

ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ DƯỠNG HỘ ĐẾN CÁC CHỈ TIÊU CƠ HỌC ĐẶC TRƯNG CỦA BÊ TÔNG SỬ DỤNG PHỤ GIA POZZOLAN TỰ NHIÊN

EFFECTS OF CURING TEMPERATURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF NATURAL POZZOLAN - CONCRETE

PHẠM VĂN TOÀN*, PHẠM THỊ NGÀ, NGUYỄN THIỆN THÀNH

Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: toanpv@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Ảnh hưởng của nhiệt độ dưỡng hộ đến các đặc trưng cơ lý của bê tông trong thành phần cấp phối sử dụng pozzolan tự nhiên thay thế xi măng tỉ lệ 20% được nghiên cứu trong bài báo. Các mẫu bê tông được dưỡng hộ ở các nhiệt độ 10°C, 20°C, 30°C và 50°C và được nén ở 1, 3, 7 và 28 ngày.

Theo kết quả thực nghiệm, bê tông thông thường khi dưỡng hộ ở nhiệt độ cao sẽ có cường độ nén tuổi sớm (1, 3 và 7 ngày tuổi) cao hơn nhưng cường độ nén tuổi muộn (28 ngày) lại nhỏ hơn so với bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ thấp. Ngược lại, đối với bê tông sử dụng pozzolan thay thế một phần xi măng thì bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ cao 50°C có cường độ cao hơn so với cường độ bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ từ 10°C đến 30°C ở các tuổi từ 1 đến 28 ngày tuổi. Do tốc độ phản ứng pozzolan của pozzolan tự nhiên thường xảy ra chậm hơn so với phản ứng hydrat hóa của xi măng nên ảnh hưởng tiêu cực của nhiệt độ đến sự hình thành và phát triển cường độ của xi măng đã được bù đắp bởi sự hình thành và phát triển cường độ của vật liệu pozzolan sau 28 ngày dưỡng hộ. Mặc dù, mô đun đàn hồi và cường độ kéo khi ép chệch của bê tông có cùng xu hướng với cường độ nén nhưng sự chênh lệch không rõ rệt như kết quả thí nghiệm cường độ nén.

Từ khóa: Đặc trưng cơ lý bê tông, pozzolan tự nhiên, nhiệt độ dưỡng hộ.

Abstract

The effects of curing temperature on the mechanical properties of concrete using natural pozzolan as cement replacement with the ratio of 20% by mass was investigated. Samples was cured at various temperatures of 10°C, 20°C, 30°C and 50°C until testing days. It is reported that for normal concrete without pozzolan cured at high temperature 50°C will have higher early age compressive strength (1, 3 and 7 days) than

concrete cured at temperature of 10°C to 30°C but the late age of 28 days compressive strength is lower. However, for concrete using pozzolan as a partial replacement for cement, concrete cured at a high temperature of 50°C has a higher strength than that of other concrete cured at a temperature of 10°C to 30°C at ages from 1 to 28 days. It is possible that the pozzolan reaction rate of natural pozzolan is usually slower than the hydration reaction of cement, so the negative effect of temperature on the strength development of cement was compensated by the strength development of natural pozzolan after 28 days of curing. Although the elastic modulus of concrete has the same trend as the compressive strength, the variation of elastic modulus is not as clear as the compressive strength.

Keywords: Compressive strength, splitting tensile strength, elastic modulus, curing temperature, natural pozzolan.

1. Giới thiệu

Sự thay đổi nhiệt độ có ảnh hưởng lớn đến các đặc trưng cơ lý của bê tông đặc biệt là cường độ của bê tông [1, 2, 3, 10, 11, 12]. Các đặc tính như cường độ nén, cường độ kéo khi ép chệch, mô đun đàn hồi cần được xem xét trong thiết kế và thi công các kết cấu bê tông. Cụ thể, việc đánh giá nứt do nhiệt của kết cấu bê tông đòi hỏi phải xác định mô đun đàn hồi và cường độ kéo của bê tông tuổi sớm theo nhiệt độ. Do đó, ảnh hưởng của nhiệt độ đối với các đặc trưng cơ lý của bê tông cần phải được đặc biệt quan tâm.

Các nghiên cứu cho thấy khi bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ cao thì quá trình hydrat hóa diễn ra nhanh hơn và các sản phẩm của quá trình hydrat hóa phân bố không đồng đều. Điều này làm tăng cường độ nén ở tuổi sớm nhưng lại tạo ra độ rỗng lớn do sự hình thành cường độ không đồng đều trong khoảng thời gian ngắn của hạt xi măng dẫn tới làm giảm cường độ bê tông ở tuổi muộn [1, 3, 10, 11]. Sự xuất hiện của một số phụ gia khoáng đặc biệt là các phụ gia pozzolan

như tro bay, silica fume, pozzolan tự nhiên hoặc xi lò cao dạng hạt trong xi măng có thể làm thay đổi đặc tính hóa lý của quá trình hydrat hóa, giảm sự giải phóng nhiệt và tạo ra thêm các sản phẩm hydrat CSH [2, 12]. Các phụ gia pozzolanic này đem lại hiệu quả đáng kể cho hỗn hợp bê tông đặc biệt là ở các khu vực có khí hậu nóng, giúp giảm thiểu các ảnh hưởng tiêu cực của nhiệt độ đối với các đặc trưng cơ lý của bê tông [3]. Hơn nữa việc sử dụng phụ gia pozzolanic thay thế xi măng góp phần giảm thiểu tác động môi trường do quá trình sản xuất xi măng gây ra đồng thời tận dụng nguồn sản phẩm phụ của các quá trình sản xuất công nghiệp như công nghiệp sản xuất thép, nhiệt điện phát thải ra môi trường.

