

# Bê tông xi măng sử dụng vật liệu nano gốc graphene: nghiên cứu một số đặc tính cơ học và độ bền

Lê Hoài Bảo<sup>1</sup>, Bùi Quốc Bảo<sup>2,\*</sup>, Lê Tấn Truyền<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, NCS tại Trường Đại học Tôn Đức Thắng (người trình bày)

<sup>2</sup> Khoa Kỹ Thuật Công Trình, Trường Đại học Tôn Đức Thắng

<sup>3</sup> Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

## TỪ KHOẢ

Vật liệu nano  
Graphene  
Đặc tính cơ học  
Độ bền

## TÓM TẮT

Cơ sở hạ tầng bê tông hiện đại đòi hỏi các thành phần kết cấu phải chắc chắn hơn và bền lâu về mặt thời gian. Việc đưa các hạt nano được cho là giúp cải thiện đáng kể đặc tính của vật liệu gốc xi măng. Trong số đó, Graphene đã được quan tâm sử dụng khi làm chất nano để gia cố vật liệu gốc xi măng do tính chất cơ học vượt trội. Tuy nhiên, đặc tính của bê tông phụ thuộc vào mỗi loại Graphene khác nhau. Bài báo này trình bày nghiên cứu về ảnh hưởng của sự kết hợp giữa Graphene (GP) và Graphene oxit (GO) đến tính chất cơ học và độ bền của bê tông. Kết quả cho thấy GO-GP giúp cải thiện cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn và độ chống thấm nước của bê tông thông qua việc lấp đầy các lỗ rỗng có kích thước nano và tạo ra các sản phẩm hydrat hóa chất lượng.

## KEYWORDS

Nanomaterial  
Graphene  
Mechanical properties  
Durability

## ABSTRACT

Modern concrete infrastructure requires structural elements to be more reliable and durable over time. The introduction of nanoparticles is believed to significantly improve the properties of cement-based materials. Due to its exceptional mechanical capabilities, graphene has been employed as a nanomaterial to reinforce cement-based structures. However, the properties of concrete depend on each different type of Graphene. This paper presents research on the effects of the combination of Graphene (GP) and Graphene oxide (GO) on mechanical properties and durability of concrete. The results show that GO-GP helps improve the compressive strength, flexural tensile strength, and water penetration of concrete through filling nano pores and creating quality hydration products.

## 1. Đặt vấn đề

Bê tông xi măng là vật liệu được sử dụng rộng rãi trong kết cấu xây dựng do có chi phí thấp và cường độ nén cao. Tuy nhiên phạm vi ứng dụng của bê tông đôi khi bị hạn chế do đặc tính giòn và dễ nứt [1]. Sự phát triển nhanh chóng của vật liệu nano đã mở ra những cách tiếp cận hiệu quả để cải thiện hiệu suất của vật liệu gốc xi măng [2]. Vật liệu nano có thể được chia thành ba loại dựa trên quy mô hoặc hình thái không gian khác nhau: không chiều (0D) - đại diện là nano-silica, một chiều (1D) - đại diện là ống nano carbon và hai chiều (2D) - đại diện là GP. GP gồm một mặt phẳng đơn lớp của các nguyên tử cacbon liên kết sp<sup>2</sup> với các tính chất đặc trưng như nhẹ nhất, mỏng nhất, độ bền cao nhất và dẫn điện, dẫn nhiệt tốt nhất [3]. GO là một dẫn xuất của GP, có thể được xem như một lớp GP ghép các nhóm chức oxy. Các nhóm chức oxy này làm giảm lực Van der Waals và tăng lực đẩy tĩnh điện giữa các tấm GO, do đó tạo điều kiện để nó phân tán tốt trong nước. Hơn nữa, các nhóm chức có thể tương tác với hydrat xi măng giúp ổn định cấu trúc C-S-H và do đó làm tăng các đặc tính cơ học của vật liệu gốc xi măng [4].

Việc xem xét ảnh hưởng của GP đến cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn, mô-đun đàn hồi, độ co ngót khô của bê tông đã được Chen và c.s. [5] nghiên cứu thực nghiệm. Kết quả cho thấy GP cải thiện đáng kể cường độ nén, cường độ uốn và mô-đun đàn hồi của bê tông ở 3, 7 và 28 ngày tuổi. Hàm lượng GP càng cao thì sự gia tăng cường độ càng rõ rệt, đặc biệt là khi bê tông ở 3 ngày tuổi. Zhao và c.s. [6] đã tổng hợp 28 nghiên cứu khác nhau về cường độ chịu uốn và 11 nghiên cứu về cường độ chịu kéo trên vật liệu gốc xi măng và đưa ra hàm lượng GP tối ưu của mỗi nghiên cứu. Nhìn chung, cường độ của vật liệu gốc xi măng, trong đó có bê tông tăng đáng kể, tuy nhiên với mỗi loại và hàm lượng GP khác nhau dẫn đến mức độ tăng sẽ khác nhau nhưng phổ biến ở hàm lượng 0,02 - 0,06 % trọng lượng xi măng.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về ứng dụng GP cho bê tông chưa được phổ biến. Nghiên cứu này góp phần xác định ảnh hưởng vật liệu GP được sản xuất tại Việt Nam đến đặc tính của bê tông thông qua một số thí nghiệm về đặc tính cơ học và khả năng chống thấm nước.

## 2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

### 2.1. Vật liệu

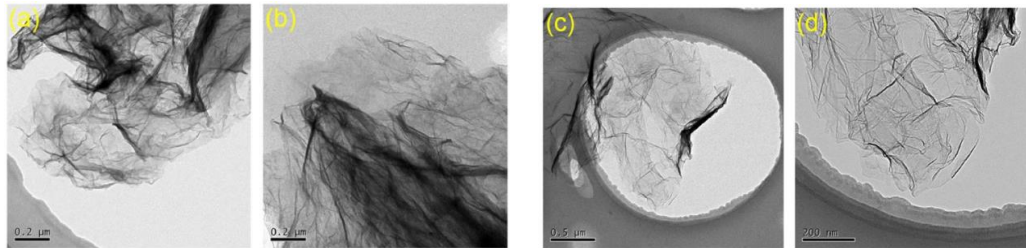
\*Liên hệ tác giả: buiquocbao@tdtu.edu.vn

Nhận ngày 16/10/2023, sửa xong ngày 05/12/2023, chấp nhận đăng 09/12/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2023.585>

2.1.1. Graphene

Ở cấp độ nano, GP có cấu trúc 2D. Một trong những tính chất của GP là không thấm thấu trong nước khiến khả năng hòa tan của GP trong



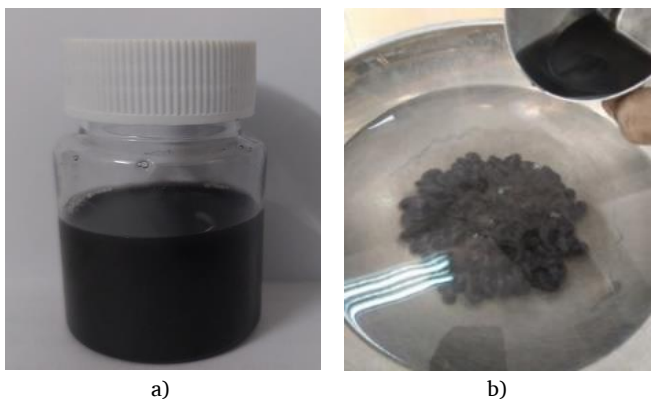
Hình 1. Hình ảnh vi mô (a) và (b): dung dịch GP; (c) và (d): dung dịch GO-GP.

Mặt khác, các nghiên cứu trước đây cho thấy việc bổ sung GO vào vật liệu gốc xi măng mang lại kết quả tốt hơn [7]. Tuy nhiên, giá của GO cao hơn so với GP, do đó trong nghiên cứu hiện tại, một kỹ thuật trộn đã được phát triển để thu được dung dịch GO-GP. Thành phần của dung dịch được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần của dung dịch GO-GP.

Thành phần	Khối lượng
GO	3,3%
Nhũ tương	1,6%
Nước	95,1%

Cần lưu ý rằng trong dung dịch GO-GP được sử dụng, GO-GP chỉ chiếm 3,3%. Hình 1-c và Hình 1-d trình bày hình ảnh của dung dịch GO-GP được sử dụng trong nghiên cứu. Theo quan sát, so với dung dịch GP, cấu trúc 2D nano trong dung dịch GO-GP được định hình tốt hơn. Về hình ảnh ngoại quan, dung dịch GO-GP có dạng lỏng đen (Hình 2-a), tỷ trọng  $1,3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ . Hình 2-b cho thấy dung dịch GO-GP dễ dàng phân tán trong nước.



Hình 2. Hình ảnh ngoại quan dung dịch GO-GP.

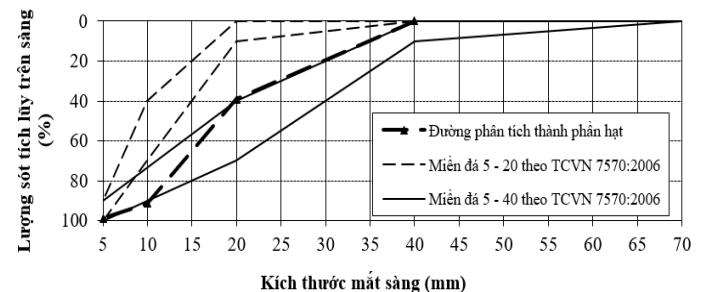
nước gặp khó khăn. Hình 1-a và Hình 1-b thể hiện hình ảnh cấu trúc của GP trong nước, qua đó cho thấy cấu trúc 2D bị nhiễu loạn.

2.1.2. Xi măng

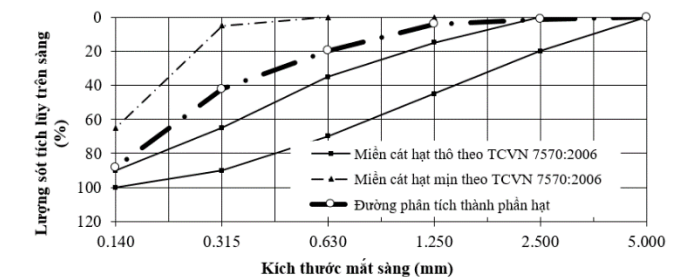
Trong đề tài nghiên cứu này nhóm tác giả sử dụng loại xi măng Hà Tiên PC40, có khối lượng riêng  $3,1 \text{ g/cm}^3$ . Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi là 44 MPa.

2.1.3. Cốt liệu

Cốt liệu thô là đá 1x2, loại xanh đen. Cốt liệu mịn được sử dụng trong nghiên cứu này là cát sông tự nhiên có mô đun 1,6. Kết quả thành phần hạt của đá và cát được thể hiện ở Hình 3 và Hình 4.



Hình 3. Biểu đồ thành phần hạt của đá.



Hình 4. Biểu đồ thành phần hạt của cát.

Một số tính chất vật lý khác của đá và cát được thể hiện trong Bảng 2.

**Bảng 2.** Một số tính chất vật lý của đá và cát.

Tính chất	Đá	Cát	Tiêu chuẩn áp dụng
Khối lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> )	2,71	2,78	TCVN 7572-4:2006 [8]
Khối lượng thể tích (trạng thái khô) (g/cm <sup>3</sup> )	2,66	2,62	
Khối lượng thể tích (trạng thái bão hòa nước) (g/cm <sup>3</sup> )	2,68	2,68	
Độ hút nước (%)	0,78	2,16	
Khối lượng thể tích xốp (kg/m <sup>3</sup> )	1334	1529,5	TCVN 7572-6:2006 [9]
Độ ẩm (%)	0,52	6,26	7572-7:2006 [10]

**2.2. Thành phần cấp phối và phương pháp đúc mẫu:**

Việc thiết kế thành phần cấp phối của bê tông chứa GO-GP được dựa trên phương pháp Bolomey-Skramtaev. Nguyên tắc của phương pháp Bolomey-Skramtaev là tính toán lý thuyết kết hợp với việc tiến hành kiểm tra bằng thực nghiệm dựa trên cơ sở lý thuyết thể tích tuyệt đối, có nghĩa là tổng thể tích hoàn toàn đặc của vật liệu trong 1m<sup>3</sup> bê tông bằng 1000 (lít) [11].

Thành phần cho 1m<sup>3</sup> bê tông đối chứng (không có GO-GP) có cấp độ bền B25 được thể hiện ở Bảng 3, các cốt liệu được sử dụng đều ở

trạng thái tự nhiên. Ký hiệu trong bảng thành phần cấp phối được hiểu như sau, ví dụ GO-GP2 thể hiện bê tông có hàm lượng GO-GP so với xi măng là 0,02 %. Đầu tiên, xi măng được trộn với cốt liệu mịn và cốt liệu thô cho đến khi đồng nhất. Dung dịch GO-GP cho vào nước và khuấy đều. Sau đó, dung dịch được thêm vào hỗn hợp khô và trộn đều. Bê tông mới trộn được đem đi xác định độ sụt, sau đó cho vào khuôn để xác định cường độ. Sau 24 giờ, tiến hành tháo khuôn và bảo dưỡng mẫu bằng cách ngâm trong nước. Trước khi tiến hành nén, mẫu được vớt khỏi nước trước 36 giờ.

**Bảng 3.** Thành phần bê tông có cấp độ bền B25.

Ký hiệu	Nước (kg/m <sup>3</sup> )	Xi măng (kg/m <sup>3</sup> )	Đá (kg/m <sup>3</sup> )	Cát (kg/m <sup>3</sup> )	Dung dịch GO-GP (g)
GO-GP0	165	468	1130	692	0
GO-GP2	162	468	1130	692	2836
GO-GP4	159	468	1130	692	5672
GO-GP6	155	468	1130	692	8509

**3. Quy trình thí nghiệm**

**3.1. Xác định cường độ chịu nén**

Cường độ nén của bê tông chứa GO-GP được xác định ở các độ tuổi 7, 14, 28 ngày theo tiêu chuẩn TCVN 3118-1993 [13]. Tổng cộng

có 12 tổ mẫu với 36 mẫu được thực hiện. Hình 5 thể hiện các bước thí nghiệm từ đổ bê tông đến lúc nén mẫu.



Trộn cốt liệu



Cho bê tông vào khuôn



Mẫu sau khi đúc



Bảo dưỡng mẫu



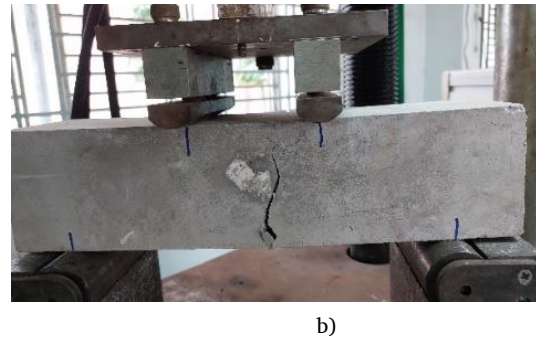
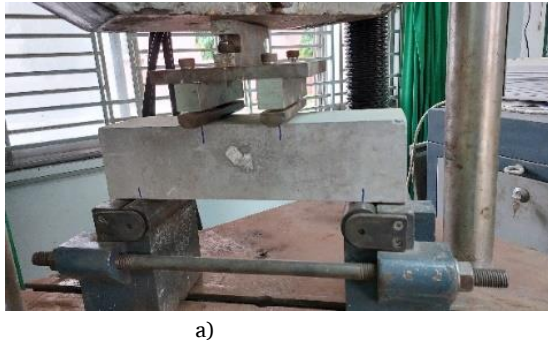
Nén mẫu

**Hình 5.** Trình tự thực hiện việc đổ và nén mẫu.



### 3.2. Cường độ kéo khi uốn

Cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông được đánh giá bằng thí nghiệm uốn 4 điểm trên mẫu đầm có kích thước 100 x 100 x 400mm tại 28 ngày tuổi theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3119:1993 [14] (Hình 6).



Hình 6. Thí nghiệm uốn 4 điểm: a) trước và b) sau khi thí nghiệm.

Cường độ kéo khi uốn của từng mẫu đầm bê tông được tính bằng MPa theo công thức:

$$R_{ku} = \gamma \frac{P \cdot l}{a \cdot b^2}$$

Trong đó:

$P$ : Tải trọng uốn gãy mẫu, tính bằng N;

$l$ : khoảng cách giữa hai gối tựa, tính bằng mm;

$a$ : chiều rộng tiết diện ngang của mẫu, tính bằng mm;

$b$ : chiều cao tiết diện ngang của mẫu, tính bằng mm

$\gamma$ : hệ số tính đổi cường độ kéo khi uốn từ các mẫu kích thước khác đầm chuẩn sang mẫu đầm kích thước chuẩn 150 x 150 x 600 mm.

### 3.3. Độ chống thấm nước

Phương pháp thí nghiệm mức chống thấm theo áp lực nước tối đa để được mức chống thấm theo TCVN 3116:1993 [15]. Hình 7 thể hiện máy thí nghiệm thấm bê tông. Mức chống thấm là khả năng bê tông không để nước thấm qua dưới áp lực thủy tĩnh và ký hiệu bằng chữ B. Bê tông nặng có các mức chống thấm B2, B4, B6... B12. Chỉ số của B biểu thị áp lực nước tối đa được tính bằng daN/cm<sup>2</sup> (atm), khoảng cách các áp lực ở đây là 2 daN/cm<sup>2</sup>.



Hình 7. Máy thử độ chống thấm nước.

Kết quả thí nghiệm là giá trị trung bình của 3 mẫu thí nghiệm. Nếu mẫu đầm bị gãy ngoài khoảng một phần ba giữa khâu độ uốn thì loại bỏ kết quả của viên mẫu này, đồng thời giá trị lớn nhất và nhỏ nhất không lệch quá 15 % so với giá trị của viên trung bình.

Mỗi tổ mẫu bê tông gồm 6 viên mẫu hình trụ kích thước 150x150 mm (Hình 8). Có hai tổ mẫu thí nghiệm là mẫu bê tông không chứa GO-GP (đối chứng) và tổ mẫu bê tông chứa hàm lượng 0,06% GO-GP so với xi măng. Tổng số lượng mẫu thí nghiệm chống thấm là 2x6 = 12 viên mẫu. Các mẫu thử xác định độ chống thấm nước đều ở 28 ngày tuổi. Quá trình thí nghiệm bơm nước tạo áp lực tăng dần từng cấp, mỗi cấp 2 daN/cm<sup>2</sup>. Thời gian giữ mẫu ở một cấp áp lực là 16 giờ cho đến khi mặt viên mẫu có xuất hiện nước xuyên qua.

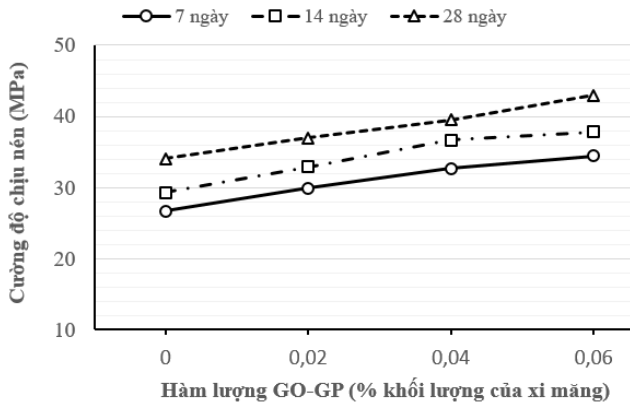


Hình 8. Mẫu thử thí nghiệm chống thấm nước.

## 4. Kết quả và thảo luận

### 4.1. Cường độ chịu nén

Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén mẫu bê tông tuổi 7, 14, 28 ngày với hàm lượng GO-GP khác nhau được hiển thị trong Hình 9. Kết quả là giá trị trung bình của 3 mẫu thí nghiệm.



Hình 9. Cường độ chịu nén của bê tông với tỉ lệ GO-GP khác nhau.

Có thể thấy các mẫu bê tông chứa GO-GP (GO-GP2, GO-GP4 GO-GP6) có cường độ nén cao hơn so với bê tông không được bổ sung GO-GP (GO-GP0). Bê tông ở 7 và 14 ngày tuổi, khi bổ sung 0,02 %, 0,04 % và 0,06 % GO-GP, cường độ nén tăng lần lượt 12 %, 23 % và 29 % so với mẫu đối chứng. Tại 28 ngày tuổi, mức tăng chậm hơn, khi hàm lượng của

GO-GP tăng từ 0,02 % lên 0,06 %, cường độ nén tại 28 ngày tăng từ 37 MPa lên 43 MPa, tương ứng với mức tăng từ 8,6 % đến 26,3 % so với bê tông không chứa GO-GP. Trong các tỉ lệ GO-GP được khảo sát thì hàm lượng 0,06 % trọng lượng xi măng cho cường độ nén cao nhất, nên các tính chất khác của bê tông chứa GO-GP sẽ sử dụng hàm lượng này để so sánh với bê tông đối chứng (không chứa GO-GP).

4.2. Cường độ kéo khi uốn

Kết quả thí nghiệm xác định cường độ kéo khi uốn của bê tông chứa GO-GP được so sánh với bê tông đối chứng thông qua công thức (1). Đồng thời, kết quả cường độ kéo uốn thực nghiệm cũng được so sánh với kết quả tính toán theo tiêu chuẩn của Viện bê tông Hoa Kỳ ACI 318-11 [16] bởi công thức (2):

$$R_{ku} = 0,63\sqrt{f_c}$$

Trong đó  $f_c$  là cường độ chịu nén của bê tông, đã xác định ở mục 4.1.

So sánh cường độ kéo uốn của bê tông thí nghiệm với giá trị cường độ kéo uốn tính toán theo công thức (2) được thể hiện ở Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả cường độ kéo uốn thực nghiệm và tính toán.

	Mẫu	P (N)	P <sub>tb</sub> (N)	l (mm)	a (mm)	b (mm)	γ	Cường độ kéo uốn (MPa)	
								Thực nghiệm	Tính toán
Bê tông đối chứng	1	11610	11447	300	100	100	1,05	3,60	3,67
	2	12140							
	3	10590							
Bê tông chứa GO-GP	1	13930	13083	300	100	100	1,05	4,12	4,13
	2	12740							
	3	12580							

Bên cạnh cường độ nén lớn hơn, kết quả so sánh cho thấy cường độ kéo uốn của bê tông chứa GO-GP lớn hơn so với bê tông đối chứng 1,14 lần. Cường độ kéo uốn lớn sẽ làm tăng khả năng chống nứt của kết cấu bê tông chịu uốn, do đó bê tông sẽ có độ bền tốt hơn. Kết quả của thực nghiệm chênh lệch không đáng kể so với công thức được đề xuất bởi ACI, do vậy cường độ kéo uốn của bê tông chứa GO-GP có thể áp dụng công thức (2) tương tự như bê tông xi măng thông thường.

4.3. Độ chống thấm nước

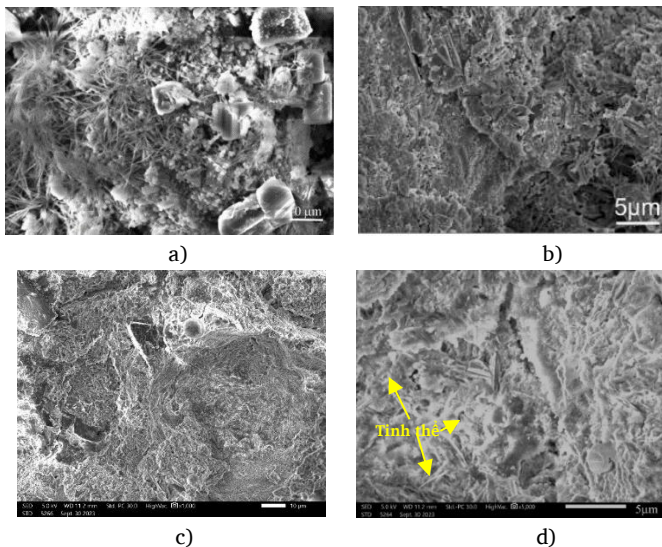
Kết quả thí nghiệm khả năng chống thấm nước của bê tông chứa và không chứa GO-GP được thể hiện ở bảng 5. Kết quả cho thấy, bê tông xi măng thông thường với cường độ chịu nén 34 MPa có cấp chống thấp B8. Trong khi đó, mức độ chống thấm của bê tông chứa 0,06 % GO-GP chịu được cấp áp lực là 12 atm, tương ứng mới cấp chống thấm B12. So với trong tiêu chuẩn TCVN3116:1993 thì đây là cấp áp lực cao nhất.

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm chống thấm.

Ký hiệu mẫu	STT	Cấp áp lực (atm)					
		2	4	6	8	10	12
GO-GP0	1	Không thấm	Không thấm	Không thấm	Không thấm	Thấm	Thấm
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
GO-GP6	7	Không thấm	Không thấm	Không thấm	Không thấm	Không thấm	Không thấm
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						

#### 4.4. Cấu trúc vi mô

Hình 10-a và 10-b thể hiện hình ảnh cấu trúc vi mô của bê tông xi măng thông thường dưới kính hiển vi điện tử quét (SEM), từ các nghiên cứu trước đây [17, 18]. Có thể thấy sản phẩm hydrat hóa của bê tông xi măng thông thường có mật độ tương đối thấp và cấu trúc không chặt chẽ. Các sản phẩm hydrat hóa hình kim và đa diện được phân bố không đều, có nhiều khoảng trống giữa các tinh thể. Ngược lại, Hình 10-c và 10-d thể hiện cấu trúc vi mô của bê tông có thêm GO-GP cho thấy bê tông cấu trúc vi mô đồng đều và đặc chắc. GO-GP có thể đẩy nhanh phản ứng hydrat hóa của xi măng và thúc đẩy sự sắp xếp của các tinh thể thông thường và hình thành các tinh thể dạng tấm dù chưa phát triển mạnh (Hình 10-d). Nghiên cứu của Singh và c.s. [19] cũng cho kết quả tương tự về ảnh hưởng của GO đến sự phát triển cấu trúc vi mô của bê tông.



**Hình 10.** Ảnh SEM của bê tông thông thường (a-b) [17], [18]; bê tông chứa GO-GP (c-d).

#### 5. Kết luận và kiến nghị

Bài báo này cung cấp một đánh giá về ảnh hưởng của sự kết hợp dung dịch GO và GP đến cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn và khả năng chống thấm nước của bê tông. Trong phạm vi hàm lượng GO-GP từ 0,02 đến 0,06% (theo trọng lượng xi măng) được khảo sát, kết quả cho thấy với hàm lượng 0,06%, bê tông đạt cường độ nén cao nhất với mức tăng 26,3% tại 28 ngày tuổi so với mẫu đối chứng. Cùng với đó là sự gia tăng cường độ kéo khi uốn và cải thiện khả năng chống thấm nước. Thông qua hình ảnh SEM cho thấy sự phát triển của các sản phẩm thủy hóa xi măng khi GO-GP được bổ sung. Tuy nhiên, sản phẩm thủy hóa chưa phát triển mạnh mẽ. Việc phân tích sâu hơn về cơ chế phản ứng bê trong bê tông khi có thêm GO-GP sẽ là nội dung các nghiên cứu trong thời gian tới.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. R. V. Sagar, B. K. R. Prasad, and S. S. Kumar, "An experimental study on cracking evolution in concrete and cement mortar by the b-value analysis of acoustic emission technique," *Cem. Concr. Res.*, vol. 42, no. 8, pp. 1094–1104, Aug. 2012, doi: 10.1016/j.cemconres.2012.05.003.
- [2]. Q. Li, C. He, H. Zhou, Z. Xie, and D. Li, "Effects of polycarboxylate superplasticizer-modified graphene oxide on hydration characteristics and mechanical behavior of cement," *Constr. Build. Mater.*, vol. 272, p. 121904, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121904.
- [3]. S. Stankovich *et al.*, "Graphene-based composite materials," *Nature*, vol. 442, no. 7100, pp. 282–286, Jul. 2006, doi: 10.1038/nature04969.
- [4]. D. Hou, Z. Lu, X. Li, H. Ma, and Z. Li, "Reactive molecular dynamics and experimental study of graphene-cement composites: Structure, dynamics and reinforcement mechanisms," *Carbon N. Y.*, vol. 115, pp. 188–208, May 2017, doi: 10.1016/j.carbon.2017.01.013.
- [5]. Z. Chen, Y. Xu, J. Hua, X. Wang, L. Huang, and X. Zhou, "Mechanical Properties and Shrinkage Behavior of Concrete-Containing Graphene-Oxide Nanosheets," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 3, p. 590, Jan. 2020, doi: 10.3390/ma13030590.
- [6]. L. Zhao, X. Guo, L. Song, Y. Song, G. Dai, and J. Liu, "An intensive review on the role of graphene oxide in cement-based materials," *Constr. Build. Mater.*, vol. 241, p. 117939, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117939.
- [7]. E. Shamsaei, F. B. de Souza, X. Yao, E. Benhelal, A. Akbari, and W. Duan, "Graphene-based nanosheets for stronger and more durable concrete: A review," *Constr. Build. Mater.*, vol. 183, pp. 642–660, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.201.
- [8]. Tiêu chuẩn TCVN 7572-4:2006, "Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử - Phần 4: Xác định khối lượng riêng, khối lượng thể tích và độ hút nước." 2006.
- [9]. Tiêu chuẩn TCVN 7572-6:2006, "Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử - Phần 6: Xác định khối lượng thể tích xếp và độ rỗng." 2006.
- [10]. Tiêu chuẩn TCVN 7572-7:2006, "Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử - Phần 7: Xác định độ ẩm." 2006.
- [11]. Phùng Văn Lữ, *Giáo trình vật liệu xây dựng*. Nhà xuất bản giáo dục, 2006.
- [12]. Tiêu chuẩn 3106:1993, "Hỗn hợp bê tông nặng - Phương pháp thử độ sụt." 1993.
- [13]. Tiêu chuẩn TCVN 3118:1993, "Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén." 1993.
- [14]. Tiêu chuẩn 3119:1993, "Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ kéo khi uốn." 1993.
- [15]. Tiêu chuẩn 3116:1993, "Bê tông nặng - Phương pháp xác định độ chống thấm nước." 1993.
- [16]. ACI 318M, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary." American Concrete Institute, Detroit, USA, 2011.
- [17]. J. Liu, L. Zhao, F. Chang, and L. Chi, "Mechanical properties and microstructure of multilayer graphene oxide cement mortar," *Front. Struct. Civ. Eng.*, vol. 15, no. 4, pp. 1058–1070, Aug. 2021, doi: 10.1007/s11709-021-0747-3.
- [18]. S. Lv, H. Hu, J. Zhang, X. Luo, Y. Lei, and L. Sun, "Fabrication of GO/Cement Composites by Incorporation of Few-Layered GO Nanosheets and Characterization of Their Crystal/Chemical Structure and Properties," *Nanomaterials*, vol. 7, no. 12, p. 457, Dec. 2017, doi: 10.3390/nano7120457.
- [19]. A. P. Singh, M. Mishra, A. Chandra, and S. K. Dhawan, "Graphene oxide/ferrofluid/cement composites for electromagnetic interference shielding application," *Nanotechnology*, vol. 22, no. 46, p. 465701, Nov. 2011, doi: 10.1088/0957-4484/22/46/465701.