

STUDY ON SOME PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF B15 CONCRETE USING CRUSHED STONE FINE AGGREGATES IN NGHI LOC COMMUNE, NGHE AN PROVINCE

Phan Van Duc, Ho Van Phuc, Ho Van Hung, Truong Quoc Dinh, Nguyen Tai Tuan,
 Nguyen Xuan Hieu, Le Thanh Hai, Nguyen Trong Kien*
 Vinh University

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 25/4/2025	This study was conducted to address the problem of natural sand scarcity by utilizing crushed stone, a by-product of the stone crushing process, as a fine aggregate for concrete. The primary objective was to determine the mix proportions for B15 concrete using crushed stone in Nghi Loc commune, Nghe An province, and to evaluate the key physical and mechanical properties of this type of concrete. Laboratory tests were conducted to determine the physical and mechanical properties, such as particle size distribution, slump, volumetric weight, steel-concrete adhesion, and compressive strength at different ages of concrete mixtures. The initial results showed that the compressive strength of B15 concrete, as measured in cubic concrete samples using crushed stone, was 7.6-12.9% higher than that of concrete using river sand. Additionally, the adhesion strength of steel reinforcement to concrete using crushed stone was approximately 8.2% higher. The application of crushed stone not only brings economic benefits but also has environmental significance. This study provides a crucial scientific basis for recommending the widespread use of local crushed stone in the construction industry, particularly for projects in Nghe An.
Revised: 06/11/2025	
Published: 07/11/2025	
KEYWORDS	
Crushed stone	
Natural sand	
Fine aggregate	
Concrete	
Axial compression	

NGHIÊN CỨU MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG CƠ LÝ CỦA BÊ TÔNG B15 SỬ DỤNG CỐT LIỆU NHỎ ĐÁ MẠT TẠI XÃ NGHI LỘC, TỈNH NGHỆ AN

Phan Văn Đức, Hồ Văn Phúc, Hồ Văn Hùng, Trương Quốc Định, Nguyễn Tài Tuấn,
 Nguyễn Xuân Hiếu, Lê Thanh Hải, Nguyễn Trọng Kiên*
 Trường Đại học Vinh

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 25/4/2025	Nghiên cứu này được thực hiện nhằm giải quyết vấn đề khan hiếm cát tự nhiên bằng cách tận dụng đá mạt, một sản phẩm phụ từ quá trình nghiền đá, làm cốt liệu nhỏ cho bê tông. Mục tiêu chính là xác định cấp phối cho bê tông B15 sử dụng đá mạt tại khu vực xã Nghi Lộc, tỉnh Nghệ An, đồng thời đánh giá các đặc trưng cơ lý quan trọng của loại bê tông này. Các thí nghiệm trong phòng đã được tiến hành để xác định các tính chất cơ lý như thành phần hạt, độ sụt, khối lượng thể tích, lực dính cốt thép-bê tông và cường độ chịu nén ở các tuổi khác nhau của hỗn hợp bê tông. Kết quả nghiên cứu bước đầu cho thấy cường độ nén của bê tông B15 ở 28 ngày tuổi của mẫu bê tông lập phương sử dụng đá mạt cao hơn 7,6 - 12,9% so với bê tông sử dụng cát sông. Ngoài ra, lực bám dính của cốt thép với bê tông sử dụng đá mạt lớn hơn khoảng 8,2%. Việc ứng dụng đá mạt không chỉ mang lại lợi ích kinh tế mà còn có ý nghĩa môi trường. Nghiên cứu này cung cấp cơ sở khoa học quan trọng để khuyến nghị sử dụng rộng rãi đá mạt địa phương trong ngành xây dựng, đặc biệt cho các công trình tại khu vực Nghệ An.
Ngày hoàn thiện: 06/11/2025	
Ngày đăng: 07/11/2025	
TỪ KHÓA	
Đá mạt	
Cát sông	
Cốt liệu nhỏ	
Bê tông	
Nén dọc trục	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.12671>

* Corresponding author. Email: nguyentrongkien82@gmail.com, trongkienkd@vinhuni.edu.vn