Trong đó, pozzolan tự nhiên là các loại đá có nguồn gốc từ núi lửa (cũng như một số loại đất sét và đá phiến trầm tích. Nhờ có đặc tính pozzolanic tham gia phản ứng với portlandite là sản phẩm sinh ra do quá trình thủy hóa xi măng để tạo ra thêm CSH gel làm cấu trúc vi mô của bê tông xi măng thêm đặc chắc, góp phần cải thiện đặc trưng cơ lý của bê tông xi măng. Một số có thể được sử dụng nguyên trạng, trong khi những loại khác trải qua quá trình hoạt hóa nhiệt (ví dụ như đất sét nung).

Mục tiêu của bài báo này là nghiên cứu các chỉ tiêu cơ học đặc trưng của bê tông thường và bê tông có sử dụng phụ gia có tính pozzolanic là pozzolan tự nhiên thay thế một phần xi măng trong điều kiện dưỡng hộ ở các nhiệt độ khác nhau. Từ kết quả thí nghiệm, một số chỉ tiêu cơ học đặc trưng của bê tông là cường độ nén, mô đun đàn hồi và cường độ kéo khi ép chế được xem xét đánh giá trong mối tương quan với sự thay đổi nhiệt độ của môi trường dưỡng hộ xung quanh.

2. Thí nghiệm

2.1. Vật liệu

Xi măng PC 40 và pozzolan tự nhiên có thành phần hóa học được thể hiện trong Bảng 1. Bên cạnh đó trong quá trình đúc bê tông, phụ gia siêu dẻo Sikament-R7N được sử dụng để cải thiện khả năng công tác đổ bê tông với liều lượng 0,4-0,6L/100 kg xi măng/chất kết dính. Đây là phụ gia siêu dẻo gốc Polycarboxylate, phù hợp với tiêu chuẩn ASTM C-494, có tác dụng duy trì độ sụt của bê tông mà không cần tăng tỉ lệ lượng nước/ xi măng và không ảnh hưởng đến các đặc trưng hóa học của bê tông xi măng.

2.2. Hỗn hợp cấp phối bê tông

Hỗn hợp cấp phối bê tông và độ sụt được thể hiện trong Bảng 2. Lượng nước thiết kế là 180kg/m³, và tỷ lệ nước trên xi măng N/X là 0,40. Hàm lượng thay thế

Bảng 1. Thành phần hóa học của pozzolan tự nhiên và xi măng [*]

Thành phần (%)	Xi măng	Pozzolan tự nhiên
SiO ₂	20,38	58,50
Al ₂ O ₃	5,21	20,55
Fe ₂ O ₃	3,15	8,35
CaO	63,58	2,15
Lượng hạt khi nung (%)	1,22	2,85
Dung trọng (g/cm ³)	3,15	2,10
Diện tích bề mặt (cm ² /g)	3350	4295

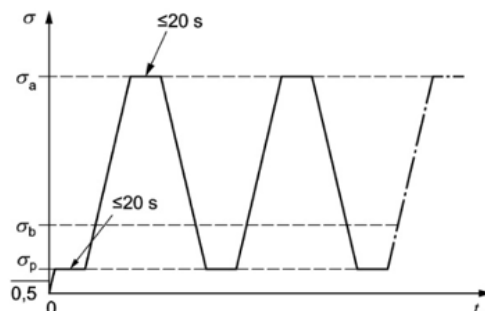
[*]: Kết quả phân tích EDX do nhà phân phối cung cấp

Bảng 2. Các cấp phối bê tông và độ sụt

Tên hỗn hợp	Khối lượng đơn vị (kg/m ³)					Độ sụt
	X	N	NP	C	Đ	
NP0	450	180	0	682	1066	21
NP20	360	180	90	705	1100	19

X: Xi măng, N: nước, NP: pozzolan tự nhiên,

C: cốt liệu mịn, Đ: cốt liệu thô



Hình 1. Chu kỳ xác định mô đun đàn hồi [8]

σ_a : Ứng suất trên; σ_b : Ứng suất dưới; σ_p : Ứng suất đặt trước



Hình 2. Buồng dưỡng hộ nhiệt ẩm

của xi măng bằng pozzolan tự nhiên lần lượt là 0 và 20% theo khối lượng lần lượt tương ứng với mẫu bê tông NP0 và NP20.

