

# XÂM THỰC ION CLO VÀO BÊ TÔNG: CƠ CHẾ, YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG VÀ MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH

## CLORIDE PENETRATION IN CONCRETE: MICHANISM OF TRANSPORT, INFLUENTIAL FACTORS AND DETERMINATION METHODS

Lê Văn Tuấn, YongLai ZHENG

Trường Đại học Đồng Tế, Thượng Hải, Trung Quốc; Email: levantuan112@gmail.com

**Tóm tắt:** Xâm thực ion clorua vào bê tông gây ăn mòn cốt thép là nguyên nhân chủ yếu gây nên các hư hại và giảm tuổi thọ các công trình bờ biển. Theo nhiều kết quả khảo sát và nghiên cứu thực trạng các công trình, bên cạnh những công trình bền vững sau 40, 50 năm, hàng loạt các công trình bê tông (BT) và bê tông cốt thép (BTCT) sau 10, 15 năm, thậm chí sau 5 năm sử dụng đã bị ăn mòn và phá hủy trầm trọng khiến hàng năm nhà nước phải đầu tư rất nhiều tỷ đồng cho chi phí duy tu bảo dưỡng và sửa chữa. Việc tính toán tuổi thọ công trình đặt ra yêu cầu cho các kỹ sư khi thiết kế phải nắm vững cơ chế và cách xác định độ thấm ion clorua vào trong BTCT. Trên cơ sở đó, bài báo tổng hợp và phân tích cơ chế dịch chuyển ion clorua vào bê tông, các yếu tố ảnh hưởng và nêu một số phương pháp xác định độ thấm ion clorua trong bê tông, làm cơ sở tính toán tuổi thọ công trình.

**Từ khóa:** xâm thực ion clorua; khuếch tán clorua; cơ chế xâm thực; yếu tố ảnh hưởng; phương pháp xác định độ thấm clorua; thấm nhanh; đo điện lượng; phương pháp Tanglu Ping.

### 1. Đặt vấn đề

Việt Nam có nhiều công trình quan trọng dọc bờ biển, nơi chịu nhiều tác động phức tạp của môi trường như nhiệt độ thay đổi, độ ẩm cao, thấm thấu ion clorua..., trong đó, ăn mòn do ion clorua là nguyên nhân chính dẫn đến sự phá hủy cốt thép, làm giảm tuổi thọ công trình. Thực tế, tuổi thọ khi công trình vận hành thường ngắn hơn dự đoán, vì vậy, người kỹ sư khi thiết kế cần nắm vững ảnh hưởng của sự xâm nhập ion clorua đến công trình.

### 2. Cơ chế dịch chuyển ion clorua trong bê tông

Ion clorua xâm nhập vào kết cấu bê tông chủ yếu bằng 3 con đường: thấm thấu do sức hút mao dẫn; thấm thấu do chênh lệch áp lực; và thấm thấu do chênh lệch nồng độ, hay còn gọi là quá trình khuếch tán.

#### 2.1. Khuếch tán

##### 2.1.1. Khái niệm khuếch tán

Khuếch tán là quá trình ion clorua dịch chuyển từ nơi có nồng độ cao tới nơi có nồng độ thấp. Khi kết cấu bê tông tiếp xúc với môi trường có chứa ion clorua, cơ chế này sẽ làm cho ion clorua dịch chuyển từ bề mặt kết cấu hướng vào sâu bên trong kết cấu.

Khuếch tán ion clorua trong bê tông thể hiện qua hệ số khuếch tán  $D$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ), được định nghĩa là số lượng ion clorua chuyển qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian khi chênh lệch nồng độ là 1 đơn vị.

##### 2.1.2. Định luật Fick về khuếch tán

Sự khuếch tán ion clorua trong kết cấu bê tông được mô tả gần đúng bằng các định luật Fick về khuếch tán. Sự khuếch tán này thông thường được xem là bài toán khuếch tán một chiều.

