

Sự suy giảm cường độ của bê tông sử dụng cho vỏ hầm Hải Vân 2 sau khi chịu tác dụng của nhiệt độ cao

The strength reduction of concrete in Hai Van 2 tunnel lining after being affected by high temperature

Nguyễn Tuấn Hiền⁽¹⁾, Nguyễn Hoàng Thanh Quý⁽²⁾, Nguyễn Văn Thái⁽³⁾

Tóm tắt

Hầm Hải Vân 2 là công trình giao thông huyết mạch, quan trọng trên QL1A, việc nghiên cứu ứng xử của bê tông vỏ hầm dưới tác động của nhiệt độ cao do hỏa hoạn bất trắc cần được quan tâm. Với những kết quả nghiên cứu thực nghiệm trong phòng, bài báo trình bày kết quả nghiên cứu bước đầu về sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến cường độ chịu nén của bê tông vỏ hầm. Trên cơ sở phân tích khoa học về biến đổi tính chất hóa lý của bê tông dưới tác động của nhiệt độ cao, bài báo đưa ra khuyến nghị các mức nhiệt độ, chế độ nhiệt để hạn chế rủi ro gây suy giảm khả năng làm việc của bê tông vỏ hầm.

Từ khóa: Bê tông xi măng; Cường độ chịu nén; Vỏ hầm; Nhiệt độ

Abstract

Hai Van Tunnel 2 is an important artery traffic project on 1A Highway, researching the behavior of tunnel lining concrete under the impact of high temperatures due to unpredictable fires needs attention. With the results of experimental research in the room, the paper presents the initial research results on the influence of temperature on the compressive strength of tunnel lining concrete. Based on scientific analysis of the change of physical and chemical properties of concrete under the impact of high temperatures, the paper recommends the temperature modes to restrict the risk of reducing the workability of tunnel lining concrete.

Key words: Concrete cement; Compressive strength; Tunnel lining; Temperature

(1) ThS, Giám đốc, Phòng thí nghiệm trọng điểm đường bộ II, Email: hienitst2@gmail.com

(2) ThS, Phụ trách NCKH, Phòng thí nghiệm trọng điểm đường bộ II, Email: quictgt@gmail.com

(3) TS, Trưởng khoa Cầu đường, Trường Đại học Kiến Trúc Đà Nẵng, Email: thainv@dau.edu.vn

Ngày nhận bài: 14/04/2022

Ngày sửa bài: 05/05/2022

Ngày duyệt đăng: 5/7/2022

1. Đặt vấn đề

Hầm Hải Vân là hầm đường bộ trên tuyến Quốc lộ 1A nối tỉnh Thừa Thiên Huế và thành phố Đà Nẵng. Hầm được khởi công xây dựng năm 2000 và khánh thành vào năm 2005.

Sau thời gian khai thác, lưu lượng các phương tiện qua hầm đã tăng cao, Bộ Giao thông vận tải đã phê duyệt dự án Hầm Hải Vân 2, được mở rộng từ hầm lánh nạn.

Trong quá trình khai thác, để phòng ngừa những tác hại của nguy cơ hỏa hoạn có thể xảy ra trong hầm, dẫn đến sự mất ổn định của bê tông dưới các dạng bong tróc bề mặt, nứt nẻ và có thể bị nổ. Trên thế giới cũng đã từng chứng kiến các vụ hỏa hoạn tại hầm Manche (1996 và 2008) nối liền Anh và Pháp, Tauern (1999) ở Áo, Mont Blanc (1999) nối liền Pháp – Ý là những minh chứng cho sự mất ổn định này. Sự mất ổn định của bê tông sau hỏa hoạn làm cho kết cấu chịu lực bằng bê tông không còn đảm bảo điều kiện làm việc như ban đầu.

Vấn đề đặt ra là sau hỏa hoạn, kết cấu bê tông của công trình mà cụ thể là vỏ hầm có còn duy trì khả năng chịu lực như ban đầu hay không?

Xuất phát từ lý do trên, bài báo “Nghiên cứu sự suy giảm cường độ của bê tông vỏ hầm Hải Vân 2 sau khi chịu tác dụng ở nhiệt độ cao” là cần thiết. Kết quả đạt được có thể giúp cho các nhà quản lý, khai thác hầm Hải Vân nói riêng và các công trình xây dựng nói chung có những kịch bản phòng ngừa hay đưa ra các cảnh báo sử dụng sau khi hỏa hoạn xảy ra.

2. Vật liệu và thành phần hỗn hợp bê tông

2.1. Mục tiêu

Tiến hành thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu đá, cát, xi măng, nước và phụ gia, nhằm đánh giá các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu sử dụng có phù hợp với các tiêu chuẩn đã quy định trước khi tiến hành các bước nghiên cứu tiếp theo.

2.2. Vật liệu

Vật liệu sử dụng: Xi măng, cát, đá, nước và phụ gia sử dụng được lấy tại trạm trộn bê tông của dự án Hầm Hải Vân 2 tại TP. Đà Nẵng:

- Xi măng Kim Đinh PC40;
- Cát tại mỏ Vân Ly, xã Điện Quang, huyện Điện Bàn, tỉnh Quảng Nam;
- Đá tại mỏ Hồ Chuồn, xã Hòa Ninh, huyện Hòa Vang, thành phố Đà Nẵng;
- Nước ngầm tại núi Hải Vân;
- Phụ gia KKS Polymad 738.

