chiều dày màng sơn**

STT	Tên loại sơn	Kết quả đo	Số lần nhúng		
			1 lần	2 lần	3 lần
1	Epoxy	Chiều dày, $\mu\text{m}$	125 $\pm$ 13	175 $\pm$ 18	235 $\pm$ 24
		Ký hiệu	E1	E2	E3
2	Epoxy giàu kẽm	Chiều dày, $\mu\text{m}$	125 $\pm$ 13	175 $\pm$ 18	235 $\pm$ 24
		Ký hiệu	Z1	Z2	Z3
3	Polyurethane	Chiều dày, $\mu\text{m}$	110 $\pm$ 11	150 $\pm$ 15	200 $\pm$ 20
		Ký hiệu	P1	P2	P3
4	Xi măng polyme	Chiều dày, $\mu\text{m}$	1000 $\pm$ 100	1500 $\pm$ 150	2000 $\pm$ 200
		Ký hiệu	X1	X2	X3

##### 3.2.1.2 . Kết quả thí nghiệm chọn chiều dày màng sơn

Nghiên cứu được thử nghiệm bằng phương pháp đo thể mạch hồ. Kết quả được thể hiện trong Bảng 3.6 và so sánh hiệu quả bảo vệ giữa các loại sơn trên Bảng 3.7.

**Bảng 3.6. Kết quả đo thể mạch hồ của màng sơn**

Ký hiệu mẫu	Kết quả đo thể mạch hồ E(-mV/SCE) theo thời gian (giờ)				
	0	168	336	504	720
E1	172	177	180	201	215
E2	85	122	137	141	144
E3	159	175	188	197	220
P1	237	262	274	294	346
P2	155	181	222	247	259
P3	251	276	294	320	338
X1	343	379	388	426	453
X2	212	267	292	310	320
X3	368	397	429	441	456
Z1	181	185	189	211	220
Z2	79	126	140	145	151
Z3	157	187	189	203	219

**Bảng 3.7. So sánh hiệu quả bảo vệ giữa các loại sơn (X lấy làm chuẩn)**

TT	Loại sơn phủ, ký hiệu	Hiệu quả sau 168 h		Hiệu quả sau 720 h	
		Điện thế, -mV	Hiệu quả	Điện thế, -mV	Hiệu quả
1	Xi măng polyme, X2	267	1,0	320	1,0
2	Polyurethane, P2	181	1,5	259	1,2



3	Epoxy, E2	122	2,2	144	2,2
4	Epoxy giầu kẽm, Z2	126	2,1	151	2,2
CHÚ THÍCH: Hiệu quả = $E_{(-mV/SCE)}(X2) / E_{(-mV/SCE)}$ (So sánh)					

### 3.2.1.3 . Nhận xét và biện luận kết quả nghiên cứu

#### a) Về số lần sơn

Khi nhúng 1 lần và nhúng 3 lần (ký hiệu E1, P1, X1, Z1 và E3, P3, X3, Z3) thể mạch hồ âm hơn, tính ổn định kém hơn và chênh lệch thể nhiều hơn so với khi nhúng 2 lần ký hiệu E2, P2, X2, Z2 trong suốt quá trình đo. Đề tài lựa chọn sơ bộ chiều dày màng sơn coi là phù hợp theo quy trình đã áp dụng đối với các loại sơn E, P, X, Z tương ứng là  $175 \pm 18 \mu\text{m}$ ,  $150 \pm 15 \mu\text{m}$ ,  $1500 \pm 150 \mu\text{m}$ ,  $175 \pm 18 \mu\text{m}$ .

#### b) Hiệu quả bảo vệ cốt thép của các loại sơn theo kết quả đo thể mạch hồ

Trong Bảng 3.7 cho thấy, nếu lấy sơn X làm chuẩn, hiệu quả bảo vệ của các loại sơn xếp theo thứ tự tăng dần là: Sơn X (X2, hệ số 1,0), sơn P (tăng 1,2 lần), E và Z (tăng 2,2 lần).

### 3.2.2 . Ảnh hưởng của sơn phủ đến cường độ bám dính giữa cốt thép và bê tông

Theo chỉ dẫn kỹ thuật của Hội kỹ sư xây dựng Nhật Bản [24] hoặc ASTM A775 yêu cầu cường độ bám dính khi sơn phủ cốt thép phải lớn hơn 85%. Các loại sơn đã dùng trong nghiên cứu đều đáp ứng yêu cầu này.

### 3.2.3 . Khả năng bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ bằng phương pháp khô ẩm gia tốc

#### 3.2.3.1 . Kết quả nghiên cứu

Kết quả nghiên cứu được thể hiện trong Bảng 3.8 đến Bảng 3.10.

**Bảng 3.8. Hiệu quả bảo vệ cốt thép của các loại sơn theo thời gian thụ động cốt thép (tháng), thí nghiệm khô ẩm gia tốc**

TT	Bê tông	[Cl] <sup>-</sup> kg/m <sup>3</sup>	Không sơn		Sơn X		Sơn P		Sơn E	
			T <sub>corr</sub>	Hệ số	T <sub>corr</sub>	Hệ số	T <sub>corr</sub>	Hệ số	T <sub>corr</sub>	Hệ số
1	M300	0,6	7	1,0	10	1,4	19	2,7	23	3,3
2	- W10	1,2	5	1,0	9	1,8	17	3,4	22	4,4
3	- Δ30	1,8	4	1,0	8	2,0	15	3,8	19	4,8
4		2,4	2	1,0	6	3,0	14	7,0	17	8,5
Hệ số = $T_{\text{corr}}(\text{sơn}) / T_{\text{corr}}(\text{không sơn})$										

Ghi chú: T<sub>corr</sub> là thời gian thụ động của thép

**Bảng 3.9. Hiệu quả bảo vệ CT của các loại sơn tính theo thời gian thụ động cốt thép (tháng), thí nghiệm khô ẩm gia tốc, mẫu chuẩn có [Cl] = 0,6 kg/m<sup>3</sup>**

TT	Bê tông	[Cl] <sup>-</sup> kg/m <sup>3</sup>	Không sơn		Sơn X		Sơn P		Sơn E	
			T <sub>corr</sub>	Hệ số	T <sub>corr</sub>	Hệ số	T <sub>corr</sub>	Hệ số	T <sub>corr</sub>	Hệ số
1	W10	0,6	7	1,0	10	1,4	19	2,7	23	3,3
2	M300	1,2	5	0,71	9	1,3	17	2,4	22	3,1
3	Δ30	1,8	4	0,57	8	1,1	15	2,1	19	2,7
4		2,4	2	0,29	6	0,86	14	2,0	17	2,4
Ghi chú: Hệ số = $T_{\text{corr}}(\text{nc}) / T_{\text{corr}}([\text{Cl}] = 0,6 \text{ kg/m}^3)$										

Nếu gọi thời gian thụ động cốt thép (tính bằng tháng) nhờ vai trò bảo vệ của bê tông (B) và sơn (S) là 100%, biết vai trò bảo vệ cốt thép của bê tông (cột vai trò B), có thể tính ra vai trò bảo vệ cốt thép của sơn (cột vai trò S) như trên Bảng 3.10.

