

ĐÁNH GIÁ VIỆC SỬ DỤNG XI MĂNG THAY THẾ BỘT KHOÁNG NHẪM CẢI THIỆN TÍNH NĂNG CỦA BÊ TÔNG NHỰA NÓNG

EVALUATING THE USE CEMENT TO REPLACE MINERAL POWDER IN IMPROVING THE CHARACTERISTIC OF HOT MIX ASPHALT

Lã Văn Chăm¹, Lương Xuân Chiêu^{1*},
Nguyễn Văn Trình²

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, hiện tượng lún vệt bánh xuất hiện khá phổ biến trên nhiều tuyến đường cấp cao ở Việt Nam. Một trong những giải pháp sử dụng xi măng thay thế một phần bột khoáng trong khi sản xuất hỗn hợp bê tông nhựa đã được nêu ra tuy nhiên còn nhiều ý kiến lo ngại về khả năng chống nứt vỡ. Vì vậy bài báo đưa ra kết quả thực nghiệm đánh giá khả năng sử dụng xi măng đối với việc cải thiện chất lượng bê tông nhựa ở Việt Nam.

Từ khóa: Bê tông nhựa, xi măng, bột khoáng.

ABSTRACT

In recent years, the phenomenon of vicious rutting appears quite frequently on many high-grade roads in Vietnam. One of the solutions proposed is to partially replace cement with mineral powder in the production of asphalt concrete, however there are many concerns about the resistance to cracking. Therefore, this article provides experimental results to assess the ability to use cement for improving the quality of asphalt concrete (AC) in Vietnam.

Keywords: Asphalt concrete, cement, mineral powder.

¹Bộ môn Đường bộ, Trường Đại học Giao thông Vận tải

²Học viên cao học khóa 25.2, Trường Đại học Giao thông Vận tải

*Email: chieuv1256@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/12/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/02/2019

Ngày chấp nhận đăng: 25/02/2019

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Hiện nay có hơn 80% các tuyến đường cấp cao của Việt Nam sử dụng mặt đường bê tông nhựa. Trong những năm gần đây, hiện tượng lún vệt bánh xuất hiện trên nhiều tuyến đường cấp cao ở Việt Nam. Có nhiều giải pháp khắc phục đã được đề xuất, một trong các giải pháp hay được sử dụng đó là thay đổi vật liệu đầu vào, bổ sung thêm các loại phụ gia. Tuy nhiên khi xử lý nhằm tăng khả năng chống lún cần thiết phải lưu ý đến các tính năng khác như khả năng chống nứt. Thực tế cho thấy khi chú trọng điều chỉnh cấp phối có khả năng chống lún thì khả năng chống nứt vỡ giảm xuống. Do vậy cần có đánh giá đồng thời hai tiêu chí mới có thể ứng dụng vào thực tế.

Một trong những nguyên nhân gây ra hiện tượng nứt vỡ là do bê tông nhựa (BTN) bị hư hỏng do độ ẩm, dẫn đến giảm khả năng dính bám giữa cốt liệu và chất kết dính (gọi là hiện tượng bong tách), làm giảm cường độ của lớp BTN [1]. Trong tiêu chuẩn thiết kế của nhiều nước trên thế giới, đặc biệt là nước Mỹ đều có quy định sử dụng phụ gia cải thiện chất lượng BTN. Tiêu chuẩn thiết kế hỗn hợp BTN AASHTO M 323-13 Superpave Volumetric Mix Design quy định nếu tỷ số cường độ kéo gián tiếp của mẫu BTN ở trạng thái ẩm trên trạng thái khô (ITSR) nhỏ hơn 80% thì phải dùng gia [2].

Ở Việt Nam, theo tiêu chuẩn thi công và nghiệm thu mặt đường BTN TCVN 8819:2011 chưa có quy định về tỷ số cường độ kéo gián tiếp tuy nhiên khuyến nghị sử dụng phụ gia khi đá dăm có độ dính bám với nhựa kém (nhỏ hơn 3) [7].

Vì vậy việc nghiên cứu đánh giá hiệu quả sử dụng xi măng thay thế bột khoáng có xét tới khả năng chống lún vệt bánh xe và khả năng chống nứt mới là cần thiết hiện nay.

2. QUY TRÌNH THÍ NGHIỆM

2.1. Địa điểm thí nghiệm: Phòng thí nghiệm, kiểm định trọng điểm UTC-Cienco 4 (Lasxd 1256).

2.2. Vật liệu thí nghiệm

- Đá dăm (10-19; 5-10; 0-5) có nguồn gốc từ mỏ Transmeco - Hà Nam, thỏa mãn yêu cầu của TCVN 8819:2011.

- Bột khoáng có nguồn gốc từ Phú Lý - Hà Nam thỏa mãn yêu cầu của TCVN 8819:2011.

- Nhựa đường: sử dụng nhựa đường Puma 60/70 thỏa mãn yêu cầu của TCVN 7493:2009 và Thông tư số 27/2014/TT-BGTVT

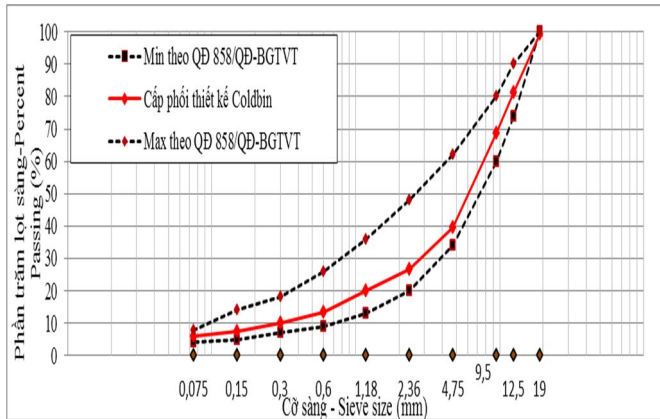
- Xi măng sử dụng là xi măng PCB 30 Vincem Hoàng Thạch thỏa mãn yêu cầu TCVN 6260:2009

Bảng 1. Thành phần cỡ hạt

| Loại cốt liệu | Cỡ sàng - Phần trăm lọt sàng (%) / Sieve size - Percent passing (%) | | | | | | | | | |
|---------------|---|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 19 | 12,5 | 9,5 | 4,75 | 2,36 | 1,18 | 0,6 | 0,3 | 0,15 | 0,075 |
| Bin 1 | 100 | 39,36 | 6,42 | 0,23 | 0,14 | 0,09 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Bin 2 | 100 | 99,58 | 91,31 | 2,85 | 0,3 | 0,16 | 0,07 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |

| | | | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Bin 3 | 100 | 100 | 100 | 88,47 | 55,85 | 37,28 | 19,76 | 10,83 | 5,43 | 2,49 |
| Filler | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98,44 | 93,23 | 83,25 |

Sau khi trộn thành phần cỡ hạt các Bin1, 2, 3, 4 với các tỷ lệ tương ứng 31%, 26%, 37%, 6% ta có cấp phối BTNC12,5 như hình 1.



Hình 1. Biểu đồ thiết kế cấp phối BTNC12,5

2.3. Phương pháp thử nghiệm đánh giá

Hỗn hợp BTN có thành phần đá, cát, bột khoáng, nhựa Shell 60/70 đem về phòng thí nghiệm, trộn thành hỗn hợp BTN theo tỷ lệ thiết kế của Phòng thí nghiệm Lasxd 1256 phục vụ nghiên cứu là:

- Thành phần cấp phối như bảng 1.
- Hàm lượng nhựa: 4,4% theo khối lượng cốt liệu khô.

Chế tạo các mẫu BTN có công thức như trên với hàm lượng phụ gia xi măng thay đổi để tiến hành thí nghiệm. Lượng xi măng cho thêm vào sẽ thay thế lượng bột khoáng để đảm bảo cấp phối hỗn hợp cốt liệu không thay đổi so với cấp phối thiết kế.

Sử dụng công thức chế tạo hỗn hợp BTN như trên để chế tạo 3 tổ mẫu BTN A1, A2, A3 tương ứng với các tỷ lệ xi măng là: 0%, 30% và 100% theo khối lượng bột khoáng trong hỗn hợp. Các loại hỗn hợp được ký hiệu như sau:

- +) A1: Hỗn hợp BTN sử dụng 100% bột khoáng
- +) A2: Hỗn hợp BTN sử dụng 100% xi măng
- +) A3: Hỗn hợp BTN sử dụng 70% xi măng và 30% bột khoáng

2.3.1. Thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của Marshall đối với mẫu bê tông nhựa theo TCVN 8862-2011

Mỗi tổ mẫu BTN A1, A2, A3 chế tạo 6 mẫu để tiến hành thí nghiệm các chỉ tiêu Marshall để đánh giá khả năng cải thiện tính chất cơ lý của hỗn hợp BTN.

2.3.2. Thử nghiệm cường độ kéo gián tiếp (ITS) đối với mẫu bê tông nhựa theo ASTM D4867-2014

Mỗi tổ mẫu BTN A1, A2, A3 chế tạo 6 mẫu để tiến hành thí nghiệm cường độ kéo gián tiếp ở trạng thái khô (TSRK) và ở trạng thái bão hòa nước (TSRbh) để đánh giá khả năng cải thiện phá hoại ẩm của BTN có sử dụng phụ gia vô tôi và xi măng.

2.3.3. Thí nghiệm vết hằn lún bánh xe theo QĐ 1617/QĐ-BGTVT “Quy định kỹ thuật về phương pháp thử độ sâu vết hằn lún bánh xe của BTN xác định bằng thiết bị Wheel Tracking”

Với mục đích tìm ra hàm lượng phụ gia xi măng tối ưu trong việc cải thiện khả năng kháng ẩm của BTN, dẫn tới cải thiện khả năng kháng hằn lún vết bánh xe, nhóm tác giả tiến hành chế tạo 3 tổ mẫu BTN A1, A2, A3 tương ứng với các hàm lượng phụ gia xi măng khác nhau. Mỗi tổ mẫu chế tạo 2 mẫu để tiến hành thí nghiệm vết hằn lún bánh xe. Kết quả thí nghiệm là giá trị chiều sâu vết hằn lún bánh xe trung bình của 2 mẫu thí nghiệm.

2.3.4. Đánh giá khả năng kháng nứt của mẫu BTNC thông qua mẫu uốn bán nguyệt (Semi-circular Bend Test” theo ASTM D8044-16

Mỗi tổ mẫu BTN A1, A2, A3 chế tạo 12 mẫu để tiến hành thí nghiệm đánh giá khả năng kháng nứt.

2.3.5. Thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh theo 22TCN 211-06

Mỗi tổ mẫu BTN A1, A2, A3 chế tạo 18 mẫu để tiến hành thí nghiệm đánh giá chỉ tiêu mô đun đàn hồi ở các mức nhiệt độ 15°C, 30°C, 60°C.

3. KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

3.1. Thí nghiệm các chỉ tiêu Marshall

Thí nghiệm các chỉ tiêu Marshall theo TCVN 8862-2011. Kết quả thử nghiệm được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Kết quả các chỉ tiêu Marshall

| STT | Loại hỗn hợp bê tông nhựa | Khối lượng thể tích | Độ rỗng dư | Độ ổn định marshall ở 60°C trong 40 phút | Độ dẻo marshall | Độ ổn định marshall ở 60°C trong 24 h |
|---|---------------------------|-------------------------|--------------|--|-----------------|---------------------------------------|
| | - | <i>g/cm³</i> | % | <i>kN</i> | <i>mm</i> | <i>kN</i> |
| 1 | A1 | 2,482 | 4,71 | 11,07 | 2,71 | 10,2 |
| 2 | A2 | 2,479 | 5,28 | 10,25 | 2,43 | 9,43 |
| 3 | A3 | 2,491 | 4,65 | 10,34 | 2,46 | 9,52 |
| Yêu cầu kỹ thuật theo QĐ 858/BGTVT | | - | 3 ÷ 6 | ≥ 8 | 1,5 ÷ 4 | ≥ 6,4 |

- Kết quả cho thấy các hỗn hợp sử dụng nghiên cứu đều đảm bảo yêu cầu kỹ thuật theo Quyết định số 858/BGTVT. Trong đó hỗn hợp sử dụng bột khoáng 100 % có độ ổn định marshall lớn nhất (11,07 kN).

- Độ rỗng dư của ba hỗn hợp đều nằm trong mức cho phép, tại hỗn hợp sử dụng 70% xi măng và 30% bột khoáng có độ rỗng dư nhỏ nhất (4,65%).

3.2. Thử nghiệm cường độ kéo gián tiếp (ITS) với mẫu BTN theo ASTM D 4867

Việc thử nghiệm tiến hành theo hướng dẫn tại ASTM D 4867. Kết quả thử nghiệm được thể hiện ở bảng 3.

Bảng 3. Kết quả thử nghiệm cường độ kéo gián tiếp của mẫu BTN sử dụng xi măng

| Tên mẫu | A1 | A2 | A3 |
|--|-------|-------|-------|
| Hàm lượng xi măng thay thế bột khoáng | 0% | 100% | 30% |
| Cường độ kéo gián tiếp ở trạng thái bão hòa nước ITSbh (MPa) | 0,836 | 0,888 | 0,936 |
| Cường độ kéo gián tiếp ở trạng thái khô ITSsk (MPa) | 0,977 | 1,052 | 1,086 |
| Tỷ lệ cường độ chịu kéo còn lại ITSr (%) | 85,6 | 84,5 | 88,7 |

Kết quả của bảng 3 cho thấy:

- Cường độ kéo gián tiếp của các mẫu đều lớn hơn 0,5 MPa, thỏa mãn khuyến nghị của [8].

- Tỷ số cường độ chịu kéo còn lại ITSr đều lớn hơn 80%, thỏa mãn yêu cầu của [2].

3.3. Thử nghiệm vết hần lún bánh xe

Chế tạo 3 tổ mẫu có thành phần A1, A2, A3, mỗi tổ mẫu gồm 2 mẫu. Tiến hành thử nghiệm vết hần lún bánh xe theo phương pháp A (ngâm mẫu trong nước ở 50 độ C) của Quyết định số 1617/QĐ-BGTVT "Quy định kỹ thuật về phương pháp thử độ sâu vết hần bánh xe của BTN xác định bằng thiết bị Wheel Tracking". Kết quả thử nghiệm được thể hiện ở bảng 4.

Bảng 4. Kết quả thử nghiệm vết hần lún bánh xe đối với hỗn hợp BTN

| Tổ mẫu | Số lượt tải trọng (lượt) | Chiều sâu lún lớn nhất (mm) | Giá trị TB | Ghi chú | |
|--------|--------------------------|-----------------------------|------------|---------|--|
| A1 | 20.000 | A1a | 7,14 | 5,98 | Thỏa mãn yêu cầu của Quyết định số 1617/QĐ-BGTVT |
| | | A1b | 4,82 | | |
| A2 | 20.000 | A2a | 7,36 | 8,92 | Thỏa mãn yêu cầu của Quyết định số 1617/QĐ-BGTVT |
| | | A2b | 10,48 | | |
| A3 | 20.000 | A3a | 8,3 | 7,04 | Thỏa mãn yêu cầu của Quyết định số 1617/QĐ-BGTVT |
| | | A-3b | 5,78 | | |

Từ kết quả thí nghiệm của bảng 4 cho thấy các loại hỗn hợp đều đảm bảo chỉ tiêu hần lún vết bánh xe, cấp phối chỉ sử dụng 100% bột khoáng vẫn cho kết quả tốt nhất.

3.4. Đánh giá khả năng kháng nứt bằng uốn mẫu bán nguyệt (SCB)

3.4.1. Kết quả thí nghiệm SCB với mẫu cấp phối sử dụng 100% bột khoáng (A1)

Chuẩn bị mẫu thí nghiệm hình trụ có kích thước D = 150 mm, bằng máy đầm BTN. Từ kích thước mẫu, khối lượng riêng của hỗn hợp và độ rỗng dư 7% (sai số 1%) xác định được khối lượng mẫu cho vào máy đầm. Để đảm bảo độ chặt thì máy đầm sẽ được cài đặt chế độ đầm tự động số lượt để đạt được kích thước mẫu và độ rỗng dư cần thiết. Để mẫu ổn định nhiệt 48h ở nhiệt độ phòng, sau đó gia công mẫu tại xưởng bằng máy cắt đá hoa cương với chế độ điều khiển tự động, đảm bảo độ chính xác cao chế bị thành các mẫu bán nguyệt kích thước D = 150mm, h = 57mm, các chiều sâu rãnh xẻ 25mm, 32mm, 38mm, bề rộng rãnh xẻ < 3,5mm. Kết quả năng lượng biến dạng mẫu sử dụng 100% bột khoáng (A1) như trong bảng 5.

Bảng 5. Kết quả năng lượng biến dạng mẫu sử dụng 100% bột khoáng (A1)

| Nội dung thí nghiệm | Mẫu thử | Chiều sâu rãnh xẻ (m) | | |
|---------------------------|---------|-----------------------|---------|---------|
| | | 0,025 | 0,032 | 0,038 |
| Năng lượng biến dạng (kJ) | M1 | 0,00063 | 0,00034 | 0,00013 |
| | M2 | 0,00063 | 0,00033 | 0,00016 |
| | M3 | 0,00059 | 0,00031 | 0,00011 |
| | M4 | 0,00066 | 0,00036 | 0,00016 |

- Từ đó tính toán giá trị U theo công thức

$$U = \sum_{i=1}^n (u_{i+1} - u_i) \times P_i + 0,5 \cdot (u_{i+1} - u_i) \times (P_{i+1} - P_i)$$

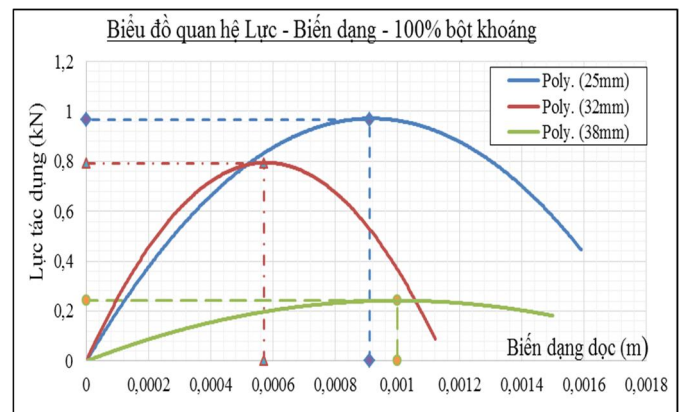
- Từ biểu đồ quan hệ Năng lượng biến dạng - chiều sâu rãnh xẻ, tính toán J_c theo công thức $J_c = \frac{-1}{b} \times \left(\frac{du}{da} \right)$ với $\left(\frac{du}{da} \right)$ là hệ số góc của đường hồi quy

với J_c (critical strain energy release rate) là: Mức độ hao tán năng lượng biến dạng tới hạn

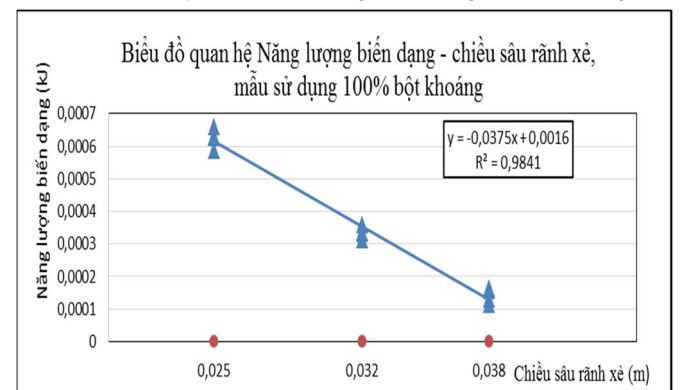
Mẫu BTN P12.5 tính toán được:

$$J_c = -1/0,057 \times (-0,0375) = 0,6579 \text{ (kJ/m}^2\text{)}$$

Từ kết quả nén mẫu bán nguyệt, ghi lại các giá trị lực (P) và chuyển vị (U) ta có các biểu đồ như hình 2, 3.



Hình 2. Biểu đồ quan hệ lực- biến dạng mẫu sử dụng 100% bột khoáng (A1)



Hình 3. Biểu đồ quan hệ năng lượng biến dạng và chiều sâu rãnh xẻ mẫu sử dụng 100% bột khoáng (A1)

3.4.2. Kết quả thí nghiệm SCB với mẫu cấp phối sử dụng 100% Xi măng (A2)

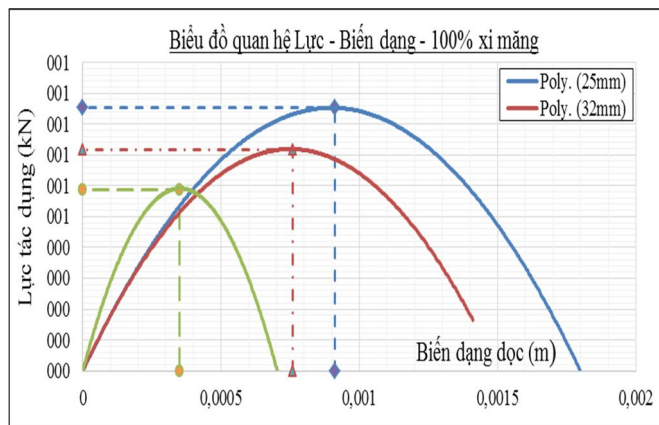
Tương tự như mẫu A1 ta có kết quả năng lượng biến dạng mẫu sử dụng 100% xi măng (A2) như trong bảng 6.

Bảng 6. Kết quả năng lượng biến dạng mẫu sử dụng 100% xi măng (A2)

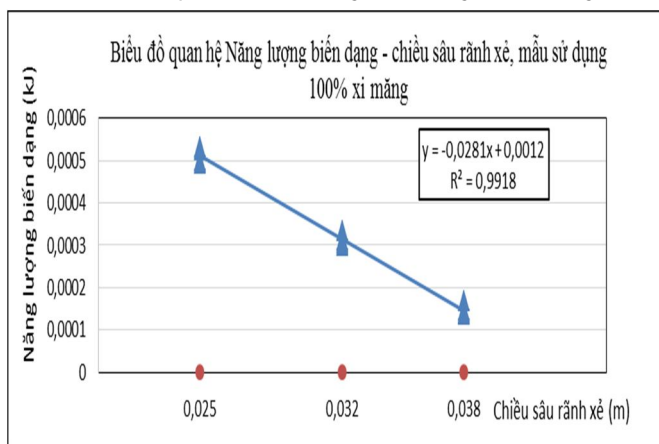
| Nội dung thí nghiệm | Mẫu thử | Chiều sâu rãnh xẻ (m) | | |
|---------------------------|---------|-----------------------|---------|---------|
| | | 0,025 | 0,032 | 0,038 |
| Năng lượng biến dạng (kJ) | M1 | 0,00053 | 0,00031 | 0,00014 |
| | M2 | 0,00053 | 0,00033 | 0,00015 |
| | M3 | 0,00050 | 0,00031 | 0,00014 |
| | M4 | 0,00049 | 0,00030 | 0,00017 |

Với mẫu BTN P12.5 tính toán được:

$$J_c = -1/0,057 \times (-0,0281) = 0,4930 \text{ (kJ/m}^2\text{)}$$



Hình 4. Biểu đồ quan hệ lực- biến dạng mẫu sử dụng 100% Xi măng (A2)



Hình 5. Biểu đồ quan hệ năng lượng biến dạng và chiều sâu rãnh xẻ mẫu sử dụng 100% xi măng (A2)

3.4.3. Kết quả thí nghiệm SCB với mẫu cấp phối sử dụng 70% Xi măng và 30% bột khoáng (A3)

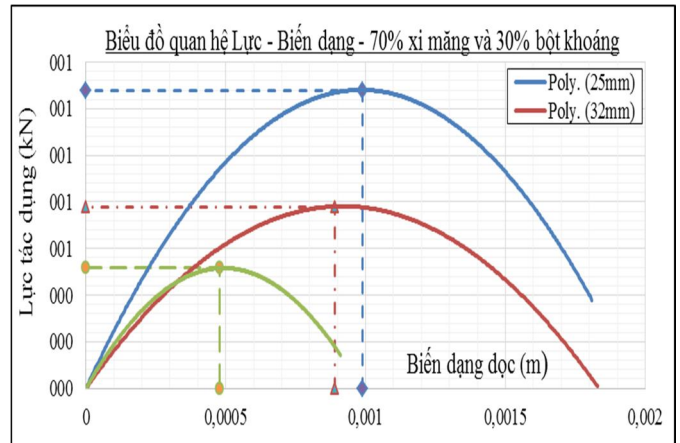
Bảng 7. Kết quả năng lượng biến dạng mẫu sử dụng 70% xi măng và 30% bột khoáng (A3)

| Nội dung thí nghiệm | Mẫu thử | Chiều sâu rãnh xẻ (m) | | |
|---------------------------|---------|-----------------------|---------|---------|
| | | 0,025 | 0,032 | 0,038 |
| Năng lượng biến dạng (kJ) | M1 | 0,00076 | 0,00041 | 0,00013 |
| | M2 | 0,00072 | 0,00045 | 0,00016 |
| | M3 | 0,00081 | 0,00038 | 0,00011 |
| | M4 | 0,00066 | 0,00032 | 0,00016 |

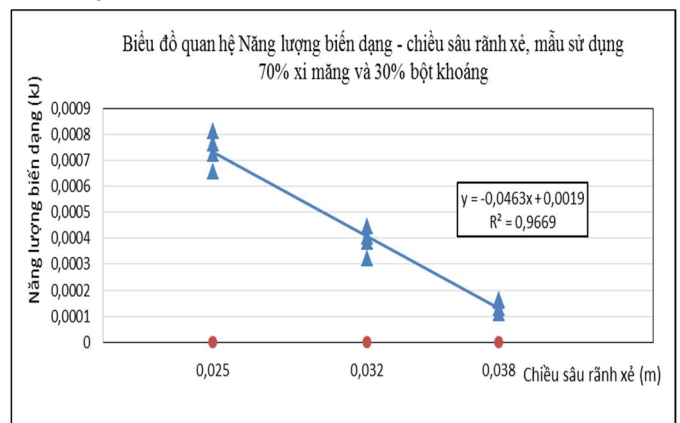
Tương tự như mẫu A1, A2 ta có kết quả năng lượng biến dạng mẫu sử dụng 70% xi măng và 30% bột khoáng (A3) như trong bảng 7.

Với mẫu BTN P12.5 tính toán được:

$$J_c = -1/0,057 \times (-0,0463) = 0,8123 \text{ (kJ/m}^2\text{)}$$



Hình 6. Biểu đồ quan hệ lực- biến dạng mẫu sử dụng 70% xi măng và 30% bột khoáng (A3)



Hình 7. Biểu đồ quan hệ năng lượng biến dạng và chiều sâu rãnh xẻ mẫu sử dụng 70% xi măng và 30% bột khoáng (A3)

- Từ kết quả tính toán J_c cho thấy, khả năng kháng nứt của hỗn hợp bê tông nhựa sử dụng 70% xi măng và 30% bột khoáng có khả năng kháng nứt tốt nhất.

- Khả năng kháng nứt của hỗn hợp bê tông nhựa sử dụng 100% xi măng có khả năng kháng nứt thấp nhất.

3.5. Thí nghiệm chỉ tiêu mô đun đàn hồi tĩnh

Bảng 8. Kết quả thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi

| Tổ mẫu số | Nhiệt độ thí nghiệm (°C) | Mô đun đàn hồi trung bình (Mpa) | | | Yêu cầu kỹ thuật (Mpa) |
|-----------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------|---|------------------------|
| | | Hỗn hợp sử dụng 100% bột khoáng | Hỗn hợp sử dụng 100% xi măng | Hỗn hợp sử dụng 70% bột khoáng và 30% xi măng | |
| 1 | 15 | 1890 | 1805 | 1840 | 1800 - 2200 |
| 2 | 30 | 441 | 425 | 464 | ≥ 420 |
| 3 | 60 | 325 | 313 | 335 | ≥ 300 |

Nhận xét: Từ bảng 8 ta thấy mô đun đàn hồi của hỗn hợp BTN sử dụng 70% bột khoáng và 30% xi măng cho giá trị mô đun cao nhất ở các nhiệt độ nghiên cứu. BTN sử dụng 100% bột khoáng cho giá trị thấp nhất.

4. KẾT LUẬN VÀ ĐỊNH HƯỚNG NGHIÊN CỨU

- Kết quả cho thấy các hỗn hợp sử dụng nghiên cứu đều cho tỷ số ITS lớn hơn 80%. Trong đó hỗn hợp sử dụng 70% xi măng và 30 % bột khoáng cho kết quả lớn nhất (88,7%), kết quả tỷ số thấp nhất tại hỗn hợp sử dụng 100% xi măng (84,5).

- Mô đun đàn hồi của hỗn hợp BTN sử dụng 70% bột khoáng và 30% xi măng cho giá trị cao nhất ở các nhiệt độ nghiên cứu. Mô đun đàn hồi của hỗn hợp BTN sử dụng 100% bột khoáng cho giá trị thấp nhất.

- Kết quả thí nghiệm vết hằn bánh xe đối với cấp phối bê tông nhựa sử dụng 100% bột khoáng có chiều sâu hằn ở 20.000 lượt thấp nhất (5,98mm), đối với cấp phối bê tông nhựa sử dụng 100% xi măng cho chiều sâu cao nhất (8,92mm).

- Kết quả tính toán J_c cho thấy khả năng kháng nứt của hỗn hợp bê tông nhựa sử dụng 70% xi măng và 30 % bột khoáng tốt nhất, của hỗn hợp bê tông nhựa sử dụng 100% xi măng thấp nhất.

Như vậy khi sử dụng xi măng thay thế một phần bột khoáng trong bê tông nhựa cải thiện các chỉ tiêu mô đun đàn hồi, khả năng kháng nứt và ổn định nhiệt. Khả năng kháng hằn lún cũng ở mức độ tốt.

Hướng nghiên cứu tiếp:

- Nghiên cứu công nghệ cấp phụ gia có định lượng tự động trên trạm trộn đảm bảo tỷ lệ phụ gia thay thế bột khoáng được kiểm soát.

- Thử nghiệm với các loại xi măng khác nhau.

[8]. NCHRP Report 673 (2011). *A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary*, Transportation Research Board, Washington, DC.

[9]. ASTM D 4867, Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures.

[10]. Vũ Ngọc Phương, Nguyễn Quang Phúc, Lương Xuân Chiểu (2015). *Đánh giá hiệu quả của vôi thủy hóa, xi măng trong việc cải thiện khả năng kháng ẩm và chống hằn lún vết bánh xe của bê tông nhựa*. Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải, số 48, năm 2015.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Qing Lu. *Investigation of Conditions for Moisture Damage in Asphalt Concrete and Appropriate Laboratory Test Methods*. Doctor of Philosophy in Engineering - Civil Engineering, University of California, Berkeley.

[2]. Final report of the TRB superpave Committee (2005). *Superpave performance by design*, Transportation Research Board - ISBN 0-309-09414-3, 2005.

[3]. Texas Department of Transportation (2004). *Standard Specifications for construction and maintenance of highways streets and bridges*.

[4]. New Mexico state department of transportation (2014). *Standard Specifications for Road and Bridge Construction*.

[5]. Florida department of transportation (2013). *Standard Specifications for Road and Bridge Construction*.

[6]. State of California department of transportation (2010). *standard specifications, Hamburg Wheel Track 2010_StdSpecs_071313 RSS.doc*.

[7]. Bộ Khoa học công nghệ (2011). *Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 8819:2011 - Mặt đường bê tông nhựa nóng-Yêu cầu thi công và nghiệm thu*