

PHÂN TÍCH QUÁ TRÌNH THÉP BỊ ĂN MÒN TRONG BÊ TÔNG VÀ CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN ĂN MÒN

ANALYSIS OF THE CORROSION OF STEEL IN CONCRETE AND FACTORS AFFECTING CORROSION

Lê Hoài Bảo, Lương Phước Thuận

Tóm tắt:

Ăn mòn cốt thép là một hiện tượng phổ biến trong kết cấu bê tông cốt thép, quá trình thủy hóa bê tông làm cho bê tông tăng cường độ nhưng đồng thời cũng làm giảm độ pH có trong bê tông, điều này làm cho cốt thép bị mất tính chống rỉ thụ động. Với sự xâm nhập của các tác nhân có hại như ion clorua và cacbon đioxit, sau một thời gian chúng sẽ tác động trực tiếp vào đến cốt thép và gây ăn mòn. Bài báo này tập trung trình bày cơ chế hình thành lớp rỉ sét của thép trong bê tông. Bên cạnh đó bài báo đưa ra một số nguyên nhân dẫn đến sự xâm nhập của cacbonat và clorua vào trong bê tông, từ đó người kỹ sư xây dựng có thể ngăn chặn hiện tượng ăn mòn thép trong bê tông.

Từ khóa: Ăn mòn, Kết cấu bê tông cốt thép, Controlling corrosion.

Abstract:

Corrosion of reinforcement is a common phenomenon in reinforced concrete structures, the process of concrete hydration makes the concrete increase in strength but at the same time reduces the pH in the concrete, which makes the reinforcement loss of passive rust resistance. With the penetration of harmful agents such as chloride ions and carbon dioxide, after a while they will directly affect the reinforcement and cause corrosion. This paper focuses on presenting the mechanism of steel rust formation in concrete, and the issues that need to be taken to limit the occurrence of steel corrosion are also discussed. In addition, the paper gives some causes leading to the penetration of carbonate and chloride into concrete, from which the construction engineer can prevent steel corrosion in concrete.

Keywords: Corrosion, Reinforced concrete structures, Kiểm soát ăn mòn.

1. Giới thiệu

Trong kết cấu bê tông cốt thép, cốt thép có khả năng chống ăn mòn cao do nằm trong bê tông. Hồ xi măng trong bê tông cung cấp môi trường kiềm bảo vệ thép khỏi bị ăn mòn, tốc độ ăn mòn của thép ở trạng thái này là không đáng kể. Tuy nhiên, màng bảo vệ cốt thép (màng thụ động) không phải là bất khả xâm phạm. Nó có thể bị hư hỏng cả về mặt hóa học và cơ học. Ăn mòn được định nghĩa là sự xuống cấp của vật liệu thông qua phản ứng hóa học hoặc điện hóa với môi trường. Đối với cốt thép trong bê tông, thép sẽ phản ứng với clorua và oxy trong bê tông hoặc môi trường. Ăn mòn kim loại là một quá trình đưa kim loại trở lại dạng tự nhiên. Thép chủ yếu được làm bằng sắt, oxit sắt là trạng thái tự nhiên của sắt vì ở dạng này nó ổn định hơn về mặt nhiệt động lực học. Độ bền của kết cấu bê tông cốt thép sẽ bị hạn chế do sự xuất hiện của cốt thép sự ăn mòn.

Cốt thép dễ bị ăn mòn khi tiếp xúc với môi trường có độ ẩm không khí, nhiệt độ, hàm lượng

