

# JTST - JOURNAL OF TRANSPORTATION SCIENCE & TECHNOLOGY

MANUSCRIPT ID: JIST-2022-0018

## ẢNH HƯỞNG CỦA CỐT LIỆU MỊN ĐẾN CƯỜNG ĐỘ BÊ TÔNG BỌT

<b>Manuscript ID</b>	JIST-2022-0018
<b>Full title</b>	Ảnh Hưởng Của Cốt Liệu Mịn Đến Cường Độ Bê Tông Bọt
<b>Summary</b>	<p>Bài báo nghiên cứu chế tạo bê tông bọt có khối lượng thể tích từ 800 kg/m<sup>3</sup> đến 1200 kg/m<sup>3</sup>. Nghiên cứu sử dụng phương pháp thực nghiệm trong chế tạo mẫu và thí nghiệm mẫu trong phòng nhằm xác định các chỉ tiêu cường độ của bê tông bọt sử dụng cát mịn, trong đó có so sánh với cường độ của bê tông bọt sử dụng cát thô. Kết quả nghiên cứu cho thấy cường độ chịu nén và cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt sử dụng cát mịn cao hơn bê tông bọt sử dụng cát thô với cùng thành phần cấp phối. Nghiên cứu có thể ứng dụng trong các kết cấu cách nhiệt hoặc sản xuất gạch bê tông nhẹ, giúp tận dụng hiệu quả nguồn cát mịn dồi dào, giảm lượng cát thô đang ngày càng khan hiếm và cạn kiệt.</p>
<b>Research Topic</b>	Vật liệu xây dựng
<b>Keywords</b>	Bê tông bọt; cát mịn; cát thô; cường độ nén; cường độ kéo khi uốn
<b>Authors</b>	- Tuấn Hoàng Quốc Tuấn, Email: quoctuan.hoang@ut.edu.vn, School: Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Faculty: .
<b>Corresponding author</b>	Tuấn Hoàng Quốc Tuấn, Email: quoctuan.hoang@ut.edu.vn, School: Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Faculty: .
<b>Funding</b>	NO

# Ảnh hưởng của cốt liệu mịn đến cường độ bê tông bọt

## Influence of fine aggregate on strength of foam concrete

Hoàng Quốc Tuấn

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh  
Email liên hệ: quoctuan.hoang@ut.edu.vn

### Tóm tắt:

Bài báo nghiên cứu chế tạo bê tông bọt có khối lượng thể tích từ  $800 \text{ kg/m}^3$  đến  $1200 \text{ kg/m}^3$ . Nghiên cứu sử dụng phương pháp thực nghiệm trong chế tạo mẫu và thí nghiệm mẫu trong phòng nhằm xác định các chỉ tiêu cường độ của bê tông bọt sử dụng cát mịn, trong đó có so sánh với cường độ của bê tông bọt sử dụng cát thô. Kết quả nghiên cứu cho thấy cường độ chịu nén và cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt sử dụng cát mịn cao hơn bê tông bọt sử dụng cát thô với cùng thành phần cấp phối. Nghiên cứu có thể ứng dụng trong các kết cấu cách nhiệt hoặc sản xuất gạch bê tông nhẹ, giúp tận dụng hiệu quả nguồn cát mịn dồi dào, giảm lượng cát thô đang ngày càng khan hiếm và cạn kiệt.

**Từ khóa:** Bê tông bọt; cát mịn; cát thô; cường độ nén; cường độ kéo khi uốn.

### Abstract:

This study aims to investigate the foam concrete having a unit weight from  $800 \text{ kg/m}^3$  to  $1200 \text{ kg/m}^3$ . After calculating the mixture proportion based on the empirical methods, the experiments were conducted in the laboratory to determine the mechanical properties of foam concrete using fine sand. Besides, the foam concrete using coarse sand was also cast as a reference. The results show that the compressive strength and flexural tensile strength of foam concrete using fine sand were higher than those of reference concrete corresponding to the same mixture proportion. As a consequence, the utilization of abundant fine sand for the production of the insulated concrete structure or lightweight concrete bricks can prevent the exhaustion of coarse sand.

