

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA TÁCH CHIẾT KIỀM ĐẾN TÁN CÔNG NỘI SULFATE DO HÌNH THÀNH ETTRINGITE GIÁN ĐOẠN

Nguyễn Văn Hường¹

Tóm tắt: Sự hình thành ettringite thông thường trong giai đoạn đầu của quá trình hydrat được xem có hiệu quả tích cực bởi nó cho phép điều chỉnh quá trình ninh kết của xi măng, song nó lại đóng vai trò tiêu cực khi ettringite hình thành khi vật liệu của xi măng đông cứng (gọi là sự hình thành ettringite gián đoạn). Sự hình thành ettringite gián đoạn là một dạng của tán công nội sulfate do sớm bị xử lý nhiệt ở nhiệt độ cao hơn khoảng 70°C. Nhiệt độ cao trong quá trình hydrat sẽ ngăn chặn sự hình thành và/ hoặc phân hủy ettringite thông thường (nguyên sinh) trong quá trình hydrat của xi măng, sau đó vật liệu của xi măng khô cứng và trong điều kiện môi trường ẩm, ettringite sẽ lại hình thành gây ra giãn nở hoặc nứt nẻ. Các cấu kiện bê tông thường chịu ảnh hưởng bởi sự thay đổi của thời tiết tự nhiên trong suốt quá trình tồn tại, tính chất của dung dịch lỗ rỗng chắc chắn sẽ bị thay đổi do môi trường. Nghiên cứu này đã thí nghiệm xác định biến dạng dài của mẫu vữa và nồng độ Na^+ và K^+ của dung dịch ngâm mẫu dưỡng hộ trong hai điều kiện (nước ngâm không thay đổi trong suốt quá trình thí nghiệm và thay đổi định kỳ) trong thời đoạn khoảng 700 ngày. Kết quả thực nghiệm của bài báo này chỉ ra rằng sự tách chiết của các ion kiềm (Na^+ và K^+) vào trong dung dịch dưỡng hộ đóng một vai trò quan trọng trong cơ chế giãn nở bởi sự hình thành ettringite gián đoạn.

Từ khóa: Bê tông, vữa, giãn nở, chiết tách, kiềm, hình thành ettringite gián đoạn (DEF).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tán công nội sulfate do hình thành ettringite gián đoạn là do vật liệu của xi măng (bê tông, vữa hoặc hồ xi măng) non tuổi bị xử lý nhiệt ở nhiệt độ cao hơn khoảng 70°C (nhiệt độ này do xử lý nhiệt để kích thích phát triển cường độ đối với bê tông đúc sẵn, bê tông thi công trong điều kiện thời tiết nóng hoặc bê tông khối lớn). Nhiệt độ cao trong quá trình hydrat sẽ ngăn chặn sự hình thành và/ hoặc phân hủy ettringite thông thường (normal ettringite) trong quá trình hydrat, sau đó bê tông đông cứng và về nhiệt độ môi trường trong điều kiện ẩm, ettringite gián đoạn sẽ hình thành gây giãn nở hay nứt thậm chí kết cấu bị phá hoại (Taylor et al, 2001), (Escadeillas et al, 2007), (Collepari, 2003), (Hường & Lộc, 2011). Tán công nội sun phát bởi DEF được phát hiện từ giữa những năm 1980 trên các cấu kiện tà vẹt của

đường ray tàu hỏa bằng bê tông đúc sẵn (Mielenz et al, 1995), nó được xem là một bệnh mới đối với bê tông so với tán công ngoại sulfate (nguồn sulfate tán công đến từ môi trường công trình tồn tại). Hậu quả của tán công nội sulfate do DEF gây ra giãn nở, nứt dẫn đến làm giảm các đặc trưng cơ học như cường độ, mô đun đàn hồi và độ bền của công trình bê tông (Zhang et al, 2002a), (Brunetaud et al, 2008), (Hornain, 2007).

