

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

LƯU HOÀNG TÂM

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ CHẤT PHỤ
GIA ĐẾN KHẢ NĂNG ỨC CHẾ ĂN MÒN CỐT THÉP BÊ
TÔNG TRONG MÔI TRƯỜNG BIỂN NHIỆT ĐỚI**

Ngành: Công nghệ điện hóa và bảo vệ kim loại
Mã số ngành: 62527601

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2022

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn 1: PGS. TS. Nguyễn Trần Hà

Người hướng dẫn 2: GS. TS. Lê Quốc Hùng

Phản biện độc lập:

Phản biện độc lập:

Phản biện:

Phản biện:

Phản biện:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....
.....

vào lúc giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

Tạp chí trong nước

1. Vũ Đình Huy, Nguyễn Hồng Dư, Bùi Bá Xuân, Luu Hoàng Tâm, Nguyễn Bá Tài, Phan Bá Tứ. *Ảnh hưởng của natri silicat, urê, thio-urê và silica fume chứa trong bê tông đến sự ăn mòn cốt thép sau 12 tháng thử nghiệm tự nhiên trong khí quyển nhiệt đới biển*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ 53, 1A, 146-153, 2015.
2. Vu Dinh Huy, Ngo Trung Thanh, Luu Hoang Tam. *Influence of silica fume, sodium silicate, urea and thiourea on the mechanical properties of cement mortars*. Journal of Science and Technology 53, 4A, 137-144, 2015.
3. Vũ Đình Huy, Luu Hoàng Tâm, Bùi Bá Xuân, Nguyễn Bá Tài, Phan Bá Tứ. *Ảnh hưởng của natri silicat, urê, thiourê và muối silic chứa trong bê tông đến sự ăn mòn cốt thép sau 1 năm thử nghiệm trong nước biển tự nhiên*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ 53, 2B, 277-283, 2015.
4. Vũ Đình Huy, Bùi Bá Xuân, Luu Hoàng Tâm, Nguyễn Bá Tài, Phan Bá Tứ. *Ảnh hưởng của natri silicat, urê, thio-urê và muối silic chứa trong bê tông đến sự ăn mòn cốt thép sau 1 tháng phơi mẫu trong khí quyển nhiệt đới biển*. Tạp chí Hóa Học, T.52, 6B, 108-111, 2014.
5. Vũ Đình Huy, Luu Hoàng Tâm, Bùi Bá Xuân, Nguyễn Bá Tài, Phan Bá Tứ. *Ảnh hưởng của natri silicat, urê, thio-urê và muối silic chứa trong bê tông đến sự ăn mòn cốt thép sau 1 tháng thử nghiệm trong nước biển tự nhiên*. Tạp chí Hóa Học, T.52, 6B, 77-80, 2014.
6. Vũ Đình Huy, Luu Hoàng Tâm, Lê Khắc Huy. *Ảnh hưởng của các phương pháp xử lý đến khả năng ức chế ăn mòn cốt thép bê tông trong nước biển bởi natri silicat*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ 51, 5A, 140-151, 2013.
7. Vu Dinh Huy, Luu Hoang Tam, Le Khắc Huy. *Sodium silicate as a corrosion inhibitor for steel reinforced concrete in sea water*. VietNam Journal of Chemistry, Vol 50, 6B, 36-42, 2012.
8. Vu Dinh Huy, Le Khắc Huy, Luu Hoang Tam. *Effect of sodium silicate, urea and thiourea on the corrosion behavior of carbon steels in solutions*

extracted from “sea water – cement” admixture. VietNam Journal of Chemistry, Vol 50, 6B, 60-65, 2012.

Kỷ yếu hội nghị quốc tế

1. Luu Hoang Tam, Vu Dinh Huy, Bui Ba Xuan, Phan Ba Tu. *Inhibition efficiency of sodium silicate, urea, thiourea and silica fume in case of corrosion of reinforced concrete immersed in natural sea water*. The 6th Asian Symposium on Advanced Materials, ASAM 6, September 27-30, HaNoi, VietNam, 339-403, 2017.
2. Ngo Trung Thanh, Vu Dinh Huy, Luu Hoang Tam. *Influence of silica fume, sodium silicate, urea and thiourea on chloride penetration of cement mortars*. The 6th Asian Symposium on Advanced Materials, ASAM 6, September 27-30, HaNoi, VietNam, 421-425, 2017.

Đề tài nghiên cứu khoa học

1. Đề tài: “Nghiên cứu ảnh hưởng của một số chất ức chế ăn mòn – phụ gia chứa trong bê tông đến sự ăn mòn cốt thép trong môi trường nhiệt đới biển”. Mã số đề tài: TNCS-2015-CNVL-01 (Trường Đại Học Bách Khoa – ĐHQG TP.HCM). Chủ nhiệm đề tài: Luu Hoàng Tâm. Kết quả nghiệm thu: Tốt, 2015.
2. Đề tài: “Nghiên cứu cơ chế ảnh hưởng của chất phụ gia mới đến khả năng ức chế ăn mòn cốt thép bê tông trong nước biển”. Mã số đề tài: B2011-20-06 /ĐHQG loại C. Chủ nhiệm đề tài: GS.TSKH Vũ Đình Huy. Kết quả nghiệm thu: Xuất sắc, 2011-2013.

TÓM TẮT

Ăn mòn cốt thép trong bê tông là vấn đề nghiêm trọng phá hủy vật liệu dẫn đến giới hạn ứng dụng bê tông cốt thép, đặc biệt trong các môi trường có tính ăn mòn kim loại cao như biển, ven biển nhiệt đới của Việt Nam. Để góp phần hạn chế sự ăn mòn cốt thép gia cường trong bê tông, nhiều phụ gia chống ăn mòn đã được nghiên cứu và ứng dụng. Luận án nghiên cứu này trình bày kết quả nghiên cứu việc sử dụng các phụ gia bao gồm natri silicat, urê, thiourê, natri nitrit, canxi nitrat và muối silic trong bê tông để ức chế quá trình ăn mòn kim loại. Quá trình nghiên cứu ức chế ăn mòn cốt thép trong bê tông sử dụng các phụ gia được thực hiện trong môi trường mô phỏng thực nghiệm sử dụng dung dịch chiết từ hỗn hợp nước biển / xi măng. Hơn nữa, quá trình nghiên cứu ức chế ăn mòn cốt thép trong bê tông còn được thực hiện trong môi trường hiện thực, cụ thể là mẫu được ngâm và phơi tại ven biển Nha Trang. Mức độ ăn mòn cốt thép trong bê tông và ảnh hưởng của các phụ gia sử dụng được khảo sát, phân tích và nghiên cứu thông qua các phương pháp đánh giá tính chất cơ lý của mẫu và các phương pháp điện hóa. Kết quả nghiên cứu khẳng định được hàm lượng phù hợp của chất ức chế ăn mòn sử dụng trong phụ gia bê tông đến quá trình ức chế ăn mòn cốt thép hiệu quả. Ngoài ra, cơ chế quá trình ăn mòn cốt thép khi sử dụng các phụ gia trong những điều kiện khảo sát cũng được phân tích và đề xuất.

GIỚI THIỆU

Nghiên cứu ăn mòn và bảo vệ chống ăn mòn kim loại có ý nghĩa to lớn về mặt kinh tế. Hàng năm, lượng kim loại thất thoát do ăn mòn gây ra chiếm khoảng 10% tổng sản lượng kim loại mà con người sản xuất. Bên cạnh đó, sự phá hủy các công trình và các tai nạn do công trình hư hỏng gây ra những tổn thất vô cùng to lớn trên thế giới. Trong đó, ăn mòn cốt thép bê tông trong môi trường nước biển và biện pháp khắc phục là vấn đề rất quan trọng của ngành xây dựng.

Bê tông cốt thép là một trong những vật liệu kết cấu được sử dụng rộng rãi nhất trên thế giới. Ăn mòn cốt thép là sự hư hỏng nghiêm trọng nhất đối với kết cấu bê tông, đặc biệt trong môi trường nước biển. Ăn mòn cốt thép trong bê tông là hiện tượng phổ biến và là nguyên nhân chủ yếu dẫn đến phá hủy các công trình bê tông trong môi trường biển. Trong thời gian đầu, cốt thép trong bê tông chưa bị ăn mòn nhờ sự thụ động hóa cốt thép bởi môi trường kiềm xung quanh cốt thép. Sự cacbonat hóa làm độ pH trong bê tông giảm dần dẫn đến phá hủy lớp thụ động và ăn mòn cốt thép. Hơn nữa, nước biển, chứa ion clorua có tính xâm thực cao, di chuyển qua các lỗ rỗng trong bê tông tới bề mặt cốt thép càng gây ra sự ăn mòn mạnh cốt thép.

