

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG MIỀN TÂY

PHAN TẤN PHÚC

**NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BÊ TÔNG RỖNG THOÁT
NƯỚC SỬ DỤNG VỮA GEOPOLYMER TỪ TRO BAY
VÀ XỈ LÒ CAO ỨNG DỤNG CHO CÔNG TRÌNH
CÔNG CỘNG**

ĐỀ ÁN THẠC SĨ KỸ THUẬT XÂY DỰNG

Vĩnh Long – 2025

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG MIỀN TÂY

PHAN TẤN PHÚC



**NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BÊ TÔNG RỖNG THOÁT
NƯỚC SỬ DỤNG VỮA GEOPOLYMER TỪ TRỌ BAY
VÀ XỈ LÒ CAO ỨNG DỤNG CHO CÔNG TRÌNH
CÔNG CỘNG**

Chuyên ngành: Kỹ thuật công trình xây dựng dân dụng và
công nghiệp

Mã số: 8.58.02.01

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. TS. CAO NGUYỄN THI

2. TS. LÊ HOÀI BẢO



Vĩnh Long – 2025

Phần I. MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Trong kỹ thuật bê tông rỗng truyền thống, xi măng portland thông thường (OPC) vẫn được sử dụng làm chất kết dính chính. Tuy nhiên, lượng tiêu thụ OPC hàng năm quá lớn đã gây ra nhiều vấn đề môi trường nghiêm trọng trên phạm vi toàn cầu, chủ yếu do lượng khí thải CO₂ đáng kể trong quá trình sản xuất, bao gồm quá trình khử carbon của đá vôi.

Nhằm từng bước giảm sự phụ thuộc vào xi măng OPC trong xây dựng, đồng thời tận dụng hiệu quả chất thải công nghiệp và góp phần giảm thiểu tình trạng ngập úng đô thị do quá trình bê tông hóa, nghiên cứu này đề xuất một giải pháp khả thi: **"Nghiên cứu chế tạo bê tông rỗng thoát nước sử dụng vữa geopolymere từ tro bay và xỉ lò cao ứng dụng cho công trình công cộng"**.

2. Mục tiêu nghiên cứu

- Thiết kế thành phần bê tông rỗng sử dụng chất kết dính geopolymere từ tro bay và xỉ lò cao.
- Đánh giá ảnh hưởng của thời gian dưỡng hộ ở điều kiện nhiệt độ môi trường đến cường độ chịu nén và độ mài mòn của bê tông rỗng.
- Nghiên cứu ảnh hưởng hàm lượng của chất kết dính geopolymere từ tro bay và xỉ lò cao đến độ rỗng và độ mài mòn.
- Đánh giá tốc độ thấm của sàn nền bê tông rỗng và khả năng ứng dụng vào công trình công cộng.
- Thiết lập các mối quan hệ thực nghiệm giữa các đặc tính của bê tông rỗng sử dụng chất kết dính geopolymere (như giữa độ rỗng và cường độ nén, giữa tốc độ thấm và cường độ nén, v.v.) thông qua phương trình hồi quy tuyến tính.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- *Đối tượng nghiên cứu*: Bê tông rỗng thoát nước sử dụng chất kết dính geopolymere

- *Phạm vi nghiên cứu*: Thiết kế cấp phối bê tông rỗng đáp ứng yêu cầu của công trình công cộng

4. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu kết hợp lý thuyết từ những nghiên cứu trước đây và kết hợp với thực nghiệm.

Dữ liệu thu thập từ các thí nghiệm thực tế được xử lý bằng phương pháp hồi quy thống kê.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

- Ý nghĩa khoa học: Nghiên cứu nhằm cung cấp một phần nào đó dữ liệu của bê tông rỗng sử dụng vữa geopolymere.

- Ý nghĩa thực tiễn: có ý nghĩa thực tiễn quan trọng trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt là xây dựng, quản lý môi trường và phát triển đô thị.

6. Kết cấu đề án

Ngoài phần mở đầu, phần kết luận, kiến nghị và phụ lục. Đề án được trình bày gồm 3 chương, nội dung cụ thể từng chương như sau:

Chương 1: Tổng quan về bê tông rỗng sử dụng cho công trình công cộng và chất kết dính geopolymere.

Chương 2: Cơ sở khoa học của việc sử dụng chất kết dính geopolymere vào bê tông rỗng sử dụng cho công trình công cộng

Chương 3: Kết quả thực nghiệm các tính chất của bê tông rỗng sử dụng chất kết dính geopolymere.

Phần kết luận, kiến nghị: Trình bày những kết quả của đề án và kiến nghị một số nghiên cứu tiếp theo của đề tài.

Phần II. NỘI DUNG

Chương 1. TỔNG QUAN VỀ BÊ TÔNG RỖNG SỬ DỤNG CHO CÔNG TRÌNH CÔNG CỘNG VÀ CHẤT KẾT DÍNH GEOPOLYMER

1.1. Bê tông rỗng

1.1.1. Khái niệm

Thuật ngữ “bê tông rỗng” (BTR) hay bê tông tiêu thấm nước thường mô tả một loại vật liệu có độ sục gần như bằng không

1.1.2. Ứng dụng của bê tông rỗng

BTR được ứng dụng rộng rãi trong bãi đỗ xe công cộng, lối đi bộ chung cư, sân hồ bơi, sân chơi ngoài trời, v.v.

1.2. Tổng quan về công trình công cộng

Công trình công cộng là các công trình được xây dựng nhằm phục vụ lợi ích chung của cộng đồng.

1.2.1. Giới thiệu về công trình công cộng

Những thứ “mình và mọi người cùng xài”: đường sá, cầu cống, vỉa hè, hệ thống thoát nước, công viên, trường học, bệnh viện công...được gọi là công trình công cộng.

1.2.2. Một số tồn tại của bề mặt sân, nền bê tông thông thường trong công trình công cộng

Việc xây dựng các hệ thống mặt bê tông thông thường trong công trình công cộng làm biến đổi bề mặt đất tự nhiên có tính thấm nước thành lớp phủ không thấm nước. [15].