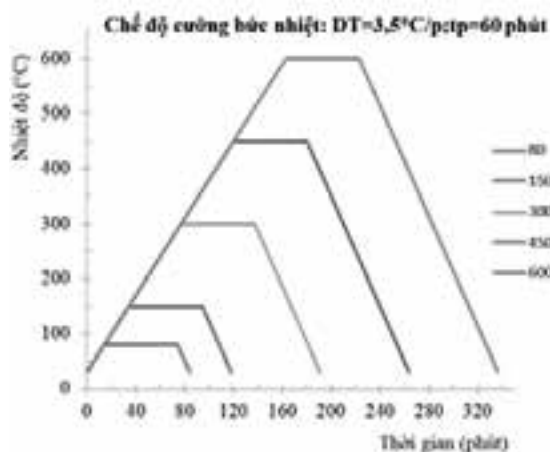
2.3. Thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông

Dựa vào thành phần cấp phối hỗn hợp bê tông xi măng mác 350 đang thi công, tiến hành thiết kế thêm hai thành phần cấp phối bê tông cho mác 250 và 500 khi sử dụng các loại vật liệu tương tự. Tỷ lệ các thành phần hỗn hợp bê tông được ghi trong Bảng 1.

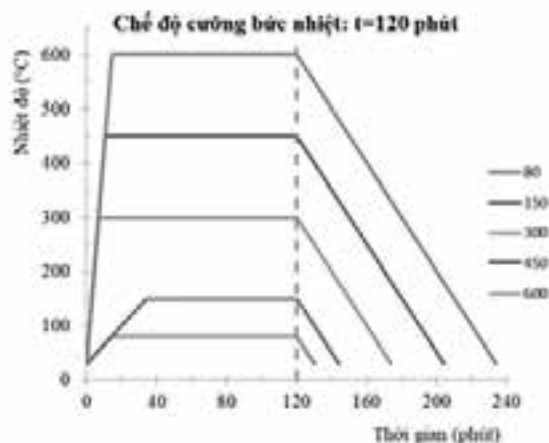
2.4. Tiêu chuẩn thử nghiệm xác định cường độ chịu nén

Quy trình xác định cường độ chịu nén của mẫu bê tông tuân theo tiêu chuẩn TCVN 3118:1993. [17]

Kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 2, trong đó giá trị cường độ chịu nén của mỗi tổ mẫu được xác định bằng trung bình cộng của cường



Hình 1. Chế độ 1: Tốc độ gia nhiệt $DT=3,5^{\circ}\text{C}/\text{phút}$ và thời gian lưu giữ ở nhiệt độ lớn nhất là 60 phút



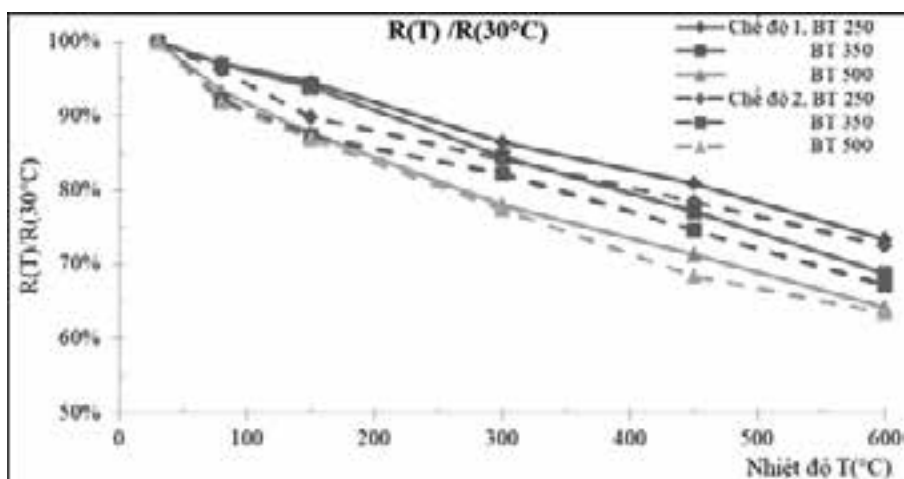
Hình 2. Chế độ 2: Tổng thời gian tác dụng nhiệt là 120 phút

độ chịu nén của 3 mẫu thí nghiệm theo điều 4.3.1 tại tiêu chuẩn TCVN 3118:1993.

2.5. Nhận xét

Thiết kế thành phần cấp phối cho bê tông mác 250, 350 và 500 tương ứng với tỷ lệ N/X lần lượt là 0,559; 0,41; 0,38 và cường độ nén phá hủy lần lượt là 307,47; 383,49 và 601,82 (daN/cm²) thỏa mãn yêu cầu đối với mác bê tông tương ứng.

Từ kết quả thiết kế thành phần hỗn hợp này, tiến hành đúc mẫu để đánh giá sự suy giảm cường độ chịu nén của bê tông sau khi chịu tác dụng của nhiệt độ.



Hình 3. Biểu đồ xác định tốc độ gia nhiệt của tủ sấy

3. Thí nghiệm và đánh giá sự suy giảm cường độ chịu nén của bê tông sau khi chịu tác dụng ở nhiệt độ cao

3.1. Mục tiêu

Tiến hành thí nghiệm xác định cường độ chịu nén còn lại trên các mẫu bê tông hình lập phương 15x15x15cm sau khi nung ở các ngưỡng nhiệt độ (Tmax) 80, 150, 300, 450 và 600°C và so sánh với giá trị cường độ chịu nén ban đầu (ở nhiệt độ trong phòng thí nghiệm 30°C).

Hai chế độ tác dụng nhiệt (có kiểm soát tốc độ gia nhiệt, cố định thời gian tác dụng nhiệt Tmax và không kiểm soát tốc độ gia nhiệt, cố định tổng thời gian tác dụng nhiệt) được sử dụng để đánh giá sự ảnh hưởng của nó đến cường độ còn lại của bê tông.

