

# NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG CHẾ TẠO BÊ TÔNG NHẸ TẠO KHÍ TỪ BỘT NHÔM, PHỤ GIA KHOÁNG VÀ CHẤT KẾT DÍNH KHÔNG XI MĂNG

## POSSIBILITY TO MANUFACTURE LIGHTWEIGHT CONCRETE FROM ALUMINUM POWDER, MINERAL ADDITIVES, AND BINDERS WITHOUT CEMENT

Tăng Văn Lâm<sup>1</sup>, Võ Đình Trọng<sup>2</sup>, Vũ Kim Diên<sup>3</sup>, Nguyễn Bá Bình<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Trường Đại học Mở - Địa chất

<sup>3</sup> Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng,

<sup>4</sup> Công ty cổ phần Coninco3c

Email: <sup>1</sup> tangvanlam@humg.edu.vn, <sup>2</sup> vodinhtrong2611@gmail.com,

<sup>3</sup> kimdienxdb@gmail.com, <sup>4</sup> babinhconinco3c@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses2-10>

**TÓM TẮT:** Bê tông nhẹ là loại đá nhân tạo không nung có khối lượng thể tích ở trạng thái khô trong khoảng từ 500 kg/m<sup>3</sup> đến 1800 kg/m<sup>3</sup>. Bên cạnh đó, những loại bê tông có khối lượng thể tích ở trạng thái khô nhỏ hơn 500 kg/m<sup>3</sup> được gọi là bê tông đặc biệt nhẹ. Bài viết này trình bày một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm về thành phần và tính chất của bê tông nhẹ tạo khí sử dụng các vật liệu sẵn có ở Việt Nam. Vật liệu sử dụng gồm tro bay, xỉ lò cao, bột gốm sứ TOTO, bột nhôm và dung dịch kiềm kích hoạt. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy tiềm năng chế tạo được loại bê tông nhẹ có chất lượng tốt, với khối lượng thể tích dưới 1800 kg/m<sup>3</sup> và cường độ nén tuổi 28 ngày dao động trong khoảng 15–25 MPa. Với hàm lượng dung dịch kiềm kích hoạt/tổng hàm lượng vật liệu Alumino-sicate là 0,40, bột gốm là 20% và hàm lượng bột nhôm là 0,35-0,40 kg cho mỗi mét khối đã thu được bê tông nhẹ có khối lượng thể tích 1600kg/m<sup>3</sup> và cường độ nén ở tuổi 28 ngày cao nhất.

**TỪ KHÓA:** Bê tông nhẹ, bột nhôm, chất kết dính không xi măng, cường độ nén, khối lượng thể tích.

**ABSTRACTS:** Lightweight concrete is an unburnt artificial stone with a dry density in the range of 500 kg/m<sup>3</sup> to 1800 kg/m<sup>3</sup>. In addition, concrete with a dry density of less than 500 kg/m<sup>3</sup> is considered to be particularly light concrete. This article presents some experimental results on the composition and properties of lightweight concrete using materials available in Vietnam. Materials used include fly ash, blast furnace slag, TOTO ceramic powder, aluminum powder, and activated alkaline solution. The experimental results show that there is a potential to be a good quality lightweight concrete, with a dry density of less than 1800 kg/m<sup>3</sup> and a compressive strength at the age of 28 days ranging from 15–25 MPa. With an activated solution/total Alumino-sicate material content of 0.40, a ceramic powder of 20%, and an aluminum powder content of 0.35-0.40 kg per cubic meter, lightweight concrete of density 1600kg/m<sup>3</sup> and compressive strength at the age of 28 days was the highest.

**KEYWORDS:** Lightweight concrete, aluminum powder, non-cement binder, compressive strength, density.

### 1. MỞ ĐẦU

Chế tạo các loại bê tông nhẹ trên cơ sở chất kết dính là xi măng Portland đã trở thành phổ biến ở Việt Nam và trên thế giới. Vai trò và tầm quan trọng của các loại bê tông nhẹ trong các công trình xây dựng ngày càng được khẳng định, không chỉ là các kết cấu bao che cho công trình [1, 2, 3, 4], mà còn hướng đến vật liệu bê tông nhẹ dùng trong kết cấu chịu lực [5, 6, 7, 8].

Nhược điểm lớn nhất của các loại bê tông xi măng thông thường là khối lượng thể tích lớn,

nên ảnh hưởng đến kết cấu móng của công trình [9, 10, 11]. Bên cạnh đó, theo nhiều nghiên cứu [1, 2, 12], khi sử dụng bê tông nhẹ được chế tạo từ cát và xi măng thông thường có những ưu điểm là: Khối lượng thể tích nhỏ, nên giảm trọng lượng bản thân công trình, giảm chi phí làm móng cho nhà cao tầng; Khả năng cách âm, cách nhiệt rất tốt; Thi công nhanh, đơn giản...

