

ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG HẠT CAO SU TÁI CHẾ THAY THẾ CÁT LÊN MỘT SỐ TÍNH CHẤT CƠ LÝ CỦA BÊ TÔNG

Trịnh Thị Hiền¹, Nguyễn Thị Mùi¹, Mai Thị Ngọc Hằng¹

TÓM TẮT

Sự gia tăng nhanh chóng của lớp xe phế thải đang gây ra áp lực lớn lên môi trường, thúc đẩy việc tìm kiếm các giải pháp tái chế bền vững trong xây dựng. Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của hạt cao su tái chế từ lớp xe phế thải khi thay thế một phần cát tự nhiên đến các tính chất cơ lý của bê tông. Các hỗn hợp bê tông được chế tạo với tỷ lệ thay thế cát theo thể tích từ 0% đến 35%, trong khi tỷ lệ nước trên chất kết dính được giữ không đổi ở mức 0,32. Kết quả cho thấy khối lượng thể tích giảm và độ hút nước tăng khi hàm lượng cao su tăng. Ngược lại, độ truyền nhiệt giảm đáng kể, thể hiện tiềm năng cải thiện khả năng cách nhiệt. Mặc dù cường độ chịu nén suy giảm, các mẫu bê tông vẫn đạt trên 35 MPa ở tỷ lệ thay thế 35%, cho thấy khả năng ứng dụng trong xây dựng bền vững.

Từ khóa: Bê tông cao su, hạt cao su tái chế, lớp xe phế thải, tính chất cơ lý, độ truyền nhiệt, cường độ chịu nén.

DOI: <https://doi.org/10.70117/hdujs.84.2.2026.1162>

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự gia tăng nhanh chóng của chất thải rắn sinh hoạt đô thị đang trở thành một trong những thách thức môi trường lớn nhất trên phạm vi toàn cầu. Theo báo cáo của Ngân hàng Thế giới, tổng lượng chất thải rắn đô thị hiện đã vượt quá 2 tỷ tấn mỗi năm và được dự báo sẽ tiếp tục tăng, đạt khoảng 3,4 tỷ tấn/năm vào năm 2030 [1]. Xu hướng này đòi hỏi các giải pháp quản lý chất thải hiệu quả hơn, trong đó việc giảm thiểu phát sinh, thúc đẩy tái sử dụng và tái chế được xem là những định hướng then chốt nhằm bảo tồn tài nguyên thiên nhiên, giảm tác động môi trường và hạn chế nhu cầu mở rộng các bãi chôn lấp. Trong số các loại chất thải rắn, chất thải cao su - đặc biệt là lớp xe đã qua sử dụng - đang nổi lên như một vấn đề đáng quan tâm do khối lượng phát sinh lớn, độ bền cao và khả năng phân hủy sinh học rất thấp. Ước tính cho thấy mỗi năm trên thế giới có khoảng 1 tỷ lốp xe bị loại bỏ [2][3], và con số này có thể tăng lên khoảng 1,2 tỷ chiếc vào năm 2030, trong khi tổng lượng lốp xe thải tồn lưu trong môi trường có khả năng đạt tới 5 tỷ chiếc [4]. Tại nhiều khu vực, đặc biệt là các quốc gia đang phát triển, phần lớn lốp xe đã qua sử dụng vẫn được xử lý chủ yếu bằng hình thức chôn lấp hoặc lưu trữ không kiểm soát, gây ra nhiều rủi ro đối với môi trường và sức khỏe cộng đồng [1].

Ở các quốc gia phát triển, mặc dù tỷ lệ thu hồi và tái chế lốp xe thải đã được cải thiện, chi phí quản lý và xử lý vẫn ở mức rất cao. Chẳng hạn, tại châu Âu, hàng năm có khoảng 290 triệu lốp xe bị loại bỏ, nhưng chỉ một phần nhỏ trong số đó được tái chế, với tổng chi phí quản lý lên tới hàng trăm triệu Euro mỗi năm [5]. Tại khu vực châu Á và các quốc gia đang phát triển, sự tăng trưởng nhanh của ngành giao thông vận tải đã làm gia tăng đáng kể

¹Khoa Kỹ thuật, Công nghệ và Truyền thông, Trường Đại học Hồng Đức; Email: trinththien@hdu.edu.vn

lượng lốp xe thải phát sinh, khiến bài toán xử lý và tái chế loại chất thải này ngày càng trở nên cấp bách [6-8]. Tại Việt Nam, cùng với quá trình đô thị hóa và gia tăng số lượng phương tiện cơ giới, khối lượng lốp xe thải phát sinh hàng năm ước tính lên tới hàng trăm nghìn tấn, đặt ra nhiều thách thức trong công tác quản lý chất thải theo định hướng phát triển bền vững.

Trước thực trạng đó, tái chế lốp xe phế thải đã trở thành một hướng nghiên cứu thu hút sự quan tâm rộng rãi. Nhiều giải pháp tái chế đã được đề xuất, bao gồm các phương pháp nhiệt như nhiệt phân nhằm thu hồi năng lượng [3], cũng như các phương pháp tái sử dụng vật liệu. Trong lĩnh vực xây dựng, việc sử dụng cao su tái chế trong nhựa đường và vật liệu nền xi măng được đánh giá là một trong những giải pháp có tiềm năng ứng dụng cao do khả năng tiêu thụ khối lượng lớn chất thải [4][5]. Đối với bê tông xi măng, nhiều nghiên cứu đã đề xuất sử dụng hạt cao su tái chế làm cốt liệu để thay thế một phần cát hoặc đá tự nhiên [9–11]. Các kết quả nghiên cứu cho thấy việc bổ sung hạt cao su vào bê tông thường dẫn đến sự suy giảm nhất định về cường độ nén và mô đun đàn hồi; tuy nhiên lại cải thiện đáng kể độ dẻo dai, khả năng hấp thụ năng lượng và các đặc tính liên quan đến khả năng chịu biến dạng. Bên cạnh các chỉ tiêu cơ học truyền thống, một số nghiên cứu cũng đã chỉ ra rằng bê tông cao su có khả năng chịu tải trọng động, va đập và tải trọng nổ tốt hơn so với bê tông thông thường, nhờ đặc tính đàn hồi của cao su tái chế [12-14].

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu đề cập đến bê tông sử dụng hạt cao su tái chế, các kết quả hiện có vẫn còn phân tán và chịu ảnh hưởng mạnh bởi sự khác biệt về nguồn gốc vật liệu, kích thước hạt, phương pháp chế tạo và điều kiện thí nghiệm. Đặc biệt, tại Việt Nam, các nghiên cứu về bê tông cao su vẫn còn hạn chế, chưa có nhiều nghiên cứu đánh giá một cách hệ thống sự thay đổi đồng thời của các tính chất cơ lý theo các mức thay thế cát khác nhau. Xuất phát từ những khoảng trống nghiên cứu nêu trên, bài báo này tập trung nghiên cứu các tính chất cơ lý của bê tông sử dụng hạt cao su phế thải thay thế một phần cát tự nhiên với các tỷ lệ khác nhau (0%, 5%, 15%, 25% và 35% theo thể tích). Thông qua việc phân tích sự thay đổi các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của bê tông cao su, nghiên cứu nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc đánh giá tiềm năng ứng dụng loại vật liệu này trong các kết cấu xây dựng.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu

Các vật liệu sử dụng để chế tạo hỗn hợp bê tông bao gồm chất kết dính, cốt liệu, nước trộn và phụ gia hóa học. Thành phần kết dính bao gồm xi măng và các phụ gia khoáng như silica fume và xỉ lò cao nghiền mịn. Hệ cốt liệu bao gồm cát tự nhiên, đá dăm và hạt cao su tái chế thu hồi từ lốp xe đã qua sử dụng, trong khi nước trộn là nước máy thông dụng và phụ gia hóa học là phụ gia siêu dẻo. Xi măng sử dụng trong nghiên cứu là xi măng PCB40 Bim Sơn. Phụ gia khoáng bao gồm xỉ lò cao nghiền mịn Hòa Phát S95 và silica fume PRO-MIC, được cung cấp bởi Công ty Cổ phần IPRO. Phụ gia hóa học sử dụng là phụ gia siêu dẻo thuộc nhóm Naphtalen formaldehyt sulfonat, có khối lượng riêng khoảng 1150 kg/m³. Hạt cao su tái chế được cung cấp bởi Công ty Trách nhiệm hữu hạn Tái chế Cao su Long Long, với khối lượng riêng xác định là 1100 kg/m³.

Cốt liệu được lựa chọn và phân loại dựa trên kích thước hạt nhằm đảm bảo tính đồng nhất của hỗn hợp. Trong đó, cát có kích thước hạt nằm trong khoảng 0,15 - 1,25 mm, đá dăm có kích thước từ 5 - 12,5 mm, còn hạt cao su tái chế có kích thước từ 0 - 1 mm. Việc

lựa chọn dải kích thước hạt cát tương đương với hạt cao su nhằm đảm bảo sự tương thích khi hạt cao su được sử dụng để thay thế một phần cốt liệu mịn trong bê tông. Khối lượng riêng của các vật liệu chính được xác định lần lượt là: cát 2650 kg/m³, đá dăm 2680 kg/m³, xi măng 3150 kg/m³, xỉ lò cao nghiền mịn 2820 kg/m³ và silica fume 2200 kg/m³. Các thông số này được sử dụng làm cơ sở cho việc thiết kế cấp phối và phân tích đặc tính của hỗn hợp bê tông trong nghiên cứu.

2.2. Thiết kế thành phần cấp phối

Thành phần cấp phối của các hỗn hợp bê tông được trình bày chi tiết trong Bảng 1. Tất cả các mẫu bê tông được ký hiệu là RB (rubber), tỷ lệ nước trên chất kết dính (N/CKD) được giữ cố định ở mức 0,32 nhằm đảm bảo tính nhất quán trong quá trình so sánh. Mẫu bê tông đối chứng được thiết kế trước cho 01 m³, ký hiệu RB00, không sử dụng hạt cao su và có hàm lượng nước trộn được xác định là 190 kg/m³. Tỷ lệ N/CKD và hàm lượng nước được lựa chọn dựa trên TCVN 10306 : 2014 về thiết kế thành phần bê tông cường độ cao có độ sụt trong khoảng 7,5 - 10 cm và cường độ chịu nén kỳ vọng đạt khoảng 60 MPa, để khi thay thế đến 35% thể tích cát bởi hạt cao su, cường độ dự đoán có thể giảm xuống còn 30 MPa. Hệ chất kết dính được cấu thành từ xi măng, xỉ lò cao nghiền mịn và silica fume với tỷ lệ khối lượng lần lượt là 55%, 30% và 15% so với tổng lượng chất kết dính. Việc sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn nhằm tận dụng nguồn phế thải công nghiệp, qua đó góp phần giảm thiểu tác động đến môi trường và nâng cao tính bền vững của vật liệu. Silica fume được bổ sung với mục đích cải thiện cường độ của bê tông, đảm bảo hỗn hợp bê tông cao su đạt được cường độ chịu nén yêu cầu tối thiểu tương ứng với cấp độ bền B25. Phụ gia siêu dẻo được sử dụng với hàm lượng khoảng 0,5% khối lượng chất kết dính nhằm cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông tươi và tăng độ bền cho các mẫu bê tông đóng rắn. Thể tích cát và đá được lựa chọn dựa theo TCVN 10306 : 2014.

Trên cơ sở cấp phối của mẫu đối chứng RB00, cát được thay thế dần bằng hạt cao su tái chế với các tỷ lệ thể tích lần lượt là 5%, 15%, 25% và 35%, tương ứng với các mẫu RB05, RB15, RB25 và RB35. Khi thay thế cát bởi các hạt cao su tái chế, độ linh động của bê tông tươi giảm. Do vậy, để đảm bảo tất cả các hỗn hợp bê tông tươi có độ sụt trong khoảng từ 7,5 đến 10 cm, hàm lượng phụ gia siêu dẻo được điều chỉnh tăng dần theo hàm lượng cao su tái chế. Mẫu RB05 có hàm lượng phụ gia siêu dẻo khoảng 0,62% và tăng lên 1,8% đối với mẫu RB35.

Bảng 1. Thành phần cấp phối các hỗn hợp bê tông (kg)

Tên mẫu	XM	SF	XLC	Cát	Cao su	Đá	Nước	SP
RB00	356	59,9	178	571	0			3,00
RB05				543	12			3,68
RB15				485	36	975	190	5,64
RB25				428	59			7,72
RB35				371	83			10,07

(Ghi chú: XM= xi măng, SF= silica fume, XLC= xỉ lò cao nghiền mịn, SP= phụ gia siêu dẻo)

2.3. Chuẩn bị mẫu và phương pháp thí nghiệm

Chuẩn bị vật liệu cho 01 mẻ trộn dựa theo Bảng 1. Quy trình trộn mẫu được thực hiện theo chỉ dẫn kỹ thuật số 1536/QĐ-BXD của Bộ Xây dựng về hướng dẫn sử dụng silica fume

trong bê tông. Quy trình cụ thể như sau: Cho 75% nước và cốt liệu lớn vào trộn trước, khi thùng trộn đang quay, cho thêm silica fume vào trộn trong khoảng 1,5 phút. Tiếp theo cho xi măng và xi lò cao nghiền mịn vào trộn trong khoảng 1,5 phút. Cho cốt liệu nhỏ (cát và hạt cao su) và 25% lượng nước còn lại vào trộn trong khoảng 5 phút. Cho máy nghỉ 3 phút sau đó tiếp tục trộn thêm 5 phút hoặc cho đến khi được hỗn hợp đồng nhất. Hỗn hợp bê tông sau khi trộn được tiến hành xác định độ sụt sau đó đổ vào khuôn thép có kích thước $100 \times 100 \times 100$ mm. Sau thời gian 24 giờ kể từ khi đúc, các mẫu được tháo khuôn và đem bảo dưỡng trong bể nước cho đến thời điểm tiến hành thí nghiệm. Hình 1 thể hiện các mẫu bê tông sau khi tháo khuôn kèm theo ký hiệu nhận dạng. Các chỉ tiêu cơ lý của bê tông được xác định, bao gồm khối lượng thể tích của bê tông tươi và bê tông khô, cường độ chịu nén, độ hút nước và độ truyền nhiệt. Khối lượng thể tích bê tông tươi được xác định ngay sau khi đo độ sụt, khối lượng thể tích bê tông khô được thực hiện theo TCVN 3115 :2022. Cường độ chịu nén và độ hút nước của bê tông được thực hiện lần lượt theo TCVN 3118 :2022 và TCVN 3113 :2022, trong khi hệ số truyền nhiệt được xác định trực tiếp bằng thiết bị ISOMET-2014. Khối lượng thể tích bê tông khô, độ hút nước và độ truyền nhiệt được thực hiện ở 28 ngày tuổi, trong khi cường độ chịu nén được xác định ở 3, 7, 14, và 28 ngày tuổi. Kết quả ghi trong bài báo là giá trị trung bình của ít nhất 3 lần thử.



Hình 1. Mẫu bê tông sau khi tháo khuôn

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Khối lượng thể tích bê tông tươi và bê tông khô

Hình 2 trình bày khối lượng thể tích của bê tông tươi và bê tông khô ứng với các tỷ lệ thay thế cát bằng hạt cao su phế thải khác nhau. Có thể nhận thấy rằng, khi hàm lượng cao su tăng từ 0% đến 35%, khối lượng thể tích của cả bê tông tươi và bê tông khô đều có xu hướng giảm rõ rệt. Đối với bê tông tươi, mẫu đối chứng RB00 (không sử dụng cao su) có khối lượng thể tích đạt $2,33 \text{ T/m}^3$. Khi thay thế 5% cát bằng cao su (mẫu RB05), giá trị này giảm nhẹ xuống $2,32 \text{ T/m}^3$. Xu hướng giảm trở nên rõ ràng hơn ở các mẫu có hàm lượng cao su cao hơn, với các giá trị lần lượt là $2,28 \text{ T/m}^3$, $2,24 \text{ T/m}^3$ và $2,19 \text{ T/m}^3$ tương ứng với các mẫu RB15, RB25 và RB35. Như vậy, khối lượng thể tích bê tông tươi giảm khoảng 6,0% khi tỷ lệ cao su tăng từ 0% lên 35%.

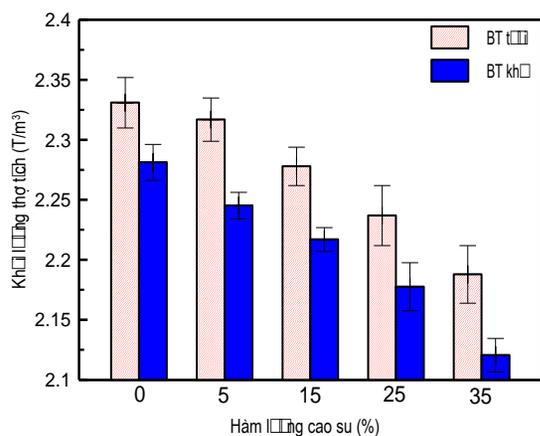
Xu hướng tương tự được ghi nhận đối với khối lượng thể tích bê tông khô. Mẫu RB00 đạt giá trị $2,28 \text{ T/m}^3$, trong khi các mẫu RB05, RB15, RB25 và RB35 lần lượt đạt $2,25 \text{ T/m}^3$, $2,22 \text{ T/m}^3$, $2,18 \text{ T/m}^3$ và $2,12 \text{ T/m}^3$. So với mẫu đối chứng, khối lượng thể tích khô của bê tông giảm khoảng 7,0% ở mẫu RB35, cho thấy ảnh hưởng đáng kể của việc sử dụng hạt cao su tái chế đến cấu trúc khối lượng của bê tông sau khi bảo dưỡng. Sự suy giảm khối lượng thể tích của bê tông khi tăng hàm lượng cao su chủ yếu xuất phát từ khối lượng riêng thấp hơn đáng kể của hạt cao su (1100 kg/m^3) so với cát tự nhiên (2650 kg/m^3). Ngoài ra, sự khác biệt về tính chất bề mặt và độ đàn hồi của cao su có thể làm suy giảm mức độ đặc chắc của cấu trúc bê tông, đồng thời làm gia tăng hàm lượng lỗ rỗng trong khối vật liệu. Điều này dẫn đến khối lượng thể tích của bê tông cao su thấp hơn so với bê tông thường, đặc biệt ở trạng thái khô, kết quả này hoàn toàn phù hợp với kết quả từ nghiên cứu trước [15].

Sự chênh lệch giữa khối lượng thể tích bê tông tươi và bê tông khô ở tất cả các cấp phối phản ánh quá trình mất nước trong giai đoạn bảo dưỡng. Tuy nhiên, xu hướng giảm tương tự ở cả hai trạng thái cho thấy việc thay thế một phần cát bằng hạt cao su không làm thay đổi cơ chế mất nước của bê tông mà chủ yếu tác động đến cấu trúc vật liệu thông qua sự thay đổi thành phần cốt liệu. Nhìn chung, việc sử dụng hạt cao su phế thải giúp làm giảm khối lượng thể tích của bê tông, tạo ra loại bê tông có khối lượng nhẹ hơn. Kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng của bê tông cao su trong các kết cấu yêu cầu giảm tải trọng bản thân, đồng thời góp phần tái sử dụng hiệu quả chất thải lốp xe, hướng tới phát triển vật liệu xây dựng bền vững.

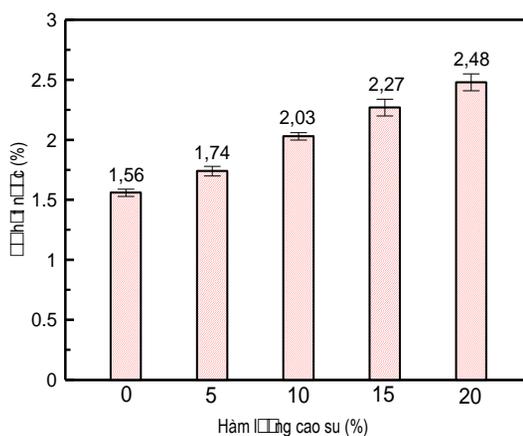
3.2. Độ hút nước

Hình 3 trình bày kết quả thí nghiệm độ hút nước của các mẫu bê tông ứng với các tỷ lệ thay thế cát tự nhiên bằng hạt cao su phế thải khác nhau. Kết quả cho thấy độ hút nước của bê tông tăng dần khi hàm lượng cao su trong hỗn hợp tăng lên. Cụ thể, mẫu đối chứng RB00 có độ hút nước thấp nhất, đạt 1,56%. Khi thay thế 5% thể tích cát bằng hạt cao su (mẫu RB05), độ hút nước tăng lên 1,74%, tương ứng mức tăng khoảng 11,5% so với mẫu đối chứng. Xu hướng này tiếp tục rõ rệt hơn ở các cấp phối có hàm lượng cao su cao hơn. Các mẫu RB15, RB25 và RB35 lần lượt có độ hút nước đạt 2,03%, 2,27% và 2,48%. So với mẫu đối chứng, độ hút nước của mẫu bê tông cao su RB35 tăng khoảng 59%. Điều này cho thấy việc sử dụng hạt cao su tái chế thay thế một phần cốt liệu mịn có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng hút nước của bê tông. Tuy nhiên, độ hút nước của các mẫu bê tông trong nghiên cứu này tương đối thấp so với các nghiên cứu trước về độ hút nước của bê tông thường [16], điều này là do việc sử dụng các phụ gia khoáng xỉ lò cao nghiền mịn và silica fume cũng như việc sử dụng tỷ lệ N/CKD thấp [17][18]. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây, trong đó ghi nhận rằng việc thay thế cốt liệu mịn bằng hạt cao su tái chế làm gia tăng độ hút nước của bê tông, chủ yếu do sự gia tăng độ rỗng và chất lượng vùng chuyển tiếp liên pha kém hơn so với bê tông truyền thống [10].

Sự gia tăng độ hút nước của bê tông cao su chủ yếu do khối lượng riêng thấp và khả năng bám dính kém giữa hạt cao su và hồ xi măng, làm cho vùng chuyển tiếp liên pha kém đặc chắc và tăng hàm lượng lỗ rỗng hở. Bên cạnh đó, tính đàn hồi của cao su cản trở sự sắp xếp chặt chẽ của cốt liệu, dẫn đến giảm khối lượng thể tích và thay đổi cấu trúc vi mô của bê tông. Mặc dù độ hút nước tăng, các giá trị vẫn ở mức chấp nhận được cho một số ứng dụng không yêu cầu cao về chống thấm, cho thấy tiềm năng sử dụng bê tông cao su trong các kết cấu phụ trợ và các công trình hướng tới phát triển vật liệu xây dựng bền vững.



Hình 2. Khối lượng thể tích



Hình 3. Độ hút nước

3.3. Độ truyền nhiệt

Kết quả thí nghiệm độ truyền nhiệt của các mẫu bê tông sử dụng hạt cao su thay thế một phần cát tự nhiên được trình bày trên Hình 4. Có thể nhận thấy rằng độ truyền nhiệt của bê tông giảm rõ rệt khi hàm lượng cao su tái chế trong hỗn hợp tăng lên. Mẫu đối chứng RB00 không chứa cao su có hệ số truyền nhiệt cao nhất, đạt $1,9787 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Khi thay thế 5% thể tích cát bằng cao su, giá trị này giảm nhẹ xuống $1,9540 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Xu hướng giảm trở nên rõ ràng hơn ở các hàm lượng cao su lớn hơn, với các giá trị lần lượt là $1,9069 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (RB15), $1,7260 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (RB25) và thấp nhất là $1,5561 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ đối với mẫu RB35. So với mẫu đối chứng, độ truyền nhiệt của bê tông giảm khoảng 3,6%, 11,8% và 21,4% tương ứng với các tỷ lệ thay thế cát bằng cao su là 15%, 25% và 35%. Xu hướng suy giảm độ truyền nhiệt theo hàm lượng cao su ghi nhận trong nghiên cứu này phù hợp với các kết quả đã được công bố [15][19]. Các nghiên cứu này đều chỉ ra rằng sự thay thế cốt liệu truyền thống bằng hạt cao su tái chế làm giảm hệ số dẫn nhiệt của bê tông nhờ đặc tính cách nhiệt của cao su và sự gia tăng độ rỗng của vật liệu. Kết quả này cho thấy việc sử dụng hạt cao su phế thải có hiệu quả rõ rệt trong việc cải thiện khả năng cách nhiệt của bê tông.

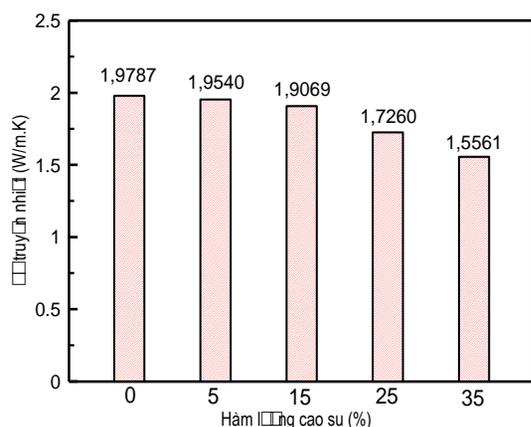
Sự suy giảm độ truyền nhiệt của bê tông cao su chủ yếu do hai nguyên nhân. Trước hết, hạt cao su có hệ số dẫn nhiệt thấp hơn nhiều so với cát tự nhiên, khiến khả năng truyền nhiệt của bê tông giảm khi cao su được đưa vào hỗn hợp. Bên cạnh đó, việc thay thế cát bằng cao su làm tăng độ rỗng và hàm lượng lỗ rỗng hở, thể hiện qua sự gia tăng độ hút nước và sự giảm khối lượng thể tích khô của bê tông. Các lỗ rỗng chứa không khí hoạt động như các pha cách nhiệt, cản trở quá trình truyền nhiệt trong vật liệu. Kết quả cho thấy bê tông sử dụng hạt cao su tái chế không chỉ góp phần tái sử dụng chất thải và bảo tồn tài nguyên, mà còn có tiềm năng ứng dụng trong các bộ phận công trình yêu cầu khả năng cách nhiệt, như tường bao và các lớp bảo vệ chịu tác động nhiệt.

3.4. Cường độ chịu nén

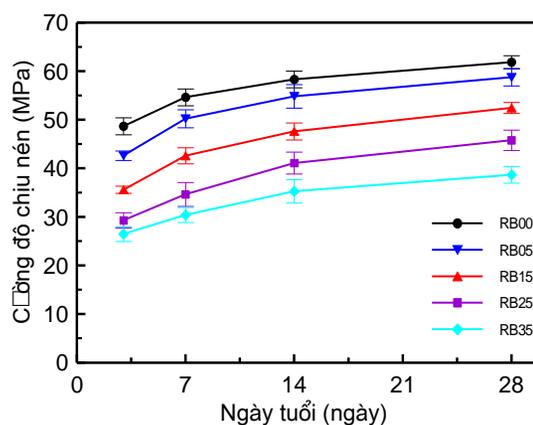
Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén của các mẫu bê tông cao su tại các độ tuổi 3, 7, 14 và 28 ngày được thể hiện trên Hình 5. Nhìn chung, cường độ chịu nén của tất cả các mẫu đều tăng dần theo thời gian bảo dưỡng, phản ánh quá trình thủy hóa và phát triển cấu trúc của

bê tông. Tuy nhiên, tại cùng một độ tuổi, cường độ chịu nén có xu hướng giảm khi hàm lượng hạt cao su thay thế cát tăng lên. Ở tuổi 3 ngày, mẫu đối chứng RB00 đạt cường độ chịu nén 48,7 MPa, trong khi các mẫu chứa cao su cho thấy sự suy giảm rõ rệt, với giá trị lần lượt là 42,6 MPa (RB05), 35,6 MPa (RB15), 29,3 MPa (RB25) và 26,5 MPa (RB35). Xu hướng này tiếp tục được duy trì ở các độ tuổi muộn hơn. Tại 28 ngày, cường độ chịu nén của mẫu RB00 đạt 61,9 MPa, giảm xuống 58,8 MPa, 52,5 MPa, 45,8 MPa và 38,7 MPa tương ứng với các mẫu RB05, RB15, RB25 và RB35. So với mẫu đối chứng ở tuổi 28 ngày, mức suy giảm cường độ chịu nén ước tính khoảng 5,0%, 15,2%, 26,0% và 37,5% khi thay thế cát bằng cao su với các tỷ lệ 5%, 15%, 25% và 35%. Mặc dù cường độ giảm khi hàm lượng cao su tăng, các mẫu bê tông cao su với tỷ lệ thay thế đến 35% vẫn đạt cường độ nén trên 35 MPa, cho thấy khả năng đáp ứng yêu cầu chịu lực của một số kết cấu xây dựng nhất định.

Sự suy giảm cường độ chịu nén của bê tông cao su có thể được lý giải bởi một số nguyên nhân chính. Trước hết, hạt cao su có mô đun đàn hồi và cường độ thấp hơn đáng kể so với cát tự nhiên, dẫn đến sự giảm khả năng chịu tải của bộ khung cốt liệu trong bê tông. Bên cạnh đó, sự không tương thích về tính chất bề mặt giữa cao su và hồ xi măng làm suy yếu vùng chuyển tiếp liên pha, từ đó làm giảm hiệu quả truyền ứng suất trong cấu trúc bê tông. Ngoài ra, sự gia tăng độ rỗng và lỗ rỗng hở khi hàm lượng cao su tăng, đã được phản ánh thông qua sự suy giảm khối lượng thể tích và sự gia tăng độ hút nước, cũng góp phần làm giảm cường độ chịu nén của bê tông. Xu hướng suy giảm cường độ chịu nén của bê tông khi gia tăng hàm lượng hạt cao su thay thế cốt liệu mịn trong nghiên cứu này phù hợp với kết quả đã được công bố bởi Gupta và cộng sự [12], trong đó ghi nhận sự hiện diện của hạt cao su tái chế làm suy yếu vùng chuyển tiếp liên pha và làm giảm hiệu quả truyền ứng suất trong bê tông.



Hình 4. Độ truyền nhiệt



Hình 5. Cường độ chịu nén

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã phân tích ảnh hưởng của việc sử dụng hạt cao su tái chế từ lốp xe phế thải để thay thế một phần cát tự nhiên đến các tính chất cơ lý của bê tông. Trên cơ sở các kết quả thực nghiệm, có thể rút ra một số kết luận chính sau:

Việc thay thế cát bằng hạt cao su làm giảm khối lượng thể tích của bê tông ở cả trạng thái tươi và trạng thái khô. Mức độ suy giảm tăng theo hàm lượng cao su, phản ánh khối lượng riêng thấp của cao su và sự gia tăng độ rỗng trong cấu trúc bê tông.

Độ hút nước của bê tông tăng khi tỷ lệ cao su thay thế tăng, cho thấy sự gia tăng lỗ rỗng hở và mức độ đặc chắc thấp hơn của vật liệu, phù hợp với xu hướng giảm khối lượng thể tích quan sát được.

Độ truyền nhiệt giảm rõ rệt theo hàm lượng cao su do hệ số dẫn nhiệt thấp của cao su và sự tồn tại của các lỗ rỗng chứa không khí, cho thấy tiềm năng ứng dụng bê tông cao su cho các kết cấu yêu cầu khả năng cách nhiệt.

Cường độ chịu nén giảm so với mẫu đối chứng và mức suy giảm tăng theo hàm lượng cao su, chủ yếu do mô đun đàn hồi thấp của hạt cao su, sự suy yếu của vùng chuyển tiếp liên pha và độ rỗng tăng. Tuy nhiên, các mẫu có tỷ lệ thay thế đến 35% vẫn đạt cường độ trên 35 MPa.

Bê tông sử dụng hạt cao su tái chế là vật liệu thân thiện môi trường, giúp giảm khối lượng bản thân và cải thiện tính cách nhiệt, đồng thời có tiềm năng tiếp tục được nghiên cứu cho các ứng dụng chịu tải trọng động và tải trọng nổ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. Kaza, L.C. Yao, P. Bhada-Tata, F. Van Woerden (2018), *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*, World Bank Publications.
- [2] X. Colom, F. Carrillo, J. Cañavate (2007), *Composites reinforced with reused tyres: Surface oxidant treatment to improve the interfacial compatibility*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 38, 44-50.
- [3] J.D. Martínez, N. Puy, R. Murillo, T. García, M.V. Navarro, A.M. Mastral (2013), *Waste tyre pyrolysis - A review*, Renewable Sustainable Energy Review, 23, 179-213.
- [4] F. Pacheco-Torgal, Y. Ding, S. Jalali (2012), *Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): An overview*, Construction and Building Materials, 30, 714-724.
- [5] D. Lo Presti (2013), *Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures: A literature review*, Construction and Building Materials, 49, 863-881.
- [6] P. Sukontasukkul, C. Chaikaew (2006), *Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber*, Construction and Building Materials, 20, 450-457.
- [7] S.F. Wong, S.K. Ting, (2009), *Use of recycled rubber tires in normal and high-strength concretes*, ACI Materials Journal, 106(4) 325-332.
- [8] W.H. Yung, L.C. Yung, L.H. Hua (2013), *A study of the durability properties of waste tire rubber applied to self-compacting concrete*, Construction and Building Materials, 41, 665-672.
- [9] I. Mohammadi, H. Khabbaz, K. Vessalas (2014), *In-depth assessment of crumb rubber concrete (CRC) prepared by water-soaking treatment method for rigid pavements*, Construction and Building Materials, 71, 456-471.
- [10] A.M. Rashad (2016), *A comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementitious materials*, International Journal of Sustainable Built Environment, 5, 46-82.

- [11] A. Siddika, M.A. Al Mamun, R. Alyousef, Y.H.M. Amran, F. Aslani, H. Alabduljabbar (2019), *Properties and utilizations of waste tire rubber in concrete: A review*, Construction and Building Materials, 224, 711-731.
- [12] T. Gupta, R.K. Sharma, S. Chaudhary (2015), *Impact resistance of concrete containing waste rubber fiber and silica fume*, International Journal of Impact Engineering, 83, 76-87.
- [13] F. Yang, W. Feng, F. Liu, L. Jing, B. Yuan, D. Chen (2019), *Experimental and numerical study of rubber concrete slabs with steel reinforcement under close-in blast loading*, Construction and Building Materials, 198, 423-436.
- [14] M.M. Rahman, M. Usman, A.A. Al-Ghalib (2012), *Fundamental properties of rubber modified self-compacting concrete (RMSCC)*, Construction and Building Materials, 36, 630-637.
- [15] A. Fadiel, F. Al Rifaie, T. Abu-Lebdeh, E. Fini (2014), *Use of crumb rubber to improve thermal efficiency of cement-based materials*, American Journal of Engineering and Applied Sciences, 7, 1-11.
- [16] S.P. Zhang, L. Zong (2014), *Evaluation of relationship between water absorption and durability of concrete materials*, Advances in Materials Science and Engineering, 2014, 650373.
- [17] S.-H. Ngo, N.-T. Nguyen, X.-H. Nguyen (2022), *Assessing the effect of GGBFS content on mechanical and durability properties of high-strength mortars*, Civil Engineering Journal, 8(5) 938-950.
- [18] S.-H. Ngo, N.T. Nguyen, T.-H. Mai (2024), *Incorporation of high loss-on-ignition fly ash in producing high-strength flowable mortar*, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 68(1) 221-231.
- [19] P. Sukontasukkul (2009), *Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel*, Construction and Building Materials, 23, 1084-1092.

EFFECTS OF RECYCLED RUBBER PARTICLE CONTENT AS PARTIAL SAND REPLACEMENT ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE

Trinh Thi Hien, Nguyen Thi Mui, Mai Thi Ngoc Hang

ABSTRACT

The rapid increase in waste tires has imposed significant environmental pressures, highlighting the need for sustainable recycling solutions in the construction sector. This study investigates the effects of using recycled rubber particles from waste tires as a partial replacement for natural fine aggregates on the physico-mechanical properties of concrete. Rubberized concrete mixtures were prepared with volumetric sand replacement ratios

ranging from 0% to 35%, while the water-to-binder ratio was maintained at 0.32. The results indicate that increasing rubber content leads to a reduction in concrete density and an increase in water absorption, reflecting higher porosity. In contrast, thermal conductivity decreases significantly due to the low thermal conductivity of rubber particles, indicating improved insulation performance. Although compressive strength decreased with increasing rubber content, the concrete mixtures still achieved compressive strengths above 35 MPa at a 35% replacement level, demonstrating the potential applicability of recycled rubber concrete in sustainable construction.

Keywords: Rubberized concrete, recycled rubber particles, waste tire rubber, mechanical properties, thermal conductivity, compressive strength.

* Ngày nộp bài: 11/02/2026; Ngày gửi phản biện: 22/02/2026; Ngày duyệt đăng: 28/02/2026

* Bài báo là kết quả nghiên cứu từ đề tài NCKH cấp sở (mã số ĐT-2024-17) của Trường Đại học Hồng Đức. Tác giả chân thành cảm ơn các đồng nghiệp trong Bộ môn Kỹ thuật công trình, các học viên cao học và sinh viên ngành Kỹ thuật xây dựng đã hỗ trợ trong suốt quá trình thực hiện thí nghiệm.