

## **NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG TRO BAY VÀ XỈ LÒ CAO HOẠT TÍNH ĐẾN TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO HẠT MỊN KHÔNG SỬ DỤNG CHẤT KẾT DÍNH XI MĂNG**

**Tăng Văn Lâm<sup>1</sup>, Nguyễn Đình Trinh<sup>2</sup>**

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng tro bay nhiệt điện và xỉ lò cao hoạt tính đến một số tính chất của bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng chất kết dính xi măng. Hỗn hợp bê tông có tính công tác tốt và cường độ nén thiết kế của bê tông ở tuổi 28 ngày đạt trên 70 MPa. Trong đó, hỗn hợp tro bay và xỉ lò cao được sử dụng như là vật liệu aluminosilicat, dung dịch NaOH và  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  được dùng như dung dịch kiềm kích hoạt vật liệu tro xỉ. Hàm lượng tro bay/xỉ lò cao đã khảo sát lần lượt là 80/20, 60/40, 40/60 và 20/80. Những kết quả thu được cho thấy triển vọng chế tạo thành công bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng xi măng, thân thiện với môi trường.

**Từ khóa:** Bê tông cường độ cao hạt mịn, tro bay, xỉ lò cao hoạt tính, dung dịch hoạt hóa, cường độ nén.

### **1. GIỚI THIỆU CHUNG**

Cùng với quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa đang phát triển vượt bậc ở Việt Nam, nhu cầu sử dụng năng lượng điện đốt than và gang, thép, hợp kim ngày càng cao. Điều này dẫn tới lượng phát thải tro bay và xỉ lò cao ngày càng lớn, lượng phế thải rắn này đang tồn chứa tại các bãi thải ngày càng nhiều (Nguyễn Thanh Bằng nnk., 2020; 2021; Tăng Văn Lâm nnk., 2021). Có thể nói rằng, tro bay nhiệt điện và xỉ lò cao là hai trong số những loại phế thải công nghiệp phức tạp nhất hiện nay trên thế giới. Nếu không được xử lý đúng cách, nó có thể gây ô nhiễm nước và đất, phá vỡ các chu kỳ sinh thái và gây nguy hiểm cho môi trường (Ferdous et al., 2013; Tăng Văn Lâm nnk., 2020).

Những năm gần đây, Việt Nam đã tập trung vào việc xử lý, sử dụng các nguồn tro bay, xỉ thải luyện kim... của các nhà máy nhiệt điện, luyện kim để làm nguyên liệu sản xuất vật liệu và trong các công trình xây dựng. Nhưng do nhiều nguyên nhân khác nhau, việc tái sử dụng các loại tro, xỉ... vẫn chưa đạt được mục tiêu đề ra, sản lượng tiêu thụ chất

thải chưa cân bằng với lượng phát thải của các nhà máy. Mặt khác, tổng khối lượng tro, xỉ lưu giữ tại bãi chứa của các nhà máy hiện còn rất lớn và vẫn tiếp tục tăng cao; nhiều bãi thải chỉ còn khả năng lưu chứa trong một vài năm tới (Thủ tướng Chính phủ, 2021).

Bên cạnh đó, việc sản xuất quá nhiều các loại xi măng Pooclang khác nhau đã gây ra nhiều tác hại về môi trường, đặc biệt là phát thải khí nhà kính, khói bụi và cạn kiệt nguồn tài nguyên thiên nhiên.

Trong giai đoạn hiện nay, chuyển dịch nền kinh tế theo hướng kinh tế tuần hoàn, kinh tế xanh, kinh tế phát thải carbon thấp là xu thế tất yếu của một thế giới phát triển bền vững. Cùng chung với xu thế đó, Việt Nam đã tập trung vào 3 trụ cột quan trọng là: (i). Thiết kế, kéo dài vòng đời vật liệu; (ii). Giảm rác thải, phát thải khí độc hại và khói bụi; (iii). Khôi phục hệ sinh thái và giảm tác động vào tự nhiên. Mặt khác, việc chuyển dịch nền kinh tế theo hướng kinh tế tuần hoàn sẽ góp phần giải quyết nhiều vấn đề về môi trường, tiết kiệm nguồn tài nguyên tự nhiên, quản lý tốt chất thải rắn của các ngành công nghiệp (Tăng Văn Lâm nnk., 2020).

---

<sup>1</sup> Trường Đại học Mỏ - Địa chất

<sup>2</sup> Trường Đại học Thủy lợi

Hơn nữa, nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước đã cho thấy nhược điểm chính của bê tông không sử dụng chất kết dính xi măng từ tro bay nhiệt điện kết hợp với dung dịch kiềm hoạt hóa là khả năng đóng rắn và phát triển cường độ rất chậm ở nhiệt độ phòng. Còn nhược điểm chính của bê tông không sử dụng chất kết dính xi măng từ xỉ lò cao nghiền mịn hoạt tính kết hợp với dung dịch kiềm hoạt hóa là có hiện tượng co khô lớn khi đông cứng và rắn chắc (Nguyễn Thắng Xiêm, 2013; Rangan, 2008; Rattanasak et al., 2009) . Nhưng sự kết hợp giữa xỉ lò cao và tro bay trong thành phần bê tông có thể giải quyết vấn đề này. Mặt khác, ở Việt Nam việc nghiên cứu chế tạo bê tông hạt mịn trên cơ sở các loại chất kết dính hoàn toàn không có xi măng Poocăng đến nay còn nhiều hạn chế, cần được tiếp tục nghiên cứu.

