

# NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG BẢO VỆ CỐT THÉP TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC CHIẾT XI MẮNG NHIỄM MẶN

## RESEARCH ON THE CORROSION PROTECTION OF REINFORCING STEEL IN SALINE-CONTAMINATED CEMENT EXTRACTS

PHAN VĂN CHƯƠNG<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>Trường Đại học Công nghệ giao thông vận tải

\*Tác giả đại diện: Email: chuongpv@utt.edu.vn

Ngày nhận 10/9/2025, Ngày sửa 29/9/2025, Chấp nhận 30/9/2025

https://doi.org/10.59382/j-ibst.2025.vi.vol3-5

**Tóm tắt:** Ăn mòn cốt thép trong môi trường nước chiết xi măng có hàm lượng Clorua khác nhau được quy đổi từ hàm lượng Clorua trong cát nhiễm mặn và nghiên cứu trên ba điện cực để xem xét mức độ ăn mòn cốt thép. Điện cực làm việc là cốt thép, điện cực đối là Platin, điện cực so sánh là Calomen bão hòa. Bằng phương pháp điện trở phân cực, kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ ăn mòn của cốt thép lớn nhất, thời gian duy trì trạng thái thụ động dài nhất tương ứng hàm lượng Clorua tương đương 2,4kg/m<sup>3</sup> và 0,6kg/m<sup>3</sup> bê tông.

**Từ khóa:** Nước chiết xi măng, phương pháp điện trở phân cực, trạng thái thụ động cốt thép.

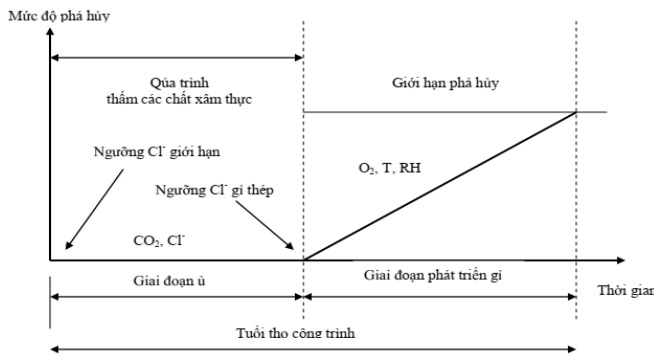
**Abstract:** Corrosion of reinforcing bars in cement extract solutions with different Chloride concentrations, converted from the Chloride content of saline-contaminated sand, was investigated using a three-electrode electrochemical measurement system. The working electrode was the reinforcing bar, the counter electrode was Clatinum, and the reference electrode was the saturated Calomel electrode. Electrochemical evaluation by the polarization resistance method revealed that the maximum corrosion rate of reinforcing bars and the longest maintenance of the passive state corresponded to equivalent Chloride contents of 2.4 kg/m<sup>3</sup> and 0.6 kg/m<sup>3</sup> of concrete, respectively.

**Keywords:** Cement extract solution, electrochemical impedance spectroscopy (EIS), passive state of reinforcement.

### 1. Đặt vấn đề

Ion Clorua có mặt trong bê tông được phân thành 2 dạng: tự do và liên kết. Thông thường chỉ có ion Clorua tự do (thể hiện qua môi trường nước chiết xi măng) mới gây ăn mòn cốt thép. Trong trường hợp bê tông bị nhiễm mặn do nhiều nguyên nhân khác nhau, trong đó có nguyên nhân sử dụng cát nhiễm mặn thì khi thiết kế thành phần bê tông, do lượng cát sử dụng ở các mác khác nhau nên hàm lượng Clorua trong bê tông cũng khác nhau. 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 kg/m<sup>3</sup> (Ví dụ: từ xi măng 400 x 0,1 (EN 197-1: 2011); từ nước trộn 180 x 0,1 (TCVN 4506: 2012); từ cát 700 x 0,05 (TCVN 7570: 2006) và từ đá 1100 x 0,01 (TCVN 7570: 2006), tổng cộng 1,04 kg/m<sup>3</sup>, làm cho ảnh hưởng mức nhiễm mặn của cát đến ăn mòn cốt thép bị thay đổi. Trong nghiên cứu này, khi khảo sát mức nhiễm mặn của cát biển cho thấy hàm lượng Clorua 0,33%, mô đun độ lớn của cát 2,3, do đó thiết kế thành phần bê tông có cấp cường độ B22,5, B30, B40 thì hàm lượng Clorua trong bê tông dao động từ 1,2 đến 2,4 kg/m<sup>3</sup> tính theo khối lượng cát.

Theo tác giả Tuutti [9], quá trình ăn mòn và phá hủy cốt thép được chia làm hai giai đoạn như Hình 1, gồm hai giai đoạn là giai đoạn ủ và giai đoạn phát triển gỉ.



Hình 1. Sơ đồ mô tả quá trình ăn mòn phá hủy kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) [9]

Trong giai đoạn ủ là thời kỳ tích tụ điều kiện để gây gỉ cốt thép trong bê tông (BT), đối với BT sử

dụng vật liệu sạch ngay từ ban đầu (ví dụ tổng Clorua dưới 0,6 kg/m<sup>3</sup>- TCVN 9346:2012) thì lượng

muối trong BT còn nhỏ  $[Cl^-] < [OH^-]$ , 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. Theo quan điểm này thì cuối giai đoạn ủ (Hình 1) cốt thép đã mất khả năng thụ động, quá trình ăn mòn cốt thép diễn ra nhanh hay chậm trong giai đoạn này hoàn toàn phụ thuộc vào chất lượng bê tông, chiều dày bảo vệ và môi trường. Do vậy nghiên cứu để xác định thời gian bảo vệ màng thụ động của cốt thép trong bê tông là cần thiết khi nghiên cứu ăn mòn, điện cực làm việc càng nhỏ thì tính chính xác càng cao. Nếu không tính đến khối lượng Clorua thành phần vật liệu đưa vào trong bê tông thì trong nghiên cứu này cốt thép được tiếp xúc trực tiếp với môi trường Clorua mô phỏng trong nước chiết xi măng tương ứng với hàm lượng của cát để nghiên cứu. Chính vì thế, phương pháp điện trở phân cực được áp dụng trong nghiên cứu này, điện cực làm việc chính là mẫu cốt thép có đường kính 1cm được ngâm trong dung dịch nước chiết xi măng và tìm thời gian bảo vệ cốt thép thông qua mật độ dòng ăn mòn vượt ngưỡng.