Nghiên cứu về ảnh hưởng của các nhân tố đến sự hình thành ettringite gián đoạn, Nguyen đã tổng hợp các nhân tố ảnh hưởng đến DEF thành bốn nhóm nhân tố (Nguyen, 2013):

- Điều kiện nhiệt độ ở thời điểm non tuổi (ngưỡng nhiệt độ, thời gian xử lý nhiệt, thời điểm xử lý nhiệt,...);
- Tính chất của vật liệu (xi măng, cốt liệu, phụ gia,...);
- Cấu trúc của bê tông, vữa hay hồ xi măng (độ rỗng, vi cấu trúc);

¹ Khoa Xây dựng Thủy lợi – thủy điện, Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng,

- Điều kiện môi trường mà vật liệu của xi măng tồn tại sau khi xử lý nhiệt.

Cho đến nay, đã có một số nghiên cứu về ảnh hưởng của điều kiện môi trường sau khi bị xử lý nhiệt đến tấn công nội sulfate bởi DEF. Heinz và cộng sự (Heinz et al, 1999) đã thí nghiệm trên các mẫu tồn tại ở các độ ẩm khác nhau trong 780 ngày đã kết luận rằng độ ẩm tương đối cần thiết cho tấn công nội sulfate bởi DEF là không nhỏ hơn 95%. Trong khi đó các nghiên cứu khác của Shimada (Shimada & Young, 2004) và Graf (Graf, 2007) cho rằng ngưỡng độ ẩm này là 92%; Famy và cộng sự (Famy et al, 2001) đã thí nghiệm trên các mẫu vữa trong các điều kiện dưỡng hộ mẫu khác nhau (độ ẩm tương đối 90÷100% và ngâm trong nước, dung dịch LiOH và KOH) trong thời gian 900 ngày sau khi mẫu bị xử lý nhiệt ở 90°C trong 12 giờ, kết quả cho thấy: tốc độ và biên độ giãn nở của mẫu ngâm trong nước lớn hơn so với mẫu trong môi trường ẩm, các mẫu ngâm trong môi trường KOH có giãn nở nhỏ hơn so với mẫu ngâm trong môi trường nước, thậm chí khi mẫu ngâm trong dung dịch có nồng độ KOH là 920 mmol/l không thể hiện bất cứ sự giãn nở nào sau hơn 500 ngày. Từ các kết quả này, Famy và cộng sự cho rằng, cơ chế giãn nở do DEF có liên quan đến việc chiết tách kiềm từ dung dịch lỏng rỗng của vật liệu ra bên ngoài; ngoài ra, các nghiên cứu của Famy (Famy, 1999), Flatt (Flatt & Scherer, 2008), Leklou (Leklou et al, 2013) cho rằng nhiệt độ của nước ngâm mẫu sau khi xử lý nhiệt có ảnh hưởng quan trọng đến quá trình giãn nở do DEF. Các nghiên cứu này cho rằng tồn tại một ngưỡng nhiệt độ giới hạn của nước ngâm mẫu, nếu nhiệt độ của nước ngâm mẫu lớn hơn giới hạn này thì mẫu sẽ không bị giãn nở do DEF, tuy nhiên trị số về ngưỡng nhiệt độ giới hạn này của các nghiên cứu trên là chưa có sự thống nhất.

Cho đến nay, đã có nhiều nghiên cứu về ảnh hưởng của chu trình xử lý nhiệt (đối với vật liệu của xi măng), tính chất của xi măng đến giãn nở do DEF. Tuy nhiên, có ít nghiên cứu về điều kiện dưỡng hộ (môi trường) mẫu sau khi xử lý nhiệt đến cơ chế giãn nở do DEF. Bài báo này

sẽ nghiên cứu về ảnh hưởng của sự tách chiết kiềm do các điều kiện bảo dưỡng mẫu khác nhau đến quá trình giãn nở của mẫu vữa do tấn công nội sulfate bởi DEF.

2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

2.1 Vật liệu thí nghiệm

- Xi măng: loại xi măng thí nghiệm được ký hiệu là “b” có thành phần hóa học, thành phần khoáng và tính chất vật lý như ở Bảng 1. Theo Tiêu chuẩn BS EN 196-10:2016, xi măng này thuộc loại CEM I 52.5 N. Ngoài ra, đối với xi măng b được thêm vào 3.1% Na₂SO₄ (được ký hiệu là “bs”) nhằm tăng khả năng ứng xử gây giãn nở cũng như giảm thời gian thí nghiệm (Nguyen et al, 2013), (Leklou et al, 2017).

- Cát: cát dùng trong thí nghiệm là loại cát tiêu chuẩn silic Leucate phù hợp với BS EN 196-10:2016. Theo tiêu chuẩn NF-P 18-590, loại cát này không gây ra phản ứng kiềm cốt liệu.

Bảng 1. Thành phần hóa học, thành phần khoáng và tính chất vật lý của xi măng

Thành phần hóa học (%) và tính chất vật lý	
SiO ₂	19.50
Al ₂ O ₃	5.20
Fe ₂ O ₃	2.30
CaO	64.20
MgO	0.90
SO ₃	3.50
Na ₂ O	0.007
K ₂ O	1.07
Na ₂ O _{eq}	0.77
LOI	2.40
Khối lượng riêng (g/ cm ³)	3.09
Diện tích bề mặt Blaine (cm ² /g)	4000
Thành phần khoáng (%)	
C ₃ S	66.0
C ₂ S	13.0
C ₃ A	11.0
C ₄ AF	7.0

2.2 Thiết bị thí nghiệm

- Giãn nở kế dùng để đo biến dạng dài có độ chính xác đến 1µm (Hình 1.a). Để đo được biến dạng dài, hai núm bằng vật liệu đồng được chốt vào khuôn trước khi đúc mẫu (Hình 1.b), thiết bị

và phương pháp đo phù hợp với ASTM C1012/C1012M - 15.

- Để đánh giá ảnh hưởng của sự tách chiết các ion kiềm đến giãn nở do tấn công nội sulfate bởi DEF, nghiên cứu này đã dùng thiết

bị sắc ký trao đổi ion loại 883 Basic IC plus - Metrohm (quá trình phân tích hoàn toàn tự động được điều khiển bằng phần mềm MagIC Net™ Basic, kết quả phân tích có độ chính xác cao).



a. Giãn nở kế



b. Khuôn đúc mẫu

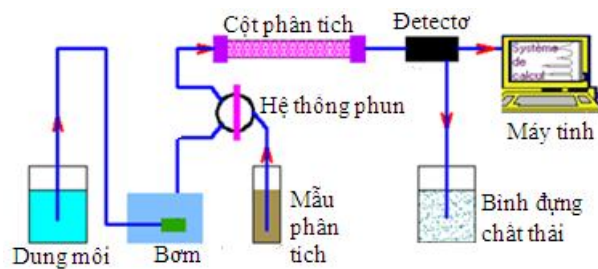


c. Hộp chứa mẫu

Hình 1. Khuôn đúc mẫu, thiết bị đo biến dạng dài và hộp chứa mẫu



a. Sắc ký 883 Basic IC plus - Metrohm



b. Nguyên lý hoạt động của 883 Basic IC plus

Hình 2. Sắc ký 883 Basic IC plus - Metrohm và nguyên lý hoạt động

2.3 Chương trình thí nghiệm

Nghiên cứu được tiến hành trên các mẫu vữa ký hiệu là Mb, Mbs tương ứng với hai loại xi măng b và bs. Các mẫu vữa được sản xuất với tỷ lệ nước/ xi măng là 0.50 và tỷ lệ cát/ xi măng là 3.

- Quá trình đúc mẫu vữa tuân theo Tiêu chuẩn BS EN 196-10:2016.

- Sau đó, mẫu được xử lý nhiệt ở ngưỡng nhiệt độ 80°C với tổng thời gian xử lý nhiệt 25 giờ, theo chu trình như sau:

- Mẫu được lưu giữ trong phòng thí nghiệm (20°C) trong 2 giờ (tính từ thời điểm nhào trộn);
- Tăng nhiệt độ từ 20°C đến 80°C với tốc độ gia nhiệt 30°C/ giờ;
- Giữ nhiệt độ ở 80°C trong vòng 10 giờ;
- Giảm nhiệt độ từ 80°C xuống 20°C với tốc độ giảm nhiệt 5.5°C/ giờ.

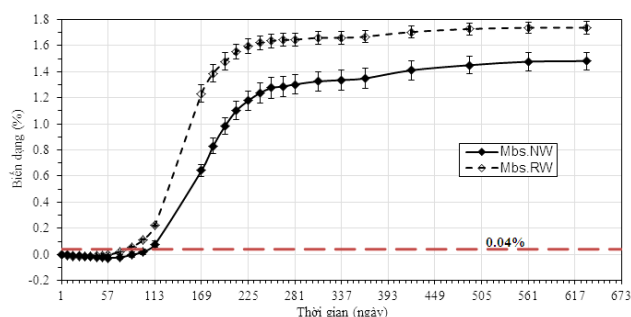
- Sau khi xử lý nhiệt, các mẫu được tháo khỏi khuôn và được ngâm trong nước cất bằng các

hộp nhựa có nắp đậy (Hình 1.c, các mẫu được ngâm ngập hoàn toàn trong nước: mỗi hộp nhựa chứa ba mẫu và ngâm trong 1.25 lít nước cất), sau đó lưu trong phòng thí nghiệm ở nhiệt độ 20°C. Để nghiên cứu ảnh hưởng của sự tách chiết kiềm đến quá trình giãn nở do DEF, trong nghiên cứu này các mẫu Mb và Mbs được ngâm trong nước theo hai dạng: (1): nước ngâm mẫu không thay đổi trong suốt quá trình thí nghiệm (ký hiệu: Mb.NW và Mbs.NW); (2): nước ngâm mẫu được thay mới định kỳ mỗi lần đo biến dạng (ký hiệu: Mb.RW và Mbs.RW).

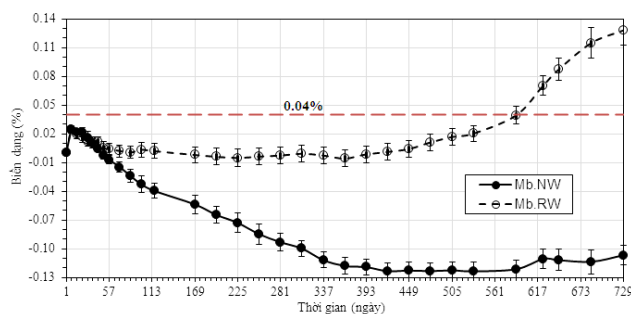
- Quá trình đo biến dạng được thực hiện như sau: trong 8 tuần đầu, mỗi tuần đo một lần; sau tuần thứ 8 đến tuần thứ 24, hai tuần đo một lần; sau 24 tuần, bốn tuần đo một lần cho đến kết thúc thí nghiệm (729 ngày). Cùng với mỗi lần đo biến dạng, nước ngâm mẫu cũng được lấy để phân tích nồng độ kiềm (K^+ và Na^+) bằng sắc ký 883 Basic IC plus - Metrohm.

3. KẾT QUẢ VÀ BÌNH LUẬN

Theo cơ chế của tấn công nội sulfate do sự hình thành ettringite gián đoạn thì một trong những ứng xử của DEF là biểu hiện sự giãn nở theo thời gian. Kết quả theo dõi quá trình biến dạng của các mẫu vữa Mbs (trong thời gian 631 ngày) và Mb (trong thời gian 729 ngày) tương ứng được thể hiện như ở Hình 3 và Hình 4, mỗi điểm trên đường cong biến dạng là giá trị trung bình của ba mẫu đo. Ngoài ra, đường nằm ngang có tung độ 0.04% là giá trị giãn nở giới hạn xem là vật liệu bị bệnh do tấn công nội sun phát bởi DEF (LCPL, 2009) cũng được thể hiện trong các hình này.



Hình 3. Kết quả giãn nở của các mẫu Mbs.RW và Mbs.NW theo thời gian



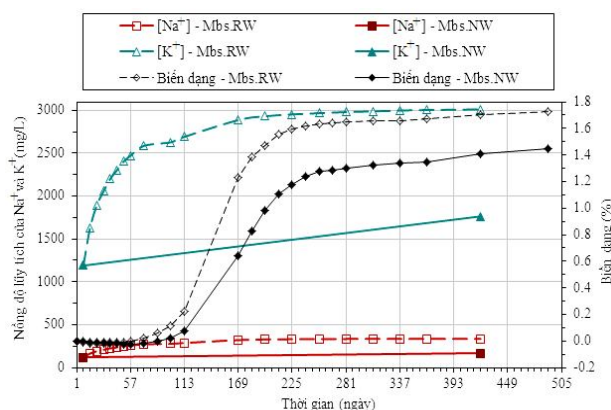
Hình 4. Kết quả giãn nở của các mẫu Mb.RW và Mb.NW theo thời gian

Kết quả ở Hình 3 cho thấy: Đối với các mẫu vữa được chế tạo với loại xi măng bs (có hàm sulfate cao), trong cả hai trường hợp (nước ngâm mẫu được làm mới định kỳ (Mbs.RW) và không thay nước ngâm mẫu (Mbs.NW)) đều có biểu hiện giãn nở xảy ra sớm và trị số ngưỡng giãn nở lớn. Tuy nhiên, xét chi tiết thì trong hai trường hợp này cũng có những biểu hiện khác

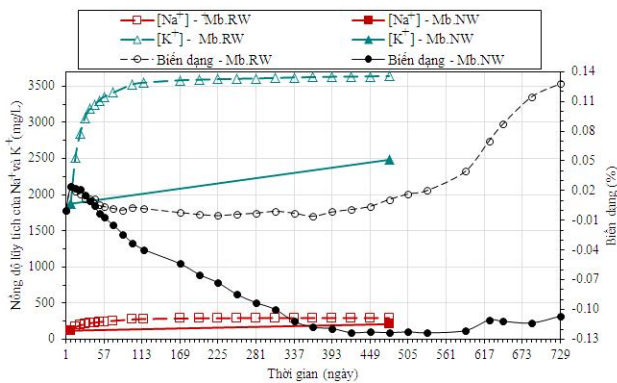
nau: mẫu Mbs.RW phát triển giãn nở nhanh hơn mẫu Mbs.NW, thật vậy mẫu Mbs.RW đạt giá trị giãn nở 0.04% sau 74 ngày, trong khi đó Mbs.NW cần 110 ngày mới đạt được trị số giãn nở này; Ngoài ra, sau 631 ngày, Mbs.RW có giá trị biến dạng lớn hơn khoảng 20% so với Mbs.NW.

Kết quả ở Hình 4 cho thấy: Sau 729 ngày ngâm mẫu, các mẫu được dưỡng hộ trong điều kiện nước không thay đổi (Mb.NW) chưa thể hiện bất cứ sự giãn nở nào. Trong khi đó, trong điều kiện nước ngâm mẫu được thay mới định kỳ (Mb.RW) đã thể hiện quá trình giãn nở mặc dù rất chậm (sau 590 ngày giãn nở 0.04%), sau 729 ngày Mb.RW giãn nở 0.13% và còn tiếp tục giãn nở. Ngoài ra, nếu so sánh với mẫu vữa chế tạo với xi măng bs, dễ dàng thấy rằng các mẫu vữa dùng xi măng b không biểu hiện bất cứ sự giãn nở nào (Mb.NW so với Mbs.NW) hoặc thời điểm bắt đầu giãn nở rất chậm (Mb.RW so với Mbs.RW).

