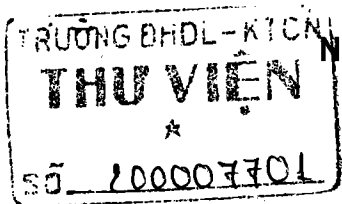


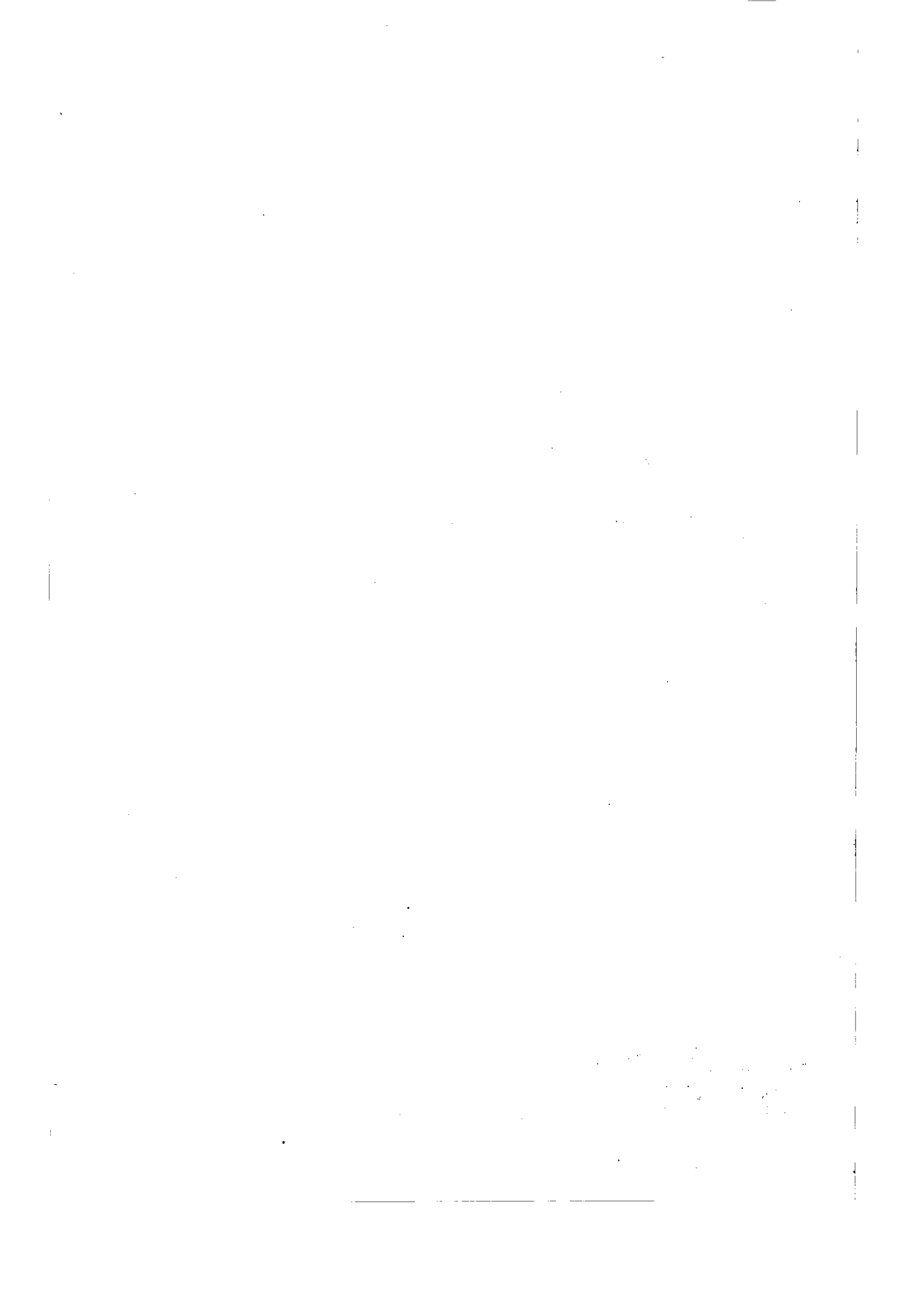
TS. NGUYỄN MẠNH PHÁT

620.1122

**LÝ THUYẾT**  
**ĂN MÒN VÀ CHỐNG ĂN MÒN**  
**BÊTÔNG - BÊTÔNG CỐT THÉP**  
**TRONG XÂY DỰNG**



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG  
HÀ NỘI - 2007



## LỜI NÓI ĐẦU

Trong những năm gần đây, vấn đề nâng cao chất lượng và tuổi thọ cho các công trình xây dựng, đặc biệt là các công trình xây dựng ở vùng biển và khu vực ven biển luôn có một ý nghĩa hết sức to lớn. Nhìn chung đối với các công trình xây dựng, việc sử dụng vật liệu một cách hợp lý, quá trình thi công đảm bảo chất lượng và trong từng trường hợp cụ thể có chú trọng đến các biện pháp bảo vệ thích hợp thì tuổi thọ sẽ được nâng lên đáng kể. Trên cơ sở đó, cho phép khai thác được triệt để tính năng sử dụng của vật liệu, giảm bớt được các chi phí về tu bổ sửa chữa hàng năm sẽ đem lại hiệu quả kinh tế cao.

Trên thực tế, để giải quyết vấn đề nâng cao chất lượng và tuổi thọ cho các công trình xây dựng cũng có nghĩa là phải giải quyết nâng cao khả năng chống ăn mòn cho bê tông và bê tông cốt thép trong các kết cấu xây dựng. Thực chất đó là vấn đề phải nắm được những hiểu biết về các quá trình ăn mòn, biết cách khắc phục những nhược điểm của loại vật liệu này khi sử dụng trong các môi trường có tác động ăn mòn, từ đó đề ra các biện pháp cải thiện tính năng của vật liệu theo hướng nâng cao tính bền của chúng trên cơ sở nguyên vật liệu sẵn có trong nước và phù hợp với điều kiện thực tế của Việt Nam.

Chính vì vậy nghiên cứu về ăn mòn và chống ăn mòn cho bê tông- bê tông cốt thép nhằm tăng cường độ bền và kéo dài tuổi thọ cho các công trình xây dựng đang là một trong những nhiệm vụ cấp thiết được nhiều cơ quan nghiên cứu trong cả nước quan tâm.

Cuốn sách đề cập đến vấn đề này chủ yếu được dùng làm tài liệu học tập cho các sinh viên ngành công nghệ vật liệu xây dựng, các học viên cao học chuyên ngành vật liệu xây dựng. Ngoài ra, có thể sử dụng làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư, cán bộ kỹ thuật làm việc trong lĩnh vực xây dựng nói chung.

*Mặc dù đã rất cố gắng tích góp kinh nghiệm và tham khảo ý kiến của những nhà nghiên cứu đi trước, song không thể tránh khỏi những hạn chế cả về nội dung lẫn hình thức. Rất mong nhận được những ý kiến đóng góp quý báu của đồng nghiệp và đông đảo bạn đọc để cuốn sách được hoàn thiện hơn trong lần tái bản sau. Mọi góp ý xin gửi về: Phòng Biên tập sách Khoa học Kỹ thuật - Nhà xuất bản Xây dựng, 37 Lê Đại Hành - Hà Nội. Điện thoại: 04.9741954.*

*Xin chân thành cảm ơn!*

**Tác giả**

# PHẦN MỞ ĐẦU

## TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU ĂN MÒN VÀ BIỆN PHÁP CHỐNG ĂN MÒN CHO BÊ TÔNG VÀ BÊ TÔNG CỐT THÉP

### 0.1. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU CHỐNG ĂN MÒN BÊ TÔNG VÀ BÊ TÔNG CỐT THÉP TRÊN THẾ GIỚI

Việc nghiên cứu về độ bền của bê tông và bê tông cốt thép đã được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm. Theo V.M. Moskvín, công trình của Vika "nghiên cứu nguyên nhân hoá học phá huỷ và các biện pháp nâng cao khả năng chống ăn mòn của các chất kết dính rắn trong nước" là công trình nghiên cứu khoa học đầu tiên về ăn mòn. Những năm đầu của thế kỉ XX Viện nghiên cứu độ bền các công trình thuỷ lợi biển của Nga do những kĩ sư xây dựng nổi tiếng như A.R. Shuliachenko, V.I. Charnomskij đã khảo sát những công trình bê tông và bê tông cốt thép tại các hải cảng châu Âu và nước Nga. Họ đã đi đến kết luận rằng bằng xi măng pooc lăng không thể chế tạo bê tông cốt thép bền vững trong môi trường biển. Sự nâng cao độ đặc bê tông chỉ có thể mang lại tuổi thọ cho các công trình đến 20, 30 năm. Những nghiên cứu về sử dụng bê tông và bê tông cốt thép trong các xí nghiệp công nghiệp được thực hiện vào đầu thế kỉ XX như công trình nghiên cứu của E. Rabal'd [5]. Đặc biệt là công trình nghiên cứu của A.A. Bajkov là công trình nghiên cứu có giá trị lớn trong lĩnh vực này. Ông đã phân tích nguyên nhân gây ăn mòn bê tông và những biện pháp áp dụng trong thực tế chống ăn mòn. Kavatosi trong công trình nghiên cứu của mình đã đưa ra loại phụ gia tổng hợp siêu dẻo (Furylacol -  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) để chế tạo vữa bền trong môi trường chịu tác động xâm thực của các muối gây ăn mòn. G. Bachacóp trong một công trình khác đã công bố việc sử dụng dầu nhựa thông với hàm lượng 0,15% để chế tạo vữa và bê tông có khả năng chống ăn mòn cao [6].