**2. Vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu**

**2.1 Vật liệu sử dụng**

*a. Xi măng*

Sử dụng xi măng PCB40 Bút Sơn. Các chỉ tiêu kỹ thuật đáp ứng yêu cầu kỹ thuật TCVN 2682:2009.

*b. Nước trộn bê tông*

Nước trộn bê tông là nước máy, các chỉ tiêu đáp ứng theo yêu cầu kỹ thuật TCVN 4506: 2012.

*c. Cốt thép*

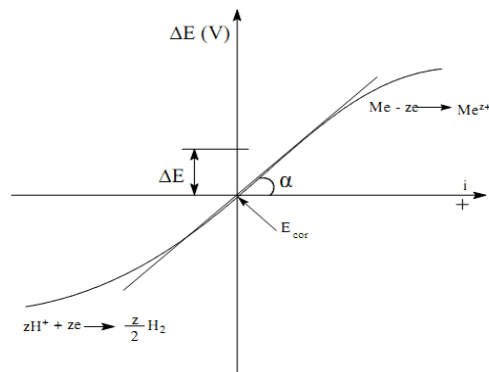
Cốt thép sử dụng là thép có gờ (CB 300V) Hòa Phát Φ14 được gia công tiện thành Φ10 trơn.

*d. Muối NaCl*

Muối NaCl sử dụng ở dạng tinh khiết, được quy đổi theo đúng tỷ lệ và phần trăm dung dịch.

**2.2 Phương pháp thí nghiệm**

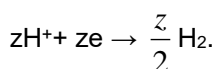
Phương pháp đo điện trở phân cực còn được gọi là phương pháp phân cực tuyến tính. Phương pháp này do Stern Geary đề ra năm 1956 [4] và đã được phát triển, áp dụng tính tốc độ ăn mòn cho nhiều hệ ăn mòn có kết quả tin cậy.



**Hình 2.** Đường cong phân cực  $\Delta E - f(i)$

Trên đường phân cực  $E - f(i)$  (Hình 2) 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:



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

$$R_p = \left[ \frac{d(\Delta E)}{di} \right]_{E_{cor}} = \frac{B}{I_{cor}} \tag{1}$$

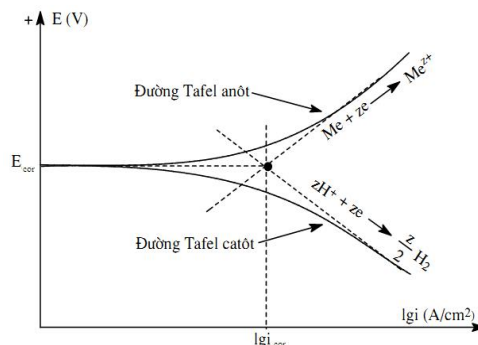
Một khác giá trị B được tính theo công thức:

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

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 hòa tan kim loại thay đổi từ  $0,06 \div 0,12 \text{ V}$ .

Từ (2) ta có: 
$$I_{cor} = \frac{B}{R_p} \tag{3}$$

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 3) của các đường Tafel catot và anot theo (2) và xác định  $R_p$  - điện trở phân cực.



**Hình 3.** 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,  $R_p$  chính là  $tg\alpha$ .  
 $R_p = tg\alpha$  (4)

Phương pháp đo  $R_p$  tính dòng ăn mòn  $i_{corr}$  sẽ chính xác nếu  $R_p \gg R_\Omega$  ( $R_\Omega$  - điện trở của dung dịch). Một cách gần đúng chấp nhận giá trị B trong (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 nước chiết xi măng.

Đã có nhiều nghiên cứu đưa ra các giá trị giới hạn cho thông số ăn mòn cốt thép. Tác giả [5, 6, 7] đưa ra ngưỡng là  $i_{corr} = 0,1 \mu A/cm^2$  là ngưỡng xảy ra ăn mòn. Trong các nghiên cứu của mình, tác giả [1, 8] sử dụng ngưỡng  $i_{corr} = 0,1 \mu A/cm^2$  để biện luận các kết quả nghiên cứu của mình và đã được chấp thuận trong nhiều nghiên cứu. Trong nghiên cứu này, giá trị ngưỡng  $i_{corr} = 0,1 \mu A/cm^2$  được sử dụng để biện luận các kết quả nghiên cứu.

**Bảng 1.** Đánh giá khả năng xảy ra ăn mòn cốt thép theo mật độ dòng ăn mòn [5, 7]

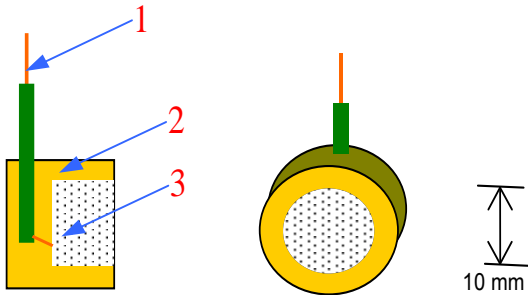
Mật độ dòng ăn mòn, $i_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	Tốc độ ăn mòn, $V_{corr}$ (mm/năm)	Mức độ ăn mòn cốt thép
< 0,1	< 0,001	Trạng thái thụ động
0,1 ÷ 0,5	0,001 ÷ 0,005	Thấp
0,5 ÷ 1	0,005 ÷ 0,010	Trung bình
> 1	> 0,010	Cao

Ghi chú: mối quan hệ giữa mật độ dòng ăn mòn và tốc độ ăn mòn [5]:

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

Thí nghiệm bằng cách đưa trực tiếp hàm lượng Cl<sup>-</sup> vào trong môi trường nước chiết xi măng theo các hàm lượng khác nhau. Sau đó đo mật độ dòng ăn mòn bằng phương pháp điện trở phân cực theo thời gian, xác định khoảng thời gian thụ động của cốt thép.

**a. Chuẩn bị điện cực đo ăn mòn (điện cực làm việc WE)**



1. Dây dẫn điện 2. Vỏ Epoxi 3. Điện cực thép CT3

**Hình 4.** Cấu tạo điện cực đo ăn mòn (WE) [3]

Điện cực bằng thép CB 300V được mô tả trong Hình 4 có các thông số sau:

- Kích thước: đường kính  $\phi 10$ , dài 1cm;
- Diện tích bề mặt điện cực tiếp xúc với nước chiết:  $3,14 \times (0,5)^2 = 0,785 \text{ cm}^2$  (bề mặt xung quanh của điện cực được bọc kín bằng keo epoxy);
- Bề mặt điện cực được mài phẳng, nhẵn bằng giấy ráp mịn, rửa sạch trước khi đưa vào dung dịch nước chiết.

**b. Chuẩn bị môi trường nước chiết xi măng**

Dung dịch nước chiết xi măng được điều chế bằng cách trộn xi măng (X) với nước (N) theo tỷ lệ khối lượng  $N/X = 0,53; 0,43$  và  $0,35$  tương ứng với mác bê tông M300, M400, M500 (cấp độ bền B22,5; B30; B40) theo đúng cấp phối thiết kế (Hình 5). Trong đó mẫu bê tông có nước chiết xi măng  $N/X = 0,53$   $[Cl^-] = 0,6 \text{ kg/m}^3$  (theo TCVN 9346:2012, vùng khí quyển biển) được lấy làm chuẩn để so sánh trong quá trình nghiên cứu. Sau 2 giờ lọc loại bỏ phần rắn thu lấy phần dung dịch nước chiết xi măng.



**Hình 5.** Chế tạo nước chiết xi măng

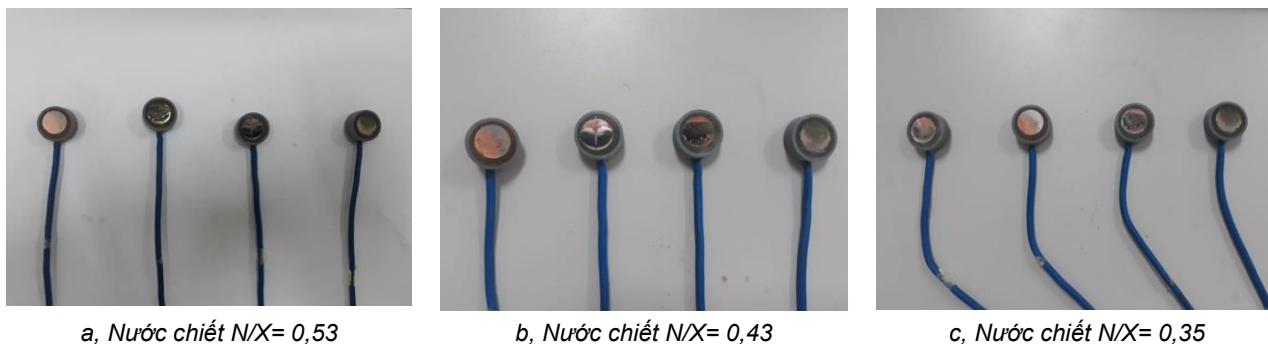
Hàm lượng ion Cl<sup>-</sup> lấy cố định ở 4 mức: 0,6; 1,2; 1,8 và 2,4kg/m<sup>3</sup> bê tông cho cả 3 cấp bê tông. Tiến hành pha trộn tạo ra 12 loại môi trường nước chiết.

Các điện cực làm việc được mài phẳng nhẵn trên diện tích 0,785 cm<sup>2</sup>, do vậy để có lớp màng thụ động trên bề mặt điện cực mô phỏng trong môi trường kiềm của bê tông, tiến hành ngâm các điện cực sau khi mài, làm sạch bề mặt trong môi trường nước chiết xi măng không có clorua trong 24h trước khi mang mẫu đi thử nghiệm trong các môi trường

