



EXPERIMENTAL STUDY ON DYNAMIC MODULUS OF HOT RECYCLED ASPHALT MIXTURES WITH HIGH RAP CONTENT AND REJUVENATORS

Truong Van Quyet^{1*}, Nguyen Ngoc Lan¹, Dao Van Dong²

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

²Thai Binh Duong University, No 79 Mai Thi Dong Street, Nha Trang city, Khánh Hoa, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 31/10/2024

Revised: 25/11/2024

Accepted: 11/12/2024

Published online: 15/12/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.9.11>

* *Corresponding author*

Email: quyet.tv@utc.edu.vn; Tel: +84978452140

Abstract. Dynamic modulus ($|E^*|$) is one of the most important input parameters that need to be determined for mechanical empirical pavement design. Dynamic modulus represents the stiffness of asphalt mixture to meet the load bearing capacity of the pavement structure. This paper presents the results of $|E^*|$ of recycled asphalt mixtures using 50%RAP and rejuvenators. Two vegetable oils-based rejuvenators (Prephalt and SV) and a petroleum-based rejuvenator (HS1) were used in the recycled mixtures at the contents of 7.5%, 8.3%, and 10.5%, respectively, by the weight of RAP bitumen. The mixtures were subjected to short-term and long-term aging before compacting. Four temperature levels (4°C, 21°C, 37°C, and 54°C) and six frequency levels (0.1 Hz, 0.5 Hz, 1 Hz, 5 Hz, 10 Hz, and 25 Hz) were selected for the dynamic modulus test. The results showed that dynamic modulus $|E^*|$ are affected by factors such as temperature, frequency, aging conditions, and rejuvenator types. In addition, the recycled mixture using RAP has a higher $|E^*|$ than the mixture without RAP. Three rejuvenators showed effectiveness in reducing the stiffness of mixtures under short and long-term aging conditions compared to the 50%RAP mixture without rejuvenator. Regarding the effect of rejuvenators on $|E^*|$, the recycled mixture using a petroleum-based rejuvenator showed lower aging than the vegetable-based rejuvenator when undergoing long-term aging.

Keywords: mechanical empirical, dynamic modulus, stiffness, recycled asphalt mixture, rejuvenator, aging.

@ 2024 University of Transport and Communications



NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM MÔ ĐUN ĐỘNG CỦA BÊ TÔNG ASPHALT TÁI CHẾ NÓNG CÓ HÀM LƯỢNG RAP CAO VÀ PHỤ GIA TÁI SINH

Trương Văn Quyết^{1*}, Nguyễn Ngọc Liên¹, Đào Văn Đông²

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

²Trường Đại học Thái Bình Dương, Số 79 Mai Thị Dõng, Nha Trang, Khánh Hòa, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 31/10/2024

Ngày nhận bài sửa: 25/11/2024

Ngày chấp nhận đăng: 11/12/2024

Ngày xuất bản Online: 15/12/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.9.11>

* Tác giả liên hệ

Email: quyet.tv@utc.edu.vn; Tel: +84978452140

Tóm tắt. Mô đun động ($|E^*|$) của bê tông asphalt là một trong những thông số đầu vào quan trọng nhất cần được xác định, được sử dụng để thiết kế kết cấu mặt đường theo phương pháp cơ học thực nghiệm. Mô đun động thể hiện độ cứng của bê tông asphalt nhằm đáp ứng khả năng chịu tải trọng của mặt đường. Bài báo này trình bày kết quả thí nghiệm $|E^*|$ của hỗn hợp asphalt tái chế nóng sử dụng 50%RAP và phụ gia tái sinh. Hai loại phụ gia tái sinh gốc dầu thực vật (Prephalt và SV) và một loại phụ gia tái sinh gốc dầu mỏ (HS1) được sử dụng trong hỗn hợp tái chế tương ứng với các tỷ lệ 7,5%, 8,3% và 10,5% theo khối lượng bitum cũ trong RAP. Các hỗn hợp được hoá già ngắn hạn và hoá già dài hạn trước khi chế tạo mẫu thí nghiệm. Bốn mức nhiệt độ (4, 21, 37 và 54°C) và sáu tần số thí nghiệm (0,1, 0,5, 1, 5, 10 và 25 Hz) được lựa chọn để thí nghiệm $|E^*|$. Kết quả chỉ ra rằng, tất cả các yếu tố bao gồm nhiệt độ thí nghiệm, tần số thí nghiệm, điều kiện hoá già, hàm lượng RAP và loại phụ gia tái sinh đều có ảnh hưởng đến giá trị mô đun động $|E^*|$. Ngoài ra, kết quả thực nghiệm cho thấy rằng, hỗn hợp sử dụng RAP có $|E^*|$ cao hơn so với hỗn hợp không sử dụng RAP. Cả ba loại phụ gia tái sinh đều có hiệu quả làm giảm độ cứng của hỗn hợp asphalt tái chế ở điều kiện hoá già ngắn hạn và hoá già dài hạn so với hỗn hợp 50% RAP không có phụ gia tái sinh. Xét về ảnh hưởng của loại phụ gia tái sinh đến $|E^*|$ thì hỗn hợp sử dụng phụ gia tái sinh gốc dầu mỏ thể hiện sự lão hóa thấp hơn so với phụ gia tái sinh gốc dầu thực vật khi trải qua quá trình hoá già dài hạn.

Từ khóa: cơ học thực nghiệm, mô đun động, độ cứng, hỗn hợp asphalt tái chế, phụ gia tái sinh, hoá già.

@ 2024 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phương pháp cơ học - thực nghiệm đã và đang được sử dụng phổ biến trong thiết kế kết cấu mặt đường ở nhiều nước trên thế giới, đặc biệt với kết cấu mặt đường sử dụng công nghệ vật liệu mới [1, 2]. Mô đun động của bê tông asphalt ($|E^*|$) là một trong những thông số quan trọng nhất được yêu cầu trong thiết kế kết cấu mặt đường theo phương pháp cơ học thực nghiệm [3]. Mô đun động biểu thị độ cứng của bê tông asphalt nhằm đáp ứng khả năng chịu tải trọng của mặt đường. Xét trong giới hạn đàn nhót tuyến tính, mô đun động được sử dụng để mô tả mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của bê tông asphalt dưới tác dụng của tải trọng động. Theo Witczak và các cộng sự [4], mô đun động cũng là một tham số quan trọng được sử dụng để dự báo khả năng kháng hằn lún và kháng nứt do mỏi trong kết cấu mặt đường.

Hiện nay, việc tận dụng vật liệu mặt đường asphalt cũ (RAP) để tái sử dụng trong công nghệ tái chế nóng hoặc ấm đã trở nên phổ biến vì những lợi ích về mặt môi trường, kinh tế và kỹ thuật. RAP được sử dụng trong hỗn hợp tái chế với các hàm lượng khác nhau dựa vào lớp mặt đường thiết kế hoặc lưu lượng giao thông [5]. Đối với hỗn hợp bê tông asphalt tái chế sử dụng RAP, độ cứng của hỗn hợp sẽ thay đổi, dẫn đến ứng xử của kết cấu dưới tác dụng của tải trọng khác nhau. Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng, việc gia tăng hàm lượng RAP sử dụng làm tăng độ cứng của hỗn hợp [6–11]. Sondag và các cộng sự [12] chỉ ra rằng hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng 40% RAP dẫn đến độ cứng của hỗn hợp tăng lên 74%. Hơn nữa, nguồn RAP khác nhau cũng dẫn đến những thay đổi về độ cứng khác nhau. Báo cáo của NCHRP 09-46 [13] chỉ ra rằng mô đun động của bê tông asphalt tái chế bị ảnh hưởng đáng kể bởi loại vật liệu RAP do hàm lượng và mức độ lão hóa của bitum trong các nguồn RAP là khác nhau.

Nhằm mục đích giảm độ cứng đồng thời cải thiện khả năng kháng nứt của hỗn hợp, phụ gia tái sinh thường được sử dụng trong hỗn hợp tái chế có hàm lượng RAP cao. Kaseer và các cộng sự [14] chỉ ra sự giảm đáng kể độ cứng của hỗn hợp tái chế với hàm lượng RAP cao do sử dụng phụ gia tái sinh. Nam Trần và các cộng sự [15] cũng chỉ ra rằng, việc bổ sung phụ gia tái sinh làm giảm độ cứng của hỗn hợp asphalt tái chế và độ cứng đạt được gần tương tự như hỗn hợp đối chứng ở điều kiện hóa già ngắn hạn. Khi trải qua quá trình hóa già dài hạn, hỗn hợp asphalt sẽ trở nên cứng và giòn hơn [16–19]. Điều này có thể có lợi cho khả năng kháng hằn lún nhưng lại làm gia tăng độ cứng và khả năng nứt của mặt đường. Vì vậy, nhiều nghiên cứu gần đây đã tập trung vào đánh giá ảnh hưởng của hóa già dài hạn đến các tính năng của hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng phụ gia tái sinh [20–22].

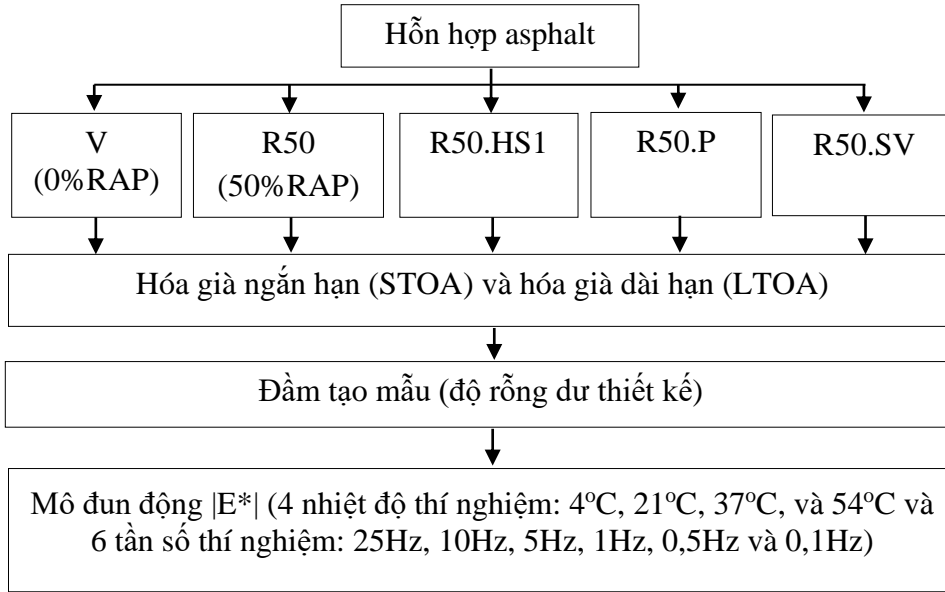
Trong nghiên cứu này, sự thay đổi độ cứng của bê tông asphalt được đánh giá thông qua mô đun động $|E^*|$ theo tiêu chuẩn AASHTO TP 62 [23]. Hỗn hợp asphalt tái chế có tỷ lệ RAP bằng 50% với phụ gia tái sinh và hỗn hợp đối chứng 0%RAP (V) được đánh giá có xét đến điều kiện hóa già ngắn hạn và hóa già dài hạn. Thí nghiệm mô đun động được thực hiện ở bốn nhiệt độ thí nghiệm (4°C , 21°C , 37°C và 54°C) và sáu tần số tác dụng (0,1Hz, 0,5Hz, 1Hz, 5Hz, 10Hz và 25Hz). Ảnh hưởng của các yếu tố bao gồm loại phụ gia tái sinh, điều kiện hóa già, nhiệt độ và tần số thí nghiệm đến mô đun động $|E^*|$ của bê tông asphalt được chỉ ra trong nghiên cứu này.

2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

2.1. Kế hoạch thực nghiệm

Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá ảnh hưởng của phụ gia tái sinh, điều kiện hóa già, nhiệt độ và tần số thí nghiệm đến mô đun động $|E^*|$ của bê tông asphalt tái chế nóng có hàm lượng RAP bằng 50%. Năm hỗn hợp asphalt được đánh giá bao gồm: (1) hỗn hợp

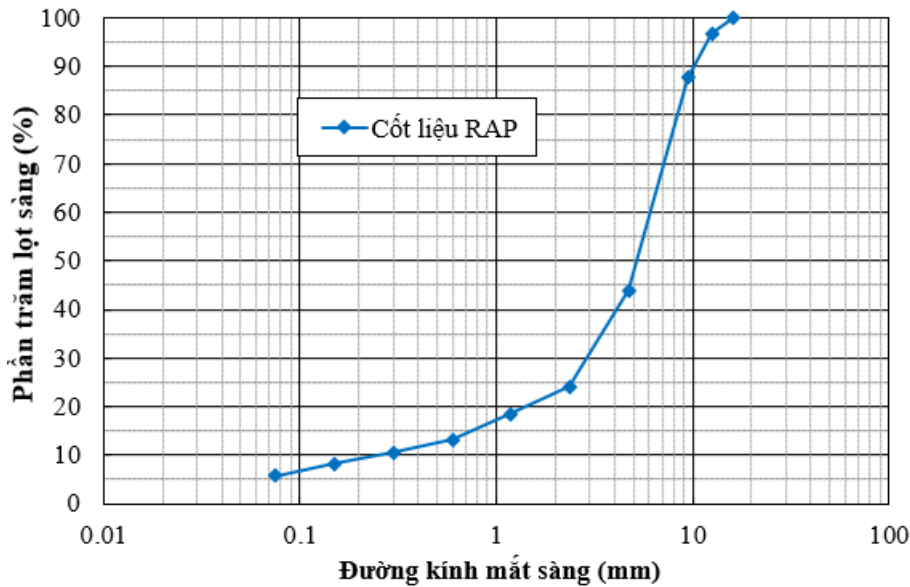
asphalt đối chứng không sử dụng RAP (V), (2) hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng 50%RAP (R50), (3) hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng 50%RAP với phụ gia tái sinh HS1 (R50.HS1), (4) hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng 50%RAP với phụ gia tái sinh Prephalt (R50.P) và (5) hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng 50%RAP với phụ gia tái sinh SV (R50.SV). Chi tiết kế hoạch nghiên cứu được thể hiện ở Hình 1.



Hình 1. Kế hoạch thí nghiệm.

2.2. Vật liệu chế tạo

Vật liệu RAP: Vật liệu RAP sử dụng cho nghiên cứu được lấy ở trạm trộn Tân Cang, Biên Hòa, Đồng Nai. RAP được chiết để xác định hàm lượng bitum trong RAP và cốt liệu RAP. Hàm lượng bitum cũ được xác định là 3% theo khối lượng vật liệu RAP. Thành phần hạt của cốt liệu RAP được thể hiện ở Hình 2.

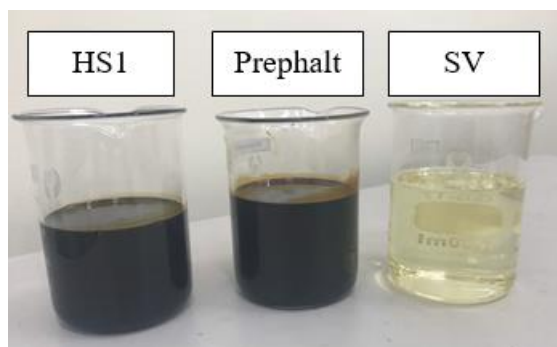


Hình 2. Thành phần hạt của cốt liệu RAP.

Bitum: Bitum mới được sử dụng là loại bitum 60/70 của Công ty TNHH Nhựa đường Petrolimex. Kết quả thí nghiệm một số chỉ tiêu kỹ thuật của bitum 60/70 đều thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 13567-1:2022 [24].

Cốt liệu: Cốt liệu mới được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm đá 10-16, đá 5-10, đá 0-5 và bột khoáng, cũng được lấy ở trạm trộn Tân Càng, Biên Hòa, Đồng Nai. Các chỉ tiêu kỹ thuật của cốt liệu đều phù hợp và thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 13567-1:2022.

Phụ gia tái sinh: Trong nghiên cứu này, ba loại phụ gia được sử dụng là phụ gia tái sinh gốc dầu mỏ (HS1 – màu nâu sẫm) và hai loại phụ gia tái sinh gốc dầu thực vật (Prephalt – màu nâu sẫm và SV – màu vàng) (Hình 3). Bảng 1 thể hiện một số chỉ tiêu kỹ thuật của ba loại phụ gia tái sinh. Các loại phụ gia tái sinh được đưa vào hỗn hợp asphalt tái chế theo phương pháp trộn với bitum mới. Hàm lượng phụ gia tái sinh Prephalt, SV và HS1 được lựa chọn trong nghiên cứu này lần lượt là 7,5%, 8,3% và 10,5% theo khối lượng bitum cũ trong RAP [25]. Hàm lượng phụ gia tối ưu trên được lựa chọn dựa trên việc cân bằng khả năng kháng nứt mà không ảnh hưởng đến khả năng kháng hằn lún của hỗn hợp.



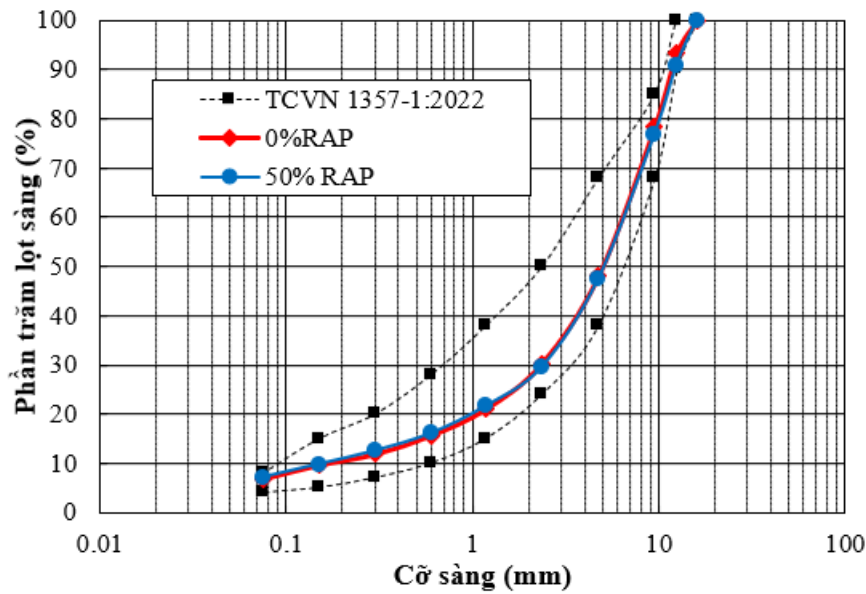
Hình 3. Phụ gia tái sinh.

Bảng 1. Một số chỉ tiêu kỹ thuật của phụ gia tái sinh.

Đặc tính	Phụ gia tái sinh		
	HS1	Prephalt	SV
Độ nhớt ở 25°C (cPs)	-	1500	322,3
Độ nhớt ở 60°C (cSt)	67	-	-
Khối lượng riêng ở 25°C	1,008	0,952	0,943
Trạng thái ở nhiệt độ phòng	lỏng	lỏng	lỏng
Điểm chớp cháy, °C	256	248	244
Gốc	dầu mỏ	dầu thực vật	dầu đậu nành

2.3. Thành phần hỗn hợp và chuẩn bị mẫu thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, các hỗn hợp được thiết kế theo phương pháp Marshall theo tiêu chuẩn TCVN 8820:2011 [26]. Đường cong cấp phối của hỗn hợp 0%RAP và 50%RAP là tương tự nhau và thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN13567-1:2022 (Hình 4). Kết quả các chỉ tiêu kỹ thuật của các hỗn hợp được thể hiện ở Bảng 2.

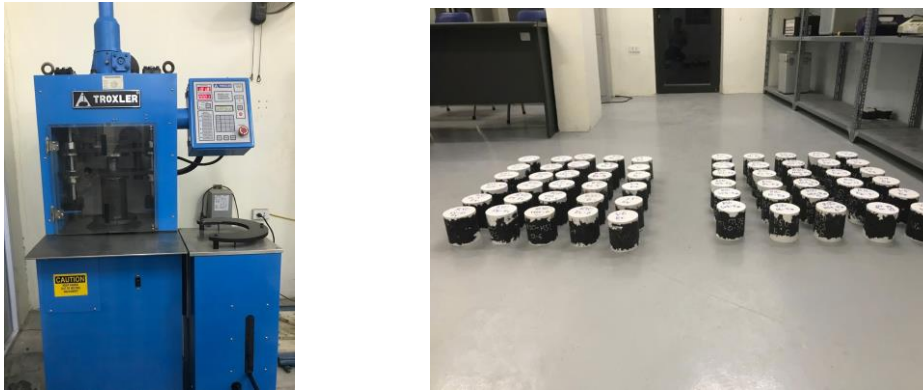


Hình 4. Thành phần cấp phối cốt liệu của hỗn hợp sử dụng 0%RAP và 50%RAP.

Bảng 2. Chỉ tiêu kỹ thuật của các hỗn hợp asphalt.

Chỉ tiêu	Loại hỗn hợp					Yêu cầu kỹ thuật
	V	R50	R50.HS1	R50.P	R50.SV	
Hàm lượng bitum RAP, %	-	1,4	1,4	1,4	1,4	-
Hàm lượng bitum mới, %	5	3,6	3,6	3,6	3,6	-
Số chày đầm/mặt	75	75	75	75	75	-
Tỷ trọng lớn nhất của hỗn hợp asphalt	2,566	2,542	2,559	2,557	2,572	-
Tỷ trọng khối của mẫu bê tông asphalt sau đầm nén	2,456	2,424	2,439	2,441	2,468	-
Độ rỗng dư, %	4,3	4,6	4,7	4,5	4,0	4 - 6
Độ rỗng hỗn hợp vật liệu khoáng, %	14,4	14,3	15,0	14,9	14,0	≥ 14
Độ rỗng lấp đầy bitum, %	70,2	67,8	68,7	69,6	71,0	65 - 75
Độ ổn định Marshall, kN	12,8	15,6	13,1	13,5	13,8	≥ 8,0
Độ dẻo Marshall, mm	3,5	3,3	3,8	3,4	3,6	1,5 - 4

Hai điều kiện hóa già bao gồm hóa già ngắn hạn và hóa già dài hạn được thực hiện trong nghiên cứu này. Sau khi trộn, hỗn hợp asphalt được đưa vào tủ sấy ở 135°C trong 4 giờ để mô tả quá trình hóa già ngắn hạn (STOA) [27]. Để mô tả quá trình hóa già dài hạn (LTOA), hỗn hợp asphalt được đặt vào tủ sấy trong 5 ngày ở 95°C sau khi hoá già ngắn hạn [28]. Sau khi hóa già, hỗn hợp được đầm nén trên thiết bị đầm xoay Troxler để đạt được mẫu có đường kính 100 mm và chiều cao 100±1 mm với độ rỗng dư theo thiết kế (Hình 5). Số lượng mẫu thử cho mỗi hỗn hợp là 6 mẫu (Bảng 3). Quá trình chế bị mẫu và thí nghiệm mô đun động $|E^*|$ được thực hiện tại phòng thí nghiệm Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải.



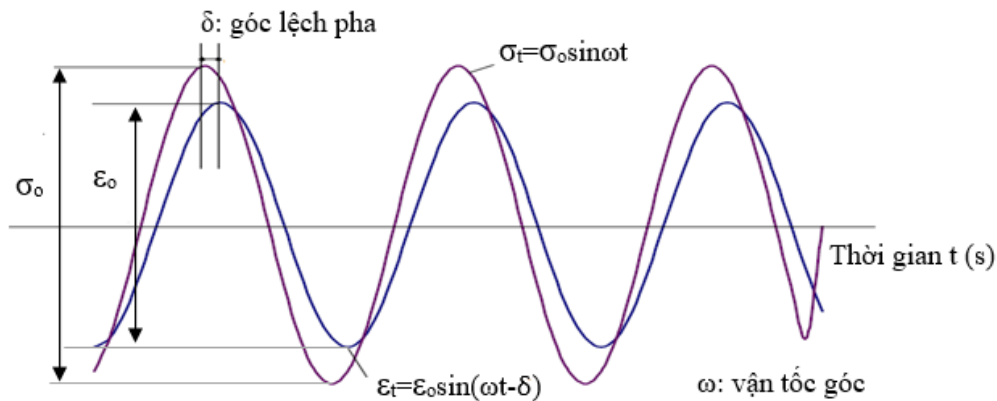
Hình 5. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm.

Bảng 3. Số lượng mẫu thử.

Điều kiện hóa già	Loại hỗn hợp					Tổng
	V	R50	R50.HS1	R50.P	R50.SV	
STOA	6	6	6	6	6	30
LTOA	6	6	6	6	6	30

2.4. Thí nghiệm mô đun động của bê tông asphalt

Mô đun động $|E^*|$ được xác định thông qua thí nghiệm nén dọc trục không hạn chế nở hông trên mẫu hình trụ tròn theo tiêu chuẩn AASHTO TP62 sử dụng bộ thiết bị Copper. Tải trọng tác dụng lên mẫu có dạng một hàm điều hòa dạng hình sin ở các tần số khác nhau và đo giá trị biến dạng tại tần số tương ứng (Hình 6). Tần số tác dụng được lựa chọn phù hợp với điều kiện giao thông thực tế. Trong nghiên cứu này, thí nghiệm được thực hiện ở sáu tần số tải trọng tác dụng, từ tần số cao nhất tới tần số thấp nhất bao gồm 25Hz, 10Hz, 5Hz, 1Hz, 0,5Hz và 0,1Hz. Mô đun động $|E^*|$ được thí nghiệm ở các nhiệt độ từ thấp tới cao bao gồm 4°C, 21°C, 37°C, và 54°C.



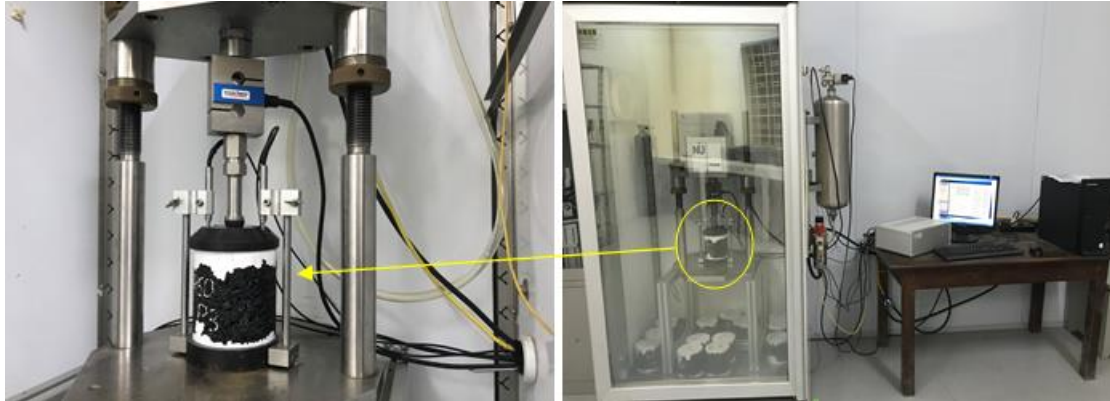
Hình 6. Tải trọng tác dụng và biến dạng tương ứng trong thí nghiệm mô đun động.

Trước khi thí nghiệm, các mẫu sẽ được cho vào tủ Cooper để bảo ôn mẫu ở nhiệt độ thí nghiệm tương ứng (Hình 7). Thời gian bảo ôn mẫu ở các nhiệt độ trước khi thí nghiệm được thực hiện theo khuyến cáo của AASHTO TP62. Giá trị ứng suất tác dụng lên mẫu phụ thuộc vào nhiệt độ thí nghiệm để có giá trị biến dạng dọc trục trong khoảng 50 tới 150 microstrain.

Mô đun động $|E^*|$ được xác định theo công thức (1):

$$|E^*| = \frac{\sigma_o}{\epsilon_o} \quad (1)$$

Trong đó: σ_o là biên độ ứng suất và ϵ_o là biên độ biến dạng

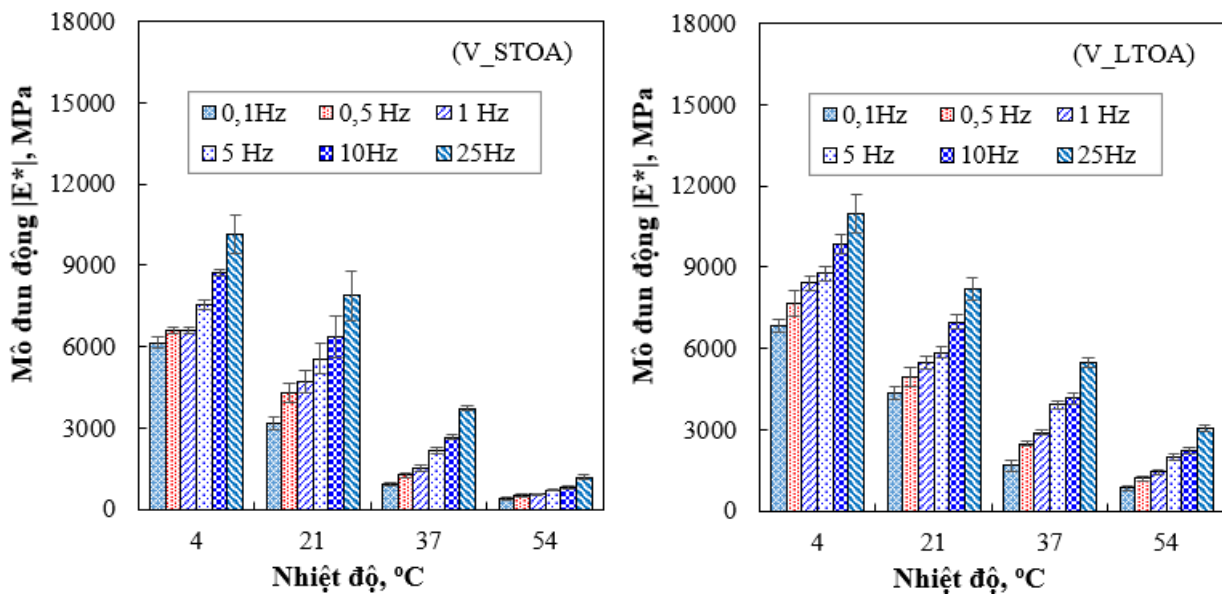


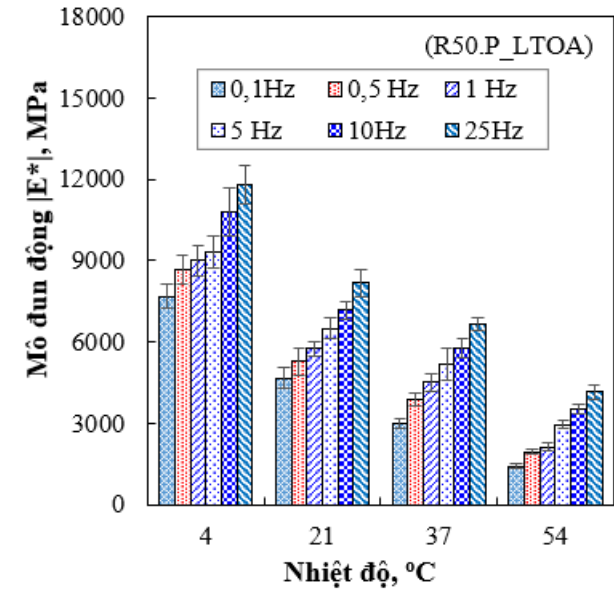
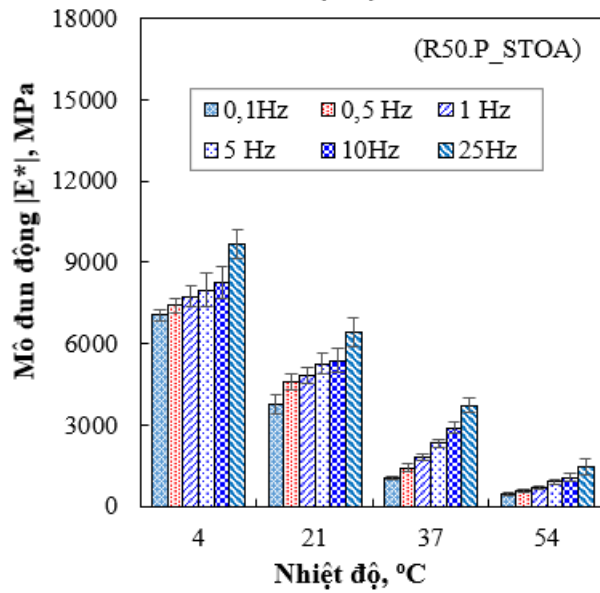
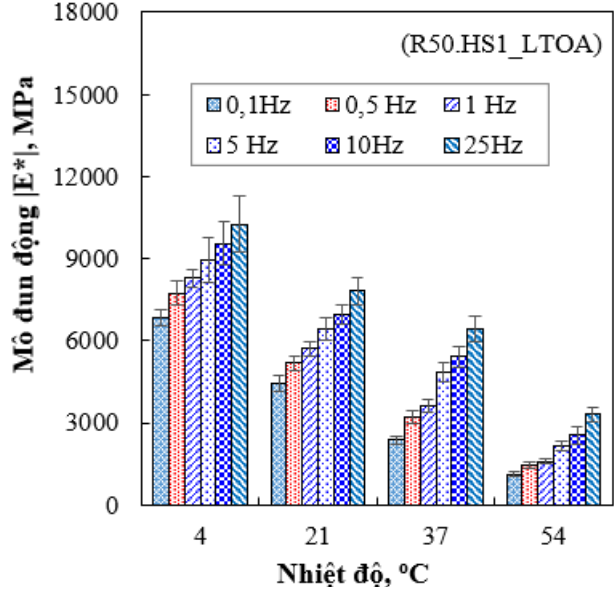
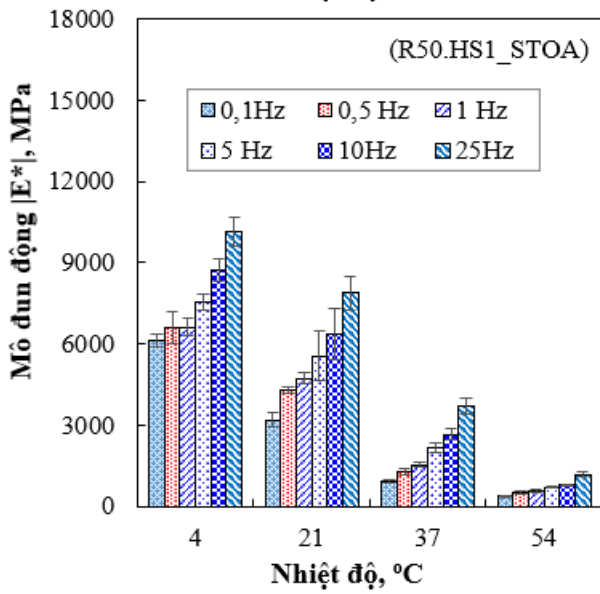
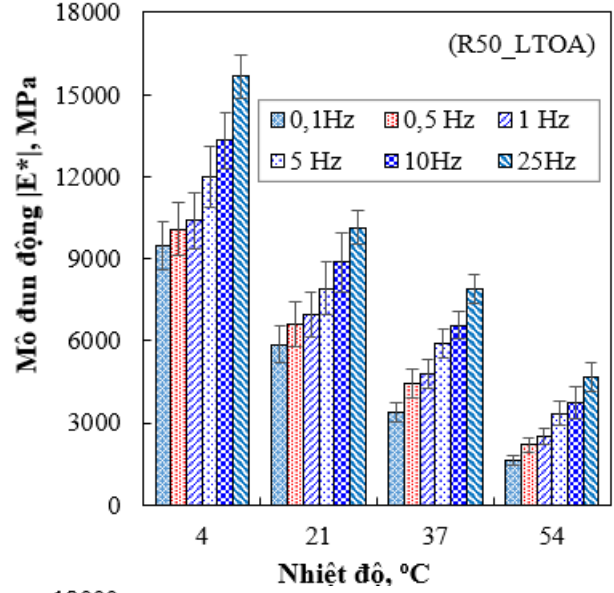
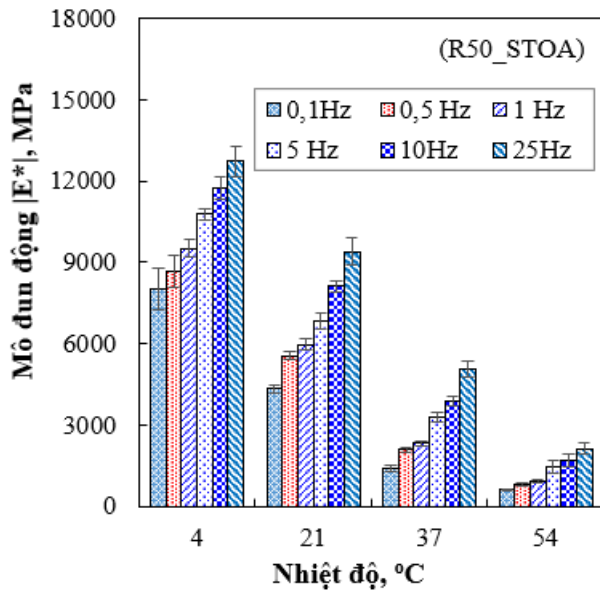
Hình 7. Thí nghiệm mô đun động $|E^*|$.

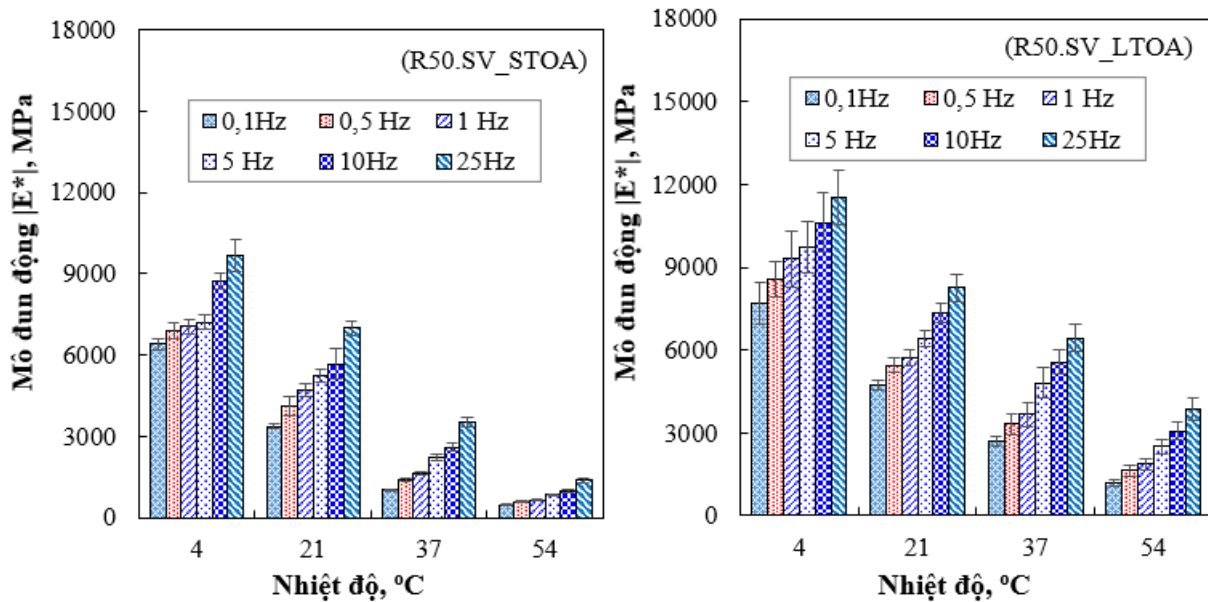
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả thí nghiệm mô đun động $|E^*|$

Hình 8 thể hiện kết quả thí nghiệm mô đun động $|E^*|$ của các hỗn hợp khác nhau ở các nhiệt độ và tần số khác nhau có xét đến điều kiện hóa già. Kết quả chỉ ra rằng, mô đun động $|E^*|$ tăng khi tần số tác dụng tăng và giảm khi nhiệt độ tăng đối với tất cả các hỗn hợp. Kết quả cũng cho thấy rằng, hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng 50%RAP thể hiện giá trị $|E^*|$ cao hơn so với các hỗn hợp asphalt không sử dụng RAP. Tuy nhiên, giá trị mô đun động $|E^*|$ có xu hướng giảm khi sử dụng phụ gia tái sinh.







Hình 8. Mô đun động $|E^*|$ của các loại bê tông asphalt ở điều kiện hóa già STOA và LTOA.

3.2. Phân tích thống kê các yếu tố ảnh hưởng đến mô đun động $|E^*|$

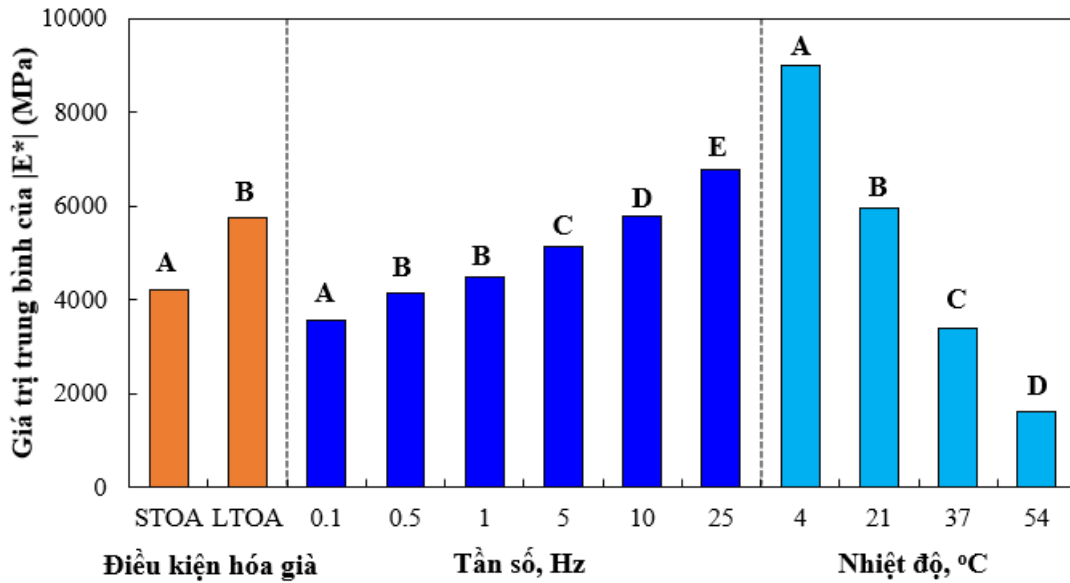
Để đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố: điều kiện hoá già, loại hỗn hợp, nhiệt độ và tần số thí nghiệm đến mô đun động $|E^*|$, phân tích ANOVA được tiến hành bằng phần mềm Minitab. Bảng 4 trình bày tóm tắt kết quả phân tích thống kê cho dữ liệu $|E^*|$. Kết quả phân tích cho thấy tất cả các yếu tố đều có ảnh hưởng đến giá trị mô đun động $|E^*|$ (giá trị P-value < 0,05).

Bảng 4. Phân tích ANOVA.

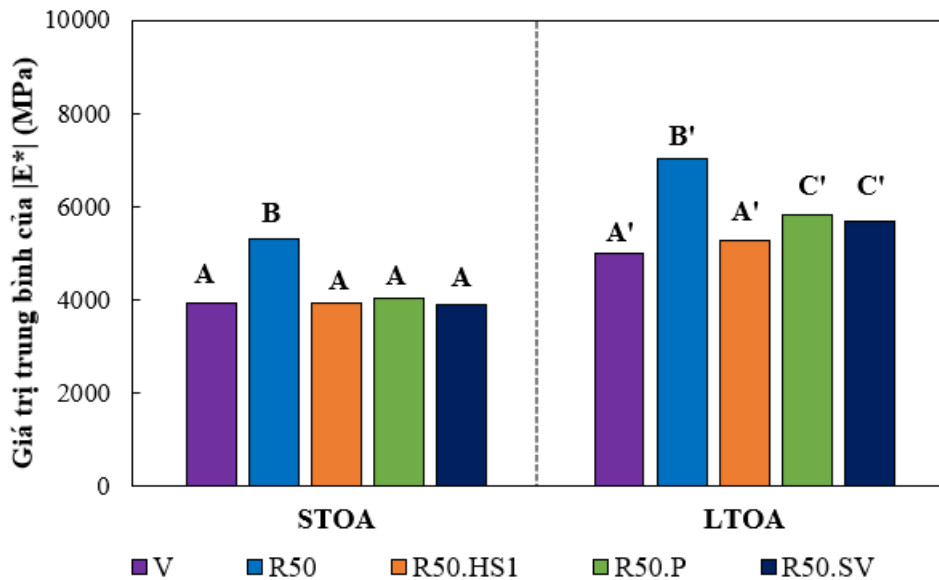
Yếu tố	Mức	Biến	P-value
Điều kiện hóa già	1	STOA, LTOA	0,000
Loại hỗn hợp	4	V, R50, R50.HS1, R50.P, R50.SV	0,000
Nhiệt độ	3	4°C, 21°C, 37°C, 54°C	0,000
Tần số	5	0,1Hz, 0,5Hz, 1Hz, 5Hz, 10Hz, 25Hz,	0,000

Hình 9 và Hình 10 thể hiện kết quả phân tích Tukey so sánh sự khác nhau giữa các giá trị trong từng yếu tố ảnh hưởng đến $|E^*|$. Các chữ cái viết hoa (A, B, A', B'...) trong mỗi yếu tố ảnh hưởng biểu thị kết quả phân tích nhóm, với các chữ cái giống nhau biểu thị không có sự khác biệt về mặt thống kê và các chữ cái khác nhau biểu thị có sự khác biệt về mặt thống kê. Kết quả từ Hình 9 cho thấy, nhiệt độ và tần số thí nghiệm có ảnh hưởng đáng kể nhất đến kết quả thí nghiệm $|E^*|$. Giá trị mô đun động $|E^*|$ giảm đáng kể khi tăng nhiệt độ thí nghiệm từ 4°C đến 54°C và có sự khác nhau về giá trị $|E^*|$ ở mỗi nhiệt độ thí nghiệm khác nhau. Trong khi đó, giá trị $|E^*|$ tăng đáng kể khi tăng tần số thí nghiệm từ 0,1Hz đến 25Hz. Giá trị $|E^*|$ khác nhau ở các tần số khác nhau nhưng không có sự khác biệt đáng kể về $|E^*|$ ở tần số 0,5Hz và 1Hz (cùng nhóm B). Ở điều kiện STOA, hỗn hợp sử dụng 50%RAP (R50) có giá trị $|E^*|$ cao hơn 35,2% so với hỗn hợp đối chứng (V). So sánh Tukey ở Hình 9 cũng cho thấy, không có sự khác biệt về $|E^*|$ giữa các hỗn hợp V, R50.HS1, R50.P và R50.SV ở điều kiện STOA

nhưng có sự khác biệt về $|E^*|$ giữa các hỗn hợp ở điều kiện LTOA.



Hình 9. So sánh Tukey giữa các yếu tố gồm điều kiện hóa già, tần số, nhiệt độ đến mô đun động $|E^*|$.



Hình 10. So sánh Tukey về loại hỗn hợp đến mô đun động $|E^*|$ ở điều kiện STOA và LTOA.

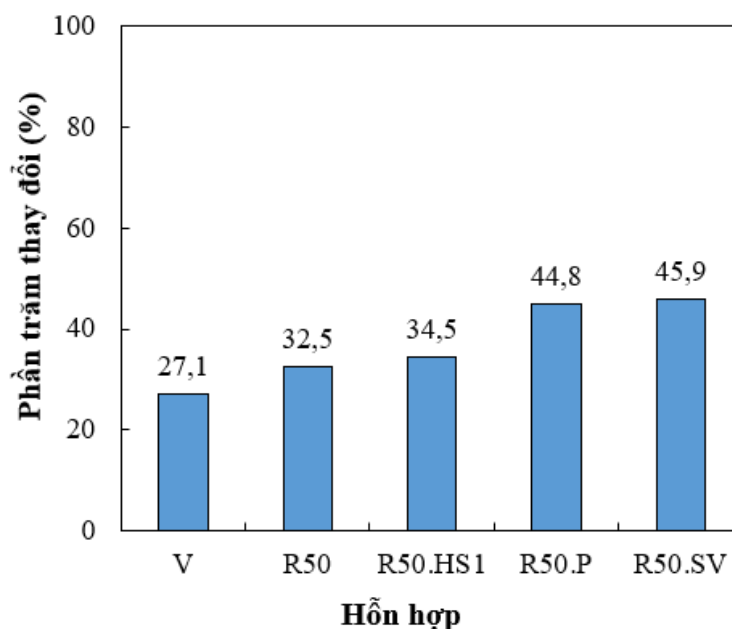
3.3. Ảnh hưởng của phụ gia tái sinh đến mô đun động $|E^*|$

Kết quả phân tích ở Hình 10 cho thấy rằng, cả hai trường hợp hóa già STOA và LTOA đều thể hiện rõ sự khác biệt giữa hỗn hợp 50%RAP không có phụ gia tái sinh và có sử dụng phụ gia tái sinh. Ở điều kiện STOA, các hỗn hợp sử dụng phụ gia tái sinh có giá trị $|E^*|$ tương đương với hỗn hợp đối chứng không có RAP (V). So với hỗn hợp 50%RAP không có phụ gia tái sinh thì giá trị $|E^*|$ trung bình của các hỗn hợp sử dụng phụ gia tái sinh thấp hơn 25,6%. Ở điều kiện LTOA, $|E^*|$ của hỗn hợp có sử dụng phụ gia tái sinh thấp hơn 20,4% so với hỗn hợp 50%RAP không có phụ gia tái sinh. Kết quả này đã cho thấy rằng, phụ gia tái sinh đã làm

giảm độ cứng của hỗn hợp tái chế, làm tăng khả năng kháng nứt cho hỗn hợp.

3.4. Ảnh hưởng của điều kiện hoá già đến mô đun động $|E^*|$

Ở điều kiện hóa già dài hạn LTOA như ở Hình 10 cho thấy rằng, giá trị $|E^*|$ của tất cả các hỗn hợp có xu hướng gia tăng do bitum bị oxy hóa, dẫn đến hỗn hợp trở nên cứng hơn. Tuy nhiên, kết quả cho thấy các hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng 50%RAP có sự gia tăng về độ cứng cao hơn so với hỗn hợp đối chứng không sử dụng RAP khi trải qua quá trình hóa già. Mức độ thay đổi $|E^*|$ của các hỗn hợp ở điều kiện LTOA so với STOA được thể hiện như ở Hình 11.



Hình 11. Phần trăm thay đổi $|E^*|$ giữa LTOA và STOA.

Mức độ thay đổi nhỏ thể hiện sự ổn định của hỗn hợp khi trải qua quá trình hoá già dài hạn và ngược lại. Kết quả cho thấy rằng, hỗn hợp đối chứng không sử dụng RAP (V) có mức độ thay đổi thấp nhất. Ngoài ra, mô đun động $|E^*|$ của hỗn hợp V và R50.HS1 là tương tự nhau (cùng nhóm A') và thấp hơn so với hỗn hợp R50.P và R50.SV (cùng nhóm C'). Như vậy, có thể kết luận rằng hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng phụ gia tái sinh gốc dầu mỏ thể hiện sự lão hóa chậm hơn so với phụ gia gốc dầu thực vật khi trải qua quá trình hóa già dài hạn.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên các kết quả thực nghiệm trong nghiên cứu này, một số kết luận được đưa ra như sau:

Các yếu tố bao gồm nhiệt độ thí nghiệm, tần số thí nghiệm, điều kiện hóa già và loại hỗn hợp (hàm lượng RAP và phụ gia tái sinh sử dụng) đều có ảnh hưởng đến giá trị mô đun động $|E^*|$ của bê tông asphalt. Trong đó, yếu tố nhiệt độ và tần số thí nghiệm có ảnh hưởng lớn nhất đến mô đun động $|E^*|$.

Độ cứng của hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng 50%RAP đã gia tăng đáng kể so với hỗn hợp đối chứng không sử dụng RAP. Trong nghiên cứu này, mô đun động $|E^*|$ của hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng 50%RAP cao hơn khoảng 35,2% so với hỗn hợp không sử dụng RAP.

Ở điều kiện hóa già ngắn hạn, cả ba loại phụ gia tái sinh sử dụng đều thể hiện vai trò làm giảm giá trị $|E^*|$ của hỗn hợp asphalt tái chế. Kết quả cho thấy không có sự khác biệt về hiệu quả làm giảm độ cứng của hỗn hợp tái chế giữa ba loại phụ gia tái sinh ở hàm lượng phụ gia tối ưu được lựa chọn.

Hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng phụ gia tái sinh gốc dầu mỏ thể hiện sự lão hóa thấp hơn so với phụ gia gốc dầu thực vật khi trải qua quá trình hóa già dài hạn.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2024-XD-005.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Quang Phúc, Phạm Thanh Hà, Sử dụng phương pháp cơ học thực nghiệm phân tích kết cấu mặt đường mềm ở Việt Nam, Tạp Chí Cầu Đường, 8 (2014) 33–36.
- [2]. Nguyễn Ngọc Lân, Đào Văn Đông, Nguyễn Quang Phúc, Trương Văn Quyết, Nghiên cứu dự báo tính năng khai thác của kết cấu mặt đường bê tông asphalt tái chế ấm, Tạp Chí Khoa Học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Môi Trường, 12 (2021) 157–163.
- [3]. AASHTO, Mechanistic-empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washinton DC, 2015.
- [4]. M.W. Witzcak, Mr. Dragos Andrei, W.N. Houston, Guide for the design of new and rehabilitated pavement structures, NCHRP report 1-37A, Transportation Research Board of the National Research Council, Washinton DC, 2000.
- [5]. A. Sharma, G.R. Rongmei Naga, P. Kumar, P. Rai, Mix design, development, production and policies of recycled hot mix asphalt: A review, J. Traffic Transp, 9 (2022) 765–794. <https://doi.org/10.1016/J.JTTE.2022.06.004>
- [6]. X. Ai, J. Cao, D. Feng, L. Gao, W. Hu, J. Yi, Performance evaluation of recycled asphalt mixtures with various percentages of RAP from the rotary decomposition process, Constr. Build. Mater, 351 (2022) 126406. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126406>
- [7]. Trương Văn Quyết, Nguyễn Ngọc Lân, Ảnh hưởng của hàm lượng vật liệu mặt đường asphalt cũ đến tính năng kháng nứt và kháng hằn lún vệt bánh xe của bê tông asphalt tái chế nóng, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 75 (2024) 1307-1321. <https://doi.org/10.47869/tcsj.75.2.8>
- [8]. T. Ma, H. Wang, X. Huang, Z. Wang, F. Xiao, Laboratory performance characteristics of high modulus asphalt mixture with high-content RAP, Constr. Build. Mater, 101 (2015) 975–982. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.160>
- [9]. R. Imaninasab, L. Loria-Salazar, A. Carter, Integrated performance evaluation of asphalt mixtures with very high reclaimed asphalt pavement (RAP) content, Constr. Build. Mater, 347 (2022) 128607. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128607>
- [10]. R. Izaks, V. Haritonovs, I. Klasa, M. Zaumanis, Hot Mix Asphalt with High RAP Content, Procedia Eng, 114 (2015) 676–684. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.009>
- [11]. F. Kaseer, F. Yin, E. Arámbula-Mercado, A. Epps Martin, Stiffness Characterization of Asphalt Mixtures with High Recycled Material Content and Recycling Agents, J. Transp. Res. Board, 2633 (2017) 58–68. <https://doi.org/10.3141/2633-08>
- [12]. M.S. Sondag, B.A. Chadbourn, A. Drescher, Investigation of Recycled Asphalt Pavement (RAP) Mixtures, Center for Transportation Studies, 2014. <https://www.cts.umn.edu/publications/report/investigation-of-recycled-asphalt-pavement-rap-mixtures> (accessed December 30, 2022)
- [13]. NCHRP report 752, Improved Mix Design, Evaluation, and Materials Management Practices for

Hot Mix Asphalt with High Reclaimed Asphalt Pavement Content. <https://trid.trb.org/view/1253473> (accessed October 8, 2024)

- [14]. F. Kaseer, E. Arambula, A. Epps Martin, L. Garcia Cucalon, E. Arámbula-Mercado, J. Epps, Practical tools for optimizing recycled materials content and recycling agent dosage for improved short-and long-term performance of rejuvenated binder blends, *Asphalt Paving Technology* (2018). <https://doi.org/10.12783/aapt2018/33816>
- [15]. N.H. Tran, L. Ga, A. Taylor, P.E.R. Willis, NCAT Report 12-05 Effect of rejuvenator on performance properties of HMA mixtures with high RAP and RAS contents, (2012).
- [16]. Y.R. Kim, C. Castorena, M. Elwardany, F.Y. Rad, S. Underwood, A. Gundha, P. Gudipudi, M.J. Farrar, R.R. Glaser, Long-Term Aging of Asphalt Mixtures for Performance Testing and Prediction, 2017. <https://doi.org/10.17226/24959>
- [17]. F. Yousefi Rad, M.D. Elwardany, C. Castorena, Y.R. Kim, Investigation of proper long-term laboratory aging temperature for performance testing of asphalt concrete, *Constr. Build. Mater.*, 147 (2017) 616–629. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.197>
- [18]. H. Ziari, A. Moniri, P. Bahri, Y. Saghafi, The effect of rejuvenators on the aging resistance of recycled asphalt mixtures, *Constr. Build. Mater.*, 224 (2019) 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.181>
- [19]. N.F. Saleh, B. Keshavarzi, F. Yousefi Rad, D. Mocelin, M. Elwardany, C. Castorena, B.S. Underwood, Y.R. Kim, Effects of aging on asphalt mixture and pavement performance, *Constr. Build. Mater.*, 258 (2020) 120309. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120309>
- [20]. F. Yin, F. Kaseer, E. Arámbula-Mercado, A. Epps Martin, Characterising the long-term rejuvenating effectiveness of recycling agents on asphalt blends and mixtures with high RAP and RAS contents, *Road Mater. Pavement Des.*, 18 (2017) 273–292. <https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1389074>
- [21]. B.F. Bowers, B. Huang, X. Shu, B.C. Miller, Investigation of Reclaimed Asphalt Pavement blending efficiency through GPC and FTIR, *Constr. Build. Mater.*, 50 (2014) 517–523. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.003>
- [22]. L.N. Nguyen, V.Q. Truong, D. Van Dao, M.H. Nguyen, T. Tran, Effects of rejuvenators and aging conditions on the properties of blended bitumen and the cracking behavior of hot asphalt mixtures with a high RAP content, *J. Mater. Des. Appl.*, 238 (2024) <https://doi.org/10.1177/1464420724123>
- [23]. AASHTO TP 62, Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt (HMA), American Association of State Highway and Transportation Officials, 2007.
- [24]. TCVN 13567-1-2022, Lớp mặt đường bằng hỗn hợp nhựa nóng - Thi công và nghiệm thu - Phần 1: Bê tông nhựa chặt sử dụng nhựa đường thông thường, Tiêu chuẩn Việt Nam, 2022.
- [25]. Đề tài DT 2304, Nghiên cứu chế tạo phụ gia tái sinh gốc sinh học trong công nghệ tái chế nóng bê tông nhựa tại trạm trộn, Bộ Giao thông vận tải, 2023.
- [26]. TCVN 8820:2011, Hỗn hợp bê tông nhựa nóng - Thiết kế theo phương pháp Marshall, Tiêu chuẩn Việt Nam, 2011.
- [27]. AASHTO R30, Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt (HMA), American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.
- [28]. Y.R. Kim, C. Castorena, M. Elwardany, F.Y. Rad, S. Underwood, A. Gundha, P. Gudipudi, M.J. Farrar, R.R. Glaser, Long-Term Aging of Asphalt Mixtures for Performance Testing and Prediction, Transportation Research Board, 2018. <https://doi.org/10.17226/24959>