Dựa vào kết quả thu được, tiến hành đánh giá cường độ chịu nén còn lại của các bê tông dưới ảnh hưởng các nhân tố về mác bê tông và chế độ tác dụng nhiệt.

Bảng 2. Kết quả kiểm tra cường độ chịu nén của mẫu bê tông

STT	Mác bê tông thiết kế	Cường độ chịu nén mẫu (daN/cm ²)			Cường độ chịu nén trung bình (daN/cm ²)	Kết quả
1	250	302,39	305,81	314,20	307,47	Đạt
2	350	380,56	386,12	383,79	383,49	Đạt
3	500	614,00	609,51	581,96	601,82	Đạt

Bảng 1. Bảng thành phần cấp phối cho 1m³ bê tông

STT	Vật liệu thành phần	Đơn vị	250	350	500
1	Xi măng Kim Đỉnh PC40	kg	297,0	410,0	470,0
2	Cát (0-2,5)	m ³	0,337	0,296	0,275
3	Đá (4,75-19)	m ³	0,370	0,378	0,389
4	Nước	kg	166,0	167,9	178,6
5	Phụ gia KKS Polymad 738	kg	2,376	3,500	4,700
6	Tỷ lệ N/X	-	0,559	0,410	0,380

3.2. Chương trình thí nghiệm

3.2.1. Ứng xử xảy ra bên trong bê tông khi chịu tác dụng của nhiệt độ

a. Vữa xi măng

Với sự gia tăng của nhiệt độ, các phản ứng lý hóa chính trong vữa xi măng được mô tả như sau:

- 30 – 120°C: Nước tự do và một phần nước hấp thụ bị bay hơi. Nước tự do bị loại bỏ hoàn toàn ở nhiệt độ 120°C. Ở 100°C, Ettringite $C_6AS_3H_{32}$ bị phân hủy hoàn toàn [1,2].

- 130 – 170°C: Thạch cao CSH_2 bị phân hủy [6].

- 180 – 300°C: Giao đoạn đầu của mất nước các khoáng bê tông. Các keo C-S-H bị đứt gãy và tách rời các phân tử nước. Nước liên kết hóa học bắt đầu bay hơi khỏi bê tông.

- 250 – 370°C: Quan sát thấy một vài cực đại của phản ứng thu nhiệt chỉ ra các phản ứng phân tách và oxi hóa sắt oxit.

- 450 – 550°C: Sự phân hủy của portlandite tạo thành vôi và nước $Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O$ [1,2,4,5].

- 600 – 700°C: CSH tiếp tục bị phân hủy và hình thành các dạng β -C₂S [4]. Và $CaCO_3$ bắt đầu bị phân hủy thành CaO và CO_2 khi nhiệt độ vượt quá 600°C [1,4,5].

b. Cốt liệu

Khi bê tông chịu tác dụng của nhiệt độ, ứng xử của cốt liệu cũng xảy ra tùy thuộc vào bản chất khoáng học và thành phần hóa học của cốt liệu:

- Cốt liệu đá vôi khá ổn định khi nhiệt độ lên đến 650°C. Khi vượt quá ngưỡng này, sự phân hủy $CaCO_3$ xảy ra dẫn đến sự hình thành khí CO_2 và vôi tự do CaO. Trong giai đoạn nguội, vôi CaO phản ứng với độ ẩm của không khí để tạo ra Portlandite (CH), dẫn đến sự gia tăng các vết nứt trong bê tông làm giảm cường độ của bê tông [4,7].

- Cốt liệu thạch anh (silica) cho thấy sự ổn định khi nhiệt độ lên đến 575°C. Từ nhiệt độ 575°C, cấu trúc thay đổi từ quartz sang quartz β dẫn đến sự gia tăng thể tích từ 1% đến 5,7% và làm hủy hoại trong bê tông [4].

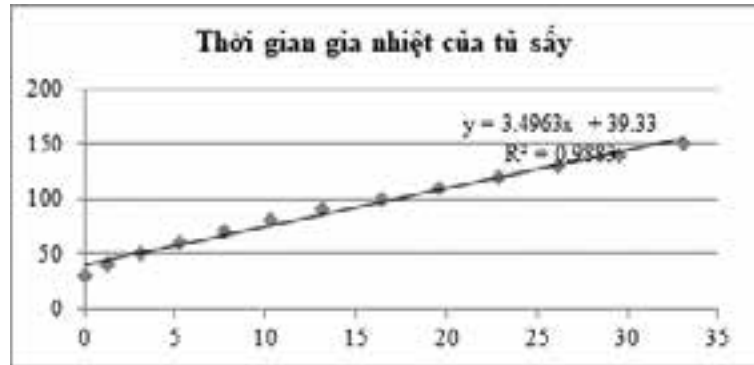
- Cốt liệu đá lửa mất ổn định khi nhiệt độ vượt quá 1100°C [8,9] và mất khoảng 1% khối lượng.

Kết luận: Dựa trên các mốc chuyển hóa trên, tác giả lựa chọn cấp nhiệt độ 80, 150, 300, 450 và 600°C để tiến hành thí nghiệm.

