

CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG BÊ TÔNG NHỰA BẰNG CỐT SỢI THỦY TINH

SOLUTIONS TO IMPROVING THE QUALITY OF ASPHALT CONCRETE USING FIBER-GLASS

Nguyễn Biên Cương

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; Email: nbcvna@gmail.com

Tóm tắt: Trong quá trình thiết kế mặt đường, bê tông nhựa (Asphalt Concrete - AC) là lựa chọn phổ biến của các kỹ sư. Loại vật liệu này vẫn thường được sử dụng làm tầng mặt của mặt đường. AC có rất nhiều ưu điểm. Tuy nhiên, khi AC được sử dụng ở Việt Nam đã bộc lộ khá nhiều nhược điểm. AC sử dụng nhựa đường như một loại chất kết dính, vì vậy nó có nhiều thuộc tính giống như của nhựa đường. Chất lượng của AC giảm đi rất nhiều khi chịu các tác dụng bất lợi của nhiệt độ, độ ẩm. Đây là một trong những lý do làm cho đường xá ở Việt Nam hư hỏng nhanh chóng sau một thời gian ngắn sử dụng. Nghiên cứu này sử dụng cốt sợi thủy tinh như một giải pháp để nâng cao các tính chất cơ lý của AC dưới tác dụng đồng thời của nước và nhiệt độ cao.

Từ khóa: mặt đường; áo đường mềm; tầng mặt; bê tông nhựa; cốt sợi thủy tinh; cải thiện

Abstract: In the process of pavement design, asphalt concrete (AC) is the popular choice of engineers. This material is typically used as the surface layer of road surface. AC has many advantages. However, when AC is used in Vietnam, many of its disadvantages have been revealed. AC uses asphalt as a binder, so it has many properties similar to those of asphalt. The quality of AC is greatly reduced when subjected to the adverse effects of temperature and water. The consequence of this problem is that after a short time of use the roads in Vietnam damage very quickly. This study uses glass-fibers reinforced as a solution to improving the mechanical properties and physiology of AC under the simultaneous effects of water and high temperatures.

Key words: pavement; flexible pavement; surface course; asphalt concrete; glass-fibers; improve

1. Đặt vấn đề

Bê tông nhựa (AC) là vật liệu phổ biến để làm tầng mặt của các loại mặt đường ô tô cấp cao và đường đô thị. Mặt đường AC có khá nhiều ưu điểm: độ bằng phẳng cao; xe chạy êm thuận, ít gây tiếng ồn; kết cấu chặt kín hạn chế nước thấm xuống tầng móng và nền đất; độ mài mòn nhỏ, ít sinh bụi; có thể cơ giới hóa toàn bộ khâu chế tạo và thi công. Tuy nhiên, do sử dụng nhựa đường là chất kết dính nên các tính chất lý học, cơ học và hóa học của AC bị ảnh hưởng khá nhiều bởi những tính chất của nhựa đường.

Nhựa đường là loại vật liệu nhạy cảm với nhiệt độ, vì vậy các tính chất cơ học của AC giảm đi rất nhiều khi khai thác đường ở khu vực có nền nhiệt cao, cường độ bức xạ mặt trời lớn, mặt đường AC xuất hiện nhiều hư hỏng.

Ở những đoạn đường đèo dốc, hoặc trong các nút giao thông, trước các bến xe... nơi xuất hiện ứng suất cắt lớn bởi lực ngang xe cộ tác dụng với giá trị lớn, mặt đường AC xuất hiện biến dạng trượt, xô dòn. Hiện tượng này xuất hiện đã khá lâu trên các quốc lộ cũng như đường trong các đô thị, làm cho mặt đường gồ ghề, lồi lõm, hạn chế tốc độ xe chạy và dễ gây ra các tai nạn giao thông.

Ở những vị trí có lưu lượng xe lớn, tải trọng nặng, chạy với tốc độ chậm (làn xe tải trong đường đô thị hoặc các đoạn quốc lộ cắt qua đô thị; trước các nút giao thông, đặc biệt là các nút giao thông có điều khiển bằng tín hiệu đèn), nơi xuất hiện ứng suất cắt lớn do lực thẳng đứng của xe cộ tác dụng với giá trị lớn, trong thời gian dài xuất hiện biến dạng lún vệt bánh xe dài và sâu. Hiện tượng này mới xuất hiện phổ biến trên các quốc lộ khoảng 7 năm nay, làm đau đầu các đơn vị thi công cũng như quản lý mạng lưới giao thông đường bộ, gây nguy hiểm cho người và phương tiện tham gia giao thông.