Sau khi đúc, các mẫu được dưỡng hộ trong khuôn có bịt kín bằng băng dính nhôm và đặt trong buồng nhiệt ẩm được thiết lập ở các nhiệt độ 10°C, 20°C, 30°C and 50°C và độ ẩm $95\pm 5\%$ cho đến ngày tiến hành thí nghiệm. Các buồng dưỡng hộ nhiệt ẩm model LabTech LHT-0500E được sản xuất bởi công ty Daihan LabTech Co. Ltd, Hàn Quốc (Hình 2). Quá trình tiến hành dưỡng hộ bê tông trong điều kiện nhiệt ẩm và các thí nghiệm được tiến hành tại Viện vật liệu xây dựng Việt Nam (VIBM).

(1) Thí nghiệm nén

Cường độ và mô đun đàn hồi phối bê tông được tính bằng trung bình cộng cường độ 3 mẫu trong đó giá trị lớn nhất và nhỏ nhất không lệch quá 15% so với giá trị cường độ mẫu còn lại theo TCVN 3118:2022 [7] ở các tuổi 1, 3, 7 và 28 ngày sau khi đúc.

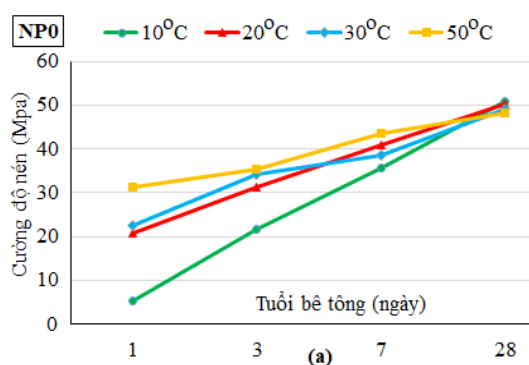
Thí nghiệm nén mẫu để xác định mô đun đàn hồi được tiến hành với tốc độ gia tải $(0,6\pm 0,2)$ MPa/s với 3 chu kỳ gia tải như trên Hình 1. Giá trị mô đun đàn hồi được xác định ở chu kỳ ổn định thứ 3 theo tiêu chuẩn TCVN 5726:2022 [8].

Sau 3 chu kỳ gia tải để xác định mô đun đàn hồi, tiếp tục gia tải với tốc độ $(0,6\pm 0,2)$ MPa/s cho đến khi mẫu bị phá hoại để xác định cường độ nén của bê tông sao cho thời gian phá hủy viên mẫu không nhỏ hơn 30 giây.

(2) Thí nghiệm ép chèn

Cường độ kéo khi ép chèn được xác định theo TCVN 8862:2011 [9].

Ép chèn mẫu thử bằng cách tăng tải liên tục và đều cho đến khi mẫu bị phá hủy: Tốc độ biến dạng (tốc độ di chuyển bàn nén của máy) khi ép chèn mẫu tăng đều với tốc độ $(0,5\pm 0,2)$ MPa/phút sao cho thời gian phá hủy viên mẫu không nhỏ hơn 30 giây.



(3) Thí nghiệm quét hình ảnh bằng kính hiển vi điện tử (SEM)

Mẫu bê tông sau 28 ngày dưỡng hộ được tiến hành thí nghiệm quét ảnh bằng kính hiển vi điện tử. Mẫu được cắt từ phần lõi của mẫu đúc (phần vữa xi măng). Sau khi rửa sạch mẫu bằng dung dịch acetone, mẫu được sấy khô trong buồng hút chân không trong 24h và sau đó bảo quản trong lọ kín trước khi tiến hành thí nghiệm SEM.

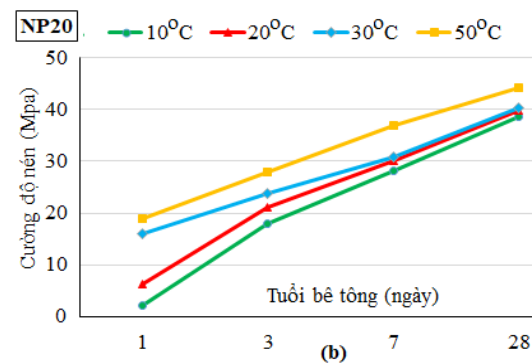
3. Thảo luận

3.1. Cường độ nén

Kết quả thí nghiệm trên Hình 3 cho thấy rằng đối với bê tông thường không chứa pozzolan tự nhiên (NP0), ở tuổi sớm cường độ bê tông cao hơn khi nhiệt độ dưỡng hộ cao hơn. Cụ thể ở 1, 3 và 7 ngày tuổi, bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ dưỡng hộ cao nhất là 50°C có cường độ cao hơn so với cường độ bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ 10°C, 20°C và 30°C. Bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ thấp nhất 10°C có cường độ thấp nhất ở 1, 3 và 7 ngày tuổi. Tuy nhiên xu hướng này có sự thay đổi ở các tuổi muộn của bê tông cụ thể sau 28 ngày tuổi sự phát triển cường độ của các mẫu bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ cao có xu hướng phát triển chậm dần và thấp hơn so với cường độ bê tông dưỡng hộ ở các nhiệt độ thấp.