ThS. Lê Hoài Bảo

ThS. Lương Phước Thuận

Khoa Xây dựng - Trường ĐHXD Miền Tây

Email: lehoaiobao@mtu.edu.vn

ĐT: 0815 897 531

Ngày nhận bài: 04/3/2022

Ngày gửi phản biện: 08/3/2022

Ngày chấp nhận đăng: 14/3/2022

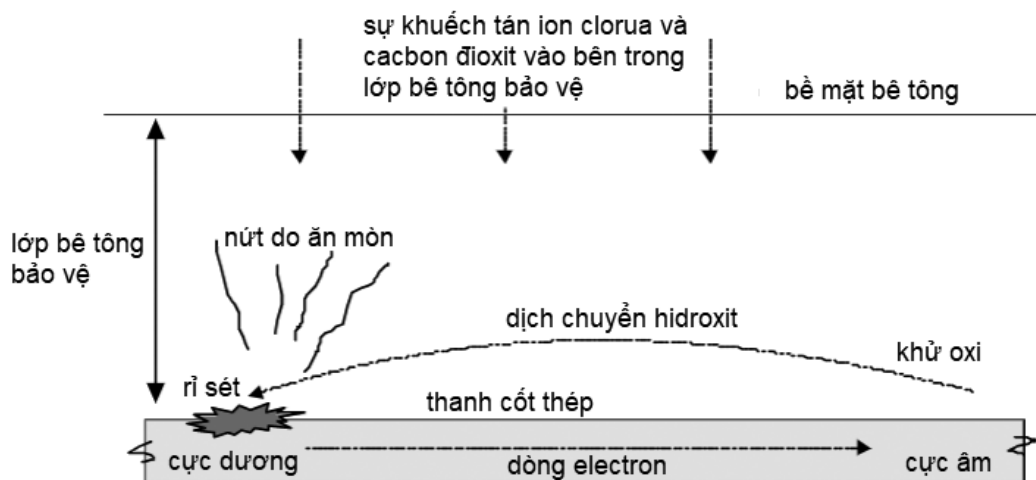
CO₂ cao, môi trường biển hoặc bê tông tiếp xúc với Cl₂. Việc bảo vệ kết cấu bê tông cốt thép khỏi ảnh hưởng của môi trường và việc duy trì tuổi thọ hoạt động của kết cấu là một trong những vấn đề quan trọng. Khi thép bị ăn mòn, có sự sụt giảm diện tích mặt cắt ngang, các sản phẩm ăn mòn chiếm khối lượng lớn hơn so với thép ban đầu gây ra lực kéo đáng kể lên bê tông xung quanh và làm cho bê tông bị nứt và bong ra. Điều này gây nứt, bong tróc và ố màu bê tông, và do đó làm giảm khả năng chịu lực của kết cấu bê tông [1]. Hiểu được sự ăn mòn là một bước rất quan trọng để có được các giải pháp kỹ thuật để tránh hiện tượng này, cũng như có được các phương pháp tốt nhất để bảo vệ và sửa chữa các kết cấu bê tông cốt thép khi bị ăn mòn.

2. Cơ chế thép bị ăn mòn trong bê tông

Ăn mòn thép trong bê tông là một hiện tượng phức tạp nhưng về cơ bản đây là một phản ứng điện hóa tương tự như phản ứng của một tấm pin đơn giản. Hiện tượng cốt thép trong bê tông bị ăn

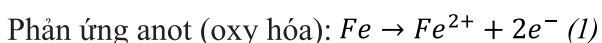
mòn chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố bên trong và bên ngoài, chúng bao gồm độ pH của dung dịch bê tông, nhiệt độ, ứng suất bên trong, dòng điện rò và điện thế điện phân. Cốt thép trong bê tông ban đầu được thụ động hóa bởi một lớp oxit sắt bảo vệ hình thành trong điều kiện kiềm bình thường (pH từ 12,5 đến 13,5). Lớp oxit sắt có thể bị phá vỡ khi có đủ các ion clorua hoặc do độ pH của bê tông giảm xuống dưới 10,5 do quá trình cacbonat hóa hoặc axit hóa [2]. Một khi cốt thép bị mất tính thụ động hóa, thép có thể bị ăn mòn với điều kiện có sẵn oxy và độ ẩm như được thể hiện trong sơ đồ trong Hình 1.

