



Đánh giá hiệu quả của phụ gia Tough Fix Hyper trong cải thiện độ dính bám và một số chỉ tiêu kỹ thuật của bê tông nhựa C12.5 tại tỉnh Đồng Tháp

Evaluating the effectiveness of Tough Fix Hyper additive in improving adhesion and technical properties of asphalt concrete C12.5 in Dong Thap province

Nguyễn Văn Long^{1,*}, Nguyễn Minh An²

¹Nhóm nghiên cứu CESD, Trường Đại học Giao thông vận tải TP. HCM

²Công ty TNHH Xuân Bình

Từ khóa: TÓM TẮT

Bê tông nhựa
Phụ gia dính bám
TFH
SBS
TPP
Độ ổn định Marshall

Nghiên cứu này tập trung đánh giá hiệu quả của ba loại phụ gia dính bám gồm Tough Fix Hyper (TFH), Taftack-Premium (TPP) và Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) khi sử dụng với nhựa đường 60/70 và các nguồn cốt liệu phổ biến tại tỉnh Đồng Tháp là đá Antraco và đá Tân Cang. Kết quả thí nghiệm cho thấy cả ba phụ gia đều cải thiện đáng kể độ dính bám đá-nhựa, nâng từ cấp 2 lên cấp 4. Trong đó, phụ gia TFH thể hiện hiệu quả nổi bật khi đạt mức cải thiện tương đương nhưng với hàm lượng sử dụng thấp hơn đáng kể so với hai loại phụ gia còn lại. Trên cơ sở các kết quả thí nghiệm, hàm lượng phụ gia TFH 0.15% được lựa chọn để đánh giá ảnh hưởng đến một số chỉ tiêu kỹ thuật của BTN C12.5. Kết quả cho thấy phụ gia TFH giúp tăng đáng kể độ ổn định Marshall và độ ổn định còn lại của hỗn hợp, qua đó cải thiện khả năng chịu tải và kháng ẩm của mặt đường BTN.

Keywords: ABSTRACT

Asphalt concrete
Adhesion additive
TFH
SBS
TPP
Marshall stability

This study focuses on evaluating the effectiveness of three adhesion-promoting additives, namely Tough Fix Hyper (TFH), Taftack-Premium (TPP), and Styrene-Butadiene-Styrene (SBS), when used with bitumen 60/70 and commonly utilized aggregates in Dong Thap province, including Antraco and Tan Cang stones. Experimental results indicate that all three additives significantly enhance the bitumen-aggregate adhesion, improving it from grade 2 to grade 4. Among them, the TFH additive demonstrated outstanding effectiveness, achieving a comparable level of improvement while requiring a significantly lower dosage than the other two additives. Based on the experimental findings, a TFH content of 0.15% was selected to further assess its influence on several technical properties of asphalt concrete C12.5. The results show that the incorporation of TFH markedly increases both Marshall stability and retained stability, thereby enhancing the load-bearing capacity and moisture resistance of the asphalt pavement.

* Nguyễn Văn Long, Nhóm nghiên cứu CESD, Trường Đại học Giao thông vận tải TP. HCM
Email: vanlong.nguyen@ut.edu.vn

<https://www.doi.org/10.55228/JTST150308>

Ngày nhận bài: 17/03/2026; Ngày nhận bài sửa: 27/04/2026; Ngày chấp nhận đăng: 29/04/2026

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/05/2026

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

1. Giới thiệu

Hạ tầng giao thông đường bộ đóng vai trò huyết mạch trong sự phát triển kinh tế - xã hội của vực Đồng bằng sông Cửu Long nói chung và tỉnh Đồng Tháp nói riêng. Tuy nhiên, mặt đường BTN ở tỉnh Đồng Tháp thường xuyên xuất hiện sớm các dạng hư hỏng như bong tróc bề mặt, ổ gà và hằn lún vệt bánh xe. Các hư hỏng này chủ yếu bắt nguồn từ điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa đặc trưng với lượng mưa lớn, thời gian ngập nước kéo dài, cùng với đặc điểm nền đất yếu phổ biến tại vùng trũng thấp. Trong đó, hiện tượng bong tróc bề mặt xảy ra khi sự dính bám giữa nhựa đường và cốt liệu bị suy giảm dưới tác động đồng thời của nước và tải trọng giao thông. Do đó, việc sử dụng các loại phụ dính bám nhằm cải thiện liên kết giữa nhựa đường và cốt liệu được xem là một giải pháp kỹ thuật phù hợp nhằm cải thiện độ bền của mặt đường BTN trong điều kiện môi trường đặc thù của khu vực Đồng bằng Sông Cửu Long nói chung và tỉnh Đồng Tháp nói riêng [1].

Vấn đề dính bám giữa nhựa đường và cốt liệu đã được nhiều nhà khoa học trong nước và quốc tế quan tâm nghiên cứu. Các nghiên cứu trên thế giới đã tập trung phân tích cơ chế hóa - lý của sự dính bám. Các nghiên cứu của Lesueur và cộng sự [2], [3] đã đánh giá một cách có hệ thống về cơ chế tác động của vôi thủy hóa trong việc cải thiện độ bền của hỗn hợp BTN, chỉ ra rằng vôi không chỉ đóng vai trò là chất độn mà còn tạo ra các liên kết hóa học bền vững với axit trong nhựa đường. Little và Petersen [4] đã làm sáng tỏ các tương tác vật lý và hóa học đặc thù của vôi thủy hóa có ảnh hưởng đáng kể đến tốc độ và mức độ hư hỏng do nứt vi mô gây ra, khả năng tự phục hồi hư hỏng vi mô, cũng như các đặc tính biến dạng dẻo và đàn hồi - nhớt của cả vữa nhựa và hỗn hợp BTN trong một dải nhiệt độ rộng. Nghiên cứu của Orozco và cộng sự [5] chỉ ra rằng việc bổ sung vôi thủy hóa với hàm lượng 1.68% theo khối lượng cốt liệu khô giúp giảm độ nhạy ẩm, giảm biến dạng vĩnh viễn và làm tăng nhẹ độ cứng của hỗn hợp BTN. Kết quả nghiên cứu của Lee và các cộng sự [1] cho thấy, việc bổ sung vôi thủy hóa và nhựa epoxy giúp tăng cường độ bền và hiệu suất của hỗn hợp BTN dùng để vá ổ gà. Đây là giải pháp khả thi và bền vững cho công tác bảo trì đường bộ tại các khu vực có khí hậu nhiệt đới chịu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Albayati và các cộng sự [6] đã tiến hành nghiên cứu đánh giá hiệu quả của nano canxi cacbonat và nano vôi thủy hóa trong việc cải thiện đặc tính của nhựa đường

và hỗn hợp BTN. Kết quả nghiên cứu cho thấy cả nano canxi cacbonat và nano vôi thủy hóa đều cải thiện đáng kể hiệu suất của nhựa đường và hỗn hợp BTN, trong đó nano vôi thủy hóa thể hiện ưu thế vượt trội về khả năng kháng lún và độ bền mỏi. Đặc biệt, nano vôi thủy hóa cải thiện khả năng kháng ẩm rõ rệt khi vượt ngưỡng tiêu chuẩn 80% TSR chỉ với 2% hàm lượng và đạt mức ăn mòn 94.6% tại tỷ lệ 10% trọng lượng.

Về các phụ gia lỏng, nghiên cứu [7] cho thấy phụ gia silane tạo ra một lớp màng kỵ nước trên bề mặt cốt liệu giúp tăng cường đáng kể lực bám dính với nhựa đường và giảm năng lượng tách lớp trong môi trường ẩm. Kết quả thực nghiệm cho thấy BTN có sử dụng phụ gia silane thì các hư hỏng do ẩm bắt đầu xuất hiện muộn hơn, giảm biến dạng dưới tác động của nước và duy trì độ ổn định lâu dài tốt hơn so với BTN thông thường. Rossi và các cộng sự [8] đã tổng hợp và khẳng định vai trò quan trọng của các phụ gia dính bám trong việc cải thiện liên kết giữa nhựa đường và cốt liệu, từ đó nâng cao độ bền và kéo dài tuổi thọ mặt đường. Nghiên cứu cũng làm rõ cơ chế tương tác hóa lý của các nhóm phụ gia khác nhau, nhấn mạnh rằng cấu trúc phân tử và sự tương thích với bản chất cốt liệu là yếu tố quyết định hiệu quả kháng ẩm và chống bong tróc. Hamed và cộng sự đã tiến hành các nghiên cứu [9], [10], [11], [12], sử dụng các phương pháp tiên tiến như nhiệt động lực học và thử nghiệm kéo đứt để đánh giá các chất phụ gia chống bong tróc khác nhau, bao gồm phụ gia dạng lỏng (dodecylamine), nano-magiê hydroxit và polypropylene. Các kết quả cho thấy một số loại phụ gia có tác động mạnh mẽ đến cường độ bám dính, trong khi số khác lại ảnh hưởng đến lực liên kết nội tại giữa các phân tử nhựa đường. Do đó, để đạt được hiệu suất tổng thể tối ưu cho hỗn hợp BTN, việc lựa chọn phụ gia cần được cân nhắc dựa trên các yếu tố về đặc tính thiết kế cấp phối, loại cốt liệu và nhựa đường sử dụng. Các nghiên cứu [12], [13] cho thấy phụ gia Zycosoil giúp cải thiện độ dính bám giữa nhựa và cốt liệu, đồng thời nâng khả năng kháng ẩm của hỗn hợp BTN.

Ngoài ra, phụ gia polyaminoamide cũng cho thấy hiệu quả trong việc cải thiện độ dính bám giữa nhựa đường và cốt liệu, làm giảm hiện tượng bong tróc và nâng cao độ ổn định còn lại của hỗn hợp BTN [14]. Khodadadi và các cộng sự [15] đề xuất giải pháp phủ polyethylene terephthalate lên bề mặt cốt liệu để tăng cường độ dính bám giữa nhựa đường và đá, qua

đó cải thiện đáng kể khả năng kháng ẩm của hỗn hợp BTN.

Tại Việt Nam, nghiên cứu về phụ gia dính bám cũng đã được một số nhà khoa học thực hiện. Nghiên cứu [16] cho thấy việc sử dụng phụ gia Toughfix với hàm lượng từ 0.1% đến 0.2% theo khối lượng nhựa đường mang lại hiệu quả tốt, làm tăng độ dính bám với cốt liệu lên 1-2 cấp, đồng thời giúp cải thiện các chỉ tiêu kỹ thuật của BTN như độ ổn định Marshall, chỉ số dẻo, độ ổn định còn lại, khả năng kháng lún vệt bánh xe và cường độ chịu kéo. Kết quả nghiên cứu của Trần Ngọc Hưng và cộng sự [17] cho thấy việc sử dụng phụ gia Zycotherm làm tăng đáng kể độ dính bám của nhựa đường với cốt liệu gốc axit, qua đó cải thiện các chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp BTN. Nghiên cứu của Lê Văn Phúc và cộng sự [18] cho thấy việc sử dụng vôi thủy hóa để thay thế một phần bột khoáng giúp cải thiện cường độ kháng kéo của hỗn hợp BTN trong điều kiện bất lợi của nhiệt và ẩm. Nghiên cứu [19] đã chỉ ra các loại phụ gia hiện đang sử dụng tại Việt Nam đều cho thấy hiệu quả trong việc cải thiện khả năng dính bám giữa nhựa đường và cốt liệu. Mức độ cải thiện khả năng dính bám đá-nhựa của các loại phụ gia có thể được sắp xếp theo thứ tự giảm dần như sau: vôi thủy hóa, xi măng, Wetfix Be, Zycotherm, Toughfix, TFH.

Việc sử dụng các phụ gia như vôi thủy hóa, silane hay các hợp chất lỏng đã được chứng minh giúp tăng cường độ dính bám và khả năng kháng ẩm vượt trội cho BTN. Mặc dù một số nghiên cứu trong nước đã chứng minh hiệu quả cải thiện độ dính bám và các chỉ tiêu kỹ thuật của hỗn hợp BTN như đã phân tích ở trên. Tuy nhiên, vì mỗi loại phụ gia có cơ chế hóa – lý riêng biệt và hiệu quả phụ thuộc mạnh vào đặc tính hóa – lý của cốt liệu, nguồn gốc khoáng vật và điều kiện khai thác, do đó có thể biến đổi đáng kể giữa các khu vực khác nhau và không có một giải pháp chung cho mọi trường hợp. Vì vậy, việc nghiên cứu lựa chọn loại phụ gia phù hợp đối với hỗn hợp BTN dùng làm mặt đường tại Đồng Tháp là yêu cầu cấp thiết nhằm thích ứng với điều kiện nhiệt – ẩm khắc nghiệt của địa phương. Điều này không chỉ giúp kéo dài tuổi thọ công trình mà còn đảm bảo hiệu quả kinh tế - kỹ thuật bền vững cho khu vực.

Nghiên cứu này tập trung đánh giá hiệu quả cải thiện khả năng dính bám của các loại phụ gia (TFH, TPP và SBS) đối với các nguồn cốt liệu thường được sử dụng

để sản xuất BTN làm mặt đường tại tỉnh Đồng Tháp (đá Antraco, đá Tân Cang) và nhựa đường 60/70, nhằm xác định phụ gia phù hợp. Sau đó, tiến hành đánh giá ảnh hưởng của phụ gia được chọn đối với một số chỉ tiêu kỹ thuật của hỗn hợp BTN C12.5.

2. Phương pháp nghiên cứu và kết quả

2.1. Vật liệu

(i) Cốt liệu: Sử dụng đá dăm từ mỏ đá Antraco (tỉnh An Giang) và mỏ đá Tân Cang (tỉnh Đồng Nai). Đây là các loại đá thường được sử dụng phổ biến cho các công trình giao thông tại các tỉnh Đồng bằng Sông Cửu Long. Trong nghiên cứu này, trừ độ dính bám chưa được khảo sát, các chỉ tiêu cơ lý còn lại của cả 2 loại đá đều đạt yêu cầu để sản xuất BTN theo TCVN 13567-1:2022 [20].

(ii) Bột khoáng: Lấy tại trạm trộn BTN Anco thuộc công ty TNHH BTN nóng Anco – Chi nhánh tỉnh Đồng Tháp, thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật để sản xuất BTN theo TCVN 13567-1:2022 [20].

(iii) Nhựa đường 60/70 do công ty TNHH nhựa đường Puma Energy Việt Nam nhập khẩu và được trạm trộn BTN Anco thuộc công ty TNHH BTN nóng Anco – Chi nhánh tỉnh Đồng Tháp cung cấp. Trong nghiên cứu này, trừ độ dính bám chưa được khảo sát, các chỉ tiêu kỹ thuật còn lại của nhựa đường đều đạt yêu cầu để sản xuất BTN theo TCVN 13567-1:2022 [20].

(iv) Phụ gia dính bám:

• Phụ gia TFH được nghiên cứu và sản xuất tại Nhật Bản, do Công ty TNHH Taiyu Việt Nam cung cấp. TFH có dạng mảnh rắn màu vàng, dễ phân tán trong hỗn hợp BTN và không làm ảnh hưởng xấu đến các tính chất của nhựa đường. Các chỉ tiêu kỹ thuật của phụ gia TFH được thể hiện trong bảng 1. Dựa trên khuyến cáo của nhà sản xuất và [19], hàm lượng TFH được sử dụng trong nghiên cứu này là 0.1%, 0.15% và 0.2% theo khối lượng nhựa đường.

Bảng 1. Các chỉ tiêu kỹ thuật của phụ gia TFH.

Nhiệt độ hòa tan	Phương pháp tăng dần	125°C
Độ nhớt	140°C	393 mPa's
	160°C	165 mPa's

pH	Hàm lượng nước 1%	9.6
Điểm chớp cháy	Cốc mở Cleveland	286°C
Khối lượng riêng	150°C	0.870 g/cm ³

• Phụ gia TPP có xuất xứ từ Nhật Bản, do Công ty TNHH Taiyu Việt Nam cung cấp. TPP có dạng hạt màu trắng, dễ dàng phân tán trong hỗn hợp BTN thông qua phương pháp trộn khô trực tiếp tại các trạm trộn. Các chỉ tiêu kỹ thuật của phụ gia TPP được thể hiện trong bảng 2. Dựa trên khuyến cáo của nhà sản xuất, lượng TPP được sử dụng trong nghiên cứu này là 3%, 4% và 5% theo khối lượng nhựa đường.

Bảng 2. Các chỉ tiêu kỹ thuật của phụ gia TPP.

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Quy định	Phương pháp thử
1	Hình dạng		Dạng hạt	Quan sát bằng mắt
2	Màu sắc		Trắng	Quan sát bằng mắt
3	Kích thước	mm	≤ 5	Đo kích thước
4	Khối lượng thể tích (ở trạng thái xốp)	g/cm ³	0.90 ÷ 0.95	TCVN 7572-6:2006

• Phụ gia SBS do Phòng thí nghiệm trọng điểm đường bộ 3 cung cấp. SBS là copolymer mạch thẳng, có màu trắng, tồn tại ở dạng hạt hoặc bột, được bổ sung trực tiếp vào cốt liệu nóng tại trạm trộn BTN. Các chỉ tiêu kỹ thuật của phụ gia SBS được thể hiện trong bảng 3. Dựa vào nghiên cứu [21], hàm lượng SBS được sử dụng trong nghiên cứu này là 3%, 4% và 5% theo khối lượng nhựa đường.

Bảng 3. Các chỉ tiêu kỹ thuật của phụ gia SBS.

STT	Các chỉ tiêu	Quy định	Phương pháp thử
1	Hình dạng	Dạng hạt (Dạng bột)	Bằng mắt
2	Màu sắc	Màu trắng	Bằng mắt
3	Khối lượng thể tích, g/cm ³	0.85 – 1	ASTM D792
4	Hàm lượng chất dễ bay hơi, %	≤ 0.5	ASTM D5668

STT	Các chỉ tiêu	Quy định	Phương pháp thử
5	Lượng tro còn lại sau khi nung, %	≤ 1	ASTM D5667
6	Độ nhớt (25% trọng lượng trong Toluene, cP)	4500 – 6000	ASTM D2196

2.2. Thí nghiệm xác định độ dính bám

Độ dính bám của nhựa đường với đá được thí nghiệm và đánh giá theo TCVN 7504 : 2005 [22]. Quy trình thí nghiệm như sau:

(i) Bước 1: Chuẩn bị mẫu cốt liệu:

• Làm sạch: Rửa sạch các viên đá để loại bỏ hoàn toàn bụi bẩn và các tạp chất bám dính trên bề mặt;

• Sấy khô: Tiến hành sấy đá ở nhiệt độ 105°C cho đến khi đạt khối lượng không đổi. Sau đó, để đá nguội dần về nhiệt độ phòng;

• Cố định mẫu: Sử dụng dây buộc chuyên dụng để buộc từng viên đá với số lượng mẫu đã được tính toán và quy định trước cho mỗi đợt thử nghiệm.

(ii) Bước 2: Chuẩn bị nhựa đường: Tiến hành phân chia nhựa đường vào các lon với khối lượng 500g mỗi mẫu để chuẩn bị cho quá trình phối trộn phụ gia.

(iii) Bước 3: Chuẩn bị các loại phụ gia: Chuẩn bị các loại phụ gia theo các định mức sau:

• Phụ gia TFH với các hàm lượng 0.1%, 0.15% và 0.2% theo khối lượng nhựa đường;

• Phụ gia TPP với các hàm lượng 3%, 4% và 5% theo khối lượng nhựa đường;

• Phụ gia SBS với các hàm lượng 3%, 4% và 5% theo khối lượng nhựa đường.

(iv) Bước 4: Nung nhựa, phối trộn và thí nghiệm độ dính bám.

• Gia nhiệt nhựa đường: Gia nhiệt nhựa đường đến nhiệt độ khoảng 170°C. Sử dụng nhiệt kế để kiểm soát chính xác nhiệt độ trước khi cho phụ gia;

• Phối trộn phụ gia: Khi nhựa đạt nhiệt độ yêu cầu, lần lượt cho từng loại phụ gia vào các lon nhựa theo tỷ lệ đã xác định. Tiến hành khuấy đều và liên

tục cho đến khi phụ gia phân tán hoàn toàn, tạo thành một hỗn hợp đồng nhất;

- Nhúng phủ nhựa: Sau khi hỗn hợp đạt độ đồng nhất, tiến hành nhúng các viên đá vào hỗn hợp nhựa đã có phụ gia. Ngâm mẫu trong nhựa khoảng 15 phút để đảm bảo nhựa bao phủ toàn bộ bề mặt đá. Nhấc các viên đá đã phủ nhựa ra ngoài và để nguội ở nhiệt độ phòng trong vòng 15 phút;

- Chuẩn bị chậu nước cất và đun đến sôi. Nhúng các viên đá đã phủ nhựa vào nước đang sôi trong khoảng thời gian 10 phút $\pm$ 15 giây, khi bình vẫn đang tiếp tục đun;

- Sau 10 phút, lấy các viên đá ra. Tiến hành quan sát bằng mắt thường từng viên mẫu, dựa trên các tiêu chuẩn được quy định trong TCVN 7504 : 2005 [22] để đánh giá độ dính bám giữa nhựa và đá;

- Lặp lại thí nghiệm: Thực hiện tương tự các bước trên đối với các mẫu nhựa có sử dụng các loại phụ gia còn lại.

Kết quả đánh giá độ dính bám của nhựa đường 60/70 có sử dụng các loại phụ gia khác nhau với đá được tổng hợp trong bảng 4.

Bảng 4. Kết quả đánh giá độ dính bám đá – nhựa đường

Phụ gia	Hàm lượng phụ gia, % theo khối lượng nhựa	Độ dính bám			
		Đá Antraco		Đá Tân Cang	
		Chi tiết	Kết quả	Chi tiết	Kết quả
Mẫu đối chứng	0	Cấp 2	Cấp 2	Cấp 2	Cấp 2
	0.1	Cấp 4 (9/10 viên) Cấp 5 (1/10 viên)	Cấp 4	Cấp 4 (10/10 viên)	Cấp 4
Phụ gia TFH	0.15	Cấp 4 (6/10 viên) Cấp 5 (4/10 viên)	Cấp 4	Cấp 4 (5/10 viên) Cấp 5 (5/10 viên)	Cấp 4
	0.2	Cấp 4 (5/10 viên) Cấp 5 (5/10 viên)	Cấp 4	Cấp 4 (5/10 viên) Cấp 5 (5/10 viên)	Cấp 4
	3	Cấp 3 (2/10 viên) Cấp 4 (7/10 viên) Cấp 5 (1/10 viên)	Cấp 4	Cấp 3 (1/10 viên) Cấp 4 (9/10 viên)	Cấp 4
Phụ gia TPP	4	Cấp 3 (1/10 viên) Cấp 4 (6/10 viên) Cấp 5 (3/10 viên)	Cấp 4	Cấp 4 (7/10 viên) Cấp 5 (3/10 viên)	Cấp 4
	5	Cấp 4 (6/10 viên) Cấp 5 (4/10 viên)	Cấp 4	Cấp 4 (7/10 viên) Cấp 5 (3/10 viên)	Cấp 4
	3	Cấp 3 (2/10 viên) Cấp 4 (8/10 viên)	Cấp 4	Cấp 3 (1/10 viên) Cấp 4 (9/10 viên)	Cấp 4
Phụ gia SBS	4	Cấp 3 (1/10 viên) Cấp 4 (7/10 viên) Cấp 5 (2/10 viên)	Cấp 4	Cấp 4 (8/10 viên) Cấp 5 (2/10 viên)	Cấp 4
	5	Cấp 4 (7/10 viên) Cấp 5 (3/10 viên)	Cấp 4	Cấp 4 (6/10 viên) Cấp 5 (4/10 viên)	Cấp 4

Từ các kết quả thí nghiệm ở bảng 4, một số nhận xét được rút ra như sau:

- Với mẫu đối chứng, độ dính bám giữa nhựa đường và cốt liệu đối với cả đá Antraco và đá Tân Cang đều chỉ đạt cấp 2. Điều này cho thấy khả năng dính bám tự nhiên giữa nhựa đường 60/70 và hai loại cốt liệu dùng trong nghiên cứu này là khá thấp, dễ dẫn đến hiện tượng bong tróc khi chịu tác động của nước và môi trường;

- Đối với phụ gia TFH, hiệu quả cải thiện độ dính bám thể hiện rõ rệt ngay từ hàm lượng 0.1%. Ở mức này, mẫu đá Antraco ghi nhận 90% số viên đạt cấp 4 và 10% đạt cấp 5, trong khi đá Tân Cang 100% số viên đạt cấp 4. Khi tăng hàm lượng phụ gia TFH từ 0.1% lên 0.15%, tỷ lệ mẫu đạt cấp 5 tăng rõ rệt đối với cả hai loại cốt liệu (đá Antraco tăng từ 10% lên 40%, đá Tân Cang tăng từ 0% lên 50%), cho thấy sự cải thiện đáng kể về chất lượng liên kết dính bám. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng hàm lượng phụ gia từ 0.15% lên 0.2%, tỷ lệ số viên đạt độ dính bám cấp 5 hầu như thay đổi không đáng kể đối với đá Antraco và không thay đổi với đá Tân Cang;

- Với phụ gia TPP, các mức hàm lượng 3%, 4% và 5% theo khối lượng nhựa đường đều cho kết quả độ dính bám cuối cùng là cấp 4 đối với cả đá Antraco và đá Tân Cang. Ở mức 3%, kết quả vẫn ghi nhận sự tồn tại của các viên đạt cấp 3, đặc biệt đối với đá Antraco (20%), cho thấy độ dính bám chưa ổn định. Khi tăng hàm lượng lên 4% và 5%, tỷ lệ viên đạt cấp 3 giảm dần, đồng thời tỷ lệ viên đạt cấp 5 tăng lên, phản ánh xu hướng cải thiện theo hàm lượng;

- Phụ gia SBS cũng cho thấy khả năng cải thiện độ dính bám đáng kể, với xu hướng tương tự TPP nhưng ổn định hơn. Ở hàm lượng 3%, vẫn xuất hiện một số viên đạt cấp 3, song tỷ lệ này giảm khi tăng hàm lượng lên 4% và 5%. Đồng thời, tỷ lệ viên đạt cấp 5 tăng lên rõ rệt, đặc biệt ở mức 5%. So với TPP, SBS cho thấy độ ổn định cao hơn trong phân bố kết quả, tuy nhiên vẫn kém hơn so với TFH về hiệu quả tổng thể.

So sánh giữa các loại phụ gia cho thấy cả ba phụ gia đều có tác dụng cải thiện độ dính bám từ cấp 2 của mẫu đối chứng lên cấp 4. Xét về hiệu quả theo hàm lượng sử

dụng, TFH thể hiện ưu thế rõ hơn do chỉ cần hàm lượng nhỏ vẫn đạt kết quả tương đương với TPP và SBS. Trong khi đó, TPP và SBS cần hàm lượng lớn hơn nhiều mới đạt được mức cải thiện tương tự. Vì vậy, nếu chỉ xét riêng tiêu chí độ dính bám đá–nhựa, TFH có thể được xem là phụ gia có hiệu quả kinh tế và kỹ thuật tốt hơn trong điều kiện nghiên cứu này.

Mặt khác, như đã phân tích ở trên, hiệu quả cải thiện độ dính bám đá–nhựa của phụ gia TFH lớn nhất được ghi nhận ở hàm lượng phụ gia TFH 0.2%. Tuy nhiên, mức độ cải thiện này là không đáng kể so với hàm lượng 0.15%. Vì vậy, để đạt hiệu quả cả về kinh tế (giảm chi phí do sử dụng hàm lượng phụ gia ít hơn) và kỹ thuật (cải thiện độ dính bám), các tác giả đề xuất sử dụng phụ gia TFH ở tỷ lệ 0.15% theo khối lượng nhựa để khảo sát ảnh hưởng của loại phụ gia này đến các một số chỉ tiêu kỹ thuật của hỗn hợp BTN C12.5.

Nhìn chung, độ dính bám của nhựa có phụ gia đối với đá Antraco và đá Tân Cang là tương đương nhau, không có sự khác biệt quá lớn về cấp độ dính bám. Tuy nhiên, đá Tân Cang được sử dụng khá phổ biến trong các dự án đường ô tô tại tỉnh Đồng Tháp vì chất lượng tốt, nguồn cung ổn định và việc vận chuyển bằng đường thủy khá thuận lợi. Do đó, các tác giả tiếp tục sử dụng đá Tân Cang để làm cốt liệu cho hỗn hợp BTN C12.5 trong phần nghiên cứu tiếp theo.

2.3. Thí nghiệm đánh giá ảnh hưởng của phụ gia TFH đối với một số chỉ tiêu kỹ thuật của BTN

Các tác giả đã tiến hành thiết kế cấp phối BTN C12.5 theo TCVN 8820:2011 [23] để khảo sát ảnh hưởng của phụ gia TFH đối với một số chỉ tiêu kỹ thuật của hỗn hợp. Các vật liệu sử dụng trong hỗn hợp bao gồm:

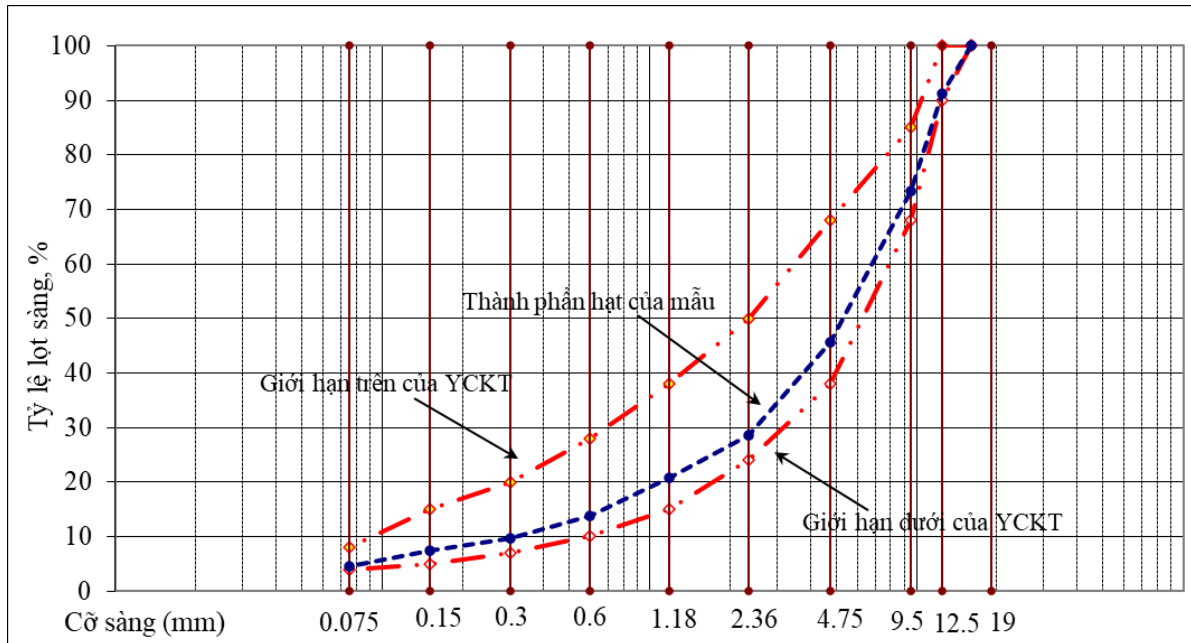
- Cốt liệu được lấy từ mỏ đá Tân Cang. Trừ độ dính bám đá–nhựa chỉ đạt cấp 2 theo TCVN 7504 : 2005 [22] thì các chỉ tiêu cơ lý khác của cốt liệu đều đạt yêu cầu kỹ thuật để sản xuất BTN theo TCVN 13567-1:2022 [20];

- Bột khoáng được lấy tại trạm trộn BTN Anco, tỉnh Đồng Tháp, thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật để sản xuất BTN theo TCVN 13567-1:2022 [20];

- Phụ gia TFH với hàm lượng 0.15% theo khối lượng của nhựa đường;

• Nhựa đường 60/70 có sử dụng 0.15% phụ gia TFH, thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật để sản xuất BTN theo TCVN 13567-1:2022 [20]. Hàm lượng nhựa thiết kế là 4.8% theo khối lượng hỗn hợp BTN.

Thành phần hạt của cấp phối BTN C12.5 được thể hiện trên hình 1.



Hình 1. Thành phần hạt của BTN C12.5.

Kết quả thí nghiệm một số chỉ tiêu kỹ thuật của BTN C12.5 có và không sử dụng phụ gia TFH được thể hiện trong bảng 5.

Bảng 5. Các chỉ tiêu kỹ thuật của BTN C12.5

Chỉ tiêu thí nghiệm	Loại hỗn hợp BTN		Yêu cầu kỹ thuật
	Mẫu đối chứng	0.15% TFH	
Khối lượng thể tích, g/cm ³	2.370	2.388	
Khối lượng riêng, g/cm ³	2.513	2.518	
Độ rỗng dư, %	5.71	5.18	4 ÷ 6
Độ rỗng cốt liệu, %	16.1	15.5	≥ 14
Độ ổn định Marshall, kN	10.9	13.49	≥ 8
Độ dẻo, mm	3.30	3.45	1.5 ÷ 4
Độ ổn định còn lại sau 24 giờ, %	89.9	93.4	≥ 80

Các kết quả thí nghiệm ở bảng 5 cho thấy:

• Độ rỗng dư và chỉ số dẻo của mẫu BTN C12.5 đối chứng và mẫu có sử dụng 0.15% TFH theo khối lượng nhựa đường thay đổi không đáng kể và đều nằm trong khoảng yêu cầu của TCVN 13567-1:2022 [20].

• Độ ổn định Marshall của hỗn hợp BTN C12.5 tăng từ 10.9 kN lên 13.49 kN (tăng 23.76%). Kết quả này chứng tỏ khả năng chịu tải của hỗn hợp được cải thiện rõ rệt. Sự gia tăng này có thể được giải thích là do phụ gia TFH đã cải thiện đáng kể khả năng dính bám đá-nhựa, giúp truyền ứng suất hiệu quả hơn giữa các hạt cốt liệu thông qua màng nhựa, đồng thời hạn chế sự trượt và biến dạng cục bộ dưới tải trọng.

• Độ ổn định còn lại của hỗn hợp BTN C12.5 tăng từ 89.9% lên 93.4%, vượt yêu cầu ≥ 80%. Điều này khẳng định phụ gia TFH có tác dụng cải thiện khả năng kháng ẩm của hỗn hợp, giúp mặt đường BTN bền hơn trong điều kiện bất lợi ẩm. Đây là một trong những tác dụng quan trọng của phụ gia TFH. Nguyên nhân là do phụ gia TFH làm tăng độ dính bám đá-nhựa, qua đó giúp ngăn chặn hiệu quả hiện tượng bóc tách màng nhựa khi có sự xâm nhập của nước.

Như vậy, việc sử dụng 0.15% phụ gia TFH so với khối lượng nhựa đường đã cải thiện cường độ dính bám giữa cốt liệu và nhựa đường, qua đó nâng cao đáng kể khả năng chịu tải cũng như độ bền kháng ẩm của mặt đường BTN. Đây là giải pháp kỹ thuật khả thi, có tiềm năng ứng dụng rộng rãi cho các công trình hạ tầng giao thông đường bộ tại tỉnh Đồng Tháp nói riêng và khu vực Đồng bằng sông Cửu Long nói chung.

3. Kết luận

Kết quả nghiên cứu chứng minh hiệu quả của việc sử dụng phụ gia trong việc cải thiện độ dính bám giữa nhựa đường và các nguồn cốt liệu phổ biến tại Đồng Tháp. Trong đó, TFH thể hiện ưu thế vượt trội khi đạt hiệu quả cải thiện cao với hàm lượng sử dụng thấp.

Hàm lượng phụ gia TFH 0.15% theo khối lượng nhựa đường được xác định là tỷ lệ hợp lý, đảm bảo hiệu quả cả về mặt kỹ thuật lẫn kinh tế. Ở hàm lượng này, TFH giúp cải thiện đáng kể độ ổn định Marshall và độ ổn định còn lại của hỗn hợp BTN C12.5, qua đó nâng cao khả năng chịu tải và kháng ẩm, giúp mặt đường bền vững hơn trong điều kiện khai thác bất lợi của khí hậu nhiệt đới ẩm và tải trọng nặng.

Về mặt ứng dụng thực tiễn, kết quả nghiên cứu này có ý nghĩa quan trọng đối với các đơn vị quản lý và thi công đường bộ tại tỉnh Đồng Tháp. Giải pháp này không chỉ giúp đảm bảo chất lượng công trình mà còn mang lại lợi ích kinh tế lâu dài nhờ kéo dài thời gian khai thác của mặt đường và giảm thiểu chi phí bảo trì, sửa chữa.

Tuy vậy, nghiên cứu mới chỉ đánh giá hiệu quả phụ gia TFH qua các chỉ tiêu cơ lý cơ bản trong phòng thí nghiệm, chưa xem xét đặc tính dài hạn như kháng lún vệt bánh xe, độ bền mỏi hay hiệu suất thực tế. Trong thời gian tới, các tác giả sẽ mở rộng nghiên cứu bằng thí nghiệm cơ học nâng cao và thử nghiệm hiện trường để đánh giá toàn diện hơn.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Nguyễn Văn Long: Phương pháp, Phân tích dữ liệu, Viết – bản thảo gốc, Phản hồi ý kiến phản biện. **Nguyễn Minh An:** Thí nghiệm, Phân tích dữ liệu, Viết – bản thảo gốc.

Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Các tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

1st Nguyen Van Long*. CESD Research Group, University of Transport Ho Chi Minh City

2nd Nguyen Minh An. Xuan Binh Company Limited

*Corresponding author: vanlong.nguyen@ut.edu.vn

Tài liệu tham khảo

- [1] S.-Y. Lee and T. H. M. Le, "Advanced Asphalt Mixtures for Tropical Climates Incorporating Pellet-Type Slaked Lime and Epoxy Resin," *Journal of Composites Science*, vol. 8, no. 11, p. 442, Oct. 2024, doi: 10.3390/jcs8110442.
- [2] D. Lesueur, J. Petit, and H.-J. Ritter, "The mechanisms of hydrated lime modification of asphalt mixtures: a state-of-the-art review," *Road Materials and Pavement Design*, vol. 14, no. 1, pp. 1–16, Mar. 2013, doi: 10.1080/14680629.2012.743669.
- [3] D. Lesueur and D. N. Little, "Effect of Hydrated Lime on Rheology, Fracture, and Aging of Bitumen," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1661, no. 1, pp. 93–105, Jan. 1999, doi: 10.3141/1661-14.
- [4] D. N. Little and J. C. Petersen, "Unique Effects of Hydrated Lime Filler on the Performance-Related Properties of Asphalt Cements: Physical and Chemical Interactions Revisited," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 17, no. 2, pp. 207–218, Apr. 2005, doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2005)17:2(207).
- [5] M. Orozco, J. Preciado, G. Martinez-Arguelles, L. Fuentes, L. F. Walubita, and R. Polo-Mendoza, "Influence of Three Different Antistripping Agents on Moisture Susceptibility, Stiffness, and Rutting Resistance of Hot-Mix Asphalt," *Buildings*, vol. 14, no. 8, p. 2458, Aug. 2024, doi: 10.3390/buildings14082458.
- [6] A. H. Albayati, A. F. Al-Ani, J. Byzyka, M. Al-Kheetan, and M. Rahman, "Enhancing Asphalt Performance and Its Long-Term Sustainability with Nano Calcium Carbonate and Nano Hydrated Lime," *Sustainability*, vol. 16, no. 4, p. 1507, Feb. 2024, doi: 10.3390/su16041507.
- [7] X. Peng, W. Liu, and M. Zhang, "Enhancing Interfacial Adhesion and Moisture Damage Resistance in Asphalt Mixtures via Silane

- Coupling Agent: Moisture Damage Separation and Quantization,” *International Journal of Pavement Research and Technology*, Oct. 2025, doi: 10.1007/s42947-025-00659-5.
- [8] C. Oliviero Rossi, B. Teltayev, and R. Angelico, “Adhesion Promoters in Bituminous Road Materials: A Review,” *Applied Sciences*, vol. 7, no. 5, p. 524, May 2017, doi: 10.3390/app7050524.
- [9] G. H. Hamed, A. R. Azarhoosh, and M. Khodadadi, “Effects of Asphalt Binder Modifying with Polypropylene on Moisture Susceptibility of Asphalt Mixtures with Thermodynamically Concepts,” *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, May 2018, doi: 10.3311/PPci.11570.
- [10] G. H. Hamed, F. Sakanlou, and M. Sohrabi, “Laboratory investigation of using liquid anti-stripping additives on the performance characteristics of asphalt mixtures,” *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 12, no. 3, pp. 269–276, May 2019, doi: 10.1007/s42947-019-0033-0.
- [11] G. H. Hamed, K. Ghalandari Shamami, and K. Ghasemdoost Abadi, “Effect of Antistripping Additives on the Cohesion, Adhesion, and Performance of Different Asphalt Mixtures in Dry and Wet Conditions,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 34, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004380.
- [12] G. H. Hamed and S. A. Tahami, “The effect of using anti-stripping additives on moisture damage of hot mix asphalt,” *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 81, pp. 90–97, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.ijadhadh.2017.03.016.
- [13] A. U. Ravi Shankar, G. Sarang, B. M. Lekha, and C. Carlton-Carew, “Investigation on the Effect of Anti Stripping Additives on the Moisture Sensitivity of Bituminous Concrete,” in *Materials for Sustainable Infrastructure*, L. Struble and G. Tebaldi, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 228–239, doi: 10.1007/978-3-319-61633-9_14.
- [14] V. Haritonovs, “Evaluation of polyaminoamide as a surfactant additive in hot mix asphalt,” *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, vol. 10, no. 2, pp. 112–117, Jun. 2015, doi: 10.3846/bjrbe.2015.14.
- [15] M. Khodadadi, A. Azarhoosh, and A. Khodaii, “Influence of Polymeric Coating the Aggregate Surface on Moisture Damage of Hot Mix Asphalt,” *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, Nov. 2020, doi: 10.3311/PPci.14340.
- [16] Nguyễn Quang Phúc, Vũ Ngọc Phương, Hiromitsu Nakanishi, Akihiro Kato, Lương Xuân Chiêu, and Nguyễn Chí Công, “Nghiên cứu thực nghiệm sử dụng phụ gia Toughfix Hyper tăng độ ổn định nước và cường độ của bê tông nhựa mặt đường,” *Tạp chí Giao thông vận tải*, vol. 6/2017, pp. 36–40, 2017.
- [17] Trần Ngọc Hưng, Tạ Thị Hồng Nhung, Vũ Thế Thuần, and Trọng Kiến Dương, “Một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm sử dụng nano-organosilane (zycotherm) cho bê tông asphalt BTNC12.5 sử dụng cốt liệu gốc axit trong điều kiện Việt Nam,” *Tạp chí Giao thông vận tải*, vol. 12/2017, pp. 102–107, 2017.
- [18] Lê Văn Phúc, Đặng Đình Tài, and Nguyễn Minh Quang, “Nghiên cứu sử dụng vôi thủy hóa làm phụ gia cải thiện đặc tính cơ học của bê tông nhựa trong điều kiện ẩm ướt,” *Tạp chí Giao thông vận tải*, vol. 9/2019, pp. 96–99, 2019.
- [19] Vũ Ngọc Phương, “Nghiên cứu sử dụng phụ gia tăng khả năng dính bám đá-nhựa cải thiện chất lượng bê tông nhựa ở Việt Nam,” Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học GTVT, Hà Nội, 2017.
- [20] Bộ Khoa học và Công nghệ, *TCVN 13567-1:2022 - Phần 1 - Bê tông nhựa chặt sử dụng nhựa đường thông thường*. 2022.
- [21] T. Nguyễn Quang, “Thực nghiệm đánh giá mô đun cắt phức và các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của nhựa đường với hàm lượng phụ gia SBS khác nhau,” *Transport and Communications Science Journal*, vol. 70, no. 2, pp. 113–121, Nov. 2019, doi: 10.25073/tcsj.70.2.34.
- [22] Bộ Khoa học và Công nghệ, *TCVN 7504:2005 – Bitum – Phương pháp xác định độ bám dính với đá*. 2006.
- [23] Bộ Khoa học và Công nghệ, *TCVN 8820:2011 - Hỗn hợp bê tông nhựa nóng - Thiết kế theo phương pháp Marshall*. 2011.