Nhìn trên biểu đồ Hình 3 (a), tại thời điểm 1 ngày tuổi bê tông dưỡng hộ ở các nhiệt độ 50°C có cường độ cao nhất là 31,3MPa trong khi cường độ bê tông dưỡng hộ ở 10°C là thấp nhất với 5,3MPa. Nhưng ở 28 ngày tuổi, cường độ bê tông dưỡng hộ ở 50°C lại có cường độ thấp nhất là 48,2MPa trong khi cường độ của bê tông dưỡng hộ ở các nhiệt độ 10°C, 20°C và 30°C lần lượt là 51,0MPa, 50,4MPa và 49,1MPa.

Đối với bê tông sử dụng pozzolan tự nhiên thay thế 20% hàm lượng xi măng (NP20), cường độ bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ 50°C có cường độ cao hơn so với cường độ của các mẫu bê tông dưỡng hộ ở các



Hình 3. Cường độ nén của hỗn hợp bê tông NP0 (a) và NP20 (b)

nhệt độ thấp hơn. Bên cạnh đó, cường độ bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ thấp 10°C có cường độ thấp hơn so với cường độ của các hỗn hợp dưỡng ẩm ở các nhiệt độ cao hơn là 20°C, 30°C và 50°C

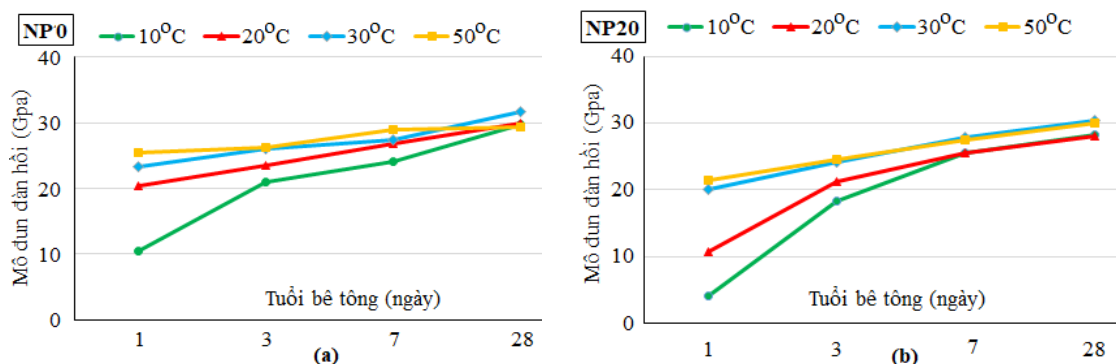
Tuy nhiên có một kết quả đáng chú ý là đối với bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ 20°C ở các tuổi sớm cường độ thấp hơn cường độ của bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ 30°C nhưng ở 28 ngày tuổi sự phát triển cường độ của bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ 20°C lại phát triển tốc độ cao hơn và xấp xỉ bằng với cường độ của bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ 30°C.

Như vậy có thể thấy rằng, đối với bê tông thường không chứa pozzolan tự nhiên, nhiệt độ dưỡng hộ cao làm tăng cường độ tuổi sớm (1, 3 và 7 ngày tuổi) nhưng lại làm chậm sự phát triển cường độ bê tông ở tuổi muộn (28 ngày tuổi). Hiện tượng này gọi là hiệu ứng giao thoa (crossover-effect) đã được đề cập đến trong một số nghiên cứu trước đó [4]. Như chúng ta đã biết, phản ứng hydrat hóa xi măng cũng là phản ứng hóa học bị ảnh hưởng rất lớn bởi tác nhân nhiệt độ và độ ẩm. Quá trình hydrat hóa tạo ra các sản phẩm CSH là thành phần tạo nên cường độ cho bê tông. Dưới tác dụng của nhiệt độ cao, trong khoảng thời gian ngắn, các lớp phía ngoài hạt xi măng quá trình thủy hóa đã diễn ra hình thành các vùng đặc chắc vô hình chung trở thành hàng rào ngăn cách, cản trở các

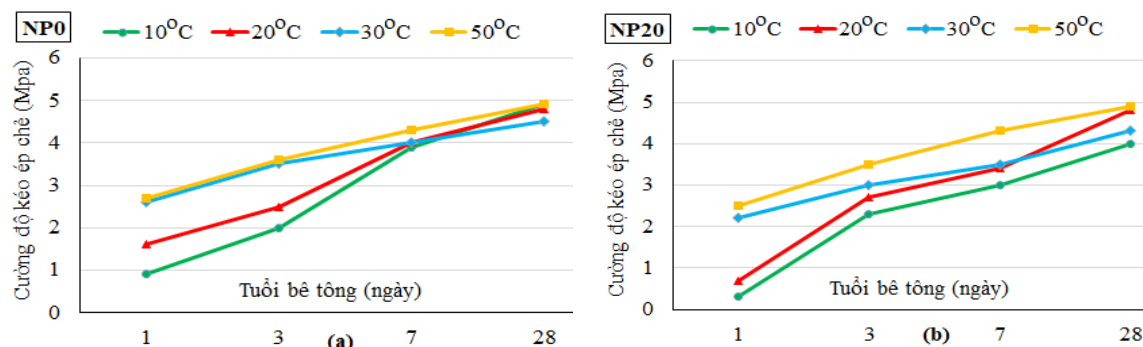
lớp phía trong hạt xi măng còn chưa kịp hydrat hóa. Chính điều này đã tạo ra các sản phẩm thủy hóa phân tán không đồng đều, làm tăng độ rỗng và giảm cường độ của bê tông xi măng ở các độ tuổi muộn.

