

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA LOẠI CỐT LIỆU ĐẾN CƯỜNG ĐỘ CÒN LẠI CỦA BÊ TÔNG SAU KHI NUNG Ở CÁC NHIỆT ĐỘ KHÁC NHAU**  
STUDY ON THE INFLUENCE OF AGGREGATE TYPE ON THE RESIDUAL STRENGTH OF CONCRETE AFTER EXPOSURE TO DIFFERENT TEMPERATURES

**ĐOÀN THỊ THU LƯƠNG<sup>a,\*</sup>, NGUYỄN KIM THỊNH<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Viện Khoa học công nghệ xây dựng

\*Tác giả đại diện: Email: doanluong.dhxd@gmail.com

Ngày nhận 13/10/2025, Ngày sửa 27/10/2025, Chấp nhận 30/10/2025

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2025.vi.vol4-6>

*Tóm tắt: Nhiệt độ cao có thể gây biến đổi đáng kể trong cấu trúc vi mô của bê tông, dẫn đến suy giảm các đặc tính cơ học, đặc biệt là cường độ chịu nén – một chỉ tiêu quan trọng để đánh giá chất lượng bê tông. Nghiên cứu này trình bày kết quả thí nghiệm về ảnh hưởng của loại cốt liệu đến cường độ còn lại của bê tông khi nung ở các nhiệt độ 350°C, 500°C, 650°C, 800°C. Kết quả cho thấy cường độ bê tông giảm dần theo nhiệt độ nung, trong đó bê tông sử dụng cốt liệu bazan duy trì khả năng chịu nén tốt hơn so với bê tông dùng cốt liệu cacbonat. Ở 650 °C, cường độ còn lại của mẫu bê tông cốt liệu đá cacbonat chỉ đạt 32,0 % và 40,7 %, trong khi bê tông cốt liệu đá bazan vẫn đạt 37,3 % và 55,7 %. Tại 800 °C, các mẫu bê tông cốt liệu đá cacbonat bị mất hoàn toàn khả năng chịu nén, trong khi các mẫu bê tông cốt liệu đá bazan vẫn có cường độ còn lại 23,1 % - 33,0 % so với ban đầu. Những số liệu này cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho việc lựa chọn cấp phối và vật liệu phù hợp cho bê tông hoặc trong đánh giá cường độ bê tông còn lại sau hỏa hoạn.*

*Từ khóa: bê tông; cường độ chịu nén; nhiệt độ cao; tính chất cơ học; cấu trúc vi mô.*

*Abstract: High temperatures can cause significant changes in the microstructure of concrete, leading to the degradation of its mechanical properties, particularly compressive strength – a key indicator of concrete quality. This study presents experimental results on the effect of aggregate type on the residual compressive strength of concrete after exposure to 350 °C, 500 °C, 650 °C, and 800 °C. The results indicate that compressive strength decreases progressively with increasing temperature, with basalt aggregate concrete retaining higher strength than carbonate aggregate concrete. At 650 °C, the residual compressive strength of carbonate aggregate concrete specimens*

*was only 32.0 % and 40.7 %, whereas basalt aggregate concrete specimens retained 37.3 % and 55.7 %. At 800 °C, carbonate aggregate concrete lost all load-bearing capacity, while basalt aggregate concrete still retained 23.1 %–33.0 % of its initial strength. These findings provide a scientific basis for selecting appropriate mix proportions and materials for concrete structures or for assessing the residual strength of fire-damaged concrete.*

*Keywords: Concrete; Compressive strength; Elevated temperature; Mechanical properties; Microstructure.*

## 1. Giới thiệu

Bê tông là một trong những vật liệu xây dựng phổ biến nhất hiện nay nhờ vào tính bền vững, khả năng chịu lực cao và chi phí hợp lý. Khả năng duy trì cường độ chịu nén còn lại của bê tông sau khi chịu tác động của nhiệt độ cao là một vấn đề quan trọng trong đánh giá an toàn công trình, đặc biệt là tại các công trình chịu tác động của điều kiện nhiệt độ khắc nghiệt như nhà máy công nghiệp, nhà máy nhiệt điện, hoặc các công trình dân dụng với công tác an toàn cháy, cần đảm bảo sự an toàn cho người sử dụng và đánh giá khả năng cải tạo lại công trình sau hỏa hoạn.

