

Nghiên cứu tính lưu biến của hỗn hợp nhựa ma-tít sử dụng bột khoáng RFCC

Đỗ Cao Phan^{1,2}, Lê Anh Thắng^{3*}

¹ Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường đại học Công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh

² NCS, Khoa Xây dựng, Trường đại học Sư phạm Kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh

³ Khoa Xây dựng, Trường đại học Sư phạm Kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh

TỪ KHOA

RFCC
Nhựa ma-tít
Tính lưu biến
Mô hình 2S2P1D

TÓM TẮT

Sử dụng chất thải công nghiệp hoá dầu RFCC (Residue Fluid Catalytic Cracking) vào sản xuất bê tông nhựa là chủ đề của nghiên cứu. Hỗn hợp nhựa ma-tít với bột khoáng RFCC được khảo sát tính chất lưu biến bằng thực nghiệm, và so sánh với nhựa ma-tít với đá vôi truyền thống. So với đá vôi, RFCC giúp tăng độ cứng và độ nhớt của hỗn hợp nhựa ma-tít. Đặc biệt, khi ở điều kiện nhiệt độ cao, độ cứng và độ nhớt của hỗn hợp nhựa ma-tít chứa RFCC tăng lên đáng kể, độ cứng tăng 1,41 lần và độ nhớt tăng 1,42 lần so với hỗn hợp nhựa ma-tít chứa bột đá vôi. Kết quả cũng củng cố thêm cho sự phù hợp của RFCC trong sản xuất bê tông nhựa.

KEYWORDS

RFCC
Asphalt mastic
2S2P1D model
Rheology

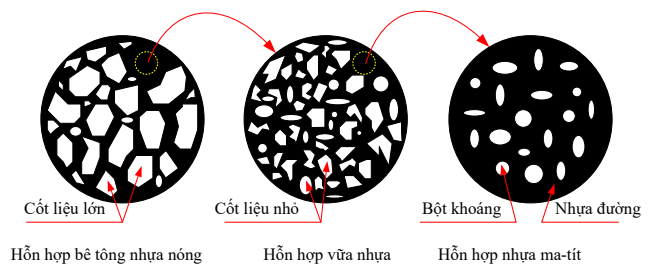
ABSTRACT

The primary objective of this study is the utilization of RFCC (Residue Fluid Catalytic Cracking) petrochemical refuse in the production of asphalt concrete. The rheological properties of RFCC-based asphalt mastic were experimentally determined and compared to those of the conventional limestone-based asphalt mastic. The stiffness and viscosity of the RFCC-based asphalt mastic were increased in comparison to limestone-based asphalt mastic. In particular, the stiffness and viscosity of the RFCC-based asphalt mastic increased substantially at high temperatures, with a stiffness increase of 1.41 times and a viscosity increase of 1.42 times compared to the limestone-based asphalt mastic. The suitability of RFCC in the production of asphalt concrete was further confirmed by the results.