Các nghiên cứu đều có những kết luận thống nhất về nguyên nhân ăn mòn là do các sản phẩm thuỷ hoá của xi măng bị tan vào môi trường hoặc tác dụng với các muối, axit có trong môi trường tạo ra những hợp chất có tính tan mạnh hoặc nở thể tích gây nên sự phá huỷ kết cấu nội bộ các công trình. Các công trình nghiên cứu cũng đánh giá được hiệu quả của các biện pháp chống ăn mòn: Dùng phụ gia vô cơ hoạt tính, dùng xi măng đặc biệt... Các bình luận về nguyên nhân gây ăn mòn và giới hạn độ bền của kết cấu bê tông và bê tông cốt thép dùng trong các môi trường này vẫn còn nhiều vấn đề phải tranh cãi kéo dài cho đến nay.

## **0.2. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU CHỐNG ĂN MÒN BÊ TÔNG VÀ BÊ TÔNG CỐT THÉP Ở VIỆT NAM**

Nhiều công trình xây dựng bằng bê tông cốt thép ở nước ta sau một thời gian khai thác đã bị ăn mòn và phá hoại trong các môi trường có tính chất ăn mòn. Điều đó đòi hỏi phải có các biện pháp phòng ngừa để hạn chế sự ăn mòn của các kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. Nhà nước ta đã ban hành các tiêu chuẩn nhà nước: TCVN 3993 : 85 "Chống ăn mòn trong xây dựng, kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Nguyên tắc cơ bản để thiết kế"; TCVN 3994 : 85 "Chống ăn mòn trong xây dựng - Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Phân loại ăn mòn"; TCXD 149-86 "Bảo vệ kết cấu xây dựng khỏi bị ăn mòn". Tuy nhiên, các Tiêu chuẩn này chưa đề cập đến tất cả các loại ăn mòn, các môi trường ăn mòn, do đó việc áp dụng cũng bị hạn chế và chưa phát huy được tác dụng trong thực tế.

Nhận thức được tính cấp bách của việc chống ăn mòn bê tông và bê tông cốt thép, ở nước ta có nhiều cơ quan khoa học đã nghiên cứu vấn đề này. Các đề tài nghiên cứu chưa quan tâm nghiên cứu về lí thuyết, mà chủ yếu đi vào các biện pháp cụ thể chống ăn mòn cho công trình kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. Các nghiên cứu tập trung vào việc chống ăn mòn của môi trường lỏng, chủ yếu là môi trường biển, vì ở nước ta có hơn 2000 km bờ biển và càng ngày càng có nhiều công trình quan trọng được xây dựng trong môi trường biển.

Trong những năm cuối thập kỉ 60 có một số nhà nghiên cứu đã tiến hành khảo sát hư hỏng của các kết cấu bê tông cốt thép ở cảng Hòn Gai và Hải Phòng được xây dựng từ năm 1914 [4], và cũng đưa ra nhận xét là cần phải có quy định riêng cho công tác thiết kế và thi công bê tông và bê tông cốt

thép vùng biển, phải khác với kết cấu nằm sâu trong nội địa. Về vật liệu xi măng, khi đó chúng ta chỉ có hai loại xi măng là xi măng poocăng và xi măng poocăng puzolan, do đó tác giả kiến nghị nên dùng xi măng poocăng puzolan trong công trình biển. Những nghiên cứu đầu tiên nhằm tìm ra biện pháp bảo vệ công trình biển cũng đã được tiến hành từ những năm đầu của thập kỉ 80, nhưng sau đó không được triển khai áp dụng.

Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (VKHCN XD) - Bộ Xây dựng từ những năm đầu của thập kỉ 80 đã triển khai nghiên cứu lĩnh vực chống ăn mòn bê tông bảo vệ cốt thép, đã đạt được một số thành quả nhất định theo hướng sử dụng phụ gia ức chế ăn mòn và sơn phủ bề mặt kết cấu đối với công trình biển. Năm 1994, Bộ Khoa học Công nghệ và Môi trường đã giao cho VKHCN XD nghiên cứu tổng thể các điều kiện kĩ thuật cần thiết để bảo vệ chống ăn mòn và đảm bảo độ bền lâu cho kết cấu bê tông và bê tông cốt thép xây dựng ở vùng biển phù hợp với điều kiện tự nhiên, kinh tế và xã hội Việt Nam (đề tài mang mã số ĐTDL - 40/94). Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu này, đã biên soạn những chỉ dẫn kĩ thuật cần thiết cho công tác xây dựng và sửa chữa công trình làm bằng bê tông và bê tông cốt thép ở vùng biển nước ta. VKHCN XD cũng đã xây dựng tiêu chuẩn ngành về vấn đề này, nhưng cho tới nay vẫn chưa được ban hành [4].

Viện Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải trong một số công trình nghiên cứu về ăn mòn bê tông đã đưa ra nhiều ý kiến phân tích tình hình hư hỏng kết cấu bê tông và bê tông cốt thép do ăn mòn, chỉ ra các nguyên nhân và đề ra biện pháp bảo vệ như là: dùng các phụ gia kỵ nước (dầu thảo mộc), nước thải bã giấy nhằm nâng cao độ chắc cho bê tông. Tăng cường bảo vệ mặt ngoài kết cấu bê tông bằng các lớp sơn phủ chống thấm như: Sơn bitum - cao su, sơn bitum - epoxy.

Viện Khoa học Thủy lợi Quốc gia đã thành công trong đề tài sử dụng phụ gia bentonít tăng chống thấm, giảm ăn mòn cốt thép đối với các công trình thủy lợi.

Vào những năm cuối của thập kỉ 90 có một đề tài về công nghệ vật liệu mang mã số KC-05-13A về triển khai chế tạo các tổ hợp bê tông và vữa có phụ gia ức chế ăn mòn và bảo vệ cốt thép trong môi trường biển Việt Nam. Đề tài này bao gồm các nhánh đề tài: Nghiên cứu chất ức chế ăn mòn cốt thép, nghiên cứu dùng phụ gia ZKJ, nghiên cứu dùng phụ gia bentonít cải tiến, nghiên cứu dùng phụ gia khoáng SISEX, nghiên cứu dùng SP melamin

foomaldehit sunfomat [MFS], nghiên cứu dùng phụ gia polyme trong bê tông.

Mục đích đưa các loại phụ gia trên vào bê tông là để tăng cường độ đặc chắc, độ chống thấm cho bê tông, từ đó ngăn ngừa hoặc hạn chế ăn mòn. Các phương pháp ức chế ăn mòn, bảo vệ catốt thường phối hợp với các phương pháp chống ăn mòn bê tông, nhằm bảo vệ chống ăn mòn cho kết cấu bê tông cốt thép nói chung.

Liên tục trong các năm từ 1995 đến năm 2000 đã có nhiều hội nghị khoa học về chống ăn mòn cho các công trình xây dựng được tổ chức ở các cơ quan như VKHCN XD, VKHCNGTVT, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội. Tuy nhiên các đề tài đều tập trung vào công tác chống ăn mòn cho các công trình biển, chưa có một hội nghị chính thức nào nói về ăn mòn của công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp.

Ngoài những đề tài trên, còn có một số nghiên cứu khác về chống ăn mòn và tăng tuổi thọ cho công trình bê tông và bê tông cốt thép trong môi trường biển và ở vùng ven biển. Trước đây nhà nước ta đã cử một số cán bộ khoa học sang các nước bạn (Liên Xô, Ba Lan, Tiệp Khắc, Rumani...) làm nghiên cứu sinh, nghiên cứu các đề tài về ăn mòn bê tông trong nước biển.

Tuy đã có một số kết quả nghiên cứu về bê tông và bê tông cốt thép trong môi trường biển ở nước ta nhưng cho đến nay vẫn chưa triển khai áp dụng được nhiều vào sản xuất. Chúng ta đã nghiên cứu sản xuất được một số loại xi măng bền trong môi trường nước biển như: Xi măng chống sunfat, xi măng bari và đã được sử dụng ở một số công trình bê tông cốt thép trong nước mặn hoặc chịu ảnh hưởng của nước mặn.

