

Đánh giá ảnh hưởng của lão hóa dài hạn đến đặc tính cơ học của hỗn hợp Carboncor Asphalt

Lưu Ngọc Lâm¹, Trần Danh Hới^{2*}, Nguyễn Văn Trường³, Nguyễn Quang Phúc²

¹ Viện Khoa học và Công nghệ Giao thông vận tải

² Trường Đại học Giao thông vận tải

³ Công ty Cổ phần Carbon Việt Nam

TỪ KHOÁ

Carboncor Asphalt
Lão hóa dài hạn
Độ ổn định Marshall
TSR
Hamburg Wheel Tracking
Bê tông nhựa nguội

TÓM TẮT

Carboncor Asphalt (CA) là vật liệu mặt đường sản xuất và thi công không dùng nhiệt, hiện đang được ứng dụng trong xây dựng và bảo trì đường giao thông tại Việt Nam. Bài báo này đánh giá ảnh hưởng của quá trình lão hóa dài hạn đến các tính chất cơ lý của hỗn hợp CA 12,5 thông qua các chỉ tiêu: độ ổn định Marshall, độ dẻo Marshall, cường độ kéo gián tiếp, tỷ số cường độ kéo gián tiếp (TSR) và khả năng chống hằn lún bánh xe. Quá trình lão hóa dài hạn được mô phỏng theo AASHTO R30-2015. Kết quả cho thấy sau lão hóa dài hạn, hỗn hợp có xu hướng tăng độ cứng và khả năng chịu tải, thể hiện qua sự gia tăng độ ổn định Marshall, ITS và TSR; đồng thời khả năng chống hằn lún bánh xe cũng được cải thiện. Tuy nhiên, độ dẻo Marshall giảm cho thấy vật liệu có xu hướng giòn hóa theo thời gian khai thác. Kết quả nghiên cứu góp phần làm rõ đặc trưng làm việc của CA dưới tác động của quá trình lão hóa, là cơ sở cho việc định hướng ứng dụng vật liệu trong điều kiện khai thác thực tế.

KEYWORDS

Carboncor Asphalt
Long-term aging
Marshall stability
Indirect tensile strength
TSR
Hamburg Wheel Tracking
Cold-mix asphalt

ABSTRACT

Carboncor Asphalt (CA) is a cold-mix pavement material that does not require heating during production or construction, and it is currently being applied in road construction and maintenance projects in Vietnam. This paper evaluates the effects of long-term aging on the mechanical properties of CA 12.5 through several performance indicators, including Marshall stability, Marshall flow, indirect tensile strength (ITS), tensile strength ratio (TSR) and rutting resistance. The long-term aging process was simulated in accordance with AASHTO R30-2015. The results indicate that long-term aging increases the stiffness and load-bearing capacity of the mixture, as reflected by the increase in Marshall stability, ITS, and TSR values. In addition, the rutting resistance of the mixture was significantly improved after aging. However, the reduction in Marshall flow suggests that the material tends to become more brittle during long-term service. The findings contribute to a better understanding of the performance characteristics of CA under aging conditions and provide a basis for the practical application of this material in pavement.

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, nhu cầu sử dụng các loại vật liệu thân thiện môi trường, thi công nguội và tiết kiệm năng lượng trong xây dựng, bảo trì mặt đường ngày càng gia tăng. Các công nghệ hỗn hợp asphalt nguội nhận được sự quan tâm lớn nhờ khả năng giảm phát thải khí nhà kính, giảm tiêu hao nhiên liệu và tận dụng các nguồn phế thải công nghiệp. Trong xu hướng đó, Carboncor Asphalt (CA) được xem là một giải pháp tiềm năng cho công tác bảo trì và xây dựng tầng mặt đường giao thông nhờ quy trình sản xuất và thi công đơn giản, không yêu cầu gia nhiệt [1-3].

CA là hỗn hợp vật liệu bao gồm ba thành phần chính: cốt liệu đá, xít than đá (than đá thải) và nhũ tương nhựa đường đặc biệt có sử dụng phụ gia. Khác với các hỗn hợp asphalt truyền thống, tính liên kết và

cường độ của CA được hình thành thông qua phản ứng hóa học giữa nước, không khí, nhũ tương và các nguyên tử carbon có trong xít than đá tạo nên liên kết nguyên khối bền vững. Theo tiêu chuẩn TCCS 09:2024/CĐBVN, vật liệu CA được phân thành bốn loại chính dựa trên cỡ hạt lớn nhất danh định bao gồm: CA 6,7; CA 9,5; CA 12,5 và CABR 19 [1].

