

Nghiên cứu ảnh hưởng của Graphene Oxide đến tính chất của bê tông siêu tính năng UHPC

Researching the effect of Graphene Oxide on the properties of Ultra-high Performance Concrete

> TS TRẦN BÁ VIỆT^{1*}, KS LƯƠNG TIẾN HÙNG²

¹Phó CT Hội Bê tông Việt Nam VCA, *Email: vietbach57@yahoo.com

²Công ty CP Sáng tạo và Chuyển giao công nghệ VN

TÓM TẮT

Bê tông siêu tính năng được chế tạo từ hỗn hợp thành phần sử dụng hàm lượng xi măng cao (700–850 kg/m³), vì vậy UHPC có độ co ngót rất lớn, khi đó việc chế tạo sản phẩm kích thước lớn sẽ dễ xuất hiện các vết rạn, nứt bề mặt. Mặc dù, khuyết điểm này đã được khắc phục phần nào bằng cốt sợi phân tán, nhưng điều cốt lõi vẫn là giảm tối đa hàm lượng xi măng sử dụng. Ngoài phương án thay thế một phần xi măng bằng xỉ lò cao nghiền mịn hoặc tro bay, còn có thể kết hợp sử dụng thêm nano Graphene Oxide (GO), phân tán rất tốt và ảnh hưởng tích cực tới tính chất cơ học của vật liệu gốc xi măng (UHPC nền).

Từ khóa: Bê tông siêu tính năng (UHPC); Graphene Oxide (GO); độ chảy xê; cường độ chịu nén; cường độ chịu kéo trực tiếp; bảo dưỡng nhiệt ẩm.

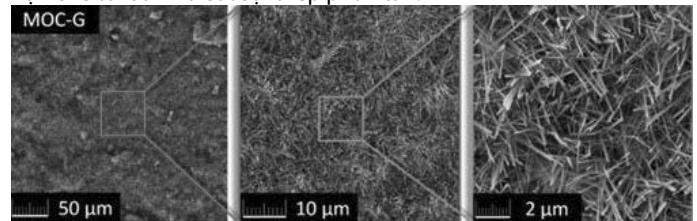
ABSTRACT

Ultra-high Performance Concrete is made from a mixture of components using a very large cement content (700–850 kg/m³), so UHPC has a very large shrinkage, then the production of products Large size will easily appear rift surface. Although, this shortcoming has been partially overcome by dispersed fiber reinforcement, but the core thing is still to minimize the amount of cement used. In addition to replacing part of cement with finely ground blast furnace slag, Graphene Oxide (GO) can also be used because it is nano-sized, very well dispersed and directly affects the mechanical properties. chemistry of cementitious materials (UHPC).

Keywords: Ultra-high performance concrete; Graphene Oxide; flows; compressive strength; tensile strength; curing.

I. TỔNG QUAN

Bê tông siêu tính năng là vật liệu bước đầu đang được ứng dụng trong xây dựng hạ tầng tại Việt Nam với nhiều ưu điểm về các tính chất cơ học và tuổi thọ sử dụng khi so sánh với bê tông cốt thép thông thường, bê tông cốt sợi (FRC) hay ngay cả với thép kết cấu. Tuy nhiên, UHPC lại được chế tạo từ hỗn hợp thành phần sử dụng hàm lượng xi măng rất lớn (700÷850 kg/m³) [1] nên có độ co ngót lớn. Khi chế tạo sản phẩm kích thước lớn sẽ có nguy cơ xuất hiện các vết rạn nhỏ bề mặt, dù rằng các vết nứt lớn đã được hạn chế tối đa nhờ cốt sợi thép phân tán.



Hình 1. Ảnh hiển vi mẫu hồ xi măng có chứa Graphene Oxide

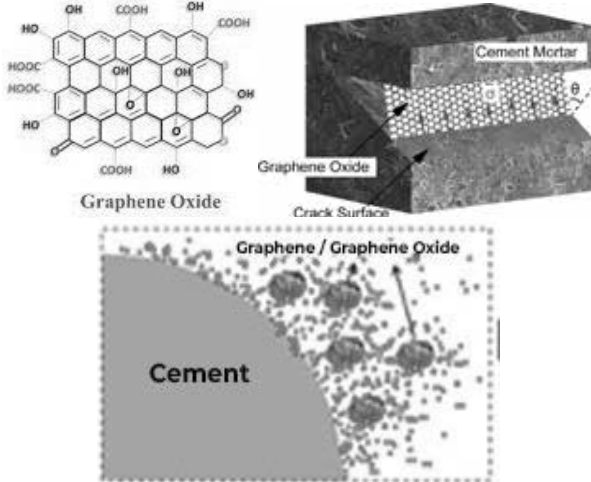
Một số nghiên cứu tiên phong trên thế giới đã được công bố, chứng minh những ưu điểm đầy hứa hẹn của Graphene Oxide (GO) trong vữa xi măng và bê tông các loại [5], [6], [7], [8], [9], [10] với các loại có đường kính và độ mịn khác nhau, tùy thuộc vào nguyên liệu thô và phương pháp xử lý tạo ra Graphene. Hiện tại, trên thị trường Graphene Oxide được cung cấp ở hai dạng là dung dịch và bột. Tuy nhiên, ở dạng bột được ưu tiên sử dụng vì có hàm lượng chất rắn (40÷60%) cao hơn rất nhiều dạng dung dịch, mặc dù dạng dung dịch (10÷20%) sẽ giúp GO phân tán tốt hơn.



Hình 2. Graphene Oxide ở hai dạng là dung dịch và bột

Graphene Oxide (GO) là một vật liệu nano hai chiều, ở dạng nguyên tử graphene được hình thành do quá trình oxy hóa than chì, rất dễ phân tán trong nước hay các dung môi khác, giá thành tương đối rẻ và sẵn có. Graphene Oxide có thể giảm được khoảng 10÷20% xi măng trong thành phần bê tông mà không làm giảm cường độ. Ngoài ra, khi sử dụng 1kg xi măng sẽ tạo ra khoảng

1,44kg khí thải CO₂, trong khi đó với khối lượng tương ứng, nếu sử dụng Graphene chỉ phát thải là 0,8kg CO₂ [9].



Hình 3. Minh họa ảnh hưởng của Graphene Oxide trong hồ xi măng

Vì Graphene Oxide có kích thước nano, xu hướng tạo kết tụ mà trận ảnh hưởng trực tiếp tới tính chất cơ học của vật liệu gốc xi măng (UHPC), nên yêu cầu về sự phân tán đồng đều trong hỗn hợp UHPC sẽ được đặt lên hàng đầu. Bài báo trình bày các kết quả thử nghiệm liên quan tới vấn đề “Ảnh hưởng của hàm lượng sử dụng Graphene Oxide đến các tính chất của bê tông siêu tính năng”.

II. CƠ SỞ NGHIÊN CỨU

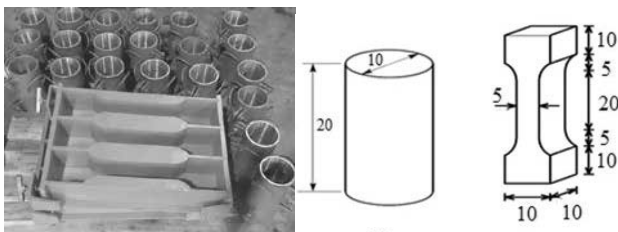
1. Tài liệu, tiêu chuẩn áp dụng

Các vật liệu cấu thành nên UHPC sử dụng trong nghiên cứu này đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật như sau:

- TCVN 6282:2009, Xi măng Pooc-lăng - yêu cầu kỹ thuật.
- TCVN 8826:2011, Phụ gia hóa học cho bê tông và vữa.
- TCVN 9036:2011, Nguyên liệu để sản xuất thủy tinh - cát - yêu cầu kỹ thuật.
- TCVN 11586:2016, Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa.
- TCVN 12392:2018, Sợi cho bê tông cốt sợi.
- TCVN 13735:2023, Bê tông - kết cấu bê tông siêu tính năng (UHPC) - yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử.

Các mẫu thí nghiệm đánh giá tính chất cơ lý của UHPC có kích thước như sau [1]:

- Cường độ chịu nén: mẫu trụ d10xh20 cm;
- Cường độ chịu kéo: mẫu 5x10x50 cm;



Hình 4. Khuôn đúc và kích thước mẫu trong thử nghiệm tính chất cơ lý của UHPC

2. Vật liệu và cấp phối thành phần

Vật liệu thành phần được lựa chọn sử dụng để thử nghiệm cấp phối UHPC gồm: xi măng PC40, cát thạch anh, các loại phụ gia khoáng hoạt tính, phụ gia siêu dẻo, Graphene Oxide và sợi thép cường độ cao.

Bảng 1. Các loại vật liệu thành phần dùng trong nghiên cứu

Nội dung	Chi tiết
Chất kết dính	- Xi măng PC40
Phụ gia khoáng	- Silica fume - GGBS
Nhóm cốt liệu	- Cát thạch anh - Sợi thép
Vật liệu đánh giá	- Graphene Oxide
Phụ gia hóa học	- Phụ gia siêu dẻo
Nước	- Nước sạch



Hình 5. Mẫu Graphene Oxide dùng trong nghiên cứu này

Bảng 2. Các chỉ tiêu của xi măng PC40

Nội dung	Đơn vị	Giá trị	
Khối lượng riêng	g/cm ³	3,10	
Độ dẻo tiêu chuẩn	%	28,6	
Độ ổn định thể tích	mm	1,0	
Độ bền uốn	3 ngày	MPa	6,5
	28 ngày	MPa	9,7
Độ bền nén	3 ngày	MPa	30,3
	28 ngày	MPa	48,6

Bảng 3. Chất lượng mẫu Silica fume

Nội dung	Đơn vị	Giá trị
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,22
Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	310
Độ ẩm	%	1,0
Hàm lượng MKN	%	0,6
Hàm lượng SiO ₂	%	91,6

Bảng 4. Chất lượng mẫu GGBS

Nội dung	Đơn vị	Giá trị
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,86
Độ ẩm	%	0,9
Hàm lượng mất khi nung	%	3,7

Bảng 5. Chất lượng cát thạch anh

Nội dung	Đơn vị	Giá trị
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,64
Hàm lượng tạp chất	%	0
Độ ẩm	%	0,3
Mô đun độ lớn	-	1,5
Hàm lượng SiO ₂	%	98,41
Hàm lượng ion Cl ⁻	%	< 0,001

Bảng 6: Chất lượng sợi thép

Nội dung	Đơn vị	Giá trị
Khối lượng riêng	g/cm ³	7,85
Tỉ lệ hướng sợi	-	65
Hàm lượng tạp chất	%	0
Tỉ lệ sợi sai kích thước hình học	%	0,5
Cường độ chịu kéo	MPa	3200

Bảng 7: Chất lượng Graphene Oxide

Nội dung	Đơn vị	Giá trị
Độ mịn	µm	≤ 8
Khối lượng riêng	g/cm ³	1,9
Diện tích bề mặt	m ² /g	≥ 600
Hàm lượng chất rắn	%	40
Khả năng phân tán	mg/ml	< 0,1

Bảng 8: Chất lượng phụ gia siêu dẻo

Nội dung	Đơn vị	Giá trị
Độ pH	-	6,33
Khối lượng riêng	kg/l	1,06
Hàm lượng chất khô	%	37,8
Hàm lượng tro	%	1,66
Hàm lượng ion Cl ⁻	%	0,03

Bảng 9: Kí hiệu của các mẫu thử nghiệm trong nghiên cứu

STT	Kí hiệu mẫu	Chú thích
I	GO1 - Vữa nền (không có sử dụng sợi thép)	
1	GO1-0	Không sử dụng Graphene Oxide
2	GO1-1	Sử dụng 0,5% Graphene Oxide
3	GO1-2	Sử dụng 1,0% Graphene Oxide
4	GO1-3	Sử dụng 2,0% Graphene Oxide
II	GO1 - UHPC(sử dụng 2% sợi thép)	
1	GO2-0	Không sử dụng Graphene Oxide
2	GO2-1	Sử dụng 0,5% Graphene Oxide
3	GO2-2	Sử dụng 1,0% Graphene Oxide
4	GO2-3	Sử dụng 2,0% Graphene Oxide

Hàm lượng Graphene Oxide tính theo khối lượng chất kết dính



Hình 6. Các loại vật liệu khác (silica fume, xỉ lò cao nghiền mịn, cát thạch anh và phụ gia dẻo)

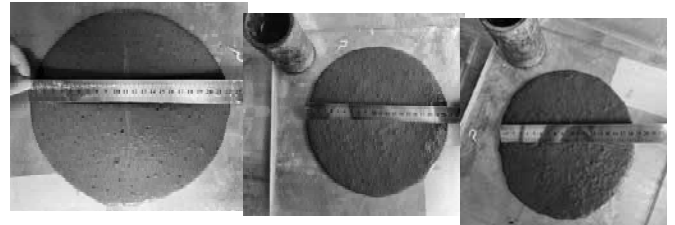
3. THỬ NGHIỆM TÍNH CHẤT CỦA CÁC MẪU HỖN HỢP UHPC VÀ UHPC

Các thử nghiệm liên quan đến tính công tác của hỗn hợp UHPC cũng như tính chất cơ lý của UHPC đã đóng rắn dưới đây được thực hiện tại điều kiện phòng thí nghiệm trên máy trộn tăng cường trục nghiêng, sau khi trộn đồng nhất bột khô, sẽ trộn phụ gia siêu dẻo cùng với phụ gia Graphene, tổng thời gian trộn hỗn hợp để đồng nhất là 14 phút:

a) Độ chảy hỗn hợp

Bảng 10: Kết quả kiểm tra độ chảy xoè

STT	Kí hiệu	Kết quả	Kí hiệu	Kết quả
1	GO1-0	22,7	GO2-0	20,4
2	GO1-1	22,6	GO2-1	19,8
3	GO1-2	22,1	GO2-2	19,2
4	GO1-3	21,3	GO2-3	17,6



Các mẫu UHPC được bảo dưỡng ở cùng một điều kiện [3]:

- Sau khi đúc và làm phẳng mặt, mẫu được bảo dưỡng ẩm tự nhiên trong thời gian 24 giờ.

- Sau đó, các mẫu tiếp tục được bảo dưỡng nhiệt ẩm tại 80°C trong thời gian 72 giờ.

- Kết thúc bảo dưỡng nhiệt ẩm, các mẫu được giữ ẩm tự nhiên tại điều kiện phòng thí nghiệm đến đủ 7 ngày tuổi.



Hình 7. Kiểm tra cường độ nén và kéo UHPC

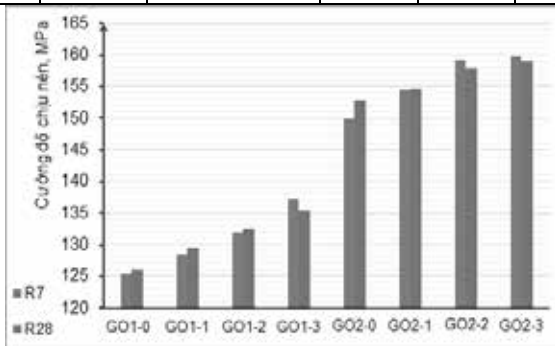
b) Cường độ chịu nén

Bảng 11. Cường độ chịu nén của các mẫu sau bảo dưỡng nhiệt ẩm (R7 - MPa)

STT	Kí hiệu mẫu	Viên 1	Viên 2	Viên 3	Trung bình
1	GO1-0	124,1	128,2	123,8	125,4
2	GO1-1	129,3	125,7	130,3	128,4
3	GO1-2	135,2	130,0	130,4	131,9
4	GO1-3	136,5	137,9	137,3	137,2
5	GO2-0	151,1	147,5	150,8	149,8
6	GO2-1	152,6	155,3	155,5	154,5
7	GO2-2	159,2	160,1	158,4	159,2
8	GO2-3	161,7	158,9	158,8	159,8

Bảng 12. Cường độ chịu nén của các mẫu sau bảo dưỡng nhiệt ẩm (R28 - MPa)

STT	Kí hiệu mẫu	Viên 1	Viên 2	Viên 3	Trung bình
1	GO1-0	127,4	125,6	125,1	126,0
2	GO1-1	130,3	129,9	128,5	129,6
3	GO1-2	131,8	131,3	134,4	132,5
4	GO1-3	136,5	135,8	133,9	135,4
5	GO2-0	150,4	153,2	154,7	152,8
6	GO2-1	155,5	155,6	152,9	154,7
7	GO2-2	159,0	157,5	157,3	157,9
8	GO2-3	160,7	157,1	159,4	159,1



Hình 8. Ảnh hưởng của hàm lượng Graphene Oxide đến cường độ chịu nén của vữa nền (không sử dụng sợi thép) và UHPC (sử dụng 2% sợi thép)

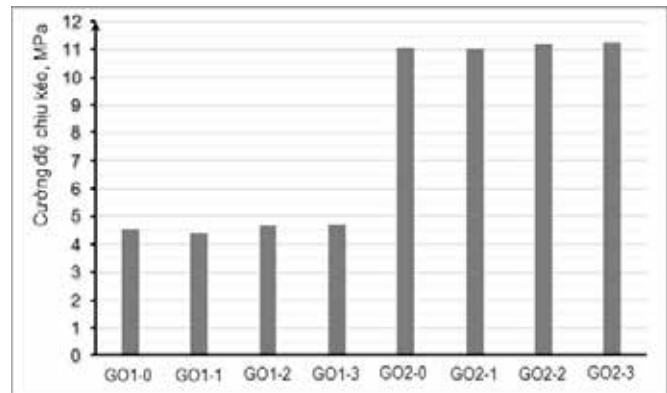
Bảng 13. Tổng hợp cường độ chịu nén của các mẫu sau bảo dưỡng nhiệt ẩm (MPa)

STT	Nội dung	GO1-0	GO1-1	GO1-2	GO1-3
1	R7	125,4	128,4	131,9	128,6
2	R28	126,0	129,6	132,5	135,4
3	Trung bình	125,7	129,0	132,2	132,0
4	Chênh lệch	0%	+2,6%	+5,2%	+7,7%
STT	Tuổi mẫu	GO2-0	GO2-1	GO2-2	GO2-3
1	R7	149,8	154,5	159,2	159,8
2	R28	152,8	154,7	157,9	159,1
3	Trung bình	151,3	154,6	158,6	159,5
4	Chênh lệch	0%	+2,2%	+4,8%	+5,4%

c) Cường độ chịu kéo

Bảng 14. Cường độ chịu kéo của các mẫu sau bảo dưỡng nhiệt ẩm (R28 - MPa)

STT	Kí hiệu mẫu	Viên 1	Viên 2	Viên 3	Trung bình	Chênh lệch
1	GO1-0	4,84	4,09	4,71	4,55	0%
2	GO1-1	4,21	4,35	4,67	4,41	-3,1%
3	GO1-2	4,92	4,44	4,65	4,67	2,6%
4	GO1-3	4,58	4,54	4,98	4,70	3,3%
5	GO2-0	10,72	11,28	11,13	11,04	0%
6	GO2-1	11,69	10,32	11,06	11,02	0,2%
7	GO2-2	10,84	11,25	11,44	11,18	1,3%
8	GO2-3	11,12	11,39	11,27	11,26	2,0%



Hình 9. Ảnh hưởng của hàm lượng Graphene Oxide đến cường độ chịu nén của vữa nền (không sử dụng sợi thép) và UHPC (sử dụng 2% sợi thép)

III. KẾT LUẬN

- Graphene Oxide phù hợp làm phụ gia lấp đầy dùng cho chế tạo UHPC.
- Graphene Oxide làm tăng cường các tính chất cơ học của UHPC, nhất là cường độ chịu nén (5-8%). Cường độ chịu kéo chỉ tăng ít, khoảng 3%
- Khoảng hàm lượng Graphene Oxide khuyến nghị sử dụng là 0,5÷1%.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 13735:2023, Bê tông - kết cấu bê tông siêu tính năng (UHPC) - yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử.
- [2]. FHWA-HRT-06-103, Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete.
- [3]. FHWA-HRT-18-036, Properties and Behavior of UHPC-Class Material.
- [4]. FHWA-HRT-11-038, Ultra-High Performance Concrete.
- [5]. ACF 04:2020, Materials UHPC - Technicals Specification.
- [6]. Construction and Building Materials, Investigation of the effects of graphene and graphene oxide nanoplatelets on the micro and macro-properties of cementitious materials, 2016.
- [7]. Construction and Building Materials, Incorporation of graphene oxide and silica fume into cement paste: A study of dispersion and compressive strength, 2016.
- [8]. Construction and Building Materials, Dispersion and stability of graphene nanoplatelet in water and its influence on cement composites, 2018.
- [9]. Applied Sciences, Graphene nanoplatelets-based advanced materials and recent progress in sustainable applications, 2018.
- [10]. Nanomaterials, Effect of Graphene Oxide on Mechanical Properties and Durability of Ultra-High-Performance Concrete Prepared from Recycled Sand, 2020.
- [11]. Materials, MOC Doped with Graphene Nanoplatelets, The Influence of the Mixture Preparation Technology on Its Properties, 2021.