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

LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Hà Nội – 2022

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 : 9580205
Chuyên ngành : Xây dựng đường ô tô và đường thành phố

LUẬN ÁN TIẾN SĨ

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:
1: GS.TS. Bùi Xuân Cậy
2: TS. Nguyễn Francois
(TS. Nguyễn Mai Lân)

Hà Nội - 2022

CỘNG HOÀ XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

Hà Nội, ngày tháng năm 2022

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong Luận án là trung thực và chưa được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả luận án

Nguyễn Thị Hương Giang

LỜI CẢM ƠN

Sau bốn năm học tập và nghiên cứu tại Trường Đại học Giao thông vận tải, được sự chỉ dẫn nhiệt tình của các Thầy hướng dẫn, sự ủng hộ của Nhà trường, sự giúp đỡ của Thầy cô, đồng nghiệp, bạn bè, người thân, nghiên cứu sinh (NCS) đã hoàn thành luận án Tiến sỹ kỹ thuật chuyên ngành Xây dựng đường ô tô và đường thành phố với 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*".

Để hoàn thành luận án này, NCS xin được gửi lời tri ân sâu sắc nhất đến 2 thầy hướng dẫn là GS.TS. Bùi Xuân Cậy và TS. Nguyễn Mai Lân. Các thầy đã tận tình chỉ bảo, định hướng, góp ý chuyên môn xác đáng và động viên NCS từ khi bắt đầu cho tới lúc hoàn thành các nghiên cứu của luận án.

Nghiên cứu sinh vô cùng biết ơn PGS.TS. Nguyễn Quang Phúc, PGS.TS. Đào Văn Đông, PGS.TS. Lã Văn Chăm, PGS.TS. Nguyễn Thanh Sang, TS. Nguyễn Ngọc Lân, TS. Nguyễn Tiến Dũng và các Thầy cô đã giúp đỡ, cung cấp những tài liệu quý báu, luôn nhiệt tình hỗ trợ và tư vấn cho NCS trong suốt quá trình nghiên cứu thực nghiệm, xử lý và phân tích số liệu thực nghiệm.

Nghiên cứu sinh trân trọng cảm ơn các đơn vị: Phòng Đào tạo Đại học và Sau đại học, Bộ môn Đường bộ - Đại học Giao thông vận tải, phòng thí nghiệm Vật liệu xây dựng - Đại học Giao thông vận tải, phòng thí nghiệm – Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, tập thể cán bộ phòng thí nghiệm đã giúp đỡ, phối hợp cùng NCS trong quá trình thực hiện đề tài nghiên cứu này.

Nghiên cứu sinh cũng xin gửi lời cảm ơn đến Ban Giám hiệu, Khoa Công trình, Bộ môn KC-VL và các đồng nghiệp trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải đã tạo điều kiện thuận lợi cho NCS trong quá trình nghiên cứu.

Cuối cùng, xin dành lời cảm ơn sâu sắc nhất đến người bạn đời và những người thân đã luôn ở bên chia sẻ, động viên ủng hộ NCS cả về vật chất và tinh thần trong suốt chặng đường làm nghiên cứu của mình.

Trân trọng cảm ơn!

Hà Nội, ngày tháng năm 2022

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Thị Hương Giang

MỤC LỤC

MỤC LỤC ..... **I**

DANH MỤC HÌNH ẢNH ..... **VII**

DANH MỤC BẢNG BIỂU ..... **XI**

DANH MỤC VIẾT TẮT, KÝ HIỆU ..... **XIII**

MỞ ĐẦU **1**

1.1. Đặt vấn đề **1**

1.2. Mục đích nghiên cứu **3**

1.3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu **3**

1.4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án **3**

1.4.1. Ý nghĩa khoa học 3

1.4.2. Ý nghĩa thực tiễn 4

1.5. Phương pháp nghiên cứu **4**

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ BÊ TÔNG ĐẦM LĂN VÀ CỐT LIỆU CÀO BÓC TỪ BÊ TÔNG NHỰA CŨ **5**

1.1. Tổng quan về bê tông đầm lăn **5**

1.1.1. Tình hình nghiên cứu và ứng dụng công nghệ bê tông đầm lăn trên thế giới và ở Việt Nam 6

1.1.1.1. Trên thế giới 6

1.1.1.2. Ở Việt Nam 8

1.1.2. Đặc điểm của bê tông đầm lăn 8

1.1.2.1. Thành phần vật liệu chế tạo bê tông đầm lăn 8

1.1.2.2. Các thông số kỹ thuật của bê tông đầm lăn 10

1.1.3. Công nghệ thi công bê tông đầm lăn 11

1.2. Tổng quan về cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ **13**

1.2.1. Tình hình nghiên cứu và sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trên thế giới và tại Việt Nam 13

1.2.1.1. Trên thế giới 13

1.2.1.2. Tại Việt Nam 15

1.2.2. Công nghệ tái chế mặt đường 17
1.2.2.1. Công nghệ tái chế mặt đường tại chỗ 17
1.2.2.2. Công nghệ tái chế mặt đường tại trạm trộn 18
1.2.3. Qui trình sản xuất cốt liệu cào bóc bê tông nhựa cũ 20
1.2.3.1. Cào bóc mặt đường bê tông nhựa cũ 20
1.2.3.2. Công nghệ nghiền, phân loại và lưu trữ.....21
1.2.3.3. Thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật.....22
1.2.4. Các thông số kỹ thuật của cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ 22
1.2.4.1. Thành phần hạt.....23
1.2.4.2. Khối lượng thể tích và độ ẩm.....23
1.2.4.3. Tính thấm 23
1.2.4.4. Cường độ.....24
1.2.4.5. Độ biến dạng 24
1.2.4.6. Đặc tính của nhựa đường cũ 25
1.3. Tổng quan về bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ. 25
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 25
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.....25
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 27
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.....31
1.4. Những vấn đề cần giải quyết.....31
1.5. Nội dung nghiên cứu 32
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.....33
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 33

2.1.1. Nguyên tắc thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn 33
2.1.2. Các phương pháp thiết kế bê tông đầm lăn 34
2.1.2.1. Thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn theo nguyên lý bê tông ...34
2.1.2.2. Thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn theo nguyên lý gia cố đất ..37
2.1.2.3. Mối liên hệ giữa hai nguyên lý 38
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 39
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 41
2.2.1. Xi măng 41
2.2.1.1. Xi măng PC40 42
2.2.1.2. Xi măng PCB30 42
2.2.2. Cốt liệu tự nhiên 42
2.2.2.1. Cốt liệu lớn tự nhiên 43
2.2.2.2. Cốt liệu nhỏ tự nhiên 43
2.2.3. Cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ 46
2.2.3.1. Nguồn gốc cốt liệu cào bóc 46
2.2.3.2. Quy trình sản xuất cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trong phòng thí nghiệm 46
2.2.3.3. Các tiêu chuẩn được áp dụng 47
2.2.3.4. Thí nghiệm xác định các đặc tính kỹ thuật của cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ 48
2.2.4. Tro bay 53
2.2.5. Nước 54
2.3. Tính toán thiết kế thành phần bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ 54
2.3.1. Xác định tỷ lệ phối trộn của hỗn hợp cốt liệu 55
2.3.2. Lựa chọn hàm lượng chất kết dính 58
2.3.3. Xác định độ ẩm tối ưu 60

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 61

2.4. Kết luận chương 2 63

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 64

3.1. Kế hoạch thực nghiệm 64

3.1.1. Thiết kế thí nghiệm và trình tự phân tích thống kê xử lý số liệu 64

3.1.1.1. Thiết kế thí nghiệm 64

3.1.1.2. Các công thức tính toán 64

3.1.1.3. Đánh giá số mẫu trong tổ mẫu 65

3.1.1.4. Loại bỏ số liệu ngoại lai và đánh giá độ chụm 66

3.1.1.5. Trình tự thiết kế thí nghiệm và xử lý kết quả thí nghiệm 66

3.2. Thiết kế thí nghiệm 66

3.3. Thực nghiệm chế tạo mẫu trong phòng thí nghiệm 67

3.3.1. Qui trình nhào trộn mẫu 67

3.3.2. Chế tạo mẫu thí nghiệm 67

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 67

3.4.1. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén 68

3.4.1.1. Ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu tái chế 70

3.4.1.2. Ảnh hưởng của thời gian 71

3.4.1.3. Ảnh hưởng của hàm lượng chất kết dính 72

3.4.1.4. Ảnh hưởng của các loại cốt liệu tái chế 72

3.4.1.5. Ảnh hưởng của các loại xi măng Pooclang 73

3.4.2. Thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ 73

3.4.3. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi 77

3.4.4. Thí nghiệm xác định độ co ngót 82

3.4.5. Thí nghiệm xác định khối lượng thể tích 83

3.4.6. Thí nghiệm xác định độ hút nước 84

3.4.7. Thí nghiệm xác định mô đun phức động 85

3.4.7.1. Kế hoạch thí nghiệm và phương pháp thí nghiệm 85

3.4.7.2. Quy hoạch thí nghiệm và phân tích kết quả thí nghiệm 87

3.5. Kết luận chương 3 89

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 91

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 91

4.1.1. Tóm tắt kế hoạch xây dựng đoạn thử nghiệm hiện trường 92

4.1.2. Tính toán kết cấu áo đường có lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế.92

4.1.3. Xây dựng đoạn đường thử nghiệm hiện trường.....95

4.1.3.1. Xác định vị trí, mặt bằng và các thông số hình học của đoạn đường thử nghiệm hiện trường.....95

4.1.3.2. Công tác chuẩn bị cốt liệu tái chế từ bê tông nhựa cũ 95

4.1.3.3. Thi công nền đường đoạn thử nghiệm 96

4.1.3.4. Thi công lớp cấp phối đá dăm loại I 99

4.1.3.5. Thi công lớp mặt bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ BTN cũ..101

c. Rải hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ.....102

d. Lu lèn hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ.....102

e. Thi công khe nối.....103

f. Bảo dưỡng 103

4.1.4. Đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật của đoạn đường thử nghiệm.....104

4.1.4.1. Đo đạc theo dõi diễn biến vết nứt sau khi thi công.....104

4.1.4.2. Công tác kiểm tra nghiệm thu đoạn đường thử nghiệm.....104

4.1.4.3. Thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật của đoạn đường thử nghiệm.....105

4.1.5. Nhận xét, đánh giá đoạn đường thử nghiệm 109

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 110

4.2.1. Nguyên tắc đề xuất và phạm vi áp dụng kết cấu mặt đường 110

4.2.1.1. Nguyên tắc đề xuất kết cấu mặt đường 110

4.2.1.2. Phạm vi áp dụng kết cấu mặt đường 111

4.2.2. Lựa chọn phương pháp thiết kế kết cấu mặt đường 111

4.2.2.1. Đối với kết cấu mặt đường mềm, mặt đường nửa cứng 111

4.2.2.2. Đối với kết cấu mặt đường cứng 112

4.2.3. Giải pháp chống nứt phản ánh cho lớp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế 112

4.2.3.1. Giải pháp sử dụng lớp SAMI 112

4.2.3.2. Giải pháp tạo đường nứt trước bằng cách cắt khe giả 112

4.2.4. Các thông số thiết kế kết cấu mặt đường 113

4.2.4.1. Thông số về tải trọng 113

4.2.4.2. Thông số về nền đường 114

4.2.4.3. Thông số về khí hậu 115

4.2.4.4. Thông số về vật liệu 115

4.2.5. Đề xuất và mô hình phân tích kết cấu mặt đường dùng lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ 116

4.2.5.1. Đề xuất kết cấu mặt đường có lớp mặt bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ 116

4.2.5.2. Mô hình phân tích kết cấu mặt đường mềm có lớp móng bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ 119

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 121

4.3. Kết luận chương 4 125

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ 127

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ 129

TÀI LIỆU THAM KHẢO 130

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1-1. Chế tạo bê tông đầm lăn [87].....5
Hình 1-2. Thi công bê tông đầm lăn ở Mỹ [69].....7
Hình 1-3. Tình hình sử dụng BTĐL tại Mỹ (tính đến năm 2015) [69].....7
Hình 1-4. Thi công thử nghiệm mặt đường BTĐL – IBST 2001 [43].....8
Hình 1-5. Sơ đồ thi công mặt đường bằng công nghệ bê tông đầm lăn [12].....11
Hình 1-6. Cào bóc mặt đường và cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ.....13
Hình 1-7. Tỉ lệ cốt liệu tái chế được sử dụng của một vài quốc gia trên thế giới [85]...14
Hình 1-8. Đoạn đường sử dụng công nghệ tái chế bê tông nhựa cũ ở Mỹ [64] 14
Hình 1-9. Tiết kiệm chi phí từ việc sử dụng CLTC trong xây dựng đường [62].....15
Hình 1-10. Đoạn đường được thi công từ bê tông nhựa tái chế tại Việt Nam.....16
Hình 1-11. Trạm trộn cốt liệu tái chế của công ty BMT.....16
Hình 1-12. Công nghệ tái chế mặt đường tại chỗ 17
Hình 1-13. Công nghệ tái chế mặt đường tại trạm trộn [66] 18
Hình 1-14. Trạm trộn theo công nghệ tái chế nguội [71] 19
Hình 1-15. Máy cào bóc mặt đường bê tông nhựa cũ.....20
Hình 1-16. Sàng phân loại cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ 21
Hình 1-17. Kho lưu trữ cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ 22
Hình 1-18. Cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ [71].....22
Hình 1-19. ITZ giữa CLTC (A) và CLTN (B) với XM của BTĐL chứa 50% CLTC ..26
Hình 1-20. Hình ảnh (SEM) phân tích BTĐL sử dụng 50% CLTC 26
Hình 1-21. Hình ảnh (SEM) phân tích liên kết giữa nhựa đường với hồ xi măng và tro bay của BTĐL- 50% CLTC -15% tro bay.....27
Hình 1-22. Kiểm tra vết nứt của mặt đường BTĐL sử dụng CLTC bổ sung các sợi thép...28
Hình 1-23. Kết quả đo mô đun phức động |E*| của BTĐL sử dụng CLTC bổ sung các sợi thép.....28
Hình 1-24. Biểu đồ cường độ chịu nén và độ hút nước của BTĐL sử dụng CLTC .29
Hình 1-25. Biểu đồ thí nghiệm độ co ngót của BTĐL sử dụng CLTC.....30
Hình 2-1. Thiết kế và ứng dụng của BTĐL theo nguyên lý gia cố đất [72] 40
Hình 2-2. Xi măng PC40 Vicem Bút Sơn và xi măng PCB30 The Vissai 41
Hình 2-3. Đá dăm D_{max} = 12,5 mm (trái) và cát vàng M_{dl} = 2,4 (phải) 42

Hình 2-4. Thí nghiệm xác định thành phần hạt cuả cốt liệu tự nhiên.....44
Hình 2-5. Đường thành phần hạt của cốt liệu lớn tự nhiên.....45
Hình 2-6. Đường thành phần hạt của cốt liệu nhỏ tự nhiên.....45
Hình 2-7. CLTC1 thu gom từ Công nghiệp Tiên Sơn –Bắc Ninh.....46
Hình 2-8. CLTC2 thu gom trên tuyến đường Pháp Vân – Cầu Giẽ 46
Hình 2-9. Quá trình nghiền cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ.....47
Hình 2-10. Cốt liệu tái chế thu được sau quá trình nghiền 47
Hình 2-11. Cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ thu được sau khi sàng phân loại theo cỡ hạt....47
Hình 2-12. Thành phần hạt CLN – TC thu được từ 2 loại CLTC.....49
Hình 2-13. Thành phần hạt CLL – TC thu được từ 2 loại CLTC 49
Hình 2-14. Thí nghiệm xác định hàm lượng nhựa có trong cốt liệu tái chế 51
Hình 2-15. Hàm lượng nhựa dính bám của các loại cốt liệu tái chế.....51
Hình 2-16. Độ hút nước của CLTC1 trước và sau khi chiết tách nhựa 52
Hình 2-17. Độ hút nước của CLTC2 trước và sau khi chiết tách nhựa 52
Hình 2-18. Các dạng nhựa đường bao bọc xung quanh cốt liệu tái chế [71].....53
Hình 2-19. Đường cấp phối cốt liệu của hỗn hợp BTĐL theo ACI 325.10R.....58
Hình 2-20. Đường cấp phối cốt liệu của hỗn hợp BTĐL có bổ sung tro bay.....59
Hình 2-21. Quan hệ giữa KLTT khô và độ ẩm của BTĐL-CLTC1 (hàm lượng CKD 10%).....60
Hình 2-22. Quan hệ giữa KLTT khô và độ ẩm của BTĐL-CLTC1 (hàm lượng CKD 13%) 60
Hình 2-23. Quan hệ giữa KLTT khô và độ ẩm của BTĐL-CLTC1 (hàm lượng CKD 15%) 61
Hình 2-24. Quan hệ giữa KLTT khô và độ ẩm của BTĐL-CLTC2 (hàm lượng CKD 10%) 61
Hình 2-25. Quan hệ giữa KLTT khô và độ ẩm của BTĐL-CLTC2 (hàm lượng CKD 13%) 61
Hình 2-26. Quan hệ giữa KLTT khô và độ ẩm của BTĐL-CLTC2 (hàm lượng CKD 15%) 61
Hình 3-1. Nhào trộn hỗn hợp BTĐL sử dụng CLTC bằng máy trộn cưỡng bức 67
Hình 3-2. Chế tạo mẫu bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế 67
Hình 3-3. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của BTĐL sử dụng CLTC 68

Hình 3-4. Biểu đồ cường độ chịu nén của BTĐL sử dụng CLTC1 69
Hình 3-5. Biểu đồ cường độ chịu nén của BTĐL sử dụng CLTC2 69
Hình 3-6. Các yếu tố chính ảnh hưởng đến cường độ chịu nén của BTĐL.....69
Hình 3-7. Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng tới cường độ chịu nén 70
Hình 3-8. Quan hệ giữa cường độ chịu nén và thời gian của BTĐL dùng XM PC40 71
Hình 3-9. Quan hệ giữa cường độ chịu nén và thời gian của BTĐL dùng XM PCB30 ...71
Hình 3-10. Vùng chuyển tiếp ITZ trong BTĐL được phân tích bằng hình ảnh SEM [83]...72
Hình 3-11. Quan hệ của hàm lượng chất kết dính với cường độ chịu nén 72
Hình 3-12. Thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ của BTĐL sử dụng CLTC.....74
Hình 3-13. Biểu đồ cường độ ép chẻ của BTĐL sử dụng CLTC1 75
Hình 3-14. Biểu đồ cường độ ép chẻ của BTĐL sử dụng CLTC2 75
Hình 3-15. Biểu đồ các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ ép chẻ 75
Hình 3-16. Liên kết giữa CLTN và CLTC với vữa XM trong BTĐL [80] 76
Hình 3-17. Quan hệ giữa cường độ ép chẻ và cường độ chịu nén.....76
Hình 3-18. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của BTĐL sử dụng CLTC 77
Hình 3-19. Biểu đồ mô đun đàn hồi của BTĐL sử dụng CLTC1.....79
Hình 3-20. Biểu đồ mô đun đàn hồi của BTĐL sử dụng CLTC2.....79
Hình 3-21. Biểu đồ phân tích số dư 80
Hình 3-22. Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng đến mô đun đàn hồi của BTĐL .80
Hình 3-23. Quan hệ giữa mô đun đàn hồi và cường độ chịu nén 81
Hình 3-24. Sự lan truyền vết nứt của CLTN và CLTC trong bê tông đầm lăn [89]..81
Hình 3-25. Dụng cụ đo độ co ngót của BTĐL sử dụng CLTC.....82
Hình 3-26. Độ co ngót của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế 83
Hình 3-27. Khối lượng thể tích của BTĐL đối chứng và BTĐL sử dụng CLTC....84
Hình 3-28. Độ hút nước của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế.....84
Hình 3-29. IZT của CLTN và CLTC với vữa XM trong BTĐL [83].....85
Hình 3-30. Thiết bị Cooper của trường ĐH GTVT 86
Hình 3-31. Mô hình thí nghiệm mô đun phức |E*| của BTĐL sử dụng CLTC 87
Hình 3-32. Biểu đồ tổng hợp đường cong của BTĐL sử dụng CLTC 88
Hình 3-33. Biểu đồ ảnh hưởng các yếu tố chính 88
Hình 3-34. Biểu đồ ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố 89
Hình 4-1. Sơ đồ trình tự nghiên cứu thực nghiệm hiện trường 91

Hình 4-2. Sơ đồ khối thể hiện quá trình kiểm toán kết cấu áo đường đề xuất dùng lớp BTĐL sử dụng CLTC theo Quyết định 4451/QĐ-BGTVT.....93
Hình 4-3. Mặt bằng đoạn đường thử nghiệm tại trường ĐH CN GTVT.....95
Hình 4-4. Công tác đo đạc, khảo sát đoạn đường thực nghiệm.....95
Hình 4-5. Cào bóc mặt đường nhựa trên tuyến đường Pháp Vân – Cầu Giẽ 95
Hình 4-6. Tập kết cốt liệu tái chế tại trường ĐH CN GTVT.....96
Hình 4-7. Sản xuất cốt liệu tái chế phục vụ cho đoạn đường thử nghiệm.....96
Hình 4-8. Công tác đào bỏ bóc lớp đất tự nhiên phía trên đến cao độ đáy KCAD .97
Hình 4-9. Công tác lu lèn nền đất của đoạn đường thử nghiệm 97
Hình 4-10. Các thí nghiệm ngoài hiện trường kiểm tra các chỉ tiêu kỹ thuật.....98
Hình 4-11. Công tác rải vải địa kỹ thuật, đo đạc và ghép ván khuôn.....99
Hình 4-12. Tập kết cấp phối đá dăm tại đoạn đường thử nghiệm 99
Hình 4-13. Công tác thi công lớp móng đá dăm.....100
Hình 4-14. Thí nghiệm kiểm tra độ chặt theo phương pháp phễu rót cát.....100
Hình 4-15. Trạm trộn hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc từ BTN cũ.....101
Hình 4-16. Xe tải tự đổ chở hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc từ BTN cũ102
Hình 4-17. San rải hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc từ BTN cũ 102
Hình 4-18. Công tác lu lèn lớp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế.....103
Hình 4-19. Công tác cắt khe ngang mặt đường 103
Hình 4-20. Đoạn đường thử nghiệm BTĐL sử dụng CLTC sau khi thi công 103
Hình 4-21. Bề mặt đoạn đường thử nghiệm 104
Hình 4-22. Công tác khoan mẫu BTĐL sử dụng CLTC ngoài hiện trường 105
Hình 4-23. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của mẫu khoan.....106
Hình 4-24. Biểu đồ cường độ chịu nén của mẫu khoan.....106
Hình 4-25. Thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ của mẫu khoan 107
Hình 4-26. Biểu đồ cường độ ép chẻ của mẫu khoan.....107
Hình 4-27. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của mẫu khoan.....108
Hình 4-28. Biểu đồ mô đun đàn hồi của mẫu khoan 108
Hình 4-29. Đoạn đường từ khi xây dựng và sau hơn 3 năm sử dụng.....109
Hình 4-30. Biểu đồ xác định hệ số lớp a_2 của lớp móng trên bằng VL gia cố XM, theo các tham số cường độ: Mô đun đàn hồi E_{BS} hoặc cường độ nén nở hông tự do.....116

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 2-1. Chỉ tiêu kỹ thuật của xi măng PC40.....42
Bảng 2-2. Chỉ tiêu kỹ thuật của xi măng PCB30.....42
Bảng 2-3. Các chỉ tiêu kỹ thuật của cốt liệu lớn tự nhiên.....43
Bảng 2-4. Các chỉ tiêu kỹ thuật của cốt liệu nhỏ tự nhiên.....44
Bảng 2-5: Thành phần hạt cốt liệu của cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ.....44
Bảng 2-6. Tiêu chuẩn thí nghiệm các đặc tính kỹ thuật của cốt liệu cào bóc.....48
Bảng 2-7: Thành phần hạt của các loại cốt liệu tái chế 48
Bảng 2-8. Khối lượng riêng, khối lượng thể tích của CLTC1 50
Bảng 2-9. Khối lượng riêng, khối lượng thể tích của CLTC2.....50
Bảng 2-10. Hàm lượng nhựa trong CLTC (theo % khối lượng cốt liệu).....51
Bảng 2-11. Độ hút nước của CLTC1 và CLTC2.....52
Bảng 2-12. Hàm lượng tạp chất của CLTC1 và CLTC2 53
Bảng 2-13. Thành phần hóa học của tro bay nhiệt điện Phả Lại 54
Bảng 2-14. Các đặc tính kỹ thuật của tro bay.....54
Bảng 2-15. Tỉ lệ phối trộn các thành phần của hỗn hợp cốt liệu (% theo khối lượng) ..56
Bảng 2-16. Thành phần hạt của các loại cốt liệu chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn57
Bảng 2-17. Thành phần VL cho 1m^3 BTĐL - CLTC (hàm lượng CKD 10%) 62
Bảng 2-18. Thành phần VL cho 1m^3 BTĐL - CLTC (hàm lượng CKD 13%) 62
Bảng 2-19. Thành phần VL cho 1m^3 BTĐL - CLTC (hàm lượng CKD 15%) 62
Bảng 3-1. Bảng tổng hợp số lượng mẫu BTĐL sử dụng CLTC.....66
Bảng 3-2. Bảng kết quả thí nghiệm độ co ngót của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế82
Bảng 4-1. Kết cấu áo đường BTĐL sử dụng CLTC của đoạn thử nghiệm 94
Bảng 4-2. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật của đất đắp.....96
Bảng 4-3. Kết quả đo kích thước hình học của đoạn đường thử nghiệm 98
Bảng 4-4. Kết quả đo mô đun đàn hồi của nền đường đắp sau khi đã lu lèn.....98
Bảng 4-5. Kết quả đo kích thước hình học của lớp móng cấp phối đá dăm.....100
Bảng 4-6. Kết quả kiểm tra độ chặt của lớp cấp phối đá dăm 100
Bảng 4-7. Bảng kết quả đo mô đun đàn hồi của lớp móng cấp phối đá dăm 101
Bảng 4-8. Kết quả đo độ bằng phẳng bằng thước 3 mét của đoạn đường.....105
Bảng 4-9. Kết quả cường độ chịu nén ở 7, 14 và 28 ngày của mẫu khoan.....106

Bảng 4-10. Kết quả cường độ ép chẻ ở 7, 14 và 28 ngày của mẫu khoan 107
Bảng 4-11. Kết quả mô đun đàn hồi ở 7, 14 và 28 ngày của mẫu khoan 108
Bảng 4-12. Các đặc trưng của tải trọng trục tính toán tiêu chuẩn 113
Bảng 4-13. Phân cấp quy mô giao thông 114
Bảng 4-14. Giá trị M_r (Psi) theo các thông số của nền đất 114
Bảng 4-15. Thông số trong tiêu chuẩn BTĐL và BTXM 117
Bảng 4-16. Tính ứng suất KCAD dùng BTĐL sử dụng CLTC 118
Bảng 4-17. Kết cấu áo đường cho đường giao thông nông thôn 118
Bảng 4-18. Kết cấu mặt đường cho đường ô tô 119
Bảng 4-19. Kết cấu áo đường điển hình sử dụng BTĐL-CLTC làm lớp móng 120
Bảng 4-20. Bảng tổng hợp kinh phí hạng mục KCAD BTĐL sử dụng CLTC 122
Bảng 4-21. Bảng tổng hợp kinh phí hạng mục KCAD BTXM M20.....123
Bảng 4-22. Bảng tổng hợp kinh phí hạng mục KCAD BTXM M25.....124

DANH MỤC VIẾT TẮT, KÝ HIỆU

Ký hiệu	**Ý nghĩa**
BTĐL	: Bê tông đầm lăn
BTN	: Bê tông nhựa
BTXM	: Bê tông xi măng
C	: Cát
CKD	: Chất kết dính
CL	: Cốt liệu
CLL	: Cốt liệu lớn
CLN	: Cốt liệu nhỏ
CLTC	: Cốt liệu tái chế
CLTN	: Cốt liệu tự nhiên
CLL-TN	: Cốt liệu lớn tự nhiên
CLN-TN	: Cốt liệu nhỏ tự nhiên
CLL-TC	: Cốt liệu lớn tái chế
CLN-TC	: Cốt liệu nhỏ tái chế
Đ	: Đá
GTVT	: Giao thông vận tải
HH	: Hỗn hợp
HHBT	: Hỗn hợp bê tông
KC	: Kết cấu
KCAD	: Kết cấu áo đường
KL	: Khối lượng
KLTT	: Khối lượng thể tích

Ký hiệu	**Ý nghĩa**
N	: Nước
N/CKD	: Nước/Chất kết dính
P	: Puzolan
PGK	: Phụ gia khoáng
RAP	: Reclaimed Asphalt Pavement - Bê tông nhựa cũ tái sử dụng
RCC	: Roller Compacted Concrete – Bê tông đầm lăn
TB	: Tro bay
TCN	: Tiêu chuẩn ngành
TCVN	: Tiêu chuẩn Việt Nam
TN	: Thí nghiệm
VL	: Vật liệu
W	: Độ ẩm
XM	: Xi măng
f_r	: Cường độ chịu kéo uốn thiết kế của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế từ bê tông nhựa cũ
E	: Mô đun đàn hồi
m_c	: Khối lượng chất kết dính
m_{CL}	: Khối lượng cốt liệu khô đã sấy khô
m_N	: Khối lượng của nước
R_{ckd}	: Cường độ của chất kết dính ở tuổi 28 ngày
R_n	: Cường độ chịu nén
R_{ec}	: Cường độ ép chẻ
V_k	: Hàm lượng bọt khí của bê tông đầm lăn
γ_W	: Khối lượng thể tích ướt
ρ_C	: Khối lượng riêng của cát
ρ_D	: Khối lượng riêng của đá

Ký hiệu	**Ý nghĩa**
ρ_N	: Khối lượng riêng của nước
ρ_P	: Khối lượng riêng của chất độn
σ_{pmax}	: Ứng suất kéo uốn do tải trọng bánh lớn nhất tạo ra tại vị trí tính toán tại vị trí tấm bê tông đầm lăn dễ bị phá hoại mặc định
σ_{pr}	: Ứng suất kéo uốn gây mỏi do tác dụng xe chạy tại vị trí tính toán tại vị trí tấm bê tông đầm lăn dễ bị phá hoại mặc định
γ_d	: Khối lượng thể tích khô của hỗn hợp bê tông đầm lăn

MỞ ĐẦU

1.1. Đặt vấn đề

Kết cấu hạ tầng nói chung và kết cấu hạ tầng giao thông nói riêng có vai trò quan trọng trong quá trình phát triển kinh tế - xã hội của đất nước. Kết cấu hạ tầng giao thông vận tải đồng bộ, hiện đại đáp ứng nhu cầu vận tải hàng hóa, hành khách… thì sẽ tạo tiền đề cho nền kinh tế tăng trưởng nhanh, ổn định và bền vững. Do đó, việc phát triển mặt đường bền vững được nhiều nước trên thế giới quan tâm. Cả hai loại mặt đường là mặt đường bê tông nhựa và mặt đường bê tông xi măng đều được áp dụng rộng rãi trong xây dựng đường ô tô. Trong đó, mặt đường bê tông nhựa (BTN) chiếm tỷ lệ cao hơn so với mặt đường bê tông xi măng (BTXM).

Tuy nhiên, do 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 ra môi trường trong quá trình xây mới những con đường. Do vậy, nhu cầu tái sử dụng vật liệu này ngày càng tăng cao đặc biệt ở các nước có nền công nghiệp phát triển trên thế giới.

Mặt đường bê tông nhựa tái chế đã được đề cập từ năm 1915, đến nay, nhiều công nghệ tái chế mặt đường được áp dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới. 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. Sử dụng mặt đường bê tông đầm lăn có tác dụng giảm mô đun đàn hồi dẫn đến giảm ứng suất do tải trọng và nhiệt độ gây ra so với mặt đường bê tông xi măng, đồng thời khắc phục được một số hạn chế về cường độ của mặt đường bê tông nhựa.

Ở Brazil, công nghệ bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ đã được áp dụng làm lớp móng trong xây dựng đường ô tô [70]. Ở Thổ Nhĩ Kỳ, bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ được dùng làm vỉa hè. Nghiên cứu này đã sử dụng 15% và 20% cốt liệu tái chế thay thế cho cốt liệu lớn để chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn làm vỉa hè, có hiệu quả cho việc bảo vệ môi trường sinh thái, giảm khí thải CO_2, tận dụng được nguồn vật liệu chất thải [85]. Tại Bỉ, nhóm tác giả đã nghiên cứu và so sánh giữa bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ và bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tự nhiên thì thấy rằng cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tự nhiên có giá trị cao hơn nhưng kết quả thí nghiệm cho thấy việc sử dụng bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế trong xây dựng có hiệu quả và vẫn đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật [76]. Tại Pháp, nghiên cứu bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế bổ sung các sợi thép là một phần của dự án "Recyroute" của Cơ quan Nghiên cứu Quốc gia Pháp trong xây dựng đường của các tuyến đường có lưu lượng giao thông lớn. Kết quả thử nghiệm trong phòng và ngoài hiện trường cho thấy, bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế bổ sung các sợi thép đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật theo các tiêu chuẩn hiện hành đồng thời các sợi thép cho phép giảm thiểu chiều rộng vết nứt [79]. Ngoài ra, một số nước khác như Iran, Ấn Độ, Angeri,... cũng đang nghiên cứu và áp dụng công nghệ bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế trong xây dựng đường ô tô. Như vậy, sử dụng cốt liệu tái chế trong chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn mang lại nhiều thuận lợi cho việc quản lý chất thải, sử dụng năng lượng và tài nguyên thiên nhiên, bảo vệ môi trường, giảm giá thành xây dựng.

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 mặt đường, công nghệ tái chế ấm mặt đường,… 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, việc nghiên cứu áp dụng 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 là cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Khi áp dụng công nghệ tái chế này, vừa tiết kiệm được cốt liệu tự nhiên, giảm chi phí do khai thác và vận chuyển cốt liệu mới từ nơi khác đến, bảo vệ môi trường, giảm khí thải từ các trạm trộn, vừa đi theo xu hướng phát triển mặt đường bền vững trên thế giới. Xuất phát từ hiệu quả 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".***

1.2. Mục đích nghiên cứu

- Kết quả nghiên cứu là 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 nguồn vật liệu tự nhiên đang cạn kiệt và giảm ô nhiễm môi trường.

- Ứng dụng công nghệ bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ làm lớp móng, lớp mặt đường cấp thấp, bãi đỗ xe, vỉa hè,… trong xây dựng đường ô tô ở Việt Nam với các điều kiện phù hợp.

1.3. 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 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.

1.4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

1.4.1. 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 đầm lăn.

***- Điểm mới của luận án*:** phân tích ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu tái chế, ảnh hưởng của màng nhựa dính bám xung quanh các hạt cốt liệu, ảnh hưởng của hàm lượng xi măng dùng trong hỗn hợp đến các chỉ tiêu kỹ thuật của bê tông đầm lăn, từ đó có thể lựa chọn được hàm lượng cốt liệu tái chế thay thế cho cốt liệu tự nhiên trong thiết kế hỗn hợp bê tông đầm lăn.

- Dựa trên các cơ sở khoa học để phân tích các thông số kỹ thuật của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ, từ đó đánh giá hiệu quả sử dụng công nghệ này trong xây dựng đường ô tô tại Việt Nam. Đề xuất một số kết cấu áo đường điển hình sử dụng lớp bê tông đầm lăn dùng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ.

1.4.2. 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, đồng thời khi áp dụng công nghệ này sẽ tiết kiệm vật liệu tự nhiên, giảm giá thành xây dựng, bảo vệ môi trường, tận dụng được vật liệu phế thải xây dựng.

1.5. Phương pháp nghiên cứu

- Nguyên cứu lý thuyết, phân tích các cơ sở khoa học về các vấn đề liên quan đến bê tông đầm lăn, cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ và bê tông đầm lăn có sử dụng cốt liệu tái chế trong xây dựng đường ô tô.

- Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm xác định các đặc tính kỹ thuật của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ. Nghiên cứu thực nghiệm trong phòng và ngoài hiện trường thực hiện trên các thiết bị đã được kiểm định và chứng nhận về chất lượng đảm bảo độ chính xác cho thí nghiệm.

- Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm, phương pháp bình phương nhỏ nhất để xử lý kết quả thí nghiệm, đảm bảo có ý nghĩa thống kê của kết quả nghiên cứu. Sử dụng phần mềm Minitab để hỗ trợ phân tích thống kê đảm bảo độ tin cậy.

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. Cuối cùng, 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) (hình 1-1). 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.

Hình 1-1. Chế tạo bê tông đầm lăn [87]

Công nghệ bê tông đầm lăn áp dụng cho thi công đường giao thông so với công nghệ thi công bê tông xi măng thông thường 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 thông thường.
- Tốc độ thi công nhanh.

Tuy nhiên, việc sử dụng BTĐL trong các công trình cũng có một số nhược điểm:

- Chất lượng phụ thuộc vào điều kiện thời tiết khu vực đổ bê tông nên trong điều kiện thời tiết xấu việc sản xuất bê tông đầm lăn gặp nhiều khó khăn.

- Thời gian ninh kết để bê tông đầm lăn đạt cường độ thiết kế thường dài.

- Việc giám sát các công đoạn vận chuyển, san ủi, đầm… yêu cầu cao, và phụ thuộc vào nguồn cung cấp phụ gia.

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

1.1.1.1. Trên thế giới

Hệ thống giao thông đường bộ có vị trí trọng yếu trong hệ thống GTVT quốc gia, đóng vai trò quan trọng đối với quá trình phát triển kinh tế - xã hội, góp phần bảo đảm quốc phòng - an ninh, nâng cao đời sống nhân dân. Do vậy, trong suốt hơn 100 năm qua, song song với mặt đường bê tông nhựa, mặt đường BTXM đã được tiếp tục xây dựng và phát triển ở hầu hết các nước trên thế giới. Cùng với sự phát triển của công nghệ xây dựng, nhiều vật liệu mới ra đời và các công nghệ thi công liên tục được cải tiến, trong đó phải kể đến công nghệ bê tông xi măng đầm lăn.

Năm 1960, đê quây của đập Thạch Môn ở Đài Loan, năm 1961 - 1964 đập Alpe Gera ở Ý đã được áp dụng công nghệ bê tông đầm lăn. Đến năm 1975, ở Pakistan, công tác sửa chữa công trình đã áp dụng công nghệ bê tông đầm lăn để thi công. Từ đó đến nay, công nghệ bê tông đầm lăn chiếm ưu thế vượt trội trong việc thi công các đập trọng lực trên thế giới. Bên cạnh việc ứng dụng cho đập, bê tông đầm lăn cũng được ứng dụng trong xây dựng mặt đường và sân bãi.

Mặt đường BTXM đầm lăn đầu tiên ở Bắc Mỹ được thiết kế bởi Hiệp hội các kỹ sư quân đội Hoa Kỳ. Đó là dự án xây dựng đường băng tại Yakima, Washington vào năm 1942. Trong những năm đầu thập niên 80 của thế kỷ 20, các kỹ sư của Hiệp hội các kỹ sư quân đội Hoa Kỳ đã bắt đầu nghiên cứu ứng dụng BTĐL phục vụ các công trình của quân đội. Một đoạn đường thử nghiệm với diện tích 392 m^2, kết cấu BTĐL dày 9~13 inch (250~330mm) được xây dựng tại Ft. Gordon, Georgia.

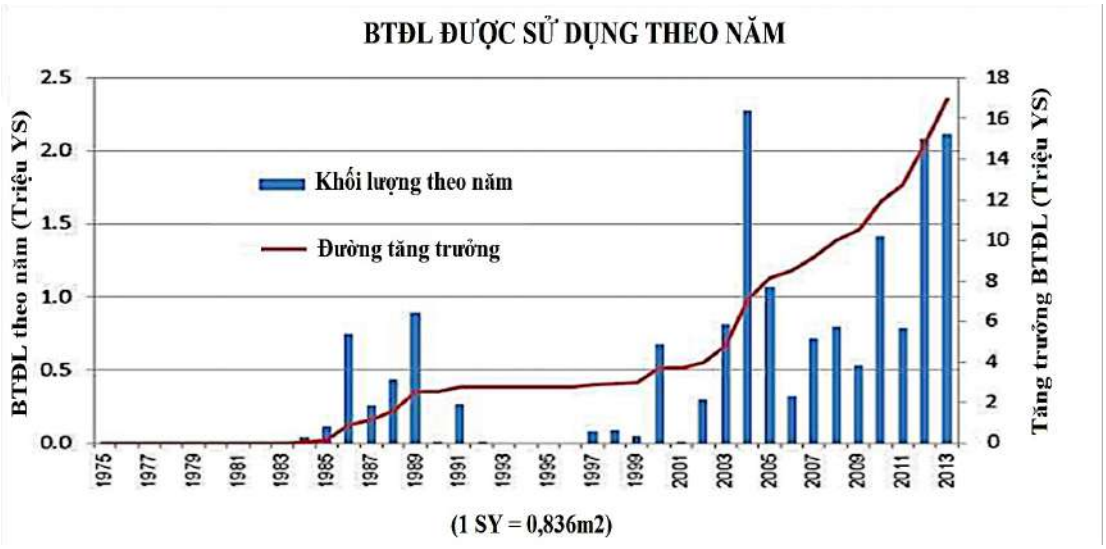
Mặt đường bê tông đầm lăn hoàn chỉnh lần đầu tiên được thiết kế và xây dựng bởi Hiệp hội các kỹ sư là bãi đỗ thiết bị tại Ft. Hood, Texas vào năm 1984. Diện tích bãi đỗ là 15.175 m^2 với tấm bê tông dày 10 inch (254 mm) đạt cường độ chịu kéo uốn 800 psi (5,5 MPa). Năm 1985, tại cảng Tocoma, Washington đã xây dựng

hai khu vực mặt đường BTĐL với tổng diện tích 6,9 ha. Trong khoảng thời gian từ năm 1986 đến 1988, rất nhiều khu vực tại Boston đã áp dụng mặt đường BTĐL [69].

a. BTĐL sử dụng làm đường GT nội bộ

b. BTĐL sử dụng làm lề đường

Hình 1-2. Thi công bê tông đầm lăn ở Mỹ [69]



Hình 1-3. Tình hình sử dụng BTĐL tại Mỹ (tính đến năm 2015) [69]

Tại Canada, mặt đường bê tông đầm lăn đầu tiên được xây dựng vào năm 1976 tại sân bay ở Caycuse trên đảo Vancouver, British Columbia. Tiếp tục được khai thác tới năm 1978, sân bay Caycuse được mở rộng gấp đôi đạt diện tích 3,6 ha cũng với kết cấu trên. Từ những kết quả thành công khi áp dụng công nghệ bê tông đầm lăn ở sân Caycuse, trong thời gian từ 1976 đến 1978, ba sân bay khác đã được xây dựng trên các đảo Queen Charlotte của British Columbia.

Một dấu mốc quan trọng tiếp theo về ứng dụng công nghệ bê tông đầm lăn tại Canada là quyết định xây dựng 19,3 km đường phục vụ kéo xe trong một mỏ than ở Tumbler Ridge, British Columbia với chiều dày mặt đường 7 inch (179 mm). Một khu vực dự trữ than với diện tích 1,6 ha cũng được xây dựng với công nghệ bê tông đầm lăn có chiều dày 9 inch (229 mm). Riêng tuyến đường phục vụ kéo xe được tăng cường lớp mặt bê tông nhựa trên lớp bê tông đầm lăn.

Tại Nhật Bản, bê tông đầm lăn đã được sử dụng để xây dựng nhà xưởng và đường. Trong 20 năm, từ năm 1986 đến 2005 Nhật Bản đã xây dựng được hàng triệu m^2 nhà xưởng và đường, trong đó đường chiếm tỷ lệ lớn nhất [43].

1.1.1.2. Ở Việt Nam

Ở Việt Nam, mặt đường BTXM được xây dựng từ trước năm 1945 nhưng chỉ chiếm tỷ trọng nhỏ và chủ yếu được sử dụng cho đường khai thác mỏ, giao thông nông thôn và đường ngõ trong đô thị. Trong những năm gần đây hàng ngàn kilômét đường BTXM phục vụ giao thông nông thôn đã được xây dựng và phát huy hiệu quả.

Tuy nhiên, công nghệ bê tông đầm lăn còn nhiều mới mẻ. Vào khoảng cuối năm 1995, lần đầu tiên bê tông đầm lăn được nghiên cứu vào một công trình thuỷ lợi ở Việt Nam. Sau đó, hàng loạt các đập thủy lợi thủy điện đã được xây dựng bằng công nghệ bê tông đầm lăn như Định Bình, Pleikrong, Bản Vẽ, Sông Côn 2, Sê San 4, Sơn La… đánh dấu bước phát triển về nghiên cứu khoa học, thiết kế, xây dựng công nghệ bê tông đầm lăn của nước ta. Năm 2001, công nghệ thi công mặt đường bằng bê tông đầm lăn cũng đã được nghiên cứu thử nghiệm ở Việt Nam (hình 1-4) với khoảng 2.000 m^2 tại thị xã Bắc Ninh (chiều dầy tấm là 20 cm; mác 350/45)

Hình 1-4. Thi công thử nghiệm mặt đường BTĐL – IBST 2001 [43]

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 [43].

Năm 2015, đoạn đường 300m ở Cẩm Xuyên, Hà Tĩnh được xây dựng bằng công nghệ bê tông đầm lăn. Đoạn đường được đưa vào tổng kết và có triển vọng nhân rộng kết quả trên địa bàn tỉnh [44].

1.1.2. Đặc điểm của bê tông đầm lăn

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

a. Xi măng

Việc chọn xi măng phụ thuộc vào điều kiện môi trường, điều kiện làm việc của kết cấu. Đối với bê tông đầm lăn dùng cho mặt đường có thể sử dụng các loại xi măng Pooclang thông thường hay xi măng Pooclang hỗn hợp.

b. Cốt liệu

*** Cốt liệu lớn (Đá dăm)**

- Cốt liệu lớn đóng vai trò làm bộ khung cốt chịu lực, có tác dụng giảm giá thành, giảm co ngót và từ biến cho bê tông. Cốt liệu lớn sử dụng thường có kích thước hạt lớn nhất D_{max} từ 20 mm để đảm bảo độ đồng nhất và cường độ chịu uốn.

*** Cốt liệu nhỏ (Cát)**

- Cốt liệu nhỏ tạo bộ khung chịu lực thứ cấp, cùng với xi măng, bột khoáng và nước tạo thành vữa để tạo tính công tác cho hỗn hợp và lấp đầy lỗ rỗng do cốt liệu lớn để lại. Cốt liệu nhỏ dùng cho bê tông có giá trị mô đun độ lớn trong khoảng từ 2,0 - 3,3. Khi cốt liệu nhỏ có hàm lượng hạt có kích thước nhỏ hơn 0,075 mm tăng thì độ đầm chặt, cường độ và độ chống thấm của bê tông đầm lăn tăng lên.

c. Nước

Nước dùng để chế tạo bê tông đầm lăn giống như nước dùng chế tạo bê tông xi măng truyền thống. Nước dùng phải là nước sạch theo TCVN 4506: 2012 [36].

d. Phụ gia

Các công trình bê tông đầm lăn thường sử dụng các loại phụ gia: phụ gia dẻo hoá-giảm nước, giảm nước và kéo dài thời gian đông kết. Trên thực tế, việc sử dụng phụ gia dẻo hoá và phụ gia làm chậm đông kết sẽ tăng tính dễ lu lèn khi thi công và kéo dài thời gian thi công làm khả năng bám dính và độ chống thấm vùng tiếp giáp giữa các lớp bê tông được tăng cường. Việc lựa chọn loại và tỷ lệ dùng phụ gia thường căn cứ vào kết quả thí nghiệm của xi măng, phụ gia khoáng, các loại cốt liệu.

Trên thế giới, việc sử dụng phụ gia khoáng (PGK) là tro bay và Puzolan cho sản xuất bê tông đầm lăn rất phổ biến. Kinh nghiệm của các nước đã sử dụng tro bay cho bê tông đầm lăn cho thấy, hỗn hợp bê tông đầm lăn có hàm lượng chất kết dính thấp cần được bổ sung nhiều PGK hơn để tăng lượng bột mịn lấp đầy lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu. Như vậy, vai trò của PGK rất quan trọng, là thành phần không thể thiếu khi chế tạo bê tông đầm lăn, được sử dụng để giải quyết 4 vấn đề sau:

- Thay thế một phần xi măng để giảm lượng nhiệt thuỷ hoá và ứng suất nhiệt trong bê tông đầm lăn, bê tông sẽ giảm bị nứt.

- Cải thiện cấp phối hạt của hỗn hợp cốt liệu, bổ sung thêm thành phần hạt mịn và bột dính, tăng độ đặc cho bê tông, lấp đầy lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu, từ đó tăng cường độ chịu nén, khả năng chống thấm và các tính chất khác của BTĐL.

- Cải thiện tính dẻo và hạn chế sự phân tầng, tăng khả năng đầm chặt của bê tông đầm lăn trong quá trình thi công, tăng cường độ, độ đặc và độ dính bám giữa đá xi măng và các hạt cốt liệu.

- Giảm chi phí xây dựng do sử dụng PGK thay thế một phần lượng xi măng.

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

a. Cường độ

Cường độ là đặc tính quan trọng nhất của bê tông mặt đường và thường được đánh giá bằng hai chỉ tiêu: cường độ chịu kéo khi uốn và cường độ nén. Cường độ của bê tông đầm lăn phụ thuộc vào hàm lượng chất kết dính, tỷ lệ N/X, chất lượng cốt liệu và độ đầm chặt của bê tông.

*** Cường độ chịu nén**

Cường độ chịu nén là chỉ tiêu quan trọng nhất trong các tính chất cơ học của bê tông đầm lăn. Cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn có thể đạt được như cường độ của bê tông xi măng thường, trong phạm vi từ 18 đến 41 MPa. Một số trường hợp đặc biệt có thể đạt được cường độ lớn hơn 48 MPa. Hỗn hợp bê tông đầm lăn có cấp phối đặc chắc sẽ giúp bê tông đạt cường độ chịu nén cao. Tỷ lệ N/X thấp sẽ tạo ra độ rỗng thấp góp phần tăng cường độ chịu nén của bê tông.

*** Cường độ chịu kéo khi uốn**

Cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông đầm lăn phụ thuộc vào lượng xi măng, cường độ đá xi măng và chất lượng cốt liệu. Cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông đầm lăn thấp hơn so với BTXM thường và càng thấp hơn khi giảm lượng xi măng. Thông thường đối với bê tông đầm lăn, tỉ lệ $R_k/R_n = 0,07 – 0,13$.

Cường độ chịu kéo được xác định bằng thí nghiệm kéo dọc trục hoặc thí nghiệm gián tiếp như cường độ kéo uốn, cường độ ép chẻ. Cường độ chịu kéo khi uốn liên quan trực tiếp với độ chặt và cường độ chịu nén của bê tông. Trong thi công mặt đường bê tông đầm lăn, cốt liệu được lèn chặt nên giảm tối đa sự phát triển vết nứt. Vì vậy, cường độ chịu kéo khi uốn có thể đạt từ 3,5 – 7 MPa.

b. Mô đun đàn hồi

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. Cốt liệu thô có

cường độ lớn thì bê tông có mô đun đàn hồi lớn. Một số thí nghiệm cho thấy giá trị mô đun đàn hồi của bê tông đầm lăn thấp hơn so với BTXM thường do bê tông đầm lăn dùng lượng xi măng thấp hơn.

c. 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. Tuy nhiên, sự thay đổi thể tích liên quan tới co ngót khô của bê tông đầm lăn thường ít hơn so với bê tông thường do có lượng nước ít hơn. Đồng thời, lượng xi măng thấp hơn dẫn đến co ngót ít hơn và ít nứt hơn mặt đường BTXM.

d. Tính thấm

Tính thấm của bê tông đầm lăn 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 cốt liệu trong hỗn hợp, phương pháp thi công và độ chặt lu lèn.

e. Độ mài mòn

Một trong những yêu cầu đặc trưng đối với bê tông cho xây dựng đường (đặc biệt là mặt đường ở các đô thị lớn có lưu lượng giao thông ngày càng tăng và có yêu cầu bền vững cao) là phải tạo ra một vật liệu có khả năng chịu mài mòn cao. Khả năng chịu mài mòn của bê tông đầm lăn phụ thuộc vào 2 yếu tố:

- Cường độ chịu nén của bê tông càng cao thì khả năng chịu mài mòn càng tốt.
- Cường độ của cốt liệu lớn phụ thuộc vào nguồn gốc của đá gốc.

1.1.3. Công nghệ thi công bê tông đầm lăn

Ở Việt Nam, năm 2015, Bộ GTVT đã ban hành "Quy định tạm thời về kỹ thuật thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông đầm lăn trong xây dựng công trình giao thông" (Quyết định số 4452/QĐ-BGTVT ngày 18 tháng 12 năm 2015 của Bộ trưởng Bộ Giao thông vận tải) [12].

Năm 2019, Bộ Xây dựng ban hành chỉ dẫn kỹ thuật "Mặt đường bê tông đầm lăn có sử dụng tro bay" [28] .

Hình 1-5. Sơ đồ thi công mặt đường bằng công nghệ bê tông đầm lăn [12]

Thiết bị trộn*:* gồm các trạm trộn bê tông thông thường có thể bằng phương pháp trộn cưỡng bức. Trạm trộn phải được thiết kế với công suất đảm bảo thi công bê tông đầm lăn không bị gián đoạn (công suất trung bình trong thời gian dài không dưới 250 m^3/h) phải bao gồm không ít hơn 02 máy trộn.

Thiết bị vận chuyển: sử dụng xe tải 3,5 ÷ 22 T vận chuyển bê tông đầm lăn từ trạm trộn đến hiện trường. Khi xả hỗn hợp từ máy trộn và xe tự đổ cần giảm độ cao giữa cửa xả của máy trộn với thùng xe tải hoặc lắp thêm máng đổ để chống phân tầng vật liệu. Sử dụng tấm nilon, vải bạt phủ kín thùng xe trong khi vận chuyển. Nên để nguyên tấm phủ trong lúc trút bê tông vào máy rải.

Thiết bị rải: dùng thiết bị rải bê tông Asphalt có công suất 120 T/h trở lên. Trong thi công bê tông đầm lăn, tốc độ rải càng nhanh thì chi phí cho sản phẩm bê tông đầm lăn càng thấp. Chiều rộng vệt rải khoảng 3 m - 6 m, điều chỉnh phù hợp với chiều rộng mặt đường.

Lu lèn

- Thiết bị lèn: sử dụng lu rung bánh thép có tải trọng động 5 - 7 kg/mm chiều rộng bánh; biên độ dao động 0,5 - 0,8 mm; tần số rung 40 – 60 Hz.

- Thiết bị hoàn thiện bề mặt: dùng lu bánh lốp có hệ thống phun nước, tải trọng động 1,2 – 1,5 T/bánh.

Thi công các khe nối

- Khe dọc: vị trí khe dọc được quy định theo thiết kế. Đối với mặt đường lớn hơn 4,5 m và đường hai làn xe, khe dọc được bố trí trùng với tim đường. Đối với sân bãi, khe dọc nếu có thường trùng với ranh giới giữa các vệt rải bê tông.

- Khe dừng thi công: được làm do hết ngày làm việc hoặc dừng do sự cố đột xuất. Vị trí khe dừng thi công nên trùng với vị trí các khe co ngang thiết kế và phải thẳng góc với tim đường.

- Khe co ngang: vị trí khe co ngang được quy định theo thiết kế. Các khe co ngang được hình thành từ việc cắt sau khi bê tông đã đóng rắn.

Bảo dưỡng: việc bảo dưỡng ẩm cần được tiến hành sớm ngay sau khi kết thúc lu lèn bằng cách phun hợp chất chống khô bề mặt hoặc phủ các tấm bảo dưỡng kết hợp với phun nước.

Chèn khe: sau khi kết thúc thời gian bảo dưỡng cần tiến hành chèn khe kịp thời. Trước khi rót chất chèn khe vào các khe cần làm sạch khe bằng thiết bị hơi ép. Chỉ được rót chất chèn khe khi khe khô, sạch.

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

Mặt đường bê tông nhựa (BTN) trong quá trình đưa vào khai thác sử dụng do chịu tác dụng của tải trọng xe chạy và các điều kiện môi trường sẽ bị hư hỏng dẫn đến phải tiến hành sửa chữa, nâng cấp và tăng cường mặt đường. Nhiều tuyến đường sau một thời gian ngắn đưa vào khai thác sử dụng đã xuất hiện những hiện tượng như: hằn lún vệt bánh xe, rạn nứt bong bật, ổ gà,... gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất lượng mặt đường và an toàn giao thông. Mặt đường bê tông nhựa hư hỏng được cào bóc bằng máy, cốt liệu cào bóc trở thành vật liệu phế thải không phân huỷ được, gây ô nhiễm môi trường nếu không tái sử dụng (hình 1-6). Do đó, khi áp dụng công nghệ tái chế mặt đường, cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ được thu gom và tái sử dụng trong xây dựng đường ô tô.

a. Cào bóc mặt đường BTN bị hỏng

b. Cốt liệu cào bóc từ BTN cũ

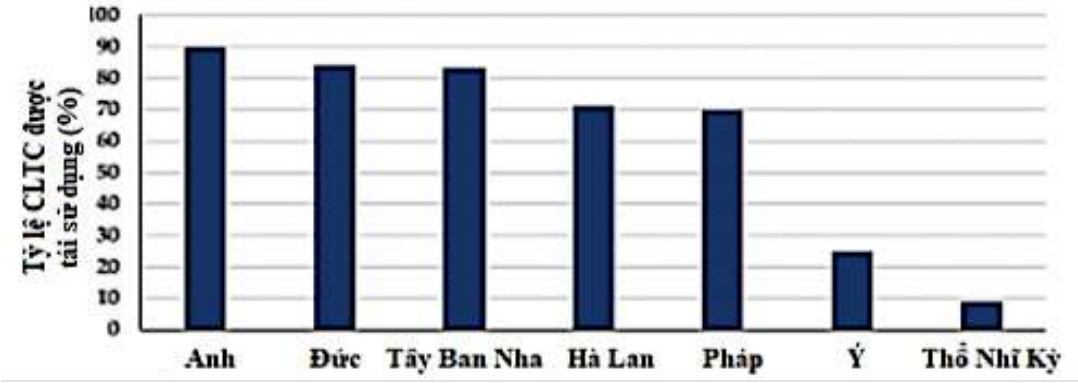
Hình 1-6. Cào bóc mặt đường và cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

1.2.1. Tình hình nghiên cứu và sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa 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. Nhưng phải đến năm 1970, các vấn đề liên quan đến kinh tế đặc biệt là giá dầu tăng cao và vấn đề ô nhiễm môi trường đã thúc đẩy phát triển công nghệ sản xuất bê tông sử dụng cốt liệu tái chế, làm giảm nhu cầu về nhựa đường, giảm chi phí cho hỗn hợp bê tông nhựa trong xây dựng đường.

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%.



Hình 1-7. Tỉ lệ cốt liệu tái chế được sử dụng của một vài quốc gia trên thế giới [85]

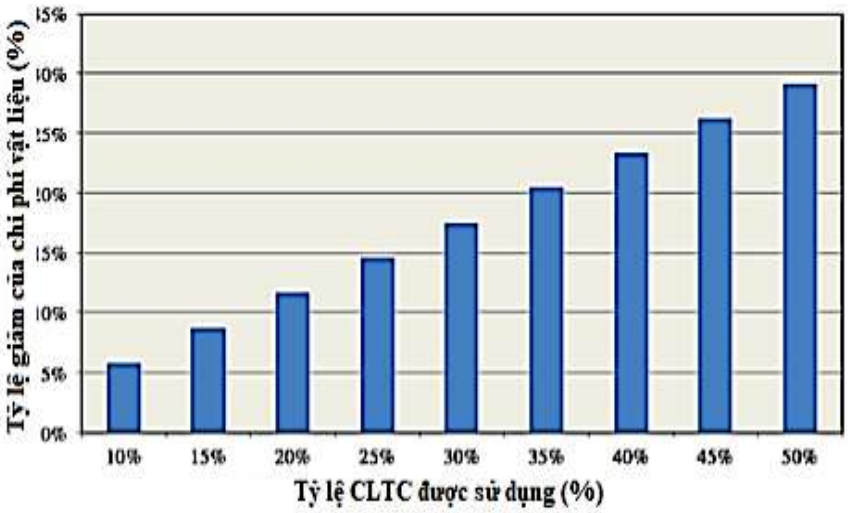
Năm 1980, nước Mỹ đã sử dụng bê tông nhựa tái chế chiếm khoảng 15% tổng khối lượng bê tông nhựa nóng. Theo ước tính hàng năm, lượng BTN tái chế được sử dụng khoảng 135 triệu tấn/năm, tương đương với 1,36 kg/người/ngày. Cơ quan Vận tải Liên bang Hoa Kỳ (STA) trong nhiều năm qua đã đẩy mạnh việc sử dụng rộng rãi cốt liệu cào bóc từ BTN cũ như một loại cốt liệu để chế tạo bê tông. Năm 2016, 76,9 triệu tấn cốt liệu cào bóc được tái sử dụng, tiết kiệm khoảng 2 tỷ đô khi sử dụng vật liệu này thay thế cốt liệu tự nhiên. Năm 2018, hơn 100 triệu tấn cốt liệu cào bóc đã được sử dụng, tiết kiệm khoảng 61,4 triệu m^3 bãi chôn lấp [70].

Hình 1-8. Đoạn đường sử dụng công nghệ tái chế bê tông nhựa cũ ở Mỹ [64]

Ở Anh, trong nhiều năm qua, đã tái sử dụng một lượng đáng kể cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ. Lớp bê tông nhựa cũ sau khi được cào bóc, thu gom lại và sử dụng cho lớp móng hoặc lớp mặt đường có lưu lượng giao thông nhỏ và trung bình. Năm 1937, công nghệ tái chế mặt đường tại chỗ đã được áp dụng theo trình tự cào bóc mặt đường hư hỏng, trộn cốt liệu cào bóc với nhũ tương hoặc nhựa đường lỏng, làm phẳng và lu chặt.

Tại Ấn Độ, một số công nghệ tái chế mặt đường cũ đã được nghiên cứu và áp dụng như công nghệ tái chế nóng và tái chế nguội tại trạm trộn hoặc tại chỗ,… tiết kiệm nguồn vật liệu tự nhiên, giảm giá thành xây dựng, giảm lượng khí thải từ các trạm trộn [82].

Tại Luxembourg, tình hình quản lý chất thải xây dựng đứng vị trí thứ 2 trong số 28 nước châu Âu. Cốt liệu bê tông tái chế được cấp chứng nhận từ phòng thí nghiệm vật liệu cầu và đường của Luxembourg. Cốt liệu tái chế chủ yếu được sử dụng làm lớp móng trong xây dựng đường ô tô, nhưng không được sử dụng trong sản xuất hỗn hợp bê tông mới.



Hình 1-9. Tiết kiệm chi phí từ việc sử dụng CLTC trong xây dựng đường [62]

Như vậy, theo các công trình nghiên cứu và ứng dụng trên thế giới, việc sử dụng một hàm lượng 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 [64,84,85,87]. Đồng thời, 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 [89]. Mặt khác, 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% [74]. Với hiệu quả về mặt kinh tế và 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 [77,80].

1.2.1.2. Tại Việt Nam

Ở Việt Nam, hệ thống giao thông đường bộ đã được đầu tư phát triển nhanh chóng. Theo số liệu từ tổng cục Đường bộ Việt Nam, cả nước có 154 tuyến đường với tổng chiều dài 24.866 km (gồm các tuyến chính, tuyến tránh, đường gom,…).

Trong đó, mặt đường bê tông nhựa dài 14.586km (chiếm 61,3%); đá dăm láng nhựa dài 6.585km (chiếm 27,7%). Sau thời gian khai thác sử dụng, dưới tác dụng của tải trọng xe, khí hậu,...nhất là phần mặt đường cần được duy tu và sửa chữa. Với 95% kết cấu mặt đường hiện là bê tông Asphalt, Việt Nam đang có 74 triệu tấn bê tông sẽ bị hư hỏng (trị giá tương đương 2,3 tỷ USD). Khi bảo dưỡng, bảo trì hay thay thế bề mặt đường nếu không có phương án tái sinh và sử dụng lại số nguyên vật liệu trên sẽ lãng phí lớn, gây ô nhiễm môi trường.

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.

Hình 1-10. Đoạn đường được thi công từ bê tông nhựa tái chế tại Việt Nam

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 [48].

Hình 1-11. Trạm trộn cốt liệu tái chế của công ty BMT

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 và được chia theo 3 loại: Loại 1: 15% cốt liệu tái chế theo khối lượng hỗn hợp bê tông nhựa; Loại 2: 16% – 25% cốt liệu tái chế theo khối lượng hỗn hợp bê tông nhựa;

Loại 3: ≥ 25% cốt liệu tái chế theo khối lượng hỗn hợp bê tông nhựa, 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

Nói chung, công nghệ tái chế mặt đường được chia thành 2 loại như sau:

- Công nghệ tái chế mặt đường tại chỗ.
- Công nghệ tái chế mặt đường tại trạm trộn.

Tuỳ theo mục đích sửa chữa, chi phí bảo trì, kinh nghiệm của nhà thầu, lưu lượng giao thông, mức độ hư hỏng của mặt đường, điều kiện khí hậu, thiết bị thi công, …mà quyết định sử dụng công nghệ tái chế cho phù hợp.

1.2.2.1. Công nghệ tái chế mặt đường tại chỗ

Sử dụng máy cào bóc lớp bê tông nhựa cần sửa chữa sâu từ 10 cm – 20 cm tuỳ theo tính toán của các chuyên gia. Lớp bê tông nhựa sẽ được sấy nóng trước khi cào bóc nhằm thay đổi tính chất cơ lý của bê tông, tạo thuận lợi cho việc bóc lớp bê tông nhựa cũ được dễ dàng.

Sau đó, vật liệu bê tông nhựa cũ được trộn với vật liệu mới trong máy trộn. Hỗn hợp bê tông mới sau khi trộn được rải lên mặt đường và lu lèn.

Cuối cùng, mặt đường được phủ một lớp láng nhựa.

Hình 1-12. Công nghệ tái chế mặt đường tại chỗ

Công nghệ này có nhiều ưu điểm: Cường độ nền đường và mặt đường được cải thiện đáng kể; khắc phục được tình trạng phải nâng cốt cao độ mặt đường nhất là đi qua khu vực đông dân cư, rút ngắn thời gian thi công và đảm bảo phương tiện lưu thông ngay trong ngày trên những đoạn vừa sửa chữa. Kinh phí chỉ tương

đương hoặc thấp hơn so với một số phương án sửa chữa nâng cấp truyền thống. Công nghệ này cũng thân thiện với môi trường, tận dụng tối đa vật liệu của nền mặt đường hiện trạng.

a. Công nghệ tái chế nóng tại chỗ

Công nghệ này bao gồm các bước: gia nhiệt mặt đường cũ, nghiền vật liệu, tái chế bằng phụ gia, trộn lại và thảm lại.

Ưu điểm: tiết kiệm chi phí vận chuyển và lưu trữ cốt liệu cào bóc, thích hợp cho công tác sữa chữa mặt đường ở những khu vực không thích hợp lập trạm trộn.

b. Công nghệ tái chế nguội tại chỗ

Tương tự như tái chế nóng tại chỗ về cách thức và quá trình tái chế, chỉ khác nhau ở chỗ đối với công nghệ này cốt liệu tái chế không được gia nhiệt mà sử dụng các loại phụ gia khác nhau (nhũ tương, bitum bọt,…) để liên kết vật liệu và hình thành cường độ. Công nghệ này gồm các bước: nghiền mặt đường cũ, trộn với chất tái sinh và vật liệu mới, thảm lại.

1.2.2.2. Công nghệ tái chế mặt đường tại trạm trộn

Bê tông nhựa cũ sau khi cào bóc được vận chuyển đến một trạm bê tông, tại đó được lưu trữ để sử dụng sau hoặc được sử dụng ngay.

Hình 1-13. Công nghệ tái chế mặt đường tại trạm trộn [66]

Tái chế bê tông nhựa ở trạm trộn được thực hiện bằng cách đốt quá nóng cốt liệu mới, sau đó cho cốt liệu cào bóc vào, trộn đều nhằm mục đích truyền nhiệt từ

cốt liệu mới vào cốt liệu tái chế, thêm chất kết dính nhằm tạo thành hỗn hợp bê tông mới. Các trạm trộn liên tục được sửa đổi, do đó có thể sử dụng 60% cốt liệu tái chế mà vẫn đảm bảo tiêu chuẩn cho phép về ô nhiễm môi trường.

a. Công nghệ tái chế nóng tại trạm

Tái chế nóng tại trạm bao gồm các bước: cào bóc mặt đường cũ, lưu trữ tại trạm, trộn với vật liệu mới tại trạm và thi công. Trong công nghệ tái chế nóng, cốt liệu cào bóc được gia nhiệt trực tiếp bằng lò rang riêng.

Đây là công nghệ tái chế phổ biến nhất trên thế giới và hiện nay được xem là phương pháp tái chế tiêu chuẩn. Chất lượng bê tông nhựa tái chế tương đương như BTN truyền thống, thể hiện ở các đặc tính chống lún, chống nứt, chống mỏi và chịu được ảnh hưởng của thời tiết. Một số nghiên cứu khoa học chỉ ra rằng bê tông nhựa tái chế nóng còn vượt trội hơn hẳn BTN truyền thống về khả năng kháng nước.

Công nghệ này cho phép sử dụng cốt liệu tái chế với hàm lượng tối đa cao nhất lên đến 100% tùy thuộc vào cấu tạo trạm trộn và chất lượng cốt liệu tái chế.

b. Công nghệ tái chế nguội tại trạm

Tương tự như công nghệ tái chế nóng tại trạm, công nghệ tái chế nguội chỉ khác ở đặc điểm về cách thức truyền nhiệt cho cốt liệu cào bóc. Tái chế nguội tại trạm bao gồm các bước: cào bóc mặt đường cũ, lưu trữ tại trạm, trộn với vật liệu mới tại trạm, thi công.

Trong công nghệ tái chế nguội, cốt liệu cào bóc được gia nhiệt gián tiếp thông qua nhiệt lượng của cốt liệu mới. Chất lượng của bê tông nhựa tái chế theo công nghệ này cũng tương đương với bê tông nhựa truyền thống về các đặc tính kể trên. Công nghệ này cho phép sử dụng cốt liệu tái chế với hàm lượng tối đa cao nhất lên đến 50% tùy thuộc vào cấu tạo trạm trộn và chất lượng cốt liệu tái chế.

Hình 1-14. Trạm trộn theo công nghệ tái chế nguội [71]

c. Công nghệ tái chế ấm tại trạm trộn

Công nghệ mặt đường bê tông nhựa ấm (WMA) được áp dụng cho mặt đường tái chế có chứa cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ. Bê tông nhựa tái chế ấm là loại bê tông nhựa có nhiệt độ chế tạo thấp hơn 30 – 50°C so với hỗn hợp bê tông nhựa nóng truyền thống.

Hiện nay, có khoảng hơn 30 công nghệ tái chế ấm khác nhau. Theo các kết quả nghiên cứu thử nghiệm cho thấy, độ lún vệt bánh xe ở mặt đường và biến dạng trong các lớp sử dụng cốt liệu tái chế theo công nghệ tái chế ấm đều nhỏ hơn so với hỗn hợp bê tông nhựa nóng truyền thống và bê tông nhựa tái chế nóng. Đồng thời, tiết kiệm chi phí khoảng 41,2% so với công nghệ bê tông nhựa nóng và 37,4% so với công nghệ tái chế bê tông nhựa nóng.

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

Cào bóc mặt đường bê tông nhựa cũ là một phần quan trọng của quá trình tái chế mặt đường. Chiều sâu cào bóc mặt đường cũ được xác định thông qua chiều dài lan truyền các vết nứt của các mẫu khoan hiện trường, chiều dày lớp bê tông nhựa bị phá hủy hoặc mức độ dính bám giữa hai lớp bê tông nhựa. Quá trình cào bóc phải được xem xét kỹ càng để đảm bảo không bị lẫn tạp chất vào vật liệu bê tông nhựa cào bóc, đặc biệt khi cào ở phần vai đường hoặc phần mở rộng. Giới hạn hàm lượng tạp chất trong cốt liệu tái chế cho phép tối đa là 1%, giới hạn này cũng phù hợp với yêu cầu kỹ thuật đối với cốt liệu mới.

Hình 1-15. Máy cào bóc mặt đường bê tông nhựa cũ

Khi tiến hành cào bóc mặt đường bê tông nhựa cũ, cần lưu ý một số vấn đề sau để kiểm soát tốt chất lượng cốt liệu tái chế:

- Cào bóc mặt đường từ một dự án cụ thể, rõ nguồn gốc.

- Quá trình cào bóc hạn chế tối đa mức độ ảnh hưởng đến lớp dưới và thoát nước mặt đường.

- Thí nghiệm kiểm tra cấp phối, kích thước hạt lớn nhất của cốt liệu ở đoạn cào bóc trước khi cào.

- Nếu kích thước hạt cốt liệu sau khi cào bóc đủ nhỏ để thiết kế hỗn hợp thì không cần phải nghiền tiếp cốt liệu tái chế sau khi cào bóc.

- Nếu kích thước các hạt cốt liệu sau khi cào bóc quá lớn để thiết kế hỗn hợp thì sàng phân loại thành các cỡ hạt lọt qua sàng để tiến hành thí nghiệm kiểm tra các chỉ tiêu kỹ thuật, các hạt sót trên sàng phân loại được sử dụng cho mục đích khác.

1.2.3.2. Công nghệ nghiền, phân loại và lưu trữ

a. Công nghệ nghiền, sàng phân loại

Mục đích của việc nghiền và sàng cốt liệu tái chế 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 bằng cách dùng các loại hạt trên sàng 19 mm và giảm bớt các loại hạt lọt qua sàng 19 mm. Điều này cho phép sử dụng cốt liệu tái chế với một tỷ lệ cao hơn và nhiều cỡ hạt hơn, tiết kiệm được giá thành vật liệu. Ưu điểm chính của việc phân loại: có thể dự trữ các loại hạt có kích thước khác nhau, sử dụng linh hoạt khi thiết kế hỗn hợp bê tông.

Hình 1-16. Sàng phân loại cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

b. 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.

Quá trình lưu trữ cũng cần hạn chế tối đa do ảnh hưởng của độ ẩm đến tính chất của cốt liệu cào bóc. Độ ẩm là một trong những yếu tố chính ảnh hưởng đến tốc độ sản xuất hỗn hợp và chi phí sấy khô. 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.

Để giảm thiểu quá trình làm chặt cốt liệu tái chế ở các đống lưu trữ, chiều cao không nên vượt quá 5 m và hạn chế các thiết bị đi lại bên trên.

Hình 1-17. Kho lưu trữ cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

1.2.3.3. Thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật

Khi sử dụng cốt liệu cào bóc làm cốt liệu chế tạo hỗn hợp bê tông, tiến hành lấy mẫu và thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật để đảm bảo tính đồng nhất và có được các đặc tính đại diện phục vụ thiết kế hỗn hợp bê tông.

Chỉ tiêu kỹ thuật của cốt liệu cào bóc gồm:

- Hàm lượng bitum trong cốt liệu cào bóc,...
- Thành phần hạt của hỗn hợp 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

Bê tông nhựa cũ được cào bóc bằng máy, sau đó được làm sạch và sàng phân loại. Cốt liệu cào bóc thu được gồm các cốt liệu được bao phủ bởi nhựa đường. Cốt liệu cào bóc có nguồn gốc khác nhau nên các đặc tính kỹ thuật có thể khác nhau do sự khác nhau về quy trình xay nghiền, nguồn gốc đá gốc, loại và hàm lượng nhựa đường dính bám,...

Hình 1-18. Cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ [71]

Theo các tài liệu đã nghiên cứu, cốt liệu cào bóc từ BTN cũ có nhiều ưu điểm:

- Cốt liệu cào bóc có chứa 3,5 - 5% nhựa đường, 96% đá, cát và bột khoáng.Do đó, sử dụng cốt liệu cào bóc sẽ giảm chi phí vật liệu, giảm tình trạng

khai thác các mỏ đá ảnh hưởng đến môi trường sinh thái, giảm khai thác dầu mỏ ảnh hưởng đến địa chất, đồng thời giảm thiểu khí thải do các quá trình khai thác và sử dụng tài nguyên khi xây mới các con đường.

- Ngoài ra, ưu điểm vượt trội của cốt liệu cào bóc là có thể sử dụng rộng rãi cho tất cả các lớp trong kết cấu áo đường, đáp ứng được chất lượng của nhiều cấp đường khác nhau.

Các thông số kỹ thuật của cốt liệu cào bóc tái sử dụng làm cốt liệu trong xây dựng đường ô tô gồm: thành phần hạt, độ đặc, độ ẩm, tính thấm, độ bền, khả năng chịu lực, độ biến dạng,...

1.2.4.1. Thành phần hạt

Thành phần hạt của cốt liệu cào bóc được xác định bằng cách nghiền sau đó sàng. Độ lớn của cốt liệu cào bóc phụ thuộc vào máy nghiền, tốc độ nghiền, khoảng cách các bánh răng của máy. Khoảng cách bánh răng của máy nghiền rộng, tốc độ nghiền nhanh sẽ cho kích thước hạt lớn, cấp phối hạt thô hơn và ngược lại. 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 [65].

1.2.4.2. Khối lượng thể tích và độ ẩm

- Khối lượng thể tích của cốt liệu cào bóc từ các nguồn khác nhau sẽ khác nhau. 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. Nguyên nhân là xung quanh cốt liệu cào bóc có lớp nhựa đường cũ bao bọc. Tuy nhiên, hỗn hợp cốt liệu cào bóc sau khi được nghiền nhỏ, độ ẩm sẽ cho kết quả cao hơn so với cốt liệu cào bóc ban đầu do kích thước hạt nhỏ hơn dễ hấp thụ nước hơn. Do đó, độ ẩm của cốt liệu cào bóc cần được xác định chính xác để tính toán khối lượng cốt liệu cào bóc trộn vào hỗn hợp bê tông mới.

1.2.4.3. Tính thấm

Khả năng thấm của cốt liệu có liên quan trực tiếp đến tỷ lệ các hạt mịn có trong hỗn hợp cốt liệu. Nói chung, tính thấm của cốt liệu cào bóc sau khi nghiền

sàng cao hơn cốt liệu cào bóc ban đầu. Bộ Giao thông Vận tải Ontario đã tiến hành các thí nghiệm thấm với các cốt liệu tự nhiên và so sánh chúng với hỗn hợp gồm 60% cốt liệu cào bóc (40% cốt liệu tự nhiên) và hỗn hợp gồm 100% cốt liệu cào bóc. Kết quả cho thấy cấp phối của cốt liệu ảnh hưởng đến tính thấm của hỗn hợp, nghĩa là, tính thấm của hỗn hợp cốt liệu giảm khi hàm lượng cốt liệu cào bóc trong hỗn hợp tăng lên [64,66,68].

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. Do cốt liệu được sử dụng trong chế tạo bê tông nhựa thường có chất lượng tốt hơn so yêu cầu kỹ thuật nên cường độ của cốt liệu cào bóc ít bị ảnh hưởng. Tuy nhiên, sự có mặt của màng nhựa đường mỏng trên cốt liệu cào bóc sẽ ảnh hưởng đến cường độ của nó. Nguyên nhân là do mặt đường bê tông nhựa bị hư hỏng, nhựa đường bị oxy hoá, chất dầu bị bay hơi dẫn đến nhựa đường bị hoá già từ đó ảnh hưởng đến cường độ của cốt liệu cào bóc.

- Khả năng chịu tải của cốt liệu cào bóc được thể hiện thông qua các chỉ tiêu: cường độ chịu nén, mô đun đàn hồi và cường độ ép chẻ. Các kết quả thí nghiệm cho thấy khả năng chịu lực của hỗn hợp sử dụng cốt liệu cào bóc phụ thuộc vào hàm lượng cốt liệu cào bóc sử dụng trong hỗn hợp. Nói chung, các chỉ tiêu kỹ thuật đều giảm khi hàm lượng cốt liệu cào bóc tăng lên [57,58]. Như vậy, các thông số về khả năng chịu lực của hỗn hợp cốt liệu cào bóc cần được đánh giá theo yêu cầu kỹ thuật của từng công trình cụ thể. Đối với các công trình khác nhau, yêu cầu về khả năng chịu lực của cốt liệu tái chế sẽ khác nhau và đặc biệt lưu ý khi sử dụng hàm lượng cốt liệu cào bóc cao trong hỗn hợp cốt liệu.

1.2.4.5. Độ biến dạng

Không có nhiều thí nghiệm đo độ biến dạng của hỗn hợp cốt liệu cào bóc và cốt liệu cào bóc. Nghiên cứu của Hoyos và cộng sự [71] đã chỉ ra rằng việc sử dụng cốt liệu cào bóc thay thế cốt liệu tự nhiên làm tăng độ biến dạng sau 100.000 chu kỳ tải trọng so với hỗn hợp sử dụng 100% cốt liệu tự nhiên và 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

Nhiều nhà khoa học đã tiến hành thí nghiệm các mẫu nhựa được tách từ cốt liệu cào bóc để đánh giá tính hoá già của nhựa đường cũ thông qua các chỉ tiêu cơ lý hóa như độ kim lún, độ kéo dài và nhiệt độ hóa mềm. Tốc độ hoá già của nhựa đường cũ khác nhau khi loại nhựa và hàm lượng nhựa khác nhau.

Hóa già là một đặc điểm quan trọng của nhựa đường cũ trong cốt liệu cào bóc. Do quá trình hoá già, nhựa đường cũ trở nên cứng hơn so với nhựa đường gốc ban đầu. Quá trình hoá già xảy ra theo hai giai đoạn (ngắn hạn và dài hạn). Quá trình hoá già ngắn hạn dẫn đến độ nhớt tăng lên do nhựa đường tiếp xúc với không khí nóng trong quá trình thi công. Quá trình hoá già dài hạn xảy ra trong quá trình sử dụng dẫn đến độ cứng tăng lên. 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. Mặt khác, làm cho hỗn hợp sử dụng cốt liệu cào bóc giòn hơn, nứt nhanh hơn [64,67,74].

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

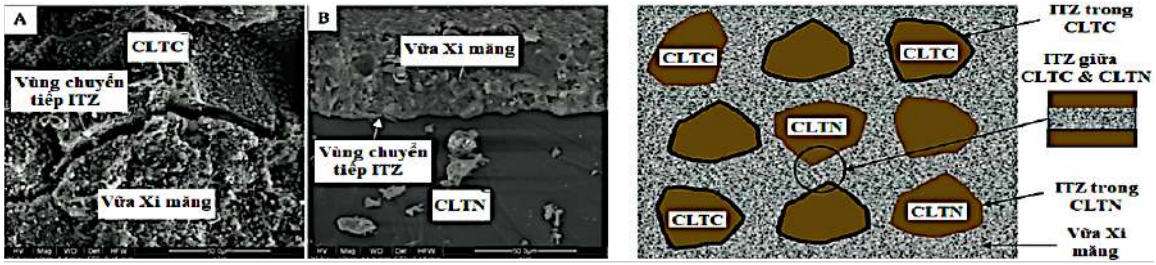
1.3.1. Tình hình nghiên cứu và ứng dụng bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trên thế giới

Hiện nay, một số nước như Mỹ, Pháp, Brazil, Thổ Nhĩ Kì, Iran, ... đã áp dụng công nghệ tái chế nguội tại trạm trộn sử dụng một phần cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ thay thế cốt liệu tự nhiên để chế tạo bê tông đầm lăn làm lớp móng đường, mặt đường giao thông cấp thấp, vỉa hè, bãi đỗ xe, đường nội bộ,...có hiệu quả và đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật, kinh tế và môi trường. Mặt khác, việc sử dụng cốt liệu tái chế trong hỗn hợp bê tông đầm lăn cho thấy sự kết hợp giữa chất kết dính thuỷ lực xi măng và chất kết dính nhựa đường làm cho hỗn hợp sử dụng cốt liệu tái chế trở thành vật liệu tổng hợp. Đồng thời, nhiều nghiên cứu trên thế giới đã phân tích ảnh hưởng của màng nhựa cũ bao bọc xung quanh các hạt cốt liệu có ảnh hưởng đến các đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ.

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

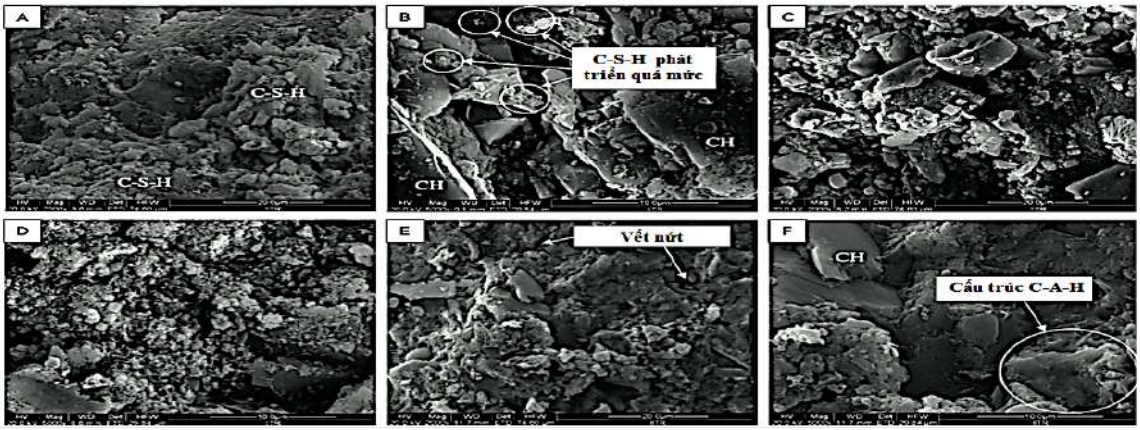
Nghiên cứu của các tác giả Solomon Debbarma và Ransinchung R.N GN [83] trình bày cơ chế tương tác giữa vữa xi măng và màng nhựa cũ trong hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ.

- Trong nghiên cứu này, cơ chế tương tác của hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được phân tích hình ảnh bằng kính hiển vi điện tử (SEM). 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 thông 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 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

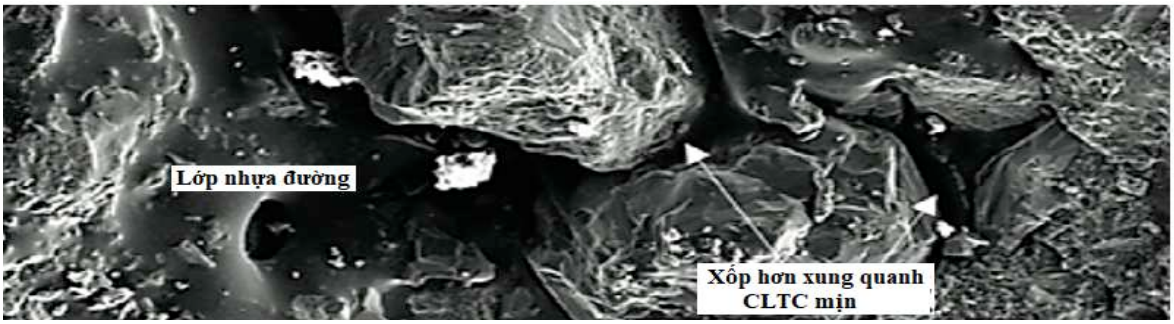
- Mặt khác, kết quả thí nghiệm cho thấy, khi sử dụng cốt liệu tái chế thay thế cho cốt liệu tự nhiên, cường độ của bê tông đầm lăn giảm đi, kể cả khi bổ sung tro bay. Cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn sử dụng 50% cốt liệu tái chế giảm 47% so với cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn đối chứng. Tương tự, cường độ chịu kéo khi uốn giảm 21% so với bê tông đầm lăn đối chứng. 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
(A) Dạng sợi dày đặc C-S-H; (B) C-S-H phát triển quá mức; (C) Sự hình thành canxit; (D) Canxit biểu hiện trên C-S-H; (E) Hình thành các vết nứt co ngót khô ; (F) Cấu trúc Rosette bao gồm các phân tử C-A-H

- 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 BTĐL 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 BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế.



Hình 1-21. Hình ảnh (SEM) phân tích liên kết giữa nhựa đường với hồ xi măng và tro bay của BTĐL- 50% CLTC -15% tro bay

Như vậy, việc sử dụng cốt liệu tái chế trong chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn được đề xuất cho các ứng dụng mặt đường giao thông cấp thấp hoặc làm lớp móng cho mặt đường bê tông thông thường. Ngoài ra, việc sử dụng cốt liệu tái chế để thay thế cho cốt liệu tự nhiên mang lại hiệu quả về chi phí và lợi ích về môi trường như giảm các bãi chôn lấp xử lý cốt liệu cào bóc và khí thải carbon dioxide,...

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

**** Nghiên cứu của M.L.Nguyen, J.M.Balay, H.Benedetto, C.Sauzéat, K.Bilodeau, F.Olard, B.Héritier, H.Dumont & D.Bonneau [79].***

- Nghiên cứu được trình bày trong bài báo này là một phần của dự án "Recyroute" của Cơ quan Nghiên cứu Quốc gia Pháp nhằm đánh giá việc sử dụng vật liệu tổng hợp trên tuyến đường có lưu lượng giao thông lớn. Nhóm tác giả đã nghiên cứu ứng dụng công nghệ bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ bổ sung các sợi thép (FRCCTM). Sự hiện diện đồng thời của hai loại chất kết dính: chất kết dính thủy lực (xi măng) và chất kết dính nhựa đường của cốt

liệu tái chế làm cho hỗn hợp bê tông đầm lăn trở thành vật liệu tổng hợp. Ngoài ra, việc bổ sung các sợi thép trong hỗn hợp cho phép giảm thiểu chiều rộng vết nứt.

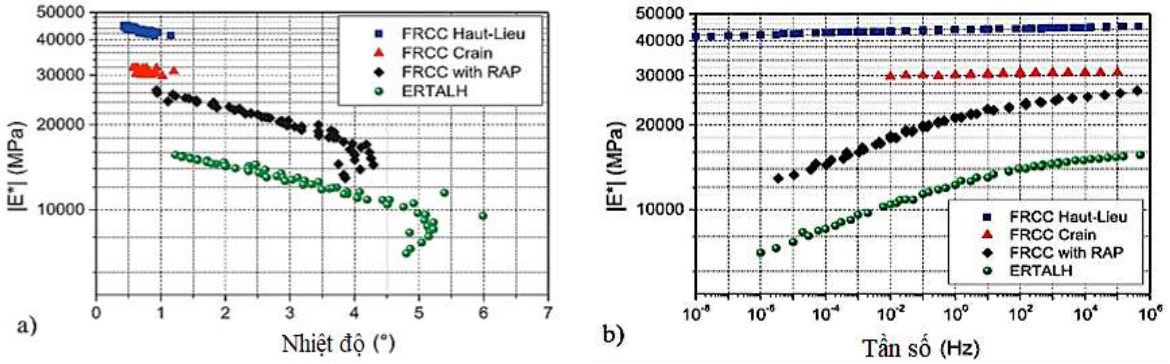
Hình 1-22. Kiểm tra vết nứt của mặt đường BTĐL sử dụng CLTC bổ sung các sợi thép

- Các hỗn hợp FRCCTM với các sợi thép có đường kính khác nhau và hàm lượng cốt liệu tái chế khác nhau được tiến hành thử nghiệm với quy mô lớn trong phòng thí nghiệm để so sánh các đặc tính cơ học của các hỗn hợp đó. Từ đó, đề xuất các thông số thiết kế của kết cấu áo đường sử dụng lớp FRCCTM.

- Các kết quả thí nghiệm trong phòng cho thấy hàm lượng cốt liệu tái chế ảnh hưởng đến các tính chất cơ học của hỗn hợp FRCCTM. Tất cả các đặc tính cơ học giảm khi hàm lượng cốt liệu tái chế tăng lên.

- Bên cạnh đó, thí nghiệm mô đun phức động |E*| cho thấy đặc tính nhớt của hỗn hợp bê tông đầm lăn tăng lên khi hàm lượng cốt liệu tái chế tăng lên. Các thí nghiệm được thực hiện trên FRCCTM không có cốt liệu tái chế cho thấy ảnh hưởng không đáng kể của tần số và nhiệt độ lên |E*|. Còn |E*| của FRCCTM sử dụng cốt liệu tái chế bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ và tần số. Giá trị của |E*| giảm ở nhiệt độ cao và ở tần số thấp.

+ Thí nghiệm mô đun phức động được thực hiện trên các mẫu hình trụ (đường kính 75 mm, chiều dài 120 mm) theo tiêu chuẩn thí nghiệm mô đun phức động của BTN nhựa. Các thử nghiệm được thực hiện trong phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường đoạn đường thử nghiệm.



Hình 1-23. Kết quả đo mô đun phức động |E*| của BTĐL sử dụng CLTC bổ sung các sợi thép

**** Nghiên cứu của Luc Courard, Frédéric Michel, Pascal Delhez [76]***

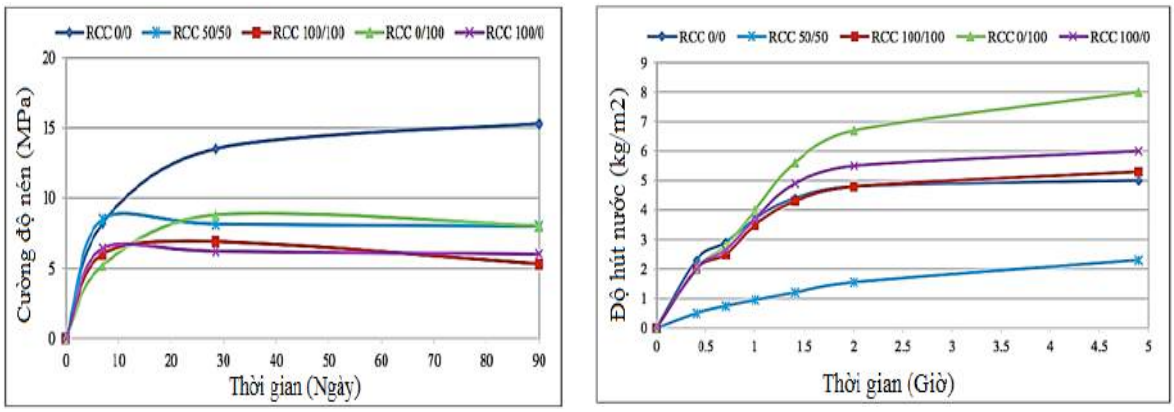
- Bài báo giới thiệu các kết quả nghiên cứu về hỗn hợp bê tông xi măng đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ. Nghiên cứu trình bày hai mô hình hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế thay thế một phần cốt liệu tự nhiên là hỗn hợp tổng hợp gồm: hỗn hợp cốt liệu (cốt liệu tự nhiên và cốt liệu tái chế), nhựa đường cũ phân tán trong môi trường vữa xi măng. Mô hình thứ hai cho kết quả tốt nhất, do đó, có thể coi nhựa cũ trong cốt liệu tái chế có chức năng tương tự như chức năng của không khí khi xét đến đặc tính của bê tông.

- Các kết quả này dẫn đến việc mở rộng các mô hình của hỗn hợp bê tông sử dụng cốt liệu tái chế, đưa ra phương pháp thiết kế thành phần bê tông sử dụng cốt liệu tái chế. Đồng thời, việc áp dụng công nghệ bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế trong xây dựng đường bê tông có thể coi là một giải pháp về ô nhiễm môi trường của chất thải công nghiệp. Trong tương lai, việc tái chế các vật liệu phế thải sẽ phát triển ngày càng nhiều và công nghệ bê tông xi măng đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế là giải pháp hữu ích, đáp ứng chỉ tiêu kỹ thuật, kinh tế và môi trường.

**** Nghiên cứu của Yaser Bashkoul, Hassan Divandari [85]***

- Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã đánh giá khả năng tái sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trong việc chế tạo mặt đường với mục đích giảm thiểu chất thải công nghiệp và các tác động tiêu cực của nó đối với môi trường.

- Các kết quả thí nghiệm cho thấy, cường độ chịu nén ở 28 ngày giảm khoảng 32 đến 55% so với bê tông đầm lăn đối chứng. Độ hút nước cũng bị ảnh hưởng nhiều bởi hàm lượng cốt liệu tái chế sử dụng trong hỗn hợp.



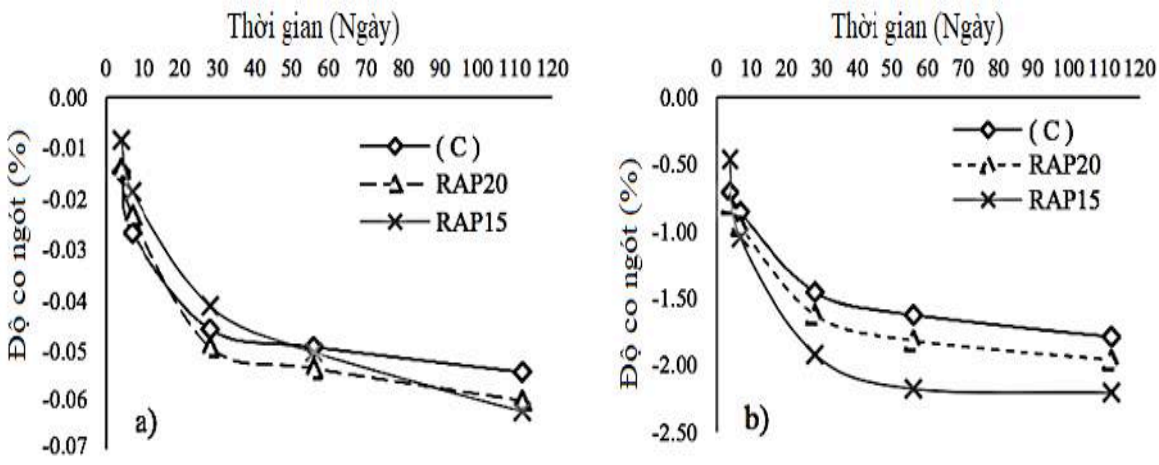
Hình 1-24. Biểu đồ cường độ chịu nén và độ hút nước của BTĐL sử dụng CLTC

- Do đó, việc thay thế cốt liệu tự nhiên bằng cốt liệu tái chế cần được thực hiện một cách thận trọng và giới hạn ở mức 50%. Tuy nhiên, bê tông đầm lăn sử

dụng cốt liệu tái chế có thể được sử dụng làm mặt đường thích hợp cho tải trọng giao thông nhỏ và đường nông thôn, cũng như làm lớp mặt của vỉa hè người đi bộ.

**** Nghiên cứu của Yavuz Abut, Taner Yildirim S [86]***

- Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã sử dụng 15% và 20% cốt liệu tái chế thay thế cho cốt liệu tự nhiên để chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn. Đồng thời, nghiên cứu ảnh hưởng hàm lượng cốt liệu tái chế đến co ngót. Thí nghiệm co ngót khô vào ngày thứ 112 của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế cho kết quả giảm đi khoảng 2% so với bê tông đầm lăn đối chứng. Với thí nghiệm co ngót, các kết quả này cho thấy nếu bê tông đầm lăn sử dụng 20% cốt liệu tái chế không có sự khác biệt đáng kể với các mẫu bê tông đầm lăn đối chứng về khả năng co ngót.



a) Thay đổi chiều dài b) Thay đổi khối lượng

Hình 1-25. Biểu đồ thí nghiệm độ co ngót của BTĐL sử dụng CLTC

Vì vậy, cốt liệu tái chế có thể được sử dụng như một vật liệu thay thế cho vật liệu tự nhiên đáp ứng các quy định trong tiêu chuẩn hiện hành. Sử dụng cốt liệu tái chế trong hỗn hợp bê tông đầm lăn mang lại nhiều thuận lợi cho việc quản lý chất thải, sử dụng năng lượng và tài nguyên thiên nhiên, bảo vệ môi trường.

**** Nghiên cứu của Chafika Settari, Farid Debieb, El. Hadj Kadri, Othmane Boukendakdji [60]***

Ở An-giê-ri, một lượng rất lớn loại chất thải này được tạo ra hàng năm nhưng hiếm khi tái sử dụng. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu tái chế khác nhau đến các đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn và kết quả được so sánh với bê tông đầm lăn đối chứng. Kết quả thực nghiệm 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 thấp hơn.

- Cường độ chịu nén, cường độ kéo uốn, 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.

+ Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi của bê tông đầm lăn giảm khoảng 32,5% và 55% so với bê tông đầm lăn đối chứng. Đặc biệt, khi thay thế 50% cốt liệu tái chế, các tính chất cơ học và khả năng hấp thụ nước của bê tông đầm lăn bị thay đổi do ảnh hưởng của nhựa đường cũ bao bọc cốt liệu.

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 có tỷ lệ 50% cốt liệu tái chế làm lớp móng đường hoặc một số dự án như vỉa hè, mặt đường cấp thấp,...

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,...

Công nghệ bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ đã được nghiên cứu trong đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ cấp Bộ năm 2018 "Nghiên cứu sử dụng vật liệu bê tông nhựa tái chế (RAP) làm cốt liệu cho bê tông xi măng đầm lăn trong xây dựng móng đường ô tô phù hợp với điều kiện Việt Nam" do PGS.TS. Đào Văn Đông chủ nhiệm, trong đó nghiên cứu sinh là thư ký khoa học - thành viên chính tham gia nghiên cứu.

1.4. Những vấn đề cần giải quyết

- Trong phạm vi nghiên cứu của luận án, tập trung 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 khác nhau và hàm lượng chất kết dính khác nhau, nghiên cứu ảnh hưởng của nhựa đường cũ trong cốt liệu tái chế. Từ đó, đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật cơ bản của bê tông đầm lăn.

- Đánh giá khả năng ứng dụng công nghệ tái chế nguội bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trong công tác xây dựng đường ô tô, góp

phần bổ sung thêm một công nghệ tái chế mặt đường ở Việt Nam, tận dụng nguồn vật liệu phế thải sẵn có, tiết kiệm vật liệu tự nhiên, giảm giá thành xây dựng, giảm ô nhiễm môi trường, khắc phục được một số hạn chế của mặt đường bê tông nhựa.

1.5. Nội dung nghiên cứu

Luận án nghiên cứu bao gồm các nội dung cơ bản sau:

- Nghiên cứu tổng quan về cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ, công nghệ bê tông đầm lăn và ứng dụng bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trên thế giới và Việt Nam;
- Nghiên cứu các phương pháp thiết kế hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế, từ đó lựa chọn phương pháp thiết kế đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật.
- Thí nghiệm trong phòng xác định một số đặc tính kỹ thuật cơ bản, xây dựng đoạn đường thử nghiệm, đề xuất một số kết cấu điển hình dùng lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế trong xây dựng đường ô tô tại 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, đồng thời 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 cào bóc từ BTN cũ 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.

Cần định trước tỷ lệ N/CKD khi thiết kế cấp phối sơ bộ, sau đó điều chỉnh lại cấp phối đã tính.Trước khi đưa cấp phối thi công, thường phải thông qua thí nghiệm đánh giá các đặc tính kỹ thuật để kiểm tra, từ đó quyết định thành phần 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

Hiện nay, trên thế giới có rất nhiều phương pháp thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn đã được đề xuất và ứng dụng. Tuy nhiên, các phương pháp thiết kế đều dựa trên hai nguyên lý chính sau:

- Nguyên lý bê tông: dựa vào tỷ lệ N/CKD được giữ không đổi và hỗn hợp trộn được xác định theo nguyên tắc thể tích tuyệt đối.

- Nguyên lý gia cố đất: dựa vào mối quan hệ giữa chất kết dính, tỷ lệ phối trộn của cốt liệu xác định độ ẩm tối ưu và khối lượng thể tích khô lớn nhất.

Nhưng dù áp dụng nguyên lý thiết kế nào đều xuất phát từ mục đích sau: Lượng vữa vật liệu kết dính không những phải đủ bao bọc các hạt cốt liệu thô mà còn phải đủ để lấp đầy lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu nhỏ, vữa cát bao bọc các hạt cốt liệu lớn, hình thành bê tông đầm lăn có độ đặc đồng đều, các đặc tính cơ bản đạt được các yêu cầu về kinh tế và kỹ thuật, tuổi thọ cao.

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 [39]

- 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

a. Phương pháp dư hồ CKD – Cục khai hoang Mỹ (USBR)

Phương pháp thiết kế dư hồ do Dunstan đề xuất và được Cục khai hoang Mỹ (USBR0) cải tiến để thiết kế thành phần bê tông đầm lăn cho đập Upper Stillwater (Mỹ). Phương pháp này đáp ứng yêu cầu cao về tính chống thấm nước và có lượng dùng xi măng lớn hơn các phương pháp khác.

Trình tự thiết kế theo phương pháp dư hồ:

- Xác định khối lượng riêng của xi măng (XM), tro bay (TB), đá (Đ), cát (C), độ rỗng của cốt liệu, cấp phối hạt của cốt liệu như bê tông thường.

- Xác định tỷ lệ N/(XM + TB) theo trọng lượng dựa vào cường độ nén yêu cầu ở tuổi thích hợp.

Với R_n^{365} = 29,7 MPa cần N/(XM + TB) = 0,5.

Với R_n^{365} = 15,9 MPa cần N/(XM + TB) = 0,7.

- Xác định tỷ lệ thay thế xi măng bằng tro bay theo cường độ nén ở tuổi tương ứng. Từ đó lượng dùng xi măng, tro bay, nước được tính toán cho 1 đơn vị thể tích hồ (XM + TB + N).

- Tỷ lệ Hồ/Vữa được lựa chọn tùy vào khoảng thời gian cho phép giữa các lớp đổ tại hiện trường. Đối với thời gian giữa các lớp lu lèn từ 12h đến 24h thì chọn tỷ lệ Hồ/Vữa = 0,39.

- Xác định tỷ lệ vữa cần thiết. Lượng vữa cần lớn hơn thể tích phần rỗng từ 5 ÷ 10%, tốt nhất nên chọn lớn hơn 7%.

- Tỷ lệ đá (%) được xác định bằng hiệu số của 100% và tỷ lệ vữa.

- Hàm lượng bọt khí được xác định trong trạng thái ẩm bão hòa của cốt liệu.

- Tiến hành trộn thử trong phòng thí nghiệm và thử độ cứng VC của hỗn hợp. Nếu độ cứng không đạt yêu cầu thì phải điều chỉnh lượng nước dùng.

- Mẻ trộn cần phải được điều chỉnh lại khi thay đổi tổ hợp các thành phần TB/XM, N/(XM + TB), (XM + TB)/C, hoặc thay đổi cấp phối hạt của cát. Đúc mẫu kiểm tra cường độ. Điều chỉnh từng biến trong khi giữ nguyên các biến khác.

b. Phương pháp thiết kế bê tông đầm lăn – Hiệp hội bê tông Mỹ

Các bước thiết kế được tiến hành như sau:

- Xác định thể tích hồ tối thiểu. Đối với hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cho việc lót đệm giữa các lớp đổ nên lấy tỷ lệ Hồ/Vữa = 0,42 ($P_{h/v}$).

Đối với hỗn hợp BTĐL ở các lớp rải bình thường nên lấy tỷ lệ Hồ/Vữa = 0,38.

- Chọn P/XM và nước N/(XM + P) phù hợp với cường độ yêu cầu.

- Xác định thể tích của cốt liệu lớn V_d

- Xác định thể tích vữa V_v với giả thiết lượng bọt khí và 2%.

$$V_v = 1000.0,98 - V_đ \qquad (2.1)$$

- Xác định thể tích hồ Vh sử dụng tỷ lệ $P_{h/v}$ từ bước 1

$$V_h = V_y.(1 - P_{h/v}) = V_v - V_h \qquad (2.2)$$

- Xác định thể tích cốt liệu nhỏ

$$V_c = V_v.(1 - P_{h/v}) = V_v - V_h \qquad (2.3)$$

- Xác định lượng dùng nước:

$$V_n = \frac{V_v \cdot \frac{N}{XM + P}}{1 + \frac{N}{XM + P}} \qquad (2.4)$$

- Xác định lượng dùng xi măng theo thể tích:

$$V_{XM} = \frac{N}{(XM + P)\left(1 + \frac{N}{XM + P}\right)} . V_n \qquad (2.5)$$

- Xác định lượng dùng phụ gia Puzzolan theo thể tích:

$$V_p = V_{xm}.(P/XM) \qquad (2.6)$$

- Quy đổi các giá trị vật liệu thành phần BTĐL theo thể tích ra khối lượng.

- Thí nghiệm hỗn hợp bê tông đầm lăn với các giá trị C/CL để xác định tỷ lệ C/CL tối ưu. Giá trị C/CL tối ưu ứng với trị số Vebe thấp nhất và khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông đầm lăn được đầm lèn đạt giá trị cao nhất.

- Sau khi xác định được tỷ lệ C/CL tối ưu, cố định tỷ lệ C/CL thay đổi tỷ lệ N/(XM + P). Thiết lập mối quan hệ giữa cường độ nén của bê tông đầm lăn và tỷ lệ N/(XM + P). Căn cứ vào cường độ yêu cầu chọn tỷ lệ N/(XM + P).

c. Phương pháp RCCD - Trung Quốc

Thiết kế thành phần tương tự như bê tông thông thường, dùng nguyên lý bao bọc lấp kín và tính toán các thành phần bằng phương trình thể tích tuyệt đối.

- Lựa chọn tỷ lệ N/CKD

Căn cứ vào yêu cầu về cường độ và tính bền vững của bê tông đầm lăn, lựa chọn tỷ lệ N/CKD. Trong điều kiện lượng dùng xi măng và chất độn ổn định, thí nghiệm tìm quan hệ giữa cường độ bê tông và tỷ lệ N/CKD ở tuổi 90 ngày.

Việc tính hàm lượng chất kết dính dựa trên công thức:

$$R_{90} = A.R_{ckd}\left(\frac{CKD}{N} - B\right) \qquad (2.7)$$

Trong đó:

R_{90}: cường độ bê tông đầm lăn ở tuổi 90 ngày, MPa;

R_{ckd}: cường độ của chất kết dính ở tuổi 28 ngày, MPa;

N, CKD: lượng nước, chất kết dính bao gồm XM và phụ gia khoáng, kg/m^3;

A, B: hệ số phương trình hồi qui được xác định bằng thí nghiệm.

- Chọn tỷ lệ sử dụng phụ gia khoáng: Căn cứ loại xi măng, chất lượng phụ gia khoáng, yêu cầu kỹ thuật, tình hình sử dụng và quy mô công trình.

- Chọn lượng nước: Căn cứ vào yêu cầu tính công tác và D_{max} của cốt liệu thô, xác định mối quan hệ giữa lượng nước và dung trọng của bê tông đầm lăn, quan hệ giữa lượng nước và cường độ, từ kết quả thí nghiệm chọn lượng nước thích hợp nhất.

- Chọn tỷ lệ C/CL để thoả mãn yêu cầu công nghệ thi công bê tông đầm lăn.

- Sau khi tính được N, X, P, C/CL dùng phương trình thể tích tuyệt đối để tính được lượng cát và đá:

$$\frac{X}{\rho_X} + \frac{N}{\rho_N} + \frac{C}{\rho_C} + \frac{D}{\rho_D} + \frac{P}{\rho_P} = 1000 - V_k \qquad (2.8)$$

Trong đó:

N, X, P, C, D: lượng nước, xi măng, chất độn, cát, đá cho $1m^3$ bê tông (kg)

ρ_N, ρ_X, ρ_P, ρ_C, ρ_D: khối lượng riêng của nước, xi măng, chất độn, cát, đá

V_k: hàm lượng bọt khí của bê tông đầm lăn (%)

Sau khi tính toán, đúc mẫu thử trong phòng thí nghiệm, nên điều chỉnh các thông số để BTĐL có được những tính chất kỹ thuật yêu cầu và đạt hiệu quả kinh tế cao nhất.

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

Thiết kế thành phần bê tông đầm lăn theo nguyên lý gia cố đất được xây dựng từ những năm 60. Nguyên lý gia cố đất coi hỗn hợp bê tông đầm lăn như là vật liệu đất hay xi măng đất. Thiết kế cấp phối là 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. Lực đầm lèn càng lớn, khối lượng thể tích khô lớn nhất tăng lên, hàm lượng nước tối ưu giảm xuống. Nguyên lý này được sử dụng rộng rãi để thiết kế thành phần bê tông đầm lăn trong xây dựng đường ô tô.

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

Trình tự tính toán thành phần như sau:

- Xác định tỷ lệ phối trộn của hỗn hợp cốt liệu thoả mãn yêu cầu về thành phần hạt. Cấp phối hạt nằm trong giới hạn cho phép, yêu cầu thành phần hạt cốt liệu đối với bê tông đầm lăn cho đường ô tô theo ACI 325.10R [50].

- Lựa chọn hàm lượng chất kết dính được xác định dựa vào cường độ, tuổi thọ yêu cầu của mặt đường và phần trăm khối lượng khô của cốt liệu, thường lấy khoảng 10 - 17% theo khối lượng của hỗn hợp cốt liệu (khoảng 208- 356 kg/m^3 BT).

- Phần trăm lượng chất kết dính (CKD) được tính như sau:

$$CKD = \frac{m_c}{m_c + m_{CL}}.100\ (\%) \qquad (2.9)$$

Trong đó: m_c: khối lượng chất kết dính, kg

m_{CL}: Khối lượng cốt liệu khô đã sấy khô, kg

CKD: phần trăm của lượng chất kết dính, % (thường 10 – 17%)

- Xác định khối lượng thể tích khô của bê tông đầm lăn tương ứng với độ ẩm của các mẫu theo thí nghiệm Proctor cải tiến (ASTM D1557 [55]).

+ Sử dụng hỗn hợp cốt liệu đã xác định ở bước 1.

+ Cố định lượng chất kết dính ở bước 2.

+ Thay đổi độ ẩm và điều chỉnh thay đổi ± 0,5%.

$$W = \frac{m_N}{m_c + m_{CL}}.100\ (\%) \qquad (2.10)$$

Trong đó: m_N: khối lượng của nước, kg

W: độ ẩm của vật liệu, %

+ Với hầu hết các loại cốt liệu, độ ẩm thường trong khoảng 5 - 8%.

+ Đầm nén mẫu thử, xác định khối lượng thể tích khô.

+ Xác định độ ẩm tối ưu: Vẽ đồ thị quan hệ giữa khối lượng thể tích khô và độ ẩm của bê tông đầm lăn, từ đó vẽ đường cong qua các điểm trên đồ thị. Độ ẩm đầm nén tốt nhất là giá trị trên trục hoành ứng với đỉnh của đường cong.

+ Xác định hàm lượng không khí: thường lấy là 2%.

+ Dựa trên hàm lượng nước tính toán (độ ẩm tối ưu), hàm lượng chất kết dính và hàm lượng không khí đã lựa chọn, tính thể tích tuyệt đối và khối lượng của các vật liệu cho 1 đơn vị thể tích bê tông.

- Đúc mẫu thử để xác định cường độ chịu nén

+ Với mỗi lượng chất kết dính, đúc ít nhất 3 mẫu thử. Mỗi mẫu thử được đúc tại độ ẩm tối ưu tương ứng với hàm lượng chất kết dính đã chọn.

- Thí nghiệm các mẫu thử và lựa chọn lượng chất kết dính.

+ Kiểm tra mẫu thử để xác định cường độ chịu nén tương ứng với lượng chất kết dính đã dùng.

+ Biểu diễn mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và lượng chất kết dính.

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 BTĐL được lựa chọn dựa trên quan hệ giữa cường độ chịu nén và một số tính chất khác. Thường yêu cầu hàm lượng cụ thể như lượng nước, lượng chất kết dính, lượng cốt liệu và sau đó biến đổi một trong số các nguyên tố đó để có được độ chặt yêu cầu. Tuy nhiên, phương pháp này chưa nêu bật được sự liên quan giữa đặc điểm đầm nén trong thiết kế, mà đây lại là một điểm khác biệt cơ bản giữa BTĐL với các bê tông xi măng thông thường. Vậy, thông số thiết kế là cường độ chịu nén và độ cứng.

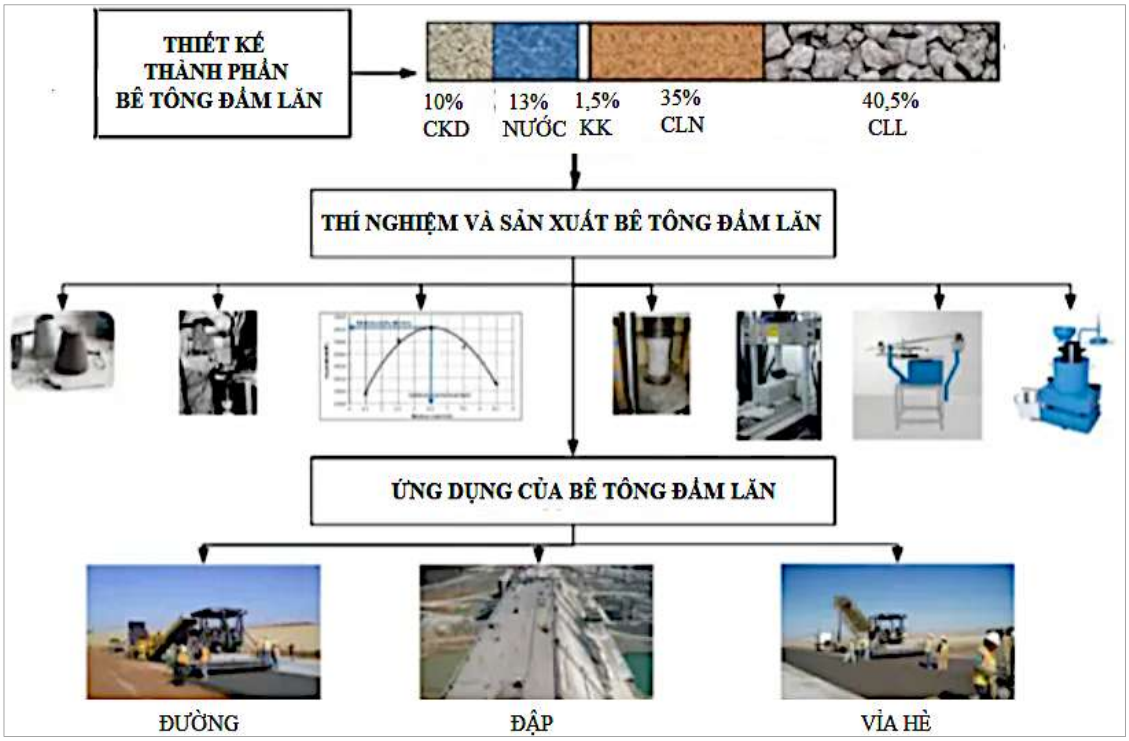
+ Nguyên lý gia cố đất: được thiết lập dựa trên mối quan hệ giữa độ ẩm tối ưu và khối lượng thể tích khô lớn nhất của hỗn hợp bằng việc đầm chặt mẫu với các độ ẩm khác nhau, từ đó tìm ra lượng nước hợp lý cho hỗn hợp. Thí nghiệm đầm nén dùng Proctor cải tiến là biện pháp có hiệu quả cho việc lựa chọn hàm lượng nước để đảm bảo tính công tác cũng như các tính chất khác của BTĐL ngoài hiện trường. Trong lý thuyết đầm nén đất, nước ở trong hỗn hợp cốt liệu có tác dụng bôi trơn và dưới tác dụng của lực đầm, đất đạt được giá trị khối lượng thể tích khô cao. 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, một trong các thông số cần thiết để thiết kế là cường độ mục tiêu, từ đó tính toán lượng chất kết dính. Nguyên lý này coi bê tông đầm lăn như là bê tông dẻo thông thường. Cường độ chịu nén và các tính năng khác của nó tuân theo quan hệ giữa tỷ lệ N/CKD được Abrams thành lập [56]. 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, cốt liệu lớn và các cốt liệu nhỏ dính bám với nhau bởi lớp nhựa đường cũ, 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.

Với nguyên lý gia cố đất, cường độ bê tông phụ thuộc mức độ đầm lèn, sự dính kết và độ đặc của hỗn hợp vật liệu. Khi mức độ đầm lèn và sự dính kết càng cao thì cường độ của bê tông càng lớn. Mặt khác, khi đầm lèn chấn động nhẹ, chưa xuất hiện đầy đủ lượng vữa trên bề mặt, do đó, trong bê tông không đủ lượng vữa để lấp đầy lỗ rỗng cốt liệu, dẫn đến hỗn hợp bê tông không có khả năng kết dính hoàn toàn. Do đó, khi coi hỗn hợp bê tông đầm lăn như vật liệu đất, sau đó phát triển thành vật liệu bê tông thì nguyên lý này rất hữu ích cho hỗn hợp bê tông đầm lăn (có hàm lượng xi măng > 99 kg/m^3), kiểm soát được tỷ lệ N/XM, CLL/CLN, giảm lỗ rỗng trong hỗn hợp bê tông, có thể lấp đầy lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu nhỏ bằng hồ xi măng. Trong bê tông đầm lăn sử dụng một tỷ lệ cốt liệu mịn lớn hơn so với BTXM thông thường nên theo tiêu chuẩn ASTM 325-10R, với nguyên lý gia cố đất, bê tông đầm lăn đủ khô để có thể được đầm chặt và đủ ướt để hồ xi măng phân bố đều khắp nơi trong hỗn hợp cốt liệu [50].

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, điều này rất cần thiết để kiểm soát quá trình đầm nén ngoài hiện trường. Đây được coi là công nghệ mở rộng của công nghệ đất - xi măng. Trên cơ sở đó, nguyên lý gia cố đất phù hợp nhất để thiết kế bê tông đầm lăn, mô phỏng điều kiện đầm nén tại hiện trường và cho biết thành phần vật liệu hợp lý của hỗn hợp [72].



Hình 2-1. Thiết kế và ứng dụng của BTĐL theo nguyên lý gia cố đất [72]

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 đến nguyên lý tính toán thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ. Theo đó, các nghiên cứu này đều sử dụng phương pháp thiết kế dựa trên nguyên lý gia cố đất và dùng thí nghiệm Proctor cải tiến để xác định độ ẩm tối ưu tương ứng với khối lượng thể tích khô lớn nhất của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ. Vì vậy, nguyên lý này được khuyến nghị áp dụng thiết kế hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế trong xây dựng đường ô tô như làm lớp móng, vỉa hè, đường người đi bộ, bãi đỗ xe,…[58,63,70,87].

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 BTĐL 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

Thành phần vật liệu chủ yếu chế tạo bê tông đầm lăn gồm: xi măng, cốt liệu, nước và tro bay. Trong nghiên cứu này, khi thiết kế bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế, một phần cốt liệu tự nhiên sẽ được thay thế bằng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ. Do vậy, việc nghiên cứu đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật của cốt liệu tái chế để thiết kế thành phần bê tông đầm lăn rất quan trọng và cần thiết.

2.2.1. Xi măng

Ở Việt Nam, hiện nay có nhiều loại xi măng được sử dụng để chế tạo bê tông xi măng nói chung và bê tông đầm lăn nói riêng. Việc lựa chọn loại xi măng phụ thuộc vào điều kiện môi trường, điều kiện làm việc của kết cấu. Đối với bê tông đầm lăn cho mặt đường, có thể dùng các loại xi măng Pooc lăng thông thường hay xi măng Pooc lăng hỗn hợp. Để đánh giá ảnh hưởng của loại xi măng đến đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn, sử dụng 2 loại: Xi măng Bút Sơn PC40 và xi măng The Vissai PCB30, thoả mãn TCVN 2682:2009 [33] và TCVN 6260:2009 [34].

Hình 2-2. Xi măng PC40 Vicem Bút Sơn và xi măng PCB30 The Vissai

2.2.1.1. Xi măng PC40

Các chỉ tiêu kỹ thuật của xi măng PC40 được trình bày trong Bảng 2-1.

Bảng 2-1. Chỉ tiêu kỹ thuật của xi măng PC40

STT	Tên các chỉ tiêu	Kết quả	Đơn vị
1	Khối lượng riêng	3,15	g/m^3
2	Thời gian bắt đầu đông kết	80	phút
3	Thời gian kết thúc đông kết	150	phút
4	Cường độ nén tuổi 3 ngày	35	MPa
5	Cường độ nén tuổi 28 ngày	54,6	MPa

2.2.1.2. Xi măng PCB30

Các chỉ tiêu kỹ thuật của xi măng PCB30 được trình bày trong Bảng 2-2.

Bảng 2-2. Chỉ tiêu kỹ thuật của xi măng PCB30

STT	Tên các chỉ tiêu	Kết quả	Đơn vị
1	Khối lượng riêng	3,15	g/cm^3
2	Thời gian bắt đầu đông kết	140	phút
3	Thời gian kết thúc đông kết	195	Giờ
4	Cường độ nén tuổi 3 ngày	22,8	MPa
5	Cường độ nén tuổi 28 ngày	37	MPa

2.2.2. Cốt liệu tự nhiên

Trong bê tông đầm lăn, cốt liệu tự nhiên (cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ) chiếm từ 60% đến 75% về thể tích và 79% đến 85% về khối lượng của hỗn hợp vật liệu.

Hình 2-3. Đá dăm D_{max} = 12,5 mm (trái) và cát vàng M_{dl} = 2,4 (phải)

2.2.2.1. Cốt liệu lớn tự nhiên

Cốt liệu lớn được coi là bộ khung cứng chịu lực chính trong bê tông. Việc tính toán lựa chọn tối ưu hoá bộ khung cốt liệu là cần thiết nhằm giảm lượng xi măng, tăng độ đặc chắc, cải thiện chất lượng bê tông và đảm bảo tính kinh tế. Do vậy, sử dụng cốt liệu lớn có kích thước hạt lớn nhất D_{max} < 20 mm để đảm bảo độ đồng nhất và cường độ chịu uốn của bê tông đầm lăn.

Cốt liệu lớn được sử dụng trong luận án là đá dăm có kích thước hạt từ 4,75 – 12,5 mm lấy ở mỏ đá Hoà Thạch – Quốc Oai – Hà Nội.

Các chỉ tiêu kỹ thuật của cốt liệu lớn được trình bày trong bảng 2-3.

Bảng 2-3. Các chỉ tiêu kỹ thuật của cốt liệu lớn tự nhiên

STT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Kết quả	Đơn vị	Tiêu chuẩn thí nghiệm
1	Khối lượng thể tích bão hoà	2,89	g/cm^3	TCVN7572 - 5:2006
2	Khối lượng riêng	2,65	g/cm^3	TCVN7572 - 5:2006
3	Khối lượng thể tích đầm chặt	1,65	g/cm^3	ASTM C29
4	Độ hút nước sau 24h (%)	0,70	%	TCVN7572 - 5:2006
5	Cường độ chịu nén đá gốc	139,40	MPa	TCVN7572 - 10:2006
6	Độ mài mòn Los Angles (%)	8,60	%	TCVN7572 - 12:2006
7	Hàm lượng hạt thoi dẹt (%)	6,78	%	TCVN7572 - 13:2006
8	Hàm lượng bụi, hạt sét (%)	0,26	%	TCVN7572 - 8:2006

2.2.2.2. Cốt liệu nhỏ tự nhiên

Cốt liệu nhỏ cùng với xi măng tạo thành vữa xi măng lấp đầy lỗ rỗng và bao bọc các hạt cốt liệu lớn, làm cho khối bê tông đặc chắc, đồng thời cùng với cốt liệu lớn tạo thành khung cứng chịu lực trong bê tông. Cốt liệu nhỏ dùng cho bê tông đầm lăn có mô đun độ lớn từ 2,0 đến 3,3. Cốt liệu nhỏ được sử dụng trong luận án là cát vàng sông Lô. Thành phần hạt của cát thoả mãn tiêu chuẩn ASTM C33 [51].

Các chỉ tiêu kỹ thuật của cốt liệu nhỏ tự nhiên được trình bày trong Bảng 2-4.

Bảng 2-4. Các chỉ tiêu kỹ thuật của cốt liệu nhỏ tự nhiên

STT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Kết quả	Đơn vị	Tiêu chuẩn thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	2,63	g/cm^3	TCVN7572 - 4:2006
2	Khối lượng thể tích xốp	1,42	g/cm^3	TCVN7572 - 6:2006
3	Khối lượng thể tích bão hoà	2,63	g/cm^3	TCVN7572 - 4:2006
4	Khối lượng thể tích đầm chặt	1,60	g/cm^3	ASTM C29
5	Độ hút nước sau 24h	1,10	%	TCVN7572 - 4:2006
6	Mô đun độ lớn	2,40		TCVN7572 - 2:2006
7	Hàm lượng hạt sét	0,25	%	TCVN7572 - 8:2006
8	Tạp chất hữu cơ	Sáng		TCVN7572 - 9:2006

Hình 2-4. Thí nghiệm xác định thành phần hạt cuả cốt liệu tự nhiên

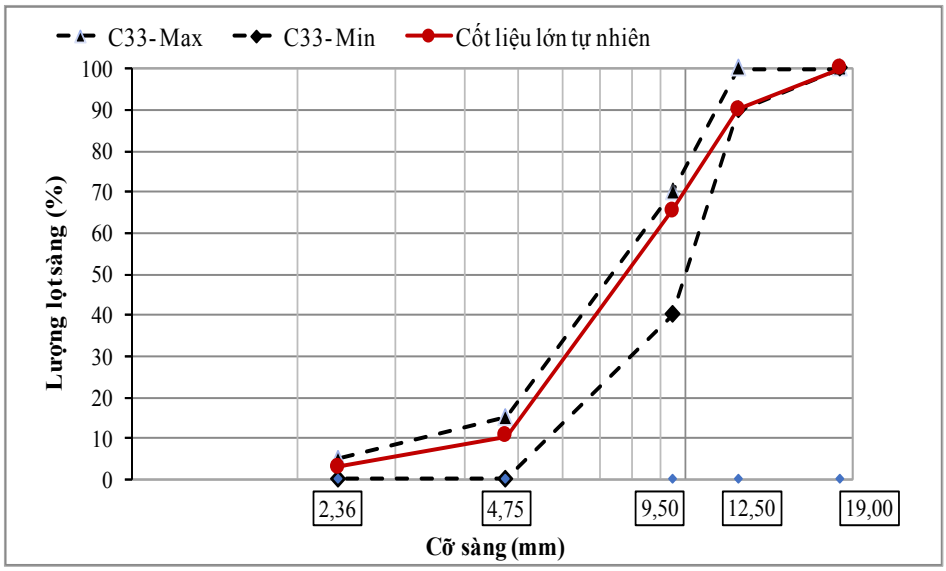
Thành phần hạt cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ thoả mãn tiêu chuẩn ASTM C33 [51].

Bảng 2-5: Thành phần hạt cốt liệu của cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ

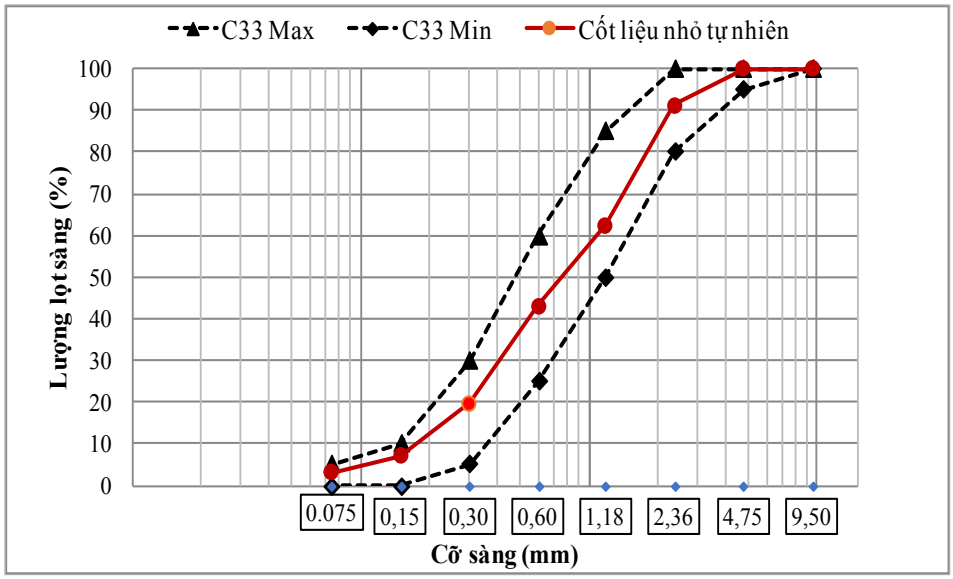
Cỡ sàng (mm)	Lượng lọt sàng (%)			Lượng lọt sàng (%)		
	ASTM C33		Cốt liệu lớn	ASTM C33		Cốt liệu nhỏ
19	100		100			
12,5	90	100	90,25			
9,5	40	70	50,34	100		100
4,75	0	15	10,51	95	100	100
2,36	0	5	3,12	80	100	91,32

Cỡ sàng (mm)	Lượng lọt sàng (%)			Lượng lọt sàng (%)		
	ASTM C33		Cốt liệu lớn	ASTM C33		Cốt liệu nhỏ
1,18	-	-	0	55	80	62,50
0,6	-	-	0	25	60	43,11
0,3	-	-	0	5	30	22,10
0,15	-	-	0	0	10	9,21
0,075	-	-	0	0	5	4,12

Hình 2-5, Hình 2-6 thể hiện đường thành phần hạt của cốt liệu tự nhiên.



Hình 2-5. Đường thành phần hạt của cốt liệu lớn tự nhiên



Hình 2-6. Đường thành phần hạt của cốt liệu nhỏ tự nhiên

2.2.3. Cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

2.2.3.1. Nguồn gốc cốt liệu cào bóc

Để thấy được hiệu quả của việc tái sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trong chế tạo bê tông đầm lăn, đồng thời so sánh và đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật của các loại cốt liệu tái chế có nguồn gốc khác nhau, trong luận án, sử dụng 2 loại cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ được thu gom từ 2 nơi khác nhau. Các loại cốt liệu cào bóc này được máy cào bóc đến lớp móng trên của kết cấu áo đường.

- CLTC1 (Hình 2-7): được thu gom từ khu Công nghiệp Tiên Sơn – Bắc Ninh
- CLTC2 (Hình 2-8): được thu gom trên tuyến đường Pháp Vân – Cầu Giẽ.

Hình 2-7. CLTC1 thu gom từ Công nghiệp Tiên Sơn –Bắc Ninh

Hình 2-8. CLTC2 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 nghiền, sàng và phân loại đường kính các cỡ hạt, sau đó xác định các đặc tính kỹ thuật theo tiêu chuẩn hiện hành. Các bước sản xuất cốt liệu tái chế từ 2 loại CLTC1 và CLTC2 được tiến hành theo TCVN 11969:2018 [37] (Hình 2-9, Hình 2-10).

- Chuẩn bị thiết bị nghiền: Thiết bị nghiền là máy nghiền kẹp hàm quy mô phòng thí nghiệm, đặt tại Phòng thí nghiệm Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải.

- Chuẩn bị vật liệu đầu vào: Vật liệu đầu vào là bê tông nhựa cũ được cào bóc có kích thước dưới 50mm. Trong một số trường hợp, máy khoan và búa được sử dụng để làm nhỏ các mẫu bê tông nhựa cào bóc có kích thước lớn hơn 50 mm.

- Nghiền cốt liệu tái chế: Các mảnh vỡ của bê tông nhựa cũ lần lượt được đưa vào cửa nghiền của máy nghiền kẹp hàm. Thời gian nghiền và kích thước cửa xả của máy nghiền được điều chỉnh sao cho đạt được các cỡ hạt như mong muốn.

Hình 2-9. Quá trình nghiền cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

Hình 2-10. Cốt liệu tái chế thu được sau quá trình nghiền

- Sàng và phân loại cốt liệu tái chế: Cốt liệu tái chế được sàng và phân thành 2 loại: cốt liệu lớn có kích thước hạt trên 4,75 mm và cốt liệu nhỏ có kích thước hạt dưới 4,75 mm (Hình 2-11).

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 [13]. Các đặc tính kỹ thuật của cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ được xác định theo các tiêu chuẩn được trình bày trong Bảng 2-6.

Bảng 2-6. Tiêu chuẩn thí nghiệm các đặc tính kỹ thuật của cốt liệu cào bóc

STT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Tiêu chuẩn thí nghiệm
1	Hàm lượng nhựa đường	TCVN 8860-2 : 2011 [21]
2	Khối lượng riêng	TCVN 7572-4 : 2006 [15] TCVN 7572-5 : 2006 [16]
3	Khối lượng thể tích	TCVN 7572-4 : 2006 [15] TCVN 7572-5 : 2006 [16]
4	Khối lượng thể tích xốp	TCVN 7572-6 : 2006 [17]
5	Độ hút nước	TCVN 7572-4 : 2006 [15] TCVN 7572-5 : 2006 [16]
6	Hàm lượng tạp chất	TCVN 7572-9 : 2006 [18]

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

a. Xác định đường thành phần hạt

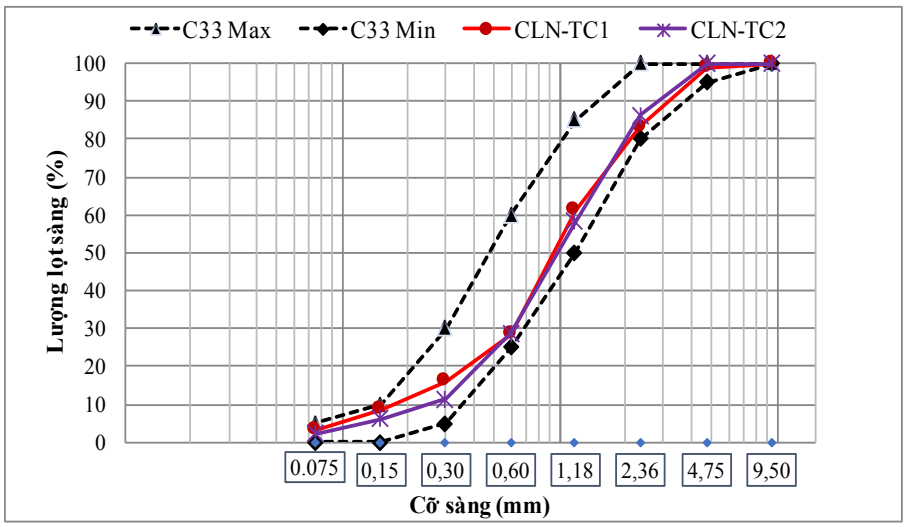
Với mỗi loại cốt liệu tái chế, thành phần hạt của cốt liệu nhỏ và cốt liệu lớn được thí nghiệm trên 6 mẫu theo tiêu chuẩn ASTM C33.

Đường thành phần hạt của cốt liệu lớn tái chế (CLL-TC) và cốt liệu nhỏ tái chế (CLN-TC) (sau khi sàng) từ CLTC1 và CLTC2 được trình bày trong Bảng 2-7 và thể hiện trên Hình 2-12 và Hình 2-13.

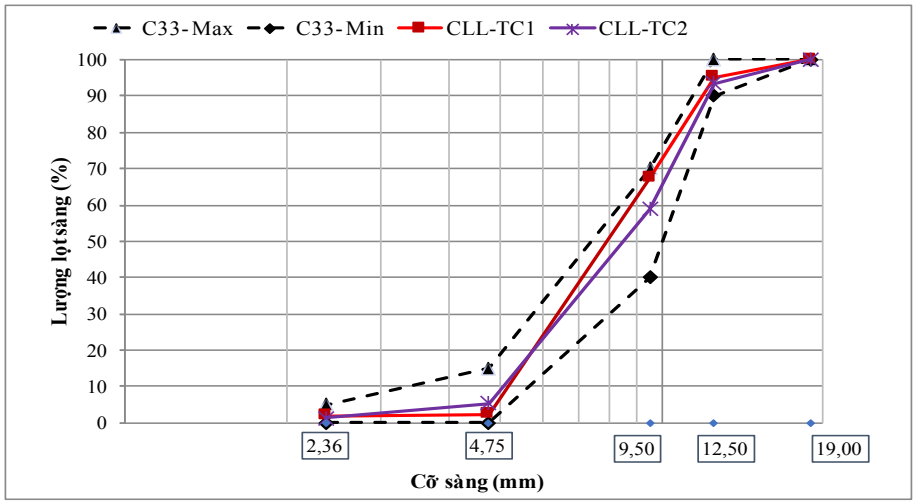
Bảng 2-7. Thành phần hạt của các loại cốt liệu tái chế

Sàng (mm)	Lượng lọt sàng (%)				Lượng lọt sàng (%)			
	ASTM C33		CLL-TC1	CLL-TC2	ASTM C33		CLN-TC1	CLN-TC2
19	100							
12,5	90	100	90,12	93,51				
9,5	40	70	60,43	58,76	100			
4,75	0	15	2,46	5,45	95	100	100	100
2,36	0	5	1,87	1,34	80	100	83,21	86,32

Sàng (mm)	Lượng lọt sàng (%)				Lượng lọt sàng (%)			
	ASTM C33		CLL-TC1	CLL-TC2	ASTM C33		CLN-TC1	CLN-TC2
1,18	-	-	0	0	55	80	61,23	58,34
0,6	-	-	0	0	25	60	28,50	28,75
0,3	-	-	0	0	5	30	20,21	11,31
0,15	-	-	0	0	0	10	8,71	6,12
0,075	-	-	0	0	0	5	3,67	2,31



Hình 2-12. Thành phần hạt CLN – TC thu được từ 2 loại CLTC



Hình 2-13. Thành phần hạt CLL – TC thu được từ 2 loại CLTC

Từ kết quả thí nghiệm, CLL-TC1 và CLL-TC2 đều có kích thước cỡ hạt danh định lớn nhất D_{max} =12,5 mm. CLN-TC1 và CLN-TC2 là cát thô có mô đun độ lớn lần lượt là 3,0 và 3,2.

CLN-TC1 và CLN-TC2 đều có hàm lượng hạt mịn dưới 0,075 mm rất thấp (lần lượt là 3,67% và 2,31%). Đây là đặc điểm cần lưu ý khi sử dụng cốt liệu tái chế làm cốt liệu cho bê tông đầm lăn, cần bổ sung thành phần hạt mịn dưới 0,075 mm để đảm bảo yêu cầu về thành phần hạt của hỗn hợp cốt liệu.

b. Xác định khối lượng riêng, khối lượng thể tích

Khối lượng riêng, khối lượng thể tích ở trạng thái khô, khối lượng thể tích ở trạng thái đầm chặt và khối lượng thể tích xốp của các loại cốt liệu tái chế được tổng hợp trong Bảng 2-8, Bảng 2-9.

Bảng 2-8. Khối lượng riêng, khối lượng thể tích của CLTC1

STT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	CLL- TC1	CLN-TC1
1	Khối lượng riêng	g/cm^3	2,63	2,55
2	Khối lượng thể tích ở trạng thái khô	g/cm^3	2,56	2,51
3	Khối lượng thể tích ở trạng thái bão hòa	g/cm^3	2,59	2,52
4	Khối lượng thể tích xốp	g/cm^3	1,25	1,40

Bảng 2-9. Khối lượng riêng, khối lượng thể tích của CLTC2

STT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	CLL-TC2	CLN-TC2
1	Khối lượng riêng	g/cm^3	2,65	2,57
2	Khối lượng thể tích ở trạng thái khô	g/cm^3	2,57	2,53
3	Khối lượng thể tích ở trạng thái bão hòa	g/cm^3	2,60	2,52
4	Khối lượng thể tích xốp	g/cm^3	1,28	1,43

c. Xác định hàm lượng nhựa

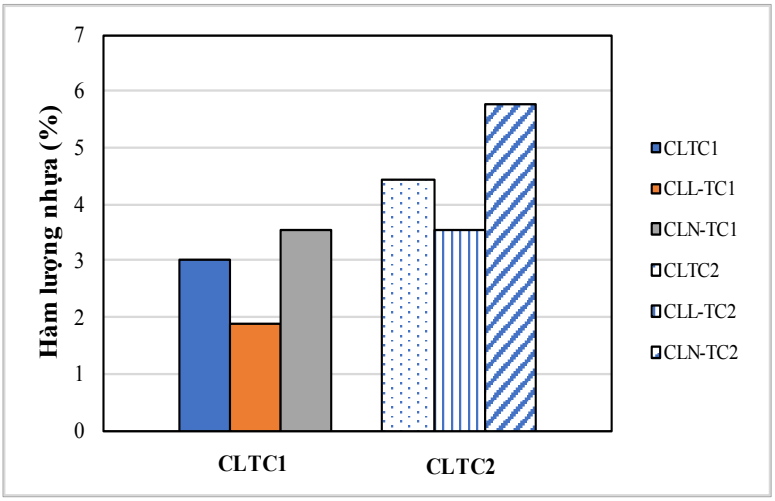
Nhựa cũ dính bám xung quanh cốt liệu là một trong những đặc tính khác biệt của cốt liệu tái chế so với cốt liệu tự nhiên. Đây là yếu tố ảnh hưởng đến khả năng gắn kết giữa cốt liệu và vữa xi măng khi sử dụng cốt liệu cào bóc cho chế tạo bê tông đầm lăn. Từ hai nguồn cốt liệu tái chế thu được, thí nghiệm chiết tách nhựa được xác định trên 3 loại cốt liệu: hỗn hợp cốt liệu tái chế trước khi sàng, cốt liệu lớn tái chế (CLL-TC) và cốt liệu nhỏ tái chế (CLN-TC) sau khi sàng. Hàm lượng nhựa dính bám của cốt liệu tái chế được xác định theo TCVN 8860-2:2011 [21].

Hình 2-14. Thí nghiệm xác định hàm lượng nhựa có trong cốt liệu tái chế

Với mỗi loại cốt liệu tái chế, thí nghiệm được thực hiện trên 2 mẫu. Hàm lượng nhựa dính bám (theo % khối lượng cốt liệu) được trình bày ở Bảng 2-10.

Bảng 2-10. Hàm lượng nhựa trong CLTC (theo % khối lượng cốt liệu)

Loại cốt liệu	**Hàm lượng nhựa (%)**		
	Mẫu 1	**Mẫu 2**	**Trung bình**
CLTC1 (CLL+CLN)	3,11	2,95	3,03
CLL-CLTC1	1,83	1,95	1,89
CLN-CLTC1	3,41	3,65	3,53
CLTC2 (CLL+CLN)	4,51	4,33	4,42
CLL-CLTC2	3,40	3,65	3,53
CLN-CLTC2	5,70	5,81	5,76



Hình 2-15. Hàm lượng nhựa dính bám của các loại cốt liệu tái chế

Kết quả thí nghiệm cho thấy CLTC2 có hàm lượng nhựa cao hơn CLTC1. Như vậy, với mỗi loại hỗn hợp bê tông nhựa ban đầu khác nhau thì hàm lượng dính bám vào cốt liệu cào bóc sẽ khác nhau.

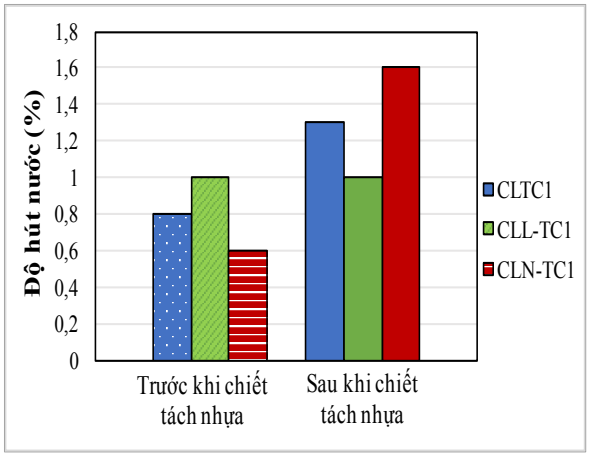
Mặt khác, với cả hai loại cốt liệu tái chế, kết quả thu được cho thấy: cốt liệu lớn có hàm lượng nhựa thấp hơn so với cốt liệu nhỏ. CLL-TC1 và CLL-TC2 có hàm lượng nhựa dính bám lần lượt là 1,89% và 3,53%. Trong khi đó, CLN-TC1 và CLN-TC2 có hàm lượng nhựa lần lượt là 3,53% và 5,76%.

d. Xác định độ hút nước

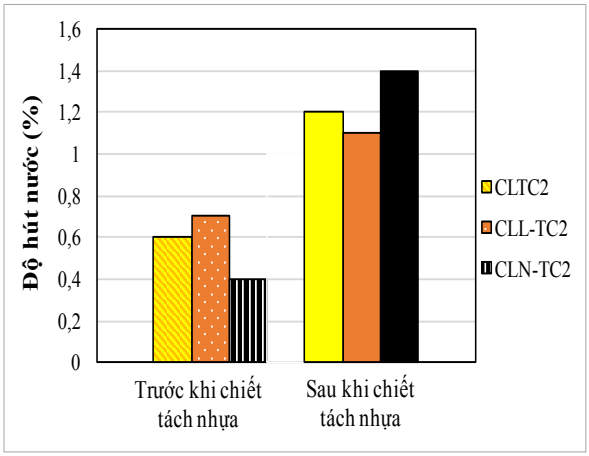
Độ hút nước của cốt liệu tái chế được xác định theo TCVN 7572-4:2006 [15] và TCVN 7572-5:2006 [16]. Bảng 2-11 tổng hợp kết quả độ hút nước của các loại CLTC1 và CLTC2 trước và sau khi chiết tách nhựa.

Bảng 2-11. Độ hút nước của CLTC1 và CLTC2

Loại cốt liệu	**CLTC1**		**CLTC2**	
	Trước khi chiết tách nhựa	**Sau khi chiết tách nhựa**	**Trước khi chiết tách nhựa**	**Sau khi chiết tách nhựa**
Hỗn hợp CLTC (CLL+CLN)	0,8	1,3	0,6	1,2
CLL (>4,75 mm)	1,0	1,1	0,7	1,1
CLN (<4,75 mm)	0,6	1,6	0,4	1,4



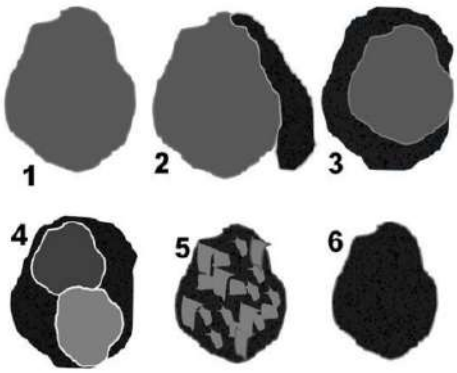
Hình 2-16. Độ hút nước của CLTC1 trước và sau khi chiết tách nhựa



Hình 2-17. Độ hút nước của CLTC2 trước và sau khi chiết tách nhựa

Các kết quả thí nghiệm cho thấy trước khi chiết tách nhựa, độ hút nước của CLL-TC lớn hơn CLN-TC. Sau khi chiết tách nhựa, độ hút nước của các loại cốt liệu tái chế bằng khoảng 2-3 lần so với trước khi chiết tách nhựa do sự chênh lệch về hàm lượng nhựa dính bám giữa cốt liệu nhỏ và cốt liệu lớn. Đồng thời, sau khi chiết tách nhựa, độ hút nước của CLN-TC lớn hơn CLL-TC.

Điều này có thể được giải thích bởi tính chất kỵ nước của nhựa dính bám trên bề mặt cốt liệu tái chế. Nhựa dính bám tạo thành một lớp màng bao bọc ngăn cản sự di chuyển của nước vào trong các lỗ rỗng của cốt liệu tái chế. Mặt khác, một phần lỗ rỗng của cốt liệu tái chế bị lấp đầy nhựa. Do đó, độ hút nước của cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ thấp hơn độ hút nước của cốt liệu tự nhiên. Đây là một ưu điểm khi sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ thay thế cốt liệu tự nhiên để chế tạo BTXM nói chung và BTĐL nói riêng. Hình 2-18 thể hiện các dạng bọc nhựa xung quanh các hạt cốt liệu tái chế.



1. CLTC không bị bao bọc nhựa
2. Một phần CLTC bị bao bọc nhựa
3. CLTC bị bao bọc nhựa hoàn toàn
4. Nhiều hạt CLTC bị bao bọc nhựa hoàn toàn
5. Nhựa bao bọc một phần hỗn hợp gồm cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ
6. Nhựa bao bọc hoàn toàn tạo thành một khối

Hình 2-18. Các dạng nhựa đường bao bọc xung quanh cốt liệu tái chế [71]

e. Xác định hàm lượng bùn, bụi, sét

Hàm lượng tạp chất có trong các loại CLTC1 và CLTC2 xác định theo TCVN 7572-9:2006 [18] được trình bày ở Bảng 2-12.

Bảng 2-12. Hàm lượng tạp chất của CLTC1 và CLTC2

Loại cốt liệu	CLTC1	CLTC2
Hỗn hợp CLTC (CLL+CLN)	2,3	1,9
CLL (> 4,75 mm)	1,8	1,1
CLN (< 4,75 mm)	3,2	2,5

2.2.4. Tro bay

- Ở Việt Nam, phụ gia khoáng dùng cho bê tông đầm lăn tuân theo TCVN 8825:2011 [35]. Trong luận án, sử dụng tro bay của Công ty cổ phần Sông Đà Cao Cường. Đây là tro bay loại F được tuyển tách, tinh chế tro và thu gom tại nhà máy nhiệt điện Phả Lại. Bảng 2-13, Bảng 2-14 trình bày kết quả thí nghiệm thành phần hóa học và đặc tính kỹ thuật của tro bay dùng cho bê tông đầm lăn.

Bảng 2-13. Thành phần hóa học của tro bay nhiệt điện Phả Lại

STT	Thành phần hóa học	Tỷ lệ (%)
1	MKN	6,12
2	SiO_2	54,10
3	Fe_2O_3	5,74
4	Al_2O_3	24,48
5	CaO	3,94
6	MgO	1,60
7	SO_3	0,14
8	K_2O	3,71
9	Na_2O	0,17

Bảng 2-14. Các đặc tính kỹ thuật của tro bay

STT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị	Kết quả	Yêu cầu kỹ thuật	Tiêu chuẩn thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm^3	2,1		ASTM C311-05
2	Lượng sót trên sàng 0,045	%	28,0	≤ 34	ASTM C430-05
3	Chỉ số hoạt tính				ASTM C311-05
	7 ngày	%	81,6	≥ 75	
	28 ngày		86,8	≥ 75	
4	Độ ẩm	%	0,52	≤ 3	

2.2.5. 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 [36].

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

Các bước tính toán thành phần bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ được trình bày theo trình tự sau:

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

Thiết kế thành phần cấp phối hay xác định tỷ lệ phối trộn của hỗn hợp cốt liệu là một phần thiết yếu để thiết kế tối ưu hỗn hợp bê tông đầm lăn có cường độ cao, tính chống thấm tốt, độ đặc chắc cao nhất, tuổi thọ dài và giá thành hạ. Việc lựa chọn thành phần cấp phối tối ưu sẽ làm tăng tính công tác, giảm sự phân tầng, giảm co ngót và giảm lượng xi măng dùng trong hỗn hợp.

Nguyên tắc thiết kế tối ưu thành phần cấp phối của hỗn hợp cốt liệu:

- Với mỗi cấp phối cốt liệu khác nhau sẽ tương ứng với một lượng chất kết dính nhất định. Khi tối ưu được tỷ lệ N/CKD thì hỗn hợp bê tông đầm lăn thu được sẽ có cường độ cao nhất.

- Hỗn hợp bê tông đầm lăn có thành phần cấp phối tối ưu sẽ đáp ứng tốt với đầm rung có biên độ và tần số cao.

Trường hợp hỗn hợp cốt liệu có cỡ hạt danh định lớn nhất 19 mm hoặc 25 mm tham khảo thành phần hạt theo Quyết định số 4452/QĐ-BGTVT [12]. Tuy nhiên, thành phần hạt của CLTC1 và CLTC2 trong luận án đều có đường kính danh định lớn nhất là 12,5 mm. Vì vậy, thành phần hạt của hỗn hợp cốt liệu được tham khảo theo chỉ dẫn của ACI 325.10R [50] và ACI 211.3R-02 [49].

Mặt khác, các nghiên cứu gần đây tại Pháp, Mỹ, Anh, Đức,... cho thấy việc thay thế cốt liệu tự nhiên trong hỗn hợp bê tông đầm lăn bằng cốt liệu tái chế thường ở 2 mức độ: mức độ trung bình (khoảng 40 - 50%) và mức độ cao (khoảng 60 - 80%) [57,62,65,80,81]. Do vậy, khi sử dụng hàm lượng cốt liệu tái chế thấp (< 40%) sẽ phải tăng hàm lượng cốt liệu tự nhiên trong hỗn hợp bê tông, hiệu quả tận dụng cốt liệu tái chế không cao và không làm nổi bật được ý nghĩa về mặt môi trường của việc tái sử dụng bê tông nhựa cũ. Đồng thời, sử dụng hỗn hợp chứa 40% cốt liệu tái chế sẽ có độ cứng gần giống với hỗn hợp không chứa cốt liệu tái chế, không ảnh hưởng lớn đến khả năng hút nước, vết nứt,... Hiện nay, trên thế giới nhiều nước đã thành công trong việc nghiên cứu và ứng dụng hàm lượng cốt liệu tái chế lên đến 90 – 100% trong công nghệ tái chế mặt đường bê tông nhựa [61].

Do đó, để thấy được ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu tái chế đến đặc tính kỹ thuật của bê tông đầm lăn, đồng thời, dựa trên cơ sở tham khảo một số nghiên cứu về bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế trên thế giới [61,76,89], luận án sử dụng hai hàm lượng cốt liệu tái chế ở 2 mức độ: mức độ trung bình và mức độ cao để thiết kế thành phần bê tông đầm lăn như sau:

- 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).

Từ hàm lượng cốt liệu tái chế được lựa chọn, tiến hành tính toán tỉ lệ phối trộn của hỗn hợp cốt liệu để chế tạo bê tông đầm lăn. 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%**

Tỷ lệ các loại cốt liệu được tính toán và so sánh với đường cấp phối theo chỉ dẫn ACI 325.10R và đường cong cấp phối tối ưu Fuller (phụ lục 2). Đường cong cấp phối cốt liệu tối ưu Fuller có độ đặc của cốt liệu tốt nhất, đặc tính tốt nhất cho bê tông và được miêu tả bằng phương trình sau:

$$P(d) = \left(\frac{d}{D}\right)^n \qquad (2.11)$$

Trong đó:

P(d): lượng lọt sàng d, %

d: kích cỡ mắt sàng, mm

D: kích cỡ mắt sàng lớn nhất, thường là cỡ sàng lớn hơn cỡ sàng đầu tiên mà có lượng lọt sàng ≤ 90%, mm.

n: số mũ của phương trình (n = 0,30 – 0,50).

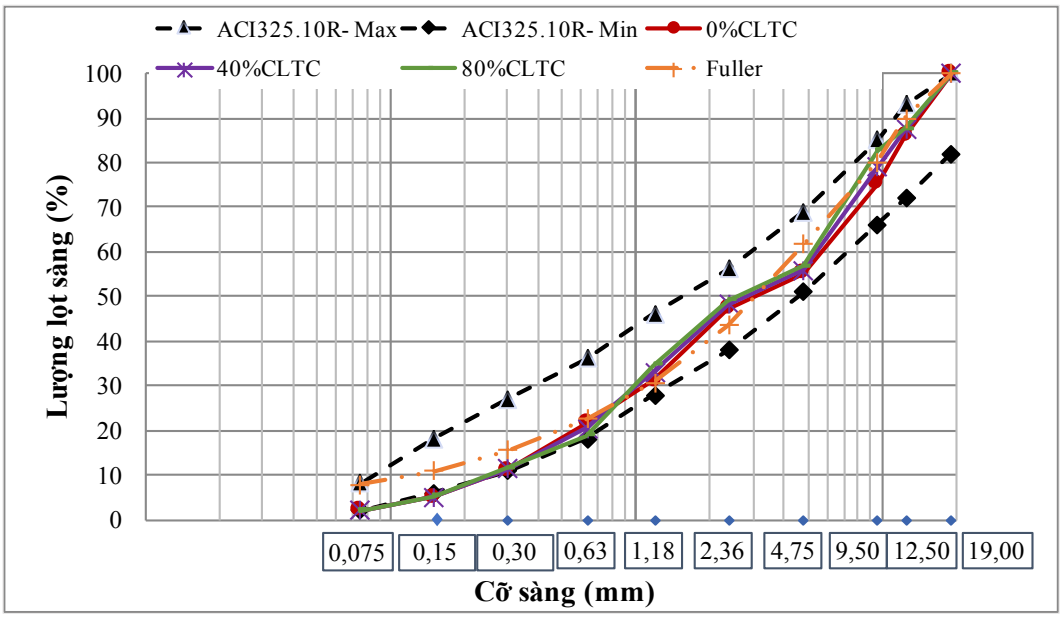
Đường cấp phối thực tế của cốt liệu trong hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế sẽ được so sánh với đường cong tối ưu Fuller với n = 0,5; phạm vi chênh cho phép ± 7%, được thể hiện trong Bảng 2-16 và Hình 2-19. Cấp phối tốt là cấp phối có độ chênh lệch không nhiều so với đường chuẩn. Hỗn hợp cốt liệu cách xa phía dưới đường Fuller có nghĩa là quá nhiều cốt liệu lớn, hỗn hợp có xu hướng

phân tầng. Ngược lại, nếu đường cấp phối ở phía trên đường Fuller có nghĩa là cấp phối có xu hướng bị cứng.

Bảng 2-16. Thành phần hạt của các loại cốt liệu chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn

Cốt liệu	**Lượng lọt sàng (%)**									
	19	**12,5**	**9,5**	**4,75**	**2,36**	**1,18**	**0,6**	**0,3**	**0,15**	**0,075**
CLL-TN	100	90,25	50,34	10,51	3,12	0	0	0	0	0
CLN-TN	100	100	100	100	91,32	62,50	43,11	22,10	10,21	4,12
CLL-TC1	100	90,12	60,43	2,46	1,87	0	0	0	0	0
CLN-TC1	100	100	100	99	83,21	61,23	28,50	20,21	8,71	3,67
CLL-TC2	100	93,51	58,76	5,45	1,34	0	0	0	0	0
CLN-TC2	100	100	100	100	86,32	58,34	28,75	11,31	6,12	2,31
BTĐL-0%CLTC	100	86,00	75,17	55,26	47,22	31,25	21,56	11,05	6,11	2,06
BTĐL-40%CLTC	100	87,33	78,98	55,92	48,20	32,91	20,36	11,39	6,16	2,11
BTĐL-80%CLTC	100	87,65	82,59	56,72	49,04	34,54	18,88	11,70	6,18	2,15
ACI325.10R min	**82**	**72**	**66**	**51**	**38**	**28**	**18**	**11**	**6**	**2**
ACI325.10R max	**100**	**93**	**85**	**69**	**56**	**46**	**36**	**27**	**18**	**8**
Fuller n = 0,5	**100**	**90**	**80**	**61,64**	**43,45**	**30,72**	**22,45**	**15,49**	**10,95**	**7,75**

Đường thành phần hạt của hỗn hợp cốt liệu (cốt liệu tự nhiên và cốt liệu tái chế) trong bê tông đầm lăn được thể hiện trong Hình 2-19.



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

Hình 2-19 cho thấy lượng lọt sàng của hỗn hợp cốt liệu của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế ở mắt sàng < 0,15mm sát với yêu cầu của ACI 325.10R.

2.3.2. Lựa chọn hàm lượng chất kết dính

Trong xây dựng đường, công nghệ bê tông đầm lăn chủ yếu được sử dụng để thi công các lớp móng hoặc mặt đường giao thông cấp thấp. Với lớp cấp phối đá dăm gia cố xi măng, sử dụng hàm lượng xi măng từ 3 - 6%, với lớp bê tông đầm lăn sử dụng hàm lượng chất kết dính từ 6 - 15%. Các nước trên thế giới như Mỹ, Canada, Tây Ban Nha,… trong xây dựng đường ô tô, lớp bê tông đầm lăn thường sử dụng hàm lượng chất kết dính (gồm xi măng và tro bay) từ 12 - 16% so với khối lượng hỗn hợp cốt liệu khô [66].

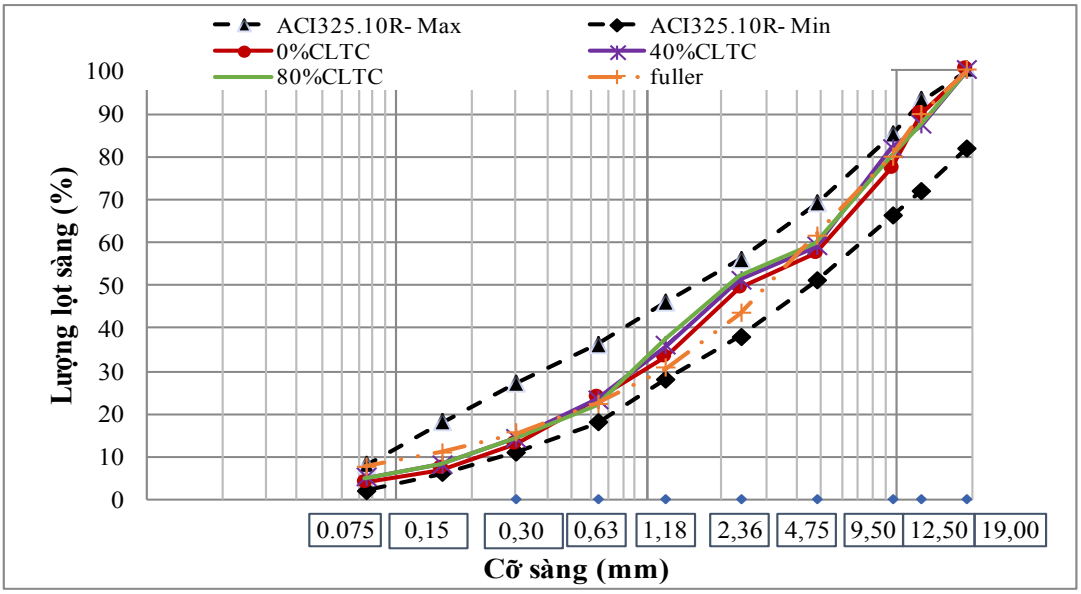
Theo chỉ dẫn kỹ thuật ACI 325.10R, hàm lượng chất kết dính (gồm xi măng và tro bay) trong bê tông đầm lăn thường lấy trong khoảng 10 – 17% theo khối lượng của hỗn hợp cốt liệu (khoảng 208 - 356kg/m^3). Trong một nghiên cứu tại Úc, nhóm tác giả đã tiến hành thí nghiệm các chỉ tiêu về cường độ chịu nén, mô đun đàn hồi,... trên các hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế với các hàm lượng chất kết dính khác nhau. Các kết quả thí nghiệm cho thấy với hàm lượng chất kết dính (gồm xi măng và tro bay) 15% sẽ cho thiết kế tối ưu [87].

Do vậy, các hàm lượng chất kết dính (gồm xi măng và tro bay) sử dụng trong luận án được xác định dựa trên các tài liệu tham khảo về bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trên thế giới [71,77,78,84]. Và để đánh giá ảnh

hưởng của hàm lượng chất kết dính đến các đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn, 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, các chỉ dẫn thiết kế ACI 325.10R, ACI 211.3R đều khuyến cáo hỗn hợp cốt liệu phải có hàm lượng hạt mịn < 0,075 mm, hàm lượng phụ gia khoáng chiếm từ 15% - 20% theo thể tích tuyệt đối của chất kết dính. Trong khi đó, CLN-TN, CLN-TC1 và CLN-TC2 sử dụng trong luận án đều có hàm lượng hạt mịn < 0,075 mm không đáng kể (trình bày trong Bảng 2-7). Do đó, bổ sung tro bay vào hỗn hợp cốt liệu với vai trò vi cốt liệu, sau đó, dựa vào các chỉ dẫn kỹ thuật ACI 325.10R, ACI 211.3R, tính toán được hàm lượng tro bay là 20% theo thể tích tuyệt đối của chất kết dính. Hàm lượng tro bay này đã điều chỉnh đường thành phần hạt của hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế và đã thoả mãn đường thành phần hạt của tiêu chuẩn ACI 325.10R, được trình bày trong Hình 2-20.



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

Như vậy, hàm lượng tro bay sử dụng trong luận án có tác dụng thay thế một phần xi măng làm giảm chi phí xây dựng, bê tông sẽ giảm bị nứt, cải thiện cấp phối hạt của hỗn hợp cốt liệu, bổ sung thêm thành phần hạt mịn, tăng độ đặc cho bê tông, lấp đầy lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu, từ đó tăng cường độ chịu nén, độ dính bám giữa đá xi măng và các hạt cốt liệu. Ngoài ra, sau khi hiệu chỉnh, đường thành phần hạt của hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế đều nằm gần sát với đường cong tối ưu Fuller với độ lệch chuẩn trong giới hạn cho phép.

2.3.3. Xác định độ ẩm tối ưu

Các tài liệu trong và ngoài nước đã khẳng định lượng nước là yếu tố quan trọng của hỗn hợp bê tông. Khi lượng nước quá ít, dưới tác dụng của lực hút phân tử, nước chỉ đủ để hấp phụ trên bề mặt cốt liệu chưa đủ tạo ra độ lưu động của hỗn hợp. Lượng nước tăng lên đến một giới hạn nào đó sẽ xuất hiện nước tự do, màng nước trên bề mặt cốt liệu dày thêm, nội ma sát giữa chúng giảm xuống, độ lưu động tăng lên. Lượng nước cần dùng ứng với lúc hỗn hợp bê tông có độ lưu động tốt nhất, không bị phân tầng.

Ở mục 2.1.3, phương pháp thiết kế bê tông đầm lăn theo nguyên lý gia cố đất đã được lựa chọn, do vậy, độ ẩm tối ưu của các hỗn hợp bê tông đầm lăn được xác định theo phương pháp Proctor cải tiến (sử dụng chày đầm nặng 4,54 kg với chiều cao rơi 457 mm để đầm mẫu - ASTM D1557 [55]). Độ ẩm tối ưu được xác định thông qua thí nghiệm đầm nén. Với mỗi hỗn hợp bê tông đầm lăn, 5 mẫu được tạo ẩm với 5 hàm lượng nước khác nhau, sau đó, vẽ biểu đồ quan hệ giữa khối lượng thể tích khô và độ ẩm của mẫu, từ đó tìm ra hàm hồi quy thực nghiệm y(W).

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

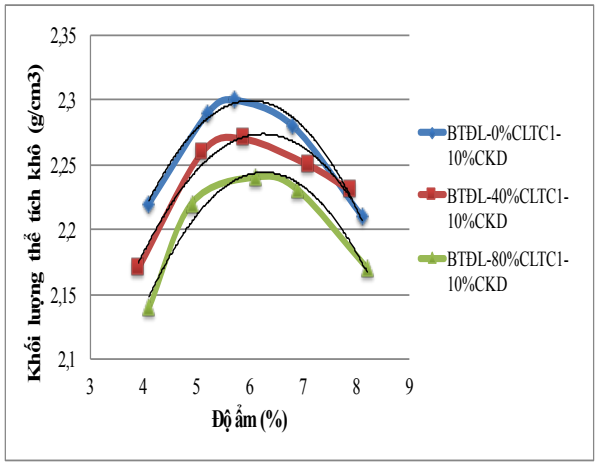
Trong đó:

γ_d : khối lượng thể tích khô của hỗn hợp BTĐL, kg/m^3 hoặc g/cm^3.

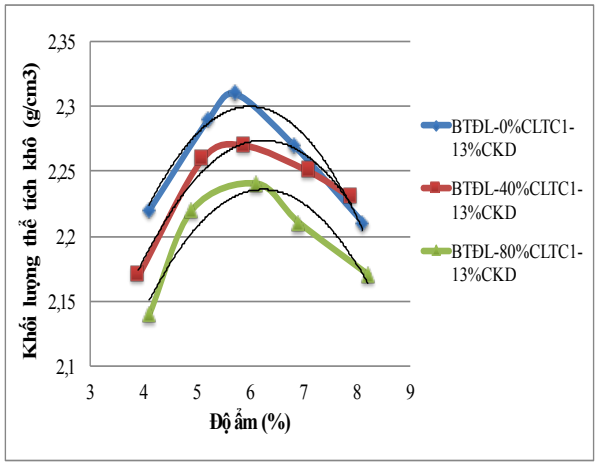
W: hàm lượng nước sử dụng (độ ẩm đầm nén), %.

a, b, c: các hệ số của phương trình hồi quy thực nghiệm.

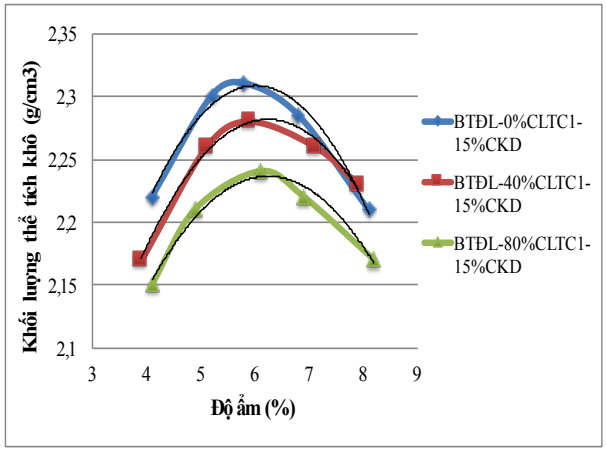
Từ phương trình này, độ ẩm tối ưu được xác định tương ứng với giá trị cực đại của hàm y(W). Hình 2-21, Hình 2-22, Hình 2-23, Hình 2-24, Hình 2-25, Hình 2-26 thể hiện mối quan hệ giữa khối lượng thể tích khô và độ ẩm của mẫu bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế.



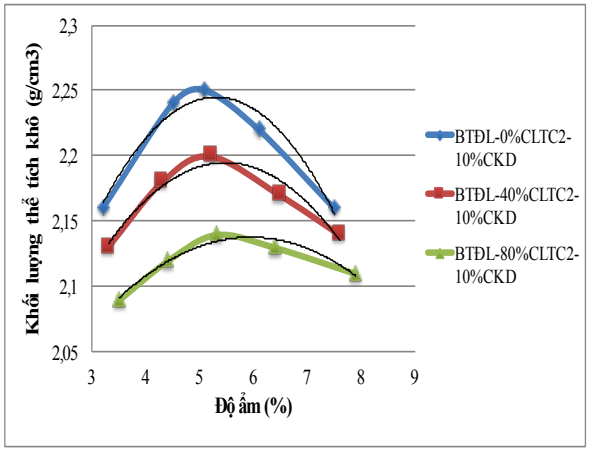
Hình 2-21. Quan hệ giữa KLTT khô và độ ẩm của BTĐL-CLTC1 (hàm lượng CKD 10%)



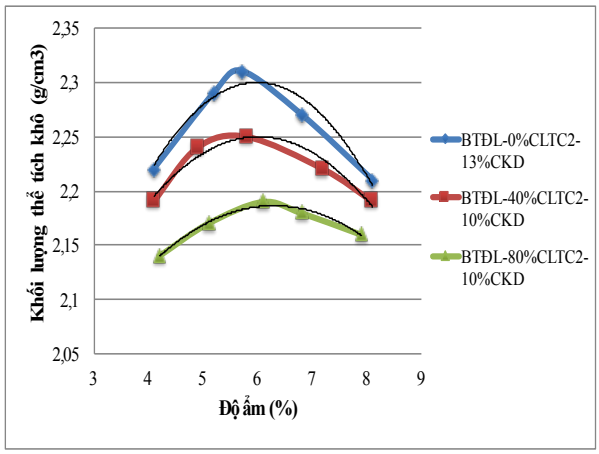
Hình 2-22. Quan hệ giữa KLTT khô và độ ẩm của BTĐL-CLTC1 (hàm lượng CKD 13%)



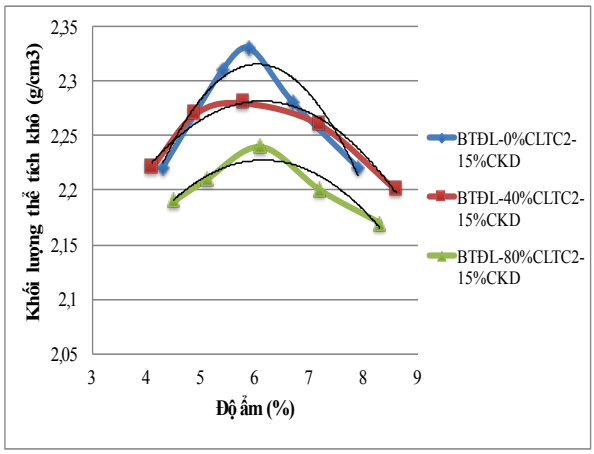
Hình 2-23. Quan hệ giữa KLTT khô và độ ẩm của BTĐL-CLTC1 (hàm lượng CKD 15%)



Hình 2-24. Quan hệ giữa KLTT khô và độ ẩm của BTĐL-CLTC2 (hàm lượng CKD 10%)



Hình 2-25. Quan hệ giữa KLTT khô và độ ẩm của BTĐL-CLTC2 (hàm lượng CKD 13%)



Hình 2-26. Quan hệ giữa KLTT khô và độ ẩm của BTĐL-CLTC2 (hàm lượng CKD 15%)

Kết quả độ ẩm tối ưu và khối lượng thể tích khô lớn nhất của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được trình bày trong phụ lục 3 (bảng 3-1). 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 thông 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, thành phần vật liệu cho 1m^3 các hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được xác định như trong Bảng 2-17, Bảng 2-18, Bảng 2-19.

Bảng 2-17. Thành phần VL cho 1m^3 BTĐL - CLTC (hàm lượng CKD 10%)

Vật liệu chế tạo	Đơn vị	0% CLTC	40% CLTC	80% CLTC
Cốt liệu lớn tái chế	Kg	0	477	950
Cốt liệu nhỏ tái chế	Kg	0	352	777
Đá dăm	Kg	1057	497	0
Cát	Kg	1057	746	432
Tro bay	Kg	35	35	36
Xi măng	Kg	176	173	179
Nước	Lít	121	120	121

Bảng 2-18. Thành phần VL cho 1m^3 BTĐL - CLTC (hàm lượng CKD 13%)

Vật liệu chế tạo	Đơn vị	0% CLTC	40% CLTC	80% CLTC
Cốt liệu lớn tái chế	Kg	0	463	877
Cốt liệu nhỏ tái chế	Kg	0	343	717
Đá dăm	Kg	1030	484	0
Cát	Kg	1030	725	399
Tro bay	Kg	45	44	43
Xi măng	Kg	223	218	216
Nước	Lít	124	125	118

Bảng 2-19. Thành phần VL cho 1m^3 BTĐL - CLTC (hàm lượng CKD 15%)

Vật liệu chế tạo	Đơn vị	0% CLTC	40% CLTC	80% CLTC
Cốt liệu lớn tái chế	Kg	0	457	860
Cốt liệu nhỏ tái chế	Kg	0	338	704
Đá dăm	Kg	1014	477	0
Cát	Kg	1014	716	391
Tro bay	Kg	51	49	47
Xi măng	Kg	253	244	235
Nước	Lít	124	123	121

2.4. Kết luận chương 2

- Như vậy, 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 vật liệu chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn theo các tiêu chuẩn hiện hành. Sau đó, dựa trên các tiêu chuẩn ACI 325.10R, ACI 211.3R, tính toán thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông đầm lăn đối chứng và bê tông đầm lăn sử dụng 2 loại CLTC1 và CLTC2 từ hai nguồn thu gom có các hàm lượng cốt liệu tái chế khác nhau (0%, 40% và 80%), sử dụng 2 loại xi măng PC40 và PCB30 có các hàm lượng chất kết dính khác nhau (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 bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế từ hai nguồn thu gom có hàm lượng cốt liệu tái chế (0%, 40% và 80%), với hai loại xi măng Pooc lăng (PC40 và PCB30) có hàm lượng chất kết dính khác nhau (10%, 13% và 15%). Trong chương này, tiến hành thí nghiệm trong phòng để xác định và đánh giá đặc tính kỹ thuật của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế theo các tiêu chuẩn hiện hành.

3.1. Kế hoạch thực nghiệm

3.1.1. Thiết kế thí nghiệm và trình tự phân tích thống kê xử lý số liệu

3.1.1.1. Thiết kế thí nghiệm

Thiết kế thực nghiệm DoE (Design of Experiments) bao gồm lựa chọn thí nghiệm, quy hoạch mẫu, thực hiện thí nghiệm và phân tích thống kê xử lý kết quả. 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 lượng mẫu tuỳ theo mức độ chính xác đảm bảo phát hiện sai khác của thí nghiệm.

Phân tích phương sai ANOVA (Analysis of Variance) một nhân tố là phương pháp thống kê dùng để kiểm định giả thuyết trung bình bằng nhau của 3 nhóm mẫu trở lên với khả năng phạm sai lầm chỉ là 5%. Phân tích hậu định (post-hoc) dùng để xem có sự khác biệt cụ thể giữa nhóm này với nhóm kia về một vấn đề nào đó có ý nghĩa thống kê không. Hiện nay, có nhiều phương pháp phân tích hậu định theo các tác giả khác nhau như Turkey, Fisher, Duncan,… trong khuôn khổ luận án nghiên cứu với số lượng mẫu ít nên sử dụng phương pháp Turkey.

3.1.1.2. Các công thức tính toán

Để sử dụng được công thức, biểu đồ thống kê phải được xác định xem đại lượng ngẫu nhiên có thuộc phân phối chuẩn không. Các quy trình của Hoa Kỳ sử dụng phần mềm Minitab để đánh giá phân phối xác suất bằng phân tích Anderson – Darling (AD).

Đối với tập mẫu X_i gồm n mẫu, có giá trị trung bình X_{tb} và độ lệch chuẩn S được xác định theo công thức sau:

$$X_{tb} = \frac{\sum_i^n X_i}{n} \qquad (3.1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i^n (X_i - X_{tb})^2}{n-1}} \qquad (3.2)$$

Hệ số biến sai C_v của thông số cần kiểm soát được tính theo công thức sau:

$$C_v = \frac{S}{X_{tb}} \qquad (3.3)$$

Đối với tổ mẫu, để đánh giá mức độ biến động hoặc đánh giá độ chụm, thường dùng khoảng R (range) theo công thức sau:

$$R = |X_{max} - X_{min}| \qquad (3.4)$$

Khoảng xin cậy là khoảng mà với một xác suất tương ứng thì tham số nằm trong khoảng đó. Khoảng tin cậy có hai cận là cận trên và cận dưới.

$$X_{CI} = X_{tb} \pm \tau_\alpha . \frac{S}{\sqrt{n}} \qquad (3.5)$$

Trong đó:

X_{CI}: các giá trị cận dưới và cận trên của khoảng tin cậy ứng với độ tin cậy R.

τ_α: hệ số xác định theo t-test.

α: mức ý nghĩa, $\alpha = 1 - R$, khi lấy R = 95% thì α = 5%.

Giá trị đặc trưng $X_{đt}$ của biến số X tuân theo quy luật phân bố chuẩn, được tính theo công thức sau

$$X_{đt} = X_{tb} \pm K.S \qquad (3.6)$$

Trong đó: K: hệ số, K = 1,645 ứng với độ tin cậy R = 95%.

3.1.1.3. Đánh giá số mẫu trong tổ mẫu

Việc lựa chọn số mẫu trong tổ mẫu rất quan trọng, nếu số mẫu quá ít sẽ không đánh giá được chính xác kết quả thí nghiệm và ngược lại, nếu số mẫu quá nhiều sẽ kéo dài thời gian thí nghiệm, dẫn đến kết quả bị ảnh hưởng bởi tuổi của mẫu và kinh phí thực hiện thí nghiệm tăng lên. Số mẫu trong 1 tổ mẫu thường là 3 mẫu, kết quả thí nghiệm được đánh giá độ chụm theo các tiêu chuẩn hiện hành. Sử dụng phần mềm Minitab 20 đánh giá lại số mẫu theo tiêu chuẩn t-test, power = 0,8 và mức ý nghĩa α = 0,05.

3.1.1.4. Loại bỏ số liệu ngoại lai và đánh giá độ chụm

Độ chụm là mức độ gần nhau giữa các kết quả thử nghiệm độc lập nhận được trong điều kiện quy định. Độ chụm thể hiện chất lượng công tác thí nghiệm, đảm bảo cơ sở khoa học để phân tích đưa ra những kết luận và kiến nghị cho đề tài nghiên cứu.

Mỗi tiêu chuẩn thí nghiệm đều có quy định về độ chụm tương ứng. Nếu tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành chưa có chuẩn đánh giá độ chụm nên hiện nay thường dùng tiêu chuẩn AASHTO và ASTM.

3.1.1.5. Trình tự thiết kế thí nghiệm và xử lý kết quả thí nghiệm

- Thiết kế thí nghiệm.
- Thực hiện thí nghiệm trong phòng thí nghiệm.
- Loại bỏ các số liệu ngoại lai (nếu có), kiểm tra phân phối chuẩn, đánh giá độ chụm của các kết quả thí nghiệm.
- Tính toán các giá trị trung bình, độ lệch chuẩn, hệ số biến sai, giá trị đặc trưng, giá trị 95% CI.
- Phân tích, vẽ biểu đồ thống kê các kết quả thí nghiệm (sử dụng Minitab 20).

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.
- Cấp phối bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế gồm:

- Loại cốt liệu tái chế: 2 loại CLTC1 và CLTC2 thu gom từ 2 nguồn khác nhau.
- Hàm lượng cốt liệu tái chế: 0%, 40% và 80%.
- Hàm lượng chất kết dính: 10%, 13% và 15%
- Loại xi măng sử dụng: 2 loại xi măng PCB30 và PC40.
- Tuổi: 7 và 28 ngày.
- Mỗi tổ hợp mẫu: 3 mẫu.

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 thử nghiệm trong phòng thí nghiệm xác định cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ, mô đun đàn hồi, mô đun phức động, độ hút nước và độ co ngót của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế.

3.3. Thực nghiệm chế tạo mẫu trong phòng thí nghiệm

3.3.1. Qui trình nhào trộn mẫu

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 theo theo trình tự:

- Trộn khô hỗn hợp bao gồm: Cốt liệu tự nhiên + cốt liệu tái chế;
- Thêm xi măng + tro bay và tiếp tục trộn;
- Thêm ½ nước và tiếp tục trộn;
- Thêm ½ nước còn lại và tiếp tục trộn;
- Kết thúc trộn và xả hỗn hợp vật liệu ra khỏi máy trộn.

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

3.3.2. Chế tạo mẫu thí nghiệm

Các mẫu bê tông hình trụ đường kính 150 mm, chiều cao 300 mm được chế tạo theo Quyết định số 4452/QĐ-BGTVT [12]. Sau khi chế tạo, các mẫu thí nghiệm được phủ ẩm bề mặt. 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 3-2. Chế tạo mẫu bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế

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

Tiến hành thí nghiệm trong phòng để xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của các mẫu bê tông đầm lăn đối chứng và bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế. Từ đó, đánh giá đặc tính kỹ thuật của các mẫu bê tông đầm lăn.

3.4.1. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén

Để nghiên cứu quy luật phát triển cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế, thí nghiệm xác định cường độ chịu nén được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C39 [52]. Mẫu thí nghiệm hình trụ 150 x 300 mm. Với mỗi loại bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế, thí nghiệm được tiến hành trên 3 mẫu thử ở 7 và 28 ngày. Các kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén được trình bày chi tiết trong bảng 3-2 phụ lục 3, thể hiện Hình 3-4, Hình 3-5.

a. Gia công mẫu b. Bề mặt mẫu sau khi mài c. Nén mẫu

Hình 3-3. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của BTĐL sử dụng CLTC

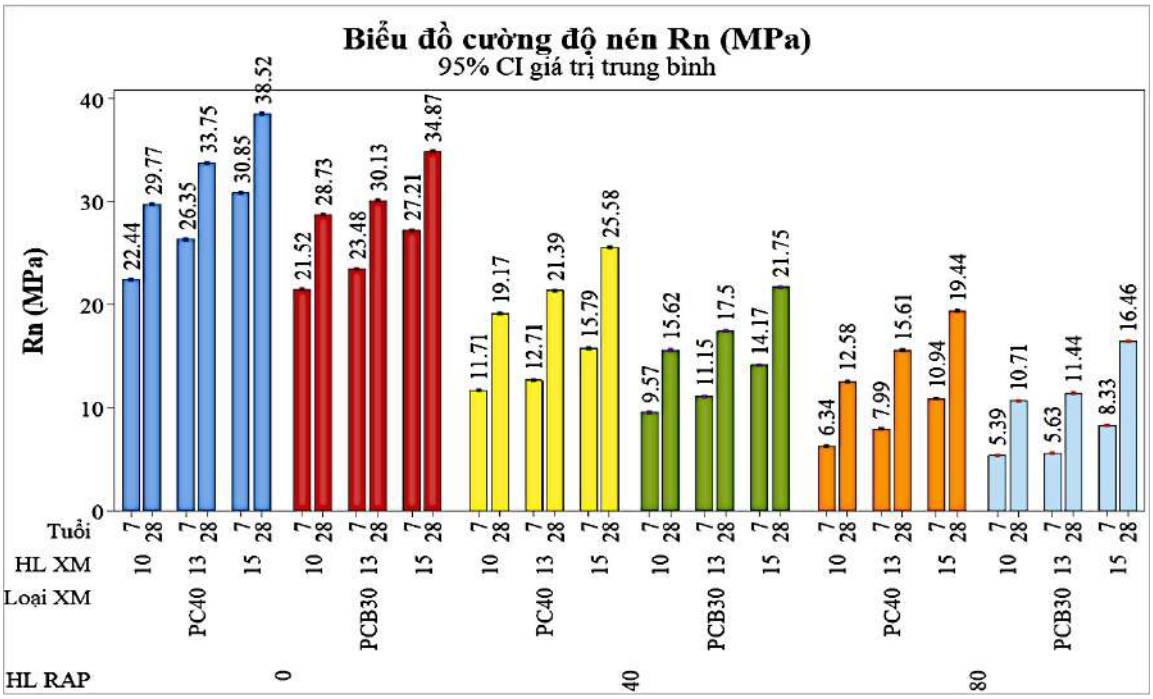
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	12982.6	1854.66	715.11	0.000
Linear	7	12982.6	1854.66	715.11	0.000
Loại RAP	1	484.4	484.38	186.76	0.000
HL RAP	2	8521.4	4260.69	1642.81	0.003
Loại XM	1	475.8	475.79	183.45	0.000
HL XM	2	1472.2	736.12	283.83	0.000
Tuổi	1	2028.8	2028.78	782.24	0.000
Error	208	539.5	2.59		
Total	216	13522.0			

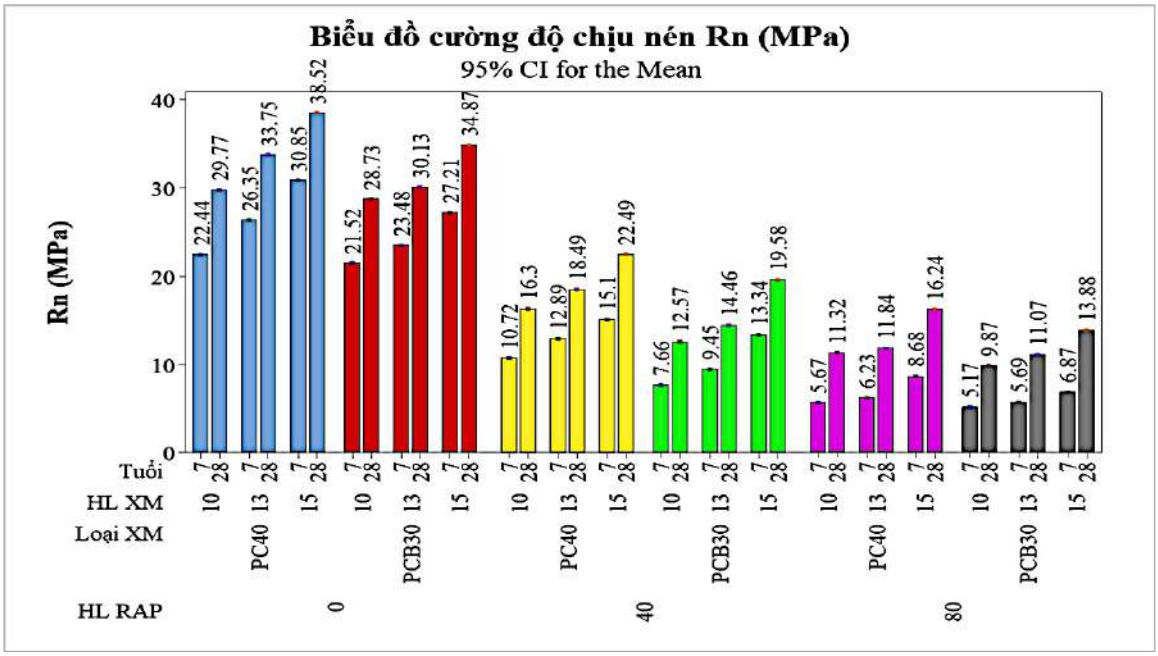
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.61045	96.01%	95.88%	95.70%

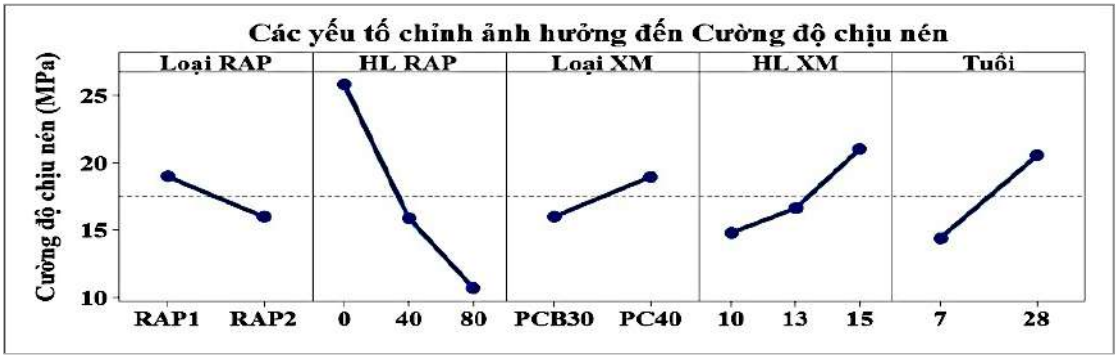
Kết quả phân tích ANOVA cho thấy: Các biến đều có hệ số p-value < 0,05; Hệ số xác định điều chỉnh $R^2_{đc}$ = 95,88%. Như vậy, kết quả thực nghiệm các yếu tố đầu vào và tích tương tác của chúng đều ảnh hưởng đến cường độ chịu nén có ý nghĩa thống kê ở mức độ tin cậy cao.



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

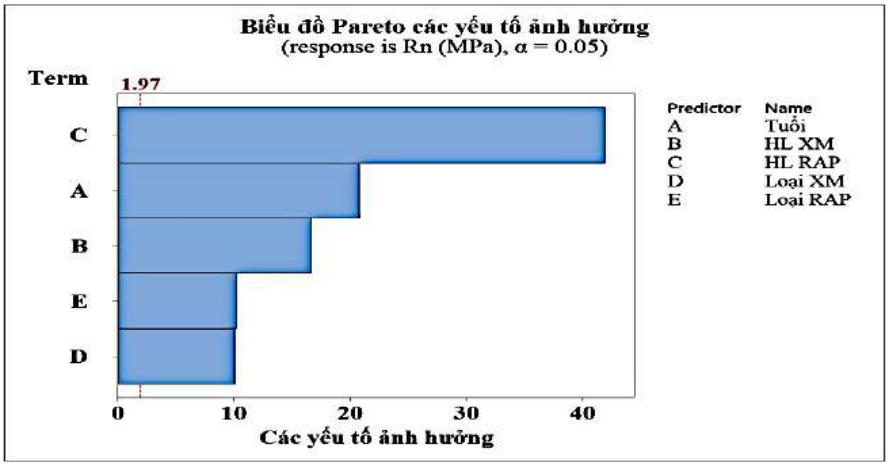


Hình 3-5. Biểu đồ cường độ chịu nén của BTĐL sử dụng CLTC2



Hình 3-6. Các yếu tố chính ảnh hưởng đến cường độ chịu nén của BTĐL

Như vậy, theo Hình 3-6, các yếu tố chính ảnh hưởng đến cường độ chịu nén của BTĐL 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.



Hình 3-7. Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng tới cường độ chịu nén

Mặt khác, theo Hình 3-7, biểu đồ Pareto cho thấy 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. Sau đó đến yếu tố thời gian, hàm lượng xi măng, loại cốt liệu tái chế và loại xi măng.

3.4.1.1. Ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu tái chế

Theo các tài liệu đã nghiên cứu ở các nước trên thế giới [57,61,62,65,80,81] khi sử dụng hàm lượng cốt liệu tái chế từ 40% trở xuống, các chỉ tiêu kỹ thuật của bê tông đầm lăn không bị ảnh hưởng nhiều, tuy nhiên khi sử dụng hàm lượng cốt liệu tái chế trên 50%, đặc biệt là hàm lượng cốt liệu tái chế cao 80% thì các chỉ tiêu về cường độ sẽ giảm đi đáng kể so với bê tông đầm lăn đối chứng (100% cốt liệu tự nhiên). Các kết luận đó hoàn toàn trùng với kết quả thí nghiệm trong phòng của luận án, đồng thời được thể hiện bằng đường dốc thẳng đứng về sự biến thiên của hàm lượng cốt liệu tái chế trong Hình 3-6.

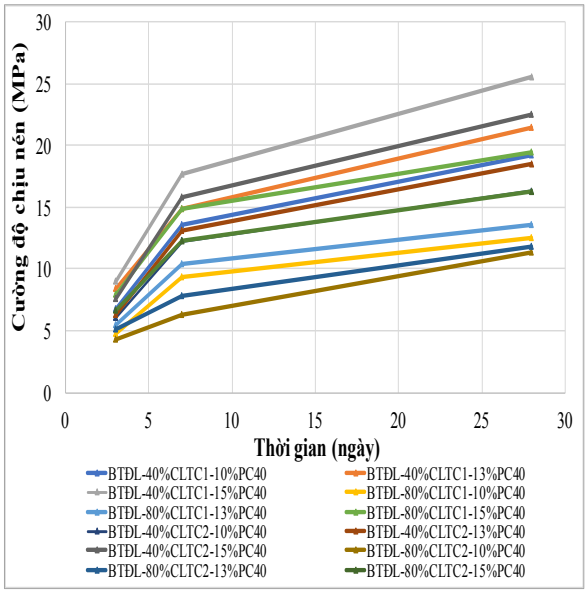
Khi sử dụng hàm lượng cốt liệu tái chế 40%, cường độ chịu nén giảm khoảng 30% - 35% so với bê tông đầm lăn đối chứng ở 28 ngày tuổi, khi sử dụng hàm lượng cốt liệu tái chế 80%, cường độ chịu nén giảm khoảng 40% - 45% so với bê tông đầm lăn đối chứng ở 28 ngày tuổi tuỳ theo loại cốt liệu tái chế, loại xi măng và hàm lượng chất kết dính.

Như vậy, so với bê tông đầm lăn đối chứng (0% cốt liệu tái chế), cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế giảm rõ rệt khi sử dụng 40%

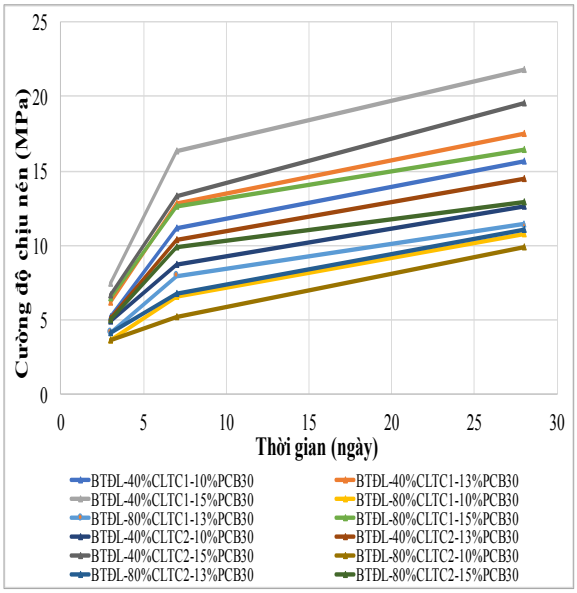
cốt liệu tái chế và tiếp tục giảm mạnh khi tăng hàm lượng cốt liệu tái chế từ 40% lên 80%. Đây là một điểm cần lưu ý khi sử dụng hàm lượng cốt liệu tái chế cao (trên 50%) thay thế cốt liệu tự nhiên trong chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn.

3.4.1.2. Ảnh hưởng của thời gian

Qui luật phát triển cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được thể hiện ở Hình 3-8, Hình 3-9.

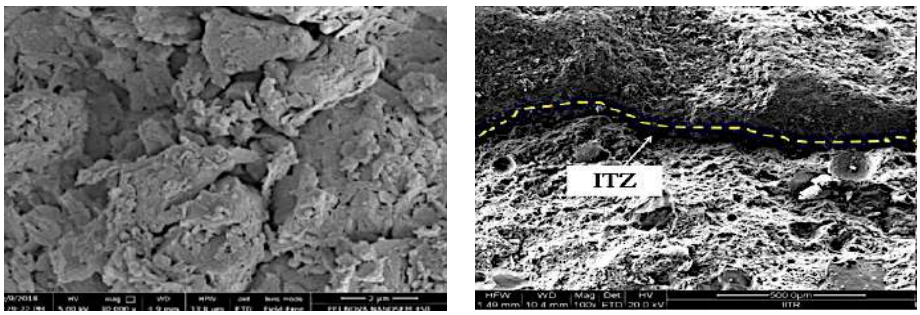


Hình 3-8. Quan hệ giữa cường độ chịu nén và thời gian của BTĐL dùng XM PC40



Hình 3-9. Quan hệ giữa cường độ chịu nén và thời gian của BTĐL dùng XM PCB30

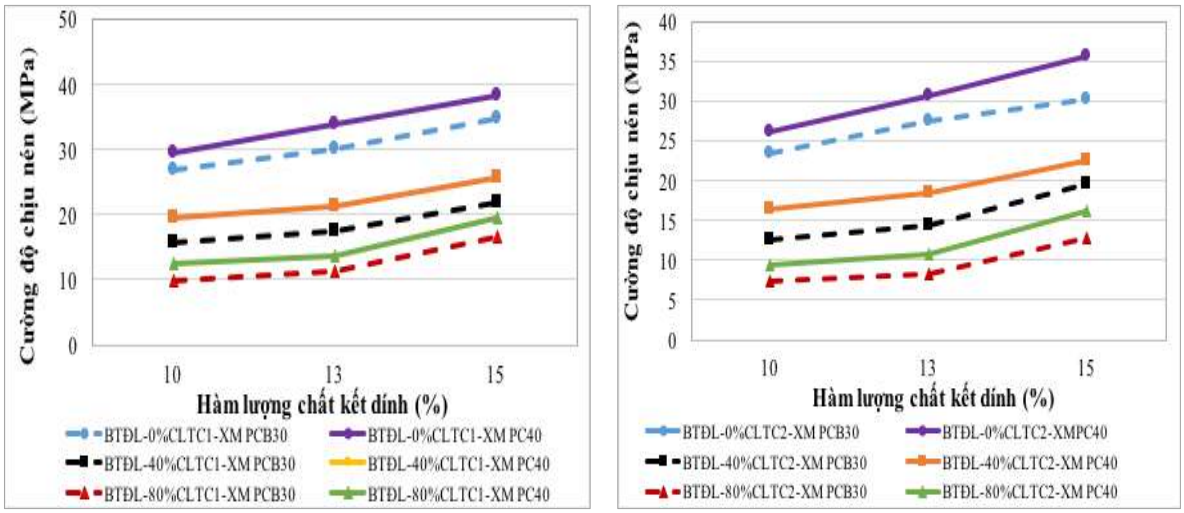
- Từ kết quả thí nghiệm có thể thấy rằng sau 7 ngày cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế đạt khoảng 40%-55% so với cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi tuỳ theo hàm lượng chất kết dính. Còn với BTĐL đối chứng có cường độ chịu nén ở 7 ngày đạt khoảng 60-75% so với cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi tuỳ theo hàm lượng chất kết dính. Như vậy, quá trình phát triển cường độ của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế khác với BTĐL thông thường và BTXM nói chung. Điều này có thể được giải thích do sự xuất hiện của màng nhựa cũ bao bọc xung quanh các hạt cốt liệu tái chế sẽ ảnh hưởng đến quá trình thủy hóa xi măng. Ảnh hưởng đó thể hiện bằng màng nhựa cũ ngăn không cho nước tiếp xúc với hồ xi măng, xi măng thuỷ hoá không hoàn toàn hoặc làm chậm quá trình phát triển hydrat hóa khi bảo dưỡng. Vùng chuyển tiếp ITZ của nhựa cũ và vữa xi măng trở nên xốp hơn, dưới tác dụng của tải trọng vùng chuyển tiếp đó sẽ bị phá hoại đầu tiên, làm giảm cường độ của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế [83,89].



a . BTĐL đối chứng b. BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế

Hình 3-10. Vùng chuyển tiếp ITZ trong BTĐL được phân tích bằng hình ảnh SEM [83]

3.4.1.3. Ảnh hưởng của hàm lượng chất kết dính



Hình 3-11. Quan hệ của hàm lượng chất kết dính với cường độ chịu nén

Hình 3-11 thể hiện cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn thay đổi theo hàm lượng chất kết dính 10%, 13% và 15% (theo tổng khối lượng khô của hỗn hợp cốt liệu). Khi hàm lượng chất kết dính thay đổi từ 10%, 13% lên 15%, cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được cải thiện. Tuy nhiên, mức độ cải thiện cường độ chịu nén ngoài phụ thuộc vào hàm lượng chất dính còn phụ thuộc vào hàm lượng cốt liệu tái chế thay thế cốt liệu tự nhiên. Với bê tông đầm lăn đối chứng (100% cốt liệu tự nhiên), hiệu quả của việc tăng hàm lượng chất kết dính đến cường độ chịu nén rõ rệt hơn đối với bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế, khi sử dụng hàm lượng chất kết dính 10%, 13% và 15% thì cường độ chịu nén tăng khoảng 10% - 25% tuỳ thuộc loại xi măng sử dụng.

3.4.1.4. Ảnh hưởng của các loại cốt liệu tái chế

Để so sánh và đánh giá hiệu quả các loại cốt liệu tái chế khác nhau trong chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn, sử dụng 2 loại cốt liệu cào bóc từ 2 nguồn thu gom.

Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn sử dụng CLTC2 thấp hơn khi sử dụng CLTC1 ở 28 ngày tuổi khoảng 10% - 15%. Như vậy, các loại cốt liệu tái chế khác nhau cho kết quả cường độ chịu nén khác nhau.

Từ kết quả thí nghiệm trong chương 2, các loại cốt liệu tái chế (CLTC1 và CLTC2) đều có các chỉ tiêu kỹ thuật đảm bảo tiêu chuẩn, chất lượng tốt, tuy nhiên, hàm lượng nhựa trong CLTC2 cao hơn CLTC1. Điều này cho thấy hàm lượng nhựa dính bám ảnh hưởng đáng kể đến cường độ chịu nén. Tức là hàm lượng nhựa dính bám càng nhiều thì cường độ của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế càng giảm. Đây là điểm cần lưu ý khi sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ để chế tạo hỗn hợp bê tông xi măng nói chung và hỗn hợp bê tông đầm lăn nói riêng.

3.4.1.5. Ảnh hưởng của các loại xi măng Pooclang

Để đánh giá ảnh hưởng của các loại xi măng Pooc lăng đến đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn, hai loại xi măng Pooclang được sử dụng trong luận án là xi măng PC40 và PCB30. Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn sử dụng xi măng PCB30 có giá trị thấp hơn khoảng 15% - 20% so với khi sử dụng xi măng PC40 tuỳ theo hàm lượng cốt liệu tái chế sử dụng.

Theo kết quả phân tích số liệu thí nghiệm, phương trình hồi quy của cường độ chịu nén và các loại xi măng sử dụng trong luận án được biểu diễn như sau:

Regression Equation

Rn (MPa) = 4.847 + 0.2919 Tuổi + 1.1938 HL XM - 0.18920 HL RAP (XM PCB30)

Rn (MPa) = 7.815 + 0.2919 Tuổi + 1.1938 HL XM - 0.18920 HL RAP (XM PC40)

Như vậy, khi sử dụng xi măng PC40 có thể cải thiện được cường độ của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế. Điều đó cũng cho thấy cần phải lựa chọn loại xi măng phù hợp để chế tạo hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế trong xây dựng đường ô tô vì cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ là loại vật liệu tái chế có một số đặc tính khác với cốt liệu tự nhiên, đặc biệt là màng nhựa cũ dính bám xung quanh các hạt cốt liệu.

3.4.2. Thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ

Cường độ ép chẻ là một chỉ tiêu kỹ thuật quan trọng trong xây dựng đường ô tô. Cường độ ép chẻ của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM C496 [54]. Với mỗi loại bê tông đầm lăn, thí nghiệm được

tiến hành trên 3 mẫu thử ở 7 ngày và 28 ngày tuổi. Kết quả thí nghiệm cường độ ép chẻ được trình bày chi tiết trong bảng 3-2 phụ lục 3, thể hiện trong Hình 3-13 và Hình 3-14.

Hình 3-12. Thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ của BTĐL sử dụng CLTC

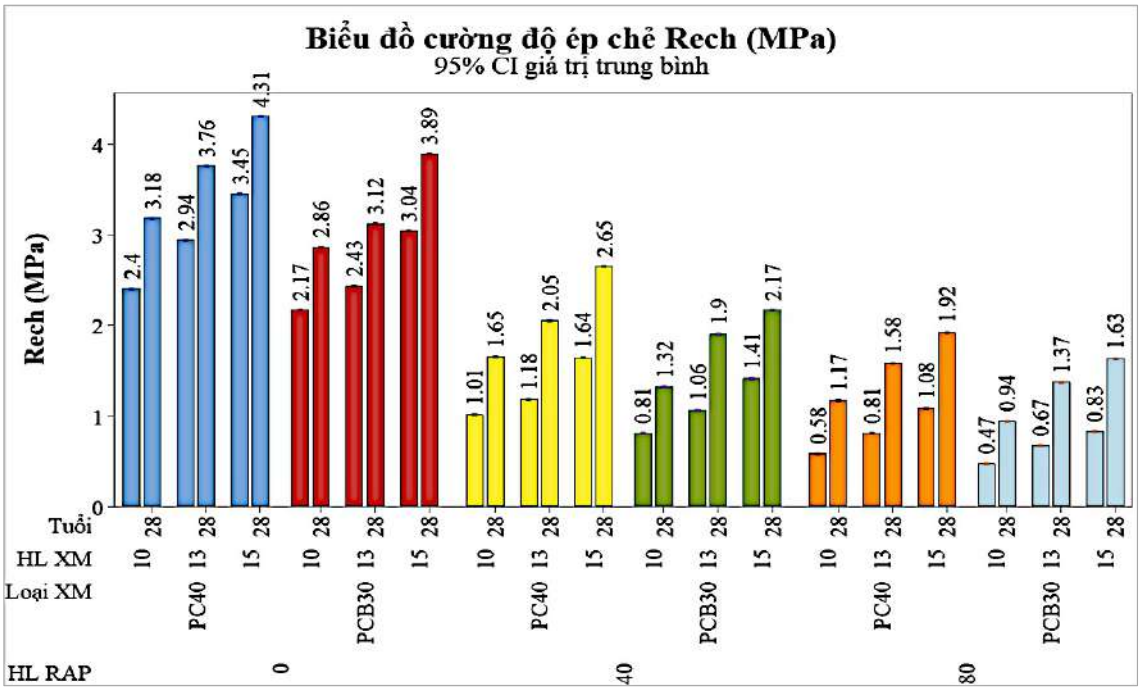
Analysis of Variance

Source		Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	100.405	14.3436	402.80	0.000
Linear	7	100.405	14.3436	402.80	0.000
Loại RAP	1	2.754	2.7540	77.34	0.000
HL RAP	2	53.654	26.8268	753.36	0.000
Loại XM	1	8.225	8.2251	230.98	0.000
HL XM	2	22.851	11.4256	320.86	0.003
Tuổi	1	12.921	12.9213	362.86	0.000
Error	208	7.407	0.0356		
Lack-of-Fit	64	6.676	0.1043	20.55	0.000
Pure Error	144	0.731	0.0051		
Total	216	107.812			

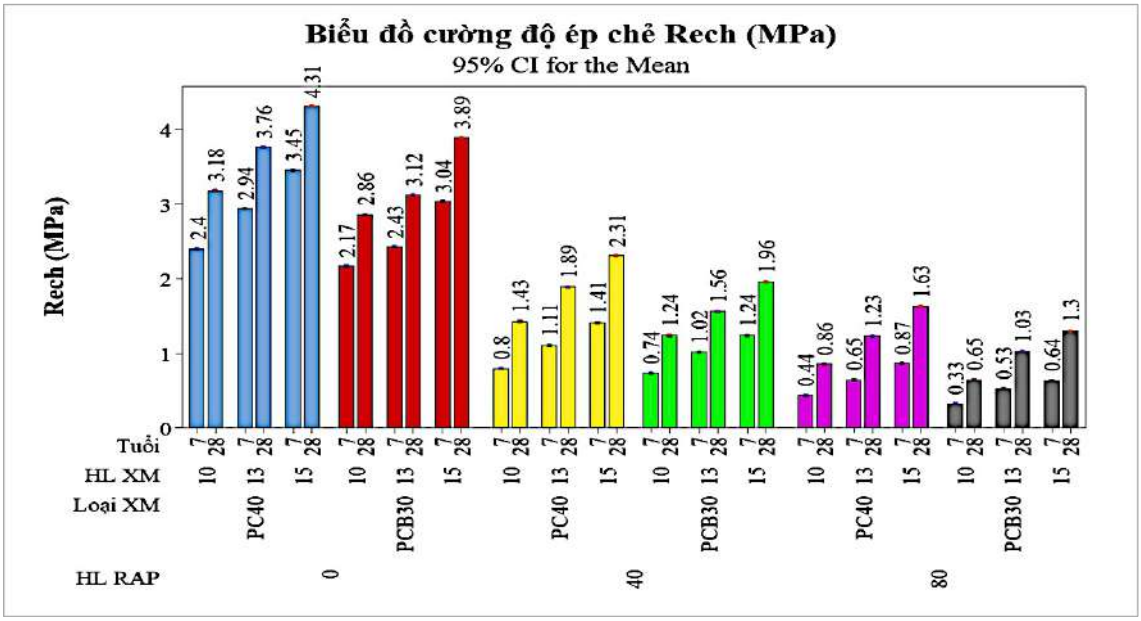
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.188705	93.13%	92.90%	92.59%

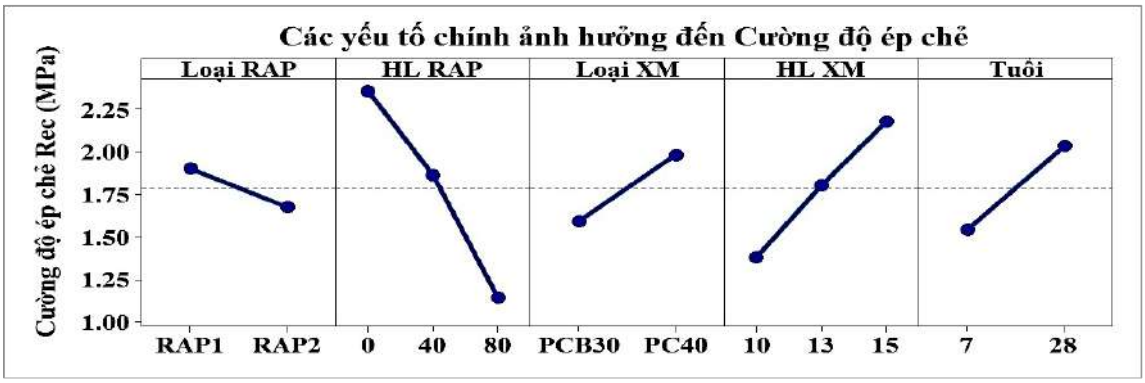
Kết quả phân tích ANOVA cho thấy: Các biến đều có hệ số p-value << 0,05; Hệ số xác định điều chỉnh $R^2_{đc}$ = 92,90%. Như vậy, kết quả thực nghiệm các yếu tố đầu vào và tích tương tác của chúng đều ảnh hưởng đến cường độ ép chẻ có ý nghĩa thống kê ở mức độ tin cậy cao.



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



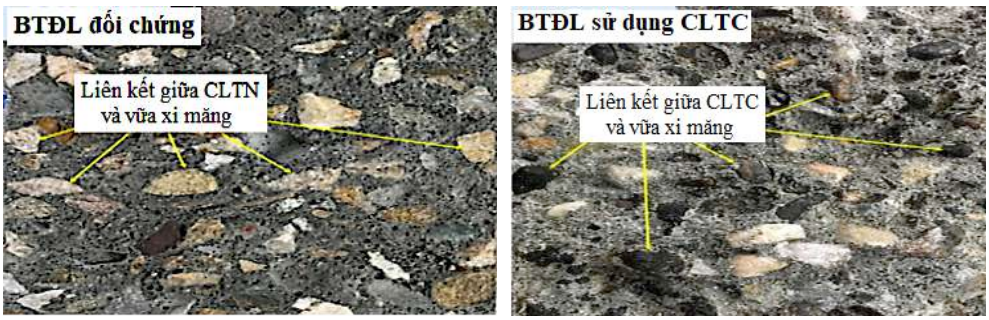
Hình 3-14. Biểu đồ cường độ ép chẻ của BTĐL sử dụng CLTC2



Hình 3-15. Biểu đồ các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ ép chẻ

Hình 3-15 thể hiện các yếu tố chính ảnh hưởng đến cường độ ép chẻ, đó là: loại cốt liệu tái chế, hàm lượng cốt liệu tái chế, loại xi măng, hàm lượng chất kết dính và thời gian.

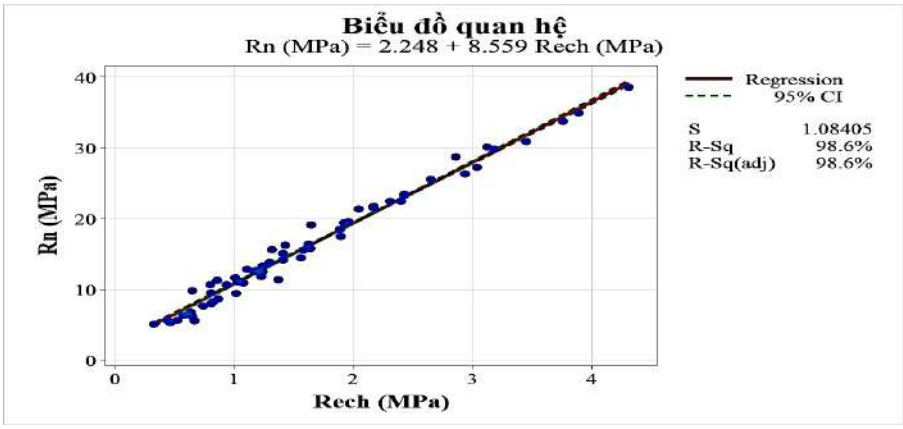
Mặt khác, khi thí nghiệm ép chẻ, quan sát trên bề mặt bị phá huỷ của mẫu BTĐL đối chứng và mẫu BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế thấy được sự khác nhau về liên kết của các hạt cốt liệu tự nhiên với vữa xi măng và liên kết của cốt liệu tái chế với vữa xi măng. Hình 3-16a cho thấy liên kết của cốt liệu tự nhiên với vữa xi măng rất tốt nên khi mẫu BTĐL đối chứng bị phá hoại, cốt liệu lớn (đá dăm) cũng bị vỡ theo. Với mẫu BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế, do bên ngoài cốt liệu tái chế bao bọc màng nhựa cũ nên liên kết giữa vữa xi măng và nhựa đường cũ không đồng nhất. Khi mẫu bị phá hoại, nhiều cốt liệu tái chế còn nguyên, không bị vỡ ra như cốt liệu tự nhiên thể hiện ở Hình 3-16b. Do đó, cường độ ép chẻ của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế có giá trị nhỏ hơn so với BTĐL đối chứng từ 35% - 60% tuỳ thuộc vào hàm lượng cốt liệu tái chế (40% hay 80%) và hàm lượng chất kết dính (10%, 13% hay 15%) sử dụng trong hỗn hợp BTĐL.



a. BTĐL đối chứng b. BTĐL sử dụng CLTC

Hình 3-16. Liên kết giữa CLTN và CLTC với vữa XM trong BTĐL [80]

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.



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

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

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

Cường độ ép chẻ là một chỉ tiêu quan trọng trong thiếtt kế và kiểm toán kết cấu áo đường cứng. Cường độ ép chẻ phụ thuộc vào cường độ chịu nén và độ chặt, cường độ chịu nén giảm thì cường độ ép chẻ cũng giảm theo. Do đó, nếu cường độ ép chẻ lớn sẽ làm giảm vết nứt trong bê tông, giảm lượng cốt thép vùng chịu kéo của cấu kiện. Tuy nhiên, theo kết quả thí nghiệm, 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 chế tạo hỗn hợp BTĐL nói riêng và BTXM nói chung.

3.4.3. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi

Mô đun đàn hồi là chỉ tiêu quan trọng đặc trưng cho khả năng biến dạng của bê tông dưới tác dụng của tải trọng. Mô đun đàn hồi của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM C469 [53]. Với mỗi loại BTĐL, thí nghiệm được tiến hành trên 3 mẫu thử ở 7 ngày, 28 ngày được thể hiện trong hình Hình 3-18.

Hình 3-18. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của BTĐL sử dụng CLTC

Trình tự tiến hành thí nghiệm:

Ở mỗi một điều kiện bảo dưỡng, 3 mẫu được nén để dự đoán R_n, 3 mẫu được thí nghiệm mô đun đàn hồi.

Lắp dụng cụ đo mô đun đàn hồi và đồng hồ đo biến dạng phải đặt vị trí sao cho dụng cụ cách mặt trên và mặt đáy của mẫu trụ một khoảng cách bằng nhau.

Thí nghiệm đo mô đun đàn hồi với tốc độ tăng tải: 241 ± 34 kPa/s (3,62± 0,6 kN/s) đến 40% lực nén phá hoại mẫu, với lực này mẫu vẫn ở trong giới hạn đàn hồi.

Lần đầu gia tải máy lén đến lực nén 40% $R_{nén}$ sau đó giảm tải trọng gần về 0. Lần tiếp theo khi gia tải quan sát khi đồng hồ đo biến dạng đạt $15x10^{-3}$ mm ứng với biến dạng tương đối ban đầu $\varepsilon_0 = 5x10^{-5}$ thì ta ghi lại chỉ số lực nén trên máy được lực. Cho máy chạy tiếp đến 40% $R_{nén}$ giữ lực trong khoảng 15 - 30 giây ta đọc trị số trên đồng hồ đo biến dạng theo 2 phương dọc và ngang được ε_{d1}.

Đo tương tự thêm 2 lần.

Khi đo nếu kết quả thí nghiệm quá chênh lệch thì mẫu được tháo ra và xoay thiết bị cùng đồng hồ 1/4 mẫu trụ để đo kiểm chứng.

Mô đun đàn hồi được tính theo công thức sau:

$$E = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_2 - 0{,}000050} \quad (\text{MPa}) \quad (3.8)$$

Trong đó:

E: mô đun đàn hồi, MPa;

S_1: ứng suất ứng với tải trọng mà biến dạng dọc ε_{d1} đạt tới 0,000050

S_2: ứng suất ứng với tải trọng $P_2 = 40\%P_{max}$

ε_2: biến dạng dọc tương đối với ứng suất S_2

Kết quả được trình bày chi tiết trong bảng 3-2 phụ lục 3.

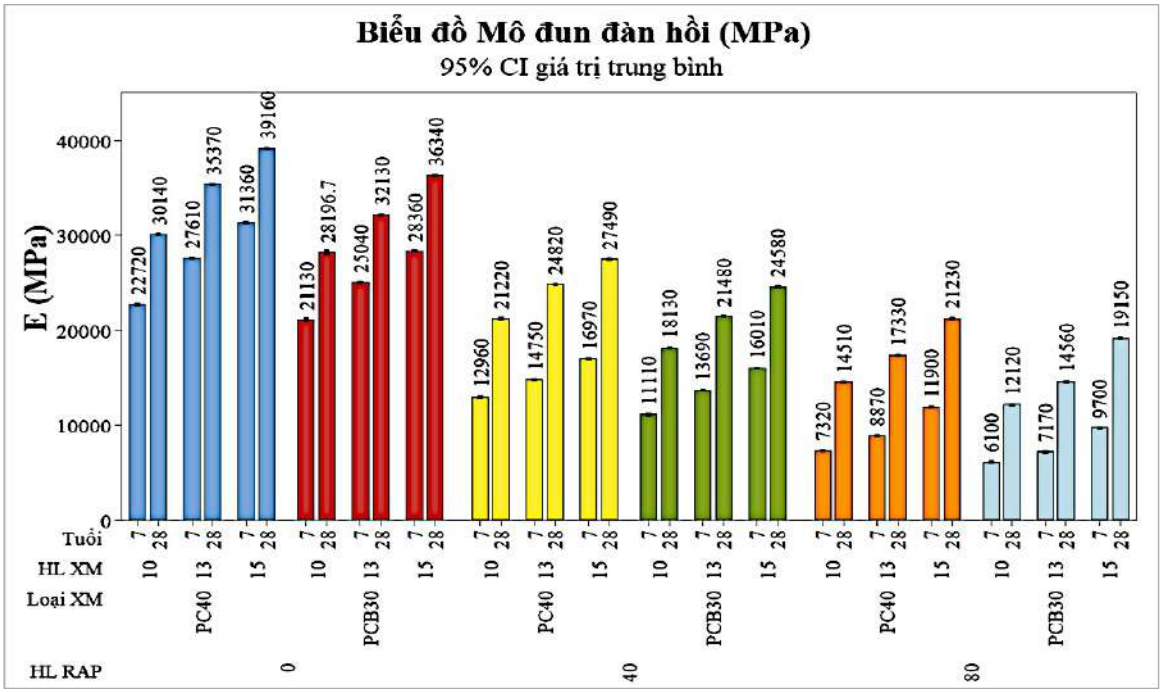
Analysis of Variance

Model	7	13601966571	1943138082	1200.23	0.000
Linear	7	13601966571	1943138082	1200.23	0.000
Loại RAP	1	453357338	453357338	280.03	0.000
HL RAP	2	9334099158	4667049579	2882.73	0.000
Loại XM	1	409117838	409117838	252.70	0.000
HL XM	2	1951621233	975810617	602.74	0.003
Tuổi	1	1453771004	1453771004	897.96	0.000
Error	208	336744973	1618966		
Lack-of-Fit	64	336601125	5259393	5264.95	0.000
Pure Error	144	143848	999		
Total	216	13938711544			

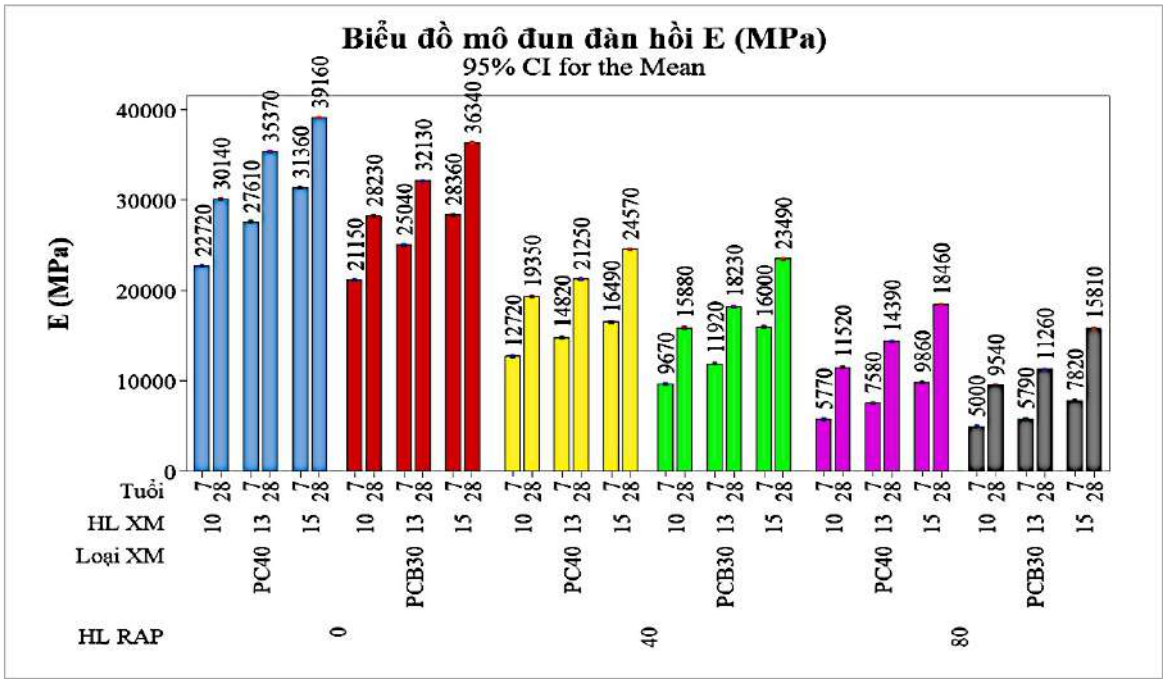
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1272.39	97.58%	97.50%	97.39%

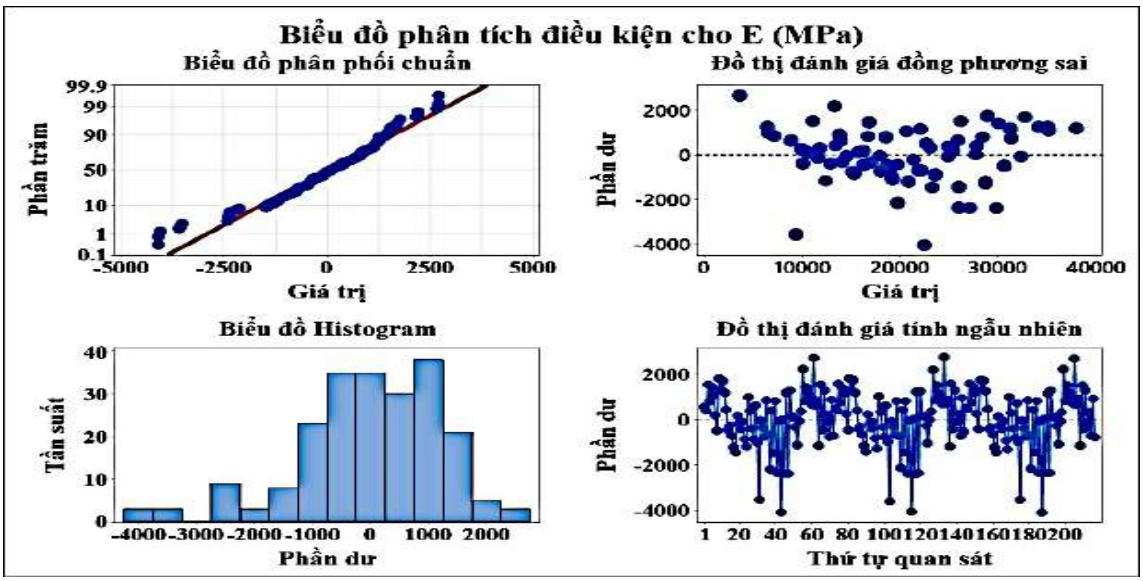
Kết quả phân tích ANOVA cho thấy: Các biến đều có hệ số p-value << 0,05; Hệ số xác định điều chỉnh R^2_{dc} = 97,50%. Như vậy, kết quả thực nghiệm các yếu tố đầu vào và tích tương tác của chúng đều ảnh hưởng đến mô đun đàn hồi có ý nghĩa thống kê ở mức độ tin cậy cao.



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

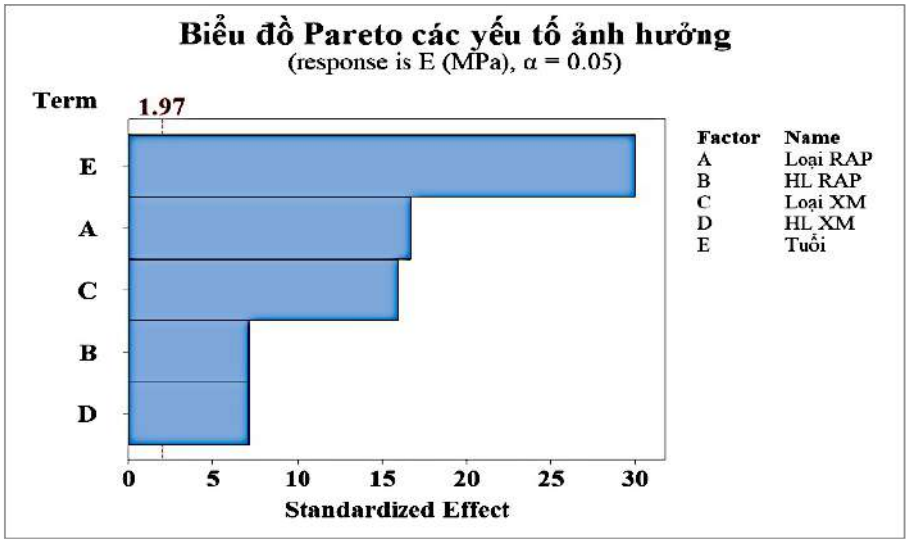


Hình 3-20. Biểu đồ mô đun đàn hồi của BTĐL sử dụng CLTC2



Hình 3-21. Biểu đồ phân tích số dư

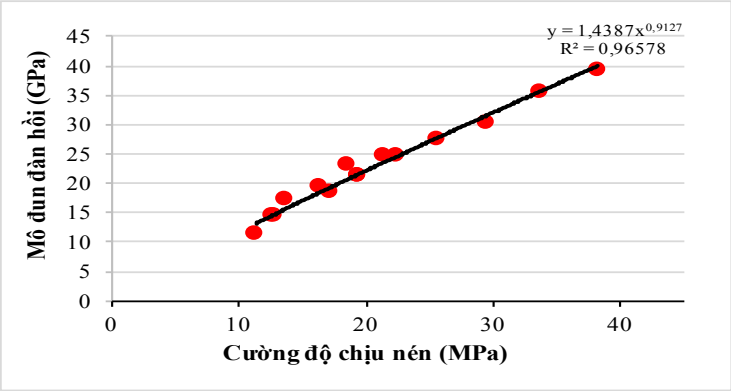
Hình 3-21 cho thấy đồ thị phân phối chuẩn so sánh xác suất phân bố các số dư (hiển thị bằng các điểm) so với phân phối chuẩn (hiển thị bằng đường thẳng nét liền). Đồ thị cho thấy các số dư phân bố rất gần so với phân phối chuẩn. Đồ thị biểu thị quan hệ giữa các số dư và giá trị tương ứng của mô hình hồi quy. Đồ thị đánh giá tính ngẫu nhiên biểu diễn quan hệ giữa các số dư và thứ tự các điểm dữ liệu. Hai đồ thị đánh giá đồng phương sai và đánh giá ngẫu nhiên cho thấy dữ liệu phân bố ngẫu nhiên quanh đường 0.0 và không theo quy luật nào.



Hình 3-22. Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng đến mô đun đàn hồi của BTĐL

Biểu đồ Pareto ở Hình 3-22, đường thẳng đứng đều cắt qua tất cả các hàng, thể hiện 5 biến tỷ: tuổi, loại cốt liệu tái chế, loại xi măng, hàm lượng cốt liệu tái chế, hàm lượng xi măng đều ảnh hưởng đến mô đun đàn hồi và tích các biến đều có ảnh hưởng đến mô đun đàn hồi có ý nghĩa thống kê.

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



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

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:

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

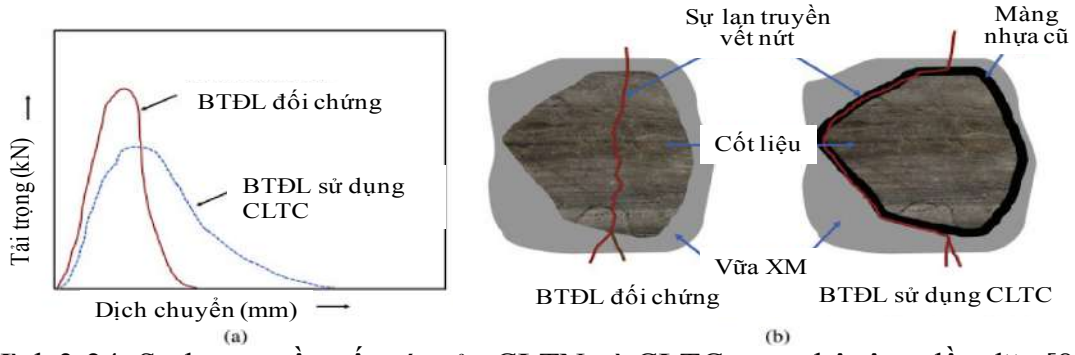
Trong đó:

E: Mô đun đàn hồi ở 28 ngày tuổi của BTĐL, GPa;

R_n: Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi của BTĐL, MPa.

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 trong bê tông đầm lăn. Vết nứt sẽ xảy ra xung quanh cốt liệu hơn là xuyên qua nó, được thể hiện trong Hình 3-24.



Hình 3-24. Sự lan truyền vết nứt của CLTN và CLTC trong bê tông đầm lăn [89]

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 mở rộng vết nứt do đó bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế có thể đem lại hiệu quả bền vững trong xây dựng đường ô tô [76,77,85,89].

3.4.4. Thí nghiệm xác định độ co ngót

Thí nghiệm xác định độ co ngót của mẫu bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế theo chiều dài và thời gian. Bảo dưỡng mẫu trong nước ở 25 ± 2°C trong 28 ngày. Sau khi kết thúc giai đoạn bảo dưỡng, các phép đo chiều dài thời gian bảo dưỡng được thực hiện đều đặn. 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 [32].

Hình 3-25. Dụng cụ đo độ co ngót của BTĐL sử dụng CLTC

Độ co ngót của mẫu được tính theo công thức sau:

$$\varepsilon_1(t) = \frac{\Delta l_1(t)}{l_1} \qquad (3.10)$$

Trong đó:

$\varepsilon_1(t)$: sự thay đổi độ dài;

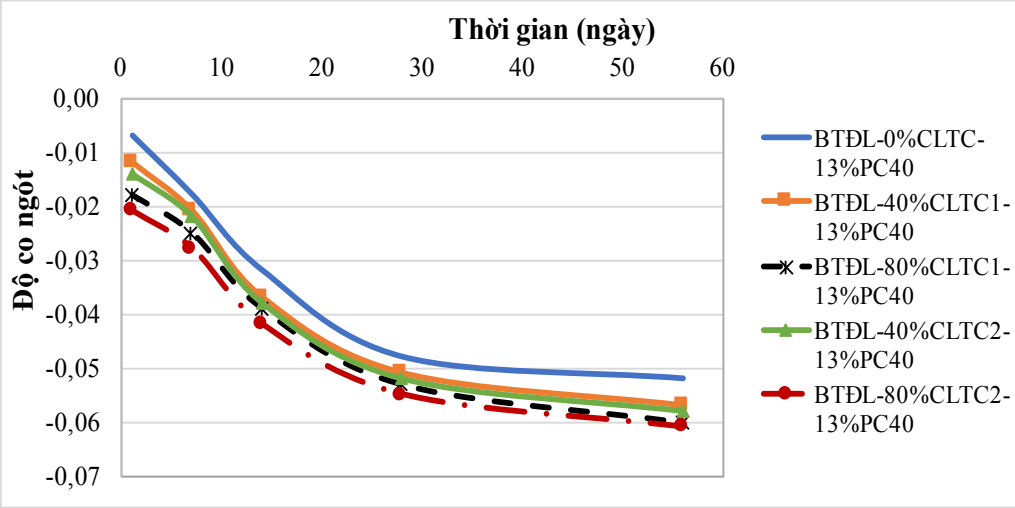
$\Delta l_1(t)$: biến dạng co của mẫu, mm;

l_1: khoảng cách đo biến dạng, mm.

Bảng 3-2. Bảng kết quả thí nghiệm độ co ngót của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế

Thời gian (ngày)	**Độ co ngót**				
	BTĐL 0%CLTC-13%PC40	**BTĐL 40%RAP1-13%PC40**	**BTĐL 80%RAP1-13%PC40**	**BTĐL 40%RAP2-13%PC40**	**BTĐL 80%RAP2-13%PC40**
1	-0,007	-0,012	-0,018	-0,014	-0,021
7	-0,018	-0,021	-0,025	-0,022	-0,028

Thời gian (ngày)	Độ co ngót				
	BTĐL 0%CLTC-13%PC40	BTĐL 40%RAP1-13%PC40	BTĐL 80%RAP1-13%PC40	BTĐL 40%RAP2-13%PC40	BTĐL 80%RAP2-13%PC40
14	-0,032	-0,037	-0,039	-0,038	-0,042
28	-0,048	-0,051	-0,053	-0,052	-0,055
56	-0,052	-0,057	-0,06	-0,058	-0,061



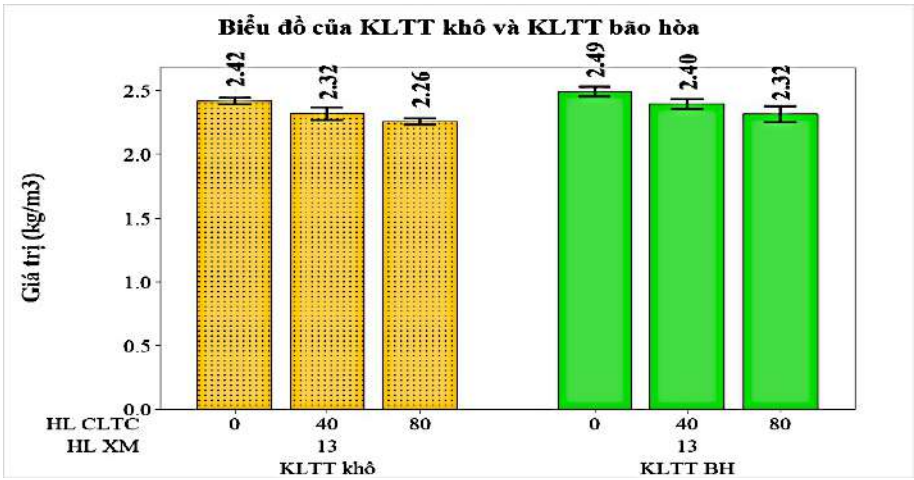
Hình 3-26. Độ co ngót của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế

Từ kết quả thí nghiệm, ở nhiệt độ tiêu chuẩn 25 ± 2°C, độ co ngót của hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế lớn hơn so với bê tông đầm lăn đối chứng. Điều này có thể giải thích bởi màng nhựa cũ bao 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 bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế sẽ lớn hơn của bê tông đầm lăn đối chứng.

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. Thí nghiệm xác định khối lượng thể tích

Kết quả thí nghiệm xác định khối lượng thể tích của các mẫu bê tông đầm lăn được thể hiện trong Hình 3-27 và trình bày chi tiết trong bảng 3-3 phụ lục 3.

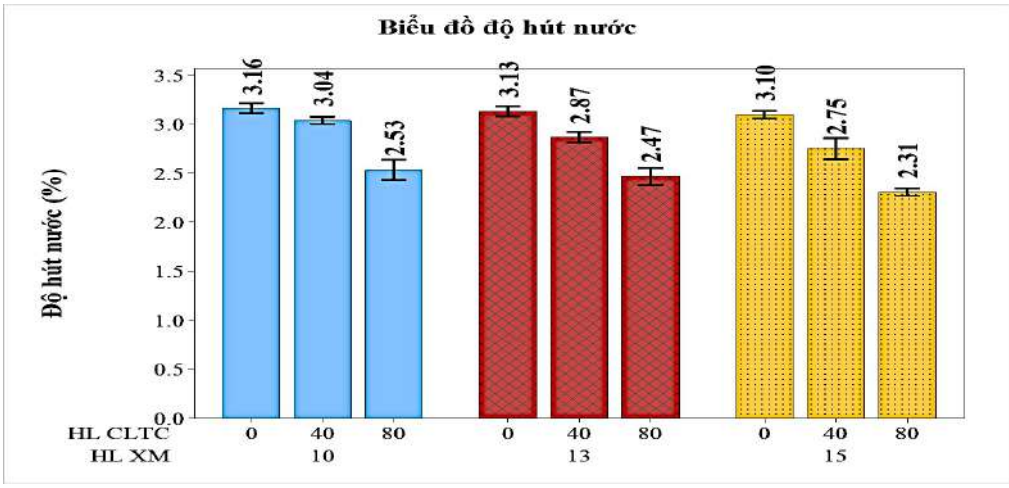


Hình 3-27. Khối lượng thể tích của BTĐL đối chứng và BTĐL sử dụng CLTC

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.

3.4.6. Thí nghiệm xác định độ hút nước

Kết quả thí nghiệm độ hút nước của các mẫu bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được trình bày chi tiết trong Hình 3-28 và bảng 3-4 phụ lục 3



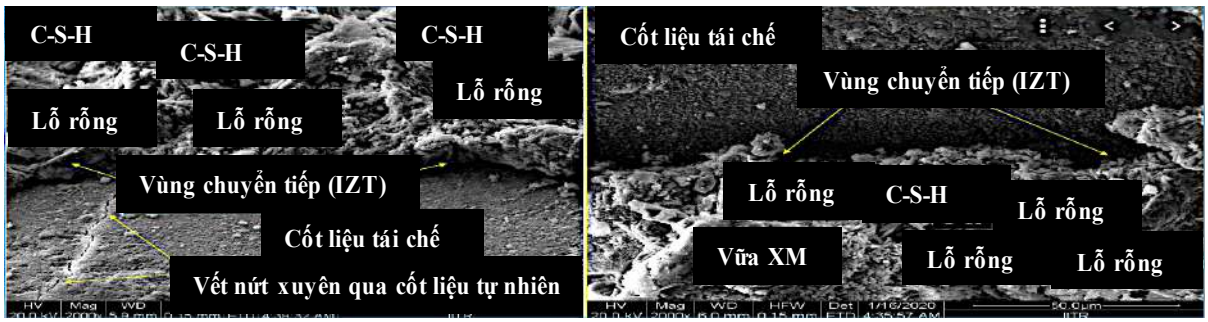
Hình 3-28. Độ hút nước của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế

- 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.

3.4.7. Thí nghiệm xác định mô đun phức động

Bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế là hỗn hợp vật liệu gồm: Cốt liệu tự nhiên, cốt liệu tái chế, xi măng, nước và tro bay. Đặc biệt, cốt liệu tái chế có lớp nhựa cũ bao bọc xung quanh.

Sự xuất hiện của màng nhựa cũ bao bọc xung quanh các hạt cốt liệu sẽ ảnh hưởng đến quá trình thủy hóa xi măng. Đồng thời, nhựa đường cũ bị thay đổi so với ban đầu do khí hậu, tải trọng giao thông trong thời gian khai thác nên nhựa đường cũ cứng hơn, giòn hơn và ảnh hưởng đến đặc tính cơ học của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế [83].



a. BTĐL đối chứng (100% CLTN) b. BTĐL sử dụng CLTC

Hình 3-29. IZT của CLTN và CLTC với vữa XM trong BTĐL [83]

Các công trình nghiên cứu của N.M. Lan và các cộng sự [79], của Kevin Kevin Bilodeau và các cộng sự [73], của Grilli Andrea và các cộng sự [67] đã tiến hành thí nghiệm đo giá trị mô đun phức động (|E*|) để thấy được ứng xử cơ học của nhựa đường cũ trong bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế. Hiện nay, trên thế giới chưa có tiêu chuẩn hay quy trình sử dụng mô đun phức động để tính toán kết cấu áo đường cứng [79]. Tuy nhiên, tiến hành thí nghiệm đo mô đun phức động để thấy tính chất của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế có một số tính chất khác với BTXM nói chung và BTĐL nói riêng, đó chính là tính đàn hồi – dẻo của nhựa đường cũ.

3.4.7.1. Kế hoạch thí nghiệm và phương pháp thí nghiệm

Hiện nay, chưa có tiêu chuẩn thí nghiệm đo giá trị mô đun phức động của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế, do đó, thí nghiệm đo |E*| được tham khảo và thực hiện theo tiêu chuẩn thí nghiệm đo |E*| của bê tông nhựa [59,81,88]. Giá trị của |E*| của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế không dùng để tính toán kết cấu áo đường cứng mà kiểm tra quy luật thay đổi |E*| có giống với quy luật của bê tông nhựa hay không, là cơ sở tiền đề cho hướng nghiên cứu cho ảnh hưởng của nhựa đường cũ dính bám xung quanh cốt liệu tái chế.

a. Thiết bị thí nghiệm

- Sử dụng thiết bị Cooper của Trường Đại học Giao thông vận tải để thực hiện thí nghiệm mô đun động của các mẫu bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế.

- Thiết bị thí nghiệm bao gồm: Bộ khung thiết bị, bộ khung gá mẫu, thiết bị gia tải và điều khiển tải trọng lặp, thiết bị đo, ghi tải trọng và chuyển vị, buồng ổn nhiệt, máy tính với các chương trình điều khiển, thu nhận và xử lý số liệu.

Hình 3-30. Thiết bị Cooper của trường ĐH GTVT

b. Tiêu chuẩn áp dụng

- Áp dụng tiêu chuẩn AASHTO TP-62.

c. Kế hoạch thí nghiệm

Kế hoạch thực nghiệm gồm:

+ Loại xi măng có 2 loại là: PCB30; PC40

+ Hàm lượng cốt liệu tái chế có 2 hàm lượng là: 40%; 80%

+ Nhiệt độ có 3 mức là: 30; 40; 50°C

+ Tần số có 6 mức là: 0,1; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0; 25,0 Hz

Tổng số thí nghiệm là 2x2x3x6x4 mẫu/tổ mẫu = 288 thí nghiệm.

d. Phương pháp thí nghiệm

Mẫu thí nghiệm hình trụ có đường kính 150mm và chiều cao 100mm. Đúc mẫu được bảo quản 28 ngày ở nhiệt độ phòng trước khi thí nghiệm. Sau khi công tác chuẩn bị mẫu đã xong, các mẫu bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được gia công hai đầu mẫu để đảm bảo các đầu mẫu có mặt phẳng tiếp xúc tốt với bộ phận gia tải, hạn chế các sai số liên quan tới bề mặt mẫu. Các mẫu được cho vào tủ kiểm soát nhiệt độ với thời gian duy trì nhiệt độ. Sau đó, các mẫu đã duy trì đủ thời gian cho từng mức nhiệt độ khác nhau sẽ được tiến hành thí nghiệm bằng việc tác dụng một tải trọng hình sin với độ lớn và chu kỳ tác dụng tùy theo mức nhiệt độ và tần số xác định.

a. Mẫu BTĐL b. Thí nghiệm xác định E^* c. Kết quả đo

Hình 3-31. Mô hình thí nghiệm mô đun phức |E*| của BTĐL sử dụng CLTC

Giá trị mô đun phức động |E*| của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế được tham khảo theo công thức tính mô đun phức động của BTN, xác định theo công thức (3-11).

$$|E^*| = \sqrt{\left(\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}.\cos\delta\right)^2 + \left(\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}.\sin\delta\right)^2} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \qquad (3.11)$$

Trong đó: σ_0 và ε_0: ứng suất dọc trục lớn nhất và biến dạng phục hồi dọc trục lớn nhất.

Kết quả thí nghiệm được trình bày trong bảng 3-5 phụ lục 3.

3.4.7.2. Quy hoạch thí nghiệm và phân tích kết quả thí nghiệm

Thiết kế thực nghiệm DoE (Design of Experiments) bao gồm lựa chọn thí nghiệm, quy hoạch mẫu, thực hiện thí nghiệm và phân tích thống kê xử lý kết quả. Nghiên cứu thiết kế thí nghiệm tổng quát (General full factorial design) sử dụng phần mềm Minitab 19 ở độ tin cậy 95%, mức ý nghĩa α=5%.

Analysis of Variance

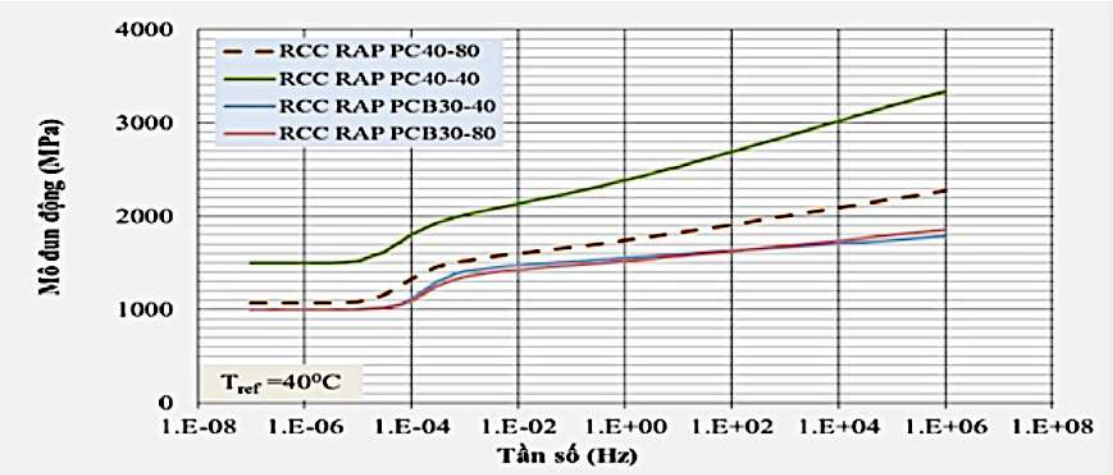
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	12	46972952	3914413	49.71	0.000
Linear	9	40587887	4509765	57.27	0.000
Loại XM	1	22399232	22399232	284.47	0.000
CLTC	1	7577596	7577596	96.23	0.000
Nhiệt độ	2	9177703	4588852	58.28	0.000
Tần số	5	1433356	286671	3.64	0.003
2-Way Interactions	3	6385064	2128355	27.03	0.000
Loại XM*CLTC	1	5632276	5632276	71.53	0.000
Loại XM*Nhiệt độ	2	752789	376394	4.78	0.009
Total	288	68626785			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
280.609	68.45%	67.07%	65.39%

Kết quả phân tích mô hình phương sai - hồi quy sau khi đã loại các biến không có ý nghĩa thống kê có hệ số xác định $R^2_{đc}$=67,07%, các hệ số p-value của các biến đều nhỏ hơn 0,05 nên mô hình phản ánh kết quả thí nghiệm có ý nghĩa thống kê.

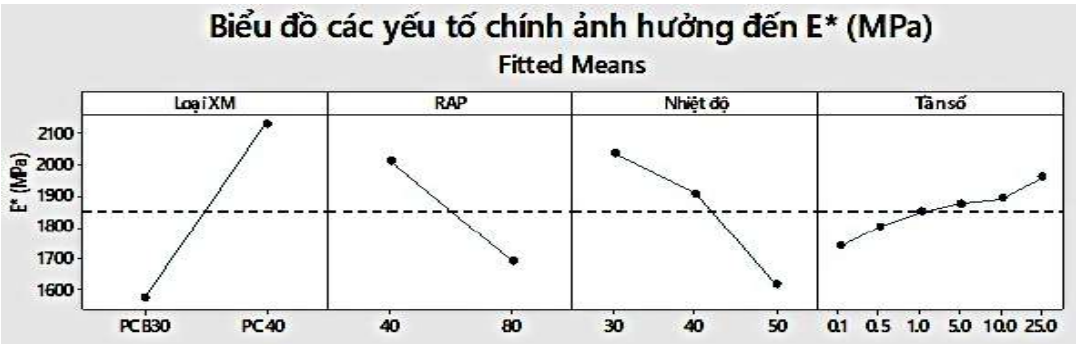
- Từ kết quả thí nghiệm, biểu đồ tổng hợp đường cong của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế được thể hiện trong Hình 3-32.



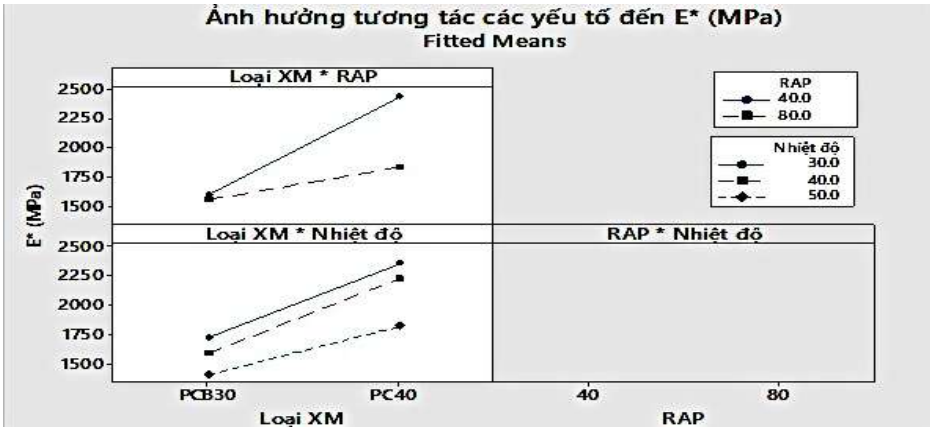
Hình 3-32. Biểu đồ tổng hợp đường cong của BTĐL sử dụng CLTC

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 bê tông đầm lăn càng tăng.

Hình 3-33, Hình 3-34 thể hiện các yếu tố chính ảnh hưởng đến mô đun động của BTĐL sử dụng CLTC và ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố đó với nhau.



Hình 3-33. Biểu đồ ảnh hưởng các yếu tố chính



Hình 3-34. Biểu đồ ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố

Từ kết quả phân tích phương sai cho thấy các yếu tố và tương tác các yếu tố ảnh hưởng đến |E*| có ý nghĩa thống kê là:

- 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;

- Điều kiện nhiệt độ ảnh hưởng rất lớn đến |E*|, khi nhiệt độ tăng lên thì |E*| giảm đi rất nhanh.

- Tần số càng lớn thì thời gian tác dụng càng nhỏ dẫn đến |E*| của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế càng lớn.

- Trong các yếu tố chính thì nhiệt độ thí nghiệm có ảnh hưởng lớn nhất đến |E*|, điều này giải thích tính đàn nhớt của hỗn hợp đá-nhựa. Ảnh hưởng tương tác của các yếu tố cơ bản là như nhau.

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 sử dụng cốt liệu tái chế. 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

Thông qua các kết quả nghiên cứu thực nghiệm trong phòng có thể đưa ra các kết luận chính như sau:

- 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 phụ 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 bị ảnh hưởng, đặc biệt 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 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 của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế, nhận thấy quy luật thay đổi |E*| tương tự như bê tông nhựa. 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 tính chất khác biệt của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế so với bê tông đầm lăn thông thường.

- 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.

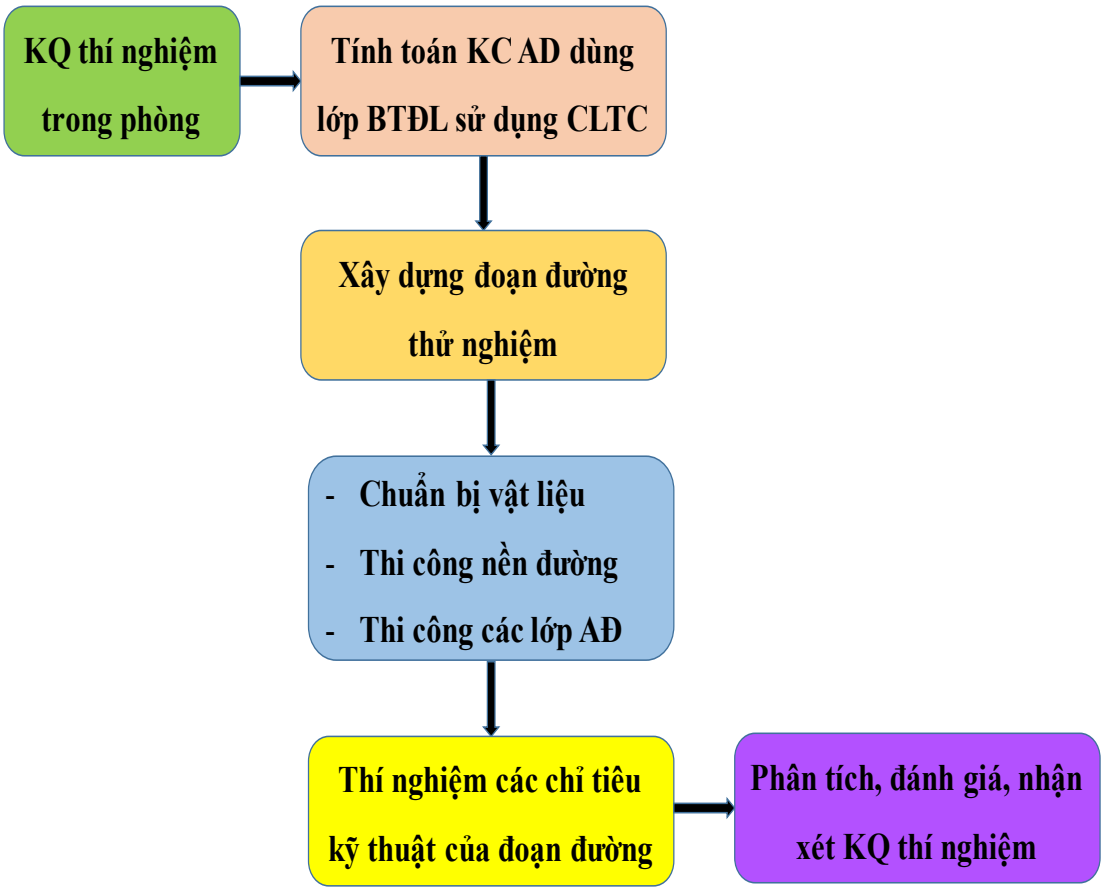
- Như vậy, với những kết quả thí nghiệm trong phòng đạt được, hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế có một số hiệu quả nhất định thoả mãn các tiêu chuẩn hiện hành về tính toán kết cấu áo đường trong xây dựng đường ô tô. Do đó, áp dụng công nghệ tái chế nguội tại trạm trộn BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc 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 bê tông đầm lăn 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

Trình tự nghiên cứu được thể hiện ở sơ đồ Hình 4-1.



Hình 4-1. Sơ đồ trình tự nghiên cứu thực nghiệm hiện trường

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

Với mục đích ứng dụng công nghệ bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế trong xây dựng đường ô tô ở Việt Nam, xây dựng đoạn đường thử nghiệm nhằm kiểm chứng kết quả thí nghiệm trong phòng, đồng thời tiến hành đo đạc, đánh giá chất lượng kết cấu của đoạn đường thử nghiệm theo các tiêu chuẩn hiện hành. 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

Căn cứ Quyết định số 4451/QĐ-BGTVT [11], phạm vi áp dụng cho bê tông đầm lăn trong kết cấu đường ô tô như sau:

- Mặt đường ô tô làm mới có cấp thiết kế từ cấp IV trở xuống;
- Mặt đường giao thông nông thôn;
- Mặt đường nội bộ, bãi đỗ xe;
- Lớp móng trên cho các loại đường cao tốc, đường cấp cao, đường có tải trọng nặng lưu thông thường xuyên. Việc tính toán chiều dày lớp móng tuân thủ theo Quyết định 3230 - QĐ/BGTVT [10].

Trong phạm vi nghiên cứu của luận án, đề xuất thiết kế và xây dựng đoạn đường có lớp mặt BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế theo Quyết định số 4451/QĐ-BGTVT. Mô hình phân tích tấm trên nền đàn hồi đặt trên lớp móng là vật liệu hạt. Sau khi thiết kế cấu tạo kết cấu, kiểm toán kết cấu mặt đường BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế chỉ xét đến khả năng chịu kéo khi uốn, phù hợp với đường nội bộ. Kiểm tra kết cấu theo điều kiện:

$$\gamma_r.\sigma_{pmax} \leq f_r \qquad (4.1)$$

$$\gamma_r.\sigma_{pr} \leq f_r \qquad (4.2)$$

Trong đó:

σ_{pmax} : Ứng suất kéo uốn do tải trọng bánh lớn nhất tại vị trí tính toán (MPa)

σ_{pr} : Ứng suất kéo uốn gây mỏi do tác dụng xe chạy tại vị trí tính toán (MPa)

f_r : Cường độ chịu kéo uốn thiết kế của BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế (MPa)

γ_r : Hệ số độ tin cậy, giá trị từ 1,04 – 1,07.

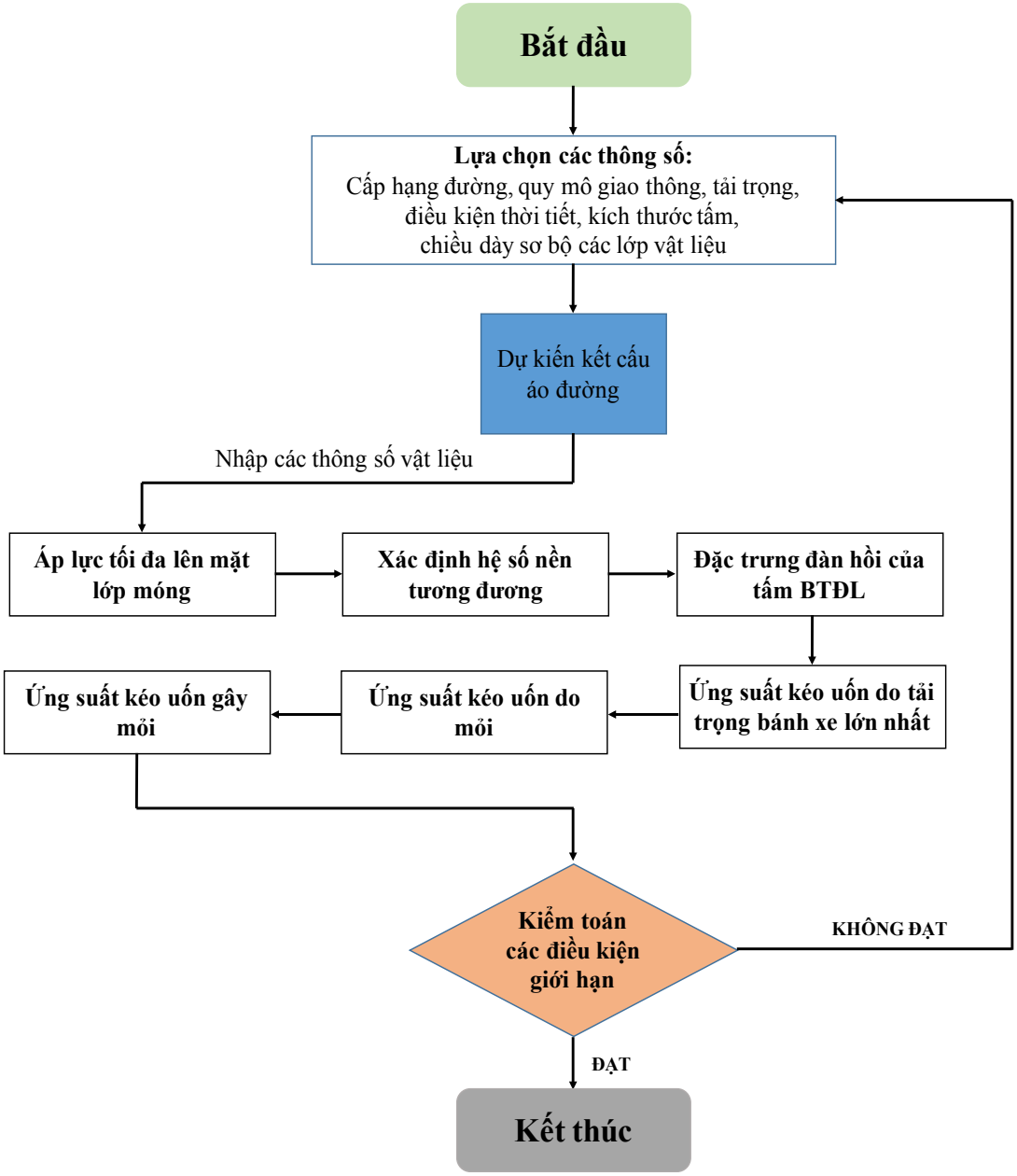
Theo quy định đối với BTĐL sử dụng trong tầng mặt kết cấu áo đường:

- *fr* ≥ 4,5 MPa đối với đường có quy mô giao thông cấp trung bình hoặc quy mô giao thông cấp nhẹ nhưng có xe nặng với trục đơn > 100 kN chạy qua.

- *fr* ≥ 4,0 MPa đối với đường có quy mô giao thông cấp nhẹ không có xe nặng với trục đơn > 100 kN chạy qua.

- *fr* ≥ 2,5 MPa đối với trường hợp làm lớp móng của tầng mặt đường ô tô cấp cao, có quy mô giao thông nặng và cực nặng.

Kết cấu áo đường của đoạn đường thử nghiệm được kiểm toán theo Quyết định 4451/QĐ-BGTVT với trình tự được thể hiện như sơ đồ khối Hình 4-2



Hình 4-2. Sơ đồ khối thể hiện quá trình kiểm toán kết cấu áo đường đề xuất dùng lớp BTĐL sử dụng CLTC theo Quyết định 4451/QĐ-BGTVT

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:

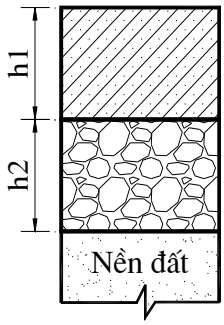
a. Lớp mặt BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế dày 20cm, f_r = 3,02 MPa (do R_{ec} = 1,89 MPa); E = 23250 MPa; R_n = 18,49 MPa; Tấm BTĐL có kích thước 4,0m x 5,0m, khe ngang không có thanh truyền lực.

(Tiêu chuẩn 22TCN 211-06 [2] đưa ra công thức R_{ku} = (1,6 - 2,0).R_{ech} , với vật liệu có độ đồng nhất không cao như BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế, để đảm bảo an toàn có thể sử dụng hệ số 1,6 để xác định cường độ kéo uốn).

b. 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.

c. Nền đất là á sét có E = 40 MPa.

Bảng 4-1. Kết cấu áo đường BTĐL sử dụng CLTC của đoạn thử nghiệm

Kết cấu	**Thông số kỹ thuật**		**Phạm vi áp dụng**
	Lớp vật liệu	**Chiều dày, cm**	
	BTĐL 40% CLTC	20	- Thiết kế theo QĐ 4451/QĐ-BGTVT - Lưu lượng cấp trung bình và nhẹ - Vận tốc khai thác không quá 50km/h
	Cấp phối đá dăm loại I	20	
	Nền đất		

3. Kiểm toán kết cấu dự kiến: Chi tiết tính toán kết cấu áo đường được trình bày trong phụ lục 4.

4. Nhận xét: Kết cấu áo đường dự kiến gồm: 20 cm lớp mặt BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế trên móng cấp phối đá dăm 20 cm 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 hiện trường

4.1.3.1. Xác định vị trí, mặt bằng và các thông số hình học của đoạn đường thử nghiệm hiện trường

Đoạn đường thử nghiệm được xây dựng trong Trường ĐH CN Giao thông vận tải; địa chỉ 278 Lam Sơn, thành phố Vĩnh Yên, tỉnh Vĩnh Phúc.

Đoạn đường thử nghiệm có các thông số sau:

- Chiều dài: L = 20m;
- Chiều rộng: B_m = 3,5m;
- Thoát nước ngang: theo độ dốc ngang mặt đường i = 2%
- Hồ sơ các bản vẽ: Bình đồ, trắc dọc, trắc ngang đầy đủ theo quy định.

Hình 4-3. Mặt bằng đoạn đường thử nghiệm tại trường ĐH CN GTVT

Hình 4-4. Công tác đo đạc, khảo sát đoạn đường thực nghiệm

4.1.3.2. Công tác chuẩn bị cốt liệu tái chế từ bê tông nhựa cũ

- Nguồn cốt liệu tái chế để xây dựng đoạn đường thử nghiệm được cào bóc và thu gom trên tuyến đường Pháp Vân – Cầu Giẽ.

Hình 4-5. Cào bóc mặt đường nhựa trên tuyến đường Pháp Vân – Cầu Giẽ

- Sau đó, cốt liệu tái chế được vận chuyển và tập kết tại khuôn viên trường ĐH CN GTVT; địa chỉ 278 Lam Sơn, TP. Vĩnh Yên, tỉnh Vĩnh Phúc.

Hình 4-6. Tập kết cốt liệu tái chế tại trường ĐH CN GTVT

- Các đặc tính kỹ thuật của cốt liệu tái chế được thí nghiệm và đảm bảo yêu cầu kỹ thuật của các tiêu chuẩn hiện hành, được trình bày trong chương 2.

Hình 4-7. Sản xuất cốt liệu tái chế phục vụ cho đoạn đường thử nghiệm

4.1.3.3. Thi công nền đường đoạn thử nghiệm

a. Vật liệu đắp nền đường

- Đất đắp nền đường được lấy từ mỏ Minh Quang, Tam Đảo, Vĩnh Phúc. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật của đất đắp được trình bày trong Bảng 4-2.

Bảng 4-2. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật của đất đắp

STT	Tên chỉ tiêu		Đơn vị	Kết quả	Tiêu chuẩn thí nghiệm
1	Thành phần hạt		%		TCVN 4198 – 2014 [27]
	Cỡ sàng (mm) Lượng lọt sàng	20,0		100,0	
		10,0		93,6	
		5,0		76,2	
		2,0		55,4	
		1,0		41,2	
		0,5		33,6	
		0,25		24,5	
		0,1		14,2	
2	Khối lượng riêng		g/cm^3	2,645	TCVN 4197 – 1995 [23]
3	Giới hạn chảy		%	45,2	

STT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Tiêu chuẩn thí nghiệm
4	Giới hạn dẻo	%	22,8	TCVN 4197 – 1995 [23
5	Chỉ số dẻo	%	22,3	
6	Dung trọng ướt	g/cm^3	2,024	22TCN333-06 (PP I-A) [4]
7	Dung trọng khô lớn nhất	g/cm^3	1,730	22TCN333-06 [4]
8	Độ ẩm tối ưu	%	17,18	22TCN333-06 [4]
9	Chỉ số CBR (K= 98)	%	11,9	22TCN332-06 [3]

Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật của đất đắp nền đường đủ điều kiện đưa vào thi công đắp nền đường thử nghiệm.

b. Công tác xử lý nền đường trước khi đắp

Công tác thi công và nghiệm thu nền đường theo TCVN 9436:2012 [25]. Tiến hành đào bỏ bóc lớp đất tự nhiên phía trên đến cao độ đáy kết cấu áo đường.

Sau khi bóc bỏ lớp đất nền tự nhiên tiến hành xử lý phần dưới bằng cách dùng lu rung kết hợp đầm cóc tiến hành lu lèn đạt độ chặt yêu cầu K85, tiếp theo rải đất đắp từng lớp theo trình tự quy định. Chiều dày đất đắp nền đường 50 cm chia làm 2 lớp, mỗi lớp dày 25 cm, thi công đạt độ chặt K95 với lớp dưới và K98 với lớp trên theo quy định.

Sử dụng tổ hợp máy thi công đắp đất nền đường gồm: máy xúc, máy ủi và máy lu. Sau đó tiến hành thí nghiệm hiện trường.

Hình 4-8. Công tác đào bỏ bóc lớp đất tự nhiên phía trên đến cao độ đáy KCAD

Hình 4-9. Công tác lu lèn nền đất của đoạn đường thử nghiệm

Hình 4-10. Các thí nghiệm ngoài hiện trường kiểm tra các chỉ tiêu kỹ thuật

c. Công tác nghiệm thu nền đường của đoạn đường thử nghiệm

- Sau khi thi công xong tiến hành nghiệm thu hoàn thành hạng mục thi công xử lý nền đường và trước khi chuyển bước thi công kết cấu áo đường, tiến hành khôi phục lại vị trí các cọc trên tuyến và các mốc cao độ để phục vụ cho việc đo đạc kiểm tra nghiệm thu.

- Kết quả kiểm tra kích thước hình học của nền đường đắp sau khi thi công xong được trình bày trong Bảng 4-3.

Bảng 4-3. Kết quả đo kích thước hình học của đoạn đường thử nghiệm

STT	Thông số kỹ thuật	Đơn vị	Thiết kế	Thực tế
1	Chiều rộng	m	3,5	4,0
2	Chiều dài	m	20,0	22,0
3	Bề dày lớp đất đắp	cm	50,0	50,0
4	Cao độ	m	HSTK	HSTK

- Tiến hành đo mô đun đàn hồi của nền đất đắp tại 3 vị trí khác nhau trên nền đường đắp sau khi đã lu lèn đạt được độ chặt yêu cầu. Kết quả đo mô đun đàn hồi của nền đắp đoạn đường thử nghiệm trình bày trong Bảng 4-4.

Bảng 4-4. Kết quả đo mô đun đàn hồi của nền đường đắp sau khi đã lu lèn

STT	Lý trình	Mô đun đàn hồi (MPa)	Kết quả TB (MPa)
1	Km0+5	43,8	44,7
2	Km0+10	45,5	
3	Km0+15	44,7	

Giá trị trung bình của mô đun đàn hồi tại các điểm đo trên nền đường là E_0 = 44,7 MPa. Mô đun đàn hồi của nền đường đắp đạt tiêu chuẩn quy định (tối thiểu 40MPa). Như vậy, công tác thi công nền đường đắp của đoạn đường thử nghiệm theo các tiêu chuẩn hiện hành đều đảm bảo yêu cầu kỹ thuật, đủ điều kiện thi công các lớp kết cấu áo đường tiếp theo.

4.1.3.4. Thi công lớp cấp phối đá dăm loại I

a. Công tác chuẩn bị

Do cạnh ao nên đoạn đường thử nghiệm có thể bị thấm nước vì vậy dùng vải địa kỹ thuật theo TCVN 8871:2011 [8] để ngăn cách nền đất của đoạn đường, sau đó mới tiếp tục thi công lớp móng cấp phối đá dăm.

Tổ chức thi công ghép dựng ván khuôn thép tạo thành đứng hai bên lề đường; khôi phục lại cọc chi tiết theo hồ sơ; từ tim đường đo về hai phía lề đường đóng cọc thép định vị ván khuôn (ván khuôn thép được vệ sinh tẩy gỉ sạch sẽ, quét dầu nhớt thải chống dính); bề rộng móng dưới B_m = (3,5 + 0,5) m.

Hình 4-11. Công tác rải vải địa kỹ thuật, đo đạc và ghép ván khuôn

- Cấp phối đá dăm được vận chuyển và tập kết tại vị trí xây dựng đoạn đường.

Hình 4-12. Tập kết cấp phối đá dăm tại đoạn đường thử nghiệm

- Tiến hành phun nước tưới ủ ẩm cấp phối đá dăm tại bãi. Dùng máy xúc đảo đều và thí nghiệm kiểm tra độ ẩm, điều chỉnh độ ẩm tự nhiên của đá dăm.

b. San rải, lu lèn lớp móng cấp phối đá dăm

Quy trình thi công và nghiệm thu lớp móng cấp phối đá dăm được tiến hành theo TCVN 8859:2011 [20].

- Dùng máy ủi san sơ bộ sau đó san gạt đều cấp phối trên đoạn đường. Thao tác và tốc độ máy san gạt được điều chỉnh vừa phải để tạo bề mặt bằng phẳng, không gợn song, không phân tầng. Quá trình san gạt đảm bảo độ dốc dọc 1% và độ dốc ngang 2% theo hồ sơ thiết kế, đảm bảo thoát nước tốt. Ngay sau khi san rải, tiến hành phun nước tạo ẩm để tăng độ chặt của lớp móng đường.

- Trình tự lu lèn: Dùng lu nhẹ bánh thép 6 - 8 T, lu chậm với tốc độ lu 4 - 5 km/h, lu 6 - 8 lượt/1điểm và vệt lu sau chồng lên vệt lu trước khoảng 15 - 20 cm. Mục đích của việc lu này là để sắp xếp lại các hạt vật liệu, ổn định chặt dần và kết hợp bù phụ những chỗ phân tầng, gợn song hoặc không bằng phẳng.

Hình 4-13. Công tác thi công lớp móng đá dăm

c. Nghiệm thu lớp móng cấp phối đá dăm

- Sau khi lu lèn xong, tiến hành kiểm tra và nghiệm thu lớp cấp phối đá dăm theo TCVN 8859:2011 [20].

Bảng 4-5. Kết quả đo kích thước hình học của lớp móng cấp phối đá dăm

STT	Thông số kỹ thuật	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp kiểm tra
1	Kích thước hình học			
	- Chiều rộng	m	4,5	- Thước thép
	- Chiều dày	cm	21	- Thước thép
	- Độ dốc dọc	%	1	- Máy thuỷ bình
	- Độ dốc ngang	%	2	- Máy thuỷ bình
2	Độ bằng phẳng	mm	5	- Thước 3m

- Tiến hành kiểm tra độ chặt của lớp cấp phối đá dăm theo phương pháp phễu rót cát 22TCN 346-06 [5].

Hình 4-14. Thí nghiệm kiểm tra độ chặt theo phương pháp phễu rót cát

Kết quả kiểm tra độ chặt của lớp cấp phối đá dăm trình bày trong Bảng 4-6.

Bảng 4-6. Kết quả kiểm tra độ chặt của lớp cấp phối đá dăm

STT	Lý trình	Độ ẩm (%)	Khối lượng thể tích khô thực tế (g/cm^3)	Khối lượng thể tích lớn nhất (g/cm^3)	Độ chặt (%)
1	Km0+5	4,91	2,373	2,414	98,3
2	Km0+15	5,32	2,342	2,387	98,1

- Tiến hành đo mô đun đàn hồi của lớp móng cấp phối đá dăm tại 3 vị trí trên đoạn đường thử nghiệm. Kết quả đo được trình bày trong Bảng 4-7.

Bảng 4-7. Bảng kết quả đo mô đun đàn hồi của lớp móng cấp phối đá dăm

STT	Lý trình	Mô đun đàn hồi (MPa)	Kết quả TB (MPa)
1	Km0+5	320	321,7
2	Km0+10	330	
3	Km0+15	315	

Như vậy, công tác thi công lớp móng cấp phối đá dăm loại I đảm bảo yêu cầu theo TCVN 8859:2011, đủ điều kiện thi công lớp mặt BTĐL sử dụng CLTC.

4.1.3.5. Thi công lớp mặt bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ BTN cũ

- Công tác thi công và nghiệm thu lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ tiến hành theo Quyết định 4452/QĐ-BGTVT [12].

- Thi công mặt đường theo công nghệ bê tông đầm lăn gồm các công đoạn sau: Trộn, vận chuyển, rải, lu lèn, hoàn thiện bề mặt, tạo khe và bảo dưỡng.

a. Chuẩn bị vật liệu, thiết bị

- Trên cơ sở thiết kế, kết quả thí nghiệm trong phòng, chuẩn bị vật liệu thi công ngoài hiện trường phù hợp với tiến độ và biện pháp thi công. Các vật liệu, vật tư được lấy mẫu và thí nghiệm kiểm tra và đánh giá theo các tiêu chuẩn hiện hành.

- Trên cơ sở thực tế hiện trường và biện pháp thi công cụ thể, chuẩn bị thiết bị thi công (trạm trộn, thiết bị vận chuyển, rải, lu lèn, san, cắt khe,…) phù hợp với biện pháp thi công, chuẩn bị các thiết bị và dụng cụ cầm tay cho thi công: máy cắt bê tông, sàng, chổi, xẻng, tấm phủ bảo dưỡng,…

b. Trộn hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

- Hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc được trộn bằng trạm trộn bê tông. Quy trình trộn tuân theo hướng dẫn của nhà sản xuất và được hiệu chỉnh sau khi thi công thử nghiệm.

Hình 4-15. Trạm trộn hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc từ BTN cũ

c. Vận chuyển hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

- Sử dụng xe tải tự đổ 15 tấn để vận chuyển hỗn hợp BTĐL. Xe vận chuyển bê tông có bạt che để giảm tối đa sự ảnh hưởng của thời tiết đến hỗn hợp bê tông.

Hình 4-16. Xe tải tự đổ chở hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc từ BTN cũ

c. Rải hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

- Rải bê tông: Dựa theo yêu cầu của thiết kế để tính toán và bố trí chiều rộng vệt rải hỗn hợp bê tông đầm lăn cho hợp lý. Do chiều rộng mặt đường 3,0 m nên bố trí một vệt rải. Rải bê tông và lu lèn đến độ chặt yêu cầu với chiều rộng vệt rải được mở rộng thêm so với thiết kế quy định về mỗi bên 50 cm.

Hình 4-17. San rải hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc từ BTN cũ

d. Lu lèn hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

- Thời gian lu lèn: hỗn hợp bê tông đầm lăn cần được rải và kết thúc lu lèn trong khi xi măng chưa bắt đầu đông kết. Đối với mặt đường, rải và lu lèn làm nhiều vệt. Khi thời gian rải và lu lèn của hai vệt liên tiếp không quá 60 phút thì xem như hai vệt rải này tạo thành một lớp đồng nhất.

- Trình tự lu lèn: lu sơ bộ bằng lu tĩnh hai lượt, lu chặt bằng lu rung đến khi độ chặt của bê tông đạt yêu cầu thiết kế, lu hoàn thiện bằng lu bánh lốp.

+ Lu sơ bộ bằng lu tĩnh 02 lượt/1 điểm cho bê tông đầm lăn tương đối ổn định rồi tiếp theo đến lu rung, thường là 04 lượt trên điểm. Sau mỗi lượt lu rung tiến hành kiểm tra lại độ chặt, độ phẳng, cao độ mặt đường.

+ Sau khi lu lèn đạt độ chặt thiết kế, tiến hành lu hoàn thiện bằng lu bánh lốp để làm phẳng bề mặt, xóa các vệt bánh xe lu, lỗ rỗng hoặc các vết nứt vuông góc với hướng di chuyển của lu trên bề mặt đã đầm nén bằng lu rung. Một vị trí phải được lu tối thiểu hai lượt.

Hình 4-18. Công tác lu lèn lớp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế

e. Thi công khe nối

- Vị trí khe co ngang được quy định theo thiết kế. Các khe co ngang được hình thành từ việc cắt sau khi bê tông đã đóng rắn. Độ sâu của khe co ngang không nhỏ hơn 1/4 độ dày của lớp bê tông đầm lăn và bề rộng khoảng 3 – 6 mm.

Hình 4-19. Công tác cắt khe ngang mặt đường

f. Bảo dưỡng

- Việc bảo dưỡng ẩm cần được tiến hành sớm ngay sau khi kết thúc lu lèn bằng cách phun hợp chất chống khô bề mặt hoặc phủ các tấm bảo dưỡng kết hợp với phun nước.

- Thời điểm đưa vào lưu thông: Được quyết định trong chỉ dẫn kỹ thuật thi công của dự án nhưng không sớm hơn thời gian kết thúc bảo dưỡng theo TCVN 8828:2011 [29]. Tùy theo yêu cầu cụ thể và thông qua thí nghiệm cường độ của bê tông ở tuổi sớm để quyết định thời điểm có thể cho các thiết bị phục vụ thi công chạy qua mặt đường bê tông đầm lăn khi đang bảo dưỡng hoặc thông xe.

Hình 4-20. Đoạn đường thử nghiệm BTĐL sử dụng CLTC sau khi thi công

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

4.1.4.1. 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 lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế 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 lớp đường, 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 24h thi công

b. Bề mặt sau 72h 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.

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

Công tác kiểm tra về kích thước hình học, độ bằng phẳng và độ chặt của kết cấu áo đường được tiến hành theo các tiêu chuẩn hiện hành. Độ bằng phẳng của đoạn đường thử nghiệm trình bày trong Bảng 4-8.

Bảng 4-8. Kết quả đo độ bằng phẳng bằng thước 3 mét của đoạn đường

Khe hở	<3mm	3 - 5mm	5 - 7mm	7 - 10mm	10 - 15mm	15 - 20mm	>20mm	Lý trình
Sau khi thi công 1 tháng								
Tỷ lệ khe (%)	82,4	10,5	0	0	0	0	0	Km0+5
	78,6	8,2	0	0	0	0	0	Km0+15
Sau khi thi công 12 tháng								
Tỷ lệ khe (%)	74,3	11,2	0	0	0	0	0	Km0+5
	67,7	9,5	0	0	0	0	0	Km0+15

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 [7].

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

Tiến hành khoan lấy mẫu ở các ngày 7, 14 và 28 ngày xác định các đặc tính kỹ thuật của đoạn đường dùng lớp mặt BTĐL sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ. Sử dụng khoan có đường kính 150mm, chiều dài đến hết lớp kết cấu áo đường. Mỗi lần thực hiện khoan 10 mẫu (03 mẫu thí nghiệm cường độ chịu nén, 03 mẫu thí nghiệm cường độ ép chẻ, 03 mẫu thí nghiệm mô đun đàn hồi, 01 mẫu dự phòng). Đo kiểm tra mẫu bằng thước thép, ghi lại chiều cao, đường kính của mẫu khoan theo Quyết định số 4452/QĐ-BGTVT.

Hình 4-22. Công tác khoan mẫu BTĐL sử dụng CLTC ngoài hiện trường

a. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén

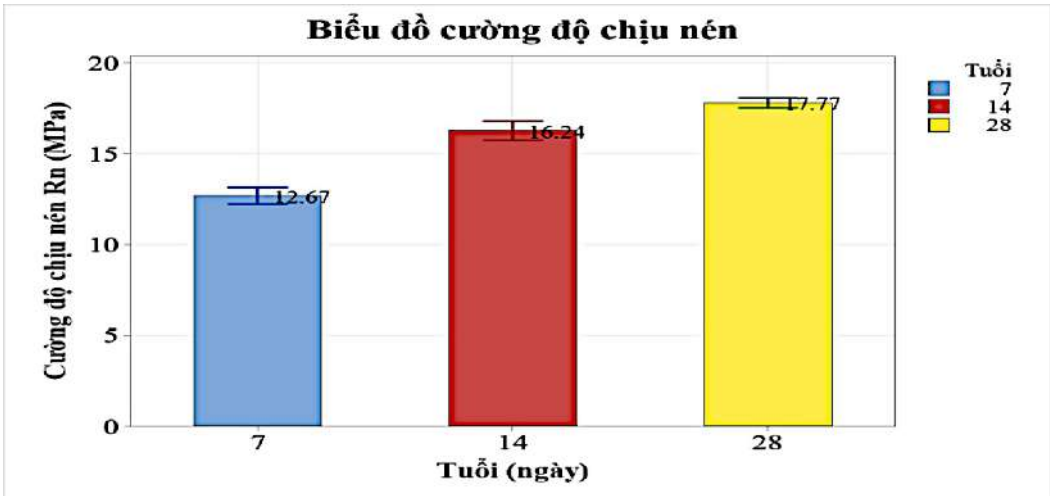
Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế được tiến hành trên 9 mẫu thử ở 7, 14 và 28 ngày tuổi.

Hình 4-23. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của mẫu khoan

Kết quả thí nghiệm xác định cường độ chịu nén được trình bày trong Bảng 4-9.

Bảng 4-9. Kết quả cường độ chịu nén ở 7, 14 và 28 ngày của mẫu khoan

Mẫu khoan	**Cường độ chịu nén (MPa)**		
	7 ngày	**14 ngày**	**28 ngày**
1	12,57	16,17	17,75
2	12,88	16,48	17,89
3	12,56	16,07	17,68
X_{tb}	**12,67**	**16,24**	**17,77**
S	**0,18**	**0,21**	**0,11**
Cv	**1,44**	**1,32**	**0,60**



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

Kết quả cường độ chịu nén của mẫu khoan phát triển theo thời gian phản ánh giống như quy luật kết quả thử nghiệm 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 thử nghiệm hiện trường ở độ tuổi 28 ngày = 17,77 MPa < 18,48 MPa nhưng vẫn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật.

b. Thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ

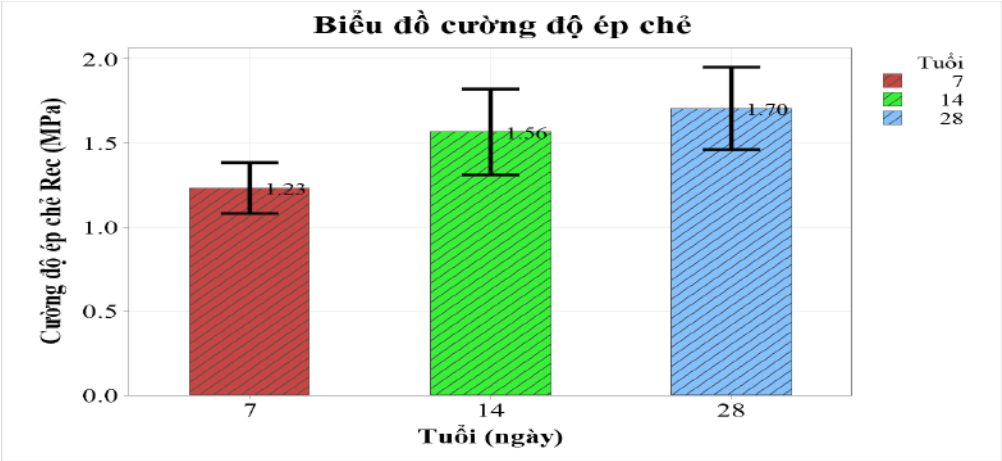
Thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ của mẫu khoan bê tông đầm lăn được được tiến hành trên 9 mẫu thử ở các ngày tuổi 7 ngày, 14 ngày, 28 ngày.

Hình 4-25. Thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ của mẫu khoan

- Kết quả cường độ ép chẻ của mẫu khoan được trình bày trong Bảng 4-10.

Bảng 4-10. Kết quả cường độ ép chẻ ở 7, 14 và 28 ngày của mẫu khoan

Mẫu TN	**Cường độ ép chẻ (MPa)**		
	7 ngày	**14 ngày**	**28 ngày**
1	1,26	1,59	1,75
2	1,27	1,65	1,77
3	1,16	1,45	1,59
X_{tb}	**1,23**	**1,56**	**1,70**
S	**0,06**	**0,10**	**0,10**
Cv	**4,95**	**6,56**	**5,79**



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

Kết quả cường độ ép chẻ của mẫu khoan phát triển theo thời gian phản ánh giống như quy luật kết quả thử nghiệm 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 thử nghiệm hiện trường ở độ tuổi 28 ngày = 1,70 MPa < 1,78 MPa nhưng vẫn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật.

c. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi

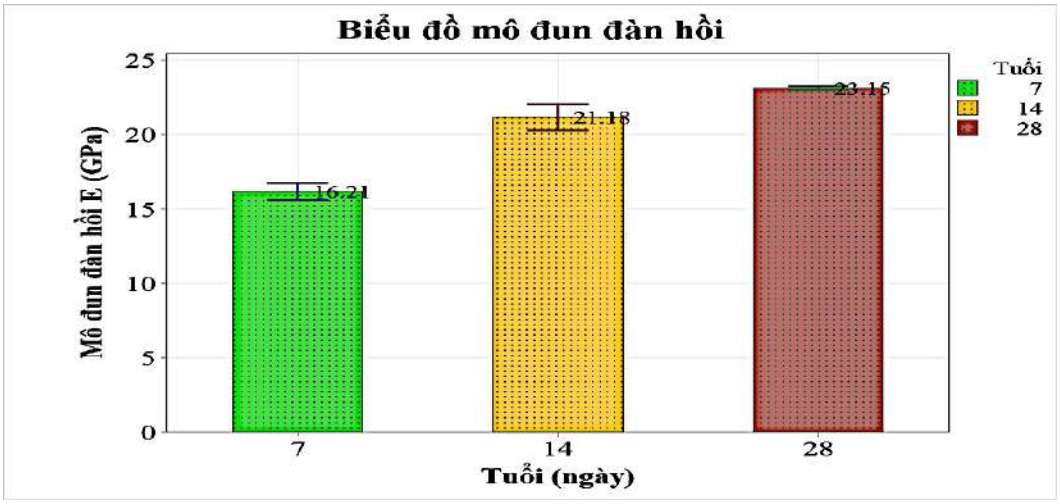
Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của mẫu khoan bê tông đầm lăn được tiến hành trên 9 mẫu ở các ngày tuổi 7 ngày, 14 ngày, 28 ngày.

Hình 4-27. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của mẫu khoan

- Kết quả mô đun đàn hồi của mẫu khoan được trình bày trong Bảng 4-11.

Bảng 4-11. Kết quả mô đun đàn hồi ở 7, 14 và 28 ngày của mẫu khoan

Mẫu TN	**Mô đun đàn hồi (GPa)**		
	7 ngày	**14 ngày**	**28 ngày**
1	15,96	21,05	23,13
2	16,25	21,59	23,21
3	16,41	20,92	23,11
X_{tb}	**16,21**	**21,18**	**23,15**
S	**0,23**	**0,35**	**0,05**
Cv	**1,41**	**1,67**	**0,22**



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

Kết quả mô đun đàn hồi của mẫu khoan phát triển theo thời gian phản ánh giống như quy luật kết quả thử nghiệm 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 thử nghiệm hiện trường ở độ tuổi 28 ngày = 23150 MPa < 23250 MPa nhưng vẫn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật

4.1.5. 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 được thi công và nghiệm thu theo đúng các yêu cầu và trình tự được quy định theo các tiêu chuẩn xây dựng đường ô tô hiện hành. Đây là đoạn đường phục vụ cho việc chuyên chở vật tư máy móc thiết bị phục vụ thi công dự án chỉnh trang hồ điều hoà trong khuôn viên trường ĐH CN GTVT. Trong suốt quá trình khai thác, đoạn đường thường xuyên có nhiều xe tải chở vật liệu, máy móc qua lại.

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

Từ những kết quả thí nghiệm hiện trường của đoạn đường sử dụng lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ, có thể đưa ra một số nhận xét sau:

- Đoạn đường thử nghiệm đã 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 bê tông đầm lăn 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 cào bóc từ bê tông nhựa cũ có xu hướng phát triển nhưng độ mở rộng vết nứt cũng không quá 2,0 mm, mật độ vết nứt cũng không tăng.

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

Với các kết quả nghiên cứu thí nghiệm trong phòng và xây dựng đoạn đường thực nghiệm, tiếp tục nghiên cứu cơ sở khoa học và thực tiễn đề xuất các dạng kết cấu mặt đường điển hình dùng lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật, giảm thiểu các tác động môi trường, tận dụng được nguồn vật liệu phế thải và tiết kiệm nguồn tài nguyên.

Đề xuất kết cấu mặt đường hợp lý, các nghiên cứu đi theo trình tự sau:

- Dựa vào lý thuyết thiết kế, cấu tạo mặt đường, các báo cáo địa chất, vật liệu xây dựng, trình độ công nghệ thi công, khả năng khai thác sử dụng, điều kiện duy tu bảo dưỡng,… để thiết kế cấu tạo, đề xuất các phương án kết cấu mặt đường.
- Dùng các phương pháp tính toán phù hợp với các yêu cầu về cường độ của các kết cấu đã đề xuất.
- Phân tích kết cấu mặt đường về kỹ thuật, kinh tế và công nghệ thi công.
- Đưa ra các mô hình kết cấu điển hình.
- Sử dụng và theo dõi kết cấu để tổng kết và đánh giá.

4.2.1. Nguyên tắc đề xuất và phạm vi áp dụng kết cấu mặt đường

- Kết cấu mặt đường hợp lý được đề xuất phải đảm bảo lựa chọn vật liệu phù hợp, bố trí đúng vị trí và chức năng để phát huy tối đa ưu điểm từng loại vật liệu.
- Việc sử dụng và lựa chọn vật liệu phải xét đến các điều kiện khác có liên quan: công nghệ thi công, kết cấu truyền thống, tận dụng vật liệu địa phương, điều kiện khai thác duy tu bảo dưỡng,…
- Để sử dụng hợp lý kết cấu mặt đường có lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế cần phải phân tích các yêu cầu về cấu tạo, phương pháp thiết kế kết cấu phù hợp với điều kiện khí hậu, địa chất và lưu lượng xe.

4.2.1.1. Nguyên tắc đề xuất kết cấu mặt đường

a. Dựa vào kết cấu truyền thống đang sử dụng trong khu vực

Trên cơ sở phân tích một số kết cấu đã, đang dùng trong xây dựng mặt đường tại các dự án Việt Nam, đồng thời tìm hiểu nguồn cung cấp vật liệu, đưa ra kết cấu dùng lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế phù hợp với cấp đường.

b. Khả năng thi công và điều kiện duy tu bảo dưỡng

- Phù hợp với công nghệ thi công và khả năng cung cấp vật liệu.
- Đảm bảo dễ duy tu bảo dưỡng, dễ nâng cấp sửa chữa.
- Đảm bảo có thể thực hiện phân kỳ đầu tư.

c. Giá thành đầu tư xây dựng hợp lý

- Giá thành xây dựng kết cấu phụ thuộc vào các loại vật liệu cũng như giải pháp thi công, khai thác duy tu bảo dưỡng và các tác động khác. Theo mỗi yêu cầu thiết kế đặt ra đề xuất 3 - 4 kết cấu có khả năng đáp ứng yêu cầu đó.
- Các kết cấu sử dụng cốt liệu tái chế ngoài giảm chi phí xây dựng còn giảm tác động xấu đến môi trường, tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên.

4.2.1.2. Phạm vi áp dụng kết cấu mặt đường

Từ phân tích các chỉ tiêu kỹ thuật, công nghệ thi công kiến nghị phạm vi áp dụng của các kết cấu mặt đường sử dụng lớp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế như sau:

- Làm lớp móng đường cao tốc, đường cấp cao,...
- Làm lớp mặt cho đường giao thông nông thôn, đường nội bộ, bãi đỗ xe,...

4.2.2. Lựa chọn phương pháp thiết kế kết cấu mặt đường

Mỗi phương pháp thiết kế kết cấu áo đường gồm các nội dung chủ yếu sau:

- Thiết kế cấu tạo kết cấu áo đường: lựa chọn và bố trí hợp lý các lớp vật liệu phù hợp với chức năng và yêu cầu của các tầng, lớp áo đường.
- Tính toán kiểm tra cường độ chung: mỗi lớp kết cấu áo đường xác định bề dày và cường độ theo các tiêu chuẩn giới hạn cho phép.
- Tính toán, thiết kế tỷ lệ phối hợp các thành phần cốt liệu, tỷ lệ phối hợp giữa cốt liệu với chất kết dính cho mỗi loại hỗn hợp rồi kiểm tra các đặc trưng cơ học để đưa ra yêu cầu cụ thể đối với vật liệu sử dụng cho mỗi lớp kết cấu.
- Đề xuất lựa chọn các phương pháp thiết kế kết cấu áo đường đã và đang được sử dụng phổ biến hiện nay ở Việt Nam có xét đến hội nhập giữa các quốc gia trong khu vực.

4.2.2.1. Đối với kết cấu mặt đường mềm, mặt đường nửa cứng

- Tiêu chuẩn 22TCN 211-06 [2].
- Tiêu chuẩn AASHTO 1993, tương đương với 22TCN 274-01 [1].

4.2.2.2. Đối với kết cấu mặt đường cứng

- Quyết định 3230/QĐ-BGTVT [10] "Quy định tạm thời về thiết kế mặt đường BTXM thông thường có khe nối trong xây dựng công trình giao thông"

- Quyết định số 4451/QĐ-BGTVT [11] "Quy định tạm thời về thiết kế mặt đường bê tông đầm lăn trong xây dựng công trình giao thông".

Mỗi phương pháp thiết kế có những nguyên tắc, thông số đầu vào như tải trọng, vật liệu, nền đất, khí hậu khác nhau. Luận án không đi sâu vào phân tích, tính toán cụ thể cho các kết cấu mà chỉ đề xuất các kết cấu điển hình có lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế và xác định các thông số kỹ thuật của lớp BTĐL đó.

4.2.3. Giải pháp chống nứt phản ánh cho lớp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế

Khi kết cấu áo đường mềm cấp cao A1 dùng lớp móng bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế, cần phải áp dụng giải pháp chống nứt phản ánh từ lớp bê tông đầm lăn đó lên lớp bê tông nhựa phía trên. Có hai giải pháp chống nứt phản ánh thường được áp dụng, đó là sử dụng lớp SAMI và tạo đường nứt trước bằng cắt khe giả cho lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế.

4.2.3.1. Giải pháp sử dụng lớp SAMI

Lớp SAMI có thể được làm từ hỗn hợp đá nhựa trộn trước (dạng vữa nhựa) hoặc hỗn hợp đá nhựa thi công tại chỗ (dạng láng nhựa) với chiều dày khoảng 2,0 cm. Có thể sử dụng các tiêu chuẩn vật liệu và công nghệ sau đây để tạo lớp SAMI đối với kết cấu áo đường mềm cấp cao có sử dụng lớp móng bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế.

- Lớp láng nhựa một hoặc hai lớp theo TCVN 8863:2011 [6] hoặc theo TCVN 9505:2012 [9];

- Lớp vữa nhựa Microsurfacing – Macro Seal.

4.2.3.2. Giải pháp tạo đường nứt trước bằng cách cắt khe giả

Sau khi thi công xong lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế, tạo các khe giả theo chiều ngang vệt rải bằng máy cắt bê tông với quy cách như sau:

- Khoảng cách giữa các khe giả phụ thuộc vào chiều dày; kích cỡ đá dăm và tỷ lệ xi măng dùng trong hỗn hợp; nhiệt độ thi công… Khuyến cáo khoảng cách giữa các khe giả trong khoảng 5 - 8m.

- Chiều sâu cắt khe giả không nhỏ hơn 1/4 chiều dầy lớp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế. Chiều rộng cắt khe giả trong khoảng từ 3mm đến 6mm.

- Thời điểm cắt khe giả khuyến cáo là ngay sau khi lớp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế đông cứng khoảng từ 4 đến 8 giờ tùy theo nhiệt độ thi công và hỗn hợp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế có dùng phụ gia đông cứng nhanh hay không.

- Cắt khe giả xong phải lấp đầy khe giả bằng vật liệu chèn khe.

- Đối với kết cấu áo đường cứng, vị trí cắt khe giả trên lớp BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế nên trùng với khe nối của mặt đường bê tông xi măng.

4.2.4. Các thông số thiết kế kết cấu mặt đường

4.2.4.1. Thông số về tải trọng

Khi thiết kế theo tiêu chuẩn 22TCN 211-06 thì tải trọng được quy về tải trọng trục tính toán tiêu chuẩn.

Bảng 4-12. Các đặc trưng của tải trọng trục tính toán tiêu chuẩn

Tải trọng trục tính toán tiêu chuẩn, P (kN)	**Áp lực tính toán lên mặt đường, p (Mpa)**	**Đường kính vệt bánh xe, D (cm)**
100	0,6	33
120	0,6	36

Với những trục khác tiêu chuẩn, quy đổi về trục tiêu chuẩn theo hệ số mũ 4,4.

Đối với phương pháp theo AASHTO 1993, tương đương 22TCN274-01 thì tải trọng tiêu chuẩn là trục đơn, bánh kép ESAL18 kip bằng 80 kN. Với những trục khác tiêu chuẩn được quy về trục tiêu chuẩn theo hệ số mũ 4,5. Tính toán số ESAL tích lũy tác dụng trên 1 làn xe để thiết kế/kiểm toán chiều dày các lớp.

Tính toán kết cấu mặt đường cứng theo Quyết định 3230/QĐ-BGTVT thì tải trọng trục đơn tiêu chuẩn tính toán mỏi P_s: Tải trọng trục đơn bánh đôi nặng 100 kN. Tải trọng trục đơn nặng nhất thiết kế P_m: Thông qua số liệu khảo sát, điều tra dự báo giao thông quyết định trị số P_m. Tải trọng trục đơn nặng nhất P_m có thể bằng 150 kN, 180 kN, 240 kN (thường không quá 240 kN).

Đối với kết cấu có lớp mặt BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế thì tải trọng theo Quyết định 4451/QĐ-BGTVT chỉ từ loại trung bình đến nhẹ.

Bảng 4-13. Phân cấp quy mô giao thông

Cấp quy mô giao thông	**Số trục xe quy đổi về 100 kN trên 1 làn xe trong suốt thời hạn phục vụ thiết kế N_e**
Nhẹ	< 3.10^4 lần
Trung bình	$3.10^4 \div 1.10^6$ lần
Nặng	$1.10^6 \div 20.10^6$ lần
Rất nặng	$20.10^6 \div 1.10^{10}$ lần

4.2.4.2. Thông số về nền đường

- Để đảm bảo ổn định tổng thể của toàn bộ công trình nền mặt đường lớp đáy áo đường phải có đủ cường độ, ổn định cường độ theo điều kiện khí hậu thay đổi. Cường độ và độ ổn định của lớp đáy áo đường phụ thuộc vào loại đất, điều kiện nhiệt ẩm, mức độ đầm nén, chiều sâu đến mực nước ngầm. Đối với hầu hết các kết cấu mặt đường, khi mực nước ngầm thấp hơn bề mặt đường trên 6,1 m (20 ft) sẽ ít ảnh hưởng đến các đặc trưng khai thác của kết cấu mặt đường.

- Đặc trưng quan trọng nhất của lớp đáy áo đường là mô đun đàn hồi M_r, đây là chỉ tiêu chính khi thiết kế theo ME. Mô đun đàn hồi động của đất nền (M_r) được thí nghiệm để phục vụ việc thiết kế kết cấu áo đường mềm theo hướng dẫn của AASHTO 93. Thí nghiệm được thực hiện theo chỉ dẫn của tiêu chuẩn AASHTO T307. Hiện ở Việt Nam đã có các thiết bị thực hiện được thí nghiệm M_r theo AASHTO T307.

Đối với phương pháp theo 22TCN211-06 và Quyết định 3230/QĐ-BGTVT thì các thông số của nền đất được xác định ở điều kiện bất lợi nhất về chế độ thủy nhiệt: mô đun đàn hồi E_0, góc nội ma sát φ, và lực dính đơn vị C.

Bảng 4-14. Giá trị M_r (Psi) theo các thông số của nền đất

Cường độ Chỉ số	**Mô hình**	**Diễn giải**	**Tiêu chuẩn**
CBR	$M_r=2555(CBR)^{0.64}$	CBR < 30%	AASHTO T193
Chỉ số R	Mr=1155+555R	Chỉ số R, M_r (PSi)	AASHTO T190
Hệ số lớp a_i	$M_r = 3000.\left(\frac{a_i}{0,14}\right)$	a_i: hệ số lớp khi xác định AASHTO93	Hướng dẫn thiết kế mặt đường AASHTO1993

Cường độ Chỉ số	Mô hình	Diễn giải	Tiêu chuẩn
PI và cấp phối	$\mathrm{CBR} = \frac{75}{1 + 0{,}728.\mathrm{wPI}}$	wPI = P200.PI P200 phần trăm hạt lọt sàng 0,075 (%) PI chỉ số dẻo (%)	AASHTO T25 AASHTO T90
DCP	$\mathrm{CBR} = \frac{292}{\mathrm{DCP}^{0,12}}$	CBR (%) DCP mm/búa	ASTM D6591

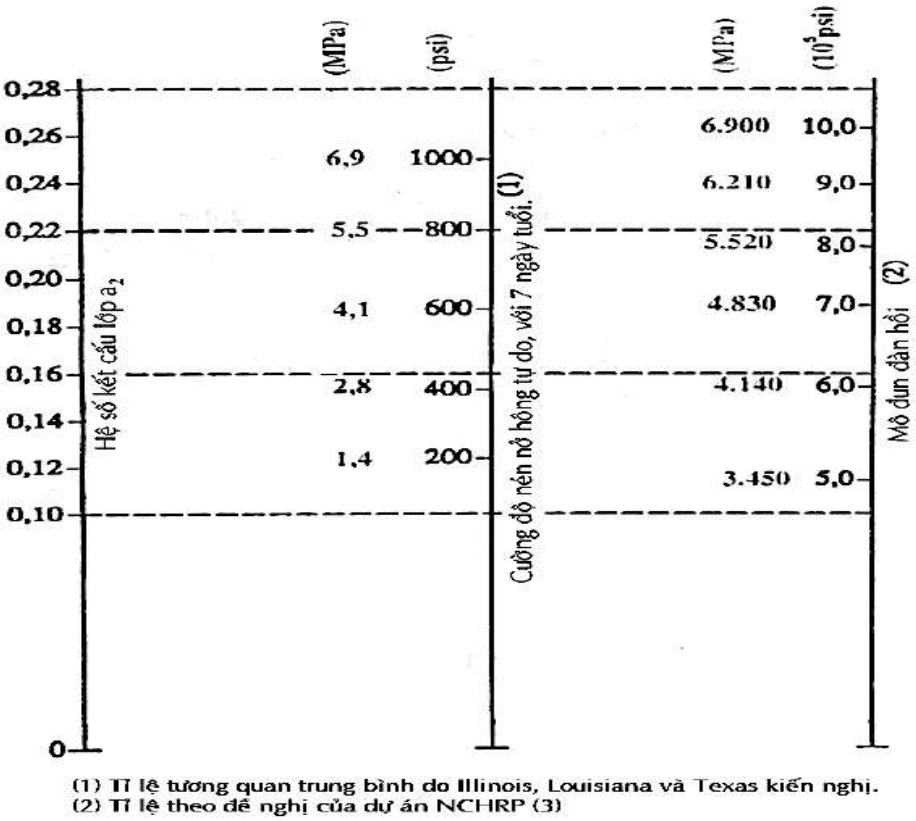
4.2.4.3. Thông số về khí hậu

Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia: Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng năm 2009 của nước ta có các giá trị trung bình của nhiệt độ, độ ẩm, lượng mưa, gió và số ngày nắng trong năm. Các thông số này đủ để thiết kế kết cấu áo đường theo 22TCN211-06, Quyết định 3230/QĐ-BGTVT, 22TCN 274-01.

4.2.4.4. Thông số về vật liệu

Xác định các thông số vật liệu tính toán là quan trọng nhất khi thiết kế kết cấu mặt đường. Trong chương 2, tiến hành thí nghiệm trong phòng xác định được chỉ tiêu kỹ thuật phục vụ xác định thông số vật liệu. Tương ứng với từng phương pháp thiết kế sẽ có các thông số vật liệu của hỗn hợp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế phù hợp.

Nhận thấy các tiêu chuẩn Việt Nam chưa thống nhất về chỉ tiêu thí nghiệm, mô hình thí nghiệm, chuẩn đánh giá chất lượng của lớp vật liệu gia cố chất liên kết vô cơ. Như vậy cần có những nghiên cứu chuẩn hóa về chỉ tiêu chất lượng, phương pháp thí nghiệm xác định để ngày càng sử dụng rộng rãi loại vật liệu này làm phong phú thêm các kết cấu áo đường, tiết kiệm tài nguyên, giảm giá thành xây dựng và kích cầu sử dụng xi măng trong nước. Hệ số lớp ai được tra toán đồ AASHTO 1993 qua cường độ nén ở 7 ngày như Hình 4-30.



Hình 4-30. Biểu đồ xác định hệ số lớp a_2 của lớp móng trên bằng VL gia cố XM, theo các tham số cường độ: Mô đun đàn hồi E_{BS} hoặc cường độ nén nở hông tự do

4.2.5. Đề xuất và mô hình phân tích kết cấu mặt đường dùng lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

4.2.5.1. Đề xuất kết cấu mặt đường có lớp mặt bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

Các thông số cơ học dùng để phân tích kết cấu mặt đường BTĐL bao gồm: Cường độ chịu kéo uốn, cường độ chịu nén; và mô đun đàn hồi E ở 28 ngày tuổi. Trong đó quan trọng nhất là cường độ chịu kéo uốn. Tuy nhiên trong điều kiện nghiên cứu, chưa thí nghiệm được R_{ku} mà thay thế bằng thí nghiệm ép chẻ R_{ec}. Cường độ chịu kéo uốn có thể được tính toán từ các quan hệ với cường độ ép chẻ.

Tiêu chuẩn 22TCN 211-06 đưa ra công thức R_{ku} = (1,6 - 2,0).R_{ech} (4.3), với vật liệu có độ đồng nhất không cao như BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế, để đảm bảo an toàn có thể sử dụng hệ số 1,6 để xác định cường độ kéo uốn.

Các thông số về R_n, R_{ku}, E trong Quyết định số 4451/QĐ-BGTVT thiết kế kết cấu mặt đường BTĐL, Quyết định số 3230/QĐ-BGTVT thiết kế kết cấu áo đường cứng đều giống nhau để lập hàm hồi quy 1 giá trị khi biết 2 giá trị còn lại.

Bảng 4-15. Thông số trong tiêu chuẩn BTĐL và BTXM

R_{ku} (MPa)	R_n (MPa)	E (GPa)
1,0	5	10
1,5	7	15
2,0	11	18
2,5	15	21
3,0	20	23
3,5	25	25
4,0	30	27
4,5	36	29
5,0	42	31
5,5	49	33

Sử dụng phần mềm Minitab18 xây dựng được 2 phương trình hồi quy:

$R_{ku} = 0,8570 + 0,09971*R_n$ (4.4)

với hệ số $R^2_{đc}$= 98,4%

$R_{ku} = - 1,495 + 0,2045*E$ (4.5)

với hệ số $R^2_{đc}$= 97,4%

R_{ku}, R_n (MPa) và E (GPa)

Phương trình có hệ số xác định cao thể hiện tương quan chặt giữa các thông số như bảng 4-30.

Bảng 4-15 trình bày các giá trị thí nghiệm R_n, R_{ech}, E và tính toán R_{ku} theo 3 phương trình (4.3), (4.4), (4.5). Kiến nghị lấy giá trị trung bình 3 kết quả làm R_{ku} tính toán. Bảng kết quả được trình bày trong bảng 5-1 của phụ lục 5.

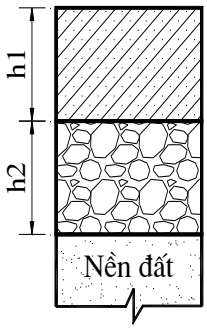
- Kết quả tính toán cho thấy không có bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế đáp ứng $f_r \geq 4,5$ MPa để làm lớp mặt đường cứng, bê tông đầm lăn đối chứng có $f_r \geq 4,0$ MPa để làm lớp mặt có quy mô giao thông nhẹ và không có xe nặng theo Quyết định 3230/QĐ-BGTVT.

- Với BTĐL sử dụng 40% CLTC - 13% PCB30 hoặc 15% PCB30; 40% CLTC-13% PC40 hoặc 15% PC40 có $f_r \geq 2,5$ MPa để làm lớp móng của tầng mặt đường ô tô cấp cao, có quy mô giao thông nặng và cực nặng. Các loại BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế còn lại có thể làm lớp móng cho đường cấp III trở xuống.

Theo TCVN 10380-2014 [26]: Đường giao thông nông thôn – Yêu cầu thiết kế thì BTXM làm lớp mặt phải có có cường độ chịu nén 25 - 30MPa, như vậy chỉ có BTĐL không sử dụng cốt liệu tái chế mới có thể sử dụng làm lớp mặt.

*** Ví dụ 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

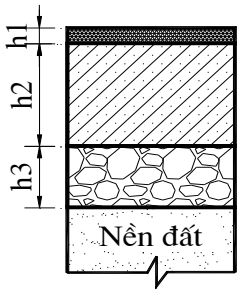
Ứng suất trong tấm BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế vẫn nhỏ hơn giới hạn cho phép, tuy nhiên vì điều kiện cấu tạo kết cấu chưa thỏa mãn nên không sử dụng lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế làm lớp mặt đường cứng theo Quyết định 3230/QĐ-BGTVT.

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

a. Kết cấu mặt đường cho đường giao thông nông thôn

- Các kết cấu mặt đường cho đường giao thông nông thôn, phạm vi áp dụng, phương pháp tính toán, chiều dày các lớp được trình bày trong Bảng 4-17.

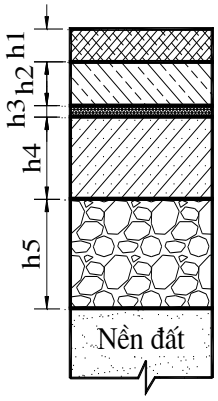
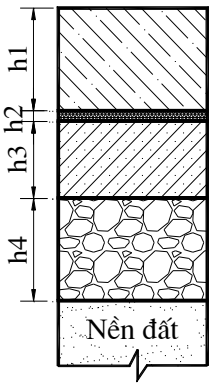
Bảng 4-17. Kết cấu áo đường cho đường giao thông nông thôn

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		

b. Kết cấu mặt đường cho đường ô tô

Các kết cấu áp dụng cho đường ô tô công cộng từ cấp III trở xuống và đường cấp cao A1 như Bảng 4-18, còn đối với đường cấp cao A2 thì có thể dùng các kết cấu như đường giao thông nông thôn được trình bày ở Bảng 4-17.

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		

4.2.5.2. Mô hình phân tích kết cấu mặt đường mềm có lớp móng bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ

Để xác nhận các kết cấu đã đề xuất, tiến hành tính toán đại diện 1 kết cấu theo tiêu chuẩn thiết kế.

- Kết cấu kiểm toán là mặt đường bê tông nhựa cấp cao A1.

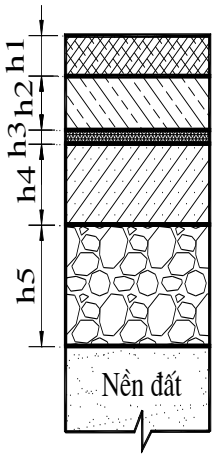
- Thiết kế theo tiêu chuẩn AASHTO93 (22TCN 274-01).

- Thời gian tính toán kết cấu t = 15 năm.

- Hệ số tăng trưởng q = 5%, hệ số độ tin cậy R = 90%, hệ số lớp a của lớp móng BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế được tra theo cường độ chịu nén không nở hông 7 ngày tuổi ở toán đồ hình Hình 4-30.

Kết quả tổng hợp hệ số lớp trình bảy bảng 5-2 phụ lục 5 , nhận thấy đối với BTĐL sử dụng 40% CLTC đều có hệ số a = 0,28. Hệ số lớp BTĐL sử dụng 80% CLTC thì khác nhau đối với các loại xi măng và loại cốt liệu tái chế.

Bảng 4-19. Kết cấu áo đường điển hình sử dụng BTĐL-CLTC làm lớp móng

Kết cấu	**Thông số kỹ thuật**		**Phạm vi áp dụng**
	Lớp vật liệu	**Chiều dày, cm**	
KC5 	- Lớp BTNC 12,5	5	- 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	
	- Lớp láng nhựa 2 lớp theo TCVN 8863:2011	2	
	- Lớp BTĐL 40%CLTC	12	
	- Lớp CPĐD loại I	18	
	- Nền đất		

Tính toán kết cấu áo đường điển hình dùng bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế làm lớp móng theo tiêu chuẩn 22TCN 274-01.

Tính các thông số thiết kế theo tiêu chuẩn 22TCN 274 - 01							
Trục xe tích lu theo 22TCN2701 **W18**	Trị số sức chịu tải của nền đất **CBR** (%)	Mô đun đàn hồi hữu hiệu của nền **MR** (PSi)	Mức độ tin cậy **R**(%)	Độ lệch tiêu chuẩn **Zr**	Sai số tiêu chuẩn **So**	Mức giảm tr số phục vụ của đường **DPSI**(4.2-2.2	Chỉ số kết cấu thiết kế yêu cầu **SN**
1.943.007	8,0	6091	90	-1,282	0,45	2	4,014
			D1	5	Bê tông nhựa BTNC12.5		
			D2	7	Bê tông nhựa BTNC19		
			D3	12	RCC RAP 40%		
			D4	16	Cấp phối đá dăm loại I		
Các giá trị xác định được của kết cấu:							
a1=	0,370	a2=	0,350	a3=	0,280	a4=	0,260
m1=	1,000	m2=	0,900	m3=	0,850	m4=	0,800
Giải phương trình được:			**SN=**	**4,014**			
Phương trình xác định các chiều dày D1, D2, D3, D4							
	2.54SN = D1.a1 + D2.a2.m2 + D3.a3.m3 + D4.a4.m4						
Từ chiều dày kết cấu tính theo 22TCN211.06 xác định được SN							
	SN=	**4,03110236**					
Kết luận:		**Đạt**					

Phân tích mô hình kết cấu áo đường mềm sử dụng lớp móng BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế đạt kết quả tốt. Như vậy, lớp móng BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế có thể sử dụng trong kết cấu áo đường mềm. Tương tự, phân tích mô hình với kết cấu áo đường cứng có lớp móng BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế cũng đạt kết quả tốt đảm bảo khả năng chịu lực.

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

Trong phần này, lập dự toán cho kết cấu áo đường dùng lớp bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu tái chế và kết cấu áo đường dùng lớp BTXM thông thường, từ đó, so sánh đánh giá tính kinh tế của chúng.

BÀI TOÁN ĐẦU VÀO

Xây dựng bãi đỗ xe có chiều dài 50m rộng 20m sử dụng 03 loại kết cấu mặt là BTĐL sử dụng cốt liệu tái chế, BTXM M20, BTXM M25 dùng xi măng PC40, cát và đá lấy tại cùng 1 mỏ, cùng nguồn nước, cùng 1 loại trạm trộn, có cự ly vận

chuyển như nhau và khi thi công sử dụng máy rải SP500. Các loại kết cấu được lựa chọn sau khi kiểm toán với tải trọng trục 100 KN, tải trọng trục nặng nhất 240 KN, tải trọng bánh xe lớn nhất 120 KN đều đạt yêu cầu thiết kế.

Kết cấu áo đường của bãi đỗ xe gồm:

- Nền đất á cát, $K_3 = 40$ MN/m^3
- Lớp móng cấp phối đá dăm dày 20 cm: E = 300 MPa, $K_2 = 320$ MN/m^3
- Lớp mặt là 1 trong lớp sau:

+ Lớp mặt sử dụng lớp BTĐL sử dụng CLTC chiều dày 20 cm.

+ Lớp mặt BTXM M20 chiều dày 22 cm.

+ Lớp mặt BTXM M25 chiều dày 20 cm.

Bảng 4-20, Bảng 4-21, Bảng 4-22 tổng hợp kinh phí của các kết cấu áo đường dùng cho bãi đỗ xe và trình bày chi tiết trong phụ lục 6.

Bảng 4-20. Bảng tổng hợp kinh phí hạng mục KCAD BTĐL sử dụng CLTC

BẢNG TỔNG HỢP KINH PHÍ HẠNG MỤC

CÔNG TRÌNH: BÃI ĐỖ XE DÙNG LỚP MẶT BTĐL SỬ DỤNG CLTC

HẠNG MỤC : Bãi đỗ xe rộng 20 m, dài 50 m, dày 20 cm

(ND68_03: Tính theo đơn giá Nhà nước (PP bù giá). Chi phí chung theo CF trực tiếp C=T x tỷ lệ)

Đơn vị: đồng

STT	Khoản mục chi phí	Ký hiệu	Cách tính	Thành tiền
1	Chi phí vật liệu	VL	A1	183.476.007
	- Đơn giá vật liệu	A1	Lấy ở bảng tiên lượng	266.475.657
2	Chi phí nhân công	NC	B1	12.762.086
	- Đơn giá nhân công	B1	Lấy ở bảng tiên lượng	12.762.086
3	Chi phí máy thi công	M	C1+ BCM	32.863.314
	- Đơn giá máy	C1	Lấy ở bảng tiên lượng	29.763.782
	- Bù giá ca máy	BCM	Lấy ở bảng Máy TC	3.099.531
I	CHI PHÍ TRỰC TIẾP	T	VL + NC + M	229.101.407
II	CHI PHÍ GIÁN TIẾP	GT	C+LT+TT+GTk	25.201.155
1	- Chi phí chung	C	T x 7,3%	16.724.403

STT	Khoản mục chi phí	Ký hiệu	Cách tính	Thành tiền
2	- Chi phí nhà tạm để ở và điều hành TC	LT	T x 1,2%	2.749.217
3	- Chi phí không xác định được KL từ TK	TT	T x 2,5%	5.727.535
III	THU NHẬP CHỊU THUẾ TÍNH TRƯỚC	TL	(T + GT) x 5,5%	13.986.641
	Chi phí xây dựng trước thuế	G	T + GT + TL	268.289.203
V	THUẾ GIÁ TRỊ GIA TĂNG	GTGT	G x 10%	26.828.920
	Chi phí xây dựng sau thuế	GXD	G + GTGT	295.118.123
Bằng chữ: Hai trăm chín mươi năm triệu một trăm mười tám ngàn một trăm hai mươi ba đồng chẵn./.				

Bảng 4-21. Bảng tổng hợp kinh phí hạng mục KCAD BTXM M20

BẢNG TỔNG HỢP KINH PHÍ HẠNG MỤC

CÔNG TRÌNH: BÃI ĐỖ XE DÙNG LỚP MẶT BÊ TÔNG XI MĂNG M20

HẠNG MỤC : Bãi đỗ xe rộng 20 m, dài 50 m, dày 22 cm

(ND68_03: Tính theo đơn giá Nhà nước (PP bù giá). Chi phí chung theo CF trực tiếp C=T x tỷ lệ)

Đơn vị: đồng

STT	Khoản mục chi phí	Ký hiệu	Cách tính	Thành tiền
1	Chi phí vật liệu	VL	A1	156.092.190
	- Đơn giá vật liệu	A1	Lấy ở bảng tiên lượng	156.092.190
2	Chi phí nhân công	NC	B1	63.606.349
	- Đơn giá nhân công	B1	Lấy ở bảng tiên lượng	63.606.349
3	Chi phí máy thi công	M	C1	58.174.482
	- Đơn giá máy	C1	Lấy ở bảng tiên lượng	58.174.482
I	CHI PHÍ TRỰC TIẾP	T	VL + NC + M	277.873.020
II	CHI PHÍ GIÁN TIẾP	GT	C+LT+TT+GTk	30.566.032

STT	Khoản mục chi phí	Ký hiệu	Cách tính	Thành tiền
1	- Chi phí chung	C	T x 7,3%	20.284.730
2	- Chi phí nhà tạm để ở và điều hành TC	LT	T x 1,2%	3.334.476
3	- Chi phí không xác định được KL từ TK	TT	T x 2,5%	6.946.826
III	THU NHẬP CHỊU THUẾ TÍNH TRƯỚC	TL	(T + GT) x 5,5%	16.964.148
	Chi phí xây dựng trước thuế	G	T + GT + TL	325.403.200
V	THUẾ GIÁ TRỊ GIA TĂNG	GTGT	G x 10%	32.540.320
	Chi phí xây dựng sau thuế	GXD	G + GTGT	357.943.521
Bằng chữ: Ba trăm năm mươi bảy triệu chín trăm bốn mươi ba ngàn năm trăm hai mươi mốt đồng chẵn./.				

Bảng 4-22. Bảng tổng hợp kinh phí hạng mục KCAD BTXM M25

BẢNG TỔNG HỢP KINH PHÍ HẠNG MỤC

CÔNG TRÌNH: BÃI ĐỖ XE DÙNG LỚP MẶT BÊ TÔNG XI MĂNG M25

HẠNG MỤC : Bãi đỗ xe rộng 20 m, dài 50 m, dày 20 cm

(ND68_03: Tính theo đơn giá Nhà nước (PP bù giá). Chi phí chung theo CF trực tiếp C=T x tỷ lệ)

Đơn vị: đồng

STT	Khoản mục chi phí	Ký hiệu	Cách tính	Thành tiền
1	Chi phí vật liệu	VL	A1	152.529.675
	- Đơn giá vật liệu	A1	Lấy ở bảng tiên lượng	152.529.675
2	Chi phí nhân công	NC	B1	57.854.802
	- Đơn giá nhân công	B1	Lấy ở bảng tiên lượng	57.854.802
3	Chi phí máy thi công	M	C1	52.944.300
	- Đơn giá máy	C1	Lấy ở bảng tiên lượng	52.944.300

STT	Khoản mục chi phí	Ký hiệu	Cách tính	Thành tiền
I	CHI PHÍ TRỰC TIẾP	T	VL + NC + M	263.328.778
II	CHI PHÍ GIÁN TIẾP	GT	C+LT+TT+GTk	28.966.166
1	- Chi phí chung	C	T x 7,3%	19.223.001
2	- Chi phí nhà tạm để ở và điều hành TC	LT	T x 1,2%	3.159.945
3	- Chi phí không xác định được KL từ TK	TT	T x 2,5%	6.583.219
III	THU NHẬP CHỊU THUẾ TÍNH TRƯỚC	TL	(T + GT) x 5,5%	16.076.222
	Chi phí xây dựng trước thuế	G	T + GT + TL	308.371.165
V	THUẾ GIÁ TRỊ GIA TĂNG	GTGT	G x 10%	30.837.117
	Chi phí xây dựng sau thuế	GXD	G + GTGT	339.208.282
Bằng chữ: Ba trăm ba mươi chín triệu hai trăm linh tám ngàn hai trăm tám mươi hai đồng chẵn./.				

Kết quả tính dự toán của các kết cấu áo đường dùng BTĐL 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

Trên cơ sở nghiên cứu thí nghiệm trong phòng, thực nghiệm hiện trường và những phân tích đánh giá kết quả thí nghiệm, luận án có những đóng góp sau:

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 cốt liệu cào bóc từ bê tông nhựa cũ trong xây dựng đường ô tô tại Việt Nam.
2. Đã 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 khác nhau với các hàm lượng cốt liệu tái chế (0%, 40% và 80%) sử dụng các hàm lượng chất kết dính khác nhau (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 bê tông đầm lăn 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:

   $$R_n = 2,248 + 8,559.R_{ec} \text{ (MPa)}$$

   - 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).*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

I. TIẾNG VIỆT

1. Bộ Giao thông vận tải (2001), *22TCN 274-01: Chỉ dẫn thiết kế mặt đường mềm*

2. Bộ Giao thông vận tải (2006), *22TCN 211-06: Áo đường mềm – Các yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế*

3. Bộ Giao thông vận tải (2006), *22TCN 332-06: Quy trình thí nghiệm xác định chỉ số CBR của đất, đá dăm trong phòng thí nghiệm*

4. Bộ Giao thông vận tải (2006), *22TCN 333-06: Quy trình đầm nén đất, đá dăm trong phòng thí nghiệm*

5. Bộ Giao thông vận tải (2006), *22TCN 346-06:2006: Quy trình thí nghiệm xác định độ chặt nền đường bằng phiễu rót cát*

6. Bộ Giao thông vận tải (2011), *TCVN 8863:2011: Mặt đường láng nhựa nóng – Thi công và nghiệm thu*

7. Bộ Giao thông vận tải (2011), *TCVN 8864:2011: Mặt đường ô tô – Xác định độ bằng phẳng bằng thước dài 3,0 mét*

8. Bộ Giao thông vận tải (2011), *TCVN 8871:2011: Vải địa kỹ thuật – Phần 1-6: Phương pháp thử*

9. Bộ Giao thông vận tải (2012), *TCVN 9505:2012: Mặt đường láng nhũ tương nhựa đường axit – Thi công và nghiệm thu*

10. Bộ Giao thông Vận tải (2012), *Quyết định số 3230/QĐ-BGTVT quy định tạm thời về thiết kế mặt đường BTXM thông thường có khe nối trong xây dựng công trình giao thông*

11. Bộ Giao thông vận tải (2015), *Quyết định số 4451/QĐ-BGTVT: Quy định tạm thời về thiết kế mặt đường BTXM đầm lăn trong xây dựng công trình giao thông*

12. Bộ Giao thông vận tải (2015), *Quyết định số 4452/QĐ-BGTVT: Quy định tạm thời về kỹ thuật thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông đầm lăn trong xây dựng công trình giao thông*

13. Bộ Khoa học công nghệ (2006), *TCVN 7572-1:2006: Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử - Phần 1: Lấy mẫu*

14. Bộ Khoa học công nghệ (2006), *TCVN 7572-2:2006: Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử - Phần 2: Xác định thành phần hạt*

15. Bộ Khoa học công nghệ (2006), *TCVN 7572-4:2006: Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử - Phần 4: Xác định khối lượng riêng, khối lượng thể tích và độ hút nước*

16. Bộ Khoa học công nghệ (2006), *TCVN 7572-5:2006: Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử - Phần 5: Xác định khối lượng riêng, khối lượng thể tích và độ hút nước của đá gốc và các hạt cốt liệu lớn*

17. Bộ Khoa học công nghệ (2006), *TCVN 7572-6:2006: Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử - Phần 6: Xác định khối lượng thể tích xốp và độ hổng*

18. Bộ Khoa học công nghệ (2006), *TCVN 7572-9:2006: Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử - Phần 9: xác định tạp chất hữu cơ*

19. Bộ Khoa học công nghệ (2006), *TCVN 7572:2006: Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử*

20. Bộ Khoa học công nghệ (2011), *TCVN 8859:2011: Lớp móng cấp phối đá dăm trong kết cấu áo đường ô tô – Vật liệu, thi công và nghiệm thu*

21. Bộ Khoa học công nghệ (2011), *TCVN 8860-1:2011: Bê tông nhựa – Phương pháp thử - Phần 1: Xác định độ ổn định, độ dẻo Marshall*

22. Bộ Khoa học công nghệ (2011), *TCVN 8861:2011: Xác định mô đun đàn hồi nền, mặt đường bằng tấm ép cứng*

23. Bộ Khoa học công nghệ (2012), *TCVN 4197:2012: Phương pháp xác định giới hạn dẻo và giới hạn chảy trong phòng thí nghiệm*

24. Bộ Khoa học công nghệ (2012), *TCVN 4201:2012: Đất xây dựng-phương pháp xác định độ chặt tiêu chuẩn trong phòng thí nghiệm*

25. Bộ Khoa học công nghệ (2012), *TCVN 9436:2012: Nền đường ô tô – Thi công và nghiệm thu*

26. Bộ Khoa học công nghệ (2014), *TCVN 10380:2014: Đường giao thông nông thôn – Yêu cầu thiết kế*

27. Bộ Khoa học công nghệ (2014), *TCVN 4198:2014: Đất xây dựng - các phương pháp xác định thành phần hạt trong phòng thí nghiệm*

28. Bộ Khoa học công nghệ (2011), *TCVN 8828:2011: Bê tông – Yêu cầu bảo dưỡng ẩm tự nhiên*

29. Bộ Khoa học công nghệ (1993), *TCVN 3113:1993: Bê tông nặng – Phương pháp xác định độ hút nước*

30. Bộ Khoa học công nghệ (1993), *TCVN 3115:1993: Bê tông nặng – Phương pháp xác định khối lượng thể tích*

31. Bộ Khoa học công nghệ (1993), *TCVN 3117:1993: Bê tông nặng – Phương pháp xác định độ co*

32. Bộ Khoa học công nghệ (2009), *TCVN 2682:2009: Xi măng Pooclang – Yêu cầu kỹ thuật*

33. Bộ Khoa học công nghệ (2009), *TCVN 6260:2009: Xi măng Pooclang hỗn hợp – Yêu cầu kỹ thuật*

34. Bộ Khoa học công nghệ (2011), *TCVN 8825:2011: Phụ gia khoáng cho bê tông đầm lăn*

35. Bộ Khoa học công nghệ (2012), *TCVN 4506:2012: Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*

36. Bộ Khoa học công nghệ (2018), *TCVN 11969:2018: Cốt liệu lớn tái chế cho bê tông*

37. Bộ Xây dựng (2017), Quyết định số 217/QĐ-BXD chỉ dẫn kỹ thuật *"Mặt đường bê tông xi măng đầm lăn sử dụng tro bay"*

38. Đỗ Văn Thái (2019), *Nghiên cứu sử dụng đất đá thải từ các mỏ than khu vực Cẩm Phả, Quảng Ninh làm đường ô tô*, Luận án tiến sỹ kỹ thuật

39. Hoàng Phó Uyên (2008), *Phương pháp thiết kế cấp phối hỗn hợp bê tông đầm lăn,* Hiệp hội đập lớn và phát triển nguồn nước Việt Nam

40. Nguyễn Quang Chiêu (2011), *Dùng bê tông đầm lăn làm mặt đường ô tô*, Tạp chí Giao thông vận tải

41. Nguyễn Quang Chiêu, Lã Văn Chăm (2008), *Xây dựng nền đường ô tô*, Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội

42. Nguyễn Quang Chiêu, Phạm Huy Khang (2010), *Xây dựng mặt đường ô tô*, Nhà xuất bản giao thông vận tải, Hà Nội

43. Nguyễn Quang Hiệp, Lê Quang Hùng (2003), *Phát triển công nghệ bê tông đầm lăn cho thi công mặt đường ở Việt Nam*, Hội thảo khoa học Quốc tế Xi măng và Công nghệ BT

44. Nguyễn Thanh Sang, Trương Văn Quyết, Phạm Đình Huy Hoàng (2021), *Thiết kế thành phần và đặc tính kỹ thuật của bê tông đầm lăn hàm lượng tro bay cao làm lớp móng mặt đường ô tô*, Tạp chí Giao thông vận tải

45. Nguyễn Thị Thu Ngà (2016), *Nghiên cứu các thông số chủ yếu của bê tông đầm lăn trong tính toán kết cấu mặt đường ô tô và sân bay*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Giao thông vận tải, Hà Nội

46. Nguyễn Xuân Trục, Dương Học Hải, Vũ Đình Phụng (2001), *Sổ tay thiết kế đường ô tô*, Nhà xuất bản Giáo dục

47. Phạm Hữu Thanh (2007), *Thiết kế thành phần bê tông đầm lăn,* Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng

48. Võ Đại Tú, Trương Công Lực (2017), *Thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa tái chế hàm lượng mặt đường nhựa cũ 40% tại trạm trộn bằng công nghệ truyền nhiệt gián tiếp sử dụng phụ gia,* Tạp chí Giao thông vận tải

II. TIẾNG ANH

49. ACI 211.3R-02, *Guide for selecting proportions for No-Slump Concrete, American Concrete Institute*

50. ACI 325.10R-95 (Reapproved 2001), *Report on Roller Compacted Concrete Pavements, American Concrete Institute*

51. ASTM C33, *Standard Specification for Concrete Aggregates*

52. ASTM C39, *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*

53. ASTM C469, *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*

54. ASTM C496, *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*

55.ASTM D1557, *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort*

56. Abrams Duff (1918), *Design of Concrete Mixtures Bulletin No.1,* Structural Materials Laboratory, Lewis Institute, Chicago, 1918, p.20

57. Alireza Mahdavi, Abolfazl Mohammadzadeh Moghaddam, Mohammad Dareyni (2021), *Durability and mechanical properties of roller compacted concrete containing coarse reclaimed asphalt pavement*, Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

58. Amir Modarres, *Mechanical properties of roller compacted concrete containing rice husk ash with original and recycled asphalt pavement material*, Materials and Design 64:227–236

59. Ana Jiménez del Barco Carrión, Davide Lo Prestia, Simon Pouget, Gordon Airey, Emmanuel Chailleux, *Linear viscoelastic properties of high reclaimed asphalt content mixes with biobinders*

60. Chafika Settari, Farid Debieb, Hadj Kadri El, Boukendakdji O (2015), *Assessing the effects of recycled asphalt pavement materials on the performance of roller compacted concrete*, Construction and Building Materials 101:617-621

61. Christopher Richard Tomlinson (2012), *The Effect of High RAP and High Asphalt Binder Content on the Dynamic Modulus and Fatigue Resistance of Asphalt Concrete,* Master of Science In Civil Engineering

62. Cosentino P.J and Kalajian E.H (2001), *Developing Specifications for Using Recycled Asphalt Pavement as Base, Subbase or General Fill Material*, Florida Institute of Technology Final Report for Contract Number BB-892, Melbourne

63. Dale Harrington et al (2010), *Guide for rolled-compacted concrete pavements*, National Concrete Pavement Technology Center

64. Delwar M, Fahmy M, et al (1997), *Use of reclaimed asphalt pavement as an aggregate in portland cement concrete*, ACI Materials Journal

65. Dharamveer Singh, Musharraf Zaman & Sesh Commuri (2012), *Inclusion of aggregate angularity, texture, and form in estimating dynamic modulus of asphalt mixes*, Road Materials and Pavement Design

66. Edward J.Hoppe, Stephen Lane D, Michael Fitch G, Sameer Shetty (2015), *Feasibility of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Use As Road Base and Subbase Material*, Virginia Center for Transportation Innovation and Research

67. Grilli Andrea, Bocci Edoardo & Graziani Andrea (2013), *Influence of reclaimed asphalt content on the mechanical behaviour of cement-treated mixtures*, Road Materials and Pavement Design

68. Guthrie S.W, Cooley D, and Eggett D.L (2007), *Effects of Reclaimed Asphalt Pavement on Mechanical Properties of Base Materials*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington

69. Haneen Adil Mohammed (2018), *Design and evaluation of two – layer roller compacted concrete*, Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor Philosophy Department of Civil Engineering

70. Hedelvan Emerson Fardin and Adriana Goulart dos Santos (2020), *Roller Compacted Concrete with Recycled Concrete Aggregate for Paving Bases,* Civil Engineering Department, Santa Catarina State University, Joinville, Santa Catarina 89219-710, Brazil

71. Hoyos L.R, Puppala A.J, and Ordonez C.A (2011), *Characterization of Cement-Fiber-Treated Reclaimed Asphalt Pavement Aggregates*: *Preliminary Investigation*, Journal of Materials in Civil Engineering

72. Kamal H.Khayat, Nicolas Ali Libre (2014), *Roller Compacted Concrete - Field Evaluation and Mixture Optimization*, Missouri University of Science and Technology

73. Kevin Bilodeau, Cedric Sauzeat, Herve Di Benedetto, François Olard (2012), *Effect of reclaimed asphalt pavement on cement treated materials for road base layer*, Materials Science, Engineering

74. Li X, Clyne T.R, and Marasteanu M.O (2004), *Recycled asphalt pavement (RAP) effects on binder and mixture quality*, University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA, Final report MN/RC-2005-02

75. Locander R (2009), *Analysis of Using Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) As a Base Course Material*, Report No CDOT-2009-5 Final Report, Colorado Department of Transportation - Research, Denver

76. Luc Courard, Frédéric Michel, Pascal Delhez (2009), *Use of concrete road recycled aggregates for Roller Compacted Concrete*, Construction and Building Materials

77. Michael S.Sondag, Bruce A.Chadbourn, and Andrew Drescher (2002), *Investigation Of Recycled Asphalt Pavement (RAP) Mixtures,* Technical Report Documentation Page

78. Mustapha Zdiri, Nor-edine Abriak, Mongi Ben Ouezdou, Jamel Neji (2020), *Formulation and Proportioning Simulation of the Roller Compacted Concrete, Case of the Local Materials Quarries*, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering

79. Nguyen M.L, Balay J.M, Benedetto H.Di, Sauzéat C, Bilodeau K, Olard F, Héritier B, Dumont H & Bonneau D (2017), *Evaluation of pavement materials containing RAP aggregates and hydraulic binder for heavy traffic pavement,* Road Materials and Pavement Design

80. Salma Jaawani, Annalisa Franco, Giuseppina De Luca, Orsola Coppola and Antonio Bonati (2021), *Limitations on the Use of Recycled Asphalt Pavement in Structural Concrete* , Construction Technologies Institute of the Italian National Research Council, ITC-CNR, San Giuliano Milanese, 20098 Milan, Italy

81. Salvatore Mangiafico1, Hervé Di Benedetto, Cédric Sauzéat, François Olard, Simon Pouget and Luc Planque (2016), *Relations between Linear ViscoElastic Behaviour of Bituminous Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement and Colloidal Structure of Corresponding Binder Blends*, Procedia Engineering Volume 143, Pages 138–145

82. Shahadan Z, Hamzah M, Yahya A.S, Jamshidi A (2020), *Evaluation of the dynamic modulus of asphalt mixture incorporating reclaimed asphalt pavement,* Indian Journal of Engineering and Materials Sciences 20(5):376-384

83.Solomon Debbarma, Ransinchung R.N GN (2020)*, Morphological Characteristics of Roller – Compacted concrete Mixes Containing Reclaimed Asphalt Pavement Aggregates,* Indian Concrete Journal 94(9):63-73

84. Solomon Debbarma, Ransinchung R.N G.N, Surender Singh (2019), *Feasibility of roller compacted concrete pavement containing different fractions of reclaimed asphalt pavement,* Construction and Building Materials 199

85. Yaser Bashkoul, Hassan Divandari (2018), *Evaluate the use of Recycled Asphalt Pavement (RAP) in the Construction of Roller Compacted Concret Pavement (RCC),* Civil Engineering Journal 4(5):1157

86. Yavuz Abut, Taner Yildirim S (2019), *An investigation on the durability properties of RAP-containing roller compacted concrete pavement*, Article in European Journal of Environmental and Civil Engineering

87. Yuan D, Nazarian S, Hoyos L.R and Puppala A.J (2010), *Cement Treated RAP Mixes for Roadway Bases*, Technical Report

88. Zahid Hossain and Musharraf Zaman (2020), *Prediction of Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalts with Reclaimed Asphalt Pavement*, Hindawi Advances in Civil Engineering Volume 2020, Article ID 8672654, 13 pages

89.Ziyad Majeed Abed, Abeer Abdulqader Salih (2017), *Effect of Using Lightweight Aggregate on Properties of Roller-Compacted Concrete*, Technical Paper, Title No. 114-M45