

XÂY DỰNG

TẠP CHÍ ĐIỆN TỬ CỦA BỘ XÂY DỰNG
JOURNAL OF CONSTRUCTION

TẠP CHÍ XÂY DỰNG - eISSN 3030-4482

Thực nghiệm xác định một số đặc trưng cơ lý của bê tông sử dụng vỏ hào nghiền

Experimental investigation of the mechanical and physico-mechanical properties of concrete incorporating crushed oyster shells

➤ ThS Mai Hoàng Anh, TS Hồ Xuân Ba*, ThS Trần Thu Minh, ThS. Nguyễn Công Sơn, PGS. TS Vũ Bá Thành, GS. TS Trần Thế Truyền

Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: bahx_ph@utc.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Chuyên mục: Khoa học công nghệ

Ngày nhận bài: 01/3/2026

Ngày sửa bài: 12/3/2026

Ngày chấp nhận đăng: 28/3/2026

Ngày xuất bản Online: 3/4/2026

Tác giả liên hệ:

Email: bahx_ph@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả thực nghiệm xác định một số đặc trưng cơ lý của bê tông sử dụng vỏ hào nghiền thay thế một phần cát tự nhiên. Các cấp phối bê tông sử dụng tỷ lệ phối trộn vỏ hào nghiền và cát theo các tỷ lệ khác nhau được thiết kế; chế tạo thành các mẫu thí nghiệm xác định các đặc trưng cơ lý và độ bền.

Kết quả cho thấy tỷ lệ thay thế vỏ hào có ảnh hưởng đáng kể đến cường độ, độ thấm nước và độ thấm nước của bê tông vỏ hào nghiền. Ảnh hưởng của tải trọng nén trước đến đặc trưng độ bền cũng được xem xét; kết quả cho thấy mức ứng suất nén trước có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng chống thấm của bê tông. Khi tăng hàm lượng vỏ hào, cường độ chịu nén và mác chống thấm đều có xu hướng giảm.

Từ khóa: Bê tông vỏ hào, cường độ, độ thấm nước, mác chống thấm, nén trước, vi nứt.

ABSTRACT

This paper presents the experimental results on the determination of several mechanical and physical properties of concrete incorporating crushed oyster shells as a partial replacement for natural sand. Concrete mixtures with different replacement ratios of crushed oyster shells and sand were designed and cast into specimens to evaluate their mechanical properties and durability characteristics.

The results indicate that the replacement ratio of oyster shells significantly affects the compressive strength, water permeability of oyster shell concrete. The influence of pre-compressive loading on durability characteristics was also investigated, showing that the level of pre-compressive stress has a noticeable effect on the permeability resistance of concrete. As the oyster shell content increases, both the compressive strength and the water impermeability grade tend to decrease.

Key words: Oyster shell concrete, compressive strength, water permeability, water impermeability grade, pre-compression, microcracking.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Những năm gần đây, xu hướng phát triển vật liệu xây dựng bền vững và thân thiện với môi trường ngày càng được quan tâm. Ngành xây dựng tiêu thụ một lượng lớn tài nguyên thiên nhiên, đặc biệt là cát tự nhiên dùng làm cốt liệu mịn trong bê tông. Trong khi đó, sự phát triển của ngành nuôi trồng và chế biến thủy sản đã tạo ra một lượng lớn phế thải vỏ nhuyễn thể trong đó có khối lượng lớn vỏ hào. Phần lớn phế thải vỏ hào này chưa được tận dụng hiệu quả và thường bị thải bỏ ra môi trường, gây ô nhiễm và chiếm diện tích bãi thải đáng kể. Vì vậy, việc nghiên cứu tái sử dụng vỏ nhuyễn thể làm vật liệu trong bê tông đang trở thành một hướng tiếp cận tiềm năng nhằm giảm thiểu tác động môi trường và tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên [1, 2].

Vỏ hào chủ yếu được cấu tạo từ canxi cacbonat (CaCO_3) với hàm lượng có thể đạt khoảng 90 - 95%, tương tự thành phần chính của đá vôi - nguyên liệu quan trọng trong sản xuất xi măng. Nhờ đặc điểm này, vỏ hào sau khi nghiền có thể được sử dụng như vật liệu thay thế một phần xi măng hoặc cốt liệu mịn trong bê tông. Một số nghiên cứu trước đây đã bước đầu đánh giá ảnh hưởng của vỏ hào đến các tính chất cơ học của bê tông. Kết quả cho thấy khi sử dụng vỏ hào với tỷ lệ thay thế phù hợp, bê tông vẫn có thể đạt cường độ chịu nén chấp nhận được so với bê tông thông thường [3, 4, 5, 9].

Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu hiện nay mới chỉ tập trung khảo sát với tỷ lệ thay thế cốt liệu mịn tương đối thấp, thường trong khoảng 10 - 30% hoặc 40%, nhằm đảm bảo các chỉ tiêu cơ học của bê tông [5, 9]. Ngoài ra, một số nghiên cứu cũng xem xét ảnh hưởng của vỏ hào kết hợp với các phụ gia khoáng như tro bay hoặc xỉ lò cao đến tính chất cơ học và độ bền của bê tông [3, 6]. Mặc dù các kết quả này cho thấy tiềm năng sử dụng vỏ hào trong bê tông, nhưng việc đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng vỏ hào ở mức thay thế cao hơn vẫn còn hạn chế, đặc biệt đối với các đặc trưng liên quan đến khả năng thấm và độ bền lâu của bê tông.

Bên cạnh cường độ chịu nén, độ thấm nước và mác chống thấm là những chỉ tiêu quan trọng phản ánh độ bền lâu của bê tông, đặc biệt đối với các công trình làm việc trong môi trường ẩm ướt hoặc môi trường xâm thực. Một số nghiên cứu gần đây đã bước đầu đánh giá các đặc tính độ bền của bê tông sử dụng vỏ hào, bao gồm khả năng hút

nước và cấu trúc lỗ rỗng của vật liệu [5, 7]. Tuy nhiên, các nghiên cứu về độ thấm nước của bê tông sử dụng cốt liệu vỏ hào dưới tác dụng của tải trọng nén trước vẫn còn khá hạn chế.

Sự phát triển của các vi nứt (micro-cracks) trong bê tông dưới tác dụng của tải trọng có thể làm thay đổi đáng kể khả năng thấm của vật liệu. Các nghiên cứu về cơ chế hình thành vi nứt cho thấy kích thước cốt liệu, tỷ lệ cốt liệu và cấu trúc vi mô của bê tông có ảnh hưởng trực tiếp đến sự phát triển của các vết nứt vi mô, từ đó ảnh hưởng đến khả năng thấm nước và độ bền lâu của bê tông [8].

Từ những vấn đề trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm thực nghiệm đánh giá các đặc trưng cơ lý và khả năng thấm của bê tông sử dụng vỏ hào nghiền thay thế cốt liệu mịn với dải tỷ lệ thay thế rộng, từ 0% lên tới 90%, đồng thời xem xét ảnh hưởng của các mức ứng suất nén trước đến khả năng chống thấm của bê tông (từ 20% đến 80% tải trọng phá hoại mẫu). Kết quả nghiên cứu góp phần làm rõ khả năng ứng dụng của vật liệu vỏ hào trong bê tông và bổ sung cơ sở khoa học cho việc tận dụng phế thải sinh học trong lĩnh vực xây dựng.

2. CÔNG TÁC THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu thí nghiệm

Vỏ hào được lấy ngẫu nhiên từ sản phẩm phế thải hải sản ở Quảng Ninh, sau khi được xịt nước rửa sạch, phơi khô và loại bỏ các chất hữu cơ; vỏ hào đã được nghiền thành các hạt có kích thước từ 1 mm đến 4,75 mm tương đương với kích thước của cát sử dụng trong quá trình đúc mẫu bê tông.



a) Vỏ hào chưa nghiền



b) Vỏ hào được nghiền thành cỡ hạt từ 1mm đến 4,75mm

Hình 1. Vỏ hào trước và sau khi nghiền.

Cốt liệu, bao gồm cát, vỏ hào nghiền và đá 5x10, đều được rửa sạch và phơi khô trước khi đưa vào quy trình trộn bê tông. Vật liệu đầu vào được kiểm tra và thỏa mãn các tiêu chuẩn của Mỹ như ASTM C33/C33M, thành phần bê tông được thiết kế theo tiêu chuẩn [10]. Cốt liệu sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm xi măng, cát, đá, vỏ hào nghiền, nước. Cụ thể các loại cốt liệu như sau:

- Xi măng: Để thiết kế cấp phối cho bê tông có cường độ chịu nén dự kiến là $f_c' = 40$ MPa (C40), dùng xi măng Bim Sơn - PC 40 (đạt các chỉ tiêu kỹ thuật dùng cho bê tông được quy định theo TCVN 2682: 2009) [11].