**Bảng 3.10. Vai trò của sơn (S) và bê tông (B) trong việc bảo vệ cốt thép, mẫu M300W10Δ30, [Cl<sup>-</sup>]=(0,6÷2,4) kg/m<sup>3</sup> theo thời gian thụ động cốt thép, tháng**

[Cl <sup>-</sup> ], kg/m <sup>3</sup>	Sơn X, tháng/% tổng S+B			Sơn P, tháng/% tổng S+B			Sơn E, tháng/% tổng S+B		
	Tổng S + B	Vai trò B	Vai trò S	Tổng S + B	Vai trò B	Vai trò S	Tổng S + B	Vai trò B	Vai trò S
0,6	<b>10/100</b>	7/70	3/30	19/100	7/37	12/63	23/100	7/30	16/70
1,2	<b>9/100</b>	5/56	4/44	17/100	5/30	12/70	22/100	5/23	17/77
1,8	<b>8/100</b>	4/50	4/50	15/100	4/27	11/73	19/100	4/21	15/79
2,4	<b>6/100</b>	2/33	4/67	14/100	2/14	12/86	17/100	2/12	15/88

Chú thích: Vai trò S = Tổng (S+B) - Vai trò B; % vai trò B= B/(S+B), vai trò S = S/(S+B)

### 3.2.3.2. Nhận xét và biện luận kết quả nghiên cứu

a) Về hiệu quả bảo vệ cốt thép của bê tông nhiễm clorua cao khi không có sơn phủ: Giảm rất mạnh, với bê tông nhiễm clorua 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m<sup>3</sup>, chỉ còn tương ứng 71; 57 và 29% so với bê tông tiêu chuẩn.

b) Về hiệu quả bảo vệ cốt thép của sơn so với bê tông không sơn trong bê tông có cùng độ nhiễm clorua từ 0,6 tới 2,4 kg/m<sup>3</sup>: Bê tông nhiễm clorua càng cao hiệu quả bảo vệ cốt thép của sơn càng cao và tăng dần theo thứ tự: Sơn X (tăng 1,4÷3,0 lần), sơn P (tăng 2,7÷7,0 lần) và sơn E (tăng 3,3÷8,5 lần).

c) Về hiệu quả bảo vệ cốt thép của sơn và bê tông nhiễm clorua (1,2÷2,4) kg/m<sup>3</sup> so với bê tông tiêu chuẩn W10M300Δ30[Cl<sup>-</sup>]0,6:

Tăng dần theo thứ tự: sơn X (1,1÷1,4 lần và với [Cl<sup>-</sup>] ≤ 1,8 kg/m<sup>3</sup>); sơn P (2,0÷2,7 lần) và sơn E (2,4÷3,3 lần). Riêng khả năng bảo vệ cốt thép của sơn X và bê tông nhiễm clorua 2,4 kg/m<sup>3</sup> giảm mạnh, chỉ còn 86% so với khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông tiêu chuẩn. Điều này được giải thích do khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông nhiễm clorua 2,4 kg/m<sup>3</sup> giảm mạnh so với bê tông nhiễm clorua ở mức thấp hơn.

d) Về vai trò của sơn và bê tông trong việc bảo vệ cốt thép:

Trong Bảng 3. 10 cho thấy khả năng bảo vệ cốt thép của sơn E, P và X xoay quanh các giá trị tương ứng 16; 12 và 4 (tháng), ít phụ thuộc vào mức bê tông nhiễm clorua. Khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông, ngược lại, giảm theo mức bê tông nhiễm clorua. Đồng nghĩa rằng, cả 3 loại sơn đều bền vững và không bị giảm năng lực bảo vệ cốt thép trong môi trường bê tông clorua cao. Sự suy giảm khả năng bảo vệ cốt thép của hệ S+B chỉ do một mình bê tông nhiễm clorua gây ra.

Xét theo giá trị tuyệt đối, sơn E có khả năng bảo vệ cốt thép cao hơn sơn P là 1,3 lần (16/12), hơn sơn X là 4 lần (16/4), hơn bê tông nhiễm clorua (1,2÷2,4 kg/m<sup>3</sup>) tương ứng (3,2÷8) lần (16/5, 16/4, 16/2) do chất lượng bảo vệ cốt thép của màng sơn E cao hơn màng sơn P, X và bê tông nhiễm clorua cao. Xét về tỷ trọng trong sức bảo vệ tổng hợp của S+B, sơn E, P bảo vệ cốt thép tốt hơn chiếm tỷ trọng (70÷88)% và (63÷86)%, riêng sơn X chỉ đạt (30÷67)% do chất lượng chống thấm của màng sơn X kém hơn màng sơn E và P.

Từ đây rút ra nhận định là chất lượng chống thấm, tác nhân gây ăn mòn (clorua, nước, ô xy) của màng sơn đóng vai trò quyết định trong việc bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao. Sơn E và P thích hợp cho nhiệm vụ này, sơn X chỉ sử dụng được trong môi trường bê tông nhiễm clorua thấp tới 1,8 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.2.4 . Khả năng bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ theo phương pháp gia tốc NT Build 356

#### 3.2.4.1 . Kết quả nghiên cứu

Kết quả thí nghiệm trên được thể hiện trên Bảng 3.11 và Bảng 3.12.

**Bảng 3.11. Khả năng và hiệu quả bảo vệ cốt thép bằng các loại sơn so với bê tông không sơn M30W10Δ30[CI]0,6, thí nghiệm NT Build 356**

STT	Bê tông	Δ, mm	[CI]-, kg/m <sup>3</sup>	Loại sơn	Ký hiệu mẫu	Thời điểm nứt mẫu, ngày/Hiệu quả, lần
1	M300, W10	30	0,6	Không sơn	M30.3.0.6	9/1,0
2			0,6	Polyurethane	M30.3.0.6.P	50/5,6
3			1,2		M30.3.1.2.P	47/5,2
4			1,8		M30.3.1.8.P	45/5,0
5			2,4		M30.3.2.4.P	42/4,7
6			0,6		Epoxy	M30.3.0.6.E
7			1,2	M30.3.1.2.E		58/6,4
8			1,8	M30.3.1.8.E		54/6,0
9			2,4	M30.3.2.4.E		52/5,8
10			0,6	Epoxy giàu kẽm	M30.3.0.6.Z	65/7,2
11			1,2		M30.3.1.2.Z	60/6,7
12			1,8		M30.3.1.8.Z	57/6,3
13			2,4		M30.3.2.4.Z	55/6,1
14			0,6	Xi măng polyme	M30.3.0.6.X	17/1,9
15			1,2		M30.3.1.2.X	15/1,7
16			1,8		M30.3.1.8.X	11/1,2
17			2,4		M30.3.2.4.X	8/0,9

Hiệu quả tính bằng tỷ lệ số ngày nứt mẫu của mẫu nghiên cứu so với mẫu chuẩn

**Bảng 3.12. Vai trò của sơn và BT trong việc bảo vệ CT, mẫu M300W10Δ30, [CI]= (0,6÷2,4) kg/m<sup>3</sup>, NT Build 356, ngày phá mẫu/% tổng số ngày**

[CI], kg/m <sup>3</sup>	Sơn X, ngày/% tổng			Sơn P, ngày /% tổng			Sơn E, ngày /% tổng		
	Tổng S + B	Vai trò B	Vai trò S	Tổng S + B	Vai trò B	Vai trò S	Tổng S + B	Vai trò B	Vai trò S
0,6	17/100	9/53	8/47	50/100	9/18	41/82	61/100	9/15	52/85
1,2	15/100	8/53	7/47	47/100	8/17	39/83	58/100	8/14	50/86
1,8	11/100	6/55	5/45	45/100	6/13	39/87	54/100	6/11	48/89
2,4	8/100	4/50	4/50	42/100	4/10	38/90	52/100	4/8	48/92