Hình 2. Lún vệt bánh xe đại lộ Đông Tây, Tp HCM

Ngoài ra, khi chịu tác dụng của bức xạ mặt trời, độ ẩm, và nhiệt độ cao, AC dần bị “hóa già”, mặt đường trở nên giòn, dễ gãy vỡ dưới tác dụng của xe cộ.

Việc sử dụng cốt sợi thủy tinh (Glass Fibers - GF) có thể tạo ra loại AC cốt sợi (Asphalt Concrete using Glass-Fibers - ACGF) có cường độ cũng như độ ổn định cao hơn, làm tăng được tuổi thọ của AC, đã được nghiên cứu ở các nước phát triển. Tuy nhiên, các nghiên cứu cụ thể ở Việt Nam về việc sử dụng GF để cải thiện được chất lượng của AC, hạn chế các hư hỏng của loại mặt đường này, tiết kiệm được chi phí bảo dưỡng, sửa chữa cho các



Hình 1. Lốp mặt AC đèo Rọ Tượng, QL 1A bị phá hoại do trượt

tuyến đường, hạn chế tai nạn giao thông, lại chưa được nghiên cứu đầy đủ và thấu đáo.

2. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

2.1. Cốt sợi dùng trong bê tông nhựa

Sử dụng cốt sợi trong AC không phải là một việc làm mới. Từ những năm đầu của thế kỷ XX, ứng dụng cốt sợi a-mi-ăng để gia cường cho hỗn hợp đá nhựa nguội nhằm cải thiện hiện tượng AC chảy nhựa vào mùa hè của Warren Brothers Company đã được cấp bằng sáng chế [1]. Tuy vậy, mãi đến những năm 50 của thế kỷ trước, công bố của US Army Corps of Engineers, Viện Asphalt Mỹ và công ty Johns-Manville mới chỉ ra được sự gia tăng khả năng chịu nén và chịu kéo, độ ổn định của AC rải nóng (HMA) sử dụng cốt sợi a-mi-ăng [2].

Các nghiên cứu tiếp theo của J. H. Kietzman và G. H. Zuehlke công bố năm 1963 đã tiếp tục chỉ ra ưu thế của HMA sử dụng cốt sợi a-mi-ăng so với AC không sử dụng cốt sợi thể hiện ở độ bền Marshall và khả năng chịu kéo uốn của AC [3].

Các kết quả nghiên cứu của Speer và Kietzman cũng tiếp tục chỉ ra rằng: việc HMA sử dụng cốt sợi a-mi-ăng cũng làm cho biến dạng hằn lún vệt bánh xe ít hơn so với AC thường [4].

Từ những năm 1970, nhiều lo ngại về vấn đề sức khỏe và môi trường do sử dụng cốt sợi a-mi-ăng, các nhà nghiên cứu về AC cốt sợi (ACF) đã chuyển sang việc sử dụng các loại sợi khác, có gốc nhựa cho ACF như: sợi polyester (PE), polypropylene (PP), và polyvilyn (PV) [5], [6].

Những kết quả nghiên cứu của Freeman vào cuối những năm 1980 cho thấy hiệu quả của việc sử dụng cốt sợi PE cường độ cao có hiệu quả không kém so với cốt sợi a-mi-ăng; ngoài ra, ưu thế của sợi PE còn được kể đến là không làm tăng nhiều hàm lượng nhựa trong AC và cải thiện được độ bền của AC khi chịu tác dụng của ẩm ướt [7]. Các công bố này cũng chỉ ra rằng, việc sử dụng cốt sợi thép mặc dù cải thiện được đáng kể chất lượng AC, nhưng lại kém bền vì cốt sợi thép trong AC nhanh bị ăn mòn.

