

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG MIỀN TÂY

NGUYỄN LÊ TÀI

**NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG VỎ HÀU NGHIÊN MỊN THAY
THỂ MỘT PHẦN XI MĂNG
CHẾ TẠO BÊ TÔNG
CHO KẾT CẤU CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG**

**TÓM TẮT ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP
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

NGUYỄN LÊ TÀI

**NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG VỎ HÀU NGHIÊN MỊN THAY
THỂ MỘT PHẦN XI MĂNG
CHẾ TẠO BÊ TÔNG
CHO KẾT CẤU CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG**

Ngành: KỸ THUẬT XÂY DỰNG

Mã số: 8.58.02.01

TÓM TẮT ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. TS. LÊ HOÀI BẢO



2. GS.TS. NGUYỄN TIẾN CHƯƠNG



Vĩnh Long – 2025

MỤC LỤC

MỤC LỤC	ii
DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT	iv
DANH MỤC BẢNG BIỂU	v
DANH MỤC HÌNH ẢNH	vi
Phần I. MỞ ĐẦU	1
1. Lý do chọn đề tài	1
2. Mục tiêu nghiên cứu	1
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	1
4. Phương pháp nghiên cứu	2
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài	2
6. Kết cấu đề án	2
7. Dự kiến những đóng góp mới của đề án	2
Phần II. NỘI DUNG.....	3
Chương 1. TỔNG QUAN VỀ BÊ TÔNG SỬ DỤNG VỎ HÀU THAY THẾ XI MĂNG	3
1.1. Tình hình sử dụng xi măng trên thế giới và Việt Nam	3
1.1.1. Tình hình sử dụng xi măng tại Việt Nam.....	3
1.1.2. Tình hình sử dụng xi măng trên thế giới.....	3
1.1.3. Quy trình sản xuất xi măng	3
1.1.4. Thành phần hoá học của Clinker.....	4
1.2. Giới thiệu tổng quan về vỏ hào	5
1.2.1. Phế thải vỏ hào	5
1.2.2. Tác động đến môi trường của vỏ hào.....	5
1.3. Các nghiên cứu về bê tông sử dụng vỏ hào nghiền mịn thay thế xi măng.....	5
1.4. Tồn tại của các nghiên cứu trước đây và định hướng nghiên cứu	5
Chương 2. CƠ SỞ KHOA HỌC SỬ DỤNG VỎ HÀU NGHIỀN MỊN THAY THẾ XI MĂNG	6
2.1. Một số đặc tính của vỏ hào.....	6
2.1.1. Thành phần hoá học của vỏ hào	6
2.1.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ nung đến tính chất vỏ hào.....	6
2.2. Quy trình xử lý vật liệu vỏ hào trước khi thí nghiệm.....	6
2.3. Các tính chất của vữa và bê tông sử dụng vỏ hào nghiền mịn thay thế xi măng	6

2.3.1. Một số tính chất của vữa	6
2.3.2. Một số tính chất của bê tông	6
2.3.3. Ảnh hưởng của độ mịn đến tính chất của bê tông.....	7
2.3.4. Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén của vữa và bê tông.....	7
2.4. Cơ sở thiết kế thành phần cấp phối bê tông	7
2.5. Một số nghiên cứu về mô phỏng ứng xử của dầm bê tông cốt thép khi uốn	7
2.6. Giới thiệu về một số phần mềm phổ biến để mô phỏng ứng xử uốn của dầm bê tông cốt thép.	8
Chương 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM SỬ DỤNG VỎ HÀU NGHIỀN MỊN THAY THẾ XI MĂNG CHO VỮA VÀ BÊ TÔNG	9
3.1. Các tính chất của vật liệu sử dụng.....	9
3.2. Thiết kế thành phần cấp phối	9
3.3. Phương pháp thí nghiệm của vữa.....	10
3.4. Phương pháp thí nghiệm của bê tông.....	11
3.5. Kết quả thí nghiệm và thảo luận.....	11
3.5.1. Ảnh hưởng của hàm lượng vỏ hàu nghiền mịn đến tính chất của vữa.....	11
3.5.2. Ảnh hưởng của hàm lượng vỏ hàu nghiền mịn đến tính chất của bê tông.....	13
3.6. Dự báo ứng xử uốn của dầm bê tông cốt thép sử dụng vỏ hàu nghiền mịn.....	14
3.6.1. Quan hệ tải trọng – độ võng.....	15
3.6.2. Quan hệ ứng suất – biến dạng.....	15
3.6.3. Sự hình thành vết nứt	16
Phần III. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	18
1. Kết luận.....	18
2. Kiến nghị.....	18
TÀI LIỆU THAM KHẢO	19

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

Chữ viết tắt	Nội dung đầy đủ
OPC	Xi măng Portland thông thường
ĐBSCL	Đồng bằng Sông Cửu Long
BTCT	Bê tông cốt thép
VHNM	Vỏ hào nghiền mịn
C–S–H	Canxi Silicat Hydrat
MKN	Mất khi nung

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1. Thành phần hoá học của xi măng Portland thông thường (%) [14].	4
Bảng 3.5. Bảng cấp phối thí nghiệm bê tông.	13

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1. Lượng tiêu thụ xi măng qua từng năm (2016–2021).	3
Hình 1.3. Sơ đồ qui trình sản xuất xi măng Portland.	4
Hình 3.22. Biểu đồ kết quả độ lưu động của vữa.	12
Hình 3.23. Biểu đồ cường độ chịu nén của vữa với tỷ lệ thay thế vỏ hào khác nhau.....	12
Hình 3.25. Biểu đồ cường độ chịu nén của bê tông.	13
Hình 3.35. Mô hình độ võng của dầm sau khi gia tải.	15
Hình 3.36. Mô hình ứng suất–biến dạng trong dầm.	16
Hình 3.37. Mô hình mô phỏng vết nứt dầm.	16

Phần I. MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Bê tông là vật liệu được sử dụng rộng rãi nhất trong ngành xây dựng do độ bền, tính chất cơ học tốt và giá thành rẻ. Ngành công nghiệp xi măng toàn cầu thải ra khoảng 5–8% lượng CO₂ vào khí quyển.. Để giải quyết các tác động môi trường và giảm nguồn tài nguyên thiên nhiên liên quan đến sản xuất xi măng, cần phát triển các vật liệu bổ sung thay thế.

Theo quyết định số 1266/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ: Phê duyệt Chiến lược phát triển vật liệu xây dựng Việt Nam thời kỳ 2021–2030, định hướng đến năm 2050 về giảm thiểu việc sản xuất xi măng, cần nghiên cứu phát triển sản phẩm mới, công nghệ mới, sử dụng phế thải làm nguyên liệu, nhiên liệu thay thế; giảm tiêu hao năng lượng; nâng cao năng suất, chất lượng sản phẩm vật liệu xây dựng.

Trong sản xuất xi măng, các thành phần chính bao gồm: Đá vôi (CaCO₃) là nguồn canxi cacbonat chính. Hiện nay, việc thay thế xi măng từ những vật liệu khác đã được nghiên cứu và áp dụng rộng rãi như: Xi lò cao nghiền mịn, tro bay, Pozzolan nhân tạo thay thế Clinker, Graphene, Silica fume,... Cùng với đó thì vỏ hàu (Oyster Shell–OS) được xem là chất thải gây ô nhiễm trong ngành công nghiệp thủy sản lại là vật liệu tiềm năng để thay thế xi măng trong xây dựng. Theo các nghiên cứu hiện có cho biết, vỏ hàu có nhiều loại thành phần hóa học, trong đó Canxi Cacbonat (CaCO₃) là nguyên tố chính được tìm thấy trong vỏ hàu tự nhiên chiếm hơn 85% các thành phần khác có trong nó.

Theo tìm hiểu của học viên, hiện nay chưa phát hiện nghiên cứu nào trong nước về việc sử dụng VHNM để làm nguyên liệu thay thế xi măng ứng dụng trong xây dựng. Bê tông sử dụng vỏ hàu được nghiên cứu khá rộng rãi trên thế giới. Tuy nhiên, để ứng dụng trong lĩnh vực xây dựng vẫn chưa phổ biến, việc nghiên cứu sử dụng vỏ hàu là cần thiết. Do vậy, học viên nhận thấy đề tài **“Nghiên cứu sử dụng vỏ hàu nghiền mịn thay thế một phần xi măng chế tạo bê tông cho kết cấu công trình xây dựng”** là thiết thực, vừa có ý nghĩa khoa học, vừa có ý nghĩa thực tiễn.

2. Mục tiêu nghiên cứu

- Xác định một số tính chất và thành phần hoá học của vỏ hàu nghiền mịn.
- Xác định hàm lượng tối ưu của vỏ hàu nghiền mịn thay thế xi măng thông qua cường độ chịu nén của vữa.
- Đánh giá ảnh hưởng của vỏ hàu nghiền mịn đến một số tính chất cơ học của bê tông.
- Dự báo ứng xử uốn của dầm bê tông cốt thép sử dụng vỏ hàu nghiền mịn.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- *Đối tượng nghiên cứu:*

+ Trong nghiên cứu này, nguồn vỏ hàu được lấy từ hàu sữa tại Việt Nam thuộc họ Ostreidae.