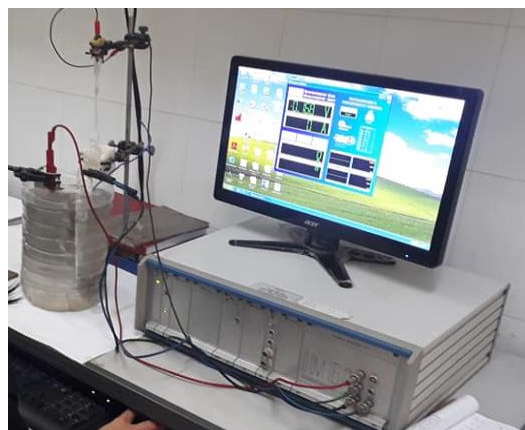
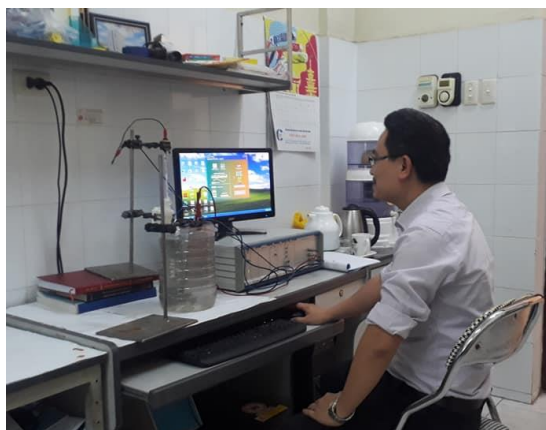
nước chiết có hàm lượng clorua và N/X khác nhau. Mục đích là để xem xét hiệu quả bảo vệ cốt thép của màng thụ động theo thời gian.

**3. Kết quả nghiên cứu**

Quá trình thí nghiệm, theo dõi và đo đạc được thực hiện trên máy đo điện hóa đa năng IM6 tại Viện hóa học và máy Biologic VSP-300 Viện Kỹ thuật Nhiệt đới - Viện Hàn lâm KHCN Việt Nam. Kết quả được trình bày trong Bảng 2, Bảng 3, Bảng 4, từ Hình 8 đến Hình 10.



**Hình 6.** Bề mặt điện cực sau khi thử nghiệm



**Hình 7.** Quá trình đo trên máy đo điện hóa đa năng IM6 tại Viện hóa học

**Bảng 2.** Kết quả đo thế ăn mòn và mật độ dòng ăn mòn trong môi trường nước chiết xi măng, bê tông M300 (B22,5)

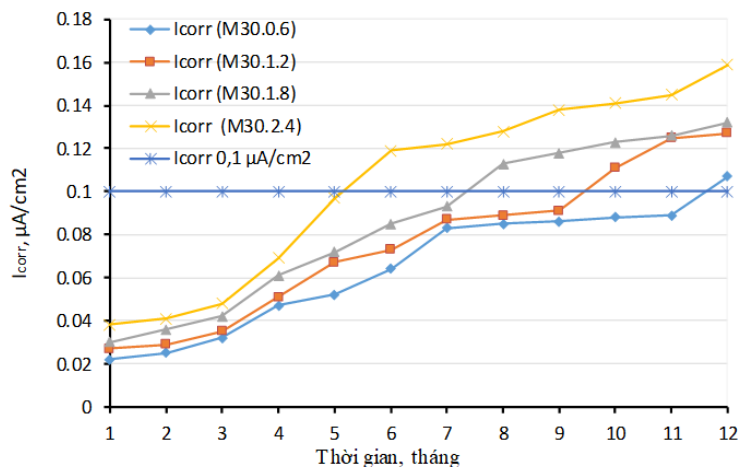
STT	Thế ăn mòn và mật độ dòng ăn mòn	Chu kỳ đo, tháng											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	E <sub>corr</sub> (M30.0.6), -mV	439	497	519	529	547	546	545	547	545	444	545	546
2	I <sub>corr</sub> (M30.0.6), μA/cm <sup>2</sup>	0.022	0.025	0.032	0.047	0.052	0.064	0.083	0.085	0.086	0.088	0.089	0.107
3	E <sub>corr</sub> (M30.1.2), -mV	431	527	555	557	563	567	576	562	559	561	568	569
4	I <sub>corr</sub> (M30.1.2), μA/cm <sup>2</sup>	0.027	0.029	0.035	0.051	0.067	0.073	0.087	0.089	0.091	0.111	0.125	0.127
5	E <sub>corr</sub> (M30.1.8), -mV	433	516	533	543	568	567	567	566	567	568	569	568
6	I <sub>corr</sub> (M30.1.8), μA/cm <sup>2</sup>	0.03	0.036	0.042	0.061	0.072	0.085	0.093	0.113	0.118	0.123	0.126	0.132
7	E <sub>corr</sub> (M30.2.4), -mV	484	520	555	560	569	568	569	570	571	572	573	574
8	I <sub>corr</sub> (M30.2.4), μA/cm <sup>2</sup>	0.038	0.041	0.048	0.069	0.097	0.119	0.122	0.128	0.138	0.141	0.145	0.159

