

# Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến tính chất của bê tông siêu tính năng - UHPC

Study on the influence of steel fiber content on the properties of ultra high performance fibre reinforced concrete – UHPC

> TS TRẦN BÁ VIỆT<sup>1</sup>, TS TỐNG TÔN KIÊN<sup>2</sup>, KS LƯƠNG TIẾN HÙNG<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hội bê tông Việt Nam - VCA, email: [vietbach57@yahoo.com](mailto:vietbach57@yahoo.com).

<sup>2</sup> Khoa Vật liệu Xây dựng - Đại học Xây dựng Hà Nội.

<sup>3</sup> Công ty CP Sáng tạo và CGCN Việt Nam.

## TÓM TẮT:

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về vai trò và sự ảnh hưởng của hàm lượng cốt sợi thép phân tán trong chế tạo bê tông siêu tính năng - UHPC. Thông qua các thử nghiệm tính chất cơ lý của hỗn hợp UHPC và UHPC, có thể đưa ra được các số liệu tham khảo về việc lựa chọn hàm lượng sợi phù hợp cho tính toán cấp phối và kết cấu UHPC để đảm bảo được mức tối ưu nhất về tính công tác và cường độ.

**Từ khoá:** Bê tông siêu tính năng UHPC, cốt sợi phân tán, sợi thép cường độ cao, bảo dưỡng nhiệt ẩm, độ chảy xoè, cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo, cường độ chịu uốn, modul đàn hồi và hệ số Poisson's.

## ABSTRACT:

This paper presents research results on the role and influence of the content dispersed steel fiber reinforcement in ultra high performance fibre reinforced concrete – UHPC. Through testing the physical and mechanical properties of the UHPC and UHPC blends, it is possible to provide reference data on the selection of the appropriate fiber content for the calculation of the composition and the UHPC mixer to ensure that the most optimal level of workability and mechanical properties.

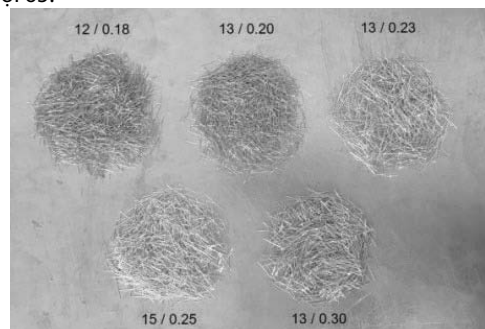
**Keywords:** Ultra high performance fibre reinforced concrete – UHPC, dispersed steel fiber, heat moisture curing, flow, compressive strength, tensile strength, flexural strength, elastic Modulus and Poisson's.

## I. TỔNG QUAN

### 1. UHPC – Vật liệu thành phần

Sau thành công của dự án “Sửa chữa mặt cầu Thăng Long”, UHPC được biết đến rộng rãi ở Việt Nam. Hiện nay, UHPC là một trong những sản phẩm tiên tiến nhất của công nghệ bê tông, sử dụng cốt sợi thép phân tán nên có độ bền rất cao, độ dẻo dai lớn và tuổi thọ rất cao. Nhờ có sự liên kết hạt tối đa, tối ưu hoá về độ đặc chắc cùng sự phân tán 3D của cốt sợi thép nên UHPC có được cường độ chịu nén lên tới 200 MPa, cường độ chịu kéo và cường độ chịu uốn lần lượt là 17 MPa, 45 MPa (tuổi 28 ngày).

Khi có thêm sợi thép, khả năng chịu biến dạng ngang và chịu kéo đã được tăng cường, từ đó UHPC tăng vượt trội về các đặc tính cường độ. Tuy vậy, khi tăng hàm lượng sợi lên một giới hạn nào đó, độ chảy của hỗn hợp UHPC sẽ giảm. Từ đó có thể dẫn đến sự phân tán sợi thép khi thi công sẽ không được tốt và cường độ chịu kéo, chịu uốn của UHPC không có sự tăng cường độ tối đa. Dưới đây là các loại sợi thép thẳng thường được sử dụng trong sản xuất chế tạo UHPC, trong nghiên cứu này sử dụng loại sợi thép có tỉ lệ hướng sợi 65.