**Abstract:** Penetration of chloride ion into concrete causing corrosion of reinforcement bar is the main reason for damages and shortened service life of coastal structures. According to surveys and actual state research projects, apart from some constructions that are stable after 40, 50 years, a series of reinforced concrete constructions have been corroded or damaged severely after 10, 15 even 5 years of use. This leads to an annual expenditure of billions of dong for maintenance and repair conducted by the Government. Understanding the mechanism, affected factors as well as methods of determining the chloride ion permeability into concrete, as a basis for calculating the service life of coastal structures, is an essential requirement for design engineers. On that basis, this paper presents the mechanism of transport chloride ion into concrete, its influential factors and some methods determining the chloride ion permeability into concrete.

**Key words:** chloride penetration; chloride diffusion; mechanism of transport; influencing factors; determination methods; Rapid Chloride Permeability Test; AASHTO T259; Tanglu Ping method.

Nếu giả thiết quá trình khuếch tán là ổn định, tức nồng độ ion clorua không biến đổi theo thời gian, ta có định luật Fick I về quá trình khuếch tán ion clorua trong kết cấu bê tông như sau [1]:

$$J = -D \frac{dC}{dx} \quad (1)$$

Trong đó,  $J$  là gradient của dòng ion clorua;  $D$  là hệ số khuếch tán ( $\text{m}^2/\text{s}$ );  $C$  là nồng độ ion clorua trong bê tông ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $x$  là độ sâu tính từ bề mặt bê tông (m).

Tuy nhiên, thực tế quá trình khuếch tán ion clorua thì nồng độ ion clorua luôn biến đổi theo thời gian, tức khuếch tán trong điều kiện không ổn định. Định luật Fick II mô tả quá trình khuếch tán không ổn định như sau:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2)$$

Từ phương trình (2) xác định được nồng độ ion clorua  $C(x,t)$  tại độ sâu  $x$  và thời điểm  $t$  như sau:

$$C(x,t) = C_s - (C_s - C_0) \operatorname{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{4Dt}}\right) \quad (3)$$

Trong đó,  $C_s$  là nồng độ ion clorua tại lớp ngoài cùng của lớp bê tông bề mặt ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $C_0$  là nồng độ ion clorua ban đầu trong kết cấu bê tông ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $\operatorname{erf}$  là hàm sai số,

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-u^2} du.$$

Giả thiết điều kiện biên như sau:  $C(x=0, t>0) = C_s$  (nồng độ ion clorua tại lớp ngoài cùng bê tông không đổi theo thời gian ở  $C_s$ );  $C(x>0, t=0)=0$  (nồng độ ion clorua ban đầu bằng 0);  $C(x=\infty, t>0) = 0$  (nồng độ ion clorua tại



điểm vô cùng xa bề mặt kết cấu bằng 0). Phương trình (3)

$$\text{có dạng như sau: } C(x, t) = C_s(1 - \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4Dt}}\right)) \quad (4)$$

## 2.2. Sức hút mao dẫn

Kết cấu bê tông tiếp xúc với môi trường có ion clorua, đặc biệt tại những vùng biển mà kết cấu nằm trong vùng nước lên xuống hoặc sóng vỗ, tại đây liên tục diễn ra quá trình khô-ướt tuần hoàn. Ở chu kỳ ướt, dưới áp lực mao dẫn, nước dịch chuyển từ môi trường vào bên trong kết cấu mang theo ion clorua. Với kích thước lỗ mao dẫn khoảng  $10^{-6}\text{m}$ , độ cao cột nước mao dẫn có thể lên đến 15m [2]. Khi môi trường ngoài khô ráo, nước lại chuyển ngược từ trong ra ngoài, và bay hơi tại mặt ngoài lỗ mao quản, còn lại ion clorua. Do vậy, dưới tác động tuần hoàn của cơ chế này, bề mặt kết cấu bê tông liên tục hấp thụ ion clorua từ môi trường, dẫn đến nồng độ ion clorua tại bề mặt kết cấu bê tông khá cao, một gradient nồng độ được thiết lập, kết quả là ion clorua dịch chuyển từ bề mặt vào bên trong kết cấu [3].

Nghiên cứu quá trình thẩm ion clorua vào kết cấu bê tông dưới tác dụng của sức hút mao dẫn, thực chất là nghiên cứu quá trình dịch chuyển ion clorua trong điều kiện kết cấu bê tông không bão hòa nước. Quá trình dịch chuyển của ion clorua này khá phức tạp, bao gồm hai quá trình là quá trình đối lưu của phân tử nước và quá trình khuếch tán của ion clorua [4].

## 2.3. Chênh lệch áp lực

Ion clorua cũng có thể thẩm vào bên trong kết cấu bê tông khi có sự chênh lệch áp lực giữa bề mặt và phần bên trong của kết cấu. Dưới tác dụng của cơ chế này, quá trình dịch chuyển của ion clorua vào bên trong kết cấu diễn ra nhanh hơn [1].

## 3. Yếu tố ảnh hưởng đến quá trình thẩm thấu ion clorua trong bê tông

Yếu tố ảnh hưởng đến quá trình thẩm ion clorua vào bê tông có thể phân ra thành 3 yếu tố chính, bao gồm: đặc tính của bê tông; các nhân tố môi trường; và thời gian.

### 3.1. Đặc tính của bê tông

#### 3.1.1. Tỷ lệ Nước-Xi măng W/C

Tỷ lệ nước-xi măng (W/C) là một chỉ tiêu phản ánh độ đặc chắc của bê tông. W/C càng lớn, độ rỗng trong bê tông càng cao. Do vậy, khi W/C tăng, quá trình thẩm thấu ion clorua vào bê tông diễn ra nhanh hơn.

Nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ nước-xi măng cho đến nay có nhiều công thức thực nghiệm đưa ra. Sunwei và Yu Hongfa [5] dựa trên thí nghiệm nghiên cứu quan hệ giữa tỷ lệ nước-xi măng và hệ số khuếch tán ion clorua trong bê tông, đưa ra công thức sau:

$$D = 34.776 \text{ W/C} - 6.448 (10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}) \quad (5)$$

Theo tổ chức Life-365 [6], hệ số khuếch tán ion clorua trong bê tông thường 28 ngày tuổi phụ thuộc vào tỷ lệ Nước-Xi măng như sau:

$$D_{28} = 10^{(-12.06 + 2.4\text{W/C})} (\text{m}^2/\text{s}) \quad (6)$$

#### 3.1.2. Phụ gia

Sử dụng phụ gia như tro bay (Fly Ash) và Slag (xi

than) có tác dụng làm giảm hệ số khuếch tán ion clorua. Thí nghiệm cho thấy, cả hai loại phụ gia trên khi được trộn vào bê tông đều không ảnh hưởng tới hệ số khuếch tán ion clorua trong thời kỳ đầu (28 ngày) của bê tông, nhưng sau 28 ngày, cả hai loại phụ gia làm giảm đáng kể hệ số khuếch tán ion clorua (Bảng 1).

Life-365 (Mỹ) đưa ra hệ số suy giảm theo thời gian của hệ số khuếch tán ion clorua phụ thuộc vào hai loại phụ gia sử dụng như sau:

$$m = 0.2 + 0.4(\% \text{FA}/50 + \% \text{SG}/70) \quad (7)$$

Quan hệ trên cho thấy, phụ gia thay thế chỉ lớn nhất là 50% đối với Fly Ash và 70% đối với Slag, vì vậy, giá trị  $m \leq 0.6$ .

