



DYNAMIC TESTS FOR DETERMINING MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALT BINDERS 60/70, 35/50 AND PMB3 USING DSR AND METRAVIB DMA EQUIPMENT

Bui Van Phu, Nguyen Quang Tuan*

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

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 6/5/2020

Revised: 1/6/2020

Accepted: 4/6/2020

Published online: 28/6/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.5.10>

* *Corresponding author*

Email: quangtuan.nguyen@utc.edu.vn

Abstract. This paper presents an investigation into the mechanical properties of bitumen under the effect of dynamic loads by using DSR and Metravib DMA equipment. The two original asphalt binders (35/50 and 60/70) and a modified bitumen (PMB3) were used in this study. Performance-Grade tests and Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) tests were performed on PMB3 and base bitumen of 60/70. Also, the dynamic modulus tests were conducted in order to determine the rheological properties of all three kinds of bitumen. The results of the tests showed that PMB3 achieved significant improvements in terms of hardness, strain recovery and creep resistance in comparison with the original bitumen. The master curves of complex shear modulus $|G^*|$ were also constructed to help to predict the norm of complex modulus and phase angle at temperatures and frequencies which were not obtained by the experimental tests.

Keywords: DSR, metravib DMA, bitumen, complex modulus, multiple stress creep recovery, master curve.



THÍ NGHIỆM ĐỘNG XÁC ĐỊNH CÁC ĐẶC TÍNH CƠ HỌC CỦA NHỰA ĐƯỜNG 60/70, 35/50 VÀ PMB3 SỬ DỤNG THIẾT BỊ DSR VÀ METRAVIB DMA

Bùi Văn Phú, Nguyễn Quang Tuấn*

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

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 6/5/2020

Ngày nhận bài sửa: 1/6/2020

Ngày chấp nhận đăng: 4/6/2020

Ngày xuất bản Online: 28/6/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.5.10>

* Tác giả liên hệ

Email: quangtuan.nguyen@utc.edu.vn

Tóm tắt. Bài báo trình bày về nghiên cứu thực nghiệm xác định các đặc tính cơ học của nhựa đường dưới tác dụng của tải trọng động bằng cách sử dụng thiết bị DSR và Metravib DMA. Hai loại nhựa đường nguyên gốc (35/50, 60/70) và một loại nhựa đường cải tiến (PMB3) được sử dụng để nghiên cứu. Thí nghiệm xác định cấp đặc tính PG (Performance Grade) và thí nghiệm phục hồi từ biến ứng suất lặp (Multiple Stress Creep Recovery) được thực hiện cho nhựa đường PMB3 và một loại nhựa đường nguyên gốc là loại 60/70. Thí nghiệm mô đun động cũng được tiến hành cho cả ba loại nhựa để nghiên cứu về tính chất lưu biến của các vật liệu. Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng so với nhựa đường nguyên gốc, nhựa đường PMB3 có sự nâng cao rất đáng kể về cường độ, độ phục hồi biến dạng cũng như khả năng chống lại từ biến. Đường cong đặc trưng mô đun cắt động $|G^*|$ cũng được xây dựng giúp dự đoán các giá trị mô đun động và góc lệch pha tại các nhiệt độ và tần số không được làm thí nghiệm.

Từ khóa: DSR, metravib DMA, nhựa đường, mô đun động, phục hồi từ biến ứng suất lặp, đường cong đặc trưng.

© 2020 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với sự tăng trưởng của mật độ giao thông, tải trọng trục xe và sự biến đổi khắc nghiệt của thời tiết, đòi hỏi sự cần thiết phải nâng cao chất lượng của kết cấu áo đường. Chất lượng của kết cấu áo đường mềm phụ thuộc rất nhiều vào tính chất lưu biến của nhựa đường vì trong hỗn hợp bê tông nhựa, nhựa đường có thể coi là pha liên tục và là thành phần gây biến dạng chủ yếu của hỗn hợp [1]. Tuy nhiên, nhựa đường nguyên gốc chỉ thể hiện được ứng xử lưu

biến phù hợp, cần thiết cho hoạt động của kết cấu áo đường trong phạm vi nhiệt độ hẹp. Do đó, nhựa đường cải tiến (nhựa đường polyme) ra đời để tăng hiệu quả làm việc của thành phần nhựa trong hỗn hợp chống lại các loại biến dạng của kết cấu áo đường – nứt ở nhiệt độ thấp và lún ở nhiệt độ cao dưới tác dụng của tải trọng xe.

Dưới tác dụng của tải trọng xe chạy, ứng suất, biến dạng tác dụng trong các lớp kết cấu áo đường có tính động, nghĩa là có sự thay đổi về độ lớn và phương chính theo vị trí bánh xe so với điểm cần xem xét nội lực. Việc tính toán sử dụng các giá trị mô đun của vật liệu được xác định bằng các thí nghiệm mô đun động thể hiện đúng đặc tính làm việc của vật liệu, do đó từ lý thuyết tính toán đến thực tế làm việc của vật liệu có sự phù hợp. Các thí nghiệm động xác định đặc tính cơ lý của nhựa đường cần các thiết bị thí nghiệm có độ chính xác cao. Nghiên cứu đã sử dụng thiết bị DSR (Dynamic Shear Rheological) và Metravib DMA (Dynamic Mechanical Analyzer) để thực hiện các thí nghiệm.