Các nghiên cứu tại hiện trường ở tiểu bang Indiana (USA) của Y. Jiang and R. S. McDaniel (1993) [8], B. D. Prowell ở tiểu bang Virginia (2000) [9] còn chỉ ra rằng: ACF sử dụng sợi PE, PP còn có khả năng hạn chế được hiện tượng lún vệt bánh xe và hiện tượng nứt phản ánh. Nhược điểm lớn nhất của các loại cốt sợi gốc nhựa là khả năng chịu nhiệt kém (160°C), và bị hóa già theo thời gian do có nguồn gốc là nhựa hữu cơ.

Gần đây, cùng với sự xuất hiện của các loại AC đặc biệt như: bê tông asphalt xốp sử dụng cấp phối gián đoạn (Porous Asphalt - PA), bê tông nhựa nhám cao có cấp phối cốt liệu hở (Open Graded Friction Course - OGFC), bê tông đá vữa nhựa (Stone Mastic Asphalt - SMA) đòi hỏi một hàm lượng nhựa dùng cao hơn so với các loại AC

thường. Việc làm này dẫn đến sự chảy nhựa của AC khi vận chuyển và thi công. Lượng nhựa mất mát này có thể lên tới 17% tổng lượng nhựa sử dụng trong PA theo công bố của Y. Decoene [10].

Để khắc phục hiện tượng trên, các loại cốt sợi xen-lu-lô đã được sử dụng với hàm lượng khoảng 0,3% so với tổng khối lượng hỗn hợp AC. Tuy nhiên, việc sử dụng cốt sợi xenlulo trong PA thường làm tăng đáng kể hàm lượng nhựa sử dụng, vì cốt sợi xen-lu-lô hấp phụ khá mạnh bitum trong AC; ngoài ra, loại sợi này thường kém bền khi chịu tác dụng của nước. Bradley J. Putman với các nghiên cứu của mình, cho rằng: một số loại cốt sợi xen-lu-lô tương tác với nhựa đường trong AC có thể làm xảy ra quá trình nhựa bị hấp phụ vào bề mặt cốt sợi, làm tăng tính giòn của nhựa đường, dẫn tới việc làm giảm tuổi thọ của mặt đường AC[11].

Để khắc phục nhược điểm chịu nhiệt kém của các loại cốt sợi PE, PP, PV, vài năm gần đây, các loại sợi tổng hợp (synthetic fibers) có cường độ chịu kéo cao (620 MPa), khả năng chịu nhiệt cao (230°C) đang được nghiên cứu sử dụng làm cốt cho AC trong tương lai gần.

Sợi các-bon cũng đã được nghiên cứu làm cốt cho AC trong những năm gần đây. Đây là loại cốt sợi có cường độ chịu kéo cao nhất được sử dụng trong AC từ trước tới nay (3.2 GPa). Việc sử dụng cốt sợi các-bon trong AC (0.4%) có chiều dài 12.5 ÷ 20mm cho phép làm tăng đáng kể độ cứng của AC và tăng cường khả năng chịu môi, hạn chế biến dạng hằn lún vĩnh cửu[14]. Tuy nhiên, với việc sản xuất sợi các-bon còn có giá thành quá cao (30 USD/kg) nên vật liệu này hầu như vẫn chưa được ứng dụng.

2.2. Bê tông nhựa cốt sợi thủy tinh

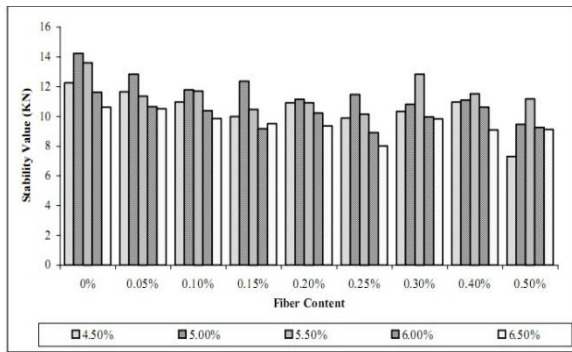
2.2.1. Cốt sợi thủy tinh

Cốt sợi thủy tinh (GF) là loại sợi vô cơ dẻo. GF là loại sợi không thấm nước, không hút ẩm, không mục nát, bền vững dưới tác dụng của hầu hết các loại axit. Độ giãn dài của GF hầu như không đáng kể. Về cường độ, GF có cường độ khá cao (120 ÷ 1800 MPa). Loại sợi này khá mềm dẻo, lại không thể thắt nút, nên khả năng phân tán vào hỗn hợp AC rất tốt. Mặt khác, đây là loại sợi không cháy, nên rất an toàn khi sử dụng trong các loại AC nóng.

Để sản xuất GF phải nung nóng chảy thủy tinh, sau đó có thể sử dụng công nghệ chuốt cơ học, công nghệ ly tâm hoặc công nghệ dung dịch lỏng để gia công thành các sợi có đường kính 10 ÷ 16 μm, dài từ 3 đến 50mm. Tỷ trọng của GF vào khoảng 2.59 ÷ 2.60 nên có thể dùng làm cốt cho cả AC và bê tông xi măng.

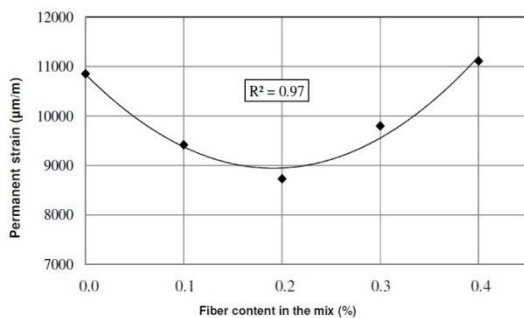
2.2.2. Nghiên cứu ACGF trên thế giới

Khi trộn GF vào AC, chúng hầu như không hấp phụ nhựa, không làm thay đổi tính chất của bitum có trong hỗn hợp. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng: hàm lượng GF sử dụng trong AC nên nằm trong khoảng 0.1 ÷ 0.5% so với tổng khối lượng hỗn hợp. Khi hàm lượng GF tăng lên, hàm lượng nhựa tối ưu cũng có xu thế tăng [15].



Hình 3. Tương quan độ bền Marshall với hàm lượng nhựa và cốt sợi, Mahrez và Karim, 2003

Tồn tại một hàm lượng cốt sợi tối ưu để các chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp đều được cải thiện. Theo Mahrez và Karim [12]: hàm lượng GF tối ưu nên là 0.2%. Lúc này, AC tăng cường được khả năng chịu mài, cải thiện được khả năng kháng nứt và hạn chế được các biến dạng hằn lún vĩnh cửu của mặt đường.



Hình 4. Tương quan biến dạng vĩnh cửu và hàm lượng GF, Mahrez và Karim, 2010

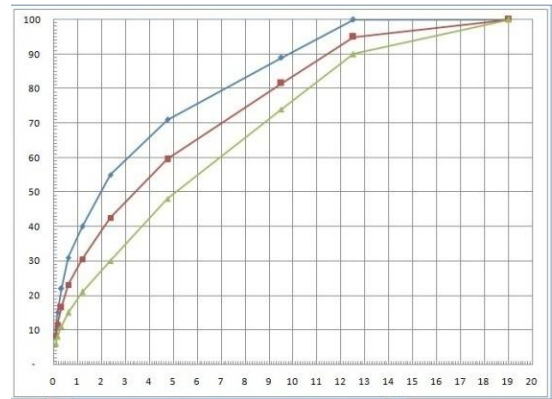
ACGF được nghiên cứu ở Trung Quốc từ những năm 1990. Kết quả nghiên cứu một cách có hệ thống cho thấy: ACGF mang lại hiệu quả kinh tế cao, cần được ứng dụng và phát triển rộng rãi [13].

Một số kết quả nghiên cứu bước đầu về ACGF đã được công bố bởi nhóm tác giả trường ĐH GTVT Hà Nội [17], [18]. Loại AC nghiên cứu là AC PMB-III Dmax12.5, sử dụng cốt sợi thủy tinh có chiều dài 20mm. Các công bố này cho thấy: với sự có mặt của GF trong ACGF, độ bền Marshall cũng như mô đun đàn hồi của ACGF đều được cải thiện chất lượng theo chiều hướng có lợi. Độ bền Marshall của ACGF tăng 13,6% và 26.09% khi sử dụng 0.3% và 0.5% GF. Mô đun đàn hồi của ACGF có giảm khi chịu nhiệt độ cao (40°C) nhưng mức độ suy giảm nhỏ hơn nhiều so với AC không sử dụng cốt sợi GF.

2.2.3. Nghiên cứu ACGF tại trường đại học Bách Khoa, Đại học Đà Nẵng

Trên cơ sở phân tích các kết quả nghiên cứu có trước, tiến hành nghiên cứu cấp phối và các chỉ tiêu cơ lý của ACGF tại PTN cầu-đường, trường ĐHBK. Cốt sợi thủy tinh sử dụng là loại cốt sợi có đường kính 10 µm, dài 12.5mm, hàm lượng cốt sợi 0% - 0.1% - 0.2% và 0.3% so với khối lượng hỗn hợp AC. Nghiên cứu được triển khai với loại BTNC 12.5 (cỡ hạt lớn nhất 19mm, cỡ hạt lớn

nhất danh định 12.5mm). Đây là loại AC sử dụng làm tầng mặt cho các tuyến đường cấp cao, đồng thời cũng được dùng phổ biến để làm các lớp phủ mặt cầu. Cốt liệu sử dụng các loại đá dăm Dmax19, Dmax9.5 Phước Tường; cát Hà Nha; cát xây Phước Tường. Bột khoáng sử dụng bột khoáng Long Thọ. Phối hợp các loại cốt liệu để đạt được cấp phối trung vị của BTNC 12.5.



Hình 5. Biểu đồ cấp phối cốt liệu BTNC 12.5

Tiến hành chế bị các tổ mẫu thí nghiệm theo TCVN 8820:2011 – *Hỗn hợp BTN nóng – Thiết kế theo phương pháp Marshall*; Thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của AC theo bộ tiêu chuẩn quốc gia TCVN 8860:2011.

Kết quả khảo sát hàm lượng nhựa tối ưu của các loại AC, và các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của chúng thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Hàm lượng nhựa tối ưu và các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của các loại AC và ACGF

Chi tiêu \ % GF	0%	0.1%	0.2%	0.3%
H.L nhựa tối ưu, %	5,6	5,7	5,7	5,8
K.L thể tích, g/cm ³	2,389	2,362	2,360	2,342
K.L riêng, g/cm ³	2,492	2,480	2,470	2,468
Độ rỗng còn dư, %	4,0	4,3	4,3	5,1
Marshall 60 °C, 40',KN	8,9	9,0	9,2	8,7
Độ dẻo Flow, mm	3,5	3,1	2,8	2,6
Marshall còn lại, %	83	86	91	82

Các mẫu ACGF tiếp tục được nghiên cứu độ ổn định Marshall (S) ở các nhiệt độ khác nhau (50, 60, 70, 80, 90°C), và thời gian ngâm mẫu khác nhau (40 phút và 10 giờ). Các kết quả nhận được ở bảng 2.

3. Nhận xét

Từ các số liệu ở bảng 1, có thể nhận thấy:

- Hàm lượng nhựa tối ưu của ACGF có xu thế tăng lên khi tăng hàm lượng GF. Tuy nhiên, sự biến động này không đáng kể (tăng 0.1 ÷ 0.2% so với hàm lượng nhựa tối ưu của tổ mẫu không sử dụng cốt sợi). Mặc dù cốt sợi GF không hấp phụ nhựa, song do có đường kính rất nhỏ nên tỉ diện của GF khá lớn, vì thế, cần phải bổ sung một hàm lượng nhựa nhất định để bao bọc cốt sợi GF,

làm cho hàm lượng nhựa tối ưu của ACGF tăng so với AC thường.

Bảng 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian đến độ ổn định Marshall của AC và ACGF

Chi tiêu \ % GF	0%	0.1%	0.2%	0.3%
S (KN) 50 °C, 40'	12.55	13.15	13.62	13.00
S (KN) 50 °C, 10h	11.84	13.02	13.60	12.98
S (KN) 60 °C, 40'	8,90	9,00	9,20	8,70
S (KN) 60 °C, 10h	7.39	8.43	8.52	8.11
S (KN) 70 °C, 40'	6.05	8.12	8.21	7.63
S (KN) 70 °C, 10h	4.94	7.62	7.71	7.32
S (KN) 80 °C, 40'	5.23	6.89	7.02	6.63
S (KN) 80 °C, 10h	2.97	6.22	6.61	6.01
S (KN) 90 °C, 40'	4.26	6.12	6.45	5.86
S (KN) 90 °C, 10h	2.50	4.45	5.11	4.05

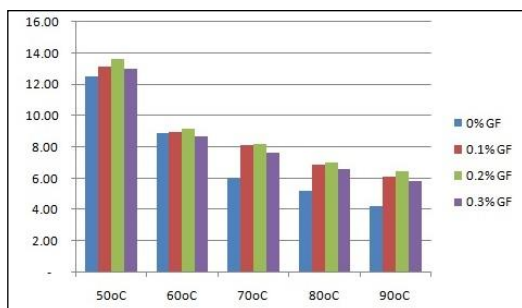
- Việc tăng hàm lượng GF đồng nghĩa với việc làm tăng độ nhớt của nhựa và AC, nên cũng làm tăng độ rỗng của ACGF. Vì thế: khi thi công, cần tăng công đầm nén hoặc làm giảm độ nhớt của ACGF bằng cách tăng nhiệt độ khi đầm nén để ACGF đạt độ chặt yêu cầu (K0.98).

Từ bảng 2, có thể nhận thấy:

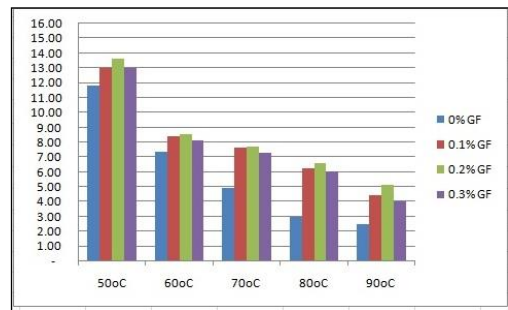
- Độ ổn định Marshall (S) của ACGF không khác biệt nhiều với AC thí nghiệm theo phương pháp Marshall tiêu chuẩn (60°C). Tuy nhiên, khi nhiệt độ tăng lên, sự khác biệt là khá rõ ràng: ở nhiệt độ 70°C, S của AC chỉ còn 48% so với S ở nhiệt độ 50°C. Với ACGF, ở nhiệt độ xấp xỉ 90°C, S mới giảm đến giá trị % này (hình 6).

- Khi đồng thời có tác dụng của nhiệt và nước trong thời gian dài (10h), AC không sử dụng GF có S suy giảm rất nhanh. Khi nhiệt độ khảo sát là 80°C, giá trị của S chỉ còn 25% so với S ở 50°C, trong khi các loại ACGF vẫn còn gần 50% ở nhiệt độ này (hình 7). Điều này cho thấy khi thêm GF vào AC đã làm tăng nhiệt độ hóa mềm và độ nhớt của nhựa, từ đó làm tăng tính ổn định nhiệt và nước của AC, mặc dù, độ rỗng của AC có tăng lên đôi chút.

- Không có sự khác biệt đáng kể về độ ổn định của ACGF khi hàm lượng GF thay đổi từ 0.1 ÷ 0.3% so với tổng khối lượng hỗn hợp.



Hình 6. Độ ổn định Marshall (KN) của AC và ACGF khi ngâm mẫu 40 phút ở nhiệt độ khác nhau



Hình 7. Độ ổn định Marshall (KN) của AC và ACGF khi thời gian ngâm mẫu 10 giờ

4. Kết luận

Các kết quả nghiên cứu cho thấy: khi sử dụng GF với hàm lượng nhỏ (0.1%) đã cải thiện đáng kể độ ổn định của ACGF khi chịu tác động của nhiệt độ cao trong thời gian dài. Tuy nhiên, với giá trị độ ổn định Marshall ở 60°C chỉ đạt 8.7 ÷ 9.2 KN cho thấy giải pháp dùng GF để cải thiện chất lượng AC chưa đạt kết quả như mong muốn, cần phải có các giải pháp kết hợp khác.

Kết quả nghiên cứu bước đầu này là cơ sở để tiếp tục nghiên cứu ảnh hưởng của GF đến các tính chất cơ học khác của ACGF như: mô đun đàn hồi, hàn lún vết bánh xe.

Kết quả nghiên cứu đã được áp dụng như một trong các giải pháp nâng cao chất lượng AC khi sửa chữa mặt cầu Thuận Phước 08/2013.

Tài liệu tham khảo

- [1] J. H. Kietzman, *Effect of Short Asbestos Fibers on Basic Physical Properties of Asphalt Pavement Mixes*, Highway Research Board Bulletin, no. 270, National Research Council, Washington, DC, USA, 1960.
- [2] J. H. Kietzman, M. W. Blackhurst, and J. A. Foxwell, *Performance of Asbestos-Asphalt Pavement Surface Courses with High Asphalt Contents*, Highway Research Record, no. 24, National Research Council, Washington, DC, USA, 1963.
- [3] G. H. Zuehlke, *Marshall and Flexural Properties of Bituminous Pavement Mixtures Containing Short Asbestos Fibers*, Highway Research Record, no. 24, National Research Council, Washington, DC, USA, 1963.
- [4] T. L. Speer and J. H. Kietzman, *Control of Asphalt Pavement Rutting with Asbestos Fiber*, Highway Research Record, no. 329, National Research Council, Washington, DC, USA, 1962.
- [5] H. W. Busching and J. D. Antrim, "Fiber reinforcement of bituminous mixtures," in *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, vol. 37, pp. 629–659, 1968.
- [6] B. P. Martinez and J. E. Wilson, "Polyester fibers replace asbestos in bridge deck membrane", *Public Works*, vol. 110, no. 6, 1979.
- [7] R. B. Freeman, J. L. Burati, S. N. Amirhanian, and W. C. Bridges, "Polyester fibers in asphalt paving mixtures", *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, vol. 58, pp. 387–409, 1989.
- [8] Y. Jiang and R. S. McDaniel, *Application of Cracking and Sealing and Use of Fibers to Control Reflective Cracking*, Transportation Research Record, no. 1388, National Research Council, Washington, DC, USA, 1993.
- [9] B. D. Prowell, "Design construction, and early performance of hot-mix asphalt stabilizer and modifier test sections interim report", Virginia Transportation Research Council, Interim Report VTRC 00-IR2, Charlottesville, VA, USA, 2000.
- [10] Y. Decoene, *Contribution of Cellulose Fibers to the Performance*

- of Porous Asphalts*, Transportation Research Record, no. 1265, National Research Council, Washington, DC, USA, 1990.
- [11] Bradley J. Putman, *Effects of Fiber Finish on the Performance of Asphalt Binders and Mastics*, Advances in Civil Engineering, Vol2011, Article ID 172634, 2011.
- [12] Abdelaziz MAHREZ, Mohamed Rehan KARIM, "Fatigue characteristics of stone mastic asphalt mix reinforced with fiber glass", International Journal of the Physical Sciences Vol. 5(12), pp. 1840-1847, 2010.
- [13] J Zhang, "The Research On Performance And Mix Design Of Fiber Glass Asphalt Concrete", GTID:2132360212497145, 2008.
- [14] Saeed Ghaffarpour Jahromi, Ali Khodaii, *Các-bon fiber reinforced asphalt concrete*, The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 33, Number 2B, 2008
- [15] Abdelaziz MAHREZ, Mohamed Rehan KARIM, Herda Yati Katman, *Prospect of using glass fiber reinforced bituminous mixes*, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.5, 2003
- [16] Sayyed Mahdi Abtahi, Milad Ghorban Ebrahimi, Mehmet M. Kunt, Sayyed Mahdi Hejazi, Saman Esfandiarpour, *Production of Polypropylene-reinforced Asphalt Concrete Mixtures Based on Dry Procedure and Superpave Gyrotory Compactor*, Iranian Polymer Journal, Volume 20, Number 10, 2011
- [17] Bùi Xuân Cây, Hồ Anh Cường, Vũ Phương Thảo, Nguyễn Ngọc Lân, *Kết quả nghiên cứu bước đầu một số đặc tính của bê tông asphalt cốt sợi trong điều kiện phòng thí nghiệm Việt Nam*, Tạp chí cầu đường Việt Nam, số 11+12, 2012
- [18] Bùi Xuân Cây, Hồ Anh Cường, Vũ Phương Thảo, Nguyễn Ngọc Lân, *Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của sợi cellulose và sợi thủy tinh đến mô đun đàn hồi của bê tông asphalt cốt sợi*, Tạp chí Giao thông vận tải, số 12/2012.

(BBT nhận bài: 17/12/2014, phản biện xong: 03/01/2014)