Năm 2000 nhà nước đã cho phép VKHCN XD thực hiện một số dự án kỹ thuật, kinh tế về chống ăn mòn và bảo vệ các công trình bê tông và bê tông cốt thép vùng biển. Đề tài này được triển khai hai năm 2000 - 2001. Hy vọng rằng các dự án được thực hiện sẽ có thêm nhiều kết quả ứng dụng vào các công trình xây dựng.

Như vậy, nước ta đã và đang quan tâm nhiều đến vấn đề ăn mòn và chống ăn mòn bê tông và bê tông cốt thép. Tuy nhiên vấn đề này mới chỉ tập trung vào các công trình xây dựng ở môi trường biển, mà chưa quan tâm đến vấn đề chống ăn mòn cho các công trình xây dựng ở các môi trường khác.



# Chương 1

## LÍ THUYẾT CHUNG VỀ ĂN MÒN BÊ TÔNG VÀ BÊ TÔNG CỐT THÉP

### 1.1. KHÁI NIỆM VỀ ĂN MÒN

Bê tông xi măng sau khi đã cứng rắn bao gồm hai thành phần: Đá xi măng và bộ khung cốt liệu. Hai thành phần này liên kết với nhau tạo thành một khối vững chắc và có khả năng chịu lực. Khi bê tông sử dụng trong môi trường có tác động xâm thực, nếu không có những biện pháp bảo vệ nó sẽ bị ăn mòn. Trước hết thành phần đá xi măng bị phá hoại vì nó dễ bị ăn mòn hơn cốt liệu. Khi đá xi măng bị ăn mòn thì liên kết giữa đá xi măng với cốt liệu cũng bị phá hoại và cuối cùng bê tông bị phá huỷ. Do vậy, có thể nói ăn mòn đá xi măng cũng có nghĩa là ăn mòn đối với bê tông.

Bê tông có thể bị ăn mòn hoá học ở cả ba môi trường sử dụng: Lỏng, rắn và khí.

- Ăn mòn trong môi trường lỏng xảy ra khi bê tông tiếp xúc với nước biển, nước chua phèn, nước khoáng, nước ngầm hoặc nước thải của các nhà máy và xí nghiệp công nghiệp. Các loại nước này thường chứa các nhân tố có tính chất gây ăn mòn. Ăn mòn trong môi trường lỏng là loại ăn mòn rất phổ biến đối với các công trình xây dựng, đặc biệt là các công trình xây dựng ở môi trường biển, các công trình làm việc trong nước, dưới đất có nước ngầm. Các nhà máy, xí nghiệp sản xuất có sử dụng hoá chất. Đó là đối tượng nghiên cứu được rất nhiều người quan tâm.

- Ăn mòn trong môi trường khí xảy ra khi bê tông tiếp xúc với các loại khí có chứa tác nhân gây ăn mòn, thường gặp ở các khu vực xung quanh các nhà máy có sử dụng và chế biến hoá chất hoặc các công trình có tiếp xúc với không khí biển và trong môi trường khí hậu ven biển.

- Ăn mòn trong môi trường rắn xảy ra khi bê tông tiếp xúc với một số loại hoá chất như phân khoáng, thuốc trừ sâu. Nhưng ăn mòn trong điều kiện này cũng chỉ diễn ra khi các hoá chất bị ẩm [3].

Ăn mòn bê tông sẽ ảnh hưởng lớn đến độ bền của kết cấu công trình bê tông và bê tông cốt thép. Sự phá hoại công trình xây dựng do bị ăn mòn gây nên tổn thất rất lớn về kinh tế. Chính vì vậy, đã có nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm nghiên cứu và đề cập đến các vấn đề có liên quan đến ăn mòn bê tông và bê tông cốt thép trong nhiều tài liệu khoa học.

Tùy theo tác dụng của các tác nhân ăn mòn nhiều hay ít, sự ăn mòn được phân ra ba mức độ: Ăn mòn mạnh, ăn mòn trung bình và ăn mòn yếu [6]. Sự ăn mòn bê tông rất đa dạng và diễn ra rất phức tạp, các quá trình ăn mòn này xảy ra do nhiều nguyên nhân khác nhau. Sự ăn mòn có thể do tác động xói mòn của dòng chảy, ăn mòn do sinh vật bám trên bề mặt kết cấu bê tông, do thay đổi các điều kiện vật lý hoặc có sự tác động của hiện tượng điện hoá. Tuy nhiên, nguyên nhân chủ yếu gây ăn mòn bê tông là do có sự thay đổi về mặt hoá học trong thành phần của đá xi măng dưới tác động của các hợp chất hoá học có trong môi trường. Trong thành phần của đá xi măng có các sản phẩm thuỷ hoá như  $\text{Ca(OH)}_2$  và  $\text{C}_3\text{AH}_6$  dễ hoà tan, chúng tan vào nước, làm cho cấu trúc bê tông bị rỗng, do đó cường độ bê tông giảm và có thể bị phá huỷ. Mặt khác, chúng có tính hoạt động hoá học mạnh, dễ tương tác với một số hợp chất hoá học của môi trường (các axit và muối...), tạo thành các sản phẩm mới dễ tan trong nước hơn hoặc nở thể tích nhiều, gây nội ứng suất phá hoại kết cấu bê tông, hoặc tạo thành các chất vô định hình, rời rạc, không có tính chất kết dính.

Quá trình ăn mòn diễn ra mạnh hay yếu tùy thuộc vào đặc tính của xi măng, loại và lượng dùng phụ gia trong xi măng, nồng độ của các tác nhân hoá học trong môi trường ảnh hưởng đáng kể đến quá trình ăn mòn. Các yếu tố như trạng thái và nhiệt độ môi trường, mức tải trọng làm việc của các kết cấu... cũng có ảnh hưởng đáng kể đến mức độ ăn mòn.

Trong các yếu tố kể trên thì đặc tính của xi măng và độ đặc của bê tông là yếu tố có ảnh hưởng rất lớn đến sự ăn mòn. Khi bê tông bị rỗng, sự thẩm thấu của nước tăng lên, dẫn đến sự xâm nhập của các tác nhân ăn mòn, do đó có điều kiện tiếp xúc và tương tác với các sản phẩm thuỷ hoá của xi măng. Các sản phẩm thuỷ hoá càng dễ bị ăn mòn thì ăn mòn bê tông càng mạnh hơn. Khi bê tông bị rỗng cũng tạo điều kiện để các tác nhân ăn mòn cốt thép trong bê tông.

Sự ăn mòn bê tông và bê tông cốt thép rất đa dạng và diễn ra phức tạp, tuy nhiên sự ăn mòn thường tồn tại ở ba dạng cơ bản là ăn mòn loại I, ăn mòn loại II và ăn mòn loại III [6]. Khi xét bản chất các quá trình ăn mòn bê tông,

ta thấy rằng sự ăn mòn diễn ra không đơn thuần ở một loại riêng biệt, mà quá trình phá huỷ thường quy tụ hai hoặc cả ba loại ăn mòn, nhưng ở mức độ khác nhau, trong đó có một loại ăn mòn diễn ra mạnh hơn. Sự phân loại ở đây dựa trên tính vượt trội của mỗi loại ăn mòn trên. Khi nghiên cứu một cách đầy đủ về ăn mòn cần phải tính đến ăn mòn chính và phụ đồng thời diễn ra. Cùng với sự ăn mòn bê tông bởi các tác nhân của môi trường còn ăn mòn cốt thép trong lòng bê tông. Dưới đây trình bày một số vấn đề cơ bản về các loại ăn mòn đó.

## 1.2. ĐẶC TRUNG CỦA QUÁ TRÌNH ĂN MÒN

### 1.2.1. Ăn mòn loại I

Ăn mòn loại I diễn ra do sự hoà tan của các sản phẩm thuỷ hoá của xi măng (chủ yếu là các hydroxyt canxi và aluminat canxi ngậm nước) bị hoà tan, đặc biệt hydroxyt canxi tan mạnh nhất, do đó loại ăn mòn này còn được gọi là quá trình khử kiềm.

Đá xi măng có đặc trưng là kết cấu không đồng nhất về cả cấu trúc và các thuộc tính của chúng, trong đó có thuộc tính bị hoà tan. Khi hydroxyt canxi tan vào dung dịch làm dịch chuyển trạng thái cân bằng của các sản phẩm thuỷ hoá trong hệ xi măng - nước. Độ hoà tan của hydroxyt canxi trong nước ở nhiệt độ 20°C là 1,18g/l, tính theo lượng CaO. Theo Moskvina sự có mặt của các muối trong dung dịch có ảnh hưởng đáng kể đến tính hoà tan của hydroxyt canxi. Khi các muối chứa một trong các ion  $\text{OH}^-$  hoặc  $\text{H}^+$  thì độ hoà tan giảm đi, còn khi các muối chứa các ion khác loại thì sẽ làm tăng độ hoà tan của hydroxyt canxi. Điều này được khẳng định, khi tăng NaCl hoặc KCl, độ tan của hydroxyt canxi tăng lên rõ rệt.