Mô đun cắt động (G^*) và góc pha (δ) là hai chỉ tiêu rất quan trọng được sử dụng để phân loại nhựa đường theo chuẩn PG [2]. Mô đun phức động còn được sử dụng để dự đoán ứng xử đàn nhớt tuyến tính của hỗn hợp bê tông nhựa [3]. Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm trong giới hạn đàn nhớt tuyến tính xác định G^* và δ được tiến hành trên phạm vi rộng các tần số và nhiệt độ khác nhau để cung cấp dữ liệu xây dựng đường cong đặc trưng (master curve) cho các loại nhựa. Cấp đặc tính khai thác theo chuẩn PG của các loại vật liệu cũng được xác định. Ngoài ra, nghiên cứu còn tiến hành thí nghiệm phục hồi từ biến tải trọng lặp (MSCR) [4] để đánh giá khả năng phục hồi biến dạng của các vật liệu khi chịu tải trọng ngoài giới hạn đàn nhớt tuyến tính.

2. VẬT LIỆU VÀ CÁC THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu

Vật liệu sử dụng để nghiên cứu bao gồm 3 loại: nhựa đường 35/50, 60/70 và nhựa đường polyme PMB3 là những loại nhựa được sử dụng rộng rãi ở Việt Nam. Các loại nhựa này thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật quy định tại TCVN 7493:2005 [5] đối với nhựa đường nguyên gốc và 22TCN 319:2004 [6] đối với nhựa đường polyme. Thí nghiệm xác định các chỉ tiêu này được thực hiện tại Phòng thí nghiệm kiểm định trọng điểm trường Đại học GTVT (LAS XD 1256).

2.2. Các thiết bị thí nghiệm

Nghiên cứu này sử dụng 2 thiết bị gồm:

- Thiết bị DSR thực hiện theo các tiêu chuẩn AASHTO T315, ASTM D7175 và EN 1477 DSR của châu Âu.
- Thiết bị Metravib DMA thực hiện theo tiêu chuẩn XP-T-66-065 của Pháp [7].

2.2.1. Thiết bị DSR RHEOTEST RN 4.3

Hình 1 mô tả thiết bị thí nghiệm cắt động lưu biến DSR RHEOTEST RN 4.3 của phòng thí nghiệm LASXD 1256 – Trường Đại học GTVT.



Hình 1. Thiết bị và nguyên lý thí nghiệm DSR.

Mẫu nhựa đường thí nghiệm có hình trụ với đường kính 25 mm, dày 1mm (khi nhiệt độ thí nghiệm từ 5°C-35°C) hoặc đường kính 8 mm, dày 2 mm (khi nhiệt độ thí nghiệm trên 35°C). Mẫu này được kẹp giữa hai đĩa hình tròn. Đĩa phía dưới được cố định, đĩa phía trên dao động điều hòa để tạo lực cắt. Quá trình thí nghiệm được điều khiển và kết quả được ghi lại bằng phần mềm chuyên dụng

Thí nghiệm được thực hiện bằng cách tạo ra biến dạng góc nhỏ (trong giới hạn đàn nhớt tuyến tính [8]) lên mẫu nhựa đường ở các nhiệt độ và tần số khác nhau. Biến dạng này được biểu diễn bằng một hàm số dạng hình sin như sau:

$$\gamma = \gamma_{\max} \times \sin(\omega t) \quad (1)$$

Ứng suất cắt đo được cũng có dạng hình sin nhưng có sự lệch pha δ so với biến dạng:

$$\tau = \tau_{\max} \times \sin(\omega t + \delta) \quad (2)$$

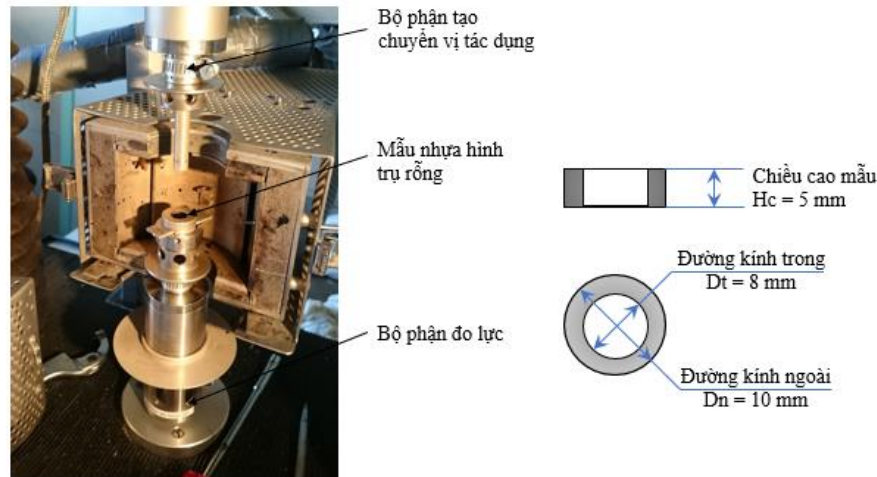
Mô đun cắt động được tính theo công thức:

$$|G^*| = \frac{\tau_{\max}}{\gamma_{\max}} \quad (3)$$

2.2.2. Thiết bị MetraviB DMA

Thiết bị thí nghiệm MetraviB DMA được trang bị đầu đo lực lên đến 450N và đầu đo chuyển vị lên đến 500 μ m. Máy có khả năng đo lực trong một khoảng rộng các tần số từ 0.01Hz đến 200 Hz. Tùy vào nhiệt độ thí nghiệm, thiết bị có các bộ gá tương thích để tác dụng lực lên mẫu là dạng cắt góc (CG) hay dạng kéo nén (K/N). Thí nghiệm đo mô đun phức động, đối với cả hai dạng CG và K/N, được thực hiện bằng cách tác dụng chuyển vị $d = d_0 \sin \omega t$ trong miền biến dạng nhỏ theo chu kỳ dạng hình sin lên mẫu ở các tần số và nhiệt độ khác nhau. Lực $F = F_0 \sin(\omega t + \delta)$ đo được cũng có dạng hình sin, nhưng với một góc lệch pha δ .

Ở các nhiệt độ thí nghiệm từ trên 20°C đến 60°C hoặc cao hơn, thí nghiệm được thực hiện dạng CG trên mẫu hình trụ rỗng có chiều cao chịu cắt $H_c = 5$ mm, đường kính trong $D_t = 8$ mm, đường kính ngoài $D_n = 10$ mm (Hình 2).



Hình 2. Thiết bị và mô hình mẫu thí nghiệm dạng cắt góc (CG).

Giá trị G^* được xác định theo các công thức từ (4) đến (7).

$$G' = \frac{|K|}{\alpha} \cos \delta \quad (4)$$

$$G'' = \frac{|K|}{\alpha} \sin \delta \quad (5)$$

$$|G^*| = \sqrt{G'^2 + G''^2} \quad (6)$$

$$\text{Với } \alpha = \frac{2\pi H_c}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad (7)$$

Trong đó:

$|K|$: mô đun độ cứng (N/m); G' và G'' là phần thực và ảo của mô đun độ cứng

δ : góc lệch pha ($^\circ$);

$2r$: đường kính pittông (m);

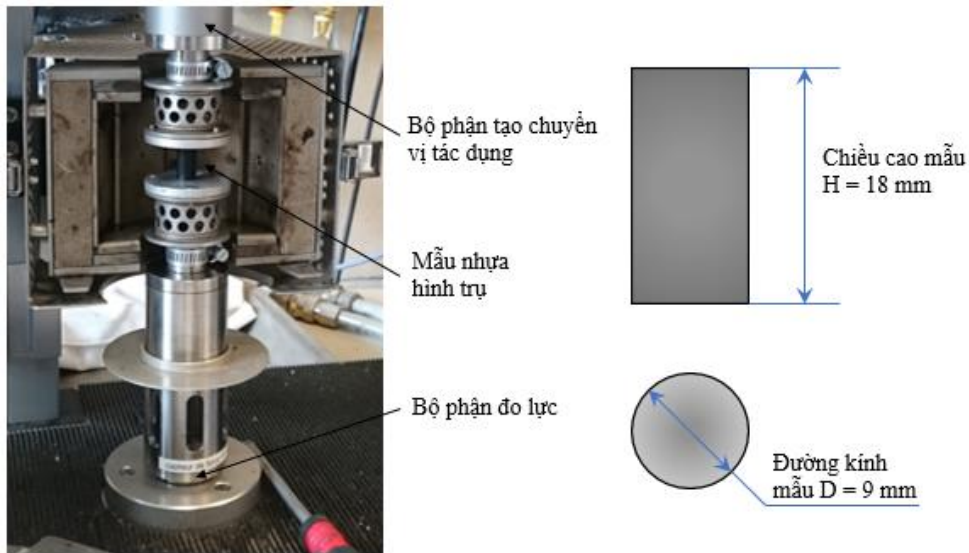
$2R$: đường kính trong của măng sông (m);

H_c : chiều cao chịu cắt (m);

Nếu áp dụng giả thiết ở nhiệt độ cao nhựa trở thành vật liệu không chịu nén, hệ số Poát xông của nhựa là $\mu = 0,5$, thì có thể chuyển đổi từ G^* sang E^* theo công thức (8). Giả thiết này cho phép thiết lập kết quả ở tất cả các nhiệt độ thí nghiệm (cả ở dạng CG và K/N) theo cùng thông số E^* .

$$E^* = 2G^*(1 + \mu^*) = 3G^* \quad (8)$$

Ở các nhiệt độ thí nghiệm từ 20°C đến -20°C hoặc thấp hơn, thí nghiệm được thực hiện dạng K/N trên mẫu hình trụ chiều cao $H = 18 \text{ mm}$ và đường kính $D = 9 \text{ mm}$ (Hình 3).



Hình 3. Thiết bị và mô hình mẫu thí nghiệm dạng kéo nén (K/N).

Các công thức (9) đến (12) được áp dụng cho thí nghiệm dạng K/N.

$$E' = |K| F_f \frac{H}{S_e} \cos \delta \quad (9)$$

$$E'' = E' \operatorname{tg} \delta \quad (10)$$

$$|E^*| = \sqrt{E'^2 + E''^2} \quad (11)$$

Với

$$F_f = \frac{1}{1 + 2 \left(\frac{S_e}{S_l} \right)^2} \quad (12)$$

Trong đó:

$|K|$ và δ đã giải thích trong các công thức trước;

E' và E'' là phần thực và ảo của mô đun độ cứng

H : chiều cao mẫu (m);

D : đường kính mẫu (m);

S_e : diện tích bị tác dụng lực của mẫu (m^2) = $\pi D^2/4$;

S_l : diện tích hông của mẫu (m^2) = πDH ;

F_f : hệ số điều chỉnh phụ thuộc vào kích thước của mẫu;

2.3. Các thí nghiệm thực hiện

Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm sau đây được thực hiện:

- Thí nghiệm xác định $G^*/\sin \delta$ (gọi tắt là thí nghiệm PG (Performance-Grade)) của

nhựa đường nguyên gốc 60/70 và PMB3 được thực hiện bởi thiết bị DSR Rheotest RN 4.3. Thí nghiệm được tiến hành ở các nhiệt độ 46°C, 52°C, 58°C, 64°C, 70°C, 76°C, 82°C tại tần số 1.59 Hz theo tiêu chuẩn AASHTO M 320-10.

- Thí nghiệm MSCR (Multiple Stress Creep Recovery) của nhựa đường 60/70 và PMB3 được thực hiện bởi thiết bị DSR Rheotest RN 4.3 sau khi đã hóa già ngắn hạn RTFO (Rolling Thin-Film Oven Test). Thí nghiệm được tiến hành theo tiêu chuẩn AASHTO T350-14.

- Thí nghiệm xác định mô đun phức động cũng được thực hiện cho cả 3 loại vật liệu. Để xây dựng đường cong đặc trưng (master curve) của mô đun phức động (G^*), thí nghiệm được tiến hành trong phạm vi rộng của nhiệt độ và tần số. Thiết bị DSR được sử dụng để thực hiện thí nghiệm cho nhựa đường 60/70 và PMB3. Nhiệt độ thí nghiệm từ 5°C đến 85°C, tần số thí nghiệm từ 0,05Hz đến 10Hz. Nhựa đường 35/50 được thí nghiệm trên thiết bị MetraviB VMA với nhiệt độ từ -10°C đến 60°C và tần số từ 1Hz đến 80Hz. Các công thức từ (1) đến (12) được sử dụng để tính toán giá trị mô đun động của các vật liệu với thiết bị tương ứng.

2.4. Phân tích kết quả

2.4.1. Kết quả thí nghiệm PG

Kết quả thí nghiệm xác định mô đun cắt động theo chuẩn PG được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm xác định mô đun cắt động theo chuẩn PG.

Nhiệt độ (°C)	Tần số (Hz)	G*/sinδ (Pa)	
		Nhựa đường 60/70	Nhựa đường PMB3
46	1.59	20375.0	40460.5
52		9129.5	20686.8
58		4145.1	11298.1
64		1990.3	6968.9
70		957.9	4410.0
76		486.8	2871.3
82		222.0	1982.3

Kết quả thí nghiệm không hóa già cho thấy giá trị $G^*/\sin\delta$ của nhựa đường cải tiến PMB3 lớn hơn đáng kể so với nhựa đường 60/70. Theo kết quả đánh giá $G^*/\sin\delta$ cho nhựa đường nguyên gốc, nhựa đường 60/70 có cấp đặc tính khai thác theo chuẩn PG là PG64 trong khi cấp của nhựa đường polyme PMB3 đã vượt ngưỡng 82.

2.4.2. Kết quả thí nghiệm MSCR

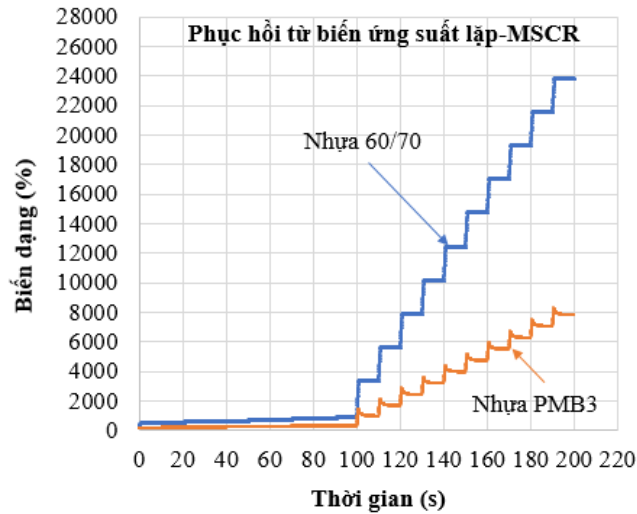
Nhiệt độ thí nghiệm MSCR là 64°C đối với nhựa 60/70 và là 82°C đối với nhựa PMB3. Nhiệt độ này tương ứng với giá trị nhiệt độ đã được xác định cho từng loại nhựa đường trong thí nghiệm phần 2.4.1.

Kết quả thí nghiệm được tổng hợp trong Bảng 2 và được mô tả trên hình 4.

Bảng 2. Một số kết quả thí nghiệm phục hồi từ biến ứng suất lặp.

Vật liệu	$J_{nr0.1}$ (kPa ⁻¹)	$J_{nr3.2}$ (kPa ⁻¹)	$R_{0.1}$ (%)	$R_{3.2}$ (%)
Nhựa đường 60/70	4,38	7,18	3,66	0,87
Nhựa đường PMB3	1,57	2,35	25,61	37,84

- $J_{nr0.1}$: Từ biến không hồi phục trung bình tại ứng suất từ biến 0,1 kPa
- $J_{nr3.2}$: Từ biến không hồi phục trung bình tại ứng suất từ biến 3,2 kPa
- $R_{0.1}$: Phần trăm phục hồi biến dạng trung bình tại ứng suất từ biến 0,1 kPa
- $R_{3.2}$: Phần trăm phục hồi biến dạng trung bình tại ứng suất từ biến 3,2 kPa



Hình 4. Phục hồi từ biến ứng suất lặp của nhựa đường 60/70 và PMB3.

Mặc dù nhiệt độ thí nghiệm của nhựa PMB3 cao hơn nhiều so với nhựa 60/70 (82°C so với 64°C), rõ ràng rằng, khả năng kháng từ biến của nhựa đường polyme PMB3 lớn hơn đáng kể so với nhựa đường nguyên gốc 60/70. Giá trị $J_{nr3.2}$ của nhựa PMB3 là 2,35 trong khi của nhựa 60/70 lên tới 7,18. Biến dạng của nhựa đường 60/70 lớn và gần như không phục hồi, đặc biệt là ở cấp ứng suất cao với các giá trị phục hồi biến dạng $R_{0.1} = 3,66\%$ và $R_{3.2} = 0,87\%$. Trong khi đó, nhựa đường PMB3 có biến dạng bé hơn và có phần trăm phục hồi biến dạng lớn hơn rất nhiều với $R_{0.1} = 25,61\%$ và $R_{3.2} = 37,84\%$. Cũng theo kết quả thí nghiệm này, PMB3 đạt PG82-S còn nhựa đường 60/70 không đạt được PG64 (tiêu chuẩn AASHTO M 332-14 [9]).

2.4.3. Kết quả thí nghiệm cắt phức

Các thí nghiệm đã xác định được các giá trị của mô đun phức động và góc lệch pha tại các cấp tần số và nhiệt độ khác nhau của các loại nhựa đường nghiên cứu. Hình 5 thể hiện biểu đồ đường đẳng nhiệt của $|G^*|$ tại các tần số khác nhau của nhựa đường 60/70. Rõ ràng rằng ở cùng một nhiệt độ thí nghiệm khi tần số tăng giá trị mô đun tăng. Ở cùng một tần số, khi nhiệt độ tăng giá trị mô đun giảm.

Các đường cong đặc trưng của giá trị mô đun cắt động $|G^*|$ của 3 loại nhựa đường cũng được xây dựng. Việc xây dựng các đường cong đặc trưng giúp dự đoán các giá trị mô đun và góc pha tại các nhiệt độ và tần số không được làm thí nghiệm và do đó cho phép giảm thiểu số lượng thí nghiệm. Các đường cong đặc trưng được xây dựng tại một nhiệt độ tham chiếu là T_{ref} . Lựa chọn các hệ số dịch chuyển a_T để dịch chuyển các đường đẳng nhiệt tương ứng theo phương ngang. Các đường đẳng nhiệt ở nhiệt độ cao hơn nhiệt độ tham chiếu T_{ref} được dịch chuyển về phía bên trái, còn các đường ở nhiệt độ thấp hơn T_{ref} được dịch chuyển về phía bên phải (Hình 6). Trong đó, hệ số a_T được xác định theo công thức:

$$a(T) = t / t_{ref}$$

Trong đó: $a(T)$ – Hệ số dịch chuyển, là hàm số của nhiệt độ;

t – Thời gian tác dụng của tải trọng ở nhiệt độ T ;

t_{ref} – Thời gian tác dụng tương đương tại nhiệt độ tham chiếu T_{ref} ;

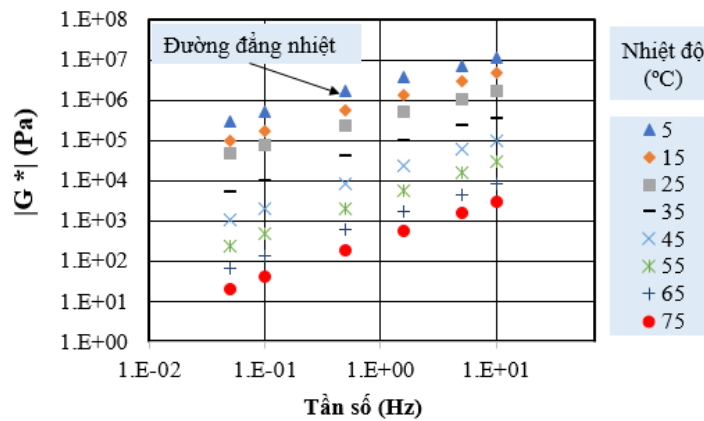
Khi đó, độ lớn mô đun phức động và góc pha được biểu diễn theo tần số tương đương f_t tính theo công thức.

$$f_t = a(T).f$$

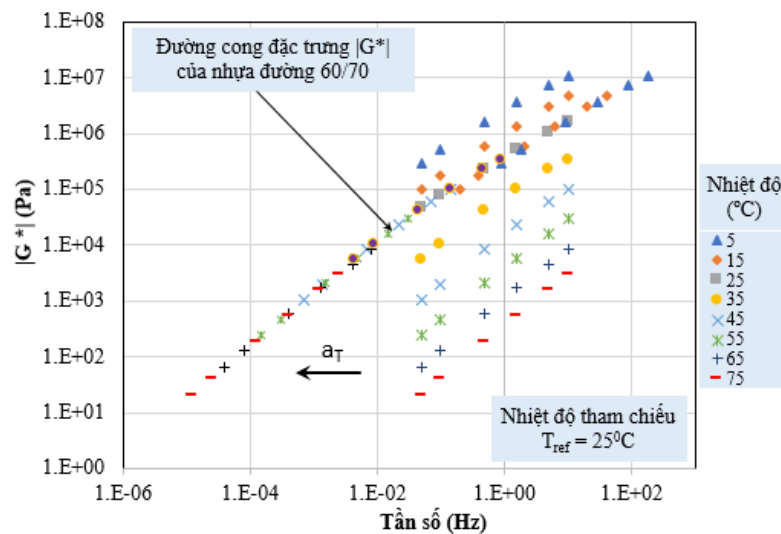
Trong đó: f_t – Tần số tương đương;

f – Tần số tác dụng lực ở nhiệt độ T ;

Cách xây dựng đường cong đặc trưng $|G^*|$ của nhựa đường 60/70 được thể hiện trên hình 6.



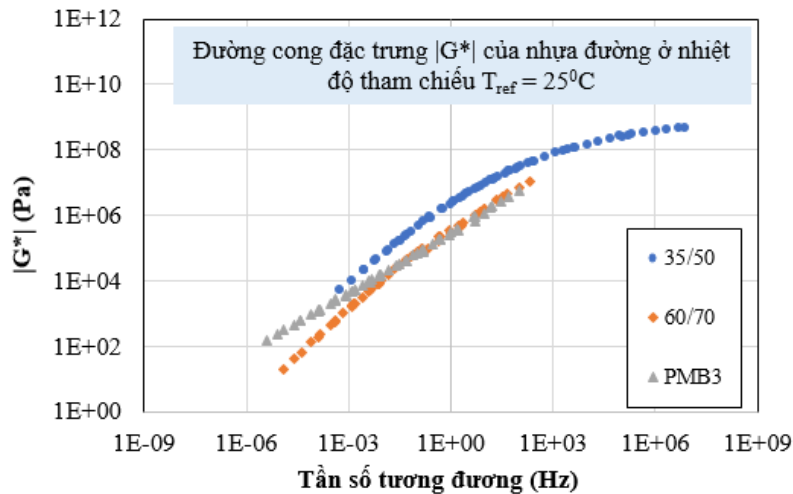
Hình 5. Biểu đồ đường đẳng nhiệt giá trị $|G^*|$ của nhựa 60/70.



Hình 6. Đường cong đặc trưng $|G^*|$ của nhựa đường 60/70 tại $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$.

Kết quả xây dựng đường cong đặc trưng của cả 3 loại nhựa đường tại nhiệt độ tham chiếu $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$ được biểu diễn trên cùng một biểu đồ ở hình 7. Biểu đồ tổng hợp đường cong đặc

trung (Hình 7) cho thấy ở vùng nhiệt độ cao hoặc tần số thấp, $|G^*|$ của nhựa đường polyme PMB3 lớn hơn đáng kể so với nhựa đường nguyên gốc 60/70. Kết quả cũng cho thấy giá trị $|G^*|$ của nhựa đường 35/50 (ở vùng nhiệt độ ngoại suy - cao hơn các nhiệt độ đã tiến hành thí nghiệm) có xu hướng nhỏ hơn so với nhựa đường polyme PMB3 ở vùng nhiệt độ cao hoặc tần số thấp này. Ở vùng nhiệt độ thấp hoặc tần số cao, giá trị $|G^*|$ của nhựa đường 35/50 lại lớn hơn rõ rệt so với nhựa PMB3 và nhựa 60/70. Trong khi sự khác biệt giữa nhựa đường PMB3 so với nhựa đường 60/70 là không đáng kể ở phạm vi nhiệt độ thấp hoặc tần số cao. Điều này có thể giải thích bởi gốc nhựa đường 35/50 có độ cứng lớn hơn so với nhựa đường 60/70 (thể hiện ngay ở giá trị kim lún). Nhựa đường PMB3 được cải tiến từ nhựa gốc 60/70 và chủ yếu phát huy hiệu quả tại nhiệt độ cao. Kết quả xây dựng đường cong đặc trưng cho phép dự báo giá trị $|G^*|$ của các vật liệu ở tần số và nhiệt độ không được thí nghiệm. Kết quả này cũng cho thấy nguyên tắc tương quan tần số-nhiệt độ [10-13] có thể áp dụng cho cả 3 loại nhựa đường thử nghiệm.

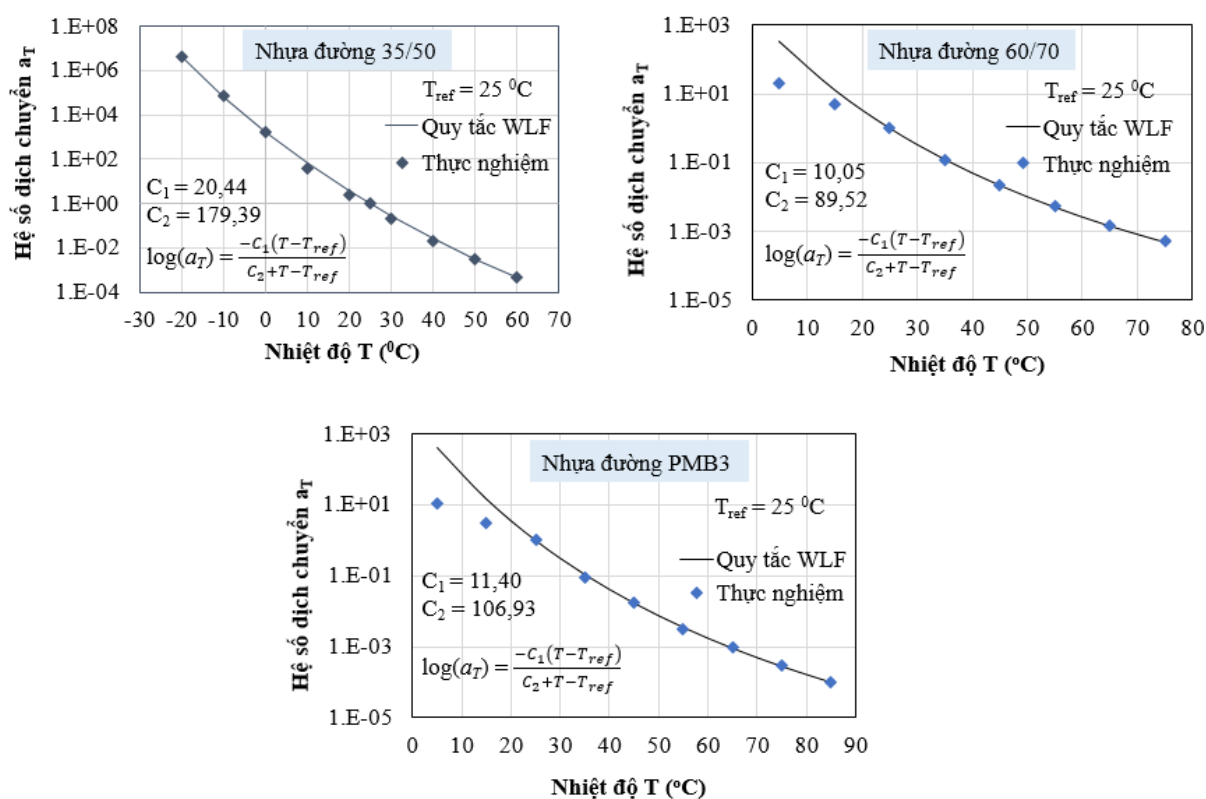


Hình 7. Đường cong chủ $|G^*|$ của 3 loại nhựa đường thí nghiệm.

Mối quan hệ giữa nhiệt độ thí nghiệm T và hệ số dịch chuyển a_T của các loại nhựa đường nghiên cứu tuân theo quy tắc WLF (Williams, Landel và Ferry) [14-16].

$$\log(a_T, T_{ref}) = \frac{-C_1 (T - T_{ref})}{C_2 + T - T_{ref}} \quad (9)$$

Các hệ số C_1 và C_2 được xác định bằng cách tối ưu hóa theo phương pháp bình phương nhỏ nhất. Kết quả xây dựng mối quan hệ giữa a_T và T được thể hiện ở hình 8. Việc thiết lập được mối quan hệ giữa a_T và T cho phép tính toán và xây dựng được đường cong đặc trưng của nhựa đường tại nhiệt độ tham chiếu và tần số bất kỳ, không thuộc các giá trị nhiệt độ tần số thí nghiệm. Các giá trị a_T của nhựa đường cùng gốc (60/70 và PMB3) khá sát nhau.



Hình 8. Tương quan giữa hệ số dịch chuyển và nhiệt độ theo nguyên tắc WLF.

3. KẾT LUẬN

Từ việc phân tích các kết quả thí nghiệm đã thực hiện, bài báo có một số kết luận như sau:

- Cấp đặc tính khai thác theo chuẩn PG của nhựa đường cải tiến PMB3 lớn hơn đáng kể so với nhựa đường nguyên gốc 60/70. Trong khi PG của nhựa 60/70 đạt PG64 thì nhựa PMB3 đã vượt ngưỡng PG82 (kiểm tra giá trị $G^*/\sin\delta$ của nhựa nguyên gốc).

- Thí nghiệm MSCR chỉ ra rằng khả năng khôi phục biến dạng của nhựa đường polyme PMB3 là rất tốt với giá trị $R_{3,2} = 37,84\%$, trong khi khả năng phục hồi biến dạng của nhựa đường nguyên gốc 60/70 là không đáng kể với $R_{3,2} = 0,87\%$. Khả năng chống từ biến của nhựa PMB3 cũng tốt hơn rất nhiều so với nhựa 60/70 với các giá trị $J_{nr3,2}$ tương ứng là $2,35 \text{ kPa}^{-1}$ và $7,18 \text{ kPa}^{-1}$. Theo kết quả thí nghiệm MSCR, PMB3 đạt PG82-S còn nhựa đường 60/70 không đạt được PG64.

- Thí nghiệm cắt động lưu biến các loại nhựa tại một khoảng rộng các nhiệt độ và tần số cho thấy khi cùng nhiệt độ thí nghiệm, tần số tăng thì $|G^*|$ tăng và khi cùng một tần số thí nghiệm, nhiệt độ tăng thì $|G^*|$ giảm. Đường cong đặc trưng của 3 loại nhựa đường xây dựng tại nhiệt độ tham chiếu $T_{ref} = 25^{\circ}\text{C}$ để xác định giá trị mô đun cắt động tại cấp tần số nhiệt độ bất kỳ. Biểu đồ tổng hợp đường cong đặc trưng còn cho thấy ở vùng nhiệt độ cao hoặc tần số thấp, giá trị $|G^*|$ của nhựa PMB3 lớn hơn đáng kể so với nhựa 35/50 và 60/70. Tuy nhiên, ở vùng nhiệt độ thấp, tần số cao, mô đun phức động của nhựa đường 35/50 lại lớn hơn rõ rệt so

với hai loại còn lại, trong khi giá trị mô đun phức động của nhựa 60/70 so với nhựa PMB3 không thể hiện sự khác biệt rõ ràng.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2019-CT-03TĐ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Frederika, P. P., Donatella, D., Clara, S., Sossio, C. and Aneta V, Viscoelastic properties and morphological characteristics of polymer-modified bitumen blends, *Journal of Applied Polymer Science*, 118 (2010) 1320-1330. <https://doi.org/10.1002/app.32317>
- [2]. Performance-Grade Asphalt Binder, AASHTO Designation: M320-10
- [3]. Tran Danh Hoi, Nguyen Quang Tuan, Analyzing the results of complex modulus tests on bitumens using dynamic shear rheometer, *International Conference on Sustainability in Civil Engineering*, UTC, Hanoi, Vietnam (2016).
- [4]. Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR), AASHTO Designation: TP 350-14.
- [5]. TCVN 7493: 2005 Bitum Yêu cầu kỹ thuật.
- [6]. 22TCN 319-04: Tiêu chuẩn vật liệu nhựa đường Polymer (Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thí nghiệm)
- [7]. Nguyễn Mai Lâm, Nguyễn Quang Tuấn, Hoàng Thị Thanh Nhân, Nghiên cứu mô đun phức động của nhựa đường 60/70 sử dụng tại Việt Nam bằng thí nghiệm trên máy DMA, *Tạp chí Khoa học-công nghệ*, 10 (2015).
- [8]. Quang Tuan Nguyen, Mai Lan Nguyen, Hervé Di Benedetto, Cédric Sauzéat, Emmanuel Chailleux and Thi Thanh Nhan Hoang, Nonlinearity of bituminous materials for small amplitude cyclic loadings, *Road Materials and Pavement Design*, 7 (2019) 1571–1585. <https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1465452>
- [9]. Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test, AASHTO Designation: M 332-14.
- [10]. Q.T. Nguyen, H. Di Benedetto, C. Sauzéat, Linear and nonlinear viscoelastic behaviour of bituminous mixtures, *Materials and Structures*, 48 (2015) 2339-2351. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0316-5>
- [11]. Q.T. Nguyen, H. Di Benedetto, C. Sauzéat, M.L. Nguyen, T.T.N. Hoang, 3D complex modulus tests on bituminous mixture with sinusoidal loadings in tension and/or compression, *Materials and Structures*, 50 (2017). <https://doi.org/10.1617/s11527-016-0970-x>
- [12]. D. Perraton, H. Di Benedetto, C. Sauzéat, Q.T. Nguyen, S. Pouget, Three-Dimensional Linear Viscoelastic Properties of Two Bituminous Mixtures Made with the Same Binder, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30 (2018). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002515](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002515)
- [13]. Q.T. Nguyen, H. Di Benedetto, C. Sauzéat, Effect of fatigue cyclic loading on linear viscoelastic properties of bituminous mixtures, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27 (2015). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000996](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000996)
- [14]. Di Benedetto H., Olard F., Sauzéat C., Delaporte B., Linear viscoelastic behavior of bi-tuminous materials: from binders to mixes, *Road Materials and Pavement Design*, 5-sup1, pp. 163-202. <https://doi.org/10.1080/14680629.2004.9689992>
- [15]. Nguyen Q. T., Di Benedetto H., Sauzéat C., Tapsoba N, Time Temperature Superposition Principle Validation for Bituminous Mixes in the Linear and Nonlinear Domains, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25 (2013) 1181-1188. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000658](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000658)
- [16]. Ramirez Cardona, D. A., Pouget, S., Di Benedetto, H., & Olard, F., Viscoelastic behaviour characterization of a gap-graded asphalt mixture with SBS polymer modified bitumen, *Materials Research*, 18 (2015) 373-381. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-1439.332214>