Chú thích: Vai trò S = Tổng (S+B) – vai trò B

#### 3.2.4.2 . Nhận xét và biện luận kết quả nghiên cứu

- Bảng 3.11 cho thấy, so với bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 là W10M300Δ30[CI]0,6, khả năng bảo vệ cốt thép của các loại sơn thử theo NTBuild 356 khi bê tông nhiễm [CI] từ 1,2 đến 2,4 kg/m<sup>3</sup>, xếp theo thứ tự giảm dần như sau: epoxy giàu kẽm Z (6,1÷7,2 lần); epoxy E (5,8÷6,8 lần); polyurethane P (4,7÷5,6 lần). Riêng xi măng polyme X chỉ có hiệu quả bảo vệ cốt thép tới [CI]=1,8 kg/m<sup>3</sup> (tăng 1,2÷1,9 lần). Trong bê tông nhiễm [CI]=2,4 kg/m<sup>3</sup> hiệu quả bảo vệ cốt thép của sơn X giảm còn 0,9 so với bê tông tiêu chuẩn;

Kết quả trong Bảng 3.12 cho nhận xét sau:

- Khi sử dụng sơn P, sơn E (hoặc Z), sơn đóng vai trò quyết định trong việc bảo vệ cốt thép. Khả năng bảo vệ cốt thép của sơn P và E chiếm tỷ trọng lần lượt là (82÷90)% và (85÷92)%, bê tông với tỷ trọng trong tổng khả năng bảo vệ cốt thép là (8÷18)% chỉ đóng vai trò hỗ trợ. Khả năng bảo vệ cốt thép của sơn P và E rất ổn định, tương ứng (38÷41) và (48÷52) ngày, ít phụ thuộc và mức nhiễm clorua trong bê tông. Sơn E tốt hơn sơn P khoảng 1,28 lần (50/39).

- Khi sử dụng sơn X, sơn và bê tông đóng vai trò gần ngang nhau, tương ứng (45÷50)% so với (50÷53)%. Khả năng bảo vệ cốt thép của hệ S+B này chỉ hơn bê tông tiêu chuẩn khi bê tông nhiễm clorua tới 1,8 kg/m<sup>3</sup>. Vượt qua ngưỡng này (ví dụ bê tông nhiễm 2,4 kg/m<sup>3</sup>), khả năng bảo vệ cốt thép của hệ sơn S+B chỉ còn lại 90% so với bê tông tiêu chuẩn.

Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng, sơn phủ đóng vai trò quyết định trong việc bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao. Sơn E đáp ứng tốt nhất các yêu cầu này.

### 3.2.5. Khả năng bảo vệ cốt thép theo phương pháp phơi mẫu tại vùng biển

Các mẫu thử nghiệm gồm 5 nhóm mẫu.

a, Kết quả thử nghiệm với mẫu nhóm 1, 2, 3 và 4

Kết quả đo mức độ ăn mòn cốt thép bằng phương pháp hiệu điện thế cho thấy cốt thép chưa bị ăn mòn (xác suất trên 90%).

b, Kết quả thử nghiệm mẫu nhóm 5

Kết quả đo  $i_{corr}$  của các mẫu BT M30.3.1.8.X, M30.3.2.4.P, M30.3.2.4.E, trong thời gian 1, 3, 6, 9, 12 tháng cho thấy cốt thép vẫn trong trạng thái thụ động.

Kết quả trên phù hợp với giải thích ở các phần trước là hiệu quả bảo vệ của sơn đối với cốt thép xếp theo thứ tự giảm dần: E, P và X. Kết quả này một lần nữa khẳng định, sơn E và P, nhờ cấu trúc chặt khít, có khả năng bảo vệ vượt trội hơn so với X.

### 3.3. Khả năng bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ kết hợp bê tông tính năng nâng cao

Kết quả nghiên cứu được tổng hợp trong Bảng 3.13.

**Bảng 3.13. Tổng hợp khả năng bảo vệ cốt thép (ngày) bằng bê tông và sơn phủ, thí nghiệm gia tốc NT Build 356**

TT	Loại bê tông hoặc loại sơn bảo vệ	Khả năng bảo vệ cốt thép trong bê tông với [Cl <sup>-</sup> ], kg/m <sup>3</sup>							
		0,6		1,2		1,8		2,4	
		Thời gian	Hệ số	Thời gian	Hệ số	Thời gian	Hệ số	Thời gian	Hệ số
1	M300W10Δ30	9	1,0	8	0,9	6	0,7	4	0,4
2	M300W10Δ50	11	1,2	9	1,0	7	0,8	6	0,7
3	M300W10Δ70	14	1,6	12	1,3	9	1,0	7	0,8
4	M400W12Δ30	11	1,2	9		7		6	0,7
5	M400W12Δ50	-	-	-	-	-	-	6	0,7
6	M400W12Δ70	-	-	-	-	-	-	9	1,0
5	M500W16Δ30	22	2,4	17	1,9	12	1,3	8	0,9
6	M500W16Δ50	-	-	-	-	-	-	9	1,0
7	M500W16Δ70	-	-	-	-	-	-	11	1,2
8	M300W10Δ30 - X	17	1,9	15	1,7	11	1,2	8	0,9
9	M300W10Δ30 - P	50	5,6	47	5,2	45	5,0	42	4,7

10	M300W10Δ30 – E	61	6,8	58	6,4	54	6,0	52	5,8
11	M300W10Δ30 - Z	65	7,2	60	6,7	57	6,3	55	6,1

Nếu phương án chọn được lấy với hệ số an toàn (thời gian bảo vệ của mẫu phương án chọn so với mẫu tiêu chuẩn (M300W10Δ30[Cl]0,6) từ 1,5 trở lên thì các phương án thích hợp để bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao như sau:

- Sơn X kết hợp với bê tông tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 (hệ số 1,7) hoặc bê tông M500W16Δ30 không sơn (hệ số 1,9) có thể áp dụng để bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua [Cl<sup>-</sup>] tới 1,2 kg/m<sup>3</sup>;

- Sơn E, Z, P kết hợp bê tông tiêu chuẩn (hệ số 4,7÷6,7) có thể áp dụng để bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua mức [Cl<sup>-</sup>] = (1,8÷2,4) kg/m<sup>3</sup>. Thứ tự theo khả năng bảo vệ cốt thép: Z, E và P. Cốt thép không sơn hoặc sơn X không áp dụng cho bê tông nhiễm clorua ở mức 1,8 kg/m<sup>3</sup> và lớn hơn.

### 3.4 . Kết luận chương 3

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu trong phòng về khả năng bảo vệ cốt thép trong bê tông clorua cao [Cl<sup>-</sup>] = (1,2÷2,4) kg/m<sup>3</sup>, có thể rút ra một số kết luận sau:

1. Khả năng bảo vệ cốt thép bằng bê tông tính năng nâng cao:

- Khi nâng mác chống nước W (hoặc mác bê tông M) lên một và ba cấp (từ M300W10 lên M400W12 và M500W16), khả năng bảo vệ cốt thép tăng lên 1,5 và 2,0 lần; Khi tăng chiều dày bê tông bảo vệ Δ lên một và hai mức (từ 30 mm lên 50 và 70 mm), khả năng bảo vệ cốt thép tăng 1,2 và 1,5 lần. Các quan hệ này phù hợp với bê tông nhiễm clorua ở các mức khác nhau từ 1,2 tới 2,4 kg/m<sup>3</sup>;

- Khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông đạt mức tương đương bê tông tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 (M300W10Δ30[Cl<sup>-</sup>]0,6, môi trường khí quyển biển khi: Nâng Δ từ 30 lên 50 mm hoặc W 10 lên 12 đối với bê tông [Cl<sup>-</sup>] = 1,2 kg/m<sup>3</sup>: nâng Δ từ 30 lên 70 mm hoặc W từ 10 lên 16 đối với bê tông [Cl<sup>-</sup>] = 1,8 kg/m<sup>3</sup>: nâng đồng thời Δ từ 30 lên 70 mm, W từ 10 lên 12 hoặc Δ từ 30 lên 50 mm, W10 lên W16 đối với bê tông [Cl<sup>-</sup>] = 2,4 kg/m<sup>3</sup>;

- Khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông bị giảm mạnh, chỉ còn (71÷80); (57÷60) và (29÷40)% so với bê tông tiêu chuẩn (clorua 0,6 kg/m<sup>3</sup>) khi bê tông nhiễm clorua ở các mức tương ứng 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m<sup>3</sup>. Bê tông không hiệu quả khi sử dụng như vật liệu chính để bảo vệ cốt thép trong bê tông có khả năng nhiễm clorua cao trên 1,2 kg/m<sup>3</sup>.