Sự hoà tan của các sản phẩm thuỷ hoá vừa làm kết cấu đá xi măng bị rỗng vừa làm mất ổn định các sản phẩm thuỷ hoá khác. Theo Ivanov [6],  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{aq}$  là kém bền nhất trong các silicat canxi ngậm nước được tạo ra do sự thuỷ hoá xi măng. Nó chỉ bền vững trong dung dịch bão hoà vôi.  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{aq}$  là khoáng có độ bền ở môi trường có nồng độ hydroxit canxi  $\geq 1,1 \text{ g/l}$ . Hợp chất  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{aq}$  bền trong các dung dịch có nồng độ hydroxyt canxi thấp hơn, nhưng nó chỉ hoàn toàn bền vững trong dung dịch có độ  $C_{\text{CaO}} \geq 0,05 \text{ g/l}$  (độ pH = 11). Khi nồng độ của hydroxyt canxi nhỏ hơn giá trị

này thì các sản phẩm sẽ phân huỷ và tách ra  $\text{Ca(OH)}_2$ , hydroxyt canxi mới tách ra lại tiếp tục tan, làm cho kết cấu giảm độ chịu lực. Nếu giảm nồng độ hydroxyt canxi xuống dưới 0,05 g/l thì các silicat canxi hoàn toàn bị phân huỷ, kết cấu bê tông hoàn toàn bị phá hoại.

Trong số các aluminat canxi ngậm nước, loại kém bền nhất là  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$ . Ngược lại,  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  có độ hoà tan nhỏ nhất. Giới hạn độ bền của nhóm các khoáng này như sau:

Loại khoáng:	Nồng độ $\text{Ca(OH)}_2$ :
$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,17 - 0,315g/l
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,315-1,15g/l
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$	> 1,15g/l

Từ đây, có thể đưa ra nhận xét rằng các sản phẩm silicat canxi ngậm nước và aluminat canxi ngậm nước có hàm lượng oxyt canxi thấp bền vững hơn. Tuy nhiên, các sản phẩm thuỷ hoá thường tồn tại ở các dạng cơ bản là  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  và  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Đó là nguyên nhân dẫn đến sự mất ổn định của đá xi măng khi nồng độ của hydroxyt canxi giảm đi, hay nói cách khác là hiện tượng ăn mòn hoà tan diễn ra.

Vấn đề quan trọng của ăn mòn loại I là tốc độ hoà tan. Vì vậy, để đánh giá cường độ của ăn mòn loại I, các nhà khoa học đã đưa ra biện pháp xác định tốc độ hoà tan. Phương pháp được nhiều nhà khoa học thực hiện là phương pháp nghiền nhỏ đá xi măng rồi xử lý bằng lượng nước dư hoặc dòng nước thay đổi. Để có kết quả xác định gắn với điều kiện làm việc của công trình bê tông và bê tông cốt thép, người ta tiến hành bằng cách cho nước thấm qua mẫu bê tông thí nghiệm và dội rửa bề mặt mẫu.

#### ***Các yếu tố ảnh hưởng tới quá trình ăn mòn loại I***

*Thành phần khoáng* của xi măng pooc lăng gây ảnh hưởng lớn nhất tới tốc độ ăn mòn và tính liên tục của quá trình ăn mòn loại I. Khi xi măng có nhiều khoáng  $\text{C}_3\text{S}$  và  $\text{CaO}$  tự do, sự hoà tan càng mạnh. Mặt khác, vi cấu trúc của clinke xi măng cũng ảnh hưởng tới sự ăn mòn vì chúng có ảnh hưởng tới quá trình thuỷ hoá của xi măng.

*Loại phụ gia cho vào xi măng* ảnh hưởng đáng kể tới tốc độ ăn mòn loại I. Khi dùng xi măng pooc lăng pha cát nghiền, trộn trepen và trộn puzolan-cát

nghiên thì khả năng bị ăn mòn nhỏ hơn so với xi măng poocăng. Khi dùng xi măng poocăng - puzolan có hiệu quả lớn nhất, mặt khác nó còn nâng cao tính chống thấm V.A. Kind [5] đã thí nghiệm và xác định được lượng hydroxyt canxi trong đá xi măng được chế tạo từ các loại xi măng khác nhau qua 28 ngày đem đông cứng như sau:

Loại xi măng	Lượng CaO, %
Xi măng poocăng không phụ gia	9,37
70% xi măng poocăng + 30% trepen	2,92
60% xi măng poocăng + 40% trepen	1,5
50% xi măng poocăng + 50% trepen	0,85

Các yếu tố công nghệ khác như thời gian đông cứng, nhiệt độ của môi trường bảo dưỡng và nhiệt độ của môi trường tiếp xúc với bê tông có tác động lớn đến tốc độ hoà tan của  $\text{Ca(OH)}_2$ , vì các nhân tố này ảnh hưởng tới sự tạo thành các sản phẩm thuỷ hoá, cũng như sự hình thành cấu trúc của bê tông. Thời gian rắn chắc càng dài, nhiệt độ bảo dưỡng càng cao thì khả năng chống ăn mòn loại I càng được cải thiện. Ảnh hưởng của nhiệt độ bảo dưỡng đến lượng hydroxyt canxi có trong đá xi măng được giới thiệu ở bảng 1.1.

**Bảng 1.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ bảo dưỡng đến độ bền của xi măng**

Loại xi măng Poocăng	Độ khử kiềm (CaO), g/kg sau 2 ngày rắn chắc ở T°C		
	20°C	40°C	80°C
Không có phụ gia	21	24	30
Có 30% trepen	18	14	8

Kết quả trong bảng 1.1 cho thấy: Ở nhiệt độ bảo dưỡng cao đã xảy ra phản ứng silicat hoá để chuyển từ hydroxyt canxi tự do thành silicat canxi ngậm nước, bền trong môi trường ăn mòn loại I.

Phương pháp bảo dưỡng cũng ảnh hưởng đến mức độ ăn mòn hoà tan khi dùng các loại xi măng khác nhau (bảng 1.2).

Việc chung hấp đặc biệt có hiệu quả làm giảm mức độ ăn mòn đối với xi măng pha cát nghiền. Điều này hoàn toàn dễ hiểu, bởi vì ở điều kiện chung hờ ở nhiệt độ cao phản ứng silicat hoá diễn ra mạnh.

**Bảng 1.2. Ảnh hưởng của chứng hấp bê tông đến độ ăn mòn loại I**

Loại xi măng poocăng (X.P)	Nồng độ CaO, mg/l, bảo dưỡng trong điều kiện	
	Chứng hấp	Điều kiện thường
Ximăng không có phụ gia	393	555
X.P cát (25% cát nghiền)	220	602
X.P. puzolan (25% trepen)	152	416
X.P. xỉ (25% xỉ nghiền)	122	139

Thời gian rắn chắc cũng ảnh hưởng tới sự thay đổi độ bền của bê tông xi măng khi chịu tác động ăn mòn loại I. Qua thí nghiệm, Moskvín đã đưa ra kết luận: Khi tuổi của bê tông tăng lên, xi măng poocăng không phụ gia sẽ không ảnh hưởng tới độ bền của chúng, nếu loại bỏ được hiện tượng cacbonat hoá bề mặt. Ngược lại, độ bền của bê tông xi măng poocăng phụ gia được nâng lên (bảng 1.3).

**Bảng 1.3. Ảnh hưởng của loại xi măng tới sự khử kiềm ở các tuổi khác nhau**

Loại xi măng	Tuổi bảo dưỡng mẫu, ngày đêm			
	30	60	90	180
Ximăng poocăng không phụ gia	1	1	1	1
Ximăng poocăng puzolan	1,15	1,26	0,82	0,45
Ximăng poocăng puzolan-cát	1,22	1,01	0,75	0,73

Ngoài các yếu tố cơ bản có ảnh hưởng tới độ bền của vữa ximăng và bê tông dưới tác động ăn mòn loại I như đã trình bày ở trên thì sự ăn mòn các kết cấu bê tông dạng này còn chịu ảnh hưởng bởi tính chất mài mòn của dòng nước, độ cứng của nước...

## 1.2.2. Ăn mòn loại II

### 1.2.2.1. Bản chất của ăn mòn loại II

Ăn mòn loại II được phân biệt khác với ăn mòn loại I ở chỗ nó không chỉ là sự hoà tan của các sản phẩm của đá xi măng, mà chủ yếu do tương tác của các axit hoặc muối trong môi trường với các sản phẩm thuỷ hoá của xi măng tạo ra các hợp chất tan mạnh hơn các sản phẩm thuỷ hoá ban đầu, không có cường độ. Mức độ phá hoại mạnh của ăn mòn loại II là do sự tác động đồng thời của các quá trình hoá học đến sự phân huỷ  $\text{Ca(OH)}_2$ , làm tăng đáng kể mức độ phá hoại kết cấu bê tông.