- Cốt liệu thô được sử dụng đá 5x10 mm với kích thước hạt lớn nhất lọt qua mắt sàng 12,5 mm, có nguồn gốc từ tỉnh Hà Nam.

- Cốt liệu mịn là cát sử dụng trong nghiên cứu là cát tự nhiên từ sông Đà, với mô đun độ lớn (Mk) là 2,5 và khối lượng riêng đạt 2,67 g/cm³.

- Vỏ hào được nghiền mịn và sàng để lấy thành phần có kích thước tương đương với cốt liệu mịn (cát).

- Sử dụng phụ gia siêu dẻo SikaPlast - 394 thỏa mãn ASTM C494 loại D & G [12].

- Nước dùng chế tạo bê tông phải là nước sạch theo TCXDVN 302:2004 [13]. Bốn loại bê tông được chế tạo với sự kết hợp giữa xi măng, cốt liệu mịn, cốt liệu thô, tro bay và phụ gia siêu dẻo, theo tỷ lệ N/CKD = 0,36.

Thành phần bê tông đối chứng, với 0% vỏ hào nghiền, được thiết kế để đạt cường độ mục tiêu C40 (tương ứng với cường độ nén 40 MPa) và được điều chỉnh thông qua thực nghiệm tiêu chuẩn ACI 211.4R-08 [14]. Trong quá trình nghiên cứu, thể tích cát trong các cấp phối được thay thế từng phần bởi vỏ hào nghiền, với các hàm lượng thay thế lần lượt là 5%, 15%, 25%, 35%, 50%, 70 % và 90%, trong khi các thành phần khác như xi măng, tro bay và cốt liệu thô vẫn được giữ nguyên. Phương pháp này nhằm đánh giá ảnh hưởng của việc thay thế cốt liệu mịn bằng vỏ hào nghiền đến các tính chất cơ học của bê tông.

Thành phần hỗn hợp các loại bê tông được trình bày ở Bảng 1 sau đây:

Bảng 1. Thành phần vật liệu của các cấp phối bê tông sử dụng vỏ hào nghiền

Thành phần cấp phối	Đơn vị	Đối chứng	5% VH	15% VH	25% VH	35% VH	50% VH	70% VH	90% VH
Xi măng	kg	400	400	400	400	400	400	400	400
Cát tự nhiên	kg	850	807,5	722,5	637,5	552,5	425	255	85
Đá dăm	kg	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050
Vỏ hào nghiền	kg	0	42,5	127,5	212,5	297,5	425	595	765
Nước	lít	166	166	166	166	166	166	166	166
Phụ gia	kg	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2

2.1. Chế tạo các mẫu thí nghiệm

Để đánh giá cường độ bê tông sử dụng vỏ hào nghiền, các mẫu bê tông hình trụ 15x30 cm được đúc theo các cấp phối khác nhau; mỗi cấp phối 3 mẫu.



Hình 2. Các mẫu thí nghiệm chịu nén và chịu uốn bê tông sử dụng vỏ hào nghiền.

Để đánh giá cường độ chịu uốn của bê tông sử dụng vỏ hào nghiền, các mẫu bê tông dạng dầm có kích thước 10x10x40 cm được đúc theo các cấp phối khác nhau; mỗi cấp phối sử dụng 03 mẫu.

Các mẫu thí nghiệm chống thấm nước gồm các tổ mẫu trụ cho các cấp phối khác nhau, mỗi tổ gồm 6 mẫu có đường kính và chiều cao đều bằng 150 mm. Các mẫu này được cắt từ mẫu trụ kích thước 150 x 300 mm sau khi được nén trước với các cấp tải trọng $0.2P_{max}$, $0.4P_{max}$, $0.6P_{max}$ và $0.8P_{max}$. Các mức ứng suất này được lựa chọn nhằm đánh giá quy luật thay đổi độ thấm của bê tông dưới ảnh hưởng của tải trọng.



Hình 3. Các mẫu thí nghiệm đo thấm nước của bê tông vỏ hào nghiền.