Những năm gần đây, ở nhiều nước trên thế giới đã tập trung vào việc nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ cường độ cao sử dụng chất kết dính kiềm hoạt

hóa [13, 14]. Đó là một hướng đi mới và tiềm năng để khắc phục các nhược điểm về khối lượng thể tích lớn và sử dụng quá nhiều xi măng Portland của bê tông truyền thống hiện nay.

Bê tông nhẹ là vật liệu khá phổ biến trong xây dựng hiện đại. Chúng được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau: làm khung, sàn, tường cho nhà nhiều tầng; dùng trong các kết cấu bản mỏng, tấm cong; trong kết cấu bê tông ứng suất trước; trong chế tạo các cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn; tường bao, trần và mái cách nhiệt...

Sử dụng phù hợp bê tông nhẹ và đặc biệt nhẹ trong công trình xây dựng mang lại những lợi ích kinh tế - kỹ thuật to lớn: tiết kiệm nguyên vật liệu; giảm tổn thất năng lượng; cải thiện môi trường vi khí hậu trong không gian ở và làm việc; nâng cao hiệu suất và độ bền của thiết bị nhiệt,... Bê tông nhẹ là vật liệu khả thi cho những công trình trên nền đất yếu. Tổng giá thành các công trình cao tầng sử dụng bê tông nhẹ thấp hơn đáng kể so với sử dụng các loại bê tông khác, mặc dù đơn giá của nó cao hơn.

Trên thế giới, nghiên cứu và sử dụng các loại bê tông nhẹ đã phát triển theo nhiều hướng khác nhau. Nhiều nghiên cứu đã tập trung vào hướng chế tạo bê tông bọt, bê tông khí chưng áp từ chất kết dính xi măng và các loại phụ gia khoáng hoạt tính [3, 4, 5, 6]. Những nghiên cứu này đã chứng tỏ khả năng chế tạo được các loại bê tông nhẹ cường độ cao định hướng sử dụng cho nhà siêu cao tầng ở Việt Nam. Tuy nhiên, những loại bê tông này cần quá trình chưng hấp phức tạp để tạo ra sản phẩm có cường độ lớn hơn. Một số nhà nghiên cứu đã đi vào nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ từ chất kết dính xi măng và cốt liệu rỗng, hoặc hạt xốp phòng nổ (Polystyrene). Kết quả thu được từ khối lượng thể tích khô nhỏ hơn  $2000 \text{ kg/m}^3$  và cường độ nén trung bình từ  $5\div 15 \text{ MPa}$  [8, 12, 13].

Những năm gần đây, ở Việt Nam đã bắt đầu có một số nghiên cứu sử dụng chất kết dính Geopolymer để chế tạo các loại gạch nhẹ không nung và bê tông nhẹ [15, 16, 17]. Các nghiên cứu này đã nghiên cứu chế tạo hệ Geopolymer từ các nguồn vật liệu gồm: Bùn đỏ, tro bay kết hợp dung dịch kiềm hoạt hóa. Và kết quả nghiên cứu của tác giả Trịnh Ngọc Duy [17] cho thấy bê tông nhẹ từ dung dịch kiềm hoạt hóa và hạt xốp có khối lượng thể tích dưới  $1300 \text{ kg/m}^3$  và cường độ nén trung bình là  $5 \text{ MPa}$ . Từ đó thấy được kết quả về cường độ nén của bê tông trong nghiên cứu này còn khá thấp, chưa đáp ứng được khả năng chịu lực trong kết cấu tường gạch xây tiêu chuẩn A<sub>1</sub> mác 7,5 MPa.

Bài viết này trình bày một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm về tính chất của bê tông nhẹ tạo khí sử dụng gồm tro bay, xỉ lò cao, bột gốm sứ

TOTO, bột nhôm và dung dịch kiềm kích hoạt. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy tiềm năng chế tạo được loại bê tông nhẹ có chất lượng tốt, với khối lượng thể tích dưới  $1800 \text{ kg/m}^3$  và cường độ nén tuổi 28 ngày dao động trong khoảng  $15\text{--}25 \text{ MPa}$ .

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu sử dụng

Vật liệu đã sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm các loại sau đây:

#### 2.1.1. Bột nhôm nguyên chất (Al)



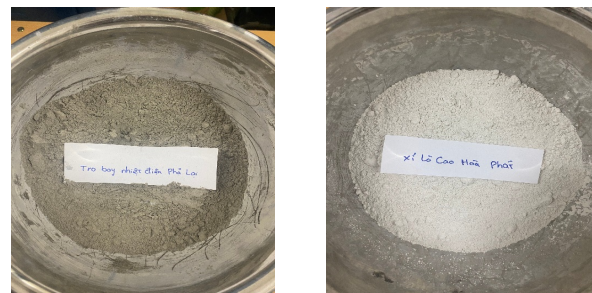
Hình 1. Bột nhôm nguyên chất

Trong nghiên cứu đã sử dụng bột nhôm nguyên chất do Công ty Jigco Việt Nam cung cấp, mỗi hộp 500 g với hàm lượng kim loại nhôm tinh khiết đạt 86% và hệ số sản lượng khí tạo đạt 1050 lít khí Hidro/1kg bột nhôm [11]. Độ mịn của bột nhôm đạt  $4500 \text{ cm}^2/\text{g}$  (Hình 1).

#### 2.1.2. Vật liệu tro xỉ

Vật liệu tro xỉ là loại vật liệu giàu các thành phần  $\text{Al}_2\text{O}_3$  và  $\text{SiO}_2$  hoạt tính. Trong nghiên cứu này đã sử dụng tro bay nhiệt điện Phả Lại kết hợp xỉ lò cao Hòa Phát (xem hình 2).

a) Tro bay (TB) loại F của Nhà máy nhiệt điện Phả Lại thỏa mãn các yêu cầu của TCVN 10302:2014 “Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng”;



Hình 2. Tro bay nhiệt điện Phả Lại (a) và xỉ lò cao Hòa Phát (b)

b) Xi lò cao S95 hoạt hóa nghiền mịn (Xi) được mua từ khu liên hợp gang-thép Nhà máy Hòa Phát thỏa mãn theo TCVN 11586:2016 “Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa”.

### 2.1.3. Bột gồm sứ TOTO (BG)

Quá trình sản xuất các sản phẩm sứ vệ sinh như: Bồn rửa mặt, bồn tắm, và các loại xí bệt... trong nhà máy gồm sứ TOTO đã thải ra môi trường một lượng lớn các loại phế thải công nghệ. Theo ước tính từ nhà máy, mỗi tháng sản xuất Nhà máy TOTO (Đông Anh – TP. Hà Nội) đã thải ra môi trường khoảng trên 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.

Bột gồm sứ TOTO (BG) nhận được bằng cách nghiền mịn phế thải và các mảnh vỡ, sản phẩm lỗi của các thiết bị sứ vệ sinh của nhà máy trong máy nghiền bít. Kích thước hạt của bột gồm sau khi nghiền khoảng 0,1÷0,5mm (Hình 3).



a) Phế thải gốm gia công thô



b) Bột gồm sau khi nghiền mịn

**Hình 3. Bột gồm của Nhà máy gốm sứ TOTO**

Trong nghiên cứu này, vật liệu Alumino-silicate (ALS) là tổng hàm lượng của tro bay, xỉ lò cao và bột gồm sứ TOTO (ALS = TB + Xi + BG). Thành phần hóa học và các tính chất vật lý cơ bản của vật liệu Alumino-silicate được thể hiện trong Bảng 1.

**Bảng 1. Thành phần hóa học và tính chất vật lý của tro bay nhiệt điện Phả Lại, xỉ lò cao Hòa Phát và bột gồm sứ TOTO**

Loại vật liệu	Tro bay	Xỉ lò cao	Bột gồm sứ TOTO
Ký hiệu	TB	Xi	BG
Thành phần hóa học của tro bay nhiệt điện, xỉ lò cao và bột gồm sứ TOTO			
SiO <sub>2</sub>	54,2	36,3	64,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,3	12,6	19,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,8	3,4	4,35
SO <sub>3</sub>	2,5	5,7	0,11
K <sub>2</sub> O	1,4	0,4	2,16
Na <sub>2</sub> O	1,1	0,3	0,73
MgO	0,6	-	0,75
CaO	1,2	40,1	4,56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,4	-	0,17
Lượng mất khi nung	4,5	1,2	3,17
Tính chất vật lý của tro bay nhiệt điện, xỉ lò cao và bột gồm sứ TOTO			
Tỷ diện bề mặt riêng (cm <sup>2</sup> /g)	3700	5820	1280
Khối lượng riêng, (g/cm <sup>3</sup> )	2,35	2,92	2,13
Khối lượng thể tích xốp, (kg/m <sup>3</sup> )	1575	1550	1620

### 2.1.4. Dung dịch kiềm kích hoạt (DDHH)

Hỗn hợp dung dịch kiềm kích hoạt có vai trò là chất hoạt hóa, thúc đẩy quá trình geopolymer hóa, khử nguyên tử Al và Si trong vật liệu Alumino-silicatse, đồng thời tăng mức độ hòa tan (bề mặt) các hạt tro bay, xỉ lò cao đã sử dụng trong thành phần của hỗn hợp bê tông nhẹ.

Dung dịch hoạt hóa trong nghiên cứu này sử dụng là hỗn hợp Natri hydroxit – NaOH (dạng rắn) và dung dịch Natri silicat – Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> có mô đun Silic là M<sub>Si</sub> = 2,78 (Hình 4).



(a) Natri hydroxit dạng rắn



(b) Dung dịch Natri hydroxit

**Hình 4. Natri hydroxit – NaOH**

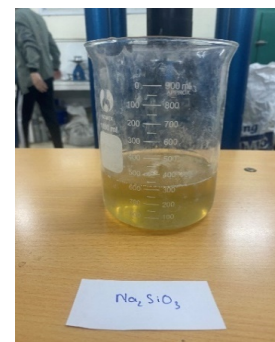
#### a) Natri hydroxit – NaOH

Natri hydroxit sử dụng ở dạng rắn (dạng vảy khô) có tên là “Caustic Soda Flake 99%” được đặt mua tại Công ty hóa chất Việt Nhật (Hình 8). Natri hydroxit có màu trắng đục và độ tinh khiết 99% thỏa mãn các tiêu chuẩn TCVN 3794:2009 và TCVN 3793:1983. Dung dịch Natri hydroxit thu được bằng cách pha NaOH dạng dạng rắn vào nước để đạt được nồng độ mol theo yêu cầu. Trong nghiên cứu này, nồng độ mol/lít của dung dịch NaOH được sử dụng là 12 M với thành phần gồm: 36,1% NaOH và 63,9% nước (xem trong Bảng 2).

**Bảng 2. Thành phần của dung dịch NaOH 12M**

Nồng độ mol dung dịch NaOH (mol/lít)	Hàm lượng chất rắn NaOH (%)	Hàm lượng nước nhào trộn (%)	Khối lượng thể tích của dung dịch NaOH (kg/m <sup>3</sup> )
12M	36,1	63,9	1,42

#### b) Dung dịch Natri silicat - Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>



**Hình 5. Dung dịch Natri silicat**

Dung dịch Natri silicat -  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  được đặt mua có nguồn gốc từ Nhà máy hóa chất Việt Nhật có môđun silic  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 2,78$  (Hình 5). Thành phần phần trăm theo khối lượng của dung dịch Natri silicat gồm có:  $\% \text{Na}_2\text{O} = 11,8$ ;  $\% \text{SiO}_2 = 29,5$  và  $\text{H}_2\text{O} = 58,7\%$ .

Trong Bảng 3 đã trình bày các tính chất vật lý và thành phần hóa học của dung dịch Natri silicat.

**Bảng 3. Tính chất vật lý và thành phần hóa học của dung dịch Natri silicat**

1	Công thức hóa học	$\text{Na}_2\text{O}.2,5.\text{SiO}_2$
2	$\text{Na}_2\text{O}$	11.8%
3	$\text{SiO}_2$	29.5%
4	$\text{H}_2\text{O}$	58.7%
5	Trạng thái	Chất lỏng (Gel)
6	Màu sắc	Chất lỏng màu vàng nhạt
7	Trọng lượng phân tử	184.04 g
8	Khối lượng riêng	1.55 g/cm <sup>3</sup>

Hỗn hợp dung dịch kiềm kích hoạt cần được chuẩn bị theo 03 bước như sau:

(i) Hòa tan NaOH dạng rắn vào cốc sứ đựng nước theo khối lượng đã xác định để thu được dung dịch có nồng độ yêu cầu, đặc biệt cần lưu ý khuấy trộn để cho NaOH được tan hoàn toàn, không kết tụ dưới đáy cốc.

(ii) Dung dịch  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  được định lượng theo khối lượng theo từng loại cấp phối của chất kết dính.

(iii) Tiếp đó, hai dung dịch này được hòa trộn vào nhau để thu được một dung dịch đồng nhất. Theo nhiều kinh nghiệm nghiên cứu trước đây, pha chế dung dịch kiềm kích hoạt ít nhất một ngày trước khi sử dụng để trộn vào hỗn hợp thí nghiệm.

### 2.1.5. Phụ gia siêu dẻo (PGSD)

Phụ gia siêu dẻo SR 5000F «SilkRoad» (SR5000) là loại phụ gia giảm nước tầm cao, thế hệ 3, có thành phần dựa trên gốc Polycarboxylate.

Phụ gia siêu dẻo SR 5000F thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 8826:2011. Các thông số kỹ thuật của phụ gia siêu dẻo SR 5000F:

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

+ Tỷ trọng: 1,12 g/cm<sup>3</sup> ở nhiệt độ 25±5°C.

+ pH: 06 ở nhiệt độ 25±5°C.

### 2.1.6. Nước sạch

Nước sạch được sử dụng để hòa tan NaOH (dạng khan) thành dung dịch NaOH 12M và bảo dưỡng mẫu sau khi thí nghiệm, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Độ ẩm, khối lượng thể tích khô, độ hút nước và cường độ nén của mẫu bê tông khí không chưng áp trong nghiên cứu này được xác định theo TCVN 9030:2017.

### 2.2.1. Phương pháp thể tích tuyệt đối

Hiện nay, phương pháp tính toán thành phần cấp phối bê tông khí dựa trên lý thuyết phương pháp thể tích tuyệt đối. Bản chất của phương pháp này là dựa trên giá trị cho trước của khối lượng thể tích ướt của bê tông nhẹ.

Công thức tính toán các thành phần cấp phối của bê tông nhẹ được đưa ra trong phương trình số (1) và số (2):

$$\rho_{\text{ướt}} = \text{BG} + \text{TB} + \text{Xi} + \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{PGSD} \quad (1)$$

$$V_K = K * \left[ 1000 - \left( \frac{\text{BG}}{\rho_{\text{BG}}} + \frac{\text{TB}}{\rho_{\text{TB}}} + \frac{\text{Xi}}{\rho_{\text{Xi}}} + \frac{\text{NaOH}}{\rho_{\text{NaOH}}} + \frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\rho_{\text{Na}_2\text{SiO}_3}} + \frac{\text{PGSD}}{\rho_{\text{PGSD}}} \right) \right] \quad (2)$$

Trong đó:

$\rho_{\text{ướt}}$  - khối lượng thể tích ở trạng thái ướt mục tiêu của mẫu thí nghiệm, kg/m<sup>3</sup>;

BG, TB, Xi, NaOH,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , PGSD - lần lượt là khối lượng của bột gồm, tro bay nhiệt điện, xỉ lò cao, dung dịch NaOH, dung dịch  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  và phụ gia siêu dẻo cho 1m<sup>3</sup> hỗn hợp bê tông khí, kg;

$V_K$  - thể tích khí sử dụng trong hỗn hợp, lít;

$\rho_{\text{BG}}$ ,  $\rho_{\text{TB}}$ ,  $\rho_{\text{Xi}}$ ,  $\rho_{\text{NaOH}}$ ,  $\rho_{\text{Na}_2\text{SiO}_3}$ ,  $\rho_{\text{PGSD}}$  - lần lượt là khối lượng riêng của bột gồm, tro bay nhiệt điện, xỉ lò cao, dung dịch NaOH, dung dịch  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  và phụ gia siêu dẻo, kg/lít;

K - hệ số dư khí, K phụ thuộc vào chất lượng chất tạo khí, thời gian tạo khí và thể tích khí cho vào hỗn hợp bê tông... thông thường  $K = 1,1 \div 1,3$  [22]. Đối với chất tạo khí là bột nhôm, do khó bảo quản, bột nhôm dễ dàng phản ứng với khí oxy. Do đó đã chọn hệ số dư khí  $K = 1,2$ .

### 2.2.2. Các yêu cầu đối với hỗn hợp bê tông nhẹ tạo khí sử dụng chất kết dính Geopolymer từ hỗn hợp tro bay, xỉ lò cao và phế thải Nhà máy gốm sứ TOTO

+ Khối lượng thể tích ở trạng thái ướt mục tiêu của bê tông nhẹ đặt ra trong nghiên cứu này là  $\rho_{\text{ướt}} = 1600 \text{ kg/m}^3$ ;

+ Hỗn hợp bê tông không dùng cốt liệu nhỏ là cát;

+ Bột nhôm có hệ số sản lượng khí tạo đạt 1050 lít khí Hydro/1kg bột nhôm, độ tinh khiết là 86% [11, 14].

+ Hàm lượng bột gốm sứ TOTO được khảo sát bằng 20% tổng hàm lượng vật liệu Alumino-silicate.

+ Lấy giá trị hệ số dư khí  $K = 1,2$  [7, 8, 21, 22].

Từ những cơ sở trên kết hợp với các kết quả khảo sát thực nghiệm sơ bộ, nghiên cứu này đã chọn gốc các hệ số tỷ lệ vật liệu như trong Bảng 4.

**Bảng 4. Các tỷ lệ vật liệu sử dụng để chế bê tông nhẹ tạo khí từ bột nhôm (theo khối lượng)**

Tỷ lệ vật liệu	BG ALS	TB ALS	Xi ALS	SR5000 ALS	DDHH ALS	$Na_2SiO_3$ NaOH
Giá trị	20%	50%; 40%; 30%	30%; 40%; 50%	1%	0,40	2,5

Trong đó:  $ALS = TB + Xi + BG$ .

### 2.2.3. Xác định cấp phối bê tông nhẹ tạo khí

Tính toán theo phương pháp thể tích tuyệt đối dựa trên các giá trị tỷ lệ vật liệu đã lựa chọn và hiệu chỉnh cấp phối phù hợp với các tính chất của vật liệu sử dụng, đề tài khảo sát 03 cấp phối của hỗn hợp bê tông nhẹ tạo khí có thành phần như trong Bảng 5.

**Bảng 5. Cấp phối của hỗn hợp bê tông nhẹ tạo khí từ bột nhôm**

Ký hiệu mẫu	BTN-01	BTN - 02	BTN - 03
$\frac{TB}{Xi}$	50/30	40/40	30/50
Cấp phối $1m^3$ bê tông nhẹ tạo khí	ALS	1135	1135
	TB	567	454
	Xi	340	454
	BG	227	227
Dạng dung dịch, (kg)	PGSD	11,35	11,35
	NaOH	130	130
	$Na_2SiO_3$	324	324
Thể tích vật liệu, (lít)	676	667	657
Thể tích khí, (lít)	389	400	412
Khối lượng bột nhôm (Al), (kg)	0,431	0,433	0,456



**Hình 6. Chuẩn bị thí nghiệm chế tạo bê tông nhẹ**

Hỗn hợp sau khi tạo hình được bảo dưỡng một ngày trong khuôn mẫu, sau một ngày mẫu được tháo khuôn, cắt đầu vữa thừa để thu được mẫu bê tông nhẹ tiêu chuẩn, sau đó mẫu được đưa đi ngâm vào trong môi trường nước của bể dưỡng hộ cho đến tuổi thí nghiệm.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

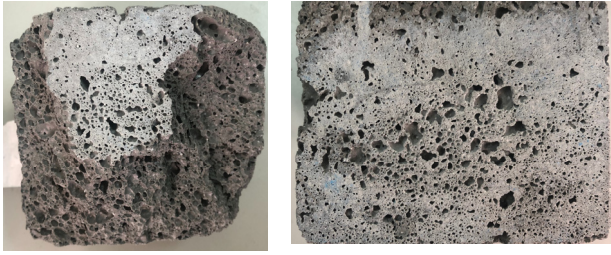
Xác định tính chất cơ-lý của bê tông nhẹ sử dụng bột nhôm và chất kết dính Geopolymer.

Kết quả thực nghiệm trong nghiên cứu này được trình bày ở Bảng 6.

**Bảng 6. Tính chất cơ lý của mẫu bê tông nhẹ sau khi rắn chắc**

Stt	Tính chất	Các mẫu bê tông nhẹ thí nghiệm						
		BTN -01		BTN -02		BTN -03		
		Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	
1	Độ ẩm ở trạng thái bão hòa nước (%) ở tuổi 28 ngày	15,3	2,1	12,8	1,4	10,7	1,5	
2	Khối lượng thể tích ướt của mẫu bê tông nhẹ ở tuổi 28 ngày ( $kg/m^3$ )	1605	4,8	1610	5,3	1618	5,5	
3	Khối lượng thể tích khô của mẫu bê tông nhẹ ở tuổi 28 ngày ( $kg/m^3$ )	1542	5,5	1556	4,8	1570	6,2	
4	Cường độ nén (MPa) tại:							
		7 ngày	11,2	2,0	16,9	1,9	19,1	2,3
		14 ngày	15,5	2,4	19,8	2,2	24,0	2,1
	28 ngày	18,2	2,7	24,1	2,6	27,3	2,6	

Hình ảnh của bề mặt mẫu bê tông nhẹ sau khi phá hoại được trình bày trên hình 7:



**Hình 7. Cấu trúc rỗng của bê tông nhẹ tạo khí trong nghiên cứu**

Do bột nhôm dễ dàng phản ứng với dung dịch NaOH trong chất kết dính Geopolymer nên lượng bọt khí trong hỗn hợp bê tông sau khi tạo hình thoát ra nhiều hơn đáng kể so với các loại bê tông tạo khí sử dụng bột nhôm và xi măng Portland. Từ bề mặt phá hủy của mẫu thí nghiệm cho thấy hệ thống lỗ rỗng khí phân bố không đồng đều trong cấu trúc của mẫu bê tông nhẹ.

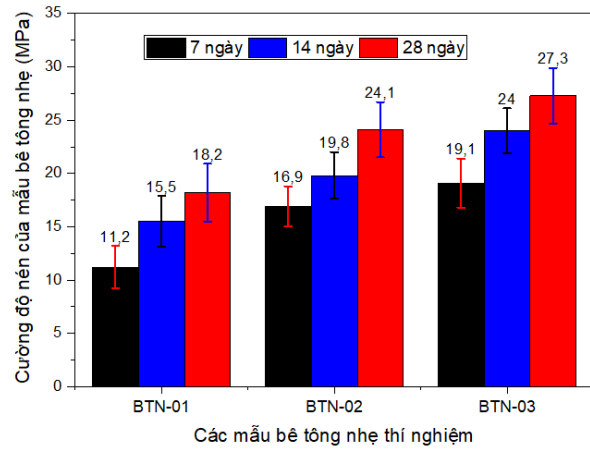
Từ kết quả thí nghiệm trên Bảng 6 đưa ra một số nhận xét như sau:

Các mẫu bê tông nhẹ tạo khí ở trạng thái ẩm đều có khối lượng thể tích ở tuổi 28 ngày lớn hơn  $1600 \text{ kg/m}^3$  một lượng không đáng kể, nhưng khối lượng thể tích ở trạng thái được sấy khô đều đã nhỏ hơn  $1600 \text{ kg/m}^3$ . Các giá trị này phù hợp với mục tiêu thiết kế ban đầu về khối lượng thể tích của bê tông nhẹ.

Do các mẫu bê tông có chứa hàm lỗ rỗng lớn do đó giá trị độ ẩm của mẫu thí nghiệm đã lớn hơn đáng kể so với các loại bê tông xi măng thông thường.

Mặt khác, số liệu trong bảng 6 cho thấy, giá trị cường độ nén ở tuổi 28 ngày của các mẫu bê tông nhẹ này dao động trong khoảng từ 18,2 MPa đến 27,3 MPa. Các giá trị cường độ nén này phù hợp với mục tiêu thiết kế ban đầu về cường độ nén.

Với cùng cấp phối có khối lượng thể tích ướt là  $1600 \text{ kg/m}^3$  nhưng khi tăng hàm lượng xỉ lò cao từ 30%, 40% và 50% trong mẫu thí nghiệm thì khối lượng thể tích và cường độ nén của mẫu đã tăng theo. Nguyên nhân hiện tượng này có thể giải thích do hoạt tính thủy lực của xỉ lò cao đã tạo thành các khoáng C-S-H mới bổ sung vào cấu trúc của bê tông, làm cho cấu trúc bê tông đặc chắc, tăng các gel có tính chất kết dính nên mẫu bê tông sau khi cứng rắn có cường độ cao hơn. Bên cạnh đó, vì khối lượng riêng của xỉ lò cao cũng lớn hơn khối lượng riêng của tro bay nhiệt điện cũng là một nguyên nhân tăng khối lượng thể tích của mẫu bê tông thí nghiệm.



**Hình 8. Cường độ của mẫu bê tông nhẹ theo thời gian bảo dưỡng**

Tốc độ phát triển cường độ nén của mẫu bê tông nhẹ tạo khí được thể hiện trên hình 8. Từ kết quả trên biểu đồ có thể thấy rằng, tốc độ phát triển cường độ nén của mẫu bê tông nhẹ tạo khí dùng chất kết dính Geopolymer là thấp hơn một chút so với các loại bê tông nhẹ tạo khí sử dụng chất kết dính xi măng thông thường. Cường độ ở các tuổi 7 ngày và 14 ngày lần lượt bằng khoảng 60% và 80% so với giá trị cường độ nén ở tuổi 28 ngày.

#### 4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả nghiên cứu trong phạm vi của phòng thí nghiệm đã rút ra được một số kết luận như sau:

- Trên cơ sở nguồn vật liệu, phế thải hiện có trong nước như: tro bay nhiệt điện Phả Lại, xỉ lò cao Hòa Phát, bột gốm sứ TOTO, dung dịch kiềm hoạt hóa và bột nhôm kim loại có thể chế tạo bê tông nhẹ có khối lượng thể tích ẩm khoảng  $1600 \text{ kg/m}^3$ ;
- Các mẫu bê tông nhẹ tạo khí có khối lượng thể tích ở trạng thái khô từ  $1542 \div 1570 \text{ kg/m}^3$ ;
- Do các mẫu bê tông có chứa hàm lỗ rỗng lớn do đó giá trị độ ẩm của mẫu thí nghiệm đều tăng cao hơn đáng kể so với các loại bê tông xi măng thông thường;
- Với cùng cấp phối có khối lượng thể tích ướt mục tiêu là  $1600 \text{ kg/m}^3$ , hàm lượng vật liệu Alumino-silicate không đổi là  $1135 \text{ kg/m}^3$  nhưng khi tăng hàm lượng xỉ lò cao trong mẫu thí nghiệm thì khối lượng thể tích và cường độ nén của mẫu đã tăng nên. Nguyên nhân hiện tượng này có thể giải thích do hoạt tính thủy lực của xỉ lò cao và bột gốm sứ TOTO đã tạo thành các khoáng C-S-H mới bổ sung vào cấu trúc của bê tông, làm cho cấu trúc bê tông đặc chắc, tăng các gel có tính chất kết dính nên mẫu bê tông sau khi cứng rắn có cường độ cao hơn;

- Trong tương lai, cần nghiên cứu thêm các giải pháp để ứng dụng vật liệu bê tông nhẹ sử dụng bột nhôm, bột gốm sứ và chất kết dính Geopolymer trong thực tế thi công các công trình ở Việt Nam.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Văn Phiêu, Nguyễn Văn Chánh - *Công nghệ bê tông nhẹ, Nhà xuất bản xây dựng* - năm 2005.
- [2] Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 9029:2017 - *Bê tông nhẹ - Sản phẩm bê tông bọt và bê tông khí không chưng áp - Yêu cầu kỹ thuật*.
- [3] Nguyễn Thanh Bằng, Đinh Hoàng Quân, Nguyễn Tiên 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.
- [4] Nguyễn Duy Hiếu. *Công nghệ bê tông nhẹ cốt liệu rỗng chất lượng cao*. Nhà xuất bản Xây dựng- 2016.
- [5] Trương Thị Kim Xuân, Nguyễn Duy Hiếu, Nguyễn Hữu Nhân (2010). *Sử dụng bê tông nhẹ trong công trình xây dựng ở Việt Nam*. Khoa Xây dựng - Trường Đại học Kiến trúc, Hà Nội.
- [6] Nguyễn Văn Chánh, *Sử dụng bê tông nhẹ trong xây dựng nhà ở hướng tới sự phát triển đô thị bền vững*. Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM.
- [7] Vũ Kim Diên, Tăng Văn Lâm, Bazhenova Sofya Ildarovna. *Tổng quan về tính chất và ứng dụng bê tông bọt*. Tuyển tập báo cáo Hội nghị toàn quốc khoa học Trái đất và Tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2020). Hà Nội 12/11/2020.
- [8] Vilches, J. (2014). *The development of novel infill materials for composite structural assemblies (Doctoral dissertation, Auckland University of Technology)*.
- [9] Nguyễn Trọng Lâm, Phạm Hữu Hanh. *Nghiên cứu nâng cao chất lượng bê tông khí chưng áp sử dụng cho nhà siêu cao tầng ở Việt Nam*. Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng. Số 21 – tháng 10/2014. Pp 75-80.
- [10] Lê Phương Ly. *Nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ kết cấu sử dụng cốt liệu Polystyrene*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật. Viện Khoa học công nghệ xây dựng. Năm 2019.
- [11] Nguyễn Công Thắng, Phạm Hữu Hanh. *Nghiên cứu nâng cao chất lượng bê tông khí chưng áp sử dụng cho nhà siêu cao tầng ở Việt Nam*. Tạp chí KHCN Xây dựng số 21, 2014. Pp. 75-80.
- [12] Đào Văn Đông. *Giáo trình công nghệ vật liệu mới trong xây dựng*. Nhà xuất bản Xây dựng- 2021.
- [13] Nguyễn Như Quý, Mai Quế Anh (2020), *Lý thuyết bê tông*, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2020, 210 Tr.
- [14] Tang Van Lam, Dien Vu Kim, Hung Ngo Xuan, Tho Vu Dinh, Boris Bulgakov, and Sophia Bazhenova. “Effect of aluminium powder on light-weight aerated concrete properties”. In E3S Web of Conferences, vol. 97, p. 02005. EDP Sciences, 2019.
- [15] *Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 9030:2017 Bê tông nhẹ - Phương pháp thử*.
- [16] J.Hamad, A., Materials, Production, Properties and Application of Aerated *Lightweight Concrete: Review. International Journal of Materials Science and Engineering* Vol.2 2014, 152-158.
- [17] Trịnh Ngọc Duy. *Nghiên cứu tính chất cơ lý của vữa Geopolymer để chế tạo gạch nhẹ*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật. Đại học Sư phạm kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh, năm 2016.
- [18] Nguyễn Trung Hiếu, Nguyễn Xuân công, Phan Duy Sơn, Nguyễn Ngọc Hưng, Võ Đình Trọng (2022), *Nghiên cứu khả năng chế tạo bê tông chất lượng cao hạt mịn sử dụng chất kết dính không xi măng*. Đề tài NCKH sinh viên tham gia vòng chung kết Giải thưởng Sinh viên nghiên cứu khoa học – Eureka lần thứ 24 năm 2022. Trường Đại học Mở-Địa chất.
- [19] Saidani, M., Ogbologugo, U., Coakley, E. and George, S., 2016. *Lightweight cementitious (GEM-TECH) structural material*. Proc Int Congr Technol Concr Durab, pp.186-95.
- [20] Chen, G., Li, F., Geng, J., Jing, P., Si, Z. (2021). *Identification, generation of autoclaved aerated concrete pore structure and simulation of its influence on thermal conductivity*. Construction and Building Materials, 294, 123572.
- [21] Ву Ким Зиен, 2022. Ячеистые бетоны с использованием плазмомодифицированного доменного шлака. Шифр и наименование научной специальности: 2.1.5 Строительные материалы и изделия. Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный университет.
- [22] Zhang, J., Jiang, N., Li, H. and Wu, C., 2018, November. *Study on mix proportion design of cement foam concrete*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 439, No. 4, p. 042053). IOP Publishing.