**Bảng 1.** Ảnh hưởng của tro bay và xi than tới hệ số khuếch tán ion clorua

| Loại bê tông        | Hệ số suy giảm theo thời gian m | $D_{28} \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ | $D_{10 \text{ năm}} \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ | $D_{25 \text{ năm}} \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ |
|---------------------|---------------------------------|--|--|--|
| Bê tông thường      | 0.2                             | 79   | 30   | 25   |
| Sử dụng 30% xi than | 0.37                            | 79   | 13   | 9.3  |
| Sử dụng 40% tro bay | 0.52                            | 79   | 6.3  | 3.9  |

#### 3.1.3. Khả năng kết hợp với ion clorua của xi măng

Trong quá trình xâm nhập vào bê tông, ion clorua có thể kết hợp với các chất có trong hỗn hợp bê tông. Một phần bị kết hợp hóa học do phản ứng với một vài thành phần của xi măng, một phần bị hấp phụ vật lý trên thành rắn của lỗ rỗng trong bê tông [3], dẫn đến tốc độ khuếch tán ion clorua trong bê tông giảm xuống. Khả năng kết hợp ion clorua phụ thuộc loại xi măng sử dụng. T.U Mohammed [7] nghiên cứu và thực nghiệm, đưa ra quan hệ giữa nồng độ tổng lượng ion clorua và ion clorua tự do như sau:

$$C_f = \alpha C \quad (8)$$

Trong đó, C là nồng độ của tổng ion clorua;  $C_f$  là nồng độ ion clorua tự do trong bê tông;  $\alpha$  là hệ số kết hợp ion clorua, chọn  $\alpha = 0.85$  [8].

## 3.2. Môi trường

### 3.2.1. Nhiệt độ

Nhiệt độ ảnh hưởng đến sự thẩm thấu ion clorua vào bê tông, thể hiện trên hai phương diện: (i) nhiệt độ tăng cao, tăng tốc độ bốc hơi của nước lỗ rỗng, tăng mức độ rỗng của lớp bê tông bề mặt kết cấu, làm tăng mức độ xâm thực ion clorua vào bê tông; (ii) nhiệt độ tăng làm tăng tốc độ phản ứng thủy phân trong bê tông, làm tăng độ đặc chắc của bê tông, và như vậy, làm giảm mức độ thẩm ion clorua vào bê tông. Nhìn chung tổng hợp hai mặt trên, xét trong cả quá trình dài, nhiệt độ tăng sẽ đẩy nhanh tốc độ khuếch tán ion clorua vào bê tông. Dựa trên phương trình Nernst-Einstein, nếu nhiệt độ tăng từ  $20^\circ\text{C}$  tới  $30^\circ\text{C}$ , hệ số khuếch tán tăng 2 lần; nhiệt độ giảm từ  $20^\circ\text{C}$  xuống  $10^\circ\text{C}$ , hệ số khuếch tán giảm 2 lần [9] [10].

Định lượng ảnh hưởng của nhiệt độ tới hệ số khuếch tán ion clorua trong bê tông, nhiều nhà nghiên cứu đưa ra các hệ số khác nhau. Theo tiêu chuẩn thiết kế của Mỹ, Life-365 [6] nhiệt độ ảnh hưởng tới hệ số khuếch tán theo quan hệ sau:



$$D(T) = D(T_0) \exp\left(\frac{U}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right) \quad (9)$$

Trong đó,  $D(T)$  và  $D(T_0)$  lần lượt là hệ số khuếch tán ở nhiệt độ  $T$  và nhiệt độ  $T_0$ ;  $D(T_0)$  xác định khi tuổi bê tông 28 ngày, ở nhiệt độ  $T_0 = 293^\circ\text{K}$ ;  $U$  năng lượng hoạt hóa,  $U = 35\,000\text{ J/mol}$ ;  $R$  là hằng số khí,  $R = 8.314\text{ J/mol}\cdot\text{K}$ .

### 3.2.2. Độ ẩm

Độ bão hòa nước trong bê tông là một yếu tố có ảnh hưởng đáng kể tới hệ số khuếch tán ion clorua. Cho đến nay, các phương pháp xác định độ bão hòa này còn chưa thống nhất. Vì vậy, thay vì độ bão hòa nước trong bê tông, các nhà nghiên cứu xét ảnh hưởng độ ẩm tương đối của môi trường ảnh hưởng tới hệ số khuếch tán ion clorua trong bê tông.

Anna [11] thông qua nghiên cứu sự khuếch tán ion clorua trong bê tông không bão hòa nước, đưa ra quan hệ

$$D_{RH} = D_{100\%} \left[1 + \frac{[1 - RH]^4}{[1 - RH_c]^4}\right]^{-1} \quad (10)$$

Trong đó,  $RH$  là độ ẩm tương đối của môi trường, %;  $D_{100\%}$  là hệ số khuếch tán ion clorua ở độ ẩm 100%;  $RH_c$  là độ ẩm mà hệ số khuếch tán bằng nửa hệ số khuếch tán khi độ ẩm là 100%, tức  $D(RH_c = 1/2 \cdot D(100\%))$ , thông thường  $RH_c = 75\%$ , thấp hơn độ ẩm này, nước trong lỗ rỗng bê tông không còn liên thông nhau một cách liên tục, khi đó hiện tượng khuếch tán xảy ra không đúng quy luật trên [11].

### 3.3. Thời gian

Hệ số khuếch tán ion clorua phụ thuộc vào thời gian vì những lý do sau: (i) phản ứng thủy hóa diễn ra trong bê tông không ngừng làm tăng mức độ đặc chắc của bê tông; (ii) tác dụng trương nở của xi măng trong bê tông làm giảm mức độ rỗng; (iii) ion mang điện tích âm có mặt trong lỗ rỗng làm giảm tốc độ khuếch tán ion clorua; (iv) ion clorua kết hợp với bê tông làm giảm nồng độ ion clorua trong bê tông; (v) các giả thiết nhằm đơn giản hóa quá trình mô hình hóa tính toán, như nồng độ ion clorua ở lớp bê tông bề mặt là không đổi theo thời gian... Vì vậy, hệ số khuếch tán ion clorua trong bê tông giảm theo thời

$$\text{gian, theo quan hệ sau: } D(t) = D_{\text{ref}} \left(\frac{t_{\text{ref}}}{t}\right)^m \quad (11)$$

Trong đó,  $D(t)$  là hệ số khuếch tán ở thời gian  $t$ ;  $D_{\text{ref}}$  là hệ số khuếch tán ở thời gian  $t_{\text{ref}}$ , thường chọn  $t_{\text{ref}} = 28$  ngày;  $m$  là hệ số suy giảm theo thời gian, phụ thuộc vào vật liệu trộn, hàm lượng vữa xi măng... (xem bảng 2) [12]. Hoặc có thể dựa trên công thức (8) nếu biết hệ số khuếch tán ở 2 thời điểm  $t_2$ ,  $t_1$  là  $D_2$  và  $D_1$ , thì hệ số  $m$  xác định như sau:

$$m = \frac{\ln(D_2 / D_1)}{\ln(t_2 / t_1)} \quad (12)$$

**Bảng 2.** Hệ số suy giảm theo thời gian của hệ số khuếch tán [12]

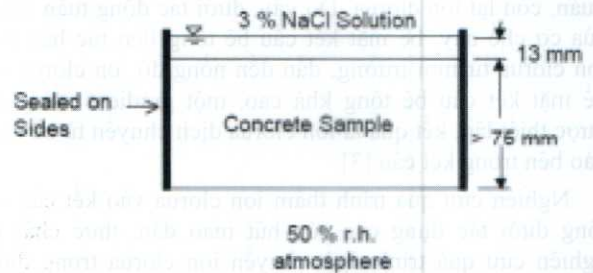
| Loại bê tông  | Hệ số m |
|---|---------|
| Bê tông thường  | 0.30    |
| Bê tông chứa phụ gia tro than (coal ash) hàm lượng >25% | 0.60    |
| Bê tông chứa phụ gia xi than (slag)                     | 0.45    |