Bê tông cốt thép là vật liệu truyền thống mà tất cả các nước trên thế giới đã, đang và sẽ còn phải sử dụng rất lâu dài để xây dựng các công trình dân sự và quân sự. Cho đến nay, chưa có dấu hiệu nào cho thấy loài người sẽ tìm ra một vật liệu mới có thể thay thế được cho vật liệu bê tông cốt thép trong tương lai. Vì vậy, nhiều năm nay, các nhà khoa học trên thế giới đều tập trung theo hướng nghiên cứu các biện pháp nhằm kéo dài tuổi thọ các công trình bê tông cốt thép trong môi trường nước biển.

Trong số rất nhiều biện pháp bảo vệ công trình bê tông cốt thép ở môi trường biển, việc sử dụng phụ gia ức chế ăn mòn cốt thép được xem là một phương hướng cách mạng mà các nhà khoa học và kinh tế trên thế giới đặc biệt quan tâm. Nhằm góp phần giải quyết những vấn đề nêu trên; nghiên cứu tìm ra chất phụ gia ức chế rẻ tiền từ nguồn nguyên liệu trong nước để nâng cao độ bền ăn mòn cốt thép bê tông; thử nghiệm trong môi trường nước biển và khí quyển biển tự nhiên;

tổng kết lại thành những luận điểm khoa học, tác giả đã thực hiện luận án: “Nghiên cứu ảnh hưởng của một số chất phụ gia đến khả năng ức chế ăn mòn cốt thép bê tông trong môi trường biển nhiệt đới”. Kết quả nghiên cứu của đề tài hy vọng sẽ góp phần hiệu quả cho sự nghiệp xây dựng và bảo vệ tổ quốc, phát huy tiềm năng kinh tế và quốc phòng của Việt Nam.

Trong luận án này, mục tiêu là nghiên cứu ảnh hưởng của 4 chất phụ gia natri silicat, urê, thiourê và muối silic đến khả năng ức chế ăn mòn cốt thép bê tông trong môi trường biển nhiệt đới. Theo hiểu biết tốt nhất của chúng tôi, nghiên cứu khả năng ức chế ăn mòn cốt thép bê tông trong môi trường biển nhiệt đới bằng các phụ gia như: natri silicat, urê, thiourê, và muối silic chưa được đề cập trong các nghiên cứu trước đây.

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VÀ ĐẶT VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1 Ăn mòn kim loại

Theo ISO 8044:2015, ăn mòn kim loại là: “Tương tác hóa lý giữa kim loại và môi trường gây nên sự biến đổi tính chất kim loại và có thể dẫn đến sự suy giảm đáng kể chức năng kim loại, môi trường hay hệ thống kỹ thuật mà chúng cấu thành”. Theo định nghĩa thông dụng ăn mòn kim loại là “sự phá huỷ kim loại do tương tác hoá học hoặc điện hoá của kim loại với môi trường xung quanh”.



Hình 1.1 Thép bị ăn mòn tạo gỉ do tác động của môi trường.

Nói một cách khác, ăn mòn kim loại là quá trình chuyển biến kim loại từ dạng nguyên tố thành dạng hợp chất. Sự ăn mòn thường bắt đầu xảy ra trên bề mặt kim loại, rồi quá trình phát triển vào sâu kèm theo sự biến đổi thành phần và tính chất hóa lý của kim loại và hợp kim. Kim loại có thể bị hòa tan một phần hay hoàn

toàn tạo ra các sản phẩm ăn mòn dưới dạng kết tủa trên bề mặt kim loại (lớp gỉ, oxít, hydrat...) (Hình 1.1).

1.2 Ăn mòn cốt thép bê tông – Những vấn đề chung

Ăn mòn cốt thép bê tông dẫn tới những thiệt hại rất lớn cho toàn bộ công trình xây dựng và có thể gây ra những hậu quả vô cùng to lớn. Bởi lẽ, quá trình ăn mòn cốt thép bê tông làm giảm thiết diện chịu lực của cốt thép, sản phẩm ăn mòn do có thể tích lớn hơn bản thân kim loại (từ 4 - 12 lần), nên gây ra nội lực làm nứt vỡ bê tông dẫn đến phá hỏng công trình, cũng như tăng khả năng xâm nhập các tác nhân gây ăn mòn và phá hủy kim loại từ môi trường bên ngoài, đặc biệt là môi trường nước biển (Hình 1.4).

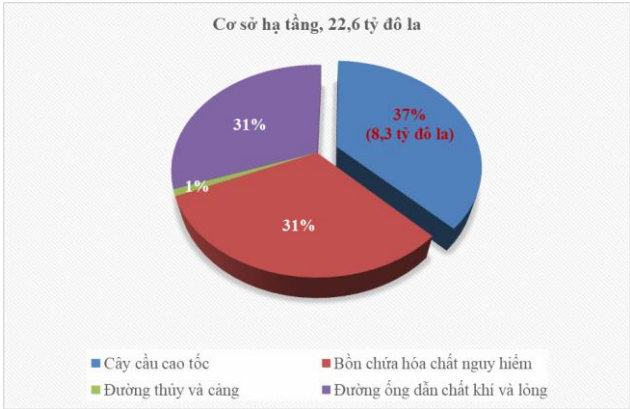


Hình 1.4 Sự phá hủy các công trình biển bê tông cốt thép.

Hiện nay trên thế giới, các công trình bê tông cốt thép bị hư hỏng đang diễn ra hết sức phổ biến. Tại Mỹ, có 583.000 cây cầu cao tốc, trong đó 200.000 cây cầu làm bằng thép và 235.000 cây cầu làm bằng vật liệu bê tông cốt thép, khoảng 15% số cây cầu này bị hư hại do ăn mòn cốt thép (Hình 1.5). Ngoài ra, có sự gia tăng đáng kể việc bảo trì các cây cầu cũ trong số 435.000 cây cầu bằng thép và bê tông cốt thép đã có từ những năm 1920 – 1930. Mặc dù, phần lớn khoảng 108.000 cây cầu bê tông dự ứng lực đã được xây từ 1960, nhiều cây cầu này cần được bảo trì trong vòng 10 – 30 năm tới. Tác động của sự ăn mòn đối với các cây cầu đường cao tốc là đáng kể.

Tác động của sự ăn mòn đối với các cây cầu đường cao tốc là đáng kể. Chi phí ăn mòn trực tiếp hàng năm cho cây cầu đường cao tốc ước tính là 8,3 tỷ đô la. Hình 1.6 cho thấy chi phí ăn mòn cầu đường cao tốc so với các lĩnh vực công

ngành khác trong danh mục cơ sở hạ tầng. Năm 2002, tổng số tiền chi khoảng 8,5 tỉ đô la, trong đó 3,5 tỉ đô la dùng để thay thế các chân cầu bị hư hỏng và 5,0 tỉ đô la cho việc duy tu. Nhiều dự đoán cho thấy rằng, số tiền tiêu tốn này sẽ còn tăng trong thời gian tới.



Hình 1.6 Chi phí ăn mòn trực tiếp cầu đường cao tốc hàng năm tại Mỹ.

Tình trạng ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông ở vùng biển Việt Nam đang ở mức báo động, đặc biệt tại các vùng ven biển có thủy triều lên xuống và vùng khí quyển trên biển. Theo ước tính có khoảng 50% số lượng kết cấu công trình bê tông cốt thép tại các vùng biển của Việt Nam hiện nay đã bị ăn mòn và đang bị phá hủy nghiêm trọng.

1.3 Tính cấp thiết, tính mới

Bảo vệ cốt thép bê tông khỏi bị ăn mòn trong môi trường nước biển có ý nghĩa to lớn đối với kinh tế và quốc phòng. Bởi lẽ, những hư hại do ăn mòn cốt thép gây ra có thể phá hủy toàn bộ kết cấu bê tông. Những công trình bê tông cốt thép thường bị nước biển xâm thực và phá hủy mạnh mẽ, có thể dẫn đến sụp đổ cả công trình, gây ra những thiệt hại vô cùng to lớn về người và của.

Phía Đông nước ta được bao bọc hơn 3260 km bờ biển. Rất nhiều các công trình biển như hải cảng, khai thác dầu khí, bảo vệ quốc phòng... được xây dựng bằng bê tông cốt thép đóng vai trò chiến lược trong cơ cấu kinh tế và an ninh quốc phòng, vì thế việc bảo vệ chúng càng cấp bách và lại càng cấp bách hơn nữa khi biển Đông luôn luôn xảy ra những tranh chấp, bất ổn. Tuy nhiên, những công

trình khoa học nghiên cứu và ứng dụng để bảo vệ cốt thép bê tông khỏi ăn mòn trong điều kiện thực tế ở Việt Nam thì vẫn còn rất hạn chế.

Theo hiểu biết tốt nhất của chúng tôi, nghiên cứu khả năng ức chế ăn mòn cốt thép bê tông trong môi trường biển nhiệt đới bằng các phụ gia như: natri silicat, urê, thiourê, và muối silic chưa được đề cập trong các nghiên cứu trước đây.