2. Khả năng bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ kết hợp bê tông chất lượng thích hợp:

- Sơn X, P, E và Z chiều dày tương ứng (1500±150) μm, (150±15) μm, (175±18) μm, (175±18) μm để sơn phủ bảo vệ cốt thép trong bê tông;

- Kết quả thí nghiệm bằng phương pháp khô ẩm gia tốc cho thấy: So với bê tông tiêu chuẩn (không sơn, M300W10Δ30[Cl<sup>-</sup>]0,6), hiệu quả bảo vệ của sơn kết hợp bê tông tiêu chuẩn tăng theo thứ tự: Sơn X (tăng 1,4 lần), sơn P (tăng 2,7 lần) và sơn E (tăng 3,3 lần); so với bê tông cùng chất lượng và hàm lượng clorua, hiệu quả bảo vệ cốt thép của sơn tăng mạnh, xếp theo thứ tự: Sơn X (tăng 1,8÷3,0 lần), sơn P (tăng 3,4÷7 lần) và E (tăng 4,4÷8,5 lần); trong các loại sơn, sơn E và P có sức bảo vệ cốt thép cao hơn (2,4÷2,8) lần so với sơn X.

- Kết quả thí nghiệm bằng phương pháp gia tốc NT Build 356 cho thấy: So với bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 (M300W10Δ30[Cl]<sup>-</sup>0,6), khả năng bảo vệ cốt thép của các loại sơn kết hợp bê tông M300W10Δ30 nhiễm [Cl]<sup>-</sup> từ 1,2 đến 2,4 kg/m<sup>3</sup> như sau: Sơn Z (tăng 6,1÷7,2 lần); sơn E (tăng 5,8÷6,8 lần), sơn P (tăng 4,7÷5,6). Riêng sơn X chỉ có hiệu quả bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua tới 1,8 kg/m<sup>3</sup> (tăng 1,2÷1,9 lần, giảm còn 90% khi clorua 2,4 kg/m<sup>3</sup>).

- Kết quả thí nghiệm thời điểm xuất hiện cường độ dòng Tafel của cốt thép trong bê tông tại vùng nước lên xuống Cảng biển Tân Sơn, Thái Bình cho thấy khả năng bảo vệ cốt thép theo thứ tự giảm dần như sau: Sơn E (sau 12 tháng), sơn P (sau 9 tháng) và sơn X (sau 1 tháng).

- Kết quả nghiên cứu theo cả 3 phương pháp cho quy luật sau: Đối với bê tông nhiễm clorua cao (1,2÷2,4) kg/m<sup>3</sup>, sơn và bê tông cùng tham gia bảo vệ cốt thép, trong đó sơn đóng vai trò quyết định, bê tông hỗ trợ. Sơn E và P có khả năng bảo vệ cốt thép cao, thích hợp cho mọi môi trường vùng biển. Sơn X chỉ sử dụng được trong môi trường vùng biển, nơi bê tông có thể bị nhiễm clorua tới 1,8 kg/m<sup>3</sup>. Bê tông tính năng nâng cao có thể xem xét sử dụng trong điều kiện bê tông nhiễm clorua tới 1,2 kg/m<sup>3</sup>.

- Phương án bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao kiến nghị như sau: Sơn X kết hợp với bê tông tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 hoặc bê tông M500W16Δ30 trong bê tông nhiễm [Cl]<sup>-</sup> =1,2 kg/m<sup>3</sup>: Sơn X kết hợp với bê tông M500W16Δ30 trong bê tông [Cl]<sup>-</sup> =1,8 kg/m<sup>3</sup>: Sơn (P hoặc E hoặc Z) kết hợp với bê tông tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 trong mọi môi trường vùng biển và mức bê tông nhiễm clorua hoặc khi không thể đảm bảo chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép theo TCVN 9346:2012.

Số liệu chương 3 nhận được từ các phương pháp thí nghiệm gia tốc, ngắn hạn có giá trị phát hiện quy luật, so sánh lựa chọn vật liệu và giải pháp bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao tại vùng biển. Kết quả này để đảm bảo tin cậy cần có các kết quả minh chứng và định lượng từ các công trình ứng dụng thực tế.

## **CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ SƠN PHỦ BẢO VỆ CỐT THÉP TRÊN CÔNG TRÌNH THỰC, HIỆU QUẢ KINH TẾ VÀ PHƯƠNG ÁN LỰA CHỌN**

### **4.1 . Hiện trạng ăn mòn cốt thép của công trình trước khi sửa chữa**

Hiện trạng ăn mòn cốt thép tại 11 công trình trước khi sửa chữa là hiện tượng phá hủy kết cấu bê tông cốt thép xuất hiện trước rất nhiều niên hạn sử dụng theo thiết kế. Nguyên nhân chính là do bê tông bị nhiễm clorua nặng do sử dụng cát và nước lợ, chiều dày lớp bê tông bảo vệ và mác bê tông thấp.

### **4.2 . Hiệu quả bảo vệ cốt thép trong bê tông tại các công trình sau sửa chữa**

#### **4.2.1 . Kết quả nghiên cứu**

Trong các năm từ 1989 đến 2007, Viện KHCN Xây dựng đã thực hiện thi công sửa chữa nhiều kết cấu bê tông cốt thép hư hỏng tại vùng biển Việt Nam. Trong đó có 11 công trình đã được khảo sát ở phần 4.1 của Chương này. Giải pháp chính được áp dụng trong công tác sửa chữa kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn là sử dụng sơn phủ bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép kết hợp bê tông có tính năng nâng cao.

### 4.2.1.1 .Thiết kế sửa chữa

Thiết kế sửa chữa kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường biển được dựa trên nguyên tắc bảo vệ cốt thép trong bê tông bằng sơn X hoặc E kết hợp bê tông có tính năng nâng cao.

### 4.2.1.2 . Quy trình thi công

Trình tự cơ bản đã áp dụng trong sửa chữa là: Chống đỡ kết cấu; Loại bỏ phần bê tông xung quanh cốt thép đã bị ăn mòn, tối thiểu (20÷30) mm phía sau cốt thép; Làm sạch cốt thép đã bị gỉ, bổ xung thép mới theo thiết kế sửa chữa; Sơn phủ cốt thép cũ và mới bằng sơn X hoặc sơn E như sơn đã nghiên cứu ở chương 3; Kết nối bê tông cũ và mới bằng sơn xi măng polymer; Phun khô bê tông M300 - M500 hoặc đổ bê tông M400-W12 tạo lớp bê tông bảo vệ mới; Hoàn thiện mặt ngoài bằng vữa M75 hoặc vữa chống thấm (có sử dụng phụ gia siêu dẻo) M200.

