

# Nghiên cứu ảnh hưởng của cốt liệu tro bay nhân tạo thay thế một phần cát sông đến khối lượng thể tích và cường độ chịu nén của bê tông

Lê Nguyễn Cát Nhân<sup>1,2</sup>, Bùi Phương Trinh<sup>1,2\*</sup>, Dương Trần Bảo An<sup>1,2</sup>, Nguyễn Hoàng Ngân Anh<sup>1,2</sup>, Trần Nguyên Bảo<sup>1,2</sup>, Trần Minh Thạch<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Bộ môn Vật liệu Xây dựng, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa Tp.HCM

<sup>2</sup>Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

## TỪ KHOẢ

Cát sông  
Tro bay  
Cốt liệu mịn nhân tạo  
Cường độ chịu nén  
Khối lượng thể tích

## TÓM TẮT

Mục đích của nghiên cứu này tập trung chế tạo cốt liệu mịn từ tro bay (FAA) và khảo sát ảnh hưởng của FAA thay thế một phần cát sông đến độ sụt của hỗn hợp bê tông, khối lượng thể tích và cường độ chịu nén của bê tông. Thông qua quá trình viên hạt, FAA với kích thước từ 1,25 đến 5 mm được chế tạo từ 85% tro bay, 15% xi măng Portland, tỷ lệ nước/chất kết dính bằng 0,21 và được dưỡng hộ 1 ngày trong không khí và ngâm 13 ngày trong nước. Dựa trên kết quả thành phần hạt của hỗn hợp cốt liệu mịn (bao gồm FAA và cát sông), nhận thấy rằng hỗn hợp A (30% FAA và 70% cát sông) và B (40% FAA và 60% cát sông) tối ưu nhất vì nằm trong vùng phạm vi cho phép của cốt liệu mịn cỡ hạt thô theo TCVN 7570:2006. Với việc sử dụng hỗn hợp cốt liệu mịn tối ưu này, độ sụt của hỗn hợp bê tông tăng khi hàm lượng FAA thay thế tăng; trong khi đó, khối lượng thể tích và cường độ chịu nén của bê tông không thay đổi đáng kể. Kết luận rằng FAA có thể thay thế 40% cát sông trong sản xuất bê tông nhằm hạn chế việc khai thác cát sông và tận dụng tối đa lượng tro bay thải ra từ nhà máy nhiệt điện, hướng đến sự phát triển bền vững của nền công nghiệp bê tông.

## KEYWORDS

River sand  
Fly ash  
Artificial fine aggregate  
Compressive strength  
Bulk density

## ABSTRACT

The purpose of this research concentrates on fabricating fine aggregate from fly ash (FAA) and investigating the effect of FAA as a partial replacement of river sand on slump of fresh concrete, bulk density, and compressive strength of hardened concrete. Through a pelletization process, FAA with a size ranging from 1.25 to 5 mm was made from 85% fly ash, 15% Portland cement, a water-to-binder ratio of 0.21 and cured in 1-day air condition and 13-day water bath. Based on experimental results regarding particle size distribution of fine aggregate mixtures (including FAA and river sand), it was found that mixture A (30% FAA and 70% river sand) and mixture B (40% FAA and 60% river sand) were optimal because they were within the allowable limit of fine aggregate with coarse sizes as per TVCN 7570:2006. When using these fine aggregate mixtures, slump of fresh concrete increased when FAA content increased, while bulk density and compressive strength of hardened concrete changed negligibly. Consequently, FAA can be used to replace river sand up to 40% for the concrete production to eliminate the exploitation of river sand and utilize the most of fly ash released from the coal-fired power plants, towards sustainable development for concrete industry.

## 1. Giới thiệu

Cát sông thiên nhiên là một trong những nguyên liệu cơ bản và quan trọng nhất trong công nghiệp sản xuất bê tông thương phẩm và các sản phẩm đúc sẵn từ bê tông [1]. Sự phát triển vượt bậc của ngành công nghiệp xây dựng đã làm gia tăng nhu cầu sử dụng bê tông và kéo theo việc khai thác cát sông đáng kể. Theo thống kê của Bộ Xây dựng, trong năm 2019, Việt Nam sử dụng khoảng 140 triệu tấn khối bê tông [2]. Việc khai thác cát sông không kiểm soát đã và đang dẫn đến cạn kiệt và khan hiếm nguồn tài nguyên thiên nhiên này và có thể gây ảnh hưởng tiêu cực đến hệ sinh thái cũng như đời sống con người. Một số

nghiên cứu đã chỉ ra việc khai thác cát sông có thể gây sạt lở đất [3], suy giảm đa dạng sinh học [4], cạn kiệt tài nguyên [4], ... Do đó, xu hướng trong tương lai nhận định rằng ngành bê tông sẽ phải dùng cốt liệu tái chế thay thế đến 60% nguyên liệu thiên nhiên [2].