2.3. Tiến hành thí nghiệm

Cường độ chịu nén của bê tông sử dụng vỏ hào theo TCVN 3118:2022 - Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu nén [15]. Số lượng mẫu thử nghiệm dự kiến tối đa 30 mẫu).

Để đánh giá chỉ tiêu độ chống thấm nước của các loại bê tông, nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp thí nghiệm theo tiêu chuẩn TCVN 3116:2022 [16]. Thiết bị bao gồm: 06 áo mẫu bằng thép, bộ gioăng cao su kín nước, thùng chứa nước, đồng hồ áp lực, xả nước, 01 van thu hồi nước, rơ le tự động ngắt điện khi đủ áp (Hình 2).

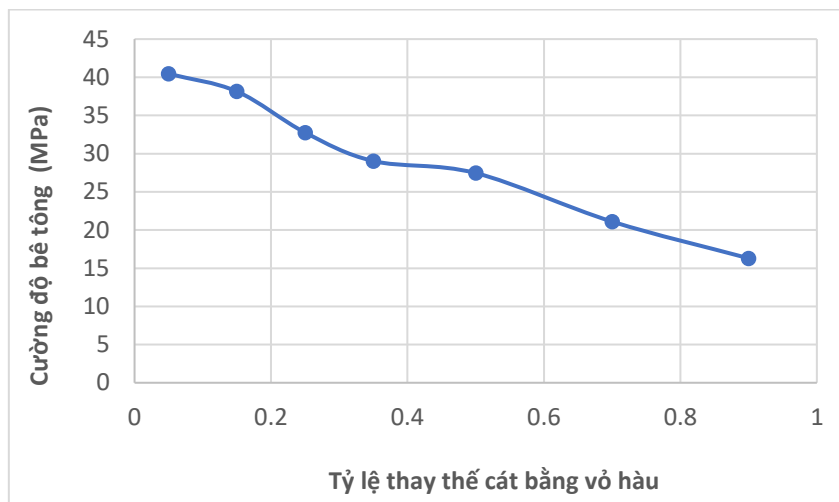


Hình 4. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén, chịu uốn, độ thấm nước của bê tông sử dụng vỏ hào nghiền (Các mẫu thấm nước có hàm lượng vỏ hào khác nhau được nén trước với các cấp ứng suất nén khác nhau)

Thí nghiệm được thực hiện bằng cách kẹp chặt 06 áo chứa mẫu vào bàn máy, sử dụng gioăng cao su và bu lông để đảm bảo độ kín. Nước được bơm đầy hệ thống và xả khí hoàn toàn trước khi tiến hành gia áp. Áp lực nước được tăng dần theo từng cấp 2 daN/cm², mỗi cấp duy trì trong 16 giờ cho đến khi xuất hiện hiện tượng thấm qua bề mặt mẫu. Thí nghiệm dừng khi có 4 trong 6 mẫu bị thấm nước. Mác chống thấm của bê tông (W) được xác định bằng cấp áp lực cuối cùng trừ đi 2 daN/cm².

Trong nghiên cứu này, ngoài các mẫu đối chứng sử dụng 0% hàm lượng vỏ hào thì còn có các mẫu dùng để xác định tải trọng lớn nhất (P_{max}). Các mẫu bê tông có tỷ lệ thay thế vỏ hào 5%, 15%, 25% và 35%; 50%; 70% và 90 % được thí nghiệm dưới các mức ứng suất nén trước tương ứng 0, $0.2P_{max}$, $0.4P_{max}$, $0.6P_{max}$ và $0.8P_{max}$. Với mỗi cấp ứng suất, tiến hành thí nghiệm trên 06 mẫu cho từng tỷ lệ thay thế nhằm đánh giá ảnh hưởng của ứng suất nén trước đến khả năng chống thấm của bê tông.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



