



THE EFFECTS OF ZAG1 ADDITIVE ON PERFORMANCE OF HOT MIX ASPHALT

Truong Van Quyet^{1*}, Nguyen Ngoc Lan¹, Vo Dai Tu², Nguyen Thi My Tien²

¹University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

²BMT Investment Construction JSC, No 36 Vo Van Tan Street, Hochiminh, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 02/12/2020

Revised: 16/03/2021

Accepted: 17/03/2021

Published online: 15/04/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.3.6>

* *Corresponding author*

Email: quyet.tv@utc.edu.vn; Tel: 0978452140

Abstract. ZAG1 additive is a new plastic resin produced based on recycled PE (Polyethylene) plastic and some other compounds. With the properties of the PE resin, ZAG1 additive can improve the performances of the hot mix asphalt (HMA). This paper presents the experimental results of rutting and cracking performance (Cracking Tolerance Index - CT_{Index}) of the HMA with ZAG1 additive ratios of 0%, 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% and 0.9% by weight of mixture. Bitumen 60/70 was used in all mixtures. The results showed that the ZAG1 ratio increased, the rutting and the CT_{Index} index of the mixture decreased. In order to balance between the rutting resistance and the crack resistance of the mixture, the optimal ZAG1 additive ratio should be 0.58%.

Keywords: Polyethylene (PE), ZAG1, Rutting, Cracking Tolerance Index (CT_{index}).



ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG PHỤ GIA ZAG1 ĐẾN MỘT SỐ TÍNH NĂNG CỦA BÊ TÔNG ASPHALT

Trương Văn Quyết^{1*}, Nguyễn Ngọc Lâm¹, Võ Đại Tú², Nguyễn Thị Mỹ Tiên²

¹Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Công ty Cổ phần Đầu tư xây dựng BMT, Số 36 Võ Văn Tần, Hồ Chí Minh, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 02/12/2020

Ngày nhận bài sửa: 16/03/2021

Ngày chấp nhận đăng: 17/03/2021

Ngày xuất bản Online: 15/04/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.3.6>

* Tác giả liên hệ

Email: quyet.tv@utc.edu.vn; Tel: 0978452140

Tóm tắt. Phụ gia ZAG1 là sản phẩm hạt nhựa mới, được sản xuất trên nền nhựa PE (Polyethylene) tái chế và một số hợp chất khác. Với tính chất của nền nhựa gốc PE, phụ gia ZAG1 có thể cải thiện được một số tính năng cho bê tông asphalt nóng. Bài báo trình bày kết quả thực nghiệm đánh giá độ lún vệt hằn bánh xe và chỉ số kháng nứt (Cracking Tolerance Index - CT_{Index}) của hỗn hợp bê tông asphalt nóng có các tỷ lệ phụ gia ZAG1 lần lượt bằng 0%; 0,1%; 0,3%; 0,5%; 0,7% và 0,9% theo khối lượng hỗn hợp bê tông asphalt, tất cả các hỗn hợp đều sử dụng bitum quánh mức 60/70. Kết quả chỉ ra rằng, khi tỷ lệ phụ gia ZAG1 tăng lên thì độ lún vệt hằn bánh xe và chỉ số CT_{Index} của bê tông asphalt đều giảm xuống. Để cân bằng được giữa khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe và kháng nứt của hỗn hợp, nghiên cứu bước đầu đưa ra tỷ lệ phụ gia ZAG1 tối ưu là 0,58%.

Từ khóa: Polyethylene, phụ gia ZAG1, độ lún vệt hằn bánh xe, chỉ số kháng nứt CT_{Index} .

© 2021 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, hỗn hợp bê tông asphalt nóng (HMA) được sử dụng rộng rãi ở nước ta. Việc cải thiện chất lượng bê tông asphalt là điều cần thiết nhằm nâng cao tuổi thọ và đồng thời làm giảm chi phí bảo trì. Một số chất phụ gia truyền thống được sử dụng để cải thiện chất lượng bê tông asphalt như cao su thiên nhiên (natural rubber), sợi PP (polypropylene fiber),

polymer, phụ gia SBS (styrene butadiene styrene)...vv [1-5]. Tuy nhiên, sử dụng những phụ gia này làm tăng thêm chi phí giá thành bê tông asphalt. Gần đây có nhiều các nghiên cứu sử dụng vật liệu nhựa phế thải để cải thiện chất lượng bê tông asphalt [6-12]. Các loại nhựa được tạo ra bao gồm low-density polyethylene (LDPE), high-density polyethylene (HDPE), polyethene terephthalate (PET), polypropylene (PP), polyvinyl clorua (PVC), polyurethane (PU), polystyrene (PS), polycarbonate (PC), và các loại khác.

Có hai cách tiếp cận để đưa nhựa tái chế vào hỗn hợp asphalt bao gồm phương pháp trộn ướt và phương pháp trộn khô. Với phương pháp trộn ướt, nhựa tái chế được đưa vào bitum ở nhiệt độ thích hợp và trộn cơ học để đạt được hỗn hợp bitum biến tính. Đối với phương pháp trộn khô, nhựa tái chế được đưa trực tiếp vào hỗn hợp trong quá trình trộn như một chất thay thế một phần cốt liệu hoặc một chất điều chỉnh hỗn hợp.

Công ty CPĐT-XD BMT đã sản xuất phụ gia dạng hạt nhựa có tên thương mại là ZAG1 trên cơ sở chất nền là nhựa Polyethylene (PE) tái chế. Phụ gia ZAG1 được đưa vào hỗn hợp theo phương pháp trộn khô với các tỷ lệ từ 0,1% đến 0,9% theo khối lượng hỗn hợp. Ưu điểm của hỗn hợp HMA khi sử dụng phụ gia gốc PE là độ cứng của hỗn hợp tăng lên, dẫn đến đã cải thiện được sức kháng hằn lún vệt bánh xe, tuy nhiên sức kháng nứt lại giảm đi. Phương pháp thiết kế cân bằng [13] (BMD - Balanced Mix Design) đã được áp dụng để tìm ra hàm lượng phụ gia ZAG1 hợp lý nhằm đảm bảo được sự cân bằng cho hỗn hợp bê tông asphalt giữa khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe và kháng nứt. Trên cơ sở kết quả thí nghiệm độ lún vệt bánh xe và thí nghiệm chỉ số kháng nứt Cracking Tolerance Index (CT_{Index}) ứng với các tỷ lệ phụ gia ZAG1 khác nhau, nghiên cứu tiến hành xác định tỷ lệ phụ gia sử dụng hợp lý trong hỗn hợp asphalt.

2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

2.1. Vật liệu và thành phần hỗn hợp

Trong nghiên cứu này, chất kết dính bitum quánh loại 60/70 được sử dụng. Cốt liệu của hỗn hợp bê tông asphalt được lấy ở trạm trộn Tân Cang 3 của Công ty Cổ phần Đầu tư xây dựng BMT, Biên Hòa, Đồng Nai gồm đá 10×16, đá 5×10, đá 0×5 và bột khoáng. Bảng 1 thể hiện cấp phối hạt của các loại cốt liệu. Các vật liệu được thí nghiệm và kiểm tra, đều thỏa mãn theo yêu cầu của TCVN 8819: 2011 [14].

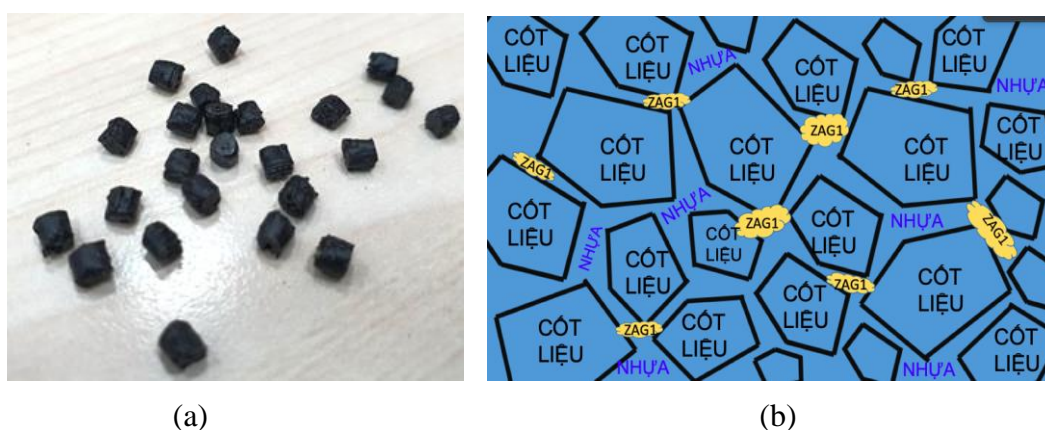
Bảng 1. Thành phần hạt của cốt liệu.

Cỡ sàng, mm	Phần trăm lượng lọt sàng của các loại cốt liệu tương ứng tại các cỡ sàng, %			
	Đá 10×16	Đá 5×10	Đá 0×5	Bột khoáng
19	100	100	100	100
12,5	58,3	100	100	100
9,5	13,5	93,5	100	100
4,75	0,7	7,1	93,9	100
2,36	0,2	0,6	67,5	100
1,18	0,2	0,4	53,9	100
0,60	0,2	0,3	36,5	100
0,30	0,2	0,3	23,3	100
0,15	0,2	0,3	16,3	95,0
0,075	0,2	0,3	6,4	90,0
< 0,075	0	0	0	0

Phụ gia ZAG1 do Công ty Cổ Phần Đầu Tư Xây Dựng BMT sản xuất (Hình 1a). ZAG1 có nguồn gốc từ nhựa PE (polyethylene) tái chế (trên 80%), thành phần chính bao gồm nhựa LDPE hoặc HDPE. ZAG1 hoạt động trên cơ chế liên kết cốt liệu với cốt liệu, cùng với nhựa tạo nên một hệ thống giúp vật liệu liên kết bền vững hơn (Hình 1b). Các thí nghiệm đánh giá chỉ tiêu kỹ thuật của phụ gia ZAG1 bao gồm màu sắc, kích thước hạt, khối lượng riêng, chỉ số chảy MFR và nhiệt độ biến dạng HDT được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Các chỉ tiêu kỹ thuật của phụ gia ZAG1.

STT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Giá trị	Phương pháp
1	Màu sắc	Đen	Ngoại quan
2	Hình dạng	Dạng hạt	Ngoại quan
3	Kích thước, mm	2-5	Đo thước
4	Hàm lượng chất dễ bay hơi, %	≤ 0,5	ASTM D5668
5	Hàm lượng tro sau nung, %	5 – 8	TCVN 173:1995
6	Khối lượng riêng, g/cm ³	0,95 – 0,98	ASTM D792
7	Chỉ số chảy của nhựa MFI/MFR tại 230°C tải trọng 2,16 kg, g/10min	2 – 20	ISO 1133
8	Nhiệt độ biến dạng HDT, °C	≥ 40 tại 1,82 MPa ≥ 50 tại 0,45 MPa	ISO 75



Hình 1. Phụ gia ZAG1.

Để xác định hàm lượng bitum tối ưu cho bê tông asphalt C12.5, phương pháp Marshall đã được lựa chọn áp dụng. Các chỉ tiêu kỹ thuật của bê tông asphalt được thí nghiệm và kiểm tra đáp ứng theo TCVN 8819:2011. Tỷ lệ phối trộn các vật liệu thành phần và hàm lượng bitum tối ưu của các hỗn hợp được thể hiện ở Bảng 3. Cấp phối hỗn hợp vật liệu khoáng của hỗn hợp bê tông asphalt khi thiết kế phải nằm trong giới hạn quy định của tiêu chuẩn. Dựa trên tỷ lệ thành phần hỗn hợp vật liệu khoáng và chất kết dính bitum (không có phụ gia ZAG1) đã được xác định, nghiên cứu tiến hành thí nghiệm đánh giá độ lún vệt hằn bánh xe và sức kháng nứt ứng với tỷ lệ phụ gia ZAG1 khác nhau. Hàm lượng ZAG1 tối ưu được xác định trên cơ sở đánh giá sự cân bằng giữa độ lún vệt hằn bánh xe và chỉ số kháng nứt của hỗn hợp. Hỗn hợp đối chứng là hỗn hợp không sử dụng phụ gia ZAG1.

Bảng 3. Kết quả thiết kế thành phần hỗn hợp theo Marshall.

Chi tiêu hỗn hợp		Kết quả	Yêu cầu kỹ thuật
Tỷ lệ vật liệu (theo khối lượng hỗn hợp)	Đá 10-16	18,1	-
	Đá 5-10	27,6	-
	Đá 0-5	45,6	-
	Bột đá	3,8	-
	Bitum	5,0	-
Tỷ trọng lớn nhất, G_{mm}		2,550	-
Tỷ trọng khối, G_{mb}		2,396	-
Độ rỗng dư, V_a (%)		4,9	3-6
Độ rỗng hỗn hợp VLK, VMA (%)		15,7	≥ 14
Độ rỗng lấp đầy bitum, VFA (%)		68,5	65-75
Hàm lượng bitum hấp phụ, P_{ba} (%)		0,5	-
Hàm lượng bitum có hiệu, P_{be} (%)		4,5	-
Độ ổn định Marshall, kN		12,3	≥ 8
Độ dẻo Marshall, mm		3,5	2-4

Trên cơ sở tỷ lệ thành phần hỗn hợp bê tông asphalt không có phụ gia ZAG1, nghiên cứu tiến hành cải tiến hỗn hợp bởi các tỷ lệ phụ gia lần lượt là 0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7% và 0,9% theo khối lượng hỗn hợp. Bảng 4 thể hiện tỷ lệ các thành phần hỗn hợp tương ứng với các tỷ lệ ZAG1 khác nhau.

Bảng 4. Tỷ lệ thành phần hỗn hợp sử dụng phụ gia ZAG1.

Vật liệu (%)	0%	0,1%	0,3%	0,5%	0,7%	0,9%
	ZAG1	ZAG1	ZAG1	ZAG1	ZAG1	ZAG1
Đá 10x16	18,1	18,0	18,0	18,0	17,9	17,9
Đá 5x10	27,6	27,5	27,5	27,4	27,3	27,3
Đá 0x5	45,6	45,6	45,5	45,4	45,3	45,2
Bột khoáng	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Phụ gia ZAG1	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
Hàm lượng bitum	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Tổng	100	100	100	100	100	100

2.2. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm

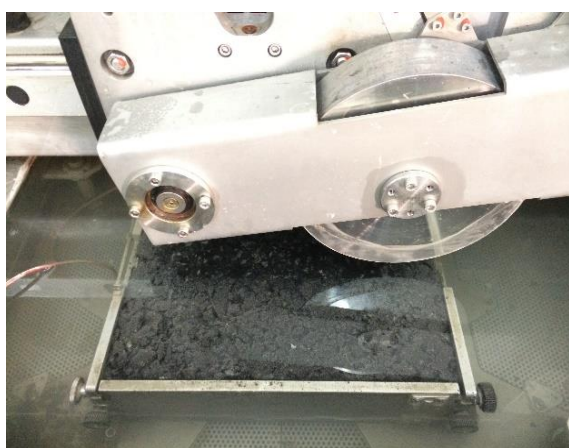
Để mô phỏng thực tế quá trình thi công, các hỗn hợp được hóa già ngắn hạn ở $135 \pm 3^\circ\text{C}$ trong tủ sấy 4 giờ theo hướng dẫn của tiêu chuẩn AASHTO R30 [15]. Các thí nghiệm đánh giá tính năng của hỗn hợp asphalt trong nghiên cứu này bao gồm thí nghiệm hàn lún vết bánh xe và thí nghiệm kháng nứt. Bảng 5 thể hiện số lượng mẫu thí nghiệm ứng với các hỗn hợp.

Bảng 5. Số lượng mẫu thí nghiệm đánh giá tính năng.

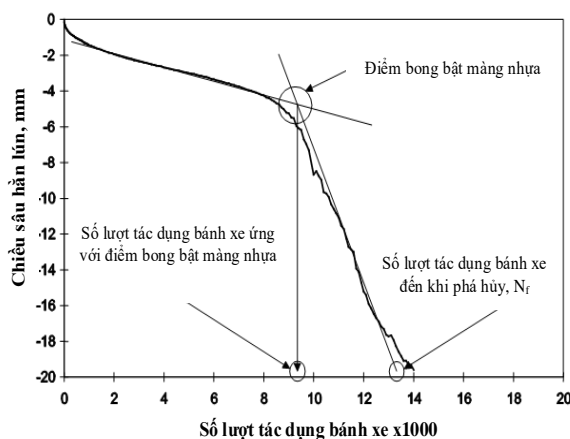
Chỉ tiêu	0% ZAG1	0,1% ZAG1	0,3% ZAG1	0,5% ZAG1	0,7% ZAG1	0,9% ZAG1	Tổng số mẫu
Độ lún vết hằn bánh xe	2	2	2	2	2	2	12
Sức kháng nứt	3	3	3	3	3	3	18

2.3. Tiến hành thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, để đánh giá sức kháng hằn lún vết bánh xe và kháng nứt, thí nghiệm Hamburg Wheel-Track Test (HWTT) (hình 2) và Cracking Tolerance Index (CT_{Index}) (hình 3) đã được lựa chọn tương ứng. Đối với thí nghiệm đánh giá sức kháng hằn lún vết bánh xe, các mẫu được chế bị trong phòng thí nghiệm với kích thước 300x260x50 mm, độ rỗng dư bằng $7\pm 1,0\%$. Nhiệt độ thí nghiệm được lựa chọn là 50°C , số lượt tác dụng của bánh xe tiêu chuẩn thí nghiệm là 15000 lượt đối với hỗn hợp không sử dụng phụ gia ZAG1 và 40000 lượt đối với hỗn hợp sử dụng phụ gia ZAG1 [16]. Chiều sâu độ lún vết hằn bánh xe cho phép thí nghiệm tối đa là 12,5 mm.



(a)



(b)

Hình 2. Thí nghiệm HWTT (a) Thí nghiệm HWTT, (b) Mô phỏng kết quả thí nghiệm HWTT.

Đối với thí nghiệm nứt, chỉ số Cracking Tolerance Index (CT_{Index}) được xác định từ thí nghiệm Indirect Tensile test (IDT) trên mẫu hình trụ tròn có đường kính bằng 150 ± 2 mm, chiều cao bằng 62 ± 1 mm để đánh giá sức kháng nứt của hỗn hợp asphalt. Các mẫu thí nghiệm được đầm trên thiết bị đầm xoay để đạt được độ rỗng dư V_a bằng $7\pm 0,5\%$. Thí nghiệm xác định chỉ số CT_{Index} được thực hiện theo hướng dẫn của tiêu chuẩn ASTM D8225-19 [17], được xác định từ đường cong quan hệ giữa lực-chuyển vị như ở hình 3 được tính toán theo công thức (1) hoặc (2) như sau:

Với mẫu có chiều dày 62 mm:

$$CT_{index} = \frac{G_f}{|m_{75}|} \times \left(\frac{l_{75}}{D} \right) \quad (1)$$

Với mẫu có chiều dày khác 62 mm:

$$CT_{index} = \frac{t}{62} \times \frac{G_f}{|m_{75}|} \times \left(\frac{l_{75}}{D} \right) \quad (2)$$

trong đó:

G_f - năng lượng phá hủy nứt (J/m^2);

$$G_f = \frac{W_f}{D \times t} \times 10^6 \quad (3)$$

W_f - công phá hoại (J)

D - đường kính mẫu thí nghiệm (mm);

t - chiều cao mẫu thí nghiệm (mm);

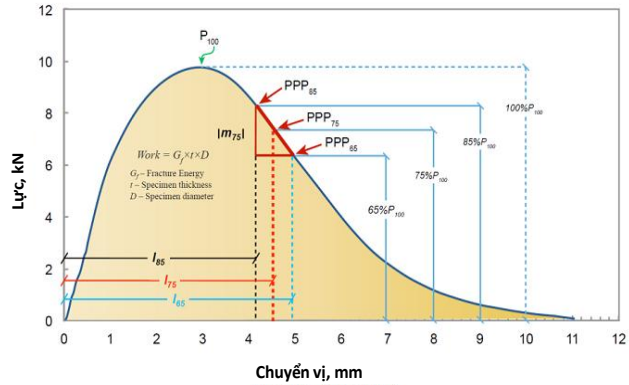
l_{75} - chuyển vị ứng với lực nén bằng 75% lực nén lớn nhất (mm);

$|m_{75}|$ - giá trị tuyệt đối của độ dốc đường cong lực-chuyển vị sau giá trị lực nén lớn nhất (N/m);

$|m_{75}| = \left| \frac{P_{85} - P_{65}}{l_{85} - l_{65}} \right|$, giá trị P_{85} và P_{65} được xác định như ở Hình 3.



(a)



(b)

Hình 3. Thí nghiệm nứt xác định chỉ số CT_{index}

(a) Mẫu thí nghiệm, (b) Biểu đồ quan hệ lực-chuyển vị.

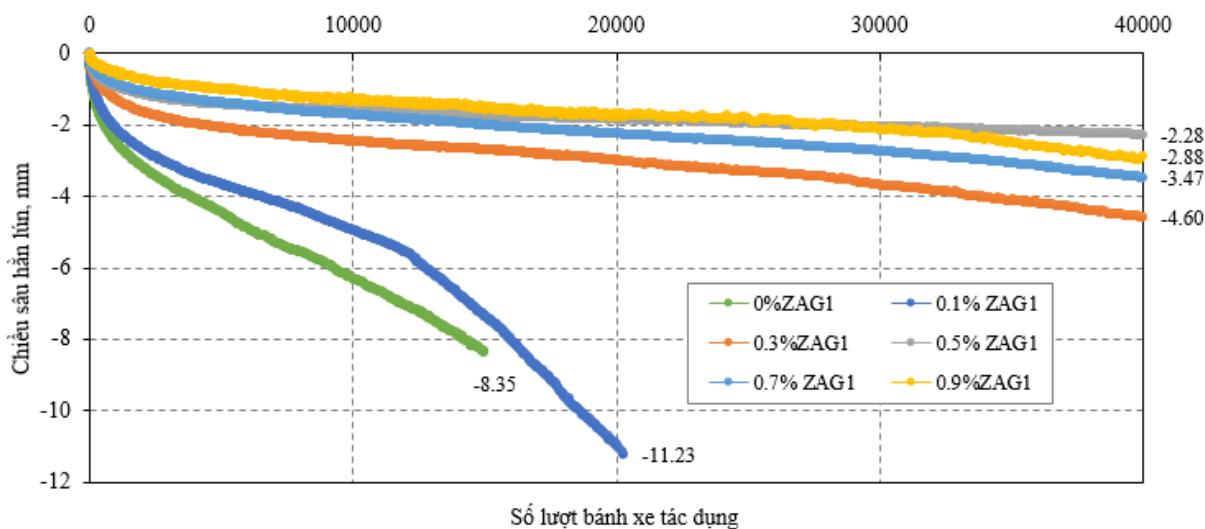
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia ZAG1 đến độ lún vệt hằn bánh xe

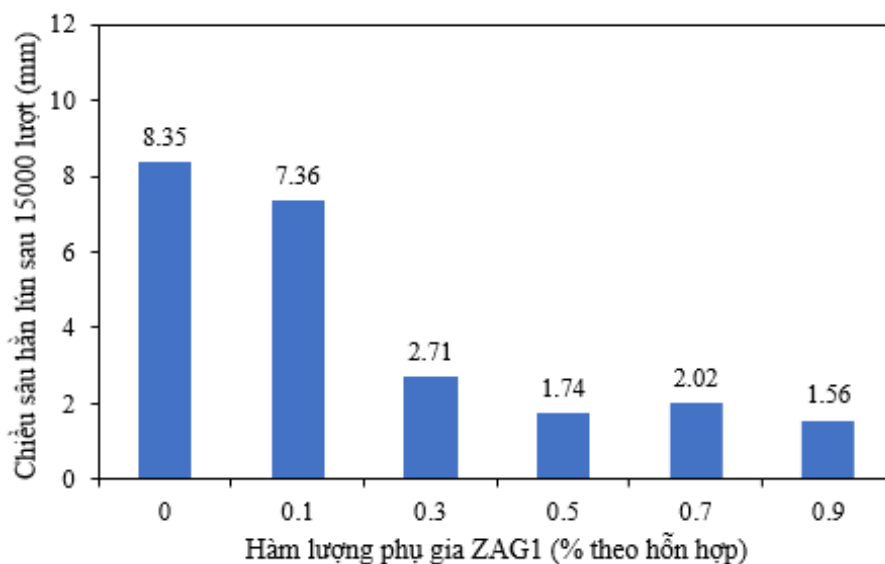
Kết quả thí nghiệm lún hằn vệt bánh xe của các hỗn hợp được thể hiện như ở Hình 4. Với hỗn hợp 0% ZAG1, thí nghiệm hằn lún vệt bánh xe thực hiện ở 15000 lượt tác dụng. Giá trị độ lún đạt được sau 15000 lượt là 8,35 mm, thấp hơn 66,8% so với giới hạn độ lún lớn nhất cho phép là 12,5 mm. Với các hỗn hợp có sử dụng phụ gia ZAG1, thí nghiệm hằn lún vệt bánh xe được thực hiện ở 40000 lượt tác dụng. Tuy nhiên, với hỗn hợp 0,1% ZAG1, thí nghiệm hằn lún ở 20000 lượt tác dụng đạt chiều sâu lún là 11,23 mm, giá trị này gần với độ lún giới hạn tối đa cho phép. Ngoài ra, hỗn hợp 0,1% ZAG1 đã xuất hiện điểm bong bật màng nhựa ở số lượt bánh xe tác dụng là 12250 lượt, trong khi đó với các hỗn hợp sử dụng hàm

lượng phụ gia ZAG1 từ 0,3% trở lên đều không xuất hiện điểm bong bật màng nhựa.

Kết quả thí nghiệm thể hiện ở Hình 4 và Hình 5 cho thấy, độ lún vết hằn bánh xe của các hỗn hợp có sử dụng phụ gia ZAG1 giảm đáng kể so với hỗn hợp không sử dụng ZAG1. Độ lún vết hằn bánh xe có xu hướng thấp dần khi tỷ lệ phụ gia ZAG1 tăng từ 0,1% đến 0,9%. Kết quả này là do cơ chế làm cứng hóa bộ khung cấu trúc cốt liệu của phụ gia ZAG1.



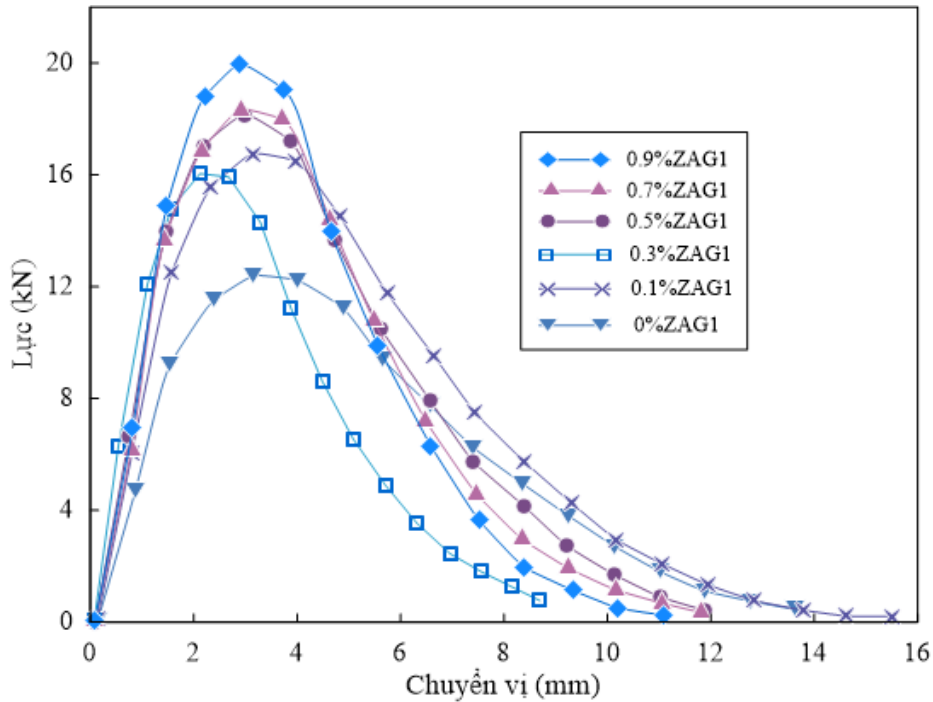
Hình 4. Tương quan giữa độ lún vết hằn bánh xe với số lượt bánh xe tác dụng.



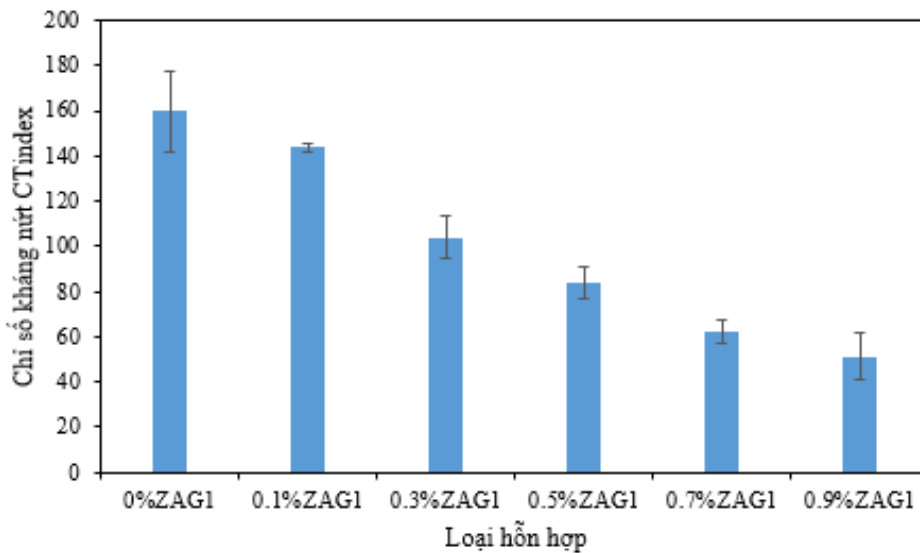
Hình 5. Độ lún vết hằn bánh xe của các hỗn hợp sau 15000 lượt tác dụng.

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia ZAG1 đến sức kháng nứt của hỗn hợp

Kết quả thí nghiệm IDT của các mẫu thí nghiệm được thể hiện ở Hình 6. Thí nghiệm nén kết thúc khi lực nén giảm còn khoảng 0,1 kN. Từ kết quả đường cong lực - chuyển vị, nghiên cứu tiến hành tính toán chỉ số kháng nứt CT_{Index} theo hướng dẫn của tiêu chuẩn ASTM D8225-19.



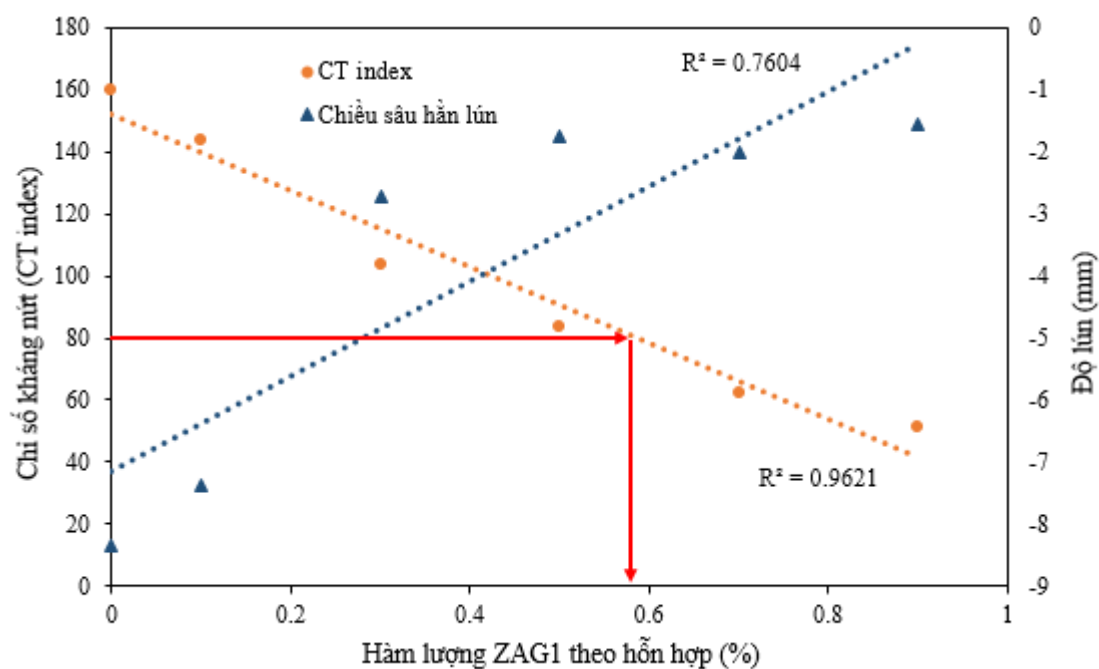
Hình 6. Đường cong quan hệ giữa lực và chuyển vị của các hỗn hợp.



Hình 7. Kết quả tính toán chỉ số CT_{Index} .

Kết quả thể hiện như ở hình 7 cho thấy, hỗn hợp sử dụng phụ gia ZAG1 có chỉ số CT_{Index} thấp hơn trung bình từ 10,0% đến 67,8% so với hỗn hợp 0% ZAG1. Chỉ số CT_{Index} giảm dần khi tăng tỷ lệ sử dụng phụ gia ZAG1 tương ứng. Xu hướng thể hiện kết quả này phản ánh đúng bản chất của phụ gia ZAG1 với chất nền là nhựa PE. Nếu lấy giới hạn chỉ số kháng nứt CT_{Index} tối thiểu cho phép theo Sở GTVT Bang Virginia là 80 [18], thì hỗn hợp 0,7% ZAG1 và 0,9 % ZAG1 đều có chỉ số CT_{Index} thấp hơn. Với mục tiêu đảm bảo được sự cân bằng cho hỗn hợp bê tông asphalt có sử dụng phụ gia ZAG1 về chống hằn lún vệt bánh xe và chống nứt, tỷ lệ phụ gia ZAG1 tối ưu nằm trong khoảng tỷ lệ phụ gia thỏa mãn đồng thời độ hằn lún vệt bánh xe và chỉ số kháng nứt. Nếu lấy giới hạn độ lún vệt hằn bánh xe thí nghiệm tối đa

cho phép là 12,5 mm sau 15000 chu kỳ tác dụng [15] và chỉ số kháng nứt CT_{Index} giới hạn tối thiểu cho phép là 80 thì tỷ lệ phụ gia tối ưu vào khoảng 0,58 % (hình 7) để có thể cân bằng được khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe và kháng nứt cho hỗn hợp.



Hình 7. Tương quan giữa độ lún vệt hằn bánh xe và chỉ số kháng nứt với các hàm lượng ZAG1 khác nhau.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên các nghiên cứu thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ phụ gia ZAG1 đến ứng xử lún vệt hằn bánh xe và nứt của hỗn hợp bê tông asphalt, một số kết luận sau được đưa ra như sau:

Phụ gia ZAG1 đã tương tác tốt với cốt liệu trong hỗn hợp bê tông asphalt để cải thiện độ cứng của hỗn hợp.

Sức kháng hằn lún vệt bánh xe của hỗn hợp bê tông asphalt đã được cải thiện khi dùng phụ gia ZAG1. Mức độ kháng hằn lún càng tăng khi tăng hàm lượng phụ gia sử dụng và các hỗn hợp sử dụng hàm lượng phụ gia ZAG1 từ 0,3% trở lên đều không xuất hiện điềm bong bọt màng nhựa sau 40000 lượt tác dụng bánh xe.

Hỗn hợp sử dụng phụ gia ZAG1 có chỉ số CT_{Index} thấp hơn trung bình từ 10,0% đến 67,8% so với hỗn hợp 0% ZAG1.

Để cân bằng giữa khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe và kháng nứt, bước đầu nghiên cứu xác định được tỷ lệ ZAG1 tối ưu là 0,58%.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. F. Cheriet, K. Soudani, S. Haddadi, Influence of natural rubber on creep behavior of bituminous concrete, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 195 (2015) 2769-2776. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.391>

- [2]. S. Tapkın, Optimal polypropylene fiber amount determination by using gyratory compaction, static creep and Marshall stability and flow analyses, *Construction and Building Materials*, 44 (2013) 399-410. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.060>
- [3]. M. Panda, A. Suchismita, J. Giri, Utilization of ripe coconut fiber in stone matrix asphalt mixes, *International Journal of Transportation Science and Technology*, 2 (2013) 289-302. <https://doi.org/10.1260/2046-0430.2.4.289>
- [4]. M. Karacasua, A. Er, V. Okur, Energy efficiency of rubberized asphalt concrete under low-temperature conditions, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54 (2012) 1242-1249. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.838>
- [5]. D. Arslan, M. Guru, M. KurSat Cubuk, M. Cubuk, Improvement of bitumen and bituminous mixtures performances by triethylene glycol based synthetic polyboron, *Construction and Building Materials*, 25 (2011) 3863-3868. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.007>
- [6]. M. Arabani, M. Pedram, Laboratory investigation of rutting and fatigue in glassphalt containing waste plastic bottles, *Construction and Building Materials*, 116 (2016) 378-383. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.105>
- [7]. D. Ge, K. Yan, Z. You, H. Xu, Modification mechanism of asphalt binder with waste tire rubber and recycled polyethylene, *Construction and Building Materials*, 126 (2016) 66-76. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.014>
- [8]. X. Hu, N. Wang, P. Pan, T. Bai, Performance evaluation of asphalt mixture using brake pad waste as mineral filler, *Construction and Building Materials*, 138 (2017) 410-417. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.031>
- [9] Ç. Kara, M. Karacasu, Investigation of waste ceramic tile additive in hot mix asphalt using fuzzy logic approach, *Construction and Building Materials*, 141 (2017) 598-607. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.02>
- [10]. M.A. Dalhat, Akeem Y. Adesina, Utilization of micronized recycled polyethylene waste to improve the hydrophobicity of asphalt surfaces, *Construction and building Materials*, 240 (2020) 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117966>
- [11]. M.B. Khurshid, N.A. Qureshi, A. Hussain, M.J. Iqbal, Enhancement of Hot Mix Asphalt (HMA) Properties Using Waste Polymers, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44 (2019) 8239-8248. <https://doi.org/10.1007/s13369-019-03748-3>
- [12]. I. A. El-Naga, M. Ragab, Benefits of utilization the recycle polyethylene terephthalate waste plastic materials as a modifier to asphalt mixtures, *Construction and building Materials*, 219 (2019) 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.172>
- [13]. R. West, C. Rodezno, F. Leiva, F. Yin, Development of a Framework for Balanced Mix Design, Project NCHRP 20-07/Task 406, USA, 2018.
- [14]. TCVN 8819-2011, Mặt đường bê tông asphalt nóng - Yêu cầu thi công và nghiệm thu, Tiêu chuẩn Việt Nam, 2011.
- [15]. AASHTO R30, Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot-Mix Asphalt (HMA), American Association of State and Highway Transportation Officials, 2019.
- [16]. Quyết định 1617/QĐ-BGTVT, Quyết định Ban hành Quy định kỹ thuật về phương pháp thử độ sâu vết hằn bánh xe của bê tông asphalt xác định bằng thiết bị Wheel tracking, Bộ Giao thông vận tải, 2014.
- [17]. ASTM D8225, Standard Test Method for Determination of Cracking Tolerance Index of Asphalt Mixture Using the Indirect Tensile Cracking Test at Intermediate Temperature, American Society for Testing and Materials, 2019.
- [18]. S. D. Diefenderfer, B. F. Bowers, Initial approach to performance (Balanced) mix design: The Virginia experience, *Journal of the Transportation Research Board*, 25 (2019) 1-11. <https://doi.org/10.1177/0361198118823732>