Mặt khác, tro bay là phụ phẩm từ ngành công nghiệp nhiệt điện [1]. Tro bay có kích thước nhỏ, mịn, dễ phân tán và lơ lửng trong không khí, dẫn đến ô nhiễm môi trường và gây tác động tiêu cực đến sức khỏe con người cũng như các loài sinh vật khác [1]. Hiện tại, hàm lượng tro bay được tận dụng hoặc xử lý đúng quy chuẩn là rất thấp so với lượng phát thải ra môi trường hằng năm [5]. Một số nghiên cứu về việc tận dụng tro bay có tính ứng dụng phổ biến như nghiên cứu ảnh hưởng của

\*Liên hệ tác giả: buiphuongtrinh@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 01/08/2023, sửa xong ngày 08/11/2023, chấp nhận đăng 01/12/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2023.552>

tro bay thay thế một phần xi măng đến tính chất của bê tông thường phẩm hay bê tông cường độ cao [6–9]. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng bê tông sử dụng tro bay thay thế 10–20 % xi măng cho cường độ nén tương đương hoặc cao hơn mẫu bê tông đối chứng; tuy nhiên, nếu thay thế tro bay với hàm lượng lớn hơn dẫn đến sự suy giảm đột ngột các tính chất của bê tông [6–9]. Điều đó chứng tỏ rằng việc thay thế tro bay trong bê tông vẫn còn nhiều hạn chế, hàm lượng thay thế còn khá ít so với lượng xi măng sử dụng. Do đó, việc nghiên cứu và tận dụng hàm lượng lớn tro bay làm nguyên liệu đầu vào cho các ngành công nghiệp khác, đặc biệt là công nghiệp sản xuất vật liệu xây dựng nói chung và công nghiệp bê tông nói riêng là rất cấp thiết.

Chính vì thế, mục tiêu của nghiên cứu này là chế tạo cốt liệu mịn (FAA) từ một hàm lượng lớn tro bay và khảo sát ảnh hưởng của FAA thay thế một phần cát sông đến độ sụt của hỗn hợp bê tông, khối lượng thể tích và cường độ chịu nén của bê tông nhằm tận dụng hàm lượng lớn tro bay để thay thế một phần cốt liệu mịn trong chế tạo bê tông hướng đến mục đích bảo vệ môi trường và phát triển bền vững trong công nghiệp bê tông.

## 2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

### 2.1. Vật liệu thí nghiệm để chế tạo FAA

#### 2.1.1 Chất kết dính

Chất kết dính sử dụng để chế tạo FAA trong nghiên cứu bao gồm xi măng Portland Hà Tiên (PC40) phù hợp với TCVN 2682:2020 [10] và tro bay loại F phù hợp với TCVN 10302:2014 [11]. Các chỉ tiêu cơ lý cũng như thành phần hóa của xi măng và tro bay được thể hiện lần lượt trong Bảng 1 và Bảng 2.

**Bảng 1.** Chỉ tiêu cơ lý của xi măng và tro bay.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Xi măng	Tro bay
Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	3,10	2,28
Lượng sót trên sàng 0,090 mm	%	0,30	-
Lượng sót trên sàng 0,045 mm	%	-	13,80
Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi	N/mm <sup>2</sup>	58,30	-
Chỉ số hoạt tính cường độ ở 28 ngày tuổi	%	-	98,20

∴ không thí nghiệm

**Bảng 2.** Thành phần hóa học của xi măng và tro bay (% theo khối lượng).

Thành phần hóa học	Đơn vị	Xi măng	Tro bay
SiO <sub>2</sub>	%	22,3	44,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	1,8	21,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	2,7	12,9
CaO	%	65,7	7,6
Na <sub>2</sub> O	%	0,1	1,7
K <sub>2</sub> O	%	0,7	2,7
MgO	%	1,2	3,4
SO <sub>3</sub>	%	1,6	2,7
Mất khi nung	%	2,6	1,6

#### 2.1.2 Nước

Nước sử dụng trong nghiên cứu phù hợp theo TCVN 4506:2012 [12]. Nước có nguồn gốc từ thủy cục, không lẫn vẩn dầu mỡ, hàm lượng các ion clorua, sulfate nhỏ hơn trị số cho phép.

### 2.2. Vật liệu thí nghiệm để chế tạo bê tông

#### 2.2.1 Chất kết dính

Chất kết dính sử dụng để chế tạo bê tông trong nghiên cứu là xi măng Portland Hà Tiên PC40 cùng loại với nguyên liệu để chế tạo FAA đã được trình bày trong mục 2.1.1.

#### 2.2.2 Nước

Nước sử dụng để chế tạo bê tông trong nghiên cứu là nước thủy cục, cùng loại với nước được dùng để chế tạo FAA đã được trình bày trong mục.