**Bảng 3. Kết quả đo thế ăn mòn và mật độ dòng ăn mòn trong môi trường nước chiết xi măng, bê tông M400 (B30)**

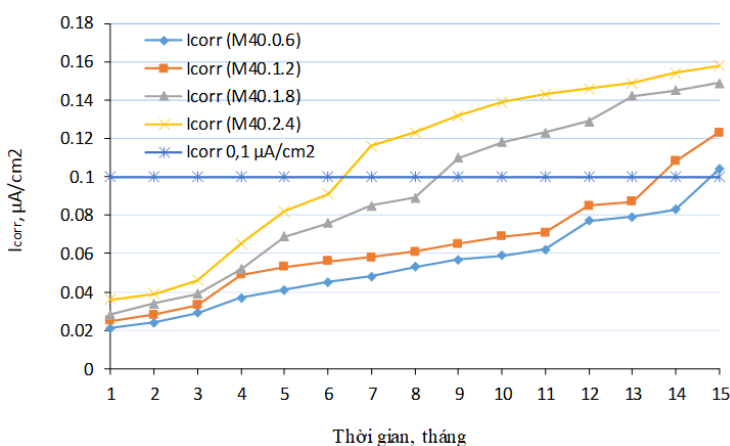
STT	Thế ăn mòn và mật độ dòng ăn mòn	Chu kỳ đo, tháng														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	$E_{corr}(M40.0.6)$ , -mV	426	478	534	536	536	537	528	539	523	528	536	543	544	564	565
2	$I_{corr}(M40.0.6)$ , $\mu A/cm^2$	0.021	0.024	0.029	0.037	0.041	0.045	0.048	0.053	0.057	0.059	0.062	0.077	0.079	0.083	0.104
3	$E_{corr}(M40.1.2)$ , -mV	452	495	554	554	558	559	559	560	561	559	558	565	565	566	567
4	$I_{corr}(M40.1.2)$ , $\mu A/cm^2$	0.025	0.028	0.033	0.049	0.053	0.056	0.058	0.061	0.065	0.069	0.071	0.085	0.087	0.108	0.123
5	$E_{corr}(M40.1.8)$ , -mV	489	569	585	586	596	594	593	587	588	570	569	580	588	587	586
6	$I_{corr}(M40.1.8)$ , $\mu A/cm^2$	0.028	0.034	0.039	0.052	0.069	0.076	0.085	0.089	0.11	0.118	0.123	0.129	0.142	0.145	0.149
7	$E_{corr}(M40.2.4)$ , -mV	493	534	560	554	554	556	555	557	553	572	553	556	558	565	564
8	$I_{corr}(M40.2.4)$ , $\mu A/cm^2$	0.036	0.039	0.046	0.065	0.082	0.091	0.116	0.123	0.132	0.139	0.143	0.146	0.149	0.154	0.158

**Bảng 4. Kết quả đo thế ăn mòn và mật độ dòng ăn mòn trong môi trường nước chiết xi măng, bê tông M500 (B40)**

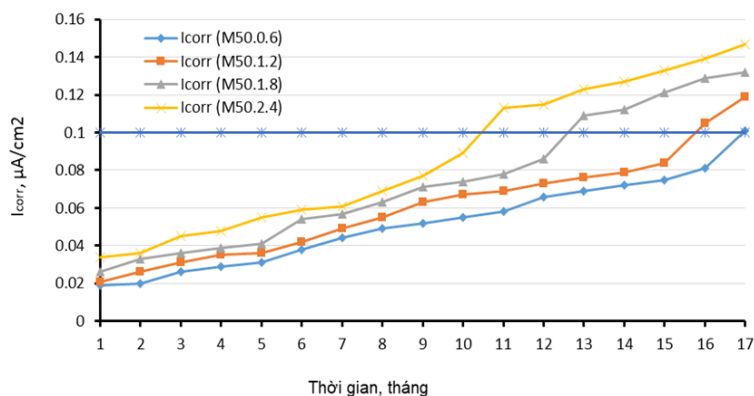
STT	Thế ăn mòn và mật độ dòng ăn mòn	Chu kỳ đo, tháng																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	$E_{corr}(M50.0.6)$ , -mV	418	539	546	553	581	574	563	577	582	573	568	574	583	582	567	581	593
2	$I_{corr}(M50.0.6)$ , $\mu A/cm^2$	0.019	0.02	0.026	0.029	0.031	0.038	0.044	0.049	0.052	0.055	0.058	0.066	0.069	0.072	0.075	0.081	0.101
3	$E_{corr}(M50.1.2)$ , -mV	490	524	538	536	562	553	574	558	567	571	572	564	573	582	574	581	583
4	$I_{corr}(M50.1.2)$ , $\mu A/cm^2$	0.021	0.026	0.031	0.035	0.036	0.042	0.049	0.055	0.063	0.067	0.069	0.073	0.076	0.079	0.084	0.105	0.119
5	$E_{corr}(M50.1.8)$ , -mV	491	545	537	529	534	535	557	542	549	558	561	560	559	561	561	558	562
6	$I_{corr}(M50.1.8)$ , $\mu A/cm^2$	0.026	0.033	0.036	0.039	0.041	0.054	0.057	0.063	0.071	0.074	0.078	0.086	0.109	0.112	0.121	0.129	0.132
7	$E_{corr}(M50.2.4)$ , -mV	529	530	541	543	558	557	557	556	562	559	567	568	565	571	570	572	571
8	$I_{corr}(M50.2.4)$ , $\mu A/cm^2$	0.034	0.036	0.045	0.048	0.055	0.059	0.061	0.069	0.077	0.089	0.113	0.115	0.123	0.127	0.133	0.139	0.147



Hình 8.  $I_{corr}$  trong nước chiết,  $N/X=0,53$  có độ nhiễm mặn khác nhau theo thời gian



Hình 9.  $I_{corr}$  trong nước chiết,  $N/X=0,43$  có độ nhiễm mặn khác nhau theo thời gian



Hình 10.  $I_{corr}$  trong nước chiết,  $N/X=0,35$  có độ nhiễm mặn khác nhau theo thời gian

#### 4. Biện luận kết quả nghiên cứu

Kết quả nghiên cứu được trình bày trong Bảng 2, Bảng 3, Bảng 4, từ Hình 8 đến Hình 10 cho thấy:

Khi ngâm các mẫu trong môi trường nước chiết xi măng, tại giờ đầu tiên đã xuất hiện mật độ dòng ăn mòn với giá trị nhỏ hơn  $0,1 \mu A/cm^2$ , chứng tỏ cốt thép vẫn ở trạng thái thụ động. Mức độ nhiễm mặn của nước chiết khác nhau thì dòng  $I_{corr}$  cũng khác

nau. Ví dụ với nước chiết  $N/X=0,53$ , tại giờ đầu, hàm lượng  $[Cl^-]$  tăng 0,6; 1,2; 1,8 và 2,4  $kg/m^3$  bê tông thì dòng  $I_{corr}$  tăng tương ứng là 0,022; 0,027; 0,03; 0,038  $\mu A/cm^2$ . Sau 1 giờ ngâm mẫu, dòng  $I_{corr}$  tiếp tục tăng lên theo thời gian. Điều này có thể được giải thích là trong cùng môi trường dung dịch điện ly (nước chiết xi măng), cùng diện tích bề mặt điện cực làm việc, dung dịch điện ly càng chứa nhiều  $[Cl^-]$  thì càng nhiều  $[Cl^-]$  tấn công bề mặt điện

cực thép, kết quả là điện cực nào tiếp xúc Cl<sup>-</sup> nhiều hơn thì quá trình ăn mòn sẽ xảy ra nhanh hơn, I<sub>corr</sub> sẽ lớn hơn. Trong môi trường nước chiết N/X=0,43, N/X=0,35 kết quả cũng tương tự.

Tại cùng một thời điểm đo, cùng hàm lượng [Cl<sup>-</sup>], khi giảm tỷ lệ nước chiết từ N/X=0,53 xuống N/X=0,43 và N/X=0,35 thì dòng I<sub>corr</sub> càng giảm, cụ thể tại thời điểm đo là 3 tháng, hàm lượng [Cl<sup>-</sup>] là 1,8 có I<sub>corr</sub> giảm tương ứng với giảm tỷ lệ N/X là 0,042; 0,039; 0,036 μA/cm<sup>2</sup>. Có thể giải thích điều này là do trước khi tiến hành thí nghiệm, điện cực đã được ngâm trong môi trường nước chiết không có clorua để hình thành môi trường thụ động bảo vệ cốt thép trước khi thử nghiệm trong các môi trường Clorua khác nhau. Như vậy, khi giảm tỷ lệ N/X làm tăng độ kiềm trong dung dịch nước chiết thì khả năng bảo vệ cốt thép màng thụ động sẽ tốt hơn, và cùng hàm lượng ion [Cl<sup>-</sup>] sự phá hủy lớp màng thụ động lâu hơn hay ăn mòn sẽ diễn ra chậm hơn và I<sub>corr</sub> đo được sẽ nhỏ hơn.

Kết quả nghiên cứu trên cho thấy I<sub>corr</sub> trong môi trường nước chiết xi măng chịu ảnh hưởng của hàm lượng [Cl<sup>-</sup>], xu hướng chung là I<sub>corr</sub> tăng theo thời gian và tỷ lệ thuận với sự tăng hàm lượng [Cl<sup>-</sup>]. Các kết quả nghiên cứu phù hợp với nghiên cứu trước đây [2, 3].

Từ các tài liệu [5, 7] xác định được khoảng thời gian thụ động của cốt thép trong môi trường nước chiết xi măng khi tăng hàm lượng [Cl<sup>-</sup>] là 0,6 kg, 1,2 kg, 1,8 kg, 2,4kg/m<sup>3</sup> bê tông như sau:

- Môi trường nước chiết N/X=0,53: duy trì khoảng thời gian thụ động của cốt thép là 11, 9, 7, 5 tháng (tương ứng I<sub>corr</sub>= 0,089; 0,091; 0,093; 0,097

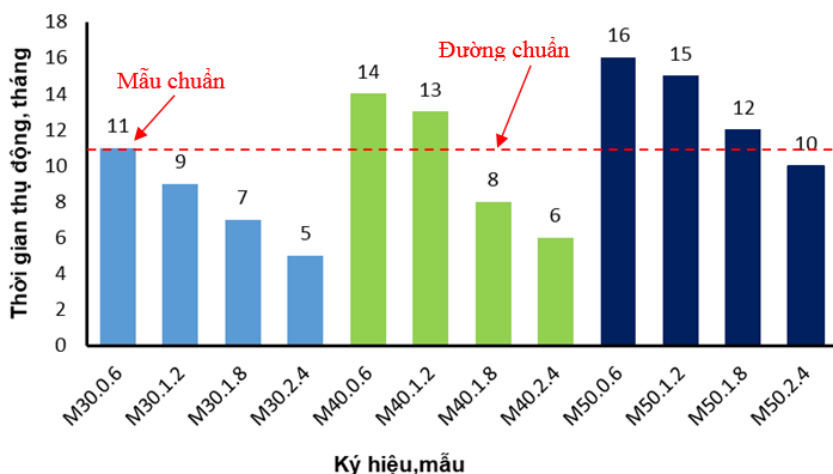
μA/cm<sup>2</sup>); tương ứng với khả năng bảo vệ cốt thép so với mẫu chuẩn (0,6 kg/m<sup>3</sup> BT) là 81,8 %; 63,6 %; 45,5 %;

- Môi trường nước chiết N/X=0,43: duy trì khoảng thời gian thụ động của cốt thép là 14, 13, 8, 6 tháng (tương ứng I<sub>corr</sub>= 0,083; 0,087; 0,089; 0,091 μA/cm<sup>2</sup>); tương ứng với khả năng bảo vệ cốt thép so với mẫu chuẩn (0,6 kg/m<sup>3</sup> BT) là 92,9 %; 57,1 %; 42,9 %;

- Môi trường nước chiết N/X=0,35: duy trì khoảng thời gian thụ động của cốt thép là 16, 15, 12, 10 tháng (tương ứng I<sub>corr</sub>= 0,081; 0,084; 0,086; 0,089 μA/cm<sup>2</sup>); tương ứng với khả năng bảo vệ cốt thép so với mẫu chuẩn (0,6 kg/m<sup>3</sup> BT) là 93,8 %; 75,0 %; 62,5 %.

Đánh giá khả năng bảo vệ cốt thép của các môi trường nước chiết cho thấy khi giảm tỷ lệ N/X từ 0,53 xuống 0,43 và 0,35 (tương ứng với tăng cấp bê tông từ B22,5 lên B30 và B40) ứng với mỗi hàm lượng [Cl<sup>-</sup>] khác nhau thì làm tăng khoảng thời gian thụ động của cốt thép, điều đó có nghĩa cốt thép được bảo vệ tốt hơn, duy trì trạng thái thụ động dài hơn. Ví dụ với hàm lượng [Cl<sup>-</sup>] =2,4 kg/m<sup>3</sup> khi giảm tỷ lệ N/X từ 0,53 xuống 0,43 và 0,35 trạng thái thụ động của cốt thép tăng từ 5 tháng lên 6 tháng và 10 tháng. Tương tự như trên, khi giảm tỷ lệ N/X làm tăng độ kiềm trong dung dịch nước chiết thì khả năng bảo vệ cốt thép màng thụ động sẽ tốt hơn, và cùng hàm lượng [Cl<sup>-</sup>] sự phá hủy lớp màng thụ động dài hơn, trạng thái thụ động cốt thép tăng lên.

Các kết quả thời gian thụ động của cốt thép được thể hiện trong Hình 11.



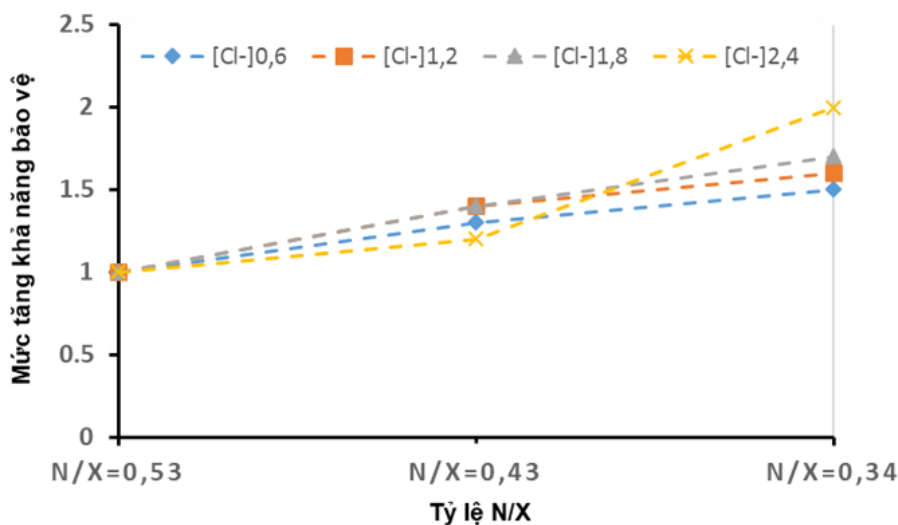
Hình 11. Thời gian thụ động của cốt thép trong môi trường nước chiết XM có độ nhiễm mặn khác nhau

**Bảng 5.** Khả năng bảo vệ cốt thép khi tăng cấp độ bền bê tông (giảm tỷ lệ N/X)

TT	Chất lượng bê tông bảo vệ			Thời gian thụ động cốt thép, tháng/mức tăng so với đối chứng, ứng với [Cl <sup>-</sup> ]			
	Cấp BT	Tỷ lệ N/X	Môi trường	0,6 kg/m <sup>3</sup>	1,2 kg/m <sup>3</sup>	1,8 kg/m <sup>3</sup>	2,4 kg/m <sup>3</sup>
1	B22,5 (M300)	N/X=0,53 (đối chứng)	Nước chiết xi măng	11/1,0	9/1,0	7/1,0	5/1,0
2	B30 (M400)	N/X=0,43		14/1,3	13/1,4	8/1,1	6/1,2
3	B40 (M500)	N/X=0,34		16/1,5	15/1,6	12/1,7	10/2,0

Từ Bảng 5 vẽ được đồ thị trong Hình 12 về ảnh hưởng của hàm lượng Clorua tới khả năng bảo vệ cốt thép trong nước chiết xi măng. Trong đó, khả năng bảo vệ cốt thép của mẫu bê tông có hàm

lượng Clorua 0,6 kg/m<sup>3</sup> bê tông được lấy làm chuẩn để so sánh với khả năng bảo vệ cốt thép của nước chiết xi măng nhiễm Clorua cao mức 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m<sup>3</sup> bê tông.



**Hình 12.** Khả năng bảo vệ cốt thép khi tăng cấp độ bền bê tông (giảm N/X trong nước chiết XM)

Trên Hình 11, nếu lấy mẫu có tỷ lệ N/X=0,53 hàm lượng Clorua là 0,6 kg/m<sup>3</sup> bê tông làm mẫu chuẩn (đường chuẩn màu đỏ) theo tiêu chuẩn TCVN 9346:2012, để khả năng bảo vệ cốt thép cao hơn mẫu chuẩn thì tỷ lệ N/X=0,43 có thể sử dụng nước chiết xi măng có hàm lượng Clorua tới 1,2 kg/m<sup>3</sup> bê tông; tỷ lệ N/X=0,34 có thể sử dụng nước chiết xi măng có hàm lượng Clorua tới 1,8 kg/m<sup>3</sup> bê tông. Hay nói cách khác giảm tỷ lệ N/X từ 0,53 xuống 0,43 thì mẫu nước chiết có tác dụng kìm hãm ăn mòn cốt thép tới mẫu có hàm lượng [Cl<sup>-</sup>]=1,2 kg; giảm tỷ lệ N/X từ 0,53 xuống 0,34 thì mẫu nước chiết có tác dụng kìm hãm ăn mòn cốt thép tới mẫu có hàm lượng [Cl<sup>-</sup>]=1,8 kg.

Kết quả trong Bảng 5 và Hình 12 cho thấy quan hệ: khi tăng cấp độ bền của bê tông từ B22,5 lên B30, B40 tương ứng giảm tỷ lệ N/X, khả năng bảo vệ cốt thép tăng lên 1,1 đến 2,0 lần. Quan hệ này được duy trì với nước chiết xi măng nhiễm lượng Clorua khác nhau từ 1,2 đến 2,4 kg/m<sup>3</sup>. Mức gia

tăng trên được giải thích nhờ năng lực bảo vệ màng thụ động cao hơn của bê tông khi giảm N/X.

Quy luật chung được xác định là cùng tỷ lệ N/X, mẫu cốt thép ngâm trong dung dịch nước chiết xi măng có hàm lượng [Cl<sup>-</sup>] càng cao thì cốt thép bị ăn mòn diễn ra nhanh hơn thời gian thụ động bảo vệ cốt thép càng ngắn. Cùng hàm lượng clorua và chu kỳ, khi giảm tỷ lệ N/X thì dòng ăn mòn cốt thép giảm (tốc độ ăn mòn cốt thép giảm) và thời gian duy trì trạng thái thụ động của cốt thép dài hơn.

**5. Kết luận**

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu bằng phương pháp điện hóa về khả năng bảo vệ cốt thép trong nước chiết xi măng có [Cl<sup>-</sup>]=(1,2÷2,4) kg/m<sup>3</sup> bê tông, có một số kết luận sau:

- Mật độ dòng ăn mòn cốt thép xuất hiện ngay sau khi mẫu tiếp xúc với môi trường nước chiết nhiễm Clorua, nhưng với giá trị nhỏ và cốt thép vẫn ở trong trạng thái thụ động. Mật độ dòng ăn mòn có

xu hướng tăng theo thời gian và sự tăng hàm lượng Clorua trong nước chiết. Khả năng bảo vệ cốt thép tăng khi giảm tỷ lệ N/X ở cùng mức nhiễm Clorua;

- Khi nâng cấp độ bền của bê tông (giảm N/X) từ B22,5 lên B30 và B40, khả năng bảo vệ cốt thép trong nước chiết xi măng tăng lên 1,1 và 2,0 lần. Các quan hệ này phù hợp với nước chiết xi măng nhiễm Clorua ở các mức khác nhau từ 1,2 tới 2,4 kg/m<sup>3</sup>;

- Khả năng bảo vệ cốt thép của nước chiết xi măng đạt mức tương đương nước chiết xi măng N/X=0,53 (bê tông tiêu chuẩn TCVN 9346:2012; B22,5; [Cl<sup>-</sup>]=0,6 kg/m<sup>3</sup>), môi trường khí quyển biển khi: nâng cấp độ bền B từ B22,5 lên B30 (giảm N/X= 0,53 xuống 0,43) đối với bê tông [Cl<sup>-</sup>]=1,2 kg/m<sup>3</sup>; nâng cấp độ bền B từ B22,5 lên B40 (giảm N/X=0,53 xuống 0,34) đối với bê tông [Cl<sup>-</sup>]=1,8 kg/m<sup>3</sup>;

- Khả năng bảo vệ cốt thép của nước chiết xi măng bị giảm mạnh, chỉ còn (81,8÷93,8) %; (57,1÷75,0) % và (42,9÷62,5) % so với nước chiết xi măng tỷ lệ N/X=0,53 (tương ứng với bê tông tiêu chuẩn, clorua 0,6 kg/m<sup>3</sup>) khi nước chiết xi măng nhiễm clorua ở các mức tương ứng 1,2; 1,8 và 2,4 kg/m<sup>3</sup>. Do đó trong phạm vi nghiên cứu có thể thấy rằng nếu chỉ xét đến “sự bảo vệ hóa học tức màng thụ động hình thành từ nước chiết xi măng” mà chưa xét đến “sự bảo vệ vật lý – tức chiều dày lớp bảo vệ và độ chống thấm nước của bê tông” thì màng thụ động sẽ giảm mạnh hiệu quả bảo vệ khi bê tông bị nhiễm clorua cao trên 1,8 kg/m<sup>3</sup> BT.

---

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

---

- [1] Nguyễn Tuấn Anh, Phan Văn Chương và ctv (2023), *Ăn mòn và bảo vệ bê tông cốt thép (tái bản lần thứ 2 có sửa chữa, bổ sung)*, NXB KHTN &CN.
- [2] Nguyễn Huy Dương, Phạm Văn Khoan, Nguyễn Nam Thắng, Trần Nam, Hồ Việt Dự (2003), *Nghiên cứu chế tạo và ứng dụng chất ức chế ăn mòn canxi nitorít cho sản xuất vữa, bê tông chống ăn mòn dùng trong môi trường xâm thực clorua, mã số RD 03.01*.
- [3] 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.
- [4] Trịnh Xuân Xén (2006), *Ăn mòn và bảo vệ kim loại*, NXB Đại học Quốc gia Hà Nội.
- [5] 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, tr. 623-643.
- [6] M.C. Alonso C. Andrade, J.A. Gonzalez (1990), "Corrosion rates of steel in concrete", *ASTM STP 1065*, tr. 29–37.
- [7] Velu Saraswathy Ha-Won Song (2007), "Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures", *Int. J. Electrochem. Sci.* January, Vol. 2, tr. 10.
- [8] 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.
- [9] Moskvin V (1983), *Concrete and reinforced concrete deterioration and protection*, Mir Publishers.