Trong số các tác nhân gây ăn mòn loại này thì axit là tác nhân phá hoại mạnh nhất, tiếp theo là các muối axit và các hợp chất có khả năng tương tác với các sản phẩm thủy hoá của xi măng có tính hoạt động hoá học mạnh. Dưới đây trình bày một số vấn đề cơ bản về các quá trình ăn mòn loại II:

#### **1.2.2.2. Ăn mòn do axit cacbonic**

Sự tác dụng giữa đioxit cacbon trong không khí với hydroxyt canxi trong đá xi măng là phổ biến nhất của quá trình ăn mòn loại II. Khi trong nước có hàm lượng khí  $\text{CO}_2$  nhỏ chúng sẽ tác dụng với hydroxyt canxi để tạo ra cacbonat canxi ( $\text{CaCO}_3$ ) kết tinh bền vững trên bề mặt bê tông làm cho sự ăn mòn giảm đi, nó lấp đầy các lỗ rỗng và bao bọc quanh cốt thép của bê tông, bảo đảm độ ổn định cho kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. Khi nồng độ của  $\text{CO}_2$  tăng lên nhiều,  $\text{CaCO}_3$  lại biến thành  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Sản phẩm mới sinh này có độ tan lớn hơn nhiều so với hydroxyt canxi. Hơn thế nữa, phản ứng giữa axit cacbonic và cacbonat canxi diễn ra nhanh trong khi sự khuếch tán của  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  từ trong ra để bù đắp cho sự mất lớp màng phủ cacbonat canxi lại diễn ra chậm. Trong trường hợp này kết cấu bê tông bị phá hoại nhanh hơn..

Những nghiên cứu do I.E. Orlov [6] thực hiện và lí thuyết do ông đưa ra về tác dụng phá huỷ cacbonat được hình thành trong nước chứa axit cacbonic chỉ ra rằng: Tốc độ của phản ứng tỉ lệ với bình phương hàm lượng axit cacbonic.

Cường độ phá hoại của axit cacbonic phụ thuộc vào các yếu tố như: Lượng khí  $\text{CO}_2$ , lực ion dung dịch, loại xi măng, thời gian bảo dưỡng bê tông và diện tích mặt tiếp xúc của đá xi măng với các tác nhân gây ăn mòn.

Tốc độ ăn mòn do axit cacbonic trong môi trường muối  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1,5% còn phụ thuộc vào các yếu tố như lượng khí  $\text{CO}_2$ , lực ion trong dung dịch.

Nghiên cứu của nhiều tác giả cho thấy sự rửa trôi của  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  trong bê tông dùng xi măng pooc lăng nhanh hơn ở bê tông dùng xi măng pooc lăng puzolan, vì bê tông dùng xi măng pooc lăng puzolan sinh ra ít hydroxyt canxi hơn. Xi măng pooc lăng pha bột đá vôi cũng có độ bền trong axit cacbonic cao hơn xi măng pooc lăng thường.

Thời gian bảo dưỡng càng dài thì độ ăn mòn càng khó diễn ra do lớp cacbonat hoá càng dày. Theo những quan sát của Moskvin, các công trình

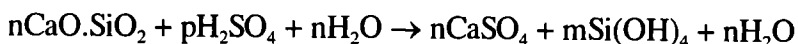
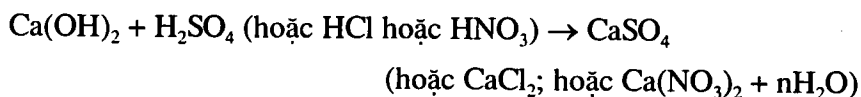
bê tông và bê tông cốt thép sau khoảng 3 tháng rắn chắc ngoài không khí, lớp cacbonat hoá trên bề mặt kết cấu có chiều dày chừng vài cm. Bằng những số liệu thực nghiệm Moskvin đã chỉ ra rằng diện tích mặt phản ứng ảnh hưởng đáng kể đến nồng độ cực đại của bicacbonat, nghĩa là nó có ảnh hưởng rõ nét đến sự ăn mòn kết cấu bê tông và bê tông cốt thép.

### 1.2.2.3. Ăn mòn của các axit khác

Trong số những axit vô cơ thường gặp (trừ axit cacbonic) tác dụng lên đá xi măng và bê tông như axit clohydric, axit sunfuric, axit nitric và các axit hữu cơ như axit axetic, axit lactic... khi bị tác dụng bởi các axit này đá xi măng sẽ bị phá huỷ.

Theo mức độ ăn mòn của các axit phân ra ba nhóm theo mức độ giảm dần như sau:

+) Nhóm I là các axit, khi phản ứng với các sản phẩm thủy hoá của xi măng hình thành các sản phẩm dạng gel như đioxit silic, hydroxyt sắt, hydroxyt nhôm và một lượng không đáng kể các chất trong suốt như muối canxi. Các axit này là axit clohydric, axit sunfuric và axit nitric. Phản ứng của các axit này với các sản phẩm thủy hoá của xi măng diễn ra như sau:



+) Nhóm II là các axit với độ tan của sản phẩm tạo thành nhỏ hơn 1 g/l và có nồng độ thấp. Các sản phẩm thuộc nhóm này là  $\text{H}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{Fe(OH)}_3$ ,  $\text{Al(OH)}_3$ ... Khi có mặt của các muối canxi, những axit này sẽ làm cho độ ăn mòn đá xi măng giảm đi.

+) Nhóm III bao gồm các axit chứa gốc muối canxi mà độ hoà tan nhỏ hơn 0,002g/l như axit oxalic, hydrofluoric và fluoxilixic. Các axit này, khi tương tác với các hợp chất của đá xi măng, sinh ra sản phẩm dạng gel, có tác dụng ngăn cản sự xâm nhập của tác nhân gây ăn mòn làm chậm đáng kể tốc độ hư hỏng công trình.

Tốc độ ăn mòn thay đổi tùy thuộc vào độ hoà tan của các sản phẩm tạo thành. Độ hoà tan của các sản phẩm này càng mạnh thì tốc độ phá huỷ càng nhanh. Sản phẩm thủy hoá của đá xi măng là không thay đổi, nên tốc độ ăn mòn phụ thuộc vào loại axit có trong môi trường.



Khi so sánh độ bền của bê tông dùng các loại xi măng khác nhau Moskvin đã đưa ra kết quả thí nghiệm được giới thiệu ở bảng 1.4 và minh họa trên biểu đồ thực nghiệm (hình 1.1).

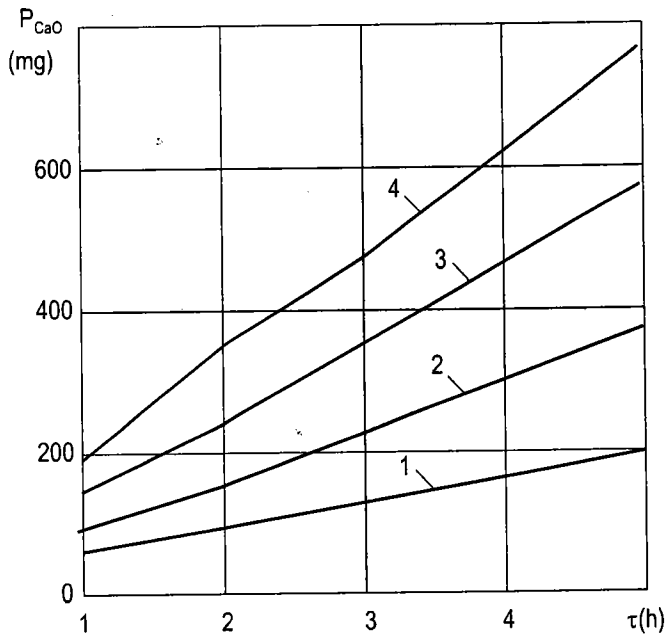
**Bảng 1.4.** So sánh tốc độ ăn mòn với các loại xi măng khác nhau

Loại chất kết dính	Khi có tác dụng của loại axit	
	HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Xi măng pooc lăng	1	1
Xi măng pooc lăng puzolan	1	0,94
Xi măng aluminat	0,81	0,68
Xi măng chịu axit	0,12	0,08

**Ghi chú:** Tốc độ ăn mòn tính theo lượng CaO với 3 loại xi măng đầu, tính bằng lượng Na<sub>2</sub>O đối với xi măng chịu axit.

Từ bảng số liệu trên ta thấy xi măng pooc lăng có độ bền kém nhất, xi măng pooc lăng puzolan có độ bền cao hơn không đáng kể so với xi măng pooc lăng thường, còn xi măng chịu axit có độ chống ăn mòn tốt nhất.

Một yếu tố khác ảnh hưởng tới tốc độ ăn mòn của các axit vô cơ là nồng độ của axit và tốc độ dòng nước chảy qua bề mặt đá xi măng.



