

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

-----***-----

PHAN VĂN CHƯỜNG

**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

CHUYÊN NGÀNH KỸ THUẬT VẬT LIỆU

Mã số: 9520309

HÀ NỘI – 2022

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 BIỂN VIỆT NAM**

CHUYÊN NGÀNH KỸ THUẬT VẬT LIỆU

Mã số: 9520309

LUẬN ÁN TIẾN SĨ

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

TS. Phạm Văn Khoan – Viện KHCN Xây dựng

TS. Nguyễn Nam Thắng – Viện KHCN Xây dựng



HÀ NỘI – 2022

LỜI CAM ĐOAN

Tôi tên là: **Phan Văn Chương**

Tôi xin cam đoan luận án tiến sĩ “**Nghiên cứu ứng dụng sơn phủ bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trong bê tông vùng biển Việt Nam**” là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các kết quả nghiên cứu trong luận án là trung thực và chưa được công bố trong bất kỳ công trình khoa học nào khác.

Hà Nội, ngày 04 tháng 01 năm 2022

Người cam đoan



Phan Văn Chương

LỜI CẢM ƠN

Luận án Tiến sĩ kỹ thuật chuyên ngành kỹ thuật vật liệu với đề tài “Nghiên cứu ứng dụng sơn phủ bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trong bê tông vùng biển Việt Nam” được hoàn thành tại Viện Chuyên ngành bê tông- Viện Khoa học công nghệ xây dựng với sự hướng dẫn của **TS. Phạm Văn Khoan** và **TS. Nguyễn Nam Thắng**. Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành và sâu sắc nhất tới hai thầy hướng dẫn đã tận tình truyền đạt cho tôi nhiều kiến thức quý báu để tôi thực hiện luận án này.

Tôi xin chân thành cảm ơn Lãnh đạo Trung tâm Tư vấn chống ăn mòn và xây dựng đã tạo điều kiện cho tôi có thời gian để học tập, nghiên cứu trong suốt thời gian làm nghiên cứu sinh. Cảm ơn Viện Chuyên ngành bê tông, phòng Tổ chức hành chính– Viện KHCN xây dựng; Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hóa học- Viện Hàn lâm khoa học và công nghệ Việt Nam, các nhà khoa học, các chuyên gia đã giúp tôi trong suốt quá trình làm luận án tiến sĩ. Nhân dịp này, tôi cũng xin bày tỏ sự biết ơn tới bạn bè và gia đình đã đóng góp cho sự thành công của luận án.

Luận án không tránh khỏi những sai sót, rất mong tiếp tục nhận được sự góp ý của các chuyên gia, các nhà khoa học, bạn bè và đồng nghiệp.

Hà Nội, ngày 04 tháng 01 năm 2022

Tác giả luận án



Phan Văn Chương

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU BẢO VỆ CỐT THÉP TRONG BÊ TÔNG NHIỄM CLORUA CAO TẠI VÙNG BIỂN	6
1.1 .Tình hình nghiên cứu trên thế giới	6
1.1.1 . Một số kết quả nghiên cứu	6
1.1.2 . Một số công trình BTCT nhiễm clorua cao.....	11
1.2 . Tình hình nghiên cứu tại Việt Nam.....	15
1.2.1 . Một số kết quả nghiên cứu	15
1.2.2 . Một số công trình BTCT nhiễm clorua cao.....	18
1.3 . Ứng dụng sơn phủ bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép	20
1.4 . Cơ chế ăn mòn và khả năng bảo vệ cốt thép trong BT vùng biển.....	26
1.5 . Các biện pháp bảo vệ cốt thép trong bê tông	31
1.5.1 . Biện pháp nâng cao chất lượng bê tông bảo vệ.....	32
1.5.2 . Biện pháp sơn phủ cốt thép	35
1.6 . Cơ sở khoa học của đề tài.....	37
1.6.1 . Giả thuyết khoa học.....	37
1.6.2 . Nguyên tắc bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao	38
1.6.3 . Chọn loại sơn.....	39
1.6.4 . Bê tông bảo vệ	42
1.6.5 . Phương pháp trong phòng – hiện trường.....	42
1.7 . Mục tiêu và nhiệm vụ nghiên cứu	42
1.7.1 . Mục tiêu luận án	42
1.7.2 . Nhiệm vụ nghiên cứu của luận án	43
CHƯƠNG 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM	44
2.1 . Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu	44
2.1.1 . Chất kết dính.....	44
2.1.2 . Cốt liệu nhỏ	44
2.1.3 . Cốt liệu lớn	46

2.1.4 . Nước trộn BT.....	47
2.1.5 . Phụ gia hóa học	48
2.1.6 . Cốt thép.....	48
2.1.7 . Sơn dùng cho nghiên cứu	48
2.1.8 . Một số tính chất kỹ thuật với sơn phủ cốt thép	51
2.1.9 . Chế tạo các mẫu sơn cốt thép trước khi đổ BT	54
2.2 .Phương pháp nghiên cứu	54
2.2.1 . Thí nghiệm các chỉ tiêu cơ, lý, hóa của vật liệu theo các tiêu chuẩn hiện hành	55
2.2.2 . Các phương pháp điện hóa	57
2.2.3 . Thí nghiệm khả năng bảo vệ chống ăn mòn cốt thép bằng phương pháp phơi mẫu tại vùng biển	65
2.2.4 . Thí nghiệm ảnh hưởng của sơn phủ đến cường độ bám dính giữa cốt thép và BT .	66
CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU THÍ NGHIỆM TRONG PHÒNG KHẢ NĂNG BẢO VỆ CỐT THÉP TRONG BÊ TÔNG NHIỆM CLORUA CAO.....	68
3.1 . Nghiên cứu khả năng bảo vệ cốt thép bằng bê tông tính năng nâng cao	68
3.1.1 . Kết quả thí nghiệm theo NTBuild 356	68
3.1.2 . Nhận xét và biện luận kết quả nghiên cứu	73
3.2 . Nghiên cứu khả năng bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ	74
3.2.1 . Lựa chọn chiều dày màng sơn cốt thép	74
3.2.2 . Ảnh hưởng của sơn phủ đến cường độ bám dính giữa cốt thép và bê tông	79
3.2.3 . Khả năng bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ theo phương pháp khô ẩm gia tốc	81
3.2.4 . Khả năng bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ theo phương pháp gia tốc NT Build 356..	85
3.2.5 . Khả năng bảo vệ cốt thép theo phương pháp phơi mẫu tại vùng biển	90
3.3 . Khả năng bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ kết hợp bê tông tính năng nâng cao	94
3.4 . Kết luận chương 3	95
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.....	98
4.1 . Hiện trạng ăn mòn cốt thép của công trình trước khi sửa chữa.....	98
4.2 . Hiệu quả bảo vệ cốt thép trong bê tông tại các công trình sau sửa chữa	103

4.2.1 . Kết quả nghiên cứu.....	103
4.2.2 . Nhận xét và biện luận	113
4.3 . Xây dựng phương án bảo vệ cốt thép trong bê tông vùng biển Việt Nam.....	115
4.3.1 . Cơ sở xây dựng phương án.....	115
4.3.2 . Lập phương án kỹ thuật.....	117
4.4 . Hiệu quả kinh tế và phương án đề xuất áp dụng	118
4.4.1 . Hiệu quả kinh tế.....	118
4.4.2 . Phương án đề xuất áp dụng	121
4.5 . Kết luận chương 4	122
A. KẾT LUẬN	124

TÀI LIỆU THAM KHẢO

PHỤ LỤC LUẬN ÁN

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Ăn mòn cốt thép theo thời gian với chiều dày BT bảo vệ khác nhau [84].....	6
Hình 1.2. Vết lõm và độ sâu ăn mòn ở vị trí chiều dày lớp BT bảo vệ 2 cm sau 15 năm phơi mẫu trong vùng thủy triều [104]	8
Hình 1.3. Kết quả chụp SEM mẫu BT [79].....	9
Hình 1.4. Kết quả kiểm tra ăn mòn cốt thép ở điều kiện chung áp [79]	9
Hình 1.5. Ngọn hải đăng Uku Nagasakibana[115]	11
Hình 1.6. Công trình trên đảo Gimkanjima [82]	12
Hình 1.7. Công trình bờ kè đảo Gunkanjima [117].....	13
Hình 1.8. Công trình Ngọn hải đăng Huntington và đền Murudeshwara [90].....	14
Hình 1.9. Cấu tạo mẫu vữa cốt thép nhiễm mặn	16
Hình 1.10. Cốt thép sau khi được phá bỏ BT [3]	18
Hình 1.11. Tổng thể về các chân trụ và cửa bê tông ở vịnh Yaquina	21
Hình 1.12. Dầm bê tông gắn liền với chân trụ và ở giữa hình	21
Hình 1.13. Mẫu thí nghiệm cốt thép sơn epoxy / PANI-CSA [92].....	22
Hình 1.14. Mẫu BTCT và thí nghiệm gia tốc [77].....	23
Hình 1.15. Ion clorua phá hủy lớp màng thụ động trên bề mặt thép[61]	28
Hình 1.16. Thê tích tương đối của gi và các ô xýt và Hydroxyt [61].....	28
Hình 1.17. Sơ đồ mô tả quá trình ăn mòn phá hủy kết cấu BTCT [108]	29
Hình 1.18. Sơ đồ mô tả quá trình cốt thép bị ăn mòn điểm[108].....	30
Hình 1.19. Môi trường quan giữa nồng độ Cl ⁻ gây gi và các yếu tố ảnh hưởng [41].....	31
Hình 1.20. Mức độ khuếch tán oxy qua BT có độ đặc chắc và chiều dày khác nhau [41].....	34
Hình 1.21. Cốt thép trong BT được bảo vệ chống ăn mòn khi sơn phủ.....	36
Hình 2.1. Biểu đồ thành phần hạt của cát nhiễm mặn Nha Trang.....	46
Hình 2.2. Biểu đồ thành phần hạt của đá dăm Hòa Bình	47
Hình 2.3. Đo độ bền uốn màng sơn và kiểm tra trên kính núp	53
Hình 2.4. Sơ đồ nghiên cứu trong luận án.....	55

Hình 2.5. Sơ đồ và mẫu thí nghiệm theo phương pháp gia tốc dòng điện ngoài	58
Hình 2.6. Đường cong phân cực $\Delta E - f(i)$	61
Hình 2.7. Đường cong phân cực của kim loại Me (ví dụ thép) trong môi trường axit (ví dụ HCl)	62
Hình 2.8. Mẫu và điện cực làm việc	64
Hình 2.9. Sơ đồ đo và mẫu bê tông ngâm chu kỳ khô ẩm gia tốc	65
Hình 2.10. Mẫu BT và quá trình thí nghiệm	67
Hình 3.1. Khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông W10(M300)[Cl ⁻] 0,6 (đối chứng) và bê tông [Cl ⁻] = 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m ³	68
Hình 3.2. Khả năng bảo vệ cốt thép của BT khi nâng cao mức chống thấm	69
Hình 3.3. Khả năng bảo vệ cốt thép của BT khi nâng cao chiều dày BT bảo vệ	71
Hình 3.4. Khả năng bảo vệ CT khi tăng chiều dày BT và nâng độ chống thấm nước ..	72
Hình 3.5. Ảnh hưởng của hàm lượng clorua tới khả năng bảo vệ CT trong BT	73
Hình 3.6. Kiểm tra chiều dày màng sơn trên nền thép	74
Hình 3.7. Đo thể mạch hở của màng sơn	75
Hình 3.8. Biến thiên thể mạch hở theo thời gian của sơn E, Z, P, X trong dung dịch 3% NaCl	76
Hình 3.9. Ảnh SEM các lớp sơn đo thể mạch hở	78
Hình 3.10. Ảnh hưởng của sơn phủ cốt thép tới cường độ bám dính giữa cốt thép và BT theo thời gian	80
Hình 3.11. Chụp SEM bề mặt màng sơn: a- E, b- P, c- X, d- Z	80
Hình 3.12. Ảnh hưởng sơn phủ CT trong BT [Cl ⁻] =(0,6÷2,4) kg/m ³ đến i_{corr} theo thời gian	81
Hình 3.13. Ảnh hưởng của sơn phủ cốt thép đến thời gian thụ động của cốt thép	82
Hình 3.14. Khả năng bảo vệ cốt thép trong bê tông clorua cao bằng các loại sơn	86
Hình 3.15. Khả năng bảo vệ cốt thép trong bê tông bằng các loại sơn E, Z, P, X	88
Hình 3.16. Ảnh chụp SEM hiện trạng gỉ dưới lớp sơn	89
Hình 3.17. Mẫu BTCT đặt thử nghiệm chân Cảng Tân Sơn	91

Hình 3.18. Kiểm tra mức độ ăn mòn cốt thép mẫu BTCT nhóm 1, 2, 3 và 4 bằng phương pháp hiệu điện thế trên máy CORMAP	92
Hình 3.19. Đo i_{corr} các mẫu thử nghiệm trong vùng biển	93
Hình 4.1. Hiện trạng hư hỏng nhà khách Lê Lợi.....	100
Hình 4.2. Hiện trạng hư hỏng trường Trung cấp Nông- lâm Thanh Hóa.....	100
Hình 4.3. Hiện trạng hư hỏng Nhà điều khiển khối 3 +4 và Băng tải xiên.....	101
Hình 4.4. Hiện trạng hư hỏng trường PTTH Đào Duy Từ	102
Hình 4.5. Hiện trạng hư hỏng nhà máy xi măng Hà Tiên II	103
Hình 4.6. Thiết kế gia cố, sửa chữa chống ăn mòn cho kết cấu cột, dầm	104
Hình 4.7. Thiết kế gia cố, sửa chữa chống ăn mòn cho kết cấu tường.....	104
Hình 4.8. Thiết kế gia cố, sửa chữa chống ăn mòn cho kết cấu sàn.....	104
Hình 4.9. Nhà khách Lê Lợi sau gần 20 năm sửa chữa.....	107
Hình 4.10. Trường cao đẳng nông lâm Thanh Hóa sau gần 20 năm sửa chữa	108
Hình 4.11. Hiện trạng Nhà điều khiển khối đợt 3+4 và băng tải xiên nhà máy nhiệt điện Uông Bí sau gần 20 năm sửa chữa	109
Hình 4.12. Hiện trạng khảo sát Nhà khách 21 Đồ Sơn sau gần 30 năm sửa chữa	109
Hình 4.13. Kết quả kiểm tra điện thế ăn mòn một số công trình sau sửa chữa.....	111
Hình 4.14. Tốc độ nhiễm clorua của bê tông sau sửa chữa so với bê tông thường.....	113
Hình 4.15. Bê tông trước (hình a) và sau khi sửa chữa (hình b) [120]	116

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1.1. Thành phần hóa học của nước biển sử dụng trong nghiên cứu [104].....	7
Bảng 1.2. Thành phần hóa học nước biển nhân tạo sử dụng trong nghiên cứu [102]	8
Bảng 1.3. Tính chất cơ lý của sơn epoxy và epoxy biến tính [25]	24
Bảng 1.4. Cường độ bám dính kết giữa bê tông và cốt thép [25].....	24
Bảng 1.5. Tốc độ ăn mòn thép tròn trong mẫu vữa ở môi trường NaCl 2%.....	25
Bảng 1.6. Cường độ bám dính giữa cốt thép và bê tông	25
Bảng 1.7. Giới hạn hàm lượng clorua trong BTCT.....	32
Bảng 2.1. Các chỉ tiêu cơ lý của xi măng Bút Sơn PCB 40	44
Bảng 2.2. Hàm lượng Cl ⁻ của một số cát nhiễm mặn	44
Bảng 2.3. Tính chất cơ lý của cát nhiễm mặn Nha Trang	45
Bảng 2.4. Thành phần hạt của cát nhiễm mặn Nha Trang	45
Bảng 2.5. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của đá dăm Hòa Bình.....	46
Bảng 2.6. Tính chất hóa học của nước	47
Bảng 2.7. Kết quả thử tính chất cơ lý của cốt thép.....	48
Bảng 2.8. Thành phần hóa học của nhựa epoxy và chất đóng rắn	49
Bảng 2.9. Kết quả thí nghiệm sơn epoxy	49
Bảng 2.10. Thông số kỹ thuật sơn AC-05	50
Bảng 2.11. Kết quả thử nghiệm sơn xi măng- polyme.....	50
Bảng 2.12. Thông số kỹ thuật sơn polyurethane	50
Bảng 2.13. Kết quả thí nghiệm sơn polyurethane	50
Bảng 2.14. Thành phần hóa học của epoxy giàu kẽm.....	51
Bảng 2.15. Kết quả thí nghiệm sơn epoxy giàu kẽm.....	51
Bảng 2.16. Kết quả lực bám dính của sơn vào nền thép	52
Bảng 2.17. Kết quả thử nghiệm độ bền hóa chất của màng sơn	53
Bảng 2.18. Kết quả đo độ bền uốn của các màng sơn.....	53
Bảng 2.19. Các tiêu chuẩn thử nghiệm dùng trong nghiên cứu	56

Bảng 2.20. Ký hiệu mẫu thí nghiệm gia tốc NT Build 356.....	59
Bảng 2.21. Cấp phối, cường độ chịu nén, mác chống thấm nước của BT có hàm lượng clorua khác nhau.....	60
Bảng 2.22. Đánh giá khả năng xảy ra ăn mòn cốt thép theo mật độ dòng ăn mòn [62, 75].....	63
Bảng 2.23. Ký hiệu mẫu thí nghiệm khô ẩm gia tốc.....	65
Bảng 2.24. Mẫu thử nghiệm tại vùng biển.....	66
Bảng 3.1. Khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông khi nâng cao mác chống thấm.....	69
Bảng 3.2. Khả năng bảo vệ cốt thép khi nâng cao chiều dày bảo vệ.....	69
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.....	71
Bảng 3.4. Ảnh hưởng của hàm lượng clorua tới khả năng bảo vệ CT trong BT.....	72
Bảng 3.5. Kết quả thí nghiệm chiều dày màng sơn.....	75
Bảng 3.6. Kết quả đo thể mạch hở của màng sơn.....	76
Bảng 3.7. So sánh hiệu quả bảo vệ giữa các loại sơn (sơn X lấy làm chuẩn).....	77
Bảng 3.8. Kết quả đo cường độ bám dính giữa cốt thép và BT.....	79
Bảng 3.9. Thời gian thụ động của cốt thép trong bê tông khi sơn cốt thép bằng sơn X, P, E.....	82
Bảng 3.10. Hiệu quả bảo vệ cốt thép của các loại sơn theo thời gian thụ động cốt thép (tháng), thí nghiệm khô ẩm gia tốc.....	83
Bảng 3.11. Hiệu quả bảo vệ cốt thép của các loại sơn tính theo thời gian thụ động cốt thép (tháng), thí nghiệm khô ẩm gia tốc, mẫu chuẩn có $[Cl^-] = 0,6 \text{ kg/m}^3$	83
Bảng 3.12. Vai trò của sơn (S) và bê tông (B) trong việc bảo vệ cốt thép, mẫu M300W10Δ30, $[Cl^-] = (0,6 \div 2,4) \text{ kg/m}^3$ theo thời gian thụ động cốt thép, tháng.....	83
Bảng 3.13. Khả năng và hiệu quả bảo vệ cốt thép bằng các loại sơn so với bê tông không sơn M30W10Δ30 $[Cl^-] 0,6$, thí nghiệm NT Build 356.....	86
Bảng 3.14. Vai trò của sơn và BT trong việc bảo vệ cốt thép, mẫu M300W10Δ30, $[Cl^-] = (0,6 \div 2,4) \text{ kg/m}^3$, NT Build 356, ngày phá mẫu/% tổng số ngày.....	87
Bảng 3.15. Kết quả đo hiệu điện thế trên mẫu BTCT nhóm 1, 2, 3 và 4.....	91

Bảng 3.16. Kết quả đo i_{corr} trên các mẫu sơn cốt thép	93
Bảng 3.17. Tổng hợp khả năng bảo vệ cốt thép (thời gian, ngày) bằng bê tông và sơn phủ, thí nghiệm gia tốc NT Build 356.....	94
Bảng 4.1. Hiện trạng ăn mòn cốt thép tại công trình trước khi sửa chữa [13], [24], [36]	98
Bảng 4.2. Hiệu quả bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ kết hợp bê tông chất lượng nâng cao sau khi sửa chữa.....	106
Bảng 4.3. Kết quả kiểm tra ăn mòn cốt thép trên một số công trình.....	110
Bảng 4.4. Tốc độ tái nhiễm của bê tông sau sửa chữa	112
Bảng 4.5. Dự báo mức bê tông tái nhiễm clorua sau thời gian sửa chữa.....	113
Bảng 4.6. Chi phí vật liệu chống ăn mòn cho kết cấu sửa chữa hoặc làm mới.....	119
Bảng 4.7. So sánh hiệu quả kinh tế giữa các phương án	121

KÝ HIỆU VIẾT TẮT

X	: Xi măng
C	: Cát
Đ	: Đá
N	: Nước
N/X	: Tỷ lệ nước/ xi măng
P/X	: Tỷ lệ phụ gia polyme/ xi măng
SD:	: Phụ gia siêu dẻo
SF	: Silicafume
P	: Phụ gia polyme
CKD	: Chất kết dính
CN	: Phụ gia ức chế ăn mòn canxinitorit
BTCT	: Bê tông cốt thép
GFRP	: Cốt sợi thủy tinh
OPC	: Xi măng Poóc lăng
GGBFS	: Xi lò cao hạt hóa nghiền mịn
BFS	: Xi lò cao
TCVN	: Tiêu chuẩn Việt Nam
ASTM	: Hiệp hội Thí nghiệm và Vật liệu Hoa Kỳ
i_{corr}	: Mật độ dòng ăn mòn
I	: Cường độ dòng điện
U	: Hiệu điện thế
R	: Điện trở
Δ	: Chiều dày lớp bê tông bảo vệ
μA	: Micro Ampe
mA	: Mili Ampe
mV	: Mili Vôn
SEM	: Kính hiển vi điện tử quét
W	: Độ chống thấm nước
Sơn X	: Sơn xi măng polyme
Sơn P	: Sơn polyurethane
Sơn E	: Sơn epoxy
Sơn Z	: Sơn epoxy giàu kẽm

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 ($1,2 \div 1,4$) kg/m^3 hay 0,4% lượng xi măng trong bê tông (ACI 222R [48]), 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 $\leq 0,6$ kg/m^3 theo TCVN 9346:2012 [28] hay 0,15% hàm lượng xi măng - ACI 318 [68]) 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 ($2,0 \div 3,2$ 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 [28] hoặc không thể thi công đảm bảo chất lượng như quy định của TCVN 4453:1995 [34] 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 [31] 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 phải có giải pháp khác bảo vệ cốt thép trong bê tông hữu hiệu hơn so với 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 trường hợp 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 (hiểu 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 (hiểu là có mác chống thấm nước W và/hoặc chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép Δ 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.

Trong luận án, một số thuật ngữ sử dụng được hiểu như sau:

- **Khả năng bảo vệ cốt thép** được hiểu là khả năng của lớp bê tông bảo vệ, hoặc của sơn phủ cốt thép kết hợp bê tông bảo vệ, giữ cho cốt thép trong khoảng thời gian nhất định để chuyển trạng thái từ bình thường sang bị ăn mòn (hoặc phá vỡ bê tông bảo vệ) theo quy định của tiêu chuẩn thử. Khi thí nghiệm theo tiêu chuẩn NTBuild 356, khả năng bảo vệ cốt thép được tính là khoảng thời gian (ngày) từ lúc bắt đầu thí nghiệm tới khi cốt thép bị gi phá vỡ lớp bê tông bảo vệ. Khi thử theo phương pháp khô - ẩm gia tốc và phương pháp phơi mẫu trực tiếp tại vùng biển, khả năng bảo vệ cốt thép được tính là khoảng thời gian (tháng) từ lúc bắt đầu thí nghiệm tới khi cốt thép đạt mật độ dòng ăn mòn $I_{\text{corr}} = 0,1 \mu\text{A/cm}^2$.

- **Bê tông tiêu chuẩn** được hiểu là bê tông bảo vệ cốt thép có mác chống thấm nước W, chiều dày lớp bảo vệ như quy định của TCVN 9436:2012 và hàm lượng clorua $[\text{Cl}^-] = 0,6 \text{ kg/m}^3$.

- **Bê tông tính năng nâng cao** được hiểu là bê tông bảo vệ cốt thép có mác chống thấm nước W, hoặc chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép Δ hoặc cả hai cao hơn tính năng tương ứng của bê tông theo TCVN 9436:2012 trong cùng môi trường sử dụng.

- **Bê tông nhiễm clorua cao** được hiểu là bê tông có hàm lượng clorua $[\text{Cl}^-]$ cao dao động trong khoảng $(1,2 \div 2,4) \text{ kg/m}^3$ và được ghi rõ trên mẫu thí nghiệm.

2. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu

2.1. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao trong phạm vi $(1,2 \div 2,4) \text{ kg/m}^3$ 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 biên 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: sơn epoxy hai thành phần (E); sơn epoxy giàu kẽm (Z); sơn polyurethan (P) và xi măng polyme (X);

b) Bê tông nhiễm clorua: 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m³ có tính năng trong giới hạn sau:

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

- Chiều dày bê tông bảo vệ Δ : 30, 50 và 70 mm;

Trong đó bê tông có hàm lượng clorua 0,6 kg/m³, độ chống thấm W10 tương ứng mức theo cường độ M300, chiều dày bảo vệ 30 mm (viết tắt là W10M300 Δ 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 Δ 30 (không sơn) với hàm lượng [Cl] tăng từ 0,6 tới 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m³ bị giảm mạnh, chỉ còn lại tương ứng (71÷80)%; (57÷60)% và (29÷35)% so với bê tông [Cl]=0,6 kg/m³. 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 Δ 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) μ m; sơn P – (150± 15 μ m); sơn X - (1500 ± 150) μ 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 ($[Cl^-] < 1,8 \text{ kg/m}^3$) là dùng sơn X kết hợp với bê tông bảo vệ tính năng nâng cao (Δ, 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 tấp 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 (Δ, 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 (Δ, 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 9436:2012 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 KH-CN Xây dựng số 4/2019, ISSN 1859-1566, 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 KH-CN Xây dựng số 1/2020, ISSN 1859-1566, 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, DOI: 10.22214, 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 3rd 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

Luận án có 56 bảng, 64 hình vẽ và đồ thị với 120 tài liệu tham khảo được trình bày trên 126 trang giấy khổ A4.

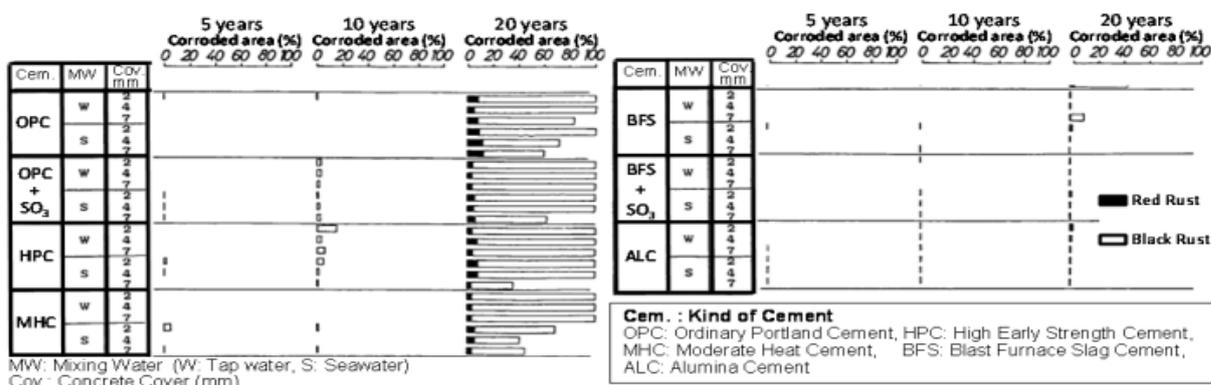
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU BẢO VỆ CỐT THÉP TRONG BÊ TÔNG NHIỄM CLORUA CAO TẠI VÙNG BIỂN

1.1 .Tình hình nghiên cứu trên thế giới

1.1.1 . Một số kết quả nghiên cứu

Từ đầu thế kỷ XIX vấn đề nghiên cứu ăn mòn cốt thép trong BT đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm. Tác giả Porter [87] đã công bố kết quả khảo sát tình trạng BTCT ở quần đảo Bermuda được xây dựng trong thời kỳ xảy ra chiến tranh thế giới lần thứ II. Kết quả cho thấy hàm lượng clorua của BT cao là do sử dụng cốt liệu nhiễm mặn. Tuy nhiên nhờ có lớp BT bảo vệ dày mà cho đến thời điểm khảo sát, chất lượng công trình vẫn ở trạng thái bình thường.

Fukute [74] 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 [84] nghiên cứu phát triển. Các mẫu BTCT được phơi 5 năm, 10 năm, 20 năm. Tác giả đã nghiên cứu ảnh hưởng chất lượng BT đến ăn mòn cốt thép bằng cách sử dụng các chất kết dính khác nhau, đó là xi măng pooc lăng thông thường, xi măng pooc lăng thường trộn thêm SO₃, XM pooc lăng cường độ cao tuổi sớm ngày, XM pooc lăng nhiệt trung bình, XM xi lò cao, XM xi lò cao trộn thêm SO₃ và xi măng alumin. Tỷ lệ N/X là 0,52 và 0,55. Trong nghiên cứu thay đổi chiều dày bảo vệ là 20, 40, 70 mm. Hàm lượng clorua của BT thay đổi bằng cách trộn nước biển và nước sạch. Kết quả nghiên cứu được thể hiện trên Hình 1.1, theo đó tác giả cho rằng tốc độ ăn mòn sau 5 năm, 10 năm là rất nhỏ nhưng sau 20 năm tốc độ ăn mòn là rất cao, BT sử dụng nước biển có chiều sâu ăn mòn lớn nhất và độ sâu ăn mòn tối đa trên thanh thép.



W= nước sạch, S= nước biển, OPC= XM pooc lăng thông thường, OPC+ SO₃ = XM pooc lăng thường trộn thêm SO₃, HPC= XM pooc lăng cường độ cao tuổi sớm ngày, MHC=XM pooc lăng nhiệt trung bình, BFS=XM xi lò cao, BFS+SO₃=XM xi lò cao trộn thêm SO₃, ALC= XM alumin, Cov= chiều dày BT, Corroded area=diện tích bị ăn mòn, Red rust= gỉ đỏ, Black rust= gỉ đen

Hình 1.1. Ăn mòn cốt thép theo thời gian với chiều dày BT bảo vệ khác nhau [84]

Sau 20 năm vùng bị ăn mòn phát triển rất lớn và cốt thép đều xuất hiện gỉ đỏ, gỉ đen ngoại trừ BT sử dụng XM xỉ lò cao, XM xỉ lò cao trộn thêm SO_3 , xi măng alumin. 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.

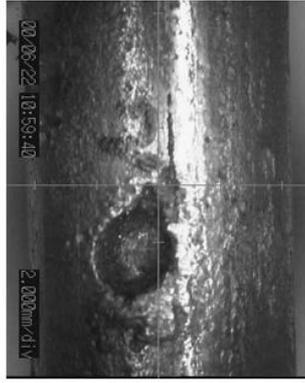
Các tác giả Akira [50] và Yonamine [116] đã nghiên cứu ăn mòn cốt thép bằng trực quan trong BT sau 26 năm phơi nhiễm trong vùng thủy triều. Nghiên cứu đã thay đổi CKD bằng cách sử dụng 5 loại xi măng (xi măng portland thông thường, xi măng xỉ loại A, loại B, loại C, xi măng tro bay loại B), thay đổi hàm lượng clorua bằng cách trộn nước biển và nước ngọt. Tỷ lệ N/X là 45% và 55%. Chiều dày lớp BT bảo vệ là 20, 40 và 70 mm. Vị trí thử nghiệm phơi mẫu dài hạn (hồ thủy triều) tại cảng Kagoshima. Hàm lượng clorua lớn nhất sau 15 năm tại thử nghiệm tại Pari từ 2 đến 4 $\text{kg/m}^3\text{BT}$, sau 26 năm thử nghiệm tại cảng Kagoshima lên đến 10 $\text{kg/m}^3\text{BT}$. Kết quả cho thấy tỷ lệ diện tích vùng ăn mòn có xu hướng tăng khi hàm lượng Cl^- tăng ở bề mặt thép và mức độ ăn mòn của BT trộn với nước biển lớn hơn so với nước ngọt. 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.

Các tác giả Mohammed, Hamada và Yamaji [104] đã nghiên cứu ảnh hưởng hàm lượng clorua trong BT (tính theo khối lượng xi măng là 0,95% và 0,75% bằng cách trộn với nước biển) đến ăn mòn cốt thép trong môi trường thủy triều. Tỷ lệ N/X nghiên cứu là 0,55 và 0,45. Thành phần hóa của nước biển như trong Bảng 1.1.

Bảng 1.1. Thành phần hóa học của nước biển sử dụng trong nghiên cứu [104]

Trọng lượng riêng	pH	Thành phần hóa, ppm						
		Na	K	Ca	Mg	Cl	SO_4	CO_3
1,022	7,77	9290	346	356	1167	17087	2378	110

Sau 15 năm phơi mẫu trong môi trường thủy triều, kiểm tra mức độ ăn mòn cốt thép ở vị trí có chiều dày BT là 20, 40, và 70 mm. Kết quả nghiên cứu thấy rằng trên bề mặt cốt thép ở các vị trí lớp BT bảo vệ khác nhau hình thành các vết lõm ăn mòn có số lượng và độ sâu khác nhau. Bê tông có hàm lượng clorua lớn hơn thì cốt thép có nhiều vết lõm ăn mòn và sâu hơn và quá trình ăn mòn xảy ra ngay sau khi đổ BT.



Hình 1.2. Vết lõm và độ sâu ăn mòn ở vị trí chiều dày lớp BT bảo vệ 2 cm sau 15 năm phơi mẫu trong vùng thủy triều [104]

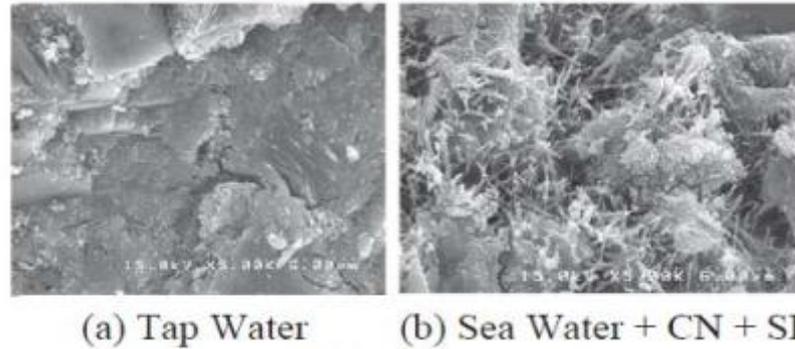
Tác giả Nishida và cộng sự [102] đã làm tăng chất lượng BT bị nhiễm mặn bằng cách sử dụng xi măng cao (BFS) để nghiên cứu khả năng bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép khi BT sử dụng nước biển nhân tạo (Bảng 1.2).

Bảng 1.2. Thành phần hóa nước biển nhân tạo sử dụng trong nghiên cứu [102]

Thành phần hóa	NaCl	MgCl ₂ .6H ₂ O	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	KCl	NaHCO ₃
Khối lượng, g/l	24,54	11,1	4,09	1,16	0,69	0,2

BFS được thay thế 40% và 55% thể tích xi măng, tỷ lệ N/X = 0,5. Mẫu BT chế tạo có đường kính 100 mm, cao 200 mm, thanh thép $\Phi 13$ được đặt sâu cách đáy 10 mm. Mẫu được gia tốc ăn mòn trong môi trường nhân tạo phun NaCl 3%, nhiệt độ 50⁰C, đo ăn mòn cốt thép bằng phương pháp điện trở phân cực. Kết quả cho thấy việc thay thế xi măng bằng BFS với hàm lượng 40% là hiệu quả nhất giảm thiểu sự ăn mòn thép trong BT trộn với nước biển.

Tác giả Kanato và cộng sự [79] đã nghiên cứu hệ số thấm và ăn mòn cốt thép trong BT. Bê tông được chế tạo từ nước biển và cát biển có hàm lượng clorua là 4,7 kg/m³. Trong nghiên cứu này, xi măng được thay thế 50% bằng tro bay, silicafume, xi măng cao. Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ số thấm của BT sử dụng nước ngọt có 50% OPC+50% GGBFS là $3,3 \times 10^{-12}$ m/sec, trong khi đó sử dụng nước trộn là nước biển, nước biển+CN và nước biển+CN+SF thì hệ số thấm giảm còn 1/2, 1/4 và 1/70 tương ứng. Điều này được giải thích qua hình ảnh chụp SEM cho thấy có nhiều tinh thể ettringite hình kim tạo ra trong hệ (nước biển+CN+SF) do đó làm tăng độ đặc chắc cấu trúc vi mô của đá xi măng dẫn đến làm giảm tính thấm nước (Hình 1.3).



Tap Water= nước ngọt, Sea Water +CN+SF= nước biển+ Canxinitorit+ silicafume

Hình 1.3. Kết quả chụp SEM mẫu BT [79]

Về vấn đề ăn mòn cốt thép, các tác giả đã sử dụng thép sợi các bon, cốt thép phủ epoxy và cốt thép thường để nghiên cứu. Môi trường thử nghiệm kiểm tra chu kỳ gia tốc ở điều kiện chung áp và điều kiện thường, kết thúc 33 chu kỳ. Kết quả cho thấy các cốt thép thường đã bị ăn mòn hoàn toàn, thép được sơn phủ epoxy và thép các bon chưa bị ăn mòn (Hình 1.4).



a, Cốt thép phủ epoxy b, Thép các bon c, Cốt thép thường

Hình 1.4. Kết quả kiểm tra ăn mòn cốt thép ở điều kiện chung áp [79]

Các tác giả cũng cho rằng nếu sử dụng trực tiếp cát biển và nước biển ở những công trình cách đất liền hàng trăm km, nơi mà nước sạch và cát sạch khan hiếm sẽ làm giảm chi phí xây dựng. Nghiên cứu đã tính toán trên mô hình công trình có 1000 m³ BTCT, tuổi thọ thiết kế 100 năm với 2 phương án:

- Phương án A: BT được chế tạo bằng nước ngọt và cát sạch sau đó vận chuyển lên chiếc thuyền mang ra đảo;
- Phương án B: BT được chế tạo nước biển và cát biển trên đảo;

Kết quả nghiên cứu chi phí xây dựng công trình phương án B thấp hơn (6÷10)% so với phương án A.

Nghiên cứu cũng khuyến nghị nên sử dụng các biện pháp bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép như sơn phủ cốt thép thường trước khi đổ bê tông, hoặc sử dụng thép các bon, thép không gỉ thay cho cốt thép thường trong trường hợp hàm lượng clorua trong BT cao.

Do-Gyeum Kim và cộng sự [80] đã thực hiện nghiên cứu độ bền lâu sau 1, 5, 10, 15, 20, 25 và 30 năm đối với BT có hàm lượng clorua ở mức 0%, 0,01%, 0,04%, 0,1%, 0,2% và 0,5% theo khối lượng của cát biển trong cấp phối. Mẫu BT kích thước 200x200x300 mm với tỷ lệ N/X là 0,62 và 0,56 sử dụng xi măng OPC và phụ gia ức chế ăn mòn cốt thép. Kết quả nghiên cứu sau 15 năm cho thấy các mẫu BT hàm lượng clorua không lớn hơn 0,04% chưa quan sát thấy bị ăn mòn, trong khi mức độ ăn mòn tăng với các mẫu có hàm lượng clorua lớn hơn 0,2%.

Nhóm nghiên cứu của Yi Jiang [52] nghiên cứu khả năng sử dụng cát biển chế tạo BT. Mẫu cát biển nghiên cứu có hàm lượng Cl^- là 0,054%. Các cấp phối BT nghiên cứu gồm mẫu cát sông, cát biển đã rửa và cát biển chưa rửa, có và không có 20% tro bay thay thế xi măng. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, BT bị nhiễm mặn do sử dụng cát biển nếu sử dụng tro bay thì có khả năng cải thiện tính chống thấm của BT do cải thiện hệ thống lỗ rỗng cấu trúc, do đó giảm khả năng dịch chuyển của Cl^- và do đó làm giảm ăn mòn cốt thép.

Nhóm tác giả Zhenhai Zhang [53] đã nghiên cứu so sánh độ chống thấm nước của BT sử dụng nước biển, cát biển, cát san hô. Xi hạt lò cao, tro bay và phụ gia siêu dẻo đã được sử dụng. Các mẫu BT được bảo dưỡng theo hai phương pháp: nhóm mẫu bảo dưỡng trong điều kiện khô (không khí) - ẩm (nước biển) - nhiệt ($60^\circ C$) theo chu kỳ và nhóm mẫu ngâm trong dung dịch Na_2SO_4 5%. Kết quả nghiên cứu cho thấy, độ chống thấm của BT sử dụng nước biển và cát biển so với BT sử dụng vật liệu sạch là tương đương nhau. Các mẫu sử dụng cát san hô có độ chống thấm kém hơn, có thể cải thiện độ chống thấm bằng cách sử dụng phụ gia siêu dẻo.

Tác giả J.A. Gonzalez [51] đã nghiên cứu đánh giá khả năng ức chế ăn mòn cốt thép của chất ức chế ăn mòn cốt thép trên cơ trở muối nitrit và so sánh với một loạt các loại hợp chất ức chế ăn mòn cốt thép khác. Thí nghiệm được đánh giá trên mẫu vữa sử dụng nước biển nhân tạo. Mẫu vữa sử dụng có tỷ lệ xi măng/cát là 1/1, 1/3, 1/6, 1/8, tỷ lệ N/X là 0,4 và 0,6; hàm lượng chất ức chế ăn mòn quy đổi thành NO_2^- là 2% và 4% so với xi măng; mỗi mẫu vữa được đặt hai thanh thép, một thanh thép cốt BT thông thường và một thanh thép không gỉ. Các mẫu được theo dõi dòng ăn mòn trên thanh thép BT trong thời gian 1000 ngày. Kết quả nghiên cứu chỉ ra chất ức chế nitrit có hiệu

quả giảm mức độ ăn mòn tốt nhất trong nhóm chất ức chế được nghiên cứu và sử dụng 2% NaNO_2 là hiệu quả. Các chất ức chế gluconate, phosphate và zinc oxide hiệu quả trong việc bảo vệ bề mặt cốt thép qua việc hạn chế ô xy xâm nhập vào trong BT. Trong trường hợp hàm lượng clorua trong BT cao, cốt thép đã bị ăn mòn ngay thì việc sử dụng phụ gia nitrit cũng không hiệu quả.

1.1.2 . Một số công trình BTCT nhiễm clorua cao

Theo báo cáo [115] khảo sát ba ngọn hải đăng BTCT (hai ngọn hải đăng ở Nagasaki và một ở Yamaguchi), bê tông nhiễm clorua cao do phải dùng nước biển chế tạo BT. Trong số đó, ngọn hải đăng Uku Nagasakibana ở Nagasaki được xây dựng từ tháng 8 đến tháng 10 năm 1959 ở nơi có sóng cao và không có nước ngọt sử dụng trong quá trình trộn BT. Kết quả khảo sát cho thấy BT kết cấu có cường độ nén là 28,0 MPa, hàm lượng clorua là 3,4 kg/m^3 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 (Hình 1.5).



Hình 1.5. Ngọn hải đăng Uku Nagasakibana[115]

Nhóm tác giả M. Kusinoki [82] đã kiểm tra các công trình BTCT ở đảo Gimkanjima, Nhật Bản được xây dựng từ năm 1916 [118], các kết cấu phức tạp này được coi như là một di sản văn hóa, tuy nhiên nó bị xuống cấp kể từ khi đảo không có người ở (Hình 1.6).



Hình 1.6. Công trình trên đảo Gimkanjima [82]

Các tòa nhà chủ yếu được kiểm tra về tình trạng ăn mòn cốt thép trong cấu kiện cột và dầm. Phương pháp kiểm tra chiều dày lớp BT bảo vệ và phân tích hàm lượng clorua đã được sử dụng.

Kết quả kiểm tra đều có chung nhận định là 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 cao (trên 3 kg/m^3), nguyên nhân được xác định là do lớp BT bảo vệ có chiều dày trên 60 mm. Một số cấu kiện tòa nhà số 31 (xây dựng 1957) thường xuyên bị ẩm ướt thì mức độ ăn mòn lớn hơn so với cấu kiện ở nơi khô ráo.

Công trình bờ kè đảo Gunkanjima nằm trong môi trường rất khắc nghiệt, thường bị ảnh hưởng bởi các đợt thủy triều cao do bão và do điều kiện địa lý. Hệ thống kè bao gồm kè số 1, số 2 và số 3. Trong đó kè số 2 được gia cố bằng BTCT đã được 81 năm [117]. Kết quả khảo sát đưa ra nhận định nhiều khả năng BT bị nhiễm mặn ngay từ đầu do sử dụng nước biển (hoặc sử dụng kết hợp với cát biển chưa rửa) để trộn với BT khi xây dựng bờ kè trên đảo. Hàm lượng clorua ban đầu trong BT được xác định từ $(3,1 \div 4,6) \text{ kg/m}^3$, chiều dày lớp BT bảo vệ (400 ÷ 600) mm.



Hình 1.7. Công trình bờ kè đảo Gunkanjima [117]

Bằng cách xác định hệ số khuếch tán, các tác giả đã cho rằng chất lượng BT tương đối tốt đã có tác dụng ngăn cản sự thâm nhập thêm ion Cl^- từ bên ngoài vào sau nhiều năm dài tồn tại. Rất tiếc rằng hồ sơ thiết kế không còn nhưng qua các kết quả khảo sát có thể đánh giá chất lượng BT tốt là yếu tố quan trọng đảm bảo sự tồn tại của kết cấu trong suốt thời gian dài mà không bị phá hủy do ăn mòn cốt thép (Hình 1.7).

Hàm lượng clorua trong BT ngay từ đầu do sử dụng cát biển đã được sử dụng trong những năm 1960 và 1970 ở Okinawa. Điều này vô tình đã gây ra hiện tượng nứt kết cấu và bong tróc lớp phủ BT do sự ăn mòn của cốt thép ở các vị trí có chiều dày lớp BT bảo vệ mỏng. Koichi Kishitani [81] đã nghiên cứu sự xuống cấp do ăn mòn BTCT ở trường tiểu học Wakasa, thành phố Naha. Hàm lượng clorua được xác định khoảng $(2,1 \div 15,3) \text{ kg/m}^3$. Trường trung học Kammoyama hàm lượng clorua khoảng $(2,97 \div 3,92) \text{ kg/m}^3$, nguyên nhân ăn mòn cốt thép được cho là BT nhiễm mặn cao do sử dụng cát biển. Kết quả nghiên cứu đã nhận định rằng khi sử dụng cát biển với hàm lượng clorua lớn, nếu không có biện pháp bảo vệ cốt thép thì ăn mòn cốt thép xảy ra nhanh và mạnh khi chiều dày BT bảo vệ mỏng. Thậm chí điều này vẫn xảy ra tại những vị trí đã được tiến hành sửa chữa, sự hư hỏng tương tự cũng được nhận thấy tiếp tục xảy ra sau một vài năm.

Yamakawa và các cộng sự [94] đã phân tích hàm lượng Cl^- tại các vị trí BT bảo vệ bị bong tróc, cốt thép bị ăn mòn của 15 khu phức hợp ở Okinawa và chỉ ra rằng BT có hàm lượng clorua gần 3 kg/m^3 là do sử dụng cát biển chưa rửa ngay từ đầu. Các vị trí ăn mòn cốt thép, bong tróc lớp BT bảo vệ xảy ra khi chiều dày lớp BT bảo vệ nhỏ hơn 20 mm.

Tác giả Rick A Emert [71] đã nghiên cứu các tài liệu xây dựng công trình trên các đảo tại Thái Bình Dương và nhận thấy các kết cấu BTCT được chế tạo bằng cách sử dụng san hô và nước biển ở đảo Bikini. Có 3 công trình được kiểm tra là nhà truyền

thống, nhà phát điện và nhà chờ. Chiều dày lớp BT bảo vệ trung bình của 3 nhà tương ứng là 100 mm, 120 mm, 120 mm, rất tiếc là không có số liệu về hàm lượng clorua trong BT. Tuy nhiên, tác giả đã so sánh tình trạng hư hỏng trong cả ba nhà 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. Tác giả cũng nhận định có thể đảm bảo độ bền lâu của BTCT khi nhiễm mặn từ đầu nếu hạn chế được các tác động về môi trường, biện pháp thi công tốt và phương pháp bảo vệ cốt thép được sử dụng ngay từ đầu.

