

# Ảnh hưởng của Nano Silica đến tính chất của bê tông siêu tính năng UHPC

Effect of Nano Silica on the properties of ultra high performance fibre reinforced concrete - UHPC

> TS TRẦN BÁ VIỆT<sup>1</sup>, PGS.TS NGUYỄN DUY HIẾU<sup>2</sup>,  
KS LƯƠNG TIẾN HÙNG<sup>3</sup>, KS LÊ HOÀNG SƠN<sup>3</sup>, KS ĐỖ HOÀNG DUY<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hội Bê tông Việt Nam, Email: vietbach57@yahoo.com

<sup>2</sup> Trường Đại học Kiến Trúc Hà Nội, Email: hieuduyngchau@gmail.com

<sup>3</sup> Công ty CP Sáng tạo và Chuyển giao công nghệ VN, Email: [durinntech@uhpc.com.vn](mailto:durinntech@uhpc.com.vn)

## TÓM TẮT:

Vật liệu Nano ngày càng được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực để chế tạo các vật liệu mới với chức năng mới do các đặc tính vật lý và hóa học độc đáo của chúng. Nếu Nano SiO<sub>2</sub> được tích hợp với vật liệu xây dựng gốc xi măng, vật liệu mới có thể sở hữu một số đặc tính nổi bật. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu cho thấy việc sử dụng bổ sung Nano SiO<sub>2</sub> vào hỗn hợp UHPC đem lại hiệu quả rất tốt. Điều này thúc đẩy nghiên cứu ứng dụng Nano SiO<sub>2</sub> vào công nghệ sản xuất UHPC sử dụng các vật liệu có sẵn và phù hợp với các điều kiện thi công tại Việt Nam.

**Từ khóa:** Bê tông siêu tính năng - UHPC; sợi thép; độ chảy xê; cường độ nén; uốn, kéo, chỉ số dẻo dai; biến dạng; độ võng; độ mở vết nứt.

## ABSTRACT:

Nanomaterials are increasingly noticed and applied in many fields to fabricate new materials with new functions due to their unique physical and chemical properties. If Nano SiO<sub>2</sub> is integrated with a cement-based building material, the new material could possess a number of outstanding properties. The article presents the research results showing that the addition of Nano SiO<sub>2</sub> to the UHPC mixture brings very good results. This promotes research and application of Nano SiO<sub>2</sub> into UHPC production technology using available materials and suitable for construction conditions in Vietnam.

**Keyword:** Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete - UHPC; steel fiber; spread; compressive strength; flexural strength; tensile strength; toughness index; deformation; deflection; crack opening.

## I. ĐẶT VẤN ĐỀ

### 1.1 Giới thiệu bê tông siêu tính năng - UHPC

Hiện nay thế giới và Việt Nam đã có những bước tiến đáng kể trong lĩnh vực bê tông tính năng cao (HPC). Thế hệ tiếp theo của HPC là bê tông tính năng siêu cao (UHPC) - sản phẩm cao cấp hơn của bê tông cốt sợi truyền thống (kết cấu composite). Thể hiện các đặc tính cơ lý về cường độ và độ bền vượt trội nên rất có triển vọng, phù hợp để sử dụng trong các kết cấu chịu lực như xây dựng hạ tầng dân dụng, hạ tầng và kiến trúc phi kết cấu.

UHPC là một thế hệ tiên tiến của vật liệu kết cấu dựa trên nền xi măng được điều chỉnh để có cường độ chịu nén rất cao, độ dẻo cao và bền vững cao. Tuy nhiên, ảnh hưởng của Nano Silica đến các chỉ tiêu cơ lý và các tính chất khác vẫn chưa được nghiên cứu cụ thể. Vì vậy, nghiên cứu này đã góp một phần làm rõ những vấn đề đó.

### 1.2 Vai trò của Nano SiO<sub>2</sub>

Công nghệ vật liệu Nano đang phát triển và sẽ được ứng dụng rộng rãi với nhiều loại vật liệu. Mặc dù xi măng là vật liệu xây dựng thông thường, nhưng gel canxi silicat hydrat (C – S – H) chính của nó là vật liệu có cấu trúc nano tự nhiên. Các tính chất cơ học và độ bền của bê tông chủ yếu phụ thuộc vào cấu trúc hoàn thiện của hồ xi măng đông cứng và vùng giao diện chuyển tiếp với bề mặt cốt liệu được cải thiện theo tuổi của chúng.

