

Proposal to select an anti-corrosion additive combination for concrete in aggressive environment

Thi Thu Nga Nguyen^{1*}, Anh Tuan Nguyen²

¹Department of Theoretical Mechanics-Strength of Materials /Faculty of Civil Foundations, University of Transport Technology, 54 Trieu Khuc, Thanh Xuan District, Hanoi 100000, Vietnam.

²Department of Bridges and Tunnels/Faculty of Civil Engineering, University of Transport Technology, 54 Trieu Khuc Street, Thanh Xuan District, Hanoi 100000, Vietnam.

Article info

Type of article:

Review paper

*** Corresponding author:**

E-mail address:

nganttt@utt.edu.vn

Received:

January 10, 2021

Accepted:

March 07, 2022

Published:

March 18, 2022

Abstract: Vietnam has a coastline stretching over 3000 km, so many reinforced concrete structures are located in highly aggressive environments. The repair and maintenance of these structures are very difficult, expensive, and even do not increase the operating load to meet current standards. Therefore, when constructing new works as well as future maintenance work, especially constructions along the coast (in marine climates), there is a requirement to have durability against the corrosion of the environment. To resist this corrosive effect, it is necessary to create a strong and highly anti-corrosion protective concrete layer. Within the scope of the research, the article initially proposes the selection of suitable admixtures to improve the durability of concrete to help the building be protected more safely.

Keywords: Fly ash, silica fume, blast furnace slag, concrete, anti-corrosion

Đề xuất lựa chọn tổ hợp phụ gia chống ăn mòn cho bê tông trong môi trường xâm thực

Nguyễn Thị Thu Nga^{1*}, Nguyễn Anh Tuấn²

¹Bộ môn Cơ lý thuyết-Sức bền vật liệu /Khoa Cơ sở kỹ thuật, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, 54 Triều Khúc, Thanh Xuân, Hà Nội.

²Bộ môn Cầu hầm/Khoa Công trình, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, 54 Triều Khúc, Thanh Xuân, Hà Nội.

Thông tin bài viết

Dạng bài viết:

Bài báo đánh giá

*Tác giả liên hệ:

Địa chỉ E-mail:

ngantt@utt.edu.vn

Ngày nộp bài:

10/01/2022

Ngày chấp nhận:

07/03/2022

Ngày đăng bài:

18/3/2022

Tóm tắt: Việt Nam với đặc điểm có đường bờ biển trải dài hơn 3000 km nên rất nhiều công trình xây dựng bằng kết cấu bê tông cốt thép nằm trong môi trường xâm thực cao. Việc sửa chữa, bảo trì các kết cấu này là rất khó khăn, tốn kém, thậm chí không làm tăng được tải trọng khai thác đáp ứng theo các tiêu chuẩn hiện hành. Do vậy khi xây dựng các công trình mới cũng như công tác bảo trì công trình sau này, đặc biệt là các công trình dọc ven biển (trong vùng khí hậu biển) đặt ra yêu cầu phải có được độ bền chống xâm thực của môi trường. Để chống lại tác động ăn mòn này cần tạo được lớp bê tông bảo vệ đặc chắc và chống ăn mòn cao. Trong phạm vi nghiên cứu, bài báo bước đầu đưa ra việc lựa chọn phụ gia phù hợp để cải thiện độ bền cho bê tông giúp cho công trình được bảo vệ an toàn hơn.

Từ khóa: tro bay, silica fume, xỉ lò cao, bê tông, chống ăn mòn.

1. Đặt vấn đề

Nhiều công trình xây dựng giao thông ở dọc vùng biển Việt Nam đang có dấu hiệu hư hỏng, xuống cấp nghiêm trọng do xâm thực (Hình 1). Điều này ảnh hưởng đến an toàn chịu lực của kết cấu công trình, dẫn đến khả năng mất an toàn khai thác công trình giao thông.



Hình 1. Ảnh hư hỏng trụ cầu Sông Dinh, Km64+473 QL51, tỉnh Bà Rịa Vũng Tàu

Công tác bảo vệ chống ăn mòn các công trình xây dựng cầu đường ven biển cần được quan tâm. Ngoài các thiệt hại trực tiếp do ăn mòn gây ra, những tổn thất về kinh tế do phải tạm dừng thông xe để phục vụ sửa chữa công trình cũng rất lớn, gấp nhiều lần chi phí trực tiếp. Khi các công trình bị hư hỏng thì chi phí cho việc sửa chữa khắc phục hậu quả ăn mòn phá hủy là rất tốn kém, ước tính vào khoảng 40%÷70% chi phí đầu tư xây dựng ban đầu.

Việc không đảm bảo được độ bền của các loại bê tông thông thường dẫn đến tuổi thọ còn lại của công trình là thấp hơn nhiều so với tính toán; đồng thời, các công trình cầu đường bê tông, bê tông cốt thép (BT-BTCT) cũng phải được bảo trì, sửa chữa định kỳ ở thời điểm sớm hơn so với dự kiến; các biện pháp sửa chữa cũng khó khăn, phức tạp hơn trong các trường hợp không phát hiện kịp

thời hư hỏng. Do đó, yêu cầu khi chế tạo kết cấu BT- BTCT mới đảm bảo không chỉ về khả năng chịu lực mà còn về độ bền. Nhiều biện pháp tăng cường, sửa chữa cũng như phòng ngừa, bảo vệ cho kết cấu nằm trong vùng khí hậu biển chịu ảnh hưởng của xâm thực được đề xuất. Một giải pháp được quan tâm nhiều là sử dụng các loại phụ gia kết hợp trong quá trình sản xuất, chế tạo bê tông xi măng. Nhiều nhà khoa học đã nghiên cứu về vấn đề này, để có thể tìm ra các phụ gia chống ăn mòn phù hợp nhất là trong cho các kết cấu BT-BTCT nằm trong vùng khí hậu biển, dễ bị xâm thực.

2. Cơ chế phá hoại các kết cấu BT-BTCT làm việc trong môi trường xâm thực

Theo [1], kết cấu BT-BTCT có thể bị phá hoại do các tác động về mặt vật lý, hóa học. Tác động vật lý có thể gây phá hoại dưới hai hình thức là hao mòn khối lượng bề mặt và gây nứt cho bê tông. Với kết cấu BTCT thông thường, ăn mòn cốt thép chủ yếu là do quá trình điện hóa. Ngoài ra, ăn mòn có thể xảy ra do quá trình cacbonat hóa và rửa trôi kiềm làm giảm nồng độ pH trong bê tông.

Nước biển thường có độ mặn 3,5% (muối hòa tan 35 g/L) chủ yếu là do natri clorua và magiê sunfat; nồng độ của các ion chính xấp xỉ khoảng 20.000 mg/L clorua (Cl^-); 11.000 mg/L Na^+ ; 2700 mg/L sunfat SO_4^{2-} và 1400 mg/L Mg^{2+} (độ mặn phụ thuộc tùy thuộc các vùng biển khác nhau) [2]. Trong nước biển, các ion clo chiếm chủ yếu và các ion sunfat thường được xuất phát từ MgSO_4 . Mức độ nghiêm trọng của hư hỏng kết cấu phụ thuộc vào sự kết hợp của các tác động khác nhau trong môi trường biển. Ăn mòn cốt thép còn do xâm thực của ion Clo thẩm thấu vào trong bê tông hoặc do lấn trong vật liệu chế tạo bê tông, phá vỡ lớp màng bảo vệ trên bề mặt cốt thép và gây gỉ cốt thép [1], [4], [5]. Nói cách khác, ion clo đóng vai trò quan trọng nhất của quá trình ăn mòn BT- BTCT.

Hơn nữa, một số tác giả cho rằng giai đoạn khởi đầu ăn mòn phụ thuộc vào giá trị ngưỡng ion clo có thể được thể hiện ở một số dạng khác nhau, chẳng hạn như tổng hàm lượng clorua so với trọng lượng của xi măng (hoặc bê tông) [3], hàm lượng ion clo tự do [4] và tỷ lệ thường dùng $[\text{Cl}^-] / [\text{OH}^-]$

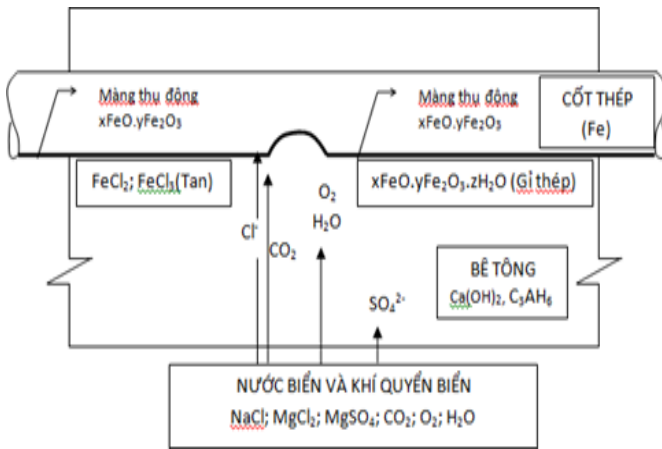
[4-6]. Ion clo thẩm thấu vào trong bê tông là do sự tác động đồng thời của 3 cơ chế: Hấp thụ thông qua hiện tượng mao dẫn; Thẩm do áp lực thủy tĩnh gây ra; và hiện tượng khuếch tán do có sự chênh lệch về nồng độ. Trong 3 cơ chế trên thì cơ chế khuếch tán đóng vai trò chủ yếu [5, 6].

Sự xâm nhập của clorua xảy ra chủ yếu qua các lỗ mao quản dưới dạng clorua tự do bằng cách hút mao dẫn, khuếch tán và thẩm thấu [7]. Do đó, thời gian bắt đầu ăn mòn phụ thuộc mạnh mẽ vào các thông số vận chuyển, chẳng hạn như sự khuếch tán hệ số tổng clorua trong bê tông [8]. Tính thấm của bê tông được coi là tham số quan trọng nhất ảnh hưởng đến cả thời gian để bắt đầu ăn mòn và thời gian lan truyền ăn mòn, mặc dù các yếu tố khác như chiều dày lớp bê tông bảo vệ cũng rất quan trọng. Do đó, các yếu tố ảnh hưởng đến tính thấm của bê tông như tỷ lệ nước và chất kết dính (N/CKD), loại chất kết dính, công tác bảo dưỡng hay mức độ đầm nén đều có ảnh hưởng gián tiếp đến sự ăn mòn thép [2].

Tuy nhiên, thông số này còn có thể chịu ảnh hưởng bởi nhiều nguyên nhân khác. Đầu tiên, sự khuếch tán bị ảnh hưởng bằng cách phân bố kích thước lỗ rỗng và liên kết giữa các lỗ rỗng trong bê tông, có liên quan đến tỷ lệ N/CKD, [9]. Thứ hai, một phần các ion Cl tự do có thể được hấp thụ vật lý trên các hydrat như C-S-H và monosulfoaluminat (AFm), hoặc có thể phản ứng hóa học với các pha khác như aluminat tri-canxi (C_3A) để tạo thành muối Friedel khi hàm lượng clorua đủ [10,11]. Hấp thụ vật lý phụ thuộc chủ yếu vào bề mặt riêng diện tích của hồ xi măng, trong khi hóa chất hấp thụ qua sự hình thành muối Friedel chủ yếu liên quan đến monocacboaluminat [12]. SCMs với alumin cao và hàm lượng canxi cũng đóng một vai trò trong khả năng liên kết clorua và do đó về độ bền của BTCT, hạn chế sự xâm nhập của ion Cl vào cốt thép [12]. Cuối cùng, sự khuếch tán của ion clo bị ảnh hưởng bởi lượng nước, nhiệt độ, và các đặc tính của lớp điện kép [11,13,14].

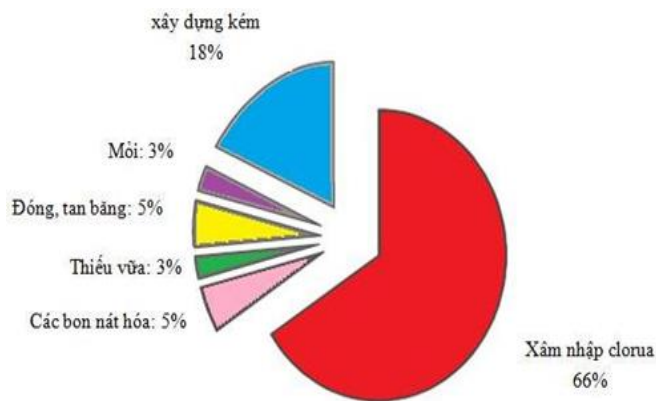
Khi xem xét kết hợp hai hình thức phá hoại BT- BTCT do tác động hóa học, có thể tóm tắt về các thành phần hóa học chính trong không khí,

nước và trong đá xi măng có liên quan đến sự ăn mòn đối với kết cấu BTCT làm việc trong vùng khí hậu biển như sơ đồ được mô tả ở Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ các thành phần hóa học gây mòn BT-BTCT

Năm 2001, tác giả Mutsuyoshi đưa ra thống kê trên các nguyên nhân gây hư hại cầu bê tông cốt thép ở Nhật Bản (Hình 3), [15]. Nguyên nhân chủ yếu dẫn đến các hư hại của các kết cấu bê tông cốt thép là do xâm nhập clo chiếm tới 66% các hư hại, trong khi chỉ 5% do các bon nát hóa.



Hình 3. Tỷ lệ nguyên nhân gây ra hư hại BT-BTCT ở Nhật Bản [15]

Có thể thấy rằng, để chống ăn mòn kết cấu BT- BTCT thì chất lượng lớp bê tông bảo vệ có vai trò rất quan trọng. Trong điều kiện lý tưởng, nếu tạo ra được một lớp bê tông đặc tuyệt đối, không có lỗ rỗng, các thành phần gây hại không có cơ hội xâm nhập vào, thì quá trình ăn mòn sẽ gần như không xuất hiện. Trên thực tế, nếu lớp bê tông bảo vệ có độ đặc chắc càng cao, thì hiện tượng ăn mòn sẽ càng được hạn chế với cả bê tông, cốt thép, tức là toàn bộ kết cấu sẽ được bảo vệ ở mức an toàn.

