

# Nghiên cứu sử dụng cát biển để thay thế cốt liệu nhỏ trong bê tông xi măng

Study on the use of sea sand as a replacement for fine aggregate in Cement concrete

> TS NGUYỄN THỊ THÚY HẰNG<sup>1</sup>, TS MAI HỒNG HÀ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM; Email: hangntt@hcmute.edu.vn

<sup>2</sup>Trường Đại học Giao thông vận tải TP.HCM; Email: ha.mh@ut.edu.vn

## TÓM TẮT

Trong bối cảnh nguồn cát sông tại Việt Nam ngày càng khan hiếm, việc tìm kiếm vật liệu thay thế là cần thiết nhằm đáp ứng nhu cầu xây dựng hạ tầng. Cát biển, với sự phân bố rộng rãi tại các khu vực ven biển Việt Nam, là một nguồn tài nguyên tiềm năng nhưng vẫn chưa được khai thác hiệu quả cho sản xuất bê tông. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên bê tông sử dụng cát biển khai thác tại khu vực Phan Rang (tỉnh Ninh Thuận cũ). Các chỉ tiêu cơ lý và hóa học của cát biển được khảo sát trước và sau khi xử lý bằng phương pháp rửa ở nhiệt độ thường và rửa ở nhiệt độ 100°C. Cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo và độ mài mòn của bê tông dùng cát biển sau khi xử lý được xác định. Các cấp phối bê tông được thiết kế và thí nghiệm ở các tuổi 3, 7, 14, 21 và 28 ngày.

Kết quả cho thấy bê tông sử dụng cát biển Phan Rang có khả năng đạt được cường độ nén và cường độ kéo phù hợp với các mức bê tông thông dụng, đồng thời thể hiện khả năng kháng mài mòn đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đối với mặt đường ô tô cấp III trở xuống. Kết quả nghiên cứu khẳng định tiềm năng ứng dụng của cát biển Phan Rang như một giải pháp thay thế bền vững cho cát sông trong sản xuất bê tông tại khu vực miền Trung Việt Nam.

**Từ khóa:** Cát biển, bê tông cát biển (BTCB), cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo, độ mài mòn.

## ABSTRACT

In the context of increasing scarcity of river sand resources in Vietnam, finding alternative materials is necessary to serve infrastructure construction. Sea sand, which is widely distributed along Vietnam's coastal areas, represents a potential resource that has not yet been fully utilized in concrete production. This paper presents the experimental results of concrete made with marine sand collected from Phan Rang (formerly Ninh Thuan Province). The physical, mechanical, and chemical properties of the marine sand were examined before and after treatment by washing at ambient temperature and at 100°C. The compressive strength, flexural tensile strength, and abrasion resistance of concrete incorporating treated marine sand were determined. Concrete mixtures were designed and tested at ages of 3, 7, 14, 21, and 28 days.

The results indicate that Phan Rang marine sand concrete can achieve compressive and tensile strengths comparable to conventional concrete grades, and its abrasion resistance satisfies the technical requirements for concrete pavements of road classes IV and below. The findings confirm the potential of Phan Rang marine sand as a sustainable alternative to river sand for concrete production in the central region of Vietnam.

**Keywords:** Sea sand, Sea sand concrete (BTCB), compressive strength, flexural tensile strength, abrasion resistance.

## 1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu trên thế giới đã tập trung vào việc đánh giá tính khả thi của việc sử dụng cát biển và nước biển trong sản xuất bê tông nhằm giải quyết tình trạng khan hiếm cát sông và hướng tới phát triển bền vững. J.Xiao và cộng sự [1] đã chỉ ra rằng bê tông chế tạo từ cát biển và nước biển có khả năng phát triển cường độ sớm nhanh, đồng thời đạt được cường độ dài hạn tương đương bê tông thường, nhưng vẫn dễ ăn mòn cốt thép do ion chloride là thách thức lớn cần được khắc phục. Nghiên cứu của Dhondy và cộng sự [2] cho thấy việc sử dụng cát biển và nước biển trong bê tông mang lại tính bền vững, đồng thời có thể cải thiện các đặc tính cơ học. Tuy nhiên, vấn đề ăn mòn cốt thép là không thể tránh

khỏi khi dùng bê tông cát biển và nước biển. Giải pháp thay thế là sử dụng cốt sợi polymer không gỉ, giúp giảm chi phí sửa chữa, nâng cao hiệu quả xây dựng và ứng phó với tác động của biến đổi khí hậu. Bên cạnh đó, Miren Etxeberria [3] đã kiểm chứng sản xuất thực tế các khối kè tại cảng Barcelona bằng bê tông sử dụng cốt liệu tái chế, xỉ thép và nước biển. Kết quả cho thấy hỗn hợp 50% cốt liệu tái chế thô và 50% xỉ thép cho tính chất tối ưu, trong khi nước biển giúp rút ngắn thời gian đông kết, giảm độ rỗng, tăng khả năng chống thấm và cải thiện cường độ nén ở tuổi sớm, đồng thời có thể áp dụng cho các dự án quy mô lớn. Về độ bền lâu dài, Yin Huiguang và cộng sự [4] cho thấy độ bền của bê tông cát biển phụ thuộc mạnh vào thời gian dưỡng hộ, loại cát, lượng nước tiêu thụ và tỷ lệ nước/xi măng; trong đó thời gian

đường hộ là yếu tố quan trọng nhất, và việc kéo dài đường hộ, giảm lượng nước và giảm tỷ lệ nước/xi măng sẽ giúp hạn chế xâm nhập ion chloride, nâng cao độ bền của bê tông. Ngoài ra, các nghiên cứu trong nước như nghiên cứu của tác giả Trương [5] cho thấy cát biển và nước biển tại Hà Tiên là nguồn vật liệu thay thế khả thi cho sản xuất bê tông geopolymere, giúp tiết kiệm nước ngọt và tài nguyên cát sông, đồng thời có thể đạt được cường độ cơ học phù hợp (có thể đạt mức tương đương hoặc cao hơn tùy công thức). Tác giả Hoàng Quốc Gia [6] đã phân tích khả năng thay thế cát sông bằng cát biển. Kết quả nghiên cứu cho thấy cát biển có thành phần hạt và khoáng vật phù hợp để dùng trong xây dựng nếu được xử lý loại bỏ muối và tạp chất.

Cát biển sử dụng trong nghiên cứu được thu thập từ khu vực ven biển Phan Rang, tỉnh Khánh Hòa (tỉnh Ninh Thuận cũ). Sau khi xử lý, cát được đưa vào thực nghiệm nhằm đánh giá khả năng sử dụng làm cốt liệu nhỏ thay thế cho cát sông trong bê tông xi măng. Các nội dung nghiên cứu chính của bài báo bao gồm:

- Các chỉ tiêu cơ lý và hóa học của cát biển;
- Cường độ chịu nén; mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và thời gian;
- Cường độ chịu kéo khi uốn;
- Độ mài mòn ở trạng thái bão hòa và trạng thái khô.

## 2. VẬT LIỆU VÀ THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM

### 2.1. Vật liệu thí nghiệm

#### 2.1.1. Cốt liệu nhỏ

Cốt liệu nhỏ sử dụng cát biển lấy ở ven biển khu vực Phan Rang. Cát sau đó được sàng rửa theo hai cách:

- Sàng rửa ở nhiệt độ thường: Mẫu cát được ngâm trong nước ở nhiệt độ môi trường (khoảng 25-30°C) trong thời gian 24 giờ nhằm hòa tan và loại bỏ phần muối bám trên bề mặt hạt cát. Sau giai đoạn ngâm, mẫu được khuấy đều để tăng khả năng tách muối, sau đó sàng qua rây có kích thước lỗ 0,14 mm. Lặp lại 3 lần (Hình 1)
- Sàng rửa ở 100°C: Cát biển được đun sôi đến 100°C trước khi sử dụng cho quá trình rửa. Mẫu cát sau đó được xử lý theo quy trình tương tự như ở nhiệt độ thường, bao gồm ngâm, khuấy và sàng qua rây 0,14 mm. (Hình 2)



Hình 1. Mẫu cát Cat2 sau khi rửa



Hình 2. Mẫu cát Cat3

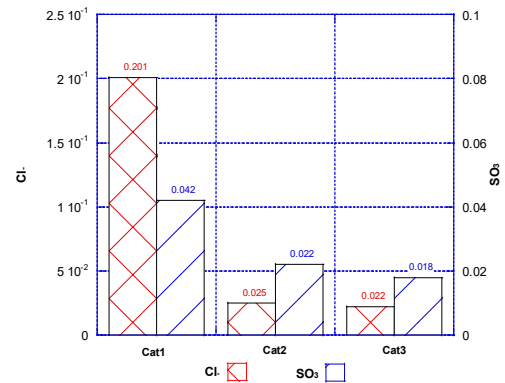
#### a. Thành phần hóa học

Kết quả thí nghiệm thành phần hóa học của ba mẫu cát: Cat1 (cát chưa được rửa), Cat2 (cát rửa ở nhiệt độ thường) và Cat3 (cát rửa ở nhiệt độ 100°C) được trình bày ở Bảng 1. Mẫu cát biển chưa rửa Cat1 có hàm lượng  $SiO_2$  khoảng 89.94% tương đương với cát sông ở Pakistan trong nghiên cứu của Channa và cộng sự [7] (khoảng 92%-98%), cát sông ở Nigeria trong nghiên cứu của Bala và cộng sự [8] (khoảng 50%-91%) và cát sông ở Việt Nam [6, 9] (khoảng 91%), ngoài ra các oxit khác như  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $K_2O$ ... trong Cat1 cũng có sự chênh lệch không đáng kể so với các nghiên cứu ở [6-9].

Bảng 1. Thành phần hóa học của các mẫu cát

| TT | Chỉ tiêu hóa học | Cat1  | Cat2  | Cat3  |
|----|------------------|-------|-------|-------|
| 1  | $Al_2O_3$        | 6.645 | 6.461 | 6.055 |
| 2  | $BaO$            | 0.017 | 0.014 | 0.012 |
| 3  | $CaO$            | 0.579 | 0.587 | 0.494 |
| 4  | $Cl$             | 0.201 | 0.025 | 0.022 |

|    |           |        |        |        |
|----|-----------|--------|--------|--------|
| 5  | $Co_3O_4$ | 0.013  | 0.012  | 0.004  |
| 6  | $Fe_2O_3$ | 0.605  | 0.531  | 0.481  |
| 7  | $K_2O$    | 1.711  | 1.483  | 1.394  |
| 8  | $MnO$     | 0.012  | 0.01   | 0.009  |
| 9  | $NiO$     | 0.003  | 0.002  | 0.002  |
| 10 | $P_2O_5$  | 0.029  | 0.039  | 0.032  |
| 11 | $SiO_2$   | 89.940 | 90.619 | 91.266 |
| 12 | $SO_3$    | 0.042  | 0.022  | 0.018  |
| 13 | $SrO$     | 0.012  | 0.01   | 0.01   |
| 14 | $TiO_2$   | 0.096  | 0.091  | 0.074  |
| 15 | $WO_3$    | 0.088  | 0.088  | 0.12   |
| 16 | $ZnO$     | 0.001  | 0.001  | 0.001  |
| 17 | $ZrO_2$   | 0.006  | 0.005  | 0.006  |



Hình 3. Hàm lượng Cl và  $SO_3$  ở 3 mẫu cát

Kết quả thí nghiệm thành phần hóa ở Bảng 1 và Hình 3 cho thấy quá trình rửa đã cải thiện chất lượng của cát, hàm lượng  $SiO_2$  là oxit chủ yếu có trong cát tăng nhẹ ở mẫu cát Cat2 và Cat3 trong khi các oxit khác như  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$  thì giảm nhẹ ở mẫu cát được rửa (Cat2 và Cat3), điều này chứng tỏ quá trình rửa đã làm rửa trôi đi các oxit có hại. Các loại muối có gốc Cl,  $SO_3$  cũng được giảm đáng kể. Hàm lượng Cl trong Cat1 là 0.201% nên không thể dùng để chế tạo bê tông theo quy định của TCVN 7570:2025 [10] nhưng với cát biển sau khi rửa Cat2 và Cat3 thì hàm lượng Cl là 0.025% và 0.022% nhỏ hơn giá trị quy định của quy trình (0.05%)

Bảng 2. So sánh với yêu cầu của TCVN 7570:2025

| Mẫu cát | $Cl^-$ thực tế | Yêu cầu trong TCVN 7570:2025                                 |                    | Kết luận về $Cl^-$                                           |
|---------|----------------|--------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------|
|         |                | $\leq 0.01\%$ (*)                                            | $\leq 0.05\%$ (**) |                                                              |
| Cat1    | 0.21%          | Lớn hơn rất nhiều $\rightarrow$ vượt tiêu chuẩn nghiệm trọng |                    | Lớn hơn rất nhiều $\rightarrow$ vượt tiêu chuẩn nghiệm trọng |
| Cat2    | 0.025%         | Lớn hơn 2.5 lần                                              | Nhỏ hơn 0.5 lần    | Có thể dùng cho (**)                                         |
| Cat3    | 0.022%         | Lớn hơn 2.2 lần                                              | Nhỏ hơn 0.44 lần   | Có thể dùng cho (**)                                         |

(\*): Bê tông dùng trong các cấu trúc bê tông cốt thép ứng suất trước

(\*\*): Bê tông dùng trong các kết cấu bê tông và bê tông cốt thép và vừa thông thường

#### b. Chỉ tiêu cơ lý của mẫu cát Cat2

Mẫu cát Cat2 được chọn làm cốt liệu nhỏ để chế tạo bê tông cát biển Bảng 3. Thành phần hạt của mẫu cát Cat2

| Kích thước mắt sàng (mm) | Lượng lọt qua sàng (%) |          |           |
|--------------------------|------------------------|----------|-----------|
|                          | Cát sông [11]          | Mẫu Cat2 | TCVN [10] |
| 5.0                      | 0.0                    | 0.0      | 0         |
| 2.5                      | 6.3                    | 0.3      | 0-20      |
| 1.25                     | 24.2                   | 12.9     | 15-45     |
| 0.63                     | 43.1                   | 39.1     | 35-70     |
| 0.315                    | 70.5                   | 68.9     | 65-99     |
| 0.14                     | 97.9                   | 99.5     | 90-100    |

Bảng 4. Các chỉ tiêu cơ lý của mẫu cát Cat2

| Chỉ tiêu thí nghiệm                      | Tiêu chuẩn thí nghiệm | Đơn vị            | Cát sông | Mẫu Cat2 |
|------------------------------------------|-----------------------|-------------------|----------|----------|
| Khối lượng riêng                         | TCVN 7572-4:2006      | g/cm <sup>3</sup> | 2.87     | 2.87     |
| Khối lượng thể tích ở trạng thái khô     | TCVN 7572-4:2006      | g/cm <sup>3</sup> | 2.70     | 2.70     |
| Khối lượng thể tích ở trạng thái bão hòa | TCVN 7572-4:2006      | g/cm <sup>3</sup> | 2.76     | 2.76     |
| Độ hút nước                              | TCVN 7572-4:2006      | %                 | 2.25     | 2.25     |
| Khối lượng thể tích xốp                  | TCVN 7572-6:2006      | g/cm <sup>3</sup> | 1.35     | 1.35     |
| Độ rỗng giữa các hạt                     | TCVN 7572-6:2006      | %                 | 45.8     | 45.8     |

## 2.1.2. Cốt liệu lớn

Dùng đá dăm sàng rửa và lựa chọn để có cấp phối hạt như Bảng 4 với  $D_{\min} = 4.75$  mm và  $D_{\max} = 19$  mm (Hình 4), các chỉ tiêu cơ lý của đá dăm ở Bảng 5 và Bảng 6 đáp ứng các yêu cầu của TCCS 40:2022/TCĐBVN.



Hình 4. Mẫu đá dăm

Bảng 5. Các chỉ tiêu cơ lý của đá dăm

| TT | Chỉ tiêu thí nghiệm                      | Tiêu chuẩn thí nghiệm | Đơn vị            | Kết quả |
|----|------------------------------------------|-----------------------|-------------------|---------|
| 1  | Khối lượng riêng                         | TCVN 7572-4:2006      | g/cm <sup>3</sup> | 2.87    |
| 2  | Khối lượng thể tích ở trạng thái khô     | TCVN 7572-4:2006      | g/cm <sup>3</sup> | 2.70    |
| 3  | Khối lượng thể tích ở trạng thái bão hòa | TCVN 7572-4:2006      | g/cm <sup>3</sup> | 2.76    |
| 4  | Độ hút nước                              | TCVN 7572-4:2006      | %                 | 2.25    |
| 5  | Khối lượng thể tích xốp                  | TCVN 7572-6:2006      | g/cm <sup>3</sup> | 1.35    |
| 6  | Độ rỗng giữa các hạt                     | TCVN 7572-6:2006      | %                 | 45.8    |

Bảng 6. Thành phần hạt của đá dăm

| TT | Kích thước mắt sàng (mm) | Lượng lọt qua sàng (%) | Lượng lọt qua sàng theo TCCS 40:2022/TCĐBVN (%) |
|----|--------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|
| 1  | 25.0                     | 100.00                 | 100                                             |
| 2  | 19.0                     | 98.14                  | 95-100                                          |
| 3  | 12.5                     | 68.72                  | 55-70                                           |
| 4  | 9.50                     | 35.01                  | 25-40                                           |
| 5  | 4.75                     | 6.28                   | 5-15                                            |
| 6  | 2.36                     | 2.10                   | 0-5                                             |

## 2.1.3. Chất kết dính

Sử dụng xi măng PCB40 INSEE làm chất kết dính cho bê tông, các chỉ tiêu cơ lý của xi măng được trình bày trong Bảng 7 thỏa mãn các yêu cầu của TCVN 2682, TCVN 6260

Bảng 7. Các chỉ tiêu cơ lý của xi măng

| TT | Chỉ tiêu thí nghiệm                                    | Phương pháp thí nghiệm | Kết quả thí nghiệm |
|----|--------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|
| 2  | Cường độ chịu nén 28 ngày (MPa)                        | TCVN 6016:2011         | 46.2               |
| 4  | Cường độ chịu kéo khi uốn 28 ngày (MPa)                | TCVN 6016:2011         | 7.2                |
| 5  | Khối lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> )                  | TCVN 4030:2003         | 3.09               |
| 6  | Độ nghiêng mịn phương pháp Blaine (cm <sup>2</sup> /g) | TCVN 4030:2003         | 3900               |
| 7  | Lượng nước tiêu chuẩn (%)                              | TCVN 6017:2015         | 32.5               |

|   |                           |                |     |
|---|---------------------------|----------------|-----|
| 8 | Thời gian đông kết (phút) | TCVN 6017:2015 |     |
|   | + Bắt đầu                 |                | 115 |
|   | + Kết thúc                |                | 200 |

## 2.1.4. Nước

Sử dụng nước máy thỏa mãn yêu cầu theo TCVN 4506:2012 về “Nước trộn bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật”.

## 2.2. Thiết kế thí nghiệm

## 2.2.1. Thành phần vật liệu của cấp phối bê tông.

Để tiến hành đánh giá ảnh hưởng của cát biển đối với các đặc tính cơ học của bê tông, Ba loại cấp phối bê tông được chế tạo là BTCB, BTCB50 và BTCS. Trong đó, BTCS được coi là mẫu đối chứng, có thành phần cấp phối được xác định theo “Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại” do Bộ Xây dựng ban hành [12] (Bảng 8). Dựa trên cấp phối này, hai cấp phối còn lại là BTCB và BTCB50 được hình thành sao cho hàm lượng chất kết dính, cốt liệu lớn và nước hoàn toàn giống với BTCS, nhằm đảm bảo tính đồng nhất và loại bỏ các yếu tố ảnh hưởng khác ngoài thành phần cốt liệu nhỏ. Cụ thể, BTCB là cấp phối bê tông sử dụng 100% cát biển thay thế cốt liệu nhỏ, trong khi BTCB50 sử dụng cốt liệu nhỏ là hỗn hợp giữa cát biển và cát sông theo tỷ lệ 50:50.

Bảng 8. Thành phần vật liệu chế tạo cấp phối (kg/m<sup>3</sup>)

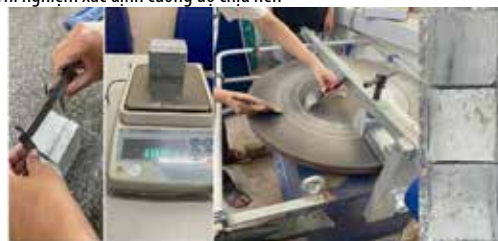
| Thành phần    | Cấp phối bê tông |        |      |
|---------------|------------------|--------|------|
|               | BTCB             | BTCB50 | BTCS |
| Xi măng (kg)  | 400              | 400    | 400  |
| Cát biển (kg) | 763              | 381.5  | 0    |
| Đá dăm (kg)   | 1188             | 891    | 1188 |
| Cát sông (kg) | 0                | 381.5  | 763  |
| Nước (lít)    | 181              | 181    | 181  |
| Tỷ lệ N/X     | 0.45             | 0.45   | 0.45 |

## 2.2.2. Phương pháp thí nghiệm

Mỗi cấp phối bê tông được chế tạo 5 tổ mẫu lập phương có kích thước 150 x 150 x 150 mm để xác định cường độ chịu nén theo TCVN 3118:2022 [13] (Hình 5) ở các ngày tuổi 3, 7, 14, 21 và 28 ngày. Ngoài ra, 1 tổ mẫu dầm có kích thước 150 x 150 x 160 mm để khảo sát cường độ chịu kéo khi uốn theo TCVN 3119:2022 [14] ở 28 ngày tuổi. Đồng thời, 5 tổ mẫu lập phương có kích thước 70.7 x 70.7 x 70.7 mm để đánh giá độ mài mòn theo TCVN 3114 :2022 [15] (Hình 6) ở các ngày tuổi 3, 7, 14, 21 và 28 ngày. Việc đúc và bảo dưỡng mẫu tuân theo tiêu chuẩn TCVN 3105:2022 [16]. Các tổ mẫu bê tông dùng trong nghiên cứu được chế tạo và bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022 [16].



Hình 5. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén



Hình 6. Thí nghiệm xác định độ mài mòn

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

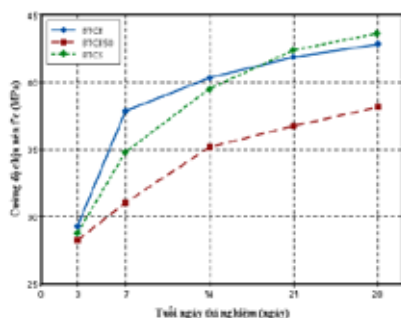
#### 3.1. Cường độ chịu nén

Kết quả cường độ chịu nén ( $f'_c$ ) của các cấp phối bê tông ở tuổi ngày 3, 7, 14, 21 và 28 được trình bày trong Bảng 9 và Hình 7 và 8.

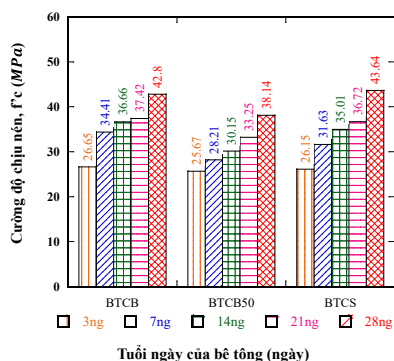
Bảng 9. Cường độ chịu nén của các cấp phối bê tông ở các tuổi thí nghiệm khác nhau (MPa)

| Cấp phối BT | Tuổi bê tông (ngày) |       |       |       |       |
|-------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|
|             | 3                   | 7     | 14    | 21    | 28    |
| BTCB        | 29.32               | 37.85 | 40.33 | 41.85 | 42.80 |
| BTCB50      | 28.24               | 31.03 | 35.17 | 36.74 | 38.14 |
| BTCS        | 28.77               | 34.79 | 39.51 | 42.38 | 43.64 |

Hình 8 là biểu đồ tổng hợp của các cấp phối bê tông ở các ngày tuổi khác nhau. Nhận thấy cường độ của cấp phối BTCB và BTCS gần như tương đương nhau (chênh lệch không đáng kể khoảng 1.92%), trong khi đó BTCB50 thì có cường độ ở tuổi 28 ngày nhỏ nhất (nhỏ hơn BTCB khoảng 12% và nhỏ hơn BTCS khoảng 14%). Điều này chứng tỏ việc phối trộn cát biển và cát sông để chế tạo bê tông không có hiệu quả bằng việc thay 100% cát sông để chế tạo bê tông.



Hình 7. Quan hệ giữa cường độ nén và tuổi ngày thí nghiệm



Hình 8. Biểu đồ tổng hợp cường độ chịu nén ở các tuổi khác nhau

Sự phát triển cường độ bê tông theo thời gian thể hiện ở Hình 7. BTCB có tốc độ phát triển cường độ ở tuổi sớm rất nhanh. Ở tuổi 3 ngày,  $f'_c$  của BTCB cao hơn BTCS khoảng 1.9%. Đến tuổi 7 ngày  $f'_c$  của BTCB lớn hơn BTCS khoảng 8.8%, cho thấy  $f'_c$  ở tuổi 7 ngày của BTCB tăng khoảng 29.12% so với  $f'_c$  ở tuổi 3 ngày, trong khi tỷ lệ này ở BTCB50 và BTCS lần lượt là 8.89% và 20.96%. Đến tuổi 14 ngày, mặc dù BTCB vẫn lớn hơn BTCS khoảng 2.0% nhưng tốc độ phát triển chậm lại so với BTCS,  $f'_c$  tăng 6.5% so với tuổi 7 ngày, tốc độ tăng này nhỏ hơn BTCS (cường độ chịu nén tăng 13.5% so với cường độ ở tuổi 7 ngày) khoảng 2.07 lần. Đến tuổi 21 và 28 ngày thì  $f'_c$  của BTCS nhỏ hơn BTCB lần lượt khoảng 1.2% và 1.9%. Tốc độ phát triển  $f'_c$  của BTCB tiếp tục giảm,  $f'_c$  ở tuổi 21 và 28 ngày tăng lần lượt khoảng 3.8% so với tuổi 14 ngày, tốc độ này nhỏ hơn BTCB khoảng 1.9 lần ở tuổi 21 ngày và 1.7 lần ở tuổi 28 ngày. Với BTCB50 cường độ và tốc độ phát triển cường độ nhỏ hơn so với BTCB và BTCS

So sánh với bê tông xi măng sử dụng xi thép làm cốt liệu lớn thì BTCB làm mặt đường ô tô trong nghiên cứu [17] của tác giả Trần Trung Hiếu nhận thấy BTXT75 có cường độ nén tương đương với mẫu bê tông sử dụng 33% tro bay, trong khi đó BTXT100 có cường độ nén lớn hơn tất cả các mẫu bê tông xi măng sử dụng tro bay trong nghiên cứu này.

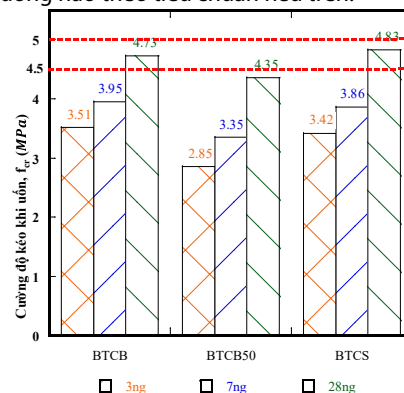
#### 3.2. Cường độ chịu kéo khi uốn

Bảng 10. Kết quả thí nghiệm cường độ chịu kéo khi uốn

| Tuổi (ngày) | Cường độ chịu kéo khi uốn $f_{cr}$ (MPa) |        |      |
|-------------|------------------------------------------|--------|------|
|             | BTCB                                     | BTCB50 | BTCS |
| 3           | 3.50                                     | 2.85   | 3.40 |
| 7           | 3.95                                     | 3.35   | 3.86 |
| 28          | 4.73                                     | 4.35   | 4.83 |

Kết quả thí nghiệm cường độ chịu kéo khi uốn  $f_{cr}$  của các cấp phối bê tông ở tuổi 3, 7 và 28 ngày được trình bày trong Bảng 10 và Hình 9. Ở tuổi 3 ngày, BTCB đạt cường độ uốn khoảng 3.51 MPa, trong khi BTCB50 chỉ đạt khoảng 2.85 MPa, và BTCS đạt khoảng 3.42 MPa. Sự khác biệt này cho thấy rằng cát biển đã xử lý thể hiện khả năng phát triển ban đầu tốt hơn so với việc phối trộn 50% cát sông và 50% cát biển, nhưng vẫn hơi thấp hơn nếu so với BTCS. Tốc độ tăng của BTCB và BTCS trong giai đoạn đầu lớn hơn rõ rệt so với BTCB50, cho thấy khả năng liên kết ban đầu giữa xi măng và cốt liệu khi dùng cát biển tương đương với cát sông còn BTCB50 do việc phối trộn gây ảnh hưởng bất lợi đến cấu trúc ban đầu nên liên kết kém hơn. Ở tuổi 28 ngày, BTCS đạt cường độ uốn khoảng 4.83 MPa, trong khi BTCB đạt 4.73 MPa bằng khoảng 98 % giá trị của BTCS, chứng tỏ rằng việc thay thế hoàn toàn cát sông bằng cát biển (sau xử lý) không làm suy giảm đáng kể cường độ uốn cuối cùng so với cát sông. Kết quả này cũng tương đương với nghiên cứu của Pan và cộng sự [18]

Đối chiếu TCCS 40:2022/TCĐBVN [19], bê tông xi măng sử dụng cho kết cấu mặt đường phải đạt cường độ chịu kéo khi uốn  $f_{cr}$  ở 28 ngày tối thiểu 5.0 MPa đối với đường cao tốc, cấp I và cấp II, và không nhỏ hơn 4.5 MPa đối với đường cấp III và các cấp thấp hơn. Kết quả thí nghiệm thể hiện trong Hình 9 cho thấy giá trị của  $f_{cr}^{BTCB}$  nằm trong khoảng 4.5 ÷ 5.0 MPa, trong khi  $f_{cr}^{BTCB50}$  nhỏ hơn 4.5 MPa. Như vậy, BTCB đạt yêu cầu về cường độ uốn cho mặt đường BTXM cấp III trở xuống, song chưa đáp ứng tiêu chuẩn đối với các tuyến cao tốc và đường cấp I, II. Ngược lại, BTCB50 có giá trị cường độ thấp hơn ngưỡng yêu cầu, nên không phù hợp để sử dụng cho bất kỳ cấp đường nào theo tiêu chuẩn nêu trên.



Hình 9. Biểu đồ tổng hợp cường độ chịu kéo khi uốn ở các tuổi khác nhau của các cấp phối bê tông

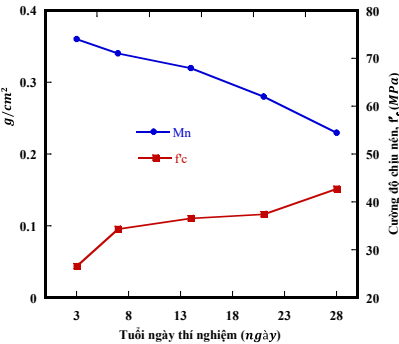
#### 3.3. Độ mài mòn của bê tông

Kết quả ở Bảng 11 và Hình 10 cho thấy, khi tuổi bê tông tăng từ 3 đến 28 ngày, cường độ chịu nén  $f'_c$  của bê tông cát biển tăng, trong khi độ mài mòn (Mn) lại giảm theo thời gian. Cụ thể,  $f'_c$  tăng

từ khoảng 25 MPa ở tuổi 3 ngày lên khoảng 42 MPa ở 28 ngày. Ngược lại, giá trị  $M_n$  giảm từ xấp xỉ 0.36 xuống 0.20, phản ánh khả năng kháng mài mòn được cải thiện đáng kể theo thời gian dưỡng hộ. Hình 10 cho thấy, BTCB có độ mài mòn ở tuổi 28 ngày nhỏ hơn 0.3g/cm<sup>2</sup> nghĩa là BTCB đáp ứng yêu cầu về độ mài mòn phù để làm mặt đường BTXM cho đường tất cả các cấp theo TCCS 40:2022/TCĐBVN [19]. So sánh với bê tông dùng cốt liệu xi thép [20] với cùng một mức cường độ chịu nén tương đương, BTCB thể hiện khả năng chống mài mòn tốt hơn đáng kể so với. Cụ thể,  $M_n$  của BTCB cao hơn BTXT khoảng 52%

Bảng 11. Kết quả thí nghiệm độ mài mòn của mẫu BTCB

| Tuổi ngày thí nghiệm (ngày) | Độ mài mòn, $M_n$ (MPa) | Cường độ chịu nén, $f'_c$ (MPa) |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 3                           | 0.36                    | 26.65                           |
| 7                           | 0.34                    | 34.41                           |
| 14                          | 0.32                    | 36.66                           |
| 21                          | 0.28                    | 37.42                           |
| 28                          | 0.23                    | 42.80                           |



Hình 10. Biểu đồ quan hệ giữa độ mài mòn và cường độ nén ở các tuổi ngày thí nghiệm khác nhau

4. KẾT LUẬN

Dựa vào các kết quả thực nghiệm được phân tích ở trên có thể đưa ra một số kết luận như sau:

- Cát biển sau rửa có thể dùng làm cốt liệu cho bê tông để sử dụng trong các kết cấu bê tông và bê tông cốt thép và vừa thông thường
- Cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn của các cấp phối bê tông phát triển theo thời gian. Bê tông sử dụng cát biển sau khi đã xử lý có cường độ tương đương bê tông cát sông, trong khi đó bê tông sử dụng hỗn hợp 50% cát biển và 50% cát sông có cường độ kém nhất.
- Với BTCB, độ mài mòn tỷ lệ nghịch với giá trị cường độ chịu nén, độ kháng mài mòn của BTCB gần tương đương với BTCS
- BTCB đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật về cường độ chịu kéo khi uốn và độ mài mòn theo TCCS 40:2022/TCĐBVN để làm mặt đường cho ô tô cấp III trở xuống.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài mã số **T2024-91**, với sự tài trợ của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM năm 2024. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Xiao, J., et al., Use of sea-sand and seawater in concrete construction: Current status and future opportunities. 2017. **155**: p. 1101-1111.  
[2]. Dhondy, T., A. Remennikov, and M.N.J.A.J.o.S.E. Shiekh, Benefits of using sea sand and seawater in concrete: a comprehensive review. 2019. **20**(4): p. 280-289.

[3]. Etxeberria, M., et al., Secondary aggregates and seawater employment for sustainable concrete dyke blocks production: Case study. 2016. **113**: p. 586-595.  
[4]. Huiguang, Y., et al., Durability of sea-sand containing concrete: Effects of chloride ion penetration. 2011. **21**(1): p. 123-127.  
[5]. Truong, H.C. and H.T.J.T.c.K.h.v.C.n.-Đ.h.Đ.N. LE, Study on the use of sea sand and seawater in geopolymer concrete production in Ha Tien City, Kien Giang province. 2024: p. 136-140.  
[6]. Gia, H.Q. and T.K.J.T.c.K.h.k.t.T.l.v.M.T. Kiên, Sổ, Thực trạng khai thác sử dụng cát tự nhiên tại Việt Nam và nghiên cứu tính chất cát biển tại một số vùng biển Việt Nam. 2019. **66**: p. 151-156.  
[7]. Channa, M.Y., et al., Qualitative analysis of rivers sand sources (Silica sand, Ravi river sand, Indus river sand, and Jhelum river sand) for metal casting: a comparative study. 2024. **6**(3): p. 035435.  
[8]. Bala, K.C. and R.H. Khan, Characterization of beach/river sand for foundry application. 2013.  
[9]. DUY, T.N.P. and Đ. Lê Văn, Nghiên cứu thực nghiệm một số tính chất của bê tông sử dụng cát biển.  
[10]. Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử. 2006: Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.  
[11]. Hằng, N.T.T., P.Đ. Hùng, and M.H. Hà, Xác định các đặc trưng cơ học của bê tông sử dụng xỉ thép như cốt liệu lớn., Tạp chí Xây dựng, 2016. 02.  
[12]. Bộ Xây dựng, Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại. 1998: Hà Nội.  
[13]. TCVN 3118 : 2022: Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu nén. 2022: Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.  
[14]. TCVN 3119 : 2022: Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu kéo khi uốn. 2022: Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.  
[15]. TCVN 3114: 2022: Bê tông - Phương pháp xác định độ mài mòn. 2022: Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.  
[16]. TCVN 3105: 2022: Hỗn hợp bê tông và bê tông - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử. 2022: Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.  
[17]. Hiếu, T.T., Nghiên cứu ứng dụng bê tông xi măng tro bay làm mặt đường ô tô ở Việt Nam. 2017, Trường Đại học Giao thông vận tải Cơ sở II.  
[18]. Pan, D., et al., Study of the influence of seawater and sea sand on the mechanical and microstructural properties of concrete. Journal of Building Engineering, 2021. **42**: p. 103006.  
[19]. TCCS 40:2022/TCĐBVN. 2022: Thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông xi măng trong xây dựng công trình giao thông. 2022: Bộ Giao thông vận tải.  
[20]. Nguyễn, T.T.H. and H.H. Mai, Nghiên cứu ảnh hưởng của xỉ thép trong bê tông xỉ thép dùng làm mặt đường ô tô. 2023.