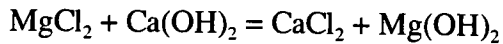
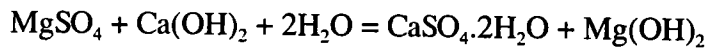
**Hình 1.1:** Sự phụ thuộc của tổng lượng CaO tách ra từ đá xi măng vào tốc độ thấm dung dịch HCl (pH = 2)

- 1 - 100ml/giờ;
- 2 - 300ml/giờ;
- 3 - 600ml/giờ;
- 4 - 800ml/giờ

Khi chịu tác động của axit có nồng độ đậm đặc ( $\text{pH} = 1$ ), bê tông dùng xi măng pooc lăng puzolan có độ bền nhỏ hơn với bê tông dùng xi măng pooc lăng. Ngược lại khi nồng độ của axit yếu ( $\text{pH} \geq 4$ ) độ bền của xi măng pooc lăng puzolan lại lớn hơn khi dùng xi măng pooc lăng. Tốc độ dòng chảy càng nhanh thì sự ăn mòn diễn ra càng mạnh.

#### **1.2.2.4. Ăn mòn của các dung dịch muối manhê**

Muối manhê cơ bản là hai loại muối clorua manhê và sunfat manhê. Chúng thường có trong nước ngầm, nước biển. Sự ăn mòn của loại muối này chủ yếu do chúng tương tác với hydroxyt canxi có trong đá xi măng. Những phản ứng chính diễn ra giữa hydroxyt canxi có trong đá xi măng với các muối manhê như sau:



Trong hai trường hợp này hydroxyt manhê được tạo ra có độ hoà tan rất nhỏ (18,2 mg/l) nên chúng kết tủa lại. Những quan sát về trạng thái của các kết cấu bị phá huỷ do muối manhê chỉ ra rằng trên bề mặt và trong các lỗ rỗng tích tụ các chất vô định hình màu trắng (hydroxyt manhê). Bê tông càng bị thấm nhiều và hàm lượng hydroxyt canxi trong đá xi măng càng nhiều thì chất vô định hình màu trắng này được tạo ra càng nhiều và các tính chất cơ học của kết cấu bê tông càng bị suy giảm. Tuy nhiên, cũng có một số tác giả khảo sát và chỉ ra rằng, trong một số trường hợp hydroxyt manhê có tác dụng làm chèn kín các lỗ rỗng trong bê tông, góp phần nâng cao cường độ của nó.

Sự ăn mòn của các muối manhê cũng chịu ảnh hưởng bởi các loại xi măng khác nhau. Khi so sánh các loại xi măng đã dùng nêu ở trên chịu tác dụng của muối clorua manhê, thì xi măng aluminat có độ bền cao nhất, còn đối với hai loại xi măng pooc lăng và xi măng pooc lăng puzolan thì sự so sánh lại phụ thuộc vào nồng độ của muối tác động vào bê tông. Khi nồng độ muối thấp (1-2%) thì hai loại xi măng có độ bền tương đương, nhưng khi ở nồng độ cao (khoảng trên 5%) thì độ bền của xi măng pooc lăng lại cao hơn xi măng pooc lăng puzolan. Điều này có thể được giải thích rằng, khi dung dịch muối xâm nhập vào bên trong đá xi măng, hydroxyt canxi sẽ tương tác với chúng, tạo ra hydroxyt manhê, lấp các mao quản, có tác dụng cản trở sự xâm nhập của dung dịch muối xâm nhập tiếp vào trong, nhưng lượng sản phẩm

này sinh ra từ xi măng poocăng puzolan không đủ cản trở sự xâm nhập mạnh mẽ của muối manhê có nồng độ cao. Có thể nói sự ăn mòn đá xi măng phát triển nhanh khi dung dịch  $MgCl_2$  có nồng độ trên 2% và có thể cho phép sử dụng bê tông trong môi trường muối này với nồng độ không vượt quá 5000mg/l.

#### **1.2.2.5. Ăn mòn của dung dịch kiềm**

Theo những tài liệu đã công bố thì bản thân kiềm không có tác dụng ăn mòn bê tông, nhưng khi bê tông ở trong dung dịch kiềm loãng, sau đó tiếp xúc với không khí, trong bê tông sẽ bị cacbonat hoá sinh ra các muối cacbonat ( $Na_2CO_3$ ) kết tinh phá vỡ cấu trúc bê tông. Trong dung dịch kiềm đặc, tuy độ hoà tan của  $Ca(OH)_2$  có giảm đi rõ rệt, nhưng lượng OH sinh ra lại làm cho các oxit và silicat bị hoà tan, từ đó dẫn đến phá hoại bê tông. Như vậy có thể nói ăn mòn do kiềm có trong đá xi măng xảy ra trong lòng khối bê tông, giữa các cấu tử với nhau. Bản thân clinke luôn chứa một lượng các chất kiềm ( $Na_2O$ ,  $K_2O$ ). Trong cốt liệu bê tông, đặc biệt là trong cát thường chứa oxit silic vô định hình (opon, chanxedon, thuỷ tinh núi lửa), chúng có thể tác dụng với kiềm trong xi măng ở ngay nhiệt độ thường, làm cho bề mặt hạt cốt liệu nở ra, tạo ra một hệ thống các vết nứt. Sự phá hoại này xảy ra sau khi hoàn thành công trình xây dựng khoảng 10-15 năm.

#### **1.2.3. Ăn mòn loại III**

Loại ăn mòn này là sự tích tụ các muối, được hình thành từ sự tương tác của các sản phẩm thuỷ hoá của xi măng với các hợp chất của môi trường hoặc được xâm nhập từ bên ngoài, làm tăng thể tích nhiều, gây nội ứng xuất phá hoại kết cấu đá xi măng. Đặc tính cơ bản của ăn mòn loại III là ở thời kỳ đầu sản phẩm xuất hiện do tương tác của các hợp chất của môi trường và sản phẩm thuỷ hoá của xi măng còn ít, chúng kết tủa trong các lỗ rỗng và mao quản trong cấu trúc bê tông, nâng cao độ đặc chắc và góp phần làm tăng độ bền của kết cấu. Nếu sản phẩm này không tăng thêm thì kết cấu không bị phá hoại. Nhưng về sau sản phẩm sinh ra càng nhiều, chúng gây nội ứng suất, phá hoại kết cấu và mở đường cho các tác nhân ăn mòn xâm nhập tiếp vào sâu bên trong bê tông và nhanh chóng phá hoại bê tông.

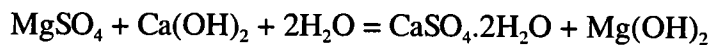
Sự phổ biến của loại ăn mòn này là sự xâm nhập của các hợp chất tự nhiên và công nghiệp hoá chất chứa đựng các hợp chất sunfat.

### **1.2.3.1. Ăn mòn của các muối sunfat**

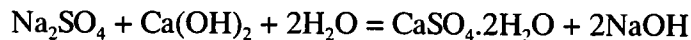
Muối sunfat thường gặp trong đa số các loại nước tự nhiên. Trong nước sông, hồ hàm lượng sunfat tính theo ion  $\text{SO}_4^{-2}$  thường không vượt quá 100mg/l. Trong nước khoáng ngầm hàm lượng này tăng lên rất lớn. Đặc biệt trong nước biển với độ mặn 33-35g/l lượng  $\text{SO}_4^{-2}$  thường là 2,5 - 2,7g/l. Một số ngành sản xuất hoá chất có dùng axit sunfuric như ngành luyện cốc, sản xuất sunfat amon, sản xuất phân khoáng và nhiều ngành công nghiệp khác cũng gặp dạng ăn mòn này. Tuy nhiên, sự ăn mòn chỉ đáng kể khi nồng độ  $\text{SO}_4^{-2}$  lớn hơn 250mg/l.

Quá trình ăn mòn hoá học diễn ra như sau:

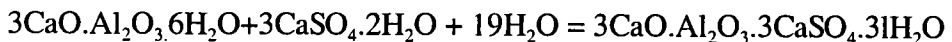
Đầu tiên là sự tương tác của sunfat manhê với hydroxyt canxi theo phương trình:



Khi trong môi trường có chứa muối  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , thì đầu tiên là tương tác của sunfat natri với hydroxyt canxi theo phương trình:



Sản phẩm  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  được hình thành tăng thể tích 2,34 lần so với hydroxyt canxi. Sau khi được tạo ra,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  lại tương tác với  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  tạo ra  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$  (muối ettringit) theo phương trình:



Ettringit kết tinh và nằm lại trong các lỗ rỗng của đá xi măng và bê tông, tăng thể tích gấp khoảng 4,8 lần so với tổng thể tích của các hợp chất sinh ra nó. Chính vì sự nở thể tích của các sản phẩm này mà cấu trúc của bê tông có thể bị phá vỡ.

### **1.2.3.2. Các yếu tố ảnh hưởng tới ăn mòn sunfat**

Mức độ ăn mòn đá xi măng và bê tông của các chất gốc sunfat chịu ảnh hưởng của nhiều nhân tố.

