

Nghiên cứu thực nghiệm chế tạo hỗn hợp đá vữa nhựa (SMA) chất lượng cao sử dụng cốt liệu xỉ thép Formosa và sợi xơ dừa Việt Nam

■ PGS. TS. NGUYỄN THANH SANG

Trường Đại học Giao thông vận tải

■ ThS. PHẠM TRUNG HẢI^(*)

Ủy ban nhân dân huyện Kỳ Anh

Email: ^(*)phamtrunghaitk@gmail.com

TÓM TẮT: Trên thế giới, xỉ thép được tái chế sử dụng nhiều trong ngành vật liệu xây dựng, nhất là đối với bê tông nhựa và Stone Mastic Asphalt (SMA). Việt Nam là một nước sản xuất nhiều thép (đứng thứ 12 thế giới năm 2023), do đó xử lý và tái sử dụng xỉ thép là cần thiết nhất là trong xây dựng đường bộ. Thêm vào đó, sợi xơ dừa đã được thương mại hóa trong chế tạo sản xuất bê tông xi măng nay đã xuất khẩu sang Hàn Quốc, do đó việc sử dụng sợi xơ dừa để thay thế sợi xenlulô trong hỗn hợp asphalt mặt đường được quan tâm. Nghiên cứu này đã thay thế xỉ thép làm một phần cốt liệu lớn từ 20%, 40%, 60%, 80%, 100% và tỷ lệ hàm lượng sợi xơ dừa trong hỗn hợp SMA C9,5 từ 0,2%, 0,3%, 0,4%. Các kết quả nghiên cứu cho thấy xỉ thép và sợi xơ dừa cải thiện đáng kể độ ổn định và độ dẻo Marshall, độ ổn định Marshall lên đến 30 KN. Các kết quả ban đầu cho thấy tiềm sử dụng xỉ thép Formosa và sợi xơ dừa làm hỗn hợp asphalt chất lượng cao.

TỪ KHÓA: Hỗn hợp đá vữa nhựa, độ bền Marshall, độ dẻo Marshall, xơ dừa, xỉ thép.

ABSTRACT: Worldwide, recycled steel slag is widely used in the construction materials industry, especially for Asphalt concrete and Stone Mastic Asphalt. Vietnam is a top steel producer (ranked 12th all over the world in 2023), so the treatment and reuse of steel slag is necessary, especially in road construction. In addition, coconut fiber has been commercialized in the production of cement concrete and exported to Korea. Therefore, attention should also be drawn to the use of coconut fiber to replace cellulose fiber in asphalt pavement mixtures. This study replaced steel slag as a coarse aggregate from 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, and the proportion of coconut fiber content in the SMA C9.5 mixture from 0.2%, 0.3%, 0.4%. The research results indicated that steel slag and coconut fiber significantly improve the Marshall

stability and Flow, Marshall stability is increased up to 30 KN. The initial results show the potential for using Formosa steel slag and coconut fiber as a high quality asphalt mixture.

KEYWORDS: SMA (Stone Mastic Asphalt), Marshall stability, Marshall flow, coconut fiber, steel slag.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sản xuất vật liệu xây dựng cho ngành Xây dựng sau sản phẩm bê tông là đến thép xây dựng. Theo báo cáo của Hiệp hội Thép Việt Nam (VSA), tổng lượng xỉ gang và xỉ thép ngành Thép Việt Nam tạo ra trong giai đoạn năm 2005 - 2010 khoảng dưới 2 triệu tấn/năm, đến năm 2018 có 5 triệu tấn và số lượng này sẽ tăng nhanh trong những năm tiếp theo. Dự báo đến năm 2025 là 10 triệu tấn và đến 2030 là 15 triệu tấn.

Khu liên hợp gang thép Formosa tại Hà Tĩnh với công suất giai đoạn 1 là 7,5 triệu tấn/năm, khối lượng xỉ thép phát sinh là 1,1 triệu tấn. Bình quân tại khu liên hợp gang thép Formosa, xỉ thép phát sinh 2.200 - 2.300 tấn/ngày. Từ năm 2017 đến nay, Công ty Formosa sử dụng các loại xỉ thép đã được hợp chuẩn, hợp quy làm vật liệu san lấp nội bộ tại một số hạng mục công trình trong khuôn viên nhà máy và chuyển giao cho các đơn vị sử dụng làm vật liệu xây dựng, phụ gia sản xuất xi măng..., tuy nhiên hiện tại còn tồn tại nhiều ở bãi xỉ [1].

Ở châu Âu, Hoa Kỳ, Nhật Bản và Singapore, xỉ thép đã được tái chế và sử dụng rộng rãi, trong đó chủ yếu là ứng dụng sản xuất vật liệu xây dựng đường giao thông, nhất là làm cốt liệu cho BTN và SMA. Ở Trung Quốc là nước sản xuất thép nhiều nhất thế giới đã cho ra đời nhiều tiêu chuẩn sử dụng xỉ thép cho các lĩnh vực xây dựng.

Năm 2020, Jinzhou Liu đã công bố kết quả nghiên cứu về sự bám dính của thành phần nhựa đường trên xỉ thép [2] cho thấy, nhựa đường có tính thích hợp tập hợp xung quanh các khoáng chất kiềm yếu (đá vôi) và kiềm mạnh (xỉ thép) do hoạt động của điện tích để tạo ra các đặc tính kết

dính tốt. Tương tác giữa các khoáng axit và nhựa đường là yếu, do đó sự phân bố của nhựa đường có liên quan đến trọng lượng phân tử của các thành phần. Xi thép làm tăng sự tập trung của từng thành phần của nhựa đường trên bề mặt khoáng vật. Đối với cả điều kiện khô và ướt, xi thép có khả năng kết dính cao hơn với nhựa đường, sau đó là đá vôi và đá granit. Độ ẩm làm giảm khả năng bám dính của xi thép, đá vôi và đá granit lần lượt là 9,99%, 76,70% và 80,15%.

Hiện nay, do có nhiều ưu điểm hơn so với hỗn hợp BTN truyền thống về khả năng chống lún vết bánh xe, kháng nứt do môi, kháng nước, tuổi thọ cao, chất lượng tốt trong suốt quá trình khai thác..., SMA đang được sử dụng phổ biến làm lớp mặt đường cấp cao, đường cao tốc ở nhiều nước trên thế giới.

Nghiên cứu này đưa ra kết quả thiết kế thành phần và thực nghiệm đánh giá một số chỉ tiêu cơ lý của SMA sử dụng cốt liệu xi thép Formosa và sợi xơ dừa Việt Nam.

2. NGUYÊN VẬT LIỆU

Vật liệu được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm:

2.1. Xi thép

Xi thép được lấy từ Formosa Hà Tĩnh có các tính chất cơ lý, thành phần hạt đã được thí nghiệm ở Bảng 2.1, Bảng 2.2.

2.2. Đá dăm

Đá dăm sử dụng loại có đường kính từ 5 - 10 nguồn gốc ở Hà Nam có các tính chất cơ lý, thành phần hạt trình bày ở Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Kết quả thí nghiệm các yêu cầu kỹ thuật đối với cốt liệu

Cốt liệu làm thử nghiệm		Khối lượng riêng của cốt liệu (g/cm ³)	Khối lượng thể tích của cốt liệu ở trạng thái khô (g/cm ³)	Khối lượng thể tích của cốt liệu ở trạng thái bão hòa nước (g/cm ³)	Độ hút nước của cốt liệu (%)	Tỷ trọng của cốt liệu
Đá 5-10	Mẫu 1	2,830	2,769	2,791	0,769	2,839
	Mẫu 2	2,825	2,761	2,784	0,807	2,833
	TB	2,828	2,765	2,787	0,788	2,836
Xi thép	Mẫu 1	3,452	3,210	3,280	2,136	3,463
	Mẫu 2	3,465	3,226	3,295	2,082	3,475
	TB	3,459	3,218	3,287	2,109	3,469
Cát nghiền	Mẫu 1	2,768	2,681	2,712	1,154	2,776
	Mẫu 2	2,771	2,696	2,723	0,991	2,779
	TB	2,769	2,688	2,717	1,072	2,778

Bảng 2.2. Kết quả thí nghiệm thành phần hạt của hỗn hợp cốt liệu

Lượng lọt qua sàng, %				
Cỡ sàng	SS10Formosa	Cát nghiền PL-HN	Bột khoáng	Đá 5-10
0,075	1	5	79	2
0,3	6	10	94	3
0,6	12	18	99	4
1,18	21	31	100	5
2,36	36	48	100	7
4,75	64	85	100	18
9,5	95	100	100	93
12,5	100	100	100	100

2.3. Chất kết dính

Sử dụng nhựa đường ADCo loại PMB III có chỉ tiêu cơ lý, hóa học đã được nghiên cứu và thể hiện ở Bảng 2.3.

Bảng 2.3. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý, hóa của của PMB III

Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Tiêu chuẩn thí nghiệm	Kết quả	Yêu cầu kỹ thuật 22TCN 319-04
Độ kim lún ở 25°C, 0,1 mm, 5s	0,1 mm	TCVN 7495:2005	50	40-70
Nhiệt độ hóa mềm (dụng cụ vòng và bi)	°C	TCVN 7495:2005	92	Min 80
Độ nhớt ở 135°C	Pa.s	TCVN 11196:2017	2,3	Max 3

Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Tiêu chuẩn thí nghiệm	Kết quả	Yêu cầu kỹ thuật 22TCN 319-04
Độ đàn hồi 25°C (5cm/phút)	%	TCVN 11194:2017	94	Min 70
Điểm chớp cháy (cốc mở Cleveland)	°C	TCVN 7498:2005	298	Min 230
Độ hòa tan trong Trichloethylene	%	TCVN 7500:2005	99,85	Min 99
Khối lượng riêng ở 25°C	g/cm ³	TCVN 7501:2005	1,04	1-1.05
Tổn thất khối lượng sau khi gia nhiệt 5h ở 163°C	%	TCVN 7499:2005	0,1	Max 0.6
Tỷ lệ kim lún sau khi gia nhiệt 5h ở 163°C so với ban đầu	%	TCVN 7495:2005	87	Min 65
Độ ổn định lưu trữ (gia nhiệt ở 163°C trong 48h)	°C	TCVN 11195:2017	1,5	Max 3
Độ dính bám với đá	cấp	TCVN 7504:2005	4	Min cấp 4

2.4. Sợi xơ dừa

Sử dụng sợi xơ dừa Việt Nam có chỉ tiêu cơ lý, hóa học đã được nghiên cứu và thể hiện ở Bảng 2.4.

Bảng 2.4. Kết quả thí nghiệm các yêu cầu kỹ thuật của sợi xơ dừa

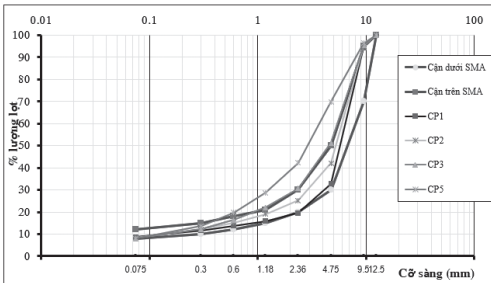
Chỉ tiêu	Kết quả	Quy định	Phương pháp thử
Chiều dài sợi, mm	4,9	6	Ngâm vào nước dùng kính hiển vi quan sát
Hàm lượng tro, %	14	185	Lượng tro thu được sau khi nung đốt sợi ở 615°C
Độ PH	6,5	7,51	Lấy 5 g sợi sấy khô rồi ngâm vào 100 ml nước cất khuấy đều rồi dùng giấy thử PH hoặc thiết bị đo độ PH để xác định
Độ hút dầu	3 lần khối lượng sợi	5 lần khối lượng sợi	Ngâm 5 g sợi vào 100 ml dầu hỏa khuấy trong 15 phút sau đó để yên 5 phút và đổ mẫu sợi lên sàng rung lắc, gõ cho chảy hết lượng dầu tự do rồi cân sợi đã hút no dầu hỏa
Độ ẩm,%	1,8	5	Sấy sợi ở 105°C trong 2h, để nguội và cân để xác định độ ẩm có trong sợi

3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Trên cơ sở các thành phần cốt liệu đã lựa chọn, tiến hành tính toán tỷ lệ phối trộn và kiểm tra yêu cầu kỹ thuật thành phần hạt kết quả thiết kế thành phần hỗn hợp vật liệu khoáng được thể hiện ở Bảng 3.1 và Hình 3.1.

Bảng 3.1. Tỷ lệ phối trộn các cốt liệu cho SMA

Cấp phối	Tỷ lệ phối trộn, %			
	SS10Formosa	Cát nghiền PL-HN	Bột khoáng	Đá 5-10
CP1	0	11,44	8,56	80
CP2	20	11,70	8,30	60
CP3	40	12,22	7,78	40
CP4	60	12,52	7,48	20
CP5	80	12,03	7,97	0



Hình 3.1: Đường cong cấp phối hỗn hợp sau khi phối trộn

Chuẩn bị 5 cấp phối, mỗi cấp phối có 3 tổ mẫu có hàm lượng nhựa (HLN) chênh lệch nhau 0,5%. Các hàm lượng nhựa đường được lựa chọn để đúc mẫu là: 5%, 5,5%, 6,0%, 6,5% và 7,0%. Tỷ lệ sợi (TLS) xơ dừa được lựa chọn là 0%, 0,2%, 0,3%, 0,4%. Cốt liệu được gia nhiệt đến nhiệt độ 180°C, nhựa đường được gia nhiệt đến nhiệt độ từ 165 - 170°C, trộn đều cốt liệu thô với sợi xơ dừa trong 90s. Đổ nhựa tới khối lượng xác định rồi trộn tiếp từ 90 - 120s, chia hỗn hợp vào bát mỗi bát 1.300 g, tiếp tục gia nhiệt cho hỗn hợp đến nhiệt độ đạt 170°C rồi tiến hành đúc mẫu (khuôn mẫu hình trụ có đường kính trong 101,6 mm $\pm$ 0,2 mm). Sử dụng máy đầm Marshall đầm nén mẫu, công đầm nén: 75 lượt/mặt mẫu. Bảo dưỡng mẫu trong khoảng thời gian 12h trước khi làm các thí nghiệm xác định các chỉ tiêu cơ lý. Tất cả các mẫu được xác định tỷ trọng khối, khối lượng thể tích; độ ổn định, độ dẻo Marshall.



Hình 3.2: Mẫu thí nghiệm SMA xi thép



Hình 3.3: Thí nghiệm độ ổn định Marshall

4. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Kết quả thí nghiệm độ bền Marshall và độ dẻo của các hỗn hợp SMA được đã thiết kế và thống kê ở Bảng 4.1.

Bảng 4.1. Bảng kết quả thí nghiệm độ ổn định, độ dẻo Marshall

STT	TLS (%)	HLN (%)	XT/CL	P (kN)	F (mm)
1	0,0	5	0	12,35	3,53
2	0,0	5,5	25	14,73	4,07
3	0,0	6	50	18,44	4,83
4	0,0	6,5	75	19,56	6,77
5	0,0	7	100	19,48	9,1
6	0,1	5	25	13,90	2,9
7	0,1	5,5	50	18,37	4,4
8	0,1	6	75	21,62	5,3
9	0,1	6,5	100	24,83	5
10	0,1	7	0	9,91	4,4
11	0,2	5	50	20,93	4,4
12	0,2	5,5	75	25,34	4,3
13	0,2	6	100	26,05	4,4
14	0,2	6,5	0	9,36	3,5
15	0,2	7	25	16,37	7,6
16	0,3	5	75	24,79	2,9
17	0,3	5,5	100	30,63	2,9

STT	TLS (%)	HLN (%)	XT/CL	P (kN)	F (mm)
18	0,3	6	0	9,90	4,4
19	0,3	6,5	25	13,20	3,9
20	0,3	7	50	17,06	4,8
21	0,4	5	100	30,15	2,93
22	0,4	5,5	0	14,59	4,37
23	0,4	6	25	19,42	3,9
24	0,4	6,5	50	19,07	4,8
25	0,4	7	75	20,81	2,9
Trung bình	0,20	6,00	50,00	18,83	4,49
Min	-	5,0	-	9,4	2,9
Max	0,40	7,00	100,00	30,63	9,10

4.1. Mối tương quan giữa TLS, HLN, XT/CL với độ bền và độ dẻo Marshall

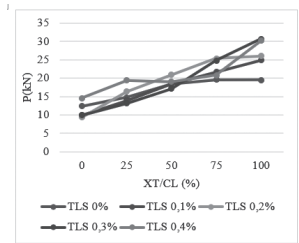
Trên cơ sở kết quả thí nghiệm tại Bảng 4.1, tiến hành phân tích tính tương quan giữa TLS, HLN, XT/CL với P và F như Bảng 4.2.

Bảng 4.2. Mối tương quan giữa thành phần với độ ổn định và độ dẻo Marshall

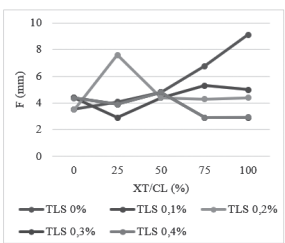
	TLS với P	TLS với F	HLN với P	HLN với F	XT/CL với P	XT/CL với F
Hệ số tương quan	0,22	- 0,43	- 0,27	0,55	0,90	0,16
	Tương quan thấp	Tương quan TB	Tương quan thấp	Tương quan đáng kể	Tương quan chặt chẽ	Tương quan thấp

Từ kết quả phân tích trên cho thấy tính tương quan giữa tỷ XT/CL với P chặt chẽ, tính tương quan giữa hàm lượng nhựa với F đáng kể, tính tương quan giữa TLS với F là ở mức trung bình và tỷ lệ nghịch; tính tương quan giữa TLS với P, HLN với P, tỷ lệ XT/CL với F thấp. Vậy tỷ lệ XT/CL ảnh hưởng đáng kể đến độ ổn định Marshall, còn HLN ảnh hưởng đáng kể đến độ dẻo Marshall.

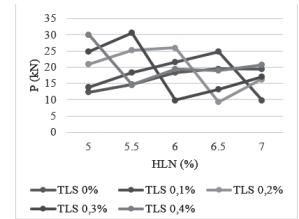
4.2. Phân tích ảnh hưởng của tỷ lệ sợi đến độ ổn định và độ dẻo



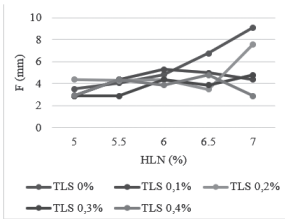
Hình 4.1: Ảnh hưởng TLS và XT/CL đến độ ổn định



Hình 4.2: Ảnh hưởng TLS và XT/CL đến độ dẻo



Hình 4.3: Ảnh hưởng TLS và HLN đến độ ổn định



Hình 4.4: Ảnh hưởng TLS và HLN đến độ dẻo

Hình 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 là ảnh hưởng của tỷ lệ sợi đến độ ổn định và độ dẻo Marshall.

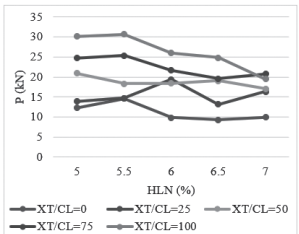
Khi có dùng xơ dừa trong hỗn hợp SMA cải thiện hiệu quả độ ổn định và độ dẻo Marshall, khi tăng tỷ lệ XT/CL cũng cải thiện đáng kể độ ổn định Marshall. Từ Hình 4.2 cho thấy với TLS 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 cho giá trị độ dẻo tương đối ổn định với tỷ lệ XT/CL 75% và 100%. Hình 4.4 cho thấy các mẫu thử có tỷ lệ sợi có độ dẻo ổn định hơn khi tăng dần hàm lượng nhựa so với hỗn hợp đối chứng.

Yêu cầu về độ dẻo Marshall nằm trong phạm vi thông số kỹ thuật yêu cầu từ 1,5 đến 4 mm [4] nên ở đây ta chọn được:

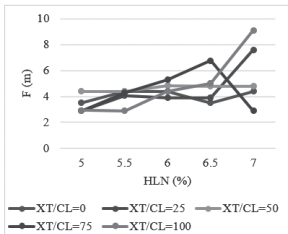
- Ở tỷ lệ sợi 0% HLN 5% (CP1);
- Ở tỷ lệ sợi 0,1% HLN 5% (CP2);
- Ở tỷ lệ sợi 0,2% HLN 6,5 % (CP1);
- Ở tỷ lệ sợi 0,3% HLN 5% (CP4); HLN 5,5% (CP5); HLN 6,5% (CP2);
- Ở tỷ lệ sợi 0,4% HLN 5% (CP5); HLN 7% (CP4); HLN 6% (CP2).

Các hỗn hợp ổn định sợi đều cho độ ổn định tối đa ở hàm lượng sợi 0,3%. So sánh các hỗn hợp sợi ổn định khác nhau, ta thấy với sợi xơ dừa 0,3% HLN 5,5% (CP5) có độ ổn định cao nhất (30,63 kN).

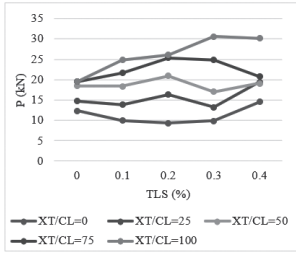
4.3. Phân tích ảnh hưởng của tỷ XT/CL đến độ ổn định và độ dẻo



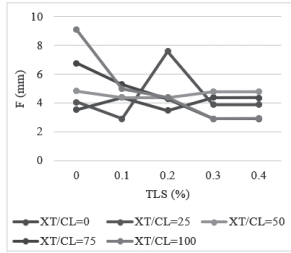
Hình 4.5: Ảnh hưởng XT/CL và HLN đến độ ổn định



Hình 4.6: Ảnh hưởng XT/CL và HLN đến độ dẻo



Hình 4.7: Ảnh hưởng XT/CL và TLS đến độ ổn định



Hình 4.8: Ảnh hưởng XT/CL và TLS đến độ dẻo

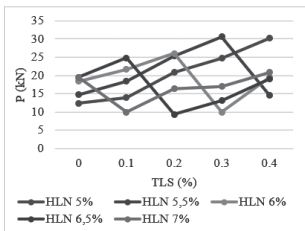
Hình 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 cho thấy ảnh hưởng của XT/CL đến độ ổn định và độ dẻo.

- Khi tỷ lệ XT/CL tăng lên thì độ ổn định tăng lên rất nhiều, đạt giá trị lớn nhất khi tỷ lệ XT/CL=100%. Ở tỷ lệ sợi 0,3% khi tỷ lệ XT/CL thay đổi từ 25, 50, 75, 100 thì độ ổn định tăng lần lượt là 33%, 72%, 150%, 209% so với hỗn hợp có tỷ lệ XT/CL = 0. Hình 4.8 cho thấy với các tỷ lệ XT/CL khác nhau thì độ dẻo đều ổn định với tỷ lệ sợi 0,3 và 0,4. Khi tăng tỷ lệ XT/CL lên 75 và 100 thì độ dẻo càng ổn định hơn. Điều này chứng tỏ với các cấp phối khi tăng xi thép và hàm lượng sợi thì hỗn hợp SMA càng ổn định với các loại biến dạng dẻo.

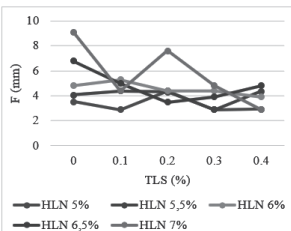
Để đạt độ dẻo nằm trong phạm vi thông số kỹ thuật yêu cầu từ 1,5 đến 4 mm [4] nên ở đây ta chọn được:

- Ở CP1 TLS 0% (HLN 5%); TLS 0,2% (HLN 6,5%);
- Ở CP2 TLS 0,1% (HLN 5%); TLS 0,3% (HLN 6,5%); TLS 0,4% (HLN 6%);
- Ở CP4 TLS 0,3% (HLN 5%); TLS 0,4% (HLN 7%);
- Ở CP5 TLS 0,3% (HLN 5,5%); TLS 0,4% (HLN 5%).

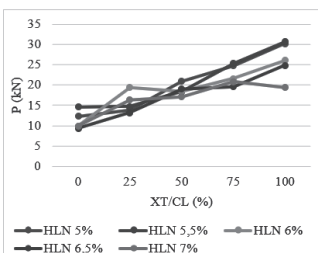
4.4. Ảnh hưởng của hàm lượng nhựa đến độ ổn định và độ dẻo



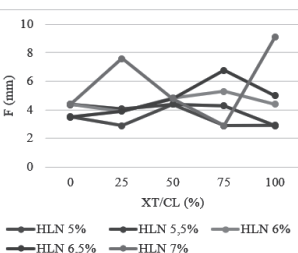
Hình 4.9: Ảnh hưởng HLN và TLS đến độ ổn định



Hình 4.10: Ảnh hưởng HLN và TLS đến độ dẻo



Hình 4.11: Ảnh hưởng HLN và XT/CL đến độ ổn định



Hình 4.12: Ảnh hưởng HLN và XT/CL đến độ dẻo

- Hình 4.10 và Hình 4.12 cho thấy độ dẻo ổn định hơn với hàm lượng nhựa từ 5 - 6%; khi hàm lượng nhựa tăng lên 6,5% và 7% thì độ dẻo biến động lớn.

- Hình 4.9 cho thấy độ ổn định biến động lớn khi thay đổi hàm lượng nhựa và tỷ lệ sợi.

- Hình 4.11 cho thấy khi thay đổi hàm lượng xi thép, độ ổn định biến động ít hơn khi thay đổi hàm lượng nhựa.

- Ở tỷ lệ sợi 0% (CP1) khi HLN thay đổi từ 6% đến 7% thì độ ổn định lần lượt giảm 20%, 24%, 20% so với độ ổn định ở HLN 5% và chỉ tăng 18% ở HLN 5,5%.

- Các giá trị độ dẻo nằm trong phạm vi thông số kỹ thuật yêu cầu từ 1,5 đến 4 mm [4] nên ở đây ta chọn được:

- Ở HLN 5% TLS 0% (CP1); TLS 0,1% (CP2); TLS 0,3% (CP4); TLS 0,4% (CP5).
- Ở HLN 5,5% TLS 0,3% (CP5).
- Ở HLN 6% TLS 0,4% (CP2).
- Ở HLN 6,5% TLS 0,2% (CP1); TLS 0,3% (CP2).
- Ở HLN 7% TLS 0,4% (CP4).

5. KẾT LUẬN

Từ các kết quả thí nghiệm trong phòng, đánh giá các tính chất của SMA cốt liệu xi thép theo các chỉ tiêu kỹ thuật yêu cầu của TCVN 13567-1:2022 [4] và TCCS 36:2021/TCĐBVN [5] cho thấy:

- Vật liệu chế tạo hỗn hợp SMA ở Việt Nam có thể sử dụng xi thép và sợi xơ dừa.

- Các kết quả nghiên cứu với hỗn hợp SMA cốt liệu xi thép và sợi xơ dừa cho thấy đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật, các chỉ tiêu về độ ổn định, độ dẻo Marshall được cải thiện đáng kể.

- Khi tỷ lệ XT/CL tăng lên thì độ ổn định Marshall càng lớn còn độ dẻo giảm, độ ổn định cao nhất khi tỷ lệ XT/CL = 100%, HLN 5,5%, TLS 0,3% đạt 30,63 kN tương ứng với độ dẻo 2,9 mm.

- Có thể thay thế sợi xơ dừa trong hỗn hợp SMA ở Việt Nam thay cho sợi xenlulo thông thường có cải thiện đáng kể về tính chất của hỗn hợp SMA.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Ban Tuyên giáo Tỉnh ủy Hà Tĩnh (2020), Công văn số 102-CV/BTGTU về việc sử dụng tro xỉ của Nhà máy Nhiệt điện và Nhà máy Luyện thép Formosa, Hà Tĩnh.
- [2]. J. Liu, B. Yu and Q. Hong (2020), *Molecular dynamics simulation of distribution and adhesion of asphalt components on steel slag*, Construction and Building Materials, vol.255.
- [3]. ASTM D6927-15, *Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt*.
- [4]. TCVN 13567-1:2022, *Tiêu chuẩn thi công và nghiệm thu mặt đường bằng hỗn hợp nhựa nóng*.
- [5]. TCCS 36:2021/TCĐBVN, *Lớp mặt đường bằng hỗn hợp đá vữa nhựa (SMA) - Thi công và nghiệm thu*.

Ngày nhận bài: 12/9/2024

Ngày nhận bài sửa: 27/9/2024

Ngày chấp nhận đăng: 04/10/2024