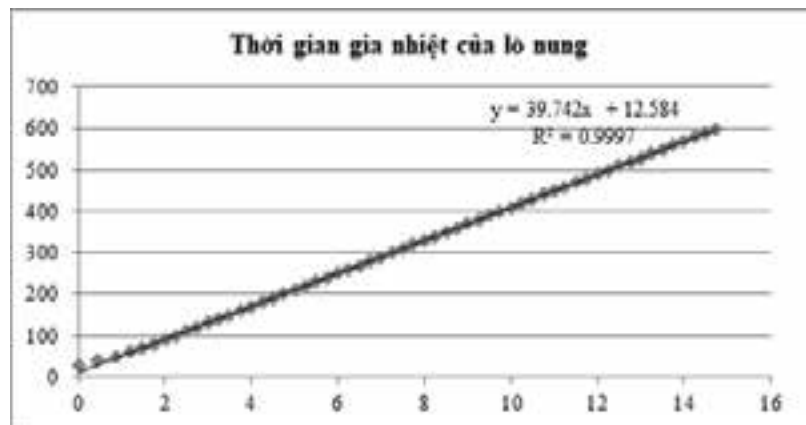
3.2.2. Mẫu thí nghiệm và chế độ tác dụng nhiệt

Hai chế độ cường bức nhiệt được áp dụng: Hình 1, Hình 2.

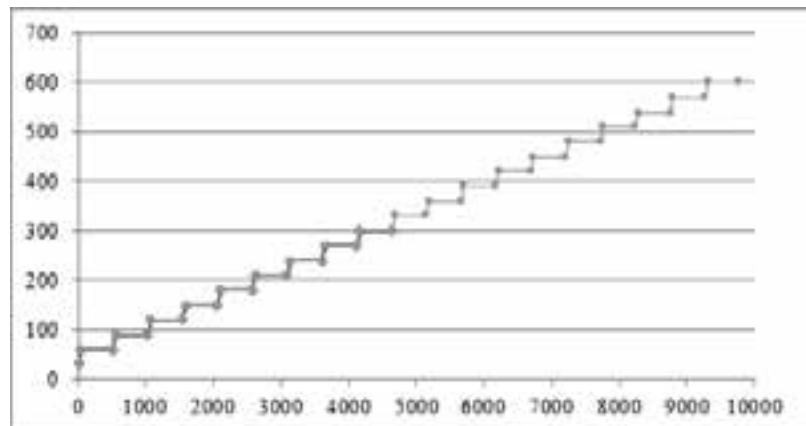
Như vậy, ở mỗi ngưỡng nhiệt độ nung Tmax, có 2 tổ mẫu để thực hiện cho 2 chế độ tác dụng nhiệt. Tổng số lượng mẫu thí nghiệm được liệt kê ở Bảng 3.



Hình 4. Biểu đồ xác định tốc độ gia nhiệt của lò nung



Hình 5. Biểu đồ kiểm soát tốc độ gia nhiệt của lò nung cho mẫu có cấp nhiệt từ 300°C



Hình 6. Đường cong biểu diễn cường độ còn lại $R_{T^\circ C} / R_{30^\circ}$ theo chế độ 1

Bảng 3. Số lượng mẫu thí nghiệm

Cấp nhiệt độ Tmax (°C)	Số lượng mẫu		
	Mác 250	Mác 350	Mác 500
30	3	3	3
80	3x2	3x2	3x2
150	3x2	3x2	3x2
300	3x2	3x2	3x2
450	3x2	3x2	3x2
600	3x2	3x2	3x2
Tổng cộng	33	33	33

Bảng 4. Bảng tính cường độ chịu nén của bê tông mác 250

STT	Nhiệt độ (°C)	Chế độ 1		Chế độ 2	
		Cường độ trung bình (daN/cm ²)	Cường độ còn lại (%) RT°C /R30°C	Cường độ trung bình (daN/cm ²)	Cường độ còn lại (%) RT°C /R30°C
1	30	307,47	100	307,47	100
2	80	298,35	97	295,57	96
3	150	290,64	95	275,97	90
4	300	265,56	86	258,69	84
5	450	248,79	81	241,24	78
6	600	225,44	73	223,12	73

Bảng 5. Bảng tính cường độ chịu nén của bê tông mác 350

STT	Nhiệt độ (°C)	Chế độ 1		Chế độ 2	
		Cường độ trung bình (daN/cm ²)	Cường độ còn lại (%) RT°C /R30°C	Cường độ trung bình (daN/cm ²)	Cường độ còn lại (%) RT°C /R30°C
1	30	383,49	100	383,49	100
2	80	372,01	97	353,09	92
3	150	360,30	94	334,84	87
4	300	324,01	84	315,31	82
5	450	295,59	77	285,78	75
6	600	263,85	69	257,74	67

Bảng 6. Bảng tính cường độ chịu nén của bê tông mác 500

STT	Nhiệt độ (°C)	Chế độ 1		Chế độ 2	
		Cường độ trung bình (daN/cm ²)	Cường độ còn lại (%) RT°C /R30°C	Cường độ trung bình (daN/cm ²)	Cường độ còn lại (%) RT°C /R30°C
1	30	601,82	100	601,82	100
2	80	561,82	93	552,19	92
3	150	527,32	88	523,19	87
4	300	469,07	78	465,61	77
5	450	429,01	71	411,82	68
6	600	386,02	64	381,45	63

- Thiết bị thí nghiệm

Sử dụng các lò nung và sấy để gia nhiệt theo 2 chế độ.

Ở các ngưỡng nhiệt độ 80°C và 150°C, mẫu được gia nhiệt trong tủ sấy.

Ở các ngưỡng nhiệt độ 300°C, 450°C và 600°C, mẫu được gia nhiệt trong lò nung.

a. Tốc độ gia nhiệt của tủ sấy

Bật tủ và điều chỉnh đến 150°C. Ghi chép thời gian (phút) kể từ khi bật tủ cho mỗi lần nhiệt độ tăng thêm 10°C. Tiến hành theo dõi cho đến khi nhiệt độ đạt đến 150°C. Kết quả về tốc độ gia nhiệt của tủ sấy được thể hiện trong Hình 3.

Như vậy: Tốc độ gia nhiệt của tủ sấy là Vs=3,5°C/phút.

b. Tốc độ gia nhiệt của lò nung

Thực hiện tương tự tủ sấy, kiểm tra tốc độ gia nhiệt từ nhiệt độ phòng 30°C đến 600°C.

Kết quả về tốc độ gia nhiệt của lò nung được thể hiện trong Hình 4.

Như vậy: Tốc độ gia nhiệt của lò nung là Vn=39,7°C/phút.

Để thực hiện cưỡng bức nhiệt theo chế độ 1 trong lò nung ở các ngưỡng nhiệt độ 300, 450 và 600°C, áp dụng thời gian chờ Δt cho mỗi bước gia nhiệt $\Delta T=30^\circ\text{C}$ là:

$$\Delta t = \Delta T \left(\frac{1}{V_s} - \frac{1}{V_n} \right) = 30 \left(\frac{1}{3,5} - \frac{1}{39,7} \right) = 7 \text{ phút } 50 \text{ giây}$$

Biểu đồ kiểm soát tốc độ gia nhiệt của lò nung ở mức 3,5°C/phút như Hình 5.

3.3. Kết quả thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén trên các mẫu bê tông sau khi chịu tác dụng cưỡng bức nhiệt theo 2 chế độ được tổng hợp ở Bảng 4, 5, 6.

3.3.1. Sự ảnh hưởng của tác dụng cưỡng bức nhiệt theo chế độ 1 đến sự suy giảm cường độ chịu nén của các loại bê tông

Từ các kết quả đạt được ở các Bảng 4, 5, 6, cường độ còn lại RT°C /R30°C (so với cường độ ban đầu) của các loại bê tông sau khi chịu tác dụng cưỡng bức nhiệt theo chế độ 1 được liệt kê trong bảng 7.

Đường cong biểu diễn sự suy giảm cường độ chịu nén RT°C /R30°C của các loại bê tông sau khi chịu tác dụng cưỡng bức nhiệt theo chế độ 1 được vẽ ở Hình 6.

Kết quả cho thấy rằng, cường độ chịu nén của các loại bê tông càng giảm khi chịu nhiệt độ càng cao. Tuy nhiên, tiến trình suy giảm tùy thuộc vào loại bê tông:

- Khi nhiệt độ tăng đến 150°C, các mẫu bê tông mác 500 bị suy giảm xấp xỉ 15% so với ban đầu, trong khi các mẫu bê tông mác 250 và 350 bị suy giảm khoảng 5%.

- Khi nhiệt độ vượt quá ngưỡng này, các đường cong gần như song song nhau, điều này cho thấy sự suy giảm cường độ gần như đồng nhất cho các loại bê tông.

Điều này cho thấy bê tông có cường độ càng cao, sự suy giảm càng lớn theo sự gia tăng của nhiệt độ.

Cùng với sự gia tăng của nhiệt độ là sự phân hủy các CSH từ 100°C đến 700°C, của portlandite tạo thành vôi và nước ở 450°C đến 550°C, tiến trình giải phóng CO₂ của CaCO₃ ... Chính sự phân hủy này đã làm cho bê tông bị suy giảm cường độ. Mặt khác, các sự phân hủy này có tính không đảo ngược. Vì thế, sau khi chịu tác động của nhiệt độ cao, bê tông cũng không thể phục hồi những thuộc tính cơ học ban đầu vốn có của mình.

Ngoài những chuyển hóa về hóa học, bê tông còn trải qua những chuyển hóa thủy – cơ – nhiệt khi tiếp xúc ở nhiệt độ cao [11-13]. Những chuyển hóa này cũng gây ra sự mất ổn định của bê tông như nứt, bong tróc, nổ, vỡ. Đặc biệt, sự hủy hoại diễn ra mạnh mẽ hơn cho bê tông cường độ cao so với bê tông thông thường [14].

Kết quả thí nghiệm hoàn toàn phù hợp với những nghiên cứu trước đây (Hình 7).

3.3.2 Sự ảnh hưởng của tác dụng cưỡng bức nhiệt theo chế độ 2 đến sự suy giảm cường độ chịu nén của các loại bê tông

Từ các kết quả đạt được ở các Bảng 4, 5, 6, cường độ còn lại $R_{T^{\circ}C} / R_{30^{\circ}C}$ (so với cường độ ban đầu) của các loại bê tông sau khi chịu tác dụng cưỡng bức nhiệt theo chế độ 2 được liệt kê trong bảng 8.

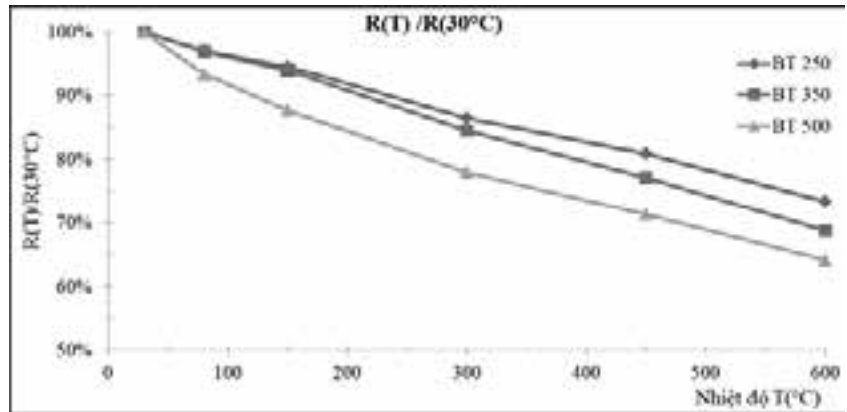
Đường cong biểu diễn cường độ còn lại $R_{T^{\circ}C} / R_{30^{\circ}C}$ của các loại bê tông sau khi chịu tác dụng cưỡng bức nhiệt theo chế độ 2 được vẽ ở Hình 8.

