

NGHIÊN CỨU ĐẶC TÍNH THẨM THẤU ION CLO CỦA BÊTÔNG CÓ SỬ DỤNG XI LÒ CAO

Trần Văn Miên, Nguyễn Thị Hải Yến, Cao Nguyên Thi

Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 25 tháng 05 năm 2012, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 01 tháng 08 năm 2012)

TÓM TẮT: Ion clo là nguyên nhân chính gây ăn mòn kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) sử dụng ở môi trường biển. Sự xâm nhập của ion clo qua lớp bê tông (BT) bảo vệ thúc đẩy quá trình ăn mòn cốt thép, ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của kết cấu. Bài báo này tập trung nghiên cứu đặc tính thẩm thấu ion clo của BT sử dụng xi lò cao thông qua thí nghiệm đo hệ số khuếch tán ion clo và khả năng liên kết ion clo trong cấu trúc BT. Trong đó, BT thiết kế có mác 45MPa và sử dụng xi lò cao thay thế xi măng PC50 với hàm lượng từ 0% đến 70%. Hệ số khuếch tán ion clo thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C1202 và NordTest NT Build 492. Kết quả nghiên cứu cho thấy, hàm lượng xi lò cao thay thế xi măng PC50 tăng từ 0% đến 50% thì hệ số khuếch tán ion clo của BT giảm dần và hàm lượng ion clo liên kết trong BT tăng tương ứng. Có thể sử dụng xi lò cao thay thế xi măng PC50 với hàm lượng 30% đến 40% để tăng khả năng chống thẩm thấu ion clo mà vẫn không ảnh hưởng đến cường độ BT thiết kế.

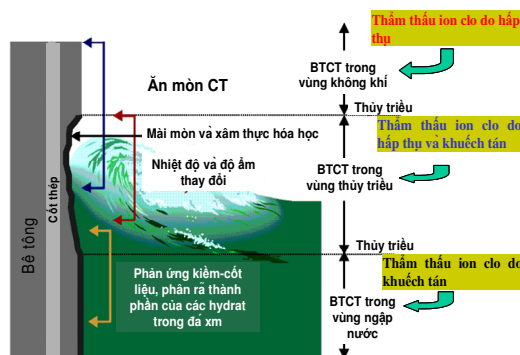
Từ khóa: thẩm thấu ion clo, xi lò cao, hệ số khuếch tán ion clo, ion clo liên kết.

1. GIỚI THIỆU

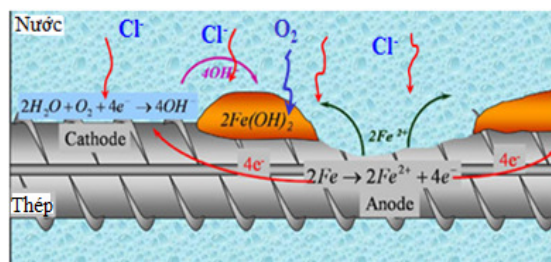
Hiện nay, việc xử lý và tái sử dụng các sản phẩm phụ trong sản xuất công nghiệp (xi lò cao, tro bay, silicafume, ...) là một vấn đề đang được tập trung nghiên cứu. Trong đó, xi lò cao là phế phẩm trong quá trình sản xuất kim loại từ quặng sắt, mà một số nghiên cứu trước đây cho thấy xi lò cao có thể được sử dụng làm phụ gia khoáng vô cơ hoạt tính nhằm nâng cao khả năng chống xâm thực cho BT trong môi trường

biển. Về cơ bản, ăn mòn BT và BTCT trong môi trường biển được chia làm ba vùng chính: vùng không khí biển, vùng thủy triều và vùng ngập nước hoàn toàn [5, 6, 7].

Sự có mặt của ion Cl⁻ trong vùng BT lân cận cốt thép khi vượt quá hàm lượng tới hạn sẽ thúc đẩy quá trình phá vỡ lớp màng thụ động Fe₂O₃, từ đó phát sinh ăn mòn cốt thép trong BTCT [8, 9].