Khả năng chịu lửa của bê tông phụ thuộc chủ yếu vào hai thành phần cấu trúc chính là vữa xi măng và cốt liệu. Theo nghiên cứu [1], khi nhiệt độ vượt quá 600 °C, vữa xi măng bị suy giảm cường độ nghiêm trọng do phân hủy các sản phẩm hydrat như C-S-H và Ca(OH)<sub>2</sub>, làm yếu liên kết trong khối bê tông. Sự phân hủy hóa học và biến đổi vi mô của hồ xi măng là nguyên nhân chính dẫn đến giảm cường độ nén của bê tông sau khi chịu nhiệt [2]. Đồng thời, các nghiên cứu trong nước [5], [6] chỉ ra rằng ở khoảng 650 °C, cả vữa xi măng và cốt liệu cacbonat đều bị phân hủy mạnh, đặc biệt với phản ứng CaCO<sub>3</sub>

→  $\text{CaO} + \text{CO}_2$ . Trong khi đó, cốt liệu bazan có cấu trúc khoáng silicat ổn định hơn, ít bị ảnh hưởng ở cùng điều kiện nhiệt. Do đó, bê tông sử dụng cốt liệu cacbonat giảm cường độ nhanh hơn so với bê tông cốt liệu bazan khi chịu tác động của nhiệt độ cao.

Nhiều nghiên cứu đã được thực hiện nhằm xác định mối quan hệ giữa nhiệt độ nung, loại cốt liệu và cường độ chịu nén còn lại của bê tông. Các kết quả cho thấy sự suy giảm cường độ cơ học phụ thuộc mạnh vào bản chất khoáng vật của cốt liệu cũng như các điều kiện thí nghiệm [1–5].

Nghiên cứu bê tông cường độ cao [1] đã chế tạo bê tông với ba loại cốt liệu khác nhau gồm đá vôi, granit và bazan, sau đó nung mẫu ở dải nhiệt độ từ 200°C đến 1000°C với tốc độ tăng nhiệt 5°C/phút và hằng nhiệt trong 2 giờ. Kết quả cho thấy bê tông với cốt liệu silicat (granit, bazan) có cường độ chịu nén còn lại cao hơn so với bê tông cốt liệu carbonate (đá vôi). Sau khi nung ở 600°C, mẫu bê tông đá vôi đã suy giảm nhanh cường độ do phản ứng phân hủy  $\text{CaCO}_3$ , trong khi đó bê tông granit và bazan chỉ giảm mạnh sau 800–1000°C, nhưng vẫn duy trì được 20–30% cường độ chịu nén so với ban đầu.

Tương tự, nghiên cứu với bê tông cường độ nén khoảng 28–35 MPa sử dụng xi măng Portland, cát sông và đá dăm bazan [2] cũng cho thấy xu hướng giảm cường độ còn lại. Mẫu bê tông trong nghiên cứu được nung ở các mức nhiệt 200°C, 400°C, 600°C, 800°C và 1000°C, hằng nhiệt 3 giờ rồi làm nguội trong không khí. Kết quả chỉ ra rằng bê tông giữ được khoảng 70–80% cường độ chịu nén sau khi nung tại nhiệt độ 200–400°C, giảm còn 50–60% sau khi nung tại nhiệt độ 600°C, và chỉ còn lại 20–30% sau khi nung tại nhiệt độ 800–1000°C. Cơ chế suy giảm chủ yếu là do mất nước trong gel C–S–H và sự phát triển của vi nứt.

Về ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ sau nung, nghiên cứu [3] thực hiện trên bê tông cường độ cao 50–80 MPa với hai loại cốt liệu đá vôi và granit. Các mẫu được nung đến 1000°C, sau đó một số mẫu được dưỡng hộ trong nước. Kết quả cho thấy bê tông mất khoảng 50% cường độ ở 600°C và chỉ còn 20–25% ở 1000°C. Tuy nhiên, các mẫu được dưỡng hộ trong nước đã phục hồi thêm được 10–15% cường độ, cho thấy khả năng phục hồi nhất định của bê tông sau hỏa hoạn.

Một hướng nghiên cứu khác là bổ sung sợi polypropylen (PP) để cải thiện khả năng chịu nhiệt [4]. Bê tông cường độ cao với cốt liệu granit được chế tạo có và không có sợi PP, sau đó nung đến 1000°C. Kết quả chỉ ra rằng bê tông có sợi PP giảm nứt vi mô và giữ được cường độ chịu nén còn lại cao hơn sau khi nung ở 800°C. Bê tông thường chỉ còn khoảng 25% cường độ, trong khi bê tông có sợi PP duy trì được khoảng 35%.

Tại Việt Nam, một số nghiên cứu ban đầu cũng cho thấy sự tương đồng trong xu hướng suy giảm cường độ của bê tông dưới ảnh hưởng của nhiệt độ cao.

Nghiên cứu [5] tại Đại học Bách Khoa TP.HCM đã khảo sát ảnh hưởng của phụ gia khoáng như tro bay và silica fume đến khả năng chịu nhiệt của bê tông cường độ cao. Kết quả cho thấy mặc dù bê tông HSC suy giảm nhanh sau 600°C, song sự có mặt của phụ gia khoáng giúp giảm vi nứt và cải thiện khả năng duy trì cường độ. Một số nghiên cứu đánh giá cường độ chịu nén còn lại của bê tông sau hỏa hoạn, với dữ liệu đo trực tiếp từ công trình thực tế thông qua phương pháp khoan lõi và thí nghiệm nén [6] cũng cho thấy nhiệt độ và thời gian cháy có ảnh hưởng lớn đến cường độ còn lại của bê tông.

Gần đây, nghiên cứu [7] đã mở rộng hướng nghiên cứu khi khảo sát bê tông mác 250 chịu nhiệt độ cao (100–800°C) và làm nguội đột ngột bằng nước. Kết quả cho thấy, dưới 300°C, cường độ gần như không thay đổi, nhưng từ 400°C trở lên bê tông bắt đầu suy giảm rõ rệt, đặc biệt khi tăng thời gian hằng nhiệt; ở 600°C, mẫu chỉ còn lại 50–82% cường độ so với đối chứng tùy theo thời gian hằng nhiệt, và đến 800°C cường độ giảm xuống khoảng 30%. Điều này chứng minh rằng ngoài yếu tố nhiệt độ và cốt liệu, chế độ làm nguội sau khi nung cũng là nhân tố quan trọng ảnh hưởng đến sự suy giảm cường độ chịu nén, phản ánh sát thực tế các tình huống hỏa hoạn khi bê tông thường bị làm nguội tức thời bằng nước.

Tổng hợp các kết quả nghiên cứu cho thấy, ở mức nhiệt 200–400°C, bê tông hầu như vẫn duy trì được 70–90% cường độ chịu nén còn lại. Từ 400–600°C, sự suy giảm trở nên rõ rệt, cường độ còn lại khoảng 50–70%. Đặc biệt, khoảng 500–650°C được xem là ngưỡng nguy hiểm khi bê tông suy giảm

nhANH NHẤT về cường độ. Khi nhiệt độ đạt 600–800°C, bê tông cốt liệu đá vôi suy giảm mạnh, chỉ còn 20–30%, trong khi bê tông granit và bazan giữ được 30–40%. Trên 800–1000°C, tất cả các loại bê tông đều xuống rất thấp (<30%), nhưng bê tông cốt liệu silicat vẫn thể hiện ưu thế nhất định. Ngoài ra, việc bổ sung sợi PP, phụ gia khoáng và tái dưỡng hồ sau hỏa hoạn đều góp phần cải thiện khả năng duy trì hoặc phục hồi cường độ.

Nhìn chung, các công bố khoa học quốc tế và trong nước đều khẳng định rằng loại cốt liệu là yếu tố quan trọng quyết định cường độ chịu nén còn lại của bê tông sau khi chịu nhiệt. Cốt liệu silicat (granit, bazan) thích hợp hơn cho các công trình có yêu cầu chống cháy, trong khi bê tông đá vôi kém bền nhiệt. Các biện pháp bổ sung sợi PP, phụ gia khoáng và tái dưỡng hồ sau hỏa hoạn được xem là những hướng cải tiến có tiềm năng để nâng cao độ bền của bê tông khi chịu tác động của nhiệt độ cao.

Bài báo này trình bày kết quả thử nghiệm được thực hiện tại Viện Khoa học công nghệ xây dựng. Kết quả nghiên cứu cung cấp dữ liệu thực nghiệm về cường độ chịu nén còn lại của bê tông, sử dụng đá cacbonate Hà Nam và đá bazan Sunway, khi nung ở các mức nhiệt độ khác nhau từ nhiệt độ môi trường đến 800°C. Đây là cơ sở cho việc lựa chọn cấp phối và vật liệu phù hợp trong các công trình chịu tác động nhiệt cao, đồng thời là căn cứ tham khảo trong tính toán đánh giá khả năng chịu lực của công trình sau cháy.

**2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm**

**2.1 Vật liệu sử dụng**

Hiện nay trên thị trường có nhiều loại xi măng với đặc tính và phạm vi ứng dụng khác nhau. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả lựa chọn xi măng Bút

Sơn PC40 nhằm hạn chế ảnh hưởng của các thành phần phụ gia khoáng thường có trong xi măng PCB đến tính chất của bê tông, từ đó tập trung đánh giá một cách rõ ràng và chính xác hơn ảnh hưởng của loại cốt liệu đến cường độ và khả năng chịu nhiệt của bê tông. Xi măng Bút Sơn PC40 sử dụng trong nghiên cứu có khối lượng riêng 3,07 g/cm<sup>3</sup>, bề mặt riêng 3920 cm<sup>2</sup>/g, lượng sót trên sàng 0,045 mm là 7,0% và độ dẻo tiêu chuẩn 28,5%. Thời gian đông kết bắt đầu ở 120 phút và kết thúc ở 195 phút. Độ ổn định thể tích 1,0 mm. Cường độ chịu uốn đạt 7,0 N/mm<sup>2</sup> sau 3 ngày và 9,5 N/mm<sup>2</sup> sau 28 ngày; cường độ chịu nén tương ứng là 32,9 N/mm<sup>2</sup> và 52,1 N/mm<sup>2</sup>.

Cát vàng sông Lô sử dụng trong nghiên cứu được xác định có khối lượng riêng 2,67 g/cm<sup>3</sup>, khối lượng thể tích bão hòa nước 2,64 g/cm<sup>3</sup> và khối lượng thể tích khô 2,63 g/cm<sup>3</sup>. Độ hút nước đo được là 0,5%, khối lượng thể tích xốp đạt 1.380 kg/m<sup>3</sup>, độ rỗng 47,5% và mô đun độ lớn 2,3. Thành phần hạt được xác định qua sàng, với lượng sót tích lũy trên sàng 5 mm là 0%, sàng 2,5 mm là 10,2%, sàng 1,25 mm là 23,4%, sàng 0,63 mm là 38,5%, sàng 0,3 mm là 83,6% và sàng 0,14 mm là 97,5%. Các thông số này cho thấy cát vàng sông Lô có thành phần hạt và đặc tính cơ lý đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật quy định trong TCVN 7570:2006 cho cốt liệu mịn dùng trong bê tông và vữa.

Nhóm nghiên cứu lựa chọn hai đá loại dăm có cỡ hạt D<sub>max</sub> = 20 mm là: Đá dăm mỏ Hà Nam gốc cacbonate và đá dăm mỏ Sunway gốc bazan. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý cho thấy các loại đá sử dụng trong thí nghiệm đều đáp ứng yêu cầu của TCVN 7570:2006 (Bảng 1). Kết quả phân tích thành phần hóa học của hai loại đá (Bảng 2) cho thấy rõ sự khác nhau về hàm lượng Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, CaO và Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Các thành phần hóa học này sẽ phản ánh rõ sự ảnh hưởng của các loại cốt liệu đến sự suy giảm cường độ của bê tông sau khi chịu tác động của nhiệt độ cao.

**Bảng 1. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của đá dăm Hà Nam**

STT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	
			Đá cacbonate Hà Nam	Đá bazan Sunway
1	Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	2,73	2,92
2	Khối lượng thể tích bão hòa nước	g/cm <sup>3</sup>	2,71	2,89
3	Khối lượng thể tích khô	g/cm <sup>3</sup>	2,70	2,88
4	Độ hút nước	%	0,4	0,4
5	Khối lượng thể tích xốp	kg/m <sup>3</sup>	1.430	1.450
6	Độ rỗng	%	47,0	49,7
7	Cỡ hạt nhỏ nhất D <sub>min</sub>	mm	5	5
8	Cỡ hạt lớn nhất D <sub>max</sub>	mm	20	20

STT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	
			Đá cacbonate Hà Nam	Đá bazan Sunway
9	Thành phần hạt, lượng sót tích lũy (%) trên sàng:			
	Sàng 40 mm		0	0
	Sàng 20 mm		8,8	9,8
	Sàng 10 mm		67,5	67,3
	Sàng 5 mm		98,5	99,2

**Bảng 2. Kết quả phân tích thành phần hóa học của đá dăm Sunway và đá Hà Nam**

Loại đá	Thành phần hóa học, %												
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	CuO	ZnO	SrO
Hà Nam	7,02	1,87	86,81	1,30	0,28	0,75	0,18	0,02	0,03	0,27	0,05	0,01	1,41
Sunway	13,89	33,1	9,32	35,15	0,70	0,50	4,76	0,18	0,54	1,25	0,13	0,08	0,14

Phụ gia giảm nước được sử dụng nhằm giảm lượng dùng nước trong bê tông, nâng cao tính chất về độ bền, cường độ nén cho đá bê tông sau rắn chắc, từ đó cải thiện và nâng cao chất lượng của bê tông. Trong phạm vi nghiên cứu, đề tài sử dụng phụ gia SikaPlast-319H. Kết quả thí nghiệm cho thấy khả năng giảm lượng nước trộn xuống còn 81,5% so với mẫu đối chứng. Thời gian đông kết bị kéo dài, với chênh lệch bắt đầu là 1 giờ 55 phút và kết thúc là 2 giờ 10 phút so với mẫu đối chứng. Về cơ học, cường độ chịu uốn của bê tông có phụ gia tăng đáng kể, đạt 127% sau 3 ngày, 122% sau 7 ngày và 120% sau 28 ngày; cường độ chịu nén cũng tăng lên tương ứng 156%, 148% và 144% so với mẫu đối chứng ở các mốc tuổi trên. Các chỉ tiêu khác được xác định gồm độ pH 4,86, tỷ trọng 1,07 kg/l, hàm lượng chất khô 22,88%, hàm lượng tro 0,28% và hàm lượng ion Cl<sup>-</sup> rất thấp, chỉ 0,014%. Phụ gia SikaPlast-319H không chỉ giúp giảm nước trộn mà còn cải thiện đáng kể cường độ cơ học của bê tông so với đối chứng, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của phụ gia loại G theo quy định của TCVN 8826:2024.

Nước sử dụng trong nghiên cứu được lấy từ nguồn nước máy tại Hà Nội. Kết quả phân tích một số chỉ tiêu cơ bản cho thấy nước có giá trị pH 7,86, hàm lượng tạp chất hữu cơ 0,80 mg/l, ion clo (Cl<sup>-</sup>) 8,64 mg/l, ion sunphat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 11,00 mg/l, tổng muối hòa tan 70,00 mg/l và cặn không tan 0,00 mg/l. Các thông số này đều nằm trong giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn TCVN 4506:2012 về nước trộn bê tông và vữa, đảm bảo đủ điều kiện sử dụng trong chế tạo và thí nghiệm bê tông.

**2.2 Phương pháp nghiên cứu**

Trong nghiên cứu thực nghiệm về sự suy giảm cường độ chịu nén của bê tông khi chịu tác động

hiệt độ cao, ba tài liệu thường được tham khảo gồm GOST 20910 (Nga), RILEM TC 200-HTC (Liên hiệp quốc tế các phòng thí nghiệm và chuyên gia về vật liệu, hệ thống và kết cấu xây dựng) và GB/T 50082-2009 (Trung Quốc).

RILEM TC 200-HTC đưa ra hướng dẫn thử nghiệm trong đó cho phép lựa chọn linh hoạt về hình dạng mẫu (lập phương 100×100×100 mm hoặc trụ 100×200 mm), tốc độ gia nhiệt khuyến nghị 5 ± 2 °C/phút và phương pháp làm nguội linh hoạt, có thể để nguội tự nhiên trong không khí hoặc làm nguội nhanh bằng nước, tùy mục tiêu thí nghiệm. Thời gian giữ nhiệt của RILEM tương đối ngắn, chỉ khoảng 60 phút kể từ khi đạt tới nhiệt độ mục tiêu.

GB/T 50082-2009 áp dụng cho cả bê tông thông thường và bê tông chịu nhiệt trong công trình công nghiệp, sử dụng mẫu lập phương 100×100×100 mm hoặc trụ 150×300 mm. Tốc độ gia nhiệt quy định là khoảng 5°C/phút, với các mức nhiệt thí nghiệm thường chọn là 200°C, 400°C, 600°C và 800°C. Sau khi đạt đến nhiệt độ yêu cầu, mẫu được giữ ổn định trong 180 phút trước khi làm nguội tự nhiên trong điều kiện không khí. Tiêu chuẩn này chưa đưa ra quy định cụ thể về bảo dưỡng mẫu sau nung, do đó chưa đánh giá được đầy đủ quá trình phục hồi hoặc suy giảm lâu dài của bê tông.

GOST 20910 quy định quy trình nghiệm ngặt hơn: mẫu thử thường là lập phương 100×100×100 mm hoặc trụ 100×200 mm, được gia nhiệt với tốc độ chậm và ổn định 3 ± 1 °C/phút để hạn chế sốc nhiệt. Nhiệt độ mục tiêu được giữ ổn định trong 240 phút nhằm đảm bảo các phản ứng nhiệt phân và biến đổi vi mô trong cả cốt liệu và hồ xi măng diễn

ra triệt để. Sau đó, mẫu được để nguội tự nhiên trong không khí về nhiệt độ phòng và tiếp tục bảo dưỡng trong dung dịch vôi bão hòa trong 7 ngày trước khi tiến hành thí nghiệm cơ học. Quy trình này cho phép đánh giá chi tiết cả sự thay đổi vi mô và khả năng duy trì cường độ của bê tông trong điều kiện nhiệt độ cao, đồng thời bảo đảm khả năng so sánh khách quan giữa các mẫu thử. Việc hiểu rõ các yếu tố ảnh hưởng là cơ sở để dự báo chính xác tính chất cơ học của bê tông, từ đó tối ưu hóa thiết kế và đảm bảo an toàn công trình.

Trong nghiên cứu này, phương pháp thí nghiệm xác định cường độ còn lại của bê tông được tuân thủ theo tiêu chuẩn Nga GOST 20910. Mẫu thí nghiệm ở dạng lập phương kích thước 100x100x100 mm (Hình 1). Với tốc độ gia nhiệt chậm và thời gian giữ nhiệt dài, GOST 20910 cho phép nhận diện rõ hơn các cơ chế phá hủy khác nhau giữa hai loại cốt liệu. Bên cạnh đó, việc quy định bảo dưỡng mẫu sau nung giúp đánh giá không chỉ sự suy giảm tức thời mà còn cả khả năng duy trì hoặc phục hồi cường độ của bê tông sau khi tiếp xúc với nhiệt độ cao.



**Hình 1.** Mẫu bê tông ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau trong quá trình bảo dưỡng

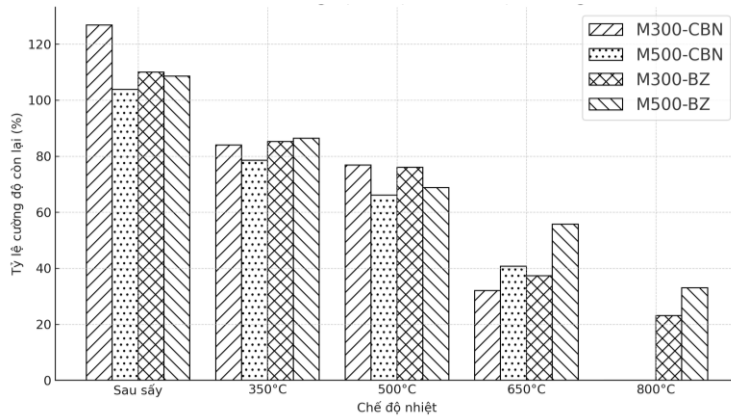
**3. Kết quả nghiên cứu**

Các nghiên cứu được thực hiện trên hai cấp phối bê tông M300 và M500. Các mẫu bê tông sau khi đạt tuổi 28 ngày được gia công nhiệt ở các điều kiện khác nhau và xác định cường độ chịu nén, gồm: Mẫu sấy ở nhiệt độ 110°C, mẫu nung ở 350°C, 500°C, 650°C và 800°C. Nhóm nghiên cứu tiến hành thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của bê tông và cường độ chịu nén còn lại của bê tông ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau theo tiêu chuẩn GOST 20910.

Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén và cường độ còn lại của bê tông tại các điều kiện nhiệt độ khác nhau được trình bày tại Bảng 3, và biểu đồ Hình 2. Kết quả cho thấy tất cả các mẫu bê tông sau quá trình sấy khô ở 110°C đều có xu hướng làm tăng cường độ chịu nén (từ 103,8=126,8%). Điều này có thể được giải thích bởi quá trình mất nước tự do tồn tại trong các lỗ rỗng mao quản, khe hở hoặc giữa các hạt vật liệu trong quá trình sấy khô, giúp tăng liên kết vi mô do hút mao dẫn, giảm áp lực nội tại trong lỗ rỗng, tăng ma sát vi mô giữa các hạt và làm đồng đều phân bố ứng suất. Từ đó giúp tăng cường độ chịu nén của bê tông.

**Bảng 3.** Cường độ còn lại của bê tông tại các điều kiện nhiệt độ khác nhau

TT	Ký hiệu mẫu	Cường độ chịu nén, MPa (Tỷ lệ cường độ còn lại (%))					
		Điều kiện thường	Sau sấy	Nung ở 350°C	Nung ở 500°C	Nung ở 650°C	Nung ở 800°C
1	M300-CBN	33,1	42,0 (126,8)	27,8 (84,0)	25,4 (76,8)	18,2 (32,0)	Mẫu bị nứt vỡ --
2	M500-CBN	53,7	55,7 (103,8)	42,1 (78,5)	35,5 (66,1)	23,1 (40,7)	Mẫu bị nứt vỡ --
3	M300-BZ	39,6	43,9 (110,0)	33,7 (85,2)	30,1 (76,0)	21,2 (37,3)	13,1 (23,1)
4	M500-BZ	56,8	61,8 (108,6)	49,1 (86,4)	39,1 (68,8)	31,7 (55,7)	18,8 (33,0)



Hình 2. Tỷ lệ cường độ chịu nén còn lại của bê tông sau khi nung ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau

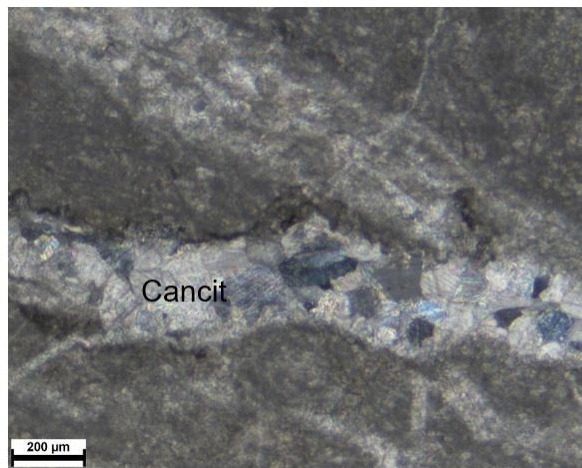
Tuy nhiên, khi nhiệt độ tăng từ 350°C đến 800°C, tất cả các mẫu đều có xu hướng giảm cường độ. Ở 350°C, các mẫu bê tông mới bắt đầu suy giảm cường độ, mức độ suy giảm thấp. Tỷ lệ cường độ còn lại trung bình khoảng 78,5% – 86,4%. Ở giai đoạn này nước mao quản bốc hơi, phá vỡ ban đầu của các liên kết canxi silicat (CSH) yếu, nhưng chưa xảy ra hiện tượng mất nước liên kết hóa học. Ở 500°C cường độ tiếp tục suy giảm mạnh hơn. Tỷ lệ cường độ còn lại khoảng 66,1% – 76,8% cường độ ban đầu. Ở giai đoạn này bắt đầu xuất hiện sự phá vỡ cấu trúc gel C-S-H làm mất nước liên kết hóa học, CH (Canxi hydroxit) bắt đầu phân hủy tạo thành CaO. Quá trình làm nguội và dưỡng hộ mẫu có thể tái hydrat hóa, gây trương nở thể tích. Ở 650°C, tốc độ suy giảm tăng mạnh, đặc biệt là ở các mẫu bê tông cốt liệu CBN. Mẫu M300-CBN còn 32%, mẫu M500-CBN còn 40,7%. Mẫu M300-BZ còn 37,3%, mẫu M500-BZ còn 55,7%.

Cơ chế phá hủy chính của các thành phần khoáng trong bê tông ở giai đoạn 650°C là sự mất hoàn toàn cấu trúc gel C-S-H và các hợp chất canxi

aluminat, do đó làm giảm liên kết giữa đá xi măng và cốt liệu.

Phân tích thạch học trên lát mỏng bằng kính hiển vi phân cực Leica DM750P cho thấy đá vôi Hà Nam (Hình 3) màu xám sáng, kiến trúc vi tinh, cấu tạo khối với các mạch lấp đầy canxit cắt qua. Thành phần chính của đá là các vi tinh cacbonate bị đập vỡ với cấu tạo đường khâu do bị biến chất hòa tan. Thành phần khoáng vật bao gồm khoảng 90 % vi tinh cacbonate, 8 % mạch canxit và 2 % oxit sắt. Do đó, quá trình phân hủy CaCO<sub>3</sub>, vốn chiếm tỷ lệ lớn trong cấu trúc cốt liệu, làm suy giảm khả năng chịu lực của cốt liệu, đồng thời sự thay đổi thể tích của cốt liệu gây phá vỡ cấu trúc liên kết nội bộ của cốt liệu liên kết giữa cốt liệu và đá xi măng.

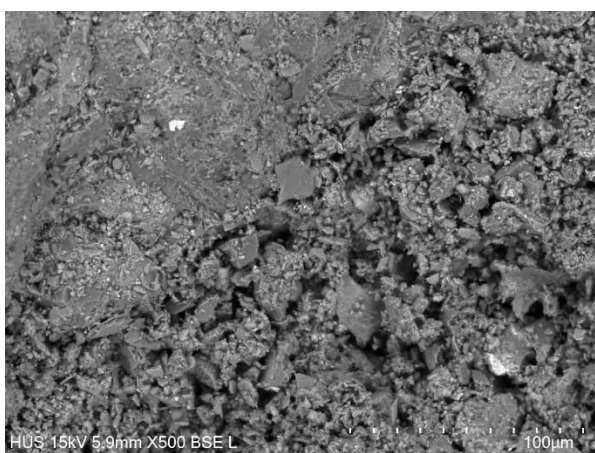
Đến 800°C thể hiện rất rõ ảnh hưởng của sự phân hủy CaCO<sub>3</sub> tạo ra khí CO<sub>2</sub> làm tăng áp suất bên trong do khí gây nở mặt bê tông. Điều này thấy rõ ở mẫu bê tông sử dụng cốt liệu cacbonate. Đồng thời, Ở nhiệt độ này, bê tông thông thường bị hư hại hoàn toàn do phá hủy cấu trúc kết dính giữa xi măng và cốt liệu, do vậy khả năng chịu nén giảm mạnh (Hình 4).



Hình 3. Hình chụp mạch canxit trong đá vôi vi tinh (2 nicol +)

Phân tích thạch học cho thấy đá bazan Hòa Bình (Hình 4) màu xám xanh kiến trúc hạt nhỏ, vi tinh, cấu tạo khối. Đá gồm các vi tinh thể plagioclas dạng tấm, kim que đôi chỗ xuất hiện ban tinh plagioclas dạng tấm. Thành phần khoáng vật màu gồm vi ban tinh (amphibol, plagioclas, thạch anh) chiếm 15 %, nền vi tinh (plagioclas, amphibol, pyroxen, chlorit) chiếm 75 % pyroxen và khoáng vật quặng màu đen chiếm 10 %. Dưới tác động nhiệt ở giai đoạn 650°C, một số plagioclas và amphibol bắt đầu biến đổi cấu trúc, song chưa xảy ra phân hủy khối lượng lớn nên bê tông bazan chưa suy giảm nghiêm trọng. Đến 800 °C, trong cốt

liệu bazan xuất hiện hiện tượng thủy tinh hóa và vi nứt lan truyền tại ranh giới hạt pyroxen – plagioclas. Đồng thời, tại nhiệt độ này, liên kết đá xi măng bị phá hủy hoàn toàn (gel C–S–H và  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  mất cấu trúc) và sự không đồng nhất hệ số giãn nở nhiệt giữa đá xi măng và cốt liệu bazan tạo thêm nội ứng suất, làm bê tông xuất hiện vi nứt. Tuy bê tông đá bazan không xảy ra hiện tượng nở mặt mạnh như bê tông cacbonate do không có quá trình phân hủy giải phóng khí  $\text{CO}_2$ , nhưng tại 800 °C, cấu trúc liên kết cũng bị suy yếu đáng kể, dẫn tới khả năng chịu nén giảm mạnh so với cường độ ban đầu, cường độ còn lại chỉ còn 20-30%.



Cấu trúc liên kết mẫu M250BZ650



Cấu trúc liên kết mẫu M250BZ800

Hình 4. Chụp vi cấu trúc mẫu bê tông M250 sử dụng cốt liệu bazan ở 650°C và 800°C



Hình 4. Hình chụp ban biến tinh thạch anh trong đá bazan (2 nicol +)

#### 4. Kết luận và kiến nghị

Kết quả nghiên cứu cường độ chịu nén của bê tông sử dụng đá carbonate Hà Nam và đá bazan Sunway cho thấy cường độ chịu nén của bê tông có xu hướng tăng nhẹ sau quá trình sấy ở 110°C. Tuy

nhiên, cường độ nén còn lại có xu hướng giảm từ 350°C. Khi nhiệt độ vượt quá 500°C, cường độ chịu nén giảm rõ rệt. Đặc biệt tại 800°C, các mẫu bê tông sử dụng cốt liệu carbonate nứt vỡ mẫu, không còn cường độ.

Kết quả cũng khẳng định loại cốt liệu có ảnh hưởng quyết định đến khả năng chịu nhiệt của bê tông. Trong khi bê tông đá carbonate suy giảm nhanh ở nhiệt độ từ 350°C và không còn khả năng chịu lực ở 800°C thì bê tông sử dụng đá bazan duy trì cường độ tốt hơn, đặc biệt ở khoảng nhiệt nguy hiểm từ 500–800°C mẫu sau nung vẫn còn 20-50% cường độ. Đây là cơ sở cho việc lựa chọn cấp phối và vật liệu phù hợp trong các công trình, đồng thời là căn cứ tham khảo trong tính toán, đánh giá khả năng chịu lực của công trình sau cháy.

Theo GOST 20910-2019, các cấp phối thí nghiệm đều đạt phân loại I5, nhiệt độ làm việc tối đa cho phép là 500°C. Chỉ mẫu M500-BZ sử dụng đá bazan Sunway đạt phân loại I7, nhiệt độ ứng dụng tối đa cho phép 700°C.

---

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

---

- [1] Kodur, V., & Khaliq, W. (2011). *Effect of temperature on thermal properties of different types of high-strength concrete*. Fire Safety Journal, 46(3), 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2010.12.003>
- [2] Handoo, S. K., Agarwal, S., & Agarwal, S. K. (2002). *Physicochemical, mineralogical, and morphological characteristics of concrete exposed to elevated temperatures*. Cement and Concrete Research, 32(7), 1009–1018. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00736-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00736-0)
- [3] Poon, C. S., Azhar, S., Anson, M., & Wong, Y. L. (2001). *Strength and durability recovery of fire-damaged concrete after post-fire-curing*. Cement and Concrete Research, 31(9), 1307–1318. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00574-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00574-0)
- [4] Xiao, J., & Falkner, H. (2006). *On residual strength of high-performance concrete with and without polypropylene fibres at elevated temperatures*. Fire Safety Journal, 41(2), 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2005.12.002>
- [5] Viện Khoa học công nghệ xây dựng (IBST) (2015). *Báo cáo nghiên cứu nội bộ về ảnh hưởng của nhiệt độ cao đến cường độ bê tông sử dụng cốt liệu trong nước*. Hà Nội: IBST.
- [6] Nguyễn Văn Chánh, Nguyễn Văn Tuấn (2020). *Ảnh hưởng của phụ gia khoáng đến khả năng chịu nhiệt của bê tông cường độ cao*. Tạp chí Khoa học và công nghệ xây dựng, 14(2), 45–53.
- [7] Nguyễn Tiến Dũng (2021). *Cường độ nén còn lại của bê tông sử dụng cốt liệu địa phương sau khi nung nhiệt độ cao*. Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng, 15(1), 132–135.