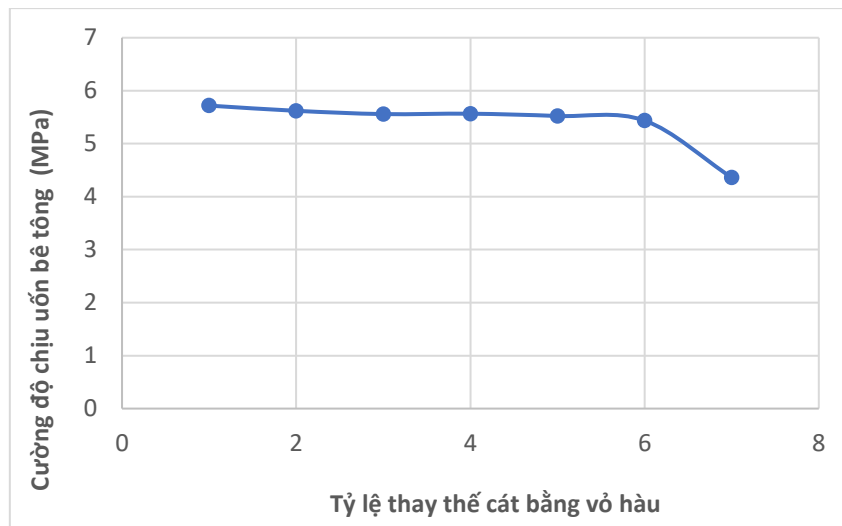
Hình 5. Biến thiên cường độ chịu nén của bê tông theo tỷ lệ thay thế cát bằng vỏ hào nghiền.

Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ chịu nén của bê tông giảm dần theo sự gia tăng hàm lượng vỏ hào thay thế cát, với xu hướng suy giảm gần như liên tục trong toàn bộ khoảng khảo sát. Ở mức thay thế thấp (khoảng 5–15%), cường độ bê tông vẫn duy trì ở mức tương đối cao (xấp xỉ 38–40 MPa), cho thấy việc sử dụng một lượng nhỏ vỏ hào chưa ảnh hưởng đáng kể đến cấu trúc chịu lực của vật liệu. Trong giai đoạn này, hiệu ứng lấp đầy và phân bố hạt có thể vẫn đảm bảo độ đặc chắc nhất định của bê tông.

Tuy nhiên, khi hàm lượng vỏ hào tăng lên từ 20–35%, cường độ bắt đầu suy giảm rõ rệt, giảm xuống khoảng 28–33 MPa. Sự suy giảm này phản ánh sự thay đổi bất lợi trong cấu trúc vi mô, đặc biệt là tại vùng chuyển tiếp cốt liệu – hồ xi măng (ITZ), nơi mà vỏ hào với bề mặt thô, hình dạng không đều và độ hút nước cao làm giảm chất lượng liên kết. Đồng thời, độ rỗng tổng thể của bê tông có xu hướng tăng lên, làm giảm khả năng chịu lực.

Ở các mức thay thế cao hơn ($\geq 50\%$), cường độ bê tông giảm mạnh, chỉ còn khoảng 16–27 MPa khi hàm lượng vỏ hào tăng đến 70–90%. Điều này cho thấy vai trò chịu lực của cốt liệu mịn tự nhiên đã bị suy giảm đáng kể khi bị thay thế bởi vỏ hào, vốn có cường độ cơ học thấp hơn và không đảm bảo khả năng truyền ứng suất hiệu quả trong ma trận bê tông. Sự gia tăng khuyết tật nội tại và vi nứt cũng góp phần làm giảm khả năng chịu nén của vật liệu.

Nhìn chung, kết quả cho thấy tồn tại mối quan hệ nghịch biến rõ rệt giữa cường độ bê tông và hàm lượng vỏ hào thay thế cát. Mặc dù việc sử dụng vỏ hào ở tỷ lệ thấp có thể chấp nhận được mà không làm suy giảm đáng kể cường độ, nhưng ở tỷ lệ cao, ảnh hưởng bất lợi trở nên chi phối. Do đó, để đảm bảo yêu cầu cơ học của bê tông, hàm lượng vỏ hào nên được giới hạn trong khoảng thấp đến trung bình, đặc biệt đối với các kết cấu yêu cầu cường độ chịu nén cao.

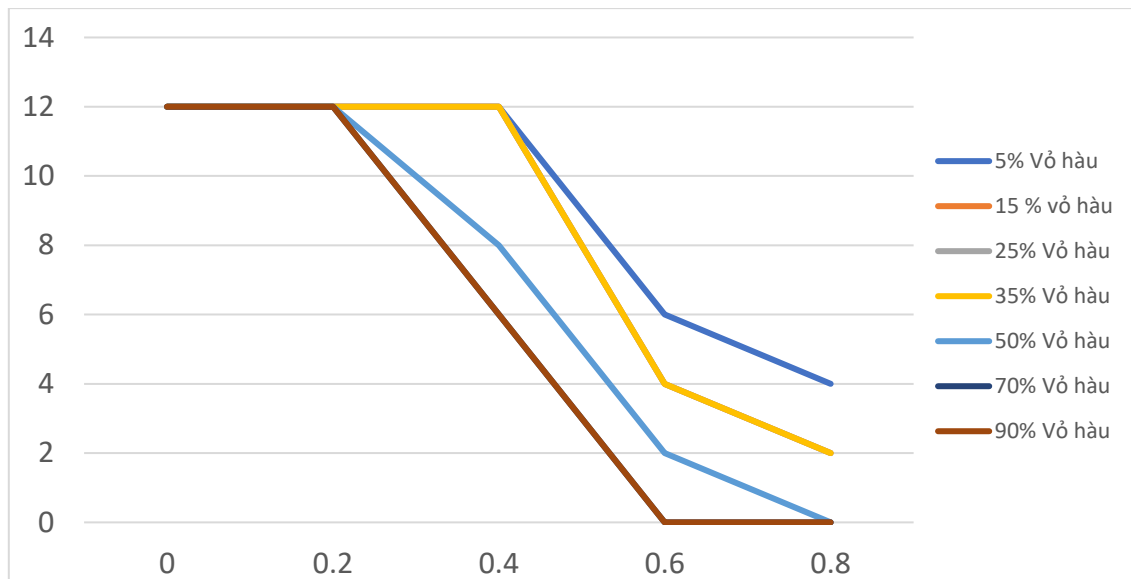


Hình 6. Biến thiên cường độ chịu uốn của bê tông theo tỷ lệ thay thế cát bằng vỏ hào nghiền.

Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ chịu uốn của bê tông biến thiên theo hàm lượng vỏ hào thay thế cát với xu hướng tương đối ổn định ở giai đoạn đầu, sau đó suy giảm rõ rệt khi hàm lượng thay thế đạt mức cao. Cụ thể, trong khoảng thay thế từ 10% đến khoảng 50–60%, cường độ chịu uốn hầu như không thay đổi đáng kể, dao động quanh giá trị 5,5–5,8 MPa. Điều này cho thấy ở mức thay thế thấp và trung bình, sự hiện diện của vỏ hào chưa ảnh hưởng nhiều đến khả năng chịu kéo gián tiếp của bê tông, do cơ chế chịu uốn phụ thuộc mạnh vào chất lượng liên kết trong ma trận hồ xi măng và khả năng phân tán vi nứt, vốn vẫn được duy trì tương đối tốt.

Tuy nhiên, khi hàm lượng vỏ hào tăng lên khoảng 70%, cường độ chịu uốn giảm rõ rệt xuống còn khoảng 4,3 MPa. Sự suy giảm này phản ánh sự suy yếu của cấu trúc vi mô, đặc biệt là tại vùng chuyển tiếp cốt liệu – hồ xi măng (ITZ), nơi vỏ hào với đặc điểm hình dạng không đều, độ rỗng cao và khả năng bám dính kém hơn so với cát tự nhiên làm giảm hiệu quả truyền ứng suất kéo. Đồng thời, sự gia tăng khuyết tật nội tại và vi nứt cũng làm giảm khả năng kháng nứt và lan truyền vết nứt dưới tác dụng uốn.

Nhìn chung, khác với cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn của bê tông ít nhạy cảm hơn với hàm lượng vỏ hào trong khoảng thay thế thấp đến trung bình, nhưng sẽ suy giảm đáng kể khi vượt quá một ngưỡng nhất định (khoảng trên 60%). Điều này cho thấy việc sử dụng vỏ hào ở mức hợp lý có thể không ảnh hưởng lớn đến khả năng chịu uốn, tuy nhiên cần kiểm soát hàm lượng thay thế để tránh suy giảm tính năng cơ học, đặc biệt đối với các kết cấu chịu kéo hoặc uốn chi phối.



Hình 7. Biểu đồ quan hệ giữa mức chống thấm nước và % vỏ hào thay thế cốt liệu trong mẫu đối với các cấp tải trọng nén trước khác nhau

Kết quả thí nghiệm cho thấy mức chống thấm của bê tông có xu hướng suy giảm rõ rệt dưới tác động đồng thời của cấp tải trọng và hàm lượng vỏ hào thay thế cát. Ở giai đoạn tải trọng thấp (0–0,2Pmax), tất cả các cấp phối gần như duy trì giá trị mức chống thấm cao và ổn định (xấp xỉ W12), cho thấy cấu trúc bê tông chưa bị ảnh hưởng đáng kể bởi ứng suất nén trước. Tuy nhiên, khi tải trọng tăng lên đến 0,4Pmax, sự suy giảm bắt đầu xuất hiện và trở nên rõ rệt hơn ở các cấp phối có hàm lượng vỏ hào cao.

Khi tiếp tục tăng tải trọng đến 0,6Pmax và 0,8Pmax, mức chống thấm giảm mạnh ở tất cả các mẫu, đặc biệt ở các mẫu có tỷ lệ thay thế lớn (≥50%), thậm chí mất hoàn toàn khả năng chống thấm ($W \approx 0$). Hiện tượng này có thể được lý giải do sự hình thành và phát triển của hệ vi nứt dưới tác dụng của ứng suất nén trước, làm gia tăng độ rỗng hiệu dụng và tạo điều kiện thuận lợi cho nước thấm qua.

Xét về ảnh hưởng của hàm lượng vỏ hào, có thể nhận thấy rằng ở mức thay thế thấp (5–15%), bê tông vẫn duy trì được khả năng chống thấm tương đối tốt ngay cả khi chịu tải trọng cao, cho thấy cấu trúc vật liệu vẫn đủ đặc chắc và vùng chuyển tiếp cốt liệu–hồ xi măng (ITZ) chưa bị suy yếu đáng kể. Ngược lại, khi hàm lượng vỏ hào tăng lên (≥25%), đặc biệt ở mức 50–90%, mức chống thấm suy giảm nhanh hơn theo cấp tải trọng. Điều này phản ánh đặc tính hình học và độ rỗng cao hơn của hạt vỏ hào so với cát tự nhiên, dẫn đến cấu trúc bê tông kém đặc chắc và dễ bị tổn thương hơn dưới tác động cơ học.

Nhìn chung, kết quả cho thấy tồn tại sự tương tác bất lợi giữa tải trọng nén trước và hàm lượng vỏ hào: tải trọng đóng vai trò kích hoạt sự phát triển vi nứt, trong khi việc sử dụng vỏ hào với tỷ lệ cao làm gia tăng mức độ nhạy cảm của bê tông đối với quá trình này. Do đó, để đảm bảo khả năng chống thấm và độ bền lâu của bê tông, hàm lượng vỏ hào thay thế cát nên được giới hạn ở mức thấp đến trung bình, đặc biệt trong các kết cấu làm việc dưới điều kiện chịu tải và môi trường xâm thực.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã đánh giá ảnh hưởng của vỏ hào thay thế cốt liệu mịn đến khả năng chống thấm và các tính chất cơ học của bê tông dưới tác dụng của tải trọng nén trước. Kết quả cho thấy mức chống thấm suy giảm đáng kể khi tăng đồng thời hàm lượng vỏ hào và cấp tải trọng, đặc biệt ở các tỷ lệ thay thế $\geq 50\%$ và mức tải $\geq 0,6P_{max}$, do sự phát triển của hệ vi nứt và gia tăng độ rỗng hiệu dụng.

Về cơ học, cường độ chịu nén giảm gần như liên tục theo hàm lượng vỏ hào, với mức suy giảm rõ rệt khi tỷ lệ thay thế vượt khoảng 25–35%. Trong khi đó, cường độ chịu uốn ít nhạy cảm hơn, duy trì tương đối ổn định ở mức thay thế thấp đến trung bình, nhưng giảm mạnh khi hàm lượng vỏ hào cao ($\approx 60\text{--}70\%$).

Tổng hợp các kết quả cho thấy vỏ hào có thể sử dụng thay thế một phần cát ở mức thấp–trung bình ($\leq 15\text{--}25\%$) mà vẫn đảm bảo đồng thời yêu cầu về cường độ và khả năng chống thấm. Ở các tỷ lệ thay thế cao hơn, cần áp dụng các giải pháp cải thiện như xử lý vật liệu hoặc tối ưu cấp phối nhằm nâng cao độ đặc chắc và độ bền lâu của bê tông.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bunyamin B., Mukhlis A. Utilization of oyster shells as a substitute part of cement and fine aggregate in concrete. *Aceh International Journal of Science and Technology*, Vol. 9, No. 3, 2020. DOI: 10.13170/aijst.9.3.17761.

[2] Erni S., Gagoek H., Purwanto K. Green concrete made of oyster shell waste to support green building material. *Jurnal Teknologi*, Vol. 78, No. 5, pp. 203-207, 2016. DOI: 10.11113/jt.v78.8283.

[3] Chen H.Y., Li G., Lai Z. Effects of crushed oyster shell on strength and durability of marine concrete containing fly ash and blast furnace slag. *Materials Science*, Vol. 25, No. 1, pp. 97-107, 2019. DOI: 10.5755/j01.ms.25.1.18772.

[4] Kathiria V., Suthar A. An experimental study on oyster shell concrete with oyster shell powder as replacement of fine aggregates. *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, Vol. 4, No. 5, pp. 2653-2658, 2022. DOI: 10.35629/5252-040526532658.

[5] Klathae T., Jitpat P. Compressive strength and water absorption properties of concrete block containing crushed oyster shell not process burning. *Rajamangala University of Technology Repository*, 2020.

[6] Zhang et al. Evaluation of compressive strength of eco-friendly cementitious composites incorporating waste oyster shells under sodium chloride solution exposure. *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 23, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04944>.

[7] Jeon J.H., Son Y.H., Kim T.J., Jo S.B. Engineering performances of permeable concrete blocks using oyster shell, bottom ash, and biochar. *Construction and Building Materials*, Vol. 440, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137374>.

[8] Grassl P., Wong H., Buenfeld N. Influence of aggregate size and Volume fraction on shrinkage induced micro-cracking of concrete and mortar. *Materials Science*, 2008. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.0811.0019>.

[9] Yang E.I., Yi S.T., Leem Y.M. Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: Part I. Fundamental properties. *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, No. 11, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.03.016>.

- [10] ASTM International. ASTM C33/C33M-18. Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM International, 2018.
- [11] TCVN 2682:2009. Xi măng Poóc lăng - Yêu cầu kỹ thuật.
- [12] ASTM International. ASTM C469. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.
- [13] ASTM C1202/TCVN 9337:2012. Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration.
- [14] American Concrete Institute. ACI 211.4R-08. Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials. ACI, 2008.
- [15] TCVN 3118:2022. Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu nén.
- [16] TCVN 3116:2022. Bê tông - Phương pháp xác định độ chống thấm nước – Phương pháp vết thấm.
- [17] Mai Hoàng Anh, Trần Thu Minh, Trần Thị Kim Quyên, Từ Sỹ Quân, Vũ Bá Thành, Trần Thế Truyền. Phân tích ứng xử kết cấu dầm cầu bằng bê tông cốt thép sử dụng bê tông có cốt liệu mịn nghiền từ vỏ ngao Bến Tre. Tạp chí Giao thông vận tải, pp. 19-22, 07/2024.
- [18] Từ Sỹ Quân, Trần Thế Truyền, Mai Hoàng Anh, Lê Văn Thắng. Ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu mịn thay thế đến các đặc tính kỹ thuật của bê tông vỏ ngao dùng làm mặt đường ô tô. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng – Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Vol. 17, No. 2V, pp. 123-133, 2023. DOI: 10.31814/stce.huce2023-17(2V)-09.
- [19] Dang Hanh Nguyen, Mohamed Boutouil, Nassim Sebaibi, Lydia Leleyter, Fabienne Baraud. The Use of Seashell By-Products in Pervious Concrete Pavers. Construction and Architectural Engineering, Vol. 7, No. 11, pp. 514-512, 2013.
- [20] Lương Huỳnh Vũ Thanh, Trần Chương Yên Nhi, Huỳnh Thị Kim Huệ, Ngô Trương Ngọc Mai, Nguyễn Hoàng Anh, Trần Nguyễn Phương Lan. Cải tiến bê tông thấm có cốt liệu từ vỏ sò, tro trấu và mụn dừa. Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng, Vol. 18, No. 5.1, 2020.
- [21] <https://baoxaydung.com.vn/dinh-huong-phat-trien-vat-lieu-xay-dung-tai-viet-nam-340767.html>.
- [22] Nguyễn Thanh Sang. Sử dụng bột vỏ ngao nghiền để chế tạo bê tông cát làm lớp dưới mặt đường. Đề tài cấp cơ sở mã số T2007-KH-CNXDGT-80, Trường Đại học GTVT, 2007.