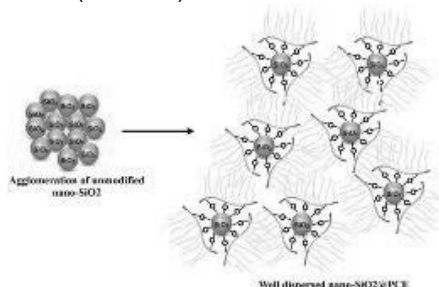
### 1.3 Cơ sở lý luận

Silica (SiO<sub>2</sub>) kích thước Nano ở dạng huyền phù (0,1 ÷ 100 nm) là vật liệu thể hiện các đặc tính mới, rất khác với các vật liệu thông thường, bao gồm hiệu ứng lấp đầy, hoạt động bề mặt và tính bền vững với môi trường xâm thực... Nano SiO<sub>2</sub> rất hấp dẫn trong việc áp dụng cho sản xuất UHPC vì tính hiệu quả cao, tác dụng của nó chủ yếu được thể hiện ở các ảnh hưởng sau:

- Hiệu ứng hạt nhân tinh thể hay hiệu ứng tạo mầm. Đó là việc các hạt Nano SiO<sub>2</sub> (nS) có thể lấp đầy khoảng trống giữa các hạt gel C – S – H, hoạt động như một chất độn Nano, giảm độ xốp, giảm sự hiện diện của các vết nứt tối đa do có kích thước nano giúp tăng cường mật độ của matrix hồ chất kết dính và nó làm đặc cấu trúc vì mô của bê tông, tăng tỷ lệ hydrat hóa, giảm thời gian đông kết ban đầu và cải thiện sự phát triển cường độ trong bê tông.

- Tăng cường tốc độ phản ứng pozzolanic, phản ứng với canxi hydroxit (CH) được phản ánh bằng cách sắp xếp và phân bố các sản phẩm hydrat hóa.

- Vật liệu pozzolanic mới được sản xuất tổng hợp, ở dạng huyền phù nước của keo Silica vô định hình siêu mịn (UFACS), có sẵn trên thị trường và có tính năng tốt hơn Silicafume đối với hàm lượng  $\text{SiO}_2$  vô định hình cao hơn ( $> 99\%$ ) và kích thước của các hạt hình cầu nhỏ hơn ( $1 \div 50 \text{ nm}$ ).



Hình 1: Sự phân tán của Nano Silica khi có mặt phụ gia siêu dẻo Polycarboxylate

## II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu

#### 2.2.1 Chất kết dính

Xi măng Portland: Nghi Sơn PC50 đáp ứng yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 2682:2009; Phụ gia khoáng: Sử dụng Silicafume đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 8827:20110 và xi hạt lò cao nghiền mịn (GGBS) đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 11586:2016.

#### 2.2.2 Cốt liệu

Cát thạch anh đạt yêu cầu về hàm lượng  $\text{SiO}_2$  và thành phần hạt theo TCVN 9036:2011, gồm 2 loại sau:

Cát thạch anh hạt thô đã qua sàng tuyển cỡ hạt  $< 0,85\text{mm}$ ; Cát thạch anh hạt mịn đã qua sàng tuyển cỡ hạt  $< 0,315\text{mm}$

#### 2.2.3 Sợi thép

Nhờ tính chất phân tán cốt sợi tốt mà UHPC có khả năng chịu uốn, chịu kéo cao hơn rất nhiều so với bê tông thường. Trong nghiên cứu này sử dụng 2 loại sợi thép đạt yêu cầu kỹ thuật theo ASTM A820, như sau:

Sợi thép thẳng: tỷ lệ hướng sợi: 62, cường độ chịu kéo:  $> 2800 \text{ MPa}$ ; Sợi thép 2 đầu neo tỷ lệ hướng sợi: 119, cường độ chịu kéo:  $> 2800 \text{ MPa}$

#### 2.2.4 Phụ gia siêu dẻo gốc Poly Cacboxylate Eyther (PCE)

Phụ gia siêu dẻo gốc PCE đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 8826:2011 được coi là vật liệu không thể thiếu trong công nghệ sản xuất UHPC nhờ các đặc tính:

#### 2.2.5 Nano Silica – $\text{SiO}_2$

Nano Silica sử dụng trong nghiên cứu này ở trạng thái dạng huyền phù, có độ nhớt cao, tỷ khối 1,19 g/ml và có hàm lượng chất khô 32,4%.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

UHPC sử dụng bổ sung Nano  $\text{SiO}_2$  vào thành phần hỗn hợp, với điều kiện bảo dưỡng mẫu ở 2 chế độ sau:

- Chế độ bảo dưỡng ẩm tự nhiên: nhiệt độ  $t^\circ = 27^\circ \text{C}$ , độ ẩm tương đối  $\text{RH} = 70\%$

- Chế độ bảo dưỡng nhiệt ẩm:  $t^\circ = 80^\circ \text{C}$ , thời gian  $t = 72\text{h}$ ,  $\text{RH} = 100\%$

Các tính chất của hỗn hợp UHPC được thử nghiệm theo các tiêu chuẩn Việt Nam và nước ngoài:

- NF P18-470 Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete – Specifications, performance, production and conformity.