1.4 Mục tiêu nghiên cứu luận án

Mục tiêu của luận án là nghiên cứu ảnh hưởng của 4 chất phụ gia natri silicat, urê, thiourê và muối silic đến khả năng ức chế ăn mòn cốt thép bê tông trong môi trường biển nhiệt đới.



Hình 1.9 Trạm thử nghiệm tổng hợp Biển trên đảo Đầm Báy, Nha Trang.

Tất cả các nghiên cứu này, chúng tôi thực hiện tại Phòng thí nghiệm của Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh và Trạm thử nghiệm tổng hợp Biển trên đảo Hòn Tre, Đầm Báy (Hình 1.9) thuộc Trung tâm Nhiệt đới Việt Nga, Chi nhánh Ven biển, cách bờ biển Nha Trang khoảng 17 km.

CHƯƠNG 2 THỰC NGHIỆM

2.1 Nguyên vật liệu và hóa chất

Nguyên vật liệu và hóa chất thí nghiệm gồm: Thép, xi măng, cát vàng, đá, dung môi và phụ gia.

2.2 Tạo mẫu bê tông cốt thép

Khuôn thép hình trụ Φ 100 mm, chiều cao 200 mm. Trước khi đúc mẫu, mặt trong khuôn được lau sạch và bôi dầu khuôn để tránh bê tông bám chặt vào khuôn. Bê tông sau khi pha trộn đúng tỷ lệ được cho lên máy trộn bê tông, khuấy

đều trong 10 phút để đồng đều hóa thành phần. Sau 28 ngày, bê tông đã đông cứng đủ cường độ thì tiến hành các thử nghiệm.

2.3 Phương pháp nghiên cứu và đánh giá quá trình ăn mòn

Thực hiện nghiên cứu ăn mòn cốt thép bê tông trong hai môi trường:

- Mẫu bê tông cốt thép được ngâm ngập trong nước biển tại phòng thí nghiệm.
- Mẫu bê tông cốt thép được ngâm ngập trong nước biển ở hai độ sâu (0,5 m và 1,0 m) và phơi trong khí quyển biển tự nhiên tại Trạm thử nghiệm tự nhiên Đầm Báy, Nha Trang.

Khảo sát ăn mòn cốt thép bê tông trong nước biển bằng phương pháp điện hóa. Đánh giá mức độ gãy, nứt, đứt, vỡ của cốt thép bê tông trước và sau khi có thêm phụ gia bằng các phương pháp thử độ bền cơ lý.

Thử nghiệm độ thấm clorua qua bề dày của lớp bê tông bao phủ quanh cốt thép, phân tích hàm lượng clorua tổng và clorua tự do trong mẫu bê tông.

Phân tích thành phần sản phẩm ăn mòn cốt thép trong bê tông bằng các phương pháp quang phổ phát xạ, phổ Ronghen.

Đo kích thước lỗ rỗng của bê tông và quan sát sự tăng trưởng tinh thể bên trong bê tông bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM).

CHƯƠNG 3 KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

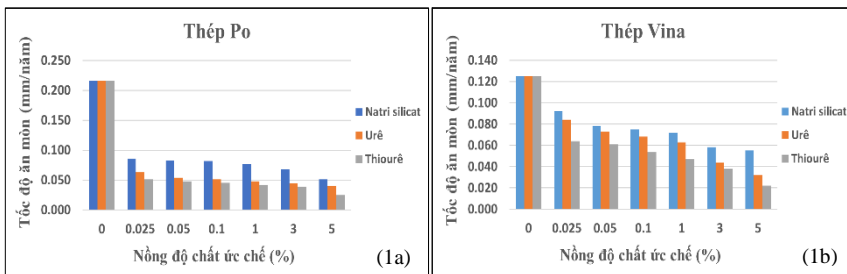
3.1 Ảnh hưởng của các phụ gia natri silicat, urê và thiourê đến khả năng ức chế ăn mòn cốt thép bê tông trong điều kiện mô phỏng thí nghiệm

3.1.1 Ảnh hưởng của natri silicat, urê và thiourê đến sự ăn mòn cốt thép trong dung dịch chiết từ hỗn hợp “nước biển – xi măng”

3.1.1.1 Ảnh hưởng của natri silicat, urê và thiourê đến tốc độ ăn mòn các thép

Hình 3.1 và Bảng 3.1 cho thấy, tốc độ ăn mòn của thép Po và thép Vina giảm dần với sự tăng nồng độ của natri silicat, urê hoặc thiourê trong dung dịch chiết “nước biển – xi măng” từ 0 đến 5% (theo khối lượng xi măng).

Như vậy, có thể nói, natri silicat, urê và thiourê đều là những chất ức chế ăn mòn thép trong dung dịch chiết “nước biển – xi măng”.

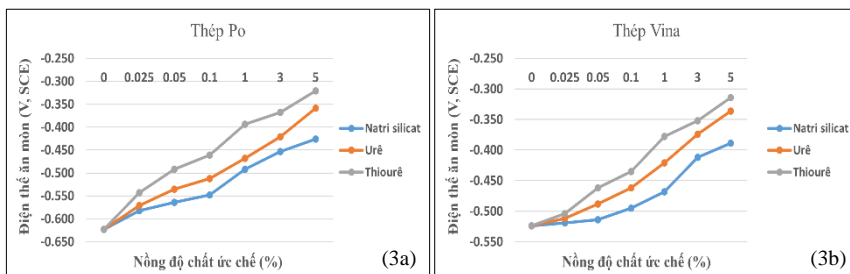


Hình 3.1 Tốc độ ăn mòn của thép Po (1a) và thép Vina (1b) phụ thuộc vào nồng độ natri silicat, urê và thiourê trong dung dịch chiết “nước biển – xi măng”.

Bảng 3.1 Mức độ giảm tốc độ ăn mòn thép Po và thép Vina khi tăng nồng độ các chất ức chế từ 0 lên 5%.

Nồng độ chất ức chế tăng từ 0 đến 5%	Mức độ giảm tốc độ ăn mòn thép (lần)	
	Thép Po	Thép Vina
Natri silicat	4,12	2,28
Urê	5,40	3,94
Thiourê	8,46	5,71

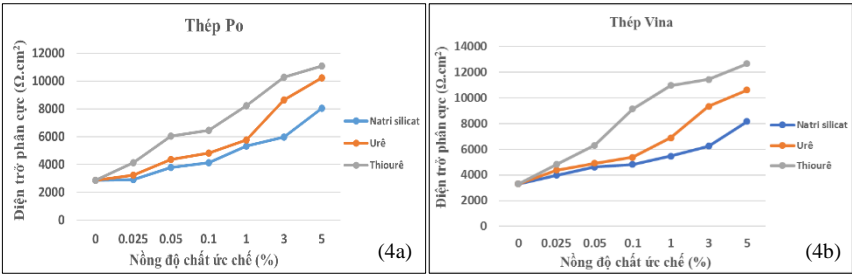
3.1.1.2 Ảnh hưởng nồng độ ba chất ức chế đến các tham số điện hóa của thép



Hình 3.3 Điện thế ăn mòn của thép Po (3a) và thép Vina (3b) trong dung dịch chiết “nước biển – xi măng” phụ thuộc vào nồng độ của natri silicat, urê và thiourê.

Khi tăng nồng độ natri silicat, urê hoặc thiourê trong dung dịch chiết “nước biển – xi măng”, điện thế ăn mòn (E_{cor}) dịch chuyển dần về hướng dương hơn (Hình 3.3), trong khi giá trị điện trở phân cực (R_p) tăng nhanh (Hình 3.4).

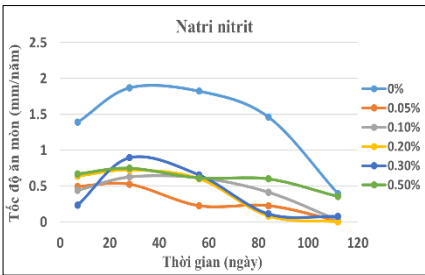
Sự tăng các giá trị điện thế ăn mòn, điện trở phân cực, đồng thời làm giảm giá trị điện dung lớp điện tích kép bởi các chất ức chế đối với hai loại thép, tăng dần theo dãy: Natri silicat < Urê < Thiourê.



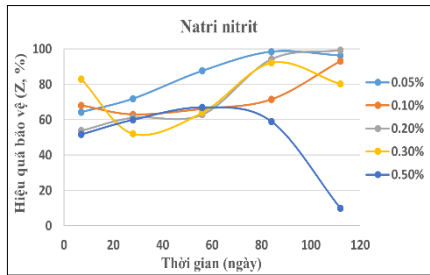
Hình 3.4 Điện trở phân cực (R_p) của thép Po (4a) và thép Vina (4b) trong dung dịch chiết “nước biển – xi măng” phụ thuộc vào nồng độ của natri silicat, urê và thiourê.