Từ các kết quả trên, có thể thấy rằng: Các mẫu dưỡng hộ trong điều kiện nước ngâm mẫu được làm mới định kỳ là điều kiện tốt để kích thích quá trình giãn nở do hình thành ettringite gián đoạn. Để góp phần giải thích nhận định này, tác giả đã tiến hành thí nghiệm phân tích nồng độ các ion kiềm (Na^+ và K^+) của dung dịch ngâm mẫu. Kết quả phân tích nồng độ các ion kiềm theo thời gian được biểu diễn như ở Hình 5 và Hình 6.



Hình 5. Sự tách của ion K^+ và Na^+ của nước ngâm mẫu và biến dạng của mẫu Mbs.RW và Mbs.NW theo thời gian



Hình 6. Sự tách của ion K^+ và Na^+ của nước ngâm mẫu và biến dạng của mẫu Mb.RW và Mb.NW theo thời gian

Kết quả ở Hình 5 và Hình 6 cho thấy:

- Đối với các mẫu ngâm trong điều kiện RW: Trong giai đoạn đầu việc làm mới nước định kỳ sẽ luôn tạo được sự chênh lệch nồng độ kiềm giữa trong mẫu và nước ngâm mẫu do đó tạo thuận lợi (kích thích) cho quá trình tách chiết kiềm từ trong mẫu vừa ra nước ngâm mẫu; Tuy nhiên, sau khoảng 170 ngày, mặc dù việc thay nước vẫn còn tiếp tục nhưng sự tách chiết kiềm là gần như không đáng kể (đường cong lũy tích nồng độ kiềm gần như nằm ngang). Điều này được giải thích là do lượng kiềm trong mẫu gần như đã cạn kiệt hoặc nằm sâu bên trong khó được tách chiết ra bên ngoài.

- Ngược lại, đối với các mẫu ngâm trong điều kiện NW, nồng độ của các ion K^+ và Na^+ trong lần đo đầu tiên (sau 7 ngày) là gần như tương đương với mẫu ngâm trong điều kiện RW. Tuy nhiên, sau đó thì quá trình tách chiết gần như không đáng kể. Điều này có thể được giải thích là do việc không làm mới nước làm cho nồng độ các ion kiềm trong nước ngâm nhanh chóng đạt được giá trị gần tương đương nồng độ trong mẫu vừa do vậy sau đó việc tiếp tục tách chiết diễn ra chậm và tiếp tục giảm dần (tiệm cận không) theo thời gian.

- So sánh nồng độ lũy tích ở cuối thời đoạn phân tích (477 ngày đối với Mb và 421 ngày đối với Mbs), nhận thấy rằng tổng nồng độ các ion kiềm tách chiết trong trường hợp RW lớn hơn khoảng hai lần so với trường hợp không thay nước.

Để làm rõ mối liên hệ giữa điều kiện dưỡng hộ hay mức độ tách chiết kiềm từ dung dịch lỗ rỗng trong mẫu vừa ra nước ngâm mẫu và giãn nở do tấn công nội sulfate bởi DEF thì cần xem xét vai trò của kiềm trong quá trình hình thành ettringite thường trong quá trình hydrat và ettringite gián đoạn trong thời đoạn sau. Thật vậy, các nghiên cứu trước đây (Divet & Randriambololona, 1998), (Zhang et al, 2002b), (Shimada & Young, 2004) cho rằng: với xi măng có hàm lượng kiềm cao sẽ làm chậm hoặc thậm chí ngăn cản sự hình thành ettringite thường, cụ thể sự có mặt của kiềm hydrôxít sẽ kích thích sự hydrat của C_3S và cản trở sự hình thành ettringite thường do C_3A phản ứng với $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (ettringite kém ổn định trong điều kiện pH cao), điều này dẫn đến các ion SO_4^{2-} bị hấp thụ vật lý vào các gel C-S-H. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu của Brown và Bothe cho thấy sự tách chiết các ion kiềm làm giảm pH của dung dịch lỗ rỗng (pore solution) sẽ kích hoạt sự giải phóng ion SO_4^{2-} trong các gel C-S-H (Brown & Bothe, 1993) do vậy sẽ kích thích sự hình thành ettringite gián đoạn (re-crystallization). Điều này giải thích tích hợp lý của kết quả thí nghiệm nêu trên (liên hệ giữa tách chiết kiềm và giãn nở do DEF). Như vậy, có thể kết luận rằng sự tách chiết các ion kiềm từ dung dịch lỗ rỗng là yếu tố thuận lợi cho quá trình hình thành ettringite gián đoạn hay tăng nguy cơ giảm độ bền vật liệu của xi măng do tấn công nội sulfate.

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả nghiên cứu thực nghiệm xác định biến dạng của mẫu vừa trong thời gian khoảng hai năm, kết hợp với thí nghiệm phân tích nồng độ các ion kiềm của dung dịch ngâm mẫu. Nghiên cứu này đưa ra một số kết luận như sau:

- Điều kiện bảo dưỡng mẫu vừa sẽ quyết định khả năng tách chiết các ion kiềm từ dung dịch lỗ rỗng. Điều kiện thí nghiệm của nghiên cứu này cho thấy việc làm mới nước ngâm mẫu định kỳ tạo thuận lợi cho quá trình tách chiết cao gấp xấp xỉ hai lần so với trường hợp không thay nước;

- Điều kiện bảo dưỡng mẫu là một trong những nhân tố quan trọng ảnh hưởng đến sự tấn công nội sulfate do DEF. Sự tách chiết các ion kiềm từ dung dịch lỗ rỗng làm giảm pH của dung dịch lỗ rỗng sẽ kích hoạt sự giải phóng ion SO_4^{2-} trong các gel C-S-H do vậy sẽ kích thích sự hình thành ettringite gián đoạn (tăng nguy cơ giảm độ bền vật liệu của xi măng do tấn công nội sulfate): thúc đẩy

nhau quá trình giãn nở và tăng giá trị ngưỡng giãn nở;

- Sự hình thành ettringite gián đoạn được xem là một trong những nguyên nhân làm giảm độ bền của vật liệu của xi măng, do vậy đối với các công trình tồn tại trong điều kiện thuận lợi cho việc chiết tách kiềm (đập bê tông, tràn xả lũ, kênh dẫn,...) thì nguy cơ giảm độ bền càng tăng cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Hướng, N. V., & Lộc, N. T. (2011). *Nghiên cứu ảnh hưởng của phản ứng nội sunfat đến sự phá hoại cấu trúc bê tông*. Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ Đại Học Đà Nẵng, (45), 99–106.
- Brown, P. W., & Bothe Jr, J. V. (1993). *The stability of ettringite*. Advances in Cement Research, 5(18), 47–63.
- Brunetaud, X., Divet, L., & Damidot, D. (2008). *Impact of unrestrained Delayed Ettringite Formation-induced expansion on concrete mechanical properties*. Cement and Concrete Research, 38(11), 1343–1348.
- Collepari, M. (2003). *A state-of-the-art review on delayed ettringite attack on concrete*. Cement and Concrete Composites, 25(4–5), 401–407. [http://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00080-X](http://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00080-X)
- Divet, L., & Randriambololona, R. (1998). *Delayed ettringite formation: the effect of temperature and basicity on the interaction of sulphate and CSH phase*. Cement and Concrete Research, 28(3), 357–363.
- Escadeillas, G., Aubert, J.-E., Segerer, M., & Prince, W. (2007). *Some factors affecting delayed ettringite formation in heat-cured mortars*. Cement and Concrete Research, 37(10), 1445–1452.
- Famy, C. (1999). *Expansion of heat-cured mortars*. Imperial College London (University of London).
- Famy, C., Scrivener, K. L., Atkinson, A., & Brough, A. R. (2001). *Influence of the storage conditions on the dimensional changes of heat-cured mortars*. Cement and Concrete Research, 31(5), 795–803.
- Flatt, R. J., & Scherer, G. W. (2008). *Thermodynamics of crystallization stresses in DEF*. Cement and Concrete Research, 38(3), 325–336.
- Graf, L. A. (2007). *Effect of relative humidity on expansion and microstructure of heat-cured mortars*.
- Heinz, D., Kalde, M., Ludwig, U., & Ruediger, I. (1999). *Present state of investigation on damaging late ettringite formation (DLEF) in mortars and concretes*. Special Publication, 177, 1–14.
- Hornain, H. (2007). *GranDuBé: grandeurs associées à la durabilité des bétons*. Presses des Ponts.
- LCPL. (2009). *Recommendations for preventing disorders due to Delayed Ettringite Formation (Laboratoire)*. Paris: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
- Leklou, N., Aubert, J.-E., & Escadeillas, G. (2013). *Influence of various parameters on heat-induced internal sulphate attack*. European Journal of Environmental and Civil Engineering, 17(3), 141–153.
- Leklou, N., Nguyen, V.-H., & Mounanga, P. (2017). *The effect of the partial cement substitution with fly ash on Delayed Ettringite Formation in heat-cured mortars*. KSCE Journal of Civil Engineering, 21(4), 1359–1366.

- Mielenz, R. C., Marusin, S. L., Hime, W. G., & Jugovic, Z. T. (1995). *Investigation of Prestressed Concrete Railway Tie Distress*. Concrete International, 17(12), 62–68.
- Nguyen, V.-H., Leklou, N., Aubert, J.-E., & Mounanga, P. (2013). *The effect of natural pozzolan on delayed ettringite formation of the heat-cured mortars*. Construction and Building Materials, 48, 479–484.
- Nguyen, V. H. (2013). *Effets d'additions minérales sur l'apparition de la réaction sulfatique interne: étude paramétrique, développement et optimisation de méthodes accélérées*.
- Shimada, Y., & Young, J. F. (2004). *Thermal stability of ettringite in alkaline solutions at 80 °C*. Cement and Concrete Research, 34(12), 2261–2268.
<http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.008>
- Taylor, H. F. W., Famy, C., & Scrivener, K. L. (2001). *Delayed ettringite formation*. Cement and Concrete Research, 31(5), 683–693.
- Zhang, Z., Olek, J., & Diamond, S. (2002a). *Studies on delayed ettringite formation in early-age, heat-cured mortars: I. Expansion measurements, changes in dynamic modulus of elasticity, and weight gains*. Cement and Concrete Research, 32(11), 1729–1736.
- Zhang, Z., Olek, J., & Diamond, S. (2002b). *Studies on delayed ettringite formation in heat-cured mortars: II. Characteristics of cement that may be susceptible to DEF*. Cement and Concrete Research, 32(11), 1737–1742.

Abstract:

STUDY THE INFLUENCE OF ALKALI LEACHING ON INTERNAL SULFATE ATTACK BY DELAYED ETTRINGITE FORMATION

The primary ettringite formation in the initial stage of the hydration is considered as a positive effect because it enables the setting regulation of cement, a damaging role is often attributed to the ettringite formation in cement matrix (so-called delayed ettringite formation). Delayed Ettringite Formation (DEF) is an internal sulfate attack caused by early age heating to a temperature of over about 70°C. The high temperature during the hydration process will be decomposed and/ or prevented the normal (primary) ettringite formed during the initial hydration of cement. The ettringite is re-crystallized at later ages in cement matrix exposed to moist environment and causes expansion or cracking. In concrete elements which were affected by natural climate changes during service life, the composition of the pore solution inevitably changes due to the influence of storage. This research has been experimented to determine the longitudinal deformation of the mortar specimens and concentration of Na^+ and K^+ of the immersion solution in two conditions (immersion water was not changed during the experiment and was changed regularly) during the period of about 700 days. The experimental results in this paper showed that the leaching of alkali ions (Na^+ and K^+) into surrounding storage solution which plays a significant role in the mechanism of expansion by delayed ettringite formation.

Keywords: concrete, mortar, expansion, leaching, alkali, delayed ettringite formation (DEF).

Ngày nhận bài: 23/2/2018

Ngày chấp nhận đăng: 22/5/2018