ĐỀ XUẤT KIỂM SOÁT CHẤT LƯỢNG CÔNG NGHỆ TÁI CHẾ NGUỘI TẠI CHỖ BẰNG NHỰA ĐƯỜNG BỌT KẾT HỢP XI MĂNG CHO KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG Ở VIỆT NAM

ThS. BÙI THỊ MAI HƯƠNG
Bộ môn Đường ô tô và Sân bay - Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông Vận tải
Email: huongbuiutc@utc.edu.vn

Phản biện: TS. Phạm Duy Linh
TS. Nguyễn Thị Quỳnh Trang

TÓM TẮT

Tái chế nguội tại chỗ (Cold In-place Recycling - CIR) bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng là công nghệ thi công mặt đường tiên tiến, cho phép tận dụng vật liệu hiện hữu, giảm tiêu thụ tài nguyên và phát thải khí nhà kính so với các phương pháp sửa chữa truyền thống. Mặc dù đã được nghiên cứu và áp dụng tại nhiều quốc gia và bước đầu triển khai ở Việt Nam, việc áp dụng rộng rãi công nghệ này còn hạn chế do thiếu hướng dẫn kỹ thuật và quy trình kiểm soát chất lượng phù hợp với điều kiện trong nước. Bài báo tổng hợp cơ sở khoa học của công nghệ Tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng, phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng lớp tái chế và đề xuất kiểm soát chất lượng khả thi cho điều kiện Việt Nam. Kết quả cho thấy lớp tái chế nguội có thể đạt cường độ nén 7 ngày khoảng 1,5-2,5 MPa và mô đun đàn hồi 1.500-3.000 MPa, đáp ứng yêu cầu làm lớp móng cho đường ô tô cấp thấp và trung bình.

Từ khóa: tái chế nguội tại chỗ; nhựa đường bọt; xi măng; kiểm soát chất lượng; mặt đường ô tô.

ABSTRACT

Cold in-place recycling (CIR) using foamed bitumen combined with cement is an advanced pavement rehabilitation technology that promotes reuse of existing materials while reducing natural resource consumption and greenhouse gas emissions. Although CIR has been increasingly studied and applied worldwide and has been preliminarily implemented in Vietnam, its wider application is constrained by the lack of technical guidelines and quality control procedures adapted to local conditions. This paper reviews the scientific basis of CIR technology, analyzes key factors affecting the performance of recycled layers, and proposes a feasible quality control framework for Vietnamese conditions. The results show that cold recycled layers can achieve a 7-day compressive strength of about 1.5-2.5 MPa and an elastic modulus of 1,500-3,000 MPa, meeting the requirements for base layers of low- and medium-class highways.

Keywords: cold in-place recycling; foamed asphalt; cement; quality control; highway pavement.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống đường bộ Việt Nam hiện nay đang chịu áp lực lớn do lưu lượng giao thông tăng nhanh, trong khi nhiều tuyến đường được xây dựng từ lâu với tiêu chuẩn kỹ thuật thấp. Hư hỏng mặt đường như nứt, ổ gà, lún vệt bánh xe xuất hiện phổ biến, đặc biệt trên các tuyến quốc lộ và đường địa phương. Phương pháp sửa chữa truyền thống như bóc dỡ và thảm lại bê tông nhựa nóng tuy mang lại hiệu quả tức thời nhưng tiêu tốn nhiều vật liệu mới, chi phí cao và gây ảnh hưởng lớn đến môi trường.

Trong bối cảnh phát triển bền vững và kinh tế tuần hoàn được đặt lên hàng đầu, công nghệ tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng nổi lên như một giải pháp phù hợp. Công nghệ này cho phép tái sử dụng gần như toàn bộ vật liệu áo đường cũ ngay tại hiện trường, giảm đáng kể khối lượng vận chuyển và thời gian thi công. Mặc dù đã có một số dự án thí điểm tại Việt Nam, việc thiếu các hướng dẫn cụ thể về kiểm soát chất lượng khiến cho kết quả thi công chưa đồng đều. Do đó, việc nghiên cứu và đề xuất một quy trình kiểm soát chất lượng phù hợp là cần thiết nhằm nâng cao hiệu quả áp dụng công nghệ CIR trong thực tế.

2. CƠ SỞ KHOA HỌC CỦA CÔNG NGHỆ TÁI CHẾ NGUỘI BẰNG NHỰA ĐƯỜNG BỌT VÀ XI MĂNG

2.1. Nguyên lý tạo nhựa đường bọt

Nhựa đường bọt (foamed bitumen) được tạo ra bằng cách đưa một lượng nước rất nhỏ, thường trong khoảng 2-3% theo khối lượng nhựa đường, cùng với khí nén vào dòng nhựa đường đang được gia nhiệt ở nhiệt độ cao, phổ biến từ 160 đến 180°C. Khi nước tiếp xúc

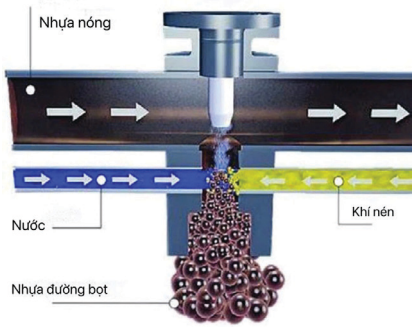
trực tiếp với nhựa đường nóng, quá trình bốc hơi diễn ra gần như tức thời, làm thể tích nhựa đường giãn nở nhanh chóng và hình thành trạng thái bọt trong thời gian rất ngắn.

Sự giãn nở thể tích của nhựa đường trong trạng thái bọt có thể đạt mức gấp khoảng 10-15 lần so với thể tích ban đầu. Đồng thời, độ nhớt biểu kiến của nhựa đường giảm đáng kể trong giai đoạn tồn tại của bọt, giúp nhựa đường dễ dàng phân tán và bao phủ bề mặt cốt liệu khi trộn với vật liệu tái chế nguội. Đặc điểm này cho phép quá trình trộn diễn ra hiệu quả ngay cả khi nhiệt độ của vật liệu khoáng thấp, khác với công nghệ bê tông nhựa nóng truyền thống.

Hai chỉ tiêu kỹ thuật quan trọng thường được sử dụng để đánh giá chất lượng nhựa đường bọt là hệ số giãn nở (Expansion Ratio - ER) và thời gian bán hủy (Half-life - HL). Hệ số giãn nở thể hiện mức độ mở rộng thể tích của nhựa đường sau khi tạo bọt, trong khi thời gian bán hủy phản ánh khả năng duy trì trạng thái bọt trước khi bọt sụp xuống. Thông thường, nhựa đường bọt được coi là đạt yêu cầu khi hệ số giãn nở lớn hơn 8-10 lần và thời gian bán hủy đạt tối thiểu 6-10 giây, đảm bảo đủ thời gian để quá trình trộn diễn ra đồng đều.

Sau khi bọt sụp xuống, nhựa đường chuyển dần về trạng thái bán rắn, hình thành các điểm liên kết bitum phân bố trong khung cốt liệu tái chế. Cơ chế liên kết của lớp vật liệu tái chế không dựa trên việc bao phủ hoàn toàn cốt liệu như bê tông nhựa nóng, mà chủ yếu thông qua các cầu nối bitum tại các điểm tiếp xúc giữa các hạt. Nhờ đó, lớp tái chế có khả năng phân tán ứng suất tốt hơn, giảm nguy cơ nứt giòn so với các lớp gia cố bằng chất kết dính vô cơ đơn thuần.

Việc kiểm soát các thông số tạo bọt như nhiệt độ nhựa đường, hàm lượng nước phun vào và áp suất khí nén đóng vai trò quyết định đến chất lượng nhựa đường bọt. Nếu hàm lượng nước quá thấp, hiệu quả tạo bọt sẽ không đạt yêu cầu; ngược lại, nếu lượng nước quá lớn, nhựa đường dễ bị phân tách và ảnh hưởng đến cường độ của lớp tái chế. Do đó, các thông số này cần được xác định thông qua thí nghiệm trong phòng trước khi áp dụng vào thi công thực tế.



Hình 1: Sơ đồ nguyên tắc phun nước và khí vào nhựa đường nóng để tạo nhựa đường bọt - ở đây nước gặp nhựa nóng tạo bọt do nước bốc hơi nhanh, giúp bitumen mở rộng thể tích và giảm độ nhớt, dễ phủ cốt liệu khi trộn.

2.2. Vai trò của xi măng trong hỗn hợp tái chế nguội

Trong công nghệ tái chế nguội tại chỗ sử dụng nhựa đường bọt, xi măng thường được bổ sung với hàm lượng nhỏ nhằm cải thiện các đặc tính cơ học và độ bền của lớp vật liệu tái chế. Khác với các lớp móng gia cố xi măng truyền thống, xi măng trong hỗn hợp tái chế nguội không đóng vai trò là chất kết dính chính mà hoạt động như một tác nhân gia cường, hỗ trợ cho hệ liên kết bitum hình thành từ nhựa đường bọt.

Quá trình thủy hóa của xi măng diễn ra song song với quá trình hình thành liên kết bitum, tạo nên một cấu trúc vật liệu lai, kết hợp giữa tính đàn hồi của liên kết hữu cơ và độ cứng của liên kết vô cơ. Cấu trúc này giúp lớp tái chế nguội có khả năng chịu tải sớm, đồng thời vẫn duy trì được tính dẻo cần thiết để phân tán ứng suất và hạn chế nứt gãy do co ngót hoặc do biến dạng nền. Nhờ đó, lớp vật liệu tái chế thể hiện hành vi cơ học trung gian giữa bê tông nhựa và vật liệu gia cố xi măng.

Hàm lượng xi măng trong hỗn hợp tái chế nguội thường được khuyến nghị trong khoảng 1,0-2,0% theo khối lượng vật liệu khô. Với hàm lượng này, cường độ nén sớm của lớp tái chế có thể được cải thiện rõ rệt, đặc biệt trong 7 ngày đầu sau thi công, giúp lớp móng sớm đạt trạng thái ổn định để tiếp nhận lớp áo trên. Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy khi hàm lượng xi măng vượt quá ngưỡng này, vật liệu có xu hướng trở nên quá cứng, làm tăng nguy cơ nứt giòn và giảm khả năng chịu biến dạng lặp dưới tác động của tải trọng giao thông.

Bên cạnh việc tăng cường cường độ, xi măng còn góp phần cải thiện khả năng chịu nước của lớp tái chế nguội. Các sản phẩm thủy hóa của xi măng lấp đầy một phần lỗ rỗng trong khung cốt liệu, làm giảm tính thấm nước và hạn chế sự suy giảm cường độ do tác động của nước. Điều này đặc biệt có ý nghĩa trong điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm và mưa nhiều như ở Việt Nam, nơi nước là một trong những nguyên nhân chính gây suy giảm độ bền kết cấu áo đường.

Tuy nhiên, việc sử dụng xi măng trong hỗn hợp tái chế nguội đòi hỏi phải kiểm soát chặt chẽ độ ẩm của vật liệu. Độ ẩm quá thấp sẽ làm chậm quá trình thủy hóa, trong khi độ ẩm quá cao có thể ảnh hưởng đến hiệu quả bao phủ của nhựa đường bọt và làm giảm độ chặt sau đầm nén. Do đó, việc xác định độ ẩm tối ưu thông qua thí nghiệm trong phòng là bước quan trọng trong thiết kế thành phần hỗn hợp tái chế.

2.3. Đặc điểm cơ học của lớp tái chế nguội

Lớp tái chế nguội tại chỗ sử dụng nhựa đường bọt kết hợp xi măng được xem là một dạng vật liệu bán liên kết (semi-bound material), có đặc trưng cơ học nằm giữa vật liệu gia cố xi măng truyền thống và lớp móng nhựa. Do cơ chế liên kết đồng thời của liên kết thủy hóa xi măng và liên kết dính bám của nhựa đường bọt, vật liệu này thể hiện khả năng chịu lực tốt, đồng thời duy trì được tính dẻo và khả năng phân tán ứng suất.

Các nghiên cứu thực nghiệm trong phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường cho thấy cường độ nén không nở hông của lớp tái chế nguội tăng rõ rệt theo thời gian dưỡng hộ. Sau 7 ngày, cường độ thường đạt trong khoảng 1,5-2,5 MPa, phản ánh sự hình thành ban đầu của khung liên kết do xi măng và nhựa đường bọt. Sau 28 ngày, khi quá trình thủy hóa xi măng diễn ra tương đối hoàn chỉnh, cường độ nén có thể tăng lên mức 2,5-4,0 MPa, đáp ứng yêu cầu chịu lực của lớp móng và móng trên trong kết cấu áo đường ô tô.

Bên cạnh cường độ, mô đun đàn hồi là chỉ tiêu quan trọng phản ánh khả năng chịu tải và phân bố ứng suất của lớp tái chế nguội. Giá trị mô đun đàn hồi của vật liệu tái chế nguội bằng nhựa đường bọt - xi măng thường dao động trong khoảng 1.500-3.000 MPa, phụ thuộc mạnh vào thành phần cấp phối vật liệu, hàm lượng nhựa đường bọt và xi măng, cũng như mức độ đầm nén và điều kiện dưỡng hộ. So với lớp móng gia cố xi măng truyền thống, mô đun đàn hồi của lớp tái chế nguội thường thấp hơn, qua đó giúp giảm nguy cơ nứt do co ngót và tăng khả năng làm việc đàn hồi của kết cấu áo đường.

Nhìn chung, với các đặc tính cơ học nêu trên, lớp tái chế nguội bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng đáp ứng tốt yêu cầu về cường độ và độ bền lâu dài, đồng thời phù hợp với điều kiện khai thác giao thông và khí hậu tại Việt Nam, đặc biệt trong các dự án cải tạo, nâng cấp mặt đường hiện hữu.

3. PHẠM VI ÁP DỤNG CỦA CÔNG NGHỆ TÁI CHẾ NGUỘI TẠI CHỖ BẰNG NHỰA ĐƯỜNG BỌT KẾT HỢP XI MĂNG CHO KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG

Công nghệ tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng được áp dụng chủ yếu trong cải tạo, phục hồi kết cấu áo đường mềm đã khai thác, khi lớp mặt đường nhựa xuất hiện các dạng hư hỏng tích lũy nhưng nền và móng dưới vẫn còn khả năng làm việc. Công nghệ này cho phép khôi phục khả năng chịu lực của kết cấu áo đường thông qua việc tái sử dụng vật liệu hiện hữu, đồng thời giảm thiểu chi phí và tác động môi trường.

3.1. Loại kết cấu và tình trạng mặt đường

• Tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng phù hợp với:

- Áo đường mềm (bê tông nhựa) đã khai thác nhiều năm;

- Mặt đường có hư hỏng mức độ trung bình, như:

+ Nứt mạng, nứt mỏi;

+ Bong tróc, rạn nứt lớp mặt;

+ Hằn lún bánh xe ở mức vừa;

+ Không xuất hiện biến dạng nền nghiêm trọng, không có ổ gà sâu hoặc sụt lún kết cấu.

• Tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng không phù hợp với các đoạn đường có:

- Nền đường yếu, lún sâu kéo dài;

- Phá hoại trượt hoặc biến dạng lớn của móng và nền.

3.2. Vị trí trong kết cấu áo đường

Trong kết cấu áo đường ô tô, lớp tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng thường được sử dụng làm: lớp móng trên hoặc lớp móng gia cường, phía trên được phủ lớp bê tông nhựa mới hoặc lớp áo mặt tương đương để đảm bảo khả năng chống thấm và chịu mài mòn.

3.3. Phạm vi áp dụng theo cấp hạng đường

Tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng có thể áp dụng cho: Quốc lộ, tỉnh lộ; Đường đô thị; Đường công nghiệp, đường khu công nghiệp; Các tuyến có lưu lượng và tải trọng trung bình đến khá.

Đối với các tuyến có tải trọng rất lớn hoặc xe quá tải thường xuyên, cần thiết kế chiều dày lớp CIR phù hợp và kiểm soát chặt chẽ chất lượng thi công.

3.4. Điều kiện địa chất - thủy văn

Tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng phù hợp trong điều kiện:

- Nền đường có khả năng thoát nước tương đối tốt;

- Không bị ngập nước kéo dài;

- Mực nước ngầm không ảnh hưởng trực tiếp đến lớp tái chế.

- Trong điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm như Việt Nam, cần đặc biệt chú ý: kiểm soát độ ẩm vật liệu; điều kiện dưỡng hộ sau thi công; biện pháp chống thấm cho lớp phủ phía trên.

3.5. Điều kiện tổ chức thi công và khai thác

Tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng phù hợp với các dự án: cần thi công nhanh, hạn chế thời gian cấm đường; có yêu cầu giảm vận chuyển vật liệu và phát thải; cho phép tổ chức thi công theo từng làn hoặc từng đoạn ngắn.

3.6. Phạm vi áp dụng theo công nghệ kết dính

Tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng:

- Phù hợp với điều kiện nhiệt đới, yêu cầu tính dẻo và khả năng kháng nứt tốt;

- Tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng: áp dụng khi cần tăng cường cường độ và mô đun đàn hồi của lớp móng, thường dùng cho các tuyến có yêu cầu chịu lực cao hơn.

Tóm lại, công nghệ tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng thích hợp nhất cho các tuyến đường mềm có hư hỏng trung bình, nền móng còn tốt, yêu cầu cải tạo nhanh và bền vững, đặc biệt trong các dự án nâng cấp, sửa chữa đường bộ tại Việt Nam.

4. CÁC BƯỚC THI CÔNG CÔNG NGHỆ TÁI CHẾ NGUỘI TẠI CHỖ BẰNG NHỰA ĐƯỜNG BỌT KẾT HỢP XI MĂNG

*** Bước 1.** Chuẩn bị mặt bằng và tổ chức giao thông

Hình 2: Chuẩn bị mặt bằng

• Phân luồng giao thông, bố trí rào chắn, biển báo theo phương án tổ chức thi công.

• Vệ sinh mặt đường, loại bỏ lớp bùn đất, rác thải, xử lý ổ gà lớn hoặc vị trí nền yếu cục bộ.

• Định vị tim tuyến, phạm vi và chiều sâu tái chế.

*** Bước 2.** Cào bóc - nghiền vật liệu mặt đường cũ

Hình 3: Cào bóc mặt đường cũ

Nội dung kỹ thuật

• Máy tái chế chuyên dụng cào bóc lớp bê tông nhựa cũ đến chiều sâu thiết kế (thường 8-20 cm).

• Vật liệu được nghiền nhỏ trực tiếp tại chỗ, tạo RAP có kích thước phù hợp.

- Yêu cầu kiểm soát

• Chiều sâu cào bóc đồng đều.

• Không xâm phạm lớp nền/móng dưới nếu không thiết kế.

*** Bước 3**. Tạo và phun nhựa đường bọt - xi măng

Nội dung kỹ thuật

• Nhựa đường được gia nhiệt (≈160-180°C), phun nước áp lực cao tạo nhựa đường bọt.

• Xi măng (dạng bột hoặc vữa) được cấp đồng thời theo hàm lượng thiết kế (≈2-4%).

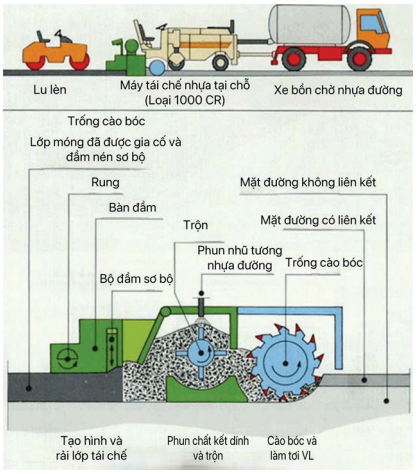
• Hệ thống phun được hiệu chuẩn trước thi công.

- Yêu cầu kiểm soát

• Tỷ lệ phun chính xác.

• Bọt nhựa có độ nở và thời gian tồn tại đạt yêu cầu.

*** Bước 4.** Trộn đều hỗn hợp tái chế tại chỗ



Hình 4: Sơ đồ nguyên lý và dây chuyền thi công tái chế nguội tại chỗ

Nội dung kỹ thuật

• RAP, nhựa đường bọt, xi măng và nước được trộn đồng đều trong buồng trộn của máy.

• Đảm bảo mọi hạt vật liệu đều được bao phủ bởi chất kết dính.

Mục tiêu: tạo hỗn hợp đồng nhất, tránh phân tầng hoặc vón cục xi măng.

*** Bước 5.** San rải tạo hình lớp tái chế

Nội dung kỹ thuật

• Hỗn hợp tái chế được san rải bằng máy san hoặc bàn là tự động.

• Điều chỉnh cao độ, độ dốc ngang theo thiết kế hình học.

Yêu cầu kiểm soát

• Cao độ và độ bằng phẳng trước lu lèn.

• Tránh mất nước bề mặt trong điều kiện nắng nóng.

*** Bước 6.** Lu lèn đạt độ chặt yêu cầu

Nội dung kỹ thuật

• Lu sơ bộ (lu bánh thép rung nhẹ) → lu chặt (lu bánh hơi) → lu hoàn thiện.

• Độ chặt thường yêu cầu ≥ 98% (so với độ chặt tiêu chuẩn xác định).

Mục tiêu: đảm bảo cường độ, mô đun đàn hồi và độ bền lâu dài của lớp tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng.

*** Bước 7.** Bảo dưỡng lớp tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng

Nội dung kỹ thuật

• Hạn chế hoặc cấm xe nặng trong thời gian đầu.

• Bảo dưỡng 3-7 ngày (hoặc theo yêu cầu thiết kế), có thể phun nước nhẹ hoặc phủ bảo vệ tạm thời nếu thời tiết khô nóng.

Vai trò: cho phép quá trình thủy hóa xi măng và ổn định liên kết nhựa.

5. ĐỀ XUẤT QUY TRÌNH KIỂM SOÁT CHẤT LƯỢNG CÔNG NGHỆ CIR CHO ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM

Công nghệ tái chế nguội tại chỗ (CIR), đặc biệt khi sử dụng nhựa đường bọt kết hợp xi măng, có hiệu quả cao về kinh tế - môi trường nhưng nhạy cảm với điều kiện vật liệu, thiết bị và quy trình thi công. Do đó, kiểm soát chất lượng đóng vai trò quyết định đến khả năng làm việc lâu dài của lớp tái chế. Trên cơ sở tổng hợp kinh nghiệm quốc tế và thực tiễn áp dụng tại Việt Nam, nghiên cứu đề xuất quy trình kiểm soát chất lượng tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng theo chuỗi liên tục từ khảo sát - thiết kế - thi công - nghiệm thu, phù hợp với điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm và trình độ thi công trong nước.

5.1. Kiểm soát chất lượng giai đoạn khảo sát và lựa chọn tuyến

Giai đoạn khảo sát ban đầu có ý nghĩa then chốt nhằm xác định tính phù hợp của tuyến đường đối với công nghệ tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng. Các nội dung kiểm soát chính bao gồm:

• Đánh giá hiện trạng hư hỏng mặt đường (nứt mỏi, hằn lún, bong tróc) và mức độ suy giảm kết cấu;

• Thí nghiệm độ võng bằng FWD để phân vùng kết cấu và loại trừ các đoạn có nền yếu hoặc biến dạng nghiêm trọng;

• Khoan lấy mẫu xác định chiều dày lớp bê tông nhựa cũ, thành phần cấp phối RAP, hàm lượng hạt mịn và độ ẩm hiện hữu;

• Đánh giá điều kiện thoát nước và môi trường thủy nhiệt.

Chỉ các đoạn tuyến đáp ứng yêu cầu về kết cấu nền móng còn khả năng làm việc và thoát nước tương đối tốt mới được đưa vào phạm vi áp dụng tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng.

5.2. Kiểm soát chất lượng giai đoạn thiết kế hỗn hợp tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng

Thiết kế hỗn hợp là khâu quyết định các đặc tính cơ học của lớp tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng. Quy trình kiểm soát chất lượng cần tập trung vào:

• Xác định hàm lượng nhựa đường bọt tối ưu, đảm bảo khả năng bao phủ và liên kết hạt RAP;

• Lựa chọn hàm lượng xi măng hợp lý (thường trong khoảng 2-4%), tránh tăng mô đun quá mức gây nứt co ngót;

• Thí nghiệm xác định cường độ nén không nở hông, mô đun đàn hồi, và các chỉ tiêu ổn định ẩm của hỗn hợp;

• Kiểm soát độ ẩm tối ưu cho quá trình trộn và đầm nén.

Đối với điều kiện Việt Nam, cần đặc biệt chú ý đến độ ẩm môi trường cao và nhiệt độ biến thiên, do đây là các yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình tạo bọt nhựa và thủy hóa xi măng.

5.3. Kiểm soát chất lượng trong quá trình thi công tại hiện trường

Trong thi công tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng, kiểm soát chất lượng phải được thực hiện liên tục và theo thời gian thực, bao gồm:

• Kiểm soát thiết bị tái chế: hiệu chuẩn hệ thống phun nhựa bọt, xi măng và nước;

• Kiểm soát chiều sâu cào bóc, mức độ nghiền và độ đồng đều trộn;

• Giám sát độ ẩm hỗn hợp trước và trong quá trình lu lèn;

• Kiểm soát độ chặt bằng phương pháp phù hợp (độ chặt tương đối hoặc chỉ tiêu thay thế);

• Theo dõi điều kiện thời tiết, tránh thi công khi mưa lớn hoặc độ ẩm quá cao.

Việc thi công thử (trial section) cần được thực hiện nhằm hiệu chỉnh thông số máy và quy trình trước khi triển khai đại trà.

5.4. Kiểm soát chất lượng giai đoạn dưỡng hộ và nghiệm thu

Sau thi công, lớp tái chế nguội cần được dưỡng hộ đúng quy trình để đảm bảo phát triển cường độ và ổn định lâu dài. Các nội dung kiểm soát gồm:

• Hạn chế tải trọng trong thời gian dưỡng hộ ban đầu;

• Theo dõi sự phát triển cường độ theo thời gian (7 ngày, 28 ngày);

• Kiểm tra mô đun đàn hồi tại hiện trường (có thể thông qua FWD);

• Chỉ cho phép thi công lớp phủ mặt khi lớp tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng đạt các chỉ tiêu yêu cầu.

Trong điều kiện khí hậu Việt Nam, cần đặc biệt chú ý đến biện pháp chống thấm tạm thời nếu lớp phủ chưa được thi công ngay.

5.5. Nhận xét về tính phù hợp của quy trình đối với điều kiện Việt Nam

Quy trình kiểm soát chất lượng tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng được đề xuất nhấn mạnh vai trò của khảo sát - thiết kế hỗn hợp và kiểm soát hiện trường, phù hợp với đặc điểm:

• Khí hậu nhiệt đới ẩm;

• Biến động lớn về chất lượng vật liệu RAP;

• Yêu cầu rút ngắn thời gian thi công và giảm chi phí.

Việc áp dụng đồng bộ quy trình này sẽ góp phần nâng cao độ tin cậy, tuổi thọ và hiệu quả kinh tế của các dự án tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng tại Việt Nam, đồng thời tạo cơ sở cho việc xây dựng hướng dẫn kỹ thuật và tiêu chuẩn áp dụng trong nước.

6. KẾT LUẬN

1. Tái chế nguội tại chỗ bằng nhựa đường bọt kết hợp xi măng là giải pháp phù hợp cho sửa chữa và nâng cấp đường ô tô cấp thấp và trung bình ở Việt Nam.

2. Việc kiểm soát chặt chẽ thành phần hỗn hợp, độ ẩm và độ chặt là yếu tố quyết định chất lượng lớp tái chế.

3. Quy trình kiểm soát chất lượng được đề xuất trong bài báo có tính khả thi và có thể áp dụng cho các dự án thí điểm cũng như mở rộng trong tương lai.

4. Cần tiếp tục nghiên cứu thực nghiệm dài hạn để đánh giá độ bền và khả năng làm việc của kết cấu áo đường sử dụng lớp tái chế nguội.■

TÀI LIỆU THAM KHẢO (GỢI Ý)

1. Wirtgen Group, Cold Recycling Technology, Germany, 2018.
2. Jenkins, K.J., "Foamed Bitumen Stabilization for Pavement Recycling," Journal of Transportation Engineering, 2000.
3. FHWA, Cold In-Place Recycling and Full Depth Reclamation, 2021.
4. Austroads, Guide to Pavement Technology - Part 4C: Stabilised Materials, 2020.
5. Một số nghiên cứu và báo cáo ứng dụng tái chế nguội tại Việt Nam, 2020-2024.
6. FHWA - Overview of Project Selection Guidelines for Cold In-place and Cold Central Plant Recycling.
7. PIARC / báo cáo tổng quan về sử dụng vật liệu tái chế trong mặt đường.
8. Báo cáo/giới thiệu công nghệ tái chế nguội (Wirtgen/Infrasol) - các ứng dụng thực tế ở QL1, QL5 (VN).
9. Nghiên cứu thiết kế hỗn hợp CIR (Thanh Hóa / QL qua tỉnh) - ví dụ thiết kế hàm lượng xi măng.

Ngày nhận bài: 21/01/2026

Ngày chấp nhận đăng: 28/3/2026