- ASTM C 1609, Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading), American Society for Testing and Materials, 2012.

- ASTM C 1018, Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading),

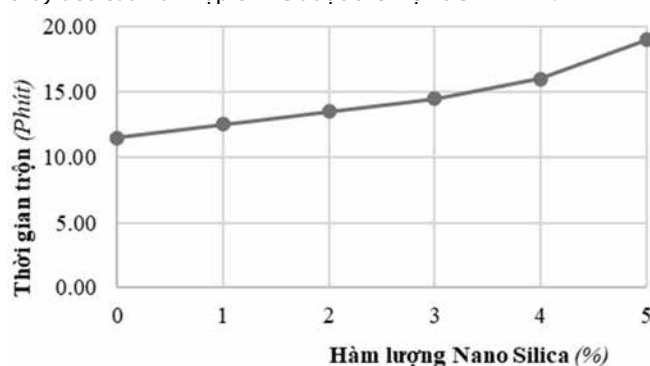
American Society for Testing and Materials, 1997, West Conshohocken.

## III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng Nano $\text{SiO}_2$ đến các tính chất của hỗn hợp UHPC

#### 3.1.1. Ảnh hưởng của hàm lượng Nano $\text{SiO}_2$ đến thời gian xuất hiện chảy dẻo của hỗn hợp UHPC

Ảnh hưởng của hàm lượng Nano  $\text{SiO}_2$  đến thời gian xuất hiện chảy dẻo của hỗn hợp UHPC được thể hiện trên Hình 2.

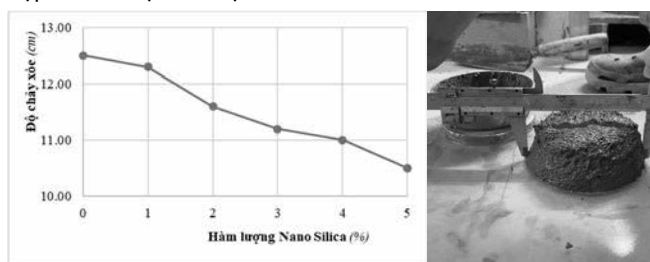


Hình 2: Ảnh hưởng hàm lượng Nano Silica đến thời gian trộn hỗn hợp UHPC

Kết quả thí nghiệm cho thấy thời gian xuất hiện chảy dẻo của hỗn hợp UHPC bị ảnh hưởng lớn bởi hàm lượng Nano  $\text{SiO}_2$ . Khi tăng hàm lượng Nano  $\text{SiO}_2$  từ 0 đến 5%, tương ứng với thời gian trộn tăng từ 11,5 phút đến 19,0 phút.

#### 3.1.2. Ảnh hưởng của hàm lượng Nano $\text{SiO}_2$ đến độ chảy xòe (ASTM C230/C230M-21)

Ảnh hưởng của hàm lượng Nano  $\text{SiO}_2$  đến độ chảy xòe của hỗn hợp UHPC được thể hiện trên Hình 3.

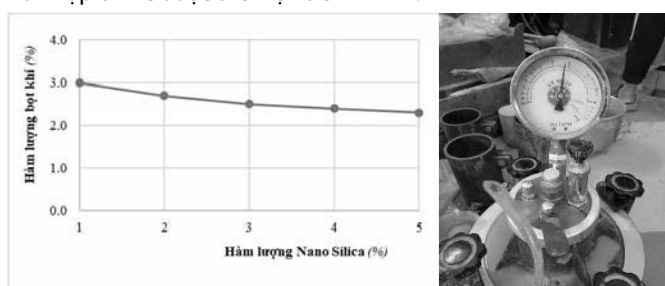


Hình 3: Ảnh hưởng Nano Silica đến độ chảy xòe hỗn hợp UHPC

Kết quả thí nghiệm cho thấy độ chảy xòe của hỗn hợp UHPC bị ảnh hưởng lớn bởi hàm lượng Nano  $\text{SiO}_2$ . Khi tăng hàm lượng Nano  $\text{SiO}_2$  0 ÷ 5%, tương ứng với thời gian trộn giảm từ 12,5 xuống 10,5 cm.

