ẢNH HƯỞNG CỦA NỒNG ĐỘ ION CLO, ĐỘ ẨM VÀ CHIỀU DÀY BÊ TÔNG ĐẾN QUÁ TRÌNH ĂN MÒN CỐT THÉP

TS.**HOÀNG THỊ BÍCH THUỶ**, KS. **PHẠM NGỌC HIỆU**
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

1. Giới thiệu

Cốt thép trong "bê tông sạch" có tồn tại lớp màng thụ động trên bề mặt có tác dụng như lớp bảo vệ cho cốt thép. Hiệu quả bảo vệ của lớp bê tông phụ thuộc vào "hàng rào vật lý" và "hàng rào hoá học" của bê tông. Hàng rào vật lý là độ dày và khả năng không thấm nước của lớp bê tông xung quanh cốt thép, ngăn cản sự khuếch tán của các tác nhân ăn mòn như các phân tử CO_2, O_2 và ion Cl^-. Hàng rào hoá học là môi trường kiềm cao của dung dịch lỗ bê tông, thường có giá trị pH = 13, cho phép tạo thành và duy trì màng thụ động bảo vệ trên bề mặt thép. Cốt thép trong bê tông có thể bị ăn mòn khi màng thụ động bị phá vỡ do sự cacbonat hoá bê tông, hoặc do sự xâm nhập của ion clo qua bê tông đến cốt thép. Sự nguy hại do ăn mòn cốt thép trong bê tông không chỉ nằm ở việc giảm tiết diện ngang của thép mà còn ở sự tạo thành các vết nứt trên bề mặt bê tông do sự tích tụ gỉ ở xung quanh cốt thép gây ra. Thể tích của gỉ được tạo ra thường lớn hơn 4 - 7 lần thể tích của thép bị mất đi trong phản ứng ăn mòn, dẫn đến làm xuất hiện dư ứng suất trong bê tông xung quanh cốt thép, gây ra nứt vỡ và bong tróc lớp bê tông [1, 2]. Khi nứt xảy ra, quá trình ăn mòn tăng tốc nhảy vọt vì lúc đó hiệu quả bảo vệ vật lý và hoá học của lớp bê tông không còn nữa.

Khảo sát với các công trình bê tông cốt thép ở môi trường biển Việt Nam cho thấy phần lớn các công trình bị hư hỏng do cốt thép bị ăn mòn sau 10 ÷ 20 năm sử dụng, thậm chí có công trình chỉ sau 3 ÷ 5 năm so với tuổi thọ thiết kế dự kiến là 50 ÷ 60 năm [3]. Để chống ăn mòn cho cốt thép trong bê tông, người ta có thể sử dụng nhiều biện pháp như tăng chiều dày và tăng độ chống thấm cho bê tông (bằng cách sử dụng phụ gia), bảo vệ bằng phương pháp điện hoá, sử dụng các chất ức chế, hoặc tạo các lớp phủ trên bề mặt cốt thép hoặc bê tông. Một số tác giả qua nghiên cứu sự khuếch tán của ion clo từ môi trường biển vào trong bê tông đã đề nghị rằng chiều dày bê tông của công trình biển Việt Nam phải đạt tối thiểu là 40mm đối với công trình đặt ở vùng khí quyển ven biển và 65mm đối với vùng thuỷ triều và vùng nước toé của công trình bê tông biển [4].

Bài báo này góp phần làm sáng tỏ ảnh hưởng của các yếu tố môi trường bê tông như nồng độ ion clo, độ ẩm và chiều dày bê tông đến quá trình ăn mòn thép trong bê tông. Các phương pháp nghiên cứu gồm có phương pháp thế động, phương pháp phân cực tuyến tính kết hợp với quan sát bề mặt mẫu sau thí nghiệm.

2. Phương pháp thực nghiệm

2.1. Chuẩn bị mẫu và dung dịch

** Điện cực*

- Điện cực nghiên cứu dùng trong các phép đo điện hoá được làm từ thép cacbon thường, có diện tích 0,5 cm^2. Bề mặt điện cực được tẩy dầu mỡ, mài bóng và làm sạch trước khi sử dụng.
- Điện cực so sánh là điện cực Ag/AgCl trong dung dịch KCl bão hoà. Điện thế điện cực này so với điện cực hydro tiêu chuẩn là 0,199 V ở 25°C.
- Điện cực đối là điện cực platin.