Hình 1. Các loại sợi thép được sử dụng trong bê tông siêu tính năng - UHPC

Các kết quả nghiên cứu gần đây cho thấy, UHPC được chế tạo tại Việt Nam có thể đạt cường độ chịu nén R28 khoảng 180 ÷ 210 MPa, cường độ chịu kéo trực tiếp xấp xỉ 17 MPa. Từ đó, sẽ có những sản phẩm, công trình UHPC với các thiết kế độc đáo, riêng biệt và hiệu quả.

Nghiên cứu này được thực hiện để có hệ thống số liệu tham chiếu khách quan cho lựa chọn mức hàm lượng cốt sợi sử dụng. Nghiên cứu này sử dụng 4 cấp phối tương ứng lần lượt với 4 hàm lượng sợi khác nhau và mẫu đối chứng là: **0%, 1%, 2%, 3%**.

## 2. Phương pháp nghiên cứu và các tiêu chuẩn liên quan

### Các chỉ tiêu tính chất cơ lý thực hiện theo các tiêu chuẩn sau:

- TCCS 02:2017/IBST, Bê tông tính năng siêu cao UHPC – hướng dẫn thiết kế kết cấu;
- TCVN 3108:1993, Hỗn hợp bê tông nặng – phương pháp xác định khối lượng thể tích;
- TCVN 3111:1993, Hỗn hợp bê tông nặng – phương pháp xác định hàm lượng bọt khí;
- TCVN 9204:2012, Vữa xi măng khô trộn sẵn không co;
- NF P18-470:2016, Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete – Specifications, performance, production and conformity;
- ASTM C230/C230M-21, Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement;
- ASTM C469/C469M-14e1, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression;
- ASTM C1609/C1609M - 19a, Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third – Point Loading);
- ASTM C1856/C1856M-17, Standard Practice for Fabricating and Testing Specimens of Ultra-High Performance Concrete;

## II. NỘI DUNG KỸ THUẬT

### 1. Giới thiệu khái quát

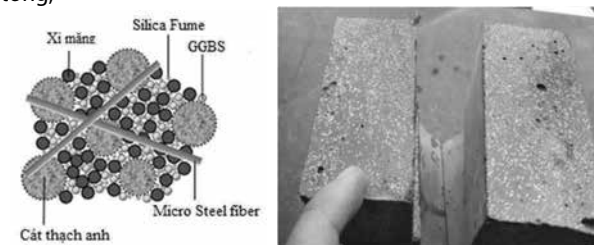
a) Vật liệu thành phần trong nghiên cứu này bao gồm:

Nhóm chất kết dính:

- Xi măng PC 50, TCVN 6282:2009 Xi măng Poóc lăng – yêu cầu kỹ thuật;
- Silica fume, TCVN 8827:2011 Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa;
- GGBS, TCVN 11586:2016 Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa;

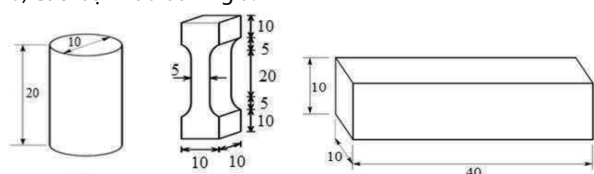
Nhóm các loại vật liệu thành phần khác

- Cát thạch anh, TCVN 9036:2011 Nguyên liệu để sản xuất thủy tinh – cát – yêu cầu kỹ thuật;
- Sợi thép – Micro Steel fiber, ASTM A820/A820M-16 Standard specification for Steel fibers for fiber – reinforced concrete;
- Phụ gia dẻo gốc PCE, TCVN 8826:2011 Phụ gia hoá học cho bê tông;



Hình 2. Sự phân tán sợi thép trong cấu trúc đá UHPC

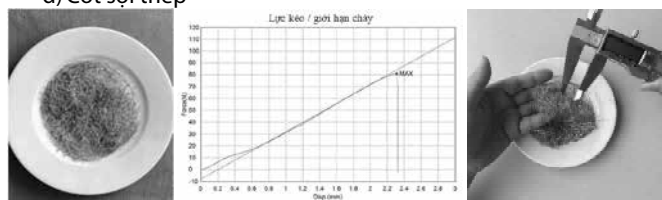
b) Các loại mẫu đánh giá:



Hình 3. Các loại mẫu được sử dụng trong thử nghiệm tính chất cơ học của UHPC

- Độ chảy xòe: cône Suttard và cone ASTM C230;
- Hàm lượng bọt khí;
- Biến dạng co: lăng trụ 100 x 100 x 400 mm;
- Mẫu cường độ chịu nén: lăng trụ 40 x 40 x 160 mm;
- Mẫu cường độ chịu nén: trụ tròn d100 x h200 mm;
- Mẫu cường độ chịu kéo: xương 50 x 100 x 500 mm;
- Mẫu cường độ chịu uốn: lăng trụ 100 x 100 x 400 mm;
- c) Chế độ bảo dưỡng mẫu và gia công mẫu
- Sau khi đúc, làm phẳng, các mẫu được dán màng film PVC và phun nước bảo dưỡng ẩm tự nhiên trong điều kiện phòng thí nghiệm;
- Khi đủ 1 ngày tuổi, các mẫu được bảo dưỡng nhiệt bão hoà ẩm ở điều kiện 80 °C liên tục trong 72 giờ tiếp theo;
- Sau đó, các mẫu được bảo dưỡng ẩm đến khi đủ tuổi 28 ngày;
- Đối với mẫu nén trụ tròn, capping bằng keo epoxy làm phẳng mặt mẫu.

d) Cốt sợi thép



Hình 4. Sợi thép hợp kim cường độ cao được nhập khẩu từ nước ngoài

Bảng 1. Kết quả thử nghiệm các tính chất cơ lý của sợi thép

| Nội dung                          | Đơn vị | Kết quả |
|-----------------------------------|--------|---------|
| 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    |

### 2. Cấp phối thử nghiệm

a) Kí hiệu mẫu

- **0% Sf:** Mẫu UHPC không sử dụng cốt sợi thép;
- **1% Sf:** Mẫu UHPC sử dụng 1% cốt sợi thép;
- **2% Sf:** Mẫu UHPC sử dụng 2% cốt sợi thép;
- **3% Sf:** Mẫu UHPC sử dụng 3% cốt sợi thép;

b) Cấp phối hỗn hợp

Bảng 2. Cấp phối đối chứng dùng cho thử nghiệm nghiên cứu này

| Tên vật liệu       | Đơn vị | 0% Sf        | 1% Sf | 2% Sf | 3% Sf |
|--------------------|--------|--------------|-------|-------|-------|
| Tổng chất kết dính | kg     | 1175,0       |       |       |       |
| Cát thạch anh      | kg     | 980,0        |       |       |       |
| Sợi thép           | kg     | 0,0          | 79,0  | 158,0 | 236,0 |
| Phụ gia            | kg     | 24,0         |       |       |       |
| N/CKD              | -      | <b>0,155</b> |       |       |       |

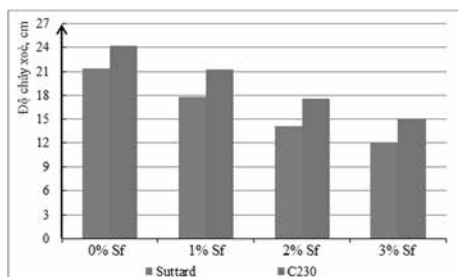


Hình 5. Hỗn hợp UHPC được trộn bằng máy trộn chuyên sâu tốc độ cao

### 3. Kết quả thử nghiệm hỗn hợp UHPC

Bảng 3. Kết quả thử nghiệm các tính chất của các mẫu hỗn hợp UHPC

| Kí hiệu mẫu                            |           | 0% Sf | 1% Sf | 2% Sf | 3% Sf |
|----------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| Độ chảy xòe, cm                        | Suttard   | 21,4  | 17,8  | 14,1  | 11,9  |
|                                        | cone C230 | 24,2  | 21,3  | 17,6  | 15,1  |
| Khối lượng thể tích, kg/m <sup>3</sup> |           | 2395  | 2445  | 2475  | 2505  |
| Hàm lượng bọt khí, %                   |           | 3,2   | 2,7   | 2,4   | 2,3   |
| Co mềm, $\mu\text{m}/\text{m}$         |           | -550  | -500  | -400  | -200  |