Tương tự như cưỡng bức nhiệt chế độ 1, cường độ chịu nén của các loại bê tông bị suy giảm theo nhiệt độ. Tuy nhiên, tiến trình suy giảm cũng tùy thuộc vào loại bê tông:

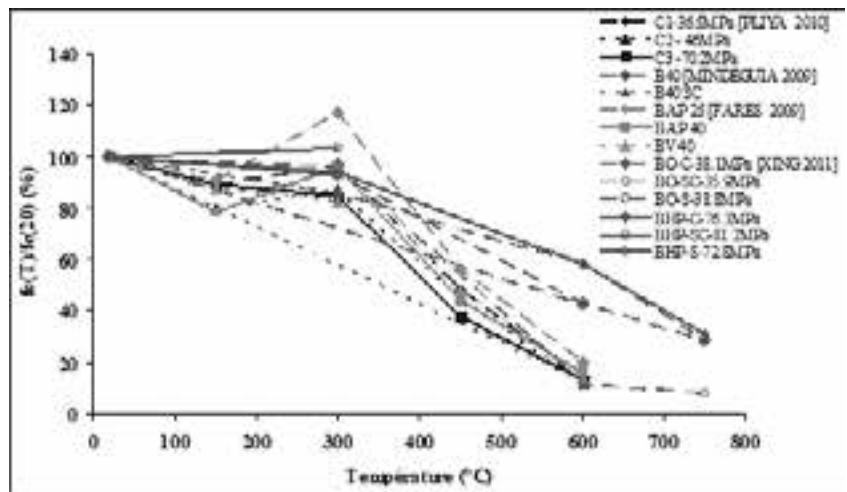
- Khi nhiệt độ tăng đến 150°C, các mẫu bê tông mác 350 và 500 bị suy giảm khoảng 13% so với ban đầu, trong khi các mẫu bê tông mác 250 bị suy giảm khoảng 10%.

- Khi nhiệt độ vượt quá ngưỡng này, sự suy giảm cường độ của bê tông mác 500 mạnh hơn so với 2 loại bê tông còn lại.

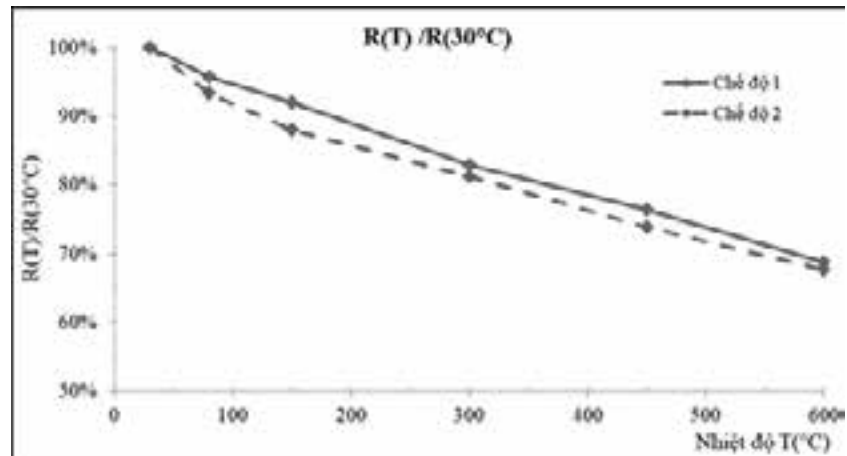
Điều này cũng cho thấy rằng bê tông có cường độ càng cao, sự suy giảm cường độ chịu nén càng lớn theo sự gia



Hình 7. Cường độ nén còn lại của các loại bê tông [8, 9, 15, 16]



Hình 8. Đường cong biểu diễn cường độ còn lại $R_{T^{\circ}C} / R_{30^{\circ}C}$ theo chế độ 2



Hình 9. Đường cong biểu diễn cường độ còn lại bình quân của các loại bê tông khi chịu tác dụng cưỡng bức nhiệt theo chế độ 1 và chế độ 2

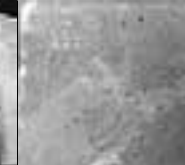
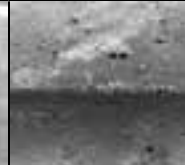
tăng của nhiệt độ.

3.3.3. Sự ảnh hưởng của thời gian tác dụng nhiệt đến cường độ nén còn lại của các loại bê tông

Đường cong biểu diễn cường độ còn lại $R_{T^{\circ}C} / R_{30^{\circ}C}$ bình quân của các loại bê tông sau khi chịu tác dụng cưỡng bức nhiệt theo chế độ 1 và chế độ 2 được vẽ ở Hình 9.