Các nghiên cứu gần đây đã cho thấy lớp vật liệu CA đáp ứng được các yêu cầu để làm lớp hao mòn hay tầng mặt trong các kết cấu áo đường ô tô [2, 3]. Tuy nhiên, tương tự các vật liệu sử dụng nhựa đường khác, CA chịu ảnh hưởng đáng kể của quá trình lão hóa trong thời gian khai thác. Quá trình lão hóa xảy ra chủ yếu do quá trình bay hơi các hydrocacbon nhẹ và quá trình oxy hóa chất liên kết dưới tác động của nhiệt độ, nước và oxy. Quá trình này làm tăng độ cứng, độ giòn của vật liệu, có thể cải thiện khả năng chống hằn lún nhưng đồng

*Liên hệ tác giả: Tdhoi@utc.edu.vn

Nhận ngày 06/06/2026, sửa xong ngày 29/06/2026, chấp nhận đăng ngày 01/07/2026

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2026.1419>

thời làm giảm tính dẻo và gia tăng nguy cơ nứt vỡ mặt đường dưới tác động của tải trọng xe [4-6].

Để mô phỏng sự biến đổi của vật liệu trong suốt vòng đời công trình, quy trình lão hóa trong nghiên cứu này được thực hiện qua hai giai đoạn kế tiếp nhau theo tiêu chuẩn AASHTO R30 [7] và TCVN 14491 [8]: lão hóa ngắn hạn (Short-Term Aging - STA) và lão hóa dài hạn (Long-Term Aging - LTA). Trong đó, giai đoạn STA được thực hiện trên hỗn hợp rời nhằm tái hiện các tác động nhiệt xảy ra trong quá trình sản xuất và thi công; tiếp sau đó, giai đoạn LTA được thực hiện trên mẫu đã đầm nén để mô phỏng trạng thái oxy hóa của mặt đường sau khoảng 7 đến 10 năm khai thác thực tế. Nhiều nghiên cứu cho thấy quá trình lão hóa dài hạn có ảnh hưởng lớn đến độ bền khai thác của hỗn hợp asphalt [4, 6].

Mặc dù đã được chứng minh có nhiều ưu điểm [2, 3], nhưng các nghiên cứu về ứng xử cơ học dài hạn của CA trong điều kiện khí hậu nhiệt đới đặc thù của Việt Nam vẫn còn rất hạn chế. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá sự thay đổi các tính chất cơ lý quan trọng của hỗn hợp CA sau quá trình lão hóa dài hạn, qua đó làm rõ xu hướng biến đổi đặc tính cơ học và cung cấp cơ sở khoa học để đề xuất các định hướng ứng dụng phù hợp trong điều kiện khai thác thực tế tại Việt Nam.

2. Chuẩn bị vật liệu và thí nghiệm

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu là hỗn hợp CA 12,5, được sản xuất theo công nghệ trộn nguội tại nhà máy của Công ty Cổ phần Carbon Việt Nam. Các chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp đều đáp ứng yêu cầu kỹ thuật theo TCCS 09:2024/CĐBVN [1].



Hình 1. Vật liệu CA 12,5 sử dụng trong nghiên cứu.

2.2. Phương pháp lão hóa

Quá trình mô phỏng lão hóa vật liệu trong nghiên cứu này được thực hiện theo tiêu chuẩn AASHTO R30-15 [7] và TCVN 14491 [8]. Quy trình này được chia thành hai giai đoạn chính: lão hóa ngắn hạn (Short-Term Aging - STA) và lão hóa dài hạn (Long-Term Aging - LTA). Các quy trình này nhằm tái hiện các biến đổi về đặc tính cơ lý của hỗn

hợp CA dưới tác động của nhiệt độ và môi trường trong suốt vòng đời công trình. Việc thực hiện đồng thời cả STA và LTA cho phép nghiên cứu đánh giá chính xác sự gia tăng độ cứng, độ giòn và xu hướng nứt vỡ của hỗn hợp CA dưới tác động của lão hóa dài hạn.

a) Lão hóa ngắn hạn (Short-Term Aging - STA)

Hỗn hợp sau khi phối trộn được trải đều trong khay với độ dày từ 25 mm đến 50 mm. Khay vật liệu được lưu giữ trong tủ sấy cưỡng bức ở nhiệt độ 135 °C trong thời gian 4 giờ. Trong suốt quá trình này, hỗn hợp được đảo trộn định kỳ sau mỗi 60 phút để đảm bảo sự lão hóa diễn ra đồng đều trên toàn bộ khối lượng vật liệu. Kết thúc 4 giờ, hỗn hợp sẵn sàng cho công tác đầm nén tạo mẫu hoặc tiếp tục quy trình lão hóa dài hạn [7].

b) Lão hóa dài hạn (Long-Term Aging - LTA)

Các mẫu sau khi đầm nén (từ hỗn hợp đã qua lão hóa ngắn hạn) được để nguội ở nhiệt độ phòng trong khoảng 16 giờ trước khi đưa vào giai đoạn lão hóa dài hạn. Các mẫu thử được lưu giữ trong tủ sấy ở nhiệt độ duy trì ổn định 85°C trong thời gian 120 giờ (tương đương 5 ngày). Sau khi hoàn thành thời gian sấy, tủ được tắt và mở cửa để mẫu nguội dần đến nhiệt độ phòng (khoảng 16 giờ) nhằm tránh các hư hỏng cấu trúc do thay đổi nhiệt độ đột ngột trước khi đem đi thử nghiệm cơ học [7].

2.3. Các thí nghiệm

Để đánh giá toàn diện ảnh hưởng của quá trình lão hóa đến chất lượng và tính năng dài hạn của hỗn hợp CA, các thí nghiệm cơ lý được thực hiện nhằm xác định các chỉ tiêu đặc trưng về cường độ, khả năng kháng ẩm và khả năng kháng hằn lún. Các thí nghiệm được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm:

- Độ ổn định và độ dẻo Marshall: Thí nghiệm được thực hiện tại nhiệt độ 60 °C sau khi ngâm mẫu trong nước 40 phút theo tiêu chuẩn TCVN 8860-1 [9]. Chỉ tiêu này cho phép đánh giá khả năng chịu tải trọng và đặc tính biến dạng của vật liệu dưới tác động của nhiệt độ cao.
- Cường độ kéo gián tiếp (ITS): Được xác định ở nhiệt độ theo TCVN 8862 [10]. Thí nghiệm này đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá sức kháng nứt của hỗn hợp, phản ánh khả năng chịu đựng các ứng suất kéo phát sinh trong kết cấu mặt đường.
- Tỷ số cường độ chịu kéo gián tiếp (TSR): Chỉ tiêu này được thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 12914 [11] nhằm đánh giá độ nhạy cảm độ ẩm và khả năng kháng hư hỏng do nước của hỗn hợp CA. Kết quả TSR cung cấp cơ sở để dự báo độ bền của liên kết đá-nhựa dưới tác động đồng thời của nước và tải trọng xe chạy.
- Khả năng chống hằn lún bánh xe (Hamburg Wheel Tracking): Thí nghiệm được thực hiện theo phương pháp Hamburg Wheel Tracking (HWT) tuân thủ tiêu chuẩn AASHTO T324 [12]. Mẫu được thử nghiệm trong môi trường nước duy trì ở 50 °C dưới tác dụng của 20.000 lần tải trọng bánh xe lặp lại. Đây là phương pháp đánh giá đồng thời cả khả năng kháng hằn lún và độ bền ẩm (thông qua điểm phá hoại dính bám) của vật liệu trong điều kiện khai thác khắc nghiệt nhất.



a) Thí nghiệm độ bền và độ dẻo Marshall



b) Thí nghiệm cường độ ép chẻ



c) Thí nghiệm Hamburg Wheel Tracking



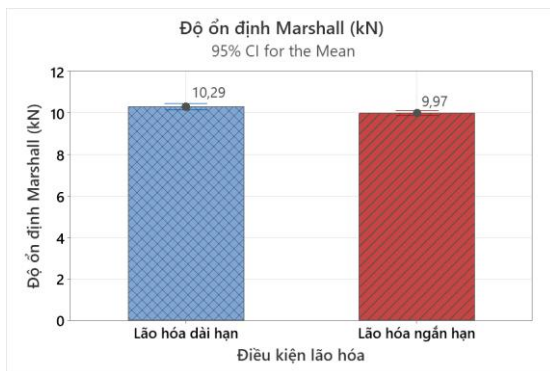
d) Mẫu sau thí nghiệm Hamburg Wheel Tracking

Hình 2. Các thí nghiệm xác định tính chất cơ học của hỗn hợp CA sau quá trình lão hóa.

3. Kết quả thí nghiệm và thảo luận

3.1. Độ ổn định Marshall

Kết quả thí nghiệm xác định độ ổn định Marshall của hỗn hợp CA trong hai điều kiện lão hóa khác nhau được thể hiện tại Hình 3.



Hình 3. Độ ổn định Marshall của hỗn hợp CA 12,5 ở các điều kiện lão hóa.

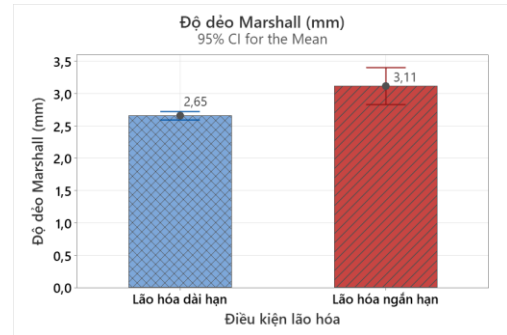
Kết quả thí nghiệm độ ổn định Marshall cho thấy hỗn hợp CA 12,5 sau lão hóa dài hạn đạt giá trị trung bình 10,29 kN, cao hơn nhẹ so với mẫu lão hóa ngắn hạn (9,97 kN). Sự gia tăng này cho thấy quá trình lão hóa dài hạn đã làm tăng độ cứng và khả năng kháng biến dạng của hỗn hợp asphalt, chủ yếu do sự oxy hóa của chất liên kết làm giảm tính dẻo và tăng độ nhớt của vật liệu.

Tuy nhiên, chênh lệch độ ổn định Marshall giữa hai điều kiện lão hóa không lớn (khoảng 3,2 %), Điều này cho thấy ảnh hưởng của quá

trình lão hóa đến khả năng chịu tải của hỗn hợp là không đáng kể trong phạm vi nghiên cứu.

3.2. Độ dẻo Marshall

Kết quả thí nghiệm xác định độ dẻo Marshall của hỗn hợp CA trong hai điều kiện lão hóa khác nhau được thể hiện tại Hình 4.



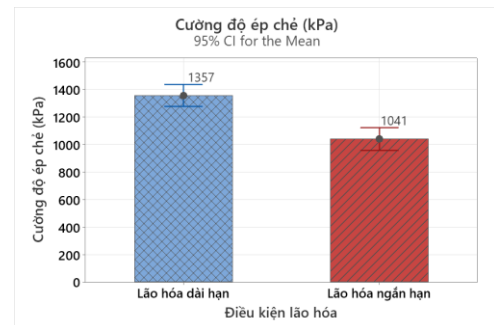
Hình 4. Độ dẻo Marshall của hỗn hợp CA 12,5 ở các điều kiện lão hóa.

Kết quả thí nghiệm độ dẻo Marshall cho thấy mẫu CA 12,5 trong điều kiện lão hóa ngắn hạn đạt giá trị trung bình 3,11 mm, cao hơn so với mẫu lão hóa dài hạn (2,65 mm). Sự suy giảm độ dẻo sau quá trình lão hóa dài hạn cho thấy chất liên kết asphalt có xu hướng trở nên cứng hơn do tác động của quá trình oxy hóa và bay hơi các thành phần nhẹ, làm giảm khả năng biến dạng dẻo của hỗn hợp.

Mức giảm độ dẻo khoảng 14,8 % phản ánh ảnh hưởng tương đối rõ của quá trình lão hóa dài hạn đến tính linh hoạt của vật liệu. Tuy nhiên, các giá trị độ dẻo Marshall của cả hai điều kiện vẫn nằm trong phạm vi cho phép đối với hỗn hợp sử dụng trong xây dựng và sửa chữa mặt đường ô tô.

3.3. Cường độ ép chẻ

Kết quả thí nghiệm cường độ ép chẻ của CA 12,5 với hai điều kiện lão hóa khác nhau được thể hiện trong Hình 5.



Hình 5. Cường độ ép chẻ của hỗn hợp CA 12,5 ở các điều kiện lão hóa.

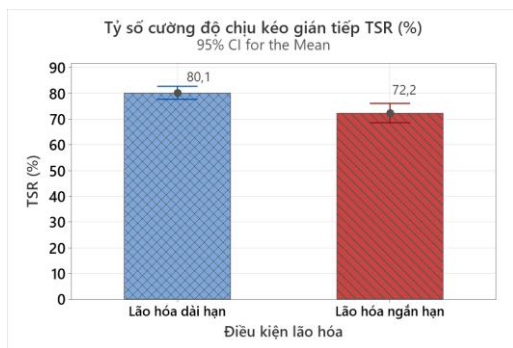
Kết quả thí nghiệm cường độ ép chẻ cho thấy mẫu CA 12,5 sau lão hóa dài hạn đạt giá trị trung bình 1357 kPa, cao hơn đáng kể so với

mẫu lão hóa ngắn hạn (1041 kPa). Sự gia tăng cường độ ép chèn khoảng 30,4 % cho thấy quá trình lão hóa đã làm tăng độ cứng và khả năng kháng biến dạng của hỗn hợp CA. Sự gia tăng cường độ ép chèn phản ánh quá trình oxy hóa và mất thành phần nhẹ trong chất liên kết asphalt, làm tăng độ cứng của vật liệu.

Ngoài ra, với độ tin cậy 95 %, sự khác biệt giữa hai nhóm mẫu được thể hiện tương đối rõ, cho thấy quá trình lão hóa có ảnh hưởng đáng kể đến cường độ ép chèn của hỗn hợp. Kết quả này phản ánh hỗn hợp CA12,5 có xu hướng tăng khả năng chịu kéo gián tiếp sau lão hóa, qua đó góp phần nâng cao khả năng chống hằn lún và ổn định kết cấu trong quá trình khai thác. Tuy nhiên, sự gia tăng độ cứng cũng có thể làm giảm khả năng kháng nứt của vật liệu CA nếu quá trình lão hóa tiếp tục diễn ra trong thời gian dài.

3.4. Tỷ số cường độ chịu kéo gián tiếp (TSR)

Tỷ số cường độ chịu kéo gián tiếp của hỗn hợp CA 12,5 ở hai điều kiện lão hóa khác nhau được thể hiện ở biểu đồ Hình 6.

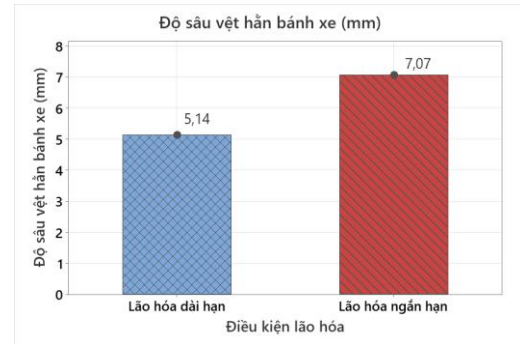


Hình 6. Tỷ số cường độ chịu kéo gián tiếp của hỗn hợp CA 12,5 ở các điều kiện lão hóa.

Kết quả thí nghiệm xác định tỷ số cường độ chịu kéo gián tiếp (TSR) cho thấy sự cải thiện rõ rệt về khả năng kháng ẩm của hỗn hợp CA 12,5 sau quá trình lão hóa dài hạn. Cụ thể, giá trị TSR trung bình của mẫu sau lão hóa dài hạn đạt 80,1 %, tăng 7,9 % về giá trị tuyệt đối (tương đương mức tăng 10,9 %) so với mẫu lão hóa ngắn hạn (72,2 %). Với độ tin cậy 95 %, sự khác biệt giữa hai nhóm mẫu được thể hiện rõ nét thông qua khoảng tin cậy của giá trị trung bình, khẳng định lão hóa có ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử cơ học của hỗn hợp CA 12,5. Có thể thấy rằng, chỉ số TSR sau LTA lớn hơn mức yêu cầu kỹ thuật thông thường đối với hỗn hợp bê tông nhựa nóng (≥ 80 %), chứng tỏ vật liệu có khả năng duy trì độ bền liên kết và kháng ẩm rất tốt sau lão hóa dài hạn.

3.5. Khả năng chống hằn lún bánh xe

Kết quả thí nghiệm xác định độ sâu vết hằn bánh xe của hỗn hợp CA 12,5 sau 20.000 chu kỳ tác dụng tải trong môi trường nước ở nhiệt độ 50 °C dưới hai điều kiện lão hóa được thể hiện tại Hình 7.



Hình 7. Độ sâu vết hằn bánh xe của hỗn hợp CA 12,5 ở các điều kiện lão hóa.

Kết quả thí nghiệm cho thấy độ sâu vết hằn bánh xe của hỗn hợp CA sau lão hóa dài hạn giảm đáng kể so với mẫu lão hóa ngắn hạn, từ 7,07 mm xuống còn 5,14 mm, tương ứng khả năng kháng hằn lún được cải thiện khoảng 27 %. Điều này cho thấy quá trình lão hóa đã góp phần nâng cao khả năng chống biến dạng dư của hỗn hợp dưới tác dụng của tải trọng lặp lại ở nhiệt độ cao. Tuy nhiên, mặc dù khả năng kháng hằn lún được cải thiện, sự gia tăng độ cứng của vật liệu cũng có thể làm tăng nguy cơ nứt giòn trong điều kiện khai thác lâu dài.

4. Kết luận

Từ các kết quả thí nghiệm đánh giá ảnh hưởng của quá trình lão hóa đến tính chất cơ lý của hỗn hợp CA, có thể rút ra một số kết luận chính như sau:

- Quá trình lão hóa dài hạn làm gia tăng độ cứng và khả năng chịu lực của hỗn hợp CA, thể hiện thông qua sự tăng lên của các chỉ tiêu độ ổn định Marshall, cường độ ép chèn và tỷ số cường độ chịu kéo gián tiếp TSR.
- Khả năng kháng hằn lún của hỗn hợp CA được cải thiện đáng kể sau lão hóa dài hạn, thể hiện qua sự suy giảm độ sâu vết hằn bánh xe dưới tác dụng của tải trọng lặp lại trong môi trường nước ở nhiệt độ cao.
- Giá trị độ dẻo Marshall của hỗn hợp CA có xu hướng giảm sau lão hóa dài hạn, cho thấy hỗn hợp vật liệu dần trở nên cứng và giòn hơn theo thời gian khai thác, do đó có thể làm suy giảm khả năng chống nứt của kết cấu mặt đường.
- Kết quả nghiên cứu cho thấy hỗn hợp CA có tiềm năng tốt về khả năng chịu tải và chống biến dạng dư trong điều kiện khai thác thực tế. Tuy nhiên, cần tiếp tục nghiên cứu tối ưu thành phần chất liên kết và cấp phối cốt liệu nhằm đảm bảo sự cân bằng giữa khả năng chống hằn lún và khả năng kháng nứt của hỗn hợp.

Tài liệu tham khảo

- TCCS 09 : 2024/TCĐBVN, Lớp vật liệu Carboncor Asphalt trong xây dựng và sửa chữa kết cấu áo đường ô tô - Thi công và nghiệm thu, 2024.
- Nguyễn Quang Phúc, Trần Thị Cẩm Hà, Nguyễn Văn Tường, “Nghiên cứu các thông số của lớp carboncor asphalt khi thiết kế kết cấu áo đường mềm

- ở Việt Nam”, Tạp chí Khoa học giao thông vận tải, số 75.5, 1450–1462, 2024. DOI: 10.47869/tcsj.75.5.4
- [3]. Nguyen Anh Tuan, Tran Danh Hoi, Ngo Ngoc Quy, Le Xuan Quy, A bond strength analysis of Carboncor Asphalt layer on road surfaces, *Transport and Communications Science Journal*, Vol. 76, Issue 01, 102-113, 2025. DOI: 10.47869/tcsj.76.1.9
- [4]. Airey, G.D., “State of the Art Report on Ageing Test Methods for Bituminous Pavement Materials”, *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 4(3), pp. 165–176, 2003. DOI: 10.1080/1029843042000198568
- [5]. Petersen, J.C., “A Review of the Fundamentals of Asphalt Oxidation”, *Transportation Research Circular E-C140*, Transportation Research Board, 2009.
- [6]. Nguyễn Ngọc Lân, Trương Văn Quyết, “Ảnh hưởng của hoá già đến sức kháng nứt của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế ẩm có tỷ lệ RAP cao”, Tạp chí Khoa học giao thông vận tải, số 72.8, 920-931, 2021. DOI: 10.47869/tcsj.72.8.6
- [7]. AASHTO R30, *Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt (HMA)*, 2015.
- [8]. TCVN 14491, *Hỗn hợp asphalt – Phương pháp ổn định mẫu trong phòng thí nghiệm*, 2025
- [9]. TCVN 8860-1, *Bê tông nhựa – Phương pháp thử – Phần 1: Xác định độ ổn định và độ dẻo Marshall*.
- [10]. TCVN 8862, *Bê tông nhựa – Xác định cường độ chịu kéo gián tiếp*, 2011.
- [11]. TCVN 12914, *Bê tông nhựa – Xác định tỷ số cường độ kéo gián tiếp TSR*, 2020.
- [12]. AASHTO T324, *Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Asphalt Mixtures*, 2019.