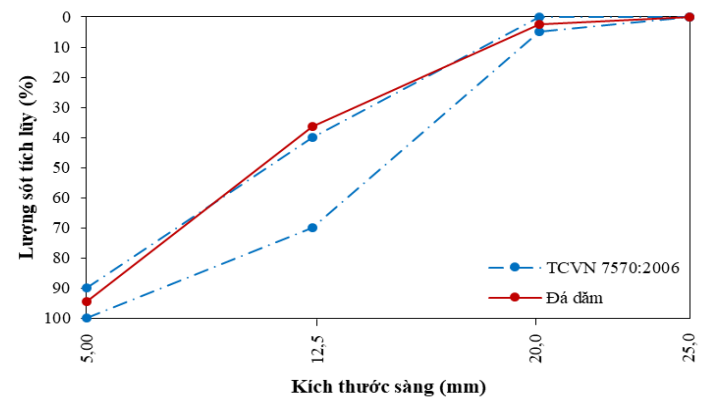
#### 2.2.3 Cốt liệu

Cốt liệu lớn (đá dăm) và cốt liệu mịn sử dụng trong nghiên cứu tuân thủ theo TCVN 7570:2006 [13]. Các chỉ tiêu kỹ thuật và thành phần hạt của cốt liệu được trình bày trong Bảng 3, Hình 1 và Hình 2. Hình 1 và Hình 2 cho thấy loại cốt liệu thiên nhiên bao gồm đá dăm và cát sông có cỡ hạt mịn sử dụng trong nghiên cứu phù hợp để chế tạo bê tông.

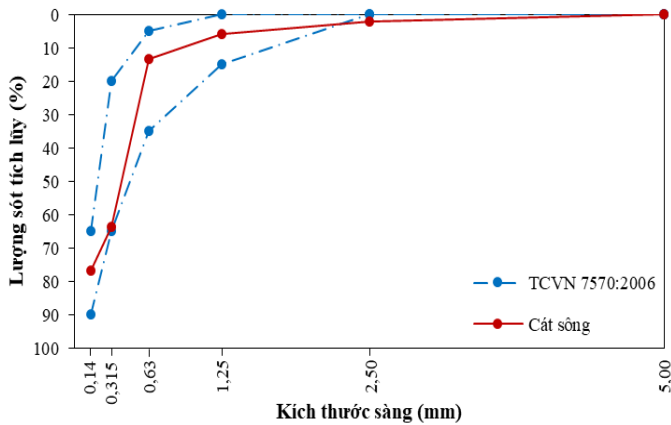
**Bảng 3.** Chỉ tiêu kỹ thuật của cốt liệu.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Đá dăm	Cát sông
Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	2,71	2,64
Khối lượng thể tích	kg/m <sup>3</sup>	1480	1420
Độ hút nước	%	0,61	2,77
D <sub>max</sub> và D <sub>min</sub>	mm	20 và 5	-
Mô đun độ lớn		-	1,61

∴ không thí nghiệm



**Hình 1.** Thành phần hạt của đá dăm so với TCVN 7570:2006.



Hình 2. Thành phần hạt của cát sông so với TCVN 7570:2006 [13].



Hình 3. Phương pháp tạo hình FAA bằng thiết bị đĩa quay.

2.2.4 Phụ gia hóa học

Phụ gia hóa học sử dụng trong nghiên cứu là phụ gia giảm nước thuộc loại Sikament R4 chứa các chất hoạt động bề mặt giúp giảm lượng dùng nước mà vẫn đảm bảo độ sụt của hỗn hợp bê tông và cường độ của bê tông, tuân thủ theo TCVN 8826:2011 [14].

2.3. Cấp phối của FAA

Nghiên cứu này tập trung chế tạo FAA với tỷ lệ tro bay là 85 % theo khối lượng chất kết dính và 15% xi măng Portland dựa trên nghiên cứu của T.Đ.K. Nguyễn và cộng sự [15]. Tỷ lệ nước/chất kết dính là 0,21 dựa theo thực nghiệm tại phòng thí nghiệm để đảm bảo tạo hình được các hạt FAA. Cấp phối cho 1 m<sup>3</sup> FAA được trình bày ở Bảng 4.

Bảng 4. Cấp phối của FAA (Đơn vị: kg/m<sup>3</sup>).

Ký hiệu	Tro bay	Xi măng	Nước
85F15C	1282	226	317

2.3. Quy trình tạo hình và dưỡng hộ FAA

Sau khi định lượng tro bay, xi măng và nước bằng cân điện tử, hỗn hợp tro bay – xi măng được đưa vào cối trộn và thực hiện trộn đều trong 2 phút đến khi hỗn hợp chất kết dính đạt mức độ đồng nhất cao. Tiếp theo, hỗn hợp được tạo hình trong thiết bị đĩa quay có góc nghiêng 45° so với phương ngang (Hình 3), tốc độ quay của đĩa khoảng 50–70 vòng/phút. Sau khi tạo hình, FAA được phân loại kích thước hạt trong khoảng 1,25 mm – 5 mm thông qua rây sàng. Sau đó, FAA được dưỡng hộ ẩm 1 ngày trong không khí và 13 ngày tiếp theo trong nước đến khi các hạt FAA đạt cường độ nhất định. Cuối cùng, các tính chất kỹ thuật của FAA (Hình 4) được thử nghiệm và đối sánh với tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 [13], tương tự như cát sông thiên nhiên.



Hình 4. FAA sau quá trình tạo hình và dưỡng hộ.

Do FAA được chế tạo với cỡ hạt từ 1,25 mm đến 5 mm trong khi cát sông sử dụng có cỡ hạt mịn với mô đun độ lớn là 1,61 (Bảng 3) nên việc tìm ra tỷ lệ phối trộn tối ưu của hỗn hợp FAA và cát sông được tiến hành trước khi sản xuất bê tông chứa FAA.

2.4. Thiết kế cấp phối bê tông

Cấp phối bê tông trong nghiên cứu được thiết kế sơ bộ dựa trên ACI 211 [16] và điều chỉnh phụ thuộc vào điều kiện thực tế. Cấp phối được thiết kế với độ sụt yêu cầu 8 ± 2 cm và mác M350 dùng trong sản xuất các cấu kiện đúc sẵn. Thành phần các cấp phối cho 1 m<sup>3</sup> bê tông được trình bày ở Bảng 5. Các ký hiệu COFAA, C30FAA và C40FAA lần lượt thể hiện các cấp phối sử dụng hàm lượng FAA ở 0 %, 30 % và 40 % theo thể tích cốt liệu mịn dựa trên kết quả tối ưu thành phần hạt của hỗn hợp cốt liệu mịn sẽ được trình bày ở mục 3.1 về các tính chất kỹ thuật của FAA.

**Bảng 5.** Thành phần cấp phối bê tông (Đơn vị: kg/m<sup>3</sup>).

Ký hiệu	Nước	Xi măng	Cát	FAA	Đá	Phụ gia hóa học (% khối lượng xi măng)
C0FAA	202	330	775	0	1038	0,6%
C30FAA	202	330	543	166	1038	0,6%
C40FAA	202	330	465	221	1038	0,6%

**2.5. Quy trình đúc và dưỡng hộ bê tông**

Quy trình đúc mẫu bê tông tuân thủ theo TCVN 3105:2022 [17]. Sau khi kết thúc quá trình nhào trộn, hỗn hợp bê tông được kiểm tra độ sụt theo TCVN 3106:2022 [18] và đúc vào các khuôn thép lập phương có kích thước 100×100×100 đã được vệ sinh và bôi dầu. Sau đó, các mẫu được dưỡng hộ 1 ngày trong khuôn và được tháo khuôn để được dưỡng hộ các ngày tiếp theo trong bể nước dưỡng hộ đến khi tới thời điểm xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của mẫu bê tông bao gồm khối lượng thể tích và cường độ chịu nén.

**2.6. Kiểm tra khối lượng thể tích**

Khối lượng thể tích các mẫu bê tông được kiểm tra theo TCVN 3115:2022 [19] ở 28 ngày tuổi. Cụ thể, các mẫu bê tông lập phương cạnh 100 mm sau khi đưa ra khỏi bể dưỡng hộ, được định lượng khối lượng bằng cân và thể tích bằng phương pháp đo hình học để xác định khối lượng thể tích của bê tông. Khối lượng thể tích của bê tông là giá trị trung bình của một tổ mẫu bao gồm ba mẫu bê tông của cùng một cấp phối ở 28 ngày tuổi.

**2.7. Kiểm tra cường độ chịu nén**

Cường độ chịu nén của bê tông là giá trị trung bình của ba mẫu trong mỗi cấp phối được tiến hành kiểm tra bằng máy nén thủy lực theo TCVN 3118:2022 [20] ở các độ tuổi 3, 7, 14 và 28 ngày.

**3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận**

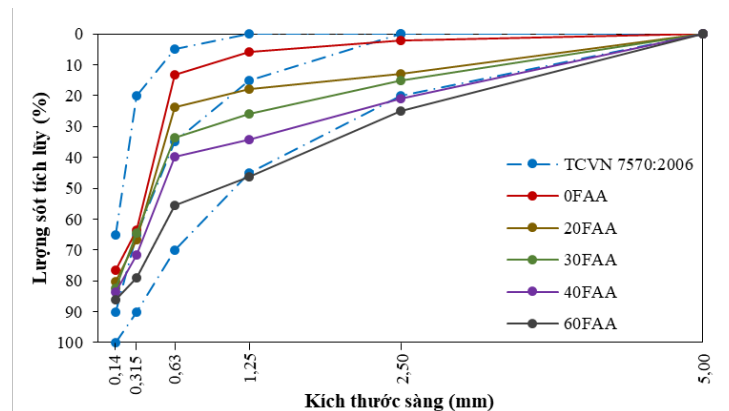
**3.1. Các tính chất kỹ thuật của FAA**

Bảng 6 mô tả các chỉ tiêu kỹ thuật của FAA được chế tạo thông qua quá trình vè viên. So với chỉ tiêu kỹ thuật của cát sông được trình bày ở Bảng 3, nhận thấy rằng khối lượng riêng và khối lượng thể tích cốt liệu nhân tạo từ tro bay lần lượt nhỏ hơn 28,8 % và 28,2 % so với cát sông, điều này tương tự với nghiên cứu của T.H. Lưu và cộng sự [21]. Nguyên nhân giải thích cho sự chênh lệch khối lượng riêng và khối lượng thể tích giữa FAA và cát sông thiên nhiên là do quá trình vè viên tạo hình cốt liệu đã tạo ra loại FAA có độ rỗng xốp lớn (thể hiện qua độ hút nước của FAA cao hơn so với cát sông thiên nhiên), từ đó làm giảm khối lượng riêng và khối lượng thể tích so với cát sông [21].

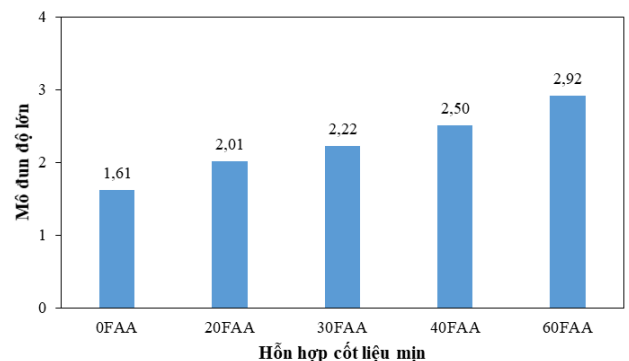
**Bảng 6.** Các chỉ tiêu cơ lý của FAA.

Chỉ tiêu	Đơn vị	
Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	1,88
Khối lượng thể tích	kg/m <sup>3</sup>	1020
Độ hút nước	%	30,41

Thành phần hạt của hỗn hợp cốt liệu mịn bao gồm FAA và cát sông được thể hiện trong Hình 5. Các ký hiệu 0FAA, 20FAA, 30FAA, 40FAA và 60FAA lần lượt thể hiện các tỷ lệ phối trộn FAA với 0, 20 %, 30 %, 40 % và 60 % theo thể tích cốt liệu mịn. Trong khi, Hình 6 thể hiện mô đun độ lớn của các hỗn hợp cốt liệu mịn.



**Hình 5.** Thành phần hạt của các hỗn hợp cốt liệu mịn.



**Hình 6.** Mô đun độ lớn của các hỗn hợp cốt liệu mịn.

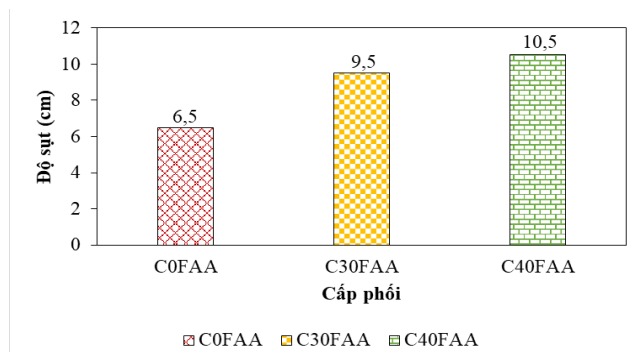
Nhận thấy rằng, sau quá trình tạo hình, FAA có kích thước hạt trong khoảng từ 1,25 mm đến 5 mm, tức FAA có cỡ hạt thô và từ đó thay thế một phần cát sông có cỡ hạt mịn (mô đun độ lớn bằng 1,61),

đã dẫn đến việc tăng kích thước hạt và đường cong thành phần hạt càng di chuyển vào phạm vi hạt thô khi tăng hàm lượng FAA thay thế cát sông (Hình 5). Hình 5 cũng đã chỉ ra tỷ lệ FAA/cốt liệu mịn theo thể tích lần lượt là 30 % và 40 % cho hỗn hợp cốt liệu mịn phù hợp để chế tạo bê tông vì đường cong thành phần hạt 30FAA và 40FAA nằm trong phạm vi mà TCVN 7570:2006 [13] cho phép. Hình 6 cũng cho thấy việc phối trộn FAA có kích thước từ 1,25 mm đến 5 mm theo tỷ lệ 30 % và 40 % làm tăng mô đun độ lớn lần lượt là 37,9% và 55,3% so với mô đun độ lớn của 100 % cát sông (0FAA) và giúp tăng mức độ sắp xếp hợp lý về kích thước giữa các hạt cốt liệu mịn. Kết quả nghiên cứu của P.N. Huỳnh và H.T. Vũ [22] cũng đã cho thấy, khi thay thế cát nghiền từ đá phế phẩm có kích thước hạt lớn đã làm đường cong cấp phối hạt của hỗn hợp cốt liệu mịn (bao gồm cát nghiền và cát sông) di chuyển vào vùng phạm vi hạt thô [22]. Từ đây, nghiên cứu này đã sử dụng hỗn hợp cốt liệu mịn tối ưu bao gồm hỗn hợp A (30 % FAA và 70 % cát sông) và hỗn hợp B (40 % FAA và 60 % cát sông) vào trong bê tông để khảo sát độ sụt của hỗn hợp bê tông và cường độ chịu nén của bê tông.

3.2. Chỉ tiêu kỹ thuật của bê tông

3.2.1 Ảnh hưởng của hàm lượng FAA thay thế một phần cát sông đến độ sụt của hỗn hợp bê tông

Ảnh hưởng của hàm lượng FAA thay thế một phần cát sông đến độ sụt của hỗn hợp bê tông được trình bày ở Hình 7.



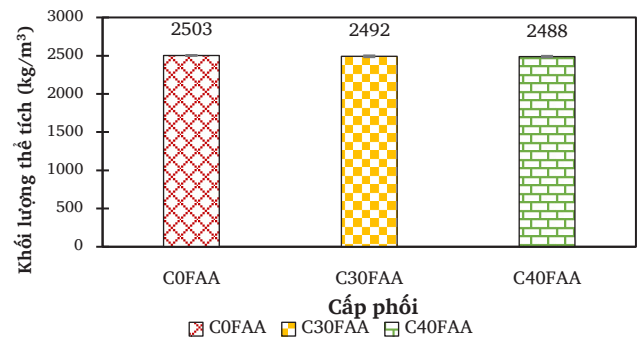
Hình 7. Ảnh hưởng của hàm lượng FAA thay thế một phần cát sông đến độ sụt của hỗn hợp bê tông.

Hình 7 cho thấy độ sụt của hỗn hợp bê tông có xu hướng tăng lên khi gia tăng hàm lượng FAA thay thế cát sông. Cấp phối bê tông C30FAA và C40FAA lần lượt có mức tăng độ sụt là 46,2% và 61,5% so với cấp phối bê tông COFAA. Trong đó, cấp phối COFAA và C30FAA có độ sụt nằm trong khoảng thiết kế từ 6–10 cm. Kết quả của nghiên cứu phù hợp với nghiên cứu của P.N. Huỳnh và H.T. Vũ [22], V.H. Lê và cộng sự [23]. Hình 6 cho thấy mô đun độ lớn của hỗn hợp cốt liệu mịn của cấp phối 30FAA và 40FAA lớn hơn lần lượt 37,9 % và 55,3 % so với 0FAA; trong khi hàm lượng nước, xi măng, đá dăm, phụ gia giữa các cấp phối COFAA, C30FAA và C40FAA là không đổi (Bảng 5). Việc sử dụng cốt liệu có cỡ hạt thô hơn, tức mô đun độ lớn của cốt liệu hạt tăng lên, sẽ làm giảm tỷ diện bề mặt hấp phụ nước, dẫn đến làm tăng

lượng nước tự do trong hỗn hợp bê tông và qua đó, làm tăng độ sụt của hỗn hợp bê tông. Ngoài ra, FAA có hình dạng tròn, đặc điểm bề mặt trơn nhẵn (Hình 4) một phần cũng chi phối đến việc tăng độ sụt của hỗn hợp bê tông. Do đó, việc thay thế FAA cho một phần cát sông có ý nghĩa trong việc làm hỗn hợp bê tông để tạo hình hoặc giảm nhu cầu lượng nước sử dụng nhằm tối đa cường độ cho sản phẩm bê tông.

3.2.2 Ảnh hưởng của hàm lượng FAA thay thế một phần cát sông đến khối lượng thể tích của bê tông

Kết quả thực nghiệm về khối lượng thể tích của bê tông ở 28 ngày tuổi được trình bày ở Hình 8.

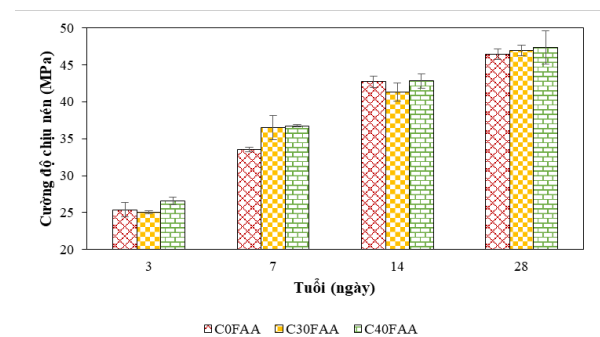


Hình 8. Ảnh hưởng của hàm lượng FAA thay thế một phần cát sông đến khối lượng thể tích của bê tông ở 28 ngày tuổi.

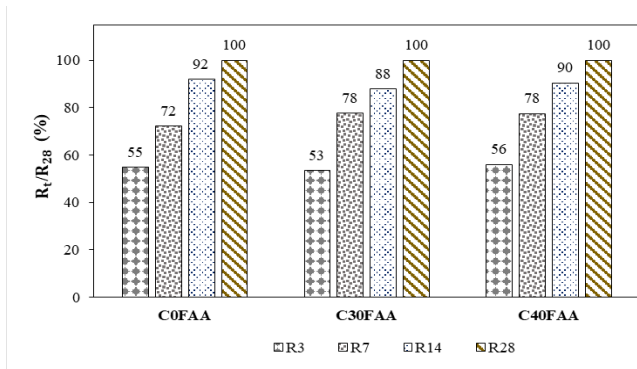
Hình 8 cho thấy khi thay thế cát sông bằng FAA, khối lượng thể tích của bê tông không thay đổi đáng kể. Cụ thể, khi thay thế FAA 30 % và 40 % theo thể tích cốt liệu mịn, khối lượng thể tích của bê tông lần lượt chỉ giảm 0,44 % (C30FAA) và 0,59 % (C40FAA) so với COFAA.

3.2.3 Ảnh hưởng của hàm lượng FAA thay thế một phần cát sông đến cường độ chịu nén của bê tông ở các ngày tuổi

Kết quả thực nghiệm về cường độ chịu nén của các tổ mẫu bê tông có và không có FAA ở các ngày tuổi được trình bày ở Hình 9. Trong khi đó, Hình 10 thể hiện tỷ lệ cường độ chịu nén của bê tông ở các ngày tuổi (3, 7 và 14 ngày tuổi) so với 28 ngày tuổi ( $R_t/R_{28}$ ).



Hình 9. Ảnh hưởng của hàm lượng FAA thay thế một phần cát sông đến cường độ chịu nén của bê tông ở các ngày tuổi.



Hình 10. Tỷ lệ cường độ chịu nén của bê tông ở các ngày tuổi (3, 7 và 14 ngày tuổi) so với 28 ngày tuổi ( $R_t/R_{28}$ ).

Hình 9 cho thấy trong cùng ngày tuổi, sự chênh lệch cường độ chịu nén giữa mẫu bê tông đối chứng không có FAA (C0FAA) và mẫu bê tông chứa FAA (C30FAA và C40FAA) là không đáng kể, mức độ dao động trong khoảng 3,41% đến 9,54%. Cường độ chịu nén của bê tông ở 28 ngày tuổi của các cấp phối C0FAA, C30FAA và C40FAA đạt từ 46,39 MPa đến 47,34 MPa, thỏa mãn mức thiết kế M350. Hình 10 cho thấy so với 28 ngày tuổi, mẫu đối chứng và các mẫu chứa FAA có tốc độ phát triển cường độ nhanh ở tuổi sớm, đạt 53–56 % ở 3 ngày tuổi, 72–78 % ở 7 ngày tuổi và 88–92 % ở 14 ngày tuổi.

Nhìn chung, các yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến cường độ chịu nén của bê tông bao gồm tỷ lệ thành phần nguyên vật liệu (lượng nước, xi măng, cốt liệu lớn, tỷ lệ nước/chất kết dính) và mức độ sắp xếp hợp lý về kích thước của cốt liệu. Bảng 5 cho thấy các cấp phối bê tông C0FAA, C30FAA và C40FAA đều có cùng tỷ lệ thành phần nguyên vật liệu; trong khi đó, loại cốt liệu mịn sử dụng trong các cấp phối này lần lượt là 0FAA, 30FAA và 40FAA đều có đường cong phân bố kích thước hạt nằm trong phạm vi TCVN 7570:2006 [13] quy định (Hình 5). Do đó, mức độ điền đầy của cốt liệu mịn trong các cấp phối là tương tự nhau. Từ đó, cường độ chịu nén của bê tông thay đổi không đáng kể giữa mẫu đối chứng và mẫu chứa FAA trong cùng ngày tuổi.

Kết quả về cường độ chịu nén tương đồng với nghiên cứu của T.H. Lưu và cộng sự [21] mà đã chỉ ra việc thay thế cốt liệu từ tro bay có kích thước mịn hơn 4,5 mm với các tỷ lệ 10 %, 20 %, 30 % và 40 % đã không làm suy giảm cường độ chịu nén của vữa xi măng. T.H. Lưu và cộng sự [21] đã giải thích rằng mặc dù cốt liệu tro bay đã được tạo hạt bằng chất kết dính xi măng nhưng bề mặt các hạt tro bay rất mịn này vẫn có thể xảy ra phản ứng pozolanic với canxi hydroxide (là sản phẩm phụ từ quá trình hydrate hóa của xi măng) và giúp làm tăng liên kết giữa các hạt xi măng và tro bay.

#### 4. Kết luận

Thông qua quá trình về viên, FAA với cỡ hạt từ 1,25 mm đến 5 mm đã được chế tạo từ 85% tro bay và 15% xi măng Portland để thay thế một phần cát sông trong bê tông. Từ những kết quả thực nghiệm, có thể rút ra một số kết luận như sau:

- Hàm lượng FAA thay thế cát sông 30 % và 40 % theo thể tích cho hỗn hợp cốt liệu mịn nằm trong vùng phạm vi cho phép của cốt liệu mịn với cỡ hạt thô phù hợp với TCVN 7570:2006 [13].
  - Hàm lượng FAA thay thế cát sông 30 % và 40 % theo thể tích đã làm tăng độ sụt của hỗn hợp bê tông.
  - Hàm lượng FAA thay thế cát sông 30 % và 40 % theo thể tích không làm thay đổi đáng kể khối lượng thể tích và cường độ chịu nén của bê tông.
- Do đó, đề xuất việc sử dụng cốt liệu nhân tạo từ hỗn hợp bao gồm 85 % tro bay và 15 % xi măng Portland, thay thế tới 40 % cát sông trong sản xuất bê tông truyền thống nhằm làm giảm thiểu tác động tiêu cực từ quá trình khai thác cát sông thiên nhiên, quá trình thải tro bay cũng như hướng đến sự phát triển bền vững cho nền công nghiệp bê tông.

#### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài với mã số SVCQ-2022-KTXD-50. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. I.U.M. Bazenov, Đ.T. Bạch, N.T. Trần, “Công nghệ bê tông”, Nhà xuất bản Xây dựng 07/2005.
- [2]. Bộ Xây dựng, “Ngành bê tông sẽ phải dùng cốt liệu tái chế thay thế đến 60% nguyên liệu thiên nhiên”, Hội nghị thường niên của Hiệp hội bê tông Việt Nam, 2020.
- [3]. E.J. Anthony, G. Brunier, M. Besset, M. Goichot, P. Dussouillez, V.L. Nguyen, “Linking rapid erosion of the Mekong river delta to human activities”, Scientific Reports, vol. 5, 2015, 14745.
- [4]. C.A. Hồ, T.H. Nguyễn, “Phân tích rủi ro do khai thác cát trên sông Thị Tịch”, Tạp chí Khoa học Đại học Thủ Dầu Một, số 1, 2011, trang 98–104.
- [5]. M.Đ. Hoàng, Q.T. Trần, “Nghiên cứu ảnh hưởng của xi hạt lò cao nghiền mịn đến các tính chất kỹ thuật của hỗn hợp bê tông và bê tông”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, số 3, 2020.
- [6]. T.L. Nguyễn, N.L. Nguyễn, V.N. Nguyễn, D.K. Nguyễn, V.K. Nguyễn, Đ.H. Phùng, “Ảnh hưởng của tro bay thay thế một phần xi măng đến tính chất của bê tông thương phẩm”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, tập 14, số 4V, 2020, trang 96–105.
- [7]. C.C. Đoàn, P.N. Nguyễn, V.K. Trần, T.P. Huỳnh, “Ảnh hưởng hàm lượng tro bay thay thế một phần xi măng đến các tính chất của bê tông cường độ cao”, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, tập 11, số 4, 2021, trang 6–12.
- [8]. S.H. Sathawane, V.S. Vairagade, K.S. Kene, “Combine effect of rice husk ash and fly ash on concrete by 30% cement replacement”, Procedia Engineering 51, 2013, 35–44.
- [9]. M. Barbuta, R. Bucur, A.A. Serbanoiu, S. Scutarasu, A. Burlacu, “Combined effect of fly ash and fibers on properties of cement concrete”, Procedia Engineering 181, 2017, 280–284.
- [10]. Bộ Khoa học và Công nghệ, “TCVN 2682:2020 Xi măng Portland”, 2020.
- [11]. Bộ Khoa học và Công nghệ, “TCVN 10302:2014 Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng”, 2014.

- [12]. Bộ Khoa học và Công nghệ, “TCVN 4506:2012 Nước cho bê tông và vữa”, 2012.
- [13]. Bộ Khoa học và Công nghệ, “TCVN 7570:2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật”, 2006.
- [14]. Bộ Khoa học và Công nghệ, “TCVN 8826:2011 Phụ gia hóa học cho bê tông”, 2011.
- [15]. T.Đ.K. Nguyễn, P.T. Bùi, N.T. Nguyễn, “Nghiên cứu ảnh hưởng hàm lượng chất hoạt hóa Natri Sulfat đến cường độ chịu nén của chất kết dính có sử dụng hàm lượng lớn tro bay”, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, tập 12, số 5, 2022, trang 25–30.
- [16]. ACI Committee 211, “Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete”, 2002.
- [17]. Bộ Khoa học và Công nghệ, “TCVN 3105:2022 Hỗn hợp bê tông và bê tông – Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử”, 2022.
- [18]. Bộ Khoa học và Công nghệ, “TCVN 3106:2022 Hỗn hợp bê tông nặng – Phương pháp thử độ sụt”, 2022.
- [19]. Bộ Khoa học và Công nghệ, “TCVN 3115:2022 Bê tông nặng – Phương pháp xác định khối lượng thể tích”, 2022.
- [20]. Bộ Khoa học và Công nghệ, “TCVN 3118:2022 Bê tông – Phương pháp xác định cường độ chịu nén”, 2022.
- [21]. T.H. Lưu, C.A. Đào, L.T. Hoàng, H.L. Nguyễn, N. Inoue, “Ảnh hưởng của cốt liệu được chế tạo từ tro bay thay thế cát tự nhiên tới một số tính chất của vữa xi măng”, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, tập 11, số 6, 2021, trang 42–48.
- [22]. P.N. Huỳnh, H.T. Vũ, “Xử lý đá phế phẩm thành cát nghiền và nghiên cứu tính công tác của hỗn hợp bê tông thương phẩm sử dụng cát nghiền”, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, Tập chí số 1, 2021, trang 35–40.
- [23]. V.H. Lê, T.T. Lê, V.T. Nguyễn, “Nghiên cứu sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay thay thế một phần cốt liệu nhỏ cho chế tạo bê tông nhẹ chịu lực”, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng tập 11, số 6, 2021, trang 21–27.