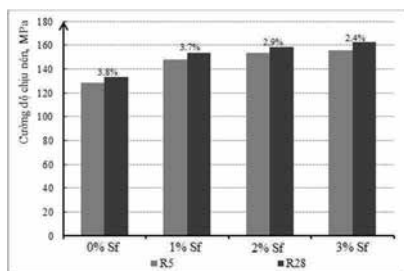
Hình 6. Biểu đồ ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến độ chảy hỗn hợp UHPC



Hình 7. Kiểm tra độ chảy xòe và khối lượng thể tích của các mẫu hỗn hợp UHPC

Bảng 4. Kết quả thử nghiệm cường độ chịu nén của các mẫu UHPC

| Kí hiệu mẫu | R5, MPa |       |       |       |       |       | R28, MPa |       |       |       |       |       |
|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 125,5   | 131,7 | 127,4 | 130,9 | 128,5 | 125,2 | 135,4    | 131,9 | 132,0 | 133,4 | 133,8 | 132,1 |
| 0% Sf       | 128,2   |       |       |       |       |       | 133,1    |       |       |       |       |       |
| 1% Sf       | 149,0   | 145,3 | 149,4 | 143,7 | 150,6 | 149,4 | 157,6    | 151,9 | 150,4 | 149,1 | 158,3 | 152,5 |
|             | 147,9   |       |       |       |       |       | 153,3    |       |       |       |       |       |
| 2% Sf       | 153,1   | 156,5 | 152,2 | 154,6 | 147,2 | 149,8 | 157,5    | 159,1 | 158,6 | 158,2 | 157,3 | 159,7 |
|             | 153,9   |       |       |       |       |       | 158,4    |       |       |       |       |       |
| 3% Sf       | 161,9   | 155,5 | 159,0 | 162,3 | 156,4 | 157,7 | 161,4    | 164,2 | 162,2 | 163,6 | 161,0 | 163,2 |
|             | 158,8   |       |       |       |       |       | 162,6    |       |       |       |       |       |



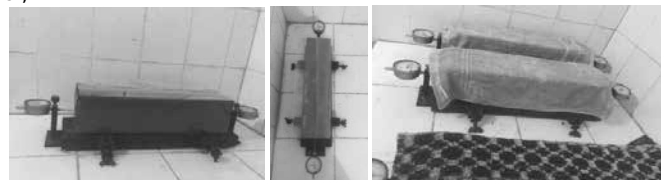
Hình 9. Biểu đồ ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến cường độ chịu nén UHPC

Nhận xét:

- Cường độ chịu nén của mẫu 1% Sf lớn hơn **16,2%** so với mẫu 0% Sf;
- Cường độ chịu nén của mẫu 2% Sf lớn hơn **20,4%** so với mẫu 0% Sf;
- Cường độ chịu nén của mẫu 3% Sf lớn hơn **23,0%** so với mẫu 0% Sf;

Nhận xét:

- Các mẫu 1% Sf, 2% Sf, 3% Sf có kết quả kiểm tra độ chảy xòe lần lượt bằng khoảng **86%, 70%, 59%** so với mẫu 0% Sf;
- Hàm lượng bọt khí của các mẫu hỗn hợp UHPC có kết quả kiểm tra tỉ lệ nghịch so với mức tăng của hàm lượng sợi thép;
- Các mẫu 1% Sf, 2% Sf, 3% Sf biến dạng co mềm trong 24 giờ sau khi trộn lần lượt bằng khoảng **91%, 73%, 36%** so với mẫu 0% Sf;



Hình 8. Đo biến dạng co mềm và co khô của các mẫu UHPC

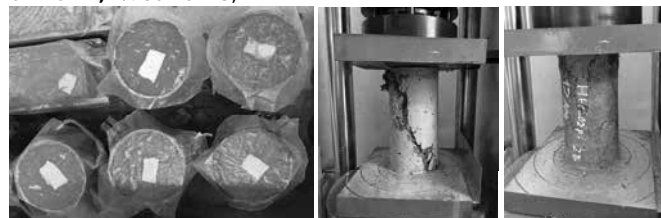
Ghi chú: Biến dạng co mềm – co khô

- Biến dạng co mềm là độ co của UHPC được đo từ thời điểm mẫu hỗn hợp UHPC bắt đầu đông kết đến khi đủ 24 giờ;
- Biến dạng co khô là độ co của UHPC được đo từ thời điểm kết thúc đo co mềm đến khi mẫu đạt 28 ngày tuổi
- Giá trị co của UHPC được ghi nhận bởi các trị số thể hiện trên 2 đồng hồ lắp tại 2 đầu của mẫu thử;
- Mẫu thử được bảo dưỡng ẩm tự nhiên trong suốt quá trình đo (bằng khăn ẩm) và đặt trong điều kiện phòng thí nghiệm.