Trong khi đó, đối với các hỗn hợp bê tông xi măng sử dụng pozzolan tự nhiên thay thế xi măng, pozzolan tự nhiên là vật liệu pozzolan có tốc độ phản ứng chậm hơn nhiều so với xi măng do đó ảnh hưởng hiệu ứng giao thoa diễn ra trễ hơn. Hiệu ứng giao thoa ở bê tông NP20 không rõ ràng như ở bê tông thường NP0 hoặc hiệu ứng giao thoa diễn ra ở các tuổi muộn hơn (sau 28 ngày tuổi). Hơn nữa, với sự có mặt của pozzolan tự nhiên góp phần bù đắp những hiệu ứng tiêu cực do nhiệt độ cao gây ra đối với xi măng. Điều đó thể hiện ở hiện tượng, sau 28 ngày, cường độ bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ cao có giá trị lớn hơn so với cường độ bê tông dưỡng hộ ở các nhiệt độ thấp hơn nó trái ngược với xu thế phát triển cường độ ở bê tông thường không sử dụng pozzolan tự nhiên.

Ngoài ra, kết quả thí nghiệm cũng cho thấy cường độ hỗn hợp bê tông NP20 thấp hơn cường độ hỗn hợp bê tông thường NP0. Nguyên nhân của hiện tượng này có thể do hiệu ứng pha loãng xi măng [5]. Hiệu ứng pha loãng xảy ra khi hàm lượng xi măng giảm do xi măng bị thay thế bằng vật liệu có tính hydrat chậm hoặc không có tính hydrat. Việc giảm lượng xi măng



Hình 4. Mô đun đàn hồi của hỗn hợp bê tông NP0 (a) và NP20 (b)



Hình 5. Cường độ kéo khi ép chế của hỗn hợp bê tông NP0 (a) và NP20 (b)

làm giảm sản phẩm thủy hóa và do đó ảnh hưởng xấu đến cường độ nén, làm tăng độ xốp của bê tông [5].

3.2. Mô đun đàn hồi bê tông

Mô đun đàn hồi của hỗn hợp bê tông NP0 và NP20 ở các nhiệt độ dưỡng hộ khác nhau được biểu diễn trên Hình 4. Theo đó, ở cả hỗn hợp bê tông NP0 và NP20, nhiệt độ dưỡng hộ cao làm tăng mô đun đàn hồi ở giai đoạn tuổi sớm (1, 3 và 7 ngày tuổi). Tuy nhiên ở giai đoạn tuổi muộn 28 ngày, tốc độ phát triển mô đun đàn hồi của bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ cao có xu hướng chậm lại so với xu hướng phát triển mô đun đàn hồi của bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ thấp hơn.

3.3. Cường độ kéo khi ép chế

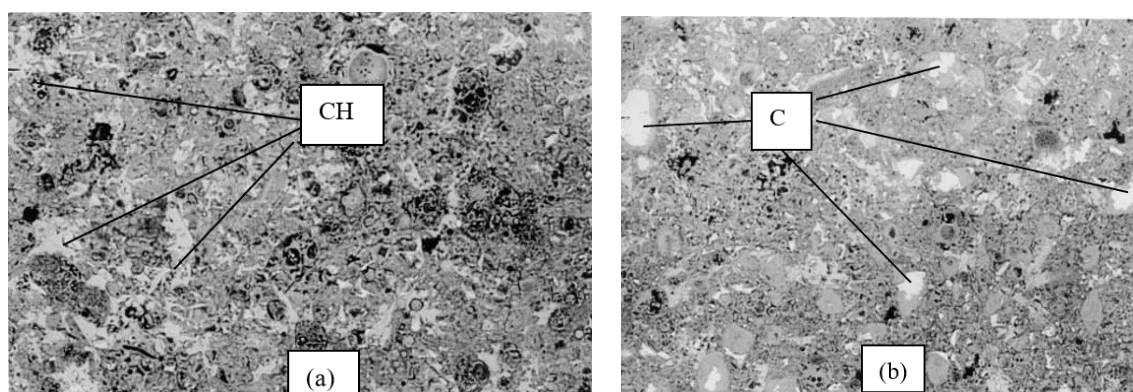
Cường độ kéo khi ép chế của hỗn hợp bê tông thường NP0 và bê tông sử dụng pozzolan tự nhiên thay thế xi măng NP20 được biểu diễn trên Hình 5. Từ kết quả Hình 5 có thể thấy rằng cường độ kéo khi ép chế có cùng xu hướng với cường độ nén và mô đun đàn hồi. Khi dưỡng hộ ở nhiệt độ cao, dưới tác dụng của nhiệt độ các phản ứng hydrat hóa và pozzolanic

hóa diễn ra với tốc độ nhanh và cường độ cao hơn ở các tuổi sớm nhưng do hiệu ứng giao thoa (crossover-effect) dẫn đến sự phát triển cường độ không đồng đều trong cấu trúc vi mô của bê tông xi măng. Do đó ở tuổi muộn xu thế phát triển cường độ kéo khi ép chế của bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ cao bị chậm hơn so với bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ thấp hơn.

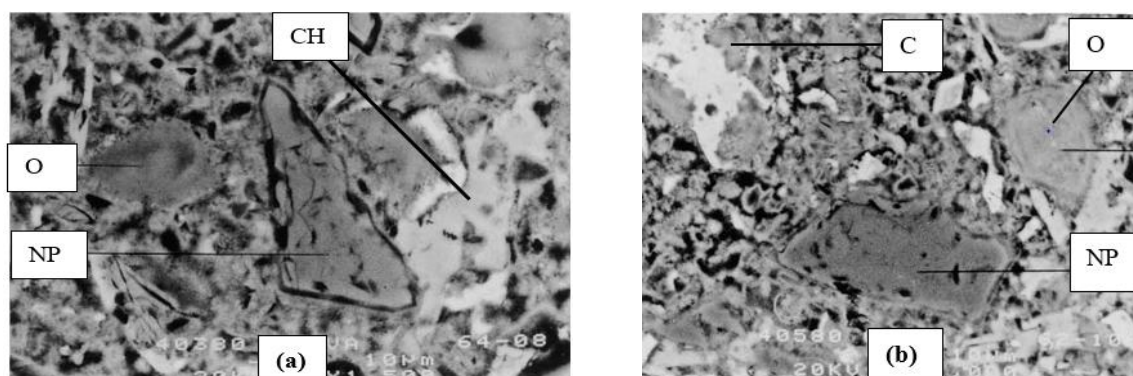
Bên cạnh đó, cường độ kéo ép chế của bê tông sử dụng pozzolan tự nhiên thay thế xi măng cũng có cường độ thấp hơn so với bê tông thông thường không sử dụng pozzolan tự nhiên do hiệu ứng pha loãng đã đề cập ở mục 3.1.

3.4. Hình ảnh vi cấu trúc của các hỗn hợp bê tông quét bằng kính hiển vi điện tử

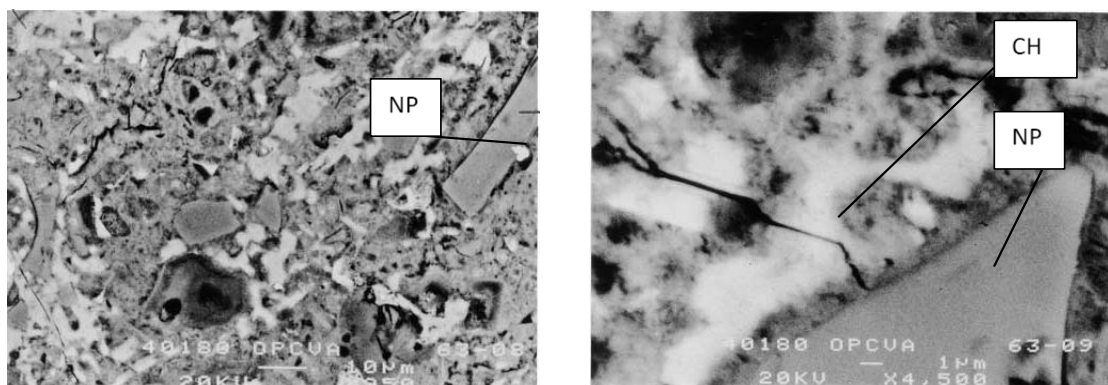
Ảnh mẫu bê tông quét bằng kính hiển vi giúp tăng cường khả năng quan sát cấu trúc vi mô cũng như nhận biết thành phần hóa học các hợp chất do độ tương phản ánh sáng khác nhau, độ sáng của các pha tăng theo tỷ lệ với số nguyên tử trung bình của chúng. Đối với xi măng Portland, có thể phân biệt theo thứ tự tăng dần về độ trắng của lỗ rỗng, gel CSH, CH, pha



Hình 6. Hình ảnh quét trên kính hiển vi điện tử của bê tông thông thường NP0 ở 28 ngày tuổi dưỡng hộ ở nhiệt độ (a) 10°C và (b) 50°C (CH: portlandite Ca(OH)_2 , C: hạt xi măng chưa hydrat hóa hoàn toàn)



Hình 7. Hình ảnh quét trên kính hiển vi điện tử của bê tông thông thường NP20 tại 28 ngày tuổi dưỡng hộ ở nhiệt độ (a) 30°C, (b) 50°C (O: hạt xi măng đã hydrat hóa hoàn toàn, CH: portlandite Ca(OH)_2 , NP: pozzolan tự nhiên, C: hạt xi măng chưa hydrat hóa hoàn toàn)



Hình 8. Hình ảnh quét trên kính hiển vi điện tử của bê tông thông thường NP20 tại 28 ngày tuổi dưỡng hộ ở nhiệt độ 10°C (CH: portlandite Ca(OH)_2 , NP: pozzolan tự nhiên)

khan [6]. Hình dạng vật lý của chúng cũng giúp nhận dạng chúng trong cấu trúc vi mô. Pozzolan tự nhiên khan thường sáng hơn CSH nhưng sẫm hơn CH và có hình dạng góc cạnh.