1. Giới thiệu

Kết cấu áo đường mềm là dạng kết cấu áo đường phổ biến ở Việt Nam với nhiều ưu điểm. Bao gồm dễ dàng thi công và duy tu sửa chữa, có thể sử dụng ngay sau khi thi công xong, tạo cảm giác thoải mái cho lái xe [1]. Về mặt vật liệu, bê tông nhựa là hỗn hợp gồm bốn thành phần chính. Bao gồm cốt liệu lớn, cốt liệu nhỏ, bột khoáng và nhựa đường. Các thành phần này tạo nên một khối tổng hoà của ba thành phần kết cấu. Kết cấu vi mô là sự kết hợp giữa bột khoáng với nhựa đường tạo thành hỗn hợp nhựa ma-tít. Kết cấu trung gian là sự kết hợp giữa hỗn hợp nhựa ma-tít với cốt liệu nhỏ tạo thành hỗn hợp vừa nhựa. Kết cấu vĩ mô là sự kết hợp giữa hỗn hợp vừa nhựa với cốt liệu lớn tạo thành hỗn hợp bê tông nhựa, như được mô tả ở Hình 1. Hỗn hợp nhựa ma-tít là một thành phần rất quan trọng trong hỗn hợp bê tông nhựa. Sự tương tác giữa bột khoáng và nhựa đường trong hỗn hợp nhựa ma-tít ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất và khả năng phục vụ của hỗn hợp bê tông nhựa. Vì vậy, đánh giá chính xác sự tương tác giữa bột khoáng và nhựa đường luôn là một bước quan trọng cần khảo sát nhằm đảm bảo chất lượng phục vụ của một loại bê tông nhựa mới. Năm phương pháp chính để đánh giá sự tương tác này bao gồm: (i) sử dụng lý thuyết lưu biến, (ii) đo độ hấp phụ nhựa đường đối với cốt liệu, (iii) tính toán năng lượng tự do trên bề mặt, (iv) sử dụng kính hiển vi lực nguyên tử, và (v) mô phỏng động lực phân tử [2]. Trong bài báo này, lý thuyết lưu

biến đã được áp dụng, căn cứ vào số liệu của thí nghiệm cắt động lưu biến, DSR (Dynamic Shear Rheometer).



Hình 1. Cấu trúc hỗn hợp bê tông nhựa nóng [3].

RFCC (Residue Fluid Catalytic Cracking) là chất thải trong ngành công nghiệp lọc dầu, nó chứa một số thành phần kim loại không gây hại cho môi trường. Hàng năm, nhà máy lọc dầu Dung Quất thải ra 6,5-8,5 nghìn tấn RFCC, và tất cả lượng chất thải RFCC này đều được xử lý bằng hình thức chôn lấp [4]. Việc này gây lãng phí tài nguyên đất, tốn kém tiền bạc trong quá trình xử lý chôn lấp, cũng như không tận dụng được giá trị kinh tế của RFCC. Hơn nữa, RFCC có dạng hạt và rất mịn, kích thước các hạt trong khoảng 45-90 μm , có tính chất pozzolan, nên RFCC có thể sử dụng thay thế các nguyên liệu truyền thống trong chế tạo bê tông xi măng, bê tông nhựa, gạch đất sét nung [4-6]. Nghiên cứu tái sử dụng RFCC trong các lĩnh vực xây dựng, trong bối cảnh thiếu

*Liên hệ tác giả: thangla@hcmute.edu.vn

Nhận ngày 20/08/2024, sửa xong ngày 17/10/2024, chấp nhận đăng ngày 21/10/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2024.767>

nguyên vật liệu tốt, trở thành một đòi hỏi cấp bách cho định hướng phát triển bền vững. Bài báo này là một nghiên cứu nhằm tái sử dụng RFCC trong sản xuất bê tông nhựa. Việc đánh giá tương tác giữa bột khoáng-nhựa đường được khảo sát thông qua lý thuyết lưu biến.

2. Lý thuyết lưu biến và mô hình 2S2P1D

Nhựa ma-tít là một vật liệu có tính đàn hồi-nhớt. Đặc tính cơ lý của nó phụ thuộc vào nhiệt độ tác dụng và thời gian gia tải. Ở nhiệt độ thấp hoặc thời gian gia tải ngắn hoặc ở tần số cao, nhựa ma-tít thể hiện đặc tính đàn hồi, với khả năng phục hồi biến dạng hoàn toàn sau khi dỡ tải. Ở nhiệt độ cao hoặc thời gian gia tải dài hoặc ở tần số thấp, nhựa ma-tít thể hiện đặc tính nhớt. Để biết được tính chất đàn hồi-nhớt của nhựa ma-tít, người ta dùng lý thuyết lưu biến để mô tả ứng suất cắt τ^* và biến dạng ε^* của nhựa ma-tít được thể hiện dưới dạng hàm số theo thời gian.

$$\tau^* = \tau_0 \sin(\omega t - \varphi) \quad (1)$$

$$\varepsilon^* = \varepsilon_0 \sin(\omega t) \quad (2)$$

Trong đó: τ_0 (MPa) và ε_0 (mm) lần lượt là biên độ ứng suất và biến dạng, ω (rad/s) là tần số góc, t (s) là thời gian và φ (độ) là góc trễ pha giữa ứng suất và biến dạng.

Góc φ có thể được sử dụng để đánh giá được mức độ đàn hồi của nhựa ma-tít. $\varphi = 0^\circ$ thì vật liệu là ở trạng thái đàn hồi tuyệt đối, $\varphi = 90^\circ$ thì vật liệu là ở trạng thái nhớt tuyệt đối, $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ thì vật liệu là ở trạng thái đàn hồi-nhớt. Khi đó, mô đun phức hợp $G^*(\omega)$ của nhựa ma-tít, là tỷ số giữa ứng suất và biến dạng tương ứng, phụ thuộc tần số góc ω , được tính theo Biểu thức (3).

$$G^*(\omega) = \frac{\tau^*}{\varepsilon^*} = \frac{\tau_0}{\varepsilon_0} e^{i\varphi} = \frac{\tau_0}{\varepsilon_0} \cos\varphi + i \frac{\tau_0}{\varepsilon_0} \sin\varphi = G'(\omega) + iG''(\omega) \quad (3)$$

Trong đó: $G'(\omega)$ (MPa) là mô đun đàn hồi, ứng với phần năng lượng được bảo toàn và giải phóng giúp phục hồi biến dạng sau mỗi chu kỳ gia tải, và $G''(\omega)$ (MPa) là mô đun nhớt, ứng với phần năng lượng hao hụt sau mỗi một chu kỳ gia tải, i là số phức ($i^2 = -1$).

Mô hình toán học được sử dụng để mô tả đặc tính lưu biến của nhựa ma-tít. Bài báo chọn mô hình 2S2P1D, do Trường đại học Lyon (Pháp) phát triển, để mô phỏng kết quả thực nghiệm cắt động. Mô hình này được đánh giá là mô hình phù hợp nhất để mô phỏng tính chất đàn-nhớt của nhựa ma-tít trong một dải tần số và nhiệt độ rộng [7, 8]. Mô hình 2S2P1D của nhựa ma-tít được mô tả bằng Biểu thức (4).

$$G^*(\omega) = G_0 + \frac{G_\infty - G_0}{1 + \frac{1}{\delta(i\omega\tau)^k} + \frac{1}{(i\omega\tau)^h} + \frac{1}{i\omega\beta\tau}} \quad (4)$$

Trong đó: G_0 (MPa) là mô đun đàn hồi, khi $\omega \rightarrow 0$, G_∞ (MPa) là mô đun nhớt, khi $\omega \rightarrow \infty$, τ (s) là thông số phụ thuộc vào thời gian gia tải và nhiệt độ, được xác định bằng quy tắc William, Landel và Ferry, i là số phức ($i^2 = -1$), k và h là các hằng số. $0 < k < h < 1$, δ và β là các hệ số. β được xác định bằng Biểu thức (5) thông qua giá trị độ nhớt Newton η .

$$\beta = \frac{\eta}{(G_\infty - G_0)\tau} \quad (5)$$

3. Chương trình thí nghiệm

3.1. Vật liệu

Nhựa đường sử dụng trong nghiên cứu này là nhựa đường 60/70 của hãng Shell được sản xuất ở nhà máy lọc dầu Bukom (Singapore), với các tính chất cơ lý như Bảng 1.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của nhựa đường Shell 60/70.

Tính chất cơ lý	Đơn vị	Kết quả	Yêu cầu kỹ thuật	Tiêu chuẩn xác định
Độ kim lún (25°C, 100g, 5 giây)	0,1 mm	64	60-70	TCVN 7495:2005
Nhiệt độ hóa mềm	°C	46	46-55	TCVN 7497:2005
Độ giãn dài (15°C, 5 cm/phút)	cm	135,5	min 100	TCVN 7496:2005
Khối lượng riêng (25°C)	g/cm ³	1,03	1,00-1,05	TCVN 7501:2005

Bột khoáng sử dụng trong nghiên cứu này là bột khoáng đá vôi, loại bột khoáng được sử dụng phổ biến ở Việt Nam, được lấy từ mỏ đá Tân Cang - Đồng Nai (Hình 2a) và RFCC được lấy từ nhà máy lọc dầu Dung Quất (Hình 2b). Thành phần hóa học được thể hiện trong Bảng 2, và các tính chất vật lý được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 2. Thành phần hóa học của bột đá vôi và RFCC.

	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	P ₂ O ₅	LOI
Bột đá vôi	47,7	4,9	6,1	3,38	0,72	0,024	0,089	38,89
RFCC	0,23	0,07	46,81	45,4	1,52	0,05	0,33	0,57

LOI: hàm lượng mất mát khi nung.

Bảng 3. Tính chất cơ lý của bột đá vôi và RFCC.

	Khối lượng riêng (g/cm ³)	Diện tích bề mặt (cm ² /g)
Bột đá vôi	2,7	3000
RFCC	2,2	2980



(a)



(b)

Hình 2. Các loại bột khoáng: (a) Bột đá vôi, và (b) RFCC.



(a)



(b)

Hình 3. Thiết bị thí nghiệm (a) Máy DSR, (b) Mẫu thí nghiệm.

3.2. Chế tạo mẫu

Đầu tiên, bột đá vôi và RFCC được gia nhiệt trong tủ sấy ở 160 °C trong 4 giờ, nhựa đường được đặt trong tủ sấy ở 120 °C trong 2 giờ. Vừa đổ từ từ bột khoáng vào nhựa vừa dùng thìa thủy tinh khuấy đều. Sau khi đổ hết toàn bộ khối lượng bột khoáng vào nhựa đường, hỗn hợp được tiếp tục khuấy thêm trong thời gian 10 phút ở 120 °C để bột khoáng phân tán đều trong nhựa và tạo thành hỗn hợp nhựa ma-tít. Sau cùng, hỗn hợp nhựa ma-tít được chiết ra các hộp nhôm nhỏ để thuận tiện cho các thí nghiệm tiếp theo.

Từng loại bột khoáng được trộn với nhựa đường nóng chảy theo đúng tỷ lệ bột khoáng/nhựa ở trong Bảng 4, với FB được xác định theo Biểu thức (6). Tỷ lệ bột khoáng/nhựa trong nghiên cứu này được lấy theo đề xuất về hàm lượng bột khoáng và nhựa của tác giả Lê Anh Thắng [9, 10].

$$FB = \frac{P_{bk}}{P_n} \quad (6)$$

Trong đó: FB là tỷ lệ bột khoáng/nhựa đường tính theo khối lượng, P_{bk} , P_n là khối lượng bột khoáng và nhựa đường trong hỗn hợp bê tông nhựa.

Bảng 4. Tỷ lệ bột khoáng/nhựa đường trong hỗn hợp nhựa ma-tít

Loại bột khoáng	FB	P_{bk} (%) (Theo khối lượng hỗn hợp bê tông nhựa)	P_n (%) (Theo khối lượng hỗn hợp bê tông nhựa)
Bột đá vôi	0,99	5	5,075
RFCC	0,90	5	5,56

3.3. Thiết bị thí nghiệm và thí nghiệm cắt động lưu biến.

Thiết bị thí nghiệm là máy đo lưu biến nhựa đường DSR (Dynamic Shear Rheometer) như Hình 3a. Các mẫu nhựa ma-tít được để trong lò sấy đến nhiệt độ yêu cầu, sau đó rót vào khuôn như Hình 3b.

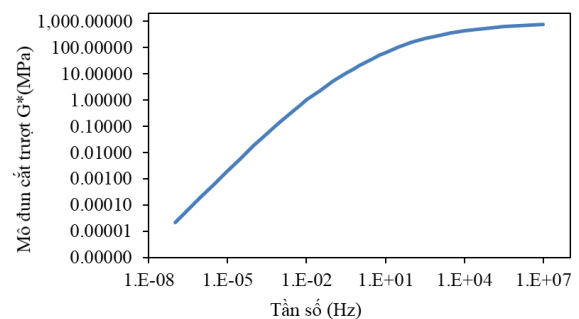
Thí nghiệm được thực hiện theo tiêu chuẩn AASHTO T315-2010 với sáu cấp nhiệt độ là 10 °C, 22 °C, 34 °C, 46 °C, 58 °C, 70 °C và năm cấp tần số là 0,01 Hz; 0,1 Hz; 1 Hz; 5 Hz; 10 Hz. Mẫu được ủ ở nhiệt độ 10 °C trong 10 phút, sau đó lắp vào máy và tiến hành thí nghiệm ở tần số 0.01 Hz. Sau khi kết thúc thí nghiệm ở tần số 0,01 Hz, mẫu này tiếp tục được thí nghiệm ở các tần số tiếp theo là 0,1 Hz; 1 Hz; 5 Hz và 10 Hz. Thời gian cho mẫu nghỉ giữa hai lần chuyển tần số liên tiếp là 10 phút. Quá trình thí nghiệm được lặp lại với các cấp nhiệt độ là 22 °C, 34 °C, 46 °C, 58 °C và 70 °C.

Kết quả thí nghiệm từ thiết bị DSR được mô phỏng bằng mô hình 2S2P1D. Các tham số của mô hình 2S2P1D được dùng để xây dựng các đường cong chủ của mô đun cắt động, góc lệch, và độ nhớt.

4. Kết quả và bình luận

4.1. Mô đun cắt động

Đường cong chủ của mô đun cắt trượt động được thể hiện như Hình 4. Giá trị của mô đun đàn hồi cắt trượt càng cao thì hỗn hợp nhựa ma-tít càng cứng. Bảng 5 cho thấy RFCC ma-tít có độ cứng hơn so với đá vôi ma-tít. Độ cứng của RFCC ma-tít lớn hơn đá vôi ma-tít là 1.41 lần khi ở nhiệt độ cao và là 1.05 lần khi ở nhiệt độ thấp. Như vậy, RFCC có khả năng cải thiện độ cứng cho nhựa ma-tít ở nhiệt độ cao, từ đó tăng khả năng phục vụ của hỗn hợp bê tông nhựa có sử dụng RFCC làm bột khoáng.



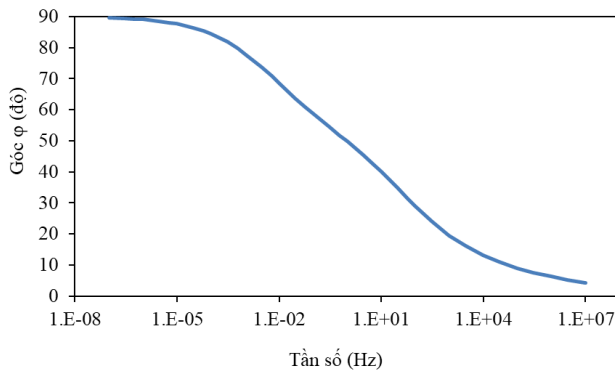
Hình 4. Đường cong chủ mô đun cắt trượt.

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm mô đun cắt trượt trên các mẫu hỗn hợp nhựa ma-tít.

	Đá vôi	RFCC
G_0 (MPa), nhiệt độ cao/tần số thấp	2,2E-05	3,1E-05
G_{∞} (MPa), nhiệt độ thấp/tần số cao	786,39	829,32

4.2. Góc lệch φ

Dạng đường cong chủ của góc φ , biểu thị độ đàn hồi của hỗn hợp nhựa ma-tít, được thể hiện như Hình 5. Giá trị của góc φ càng thấp thì hỗn hợp nhựa ma-tít làm việc càng giống vật liệu đàn hồi. Bảng 6 cho thấy RFCC và đá vôi ma-tít cho góc φ gần bằng nhau. Góc φ của RFCC ma-tít thấp hơn đá vôi ma-tít 1.01 lần ở nhiệt độ cao và thấp hơn 1.03 lần ở nhiệt độ thấp. Các giá trị này gần bằng 1, như vậy RFCC không làm mất đi đặc tính đàn-nhớt của ma-tít truyền thống.



Hình 5. Dạng đường cong chủ của góc lệch φ .

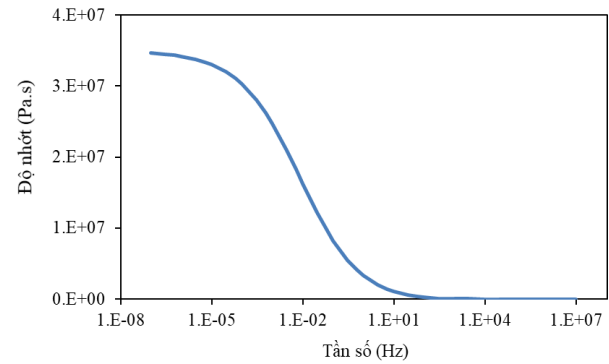
Bảng 6. Kết quả thí nghiệm góc φ trên các mẫu hỗn hợp nhựa ma-tít.

	Đá vôi	RFCC
φ (độ), nhiệt độ cao, tần số thấp	89,63	89,10
φ (độ), nhiệt độ thấp, tần số cao	4,21	4,09

4.3. Độ nhớt

Dạng đường cong chủ của độ nhớt được thể hiện trong Hình 6. Độ nhớt là một đại lượng vật lý đặc trưng cho nội ma sát giữa các phân tử bên trong hỗn hợp nhựa ma-tít. Độ nhớt càng cao thì vật liệu càng đặc, và sự dịch chuyển của các phân tử bên trong hỗn hợp nhựa ma-tít dưới tác động của lực cắt trượt càng nhỏ.

Bảng 7 cho thấy RFCC ma-tít có độ nhớt lớn hơn nhiều so với đá vôi ma-tít ở nhiệt độ cao/tần số thấp. Độ nhớt của RFCC ma-tít lớn hơn đá vôi ma-tít là 1.05 lần ở nhiệt độ thấp và là 1.42 lần ở nhiệt độ cao. Điều này càng có ý nghĩa hơn trong điều kiện ở Việt Nam, nơi có khí hậu nhiệt đới, nhiệt độ trung bình trong lớp mặt đường bê tông nhựa tháng nóng nhất trong năm luôn trong khoảng 60°C-65°C [11]. Như vậy, RFCC có khả năng kháng biến dạng cắt trượt tốt hơn bột đá vôi ở nhiệt độ cao.



Hình 6. Dạng đường cong chủ của độ nhớt.

Bảng 7. Kết quả thí nghiệm độ nhớt trên các mẫu hỗn hợp nhựa ma-tít.

	Đá vôi	RFCC
η (Pa.s), nhiệt độ cao, tần số thấp	3.47E + 07	4.89E + 07
η (Pa.s), nhiệt độ thấp, tần số cao	12.52	13.20

5. Kết luận

Hỗn hợp RFCC ma-tít được đánh giá tính lưu biến thông qua so sánh với nhựa ma-tít truyền thống. Kết quả có được từ mô hình thí nghiệm cho thấy RFCC ma-tít có các đặc tính tốt hơn so với bột đá vôi ma-tít truyền thống. Độ cứng và độ nhớt của hỗn hợp nhựa RFCC ma-tít là cao hơn đá vôi ma-tít. Đặc biệt, RFCC giúp tăng độ cứng và độ nhớt của hỗn hợp nhựa ma-tít ở nhiệt độ cao hoặc ở tần số tải thấp. Cụ thể nhựa ma-tít chứa RFCC có độ cứng tăng gấp và độ nhớt tăng 40% so với nhựa ma-tít chứa bột đá vôi ở nhiệt độ cao hoặc ở tần số tải thấp. Nói cách khác, RFCC có khả năng kháng biến dạng cắt trượt và độ cứng tốt hơn bột đá vôi ở nhiệt độ cao. Điều này giúp tăng khả năng phục vụ của hỗn hợp bê tông nhựa có sử dụng RFCC làm bột khoáng. Đặc biệt là càng có ý nghĩa hơn trong điều kiện Việt Nam, nơi có khí hậu nhiệt đới, nhiệt độ trung bình trong lớp mặt đường bê tông nhựa vào mùa nắng là 60°C-65°C. Hơn nữa, RFCC không làm thay đổi đáng kể đặc tính đàn-nhớt của nhựa ma-tít với bột đá vôi truyền thống. Như vậy, khi sử dụng RFCC thay thế bột khoáng đá vôi trong bê tông nhựa thì RFCC có thể tăng khả năng phục vụ của hỗn hợp bê tông nhựa hơn bột khoáng đá vôi truyền thống.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Mohod, M. and K. Kadam, A Comparative Study on Rigid and Flexible Pavement: A Review. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 2016. 13: p. 84-88.
- [2]. Wu, W., et al., A review of asphalt-filler interaction: Mechanisms, evaluation methods, and influencing factors. Construction and Building Materials, 2021. 299: p. 124279.
- [3]. Nsengiyumva, G., et al., New Mixture Additives for Sustainable Bituminous Pavements. 2018, University of Nebraska-Lincoln: Nebraska Department of Transportation.

- [4]. Dung, D.D., et al., *Residue fluid catalytic cracking (RFCC) as an alternative additive in cement production: A preliminary evaluation*. Journal of Science and Technology - Industrial University of Ho Chi Minh city, 2018. 31(01 (2018)).
- [5]. Cham, N.T., N.M. Ha, and T.Q. Minh, *Study on the possibility of using spent RFCC catalysts from Dung Quat Refinery as an admixture for cement*. Petrovietnam Journal, 2013. 11 (2013): p. 43-50.
- [6]. Thắng, L.A., *Nghiên cứu đánh giá khả năng kháng nứt môi của bê tông nhựa sử dụng RFCC*. Tạp chí Giao thông vận tải, 2021. Số tháng 8 năm 2021.
- [7]. Hoi, T.D., et al., *Mô phỏng mô đun cắt động của nhựa đường sử dụng mô hình 2S2P1D*. Tạp chí Giao thông vận tải, 2017. tháng 8/2017: p. 89-92.
- [8]. Cardona, D.A.R., et al., *Viscoelastic Behaviour Characterization of a Gap-graded Asphalt Mixture with SBS Polymer Modified Bitumen*. Materials Research, 2015. 18(2): p. 373-381.
- [9]. Thang, L.A., L.V. Phuc, and N.M. Tuan, *Optimization of SFCC as Mineral Filler in Asphalt-Concrete Mixture Using Combined Methods of Taguchi and PCA*. Journal of Materials in Civil Engineering, 2022. 34(7).
- [10]. Thang, L.A., N.M. Tuan, and L.V. Phuc, *The Effect of Spent Fluid Catalytic Cracking Filler on Performance Testing of Asphalt Concrete Mixture*. Advances in Materials Science and Engineering, 2021.
- [11]. Do, C.-P., A.-T. Le, and M.-T. Nguyen. *Effects of PET and RFCC on the dynamic modulus, phase angle, and complex viscosity of asphalt concrete*. in *The 4th International Conference on Transportation Infrastructure and Sustainable Development (TISDIC-2023)*. 2023. Da Nang, Viet Nam: IOP Conference Series. Materials Science and Engineering.