#### 4. Kết quả thử nghiệm UHPC

a) Cường độ chịu nén

- Cường độ chịu nén của mẫu 0% Sf có kết quả trung bình R28 lớn hơn **3,8%** so với R5;
- Cường độ chịu nén của mẫu 1% Sf có kết quả trung bình R28 lớn hơn **3,7%** so với R5;
- Cường độ chịu nén của mẫu 2% Sf có kết quả trung bình R28 lớn hơn **2,9%** so với R5;
- Cường độ chịu nén của mẫu 3% Sf có kết quả trung bình R28 lớn hơn **2,4%** so với R5;



Hình 10. Thử nghiệm cường độ chịu nén mẫu UHPC

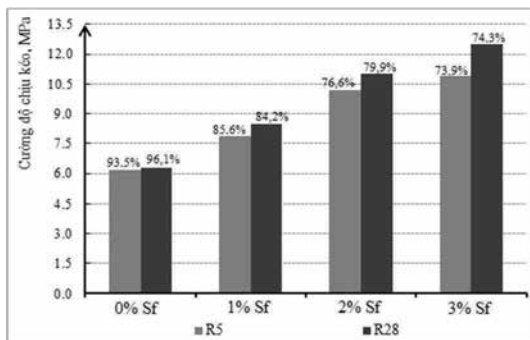
b) Cường độ chịu kéo và cường độ chịu uốn

Bảng 5. Kết quả thử nghiệm cường độ chịu kéo và ứng suất kéo – biến dạng R5 mẫu UHPC

| Kí hiệu mẫu |                  | Viên mẫu 1, MPa |              | Viên mẫu 2, MPa |              | Trung bình – R5, MPa |              |
|-------------|------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|----------------------|--------------|
|             |                  | Ứng suất, MPa   | Biến dạng, ‰ | Ứng suất, MPa   | Biến dạng, ‰ | Ứng suất, MPa        | Biến dạng, ‰ |
| 0% Sf       | Vết nứt đầu tiên | 5,4             | 0,11         | 6,2             | 0,14         | <b>5,8</b>           | <b>0,12</b>  |
|             | Giá trị cực đại  | 6,0             | 0,16         | 6,4             | 0,16         | <b>6,2</b>           | <b>0,16</b>  |
|             | Tỉ lệ, %         | 90,2            | -            | 96,7            | -            | <b>93,5</b>          | -            |
| 1% Sf       | Vết nứt đầu tiên | 7,0             | 0,15         | 6,5             | 0,14         | <b>6,7</b>           | <b>0,15</b>  |
|             | Giá trị cực đại  | 7,7             | 1,41         | 8,1             | 1,65         | <b>7,9</b>           | <b>1,53</b>  |
|             | Tỉ lệ, %         | 90,9            | -            | 80,2            | -            | <b>85,6</b>          | -            |
| 2% Sf       | Vết nứt đầu tiên | 7,1             | 0,18         | 8,5             | 0,21         | <b>7,8</b>           | <b>0,20</b>  |
|             | Giá trị cực đại  | 10,4            | 2,87         | 10,0            | 2,23         | <b>10,2</b>          | <b>2,55</b>  |
|             | Tỉ lệ, %         | 68,3            | -            | 85,0            | -            | <b>76,6</b>          | -            |
| 3% Sf       | Vết nứt đầu tiên | 8,0             | 0,21         | 8,1             | 0,22         | <b>8,1</b>           | <b>0,22</b>  |
|             | Giá trị cực đại  | 10,6            | 3,06         | 11,2            | 3,87         | <b>10,9</b>          | <b>3,47</b>  |
|             | Tỉ lệ, %         | 75,5            | -            | 72,3            | -            | <b>73,9</b>          | -            |

Bảng 6. Kết quả thử nghiệm cường độ chịu kéo và ứng suất kéo – biến dạng R28 mẫu UHPC

| Kí hiệu mẫu |                  | Viên mẫu 1, MPa |              | Viên mẫu 2, MPa |              | Trung bình – R28, MPa |              |
|-------------|------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------------|--------------|
|             |                  | Ứng suất, MPa   | Biến dạng, ‰ | Ứng suất, MPa   | Biến dạng, ‰ | Ứng suất, MPa         | Biến dạng, ‰ |
| 0% Sf       | Vết nứt đầu tiên | 6,0             | 0,11         | 6,1             | 0,11         | <b>6,1</b>            | <b>0,11</b>  |
|             | Giá trị cực đại  | 6,4             | 0,12         | 6,2             | 0,13         | <b>6,3</b>            | <b>0,13</b>  |
|             | Tỉ lệ, %         | 93,8            | -            | 98,4            | -            | <b>96,1</b>           | -            |
| 1% Sf       | Vết nứt đầu tiên | 6,9             | 0,16         | 7,4             | 0,17         | <b>7,2</b>            | <b>0,17</b>  |
|             | Giá trị cực đại  | 8,6             | 1,79         | 8,4             | 1,92         | <b>8,5</b>            | <b>1,86</b>  |
|             | Tỉ lệ, %         | 80,2            | -            | 88,1            | -            | <b>84,2</b>           | -            |
| 2% Sf       | Vết nứt đầu tiên | 8,5             | 0,19         | 9,0             | 0,22         | <b>8,8</b>            | <b>0,21</b>  |
|             | Giá trị cực đại  | 10,7            | 2,90         | 11,2            | 2,93         | <b>11,0</b>           | <b>2,92</b>  |
|             | Tỉ lệ, %         | 79,4            | -            | 80,4            | -            | <b>79,9</b>           | -            |
| 3% Sf       | Vết nứt đầu tiên | 9,4             | 0,21         | 9,1             | 0,22         | <b>9,3</b>            | <b>0,22</b>  |
|             | Giá trị cực đại  | 12,3            | 3,74         | 12,6            | 3,61         | <b>12,5</b>           | <b>3,69</b>  |
|             | Tỉ lệ, %         | 76,4            | -            | 72,2            | -            | <b>74,3</b>           | -            |



Hình 11. Biểu đồ ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến cường độ chịu kéo UHPC

Nhận xét:

- Mẫu 1% Sf có trung bình cường độ chịu kéo lớn hơn **31,2%** và giới hạn đàn hồi chịu kéo lớn hơn **39,1%** so với mẫu 0% Sf;

- Mẫu 2% Sf có trung bình cường độ chịu kéo lớn hơn **69,6%** và giới hạn đàn hồi chịu kéo lớn hơn **78,3%** so với mẫu 0% Sf;  
 - Mẫu 3% Sf có trung bình cường độ chịu kéo lớn hơn **87,2%** và giới hạn đàn hồi chịu kéo lớn hơn **91,3%** so với mẫu 0% Sf;



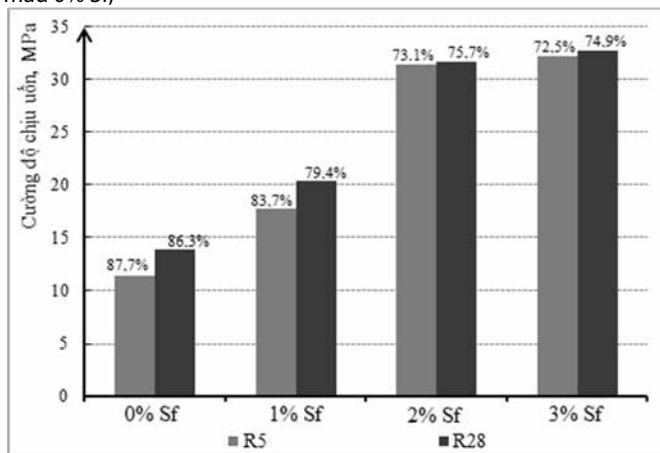
Hình 12. Thí nghiệm cường độ chịu kéo, ứng suất kéo – biến dạng mẫu UHPC