+ Xem xét ảnh hưởng của vỏ hàu nghiền mịn đến tính chất của bê tông so với

mẫu đối chứng có cấp độ bền B27,5.

– *Phạm vi nghiên cứu:*

- + Nghiên cứu được thực hiện trong phòng thí nghiệm.
 - + Khảo sát hàm lượng vỏ hào thay thế tối ưu với các tỷ lệ 2, 4, 6% khối lượng xi măng.
 - + Xác định tốc độ phát triển cường độ nén của vữa ở 3, 7, 14 và 28 ngày tuổi.
- Đánh giá các tính chất cơ học của bê tông sử dụng vỏ hào nghiền mịn ở 28 ngày tuổi.

4. Phương pháp nghiên cứu

- *Phương pháp kế thừa, thu thập tài liệu:* Dựa trên các nghiên cứu trong và ngoài nước để lựa chọn khoảng hàm lượng vỏ hào nghiền mịn tối ưu, sau đó tiến hành đúc mẫu thí nghiệm và tối ưu hàm lượng.

- *Phương pháp thực nghiệm:* Tiến hành thí nghiệm các tính chất như cường độ chịu nén, độ lưu động của vữa xi măng và một số tính chất của bê tông sử dụng vỏ hào nghiền mịn tại phòng thí nghiệm.

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

- *Ý nghĩa khoa học:* Kết quả nghiên cứu sẽ cho thấy sự ảnh hưởng của vỏ hào nghiền mịn đối với tính chất vữa và bê tông.

- *Ý nghĩa thực tiễn:* Chế tạo được loại bê tông sử dụng vật liệu phế thải đáp ứng yêu cầu ứng dụng trong xây dựng. Việc sử dụng vỏ hào nghiền mịn góp phần giảm lượng xi măng dùng cho bê tông, phù hợp với chiến lược phát triển vật liệu xây dựng Việt Nam.

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 sử dụng vỏ hào thay thế xi măng.

Chương 2: Cơ sở khoa học sử dụng vỏ hào nghiền mịn thay thế xi măng.

Chương 3: Kết quả nghiên cứu thực nghiệm sử dụng vỏ hào nghiền mịn thay thế xi măng cho vữa và bê tông.

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.

7. Dự kiến những đóng góp mới của đề án

Đề án đã trình bày các tính chất của vữa và bê tông sử dụng vỏ hào nghiền mịn, đây là căn cứ để chọn tỷ lệ vỏ hào nghiền mịn trong việc thiết kế thành phần cấp phối.

Đề án thảo luận những vấn đề còn tồn tại trong các nghiên cứu trước đây và vạch ra những hướng nghiên cứu tìm năng tiếp theo trong lĩnh vực sử dụng vỏ hào nghiền mịn thay thế xi măng.

Đề án đã dự báo ứng xử uốn của dầm bê tông cốt thép sử dụng vỏ hào nghiền mịn thông qua phần mềm MIDAS FEA.

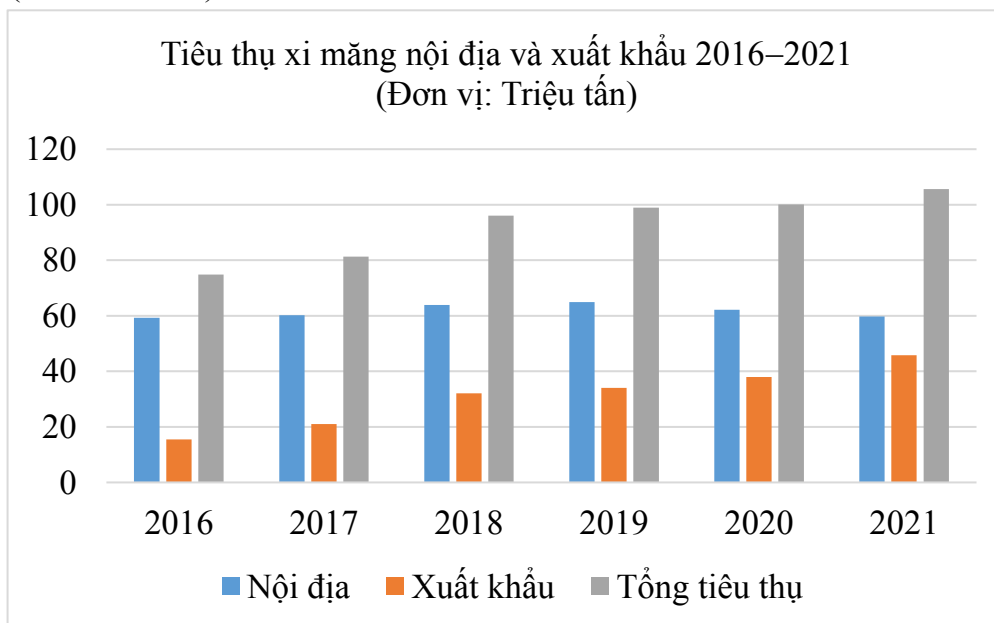
Phần II. NỘI DUNG

Chương 1. TỔNG QUAN VỀ BÊ TÔNG SỬ DỤNG VỎ HÀU THAY THẾ XI MĂNG

1.1. Tình hình sử dụng xi măng trên thế giới và Việt Nam

1.1.1. Tình hình sử dụng xi măng tại Việt Nam

Trên toàn cầu, việc sử dụng xi măng vẫn đóng vai trò quan trọng trong ngành xây dựng như một vật liệu cốt lõi cho các công trình từ nhà ở đến cơ sở hạ tầng. Xi măng được ưa chuộng bởi tính linh hoạt, khả năng chịu lực tốt, đồng thời có khả năng sản xuất lớn và dễ dàng vận chuyển. Về tình hình tiêu thụ xi măng trong nước, theo số liệu từ Hiệp hội Xi măng Việt Nam (như Hình 1.1).



Hình 1.1. Lượng tiêu thụ xi măng qua từng năm (2016–2021) [1].

Để giải quyết những thách thức này, ngành công nghiệp bê tông đang tìm kiếm các giải pháp thân thiện với môi trường hơn, bao gồm việc nghiên cứu và áp dụng công nghệ mới để giảm lượng CO₂ thải ra từ quá trình sản xuất, thúc đẩy tái chế bê tông, và tìm kiếm các nguồn nguyên liệu thay thế bền vững nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường và tài nguyên.

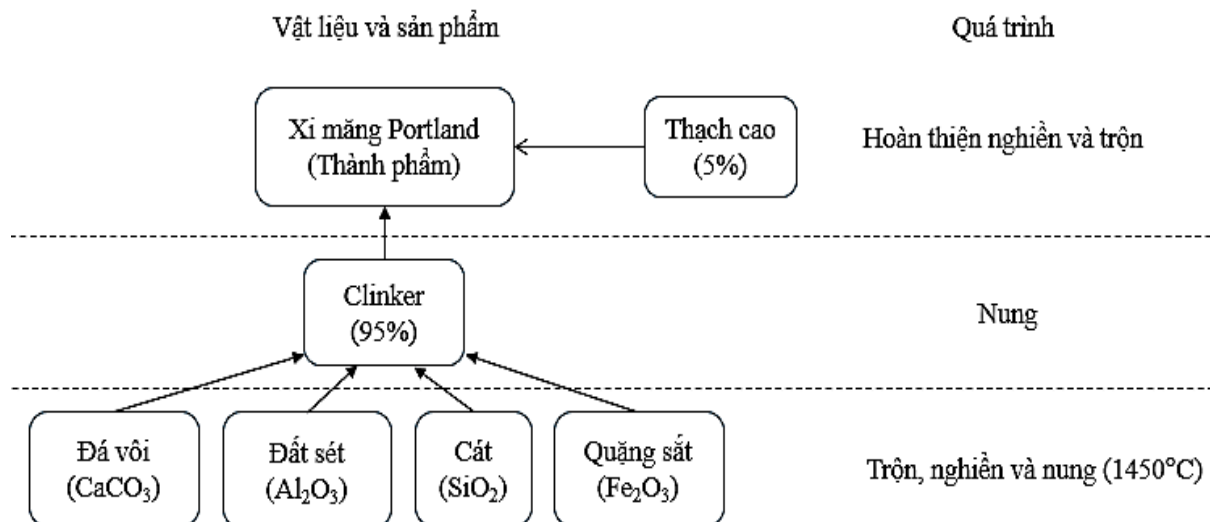
1.1.2. Tình hình sử dụng xi măng trên thế giới

Sản lượng xi măng trên toàn cầu đã tăng 54% từ năm 2000 đến năm 2006 với 1,6 tỷ tấn lên 2,55 tỷ tấn [2] và năm 2021 con số đã lên đến 4,4 tỷ tấn [3].

