

# Nghiên cứu sử dụng Puzzolan tự nhiên kết hợp với bột gốm sứ TOTO để chế tạo bê tông hạt mịn cường độ cao

Hồ Anh Cường<sup>1\*</sup>, Lại Ngọc Hùng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Giao thông Vận tải

<sup>2</sup>Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên

## TỪ KHOÁ

Bột gốm sứ TOTO  
Puzzolan tự nhiên  
Bê tông hạt mịn  
Độ chảy loãng  
Cường độ nén  
Phân tích XRD

## TÓM TẮT

Bài báo này đã nghiên cứu khả năng sử dụng puzzolan tự nhiên kết hợp với bột gốm sứ TOTO để chế tạo bê tông hạt mịn cường độ cao. Kết quả thu được từ thực nghiệm cho thấy puzzolan tự nhiên là loại phụ gia khoáng mịn hoạt tính với 49,8% SiO<sub>2</sub> vô định hình đã tham gia phản ứng pozzolanic với Ca(OH)<sub>2</sub>, kết quả là làm giảm hàm lượng Ca(OH)<sub>2</sub> và tăng dần lượng khoáng có tính chất kết dính. Do đó, cường độ nén và mô đun đàn hồi tĩnh của mẫu tăng dần khi sử dụng 10% puzzolan tự nhiên. Tuy nhiên, khi hàm lượng puzzolan thay thế xi măng từ (20-30)% thì cường độ nén và mô đun đàn hồi của mẫu bê tông hạt mịn đã giảm dần. Bột gốm với thành phần hạt mịn hơn và đặc tính bề mặt nhám ráp hơn hạt cát tự nhiên, đã tăng lượng cần nước để làm ướt bề mặt, tăng diện tích tiếp xúc với hồ xi măng, cải thiện liên kết tại vùng tiếp giáp giữa đá xi măng và cốt liệu. Kết quả là làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông, nhưng đã làm tăng cường độ nén, mô đun đàn hồi của bê tông. Việc sử dụng bột gốm sứ TOTO thay thế cát tự nhiên, nhằm tiết kiệm tài nguyên cát, một loại tài nguyên khó có khả năng tái tạo là một hướng nghiên cứu tích cực để từ bước sử dụng cát nhân tạo trong sản xuất các loại vật liệu xây dựng.

## KEYWORDS

TOTO ceramic powder  
Natural pozzolan  
Fine-grained concrete  
Slump flow  
Compression strength  
XRD analysis

## ABSTRACT

This article has studied the possibility of using natural pozzolan combined with TOTO ceramic powder to produce high-strength fine-grained concrete. Experimental results indicate that natural pozzolan, a fine active mineral admixture containing 49.8% amorphous SiO<sub>2</sub>, participates in pozzolanic reactions with Ca(OH)<sub>2</sub>, leading to a reduction in Ca(OH)<sub>2</sub> content and a gradual increase in cementitious mineral phases. Consequently, the compressive strength and static elastic modulus of the specimens increased when 10% natural pozzolan was used. However, when the pozzolan content replaced 20 ÷ 30% of the cement, both compressive strength and elastic modulus of the fine-grained concrete samples decreased. Ceramic powder, with finer particle size distribution and a rougher surface texture than natural sand, increased the water demand for surface wetting and enhanced the interfacial bond between the cement paste and aggregate. As a result, the workability of the concrete mixture decreased, but its compressive strength and elastic modulus improved. Using TOTO ceramic powder to replace natural sand to save sand resources, a resource that is difficult to renew, is an active research direction to gradually use artificial sand in the production of construction materials.

## 1. Mở đầu

Bê tông đã được biết đến như là vật liệu xây dựng sử dụng rộng rãi nhất, lâu đời nhất trên thế giới trong xây dựng hầu hết các công trình. Các tính chất cơ lý của bê tông hạt mịn cường độ cao phụ thuộc vào phương pháp thiết kế và tỷ lệ pha trộn các thành phần, cũng như loại và tính chất của các vật liệu trong bê tông [1, 2].

Trong điều kiện hạ tầng xây dựng không ngừng phát triển, nhu cầu xây dựng các công trình ngày càng tăng cao tại các nước phát triển, trong đó có Việt Nam. Việc khai thác và sử dụng quá mức nguồn vật liệu tự nhiên để sản xuất vật liệu xây dựng đã tác động không nhỏ đến

môi trường, gây ra sạt lở bờ sông, dòng chảy và ảnh hưởng đến sự tồn tại của các đô thị, làng mạc ven sông. Theo số liệu của Bộ Xây dựng, hiện nay nguồn cát tự nhiên ngày càng cạn kiệt và dự báo đến năm 2025, Việt Nam sẽ không còn cát phục vụ cho san lấp. Vì thế, việc sử dụng các loại vật liệu nhân tạo để thay thế nguồn cát tự nhiên đang ngày càng cạn kiệt, là một vấn đề rất quan trọng [3, 4].