3.1.2 Khảo sát khả năng ức chế ăn mòn cốt thép bê tông trong nước biển bởi natri nitrit, canxi nitrat và natri silicat

3.1.2.1 Ăn mòn cốt thép trong bê tông đã phối trộn với NaNO_2



Hình 3.7 Tốc độ ăn mòn cốt thép phụ thuộc vào nồng độ natri nitrit và thời gian ngâm mẫu cốt thép bê tông trong nước biển mô phỏng thí nghiệm.



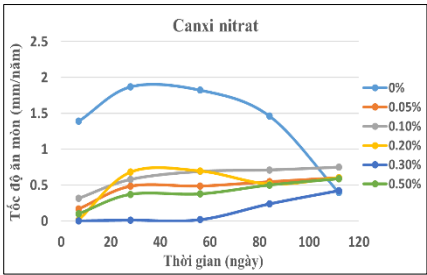
Hình 3.8 Hiệu quả bảo vệ cốt thép của natri nitrit (đã được trộn vào bê tông) phụ thuộc vào thời gian ngâm mẫu cốt thép bê tông trong nước biển mô phỏng thí nghiệm.

Hình 3.7 cho thấy, trong tất cả các mẫu cốt thép bê tông, dù không có hoặc có natri nitrit ở các nồng độ 0,05, 0,10, 0,20, 0,30 và 0,50% NaNO_2 , thì tốc độ ăn mòn cốt thép đều đạt giá trị cực đại sau 28 ngày ngâm mẫu trong nước biển.

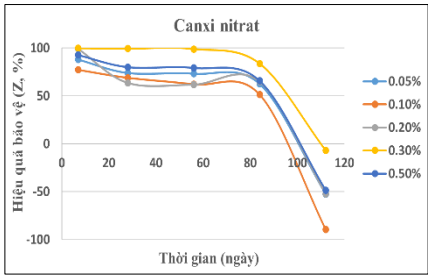
Hình 3.8 cho thấy, natri nitrit có tác dụng bảo vệ cốt thép trong bê tông khỏi bị ăn mòn trong khoảng nồng độ từ 0,05% đến 0,20%; nhưng tốt nhất nên sử dụng nồng độ 0,05%, vì ở nồng độ 0,05% natri nitrit đã cho hiệu quả bảo vệ cốt thép tăng dần theo thời gian ngâm mẫu và đạt giá trị cao hơn cả so với ở các nồng độ khác, ngay từ sau 28 ngày ngâm mẫu trong nước biển.

3.1.2.2 Ăn mòn cốt thép trong bê tông đã phối trộn với $Ca(NO_3)_2$

Hình 3.9 và Hình 3.10 cho thấy: Cũng giống như natri nitrit, canxi nitrat có tác dụng ức chế ăn mòn cốt thép trong bê tông ở mọi nồng độ (0,05, 0,10, 0,20, 0,30 và 0,50%) và thời gian khảo sát (7, 28, 56, 84 ngày, 112 ngày). Hiệu quả bảo vệ cốt thép của canxi nitrat đạt giá trị cực đại ở nồng độ 0,20 – 0,30%, ngay sau 7 ngày ngâm mẫu. Nhưng hiệu quả bảo vệ cốt thép của canxi nitrat ở mọi nồng độ khảo sát đều giảm dần theo thời gian ngâm mẫu. Thậm chí, canxi nitrat lại trở thành chất gia tốc ăn mòn cốt thép sau 112 ngày ngâm mẫu trong nước biển.



Hình 3.9 Tốc độ ăn mòn cốt thép phụ thuộc vào nồng độ canxi nitrat và thời gian ngâm mẫu cốt thép bê tông trong nước biển mô phỏng thí nghiệm.

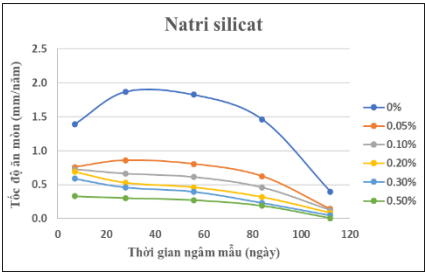


Hình 3.10 Hiệu quả bảo vệ cốt thép của canxi nitrat (đã trộn vào bê tông) phụ thuộc vào thời gian ngâm mẫu cốt thép bê tông trong nước biển mô phỏng thí nghiệm.

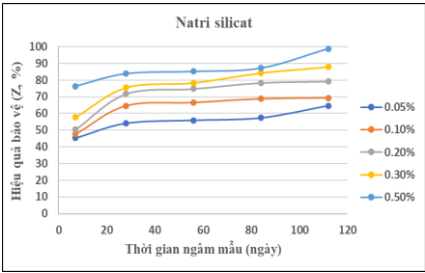
3.1.2.3 Ăn mòn cốt thép trong bê tông đã phối trộn với Na_2SiO_3

Hình 3.11 và Hình 3.12 cho thấy: Natri silicat có tác dụng ức chế ăn mòn cốt thép bê tông trong nước biển rất tốt, đạt hiệu quả bảo vệ Z cao, tăng từ Z = 76,39 (sau 7 ngày ngâm mẫu) lên Z = 98,81% (sau 112 ngày ngâm mẫu), ở nồng độ natri silicat là 0,50%. Ở mọi nồng độ (0,05, 0,10, 0,20, 0,30 và 0,50%) và thời gian

khảo sát (7, 28, 56, 84, 112 ngày), hiệu quả bảo vệ cốt thép của natri silicat đều tăng dần theo thời gian ngâm mẫu; nồng độ tối ưu của natri silicat là 0,50%.



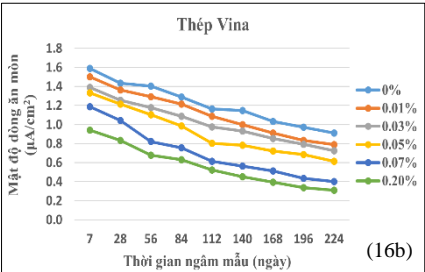
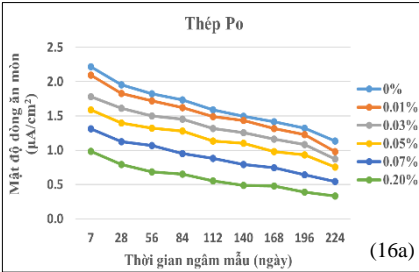
Hình 3.11 Tốc độ ăn mòn cốt thép phụ thuộc vào nồng độ natri silicat và thời gian ngâm mẫu cốt thép bê tông trong nước biển mô phỏng thí nghiệm.



Hình 3.12 Hiệu quả bảo vệ cốt thép của natri silicat (đã trộn vào bê tông) phụ thuộc vào thời gian ngâm mẫu cốt thép bê tông trong nước biển mô phỏng thí nghiệm.

3.1.3 Ảnh hưởng của nồng độ natri silicat đến một số tính chất cơ, lý, hóa của cốt thép bê tông trong nước biển

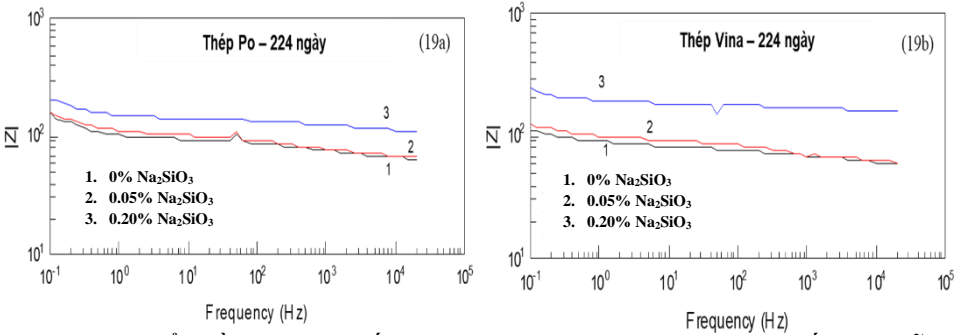
3.1.3.1 Ảnh hưởng của nồng độ natri silicat chứa trong bê tông và thời gian ngâm mẫu bê tông vào nước biển đến mật độ dòng ăn mòn cốt thép



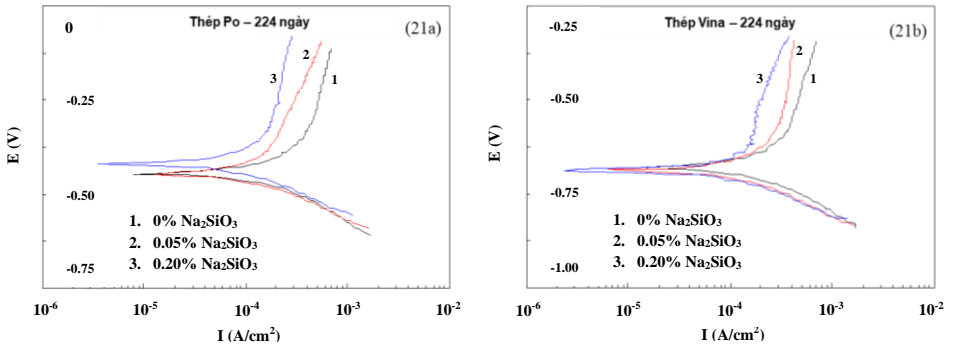
Hình 3.16 Mật độ dòng ăn mòn cốt thép Po (16a) và thép Vina (16b) phụ thuộc vào nồng độ natri silicat và thời gian ngâm mẫu cốt thép bê tông trong nước biển mô phỏng thí nghiệm.

Giá trị mật độ dòng ăn mòn các cốt thép Po (16a) và Vina (16b) trong nước biển phụ thuộc vào nồng độ của natri silicat được cho trong Hình 3.16. Như minh họa trong hình 3.16, giá trị mật độ dòng ăn mòn (i_{cor}) của các cốt thép Po và thép Vina giảm với sự tăng nồng độ natri silicat từ 0 đến 0,20% (theo khối lượng xi măng) và với sự tăng thời gian ngâm mẫu bê tông trong nước biển (đến 224 ngày).

3.1.3.2 Ảnh hưởng của nồng độ natri silicat đến các tham số điện hóa



Hình 3.19 Biểu đồ Bode của cốt thép Po (19a) và thép Vina (19b) gắn với mẫu bê tông chứa nồng độ natri silicat khác nhau sau 224 ngày ngâm mẫu bê tông trong nước biển.



Hình 3.21 Các đường cong phân cực của cốt thép Po (21a) và Vina (21b) trong mẫu bê tông chứa nồng độ natri silicat khác nhau, sau 224 ngày ngâm mẫu vào nước biển.

Biểu đồ Bode của cốt thép Po và thép Vina gắn với các mẫu bê tông chứa nồng độ natri silicat khác nhau, ngâm suốt 224 ngày trong nước biển, được trình bày trong Hình 3.19. Như ta đã biết, mô đun trở kháng (Z) càng lớn, chứng tỏ tính chất ức chế ăn mòn của lớp bảo vệ trên thép càng tốt. Vậy, Hình 3.19 có thể thấy rằng, hiệu quả ức chế ăn mòn thép của natri silicat tăng, khi tăng nồng độ của nó trong bê tông. Kết quả tương tự như Hình 3.21.

Bảng 3.5 Giá trị điện trở của lớp bảo vệ (R) và điện dung lớp kép (C) nhận được bằng phương pháp trở kháng xoay chiều (AC) đối với cốt thép Po và thép Vina trong bê tông chứa nồng độ natri silicat khác nhau, sau 168 ngày ngâm mẫu vào nước biển.

Nồng độ natri silicat (% khối lượng xi măng)	R ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)		C.10 ⁹ (F/cm ²)	
	Thép Po	Thép Vina	Thép Po	Thép Vina
0	3835	4156	31,70	27,21
0,01	4384	3961	7,51	15,20
0,03	6228	5280	2,54	4,63
0,05	7522	5954	1,26	1,99
0,07	10447	6743	0,78	1,29
0,20	18978	18662	0,06	0,10

Bảng 3.5 cho thấy, các giá trị điện trở phân cực (R_p) tăng nhanh, điện dung của lớp điện tích kép (C) giảm nhanh, với sự tăng của nồng độ natri silicat trong bê tông. Những số liệu này cho thấy rằng, độ bền ăn mòn của các cốt thép Po và thép Vina đã tăng, khi tăng nồng độ của natri silicat trong bê tông.

3.1.3.3 Kết quả và bàn luận về ảnh hưởng của natri silicat đến độ bền cơ lý của cốt thép bê tông và độ thấm ion clorua

Bảng 3.6 Ứng suất kéo đứt và lực kéo đứt đối với cốt thép Po và thép Vina phụ thuộc vào nồng độ natri silicat chứa trong bê tông, sau 365 ngày ngâm mẫu bê tông cốt thép trong nước biển mô phỏng thí nghiệm.

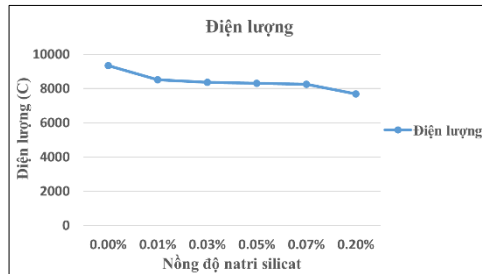
[Trước khi đúc mẫu bê tông:

- Thép Po có ứng suất kéo đứt là 682,7 MPa và Lực kéo đứt: 105040 N;
- Thép Vina có ứng suất kéo đứt là 695,3 MPa và Lực kéo đứt: 106978 N]

STT	Nồng độ Na_2SiO_3 (ppm)	Kết quả đo					
		Ứng suất kéo đứt (MPa)		Lực kéo đứt (N)		Ứng suất chảy σ (MPa)	
		Po	Vina	Po	Vina	Po	Vina
1	0	498,7	511,1	80942	82244	-	-
2	100	542,8	578,9	83557	85726	427,5	410,5
3	300	556,9	591,0	86226	88412	412,8	396,2

4	500	614,5	627,2	90475	90985	436,4	399,9
5	700	632,1	647,6	94421	95554	467,1	398,1
6	2000	641,1	662,7	96422	97049	-	-

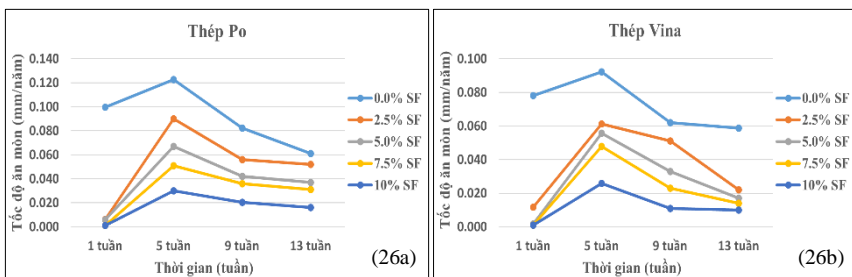
Bảng 3.6 cho thấy giá trị ứng suất kéo đứt và độ bền kéo đứt của các cốt thép Po, thép Vina đã giảm tỷ lệ thuận với chiều giảm nồng độ natri silicat chứa trong bê tông.



Hình 3.24 Độ thâm nhập của ion clorua vào mẫu phụ thuộc vào nồng độ natri silicat chứa trong bê tông 28 ngày tuổi.

Như thấy trong Hình 3.24, khi tăng nồng độ natri silicat chứa trong mẫu thử nghiệm 28 ngày tuổi, thì độ thâm nhập của ion clorua của mẫu đều giảm.

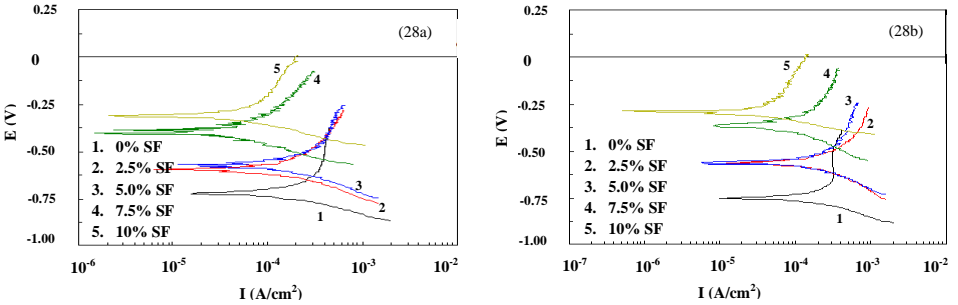
3.1.4 Ảnh hưởng của muối silic đến sự ăn mòn cốt thép bê tông trong nước biển



Hình 3.26 Tốc độ ăn mòn các cốt thép Po (26a) và thép Vina (26b) phụ thuộc vào nồng độ muối silic và thời gian ngâm mẫu bê tông cốt thép trong nước biển mô phỏng thí nghiệm.

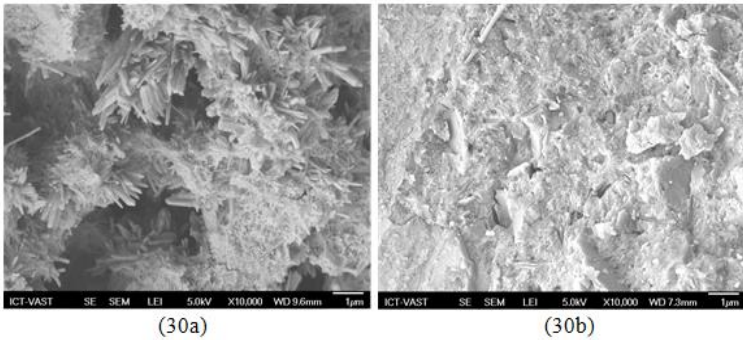
Như thấy trong Hình 3.26, tốc độ ăn mòn các cốt thép Po (Hình 3.26a) và thép Vina (Hình 3.26b) giảm dần theo chiều tăng của nồng độ muối silic từ 0 đến 10%.

Đường cong tốc độ ăn mòn cốt thép phụ thuộc thời gian có một cực đại tại thời điểm 5 tuần lễ (35 ngày) ngâm mẫu trong nước biển.



Hình 3.28 Đường cong phân cực anốt và catốt của các cốt thép Po (28a) và thép Vina (28b) phụ thuộc vào nồng độ muối silic trong mẫu bê tông ngâm ngập nước biển.

Từ Hình 3.28 cho thấy, theo chiều tăng của nồng độ muối silic trong bê tông, không chỉ điện thế ăn mòn các cốt thép Po và thép Vina dịch chuyển mạnh về phía có giá trị dương cao hơn, mà độ dốc Tafel của các đường cong phân cực, đặc biệt là của đường cong phân cực anốt đã được tăng lên đáng kể.



Hình 3.30. Ảnh SEM (x10000) của mẫu không có muối silic (30a) và mẫu có trộn thêm 10% muối silic.

Hình 3.30 cho thấy, các hạt muối silic rất mịn đã lấp kín tất cả các lỗ rỗng nhỏ li ti do các hạt xi măng để lại. Nhờ thế, bê tông được tăng độ đặc chắc, tăng cường độ, tăng độ bền mài mòn, tăng khả năng chống thấm của nước và tăng khả năng kháng xâm nhập của ion clorua.

3.2 Quá trình ức chế ăn mòn cốt thép bê tông sử dụng phụ gia natri silicat, urê, thiourê và muối silic trong điều kiện thực tế nhiệt đới biển

3.2.1 Ảnh hưởng của natri silicat, urê, thiourê và muối silic chứa trong bê tông đến sự ăn mòn cốt thép sau 1 tháng thử nghiệm trong nước biển và khí quyển biển nhiệt đới

3.2.1.1 Kết quả và thảo luận về ảnh hưởng của nồng độ natri silicat, urê, thiourê và muối silic khi ngâm mẫu 1 tháng trong nước biển

Bảng 3.7 Hiệu quả bảo vệ cốt thép của natri silicat, urê, thiourê và muối silic ở độ sâu nước biển 0,5 m và 1,0 m.

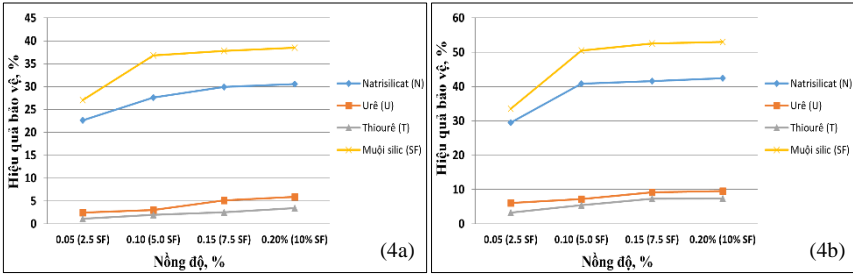
Chất ức chế ăn mòn và chất độn	Nồng độ, %	Hiệu quả bảo vệ (Z, %)			
		Cốt thép Po		Cốt thép Vina	
		Nước biển sâu 0,5 m	Nước biển sâu 1,0 m	Nước biển sâu 0,5 m	Nước biển sâu 1,0 m
Thiourê	0,05 –	71,28 -	78,63 -	62,88 -	47,50 -
	0,20	88,02	93,94	78,68	70,06
Urê	0,05 –	69,04 -	70,72 -	53,09 -	38,72 -
	0,20	86,63	92,41	72,63	62,44
Natri silicat	0,05 –	56,26 -	59,50 -	36,82 –	31,79 -
	0,20	70,86	77,33	63,41	50,03
Muối silic	2,5 - 10	49,00 -	52,24 -	28,32 -	17,28 -
		67,16	74,39	48,61	36,15

Bảng 3.7 cho thấy hiệu quả bảo vệ (Z) đối với các cốt thép của natri silicat, urê, thiourê và muối silic, tăng dần theo chiều tăng nồng độ của chúng. Trong khoảng nồng độ khảo sát đối với natri silicat, urê và thiourê (từ 0,05 đến 0,20%), hoặc muối silic (thay thế xi măng từ 2,5 đến 10%), hiệu quả bảo vệ (Z) các cốt thép Po và thép Vina của chúng, giảm theo dãy sau: Z (thiourê) > Z (urê) > Z (natri silicat) > Z (muối silic).

Natri silicat tạo thành lớp bảo vệ trên bề mặt cốt thép nhờ phản ứng của thực thể tích điện âm $(Si_7O_{18}H_4Na_{4-n})^{n-}$ với cation sắt Fe^{2+} . Urê và thiourê hấp phụ trên bề mặt thép, nhờ tương tác giữa cặp điện tử đơn độc của nguyên tử N trong phân tử urê và thiourê với nguyên tử Fe ở bề mặt thép. Theo chiều tăng của nồng độ muối silic, các hạt cực nhỏ silic oxít (chiếm 85 - 98% muối silic) đã lấp kín dần các lỗ rỗng trong khối bê tông, làm tăng độ chắc đặc của bê tông, làm giảm tốc độ

khuyến tán của ion clorua Cl⁻ vào bê tông, kết quả là làm giảm mật độ dòng ăn mòn cốt thép.

3.2.1.2 Ảnh hưởng của nồng độ natri silicat, urê, thiourê và muối silic sau 1 tháng phơi mẫu trong khí quyển nhiệt đới biển



Hình 3.34 Hiệu quả bảo vệ (Z) các cốt thép Po (4a) và thép Vina (4b) của natri silicat (urê, thiourê và muối silic) chứa trong mẫu bê tông cốt thép, sau 1 tháng phơi mẫu trong khí quyển.

Trong khoảng nồng độ khảo sát đối với natri silicat, urê và thiourê (từ 0,05 đến 0,20%), hoặc muối silic (thay thế xi măng từ 2,5 đến 10%), hiệu quả bảo vệ (Z) đối với các cốt thép Pomina và Vina của chúng, tăng dần theo dãy sau: Z (thiourê) < Z (urê) < Z (natri silicat) < Z (muối silic)

Kết quả này hoàn toàn ngược lại so với 1 tháng trong nước biển tự nhiên.

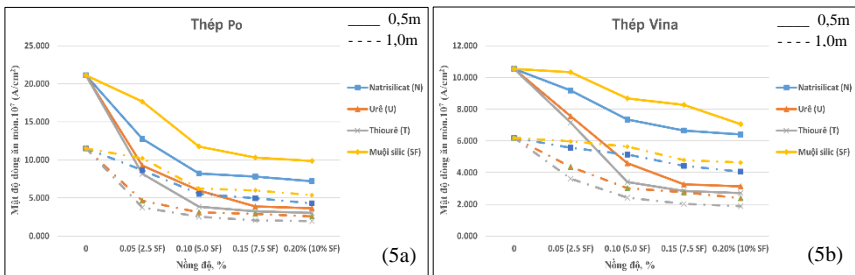
3.2.2 Ảnh hưởng của natri silicat, urê, thiourê và muối silic chứa trong bê tông đến sự ăn mòn cốt thép sau 12 tháng thử nghiệm trong nước biển và khí quyển biển nhiệt đới

3.2.2.1 Ảnh hưởng của nồng độ natri silicat, urê, thiourê và muối silic sau 12 tháng ngâm mẫu trong nước biển

Bảng 3.13 cho thấy, hiệu quả bảo vệ (Z) đối với các cốt thép của natri silicat, urê, thiourê và muối silic tăng dần theo chiều tăng nồng độ của chúng. Trong khoảng nồng độ khảo sát đối với natri silicat, urê và thiourê (từ 0,05 đến 0,20%) hoặc muối silic (thay thế xi măng từ 2,5 đến 10%), hiệu quả bảo vệ (Z) các cốt thép của chúng giảm dần theo dãy sau: Z (thiourê) > Z (urê) > Z (natri silicat) > Z (muối silic).

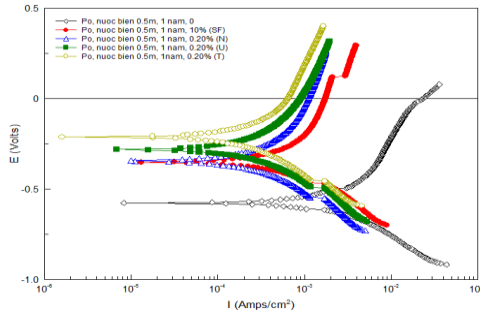
Bảng 3.13 Hiệu quả bảo vệ cốt thép của natri silicat, urê, thiourê và muối silic ở độ sâu nước biển 0,5 m và 1,0 m sau 12 tháng ngâm mẫu.