Sản lượng xi măng trên toàn cầu được dự báo vào năm 2050 sẽ tăng từ 12% đến 23%, đây là nguồn phát thải ra lượng cacbon rất lớn, ngành công nghiệp này tạo ra khoảng 7% lượng khí thải CO₂ trên toàn cầu và không dưới 2,1 tỷ tấn CO₂ mỗi năm [4], [5].

1.1.3. Quy trình sản xuất xi măng

Công nghệ sản xuất xi măng là một lĩnh vực quan trọng trong ngành vật liệu xây dựng, đóng vai trò quyết định đến chất lượng và hiệu suất của sản phẩm cuối cùng. Quy trình sản xuất xi măng (Hình 1.2) thường được chia thành ba giai đoạn chính: chuẩn bị nguyên liệu, nung clinker và nghiền xi măng.



Hình 1.2. Sơ đồ quy trình sản xuất xi măng Portland.

1.1.4. Thành phần hoá học của Clinker

Thành phần hóa học của clinker xi măng Portland (Bảng 1.1) được xác định chủ yếu dựa trên các oxit hóa học chính có trong clinker. Các oxit này kết hợp với nhau trong quá trình nung luyện để tạo thành các khoáng chất đặc trưng của clinker.

Bảng 1.1. Thành phần hoá học của xi măng Portland thông thường (%) [6].

Thành phần hoá học	Hàm lượng (%)
CaO	63% – 66%
SiO ₂	21% – 24%
Al ₂ O ₃	4% – 9%
Fe ₂ O ₃	2% – 4%
MgO	0,5% – 5%
SO ₃	0,3% – 1%
TiO ₂ + Cr ₂ O ₃	0,2% – 0,5%
P ₂ O ₅	0,1% – 0,3%
Na ₂ O + K ₂ O	0,4% – 1%

1.2. Giới thiệu tổng quan về vỏ hào

1.2.1. Phế thải vỏ hào

Tại Việt Nam, ngành sản xuất động vật thân mềm đã chứng kiến sự tăng trưởng đáng kể, từ 133.534 tấn vào năm 2010 lên đến 269.161 tấn vào năm 2015 [7]. Điều này cho thấy sự phát triển mạnh mẽ của ngành thủy sản trong nước.

Tại các tỉnh thuộc vùng Đồng bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL) như Trà Vinh, Bến Tre,... Việc nuôi hào đang trở thành hoạt động phổ biến, kết quả là lượng vỏ hào thải ra môi trường là khá lớn. Thay vì xem đây là một vấn đề môi trường, chúng ta có thể tận dụng vỏ hào để sản xuất vật liệu xây dựng thân thiện với môi trường.

1.2.2. Tác động đến môi trường của vỏ hào

Trong nghiên cứu của T.S. Quan [8] đã nêu lên những khó khăn của nhà máy chế biến hào thuộc Công ty TNHH Đầu tư phát triển sản xuất Hạ Long khi khó có thể xử lý được chất thải vỏ hào, mùi hôi và sự khó chịu do ô nhiễm khiến các hộ dân sinh sống xung quanh lo lắng. Tuy nhiên, nếu được tái chế và sử dụng đúng cách, vỏ hào có thể trở thành một nguồn vật liệu quý giá cho ngành xây dựng.

1.3. Các nghiên cứu về bê tông sử dụng vỏ hào nghiền mịn thay thế xi măng

Hiện nay, nhiều nghiên cứu và phương pháp cải tiến đang được triển khai nhằm nâng cao độ bền và hiệu suất của bê tông, đặc biệt thông qua việc sử dụng các vật liệu thay thế trong thành phần chế tạo bê tông. Các phương pháp này tập trung vào việc thay thế một phần hoặc toàn bộ các vật liệu truyền thống như cốt liệu thô, cốt liệu mịn, xi măng và các loại phụ gia, nhằm cải thiện khả năng bám dính của chất kết dính cũng như tối ưu hóa các tính chất cơ lý của bê tông.

1.4. Tồn tại của các nghiên cứu trước đây và định hướng nghiên cứu

Các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào tỷ lệ thay thế từ 5% – 20% khối lượng xi măng, chưa tối ưu hoá được tỷ lệ thay thế để cân bằng cường độ chịu nén giữa vữa và bê tông, chưa đồng thời đánh giá ảnh hưởng của VHNM đến cường độ chịu nén của vữa và bê tông, việc dự báo ứng xử uốn của dầm BTCT sử dụng VHNM so với dầm BTCT thông thường thông qua mối quan hệ ứng suất–biến dạng, tải trọng–độ võng và sự hình thành vết nứt bằng phần mềm mô phỏng vẫn chưa được thực hiện.

Chương 2. CƠ SỞ KHOA HỌC SỬ DỤNG VỎ HÀU NGHIỀN MỊN THAY THẾ XI MĂNG

2.1. Một số đặc tính của vỏ hàu

2.1.1. Thành phần hoá học của vỏ hàu

Thành phần hoá học của vỏ hàu sẽ khác nhau tùy thuộc vào môi trường sống tự nhiên. Vỏ hàu chứa hàm lượng CaCO_3 rất cao (85% – 95%) tùy vào chủng loại và nguồn gốc. Sau khi nung, CaCO_3 chuyển hoá thành CaO , đây là thành phần quan trọng trong xi măng Portland. Sự khác nhau về môi trường sống cũng ảnh hưởng đến hàm lượng CaCO_3 có trong vỏ hàu, hàu sông (95,99%) có hàm lượng CaCO_3 cao hơn hàu biển (89,56%).

2.1.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ nung đến tính chất vỏ hàu

Nhiệt độ nung được sử dụng trong quá trình xử lý vỏ hàu thải để loại bỏ tạp chất hữu cơ và muối, đồng thời tăng hàm lượng CaO trong vỏ hàu.

Hàm lượng mất khi nung (MKN) của vỏ hàu là tỷ lệ phần trăm khối lượng bị mất đi khi nung vật liệu ở nhiệt độ cao (thường khoảng 800°C – 1000°C). Quá trình này là sự phân huỷ nhiệt độ của CaCO_3 thành CaO và khí CO_2 . Khối lượng mất đi chủ yếu là khí CO_2 thoát ra.

2.2. Quy trình xử lý vật liệu vỏ hàu trước khi thí nghiệm

Theo B. Bunyamin và A. Mukalis [9], sau khi vỏ hàu được thu thập và làm sạch, vỏ hàu được nung trong thùng kim loại ở nhiệt độ 200°C để loại bỏ tạp chất hữu cơ và làm khô.

Vỏ hàu sau khi loại bỏ tạp chất hữu cơ và căn bản bằng phương pháp cơ học sẽ trực tiếp nghiền thành bột với kích thước hạt tương đương xi măng (36–75 μm) để tăng khả năng phản ứng thủy hoá.

2.3. Các tính chất của vữa và bê tông sử dụng vỏ hàu nghiền mịn thay thế xi măng

2.3.1. Một số tính chất của vữa

➤ Cường độ chịu nén

Ảnh hưởng của việc bổ sung bột vỏ hàu nung đến sự phát triển cường độ nén của vữa xi măng, trong nghiên cứu của J.H. Seo và cộng sự [10]. Lượng bột vỏ hàu nung trộn vào có ảnh hưởng đáng kể đến sự phát triển cường độ nén của vữa xi măng.

➤ Độ lưu động

Biểu đồ kết quả thí nghiệm độ lưu động của vữa xi măng kết hợp với bột vỏ hàu nung được thực hiện trong nghiên cứu của J.H. Seo và cộng sự [10]. Ảnh hưởng của việc kết hợp bột vỏ hàu nung lên khả năng làm việc của vữa đã được thực hiện bằng phương pháp thử nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM C1437–15.

2.3.2. Một số tính chất của bê tông

➤ Cường độ chịu nén

Nghiên cứu đánh giá các đặc tính của bê tông sử dụng bột vỏ hào thay thế xi măng đã được thực hiện bởi P.D. Maneeth và cộng sự [11] để đánh giá tính công tác và tính chất của bê tông xi măng cường độ cao bằng cách thay thế một phần xi măng bằng bột vỏ hào với tỷ lệ 1%, 2%, 3%, 4% và 5% trong 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày.

➤ **Cường độ chịu kéo**

Kết quả nghiên cứu của M. Olivia và cộng sự [12] về cường độ chịu kéo cho thấy có sự tăng dần của cả OPC và bê tông vỏ nhuyễn thể. Sự gia tăng cường độ kéo của bê tông vỏ nhuyễn thể tương đối cao hơn OPC sau 28 ngày. Đặc tính cường độ được xác định bằng cách tiến hành thí nghiệm cường độ chịu kéo (SNI 03-2491-2002).