Các ion clorua và cacbon đioxit hoạt động như chất xúc tác trong quá trình phá vỡ lớp oxit sắt thụ động dọc theo bề mặt cốt thép. Một khi thép bị mất tính thụ động hoá chống rỉ, tốc độ ăn mòn và hư hỏng sau đó sẽ phụ thuộc vào các tác động vi mô như sự sẵn có của oxy, độ ẩm và các tác động vĩ mô như hình dạng kết cấu và điều kiện môi trường.



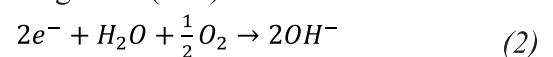
Hình 1. Quá trình ăn mòn cốt thép trong bê tông [3].

Một khi lớp thụ động trên cốt thép bị phá vỡ và sự ăn mòn bắt đầu xảy ra, các phản ứng hóa học diễn ra bởi sự xâm nhập của clorua hay bởi quá trình cacbonat hóa. Thép tan thành dung dịch và các electron được tích lũy ở anot theo phương trình sau:



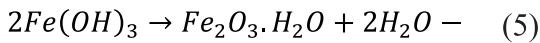
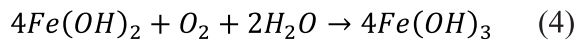
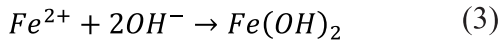
Các electron dư thừa được sử dụng hết ở catot, nơi nước và oxy bị khử thành các ion hydroxit

Phản ứng catot (khử):



Hai phản ứng này làm cho quá trình ăn mòn điện hóa tiếp tục. Một số giai đoạn oxy hóa khác xảy ra tạo thành các sản phẩm ăn mòn hoặc rỉ sét có khả năng gây nứt và bong lớp bê tông xung

quanh. Các giai đoạn oxy hóa có thể được mô tả như sau:



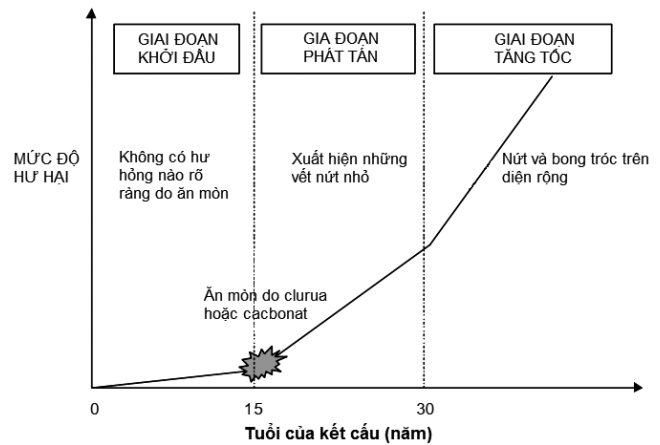
Sắt (III) oxit ngậm nước (gỉ)

Sản phẩm của quá trình ăn mòn hình thành ở thép phụ thuộc vào điều kiện môi trường gồm hai loại sau:

- Gỉ đỏ hoặc nâu hình thành dưới nồng độ oxy cao, gỉ sét loại này tương đối mềm và dễ đánh bật ra khỏi cốt thép.

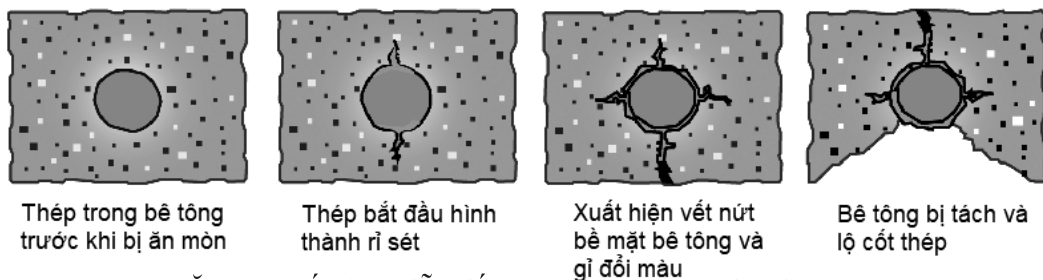
- Gỉ đen hình thành trong điều kiện nồng độ oxy thấp, tạo thành một lớp gỉ tương đối dày đặc, cứng và khó có thể loại bỏ.