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 [105] 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. Tác giả Neville và Akatsuka trong báo cáo cũng chỉ rõ các kết cấu BTCT bị nhiễm mặn từ đầu nên giữ ở trạng thái khô hoàn toàn hoặc ngập trong nước (có nghĩa là cách ly kết cấu khỏi môi trường O_2 và H_2O). Đây là kết luận quan trọng dựa trên các kết quả nghiên cứu và khảo sát của các nhóm kỹ sư thuộc Viện.

Rất nhiều nghiên cứu đã thực hiện và đăng trên các tạp chí khoa học về hàm lượng clorua trong BT do sử dụng vật liệu chứa nhiều ion clo như cát biển để chế tạo BT và ảnh hưởng của chúng đến ăn mòn cốt thép. Sự tấn công của Cl^- là yếu tố chính ảnh hưởng đến độ bền lâu BTCT đã được thừa nhận rộng rãi trên thế giới. Một số kết cấu BT làm việc trong môi trường có hàm lượng clorua cao trong thời gian dài nhưng không hoặc ít bị ăn mòn. Công trình ngọn hải đăng Huntington Light house tại Mỹ (xây dựng năm 1912) và đền Murudeshwara (ở Ấn độ) là ví dụ về sử dụng cát biển để chế tạo BTCT [90], hiện nay vẫn còn tồn tại (Hình 1.8).



a, Ngọn hải đăng Huntington, Mỹ

b, Đền Murudeshwara, Ấn độ

Hình 1.8. Công trình Ngọn hải đăng Huntington và đền Murudeshwara [90]

Hệ thống lỗ rỗng và vi cấu trúc của BT có ảnh hưởng lớn đến ăn mòn. Ngoài ra, sự có mặt của oxy và độ ẩm trong BT là điều kiện cần cho sự ăn mòn cốt thép xảy ra. Ăn mòn cốt thép hiếm khi xảy ra trong các vùng sa mạc, bởi vì BT không chứa đủ độ ẩm, mặc dù các yếu tố khác cho sự ăn mòn có đủ.

Tóm lại, kết quả nghiên cứu, khảo sát một số công trình BTCT trên thế giới có hàm lượng clorua cao do sử dụng cát biển, nước biển hoặc xâm nhập từ môi trường, nhưng nếu bê tông bảo vệ có chất lượng tốt (ví dụ: chiều dày bê tông bảo vệ $60 \div 100$ mm, cường độ bê tông hay khả năng chống thấm của bê tông tương đối cao) thì các công trình này vẫn có thể sử dụng bình thường tới trên 50 năm. Đây là minh chứng thực tiễn cần được quan tâm nghiên cứu khi triển khai biện pháp bảo vệ cốt thép trong bê tông vùng biển.

1.2 . Tình hình nghiên cứu tại Việt Nam

Việt Nam có trên 3200 km bờ biển, nhiều đảo ở gần bờ và xa bờ. Nước biển Việt Nam tại tầng nước mặt có độ mặn ($17,4 \div 33,1$)‰, tính trên ion clo ($8 \div 18$) g/l, cát biển chứa lượng muối lớn ($0,1 \div 0,25$ % khối lượng). Trên các sông đổ ra biển, nước lợ do thủy triều lên xâm nhập khá sâu, có nơi tới ($50 \div 60$) km. Nồng độ ion clo sa lắng trong khí quyển biển khá cao ($0,4 \div 0,6$ mg/m³ tại 1 km gần bờ) và gây ăn mòn kết cấu bê tông cốt thép xây dựng cách biển tới 30 km. Vùng biển Việt Nam có khí hậu nóng ẩm, nền nhiệt trung bình tháng $27 \pm 2^\circ\text{C}$, độ ẩm tương đối của không khí thường xuyên 75% và lớn hơn làm cho cốt thép trong bê tông bị ăn mòn cao hơn một mức so với cốt thép trong bê tông tại các nước có khí hậu ôn đới (nhiệt độ không khí trung bình $20 \pm 2^\circ\text{C}$, độ ẩm dưới 60%) theo TCVN 12251:2020 [5]. Các tỉnh phía Nam khô hơn nhưng nhiệt độ môi trường, nồng độ muối khí quyển cao hơn so với các tỉnh phía Bắc nên mức độ ăn mòn khí quyển biển đối với bê tông cốt thép gần tương đương nhau trên toàn lãnh thổ Việt Nam.

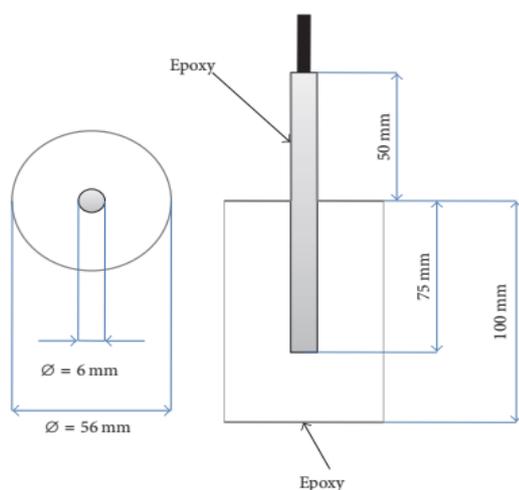
1.2.1 . Một số kết quả nghiên cứu

Báo cáo tổng kết [18] 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: cát nhiễm mặn (hàm lượng $\text{Cl}^- = 0,126\%$), cát đã rửa và cát đã rửa pha thêm 0,15% NaCl, mác BT thí nghiệm M150, M200, M300. Như vậy hàm lượng clorua trong BT khoảng từ 0,9 đến 1,4 kg/m³ nếu sử dụng cát chưa rửa. Môi trường thí nghiệm ăn mòn là môi trường nước tự nhiên với chu kỳ nóng lạnh 50, 100, 150 và 200. Phương pháp nghiên cứu bằng mất khối lượng. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự

tôn thất khối lượng cốt thép do ăn mòn của BT dùng cát biển và cát đã rửa pha thêm 0,15% NaCl lớn hơn so với BT dùng cát đã rửa; 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.

Khi nghiên cứu hàm lượng hiệu quả của chất ức chế canxi nitrit đến ăn mòn cốt thép trong BT, tác giả [30] đã nghiên cứu tốc độ ăn mòn cốt thép trong môi trường nước chiết xi măng có tỷ lệ N/X=0,6. Hàm lượng clorua của BT lấy cố định ở 3 mức 1,2; 2,4 và 6 kg/m³ bằng cách trộn muối vào trong môi trường nước chiết, đo tốc độ ăn mòn cốt thép tại thời điểm 0, 1, 3, 6, 9, 12 tháng. Kết quả nghiên cứu cho thấy xuất hiện tốc độ ăn mòn tại thời điểm 1 tháng tương ứng với ba hàm lượng Cl⁻ là 0,003, 0,004, 0,018 mm/năm. Khi sử dụng phương pháp gia tốc ăn mòn mẫu BTCT theo tiêu chuẩn NT Build 356 đã cho kết quả thời gian mẫu nứt do ăn mòn cốt thép tương ứng là 5, 5, 4 ngày. Bằng phương pháp chu kỳ khô ẩm gia tốc, mẫu xuất hiện tốc độ ăn mòn tại thời điểm 3 tháng tương ứng là 0,002; 0,004; 0,007 mm/năm. Phương pháp ngâm sấy gia tốc xuất hiện tốc độ ăn mòn ở 45 chu kỳ với tốc độ ăn mòn tương ứng là 0,007; 0,02; 0,025 mm/năm. Kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra đã xác định được hàm lượng hiệu quả ức chế ăn mòn cốt thép của canxi nitrit là tỷ lệ $[Cl^-] / [NO_2^-] \leq 2$.

Nghiên cứu [1, 106] đã sử dụng sơn Epoxy được biến tính bằng hai loại hạt nano liên quan đến nano-SiO₂ và nano-Fe₂O₃ và phủ trên cốt thép đặt trong vữa xi măng nhiễm mặn như Hình 1.9. Chiều dày lớp vữa bảo vệ là 25 mm, cốt thép $\Phi 6$, bề mặt diện cực làm việc là 12,25 cm².



Hình 1.9. Cấu tạo mẫu vữa cốt thép nhiễm mặn

Muối NaCl được thêm vào hỗn hợp xi măng poóc lăng (ở mức 0,3% và 0,5% trọng lượng xi măng) để mô phỏng sự nhiễm mặn ở mức độ cao. Tác dụng của việc kết hợp các hạt nano đối với khả năng chống ăn mòn của cốt thép phủ epoxy đã được

nghiên cứu bằng phương pháp đường cong phân cực và điện trở phân cực. Đối với vữa có hàm lượng clorua 0,3%, sau 56 ngày ngâm trong các dung dịch NaOH 0,1M cho thấy lớp phủ có nano-Fe₂O₃ đã giảm dòng ăn mòn của cốt thép phủ epoxy xuống 7,9 lần và 2,5 lần đối với lớp phủ có nanosilica. Khi hàm lượng clorua trong vữa xi măng là 0,5%, việc kết hợp các hạt nano vào chất nền epoxy không tăng cường khả năng chống ăn mòn của lớp phủ epoxy cho cốt thép vì các ion clo đã bắt đầu ăn mòn cốt thép thông qua các hạt nano ở điểm tiếp xúc với epoxy / cốt thép.

Nghiên cứu chế tạo và ứng dụng chất ức chế ăn mòn canxi nitơrit cho sản xuất vữa, BT chống ăn mòn dùng trong môi trường xâm thực clorua [17] đã thí nghiệm ăn mòn thép CT3 trong môi trường nước chiết xi măng có và không có ion clo, tỷ lệ N/X=0,45, X=430 kg, N=193,5 lít. Hàm lượng clorua tương ứng trong 1m³ BT là 0,82; 1,42, 3,22 kg bằng cách trộn thêm muối. Các tác giả đã sử dụng phương pháp đo điện trở phân cực theo tiêu chuẩn ASTM G-59, đo tốc độ ăn mòn theo thời gian. Kết quả cho thấy đối với mẫu không nhiễm mặn thì sau 720 ngày cốt thép được bảo toàn ở trạng thái thụ động và không bị ăn mòn; mẫu có hàm lượng clorua là 0,82; 1,42, 3,22 kg/m³ thì trạng thái bảo toàn thụ động tương ứng trong vòng 3, 2, 1 ngày, sau đó trạng thái thụ động bị phá vỡ và quá trình ăn mòn tiếp tục xảy ra với tốc độ tăng liên tục theo thời gian.

Nghiên cứu [9] đã sử dụng CKD là xi măng PC40 và thay thế lượng chất kết dính bằng tỷ lệ phần trăm tính theo khối lượng xi lò cao, tro bay và silicafume; phụ gia sử dụng là Ca(NO₂)₂, phụ gia siêu dẻo. Có 3 nhóm mẫu: nhóm đối chứng hàm lượng clorua là 0,35 kg/m³BT, nhóm sử dụng nước biển nhân tạo hàm lượng clorua là 3,4 kg/m³BT, nhóm sử dụng nước biển nhân tạo hàm lượng clorua là 3,15 kg/m³BT + CN. Đề tài đã sử dụng sơn epoxy sơn cốt thép vằn Φ12, tạo vết xước sơn theo ASTM A775, chiều dày BT bảo vệ 31 mm; thanh cốt sợi composite. Phương pháp nghiên cứu chu kỳ khô-nhiệt-ẩm (8 ngày bảo dưỡng nhiệt độ 80⁰C, ngâm nước biển nhân tạo 7 ngày, 1 chu kỳ 15 ngày) đến 21 chu kỳ; sử dụng phương pháp đo điện thế ăn mòn cốt thép theo ASTM C786 và phá mẫu để quan sát tình trạng ăn mòn cốt thép. Tác giả kết luận:

- Nhóm có hàm lượng clorua là 3,4 kg/m³BT, thời gian điện thế chạm ngưỡng ăn mòn (-350 mV) xảy ra (8÷10) chu kỳ;

- Nhóm có hàm lượng clorua là 3,15 kg/m³BT, thời gian điện thế chạm ngưỡng ăn mòn (-350 mV) xảy ra (8÷10) chu kỳ;

- 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. Không quan sát thấy hiện tượng ăn mòn, bong tróc và nứt tách trên thanh cốt composite.

Nghiên cứu [3] đã chế tạo dầm BTCT và dầm BT cốt sợi thủy tinh (GFRP) từ cát biển, với thành phần cấp phối B30 có chiều dày BT bảo vệ 50 mm. Có 6 cặp dầm (3 cặp BTCT và 3 cặp GFRP) được gia tải đặt trong môi trường xâm thực nước biển theo hai chế độ, chế độ ngâm chìm trong nước biển và chế độ khô ướt. Sau 6 tháng được mang ra thí nghiệm uốn để đánh giá khả năng chịu lực, sau đó quan sát bề mặt cốt thép và cốt GFRP. Đối với thép của dầm chịu tác dụng của môi trường nước biển khô – ướt thì đều xuất hiện sự ăn mòn cốt thép tại vị trí vết nứt của dầm (Hình 1.10).



Hình 1.10. Cốt thép sau khi được phá bỏ BT [3]

1.2.2 . Một số công trình BTCT nhiễm clorua cao

Kết quả khảo sát các công trình thực tế ven biển Việt Nam do Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng thực hiện [6, 7, 16, 24] cho thấy một số công trình có hàm lượng Cl⁻ cao từ ban đầu do sử dụng cát bị nhiễm mặn hoặc nước biển, nước lợ để trộn bê tông.

Báo cáo khảo sát công trình khu tập thể Góc Bàng ở mỏ than Cao Sơn Cẩm Phả - Quảng Ninh [16] cho thấy, công trình được thi công vào tháng 4/1987, đưa vào sử dụng tháng 9/1987. Năm 1996 (sau 10 năm xây dựng) đã xuất hiện những hư hỏng và xuống cấp nghiêm trọng. Hàm lượng clorua của BT dao động trong khoảng (4,55÷7,6) kg/m³BT do công trình đã sử dụng cát nhiễm mặn ngay từ đầu hoặc nước biển để nhào trộn BT, chiều dày lớp BT bảo vệ từ (5÷30) mm; các lớp vữa trát bên ngoài có hàm lượng clorua cao (hàm lượng ion Cl⁻ lớn hơn 3,0 kg/m³ BT), cường độ chịu nén BT quy đổi 28 ngày đạt khoảng (16÷20) MPa. Do chưa đáp ứng được bảo vệ chống ăn

mòn nên một số cấu kiện đã bị hư hỏng nặng, tuy nhiên một số cấu kiện có chiều dày BT bảo vệ trên 50 mm thì cốt thép chỉ bị gỉ nhẹ.

Báo cáo khảo sát công trình bệnh viện chống lao Quảng Ninh (K67) [6] cho thấy, công trình được hoàn thành 1990 và đưa vào sử dụng năm 1993. Đến tháng 12/1993 đã phát hiện thấy dấu hiệu hư hỏng như gỉ cốt thép làm nứt BT bảo vệ ở các panel sàn, dầm, cột. Hàm lượng clorua dao động từ $(0,3\div 7)$ kg/m^3 , đặc biệt trong panel sàn mức độ này dao động $(6\div 7)$ kg/m^3 . Các mức nhiễm mặn này có được là do lượng Cl^- lẫn trong cát và nước trộn BT. Điều đặc biệt là lớp vữa trát BT có hàm lượng clorua lớn hơn 3 kg/m^3 cũng góp phần tăng tốc quá trình khuếch tán ion Cl^- vào trong BT. Theo kết quả khảo sát, một số cấu kiện như cột, dầm có chiều dày lớp BT bảo vệ rất mỏng, dao động $(5\div 10)$ mm, cường độ chịu nén trung bình 19 MPa, mức nhiễm mặn dao động trong khoảng $(1,42\div 6,8)$ kg/m^3 cốt thép gỉ nặng, nứt BT bảo vệ và không có biện pháp bảo vệ chống ăn mòn. Chỉ có một số cấu kiện cột được phủ một lớp granito với xi măng mác cao, nên trong quá trình khảo sát cốt thép tại một số vị trí chưa bị ăn mòn hoặc mới chớm gỉ. Như vậy lớp granito đặc chắc cũng có tác dụng ngăn cản quá trình xâm nhập oxy và hơi nước vào trong BT làm chậm quá trình hình thành gỉ thép.

Kết quả nghiên cứu, khảo sát một số công trình BTCT ở Việt Nam có bê tông nhiễm clorua cao cho thấy trong giai đoạn trước năm 2000 cốt thép trong bê tông bị ăn mòn rất nặng, kết cấu bê tông cốt thép chỉ duy trì được thời hạn làm việc trung bình $(10\div 25)$ năm, chưa đạt $1/2$ thời hạn sử dụng theo thiết kế kết cấu theo TCVN 5574:2018. Nguyên nhân của sự hư hỏng nhanh này được một số báo cáo khảo sát [6], [7], [4] [35] chỉ ra. Đó là:

- Việt Nam áp dụng tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép dựa trên SNIP thiết kế của Liên Xô cũ phù hợp với khí hậu ôn đới, bê tông cốt thép trong môi trường biển được áp dụng tương tự như môi trường sử dụng thông thường với chiều dày bảo vệ cốt thép rất nhỏ (dầm, cột 20 mm, sàn $10\div 15$ mm);

- Nguồn xi măng sẵn có ở Việt Nam khi đó là PC30 và PCB30 nên bê tông thiết kế thường được chỉ định mác thấp $M200\div M300$, cộng thêm thi công thủ công làm cho chất lượng bê tông bảo vệ cốt thép không đều, cường độ bê tông thực tế có thể giao động $(13\div 23)$ MPa đối với mác M200 và $(23\div 33)$ MPa đối với M300, chiều dày bảo vệ cốt thép có thể giao động trong khoảng $(5\div 25)$ mm.

Trước tình hình kết cấu bê tông cốt thép vùng biển bị ăn mòn trầm trọng như vậy, năm 1999 Viện Khoa học công nghệ xây dựng đã được Bộ KH-CN và Bộ Xây dựng giao thực hiện đề tài nghiên cứu khoa học cấp nhà nước [37] và dự án khảo sát

[36] năm 2003. Kết quả của hai công trình này và kinh nghiệm tích lũy từ các nghiên cứu trước [6], [7], [4], [35] đã tạo ra sản phẩm và được Bộ Xây dựng chấp thuận ban hành thành TCXDVN 327:2004 (nay là TCVN 9346:2012). Từ đó tới nay, kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn do các nguyên nhân như của giai đoạn trước năm 2000 đã được giảm đi đáng kể.

Hiện nay, các công trình sử dụng cát biển, nước biển để làm bê tông (hàm lượng clorua $4,5 \div 5 \text{ kg/m}^3$) cho kết cấu bê tông cốt thép hầu như không có, kể cả ngoài đảo. Tuy nhiên, 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. Phần bê tông còn lại trong kết cấu (sau khi loại bỏ bê tông hư hỏng) vẫn còn hàm lượng clorua cao ($2,0 \div 3,2 \text{ kg/m}^3$). Clorua đồng thời từ bê tông và khí quyển xâm nhập làm bê tông mới sau khi sửa chữa cũng bị tái nhiễm nhanh, kết cấu bê tông cốt thép bị suy giảm thời hạn sử dụng sau khi được sửa chữa.

- Khi chiều dày lớp bê tông bảo vệ không đủ hoặc không thể thiết kế đủ theo TCVN 9346: 2012 [28], clorua từ khí quyển biển, nước biển xâm nhập làm bê tông vùng cận cốt thép bị nhiễm clorua cao sau thời gian ngắn, tuổi thọ sử dụng theo thiết kế của kết cấu cũng bị rút ngắn theo; hoặc khi bê tông được chế tạo từ vật liệu đáp ứng yêu cầu kỹ thuật cho riêng chúng nhưng mức nhiễm mặn đưa vào bê tông vẫn cao hơn $0,6 \text{ kg/m}^3$ (Ví dụ: từ xi măng $400 \times 0,1$ (EN 197-1: 2011) [43]; từ nước trộn $180 \times 0,1$ (TCVN 4506: 2012); từ cát $700 \times 0,05$ (TCVN 7570: 2006) và từ đá $1100 \times 0,01$ (TCVN 7570: 2006), tổng cộng $1,04 \text{ kg/m}^3$, làm cho thời gian bê tông đạt tổng lượng clorua gây phá hoại màng thụ động giảm, tuổi thọ sử dụng theo thiết kế kết cấu giảm

Hiện trạng trên đòi hỏi cần có các nghiên cứu thích hợp, đảm bảo cốt thép trong bê tông giữ được thời gian tồn tại lâu hơn, góp phần nâng cao độ bền lâu cho kết cấu bê tông cốt thép xây mới và sửa chữa làm việc tại vùng biển Việt Nam.

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

Công trình đầu tiên áp dụng sơn phủ epoxy bảo vệ cốt thép tại Mỹ được thực hiện khi xây dựng cầu Wets Conshohocken tại Pennsylvania vào năm 1973 [95], [88]. Đến năm 1977, tại Mỹ có 17 bang tiến hành tiêu chuẩn hóa việc sử dụng sơn phủ bảo vệ cốt thép. Theo kết quả so sánh hiệu quả và giá thành vào thời điểm năm 1980 cho công trình BTCT có tuổi thọ thiết kế 50 năm thì sơn phủ cốt thép có chi phí thấp nhất so với các phương pháp khác như bê tông biến tính polyme, bê tông và vữa cường độ cao, lớp màng chống thấm [67], [119].

Năm 1980, Sở Giao thông Vận tải Oregon (ODOT)- Mỹ đã đặt sáu dầm thử bê tông ở vịnh Yaquina tiếp giáp với cầu tàu số 3 của Cầu Vịnh Yaquina ở Newport, Oregon (Hình 1.11, Hình 1.12) [55]. Sáu dầm được bắt vít vào chân trụ va của bê tông để bảo vệ cầu tàu ở vị trí thủy triều lên xuống. Các dầm kích thước 200x200x 6100 mm với bốn thanh thép dọc và đai bước 300 mm được phủ epoxy, cường độ nén của bê tông 41,4 MPa được thử nghiệm 18 năm. Nghiên cứu được sử dụng để theo dõi ăn mòn cốt thép trong các dầm bằng phương pháp hiệu điện thế, sau khi kết thúc theo dõi, dầm được phá vỡ để quan sát trạng thái cốt thép. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng sơn phủ cốt thép có thể bảo vệ kết cấu đến 40- 50 năm trong môi trường thủy triều.



Hình 1.11. Tổng thể về các chân trụ và của bê tông ở vịnh Yaquina



Hình 1.12. Dầm bê tông gắn liền với chân trụ và ở giữa hình

Các kết quả nghiên cứu tại Anh vào năm 1976 cho thấy, trong cùng điều kiện thử nghiệm gia tốc, các mẫu bê tông cốt thép trần chỉ sau một năm đã gỉ nặng nhưng thép được bảo vệ sơn phủ thì chưa có dấu hiệu bị ăn mòn [91]. Từ năm 1981 đến năm 1983, các mẫu bê tông với một số loại thép sơn phủ khác nhau được ngâm nước 6 giờ, để khô 6 giờ tại cảng Kashima. Sau 24 tháng quan sát, mẫu thép được sơn phủ không bị gỉ, mẫu thép trần bị gỉ hoàn toàn [93], [70].

Một số kết quả nghiên cứu khác tại Australia và Nhật Bản cũng cho thấy với các mẫu thép có sơn phủ, ngay cả khi có khuyết tật trên lớp phủ thì sơn phủ cốt thép cũng tăng khả năng chống ăn mòn lên nhiều lần và thép chỉ bị gỉ tại vị trí màng sơn có khuyết tật chứ không lan ra toàn bộ thanh thép [73].

Từ năm 1998 đến năm 2004 tại Mỹ cũng đã có nhiều báo cáo đánh giá hiệu quả chống ăn mòn của các công trình cầu cao tốc xây dựng trong những năm 1970-1980. Theo đó, khả năng chống ăn mòn cho cốt thép được ghi nhận hiệu quả khi sơn phủ. Tuy nhiên, hiệu quả chống ăn mòn phụ thuộc loại sơn được sử dụng, phương pháp làm sạch bề mặt thép trước khi sơn và số điểm khuyết tật trên màng sơn. Phần lớn các loại

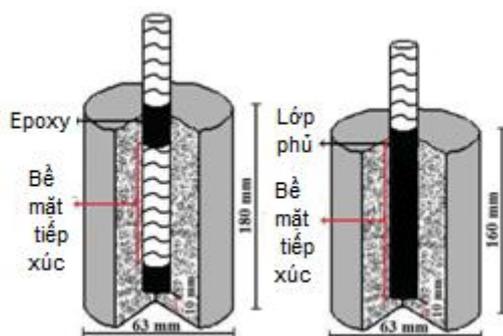
son phủ bị ăn mòn tại các điểm đầu thanh thép do vị trí đó khả năng sơn che phủ kém nhất. Màng sơn càng nhiều khuyết tật thì khả năng bị ăn mòn càng cao [60].

Clear và Sohangpurwala [65] đã nghiên cứu đặc tính ăn mòn của thanh thép thẳng và uốn cong được gia cố bằng lớp phủ epoxy trên tổng số 40 tấm bê tông quy mô nhỏ. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng lớp phủ epoxy trên các thanh thẳng và cong giúp cải thiện khả năng chống ăn mòn do ion clo gây ra.

Clear [64], [66] trong Chương trình Nghiên cứu Xa lộ Chiến lược Canada (C-SHRP) năm 1992, đã nghiên cứu tình trạng cốt thép được phủ epoxy trên 19 cấu kiện có hàm lượng clorua cao và thấy rằng cốt thép được phủ epoxy tốt hơn thép không phủ, tuy nhiên nếu lớp phủ bị hư hỏng do mất độ bám dính với cốt thép và cốt thép bên dưới lớp màng bị ăn mòn thì tuổi thọ của lớp phủ epoxy sẽ chỉ còn từ 3 đến 6 năm thay vì hơn 40 năm như đã dự tính. Nghiên cứu cũng chỉ ra quy trình sơn phủ cốt thép, thi công và phương pháp kiểm soát chất lượng tại công trường xây dựng.

Nghiên cứu [107] đã sử dụng Nano-SiO₂ và Nano-Fe₂O₃ vào nhựa epoxy hai thành phần để bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua. Kết quả cho thấy lớp phủ epoxy này làm giảm dòng ăn mòn của thép trong vữa nhiễm 0,3% clorua theo khối lượng xi măng.

Sadegh Pour-Ali [92] đã nghiên cứu sử dụng sơn 2 thành phần epoxy/polyaniline- camphorsulfonate (epoxy /PANI-CSA) để bảo vệ cốt thép trong môi trường bê tông chứa ion clo (Hình 1.13) bằng phương pháp đo thế mạch hở và điện trở kháng. Kết quả cho thấy sau 1 năm lớp sơn epoxy / PANI-CSA có khả năng bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép tốt hơn so với các mẫu khác.



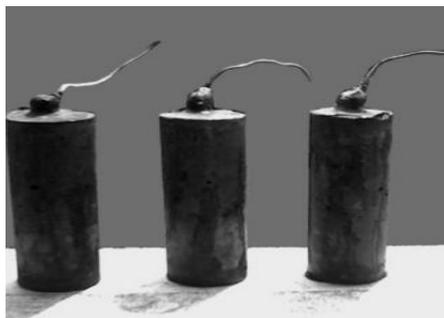
Hình 1.13. Mẫu thí nghiệm cốt thép sơn epoxy / PANI-CSA [92]

Nghiên cứu [113] bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép bằng cách nâng cao chất lượng bê tông, tăng chiều dày bê tông bảo vệ, sử dụng anot hy sinh và cách ly cốt thép khỏi môi trường ăn mòn bằng biện pháp sơn phủ cho thấy, các mẫu BTCT được gia tốc khô ẩm trong 2 năm có mật độ dòng ăn mòn không đáng kể khi CT được phủ

epoxy và có hiệu quả bảo vệ chống ăn mòn cốt thép cho các kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường clorua.

Tác giả [54] đã nghiên cứu sử dụng các loại sơn lót và sơn phủ khác nhau trong đó có epoxy giàu kẽm, epoxy polyamit, polyurethane. Lớp phủ được áp dụng trên các thanh cốt thép để khảo sát ảnh hưởng của loại sơn phủ đến khả năng chống ăn mòn cốt thép trong bê tông. Kết quả nghiên cứu cho rằng lớp phủ polyurethane, epoxy, epoxy giàu kẽm nếu không bị hư hỏng là các loại sơn tốt nhất để bảo vệ chống ăn mòn cốt thép trong bê tông trong môi trường 3,5% NaCl.

K. Saravanan [77] đã nghiên cứu hiệu quả của sơn epoxy hai thành phần chứa polyaniline quét lên cốt thép trên các mẫu BT mác M200 có cốt thép, gia tốc ăn mòn trong môi trường NaCl 3,5% bằng thiết bị Aplab L3220S (Hình 1.14). Kết quả cho thấy cường độ dòng điện đo được tăng theo thời gian. Mẫu cốt thép không phủ và phủ epoxy polyaniline tăng dòng điện đột biến và gây nứt BT bảo vệ tương ứng sau 4 ngày và 30 ngày, cường độ dòng điện đo được khi nứt mẫu là 8,4 mA. Kết quả này đã cho thấy khả năng bảo vệ chống ăn mòn của sơn epoxy polyaniline là đáng kể trong điều kiện gia tốc.



Hình 1.14. Mẫu BTCT và thí nghiệm gia tốc [77]

Tại Việt Nam, việc nghiên cứu các quá trình ăn mòn và các phương pháp bảo vệ cốt thép trong bê tông đã được nghiên cứu từ những năm 1970 và phát triển mạnh sau năm 1980[19]. Viện KHCN Xây dựng đã nghiên cứu và đưa vào ứng dụng cho một số công trình từ những năm 1980.

Kết quả nghiên cứu của TS. Đặng Văn Phú và cộng sự cho thấy sơn epoxy và epoxy biến tính có khả năng chống ăn mòn cốt thép trong bê tông mà không ảnh hưởng đến lực bám dính giữa bê tông và cốt thép [25]. Trong nghiên cứu, tác giả sử dụng 2 loại sơn đó là epoxy và epoxy biến tính bằng nhựa alkyd. Mục đích của biến tính là làm tăng độ dẻo của sơn chống lão hóa trong điều kiện nhiệt ẩm và khắc phục nhược điểm của loại sơn này. Kết quả trên Bảng 1.3 và Bảng 1.4.

Bảng 1.3. Tính chất cơ lý của sơn epoxy và epoxy biến tính [25]

Chỉ tiêu thí nghiệm	Sơn epoxy	Sơn epoxy biến tính
Thời gian khô bề mặt, giờ	1,5	2
Thời gian khô hoàn toàn, ngày đêm	7	7
Độ va đập	30 KG.cm	50KG.cm
Độ uốn, mm	2	1
Độ bền màng phủ qua 30 ngày:		
- Trong dung dịch NaOH 20%	Không hỏng	Không hỏng
- Trong dung dịch NaCl 3,5%	Không hỏng	Không hỏng

Bảng 1.4. Cường độ bám dính kết giữa bê tông và cốt thép [25]

Loại mẫu	Cường độ bám dính, MPa
Cốt thép không sơn (đối chứng)	2,819
Cốt thép sơn epoxy	2,861
Cốt thép sơn epoxy biến tính alkyd	2,682
Cốt thép sơn silicat bột màu kẽm	2,587
Cốt thép sơn xi măng (Viện nhiệt đới)	2,389
Cốt thép sơn xi măng+ chất ức chế	2,209
Cốt thép sơn bi tum cao su	1,692
Cốt thép sơn cao su vòng hóa	2,786

Tác giả [25] đã chế tạo 90 mẫu sơn trực tiếp lên bề mặt cốt thép, chiều dày bê tông bảo vệ 1,5 cm và đi tới các nhận xét sau:

- Cốt thép sơn bằng sơn epoxy và epoxy biến tính sau 50 chu kỳ thử nghiệm trong phòng thí nghiệm, 20 ngày đêm trong tủ muối, cốt thép không bị ăn mòn. Một số mẫu phơi trong điều kiện tự nhiên ở vùng biển Thái Bình và Vũng Tàu sau 2 năm cốt thép cũng chưa bị ăn mòn,

- Sơn silicat bột màu kẽm làm giảm độ bám dính giữa bê tông và cốt thép, không nên sử dụng để sơn cốt thép bê tông.

- Cốt thép sơn xi măng+ chất ức chế chịu được 50 chu kỳ thí nghiệm trong dung dịch NaCl 3%.

- Cốt thép sơn bi tum cao su, cao su vòng hóa thử nghiệm trong môi trường kiềm mạnh và đều bị phá hủy, do đó không bền trong bê tông. Thí nghiệm sau 20 chu kỳ màng sơn đều bị bong tróc, cốt thép bị gỉ ở những chỗ sơn bong.

Tác giả [21] đã sử dụng một số loại sơn chống ăn mòn cho cho cốt thép theo phương pháp mất khối lượng. Mẫu nghiên cứu ăn mòn được đúc bằng vữa xi măng cát, sử dụng nước máy với tỷ lệ X/C=0,5; N/X=0,5, ngâm mẫu trong dung dịch NaCl 2%. Kết quả nghiên cứu trong Bảng 1.5.

Bảng 1.5. Tốc độ ăn mòn thép tròn trong mẫu vữa ở môi trường NaCl 2%

Mẫu cốt thép với các loại sơn	Tốc độ ăn mòn cốt thép sau các chu kỳ, mg/cm ²		Cường độ bám dính giữa BT và CT, MPa
	30 chu kỳ	100 chu kỳ	
Mẫu cốt thép không sơn	0,047	0,233	68,4
Mẫu cốt thép sơn alkyd	-	-	51,6
Mẫu cốt thép sơn epoxy nâu	Nguyên vẹn (Trực quan)	Nguyên vẹn (Trực quan)	52,9
Mẫu cốt thép sơn epoxy xi măng			69,5

Tác giả [25] đã nghiên cứu sử dụng sơn epoxy- bitum và sơn bitum-xi măng phủ cốt thép để thử nghiệm chống ăn mòn cho cốt thép. Sau 60 chu kỳ gia tốc trong môi trường xâm thực nhân tạo trên mẫu 70x70x140 mm các màng sơn vẫn còn nguyên vẹn, ngăn chặn sự xâm nhập của các tác nhân lên bề mặt cốt thép, cốt thép chưa bị ăn mòn. Cường độ bám dính giữa cốt thép và bê tông như trong Bảng 1.6.

Bảng 1.6. Cường độ bám dính giữa cốt thép và bê tông

Loại sơn	Cường độ bám dính giữa cốt thép và bê tông, MPa
Mẫu đối chứng không có sơn	3,58
Sơn epoxy- bitum	4,25
Sơn bitum-xi măng	2,95

Viện KHCN Xây dựng đã sử dụng sơn xi măng polyme, sơn epoxy để sơn cốt thép trong quá trình sửa chữa chống ăn mòn cho kết cấu BTCT như nhà khách Lê Lợi, Nhà điều khiển khối 3+4 nhiệt điện Uông Bí, Băng tải xiên nhiệt điện Uông Bí, trường Cao đẳng Nông- lâm Thanh Hóa, Nhà khách 21 Đồ sơn.v.v....

Như vậy, 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

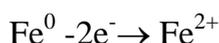
vậy, vấn đề bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trong bê tông cần được nghiên cứu bổ sung và hoàn thiện thêm.

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

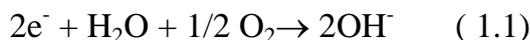
Cơ chế ăn mòn clorua cốt thép trong BT vùng biển đã được đề cập trong nhiều công trình nghiên cứu trong và ngoài nước [19, 37, 58, 85, 109] theo đó, điều kiện để cốt thép trong bê tông bị ăn mòn là: (i) màng thụ động bảo vệ cốt thép bị phá hủy và (ii) có đủ ô xy và nước tiếp cận bề mặt cốt thép.

Trong điều kiện bình thường, nguyên tử sắt ổn định do tổng số electron bằng số proton. Nhưng do lớp điện tử ngoài cùng còn 2 điện tử tự do nên sắt rất dễ nhường 2 hoặc 3 điện tử. Trong BT, sắt có thể tồn tại chủ yếu ở cả 3 dạng Fe^0 , Fe^{2+} , Fe^{3+} . Các ion Fe^{2+} (sắt hai), Fe^{3+} (sắt ba) rất hoạt động bởi vì nó luôn có xu hướng trở về trạng thái ổn định ban đầu. Trong mỗi trạng thái hoạt động đó, Fe^{2+} hay Fe^{3+} có thể tham gia một vài phản ứng hóa học, phản ứng này có thể tạo thành lớp màng oxýt bảo vệ hoặc cũng có thể gây nên ăn mòn cốt thép. Khi không có mặt ion Cl^- , lớp màng oxýt tạo thành và rất ổn định, hơn nữa do có môi trường pH cao (khoảng 12 đến 13,5) nên hầu hết Fe^{2+} chuyển hóa thành dạng Fe^{3+} , khi đó với sự có mặt của oxy với một nồng độ nhất định nào đó thì lớp màng oxýt thụ động được tạo thành, bảo vệ cho thép không bị phá hủy. Quá trình này có thể được mô tả bằng các phản ứng hóa học sau :

- Tại anốt, sắt giải phóng điện tử để trở thành sắt (II) :



- Các điện tử tự do di chuyển sang vùng catốt, tại đó nó kết hợp với nước và ôxy tạo thành hydrôxin:



- Những hydrôxin này kết hợp với sắt (II) tạo thành sắt (II) hydrôxít :



- Khi có mặt nước và oxy, sắt (II) hydrôxít bị oxi hóa thành sắt (III) oxýt :



Khi phân tích trên kính hiển vi điện tử sẽ thấy trên bề mặt cốt thép tồn tại lớp màng thụ động gồm có chủ yếu là oxýt sắt (II) và oxýt sắt (III). Trong đó khả năng chống lại ăn mòn clorua của oxýt sắt (II) thấp hơn oxýt sắt (III). Thực tế thì màng thụ động không ngăn được ăn mòn, nó giảm mức độ ăn mòn tới mức nhỏ nhất. Thép trong BT, bình thường mức độ thụ động ăn mòn là 0,1 $\mu m/năm$, không có màng thụ động

thép sẽ bị ăn mòn nhanh tối thiểu là gấp 3 lần [19, 85]. Ngoài ra có thể tồn tại những lỗ nhỏ mà không được màng thụ động bao phủ. Do vậy có thể thấy trên bề mặt thép không chỉ có lớp oxýt thụ động mà còn có cả những khuyết tật trên đó.

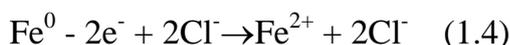
Hiện tượng ăn mòn cốt thép xảy ra khi lớp màng thụ động trên bề mặt cốt thép bị phá hủy bởi một trong hai điều kiện sau (hoặc cả hai):

- Do cacbonat hóa, độ pH của BT ở miền cận bề mặt cốt thép có thể giảm xuống dưới giá trị cần thiết để duy trì cốt thép ở trạng thái thụ động (ví dụ pH < 10). Nhìn chung quá trình cacbonat hóa thường diễn ra trong thời gian khá dài, đặc biệt với BT có cường độ nén từ ≥ 30 MPa, và chiều dày bảo vệ ≥ 30 mm thì không đáng quan ngại;

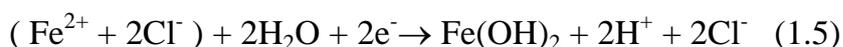
- Do xâm nhập từ môi trường có ion clo, hoặc do nhiễm mặn từ đầu, nồng độ clorua trong BT có thể phá vỡ cục bộ màng thụ động khi vượt ngưỡng ăn mòn cốt thép. Theo các công trình nghiên cứu [37] [100], ngưỡng nồng độ clorua gây gỉ cốt thép khoảng từ $(1,2 \div 1,4) \text{ kg/m}^3 \text{ BT}$ hoặc 0,05% khối lượng bê tông. Đây là vấn đề hết sức đáng lo ngại đối với kết cấu BTCT trong môi trường biển, đặc biệt là BT có hàm lượng clorua cao ngay từ đầu thì nồng độ clorua có thể đã vượt ngưỡng 0,05 % khối lượng BT.

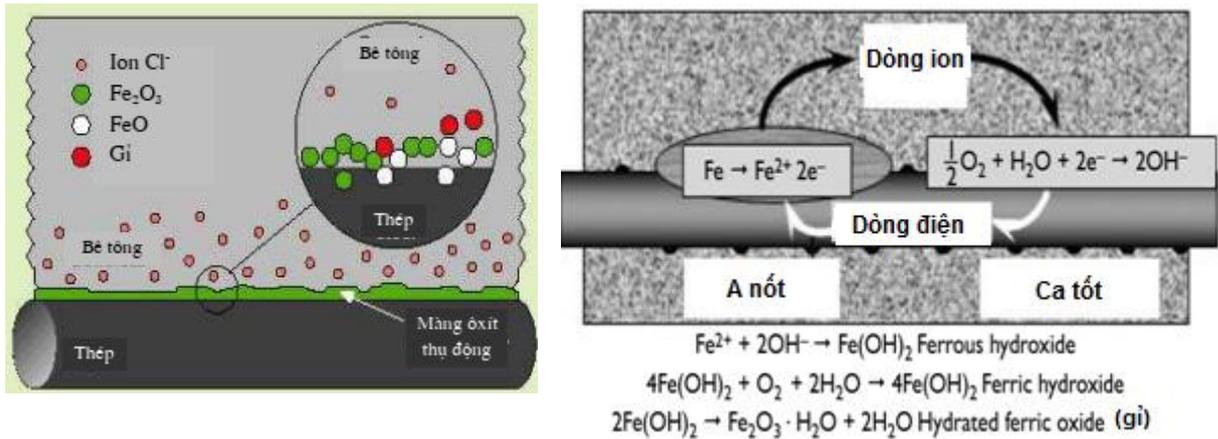
Nếu lớp màng thụ động luôn bền vững thì cốt thép trong BT sẽ được bảo vệ và không bị ăn mòn. Tuy nhiên khi BT có hàm lượng clorua cao thì ion Cl^- sẽ tác động vào bề mặt cốt thép và gặp những khu vực có khuyết tật trên lớp màng thụ động, đây là khu vực không được bảo vệ và rất dễ bị phá hoại. Do có bán kính nhỏ (0,181nm) nên ion Cl^- dễ dàng thâm nhập qua khu vực khuyết tật của lớp màng thụ động, tham gia phản ứng trực tiếp với sắt tạo thành dạng phức sắt - clorua hòa tan. Quá trình ăn mòn thép trong BT là một quá trình điện hóa bao gồm sự dịch chuyển điện tích và một vài phản ứng hóa học (Hình 1.15):

- Tại anốt, sắt phản ứng với ion clo thành phức tan sắt-clorua :



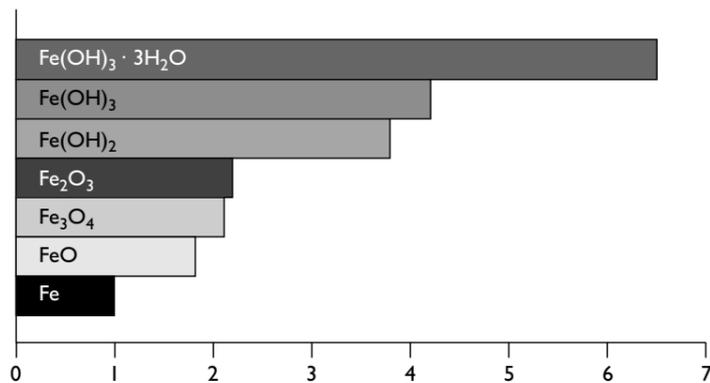
- Phức tan sắt - clorua khuếch tán ra phía ngoài, nơi có pH và oxy cao hơn. Nó tác dụng với nước tạo thành sắt (II) hydroxít :





Hình 1.15. Ion clorua phá hủy lớp màng thụ động trên bề mặt thép[61]

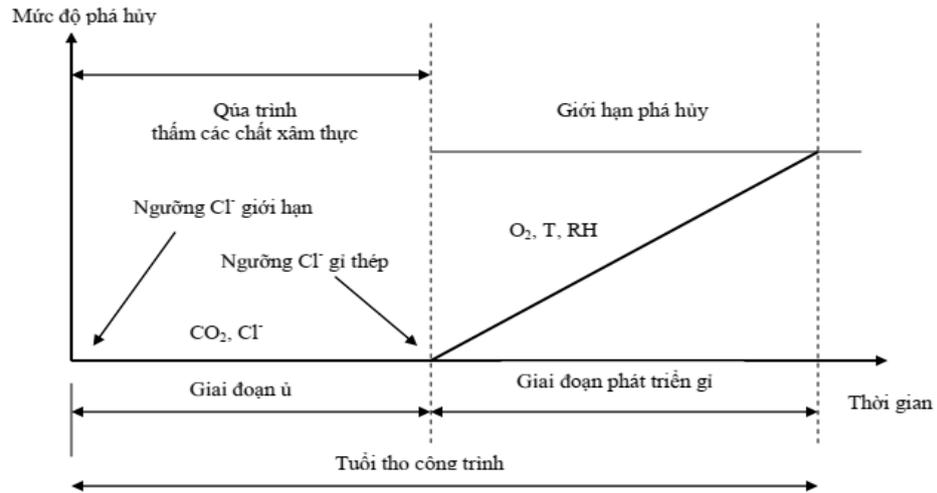
Khi nồng độ ion Cl^- càng cao thì sự có mặt tại vực khuyết tật màng thụ động càng lớn và càng nhiều sắt kim loại bị hòa tan. Màng thụ động bị phá hủy tạo điều kiện cho nước và oxy tiếp cận bề mặt cốt thép, trực tiếp phản ứng với sắt tạo ra các oxít và hydroxyt sắt làm giảm dần tiết diện cốt thép chịu lực. Sản phẩm của quá trình ăn mòn (gỉ sắt) có thể tích lớn gấp 6 lần thể tích ban đầu, do đó dẫn tới nứt, bục BT (Hình 1.16).



Hình 1.16. Thể tích tương đối của gỉ và các ô xít và Hydroxyt [61]

Khi một điểm trên cốt thép bị ăn mòn, những nguyên tử sắt mới sẽ bị lộ ra và lại bị ion Cl^- tiếp tục tấn công, do đó sự ăn mòn lại tiếp tục phát triển và chỉ dừng lại khi một lớp màng oxít bảo vệ mới được hình thành trở lại.

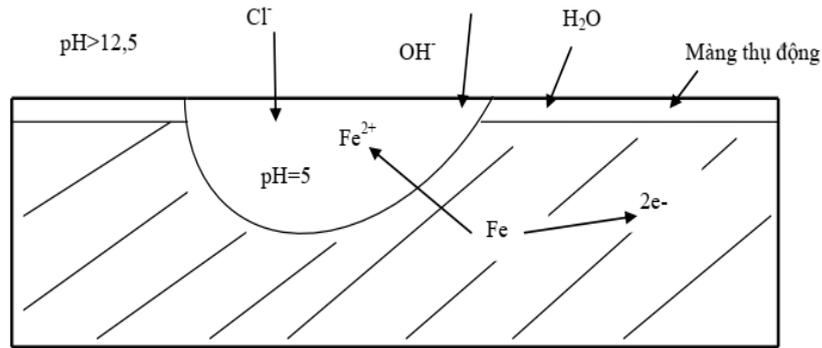
Theo tác giả Tuutti [108], quá trình ăn mòn và phá hủy cốt thép được chia làm hai giai đoạn như Hình 1.17, gồm hai giai đoạn là giai đoạn ủ và giai đoạn phát triển gỉ thép.