Hình 6b cho thấy ở cấu trúc vi mô của hỗn hợp bê tông thường NP0 xuất hiện nhiều lỗ rỗng ở bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ 50°C. Bên cạnh đó cấu trúc bê tông thường dưỡng hộ nhiệt độ 50°C có nhiều hạt xi măng chưa hydrat hóa hoàn toàn (lớp bên ngoài đã hydrat có màu ghi đậm, lớp lõi bên trong chưa hydrat hóa có màu sáng). Các hạt xi măng chưa hydrat hóa hoàn toàn làm giảm hàm lượng chất kết dính (gel CSH) đồng thời tạo ra độ rỗng lớn. Điều đó làm giảm cường độ và tăng độ xốp của bê tông.

Trong khi đó hình ảnh cấu trúc vi mô của hỗn hợp bê tông NP0 dưỡng hộ ở nhiệt độ 10°C (Hình 6a) quan sát được không chứa hạt xi măng chưa bị hydrat hóa đồng thời có chứa nhiều portlandite CH. CH là sản phẩm của quá trình hydrat hóa của xi măng.

Điều đó chứng tỏ đối với bê tông thường, nhiệt độ dưỡng hộ cao cản trở quá trình hydrat hóa của xi măng, làm giảm và chậm quá trình tạo ra chất kết dính (CSH gel) trong cấu trúc vi mô của bê tông xi măng gây ra độ rỗng lớn và giảm cường độ của bê tông ở tuổi muộn.

Trong khi đó đối với bê tông sử dụng pozzolan tự nhiên, hình ảnh trên kính hiển vi điện tử quan sát được cho thấy bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ 30°C (Hình 7a) cấu trúc liên tục và ít lỗ rỗng hơn so với cấu trúc bê tông dưỡng hộ ở nhiệt độ 50°C (Hình 7b). Trên hình ảnh mẫu bê tông NP20 dưỡng hộ ở nhiệt độ 50°C ta cũng thấy xuất hiện hình ảnh hạt xi măng chưa bị hydrat hóa hết ở góc trên bên trái Hình 7b. Trong khi đó bê tông dưỡng hộ 10°C và 30°C hạt xi măng đã hydrat hóa hoàn toàn.

Thêm vào đó, hầu hết Portlandite CH đã biến mất

ở cấu trúc vi mô bê tông sử dụng pozzolan tự nhiên dưỡng hộ ở nhiệt độ 50°C do phản ứng pozzolanic giữa pozzolan tự nhiên và CH để tạo ra thêm các sản phẩm CSH gel.

Hình 8 cho thấy ở nhiệt độ dưỡng hộ 10°C, CH vẫn còn xuất hiện nhiều quanh vị trí hạt pozzolan tự nhiên. Điều đó chứng tỏ sau 28 ngày dưỡng hộ ở 10°C, phản ứng pozzolanic vẫn diễn ra chậm,

Trên Hình 7 một điều thú vị khi quan sát hình ảnh hạt pozzolan tự nhiên có màu sắc gần như là giống nhau ở các nhiệt độ dưỡng hộ khác nhau cho dù là 30°C hay 50°C trong khi đó hình ảnh các hạt xi măng đã hydrat hóa lại có màu sắc khác nhau ở những nhiệt độ dưỡng hộ khác nhau. Đó là màu sáng hơn ở nhiệt độ cao hơn.

4. Kết luận

Từ các kết quả ở trên, có thể rút ra một số kết luận như sau:

Nhiệt độ dưỡng hộ bê tông ảnh hưởng rất lớn tới phản ứng hydrat hóa của xi măng và phản ứng pozzolanic của vật liệu pozzolan tự nhiên, do đó làm ảnh hưởng đến các chỉ tiêu cơ học đặc trưng của bê tông xi măng. Trong đó, bê tông thường (không chứa pozzolan tự nhiên) dưỡng hộ ở nhiệt độ cao 50°C có cường độ nén, cường độ kéo khi ép chế và mô đun đàn hồi cao hơn ở giai đoạn tuổi sớm (1, 3, 7 ngày tuổi) nhưng xu hướng phát triển tuổi muộn (28 ngày tuổi) chậm hơn so với bê tông thường dưỡng hộ ở nhiệt độ thấp hơn. Ở 1 ngày tuổi, cường độ nén bê tông dưỡng hộ tại 50°C cao hơn xấp xỉ 590%; 150% và 150% so với cường độ nén bê tông dưỡng hộ tại 10°C; 20°C và 30°C. Nhưng ở 28 ngày tuổi, cường độ nén bê tông dưỡng hộ tại 50°C lại thấp hơn xấp xỉ 95%, 96% và 98% so với cường độ nén bê tông dưỡng hộ tại 10°C, 20°C và 30°C

