# ĐÁNH GIÁ TỔNG QUAN ẢNH HƯỞNG CỦA GRAPHENE OXIT ĐẾN ĐẶC TÍNH CỦA VẬT LIỆU GỐC XI MĂNG

## A REVIEW: THE EFFECT OF GRAPHENE OXIDE ON THE PROPERTIES OF CEMENT-BASED MATERIALS

**ThS. Lê Hoài Bão**
**TS. Ngô Văn Thức**
**ThS. Lương Phước Thuận**
Khoa Xây dựng - Trường ĐHXD Miền Tây
Email: lehoaibao@mtu.edu.vn
Điện thoại: 0815 897 531

Ngày nhận bài: 25/8/2022
Ngày gửi phản biện: 14/9/2022
Ngày chấp nhận đăng: 22/9/2022

**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. Graphene oxit (GO) là một vật liệu nano dựa trên cacbon, do các đặc tính vật lí nổi bật và diện tích bề mặt lớn nên GO được nhiều nhà nghiên cứu cho rằng đây là vật liệu nano tốt nhất. Bài báo này trình bày một đánh giá quan trọng về chức năng và ảnh hưởng của GO đối với vật liệu gốc xi măng, bao gồm cơ chế phân tán của GO, khả năng làm việc, sự phát triển các đặc tính cơ học và độ bền. Đây là vấn đề mới được phân tích tổng hợp và đánh giá dựa trên các bài báo nghiên cứu gần đây về GO.

***Từ khóa:*** *Vật liệu gốc xi măng, Graphene oxit, Tính chất cơ học, Độ bền.*

**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. Graphene oxide (GO) is a carbon-based nanomaterial, due to its outstanding physical properties and large surface area, GO is considered by many researchers to be the best nanomaterial. This paper presents a critical assessment of the function and influence of GO on cementitious materials, including GO dispersion mechanism, workability, development of mechanical properties and durability. This is a new problem that has been meta-analyzed and evaluated based on recent research papers on GO.

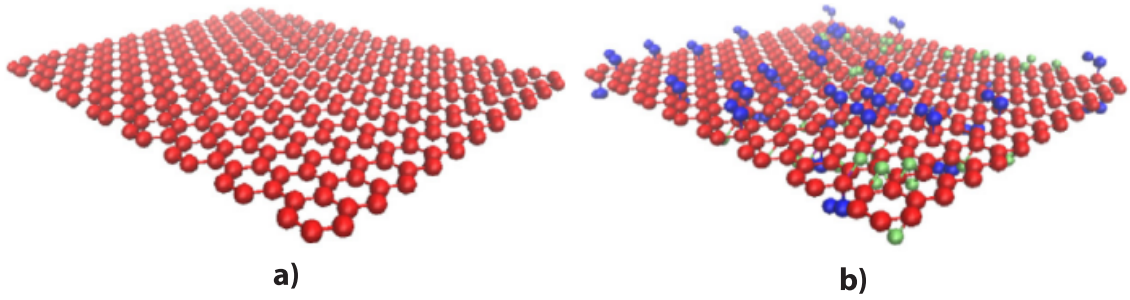
***Keywords:*** *Cement-based materials, Grapheneoxide,Mechanicalproperties,Durability.*

**1. Giới thiệu**

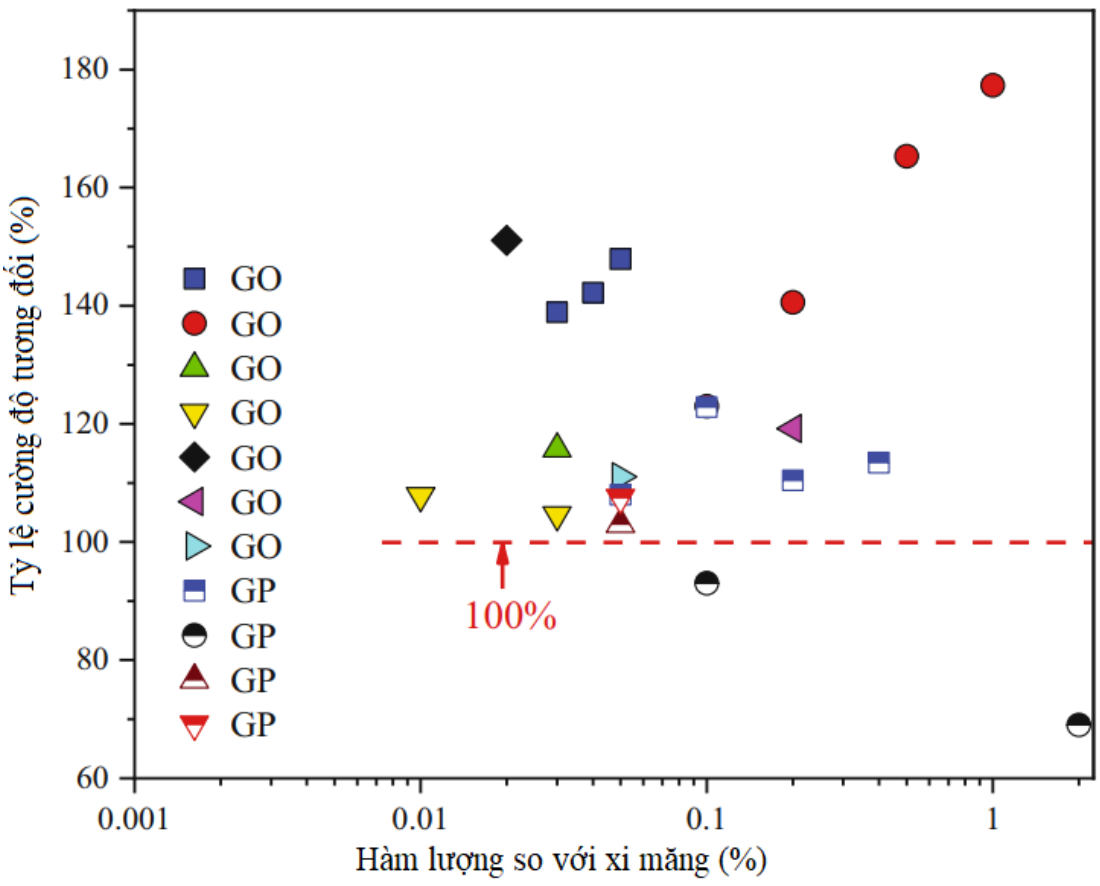
Với sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghiệp xây dựng, vật liệu làm từ xi măng đã trở thành vật liệu xây dựng dân dụng được sử dụng rộng rãi nhất. Tuy nhiên, do đặc tính giòn và sự tồn tại vết nứt cùng lỗ rỗng đã ảnh hưởng đến cường độ và độ bền của vật liệu, điều này dẫn đến giảm hiệu suất và tuổi thọ công trình. Do đó, việc nghiên cứu để nâng cao tính năng của vật liệu gốc xi măng đã thu hút sự chú ý rộng rãi. Việc kết hợp các vật liệu gia cường vào vữa xi măng đã trở thành một ứng dụng phổ biến để cải thiện hiệu suất cơ học. Các loại sợi có kích thước micro (Microfiber) như thép, thủy tinh, polyme, cacbon đã được sử dụng rộng rãi trong bê tông để tăng cường độ dẻo dai, tuy nhiên ảnh hưởng của chúng đến cường độ và độ bền còn hạn chế. Với sự tiến bộ của công nghệ nano, người ta nhận ra rằng vật liệu nano có thể là giải pháp tốt nhất để cải thiện hiệu suất của vật liệu gốc xi măng. Vật liệu nano là có kích thước từ 1 đến 100 nm và có thể được chia thành hạt nano 0 chiều, sợi nano 1 chiều và màng nano 2 chiều [1]. Do đặc tính dẫn điện, dẫn nhiệt, quang học, từ tính và các đặc tính khác, chúng có thể đóng một vai trò quan trọng trong các lĩnh vực như thông tin điện tử, điều trị y tế, công nghệ sinh học và công nghiệp. Trong lĩnh vực vật liệu xây dựng, vật liệu nano có tác dụng ức chế sự phát triển của các vết nứt vi mô (microcacks) trong vữa xi măng và tạo ra các sản phẩm hydrat hóa dày đặc hơn [2]. Graphene (GP) là loại vật liệu nano hai chiều bao gồm một mặt phẳng đơn lớp của các nguyên tử cacbon liên kết $sp^2$ với các tính chất đặc trưng như nhẹ nhất, mỏng nhất, độ bền cao nhất và dẫn điện, dẫn nhiệt tốt nhất [3]. Graphene oxit (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 hoạt động mạnh trong các tương tác hóa học và vật lý, điều này có thể cải thiện liên kết bề mặt với các vật liệu gốc, nhờ đó GO phản ứng mạnh hơn GP, dễ hoạt động và kiểm soát. Mô hình nguyên tử của GP được hiển thị trong Hình 1 (a) và mô hình nguyên tử của GO được hiển thị trong Hình 1 (b). Trong hình này, các nhóm chức của GO là hydroxyl (C-OH, phần tử xanh lam) và epoxy (C-O-C, phần tử xanh lục). Ảnh hưởng của liều lượng GO và GP đối với xi măng cường độ nén của vật liệu rất quan trọng đối với ứng dụng của vật liệu kết dính. Ảnh hưởng của GP và GO đến cường độ nén của vữa xi măng được thể hiện trong Hình 2. Nhìn chung GO vượt trội hơn GP trong việc cải thiện cường độ nén. Mặc dù đã đạt được nhiều tiến bộ trong những năm gần đây, vai trò gia cường của GO trong vật liệu gốc xi măng vẫn chưa được làm sáng tỏ đầy đủ do một số kết quả không nhất quán hoặc mâu thuẫn giữa các tài liệu. Bài báo này nhằm đưa ra một đánh giá chuyên sâu những nghiên cứu gần đây về các tác động và cơ chế gia cố của GO trên vật liệu


ISSN 2525-2615

gốc xi măng. Đánh giá này có thể hữu ích cho các kỹ sư và nhà nghiên cứu để hiểu vai trò của GO như là chất nano gia cường cho vật liệu gốc xi măng và cung cấp một hướng dẫn cho các nghiên cứu tiếp theo.




***Hình 1.*** *Cấu trúc của GP (**a**) và GO (**b**) [4]*




***Hình 2.*** *Ảnh hưởng hàm lượng GO và GP đến cường độ chịu nén [5]*

**2. Phân tán GO trong hồ xi măng**

**2.1. Cách phân tán GO**

Để GO phát huy hết vai trò trong việc gia cường vật liệu, GO phải được phân tán tốt trong hồ xi măng. Mặc dù GO có thể phân tán tốt trong nước nhưng là một trở ngại khi phân tán GO trong môi trường kiềm của hồ xi măng, GO dường như bị kết tụ ngay lập tức khi được đưa vào dung dịch $Ca(OH)_2$ [6]. Một số nhà nghiên cứu cho rằng độ kiềm cao là một yếu tố gây ra sự kết tụ của GO trong hồ xi măng vì GO trải qua quá trình oxy khử nhanh chóng trong môi trường có tính kiềm cao [7]. Với việc loại bỏ các nhóm chức, lực đẩy tĩnh điện giữa các tấm GO giảm và tính kỵ nước tăng lên, dẫn đến sự kết tụ của GO. Sự kết tụ của GO trong môi trường kiềm của hồ xi măng không chỉ cản trở việc phát huy hết lợi ích của GO như một chất gia cường mà còn hình thành các vết nứt hoặc vùng yếu trong hồ xi măng [8]. Do đó, bắt buộc phải phát triển một số phương pháp để ngăn chặn GO kết tụ nhằm mở rộng khả năng ứng dụng của nó trong thực tế.

Một số phương pháp vật lý và hóa học đã được thử nghiệm để vật liệu nano có thể đồng nhất các vật liệu khác, chẳng hạn như trộn siêu thanh (ultrasonication), máy trộn cắt cao (high-shear mixing), khuấy điện từ (electromagnetic stirring), sử dụng chất hoạt động bề mặt và biến tính bề mặt (liên kết cộng hóa trị hoặc chức hóa) [8]. Tuy nhiên, các phương pháp vật lý chỉ có thể cải thiện khả năng phân tán của GO trong nước mà không thể phân tán được trong dung dịch chứa $Ca^{2+}$ do tương tác hóa học giữa các nhóm cacboxyl của GO và $Ca^{2+}$. Biến tính bề mặt dựa vào việc gắn các nhóm chức lên bề mặt của GO hoặc tạo liên kết cộng hóa trị với các chất phân tán. Tuy nhiên, việc đưa các hóa chất vào có thể gây ra sự không tương thích với các phản ứng hydrat hóa. Hơn nữa, quá trình biến đổi hóa học rất phức tạp và tốn nhiều thời gian, đồng thời đòi hỏi các dụng cụ đắt tiền. Các nghiên cứu gần đây đã chứng minh rằng sử dụng chất hoạt động bề mặt bằng phụ gia siêu dẻo gốc polycarboxylate (PCE) có thể phân tán GO trong dung dịch $Ca(OH)_2$ hoặc môi trường tạo ra bởi quá trình hydrat hóa xi măng [9].

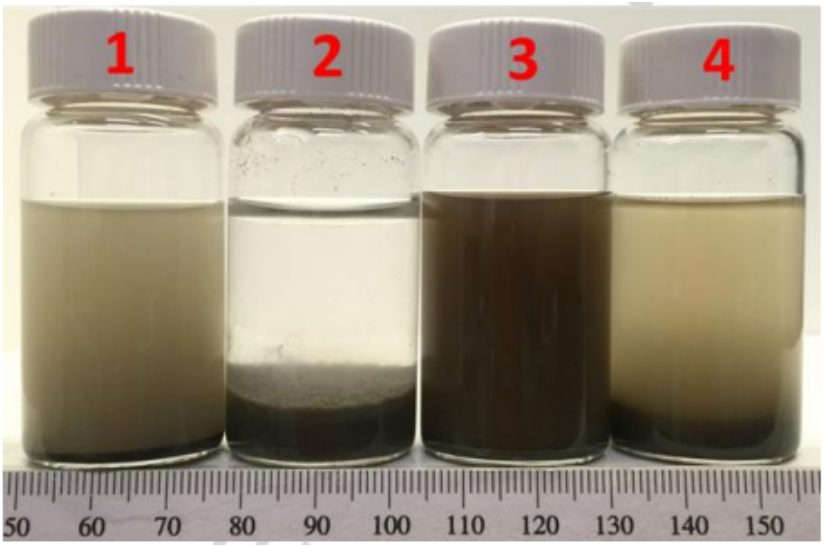
**2.2. Hàm lượng và trình tự trộn PCE với GO**

Theo các nghiên cứu trước đây, tỷ lệ PCE:GO đóng một vai trò quan trọng trong việc phân tán GO. Nghiên cứu của Zhao và cs. [10] cho rằng GO không phân tán trong dung dịch xi măng khi PCE:GO = 1 (theo khối lượng), nhưng với PCE:GO tăng lên 2–5 (theo khối lượng), GO có thể phân tán tốt trong hồ xi măng. Tương tự, theo Wang và cs. [11] tỷ lệ PCE:GO = 3 được xem là tối ưu để phân tán GO tốt trong dung dịch kiềm. Khi hàm lượng PCE quá thấp, PCE không thể bao phủ hoàn toàn bề mặt của GO và không thể cung cấp một lực đẩy đủ để vượt qua lực Van der Waals giữa các tấm GO. Đối với tỉ lệ PCE:GO quá cao sẽ hình thành những vi hạt, kết quả là GO bị kết tụ. Trong khi đó, theo Yan và cs [12], tỷ lệ PCE:GO tối ưu được tìm thấy trong nghiên cứu là 1:1. Có


ISSN 2525-2615

thể thấy tỉ lệ của PCE:GO còn tùy thuộc vào nồng độ của PCE và GO, do đó cần phải xác định tỷ lệ này cho mỗi nguyên liệu được sử dụng nhưng có thể thử mức độ phân tán GO trong phạm vi tỷ lệ PCE:GO (theo khối lượng) từ 1-3.

Trình tự trộn PCE, GO, nước và xi măng cần cũng được quan tâm. Cần lưu ý đặc biệt là rằng hai trạng thái phân tán riêng biệt của GO có thể đạt được bằng cách thay đổi trình tự trộn: xi măng trộn với hỗn hợp PCE và GO, và PCE trộn với xi măng và GO (GO trộn với xi măng trước). Loại thứ nhất có thể phân tán GO đồng đều trong khi loại thứ hai dẫn đến sự kết tụ lại của GO. Hiện tượng tương tự cũng được phát hiện ra rằng việc bổ sung PCE sau không còn có thể phân tán GO vì tương tác hóa học nhanh giữa GO và các ion canxi ngay khi GO được trộn với xi măng [9]. Vì vậy, GO yêu cầu phải được PCE bảo vệ trước khi tiếp xúc với xi măng để tránh tương tác với $Ca^{2+}$. Quan sát Hình 3 có thể thấy được sự ảnh hưởng của trình tự trộn các nguyên liệu đến mức độ phân tán GO trong môi trường vữa xi măng. Có bốn cách trộn bao gồm: 1: PCE-xi măng; 2: GO-xi măng; 3: GO-PCE-xi măng; 4: GO-xi măng-PCE. Theo cách trộn thứ 3, việc trộn GO và PCE trước giúp GO phân tán tốt trong xi măng, trong khi đó khi không có PCE, GO bị kết tụ một cách rõ ràng (cách trộn thứ 2).




***Hình 3.*** *Ảnh hưởng của thứ tự trộn đến mức độ phân tán GO [9]*

**3. Ảnh hưởng của GO đến tính năng của vật liệu gốc xi măng**

**3.1. Tính công tác**

Khả năng làm việc được định nghĩa là sự dễ dàng chảy và cố kết của hỗn hợp vữa xi măng, điều này có tầm quan trọng lớn đối với tính năng cơ học và độ bền của vật liệu. Tính lưu động không đủ có thể làm cho việc nén chặt các vật liệu khó khăn và dẫn đến việc tạo ra các lỗ rỗng, gây bất lợi cho tính năng cơ học. Khả năng làm việc bất lợi do việc bổ sung GO đã được nhiều nhà nghiên cứu thừa nhận, các nhóm chức ưa nước và diện tích bề mặt lớn của GO có thể hấp thụ nhiều nước. Do đó, nước để bôi trơn hạt xi măng bị giảm và lực cản do ma sát giữa hạt xi măng tăng lên [13]. Hiện tại, nhiều cách tiếp cận đã được đề xuất để giải quyết vấn đề khả năng làm việc bất lợi do GO gây ra như tro bay [14] và muội silic [15]. Tuy nhiên, việc bổ sung PCE được coi là cách thuận tiện và hiệu quả nhất để giải quyết vấn đề này [13]. PCE có thể phân tán các hạt xi măng và giải phóng nước bị mắc kẹt trong xi măng keo tụ.

**3.2. Tính chất cơ học**

Trong các ứng dụng kỹ thuật, tính năng quan trọng nhất của vật liệu được thể hiện chủ yếu thông qua đặc tính cơ học. Việc bổ sung xấp xỉ 0,05% trọng lượng của GO so với xi măng làm tăng cường độ nén của vữa lên từ 15–33%, độ bền uốn từ 41–59% và tăng nhẹ mô đun đàn hồi khoảng 6,3% [16]. Gong và cs. [17] cũng phát hiện ra rằng việc bổ sung 0,03% trọng lượng GO vào hỗn hợp làm tăng cả cường độ nén và cường độ kéo xấp xỉ 40%. Wang và cs. [18] nhận thấy rằng hàm lượng GO 0,05% trọng lượng xi măng trong điều kiện GO kết hợp với phụ gia siêu dẻo giúp cải thiện lần lượt 24,4% và 70,5% cường độ nén và uốn của xi măng. Lv và cs. [19] tìm thấy hàm lượng GO trong khoảng 0,01–0,03% trọng lượng xi măng sẽ làm tăng đáng kể cường độ của vữa xi măng. Đặc biệt khi lượng GO là 0,03%, cường độ chịu kéo tại 28 ngày tuổi tăng 78,6%, trong khi đó cường độ uốn và nén tăng lần lượt là 60,7% và 38,9%. Tuy nhiên khi hàm lượng GO quá lớn, các tinh thể hydrat xi măng sẽ bị kết tụ. Li và cs. [20] cho rằng khi hàm lượng GO vượt quá 0,04% trọng lượng xi măng, cường độ chịu uốn của vữa xi măng sẽ bắt đầu giảm. Zhao và cs. [21] đã tổng hợp 46 kết quả nghiên cứu về cường độ chịu nén, 28 nghiên cứu về cường độ chịu uốn và 7 nghiên cứu về cường độ chịu kéo trên vật liệu gốc xi măng và đưa ra hàm lượng GO tối ưu của mỗi nghiên cứu. Kết quả về tính chất cơ học của các mẫu gốc xi măng sau khi được bổ sung GO cũng được đề cập trong Bảng 1, Bảng 2 và Bảng 3. Kết quả cho thấy hàm lượng GO tối ưu phổ biến được sử dụng các nghiên cứu nằm trong khoảng từ 0,02-0,05.


ISSN 2525-2615

***Bảng 1:*** *Ảnh hưởng của GO đến cường độ chịu nén của vật liệu gốc xi măng [21]*

| TT | Vật liệu | Hàm lượng GO (%, so với xi măng) | Phần trăm tăng cường độ chịu nén/ ngày tuổi | STT | Vật liệu | Hàm lượng GO (%, so với xi măng) | Phần trăm tăng cường độ chịu nén/ ngày tuổi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | Vữa[1] | 0,66 | 29,5/28 | **24** | Vữa[2] | 0,05 | 25,5/28 |
| **2** | Vữa[1] | 1 | 63,6/28 | **25** | Vữa[2] | 0,04 | 83/28 |
| **3** | Vữa[2] | 0,03 | 46/28 | **26** | Vữa[2] | 0,125 | 35/28 |
| **4** | Vữa[2] | 0,05 | 24/7 | **27** | Vữa[2] | 0,125 | 23,4/28 |
| **5** | Vữa[1] | 0,05 | 47,9/28 | **28** | Vữa[2] | 0,1 | 26/28 |
| **6** | Vữa[1] | 0,05 | 24,4/28 | **29** | Vữa[1] | 0,03 | 28/90 |
| **7** | Vữa[2] | 0,04 | 32,1/28 | **30** | Vữa[1] | 0,022 | 22,6/28 |
| **8** | Vữa[1] | 0,125 | 40/90 | **31** | Vữa[1] | 0,04 | 44/28 |
| **9** | Vữa[2] | 0,025 | 11,1/14 | **32** | Vữa[1] | 0,022 | 24,6/28 |
| **10** | Vữa[1] | 1 | 77,8/28 | **33** | Vữa[2] | 0,06 | 58,5/28 |
| **11** | Vữa[2] | 0,04 | 25,3/28 | **34** | Vữa[2] | 0,02 | 60,1/28 |
| **12** | Vữa[2] | 0,05 | 40,3/28 | **35** | Bê tông | 0,02 | 50/28 |
| **13** | Vữa[2] | 0,02 | 13/28 | **36** | Vữa[2] | 0,03 | 52,6/28 |
| **14** | Vữa[1] | 0,1 | 13/14 | **37** | Vữa[1] | 0,022 | 16,3/28 |
| **15** | Vữa[1] | 0,05 | 32/28 | **38** | Vữa[1] | 0,022 | 25,6/28 |
| **16** | Vữa[1] | 0,5 | 35,7/28 | **39** | Vữa[1] | 0,044 | 25,8/28 |
| **17** | Vữa[2] | 0,04 | 14/28 | **40** | Vữa[2] | 0,02 | 29/28 |
| **18** | Vữa[2] | 0,2 | 11,2/28 | **41** | Vữa[1] | 0,02 | 23,2/28 |
| **19** | Bê tông | 0,01 | 7,8/28 | **42** | Vữa[2] | 0,05 | 15,3/28 |
| **20** | Vữa[1] | 0,1 | 77,7/28 | **43** | Vữa[1] | 0,04 | 13,4/28 |
| **21** | Vữa[2] | 0,05 | 64,9/28 | **44** | Vữa[1] | 0,01 | 5,16/28 |
| **22** | Vữa[2] | 0,04 | 43,4/28 | **45** | Vữa[2] | 0,025 | 37/14 |
| **23** | Vữa[1] | 0,2 | 16,4/28 | **46** | Vữa[2] | 0,02 | 83/28 |

[1]: có cát, [2]: không cát.

***Bảng 2:*** *Ảnh hưởng của GO đến cường độ chịu uốn của vật liệu gốc xi măng [21]*

| TT | Vật liệu | Hàm lượng GO (%, so với xi măng) | Phần trăm tăng cường độ chịu uốn/ ngày tuổi | STT | Vật liệu | Hàm lượng GO (%, so với xi măng) | Phần trăm tăng cường độ chịu uốn/ ngày tuổi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | Vữa[1] | 0,06 | 30,7/28 | **16** | Vữa[2] | 0,04 | 14,2/28 |
| **2** | Vữa[2] | 0,05 | 49,7/7 | **17** | Vữa[1] | 0,2 | 41,3/28 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **3** | Vữa[1] | 0,03 | 60,7/28 | **18** | Vữa[2] | 0,14 | 85,9/14 |
| **4** | Vữa[1] | 1,5 | 51,2/7 | **19** | Vữa[2] | 0,05 | 37,3/28 |
| **5** | Vữa[1] | 0,05 | 70,5/28 | **20** | Vữa[2] | 0,2 | 58,9/28 |
| **6** | Vữa[2] | 0,03 | 65,5/28 | **21** | Vữa[2] | 0,1 | 21/28 |
| **7** | Vữa[1] | 0,25 | 16,2/14 | **22** | Vữa[1] | 0,022 | 24,6/28 |
| **8** | Vữa[2] | 0,03 | 13,7/28 | **23** | Vữa[2] | 0,04 | 67,1/28 |
| **9** | Vữa[2] | 0,03 | 56,6/28 | **24** | Vữa[2] | 0,02 | 84,5/28 |
| **10** | Vữa[2] | 0,05 | 90,5/28 | **25** | Vữa[2] | 0,05 | 65,4/28 |
| **11** | Vữa[1] | 0,01 | 23,4/14 | **26** | Vữa[2] | 0,03 | 65,5/28 |
| **12** | Vữa[2] | 0,1 | 20/28 | **27** | Vữa[2] | 0,05 | 27,1/28 |
| **13** | Vữa[2] | 0,03 | 67/28 | **28** | Vữa[1] | 0,03 | 21,86/28 |
| **14** | Bê tông | 0,01 | 11,8/7 | **29** | Vữa[2] | 0,025 | 66/14 |
| **15** | Vữa[2] | 0,05 | 149,7/28 | **30** | Vữa[2] | 0,04 | 26/28 |

[1]: có cát, [2]: không cát.

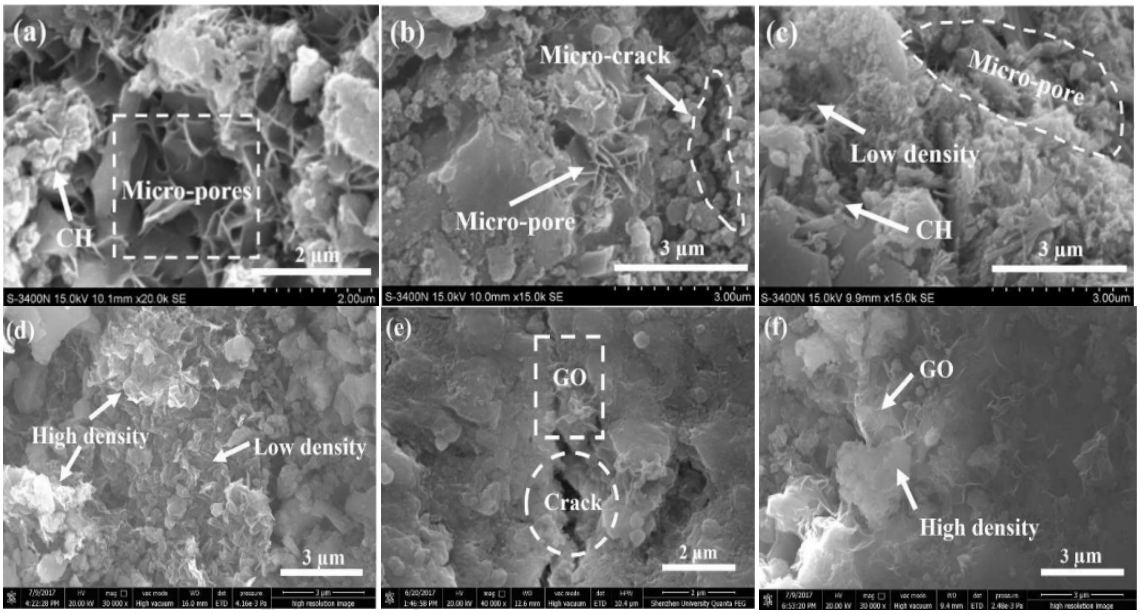
***Bảng 3:*** *Ảnh hưởng của GO đến cường độ chịu kéo của vật liệu gốc xi măng [21]*

| TT | Vật liệu | Hàm lượng GO (%, so với xi măng) | Phần trăm tăng cường độ chịu kéo/ ngày tuổi | STT | Vật liệu | Hàm lượng GO (%, so với xi măng) | Phần trăm tăng cường độ chịu kéo/ ngày tuổi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | Vữa[2] | 0,03 | 53,3/28 | **7** | Vữa[2] | 0,125 | 96/28 |
| **2** | Vữa[1] | 0,03 | 76,8/28 | **8** | Vữa[2] | 0,02 | 96,5/28 |
| **3** | Vữa[1] | 1,5 | 48/N.A[a] | **9** | Vữa[2] | 0,02 | 34/28 |
| **4** | Vữa[2] | 0,03 | 41/28 | **10** | Vữa[1] | 0,04 | 38,5/28 |
| **5** | Vữa[1] | 0,1 | 37,5/28 | **11** | Vữa[1] | 0,04 | 9,9/28 |
| **6** | Vữa[2] | 0,04 | 67/28 | | | | |

[1]: có cát, [2]: không cát, [a]: không đề cập.

Phân tích kính hiển vi điện tử (SEM) cho thấy GO được thêm vào có thể thúc đẩy quá trình hydrat hóa xi măng, điều chỉnh cấu trúc, giảm hàm lượng lỗ rỗng và tăng mật độ của hồ xi măng. Hình 4 (a-c) cho thấy rằng khi đá xi măng được bảo dưỡng trong 7 ngày, có nhiều lỗ rỗng và vết nứt nhỏ xuất hiện trong vùng C-S-H loãng. Trong khi các mẫu có chứa GO thể hiện cấu trúc hai chiều trong hồ xi măng, điều này có thể làm chệch hướng hoặc nghiêng và vặn các vết nứt xung quanh một cách hiệu quả, do đó cản trở việc hình thành vết nứt nhỏ và ngăn các vết nứt mở rộng sâu hơn (Hình 4 (d-f)).


ISSN 2525-2615




***Hình 4.*** *Ảnh SEM của hồ xi măng không chứa (a-c) và chứa (d-f) GO ở các độ phóng đại khác nhau tại 7 ngày tuổi [22]*

**3.3. Độ bền của vật liệu gốc xi măng chứa GO**

Độ bền của vật liệu được thể hiện thông qua việc vật liệu có tồn tại được trong các môi trường khác nhau hay không. Trong quá trình sử dụng, vật liệu gốc xi măng dễ bị ăn mòn bởi các yếu tố như cacbon hóa, phản ứng kiềm-silic, ăn mòn clorua, cháy, nứt do nhiệt và vi khuẩn, từ đó ảnh hưởng đáng kể đến các đặc tính cơ học và tuổi thọ của vật liệu. GO tham gia vào việc điều chỉnh cấu trúc tinh thể các sản phẩm thủy hóa xi măng, cải thiện độ xốp bên trong của vữa xi măng và các vùng chuyển tiếp cốt liệu cũng như điều chỉnh các sản phẩm quá trình hydrat hóa để tạo thành một cấu trúc vi mô ổn định. Mật độ cấu trúc vi mô bên trong giảm làm cản trở sự ăn mòn của $Cl^-$, $SO_4^{2-}$ và các ion ăn mòn khác từ đó cải thiện khả năng chống thấm và độ bền của vật liệu gốc xi măng [23]. Với cấu tạo màng mỏng đặc biệt của GO sẽ tạo thành cấu trúc giống như bọt biển trong vữa xi măng, từ đó làm hạn chế chiều sâu xâm nhập của $Cl^-$. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng GO có thể cải thiện khả năng chống cacbon hóa và sương giá của vật liệu gốc xi măng. Yang và cs [23] đã nghiên cứu ảnh hưởng của GO đến khả năng chống ăn mòn của vữa xi măng trong dung dịch muối. Thông qua phân tích SEM và phổ năng lượng, người ta chứng minh được rằng GO cải thiện khả năng chống ăn mòn của vật liệu gốc xi măng bằng cách điều chỉnh mật độ của cấu trúc bên trong và giảm dung tích lỗ rỗng. Mohammed và cs. [24] đã nghiên cứu khả năng chịu nhiệt của GO trộn với bê tông thường và bê tông cường độ cao. Kết quả cho thấy GO giữ cho các mẫu có

độ bền cao hơn và khả năng chống nứt tốt hơn sau khi tiếp xúc với nhiệt độ cao. Điều này là do GO khi kết hợp với vữa xi măng sẽ tạo thành các rãnh có kích thước nanomet và micromet, giúp giải phóng áp suất hơi và ngăn chặn sự bong tróc bê tông.

**4. GO tại Việt Nam**

Graphenel JSC là nhà cung cấp hàng đầu về GO tại Việt Nam, GO (Hình 5) được sản xuất dưới dạng phân tán và dạng bột.

***Hình 5.*** *Sản phẩm GO của Graphenel JSC*

Sản phẩm GO cung cấp cho thị trường với mục đích nghiên cứu lẫn công nghiệp. Từ năm 2017, Graphenel JSC đã vận hành một tổ máy thí điểm công nghiệp có công suất 1 tấn/năm. GO có độ phân tán ít hơn 0,1mg/ml trong nước, diện tích bề mặt 600-800 $m^2/g$, khối lượng riêng 1,91 $g/cm^3$. Thành phần hóa học gồm Cacbon (64-65%), Oxy (33-34%), Hydro (1-2%) [25]. Với những tính chất này, các nhà nghiên cứu có thể ứng dụng GO của Graphenel JSC vào các vật liệu gốc xi măng tại Việt Nam.

**5. Kết luận**

Bài báo này cung cấp một đánh giá về các tài liệu gần đây về tính chất và vai trò của GO trong vật liệu gốc xi măng. Các kết quả chính và triển vọng tương lai có thể được tóm tắt như sau:

• Sự kết tụ của GO dường như xảy ra ngay lập tức khi GO được đưa vào hồ xi măng. Việc sử dụng PCE là một phương pháp hiệu quả để phân tán GO trong môi trường kiềm của hồ xi măng. Tuy nhiên cần phải lưu ý đến liều lượng và trình tự trộn PCE.

• Các nghiên cứu hiện có cho thấy rằng với hàm lượng nhỏ GO từ 0,03-0,05 khối lượng xi măng có thể cải thiện đáng kể cường độ và độ bền của vật liệu gốc xi măng. Tuy nhiên kết quả của các nghiên cứu là không đồng nhất, điều này là do tính chất phức tạp của các loại vật liệu.

• Mỗi nguồn GO có các đặc tính khác nhau, do vậy để sử dụng GO tại Việt Nam cần phải tiến hành các thí nghiệm để xác định hàm lượng nguyên liệu phù hợp trước khi sản xuất các vật liệu gốc xi măng trong đó có bê tông.

**Tài liệu tham khảo**

[1] Lu, X., Wang, C., Wei, Y. *One-dimensional composite nanomaterials: synthesis by electrospinning and their applications*. Small. 2009; 5*(21)*:2349–70.

[2] Konsta-Gdoutos, M.S, Metaxa, Z.S., Shah, S.P. *Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials*. Cem Concr Res. 2010;40:1052–9


ISSN 2525-2615

[3] Stankovich, S., Dikin, D.A., Dommett, G.H.B., Kohlhaas, K.M,, Zimney, E.J,, Stach, E.A., et al. *Graphene-based composite materials*. Nature. 2006; 442*(2)*:282–6.

[4] Teng, T., Zhou, F., Qiong, L., Sen, W., Susheng, T., Qiang, Y. *Investigation of the effects of graphene and graphene oxide nanoplatelets on the micro- and macro-properties of cementitious materials*. Constr Build Mater. 2016;106:102–14

[5] Wang, J., Xu, Y., Wu, X., Zhang, P., & Hu, S. (2020). *Advances of graphene- and graphene oxide-modified cementitious materials. Nanotechnology Reviews*, 9(1), 465–477.

[6] Li, Z.Y., Liu, Y.M., Li, W.G., Li, C.Y., Sanjayan, J.G., Duan, W.H., et al., *Effects of graphene oxide agglomerates on workability, hydration, microstructure and compressive strength of cement paste*, Constr. Build. Mater. 145 (2017) 402–410.

[7] Chuah, S., Li, W.G., Chen, S.J., Sanjayan, J.G., Duan, W.H. *Investigation on dispersion of graphene oxide in cement composite using different surfactant treatments*, Constr. Build. Mater. 161 (2018) 519–527.

[8] Stephens, C., Brown, L., Sanchez, F. *Quantification of the re-agglomeration of carbon nanofiber aqueous dispersion in cement pastes and effect on the early age flexural response*, Carbon 107 (2016) 482–500.

[9] ZLu, .Y., Hanif, A., Ning, C., Shao, H.Y., Yin, R., Li, Z.J. *Steric stabilization of graphene oxide in alkaline cementitious solutions: mechanical enhancement of cement composite*, Mater. Des. 127 (2017) 154–161.

[10] Zhao, L., Guo Xl, Liu, Y.Y., Ge, C., Chen, Z.T., Guo, L.P., et al. *Investigation of dispersion behavior of GO modified by different water reducing agents in cement pore solution*, Carbon 127 (2018) 255–26.

[11] Wang, Q., Qi, G., Zhan, D., Wang, Y., Zheng, H. (2021). *Influence of the molecular structure of a polycarboxylate superplasticiser on the dispersion of graphene oxide in cement pore solutions and cement-based composites*. Construction and Building Materials, 272(), 121969

[12] Yan, X., Zheng, D.; Yang, H., Cui, H., Monasterio, M., Lo, Y. (2020). *Study of optimizing graphene oxide dispersion and properties of the resulting cement mortars*. Construction and Building Materials, 257(), 119477.

[13] Wang, Q., Wang, J., Lv, C.X., Cui, X.Y., Li, S.Y., Wang, X. *Rheological behavior of fresh cement pastes with a graphene oxide additive, New Carbon Mater*. 31 (6) (2016) 574–584.

[14] Reddy, P.V.R.K. and Ravi Prasad, D. (2022). *Synergetic Effect of Graphene Oxide and Fly Ash on Workability, Mechanical and Microstructural Properties of High-strength Concrete*. Jordan Journal of Civil Engineering, 16(3), 507-517.

[15] Shang, Y., Zhang, D., Yang, C. et al., *Effect of graphene oxide on the rheological properties of cement pastes*. Constr. Build. Mater., 2015, 96, 20-28.

[16] Pan, Z., He, L., Qiu, L., Korayem, A. H., Li, G., Zhu, J. W., et al. (2015). *Mechanical properties and microstructure of a graphene oxide–cement composite*. Cement and Concrete Composites, 58, 140–147.

[17] Gong, K., Pan, Z., Korayem, A. H., Qiu, L., Li, D., Collins, F., et al. (2015). *Reinforcing Effects of Graphene Oxide on Portland Cement Paste*. Journal of Materials in Civil Engineering, 27(2), A4014010.

[18] Wang, Q., Wang, J., Lu, C., Liu, B., Zhang, K., & Li, C. (2015). *Influence of graphene oxide additions on the microstructure and mechanical strength of cement*. New Carbon Materials, 30(4), 349–356.

[19] Lv, S., Ma, Y., Qiu, C., Sun, T., Liu, J., & Zhou, Q., 2013. *Effect of graphene oxide nanosheets of microstructure and mechanical properties of cement compo*sites. Constr. Build. Mater., 49, 121–127.

[20] Li, W., Li, X., Chen, S.J., Liu, Y.M., Duan, W.H., Shah, S.P. *Effects of graphene oxide on early-age hydration and electrical resistivity of Portland cement paste*. Constr Build Mater. 2017;136:506–14.

[21] Zhao, L., Guo, X., Song, L., Song, Y., Dai, G., Liu, J. (2020). *An intensive review on the role of graphene oxide in cement-based materials*. Constr. Build. Mater., 241(), 117939.

[22] Long, W.J., Wei, J.J., Xing, F., Khayat, K.H. *Enhanced dynamic mechanical properties of cement paste modified with graphene oxide nanosheets and its reinforcing mechanism*. Cem Concr Compos. 2018;93:127–39.

[23] Li, J.X. *Effect of graphene oxide on properties of cement mortar composites*. Yellow River. 2020; 42**(**2**)**:54–57–62.

[24] Mohammed, A., Sanjayan, J.G., Nazari, A., Saadi, T.K. *Effects of graphene oxide in enhancing the performance of concrete exposed to high-temperature*, Aust. J Civ Eng. 2017;15**(**1**)**:61–71.

[25] www.grapheneljsc.com