1.3. Tổng quan về chất kết dính geopolymer

Chất kết dính geopolymer là vật liệu vô cơ hình thành từ phản ứng polycondensation giữa nguồn nhôm-silic (tro bay, xỉ lò cao) và dung dịch kiềm (NaOH/KOH + silicat), tạo mạng alumino-silicat..

1.3.1. Khái niệm

1.3.1.1. Định nghĩa và bản chất:

Geopolymer hay chất dính kèm kích hoạt là một loại chất kết dính vô cơ được tạo ra bằng phản ứng hoá học giữa nguồn vật liệu giàu nhôm và silicat.

1.3.1.2. Nguyên liệu chính:

- . Tro bay
- . Xi lò cao
- . Tro trấu
- . Bùn đỏ

1.3.1.3. Dung dịch kèm hoạt hoá (Alkali Activator):

- . Nguồn Silicat: Na_2SiO_3 (Natri silicat – nước thủy tinh), KOH (Kali silicat).
- . Nước dùng để hoà tan kiềm, điều chỉnh độ sệt.

1.3.1.4. Cơ chế đóng rắn geopolymer:

Phản ứng geopolymer hóa bắt đầu khi hòa tan các vật liệu aluminosilicate vào dung dịch kiềm và trùng hợp ngưng tụ.

1.3.1.5. Ưu điểm so với OPC

Vật liệu geopolymer kiềm hoạt hóa được xem là một vật liệu thân thiện với môi trường, vì không phát thải CO_2 .

1.3.1.6. Nhược điểm

Quy trình pha trộn phức tạp, đòi hỏi kiểm soát chặt chẽ nồng độ kiềm, tỷ lệ, nhiệt độ đóng rắn. Ảnh hưởng bởi đặc trưng vùng miền.

1.3.2. Tro bay

Tro bay là một phụ phẩm công nghiệp sinh ra trong quá trình đốt than trong các nhà máy nhiệt điện.

1.3.3. Xi lò cao

Xi lò cao là một loại phụ phẩm được tạo ra trong quá trình luyện gang trong lò cao.

1.4. Các nghiên cứu bê tông rỗng sử dụng tro bay và xỉ lò cao

Một nghiên cứu tiêu biểu của Aoki và cộng sự (2012) đã khảo sát ảnh hưởng của việc thay thế xi măng Portland bằng tro bay trong bê tông rỗng truyền thống.

Nghiên cứu của Peng và cộng sự (2018) đã đánh giá các tính chất cơ học và thủy lực của bê tông rỗng thân thiện với môi trường [35].

1.5. Các nghiên cứu về bê tông rỗng trong nước và quốc tế

1.5.1. Tình hình nghiên cứu trong nước

Ngô Kim Tuân và cộng sự Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội đã nghiên cứu sử dụng phế phẩm bê tông khí chưng áp (AAC) để chế tạo gạch bê tông rỗng có cường độ nén từ 6,5MPa đến 19,3MPa [37].

Nghiên cứu ảnh hưởng của cốt liệu tái chế từ phế thải xây dựng đến tính chất thoát nước của BTR, trình bày các đặc tính của gạch BTR thoát nước sử dụng hỗn hợp cốt liệu tái chế [37].

1.5.2. Tình hình nghiên cứu và ứng dụng trên thế giới

Bê tông thoát nước đã được sử dụng làm vật liệu lát bãi đỗ xe ở khu vực trung tâm Florida từ những năm 1970 [42].

Một số bang ở Mỹ như California, Illinois, Oklahoma, và Wisconsin đã thiết lập các tiêu chuẩn xây dựng lớp nền thoát nước và rãnh thoát nước cạnh đường bằng bê tông thoát nước [43].

Nghiên cứu của Elangon và cộng sự [7] sử dụng độ thấm làm thông số chính đã được thực hiện để đo các đặc tính thấm của bê tông thấm có chứa nhiều chất kết dính khác nhau và các kích thước cốt liệu thô khác nhau.

Chương 2. CƠ SỞ KHOA HỌC CỦA VIỆC SỬ DỤNG CHẤT KẾT DÍNH GEOPOLYMER VÀO BÊ TÔNG RỖNG SỬ DỤNG CHO CÔNG TRÌNH CÔNG CỘNG

2.1. Cơ sở pháp lý sử dụng bê tông rỗng ở Việt Nam.

Dưới đây là một số văn bản chính có liên quan:

1. Luật xây dựng 2014 (sửa đổi bổ sung năm 2020) [45]
2. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 13048:2020 [46]
3. Tiêu chuẩn ASTM C1754/C1754M-12 Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete [47]

2.2. Các yêu cầu kỹ thuật của bê tông rỗng dùng cho công trình công cộng

2.2.1. Yêu cầu kỹ thuật đối với sàn, nền dùng trong công trình công cộng

Dựa trên tiêu chuẩn ACI 330R-08 [48] yêu cầu của nền và sàn cho bãi đậu xe, nhà máy công nghiệp, trung tâm thương mại.

2.2.1.1. Yêu cầu kỹ thuật cho tấm sàn bê tông rỗng:

Nghiên cứu này sẽ kết hợp các tiêu chuẩn tại Việt Nam và các tiêu chuẩn về bê tông rỗng trên thế giới như ACI, ASTM (Mỹ).

Thiết kế độ dày:

- Lớp sàn thiết kế độ dày tối thiểu 90 mm (với tải nhẹ 100 – 150 mm, tải nặng 150 – 200 mm trở lên), sử dụng cấp phối thô không có cốt liệu mịn để đạt độ rỗng 15 – 35 % và tốc độ thấm 0,14 – 1,22 cm/s, đảm bảo cường độ uốn $\geq 2,8$ MPa.

Hình 2.1 Mặt cắt kỹ thuật các lớp trong bê tông rỗng [49].

2.2.1.2. Yêu cầu kỹ thuật lớp nền

Chất lượng và độ ổn định của lớp nền quyết định khả năng chịu tải và độ thoát nước của toàn bộ hệ thống sàn bê tông rỗng.

2.2.1.3. Bảo trì bê tông rỗng

Mục tiêu chính của việc bảo trì sàn nền bê tông rỗng nhằm loại bỏ các sạn, bụi, cát và giúp duy trì độ thấm nước theo mức thiết kế.

1. Sử dụng vòi xịt nước áp lực:

2. Sử dụng máy hút chân không công suất cao:

2.2.2. Yêu cầu kỹ thuật đối với lối đi công cộng

2.2.2.1. Tiêu chuẩn kích thước lối đi công cộng.

Bài nghiên cứu này có tham khảo một số luật, tiêu chuẩn cho lối đi công cộng trên thế giới nhằm đảm bảo an toàn và thuận tiện cho người đi bộ như tiêu chuẩn ADA (Mỹ), luật NFPA (Mỹ), EN (EU), BFL (Nhật Bản),

2.2.2.2. Yêu cầu về mặt lát vỉa hè

Mặt lát vỉa hè cần được thiết kế và thi công sao cho phẳng, đồng đều nhằm đảm bảo an toàn cho người đi bộ cũng như đảm bảo vẻ mỹ quan đô thị.

2.2.2.3. Hệ thống thoát nước vỉa hè

Theo tiêu chuẩn TCVN 7957:2023 [52].

2.2.2.4. Yêu cầu đảm bảo an toàn giao thông và tiếp cận cho người khuyết tật

Theo TCVN 10:2014.

2.2.3. Yêu cầu về bảo trì và bảo dưỡng

Yêu cầu bảo trì đối với các kết cấu bê tông trong công trình công cộng bao gồm: kiểm tra định kỳ tình trạng bề mặt, phát hiện sớm các dấu hiệu nứt nẻ, bong tróc, sụt lún hoặc giảm hiệu suất thoát nước (đối với bê tông rỗng), và thực hiện các biện pháp phục hồi hoặc thay thế cục bộ khi cần thiết theo tiêu chuẩn ACI 552R [4].

2.2.4. Yêu cầu kỹ thuật của sàn nền bê tông rỗng

Theo hướng dẫn trong tài liệu ACI 522R-10 [4] tại Mục 8.2 Subgrade/Subbase Preparation, lớp nền (subgrade) và lớp móng dưới (subbase) đóng vai trò quan trọng trong kết cấu và hiệu quả thoát nước của BTR. Độ dày lớp subbase dao động từ 100 mm đến 450 mm.

2.3. Một số yếu tố ảnh hưởng đến đặc tính của geopolymer

2.3.1. Nồng độ mol và thành phần ảnh hưởng đến tính công tác và thời gian đông kết

Tính công tác của vữa geopolymer phụ thuộc vào lượng dung dịch kiềm, loại phụ gia, và tỷ lệ nước/chất kết dính. Đối với BTR, cần đạt tính lỏng để hỗn hợp lấp đầy khoảng hở nhưng vẫn duy trì lỗ rỗng.

2.3.2. Nhiệt độ ảnh hưởng đến cường độ geopolymer

- Tỷ lệ pha trộn:

Tỷ lệ pha trộn giữa tro bay và dung dịch hoạt hóa đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát các đặc tính cơ học của bê tông geopolymer. Trong nghiên cứu của Lê Anh Tuấn và Phan Đức Hùng, các cấp phối được thiết kế với hàm lượng tro bay từ 300 đến 500 kg/m³ [57].

- Nhiệt độ bảo dưỡng:

Khi nhiệt độ bảo dưỡng tăng, quá trình phản ứng của các gel geopolymer diễn ra nhanh hơn, giúp phát triển cường độ nén của bê tông trong giai đoạn 12 giờ đầu sau khi gia nhiệt [59].

- Thời gian bảo dưỡng:

Thời gian bảo dưỡng ảnh hưởng trực tiếp đến sự phát triển cường độ và mức độ co ngót của bê tông geopolymer [57].

2.3.3. Nồng độ dung dịch kích hoạt đến cường độ geopolymer

Dung dịch kích hoạt là yếu tố cốt lõi trong quá trình geopolymer hóa, đóng vai trò giải phóng các ion silic (Si^{4+}) và nhôm (Al^{3+}) từ nguyên liệu tiền chất (như tro bay, metakaolin, xỉ lò cao...) để tạo thành mạng lưới polymer vô cơ.

Nồng độ NaOH cao giúp tăng tốc quá trình hòa tan, tạo ra một lượng lớn các ion Si và Al trong dung dịch, dẫn đến sự hình thành nhanh chóng của gel geopolymer.

Nồng độ NaOH có ảnh hưởng quan trọng đến cường độ của vữa geopolymer. kết, làm giảm chất lượng vữa [60].

2.3.4. Loại aluminosilicat

Các loại aluminosilicat được phân loại chủ yếu dựa trên nguồn gốc và cấu trúc của chúng. Ví dụ, tro bay (fly ash) được chia thành loại F và loại C

Một loại nguyên liệu khác là metakaolin. Ngoài ra, xỉ lò cao (Ground Granulated Blast Furnace Slag – GGBFS) cũng là một nguồn aluminosilicat quan trọng.

2.3.5. Tỷ lệ dung dịch kiềm kích hoạt/aluminosilicat

Cường độ liên kết cốt giữa geopolymer và nền bê tông phụ thuộc vào cả cường độ nén và lượng gel NASH hình thành trong hệ thống. [53].

2.3.6. Điều kiện bảo dưỡng ảnh hưởng đến geopolymer

2.3.6.1. Bảo dưỡng ở nhiệt độ thường (25-30°C)

Trái ngược với OPC, vữa geopolymer được dưỡng hộ bằng cách gia nhiệt. Nhiệt độ dưỡng hộ có ảnh hưởng đáng kể đến quá trình phát triển cường độ và độ co ngót của bê tông geopolymer.

Hình 2.2 Độ co ngót của bê tông geopolymer khi dưỡng hộ ở nhiệt độ phòng [57]

Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy sự chênh lệch co ngót giữa hai điều kiện dưỡng hộ giảm dần theo thời gian khi bê tông đạt cường độ cao hơn [57].

2.3.6.2. Bảo dưỡng nhiệt độ từ 60-90°C

Nghiên cứu của Nguyễn Quang Phú và Đỗ Việt Nam cho thấy nhiệt độ bảo dưỡng có vai trò then chốt trong quá trình geopolymer hóa của bê tông Geopolymer.

2.4. Các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ và đặc tính thấm của bê tông rỗng

2.4.1. Kích thước cốt liệu

Kích thước hạt cốt liệu thô và cách chúng phân bố quyết định kích thước và thể tích của các lỗ rỗng này.

2.4.2. Cường độ chất kết dính

Trong nghiên cứu của Đào Sỹ Đán và cộng sự, trung bình tổng thể của 12 mẫu vào khoảng 47,7 MPa, tương đương hoặc vượt yêu cầu của vữa xi măng Portland thông thường

2.4.3. Tỷ lệ chất kết dính/cốt liệu

Nồng độ NaOH, cũng như thành phần FA và GGBS có ảnh hưởng rất lớn đến quá trình geopolymer hóa, từ đó tác động đến cường độ cơ học [65].

2.5. Đặc tính bê tông rỗng sử dụng chất kết dính geopolymer

2.5.1. Khối lượng thể tích

Khối lượng thể tích của BTR dao động trong khoảng từ 1650 kg/m³ đến 2000 kg/m³, tùy thuộc vào độ rỗng thiết kế của hỗn hợp.

2.5.2. Hàm lượng lỗ rỗng

Hàm lượng lỗ rỗng của BTR sử dụng chất kết dính geopolymer thường nằm trong khoảng từ 15% đến 30%, theo tiêu chuẩn ASTM C1754/C1754M-12 [47].

2.5.3. Tốc độ thấm

Tốc độ thấm của BTR sử dụng chất kết dính geopolymer chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như cấu trúc lỗ rỗng, kích thước cốt liệu, hàm lượng chất kết dính [66],

2.5.4. Độ mài mòn

Khả năng chống mài mòn của bê tông rỗng được đánh giá thông qua chỉ số chống mài mòn I một chỉ số không thứ nguyên thể hiện mức độ bền mài mòn của vật liệu dưới tác động cơ học [68].

Wu và cộng sự đã nghiên cứu độ mài mòn của bê tông xi măng rỗng (PCPC) đã được đánh giá thông qua hai phương pháp: thử nghiệm mài mòn Cantabro và thiết bị phân tích mặt đường Asphalt Pavement Analyzer (APA) [69].

Chương 3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM CÁC TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG RỒNG SỬ DỤNG CHẤT KẾT DÍNH GEOPOLYMER

3.1. Các tính chất của hệ nguyên vật liệu

3.1.1. Cốt liệu

Cốt liệu được sử dụng trong bài nghiên cứu này là đá mi có kích cỡ từ 5 – 10mm.

3.1.2. Tro bay và xỉ lò cao

3.1.2.1. Tro bay

Tro bay dùng để chế tạo các mẫu vữa geopolimer trong nghiên cứu này là tro bay loại F từ nhà máy nhiệt điện Duyên Hải tỉnh Trà Vinh

3.1.2.2. Xỉ hạt lò cao nghiền mịn S95

Xỉ hạt lò cao nghiền mịn được sử dụng trong nghiên cứu này là loại thương phẩm S95 sản phẩm của tập đoàn Hòa Phát.

3.1.3. Dung dịch kiềm hoạt hóa

Na_2SiO_3 được sử dụng để tạo môi trường kiềm mạnh, giúp hòa tan các nguyên liệu chứa nhôm và silic (như metakaolin, tro bay).

3.2. Thành phần cấp phối geopolimer

Bảng 3.1 Bảng thành phần nguyên vật liệu phối trộn để chế tạo các mẫu vữa geopolimer.

STT	THÀNH PHẦN CỦA MẪU VỮA (G)				
	Ký hiệu	Tro	Xỉ	DD Hoạt hóa	Cát/CKD = 0,2
1	Geo 5-5	550	550	558	250
2	Geo 6-4	660	440	558	250
3	Geo 4-6	440	660	558	250

3.3. Cách chế tạo mẫu và bảo dưỡng

Chế tạo mẫu vào khuôn có kích thước 40x40x160). Các mẫu vữa geopolimer chỉ được dưỡng hộ trong điều kiện nhiệt độ phòng.

3.4. Phương pháp thí nghiệm

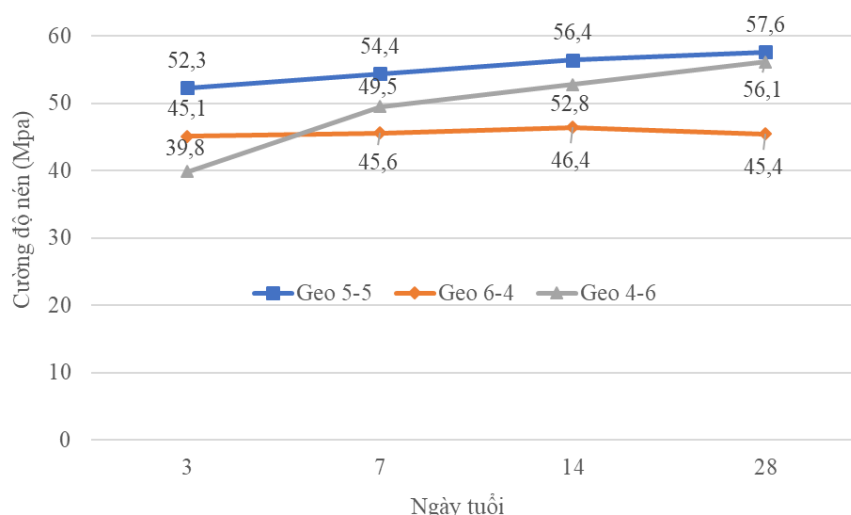
Xác định theo tiêu chuẩn TCVN 3118-2022 [72]. Giá trị cuối cùng trình bày là kết quả trung bình từ việc thử nghiệm trên ba mẫu.