➤ **Cường độ chịu uốn**

Cường độ chịu uốn trung bình của bê tông OPC và bê tông vỏ nhuyễn thể được trình bày trong nghiên cứu của M. Olivia và cộng sự [12]. Nhìn chung các giá trị thay đổi trong khoảng 4,5–6,75 MPa. Đặc tính cường độ được xác định bằng cách tiến hành thí nghiệm cường độ chịu uốn (SNI 02-4431-1997).

➤ **Môđun đàn hồi**

Trong nghiên cứu thí nghiệm về tính chất cơ học của bê tông vỏ nhuyễn thể do tác giả M. Olivia và cộng sự [12] thực hiện cho thấy, môđun đàn hồi trung bình của bê tông OPC cao hơn môđun đàn hồi trung bình của bê tông vỏ nhuyễn thể ở 7, 28 và 91 ngày tuổi. Tuy nhiên, mức tăng môđun đàn hồi của bê tông vỏ nhuyễn thể cao hơn bê tông OPC.

2.3.3. Ảnh hưởng của độ mịn đến tính chất của bê tông

Độ mịn của vỏ hào ảnh hưởng chủ yếu đến tính công tác của bê tông nhưng không ảnh hưởng đáng kể đến cường độ. Thay vào đó, tỷ lệ thay thế và thành phần hoá học của vỏ hào mới là yếu tố quan trọng.

2.3.4. Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén của vữa và bê tông

Khi xi măng được thay thế một phần bằng bột vỏ hào, do hình dáng góc cạnh đặc thù và tỷ lệ độ mịn của hạt đã ảnh hưởng đến cường độ nén. Tuy nhiên, sự giảm sút này ít đáng kể hơn ở tỷ lệ nước và chất kết dính thấp so với tỷ lệ cao.

2.4. Cơ sở thiết kế thành phần cấp phối bê tông

Việc thiết kế thành phần cấp phối của bê tông được tính toán dựa trên tiêu chuẩn ACI 211.1-91 [13], tiêu chuẩn ACI 211.1-91 đã được nhiều nghiên cứu tại Việt Nam sử dụng để thiết kế thành phần cấp phối của bê tông trong điều kiện tại Việt Nam chưa có tiêu chuẩn tương đương.

2.5. Một số nghiên cứu về mô phỏng ứng xử của dầm bê tông cốt thép khi uốn

Nghiên cứu của H. Sinaei và cộng sự [14] đã mô phỏng một dầm BTCT được thử nghiệm trước đó và so sánh kết quả mô phỏng bằng phần mềm ABAQUS với thực nghiệm.

A. Halahla [15] đã tập trung vào việc so sánh kết quả mô phỏng với dữ liệu thực nghiệm và phương pháp tính toán thủ công.

Nghiên cứu của L. Yan [16] đã trình bày việc sử dụng phần mềm MIDAS FEA để phân tích và thiết kế gia cường dầm BTCT bằng vật liệu CFRP.

2.6. Giới thiệu về một số phần mềm phổ biến để mô phỏng ứng xử uốn của dầm bê tông cốt thép.

Trong nghiên cứu và thiết kế kết cấu, việc sử dụng các phần mềm mô phỏng số ngày càng trở nên phổ biến nhằm phân tích chính xác ứng xử cơ học của kết cấu BTCT, đặc biệt là trong bài toán uốn. Các phần mềm phổ biến như: ABAQUS, ANSYS, MIDAS FEA,...

Chương 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM SỬ DỤNG VỎ HÀU NGHIÊN MỊN THAY THẾ XI MĂNG CHO VỮA VÀ BÊ TÔNG

3.1. Các tính chất của vật liệu sử dụng

Xi măng Portland PCB40

Cốt liệu mịn là cát sông có mô đun 1.8

Cốt liệu thô (đá) với $D_{\max} = 20\text{mm}$

Vỏ hàu được vệ sinh, nghiền, nung và sàng, kết quả kích thước hạt trung bình $27,46\text{ }\mu\text{m}$, thành phần hoá học chứa chủ yếu CaO chiếm 87,77 % khối lượng.

3.2. Thiết kế thành phần cấp phối

Thiết kế mẫu bê tông có cấp độ bền B27,5 (M350), độ sụt từ 75–100 mm. Cốt liệu thô có kích thước danh nghĩa $D_{\max} = 20\text{ mm}$ và khối lượng thể tích tự nhiên là 1518 kg/m^3 . Mô đun độ lớn của cát là 1,8.

Lượng nước nhào trộn cần thiết để đảm bảo độ sụt mục tiêu 75–100 mm, tỷ lệ nước–xi măng là 0,46.

$\Rightarrow$ Lượng xi măng cần dùng: $203/0,46 = 441\text{ kg/m}^3$.

Với mô đun độ lớn của cát là 1,8 và kích thước danh nghĩa của cốt liệu thô là 20 mm, nội suy ta được giá trị thể tích của đá ở trạng thái tự nhiên trên 1 m^3 bê tông là $0,73\text{ m}^3$.

$\Rightarrow$ Khối lượng của đá: $1518 \times 0,73 = 1108\text{ kg/m}^3$.

Với lượng nước, xi măng, đá đã tính toán, lượng vật liệu còn lại trên 1 m^3 bê tông là cát. Cát cần được xác định trên cơ sở khối lượng, khối lượng của 1 m^3 bê tông với $D_{\max}$ cốt liệu 20 mm là 2351 kg.

Khối lượng đã biết:

Nước	203 kg
Xi măng	441 kg
Đá	1108 kg
Tổng	1752 kg

Do đó khối lượng của cát: $2351 - 1752 = 599\text{ kg}$

Đá có độ ẩm 2%, cát là 15,5%. Khi đó khối lượng của cốt liệu được điều chỉnh sẽ là:

Đá (ẩm) $1108 \times 1,02 = 1130\text{ kg}$

Cát (ấm) $599 \times 1,155 = 692 \text{ kg}$

Khi đó khối lượng của các vật liệu cho 1 m³ bê tông ở trạng thái tự nhiên là:

Nước	203 kg
Xi măng	441 kg
Đá (ấm)	1130 kg
Cát (ấm)	692 kg
Tổng	2466 kg

Mặc dù lượng nước được tính toán để cho vào là 203 kg, nhưng theo thí nghiệm thực tế để đạt độ sụt 75–100 mm cần 213 kg. Khi tăng lượng nước nhào trộn thì cần phải tăng lượng xi măng để có tỷ lệ nước–xi măng là 0,46. Khối lượng xi măng mới là 468 kg. Khi đó mẻ trộn thí nghiệm có:

Nước	213 kg
Xi măng	468 kg
Đá (ấm)	1130 kg
Cát (ấm)	692 kg
Tổng	2503 kg

3.3. Phương pháp thí nghiệm của vữa

- Thí nghiệm xác định độ lưu động của vữa theo tiêu chuẩn TCVN 3121–3:2022 [17], trước khi thử cần lau sạch khâu và chày bằng vải ẩm, đặt khâu vào giữa bàn dẫn. Xúc vữa vào khâu thành 2 lớp, mỗi lớp đầm 10 cái từ ngoài vào trong sao cho vữa đầy kín và đồng nhất trong khâu. Gạt phẳng vữa thừa trên mặt khâu, lau sạch nước và vữa xung quanh khâu. Từ từ nhấc khâu lên theo phương thẳng đứng và cho máy dẫn 15 lần. Dùng thước đo đường kính đáy khối vữa chảy theo chiều vuông góc.

- Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của vữa theo tiêu chuẩn TCVN 3121–11:2022 [18], kết quả thí nghiệm là giá trị trung bình cộng của 6 nửa viên mẫu. Nếu kết quả của viên mẫu nào sai lệch lớn hơn 15% so với giá trị trung bình của các viên mẫu thì loại bỏ kết quả của viên mẫu đó. Khi đó kết quả thử là giá trị trung bình cộng của các viên mẫu còn lại.

- Khối lượng vật liệu cho mỗi tổ hợp vữa được tính toán dựa trên hướng dẫn của tiêu chuẩn TCVN 6016:2011 [19].

3.4. Phương pháp thí nghiệm của bê tông

- Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 3118:2022 [20]. Đầu tiên, cho một lượng nước nhỏ vào cối trộn, cốt liệu thô được trộn với cốt liệu mịn trong máy trộn bê tông, sau đó xi măng được thêm vào và tiếp tục trộn cho đến khi hỗn hợp đồng nhất, thêm từ từ phần nước còn lại và tiếp tục trộn đến khi phân tán đều, VHNM (nếu có) được thêm vào hỗn hợp sau cùng và trộn trong hai phút. Hỗn hợp bê tông được đem đi xác định độ sụt, sau đó đổ vào khuôn đã được bôi chống bám dính trước. Sau 24 giờ tiến hành tháo khuôn và bảo dưỡng mẫu bằng cách ngâm trong nước. Mẫu được vớt ra khỏi nước từ 24–36 giờ trước khi tiến hành nén. Hệ số chuyển đổi kết quả thử giữa mẫu $100 \times 100 \times 100$ mm khác mẫu chuẩn ($150 \times 150 \times 150$ mm) là 0,95 theo tiêu chuẩn TCVN 3118:2022 [20].

- Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 3119:2022 [21]. Đặt mẫu lên gối, uốn mẫu bằng cách tăng tải liên tục với tốc độ không đổi cho tới khi mẫu bị phá hủy. Thời gian gia tải mẫu cho đến khi phá hủy không nhỏ hơn 30s. Kết quả thí nghiệm là giá trị trung bình của 3 mẫu thí nghiệm. Nếu mẫu dầm bị gãy ngoài khoảng một phần ba giữa khẩu độ uốn hoặc bề mặt phá hủy nghiêng quá 15° so với chiều thẳng đứng thì loại bỏ kết quả của viên mẫu này, đồng thời nêu giá trị lớn nhất và nhỏ nhất trong 3 giá trị cường độ viên mẫu không lệch quá 15% so với giá trị cường độ còn lại.

- Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 5726:2022 [22]. Giá trị tải trọng phá hủy dự kiến được lấy bằng 80–90% cường độ chịu nén của tổ mẫu lập phương có cùng kích thước mặt cắt, được chế tạo từ cùng hỗn hợp bê tông. Đặt lực nén ban đầu lên mẫu sao cho không lớn hơn 2% tải phá hủy dự kiến để điều chỉnh đồng hồ đo biến dạng về giá trị 0 quy ước, sau đó tiến hành định tâm mẫu. Gia tải theo từng cấp đến mức tải trọng đạt 35–45% tải phá hủy dự kiến, tốc độ gia tải mỗi cấp bằng 0,4–0,8 MPa/s. Khi tải trọng đạt mức 35–45% tải phá hủy dự kiến, dỡ bỏ thiết bị đo khỏi mẫu.

3.5. Kết quả thí nghiệm và thảo luận

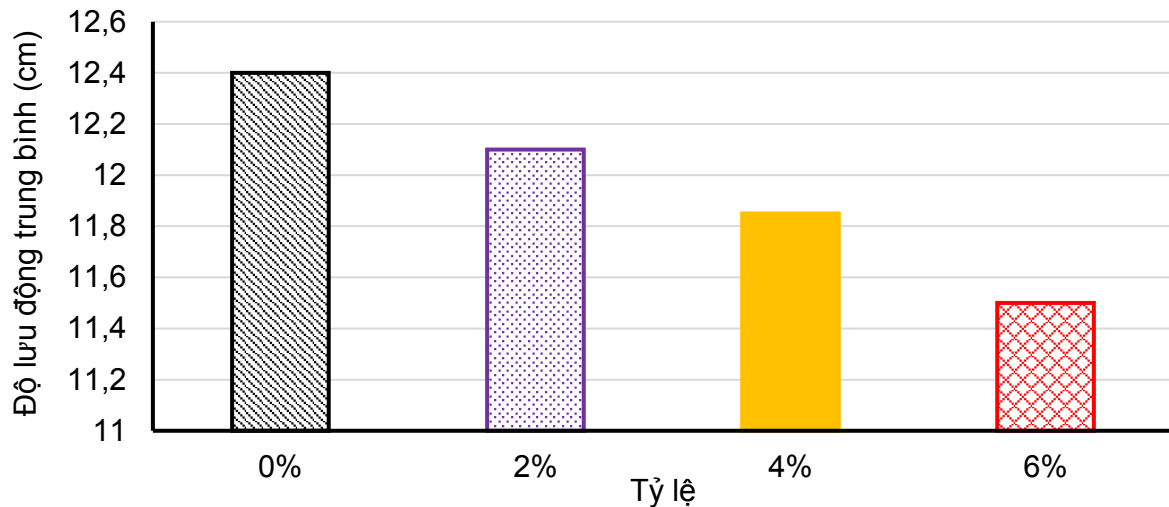
3.5.1. Ảnh hưởng của hàm lượng vỏ hào nghiền mịn đến tính chất của vữa

➤ Độ lưu động của vữa

Kết quả thí nghiệm độ lưu động của vữa với tỷ lệ thay thế vỏ hào nghiền mịn khác nhau được hiển thị trong Hình 3.1. Kết quả cho thấy, khi tỷ lệ thay thế xi măng bằng VHNM tăng từ 0% lên 6%, độ lưu động của vữa có xu hướng giảm dần. Cụ thể, tại tỷ lệ 0%, độ lưu động đạt 12,4 cm, cao nhất trong các mẫu thử. Khi bổ sung 2% VHNM, độ lưu động giảm nhẹ xuống 12,1 cm, và tiếp tục giảm còn 11,85 cm ở tỷ lệ 4%. Đến mức 6%, độ lưu động giảm mạnh xuống 11,5 cm, thấp nhất trong các mẫu.

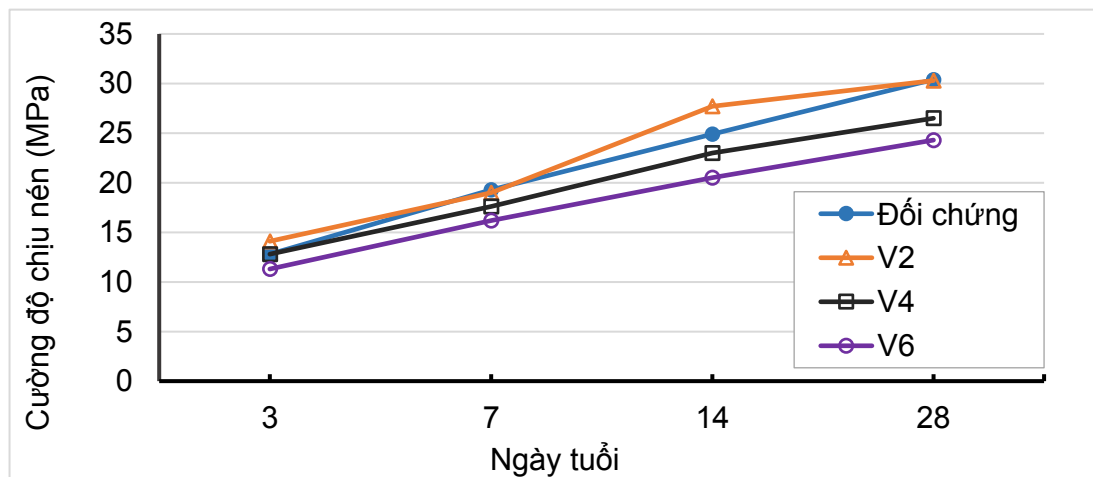
Sự suy giảm độ lưu động có thể được giải thích bởi đặc tính hình học và tính chất bề mặt của vỏ hào nghiền. Vật liệu này thường có kích thước hạt lớn và bề mặt nhám, dẫn đến khả năng hút nước cao so với xi măng Portland, từ đó làm giảm lượng nước tự do trong hỗn hợp và gây cản trở chuyển động của các hạt trong vữa. Vỏ hào chủ yếu đóng vai trò như vật liệu

trơ, làm tăng độ ma sát nội bộ trong hỗn hợp vữa.



Hình 3.1. Biểu đồ kết quả độ lưu động của vữa.

➤ Cường độ chịu nén của vữa



Hình 3.2. Biểu đồ cường độ chịu nén của vữa với tỷ lệ thay thế vỏ hào khác nhau

Theo kết quả thí nghiệm cho thấy, với tỷ lệ 2% thì mẫu vữa đạt cường độ cao hơn đối chứng ở 3 ngày tuổi (14,1 MPa so với 12,8 MPa tương ứng với khoảng 10,16%) và 14 ngày tuổi (27,7 MPa so với 24,9 MPa tương ứng 11,25%), đồng thời duy trì giá trị tương đương mẫu đối chứng ở 28 ngày tuổi (30,3 MPa so với 30,4 MPa). Điều này cho thấy VHNH ở tỷ lệ 2% có thể đóng vai trò như chất độn hoạt tính, cải thiện cấu trúc vi mô và thúc đẩy quá trình thủy hóa trong giai đoạn đầu, đồng thời ổn định cường độ ở giai đoạn dài hạn.

Tỷ lệ 4% và 6% cho thấy cường độ chịu nén giảm dần so với mẫu đối chứng ở tất cả ngày tuổi, điển hình khi đạt 28 ngày tuổi, cường độ chịu nén của mẫu chứa 4% vỏ hào giảm 12,83% và mẫu chứa 6% vỏ hào giảm 20,07% so với mẫu đối chứng. Nguyên nhân có thể do lượng xi măng bị thay thế quá lớn, làm giảm khả năng hình thành các sản phẩm thủy hóa cần thiết, dẫn đến cấu trúc vữa kém bền.

Sử dụng VHNM thay thế 2% khối lượng xi măng mang lại hiệu quả tích cực về cường độ chịu nén, được xem là tỷ lệ tối ưu để thực hiện các thí nghiệm trên bê tông.