Kết quả cho thấy rằng sự suy giảm cường độ của các loại bê tông chịu tác dụng cưỡng bức nhiệt chế độ 2 nhiều hơn so

Bảng 3-1. Các tính chất đặc trưng của một số nguồn cát biển Việt Nam

Mác BT	Nhiệt độ (°C)					
	30	80	150	300	450	600
250						
				Xuất hiện các vết nứt có bề rộng 0,1mm	Các vết nứt có bề rộng 0,5mm	Các vết nứt có bề rộng 1mm; bị vỡ góc
350						
				Xuất hiện các vết nứt có bề rộng 0,1mm	Các vết nứt có bề rộng 0,5mm	Các vết nứt có bề rộng 1mm
500						
				Xuất hiện các vết nứt có bề rộng 0,1mm	Các vết nứt có bề rộng 0,5mm	Các vết nứt có bề rộng 1mm

với tác dụng cường bức nhiệt chế độ 1. Khi nhiệt độ lên đến 150°C, cường độ còn lại của bê tông chịu tác dụng nhiệt theo chế độ 1 là 96% và theo chế độ 2 là 93%. Vượt quá ngưỡng này, bê tông bị mất thêm 8% cường độ ở mỗi ngưỡng nhiệt độ nung cho cả 2 chế độ tác dụng nhiệt. Ở 600°C, các mẫu bê tông chỉ duy trì được xấp xỉ 70% cường độ ban đầu.

Sự suy giảm cường độ nén của bê tông khi chịu tác dụng nhiệt cường bức ở chế độ 2 nhiều hơn so với chế độ 1 có thể là do bởi thời gian tác dụng nhiệt:

- Ở các ngưỡng nhiệt độ 80 và 150°C, thời gian phơi nhiệt Tmax bình quân của các mẫu bê tông trong lò sấy là 96 phút cho chế độ 2 và 60 phút cho chế độ 1.

- Ở các ngưỡng nhiệt độ 300, 450 và 600°C, do tốc độ gia nhiệt lò nung lớn, vì thế thời gian phơi nhiệt Tmax bình quân của các mẫu bê tông trong lò là 109 phút cho chế độ 2 và 60 phút cho chế độ 1.

Thời gian phơi nhiệt càng lâu, các quá trình chuyển hóa xảy ra càng sâu, bê tông bị hủy hoại càng nhiều.

Sự ảnh hưởng về thời gian tác dụng nhiệt đến sự suy giảm cường độ chịu nén của từng loại bê tông cũng được xem xét qua việc xây dựng đồ thị ở Hình 10. Kết quả cho thấy rằng, ảnh hưởng này đến bê tông mác 250 và 350 mạnh hơn so với bê tông mác 500 khi nhiệt độ nung đạt đến 150°C. Cụ thể:

- Khi nhiệt độ tăng đến 150°C, các mẫu bê tông mác 250 và 350 bị suy giảm cường độ chịu nén khoảng 6% khi chịu tác dụng nhiệt theo chế độ 1, và 11% khi chịu tác dụng nhiệt theo chế độ 2. Trong khi các mẫu bê tông mác 500 bị suy

Bảng 7. Cường độ còn lại $R_{T^{\circ}\text{C}}/R_{30^{\circ}\text{C}}$ của các loại bê tông sau khi chịu tác dụng cường bức nhiệt theo chế độ 1

Mác bê tông	Nhiệt độ Tmax (°C)					
	30	80	150	300	450	600
250	100%	97%	95%	86%	81%	73%
350	100%	97%	94%	84%	77%	69%
500	100%	93%	88%	78%	71%	64%

Bảng 8. Cường độ còn lại $R_{T^{\circ}\text{C}}/R_{30^{\circ}\text{C}}$ của các loại bê tông sau khi chịu tác dụng cường bức nhiệt theo chế độ 2

Mác bê tông	Nhiệt độ Tmax (°C)					
	30	80	150	300	450	600
250	100%	96%	90%	84%	78%	73%
350	100%	92%	87%	82%	75%	67%
500	100%	92%	87%	77%	68%	63%

giảm khoảng 13% cho cả 2 chế độ tác dụng nhiệt.

- Khi nhiệt độ vượt ngưỡng này, sự suy giảm cường độ của các loại bê tông thí nghiệm cho mỗi ngưỡng nhiệt độ Tmax bình quân là 8% cho cả hai chế độ tác dụng nhiệt.

3.3.4. Sự hủy hoại của bê tông dưới tác dụng cường bức nhiệt độ

Sự hủy hoại của bê tông dưới tác dụng nhiệt cũng được quan sát qua tình trạng nứt trên bề mặt của các mẫu bê tông sau khi nung bằng kính lúp thông thường với độ phóng đại 10 lần. Hình ảnh chụp tình trạng bề mặt mẫu ở các ngưỡng nhiệt độ khác nhau được tổng hợp trong Bảng 9.

Quan sát bề mặt mẫu bê tông sau khi nung cho thấy rằng bề mặt bê tông đã xuất hiện các vết nứt khi nhiệt độ vượt quá ngưỡng 300°C. Cụ thể như sau:

- Ở nhiệt độ 300°C, bề rộng vết nứt đo được 0,1 mm.

- Bề rộng vết nứt mở rộng đến 0,5mm khi nhiệt độ nung ở 450°C.

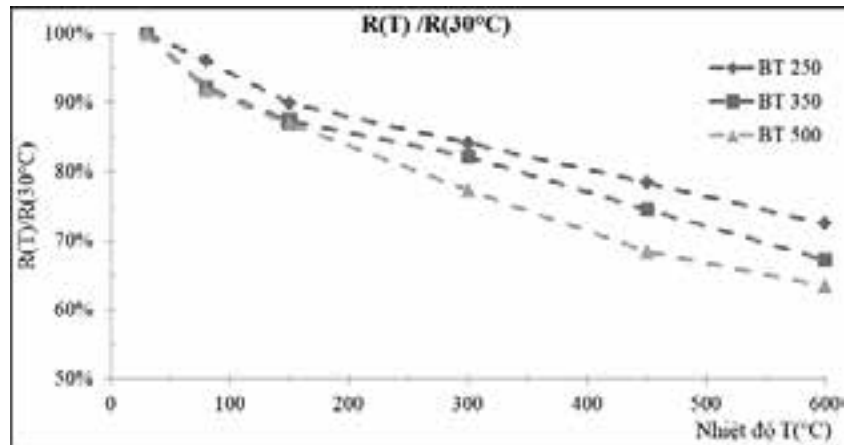
- Khi nhiệt độ lên đến 600°C, bề rộng vết nứt quan sát được là 1mm và sự vỡ góc xảy ra ở mẫu bê tông mác 250.