Hình 1. Các vùng xâm thực biến đổi với bê tông cốt thép[4]



Hình 2. Quá trình ăn mòn cốt thép do xâm thực Clo gây ra

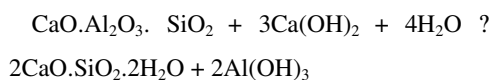
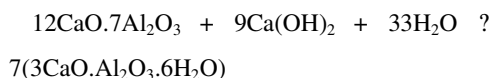
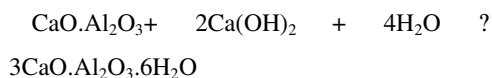
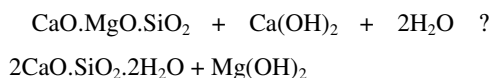
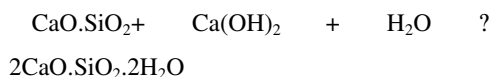
Trong suốt chu kỳ ăn mòn, ion sắt kết hợp với ion clo để tạo thành hợp chất có độ tan lớn $FeCl_2$. Hợp chất này có thể khuếch tán ra xa bề mặt của cốt thép và phân hủy, giải phóng ion clo, từ đó, ion clo có thể tiếp tục chu trình ảnh hưởng của mình, đồng thời làm giảm pH ở anot do sự thủy phân của ion sắt Fe^{2+} . Tốc độ ăn mòn tăng lên do sự oxy hoá của sắt diễn ra mạnh mẽ trong môi trường có tính axit như ở anode. Tốc độ ăn mòn cốt thép có quan hệ với tỷ lệ ion Cl^{-}/OH^{-} trên bề mặt cốt thép. Nồng độ ion hydroxit (OH^{-}) càng cao thì hàm lượng clo cần thiết để gây ăn mòn càng cao [4, 8].

Quá trình hydrat hóa của xi măng Pooc-lăng xi cần các chất hoạt hóa như: kiềm, thạch cao, $Ca(OH)_2$...[1]. Nhìn chung, các sản phẩm hydrat hóa của xi măng Pooc-lăng xi cũng tương tự như của xi măng Pooc-lăng xi.

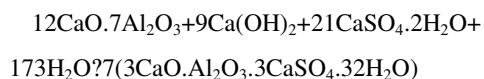
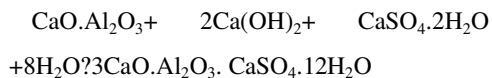
nhiên, sự tạo thành C-S-H của xi măng xi có tỉ lệ C/S nhỏ, có khả năng hòa tan một lượng lớn của MgO và Al_2O_3 , tạo thành dung dịch rắn bền vững, ổn định. Đây là sự khác biệt lớn nhất so với các sản phẩm hydrat hoá của xi măng Pooc-lăng xi các đặc tính bền vững trong môi trường xâm thực mà xi măng Pooc-lăng xi không đáp ứng được. Quá trình hydrat hóa của xi măng Pooc-lăng xi bao gồm hai giai đoạn [1]:

- Quá trình đóng rắn của xi măng Pooc-lăng xi tạo thành các hydrosilicatcanxi, hydroaluminatcanxi và canxi hydroxit.
- Sự đóng rắn của xi măng Pooc-lăng xi cao, được thực hiện nhờ hai loại chất kích thích đóng rắn: chất kích thích kiềm và chất kích thích sunphat [4].

• Ca(OH)₂ đóng vai trò là chất kích thích kiềm:



• CaSO₄.2H₂O đóng vai trò là chất kích thích suphot:



2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH HỆ SỐ KHUẾCH TÁN ION CLO CỦA BT

Phương pháp xác định hệ số khuếch tán ion clo của BT được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C1202 [13] kết hợp với NordTest NT Build 492 [14]. Theo tiêu chuẩn này, mẫu BT sử dụng có đường kính 100mm, dày 50mm (hình 3). Mẫu được đặt giữa 2 ngăn, một ngăn

chứa dung dịch NaCl 3%, ngăn còn lại chứa dung dịch NaOH 0,3N (hình 5). Sau đó, dòng điện một chiều với hiệu điện thế 60V được cho đi qua mẫu, cực âm nối với mặt mẫu ở ngăn chứa dung dịch NaCl, cực dương nối với mặt mẫu ở ngăn chứa dung dịch NaOH. Sau khi cho dòng điện một chiều đi qua mẫu trong khoảng thời gian 6 giờ, mẫu được lấy ra rửa sạch bề mặt, cắt mẫu thành hai nửa rồi phun dung dịch AgNO₃ lên bề mặt BT tại vết cắt, đo chiều sâu của phần bề mặt mẫu bị đổi màu sau khi phun dung dịch AgNO₃. Giá trị của hệ số khuếch tán ion clo được tính thông qua chiều sâu của vùng bề mặt mẫu bị đổi màu như sau [4]:

$$n = \frac{0.0238 \cdot (273 + T) \cdot L}{((U - 2) \cdot t) \left(x_d - 0.0238 \cdot \sqrt{\frac{(273 + T) \cdot L \cdot x_d}{U - 2}} \right)}$$

Trong đó:

D: hệ số khuếch tán ion clo (10⁻¹²m²/s).