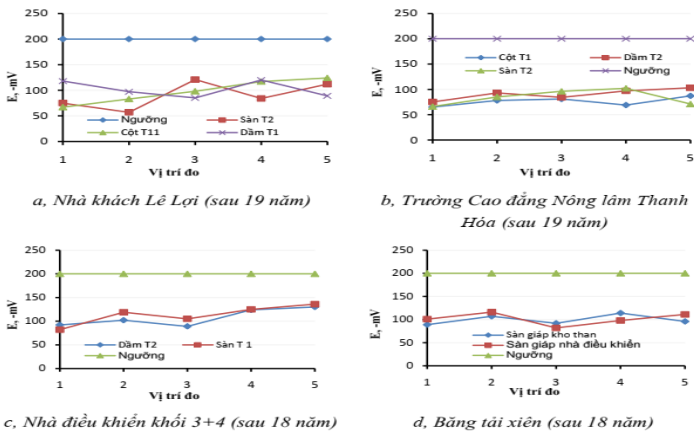
### 4.2.1.3 . Đánh giá hiệu quả bảo vệ cốt thép

Mười một công trình sửa chữa đã được khảo sát đánh giá tình trạng ăn mòn cốt thép thông qua các dấu hiệu quan trắc bên ngoài. Năm công trình trong số đó được khảo sát chi tiết trạng thái ăn mòn cốt thép bằng phương pháp xác định hàm lượng clorua bê tông bị tái nhiễm trong vùng cận cốt thép và đo thế ăn mòn cốt thép trong bê tông (trích hồ cốt thép tiếp xúc điện cực).

Kết quả nghiên cứu, khảo sát đánh giá hiệu quả bảo vệ cốt thép trong 11 công trình sửa chữa thực tế tại vùng biển Việt Nam hiện nay cho thấy các công trình này vẫn làm việc bình thường, chưa thấy dấu hiệu hư hỏng.

### 4.2.1.4 . Điện thế ăn mòn cốt thép

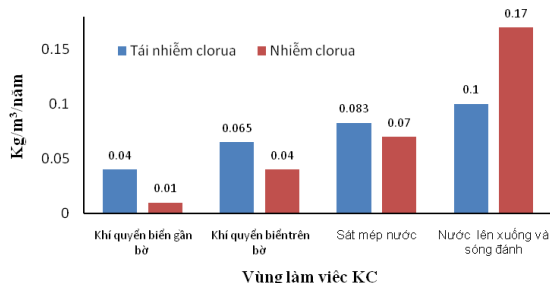
So sánh với thế ăn mòn theo TCVN 9348:2012(-200 mV, xác suất 90%) trên Hình 4.1



**Hình 4.1. Kết quả kiểm tra điện thế ăn mòn một số công trình sau sửa chữa**

### 4.2.1.5 . Tốc độ bê tông sửa chữa tái nhiễm clorua

Tốc độ tái nhiễm clorua của bê tông một số công trình vùng biển Việt Nam, tính bằng kg/m<sup>3</sup> sau 1 năm sau sửa chữa, thể hiện trên Hình 4.2.



**Hình 4.2. Tốc độ nhiễm clorua của bê tông sau sửa chữa so với bê tông thường**

**Bảng 4.1. Dự báo mức bê tông tái nhiễm clorua sau thời gian sửa chữa**

Môi trường	Cách mặt biển, km	Tốc độ nhiễm, kg/m <sup>3</sup> /năm	Dự báo độ tái nhiễm clorua sau sửa chữa		
			25	30	35
Khí quyển gần bờ	1÷30	0,04	1,0	1,2	1,4
Khí quyển trên bờ	0,2÷1	0,065	1,63	1,95	2,28
Sát mặt nước biển	0 ÷0,2	0,083	2,08	2,49	2,91
Nước lên xuống	0	0,1	2,5	3,0	3,5

#### 4.2.2 . Nhận xét và biện luận

##### 4.2.2.1 . Về hiệu quả bảo vệ cốt thép của sơn xi măng polyme và sơn epoxy

Trong 5 công trình đã khảo sát kỹ tình trạng ăn mòn có 4 công trình dùng sơn X có chiều dày trong khoảng (1000÷1500) µm trong môi trường khí quyển cho kết quả sau (18÷19) năm cốt thép trong bê tông vẫn đang được bảo vệ rất tốt. Hiệu điện thế cốt thép đo được còn cách khá xa ngưỡng điện thế cốt thép bắt đầu bị ăn mòn là - 200 mV theo TCVN 9348:2012. Tại thời điểm này, bê tông đã bị nhiễm clorua tới mức như tại nhà khách Lê Lợi (sau 19 năm): (1,43÷1,71) kg/m<sup>3</sup>, trung bình 1,6 kg/m<sup>3</sup>; tại Nhà điều khiển khối 3+4 nhiệt điện Ung Bì (sau 18 năm): (0,93÷1,42) kg/m<sup>3</sup>, trung bình 1,2 kg/m<sup>3</sup>; tại Bể tái xiên nhiệt điện Ung Bì (sau 18 năm): (0,72÷1,66) kg/m<sup>3</sup>, trung bình 1,2 kg/m<sup>3</sup>; trường Cao đẳng Nông- lâm Thanh Hóa (sau 19 năm): (0,69÷0,83) kg/m<sup>3</sup>, trung bình 0,76 kg/m<sup>3</sup> mức mà nếu không có sơn, cốt thép trong bê tông đã có thể bị gỉ và gỉ nặng.

Công trình Nhà khách 21 Đồ Sơn dùng sơn E hai thành phần có chiều dày khoảng (170÷185) µm, công trình trong môi trường rất khắc nghiệt là nước lên xuống và sóng tấp, tuy không có kết quả đo điện thế cốt thép, nhưng cũng chưa thấy dấu hiệu cốt thép bị gỉ, bê tông bảo vệ bị nứt, vỡ. Sau 29 năm sửa chữa đưa vào sử dụng, bê tông bảo vệ cốt thép đã bị tái nhiễm clorua lên tới (2,72÷3,08) kg/m<sup>3</sup>, trung bình 2,9 kg/m<sup>3</sup> là mức mà ở điều kiện không có sơn, cốt thép có thể đã bị gỉ rất nặng.

Từ số liệu Bảng 4.1, đối chiếu với kết quả nghiên cứu khả năng bảo vệ của sơn phủ cốt thép kết hợp bê tông tiêu chuẩn tại Chương 3 rút ra: Môi trường sơn X có thể áp dụng là khí quyển biển gần bờ và trên bờ (clorua ≤ 1,8 kg/m<sup>3</sup>), sơn P, E và Z có thể sử dụng ở các môi trường khác nhau tại vùng biển Việt Nam.

##### 4.2.2.2 .Về thời hạn sử dụng sau sửa chữa

a) *Khí bảo vệ cốt thép bằng sơn xi măng polyme*



Kết quả Bảng 4.1 cho thấy, tại thời điểm 25 năm, với tốc độ nhiễm clorua xác định từ công trình thực, hàm lượng clorua trong bê tông vùng khí quyển gần bờ và trên bờ đạt mức  $(1 \div 1,63) \text{ kg/m}^3$ , nằm trong giới hạn ( $\leq 1,8 \text{ kg/m}^3$ ) mà sơn X đủ hiệu quả bảo vệ cốt thép theo các kết quả thí nghiệm trong phòng; Như vậy, thời hạn sử dụng kết cấu bê tông cốt thép sau sửa chữa theo phương án bảo vệ cốt thép bằng sơn X kết hợp bê tông tính năng nâng cao có thể đạt 25 năm. Mức này thường được yêu cầu đối với kết cấu sửa chữa trong điều kiện ăn mòn (bằng 1/2 thời hạn theo thiết kế mới).