3. Một số giải pháp cải thiện độ bền cho bê tông

3.1. Cải thiện độ bền ăn mòn

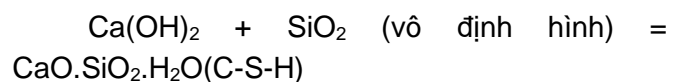
BT-BTCT chịu tác động ăn mòn của môi trường biển, có thể xem xét các giải pháp sau đây [16]:

1. Thay đổi khoáng vật trong xi măng

- Nên giảm hai loại khoáng vật C₃A và C₃S trong xi măng vì hai loại khoáng này khi thủy hóa sinh ra các sản phẩm tan và có hoạt động hóa học mạnh là Ca(OH)₂ và C₃AH₆. Tuy nhiên khi giảm các khoáng này thường ảnh hưởng các tính chất kỹ thuật chung của xi măng, ví dụ như việc giảm C₃S làm giảm đáng kể cường độ của xi măng.

2. Biến đổi các sản phẩm thủy hóa của xi măng

Phương pháp này là chuyển các sản phẩm thủy hóa có tính tan và hoạt động hóa học mạnh sang dạng sản phẩm mới ít tan và ít hoạt động hóa học hơn bằng việc thêm vào hỗn hợp phụ gia khoáng có thành phần chủ yếu là SiO₂ ở dạng vô định hình. Do SiO₂ sẽ phản ứng với Ca(OH)₂ (phản ứng puzơlan) tạo các sản phẩm mới vừa không tan trong nước, vừa có cường độ cao và có tác dụng chống ăn mòn.



3. Tăng độ đặc chắc cấu trúc

Độ đặc chắc của cấu trúc sẽ giúp cải thiện độ chống thấm, ngăn cản những thành phần gây hại xâm nhập có thể phá hoại cả bê tông và cốt thép.

4. Giảm tiếp xúc bê tông với môi trường ăn mòn

Phủ mặt ngoài kết cấu bằng một lớp Epoxy hoặc các loại sơn đặc biệt từ hệ Polyme. Ngoài ra, có thể quét mặt bê tông bằng nhũ tương bitum hoặc dung dịch bitum là loại vật liệu cũng có tác dụng chống ăn mòn đáng kể.

3.2. Giải pháp cải thiện cường độ chống mài mòn

Để cải thiện cường độ chống mài mòn cần

phải gia tăng cường độ và độ cứng của bê tông. Đối với bê tông cường độ cao, khả năng chống mài mòn sẽ tốt hơn so với bê tông thông thường. Tuy nhiên, theo định hướng nghiên cứu đã nêu ở phần trên, bài báo không hướng đến nghiên cứu bê tông cường độ cao mà chỉ tập trung đề xuất, giải pháp phương án nhằm cải thiện độ bền của bê tông. Do đó, trên cơ sở giải pháp tăng độ bền ăn mòn hóa học, sẽ xem xét thêm yếu tố cải thiện chất lượng vữa xi măng và vùng chuyển tiếp giữa vữa và cốt liệu, như vậy sẽ giúp cải thiện được cường độ và độ cứng. Những giải pháp trên có ý nghĩa như sau:

1. Tăng cường độ đá xi măng:

Khi các hạt xi măng tiếp xúc với nước, các khoáng trong xi măng sẽ hòa tan vào dung dịch, pha lỏng sẽ bão hòa với các ion khác nhau, trong dung dịch các ion kết hợp với nhau tạo thành sản phẩm thủy hóa lấp đầy các khoảng trống mà trước đó bị nước chiếm chỗ. Khi các C-S-H là sản phẩm thủy hóa có chất lượng và độ kết tinh cao, thì đá xi măng càng cho cường độ cao.

2. Cải thiện chất lượng, cường độ vùng chuyển tiếp giữa vữa và cốt liệu:

Theo P.K.Mehta [17], khi kết cấu công trình làm việc chịu tác động mài mòn và xói mòn thì vùng chuyển tiếp là liên kết giữa cốt liệu thô và hồ xi măng thường bị phá hủy, khi đó cốt liệu có xu hướng bị lôi ra khỏi vị trí đã định vị trong bê tông. Kết quả nghiên cứu của ông cũng cho thấy rằng, chế tạo loại bê tông có phụ gia siêu dẻo để giảm thấp tỷ lệ N/CKD cùng với việc sử dụng thành phần phụ gia khoáng có khả năng hoạt tính cao như silica fume sẽ làm cho vùng chuyển tiếp cứng chắc hơn, nên sẽ ngăn được tình trạng đá bị lôi khỏi bê tông, từ đó tăng được tính kháng mài mòn cho kết cấu bê tông.

3. Tăng cường kiểm soát quy trình thi công bê tông

Kiểm soát quy trình chế tạo bê tông ở tất cả các khâu nhào trộn, chuyên chở, đổ khuôn, đầm lèn và bảo dưỡng để đảm bảo bê tông có độ đặc chắc nhất và độ chống thấm tối ưu.

Kết luận: Từ những phân tích trên, hướng

nghiên cứu của bài báo là lựa chọn loại xi măng sử dụng phù hợp, đồng thời sử dụng kết hợp phụ gia để đảm bảo cùng lúc các tiêu chí sau:

Loại bỏ các thành phần kém bền, gây hại cho bê tông bằng cách tăng cường các sản phẩm thủy hóa;

Tạo các C-S-H có chất lượng và độ kết tinh cao;

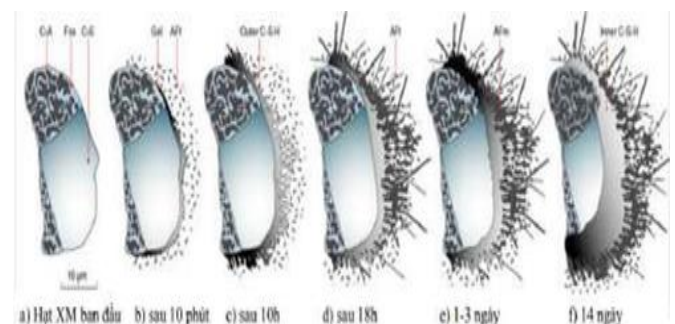
Giảm khả năng tối đa khuếch tán ion clo;

Cải thiện chất lượng vùng chuyển tiếp giữa vữa và cốt liệu thông qua tác dụng của các loại phụ gia khoáng.

4. Lựa chọn loại xi măng sử dụng

Vật liệu gốc xi măng gồm có chất kết dính và cốt liệu có kích thước, thành phần khác nhau. Xi măng được sản xuất bằng cách nung hỗn hợp đá vôi và đá thô khoáng sét (hoặc các vật liệu khác có thành phần dạng khối tương tự). Ngày nay một số vật liệu kết dính bổ sung như tro bay hoặc xỉ lò cao cũng được dùng thay thế một phần clinker để giảm chất thải.

Trong vòng đời sử dụng của một cấu trúc, nhiệt động lực học khác nhau sự cân bằng giữa pha rắn và lỏng sẽ phát triển trong vật liệu gốc xi măng, chịu sự chi phối của cả môi trường và mức độ suy thoái của nó. Độ hòa tan của mỗi pha sẽ quy định thành phần của nước trong lỗ rỗng. Quá trình thủy hóa của xi măng theo thời gian được mô tả như Hình 4.



Outer C-S-H: sản phẩm thủy hóa C-S-H ngoài; Inner C-S-H: sản phẩm thủy hóa C-S-H trong;
Fss = Aluminoferite canxi; AFt = Các pha ettringite;
AFm = Các pha monosunphat

Hình 4. Quá trình thủy hóa xi măng theo thời gian [18]

Vết nứt của bê tông được gây ra bởi vô số

quá trình vật lý và hóa học khác nhau, chẳng hạn như co ngót, rão, sự biến đổi nhiệt và các phản ứng hóa học mở rộng. Đến một mức độ, hầu hết tất cả các vật liệu kết dính, đều bị ảnh hưởng bởi một hoặc nhiều quá trình này và do đó vết nứt xuất hiện, đây cũng là đặc hữu của vật liệu nói chung.

Bê tông có cấu trúc tốt sẽ cho độ bền cao hơn. Các loại xi măng có phụ gia như xi măng tro bay, xi măng xỉ lò cao, luôn tạo ra cho bê tông có cấu trúc đặc chắc hơn so với xi măng thông thường.

Xỉ lò cao là sản phẩm phụ của ngành công nghiệp sản xuất gang trong lò cao. Việc sử dụng xỉ lò cao được nghiền mịn cải thiện độ đặc chắc trong vi cấu trúc bê tông giúp cải thiện đáng kể độ bền clorua, độ bền sunfat. Do vậy, xi măng xỉ lò cao được lựa chọn sử dụng trong nghiên cứu để tạo ra bê tông có độ bền chống xâm thực.

5. Phân tích và lựa chọn các phụ gia chính trong nghiên cứu

5.1. Lựa chọn phụ gia khoáng

Phụ gia khoáng (PGK) hay còn được gọi là vật liệu kết dính bổ trợ [19] với thành phần là SiO₂ và Al₂O₃ hoạt tính, có khả năng phản ứng với Ca(OH)₂. Việc sử dụng PGK được xem như một thành phần kết dính bổ trợ nhằm cải thiện tính chất cơ lý cho một số loại bê tông có yêu cầu đặc thù riêng, trong đó có bê tông biển.