Như vậy mức độ hủy hoại cấu trúc bê tông do nứt, vỡ gia tăng khi nhiệt độ nung càng lớn. Chính sự hủy hoại này làm suy giảm cường độ nén của mẫu bê tông. Việc không phát hiện được vết nứt <0,1mm bằng kính lúp thông thường khi nhiệt độ dưới 300°C không đồng nghĩa với việc cấu trúc mẫu bê tông không bị phá hoại.

4. Kết luận, kiến nghị

4.1. Kết luận

Kết quả thực nghiệm về cường độ nén còn lại của bê tông vỏ hầm Hải Vân (mác 350) và các loại bê tông khác (mác 250 và 500) sau khi nung ở các nhiệt độ 80, 150, 350, 450 và 600°C cho thấy rằng:



Hình 10. Đường cong biểu diễn cường độ còn lại của các loại bê tông khi chịu tác dụng cường bức nhiệt theo chế độ 1 và chế độ 2

- Ở ngưỡng 600°C, bê tông mác 250 suy giảm 27% ở cả 2 chế độ, bê tông mác 350 suy giảm 31% (chế độ 1) và 33% (chế độ 2), bê tông mác 500 suy giảm 36% (chế độ 1) và 37% (chế độ 2).

- Sự suy giảm cường độ chịu nén của bê tông phụ thuộc vào thời gian phơi nhiệt. Thời gian phơi nhiệt càng lâu, các phản ứng hóa lý tiến sâu vào bên trong làm cho bê tông bị phá vỡ cấu trúc càng nhiều.

4.2. Kiến nghị

Có thể sử dụng kết quả nghiên cứu để đánh giá, ước lượng sự suy giảm khả năng chịu lực của kết cấu bê tông sau hỏa hoạn./.

Tài liệu tham khảo

1. C. ALONSO et L. FERNANDEZ «Dehydration and rehydration processes of cement paste exposed to high temperature environments », *Journal of Materials Science*, vol 39, p. 3015-3024, 2004.
2. M. CASTELLOTE, et al. «Composition and microstructural changes of cement pastes upon heating, as studied by neutron diffraction », *Cement and Concrete Research*, vol 34, p. 1633-1644, 2004.
3. A. NOUMOWÉ. Effet de hautes températures (20-6000C) sur le béton. Cas particulier du béton à hautes performances. Thèse de Doctorat, Génie civil, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 1995.
4. U. SCHNEIDER, U. DIEDERICHS et C. EHM «Effect of temperature on steel and concrete for PCRV's », *Nuclear Engineering and Design*, vol 67, p. 245-258, 1982.
5. B. TOUMI. Étude de l'influence des hautes températures sur le comportement du béton. Thèse de doctorat, Matériaux, Université Mentouri Constantine, 2010.
6. A. CARLES-GIBERGUES et M. PIGEON 1992. La durabilité des bétons en ambiance hivernale rigoureuse, Paris, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées.
7. W.P.S. DIAS, G.A. KHOURY et P.J.E. SULLIVAN «Mechanical Properties of Hardened Cement Paste Exposed to Temperatures up to 700°C (1292°F) », *ACI Materials Journal*, vol 87, p. 160-166, 1990.
8. J.-C. MINDEGUILA. Contribution expérimentale à la compréhension des risques d'instabilité thermique des bétons. Thèse de Doctorat, Génie Civil, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2009.
9. Z. XING. Influence de la nature minéralogique des granulats sur leur comportement et celui du béton à haute température. Thèse de Doctorat, Génie Civil, Université de Cergy-Pontoise, 2011.
10. G.A. KHOURY «Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment », *Magazine of Concrete Research*, vol 44, p. 291-309, 1992.
11. Z.P. BAZANT et M.F. KAPLAN 1996. Concrete at high temperatures: material properties and mathematical models, Harlow, Longman.
12. P. KALIFA, F.-D. MENNETEAU et D. QUENARD «Spalling and pore pressure in HPC at high temperatures », *Cement and Concrete Research*, vol 30, p. 1915-1927, 2000.
13. G.R. CONSOLAZIO, M.C. MCYAY et J.W. RISH. Measurement and prediction of pore pressure in cement mortar subjected to elevated temperature. In: PHAN, L.T., et al. International Workshop of Fire Performance of High Strength Concrete, February 13-14, 1997, Gaithersburg, Maryland. NIST: National Institute of Standards and Technology Special Publication 919, p. 125-148.
14. N. VAN THAI. Comportement des bétons ordinaire et à hautes performances soumis à haute température: application à des éprouvettes de grandes dimensions. Thèse de Doctorat, Génie Civil, Université de Cergy-Pontoise, 2013.
15. H. FARES. Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons autoplaçants exposés à une température élevée. Thèse de doctorat, Génie civil, Université de Cergy-Pontoise, 2009.
16. P. PLIYA. Contribution des fibres de polypropylène et métalliques à l'amélioration du comportement du béton soumis à une température élevée. Thèse de Doctorat, Génie civil, Université de Cergy-Pontoise, 2010.
17. TCVN 3118:1993, Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén.