

ẢNH HƯỞNG CỦA XI THÉP ĐẾN CÁC TÍNH CHẤT CƠ LÝ VÀ NHIỆT LÝ CỦA CẤP PHỐI ĐÁ DĂM GIA CỔ XI MĂNG

EFFECT OF STEEL SLAG ON MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF CEMENT-TREATED BASE AGGREGATES

Phạm Ngọc Phương¹, Trần Thị Thu Thảo^{1*}, Trần Thanh Tuyền²

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

²Ban quản lý dự án đầu tư xây dựng các công trình giao thông Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: ttthao@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 07/8/2023; Sửa bài / Revised: 29/11/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 01/12/2023)

Tóm tắt - Việc sử dụng xi thép (XT) làm cốt liệu giúp giảm ô nhiễm môi trường từ các phế thải công nghiệp và tăng nguồn vật liệu trong xây dựng đường. Bài báo khảo sát một số tính chất cơ lý và nhiệt lý của cấp phối đá dăm-xi thép Dmax 25 gia cổ xi măng 4% (CPĐD GCXM 4%) trong đó có sử dụng XT kích cỡ từ 0,425 mm đến 9,5mm để thay thế 0%, 5%, 10% và 20% thể tích của đá dăm có cỡ hạt tương tự. Kết quả cho thấy, sử dụng lượng XT từ 10% trở xuống giúp tăng cường độ ép chèn (f_c) và cường độ chịu nén (f_c) của CPĐD-XT GCXM. Khi thay thế 10% XT, f_t tăng với trị số gấp đôi và f_c tăng 20%. Khi sử dụng XT với hàm lượng thay thế lên đến 20%, CPĐD-XT GCXM có f_c và f_t đều đạt yêu cầu sử dụng cho tất cả móng đường theo tiêu chuẩn Việt Nam. Độ dẫn nhiệt và nhiệt dung riêng của CPĐD-XT GCXM giảm khi tăng nhiệt độ. Trong khi đó, độ khuếch tán nhiệt của hỗn hợp có XT lại tăng theo nhiệt độ.

Từ khóa – Cấp phối đá dăm gia cổ xi măng; xi thép; cường độ nén; cường độ ép chèn; thông số nhiệt lý.

1. Đặt vấn đề

Lớp móng cấp phối đá dăm gia cổ xi măng (CPĐD GCXM) được sử dụng rộng rãi cho kết cấu mặt đường (KCMĐ) có yêu cầu tải trọng xe chạy lớn, chịu ảnh hưởng bất lợi của chế độ thủy nhiệt do lớp móng này có cường độ cao, phân bố tải trọng xe chạy tốt và tính ổn định nước của lớp móng gia cổ [1–6]. Hiện nay, việc sử dụng phế thải nói chung và cốt liệu xi thép (XT) đã được nghiên cứu ứng dụng trong xây dựng đường [7–9]. Xét về vấn đề kinh tế - xã hội, việc sử dụng XT sẽ góp phần hạn chế chất thải rắn này gây ra và hướng đến phát triển đồng bộ hệ thống giao thông xanh và bền vững.

XT chứa nhiều loại Oxit và khoáng chất, tương tự như thành phần lý, hóa của clanhke xi măng Portland [10], cho thấy tính năng ổn định, cường độ cao, hạt đồng đều trong một môi trường nhất định (nước, nhiệt độ, môi trường) sau khi thủy điện phân. Ngoài ra, XT còn có đặc tính chịu mài mòn, độ nghiền nhỏ và độ xộp lớn, cốt liệu XT có độ bám dính tốt hơn đá dăm khi sử dụng với vật liệu kết dính như xi măng [10]. Thành phần hóa học chính của nó là CaO (51,23%), SiO₂ (8,59%), Fe₂O₃ (16,78%) còn thành phần MgO, Al₂O₃ chiếm tỉ lệ nhỏ [11].

Abstract - Using steel slag aggregates (SS) within road construction serves a dual purpose: mitigating environmental pollution stemming from industrial byproducts and enriching the resource of sustainable construction materials. This study focused on the mechanical and thermal properties of cement-treated base aggregates, specifically of the Dmax25 type, treated with 4% cement. Notably, SS ranging from 0.425 mm to 9.5 mm were judiciously incorporated to partially replace graded aggregates, adopting varying proportions of 0%, 5%, 10%, and 20%. The findings showed that up to 10% SS replacement helped improve the splitting tensile strength (f_t) and compressive strength (f_c) of the resulting base materials. Up to 10% SS content notably improved f_t and f_c . A 10% SS substitution doubled f_t and increased f_c by 20%. With 20% SS, the base materials meet Vietnamese pavement standards for strengths. Concurrently, thermal conductivity and specific heat capacity decreased as temperatures rose while thermal diffusivity increased.

Keywords – Cement-treated aggregates; steel slag aggregates; compressive strength; splitting tensile strength; thermal properties.

Trong nghiên cứu của Li và cộng sự [10], cho thấy biến dạng co ngót của CPĐD-XT GCXM có xu hướng giảm biến dạng co ngót hơn CPĐD GCXM thông thường. Liu và cộng sự [11], đã cho thấy cường độ và mô đun đàn hồi của cấp phối vẫn đảm bảo khi thay thế hàm lượng XT trong một phạm vi nhất định, hàm lượng XT thay thế không vượt quá 50%, đồng thời với lượng XT hợp lý sẽ làm kết cấu chặt.