Quá trình sản xuất các sản phẩm sử dụng sinh như: Bồn rửa mặt, bồn tắm và các loại xi bết... trong nhà máy gốm sứ TOTO đã thải ra môi trường một lượng lớn các loại phế thải công nghiệp. Theo ước tính từ nhà máy, mỗi tháng sản xuất nhà máy gốm sứ TOTO tại khu công nghiệp Bắc Thăng Long (TP. Hà Nội) đã thải ra môi trường khoảng trên

\*Liên hệ tác giả: hoanhuong@utc.edu.vn

Nhận ngày 25/03/2025, sửa xong ngày 13/04/2025, chấp nhận đăng ngày 15/04/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2025.882>

2.000 tấn chất thải rắn các loại và các nguồn phế thải rắn từ các sản phẩm lỗi rất cần được tái sử dụng để giảm áp lực về kho bãi (Hình 1).



Hình 1. Phế thải gốm sứ TOTO tại Đông Anh.

Bột gốm sứ TOTO nhận được bằng cách nghiền mịn phế thải và các mảnh vỡ, sản phẩm lỗi của các thiết bị vệ sinh của nhà máy trong máy nghiền bi. Kích thước hạt của bột gốm sau khi nghiền dao động trong khoảng  $0,05 \div 1,5$  mm. [5, 6]. Tận dụng phế phẩm gốm sứ trong sản xuất vật liệu xây dựng là một hướng đi cần thiết, quan trọng để thúc đẩy nền kinh tế tuần hoàn hiện nay ở Việt Nam.

Bên cạnh đó, trong công nghệ bê tông cường độ cao, các loại phụ gia khoáng mịn là thành phần có vai trò rất quan trọng, vừa cải tạo vi cấu trúc vừa nâng cao các tính chất cơ học của bê tông. Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã nghiên cứu đánh giá những ảnh hưởng của các phụ gia khoáng như: tro bay, tro trấu, xi lò cao... đến các tính chất cơ học của bê tông [7-9].

Mục đích chính của nghiên cứu này là một mặt sử dụng bột gốm sứ TOTO như là cốt liệu mịn để thay thế một phần và toàn bộ cát tự nhiên, mặt khác sử dụng puzzolan tự nhiên để thay thế và giảm hàm lượng xi măng Poóc lăng trong chế tạo bê tông cường độ cao hạt mịn. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy hàm lượng của bột gốm và puzzolan tự nhiên có ảnh hưởng nhiều đến tính công tác của hỗn hợp bê tông hạt mịn, mô đun đàn hồi và cường độ nén mẫu bê tông nghiên cứu ở các tuổi khác nhau.

## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Vật liệu sử dụng

#### a. Thành phần chất kết dính

+ Xi măng Poóc lăng hỗn hợp PCB40 Hoàng Thạch (XM) thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn TCVN 2682 : 2009 (Hình 2.a).

+ Silica fume SF-90 (SF90) của Vina Pacific thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn TCVN 8827:2011 (Hình 2.b).

+ Puzzolan tự nhiên (Pu) tại mỏ khai thác ở tỉnh Lạng Sơn (Hình 2.c). Puzzolan tự nhiên sau khi khai thác được đưa đi sấy khô, đập nghiền và sàng để lọc bớt các hạt bị vón cục, khối lượng riêng  $2,81 \text{ g/cm}^3$ . Thành phần hóa học của xi măng, silica fume và puzzolan tự nhiên đã được trình bày trong Bảng 1.

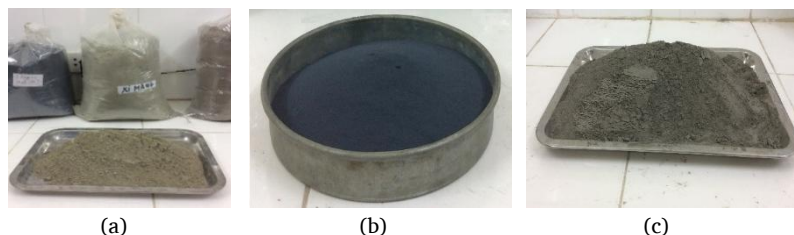
Các tính chất vật lý cơ bản của xi măng, silica fume và puzzolan tự nhiên được xác định và được thể hiện trong bảng 2.