3.5.2. Ảnh hưởng của hàm lượng vỏ hào nghiền mịn đến tính chất của bê tông

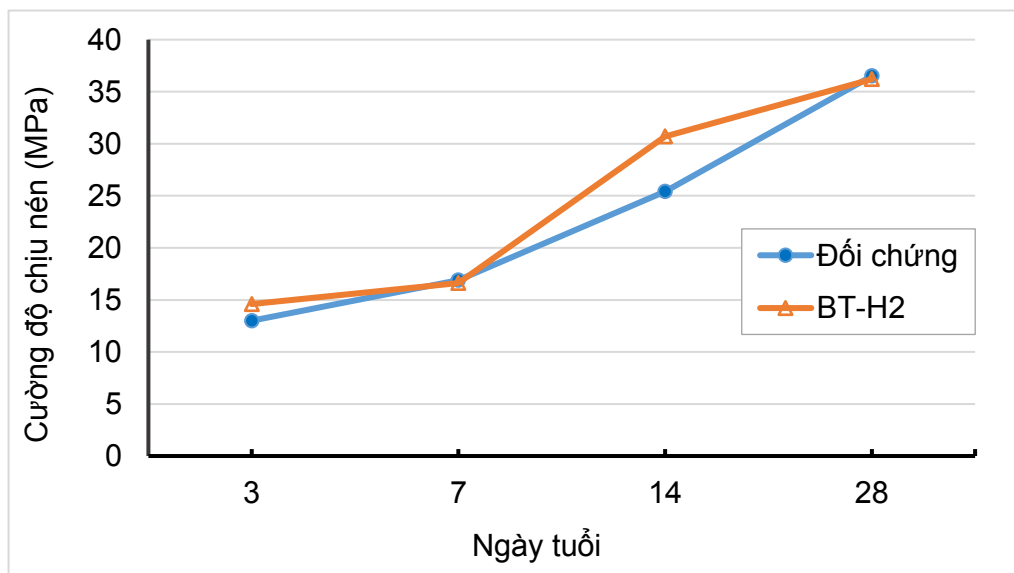
➤ Độ sụt của bê tông

Với cấp phối được sử dụng, kết quả thí nghiệm độ sụt bê tông cho thấy khi thay thế 2% xi măng bằng VHNM, độ sụt giảm từ 8 cm (mẫu đối chứng) xuống 6 cm (mẫu có chứa vỏ hào). Điều này phản ánh sự thay đổi đáng kể trong tính công tác của hỗn hợp bê tông. Nguyên nhân có thể do khả năng hấp thụ nước của vỏ hào cao hơn xi măng, làm giảm lượng nước trong hỗn hợp, dẫn đến hỗn hợp đặc hơn và giảm độ linh động. Kích thước và hình dạng hạt vỏ hào có thể ảnh hưởng đến sự phân bố vật liệu, hạn chế khả năng chảy của bê tông.

Bảng 3.5. Bảng cấp phối thí nghiệm bê tông.

Ký hiệu	Xi măng	Cát	Đá	Nước	Vỏ hào
Đối chứng	468	692	1130	213	0
BT-H2	458,64	692	1130	213	9,36

➤ Cường độ chịu nén của bê tông



Hình 3.3. Biểu đồ cường độ chịu nén của bê tông.

Việc sử dụng VHNM thay thế 2% xi măng trong bê tông cho thấy tác động đáng kể đến cường độ chịu nén qua các giai đoạn phát triển. Ở ngày thứ 3, mẫu chứa 2% vỏ hào đạt cường độ 14,6 MPa, cao hơn mẫu đối chứng (13 MPa), phản ánh khả năng thúc đẩy quá trình hydrat hóa sớm nhờ tính chất độn hoặc phản ứng pozzolanic của vật liệu thay thế. Tuy nhiên, đến ngày thứ 7, cường độ mẫu 2% giảm nhẹ (16,6 MPa so với 16,9 MPa của đối chứng) phản ánh khả năng thúc đẩy quá trình hydrat hóa sớm nhờ tính chất độn hoặc phản ứng pozzolanic của

vật liệu thay thế. Giai đoạn 14 ngày ghi nhận sự vượt trội rõ rệt của mẫu 2% (30,7 MPa) so với đối chứng (25,4 MPa), chứng tỏ hiệu quả tích cực của vỏ hào trong việc cải thiện độ đặc chắc và liên kết theo thời gian. Đến ngày 28, cường độ hai mẫu gần như cân bằng (36,5 MPa vs 36,2 MPa), cho thấy tỷ lệ thay thế 2% không làm giảm cường độ cuối cùng, đồng thời phản ánh khả năng tối ưu hóa vật liệu mà không ảnh hưởng đến tính chất cơ học lâu dài.

➤ Cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông

Giá trị trung bình cường độ chịu kéo khi uốn của mẫu đối chứng đạt 3,29 MPa, trong khi đó mẫu BT-H2 đạt giá trị trung bình là 5,21 MPa, cao hơn khoảng 58,36%. Sự gia tăng đáng kể này cho thấy việc bổ sung VHNM ở mức 2% không những không làm suy giảm cường độ kéo khi uốn mà còn có khả năng cải thiện đáng kể tính chất cơ học của bê tông.

Nguyên nhân chính có thể đến từ hiệu ứng “packing” (lấp đầy khe hở vi mô) do các hạt vỏ hào mịn tạo ra, giúp tăng mật độ đặc chắc của cấu trúc bê tông. Ngoài ra, thành phần CaCO_3 chủ yếu trong vỏ hào có thể đóng vai trò như một phụ gia khoáng hoạt tính nhẹ, góp phần thúc đẩy quá trình thủy hóa, cải thiện sự phát triển cấu trúc vi mô của sản phẩm hydrat.

➤ Môđun đàn hồi của bê tông

Mẫu đối chứng (không sử dụng vỏ hào) có giá trị môđun đàn hồi trung bình (E_{tb}) là 32,54 GPa, trong khi mẫu BT-H2 (có sử dụng 2% VHNM) đạt E_{tb} cao hơn, ở mức 33,086 GPa.

Cụ thể, các giá trị riêng lẻ của E đối với mẫu đối chứng là 30,637; 31,969 và 35,014 GPa, cho thấy sự dao động trong khoảng $\pm 6,7\%$ so với giá trị trung bình. Trong khi đó, mẫu BT-H2 ghi nhận các giá trị E lần lượt là 36,462; 32,411 và 30,385 GPa, dao động trong khoảng $\pm 9,4\%$ cho thấy mức biến thiên tương đương, nhưng giá trị cực đại của môđun đàn hồi ở mẫu có vỏ hào cao hơn mẫu đối chứng (36,462 GPa so với 35,014 GPa).

Mặc dù giá trị cường độ nén (σ) của mẫu BT-H2 (9,72315 MPa) thấp hơn nhẹ so với mẫu đối chứng (9,8039 MPa), sự chênh lệch là không đáng kể (khoảng 0,8%), cho thấy việc bổ sung VHNM không làm suy giảm rõ rệt khả năng chịu nén của bê tông. Ngược lại, sự gia tăng nhẹ về môđun đàn hồi trung bình cho thấy vật liệu bổ sung này có thể góp phần cải thiện tính đàn hồi và khả năng chịu biến dạng của bê tông ở giai đoạn 28 ngày tuổi.

Điều này phản ánh một xu hướng tích cực, cho thấy sự đóng góp của VHNM vào cấu trúc vi mô của bê tông, giúp cải thiện độ đặc chắc và khả năng chịu biến dạng đàn hồi dài hạn, khẳng định tính bền cơ học ổn định của bê tông có chứa vỏ hào.

3.6. Dự báo ứng xử uốn của dầm bê tông cốt thép sử dụng vỏ hào nghiền mịn

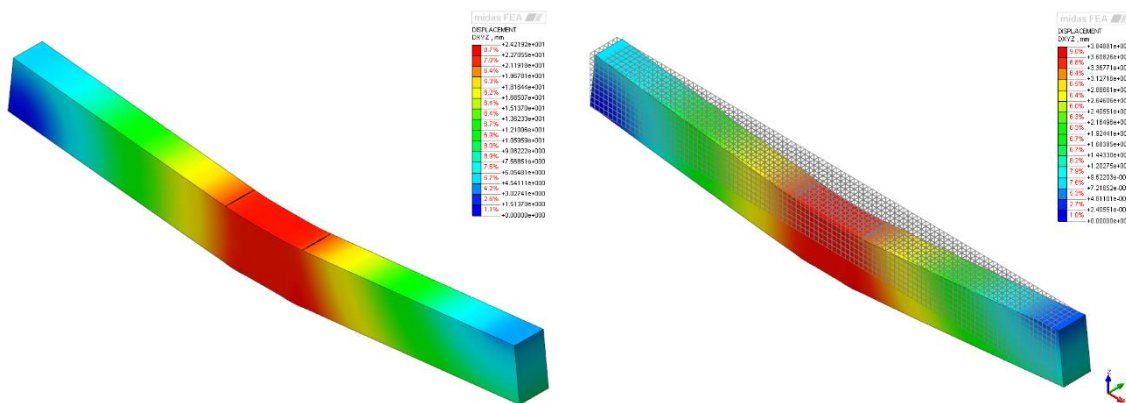
MIDAS FEA (Finite Element Analysis) là một phần mềm phân tích kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Quá trình phát triển phần mềm bắt đầu từ đầu những năm 2000 với mục tiêu tạo ra một công cụ phân tích tiên tiến, có khả năng xử lý các bài toán kết cấu phi tuyến phức tạp mà các phần mềm thông thường khó đáp ứng. Đến nay, MIDAS FEA đã trải qua nhiều giai đoạn cải tiến, tích hợp các thuật toán hiện đại và tối ưu giao diện người dùng, trở thành một trong những phần mềm mô phỏng kết cấu chuyên sâu có hiệu suất cao.

Phần mềm MIDAS FEA được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực phân tích kết cấu công trình dân dụng, cầu đường, hầm, và các công trình có yêu cầu cao về độ chính xác trong phân tích ứng xử phi tuyến của vật liệu và kết cấu. Đặc biệt, phần mềm cho phép mô phỏng chi tiết các hiện tượng như nứt bê tông, biến dạng dẻo, ứng xử dính trượt tại liên kết, và phân tích ổn định kết cấu trong điều kiện tải trọng phức tạp. Với khả năng mô phỏng các bài toán 3D phi tuyến, MIDAS FEA thường được sử dụng trong các nghiên cứu chuyên sâu hoặc các dự án có yêu cầu kỹ thuật cao.

Phần mềm cho phép người dùng kiểm soát chi tiết các tham số vật liệu, điều kiện biên và mô hình tính toán, đồng thời cung cấp các công cụ đánh giá kết quả trực quan và đầy đủ. MIDAS FEA cũng thường xuyên được cập nhật và kiểm tra độ chính xác thông qua các tiêu chuẩn quốc tế và đối chiếu với kết quả thực nghiệm.

Từ các kết quả thí nghiệm thực tế có được trong nghiên cứu này về cường độ chịu nén có kết quả trung bình ở 28 ngày tuổi của mẫu đối chứng là 36,5 MPa và mẫu BT-H2 là 36,2 MPa, cường độ chịu kéo khi uốn trung bình của mẫu đối chứng là 3,29 MPa và mẫu BT-H2 là 5,21 MPa, mô đun đàn hồi của mẫu đối chứng là 32,54 GPa và mẫu BT-H2 là 33,086 GPa. Các thông số này lần lượt được nhập vào đặc trưng vật liệu cho mô hình trong mô phỏng. Việc dự báo ứng xử uốn của dầm BTCT sử dụng VHNM với tỷ lệ thay thế 2% khối lượng xi măng (BT-H2), so sánh với dầm BTCT thông thường (mẫu đối chứng) có kích thước tiết diện $5000 \times 500 \times 300$ mm đã được thực hiện trên phần mềm MIDAS FEA.

3.6.1. Quan hệ tải trọng – độ võng



a) Đối chứng

b) BT-H2

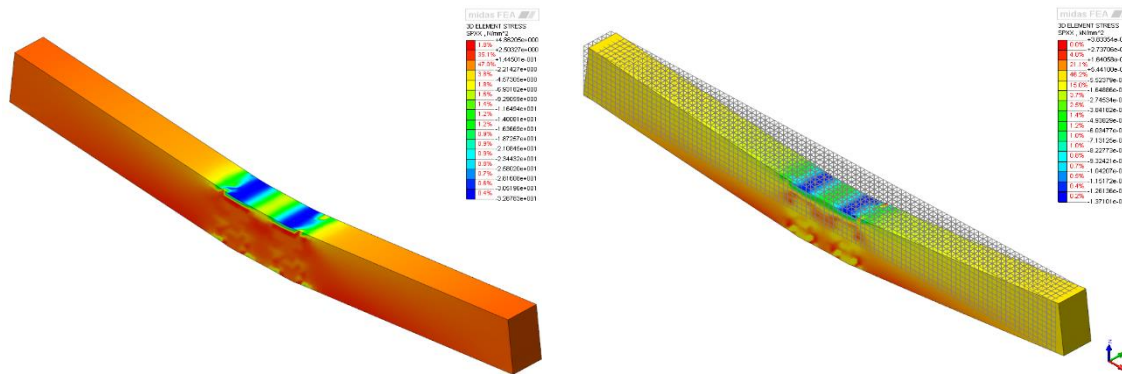
Hình 3.4. Mô hình độ võng của dầm sau khi gia tải.

Kết quả phân tích cho thấy, ở mô hình mẫu dầm đối chứng, chuyển vị cực đại đạt giá trị 24,2 mm, trong khi đó mô hình mẫu dầm BT-H2 chỉ đạt 3,85 mm, điều này cho thấy sự chênh lệch đáng kể về độ võng. Hiện tượng này chứng minh rằng việc thay thế xi măng bằng VHNM không làm giảm khả năng chịu lực của bê tông, thậm chí còn góp phần cải thiện độ cứng của dầm.

3.6.2. Quan hệ ứng suất – biến dạng

Vùng chịu nén lớn nhất tại đáy dầm ở giữa nhịp trong mô hình đối chứng xuất hiện các dải màu từ xanh lam đến đỏ, biểu thị sự thay đổi đột ngột của ứng suất. Trong khi đó, ở mô hình BT-H2, sự phân bố ứng suất trở nên đồng đều hơn với dải màu trải đều và ít tập trung hơn, cho thấy vật liệu có khả năng phân tán ứng suất tốt hơn nhờ vào vi cấu trúc cải thiện từ VHNM, hiện tượng này góp phần làm giảm nguy cơ nứt cục bộ sớm.

Bên cạnh đó, hình dạng biến dạng tổng thể của dầm cũng cho thấy sự cứng hơn ở mô hình BT-H2, thể hiện qua độ võng nhỏ hơn trong điều kiện chịu tải tương đương. Điều này ngụ ý rằng việc thay thế 2% xi măng bằng VHNM không những không làm suy giảm khả năng chịu lực của dầm mà còn cải thiện tính chất cơ học thông qua việc nâng cao khả năng chống nứt và tăng độ bền lâu dài

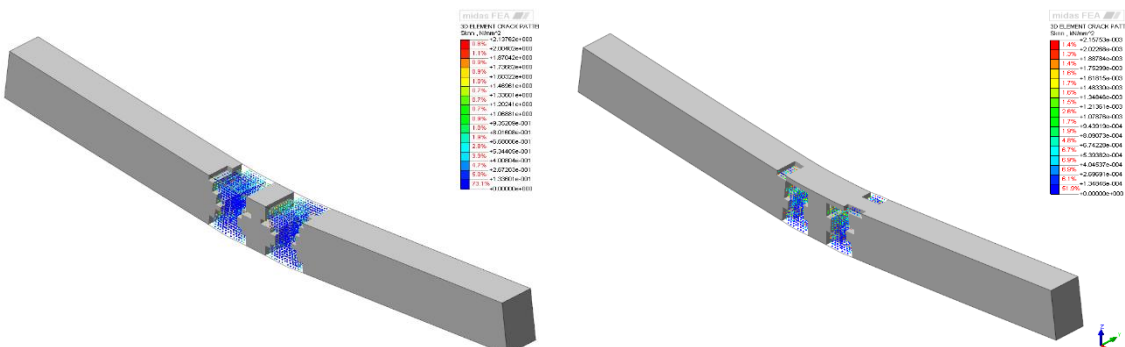


a) Đối chứng

b) BT-H2

Hình 3.5. Mô hình ứng suất–biến dạng trong dầm.

3.6.3. Sự hình thành vết nứt



a) Đối chứng

b) BT-H2

Hình 3.6. Mô hình mô phỏng vết nứt dầm.

Ở mô hình đối chứng, các vết nứt tập trung xuất hiện tại vùng có vị trí chịu uốn lớn nhất, vết nứt rộng, kéo dài theo phương thẳng đứng và có mật độ cao. Mức độ phân bố ứng suất tại các điểm nứt cho thấy hiện tượng tập trung ứng suất diễn ra mạnh mẽ, gây ra phá hoại giòn cục bộ tại vùng liên kết.

Trong khi đó, mẫu chứa 2% vỏ hào có ứng suất thấp hơn, các vết nứt xuất hiện thưa hơn, ngắn hơn và chỉ nứt nhẹ cục bộ quanh khu vực yếu. Vết nứt đã xuất hiện rõ rệt trên mẫu đối chứng nhưng chỉ vừa bắt đầu nứt trên mẫu có chứa 2% vỏ hào.

Điều này chứng tỏ rằng việc thay thế 2% xi măng bằng VHNM không những không làm giảm chất lượng kết cấu mà còn góp phần cải thiện khả năng phân tán ứng suất và kiểm soát sự phát triển của vết nứt. Cơ chế này có thể được lý giải thông qua sự hiện diện của các hạt vỏ hào mịn hoạt tính pozzolanic, giúp tăng cường sự phát triển vi cấu trúc bền chắc và nâng cao khả năng kháng nứt của bê tông.