Trong bài báo [20] đã phân tích rất kỹ vai trò của phụ gia khoáng và ứng dụng của từng loại. Phụ gia khoáng đóng góp hai vai trò chính như:

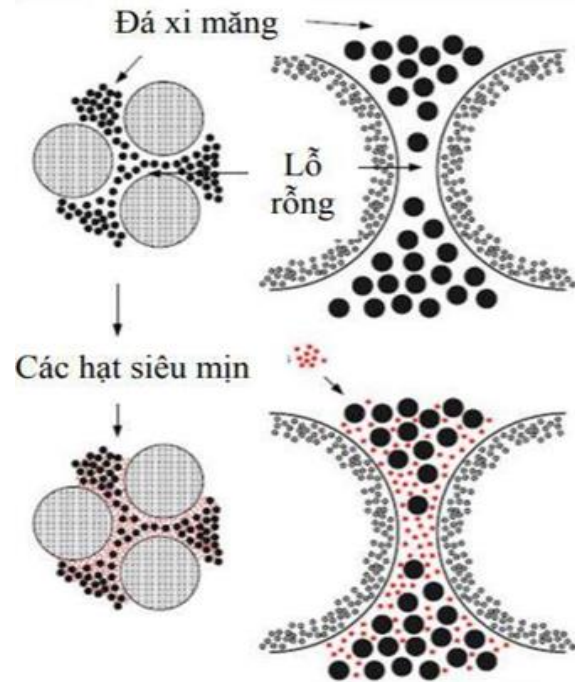
Hiệu ứng hóa học

Khi sử dụng PGK có thành phần SiO₂ hoạt tính sẽ tác dụng với sản phẩm thủy hóa có trên bề mặt hạt cốt liệu, C-S-H được tạo ra nhờ phản ứng pozzolanic làm tăng độ đặc chắc vùng giao diện chuyển tiếp và làm tăng độ dính bám. Đây là hiệu ứng hóa học chính của PGK trong bê tông.

Hiệu ứng vật lý

PGK khi sử dụng thường được nghiền mịn hoặc bản thân chúng đã có kích thước hạt mịn (tro

bay), thậm chí có độ mịn rất cao (silica fume), do đó chúng đóng vai trò vi cốt liệu trong chính cấu trúc đá xi măng lấp đầy các khoảng trống, góp phần làm giảm lỗ rỗng (Hình 5).



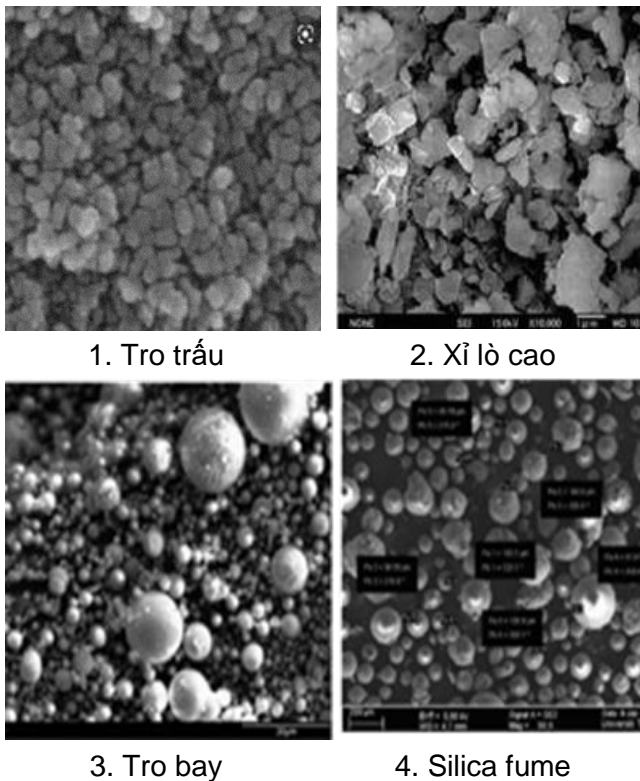
Hình 5. Cấu trúc bê tông khi có PGK [21]

Phụ gia khoáng mịn với tỷ diện về mặt lớn (Hình 6) làm phân tán các hạt xi măng dẫn đến tính công tác của hỗn hợp bê tông được cải thiện. Đồng thời PGK còn làm chất xúc tác thúc đẩy quá trình thủy của xi măng trong thời gian đầu. Thông thường, PGK khi sử dụng sẽ có tác dụng cả về vật lý (hiệu ứng điền đầy, bôi trơn) và hóa học (phản ứng pozzolanic).

Theo các tiêu chuẩn TCVN 6882:2001 [22], TCVN 8827:2011 [23] và TCVN 10302:2014 [24], bê tông có thể sử dụng một số phụ gia như: Puzolan tự nhiên, tro bay, tro trấu nghiền mịn, silica fume, hoặc xỉ hạt lò cao.

Phụ gia tro trấu (RHA) về lý thuyết là có tính năng kỹ thuật tốt và rất phù hợp với nước nông nghiệp như Việt Nam. Tro trấu thu được bằng cách đốt chậm trấu ở nhiệt độ đốt tối ưu khoảng 500 ÷ 700°C, sau đó được nghiền mịn sản phẩm thu được là RHA với hàm lượng SiO₂ rất lớn có thể đạt trên 95% và hàm lượng các bon thấp. Với nhiệt độ này thì oxit silic trong tro hoàn toàn ở trạng thái vô định hình và thời gian đốt cần kéo dài. Song thực

tế để đưa được sản phẩm này vào thị trường là một bài toán không dễ.



Hình 6. Cấu trúc SEM của một số phụ gia khoáng [20]

Về phụ gia xỉ hạt lò cao, đây là loại có thể đạt những tác dụng tốt với bê tông trong môi trường biển. Xi được làm lạnh đột ngột bằng nước áp lực cao từ nhiệt độ 1400÷1500°C xuống mức 30÷40°C, sản phẩm thu được là hỗn hợp các hạt màu trắng đục kích thước < 5mm. Tuy nhiên, cũng giống như phụ gia tro trấu, hiện nước ta cũng chưa có sản phẩm xỉ lò cao hạt hóa sản xuất đại trà mặc dù có ban hành tiêu chuẩn cho loại sản phẩm này TCVN 4315:2007 [25]. Xét trên tiêu chí vật liệu phải có sẵn nguồn và chất lượng ổn định thì xỉ lò cao còn nhiều hạn chế. Thêm vào đó, tác dụng của tổ hợp hai loại phụ gia tro bay và silica fume, có thể đạt được sự phù hợp với những tiêu chí đã nêu ở trên, cụ thể như sau:

Về khả năng biến đổi sản phẩm thủy hóa: Cả hai loại này đều có hoạt tính puzolan nên thực hiện được chức năng biến đổi tạo ra sản phẩm là những hợp chất ít tan, đông cứng tốt và ổn định hóa học hơn.

Về khả năng tạo các sản phẩm thủy hóa có mức độ kết tinh cao, sắp xếp chặt chẽ: Silica fume có hàm lượng hoạt tính SiO₂ vô định hình lớn, cùng với kích thước siêu mịn, nên có khả năng đạt được được tiêu chí này.

Về khả năng hạn chế sự khuếch tán ion clo: Theo [26] thì tương quan hệ số khuếch tán ion Cl⁻ trong bê tông (D) với các loại phụ gia khoáng sử dụng khác nhau, với D_{xi măng pooc lăng} > D_{xi} ≈ D_{tro bay} > D_{silica fume} > D_{xi+silica fume} > D_{tro bay+silica fume}

Như vậy sự kết hợp tro bay và silica fume có hệ số khuếch tán ion clo là thấp nhất, tức là đảm bảo mức độ khuếch tán ion clo trong bê tông là ít nhất, giảm thiểu ăn mòn tốt nhất.

Về khả năng chống mài mòn: Tham khảo một số nghiên cứu [27], [28] đều có chung kết luận là loại bê tông dùng silica fume có khả năng chịu mài mòn được cải thiện hơn.

Như vậy, tro bay và silica fume được xem là phụ gia khoáng hợp lý cho việc cải thiện độ bền của bê tông.

5.2. Chọn phụ gia hóa dẻo giảm nước

Phụ gia hóa dẻo giảm nước bậc cao thuộc thể hệ 2 với thành phần chính là Naphthalensulfonat được sử dụng. Loại phụ gia này có mức độ giảm nước tối đa đến 25%, không chỉ đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật mà giá thành lại không cao nên phù hợp với tiêu chí về hiệu quả kinh tế khi áp dụng vào thực tiễn.

Như vậy, tổ hợp phụ gia dùng cho nghiên cứu gồm có tro bay + Silica fume + Phụ gia hóa dẻo cùng với xi măng xỉ lò cao nhằm tạo ra sản phẩm có khả năng chống các tác động xâm thực giúp kéo dài tuổi thọ công trình.

6. Kết luận

Cơ chế phá hủy các kết cấu công trình trong môi trường biển rất phức tạp, do tác động đồng thời của nhiều tác nhân cơ học và hóa học. Bằng việc làm rõ cơ sở khoa học, bài báo đề xuất phương án sử dụng xi măng xỉ lò cao kết hợp với

tro bay, silica fume và phụ gia hóa dẻo nhằm cải thiện độ bền cho bê tông chống xâm thực ăn mòn, nâng cao hiệu quả sử dụng ở Việt Nam.

Bên cạnh đó, có thể dùng phương pháp tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép chủ, đối với các công trình đã được xây dựng có thể sử dụng phương pháp bọc bê tông cốt sợi hoặc vỏ mỏng.

Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính bởi Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải trong đề tài mã số ĐTTĐ-02.

Tài liệu tham khảo

- [1]. P.Kumar Mehta. (1991). *Concrete in the Marine Environment*, Elsevier Science Publisher.
- [2]. M.E. Alexander. (2016). *Marine concrete structures: design, durability and performance*. Woodhead Publishing, 485.
- [3]. American Society for Testing and Material, ASTM C-1152. (2012). Standard test method for acid- soluble chloride in mortar and concrete.
- [4]. C. Alonso, C. Andrade, M. Castellote, P. Castro. (2000). Chloride threshold values to depassivate reinforcing bars embedded in a standardized {OPC} mortar, *Cem. Concr. Res.* 30 (7), 1047–1055.
- [5]. P. Sandberg. (1998). Doctoral Thesis. Chloride initiated reinforcement corrosion in marine concrete. Lund University, Sweden.
- [6]. A. Costa, J.Appleton. (1999). Chloride penetration into concrete in marine environment-Part I: Main parameters affecting chloride penetration. *Materials and Structures*, 32, 252-259.
- [7]. L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedferri, R.B. Polder. (2013). *Book of Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair*. Wiley-VCH.
- [8]. M.U. Khan, S. Ahmad, H.J. Al-Gahtani. (2017). Chloride-induced corrosion of steel in concrete: An overview on chloride diffusion and prediction of corrosion initiation time. *Int. J. Corros.* 2017, 1–9, <https://doi.org/10.1155/2017/5819202>.
- [9]. M. Pech-Canul, P. Castro. (2002). Corrosion measurements of steel reinforcement in concrete exposed to a tropical marine atmosphere. *Cem. Concr. Res.* 32, 491–498, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00713-X](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00713-X).
- [10]. M. Balonis, B. Lothenbach, G. Le Saout, F.P. Glasser. (2010). Impact of chloride on the mineralogy of hydrated Portland cement systems. *Cem. Concr. Res.* 40, 1009–1022, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.03.002>.
- [11]. B. Guo, Y. Hong, G. Qiao, J. Ou, Z. Li. (2018). Thermodynamic modeling of the essential physicochemical interactions between the pore solution and the cement hydrates in chloride-contaminated cement-based materials. *J. Colloid Interface Sci.* 531, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.07.005>.
- [12]. Y. Guo, T. Zhang, W. Tian, J. Wei, Q. Yu. (2019). Physically and chemically bound chlorides in hydrated cement pastes: a comparison study of the effects of silica fume and metakaolin. *J. Mater. Sci.* 54, 2152–2169, <https://doi.org/10.1007/s10853-018-2953-5>.
- [13]. P.T. Nguyen, O. Amiri. (2016). Study of the chloride transport in unsaturated concrete: Highlighting of electrical double layer, temperature and hysteresis effects. *Constr. Build. Mater.* 122, 284–293, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.154>.
- [14]. Y. Zhang, M. Zhang, G. Ye. (2018). Influence of moisture condition on chloride diffusion in partially saturated ordinary Portland cement mortar. *Mater. Struct.* 51, 36, <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1162-7>.

- [15]. Mutsuyoshi. (2001). Present Situation of durability of post-tensioned pc bridges in Japan. Durability of post-tensioning tendons (Taerwe, L. ed.), Fédération Internationale du Béton.
- [16]. M. P Nguyễn. (2007). Sách về Lý thuyết ăn mòn và chống ăn mòn bê tông - bê tông cốt thép trong xây dựng, Nhà xuất bản xây dựng.
- [17]. P.K. Mehta (1997). Durability-Critical Issues for the Future. Concrete International, 19 (07), 27-33.
- [18]. K.L. Scrivener (1984). Book of The development of microstructure during the hydration of Portland cement. in Department of Metallurgy and Materials Science, University of London, p. 215.
- [19]. S.M. Michael and P.Z. John. (2011). Book of Materials for civil and construction engineers, 3rd edition. Pearson.
- [20]. T. T. N. Nguyễn, L. P. Đoàn. (2018). Tổng quan về một số loại phụ gia khoáng trong chế tạo bê tông. Tạp chí Cầu đường Việt Nam số 10, ISSN 1859-459X.
- [21]. T.H. Wee, Y. Matsunga, Y. Watanabe, E. Sahai. (1995). Production and properties of high strength concrete containing various mineral admixtures. Cem. Concr. Res. 25, 709–714.
- [22]. TCVN 6882:2001. (2001). Phụ gia khoáng cho xi măng.
- [23]. TCVN 8827:2011. (2011). Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa - Silicafume và tro trấu nghiền mịn.
- [24]. TCVN 10302:2014. (2014). Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng.
- [25]. TCVN 4315:2007. (2007). Xi hạt lò cao dùng để sản xuất xi măng.
- [26]. G.N. Edward. (2001). Book of Fundamental of High Performance Concrete, Hoboken-USA: JOHN WILEY & SONS, INC.
- [27]. V.M. Malhotra, P.Kumar Mehta. (1996). Book of Pozzolanic and Cementitious Materials. Gordon and Breach Publishers.
- [28]. M.R. Alaa, H.S. Hosam El-Din, F.S. Amr. (2014). Effect of Silica Fume and Slag on Compressive Strength and Abrasion Resistance of HVFA Concrete. International Journal of Concrete Structures and Materials, 8 (1), 69-91.
- [29]. V. T. Nguyễn và cộng sự. (2010). Sách về Phụ gia và hóa chất dùng cho bê tông. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [30]. TCVN 8826: 2011. (2011). Phụ gia hóa học cho bê tông.