U: hiệu điện thế dòng điện (V).

T: nhiệt độ trung bình của hai ngăn chứa dung dịch (°C).

L: chiều dày của mẫu thí nghiệm (mm).

x_d: chiều sâu trung bình của vùng mặt BT bị đổi màu khi phun dung dịch AgNO₃ (mm).

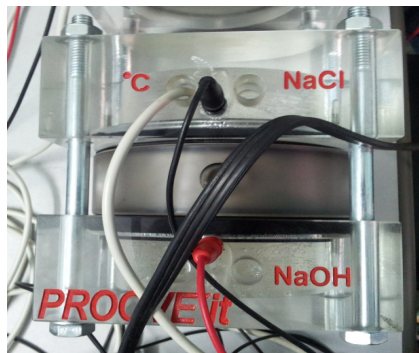
t: thời gian thí nghiệm (giờ)



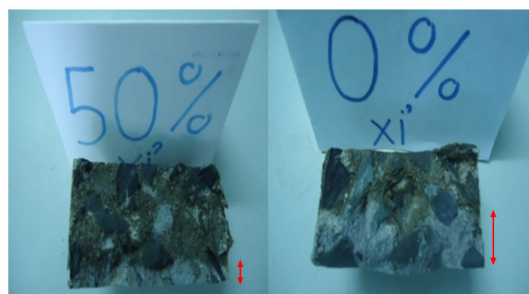
Hình 3. Mẫu thử chuẩn bị ban đầu



Hình 4. Thiết bị thí nghiệm đo hệ số khuếch tán ion Clo trong BT



Hình 5. Mẫu BT đặt giữa 2 ngăn dung dịch NaCl và NaOH



Hình 6. Chiều sâu thâm thấu ion clo trên 2 mẫu dùng 50% và 0% xi sau khi phun dung dịch $AgNO_3$ lên bề mặt

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Nguyên vật liệu sử dụng

Nguyên vật liệu sử dụng để đúc mẫu BT bao gồm: cát sông có môđun độ lớn $M_{dl} = 2,67$; đá dăm có $D_{max} = 20$ mm; xi măng PC 50, phụ gia

siêu dẻo và nước sạch. Tất cả các nguyên vật liệu sử dụng đều đáp ứng yêu cầu theo tiêu chuẩn. Xi lò cao sử dụng có thành phần hóa và các tính chất trình bày ở bảng 1 và bảng 2.

Bảng 1. Thành phần hóa của xi lò cao (%)

MKN	CKT	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
0,93	1,99	36,7	2,61	0,22	47,32	2,05

MKN: Hàm lượng mất khi nung

CKT: Hàm lượng cặn không tan

Bảng 2. Chỉ tiêu kỹ thuật của xi lò cao

Chỉ tiêu kỹ thuật	Kết quả
Chỉ số hoạt tính cường độ (7 ngày)	105
Khối lượng thể tích, g/cm ³	1,2
Khối lượng riêng, g/cm ³	2,9
Hàm lượng SO ₃ , %	0,23

Hỗn hợp BT thiết kế có độ sụt SN = 6-8 cm; tỷ lệ N/CKD = 0,47, xi lò cao được sử dụng thay thế xi măng PC50 với hàm lượng 0% đến 70% theo khối lượng. Cấp phối BT nghiên cứu thể hiện ở bảng 3. Tất cả các mẫu thử được tháo khuôn 1 ngày sau khi đúc, sau đó dưỡng

hộ 27 ngày trong nước rồi mới tiến hành các phép thử.

Mẫu BT xác định hệ số khuếch tán ion clo thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C1202 và NordTest NT Build 492.