Vì vậy, mục đích chính của nghiên cứu này là sử dụng tro bay nhiệt điện Phả Lại kết hợp với xỉ lò cao hoạt tính của Hòa Phát để chế tạo bê tông cường độ cao hạt mịn hoàn toàn không sử dụng xi măng Poocăng. Trong đó, tro bay và xỉ lò cao được sử dụng như là vật liệu alumino-silicat giàu nhôm và silic, dung dịch NaOH 12M và  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$

với  $M_s = 2,5$  được sử dụng như dung dịch kiềm kích hoạt các hạt tro bay và xỉ. Trong nghiên cứu đã khảo sát tỷ số giữa tro bay nhiệt điện và xỉ lò cao dao động từ 80/20 đến 20/80. Ngoài ra, tỷ lệ giữa dung dịch kiềm kích hoạt với vật liệu alumino-silicat được khảo sát tại giá trị 0,35. Những kết quả thu được cho thấy triển vọng tái sử dụng triệt để các chất thải công nghiệp để chế tạo bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng chất kết dính xi măng.

## 2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu sử dụng

1. Vật liệu Alumino-silicat (ALS) gồm tro bay nhiệt điện Phả Lại và xỉ lò cao hoạt tính của khu công nghiệp gang thép Hòa Phát.

(a). Tro bay (TB) loại F của nhiệt điện Phả Lại thỏa mãn các yêu cầu của TCVN 10302:2014.

(b). Xỉ lò cao hoạt tính (Xi) đã được sấy khô, hoạt hóa và nghiền mịn. Xi thải này đã được mua từ nhà máy thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 11586:2016. Các tính chất vật lý cơ bản và thành phần hóa học của tro bay và xỉ được thể hiện trong Bảng 1 và Bảng 2.

**Bảng 1. Tính chất vật lý của tro bay và xỉ lò cao hoạt tính**

| Loại vật liệu | Ký hiệu | Tỷ diện bề mặt riêng ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) | Khối lượng riêng ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | Khối lượng thể tích khô ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |
|---------------|---------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Tro bay       | TB      | 5,82                                           | 2,35                                        | 1575                                               |
| Xỉ lò cao     | Xi      | 0,37                                           | 2,92                                        | 1550                                               |

**Bảng 2. Thành phần hóa học của tro bay và xỉ lò cao hoạt tính**

| Loại vật liệu | Hàm lượng các ôxít có trong vật liệu (%) |                                |                                |                 |                  |                   |      |     | Thành phần khác | Lượng mất khi nung |
|---------------|------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|------|-----|-----------------|--------------------|
|               | SiO <sub>2</sub>                         | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | CaO  |     |                 |                    |
| Tro bay       | 54,2                                     | 23,3                           | 9,8                            | 2,5             | 1,3              | 1,1               | 1,2  | 2,1 | 4,5             |                    |
| Xỉ lò cao     | 36,3                                     | 12,5                           | 3,4                            | 4,5             | 0,4              | 0,3               | 40,1 | 1,3 | 1,2             |                    |

Từ bảng thành phần hóa học (Bảng 2) của tro bay và xỉ lò cao cho thấy, thành phần pha vô định hình  $\text{SiO}_2$  và  $\text{Al}_2\text{O}_3$  hoạt tính trong tro bay có hàm lượng lớn hơn so với trong xỉ lò cao. Tuy nhiên, trong thành phần hóa học của xỉ lò cao hoạt tính lại chứa

hàm lượng ôxit canxi lớn nhiều lần so với trong tro bay nhiệt điện. Thành phần này có ảnh hưởng lớn đến khả năng hoà tan của vật liệu Alumino-silicate trong dung dịch kiềm hoạt hóa (Lloyd et al., 2010; Kumar et al., 2010; Duxson et al, 2007).



(a). Vật liệu tro bay và xỉ lò cao

(b). Natri hidroxit và natri silicat

Hình 1. Các loại vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

2. Dung dịch hoạt hóa trong nghiên cứu này sử dụng là hỗn hợp Natri hydroxit – NaOH (dạng rắn) và dung dịch Natri silicat –  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .

(a). Natri hydroxyt (NaOH) sử dụng ở dạng rắn (dạng vảy khô) có tên "Caustic Soda Flake 99%" được đặt mua tại công ty hóa chất Việt Nhật. Natri hydroxyt có màu trắng đục và độ tinh khiết 99%. Natri hydroxit thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn TCVN 3794:2009 và TCVN 3793:1983. Dung dịch Natri hydroxyt thu được bằng cách pha NaOH dạng rắn vào nước để đạt được nồng độ mol theo yêu cầu. Dung dịch NaOH sử dụng để chế tạo bê tông không xi măng có nồng độ mol/lít dao động từ 8 M đến 16 M (Ferdous et al., 2013; Rangan, 2008). Trong nghiên cứu

này, nồng độ mol/lít của dung dịch NaOH được sử dụng là 12 M.

(b). Dung dịch Natri silicat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) được mua từ nhà máy hóa chất Việt Nhật có modun silic là 2,5. Dung dịch Natri silicat sử dụng có thành phần gồm: 11,8%  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 29,5%  $\text{SiO}_2$  và 58,7% nước, thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn 64TCN 38:1986.

3. Cốt liệu nhỏ sử dụng trong nghiên cứu này là cát vàng sông Lô (C), loại cát hạt thô, có chất lượng tốt, thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 7570:2006. Trong thành phần của bê tông hạt mịn, cát vàng sông Lô là thành phần cốt liệu chính và được sử dụng làm cốt liệu nhỏ trong loại bê tông này. Các tính chất vật lý của cát vàng sông Lô được thể hiện trong Bảng 3.

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

| STT | Chỉ tiêu xác định       | Phương pháp thí nghiệm | Đơn vị          | Kết quả  |
|-----|-------------------------|------------------------|-----------------|----------|
| 1   | Khối lượng riêng        | TCVN 7572- 4 : 2006    | $\text{g/cm}^3$ | 2,65     |
| 2   | Khối lượng thể tích xộp | TCVN 7572- 4 : 2006    | $\text{g/cm}^3$ | 1,55     |
| 3   | Độ rỗng                 | TCVN 7572- 4 : 2006    | %               | 41,5     |
| 4   | Mô đun độ lớn           | TCVN 7572- 2 : 2006    | -               | 3,0      |
| 5   | Độ ẩm tự nhiên          | TCVN 7572- 7 : 2006    | %               | 0,45     |
| 6   | Tạp chất mi ca          | TCVN 7572- 20 : 2006   | %               | Cho phép |
| 7   | Tạp chất bùn, sét, bụi  | TCVN 7572- 8 : 2006    | %               | 0,22     |

4. Phụ gia siêu dẻo được sử dụng là loại SR 5000F «SilkRoad» (SR5000). Đây là loại phụ gia giảm nước bậc cao, thể hệ 3, có thành phần gốc Polycarboxylate. Phụ gia siêu dẻo SR 5000F thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 8826:2011.

Các thông số kỹ thuật:

+ Trạng thái và màu sắc: Là chất lỏng có màu vàng đậm.

+ Tỷ trọng bằng  $1,1 \text{ g/cm}^3$  ở nhiệt độ  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ .

+ pH = 6 ở nhiệt độ  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ .

5. Nước sạch (N) được sử dụng làm dung môi để pha chế dung dịch kiềm hoạt hóa, đồng thời

được dùng để bảo dưỡng mẫu, nước sử dụng 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:

1. 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 mm theo tiêu chuẩn TCVN 7572-2:2006.

2. Thành phần hỗn hợp bê tông không xi măng được tính toán và xác định theo tiêu chuẩn ACI 211.4R-08 (ACI 211.4R-08; 2008) và kết hợp với việc điều chỉnh bằng thực nghiệm cho phù hợp với tính công tác và cường độ nén của mẫu bê tông hạt mịn không xi măng thiết kế.

3. Do thành phần bê tông hạt mịn chỉ chứa cốt liệu có kích thước từ 0,14 mm đến 5 mm nên tính công tác của hỗn hợp bê tông hạt mịn được xác định bằng độ xòe của côn hình nón cụt với kích thước (100x200x300)mm phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 3105:1993.

4. Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông được xác định bằng phương pháp cân khối lượng và đo thể tích trong thùng đo tiêu chuẩn (thể tích 1 lít), phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 3108:1993. Bên cạnh đó, khối lượng thể tích của mẫu thí nghiệm sau khi đã cứng rắn được xác định bằng phương pháp cân mẫu và đo thể tích trực tiếp trên mẫu thí nghiệm, phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 3115:1993.

5. Cường độ kéo khi uốn của mẫu bê tông được xác định trên mẫu hình dầm kích thước (100x100x400)mm phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 3119:1993. Cường độ nén của mẫu thí nghiệm được xác định trên mẫu hình lập phương kích thước (100x100x100)mm phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 3118:1993. Kết quả thí nghiệm cường độ mẫu thí nghiệm được xác định trên hệ thống máy nén thủy lực tự động ADVANTEST 9 (Controls - Italia). Dưới đây là hình ảnh của các mẫu thí nghiệm cường độ nén (hình 2).



Hình 2. Mẫu bê tông thí nghiệm cường độ nén

## 2.3. Xác định cấp phối nghiên cứu của hỗn hợp bê tông không sử dụng chất kết dính xi măng

1. Mục tiêu đối với hỗn hợp bê tông và bê tông cường độ cao không dùng chất kết dính xi măng gồm:

(i). Mục tiêu về tính công tác là hỗn hợp bê tông không sử dụng xi măng có tính công tác tốt với độ xòe dao động từ 50 cm đến 60 cm, được xác định trong côn hình nón cụt kích thước (100x200x300)mm.

(ii). Mục tiêu về tính chất cơ học của loại bê tông này là có cường độ nén thiết kế ở tuổi 28 ngày đạt trên 70 MPa, được xác định trên các viên mẫu kích thước (100x100x100)mm.

2. Cơ sở xác định và lựa chọn các tỷ lệ của nguyên vật liệu sử dụng

Các tỷ lệ nguyên vật liệu cơ sở trong nghiên cứu này đã được lựa chọn dựa trên kết quả của các nghiên cứu về bê tông hạt mịn cường độ cao (không có cốt liệu thô) ở nhiều nước trên thế giới (Davidovits et al., 1999; Ferdous et al., 2013) và ở Việt Nam (Tăng Văn Lâm nnk., 2021; Tăng Văn Lâm nnk., 2021).

(a). Tỷ lệ tro bay/xi lò cao, trong nghiên cứu này đã lựa chọn tỷ lệ tro bay/xi lò cao (TB/Xi) là: 80/20, 60/40, 40/60 và 20/80.

(b). Hàm lượng cốt liệu, trong nghiên cứu này không sử dụng cốt liệu lớn, thành phần cốt liệu chỉ có kích thước từ 0,14 mm đến 5 mm. Tỷ lệ cát/vật liệu Alumino-silicat C/ALS đã chọn là

1,3 theo kết quả nghiên cứu của tác giả Баженов (năm 2011).

(c). Dung dịch kiềm kích hoạt: hàm lượng dung dịch kiềm kích hoạt (DDHH) hợp lý là một vấn đề rất quan trọng, sẽ giảm bớt được lượng NaOH còn dư lại trong cấu trúc sản phẩm sau khi rắn chắc. Mặt khác, nếu hàm lượng của dung dịch kiềm hoạt hóa nhỏ sẽ ảnh hưởng đến quá trình tạo thành các ion  $[\text{SiO}(\text{OH})_3]^-$  và  $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ , cũng như ảnh hưởng đến quá trình hòa tan bề mặt của các hạt tro bay và xi lò cao (Hwang et al., 2015; Chindaprasirt et al., 2009). Theo kết quả của nhiều nghiên cứu (Ferdous et al., 2013; Rangan, 2008), tỷ lệ DDHH/ALS dao động trong khoảng khá rộng từ 0,2 đến 0,65. Trên cơ sở đó, trong nghiên cứu đã tiến hành thí nghiệm khảo sát nhiều tỷ lệ khác nhau và đã lựa chọn sử dụng tỷ lệ DDHH/ALS không đổi và bằng 0,35.

(d). Tỷ lệ  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ , theo nhiều kết quả nghiên cứu về bê tông không sử dụng xi măng trên nền bê tông Geopolymer cho thấy, tỷ lệ  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  trong thành phần của bê tông chất kết dính kiềm hoạt hóa dao động trong phạm vi khá rộng từ 0,3 đến 2,5 (Davidovits et al., 1999; Chen et al., 2016; Ferdous et al., 2013). Trong giới hạn của nghiên cứu chọn tỷ lệ  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  được giữ cố định là 2,5.

(e). Lượng nước nhào trộn: vì hỗn hợp bê tông không chứa xi măng Poocăng, nên lượng nước sử dụng chỉ để pha chế NaOH (dạng rắn) thành dung dịch kiềm có nồng độ mol/lít 12 M. Ngoài ra, lượng nước còn được thêm vào 5% để

thấm ướt bề mặt của cốt liệu nhỏ (Nguyễn Như Quý nnk., 2020).

(f). Hàm lượng phụ gia siêu dẻo, nghiên cứu này đã chọn hàm lượng phụ gia siêu dẻo SR5000F bằng 1% hàm lượng của ALS (Tăng Văn Lâm nnk., 2021).

(g). Hàm lượng không khí cuốn vào khi nhào trộn, do điều kiện phòng thí nghiệm không có thiết bị hút không khí cuốn vào hỗn hợp bê tông khi nhào trộn, nên nghiên cứu này đã chọn hàm lượng không khí là 3% thể tích hỗn hợp bê tông (Баженов, 2011).

Các mẫu bê tông thiết kế sau khi tạo hình được tĩnh định 24 giờ trong khuôn đúc. Tiếp theo, các mẫu thử được tháo khuôn và đưa đi sấy trong tủ sấy ở  $80^\circ\text{C}$  trong 60 phút, sau đó mẫu được để nguội tự nhiên thêm 24 giờ trong không khí. Tiếp theo, mẫu thí nghiệm được đưa đi bảo dưỡng trong môi trường nước ở nhiệt độ phòng thí nghiệm  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$  cho đến các tuổi thí nghiệm yêu cầu. Mục đích của quá trình sấy mẫu thí nghiệm là để cho quá trình phản ứng giữa các thành phần trong bê tông xảy nhanh hơn, sự phá vỡ cấu trúc các hạt phụ gia khoáng và tạo ra liên kết Geopolymer triệt để hơn.

### 3. Cấp phối bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng xi măng

Tính toán theo phương pháp ACI dựa trên các giá trị tỷ lệ vật liệu lựa chọn và hiệu chỉnh cấp phối phù hợp với các tính chất của vật liệu sử dụng, đề tài khảo sát bốn cấp phối của hỗn hợp bê tông cường độ cao hạt mịn có thành phần như trong Bảng 4.

**Bảng 4. Cấp phối của hỗn hợp bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng xi măng**

| Ký hiệu mẫu | $\frac{\text{TB}}{\text{Xi}}$ | ALS (kg) | TB  | Xi  | C    | SR5000 | Dung dịch |                           | Chất rắn |                           | Nước | Nước/Rắn |
|-------------|-------------------------------|----------|-----|-----|------|--------|-----------|---------------------------|----------|---------------------------|------|----------|
|             |                               |          |     |     |      |        | NaOH      | $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ | NaOH     | $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ |      |          |
| M-01        | 80/20                         | 834      | 584 | 250 | 1084 | 8,3    | 95        | 238                       | 39       | 98                        | 197  | 0,203    |
| M-02        | 60/40                         | 840      | 504 | 336 | 1092 | 8,4    | 96        | 240                       | 39       | 99                        | 198  | 0,203    |
| M-03        | 40/60                         | 846      | 423 | 423 | 1100 | 8,5    | 97        | 242                       | 39       | 100                       | 199  | 0,203    |
| M-04        | 20/80                         | 852      | 341 | 511 | 1108 | 8,5    | 97        | 243                       | 39       | 101                       | 201  | 0,203    |

### 3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

Thí nghiệm trong điều kiện của phòng thí nghiệm đã xác định khối lượng thể tích và độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông không sử dụng xi măng ở trạng thái

đẻo. Bên cạnh đó, một số tính chất của bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng chất kết dính xi măng ở trạng thái rắn cũng đã được xác định. Các kết quả thí nghiệm đã được thể hiện trong Bảng 5.

**Bảng 5. Tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông thí nghiệm**

| Stt | Tính chất                                                           |         | Mẫu bê tông thí nghiệm |      |      |      |
|-----|---------------------------------------------------------------------|---------|------------------------|------|------|------|
|     |                                                                     |         | M-01                   | M-02 | M-03 | M-04 |
| 1   | Độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông (cm)                                |         | 61,5                   | 60   | 55   | 51,5 |
| 2   | Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông (kg/m <sup>3</sup> )        |         | 2247                   | 2258 | 2280 | 2320 |
| 3   | Khối lượng thể tích của bê tông ở tuổi 28 ngày (kg/m <sup>3</sup> ) |         | 2230                   | 2241 | 2268 | 2300 |
| 4   | Cường độ kéo khi uốn (MPa) tại tuổi:                                | 3 ngày  | 2,35                   | 2,35 | 2,82 | 2,98 |
|     |                                                                     | 7 ngày  | 4,31                   | 4,55 | 4,85 | 5,24 |
|     |                                                                     | 14 ngày | 5,69                   | 5,76 | 6,41 | 6,67 |
|     |                                                                     | 28 ngày | 6,75                   | 7,11 | 8,05 | 8,19 |
| 5   | Cường độ nén (MPa) tại tuổi:                                        | 3 ngày  | 24,5                   | 25,2 | 29,5 | 31,1 |
|     |                                                                     | 7 ngày  | 44,9                   | 47,5 | 50,9 | 54,5 |
|     |                                                                     | 14 ngày | 59,5                   | 60,2 | 66,8 | 69,4 |
|     |                                                                     | 28 ngày | 71,1                   | 74,0 | 81,1 | 83,7 |

#### 3.1. Tính chất của hỗn hợp bê tông sau khi nhào trộn

Từ kết quả thí nghiệm trong Bảng 5 cho thấy, khi thay đổi tỷ lệ tro bay/xi lò cao từ 80/20 đến 20/80 thì tính công tác của hỗn hợp bê tông thay đổi đáng kể. Độ xòe ngay sau khi nhào trộn của hỗn hợp bê tông giảm từ 61,5 cm xuống 51,5 cm. Hỗn hợp thu được có tính công tác tốt hơn bê tông xi măng truyền thống mặc dù với tỷ lệ Nước/chất rắn = 0,203. Điều này được giải thích một phần do không có xi măng Poocăng, lượng nước không bị mất do xi măng thủy hóa, đồng thời do tác động tương hỗ của phụ gia siêu dẻo SR 5000F và hỗn hợp bê tông không có cốt liệu lớn, nên hỗn hợp sau khi nhào trộn vẫn có tính công tác tốt, độ dẻo cao, độ đồng nhất tốt, không có hiện tượng phân tầng tách lớp giữa các thành phần trong hỗn hợp bê tông sau khi nhào trộn.

Mặt khác, với quá trình tăng hàm lượng xi nhiệt điện từ 20% lên 80% đã làm tăng hàm lượng ôxít canxi (CaO). Sự hòa tan Cation Ca<sup>2+</sup> từ thành pha CaO trong xi lò cao là một nguyên nhân dẫn đến lượng nước dư thừa giảm, kết quả là giảm dần

độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông sau nhào trộn. Đó là nguyên nhân tác động đến tính công tác của hỗn hợp bê tông sau khi nhào trộn đã giảm xuống so với các tỷ lệ tro bay/xi lò cao tương ứng.

Bên cạnh đó, khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông không sử dụng xi măng được xác định theo phương pháp tiêu chuẩn trong thùng đong có thể tích 1 lít. Giá trị khối lượng thể tích trung bình của các cấp phối bê tông này vào khoảng 2,28 tấn/m<sup>3</sup>, giá trị này nhỏ hơn so với khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông xi măng truyền thống. Điều này được giải thích là do trong thành phần không có cốt liệu lớn và khối lượng riêng của tro xỉ trong hỗn hợp bê tông này đều nhỏ hơn khối lượng riêng của xi măng.

#### 3.3. Tính chất cơ lý của bê tông hạt mịn không sử dụng chất kết dính xi măng sau khi rắn chắc

Từ số liệu trong Bảng 5 cho thấy, ảnh hưởng của hàm lượng tro bay và xi lò cao đến cường độ của bê tông cường độ cao hạt mịn là đáng kể. Tuy nhiên, cả 04 cấp phối bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng xi măng đều có giá trị cường độ

nén trung bình đạt trên 70 MPa tại tuổi 28 ngày, đạt mục tiêu thiết kế về cường độ nén.

Hơn nữa, tỷ số cường độ kéo khi uốn và cường độ nén của các mẫu thí nghiệm dao động khoảng  $1/11 \div 1/9$ . Tỷ số này tương đồng so với bê tông xi măng truyền thống (Nguyễn Như Quý nnk., 2020). Điều này cho thấy giá trị cường độ kéo khi uốn của loại bê tông này tuy được gia tăng nhưng tỷ số cường độ kéo/cường độ nén thay đổi không đáng kể.

Mặt khác, khối lượng thể tích trung bình của các mẫu thí nghiệm sau khi rắn chắc 28 ngày được xác định ở trạng thái bão hòa nước (khô bề mặt) là  $2,26 \text{ tấn/m}^3$ . Từ giá trị khối lượng thể tích này có thể khẳng định loại bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng xi măng được xếp vào loại đá nhân tạo tương đối nặng. Tuy nhiên, giá trị này đã giảm được khoảng  $(5 \div 10)\%$  so với khối lượng thể tích của bê tông truyền thống được quy định trong TCVN 2737:2020.

Hiệu quả của sự kết hợp tro bay nhiệt điện và xỉ lò cao trong thành phần cấp phối bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng xi măng được thể hiện bằng các hiệu ứng như sau:

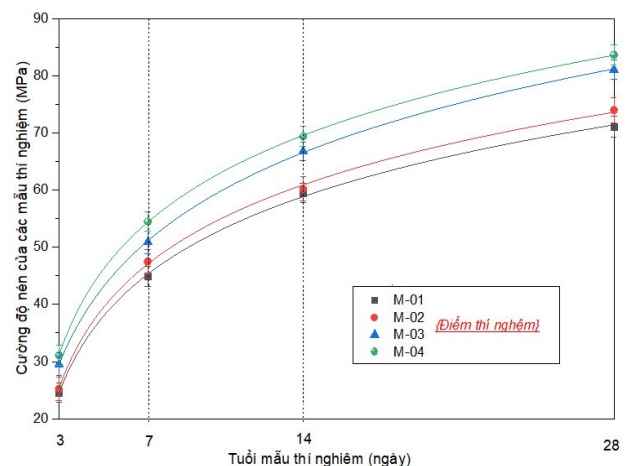
(i). Tro bay nhiệt điện và xỉ lò cao đóng vai trò chính là vật liệu Alumino-silicat, vật liệu giàu nhôm và silic, cung cấp nguyên tử Si và Al cho quá trình geo-polymer hóa và tạo ra các thành phần hoạt tính  $[\text{SiO}(\text{OH})_3^-]$  và  $[\text{Al}(\text{OH})_4^-]$ . Kết quả của quá trình này là hình thành các gel Geopolymer có dạng  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  (C-A-S-H) và  $\text{Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  (N-A-S-H), liên kết các thành phần hạt cốt liệu rời rạc lại với nhau (Kumar et al., 2010; Kiều Quý Nam nnk., 2020).

(ii). Xỉ lò cao hoạt tính có chứa một phần các khoáng vật ở dạng canxi-silicat ( $\text{CaO} \cdot x\text{SiO}_2$ ) có khả năng phản ứng thủy hoá với nước ngay trong điều kiện thường. Đặc tính này được gọi là hiệu ứng thủy lực của xỉ lò cao trong quá trình nhào trộn với nước. Với hiệu ứng thủy lực, xỉ lò cao hoạt tính đã tạo thành khoáng hidro-silicat- canxi ( $x\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ : C-S-H) vừa tăng tốc độ rắn chắc của bê tông ở nhiệt độ thường vừa tăng

cường độ cho mẫu thí nghiệm (Nguyễn Văn Tuấn nnk., 2018).

(iii). Khi thành phần xỉ lò cao lớn, hàm lượng CaO hòa tan trong dung dịch kiềm hoạt hóa tăng,  $\text{Ca}^{2+}$  (trong xỉ lò cao) hòa tan đóng vai trò đầu mối liên kết giữa các lớp geopolymer với các hạt xỉ lò cao tạo thành các gel Ca-O-Si; Ca-O-Al; C-S-H hoặc C-A-S-H. Các gel này có một vai trò quan trọng là kết dính các hạt cốt liệu cũng như các hạt tro xỉ lại với nhau để tạo thành một khối thống nhất, đồng thời, tạo thành cấu trúc đặc sít, giảm lỗ rỗng, do đó đã tăng độ đặc chắc và độ bền cơ học của sản phẩm sau khi chế tạo. Nhận định này khá tương đồng với các kết quả trong nhiều nghiên cứu trước đây (Venu et al., 2020; Тагг Ван Лам nnk., 2021).

Quan hệ giữa cường độ nén của các mẫu bê tông thí nghiệm phụ thuộc theo thời gian bảo dưỡng đã được xác định và trình bày trên Hình 3.



Hình 3. Quan hệ giữa cường độ nén của mẫu thí nghiệm theo thời gian

Từ trên Hình 3 đã chỉ ra, cường độ nén trung bình của mẫu thí nghiệm ở tuổi 3, 7 và 14 ngày lần lượt đạt khoảng 34%, 62% và 82% so với cường độ nén ở tuổi 28 ngày. Các giá trị cường độ ở tuổi sớm này có sự giảm thấp hơn so với cường độ của bê tông xi măng Pooclăng. Nhiều nghiên cứu trước đây với bê tông xi măng cường độ cao thì ở tuổi 14 ngày có thể đạt trên 90% cường độ ở

tuổi 28 ngày (Nguyễn Văn Tuấn nnk, 2018; Nguyễn Như Quý nnk, 2020). Điều này có thể thấy rằng, với cách dưỡng hộ này quá trình geopolymer hóa của bê tông không sử dụng chất kết dính xi măng đã xảy ra chậm hơn so với quá trình thủy hóa của xi măng với nước trong bê tông xi măng truyền thống.

Mặt khác, cần tiếp tục thực hiện các nghiên cứu tiếp theo về điều chỉnh hàm lượng dung dịch kiềm hoạt hóa, nồng độ Mol/lít của NaOH... hợp lý để có thể chế tạo được loại bê tông hạt mịn không sử dụng chất kết dính xi măng phù hợp với các yêu cầu kỹ thuật đề ra.

#### 4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở các nguồn vật liệu, phụ phẩm hiện có trong nước và từ kết quả thí nghiệm trong phạm vi của phòng thí nghiệm đã rút ra được một số kết luận như sau:

- + Khi hàm lượng xỉ lò cao tăng từ 20% đến 80% trong thành phần bê tông thì khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông tăng từ 2247 kg/m<sup>3</sup> đến 2320 kg/m<sup>3</sup>, đồng thời khối lượng thể tích của bê tông ở tuổi 28 ngày dao động từ 2230 kg/m<sup>3</sup> đến 2330 kg/m<sup>3</sup>.

- + Từ kết quả thực nghiệm cho thấy, khối lượng thể tích trung bình của hỗn hợp bê tông là 2,28 tấn/m<sup>3</sup> và khối lượng thể tích mẫu bê tông sau khi rắn chắc 28 ngày khoảng 2,25 tấn/m<sup>3</sup>. Từ

đó cho thấy mẫu bê tông cường độ cao không sử dụng xi măng đã thấp hơn mẫu bê tông xi măng thông thường khoảng (5÷10)%.

- + Khi giảm tỷ lệ tro bay/xỉ lò cao từ 80/20 xuống 20/80 thì các mẫu bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng xi măng có cường độ nén dao động từ 71,1 MPa đến 83,7 MPa tại tuổi 28 ngày. Nhưng tỷ số giữa cường độ kéo khi uốn với cường độ nén của các mẫu thí nghiệm tương đồng so với bê tông truyền thống, dao động khoảng 1/11÷1/9.

- + Giá trị cường độ nén trung bình của các mẫu bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng chất kết dính xi măng ở tuổi 3, 7 và 14 ngày lần lượt đã đạt khoảng 34%, 62% và 82% so với cường độ nén ở tuổi 28 ngày.

#### Lời cảm ơn

Nội dung của bài báo là một phần kết quả nghiên cứu của đề tài cấp Bộ năm 2021, mã số 2021-MDA “Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao sử dụng chất kết dính không xi măng dùng trong xây dựng công trình chịu tác động ăn mòn của nước biển” theo Quyết định phê duyệt đề tài số 3813/GĐ-BGDDĐT ngày 20/11/2021. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo đã tài trợ kinh phí để thực hiện đề tài này.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Kiều Quý Nam, Nguyễn Ánh Dương (2020). *Chất kết dính geopolymer trong sản xuất vật liệu xây dựng không nung*. Tạp chí Địa chất, loạt A năm 2020, tr.647 -659.
- Nguyễn Thắng Xiêm (2013). *Khả năng ứng dụng tro bay làm phụ gia trong vữa và bê tông trên nền geopolymer*. Tạp chí khoa học – công nghệ thủy sản. Số 1/2013.
- Nguyễn Như Quý, Mai Quế Anh (2020). *Lý thuyết bê tông*, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2020, 210 Tr.
- Nguyễn Thanh Bằng, Đinh Hoàng Quân, Nguyễn Tiến Trung (2021). *Nghiên cứu sử dụng kết hợp tro bay nhiệt điện và xỉ lò cao để chế tạo bê tông chất kết dính kiềm hoạt hóa* (không sử dụng xi măng) dùng cho các công trình thủy lợi làm việc trong môi trường biển góp phần bảo vệ môi trường. Đề tài NCKH cấp Quốc gia mã số KC.08.21/16-20.
- Nguyễn Thanh Bằng, Nguyễn Tiến Trung, Đinh Hoàng Quân (2020). *Ảnh hưởng của độ mịn xỉ lò cao đến cường độ bê tông chất kết dính kiềm hoạt hóa*. Tạp chí KH&CN Thủy lợi. Số 61, trang 16-23.

- Nguyễn Văn Tuấn, Phạm Hữu Hanh, Nguyễn Công Thắng, Lê Trung Thành, Văn Viết Thiên Ân, Hoàng Tuấn Nghĩa (2018). *Bê tông chất lượng siêu cao*, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2018, 300 Tr.
- Tăng Văn Lâm, Vũ Kim Diên, Bulgakov Boris Igorevich (2021). *Nghiên cứu sử dụng kết hợp tro bay nhiệt điện với xỉ lò cao để chế tạo bê tông chất lượng cao hạt mịn không xi măng*. Tạp chí Xây dựng, số 10/2021. Trang 183-190.
- Tăng Văn Lâm, Vũ Kim Diên (2020). *Khả năng sử dụng xỉ thải của công nghiệp luyện kim trong sản xuất vật liệu xây dựng*. Tạp chí Khoa học & Công nghệ, Bộ công thương, số 43, tháng 10 năm 2020.
- Thủ tướng Chính phủ (2017). *Đề án đẩy mạnh xử lý, sử dụng tro, xỉ, thạch cao của các nhà máy nhiệt điện, nhà máy hóa chất, phân bón làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng và trong các công trình xây dựng*, theo Quyết định 426/QĐ-TTg ngày 12/04/2017.
- Thủ tướng Chính phủ (2021). *Đẩy mạnh xử lý, sử dụng tro, xỉ, thạch cao của các nhà máy nhiệt điện, nhà máy hóa chất, phân bón làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng và trong các công trình xây dựng*, theo Chỉ thị số 08/TC-TTg ngày 26/03/2021.
- Trần Việt Hưng (2017). *Nghiên cứu thành phần, đặc tính cơ lý của bê tông Geopolymer tro bay và ứng dụng cho kết cấu cầu hầm*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, năm 2017, mã số 6258020503, 149 trang.
- Tiêu chuẩn Việt Nam (2020). TCVN 2737:2020. *Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế*. Hà Nội.
- ACI 211.4R-08, (2008). *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Mater* (Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Mater).
- Chindaprasirt P., Jaturapitakkul C., Chalee W., Rattanasak U., (2009). *Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers*. Waste management, 29(2), 539-543.
- Duxson P., Fernández-Jiménez, Provis J.L., Lukey G.C., Palomo A., Van Deventer J.S.J., (2007), *Geopolymer technology: The current state of the art*, Journal of Materials Science. 42(9), 2917-2933.
- Ferdous M.W., Kayali O., Khennane A., (2013). *A detailed procedure of mix design for fly ash based geopolymer concrete*. Conference on FRP in Structures (APFIS 2013), Melbourne Australia (11-13).
- Hwang C.L., Huynh T.P., (2015). *Effect of alkali-activator and rice husk ash content on strength development of fly ash and residual rice husk ash-based geopolymers*. Construction and Building Materials, 101, 1-9.
- Kumar S., Kumar R., Mehrotra S.P., (2010). *Influence of granulated blast furnace slag on the reaction, structure and properties of fly ash based geopolymer*. Journal of materials science, 45(3), 607-615.
- Lloyd N.A., Rangan B.V., (2010). *Geopolymer concrete with fly ash*. Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Italy.
- Rangan B.V., (2008). *Low-calcium, fly-ash-based geopolymer concrete*. Concrete construction engineering handbook, Chapter 26, Taylor & Francis.
- Rattanasak U., Chindaprasirt P., (2009). *Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer*. Minerals Engineering, 22(12), 1073-1078.
- Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд. АСВ., (2011), 528 с.
- Танг Ван Лам, Нго Суан Хунг, Ву Ким Зиен, Булгаков Б.И., Баженова С.И., Александрова О.В., (2021). *Геополимерный бетон с использованием многотоннажных техногенных отходов // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. Вып. 2. Ст. 2. URL: <http://nso-journal.ru> DOI: 10.22227/2305-5502.2021.2.2*

**Abstract:**  
**STUDY ON THE EFFECT OF FLY ASH AND GRANULATED BLAST FURNACE  
SLAG CONTENTS ON THE PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH FINE-GRAINED  
CONCRETE WITHOUT CEMENT**

*This paper presents the results of the study on the effect of fly ash (FA) and granulated blast furnace slag (GBFS) contents on the properties of high-strength fine-grained concrete without cement. The concrete mixture has good workability and its design compressive strength at the age of 28 days is over 70 MPa. In which, FA and GBFS are used as alumino-silicate materials, NaOH and Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> solutions are used as the alkali-activator solution to activate ash-slag materials. The content of FA/GBFS was surveyed at 80/20, 60/40, 40/60, and 20/80, respectively. The obtained results show that the prospect of reusing industrial solid wastes to produce environmentally friendly cement-free high-strength fine-grained concrete..*

**Keywords:** High-strength fine-grained concrete, Fly ash, Granulated blast furnace slag, Alkali-activator, Compressive strength.

---

Ngày nhận bài: 03/9/2021

Ngày chấp nhận đăng: 06/11/2021