Ở trong nước, XT đã được nghiên cứu để sử dụng trong xây dựng móng đường GCXM. Nghiên cứu [12] sử dụng cấp phối XT-cát mịn với tỷ lệ XT/cát mịn là 80%/20% GCXM với hàm lượng 4%, 6%, 8% và kết quả nghiên cứu này cho thấy cường độ chịu nén và ép chèn của cấp phối XT-cát mịn GCXM với hàm lượng xi măng 6%, 8% ở 14 ngày tuổi lớn hơn 4,0 MPa; cường độ ép chèn lớn hơn 0,35 MPa; mô đun đàn hồi lớn hơn giới hạn (600–800) MPa nên có thể sử dụng cấp phối XT - cát mịn với hàm lượng xi măng gia cổ từ 6–8% cho lớp móng trên của KCMĐ.

Nghiên cứu của Phạm và cộng sự [13] cho rằng, giảm nhiệt độ trong lớp CPĐD GCXM là một trong những giải pháp quan trọng để giảm nứt do co ngót trong KCMĐ nửa cứng. Các nghiên cứu [14–17], đã cho thấy nhiệt độ lớp mặt bê tông nhựa có thể gần đạt 70°C và dao động nhiệt độ

¹ The University of Danang - University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Phạm Ngọc Phương, Trần Thị Thu Thảo)

² Traffic Infrastructure Investment and Construction Projects Management Board in Danang, Danang, Vietnam (Trần Thanh Tuyền)

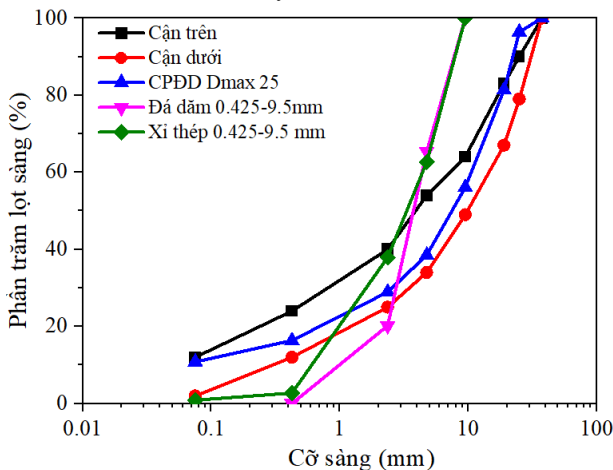
trong lớp CPĐD GCXM rất lớn. Sử dụng phế thải có thể làm giảm nhiệt độ và dao động nhiệt trong kết cấu mặt đường nửa cứng [18]. Do vậy, bài báo này khảo sát thông số nhiệt lý của CPĐD GCXM có sử dụng XT. Đây là cơ sở cho việc phân tích và dự báo nhiệt độ trong kết cấu mặt đường nửa cứng. Ngoài ra, các tính chất cường độ cũng được tập trung nghiên cứu xem xét ảnh hưởng của XT đến các tính chất cơ lý của CPĐD–XT GCXM khi sử dụng làm lớp móng trong KCMĐ.

2. Vật liệu nghiên cứu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Cấp phối đá dăm Dmax 25mm được lấy ở mỏ đá Phú Mỹ Hòa, Đà Nẵng có thành phần hạt và các chỉ tiêu đáp ứng các yêu cầu CPĐD GCXM theo TCVN 8858:2021 [19]. Xi măng sử dụng là loại PCB40 (Sông Gianh), có thời gian bắt đầu và kết thúc ninh kết lần lượt lớn hơn 100 phút và nhỏ hơn 360 phút, cường độ chịu nén ở 28 ngày $\geq 44\text{MPa}$, khối lượng riêng $3,02\text{ g/cm}^3$, lượng nước tiêu chuẩn 31% phù hợp với TCVN 6260:2009 [20]. XT được lấy tại Công ty thép Đà Nẵng, được sàng phân loại và sử dụng cỡ hạt từ 0,425mm đến 9,5 mm, khối lượng riêng $\gamma_{xt}=3,13\text{ g/cm}^3$, độ hút nước 17,33% (thí nghiệm khối lượng riêng, độ hút nước tại Trung tâm Kiểm định và Thí nghiệm VLXD, LAS-XD 1437). Thành phần hạt của CPĐD và XT được thể hiện ở Hình 1.

XT có kích thước 0,425÷9,5mm được sử dụng để thay thế một phần kích cỡ hạt cốt liệu tương tự trong CPĐD GCXM. Hình 1 cho thấy đường cong cấp phối của cốt liệu XT khá giống với đường cong cấp phối hạt đá dăm kích cỡ từ 0,425÷9,5mm được thay thế.



Hình 1. Đường cấp phối của CPĐD Dmax25, đá dăm và XT

Nghiên cứu sử dụng 4% xi măng theo khối lượng cốt liệu khô để gia cố CPĐD. Kích cỡ hạt đá dăm từ 0,425mm đến 9,5mm được thay thế bằng cốt liệu XT theo phần trăm thể tích (0%, 5%, 10%, 20%). Cách xác định khối lượng XT thay thế như sau:

+ Khối lượng cốt liệu XT (m_{xt}):

$$m_{xt} = p_{xt} \frac{\gamma_{xt}}{\gamma_d} m_d \quad (1)$$

+ Khối lượng đá dăm (m) trong cỡ sàng 0,425-9,5 mm

$$m = (1 - p_{xt}) m_d \quad (2)$$

Trong đó: p_{xt} - hàm lượng XT (%); m_d - khối lượng đá

thuộc cỡ sàng 0,425-9,5mm của CPĐD ban đầu (g); γ_d, γ_{xt} lần lượt là dung trọng của đá dăm và XT (g/cm^3).

2.2. Các phương pháp thí nghiệm

2.2.1. Thí nghiệm đầm nén tiêu chuẩn

Thí nghiệm đầm nén tiêu chuẩn được tiến hành theo Phương pháp II-D, TCVN 12790:2020 [21]. Sau khi xác định được độ ẩm tốt nhất (W_{op}) và dung trọng khô (γ_{mkax}), tiến hành hiệu chỉnh để tìm được dung trọng khô lớn nhất (γ_{max}^{hc}) và độ ẩm tốt nhất (W_{op}^{hc}) trong phòng thí nghiệm.

2.2.2. Chế bị mẫu thí nghiệm

Mẫu được chế bị theo phương pháp ép rung phù hợp với tính chất của vật liệu CPĐD GCXM và phương pháp chế bị này đã được chấp nhận trong các công bố [13], [18] trước đây của nhóm tác giả, dựa trên kết quả đầm nén Proctor sau khi hiệu chỉnh dung trọng và độ ẩm của từng cấp phối có chứa cỡ hạt quá cỡ. Sử dụng khuôn hình trụ kích thước (15x30) cm, từ kích thước khuôn sẽ xác định được thể tích khuôn và từ đó sẽ xác định được khối lượng hỗn hợp cần cho một khuôn đúc.

Khối lượng một mẻ trộn là 14 kg, trước tiên trộn khô hỗn hợp để đảm bảo vật liệu đồng đều, sau đó cho nước vào hỗn hợp để trộn ẩm và tiến hành đúc mẫu (Hình 2). Thực hiện đúc mẫu bằng cách chia hỗn hợp CPĐD GCXM ở mỗi khuôn thành 3 phần bằng nhau. Sử dụng đầm rung đầm chặt phần vật liệu trong khuôn đến khi đạt chiều cao 10 cm. Độ chặt của mẫu được xác định thông qua khối lượng hỗn hợp được không chế ở từng lớp đầm và chiều cao mẫu đạt được từng lớp đã được đánh dấu trong khuôn. Các lớp tiếp theo được tiến hành tương tự cho đến khi hoàn thiện mẫu.



Hình 2. Chế bị mẫu thí nghiệm

Sau khi đúc xong, dùng bao tải ẩm phủ lên mặt mẫu trong thời gian 20-24 giờ, sau đó tháo khuôn và tiến hành bảo dưỡng ẩm bằng bao tải kết hợp tưới nước trong 7 ngày đầu và ngâm mẫu trong nước trong 7 ngày tiếp theo.

Sau khi kết thúc bảo dưỡng (14 ngày), tiến hành cắt các mẫu trụ 15x30 cm, theo kích thước (15x17,25) cm để thí nghiệm xác định cường độ chịu nén và kích thước (15x12,5) cm để thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ. Đối với mẫu thí nghiệm cường độ chịu nén, để hạn chế sai số khi thí nghiệm, tiến hành capping bề mặt mẫu để lực nén phân bố đồng đều trên toàn bộ mặt cắt ngang của mẫu theo tiêu chuẩn... (xem Hình 3).

2.2.3. Thí nghiệm cường độ chịu nén

Mẫu dùng để xác định cường độ chịu nén (f_c) có hình trụ tròn với kích thước (15x17,25) cm (có tỉ lệ chiều cao/đường kính là 1,15), được cắt từ mẫu kích thước (15x30) cm thực hiện theo ASTM D1633-17 [22] để đồng nhất với mẫu nén và phương pháp chế tạo mẫu này cũng đã được công nhận trong các nghiên cứu [13], [18] trước đây của nhóm tác giả. Máy nén sử dụng có lực nén lớn nhất 50 tấn. Mẫu được nén với tốc độ gia tải 140 ± 10 kPa/s cho đến khi phá hoại hoàn toàn. Mỗi cấp phối được tiến hành thí nghiệm trên 3 mẫu và cường độ nén là giá trị trung bình của 3 mẫu được xác định theo công thức (3). Hình 3 thể hiện thí nghiệm cường độ nén của mẫu.

$$f_c = \frac{P \times 4}{\pi \times d_n^2} \quad (3)$$

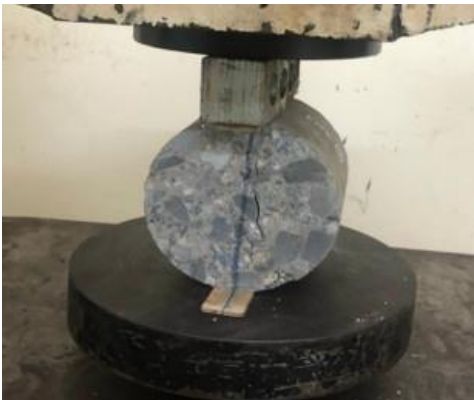
Trong đó: f_c - cường độ chịu nén (Mpa); P - lực phá hoại nén (kN); d_n - đường kính mẫu (m).



Hình 3. Thí nghiệm cường độ chịu nén trên mẫu đã được làm phẳng bề mặt

2.2.4. Thí nghiệm cường độ ép chẻ

Thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ (f_t) theo TCVN 8862:2011 [23] trên các mẫu trụ có kích thước (15x12,5) cm. Đây là phần còn lại của mẫu kích thước (15x30) cm đã được cắt để xác định cường độ chịu nén. Máy nén sử dụng có lực nén lớn nhất 50 tấn. Mẫu được ép với tốc độ gia tải để ứng suất kéo tăng đều từ 0,5-0,7 MPa/phút cho đến khi hoàn toàn phá hoại, thời gian phá hủy viên mẫu không nhỏ hơn 30s. Mỗi cấp phối được tiến hành thí nghiệm trên 3 mẫu và cường độ ép chẻ là giá trị trung bình của 3 mẫu được xác định theo công thức (4). Hình 4 thể hiện thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ của mẫu.

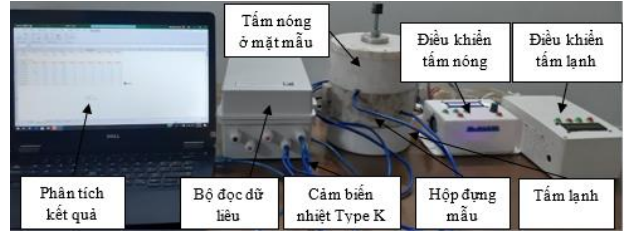


Hình 4. Thí nghiệm cường độ ép chẻ

$$f_t = \frac{2 \times P}{\pi \times h \times d_e} \quad (4)$$

Trong đó, f_t - cường độ ép chẻ (Mpa); P - lực phá hoại ép chẻ (kN); d_e - đường kính mẫu ép chẻ (m); h - chiều cao của mẫu ép chẻ (m)

2.2.5. Thí nghiệm thông số nhiệt lý



Hình 5. Thí nghiệm thông số nhiệt lý

Hình 5 thể hiện chi tiết thiết bị thí nghiệm xác định thông số nhiệt lý của vật liệu. Cấu tạo chi tiết thiết bị xác định thông số nhiệt lý đã được trình bày ở nghiên cứu của Tran và cộng sự [14].

Trình tự thí nghiệm xác định độ dẫn nhiệt như sau: (1) Chuẩn bị mẫu và khoan hai lỗ ở hai phía đối diện của mẫu để lắp đặt cảm biến nhiệt độ; (2) Phủ một lớp keo tản nhiệt mỏng lên mặt phẳng phía trên của mẫu được thử nghiệm để đảm bảo truyền nhiệt đồng đều từ tấm nóng sang mặt mẫu; (3) Đặt mẫu thí nghiệm vào hộp mẫu; (4) Chèn cảm biến nhiệt vào các lỗ đã khoan và lấp đầy khoảng trống bằng keo tản nhiệt để đảm bảo nhiệt độ liên tục xung quanh cảm biến nhiệt; (5) Cài đặt công suất nhiệt vào tấm nóng và cố định nhiệt độ nhất định cho tấm làm mát trong thời gian 4 giờ; (6) Ghi dữ liệu nhiệt độ để tính toán độ dẫn nhiệt.

Tính toán kết quả tính toán độ dẫn nhiệt, λ (W/(m.°C)), theo Joseph Luca [24] như phương trình (5):

$$\lambda = \frac{Q \cdot z}{F \cdot \Delta T} = \frac{Q \cdot z}{F \cdot (T_{sur} - T_z)} \quad (5)$$

Trong đó: Q - năng lượng nhiệt cung cấp cho tấm nóng (W); z - khoảng cách thẳng đứng từ mặt mẫu đến vị trí cảm biến nhiệt (m); T_{sur} - nhiệt độ bề mặt trên cùng của mẫu khi đạt đến trạng thái nhiệt độ ổn định (°C); T_z - nhiệt độ ở độ sâu z khi dòng nhiệt ổn định (°C); F - diện tích mặt cắt ngang mẫu (m²).

Trình tự thí nghiệm xác định độ khuếch tán nhiệt tương tự như độ dẫn nhiệt. Tuy nhiên, một trị số nhiệt độ cố định sẽ được cài đặt cho tấm nóng thay vì sử dụng công suất cố định, thời gian duy trì nhiệt độ thí nghiệm trong 2 giờ, đồng thời tấm lạnh sẽ được thay bằng đáy cách nhiệt.

Kết quả độ khuếch tán nhiệt được xác định bằng cách so sánh chênh lệch nhiệt độ giữa việc tính toán dự đoán nhiệt độ theo lý thuyết truyền nhiệt một chiều và đo thực nghiệm. Chênh lệch giữa nhiệt độ $T(z,t)$ ở độ sâu z của mẫu và nhiệt độ bề mặt trong một thời gian nhất định t được xác định theo phương trình giải tích của Özivik (1985), được trình bày trong báo cáo của A. Sharma [25], như phương trình (6):

$$T(z, t) - T_{sur} = (T_0 - T_{sur}) \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{(-1)^{n+1}}{2n-1} \exp(-\alpha \lambda_n^2 t) \cos(\lambda_n (h - z)) \right) \quad (6)$$

$$\text{Với, } \lambda_n = \frac{(2n-1)\pi}{2h} \quad (7)$$

Trong đó: T_0 - nhiệt độ ban đầu ($t = 0$) của mẫu ở vị trí z (°C); T_{sur} - nhiệt độ bề mặt không đổi trên mặt mẫu tại

$z = 0$ (°C); α - hệ số khuếch tán nhiệt (m^2/s); h - chiều cao mẫu (m); t - thời gian duy trì nhiệt độ ổn định trên bề mặt (s).

Các hệ số khuếch tán nhiệt khác nhau được giả định để tính $T(z,t)$ theo phương trình (6). Độ khuếch tán nhiệt thu được là giá trị mà tại đó sai số căn quân phương (RMSE) giữa nhiệt độ tính toán (T_{cal}) và nhiệt độ đo được (T_{mea}) có giá trị nhỏ nhất. RMSE xác định như phương trình (8):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (T_{\text{mea}} - T_{\text{cal}})^2} \quad (8)$$

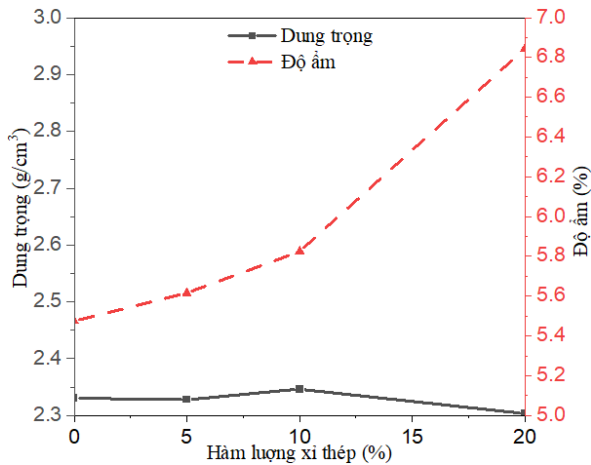
Sau khi xác định được độ dẫn nhiệt (λ) và độ khuếch tán nhiệt (α), tiến hành tính toán thông số nhiệt lý còn lại, nhiệt dung riêng, C ($\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$) theo công thức (9) như sau:

$$C = \frac{\lambda}{\rho \cdot \alpha} \quad (9)$$

Trong đó, ρ - khối lượng thể tích của vật liệu (kg/cm^3).

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Dung trọng và độ ẩm với các hàm lượng XT thay thế khác nhau



Hình 6. Tương quan dung trọng và độ ẩm sau hiệu chỉnh với các CPĐĐ-XT GCXM 4% có hàm lượng XT thay thế khác nhau

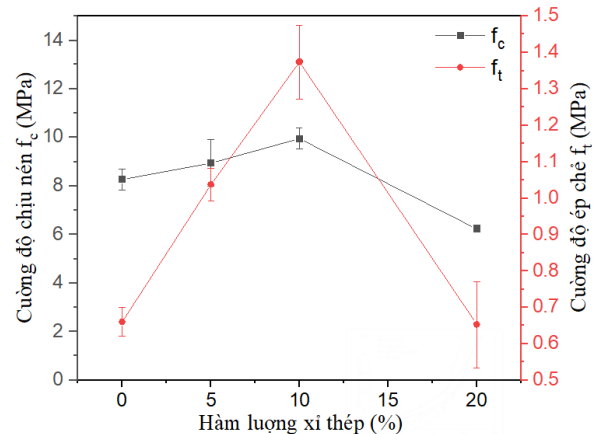
Quan hệ giữa hàm lượng XT với dung trọng khô lớn nhất ($\gamma_{\text{max}}^{\text{hc}}$) và độ ẩm tối ưu ($W_{\text{op}}^{\text{hc}}$) sau khi hiệu chỉnh được thể hiện ở Hình 6. Hình 6 cho thấy, việc thay thế một phần cấp phối đá dăm cỡ hạt từ 0,425 mm đến 9,5 mm bằng XT theo phần trăm thể tích có ảnh hưởng lớn đến độ ẩm của CPĐĐ-XT GCXM 4%. Khi tăng hàm lượng XT thay thế thì độ ẩm tốt nhất của CPĐĐ-XT GCXM tăng lên. Độ ẩm tốt nhất tăng từ 5,474% đối với CPĐĐ đối chứng (0%XT) đến 5,615% (5%XT), 5,821% (10%XT) và 6,834% (20%XT). Điều này có thể lý giải như sau, cốt liệu XT là vật liệu hút nước tốt do trong thành phần XT ngoài Fe_2O_3 (chiếm 16,78%) còn có thành phần CaO (chiếm 51,23%). Vì thế, khi hàm lượng XT trong hỗn hợp tăng thì cần lượng nước nhiều hơn cho CaO hấp phụ và giúp hỗn hợp dễ được lèn chặt. Trong khi, độ ẩm tốt nhất của CPĐĐ-XT GCXM tăng dần khi tăng hàm lượng XT thay thế, thì dung trọng khô lớn nhất thay đổi không đáng kể với trị số dao động quanh $2,3 (\text{g}/\text{cm}^3) \pm 1,15\%$.

3.2. Cường độ chịu nén (f_c)

Hình 7 thể hiện tương quan cường độ chịu nén của CPĐĐ - XT GCXM 4% ở 14 ngày tuổi khi tỷ lệ thay thế của XT khác nhau. Cường độ chịu nén của CPĐĐ-XT

GCXM có giá trị tăng dần: 8,26 MPa (0%XT), 8,95 MPa (5%XT), 9,95 MPa (10%XT). Lượng XT thay thế từ 10% trở xuống, cường độ chịu nén (f_c) tăng. Khi thay thế 10% XT, f_c tăng 20,4%. Điều này được giải thích là do độ cứng của XT lớn vì có thành phần Fe_2O_3 . Tuy nhiên, tại vị trí hàm lượng XT thay thế 20%XT thì cường độ chịu nén giảm xuống còn 6,24 MPa (giảm 24,4% so với CPĐĐ - GCXM 4% đối chứng). Kết quả này là do khi tăng hàm lượng XT quá nhiều dẫn đến thành phần CaO trong XT tăng lên làm tăng độ rỗng của cấp phối dẫn đến giảm cường độ của CPĐĐ-XT GCXM.

Sử dụng XT với hàm lượng thay thế lên đến 20% thể tích cốt liệu từ 0,425 mm đến 9,5 mm cho cường độ chịu nén của CPĐĐ-XT GCXM 4% đạt yêu cầu sử dụng cho tất cả móng đường theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 8858:2011 [19] (trị số cường độ chịu nén lớn nhất của các lớp móng yêu cầu 4,0 MPa).



Hình 7. Tương quan cường độ ép chế và chịu nén với các CPĐĐ-XT GCXM 4% có hàm lượng XT thay thế khác nhau

3.3. Cường độ ép chế (f_t)

Hình 7 thể hiện tương quan cường độ chịu ép chế của CPĐĐ - XT GCXM 4% ở 14 ngày tuổi khi tỷ lệ thay thế của XT khác nhau. Cường độ ép chế của CPĐĐ - XT GCXM có giá trị tăng dần: 0,66 MPa (0%XT), 1,04 MPa (5%XT), 1,37 MPa (10%XT). Lượng XT thay thế từ 10% trở xuống, cường độ ép chế (f_t) tăng. Khi thay thế 10% XT, f_t tăng rất ấn tượng lên đến 100,6%. Điều này do độ cứng của XT lớn do có thành phần Fe_2O_3 . Tuy nhiên, tại vị trí hàm lượng XT thay thế 20%XT thì cường độ ép chế còn 0,65 MPa (tương đương với CPĐĐ GCXM 4% đối chứng). Kết quả này có thể được giải thích do khi tăng hàm lượng XT quá nhiều dẫn đến thành phần CaO trong XT tăng lên làm tăng độ rỗng của cấp phối dẫn đến cường độ của CPĐĐ - XT GCXM bị giảm lại.

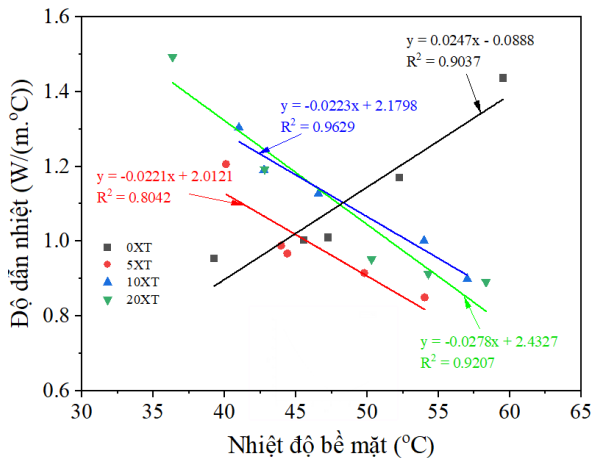
Sử dụng XT với hàm lượng thay thế lên đến 20% thể tích cốt liệu từ 0,425 mm ÷ 9,5 mm cho cường độ ép chế của CPĐĐ-XT GCXM 4% đạt yêu cầu sử dụng cho tất cả móng đường theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 8858:2011 [19] (trị số cường độ ép chế lớn nhất của các lớp móng yêu cầu 0,45 MPa).

3.4. Thông số nhiệt lý

3.4.1. Độ dẫn nhiệt

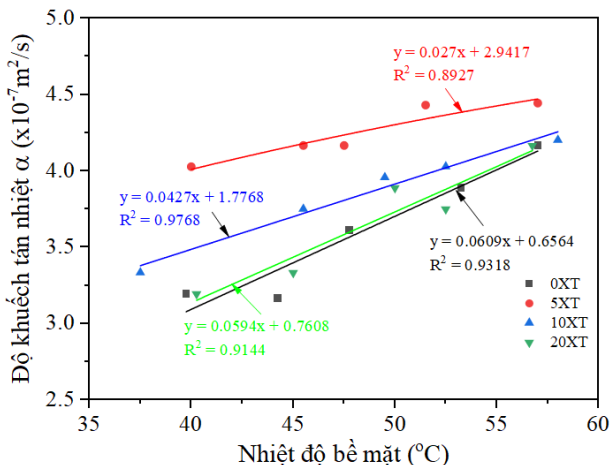
Hình 8 thể hiện sự thay đổi của độ dẫn nhiệt của CPĐĐ - XT GCXM 4% so với sự thay đổi của nhiệt độ bề mặt. Có thể thấy rằng việc tăng nhiệt độ bề mặt dẫn đến độ dẫn nhiệt

0%XT tăng lên, trong khi độ dẫn nhiệt của các hỗn hợp có XT lại giảm. Sự thay đổi độ dẫn nhiệt tuyến tính với sự thay đổi nhiệt độ bề mặt thông qua các phương trình tương quan, như được minh họa trong Hình 8. Khi nhiệt độ bề mặt cố định ở 40°C, độ dẫn nhiệt của 5%XT, 10%XT, 20%XT lần lượt là 1,21W/(m.°C), 1,30W/(m.°C), 1,49W/(m.°C). Độ dẫn nhiệt cao hơn của các cấp phối có hàm lượng XT lớn hơn là do trong XT có thành phần Fe₂O₃ dẫn nhiệt tốt. Đặc biệt, có thể nhận thấy, độ dẫn nhiệt của hỗn hợp có XT cao hơn so với hỗn hợp không có XT ở nhiệt độ bề mặt thấp. Nguyên nhân có thể do độ ẩm thấp trong hỗn hợp đối chứng (0%XT) so với các hỗn hợp khác. Hơn nữa, độ dẫn nhiệt khi nhiệt độ bề mặt lớn hơn 50°C thì độ dẫn nhiệt hỗn hợp 20%XT có xu hướng giảm mạnh, nguyên nhân có thể do khi hàm lượng XT nhiều trong hỗn hợp thì thành phần CaO tạo nên các lỗ rỗng trong cấp phối dẫn đến giảm độ dẫn nhiệt của CPĐĐ - XT GCXM 4%.



Hình 8. Độ dẫn nhiệt của các CPĐĐ-XT GCXM 4%

3.4.2. Độ khuếch tán nhiệt



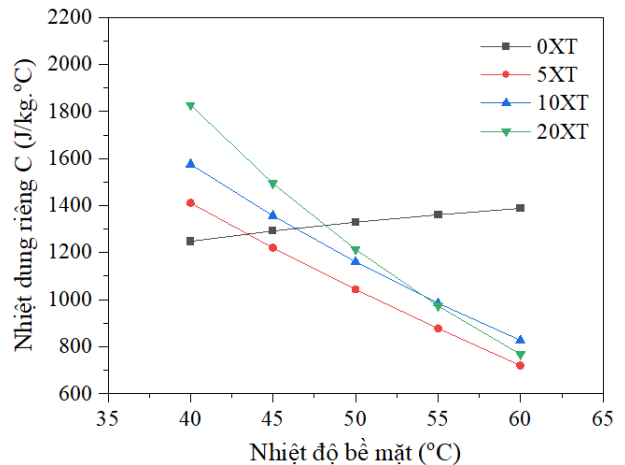
Hình 9. Độ khuếch tán nhiệt của các CPĐĐ-XT GCXM 4%

Hình 9 cho thấy, sự thay đổi về độ khuếch tán nhiệt của các mẫu CPĐĐ - XT GCXM 4% khi nhiệt độ bề mặt thay đổi khoảng từ 37,5 °C đến 58,0 °C. Hàm lượng XT cao hơn dẫn đến khả năng khuếch tán cao hơn trong phạm vi nhiệt độ thí nghiệm, độ khuếch tán lớn nhất khi thay thế hàm lượng XT trong thành phần CPĐĐ 5%XT, nguyên nhân do trong thành phần XT có thành phần FeO dẫn nhiệt tốt khi thay thế hàm lượng hợp lý. Tuy nhiên, độ khuếch tán giảm dần khi thay thế 10%XT, 20%XT

trong thành phần CPĐĐ, do trong thành phần XT ngoài thành phần Fe₂O₃ còn có thành phần CaO bao bọc xung quanh làm cho thành phần XT bị xốp nên tạo lỗ rỗng trong thành phần cấp phối. Độ khuếch tán nhiệt của mẫu 20%XT gần tương đồng với mẫu 0%XT.

3.4.3. Nhiệt dung riêng

Sau khi xác định được độ dẫn nhiệt và độ khuếch tán nhiệt, giá trị nhiệt dung riêng được tính toán theo phương trình (9).



Hình 10. Nhiệt dung riêng của các CPĐĐ-XT GCXM 4%

Hình 10 cho thấy, trong khi nhiệt dung riêng của mẫu đối chứng (0%XT) tăng khi nhiệt độ tăng, thì nhiệt dung riêng của tất cả các mẫu có thay thế XT lại giảm. Nhiệt dung riêng của các CPĐĐ-XT GCXM tăng khi hàm lượng XT trong hỗn hợp tăng. Việc giảm nhiệt dung riêng của tất cả các mẫu có thay thế XT khi nhiệt độ tăng là do thành phần CaO trong XT làm cho hỗn hợp có nhiều lỗ rỗng dẫn đến nhiệt dung riêng của CPĐĐ - XT GCXM 4% giảm.

4. Kết luận

Nghiên cứu trình bày kết quả thí nghiệm xác định một số tính chất cơ học và nhiệt lý của CPĐĐ Dmax 25 GCXM 4%, trong đó có sử dụng XT kích thước 0,425mm ÷ 9,5mm để thay thế một phần cốt liệu đá dăm có cỡ hạt tương tự theo phần trăm thể tích. Dựa theo kết quả thí nghiệm đầm nén tiêu chuẩn, cường độ chịu nén và ép chèn, độ khuếch tán nhiệt, độ dẫn nhiệt, nhiệt dung riêng, một số kết luận chính được tổng hợp như sau:

- Độ ẩm tốt nhất của CPĐĐ-XT GCXM tăng tỷ lệ thuận theo hàm lượng XT thay thế. Trong khi đó, XT không ảnh hưởng đáng kể đến dung trọng khô lớn nhất của cấp phối.
- Sử dụng từ 10% trở xuống thể tích cốt liệu XT thay thế đá dăm giúp tăng cường độ chịu nén, ép chèn của CPĐĐ - XT GCXM.

- Độ dẫn nhiệt và nhiệt dung riêng của các hỗn hợp có XT giảm khi tăng nhiệt độ. Độ khuếch tán nhiệt của hỗn hợp có XT lại tăng theo nhiệt độ. Trong khi đó, tất cả các thông số nhiệt lý của CPĐĐ GCXM đối chứng đều có giá trị tăng theo giá trị nhiệt độ.

Cần tiếp tục nghiên cứu thêm mô đun đàn hồi của CPĐĐ-XT GCXM cũng như đánh giá ảnh hưởng của XT đến phân bố nhiệt trong kết cấu mặt đường nửa cứng có sử dụng CPĐĐ-XT GCXM trên cơ sở các thông số nhiệt lý đã

thí nghiệm và phân tích ở trên. Ngoài ra, cần đánh giá độ bền thực tế của loại vật liệu này trong quá trình khai thác cũng như tác động của nó đến môi trường nếu triển khai thí công đại trà.

Lời cảm ơn: Trần Thị Thu Thảo được tài trợ bởi Nhà tài trợ thuộc Tập đoàn Vingroup và hỗ trợ bởi Chương trình học bổng thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), Viện Nghiên cứu Dữ liệu lớn (VinBigdata), mã số VINIF.2022.TS.119.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. X. Xuan, A. A. A. Molenaar, and L. J. M. Houben, “Shrinkage cracking of cement treated demolition waste as a road base”, *Mater. Struct. Constr.*, vol. 49, no. 1–2, pp. 631–640, 2016, doi: 10.1617/s11527-015-0524-7.
- [2] A. Mohammadinia, A. Arulrajah, J. Sanjayan, M. M. Disfani, M. Win Bo, and S. Darmawan, “Stabilization of demolition materials for pavement base/subbase applications using fly ash and slag geopolymers: Laboratory investigation”, *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 28, no. 7, 2016, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001526.
- [3] C. T. Gnanendran and D. K. Paul, “Fatigue characterization of lightly cementitiously stabilized granular base materials using flexural testing”, *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 28, no. 9, pp. 1–11, 2016, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001598.
- [4] V. Mráz, J. Valentin, J. Suda, and L. Kopecký, “Experimental Assessment of Fly-Ash Stabilized and Recycled Mixes”, *J. Test. Eval.*, vol. 43, no. 2, pp. 1–15, 2015, doi: 10.1520/JTE20140097.
- [5] S. Lv *et al.*, “Strength and fatigue performance for cement-treated aggregate base materials”, *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 22, no. 6, pp. 1–10, 2019, doi: 10.1080/10298436.2019.1634808.
- [6] A. Grilli, M. Bocci, and A. M. Tarantino, “Experimental investigation on fibre-reinforced cement-treated materials using reclaimed asphalt”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 38, pp. 491–496, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.08.040.
- [7] P. N. Pham, Y. Zhuge, A. Turatsinze, A. Toumi, and R. Siddique, “Application of rubberized cement-based composites in pavements: Suitability and considerations”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 223, pp. 1182–1195, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.08.007.
- [8] P. N. Pham, T. M. Le, H. H. Huynh, T. T. T. Tran, C. T. Nguyen, and C. D. Le, “Effect of rubber aggregates on engineering properties of rubberized cement-treated base materials”, *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*, vol. 15, no. 7V, pp. 68–78, 2021, doi: 10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(7v)-07.
- [9] P. N. Pham, C. T. Nguyen, D. N. H. Do, H. V. P. Nguyen, and C. D. Le, “Mechanical properties, plastic shrinkage cracking resistance and water absorption of paving concrete using steel slag and rubber aggregates”, *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*, vol. 17, No. 2V, pp. 153–165, 2023, doi: <https://stce.huce.edu.vn/index.php/vn/article/view/2700>.
- [10] W. Li, L. Lang, Z. Lin, Z. Wang, and F. Zhang, “Characteristics of dry shrinkage and temperature shrinkage of cement-stabilized steel slag”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 134, pp. 540–548, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.214.
- [11] J. Liu, B. Yu, and Q. Wang, “Application of steel slag in cement treated aggregate base course”, *J. Clean. Prod.*, vol. 269, p. 121733, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121733.
- [12] N. T. T. Hang, M. H. Ha, T. V. Tieng, “Study on using recycle steel slag-fine sand treated with cement for road pavement subbases”, *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*, vol. 13, No. 5V, pp. 93–101, 2019.
- [13] P. N. Pham, T. Van Nguyen, and T. T. Tran, “Mechanical properties of cement-treated base materials incorporating rubber aggregates: from laboratory evaluation to field experiment validation”, *Transp. Commun. Sci. J.*, vol. 73, no. 8, pp. 735–751, 2022.
- [14] T. T. T. Tran, H. H. Nguyen, P. N. Pham, T. Nguyen, N. Q. Phuc, and H. N. Huynh, “Temperature-related thermal properties of paving materials: experimental analysis and effect on thermal distribution in semi-rigid pavement”, *Road Materials and Pavement Design*, Vol. 24, No. 11, 2759–2779, 2023, doi: 10.1080/14680629.2023.2170270.
- [15] T. T. T. Thao, N. H. Hai, and N. Q. Phuc, “Predicting asphalt temperature for elastic modulus testing using benkelman beam based on data analysis using artificial neural network”, *Transport and Communications Science Journal*, vol. 74, no. 3, pp. 292–306, 2023.
- [16] T. T. T. Tran, T. Nguyen, P. N. Pham, H. H. Nguyen, and P. Q. Nguyen, “Thermal distribution in cement-treated base: Effect of curing methods and temperature estimation using Artificial Neural Networks”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 279, p. 122528, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122528.
- [17] T. T. T. Thao, N. H. Hai, N. Q. Phuc, H. N. Hung, and P. N. Phuong, “Effects of Climatic Parameters on the Temperature Distribution in Asphalt Pavement”. *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, vol. 20, no. 10, pp. 1–5, 2022.
- [18] P. N. Pham, T. T. T. Tran, P. Nguyen, T. A. Truong, and R. Siddique, “Rubberized cement-stabilized aggregates Mechanical performance, thermal properties, and effect on temperature fluctuation in road pavements”, *Transp. Geotech.*, vol. 40, p. 100982, 2023, doi: 10.1016/j.trgeo.2023.100982.
- [19] *Cement treated aggregate base for road pavement – construction and acceptance*, TCVN 8858:2011, Ministry of Science and Technology, 2011.
- [20] *Portland blended cement - Specifications*, TCVN 6260:2009, Ministry of Science and Technology, 2009.
- [21] *Soils, Aggregates for Transport Infrastructure – Proctor Compaction Test*, TCVN 12790:2020, Ministry of Science and Technology, 2020.
- [22] *Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders*, ASTM D1633-17, ASTM Int. West Conshohocken, PA, vol. 84, no. July 1996, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1520/D1633-00R07.combine.
- [23] *Standard test method for splitting tensile strength of aggregate material bonded by adhesive binders*, TCVN 8862:2011, Ministry of Science and Technology, 2011.
- [24] J. Luca and D. Mrawira, “New Measurement of Thermal Properties of Superpave Asphalt Concrete”, *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 17, no. 1, pp. 72–79, 2005, doi: 10.1061/(asce)0899-1561(2005)17:1(72).
- [25] A. Sharma, *Introduction to Computational Fluid Dynamics*, Pearson Education Limited, 2016.