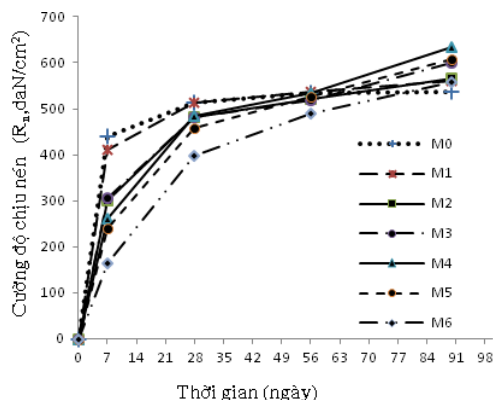
Bảng 3. Thành phần cấp phối của BT có sử dụng xi lò cao với các hàm lượng khác nhau

Kí hiệu	Hàm lượng xi (%)	Lượng dùng vật liệu cho 1m ³ BT				
		Xi măng (kg)	Xi (kg)	Phụ gia (lít)	Cát (kg)	Đá (kg)
M ₀	0	330	0	2,5	873	1150
M ₁	10	297	33	2,5	873	1150
M ₂	20	264	66	2,5	873	1150
M ₃	30	231	99	2,5	873	1150
M ₄	40	198	132	2,5	873	1150
M ₅	50	165	165	2,5	873	1150
M ₆	60	132	198	2,5	873	1150
M ₇	70	99	231	2,5	873	1150

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng xi đến cường độ của BT

Việc sử dụng xi thay thế xi măng Pooclang sẽ ảnh hưởng đến quá trình phát triển cường độ của BT. Để đánh giá ảnh hưởng này, các mẫu

BT sử dụng cấp phối ở bảng 3 được kiểm tra cường độ chịu nén ở các thời điểm 7, 28, 56 và 90 ngày. Kết quả ảnh hưởng của hàm lượng xi lò cao đến sự phát triển cường độ BT được thể hiện ở hình 7.



Hình 7. Ảnh hưởng của hàm lượng xi đến cường độ chịu nén của bê tông theo thời gian

Nhìn chung, cường độ các mẫu BT tăng dần theo thời gian. Trong giai đoạn 7 ngày đầu, tốc độ phát triển cường độ của BT giảm dần khi hàm lượng xi tăng dần. Trong 21 ngày tiếp theo:

- Đối với mẫu M₀ và M₁: tuy cường độ vẫn tăng nhưng tốc độ phát triển cường độ lại giảm.
- Đối với các mẫu M₂, M₃, M₄, M₅, M₆: tốc độ phát triển cường độ cao hơn so với mẫu M₀ và M₁. Đặc biệt, mẫu 60% xi (M₆) có cường độ ở 28 ngày tăng gấp 2,41 lần so với cường độ ở 7 ngày.

Trong giai đoạn tiếp theo sau 28 ngày, mẫu M₀ và M₁ có tốc độ phát triển cường độ không đáng kể, các mẫu M₂; M₃; M₄; M₅; và M₆, tuy tốc độ phát triển cường độ có chậm lại so với giai đoạn 28 ngày đầu, nhưng vẫn cao hơn so với mẫu M₀ và M₁. Đặc biệt, ở giai đoạn này, mẫu 40% xi có tốc độ phát triển cường độ cao nhất.

3.3. Ảnh hưởng của hàm lượng xi đến hệ số khuếch tán ion clo trong BT

Như đã biết, ion clo xâm nhập qua lớp BT bảo vệ, tấn công và gây ăn mòn cốt thép. Để

tăng khả năng bảo vệ cốt thép, BT cần hạn chế được sự thẩm thấu của ion clo vào sâu bên trong hay nói cách khác là hệ số khuếch tán ion clo vào trong BT phải thấp. Sử dụng xi lò cao sẽ cải thiện được vấn đề này, tuy nhiên, kết quả sẽ thay đổi ứng với các hàm lượng xi thay thế khác nhau. Kết quả đo hệ số khuếch tán ion clo xác định theo từng hàm lượng xi ghi nhận trên hình 8.

Kết quả nghiên cứu ở hình 8 cho thấy rằng, khi tăng hàm lượng xi thay thế xi măng PC50 từ 0% đến 50% thì hệ số khuếch tán ion Clo giảm liên tục nhưng nếu tiếp tục tăng hàm lượng xi, khả năng khuếch tán ion Clo lại bắt đầu tăng lên. Hệ số khuếch tán ion Clo nhỏ nhất ghi nhận được ứng với hàm lượng xi trong khoảng 40% đến 50%, tại đây, khả năng khuếch tán ion Clo giảm gần 3 lần so với mẫu BT đối chứng (M₀).