Hàm lượng  $\text{C}_3\text{A}$  có ảnh hưởng lớn nhất đến tính ăn mòn sunfat của xi măng vì sự có mặt của chúng sẽ tạo ra phản ứng với các muối sunfat để tạo thành ettringit. Lượng  $\text{C}_3\text{A}$  càng nhiều thì lượng ettringit sinh ra càng lớn, cấu trúc bê tông càng bị phá hoại nhanh chóng. Xi măng pooclang có hàm

lượng  $C_2S$  cao sẽ có độ bền chống sunfat tốt hơn so với loại xi măng poocăng có nhiều khoáng  $C_3S$ . Điều này được giải thích là do trong xi măng alit, aluminat canxi ngậm nước đã được thuỷ hoá trước không tan trong dung dịch hydroxyt canxi bão hoà, vì vậy chúng phản ứng với thạch cao tạo ra ettringit, tăng thể tích, phá vỡ kết cấu bê tông (bảng 1.5).

Do những ảnh hưởng lớn của thành phần khoáng của xi măng đến tính chất ăn mòn sunfat nên nhiều quốc gia đã đưa ra tiêu chuẩn khống chế hàm lượng khoáng:  $C_3A \leq 5\%$ ;  $C_3A + C_4AF \leq 22\%$ ;  $C_3S \leq 50\%$  cho xi măng chống ăn mòn trong môi trường này.

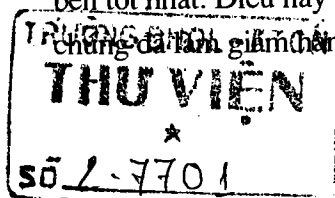
Các nhà khoa học qua thí nghiệm đã kết luận rằng không chỉ thành phần khoáng của clinke có ảnh hưởng tới độ bền sunfat của bê tông mà tính chất vi cấu trúc của chúng (thành phần pha) cũng có ảnh hưởng tới tính chất này. Điều kiện về công nghệ sản xuất, nhất là chế độ làm nguội, có ảnh hưởng lớn tới độ bền sunfat của các loại xi măng.

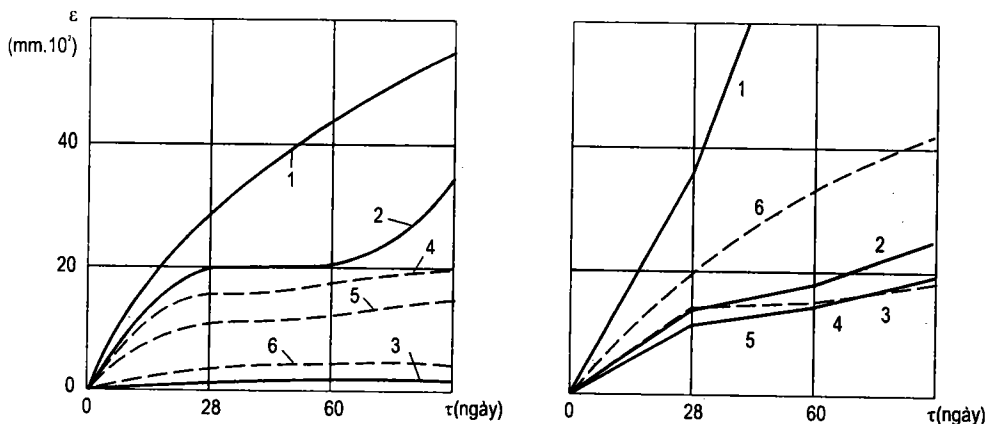
**Bảng 1.5. Ảnh hưởng của thành phần khoáng trong clinke xi măng poocăng, %, đến độ bền sunfat của bê tông**

$C_3A$	$C_4AF$	$C_3S$	$C_2S$	Độ bền sunfat
15	8	25	52	Thấp
15	8	50	27	-
15	8	70	7	-
5	15	25	55	Cao
5	15	50	30	-
5	15	70	10	-

Để đánh giá ảnh hưởng của các loại phụ gia khoáng hoạt tính, các nhà khoa học đã thí nghiệm so sánh sự ăn mòn của ba loại xi măng: xi măng poocăng, xi măng poocăng puzolan và xi măng poocăng xỉ thông qua việc xác định độ biến dạng của các mẫu thí nghiệm sau 3 tháng ngậm ngập trong các dung dịch muối sunfat natri và sunfat manhê (hình 1.2).

Các kết quả thí nghiệm cho thấy độ bền của các mẫu từ xi măng poocăng puzolan cao hơn so với xi măng poocăng, còn xi măng poocăng xỉ cho độ bền tốt nhất. Điều này có thể giải thích: Khi dùng các phụ gia khoáng hoạt tính, chúng đã làm giảm hàm lượng hydroxyt canxi trong đá xi măng.





**Hình 1.2: Tính biến dạng của các mẫu  $30 \times 30 \times 100\text{mm}$  trong dung dịch nồng độ 5% của các muối:**

**a) Trong sunfat natri, b) Trong sunfat manhê;**

1, 2, 3 - khi hàm lượng  $C_3A$  ban đầu 10,3%; 4, 5, 6 - khi hàm lượng  $C_3A$  ban đầu là 7,8%;

1,4 - xi măng pooc lăng; 2,5 - xi măng pooc lăng puzolan (20% puzolan);

3,6 - xi măng pooc lăng xi (50% xi).

Khi xét sự ảnh hưởng của nồng độ và loại muối sunfat đến sự ăn mòn đá xi măng cho thấy: các loại muối có nồng độ  $> 250 \text{ mg/l}$  mới có khả năng ăn mòn rõ rệt, vì khi nồng độ các muối càng cao thì sự tạo thành hydro sulfo aluminat tricanxit càng nhiều. Trong các loại muối sunfat thì muối sunfat canxi có tốc độ ăn mòn lớn hơn các loại muối sunfat khác. Điều này được giải thích bằng sự tạo thành nhiều  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , tạo điều kiện để sinh ra nhiều ettringit. Sự tạo thành hydro sulfo aluminat tricanxit làm cho cấu trúc của đá xi măng trở nên tối xốp.

Về ảnh hưởng của các loại muối V.V. Kind [5] đã khẳng định rằng, trong 3 loại muối: sunfat natri, sunfat canxi và sunfat manhê thì tốc độ ăn mòn của loại muối thứ ba lớn nhất. Ông đã đưa ra số liệu so sánh khi ngâm các mẫu đá xi măng chế tạo từ xi măng pooc lăng có hàm lượng  $C_3A$  10% trong các môi trường muối có nồng độ 2% thì mẫu ngâm trong sunfat manhê bị phá hoại trước, chỉ sau chưa đầy 3 năm.

Cũng xét sự ảnh hưởng của các loại muối gốc sunfat tới sự ăn mòn đá xi măng và bê tông A.I. Panpherova đã chỉ ra rằng sự ăn mòn của muối amoni sunfat là nguy hiểm hơn. Điều này được giải thích là khi bị sunfat amon tác dụng thì nồng độ của cation tăng lên vì sự có mặt của  $\text{NH}_4^+$ , từ đó thúc đẩy phản ứng giữa sunfat amon với hydroxyt canxi tạo ra  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  và

$2\text{NH}_4\text{OH}$ . Hydroxyt amon tan nhanh vào môi trường và một phần tách ra khí amoniac bay hơi.

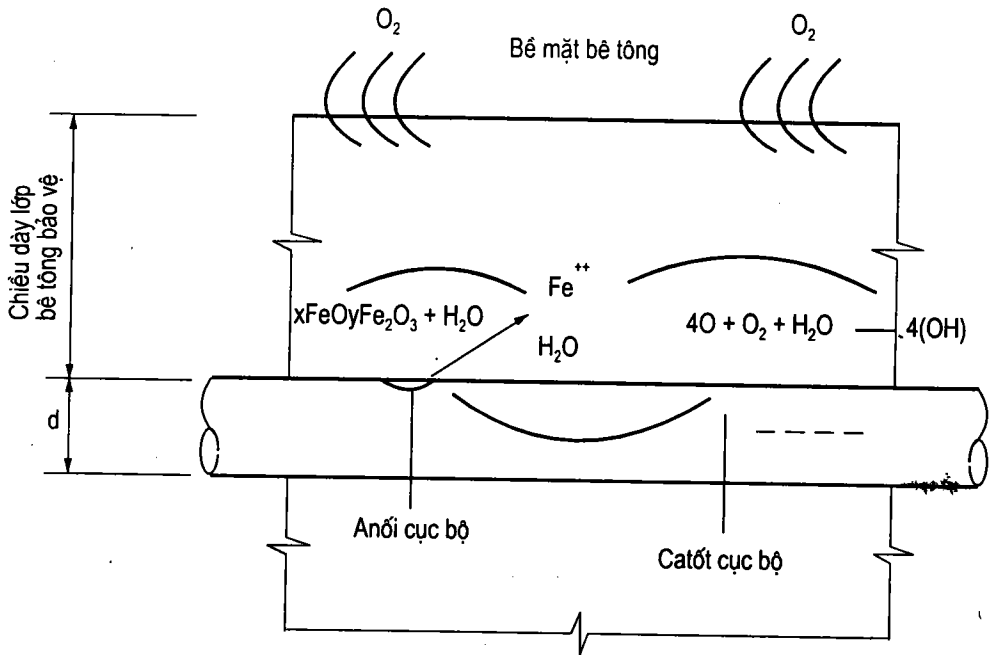
Các yếu tố điều kiện môi trường như tính khô ẩm có chu kì liên tục, nhiệt độ không khí và tính chuyển động của dòng nước... cũng có ảnh hưởng đến sự ăn mòn. Tính khô ẩm liên tục làm tăng đáng kể tốc độ ăn mòn. Khi nhiệt độ thay đổi, cũng như khi có sự chuyển động của dòng chảy thì mức độ ăn mòn sẽ tăng lên.