Hậu quả chính của sự ăn mòn cốt thép thường là hiện tượng nứt và bong tróc của bê tông do sự giãn nở của sản phẩm ăn mòn. Khả năng sử dụng của kết cấu bê tông cốt thép không còn như ban đầu khi bị ăn mòn. Có thể mô tả quá trình hư hỏng kết cấu bằng ba giai đoạn được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Ba giai đoạn quá trình hư hại bê tông khi cốt thép bị ăn mòn [2].

Các sản phẩm ăn mòn này gây ra sự gia tăng khối lượng dẫn đến sự phát triển của ứng suất bên trong bề mặt bê tông cốt thép. Ứng suất này làm phát triển các vết nứt bên trong lớp bê tông bảo vệ dẫn đến vỡ cục bộ và bong tróc lớp bê tông (Hình 3).



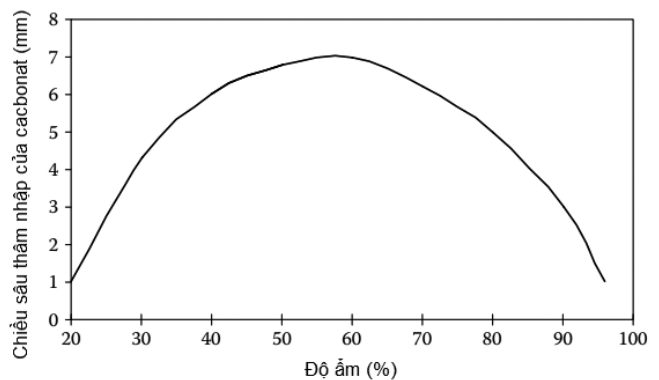
Hình 3. Ăn mòn cốt thép dẫn đến nứt và bong tróc lớp bê tông [4].

3. Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình ăn mòn thép trong kết cấu bê tông cốt thép

3.1. Ăn mòn do quá trình cacbonat hóa

3.1.1. Ảnh hưởng của điều kiện môi trường

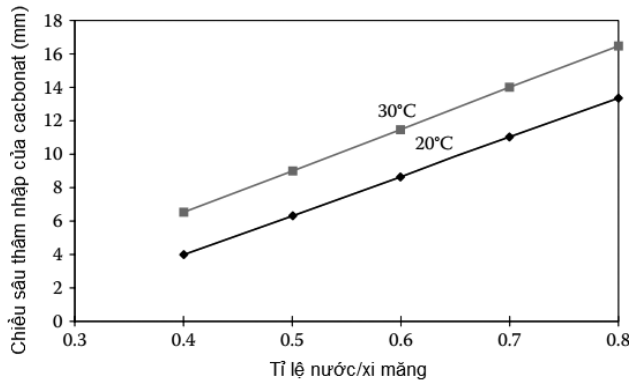
Quá trình biến đổi cacbonat bị ảnh hưởng rất nhiều bởi độ ẩm trong bê tông, điều này được thể hiện trong Hình 4. Khi độ ẩm ở mức cao, các lỗ rỗng bê tông sẽ chứa đầy nước và CO_2 sẽ khó phát tán bên trong bê tông. Ngược lại, trong trường hợp độ ẩm quá thấp, phản ứng cacbonat hóa sẽ khó khăn và quá trình chuyển hóa cacbonat hóa diễn ra chậm. Với độ ẩm tương đối thường từ 40% đến 60% là vùng xảy ra quá trình cacbonat hóa nhanh chóng [5].



Hình 4. Ảnh hưởng của độ ẩm tương đối đến độ sâu cacbonat hóa với nước/xi măng = 0,6 [5].

Một trong những yếu tố thời tiết ảnh hưởng

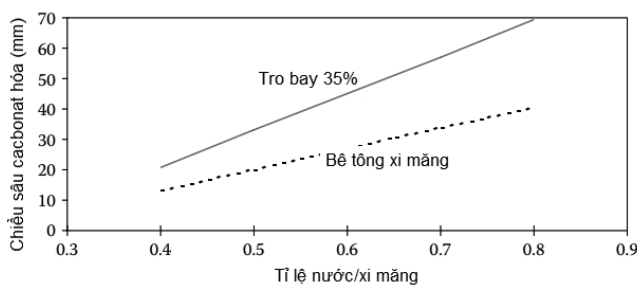
đến quá trình cacbonat hóa là nhiệt độ. Khi nhiệt độ tăng, tốc độ cacbonat hóa cũng tăng lên. Hình 5 cho thấy khi tăng nhiệt độ từ 20 °C lên 30 °C, quá trình cacbonat hóa tăng lên 50% –100% với các tỷ lệ nước/xi măng (w/c) khác nhau. Lưu ý trong hình này rằng tỷ lệ w/c cao hơn sẽ dẫn đến tăng độ sâu cacbonat hóa [6].



Hình 5. Ảnh hưởng của nhiệt độ và tỷ lệ w/c đến độ sâu cacbonat hóa sau 15 tháng [6]

3.1.2. Thành phần của hỗn hợp bê tông

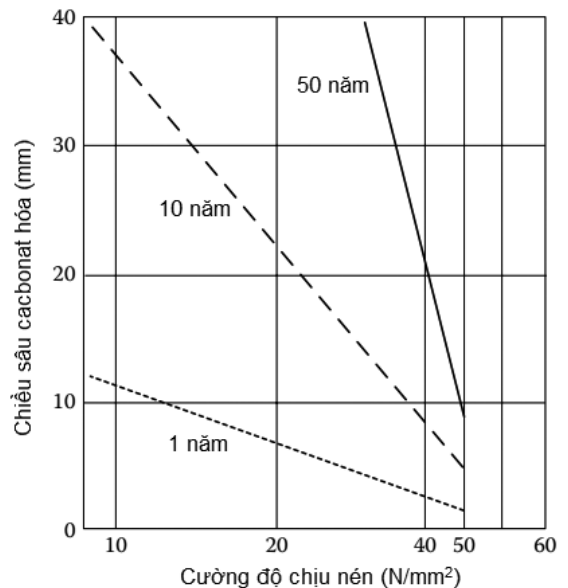
Yếu tố thời tiết khó có thể kiểm soát trong các cấu kiện bê tông cốt thép ngoài thực tế, tuy nhiên thành phần bê tông có thể thay đổi. Với sự gia tăng tỷ lệ w/c, chiều sâu của quá trình cacbonat hóa tăng lên. Mặt khác, tác động của việc sử dụng xỉ (tro bay) là rõ ràng đến quá trình cacbonat hóa. Theo Hình 6 cho thấy, khi sử dụng tro bay, độ sâu của quá trình cacbonat hóa cao hơn so với khi sử dụng xi măng poóc lăng thông thường [7].



Hình 6. Mối liên hệ giữa tỷ lệ w/c và độ sâu cacbonat hóa sau 100 tháng [7].

Trong nghiên cứu của Hobbs's [8], với cường độ nén bê tông ngày càng tăng thì độ sâu cacbonat hóa sẽ giảm xuống. Hình 7 cho thấy ảnh hưởng của độ sâu chuyển hóa cacbon theo cường độ nén của bê tông đối với các độ tuổi khác nhau từ 1, 10 và 50 năm. Với sự gia tăng tuổi thọ của một tòa nhà,

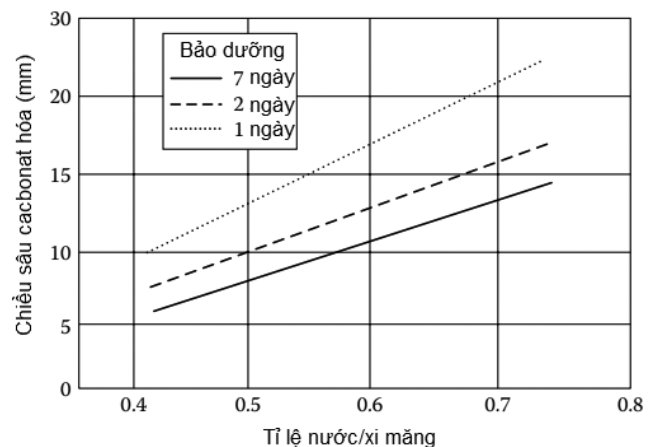
độ sâu của quá trình biến đổi cacbonat sẽ tăng lên. Thử nghiệm này được thực hiện bởi Smolczyk [9].



Hình 7. Ảnh hưởng của cường độ nén bê tông đến độ sâu cacbonat hóa ở các tuổi khác nhau [8][9].

3.1.3. Bảo dưỡng bê tông

Ảnh hưởng của thời gian bảo dưỡng và tỷ lệ w/c đến quá trình cacbonat hóa cũng được làm rõ trong Hình 8. Hình này phản ánh một công trình thành phố ven biển thuộc vùng khô, ẩm ở Biển Địa Trung Hải, nơi nhiệt độ là 30 °C và độ ẩm tương đối là 40% sau 5 năm. Thời gian bảo dưỡng ngắn làm tăng độ sâu của quá trình cacbonat hóa, bên cạnh đó còn làm giảm cường độ của bê tông.

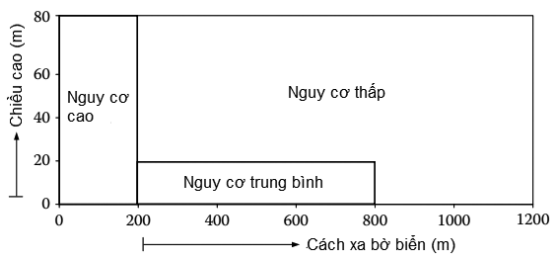


Hình 8. Ảnh hưởng của tỷ lệ w/c và thời gian bảo dưỡng đến độ sâu cacbonat hóa [7].

3.2. Ăn mòn do ion clorua

3.2.1. Yếu tố thời tiết

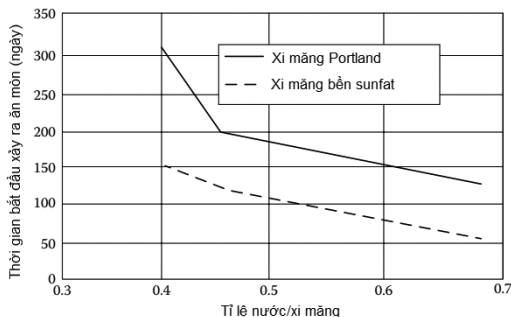
Ở những nơi gần biển, các công trình ngoài khơi, clorua có thể xâm nhập vào bê tông. Một ví dụ điển hình là một tòa nhà được xây dựng gần bờ biển ở một thành phố ven biển được thể hiện trong Hình 9 cho thấy mức độ đe dọa nghiêm trọng đối với một công trình theo vị trí của nó về khoảng cách với bờ biển và cả về độ cao. Công trình càng gần biển và ở cao độ thấp mức độ ăn mòn kết cấu xảy ra càng mạnh, trong khi đó với vị trí công trình cách xa bờ khoảng 800m và cao trên 20m, nguy cơ ăn mòn trở nên thấp đi.