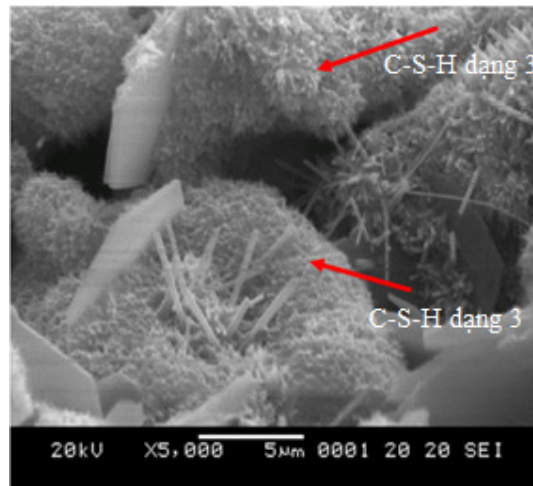
Hệ số khuếch tán ion clo của BT sử dụng xi măng xi thấp hơn rõ rệt so với BT chỉ sử dụng xi măng Pooc-lăng là do khả năng liên kết ion clo mà BT có được khi xi lò cao được cho vào. Ngoài ra, khi hàm lượng xi thay thế cao (40%,

50%) hệ số khuếch tán ion clo giảm mạnh có thể giải thích do sự tạo thành nhiều khoáng C-S-H có cấu trúc đặc sít (C-S-H dạng 3) có hàm lượng lỗ rỗng gel thấp (hình 9). Chúng được phân bố tương đối đồng đều trong cấu trúc BT, do đó làm tăng mức độ đặc sít của BT hơn, hạn chế được sự thẩm thấu ion clo vào sâu bên trong. Khi sử dụng hàm lượng xi ít hơn, C-S-H hầu hết ở dạng 1 và 2 với tỷ lệ lỗ rỗng gel lớn, chúng phân tán rải rác trên bề mặt các mảng lớn của $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hình 10), vì vậy cấu trúc BT ít đặc sít hơn, từ đó hệ số khuếch tán ion clo sẽ cao.

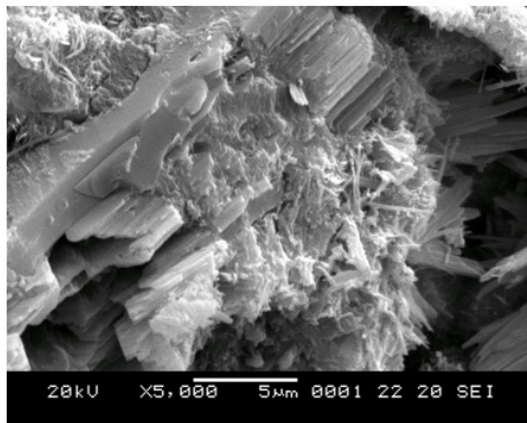
Mặt khác, từ hình 8 có thể thấy các mẫu mà hàm lượng xi thay thế là 60% và 70% thì hệ số khuếch tán ion clo tăng trở lại. Điều này có thể được giải thích là do với hàm lượng xi thay thế

tăng cao như vậy thì hàm lượng xi măng PC50 sẽ giảm tương ứng. Do đó, hàm lượng $\text{Ca}(\text{OH})_2$, đóng vai trò là chất hoạt hóa kiềm cho xi, sinh ra từ phản ứng thủy hóa của xi măng sẽ giảm so với trường hợp hàm lượng xi thay thế là 40%, 50%. Điều này dẫn đến kết quả là khoáng C-S-H, sản phẩm của phản ứng thủy hóa cũng như phản ứng puzolan hóa, sinh ra với hàm lượng không cao, chưa đủ để làm gián đoạn các lỗ rỗng trong bê tông. Chính vì vậy mà khi tăng hàm lượng xi lên hơn 50% thì cấu trúc bê tông sẽ kém đặc sít hơn, làm cho hệ số khuếch tán ion clo tăng lên.

Liên quan đến khả năng liên kết ion clo trong cấu trúc BT, ion clo trong BT tồn tại ở hai dạng: ion clo tự do và ion clo liên kết.



