

XÂY DỰNG

TẠP CHÍ ĐIỆN TỬ CỦA BỘ XÂY DỰNG
JOURNAL OF CONSTRUCTION

TẠP CHÍ XÂY DỰNG - eISSN 3030-4482

Nghiên cứu một số tính chất cơ học của lớp móng gia cố xi măng sử dụng cốt liệu tái chế từ mặt đường bê tông xi măng tuyến ĐT.310, tỉnh Phú Thọ

Basic mechanical properties of a cement-stabilized base using recycled concrete aggregate from a portland cement concrete pavement on DT.310 road, Phu Tho province, Vietnam

➤ TS Trần Ngọc Hưng¹, TS Trịnh Hoàng Sơn^{1,*}

TS Trần Trung Hiếu¹, THS Phùng Ngọc Tuấn²

¹Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

²Sở Xây dựng tỉnh Phú Thọ

*Email: sonth@utt.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Chuyên mục: Khoa học công nghệ

Ngày nhận bài: 13/02/2026

Ngày sửa bài: 26/02/2026

Ngày chấp nhận đăng: 09/3/2026

Ngày xuất bản Online: 29/4/2026

Tác giả liên hệ:

Email: sonth@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu trong phòng về một số tính chất cơ học của lớp móng đường gia cố xi măng sử dụng cốt liệu tái chế từ mặt đường bê tông xi măng (BTXM) (RCA) tại đoạn Km9+400 - Km10+700 tuyến ĐT.310, tỉnh Phú Thọ. Hỗn hợp RCA được xác định một số tính chất cơ học cơ bản theo TCVN 13694:2023. Kết quả cho thấy hỗn hợp RCA đạt được là ở mức 1 (loại B) phù hợp làm móng đường cho một số kết cấu quy định theo TCVN 4054. Ngoài ra, RCA còn được sử dụng để gia cố với các mức hàm lượng xi măng 3,5%, 4,5% và 5,5% theo khối lượng. Cường độ nén được thí nghiệm theo AASHTO T22 và cường độ ép chẻ gián tiếp theo TCVN 8862:2011. Kết quả cho thấy cả cường độ nén và ép chẻ tăng theo hàm lượng xi măng; mức 4,5 - 5,5% cho giá trị cao hơn và đáp ứng tốt hơn các yêu cầu theo TCVN 8858:2023. Nghiên cứu cung cấp cơ sở bước đầu để xem xét sử dụng RCA gia cố xi măng cho lớp móng trong kết cấu áo đường.

Từ khóa: Cốt liệu tái chế từ bê tông (RCA); móng đường gia cố xi măng; cường độ nén; cường độ ép chẻ.

ABSTRACT

This paper presents laboratory research results on selected mechanical properties of cement-stabilized road base layers using recycled concrete aggregate (RCA) obtained from a cement concrete pavement at the Km9+400 - Km10+700 section of the DT.310 route, Phu Tho Province, Vietnam. The RCA mixture was characterized in terms of several basic mechanical properties by TCVN 13694:2023. The results indicate that the produced RCA mixture meets Level 1 (Type B), making it suitable for road base applications in certain pavement structures specified in TCVN 4054. In addition, the RCA was stabilized with cement contents of 3.5%, 4.5% and 5.5% by mass. Compressive strength was tested in accordance with AASHTO T22 and indirect tensile (splitting) strength was tested in accordance with TCVN 8862:2011. The results show that both compressive and splitting strengths increase with cement content; mixtures with 4.5 - 5.5% cement achieve higher values and better satisfy the requirements of TCVN 8858:2023. This study provides an initial basis for considering the use of cement-stabilized RCA for base layers in pavement structures.

Keywords: Recycled concrete aggregate (RCA); cement-stabilized base; compressive strength; splitting tensile strength.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhu cầu xây dựng hạ tầng giao thông và đô thị làm gia tăng tiêu thụ cốt liệu tự nhiên, đồng thời phát sinh lượng phế thải xây dựng và phá dỡ rất lớn [4]. Ở quy mô toàn cầu, báo cáo UNEP-GlobalABC (2024/25) [8] ước tính CDW khoảng 2 tỷ tấn/năm, cho thấy áp lực đáng kể lên hệ thống quản lý chất thải và tài nguyên vật liệu. Tại Việt Nam, CDW cũng gia tăng cùng đô thị hóa và hoạt động cải tạo, phá dỡ, trong khi công tác phân loại và tái chế còn chưa đồng bộ.

Trong các hướng tái chế, cốt liệu tái chế từ bê tông (recycled concrete aggregate, RCA) có tiềm năng ứng dụng cho kết cấu áo đường do nguồn cung tương đối sẵn có và yêu cầu chất lượng của lớp móng thường linh hoạt hơn so với bê tông kết cấu. Tuy nhiên, các tổng quan quốc tế chỉ ra RCA khác đáng kể so với cốt liệu tự nhiên, điển hình là khối lượng riêng thấp hơn, độ rỗng và độ hút nước cao hơn và tính biến động lớn do lớp hồ vữa bám dính và nguồn gốc phá dỡ khác nhau [5-6]. Những đặc trưng này tác động trực tiếp đến thiết kế cấp phối, độ ẩm thi công, độ chặt và đáp ứng cơ học của vật liệu móng sử dụng RCA.