**Keywords:** Foam concrete; fine sand; coarse sand; compressive strength; flexural tensile strength.

### 1. Giới thiệu

Hiện nay, bê tông nhẹ là loại vật liệu xây dựng đang được sử dụng phổ biến trong xây dựng cơ bản cho nhiều hạng mục khác nhau: Làm khung, sàn, tường cho nhà nhiều tầng, dùng trong các kết cấu vỏ mỏng, tấm cong, trong cấu tạo các cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn (hình 1, hình 2). Trong đó, bê tông bọt là một loại bê tông nhẹ có xi măng portland làm gốc và vô số các hạt khí nhỏ phân bố đồng đều trong bê tông. Cấu tạo đặc biệt này giúp các cấu kiện được chế tạo bằng bê tông bọt có khả năng cách âm, cách nhiệt, chống cháy rất tốt.

Các nghiên cứu trước đây chủ yếu tập trung vào việc chế tạo bê tông bọt với loại cốt liệu mịn là cát

thô [1], [2], [3]. Tuy nhiên, với tình hình nguồn cung cát xây dựng ngày càng khan hiếm và thiếu hụt như hiện nay thì vấn đề tận dụng nguồn cát mịn trữ lượng lớn thay thế cát thô trong việc chế tạo bê tông là cấp thiết. Đồng thời việc sử dụng cát mịn chế tạo bê tông bọt sẽ giúp tiết kiệm chi phí so với sử dụng cát thô. Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu về cường độ của bê tông bọt sử dụng cát mịn so với bê tông bọt sử dụng cát thô bằng phương pháp thực nghiệm chế tạo mẫu và thử nghiệm trong phòng.



**Hình 1.** Thi công chống nóng bê tông bọt.



**Hình 2.** Thi công tường bằng gạch bê tông bọt.

## 2. Vật liệu chế tạo

### 2.1. Cát mịn

Cát mịn sử dụng là loại cát đen hạt mịn sông Đồng Nai đảm bảo hàm lượng muối cho phép và được rửa sạch sao cho hàm lượng bụi bùn sét dưới 1%, có module độ lớn từ 0.9 đến 1.2. Tiến hành thí nghiệm xác định các chỉ tiêu cơ lý của cát mịn [4], [5]; kết quả chỉ tiêu cơ lý được thể hiện ở bảng 1; kết quả thành phần hạt thể hiện ở bảng 3.

**Bảng 1.** Các chỉ tiêu cơ lý của cát mịn.

STT	Tên chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị	Kết quả
1	Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	2.63
2	Khối lượng thể tích xốp	kg/m <sup>3</sup>	1390
3	Hàm lượng bụi bùn sét	%	0.8
4	Độ hồng	%	45.6
5	Module độ lớn	-	1,1

### 2.2. Cát thô

Cát thô sử dụng có nguồn gốc là loại cát vàng hạt thô sông Đồng Nai có module độ lớn là lớn

hơn 2. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của cát thô [4], [5] được thể hiện ở bảng 2. Kết quả thành phần hạt cát thô thể hiện ở bảng 3.

**Bảng 2.** Các chỉ tiêu cơ lý của cát thô

STT	Tên chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị	Kết quả
1	Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	2.65
2	Khối lượng thể tích xốp	kg/m <sup>3</sup>	1450
3	Hàm lượng bụi bùn sét	%	0.5
4	Độ hồng	%	45.3
5	Module độ lớn	-	2.1

**Bảng 3.** Kết quả thành phần hạt.

Kích thước lỗ sàng (mm)	Lượng sót tích lũy trên sàng (%)	
	Cát mịn	Cát thô
2.5	0	1.5
1.25	3.1	16.5
0.63	9.3	35.6
0.315	16.4	65.8
0.14	82.8	91.7
Đáy sàng	100	100.0

### 2.3. Chất tạo bọt

Chất tạo bọt là một hỗn hợp hoá chất tổng hợp, không sử dụng nguyên liệu gốc động vật, có khả năng tự phân huỷ, không gây ô nhiễm môi trường, không độc hại. Sau khi kết hợp với máy tạo bọt, sẽ tạo ra một loại bọt nhìn giống như bọt xà phòng (hình 3) và có những tính chất cơ lý như sau:

- Tỷ trọng: 1.02 g/cm<sup>3</sup>;
- Độ hoà tan trong nước: vô cấp;
- Màu/ Mùi: Màu vàng nhạt, không mùi;
- Tỷ lệ sử dụng: Pha lỏng trong nước với tỷ lệ chất tạo bọt/nước = 1/20 đến 1/30 (theo thể tích);
- Độ pH: 6.7 trong nước.



Hình 3. Bọt được tạo ra từ dung dịch tạo bọt.

## 2.4. Xi măng

Xi măng được sử dụng trong đề tài là xi măng Hà Tiên PCB40, với các chỉ tiêu cơ lý được thể hiện ở bảng 4.

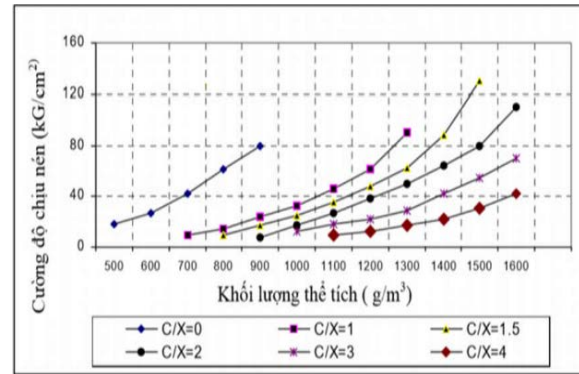
Bảng 4. Các chỉ tiêu cơ lý của xi măng.

STT	Tên chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị	Kết quả
1	Độ dẻo tiêu chuẩn (N/X)	%	30
2	Thời gian đông kết		
	+Bắt đầu	phút	125
	+Kết thúc	phút	220
3	Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	3.1
4	Độ nghiền mịn: Hàm lượng trên sàng 0,09mm	%	1.22
5	Cường độ nén		
	+ 03 ngày	MPa	22.1
	+ 28 ngày	MPa	44.2

## 3. Thiết kế cấp phối bê tông bọt

### 3.1. Xác định tỉ lệ xi măng (X):cát (C):nước (N)

Nghiên cứu của tác giả Nguyễn Văn Chánh [6] về mối tương quan giữa khối lượng thể tích và cường độ nén của bê tông bọt, như hình 4.



Hình 4. Biểu đồ tương quan giữa khối lượng thể tích và cường độ chịu nén của bê tông bọt.

Kết quả nghiên cứu ở hình 4 cho thấy: Với bê tông bọt có khối lượng thể tích 800÷1200 kg/m<sup>3</sup> thì tỷ lệ C/X= 1 và N/X = 0.5 sẽ cho cường độ nén cao nhất. Vì vậy cấp phối này được dùng để tiến hành nghiên cứu.

### 3.2. Tính toán cấp phối bê tông bọt

Giả sử cần chế tạo bê tông bọt có tỷ trọng 1000 kg/m<sup>3</sup>:

Với tỉ lệ sử dụng X:C:N = 1:1:0.5, ta tính được khối lượng của xi măng, cát, nước.

Thể tích bọt tính theo công thức (1):

$$V_{bot} = 1000 - \frac{m_{xm}}{\rho_{xm}} - \frac{m_c}{\rho_c} - m_N \quad (1)$$

Trong đó:

- $m_{xm}$ : Khối lượng của xi măng;
- $\rho_{xm}$ : Tỷ trọng của xi măng;
- $m_c$ : Khối lượng của cát;
- $\rho_c$ : Tỷ trọng của cát;
- $m_N$ : Khối lượng của nước.

### 3.3. Thành phần cấp phối của bê tông bọt theo tỉ trọng

Với lý thuyết tính toán về xác định cấp phối giữa xi măng, cát, nước, bọt kỹ thuật ở mục 3.2, ta sẽ tính được thành phần các loại cấp phối được thể hiện ở bảng 5.

**Bảng 5.** Thành phần cấp phối bê tông bọt theo tỉ lệ X:C:N = 1:1:0,5.

STT	Kí hiệu cấp phối	Tỷ trọng bê tông (kg/m <sup>3</sup> )	Xi măng (kg)	Cát (kg)	Nước (lít)	Bọt (lít)
1	CP1	800	320	320	160	615
2	CP2	900	360	360	180	567
3	CP3	1000	400	400	200	519
4	CP4	1100	440	440	220	471
5	CP5	1200	480	480	240	423

### 3.4. Khối lượng thực hiện thí nghiệm

Mỗi loại cấp phối tiến hành đúc 03 mẫu nén kích thước 15×15×15 cm và 03 mẫu uốn kích thước 10×10×40 cm cho 02 loại cát là cát mịn và cát thô. Số lượng mẫu thử được thể hiện ở bảng 6.

**Bảng 6.** Số lượng mẫu bê tông thí nghiệm.

Loại cát	Kí hiệu cấp phối	Tuổi thí nghiệm (ngày)	Số lượng mẫu nén	Số lượng mẫu uốn
Cát mịn	CP1	28	3	3
	CP2	28	3	3
	CP3	28	3	3
	CP4	28	3	3
	CP5	28	3	3
Cát thô	CP1	28	3	3
	CP2	28	3	3
	CP3	28	3	3
	CP4	28	3	3
	CP5	28	3	3
<b>Tổng</b>			<b>30</b>	<b>30</b>

## 4. Công nghệ chế tạo bê tông bọt

### 4.1. Thiết bị chính

Dây chuyền tạo bọt: Dây chuyền gồm 01 máy tạo bọt (hình 5) và 01 máy nén khí (hình 6) được kết nối với nhau có khả năng tạo lượng bọt tối đa 200 lít/ phút.

**Hình 5.** Hệ thống máy tạo bọt.**Hình 6.** Máy nén khí.

Máy trộn: Có thể sử dụng các loại máy có mặt trên thị trường nhưng phải đảm bảo diện tích cánh trộn đủ để khuấy và trộn đều hỗn hợp bê tông bọt như hình 7.

**Hình 7.** Máy trộn được hàn thêm cánh trộn.

## 4.2. Cách vận hành

Dung dịch tạo bọt đậm đặc được pha loãng với nước theo tỉ lệ 1/20 (01 lít dung dịch đậm đặc được pha với 20 lít nước). Sau đó dung dịch này được cấp vào máy tạo bọt, đồng thời với việc cấp khí nén từ máy nén khí. Thông qua hệ thống của máy tạo bọt, bọt sẽ được phun ra với thể tích gấp 20 - 25 lần dung dịch trước khi tạo bọt. Sau đó sẽ được trộn với vữa xi măng và cát trong thùng trộn cho đến khi hỗn hợp trộn đều.

## 5. Quy trình thí nghiệm

### 5.1. Đúc mẫu

Việc lấy mẫu hỗn hợp bê tông, đúc, bảo dưỡng mẫu thử được tiến hành theo TCVN 3105:1993 [7]. Trước tiên hỗn hợp xi măng, cát, nước được trộn đều với nhau. Sau đó cho lượng bọt cần thiết vào và tiếp tục trộn đến khi hỗn hợp được đồng đều (hình 8).



Hình 8. Trộn hỗn hợp bê tông bọt.

Tiếp đến, tiến hành đúc mẫu vào các khuôn đã được chuẩn bị sẵn (hình 9).



Hình 9. Đúc mẫu.

Mẫu sau khi tháo khuôn sẽ được mang đi bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn (hình 10).



Hình 10. Bảo dưỡng mẫu.

### 5.2. Thí nghiệm cường độ nén

Thí nghiệm xác định cường độ nén của bê tông bọt thực hiện theo hướng dẫn của TCVN 3118:1993 [8], xem hình 11.



Hình 11. Thí nghiệm nén.

### 5.3. Thí nghiệm cường độ kéo khi uốn

Thí nghiệm xác định cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt thực hiện theo hướng dẫn của TCVN 3119:1993 [9], xem hình 12.



Hình 12. Thí nghiệm uốn.

## 6. Kết quả thí nghiệm

### 6.1. Cường độ bê tông bọt cát mịn

Kết quả thí nghiệm về cường độ nén và cường độ kéo uốn của bê tông bọt cát mịn thể hiện ở bảng 7.

**Bảng 7.** Kết quả cường độ bê tông bọt cát mịn.

Loại cấp phối	Tỷ trọng bê tông (kg/m <sup>3</sup> )	Cường độ nén R <sub>n</sub> (MPa)	Cường độ kéo khi uốn R <sub>ku</sub> (MPa)
CP1	800	1.52	0.21
CP2	900	1.89	0.33
CP3	1000	2.52	0.47
CP4	1100	3.31	0.64
CP5	1200	4.29	0.81

### 6.2. Cường độ bê tông bọt cát thô

Kết quả thí nghiệm về cường độ nén và cường độ kéo uốn của bê tông bọt cát thô thể hiện ở bảng 8.

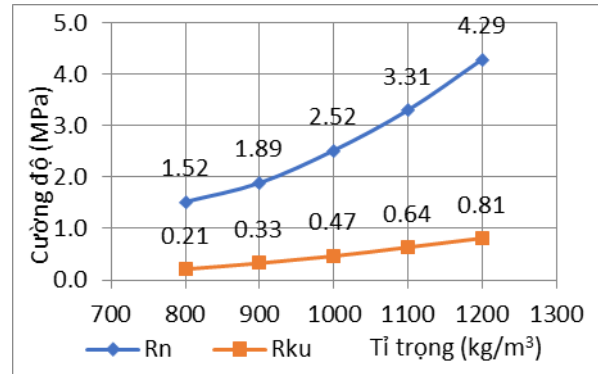
**Bảng 8.** Kết quả cường độ BT bọt cát thô.

Loại cấp phối	Tỷ trọng bê tông (kg/m <sup>3</sup> )	Cường độ nén R <sub>n</sub> (MPa)	Cường độ kéo khi uốn R <sub>ku</sub> (MPa)
CP1	800	1.11	0.18
CP2	900	1.35	0.28
CP3	1000	1.81	0.40
CP4	1100	2.35	0.56
CP5	1200	3.09	0.71

## 7. Phân tích kết quả

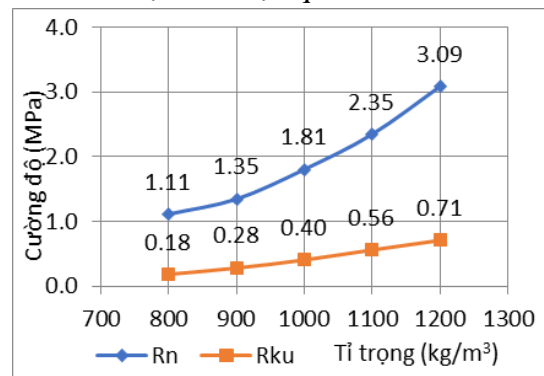
### 7.1. Tương quan giữa cường độ và tỉ trọng của bê tông bọt

Quan hệ giữa cường độ và tỉ trọng của bê tông bọt cát mịn được thể hiện qua hình 13.



**Hình 13.** Tương quan cường độ và tỉ trọng của bê tông bọt cát mịn.

Quan hệ giữa cường độ và tỉ trọng của bê tông bọt cát thô được thể hiện qua hình 14.



**Hình 14.** Tương quan cường độ và tỉ trọng của bê tông bọt cát thô.

Từ biểu đồ hình 13 và hình 14, ta thấy cường độ nén và cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt tăng tỉ lệ thuận với tỉ trọng của bê tông bọt.

### 7.2. Tương quan giữa cường độ nén và cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt

Quan hệ giữa cường độ nén và cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt cát mịn được thể hiện qua bảng 9.

**Bảng 9.** Tương quan giữa cường độ nén và cường độ kéo khi uốn bê tông bọt cát mịn.

Loại cấp phối	Tỷ trọng bê tông (kg/m <sup>3</sup> )	Tỉ lệ (R <sub>ku</sub> /R <sub>n</sub> )
CP1	800	1/7.2
CP2	900	1/5.8
CP3	1000	1/5.4
CP4	1100	1/5.2
CP5	1200	1/5.3

Quan hệ giữa cường độ nén và cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt cát thô được thể hiện qua bảng 10.

**Bảng 10.** Tương quan giữa cường độ nén và cường độ kéo khi uốn bê tông bọt cát thô.

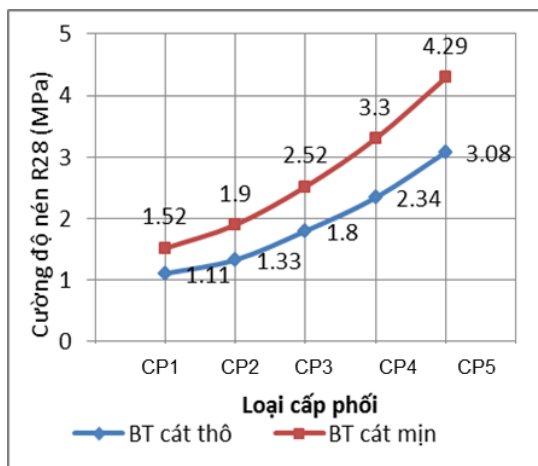
Loại cấp phối	Tỷ trọng bê tông (kg/m <sup>3</sup> )	Tỉ lệ (R <sub>ku</sub> /R <sub>n</sub> )
CP1	800	1/6.1
CP2	900	1/4.8
CP3	1000	1/4.8
CP4	1100	1/4.2
CP5	1200	1/4.4

Từ kết quả so sánh giữa cường độ nén với cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt cát mịn ở

**Bảng 11.** Tương quan cường độ nén của BT bọt cát mịn với BT bọt cát thô.

Loại cấp phối	Tỷ trọng bê tông (kg/m <sup>3</sup> )	Cường độ nén R <sub>n</sub> (MPa)		Chênh lệch %
		Cát mịn	Cát thô	
CP1	800	1.52	1.11	36.8
CP2	900	1.89	1.35	40.5
CP3	1000	2.52	1.81	39.8
CP4	1100	3.31	2.35	40.9
CP5	1200	4.29	3.09	39.1

Số liệu ở bảng 11 được thể hiện dưới dạng biểu đồ như hình 15.



**Hình 15.** Biểu đồ tương quan cường độ nén của BT bọt cát mịn và BT bọt cát thô.

bảng 9 và bê tông bọt cát thô ở bảng 10 cho thấy:

- Tỉ lệ giữa cường độ kéo khi uốn với cường độ nén của bê tông bọt cát mịn có giá trị trong phạm vi từ 1/7.2 đến 1/5.2.

- Tỉ lệ giữa cường độ kéo khi uốn với cường độ nén của bê tông bọt cát thô có giá trị trong phạm vi từ 1/6.1 đến 1/4.2.

### 7.3. Tương quan cường độ nén của bê tông bọt cát mịn và bê tông bọt cát thô

Tương quan giữa cường độ nén của bê tông bọt cát mịn với cường độ nén của bê tông bọt cát thô được thể hiện qua bảng 11.

Kết quả so sánh giữa cường độ nén của bê tông bọt cát mịn và cường độ nén của bê tông bọt cát thô trên bảng 11 cho thấy bê tông bọt cát mịn có cường độ nén cao hơn bê tông bọt cát thô từ 36.8% đến 40.9%. Điều này được giải thích vì khi bê tông bọt sử dụng cát mịn, các lỗ rỗng được phân bố tương đối đồng đều và mịn hơn. Trong khi đó, bê tông bọt cát thô, các lỗ rỗng lớn hơn và không đều. Bởi cát thô gây ra sự kết tụ của các bong bóng tạo thành các lỗ rỗng lớn không đều. Do đó, cường độ của bê tông bọt dùng cát thô thấp hơn so với bê tông bọt dùng cát mịn. Khía cạnh này cũng đã được giải thích rõ ràng bởi E.K. Kunhanandan Nambiar và K.Ramamurthy [10].

Ngoài ra, do cát mịn có diện tích bề mặt riêng lớn hơn cát thô nên tăng sự liên kết của các sản phẩm thủy hóa từ xi măng, làm cho cấu trúc vi mô của bê tông bọt đặc hơn; hơn nữa khi sử dụng cát mịn sẽ dễ dàng lấp đầy vào trong các bong bóng khí [11]. Vì vậy, bê tông bọt cát mịn có cường độ cao hơn bê tông bọt cát thô.

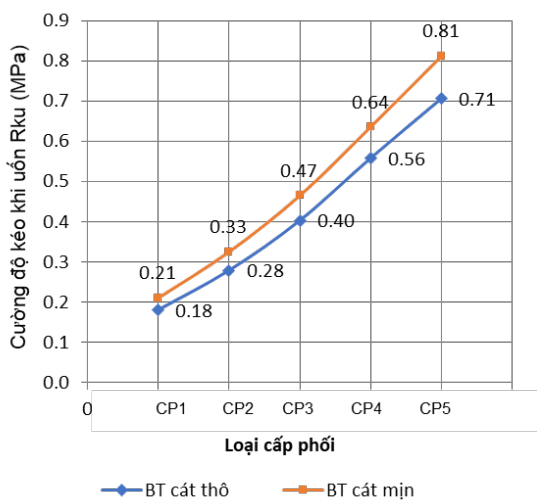
**7.4. Tương quan cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt cát mịn và bê tông bọt cát thô**

Tương quan về cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt cát mịn với cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt cát thô được thể hiện qua bảng 12.

**Bảng 12.** Tương quan cường độ kéo khi uốn bê tông bọt cát thô và bê tông bọt cát mịn.

Loại cấp phối	Tỷ trọng bê tông (kg/m <sup>3</sup> )	Cường độ nén R <sub>ku</sub> (MPa)		Chênh lệch %
		Cát mịn	Cát thô	
CP1	800	0.21	0.18	16.0
CP2	900	0.33	0.28	16.5
CP3	1000	0.47	0.40	15.4
CP4	1100	0.64	0.56	14.0
CP5	1200	0.81	0.71	15.0

Số liệu ở bảng 12 được thể hiện dưới dạng biểu đồ như hình 16.



**Hình 16.** Biểu đồ tương quan cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt cát mịn và bê tông bọt cát thô.

Kết quả so sánh giữa cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt cát mịn và cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt cát thô trên bảng 12 cho thấy, bê tông bọt cát mịn cho cường độ kéo khi uốn cao hơn bê tông bọt cát thô từ 14.0% đến 16.5%. Điều này cũng được lí giải vì khi độ đặc của bê tông bọt cát mịn tăng dẫn đến cường độ kéo khi uốn cũng tăng. Tuy nhiên, bê tông là loại vật liệu chịu nén, khả năng chịu kéo khi uốn kém, vì vậy mức độ tăng cường độ kéo khi uốn không cao bằng mức độ tăng cường độ nén.

**8. Kết luận và kiến nghị**

Từ kết quả nghiên cứu ban đầu, một số kết luận được rút ra như sau:

- Bê tông bọt sử dụng cát mịn cho cường độ nén cao hơn bê tông bọt sử dụng cát thô từ 36.8% đến 40.9%. Cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt cát mịn cao hơn cường độ kéo khi uốn của bê tông bọt cát thô từ 14.0% đến 16.5%. Vì vậy, để nâng cao cường độ của bê tông bọt nên dùng cốt liệu nhỏ là cát mịn thay cho cát thô;
- Sử dụng cát mịn chế tạo bê tông bọt sẽ giải quyết được bài toán thiếu hụt nguồn cát hạt thô hiện nay. Đồng thời giá thành cát mịn thấp hơn nhiều giá thành cát hạt thô, do đó sẽ giảm được chi phí sản xuất bê tông bọt, đem lại hiệu quả kinh tế.

Một số kiến nghị:

- Khi sử dụng cát mịn cần chú ý đến hàm lượng bụi bùn sét và chỉ tiêu hàm lượng muối đảm bảo yêu cầu theo tiêu chuẩn hiện hành;
- Để đánh giá về hiệu quả của việc sử dụng cát mịn trong việc chế tạo bê tông bọt, trong tương lai cần nghiên cứu đánh giá thêm các chỉ tiêu về tuổi thọ của bê tông bọt như tính cách nhiệt, cách âm, tính thấm. Đồng thời, các kết quả cần được đánh giá ở các độ tuổi khác nhau để có kết luận chính xác hơn.

**Lời cảm ơn**

Tác giả xin gửi lời cảm ơn tới phòng thí nghiệm kiểm định công trình LAS-XD 313 trực thuộc

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh đã tạo điều kiện để tác giả hoàn thành nghiên cứu này.

### Tài liệu tham khảo

- [1] E. K. K. Nambiar, K. Ramamurthy; “Air-void characterisation of foam concrete”. *Cement and Concrete Research*. 2007; 37(2):221-230. DOI: 10.1016/j.cemconres.2006.10.009.
- [2] L. Hou, J. Li, Z. Lu, Y. Niu; “Influence of foaming agent on cement and foam concrete”. *Construction and Building materials*. 19 April 2021; 280 (1):122-389. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122399.
- [3] N. V. Chánh; “Công nghệ bê tông bọt xốp ứng dụng trong các công trình xây dựng”. Trong kỷ yếu của Hội nghị Khoa học, Công nghệ & Môi trường vùng Nam trung bộ và Tây nguyên lần thứ VI, Bộ Khoa học Công nghệ và Môi trường, Đà Nẵng. 2001; pp. 224-229.
- [4] Tiêu chuẩn về Cốt liệu cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật; TCVN 7570:2006; Viện Khoa học công nghệ xây dựng; 2006.
- [5] Tiêu chuẩn về Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử; TCVN 7572:2006; Viện Khoa học công nghệ xây dựng; 2006.
- [6] N. V. Chánh; “Sử dụng bê tông nhẹ trong xây dựng nhà ở hướng tới sự phát triển đô thị bền vững”. 2001. [Online]. Available: <http://www.dalco.com.vn/Download/BTN%20trong%20Xay%20dung%20nha%20o.pdf>.
- [7] Tiêu chuẩn về Bê tông nặng – Lấy mẫu; TCVN 3105:1993; Viện Khoa học công nghệ xây dựng; 1993.
- [8] Tiêu chuẩn về Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ nén; TCVN 3118:1993; Viện Khoa học công nghệ xây dựng; 1993.
- [9] Tiêu chuẩn về Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ kéo khi uốn; TCVN 3119:1993; Viện Khoa học công nghệ xây dựng; 1993.
- [10] E. K. K. Nambiar, K. Ramamurthy; “Influence of filter type on the properties of foam concrete”. *Cement and Concrete Composites*. 2006; 28(5):475-480. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2005.12.001.
- [11] S. K. Lim, C. S. Tan, X. Zhao, T. C. Ling; “Strength and Toughness of Lightweight Foamed Concrete with Different Sand Grading”. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2015; 19(7):2191-2197. DOI: 10.1007/s12205-014-0097-y.

**Ngày nhận bài: 16/08/2021**

**Ngày chuyển phản biện: 19/08/2021**

**Ngày hoàn thành sửa bài: 09/09/2021**

**Ngày chấp nhận đăng: 16/09/2021**