Hình 9. Cấu trúc khoáng của mẫu có 50% xi chụp bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) với độ phóng đại 5000 lần

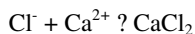


Hình 10. Cấu trúc khoáng của mẫu có 0% xi chụp bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) với độ phóng đại 5000 lần

- Ion clo tự do: là nhân tố gây ra ăn mòn cốt thép, có thể được đưa vào trong bê tông từ nguồn bên ngoài, hay quá trình cacbonat hóa cũng có thể giải phóng ion clo liên kết trở thành ion clo tự do.

- Ion clo liên kết: do liên kết hoá học, chúng chủ yếu là canxi clorua aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - muối Friedelt) và canxi clo ferrit ($3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) hoặc do canxi silicat hydrat ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) hấp thụ trên thành lỗ rỗng.

Xi lò cao khi đưa vào BT xi măng Poocăng có khả năng liên kết mạnh với ion clo, giữ nó lại trong thành phần khoáng, làm giảm nồng độ ion clo tự do thông qua phản ứng tạo muối Friedelt [2, 3]:



$\text{CaCl}_2 + \text{C}_3\text{A} + 10\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
(muối Friedelt)

Mức độ liên kết ion clo được khảo sát thông qua việc đo hàm lượng ion clo liên kết trong các mẫu vữa với các hàm lượng xi khác nhau được cho tiếp xúc với dung dịch NaCl 5%. Các

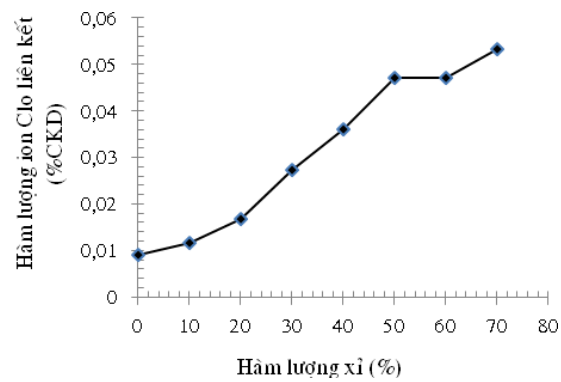
mẫu vữa có kích thước 4x4x16 cm và thành phần cấp phối như bảng 4, dưỡng hộ mẫu trong nước một tháng, sau đó ngâm mẫu tiếp trong dung dịch NaCl 5% (2 tháng). Lấy mẫu, chuẩn bị mẫu và tiến hành phân tích theo tiêu chuẩn ASTM C1152/C1152M-03 [15]. Kết quả nghiên cứu về khả năng liên kết ion clo của BT sử dụng các hàm lượng xi khác nhau trình bày ở hình 11. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng, khi hàm lượng xi thay thế xi măng PC50 càng tăng thì hàm lượng ion clo liên kết nằm trong cấu trúc của vữa càng tăng. Đặc biệt, hàm lượng ion clo liên kết cao nhất khi hàm lượng xi thay thế xi măng PC50 từ 20% - 50%, tăng 10% xi có thể tăng khả năng liên kết ion clo lên đến 30 %.

Có thể nói rằng, hàm lượng xi sử dụng càng nhiều, càng làm tăng khả năng liên kết ion clo nhờ phản ứng tạo muối Friedelt. Nhờ vậy mà lượng ion clo liên kết tăng lên nhiều.

Bảng 4. Cấp phối các mẫu vữa để khảo sát khả năng liên kết ion Clo

STT	Kí hiệu	Hàm lượng xi (%)	Tỷ lệ N/CKD	Tỷ lệ C/CKD
1	V ₀	0	0,47	2,64
2	V ₁	10	0,47	2,64
3	V ₂	20	0,47	2,64
4	V ₃	30	0,47	2,64
5	V ₄	40	0,47	2,64
6	V ₅	50	0,47	2,64
7	V ₆	60	0,47	2,64
8	V ₇	70	0,47	2,64

N/CKD: nước/chất kết dính; C/CKD: cát/chất kết dính



Hình 11. Mối quan hệ giữa hàm lượng xi với hàm lượng ion clo liên kết

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm khi thay thế xi măng PC50 bằng xi lò cao cho thấy:

- Trong giai đoạn đầu (7 ngày), tốc độ phát triển cường độ của bê tông giảm dần khi hàm lượng xi tăng dần. Tuy nhiên, sau đó, cường độ của bê tông sử dụng xi vẫn tiếp tục phát triển rõ

rệt và cao hơn hẳn so với BT không có xi theo thời gian dài.