## 4. Một số phương pháp xác định độ thấm ion clorua trong bê tông

### 4.1. Phương pháp ngâm lâu dài AASHTO T259

Phương pháp ngâm lâu dài là tên gọi chung của 2 phiên bản thí nghiệm theo tiêu chuẩn: AASHTO T259 và ASTM C1543 (AASHTO & ASTM, 2002).

Thí nghiệm AASHTO T259 tiến hành với mẫu thử hình trụ có kích thước  $12\text{ inch}^2$  ( $\sim 300\text{ mm}^2$ ), cao 3 inch ( $\sim 75\text{ mm}$ ). Mẫu thử sau khi được 14 ngày, được bảo dưỡng 28 ngày ở môi trường có độ ẩm 50%. Sau đó cho tiếp xúc với dung dịch NaCl 3% trong 90 ngày theo sơ đồ bố trí như Hình 1. Sau 90 ngày, gỡ mẫu và tiến hành xác định nồng độ chloride ở mỗi chiều sâu 0.5 inch (AASHTO T259).



**Hình 1.** Sơ đồ bố trí thí nghiệm AASTO T259

Thí nghiệm ASTM C1543 tương tự như thí nghiệm AASHTO T259 nhưng dung dịch NaCl 3% sử dụng được thay sau 60 ngày.

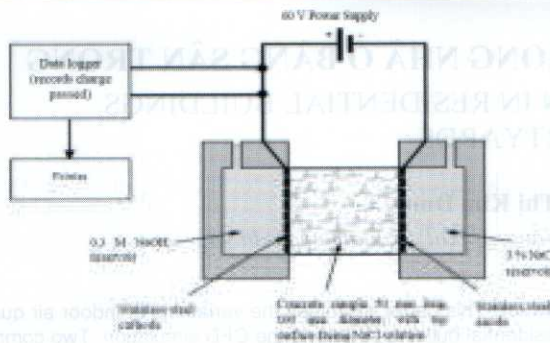
Phương pháp ngâm lâu dài được sử dụng rộng rãi, đạt độ chính xác cao. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là: (i) thời gian thí nghiệm dài (đối với bê tông đặc chắc, thời gian thí nghiệm có thể kéo dài đến 1 năm); (ii) không xác định được chính xác đường cong quan hệ giữa nồng độ và chiều sâu mẫu thử do sử dụng giá trị trung bình của nồng độ chloride trên toàn bộ chiều sâu 0.5 inch. Hooton chỉ ra, hai mẫu thử A và B có cùng giá trị nồng độ chloride ở chiều sâu 0.5 inch, nhưng ở mẫu A, giá trị nồng độ chloride cao ở bề mặt và giảm nhanh tới độ sâu 0.5 inch, còn mẫu B giá trị nồng độ chloride bề mặt thấp hơn ở mẫu A nhưng ở độ sâu 0.5 inch lại cao hơn ở mẫu A. Rõ ràng ở mẫu B, thời gian chloride thấm vào tới cốt thép nhanh hơn so với ở mẫu A [14]. Ngoài ra, phương pháp thí nghiệm này cho phép ion clorua dịch chuyển vào trong bê tông cùng với nước theo cơ chế thẩm thấu và cơ chế sức hút mao dẫn.

### 4.2. Phương pháp đo điện lượng AASHTO T277 (ASTM C1202)

Kiểm tra độ thấm ion clorua bằng phương pháp đo điện lượng (The Rapid Chloride Permeability Test - RCPT) được phát triển lần đầu tiên bởi David Whiting năm 1981.