Chất ức chế ăn mòn và chất độn	Nồng độ, %	Hiệu quả bảo vệ (Z, %)			
		Cốt thép Po		Cốt thép Vina	
		Nước biển sâu 0,5 m	Nước biển sâu 1,0 m	Nước biển sâu 0,5 m	Nước biển sâu 1,0 m
Thiourê	0,05 – 0,20	61,21 – 85,63	67,52 – 83,03	32,26 – 74,40	41,63 – 69,69
Urê	0,05 – 0,20	56,21 – 82,68	59,80 – 77,59	28,30 – 70,32	29,56 – 61,47
Natri silicat	0,05 – 0,20	39,51 – 65,89	24,93 – 68,15	12,94 – 59,34	10,14 – 47,63
Muối silic	2,5 - 10	16,21 – 53,50	11,46 – 53,51	2,06 – 33,07	3,67 – 25,23



Hình 3.35 Mật độ dòng ăn mòn cốt thép Po (5a) và thép Vina (5b) sau 12 tháng ngâm mẫu bê tông cốt thép dưới nước biển ở độ sâu 0,5 m (—) và 1,0 m (----) phụ thuộc vào nồng độ natri silicat, urê, thiourê và muối silic.

Từ số liệu của Bảng 3.13 và Hình 3.35, có thể nói rằng nồng độ tối ưu của các chất ức chế ăn mòn natri silicat, urê, thiourê là 0,15%, của chất độn muối silic là 7,5%. Dưới nước biển, ở cùng độ sâu 0,5 m hoặc 1,0 m, giá trị hiệu quả bảo vệ của natri silicat, urê, thiourê và muối silic đối với thép Po (có độ bền kém) thì cao hơn đối với thép Vina (có độ bền tốt). Nói cách khác, tác dụng ức chế ăn mòn cốt thép của natri silicat, urê, thiourê và muối silic thể hiện càng rõ rệt, nếu thép càng kém bền.



Hình 3.37 Các đường cong phân cực thế động cốt thép Po của các mẫu bê tông chứa Thiourê (T), Urê (U), Natri silicat (N) và Muội silic (SF) sau 12 tháng ngâm mẫu ở độ sâu nước biển 0,5 m.

Hình 3.37 cho thấy, theo chiều tăng nồng độ của thiourê (natri silicat, urê, hoặc muối silic) chứa trong bê tông:

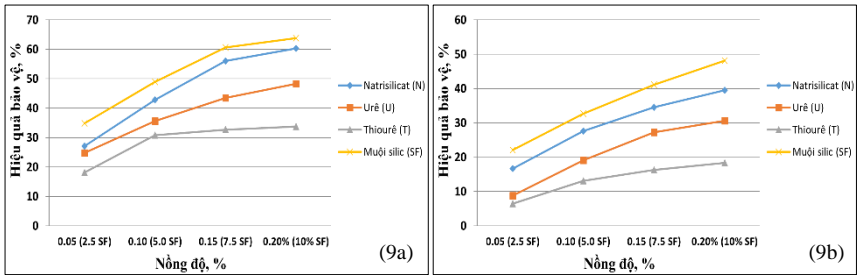
- Điện thế ăn mòn các cốt thép Po và thép Vina dịch chuyển dần về phía giá trị dương hơn;
- Độ dốc Tafel anốt (B_a) tăng nhanh về phía giá trị dương hơn, độ dốc Tafel catốt ($-B_c$) tăng chậm về phía giá trị âm hơn.
- Ở độ sâu nước biển 1,0 m, kết quả cũng tương tự.

Những số liệu đó chỉ ra rằng, cả hai phản ứng anốt và catốt của sự ăn mòn điện hóa cốt thép đều bị kìm hãm (phản ứng anốt bị kìm hãm mạnh hơn), dẫn đến giảm dần mật độ dòng ăn mòn cốt thép theo chiều tăng nồng độ của bốn chất trên. Kết quả này phù hợp với kết quả ngâm mẫu 1 tháng, nên có thể xếp natri silicat, urê và thiourê vào nhóm chất ức chế ăn mòn hỗn hợp, nhưng chúng phong tỏa vùng anốt của bề mặt thép là chủ yếu.

3.2.2.2 Ảnh hưởng của nồng độ natri silicat, urê, thiourê và muối silic sau 12 tháng thử nghiệm tự nhiên trong khí quyển

Từ Hình 3.39 và kết quả tính toán cho thấy, đối với các cốt thép Po, hiệu quả bảo vệ (Z) tăng tương đối nhiều theo chiều tăng nồng độ của các phụ gia: natri silicat, urê, thiourê và muối silic, mức tăng từ 18,38% đến 34,87% và 33,55% đến 63,67%, tương ứng với thiourê và muối silic. So sánh với kết quả thử nghiệm

trong 1 tháng đầu tiên, hiệu quả bảo vệ sau 12 tháng đã được tăng lên đáng kể, từ mức 38,52% trong tháng đầu tiên lên đến 63,75% đối với muối silic sau 12 tháng.



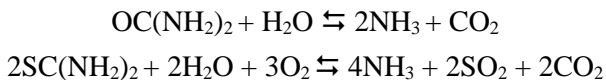
Hình 3.39 Hiệu quả bảo vệ (Z, %) các cốt thép Po (9a) và thép Vina (9b) của natri silicat (urê, thiourê hoặc muối silic) chứa trong mẫu bê tông cốt thép, sau 12 tháng phơi mẫu trong khí quyển.

Trong khoảng nồng độ khảo sát đối với ba chất ức chế ăn mòn: natri silicat, urê và thiourê (từ 0,05 đến 0,20%), hoặc đối với chất độn muối silic (thay thế xi măng từ 2,5 đến 10%), hiệu quả bảo vệ (Z) đối với các cốt thép Po và thép Vina của chúng tăng dần theo dãy sau: Z (thioure) < Z (urê) < Z (natri silicat) < Z (muối silic).

Bảng 3.17 Giá trị trung bình các thông số khí hậu trong 12 tháng phơi mẫu (2013 – 2014).

Nhiệt độ không khí, °C			Độ ẩm không khí, %			Lượng mưa, mm	Tốc độ gió, m/s	Tổng giờ nắng, giờ	Tổng bức xạ, W/m ²	Ion Cl ⁻ sa lắng, mg/m ² /ngày
TB	Max	Min	TB	Max	Min					
27	30	24	82	90	70	45,3	1,25	2606	69625	46,9

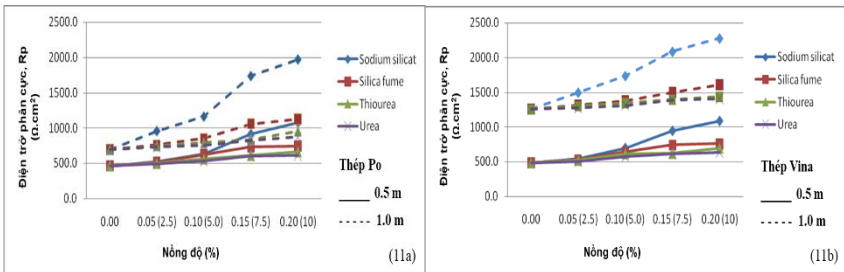
Hiệu quả bảo vệ rất thấp của urê và thiourê đối với cốt thép trong mẫu bê tông, có thể giải thích là do urê và thiourê đã bị phân hủy nhanh chóng dưới tác dụng nung nóng mẫu bởi tia nắng mặt trời và bởi nhiệt độ không khí cao (Bảng 3.17), theo phản ứng sau:



Trong thời gian 12 tháng thử nghiệm tự nhiên ngoài trời, các mẫu bê tông cốt thép được ngâm no nước trong mùa mưa (Bảng 3.17), đủ cho natri silicat Na_2SiO_3 thủy hóa hoàn toàn xi măng, nên mẫu bê tông cốt thép đủ chắc đặc. Vì vậy, hiệu quả bảo vệ cốt thép của natri silicat trong khí quyển nhiệt đới biển đã tăng cao hơn so với thời gian thử nghiệm 1 tháng đầu tiên, đạt mức: $Z = 49 - 59\%$ (Hình 4.9). Các hạt silic oxít trong thành phần chính của muối silic đã điền đầy các lỗ xốp trong khối bê tông, làm tăng độ chắc đặc của bê tông, kết quả là làm giảm mật độ dòng ăn mòn cốt thép. Vì vậy, hiệu quả bảo vệ cốt thép của muối silic trong khí quyển nhiệt đới biển đã tăng ở mức: $Z = 56 - 63\%$ (Hình 3.39). Kết quả này hoàn toàn ngược lại so với 12 tháng trong nước biển tự nhiên.