- Khi tăng hàm lượng xi thay thế từ 0% - 50% thì hệ số khuếch tán ion Clo giảm liên tục. Tuy nhiên, nếu tăng hàm lượng xi trên 60% thì hệ số khuếch tán ion clo lại tăng trở lại.

- Trong tất cả các trường hợp, hàm lượng xi măng càng tăng thì hàm lượng ion clo liên kết trong cấu trúc của vữa càng lớn.

- Có thể sử dụng xi lò cao thay thế xi măng PC50 với hàm lượng 30% - 40% để tăng khả

năng chống thấm thấu ion clo mà vẫn không ảnh hưởng đến cường độ BT thiết kế.

EFFECTS OF BLAST FURNACE SLAG ON CHLORIDE PERMEABILITY OF CONCRETE

Tran Văn Mien, Nguyen Thi Hai Yen, Cao Nguyen Thi

University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT: Chloride-induced corrosion of steel reinforcement is the main cause of deterioration of reinforced concrete structures in marine environments. The penetration of chloride ions into concrete cover that accelerates corrosion process of steel reinforcement, this affects the bearing capacity of structures. This paper investigates on chloride permeability characteristic of concrete using blast furnace slag in terms of chloride diffusion coefficient and chloride binding capacity. The concrete used in this research has grade of 45MPa and the slag content replacement of cement PC50 is in range of 0% - 70%. The chloride diffusion coefficient of concrete is determined by ASTM C1202 and NordTest NT Build 492. Results showed that the blast furnace slag replacement increases (from 0% to 50%), the chloride ion diffusion coefficient decreases and bound chloride content in concrete increases. It is clear to conclude that blast furnace slag can be used to replace cement PC50 in range of 30% to 40% in order to increase the resistance of concrete to chloride penetration without affecting concrete strength.

Keywords: chloride ion penetration, blast furnace slag, chloride diffusion coefficient, chloride binding.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Mạnh Phát, *Chống ăn mòn trong bê tông và bê tông cốt thép*. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, (2000).
- [2]. Dr.S.N Ghosh, *Mineral Admixtures in Cement and Concrete*. Akademla Books International, (1995).
- [3]. Rui Luo, Study of chloride binding and diffusion in GGBS concrete. *Cement and Concrete Research*, 33, 1-7, (2003).
- [4]. Trần Văn Miên, *Ăn mòn và chống ăn mòn cho bê tông cốt thép*. Nhà xuất bản Đại học quốc gia TP Hồ Chí Minh, (2010).

- [5]. P.Kumar Mehta, *Concrete in the marine environment*. Elsevier Science Publisher, (1991).
- [6]. John P.Broomfield, *Corrosion of Steel in concrete: Understanding, investigation and repair*. Taylor & Francis, (2003).
- [7]. Ervin Poulsen, Leif Mejlbro, *Diffusion of Chloride in Concrete*. Taylor & Francis, (2006).
- [8]. Jan Skaly, Jacques Marchand, Ivan Odler, *Sulfate Attack on Concrete*. Spon Press, (2002).
- [9]. Trần Văn Miên, Modeling of Chloride Penetration into Concrete Structures under Flexural Cyclic load and Tidal Environment. *Doctoral thesis, Chulalongkorn University*, 58-73, (2008).
- [10]. C.L. Page, *Corrosion of Reinforcement in Concrete*. Elsevier Applied Science, (1990).
- [11]. T.U. Mohammed, H.Hamada, Relationship between free chloride and total chloride contents in concrete, *Cement and Concrete Research*, 33, 1487-1490, (2003).
- [12]. G.K. Glass, N.R. Buenfeld, The influence of chloride binding on the chloride induced corrosion risk in reinforced concrete, *Corrosion Science*, 42, 329 – 344, (2000).
- [13]. American Society for Testing and Materials Standards: *ASTM Standard test Methods for Electrical indication of Concrete's ability to resist chloride ion penetration: ASTM C1202*, Philadelphia, (1997).
- [14]. NordTest method NT Build 492: *Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments*, (1999).
- [15]. American Society for Testing and Materials Standards: *ASTM Standard test Methods for Acid-Soluble chloride in mortar and concrete: ASTM C1152*, Philadelphia, (1997).