#### *b) Khi bảo vệ cốt thép bằng sơn epoxy*

Kết quả nghiên cứu ở Chương 3 cho thấy sơn E rất bền vững trong môi trường muối clorua. Khả năng bảo vệ cốt thép của sơn E ít phụ thuộc vào mức nhiễm mặn của bê tông trong phạm vi nghiên cứu  $1,2$  tới  $2,4 \text{ kg/m}^3$ . Tại công trình Nhà khách 21 Đồ Sơn, nơi lượng clorua trong bê tông đạt  $3,08 \text{ kg/m}^3$  nhưng công trình hoàn toàn không có dấu hiệu hư hỏng do ăn mòn cốt thép.

Sơn E phải đáp ứng tiêu chuẩn chất lượng TCVN 9014:2011, theo đó, sơn phải trải qua thí nghiệm mù muối theo TCVN 8792:2011, là khắc nghiệt hơn nhiều so với nồng độ clorua  $(3,5/2400) \times 100 = 0,14\%$  trong bê tông sau 35 năm.

Các số liệu trên cho thấy, thời hạn bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao bằng sơn epoxy kết hợp bê tông chất lượng tiêu chuẩn có thể đạt 35 năm ở môi trường nước lên xuống và có thể cao hơn ở môi trường khí quyển biển.

#### **4.2.2.3 . Về minh chứng cho kết quả nghiên cứu trong phòng**

- Sơn E có hiệu quả bảo vệ cốt thép trong môi trường nước biển lên xuống và sóng tấp với hàm lượng clorua trong bê tông tới  $3,08 \text{ kg/m}^3$ , vượt mức clorua  $2,4 \text{ kg/m}^3$  trong bê tông theo số liệu thí nghiệm trong phòng, trong đó, sơn E có hiệu quả bảo vệ cốt thép rất cao, chiếm  $(85 \div 92)\%$  trong hiệu quả bảo vệ tổng hợp của cả sơn và bê tông;

- Sơn X có hiệu quả bảo vệ cốt thép trong môi trường khí quyển biển gần bờ và trên bờ với hàm lượng clorua trong bê tông sau 25 năm  $(1 \div 1,63) \text{ kg/m}^3$ , nằm trong giới hạn hiệu quả bảo vệ cốt thép của sơn này theo thí nghiệm trong phòng là  $1,8 \text{ kg/m}^3$ .

Các kết quả nghiên cứu trong phòng và trên công trình thực cho phép xây dựng phương án bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao vùng biển và đánh giá hiệu quả kinh tế của các phương án này.

### **4.3 . Xây dựng phương án bảo vệ cốt thép trong bê tông vùng biển Việt Nam**

#### **4.3.1 .Cơ sở xây dựng phương án**

Phương án bảo vệ cốt thép xây dựng trên các cơ sở sau: (i) Tiêu chuẩn SP 349.1325800.2017 [37]; (ii) Tiêu chuẩn TCVN 12251:2000 [4] và (iii) Kết quả nghiên cứu trong phòng theo các phương pháp thí nghiệm gia tốc và hiệu quả bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trên các công trình thực xây dựng 20 – 32 năm trở lại đây.

#### **4.3.2 . Lập phương án kỹ thuật**

##### **4.3.2.1 . Phương án trong môi trường khí quyển biển**

- Nhóm A: Kết cấu sửa chữa, khí quyển gần bờ ( $1 \div 30 \text{ km}$ ): A1. W16M500Δ30-X; A2. W12M400Δ50 -X; A3. W12M400Δ30 - P và A4. W10M300Δ30 - E;

- Nhóm B: Kết cấu mới, khí quyển gần bờ: B1. W16M500Δ15-P; B2. W12M400Δ15-E;

- Nhóm C: Kết cấu sửa chữa, khí quyển trên bờ (0,2÷1 km): C1. W16M500Δ50-X; C2. W12M400Δ40- P; C3. W12M400Δ30 - E

- Nhóm D: Kết cấu mới (giảm Δ), khí quyển trên bờ: D1. W16M500Δ20 - P; D2. W12M400Δ20 – E.

#### 4.3.2.2 . Phương án trong môi trường nước thay đổi – sóng tác

- Nhóm E: Kết cấu sửa chữa: E1. W12M400Δ70 – P; E2. W12M400Δ60 – E

- Nhóm F: Kết cấu mới (giảm Δ): F1. W16M500Δ40 - P; F2. W12M400Δ40 - E

### 4.4 . Hiệu quả kinh tế và phương án đề xuất áp dụng

#### 4.4.1 . Hiệu quả kinh tế

##### 4.4.1.1 . Kết quả tính toán

Hiệu quả kinh tế khi sử dụng các biện pháp bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trong bê tông cột BTCT có tiết diện 600x600 mm, cao 5m, thép được bố trí 12 thanh Φ32. BT có chiều dày bảo vệ 30 mm. Các phương án kỹ thuật như nêu tại 4.3. So sánh hiệu quả kinh tế giữa các phương án trên Bảng 4.2.

**Bảng 4.2. So sánh hiệu quả kinh tế giữa các phương án**

Kết cấu	Môi trường	Hiệu quả của phương án, ng.đ/tỷ lệ so với epoxy		
		Epoxy	Polyurethane	Xi măng polyme
Sửa chữa	Khí quyển gần bờ	724/1,0	714/0,99	1385/1,91
	Khí quyển trên bờ	755/1,0	811/1,07	1685/2,23
	Nước lên xuống	1170/1,0	1300/1,11	-
Làm mới, giảm Δ 15-20 mm	Khí quyển gần bờ	1876/1,0	2008/1,07	-
	Khí quyển trên bờ	1944/1,0	2083/1,07	-
	Nước lên xuống	2209/1,0	2374/1,07	-

##### 4.4.1.2 . Nhận xét và biện luận

Phương án bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao vùng biển bằng sơn E có giá thành hợp lý hơn cả, tiếp đó là sơn P cao hơn E 7%, cuối cùng là X cao hơn 20%. Điều này được giải thích bởi khả năng bảo vệ cốt thép của sơn E cao hơn so với sơn P và sơn X.

Sơn X tuy giá thành vật liệu cao hơn, nhưng tiện dụng hơn, có thể vừa sơn bảo vệ cốt thép, vừa làm sơn kết nối bê tông cũ và mới.

#### 4.4.2 Phương án đề xuất áp dụng

a) Trong môi trường khí quyển biển gần bờ (1÷30 km cách biển)

- Kết cấu sửa chữa: M300W10Δ30-E (35 năm); M500W16Δ30-X (25 năm);

- Kết cấu mới (giảm Δ15 mm): M400W12Δ15-E; M500WW16Δ15-P.

b) Trong môi trường khí quyển trên bờ (0÷1 km cách biển)

- Kết cấu sửa chữa: M400W12Δ30-E (35 năm); M500W16Δ50-X (25 năm);

- Kết cấu mới (giảm Δ15 mm): M400W12Δ20-E; M500W16Δ20-P.

c) Trong môi trường nước lên xuống

- Kết cấu sửa chữa: M400W12Δ60-E (35 năm);

- Kết cấu mới (giảm Δ20-30 mm): M400W12Δ40-E; M500W16Δ40-P.

Thời hạn bảo vệ cốt thép bằng sơn E và sơn X nêu trên đã được kiểm chứng thực tế đối với kết cấu sửa chữa.