Phương pháp RCPT tiến hành theo nguyên tắc áp dòng điện một chiều điện thế 60V vào hai mặt của mẫu thử hình trụ có đường kính  $(100 \pm 2)\text{ mm}$ , chiều cao  $(50 \pm 3)\text{ mm}$ , một mặt tiếp xúc với dung dịch NaCl 3% nối với cực âm, mặt kia tiếp xúc với dung dịch NaOH nối với cực dương. Khả năng thấm ion clorua qua bê tông được xác định thông qua giá trị tổng điện lượng truyền qua mẫu thử trong thời gian 6 giờ, được chia thành các mức: cao, trung bình, thấp, rất thấp, không thấm (Bảng 3) [13].





Hình 2. Sơ đồ thí nghiệm AASHTO T277 (ASTM C1202)

Bảng 3. Mức độ thấm ion clorua (ASTM C1202)

| Điện lượng truyền qua mẫu (Culong) | Mức độ thấm ion clo |
|------------------------------------|---------------------|
| > 4000                             | Cao                 |
| > 2000 ÷ 4000                      | Trung bình          |
| > 1000 ÷ 2000                      | Thấp                |
| 100 ÷ 1000                         | Rất thấp            |
| <100                               | Không thấm          |

Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản, nhanh chóng, dễ thực hiện, vì thế được sử dụng rộng rãi nhất trong thực tế cũng như trong các bài giảng [13] và đã trở thành tiêu chuẩn thí nghiệm. Mặc dù vậy, vẫn còn nhiều ý kiến về phương pháp RCPT: (i) dòng điện chuyển qua mẫu thử bê tông liên quan đến tất cả ion có trong dung dịch lỏng trong bê tông chứ không chỉ có mình ion clorua; (ii) phép đo tiến hành trước khi quá trình thấm đi vào ổn định (iii) do áp dòng điện qua mẫu thử, nhiệt độ mẫu thử và dung dịch tăng lên trong quá trình thí nghiệm dẫn đến kết quả bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ [14].

Nhiều nghiên cứu chỉ ra, phương pháp RCPT không thích hợp cho bê tông mác cao hoặc bê tông có sử dụng phụ gia. Thí nghiệm với những loại bê tông này, phương pháp RCPT cho sai số cao, kết quả không ổn định.

Khắc phục nhược điểm trên, Hooton đề nghị tính tổng điện lượng truyền qua mẫu thử bằng cách nhân điện lượng truyền qua mẫu trong thời gian 30 phút nhằm loại bỏ ảnh hưởng của nhiệt độ đến tổng điện lượng truyền qua mẫu. Jonsson [14] đề nghị tính hệ số khuếch tán hiệu dụng khi bê tông có sử dụng chất ức chế ăn mòn Canxi nitrit theo công thức sau:

$$D_{\text{eff}} = 1.03 \cdot 10^{-14} Q^{0.84} \quad (13)$$

Trong đó,  $D_{\text{eff}}$  là hệ số khuếch tán hiệu dụng;  $Q$  là tổng điện lượng truyền qua mẫu (culong). Kết quả cho thấy, sử dụng (12) cho kết quả tương đồng với phương pháp ngâm lâu dài.

#### 4.3. Phương pháp thấm nhanh của Tang Luping và Lars Olof Nilsson

Phương pháp thấm nhanh (Rapid Migration Test – RMT) được phát triển bởi Tang Luping và Lars Olof Nilsson, ra đời nhằm khắc phục một số nhược điểm của phương pháp đo điện lượng RCPT. Phương pháp RMT này tương tự với phương pháp RCPT khi cũng sử dụng

mẫu thử hình trụ có đường kính 100 mm, chiều cao 50 mm, nhưng khác ở chỗ thời gian thí nghiệm là 24h, dòng điện áp dụng thay đổi trong khoảng từ 10V đến 60V.

Ưu điểm chủ yếu của phương pháp RMT là cho phép xác định hệ số khuếch tán không ổn định. Hệ số khuếch tán không ổn định là hàm của hiệu điện thế áp dụng, nhiệt độ dung dịch, chiều dày mẫu thử và chiều sâu thấm của chloride.

Phương pháp thí nghiệm RMT có phạm vi ứng dụng rộng rãi, thích hợp cả với bê tông có sử dụng chất ức chế ăn mòn [14].

#### 5. Kết luận

Xâm nhập clo vào bê tông là nguyên nhân chủ yếu gây hư hại các công trình bờ biển. Bài báo nêu lên được cơ chế, nguyên nhân ảnh hưởng và phương pháp xác định độ thấm ion clorua vào bê tông, làm cơ sở cho tính toán tuổi thọ công trình, giúp cho các kỹ sư thiết kế và các nhà hoạch định chính sách đưa ra biện pháp khắc phục hư hại, nâng cao tuổi thọ các công trình.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] K.D. Stanish, R.D. Hooton, M.D.A. Thomas. *Testing the Chloride Penetration Resistance of Concrete: A Literature Review*. Toronto, Ontario, Canada : Department of Civil Engineering, University of Toronto.
- [2] Đào Ngọc Thế Vinh, Peter Dux, Alan Carse. *Ăn mòn cốt thép trong bê tông vùng biển – nguyên nhân và biện pháp khắc phục*. Đại học Queensland - Australia : Hội nghị khoa học toàn quốc lần thứ ba về Sự cố và hư hỏng công trình xây dựng.
- [3] Dương, Trần. *Ứng dụng mô hình Tang LuPing-Olof Nilsson để khảo sát sự khuếch tán cl- trong bê tông và nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia đến quá trình này. Luận án tiến sĩ kỹ thuật*. Hà Nội : Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2004.
- [4] 薛文, 王卫仑, 龚顺风, 金伟良. *干湿循环下氯离子在混凝土中的传输*. 低温建筑技术, 2010.
- [5] 孙伟, 余红发. *混凝土结构工程的耐久性与寿命研究进展*. 北京 : 土建结构工程的安全性与耐久性 [M]. 中国建筑工业出版社, 2001.
- [6] Thomas M D A, Bentz E C. *Life-365 computer program for predicting the service life and life-cycle costs of reinforced concrete exposed to chlorides*. 2000.
- [7] Mohammed T. U, H. Mahada. *Relationship between free chloride and total chloride contents in concrete*[J]. Cement and Concrete Research: 33: 1487- 1490, 2003.
- [8] Jin Zu Quan, Sun Wei, Zhao Tie Jun. *Chloride binding in concrete exposed to corrosive solutions* [J]. 37(7): 1068-1072. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2009.
- [9] Martin P B, Zibara H, Hooton R D. *A study of the effect of chloride binding on service life predictions* [J]. Cement and Concrete Research, 2000, Bd. 30(8): 1215~1223.
- [10] 中国土木工程学会. *混凝土结构耐久性设计与施工指南(CECS 01-2004)*[S]. 2005. 北京 : 中国建筑工业出版社.
- [11] Anna V S, Roberto V S, Renato V V. *Analysis of chloride diffusion into partially saturated concrete* [J]. ACI Material Journal, 1993, Bd. 90(5): 441~451.
- [12] LIFECON. *Service Life Models: Instructions on methodology and application of models for the prediction of the residual service life for classified environmental loads and types of structures in Europe* [D]. Life Cycle management of Concrete Infrastructures.
- [13] TCXDVN 360: 2005. *Bê tông nặng - Xác định độ thấm ion clo bằng phương pháp đo điện lượng*.
- [14] Janos Gergely, Joshua E. Bledsoe, Brett Q. Tempest, Iosif F. Szabo. *Concrete Diffusion Coefficients and Existing Chloride Exposure in North Carolina*. North Carolina, 2006.