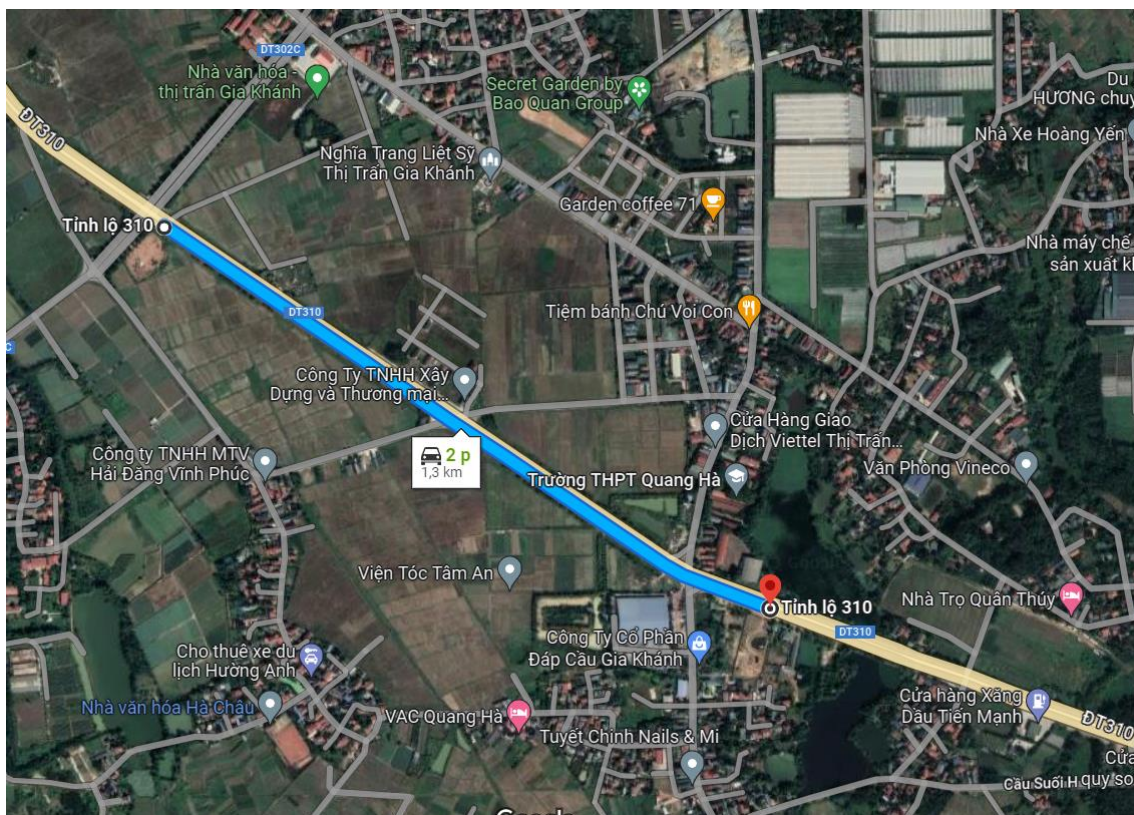
Đối với lớp móng gia cố xi măng, sự khác biệt giữa RCA và cốt liệu thông thường cho thấy không nên giả định “áp dụng tương tự” nếu không có hiệu chỉnh. Quan hệ giữa hàm lượng xi măng, điều kiện thi công và bảo dưỡng với cường độ nén không nở hông (UCS) và cường độ ép chẻ gián tiếp (ITS) có thể khác so với vật liệu dùng cốt liệu tự nhiên. Behiry (2013) ghi nhận UCS và ITS của vật liệu gia cố xi măng dùng cốt liệu tái chế tăng theo tuổi bảo dưỡng và hàm lượng xi măng, đồng thời nhấn mạnh nhu cầu thí nghiệm chuyên biệt khi dùng RCA cho lớp móng và lớp dưới móng [3]. Ở Việt Nam, các nghiên cứu về vật liệu tái chế cho lớp móng cũng gia tăng. Trần Thị Bích Thảo (2022) với hướng nghiên cứu bê tông đầm lăn dùng cốt liệu tái chế cho thấy xu thế ứng dụng là khả thi nhưng cần lượng hóa bằng thí nghiệm phù hợp điều kiện địa phương và các nghiên cứu trong nước về ổn định nền bằng hỗn hợp RCA-xi măng cũng cho thấy ảnh hưởng đáng kể của kích cỡ hạt RCA và hàm lượng xi măng đến chỉ tiêu đầm nén và cường độ [7].

Từ các cơ sở trên, nghiên cứu lớp móng gia cố xi măng sử dụng RCA cần được thực hiện theo hướng gắn với nguồn vật liệu và điều kiện thi công cụ thể để làm rõ khác

biệt so với vật liệu truyền thống và đề xuất thông số thiết kế phù hợp. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu một số tính chất cơ học của lớp móng đường gia cố xi măng sử dụng hỗn hợp cốt liệu tái chế từ mặt đường BTXM tại Km9+400 - Km10+700 tuyến ĐT.310 thuộc tỉnh Vĩnh Phúc cũ, nay là tỉnh Phú Thọ, nhằm tận dụng hiệu quả nguồn cốt liệu tái chế RCA và cung cấp cơ sở thực nghiệm cho lựa chọn hàm lượng xi măng cũng như quy trình chế bị mẫu phục vụ áp dụng trong kết cấu áo đường.

2. HIỆN TRẠNG CỦA ĐOẠN TUYẾN

Trong phạm vi bài báo, hỗn hợp RCA được nghiền từ phế thải xây dựng được cào bóc từ đoạn tuyến tại vị trí nút giao với ĐT.302 Km9+400 đến cuối tuyến vị trí nút giao với ĐT.302B Km10+700; L=1.300 m. Đoạn tuyến này đã bị hư hỏng nghiêm trọng và buộc phải cào bóc. Đoạn tuyến này sử dụng kết cấu áo đường BTXM, tải trọng trục 12T gồm các lớp: Mặt đường BTXM M300 dày 25 cm, lớp móng CPĐD loại I dày 20 cm.



Hình 1. Đoạn tuyến đoạn 1 Km9+400 - Km10+700



Hình 2. Hiện trạng mặt đường BTXM trên đoạn tuyến

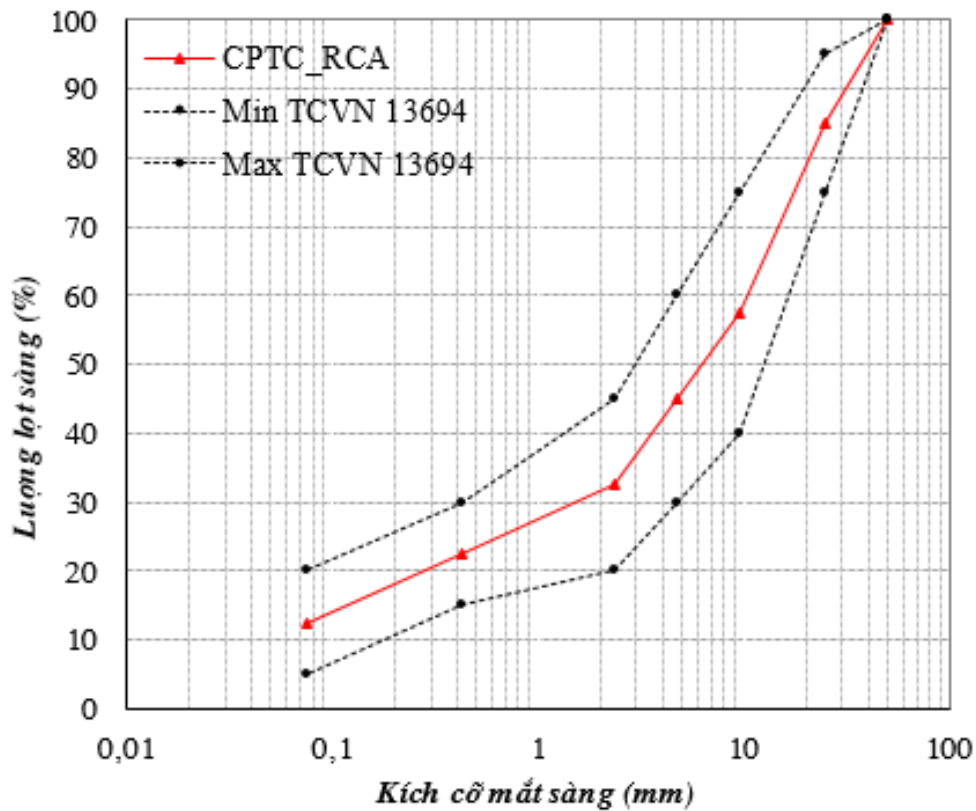
3. VẬT LIỆU CHẾ TẠO

3.1. Hỗn hợp cốt liệu tái chế từ mặt đường BTXM

Hỗn hợp RCA sau khi nghiền được lấy mẫu đưa về phòng thí nghiệm. Mẫu kiểm tra được lấy ở bãi chứa tại kho sản phẩm của nhà máy tái chế hoặc chân công trình, cứ 1.000 m³ vật liệu phải lấy ít nhất một mẫu hoặc khi có sự thay đổi về chất lượng vật liệu. Khối lượng lấy mẫu cấp phối tái chế để kiểm tra chất lượng vật liệu được quy định theo Tiêu chuẩn TCVN 13694:2023 [1]. San gạt lớp bề mặt, dùng xẻng để lấy mẫu ở độ sâu tối thiểu 0,20 m so với bề mặt ban đầu. Tiến hành đồng thời lấy mẫu tại 4 vị trí khác nhau trên một đồng cấp phối tái chế, sau đó trộn lại thành một mẻ có khối lượng yêu cầu đem đóng vào thùng hoặc túi để bảo quản, đưa về phòng thí nghiệm.

Bảng 1. Thành phần hạt của cấp phối tái chế

Loại cấp phối	Lượng lọt qua sàng (mắt sàng vuông), % khối lượng						
	50,0 mm	25,0 mm	9,5 mm	4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°10)	0,425 mm (N°40)	0,075 mm (N°200)
A	100	-	30-65	25-55	15-40	8-20	2-8
B	100	75-95	40-75	30-60	20-45	15-30	5-20
C	-	100	50-85	35-65	25-50	15-30	5-15
D	-	100	60-100	50-85	40-70	25-45	5-20



Hình 3. Kết quả của thành phần hạt của hỗn hợp cấp phối tái chế sau khi phối trộn

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm các tính chất cơ lý đối với cấp phối tái chế

Tên chỉ tiêu	Kết quả thí nghiệm (giá trị trung bình)	Mức		
		Mức 1	Mức 2	Mức 3
1. Giới hạn chảy W_L , % ⁽¹⁾	18,42	≤ 25	≤ 35	
2. Chỉ số dẻo, I_p , % ⁽¹⁾	2,67	≤ 6		≤ 12
3. CBR, % ⁽²⁾	86,75	≥ 80	≥ 30	
4. Độ hao mòn Los Angeles, LA, %	28	≤ 35		≤ 50
5. Tỷ lệ lọt qua sàng N°200/N°40	0,5	≤ 0,67		
6. Hàm lượng tạp chất, %	1,8	≤ 3		

(1) Xác định giới hạn chảy theo phương pháp Casagrande. Sử dụng phần hạt nhỏ lọt qua sàng lưới mắt vuông kích cỡ 0,425 mm để thử nghiệm giới hạn chảy, giới hạn dẻo.
 (2) CBR được xác định với độ chặt đầm nén (K) bằng 98% ở độ ẩm tối ưu theo TCVN 12790, ngâm mẫu 96 h theo tiêu chuẩn TCVN 12792.

Việc lựa chọn loại cấp phối tái chế phải căn cứ vào chiều dày thiết kế của lớp móng và phải được chỉ rõ trong hồ sơ thiết kế kết cấu áo đường và chỉ dẫn kỹ thuật của công trình. Thành phần của 4 loại cấp phối trong Bảng 1 được lựa chọn để đạt được các tính chất cơ lý quy định phù hợp với mục đích sử dụng.

Bảng 3. Phạm vi sử dụng của các loại cấp phối tái chế

	Loại kết cấu		
	Móng trên mặt đường loại A2	Móng dưới mặt đường loại A1	Móng dưới mặt đường loại A2 và móng mặt đường loại B1, B2
Mức chỉ tiêu kỹ thuật	Mức 1	Mức 1 và 2	Mức 1,2 và 3
Loại cấp phối	Loại I (Cấp phối A,B,C)	Loại I, II (Cấp phối A,B,C)	Loại I, II (Cấp phối A,B,C,D)

Dựa trên kết quả các chỉ tiêu kỹ thuật của cấp phối tái chế trong Bảng 2, phạm vi sử dụng của cấp phối tái chế được quy định trong Bảng 3. Mức chỉ tiêu kỹ thuật của hỗn hợp RCA đạt được là ở mức 1 (loại B) và hoàn toàn có thể áp dụng cho lớp móng trên mặt đường loại A2; hoặc móng dưới mặt đường loại A1; hoặc móng dưới mặt đường loại A2 và móng mặt đường loại B1, B2 về loại kết cấu áo đường và loại tầng mặt được quy định theo TCVN 4054.

3.2. Xi măng và nước

Xi măng sử dụng trong móng cấp phối (RCA) gia cố xi măng là xi măng poóc-lăng hỗn hợp (PCB30) đáp ứng yêu cầu quy định tại TCVN 6260. Lượng xi măng (tính theo khối lượng hỗn hợp cốt liệu khô) thường được lựa chọn trong khoảng từ 2,5% đến 6% đối với cốt liệu RCA. Trong nghiên cứu này lựa chọn 3 tỉ lệ xi măng (3,5%, 4,5%, 5,5%).

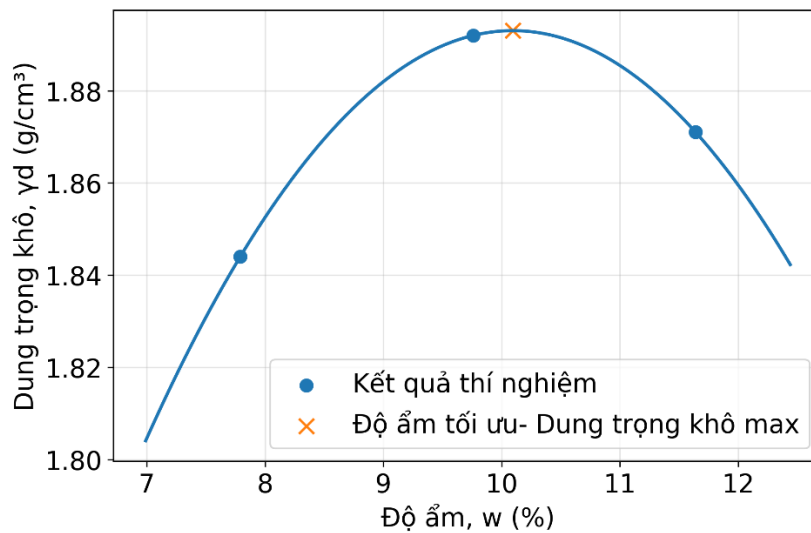
Nước dùng để trộn móng cấp phối gia cố xi măng như yêu cầu về nước dùng cho bê tông và vữa quy định tại TCVN 4506:2012.

4. THIẾT KẾ HỖN HỢP CẤP PHỐI GIA CỐ XI MĂNG

Trước khi tiến hành thiết kế cấp phối RCA gia cố xi măng, cần tiến hành thí nghiệm xác định độ ẩm tốt nhất và khối lượng thể tích khô lớn nhất của hỗn hợp RCA. Hỗn hợp được thí nghiệm theo phương pháp II-D trong TCVN 12790:2020 sau khi đã hiệu chỉnh về cấp phối không loại bỏ hạt quá cỡ.

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm đầm nén tối ưu của hỗn hợp RCA

Xác định độ ẩm				
Ký hiệu khay	Đơn vị	1	2	3
Khối lượng khay	g	744,00	742,80	743,80
Khối lượng khay + mẫu ướt	g	1.526,20	1.548,90	1.469,80
Khối lượng khay + mẫu khô	g	1.469,70	1.477,20	1.394,10
Độ ẩm	%	7,79	9,76	11,64
Dung trọng khô	g/cm ³	1,844	1,892	1,871
<u>Ghi chú:</u>				
Tỷ lệ hạt quá cỡ D > 19 mm			25,2	%
Tỷ trọng khối của hạt quá cỡ			2,767	g/cm ³
Độ ẩm của hạt quá cỡ			0,47	%



Hình 4. Biểu đồ quan hệ giữa dung trọng khô và độ ẩm tối ưu

Biểu đồ cho thấy dải độ ẩm từ khoảng 6% đến 12% với sự biến thiên dung trọng khô từ khoảng 1,8 g/cm³ đến 1,9 g/cm³. Dung trọng khô lớn nhất đạt được ở khoảng 1,895 g/cm³. Độ ẩm tối ưu là 10,1%.

5. THÍ NGHIỆM TRONG PHÒNG XÁC ĐỊNH CƯỜNG ĐỘ NÉN VÀ ÉP CHÈ CỦA HỖ HỢP RCA GIA CÔNG XI MĂNG

5.1. Thí nghiệm cường độ chịu nén

Mẫu nén hình trụ có đường kính 152 mm, chiều cao 117 mm. Mẫu được chế bị sau khi trộn cấp phối với xi măng rồi ủ mẫu 2h ở độ ẩm tốt nhất với khối lượng thể tích khô lớn nhất. Mẫu được bảo dưỡng ẩm 7 ngày và 7 ngày ngâm nước, sau đó được đem đi thí nghiệm ở các tuổi ngày 7 và 14. Thí nghiệm nén theo AASHTO-T22 với tốc độ gia tải khi nén là (6±1) KPa/s. Cường độ chịu nén tương ứng với một tỷ lệ xi măng là trị số trung bình của tối thiểu 3 mẫu thí nghiệm.



Hình 5. Trộn mẫu RCA gia công xi măng



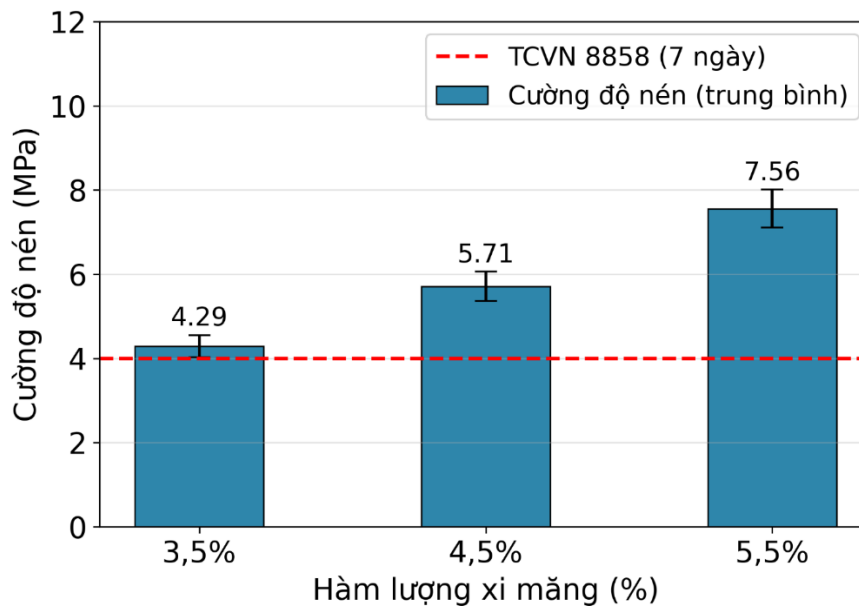
Hình 6. Mẫu RCA gia cố xi măng sau khi trộn và tiến hành ủ mẫu



Hình 7. Chế bị mẫu RCA gia cố xi măng để xác định cường độ nén và ép chế

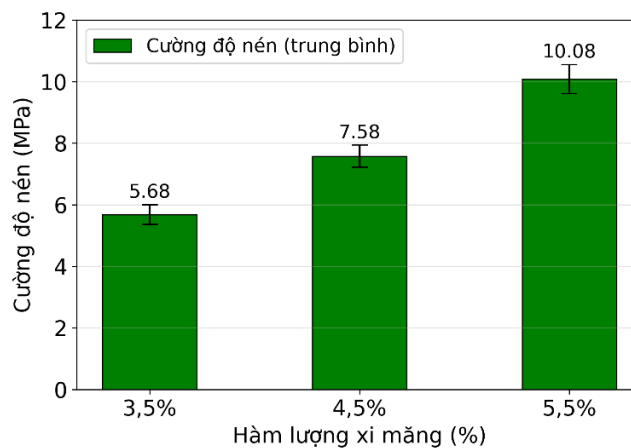


Hình 8. Thí nghiệm xác định cường độ nén của hỗn hợp RCA gia cố xi măng



Hình 9. Kết quả cường độ nén ở 7 ngày tuổi

Kết quả trên Hình 9 cho thấy cường độ nén của hỗn hợp RCA gia cố xi măng ở 7 ngày tuổi trung bình tăng từ 4,29 MPa → 5,71 MPa → 7,56 MPa khi xi măng tăng từ 3,5% → 4,5% → 5,5%. Xu hướng này phản ánh vai trò chi phối của xi măng trong việc hình thành hệ liên kết và tăng độ đặc chắc của cấu trúc sau thủy hóa, làm tăng khả năng chịu nén của vật liệu móng gia cố ngay ở giai đoạn tuổi sớm. Đối chiếu với yêu cầu nén 7 ngày (theo AASHTO T22) đối với cấp phối đá dăm loại I gia cố xi măng là $\geq 4,0$ MPa và loại II (hoặc cấp phối thiên nhiên) là $\geq 2,0$ MPa. Với giá trị cường độ nén trung bình ở 7 ngày tuổi đo được, cả 3 mức hàm lượng xi măng 3,50%, 4,50% và 5,50% đều vượt ngưỡng 4,0 MPa, do đó đạt yêu cầu theo TCVN 8858:2023 [2].



Hình 10. Kết quả cường độ nén ở 14 ngày tuổi

Kết quả trên Hình 10 cho thấy cường độ nén của hỗn hợp RCA gia cố xi măng ở 14 ngày tuổi vẫn thể hiện sự gia tăng rõ rệt khi tăng hàm lượng xi măng từ 3,5% lên 5,5%. Cụ thể, cường độ nén tăng từ 5,68 MPa (3,5%) lên 7,58 MPa (4,5%), tương ứng tăng khoảng 33% và đạt 10,08 MPa ở 5,5% (tăng thêm khoảng 33% so với 4,5%). Đồng thời, đối chiếu với TCVN 8858:2023 (Bảng 5 - Yêu cầu cường độ cho móng cấp phối gia cố xi măng), trong đó cường độ nén ở 14 ngày yêu cầu tối thiểu lần lượt là $\geq 4,0$ MPa đối với lớp móng trên dưới kết cấu mặt đường bê tông nhựa hoặc BTXM $\geq 3,0$ MPa cho lớp móng trên trong các trường hợp khác và $\geq 1,5$ MPa cho lớp móng dưới, thì tất cả các

cấp phối trong nghiên cứu đều thỏa mãn và vượt ngưỡng 4,0 MPa, tức đáp ứng được mức yêu cầu khắt khe nhất về cường độ nén ở 14 ngày.

Bảng 5. Yêu cầu đối với cường độ của móng cấp phối gia cố xi măng

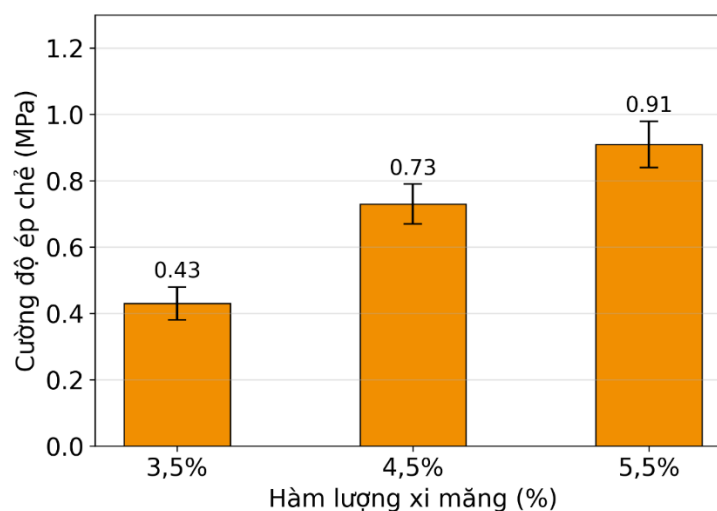
Vị trí lớp móng cấp phối gia cố xi măng	Cường độ chịu nén (14 ngày), MPa	Cường độ chịu kéo khi ép chẻ (14 ngày), MPa
Lớp móng trên của kết cấu mặt đường có tầng mặt BTN và BTXM của đường cao tốc, đường cấp I, cấp II hoặc lớp mặt có lán nhựa.	≥ 4,0	≥ 0,45
Lớp móng trên trong các trường hợp khác	≥ 3,0	≥ 0,35
Lớp móng dưới trong mọi trường hợp	≥ 1,5	Không quy định

5.2. Thí nghiệm ép chẻ

Mẫu ép chẻ cũng được chế tạo sau khi trộn cấp phối với xi măng được 2h với độ ẩm và chặt giống như mẫu nén và bảo dưỡng như mẫu nén, sau đó được thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo khi ép chẻ quy định tại TCVN 8862:2011. Cường độ chịu kéo khi ép chẻ tương ứng với một tỷ lệ xi măng là trị số trung bình của tối thiểu 3 mẫu thí nghiệm.



Hình 11. Thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ của hỗn hợp RCA gia cố xi măng



Hình 12. Cường độ ép chẻ ở 14 ngày tuổi

Kết quả cho thấy cường độ ép chẻ tăng mạnh theo hàm lượng xi măng, cho thấy tăng xi măng không chỉ cải thiện chịu nén mà còn cải thiện khả năng chịu kéo gián tiếp của hỗn hợp. Cường độ ép chẻ tăng từ 0,43 MPa (3,5%) lên 0,73 MPa (4,5%), tương ứng tăng khoảng 70% và đạt 0,91 MPa ở 5,5% (tăng thêm khoảng 25% so với 4,5%). Mức tăng tương đối lớn ở giai đoạn 3,5% → 4,5% hàm ý rằng khi lượng chất kết dính vượt qua một ngưỡng nhất định, liên kết giữa các hạt RCA được cải thiện đáng kể, góp phần nâng cao khả năng chống nứt khi chịu kéo gián tiếp, vốn là chỉ tiêu quan trọng đối với lớp móng gia cố xi măng. Đối chiếu Bảng 5, theo yêu cầu của TCVN 8858:2023, cường độ ép chẻ (14 ngày) tối thiểu là $\geq 0,45$ MPa đối với lớp móng trên dưới kết cấu mặt đường có tầng mặt BTN/BTXM của đường cao tốc, đường cấp I, cấp II hoặc lớp móng láng nhựa và $\geq 0,35$ MPa đối với lớp móng trên trong các trường hợp khác (lớp móng dưới không quy định). Theo đó, cấp phối 3,5% xi măng (0,43 MPa) chưa đạt ngưỡng 0,45 MPa cho trường hợp yêu cầu cao nhất, nhưng đạt ngưỡng 0,35 MPa cho các trường hợp còn lại. Ngược lại, các cấp phối 4,5% (0,73 MPa) và 5,5% (0,91 MPa) đều vượt rõ rệt cả hai mức yêu cầu 0,45 MPa và 0,35 MPa, qua đó đáp ứng tốt tiêu chí cường độ ép chẻ ở 14 ngày theo TCVN 8858:2023.

Bảng 6. Tổng hợp kết quả thí nghiệm cường độ nén và cường độ ép chẻ của hỗn hợp RCA ứng với từng hàm lượng xi măng

STT	Chỉ tiêu	Lượng xi măng gia cố cấp phối (RCA) tính theo % khối lượng		
		3,50%	4,50%	5,50%
1	Cường độ nén (MPa)	5,68	7,58	10,08
2	Cường độ ép chẻ (MPa)	0,43	0,73	0,91
3	Tỉ số Cường độ ép chẻ/Cường độ nén	7,57	9,63	9,03

Bảng 6 tổng hợp kết quả cho thấy rõ ràng sự tăng hàm lượng xi măng từ 3,50%, 4,50% đến 5,50% đã cải thiện đáng kể cả cường độ nén và cường độ ép chẻ của hỗn hợp RCA. Tuy nhiên, mức độ nhạy của cường độ ép chẻ đối với xi măng thể hiện rõ hơn ở giai đoạn tăng từ mức thấp lên mức trung bình, trong khi cường độ nén tăng ổn định và gần tuyến tính hơn theo mức tăng hàm lượng xi măng. Điều này chứng minh rằng xi măng hoạt động như một chất kết dính hiệu quả, tạo ra liên kết bền vững hơn giữa các hạt RCA, giúp hỗn hợp chịu được tải trọng tốt hơn. Khi hàm lượng xi măng tăng, lượng sản phẩm từ phản ứng thủy hóa như C-S-H (Calcium Silicate Hydrate) và $Ca(OH)_2$ cũng tăng. Các sản phẩm này giúp lấp đầy lỗ rỗng, tăng mật độ của cấu trúc hỗn hợp và cải thiện khả năng chịu lực. Cường độ nén tăng với tốc độ cao hơn cường độ ép chẻ vì các phản ứng thủy hóa xi măng chủ yếu tăng khả năng chịu lực nén, trong khi khả năng chịu kéo gián tiếp bị hạn chế do khả năng kháng nứt của đá xi măng. Xét theo quan hệ tương đối, tỉ số cường độ ép chẻ và cường độ nén tăng khi hàm lượng xi măng tăng (xấp xỉ từ 0,076 lên khoảng 0,090). Điều này hàm ý rằng sự gia tăng xi măng giúp cải thiện khả năng chịu kéo gián tiếp tương đối tốt hơn so với chịu nén, dù trị số ép chẻ vẫn nhỏ hơn đáng kể so với nén. Về mặt kỹ thuật lớp móng gia cố xi măng, đây là điểm quan trọng vì chỉ tiêu ép chẻ thường liên quan trực tiếp hơn đến xu hướng nứt do co ngót và nứt do ứng suất kéo gián tiếp, trong khi chỉ tiêu nén phản ánh mức độ “đặc chắc” và khả năng chịu tải theo phương nén.

6. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Trên cơ sở đối chiếu với TCVN 13694:2023 và TCVN 8858:2023 các kết quả thí nghiệm cho thấy hỗn hợp RCA và RCA gia cố xi măng trong phạm vi nghiên cứu có khả năng đáp ứng các chỉ tiêu cơ học yêu cầu cho một số cấu hình lớp móng, qua đó có thể xem xét áp dụng theo phân loại kết cấu áo đường trong TCVN 4054, tùy theo cấp đường và loại tầng mặt.

Kết quả cho thấy, khi tăng hàm lượng xi măng từ 3,50% đến 5,50%, cả cường độ nén và cường độ ép chẻ đều tăng theo xu hướng rõ rệt, phù hợp với cơ chế thủy hóa xi măng tạo liên kết và tăng độ đặc chắc của cấu trúc vật liệu.

Trong phạm vi số liệu hiện có, mức xi măng từ 4,50% trở lên cho thấy chỉ tiêu cơ học đạt tương đối cao. Tuy nhiên, đây mới là đề xuất bước đầu, chưa đủ cơ sở để kết luận "tối ưu". Các nghiên cứu tiếp theo nên bổ sung đánh giá độ phân tán, co ngót và nứt, độ bền ẩm và/hoặc thử nghiệm hiện trường để xác nhận khả năng làm việc dài hạn và lựa chọn hàm lượng xi măng hợp lý về kỹ thuật và kinh tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 13694:2023 Cấp phối tái chế từ chất thải rắn xây dựng làm lớp móng đường giao thông đô thị - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử, 2023.

[2] Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 8858:2023 Móng cấp phối đá dăm và cấp phối thiên nhiên gia cố xi măng trong kết cấu áo đường ô tô - Thi công và nghiệm thu, 2023.

[3] Behiry, A. E. A. E. M. Utilization of cement treated recycled concrete aggregates as base or subbase layer in Egypt. *HBRC Journal*, 9(1), 82-93, 2013.

[4] Lockrey, S., Nguyen, H., Crossin, E., & Verghese, K. Recycling the construction and demolition waste in Vietnam: Opportunities and challenges in practice. *Journal of Cleaner Production*, 133, 757-766, 2016.

[5] McNeil, K., & Kang, T. H.-K. Recycled concrete aggregates: A review. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 7, 61-69, 2013.

[6] Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*, 65, 201-217, 2014.

[7] Trần Thị Bích Thảo, Nguyễn Tiến Dũng. Nghiên cứu một số đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu lớn tái chế từ bê tông phế thải. *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, số 73.9, 2022.

[8] UNEP-GlobalABC. Global status report for buildings and construction 2024/25, 2025.