Hình 9. *Rủi ro ăn mòn kết cấu dựa trên độ cao công trình và khoảng cách từ bờ biển [7].*

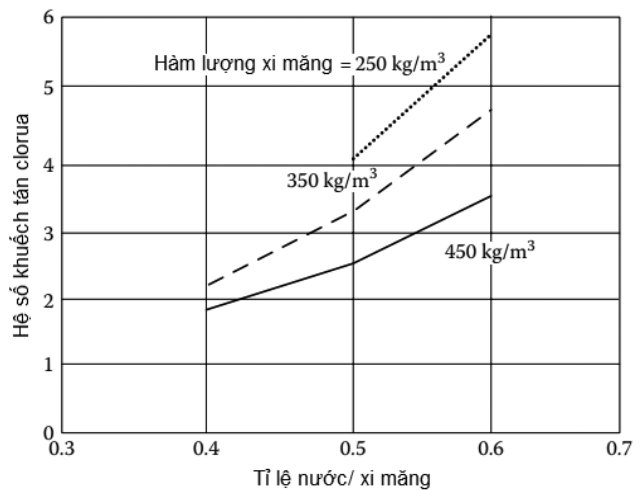
3.2.2. Thành phần của bê tông

Khi nghiên cứu tác động của clorua đến sự ăn mòn của cốt thép, các yếu tố chính bị ảnh hưởng sẽ là tỷ lệ w/c và hàm lượng xi măng. Hình 10 cho thấy mối quan hệ của tỷ lệ w/c, cũng như các thành phần của xi măng, với thời gian bắt đầu xảy ra hiện tượng ăn mòn. Rasheduzzafar và cộng sự [10] đã tiến hành các thí nghiệm trong đó các mẫu bê tông ngập một phần trong dung dịch natri clorua 5%. Từ hình này có thể thấy rằng, với sự gia tăng tỷ lệ w/c, thời gian bắt đầu ăn mòn sẽ giảm xuống. Ngoài ra, việc sử dụng xi măng bền sunfat làm giảm thời gian bắt đầu ăn mòn.



Hình 10. *Mối quan hệ giữa thời gian bắt đầu ăn mòn và tỷ lệ w/c đối với các loại xi măng khác nhau [10].*

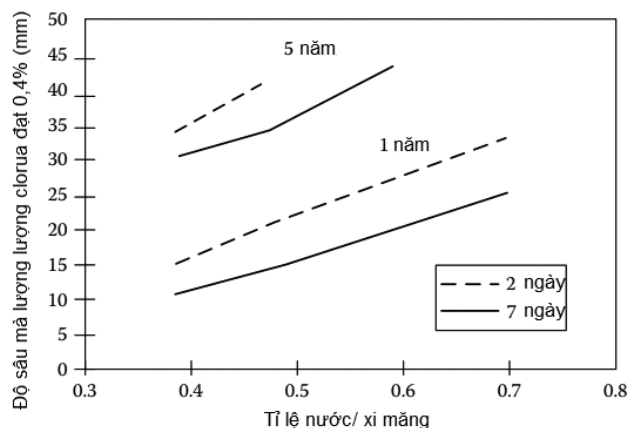
Với sự gia tăng hàm lượng xi măng, hệ số khuếch tán clorua được giảm ở cùng một tỷ lệ w/c, như thể hiện trong Hình 11. Khi tỷ lệ w/c bằng 0,4 thì ảnh hưởng của việc tăng hàm lượng xi măng trong hỗn hợp bê tông đến hệ số khuếch tán sẽ giảm. Do đó, hàm lượng xi măng và tỷ lệ w/c là những yếu tố chính kiểm soát mức độ sự lan truyền clorua bên trong bê tông [11].



Hình 11. *Ảnh hưởng của w/c và hàm lượng xi măng đến hệ số lan truyền clorua trong bê tông khi tiếp xúc với nước biển [11].*

3.2.3. Ảnh hưởng của thời gian bảo dưỡng

Tương tự như trường hợp quá trình cacbonat hóa, việc bảo dưỡng thích hợp có tác động đáng kể đến sự lan truyền của clorua trong bê tông, đặc biệt là trong trường hợp kết cấu tiếp xúc với môi trường biển và không khí ẩm áp. Mối quan hệ của độ sâu của bê tông chứa 0,4% clorua trong khoảng 1-5 năm và tỷ lệ w/c được trình bày trong Hình 12 [6]. Trong mọi trường hợp, độ sâu clorua trong quá trình bảo dưỡng được thực hiện trong 7 ngày ít hơn so với 2 ngày; do đó, quá trình bảo dưỡng có ảnh hưởng trực tiếp đến độ sâu của sự xâm nhập clorua trong bê tông. Cũng lưu ý rằng trong năm đầu tiên, tác động của việc bảo dưỡng đến độ sâu lan truyền của clorua cao hơn so với bê tông ở khoảng thời gian 5 năm.