Bảng 7. Kết quả thử nghiệm cường độ chịu uốn UHPC

| Kí hiệu mẫu |                  | R5            |             | R28           |             |
|-------------|------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
|             |                  | Ứng suất, MPa | Độ võng, mm | Ứng suất, MPa | Độ võng, mm |
| 0% Sf       | Vết nứt đầu tiên | 10,4          | 0,02        | 12,0          | 0,05        |
|             | Giá trị cực đại  | <b>11,4</b>   | <b>0,05</b> | <b>13,9</b>   | <b>0,06</b> |
|             | Tỉ lệ, %         | 87,7          | -           | 86,3          | -           |
| 1% Sf       | Vết nứt đầu tiên | 14,9          | 0,13        | 16,2          | 0,17        |
|             | Giá trị cực đại  | <b>17,8</b>   | <b>0,32</b> | <b>20,4</b>   | <b>0,47</b> |
|             | Tỉ lệ, %         | 83,7          | -           | 79,4          | -           |
| 2% Sf       | Vết nứt đầu tiên | 22,9          | 0,39        | 24,0          | 0,33        |
|             | Giá trị cực đại  | <b>31,3</b>   | <b>0,68</b> | <b>31,7</b>   | <b>0,51</b> |
|             | Tỉ lệ, %         | 73,1          | -           | 75,7          | -           |
| 3% Sf       | Vết nứt đầu tiên | 23,5          | 0,31        | 24,6          | 0,21        |
|             | Giá trị cực đại  | <b>32,4</b>   | <b>0,66</b> | <b>32,7</b>   | <b>0,57</b> |
|             | Tỉ lệ, %         | 72,5          | -           | 74,9          | -           |

Nhận xét:

- Cường độ chịu uốn của mẫu 1% Sf lớn hơn **51,0%** so với mẫu 0% Sf;
- Cường độ chịu uốn của mẫu 2% Sf lớn hơn **149,0%** so với mẫu 0% Sf;
- Cường độ chịu uốn của mẫu 3% Sf lớn hơn **157,3%** so với mẫu 0% Sf;



Hình 13. Biểu đồ ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến cường độ chịu kéo khi uốn UHPC



Hình 14. Thử nghiệm cường độ chịu uốn, ứng suất uốn – biến dạng mẫu UHPC

c) Các kết quả khác

Bảng 8. Các kết quả khác của các mẫu UHPC

| Kí hiệu mẫu | Modul đàn hồi, GPa | Poisson's | Co khô, $\mu\text{m/m}$ |
|-------------|--------------------|-----------|-------------------------|
| 0% Sf       | 32,91              | 0,17      | -375                    |
| 1% Sf       | 39,76              | 0,18      | -300                    |
| 2% Sf       | 47,12              | 0,19      | -270                    |
| 3% Sf       | 52,51              | 0,19      | -175                    |

Nhận xét:

- Modul đàn hồi của mẫu 1% Sf lớn hơn **20,8%** so với mẫu 0% Sf;
- Modul đàn hồi của mẫu 2% Sf lớn hơn **43,2%** so với mẫu 0% Sf;
- Modul đàn hồi của mẫu 3% Sf lớn hơn **59,6%** so với mẫu 0% Sf;



Hình 15. Thí nghiệm ứng suất nén – biến dạng mẫu UHPC, để xác định Modul đàn hồi và hệ số Poisson's

### III. KẾT LUẬN

#### So với mẫu đối chứng, không có sợi thép

1. Hàm lượng cốt sợi thép tăng làm giảm tính công tác và giảm lượng bọt khí của hỗn hợp UHPC, độ co giảm 2 ÷ 3 lần.
2. Hàm lượng cốt sợi thép tăng làm tăng cường độ chịu nén, kéo và uốn, tương ứng lớn nhất là 23%, 87% và 157%.
3. Biến dạng đàn hồi khi kéo tăng lớn nhất là 91%.
4. Hàm lượng sợi thép tăng làm tăng giá trị modul đàn hồi, lớn nhất là 60%.
5. Trung bình cường độ chịu nén, kéo và uốn của mẫu UHPC tại tuổi R28 lần lượt lớn hơn khoảng 4%, 9%, 14% so với tuổi R5.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. FHWA-HRT-18-036, Properties and Behavior of UHPC-Class Material.
2. ASTM C469/C469M-14e1, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.
3. BS EN 14889-1:2006, Fibres for concrete – Steel fibres. Definitions, specifications and conformity.
4. ACF 04:2020, Materials UHPC – Technicals Specification