1. Giới thiệu

Hiện nay, nhu cầu xây dựng ngày càng tăng kéo theo việc khai thác nguồn cát sông quá mức để sản xuất bê tông phục vụ xây dựng đã gây cạn kiệt tài nguyên cũng như ảnh hưởng xấu đến môi trường sinh thái. Để giải quyết bài toán thiếu hụt cát phục vụ cho xây dựng và bảo vệ môi trường, nhiều nhà khoa học đã đề xuất sử dụng cát nhân tạo để thay thế một phần cát sông trong sản xuất bê tông [1] – [3]. Ở một số nước trên thế giới, nơi thiếu hụt cát sông thì cát nhân tạo đã dần thay thế cát sông trong sản xuất bê tông, nhiều nghiên cứu đã được tiến hành để so sánh, đánh giá đặc tính cơ lý của bê tông sử dụng cát nhân tạo thay thế cát sông [4] – [6]. Các nghiên cứu này chỉ ra rằng chất lượng của bê tông sử dụng cát nhân tạo thay thế cát sông phụ thuộc nhiều vào dây chuyền nghiền sàng, chọn đá và chất lượng đá gốc khai thác theo các khu vực khác nhau trên thế giới và trong từng vùng lãnh thổ. Hiện nay, ở nước ta xu thế sử dụng cát nhân tạo thay thế cát sông trong sản xuất bê tông đang nhận được sự quan tâm lớn của nhà nước và các địa phương. TCVN 9205:2012 [7], TCVN 9382:2012 [8] đã ban hành các yêu cầu kỹ thuật, hướng dẫn việc sử dụng cát nhân tạo trong sản xuất bê tông và vữa. Nhiều nghiên cứu trong nước đã được tiến hành đánh giá tính chất cơ lý của bê tông sử dụng cát nhân tạo thay thế cát tự nhiên trong sản xuất vữa và bê tông. Phạm Thế Hiệp [9] đã nghiên cứu sử dụng đá nghiền tại xã Thống Nhất, tỉnh Đồng Nai trong sản xuất bê tông. Nguyễn Đức Dũng và cộng sự [10] đã sử dụng cát nghiền tại phường Tân Thành, Bà Rịa Vũng Tàu trộn với cát tự nhiên. Dương Minh Thuận [11] đánh giá tính khả thi của giải pháp dùng đá nghiền trong sản xuất bê tông tại An Giang. Lê Việt Dũng và cộng sự [12] đã nghiên cứu thực nghiệm đánh giá khả năng sử dụng cát nghiền nguồn gốc đá vôi tại Hà Nam cho cốt bê tông cốt thép (BTCT) chịu nén. Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về việc sử dụng đá nghiền thay thế cát trong sản xuất bê tông, nhưng các kết quả nghiên cứu không giống nhau do chất lượng nguồn gốc đá nghiền dọc theo lãnh thổ Việt Nam thay đổi đa dạng, ảnh hưởng đến chất lượng của cát nhân tạo ở mỗi vùng. Do đó, để có thể ứng dụng cát nhân tạo rộng rãi cho bê tông dân dụng cần có nhiều nghiên cứu về loại cát này tại các địa phương khác nhau. Hiện tại đá mặt tại xã Nghi Lộc (Hình 1) chưa được nghiên cứu. Vì vậy, việc nghiên cứu đánh giá khả năng sử dụng bê tông dùng đá mặt là sản phẩm phụ được hình thành trong quá trình chế biến sản phẩm đá 1x2, 4x6... tại xã Nghi Lộc - tỉnh Nghệ An là rất cần thiết, góp phần bổ sung số liệu về việc sử dụng đá nghiền làm cốt liệu nhỏ cho bê tông dân dụng.



Hình 1. Hình ảnh đá mặt (đá mi bụi) tại xã Nghi Lộc, tỉnh Nghệ An

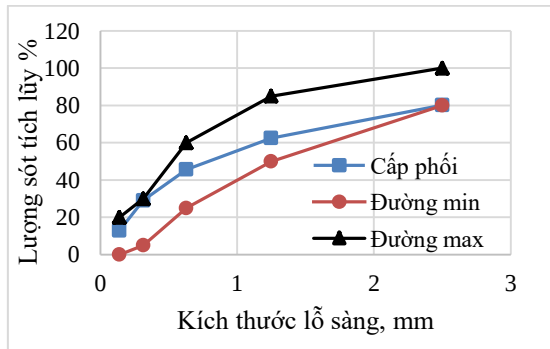
2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Trong bài báo này nhóm tác giả sử dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm để xác định thành phần hạt của cốt liệu và các chỉ tiêu cơ lý của bê tông.

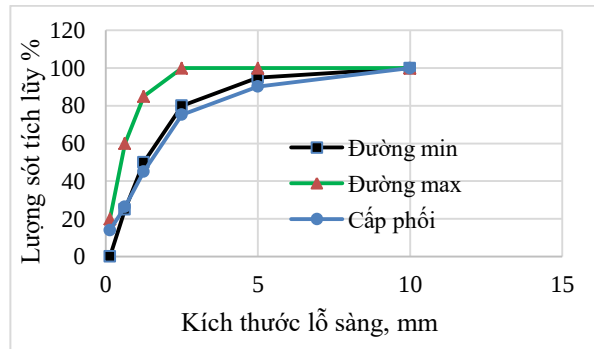
2.1. Xác định thành phần hạt của cốt liệu cho bê tông theo ASTM

2.1.1. Cát sông

Cát sông trong thí nghiệm được lấy là cát sông tại xã Nam Đàn, tỉnh Nghệ An. Thành phần hạt được tổng hợp trong Hình 2.



Hình 2. Biểu đồ xác định thành phần hạt của cát sông

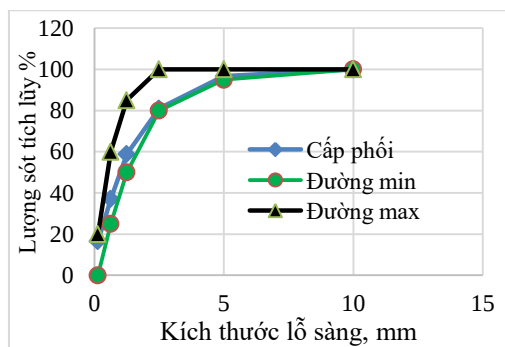


Hình 3. Biểu đồ xác định thành phần hạt của đá mặt

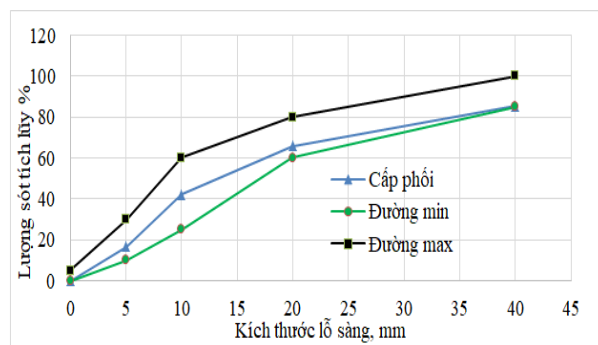
2.1.2. Đá mặt

Đá mặt, là một sản phẩm phụ của quá trình nghiền từ đá gốc để làm vật liệu xây dựng. Trong nghiên cứu này đá mặt được lấy từ mỏ đá, khai thác tại xã Nghi Lộc, tỉnh Nghệ An. Thành phần hạt được tổng hợp trong Hình 3.

2.1.3. Cốt liệu nhỏ: gồm 50% cát sông + 50% đá mặt



Hình 4. Biểu đồ xác định thành phần hạt của 50% cát + 50% đá mặt



Hình 5. Biểu đồ xác định thành phần hạt của đá dăm 1x2

Trộn cát sông Nam Đàn với đá mặt Nghi Lộc theo các tỉ lệ khác nhau, kết quả thí nghiệm cho thấy, đá mặt chiếm từ 50% đến 70% cho thành phần cấp phối hạt phù hợp với tiêu chuẩn ASTM C33. Trong bài báo này các tác giả lấy tỉ lệ 50% đá mặt trộn với 50% cát sông. Thành phần hạt của hỗn hợp này cho trong Hình 4.

2.1.4. Cốt liệu lớn: Đá dăm 1x2

Thành phần hạt và cấp phối của đá dăm thể hiện trong Hình 5.

2.2. Thí nghiệm xác định khối lượng riêng của cốt liệu

2.2.1. Chuẩn bị mẫu thử

Lấy mẫu cốt liệu.

Đập nhỏ và sàng qua sàng có kích thước lỗ sàng 0,2 mm. Bằng phương pháp tạo mẫu trung bình với khối lượng không bé hơn 100 g. Sấy khô đến khối lượng không đổi ở nhiệt độ 105 – 110 °C. Khối lượng không đổi của mẫu thử là khối lượng mà hiệu số giữa hai lần cân kế tiếp nhau chênh lệch không quá 0,01 g, thời gian giữa hai lần cân kế tiếp nhau không nhỏ hơn 4 giờ. Sau đó mẫu thử được để nguội đến nhiệt độ phòng trong bình hút ẩm và giữ ở đó đến khi đem thử.

2.2.1. Tiến hành xác định

Cân lấy 10 g từ mẫu đã được chuẩn bị cho vào bình đã rửa sạch khối lượng m_1 , cân bình có chứa mẫu được khối lượng m_2 (Hình 6). Dùng nước 18 – 20 °C đổ vào đến khoảng $\frac{1}{2}$ bình. Làm sạch hết không khí trong bình bằng cách đặt bình chứa mẫu lên bếp cát hoặc bếp cách nước. Đun sôi khoảng 15 – 20 phút. Khi không khí đã ra khỏi bình, để nguội bình đến nhiệt độ trong phòng, lấy nước 18 – 20 °C đổ vào bình đến vạch ngang, rồi cân được khối lượng m_3 sau đó đổ mẫu đi, rửa sạch bình lại đổ nước đến vạch ngang rồi cân được khối lượng m_4 .



Hình 6. Thí nghiệm xác định khối lượng riêng

Khối lượng riêng của cốt liệu ρ_a tính bằng g/cm³ theo công thức (1):

$$\rho_a = \frac{\rho_n(m_2 - m_1)}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)} \quad (1)$$

Trong đó: m_1 : Khối lượng bình không (gam); m_2 : Khối lượng bình chứa đá dăm, (gam); m_3 : Khối lượng bình chứa đá dăm và nước cất (gam); m_4 : Khối lượng bình chứa nước cất, (gam); ρ_n : Khối lượng riêng của nước cất lấy bằng 1 g/cm³.

Khối lượng riêng của đá dăm tính chính xác đến 0,01 g/cm³.

2.3. Cấp phối bê tông

Với mục đích nghiên cứu khả năng ứng dụng đá mặt (ĐM) nguồn gốc đá tự nhiên thay thế cát sông (CS) cho cấu kiện chịu lực BTCT thông thường, bốn cấp phối bê tông được thiết kế cho ba chủng loại cát đảm bảo cấp độ bền B15, với độ sụt yêu cầu $SN = 6 \pm 2$ cm.

CP1: Xi măng + cát sông + đá dăm + nước

CP2: Xi măng + đá mặt + đá dăm + nước

CP3: Xi măng + đá mặt + đá dăm + nước + phụ gia siêu dẻo

CP4: Xi măng + 50% cát sông + 50% đá mặt + nước

Thành phần cấp phối được xác định theo nguyên tắc thể tích tuyệt đối theo [13], [14]. Bốn cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu được xác định bước đầu tại Phòng thí nghiệm Xây dựng – trường Đại học Vinh (Bảng 1). Bốn loại cấp phối này sau đó được sử dụng triển khai nghiên cứu mở rộng sang mô hình cấu kiện: (i) lực bấm dính thép-bê tông.

Bảng 1. Thành phần của các cấp phối bê tông

Vật liệu	Đơn vị	CP1	CP2	CP3	CP4
Xi măng	kg	304	296	296	300
Cát thô	kg	572	0	0	286
Đá dăm	kg	1112	1113	1113	1113
Đá mặt	kg	0	498	498	249
Nước	lít	190	185	185	187,5
Phụ gia	lít	0	0	2,96	0

2.4. Thí nghiệm xác định độ sụt của bê tông

Đo độ sụt của bê tông được xác định theo TCVN 3106-1993.

Sau khi bê tông được xả ra ngoài, tiến hành thử độ sụt của hỗn hợp bê tông (Hình 7).

2.5. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của bê tông

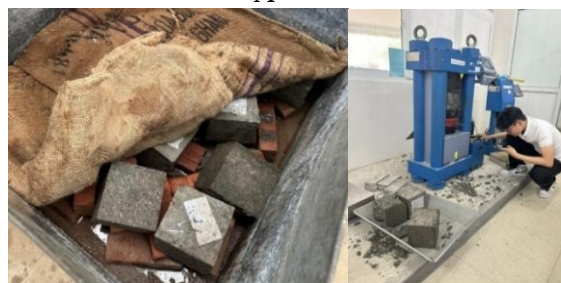
Cường độ chịu nén của bê tông được xác định theo TCVN 3118:2022 [15].

Tổng cộng có 36 mẫu lập phương $15 \times 15 \times 15$ cm được thí nghiệm để xác định cường độ chịu nén ở các thời điểm 3, 7 và 28 ngày tuổi của bê tông sử dụng hai loại cát CS và ĐM (Hình 8). Các mẫu sau khi đúc xong được bảo dưỡng trong phòng thí nghiệm đến tuổi thí nghiệm.

Cường độ chịu nén của viên mẫu được tính theo công thức: $R = \alpha \frac{P}{A}$ (2)



Hình 7. Thí nghiệm xác định độ sụt của hỗn hợp bê tông và đúc mẫu khối lập phương



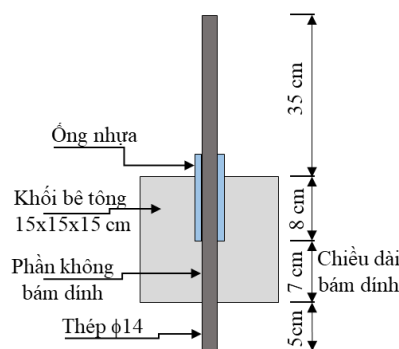
Hình 8. Bảo dưỡng mẫu bê tông và thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của mẫu bê tông lập phương

2.6. Thí nghiệm xác định cường độ bám dính giữa cốt thép và bê tông

Mô hình thí nghiệm được thiết kế theo Rilem 7-II-128 [16], (Hình 9). Thí nghiệm lực dính giữa cốt thép và bê tông được xác định ở 28 ngày sau khi đúc mẫu. Tổng cộng có 6 mẫu thí nghiệm cho hai loại bê tông.

Lực bám dính của bê tông được xác định theo công thức: $\tau = \frac{P}{\pi \phi L}$ (3)

trong đó P là lực kéo làm cốt thép tụt ra khỏi bê tông; ϕ là đường kính thanh thép, $\phi = 14$ mm; L là chiều dài đoạn cốt thép neo trong bê tông, $L = 70$ mm. Bê tông dùng trong thí nghiệm có ba loại là bê tông tương ứng với cấp phối CP1, CP2 và CP4.



Hình 9. Mô hình thí nghiệm lực dính cốt thép với bê tông

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Thành phần hạt

Thành phần hạt cát, đá dăm và hỗn hợp 50% cát + 50% đá mịn đều đạt tiêu chuẩn ASTM C33. Riêng thành phần hạt của đá mịn không theo tiêu chuẩn nên ta tự thiết kế cấp phối cho phù hợp với thực tế.

3.2. Khối lượng riêng của cốt liệu

Kết quả xác định khối lượng riêng của cốt liệu được cho trong Bảng 2.

Bảng 2. Khối lượng riêng của cốt liệu

Loại cốt liệu	Đá dăm	Cát sông	Đá mịn
Khối lượng riêng trung bình (g/cm^3)	2,31	2,51	2,32

3.3. Độ sụt của bê tông

Kết quả thí nghiệm độ sụt của các cấp phối bê tông CP1-CP4 được thể hiện trong Bảng 3. Có thể thấy là độ sụt của cấp phối CP2 đã giảm đáng kể so với cấp phối CP1, như vậy, việc sử dụng đá mịn làm giảm độ dẻo của bê tông tươi. Để tăng độ dẻo của bê tông khi sử dụng đá mịn có thể sử dụng thêm phụ gia như cấp phối CP3, hay có thể kết hợp cát sông với đá nghiền như cấp phối CP4.

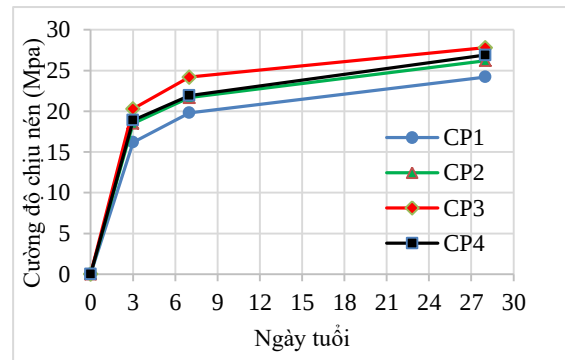
Bảng 3. Độ sụt đo được của các mẫu bê tông

Loại bê tông	CP1	CP2	CP3	CP4
Độ sụt (mm)	75	45	95	65

3.4. Cường độ chịu nén của bê tông

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm trung bình tải

Cấp phối	CP1	CP2	CP3	CP4
Cường độ chịu nén (MPa)				
0 ngày	0	0	0	0
3 ngày	16,2	18,5	20,3	18,9
7 ngày	19,8	21,67	24,18	21,92
28 ngày	24,2	26,2	27,8	26,9

**Hình 10.** Sự tăng cường độ nén theo thời gian của các mẫu bê tông

Kết quả thí nghiệm trung bình tải trong Bảng 4 và Hình 10 cho thấy cả bốn cấp phối CP1-CP4 bê tông đều đạt cấp độ bền B15 ở 28 ngày tuổi. Việc sử dụng đá mật trong CP2, CP3 và CP4 đã làm tăng cường độ ở 28 ngày tuổi khoảng 7,6-12,9% so với sử dụng cát sông. Trong tất cả cấp phối, có thể nhận thấy là cường độ nén của bê tông ở 7 ngày tuổi đều trên 80% so với cường độ nén của bê tông ở 28 ngày tuổi. Trong khi đó ở cấp phối CP3 có sử dụng phụ gia dẻo thì cường độ nén của bê tông 7 ngày tuổi tương ứng là bằng khoảng 87% so với cường độ nén của bê tông ở 28 ngày tuổi. Điều này có thể giải thích được là do sử dụng phụ gia làm tăng tính dẻo và khả năng dễ đổ của bê tông tươi nhờ đó mà cường độ nén của bê tông phát triển sớm hơn (7 ngày tuổi). Tuy nhiên bên cạnh đó thì cường độ nén của bê tông CP3 ở 28 ngày tuổi cũng không có nhiều khác biệt lắm so với các cấp phối khác.

3.5. Cường độ bám dính giữa cốt thép và bê tông

Kết quả thí nghiệm lực kéo tuột cốt thép được cho trong Bảng 5.

Bảng 5. Lực kéo tuột cốt thép P

Loại bê tông	Tên mẫu/Lực kéo P (kN)			P _{tb} (kN)
	M1	M2	M3	
CP1	40,2	38,5	39,1	39,27
CP2	44,5	41,54	43,6	43,21
CP4	43,6	45,6	41,26	43,49

Kết quả thí nghiệm cường độ bám dính thép-bê tông được cho trong Bảng 6. Kết quả thí nghiệm được so sánh với công thức thực nghiệm của tiêu chuẩn CEB-FIP Model code 2010 [17] và tiêu chuẩn ACI 440.1 R15 [18].

Trong đó cường độ bám dính theo tiêu chuẩn CEB-FIP Model code 2010 được tính theo công thức (4):

$$\tau = 2,5\sqrt{f_c} \quad (4)$$

Còn cường độ bám dính theo tiêu chuẩn ACI 440.1 R15 được tính theo công thức (5):

$$\tau = (0,33 + 0,025 \frac{C}{d} + 8,3 \frac{d}{l_n})\sqrt{f_c} \quad (5)$$

với f_c là cường độ nén trung bình của bê tông (MPa), C là chiều dày lớp bê tông bảo vệ (mm), d là đường kính và l_n là chiều dài nhúng trong bê tông của cốt thép.

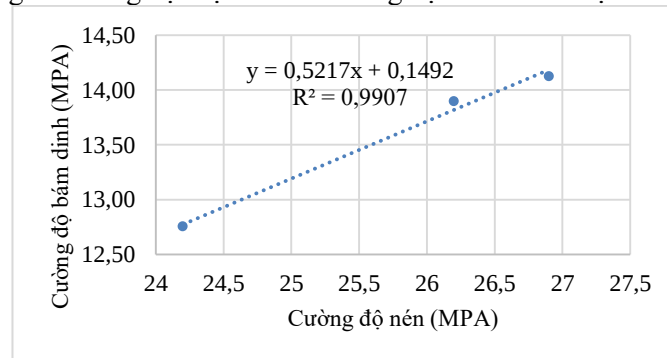
Kết quả cho thấy lực bám dính giữa cốt thép và hai loại bê tông là khá tương đồng: với bê tông sử dụng đá mật cho lực dính cao hơn so với bê tông cát sông khoảng 8,2% (Bảng 6). Điều này có thể do đặc tính bề mặt nhám ráp của ĐM đã làm tăng khả năng liên kết bám dính giữa lớp bê tông và bề mặt thanh cốt thép.

Ngoài ra, khi so sánh với kết quả của các công thức thực nghiệm, ta thấy kết quả thí nghiệm lớn hơn các kết quả tính từ các công thức; cụ thể, lớn hơn khoảng 8% so với tiêu chuẩn CEB-FIP Model code 2010 [17], và 22% so với tiêu chuẩn ACI 440.1 R15 [18].

Bảng 6. Lực dính giữa cốt thép – bê tông sử dụng CS và ĐM

Nhóm mẫu	Mẫu	Cường độ bám dính thí nghiệm (MPa)	Cường độ bám dính theo tiêu chuẩn CEB-FIP Model code 2010 (MPa)	Cường độ bám dính theo tiêu chuẩn ACI (MPa)	Sai số theo CEB-FIP (%)	Sai số theo ACI 440.1 R15 (%)
CP1	M1	13,06				
	M2	12,51				
	M3	12,70				
	Trung bình	12,75	12,30	10,40	3,57	18,42
	Độ lệch chuẩn	0,28				
	Hệ số biến động	2,20				
CP2	M1	14,04				
	M2	13,49				
	M3	14,16				
	Trung bình	13,90	12,80	10,83	7,92	22,10
	Độ lệch chuẩn	0,36				
	Hệ số biến động	2,56				
CP4	M1	14,16				
	M2	14,81				
	M3	13,40				
	Trung bình	14,12	12,97	10,97	8,20	22,34
	Độ lệch chuẩn	0,71				
	Hệ số biến động	5,00				

Mối tương quan giữa cường độ chịu nén và cường độ bám dính được cho trong Hình 11.



Hình 11. Tương quan giữa cường độ bám dính và cường độ nén

Từ Hình 11 cho thấy, cường độ bám dính tăng tỉ lệ thuận với cường độ nén.

4. Kết luận

Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá khả năng thay thế cát sông bằng đá mật (cát nhân tạo) được nghiên từ đá tự nhiên (là phụ phẩm của quá trình sản xuất cốt liệu lớn) đã đạt được một số kết quả quan trọng. Kết quả thí nghiệm độ sụt của các cấp phối bê tông với cốt liệu nhỏ tương ứng trong các cấp phối CP1 (sử dụng 100% cát sông), CP2 (sử dụng 100% đá mật), CP3 (sử dụng

100% đá mịn + phụ gia hóa dẻo), CP4 (sử dụng 50% cát sông + 50% đá mịn). Ta thấy là độ sụt của cấp phối CP2 đã giảm đáng kể so với cấp phối CP1, điều này có thể thấy là việc sử dụng đá mịn làm giảm độ dẻo của bê tông tươi. Để tăng độ dẻo của bê tông khi sử dụng đá mịn có thể sử dụng thêm phụ gia như cấp phối CP3, hay có thể kết hợp cát với đá mịn như cấp phối CP4. Kết quả thí nghiệm về cường độ nén ở 28 ngày tuổi của bê tông sử dụng đá mịn vượt từ 7,6-12,9% so với bê tông sử dụng cát sông. Như vậy khi thay thế cát sông (vật liệu đang khan hiếm ở một số khu vực) bằng đá mịn trong thành phần của bê tông cát thì cải thiện đáng kể cường độ chịu nén. Ngoài ra, lực bám dính với cốt thép của bê tông sử dụng đá mịn lớn hơn khoảng 8,2% so với bê tông sử dụng cát sông.

Từ các kết quả trên ta thấy độ sụt của bê tông dùng đá mịn giảm. Cường độ chịu nén, lực bám dính của bê tông đá mịn cao hơn bê tông dùng cát sông. Kết quả này tương đương với bê tông đá mịn ở một số địa phương khác được tham khảo trong các tài liệu [9] – [12]. Như vậy, đá mịn có thể dùng để thay thế một phần cát sông cho cấu kiện bê tông. Hiện nay, các mỏ khai thác đá đều thải ra một lượng khoảng 25%-40% là đá mịn, nếu tận dụng được nguồn đá mịn này thì sẽ mang lại hiệu quả về kinh tế và môi trường. Kết quả của nghiên cứu góp phần thúc đẩy việc sử dụng đá mịn trong xây dựng công trình ở địa phương.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] V. D. Nguyen, "Using crushed sand to make concrete and mortar for construction," (in Vietnamese), in *Collection of Reports of the National Science and Technology Conference Crushed sand replaces natural sand, Environmentally friendly material*, Construction Publishing House, Hanoi, 2018, pp. 116-129.
- [2] B. J. Wigum and S. W. Danielsen, "Production and Utilisation of Manufactured sand," *State-of-the-art report*, COIN project report 12, Norway, 2009.
- [3] S. Mundra, P. R. Sindhi, V. Chandwani, R. Nagar, and V. Agrawal, "Crushed rock sand – An economical and ecological alternative to natural sand to optimize concrete mix," *Perspectives in Science*, vol. 8, pp. 345–347, 2016.
- [4] A. K. Sahu and K. S. Sunil, "Quarry stone waste as fine aggregate for concrete," *Indian Concrete Journal*, vol. 3, no. 8, pp. 845–848, 2003.
- [5] R. Ilangothana, N. Mahendrana, and K. Nagamanib, "Strength and durability properties of concrete containing quarry rock dust as fine aggregate," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 3, no. 5, pp. 20–26, 2008.
- [6] B. Vijaya, "Microstructural study on the concrete containing manufactured sand," *Journal of Critical Reviews*, vol. 7, no. 4, pp. 1560–1564, 2020.
- [7] Vietnam Ministry of Science and Technology, TCVN 9205:2012, "Crushed sand for concrete and mortar," (in Vietnamese), Aug. 28, 2012.
- [8] Vietnam Ministry of Science and Technology, TCVN 9382:2012, "Guide for selecting proportions for concrete made with manufactured sand," (in Vietnamese), Dec. 28, 2012.
- [9] T. H. Pham, "Experimental use of crushed stone as fine aggregate in concrete production at 1828 Construction Materials Company," (in Vietnamese), Master's thesis in engineering, Ho Chi Minh City University of Technology, 2014.
- [10] D. D. Nguyen, "Mechanical properties of concrete using manufactured sand and natural fine sand in bridge construction," (in Vietnamese), *Transport and Communications Science Journal*, vol. 73, no. 02, pp. 100-110, 2022.
- [11] M. T. Duong, "Manufacturing and evaluating the feasibility of the solution of using crushed stone instead of sand in concrete production in An Giang," (in Vietnamese), Master's thesis in engineering, Ho Chi Minh City University of Technology and Education, 2018.
- [12] V. D. Le, "Experimental research to estimate the application of crushed limestone sand for concrete of axial loading r-c column," (in Vietnamese), *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*, vol. 15, pp. 93–103, 2021.
- [13] Vietnam Ministry of Science and Technology, TCVN 5574:2018, "Design of concrete and reinforced concrete structures, Design standards," (in Vietnamese), Dec. 10, 2018.
- [14] Vietnam Ministry of Science and Technology, TCVN 3108:1993, "Heavyweight concrete compounds - Method for determination of density," (in Vietnamese), 993.
- [15] Vietnam Ministry of Science and Technology, TCVN 3118:2022, "Hardened concrete – Test method for compressive strength," (in Vietnamese), Nov. 02, 2022.
- [16] RILEM 7-II-128, "RC6 Bond test for reinforcing steel. 1. Pull-Out Test," in *RILEM technical recommendations for the testing and use of construction materials*, London: E & FN Spon, 1994, pp. 102-105.
- [17] International Federation for Structural Concrete, *Fib. Fib Bulletin 72: Bond Models for Structural Concrete*, Lausanne, Switzerland, 2014, pp. 102–115.
- [18] American Concrete Institute, *ACI 440.1R15; Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars*. Farmington Hills, MI, USA, 2015.