3.2.3 So sánh hiệu quả bảo vệ của natri silicat, urê, thiourê và muối silic chứa trong bê tông đến sự ăn mòn cốt thép Po và Vina sau 1 tháng, 12 tháng đến 36 tháng thử nghiệm trong nước biển nhiệt đới

3.2.3.1 Ảnh hưởng của natri silicat, urê, thiourê và muối silic khi ngâm mẫu 36 tháng trong nước biển tự nhiên



Hình 3.31 Điện trở phân cực của cốt thép Po (11a) và thép Vina (11b) sau 36 tháng ngâm mẫu bê tông cốt thép dưới nước biển ở độ sâu 0,5 m (—) và 1,0 m (-----) phụ thuộc vào nồng độ natri silicat, urê, thiourê và muối silic.

Như Hình 3.31 cho thấy rằng, giá trị điện trở phân cực (Rp) của các cốt thép Po và thép Vina trong bê tông ở độ sâu nước biển 0,5 m và 1,0 m sau 36 tháng ngâm mẫu, tăng dần khi tăng nồng độ của natri silicat, urê, thiourê và muối silic. Trong đó, giá trị điện trở phân cực của thép Vina cao hơn thép Po, nghĩa là khả năng kháng ăn mòn của thép Vina cao hơn thép Po. Hay nói cách khác, thép Po kém bền ăn mòn hơn thép Vina.

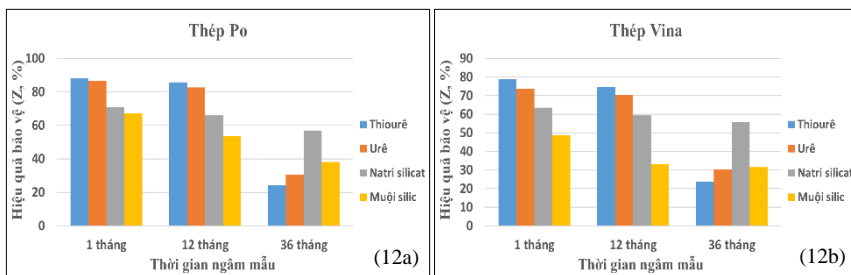
Bảng 3.18 Hiệu quả bảo vệ cốt thép của natri silicat, urê, thiourê và muối silic ở độ sâu nước biển 0,5 m và 1,0 m sau 36 tháng ngâm mẫu.

Chất ức chế ăn mòn và chất độn	Nồng độ %	Hiệu quả bảo vệ (Z, %)			
		Cốt thép Po		Cốt thép Vina	
		Nước biển sâu 0,5 m	Nước biển sâu 1,0 m	Nước biển sâu 0,5 m	Nước biển sâu 1,0 m
Natri silicat	0,05 – 0,20	11,76 – 56,90	27,74 – 64,89	10,34 – 55,67	12,16 – 44,98
Muối silic	2,5 – 10	9,64 – 38,02	8,94 – 38,81	9,30 – 31,59	4,69 – 22,21
Urê	0,05 – 0,20	7,41 – 30,57	7,45 – 27,73	7,15 – 30,36	3,79 – 12,87
Thiourê	0,05 – 0,20	5,06 – 24,25	5,08 – 20,56	4,89 – 23,53	1,93 – 10,96

Bảng 3.18 cho thấy, đến 36 tháng ngâm mẫu bê tông cốt thép trong nước biển tự nhiên, trong khoảng nồng độ khảo sát đối với natri silicat, urê và thiourê (từ 0,05 đến 0,2%) hoặc muối silic (thay thế xi măng từ 2,5 đến 10%), hiệu quả bảo vệ (Z) các cốt thép của chúng tăng dần theo dãy sau: Z (thiourê) < Z (urê) < Z (muối silic) < Z (natri silicat).

3.2.3.2 So sánh hiệu quả bảo vệ của natri silicat, urê, thiourê và muối silic khi ngâm mẫu trong nước biển tự nhiên từ 1 tháng, 12 tháng đến 36 tháng

Hình 3.42 cho thấy, theo thời gian ngâm mẫu bê tông cốt thép từ 1 tháng, 12 tháng đến 36 tháng trong nước biển, hiệu quả bảo vệ (Z) đối với các cốt thép Po và thép Vina của thiourê, urê và muối silic ở độ sâu 0,5 m đều giảm dần theo thời gian ngâm mẫu, đặc biệt với thiourê và urê thì hiệu quả bảo vệ các cốt thép giảm mạnh từ 1 tháng đến thời gian 36 tháng ngâm mẫu. Ở độ sâu nước biển 1,0 m, kết quả cũng tương tự. Với natri silicat, so sánh với kết quả thử nghiệm trong 12 tháng, hiệu quả bảo vệ các cốt thép (Z) sau 36 tháng ngâm mẫu trong nước biển của natri silicat (Z = 45% - 65%) là cao nhất so với thiourê, urê và muối silic đến 36 tháng ngâm mẫu trong nước biển nhiệt đới.



Hình 3.42 Hiệu quả bảo vệ cốt thép Po (12a) và thép Vina (12b) của thiourê, urê, natri silicat và muối silic ở độ sâu nước biển 0,5 m sau 36 tháng ngâm mẫu.

CHƯƠNG 4 KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1 Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu mô phỏng thí nghiệm và thử nghiệm tự nhiên - môi trường nước biển và khí quyển biển tại Nha Trang - khả năng ức chế ăn mòn cốt thép bê tông bởi một số chất phụ gia (natri silicat, urê, thiourê, muối silic), luận án trình bày một số kết luận trong điều kiện khảo sát như sau:

1. Hiệu quả ức chế (Z) ăn mòn thép của natri silicat, urê và thiourê trong dung dịch chiết từ hỗn hợp “nước biển – xi măng” tăng theo dãy:

$$Z(\text{natri silicat}) < Z(\text{urê}) < Z(\text{thiourê}).$$

2. Tốc độ ăn mòn cốt thép bê tông ngâm ngập dưới nước biển giảm theo chiều tăng hàm lượng của muối silic từ 0 – 10% (thay thế khối lượng xi măng).

3. Độ bền kéo đứt và độ bền ăn mòn của cốt thép trong bê tông ngâm trong nước biển tăng khi tăng nồng độ của natri silicat từ 0 đến 0,20% (theo khối lượng xi măng).

4. Trong điều kiện thực tế khí quyển ven biển Nha Trang, thử nghiệm 12 tháng, hiệu quả bảo vệ (Z) đối với cốt thép trong bê tông tăng dần theo dãy:

$$Z(\text{thiourê}) < Z(\text{urê}) < Z(\text{natri silicat}) < Z(\text{muội silic}).$$

Hiệu quả bảo vệ cốt thép $Z = 50 - 60\%$ khi sử dụng muối silic thay thế 10% khối lượng xi măng.

5. Trong điều kiện thực tế biển Nha Trang, thử nghiệm 36 tháng, hiệu quả bảo vệ (Z) của 3 chất ức chế ăn mòn cốt thép là natri silicat, urê, thiourê (từ 0,05 đến 0,20%) và muối silic (thay thế xi măng từ 2,5 đến 10%) tăng theo dãy:

$Z(\text{thiourê}) < Z(\text{urê}) < Z(\text{muội silic}) < Z(\text{natri silicat})$.

Hiệu quả bảo vệ cốt thép $Z = 45 - 65\%$ khi sử dụng natri silicat (nồng độ 0,10 - 0,20%).

4.2 Kiến nghị

Trên đây là một số kết quả ban đầu đạt được trong phòng thí nghiệm và thử nghiệm tự nhiên trong môi trường nước biển và khí quyển ven biển Nha Trang. Muốn áp dụng thực tế một cách tin cậy và hiệu quả, cần phải tiếp tục nghiên cứu toàn diện và lâu dài về khả năng ức chế ăn mòn cốt thép trong bê tông bởi natri silicat, urê, thiourê và muối silic trong điều kiện nhiệt đới biển của nước ta.

Trên cơ sở các kết quả đạt được, sử dụng mô hình toán học phù hợp và xây dựng phương trình hồi quy để đánh giá sự ảnh hưởng của một số yếu tố như chất ức chế (phụ gia), tác động của môi trường biển, các thông số thủy hóa... đến khả năng ức chế ăn mòn cốt thép trong bê tông của natri silicat, urê, thiourê và muối silic. Từ đó, đánh giá sự tác động của một số yếu tố và dự đoán tuổi thọ của cấu trúc bê tông cốt thép trong môi trường nước biển và khí quyển biển nhiệt đới của Việt Nam.

Sau khi ngâm các mẫu bê tông cốt thép trong khoảng thời gian dài trong nước biển, trên bề mặt các mẫu bê tông thử nghiệm xuất hiện nhiều hào hà. Việc hào hà bám vào các công trình biển cũng là vấn đề nan giải cần được nghiên cứu và giải quyết, nên kiến nghị nghiên cứu bổ sung thêm về ảnh hưởng các phụ gia này đến việc chống hào hà phát triển và bám trên bề mặt của các cấu trúc bê tông. Từ đó, có thể phát triển và ứng dụng chúng vào các công trình biển liên quan.