Hình 1.17. Sơ đồ mô tả quá trình ăn mòn phá hủy kết cấu BTCT [108]

Giai đoạn ủ: Là thời kỳ tích tụ điều kiện để gây gỉ cốt thép trong BT (còn được gọi là giai đoạn ủ), đối với BT sử dụng vật liệu sạch ngay từ ban đầu (ví dụ tổng clorua dưới $0,6 \text{ kg/m}^3$) thì lượng muối trong BT còn nhỏ $[\text{Cl}^-] < [\text{OH}^-]$, chưa đủ gây phá hoại màng thụ động và phải cần một khoảng thời gian dài nữa hàm lượng clorua mới đạt ngưỡng gây ăn mòn (khoảng $1,2 \div 1,4 \text{ kg/m}^3$ tùy điều kiện môi trường và chất lượng bê tông), tức đủ sức phá vỡ màng thụ động. Tuy nhiên đối với BT làm mới có chiều dày bảo vệ không đủ theo tiêu chuẩn thiết kế hay bê tông sửa chữa mà trong bê tông cũ đã có hàm lượng clorua cao thì trong giai đoạn ủ này bị rút ngắn, tác nhân xâm thực Cl^- đạt ngưỡng đủ khả năng xuyên thủng màng thụ động FeO , Fe_2O_3 và tạo ra các anốt cục bộ trên bề mặt cốt thép sau thời gian ngắn khi đưa công trình vào khai thác sử dụng nên phần lớn thời gian trong tuổi thọ thiết kế cốt thép phải làm việc trong điều kiện bê tông bị nhiễm clorua cao.

Ở giai đoạn này có 2 vị trí xảy ra phản ứng hóa học, ở vùng cận cốt thép, thông qua một số khuyết tật của màng thụ động, Cl^- tương tác với sắt sẽ xảy ra ăn mòn nhanh tạo ra FeCl_2 , FeCl và kèm theo đó độ pH trong vi lỗ giảm mạnh tiếp tục kích thích phản ứng anốt, đồng thời ở vùng khác xảy ra phản ứng ca tít hình thành các ion OH^- (Hình 1.18).



Hình 1.18. Sơ đồ mô tả quá trình cốt thép bị ăn mòn điểm[108]

Giai đoạn phát triển gỉ thép: Trong giai đoạn này, các ion Fe^{2+} đã tan ra sẽ tác động trở lại với các anion khác trong môi trường đá xi măng để tạo thành các chất có khả năng bao bọc quanh cốt thép. Thành phần các chất kết tủa này sẽ khác nhau tùy theo lượng muối đã có trong BT và độ các bonat hóa của BT. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng, nếu BT còn tốt và không bị nhiễm mặn thì lớp gỉ quanh cốt thép rất bền, nó có tác dụng bảo vệ cốt thép không để muối tác động vào bề mặt cốt thép. Nhưng khi BT có hàm lượng clorua lớn thì lúc này gỉ quanh cốt thép không còn tác dụng bảo vệ cốt thép nữa. Nói cách khác, các ion ban đầu của giai đoạn 2 là Fe^{2+} , Cl^- , OH^- thì sản phẩm ăn mòn sẽ thay đổi nhanh vì hàm lượng Cl^- đã vượt quá ngưỡng điều kiện ăn mòn đã tích tụ trên bề mặt cốt thép dẫn đến giai đoạn phát triển gỉ nhanh và tăng tốc quá trình phá hủy cốt thép.

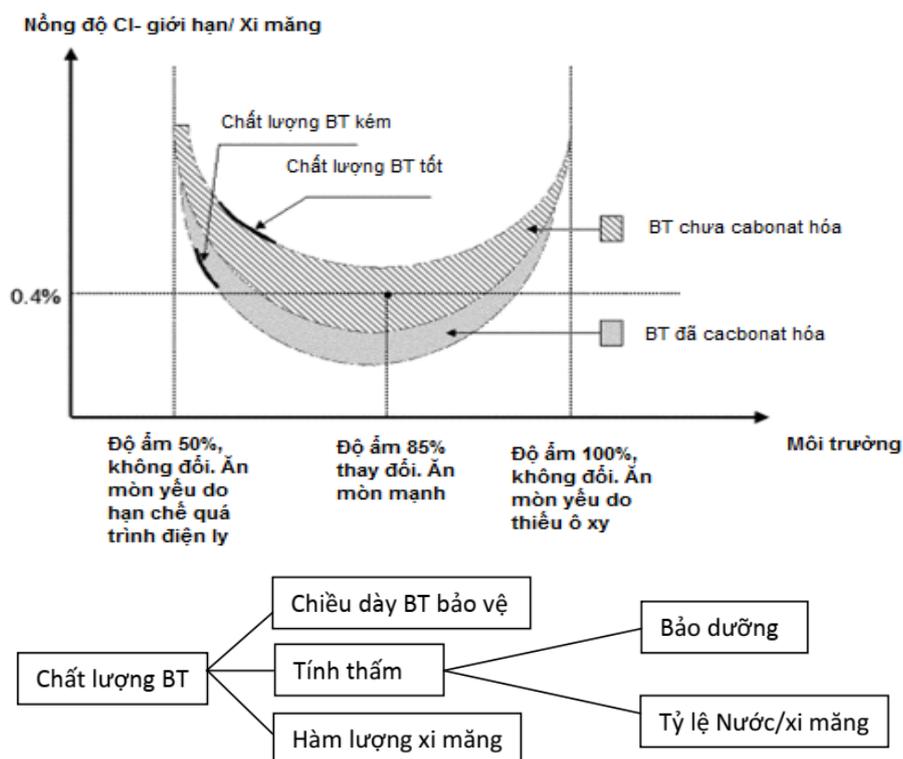
Trong phản ứng để tạo ra gỉ thép, O_2 và H_2O tham gia trực tiếp. Với vai trò là tác nhân ăn mòn, ion clo không tham gia vào phản ứng tạo gỉ thép, nhưng tiếp cận các vị trí khuyết tật trên màng thụ động, hòa tan thép để phá vỡ màng thụ động tạo điều kiện khơi mào cho các phản ứng hóa học có thể xảy ra. Xét về mặt lý thuyết, trong một phản ứng hóa học, nếu thiếu một hoặc vài thành phần tham gia, cũng như điều kiện thì sẽ không xảy ra phản ứng hóa học đó. 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 vậy, dựa trên cơ sở nghiên cứu các thành phần tham gia phản ứng hình thành gỉ thép và điều kiện phản ứng (màng thụ động bị phá vỡ) thì có thể đình chỉ hoặc giảm thiểu sự hình thành gỉ cốt thép bằng biện pháp duy trì hàm lượng clorua trong BT ở dưới ngưỡng gây gỉ cốt thép. Trường hợp BT có hàm lượng clorua cao hơn ngưỡng gây gỉ cốt thép thì bắt buộc phải áp dụng các biện pháp khác. Một trong số chúng là cách ly cốt thép (như sơn phủ cốt thép trước khi đổ BT) hoặc hạn chế sự cung cấp O_2 và H_2O (như nâng cao độ chống thấm nước, tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ tới mức

cần thiết). Ngoài ra còn có các biện pháp khác như bảo vệ điện hóa, chất ức chế ăn mòn, bảo vệ bề mặt v...v.

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

Tiêu chuẩn ACI 222.R [41] 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 như trên đồ thị Hình 1.19.



Hình 1.19. Mối tương quan giữa nồng độ Cl⁻ gây gỉ và các yếu tố ảnh hưởng [41]

Trong tiêu chuẩn ACI, chất lượng bê tông được quan niệm theo nghĩa rộng, phụ thuộc chiều dày bê tông bảo vệ, tính thấm và hàm lượng xi măng trong bê tông. Qua Hình 1.19 có thể thấy, ăn mòn chỉ xuất hiện ở ngưỡng Cl⁻/X nhất định (trên hình là 0,4% xi măng), ngưỡng này phụ thuộc chất lượng bê tông bảo vệ và điều kiện môi trường. Khí hậu Việt Nam nóng ẩm, độ ẩm thường xuyên 75% và lớn hơn kết hợp nhiệt độ môi trường cao là các điều kiện thuận lợi cho cốt thép trong bê tông bị ăn mòn. Để kéo dài thời điểm đạt ngưỡng Cl⁻/X, Việt Nam và các nước đều hạn chế hàm lượng clorua đầu vào như Bảng 1.7.

Bảng 1.7. Giới hạn hàm lượng clorua trong BTCT

STT	Tên quy phạm, TC	Giới hạn hàm lượng clorua trong BTCT
1	ACI 222	Cl ⁻ hòa tan trong a xít: - 0,2 % XM đối với BTCT thường; - 0,085% XM đối với BTCT ứng suất trước.
2	BS 5328	- 0,1% XM đối với BTCT ứng suất trước; - 0,2% XM đối với BTCT dùng XM hỗn hợp; - 0,4% XM đối với BTCT dùng XM PC.
3	AS 3600	0,8 kg/m ³ đối với BTCT thường và ứng suất trước.
4	JSCE – SP1	- 0,6 kg/m ³ đối với BTCT thường và ứng suất trước kéo sau; - 0,3 kg/m ³ đối với BTCT ứng suất kéo trước.
5	ACI 357- R	Cl ⁻ hòa tan trong nước: - (0,1÷0,15)% xi măng đối với BTCT thường; - 0,06% xi măng đối với BTCT ứng suất trước.
6	ACI 318	Cl ⁻ hòa tan trong nước: - 0,15% xi măng đối với BTCT trong môi trường có Cl ⁻ ; - 1% xi măng đối với BTCT khô ráo; - 0,3% xi măng đối với BTCT ở các môi trường còn lại.
7	TCVN 9346: 2012	- 0,6 kg/m ³ đối với BTCT thường ; - 0,3 kg/m ³ đối với BTCT ứng suất trước.

Trong quá trình sử dụng bê tông tiếp tục bị nhiễm mặn từ môi trường. 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. Một số nước quan niệm rằng (ví dụ JSCE 16 của Nhật) thời hạn sử dụng theo thiết kế của kết cấu bê tông cốt thép được tính tương đương thời gian bê tông đạt ngưỡng trên (ví dụ 0,4% X).

Một trong số các biện pháp có khả năng bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trong trường hợp clorua trong bê tông đã xấp xỉ hoặc đạt ngưỡng ăn mòn này là cách ly cốt thép khỏi môi trường chứa clorua cao hoặc sử dụng bê tông có tính năng nâng cao.

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

Mục tiêu là để hạn chế sự xâm nhập của nước và ô xy vào vùng cận cốt thép. Thực hiện bằng cách nâng cao độ chống thấm nước hoặc tăng chiều dày bê tông bảo

vệ. Riêng hàm lượng xi măng các nước đều không chế không nhỏ hơn (320÷350) kg/m³ cũng là để đảm bảo cấu trúc chống thấm tốt cho bê tông.

1.5.1.1 . Nâng cao độ chống thấm nước

BT có độ chống thấm cao sẽ ngăn cản sự dịch chuyển O₂, H₂O,...vào trong BT, ngăn ngừa phản ứng hình thành gỉ thép ở cực catot, làm chậm quá trình ăn mòn cốt thép trong BT. Bản chất thấm do 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.

Để thực hiện biện pháp này, các nước quy định mức chống thấm (hoặc N/X) thích hợp theo vùng môi trường biển.

Vùng ngập nước: Theo nhiều tài liệu, nguy cơ ăn mòn clorua ở vùng này là thấp nên các tiêu chuẩn đưa ra có yêu cầu bảo vệ thấp hơn, ví dụ tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 [28] Bảng 1 có yêu cầu mác bê tông từ M300 đến M400, độ chống thấm nước từ W8 đến W10. Tiêu chuẩn ACI 357R [98], ACI 318R [68] và AS 3600:2018 [99] không quy định độ chống thấm nước nhưng quy định cường độ nén của bê tông tối thiểu là 40 MPa..

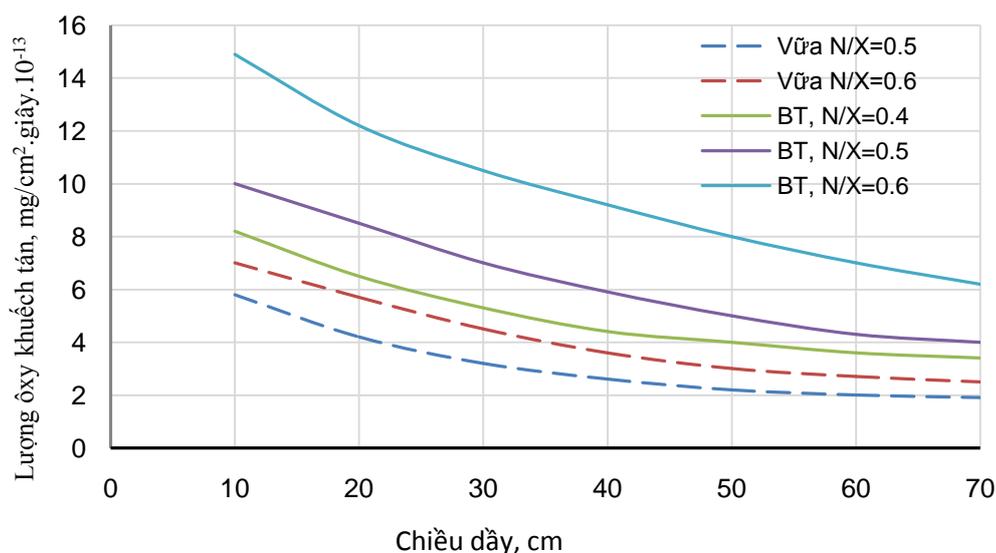
Vùng nước lên xuống và sóng tấp: Đây là vùng chịu tác động của môi trường xâm thực rất mạnh nên ăn mòn clorua xảy ra nhanh và mạnh do vậy một số tiêu chuẩn cũng quy định yêu cầu về mác BT, độ chống thấm nước cao hơn. Ví dụ TCVN 9346:2012 [28] yêu cầu độ chống thấm nước từ W10 đến W12. Tiêu chuẩn ACI 357R [98], ACI 318R [68] và AS 3600:2018 [99] quy định cường độ nén của bê tông tối thiểu là 50 MPa nhưng không quy định độ chống thấm nước.

Vùng khí quyển biển: Các kết cấu BTCT càng sâu trong đất liền thì mức độ chịu ảnh hưởng của môi trường càng giảm, tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 [28] có phân thành 3 tiểu vùng khác nhau. Trong đó vùng trên mặt nước mác bê tông từ M300 đến M500, độ chống thấm nước từ W8 đến W12. Vùng trên bờ, cách mép nước từ 0 km đến 1 km và vùng gần bờ cách mép nước từ 1 km đến 30 km có cùng quy định mác bê tông từ M250 đến M400 và độ chống thấm nước từ W6 đến W10. Tiêu chuẩn ACI 357R [98], ACI 318R [68] quy định cường độ nén của bê tông tối thiểu là 50 MPa nhưng AS 3600:2018 [99] quy định là 32 MPa và 40 MPa đối với vùng cận ven biển và ven biển, các tiêu chuẩn này cũng không quy định độ chống thấm nước. Tuy nhiên khi cường độ BT được tăng lên cũng có nghĩa cải thiện cấu trúc BT, làm tăng khả năng đặc chắc và giảm tính thấm.

Tiêu chuẩn TCVN 12251: 2020 [5] 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. Trong tiêu chuẩn này, phụ lục D có quy định tương ứng với từng môi trường và ứng với bê tông có hệ số khuếch tán clorua (cm^2/s) hoặc mức chống thấm nước; phụ lục F có tương quan mức chống thấm nước từ W4 đến W20 và hệ số khuếch tán clorua trong bê tông từ $0,5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ đến $5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$

1.5.1.2 . Tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ

Chiều dày lớp BT bảo vệ đóng một vai trò quan trọng đối với độ bền lâu của kết cấu BTCT [26], [37]. Tăng chiều dày lớp BT bảo vệ trong BT có Cl^- cao có tác dụng làm chậm quá trình dịch chuyển O_2 , H_2O , Cl^- ... vào trong BT đến miền cận cốt thép do phải qua lớp BT bảo vệ dài hơn, vì vậy cũng có khả năng làm chậm quá trình hình thành gỉ thép. Tốc độ thẩm thấu của O_2 , H_2O ... phụ thuộc vào chiều dày BT bảo vệ được mô tả như Hình 1.20 [41].



Hình 1.20. Mức độ khuếch tán oxy qua BT có độ đặc chắc và chiều dày khác nhau [41]

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: Chiều dày BT bảo vệ trong tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 [28] quy định từ 30 mm đến 40 mm tùy thuộc vào vùng nước lợ cửa sông hay nước biển. Tiêu chuẩn ACI 357R [98] và ACI 224R [97] quy định chiều dày BT bảo vệ tối thiểu là 50 mm trong khi Tiêu chuẩn AS 3600:2018 [99] là 35 mm.

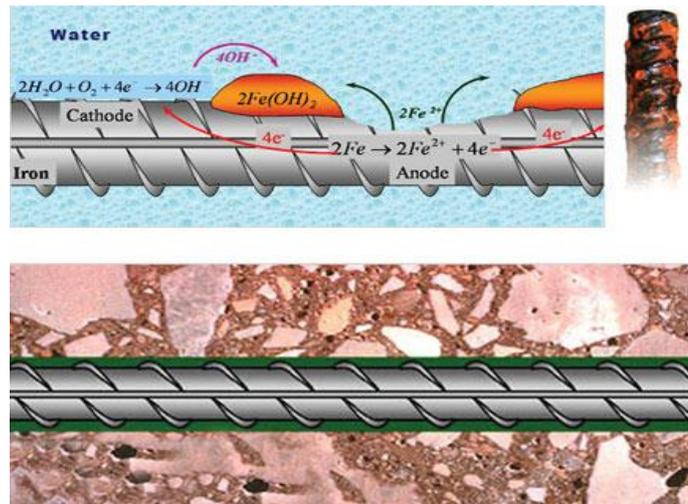
Vùng nước lên xuống và sóng táp: TCVN 9346:2012 [28] yêu cầu chiều dày BT bảo vệ từ 50 mm đến 70 mm tùy thuộc vào vùng nước lợ cửa sông hay nước biển. Tiêu chuẩn ACI 357R [98] và ACI 224R [97] quy định chiều dày BT bảo vệ tối thiểu là 65 mm trong khi Tiêu chuẩn AS 3600: 2018 [99] là 50 mm.

Vùng khí quyển biển: tiêu chuẩn TCVN 9346: 2012 [28] có phân thành 3 tiểu vùng khác nhau. Trong đó vùng trên mặt nước chiều dày BT bảo vệ từ 30 mm đến 60 mm. Vùng trên bờ, cách mép nước từ 0 km đến 1 km và vùng gần bờ cách mép nước từ 1 km đến 30 km chiều dày BT bảo vệ tương ứng từ 25 mm đến 50 mm, từ 20 mm đến 40 mm. Tiêu chuẩn ACI 357R [98] và ACI 224R [97] quy định chiều dày BT bảo vệ tối thiểu là 50 mm trong khi Tiêu chuẩn AS 3600:2018 [99] là 35 mm. Tiêu chuẩn TCVN 12251: 2020 [5] 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 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 mác 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 $0,6 \text{ kg/m}^3 \text{ BT}$.

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 (Hình 1.21). Sự có mặt của lớp che phủ trên bề mặt cốt thép sẽ kìm hãm sự hình thành các pin tế vi (microcell) [2, 32]. Lớp phủ bảo vệ có thể là lớp phủ vô cơ hay lớp phủ hữu cơ, trong đó lớp phủ hữu cơ bao gồm các lớp phủ sơn và lớp phủ polyme. 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 pigment đưa vào lớp phủ) [32].



Hình 1.21. Cốt thép trong BT được bảo vệ chống ăn mòn khi sơn phủ

Ăn mòn kim loại là quá trình điện hóa. Có thể ngăn cản quá trình ăn mòn kim loại bằng cách ngăn chặn phản ứng ở catot hoặc anot hoặc bằng cách ngăn cản dòng ăn mòn trong dung dịch điện phân. Ba phương pháp này gọi là ức chế catot, ức chế anot, ức chế điện trở [22, 76].

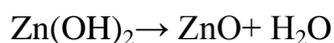
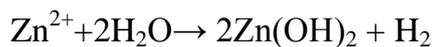
Ức chế catot: Trong phản ứng ở catot tác nhân phản ứng là oxy và nước. Thực nghiệm cho thấy màng sơn có độ dày bình thường không thể ngăn cản oxy và nước thấm qua màng nên màng sơn không thể hiện tác dụng ức chế catot [69].

Ức chế anot: Tại miền catot phản ứng bao gồm sự chuyển ion kim loại vào trong chất điện ly kèm theo giải phóng điện tử lưu lại trong kim loại. Do đó ức chế anot theo hai cách [114]:

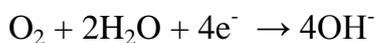
Cung cấp đầy đủ điện tử cho kim loại để ngăn cản ion kim loại đi ra khỏi bề mặt. Sử dụng các màng sơn bảo vệ catot chứa các bột màu kim loại có thể ăn mòn thấp hơn thế ăn mòn của kim loại cần được bảo vệ ví dụ như sơn giàu kẽm. Các pigment hy sinh như kẽm thường có dạng hình cầu được sử dụng với nồng độ lớn để đảm bảo độ dẫn điện giữa các hạt kẽm và nền thép trong màng sơn. Trong điều kiện như vậy, một galvanic nối với nhau được tạo ra giữa Zn và chất nền (thép) cao hơn Zn, sau đó kẽm hòa tan một cách ưu tiên hoạt động như anot hy sinh và cho phép bảo vệ catot chất nền [101].

Ở giai đoạn ban đầu của bột kẽm trong màng khi tiếp xúc với bề mặt thép và dung dịch điện ly đóng vai trò như một anot hy sinh tạo ra dòng điện để bảo vệ catot, quá trình hòa tan Zn theo phản ứng:





Quá trình này diễn ra trong màng sơn. Cực âm của quá trình lấy đi O_2 và làm giảm O_2 diễn ra trên bề mặt thép theo phản ứng:



Sau một thời gian làm việc, bột kẽm trong màng bị ăn mòn tạo thành oxit kẽm hoặc hydroxit kẽm có tác dụng như một pigment ức chế ăn mòn trong màng sơn, khi đó màng lại hoạt động theo cơ chế bảo vệ che chắn [78], [39].

Ức chế điện trở: Đây là cơ chế bảo vệ chung nhất được thực hiện bởi màng sơn. Khi phủ 1 lớp màng sơn lên bề mặt kim loại có nghĩa là đặt một điện trở vào mạch điện hóa, sự di chuyển ion kim loại từ bề mặt vào dung dịch chất điện ly bị ngăn cản dẫn đến ăn mòn kim loại bị ngăn chặn hoặc ít nhất cũng bị giảm xuống giá trị thấp.

Các yếu tố ảnh hưởng đến tác dụng ức chế điện trở của màng sơn:

- + Độ dày của màng sơn;
- + Hàm lượng tạp chất tan trong nước của bột màu;
- + Mức độ sạch của bề mặt kim loại trước khi sơn;
- + Khả năng ngăn cản sự thấm nước và chất điện ly qua màng sơn.

Mỗi loại sơn có yêu cầu kỹ thuật khác nhau tùy theo môi trường ăn mòn. Sơn có chức năng bám dính trên bề mặt, ức chế sự ăn mòn nếu có mặt chất màu ức chế, hoạt động hy sinh nếu có mặt chất màu giàu kẽm và chịu tác dụng trực tiếp của môi trường ăn mòn. Thực tế tùy thuộc vào mục đích sử dụng mà lớp sơn có thể tăng lên hoặc giảm xuống [11].

1.6 . Cơ sở khoa học của đề tài

1.6.1 . Giả thuyết khoa học

Đối với kết cấu bê tông cốt thép thông thường ở vùng biển (clorua dưới $0,6 \text{ kg/m}^3$), TCVN 9346: 2012 và TCVN 12251:2020 quy định: bê tông phải đóng vai trò chính (bảo vệ cơ bản) trong việc bảo vệ cốt thép và chỉ khi bảo vệ này không đủ, mới áp dụng các biện pháp bảo vệ hỗ trợ (ví dụ trát, ốp, sơn, làm chắc bề mặt kết cấu). Theo đó, khi có đủ chiều dày, mác chống thấm nước, bê tông sẽ đồng thời ngăn chặn được sự xâm nhập của các tác nhân ăn mòn là ion clo, nước, ô xy xâm nhập tới bề mặt cốt thép.

Đối với bê tông tiềm ẩn khả năng nhiễm clorua cao ($\geq 1,2 \text{ kg/m}^3$), hàm lượng clorua đã xấp xỉ hoặc đạt ngưỡng phá hủy màng thụ động cốt thép thì khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông bị giảm sút đáng kể vì bê tông đã mất chức năng bảo vệ màng thụ động cốt thép, chỉ còn giữ được nhiệm vụ ngăn chặn nước và ô xy. Nhiệm vụ có thể đáp ứng yêu cầu nếu bê tông có chất lượng chống thấm tốt và/hoặc chiều dày bảo vệ rất lớn (ví dụ 100 mm và lớn hơn), kết cấu như vậy không khả thi thực tế.

Trong trường hợp này sơn phủ cốt thép sẽ là giải pháp hiệu quả đảm nhận chức năng bảo vệ màng thụ động cốt thép. Sơn phủ tạo màng chắn ngăn chặn sự xâm nhập của cả clorua, nước và ô xy tới bề mặt cốt thép, giữ cho cốt thép không bị ăn mòn. Vai trò của vật liệu bảo vệ thay đổi, sơn phủ đóng vai trò bảo vệ chính, bê tông bảo vệ hỗ trợ. Hiệu quả bảo vệ cốt thép phụ thuộc chính vào khả năng ngăn chặn tác nhân gây ăn mòn xâm nhập tới cốt thép của bản thân màng sơn và độ bền lâu của màng sơn. 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

Tiêu chuẩn EN 1504 - 9 [40] “Sản phẩm và hệ thống sửa chữa, bảo vệ kết cấu bê tông. Phần 9. Nguyên tắc chung sử dụng sản phẩm và hệ thống”. EN 1504-9 đưa ra 6 nguyên tắc (từ 1÷6) liên quan xử lý khuyết tật bê tông và 5 nguyên tắc (7÷11) liên quan bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trong bê tông. Sử dụng sơn bảo vệ cốt thép phù hợp nguyên tắc 11 của EN 1504 – 9 là kiểm soát vùng anot (control anodic areas), áp dụng cho kết cấu tích tụ nhiều clorua, cốt thép bị gỉ và bê tông bảo vệ bị nứt vỡ.

Tiêu chuẩn SP 349.1325800.2017 [120] “Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – Tiêu chuẩn sửa chữa và gia cường” quy định tại phụ lục K biện pháp bảo vệ khung cốt thép trong bê tông theo nguyên tắc 9.2 gọi là Kiểm soát vùng anot (контроль анодных участков арматурного каркаса в бетоне) bằng lớp phủ sơn (Покрытие арматуры барьерного (защитного) типа), theo đó sơn epoxy được nêu như một màn chắn theo nguyên lý này. Biện pháp được khuyến cáo áp dụng cho kết cấu bê tông cốt thép sửa chữa và làm mới khi không thể đảm bảo chiều dày bê tông bảo vệ theo tiêu chuẩn.

Như vậy, giả thuyết khoa học đã nêu phù hợp với nguyên tắc bảo vệ cốt thép trong bê tông theo các tiêu chuẩn quốc tế. Sơn phủ hiệu quả trong việc bảo vệ cốt thép

trong bê tông tích tụ hàm lượng clorua lớn như kết cấu bê tông cốt thép sửa chữa và kết cấu không đảm bảo chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép theo tiêu chuẩn.

1.6.3 . Chọn loại sơn

Sơn phủ cốt thép có khả năng ngăn chặn tác nhân gây ăn mòn càng cao thì hiệu quả bảo vệ cốt thép càng cao. Để làm sáng tỏ vấn đề này trong nghiên cứu cần lựa chọn một số loại sơn với năng lực bảo vệ cốt thép khác nhau. Các loại sơn này cần có tiêu chuẩn hoặc chỉ dẫn kỹ thuật khuyến cáo để đảm bảo tính khoa học, có sản phẩm tương đồng và từng được áp dụng trong bê tông vùng biển để đảm bảo tính thực tế.

Nghiên cứu dự kiến thực hiện trên 4 loại với khả năng bảo vệ cốt thép khác nhau là sơn epoxy hai thành phần, epoxy giàu kẽm, polyurethane và xi măng polyme:

1.6.3.1 . Sơn epoxy

Hiện nay sử dụng cho cốt thép dưới hai dạng tương ứng với hai cơ chế đóng rắn, đó là một thành phần (cơ chế đóng rắn bằng nhiệt) và hai thành phần (cơ chế đóng rắn ở nhiệt độ thường).

- Sơn epoxy đóng rắn bằng nhiệt:

Sản phẩm thương mại chủ yếu dưới dạng bột, cốt thép được sơn trong nhà máy, quá trình đóng rắn được thực hiện ở nhiệt độ cao (trên 230⁰C) bằng cách phun bột epoxy lên mặt cốt thép nóng (fusion-bonded epoxy powder coatings). Ở nhiệt độ này bột epoxy chảy ra tạo thành màng nhựa. Tiêu chuẩn yêu cầu kỹ thuật của sơn này được thể hiện trong tiêu chuẩn ASTM A775/ A775M [45], ASTM A934/ A934M [46] và AASHTO M 284/M 284M [47]. Ưu điểm của màng phủ cốt thép bằng epoxy bột phun nóng là rất kín khít và đặc chắc, chuẩn xác về chiều dày. Nhược điểm của phương pháp này là khó thực hiện được ngoài công trường, dễ bị khuyết tật do vận chuyển, uốn cong khi thi công lắp dựng, khó khả thi áp dụng trong điều kiện Việt Nam.

- Sơn epoxy đóng rắn ở nhiệt độ thường:

Đây là loại sơn phổ biến trên thị trường, phù hợp TCVN 9014:2011, có cơ chế đóng rắn ở nhiệt độ thường. Ưu điểm của sơn này này là dễ áp dụng trong điều kiện Việt Nam, có thể dùng phương pháp quét, nhúng, phun để đạt chiều dày thiết kế khi lắp dựng cốt thép. Khi bị khuyết tật cũng dễ dàng sửa chữa. Tiêu chuẩn SP 349.1325800.2017 [120] 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. Tiêu chuẩn ASTM A775/ A775M mục 3.1.5, mục 3.4.2 tiêu chuẩn ACI 222R-01 cũng khuyến cáo sử dụng sơn epoxy hai thành phần (two-component epoxy),

mục 3.17 tiêu chuẩn TCVN 7934: 2009 (ISO 14654: 1999) [38] cho phép sử dụng vật liệu bịt kín để sửa chữa những vùng diện tích cốt thép bị hư hỏng. Tiêu chuẩn Trung Quốc GB 50212: 2002[56] cũng đưa ra phạm vi sử dụng nhựa chống ăn mòn, trong đó có epoxy (mục 6.1.1), quy trình tỷ lệ trộn nhựa epoxy 2 thành phần, phương pháp chế tạo màng có thể quét, lăn, phun (mục 9.1.3) và hướng dẫn quy trình thi công bao gồm chuẩn bị bề mặt, sơn các lớp và thời gian thi công (mục 9.2.2). Ngoài ra epoxy cũng là một loại polyme như khuyến cáo sử dụng bảo vệ cốt thép theo tiêu chuẩn EN 1504-9: 2008 [40]. Chỉ dẫn kỹ thuật của hội kỹ sư xây dựng Nhật Bản [72] mục 4.3.3 trong môi trường nhiễm mặn cao khuyến cáo nếu việc thiết kế trở nên khó khăn và không kinh tế thì nên sử dụng nhựa epoxy phủ các thanh thép vì nó có khả năng bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép tốt hơn khi cốt thép không được sơn phủ.

Sơn epoxy tương đồng Sikadur – 32. Đây là loại sơn có thể dùng để phủ cốt thép trong bê tông, có ưu điểm lớn là ít nhạy cảm với độ ẩm, độ chặt rất cao. Sơn epoxy cũng tương đồng với sản phẩm ЭПІСМ-М-грунт L.B. Nga là sơn epoxy biến tính, được ГОСТ 31384: 2017 (Phụ lục K) [44] khuyến cáo áp dụng như: “Sơn phủ bề mặt sản phẩm thép, sơn phủ bảo vệ cốt thép khỏi bị ăn mòn trong các môi trường ăn mòn trung bình, mạnh, trong đó bao gồm cả môi trường chứa clorua (ở điều kiện độ ẩm thông thường và cao)”.

1.6.3.2 . Sơn epoxy giàu kẽm

Sơn có hàm lượng các hạt kẽm cao, epoxy có tác dụng như chất kết dính phân tán đều các hạt kẽm trong màng sơn. Sơn epoxy giàu kẽm hoạt động theo cơ chế anot hy sinh, khi sản phẩm các hạt kẽm bị ăn mòn sẽ tạo ra oxit kẽm hoặc hydroxit kẽm làm giảm khả năng tiếp xúc với bề mặt thép nên khả năng bảo vệ của các hạt kẽm còn lại có xu hướng bị suy giảm. Lúc này, màng epoxy có chức năng che chắn bảo vệ cốt thép.

Tiêu chuẩn TCVN 12251: 2020 [5] mục 5.5 yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn cho các chi tiết đặt sẵn và bộ phận liên kết bằng thép sử dụng trong điều kiện có tác động ăn mòn của môi trường cần được bảo vệ bằng các lớp phủ dạng điện cực ăn mòn. Tiêu chuẩn ГОСТ 31384: 2017 [44] mục 8.5 bảo vệ chống ăn mòn cho các chi tiết kết nối với kết cấu BTCT đúc sẵn và BTCT toàn khối có yêu cầu về phương pháp mạ kẽm lạnh bằng các chế phẩm giàu kẽm (sơn, vecni...) bằng nhúng, quét và lăn trên bề mặt. Lớp phủ theo tiêu chuẩn EN 1504-9: 2008 [40] có khả năng bảo vệ theo cơ chế catot như sơn epoxy giàu kẽm cũng có thể sử dụng bảo vệ cốt thép. Tiêu chuẩn ACI 222R-01 [48] 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. Tiêu chuẩn Trung Quốc GB 50212: 2002 [56] mục 9.2.18 đã đưa ra hướng dẫn chuẩn bị, thi công lớp phủ giàu kẽm vô cơ và hữu cơ đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật trong tiêu chuẩn. Chỉ dẫn kỹ thuật cho kết cấu BTCT [83] mục 5.17 để bảo vệ cốt thép trong môi trường ăn mòn nên sử dụng sơn epoxy và lớp phủ giàu kẽm lên cốt thép trước khi đổ bê tông. Tài liệu kiểm tra, sửa chữa cầu bê tông [89] mục 4.2 và 9.6 có hướng dẫn sử dụng sơn giàu kẽm và epoxy 2 thành phần có tỷ lệ 4: 1 để sửa chữa bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trước khi đổ bù lớp bê tông đã bị bong bục do cốt thép bị ăn mòn.

Sơn epoxy giàu kẽm tương đồng sơn Краска ЦИНОЛ của Nga – loại sơn polyme giàu kẽm, bảo vệ dạng anot hy sinh được ГОСТ 31384: 2017 (Phụ lục K) [44] 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 [40] có đưa ra nhóm sơn bảo vệ cốt thép là các polyme 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 [40] khuyến nghị sản phẩm sơn bảo vệ cốt thép khi sửa chữa chống ăn mòn là sơn polyme hoạt tính có chứa xi măng, lúc này vai trò của các hạt xi măng vừa là cốt liệu của lớp sơn, vừa là vật liệu kết nối với bê tông do đồng hệ kết dính, vừa là chất hỗ trợ bảo vệ màng thụ động do có độ kiềm cao. Sơn xi măng-polyme có thành phần chính là nhựa acrylic và xi măng, có thể có thêm hoặc không có chất ức chế. Mục 9.2.6 tiêu chuẩn GB 50212: 2002 [56] có yêu cầu nhựa acrylic và lớp phủ bảo vệ chống ăn mòn biến tính phải thỏa mãn các yêu cầu trong tiêu chuẩn. Trong phần 8.1 của tiêu chuẩn cũng đưa ra yêu cầu kỹ thuật xi măng- polyme khi sử dụng chống ăn mòn trên nền thép phải đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của bảng 8.2.1.

Sơn xi măng polyme AC – 05 đã được Viện Khoa học công nghệ xây dựng áp dụng bảo vệ cốt thép trong công tác sửa chữa các công trình vùng biển bị ăn mòn trong nhiều năm gần đây. Sơn xi măng polyme có sản phẩm thương mại tương đồng là Sika Monotop (trên cơ sở xi măng biến tính polymer và SF). Đây là sơn một thành phần, có tác dụng tăng độ đặc chắc màng sơn, cản trở nước và clorua xâm nhập, khi cần thiết có thể kết hợp thêm chất ức chế Sika Ferrogard.

1.6.4 . Bê tông bảo vệ

Đối với bê tông thông thường, tùy theo môi trường sử dụng ở vùng biển Việt Nam, TCVN 9346: 2012 chỉ định mức chất lượng bê tông bảo vệ cốt thép thể hiện qua độ chống thấm nước W và chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép.

Đối với bê tông có hàm lượng clorua cao, bê tông góp phần ngăn chặn sự xâm nhập các tác nhân phản ứng với thép là nước và oxy. Về mặt thực tiễn, nhiều công trình mặc dù bê tông có hàm lượng clorua rất cao nhưng nhờ chiều dày bê tông bảo vệ cũng rất lớn nên cốt thép rất ít bị hư hỏng. Ví dụ: Ngọn hải đăng Uku Nagasakibana [115] ở Nhật Bản (hàm lượng clorua ban đầu $3,4 \text{ kg/m}^3$, chiều dày bê tông bảo vệ 120 mm, sau trên 60 năm đang sử dụng bền vững; sơn phủ cốt thép trong bê tông không thể sử dụng một mình mà phải kết hợp với bê tông bảo vệ. Hai vật liệu này cấu thành giải pháp thích hợp để bảo vệ cốt thép trong bê tông vùng biển. Luận án dự kiến nghiên cứu trên các loại bê tông có các mức nhiễm clorua khác nhau 1,2; 1,8 và $2,4 \text{ kg/m}^3$ 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 M300W10 Δ 30 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

Phương pháp trong phòng cho các số liệu so sánh bê tông – bê tông, sơn - sơn và sơn – bê tông khác nhau, phát hiện các quan hệ, quy luật để lập các phương án bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm mặn ở các môi trường biển.

Phương pháp hiện trường trên công trình thực sau nhiều năm ứng dụng cho kết quả minh chứng giả thiết khoa học, các quy luật, quan hệ, phương án thiết lập qua nghiên cứu trong phòng, định lượng thời hạn bảo vệ kết cấu, hiệu quả bảo vệ cốt thép của một số loại sơn, chiều dày, mác chống thấm của bê tông bảo vệ trong các môi trường sử dụng kết cấu.

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 ứng dụng sơn phủ bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép kết hợp bê tông chất lượng phù hợp cho công tác sửa chữa kết cấu bê tông cốt thép vùng biển

bị ăn mòn hoặc 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 (mức 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 áp dụng.

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

2.1.1 . Chất kết dính

Chất kết dính trong nghiên cứu sử dụng là xi măng PCB40 Bút Sơn, các chỉ tiêu về thành phần hóa và hàm lượng các khoáng trong xi măng được thí nghiệm tại LAS XD-05, các chỉ tiêu cơ lý của xi măng được thí nghiệm tại LAS XD-03 và thể hiện trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Các chỉ tiêu cơ lý của xi măng Bút Sơn PCB 40

Các chỉ tiêu	Đơn vị tính	Kết quả
Lượng nước tiêu chuẩn	%	28,5
Lượng sót sàng N0,09	%	2,8
Độ ổn định thể tích	mm	1,0
Thời gian đông kết		
+ Bắt đầu	Phút	105
+ Kết thúc	Phút	175
Khối lượng riêng	g/cm ³	3,07
Cường độ nén R ₃	N/mm ²	30,2
Cường độ nén R ₂₈	N/mm ²	49,6
Hàm lượng clorua	%	0,01

2.1.2 . Cốt liệu nhỏ

Đề tài đã khảo sát sơ bộ cát nhiễm mặn tại một số vị trí như đảo Quan Lạn ở bãi chính, Vân Đồn ở Bãi Dài, Vũng Tàu ở Bãi sau, bãi Nha Trang (bên cạnh đường Trần Phú). Các mẫu cát được lấy trong tháng 9 và 10 năm 2015 tại vị trí bãi, sát mép nước biển, bảo quản trong túi kín và được chuyển về phòng thí nghiệm LAS XD- 05 để thí nghiệm phân tích hàm lượng Cl⁻, phương pháp thí nghiệm theo tiêu chuẩn TCVN 7572-15:2006, kết quả trong Bảng 2.2.

Bảng 2.2. Hàm lượng Cl⁻ của một số cát nhiễm mặn

Chỉ tiêu thử	Đơn vị	Cát Nha Trang	Cát Quan Lạn	Cát Vân Đồn	Vũng Tàu
Hàm lượng Cl ⁻	%	0,33	0,17	0,21	0,27

Kết quả cho thấy hàm lượng clorua trong cát lớn hơn 0,05% theo tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 và TCVN 9346:2012. Trong đó cát nhiễm mặn Nha Trang có hàm lượng Cl là 0,33% lớn nhất trong các loại cát khảo sát. So với một số kết quả nghiên cứu thì hàm lượng clorua cũng có sự khác nhau như cát nhiễm mặn Xà Cong- Quảng Ninh, cát Hang Bò- Đầm tôm Quảng Ninh [23]; cát Nha Trang [18]; Quan Lạn, Cam Ranh (Nha Trang) [10]...; có sự khác nhau này cũng có thể do các vị trí lấy mẫu cát khác nhau và còn phụ thuộc vào mùa và tháng trong năm.

Cát nhiễm mặn Nha Trang được thí nghiệm thành phần hạt và tính chất cơ lý tại phòng thí nghiệm LAS XD-03. Cát có mô đun độ lớn $ML = 2,1$. Các chỉ tiêu cơ lý khác được trình bày trong các Bảng 2.3 và Bảng 2.4.

Bảng 2.3. Tính chất cơ lý của cát nhiễm mặn Nha Trang

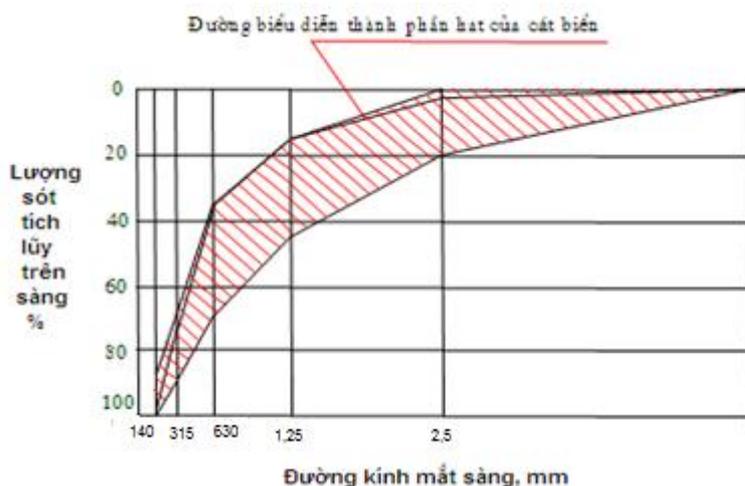
Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Tiêu chuẩn áp dụng
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,64	TCVN 7572-4 :2006
Khối lượng thể tích bão hòa	g/cm ³	2,61	TCVN 7572-4 :2006
Khối lượng thể tích khô	g/cm ³	2,6	TCVN 7572-4 :2006
Độ hút nước	%	0,6	TCVN 7572-4 :2006
Khối lượng thể tích xốp không đầm chặt	kg/m ³	1370	TCVN 7572-6 :2006
Khối lượng thể tích xốp đầm chặt	kg/m ³	1500	ASTM C29-2007
Độ xốp ở trạng thái không đầm chặt	%	47	ASTM C117-1995
Độ xốp ở trạng thái đầm chặt	%	42	ASTM C117-1995
Hàm lượng hạt $d < 0,075\text{mm}$	%	0,3	ASTM C117-1995
Lượng bùn sét và hạt dễ vỡ	%	0,1	ASTM C142-1997
Độ ẩm	%	4,1	TCVN 7572-7 :2006

Bảng 2.4. Thành phần hạt của cát nhiễm mặn Nha Trang

Kích thước mắt sàng (mm)	Lượng sót riêng (g)	Lượng sót riêng (%)	Lượng sót tích lũy A_i (%)
5	0	0	0
2,5	14	1,4	1,4
1,25	136	13,6	15
0,63	203	20,3	35,3
0,315	298	29,8	65,1

Kích thước mắt sàng (mm)	Lượng sót riêng (g)	Lượng sót riêng (%)	Lượng sót tích lũy A_i (%)
0,14	314	31,4	96,5
<0,14	35	3,5	100

Mô đun độ lớn của cát: $ML = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}}{100} = 2,1$



Hình 2.1. Biểu đồ thành phần hạt của cát nhiễm mặn Nha Trang

Nhận xét: Đường biểu diễn thành phần hạt của cát nhiễm mặn Nha Trang đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của cát chế tạo BT theo TCVN 7570:2006.

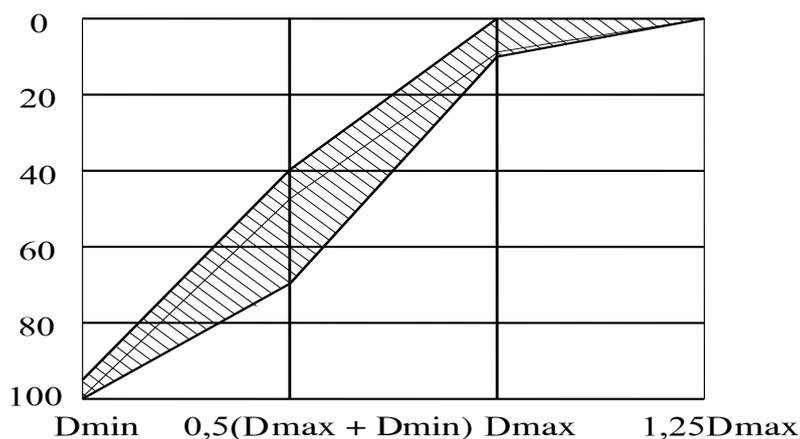
2.1.3 . Cốt liệu lớn

Trong nghiên cứu sử dụng cốt liệu lớn là đá dăm Hòa Bình để chế tạo BT nghiên cứu, thử nghiệm các tính chất của đá tại LAS XD-03, kết quả trong Bảng 2.5.

Bảng 2.5. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của đá dăm Hòa Bình

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Yêu cầu kỹ thuật	Phương pháp thử	
1	Lượng sót tích lũy trên sàng	Sàng 20	%	7,60	0-10	TCVN 7572-2 :2006
		Sàng 10	%	51,70	40-70	
		Sàng 5	%	94,5	90-100	
2	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,73	-	TCVN 7572:2006	
3	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1457	-	TCVN 7572:2006	
4	Độ hỏng ở trạng thái xốp	%	41,3	-	TCVN 7572:2006	

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Yêu cầu kỹ thuật	Phương pháp thử
5	Độ ẩm tự nhiên	%	0,63	-	TCVN 7572:2006
6	Hàm lượng, bụi, bùn, sét	%	0,4	$\leq 1,0$	TCVN 7572:2006
7	Hàm lượng clorua	%	0,001	$\leq 0,01$	TCVN 7572-15:2006



Hình 2.2. Biểu đồ thành phần hạt của đá dăm Hòa Bình

Nhận xét: Đá dăm Hòa Bình có thể sử dụng để chế tạo BT theo yêu cầu kỹ thuật TCVN 7570:2016.

2.1.4 . Nước trộn BT

Nước trộn BT là nước máy, thử nghiệm tính chất hóa học của nước tại LAS XD-05, kết quả thử nghiệm trong Bảng 2.6.

Bảng 2.6. Tính chất hóa học của nước

STT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Tiêu chuẩn áp dụng
1	pH	-	7	TCVN 6492:2011
2	Ion clo (Cl^-)	mg/l	10,32	TCVN 6194:1996
3	Ion sunphat (SO_4^{2-})	mg/l	1650	TCVN 6200:1996
4	Muối hòa tan	mg/l	185	TCVN 4560:1988
5	Cặn không tan	mg/l	0,0	TCVN 4560:1988

Các chỉ tiêu đáp ứng theo yêu cầu kỹ thuật TCVN 4506 : 2012.

2.1.5 . Phụ gia hóa học

Trong nghiên cứu sử dụng Phụ gia BIFI HV252 cho các mác BT M300, M400, M500. Đây là phụ gia siêu dẻo thể hệ mới dạng lỏng, màu nâu, với thành phần bao gồm các hợp chất polyme polycarboxylate ether cải tiến có khả năng giảm nước cao, giúp BT có độ chảy cao với lượng nước thấp. Hàm lượng sử dụng theo khuyến cáo của nhà sản xuất từ 0,6 lít đến 1,2 lít cho 100 kg chất kết dính. Tính chất cơ bản: Tỷ trọng : 1,06 kg/lít ; Độ pH: 4,65.

Phụ gia này được nhà sản xuất công bố thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật trong tiêu chuẩn TCVN 8826 :2011.

2.1.6 . 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 $\Phi 14$. Các chỉ tiêu cơ lý được trình bày trong Bảng 2.7.

Bảng 2.7. Kết quả thử tính chất cơ lý của cốt thép

STT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Tiêu chuẩn áp dụng
1	Giới hạn chảy	MPa	358,3	TCVN 197:2002 TCVN 198:2008
2	Giới hạn bền	MPa	517,9	
3	Độ dẫn dài tương đối	%	31,0	

2.1.7 . Sơn dùng cho nghiên cứu

Trong nghiên cứu này sử dụng bốn loại sơn cốt thép có tính năng chống ăn mòn cao, đó là sơn gốc epoxy, epoxy giàu kẽm, sơn polyurethane, xi măng polyme.

-Sơn gốc epoxy : Nhựa epoxy và chất đóng rắn được cung cấp bởi hãng Phoenix Resins Inc (Cinnaminson, NJ, Hoa Kỳ) có tên thương mại là MAS Epoxies-FLAG có độ nhớt trung bình. Tỷ lệ (theo khối lượng) giữa nhựa và chất đóng rắn sau khi điều chỉnh là 4:1. Hàm lượng chất khô $\geq 65\%$. Tỷ trọng: 1,3 kg/lít. Độ nhớt của nhựa ở 25⁰C: 110 giây. Độ nhớt của chất đóng rắn ở 25⁰C: 75 giây. Sơn đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của TCVN 9014:2011. Chi tiết thành phần hóa theo nhà sản xuất trên Bảng 2.8, kết quả thí nghiệm một số tính chất của sơn trong Bảng 2.9.

Bảng 2.8. Thành phần hóa học của nhựa epoxy và chất đóng rắn

Tên nhóm chức	Hàm lượng, %
Nhựa	
Bisphenol A Epoxy Resin	75 ÷ 95
Alkyl Glycidyl Ether	0 ÷ 10
Glycidyl Ether	4 ÷ 8
Nhựa Epoxy Phenol Novolac	0 ÷ 10
Chất đóng rắn	
Isophoronediamine	20 ÷ 30
Benzyl Alcohol	20 ÷ 30
1,3-xyclohexanedimethanamin	10 ÷ 20
Nonylphenol	10 ÷ 20
N- (2-aminoethyl) piperazin	<15

Bảng 2.9. Kết quả thí nghiệm sơn epoxy

TT	Chỉ tiêu thử	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
1	Ổn định trong thùng chứa	-	Khi khuấy trộn sơn trở nên đồng nhất không bị vón cục	TCVN 9014:2011
2	Thời gian khô bề mặt	h, min	0 h 50 min	TCVN 2096-4:2015
3	Độ bền va đập	kG.cm	55	TCVN 2100-2:2013
4	Hàm lượng chất không bay hơi	%	65,55	TCVN 9014:2011

- Sơn Xi măng- polyme AC-05 :

Thành phần A dạng bột, màu đỏ nhạt (gồm xi măng, bột mịn và chất ức chế ăn mòn cốt thép); thành phần B dạng lỏng, màu trắng sữa (latex acrylic butadien). Loại sơn này Trung tâm tư vấn chống ăn mòn và xây dựng của Viện KHCN XD đã sử dụng để sửa chữa các công trình bê tông cốt thép vùng biển và tại các nhà máy hóa chất công nghiệp. Tổng trọng lượng bộ 18 kg (thành phần A: 13 kg/bao, thành phần B: 5 Kg/can). Thông số kỹ thuật sản xuất trong Bảng 2.10, kết quả thử nghiệm trong Bảng 2.11.

Bảng 2.10. Thông số kỹ thuật sơn AC-05

Chỉ tiêu	Thông số kỹ thuật
Thời gian làm việc	1h ở nhiệt độ 20°C, ½ h ở nhiệt độ 30°C
Thời gian khô hoàn toàn	(24÷36) giờ
Thời gian thi công ở 25 ⁰ C	(30÷60) phút

Bảng 2.11. Kết quả thử nghiệm sơn xi măng- polyme

TT	Chỉ tiêu thử	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
1	Thời gian khô hoàn toàn	h, min	30h, 50 min	TCVN 2096-4:2015
2	Cường độ bám dính trên nền thép	MPa	1,6	TCVN 9349:2012

- **Sơn gốc Polyurethane:** sản phẩm Cleanthane của ATEK. Sơn gồm có 2 thành phần: sơn gồm polyols hoặc polyester polyols; chất đóng rắn là polyisocyanate tỷ lệ trộn sơn và chất đóng rắn theo tỷ lệ 15,5 : 3,5 theo khối lượng. Thông số kỹ thuật chính của sơn theo công bố của nhà sản xuất trong Bảng 2.12, kết quả thí nghiệm một số tính chất của sơn trong Bảng 2.13.

Bảng 2.12. Thông số kỹ thuật sơn polyurethane

Chỉ tiêu	Thông số kỹ thuật
Tỉ trọng	1,15 kg/lít
Hàm lượng chất khô	≥ 65%
Cường độ chịu kéo ASTM D412	>1,5 MPa
Độ bền mù muối	> 720 giờ
Chịu mài mòn	< 60 mg
Chịu va đập, chịu mài mòn, chống ăn mòn, khả năng chịu hoá chất và muối biển	Đáp ứng tốt
Thời gian khô hoàn toàn	18÷24 giờ

Bảng 2.13. Kết quả thí nghiệm sơn polyurethane

TT	Chỉ tiêu thử	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
1	Ổn định trong thùng chứa	-	Khi khuấy trộn sơn trở nên đồng nhất không bị vón cục	TCVN 9014:2011
2	Thời gian khô bề mặt	h, min	1 h 58 min	TCVN 2096-4:2015
3	Độ bền va đập	kG.cm	60	TCVN 2100-2:2013

TT	Chỉ tiêu thử	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
4	Hàm lượng chất không bay hơi	%	70,31	TCVN 9014:2011

- Sơn epoxy giàu kẽm: Là sơn epoxy giàu kẽm một thành phần Master Emaco 8100AP. Được khuyến nghị sử dụng làm lớp phủ cho cốt thép trong bê tông, nơi có môi trường clorua tấn công. Chịu va đập, chịu mài mòn, bám dính tốt với cốt thép, chống ăn mòn cốt thép trên nguyên lý anot hy sinh. Hàm lượng Zn trong màng sơn khô >90%. Khả năng chịu hoá chất và môi trường kiềm cao. Tỷ trọng: 2,2 kg/lít ở 25°C. Nhiệt độ khi sơn từ (10÷40) °C. Thời gian khô hoàn toàn: 12÷24 giờ. Độ nhớt động lực học 1,072 mPa.s ở 25°C. Thành phần hóa học theo công bố của nhà sản xuất trong Bảng 2.14, kết quả thí nghiệm một số tính chất trong Bảng 2.15.

Bảng 2.14. Thành phần hóa học của epoxy giàu kẽm

Tên hóa học	Hàm lượng, %
1-metoxypentan-2-ol	10 ÷ 15
cyclohexanone	0,3 ÷ 1
2-metoxypentyl axetat	0 ÷ 0,2
ZnO	3 ÷ 7
Zn	50 ÷ 70

Bảng 2.15. Kết quả thí nghiệm sơn epoxy giàu kẽm

TT	Chỉ tiêu thử	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
1	Ổn định trong thùng chứa	-	Khi khuấy trộn sơn trở nên đồng nhất, không bị vón cục	TCVN 9012:2011
2	Thời gian khô bề mặt	h, min	0 h 40 min	TCVN 2096-4:2015
3	Độ bền va đập	kG.cm	55	TCVN 2100-2:2013
4	Hàm lượng kẽm	%	93,65	TCVN 9012:2011

2.1.8 . Một số tính chất kỹ thuật với sơn phủ cốt thép

2.1.8.1 . Lực bám dính của màng sơn vào nền thép

Lực bám dính của màng sơn vào bề mặt nền cần bảo vệ là tính chất quan trọng của sơn, liên quan chặt chẽ đến chất lượng bảo vệ của màng sơn trước các yếu tố xâm thực (màng sơn càng bám chặt vào nền càng khó bị phồng rộp, bong tróc). Phương

pháp thí nghiệm theo tiêu chuẩn TCVN 9349:2012. Sơn thí nghiệm gồm 04 loại sơn trên nền thép đã được làm sạch, kết quả trong Bảng 2.16.

Bảng 2.16. Kết quả lực bám dính của sơn vào nền thép

Loại sơn	Lực bám dính, N/mm ²			
	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Trung bình
Xi măng- polyme	1,67	1,56	1,58	1,60
Polyurethane	3,81	3,67	3,54	3,67
Epoxy	4,32	4,13	3,81	4,09
Epoxy giàu kẽm	4,24	4,06	4,12	4,14

Kết quả cho thấy lực bám dính trên nền thép của sơn P, E và Z cao hơn so với sơn X, trong đó sơn Z có lực bám dính cao nhất so với các sơn còn lại.

2.1.8.2 . Độ bền hóa chất

Độ bền hóa chất đối với sơn cốt thép trong BT chủ yếu là khả năng chịu kiềm, khả năng chịu nước muối. Hiện nay mới có yêu cầu kỹ thuật của sơn E theo TCVN 9014: 2011, phạm vi áp dụng tiêu chuẩn này cho sơn E là kết cấu thép và các kết cấu kim loại chịu tác động của môi trường khí quyển biển. Yêu cầu kỹ thuật TCVN 9013:2011 của sơn P cho kết cấu thép, chưa có yêu cầu kỹ thuật cho sơn X và Z.

Điều kiện thử nghiệm khả năng chịu kiềm của sơn E là ngâm mẫu trong 168 giờ (7 ngày), chịu nước muối là 240 giờ (10 ngày). Độ bền kiềm và acid của P là 168 giờ (7 ngày) trong khi tiêu chuẩn ASTM A934 có yêu cầu về sơn cốt thép và được coi là đạt yêu cầu về độ bền hóa chất nếu sau 45 ngày ngâm trong dung dịch NaOH 3M, CaCl₂ và nước cất không thấy bất kỳ dấu hiệu hư hỏng nào của màng sơn. Đối chiếu hai tiêu chuẩn thì ASTM A934 quy định dài ngày hơn và khắc nghiệt hơn. Do vậy áp dụng phương pháp thử một số chỉ tiêu và thời gian ngâm mẫu của ASTM A934 đối với 4 loại sơn Z, E, P và sơn X có kết hợp với thử độ chịu acid H₂SO₄ 50 g/l.

Tiến hành quét 04 loại sơn lên tấm thép kích thước 50 mm x 100 mm x 2 mm với chiều dày lớp phủ khoảng 100 μm, mỗi loại 3 tấm và tiến hành ngâm 2 tấm trong các dung dịch trên, 1 tấm giữ lại để so sánh. Kết quả thử nghiệm trong Bảng 2.17 cho thấy cả bốn loại sơn đều đạt yêu cầu theo tiêu chuẩn nói trên.

Bảng 2.17. Kết quả thử nghiệm độ bền hóa chất của màng sơn

Tên chỉ tiêu	Epoxy	Xi măng- polyme	Polyurethane	Epoxy giàu kẽm
Dung dịch NaOH 3M	Không hỏng	Không hỏng	Không hỏng	Không hỏng
Dung dịch CaCl ₂	Không hỏng	Không hỏng	Không hỏng	Không hỏng
Nước cất	Không hỏng	Không hỏng	Không hỏng	Không hỏng
H ₂ SO ₄ 50g/l	Không hỏng	Không hỏng	Không hỏng	Không hỏng

2.1.8.3 . Độ bền uốn của các loại sơn

Thí nghiệm độ bền uốn thể hiện sự làm việc đồng thời của cốt thép khi sơn và BT, khi kết cấu chịu tác động của tải trọng bị nứt thì sơn có còn khả năng bảo vệ cốt thép khỏi tác động ăn mòn nữa không. Nếu sơn không bị rạn hay nứt, mặc dù BT bị nứt thì vẫn đảm bảo được tính chất bảo vệ cốt thép khi có sự xâm nhập của tác nhân ăn mòn bên ngoài. Thí nghiệm độ bền uốn theo TCVN 2099:2007 như Hình 2.3.



Hình 2.3. Đo độ bền uốn màng sơn và kiểm tra trên kính lúp

Bảng 2.18. Kết quả đo độ bền uốn của các màng sơn

Loại sơn	Trục				
	Φ 1	Φ 2	Φ 3	Φ 4	
Polyurethane	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	
Xi măng - polyme	Có hiện tượng rạn	Có hiện tượng rạn	Đạt	Đạt	
Epoxy	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	
Epoxy giàu kẽm	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	

Các kết quả thí nghiệm trong Bảng 2.18 cho thấy, việc sử dụng các loại sơn khác nhau có độ bền uốn đạt qua trục Φ 3. Sơn polyurethane cho kết cấu thép theo TCVN

9013: 2011 có yêu cầu độ bền uốn chịu được uốn cong 2 mm, nếu áp dụng tiêu chuẩn này thì sơn Polyurethane đạt độ bền uốn.

2.1.9 . Chế tạo các mẫu sơn cốt thép trước khi đổ BT

Sơn phủ cốt thép dùng trong nghiên cứu bao gồm sơn X, P, E hai thành phần và Z một thành phần. Nhiệt độ môi trường khi sơn cốt thép nên từ $(10 \div 35) ^\circ\text{C}$ và độ ẩm tương đối không được vượt quá 85%.

Sơn và chất pha loãng trong quá trình bảo quản, chế tạo mẫu và bảo dưỡng không bị nhiễm axit, kiềm và các tác nhân hóa học khác, không để gần lửa và được bảo vệ tránh ánh nắng mặt trời.

Dùng giấy ráp để tẩy các gỉ sét, sau đó , làm sạch bụi bằng khí nén và vải lau sao cho bề mặt cốt thép đạt mức Sa 2 theo ISO 8501-1. Dùng vải thấm dung môi (xăng, cồn) để tẩy sạch các vết bụi bám trên bề mặt thép. Cốt thép được ngâm xăng trong quá trình bảo quản để tránh gỉ trở lại.

Sơn hai thành phần (X, P, E) được chuẩn bị theo tỷ lệ khuyến cáo của nhà sản xuất và khuấy đều trước và sau khi trộn. Sơn Z một thành phần được khuấy đều trước khi sơn.

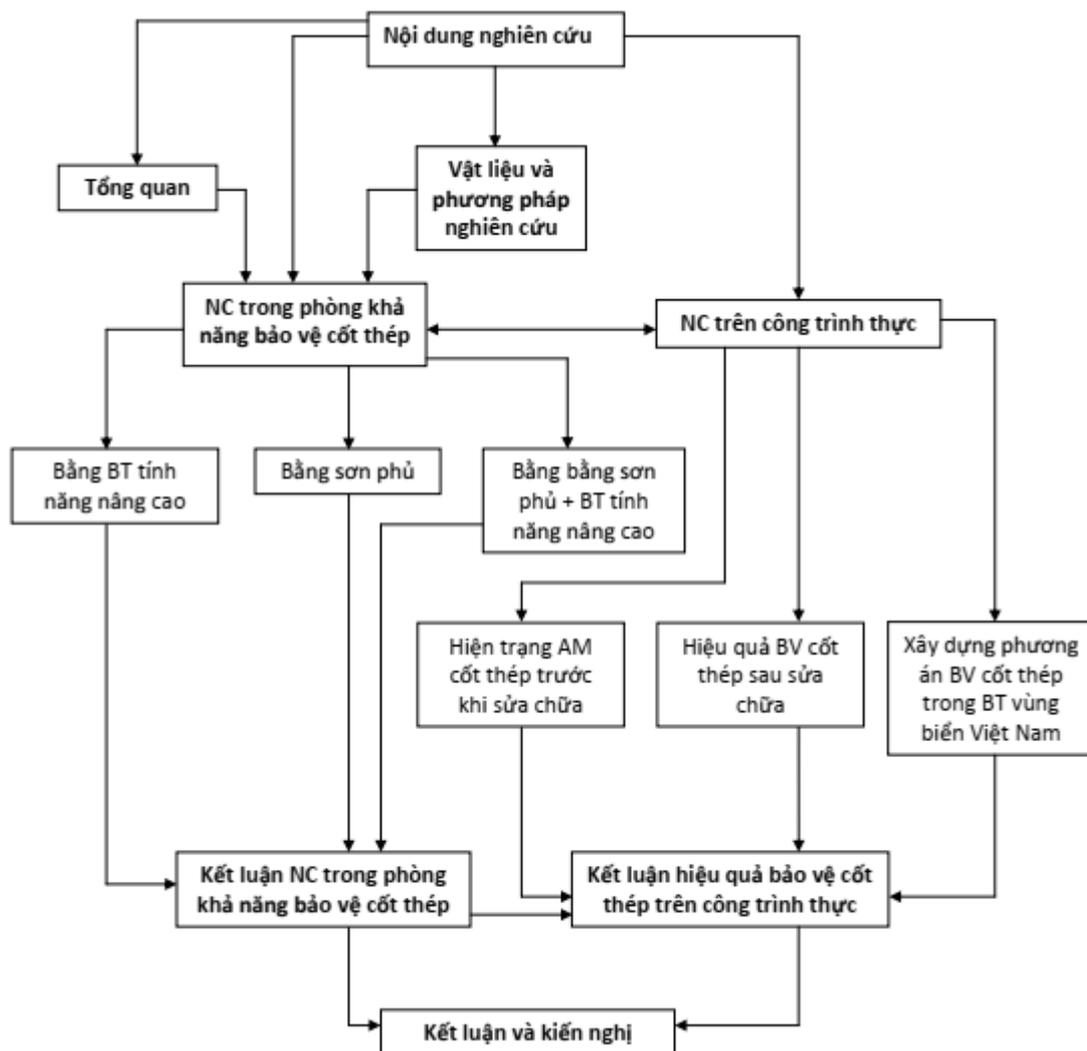
Tiến hành nhúng cốt thép vào sơn đã chuẩn bị, mỗi lần nhúng cách nhau 60 phút, kết hợp quét, lăn để độ dày lớp phủ đồng đều. Kiểm tra khuyết tật màng sơn (bao gồm bong tróc, lỗ...) và bịt kín các khuyết tật. Khi xuất hiện các kết tủa trắng trên bề mặt của sơn phủ epoxy giàu kẽm, làm sạch để loại bỏ các kết tủa trước khi sơn lại.

Kiểm tra chiều dày màng sơn khô theo tiêu chuẩn TCVN 9760:2013 sau 7 ngày để khô hoàn toàn trong điều kiện tự nhiên. Khi chiều dày đạt yêu cầu, cốt thép được tiến hành đổ bê tông ngay sau đó.

2.2 . Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu trong luận án là kết hợp kết quả thí nghiệm trong phòng với kết quả nghiên cứu trên các công trình thực. Kết quả trong phòng cho phép so sánh hiệu quả bảo vệ cốt thép của các giải pháp bảo vệ cốt thép. Kết quả nghiên cứu trên công trình thực dùng để minh chứng, định lượng thời gian bảo vệ cốt thép của giải pháp nghiên cứu trong phòng và đề xuất lựa chọn các phương án đạt hiệu quả kinh tế - kỹ thuật để đưa vào áp dụng trong thực tế. Sơ đồ nghiên cứu của luận án như Hình 2.4, theo đó, nghiên cứu được tiến hành song song trong phòng thí nghiệm và trên các công trình đã ứng dụng. Kết quả phòng thí nghiệm dùng để so sánh khả năng bảo vệ cốt thép của các giải pháp áp dụng. Kết quả trên công trình ứng dụng để minh chứng cho

các phương án phòng thí nghiệm và lượng hóa chỉ tiêu về độ bền và mức tái nhiễm clorua trong môi trường biển Việt Nam.



Hình 2.4. Sơ đồ nghiên cứu trong luận án

Dưới đây là một số tiêu chuẩn chính thí nghiệm phục vụ nghiên cứu trong phòng và trên công trình.

2.2.1 . Thí nghiệm các chỉ tiêu cơ, lý, hóa của vật liệu theo các tiêu chuẩn hiện hành

Các chỉ tiêu chính về cơ, lý, hóa của vật liệu được liệt kê trong Bảng 2.19.

Bảng 2.19. Các tiêu chuẩn thử nghiệm dùng trong nghiên cứu

TT	Tên tiêu chuẩn	Tên tiêu chuẩn áp dụng
1	Xi măng. Phương pháp thử. Xác định độ dẻo tiêu chuẩn, thời gian đông kết, độ ổn định thể tích.	TCVN 6017:2015
2	Xi măng. Phương pháp xác định độ bền uốn và nén	TCVN 6016:1995
3	Xi măng. Phương pháp xác định độ mịn của bột xi măng	TCVN 4030: 2003
4	Cốt liệu cho BT và vữa- Phương pháp thử xác định thành phần hạt	TCVN 7572-2:2006
5	Cốt liệu cho BT và vữa- Phương pháp thử xác định khối lượng riêng, khối lượng thể tích, độ hút nước	TCVN 7572-4 :2006
6	Cốt liệu cho BT và vữa- Phương pháp thử xác định khối lượng thể tích xốp và độ hồng	TCVN 7572-6 :2006
7	Cốt liệu cho BT và vữa- Phương pháp thử xác định độ ẩm	TCVN 7572-7 :2006
8	Cốt liệu cho BT và vữa- Phương pháp thử xác định hàm lượng clorua	TCVN 7572-15 :2006
9	Phụ gia hóa học cho BT	TCVN 8826: 2011
10	Chất lượng nước- xác định độ pH	TCVN 6492:2011
11	Chất lượng nước- xác định chỉ số pemanganat	TCVN 6186:1996
12	Chất lượng nước- xác định clorua- chuẩn độ bạc nitrat với chỉ thị cromat (phương pháp mờ)	TCVN 6194:1996
13	Chất lượng nước- xác định sunfat- phương pháp trọng lượng sử dụng bariclorua	TCVN 6200:1996
14	Sơn và vecni - Phép thử biến dạng nhanh (Độ bền va đập) - Phần 2: Phép thử tải trọng rơi, mũi ấn có diện tích nhỏ	TCVN 2100-2:2013
15	Sơn và vecni - Phép thử uốn (trục hình trụ)	TCVN 2099:2007
16	Bê tông cốt thép - Kiểm tra khả năng cốt thép bị ăn mòn - Phương pháp điện thế	TCVN 9348:2012
17	Bê tông nặng - Phương pháp xác định độ chống thấm nước	TCVN 3116:1993
18	Concrete, repairing materials and protective coating: Embedded steel method, chloride permeability	NT Build 356
19	Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars	ASTM A775/A775M-01

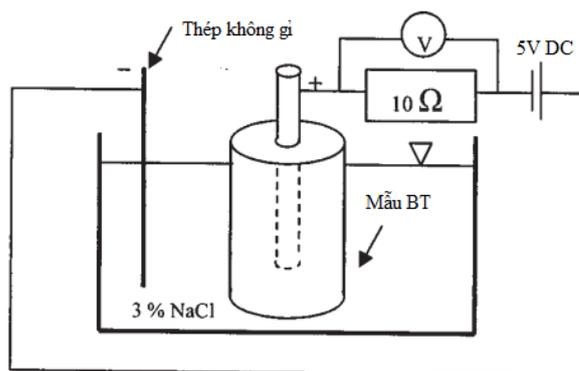
TT	Tên tiêu chuẩn	Tên tiêu chuẩn áp dụng
20	Standard Specification for Epoxy-Coated Prefabricated Steel Reinforcing Bars	ASTM A934/A934M-01
21	Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements	ASTM G59/97
22	Một số tiêu chuẩn thử nghiệm khác	

2.2.2 . Các phương pháp điện hóa

2.2.2.1 . Thí nghiệm khả năng chống ăn mòn cho cốt thép bằng phương pháp gia tốc theo tiêu chuẩn NT Build 356

Phương pháp gia tốc theo tiêu chuẩn NT Build 356 [12, 42] của Hội thử nghiệm Bắc Âu NORDTEST đã được nhiều tác giả sử dụng để nghiên cứu ăn mòn cốt thép trong BT [14, 15, 29, 30, 57, 86, 103, 110-112].

Phương pháp gia tốc bằng dòng điện một chiều dựa trên bản chất ăn mòn cốt thép trong BT là quá trình điện hoá nên có thể sử dụng dòng điện làm tăng khuếch tán Cl^- vào trong BT làm tăng mạnh mẽ tốc độ phản ứng ăn mòn, đây là phương pháp gia tốc có hiệu quả để đánh giá khả năng chống ăn mòn cho BTCT [59, 96]. Khi áp một dòng điện có thể không đổi vào hệ trong môi trường có ion Cl^- , hai tác nhân clorua và dòng điện tác động đồng thời vào hệ dẫn đến quá trình ăn mòn sẽ xảy ra nhanh hơn gấp nhiều lần khi không có điện áp vào hệ. Tại thời điểm ban đầu, lớp BT còn khả năng bảo vệ nên cường độ dòng điện nhỏ, khi hàm lượng Cl^- trong BT và trong dung dịch dịch chuyển đến cốt thép tăng, độ dẫn điện tăng lên nên cường độ dòng điện tăng theo. Sự gia tăng về cường độ dòng điện đến đột biến cho thấy bắt đầu ăn mòn và nứt bê tông được nhìn thấy sau đó [49],[77].



Hình 2.5. Sơ đồ và mẫu thí nghiệm theo phương pháp gia tốc dòng điện ngoài

Sơ đồ và mẫu thí nghiệm xem Hình 2.5. Các mẫu BTCT bắt đầu được thí nghiệm gia tốc khi đủ tuổi 28 ngày, mẫu được ngâm trong dung dịch NaCl 3% sao cho luôn giữ mực nước cách đỉnh mẫu là 3cm, cốt thép được nối với cực dương của nguồn điện một chiều có điện thế không đổi 5V, cực âm nối với một điện cực khác bằng thép không gỉ cùng nhúng trong dung dịch. Dưới tác động của dòng điện, tốc độ khuếch tán ion Cl⁻ vào cốt thép tăng nhanh và quá trình ăn mòn cốt thép tăng tốc mạnh, tạo gỉ gây nứt mẫu. Cường độ dòng điện được đo liên tục sau từng 24h đồng thời quan sát trạng thái bề mặt của mẫu. Tại thời điểm cường độ dòng điện tăng đột biến thường xuất hiện trạng thái nứt mẫu kèm theo gỉ thép tiết ra mặt ngoài theo chiều dọc của thanh thép. Khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông hoặc sơn cốt thép kết hợp bê tông càng cao thì khoảng thời gian tính từ khi thí nghiệm đến khi cường độ dòng điện tăng đột biến, cốt thép gỉ phá vỡ mẫu càng tăng. Khoảng thời gian này được quy ước trong luận án là “khả năng bảo vệ cốt thép”.

Chuẩn bị các tổ mẫu (gồm 3 viên mẫu/tổ) theo nội dung nghiên cứu như sau:

- Bê tông có độ chống thấm W10 (M300), W12 (M400), W16 (M500) hình trụ đường kính 70 mm, cao 200 mm, chiều dày lớp BT bảo vệ cốt thép là 30 mm, cốt thép CT3 có đường kính 10 mm. Hàm lượng clorua trong mỗi mẫu là 0,6; 1,2 ; 1,8 và 2,4 kg/m³BT.

- Bê tông có độ chống thấm W10 (M300) hình trụ đường kính 110 mm, 150 mm, cao 200 mm, chiều dày lớp BT bảo vệ cốt thép là 50 mm, 70 mm cốt thép CT3 có đường kính 10 mm. Hàm lượng clorua trong mỗi mẫu có chiều dày BT bảo vệ khác nhau là 0,6; 1,2 ; 1,8 và 2,4 kg/m³BT.

- Bê tông có độ chống thấm W12 (M400), W16 (M500) hình trụ đường kính 110 mm, 150 mm, cao 200 mm, chiều dày lớp BT bảo vệ cốt thép là 50 mm, 70 mm cốt thép CT3 có đường kính 10 mm. Các mẫu BT có hàm lượng clorua là 2,4 kg/m³BT.

- Bê tông có độ chống thấm W10 (M300) hình trụ đường kính 70 mm, cao 200 mm, chiều dày lớp BT bảo vệ cốt thép là 30 mm, cốt thép CT3 có đường kính 10 mm. Các mẫu BT có hàm lượng clorua là 0,6; 1,2 ; 1,8 và 2,4 kg/m³BT. Cốt thép được sơn phủ 4 loại sơn: Z, E, P, X bằng cách nhúng và sơn quét kết hợp, chiều dày của mỗi loại sơn theo thứ tự (175±18) μm, (175±18) μm, (150±15) μm, (1500±150) μm. Các mẫu thí nghiệm theo phương pháp NT Build 356 được tổng hợp trong Bảng 2.20.

Bảng 2.20. Ký hiệu mẫu thí nghiệm gia tốc NT Build 356

STT	Bê tông	Ký hiệu mẫu	[Cl] ⁻ , kg/m ³	Δ, mm	Ghi chú
1	M300, W10	M30.3.0.6	0,6	30	Tăng [Cl ⁻]
2		M30.3.1.2	1,2	30	
3		M30.3.1.8	1,8	30	
4		M30.3.2.4	2,4	30	
5	M400, W12	M40.3.0.6	0,6	30	Tăng W
6		M40.3.1.2	1,2	30	
7		M40.3.1.8	1,8	30	
8		M40.3.2.4	2,4	30	
9	M500, W16	M50.3.0.6	0,6	30	Tăng W
10		M50.3.1.2	1,2	30	
11		M50.3.1.8	1,8	30	
12		M50.3.2.4	2,4	30	
13	M300, W10	M30.5.0.6	0,6	50	Tăng Δ
14		M30.5.1.2	1,2	50	
15		M30.5.1.8	1,8	50	
16		M30.5.2.4	2,4	50	
17	M300, W10	M30.7.0.6	0,6	70	Tăng Δ
18		M30.7.1.2	1,2	70	
19		M30.7.1.8	1,8	70	
20		M30.7.2.4	2,4	70	
21	M400, W12	M40.5.2.4	2,4	50	Tăng W+Δ
22		M40.7.2.4	2,4	70	

STT	Bê tông	Ký hiệu mẫu	[Cl], kg/m ³	Δ, mm	Ghi chú
23	M500, W16	M50.5.2.4	2,4	50	Tầng W+Δ
24		M50.7.2.4	2,4	70	
25	M300, W10	M30.3.0.6.X	0,6	30	Sơn X
26		M30.3.1.2.X	1,2	30	
27		M30.3.1.8.X	1,8	30	
28		M30.3.2.4.X	2,4	30	
29	M300, W10	M30.3.0.6.P	0,6	30	Sơn P
30		M30.3.1.2.P	1,2	30	
31		M30.3.1.8.P	1,8	30	
32		M30.3.2.4.P	2,4	30	
33	M300, W10	M30.3.0.6.E	0,6	30	Sơn E
34		M30.3.1.2.E	1,2	30	
35		M30.3.1.8.E	1,8	30	
36		M30.3.2.4.E	2,4	30	
37	M300, W10	M30.3.0.6.Z	0,6	30	Sơn Z
38		M30.3.1.2.Z	1,2	30	
39		M30.3.1.8.Z	1,8	30	
40		M30.3.2.4.Z	2,4	30	

Cấp phối, cường độ chịu nén và độ chống thấm nước của BT được thể hiện trong Bảng 2.21.

Bảng 2.21. Cấp phối, cường độ chịu nén, mác chống thấm nước của BT có hàm lượng clorua khác nhau

STT	Mác BT	Thành phần vật liệu trong 1m ³ BT					[Cl], kg/m ³ BT	R ₂₈ , MPa	Cấp chống thấm
		Xi măng, kg	Cát, kg	Đá, kg	Nước, lít	Phụ gia siêu dẻo, lít			
1	M300	348	725	1165	185	3,83	0,6	33,2	W10
2		348	725	1165	185	3,83	1,2	33,9	W10
3		348	725	1165	185	3,83	1,8	34,4	W10
4		348	725	1165	185	3,83	2,4	34,8	W10
5	M400	429	678	1147	183	4,72	0,6	43,2	W12
6		429	678	1147	183	4,72	1,2	44,8	W12
7		429	678	1147	183	4,72	1,8	45,5	W12
8		429	678	1147	183	4,72	2,4	46,1	W12
9	M500	507	634	1130	181	5,58	0,6	52,1	W16
10		507	634	1130	181	5,58	1,2	53,6	W16

STT	Mác BT	Thành phần vật liệu trong 1m ³ BT					[Cl ⁻], kg/m ³ BT	R ₂₈ , MPa	Cấp chống thấm
		Xi măng, kg	Cát, kg	Đá, kg	Nước, lít	Phụ gia siêu dẻo, lít			
11		507	634	1130	181	5,58	1,8	55,2	W16
12		507	634	1130	181	5,58	2,4	55,7	W16

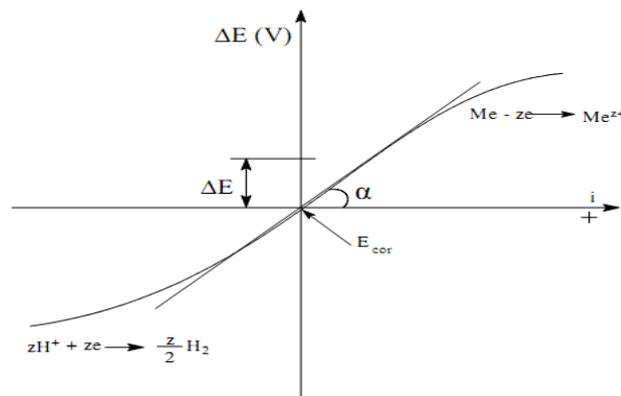
Hàm lượng clorua trong bê tông với các mức 0,6; 1,2 ; 1,8 và 2,4 kg/m³BT được chuẩn bị như sau:

- Chuẩn bị cát sạch từ cát nhiễm mặn: Lượng cát sạch được tạo ra bằng cách sục rửa nước sạch vào cát nhiễm mặn cho đến khi hàm lượng clorua đạt giá trị 0 ppm (kiểm tra nhanh bằng thiết bị đo độ mặn) hoặc phân tích hóa học theo tiêu chuẩn TCVN 7572-15: 2006. Cát này sẽ được dùng để phối trộn với cát nhiễm mặn ban đầu.

- Trộn cát nhiễm mặn và cát sạch (đã rửa) theo các tỷ lệ khác nhau để đạt hàm lượng clorua là 0,6; 1,2 ; 1,8 và 2,4 kg/m³BT; sau đó dùng cát đã phối trộn có hàm lượng clorua khác nhau để đổ bê tông. Xác định clorua trong bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 7572-15: 2006.

2.2.2.2 . Thí nghiệm khả năng xảy ra ăn mòn cốt thép bằng phương pháp điện trở phân cực

Phương pháp đo điện trở phân cực còn được gọi là phương pháp phân cực tuyến tính. Phương pháp này do Stern Geary đề ra năm 1956 và đã được phát triển, áp dụng tính tốc độ ăn mòn cho nhiều hệ ăn mòn có kết quả rất tốt.



Hình 2.6. Đường cong phân cực $\Delta E - f(i)$

Trên đường phân cực $E - f(i)$ (Hình 2.6) áp dụng cho hệ ăn mòn có hai phản ứng:

Phản ứng xảy ra trên anot, kim loại Me bị hoà tan: $Me - ze \rightarrow Me^{2+}$ và trên catot xảy ra phản ứng: $zH^+ + ze \rightarrow \frac{z}{2} H_2$

Tại khoảng thế phân cực ΔE rất nhỏ so với E_{corr} , $\Delta E = \pm 10$ mV, sự phụ thuộc của ΔE vào mật độ dòng (thí nghiệm với điện cực có diện tích 1 cm^2) là tuyến tính:

$$R_p = \left[\frac{d(\Delta E)}{di} \right]_{E_{cor}} = \frac{B}{I_{cor}} \quad (2.1)$$

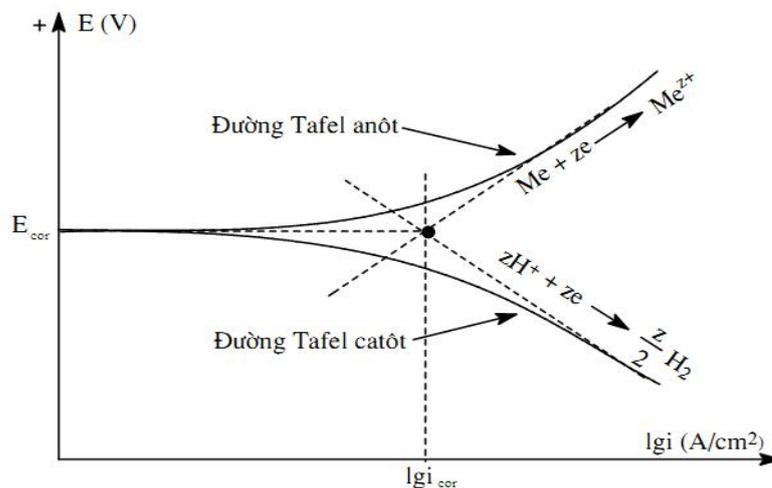
Mật khác giá trị B được tính theo công thức:

$$B = \frac{b_H \cdot b_{Me}}{2,3 \cdot (b_H + b_{Me})} \quad (2.2)$$

Trong đó: b_H - là hệ số độ dốc đoạn thẳng Tafel đối với quá trình catot thoát khí hydro thay đổi giá trị từ $0,06 \text{ V} \div \infty$; b_{Me} - là hệ số độ dốc đoạn thẳng Tafel đối với quá trình anot hoà tan kim loại thay đổi từ $0,06 \div 0,12 \text{ V}$.

Từ (2.2) ta có: $i_{corr} = \frac{B}{R_p} \quad (2.3)$

Vậy muốn xác định tốc độ ăn mòn kim loại theo mật độ dòng ăn mòn i_{cor} ta phải xác định B dựa trên các giá trị hệ số độ dốc (xác định bằng thực nghiệm từ Hình 2.7) của các đường Tafel catot và anot theo (2.2) và xác định R_p - điện trở phân cực.



Hình 2.7. Đường cong phân cực của kim loại Me (ví dụ thép) trong môi trường axit (ví dụ HCl)

Xác định R_p theo đồ thị Hình 2.6, R_p chính là $tg\alpha$, $R_p = tg\alpha \quad (2.4)$

Phương pháp đo R_p tính dòng ăn mòn i_{corr} sẽ chính xác nếu $R_p \gg R_\Omega$ (R_Ω - điện trở của dung dịch). Một cách gần đúng chấp nhận giá trị B trong (2.2) bằng 0,026. Dựa vào giá trị R_p để đánh giá độ bền chống ăn mòn vật liệu.

Phương pháp này được sử dụng để đo mật độ dòng ăn mòn cốt thép trong thí nghiệm khô ẩm gia tốc của các mẫu bê tông.

Đã có nhiều nghiên cứu đưa ra các giá trị giới hạn cho thông số ăn mòn cốt thép. Tác giả [62, 63, 75] đưa ra ngưỡng là $i_{corr} = 0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ là ngưỡng xảy ra ăn mòn. Một số nghiên cứu [2, 106] cũng sử dụng giá trị này để biện luận và đã được chấp thuận. Trong nghiên cứu này, giá trị ngưỡng $i_{corr} = 0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ được sử dụng để so sánh hiệu quả bảo vệ của các loại sơn cốt thép khi thí nghiệm chu kỳ khô ẩm gia tốc.

Bảng 2.22. Đánh giá khả năng xảy ra ăn mòn cốt thép theo mật độ dòng ăn mòn [62, 75]

Mật độ dòng ăn mòn, i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Tốc độ ăn mòn, V_{corr} (mm/năm)	Mức độ ăn mòn cốt thép
< 0,1	< 0,001	Trạng thái thụ động
0,1 ÷ 0,5	0,001 ÷ 0,005	Thấp
0,5 ÷ 1	0,005 ÷ 0,010	Trung bình
> 1	> 0,010	Cao

Ghi chú: mối quan hệ giữa mật độ dòng ăn mòn và tốc độ ăn mòn [62]:

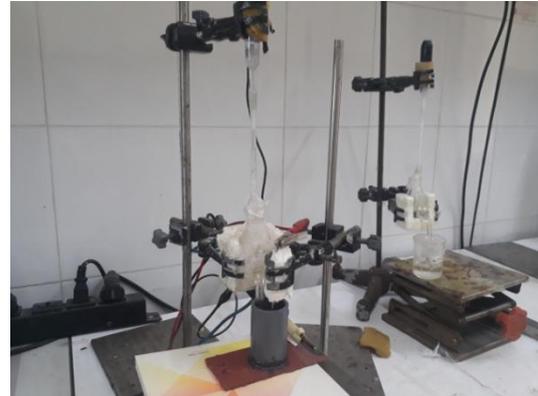
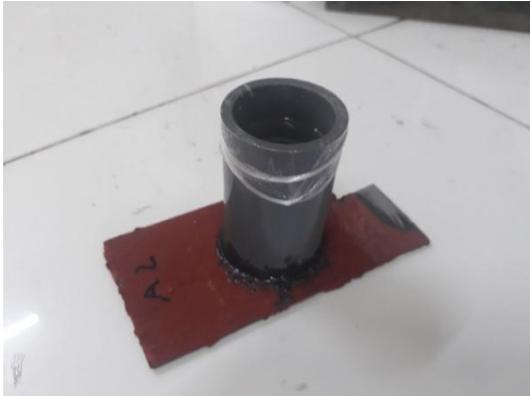
$$V_{corr} \text{ (mm/năm)} = 0.0116 \cdot i_{corr} \text{ (}\mu\text{A}/\text{cm}^2\text{)}$$

2.2.2.3 . Đo điện thế mạch hở theo thời gian

Phương pháp này theo dõi biến thiên thế mạch hở của mẫu nghiên cứu theo thời gian (giờ). Thiết bị đo là máy đo điện hóa IM6 của Đức. Quá trình thí nghiệm tại Viện Hóa học- Viện Hàn lâm KH-CN Việt Nam. Ba hệ điện cực gồm điện cực làm việc, điện cực đối Platin và điện cực so sánh calomen bão hòa. Điện cực làm việc bằng thép có các thông số sau:

- Kích thước: Là tấm thép có chiều dày 2 mm, kích thước 50x100 mm. Bề mặt điện cực được mài phẳng, nhẵn bằng giấy ráp mịn, rửa sạch, sau đó được sơn bằng 4 loại sơn: Z, E, P, X với các chiều dày khác nhau.

- Diện tích bề mặt điện cực làm việc: $9,62 \text{ cm}^2$ được giới hạn bằng một ống nhựa PVC hình trụ đường kính 3,5cm. Bên trong ống nhựa đổ dung dịch NaCl 3% (Hình 2.8).



Hình 2.8. Mẫu và điện cực làm việc

Điện thế mạch hở theo thời gian cho phép đánh giá định tính xu thế ăn mòn của vật liệu đang được bảo vệ. Phương pháp này dùng để lựa chọn sơ bộ chiều dày màng sơn phù hợp khi sơn cốt thép.

2.2.2.4 . Thí nghiệm khả năng bảo vệ chống ăn mòn cốt thép bằng phương pháp khô ẩm gia tốc.

Thí nghiệm dựa theo phương pháp “kẹo que” [8] thay đổi liên tục theo chu kỳ các thông số vật lý của môi trường ăn mòn bằng cách tạo các chu kỳ khô ẩm liên tục theo thời gian nhằm tăng tốc quá trình ăn mòn. Phương pháp thí nghiệm này mô phỏng quá trình làm việc của kết cấu trong môi trường không khí khô-ẩm chịu tác động của thời tiết nhiệt đới ẩm hoặc nước lên xuống. Môi trường ngâm mẫu: mẫu thử nghiệm được ngâm ngập 1/2 trong nước máy để tạo điều kiện khuếch tán mạnh oxy, nước vào trong bê tông làm cho quá trình ăn mòn cốt thép xảy ra nhanh hơn. Các mẫu BTCT được chế tạo có độ chống thấm W10 (M300) hình trụ đường kính 70 mm, cao 200 mm, chiều dày lớp BT bảo vệ cốt thép là 30 mm, cốt thép CT3 có đường kính 10 mm. Hàm lượng clorua là 0,6; 1,2 ; 1,8 và 2,4 kg/m^3 BT. Cốt thép được sơn phủ 3 loại sơn: E, P, X bằng cách nhúng và sơn quét kết hợp, chiều dày của mỗi loại sơn theo thứ tự $(175\pm 18)\mu\text{m}$, $(150\pm 15)\mu\text{m}$, $(1500\pm 150)\mu\text{m}$. Sơn Z được nghiên cứu ở thời gian sau cùng nên không đủ thời gian để nghiên cứu bằng phương pháp này. Sau khi bảo dưỡng đủ 28 ngày, đưa các mẫu BTCT vào thí nghiệm môi trường khô ẩm. Chu kỳ khô ẩm thí nghiệm là: 3 ngày ngâm nước, 4 ngày để khô tự nhiên. Sau những chu kỳ khô- ẩm dùng phương pháp đường cong phân cực Tafel [27] đo mật độ dòng ăn mòn cốt thép tại các thời điểm từ 1 tháng đến 24 tháng.

Hệ đo gồm ba điện cực: điện cực làm việc là mẫu bê tông có cốt thép diện tích làm việc 47,89 cm², điện cực đối là platin diện tích 10,5 cm² và điện cực so sánh calomen bão hòa như Hình 2.9.



Hình 2.9. Sơ đồ đo và mẫu bê tông ngâm chu kỳ khô ẩm gia tốc

Các mẫu thí nghiệm khô ẩm gia tốc được thể hiện trong Bảng 2.23.

Bảng 2.23. Ký hiệu mẫu thí nghiệm khô ẩm gia tốc

STT	Bê tông	Ký hiệu mẫu	[Cl ⁻], kg/m ³	Δ, mm	Ghi chú
1	M300, W10	M30.3.0.6-KA	0,6	30	Không sơn
2	M300, W10	M30.3.0.6.X-KA	0,6	30	Sơn X
3		M30.3.1.2.X-KA	1,2	30	
4		M30.3.1.8.X-KA	1,8	30	
5		M30.3.2.4.X-KA	2,4	30	
6	M300, W10	M30.3.0.6.P-KA	0,6	30	Sơn P
7		M30.3.1.2.P-KA	1,2	30	
8		M30.3.1.8.P-KA	1,8	30	
9		M30.3.2.4.P-KA	2,4	30	
10	M300, W10	M30.3.0.6.E-KA	0,6	30	Sơn E
11		M30.3.1.2.E-KA	1,2	30	
12		M30.3.1.8.E-KA	1,8	30	
13		M30.3.2.4.E-KA	2,4	30	

2.2.3 . Thí nghiệm khả năng bảo vệ chống ăn mòn cốt thép bằng phương pháp phơi mẫu tại vùng biển

Việc tìm vị trí địa lý thử nghiệm, nghiên cứu và đánh giá khả năng bảo vệ cốt thép trong BT là việc làm cần thiết, vừa đảm bảo về mặt thời gian cũng như khoảng cách không quá xa để thuận lợi vận chuyển mẫu về phòng thí nghiệm đo ăn mòn ở các chu kỳ khác nhau. Xét thấy vùng bờ biển Thái Bình là phù hợp nên đã chọn Cảng Tân

Sơn (Ban quản lý các Cụm công nghiệp huyện Thái Thụy quản lý, trực thuộc UBND huyện) xã Thụy Hải, huyện Thái Thụy để đặt mẫu thí nghiệm trong thời gian 12 tháng. Khí hậu nơi đặt mẫu đặc trưng của khí hậu nhiệt đới ven biển Bắc bộ, chịu ảnh hưởng của gió mùa. Nhiệt độ Trung bình trong năm từ $(22\div 24)^{\circ}\text{C}$; độ ẩm trung bình $(86\div 87)\%$; lượng mưa trung bình 1.788 mm/năm, nước biển có hàm lượng clorua 11,5 mg/l.

Các mẫu BTCT được đặt trong vùng nước lên xuống gồm 5 nhóm mẫu như Hình 3.17. Đối với nhóm mẫu 5, cốt thép được sơn và bảo dưỡng như phương pháp chu kỳ khô ẩm trước khi đổ bê tông. Chu kỳ đo ăn mòn cốt thép là 1, 3, 6, 9 và 12 tháng. Nhóm 1 đến nhóm 4 được kiểm tra ăn mòn cốt thép bằng phương pháp hiệu điện thế, nhóm 5 đo mật độ dòng ăn mòn. Các mẫu thử nghiệm gồm 5 nhóm mẫu như trong Bảng 2.24.

Bảng 2.24. Mẫu thử nghiệm tại vùng biển

STT	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	Bê tông	Δ , mm	[Cl], kg/m ³	Kích thước mẫu hình trụ, mmxmm	Ghi chú
1	Nhóm 1	M30.3.0.6	M300, W10	30	0,6	70x200	Mẫu chuẩn
2	Nhóm 2	M30.5.1.2	M300, W10	50	1,2	110x200	Tăng Δ
3		M30.7.1.8	M300, W10	70	1,8	150x200	
4	Nhóm 3	M40.3.1.2	M400, W12	30	1,2	70x200	Tăng W
5		M50.3.1.8	M500, W16	30	1,8	70x200	
6	Nhóm 4	M40.7.2.4	M400, W12	70	2,4	150x200	Tăng W + Δ
7		M50.5.2.4	M500, W16	50	2,4	110x200	
8	Nhóm 5	M30.3.1.8.X	M300, W10	30	1,8	70x200	Sơn X
9		M30.3.2.4.P	M300, W10	30	2,4	70x200	Sơn P
10		M30.3.2.4.E	M300, W10	30	2,4	70x200	Sơn E

2.2.4 . Thí nghiệm ảnh hưởng của sơn phủ đến cường độ bám dính giữa cốt thép và BT

Mẫu cốt thép có đường kính $\Phi 10$ (sử dụng thép vằn để nghiên cứu so sánh ở tuổi 28 ngày) được đặt chính tâm của mẫu, đúc các mẫu BT có kích thước 150x150x150 mm, trong đó mẫu BT hàm lượng 1,2 kg/m³ độ chống thấm nước W10 (M300) được

phủ 4 loại sơn Z, E, P và X, mẫu đối chứng cốt thép không sơn. Sau khi bảo dưỡng đủ 28 ngày, các mẫu được thí nghiệm ở các tuổi khác nhau.

Cường độ bám dính giữa BT và cốt thép được tính theo công thức [20]:

$$\tau_{\max} = \frac{P_{\max}}{l \cdot \pi \cdot d}, \text{ MPa} \quad (2.5)$$

Trong đó:

- τ_{\max} : Cường độ bám dính giữa cốt thép và BT; MPa
- P_{\max} : Lực kéo lớn nhất khi cốt thép bị trượt hoàn toàn khỏi BT, N;
- l : Chiều dài cốt thép nằm trong BT, mm;
- d : đường kính cốt thép, mm

Giá trị của cường độ bám dính chịu ảnh hưởng của những nhân tố sau:

+ Trạng thái chịu lực: Với cốt thép chịu nén, cường độ bám dính lớn hơn cốt thép chịu kéo.

+ Chiều dài đoạn l : khi thay đổi chiều dài đoạn l thì giá trị τ thay đổi.

+ Biện pháp nhằm cản trở biến dạng: dùng những biện pháp cản trở biến dạng ngang của BT như lưới thép hàn, cốt lò xo... có thể tăng cường độ bám dính.



Hình 2.10. Mẫu BT và quá trình thí nghiệm

Cường độ bám dính giữa BT và cốt thép được thử nghiệm tại LAS-XD 03.

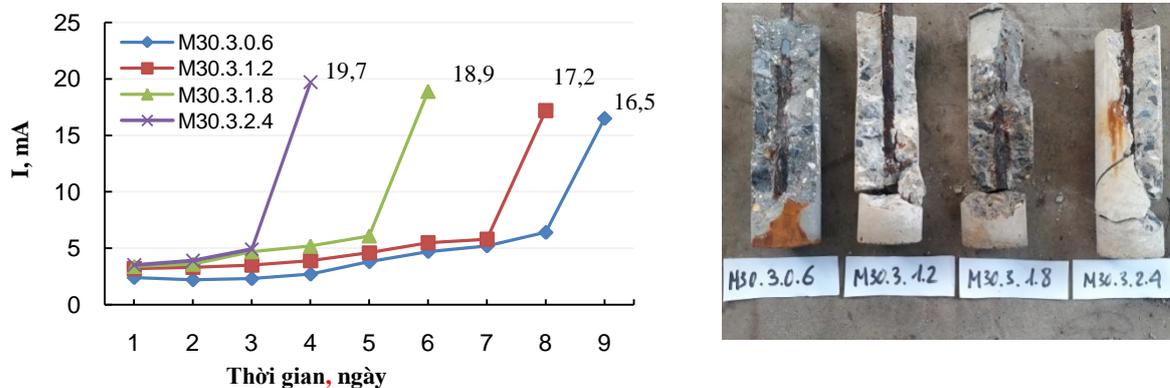
CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU THÍ NGHIỆM TRONG PHÒNG KHẢ NĂNG BẢO VỆ CỐT THÉP TRONG BÊ TÔNG NHIỄM CLORUA CAO

3.1 . Nghiên cứu khả năng bảo vệ cốt thép bằng bê tông tính năng nâng cao

Khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông hoặc hệ sơn phủ cốt thép kết hợp bê tông được nghiên cứu thí nghiệm theo các phương pháp: gia tốc NTBuild 356; khô - ẩm gia tốc và phơi mẫu tại vùng biển. Chiều dày sơn được nghiên cứu thí nghiệm so sánh theo phương pháp điện thế mạch hở.

3.1.1 . Kết quả thí nghiệm theo NTBuild 356

Kết quả thí nghiệm khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông tiêu chuẩn (đối chứng) W10(M300)Δ30[Cl]⁻0,6 (chuẩn) và các loại bê tông nhiễm [Cl]⁻ = 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m³ bằng NT Build 356 mô tả trên Hình 3.1.



Hình 3.1. Khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông W10(M300)[Cl]⁻ 0,6 (đối chứng) và bê tông [Cl]⁻ = 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m³

Trên Hình 3.1, cùng với sự xâm nhập của dung dịch muối (ion clo), cường độ dòng điện trong cốt thép I (mA) tăng dần theo thời gian và tăng đột biến tại thời điểm cốt thép gỉ với khối lượng đủ lớn đẩy nứt vỡ lớp bê tông bảo vệ, dung dịch muối trực tiếp tiếp cận bề mặt cốt thép. Trong thí nghiệm, khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông bảo vệ được tính bằng thời gian (ngày) khi mẫu vỡ, cường độ dòng I đạt max. Các thí nghiệm với các bê tông có W, Δ khác cũng xảy ra theo mô hình tương tự. Kết quả ở các phần tiếp theo vì vậy, chỉ ghi nhận số ngày mẫu bị phá vỡ để so sánh khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông chất lượng bảo vệ khác nhau. Cấp phối BT thí nghiệm theo Bảng 2.21.

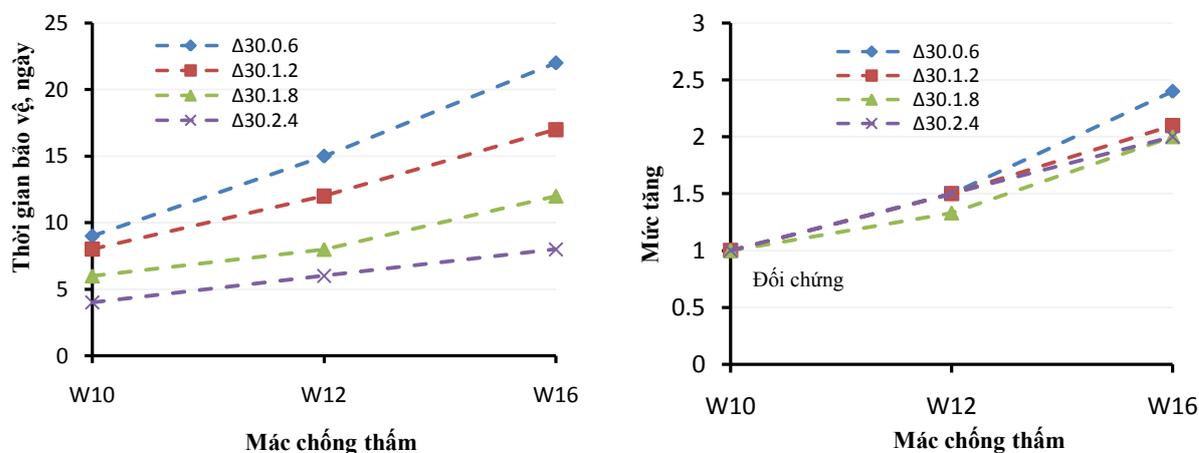
Kết quả thí nghiệm khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông khi nâng cao mác chống thấm nước W trên Bảng 3.1 và Hình 3.2; khi nâng cao chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép Δ trên Bảng 3.2 và Hình 3.3; khi nâng cao W hoặc Δ hoặc đồng thời W, Δ để

đạt hiệu quả bảo vệ tương đương mẫu chuẩn có W, Δ theo TCVN 9346:2012 trên Bảng 3.3 và Hình 3.4; ảnh hưởng của hàm lượng clorua trong bê tông tới mức suy giảm khả năng bảo vệ cốt thép trên Bảng 3.4 và Hình 3.5.

Bảng 3.1. Khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông khi nâng cao mức 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 ⁻]			
	Mác bê tông, M	Mức chống thấm, W	Chiều dày bảo vệ, mm	0,6 kg/m ³	1,2 kg/m ³	1,8 kg/m ³	2,4 kg/m ³
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 vẽ 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⁻]= 0,6; 1,2; 1,8; 2,4 kg/m³ ký hiệu là Δ30.0.6; Δ30.1.2; Δ30.1.8; Δ30.2.4.



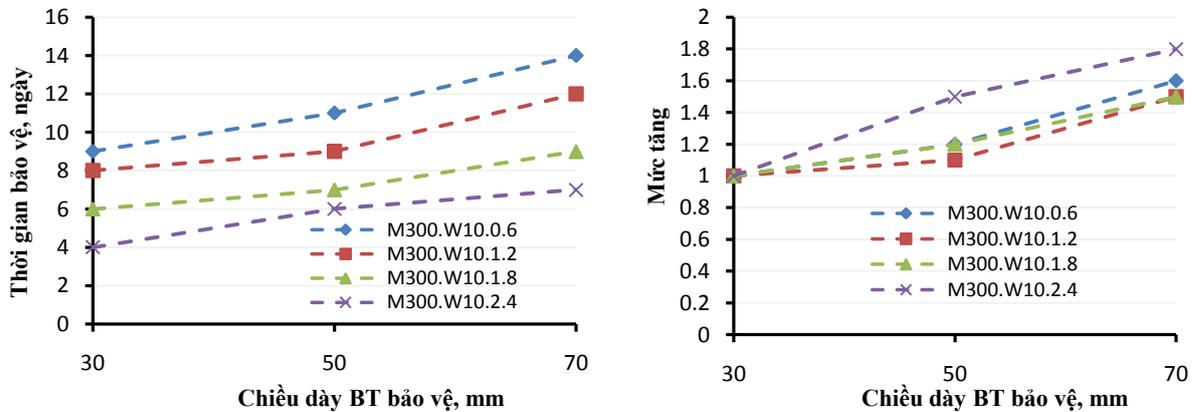
Hình 3.2. Khả năng bảo vệ cốt thép của BT khi nâng cao mức chống thấm

Bảng 3.2. Khả năng bảo vệ cốt thép khi nâng cao chiều dày bảo vệ

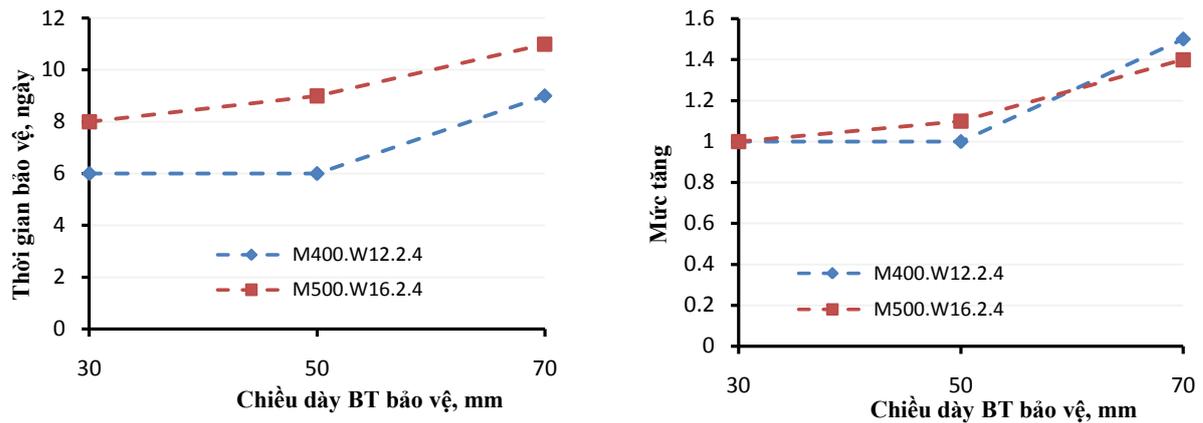
TT	Chất lượng bê tông bảo vệ			Thời gian bảo vệ, ngày/mức tăng so với đối chứng, ứng với hàm lượng [Cl ⁻]			
	Mác bê tông, M	Mức chống thấm, W	Chiều dày bảo vệ, mm	0,6 kg/m ³	1,2 kg/m ³	1,8 kg/m ³	2,4 kg/m ³
1	M300	W10	30 (đối chứng)	9/1,0	8/1,0	6/1,0	4/1,0
2			50	11/1,2	9/1,1	7/1,2	6/1,5

TT	Chất lượng bê tông bảo vệ			Thời gian bảo vệ, ngày/mức tăng so với đối chứng, ứng với hàm lượng [Cl]			
	Mác bê tông, M	Mác chống thấm, W	Chiều dày bảo vệ, mm	0,6 kg/m ³	1,2 kg/m ³	1,8 kg/m ³	2,4 kg/m ³
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

Các kết quả trong Bảng 3.2 vẽ được biểu đồ như Hình 3.3 về khả năng bảo vệ cốt thép của BT khi nâng cao chiều dày BT bảo vệ, trong đó ký hiệu các mẫu M – cường độ; W – mức chống thấm nước; 0,6, 1,2, 1,8 và 2,4 là mức nhiễm clorua trong bê tông (kg/m³). Trong mỗi mác BT, mẫu có chiều dày BT bảo vệ cốt thép là 30 mm được lấy làm đối chứng để so sánh khả năng bảo vệ cốt thép khi tăng chiều dày BT bảo vệ.



a, Mác BT M300, chống thấm nước W10



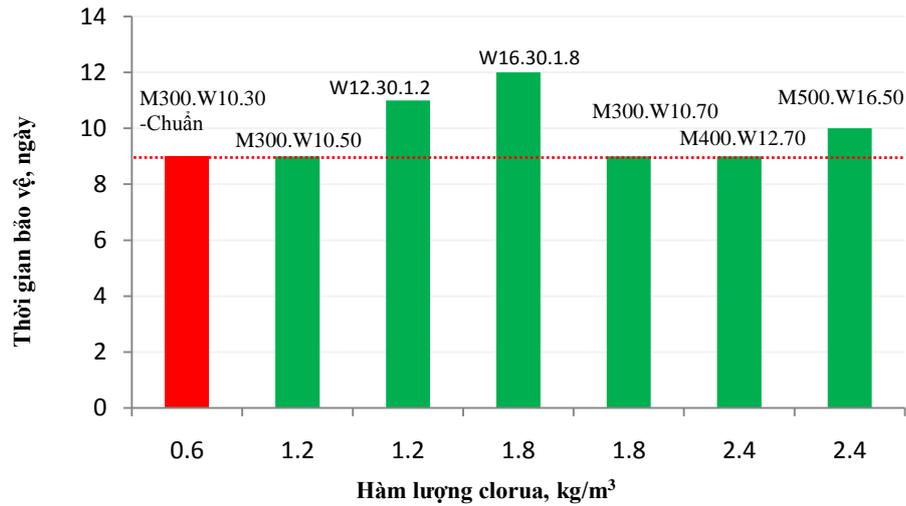
b, Mác BT M400, M500 chống thấm nước W12, W16

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 ⁻], kg/m ³	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

Từ Bảng 3.3 vẽ được đồ thị Hình 3.4 về khả năng bảo vệ CT khi tăng chiều dày BT bảo vệ cốt thép và nâng độ chống thấm nước, trong đó, mẫu BT có mác M300, mác chống thấm W10, chiều dày BT 30 mm (M300W1030[Cl⁻]0,6) TCVN 9346: 2012 được lấy làm chuẩn. Hệ số so với chuẩn được tính bằng tỷ lệ thời gian bảo vệ (ngày) của mẫu tăng W, Δ hoặc cả 2 so với chuẩn.

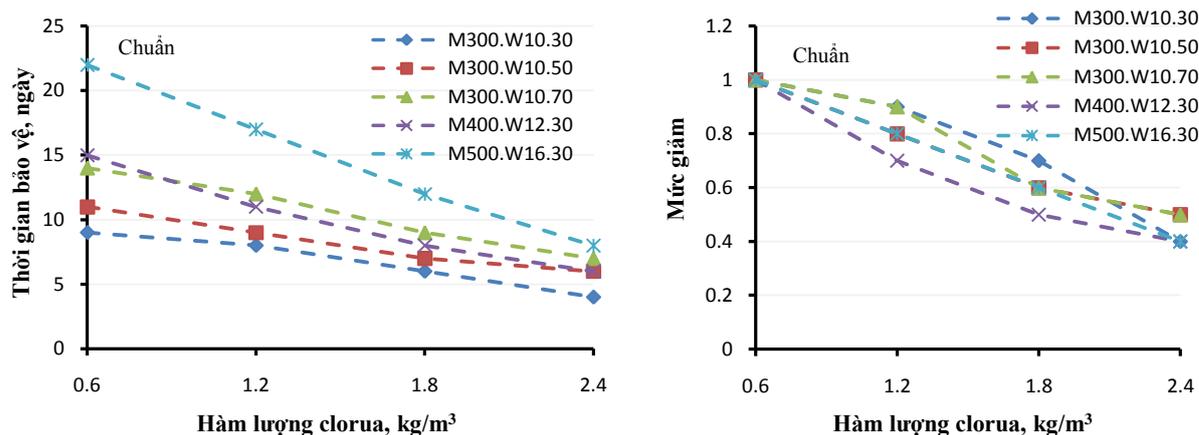


Hình 3.4. Khả năng bảo vệ CT khi tăng chiều dày BT và nồng độ chống thấm nước

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]			
	Mác bê tông, M	Mác chống thấm, W	Chiều dày bảo vệ, mm	0,6 (chuẩn) kg/m ³	1,2 kg/m ³	1,8 kg/m ³	2,4 kg/m ³
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

Từ Bảng 3.4 vẽ được đồ thị trong Hình 3.5 về ảnh hưởng của hàm lượng clorua tới khả năng bảo vệ CT trong BT. Trong đó, khả năng bảo vệ cốt thép của mẫu bê tông có hàm lượng clorua 0,6 kg/m³ được lấy làm chuẩn để so sánh với khả năng bảo vệ CT của bê tông nhiễm clorua cao mức 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m³.



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 thấm nước và mác bê tông 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 kg/m³. Mức gia tăng trên được giải thích nhờ năng lực chặn nước, ô xy cao hơn của bê tông khi nâng mác 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 mác 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 (M300W10Δ30[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 kg/m³: khi nâng Δ30 lên Δ50 mm hoặc W10 lên W12;
- Đối với bê tông [Cl⁻] = 1,8 kg/m³: khi nâng Δ30 lên Δ70 mm hoặc W10 lên W16;
- Đối với bê tông [Cl⁻] = 2,4 kg/m³: khi nâng đồng thời Δ từ 30 lên 70 mm, W từ 10 lên 12 hoặc Δ 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 Δ.

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 kg/m³, 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 kg/m³). 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.

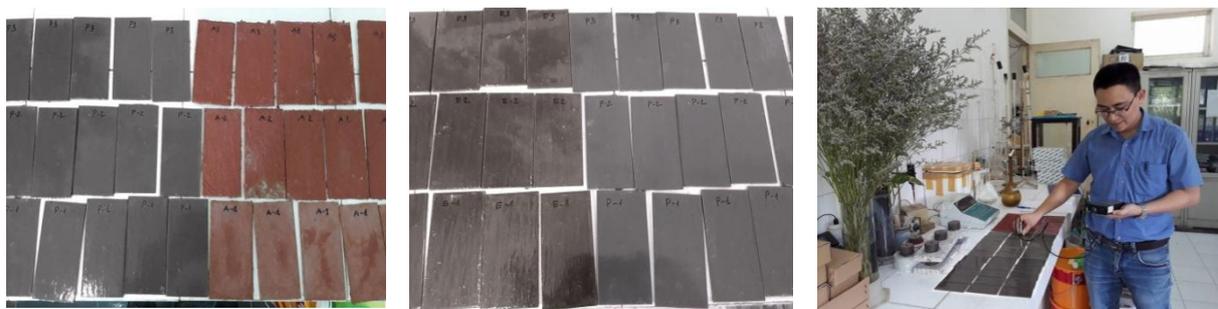
Kết quả này cũng cho thấy, nếu bê tông bị nhiễm clorua cao (1,2 kg/m³ và lớn hơn), hiệu quả bảo vệ cốt thép của bê tông bằng biện pháp tăng mác chống thấm nước hoặc chiều dày bảo vệ rất hạn chế. Trong trường hợp này cần có giải pháp khác (ví dụ dùng sơn phủ). Khi đó, màng sơn với tư cách là màng chắn 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 thấm 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 chiều dày màng sơn

Kết quả thí nghiệm chiều dày màng sơn thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 9760: 2013 trên nền thép. Nền thép có độ phẳng nhẵn cao, diện tích (diện cực) làm việc tiếp xúc khí đo đều và kín hơn so với cốt thép tròn bề mặt cong, nhờ vậy kết quả thí nghiệm so sánh đảm bảo tính chính xác. Trong thí nghiệm, các tấm thép có chiều dày 2 mm, kích thước 50x100 mm được sơn phủ bốn loại sơn X, P, E và Z. Các tấm thép được nhúng 1, 2, 3 lần trong sơn kết hợp quét để đảm bảo màng sơn được kín, tránh khuyết tật, mỗi lần nhúng để khô cách nhau 60 phút. Sau đó để khô hoàn toàn trong điều kiện tự nhiên 7 ngày và được kiểm tra chiều dày màng sơn trên nền thép như Hình 3.6.



Hình 3.6. Kiểm tra chiều dày màng sơn trên nền thép

Kết quả thí nghiệm đo chiều dày màng sơn 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, μm	125 \pm 13	175 \pm 18	235 \pm 24
		Ký hiệu	E1	E2	E3
2	Epoxy giàu kẽm	Chiều dày, μm	125 \pm 13	175 \pm 18	235 \pm 24
		Ký hiệu	Z1	Z2	Z3
3	Polyurethane	Chiều dày, μm	110 \pm 11	150 \pm 15	200 \pm 20
		Ký hiệu	P1	P2	P3
4	Xi măng polyme	Chiều dày, μm	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 hở nền thép phủ màng sơn chiều dày khác nhau trong môi trường NaCl 3% sau các khoảng thời gian khác nhau, thường sau 168 giờ (7 ngày), kết thúc đo sau 720 giờ (30 ngày) [33].

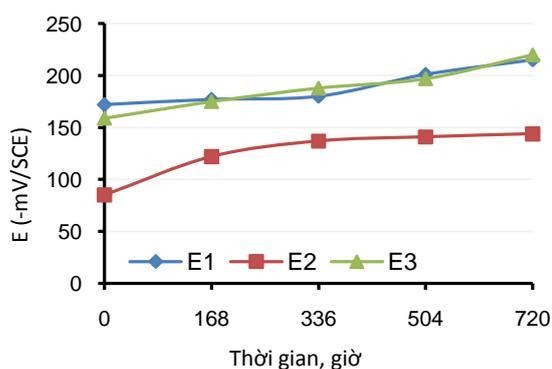
Quá trình đo thể mạch hở như Hình 3.7, kết quả được thể hiện trong Bảng 3.6 và so sánh hiệu quả bảo vệ giữa các loại sơn trên Bảng 3.7.



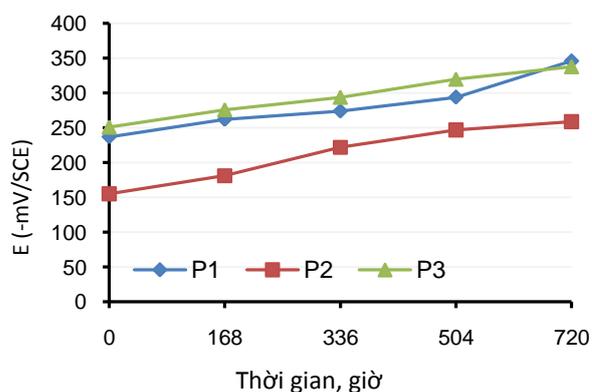
Hình 3.7. Đo thể mạch hở của màng sơn

Bảng 3.6. Kết quả đo thế mạch hở của màng sơn

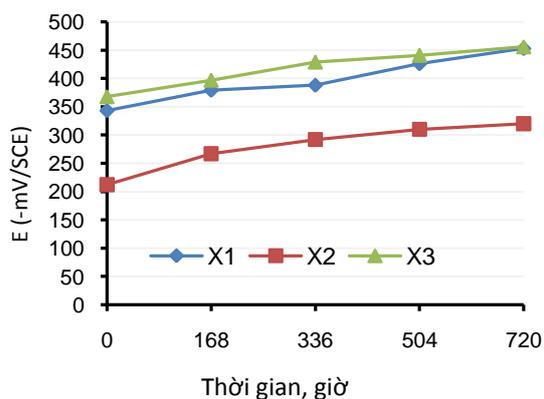
Ký hiệu mẫu	Kết quả đo thế mạch hở E(-mV/SCE) theo thời gian (giờ)				
	0	168	336	504	720
E1	172	177	180	201	215
E2	85	122	137	141	144
E3	159	175	188	197	220
P1	237	262	274	294	346
P2	155	181	222	247	259
P3	251	276	294	320	338
X1	343	379	388	426	453
X2	212	267	292	310	320
X3	368	397	429	441	456
Z1	181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



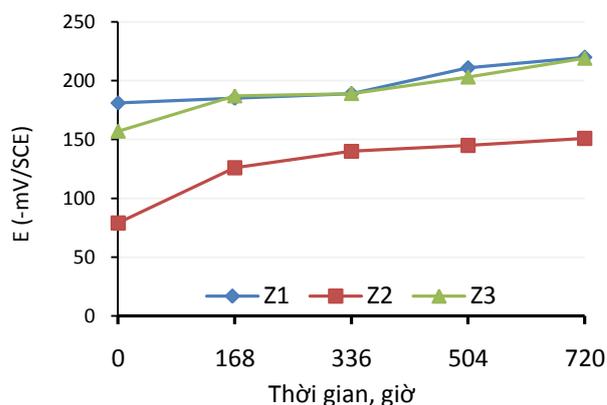
a, Sơn E



b, Sơn P



c, Sơn X



d, Sơn Z

Hình 3.8. Biến thiên thế mạch hở theo thời gian của sơn E, Z, P, X trong dung dịch 3% NaCl

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

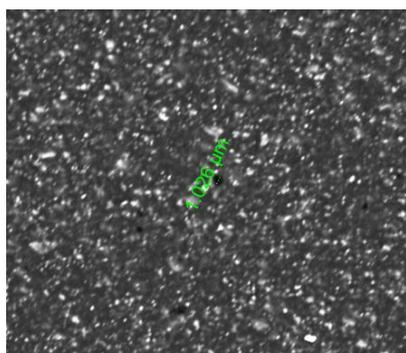
TT	Loại sơn phủ, ký hiệu	Hiệu quả sau 168 h		Hiệu quả sau 720 h	
		Điện thế, -mV	Hiệu quả	Điện thế, -mV	Hiệu quả
1	Xi măng polyme, X2	267	1,0	320	1,0
2	Polyurethane, P2	181	1,5	259	1,2
3	Epoxy, E2	122	2,2	144	2,2
4	Epoxy giàu kẽm, Z2	126	2,1	151	2,2

CHÚ THÍCH: Hiệu quả = $E_{(-mV/SCE)}(X2) / E_{(-mV/SCE)}(P2; E2; Z2)$

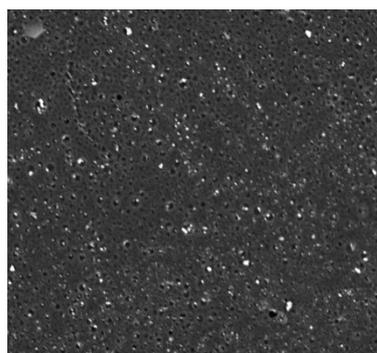
3.2.1.3 . Nhận xét và biện luận kết quả nghiên cứu**a) Về số lần sơn**

Khi nhúng 1 lần và nhúng 3 lần (ký hiệu E1, P1, X1, Z1 và E3, P3, X3, Z3) thể mạch hở âm hơn, tính ổn định kém hơn và chênh lệch thế nhiều hơn so với khi nhúng 2 lần (ký hiệu E2, P2, X2, Z2) trong suốt quá trình đo. Điều này có thể giải thích thông qua nghiên cứu hình thái học bề mặt màng sơn bằng chụp SEM.

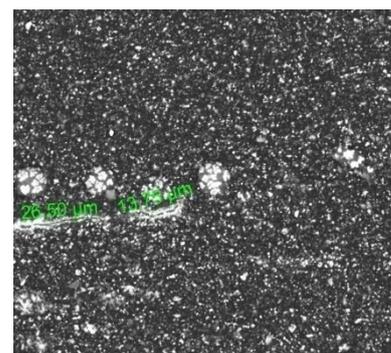
Kết quả Hình 3.9 cho thấy, các mẫu sơn có nhúng một lớp xuất hiện khá nhiều khuyết tật chủ yếu là các lỗ rỗng với các kích thước khác nhau. Khi sơn cốt thép nhúng 3 lần xuất hiện những đường nứt và khuyết tật. Khi thép nhúng 2 lần, hình ảnh cho thấy bề mặt màng sơn ít xuất hiện khuyết tật và tương đối liên tục. Hiện tượng này giống nhau trên cả 4 loại sơn đã thí nghiệm.



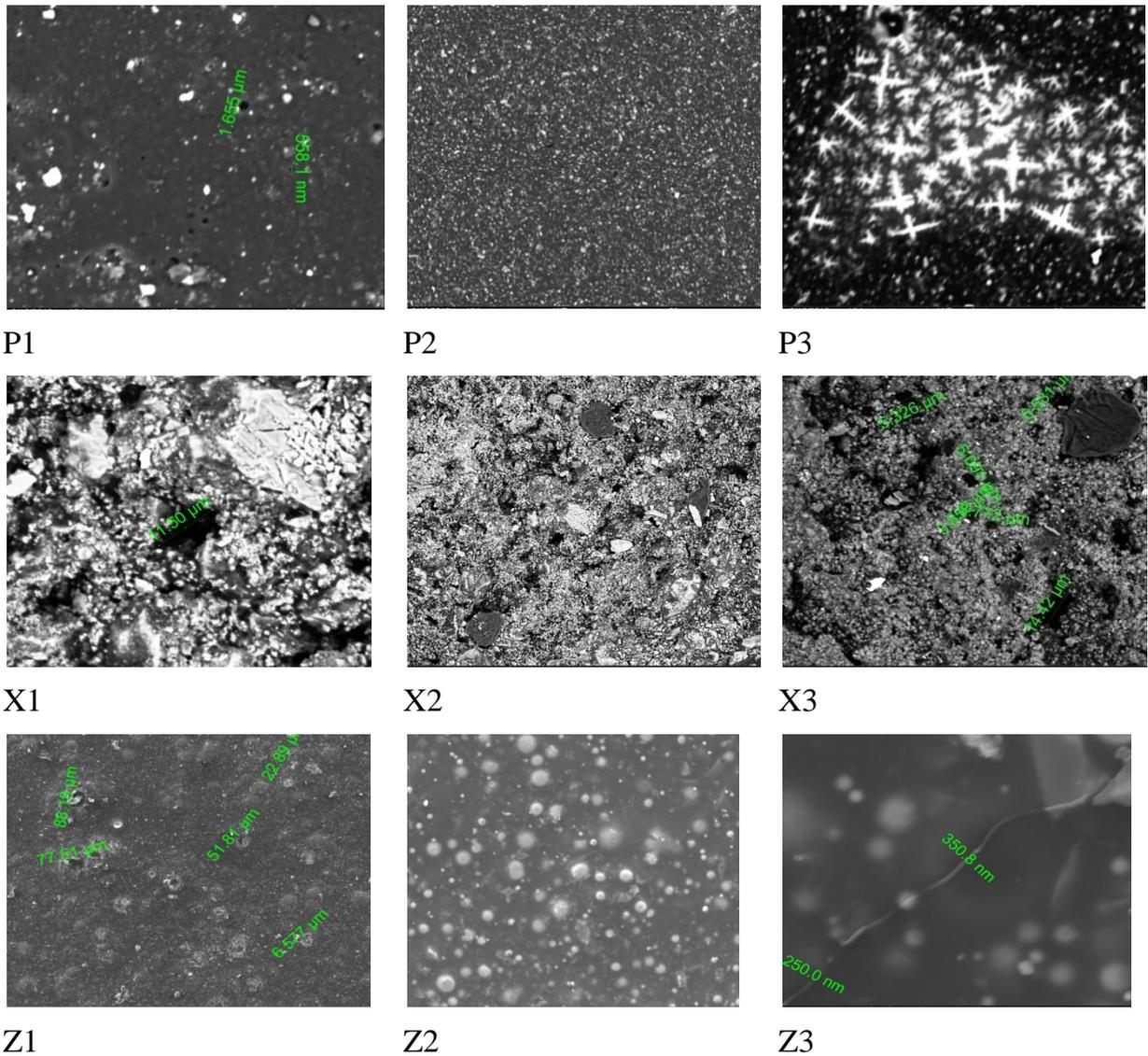
E1



E2



E3



Hình 3.9. Ảnh SEM các lớp sơn đo thế mạch hở

Hiện tượng khuyết tật màng sơn sau 3 lần nhúng có thể có lỗi của quy trình sơn (ví dụ do thời gian khô màng sơn sau lần nhúng thứ hai chưa đủ), nên cần có sự nghiên cứu thêm. Tuy nhiên trong nghiên cứu này, căn cứ kết quả đo thế mạch hở trong môi trường NaCl 3% và phân tích hình thái học của màng sơn, đề tài lựa chọn sơ bộ chiều dày màng sơn cho cốt thép (coi là phù hợp 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 thép của các loại sơn theo kết quả đo thế mạch hở

Từ kết quả thí nghiệm trong Bảng 3.6, Bảng 3.7 và Hình 3.8 thấy rằng thế mạch hở E (-mV) của các loại sơn có chiều dày khác nhau giảm (âm hơn) theo thời gian. Giá trị E của các loại sơn sau 168 h và 720 h của thép phủ các màng sơn thay đổi tương ứng X2 (từ -267 xuống -320), P2 (từ -181 xuống -259), E2 (từ -122 xuống -144) và

Z2 (từ -126 xuống -151). Điều đó cho thấy dung dịch NaCl ít nhiều đã xâm nhập qua màng sơn. Hiện tượng này có thể được giải thích là do các hệ sơn sử dụng đều có dung môi hoặc nước nên độ kín không đạt mức tuyệt đối. Khi khô, dung môi và nước thoát đi để lại lỗ rỗng, khuyết tật trên màng sơn. Đây cũng là nhược điểm khi phủ sơn dung môi và sơn nước so với sơn bột phun nhiệt nóng.

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 P (tăng 1,2 lần), sơn E và Z (tăng 2,2 lần). Sơn gốc epoxy vẫn cho thấy khả năng bảo vệ cốt thép cao hơn sơn P và vượt trội hơn hẳn sơn X.

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

3.2.2.1 . Kết quả nghiên cứu

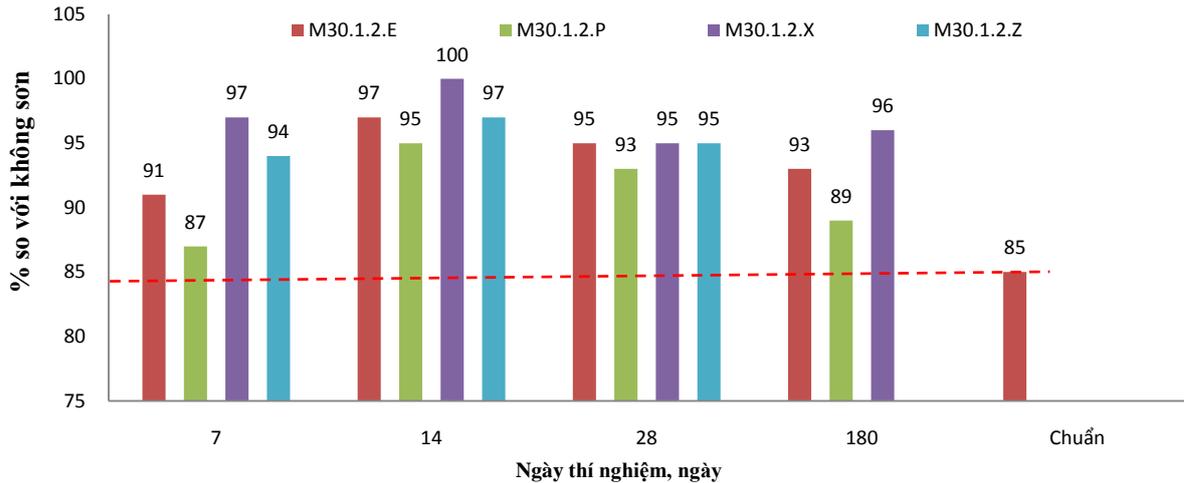
Trong nghiên cứu này sử dụng BT M300W10 hàm lượng clorua $[Cl^-] = 1,2 \text{ kg/m}^3$. Kết quả thử nghiệm cường độ bám dính ở các ngày tuổi 7, 14, 28, 180 được thể hiện trong Bảng 3.8. Cấp phối BT trong Bảng 2.21.

Bảng 3.8. Kết quả đo cường độ bám dính giữa cốt thép và BT

STT	Loại sơn cốt thép	Ký hiệu mẫu	Cường độ bám dính, MPa				
			7 ngày, Thép tròn $\Phi 10$	14 ngày, Thép tròn $\Phi 10$	28 ngày		180 ngày, Thép tròn $\Phi 10$
					Thép tròn $\Phi 10$	Thép vằn $\Phi 10$	
1	Không sơn (đối chứng)	M30.1.2	3,2 (100)	3,8 (100)	4,1 (100)	7,2 (100)	5,5 (100)
2	Sơn E	M30.1.2.E	2,9 (91)	3,7 (97)	3,9(95)	6,9(96)	5,1(93)
3	Sơn Z	M30.1.2.Z	3,0(94)	3,7(97)	3,9(95)	7,0(97)	-
4	Sơn P	M30.1.2.P	2,8(87)	3,6(95)	3,8(93)	6,4(89)	4,9(89)
5	Sơn X	M30.1.2.X	3,1(97)	3,8(100)	3,9(95)	7,0(97)	5,3(96)

Ghi chú: Giá trị trong ngoặc đơn là là giá trị % so với mẫu không sơn.

Từ kết quả thí nghiệm trong Bảng 3.8 vẽ được biểu đồ Hình 3.10 so sánh cường độ bám dính giữa cốt thép và BT khi cốt thép được sơn phủ với các loại sơn khác nhau.

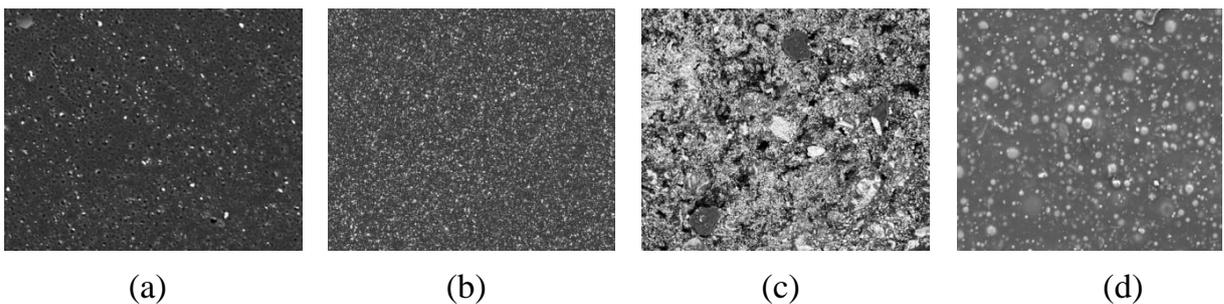


Hình 3.10. Ảnh hưởng của sơn phủ cốt thép tới cường độ bám dính giữa cốt thép và BT theo thời gian

3.2.2.2 . Nhận xét và biện luận kết quả nghiên cứu

Trong Bảng 3.8 và Hình 3.10 cho thấy, cốt thép sơn phủ có cường độ bám dính với bê tông thấp hơn cốt thép không sơn, ở các tuổi còn (91÷97)% khi dùng sơn E, Z; (87÷95) % khi dùng sơn P và (95÷100) % khi dùng sơn X. Thép tròn sơn có cường độ bám dính bê tông thấp hơn thép vằn sơn.

Sự giảm trên được giải thích là do bề mặt sơn trơn nhẵn hơn cốt thép không sơn. Ảnh chụp SEM Hình 3.11 cho thấy bề mặt sơn P tương đối phẳng nhẵn, do vậy giảm ma sát nhiều hơn.



Hình 3.11. Chụp SEM bề mặt màng sơn: a- E, b- P, c- X, d- Z

Sơn X cấu trúc thô, trong thành phần sơn có xi măng đồng hệ chất kết dính với bê tông nên cốt thép sơn X có độ bám dính bê tông cao nhất.

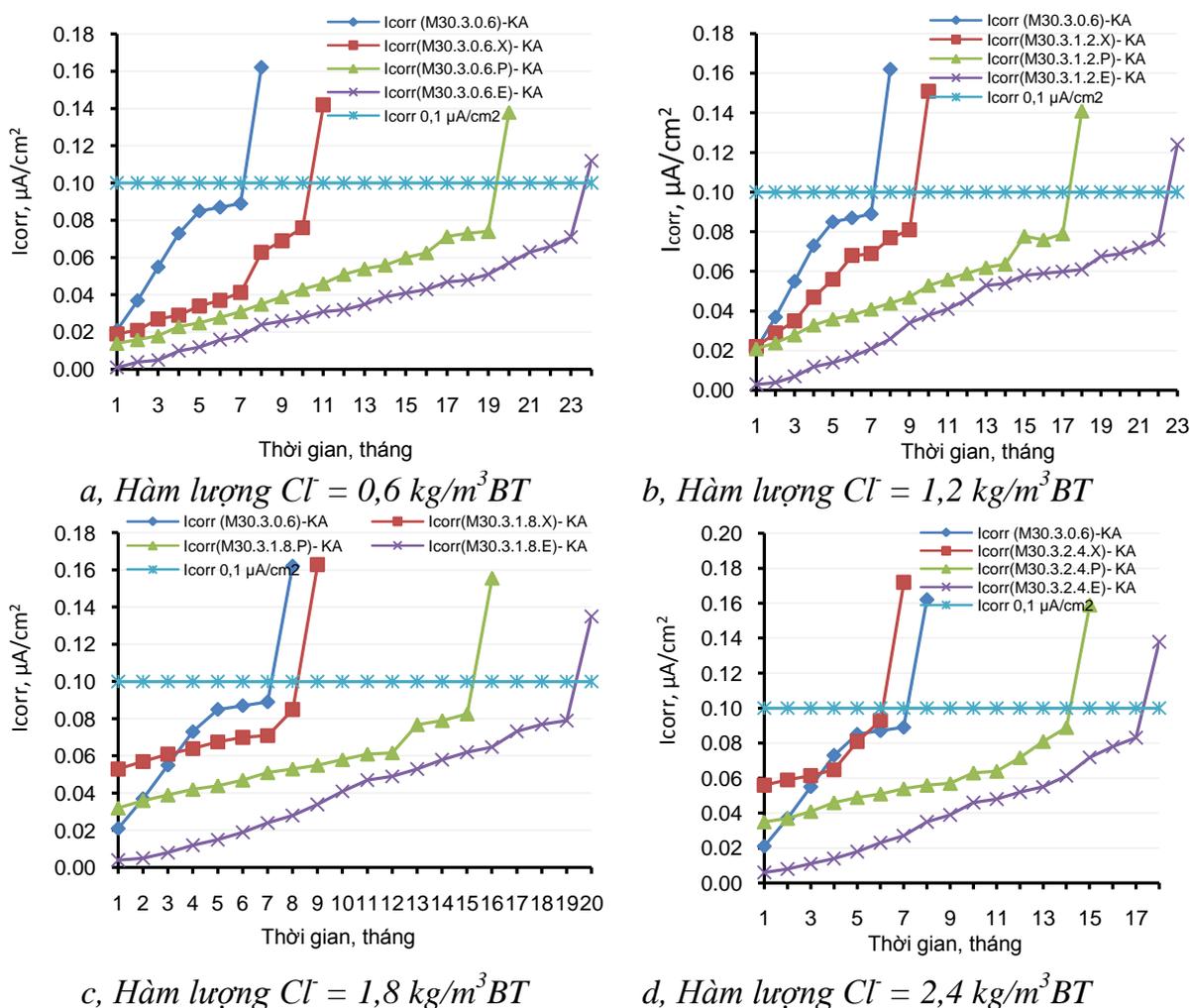
Theo chỉ dẫn kỹ thuật của Hội kỹ sư xây dựng Nhật Bản [72] hoặc ASTM A775, cường độ bám dính cốt thép phủ sơn phải lớn hơn 85% cốt thép không sơn thì các loại sơn dùng trong nghiên cứu đều đáp ứng yêu cầu (Hình 3.10).

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

Nghiên cứu được tiến hành trên mẫu cốt thép sơn ba loại E, P và X với chiều dày màng sơn tương ứng là $175\pm 18\ \mu\text{m}$; $150\pm 15\ \mu\text{m}$; $1500\pm 150\ \mu\text{m}$ đặt trong bê tông M300W10 Δ 30 với các hàm lượng $[\text{Cl}^-] = 0,6, 1,2, 1,8$ và $2,4\ \text{kg/m}^3$. Kỹ thuật sơn các thanh cốt thép như trong mục 2.1.9. Cấp phối BT trong Bảng 2.21. Khả năng bảo vệ cốt thép phủ các loại sơn được đánh giá thông qua thời gian (tính bằng tháng), trong môi trường khô ẩm, mật độ dòng ăn mòn (i_{corr} , $\mu\text{A/cm}^2$) đạt ngưỡng $0,1\ \mu\text{A/cm}^2$ (cốt thép chuyển đổi trạng thái thụ động sang ăn mòn).

3.2.3.1 . Kết quả nghiên cứu

Kết quả nghiên cứu được thể hiện trong các Hình 3.12, Hình 3.13.

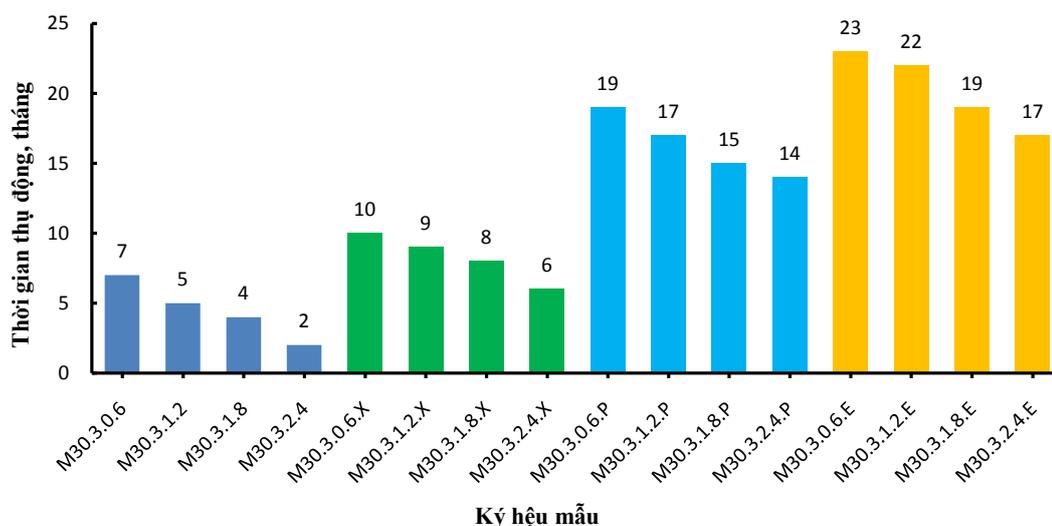


Hình 3.12. Ảnh hưởng sơn phủ CT trong BT $[\text{Cl}^-] = (0,6\div 2,4)\ \text{kg/m}^3$ đến i_{corr} theo thời gian

Bảng 3.9. Thời gian thụ động của cốt thép trong bê tông khi sơn cốt thép bằng sơn X, P, E

STT	Bê tông	Δ , mm	[Cl ⁻], kg/m ³	Sơn cốt thép	Ký hiệu mẫu	Thời gian thụ động, tháng
1	M300, W10	30	0,6	Không sơn	M30.3.0.6	7
2			1,2		M30.3.1.2	5
3			1,8		M30.3.1.8	4
4			2,4		M30.3.2.4	2
5			0,6	Xi măng polyme	M30.3.0.6.X	10
6			1,2		M30.3.1.2.X	9
7			1,8		M30.3.1.8.X	8
8			2,4		M30.3.2.4.X	6
9			0,6	Polyurethane	M30.3.0.6.P	19
10			1,2		M30.3.1.2.P	17
11			1,8		M30.3.1.8.P	15
12			2,4		M30.3.2.4.P	14
13			0,6	Epoxy	M30.3.0.6.E	23
14			1,2		M30.3.1.2.E	22
15			1,8		M30.3.1.8.E	19
16			2,4		M30.3.2.4.E	17

Các kết quả trong Bảng 3.9 vẽ được biểu đồ thời gian thụ động của cốt thép trên Hình 3.13 và tính được hiệu quả bảo vệ của các loại sơn trên Bảng 3.10 và Bảng 3.11.



Hình 3.13. Ảnh hưởng của sơn phủ cốt thép đến thời gian thụ động của cốt thép

Bảng 3.10. 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] kg/m ³	Không sơn		Sơn X		Sơn P		Sơn E	
			T _{corr}	Hệ số						
1	M300	0,6	7	1,0	10	1,4	19	2,7	23	3,3
2	- W10 - Δ30	1,2	5	1,0	9	1,8	17	3,4	22	4,4
3		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 _{corr} (sơn)/T _{corr} (không sơn)										

Ghi chú: T_{corr} là thời gian thụ động của thép

Bảng 3.11. Hiệu quả bảo vệ cốt thép 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/m³

TT	Bê tông	[Cl-] kg/m ³	Không sơn		Sơn X		Sơn P		Sơn E	
			T _{corr}	Hệ số	T _{corr}	Hệ số	T _{corr}	Hệ số	T _{corr}	Hệ số
1	W10	0,6	7	1,0	10	1,4	19	2,7	23	3,3
2	M300 Δ30	1,2	5	0,71	9	1,3	17	2,4	22	3,1
3		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 _{corr} (nc)/T _{corr} ([Cl]=0,6kg/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 3.12.

Bảng 3.12. Vai trò của sơn (S) và bê tông (B) trong việc bảo vệ cốt thép, mẫu M300W10Δ30, [Cl]=(0,6÷2,4) kg/m³ theo thời gian thụ động cốt thép, tháng

[Cl], kg/m ³	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	10/100	7/70	3/30	19/100	7/37	12/63	23/100	7/30	16/70
1,2	9/100	5/56	4/44	17/100	5/30	12/70	22/100	5/23	17/77
1,8	8/100	4/50	4/50	15/100	4/27	11/73	19/100	4/21	15/79

[Cl] ⁻ , kg/m ³	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
2,4	6/100	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

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu trong Hình 3.12, Hình 3.13, Bảng 3.10 đến Bảng 3.12 nhận thấy:

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/m³, 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/m³:

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/m³ so với bê tông tiêu chuẩn W10M300Δ30[Cl] 0,6:

Tăng dần theo thứ tự: sơn X (1,1÷1,4 lần và với [Cl] ≤ 1,8 kg/m³); 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/m³ 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/m³ 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 3.12 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/m³) 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.

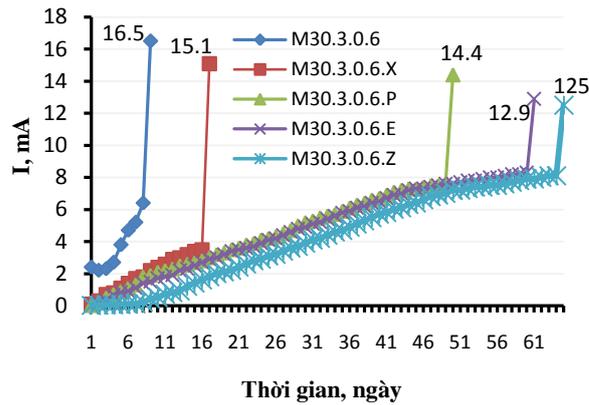
Từ đây rút ra nhận định là chất lượng chống thấm, tác nhân gây ăn mòn (clorua, nước, ô xy) của màng sơn đóng vai trò quyết định trong việc bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao. Sơn E và P thích hợp cho nhiệm vụ này, sơn X chỉ sử dụng được trong môi trường bê tông nhiễm clorua thấp tới 1,8 kg/m³.

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

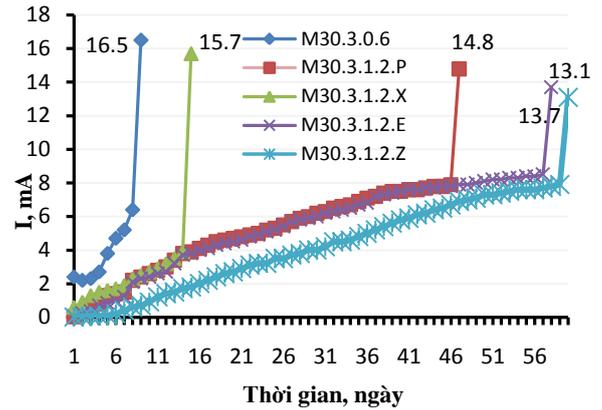
Trong nghiên cứu này sử dụng bốn loại sơn E, Z, P và X với chiều dày màng sơn tương ứng là 175±18 µm; 175±18 µm; 150±15 µm; 1500±150 µm; bê tông M300W10, hàm lượng clorua là 0,6; 1,2; 1,8; 2,4 kg/m³, chiều dày lớp BT bảo vệ là 30 mm. Kỹ thuật sơn các thanh cốt thép như trong mục 2.1.9. Trong đó mẫu M30W10 (không sơn cốt thép, chiều dày bảo vệ 30 mm, hàm lượng clorua là 0,6 kg/m³) được dùng làm mẫu chuẩn. Cấp phối BT trong Bảng 2.21.

3.2.4.1 . Kết quả nghiên cứu

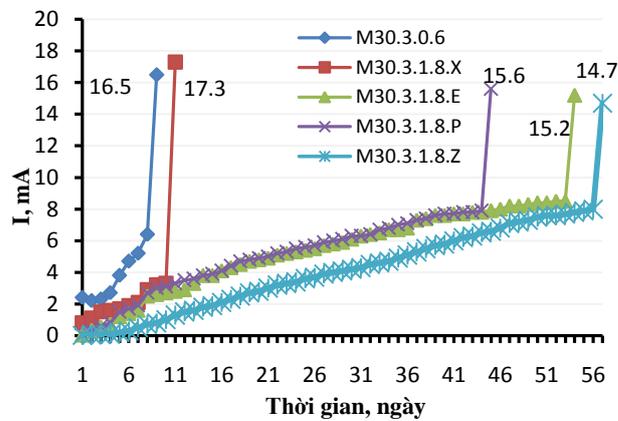
Phương pháp thí nghiệm nêu ở Chương 2. Các giá trị cường độ dòng điện được đo cách nhau 24 giờ quan sát trạng thái nứt mẫu trong thời gian thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm trên được thể hiện trên Hình 3.14, Hình 3.15 và Bảng 3.13.



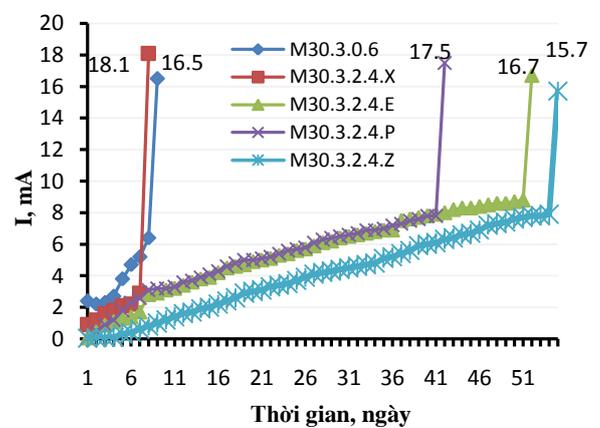
a, Hàm lượng $Cl^- = 0,6 \text{ kg/m}^3 \text{ BT}$



b, Hàm lượng $Cl^- = 1,2 \text{ kg/m}^3 \text{ BT}$



c, Hàm lượng $Cl^- = 1,8 \text{ kg/m}^3 \text{ BT}$



d, Hàm lượng $Cl^- = 2,4 \text{ kg/m}^3 \text{ BT}$

Hình 3.14. Khả năng bảo vệ cốt thép trong bê tông clorua cao bằng các loại sơn

Bảng 3.13. Khả năng và hiệu quả bảo vệ cốt thép bằng các loại sơn so với bê tông không sơn M30W10Δ30[Cl⁻]0,6, thí nghiệm NT Build 356

STT	Bê tông	Δ, mm	[Cl ⁻] ₃ , kg/m ³	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				Polyurethane	M30.3.0.6.P	50/5,6
3					M30.3.1.2.P	47/5,2
4					M30.3.1.8.P	45/5,0
5					M30.3.2.4.P	42/4,7
6					Epoxy	M30.3.0.6.E
7				M30.3.1.2.E		58/6,4
8				M30.3.1.8.E		54/6,0
9				M30.3.2.4.E		52/5,8
10						0,6

STT	Bê tông	Δ , mm	[Cl ⁻], kg/m ³	Loại sơn	Ký hiệu mẫu	Thời điểm nứt mẫu, ngày/Hiệu quả, lần
11			1,2	kẽm	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	

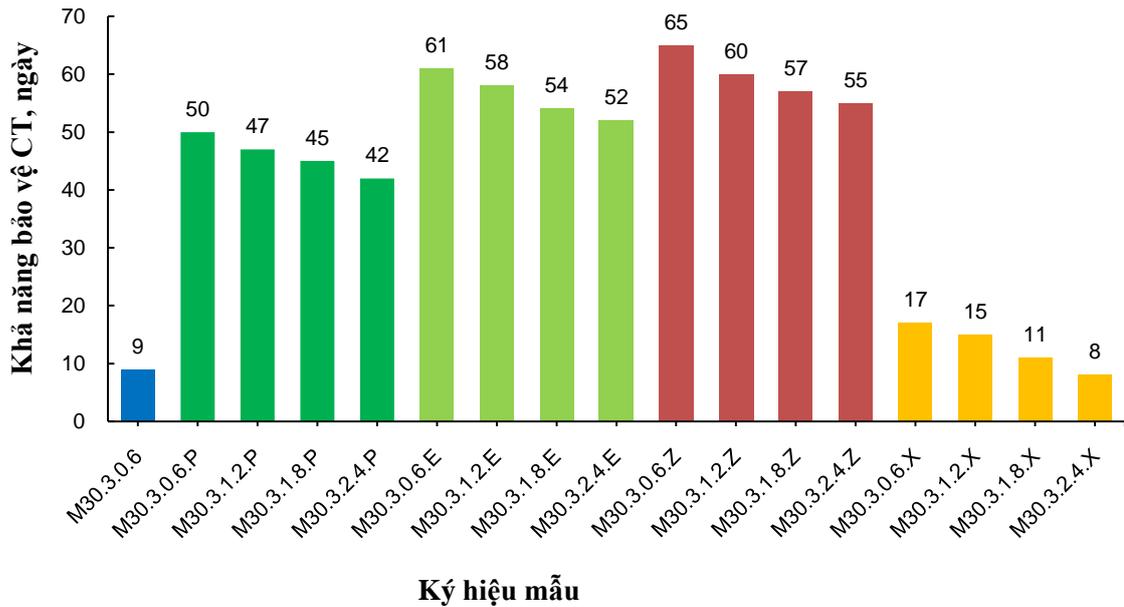
Hiệu quả tính bằng tỷ lệ số ngày nứt mẫu của mẫu nghiên cứu so với mẫu chuẩn

Từ kết quả trong Bảng 3.13, tính được vai trò của sơn (S) và bê tông (B) trong việc bảo vệ cốt thép như Bảng 3.14, vẽ được biểu đồ vẽ được biểu đồ Hình 3.15 về Khả năng bảo vệ cốt thép được sơn phủ bằng sơn E, Z, P và X.

Bảng 3.14. Vai trò của sơn và BT trong việc bảo vệ cốt thép, mẫu M300W10 Δ 30, [Cl⁻]= (0,6÷2,4) kg/m³, NT Build 356, ngày phá mẫu/% tổng số ngày

[Cl ⁻], kg/m ³	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



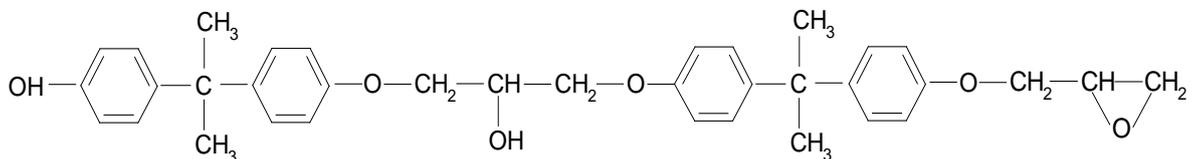
Hình 3.15. Khả năng bảo vệ cốt thép trong bê tông bằng các loại sơn E, Z, P, X

3.2.4.2 . Nhận xét và biện luận kết quả nghiên cứu

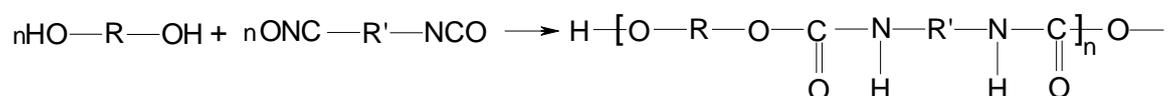
Kết quả nghiên cứu trong Bảng 3.13 và Hình 3.15 cho thấy, so với bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 là W10M300Δ30[Cl⁻]0,6, khả năng bảo vệ cốt thép của các loại sơn thí nghiệm theo NTBuild 356 khi bê tông nhiễm [Cl⁻] từ 1,2 đến 2,4 kg/m³, xếp theo thứ tự giảm dần như sau: sơn Z (6,1÷7,2 lần); sơn E (5,8÷6,8 lần); sơn P (4,7÷5,6 lần). Riêng sơn X chỉ có hiệu quả bảo vệ cốt thép tới [Cl⁻]=1,8 kg/m³ (tăng 1,2÷1,9 lần). Trong bê tông nhiễm [Cl⁻]=2,4 kg/m³ hiệu quả bảo vệ cốt thép của sơn X giảm còn 0,9 so với bê tông tiêu chuẩn;

Hiệu quả trên có thể giải do cấu tạo hóa của các màng sơn.

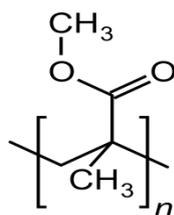
Cấu tạo Nhựa epoxy



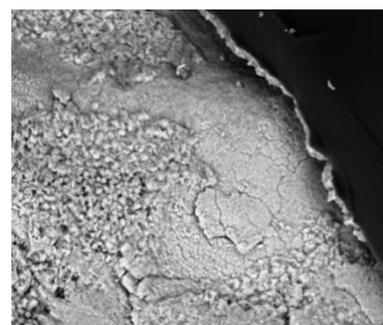
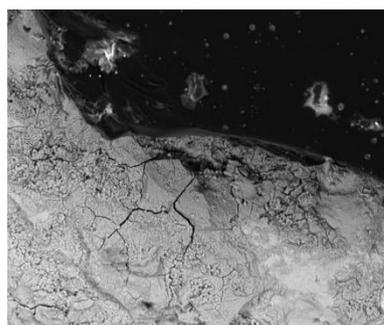
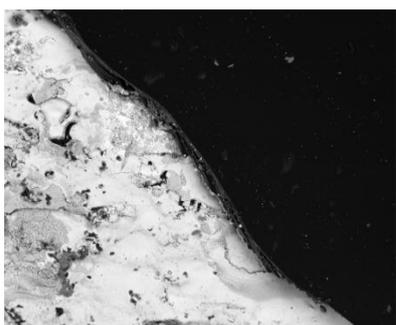
Cấu tạo Nhựa Polyurethane



Cấu tạo Nhựa acrylic (dạng polymethyl methacrylate)



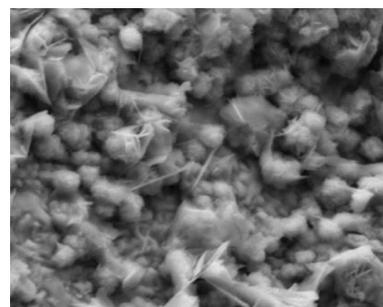
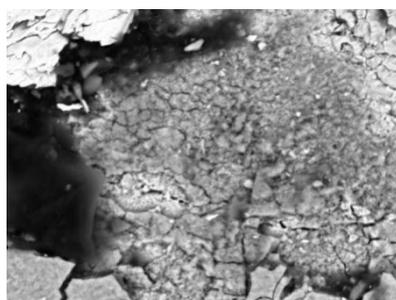
Nhựa epoxy không có nhóm ester nên tính chất kết dính, khả năng chịu nước và các tác nhân ăn mòn tốt. Ngoài ra, cấu tạo có vòng benzen bền vững ở vị trí trung tâm nên nhựa epoxy chịu ứng suất cơ, nhiệt tốt hơn mạch thẳng (polyurethane). Với sơn Z, ngoài chức năng che chắn bảo vệ của màng sơn E thì các hạt kẽm là anot hy sinh bảo vệ cốt thép. Sơn X có chứa polyme acrylic đã được nhũ hóa (đa số là ester của acid béo và rượu) kém bền hơn, cấu trúc màng kém đặc chắc hơn sơn E và P và khi sơn khô, một phần nước thoát đi để lại các mao quản. Do đó khả năng bảo vệ cốt thép của sơn này thấp hơn so với sơn Z, E và P.



a, Gi thép dưới lớp sơn Z

b, Gi thép dưới lớp sơn E

c, Gi thép dưới lớp sơn P



c, Gi thép dưới lớp sơn X

d, Tinh thể gi thép

Hình 3.16. Ảnh chụp SEM hiện trạng gỉ dưới lớp sơn

Kết quả chụp SEM sự hình thành gỉ thép dưới lớp sơn trong mẫu bê tông có độ chống thấm nước W10, hàm lượng $\text{Cl}^- = 1,8 \text{ kg/m}^3$ (Hình 3.16) cho thấy mức độ hình thành gỉ thép ở trạng thái nứt mẫu đối với sơn Z là nhỏ nhất tiếp đó là sơn E, P và cuối

cùng là sơn X. Điều đó chứng tỏ khả năng bảo vệ cốt thép của các màng sơn khác nhau, phù hợp với kết quả thời gian nứt mẫu trong nghiên cứu gia tốc.

Kết quả trong Bảng 3.14 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 $(82 \div 90)\%$ và $(85 \div 92)\%$, bê tông tùy mức nhiễm mặn đóng góp $(8 \div 18)\%$ nên chỉ giữ vai trò hỗ trợ. Khả năng bảo vệ cốt thép của sơn P và E rất ổn định, tương ứng $(38 \div 41)$ và $(48 \div 52)$ ngày, ít phụ thuộc vào mức nhiễm clorua trong bê tông. Sơn E tốt hơn sơn P khoảng 1,28 lần $(50/39)$. Sự suy giảm khả năng bảo vệ của hệ sơn - bê tông là do bê tông mất tính năng bảo vệ màng thụ động cốt thép khi bị nhiễm clorua cao. Điều này được giải thích bởi cấu trúc bền vững, chất lượng chống thấm của sơn E mạch vòng tốt hơn so với sơn P mạch thẳng, bởi sự bền kiềm xi măng bê tông của sơn E hơn sơn P, bởi sự bền trong môi trường clorua của cả sơn P và sơn E.

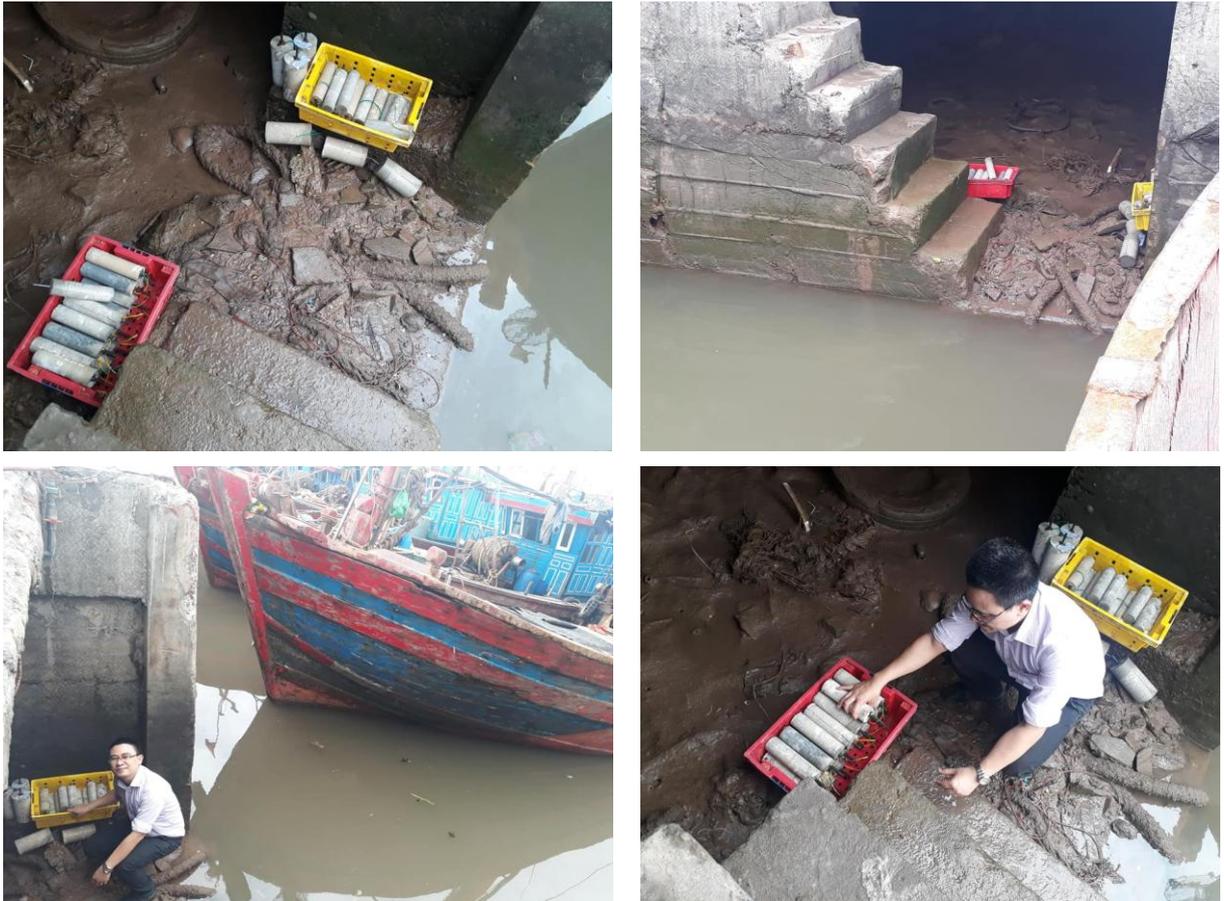
- Khi sử dụng sơn X, sơn và bê tông đóng vai trò gần ngang nhau, tương ứng $(45 \div 50)\%$ so với $(50 \div 53)\%$. Khả năng bảo vệ cốt thép của hệ S+B này chỉ hơn bê tông tiêu chuẩn khi bê tông nhiễm clorua tới $1,8 \text{ kg/m}^3$. Vượt qua ngưỡng này (ví dụ bê tông nhiễm $2,4 \text{ kg/m}^3$), khả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

Kết quả nghiên cứu khả năng bảo vệ cốt thép của sơn theo NT Build 356 cho thấy rằng, sơn phủ đóng vai trò quyết định trong việc bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao. Sơn phủ có cấu trúc chống thấm tốt, bền clorua và kiềm bê tông, kết hợp bê tông có khả năng hạn chế sự xâm nhập của oxy và nước tới bề mặt cốt thép, bảo vệ sơn khỏi tác động môi trường là giải pháp hiệu quả trong việc nâng cao khả năng bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao tại vùng biển. Sơn epoxy 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

Trong nghiên cứu này, các mẫu được nghiên cứu bằng phương pháp phơi mẫu trong điều kiện tự nhiên nước lên xuống tại Cảng Tân Sơn thuộc xã Thụy Hải, huyện Thái Thụy trong thời gian 12 tháng.

Các mẫu được đặt trong vùng nước lên xuống như Hình 3.17, sau những khoảng thời gian 1, 3, 6, 9, 12 tháng các mẫu nhóm 1, 2, 3, 4 được kiểm tra đánh giá mức độ ăn mòn bằng phương pháp hiệu điện thế theo TCVN 9348:2012. Các mẫu nhóm 5 được chuyển về phòng thí nghiệm Viện Hóa học- Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam để đo mật độ dòng ăn mòn i_{corr} .



Hình 3.17. Mẫu BTCT đặt thử nghiệm chân Cảng Tân Sơn

3.2.5.1 . Kết quả thử nghiệm

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

Tiến hành kiểm tra mức độ ăn mòn cốt thép bằng phương pháp hiệu điện thế tại 1, 3, 6, 9, 12 tháng như Hình 3.18. Kết quả thí nghiệm trong Bảng 3.15.

Bảng 3.15. Kết quả đo hiệu điện thế trên mẫu BTCT nhóm 1, 2, 3 và 4

TT	Ký hiệu mẫu	Chu kỳ kiểm tra, tháng	Hiệu điện thế trên tại các vị trí -E _o (mV)				
			1	2	3	4	5
1	M30.3.0.6	1	24	37	33	46	31
2		3	32	49	32	32	53
3		6	41	38	43	28	33
4		9	38	51	32	49	37
5		12	56	48	42	51	41
6	M30.5.1.2	1	33	37	31	26	35
7		3	30	36	39	21	40
8		6	37	36	42	35	41
9		9	46	43	39	42	36
10		12	49	43	59	44	53

TT	Ký hiệu mẫu	Chu kỳ kiểm tra, tháng	Hiệu điện thế trên tại các vị trí $-E_o$ (mV)				
			1	2	3	4	5
11	M30.7.1.8	1	39	37	41	25	33
12		3	37	42	45	31	34
13		6	43	47	41	47	39
14		9	45	39	47	35	39
15		12	45	47	36	39	43
16	M40.3.1.2	1	35	36	32	23	31
17		3	39	41	29	36	38
18		6	43	39	32	47	38
19		9	46	43	45	39	42
20		12	51	47	55	43	50
21	M50.3.1.8	1	28	25	31	28	29
22		3	30	31	39	36	34
23		6	33	41	36	42	39
24		9	37	36	45	48	46
25		12	42	43	47	51	49
26	M40.7.2.4	1	26	26	25	27	29
27		3	28	31	32	27	28
28		6	33	31	29	35	32
29		9	37	36	41	39	42
30		12	42	38	41	42	40
31	M50.5.2.4	1	28	27	28	29	31
32		3	32	33	32	34	33
33		6	39	37	38	41	40
34		9	42	44	42	39	40
35		12	47	45	43	41	49



Hình 3.18. Kiểm tra mức độ ăn mòn cốt thép mẫu BTCT nhóm 1, 2, 3 và 4 bằng phương pháp hiệu điện thế trên máy CORMAP

Kết quả đo mức độ ăn mòn cốt thép bằng phương pháp hiệu điện thế trên Bảng 3.15 cho thấy giá trị hiệu điện thế trong 12 tháng tương đối thấp, cỡ âm vài chục mV

và luôn nhỏ hơn -200mV . Đánh giá theo TCVN 9348: 2012 (xác suất trên 90%), cốt thép chưa bị ăn mòn. Do thời gian quá ngắn nên số liệu đo chưa cho thấy quy luật để so sánh được khả năng bảo vệ cốt thép của các loại bê tông có chất lượng nâng cao hơn so với bê tông tiêu chuẩn.

b, Kết quả thử nghiệm mẫu nhóm 5

Theo từng chu kỳ 1, 3, 6, 9, 12 tháng, mẫu được chuyển về thí nghiệm tại phòng Điện hóa ứng dụng, Viện Hóa học- Viện Hàn lâm khoa học và công nghệ Việt Nam để đo mật độ dòng ăn mòn (i_{corr}) theo phương pháp đường cong phân cực ngoại suy Tafel như trong Hình 3.19. Đánh giá khả năng xảy ra ăn mòn cốt thép theo Bảng 2.22. Các kết quả đo mật độ dòng ăn mòn i_{corr} được thể hiện trong Bảng 3.16.



Hình 3.19. Đo i_{corr} các mẫu thử nghiệm trong vùng biển

Bảng 3.16. Kết quả đo i_{corr} trên các mẫu sơn cốt thép

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ tiêu thử	Thời gian thử nghiệm, tháng				
			1	3	6	9	12
1	M30.3.1.8.X	E_{corr} , mV	-87	-112	-118	-121	-127
		i_{corr} , $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	0,001	0,002	0,004	0,005	0,007
2	M30.3.2.4.P	E_{corr} , mV	-124	-127	-125	-133	-134
		i_{corr} , $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	0,000	0,000	0,000	0,003	0,005
3	M30.3.2.4.E	E_{corr} , mV	-93	-122	-87	-116	-125
		i_{corr} , $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002

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 trong Bảng 3.16 cho thấy cốt thép vẫn trong trạng thái thụ động, mức độ ăn mòn rất thấp, tuy nhiên thời điểm xuất hiện i_{corr} đo được có khác nhau. Cụ thể:

- Khi sơn X (M30.3.1.8.X), i_{corr} xuất hiện từ tháng thứ 1;
- Khi sơn P (M30.3.2.4.P), i_{corr} xuất hiện từ tháng thứ 9;
- Khi sơn E (M30.3.2.4.E), i_{corr} xuất hiện từ tháng thứ 12.

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 sơn X.

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

Kết quả thí nghiệm khả năng bảo vệ cốt thép theo phương pháp NT Build 356 ở mục 3.1 đối với bê tông và mục 3.2 đối với sơn phủ được so sánh trên Bảng 3.17.

Bảng 3.17. Tổng hợp khả năng bảo vệ cốt thép (thời gian, 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 ⁻], kg/m ³							
		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 (chuẩn)	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

TT	Loại bê tông hoặc loại sơn bảo vệ	Khả năng bảo vệ cốt thép trong bê tông với [Cl ⁻], kg/m ³							
		0,6		1,2		1,8		2,4	
		Thời gian	Hệ số	Thời gian	Hệ số	Thời gian	Hệ số	Thời gian	Hệ số
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

Căn cứ kết quả thí nghiệm theo NT Build 356 tổng hợp trên Bảng 3.17, 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⁻] tới 1,2 kg/m³;

- 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⁻] = (1,8÷2,4) kg/m³. 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/m³ 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⁻] = (1,2÷2,4) kg/m³, 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 mức chống nước W (hoặc mức 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/m³;

- Khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông đạt mức tương đương bê tông tiêu chuẩn TCVN 9346:2012 (M300W10Δ30[Cl⁻]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⁻] = 1,2 kg/m³; nâng Δ từ 30 lên 70 mm hoặc W từ 10 lên 16 đối với bê tông [Cl⁻] = 1,8 kg/m³; 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⁻] = 2,4 kg/m³;

- 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/m³) khi bê tông nhiễm clorua ở các mức tương ứng 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m³. 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/m³.

2. Khả năng bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ kết hợp bê tông tiêu chuẩn:

- 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]⁻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]⁻0,6), khả năng bảo vệ cốt thép của các loại sơn kết hợp bê tông M300W10Δ30 nhiễm [Cl]⁻ từ 1,2 đến 2,4 kg/m³ 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/m³ (tăng 1,2÷1,9 lần, giảm còn 90% khi clorua 2,4 kg/m³).

- 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/m³, 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/m³. Bê tông tính năng nâng cao có thể xem xét sử dụng trong điều kiện bê tông nhiễm clorua tới 1,2 kg/m³.

- 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 $[Cl^-] = 1,2 \text{ kg/m}^3$: Sơn X kết hợp với bê tông M500W16 Δ 30 trong bê tông $[Cl^-] = 1,8 \text{ kg/m}^3$: 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

Để có số liệu minh chứng cho giải pháp đã được nghiên cứu thí nghiệm ở Chương 3, đề tài đã thực hiện việc nghiên cứu hiện trạng 11 công trình bê tông cốt thép vùng biển bị ăn mòn cốt thép mà Trung tâm tư vấn chống ăn mòn và xây dựng của Viện Khoa học công nghệ xây dựng đã gia cố sửa chữa (14÷32) năm trước. Kết quả nghiên cứu gồm các nội dung: (i) Hiện trạng ăn mòn cốt thép của công trình trước khi sửa chữa (ii) Hiệu quả bảo vệ cốt thép trong bê tông tại các công trình đã được sửa chữa (iii) Hiệu quả kinh tế của các phương án có thể áp dụng và (iv) Phương án lựa chọn áp dụng.

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

Hiện trạng và đặc trưng ăn mòn cốt thép của 11 công trình trước khi sửa chữa tổng hợp trên Bảng 4.1[13], [24], [36].

Bảng 4.1. Hiện trạng ăn mòn cốt thép tại công trình trước khi sửa chữa [13], [24], [36]

Tên công trình	Môi trường biển	Năm xây dựng	Năm khảo sát	Đặc trưng ăn mòn			
				Cường độ bê tông, MPa	Chiều dày bảo vệ mm	Hàm lượng clorua kg/m ³	Điện thế E, -mV
1. Nhà khách Lê Lợi Sầm Sơn, Thanh Hóa	Sát mép nước	1980	2002 (22)	18÷23	20÷40	0,66÷1,4	450÷ 580
2. Trường Cao đẳng Nông Lâm Thanh Hóa	Khí quyển gần bờ	1979	1999 (20)	11÷28	5÷55	0,64÷0,8	450÷ 580
3. Nhà điều khiển khối 3+4 Nhiệt điện Uông Bí	Khí quyển trên bờ	1961	2001 (40)	20,6÷21	16÷20	0,85÷1,76	220÷ 410
4. Băng tải xiên Nhiệt điện Uông Bí	Khí quyển trên bờ	1961	2001 (40)	14,3÷14,5	10÷20	0,9÷2,09	230÷ 410
5. Trạm bơm tuần hoàn Nhiệt điện Uông Bí	Khí quyển trên bờ	1961	2001 (40)	25÷31 (Tường tầng hầm)	18÷28 (Dầm)	2,2÷3,3 (Tường tầng hầm)	369÷ 450 (Dầm)
6. Nhà khách 21 Đồ Sơn Hải Phòng	Nước lên xuống	1974	2020 (46)	-	8÷25	5,3÷7,8	451÷ 512

Tên công trình	Môi trường biển	Năm xây dựng	Năm khảo sát	Đặc trưng ăn mòn			
				Cường độ bê tông, MPa	Chiều dày bảo vệ mm	Hàm lượng clorua kg/m^3	Điện thế E, -mV
(Khảo sát Kết cấu cũ còn lại)							
7. PTTH Đào Duy Từ Lam Sơn Thanh Hóa	Khí quyển gần bờ	1982	1997 (15)	18÷26	5÷40	0,7÷0,83	-
8. Nhà máy Đạm Phú Mỹ BR-VT	Khí quyển trên bờ	2001	2006 (5)	-	-	0,94	-
9. Nhà máy xi măng Hà Tiên 2 Kiên Giang	Khí quyển trên bờ	1964	1996 (32)	13÷35 (Nhà điều hành), 21÷40 (Si lo chứa)	15÷40	1,37÷1,58 (Nhà điều hành), 1,15÷1,32 (Si lo chứa)	
10. Trung tâm chống lao K67 Quảng Ninh	Khí quyển trên bờ	1990	1995 (5)	16÷23	0÷25	2,92÷5,6	
11. Huyện Ủy Tiền Hải Thái Bình	Khí quyển gần bờ	1986	1989 (3)	15÷23	5÷20	2,0	

Chi tiết như sau:

1. Nhà khách Lê Lợi, Sầm Sơn, Thanh Hóa

Công trình thuộc Cục quản trị- VP TW Đảng đặt cách mép nước biển khoảng 200 m, chịu ảnh hưởng ăn mòn mạnh của gió và khí quyển biển. Công trình được xây dựng theo thiết kế của Viện thiết kế nhà ở Bộ Xây dựng, kết cấu khung bê tông cốt thép bê tông mác M200, chiều dày bê tông bảo vệ trung bình $\Delta = (20\div 40)$ mm, $[Cl^-] = (0,66\div 1,4)$ kg/m^3 , $E = (-450\div -580)$ mV, cường độ bê tông $R_{bt} = (18\div 23)$ MPa. Công trình hoàn thành xây tầng 1, 2 vào năm 1980 sau đó xây các phần còn lại và đưa vào sử dụng năm 1984. Tại thời điểm khảo sát 2002 (sau 22 năm sử dụng) đã xuất hiện hư hỏng do ăn mòn cốt thép tập trung ở tầng 1, tầng 2, tầng mái và phía hướng ra bãi biển. Cốt thép bị ăn mòn nặng, giảm tiết diện, kết cấu không đảm bảo khả năng chịu lực theo TCVN 5574:1991. Tình trạng hư hỏng công trình ghi nhận trên Hình 4.1.



Hình 4.1. Hiện trạng hư hỏng nhà khách Lê Lợi

2. Trường Cao đẳng Nông Lâm Thanh Hóa

Công trình trường Trung cấp Nông- lâm Thanh Hóa (nay là trường Cao Đẳng) được xây dựng năm 1979 tại huyện Triệu Sơn, cách thành phố Thanh Hóa 15 km, cách biển 30 km, chịu ảnh hưởng ăn mòn khí quyển biển gần bờ. Kết cấu chịu lực khung bê tông cốt thép. Kết quả khảo sát năm 1999 cho thấy, sau 20 năm sử dụng, các hạng mục như nhà lớp học 3 tầng, nhà hiệu bộ 2 tầng, 4 nhà ký túc xá 2 tầng và hội trường đều bị hư hỏng nặng, lớp bê tông bảo vệ cốt thép bị nứt vỡ, bong bục, cốt thép bị gỉ nặng, kết cấu không đảm bảo khả năng chịu lực theo TCVN 5574:1991. Kết quả khảo sát năm 1999 cho thấy $E = (-450 \div -580) \text{ mV}$, $\Delta = (5 \div 55) \text{ mm}$, $[Cl^-] = (0,64 \div 0,8) \text{ kg/m}^3$, cường độ bê tông $R_{bt} = (11 \div 28) \text{ MPa}$. Trạng thái hư hỏng công trình trên Hình 4.2.



Hình 4.2. Hiện trạng hư hỏng trường Trung cấp Nông- lâm Thanh Hóa

3. Nhà điều khiển khối 3 +4 nhà máy Nhiệt điện Uông Bí

Công trình chịu tác động môi trường khí quyển biển, cách biển khoảng 1 km. Nhà điều khiển kết cấu chủ yếu là khung sàn BTCT đổ liền khối. Sau 40 năm sử dụng đã xuất hiện nhiều hư hỏng ở mức độ khác nhau. Dầm, sàn, cột bị bong bục lớp bê tông bảo vệ, cốt thép bị lộ ra và ăn mòn nặng, có vị trí bị đứt, chiều dày bê tông bảo vệ dầm $\Delta_{dầm} = (16 \div 20) \text{ mm}$, $[Cl^-] = (0,85 \div 1,76) \text{ kg/m}^3$, điện thế ăn mòn cốt thép đo được $(-220 \div -410) \text{ mV}$, cường độ bê tông $R_{bt} = (20,6 \div 21) \text{ MPa}$. Hiện trạng hư hỏng công trình trên. Hình 4.3 (trái).

4. Bảng tải xiên nhà máy Nhiệt điện Uông Bí

Công trình cũng chịu tác động của môi trường cách biển 1 km, kết cấu khung bê tông cốt thép tấm đan. Phần lớn phía dưới các tấm đan bị bong bục hờ thép do cốt thép đã bị gỉ nặng. Tại thời điểm kiểm tra chiều dày bê tông bảo vệ $\Delta = (10 \div 20)$ mm, $[Cl^-] = (0,9 \div 2,09)$ kg/m³, $E = (-230 \div -410)$ mV, cường độ bê tông $R_{bt} = (14,3 \div 14,5)$ MPa. Hiện trạng hư hỏng trên Hình 4.3 (phải).



Hình 4.3. Hiện trạng hư hỏng Nhà điều khiển khối 3 +4 và Bảng tải xiên

5. Trạm bơm tuần hoàn

Công trình nằm trên bờ sông Uông, tầng hầm nằm ở độ sâu -13 m so với cốt mặt đất, chịu tác động của môi trường nước lợ có độ mặn khá cao và phía trên của khí quyển biển. Sau 40 năm làm việc, công trình bị xuống cấp nghiêm trọng chủ yếu do ăn mòn kết cấu BTCT tập trung ở tầng hầm, hai công xôn đỡ cầu trục 10 tấn, sàn và cột tầng 1. Kết quả khảo sát cho thấy tường tầng hầm có cường độ bê tông $(25 \div 31)$ MPa, $\Delta_{dầm} = (18 \div 28)$ mm, điện thế ăn mòn cốt thép $E = (-369 \div -450)$ mV, $[Cl^-]_{tường\ hầm} = (2,2 \div 3,3)$ kg/m³.

6. Nhà khách 21 Đồ Sơn

Công trình nhà khách 21 Đồ Sơn thuộc Cục quản trị- VPTW Đảng được xây dựng năm 1974. Công trình BTCT gồm 2 phần: phần thân chịu tác động mạnh của khí quyển trên mặt nước biển, phần ngầm bao gồm cột, dầm, sàn chịu tác động của vùng nước lên xuống và sóng táp. Sau 18 năm sử dụng, phần ngầm đã bị hư hỏng mạnh do ăn mòn cốt thép, nguy cơ có thể bị đổ sập. Viện KHCN XD đã tiến hành khảo sát năm 1992, nhưng không còn hồ sơ lưu trữ. Tuy nhiên, kết cấu cũ còn lại là sàn BTCT cầu thang được khảo sát bổ sung năm 2020 (sau 46 năm) có $\Delta = (8 \div 25)$ mm, $[Cl^-] = (5,3 \div 7,8)$ kg/m³, $E = (-451 \div -512)$ mV.

7. Trường PTTH Đào Duy Từ

Công trình trường PTTH Đào Duy Từ, Lam Sơn, Thanh Hóa cách mặt nước biển 15 km được xây dựng năm 1982. Kết quả năm 1997 cho thấy kết cấu bị ăn mòn nặng. Dầm, cột hành lang và mặt ngoài công trình thép bị gỉ, tiết diện cốt thép giảm có nơi tới 50%, thép đai đứt nhiều. Chiều dày bê tông bảo vệ đo được $\Delta = (5 \div 40)$ mm, $[Cl^-] = (0,7 \div 0,83)$ kg/m³, cường độ bê tông $R_{bt} = (18 \div 26)$ MPa. Hiện trạng hư hỏng công trình ghi nhận trên Hình 4.4.



Hình 4.4. Hiện trạng hư hỏng trường PTTH Đào Duy Từ

8. Nhà máy Đạm Phú Mỹ

Công trình Nhà máy đạm Phú Mỹ được xây dựng năm 2001 và đưa vào sử dụng năm 2004. Công trình chịu tác động của môi trường biển và công nghiệp, xưởng phụ trợ làm mát bằng nước nhiễm mặn vì vậy công trình bị ăn mòn rất mạnh trong 3 năm khi đưa vào sử dụng. Nhiều vị trí cột, dầm cốt thép đã bị ăn mòn, gỉ thép đã tiết ra mặt ngoài của kết cấu. Hàm lượng clorua trong bê tông đo được $[Cl^-] = 0,94$ kg/m³.

9. Nhà máy xi măng Hà Tiên II

Công trình nhà máy xi măng Hà Tiên II được xây dựng năm 1964, cách mép nước 3 km, chịu tác động của môi trường khí quyển biển. Sau 32 năm sử dụng, một số vị trí kết cấu BTCT đã xuất hiện bong bụi lớp BT bảo vệ và cốt thép bị ăn mòn nặng. Hạng mục Nhà điều hành lò 1+2 hệ ước thép chịu lực giảm tiết diện (20÷60)% trong khi các si lô chứa bùn hệ ước nhiễm $[Cl^-] = (1,5 \div 1,32)$ kg/m³ và có chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép $\Delta = (15 \div 40)$ mm. Thép chịu lực giảm tiết diện (5÷50)%, một số thanh chỉ còn 10% tiết diện, cốt đai đứt hẳn nhiều chỗ, cường độ bê tông $R_{bt} = (21 \div 40)$ MPa. Nhà điều hành có $[Cl^-] = (1,37 \div 1,58)$ kg/m³, chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép $\Delta = (15 \div 40)$ mm, cường độ bê tông $R_{bt} = (13 \div 35)$ MPa. Hiện trạng hư hỏng công trình trên Hình 4.5.



Hình 4.5. Hiện trạng hư hỏng nhà máy xi măng Hà Tiên II

10. Trung tâm phòng chống lao Quảng Ninh

Công trình Trung tâm phòng chống lao- Bệnh viện K67 Quảng Ninh [6] cách biển 5 km, xây dựng năm 1990. Sau 5 năm sử dụng, phần lớn cốt thép trong cột, dầm, cầu thang, panel sàn bị ăn mòn và phá hủy khá nặng, hàm lượng clorua đo được $[Cl^-] = (2,92 \div 5,6) \text{ kg/m}^3$, chiều dày bê tông bảo vệ $\Delta = (0 \div 25) \text{ mm}$, BT bị nứt dọc nhiều vị trí theo các thanh thép, cường độ bê tông $R_{bt} = (16 \div 23) \text{ MPa}$.

11. Nhà nghỉ Huyện ủy Tiên Hải Thái Bình

Công trình nhà nghỉ huyện ủy Tiên Hải ở Đông Châu [36] được xây dựng năm 1986, sau 3 năm xây dựng (1989) đã xuất hiện nhiều hư hỏng do ăn mòn cốt thép. Nguyên nhân được xác định là do sử dụng cát bị nhiễm mặn để chế tạo bê tông, hàm lượng clorua tại thời điểm khảo sát khoảng $2,0 \text{ kg/m}^3$, chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép $\Delta = (5 \div 20) \text{ mm}$, cường độ bê tông $R_{bt} = (15 \div 23) \text{ MPa}$.

Như vậy, đặc điểm chung của các công trình đã khảo sát 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. Hư hỏng bắt nguồn từ gỉ cốt thép, vỡ bê tông bảo vệ, tiếp tục gỉ thép mất $(20 \div 35)\%$ tiết diện và kết cấu không còn đủ khả năng chịu lực. Nhiệm vụ chính của công tác sửa chữa là bảo vệ cốt thép.

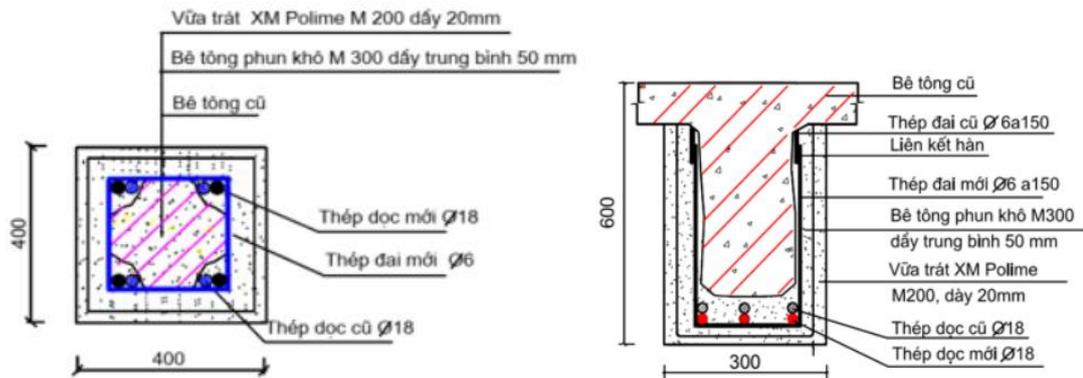
4.2 . Hiệu quả bảo vệ cốt thép trong bê tông tại các công trình sau sửa chữa

4.2.1 . Kết quả nghiên cứu

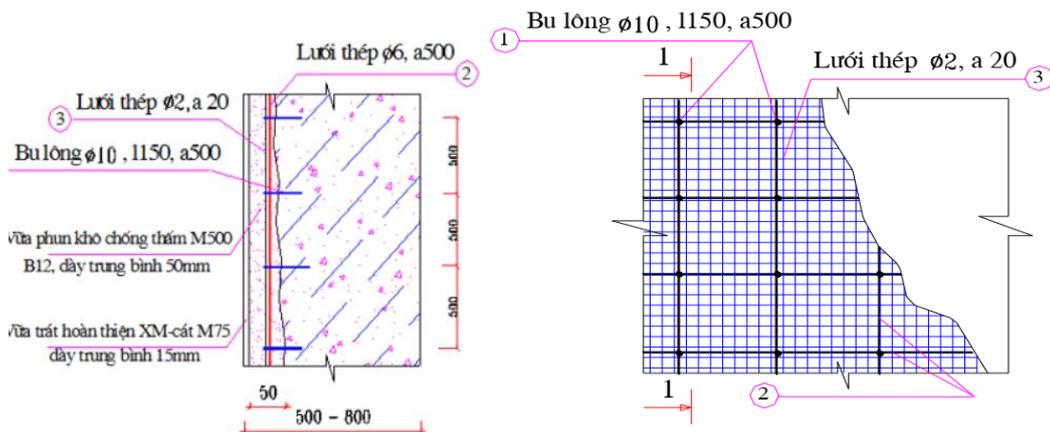
Trong các năm từ 1989 đến 2007, Viện KHCN Xây dựng đã thực hiện thi công sửa chữa nhiều kết cấu bê tông cốt thép hư hỏng tại vùng biển Việt Nam. Trong đó có 11 công trình đã được khảo sát ở phần 4.1 của Chương này. Giải pháp chính được áp dụng trong công tác sửa chữa kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn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

4.2.1.1 .Thiết kế sửa chữa

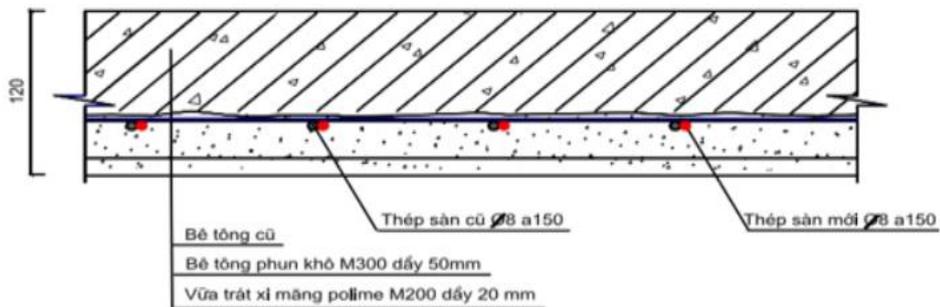
Thiết kế sửa chữa kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường biển được dựa trên nguyên tắc bảo vệ cốt thép trong bê tông bằng sơn X hoặc E kết hợp bê tông tính năng nâng cao. Một số thiết kế gia cố, sửa chữa chống ăn mòn cho kết cấu cột, dầm, sàn thường áp dụng thể hiện trên Hình 4.6 đến Hình 4.8.



Hình 4.6. Thiết kế gia cố, sửa chữa chống ăn mòn cho kết cấu cột, dầm



Hình 4.7. Thiết kế gia cố, sửa chữa chống ăn mòn cho kết cấu tường



Hình 4.8. Thiết kế gia cố, sửa chữa chống ăn mòn cho kết cấu sàn

Vật liệu sử dụng trong giải pháp thiết kế:

- Cốt thép bổ sung bù lại diện tích tiết diện đã bị ăn mòn tính toán theo TCVN 5574:2018;

- Sơn X áp dụng cho kết cấu bê tông trong môi trường khí quyển biển. Sơn E hai thành phần áp dụng cho công trình vùng nước thay đổi, sát mặt nước biển hoặc khí quyển biển.

- Bê tông bảo vệ ngoài cốt thép sau khi sơn là loại bê tông hạt mịn phun khô M300 trên cơ sở PC30 và PCB30 và M500 trên cơ sở PC40 và PCB 40. Chiều dày phun và làm phẳng trung bình 50 mm. Tại một số kết cấu như công xôn cột đỡ cầu trục công trình Trạm bơm tuần hoàn Nhà máy Nhiệt điện Uông bí hay cột, dầm công trình Nhà khách 21 Đồ Sơn sử dụng bê tông đổ tại chỗ có cường độ M400-W12.

Vừa hoàn thiện được sử dụng thường M75 hoặc vữa chống thấm M200 trên cơ sở xi măng và phụ gia siêu dẻo (trên hình vẽ gọi là vữa xi măng polyme).

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 sung thép mới theo thiết kế sửa chữa;
- Sơn phủ cốt thép cũ và mới bằng sơn X hoặc sơn E có gốc như sơn nghiên cứu ở chương 3;
- Kết nối bê tông cũ và mới bằng hỗn hợp xi măng polyme;
- 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 được tổng hợp trên Bảng 4.2.

Bảng 4.2. Hiệu quả bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ kết hợp bê tông chất lượng nâng cao sau khi sửa chữa

Tên công trình	Môi trường biển	Năm sửa chữa	Số năm SC tới 2021 (KS)	Biện pháp sửa chữa	Chiều dày màng sơn, μm	Hiệu quả bảo vệ	
						Hàm lượng [Cl-]	Điện thế -mV
1. Nhà khách Lê Lợi Sầm Sơn, Thanh Hóa	Sát mép nước	2002	19	Sơn X + bê tông phun khô M300, dày 50 mm	1000÷1500	1,43 ÷ 1,71	57÷124
2. Trường Cao đẳng Nông Lâm Thanh Hóa	Khí quyển gần bờ	2002	19			0,69÷0,83	65÷103
3. Nhà điều khiển khối Nhiệt điện Uông Bí	Khí quyển trên bờ	2003	18			0,93÷1,42	82÷136
4. Băng tải xiên Nhiệt điện Uông Bí	Khí quyển trên bờ	2003	18			0,72÷1,66	82÷116
5. Trạm bơm tuần hoàn Nhiệt điện Uông Bí	Khí quyển trên bờ	2003	18	Sơn X + bê tông M400-W12, bê tông phun khô M500 dày 50 mm		-	-
6. Nhà khách 21 Đồ Sơn Hải Phòng	Nước lên xuống	1992	29	Sơn E + bê tông M400-W12, dày 60 mm	170÷185	2,72-3,08	-
7. PTTT Đào Duy Từ Lam Sơn Thanh Hóa	Khí quyển gần bờ	2002	19	Sơn X + bê tông phun khô M300, dày 50 mm		-	-
8. Nhà máy Đạm Phú Mỹ BR-VT	Khí quyển trên bờ	2007	14	Sơn X + bê tông phun khô M300, dày 50 mm		-	-
9. Nhà máy xi măng Hà Tiên 2 Kiên Giang	Khí quyển trên bờ	1997	24	Sơn X + bê tông phun khô M300, dày 50 mm		-	-

Tên công trình	Môi trường biển	Năm sửa chữa	Số năm SC tới 2021 (KS)	Biện pháp sửa chữa	Chiều dày màng sơn, μm	Hiệu quả bảo vệ	
						Hàm lượng [Cl-]	Điện thế -mV
10. Trung tâm chống lao K67 Quảng Ninh	Khí quyển trên bờ	1995	26	Sơn E + bê tông phun khô dày 50 mm		-	-
11. Huyện Ủy Tiên Hải Thái Bình ở Đồng Châu	Khí quyển gần bờ	1989	32	Sơn E + bê tông phun khô dày 50 mm		-	-

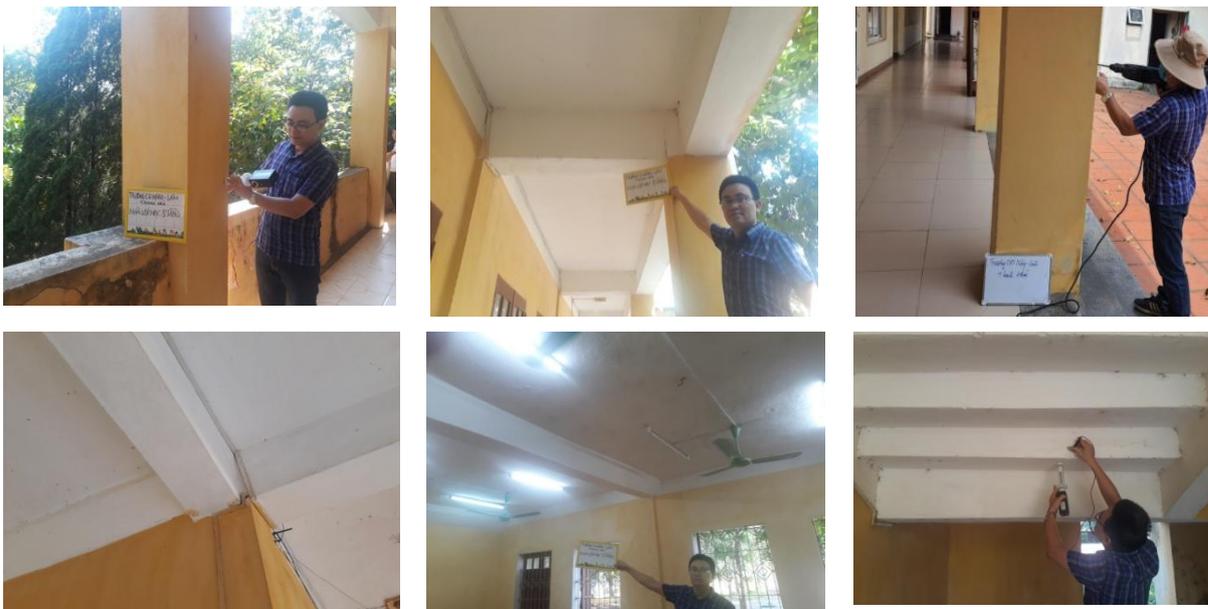
Chi tiết hiện trạng như sau:

1. Công trình nhà khách Lê Lợi, Sầm Sơn, Thanh Hóa sử dụng sơn phủ cốt thép bằng sơn X. Sau khi sơn phủ cốt thép, phun khô lớp bê tông M300 dày trung bình 60 mm và trát lớp vữa xi măng polyme M200 dày 20 mm. Kết quả kiểm tra cho thấy các dầm, cột tầng 1, sàn tầng 2 có chiều dày sơn (1000÷1500) μm , hàm lượng clorua trung bình [Cl⁻] = (1,43 ÷ 1,71) kg/m³, chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép $\Delta = (55 \div 62)$ mm, bê tông M300, hiệu điện thế đo được trong cốt thép khi mở cục bộ lớp sơn để tiếp cận đầu đo (-57 ÷ -124) mV. Các vị trí sửa chữa sau gần 20 năm chưa thấy dấu hiệu của hư hỏng bê tông kết cấu do cốt thép bị ăn mòn (Hình 4.9).



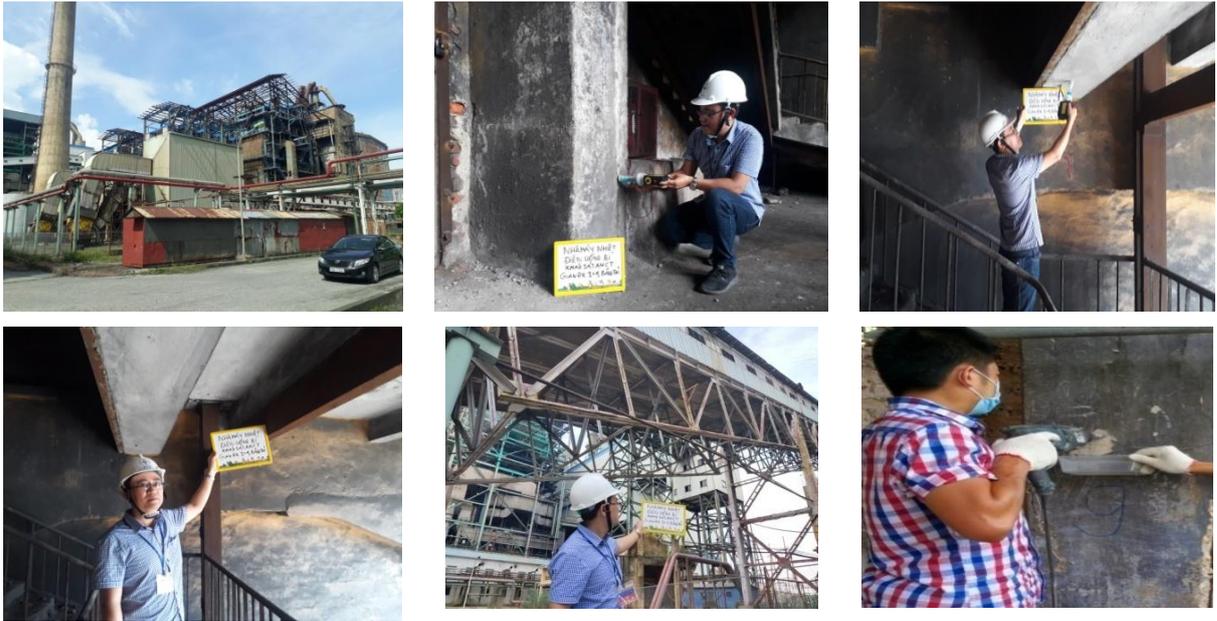
Hình 4.9. Nhà khách Lê Lợi sau gần 20 năm sửa chữa

2. Công trình nhà lớp học 3 tầng, Trường Cao đẳng nông lâm Thanh Hóa theo thiết kế được bảo vệ cốt thép bằng sơn X. Các cấu kiện sửa chữa bao gồm cột dầm tầng 1, 2, 3; sàn trần tầng 1, 2, 3, kết hợp BT phun khô M300 dày trung bình 50 mm. Khảo sát cho thấy hàm lượng clorua trung bình $[Cl^-] = (0,69 \div 0,83) \text{ kg/m}^3$, chiều dày bê tông bảo vệ $\Delta = (47 \div 55) \text{ mm}$, hiệu điện thế đo được $(-65 \div -103) \text{ mV}$, chiều dày màng sơn $(1000 \div 1500) \mu\text{m}$. Các vị trí sửa chữa sau gần 20 năm chưa thấy dấu hiệu của hư hỏng do ăn mòn cốt thép (Hình 4.10).



Hình 4.10. Trường cao đẳng nông lâm Thanh Hóa sau gần 20 năm sửa chữa

3. Công trình nhà điều khiển khối đọt 3+4 và băng tải xiên Nhà máy nhiệt điện Ung Bí, Quảng Ninh: cốt thép được sơn phủ bảo vệ bằng sơn X. Các cấu kiện bao gồm cột, dầm, sàn sau đó được phun khô lớp bê tông M300 dày trung bình 50 mm và trát lớp vữa xi măng polyme M200 dày 20 mm. Khảo sát cho thấy sơn xi măng polyme có chiều dày $(1000 \div 1500) \mu\text{m}$. Nhà điều khiển khối đọt 3+4 có hàm lượng $[Cl^-] = (0,93 \div 1,42) \text{ kg/m}^3$, $\Delta = (49 \div 54) \text{ mm}$, bê tông M300 phun khô, hiệu điện thế đo được từ $(-82 \div -136) \text{ mV}$. Băng tải xiên có hàm lượng trung bình $[Cl^-] = (0,72 \div 1,66) \text{ kg/m}^3$, $\Delta = (51 \div 56) \text{ mm}$, bê tông phun khô M300, hiệu điện thế đo được từ $(-82 \div -116) \text{ mV}$ (Hình 4.13). Các vị trí sửa chữa sau gần 20 năm chưa thấy dấu hiệu của hư hỏng do ăn mòn cốt thép (Hình 4.11).



Hình 4.11. Hiện trạng Nhà điều khiển khối đợt 3+4 và băng tải xiên nhà máy nhiệt điện Ung Bí sau gần 20 năm sửa chữa

4. Công trình Nhà khách 21 Đồ Sơn, Hải Phòng. Năm 1992 Viện KHCN Xây dựng sửa chữa chống ăn mòn bằng sơn E hai thành phần phủ trên cốt thép kết hợp bê tông M400 – W12. Kết quả khảo sát hiện trạng ăn mòn tại những cấu kiện sửa chữa cho thấy: Hàm lượng clorua trung bình $[Cl] = (2,7 \div 3,08) \text{ kg/m}^3$, chiều dày bê tông bảo vệ $\Delta = (57 \div 61) \text{ mm}$, chiều dày sơn epoxy tại vị trí đục tủa kiểm tra $(170 \div 185) \mu\text{m}$, tại vị trí này quan sát thấy cốt thép chưa có dấu hiệu ăn mòn. Các vị trí sửa chữa sau gần 30 năm chưa thấy dấu hiệu của hư hỏng do ăn mòn cốt thép mặc dù môi trường nước lên xuống và sóng tấp ăn mòn rất mạnh (Hình 4.12).



Hình 4.12. Hiện trạng khảo sát Nhà khách 21 Đồ Sơn sau gần 30 năm sửa chữa

5. Công trình sửa chữa trường PTTH Đào Duy Từ, Lam Sơn, TP Thanh Hóa do viện KHCN Xây dựng thực hiện năm 1997 đã sử dụng sơn X (Barafe S) dày (1000÷1500) μm để sơn phủ cốt thép trước khi phun khô lớp bê tông mác M300 dày 50 mm. Công trình sau gần 20 năm sửa chữa đang hoạt động bình thường.

6. Công trình Trạm bơm tuần hoàn Nhà máy nhiệt điện Uông Bí được sửa chữa năm 2003. Cốt thép trong dầm công xon sau khi bổ sung, gia cố được sơn X dày (1000÷1500) μm và đổ lớp bê tông mới M400-W12. Hiện nay, sau 18 sửa chữa công trình đang sử dụng bình thường, chưa thấy dấu hiệu hư hỏng kết cấu do ăn mòn cốt thép.

7. Công trình nhà máy đạm Phú Mỹ và xi măng Hà Tiên 2 cũng được sơn phủ cốt thép bằng sơn X có chiều dày (1000÷1500) μm , sau đó phun khô lớp bê tông M300 dày trung bình 50 mm. Hiện nay, sau hơn 20 năm sửa chữa, công trình đang sử dụng bình thường, chưa có dấu hiệu bị ăn mòn trở lại.

8. Công trình Trung tâm phòng chống lao thuộc bệnh viện K67 Quảng Ninh, Huyện ủy Tiên Hải, Thái Bình ở Đồng Châu [25] cũng đã được sửa chữa bằng biện pháp sơn phủ cốt thép bằng sơn E dày (170÷180) μm , sau đó phun khô lớp bê tông M300 dày trung bình 50 mm. Kết quả khảo sát cho thấy các công trình này sau thời gian tương ứng 26 và 32 năm vẫn làm việc bình thường, chưa thấy dấu hiệu hư hỏng.

4.2.1.4 . Điện thế ăn mòn cốt thép

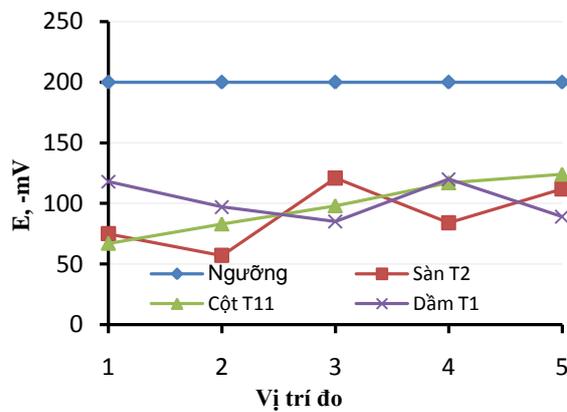
Kết quả đo điện thế ăn mòn cốt thép tại 4 công trình trên Bảng 4.3.

Bảng 4.3. Kết quả kiểm tra ăn mòn cốt thép trên một số công trình

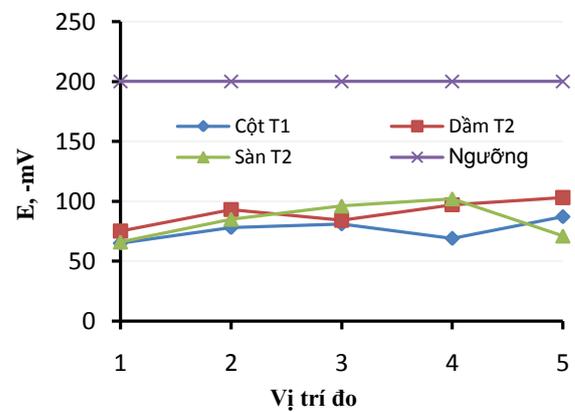
STT	Công trình	Hiệu điện thế, -mV sau sửa chữa
1	Nhà khách Lê Lợi, Sầm Sơn, Thanh Hóa	57÷124
	<i>Sàn tầng 2 (Phía hành lang hướng ra bãi biển)</i>	75, 57, 121, 84, 112
	<i>Cột tầng 1 (hướng ra bãi biển)</i>	67, 83, 98, 117, 124
	<i>Dầm tầng 1 (hướng ra bãi biển)</i>	118, 97, 85, 120, 89
2	Trường cao đẳng nông- lâm Thanh Hóa	65÷ 103
	<i>Cột hành lang tầng 1</i>	65, 78, 81, 69, 87
	<i>Dầm hành lang 2</i>	75, 93, 84, 97, 103
	<i>Sàn tầng 2</i>	66, 85, 96, 102, 71

STT	Công trình	Hiệu điện thế, -mV sau sửa chữa
3	Nhà điều khiển khối 3+4 nhà máy Nhiệt điện Uông Bí	82÷136
	<i>Dầm tầng 2</i>	92, 102, 89, 124, 130
	<i>Sàn tầng 1</i>	82, 119, 105, 125, 136
4	Băng tải xiên Nhiệt điện Uông Bí, Quảng Ninh	82÷116
	<i>Sàn phía dưới, giáp kho than</i>	89, 107, 92; 114, 96
	<i>Sàn phía dưới, giáp nhà điều khiển</i>	101, 82, 116, 98, 111

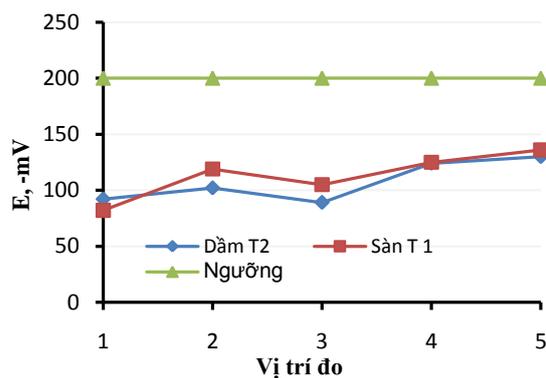
So sánh với thể thể ăn mòn theo TCVN 9348:2012 (-200 mV, xác suất 90%) trên Hình 4.13.



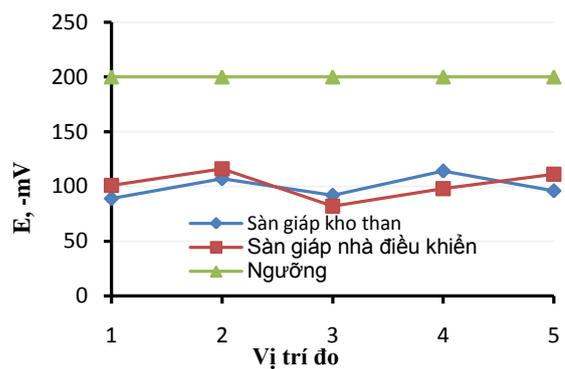
a, Nhà khách Lê Lợi (sau 19 năm)



b, Trường Cao đẳng Nông lâm Thanh Hóa (sau 19 năm)



c, Nhà điều khiển khối 3+4 (sau 18 năm)



d, Băng tải xiên (sau 18 năm)

Hình 4.13. Kết quả kiểm tra điện thế ăn mòn một số công trình sau sửa chữa

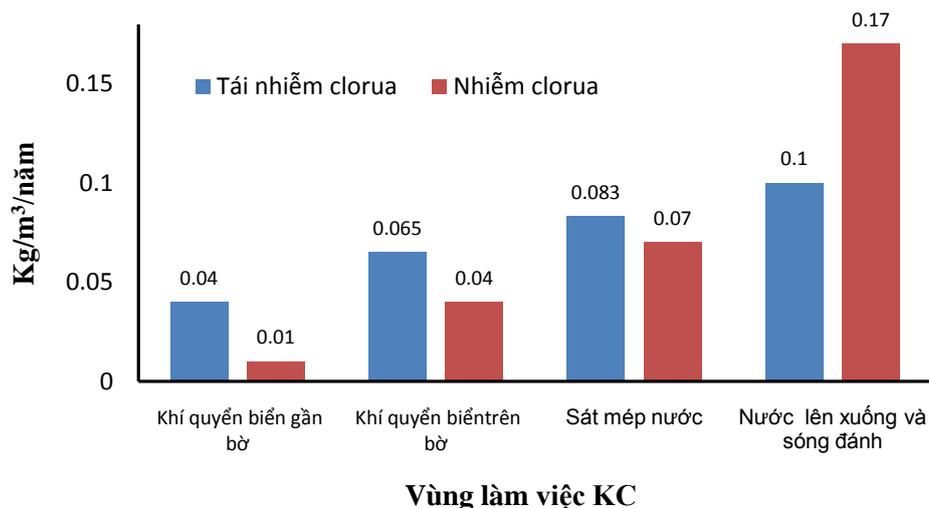
4.2.1.5 . Tốc độ bê tông sửa chữa tái nhiễm clorua

Tốc độ tái nhiễm clorua của bê tông một số công trình vùng biển Việt Nam, tính bằng kg/m^3 sau 1 năm sau sửa chữa, tập hợp trên Bảng 4.4.

Bảng 4.4. Tốc độ tái nhiễm của bê tông sau sửa chữa

Môi trường làm việc	Tên công trình	Cách mặt nước biển, km	Độ nhiễm clorua trung bình, kg/m^3	Số năm sau sửa chữa	Tốc độ tái nhiễm $\text{kg/m}^3/\text{năm}$	Tốc độ nhiễm TB $\text{kg/m}^3/\text{năm}$ [36]
Khí quyển gần bờ	Trường Cao đẳng Nông Lâm Thanh Hóa	30	0,76	19	0,04	0,01
Khí quyển trên bờ	Băng tải xiên Nhiệt điện Uông bí	1	1,19	18	0,065	0,04
	Nhà điều khiển khối Nhiệt điện Uông bí	1	1,17	18		
Sát mép nước	Nhà khách Lê Lợi, Sầm Sơn, Thanh Hóa	0,2	1,57	19	0,083	0,07
Nước lên xuống và sóng tấp	Nhà khách 21 Đồ Sơn, Hải Phòng	-	2,90	29	0,1	0,17

Theo kết quả báo cáo tổng kết đề tài [36] (Bảng 6- Phụ lục 2), tốc độ nhiễm clorua đối với công trình xây mới xây ra mạnh nhất ở vùng nước lên xuống và sóng đánh đạt trung bình $0,17 \text{ kg/m}^3/\text{năm}$. Ngoài ra vùng cận mép nước trung bình $0,07 \text{ kg/m}^3/\text{năm}$; càng đi sâu vào đất liền mức độ xâm nhập Cl^- lên kết cấu càng giảm trung bình còn $0,04 \text{ kg/m}^3/\text{năm}$ đối với vùng khí quyển trên bờ, $0,01 \text{ kg/m}^3/\text{năm}$ đối với vùng khí quyển gần bờ. Kết quả so sánh tốc độ tái nhiễm clorua của bê tông sau sửa chữa với bê tông thông thường thể hiện trên Hình 4.14.



Hình 4.14. Tốc độ nhiễm clorua của bê tông sau sửa chữa so với bê tông thường

Bảng 4.5. Dự báo mức bê tông tái nhiễm clorua sau thời gian sửa chữa

Môi trường	Cách mặt biển, km	Tốc độ nhiễm, kg/m ³ /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 X và sơn E

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/m³, trung bình 1,6 kg/m³; tại Nhà điều khiển khối 3+4 nhiệt điện Uông Bí (sau 18 năm): (0,93÷1,42) kg/m³, trung bình 1,2 kg/m³; tại Bể tải xiên nhiệt điện Uông Bí (sau 18 năm): (0,72÷1,66) kg/m³, trung bình 1,2 kg/m³, trường Cao đẳng Nông- lâm Thanh Hóa (sau 19 năm): (0,69÷0,83) kg/m³, trung bình 0,76 kg/m³ 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 $(170\div 185)$ μm , công trình trong môi trường rất khắc nghiệt là nước lên xuống và sóng táp, 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 $(2,72\div 3,08)$ kg/m^3 , trung bình 2,9 kg/m^3 là mức mà ở điều kiện không có sơn, cốt thép có thể đã bị gỉ rất nặng.

Từ số liệu Bảng 4.5, 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 ($\text{clorua} \leq 1,8 \text{ kg}/\text{m}^3$), 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) Khi bảo vệ cốt thép bằng sơn xi măng polyme

Tất cả có 8/11 công trình sửa chữa sử dụng sơn X bảo vệ cốt thép đều nằm ở môi trường khí quyển trên bờ (1 km) và gần bờ ($1\div 30$ km). Tới thời điểm hiện tại cả 8 công trình đều đang làm việc bình thường. Số đo điện thế cốt thép của 4/8 công trình cho thấy cốt thép đang được bảo vệ tốt, chưa có vết màu gỉ thép loang ra bề mặt, toàn bộ lớp bê tông bảo vệ cốt thép chưa bị nứt hoặc bong rộp. Trong 8 công trình, 1 công trình đã sử dụng được 14 năm, 6 công trình ($18\div 19$) năm, riêng công trình Nhà máy xi măng Hà Tiên 2 đã sử dụng được 24 năm.

Kết quả Bảng 4.5 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 $(1\div 1,63)$ kg/m^3 , nằm trong giới hạn ($\leq 1,8 \text{ kg}/\text{m}^3$) 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 chất lượng 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 E

Trong số 3/11 công trình sửa chữa đã sử dụng sơn E. Một công trình ở điều kiện khắc nghiệt nhất là nước lên xuống và sóng táp đã sử dụng được 29 năm, một công trình trong môi trường khí quyển trên bờ (1 km) đã sử dụng được tương ứng 26 năm. Riêng công trình Huyện ủy Tiên Hải Thái Bình trong môi trường khí quyển gần bờ đã

sử dụng được 32 năm. Tới thời điểm hiện tại cả 3 công trình đều đang làm việc bình thường, cốt thép đang được bảo vệ tốt.

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 kg/m³. Tại công trình Nhà khách 21 Đồ Sơn, nơi lượng clorua trong bê tông đạt 3,08 kg/m³ 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 làm việc trong môi trường thực.

Các số liệu trên cho thấy, thời hạn bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao bằng sơn E 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

Số liệu nghiên cứu trên công trình thực sau (18÷32) năm sửa chữa đã minh chứng cho một số kết quả nghiên cứu trong phòng ở Chương 3 như sau:

- 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 kg/m³, vượt mức clorua 2,4 kg/m³ 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÷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÷1,63) kg/m³, nằm trong giới hạn hiệu quả bảo vệ cốt thép của sơn này theo thí nghiệm trong phòng là 1,8 kg/m³.

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

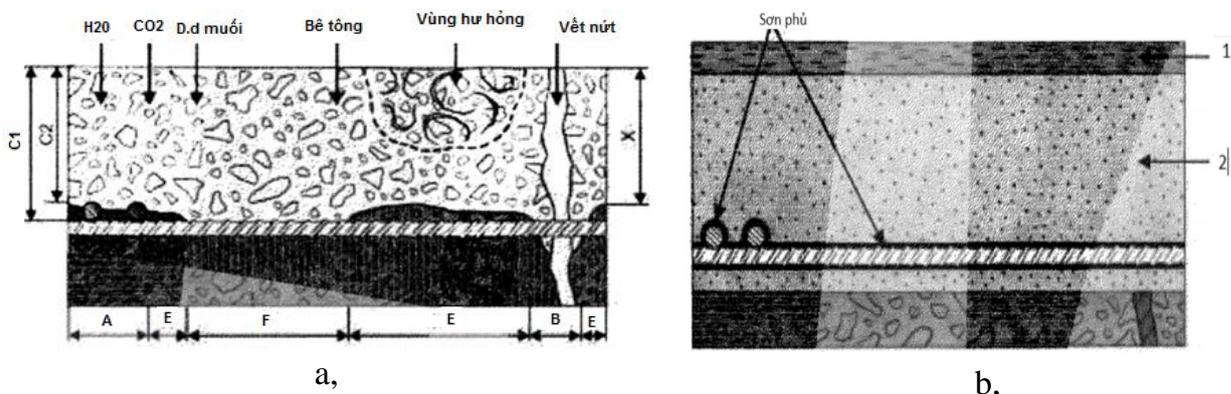
Phương án bảo vệ cốt thép xây dựng trên các cơ sở sau: Tiêu chuẩn SP 349.1325800.2017 [120]; Tiêu chuẩn TCVN 12251:2020 [5] (SP 28.13330.2017) và

kết quả nghiên cứu trong phòng và trên công trình sau (20÷32) năm sửa chữa.

a) Tiêu chuẩn SP 349.135800.2017 [120]

Tiêu chuẩn SP 349.1325800.2017 của Liên bang Nga có tên gọi “Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – Tiêu chuẩn sửa chữa và gia cường”. Tại Phụ lục K. Nguyên tắc bảo vệ số 9 là “Kiểm soát vùng anốt (cực dương) của khung cốt thép trong bê tông” có chỉ dẫn áp dụng Phương pháp số 9.2. “Sơn phủ bảo vệ cốt thép dạng ngăn cách”.

Theo chỉ dẫn 9.2 của tiêu chuẩn [120], sơn phủ bảo vệ cốt thép dạng ngăn cách đảm bảo sự ngăn dòng trao đổi và ngăn cản sự hòa tan của thép tại anốt, cũng như phản ứng tại catốt (khử ô xy). Tính năng nêu trên đạt được nhờ việc sử dụng sơn phủ, ví dụ sơn E. Trên Hình 4.15 chỉ dẫn việc áp dụng phương pháp này. Theo đó, cần đục tẩy bê tông quanh cốt thép tới độ sâu 20 mm, tẩy sạch gỉ và sơn phủ lên cốt thép. Trong quá trình thực hiện cần: tẩy gỉ cốt thép cẩn thận; kiểm soát chiều dày và độ đặc chắc của màng sơn phủ cốt thép, độ dính bám của màng sơn với cốt thép; tăng cường sự dính kết của màng sơn với bê tông sửa chữa và theo dõi tình trạng của khung cốt thép trong bê tông. Trong biện pháp, màng sơn có thể bổ sung chất ức chế và có thể có thêm lớp bảo vệ bề mặt.



C_1, C_2 : chiều dày bê tông bảo vệ; X: chiều sâu hàm lượng clorua đạt ngưỡng gây ăn mòn hoặc chiều sâu cacbonát hóa; A: vùng cốt thép bị ăn mòn do không đủ chiều dày lớp bê tông bảo vệ; E: vùng cốt thép thụ động, không bị ăn mòn; F: Vùng bê tông chất lượng kém; B: vùng có vết nứt. 1. Hệ thống bảo vệ bề mặt; 2. Bê tông sửa chữa.

Hình 4.15. Bê tông trước (hình a) và sau khi sửa chữa (hình b) [120]

b) TCVN 12251:2020 [5]

Tiêu chuẩn TCVN 12251:2020 có dẫn xuất từ tiêu chuẩn SP 28.13330.2017 “Bảo vệ kết cấu xây dựng khỏi bị ăn mòn” của Liên bang Nga, phù hợp với tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép TCVN 5574: 2018. Tiêu chuẩn [5] quy định trong điều kiện khí hậu Việt Nam, kết cấu bê tông vùng biển cần áp dụng biện pháp bảo vệ

chống ăn mòn theo TCVN 9346:2012. Trong [5], khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông được xét theo chỉ tiêu mức chống thấm. Các loại bê tông như bê tông thường, bê tông hạt mịn, bê tông phun khô, phun ướt, vữa trát ... được coi là có khả năng bảo vệ tương đương nếu có cùng chiều dày và độ chống thấm nước.

Trong kết quả sửa chữa một số công trình thực tế đã áp dụng bê tông phun khô M300÷M500. Nhóm bê tông này có tỷ lệ N/X thấp hơn so với bê tông thường nên về nguyên tắc có độ chống thấm nước cao hơn bê tông thường. Tuy nhiên, do luận án chưa có điều kiện nghiên cứu so sánh độ chống thấm của loại bê tông này với bê tông thông thường nên kết quả nghiên cứu được ghi kèm với loại bê tông và công nghệ thi công cụ thể.

Biện pháp và thông số kỹ thuật chống ăn mòn theo [120] và [5] được áp dụng trong việc xây dựng phương án bảo vệ cốt thép trong bê tông vùng biển.

4.3.2 . Lập phương án kỹ thuật

4.3.2.1 . Phương án trong môi trường khí quyển biển

a) Kết quả nghiên cứu cho thấy:

- Khi bê tông bị nhiễm clorua cao ($1,8 \div 2,4$) kg/m^3 , khả năng bảo vệ cốt thép giảm đi mạnh ($60 \div 80$)%. Trong trường hợp này không nên áp dụng phương án bảo vệ cốt thép bằng bê tông tính năng nâng cao. Khi bê tông nhiễm clorua trong phạm vi ($0,6 \div 1,2$) kg/m^3 có thể cân nhắc phương án bảo vệ cốt thép bằng bê tông tính năng nâng cao hoặc sơn phủ kết hợp bê tông tiêu chuẩn.

- Theo kết quả khảo sát về tốc độ nhiễm clorua trong môi trường biển, kết quả nghiên cứu trong phòng đối với bê tông nhiễm clorua $1,2 \text{ kg/m}^3$ có thể áp dụng cho kết cấu vùng khí quyển gần bờ (độ nhiễm $1,0 \text{ kg/m}^3$ sau 25 năm), đối với bê tông nhiễm clorua $1,8 \text{ kg/m}^3$ – cho kết cấu trên bờ (độ nhiễm thực tế $1,63 \text{ kg/m}^3$ sau 25 năm); đối với bê tông nhiễm $2,4 \text{ kg/m}^3$ cho môi trường sát mặt nước biển (độ nhiễm thực tế $2,08 \text{ kg/m}^3$ sau 25 năm);

- Sơn E, sơn P có khả năng bảo vệ cốt thép vượt trội so với bê tông nhiễm clorua cao và sơn X, đóng vai trò chủ đạo trong việc bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua cao ($82 \div 92$)% trong tổng khả năng bảo vệ cốt thép của cả sơn và bê tông nhiễm clorua cao. Vì vậy các loại sơn nhóm này được xem xét áp dụng trong mọi môi trường vùng biển;

- Sơn X, theo kết quả nghiên cứu trong phòng, có hiệu quả bảo vệ cốt thép trong bê tông nhiễm clorua tới $1,8 \text{ kg/m}^3$. Sơn này đóng vai trò bảo vệ cốt thép chỉ ở mức

tương đương bê tông chống thấm cao (sơn 45÷50% , bê tông 50÷55%). Vì vậy loại sơn này được xem xét áp dụng cùng với bê tông tính năng nâng cao và chỉ trong môi trường khí quyển biển.

b) Phương án kỹ thuật bảo vệ cốt thép bằng sơn phủ có thể như sau:

- Nhóm A: Kết cấu sửa chữa, khí quyển gần bờ (1÷30 km): Phương án A1. W16M500Δ30-X; A2. W12M400Δ50 -X; A3. W12M400Δ30 - P và A4. W10M300Δ30 - E;

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

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

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

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

a) Kết quả nghiên cứu cho thấy:

Theo kết quả nghiên cứu trên công trình thực thì bê tông bị nhiễm clorua rất cao 3,08 kg/m³ và lớn hơn. Phương án bảo vệ đã áp dụng thành công là sơn E kết hợp bê tông bảo vệ W12M400Δ60.

Theo kết quả nghiên cứu trong phòng thì ở mức nhiễm mặn này chỉ có thể áp dụng sơn E (hoặc P). Sơn P có khả năng bảo vệ cốt thép thấp hơn so với sơn E.

b) Phương án kỹ thuật bảo vệ cốt thép có thể như sau:

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

Nhóm F: Kết cấu mới (giảm Δ): Phương án 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 được tính toán dựa trên các phương án kỹ thuật nêu ở 4.3.2;

Hiệu quả kinh tế được tính trong điều kiện đơn giá vật tư tại Huyện Thái Thụy, tỉnh Thái Bình. Kết cấu là cột BTCT có tiết diện 600x600 mm, cao 5m, thép được bố trí 12 thanh $\Phi 32$, tổng diện tích mặt ngoài của 12 thanh thép là 6 m². BT có chiều dày bảo vệ 30 mm. Đối với kết cấu sửa chữa, các biện pháp chung bao gồm: Chồng đỡ kết cấu; đục bỏ BT bị hư hỏng xung quanh (bao gồm 30 mm tới bề mặt cốt thép, đục sâu 20 mm tại các vị trí cốt thép), tẩy gỉ cốt thép, sơn cốt thép, ghép ván khuôn, đổ bê tông bảo vệ, bảo dưỡng bê tông, hoàn thiện mặt ngoài của các phương án giống nhau nên không đưa vào giá để so sánh. Đối với kết cấu xây mới, các phần việc chung mà các phương án đều phải áp dụng cũng không tính vào giá. Như vậy, các phương án được so sánh thực chất về chi phí vật liệu cho công tác sửa chữa hoặc làm mới. Kết quả tính toán trên Bảng 4.6, so sánh hiệu quả kinh tế giữa các phương án trên Bảng 4.7.

Bảng 4.6. Chi phí vật liệu chống ăn mòn cho kết cấu sửa chữa hoặc làm mới

Phương án	Vật liệu sử dụng	Khối lượng	Đơn vị	Đơn giá, đồng (gồm cả VAT)	Thành tiền, đồng
A	Kết cấu sửa chữa, khí quyển gần bờ (1÷30 km)				
A1	Sơn X dày 1500 μm	18	kg	40,000	720,000
	Bê tông M500, dày 30 mm	0.55	m ³	1,210,000	665,500
	Chi phí A1:				1,385,500
A2	Sơn X dày 1500 μm	18	kg	40,000	720,000
	Bê tông M400, dày 50 mm	0.798	m ³	1,100,000	877,800
	Chi phí cho A2				1,597,800
A3	Sơn P dày 150 μm	1.035	kg	105,000	108,675
	Bê tông M400, dày 30 mm	0.55	m ³	1,100,000	605,000
	Chi phí cho A3				713,675
A4	Sơn E 175 μm	1.36	kg	110,000	149,600
	Bê tông M300, dày 30 mm	0.55	m ³	1,045,000	574,750
	Chi phí cho A4				724,350
B	Kết cấu mới, khí quyển gần bờ (1÷30 km)				
B1	Sơn P dày 150 μm	1.035	kg	105,000	108,675
	Bê tông M500, dày 15 mm	1.57	m ³	1,210,000	1,899,700
	Chi phí B1				2,008,375
B2	Sơn E 175 μm	1.36	kg	110,000	149,600

Phương án	Vật liệu sử dụng	Khối lượng	Đơn vị	Đơn giá, đồng (gồm cả VAT)	Thành tiền, đồng
	Bê tông M400, dày 15 mm	1.57	m ³	1,100,000	1,727,000
	Chi phí B2				1,876,600
C	Kết cấu sửa chữa, khí quyển trên bờ (0÷1 km)				
C1	Son X dày 1500 µm	18	kg	40,000	720,000
	Bê tông M500, dày 50 mm	0.798	m ³	1,210,000	965,580
	Chi phí C1				1,685,580
C2	Son P dày 150 µm	1.035	kg	105,000	108,675
	Bê tông M400, dày 40 mm	0,638	m ³	1,100,000	702,240
	Chi phí C2				810,915
C3	Son E 175 µm	1.36	kg	110,000	149,600
	Bê tông M400, dày 30 mm	0.55	m ³	1,100,000	605,000
	Chi phí C3				754,600
D	Kết cấu mới, khí quyển trên bờ (0÷1 km)				
D1	Son P dày 150 µm	1.035	kg	105,000	108,400
	Bê tông M500 Chiều dày 20 mm	1.632	m ³	1,210,000	1,974,720
	Chi phí D1				2,083,120
D2	Son E 175 µm	1.36	kg	110,000	149,600
	Bê tông M400 Chiều dày 20 mm	1.632	m ³	1,100,000	1,795,200
	Chi phí D2				1,944,800
E	Kết cấu sửa chữa, nước lên xuống				
E1	Son P dày 150 µm	1.035	kg	105,000	108,675
	Bê tông M400 Chiều dày 70 mm	1.083	m ³	1,100,000	1,191,300
	Chi phí E1				1,299,975
E2	Son E 175 µm	1.36	kg	110,000	149,600
	Bê tông M400 Chiều dày 60 mm	0.928	m ³	1,100,000	1,020,800
	Chi phí E2				1,170,400

Phương án	Vật liệu sử dụng	Khối lượng	Đơn vị	Đơn giá, đồng (gồm cả VAT)	Thành tiền, đồng
F	Kết cấu mới, nước lên xuống				
F1	Sơn P dày 150 μm	1.035	kg	105,000	108,675
	Bê tông M500 Chiều dày 40 mm	1.872	m^3	1,210,000	2,265,120
	Chi phí F1				2,373,795
F2	Sơn E 175 μm	1.36	kg	110,000	149,600
	Bê tông M400 Chiều dày 40 mm	1.872	m^3	1,100,000	2,059,200
	Chi phí F2				2,208,800

Bảng 4.7. 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

Kết quả phân tích kinh tế ở Bảng 4.6 và Bảng 4.7 cho thấy:

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

Từ kết quả nghiên cứu trong phòng, trên công trình thực và hiệu quả kinh tế của các phương án đáp ứng yêu cầu kỹ thuật, đề tài đề xuất chọn các phương án bảo vệ cốt

thép trong bê tông vùng biển Việt Nam theo thứ tự ưu tiên như sau:

- a) Trong môi trường khí quyển biển gần bờ (1÷30 km cách biển)
 - Kết cấu sửa chữa: W10M300Δ30-E (35 năm); W16M500Δ30-X (25 năm);
 - Kết cấu mới (giảm Δ15 mm): W12M400Δ15-E; W16M500Δ15-P.
- b) Trong môi trường khí quyển trên bờ (0÷1 km cách biển)
 - Kết cấu sửa chữa: W12M400Δ30-E (35 năm); W16M500Δ50-X (25 năm);
 - Kết cấu mới (giảm Δ15 mm): W12M400Δ20-E; W16M500Δ20-P.
- c) Trong môi trường nước lên xuống
 - Kết cấu sửa chữa: W12M400Δ60-E (35 năm);
 - Kết cấu mới (giảm Δ20-30 mm): W12M400Δ40-E; W16M500Δ40-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/m³/năm (cao hơn giá trị tương ứng 0,01 – 0,03 – 0,07 kg/m³/năm của bê tông thông thường [36]), riêng trong môi trường nước lên xuống đạt 0,1 kg/m³/năm (thấp hơn 0,17 kg/m³/năm của bê tông thông thường [36]).

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 $1,2 \text{ kg/m}^3$ (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 $[Cl^-] = 1,2; 1,8$ và $2,4 \text{ kg/m}^3$, khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông bị giảm đáng kể, tương ứng chỉ còn $(71 \div 80); (57 \div 60)$ và $(29 \div 40)\%$ so với bê tông tiêu chuẩn có $[Cl^-] = 0,6 \text{ kg/m}^3$. Để bê tông có khả năng bảo vệ cốt thép tương đương bê tông tiêu chuẩn: khi bê tông có hàm lượng $[Cl^-] = 1,2 \text{ kg/m}^3$ – 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 $[Cl^-] = 1,8 \text{ kg/m}^3$ – cần nâng W từ 10 lên 16 hoặc Δ từ 30 lên 70 mm; còn khi có $[Cl^-] = 2,4 \text{ kg/m}^3$ – nâng cả hai từ W10 Δ 30 lên W16 Δ 50 hoặc W12 Δ 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, Δ , $[Cl^-]$), 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 $(3,2 \div 8)$ 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 $(85 \div 92); (82 \div 90)$ và $(45 \div 50)\%$, 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, Δ 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, Δ 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, Δ 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÷20) mm tại vùng khí quyển biển và (20÷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

Tài liệu tiếng Việt

1. Nguyễn Tuấn Anh (2015), "*Nghiên cứu ứng dụng công nghệ, vật liệu nanô 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. Nguyễn Tuấn Anh (2016), "*Ăn mòn và bảo vệ bê tông cốt thép*", NXB KHTN &CN.
3. Vũ Ngọc Anh (2017), "*Bê tông làm từ cát biển, nước biển*", truy cập năm 2018, tại trang web <http://www.baoyaydung.com.vn/news/vn/vat-lieu/be-tong-lam-tu-cat-bien-nuoc-bien.html>.
4. Phạm Kinh Cương (1994), "*Nghiên cứu một số biện pháp kỹ thuật và công nghệ bảo vệ các công trình xây dựng dưới tác động ăn mòn của khí hậu vùng ven biển Việt nam*, 02.14.04.R116, Viện Khoa học Kỹ thuật Xây dựng.
5. TCVN 12251: 2020, "*Bảo vệ chống ăn mòn cho kết cấu xây dựng*".
6. 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 KHCCNXD.
7. Lê Quang Hùng (1996), "*Báo cáo khảo sát hư hỏng công trình nhà văn hóa, nhà khách mỏ than Cao Sơn- Quảng Ninh*", Viện KHCCNXD.
8. Lê Quốc Hùng (1995), "*Đánh giá ăn mòn cốt thép trong bê tông và khả năng tự chế tạo các thiết bị đo*", Hội thảo khoa học kỹ thuật bê tông xây dựng công trình biển và các phương pháp đánh giá, bảo vệ chúng, tr. 44-52.
9. 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.
10. Lê Việt Hùng (12/2020), "*Nghiên cứu đánh giá khả năng sử dụng cát biển làm cốt liệu cho bê tông*", Tạp chí vật liệu và xây dựng.
11. Nguyễn Quang Huỳnh (2010), "*Công nghệ sản xuất sơn-vecni*", NXB khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
12. Phạm Văn Khoan (4/2005), "*Phương pháp thí nghiệm gia tốc bằng dòng điện ngoài để đánh giá khả năng chống ăn mòn và bảo vệ bê tông cốt thép*", t/c KHCCNXD Xây dựng, tr. 21-26.
13. Phạm Văn Khoan (4/2009), "*Điều tra, khảo sát và đánh giá tình trạng ăn mòn công trình xây dựng dưới tác động của môi trường biển Việt Nam*", MT 21-07, Viện KHCCNXD Xây dựng.
14. Phạm Văn Khoan (5/2006), "*Nghiên cứu chế tạo và ứng dụng chất biến đổi gi và bảo quản thép xây dựng*".

15. Phạm Văn Khoan (6/2004), "*Báo cáo đánh giá khả năng chống ăn mòn và bảo vệ cốt thép trong bê tông của phụ gia Sika Ferrogard*".
16. 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 KHCCNXD, Hà Nội.
17. Phạm Văn Khoan (2003), "*Nghiên cứu chế tạo và ứng dụng chất ức chế ăn mòn canxi nitorit cho sản xuất vữa, bê tông chống ăn mòn dùng trong môi trường xâm thực clorua*", mã số RD 03.01.
18. Nguyễn Mạnh Kiêm (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.
19. Hoàng Đình Lũy (1980), "*Ăn mòn và bảo vệ kim loại*", Nhà xuất bản công nhân kỹ thuật.
20. Phan Quang Minh (2006), "*Kết cấu bê tông cốt thép, phần cấu kiện cơ bản*", NXB KH&KT.
21. Nguyễn Thị Hoa, Nguyễn Thị Nghiêm (1983), "*Tuyển tập các công trình khoa học 1963-1983*", Viện Khoa học kỹ thuật Xây dựng, tr. 193-203.
22. Ngô Văn Nhâm (2014), "*Tìm hiểu chung về một số loại sơn chống ăn mòn*" chuyên ngành polyme và composite, Đại học Bách khoa Hà Nội.
23. Đặng Văn Phú (8/1997), "*Nghiên cứu xử lý cát, sỏi biển để chế tạo vữa và bê tông- Phương pháp rửa cát biển*", mã số RD 9433", tr. 63.
24. Đặng Văn Phú (7/1999), "*Ăn mòn và bảo vệ các công trình xây dựng trong môi trường xâm thực*", Báo cáo tổng quan, Viện KHCCN Xây dựng.
25. Đặng Văn Phú (1990), Báo cáo tổng kết toàn diện kết quả nghiên cứu đề tài "*Nghiên cứu các biện pháp chống ăn mòn bê tông cốt thép bảo vệ công trình vùng ven biển*", 26B.03.03, Viện Khoa học Kỹ thuật Xây dựng.
26. Đặng Văn Phú (1999), "*Chống ăn mòn cho các công trình bê tông và bê tông cốt thép vùng biển Việt Nam*", Hội thảo Chống ăn mòn cho các công trình bê tông và bê tông cốt thép vùng biển Việt Nam.
27. Trịnh Xuân Sên (2006), "*Ăn mòn và bảo vệ kim loại*", NXB Đại học quốc gia Hà Nội.
28. TCVN 9346: 2012, "*Kết cấu bê tông, bê tông cốt thép - Yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường biển*".
29. Nguyễn Công Thắng (2016), "*Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng phụ gia khoáng và vật liệu sẵn có ở Việt Nam*", Luận án tiến sĩ kỹ thuật, NUCE.
30. Nguyễn Nam Thắng (2006), "*Nghiên cứu ứng dụng canxi nitrit ức chế ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép vùng biển Việt Nam*", Luận án Tiến sĩ kỹ thuật.
31. TCVN 5574:2018, "*Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*".

32. Lê Văn Thụ (2017), "*Lớp phủ hữu cơ*", Nhà xuất bản KHTN và Công nghệ, Hà Nội.
33. Lê Văn Thụ (2017), "*Lớp phủ hữu cơ, những phát triển gần đây và ứng dụng*", Nhà xuất bản khoa học tự nhiên và công nghệ.
34. TCVN 4453:1995, "*Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối - quy phạm thi công và nghiệm thu*".
35. Cao Duy Tiến (5/1999), "*Chống ăn mòn các công trình bê tông và bê tông cốt thép vùng biển*", Viện KHCN Xây dựng.
36. 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.
37. Cao Duy Tiến (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.
38. TCVN 7934: 2009 (ISO 14654: 1999), "*Thép phủ epoxy dùng làm cốt bê tông*".
39. Phạm Gia Vũ (2015), "*Khả năng bảo vệ chống ăn mòn thép cacbon của màng sơn epoxy giàu kẽm kết hợp với ống nano cacbon*", Tạp chí hóa học, . V. 53(4), tr. 461-467.
40. 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 systems*".
41. ACI 222R-01, "*Protection of Metals in Concrete Against Corrosion*".
42. NT Build 356 (11/1989), "*Concrete, repairing materials and protective coating: embedded steel method, Chloride permeability*".
43. EN 197-1: 2011 "*Composition, specifications and conformity criteria for common cements*".
44. ГОСТ 31384-2017 "*ЗАЩИТА БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ КОРРОЗИИ- Общие технические требования*".
45. ASTM A775/A775M-01, "*Standard Specification for Epoxy-Coated Reinforcing Steel Bars*".
46. ASTM A934/A934M-01, "*Standard Specification for Epoxy-Coated Prefabricated Steel Reinforcing Bars*".
47. AASHTO M 284/M 284M, "*Standard Specification for Epoxy-Coated Reinforcing Bars*".
48. ACI 222R-01, "*Protection of Metals in Concrete Against Corrosion*".
49. Matthew Carpenter, Adrienne Weishaar , Ryan Loucks , Aaron Sakulich , Amy M. Peterson (2018), "*Evaluation of self-healing epoxy coatings for steel reinforcement*", Construction and Building Materials. 191 (2018) pp.125–135.

50. 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.
51. J.A. Gonzalez et al (1998), "*Protection of steel embedded in chloride- containing concrete by means of inhibitors*", Cement and Concrete Research, pp. 577–589.
52. Yi Jiang et al (2015), "*Study on the properties of sea sand concrete with fly ash*", Advanced Materials Research pp. 1854-1857.
53. Zhenhai Zhang et al (2013), "*Experimental Research on Durability of Concrete Made by Seawater and Sea-Sand*", Advanced Materials Research, pp. 385-388.
54. Soheil Jahandari, Alireza Afshar , Haleh Rasekh, Mahdi Shariati, Abdollah Afshar , Ali Shokrgozar (2020), "*Corrosion resistance evaluation of rebars with various primers and coatings in concrete modified with different additives*", Construction and Building Materials. 262 (2020) 120034.
55. P.E and H.Martin Laylor, Andrew Griffith (June, 1999), "*Epoxy coated reinforcement study*", Oregon Department of Transportation.
56. GB 50212-2002, "*Building construction and acceptance of anticorrosion*".
57. Veera Horsakulthai, Athipong Arayawongwan (July - September 2007), "*Effect of Bottom Ash on Corrosion of Steel in Concrete*", Khon Kaen University Res J (GS) 7 (3).
58. Kajsa B (1990), "*Chloride-initiated reinforcement corrosion*", CBI Report 1:90, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm
59. N.S. Berke, Pfeifer, D. W., and Weil, T.G (December 1988), "*Protection against chloride- induced corrosion*", Concrete international.
60. Ammersbek, Bernhard, Wessling (October 1999), "*Scientific engineering of anti corrosion coating systems based on organic metals*", 15. 1.
61. John P. Broomfield (2007), "*Corrosion of Steel in Concrete, Understanding, investigation and repair, Second edition*", ISBN 0-203-41460-8 Master e-book ISBN.
62. R. Polder, C. Andrade and C. Alonso with contributions from J. Gulikers, R. Cigna, Ø. Vennesland, M. Salta, A. Raharinaivo and B. Elsener (2004), "*Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method* ", Materials and Structures. Vol.37, pp. 623-643.
63. M.C. Alonso, C. Andrade, J.A. Gonzalez (1990), "*Corrosion rates of steel in concrete*", ASTM STP 1065, pp. 29–37.
64. Kenneth Clear (March 1992), "*Effectiveness of Epoxy-Coated Reinforcing Steel*", Final Report for the Canadian Strategic Highway Research Program (C-SHRP).
65. Kenneth and Ali Akbar, Sohanguhpurwala, Clear (1990), "*Effectiveness of Epoxy Coatings in Minimizing Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete*",

- Transportation Research Record 1268, TRB, National Research Council, Washington, D.C.
66. Kenneth C. Clear, William Hart, Jack McIntyre, and Seung Kyoung Lee (1995), *"Performance of Epoxy-Coated Reinforcing Steel in Highway Bridges"*, National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Report 370, TRB, National Research Council, Washington D. C.
 67. J.R Clifton (1986), *"Protection of reinforcing bars with organic coatings"*, Materials performance, tr. 14-17.
 68. ACI 318-19, *"Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete"*.
 69. John Wiley and Sons D.H. Parker (1965), *"Principles of Surface Coating Technology"*.
 70. David scantlebury, David Greenfield (August 2000), *"The protective action of organic coatings on steel: A review"*, Journal of corrosion science and engineering. 3, pp. 5.
 71. Rick A EMert (1991), *"Durable reinforced concrete can be made with coral aggregates and seawater, Coral Concrete at Bikini Atoll"*.
 72. Japan Society of Civil Engineers (March, 2018), *"Guidelines for structural intervention of existing concrete structures using cement-based materials"*.
 73. *"Enviromentally acceptable material for corrosion protection of steel briges, publication no"*, Federal highway administration, Washington, DC.
 74. 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.
 75. Velu Saraswathy, Ha-Won Song (January, 2007), *"Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures"*, Int. J. Electrochem. Sci. Vol. 2, pp. 10.
 76. D. Van Rooyen, J.E.O. Mayne (1954), *"Mechanism of the Corrosion-Inhibitive Action of Paint with Special Reference to Basic Pigment"*, J. Appl. Chem, pp. 384-392.
 77. S. Sathiyarayanan, K. Saravanan , S. Muralidharan, S. Syed Azim, G. Venkatachari (2007), *"Performance evaluation of polyaniline pigmented epoxy coating for corrosion protection of steel in concrete environment"*, Progress in Organic Coatings. 59 (2007), pp.160–167.
 78. A. Miszczyk, K. Schaefer (2013), *"Improvement of electrochemical action of zinc-rich paints by addition of nanoparticulate zinc"*, Corrosion Science. V.66, tr. pp.380-391.
 79. Nobufumi Takeda, Keisaburo Kanato, Yoshikazu Ishizeki and Keishiro Iriia (8/2013), *"Properties and Application of Concrete Made with Sea Water and Un-washed Sea Sand"*, Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Kyoto Research Park, Kyoto, Japan.

80. Do-Gyeum Kim (May 2013), "*The Effects of Chloride on Durability of Concrete Mixed With Sea Sand*", ISSN 2161-623X, US-China Education Review A.
81. Koichi Kishitani (1974), "*Corrosion aspect for Reinforcements and Concrete of School Buildings in Okinawa*", Concrete Journal. v.10, pp. 66-71.
82. K. Imamoto, M. Kusinoki, T. Noguchi, T. Fuknyama, and K. Shimosawa (2013), "*Deterioration of concrete structures in Gunkan Island, Rehabilitation and Restoraaiion of Structure*", Proceedings of the Mermiioiml Conference held at DTT Madras, Cheonai, India, pp.583-594.
83. G. Nawy (2008), "*Concrete construction engineering handbook*", second Taylor and Francis Group.
84. N. et. al Otsuki (2011), "*Possibility of sea water as mixing water in concrete*", 36th Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore.
85. Karin P (1992), "*Corrosion threshold value and corrosion rate in reinforced concrete*", Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm.
86. Veera Horsakulthai and Kittichat Paopongpaiboon (2013), "*Strength, chloride permeability and corrosion of coarse fly ash concrete with bagasse-rice husk-wood ash additive*", American Journal of Applied Sciences, 10 (3), pp. 239-246.
87. F. C. Porter (1976), "*Reinforced concrete in Bermuda concrete*", pp. 8.
88. Wioleta Agata Pyc (September 4/ 1998), "*field perfomence of epoxy- coated reinforcing steel in Virginia bridge decks*", Doctoral thesis, Virginia polytechnic institute and state university, Blacksburg, Virginia.
89. V K Raina (2005), "*Concrete bridges. Inspection, repair, strengthening, testing, load capacity evaluation*", Shroff Publishers & Distributors Pvt. Limited.
90. A Review "*An Examination of Possible Usage of Mumbai Creek Sand for Making Concrete*".
91. DC Romano (1988), "*Priliminary investigation of epoxy- coated reinforcing steel disbondement: cause and effects*", Gainsvill, FL.
92. Changiz Dehghanian, Sadegh Pour-Ali, Ali Kosari (2014), "*Corrosion protection of the reinforcing steels in chloride-laden concrete environment through epoxy/polyaniline-camphorsulfonate nanocomposite coating*", Corrosion Science. S0010-938X(14)00472-7.
93. A.A. Sagues, and A.M. Zayed (1989), "*Corrosion of epoxy- coated reinforcing steel in concrete*", New Orleans convention centre, New Orleans, LA, pp. 379.
94. T etsub Yamakawa, Stageo Iraha, Stagera Mcrinap, Norio Nakaza (1997), "*An investigation and Prediction of I/C Pubic Apartment Houses Damaged by Chloride Attack in Okinawa*", Proceedings of the Japan Concrete.
95. Standard Specifications for Concrete Structures (2002), "*Structural Performance Verification*".

96. P.E and Alexander Streicher, M.G (1995), "*A chloride conduction test for concrete, cement and concrete research*", Vol. 25, pp.1284-1294.
97. ACI 224R-01, "*Control of Cracking in Concrete Structures*".
98. ACI 357R, "*Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures*".
99. AS 3600: 2018, "*Concrete structures*".
100. Durable concrete structures (1989), '*CEB desigs guide. Bulletin D' information*' NO 182.
101. Homayoon Sadeghi, Pouya Sunil C. Das, Eshmaiel Ganjian (2015), "*Zinc-Rich Paint As Anode for Cathodic Protection of Steel in Concrete*", American Society of Civil Engineers.
102. Nobuaki Otsuki, Takahiro Nishida, Hiroki Ohara, Zoukanel Moussa, Garba-Say and Tomohiro Nagata (8/2013), "*Some Considerations for the Applicability of Seawater as Mixing Water in Concrete*", Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Kyoto Research Park, Kyoto, Japan.
103. Pham Ha Hai, Tang Van Lam (2016), "*Research anti-corrosion on reinforced of high performance finegrained concrete by accelerated method nt build 356*", International Conference on Advances in Mining and Tunnelling (ICAMT 2016).
104. Hidenori Hamada, Tarek Uddin Mohammed, Toru Yamaji (2004), "*Performance of seawater-mixed concrete in the tidal environment*", Cement and Concrete Research, vol 34
105. "*Technical committee report on the use of seawater in concrete, JCI*" (9/2015).
106. Tuan Anh Nguyen The Huu Nguyen (2018), "*Protection of Steel Rebar in Salt-Contaminated Cement Mortar Using Epoxy Nanocomposite Coatings*", International Journal of Electrochemistry 2018.
107. The Huyen Nguyen, Tuan Anh Nguyen, Thi Lua Pham, Thi Mai Thanh Dinh, Hoang Thai and Xianming Shi (2016), "*Application of Nano-SiO₂ and Nano-Fe₂O₃ for Protection of Steel Rebar in Chloride Contaminated Concrete: Epoxy Nanocomposite Coatings and Nano-Modified Mortars*", Journal of Nanoscience and Nanotechnology. Vol. 16, pp.1–10.
108. K Tuutti (1982), "*Corrosion of steel in concrete*", SCCRI Stockholm
109. Moskvina V (1983), "*Concrete and reinforced concrete deterioration and protection*", Mir Publishers.
110. Aff.M.ASCE; and K. Ganesan V. Kannan (2015), "*Effect of Tricalcium Aluminate on Durability Properties of Self-Compacting Concrete Incorporating Rice Husk Ash and Metakaolin*", Journal of Materials in Civil Engineering, ISSN 0899-1561/04015063(10).

111. Christian Christodoulou, Wayne Dodds, Chris Goodier, Simon Austin, David Dunne (2017), "*Durability performance of sustainable structural concrete: Effect of coarse crushed concrete aggregate on rapid chloride migration and accelerated corrosion*", *Construction and Building Materials* 155, pp. 511–521.
112. Yuan-Chieh, Wu Wei-Ting Lin, Yu-Chih Chen, An Cheng and Ran Huang (July 2013), "*Effect of Polyolefin Fibers and Supplementary Cementitious Materials on Corrosion Behavior of Cement-Based Composites*", *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials* 23(4).
113. TW Bremner b, WILL. ErdogÆdu a, IL Kondratova (2001), "*Accelerated testing of plain and epoxy-coated reinforcement in simulated seawater and chloride solutions*", *Cement and Concrete Research* 31 (2001), pp. 861 -867.
114. D.E.A. William-Wynn (1977), "*Non-Conventional Anticorrosive Primer for Stee*", *J. Oil. Col. Chem. Assoc*, pp. 263-267.
115. 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*".
116. 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.
117. Takahiro Sakai, Yosfaikazu Akira, Ryoichi Tanaka, Kenji Sasaki, Kiyomiya Osamu (2013), "*A study on the quality of the concrete revetments in Gunkanjima that have been in service for a long time, repair and reinforcement of concrete structures*", report collection of upgraded papers.
118. Hidemi Shiga, Yoshitaka Akui (1984), "*Gunkanjima Field Measurement Book*", Tokyo Denki University Press.
119. J. Zemajtis, R.E. Weyers, M.M. Sprinkel and W.T. Mckeel, Jr (1996), "*Epoxy-coated reinforcement- a historical performance review*", VTRC 97-IRI, Virginia transportation research Council.
120. SP 349.1325800.2017, "*Конструкции бетонные и железобетонные. Правила ремонта и усиления*".

PHỤ LỤC LUẬN ÁN



VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM
VIỆN HÓA HỌC
PHÒNG ĐIỆN HÓA ỨNG DỤNG

Địa chỉ: P408, nhà A18, số 18
Hoàng Quốc Việt, quận Cầu Giấy,
Hà Nội, Việt Nam
Điện thoại: 084-04-37564312
Fax: 084-04-38361283

PHIẾU KẾT QUẢ

1. Khách hàng: **Nghiên cứu sinh Phan Văn Chương**
2. Địa chỉ: **Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng**
3. Phương pháp: **Đánh giá ăn mòn bằng phương pháp đo đường cong phân cực Tafel**
4. Thiết bị: **Thiết bị điện hoá IM6, Đức**
5. Địa điểm thực hiện: **Phòng điện hóa ứng dụng, Viện hóa học**

Hà nội, ngày 28 tháng 12 năm 2020

Xác nhận của Viện Hóa học

Phòng Điện hóa ứng dụng

P. Trưởng phòng



TS. Mai Thị Thanh Thùy

Kích thước điện cực làm việc h= 15cm, r = 0,5cm	Kết quả	Đơn vị
Tiết diện điện cực S = $\pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$	47.89	cm ²
Tốc độ ăn mòn P= 3,28 <i>i</i> *M/(n*d)	55.85	g
M: Khối lượng phân tử kim loại:	3	
n: Số điện tử trao đổi	7.88	g/cm ³

TT	Thế ăn mòn và mật độ dòng ăn mòn	Chu kỳ đo, tháng																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	E _{corr} (M30.3.0.6)-KA, -mV	148	231	254	327	438	478	586	583	520	538	555	435	239	570	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	i _{corr} (M30.3.0.6)-KA, μA/cm ²	0.021	0.037	0.055	0.073	0.085	0.087	0.089	0.162	0.206	0.376	0.382	0.414	0.567	0.663	0.673	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	E _{corr} (M30.3.1.2)-KA, -mV	172	284	287	253	416	521	592	578	584	418	411	427	540	592	583	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	i _{corr} (M30.3.1.2)-KA, μA/cm ²	0.034	0.052	0.067	0.076	0.091	0.164	0.283	0.339	0.467	0.478	0.545	0.963	1.379	1.573	1.791	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	E _{corr} (M30.3.1.8)-KA, -mV	316	369	356	415	424	532	547	524	429	341	547	467	538	470	561	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	i _{corr} (M30.3.1.8)-KA, μA/cm ²	0.063	0.069	0.086	0.093	0.165	0.436	0.587	0.691	0.783	0.989	1.115	1.346	1.397	1.576	1.797	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	E _{corr} (M30.3.2.4)-KA, -mV	372	383	437	318	521	534	512	589	360	431	269	386	533	570	584	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	i _{corr} (M30.3.2.4)-KA, μA/cm ²	0.068	0.097	0.184	0.236	0.374	0.596	0.738	0.836	0.984	1.267	1.360	1.463	1.674	1.963	2.218	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	E _{corr} (M30.3.0.6.X)-KA, -mV	131	235	117	283	246	294	373	368	427	412	469	535	213	361	429	433	368	347	582	578	480	444	590	576
10	i _{corr} (M30.3.0.6.X)-KA, μA/cm ²	0.019	0.021	0.027	0.029	0.034	0.037	0.041	0.063	0.069	0.076	0.142	0.193	0.603	0.913	1.445	1.556	1.787	1.939	2.231	2.312	2.481	2.529	2.654	2.857
11	E _{corr} (M30.3.1.2.X)-KA, -mV	119	251	172	184	371	268	252	369	426	413	471	498	547	239	461	562	573	587	490	319	554	408	582	593
12	i _{corr} (M30.3.1.2.X)-KA, μA/cm ²	0.022	0.029	0.035	0.047	0.056	0.068	0.069	0.077	0.081	0.151	0.164	0.908	1.323	1.569	1.787	1.938	2.011	2.187	2.534	2.675	2.808	3.136	3.267	3.462
13	E _{corr} (M30.3.1.8.X)-KA, -mV	102	235	231	116	237	279	336	459	426	565	518	529	493	472	319	409	539	548	479	594	364	259	451	526
14	i _{corr} (M30.3.1.8.X)-KA, μA/cm ²	0.053	0.057	0.061	0.064	0.068	0.070	0.071	0.085	0.163	0.169	0.185	1.289	1.354	1.404	1.586	1.739	1.982	2.232	2.876	3.133	3.471	3.562	3.693	3.655
15	E _{corr} (M30.3.2.4.X)-KA, -mV	117	321	124	231	231	326	364	402	506	512	474	532	548	559	431	371	380	470	510	526	537	470	576	576
16	i _{corr} (M30.3.2.4.X)-KA, μA/cm ²	0.056	0.059	0.062	0.065	0.081	0.093	0.172	0.178	0.187	0.194	0.221	1.369	1.476	1.886	2.132	2.767	3.030	3.124	3.241	3.365	3.495	3.615	3.636	3.722
17	E _{corr} (M30.3.0.6.P)-KA, -mV	34	63	131	84	214	157	182	241	232	326	215	383	309	402	426	384	491	517	502	486	515	540	566	566
18	i _{corr} (M30.3.0.6.P)-KA, μA/cm ²	0.014	0.016	0.018	0.023	0.025	0.028	0.031	0.035	0.039	0.043	0.046	0.051	0.054	0.056	0.060	0.063	0.071	0.073	0.074	0.138	0.476	0.740	1.171	1.683
19	E _{corr} (M30.3.1.2.P)-KA, -mV	78	43	213	131	261	303	215	209	327	312	367	365	281	406	394	472	463	504	451	531	529	460	463	563
20	i _{corr} (M30.3.1.2.P)-KA, μA/cm ²	0.021	0.024	0.028	0.033	0.036	0.038	0.041	0.044	0.047	0.053	0.056	0.059	0.062	0.064	0.078	0.076	0.079	0.141	0.152	0.163	1.476	1.677	1.855	1.935
21	E _{corr} (M30.3.1.8.P)-KA, -mV	132	98	56	113	152	173	181	94	265	322	365	271	301	471	456	555	519	483	472	557	569.0	574.0	459.0	492.0
22	i _{corr} (M30.3.1.8.P)-KA, μA/cm ²	0.032	0.036	0.039	0.042	0.044	0.047	0.051	0.053	0.055	0.058	0.061	0.062	0.077	0.079	0.083	0.156	0.158	0.165	0.174	0.188	1.743	1.839	1.991	2.106
23	E _{corr} (M30.3.2.4.P)-KA, -mV	91	84	111	125	213	209	252	313	98	162	334	399	427	458	413	356	516	459	338	585	372	481	594	580
24	i _{corr} (M30.3.2.4.P)-KA, μA/cm ²	0.035	0.037	0.041	0.046	0.049	0.051	0.054	0.056	0.057	0.063	0.064	0.072	0.081	0.089	0.159	0.175	0.189	0.194	0.197	0.203	1.898	2.006	2.169	2.323
25	E _{corr} (M30.3.0.6.E)-KA, -mV	31	132	42	35	104	89	172	137	194	221	193	244	327	276	359	358	432	469	265	388	505	517	494	582
26	i _{corr} (M30.3.0.6.E)-KA, μA/cm ²	0.001	0.004	0.005	0.010	0.012	0.016	0.018	0.024	0.026	0.028	0.031	0.032	0.035	0.039	0.041	0.043	0.047	0.048	0.051	0.057	0.063	0.066	0.071	0.112

TT	Thế ăn môn và mật độ dòng ăn môn	Chu kỳ đo, tháng																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
27	$E_{corr}(M30.3.1.2.E)-K_A, mV$	93	54	76	175	224	98	183	209	266	319	231	117	279	355	343	465	428	394	373	481	499	529	517	565
28	$i_{corr}(M30.3.1.2.E)-K_A, \mu A/cm^2$	0.003	0.004	0.007	0.012	0.014	0.017	0.021	0.026	0.034	0.038	0.041	0.046	0.053	0.054	0.058	0.059	0.060	0.061	0.068	0.069	0.072	0.076	0.124	0.152
29	$E_{corr}(M30.3.1.8.E)-K_A, -mV$	155	107	71	146	189	52	205	231	256	162	263	251	344	279	271	365	457	433	563	478	423	545	513	521
30	$i_{corr}(M30.3.1.8.E)-K_A, \mu A/cm^2$	0.004	0.005	0.008	0.012	0.015	0.019	0.024	0.028	0.034	0.041	0.047	0.049	0.053	0.058	0.062	0.065	0.073	0.077	0.079	0.135	0.146	0.153	0.161	0.164
31	$E_{corr}(M30.3.2.4.E)-K_A, -mV$	132	143	121	147	34	236	213	276	354	346	375	476	209	307	491	483	522	543	405	566	456	329	578	574
32	$i_{corr}(M30.3.2.4.E)-K_A, \mu A/cm^2$	0.006	0.008	0.011	0.014	0.018	0.023	0.027	0.035	0.039	0.046	0.048	0.052	0.055	0.061	0.072	0.078	0.083	0.138	0.145	0.149	0.155	0.169	0.176	0.182





PHIẾU KẾT QUẢ

- Khách hàng: Nghiên cứu sinh Phan Văn Chương
- Địa chỉ: Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng
- Phương pháp: Đánh giá ăn mòn bằng phương pháp đo đường cong phân cực Tafel
- Thiết bị: Thiết bị điện hoá IM6, Đức
- Địa điểm thực hiện: Phòng điện hóa ứng dụng, Viện hóa học

STT	Ký hiệu mẫu	Chỉ tiêu thử	Thời gian thử nghiệm, tháng				
			1	3	6	9	12
1	M30.3.1.8.X	E_{corr} , mV	-87	-112	-118	-121	-127
		i_{corr} , $\mu A/cm^2$	0,001	0,002	0,004	0,005	0,007
2	M30.3.2.4.P	E_{corr} , mV	-124	-127	-125	-133	-134
		i_{corr} , $\mu A/cm^2$	0,000	0,000	0,000	0,003	0,005
3	M30.3.2.4.E	E_{corr} , mV	-93	-122	-87	-116	-125
		i_{corr} , $\mu A/cm^2$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002

Hà Nội, ngày 13 tháng 01 năm 2020

Phòng Điện hóa ứng dụng

P. Trưởng phòng

TS. Mai Thị Thanh Thùy

Xác nhận của Viện Hóa học



Vương Thị Thu Quyên



VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM
VIỆN HÓA HỌC
PHÒNG ĐIỆN HÓA ỨNG DỤNG

Địa chỉ: P408, nhà A18, số 18
Hoàng Quốc Việt, quận Cầu Giấy,
Hà Nội, Việt Nam
Điện thoại: 084-04-37564312
Fax: 084-04-38361283

PHIẾU KẾT QUẢ

- Khách hàng: Nghiên cứu sinh Phan Văn Chương
- Địa chỉ: Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng
- Phương pháp: Đánh giá ăn mòn bằng phương pháp đo thế mạch hở
- Thiết bị: Thiết bị điện hoá IM6, Đức
- Địa điểm thực hiện: Phòng điện hóa ứng dụng, Viện hóa học

Ký hiệu mẫu	Kết quả đo thế mạch hở 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

Hà Nội, ngày 26 tháng 01 năm 2021

Phòng Điện hóa ứng dụng
P. Trưởng phòng

TS. Mai Thị Thanh Thùy

Xác nhận của Viện Hóa học
KT. TRƯỞNG PHÒNG QLTS
PHÓ TRƯỞNG PHÒNG
VIỆN
HÓA HỌC
VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

Vương Thị Thu Quyên



VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG
Vietnam Institute for Building Science and Technology (IBST)
TRUNG TÂM TƯ VẤN CHỐNG ẪN MÒN VÀ XÂY DỰNG
Center of Corrosion prevention and Construction consulting (CCP)

Địa chỉ: 81 Trần Cung-Nghĩa Tân-Cầu Giấy-Hà Nội Tel: 84.4.38363931 Fax: 84.4.37540189

Số/No: 01NB/2015 KN-CCP

KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM
Testing Results

I. THÔNG TIN DO KHÁCH HÀNG CUNG CẤP - Information supplied by the client

Khách hàng - Client:	PHAN VĂN CHƯƠNG – TRUNG TÂM TƯ CHỐNG ẪN MÒN VÀ XD
Công trình - Project:	LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT
Hạng mục - Items:	--
Ký hiệu mẫu - Sample mark:	Cát Nha Trang, Quan Lạn, Vân Đồn, Vũng Tàu

II. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM - Testing results

Ngày nhận mẫu - Sample receiving date: 09/11/2015

Ngày thí nghiệm - Testing date: 10/11/2015

Phương pháp thử - Testing method: TCVN 7572-15:2006

Thiết bị thí nghiệm - Testing equipment: Máy 781 pH/ion, cân Satorius 210g; tủ sấy Lenton WF120.

TT No	Cát biển Sea sand	Chỉ tiêu thử Properties	Đơn vị Unit	Kết quả Results
1	Nha Trang	Hàm lượng ion Clo (Cl) Chloride content	%	0,33
2	Quan Lạn		%	0,17
3	Vân Đồn		%	0,21
4	Vũng Tàu		%	0,27

Ghi chú - Remark: Mẫu thử do khách hàng mang đến.

Giám sát TN/Witnessed by

Người thí nghiệm
Tested by

Hà Nội, ngày 20 tháng 11 năm 2015

Phòng TN Nghiên cứu ăn mòn & Bảo vệ
công trình

Lab for Corrosion & Protection of building

CDT :
Employer

TVGS :
Consultant

Nhà thầu:
Contractor

KS. Phạm Thị Minh



ThS. Mai Bích Thủy



LAS-XD/03

VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG
VIỆN CHUYÊN NGÀNH BÊ TÔNG
Vietnam Institute for Building Science and Technology
Institute for Concrete Technology (IBST/ICT)
Địa chỉ: 81 Trần Cung - Nghĩa Tân - Cầu Giấy - Hà Nội Tel: 84.24.38360247 Fax: 84.24.37544013

Số: 973.1/2019GM-TN
255.1 - 2019/CT

KẾT QUẢ KIỂM TRA ĐỘ CHỐNG THẤM NƯỚC CỦA BÊ TÔNG
Testing Results on Concrete Watertightness

I. THÔNG TIN DO KHÁCH HÀNG CUNG CẤP - Information supplied by the client

Đơn vị đặt hàng - Client	: PHAN VĂN CHƯƠNG
Công trình - Project	: LUẬN ÁN TIẾN SĨ
Ngày đúc mẫu - Casting date	: 31/07/2019

II. Kết quả thử - Testing results

Phương pháp thử - Testing method : TCVN 3116 :1993

Ngày thí nghiệm - Testing date : 28/08 ÷ 01/09/2019

STT No.	Ký hiệu mẫu Sample mark	Viên mẫu số Specimen number	Kết quả thử tại áp lực 1,0 MPa Testing results at pressure 1,0 MPa	Kết quả thử tại áp lực 1,2 MPa Testing results at pressure 1,2 MPa	Nhận xét Comment
1	M30.3.0.6	1	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	Theo TCVN 3116 : 1993, tổ mẫu bê tông đạt mức chống thấm B10
		2	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		3	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		4	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	
		5	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	
		6	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
2	M30.3.1.2	1	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	Theo TCVN 3116 : 1993, tổ mẫu bê tông đạt mức chống thấm B10
		2	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
		3	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		4	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		5	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	
		6	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	
3	M30.3.1.8	1	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	Theo TCVN 3116 : 1993, tổ mẫu bê tông đạt mức chống thấm B10
		2	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		3	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		4	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	
		5	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
		6	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	

STT No.	Ký hiệu mẫu Sample mark	Viên mẫu số Specimen number	Kết quả thử tại áp lực 1,0 MPa Testing results at pressure 1,0 MPa	Kết quả thử tại áp lực 1,2 MPa Testing results at pressure 1,2 MPa	Nhận xét Comment
4	M30.3.2.4	1	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	Theo TCVN 3116 : 1993, tổ mẫu bê tông đạt mức chống thấm B10
		2	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
		3	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	
		4	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		5	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
		6	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	

Ghi chú - Remark : Mẫu thử do khách hàng mang đến.

GIÁM SÁT THÍ NGHIỆM
Witnessed by
CDT:.....
Employer
TVGS :.....
Consultant
Nhà thầu:.....
Contractor

NGƯỜI THÍ NGHIỆM
Tested by

KS. Đoàn Anh Thái

Hà Nội, ngày 03 tháng 09 năm 2019
PHÒNG TN BÊ TÔNG VÀ VLXD
Lab. for Concrete and Building
Materials


ThS. Trần Quốc Toán





VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG
VIỆN CHUYÊN NGÀNH BÊ TÔNG
Vietnam Institute for Building Science and Technology
Institute for Concrete Technology (IBST/ICT)

Địa chỉ: 81 Trần Cung - Nghĩa Tân - Cầu Giấy - Hà Nội Tel: 84.24.38360247 Fax: 84.24.37544013

LAS-XD 03

Số: 973.1/2019GM-TN
255.2 - 2019/CT

KẾT QUẢ KIỂM TRA ĐỘ CHỐNG THẤM NƯỚC CỦA BÊ TÔNG
Testing Results on Concrete Watertightness

I. THÔNG TIN DO KHÁCH HÀNG CUNG CẤP - Information supplied by the client

Đơn vị đặt hàng - Client	: PHAN VĂN CHƯỞNG
Công trình - Project	: LUẬN ÁN TIẾN SĨ
Ngày đúc mẫu - Casting date	: 31/07/2019

II. Kết quả thử - Testing results

Phương pháp thử - Testing method : TCVN 3116 :1993

Ngày thí nghiệm - Testing date : 28/08 ÷ 02/09/2019

STT No.	Ký hiệu mẫu Sample mark	Viên mẫu số Specimen number	Kết quả thử tại áp lực 1,2 MPa Testing results at pressure 1,2 MPa	Kết quả thử tại áp lực 1,4 MPa Testing results at pressure 1,4 MPa	Nhận xét Comment
1	M40.3.0.6	1	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	Theo TCVN 3116 : 1993, tổ mẫu bê tông đạt mức chống thấm B12
		2	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
		3	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
		4	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		5	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	
		6	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
2	M40.3.1.2	1	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	Theo TCVN 3116 : 1993, tổ mẫu bê tông đạt mức chống thấm B12
		2	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		3	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
		4	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		5	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	
		6	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	
3	M40.3.1.8	1	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	Theo TCVN 3116 : 1993, tổ mẫu bê tông đạt mức chống thấm B12
		2	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		3	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		4	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	
		5	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
		6	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	

STT No.	Ký hiệu mẫu Sample mark	Viên mẫu số Specimen number	Kết quả thử tại áp lực 1,2 MPa Testing results at pressure 1,2 MPa	Kết quả thử tại áp lực 1,4 MPa Testing results at pressure 1,4 MPa	Nhận xét Comment
4	M40.3.2.4	1	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	Theo TCVN 3116 : 1993, tổ mẫu bê tông đạt mức chống thấm B12
		2	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
		3	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		4	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		5	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		6	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	

Ghi chú - Remark : Mẫu thử do khách hàng mang đến.

GIÁM SÁT THÍ NGHIỆM
Witnessed by
CDT:.....
Employer
TVGS :.....
Consultant
Nhà thầu:.....
Contractor

NGƯỜI THÍ NGHIỆM
Tested by

KS. Đoàn Anh Thái

Hà Nội, ngày 03 tháng 09 năm 2019

PHÒNG TN BÊ TÔNG VÀ VLXD
Lab. for Concrete and Building
Materials



ThS. Trần Quốc Toán





VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG
VIỆN CHUYÊN NGÀNH BÊ TÔNG
Vietnam Institute for Building Science and Technology
Institute for Concrete Technology (IBST/ICT)

Địa chỉ: 81 Trần Cung - Nghĩa Tân - Cầu Giấy - Hà Nội Tel: 84.24.38360247 Fax: 84.24.37544013

LAS-XD 03

Số: 973.1/2019GM-TN
255.3 - 2019/CT

KẾT QUẢ KIỂM TRA ĐỘ CHỐNG THẤM NƯỚC CỦA BÊ TÔNG
Testing Results on Concrete Watertightness

I. THÔNG TIN DO KHÁCH HÀNG CUNG CẤP - Information supplied by the client

Đơn vị đặt hàng - Client	: PHAN VĂN CHƯƠNG
Công trình - Project	: LUẬN ÁN TIẾN SĨ
Ngày đúc mẫu - Casting date	: 31/07/2019

II. Kết quả thử - Testing results

Phương pháp thử - Testing method : TCVN 3116 : 1993

Ngày thí nghiệm - Testing date : 28/08 ÷ 03/09/2019

STT No.	Ký hiệu mẫu Sample mark	Viên mẫu số Specimen number	Kết quả thử tại áp lực 1,6 MPa Testing results at pressure 1,6 MPa	Kết quả thử tại áp lực 1,8 MPa Testing results at pressure 1,8 MPa	Nhận xét Comment
1	M50.3.0.6	1	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	Theo TCVN 3116 : 1993, tổ mẫu bê tông đạt mức chống thấm B16
		2	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		3	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		4	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		5	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
		6	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
2	M50.3.1.2	1	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	Theo TCVN 3116 : 1993, tổ mẫu bê tông đạt mức chống thấm B16
		2	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
		3	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
		4	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		5	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		6	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	
3	M50.3.1.8	1	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	Theo TCVN 3116 : 1993, tổ mẫu bê tông đạt mức chống thấm B16
		2	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		3	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		4	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		5	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	
		6	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	

STT No.	Ký hiệu mẫu Sample mark	Viên mẫu số Specimen number	Kết quả thử tại áp lực 1,6 MPa Testing results at pressure 1,6 MPa	Kết quả thử tại áp lực 1,8 MPa Testing results at pressure 1,8 MPa	Nhận xét Comment
4	M50.3.2.4	1	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	--	Theo TCVN 3116 : 1993, tổ mẫu bê tông đạt mức chống thấm B16
		2	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		3	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		4	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		5	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Đã bị nước thấm qua Penetrated by water	
		6	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	Chưa bị nước thấm qua Not penetrated by water	

Ghi chú - Remark : Mẫu thử do khách hàng mang đến.

GIÁM SÁT THÍ NGHIỆM
Witnessed by
CDT:
Employer
TVGS :
Consultant
Nhà thầu:
Contractor

NGƯỜI THÍ NGHIỆM
Tested by

KS. Đoàn Anh Thái

Hà Nội, ngày 03 tháng 09 năm 2019
PHÒNG TN BÊ TÔNG VÀ VLXD
Lab. for Concrete and Building
Materials


ThS. Trần Quốc Toán



GIẤY XÁC NHẬN

Trung tâm Phát triển cụm Công nghiệp huyện Thái Thụy xác nhận Nghiên cứu sinh Phan Văn Chương- Viện Khoa học công nghệ Xây dựng đã sử dụng kết quả nghiên cứu của mình trong luận án Tiến sĩ, chế tạo các mẫu bê tông nhiễm mặn, phơi mẫu trong điều kiện tự nhiên. Các mẫu được ký hiệu như trong bảng dưới:

STT	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	Độ chống thấm	Chiều dày BT, mm	Độ nhiễm mặn, kg/m ³	Kích thước mẫu hình trụ, mmxmm	Ghi chú
1	Nhóm 1	M30.3.0.6	B10	30	0,6	70x200	Mẫu chuẩn
2	Nhóm 2	M30.5.1.2	B10	50	1,2	110x200	
3		M30.7.1.8	B10	70	1,8	150x200	
4	Nhóm 3	M40.3.1.2	B12	30	1,2	70x200	
5		M50.3.1.8	B16	30	1,8	70x200	
6	Nhóm 4	M40.7.2.4	B12	70	2,4	150x200	
7		M50.5.2.4	B16	50	2,4	110x200	
8	Nhóm 5	M30.3.1.8.X	B10	30	1,8	70x200	Cốt thép sơn xi măng polymer
9		M30.3.2.4.P	B10	30	2,4	70x200	Cốt thép sơn polyurethane
10		M30.3.2.4.E	B10	30	2,4	70x200	Cốt thép sơn epoxy

Mẫu được đặt trong Cảng Tân Sơn, thời gian từ tháng 11 năm 2018 đến tháng 11 năm 2019. Các mẫu được bảo quản và đo ăn mòn cốt thép theo các chu kỳ 1, 3, 6, 9, 12 tháng.

Thái Thụy, ngày 10 tháng 1 năm 2020

TRUNG TÂM PHÁT TRIỂN
CỤM CÔNG NGHIỆP HUYỆN THÁI THỤY



PHÓ GIÁM ĐỐC
Bùi Minh Tuấn

GIẤY XÁC NHẬN

Khách sạn Lê Lợi (nhà nghỉ Lê Lợi cũ), có địa chỉ tại Số 2 đường Lê Lợi, Thị Xã Sầm Sơn, Thanh Hoá xác nhận Ông Phan Văn Chương- Nghiên cứu sinh Viện Khoa học công nghệ Xây dựng đã đến công trình Khách sạn Lê Lợi để khảo sát tình trạng ăn mòn bê tông cốt thép phục vụ viết luận án Tiến sĩ. Công trình này do Viện Khoa học công nghệ xây dựng sửa chữa năm 2002.

Thời gian làm việc từ ngày 24 tháng 08 năm 2020 đến ngày 28 tháng 08 năm 2020.

Thanh Hóa, ngày 28 tháng 08 năm 2020

KHÁCH SẠN LÊ LỢI

Đỗ Thị Lan

GIẤY XÁC NHẬN

Công ty Nhiệt điện Uông Bí xác nhận Ông Phan Văn Chương- Nghiên cứu sinh Viện Khoa học công nghệ Xây dựng đã đến Công ty để khảo sát tình trạng ăn mòn bê tông cốt thép để lấy số liệu cho Luận án tiến sĩ. Công trình do Viện Khoa học công nghệ xây dựng sửa chữa năm 2003 thuộc nhà máy 110MW gồm có :

- Gian điều khiển khối dợt 3+4;
- Băng tải xiên.

Thời gian làm việc từ ngày *07* tháng 09 năm 2020 đến ngày *11* tháng 09 năm 2020.

Quảng Ninh, ngày 11 tháng 09 năm 2020

CÔNG TY NHIỆT ĐIỆN UÔNG BÍ



K.T. GIÁM ĐỐC
PHÓ GIÁM ĐỐC
Đỗ Trung Kiên

GIẤY XÁC NHẬN

Nhà khách 21 Đồ Sơn, có địa chỉ tại Vạn Hương, Đồ Sơn, Hải Phòng xác nhận Ông Phan Văn Chương- Nghiên cứu sinh Viện Khoa học công nghệ Xây dựng đã đến công trình Nhà khách 21 Đồ Sơn để khảo sát tình trạng ăn mòn bê tông cốt thép phục vụ viết luận án Tiến sĩ. Công trình này do Viện Khoa học công nghệ xây dựng sửa chữa và áp dụng biện pháp sơn epoxy cho cốt thép để bảo vệ chống ăn mòn.

Thời gian làm việc từ ngày *21*.tháng *09*.năm 2020 đến ngày *02*.tháng *10*.năm 2020.

Hải Phòng, ngày *02* tháng *10* năm 2020

NHÀ KHÁCH 21 ĐỒ SƠN



Nguyễn Văn Khang
GIÁM ĐỐC
Nguyễn Văn Khang

GIẤY XÁC NHẬN

Trường Cao đẳng Nông Lâm Thanh Hóa (trước kia là Trường trung cấp Nông Lâm Thanh Hóa) xác nhận Ông Phan Văn Chương- Nghiên cứu sinh Viện Khoa học công nghệ Xây dựng đã đến Trường để khảo sát tình trạng ăn mòn bê tông cốt thép để phục vụ luận án Tiến sĩ. Công trình Nhà lớp học 3 tầng do Viện Khoa học công nghệ xây dựng sửa chữa năm 2002.

Thời gian làm việc từ ngày 14.tháng 09 năm 2020 đến ngày 16.tháng 09 năm 2020.

Thanh Hóa, ngày 16 tháng 09 năm 2020

TRƯỜNG CĐ NÔNG LÂM
THANH HÓA

D. Hiệu Trưởng



JOÀN VĂN LƯU

Phòng QT-ĐS
16/9/2020

[Signature]
Lê Mỹ Trường