** Dung dịch*

Trong nghiên cứu sử dụng các dung dịch sau:

- Nước chiết xi măng (NCXM) được pha từ xi măng hoàng thạch PC30 và nước cất với tỷ lệ xi măng/nước = 1:1. Phần nước trong được chiết ra sau khi để cho xi măng thuỷ hoá trong 24 h. Dung dịch nước chiết xi măng có pH ≈ 12,5. Muối NaCl được thêm vào NCXM với nồng độ từ 0 ÷ 3%.
- Nước biển nhân tạo (NBNT) được pha từ các loại muối tinh khiết và nước cất với tổng hàm lượng muối của dung dịch nước biển nhân tạo là 3,5 %.

** Mẫu bê tông cốt thép*

Mẫu bê tông có kích thước 150 x 200 x 300 (mm) với thành phần phối liệu như sau [5]:

Xi măng PC30 400 kg/m^3

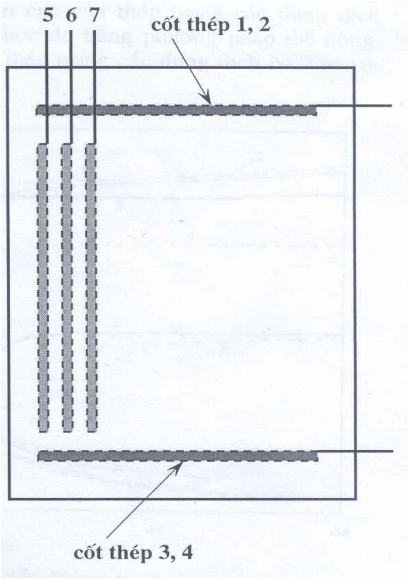
Cát vàng (0 ÷ 4mm) 700 kg/m^3

www.vatlieuxaydung.org.vn

Đá, sỏi (4 ÷ 16mm) 1100 kg/m^3

Nước cất / xi măng 0,45

Để hoạt hoá cho cốt thép và tạo một lượng nhiễm bẩn Cl^- trong bê tông, một lượng muối NaCl với nồng độ [Cl^-] = 0,5% khối lượng xi măng đã được thêm vào mẫu bê tông.



Hình 1. *Mẫu bê tông cốt thép*

Trong khối mẫu bê tông đặt 7 cốt thép: 4 cốt thép đặt ngang (2 cốt cách mặt trên 30mm, 2 cốt cách mặt dưới 30mm), 3 cốt thép đặt dọc theo chiều cao mẫu bê tông có chiều dày bê tông lần lượt là 20mm, 40mm và 60mm. Bốn cốt thép đặt ngang là để xem xét tác động của vùng bê tông ẩm (cốt thép 1, 2) và bê tông ướt (cốt thép 3, 4) tới quá trình ăn mòn. Ba cốt thép đặt dọc theo chiều cao mẫu (cốt thép 5, 6, 7) là để xét ảnh hưởng của chiều dày bê tông tới quá trình ăn mòn (xem hình 1).

Mẫu bê tông cốt thép sau khi đúc 1 ngày được bảo dưỡng 28 ngày trong hơi nước bão hoà. Hết hạn bảo dưỡng, chúng được ngâm vào dung dịch nước biển
nhân tạo (ngập 20mm). Để thúc đẩy quá trình ăn mòn cốt thép, bề mặt các mẫu bê tông được tưới nước biển nhân tạo mỗi ngày một lần trong thời gian thí nghiệm.

2. Thông số đo và phương pháp đo

**** Điện thế ăn mòn và tốc độ ăn mòn***

- Điện thế ăn mòn của cốt thép được đo so với điện cực Ag/ AgCl trong dung dịch KCl bão hoà.
- Tốc độ ăn mòn cốt thép xác định bằng cách đo điện trở phân cực theo PP phân cực tuyến tính.

**** Đường cong phân cực***

Đường cong phân cực của các mẫu thép trong các dung dịch nước chiết xi măng có nồng độ NaCl khác nhau được đo để xem xét ảnh hưởng của ion Cl^- trong việc phá thụ động thép trong môi trường kiềm có pH ≈ 12,5.

Phép đo được thực hiện trên hệ máy đo ăn mòn CMS 100 của Mỹ, được điều khiển bằng máy tính và chương trình đo có bù điện trở rơi.

**** Quan sát bề mặt mẫu***

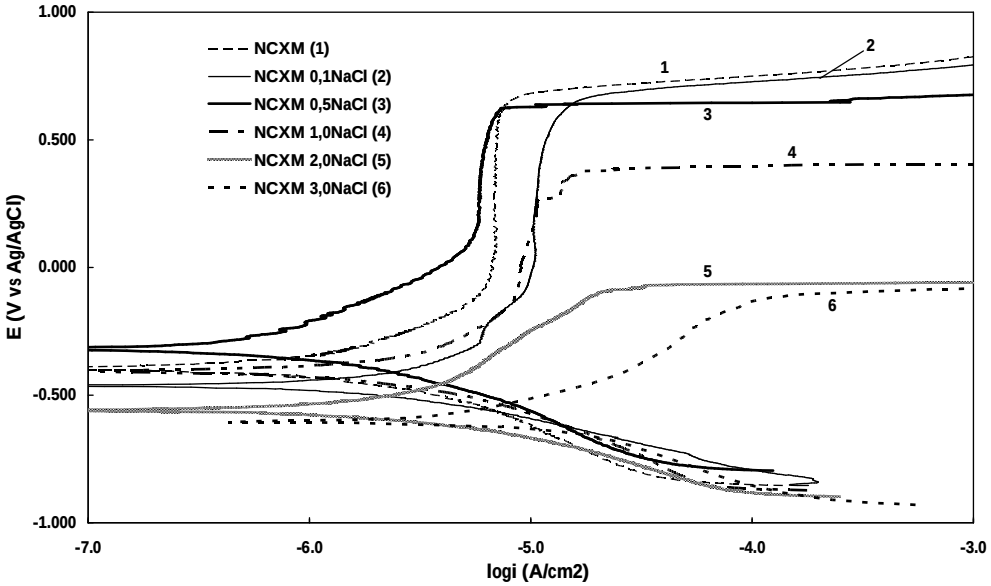
Sau thời gian thí nghiệm (khoảng 8 tháng), mẫu bê tông được phá để quan sát bề mặt các cốt thép, qua đó xem xét ảnh hưởng của các yếu tố nghiên cứu đến bề mặt ăn mòn của cốt thép.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của nồng độ ion Cl^-

Để nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ ion Cl^- đến quá trình ăn mòn thép trong môi trường kiềm của bê tông, đường cong phân cực của thép trong các dung dịch NCXM có nồng độ muối NaCl khác nhau đã được đo bằng phương pháp thế động. Trên hình 2 biểu diễn đường cong phân cực của thép trong các dung dịch NCXM với nồng độ muối NaCl lần lượt từ 0 đến 3%.

www.vatlieuxaydung.org.vn



Hình 2. *Ảnh hưởng của nồng độ muối đến đường cong phân cực của thép trong dung dịch NCXM*

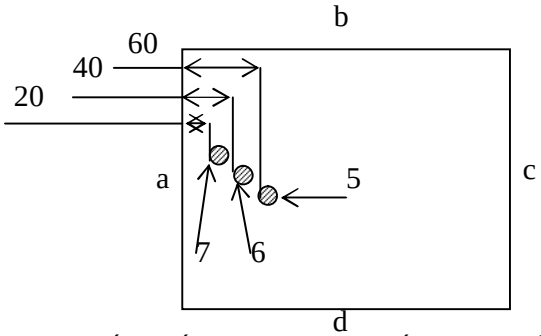
Qua đồ thị nhận thấy trong dung dịch NCXM sạch, đường cong phân cực anốt cho thấy thép bị thụ động với khoảng điện thế thụ động lớn nhất, từ - 0,113V÷ 0,68V (0,793V), dòng thụ động có giá trị 6,3μA/cm^2. Việc thêm NaCl vào dung dịch NCXM có ảnh hưởng đến khoảng điện thế thụ động và dòng thụ động của thép trong dung dịch NCXM. Khi thêm NaCl với nồng độ là 0,1% thì làm giảm khoảng điện thế thụ động nhưng mức độ giảm không nhiều, khi thêm NaCl với nồng độ 0,5% thì làm giảm rõ rệt khoảng điện thế thụ động, còn 0,361V. Nhìn chung, tăng nồng độ NaCl làm giảm dần khoảng điện thế thụ động và tăng dần dòng thụ động. Khi thêm NaCl đến 2% trở lên thì đường cong phân cực anốt của thép cho thấy không còn khoảng thụ động nữa.

Như vậy ion Cl^- có tác dụng làm giảm và mất dần đi vùng thụ động trên đường cong phân cực anốt của mẫu thép, đồng nghĩa với việc làm phá thụ động trên bề mặt thép, sự giảm vùng thụ động bắt đầu rõ rệt khi nồng độ NaCl là 0,5%.

3.2. Ảnh hưởng của chiều dày bê tông

Lớp phủ bê tông xung quanh cốt thép có tác dụng bảo vệ cốt thép khỏi ăn mòn, nó ngăn cản sự xâm nhập của các tác nhân phá thụ động như phân tử CO_2 và ion Cl^- từ môi trường bên ngoài. Tốc độ của quá trình ăn mòn cốt thép trong bê tông bị khống chế bởi tốc độ khuếch tán của chất khử phân cực catôt là oxy qua lớp bê tông đến bề mặt cốt thép. Các yếu tố ảnh hưởng đến ăn mòn cốt thép là độ dày lớp bê tông, độ xốp của bê tông, độ ẩm của bê tông, độ rộng của vùng nứt ,...

Để nghiên cứu ảnh hưởng của chiều dày lớp bê tông đến quá trình ăn mòn cốt thép ta phải giữ nguyên các yếu tố khác của lớp bê tông sao cho chúng không ảnh hưởng đến quá trình nghiên cứu. Thí nghiệm được thực hiện trên ba cốt thép được bố trí như trên hình 3.



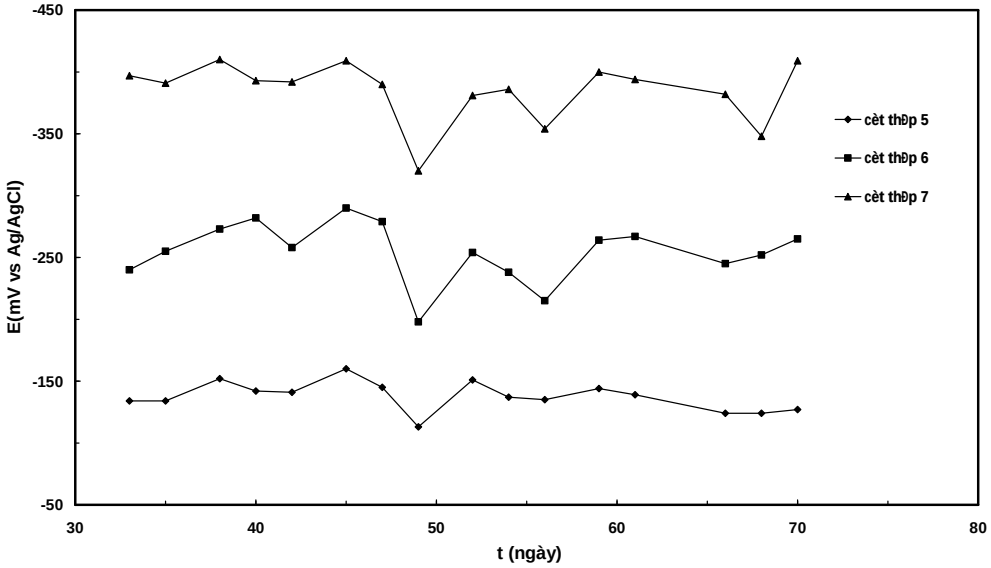
Hình 3. *Bố trí cốt thép theo mặt cắt ngang mẫu bê tông*

Việc bố trí các cốt thép (5, 6, 7) như hình 3 nhằm đảm bảo độ dày của lớp bê tông từ các mặt b, c, d đến cốt thép là lớn để chúng không ảnh hưởng đến quá trình nghiên cứu, và chúng tôi chỉ nghiên cứu ảnh hưởng của chiều dày lớp bê tông từ mặt a đến các cốt thép. Các yếu tố khác như độ xốp, độ

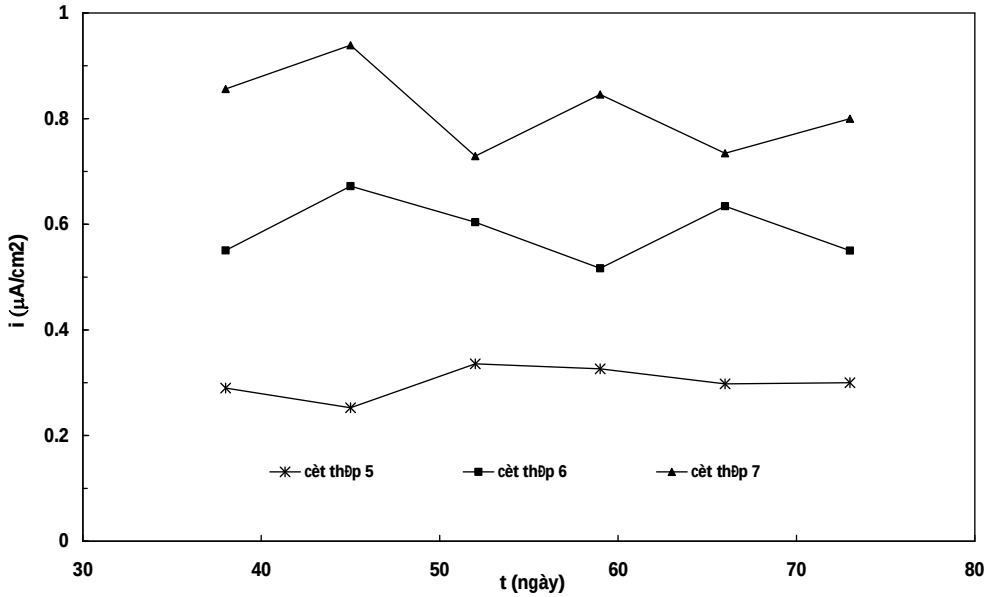
www.vatlieuxaydung.org.vn

ẩm của bê tông được coi như là giống nhau đối với các cốt thép nghiên cứu. Trong nghiên cứu, chúng tôi đã gia tốc quá trình ăn mòn cốt thép bằng cách trộn thêm một lượng ion clo vào trong bê tông và sau đó tưới nước biển nhân tạo lên bề mặt mẫu bê tông trong thời gian thí nghiệm như đã mô tả ở phần 2.

Điện thế ăn mòn và dòng ăn mòn của các cốt thép được đo theo thời gian. Trên hình 4 biểu diễn sự biến thiên điện thế ăn mòn của các cốt thép theo thời gian. Qua đồ thị ta thấy điện thế của các cốt thép 5, 6, 7 có độ ổn định tốt theo thời gian, giá trị nằm trong khoảng -113 ÷ -415mV (so với điện cực Ag/AgCl). Tuy nhiên điện thế ăn mòn của các cốt thép có sự khác nhau rõ rệt về giá trị, mức độ chênh lệch điện thế giữa các cốt thép là khoảng 100mV. Theo chiều dày tăng dần của lớp bê tông, điện thế của các cốt thép chuyển về phía dương hơn. Cốt thép số 7 nằm gần bề mặt lớp bê tông nhất có điện thế ăn mòn âm nhất, từ -320 ÷ - 415 mV. Điện thế ăn mòn của cốt thép số 5 tương ứng với chiều dày bê tông đến bề mặt cốt thép là lớn nhất thì có giá trị dương nhất, dao động xung quanh giá trị trung bình -140 mV. Dòng ăn mòn của các cốt thép được xác định bằng phương pháp đo điện trở phân cực, được biểu diễn trên hình 5.



Hình 4. *Sự biến thiên điện thế ăn mòn của các cốt thép 5, 6, 7 theo thời gian*

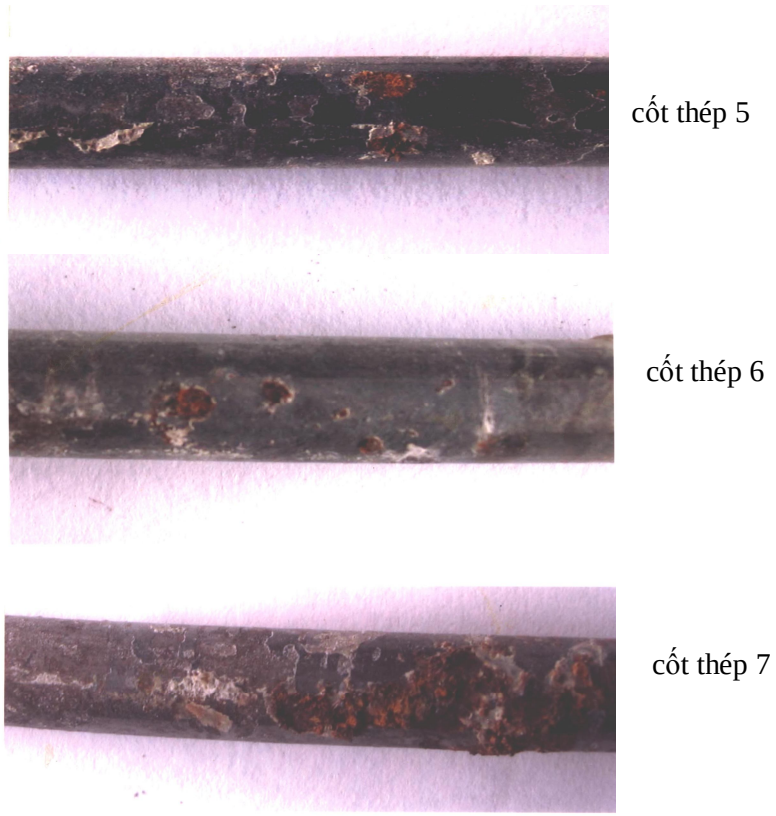


Hình 5. *Sự biến thiên dòng ăn mòn của các cốt thép 5, 6, 7 theo thời gian*

www.vatlieuxaydung.org.vn

Ta thấy dòng ăn mòn của các cốt thép là ổn định theo thời gian, điều này chứng tỏ các yếu tố của môi trường bê tông ảnh hưởng đến tốc độ ăn mòn cốt thép là ít thay đổi. Tốc độ ăn mòn cốt thép thay đổi theo chiều dày lớp bê tông. Cốt thép số 7 ở sát ngoài cùng có dòng ăn mòn trung bình khoảng 0,8μA/cm^2, tương đương tốc độ ăn mòn khoảng 8μm/năm. Cốt thép số 5 có dòng ăn mòn bé nhất, chỉ tương ứng khoảng 3μm/năm. Như vậy tốc độ ăn mòn cốt thép giảm khi chiều dày lớp phủ bê tông tăng hay nói cách khác độ dày của lớp bê tông đã có tác dụng ngăn cản quá trình ăn mòn cốt thép. Ảnh hưởng của độ dày lớp phủ bê tông đến tốc độ ăn mòn cốt thép có thể được giải thích như sau: Khi quá trình ăn mòn xảy ra thì tốc độ của quá trình bị khống chế bởi tốc độ khuếch tán của chất khử phân cực catốt là phân tử oxy đến bề mặt cốt thép. Lớp phủ bê tông càng dày thì sự khuếch tán ôxy đến bề mặt cốt thép càng khó khăn, do đó với cốt thép 7 có chiều dày bê tông nhỏ nhất thì ôxy khuếch tán đến nó dễ dàng nhất, nên có tốc độ ăn mòn lớn nhất.

Mức độ ăn mòn của các cốt thép cũng được quan sát qua ảnh chụp bề mặt cốt thép sau khi phá mẫu đã chứng tỏ các nhận xét trên là đúng. Trên hình 6 là các ảnh chụp bề mặt cốt thép sau 8 tháng thử nghiệm, cho thấy vùng ăn mòn của cốt thép số 7 lớn hơn và sâu hơn vùng ăn mòn của các cốt thép số 5, 6.

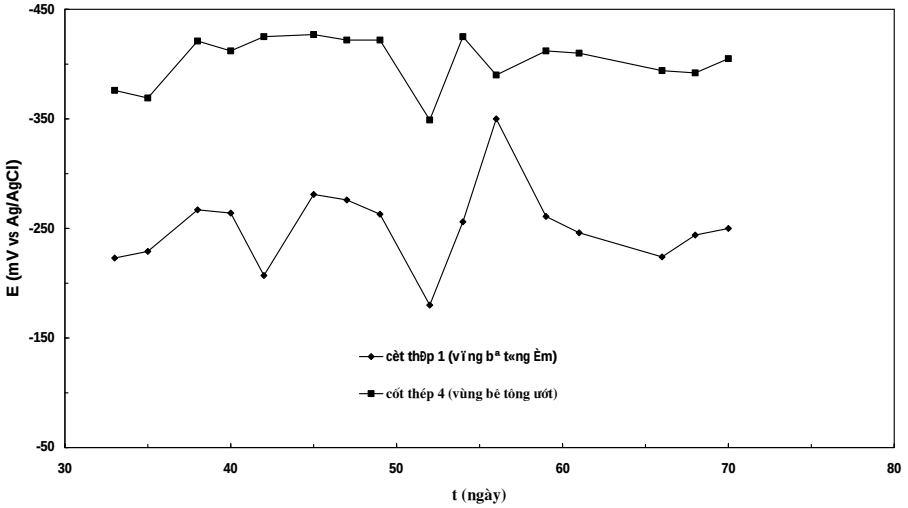


Hình 6. *Bề mặt các cốt thép 5, 6 và 7 sau khi phá mẫu bê tông*

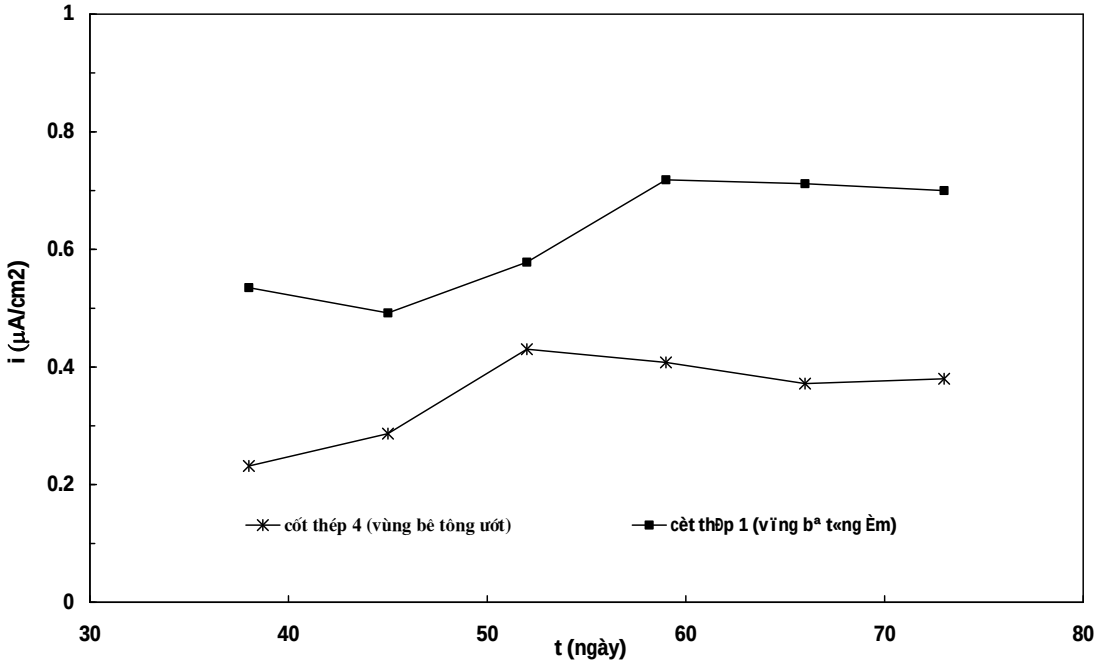
3.3. Ảnh hưởng của độ ẩm bê tông

Trên hình 7 và hình 8 cho thấy ảnh hưởng của độ ẩm bê tông đến sự biến thiên điện thế ăn mòn và dòng ăn mòn của các cốt thép theo thời gian.

www.vatlieuxaydung.org.vn



Hình 7. *Ảnh hưởng của độ ẩm đến điện thế cốt thép*



Hình 8. *Ảnh hưởng của độ ẩm đến dòng ăn mòn cốt thép*

Ta thấy điện thế ăn mòn của các cốt thép khá ổn định theo thời gian, nhưng điện thế cốt thép trong vùng bê tông ướt có độ ổn định tốt hơn. Giá trị của điện thế ăn mòn là -200 ÷ -350 mV (so với điện cực Ag/AgCl) đối với cốt thép trong vùng bê tông ẩm, và là -350 ÷ -450 mV đối với cốt thép trong vùng bê tông ướt. Tốc độ ăn mòn của cốt thép trong vùng bê tông ẩm lớn hơn tốc độ ăn mòn của cốt thép trong vùng bê tông ướt.

Như vậy, cốt thép trong vùng bê tông ẩm có điện thế ăn mòn dương hơn và tốc độ ăn mòn lớn hơn cốt thép trong vùng bê tông ướt. Điều này có thể là do đối với vùng bê tông ướt thì các lỗ mao quản bị điền đầy dung dịch do đó ôxy khuếch tán đến bề mặt cốt thép 4 là khó khăn hơn so với cốt thép 1 nằm trong vùng ẩm.

Quan sát bề mặt cốt thép 1 và 4 sau khi phá mẫu cho thấy: sản phẩm ăn mòn của cốt thép 1 có màu nâu đỏ, còn của cốt thép 4 có màu đen (xem hình 9). Nghĩa là thành phần chính của sản phẩm ăn mòn trên cốt thép 1 là Fe_3O_4 ($FeO.Fe_2O_3$), còn thành phần chính của sản phẩm ăn mòn trên cốt thép 4 là FeO. Sự khác nhau này là do ở vùng bê tông ẩm oxy khuếch tán đến bề mặt cốt thép dễ dàng hơn nên sản phẩm ăn mòn ban đầu là FeO bị oxy hoá thành Fe_2O_3:

$$2FeO.H_2O + 1/2O_2 + H_2O \rightarrow Fe_2O_3.3H_2O$$

đen nâu đỏ

www.vatlieuxaydung.org.vn

Hình 9. *Bề mặt cốt thép trong vùng bê tông ẩm và ướt sau khi phá mẫu*

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu giúp chúng ta đưa ra được một số kết luận sau:

- Sự có mặt của ion Cl^- trong môi trường kiềm cao của bê tông gây phá thụ động thép. Khi tăng nồng độ ion Cl^- trong dung dịch thì vùng thụ động trên đường cong phân cực anốt của thép giảm, và dòng thụ động tăng, sự phá thụ động thép bắt đầu rõ rệt khi nồng độ ion Cl^- tương ứng với 0,5% NaCl.
- Chiều dày lớp bê tông và độ ẩm của bê tông có ảnh hưởng đến ăn mòn cốt thép. Khi tăng chiều dày lớp bê tông thì điện thế ăn mòn của các cốt thép dịch chuyển về phía dương hơn và dòng ăn mòn của các cốt thép giảm. Lớp bê tông có tác dụng ngăn cản quá trình ăn mòn cốt thép nhờ ngăn cản sự khuếch tán oxy đến bề mặt cốt thép.
- Cốt thép nằm trong vùng bê tông ẩm bị ăn mòn mạnh hơn cốt thép nằm trong vùng bê tông ướt.

Lời cảm ơn:

Các tác giả chân thành cảm ơn sự tài trợ của Dự án hợp tác đại học VLIR (VLIR UOS) thông qua đề tài AP06\Prj3\Nr08.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. J. P. Broomfield. Corrosion of steel in concrete - Understanding, investigation and repair. *E & FN Spon, 1997*.
2. L. Zimmermann, B. Elsener, H. Bohni. Critical factors for the initiation of rebar corrosion. *Proc. Eurocorr '99, 1999.*
3. CAO DUY TIẾN, LÊ QUANG HÙNG, PHẠM VĂN KHOAN, NGUYỄN THỊ NGHIÊM. Ứng dụng hoá học trong công tác khảo sát và sửa chữa hư hỏng do ăn mòn các kết cấu bê tông cốt thép vùng ven biển Việt nam. *Hội thảo Hoá học trong xây dựng, Hà nội 11-1998, p. 133*.
4. Cao Duy Tien, Le Quang Hung, Nguyen Thi Nghiem, Vu Thi Nhung. Determination of thickness of concrete cover for durable reinforced concrete structure in marine environment of Vietnam. *Proc. ICCMC/IBST 2001 International Conference on Advanced Technology in Design, Construction and Maintenance of Concrete Structures, Hanoi, March 2001, p. 451*.
5. Hoang Thi Bich Thuy, Rob B. Polder. Cathodic protection of steel in concrete in marine environment - State of the art and proposal for experiments. *TNO report No. 1999-BT-MK-R0263, 1999*.

www.vatlieuxaydung.org.vn