Ở nhiệt độ dưỡng hộ 10°C, phản ứng hydrat hóa của xi măng và phản ứng pozzolanic của pozzolan tự nhiên ở các tuổi sớm (1, 3 và 7 ngày) diễn ra chậm hơn dẫn đến cường độ nén, cường độ kéo khi ép chế và mô đun đàn hồi của bê tông thấp hơn so với cường độ và mô đun đàn hồi của bê tông dưỡng hộ ở các nhiệt độ 20°C, 30°C và 50°C. Ở 1 ngày tuổi, cường độ nén bê tông thường dưỡng hộ ở 10°C chỉ bằng 25%, 24% và 17% so với cường độ nén bê tông dưỡng hộ tại 20°C, 30°C và 50°C. Sau 7 ngày tuổi cường độ bê tông cường độ bê tông dưỡng hộ ở 10°C bằng 87%, 90% và 82% so với cường độ bê tông dưỡng hộ ở 20°C, 30°C và 50°C

Nhiệt độ dưỡng hộ trong khoảng từ 20°C đến 30°C tỏ ra khá phù hợp với sự hình thành và phát triển của bê tông thường và bê tông sử dụng vật liệu pozzolan tự nhiên xét trên toàn bộ quá trình phát triển cường độ ở các giai đoạn tuổi sớm và tuổi muộn. Ở 1 ngày tuổi, cường độ nén bê tông thường dưỡng hộ tại 30°C xấp xỉ bằng 400%, 105 % và 72% so với cường độ nén bê tông dưỡng hộ tại 10°C, 20°C và 50°C. Sau 28 ngày tuổi cường độ nén bê tông thường dưỡng hộ tại 30°C xấp xỉ bằng 97%, 97% và 102% so với cường độ nén bê tông dưỡng hộ tại 10°C, 20°C và 50°C.

Đối với bê tông sử dụng pozzolan tự nhiên dưỡng hộ tại nhiệt độ cao 50°C có cường độ nén, cường độ kéo khi ép chế và mô đun đàn hồi cao hơn so với bê tông cùng loại dưỡng hộ tại nhiệt độ 10°C, 20°C và 30°C. Ở 1 ngày tuổi, cường độ nén bê tông sử dụng pozzolan tự nhiên dưỡng hộ tại 50°C xấp xỉ bằng 900%, 300 % và 117% so với cường độ nén bê tông cùng loại dưỡng hộ tại 10°C, 20°C và 30°C. Sau 28 ngày tuổi cường độ nén bê tông thường dưỡng hộ tại 50°C vẫn cao hơn xấp xỉ bằng 114%, 113% và 110% so với cường độ nén bê tông dưỡng hộ tại 10°C, 20°C và 30°C. Trái ngược với xu hướng phát triển cường độ của bê tông thường không chứa pozzolan tự nhiên.

Như vậy, với sự xuất hiện của pozzolan tự nhiên đã góp phần bù đắp các ảnh hưởng tiêu cực do nhiệt độ cao gây ra đối với sự hình thành và phát triển cường độ của bê tông xi măng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng Hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT24-25.96**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] E.Garcia, (2001), *The microstructure and mechanical properties of blended cements hydrated at various temperatures*. Cement Concrete Research. Vol.31, pp. 695-702.

- [2] R.Chihaoui (2022), *Efficiency of natural pozzolan and natural perlite in controlling the alkali-silica reaction of cementitious materials*, Case Studies in Construction Materials. Vol.17, e01246.
- [3] K. Ezziane (2007), *Compressive strength of mortar containing natural pozzolan under various curing temperature*. Cement Concrete Composite Vol.29, pp.587-593.
- [4] J. Kim (2002), *Effect of temperature and aging on the mechanical properties of concrete, part I: experimental results*, Cement Concrete Research, Vol.32, pp.1087-1094.
- [5] A. Ahmed (2023), *Exploring the role of dilutive effects on microstructural development and hydration kinetics of limestone calcined clay cement (LC3) made of low-grade raw materials*, Journal of Clean. Production, Vol.428.139438.
- [6] H. Zhao (1992), *Quantitative backscattered electron analysis of cement paste*, Cement Concrete Research, Vol.22, pp.696-706.
- [7] Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 3118:2022: Bê tông-phương pháp xác định cường độ chịu nén (2022).
- [8] Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 5726:2022 xác định mô đun đàn hồi và hệ số Poisson (2022).
- [9] Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 8862:2011 về Quy trình thí nghiệm xác định cường độ kéo khi ép chế của vật liệu hạt liên kết bằng các chất kết dính (2011).
- [10] M.Wang, X Zeng (2020), *The impact mechanical characteristics of steam-cured concrete under different curing temperature conditions*, Construction and Building Materials. Vol.241. 118042
- [11] Y. Li, Y. Liu, Y Li (2024), *Investigation of the Freeze-Thaw deterioration behavior of hydraulic concrete under various curing temperatures*, Journal of Building Engineering, Vol.95, 110247
- [12] X. Guan, L.Wang, L. Mo (2023), *Effects of ground coal bottom ash on the properties of cement-based materials under various curing temperatures*, Journal of Building Engineering, Vol.69, 106196.

Ngày nhận bài:	12/12/2024
Ngày nhận bản sửa lần 01:	24/12/2024
Ngày nhận bản sửa lần 02:	16/01/2025
Ngày duyệt đăng:	18/02/2025