

Ảnh hưởng của cốt liệu tro bay kết hợp vụn cao su tới tính chất của vữa xi măng

Effect of fly ash combined crumb rubber aggregate on the properties of mortar

> NGUYỄN THỊ BÍCH THỦY*, TRẦN THỨC TÀI, NGUYỄN HOÀNG HUYỀN TRẦN,
NGUYỄN NGỌC NGHYM, TRẦN CAO MINH

Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh; *Email: thuy.ntbich@ou.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu tập trung vào việc tạo ra cốt liệu gồm tro bay kết hợp với vụn cao su và ảnh của chúng tới tính chất của vữa xi măng. Cốt liệu nhân tạo là sản phẩm của sự kết hợp giữa xi măng, tro bay, vụn cao su, và nước với tỉ lệ 1 : 0.05 : 0.25 tại nhiệt độ 50°C trong khoảng thời gian 24 giờ. Cốt liệu nhân tạo thay thế cát theo tỉ lệ 0%, 10%, và 20% theo thể tích. Những tính chất của vữa xi măng được khảo sát khi sử dụng cốt liệu nhân tạo gồm độ chảy xê, cường độ chịu nén, khối lượng riêng, và tổng độ rỗng. Độ chảy xê của hỗn hợp vữa tăng lên khi tỉ lệ thay thế cát bằng cốt liệu cao su tăng theo. Cường độ chịu nén của vữa xi măng cũng được cải thiện đặc biệt là mẫu CS10 tại 91 ngày tuổi. Ngoài ra, kết quả của khối lượng riêng và tổng độ rỗng của mẫu vữa cũng làm sáng tỏ hơn ảnh hưởng của cốt liệu cao su tới cường độ chịu nén của vữa xi măng. Dựa vào kết quả thu được, cốt liệu nhân tạo có sự kết hợp giữa tro bay, xi măng, và vụn cao su này có thể ứng dụng làm cốt liệu thay thế cát trong vữa xi măng tới tỉ lệ sử dụng là 20% theo thể tích.

Từ khóa: Cốt liệu nhân tạo; tro bay; vụn cao su; cường độ; độ rỗng.

ABSTRACT

The study focused on the production of fly ash and crumb rubber aggregates and their effects on the properties of cement mortar. The artificial aggregates were prepared by mixing cement, fly ash, crumb rubber, and water in the ratio of 1:0.05:0.25 at 50°C for 24 hours. The artificial aggregates replaced sand at 0%, 10%, and 20% by volume. The properties of cement mortars using artificial aggregates included flow, compressive strength, density, and total voids. The flow of the mortar mixture increased as the ratio of sand replacement by rubber aggregate increased. The compressive strength of the cement mortar was also enhanced, especially for CS10 mixture at 91 days of age. In addition, the results of the density and total voids of the mortar samples improved the influence of rubber aggregate on the compressive strength of cement mortar. Based on the results obtained, this artificial aggregate with the combination of fly ash, cement, and rubber crumb can be applied as an aggregate to replace sand in cement mortar up to the usage ratio of 20% by volume.

Keywords: Artificial aggregate; fly ash; rubber crumb; strength; porosity.

1. GIỚI THIỆU

Trong những thập kỷ gần đây, sự phát triển của ngành công nghiệp ô tô trên toàn thế giới và đồng thời việc sử dụng ô tô làm phương tiện chính ngày càng thúc đẩy sản xuất lốp xe trở nên đáng kể. Điều này đã tạo ra một lượng lớn lốp xe bỏ đi. Việc thải bỏ lốp cao su đã nổi lên như một vấn đề môi trường lớn ở các nước trên thế giới. Mỗi năm gần 1 tỷ lốp xe hết tuổi thọ và hơn 50% chúng bị bỏ mà không được xử lý. Con số này có thể lên tới 1,2 tỷ trong một năm vào năm 2030. Cao su là vật liệu khá bền vững, phải mất hàng trăm năm để phân hủy. Chúng ta không thể xử lý những lốp xe cũ này bằng cách đốt, chôn lấp, hay bỏ chúng đi được, vì điều này dẫn đến sự ô nhiễm môi trường và nó còn thải ra hóa chất vô cùng độc hại gây các bệnh chết người. Cao su là vật liệu ổn định trong môi trường kiềm nên cao su có khả năng tồn tại và bền vững trong môi trường bê tông. Có nhiều nghiên cứu đã sử dụng lốp xe băm nhỏ như cốt liệu để thay thế một phần cát, đá trong bê tông [1-4]. Đây có thể nói là một giải pháp hữu ích để xử lý những vấn đề nêu trên.

Mặt khác, một vấn đề nan giải gần đây của ngành Xây dựng chính là việc cát xây dựng lại dần trở nên khan hiếm. Do nhu cầu xây dựng tăng trong nhiều năm qua dẫn đến việc khai thác quá mức những nhiên liệu này. Việc khai thác cát gây ảnh hưởng dòng chảy và sạt lở bờ sông và một lúc nào đó chúng sẽ trở nên cạn kiệt. Sử dụng vật liệu thay thế cát, đá là hướng đi đã được nghiên cứu gần đây [5-8].

Trong nghiên cứu này, một loại cốt liệu nhân tạo bao gồm xi măng, tro bay, và vụn cao su được chế tạo nhằm thay thế một phần cát trong vữa. Vai trò được biết đến của tro bay là phụ gia thủy hoạt tính, đặc biệt là cải thiện được cường độ của vữa ở tuổi muộn [9-10]. Những nghiên cứu trước đây thường chỉ sử dụng tro bay và vụn cao su như hai vật liệu riêng biệt trong vữa hay bê tông. Tro bay thường được sử dụng làm phụ gia khoáng hoạt tính đóng vai trò làm chất kết dính trong bê tông. Ngoài ra, tro bay cũng được sử dụng như vật liệu lấp đầy trong một số nghiên cứu. Còn vụn cao su thường chỉ được sử dụng trực tiếp với vai trò như cốt liệu trong bê tông. Như

đã trình bày ở trên, vụn cao su có độ rỗng khá cao và lực liên kết giữa đá xi măng và vụn cao su không cao dẫn tới giảm cường độ của vữa hoặc bê tông [11-12]. Muốn cải thiện được cường độ của bê tông sử dụng vụn cao su cần có bước xử lý kỹ vụn cao su trong môi trường dung dịch kiềm trước khi sử dụng. Việc này cũng gây mất thời gian và tốn kém. Do đó, nghiên cứu này muốn kết hợp cả tro bay và vụn cao su như một cốt liệu nhân tạo để thay thế một phần cát trong vữa. Mục đích của nghiên cứu vừa giải quyết được vấn đề ô nhiễm môi trường của lớp xe cao su, ô nhiễm môi trường của tro bay, sự thiếu hụt của cát tự nhiên, và hướng tới chế tạo vật liệu xanh và thân thiện với môi trường. Cốt liệu nhân tạo được dùng để thay thế 0%, 10%, và 20% theo thể tích của cốt liệu nhỏ trong vữa. Mặc dù độ chảy dẻo của vữa xi măng giảm nhẹ khi sử dụng cốt liệu nhân tạo nhưng cường độ chịu nén của vữa được cải thiện.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Hệ nguyên vật liệu

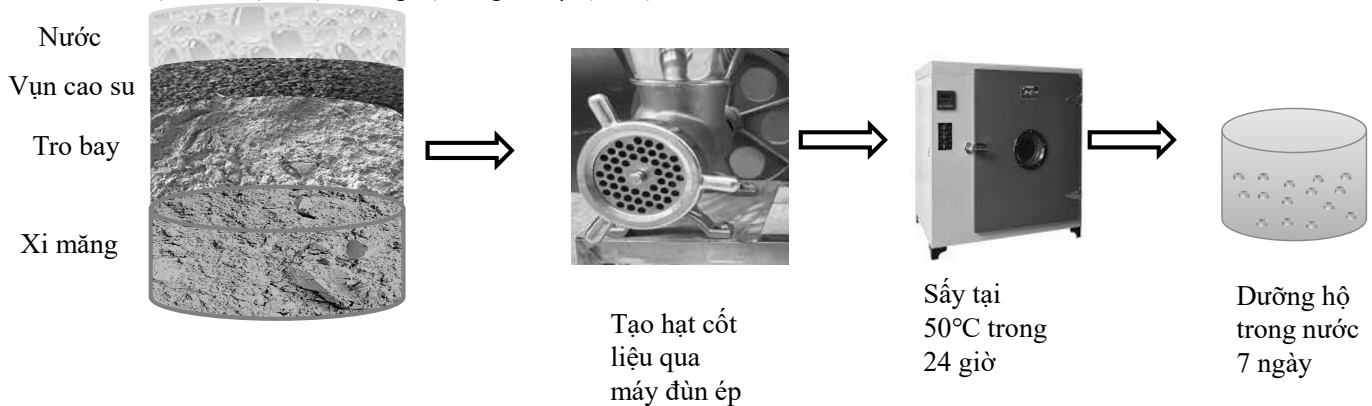
Trong nghiên cứu này, xi măng Portland hỗn hợp hỗn hợp PCB40 được sử dụng với vai trò là chất kết dính. Cốt liệu nhỏ bao gồm cát tự nhiên và cốt liệu cao su (CS). Trong đó, cốt liệu cao su được tạo thành từ hỗn hợp xi măng, tro bay loại F, vụn cao su được băm nhỏ từ lớp xe cao su, và nước với tỉ lệ 1 :1 :0,05 :0,25. Hỗn hợp được trộn đều và được tạo hình qua máy đùn với kích thước nhỏ hơn 5mm. Cốt liệu nhân tạo được dưỡng hộ trong tủ sấy tại nhiệt

độ 50°C trong 24 giờ, sau đó được ngâm vào nước 7 ngày trước khi được sử dụng trong vữa, xem mô tả tại Hình 2.1. Một số tính chất vật lý của hệ nguyên vật liệu được khảo sát như khối lượng riêng, độ hút nước bão hòa, module độ lớn được thể hiện ở Bảng 2.1. Khối lượng riêng của cốt liệu cao su nhỏ hơn cát tự nhiên và có độ hút nước bão hòa cao hơn. Như vậy, cốt liệu cao su có thể coi như là cốt liệu nhẹ. Giá trị module độ lớn của cát và cốt liệu nhân tạo lần lượt là 2,24 và 2,87.

Bảng 2.1. Tính chất vật lý của hệ nguyên vật liệu

STT	Tính chất vật lý	Xi măng	Tro bay	Cát	Cốt liệu cao su
1	Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,97	2,12	2,64	1,93
2	Độ hút nước bão hòa (%)	-	-	1,12	24,36
3	Mô đun độ lớn	-	-	2,24	2,87

Cốt liệu cao su được giữ tại nhiệt độ 50°C trong 24 giờ nhằm đẩy nhanh quá trình phát triển cường độ và cải thiện mối liên kết giữa đá xi măng và bề mặt cao su. Tiếp đó, cốt liệu cao su được ngâm vào nước trong 7 ngày giúp cốt liệu nhân tạo cải thiện thêm cường độ trước khi sử dụng trong vữa. Cát được thay thế bằng 0%, 10%, và 20% theo thể tích bằng cốt liệu cao su. Tỉ lệ của các nguyên vật liệu trong vữa được sử dụng trong nghiên cứu này thể hiện ở Bảng 2.2. Vữa xi măng trong nghiên cứu này được cố định tỉ lệ nước trên xi măng và tỉ lệ cốt liệu nhỏ trên xi măng lần lượt là 0,5 và 3 :1.



Hình 2.1. Quy trình chế tạo hạt cốt liệu cao su

Bảng 2.2. Tỉ lệ của hệ nguyên vật liệu trong vữa

Ký hiệu Mẫu	N/X	CLN/X	CS/CLN (% theo thể tích)
CS00			0%
CS10	0.5	3:1	10%
CS20			20%

Trong đó:

N/X: tỉ lệ nước trên xi măng

CLN/X: tỉ lệ cốt liệu nhỏ (cát và cốt liệu tro bay) trên xi măng

CS/CLN: tỉ lệ cốt liệu cao su trên cốt liệu nhỏ

2.2. Phương pháp thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, độ chảy xòe và cường độ chịu nén, khối lượng riêng và tổng độ rỗng của vữa xi măng sử dụng cốt liệu cao su được khảo sát. Đầu tiên, độ chảy xòe của hỗn hợp vữa được kiểm tra theo tiêu chuẩn ASTM C1437 [13]. Ngay sau khi xác định độ chảy xòe, mẫu vữa tiếp tục quá trình tạo hình cho mẫu của thí nghiệm xác định cường độ chịu nén tuân theo tiêu chuẩn TCVN 6016: 2011 [14]. Kích thước mẫu thí nghiệm 5x5x5 cm. Sau 24 giờ, mẫu thí nghiệm được tháo ra và tiếp tục dưỡng hộ trong nước tới khi thực hiện thí nghiệm. Cường độ chịu uốn và chịu nén được xác định tại 7 ngày, 28 ngày, và 91 ngày tuổi.

Nhằm làm rõ hơn ảnh hưởng của cốt liệu cao su tới cường độ chịu nén của vữa xi măng, khối lượng riêng và tổng độ rỗng của mẫu xi măng tại 28 ngày và 91 ngày được khảo sát tuân theo tiêu chuẩn ASTM C642 [15]. Mẫu vữa xi măng có kích thước 10x10x10 cm được sử dụng. Tại ngày thí nghiệm, mẫu vữa được vớt ra khỏi nước và sấy khô hoàn toàn tại 105°C được khối lượng mẫu khô hoàn toàn (A). Mẫu được ngâm tiếp trong nước ít nhất 48 tiếng, và đun sôi trong 5 giờ và làm nguội từ từ, sau đó lau khô bề mặt mẫu và cân mẫu trong không khí và cân trong nước lần lượt được giá trị C và D. Tổng độ rỗng của mẫu được tính theo công thức sau:

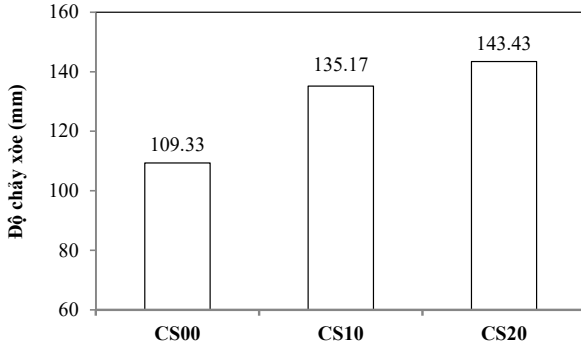
$$Tổng\ độ\ rỗng = \frac{C - A}{C - D} \times 100\%$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của cốt liệu cao su tới độ chảy xòe của hỗn hợp vữa

Độ chảy xòe là đặc trưng kỹ thuật thể hiện tính công tác của hỗn hợp vữa xi măng. Ảnh hưởng của cốt liệu cao su tới độ chảy xòe của hỗn hợp vữa xi măng được trình bày ở Hình 3.1. Cốt liệu cao su được sử dụng trong thí nghiệm ở trạng thái bão hòa khô bề mặt. Tuy nhiên, cường độ của cốt liệu tại 7 ngày tuổi chưa cao. Trong quá trình nhào trộn, có thể một phần cốt liệu đã bị vỡ dẫn tới việc giải thoát lượng nước nằm bên trong của cốt liệu cao su. Kết quả là độ

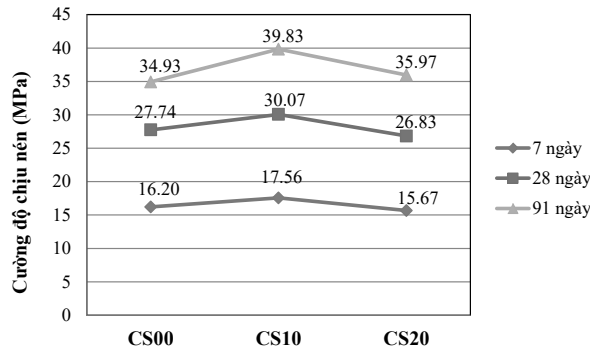
chảy xòe của hỗn hợp vữa tăng khi tỷ lệ cốt liệu cao su thay thế cát tăng lên. Mặc dù, bề mặt của cốt liệu cao su sần sùi hơn bề mặt của cát, nhưng ảnh hưởng này cũng chưa đủ lớn khi so sánh với lượng nước bị thoát ra từ trong cốt liệu cao su. Điều này mới chỉ được khảo sát trong trường hợp này. Sự ảnh hưởng của cốt liệu cao su tới độ chảy xòe còn tùy thuộc vào tuổi (cường độ) của cốt liệu và trạng thái độ ẩm của cốt liệu cao su. Những điều này sẽ được khảo sát ở những nghiên cứu sau.



Hình 3.1. Độ chảy xòe của hỗn hợp vữa

3.2. Ảnh hưởng của cốt liệu cao su đến cường độ chịu nén

Mẫu vữa sử dụng cốt liệu cao su thay thế cát theo tỉ lệ 0%, 10%, và 20% được khảo sát cường độ chịu nén tại 7 ngày, 28 ngày, và 91 ngày tuổi. Hình 3.2 thể hiện ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu cao su tới cường độ chịu nén của vữa xi măng. Tại cả 7 ngày, 28 ngày, và 91 ngày tuổi, cường độ chịu nén của vữa xi măng được cải thiện khi sử dụng 10% cốt liệu cao su, xem mẫu CS10. Trong trường hợp mẫu CS20 với 20% cốt liệu cao su, cường độ chịu nén tại 7 ngày và 28 ngày hơi thấp hơn so với mẫu đối chứng. Tuy nhiên, tại 91 ngày tuổi, cường độ chịu nén của mẫu CS20 đạt 35,97MPa cao hơn cường độ của mẫu đối chứng là 34,93MPa. Cốt liệu cao su này gồm nền chất kết dính gồm xi măng và tro bay. Theo thời gian và điều kiện dưỡng hộ, tro bay có phát huy vai trò là phụ gia khoáng hoạt tính và phản ứng pozzolan, đặc biệt ở tuổi muộn nên cũng góp vai trò cải thiện cường độ chịu nén của mẫu vữa. Mặt khác, bề mặt của cốt liệu cao su cũng sần sùi, nó tăng lực bám dính giữa đá xi măng và cốt liệu nhân tạo. Kết quả là cường độ chịu nén của vữa xi măng khi sử dụng cốt liệu cao su được cải thiện. Riêng trường hợp của mẫu CS20, lượng cốt liệu cao su được sử dụng là 20%, nó cũng làm tăng hàm lượng vụn cao su trong vữa dẫn tới giảm cường độ chịu nén. Ngoài ra, phản ứng pozzolan của tro bay chưa thể hiện rõ nên cường độ chịu nén của mẫu CS20 tại 7 ngày và 28 ngày tuổi hơi thấp so với mẫu đối chứng, ví dụ tại 28 ngày tuổi, độ giảm cường độ so với mẫu đối chứng chỉ là 3,27%.

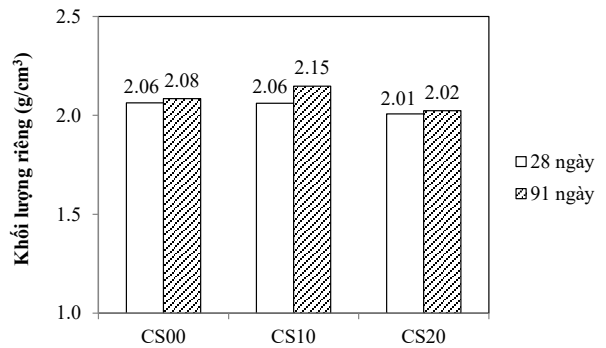


Hình 3.2. Cường độ chịu nén của vữa xi măng

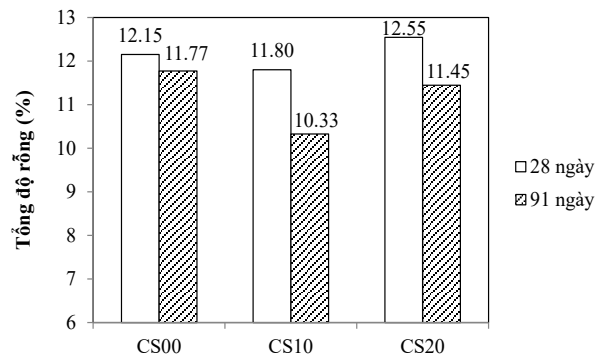
3.3 Ảnh hưởng của cốt liệu cao su tới khối lượng riêng và tổng độ rỗng của mẫu vữa

Một trong những yếu tố ảnh hưởng chính tới cường độ chịu nén của vữa đó chính là đặc điểm cấu trúc của vữa, cụ thể là độ rỗng hay độ đặc của vữa. Nghiên cứu này xác định tổng độ rỗng và khối lượng riêng của mẫu xi măng tại 28 ngày và 91 ngày tuổi nhằm làm rõ hơn ảnh hưởng của cốt liệu cao su trong vữa. Giá trị khối lượng riêng của 3 nhóm mẫu vữa được thể hiện tại Hình 3.3. Kết quả cho thấy, tại 28 ngày tuổi, khối lượng riêng của các nhóm mẫu không quá khác nhau, riêng có mẫu CS20 có giá trị là 2,01 g/cm³. Nó hơi thấp hơn so với giá trị khối lượng riêng của mẫu đối chứng và mẫu CS10 với giá trị đạt 2,06 g/cm³. Nguyên nhân là do bản chất vụn cao su có tỉ lệ lỗ rỗng khá cao, mẫu CS20 với hàm lượng cao su cao hơn nên dẫn tới giá trị khối lượng riêng nhỏ hơn. Tuy nhiên, tại 91 ngày tuổi, giá trị khối lượng riêng của ba mẫu vữa đã có phân biệt rõ ràng. Mẫu CS10 có giá trị khối lượng riêng lớn nhất đạt 2,15 g/cm³, tiếp theo là mẫu đối chứng với 2,08 g/cm³, và cuối cùng là mẫu CS20 với giá trị khối lượng riêng đạt 2,02 g/cm³. Giá trị khối lượng riêng của vữa tại 91 ngày cao hơn mẫu tại 28 ngày do cấu trúc vữa xi măng đặc chắc hơn.

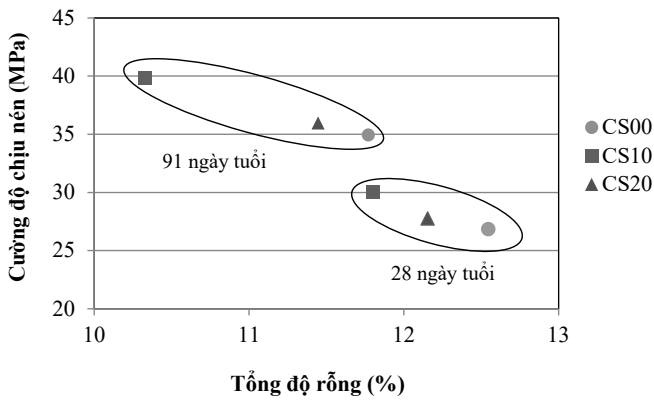
Giá trị tổng độ rỗng của ba nhóm mẫu thí nghiệm được thể hiện ở Hình 3.4. Tại 28 ngày tuổi, tổng độ rỗng giữa ba nhóm mẫu không có sự chênh lệch quá nhiều. Tuy nhiên, giá trị tổng độ rỗng tại 91 ngày tuổi của ba nhóm mẫu là có sự khác biệt đáng kể. Mẫu CS10 có độ rỗng thấp nhất là 10,33% nguyên nhân là tại 91 ngày tuổi thì phản ứng pozzolan của tro bay đã đạt tới hiệu suất cao cùng lượng lớn sản phẩm thủy hóa C-S-H. Điều này dẫn tới cấu trúc hạt cốt liệu cao su đặc chắc hơn và phản tiếp xúc giữa đá xi măng và cốt liệu cao su cũng được cải thiện, xem mô phỏng tại Hình 3.6. Tương tự mẫu SC20, giá trị tổng độ rỗng cũng giảm chỉ còn 11,45% và nhỏ hơn mẫu đối chứng với 11,77%. Tuy nhiên, mẫu SC20 có hàm lượng cao su cao hơn nên phân nào khiến tổng độ rỗng của mẫu CS20 lớn hơn mẫu CS10. Mẫu xi măng có cấu trúc càng đặc chắc thì cường độ chịu nén của mẫu càng lớn và ngược lại. Mối quan hệ giữa tổng độ rỗng và cường độ chịu nén của 3 mẫu vữa tại 28 ngày và 91 ngày tuổi tuân theo tỉ lệ nghịch, đúng theo quy luật này, được thể hiện rất rõ trên Hình 3.5.



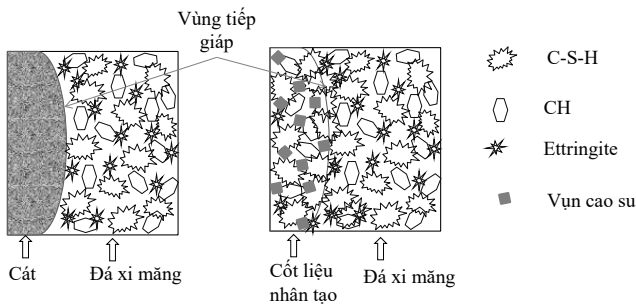
Hình 3.3. Khối lượng riêng của mẫu vữa xi măng



Hình 3.4. Tổng độ rỗng của mẫu vữa xi măng



Hình 3.5. Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và tổng độ rỗng của vữa xi măng



Hình 3.6. Mô phỏng cấu trúc vữa xi măng

4. KẾT LUẬN

Sau khi cốt liệu cao su được chế tạo từ hỗn hợp xi măng, tro bay, vụn cao su, và nước theo đúng tỉ lệ cấp phối và quy trình dưỡng hộ. Cốt liệu cao su đã thay thế cát trong vữa xi măng theo tỉ lệ 0%, 10%, và 20% theo thể tích đã thu được những kết quả sau đây:

- Độ chảy xòe của hỗn hợp vữa tăng lên khi tỉ lệ sử dụng cốt liệu cao su gia tăng, nguyên nhân có thể do trong quá trình nhào trộn, lượng nước bên trong cốt liệu cao su được giải phóng một phần, dẫn tới hỗn hợp vữa lỏng hơn.

- Cường độ chịu nén của mẫu vữa CS10 với tỉ lệ thay thế cát là 10% cho cường độ cao hơn mẫu đối chứng tại cả 28 ngày tuổi và 91 ngày tuổi. Trong khi đó, mẫu CS20 với tỉ lệ thay thế cát là 20%, cường độ chịu nén tại 7 ngày và 28 ngày tuổi hơi thấp so với mẫu đối chứng, ví dụ tại 28 ngày tuổi, độ giảm cường độ so với mẫu đối chứng chỉ là 3,27%. Tuy nhiên, cường độ tại tuổi muộn 91 ngày thì cường độ của mẫu CS20 vẫn cao hơn mẫu đối chứng.

- Cường độ chịu nén của vữa xi măng tại tuổi muộn đều được cải thiện khi sử dụng cốt liệu cao su thay thế cát. Cơ chế để giải thích sự ảnh hưởng của cốt liệu cao su tới cường độ chịu nén của vữa chính là tác dụng của phản ứng pozzolannic của tro bay ở tuổi muộn. Nó đã làm bản thân cấu trúc hạt cốt liệu nhân tạo đặc chắc hơn và cải thiện lực liên kết giữa bề mặt hạt cốt liệu với lớp đá xi măng bao quanh khiến cấu trúc vữa đặc chắc hơn. Điều này đã được thể hiện rõ qua kết quả tổng độ rỗng của cấu trúc vữa. Khi tổng độ rỗng của mẫu càng giảm thì cường độ càng tăng.

Dựa vào kết quả thu được, cốt liệu cao su này hoàn toàn có thể sử dụng để thay thế một phần cát trong vữa xi măng hay trong bê tông. Nghiên cứu này mới dừng lại ở phần nghiên cứu những tính chất cơ bản của vữa xây dựng, để làm rõ thêm ảnh hưởng của cốt liệu cao su này tới độ bền như khả năng chống ăn mòn sun-phát, biến dạng do co ngót, khả năng chống ăn mòn

clo và một số tính chất cơ lý khác của vữa và bê tông, nhóm nghiên cứu sẽ tiếp khảo sát trong những nghiên cứu tiếp theo.

Lời cảm ơn: Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh cho đề tài “Ảnh hưởng của cốt liệu nhân tạo gồm tro bay kết hợp vụn cao su tới độ bền của vữa xi măng” mã số E2024.02.2.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]Phương, P. N., và cộng sự (2021). Ảnh hưởng của cốt liệu cao su đến tính chất cơ lý của cấp phối đá dăm-cao su gia cố xi măng. *Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng*, 15(7V):68-78.
- [2]P N Phương, và cộng sự (2023). Cường độ, khả năng nứt do co ngót dẻo và tính thấm nước của bê tông xi măng mặt đường sử dụng cốt liệu xi thép và cao su. *Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng*, 17(2V):153-165.
- [3]Albano, C., et al. (2005). Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: Destructive and non-destructive testing. *Composite Structures*, 71, 439-446.
- [4]A.Yilmaz và N.Degirmenci (2009). Possibility of using waste tire rubber and fly ash with Portland cement as construction materials. *Waste management*, 29, 1541-1546.
- [5]T.B.T. Nguyen, W. Saengsoy, and S. Tangtermsirikul (2019). Influence of bottom ashes with different water retainabilities on properties of expansive mortars and expansive concretes, *Engineering Journal* (23).
- [6]E. Sheikh, S.R. Mousavi, and I. Afshoon (2022). Producing green roller compacted concrete (RCC) using fine copper slag aggregates, *Journal of Cleaner Production* (368).
- [7]R. Altuki, et al. (2022). Increasing sustainable aggregate usage in concrete by quantifying the shape and gradation of manufactured sand, *Construction and Building Materials* (321).
- [8]M.H. Lai, et al. (2022). Effect of fillers on the mechanical properties and durability of steel slag concrete, *Construction and Building Materials* (335).
- [9]C.H. Huang, et al. (2013). Mix proportions and mechanical properties of concrete very high-volume of Class F fly ash, *Construction and Building Materials* (46), 71-78.
- [10]L.P. Sankar, et al. (2021). Studies on drying shrinkage ad water permeability of fine fly ash high performance concrete, *Material Today: Proceeding* (46), 930-933.
- [11]Güneyisi, E., Geso`glu, M., & Ozturan, T. (2004). Properties of rubberized concretes containing silica fume. *Cement and Concrete Research*, 34(12), 2309-2317.
- [12]Mohamed et al. (2012). Properties of crumb rubber hollow concrete block, *Journal of Cleaner Production*, 23, 57- 67.
- [13]ASTM C1437 (2004). *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*. Annual Book of ASTM Standards. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [14]TCVN 3121-11 :2022, Vữa xây dựng - Phương pháp thử - Phần 11: Xác định cường độ uốn và nén của vữa đóng rắn (2022).
- [15]ASTM C642, Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA (2003).