#### 1.2.4. Ăn mòn cốt thép trong bê tông

Ngoài hiện tượng ăn mòn bê tông, trong các môi trường sử dụng, đặc biệt là môi trường nước biển và nước ngầm còn xảy ra hiện tượng ăn mòn cốt thép. Cốt thép trong bê tông bị ăn mòn chủ yếu là ăn mòn điện hoá. Trong môi trường biển ăn mòn cốt thép còn do tác dụng xâm thực của các ion  $\text{Cl}^-$  ngấm vào bê tông cốt thép từ môi trường bên ngoài, hoặc do lẫn trong vật liệu chế tạo bê tông (cát, đá).

Khi cốt thép được đặt trong bê tông đặc chắc chưa bị cacbonat hoá, môi trường kiềm trong bê tông cao là điều kiện thuận lợi hình thành trên bề mặt cốt thép một lớp oxýt mỏng ngăn cản quá trình gỉ thép (ăn mòn). Lớp màng oxýt mỏng này được gọi là màng "thụ động", khi đó bề mặt cốt thép tồn tại ở dạng thụ động. Hiện tượng ăn mòn chỉ xảy ra khi lớp màng "thụ động" bị xuyên thủng (lớp bê tông bảo vệ bị rỗng). Việc ăn mòn cốt thép sẽ dẫn đến nở thể tích, làm nứt vỡ lớp bê tông bảo vệ và phá huỷ toàn bộ bê tông cốt thép

+ Ăn mòn cốt thép trong bê tông thường diễn ra ở dạng ăn mòn điện hoá. Ở dạng ăn mòn này các nguyên tử sắt trong cốt thép tách khỏi mạng lưới tinh thể và trở thành ion mạch điện trong dung dịch, dưới tác dụng của ion  $\text{OH}^-$  trong môi trường tạo ra các sản phẩm gỉ khác nhau dưới dạng công thức chung:  $x\text{FeO} \cdot y\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ . Các sản phẩm gỉ sắt này có thể là  $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot \text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Các sản phẩm này có tính xốp, tích tụ trên bề mặt cốt thép với thể tích lớn gấp 4 - 6 lần so với các thành phần ban đầu, chính vì vậy đã gây nội ứng suất phá hoại cấu trúc bê tông dọc theo vị trí đặt thép, làm cho các tác nhân xâm thực dễ dàng xâm nhập vào bên trong, tăng nhanh quá trình ăn mòn bê tông và cốt thép. Quá trình gỉ chỉ có thể xảy ra nếu như bê tông đủ khả năng dẫn điện nhờ một lượng ngậm nước nhất định vì lúc này đã có sự phân cực cách biệt giữa catôt và anôt (hình 1.3).



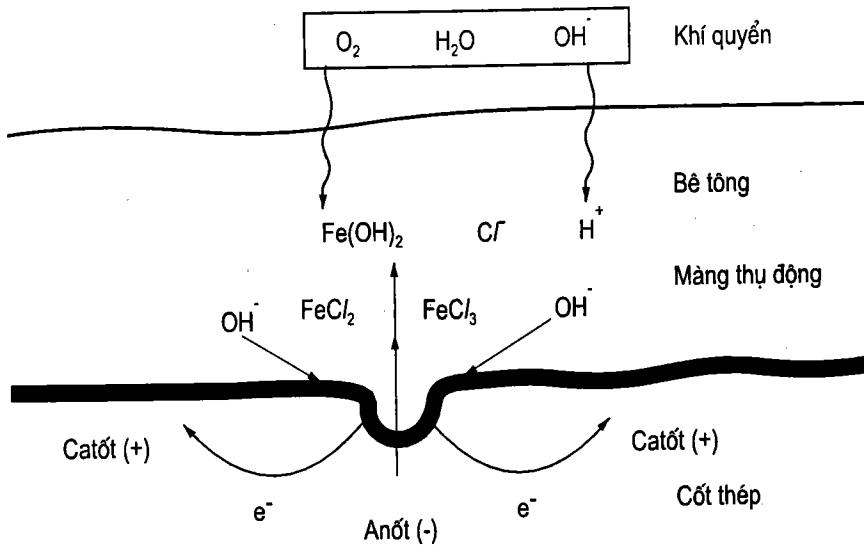
**Hình 1.3:** Sơ đồ quá trình gỉ cốt thép do ăn mòn điện hoá

Qua đây, chúng ta thấy rất rõ khả năng chống thấm của lớp bê tông bảo vệ đóng vai trò rất quan trọng đối với quá trình gỉ của cốt thép. Bê tông không đủ độ chặt, lớp bảo vệ không đủ chiều dày cần thiết hiện tượng gỉ càng mạnh. Ở môi trường khô ráo, do bê tông không đủ khả năng dẫn điện nên cốt thép ít bị gỉ, còn trong môi trường ngấm nước hoàn toàn thì bê tông có thể dẫn điện, nhưng nước lại ngăn cản sự thấm nhập của oxy qua bê tông nên cốt thép cũng ít bị gỉ.

+ Ăn mòn cốt thép trong bê tông còn có thể do thấm ion  $\text{Cl}^-$ . Sự có mặt của ion  $\text{Cl}^-$  trong môi trường biển là nguyên nhân chủ yếu làm tăng tốc độ ăn mòn cốt thép trong bê tông. Tốc độ ăn mòn thép lớn do ion  $\text{Cl}^-$  làm giảm điện trở của dung dịch điện li trong bê tông. Mặt khác, khi ion Clo khuếch tán đến bề mặt cốt thép, chúng có thể tạo nên sự ăn mòn bằng cách hoà tan lớp thụ động hoặc khuếch tán qua lớp oxy này. Sơ đồ cơ chế quá trình ăn mòn cốt thép trong bê tông có mặt ion clo được trình bày ở hình 1.4.

Đặc trưng ăn mòn thép khi có Clo tạo ra các "lỗ" trên bề mặt kim loại (micropile), làm tỉ lệ điện tích catốt/anốt lớn nên mật độ dòng ăn mòn cục bộ rất cao. Chỉ có ion Clo ở dạng tự do mới gây ra ăn mòn cốt thép và sự khuếch tán của chúng trong cấu trúc xốp của bê tông. Càng tiềm ẩn nguy cơ ăn mòn cốt thép mạnh mẽ hơn.





**Hình 1.4:** Cơ chế ăn mòn điện hoá thép trong bê tông khi có mặt ion Clo

Cũng giống như quá trình cacbonat hoá, tốc độ thấm ion Clo phụ thuộc vào bản chất xi măng, các phụ gia khoáng, và chất lượng bê tông (đặc trưng bởi độ bền chống thấm). Khả năng thấm ion Clo tỉ lệ với hàm lượng khoáng  $C_3A$  có trong xi măng. Vì vậy, xi măng pooc lăng có khả năng bảo vệ cốt thép cao hơn xi măng bền sunfat. Về nguyên tắc, các phụ gia khoáng tro bay, tro xỉ hoặc muối silic đưa vào xi măng pooc lăng sẽ làm giảm tỉ lệ thành phần  $C_3A$  nên giảm khả năng cố định ion clo. Song yếu tố quan trọng hơn là bê tông có tro bay, tro xỉ hoặc muối silic có hệ số khuếch tán ion nhỏ hơn nhiều so với bê tông xi măng pooc lăng. Vì vậy bê tông có phụ gia khoáng có khả năng bảo vệ cốt thép cao hơn nhiều so với bê tông xi măng pooc lăng. Sự khô ẩm liên tiếp là một trong những điều kiện khắc nghiệt nhất kích thích sự ăn mòn.

Sự ăn mòn cốt thép cũng chịu tác động của hiện tượng cacbonat hoá bê tông. Độ bền lâu của công trình bê tông cốt thép được bảo đảm nhờ lớp bê tông bảo vệ về mặt vật lý và hoá học để cốt thép không bị ăn mòn. Bản chất của sự ngăn cản quá trình ăn mòn là do có môi trường kiềm cao của nước chiết bê tông ( $pH \geq 13$ ). Sự giảm độ kiềm của môi trường trong lớp bê tông bảo vệ đến ngưỡng thu động của sắt ( $pH \leq 11,4$ ) xảy ra do quá trình rửa trôi kiềm hoặc quá trình cacbonat hoá bê tông. Từ đó giảm khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông.