BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI

NGUYỄN THỊ HƯƠNG GIANG

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG BÊ TÔNG XI MĂNG ĐẦM LĂN SỬ DỤNG CỐT LIỆU CÀO BÓC TỪ BÊ TÔNG NHỰA TRONG KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG Ô TÔ Ở VIỆT NAM

Ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình giao thông
Mã số: 9.58.02.05
Chuyên ngành: Xây dựng đường ô tô và đường thành phố

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Hà Nội - 2022

Công trình được hoàn thành tại:

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI

Người hướng dẫn khoa học:

1. GS.TS. Bùi Xuân Cậy

2. TS. Nguyễn Francois

Phản biện 1: GS.TSKH. Nguyễn Xuân Trục

Phản biện 2: GS.TS. Phạm Cao Thăng

Phản biện 3: TS. Nguyễn Văn Thành

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án tiến sĩ họp tại Trường Đại học Giao thông vận tải vào hồi giờ ngày tháng năm 2022

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam

- Trung tâm Thông tin – Thư viện, Đại học GTVT

MỞ ĐẦU

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự phát triển của kinh tế xã hội, sự gia tăng nhanh các phương tiện giao thông, đặc biệt là các xe tải nặng làm cho chất lượng mặt đường giảm sút, gây ra những hư hỏng cho kết cấu mặt đường, đặc biệt là mặt đường bê tông nhựa. Các mặt đường bê tông nhựa hư hỏng được cào bóc trở thành vật liệu phế thải không phân huỷ. Vì vậy, để hạn chế ô nhiễm môi trường, tận dụng vật liệu phế thải, nhiều nước trên thế giới đã áp dụng công nghệ tái sử dụng mặt đường bê tông nhựa. Các công nghệ này cho phép mặt đường được sửa chữa và gia cố bằng vật liệu bê tông nhựa cũ, giảm chi phí vận chuyển, giảm thời gian thi công so với biện pháp thông thường, tác động tốt đến môi trường, hạn chế lượng khí thải từ các trạm trộn trong quá trình xây mới những con đường. Gần đây, một số nước như Mỹ, Pháp, Bỉ, Đức,...đã áp dụng công nghệ tái chế nguội sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ thay thế một phần cốt liệu tự nhiên để chế tạo bê tông đầm lăn làm lớp móng, lớp mặt đường cấp thấp, vỉa hè, bãi đỗ xe, đường nội bộ,... rất hiệu quả,

Ở Việt Nam, trong khoảng vài năm trở lại đây, Bộ Giao thông vận tải bắt đầu quan tâm đến các công nghệ tái chế mặt đường, điển hình là các công nghệ: công nghệ tái sinh nguội tại chỗ bằng bitum bọt và xi măng; công nghệ tái sinh nguội tại chỗ bằng nhũ tương nhựa đường cải tiến; công nghệ tái chế nóng, công nghệ tái chế ấm,… nhằm đảm bảo các yêu cầu về kinh tế, môi trường và xã hội. Tuy nhiên, việc áp dụng các công nghệ tái chế mặt đường bê tông nhựa cũ chưa rộng rãi nên không thể tái chế hết lượng bê tông nhựa cũ ngày càng lớn. Ngoài ra, công nghệ tái chế nguội mặt đường tại trạm trộn sử dụng một phần cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ vào chế tạo bê tông đầm lăn chưa được áp dụng trong xây dựng đường ô tô. Do đó, luận án được nghiên cứu với tên đề tài: "Nghiên cứu ứng dụng bê tông xi măng đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa trong kết cấu áo đường ô tô ở Việt Nam" là cần thiết.

II. MỤC ĐÍCH NGHIÊN CỨU

Cơ sở cho việc sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ thay thế cốt liệu tự nhiên để chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn nhằm tận dụng vật liệu phế thải sẵn có, giảm chi phí xây dựng, tiết kiệm vật liệu tự nhiên đang cạn kiệt và giảm ô nhiễm môi trường. Đồng thời, ứng dụng công nghệ bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ làm lớp móng, mặt đường cấp thấp, vỉa hè,… trong xây dựng đường ô tô ở Việt Nam.

III. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU

- Đối tượng của nghiên cứu của luận án: Nghiên cứu công nghệ bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ ứng dụng làm lớp móng, lớp mặt đường giao thông cấp thấp, bãi đỗ xe,... với các điều kiện phù hợp Việt Nam.

- Phạm vi nghiên cứu của luận án: Lựa chọn vật liệu, hàm lượng cốt liệu tái chế, hàm lượng chất kết dính để thiết kế thành phần hỗn hợp, xác định một số chỉ tiêu kỹ thuật cơ bản của bê tông đầm lăn trong phòng thí nghiệm, ứng dụng kết quả thí nghiệm trong phòng để xây dựng đoạn đường thử nghiệm. Trên cơ sở đó, đề xuất một số phương án kết cấu điển hình dùng trong xây dựng đường ô tô ở Việt Nam.

IV. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp kết hợp giữa lý thuyết, thí nghiệm trong phòng và thực nghiệm ngoài hiện trường.

V. Ý NGHĨA KHOA HỌC VÀ THỰC TIỄN

- Ý nghĩa khoa học: Kết quả nghiên cứu của luận án là tài liệu tham khảo có ích về phương pháp thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế, cơ sở lựa chọn hàm lượng cốt liệu tái chế và hàm lượng chất kết dính dùng trong chế tạo hỗn hợp bê tông. Đề xuất một số kết cấu mặt đường ô tô điển hình sử dụng lớp bê tông đầm lăn dùng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ.

- Ý nghĩa thực tiễn: Kết quả nghiên cứu góp phần vào việc đưa thêm một công nghệ tái chế nguội tại trạm trộn là công nghệ bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ, tiết kiệm vật liệu tự nhiên, giảm giá thành xây dựng, bảo vệ môi trường, tận dụng được vật liệu phế thải xây dựng.

VI. CẤU TRÚC CỦA LUẬN ÁN

Luận án gồm phần mở đầu, 4 chương chính, phần kết luận, kiến nghị và hướng nghiên cứu tiếp theo, tài liệu tham khảo và phụ lục.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ BÊ TÔNG ĐẦM LĂN VÀ CỐT LIỆU CÀO BÓC TỪ BÊ TÔNG NHỰA CŨ

Mục đích của chương nhằm nghiên cứu về công nghệ bê tông xi măng đầm lăn dùng trong xây dựng đường ô tô. Đồng thời, nghiên cứu cốt liệu tái cào bóc từ bê tông nhựa cũ như các thông số kỹ thuật, quy trình sản xuất, các công nghệ tái chế bê tông nhựa cũ trong xây dựng đường. Từ đó, đánh giá hiệu quả của việc sử dụng một phần cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ để chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn trong xây dựng đường ô tô. Đưa ra định hướng nghiên cứu của công nghệ bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trong xây dựng đường ô tô ở Việt Nam.

1.1. Tổng quan về bê tông đầm lăn

Bê tông đầm lăn (BTĐL) là loại bê tông không có độ sụt, được làm chặt bằng thiết bị rung lèn từ mặt ngoài (lu rung). Công nghệ này thích hợp sử dụng cho các công trình bê tông khối lớn, không cốt thép và hình dáng không phức tạp như lõi đập, mặt đường. Việc sử dụng hỗn hợp bê tông khô hơn (không có độ sụt) và đầm lèn bê tông bằng lu rung giúp cho thi công nhanh hơn, rẻ hơn so với dùng công nghệ thi công bê tông truyền thống.

1.1.1. Tình hình nghiên cứu và ứng dụng bê tông đầm lăn trên thế giới và ở Việt Nam

1.1.1.1. Trên thế giới

Năm 1942, mặt đường BTXM đầm lăn đầu tiên ở Bắc Mỹ được thiết kế bởi Hiệp hội các kỹ sư quân đội Hoa Kỳ. Từ đó đến nay, mặt đường bê tông đầm lăn đã được sử dụng ở nhiều nước trên thế giới như Mỹ, Canada, Nhật Bản, Pháp,...Như vậy, công nghệ bê tông đầm lăn áp dụng cho thi công đường giao thông so với công nghệ thi công bê tông xi măng có các ưu điểm như: phương pháp thi công không phức tạp, lượng dùng xi măng thấp, có thể sử dụng một số sản phẩm phụ hoặc phế thải công nghiệp giúp hạ giá thành vật liệu so với bê tông xi măng thường, tốc độ thi công nhanh.

1.1.1.2. Ở Việt Nam

Vào khoảng cuối năm 1995, lần đầu tiên bê tông đầm lăn được nghiên cứu vào một công trình thuỷ lợi ở Việt Nam. Năm 2001, công nghệ thi công mặt đường bằng bê tông đầm lăn cũng đã được nghiên cứu

thử nghiệm ở Việt Nam với khoảng 2.000 m^2 tại thị xã Bắc Ninh (chiều dầy tấm là 20 cm; mác 350/45). Năm 2013, một nhóm tác giả nghiên cứu đã ứng dụng công nghệ bê tông đầm lăn cho thi công đường giao thông nông thôn ở tỉnh Tây Ninh. Kết quả thu được từ việc ứng dụng công nghệ này đã đem đến những kết quả rất khả quan. Năm 2015, đoạn đường 300m ở Cẩm Xuyên, Hà Tĩnh được xây dựng bằng công nghệ BTĐL.

1.1.2. Đặc điểm của bê tông đầm lăn

1.1.2.1. Thành phần vật liệu chế tạo bê tông đầm lăn

- Xi măng: sử dụng xi măng Pooclang thông thường hay xi măng Pooclang hỗn hợp.
- Cốt liệu: gồm cốt liệu lớn (đá dăm) và cốt liệu nhỏ (cát)
- Nước: nước sạch theo TCVN 4506: 2012.
- Phụ gia: thường sử dụng các loại phụ gia: phụ gia dẻo hoá-giảm nước, giảm nước và kéo dài thời gian đông kết.

1.1.2.2. Các thông số kỹ thuật của bê tông đầm lăn

- Cường độ: là đặc tính quan trọng nhất và thường được đánh giá bằng hai chỉ tiêu: cường độ chịu kéo khi uốn và cường độ nén.
- Mô đun đàn hồi: đặc trưng cho khả năng biến dạng của bê tông dưới tác dụng của tải trọng. Mô đun đàn hồi phụ thuộc vào cường độ cốt liệu thô.
- Độ co ngót: Sau khi thi công và hoàn thiện mặt, mặt đường bê tông đầm lăn thường bị nứt trong những ngày đầu do co ngót, do quá trình chuyển trạng thái ẩm - khô liên tục khi bảo dưỡng và do bị hạn chế bởi ma sát giữa đáy tấm với móng đường.
- Tính thấm: phụ thuộc vào độ rỗng khi lu lèn, độ rỗng của cốt liệu vì vậy tính thấm được kiểm soát bằng tỷ lệ phối trộn hỗn hợp cốt liệu, phương pháp thi công và độ chặt lu lèn.
- Độ mài mòn: phụ thuộc vào 2 yếu tố: cường độ chịu nén của bê tông càng cao thì khả năng chịu mài mòn càng tốt và cường độ của cốt liệu lớn.

1.1.2.3. Công nghệ thi công bê tông đầm lăn

- Năm 2015, Bộ GTVT đã ban hành Quyết định số 4452/QĐ-BGTVT "Quy định tạm thời về kỹ thuật thi công và nghiệm thu mặt đường BTĐL trong xây dựng công trình giao thông".
- Năm 2019, Bộ Xây dựng ban hành chỉ dẫn kỹ thuật "Mặt đường bê tông đầm lăn có sử dụng tro bay".

1.2. Tổng quan về cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

1.2.1. Tình hình nghiên cứu và sử dụng cốt liệu cào bóc từ BTN cũ trên thế giới và tại Việt Nam

1.2.1.1. Trên thế giới

Từ những năm 1915, việc sử dụng mặt đường nhựa tái chế (Reclaimed Asphalt Pavement) đã được đề cập. Theo thống kê của Hiệp hội nhựa đường châu Âu, có khoảng 80 – 90% mặt đường BTN tái chế trên tổng sản lượng mặt đường nhựa toàn quốc tại các nước Đức, Mỹ, Pháp, Bỉ, Hà Lan, Luxembourg; 50 – 60% tại Trung Quốc, Slovenia, Thụy Điển, Thụy Sỹ và Đan Mạch. Hiện nay đã có nhiều công nghệ trạm trộn tại châu Âu, Nhật Bản… cho phép tái chế với hàm lượng cốt liệu tái chế lên đến 100%.

Như vậy, theo các công trình nghiên cứu và ứng dụng trên thế giới, việc sử dụng một tỉ lệ cốt liệu tái chế nhất định sẽ làm thay đổi một số đặc tính kỹ thuật của hỗn hợp bê tông. Hỗn hợp bê tông tái chế có khả năng chống thấm tốt, tăng độ cứng và tăng khả năng chống nứt cho hỗn hợp. Khi phân tích chi phí xây dựng của mặt đường sử dụng cốt liệu tái chế thấy rằng có thể tiết kiệm được 58.000 đô la/km nếu hỗn hợp sử dụng từ 30% - 50% cốt liệu tái chế, tức là giảm được 30% giá thành xây dựng do tiết kiệm được một phần nhựa đường, giảm chi phí vận chuyển, giảm một phần chi phí mua mới cốt liệu tự nhiên. Đồng thời, trong một

nghiên cứu tại Mỹ đã chỉ ra rằng, việc sử dụng hàm lượng cốt liệu tái chế từ 15% trở lên có thể làm giảm lượng nhiệt sinh ra, giảm biến đổi khí hậu và giảm sử dụng cốt liệu tự nhiên từ 13% đến 14%. Với hiệu quả về mặt kinh tế, thân thiện với môi trường, công nghệ tái chế mặt đường được sử dụng như một sự lựa chọn hợp lý trong xây dựng đường ô tô.

1.2.1.2. Tại Việt Nam

Năm 2012, Bộ GTVT quyết định áp dụng công nghệ tái chế mặt đường để nâng cấp sửa chữa bảo trì tăng cường mặt đường bê tông nhựa. Qua thời gian thử nghiệm bước đầu cho thấy hiệu quả về mặt kinh tế và đặc biệt là bảo vệ môi trường, có thể áp dụng rộng rãi với các tuyến đường cần được cải tạo nâng cấp. Hiện nay, nhiều công ty vẫn tiếp tục nghiên cứu các công nghệ tái chế mặt đường cũ để áp dụng phù hợp với điều kiện ở Việt Nam, trong đó công ty BMT đã đạt được một bước tiến về quy trình công nghệ tái chế bê tông nhựa tại trạm. Từ thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa tái chế ban đầu khoảng 5% và 10%, hiện tại công ty đã phát triển quy trình công nghệ tái chế nhựa với mức độ cao hơn hiện tại là 50%. Nhiều kết quả thí nghiệm cho thấy chất lượng bê tông nhựa tái chế tương đương như bê tông nhựa truyền thống.

1.2.2. Công nghệ tái chế mặt đường

1.2.2.1. Công nghệ tái chế mặt đường tại chỗ

Gồm 2 công nghệ sau:

- Công nghệ tái chế nóng tại chỗ.
- Công nghệ tái chế nguội tại chỗ.

1.2.2.2. Công nghệ tái chế mặt đường tại trạm trộn

Gồm 3 công nghệ sau:

- Công nghệ tái chế nóng tại trạm
- Công nghệ tái chế nguội tại trạm
- Công nghệ tái chế ấm tại trạm trộn

1.2.3. Qui trình sản xuất cốt liệu cào bóc bê tông nhựa cũ

1.2.3.1. Cào bóc mặt đường bê tông nhựa cũ

Chiều sâu cào bóc mặt đường cũ được xác định thông qua chiều dài lan truyền các vết nứt của các mẫu khoan, chiều dày lớp bê tông nhựa bị phá hủy hoặc mức độ dính bám giữa hai lớp bê tông nhựa.

1.2.3.2. Công nghệ nghiền, phân loại và lưu trữ

- Công nghệ nghiền, sàng phân loại: Nhằm loại bỏ những hạt quá cỡ và tách thành các cỡ hạt khác nhau, ít nhất 95% các hạt lọt qua sàng 50 mm. Phần lớn các nhà thầu nghiền cốt liệu tái chế thành các cỡ hạt có D_{max} = 12,5 mm hoặc D_{max} = 19 mm. Phân loại các cỡ hạt trong quá trình nghiền có thể kiểm soát được hàm lượng các hạt nhỏ hơn 0,075 mm.

- Lưu trữ: Cốt liệu cào bóc sau khi nghiền sàng được di chuyển tới vị trí thuận tiện để đưa vào trạm trộn, sau đó được bảo quản lưu trữ hoặc sử dụng ngay. Cách tốt nhất để hạn chế độ ẩm trong cốt liệu tái chế là xây dựng nhà chứa có mái che, đặt trên nền cao, thoát nước tốt.

1.2.3.3. Thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật

- Chỉ tiêu kỹ thuật của cốt liệu cào bóc gồm: Hàm lượng bitum trong cốt liệu cào bóc, thành phần hạt của cốt liệu tái chế sau khi nghiền sàng, khối lượng thể tích, cường độ chịu nén, …

1.2.4. Các thông số kỹ thuật của cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

1.2.4.1. Thành phần hạt

Sau khi nghiền, cốt liệu cào bóc thu được sẽ khác với cốt liệu cào bóc ban đầu vì trong quá trình nghiền sàng, cốt liệu cào bóc có thể bị vỡ ra làm thay đổi kích thước hạt, từ đó thay đổi thành phần hạt so với ban đầu.

1.2.4.2. Khối lượng thể tích và độ ẩm

Khối lượng thể tích có thể thay đổi từ 115 – 130% tùy thuộc vào nguồn gốc mà cốt liệu cào bóc thu được. Ngoài ra, do lớp phủ nhựa đường trên bề mặt của cốt liệu sẽ làm tăng khối lượng thể tích của cốt liệu cào bóc lên đáng kể. Độ ẩm của cốt liệu cào bóc ban đầu khi thí nghiệm có kết quả thấp hơn so với cốt liệu tự nhiên.

1.2.4.3 Tính thấm

Tính thấm của cốt liệu cào bóc sau khi nghiền sàng cao hơn cốt liệu cào bóc ban đầu.

1.2.4.4. Cường độ

Cường độ của cốt liệu cào bóc phụ thuộc cường độ của cốt liệu tự nhiên được sử dụng trong hỗn hợp bê tông nhựa ban đầu

1.2.4.5 Độ biến dạng

Độ biến dạng càng tăng khi tỷ lệ phần trăm cốt liệu cào bóc tăng lên. Với hỗn hợp sử dụng 100% cốt liệu cào bóc, độ biến dạng đạt giá trị lớn nhất.

1.2.4.6. Đặc tính của nhựa đường cũ

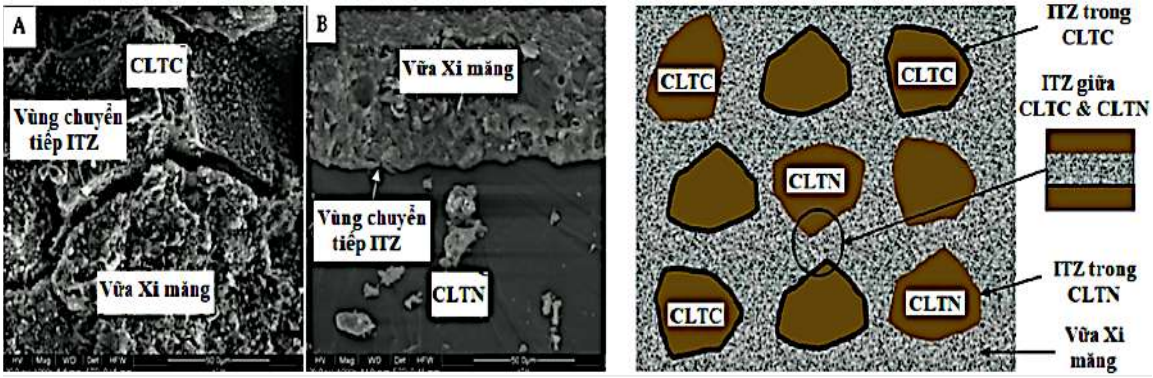
Sự gia tăng độ cứng của nhựa đường cũ có thể làm tăng khả năng biến dạng và khả năng lan truyền tải trọng trong bê tông.

1.3. Tổng quan về bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

1.3.1. Tình hình nghiên cứu và ứng dụng bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trên thế giới

1.3.1.1. Nghiên cứu cơ chế tương tác giữa vữa xi măng và màng nhựa cũ bao bọc xung quanh các hạt cốt liệu trong hỗn hợp bê tông đầm lăn

Nghiên cứu của các tác giả Solomon Debbarma và Ransinchung R.N GN trình bày cơ chế tương tác giữa vữa xi măng và màng nhựa cũ trong hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ. Thí nghiệm được thực hiện trên các mẫu bê tông đầm lăn sử dụng 50% cốt liệu tái chế. Cơ chế tương tác giữa cốt liệu với vữa xi măng của hỗn hợp bê tông đầm lăn gần giống với hỗn hợp bê tông xi măng thường. Tuy nhiên, do sử dụng cốt liệu tái chế thay thế một phần cốt liệu tự nhiên nên trong hỗn hợp bê tông đầm lăn nên xuất hiện 2 vùng chuyển tiếp (ITZ): ITZ giữa cốt liệu tự nhiên và vữa xi măng và ITZ giữa cốt liệu tái chế và vữa xi măng.



Hình 1-19. ITZ giữa CLTC (A) và CLTN (B) với XM của BTĐL chứa 50% CLTC

Mặt khác, kết quả thí nghiệm cho thấy, khi sử dụng cốt liệu tái chế thay thế cho cốt liệu tự nhiên, cường độ của bê tông đầm lăn giảm đi, kể cả khi bổ sung tro bay. Sự hiện diện của lớp nhựa đường kỵ nước

bao bọc cốt liệu đã hạn chế sự hình thành vùng chuyển tiếp (ITZ) tốt giữa cốt liệu tái chế và vữa xi măng, do đó, cường độ của bê tông đầm lăn giảm đi, vết nứt lan truyền xung quanh bề mặt của cốt liệu tái chế, không phải là sự xuyên qua cốt liệu như trong trường hợp bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên.

Hình 1-20. Hình ảnh (SEM) phân tích BTĐL sử dụng 50% CLTC

Quan sát hình ảnh SEM, ITZ giữa cốt liệu tái chế và hồ xi măng xốp hơn ITZ giữa cốt liệu tự nhiên và hồ xi măng. Nguyên nhân là do hàm lượng C-S-H trong ITZ của cốt liệu tái chế - vữa XM thấp hơn so với ITZ của cốt liệu tự nhiên – vữa XM. Vùng chuyển tiếp ITZ có lớp nhựa đường là khu vực đầu tiên xảy ra sự phá hoại của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế do vùng này xốp hơn và có độ rỗng cao hơn. Các tác giả kết luận rằng đây chính là lý do dẫn đến giảm cường độ và mô đun đàn hồi của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế. Bổ sung tro bay vào hỗn hợp góp phần cải thiện lỗ rỗng trong hỗn hợp, tăng độ đặc chắc do đó làm tăng cường độ của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế.

1.3.1.2. Nghiên cứu các đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

Các nghiên cứu trên thế giới đều cho thấy, cốt liệu tái chế khác với cốt liệu tự nhiên vì có một lượng nhựa đường bao bọc xung quanh cốt liệu do đó độ ẩm và khả năng hút nước của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế thấp hơn bê tông đầm lăn đối chứng. Đồng thời, cường độ chịu nén, cường độ kéo uốn (cường độ ép chẻ), mô đun đàn hồi của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế bị giảm đi so với bê tông đầm lăn đối chứng. Tuy nhiên, các chỉ tiêu kỹ thuật của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế vẫn đảm bảo tiêu chuẩn. Do đó, việc sử dụng cốt liệu tái chế rất hiệu quả, tiết kiệm được nguồn vật liệu trong tự nhiên, có thể sử dụng hỗn hợp bê tông đầm lăn dùng cốt liệu tái chế làm lớp móng đường, vỉa hè, mặt đường cấp thấp,...Mặt khác, khi bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ bổ sung các sợi thép thì việc bổ sung các sợi thép trong hỗn hợp cho phép giảm thiểu chiều rộng vết nứt.

1.3.2. Tình hình nghiên cứu và ứng dụng công nghệ bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ tại Việt Nam

Mặc dù công nghệ bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế còn khá mới mẻ, chưa được áp dụng trong xây dựng đường ô tô tại Việt Nam, nhưng với các tiềm năng thuận lợi thì ứng dụng công nghệ này là rất khả quan và có hiệu quả trong việc làm móng đường, vỉa hè, đường giao thông nội bộ, bãi đỗ xe,...

1.4. Tổng hợp phân tích và đề xuất nội dung nghiên cứu

Luận án "Nghiên cứu ứng dụng bê tông xi măng đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa trong kết cấu áo đường ô tô tại Việt Nam" tập trung nghiên cứu các vấn đề sau:

- Nghiên cứu sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ thay thế một phần cốt liệu tự nhiên để chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn dùng trong xây dựng đường ô tô tại Việt Nam.
- Nghiên cứu phương pháp thiết kế hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế với các hàm lượng cốt liệu tái chế (40% và 80%) và hàm lượng chất kết dính (10%, 13% và 15%) với hai loại xi măng (PC40 và PCB30), nghiên cứu ảnh hưởng của nhựa đường cũ trong cốt liệu tái chế.
- Nghiên cứu và đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật cơ bản của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế từ kết quả thí nghiệm trong phòng và kết quả ngoài hiện trường.
- Nghiên cứu đề xuất kết cấu áo đường điển hình dùng bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế ở Việt Nam
- Đánh giá khả năng ứng dụng công nghệ tái chế nguội bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế trong công tác xây dựng đường ô tô, góp phần bổ sung thêm một công nghệ tái chế mặt đường ở Việt Nam.

CHƯƠNG 2. NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP VÀ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ THÀNH PHẦN HỖN HỢP BÊ TÔNG ĐẦM LĂN SỬ DỤNG CỐT LIỆU CÀO BÓC TỪ BÊ TÔNG NHỰA CŨ

Thiết kế cấp phối thành phần bê tông đầm lăn là nghiên cứu tính toán lý thuyết sau đó tiến hành thử nghiệm kiểm chứng trong phòng thí nghiệm từ đó lựa chọn được tỷ lệ hợp lý các thành phần vật liệu chế tạo. Như vậy, việc lựa chọn phương pháp thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn là một bước quan trọng để đảm bảo chất lượng của bê tông, phù hợp với công nghệ thi công thực tế và loại kết cấu công trình, đảm bảo tính kinh tế. Trong chương này, trình bày các nguyên lý thiết kế bê tông đầm lăn được áp dụng trên thế giới, từ đó phân tích, lựa chọn phương pháp thiết kế, tính toán thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật theo tiêu chuẩn hiện hành.

2.1. Phân tích và lựa chọn nguyên lý tính toán thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

2.1.1. Nguyên tắc thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn

Do đặc tính hỗn hợp bê tông khô cứng, phân tán và dễ phân tầng nên khi thiết kế cấp phối bê tông đầm lăn phải khống chế đường kính lớn nhất của cốt liệu thô, tỷ lệ giữa các hạt cốt liệu hợp lý.

Trong thiết kế cấp phối BTĐL, phải cân nhắc việc cho thêm phụ gia.

Coi hỗn hợp bê tông đầm lăn như vật liệu đất (theo quan điểm của gia cố đất) để đầm lèn từ đó xác định lượng nước tối ưu, các tính năng của bê tông sau khi hoá cứng và mối tương quan trực tiếp giữa tỷ lệ N/CKD.

Khi tính toán thiết kế, đảm bảo BTĐL vừa phải thoả mãn các yêu cầu về cường độ, tính bền vừa phải hạn chế sự tăng nhiệt trong bê tông. Tuy lượng xi măng sử dụng ít nhưng tỷ lệ giữa các thành phần vật liệu trong hỗn hợp bê tông lại lớn.

Định trước tỷ lệ N/CKD khi thiết kế cấp phối sơ bộ, sau đó điều chỉnh lại cấp phối.

Như vậy, thiết kế cấp phối bê tông đầm lăn phải tuân theo nguyên tắc của bê tông xi măng thông thường.

2.1.2. Các phương pháp thiết kế bê tông đầm lăn

2.1.2.1. Thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn theo nguyên lý bê tông

Phương pháp thiết kế hỗn hợp bê tông đầm lăn theo nguyên lý bê tông coi hỗn hợp bê tông đầm lăn là hỗn hợp bê tông dẻo thông thường. Phương pháp thiết kế theo nguyên lý bê tông được xem sự lấp đầy, lèn chặt lẫn nhau giữa các loại vật liệu trong bê tông là cơ sở để tính toán. Nguyên lý này được sử dụng nhiều để thiết kế các công trình bê tông khối lớn như đập thuỷ điện, đập tràn…

Một số phương pháp thiết kế dựa trên nguyên lý bê tông

- Phương pháp dư hồ CKD – Cục khai hoang Mỹ (USBR)
- Phương pháp thiết kế bê tông đầm lăn – Hiệp hội bê tông Mỹ
- Phương pháp RCCD – Trung Quốc

2.1.2.2. Thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn theo nguyên lý gia cố đất

Thiết kế cấp phối dựa trên quan hệ giữa hàm lượng nước trong đất và độ đầm chặt. Nguyên lý gia cố đất với nguyên tắc là đối với một lực đầm lèn nhất định tìm được một "hàm lượng nước tối ưu". Dựa vào hàm lượng nước tối ưu này, hỗn hợp bê tông đầm lăn sau khi đầm có thể đạt được khối lượng thể tích khô lớn nhất. Nguyên lý này được sử dụng rộng rãi để thiết kế thành phần BTĐL trong xây dựng đường ô tô.

Một số phương pháp thiết kế dựa trên nguyên lý bê tông

- Thiết kế thành phần bê tông đầm lăn theo ACI 325.10R.

2.1.2.3. Mối liên hệ giữa hai nguyên lý

- *Điểm chung:* theo những nghiên cứu về mặt lý thuyết, hai nguyên lý thiết kế đều thiết kế bê tông không có độ sụt và đi tìm lượng nước tối ưu cho cấp phối. Đồng thời đảm bảo khả năng thi công được dễ dàng, đạt được độ chặt yêu cầu và có tuổi thọ công trình cao.
- *Điểm khác nhau:*

+ Nguyên lý bê tông: thể hiện tính chất lấp đầy lỗ rỗng bởi hồ xi măng giữa các hạt cốt liệu để hỗn hợp bê tông sau khi đầm chặt có độ rỗng nhỏ nhất. Thành phần bê tông đầm lăn được lựa chọn dựa trên quan hệ giữa cường độ chịu nén và một số tính chất khác. Thông số thiết kế là cường độ chịu nén và độ cứng.

+ Nguyên lý gia cố đất: được thiết lập dựa trên mối quan hệ giữa độ ẩm tối ưu và khối lượng thể tích khô lớn nhất của hỗn hợp bằng việc đầm chặt mẫu với các độ ẩm khác nhau, từ đó tìm ra lượng nước hợp lý cho hỗn hợp. Thông số thiết kế là độ ẩm tối ưu và khối lượng thể tích khô lớn nhất.

2.1.3. Phân tích và lựa chọn phương pháp thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

Với nguyên lý bê tông, cường độ chịu nén và các tính năng khác của BTĐL tuân theo quan hệ giữa tỷ lệ N/CKD được Abrams thành lập. Các công thức liên hệ đó được xây dựng dựa trên các nghiên cứu sử dụng cốt liệu tự nhiên và có xét đến các hệ số thực nghiệm phụ thuộc vào tính chất của cốt liệu tự nhiên (cốt liệu tự nhiên phải sạch và rắn chắc). Do đó, khi sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ để thiết kế hỗn hợp bê tông đầm lăn, bên ngoài cốt liệu tái chế có một lớp màng nhựa cũ bao bọc xung quanh các hạt cốt liệu, vì vậy, áp dụng các công thức thực nghiệm theo nguyên lý bê tông để tính toán chưa chính xác và hợp lý, kết quả tính toán chưa phản ánh được tính chất của cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ.

Nguyên lý gia cố đất được sử dụng phổ biến ở Anh và nhiều nước trên thế giới vì nó thiết lập được quan hệ giữa độ ẩm tối ưu và khối lượng thể tích khô lớn nhất, dùng để kiểm soát quá trình đầm nén ngoài

hiện trường. Mặt khác, một số nghiên cứu gần đây ở các nước phát triển trên thế giới như Mỹ, Pháp, Bỉ, Hà Lan, Iran,... đã đề cập sử dụng nguyên lý gia cố đất để tính toán thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trong xây dựng đường ô tô như làm lớp móng, vỉa hè, đường nội bộ, bãi đỗ xe,…

Trên cơ sở đó, trong luận án, nguyên lý gia cố đất được lựa chọn và sử dụng để tính toán thiết kế thành phần bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ.

2.2. Nghiên cứu đánh giá đặc tính kỹ thuật của các vật liệu chế tạo bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

2.2.1. Xi măng

Sử dụng 2 loại: Xi măng Bút Sơn PC40 và xi măng The Vissai PCB30, thoả mãn TCVN 2682:2009 và TCVN 6260:2009.

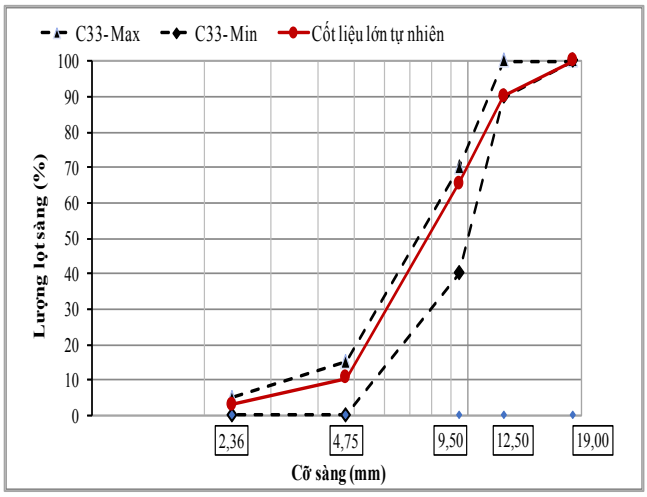
2.2.2. Cốt liệu tự nhiên

2.2.2.1. Cốt liệu lớn tự nhiên

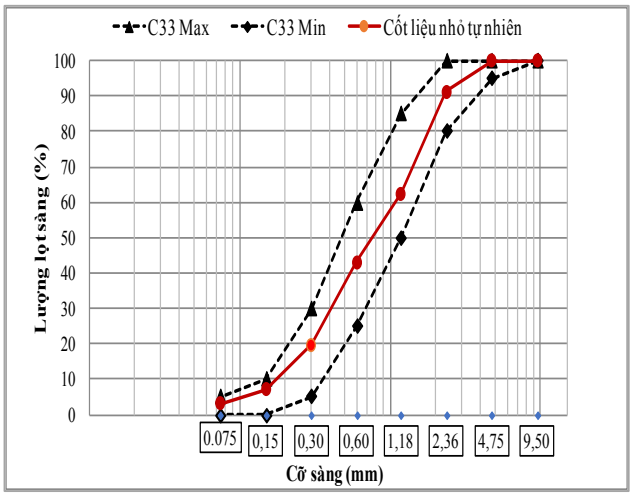
Sử dụng đá dăm kích thước hạt từ 4,75 – 12,5 mm có đường kính lớn nhất D_{max} = 12,5 mm, lấy ở mỏ đá Hoà Thạch – Quốc Oai – Hà Nội. Các chỉ tiêu kỹ thuật đều thoả mãn các tiêu chuẩn hiện hành.

2.2.2.2. Cốt liệu nhỏ tự nhiên

Sử dụng cát vàng sông Lô có mô đun độ lớn M_{dl} = 2,4. . Các chỉ tiêu kỹ thuật đều thoả mãn các tiêu chuẩn hiện hành.



Hình 2-5. Đường thành phần hạt của CLL



Hình 2-6. Đường thành phần hạt của CLN

2.2.3. Cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

2.2.3.1. Nguồn gốc cốt liệu cào bóc

Sử dụng 2 loại cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ được thu gom từ 2 nơi khác nhau.

- Loại 1 (CLTC1): được thu gom từ khu Công nghiệp Tiên Sơn – Bắc Ninh.
- Loại 2 (CLTC2): được thu gom trên tuyến đường Pháp Vân – Cầu Giẽ.

2.2.3.2. Quy trình sản xuất cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trong phòng thí nghiệm

Cốt liệu cào bóc được sản xuất trong phòng thí nghiệm qua các công đoạn theo tiêu chuẩn TCVN 11969:2018.

Hình 2-11. Cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ thu được sau khi sàng phân loại theo cỡ hạt

2.2.3.3. Các tiêu chuẩn được áp dụng

Thành phần hạt của cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ được kiểm tra theo tiêu chuẩn ASTM C33. Phương pháp lấy mẫu tuân theo TCVN 7572-1:2006. Các đặc tính kỹ thuật của cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ được xác định theo các tiêu chuẩn hiện hành.

2.2.3.4. Thí nghiệm xác định các đặc tính kỹ thuật của cốt liệu cào bóc từ BTN cũ

- Xác định đường thành phần hạt
- Xác định khối lượng riêng, khối lượng thể tích
- Xác định hàm lượng nhựa
- Xác định độ hút nước
- Xác định hàm lượng bùn, bụi, sét.

Các đặc tính kỹ thuật của cốt liệu tái chế đều thoả mãn các yêu cầu của tiêu chuẩn hiện hành.

2.2.4. Nước

Nước chế tạo bê tông đầm lăn là nước sạch lấy từ nguồn nước máy của Hà Nội. Các chỉ tiêu của nước thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật của TCVN 4506-2012.

2.2.5. Tro bay

Sử dụng tro bay của Công ty cổ phần Sông Đà Cao Cường, tro bay loại F được thu gom tại nhà máy nhiệt điện Phả Lại, các đặc tính kỹ thuật tuân theo TCVN 8825:2011

2.3. Tính toán thiết kế thành phần bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ BTN cũ

2.3.1. Xác định tỷ lệ phối trộn của hỗn hợp cốt liệu

Sử dụng hai tỉ lệ cốt liệu tái chế ở 2 mức độ: mức độ trung bình và mức độ cao.

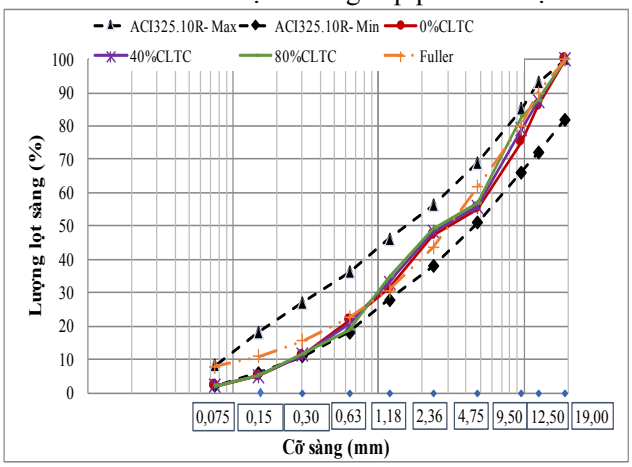
- Cấp phối đối chứng sử dụng 100% cốt liệu tự nhiên (0% CLTC).
- Cấp phối sử dụng 40% CLTC (theo tổng khối lượng hỗn hợp cốt liệu).
- Cấp phối sử dụng 80% CLTC (theo tổng khối lượng hỗn hợp cốt liệu).

Tỉ lệ phối trộn các thành phần cốt liệu được trình bày trong bảng 2-15.

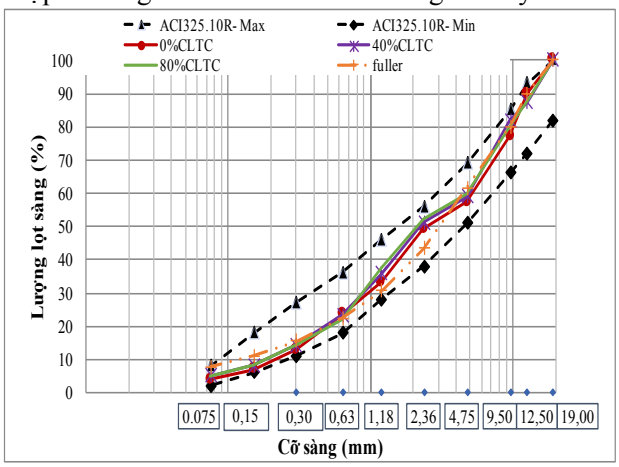
Bảng 2-15. Tỉ lệ phối trộn các thành phần của hỗn hợp cốt liệu (% theo khối lượng)

Hỗn hợp cốt liệu	0% CLTC	40%CLTC	80%CLTC
CLL-TC	0%	23%	44%
CLN-TC	0%	17%	36%
CLL-TN (Đá dăm)	50%	24%	0%
CLN-TN (Cát)	50%	36%	20%
Tổng	**100%**	**100%**	**100%**

Hình 2-19 thể hiện đường cấp phối cốt liệu của hỗn hợp bê tông đầm lăn theo tỉ lệ phối trộn tính toán ở bảng 2-15. Hình 2-20 thể hiện đường cấp phối cốt liệu của hỗn hợp bê tông đầm lăn sau khi bổ sung tro bay.



Hình 2-19. Đường cấp phối cốt liệu của hỗn hợp BTĐL theo ACI 325.10R



Hình 2-20. Đường cấp phối cốt liệu của hỗn hợp BTĐL có bổ sung tro bay

2.3.2. Lựa chọn hàm lượng chất kết dính

Sử dụng 3 hàm lượng chất kết dính (gồm tro bay và xi măng) :

- Hàm lượng chất kết dính 10% theo tổng khối lượng của hỗn hợp cốt liệu.
- Hàm lượng chất kết dính 13% theo tổng khối lượng của hỗn hợp cốt liệu.
- Hàm lượng chất kết dính 15% theo tổng khối lượng của hỗn hợp cốt liệu.

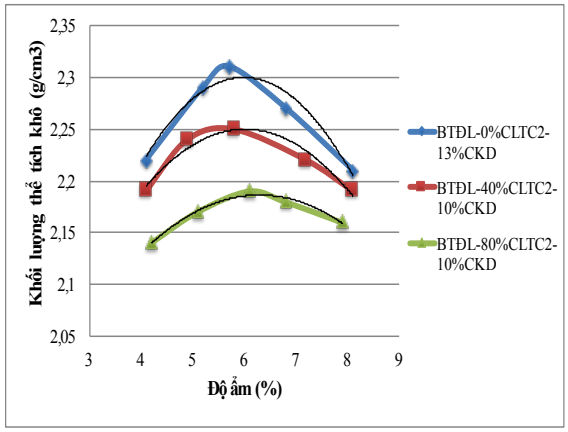
Mặt khác, chỉ dẫn ACI 325.10R khuyến cáo hàm lượng tro bay chiếm từ 15% - 20% theo thể tích tuyệt đối của chất kết dính. Tính toán được hàm lượng tro bay là 20% theo thể tích tuyệt đối của chất kết dính thoả mãn đường thành phần hạt của hỗn hợp cốt liệu được trình bày trong hình 2-10

2.3.3. Xác định độ ẩm tối ưu

Độ ẩm tối ưu được xác định thông qua thí nghiệm đầm nén theo phương pháp Proctor cải tiến (ASTM D1557). Với mỗi hỗn hợp bê tông đầm lăn, 5 mẫu được tạo ẩm với 5 hàm lượng nước khác nhau, vẽ biểu đồ quan hệ giữa khối lượng thể tích khô và độ ẩm, từ đó tìm ra hàm hồi quy thực nghiệm y(W).

$$y(W)= \gamma_d = aW^2 + bW + c \qquad (2.12)$$

Từ phương trình, độ ẩm tối ưu được xác định tương ứng với giá trị cực đại của hàm y(W)



Hình 2-25. Quan hệ giữa KLTT khô và độ ẩm của BTĐL-CLTC

Kết quả thí nghiệm cho thấy phạm vi biến thiên của độ ẩm tối ưu nằm trong khoảng từ 5% đến 6,5%, do đó, lượng nước dùng thấp hơn so với BTXM thường, cho phép đạt được bê tông có độ sụt thử nghiệm bằng 0.

2.3.4. Xác định thành phần vật liệu cho 1m^3 bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

Từ tỷ lệ thành phần hỗn hợp cốt liệu (gồm cốt liệu tự nhiên và cốt liệu tái chế), hàm lượng chất kết dính (gồm xi măng và tro bay), độ ẩm tối ưu và khối lượng thể tích khô lớn nhất của các mẫu bê tông đầm lăn được xác định ở các bước trên, tính toán thành phần vật liệu cho 1m^3 các hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế.

2.4. Kết luận chương 2

- Nguyên lý gia cố đất được lựa chọn để thiết kế thành phần bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ.

- Tiến hành thí nghiệm trong phòng đánh giá chỉ tiêu kỹ thuật của các thành phần vật liệu chế tạo hỗn hợp BTĐL theo các tiêu chuẩn hiện hành. Sau đó, dựa vào các tiêu chuẩn ACI 325.10R, ACI 211.3R, tính toán thiết kế thành phần hỗn hợp BTĐL sử dụng 2 loại CLTC1 và CLTC2 từ hai nguồn thu gom có các tỉ lệ cốt liệu tái chế (0%, 40% và 80%), sử dụng 2 loại xi măng PC40 và PCB30 với các hàm lượng chất kết dính 10%, 13% và 15%.

CHƯƠNG 3. THÍ NGHIỆM TRONG PHÒNG ĐÁNH GIÁ CÁC ĐẶC TÍNH KỸ THUẬT CỦA BÊ TÔNG ĐẦM LĂN SỬ DỤNG CỐT LIỆU CÀO BÓC TỪ BÊ TÔNG NHỰA CŨ

Trong chương 2, áp dụng nguyên lý gia cố đất để tính toán thiết kế thành phần hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế từ 2 nguồn thu gom khác nhau có tỉ lệ cốt liệu tái chế (0%, 40% và 80%), với 2 loại xi măng Pooc lăng (PC40 và PCB30) có tỉ lệ chất kết dính khác nhau (10%, 13% và 15%). Trong chương này, tiến hành thí nghiệm trong phòng xác định và đánh giá đặc tính kỹ thuật của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế theo các tiêu chuẩn hiện hành.

3.1. Kế hoạch thực nghiệm

- Nghiên cứu thiết kế thí nghiệm tổng quát (General full factorial design) sử dụng phần mềm Minitab 20 ở độ tin cậy 95%, mức ý nghĩa α = 5%. Số mẫu trong 1 tổ mẫuthường là 3 mẫu, kết quả thí nghiệm được đánh giá độ chụm theo các tiêu chuẩn hiện hành.

3.2. Thiết kế thí nghiệm

- Việc thiết kế thành phần bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được thực hiện theo phương pháp tính toán kết hợp với thực nghiệm.

Bảng 3-1. Bảng tổng hợp số lượng mẫu BTĐL sử dụng CLTC

Mẫu	Tổ hợp mẫu	Loại CLTC	Hàm lượng CLTC	Loại XM	Hàm lượng CKD	Tuổi
BTĐL	3	2	3	2	3	2
Tổng	3x2x3x2x3x2 = 216 mẫu					

- Chế tạo mẫu trong phòng thí nghiệm xác định cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ, mô đun đàn hồi, mô đun động, độ hút nước và độ co ngót của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế.

3.3. Thực nghiệm chế tạo mẫu trong phòng thí nghiệm

- Trong điều kiện phòng thí nghiệm tại trường Đại học Giao thông vận tải, các hỗn hợp bê tông đầm lăn được nhào trộn bằng máy trộn cưỡng bức.

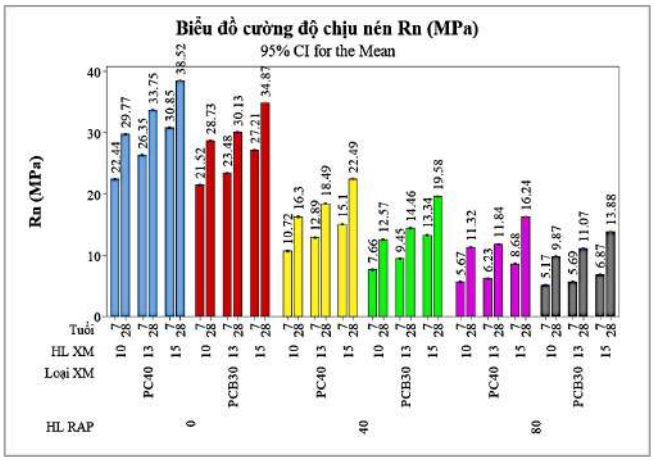
- Các mẫu bê tông hình trụ đường kính 150 mm, chiều cao 300 mm được chế tạo theo Quyết định số 4452/QĐ-BGTVT. Sau 24h đúc mẫu, các mẫu được tháo khuôn và dưỡng hộ trong nước ở điều kiện nhiệt độ phòng cho đến tuổi thí nghiệm.

Hình 3-1. Nhào trộn hỗn hợp BTĐL sử dụng CLTC bằng máy trộn cưỡng bức

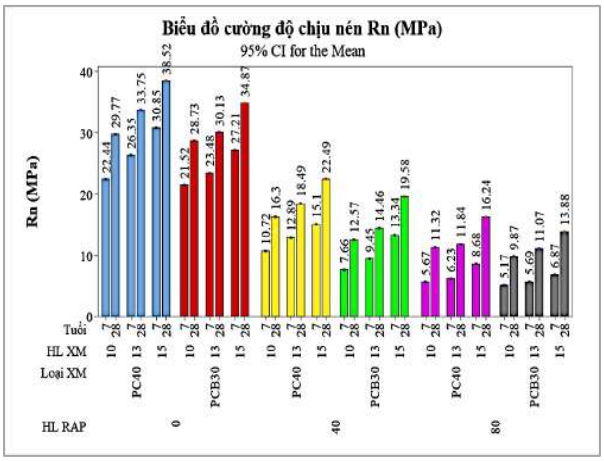
3.4. Thí nghiệm xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

3.4.1. Kết quả thí nghiệm xác định cường độ chịu nén

Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C39. Mẫu hình trụ 150 x 300 mm, tiến hành trên 3 mẫu thử ở 7 và 28 ngày. Hình 3-4 và hình 3-5 thể hiện kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén của các loại BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế.



Hình 3-4. Biểu đồ cường độ chịu nén của BTĐL sử dụng CLTC1



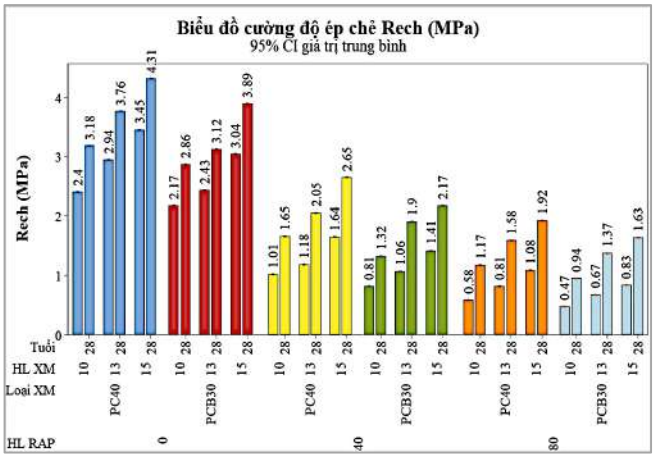
Hình 3-5. Biểu đồ cường độ chịu nén của BTĐL sử dụng CLTC2

Các kết quả thí nghiệm cho thấy, các yếu tố chính ảnh hưởng đến cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế là: loại cốt liệu tái chế, hàm lượng cốt liệu tái chế thay thế cốt liệu tự nhiên, loại xi măng, hàm lượng chất kết dính và thời gian. Trong đó, yếu tố chính ảnh hưởng nhiều nhất đến cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế chính là hàm lượng cốt liệu tái chế.

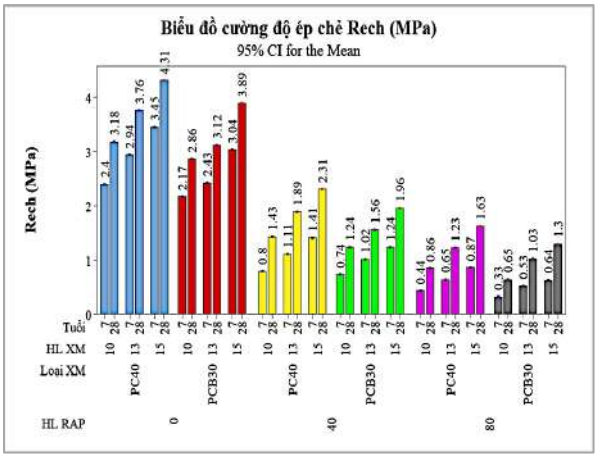
Như vậy, so với bê tông đầm lăn đối chứng, cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn giảm rõ rệt khi sử dụng 40% cốt liệu tái chế và tiếp tục giảm mạnh khi tăng hàm lượng cốt liệu tái chế từ 40% lên 80%. Đây là một điểm cần lưu ý khi sử dụng hàm lượng cốt liệu tái chế cao (trên 50%) thay thế cốt liệu tự nhiên trong chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn.

3.4.2. Kết quả thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ

Cường độ ép chẻ của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM C496, tiến hành trên 3 mẫu thử ở 7, 28 ngày tuổi. Hình 3-13 và hình 3-14 thể hiện kết quả thí nghiệm cường độ ép chẻ của các loại BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế



Hình 3-13. Biểu đồ cường độ ép chẻ của BTĐL sử dụng CLTC1

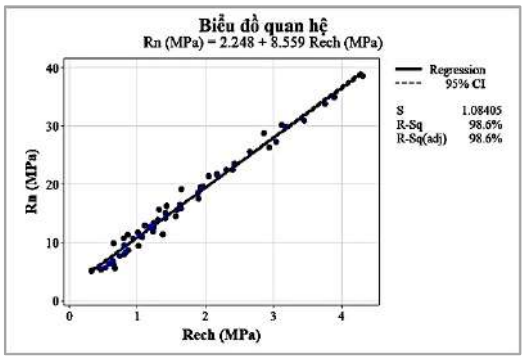


Hình 3-14. Biểu đồ cường độ ép chẻ của BTĐL sử dụng CLTC2

Mặt khác, thông qua các kết quả thí nghiệm, tìm được phương trình quan hệ của cường độ chịu nén với cường độ ép chẻ. Hình 3-17 thể hiện quan hệ giữa cường độ ép chẻ và cường độ chịu nén của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế.

Phương trình quan hệ giữa cường độ chịu nén và cường độ ép chẻ của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế là phương trình bậc nhất được thể hiện như sau:

$$Rn\ (MPa) = 2.248 + 8.559\ Rech\ (MPa) \quad (3.7)$$

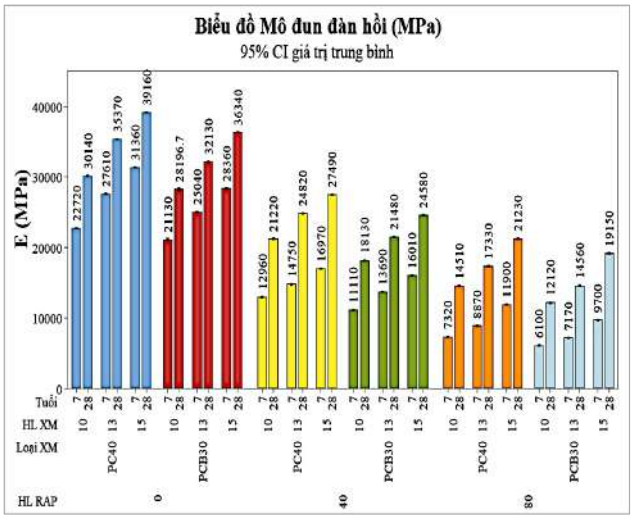


Hình 3-17. Quan hệ giữa cường độ ép chẻ và cường độ chịu nén

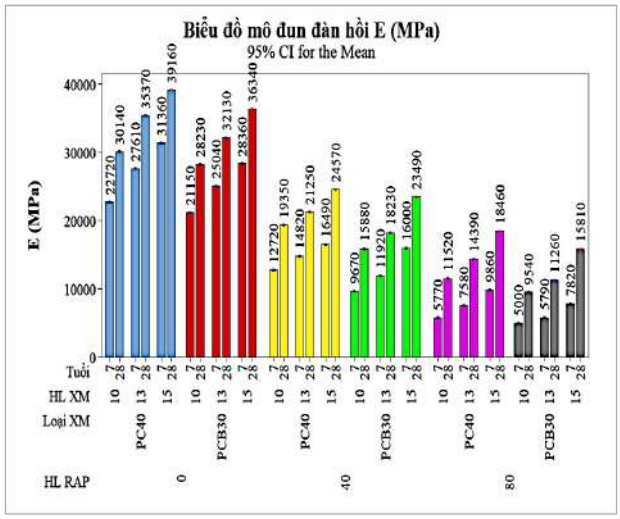
- Cường độ ép chẻ của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế nhỏ hơn bê tông đầm lăn đối chứng. bê tông đầm lăn sử dụng 40% cốt liệu tái chế có cường độ ép chẻ giảm trong khoảng 35% - 45%, bê tông đầm lăn sử dụng 80% cốt liệu tái chế có cường độ ép chẻ giảm trong khoảng 50% - 60% so với bê tông đầm lăn đối chứng. Đây là cơ sở để lựa chọn hàm lượng cốt liệu tái chế khi thiết kế hỗn hợp bê tông đầm lăn nói riêng và BTXM nói chung.

3.4.3. Kết quả thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi

Mô đun đàn hồi của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM C469, được tiến hành trên 3 mẫu thử ở 7 và 28 ngày tuổi. Hình 3-19 và hình 3-20 thể hiện kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi của các loại BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế.



Hình 3-19. Biểu đồ mô đun đàn hồi của BTĐL sử dụng CLTC1

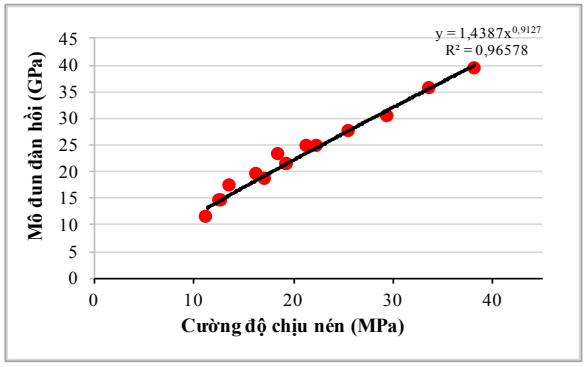


Hình 3-20. Biểu đồ mô đun đàn hồi của BTĐL sử dụng CLTC2

Từ kết quả thí nghiệm, mô đun đàn hồi hàm quan hệ giữa mô đun đàn hồi và cường độ nén của bê tông đầm lăn như quan hệ hàm lũy thừa. Khi cường độ nén của bê tông thay đổi làm cho mô đun đàn hồi cũng thay đổi.

Từ đồ thị hình 3-23, công thức thực nghiệm liên hệ giữa hai đại lượng này theo phương pháp bình phương tối thiểu với hệ số $R^2 = 0,9127$ như sau:

$$E_{bt} = 1,4387.(R_n)^{0,9127} \quad (3.9)$$



Hình 3-23. Quan hệ giữa mô đun đàn hồi và cường độ chịu nén

Trên cơ sở kết quả thí nghiệm, mô đun đàn hồi của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế có giá trị nhỏ hơn so với BTĐL đối chứng. Với BTĐL sử dụng 40% cốt liệu tái chế, giá trị mô đun đàn hồi ở 28 ngày tuổi giảm khoảng 30%, với BTĐL sử dụng 80% cốt liệu tái chế, giá trị mô đun đàn hồi ở 28 ngày tuổi giảm khoảng 45% - 55% so với BTĐL đối chứng.

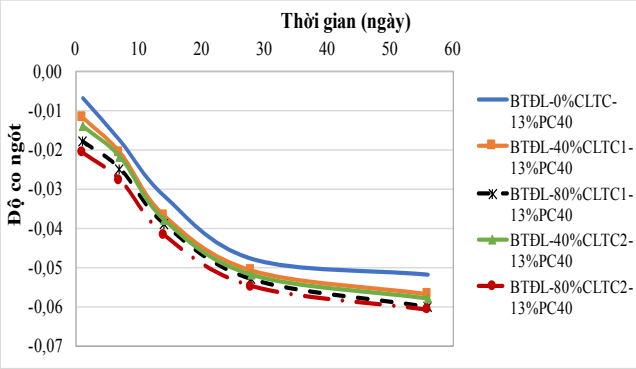
Mặt khác, độ dẻo của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế tăng lên do sự xuất hiện màng nhựa bao bọc xung quanh. Vì vậy, màng nhựa này không cho phép lan truyền vết nứt. Vết nứt sẽ xảy ra xung quanh cốt liệu hơn là xuyên qua nó. Như vậy, sự lan truyền vết nứt trong bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế có thể tốt hơn so với bê tông đầm lăn đối chứng. Mặt khác, mô đun đàn hồi giảm sẽ có hiệu quả kiểm soát độ rộng vết nứt do đó BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế có thể đem lại hiệu quả bền vững trong xây dựng đường ô tô.

3.4.4. Kết quả thí nghiệm xác định độ co ngót

Mẫu bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được chế tạo với kích thước 100x100x400 mm. Sự thay đổi chiều dài của các mẫu ở cuối 1, 7, 14, 28, 56 ngày được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 3117 : 1993, được thể hiện trong hình 3-26.

- Từ kết quả thí nghiệm, ở nhiệt độ tiêu chuẩn 25 ± 2°C, độ co ngót của hỗn hợp sử dụng cốt liệu tái chế lớn hơn so với BTĐL đối chứng.

- Điều này có thể giải thích bởi màng nhựa cũ bảo bọc xung quanh các hạt cốt liệu tái chế khi tác dụng với vữa xi măng sẽ xuất hiện những lỗ rỗng trong hỗn hợp bê tông đầm lăn do đó độ co ngót của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế sẽ lớn hơn của BTĐL đối chứng.



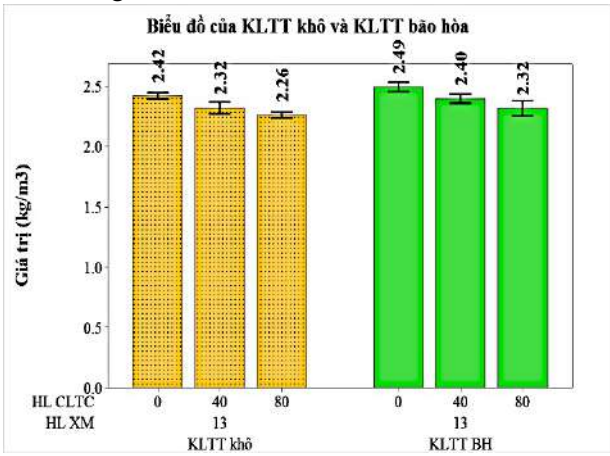
Hình 3-26. Độ co ngót BTĐL-CLTC

Mặt khác, khi hàm lượng cốt liệu tái chế thay đổi thì độ co ngót thay đổi theo, cụ thể là BTĐL sử dụng 80% cốt liệu tái chế có độ co ngót lớn hơn độ co ngót của BTĐL sử dụng 40% cốt liệu tái chế. Đồng thời, có thể nhận thấy xu hướng chung của co ngót phát triển mạnh trong khoảng 28 ngày đầu và sau đó xu hướng phát triển giảm dần theo thời gian.

3.4.5. Kết quả thí nghiệm xác định khối lượng thể tích

Kết quả thí nghiệm xác định khối lượng thể tích được thể hiện trong hình 3-27.

Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông đầm lăn phụ thuộc vào khối lượng thể tích của các vật liệu chế tạo. Khi sử dụng cốt liệu tái chế thay thế một phần cốt liệu tự nhiên trong chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn, mật độ của hỗn hợp sẽ thấp hơn so với BTĐL đối chứng (0% cốt liệu tái chế) do có màng nhựa cũ bao bọc xung quanh các hạt cốt liệu. Vì vậy, việc thay thế cốt liệu tự nhiên bằng cốt liệu tái chế đã làm giảm khối lượng thể tích so với khối lượng thể tích của BTĐL đối chứng.

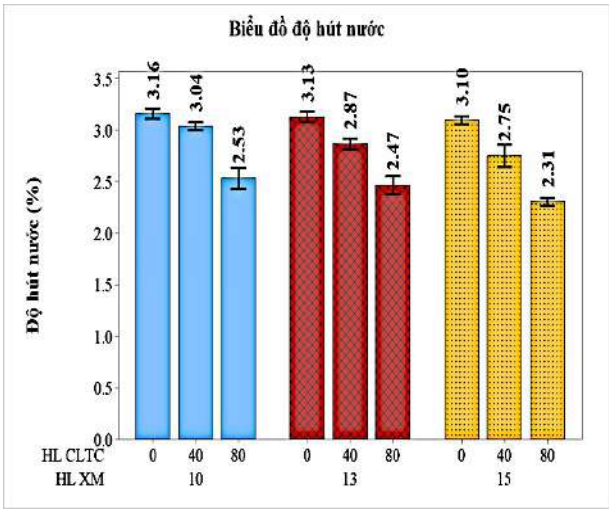


Hình 3-27. Khối lượng thể tích của BTĐL đối chứng và BTĐL- CLTC

3.4.6. Kết quả thí nghiệm xác định độ hút nước

Kết quả thí nghiệm độ hút nước được thể hiện trong hình 3-28.

Kết quả thí nghiệm cho thấy độ hút nước của mẫu bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế giảm khi hàm lượng cốt liệu tái chế tăng lên. Điều này có thể giải thích do màng nhựa cũ bao bọc xung quanh các hạt cốt liệu đã ngăn cản sự thấm nước vào các lỗ rỗng của các hạt cốt liệu.



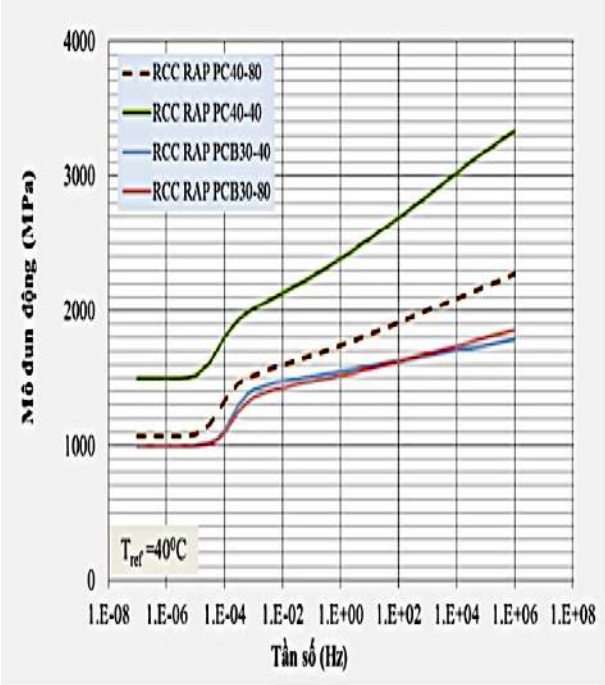
Hình 3-28. Độ hút nước của BTĐL-CLTC

3.4.7. Kết quả thí nghiệm xác định mô đun phức động

Hình 3-32 thể hiện biểu đồ tổng hợp đường cong, cơ bản dạng các đường cong như nhau, tuy nhiên vị trí của các đường cong phụ thuộc vào loại xi măng và tỷ lệ cốt liệu tái chế sử dụng trong hỗn hợp bê tông đầm lăn.

Đường nằm cao nhất, giá trị |E*| lớn nhất là BTĐL-40%CLTC-PC40. Đường thấp nhất, có |E*| nhỏ nhất là BTĐL-80%CLTC-PCB30. Biểu đồ cũng thể hiện khi tần số càng tăng (thời gian tác dụng của tải trọng càng ngắn) thì |E*| của BTĐL càng tăng.

- Loại xi măng: BTĐL sử dụng CLTC dùng xi măng PC40 có |E*| cao hơn khi dùng xi măng PCB30, ảnh hưởng này rất lớn thể hiện bằng độ dốc đường thẳng;
- Hàm lượng cốt liệu tái chế: Ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu tái chế đến |E*| cũng rất lớn, khi tăng tỷ lệ từ 40% lên 80% thì |E*| giảm đi rõ rệt, thể hiện bằng độ dốc xuống của biểu đồ;



Hình 3-32. Biểu đồ tổng hợp đường cong của BTĐL sử dụng CLTC

- Điều kiện nhiệt độ ảnh hưởng rất lớn đến |E*|, khi nhiệt độ tăng lên thì |E*| giảm rất nhanh.
- Tần số càng lớn, thời gian tác dụng càng nhỏ dẫn đến |E*| càng lớn.

Mặc dù không sử dụng mô đun động trong tính toán kết cấu áo đường cứng vì chưa có tiêu chuẩn quy định nhưng thí nghiệm xác định mô đun phức động cho thấy nhựa đường cũ dính bám xung quanh cốt liệu tái chế có ảnh hưởng tới tính chất của bê tông đầm lăn. Đây là tiền đề cơ sở cho hướng nghiên cứu tiếp theo đó là làm rõ ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu tái chế, tỷ lệ nhựa đường cũ dính bám và mức độ lão hoá của nhựa đường cũ ảnh hưởng tới các đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế.

3.5. Kết luận chương 3

- Việc thay thế cốt liệu tự nhiên bằng một phần cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ ảnh hưởng đến các đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn. Mức độ suy giảm cường độ của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế tuỳ thuộc vào hàm lượng cốt liệu tái chế thay thế. Kết quả thí nghiệm cho thấy, khi sử dụng hàm lượng 40% cốt liệu tái chế, đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn sẽ bị ảnh hưởng, nhưng khi sử dụng hàm lượng cốt liệu tái chế cao (80%), đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn bị giảm đi rất nhiều. Như vậy, hàm lượng cốt liệu tái chế càng cao thì cường độ của bê tông đầm lăn càng giảm. Do đó, việc sử dụng hàm lượng cao cốt liệu tái chế (> 50%) trong chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn cần hết sức lưu ý, phải cân nhắc để phù hợp với mục đích sử dụng trong xây dựng đường ô tô.

- Hàm lượng chất kết dính (gồm xi măng và tro bay) thay đổi từ 10%, 13% và 15% ảnh hưởng đáng kể đến các đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế. Có thể dùng xi măng PC40 thay thế cho xi măng PCB30 để cải thiện đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn sử dụng hàm lượng cốt liệu tái chế cao.

- Khi tiến hành thí nghiệm xác định mô đun phức động, nhận thấy quy luật thay đổi |E*| tương tự như bê tông nhựa sử dụng cốt liệu tái chế. Do đó, một phần nhựa đường trong cốt liệu tái chế tham gia trong ứng xử vật liệu dưới tác dụng của tải trọng và nhiệt độ. Đây chính là ảnh hưởng của của nhựa đường cũ dính bám xung quanh cốt liệu tái chế có tới đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế.

- Căn cứ Quyết định số 4451/QĐ-BGTVT, từ kết quả quy hoạch thực nghiệm, chọn ra được một hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế có thể làm mặt đường giao thông nông thôn; mặt đường nội bộ, bãi đỗ xe, lớp móng của đường cấp cao. Đây là cơ sở để xây dựng đoạn đường thực nghiệm dùng lớp BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc từ BTN cũ. Đó là bê tông đầm lăn sử dụng 40% cốt liệu tái chế dùng xi măng PC40 có hàm lượng chất kết dính 13%. Ở thời gian 28 ngày tuổi, hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế có R_n = 18,49 MPa; R_{ec} = 1,89 MPa; E = 23250 MPa.

- Như vậy, với những kết quả thí nghiệm trong phòng đạt được, hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế có một số hiệu quả nhất định. Do đó, áp dụng công nghệ tái chế nguội tại trạm trộn bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trong xây dựng đường ô tô là cần thiết, có ý nghĩa khoa học thực tiễn, đem lại hiệu quả kỹ thuật và kinh tế, tận dụng được nguồn vật liệu phế thải, giảm ô nhiễm môi trường, tiết kiệm nguồn vật liệu tự nhiên đang cạn kiệt.

CHƯƠNG 4. XÂY DỰNG ĐOẠN ĐƯỜNG THỰC NGHIỆM VÀ NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT KẾT CẤU MẶT ĐƯỜNG SỬ DỤNG LỚP BÊ TÔNG ĐẦM LĂN SỬ DỤNG CỐT LIỆU CÀO BÓC TỪ BÊ TÔNG NHỰA CŨ

Trên cơ sở các kết quả thí nghiệm trong phòng đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật, hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng 40% cốt liệu tái chế dùng hàm lượng chất kết dính (gồm xi măng PC40 và tro bay) 13% đã thoả mãn các yêu cầu kỹ thuật theo tiêu chuẩn hiện hành. Do vậy, trong chương này, xây dựng một đoạn đường có kết cấu áo đường dùng lớp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế. Sau đó, tiến hành thí nghiệm hiện trường đánh giá chỉ tiêu kỹ thuật của đoạn đường đó. Cuối cùng, nghiên cứu đề xuất các kết cấu điển hình dùng lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế trong xây dựng đường ô tô có các điều kiện phù hợp với Việt Nam.

4.1. Xây dựng đoạn đường thực nghiệm có lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

4.1.1. Tóm tắt kế hoạch xây dựng đoạn thử nghiệm hiện trường

Kế hoạch xây dựng đoạn đường thử nghiệm được tiến hành theo trình tự sau:

- Đề xuất làm lớp mặt đường nội bộ, lưu lượng xe ít, tải trọng nhẹ.
- Tính toán thiết kế kết cấu mặt đường thử nghiệm
- Tiến hành thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật của kết cấu mặt đường.
- Phân tích, đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật của kết cấu mặt đường.

4.1.2. Tính toán kết cấu áo đường có lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế

1. Thông số kỹ thuật

- Đường cấp IV quy mô giao thông nhẹ, vận tốc khai thác không quá 50km/h, cho phép nứt tự nhiên do co ngót. Thời hạn thiết kế: 10 năm, tải trọng trục tiêu chuẩn: P_s = 100 kN, tải trọng lớn nhất P_{max} = 120 kN.

2. Dự kiến kết cấu mặt đường

- Lớp mặt BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế dày 20cm, f_r = 3,02 MPa; E = 23250 MPa; R_n = 18,49 MPa; Tấm BTĐL có kích thước 4,0m x 5,0m, khe ngang không có thanh truyền lực.
- Lớp móng trên bằng cấp phối đá dăm loại I có E = 300 MPa, dày 20cm, đặt trực tiếp trên nền đất, không cần thiết kế lớp móng dưới vì quy mô GT cấp nhẹ.
- Nền đất là á sét có E = 40 MPa.

3. Kiểm toán kết cấu dự kiến: Tính toán kết cấu áo đường theo QĐ 4451/QĐ-BGTVT

4. Nhận xét: Kết cấu áo đường đạt được các điều kiện giới hạn cho phép. Như vậy, lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế có thể làm lớp mặt đối với đường có quy mô giao thông cấp trung bình trở xuống. Để đảm bảo độ êm thuận, tránh được nước ngấm qua các khe thì có thể rải thêm 1-3 lớp láng nhựa nóng hoặc láng nhũ tương trên bề mặt.

4.1.3. Xây dựng đoạn đường thử nghiệm

- Xác định vị trí, mặt bằng và các thông số hình học của đoạn đường thử nghiệm.
- Công tác chuẩn bị cốt liệu tái chế từ bê tông nhựa cũ.
- Thi công nền đường đoạn thử nghiệm.
- Thi công lớp cấp phối đá dăm loại I.
- Thi công lớp mặt bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ.

Hình 4-20. Đoạn đường thử nghiệm sau khi thi công

4.1.4. Đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật của đoạn đường thử nghiệm

4.1.3.1. Đo đạc theo dõi diễn biến vết nứt sau khi thi công

a. Trong 24 giờ đầu sau khi thi công

- Hiện tượng nứt sớm trên bề mặt xuất hiện trong khoảng thời gian 24 giờ sau khi thi công xong. Vết nứt rất đa dạng gồm: theo phương dọc, phương ngang và phương xiên. Kích thước về chiều dài, chiều sâu của vết nứt tại những chỗ cốt liệu phân bố không đều, lu không đều không lớn nhưng ngoằn nghèo, rạn chân chim, chiều rộng nhỏ hơn 1mm. Tại những chỗ cốt liệu phân bố đồng đều trên bề mặt, không bị phân tầng khi san rải thì chỗ đó ít xuất hiện vết nứt, bề mặt mịn, bằng phẳng.

b. Trong khoảng từ 24 giờ đến 72 giờ sau khi thi công

- Hiện tượng nứt trên bề mặt lớp bê tông đầm lăn vẫn có xu hướng tăng lên nhưng không rõ rệt. Riêng độ mở rộng vết nứt gần như không tăng so với thời điểm 24h. Quan sát bằng mắt thường, vết nứt trên bề mặt có mật độ mau, thưa khác nhau và độ mở rộng vết nứt cũng khác nhau.

a. Bề mặt sau 24 h thi công b. Bề mặt sau 72 h thi công

Hình 4-21. Bề mặt đoạn đường thử nghiệm

c. Nhận xét, đánh giá

- Vết nứt trên lớp mặt bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế phát triển theo thời gian cả về mật độ, độ dài và độ mở rộng vết nứt. Tuy nhiên sau khi bảo dưỡng biện pháp phun nước làm ẩm ướt mặt bê tông để dưỡng hộ đặc biệt khi trời nắng nóng, cắt khe co theo quy định thì các vết nứt lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế phát triển chậm hơn, độ mở rộng vết nứt không tăng đáng kể.

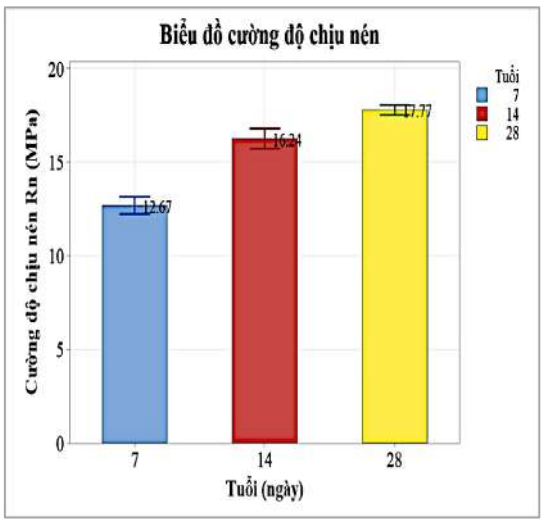
4.1.3.2. Công tác kiểm tra nghiệm thu đoạn đường thử nghiệm

Độ bằng phẳng của mặt đường theo phương dọc có suy giảm theo thời gian nhưng vẫn đảm bảo theo yêu cầu theo TCVN 8864:2011.

4.1.3.3. Thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật của đoạn đường thử nghiệm

a. Kết quả thí nghiệm xác định cường độ chịu nén

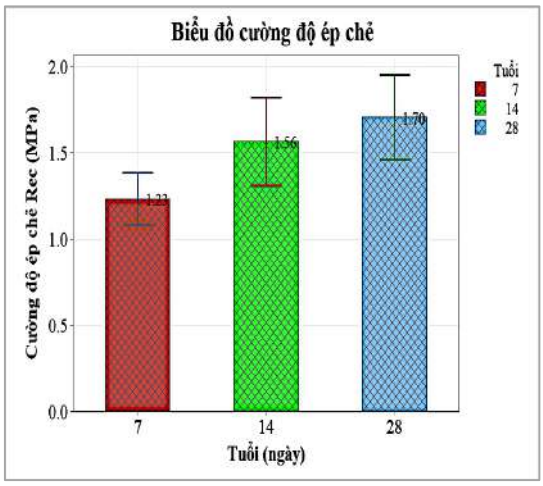
- Thí nghiệm cường độ chịu nén của mẫu khoan được tiến hành trên 9 mẫu thử ở 7, 14 và 28 ngày.
- Kết quả cường độ chịu nén của mẫu khoan phát triển theo thời gian phản ánh giống như quy luật kết quả trong phòng thí nghiệm.
- Cường độ chịu nén của mẫu phát triển nhanh trong 7 ngày đầu. Trị số kết quả cường độ chịu nén mẫu khoan hiện trường ở độ tuổi 28 ngày = 17,77 MPa < 18,48 MPa nhưng vẫn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật.



Hình 4-24. Biểu đồ cường độ chịu nén của mẫu khoan

b. Kết quả thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ

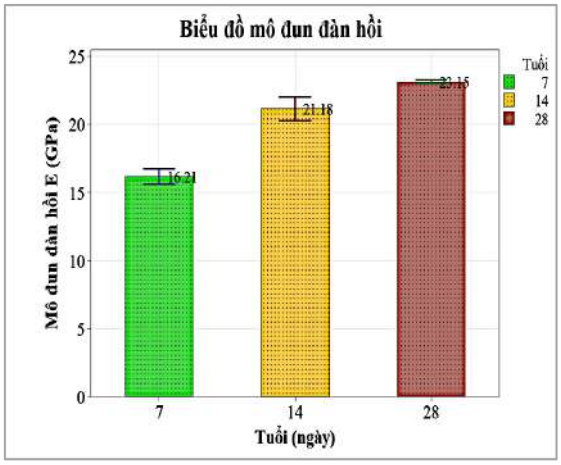
- Thí nghiệm cường độ ép chẻ của mẫu khoan được tiến hành trên 9 mẫu thử ở 7, 14, 28 ngày.
- Kết quả cường độ ép chẻ của mẫu khoan phát triển theo thời gian phản ánh giống như quy luật kết quả trong phòng thí nghiệm.
- Cường độ ép chẻ của mẫu phát triển mạnh trong 7 ngày. Trị số kết quả cường độ ép chẻ mẫu khoan hiện trường ở độ tuổi 28 ngày = 1,70 MPa < 1,78 MPa nhưng vẫn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật.



Hình 4-26. Biểu đồ cường độ ép chẻ của mẫu khoan

c. Kết quả thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi

- Thí nghiệm mô đun đàn hồi của mẫu khoan được tiến hành trên 9 mẫu ở các ngày tuổi 7, 14, 28 ngày.
- Kết quả mô đun đàn hồi của mẫu khoan phát triển theo thời gian phản ánh giống như quy luật kết quả trong phòng thí nghiệm.
- Mô đun đàn hồi của mẫu phát triển mạnh trong 7 ngày. Trị số kết quả mô đun đàn hồi của mẫu khoan hiện trường ở độ tuổi 28 ngày = 23150 MPa < 23250 Mpa đảm bảo yêu cầu kỹ thuật.



Hình 4-28. Biểu đồ mô đun đàn hồi của mẫu khoan

4.1.4. Nhận xét, đánh giá đoạn đường thử nghiệm

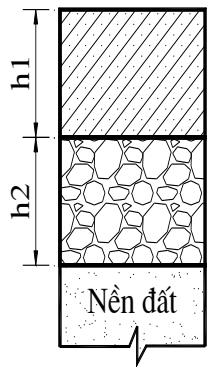
- Đoạn đường thử nghiệm được khởi công vào 20/2/2019 và hoàn thiện vào ngày 27/02/2019
- Đoạn đường thử nghiệm đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật theo tiêu chuẩn xây dựng đường ô tô Việt Nam hiện hành. Sau hơn 3 năm khai thác sử dụng, đoạn đường vẫn nguyên vẹn, không có dấu hiệu bị hư hỏng. Với các kết quả thí nghiệm của các mẫu khoan lấy từ đoạn đường thử nghiệm, đồng thời so sánh với các yêu cầu kỹ thuật thì đoạn đường thử nghiệm dùng BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế có thể làm mặt đường giao thông cấp thấp.
- Đối với phân đoạn có cắt khe giả: Sau khi đã cắt khe, không thấy xuất hiện thêm vết nứt và những vết nứt đã có từ trước không mở rộng thêm. Với những đoạn không cắt khe giả, độ mở rộng vết nứt trên bề mặt của lớp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế có xu hướng phát triển nhưng độ mở rộng vết nứt cũng không quá 2,0 mm, mật độ vết nứt không tăng.

Hình 4-29. Đoạn đường từ khi xây dựng và sau hơn 3 năm sử dụng

4.2. Nghiên cứu đề xuất một số kết cấu áo đường và phạm vi áp dụng lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

*** Tính toán ứng suất đáy lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được trình bày trong bảng 4-16.**

Bảng 4-16. Tính ứng suất KCAD dùng BTĐL sử dụng CLTC

Kết cấu	Thông số kỹ thuật		Phạm vi áp dụng
	Lớp vật liệu	Chiều dày, cm	
KC1 	BTĐL- 40%CLTC1-13%PC40: R_n = 21,39 MPa; E =24,82 GPa; R_{ku}= 3,28 MPa	20	- Đường cấp IV-MN P_s=100 kN; P_m=240 kN; N_e=1.10^6 lần/làn. t=10 năm - Kích thước tấm bxl = 4x5m
	Cấp phối đá dăm gia cố XM: E=450 MPa; K_2=320 MN/m^3	12	
	Nền đất á cát, K_3=40 MN/m^3		

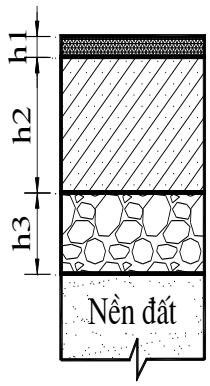
Kết quả: σ_{pmax}=2,75 MPa → $\gamma_r.\sigma_{pmax}$ =1,07*2,75 = 2,94 ≤ f_r =3,28 : thỏa mãn

σ_{pr} = 1,46 MPa → $\gamma_r.\sigma_{pr}$ = 1,07*1,46 =1,56 ≤ f_r =3,28 : thỏa mãn

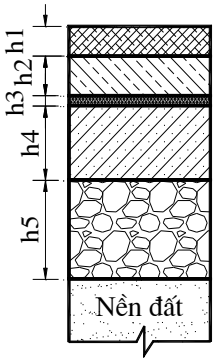
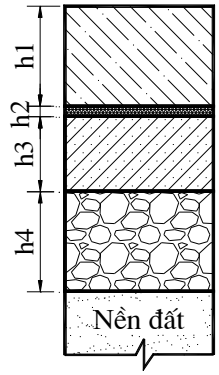
Ứng suất trong tấm BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế vẫn nhỏ hơn giới hạn cho phép, tuy nhiên vì điều kiện cấu tạo kết cấu chưa thỏa mãn nên không sử dụng lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế làm lớp mặt đường cứng theo Quyết định 3230/QĐ-BGTVT.

Do đó, các kết cấu mặt đường được đề xuất như sau :

Bảng 4-17. Kết cấu áo đường cho đường giao thông nông thôn

Kết cấu	Thông số kỹ thuật		Phạm vi áp dụng
	Lớp vật liệu	Chiều dày, cm	
KC2 	- Lớp láng nhựa 3 lớp theo TCVN 8863:2011	3,0 - 3,5	- Thiết kế theo 4451/QĐ-BGTVT - Lưu lượng xe thiết kế 100-200 xqd/ngày đêm - Áp dụng cho đường có trục > 6000 Kg
	- Lớp BTĐL 40% CLTC	20 - 25	
	- Lớp cấp phối đá dăm	15 - 20	
	- Nền đất		

Bảng 4-18. Kết cấu mặt đường cho đường ô tô

Kết cấu	Thông số kỹ thuật		Phạm vi áp dụng
	Lớp vật liệu	**Chiều dày, cm**	
KC3 	- Lớp BTNC 12,5	5 - 6	- Đường cấp cao A1 - Thiết kế theo 22TCN 211-06 hoặc 22TCN 274-01 - Mô đun đàn hồi yêu cầu 140-160 MPa
	- Lớp BTNC 19	7 - 8	
	- Lớp láng nhựa 1 hoặc 2 lớp theo TCVN 8863:2011	1,5 - 2,5	
	- Lớp BTĐL 40% CLTC	16 - 20	
	- Lớp cấp phối đá dăm loại 2	15 - 30	
	- Nền đất		
KC4 	- Lớp BTXM f_r=4,5÷5,0 MPa	20 - 25	- Thiết kế theo 3230/QĐ-GTVT - Quy mô giao thông mức nặng trở xuống
	- Lớp tạo phẳng	1 - 3	
	- Lớp BTĐL 40-80% CLTC	16 - 20	
	- Lớp cấp phối đá dăm	15 - 30	
	- Nền đất		

4.2.6. So sánh và đánh giá tính kinh tế của kết cấu áo đường dùng bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế và một số loại kết cấu áo đường phổ biến khác

STT	Kết cấu áo đường	Tổng hợp kinh phí (VND)
1	Bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế	295.118.123
2	Bê tông xi măng M20	357.943.521
3	Bê tông xi măng M25	339.208.282

Kết quả tính dự toán của các kết cấu áo đường dùng bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế, BTXM M20 và BTXM M25 thấy rằng chi phí xây dựng của kết cấu áo đường dùng BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế rẻ hơn 13,0% so với kết cấu áo đường dùng BTXM M25 trộn tại trạm trộn rải bằng máy; rẻ hơn 17,6% so với mặt đường BTXM M20 trộn tại trạm trộn rải bằng máy. Như vậy, việc sử dụng cốt liệu tái chế thay thế một phần cốt liệu tự nhiên để chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn có ý nghĩa về mặt kinh tế, chi phí xây dựng thấp hơn đồng thời tiết kiệm được vật liệu tự nhiên.

4.3. Kết luận chương 4

- Trong chương 4, nghiên cứu sinh đã tính toán thiết kế và xây dựng đoạn đường thử nghiệm có lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế làm lớp mặt đường. Lớp BTĐL sử dụng 40% cốt liệu tái chế (theo tổng khối lượng hỗn hợp cốt liệu), 13% chất kết dính gồm xi măng PC40 và tro bay (theo tổng khối lượng hỗn hợp cốt liệu). Sau đó, tiến hành theo dõi, đánh giá đoạn đường thử nghiệm sau 3 năm đưa vào khai thác sử dụng, đoạn đường vẫn nguyên vẹn, không có dấu hiệu bị hư hỏng, không phát hiện các vết nứt, các phá hoại cục bộ.

- Với các kết quả thí nghiệm (cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ, mô đun đàn hồi) của các mẫu khoan lấy từ đoạn đường thử nghiệm, đồng thời, so sánh với các yêu cầu kỹ thuật thì hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế nghiên cứu trong luận án có thể làm lớp móng đối với đường cấp cao, mặt đường giao thông nông thôn cấp thấp, bãi đỗ xe,…

- Đề xuất các kết cấu mặt đường điển hình và phạm vi sử dụng của lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế. Mô hình hóa và kiểm toán kết cấu mặt đường lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế.

- Qua kết quả thử nghiệm và tính dự toán kết cấu áo đường dùng lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế, có thể kết luận ứng dụng công nghệ tái chế nguội tại trạm trộn bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế hoàn toàn hợp lý, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn, tiết kiệm được chi phí xây dựng và nguồn vật liệu tự nhiên, giảm bớt chi phí khai thác và vận chuyển cốt liệu mới từ nơi khác đến, tận dụng nguồn vật liệu phế thải, bảo vệ môi trường.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

I. Những đóng góp mới của luận án

1. Đề xuất áp dụng nguyên lý gia cố đất theo tiêu chuẩn ACI 325.10R, ACI 211.3R để tính toán thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng.
2. Thí nghiệm trong phòng xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của bê tông đầm lăn dùng 2 loại cốt liệu tái chế thu gom từ 2 nguồn với các tỉ lệ cốt liệu tái chế (0%, 40% và 80%) sử dụng các hàm lượng chất kết dính (10%, 13% và 15%) của 2 loại xi măng PCB30 và PC40. Đây là cơ sở để lựa chọn hàm lượng cốt liệu tái chế, hàm lượng chất kết dính sử dụng trong hỗn hợp bê tông đầm lăn. Từ đó, áp dụng công nghệ tái chế nguội tại trạm trộn bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế trong xây dựng đường ô tô có các điều kiện phù hợp với Việt Nam.
3. Bước đầu phân tích được ảnh hưởng của nhựa đường cũ dính bám xung quanh các hạt cốt liệu tái chế đến các đặc tính kỹ thuật của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế. Từ kết quả thí nghiệm thu được, xây dựng các hàm hồi quy thực nghiệm giữa cường độ ép chẻ và cường độ chịu nén, mô đun đàn hồi và cường độ chịu nén như sau:

   - Hàm hồi quy thực nghiệm giữa cường độ chịu nén và cường độ ép chẻ:

   $$R_{ec} = 0,3224 + 0,08318.R_n \text{ (MPa)}$$

   - Hàm hồi quy thực nghiệm giữa cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi:

   $$E_{bt} = 1,4387.(R_n)^{0,9127} \text{ với } R^2 = 0,9127$$

4. Đã tính toán thiết kế và xây dựng đoạn đường thực nghiệm có lớp mặt là bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế tại Trường ĐH CN GTVT cơ sở Vĩnh Yên. Đoạn đường có bề rộng 3,5 m, chiều dài 20 m. Sau đó, tiến hành các thí nghiệm hiện trường đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật cơ bản (cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ, mô đun đàn hồi) theo các tiêu chuẩn hiện hành, đồng thời, theo dõi đoạn

đường từ lúc xây dựng đến lúc đưa vào khai thác sử dụng. Sau hơn 3 năm, đoạn đường thử nghiệm vẫn nguyên vẹn, không có dấu hiệu hư hỏng, mật độ vết nứt không tăng và không có hiện tượng phá hoại cục bộ.

5. Đề xuất, kiến nghị một số kết cấu điển hình dùng lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế trong xây dựng đường ô tô. Kết luận lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế có thể dùng làm lớp móng trong đường cấp cao, lớp mặt cho mặt đường giao thông nông thôn, bãi đỗ xe, vỉa hè,...phù hợp với các điều kiện ở Việt Nam. Bổ sung một công nghệ tái chế nguội mặt đường tại trạm trộn tận dụng được vật liệu phế thải sẵn có, giảm chi phí xây dựng, giảm ô nhiễm môi trường. Việc làm này có ý nghĩa khoa học thực tiễn, làm minh chứng cho các tài liệu tham khảo về sau.

II. Những tồn tại và hạn chế

- Trong phạm vi luận án, mới chỉ tập trung nghiên cứu đánh giá các đặc tính kỹ thuật của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế của 2 hàm lượng cốt liệu tái chế là 40% và 80% để so sánh với BTĐL đối chứng (100% cốt liệu tự nhiên).
- Với điều kiện thực nghiệm còn hạn chế, luận án tiến hành thí nghiệm một số đặc tính cơ bản của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế (như cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ và mô đun đàn hồi), chưa có đánh giá về hệ số giãn nở nhiệt; đặc tính mỏi và độ bền của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế.
- Mức độ phong phú về vật liệu sử dụng trong luận án chưa nhiều nên kết quả thu được trong nghiên cứu chỉ phù hợp với một số loại vật liệu nhất định.

III. Hướng nghiên cứu tiếp theo

1. Tiếp tục tiến hành các thí nghiệm để đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng nhựa cũ trong cốt liệu tái chế tới các đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế, các thí nghiệm đánh giá độ mài mòn, nứt, hệ số giãn nở nhiệt,... của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế.
2. Cần tiếp tục nghiên cứu ứng dụng bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế với các hàm lượng cốt liệu tái chế khác, các hàm lượng chất kết dính khác để ứng dụng trong xây dựng đường ô tô rộng rãi và hiệu quả hơn, tiết kiệm được nguồn vật liệu tự nhiên, tận dụng nguồn vật liệu phế thải, hạn chế ô nhiễm môi trường.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Th.S. Nguyễn Thị Hương Giang, GS.TS. Bùi Xuân Cậy, TS. Nguyễn Mai Lân, TS. Trần Trung Hiếu, TS. Nguyễn Tiến Dũng (2018), "Đánh giá một số đặc tính của bê tông nhựa cũ phục vụ tái chế làm cốt liệu cho kết cấu mặt đường bê tông xi măng đầm lăn ở Việt Nam", *Hội thảo quốc tế về các giải pháp kết cấu và công nghệ mặt đường Asphalt đáp ứng yêu cầu phát triển GTVT bền vững ở Việt Nam – Lần thứ 2, Tạp chí GTVT tháng 12/2018.*

2. Th.S. Nguyễn Thị Hương Giang, GS.TS. Bùi Xuân Cậy, PGS.TS. Đào Văn Đông, TS. Nguyễn Mai Lân, TS. Trần Trung Hiếu, TS. Nguyễn Tiến Dũng (2019), "Investigation of the use of reclaimed asphalt pavement as aggregates in roller compacted concrete for road base pavement in Viet Nam", *Hội thảo quốc tế lần thứ 5 về Địa kỹ thuật, Kết cấu và Xây dựng – CIGOS 2019.*

3. Th.S. Nguyễn Thị Hương Giang, GS.TS. Bùi Xuân Cậy, Th.S. Lê Quang Huy (2021), "Khả năng ứng dụng bê tông xi măng đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế trong xây dựng đường ô tô ở Việt Nam", *Tạp chí Cầu đường số 4-2021*.

4. Th.S. Nguyễn Thị Hương Giang, TS. Đào Phúc Lâm, TS. Nguyễn Tiến Dũng, Th.S. Lê Quang Huy (2021), "Tính toán thiết kế thành phần bê tông xi măng đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ", *Tạp chí Người xây dựng số 3-4 (2021).*