Phần III. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Nghiên cứu đã xác định được cấu trúc vi mô, thành phần hạt, thành phần hóa học chủ yếu của vỏ hào, trong đó hàm lượng CaO chiếm trên 85% khối lượng, là yếu tố cơ sở để sử dụng làm vật liệu thay thế xi măng.

Nghiên cứu đã chứng minh được hiệu quả của việc sử dụng VHNM thay thế một phần xi măng ở tỷ lệ 2% là tối ưu thông qua thí nghiệm cường độ chịu nén của vữa. Kết quả cho thấy ở tỷ lệ này, VHNM đóng vai trò như chất độn hoạt tính, cải thiện cấu trúc vi mô và thúc đẩy quá trình thủy hoá.

Cường độ chịu nén của bê tông ở mức thay thế 2% đạt kết quả có phần tốt hơn so với mẫu đối chứng, đặc biệt là ở giai đoạn 3 và 14 ngày tuổi. Kết quả cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông trên mẫu có sử dụng VHNM tăng đáng kể (khoảng 58%) so với mẫu đối chứng, cho thấy hiệu ứng lấp đầy vi mô đã tạo nên một vi cấu trúc đặc khít giúp phân tán ứng suất tốt hơn khi chịu tải uốn. Ngoài ra, bề mặt góc cạnh đặc thù của vỏ hào giúp tăng khả năng bám dính với hồ xi măng. Mô đun đàn hồi của bê tông có sử dụng VHNM đạt giá trị trung bình tương đương mẫu đối chứng, cho thấy không ảnh hưởng tiêu cực đến khả năng biến dạng đàn hồi của vật liệu.

Nghiên cứu đã dự báo ứng xử uốn của dầm BTCT sử dụng VHNM trên phần mềm MIDAS FEA, kết quả cho thấy tính khả thi của vật liệu thông qua việc xác định quan hệ tải trọng–độ võng, ứng suất–biến dạng và sự hình thành các vết nứt. Khi chịu tải trọng tương đương, dầm BTCT sử dụng VHNM có độ võng thấp hơn và ứng suất phân bố đồng đều hơn dầm BTCT thông thường, điều này khiến cho các vết nứt xuất hiện muộn hơn do khả năng chịu tải uốn của dầm BTCT có sử dụng VHNM được cải thiện đáng kể nhờ vào hình dáng góc cạnh đặc thù và hiệu ứng lấp đầy vi mô, giúp dầm có khả năng phân tán ứng suất tốt hơn khi chịu tải trọng.

2. Kiến nghị

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu thực nghiệm về việc sử dụng VHNM thay thế một phần xi măng trong chế tạo bê tông, đề án bước đầu đã chứng minh được tính khả thi về mặt kỹ thuật và môi trường. Để phát triển hướng nghiên cứu này theo chiều sâu và có thể đưa vào ứng dụng thực tiễn trong ngành xây dựng, đề án đề xuất một số kiến nghị như sau:

Cần thực hiện thêm nhiều nghiên cứu thực nghiệm về các tính chất của bê tông sử dụng VHNM, mở rộng nghiên cứu về độ bền (khả năng chống thấm, chống xâm thực sunfat,...). Từ đó tạo cơ sở khoa học cho việc ứng dụng VHNM trong các công trình xây dựng.

Khuyến khích các doanh nghiệp sản xuất vật liệu xây dựng thử nghiệm áp dụng công nghệ này trong sản phẩm thương mại. Việc này không chỉ giúp giảm lượng xi măng tiêu thụ mà còn giúp tái sử dụng vật liệu phế thải, phù hợp với chiến lược phát triển vật liệu xây dựng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] “Năm thứ 2 liên tiếp ngành xi măng tiêu thụ vượt mốc 100 triệu tấn.” Accessed: Mar. 03, 2022. [Online]. Available: <https://vicem.vn/nam-thu-2-lien-tiep-nganh-xi-mang-tieu-thu-vuot-moc-100-trieu-tan-1727.html>
- [2] C. O. Rusănescu *et al.*, “Recovery of Sewage Sludge in the Cement Industry,” *Energies*, vol. 15, no. 7, p. 2664, Apr. 2022, doi: 10.3390/en15072664.
- [3] N. Chatziaras, C. S. Psomopoulos, and N. J. Themelis, “Use of waste derived fuels in cement industry: a review,” *Manag. Environ. Qual. An Int. J.*, vol. 27, no. 2, pp. 178–193, Mar. 2016, doi: 10.1108/MEQ-01-2015-0012.
- [4] Supriya, R. Chaudhury, U. Sharma, P. C. Thapliyal, and L. P. Singh, “Low-CO2 emission strategies to achieve net zero target in cement sector,” *J. Clean. Prod.*, vol. 417, p. 137466, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137466.
- [5] K. Korczak, M. Kochański, and T. Skoczkowski, “Mitigation options for decarbonization of the non-metallic minerals industry and their impacts on costs, energy consumption and GHG emissions in the EU - Systematic literature review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 358, p. 132006, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.132006.
- [6] N. T. Bin, “Đánh giá khả năng thay thế một phần xi măng trong vữa bằng tro trấu,” *Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng*, 2016.
- [7] N. T. T. Thảo, T. N. Hải, H. T. Nhân, and D. M. Thùy, “Một số đặc điểm hình thái hàu *Crassostrea belcheri* và mô hình nuôi hàu tại tỉnh Bến Tre,” *Can Tho Univ. J. Sci.*, vol. 54(1), p. 92, 2018, doi: 10.22144/ctu.jvn.2018.013.
- [8] T. S. Quân, “Influence of fine aggregates replaced ratio on shear strength of oyster shell concrete beam using GFRP rebars,” *Transp. Commun. Sci. J.*, vol. 75, no. 7, pp. 2139–2153, Sep. 2024, doi: 10.47869/tcsj.75.7.11.
- [9] B. Bunyamin and A. Mukhlis, “Utilization of Oyster Shells as a Substitute Part of Cement and Fine Aggregate in the Compressive Strength of Concrete,” *Aceh Int. J. Sci. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 150–156, Dec. 2020, doi: 10.13170/aijst.9.3.17761.
- [10] J. H. Seo, S. M. Park, B. J. Yang, and J. G. Jang, “Calcined Oyster Shell Powder as an Expansive Additive in Cement Mortar,” *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 8, p. 1322, Apr. 2019, doi: 10.3390/ma12081322.
- [11] S. S. J. and G. S. Maneeth P D, Shreenivas Reddy Shahapur, “To Evaluate the Properties of Concrete Including using Oyster Shell Powder in Place of Cement,” *Indian J. Nat. Sci.*, vol. 12, no. 70, pp. 38375–38381, 2022, doi: 10.13140/RG.2.2.29167.92325.
- [12] M. Olivia, A. A. Mifshella, and L. Darmayanti, “Mechanical Properties of Seashell Concrete,” *Procedia Eng.*, vol. 125, pp. 760–764, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.127.
- [13] A. 211.1-91, *Lựa chọn thành phần cấp phối bê tông thông thường, bê tông nặng, bê tông khối lớn*, vol. 211. 1991, pp. 1–38.
- [14] Hamid Sinaei, “Evaluation of reinforced concrete beam behaviour using finite element

- analysis by ABAQUS,” *Sci. Res. Essays*, vol. 7, no. 21, Jun. 2012, doi: 10.5897/SRE11.1393.
- [15] A. Halahla, “Study the Behavior of Reinforced Concrete Beam Using Finite Element Analysis,” Apr. 2018. doi: 10.11159/icsenm18.103.
- [16] L. Yan, “Using MIDAS software to analyze the reinforced concrete beam reinforcement with pasted carbon fiber reinforced polymers,” *Int. J. Sci.*, vol. 5, no. 11, pp. 63–70, 2018.
- [17] Bộ khoa học và công nghệ, *TCVN 3121-3:2022 - Vữa xây dựng - Phương pháp thử - Phần 3: Xác định độ lưu động của vữa tươi (phương pháp bàn dần)*. 2022.
- [18] Bộ khoa học và công nghệ, *TCVN 3121-11:2022 - Vữa xây dựng - Phương pháp thử - Phần 11: Xác định cường độ uốn và nén của vữa đóng rắn*. 2022.
- [19] Bộ khoa học và công nghệ, *TCVN 6016:2011. Xi măng - Phương pháp thử - Xác định cường độ*. 2011.
- [20] Bộ khoa học và công nghệ, *TCVN 3118:2022: Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu nén*. 2022.
- [21] Bộ khoa học và công nghệ, *TCVN 3119:2022: Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu kéo khi uốn*. 2022.
- [22] Bộ khoa học và công nghệ, *TCVN 5726:2022: Bê tông - Phương pháp xác định cường độ lăng trụ, môđun đàn hồi và hệ số poisson*. 2022.