#### 4.5 . Kết luận chương 4

Từ kết quả nghiên cứu về hiệu quả bảo vệ cốt thép bằng sơn trên công trình thực sau (14÷32) năm sửa chữa, đối chiếu với kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm có thể rút ra các kết luận sau:

1. Độ tái nhiễm mặn của bê tông sửa chữa trong môi trường khí quyển biển gần bờ - trên bờ - sát mép nước đạt trung bình 0,04 – 0,065 – 0,083 kg/m<sup>3</sup>/năm (cao hơn giá trị tương ứng 0,01 – 0,03 – 0,07 kg/m<sup>3</sup>/năm của bê tông thông thường [12]), riêng trong môi trường nước lên xuống đạt 0,1 kg/m<sup>3</sup>/năm (thấp hơn 0,17 kg/m<sup>3</sup>/năm của bê tông thông thường [12]).

2. Kết cấu bê tông cốt thép của 6 công trình làm việc trong môi trường khí quyển biển dùng sơn X kết hợp bê tông tính năng nâng cao (W tăng 3 mức hoặc W tăng một mức và Δ tăng 20 mm so với bê tông tiêu chuẩn) sau (18÷24) năm sửa chữa chưa có dấu hiệu bắt đầu bị hư hỏng. Kết cấu bê tông cốt thép sửa chữa của 1 công trình làm việc trong môi trường nước lên xuống và 3 công trình trong môi trường khí quyển biển dùng sơn E kết hợp bê tông tiêu chuẩn sau (26÷32) năm chưa có dấu hiệu bắt đầu bị hư hỏng;

3. Giá thành vật liệu bảo vệ cốt thép trong bê tông sửa chữa lẫn bê tông làm mới (theo tính toán) khi giảm chiều dày bảo vệ cốt thép xếp theo thứ tự: Sơn E hai thành phần, sơn P (tăng 7% so với sơn E), sơn X (tăng 20% so với sơn E). Sơn E có hiệu quả bảo vệ cốt thép vượt trội so với sơn X cả về thời hạn bảo vệ lẫn môi trường sử dụng.

4. Phương án bảo vệ cốt thép trong bê tông sửa chữa và xây mới (khi giảm 10÷20 mm chiều dày bảo vệ tùy vị trí kết cấu) như sau: Ưu tiên sử dụng sơn E kết hợp bê tông chất lượng tiêu chuẩn cho mọi môi trường vùng biển, riêng trong môi trường khí quyển biển có thể sử dụng sơn X kết hợp bê tông tính năng nâng cao (W, Δ hoặc cả hai cao hơn so với bê tông tiêu chuẩn).

### KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

#### A. KẾT LUẬN

Dựa trên các kết quả nghiên cứu trong luận án, có thể đưa ra một số kết luận chính như sau:

1. Đối với bê tông bị nhiễm hoặc có tiềm năng nhiễm clorua cao trên 1,2 kg/m<sup>3</sup> (như kết cấu sửa chữa hoặc kết cấu không thể thiết kế với chiều dày phù hợp tiêu chuẩn), khi mà khả năng bảo vệ màng thụ động cốt thép của bê tông bị giảm mạnh, thì cần phải có biện pháp hữu hiệu để bảo vệ cốt thép. Một trong số đó là sơn phủ cốt thép kết hợp bê tông bảo vệ tính năng thích hợp, trong đó, sơn phủ có tác dụng ngăn chặn tác nhân ăn mòn tiếp cận cốt thép đóng vai trò bảo vệ chính, bê tông nhiễm clorua cao đóng vai trò bảo vệ hỗ trợ.

2. Nghiên cứu thí nghiệm trong phòng bằng cả 3 phương pháp khô ẩm gia tốc, NT Build 356 và dòng Tafel trên mẫu phơi nhiễm trực tiếp tại vùng biển đều cho kết quả: Khi bê tông bị nhiễm clorua cao [Cl<sup>-</sup>]= 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m<sup>3</sup>, khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông bị giảm đáng kể, tương ứng chỉ còn (71÷80); (57÷60) và (29÷40)% so với bê tông tiêu chuẩn có [Cl<sup>-</sup>]= 0,6 kg/m<sup>3</sup>. Để bê tông có khả năng bảo vệ cốt thép tương đương bê tông tiêu chuẩn: khi bê tông có hàm lượng [Cl<sup>-</sup>]=1,2 kg/m<sup>3</sup> – cần nâng mức chống thấm nước của bê tông W từ 10 lên 12 hoặc chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép Δ từ 30 lên 50 mm; khi bê tông có [Cl<sup>-</sup>] = 1,8 kg/m<sup>3</sup> – cần nâng W từ 10 lên 16

hoặc  $\Delta$  từ 30 lên 70 mm; còn khi có  $[Cl^-] = 2,4 \text{ kg/m}^3$  – nâng cả hai từ W10 $\Delta$ 30 lên W16 $\Delta$ 50 hoặc W12 $\Delta$ 70. Tuy nhiên, phương án này tiềm ẩn nhiều rủi ro về kỹ thuật và giá thành cao nên không hiệu quả.

3. Trong số 4 loại sơn đã nghiên cứu thí nghiệm theo phương pháp gia tốc ở cùng điều kiện về (W,  $\Delta$ ,  $[Cl^-]$ ), khả năng bảo vệ cốt thép của sơn epoxy và epoxy giàu kẽm (ký hiệu E, Z, dày  $175 \pm 18 \text{ }\mu\text{m}$ ) cao nhất, đạt hơn 1,3 lần so với sơn polyurethane (P, dày  $150 \pm 15 \text{ }\mu\text{m}$ ), 4 lần so với sơn xi măng polyme (X, dày  $1500 \pm 150 \text{ }\mu\text{m}$ ) và (3,2÷8) lần so với bê tông tùy mức nhiễm clorua. Xét khả năng bảo vệ cốt thép của cả hệ sơn và bê tông nhiễm clorua trong phạm vi từ 1,2 đến  $2,4 \text{ kg/m}^3$ , sơn E-Z, P và X bảo vệ cốt thép ổn định, ít phụ thuộc mức nhiễm mặn của bê tông và chiếm tỷ trọng bảo vệ tương ứng (85÷92); (82÷90) và (45÷50)%, trong khi đó, tùy mức nhiễm clorua, bê tông chỉ đóng góp (15÷8); (18÷10) và (53÷50)%. Để bảo vệ hiệu quả cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao, sơn cần đóng vai trò bảo vệ chính, bê tông bảo vệ hỗ trợ. Giải pháp bảo vệ cốt thép hợp lý trong bê tông nhiễm mặn cho các môi trường vùng biển là sơn E (hoặc Z, P) kết hợp bê tông tiêu chuẩn TCVN 9346:2012. Giải pháp có thể xem xét áp dụng cho môi trường khí quyển biển có mức ăn mòn thấp hơn (clorua tới  $1,8 \text{ kg/m}^3$ ) là dùng sơn X kết hợp với bê tông bảo vệ tính năng nâng cao (W,  $\Delta$  hoặc cả hai cao hơn so với bê tông tiêu chuẩn).

4. Kết quả nghiên cứu trên 11 công trình ứng dụng sơn phủ bảo vệ cốt thép cho thấy, mức tái nhiễm clorua của bê tông sửa chữa đạt giá trị 0,04; 0,065; 0,083 và  $0,1 \text{ kg/m}^3$ . năm, tương ứng trong các môi trường khí quyển biển gần bờ (1÷30 km cách biển), khí quyển biển trên bờ (0,2÷1 km cách biển), sát mặt nước biển và nước lên xuống. Kết cấu sửa chữa làm việc trong các môi trường nước lên xuống – sóng tấp và khí quyển biển với cốt thép được bảo vệ bằng sơn E kết hợp bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 sau (26÷32) năm chưa có dấu hiệu bị hư hỏng. Kết cấu sửa chữa trong môi trường khí quyển biển với cốt thép được bảo vệ bằng sơn X kết hợp bê tông tính năng nâng cao (nâng W,  $\Delta$  hoặc cả hai cao hơn so với bê tông TCVN 9346:2012) sau (18÷24) năm chưa có dấu hiệu bị hư hỏng.

5. Giải pháp thiết kế bảo vệ cốt thép cho kết cấu bê tông cốt thép vùng biển, xét trên hiệu quả kinh tế và kỹ thuật, kiến nghị như sau:

- Đối với kết cấu sửa chữa: Dùng sơn E kết hợp bê tông theo TCVN 9346:2012 cho môi trường nước lên xuống – sóng tấp và khí quyển biển, thời hạn sử dụng kết cấu theo thiết kế có thể dự tính là 35 năm. Sơn X kết hợp bê tông tính năng nâng cao (W,  $\Delta$  cao hơn tiêu chuẩn) có thể xem xét áp dụng cho môi trường khí quyển biển với thời hạn sử dụng theo thiết kế có thể dự tính là 25 năm.

- Đối với kết cấu mới có chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép giảm ( $10 \div 20$ ) mm tại vùng khí quyển biển và ( $20 \div 30$ ) mm trong vùng nước lên xuống so với bê tông TCVN 9346:2012, có thể xem xét áp dụng sơn E, Z hoặc P kết hợp bê tông chất lượng tiêu chuẩn hoặc nâng cao.

## **B. KIẾN NGHỊ**

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu đã đạt được, luận án đề xuất một số kiến nghị sau:

1. Cải tiến, nâng cao khả năng ngăn chặn tác nhân ăn mòn của sơn X.

2. Tiến hành ứng dụng biện pháp bảo vệ cốt thép bằng sơn E kết hợp bê tông tiêu chuẩn cho một số cấu kiện khó thiết kế chiều dày bê tông bảo vệ như TCVN 9346:2012 làm việc trong môi trường sát mặt biển, nước lên xuống.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Tuấn Anh (2015), "*Nghiên cứu ứng dụng công nghệ, vật liệu nano và các chất ức chế thân thiện với môi trường để bảo vệ chống ăn mòn cho bê tông cốt thép làm việc trong điều kiện khí hậu nhiệt đới Việt Nam*", Báo cáo tổng kết đề tài nghị định thư, mã số 47/2012/HĐ-NĐT, Viện Hàn lâm Khoa học Việt Nam.
2. Lê Văn Thụ và Ctv (2017), "*Lớp phủ hữu cơ*", Nhà xuất bản KHTN và Công nghệ, Hà Nội.
3. Nguyễn Tuấn Anh và ctv (2016), "*Ăn mòn và bảo vệ bê tông cốt thép*", NXB KHTN & CN.
4. TCVN 12251: 2020, "*Bảo vệ chống ăn mòn cho kết cấu xây dựng*".
5. Lê Quang Hùng (11/1995), "*Báo cáo khảo sát, đánh giá nguyên nhân hư hỏng và biện pháp sửa chữa công trình K67- bệnh viện chống lao tỉnh Quảng Ninh*", Viện KHCNXD.
6. Lê Việt Hùng (6/2017), "*Nghiên cứu lựa chọn chất kết dính và phụ gia cho chế tạo bê tông cốt gia cường sử dụng cát biển, nước biển*", Viện Vật liệu xây dựng.
7. Phạm Văn Khoan (1996), "*Báo cáo khảo sát, đánh giá nguyên nhân hư hỏng và kiến nghị biện pháp sửa chữa công trình nhà ở khu tập thể gốc bang mỏ than Cao Sơn Cẩm Phả- Quảng Ninh*", Viện KHCNXD, Hà Nội.
8. 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.
9. TCVN 9346: 2012, "*Kết cấu bê tông, bê tông cốt thép - Yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường biển*".
10. TCVN 5574:2018, "*Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*".
11. TCVN 4453:1995, "*Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối - quy phạm thi công và nghiệm thu*".
12. Cao Duy Tiến (11/2003), "*Báo cáo tổng kết dự án KT-KT Chống ăn mòn và bảo vệ các công trình bê tông và bê tông cốt thép vùng biển*", Viện KHCN Xây dựng.
13. EN 1504- 9, "*Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity - Part 9: General principles for the use of products and system*'s.
14. ACI 222R-01, "*Protection of Metals in Concrete Against Corrosion*".
15. ГОСТ 31384-2017 "*ЗАЩИТА БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ КОРРОЗИИ- Общие технические требования*".
16. ASTM A775/A775M-01, "*Standard Specification for Epoxy-Coated Reinforcing Steel Bars*".
17. ASTM A934/A934M-01, "*Standard Specification for Epoxy-Coated Prefabricated Steel Reinforcing Bars*".
18. AASHTO M 284/M 284M, "*Standard Specification for Epoxy-Coated Reinforcing Bars*".
19. ACI 222R-01, "*Protection of Metals in Concrete Against Corrosion*".

20. Yamaji T. Akira Y, Kobayashi H., Hamada H (2012), "*Long-term durability of concrete mixed with seawater in tidal zone, Proceedings of the Japan Concrete Institute*", pp.820-825.
21. GB 50212-2002, "*Building construction and acceptance of anticorrosion*".
22. ACI 318-19, "*Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete*".
23. Rick A EMert (1991), "*Durable reinforced concrete can be made with coral aggregates and seawater, Coral Concrete at Bikini Atoll*".
24. Japan Society of Civil Engineers (March, 2018), "*Guidelines for structural intervention of existing concrete structures using cement-based materials*".
25. T. et. al Fukute (1990), "*Study on the durability of concrete mixed with seawater, Report of the port and harbour research institute*", Ministry of transport.
26. Nobufumi Takeda, Keisaburo Kanato, Yoshikazu Ishizeki and Keishiro Iriia (8/2013), "*Properties and Application of Concrete Made with Sea Water and Unwashed Sea Sand*", Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Kyoto Research Park, Kyoto, Japan.
27. K. Imamoto, M. Kusinoki, T. Noguchi, T. Fuknyama, and K. Shimozawa (2013), "*Deterioration of concrete structures in Gunkan Island, Rehabilitation and Restoraion of Structure*", Proceedings of the Mermiiioiml Conference held at DTT Madras, Cheonai, India, pp.583-594.
28. N. et. al Otsuki (2011), "*Possibility of sea water as mixing water in concrete*", 36th Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore.
29. ACI 224R-01, "*Control of Cracking in Concrete Structures*".
30. ACI 357R, "*Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures*".
31. AS 3600: 2018, "*Concrete structures*".
32. "*Technical committee report on the use of seawater in concrete, JCI*" (9/2015).
33. Tuan Anh Nguyen, The Huu Nguyen (2018), "*Protection of Steel Rebar in Salt-Contaminated Cement Mortar Using Epoxy Nanocomposite Coatings*", International Journal of Electrochemistry.
34. Tsuyoshi Saito, Yasuhiro Dan (1963), "*Examples of Portland Blast Furnace Slag Cement Construction*", (I Civil Engineering, Contact with water structures) Yahama Chemical Co., Technical Documents.
35. Yamaji T. Yonamine K., Kobayashi H., Akira Y (2013), "*Corrosion situation of steel bars in concrete under different tidal zone, Proceedings of the Concrete Structures Scenarios*", pp.77-82.
36. Hidemi Shiga Yoshitaka Akui (1984), "*Gunkanjima Field Measurement Book*", Tokyo Denki University Press.
37. SP 349.1325800.2017, "*Конструкции бетонные и железобетонные. Правила ремонта и усиления*".