#### 3.1.3. Ảnh hưởng của hàm lượng Nano $\text{SiO}_2$ đến hàm lượng bọt khí (TCVN 3111:1993)

Ảnh hưởng của hàm lượng Nano  $\text{SiO}_2$  đến hàm lượng bọt khí hỗn hợp UHPC được thể hiện trên Hình 4.



Hình 4: Ảnh hưởng hàm lượng Nano Silica đến hàm lượng bọt khí hỗn hợp UHPC

**Bảng 1.** Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến các tính chất cơ lý của UHPC

| Ký hiệu mẫu | Hàm lượng Nano Silica (%) | Cường độ chịu kéo (MPa) |                    | Cường độ chịu uốn (MPa) |                    | Cường độ chịu nén (MPa) |                    | Co khô (μm/m) |
|-------------|---------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|---------------|
|             |                           | Bảo dưỡng ẩm tự nhiên   | Bảo dưỡng nhiệt ẩm | Bảo dưỡng ẩm tự nhiên   | Bảo dưỡng nhiệt ẩm | Bảo dưỡng ẩm tự nhiên   | Bảo dưỡng nhiệt ẩm |               |
| 0-1-3.5     | 1                         | 8,98                    | 12,33              | 30,52                   | 33,91              | 137,55                  | 158,62             | 37,85         |
| 0-2-3.5     | 2                         | 10,87                   | 13,21              | 35,41                   | 36,06              | 143,46                  | 175,34             | 37,43         |
| 0-3-3.5     | 3                         | 11,75                   | 13,81              | 36,74                   | 38,62              | 147,54                  | 179,32             | 37,10         |
| 0-4-3.5     | 4                         | 10,24                   | 13,20              | 35,74                   | 37,77              | 145,72                  | 173,46             | 36,80         |
| 0-5-3.5     | 5                         | 8,91                    | 11,19              | 34,94                   | 36,72              | 142,78                  | 165,42             | 36,70         |

**Bảng 2.** Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến ứng suất kéo – biến dạng

| Chế độ bảo dưỡng      | STT | Ký hiệu mẫu | Ứng suất (MPa)       |         |                             | Biến dạng (mm/m)     |         |                             |
|-----------------------|-----|-------------|----------------------|---------|-----------------------------|----------------------|---------|-----------------------------|
|                       |     |             | Tại vết nứt đầu tiên | Cực đại | Vết nứt đầu tiên<br>Cực đại | Tại vết nứt đầu tiên | Cực đại | Vết nứt đầu tiên<br>Cực đại |
| Bảo dưỡng nhiệt ẩm    | 1   | 0-1-3.5     | 11,40                | 12,33   | 92,46                       | 0,50                 | 4,05    | 12,35                       |
|                       | 2   | 0-2-3.5     | 11,52                | 13,21   | 87,21                       | 0,47                 | 3,89    | 12,08                       |
|                       | 3   | 0-3-3.5     | 11,76                | 13,81   | 85,16                       | 0,42                 | 2,84    | 14,79                       |
|                       | 4   | 0-4-3.5     | 10,92                | 13,20   | 82,73                       | 0,34                 | 2,96    | 11,49                       |
|                       | 5   | 0-5-3.5     | 9,90                 | 11,19   | 88,47                       | 0,19                 | 1,60    | 11,88                       |
| Bảo dưỡng ẩm tự nhiên | 6   | 0-1-3.5     | ---                  | 8,98    | ---                         | ---                  | 0,23    | ---                         |
|                       | 7   | 0-2-3.5     | 9,29                 | 10,87   | 85,46                       | 0,32                 | 2,04    | 15,69                       |
|                       | 8   | 0-3-3.5     | 11,24                | 11,75   | 95,66                       | 0,31                 | 1,93    | 16,06                       |
|                       | 9   | 0-4-3.5     | 9,62                 | 10,24   | 93,95                       | 0,24                 | 1,61    | 14,91                       |
|                       | 10  | 0-5-3.5     | ---                  | 8,91    | ---                         | ---                  | 0,22    | ---                         |

Kết quả thí nghiệm cho thấy hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> có gây ảnh hưởng đến hàm lượng bọt khí có trong hỗn hợp UHPC. Khi tăng hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> từ 1 đến 5%, hàm lượng bọt khí giảm từ 3,0 % đến 2,3 %.

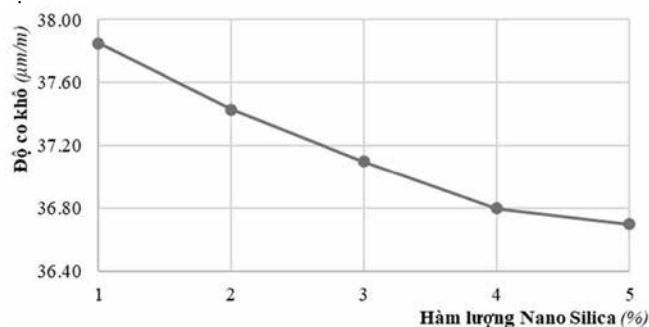
### 3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến các tính chất cơ lý của UHPC

Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến các tính chất cơ lý của UHPC được thể hiện trong Bảng 1.

Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo, cường độ chịu uốn đều cho kết quả cao nhất với hàm lượng 3% Nano SiO<sub>2</sub> dạng huyền phù tương đương với 0,98% hàm lượng chất khô.

#### 3.2.1. Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến độ co khô (BS ISO 1920-8:2009)

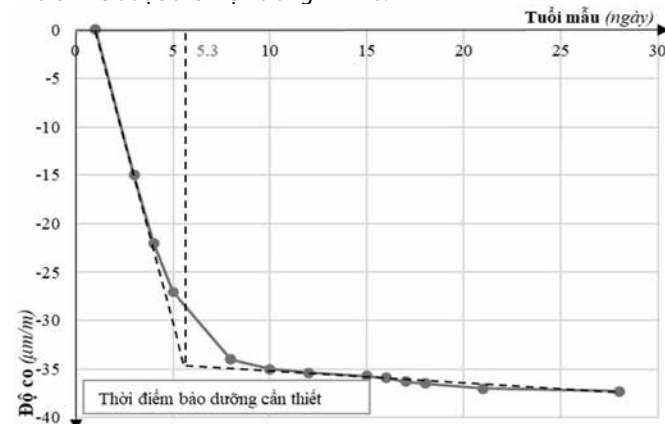
Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến độ co khô được thể hiện trên Hình 5.



**Hình 5:** Ảnh hưởng của hàm lượng Nano Silica đến độ co khô của UHPC

Kết quả thí nghiệm cho thấy hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> có ảnh hưởng đến độ co khô của UHPC. Khi tăng hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> trong khoảng 1 ÷ 5%, độ co khô giảm tương ứng từ 37,85μm/m xuống 36,70 μm/m.

Ảnh hưởng của tuổi mẫu sử dụng Nano SiO<sub>2</sub> (3%) đến độ co khô UHPC được thể hiện trong Hình 6.



**Hình 6:** Co khô mẫu CP 0-3-3.5

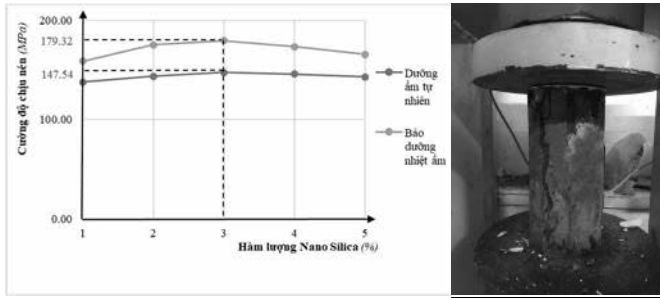
Kết quả thí nghiệm cho thấy:

- Trong những ngày đầu độ co phát triển nhanh (≈35μm/m) và sau đó giảm dần.
- Từ đồ thị có thể xác định được thời gian bảo dưỡng cần thiết là giao điểm của hai tiếp tuyến của hai phần đường cong co ngót cần thiết:

$$\tau_{TH} = 5,3 \text{ (ngày)}.$$

### 3.2.2. Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến cường độ chịu nén. (ASTM C39)

Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến cường độ chịu nén của UHPC được thể hiện trong Hình 7. Kết quả thí nghiệm cho thấy:



**Hình 7:** Ảnh hưởng hàm lượng Nano Silica đến cường độ chịu nén của UHPC (R28)

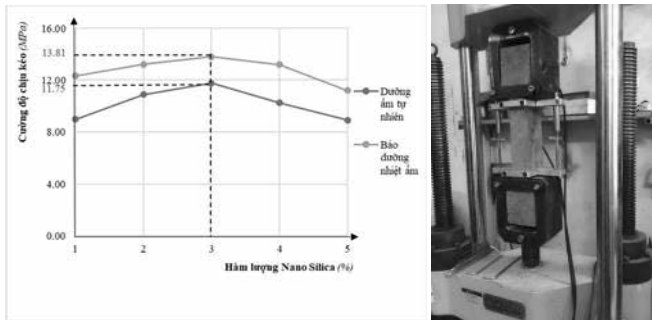
- Cường độ chịu nén đạt cực đại tại hàm lượng 3% Nano SiO<sub>2</sub> dạng huyền phù tương đương với 0,98% hàm lượng chất khô.
- Cường độ chịu nén khi được bảo dưỡng nhiệt ẩm cao hơn so với bảo dưỡng ẩm tự nhiên là 13 ÷ 18%.

### 3.2.3. Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến cường độ chịu kéo (NF P18-470, TCCS 02:2017/IBST)

Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến cường độ chịu kéo của UHPC được thể hiện Hình 8. Kết quả thí nghiệm cho thấy:

- Cường độ chịu kéo đạt cực đại tại hàm lượng 3% Nano SiO<sub>2</sub> dạng huyền phù tương đương với 0,98% hàm lượng chất khô.
- Cường độ chịu kéo khi được bảo dưỡng nhiệt ẩm cao hơn so với bảo dưỡng ẩm tự nhiên là 15 ÷ 25%.

### 3.2.4. Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến ứng suất kéo - Biến dạng



**Hình 8:** Ảnh hưởng hàm lượng Nano Silica đến cường độ chịu kéo mẫu của UHPC (R28)

Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến ứng suất kéo - biến dạng của UHPC được thể hiện trong 2.

Kết quả thí nghiệm cho thấy chỉ số biến dạng đàn hồi lớn nhất ứng với hàm lượng 3% Nano SiO<sub>2</sub> dạng huyền phù tương đương với 0,98% hàm lượng chất khô.

Đường cong ứng suất kéo – biến dạng của UHPC với hàm lượng 3% Nano SiO<sub>2</sub> được thể hiện trong hình 9 và hình 10. Kết quả thí nghiệm cho thấy mẫu 0-3-3.5 khi bảo dưỡng nhiệt ẩm:

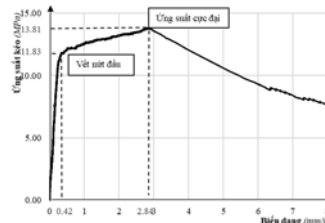
- Biến dạng đàn hồi khi kéo ứng với vết nứt đầu tiên là 0,42 (‰)
- Biến dạng khi kéo ứng với ứng suất kéo cực đại là 2,84 (‰)

Kết quả thí nghiệm cho thấy mẫu 0-3-3.5 khi bảo dưỡng ẩm tự nhiên:

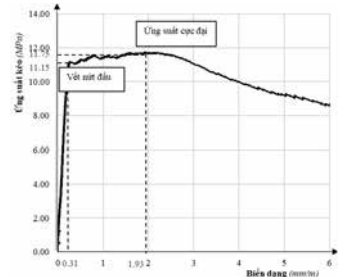
- Biến dạng kéo đàn hồi ứng với vết nứt đầu tiên là 0,31 (‰)
- Biến dạng kéo ứng với ứng suất cực đại là 1,93 (‰)

### 3.2.5. Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến cường độ chịu uốn. (ASTM C78, ASTM C1018)

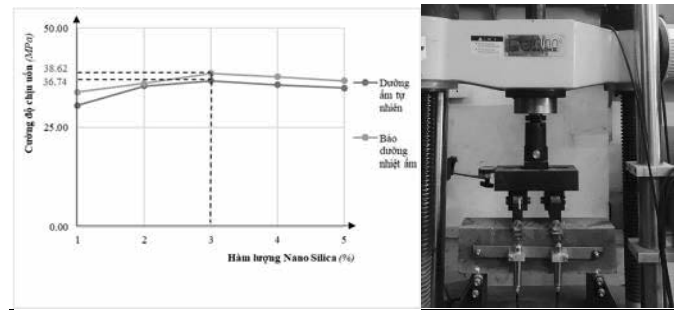
Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến cường độ chịu uốn của UHPC được thể hiện trong hình 11.



**Hình 9:** Ứng suất kéo - biến dạng mẫu 0-3-3.5 (R28, bảo dưỡng nhiệt ẩm)



**Hình 10:** Ứng suất kéo - biến dạng mẫu 0-3-3.5 (R28, bảo dưỡng ẩm tự nhiên)



**Hình 11:** Ảnh hưởng hàm lượng Nano Silica đến cường độ chịu uốn mẫu của UHPC (R28)

Kết quả thí nghiệm cho thấy:

- Cường độ chịu uốn đạt cực đại tại hàm lượng 3% Nano SiO<sub>2</sub> dạng huyền phù tương đương với 0,98% hàm lượng chất khô.
- Cường độ chịu uốn khi bảo dưỡng nhiệt ẩm cao hơn khi bảo dưỡng ẩm tự nhiên 5 ÷ 15 %.

### 3.2.6. Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến ứng suất uốn - độ võng - chỉ số dẻo dai của UHPC.

Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến ứng suất uốn - độ võng - chỉ số dẻo dai của UHPC được thể hiện trong bảng 3

Thử nghiệm được tiếp tục khi bắt đầu vết nứt, cho đến độ võng điểm cuối được chỉ định. Dữ liệu thu thập sau vết nứt đầu tiên được sử dụng để xác định chỉ số độ dẻo dai của mẫu bê tông mức 3; 5,5 lần độ võng của vết nứt đầu tiên. Chỉ số độ dẻo dai cung cấp khả năng hấp thụ năng lượng của bê tông sau khi bắt đầu vết nứt đầu tiên

Kết quả thí nghiệm cho thấy khi tăng hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> thì độ võng và chỉ số dẻo dai tại các điểm I5, I10 đạt mức tốt nhất với hàm lượng 3% Nano SiO<sub>2</sub> dạng huyền phù tương đương với 0,98% hàm lượng chất khô.

Đường cong ứng suất uốn - độ võng - chỉ số dẻo dai của UHPC với hàm lượng 3% Nano SiO<sub>2</sub> được thể hiện trong Hình 12 và Hình 13.

Kết quả thí nghiệm cho thấy mẫu 0-3-3.5 khi bảo dưỡng nhiệt ẩm:

- Độ võng khi uốn đàn hồi ứng với vết nứt đầu tiên là 1,11 (mm)
- Độ võng khi uốn ứng với ứng suất cực đại là 1,95 (mm)

Kết quả thí nghiệm cho thấy mẫu 0-3-3.5 khi bảo dưỡng ẩm tự nhiên:

- Độ võng đàn hồi ứng với vết nứt đầu tiên là 0,81 (mm)
- Độ võng với ứng suất kéo cực đại là 1,49 (mm)

## IV. KẾT LUẬN

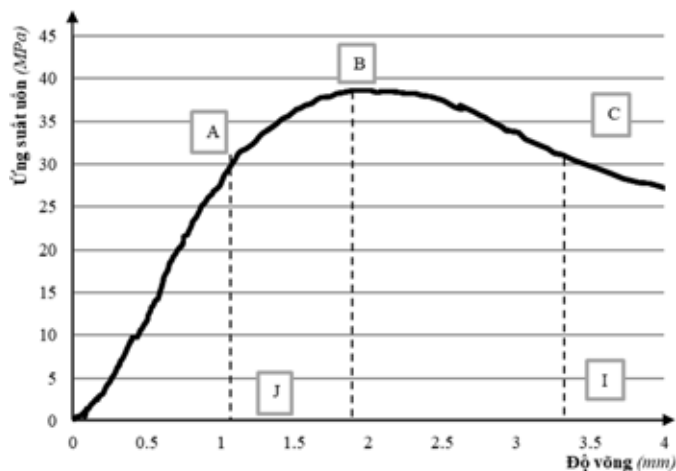
### 1. Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến tính chất của hỗn hợp UHPC:

Khi hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> tăng, thời gian trộn tăng, độ chảy xèo giảm, hàm lượng bọt khí giảm.

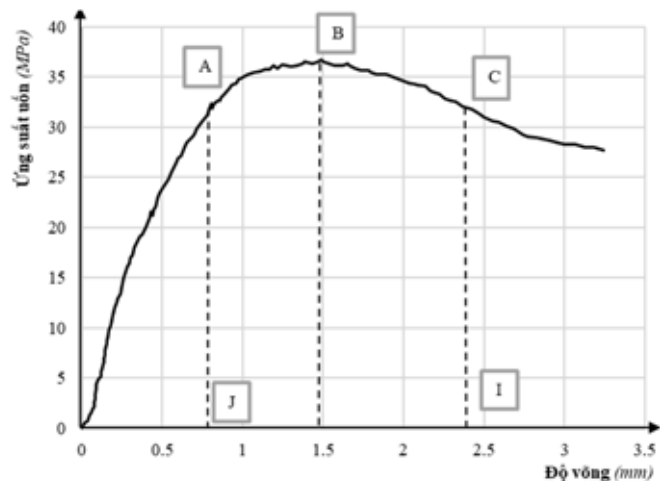
### 2. Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến tính chất cơ lý của UHPC:

**Bảng 3:** Ảnh hưởng của hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> đến ứng suất uốn – độ võng – chỉ số dẻo dai

| Chế độ bảo dưỡng      | STT | Ký hiệu mẫu | Ứng suất (MPa)       |         |                             | Độ võng (mm)         |         |                             | Chỉ số dẻo dai |       |
|-----------------------|-----|-------------|----------------------|---------|-----------------------------|----------------------|---------|-----------------------------|----------------|-------|
|                       |     |             | Tại vết nứt đầu tiên | Cực đại | Vết nứt đầu tiên<br>Cực đại | Tại vết nứt đầu tiên | Cực đại | Vết nứt đầu tiên<br>Cực đại | I5             | I10   |
| Bảo dưỡng nhiệt ẩm    | 1   | 0-1-3.5     | 28,77                | 33,91   | 84,84                       | 0,83                 | 1,59    | 52,20                       | 5,31           | 9,03  |
|                       | 2   | 0-2-3.5     | 34,05                | 36,06   | 94,43                       | 1,07                 | 1,85    | 57,84                       | 5,71           | 9,65  |
|                       | 3   | 0-3-3.5     | 31,32                | 38,62   | 81,10                       | 1,11                 | 1,95    | 56,92                       | 5,78           | 9,95  |
|                       | 4   | 0-4-3.5     | 31,12                | 37,77   | 82,39                       | 0,69                 | 1,10    | 62,73                       | 5,51           | 9,76  |
|                       | 5   | 0-5-3.5     | 28,68                | 36,72   | 78,10                       | 0,67                 | 1,69    | 39,64                       | 5,32           | 8,92  |
| Bảo dưỡng ẩm tự nhiên | 6   | 0-1-3.5     | 26,19                | 30,52   | 85,81                       | 0,51                 | 0,90    | 56,67                       | 5,25           | 9,45  |
|                       | 7   | 0-2-3.5     | 27,71                | 35,41   | 78,25                       | 0,75                 | 1,46    | 51,37                       | 5,35           | 9,84  |
|                       | 8   | 0-3-3.5     | 31,86                | 36,74   | 86,72                       | 0,81                 | 1,49    | 54,36                       | 5,77           | 10,12 |
|                       | 9   | 0-4-3.5     | 29,84                | 35,74   | 83,49                       | 0,66                 | 1,24    | 53,23                       | 5,55           | 9,56  |
|                       | 10  | 0-5-3.5     | 29,16                | 34,94   | 83,46                       | 0,59                 | 1,35    | 43,70                       | 5,31           | 9,31  |



**Hình 12:** Ứng suất uốn – Độ võng mẫu 0-3-3.5 (R28, bảo dưỡng nhiệt ẩm)



**Hình 13:** Ứng suất uốn – Độ võng mẫu 0-3-3.5 (R28, dưỡng ẩm tự nhiên)

Khi hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> tăng, độ co khô giảm không đáng kể. Các mẫu cấp phối đạt cường độ bảo dưỡng tới hạn tại 5,3 (ngày).

Khi hàm lượng Nano SiO<sub>2</sub> tăng, cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo, cường độ chịu uốn đều cho kết quả tốt nhất khi hàm lượng 3% Nano SiO<sub>2</sub>; và khi đó chỉ số biến dạng đàn hồi khi kéo tại vết nứt đầu tiên 310 micromet/m và tại điểm ứng suất cực đại 1930 micromet/m; chỉ số dẻo dai I5 là 5,77 và I10 là 10,12, độ võng khi uốn tại vết nứt đầu tiên 1,11mm/m và độ võng tại điểm ứng suất cực đại 1,95mm.

### 3. Ảnh hưởng chế độ bảo dưỡng mẫu đến các tính chất cơ lý của UHPC có sử dụng Nano SiO<sub>2</sub>:

Cường độ chịu nén khi được bảo dưỡng nhiệt ẩm cao hơn so với bảo dưỡng ẩm tự nhiên 13 ÷ 18%; cường độ chịu kéo cao hơn 15 ÷ 25%; cường độ chịu uốn hơn 5 ÷ 15%; độ võng cao hơn 24 ÷ 27% và chỉ số biến dạng đàn hồi cao hơn 26 ÷ 32%;

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. FHWA-HRT-18-036 *Properties and Behavior of UHPC-Class Material*, 2018.
2. M. Nili, A. Ehsani, and K. Shabani, *Influence of Nano-SiO<sub>2</sub> and Microsilica on Concrete Performance* - (June 28 - June 30, 2010).
3. Douglas Hendrix, Jessica McKeon and Kay Wille, *Behavior of Colloidal Nanosilica in an Ultrahigh - Performance Concrete Environment Using - Dynamic Light Scattering*, 19 June 2019.
4. Jianqing Gong, Lilin Zhu, Jiusu Li and Da Shi, *Silica Fume and Nanosilica Effects on Mechanical and Shrinkage Properties of Foam Concrete for Structural*, 27 April 2020.