Hình 12. Ảnh hưởng của thời gian bảo dưỡng và tỷ lệ w/c tới độ sâu mà hàm lượng clorua đạt 0,4% trọng lượng xi măng khi thời tiết ẩm áp [6].

Tài liệu tham khảo

- [1]. ACI Committee 222, "Corrosion of Metals in Concrete." ACI 222R-96, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, p. 29, 1996.
- [2]. J. R. Mackechnie and M. G. Alexander, "Repair principles for corrosion-damaged reinforced concrete structures." Department of Civil Engineering, University of Cape Town, 2001.
- [3]. J. R. Mackechnie, "Predictions of reinforced concrete durability in the marine environment," *Research Monograph 1*. University of Cape Town, Department of Civil Engineering: Cape Town, South Africa, 2001.
- [4]. I. . Ahmed, T. . Manzur, I. H. . Efaz, and T. Mahmood, "Experimental Study on Bond Performance of Epoxy Coated Bars and Uncoated Deformed Bars in Concrete." Bangladesh University of Engineering & Technology: Dhaka, Bangladesh, 2017.
- [5]. H. J. Wierig, "Longtime studies on the carbonation of concrete under normal outdoor exposure," in *In Proceedings of the RILEM Seminar on Durability of Concrete Structures under Normal Exposure*, 1984, pp. 239 - 253.
- [6]. C. Jaegermann and D. Carmel, "Factors affecting the penetration of chlorides and depth of carbonation." Final research report, Haifa, Israel: Building Research Station, Technion-Israel Institute of Technology, 1991.
- [7]. M. El-Reedy, *Steel-reinforced concrete structures: assessment and repair of corrosion*, Second edi. CRC Press, 2017.
- [8]. D. W. Hobbs, "Carbonation of concrete containing PFA," *Mag. Concr. Res.*, vol. 46, no. 166, pp. 35 - 38, 1994.
- [9]. H. G. Smolczyk, "Carbonation of concrete - Written discussion," in *In Proceedings of the Fifth International Symposium on Chemistry of Cement*, 1968, pp. 369 - 380.
- [10]. F. D. Rasheduzzafar, S. S. Al-Saadoun, A. S. Al-Gathani, and F. H. Dokhil, "Effect of tricalcium aluminate content on corrosion of reinforced steel in concrete," *Cem. Concr. Res.*, vol. 20, no. 5, pp. 723-738, 1990.
- [11]. D. J. Pollock, "Concrete durability tests using the gulf environment," in *In Proceedings of the First International Conference on Deterioration and Repair of Reinforced Concrete in the Arabian Gulf*, 1985, pp. 427 - 441.

4. Kết luận

Ăn mòn cốt thép là một vấn đề lớn ảnh hưởng đến hiệu suất lâu dài của kết cấu bê tông cốt thép. Nó thường xảy ra do sự tấn công của các tác nhân xâm thực như ion clorua và quá trình cacbonat hóa. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến ăn mòn cốt thép trong bê tông, chẳng hạn như đặc tính bê tông, thời gian tiếp xúc, bề mặt thép, môi trường xung quanh và việc sử dụng các vật liệu bổ sung xi măng. Để bảo vệ kết cấu khỏi bị ăn mòn cốt thép, tùy vào điều kiện thời tiết và môi trường, cần nghiên cứu thêm những giải pháp để hạn chế ăn mòn, đặc biệt cần quan tâm lựa chọn chiều dày lớp bê tông bảo vệ, tỉ lệ nước/xi măng, hàm lượng xi măng và thời gian bảo dưỡng bê tông.