3.4.1. Thí nghiệm xác định cường độ

3.4.1.1. Xác định cường độ nén của vữa geopolimer

Các mẫu vữa trong nghiên cứu được thí nghiệm nén và theo tiêu chuẩn TCVN 3121-11:2022 [73]

Biểu đồ thể hiện sự phát triển cường độ nén của ba loại vữa geopolimer có tỷ lệ tro bay/xi lò cao khác nhau (Geo 6-4, Geo 5-5 và Geo 4-6).



Hình 3.1 Ảnh hưởng thời gian dưỡng hộ đến cường độ nén vữa geopolimer

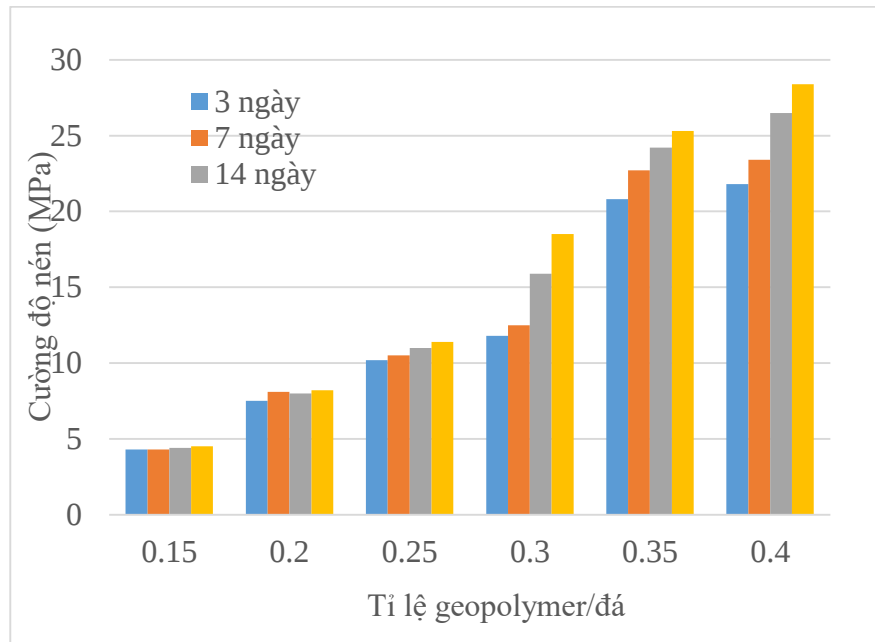
3.4.1.2. Xác định cường độ nén của bê tông geopolimer

Xác định theo phương pháp quy định trong TCVN 3118:2022 – Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ nén [72].

Bảng 3.2 Kết quả cường độ chịu nén của bê tông rỗng

KẾT QUẢ CƯỜNG ĐỘ CHỊU NÉN BÊ TÔNG RỖNG (MPa)					
Tỷ lệ geo/đá	Ngày tuổi	1	2	3	TB
0,15	3	4,2	4,3	4,5	4,3

0,2		7,3	7,1	8,1	7,5
0,25		10,5	9,6	10,5	10,2
0,3		12,5	11,8	11,2	11,8
0,35		20,9	19,3	22,1	20,8
0,4		20,6	23,1	21,6	21,8
0,15	7	4,1	4,1	4,7	4,3
0,2		8,3	8	8	8,1
0,25		11,4	10,3	9,8	10,5
0,3		13,4	12,1	11,9	12,5
0,35		22.20	22.51	23.50	22.70
0,4		24.11	22.54	23.62	23.40
0,15	14	4.20	4.14	4.60	4.40
0,2		8.33	7.76	7.92	8.00
0,25		9.54	9.63	10.95	10.00
0,3		22.07	22.30	19.55	21.30
0,35		20.03	19.63	17.44	19.00
0,4		29.05	29.19	28.17	28.80
0,15	28	4.36	4.56	4.61	4.50
0,2		8.23	7.98	8.31	8.20
0,25		11.20	10.80	10.60	10.90
0,3		18.67	17.25	19.55	18.50
0,35		24.65	25.74	25.45	25.30
0,4		28.32	27.56	29.46	28.40



Hình 3.2 Ảnh hưởng của thời gian dưỡng hộ đến cường độ nén của bê tông rỗng

Biểu đồ thể hiện mối quan hệ giữa tỷ lệ geopolimer/đá và cường độ nén của BTR. Các mức cường độ này có điểm tương đồng với nghiên cứu của Lê Văn Lộc [40] và báo cáo của ACI Committee 2010 [4].

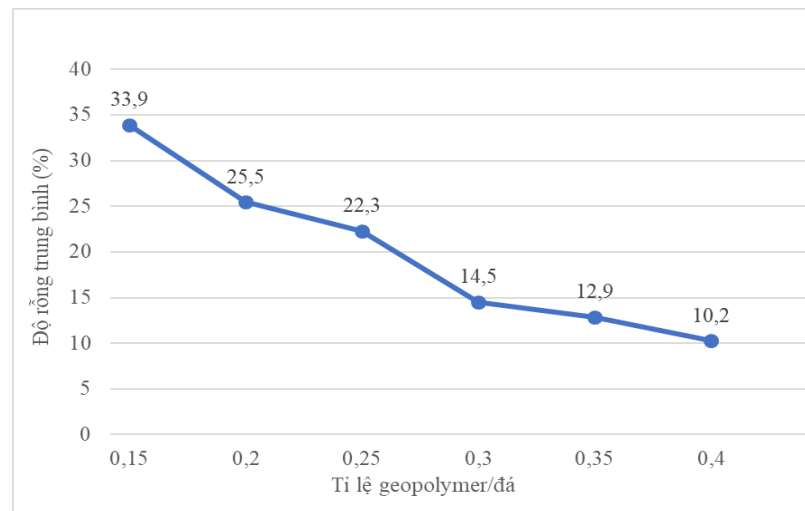
3.4.2. Thí nghiệm xác định độ rỗng

Xác định độ rỗng của BTR được tính bằng hàm lượng khí với phương pháp phân tích trọng lượng theo tiêu chuẩn ASTM C138/C138M-17a [74].

Bảng 3.3 Kết quả thí nghiệm độ rỗng các tổ mẫu bê tông rỗng.

Geo/đá	Ký hiệu mẫu	Khối lượng mẫu khô m2 (g)	Khối lượng mẫu trong nước m1 (g)	Khối lượng mẫu trong nước (g)	Độ rỗng (%)
0.15	1	606.5	365.5	367.97	34.5%
	2	595	359.5	356.15	33.9%
	3	606	365.2	361.57	33.4%
0.2	1	640	378	346.68	24.4%
	2	630	372	348.06	25.9%
	3	631	372.6	349.65	26.1%
0.25	1	635.5	366.8	348.26	22.8%
	2	639.5	369.6	347.27	22.3%
	3	642.5	370.5	347.72	21.8%

0.3	1	694	396	352.87	15.5%
	2	698	397.5	351.47	14.5%
	3	697	397.5	346.54	13.6%
0.35	1	685	389	343.43	13.8%
	2	710	402.5	345.35	11.0%
	3	691.5	392	347.82	13.9%
0.4	1	745	423.6	354.91	9.4%
	2	749	423.2	363.03	10.3%
	3	754	429.2	365.13	11.0%



Hình 3.3 Ảnh hưởng của tỷ lệ geopolimer/đá đến độ rỗng của bê tông rỗng.

Biểu đồ cho thấy rằng tỷ lệ geopolimer/đá có ảnh hưởng lớn đến độ rỗng của BTR (**Hình 3.3**).

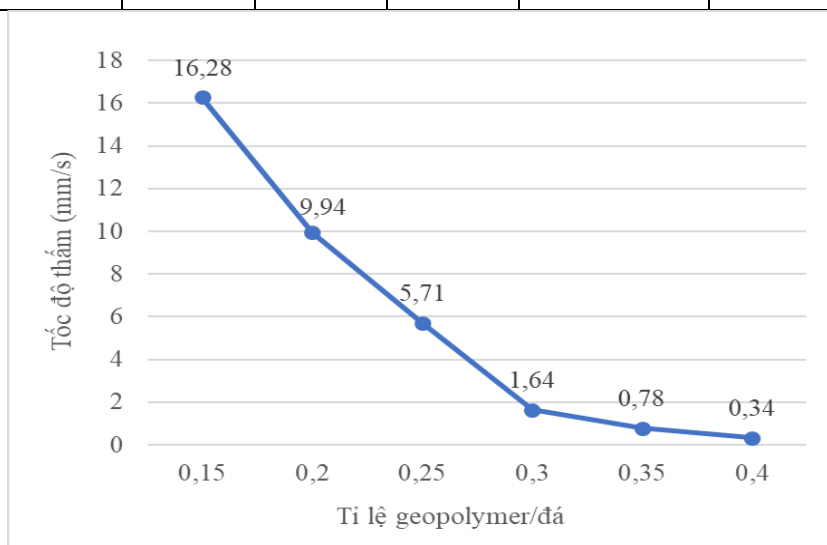
3.4.3. Thí nghiệm xác định tốc độ thấm

Tiêu chuẩn ASTM C1701/C1701M-09 [76] quy định phương pháp đo tốc độ thấm nước tại chỗ của BTR.

Phương pháp này thường được sử dụng để kiểm tra chất lượng thi công của các công trình sử dụng BTR hoặc bê tông geopolimer rỗng tại các bề mặt chịu nước như vỉa hè, bãi đậu xe hoặc sân thể thao ngoài trời.

Bảng 3.4 Ảnh hưởng của tỷ lệ geopolimer/đá đến tốc độ thấm của bê tông rỗng.

Tỷ lệ geo/đá	Lượng nước sử dụng (kg)	Thời gian thấm hết (giây)			Thời gian thấm trung bình (giây)	Tốc độ thấm (mm/h)	Tốc độ thấm (mm/s)
0,15	18	15,19	15,71	16,02	15.64	58,615	16,28
0,2		25,80	25.66	25,41	25.62	35,777	9,94
0,25		45,17	44.53	43,99	44.56	20,571	5,71
0,3	3,6	31,36	31,84	29,80	30.58	5,996	1,67
0,35		64,94	65.05	65,69	65.23	2811	0,78
0,4		146,51	148.76	154,81	150.03	1222	0,34



Hình 3.4 Ảnh hưởng của tỷ lệ geopolimer/đá đến tốc độ thấm của bê tông rỗng

Kết quả thí nghiệm (Bảng 3.4) cho thấy tốc độ thấm của BTR giảm đáng kể khi tỷ lệ geopolimer/đá tăng.

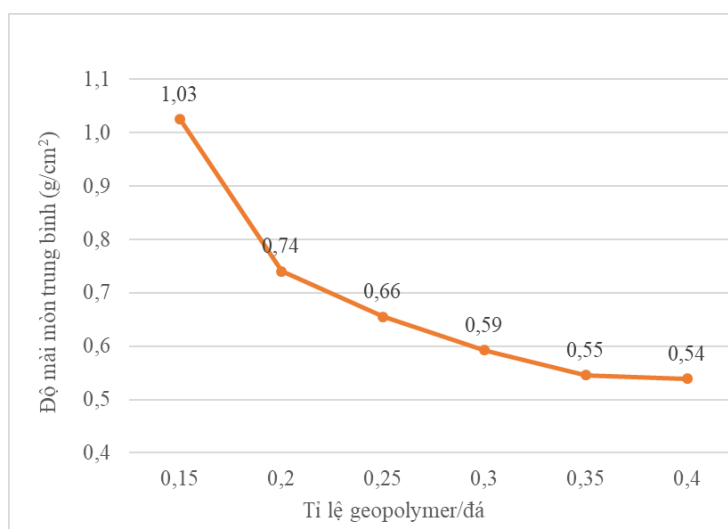
3.4.4. Thí nghiệm xác định độ mài mòn

Trong nghiên cứu này, độ mài mòn của BTR được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 3114:2022 – Bê tông – Xác định độ mài mòn [78], nhằm đánh giá khả năng chống mài mòn bề mặt của các mẫu bê tông được thiết kế.

Bảng 3.5 Kết quả thí nghiệm độ mài mòn.

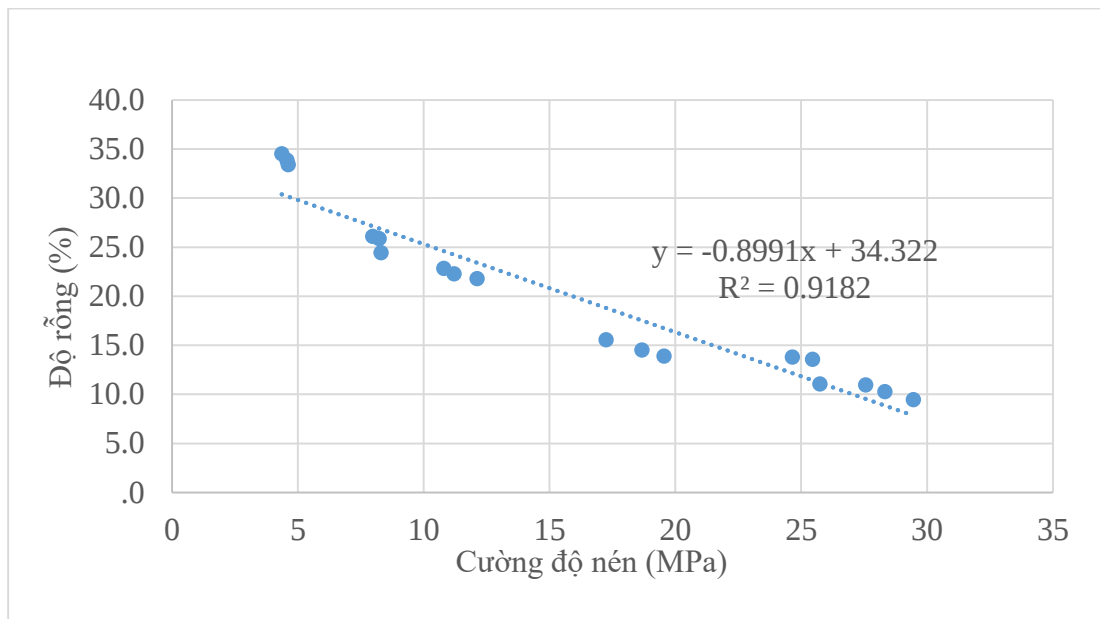
Tỷ lệ geo/đá	Mẫu	Khối lượng ban đầu m_2 (g)	Khối lượng sau mài m_1 (g)	Diện tích bề mặt mài A (cm^2)	Độ mài mòn (g/cm^2)	Độ mài mòn trung bình (g/cm^2)
0,15	1	581,1	528,7	52,57	1,00	1,03
	2	583	527,2	50,88	1,10	
	3	586,8	536,1	51,65	0,98	
0,2	1	635,7	599,2	49,53	0,74	0,74
	2	627,3	589,6	49,72	0,76	
	3	624,2	587,9	49,95	0,73	
0,25	1	633,7	600,2	49,75	0,67	0,66
	2	635,6	603,3	49,61	0,65	
	3	641,3	609,4	49,67	0,64	
0,3	1	691,7	660,7	50,41	0,61	0,59
	2	699,6	669,7	50,21	0,60	
	3	696,3	668,2	49,51	0,57	
0,35	1	683,2	656,5	49,06	0,54	0,55
	2	708,1	680,1	49,34	0,57	
	3	688,3	662,2	49,69	0,53	
0,4	1	744,1	716,1	50,70	0,55	0,54
	2	747,4	720,3	51,86	0,52	
	3	752,5	724,2	52,16	0,54	

Dựa vào kết quả thí nghiệm độ mài mòn (**Hình 3.19**) cho thấy tỉ lệ geopolimer/đá có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng chống mài mòn của bê tông rỗng.

**Hình 3.5** Tỷ lệ geopolimer/đá ảnh hưởng đến độ mài mòn

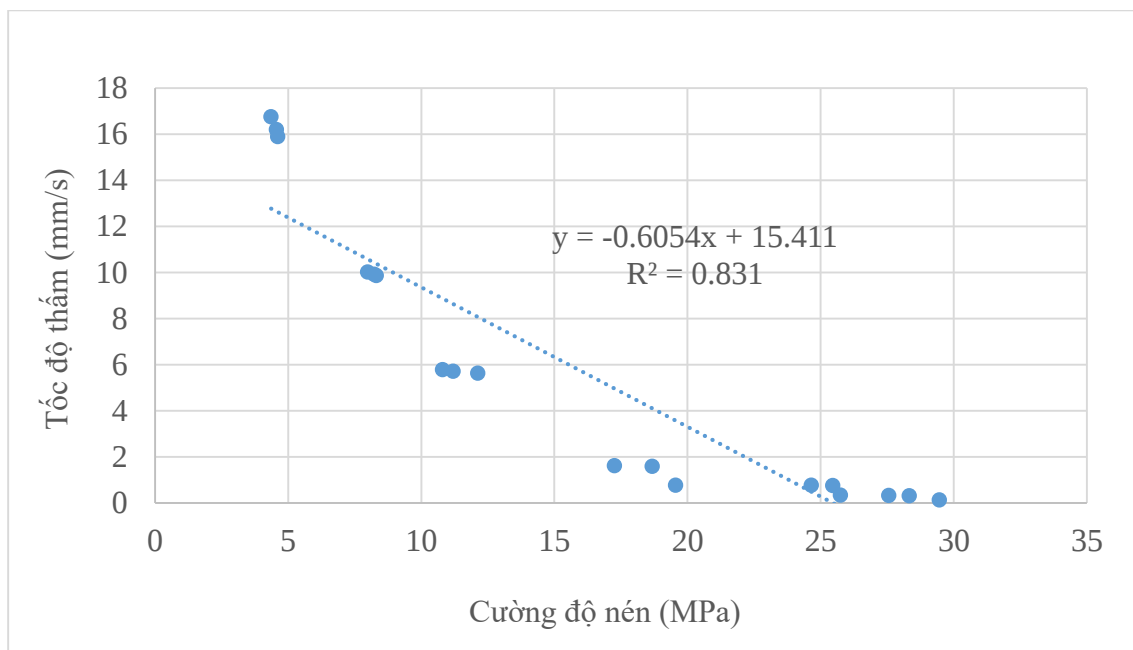
3.5. Mối quan hệ giữa các tính chất của bê tông rỗng

3.5.1. Giữa cường độ nén và độ rỗng



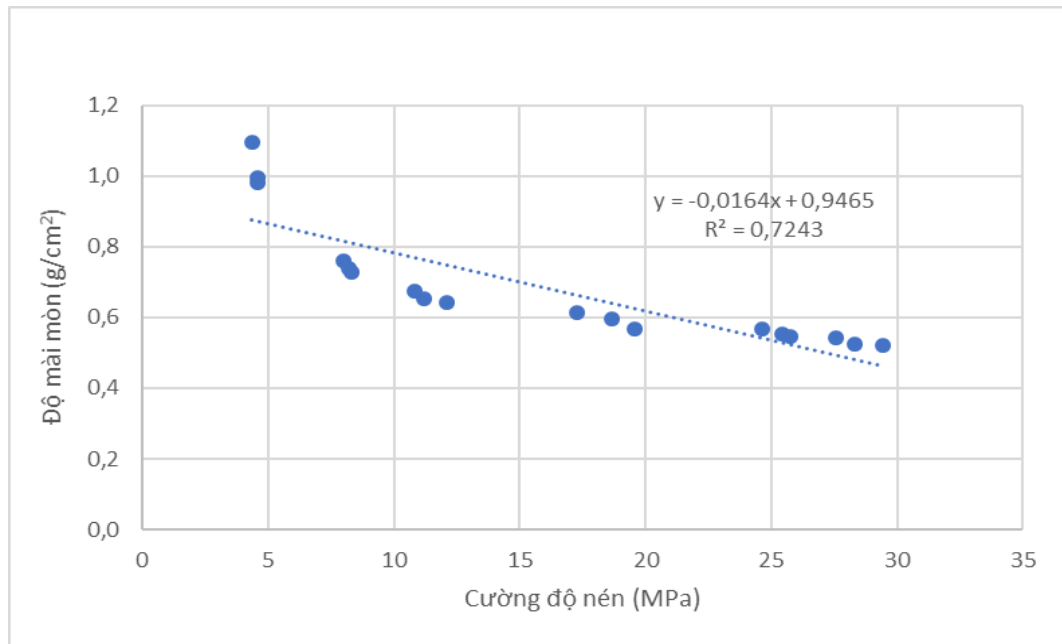
Hình 3.6 Mối tương quan giữa cường độ nén và độ rỗng.

3.5.2. Giữa cường độ nén đến tính thấm



Hình 3.7 Mối tương quan giữa cường độ nén và tốc độ thấm

3.5.3. Giữa cường độ nén và độ mài mòn



Hình 3.8 Mối tương quan giữa cường độ nén và độ mài mòn

3.6. Đề xuất ứng dụng bê tông rỗng cho sàn nền bê tông

Yng dụng BTR sử dụng chất kết dính geopolymer sàn nền công trình công cộng.

Bê tông rỗng geopolymer có thể ứng dụng trong các sàn nền tại: nhà để xe tập thể, xưởng sản xuất nhẹ, sân chơi thể thao ngoài trời, sàn nhà kính, hoặc các khu vực bán mở có yêu cầu thoát nước bề mặt nhanh.

Thiết kế đề xuất cho sàn, nền nhà công nghiệp

Phần III. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Kết quả phân tích thành phần hóa học và hình thái học của nguyên vật liệu cho thấy tro bay có hàm lượng cao các oxit hoạt tính như SiO_2 , Al_2O_3 và Fe_2O_3 , trong khi xỉ lò cao đóng vai trò cung cấp CaO và hỗ trợ quá trình kích hoạt kiềm.

Các thí nghiệm thực nghiệm về cường độ nén, độ rỗng, tốc độ thấm và khả năng chống mài mòn cho thấy bê tông rỗng sử dụng vữa geopolymer hoàn toàn đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật theo tiêu chuẩn ASTM và ACI đối với vật liệu sử dụng trong công trình công cộng, lối đi nội bộ, vỉa hè và sàn nền bê tông. Cường độ nén tương đối cao (trên 20 MPa), tốc độ thấm tốt (trên 1,5 mm/s) và độ mài mòn dưới giới hạn cho phép ($\leq 0,8 \text{ g/cm}^2$).

2. Kiến nghị

Để đảm bảo hiệu quả sử dụng lâu dài, cần tiếp tục nghiên cứu độ bền theo thời gian của vật liệu này trong điều kiện thực tế. Đánh giá ảnh hưởng của các điều kiện thực tế đến độ rỗng của bê tông, ví dụ như hàm lượng bụi, rác thải,...

Cần so sánh toàn diện về tác động môi trường và hiệu quả kinh tế giữa BTR geopolymer và các loại bê tông truyền thống.