**Bảng 1.** Thành phần hóa học của xi măng Poóc lăng hỗn hợp PCB40 Hoàng Thạch, silica fume SF-90 và puzzolan tự nhiên.

| Loại vật liệu                          | Xi măng Poóc lăng hỗn hợp Hoàng Thạch | Silica Fume SF-90 | Puzzolan tự nhiên |
|----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Ký hiệu                                | XM                                    | SF90              | Pu                |
| Thành phần hóa học (% theo khối lượng) |                                       |                   |                   |
| SiO <sub>2</sub>                       | 20,4                                  | 91,6              | 49,8              |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>         | 4,4                                   | 2,2               | 22,1              |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>         | 5,4                                   | 2,5               | 12,6              |
| SO <sub>3</sub>                        | 3,4                                   | -                 | 1,5               |
| K <sub>2</sub> O                       | 1,2                                   | -                 | 1,2               |
| Na <sub>2</sub> O                      | 0,3                                   | 0,5               | 1,3               |
| MgO                                    | 2,5                                   | -                 | 4,6               |
| CaO                                    | 60,2                                  | 0,7               | 3,6               |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>          | -                                     | 0                 | -                 |
| Lượng mất khi nung                     | 2,2                                   | 2,5               | 3,3               |

**Bảng 2.** Tính chất vật lý của xi măng Poóc lăng PCB40 Hoàng Thạch, silica fume SF-90 và puzzolan tự nhiên.

| Loại vật liệu                                | Xi măng PCB40 Hoàng Thạch | Silica Fume SF-90 | Puzzolan tự nhiên |
|----------------------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|
| Tỷ diện bề mặt riêng (cm <sup>2</sup> /g)    | 3680                      | 11400             | 4450              |
| Khối lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> )        | 3,15                      | 2,15              | 2,81              |
| Khối lượng thể tích khô (kg/m <sup>3</sup> ) | 1550                      | 850               | 1450              |



Hình 2. Xi măng PCB40 Hoàng Thạch (a), silica fume SF-90 (b) và Puzzolan tự nhiên (c).

#### b. Thành phần cốt liệu

+ Bột gốm sứ TOTO (BG) nhận được bằng cách nghiền mịn phế thải và các mảnh vỡ, sản phẩm lỗi của các thiết bị vệ sinh của nhà máy trong máy nghiền bi. Kích thước hạt của bột gốm sau khi nghiền khoảng  $0,05 \div 1,5$  mm. Khối lượng riêng và khối lượng thể tích đầm chặt của bột gốm sứ TOTO lần lượt là  $2,65 \text{ g/m}^3$  và  $1630 \text{ kg/m}^3$ , bên cạnh đó khối lượng thể tích xốp là  $1520 \text{ kg/m}^3$  (Hình 3.a).

+ Cốt liệu nhỏ sử dụng trong thí nghiệm này là cát vàng sông Lô (C), loại hạt thô, cường độ tốt, thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 [10] được sử dụng làm cốt liệu nhỏ trong hỗn hợp bê tông hạt mịn (Hình 3.b). Các tính chất vật lý của cốt liệu nhỏ sử dụng đã được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Tính chất vật lý của cát vàng sông Lô.

| STT | Chỉ tiêu kỹ thuật       | Đơn vị tính     | Kết quả thí nghiệm |
|-----|-------------------------|-----------------|--------------------|
| 1   | Kích thước hạt          | mm              | $0,14 \div 5,0$    |
| 2   | Khối lượng riêng        | $\text{g/cm}^3$ | 2,65               |
| 3   | Khối lượng thể tích xốp | $\text{kg/m}^3$ | 1660               |
| 4   | Độ hồng giữa các hạt    | %               | 37,4               |
| 5   | Độ ẩm của cát           | %               | 4,2                |
| 6   | Hàm lượng bụi, bùn, sét | %               | 0,95               |
| 7   | Mô đun độ lớn ( $M_k$ ) | -               | 3,1                |
| 8   | Tạp chất hữu cơ         | -               | Đạt                |



(a) - Bột gốm sứ TOTO

(b) - Cát vàng sông Lô

Hình 3. Cốt liệu sử dụng trong thành phần của bê tông hạt mịn.

#### c. Phụ gia siêu dẻo và nước

+ Phụ gia siêu dẻo SR 5000F «SilkRoad» (SR5000) có khối lượng riêng  $1,12 \text{ g/m}^3$  ở nhiệt độ  $25 \pm 5$  °C. Đây là loại phụ gia giảm nước

tầm cao, thể hệ 3, có thành phần dựa trên gốc Polycarboxylate (Hình 4).



Hình 4. Phụ gia siêu dẻo SR 5000F.

+ Nước sạch (N) được sử dụng để làm nước trộn hỗn hợp bê tông và dùng để bảo dưỡng mẫu sau khi thí nghiệm, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.

#### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này sử dụng các phương pháp nghiên cứu sau:

- Thành phần hạt của cát được xác định trên bộ sàng tiêu chuẩn có kích thước mắt sàng lần lượt là: 0,14 mm; 0,315 mm; 0,63 mm; 1,25 mm; 2,5 mm; 5,0 mm.

- Thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông cường độ cao hạt mịn được tính toán, xác định theo phương pháp thể tích tuyệt đối và kết hợp với hiệu chỉnh bằng thực nghiệm.

- Tính công tác của hỗn hợp bê tông cường độ cao hạt mịn được xác định bằng độ xòe của côn tiêu chuẩn mini kích thước 100x70x60 mm theo TCVN 3121-3:2022 [11].

- Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông cường độ cao hạt mịn được xác định bằng phương pháp cân khối lượng và đo thể tích trong thùng đo tiêu chuẩn (thùng đo có thể tích 1 lít). Bên cạnh đó, khối lượng thể tích của mẫu thí nghiệm sau khi đã cứng rắn được xác định bằng phương pháp cân khối lượng mẫu và đo thể tích trực tiếp trên mẫu thí nghiệm.

- Giá trị trung bình mô đun đàn hồi tĩnh của bê tông ở tuổi 28 ngày được xác định gián tiếp theo tiêu chuẩn ACI 318-2005 [12].

- Cường độ kéo khi uốn và cường độ nén của bê tông cường độ cao hạt mịn được xác định trên mẫu hình dầm có kích thước 40x40x160 mm theo tiêu chuẩn TCVN 3121-11:2022. Việc sử dụng mẫu hình dầm 40x40x160 mm có hai mục đích:

- (i) - Có thể xác định được cường độ kéo khi uốn của mẫu thí nghiệm tại các tuổi khác nhau;
- (ii) - Có thể xác định được cường độ nén của mẫu thí nghiệm dựa trên các nửa viên mẫu sau khi nén vỡ.

### 3. Cấp phối của hỗn hợp bê tông hạt mịn nghiên cứu

Các cấp phối nghiên cứu của hỗn hợp bê tông hạt mịn cường độ cao có sử dụng puzzolan để giảm hàm lượng xi măng và bột gốm sứ TOTO để thay thế cát tự nhiên được tính toán trên cơ sở phương pháp thể tích tuyệt đối và kết hợp với điều chỉnh từ thực nghiệm theo TCVN 10306:2014 [13]. Kết quả cấp phối hỗn hợp bê tông hạt mịn được thể hiện trong Bảng 4.

Tỷ lệ thành phần vật liệu trong nghiên cứu này được sử dụng cụ thể như sau: tỷ lệ nước/chất kết dính ( $N/CKD$ ) = 0,3 [14], lượng phụ gia siêu dẻo SR5000 là 2 % khối lượng chất kết dính, hàm lượng silica fume SF90 được sử dụng bằng 10 % khối lượng chất kết dính. Trong nghiên cứu này, bột gốm được sử dụng để thay thế từ 0 % đến 100 %

khối lượng cát trong hỗn hợp bê tông với mục đích sử dụng cốt liệu nhân tạo thay thế cốt liệu tự nhiên. Hàm lượng puzzolan được khảo sát thay đổi từ 0 % đến 30 % khối lượng chất kết dính. Bên cạnh đó, theo [15] trong hỗn hợp bê tông hạt mịn cường độ cao, tỷ lệ cốt liệu/chất kết dính ( $CL/CKD$ ) = 1,3 với chất kết dính  $CKD = X + SF90 + Pu$  và cốt liệu gồm cát vàng hoặc bột gốm sứ TOTO.

### 4. Kết quả và bàn luận

#### 4.1. Ảnh hưởng của bột gốm và puzzolan đến tính công tác và tổn thất tính công tác của hỗn hợp bê tông theo thời gian

Do hỗn hợp bê tông hạt mịn không có thành phần cốt liệu lớn, nên tính công tác của loại bê tông nghiên cứu được đánh giá bằng độ chảy loang trong côn vữa mini với kích thước 100x70x60 mm (Hình 5). Kết quả thực nghiệm được trình bày trong bảng 5. Tổn thất độ sụt của các hỗn hợp bê tông hạt mịn trong nghiên cứu được thể hiện trực quan trên Hình 6 và Hình 7.

**Bảng 4.** Tỷ lệ vật liệu và cấp phối nghiên cứu của bê tông hạt mịn cường độ cao.

| Số TT | Tỷ lệ vật liệu sử dụng |      |                 |                  |                      | Cấp phối thực nghiệm, kg/m <sup>3</sup> |     |      |        |      |      |     |
|-------|------------------------|------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------------------------------|-----|------|--------|------|------|-----|
|       | BG, %                  | C, % | $\frac{N}{CKD}$ | $\frac{Pu}{CKD}$ | $\frac{SR5000}{CKD}$ | XM                                      | Pu  | SF90 | SR5000 | C    | BG   | N   |
| Mẫu 1 | 0                      | 100  | 0,3             | 0                | 0,02                 | 765                                     | 0   | 85   | 17,0   | 1105 | 0    | 255 |
| Mẫu 2 | 30                     | 70   | 0,3             | 0,1              | 0,02                 | 680                                     | 85  | 85   | 17,0   | 774  | 332  | 255 |
| Mẫu 3 | 70                     | 30   | 0,3             | 0,2              | 0,02                 | 595                                     | 170 | 85   | 17,0   | 332  | 774  | 255 |
| Mẫu 4 | 100                    | 0    | 0,3             | 0,3              | 0,02                 | 510                                     | 255 | 85   | 17,0   | 0    | 1105 | 255 |

**Bảng 5.** Độ chảy loang của hỗn hợp bê tông tại các thời gian khác nhau.

| Số TT | Khối lượng thể tích hỗn hợp bê tông (kg/m <sup>3</sup> ) | Độ chảy loang của hỗn hợp bê tông trong côn vữa (cm) |             |             |             |
|-------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|       |                                                          | Ngay sau khi trộn                                    | Sau 30 phút | Sau 60 phút | Sau 90 phút |
| Mẫu 1 | 2200                                                     | 26,3                                                 | 23,1        | 18,1        | 16,7        |
| Mẫu 2 | 2195                                                     | 25,8                                                 | 22,8        | 17,9        | 16,4        |
| Mẫu 3 | 2190                                                     | 24,5                                                 | 22,4        | 17,5        | 16          |
| Mẫu 4 | 2185                                                     | 23,1                                                 | 21,6        | 16,7        | 15,2        |

**Bảng 6.** Cường độ nén và mô đun đàn hồi tĩnh của các mẫu bê tông hạt mịn tại các tuổi thí nghiệm.

| Số TT | Giá trị cường độ nén trung bình (MPa) tại các tuổi: |        |        |         |         |         | Mô đun đàn hồi tĩnh ở tuổi 28 ngày (MGa) |
|-------|-----------------------------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|------------------------------------------|
|       | 1 ngày                                              | 3 ngày | 7 ngày | 14 ngày | 28 ngày | 56 ngày |                                          |
| Mẫu 1 | 30,2                                                | 44,7   | 58,4   | 66,8    | 71,5    | 76,4    | 58,2                                     |
| Mẫu 2 | 30,3                                                | 46,4   | 59,4   | 68,6    | 72,4    | 77,1    | 62,8                                     |
| Mẫu 3 | 28,3                                                | 40,2   | 53,3   | 65,2    | 70,9    | 74,1    | 52,3                                     |
| Mẫu 4 | 22,1                                                | 33,1   | 40,3   | 52,5    | 55,5    | 60,3    | 43,2                                     |

Từ kết quả thí nghiệm độ chảy loãng của các hỗn hợp bê tông trên Bảng 5 và Hình 6, Hình 7 cho thấy: Theo thời gian, tính công tác của hỗn hợp bê tông đã giảm dần, tại thời điểm 90 phút sau khi đã trộn xong tính công tác đã giảm đến 36,6 %. Điều này được giải thích do quá trình mất nước vì xi măng thủy hóa để tạo thành các khoáng hidro silicat canxi -  $x\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$  (CSH) và quá trình mất nước vật lý do bay hơi ra môi trường.

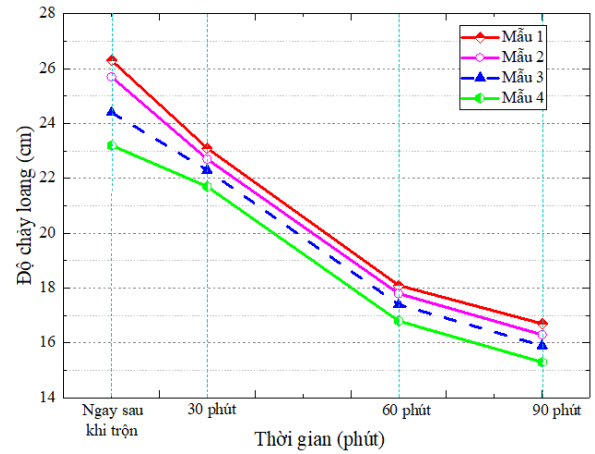
Bên cạnh đó, khi hàm lượng puzzolan tự nhiên và bột gốm tăng lên thì tính công tác của hỗn hợp bê tông hạt mịn thu được đã giảm xuống. Nguyên nhân của hiện tượng này là do thành phần hạt của bột gốm mịn hơn và nhiều góc cạnh hơn hạt cát vàng tự nhiên có hình dạng hạt tròn nhẵn (xem trên hình 3), đồng thời puzzolan với vai trò là phụ gia khoáng hoạt tính nghiền mịn (chứa 49,8 %  $\text{SiO}_2$  vô định hình và 22,1 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), thành phần hạt cũng mịn hơn xi măng (xem trong bảng 2). Chính vì lý do trên, chúng đã tăng lượng cần nước để làm ướt bề mặt và kết quả là làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông [8, 9]. Quan sát hỗn hợp bê tông hạt mịn sau khi nhào trộn đã thấy được độ đồng nhất của hỗn hợp bê tông tươi rất tốt, không có hiện tượng phân tầng, không xuất hiện tách nước tại mép rìa ngoài của hỗn hợp sau khi trộn và trong quá trình làm thí nghiệm kiểm tra độ chảy loãng.

#### 4.2. Ảnh hưởng của hàm lượng bột gốm và puzzolan đến cường độ nén và mô đun đàn hồi của các mẫu bê tông tại các ngày tuổi khác nhau

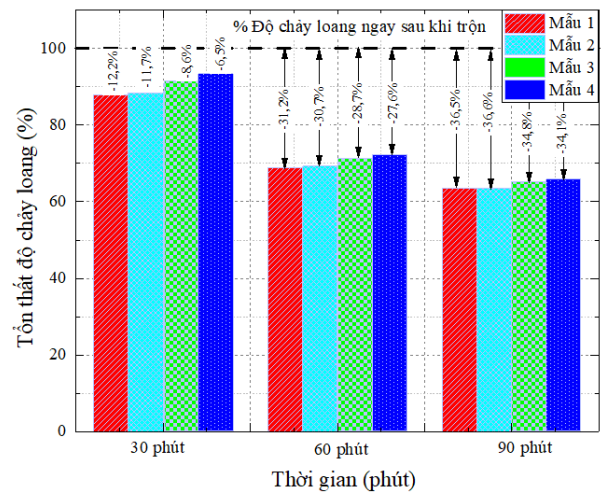
Cường độ nén của các mẫu bê tông hạt mịn cường độ cao được xác định trên hệ thống thủy lực Controls Advantest 9 với tốc độ nén ổn định là 2000 N/s. Các mẫu thí nghiệm được bảo dưỡng theo đúng yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 3105:2022 [16]. Giá trị trung bình mô đun đàn hồi tính của bê tông ở tuổi 28 ngày được xác định gián tiếp theo ACI 318-2005 [12]. Các tính chất cơ học của chúng được trình bày trong Bảng 6 và trên Hình 8.



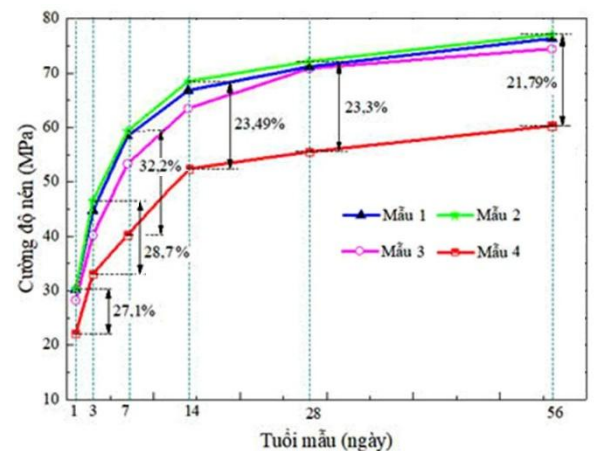
Hình 5. Xác định độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông hạt mịn ngay sau khi trộn.



Hình 6. Biểu đồ phụ thuộc độ chảy loãng của các hỗn hợp bê tông theo thời điểm khác nhau.

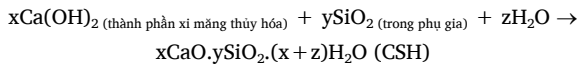


Hình 7. Tổn thất độ chảy loãng của các hỗn hợp bê tông so với thời điểm ngay sau khi trộn.



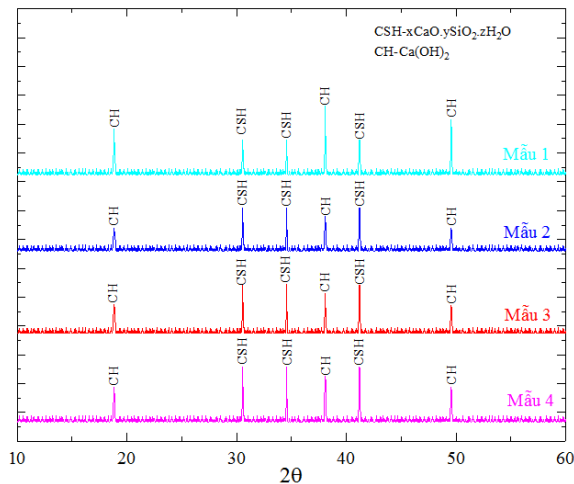
Hình 8. Biểu đồ phụ thuộc cường độ nén của các mẫu bê tông theo thời gian.

Kết quả thực nghiệm cho thấy cường độ nén của các mẫu bê tông hạt mịn nghiền cứu tăng lên khi sử dụng 30 % hàm lượng bột gốm sứ TOTO; 10 % puzzolan và 10 % silica fume SF-90. Nguyên nhân của kết quả này là do đặc tính bề mặt của bột gốm nhiều góc cạnh, không tròn nhẵn như cát vàng tự nhiên, đã cải thiện đáng kể liên kết tại vùng tiếp giáp giữa đá xi măng và cốt liệu, do đó cường độ bê tông ở các tuổi khác nhau đã được cải thiện. Bên cạnh đó, sự gia tăng giá trị cường độ nén của các mẫu bê tông hạt mịn thí nghiệm còn được giải thích là do nguyên nhân của phản ứng puzolanic giữa  $\text{SiO}_2$  hoạt tính có trong thành phần của puzzolan và silica fume, với sản phẩm phụ không có tính chất kết dính  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , được tạo thành trong quá trình xi măng thủy hóa với nước.



Kết quả thí nghiệm này cũng tương tự như các kết quả đã được trình bày trong nhiều nghiên cứu ở Việt Nam và trên thế giới [1, 2, 5, 6]. Ngoài ra, phải kể đến do thành phần hạt mịn có kích thước mịn và siêu mịn của bột gốm sứ TOTO và puzzolan tự nhiên. Đặc biệt, thành phần hạt nano của Silica fume SF-90 đã tạo ra hiệu ứng kẹp có tác dụng điền đầy và tăng độ đặc trong vi cấu trúc của bê tông. Với hiệu ứng này, cấu trúc bê tông hạt mịn thu được đặc chắc hơn, giảm được thành phần hạt rỗng xốp, làm tăng tính chất cơ học của sản phẩm. Mô đun đàn hồi tĩnh ở tuổi 28 ngày của các mẫu bê tông hạt mịn cường độ cao trong nghiên cứu này được xác định dao động từ 43,2 đến 62,8 GPa.

Hiệu quả của phản ứng puzolanic do thành phần hoạt tính trong của puzzolan với vôi tự do  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  đã được thấy rõ qua kết quả phân tích XRD (X-Ray Powder Diffraction), thể hiện trên Hình 8.



Hình 8. XRD của mẫu bê tông tại tuổi 28 ngày.

Từ hình ảnh XRD (Hình 8) của các mẫu bê tông cho thấy rằng, các pic ứng với các khoáng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (CH) trong các mẫu có chứa puzzolan có xu hướng giảm dần, bên cạnh đó khoáng  $x\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$  (CSH) tăng dần theo thời gian và theo chiều tăng của hàm lượng puzzolan trong cấp phối của bê tông.

Tuy nhiên, khi hàm lượng phụ gia puzzolan tự nhiên thay xi măng tăng lên 20 % và 30 % thì cường độ nén của bê tông hạt mịn đã giảm xuống và khi hàm lượng puzzolan tự nhiên sử dụng đạt 30 % lượng xi măng thì cường độ nén của mẫu bê tông giảm nhiều nhất khoảng 23,03 % ở tuổi 28 ngày (Hình 7). Sự suy giảm cường độ nén của mẫu bê tông hạt mịn cường độ cao trong nghiên cứu này được giải thích như sau: Thành phần puzzolan tự nhiên có thành phần hoạt tính thấp, hàm lượng  $\text{SiO}_2$  chỉ đạt khoảng 49,8 % với vai trò chủ yếu là chất độn mịn. Thành phần silica fume SF-90 có chứa 91,6 %  $\text{SiO}_2$  hoạt tính, có khả năng phản ứng với sản phẩm thủy hóa  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  của xi măng để tạo ra các khoáng vật hidro-canxi-silicat (CSH) thứ cấp, bổ sung thành phần gel có tính chất kết dính của các mẫu bê tông. Tuy nhiên, do hàm lượng puzzolan tự nhiên và silica fume đã thay thế đến 40 % hàm lượng xi măng nên các gel thứ cấp CSH này không thể bù đắp lượng thiếu hụt sản phẩm CSH của xi măng tạo thành khi phản ứng thủy hóa với nước.

## 5. Kết luận

Trên cơ sở những kết quả thu được từ thực nghiệm rút ra những kết luận sau:

- Hàm lượng của puzzolan tự nhiên và bột gốm sứ TOTO đã làm giảm dần tính công tác của hỗn hợp bê tông nhưng chúng lại cải thiện đáng kể vi cấu trúc của bê tông hạt mịn, kết quả là đã tăng được một phần cường độ nén của loại bê tông nghiên cứu khi hàm lượng Puzzolan tự nhiên sử dụng khoảng 10 % khối lượng xi măng.

- Bột gốm với thành phần hạt mịn hơn và đặc tính bề mặt gồ ghề hơn hạt cát tự nhiên với hình dạng hạt tròn nhẵn, chúng đã tăng lượng cần nước để làm ướt bề mặt, tăng diện tích tiếp xúc với hồ xi măng, cải thiện liên kết tại vùng tiếp giáp giữa đá xi măng và cốt liệu. Kết quả là chúng đã làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông, nhưng đã làm tăng cường độ nén, mô đun đàn hồi của bê tông. Từ kết quả thu được có thể kết luận rằng, việc sử dụng bột gốm sứ TOTO thay thế cho cốt liệu nhỏ tự nhiên là một hướng nghiên cứu quan trọng để từng bước sử dụng cát nhân tạo thay thế cát tự nhiên, nhằm tiết kiệm tài nguyên cát, một loại tài nguyên khó có khả năng tái tạo.

- Puzzolan tự nhiên là loại phụ gia khoáng mịn hoạt tính với 49,8 %  $\text{SiO}_2$  vô định hình đã tham gia phản ứng puzolanic với  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , kết quả là làm giảm hàm lượng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  và tăng dần lượng khoáng hidro silicat canxi theo thời gian và kết quả là cường độ nén và mô đun đàn hồi tĩnh của mẫu tăng dần khi sử dụng 10 % puzzolan tự nhiên. Tuy nhiên, khi hàm lượng puzzolan thay thế xi măng từ (20-30) % thì cường độ nén và mô đun đàn hồi của mẫu bê tông hạt mịn đã giảm dần.

- Sử dụng hàm lượng puzzolan tự nhiên đến 30 % khối lượng xi măng trong thành phần bê tông hạt mịn cường độ cao, không có cốt liệu lớn, nhằm mục đích giảm hàm lượng xi măng, và sử dụng thành phần hạt mịn để cải thiện vi cấu trúc bê tông và giảm lượng nhiệt khi xi măng thủy hóa trong bê tông, nhưng vẫn đảm bảo được cường độ nén ở tuổi 28 ngày đạt trên 50 MPa.

## Tài liệu tham khảo

- [1]. Баженов Ю.М. Технология бетона //Изд. АСВ. М., 2011, 528 с.
- [2]. Баженов Ю.М. Современная технология бетона //Совместный Международный научный симпозиум «Научные достижения в исследованиях о новых современных строительных материалах». Ханой. 2006. С. 12-18.
- [3]. Lê Viết Dũng, Tống Tôn Kiên, Đỗ Trọng Thành, Nguyễn Bá Lâm (2021). Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá khả năng sử dụng cát nghiền nguồn gốc đá vôi cho cột BTCT chịu nén. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng – Trường Đại học Xây dựng Hà Nội. Số 3V (2021): Trang 93- 103.
- [4]. Bạch Đình Thiên: Cốt liệu nhân tạo dùng trong công tác bê tông và san lấp công trình. Tạp chí Xây dựng. Số 11 – 2020.
- [5]. Nguyễn Trung Hiếu, Nguyễn Xuân Công, Võ Đình Trọng, Đặng Quang Minh, Trương Văn Cường. Nghiên cứu khả năng chế tạo bê tông nhẹ sử dụng bột nhôm và chất kết dính Geopolymer từ hỗn hợp tro bay, xỉ lò cao và phế thải nhà máy gốm sứ TOTO dùng trong công trình dân dụng và công nghiệp . Đề tài nghiên cứu khoa học sinh viên lần thứ 36-Trường Đại học Mỏ- Địa chất, tháng 06/2023.
- [6]. Tăng Văn Lâm, Nguyễn Văn Mạnh, Bulgakov Boris Igorevich. Ảnh hưởng bột gốm sứ TOTO đến các tính chất của bê tông cường độ cao hạt mịn sử dụng cát nghiền từ đá vôi. Tạp Chí Vật liệu Và Xây dựng - Bộ Xây dựng, Tập 13 Số 06 năm 2023, trang 48-55.
- [7]. Танг Ван Лам, Булгаков Б.И., Александрова О.В., Ларсен О.А. Возможность использования зольных остатков для производства материалов строительного назначения во Вьетнаме // Журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова», 2017, №6. С. 06- 12. DOI: 10.12737/article\_5926a059214ca0.89600468.
- [8]. Танг Ван Лам, Нго Суан Хунг, Булгаков Б.И., Александрова О.В. Ларсен О.А., Орехова А.Ю., Тюрина А.А. Использование золошлаковых отходов в качестве дополнительного цементирующего материала. Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». 2018. №8. С. 10 - 18. DOI: 10.12737/article\_5b6d58455b5832.12667511.
- [9]. Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Olga Aleksandrova, Oksana Larsen and Pham Ngoc Anh, Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete, E3S Web of Conferences 33, 02030 (2018), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302030>.
- [10]. TCVN 7570 : 2006. Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật. 2006. 6 trang.
- [11]. TCVN 3121-3:2022. Vữa xây dựng - Phương pháp thử - Phần 3: Xác định độ lưu động của vữa tươi.
- [12]. ACI 318-2005. Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. 2005. 31 p.
- [13]. TCVN 10306:2014. Bê tông cường độ cao - Thiết kế thành phần mẫu hình trụ. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [14]. Танг Ван Лам, Бу Ким Зиен, Нго Суан Хунг, Булгаков Б.И., (2019). Влияние комплексной органо- минеральной добавки на деформацию гидротехнических бетонов. Журнал «Строительство уникальных зданий и сооружений». 2019. №4(79). С. 7 - 19.
- [15]. Баженов Ю.М., Магдеев У.Х., Алимов Л.А., Воронин В.В., Гольденберг Л.Б. Мелкозернистый бетон. М., 1998, 148 с.
- [16]. TCVN 3105:2022. Hỗn hợp bê tông và bê tông - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử.