

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

NGHIÊN CỨU CẢI THIỆN ĐẶC TÍNH KỸ THUẬT VÀ ĐẶC TÍNH
ĐỘ BỀN CỦA BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG CAO SỬ DỤNG CÁT
NHIỄM MẶN VÀ PHẾ THẢI CÔNG NGHIỆP

Mã số: T2022-06-04

Chủ nhiệm đề tài : TS. Nguyễn Tấn Khoa
Khoa : Kỹ thuật Xây dựng

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

**NGHIÊN CỨU CẢI THIỆN ĐẶC TÍNH KỸ THUẬT VÀ ĐẶC TÍNH
ĐỘ BỀN CỦA BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG CAO SỬ DỤNG CÁT
NHIỄM MẶN VÀ PHÉ THẢI CÔNG NGHIỆP**

Mã số: T2022-06-04

Xác nhận của cơ quan chủ trì đề tài
KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG

Chủ nhiệm đề tài

PGS. TS. Võ Trung Hùng

Nguyễn Tấn Khoa

DANH SÁCH THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU

STT	Họ và tên	Đơn vị công tác và lĩnh vực chuyên môn
1	ThS. Đoàn Vĩnh Phúc	Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Kỹ thuật vật liệu xây dựng
2	TS. Võ Duy Hải	Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Kỹ thuật vật liệu xây dựng
3	ThS. Lê Thị Phượng	Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Kết cấu công trình

MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của đề tài	1
2. Mục tiêu nghiên cứu.....	2
3. Nội dung nghiên cứu	3
4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	3
5. Phương pháp nghiên cứu.....	3
6. Kết cấu đề tài.....	3
7. Ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn của đề tài	4
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN CÁC VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU.....	5
1.1. Thực trạng khai thác sử dụng cát nhiễm mặn trên thế giới và ở Việt Nam	5
1.1.1. <i>Thực trạng khai thác, sử dụng cát nhiễm mặn trên thế giới</i>	<i>5</i>
1.1.2. <i>Thực trạng khai thác sử dụng cát nhiễm mặn ở Việt Nam.....</i>	<i>7</i>
1.2. Các nghiên cứu về bê tông sử dụng cát nhiễm mặn trên thế giới và Việt Nam.....	9
1.2.1. <i>Tổng quan các nghiên cứu về bê tông sử dụng cát nhiễm mặn trên thế giới.....</i>	<i>9</i>
1.2.2. <i>Tổng quan các nghiên cứu về bê tông sử dụng cát nhiễm mặn ở Việt Nam</i>	<i>17</i>
1.3. Giới thiệu về bê tông hạt nhỏ và các nghiên cứu về bê tông hạt nhỏ sử dụng cát nhiễm mặn	19
1.3.1. <i>Định nghĩa bê tông hạt nhỏ.....</i>	<i>19</i>
1.3.2. <i>Phân loại bê tông hạt nhỏ</i>	<i>20</i>
1.3.3. <i>Nguyên tắc phối tạo bê tông hạt nhỏ.....</i>	<i>20</i>
1.4. Các nghiên cứu và ứng dụng bê tông hạt nhỏ sử dụng cát nhiễm mặn ở Việt Nam	21
1.5. Các nghiên cứu và ứng dụng bê tông hạt nhỏ sử dụng cát nhiễm mặn trên thế giới ...	22
1.6. Kết luận chương 1	25
CHƯƠNG 2: XÁC ĐỊNH CÁC CHỈ TIÊU, TÍNH CHẤT CỦA CÁC VẬT LIỆU CHẾ TẠO BÊ TÔNG VÀ THIẾT KẾ THÀNH PHẦN BÊ TÔNG HẠT NHỎ CHẤT LƯỢNG CAO SỬ DỤNG CÁT NHIỄM MẶN	26
2.1. Vật liệu chế tạo bê tông hạt nhỏ chất lượng cao sử dụng cát nhiễm mặn	26
2.2.1. <i>Xi măng</i>	<i>26</i>
2.2.2. <i>Cốt liệu nhỏ</i>	<i>27</i>
2.2.3. <i>Phụ gia khoáng.....</i>	<i>29</i>
2.2.4. <i>Phụ gia siêu dẻo</i>	<i>30</i>
2.2. Thiết kế thành phần bê tông hạt nhỏ chất lượng cao sử dụng cát nhiễm mặn	30
2.3. Kết luận chương 2	31
CHƯƠNG 3: NGHIÊN CỨU TRONG PHÒNG XÁC ĐỊNH CÁC TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG HẠT NHỎ CHẤT LƯỢNG CAO SỬ DỤNG CÁT NHIỄM MẶN VÀ PHÉ THẢI CÔNG NGHIỆP	32
3.1. Công tác đúc và bảo dưỡng các mẫu bê tông hạt nhỏ, phương pháp thí nghiệm.....	32

3.1.1. Công tác đúc và bảo dưỡng bê tông	32
3.1.2. Phương pháp thí nghiệm.....	33
3.2. Thí nghiệm xác định tính chất độ sụt và khối lượng thể tích của các hỗn hợp bê tông tươi	34
3.3. Thí nghiệm xác định cường độ nén.....	35
3.4. Thí nghiệm xác định cường độ chịu uốn.....	37
3.5. Thí nghiệm xung vận tốc siêu âm	38
3.6. Thí nghiệm tính chất độ rỗng của bê tông.....	39
3.7. Thí nghiệm hệ số thấm nước	41
3.8. Thí nghiệm sức kháng ăn mòn cốt thép	42
3.9. Thí nghiệm sức kháng sunfat	44
3.10. Thí nghiệm chụp SEM	46
3.11. Phân tích tiêu thụ năng lượng và phát thải CO ₂	48
3.12. Phân tích hiệu quả kinh tế	49
3.13. Đề xuất cấp phối bê tông hạt nhỏ có sử dụng cát nhiễm mặn.....	50
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	52
1. Kết luận:	52
2. Kiến nghị.....	53
TÀI LIỆU THAM KHẢO	54
Thuyết minh đề tài KHCN	
Hợp đồng triển khai đề tài	
Phụ lục hợp đồng	
Đơn đề nghị gia hạn thời gian thực hiện đề tài KHCN cấp trường	
Báo cáo tình hình thực hiện đề tài KHCN cấp trường	
Phụ lục Hợp đồng lần 2 (Hợp đồng gia hạn)	
Bảng Mục lục minh chứng sản phẩm của đề tài	
Bộ minh chứng sản phẩm của đề tài	

DANH MỤC BẢNG

<i>Bảng 1. 1. Tỷ lệ cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu của tác giả Samra J P và Nagarajan V [16].....</i>	<i>12</i>
<i>Bảng 1. 2. Cường độ chịu nén và chịu kéo và mẫu thử ở các độ tuổi [16].....</i>	<i>12</i>
<i>Bảng 1.3. Tỷ lệ cấp phối cho bê tông B25.....</i>	<i>13</i>
<i>Bảng 2.1. Các chỉ tiêu cơ, lý của xi măng PCB40 Nghi Sơn.....</i>	<i>26</i>
<i>Bảng 2.2. Thành phần hóa của xi măng, TB và XL.....</i>	<i>27</i>
<i>Bảng 2. 3. Các chỉ tiêu vật lý và hóa học của cát nghiền và cát mịn.....</i>	<i>27</i>
<i>Bảng 2. 4. Cường độ chịu nén 7 ngày của các loại BTHN sử dụng tỷ lệ CNM khác nhau.....</i>	<i>28</i>
<i>Bảng 2. 5. Thành phần cấp phối cốt liệu của các cấp phối BTHN.....</i>	<i>29</i>
<i>Bảng 2. 6. Các chỉ tiêu chất lượng của XL S95 Hòa Phát Dung Quất.....</i>	<i>29</i>
<i>Bảng 3. 1. Cường độ chịu nén của các cấp phối BTHNCLC trong dung dịch sunfat (MPa).....</i>	<i>45</i>
<i>Bảng 3. 2. Cường độ chịu nén tương đối của các mẫu bê tông (%)......</i>	<i>46</i>
<i>Bảng 3. 3. Phân tích phát thải CO₂ và năng lượng tiêu thụ cho 1 kg vật liệu thô.....</i>	<i>48</i>
<i>Bảng 3. 4. Phân tích chi phí chế tạo BTHNCLC sử dụng cát nhiễm mặn cho 1 m³.....</i>	<i>49</i>
<i>Bảng 3. 5. Bảng phân tích lựa chọn cấp phối BTHNCLC tối ưu.....</i>	<i>50</i>

DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1. Sử dụng cát biển ở các Vùng và Quốc gia trên thế giới. Nguồn: Nhật, 1998; Hồng Kông, giai đoạn 1990-98; Hàn Quốc, giai đoạn 1993-95; Đức, 2000; và các Quốc gia khác, 2002 [108].	6
Hình 1. 2. Công nghệ rửa CNM phổ biến hiện nay của các cơ sở chế biến cát [77]	8
Hình 1. 3. Dây chuyền xử lý CB theo công nghệ Công ty Phan Thành tại Phú Quốc [77]	9
Hình 1. 4. So sánh sự phát triển cường độ chịu nén của bê tông thường và bê tông dùng CNM	10
Hình 1. 5. Ảnh hưởng của hàm lượng vỏ sò đến cường độ chịu nén của bê tông ở các độ tuổi khác nhau [49].	11
Hình 1. 6 Cường độ chịu nén [17].	13
Hình 1. 7 Cường độ chịu kéo [17].	14
Hình 1. 8 Cường độ chịu kéo uốn [17].	14
Hình 1. 9. Đường BTHN sử dụng cát đụn [79]	23
Hình 1. 10. Đường tàu điện ngầm St. Petersburg, nguồn [79]	23
Hình 1. 11. Đường bê tông cát La teste et Le Pyla, ở tỉnh Aquitaine sử dụng cát bồi nhiễm mặn [79].	24
Hình 1. 12. Đường ống bằng bê tông cát, Mont de Marsan, Tỉnh Landes, Pháp	25
Hình 2. 1. Hình ảnh chụp SEM của xi măng và xỉ lò cao.	27
Hình 2. 1. Thành phần hạt cốt liệu của các cấp phối BTHN.	29
Hình 3. 1. Một số loại khuôn đúc mẫu thí nghiệm.	32
Hình 3. 2. Công tác trộn và đúc mẫu các loại BTHN.	33
Hình 3. 3. Thí nghiệm đo độ sụt.	34
Hình 3. 4.. Tính chất bê tông tươi của các hỗn hợp BTHNCLC sử dụng CNM	35
Hình 3. 5. Cường độ chịu nén của các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM	36
Hình 3. 6. Cường độ chịu uốn của các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM	37
Hình 3. 7. Độ rỗng của các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM	39
Hình 3. 8. Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén, UPV và độ rỗng của các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM	40
Hình 3. 9. Quy trình thí nghiệm hệ số thấm nước trong BTHNCLC	41
Hình 3. 10. Thời gian ăn mòn ban đầu của các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM	42
Hình 3. 11. Kiểm tra các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM sau khi thí nghiệm gia tốc ăn mòn	43
Hình 3. 12. Hình ảnh SEM của các mẫu BTHNCLC [(1): Điều kiện bảo dưỡng tiêu chuẩn; (2): Ngập trong sun fat].	47
Hình 3. 13. Phát thải CO ₂ và mức tiêu thụ năng lượng của 1 m ³ các loại BTHNCLC	48
Hình 3. 14. Chi phí sản xuất của các loại BTHNCLC sử dụng CNM	50

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU

BTCB	: Bê tông cát biển
BTCNM	: Bê tông sử dụng cát nhiễm mặn
BTĐC	: Bê tông đối chứng
BTHN	: Bê tông hạt nhỏ
BTHNCLC	: Bê tông hạt nhỏ chất lượng cao
BTHNTNC	: Bê tông hạt nhỏ tính năng cao
BTHNTNRC	: Bê tông hạt nhỏ tính năng rất cao
BTT	: Bê tông thường
BTTNC	: Bê tông tính năng cao
CNM	: Cát nhiễm mặn
CKD	: Chất kết dính
CO ₂ -E	: CO ₂ emission – Phát thải CO ₂
ĐC	: Đối chứng
EC	: Energy consumption – Mức tiêu thụ năng lượng
FA	: Fly ash
G	: Ground granulated blast furnace slag
HM	: Hạt mịn
HPC	: Bê tông tính năng cao
HSC	: Bê tông cường độ cao
HTS	: Nhiệt độ cao
MS	: Muối silic
N/CKD	: Tỷ lệ nước trên chất kết dính
NWS	: Non Water sand – Cát chưa được rửa
PGK	: Phụ gia khoáng
RC	: Relative compressive strength - Cường độ chịu nén tương đối
RHA	: Tro trấu
OPC	: Xi măng Pooc lăng
SCM	: Supplementary cementitious materials - Vật liệu bổ sung cho xi măng
SEM	: Kính hiển vi điện tử
SLC	: Bê tông tự chảy
SSC	: Sea sand concrete – Bê tông cát nhiễm mặn
TB	: Tro bay
TRT	: Tro trấu
XLC	: Xi lò cao
XL	: Xi lò cao nghiền mịn
UW	: Unit weight – Trọng lượng thể tích đơn vị
WS	: Water sand- Cát đã được rửa
WPR	: Water penetration ratio – Hệ số thấm nước

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: “Nghiên cứu cải thiện đặc tính kỹ thuật và đặc tính độ bền của bê tông chất lượng cao sử dụng cát nhiễm mặn và phế thải công nghiệp”
- Mã số: T2022 - 06 - 04
- Chủ nhiệm: Nguyễn Tấn Khoa
- Thành viên tham gia: Đoàn Vĩnh Phúc, Võ Duy Hải, Lê Thị Phương
- Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật
- Thời gian thực hiện: từ 3/2023 đến 05/2024

2. Mục tiêu:

- Mục tiêu tổng thể: Cải thiện các đặc tính kỹ thuật và đặc tính độ bền của bê tông chất lượng cao sử dụng cát nhiễm mặn bằng cách sử dụng xỉ lò cao thay thế một phần chất kết dính xi măng.
- Mục tiêu cụ thể:
 - + Thí nghiệm xác định các tính chất vật liệu chế tạo bê tông
 - + Chế tạo các loại bê tông chất lượng cao sử dụng cát nhiễm mặn, xỉ lò cao có cường độ nén trung bình trên 60 MPa ở 28 ngày, độ thấm ion clo ở 56 ngày < 1000 Culong
 - + Nghiên cứu ảnh hưởng của việc sử dụng xỉ lò cao nghiên cứu đến một số đặc tính cơ học và độ bền của bê tông chất lượng cao dùng cát nhiễm mặn.
 - + Đề xuất một số cấp phối bê tông hạt nhỏ chất lượng cao sử dụng cát nhiễm mặn và xỉ lò cao tối ưu ứng dụng cho một số dạng kết cấu công trình xây dựng.

3. Tính mới và sáng tạo:

Cát nhiễm mặn được coi là một giải pháp thay thế cát sông để giảm thiểu ô nhiễm môi trường và thiếu hụt tài nguyên cho việc sản xuất bê tông ở Việt Nam. Tuy nhiên cát nhiễm mặn tạo cơ chế phá hủy ảnh hưởng lớn nhất đến bê tông và kết cấu bê tông cốt thép là sự tấn công sunfat làm bê tông tự phá hủy và sự xâm nhập ion clo gây ăn mòn cốt thép, từ đó gây nứt và phá hủy kết cấu. Việc sử dụng phụ phẩm công nghiệp xỉ lò cao thay thế một phần xi măng trong bê tông vừa giúp giảm lượng xi măng sử dụng, giảm giá thành nhưng vẫn có thể tăng cường một số tính chất đóng rắn, khắc phục được một số vấn đề do cát nhiễm mặn làm phá hủy bê tông và kết cấu. Các tính chất bê tông tươi, tính chất cơ học,

độ bền và vi cấu trúc của bê tông hạt nhỏ tính năng cao sử dụng cát nhiễm mặn và xỉ lò cao đã được nghiên cứu để làm rõ sự hiệu quả của xỉ lò cao về mặt khoa học trong bê tông hạt nhỏ tính năng cao sử dụng cát nhiễm mặn. Đề tài có tính khoa học và sự sáng tạo cao làm tiền đề cho việc ứng dụng cát nhiễm mặn trong sản xuất bê tông ở Việt Nam.

4. Tóm tắt kết quả nghiên cứu:

Bê tông hạt nhỏ chất lượng cao (BTHNCLC) đã sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn (XL) trộn cát sông và cát biển và cho thấy sự phát triển ổn định trong thời gian bảo dưỡng. Cường độ chịu nén ở 365 ngày dao động từ 73,2-83,9MPa, trong khi cường độ uốn đạt 13,4-17,1MPa. Việc sử dụng cát biển được rửa sạch mang lại hiệu quả tốt hơn so với cát biển không được rửa sạch. Việc kết hợp với XL lên đến 50% đã cải thiện đáng kể độ bền và hàm lượng XL cao hơn (70%) làm giảm nhẹ kết quả độ bền của các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM.

BTHNCLC sử dụng CNM cho độ bền tốt với giá trị xung vận tốc siêu âm (UPV) cao trong khoảng 4662-4860m/s ở 365 ngày tuổi. Việc sử dụng cát biển đã rửa và cát biển không được rửa ảnh hưởng nhẹ đến khả năng chống thấm nước và độ rỗng của mẫu bê tông, trong khi việc kết hợp với XL làm giảm đáng kể độ rỗng và cải thiện khả năng chống thấm nước.

Việc sử dụng cát biển đã rửa sạch và XL cho thấy dòng điện thấp hơn và làm chậm đáng kể thời gian bắt đầu ăn mòn của các mẫu bê tông. Việc kết hợp với XL và sử dụng WS cho thấy độ bền cao hơn các mẫu NWS, với độ giãn nở ít hơn trong dung dịch Na_2SO_4 10% và giá trị RC cao hơn ở 365 ngày và độ giãn nở thấp hơn so với hỗn hợp bê tông đối chứng.

Ảnh SEM thể hiện vi cấu trúc đồng nhất của các mẫu bê tông. Việc sử dụng XL và NWS mang lại một vi cấu trúc đặc chắc với khả năng liên kết tốt giữa cốt liệu và hồ. Trong khi sử dụng NWS với PCB40 đã thể hiện cấu trúc rỗng, làm tăng tốc độ thâm nhập của SO_4^{2-} trong môi trường sunfat và cho thấy sự hình thành ettringite theo như quan sát được từ SEM. Ngoài ra, bê tông được sản xuất bằng cách kết hợp XL còn thể hiện sự thân thiện với môi trường do giảm đáng kể lượng khí thải CO_2 và tiêu thụ năng lượng với hàm lượng XL cao.

Những phát hiện của đề tài này cho thấy rằng có thể sản xuất bê tông chất lượng cao bằng cách sử dụng cát biển làm vật liệu tổng hợp. Sử dụng hỗn hợp trộn cốt liệu và XL khối lượng lớn không chỉ cải thiện cường độ và độ bền của mẫu bê tông mà còn giảm tác động đến môi trường do sử dụng tài nguyên thiên nhiên. Kết quả nghiên cứu này làm rõ giải pháp tái sử dụng nguồn nguyên liệu địa phương ở vùng ven biển trong sản xuất bê tông, và góp phần nâng cao hiểu biết khoa học về sản xuất bê tông. Các đề tài trong tương lai có thể nghiên cứu sâu hơn về cấu trúc lỗ rỗng và các thí nghiệm ion clorua tự do để làm rõ sự đóng góp của cát biển trong phản ứng hydrat hóa của các mẫu bê tông.

Kết quả phân tích các đặc tính kỹ thuật, kinh tế cho thấy 2 cấp phối BTHNCLC sử dụng CNM và kết hợp 30%XL, 50%XL là lựa chọn phù hợp nhất mang lại hiệu quả cao về việc đáp ứng yêu cầu cường độ, độ bền lẫn yếu tố kinh tế .

5. Tên sản phẩm:

- 01 bài báo đăng trên tạp chí Journal of Material Cycles and Waste Management thuộc SCIE Q2
- 01 báo cáo tổng kết đề tài

6. Hiệu quả, phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu và khả năng áp dụng:

- Tác động và lợi ích mang lại:
 - + Hiệu quả khoa học: Làm rõ ảnh hưởng của CNM và ảnh hưởng của phụ gia khoáng đến một số tính chất của bê tông hạt nhỏ. Kết quả của đề tài sẽ là cơ sở tham khảo để quyết định sử dụng nguồn cát nhiễm mặn tại địa phương ven biển.
 - + Hiệu quả đào tạo: Làm tài liệu tham khảo trong đào tạo ngành XD tại ĐH Đà Nẵng.
 - + Hiệu quả kinh tế và môi trường: Sử dụng nguồn CNM tại các khu vực ven biển có nguồn CNM dồi dào, góp phần bảo vệ môi trường.

- Phương thức chuyển giao:

Kết quả nghiên cứu được chuyển giao thông qua việc nâng cao kiến thức khoa học và công nghệ trong lĩnh vực đào tạo kỹ sư, cao học các chuyên ngành Xây dựng và các ngành có liên quan. Kết quả nghiên cứu còn có thể chuyển giao công nghệ vật liệu bê tông đến các đơn vị thiết kế, thi công, sản xuất cấu kiện, ban quản lý dự án các công trình xây dựng.

- Địa chỉ ứng dụng:

Các trường đại học đào tạo bậc kỹ sư, cao học các chuyên ngành xây dựng. Các đơn vị thiết kế, thi công, sản xuất cấu kiện, ban quản lý dự án các công trình xây dựng.

Ngày tháng 05 năm 2024

TM. Hội đồng Khoa
Chủ tịch
(ký, họ và tên)

Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ và tên)

TS. Phan Tiến Vinh

TS. Nguyễn Tấn Khoa

XÁC NHẬN CỦA TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG

PGS. TS. Võ Trung Hùng

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: ‘‘Research on improving technical properties and durability properties of high performance concrete using saline sand and industrial waste’’

Code number: T2022-06-04

Coordinator: Nguyen Tan Khoa

Implementing institution: University of Technology and Education, The University of Danang.

Duration: from 3/2023 to 05/2024

2. Objective(s):

- Overall objective: Improve the technical properties and durability properties of saline sand concrete by using blast furnace slag to partially replace the cement binder.

- Detail goal:

+ Experiment to determine the properties and chemical composition of saline sand and ground granulated blast furnace slag

+ Manufacturing high performance concrete using saline sand and blast furnace slag with an average compressive strength of over 60 MPa at 28 days, chloride ion permeability at 56 days < 1000 Culong

+ Research the effects of using blast furnace slag on some mechanical properties and durability of high performance concrete using saline sand.

+ Proposing a number of high performance fine-gained concrete mixes using saline sand and blast furnace slag optimally applied to some types of construction structures.

3. Creativeness and innovativeness:

High-performance concrete (HPC) with advantages in strength, durability and ease of construction helps bring wide applicability in all types of construction projects with modern structures that require aesthetics and durability. The simultaneous combination of mineral additives to produce HPC is necessary to reduce the amount of cement used and promote the effectiveness of each type of mineral additive. 3 binder combinations include: cement - blast furnace slag - fly ash; cement-fly ash-silica fume; cement-blast furnace slag-silica fume was researched to determine the influence of each type of mineral additive on some properties of HPC and propose the appropriate ratio of mineral additives for each respective binder combination.

4. Research results:

- The S-HPC used GGBFS and blended river and sea sand and exhibited a stable development during curing time. The compressive strength at 365 days ranges from 73.2-83.9MPa, while the flexural strength reaches 13.4-17.1MPa. The using washed sea sand presented a better performance than non-washed sea sand. Incorporating with GGBFS up to 50% significantly improved strength, and higher GGBFS content (70%) slightly reduced the strength results of S-HPC samples.
- The S-HPC exhibited good durability with high UPV values range of 4662-4860m/s at 365 days of curing age. The use of washed sea sand and non-washed sea sand slightly affected the water penetration resistance and porosity of concrete samples, while the incorporation with GGBFS significantly reduced the porosity and improved the resistance to water penetration property.
- The use of washed sea sand and GGBFS exhibited a lower current and significantly delayed the initiation corrosion time of concrete samples. Incorporating with GGBFS and using WS exhibited more durability than NWS samples with less expansion under 10% Na₂SO₄ solution and higher RC value at 365-day and lower expansion than a controlled mixture.
- The SEM images presented the uniform microstructure of concrete samples. Using GGBFS and NWS presented a dense microstructure with good binding between aggregate and paste. While using NWS with PCB40 presented the porous structure, which accelerated the SO₄²⁻ penetration under a sulfate environment and presented the ettringite formation under SEM observation. Besides, concrete produced by incorporating GGBFS exhibited a friendly environment due to significantly reduced CO₂ emissions and energy consumption with high GGBFS content.
- The findings of this investigation indicate that it is possible to produce high-quality concrete using sea sand as an aggregate material. Using aggregate blending mixture and high-volume GGBFS not only improved the strength and durability of concrete specimens but also reduced the environmental impact by using natural resource materials. The findings of this study provided a solution to reuse local materials sources in coastal areas in concrete production, which contribute to the scientific understanding of concrete production. Future work should further investigate the pore structure and free chloride ions tests to clarify the contribution of sea sand in hydration reaction of concrete samples.
- The results of analysis of technical and economic characteristics show that 2 high-quality concrete mixtures using NWS and a combination of 30%GGBFS and 50%GGBFS are the most suitable options, bringing high efficiency in meeting strength requirements, durability and economic factors.

5. Products:

- 01 scientific article has been published in the prestigious International Journal: Journal of Material Cycles and Waste Management, SCIE, Q2
- 01 report summarizing the topic.

6. Effects, transfer alternatives of reserach results and applicability:

- Impact and benefits :
 - + Clarifying the influence of sea sand and the influence of mineral additives on some properties of small-grained concrete. The results of the study will be a reference basis for deciding to use seq sand sources in coastal localities.
 - + As a reference in the training of construction majors at the University of Danang.
 - + Using sea sand sources in coastal areas with abundant sea sand sources, contributing to environmental protection.

- Transfer method:

Research results are transferred through improving scientific and technological knowledge in the field of engineer training, master's degree in construction and related fields. The research results can also be transfer by the technology of concrete materials to design and construction companies, construction project management boards.

- Application address:

Universities provide engineering training and master's degrees in construction majors; construction companies; construction project management boards.

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Hiện nay việc sử dụng cát nhiễm mặn (CNM) và cát biển (CB) đã trở nên phổ biến ở nhiều quốc gia. Vật liệu này có thể được coi là một giải pháp thay thế để giảm thiểu ô nhiễm môi trường và thiếu hụt tài nguyên cho việc sản xuất bê tông. CNM khi sử dụng trong bê tông dùng cho các kết cấu bê tông, bê tông cốt thép cần phải có giải pháp xử lý thích hợp (ví dụ, rửa sạch bằng nước ngọt) nếu không sẽ gây ra sự phá hủy kết cấu sau thời gian ngắn sử dụng. Có nhiều sự tác động có hại gây ra khi sử dụng CNM trong bê tông, tuy nhiên 2 cơ chế phá hủy ảnh hưởng lớn nhất đến bê tông và kết cấu bê tông cốt thép là sự tấn công sunfat làm bê tông tự phá hủy và sự xâm nhập ion clo gây ăn mòn cốt thép, từ đó gây nứt và phá hủy kết cấu.

Việc sử dụng CNM sẽ thuận lợi cho việc vận chuyển và tận dụng tối đa nguồn tài nguyên địa phương, dẫn đến giảm chi phí cho các công trình biển và ngoài khơi. Tuy nhiên, CNM có nồng độ ion clorua cao có thể khiến các thanh thép trong kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn, dẫn đến giảm độ bền lâu dài [63]. Trận động đất Adana-Ceyhan năm 1998 và trận động đất Izmit năm 1999 ở Thổ Nhĩ Kỳ đã cho thấy thiệt hại đối với các tòa nhà được xây dựng bằng bê tông có sử dụng CNM do sự ăn mòn của các thanh thép trong kết cấu bê tông cốt thép [12]. CNM phải được rửa sạch hoặc khử muối trước khi sử dụng để giảm nồng độ ion clorua. Để có nguồn cát biển được khử muối (Desalted sea sand) cần có nước ngọt, làm tăng chi phí xây dựng và đặt ra các vấn đề về môi trường như tiêu thụ năng lượng và xử lý lượng nước thải sau khi rửa, đặc biệt ở các vùng ven biển khan hiếm nước [68]. Theo dự đoán, một nửa dân số thế giới sẽ phải đối mặt với tình trạng thiếu nước uống vào năm 2025 [72]. Do đó, bất chấp những thách thức tiềm ẩn, việc sử dụng trực tiếp cát biển không rửa (non-washed sea sand) trong sản xuất bê tông đang ngày càng được quan tâm.

Trong thời gian gần đây, một số nghiên cứu từ Pháp, Anh, Trung Quốc, vv... đã cho thấy rằng có thể sử dụng cát mặn trong bê tông cho công trình xây dựng với sự kết hợp thêm các loại phụ gia khoáng hoạt tính như tro bay (TB), xi lò cao nghiền mịn (XL), silica fume (SF). Các loại vật liệu này được sử dụng trong bê tông với cơ chế vật lý và hóa học giúp tăng sự đặc chắc của vi cấu trúc và hạn chế đáng kể các phản ứng do ion clo và sunfat trong cát gây ra. Trong số này, XL được sử dụng rộng rãi làm tiền chất cho aluminosilicat giàu canxi trong hỗn hợp bê tông [27, 28]. Nó rất quan trọng trong việc tăng cường các tính năng, chẳng hạn như cường độ nén, độ đặc chắc và khả năng chống sunfat [29, 30]. Việc thêm XL vào xi măng (XM) đã được chứng minh là làm giảm độ rỗng và tăng cường

khả năng chống ăn mòn. Hơn nữa, nghiên cứu đã chứng minh rằng việc bổ sung XL vào XM có thể cải thiện khả năng kháng sunfat trong bê tông do khả năng làm giảm nồng độ C_3A và khả năng hòa tan của $Ca(OH)_2$ [31, 32]. Higgins đã nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ thay thế XL đến khả năng kháng sunfat trong bê tông và tìm thấy mối tương quan tích cực giữa lượng XL và khả năng chống sunfat của bê tông [33]

Theo xu hướng phát triển bền vững, việc sử dụng XM trong bê tông cần được hạn chế dần do sự tiêu tốn nguồn năng lượng lớn và sự phát thải CO_2 gây hiệu ứng nhà kính trong quá trình sản xuất XM. Do XLC là các phụ phẩm công nghiệp nên việc sử dụng các loại vật liệu này thay thế XM trong bê tông giúp tiêu thụ bớt các loại phế thải công nghiệp này đồng thời giảm lượng sử dụng XM, điều này góp phần giảm thiểu tình trạng ô nhiễm môi trường. Trong bê tông sử dụng CNM kết hợp với XL với một tỷ lệ phù hợp có thể là giải pháp hiệu quả để tăng cường khả năng chống lại tác động ăn mòn do việc dùng trực tiếp CNM gây ra.

Từ các phân tích trên cho thấy việc sử dụng các loại phụ phẩm công nghiệp XL trong bê tông sử dụng CNM là giải pháp có thể mang lại hiệu quả tổng thể về mặt kỹ thuật, kinh tế, môi trường và phù hợp với xu hướng phát triển bền vững của Việt Nam cũng như thế giới đang hướng tới. Tuy nhiên việc sử dụng các loại phế thải công nghiệp này với tỷ lệ bao nhiêu để tối ưu các đặc tính kỹ thuật và độ bền trong bê tông sử dụng CNM là vấn đề cần quan tâm nghiên cứu. Việc sử dụng được CNM trong bê tông cũng sẽ mở ra kỷ nguyên mới trong lĩnh vực vật liệu xây dựng, giúp giải quyết được bài toán thiếu hụt nguồn cốt liệu cát sông cho bê tông và góp phần củng cố an ninh Quốc gia ở các vùng biển và hải đảo khi có thể sử dụng nguồn CNM trực tiếp này cho việc xây dựng các công trình bảo vệ bờ biển.

Do đó, đề tài “Nghiên cứu cải thiện đặc tính kỹ thuật và đặc tính độ bền của bê tông chất lượng cao sử dụng cát nhiễm mặn và phế thải công nghiệp” có ý nghĩa khoa học, tính thời sự và cấp thiết.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu tổng thể:

- Cải thiện các đặc tính kỹ thuật và đặc tính độ bền của bê tông cát nhiễm mặn bằng cách sử dụng XL thay thế một phần chất kết dính XM.

- Mục tiêu cụ thể:

+ Thí nghiệm xác định các tính chất và thành phần hóa học của CNM, XL.

- + Chế tạo các loại bê tông chất lượng cao (BTCLC) sử dụng CNM, XL có cường độ nén trung bình trên 60 MPa ở 28 ngày, độ thấm ion clo ở 56 ngày < 1000 Culong.
- + Nghiên cứu ảnh hưởng của việc sử dụng XL đến một số đặc tính cơ học và độ bền của BTCLC dùng CNM.
- + Đề xuất một số cấp phối BTHN CLC sử dụng CNM và XL tối ưu ứng dụng cho một số dạng kết cấu công trình xây dựng.

3. Nội dung nghiên cứu

- Nghiên cứu tổng quan về bê tông sử dụng cát nhiễm mặn
- Nghiên cứu các tính chất cơ học của bê tông hạt nhỏ chất lượng cao sử dụng cát nhiễm mặn và phụ gia khoáng (PGK).
- Nghiên cứu các tính chất độ bền của bê tông hạt nhỏ chất lượng cao sử dụng cát nhiễm mặn và phụ gia khoáng.

4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu

Các tính chất của BTHN sử dụng CNM và các loại PGK thay thế một phần XM.

- Phạm vi nghiên cứu

Bê tông hạt nhỏ có tỷ lệ N/CKD = 0.38 có cường độ chịu nén trung bình trên 60 MPa

5. Phương pháp nghiên cứu

Cách tiếp cận

Nghiên cứu thực nghiệm trong phòng để xác định, đánh giá sự ảnh hưởng của việc sử dụng các loại thải phẩm công nghiệp đến tính chất của các loại bê tông hạt nhỏ sử dụng cát nhiễm mặn từ đó đề xuất các cấp phối tốt nhất cho bê tông hạt nhỏ sử dụng cát nhiễm mặn.

Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp với thực nghiệm.

6. Kết cấu đề tài

PHẦN MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài
2. Mục tiêu nghiên cứu
3. Nội dung nghiên cứu
4. Phạm vi nghiên cứu
5. Phương pháp nghiên cứu
6. Kết cấu của đề tài

7. Ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn của đề tài

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN CÁC VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

CHƯƠNG 2: XÁC ĐỊNH CÁC CHỈ TIÊU, TÍNH CHẤT CỦA CÁC VẬT LIỆU CHẾ TẠO BÊ TÔNG VÀ THIẾT KẾ THÀNH PHẦN BÊ TÔNG HẠT NHỎ CHẤT LƯỢNG CAO SỬ DỤNG CÁT NHIỄM MẶN

CHƯƠNG 3: NGHIÊN CỨU TRONG PHÒNG XÁC ĐỊNH CÁC TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG HẠT NHỎ CHẤT LƯỢNG CAO SỬ DỤNG CÁT NHIỄM MẶN VÀ PHÊ THẢI CÔNG NGHIỆP

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

7. Ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn của đề tài

Ý nghĩa khoa học:

Làm rõ ảnh hưởng của CNM và ảnh hưởng của PGK đến một số tính chất của BTHNCLC. Kết quả của đề tài sẽ là cơ sở tham khảo để quyết định sử dụng nguồn CNM tại địa phương ven biển.

Ý nghĩa thực tiễn

Sử dụng nguồn CNM tại các khu vực ven biển có nguồn CNM dồi dào, góp phần giải quyết vấn đề thiếu hụt cốt liệu cho bê tông và góp phần bảo vệ và phát triển môi trường bền vững.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN CÁC VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Thực trạng khai thác sử dụng cát nhiễm mặn trên thế giới và ở Việt Nam

1.1.1. Thực trạng khai thác, sử dụng cát nhiễm mặn trên thế giới

Ở nhiều nước, cốt liệu lớn ngày càng cạn kiệt, hầu hết các mỏ đá hiện có đã được khai thác làm thay đổi đáng kể về sinh thái và môi trường. Một vài năm trước đây, tình trạng này đã thúc đẩy nhiều nhà khoa học nghiên cứu khả năng kết hợp một loại vật liệu phong phú để thay thế đá trong xây dựng đường. Một trong những vật liệu được đặc biệt quan tâm đó chính là cát biển. Trong thực tế, vật liệu này vẫn còn phong phú và chưa được ứng dụng nhiều trong ngành xây dựng.

Tại Oman, gần một phần tư của đất nước được bao phủ bởi cát biển (CB). Mặt khác tại các khu vực này việc khai thác các mỏ đá và vận chuyển đá tới các công trường xây dựng trở nên đắt đỏ và không kinh tế. Ngoài ra, các kỹ sư xây dựng đang phải đối mặt với một sự lựa chọn giới hạn của vật liệu tại các khu vực này. Chính vì vậy, giải pháp nghiên cứu và đưa cát nhiễm mặn (CNM) vào xây dựng được đặc biệt quan tâm tại các nước này. Một số công trình xây dựng ở Oman đã sử dụng bê tông có chứa CNM từ 20% đến 45% cốt liệu trong bê tông xi măng [80].

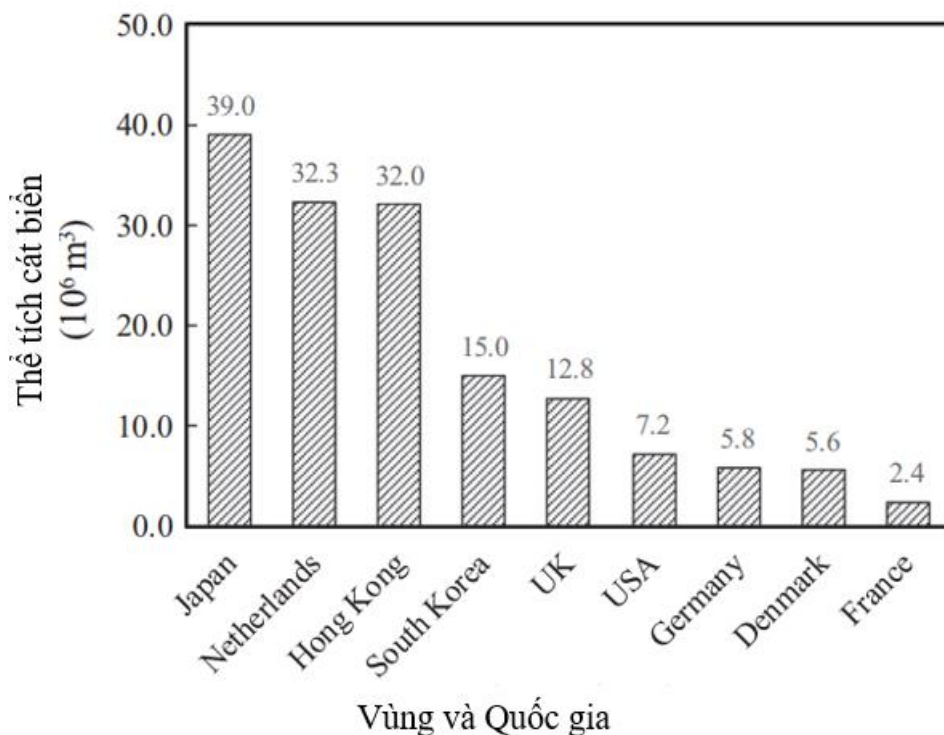
Các đụn cát ven biển là một vật liệu sẵn có ở đất nước Algeria. Vật liệu này chưa được khai thác và sử dụng một cách thiết thực. Sự phong phú của các cồn cát, đặc biệt ở miền nam Algeria, đã hình thành ý tưởng sử dụng CNM vào trong bê tông vào năm 1980. Một số dự án nghiên cứu về CNM đã được tiến hành, cụ thể như: thiết kế thành phần pha trộn, tính chất của nó và ứng xử của bê tông khi sử dụng CNM [80]. Các kết quả cho thấy bê tông sử dụng CNM có thể thay thế bê tông thông thường và giải quyết một số vấn đề dân sinh xã hội khi sử dụng được lượng lớn cát biển. Việc nghiên cứu sử dụng CNM trong xây dựng nói chung và xây dựng đường nói riêng đã thúc đẩy phát triển khu vực phía nam của Algeria.

Tại Vương quốc Anh cát biển được đưa vào sử dụng phổ biến từ thập niên 60, riêng trong 20 năm từ 1998-2017, tổng lượng cát biển khai thác ở Anh là 403 triệu tấn, trung bình 15-20 triệu tấn mỗi năm [10]. Đặc biệt tại London, các cốt liệu từ biển chiếm khoảng 50% [10]. Ở Nhật Bản lượng cốt liệu nhiễm mặn được sử dụng như cốt liệu mịn trong bê tông khoảng từ 25-40 % từ những năm 1970 và 1980. Nhiều quốc gia ở châu Âu và châu Á đã sử dụng cát biển nạo vét trong công trình xây dựng như Hà Lan, Đan Mạch, Bỉ, Tây Ban Nha, Srilanka, Thổ Nhĩ Kỳ [108]. Tại Nhật Bản, năm 2011, sản phẩm cát đáy biển được khai thác ở độ sâu nông hơn 35 m chiếm khoảng 12% (8,54 triệu tấn) [118]. Ở Trung

Quốc, cát biển nạo vét đa số được tận dụng như cốt liệu mịn cho bê tông [108]. Việc sử dụng CNM nạo vét với hàm lượng ion clo nhỏ hơn 0,18% và tổng lượng clorua trong bê tông nhỏ hơn 0,34% cho thấy các thanh thép trong bê tông dùng cát nạo vét an toàn với các thí nghiệm về khả năng ăn mòn cốt thép và thấm ion clorua. Tại Hàn Quốc, lượng cát biển phục vụ xây dựng liên tục tăng từ 1992 đến 2002, tỷ lệ cát biển chiếm 27% năm 2002 [16].

Cát biển đã được sử dụng trong ngành công nghiệp xây dựng ở nhiều vùng ở Châu Á và một số quốc gia hàng đầu ở Châu Âu. Khoa Kỹ thuật Xây dựng Đại học Moratuwa (Sri Lanka) và Tổ chức Nghiên cứu Xây dựng Quốc gia [NBRO] (Sri Lanka) đã khẳng định rằng cát biển bơm từ khoảng cách khoảng 10km là rất thích hợp cho ngành xây dựng. Các chuyên gia cho biết: "Nó có ít chloride nếu chúng ta so sánh với cát biển ở các bãi biển [65].

Ở Pháp, một số Cảng biển đã sử dụng bùn nạo vét từ Cảng để phục vụ việc chế tạo bê tông trong các công trình xây dựng đường [20, 43].



Hình 1.1. Sử dụng cát biển ở các Vùng và Quốc gia trên thế giới. Nguồn: Nhật, 1998; Hồng Kông, giai đoạn 1990-98; Hàn Quốc, giai đoạn 1993-95; Đức, 2000; và các Quốc gia khác, 2002 [108].

Khu vực Đông Nam Á, như Malaysia, Indonesia cũng khai thác cát cho vật liệu xây dựng, san lấp, đồng thời khai thác sa khoáng từ trầm tích đáy biển [108].

Qua các nghiên cứu và ứng dụng các loại vật liệu CNM trong lĩnh vực bê tông trên thế giới, ta đã thấy việc loại vật liệu này đã được sử dụng nhiều ở các quốc gia từ Châu Âu, châu Á đến các quốc gia ở châu Mỹ, châu Phi. Các triển khai ở các quốc gia trên thế giới cho thấy tính hiệu quả kinh tế trong việc ứng dụng vật liệu CNM trong ngành xây dựng công trình giao thông ở những quốc gia ven biển, hải đảo, những vùng lãnh thổ có nhiều cát.

1.1.2. Thực trạng khai thác sử dụng cát nhiễm mặn ở Việt Nam

Hiện nay, cả nước ta có khoảng 330 mỏ cát sông với tổng trữ lượng 2,3 tỷ m³. Cát sông có thể sử dụng cho bê tông, xây, trát và san nền. Trong đó, số đủ tiêu chuẩn cho sản xuất bê tông chỉ chiếm khoảng 30%, phân bố ở thượng nguồn các sông, còn lại chủ yếu là cát chất lượng thấp phục vụ cho xây trát và san nền. Trong khi đó, nhu cầu sử dụng cát cốt liệu xây dựng (cát chế tạo vữa và bê tông) trên phạm vi toàn quốc khoảng 130 triệu m³/năm. Nhu cầu cát san lấp giai đoạn 2016-2020 khoảng 2,1-2,3 tỷ m³, trung bình mỗi năm 550 triệu m³. Chỉ tính nhu cầu san lấp trong giai đoạn này, tổng trữ lượng cát sông hiện tại đã không đáp ứng đủ. Việc cấp phép khai thác cát ở các mỏ hiện cũng rất hạn chế vì làm ảnh hưởng đến môi trường, biến đổi dòng chảy [1].

Với cát biển, hiện nay chúng ta đã khoanh định được 9 vùng biển có tiềm năng khai thác với trữ lượng khoảng 196 tỷ m³. Đây là nguồn vật liệu lớn có thể giải quyết những vấn đề mà chúng ta sẽ phải đối mặt trong quá trình phát triển kinh tế - xã hội. [1]. Theo kết quả điều tra địa chất và tìm kiếm khoáng sản rạn ven bờ tại các vùng biển Việt nam của Trung tâm Địa chất và Khoáng Sản (Tổng cục biển đảo Việt Nam) [90], khu vực vùng biển Hải Phòng, Quảng Ninh và gần 350 km² vùng biển Bạch Long Vỹ đã xác định được triển vọng 5 vùng VLXD loại B và 2 vùng triển vọng VLXD loại A với tổng tài nguyên dự báo khoảng 1,4 tỷ m³. Tại khu vực biển các tỉnh miền Trung thì các khu vực biển có triển vọng cát biển làm VLXD chủ yếu phân bố ở các tỉnh Quảng Trị, Thừa Thiên Huế, Khánh Hòa, Phú Yên, Ninh Thuận, Bình Thuận. Trong đó, vùng biển Tuy Hòa-Vũng Tàu có 8 khu vực triển vọng vật liệu xây dựng loại a với tổng trữ lượng dự báo 36,225 tỷ m³, 10 khu vực triển vọng VLXD loại b với tổng trữ lượng 10,489 tỷ m³. Tại vùng biển khu vực phía Nam, các khu vực biển có triển vọng cát biển làm VLXD chủ yếu phân bố ở các tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu, Côn đảo, Bến Tre, Sóc Trăng, Cà Mau, Phú Quốc.

Hiện nay, việc khai thác và chế biến cát biển với mục đích làm cốt liệu cho bê tông hiện chưa phổ biến. Việc hút các biển chủ yếu được thực hiện do nạo vét vật chất đáy biển trong các dự án nạo vét luồng lạch giao thông đường biển hoặc dự án khai thác cát biển làm

nguyên liệu công nghiệp. Công nghệ khai thác cát biển trên thế giới cũng như tại một số cơ sở khai thác cát biển tại Việt Nam hiện nay có thể phân thành 4 loại: (1) Tàu hút gắn các máy bơm ly tâm đặt trên tàu, kết hợp với tàu vận tải; (2) Bơm hút sang mạn kết hợp với sà lan; (3) Thiết bị chuyên dụng kết hợp với sà lan; (4) Gàu ngoạm đặt trên sà lan kết hợp sà lan [77].

Các cơ sở chế biến CB, CNM làm cốt liệu, làm vữa cho bê tông ở nước ta còn rất ít. Một số cơ sở quy mô nhỏ, chế biến CB hoặc CNM theo công nghệ rửa cát tương tự như cát nghiền. Thiết bị rửa cát chủ yếu là rửa thùng quay, rửa trực tiếp trên sàng rung bằng phun nước áp lực hoặc rửa bằng gàu quay. Hình ảnh thiết bị rửa cát phổ biến hiện nay của các cơ sở chế biến cát được thể hiện ở Hình 1.2



Rửa cát bằng nước tại sàng rung



Rửa cát bằng sàng thùng quay

Rửa cát bằng guồng quay

Hình 1. 2. Công nghệ rửa CNM phổ biến hiện nay của các cơ sở chế biến cát [77]

Ngoài các công nghệ rửa cát ở trên, hiện nay còn công nghệ rửa cát bằng nước kiểu va đập và chà sát. Dây chuyền rửa cát theo nguyên lý này được Công ty Phan Thành tại Cần Thơ phát triển và hiện nay đã chuyển giao thiết bị cho một số cơ sở chế biến cát trong nước. Kết quả đánh giá chất lượng cát thành phẩm cho thấy, công nghệ này không chỉ rửa sạch lượng muối lẫn trong cát mà còn làm tăng mô đun độ lớn của cát (loại bỏ bớt hạt mịn), giảm lượng vỏ sò và rác thực vật lẫn trong cát [77].



Hình 1. 3. Dây chuyền xử lý CB theo công nghệ Công ty Phan Thành tại Phú Quốc [77]

Do hiện nay chúng ta chưa có đủ hành lang pháp lý về việc sử dụng CNM dẫn tới các đơn vị, doanh nghiệp chậm hoặc không thể thăm dò, khai thác cát biển. Cấp trung ương và địa phương cũng chưa có quy hoạch về không gian biển khiến việc thăm dò, khai thác có thể bị chông chéo với các Luật Tài nguyên môi trường biển và hải đảo, Luật Đất đai... Hay như nếu chúng ta khai thác được cát biển lên thì cũng không thể sử dụng được vì chưa có hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn sử dụng cho từng lĩnh vực như làm bê tông hay san lấp [1].

Cho đến nay các công trình, dự án sử dụng cát biển, CNM ở Việt Nam vẫn có, còn đang trong giai đoạn nghiên cứu, thử nghiệm ở quy mô nhỏ.

1.2. Các nghiên cứu về bê tông sử dụng cát nhiễm mặn trên thế giới và Việt Nam

1.2.1. Tổng quan các nghiên cứu về bê tông sử dụng cát nhiễm mặn trên thế giới

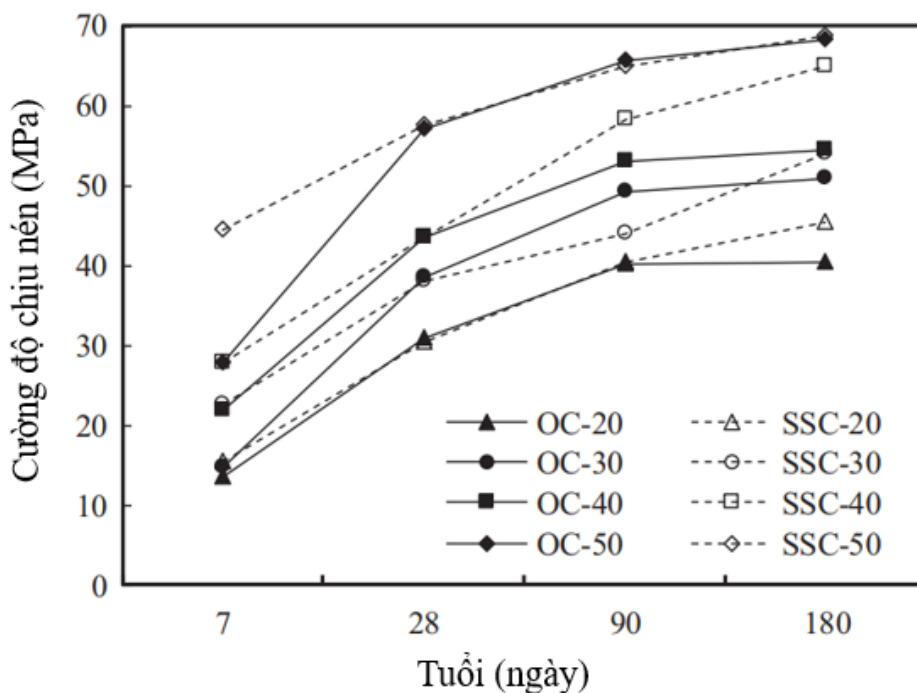
1.2.1.1. Ảnh hưởng của bê tông sử dụng cát nhiễm mặn đến các tính chất cơ học

CNM thông thường không được sử dụng trong việc chế tạo bê tông bởi vì các ion clorua có trong loại cát này khi được sử dụng gây ra hiện tượng ăn mòn cốt thép đe dọa đến độ bền của các kết cấu bê tông sử dụng cốt thép [108]. Hàm lượng sunfat trong CNM khi được sử dụng cũng sẽ gây phản ứng với một số thành phần của đá xi măng làm giãn nở thể tích gây phá hủy kết cấu bê tông [66]. Lượng vò sò trong CNM cũng là nguyên nhân ảnh hưởng đến cường độ và tính chống thấm của bê tông [112]. Ngoài ra hiện tượng tiết muối trắng trên bê tông vữa của bê tông sử dụng CNM khi gặp môi trường ẩm ướt, tiếp xúc với môi trường [45]. Tuy nhiên với sự phát triển của khoa học vật liệu với nhiều nghiên cứu mới của các nhà khoa học trên thế giới sử dụng các loại phụ gia mới, chất mới, công nghệ mới đã ứng dụng thành công CNM trong sản xuất bê tông. Một số nghiên cứu cụ thể về bê tông sử dụng CNM trên thế giới cụ thể như sau:

Theo một số nhà nghiên cứu, cường độ chịu nén của bê tông sử dụng CNM ở tuổi 28 ngày thấp hơn bê tông RS [78, 103]. Tulashie và cộng sự [98] kết luận rằng cát nhiễm

mặn chưa rửa (Non water sea sand-NWS) không nên được sử dụng làm cốt liệu mịn trong sản xuất bê tông do tác động bất lợi của nó đến cường độ nén. Tuy nhiên, Limeira và cộng sự [57] không đồng ý và cho rằng NWS có thể được sử dụng nếu 15% đến 50% cát đá vôi nghiền được thay thế bằng NWS. Nghiên cứu điển hình của Limeira và cộng sự cũng cho thấy NWS là cốt liệu mịn phù hợp để xây dựng mặt đường bê tông đường bên cảng [56]. Một số nhà nghiên cứu phát hiện ra rằng NWS trong bê tông xi măng sulphoaluminate có thể cải thiện tính chất cơ học và tăng cường vùng chuyển tiếp bề mặt (ITZ) do sự hình thành muối Friedel. Ngoài ra, bê tông NWS cho thấy cường độ dư tương đương với bê tông sử dụng cát sông (River sand- RS) ở nhiệt độ cao [55].

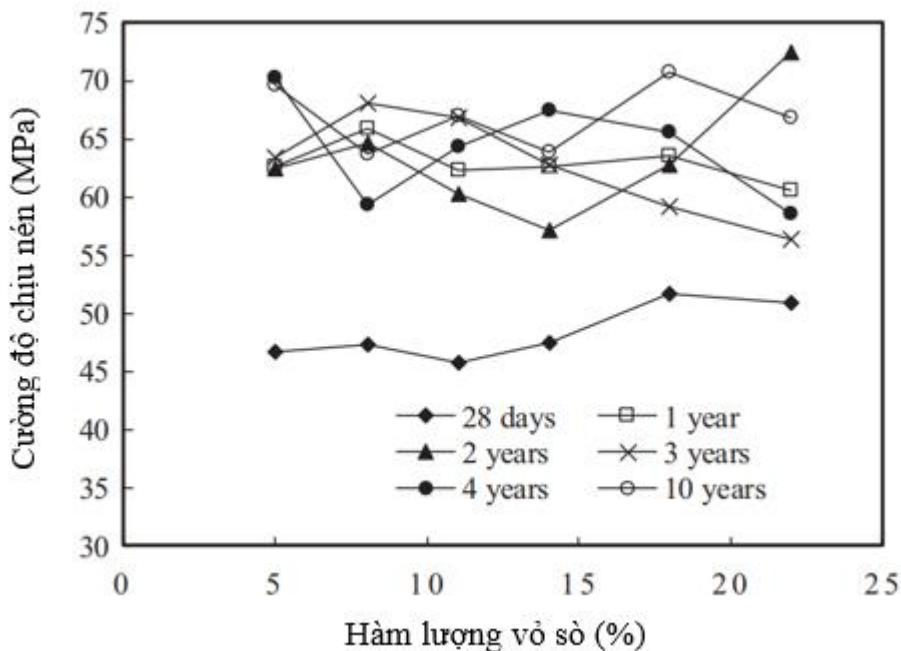
Nghiên cứu được tiến hành bởi Cui và các đồng nghiệp [69] cho thấy rằng bê tông dùng cát nhiễm mặn (BTCNM) và nước biển có cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi thấp hơn so với bê tông truyền thống bảo dưỡng trong nước thường. Nghiên cứu đã chuẩn bị các mẫu thử bê tông có cấp cường độ từ C20 đến C50 (20 MPa-50MPa ở 28 ngày) và sử dụng cát biển và nước biển để thay thế cát và nước với cùng tỷ lệ N/CKD. Kết quả nghiên cứu được thể hiện ở Hình 1. 4, trong đó ký hiệu SSC cho bê tông sử dụng CNM và OC là bê tông thông thường, cho thấy rằng cường độ 7 ngày của BTCNM đạt cao hơn 13-60% so với bê tông đối chứng (BTĐC) trong khi cường độ 28 ngày thì không có sự khác nhau đáng kể. Kết quả cũng không có sự khác biệt rõ ràng về mặt cường độ giữa các loại bê tông ở 90 và 180 ngày.



Hình 1. 4. So sánh sự phát triển cường độ chịu nén của bê tông thường và bê tông dùng CNM

Xiao và các cộng sự [108], Limeira và các cộng sự [56] đã tìm thấy rằng bê tông sử dụng cát biển có cường độ chịu nén cao hơn ở tuổi sớm và cường độ dài hạn tương tự như bê tông sử dụng cát sông. Gou và các đồng sự [27] báo cáo kết quả nghiên cứu cho thấy bê tông sử dụng cát biển và nước biển có các tính năng cơ học tương tự như so với bê tông sử dụng cát sông. Ponnada và cộng sự sử dụng 50% CNM chưa xử lý và 50% bột đá để thay thế cát sông và thử nghiệm các tính chất cơ học. Tuy nhiên, cường độ nén của BTCNM thấp hơn so với bê tông cát sông, điều này cũng được báo cáo trong tài liệu tham khảo [29, 57]. Thunga và Das [99] chỉ ra rằng cường độ chịu nén của bê tông cho kết quả không có sự đồng đều khi tỷ lệ cát biển chưa qua xử lý càng tăng nên không thể sử dụng cát biển chưa qua xử lý trong xây dựng.

Leng và các cộng sự nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng vỏ sò trong cát biển đến cường độ nén của bê tông ở các độ tuổi khác nhau [49]. Những kết quả nghiên cứu trong Hình 1.5 cho thấy không có xu hướng rõ ràng nào về ảnh hưởng của hàm lượng vỏ sò đối với cường độ nén ở các độ tuổi khác nhau. Do đó, Leng và các cộng sự kết luận rằng ảnh hưởng của hàm lượng vỏ sò đến cường độ nén của bê tông là không đáng kể.



Hình 1. 5. Ảnh hưởng của hàm lượng vỏ sò đến cường độ chịu nén của bê tông ở các độ tuổi khác nhau [49]

Theo MohdAkram Khan [15] BTCNM có tiềm năng to lớn trong việc thay thế cát truyền thống. Thông qua các kết quả thí nghiệm, tác giả cho thấy do khả năng kháng muối và chloride trong CNM của chất kết dính geopolymer, nên khả năng ứng dụng CNM trong bê tông geopolymer là khả thi và các tính toán trong nghiên cứu cho thấy cường độ của

BTCNM ở vùng biển Puri trong khoảng 18 MPa đến 30 MPa. Kết quả nghiên cứu của Mohd Akram Khan cho thấy khi sử dụng CNM chưa xử lý thay thế cát truyền thống, với cùng 1 cấp phối, trong điều kiện dưỡng hộ nhiệt và không dưỡng hộ nhiệt không có sự khác biệt nhiều, cường độ tương đối thấp, sau thời gian 28 ngày cường độ trong khoảng 12 MPa đến 18 MPa. Cũng trong kết quả nghiên cứu của Mohd Akram Khan [15] bê tông sử dụng CNM có sự phát triển cường độ theo thời gian giống với bê tông sử dụng cát truyền thống. Do không dưỡng hộ nhiệt, cường độ bê tông tăng tương đối chậm. Sau thời gian 28 ngày cường độ tăng khoảng 35% so với thời gian 7 ngày. Tuy vậy cường độ này vẫn thích hợp cho việc sử dụng bê tông CNM để xây dựng.

Samraj P và Nagarajan V [16] tiến hành nghiên cứu sử dụng CNM thay thế cát sông với các tỷ lệ khác nhau để chế tạo bê tông. Tỷ lệ cấp phối sử dụng trong nghiên cứu của các tác giả trên được thể hiện trong Bảng 1. 1.

Bảng 1. 1. Tỷ lệ cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu của tác giả Samra J P và Nagarajan V [16]

STT	Loại	RS100	SS20	SS40	SS60	SS80	SS100	SST100
1	Tỷ lệ % cát biển	0	20%	40%	60%	80%	100%	100%
2	Xi măng, kg/m ³	383	383	383	383	383	383	383
3	Cát sông, kg/m ³	546	436,8	327,6	218,4	109,2	0	0
4	Cát biển, %	0	20	40	60	80	100	100
5	Cát biển, kg/m ³	0	109,2	218,4	327,6	436,8	546	546
6	20 mm METAL, kg/m ³	1187	1187	1187	1187	1187	1187	1187
7	Nước lít/m ³	192	192	192	192	192	192	192
8	N/X	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo ở 7, 14, 28 ngày của các cấp phối BTCNM được thể hiện ở Bảng 1.2

Bảng 1. 2. Cường độ chịu nén và chịu kéo và mẫu thử ở các độ tuổi [16]

STT	Cấp phối	Cường độ chịu nén, MPa			Cường độ chịu kéo, MPa
		7 ngày	14 ngày	28 ngày	28 ngày
1	RS100	25,48	27,3	31,34	4,82
2	SS20	24,78	24,2	33,89	4,52
3	SS40	22,22	27,67	35,21	3,81
4	SS60	23,78	29,04	36,00	4,11
5	SS80	21,52	32,78	37,33	3,95
6	SS100	26,52	37,42	42,55	4,25

Kết quả nghiên cứu của các tác giả cho thấy, khi tăng hàm lượng cát biển, cường độ chịu nén của mẫu tăng lên. Theo tác giả, yếu tố chính làm tăng cường độ chịu nén của mẫu

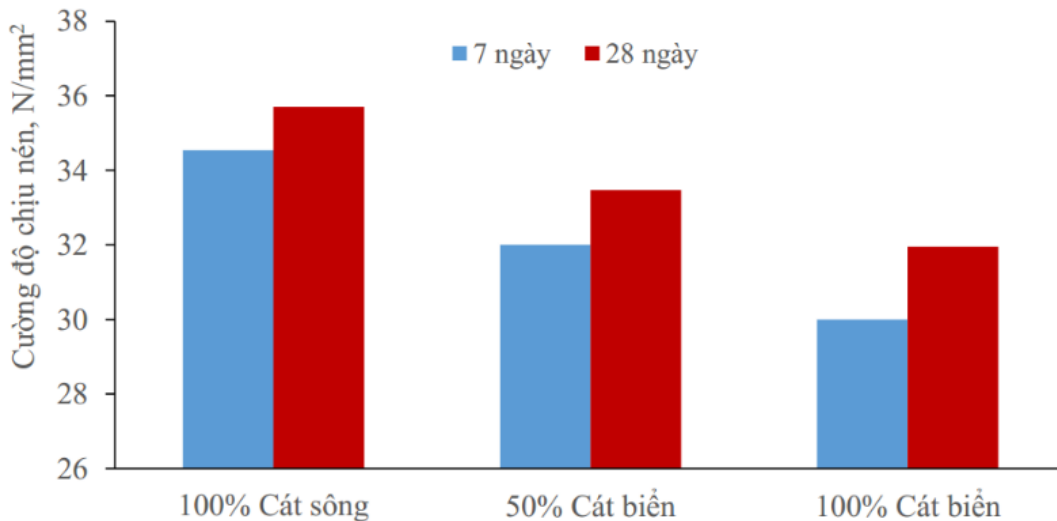
là do CNM mịn hơn so với cát sông. Thông qua kết quả nghiên cứu, các tác giả Samraj P và Nagarajan V đã chứng minh có thể rửa CNM và sử dụng để chế tạo bê tông. Đồng thời, các tác giả kiến nghị đặt các trạm rửa CNM bằng nước ấm để có thể đưa CNM vào sử dụng đại trà.

R. Mahendran và các đồng nghiệp cũng đã tiến hành nghiên cứu sử dụng CNM làm cốt liệu mịn cho bê tông [17], kết quả nghiên cứu được so sánh với bê tông đối chứng sử dụng cát sông. Tỷ lệ cấp phối sử dụng trong nghiên cứu được thể hiện trong Bảng 1.3. Trong nghiên cứu, tác giả thay đổi hàm lượng CNM (thay cho cát sông) lần lượt: 0% (100% cát sông); 50% (50% cát sông) và 100% (0% cát sông). Tác giả tập trung nghiên cứu cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo và cường độ chịu kéo uốn tại 7 ngày tuổi và 28 ngày tuổi

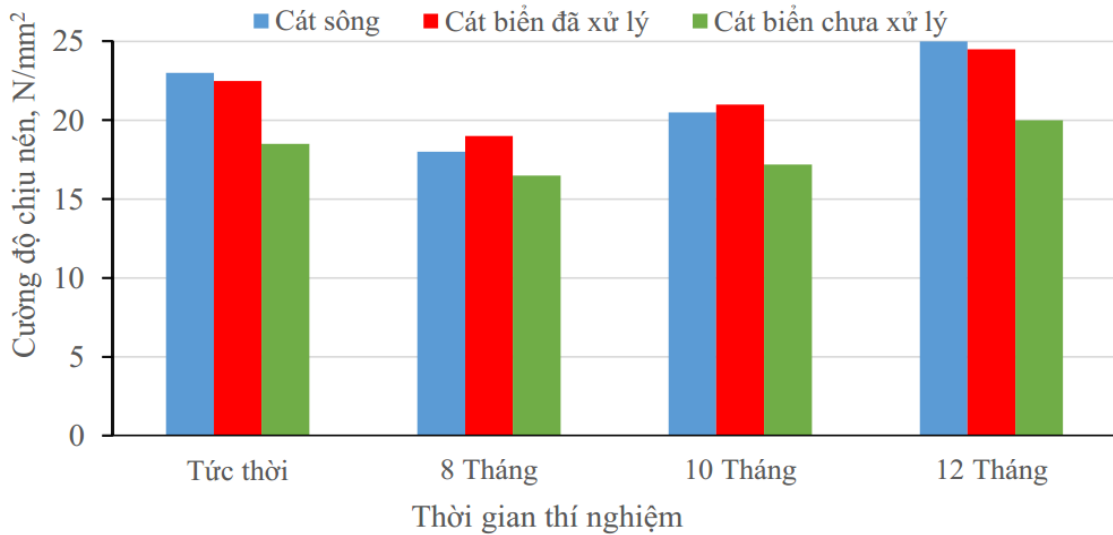
Bảng 1.3. Tỷ lệ cấp phối cho bê tông B25

C (Xi măng)	FA (Cốt liệu mịn – Cát)	CA (Cốt liệu thô – Đá)	W (Nước)
425,7 kg	749,3 kg	1124 kg	192 kg
1	1,76	2,64	0,45

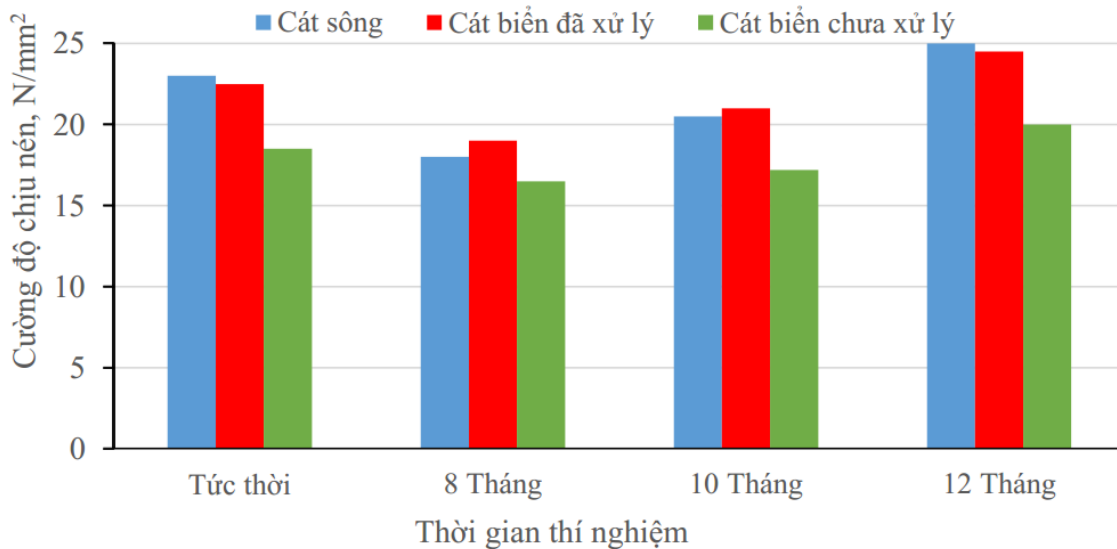
Từ kết quả nghiên cứu, tác giả xây dựng biểu đồ so sánh cường độ của các cấp phối bê tông khác nhau. Biểu đồ so sánh cường độ chịu nén được thể hiện trên Hình 1. 7, kết quả so sánh cường độ chịu kéo được thể hiện trên Hình 1. 6, kết quả so sánh cường độ chịu kéo uốn trình bày trên Hình 1. 7.



Hình 1. 6 Cường độ chịu nén [17]



Hình 1. 7 Cường độ chịu kéo [17]



Hình 1. 8 Cường độ chịu kéo uốn [17]

Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả cho thấy có thể sử dụng CNM làm cốt liệu cho bê tông, tuy nhiên cường độ có giảm so với bê tông sử dụng cát sông

Kết quả nghiên cứu B.H. Shinde [21] về việc sử dụng CNM trong bê tông geopolymer. Kết quả cho thấy, bê tông sử dụng CNM chưa qua xử lý có ảnh hưởng trực tiếp đến cường độ của bê tông geopolymer. Nguyên nhân của sự giảm cường độ này được tác giả giải thích bởi hàm lượng muối và chloride có trong cát biển. Bên cạnh đó nghiên cứu còn sử dụng CNM đã xử lý thay thế cho cát sông trong thành phần cốt liệu bê tông geopolymer, kết quả chỉ ra rằng cường độ của cả 2 loại bê tông này là như nhau.

1.2.1.2. Ảnh hưởng của bê tông sử dụng cát nhiễm mặn đến tính chất độ bền

Tính chất độ bền của bê tông cát biển đóng vai trò quan trọng khi ứng dụng cho công trình xây dựng nên đã được nhiều tác giả nghiên cứu [117].

Liu và các đồng sự [64] đã chỉ ra rằng các tác động kết hợp của clorua dịch chuyển bên trong và sự cacbon hóa bên ngoài là lý do chính cho sự xuống cấp của kết cấu bê tông sử dụng cát nhiễm mặn (BTCNM). Li và cộng sự [54] báo cáo rằng việc bổ sung cát biển ít ảnh hưởng đến tính chất cơ học của bê tông. Việc bổ sung hợp lý cát biển cũng có thể làm cho bê tông có độ bền tốt hơn. Zhou và cộng sự [31] đã sử dụng kỹ thuật CT để đánh giá sự xâm thực của muối biển đối với bê tông cát biển (BTCB) trong môi trường biển. Zhu và cộng sự [119] phát hiện ra rằng việc bổ sung SF có thể cải thiện cường độ chịu nén và giảm độ xốp và tính thấm ion của BTCB. He và Zhou [31] đã quan sát thấy sự mất cường độ nén của bê tông cát biển với cường độ nén ban đầu cao hơn ở vùng ngập nước.

Đối với BTCNM, mối quan tâm chính về độ bền là ảnh hưởng của các ion clorua (Cl^-) đến độ bền của kết cấu bê tông cốt thép, trong đó bao gồm hai khía cạnh: khuếch tán clorua từ cát bên trong bê tông và từ môi trường xung quanh bê tông. Để hiểu tác dụng của Cl^- chứa trong cát biển đối với độ bền của bê tông, Xing và cộng sự [58, 109] tiến hành một số thí nghiệm đáng chú ý. Theo kết quả thu được từ kính hiển vi điện tử (SEM) và đo sự phân tán năng lượng quang phổ (EDS), chuyển động của Cl^- từ bề mặt của hạt cát biển vào sản phẩm thủy hóa xi măng là một quá trình rất khác so với quá trình thêm trực tiếp Cl^- . Hơn nữa, các nghiên cứu bởi Dong et al. [19] cho thấy, với sự hỗ trợ của quang phổ trở kháng điện hóa (EIS), sự tương tác giữa cát biển và hồ xi măng là phản ứng phức tạp, phản ứng với cả điện môi (tần số thấp trong EIS) và điện phân (tần số cao trong EIS) đặc điểm; và việc giải phóng Cl^- là một quá trình liên tục dẫn đến gia tốc dài hạn của quá trình thủy hóa. Với sự tích lũy Cl^- , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ được tạo ra bởi Ca^{2+} tự do và OH^- từ quá trình hydrat hóa dẫn đến giảm của gel C-S-H. Sự gia tăng của $\text{Ca}(\text{OH})_2$ và ettringite làm cho cấu trúc lỗ rỗng của vữa cát biển không đồng nhất.

Trong môi trường biển, hệ số khuếch tán của clorua từ môi trường bên ngoài vào bê tông cát biển tăng lên khi tỷ lệ nước và xi măng tăng lên [13, 37]. Xiao và các đồng sự [107] đã nghiên cứu sự khuếch tán clorua theo tiêu chuẩn ASTM C1202-94 trong bê tông tính năng cao được làm bằng cát biển, cát biển đã khử muối và cát sông. Kết quả thí nghiệm cho thấy bê tông cát biển có độ thấm cao nhất trong ba loại bê tông khác nhau và không phân biệt loại cát sử dụng, bê tông mác C80 luôn có độ thấm thấp hơn bê tông mác C60. Tuy nhiên, các nghiên cứu khác đã báo cáo kết quả khác nhau. Huang và cộng sự [36] đã nghiên cứu mối quan hệ giữa tính thấm và hàm lượng Cl^- trong cát bằng cách thay thế cát sông bằng cát biển nhân tạo được tạo ra bằng cách ngâm cát sông trong các dung dịch có

nồng độ NaCl khác nhau và kết luận rằng tính thấm của vữa có xu hướng giảm khi nồng độ NaCl tăng. Bên cạnh tính thấm, khả năng chống đóng băng-tan băng của bê tông cát biển được các nhà nghiên cứu nhận thấy là kém hơn một chút so với bê tông thông thường [13]. Khả năng chống tấn công sunfat của bê tông cát biển cũng kém hơn so với bê tông thông thường [113]. Một số nghiên cứu, như Cao và cộng sự [13], Jiang và cộng sự [40], tuyên bố rằng sự phát triển chiều sâu cacbonat hóa của bê tông cát biển theo xu hướng tương tự như bê tông cát sông (tức là, chiều sâu cacbonat tăng lên khi thời gian tăng lên và bê tông giảm cấp). Những nghiên cứu này cho thấy rằng về mặt cacbonat hóa, hiệu quả của bê tông cát biển có thể so sánh với bê tông thông thường. Tuy nhiên, một nghiên cứu của Liu và cộng sự [62] cho thấy rằng quá trình cacbonat hóa bê tông cát biển có thể giảm 20–50% nhờ các ion clorua do cát biển đưa vào bê tông.

Nghiên cứu của Yang và cộng sự [111] đã chỉ ra rằng các hạt vỏ sò làm giảm tính thấm của bê tông và không có ảnh hưởng tiêu cực đến các đặc tính lâu dài khác như cacbonat hóa, đóng băng-tan băng và chống ăn mòn hóa học; tuy nhiên, độ co ngót khô tăng lên cùng với sự gia tăng hàm lượng vỏ sò. Nghiên cứu đã so sánh đường cong co ngót đo được với một số mô hình hiện có và đã kết luận rằng một mô hình sửa đổi cần được phát triển để xem xét chính xác tác động của hàm lượng vỏ sò.

Đối với độ bền của bê tông sử dụng nước biển, một số nghiên cứu đã được tiến hành, dẫn đến kết luận rằng nước biển không ảnh hưởng rõ ràng đến quá trình cacbonat hóa [70, 74] và thâm ion clorua [74]. Nghiên cứu của Nakajima và cộng sự [71] đã chỉ ra rằng tỷ lệ cacbonat hóa bê tông nước biển thấp hơn so với bê tông thông thường.

1.2.1.3. Giải pháp tăng cường tính chất của bê tông sử dụng cát biển

Việc sử dụng cát biển hoặc nước biển làm nguyên liệu cho bê tông đã không được chấp nhận rộng rãi do hàm lượng clorua cao của chúng, làm cho cốt thép rất dễ bị ăn mòn và do đó gây ra sự xuống cấp nghiêm trọng về lâu dài của kết cấu bê tông cốt thép.

Các PGK như TB, SF và MK đã được một số nghiên cứu hiện tại chứng minh là có khả năng tăng cường một số khía cạnh về độ bền của bê tông [88, 105]. Tác động kết hợp của PGK và cát biển đối với tính năng của bê tông cũng đã được một số nhà nghiên cứu kiểm tra. SF được sử dụng để thay thế dưới 20% XM cũng được Karthikeyan và Nagarajan [44] xác nhận là làm tăng cường độ của bê tông khi 20% cốt liệu mịn được thay thế bằng cát biển.

Bằng cách bổ sung PGK (bao gồm XL và TB) vào BTCNM, Yan và cộng sự [110] nhận thấy rằng cường độ dài hạn của bê tông sử dụng cát biển được tăng cường, đặc biệt là đối với sự đóng góp của TB.

Để có thể ứng dụng hiệu quả CNM trong bê tông cần có nhiều nghiên cứu sử dụng PGK trong BTCNM hơn nữa để hiểu rõ hơn và sâu hơn về tác động của các loại PGK này.

1.2.2. Tổng quan các nghiên cứu về bê tông sử dụng cát nhiễm mặn ở Việt Nam

Thực tế vấn đề sử dụng CNM cho bê tông đã được chúng ta quan tâm và nghiên cứu từ sớm [47][26] đã nghiên cứu sử dụng cát biển làm cốt liệu trong bê tông. Nghiên cứu đã tiến hành khảo sát, xác định thành phần hạt, thành phần hóa và các tính chất cơ lý của các loại cát biển từ Sầm Sơn đến Vũng Tàu. Một số loại cát biển đã được chế tạo bê tông và thử nghiệm các tính chất về cường độ chịu nén, cường độ kéo uốn, cường độ ép chẻ, mô đun đàn hồi, độ dính bám với cốt thép và độ hút nước của BTCNM. Nghiên cứu cũng đưa ra phương pháp để xử lý cát biển để tăng độ bền dài lâu và hạn chế việc gây hại đối với cốt thép. Từ các kết quả nghiên cứu cho thấy:

- Khi sử dụng cát biển làm cốt liệu nhỏ trong hỗn hợp bê tông phải được kiểm tra và đánh giá trước về hàm lượng muối clo và sun phat, và so sánh với những giới hạn cho phép mà tiêu chuẩn ở các quốc gia khác đã nêu riêng cho lĩnh vực này, nếu vượt quá phải qua khâu xử lý rửa.

- Cát tính năng cơ lý của bê tông khi dùng cát biển chưa rửa làm cốt liệu nhỏ chứng tỏ đảm bảo tương đương như dùng loại cát sông, suối; cát núi ở thời hạn tuổi chuẩn. Cần tiếp tục theo dõi độ bền lâu.

- Phương pháp rửa muối trong cát biển như trong nghiên cứu đã chứng tỏ tính hiệu quả về kinh tế và kỹ thuật.

Các tác giả Trần Tuấn Hiệp [32], Tô Nam Toàn [96] đã tiến hành nghiên cứu sử dụng CNM Quảng Ninh để chế tạo bê tông làm đường ô tô. Qua các thí nghiệm xác định các chỉ tiêu cơ lý của CNM cho thấy CNM Quảng Ninh có chất lượng khá tốt: môđun độ lớn gần bằng cát vàng tiêu chuẩn (xấp xỉ bằng 2); khối lượng riêng khá lớn (~ 2.7 g/cm³); hàm lượng bụi bùn sét khá nhỏ (~0.1%); độ ăn mòn sunfat đạt yêu cầu (9~15%); lượng muối NaCl trong CNM dao động trong khoảng 1.3 ~ 1.6%. Các mẫu BTXM dùng xi măng Hoàng Thạch đạt cường độ cao hơn các mẫu đúc bằng xi măng Lam Thạch (xi măng địa phương) khoảng 10 - 20%. Các mẫu đúc bằng CNM có cường độ chịu nén thua kém mẫu dùng cát vàng từ 5% - 10%. Mẫu BTXM sử dụng CNM sau 28 ngày vẫn tăng cường độ đáng kể.

Kết quả nén cho thấy với phần lớn mẫu thí nghiệm cường độ R60 ngày lớn hơn cường độ R28 khoảng 5-10%.

Trần Thị Thanh Triết sử dụng CNM Vũng Tàu để chế tạo bê tông geopolimer và nghiên cứu các đặc tính cơ học của loại vật liệu này [47]. Kết quả nghiên cứu của tác giả cho thấy, với cùng cấp phối thiết kế, bê tông geopolimer CNM có khả năng chịu nén và chịu kéo gần như tương đương với bê tông geopolimer cát sông. Cường độ chịu kéo của bê tông geopolimer CNM có xu hướng thay đổi cùng chiều với sự tăng giảm khả năng chịu nén của nó. Khối lượng riêng của 2 loại bê tông cũng khá tương đồng. Cường độ chịu nén của bê tông geopolimer sử dụng CNM chịu ảnh hưởng trực tiếp bởi thành phần dung dịch hoạt hóa, khi lượng dung dịch hoạt hóa trong bê tông là vừa đủ sẽ cho ra sản phẩm có cường độ tối ưu nhất. Nếu tiếp tục tăng khối lượng dung dịch hoạt hóa vượt ngưỡng giới hạn, cường độ sẽ giảm. Bê tông geopolimer sử dụng CNM có cường độ không phụ thuộc vào thời gian, nghĩa là cường độ tăng không đáng kể theo thời gian sau khi bê tông được dưỡng hộ nhiệt. Ngoài ra, với loại bê tông này sự phát triển cường độ rất chậm trong môi trường nhiệt độ bình thường.

Nghiên cứu của tác giả Tô Nam Toàn [100] tiến hành với cát biển và sử dụng CNM trong chế tạo bê tông dùng làm đường trong xây dựng đường ô tô và công trình phòng hộ ven biển đồng bằng sông Cửu Long. Các loại cát biển trong nghiên cứu đã cho thấy khả năng, triển vọng và hiệu quả với bê tông có cường độ trong khoảng từ 30 MPa đến 35 MPa. Bê tông sử dụng cát biển có cường độ thấp hơn từ 4-10% so với bê tông sử dụng cát sông. Riêng các vùng Cửa Lò, Kỳ Lôi, Lăng Cô, cường độ của bê tông sử dụng cát sông và cát biển là xấp xỉ nhau.

Theo nghiên cứu tác giả Lê Văn Bách [5] cho thấy bê tông xi măng sử dụng cát biển Bình Thuận và Vũng Tàu có mô đun đàn hồi chỉ đạt từ 90,3 đến 93,7 % so với bê tông xi măng cát thông thường, độ mài mòn cũng lớn hơn so với bê tông thông thường từ 12-13%. Tuy nhiên độ không xuyên nước của bê tông xi măng dùng cát biển Bình Thuận và Vũng Tàu lớn hơn so với bê tông thông thường từ 10,7 đến 11,2 % và rõ ràng về mặt kinh tế bê tông sử dụng cát biển rẻ hơn so với bê tông thường.

Nghiên cứu của Nguyễn Phan Duy và cộng sự [115] cho thấy với việc sử dụng cát biển tại thành phố Tuy Hòa thì thành phần của nó là phù hợp cho việc chế tạo bê tông, sự phát triển cường độ của các mẫu bê tông với các một số cấp phối là tương đồng nhau khi thay thế cát sông bằng cát biển. Theo như nghiên cứu của Hoàng Quốc Gia, Trần Khắc Kiên [28] thì các mẫu cát biển được lấy mẫu tại một số địa phương cho thấy rằng cát biển

được xếp vào loại cát mịn và đạt các yêu cầu về tính chất cơ lý để sử dụng làm cốt liệu cho bê tông xi măng; về thành phần hóa học, các mẫu cát biển có thành phần gần tương tự cát sông; tuy nhiên, điểm khác biệt lớn nhất là hàm lượng SO_3 của cát biển là tương đối cao và tiềm ẩn nguy cơ xảy ra hiện tượng ăn mòn khi sử dụng trong bê tông xi măng; vì vậy, việc lựa chọn thành phần cấp phối của bê tông xi măng (loại xi măng, loại PGK, loại phụ gia hóa học) để giải quyết vấn đề này là cấp thiết khi sử dụng cát biển làm cốt liệu. Các nghiên cứu khác [76, 81] cũng đã cho thấy khả năng sử dụng cát biển để thay thế một phần cát sông trong chế tạo bê tông cho công trình xây dựng.

Nhìn chung, theo các nghiên cứu thì việc thay thế một phần cát sông bằng cát biển là có tính khả thi, tuy nhiên hàm lượng các tạp chất và ion gây hại trong cốt liệu ở các vùng ven biển khác nhau là khác nhau và cần có thêm nhiều nghiên cứu hơn nữa để lựa chọn thành phần cấp phối của bê tông xi măng (loại xi măng, loại PGK, loại phụ gia hóa học) để giải quyết nguy cơ xảy ra hiện tượng ăn mòn khi sử dụng loại bê tông xi măng này.

1.3. Giới thiệu về bê tông hạt nhỏ và các nghiên cứu về bê tông hạt nhỏ sử dụng cát nhiễm mặn

1.3.1. Định nghĩa bê tông hạt nhỏ

Bê tông hạt nhỏ (BTHN) hay còn gọi là bê tông cát, là một loại đá nhân tạo nhận được sau khi tạo hình và làm rắn chắc một hỗn hợp hợp lý bao gồm: cát thô, cát mịn, chất độn mịn, xi măng, nước, một hoặc nhiều loại PGK [4, 79, 92]. Các PGK như TB, XL, SF, BĐV, ... và các puzolan tự nhiên thường được sử dụng làm chất độn để sản xuất BTHN. Trên thế giới, BTHN hiện nay có thể xem là loại bê tông thân thiện với môi trường và được nhiều tác giả nghiên cứu và ứng dụng [6, 7, 11, 23, 87, 93].

BTHN được phân biệt với vữa xi măng bởi thành phần của nó (có thêm PGK), liều lượng chất kết dính (CKD) thấp hơn, cường độ cao hơn và tương tự như bê tông truyền thống. Về thành phần, nó được phân biệt với bê tông thông thường vì sử dụng một lượng lớn cát, không có đá dăm hoặc sử dụng một ít đá dăm và các PGK. Nhưng về cường độ và lượng xi măng gần như tương tự nhau [120].

Trong BTHN có thể sử dụng thêm đá dăm sao cho tỷ lệ đá/cốt liệu bé hơn 0,3, lúc này nó được gọi là BTHN nặng. Việc bổ sung này nhằm tăng cường độ cứng của khung cốt liệu BTHN. Chất độn mịn trong BTHN là một thành phần cốt liệu quan trọng dùng cho bê tông này, chất độn mịn có vai trò là kéo dài dải cấp phối cốt liệu của cát, chất độn mịn là cốt liệu mịn chèn đầy vào các lỗ hổng giữa các hạt cát, để tăng độ đặc cho khung cốt liệu của BTHN [86]. So với bê tông thường (BTT), BTHN là sự nhỏ hóa đường kính của

các hạt cốt liệu nên hoàn toàn có thể sử dụng được nguồn cát hạt mịn dồi dào có mô đun độ lớn bé hơn 2 mà ít được sử dụng trong bê tông thông thường [86].

1.3.2. Phân loại bê tông hạt nhỏ

Có nhiều cách phân loại đối với BTHN như phân loại theo tỷ lệ cốt liệu lớn sử dụng, theo cường độ, theo tính chất sử dụng, ... [80]. Cụ thể như sau:

- Phân loại theo tỷ lệ cốt liệu lớn thêm vào:
 - BTHN có cốt liệu lớn: Đá dăm hoặc sỏi (cỡ hạt > 4.75 mm) chiếm đến 30% khối lượng hỗn hợp cốt liệu.
 - BTHN không có cốt liệu lớn, thành phần cốt liệu chỉ có cát (cỡ hạt ≤ 4.75 mm).
- Phân loại theo cường độ của BTHN:
 - BTHN thường: có cường độ chịu nén (R_b) từ 20 đến 45 MPa
 - BTHN chất lượng cao: có cường độ chịu nén cao ($R_b > 45$ MPa), khả năng chống thấm ion Clo và chống mài mòn cao, ...

1.3.3. Nguyên tắc phối tạo bê tông hạt nhỏ

Do BTHN là vật liệu đá nhân tạo nên nguyên lý phối tạo của vật liệu bê tông là cố gắng tạo ra một khối đá từ các loại cốt liệu sao cho độ đặc của khối đá cao nhất [83]. Độ đặc của BTHN phụ thuộc rất nhiều yếu tố nhưng trước tiên nó bị ảnh hưởng bởi cỡ hạt lớn nhất của cốt liệu và được điều hòa bởi dải cấp phối cốt liệu của nó.

Đối với bê tông thường, cốt liệu thô đóng vai trò bộ khung chịu lực cho bê tông, cốt liệu mịn vừa góp phần củng cố bộ khung cốt liệu đồng thời cùng với xi măng, nước tạo ra vữa xi măng để lấp đầy lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu lớn và bao bọc xung quanh các hạt cốt liệu lớn tạo ra khối bê tông đặc chắc [82].

Trên cơ sở nguyên lý này BTHN cũng áp dụng tương tự, tuy nhiên do BTHN chỉ sử dụng cốt liệu có đường kính hạt từ 5 mm trở xuống nên có sự dịch chuyển dải cốt liệu so với BTT. Dải cấp phối cốt liệu trong BTHN được “nhỏ hóa” đi so với BTT. Nghĩa là chúng ta có thể sử dụng phối hợp cốt liệu cát thô (cát nghiền, cát thô có mô đun $M_k > 2$) với cát mịn ($M_k < 2$) làm khung cốt liệu kết hợp với các hạt mịn trong cát ($< 75 \mu\text{m}$) và chất độn mịn (chủ yếu các hạt nhỏ hơn $75 \mu\text{m}$) đóng vai trò chèn đầy khung cốt liệu để làm tăng độ đặc và cải thiện tính dễ thi công của hỗn hợp bê tông [86].

Sự “nhỏ hóa” dải cấp phối cốt liệu giúp BTHN có thể tận dụng được loại cát hạt mịn ($M_k < 2$) trong bê tông, loại cát mịn rất phổ biến và có trữ lượng rất lớn ở khu vực duyên hải Nam Trung Bộ nước ta. Theo TCVN 7570:2006 khuyến cáo cát mịn có mô đun độ lớn

$M_k = 1,0-2,0$ mới chỉ cho phép sử dụng rất hạn chế để chế tạo bê tông cấp cường độ từ B15 đến B25 [22].

Chất độn mịn trong BTHN được sử dụng để chèn khung cốt liệu, giảm lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu và giảm liều lượng xi măng sử dụng (lượng xi măng bằng 60-70% so với vữa xi măng cát). Bởi vậy độ rỗng trong BTHN nhỏ hơn, lượng xi măng sử dụng ít hơn nhưng cường độ sẽ lớn hơn so với vữa xi măng khi cùng tỷ lệ nước - xi măng (N/X).

Như vậy, nguyên tắc cấu tạo của BTHN tương tự như BTT gồm nguyên tắc tổ chức cấp phối cốt liệu và nguyên tắc chèn đầy khung cốt liệu. Hỗn hợp cấp phối cốt liệu của BTHN là một cấp phối cốt liệu có dải hạt liên tục từ 0–5 mm có thành phần từ ba cỡ hạt: cát thô từ 0,63-5,0 mm; cát mịn 0,075-0,63 mm, CDM và PGK (< 0.075 mm). Cấp phối cốt liệu của BTHN được “nhỏ hóa” so với BTT. Với một cấp phối cốt liệu nhất định có một độ rỗng được tính toán theo dải cấp phối d/D, khoảng rỗng này được lấp đầy bằng hỗn hợp gồm: xi măng, CDM và PGK nhưng phải đảm bảo tính công tác của bê tông khi thi công. Lỗ rỗng càng được lấp đầy thì độ linh động của hỗn hợp bê tông càng thấp, tuy nhiên vấn đề này hiện nay có thể giải quyết bằng các loại phụ gia hóa dẻo và siêu dẻo.

1.4. Các nghiên cứu và ứng dụng bê tông hạt nhỏ sử dụng cát nhiễm mặn ở Việt Nam

Nghiên cứu của Nguyễn Thanh Sang và Phạm Duy Hữu [84] cho thấy BTHN sử dụng cát sông Đà hay hỗn hợp cát sông và CNM thì tính công tác tốt nhất với lượng bột đá vôi sử dụng từ 140-160 kg/m³, khi chỉ sử dụng cát mặn thì tính công tác của bê tông tốt nhất khi lượng sử dụng từ 180 – 220 kg/m³.

Nghiên cứu của Nguyễn Thanh Sang và Nguyễn Lê Thắng [85] sử dụng cát nghiên thay thế cát sông trong BTHN cho thấy loại BTHN với 60% đá mặt thải và 40% CNM có cường độ chịu nén cao hơn 25% và kéo uốn cao hơn 18% so với BTHN sử dụng 60% cát vàng thô và 40% CNM.

Nguyễn Thanh Sang và các đồng sự [82] nghiên cứu BTHN tính năng cao sử dụng tro trấu (TRT) thay thế 0, 5%, 10%, 15%, 20% xi măng, MS thay thế 10% xi măng. Cốt liệu cát mịn trong nghiên cứu là sử dụng loại CNM được lấy từ các đụn cát ven biển. Kết quả cho thấy TRT làm tăng cường độ chịu nén của BTHN tính năng cao so với các mẫu bê tông đối chứng dù ở bất cứ tuổi nào. Ngoại trừ bê tông chứa 20% TRT ở 3 ngày tuổi. Cường độ chịu nén và cường độ ép chẻ của BTHN ở 28 ngày đạt cao nhất tương ứng 62,3 MPa và 6,5 MPa với sự thay thế 10% TRT. Cường độ BTHN khi thay thế 10-15% RHA cho kết quả tương tự khi thay thế 10% MS.

Nghiên cứu thực nghiệm về BTHN cho thi công mặt đường ô tô bằng công nghệ đầm lăn với lượng TB thay thế xi măng lần lượt là 0%, 25%, 30%, 35% để cho thấy hàm lượng thay thế TB càng cao thì cường độ nén, ép chế ở các ngày tuổi thấp hơn so với bê tông đối chứng [101].

Nghiên cứu của Nguyễn Thanh Sang [80] cho thấy mô đun đàn hồi của BTHN sử dụng CNM thấp hơn khoảng 10% so với mô đun đàn hồi của bê tông thường.

Nghiên cứu của Nguyễn Thanh Sang, Lê Thanh Hà về BTHN [82] sử dụng TRT và MS trong việc chế tạo BTHN tính năng cao cho thấy việc sử dụng TRT và cho thấy sự cải thiện tuyệt vời sức kháng clorua của BTHN. Sức kháng clorua của hỗn hợp BTHN khi sử dụng 15% và 20% TRT thay thế xi măng tương tự như BTHN dùng 10% MS và đều cho kết quả ở mức rất thấp theo ASTM C1202. Điều này là do với sự kết hợp của TRT giúp làm mịn hệ thống lỗ rỗng của hồ xi măng, giảm lượng lớn $\text{Ca}(\text{OH})_2$ do phản ứng puzolan để tạo thành gel CSH [82].

Nghiên cứu của tác giả Nguyễn Thanh Sang về các tính chất cơ học của bê tông hạt nhỏ sinh thái bằng cách sử dụng cát nhiễm thay thế cốt liệu mịn và XL thay thế xi măng. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng cường độ nén và cường độ kéo uốn giảm khi lượng XL tăng lên thay thế cho xi măng (từ 0 đến 50%). Cường độ ép chế của hỗn hợp gồm 30% XL gần bằng với hỗn hợp không có XL. Tại thời điểm 28 ngày, các giá trị cường độ chịu nén, cường độ kéo uốn, cường độ ép chế của loại bê tông hạt mịn này lớn hơn so với bê tông thông thường. Kết quả thấm clorua giảm từ 219,0 xuống 1531,5 coulomb khi lượng XL thay thế cho xi măng tăng từ 0% lên 50%. Việc tăng hàm lượng XL là nguyên nhân dẫn đến giảm clorua, giảm thấm và giảm độ hút nước. Kết quả của nghiên cứu này chỉ ra rằng bê tông hạt mịn có chứa FA và XL, trong đó XL được sử dụng thay thế một phần xi măng lên đến 50% có thể đáp ứng yêu cầu của bê tông thông thường liên quan đến tính chất độ bền và tính chất cơ học [81].

1.5. Các nghiên cứu và ứng dụng bê tông hạt nhỏ sử dụng cát nhiễm mặn trên thế giới

Một trong những ứng dụng lớn nhất của CNM trong xây dựng đó chính là sử dụng CNM để làm bê tông BTHN. Tại Pháp, dự án quốc gia về BTHN đã được hình thành và bắt đầu với sự hợp tác của các nước Nga, An-giê-ri, Ma-rốc..., dự án này đã được đánh giá là một trong những nghiên cứu quy mô nhất về BTHN và những kết quả của dự án này đã được công nhận trên thế giới [79].

Thực tế CNM đã được bắt đầu sử dụng từ rất lâu cách đây. Năm 1869 ở Ai cập, ngọn đèn biển cao 52m ở cảng Said được xây dựng bằng BTCNM [9, 79]. Ở trung tâm

châu Âu (từ Bỉ cho đến thành phố St. Petersburg của Nga) rất hiếm sỏi, vì vậy chủ yếu nhập đá dăm từ các nơi khác (ví dụ như vùng Scandinavia), cho nên nhiều nước ở châu Âu đã nghiên cứu về BTHN sử dụng cát bồi nhiễm mặn [8, 35, 48] để khắc phục những khó khăn về nguồn cốt liệu lớn.



Hình 1. 9. Đường BTHN sử dụng cát đụn [79]



Hình 1. 10. Đường tàu điện ngầm St. Petersburg, nguồn [79]

Ở Nga, với nguồn cát đụn mịn dồi dào đã được sử dụng như một phần cốt liệu hay hoàn toàn trong chế tạo bê tông xi măng từ sớm. Năm 1941, cát đụn mịn được sử dụng

trong chế tạo bê tông cát xây dựng đường tàu điện ngầm ở thành phố St. Petersburg [21, 79](Hình 1.10), tuy nhiên các nghiên cứu sử dụng bê tông cát của Nga ở thời điểm đó chưa sử dụng bột mịn, nên coi như vừa cường độ cao.

Ở Đức đã nghiên cứu và sử dụng bê tông giàu cát (có tới 80% cát nên gọi là bê tông cát) bắt đầu từ năm 1971, để tận dụng một lượng cát còn mịn ven biển ở nhiều vùng trên lãnh thổ nước Đức; có đến một phần ba diện tích dư thừa cát còn (chiếm hơn 70% cát và sỏi chiếm nhỏ hơn 30%) [91]. Các nghiên cứu ở Đức chỉ ra rằng bê tông giàu cát, nhưng chủ yếu là tận dụng nguồn cát phong phú của nước Đức. Tài liệu [91] đã đưa ra kết quả nghiên cứu bê tông tự đầm giàu cát cường độ chịu nén đạt đến 50MPa. Đây là báo cáo hội thảo quốc tế về chuyên đề bê tông tự đầm năm 2001 ở Nhật Bản.

Ở Pháp vào những năm 1970-1980 trước nguy cơ cạn kiệt nguồn cốt liệu cho việc cung ứng bê tông, với lượng cát bồi không lồ chưa được sử dụng và rất tiềm năng cho việc chế tạo bê tông. Dự án quốc gia về cát ở Pháp đã được hình thành trong khuôn khổ “Dự án quốc gia Nghiên cứu và Phát triển cát” [79] (SABLOCRETE) bắt đầu từ 1998 với sự hợp tác của Nga, Algeri, Maroc và ứng dụng đầu tiên vào năm 1980 do trung tâm thí nghiệm cầu đường Bordeaux thực hiện.



Hình 1. 11. Đường bê tông cát La teste et Le Pyla, ở tỉnh Aquitaine sử dụng cát bồi nhiễm mặn [79]

Dự án này là một trong những nghiên cứu qui mô lớn nhất về bê tông cát trên thế giới. Nghiên cứu đã đưa ra một số luận điểm về thành phần bê tông cát, các tính chất cơ bản dựa vào các thực nghiệm và một số ứng dụng của bê tông cát ở Pháp. Ở Pháp đã sử dụng bê tông cát bồi nhiễm mặn để làm đường “La teste et Le Pyla” ở tỉnh Aquitaine (trung

tâm Bourdoux), tây Nam nước Pháp (Hình 1.11).

- Cát bồi nhiễm mặn còn được dùng trong BTHN để làm kè, đập, tấm lát vỉa hè, bê tông đầm lu làm móng đường, gia cố taluy ở quốc lộ 10, Lormont, tỉnh Ginronde [79].



Hình 1. 12. Đường ống bằng bê tông cát, Mont de Marsan, Tỉnh Landes, Pháp

1.6. Kết luận chương 1

Một số kết luận có thể được rút ra từ Chương 1 như sau:

- Các nhiễm mặn được nghiên cứu và ứng dụng trong các công trình xây dựng từ lâu ở các nước trên thế giới, tuy nhiên ở Việt Nam số lượng các công trình nghiên cứu còn hạn chế.

- BTHN sử dụng CNM đã được nghiên cứu và ứng dụng ở một số vùng và quốc gia trên thế giới chủ yếu cho các công trình giao thông và hạ tầng. Ở Việt Nam đã có một số ít nghiên cứu về BTHN sử dụng CNM, các nghiên cứu tập trung vào các tính chất cơ học trong khi các tính chất về độ bền chưa được nghiên cứu nhiều.

- Việc sử dụng XL cho BTCNM bước đầu cho thấy sự hiệu quả trong việc cải thiện một số tính chất dài hạn của bê tông. Để ứng dụng BTCNM cần có thêm nhiều nghiên cứu đầy đủ hơn để có cơ sở ứng dụng.

- Việc chế tạo BTCNM và các phụ phẩm công nghiệp XL là rất khả thi, đặc biệt là trong điều kiện các phụ phẩm công nghiệp sẵn có ở khu vực Miền Trung và nguồn cốt liệu tự nhiên ngày càng khan hiếm.

CHƯƠNG 2: XÁC ĐỊNH CÁC CHỈ TIÊU, TÍNH CHẤT CỦA CÁC VẬT LIỆU CHẾ TẠO BÊ TÔNG VÀ THIẾT KẾ THÀNH PHẦN BÊ TÔNG HẠT NHỎ CHẤT LƯỢNG CAO SỬ DỤNG CÁT NHIỄM MẶN

2.1. Vật liệu chế tạo bê tông hạt nhỏ chất lượng cao sử dụng cát nhiễm mặn

Việc lựa chọn vật liệu chế tạo BTHN trên cơ sở tận dụng các loại vật liệu sẵn có ở địa phương, các loại vật liệu phổ biến trên thị trường Việt Nam và phù hợp với xu hướng phát triển bền vững. Các loại vật liệu được sử dụng trong nghiên cứu đại diện cho khu vực Nam trung bộ gồm:

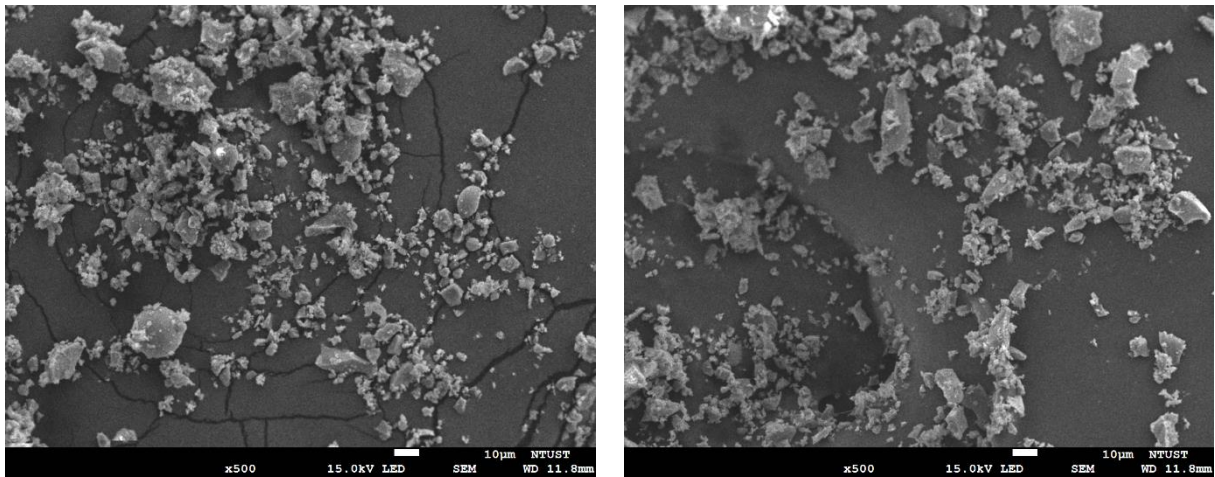
- Xi lò cao nghiền mịn S95 Hòa Phát Dung Quất;
- Cát sông Túy Lan, Quảng Nam;
- Cát mịn nhiễm mặn khu vực biển Sơn Trà, Đà Nẵng
- Xi măng PCB40 Nghi Sơn;
- Phụ gia siêu dẻo MasterGlenium SKY 8713

2.2.1. Xi măng

Đề tài nghiên cứu sử dụng xi măng PCB40 Nghi Sơn có sẵn trên thị trường để nghiên cứu. Kết quả phân tích thành phần hóa học và thí nghiệm xác định các tính chất cơ, lý của xi măng được trình bày ở Bảng 2.1 đến Bảng 2.2.

Bảng 2.1. Các chỉ tiêu cơ, lý của xi măng PCB40 Nghi Sơn

STT	Tính chất	Đơn vị	Kết quả	TCVN 2682:2009
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	3.11	-
2	Độ mịn: <i>Lượng sót sàng 0.09 mm</i>	%	7,5	≤ 10
	<i>Độ mịn Blaine</i>	cm ² /g	3470	≥ 2800
3	Lượng nước tiêu chuẩn	%	30	-
4	Độ ổn định thể tích	mm	0,6	≤ 10
5	Thời gian đông kết <i>Bắt đầu</i>	Phút	140	≥ 45
	<i>Kết thúc</i>	Phút	225	≤ 375
6	Cường độ nén <i>3 ngày</i>	MPa	25,1	≥ 21
	<i>28 ngày</i>		49,0	≥ 40



(a) PCB 40

(b) XL

Hình 2. 1. Hình ảnh chụp SEM của xi măng và xỉ lò cao

Bảng 2.2. Thành phần hóa của xi măng, TB và XL

Vật liệu	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl ⁻	MKN
Xi măng	50.12	24.12	4.47	6.84	4.23	0.74	0.68	1.21	0.017	6.37
Xỉ lò cao	34.7	36.6	0.03	12.91	7.78	1.26	0.52	1.45	0.008	0.86

Kết quả ở Bảng 2.1 cho thấy xi măng PCB40 thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 6260:2009.

2.2.2. Cốt liệu nhỏ

Cốt liệu để chế tạo BTHN gồm cát sông và CNM.

Cát sông sử dụng trong nghiên cứu là Cát sông Đại Lộc, Quảng Nam. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ, lý của cát sông được trình bày trong Bảng 2.3. Thành phần hạt của cát sông được trình bày trong Bảng 2.4 và thể hiện ở Hình 2.1.

CNM sử dụng thuộc khu vực bờ biển Sơn Trà, Đà Nẵng, vị trí lấy mẫu cách mép nước biển khoảng 50m. CNM có mô đun độ mịn $M_k < 1,05$. Các tính chất cơ, lý của CNM được trình bày ở Bảng 2.3. Thành phần hạt của cát mịn được trình bày trong Bảng 2.5 và thể hiện ở Hình 2.2.

Bảng 2. 3. Các chỉ tiêu vật lý và hóa học của cát sông và cát nhiễm mặn

TT	Tên chỉ tiêu	Cát sông	Cát nhiễm mặn chưa rửa	Cát nhiễm mặn đã rửa	TCVN 7570
1	Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,71	2,615	2,610	-

2	Khối lượng thể tích xấp (g/cm ³)	1,473	1,401	1,398	-
4	Độ hút nước (%)	0,52	1,02	0,98	-
5	Độ rỗng tự nhiên (%)	45,51	48,7	48,5	-
7	Mô đun độ lớn	3,401	1,05	1,07	2,0-3,0
8	Hàm lượng bùn sét (%)	1,2	0,3	0,15	≤ 1,5
9	Hàm lượng ion Cl ⁻ (%)	0,0013%	0,308 %	0,013 %	0.05%
10	Hàm lượng SO ₄ ²⁻ (%)	-	1,0023	0,05	0,05
11	Tạp chất hữu cơ	Sáng hơn màu chuẩn	Sáng hơn màu chuẩn	Sáng hơn màu chuẩn	Không sẫm hơn màu chuẩn

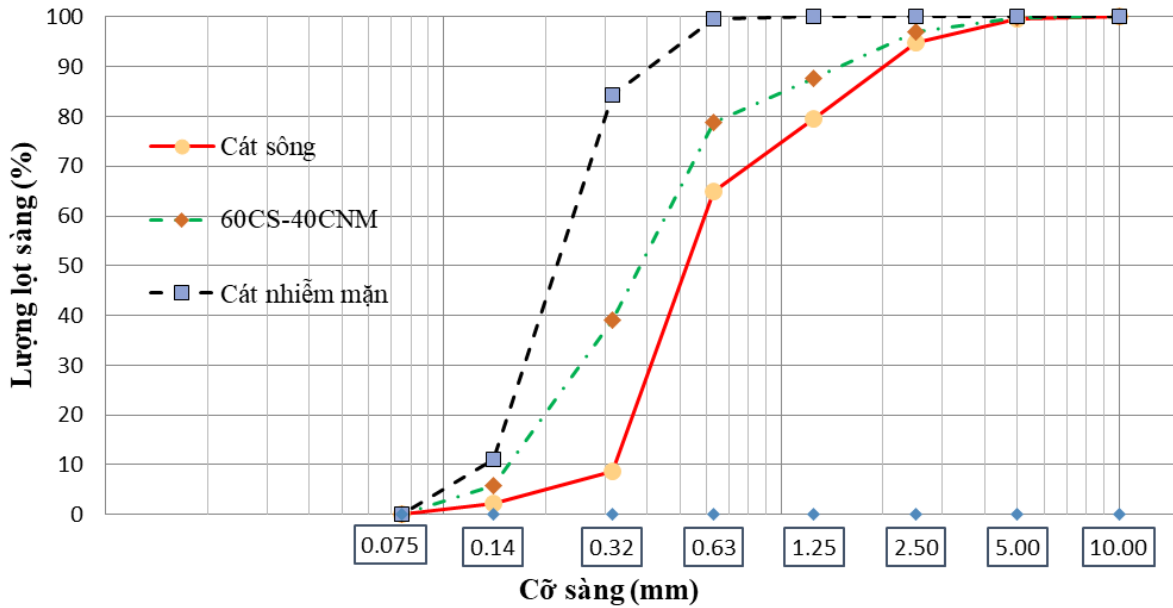
Kết quả phối trộn các tỷ lệ CS và CNM đều cho kết quả không thỏa mãn lượng lọt sàng theo TCVN 7570:2006. Tuy nhiên, với BTHN cho phép sử dụng các loại cát mịn có thể không cần thỏa mãn điều kiện về cốt liệu như TCVN 7570:2006 quy định cho BTT.

Việc lựa chọn tỷ lệ phối cốt liệu cát sông (CS) và CNM cho BTHN trong nghiên cứu trên cơ sở thí nghiệm cường độ chịu nén của 4 cấp phối BTHN với tỷ lệ CNM khác nhau, tỷ lệ cốt liệu cho kết quả tối ưu về cường độ chịu nén 7 ngày được lựa chọn cho việc thiết kế thành phần BTHN trong nghiên cứu. Kết quả thí nghiệm được trình bày ở Bảng 2.4.

Bảng 2. 4. Cường độ chịu nén 7 ngày của các loại BTHN sử dụng tỷ lệ CNM khác nhau

Thông số	BTHN với các tỷ lệ CNM khác nhau			
	50CS:50CNM	60CS:40CNM	70CS:30CNM	80CS:20CNM
N/X	0,38	0,38	0,38	0,38
Cường độ nén trung bình ở 7 ngày (MPa)	43,2	45,7	44,9	44,7

Hỗn hợp cốt liệu cho BTHN được lựa chọn có tỷ lệ sử dụng cát sông và CNM là 60:40, đường thành phần hạt được trình bày ở Hình 2.2



Hình 2. 2. Thành phần hạt cốt liệu của các cấp phối BTHN

Bảng 2. 5. Thành phần cấp phối cốt liệu của các cấp phối BTHN

Mắt sàng (mm)		5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,075
Lượng lọt sàng của các cốt liệu (%)	Cát sông	99.7	94.9	79.4	65.0	8.7	2.2	0.0
	Hỗn hợp cốt liệu	99.8	96.9	87.7	78.9	39	5.7	0
	Cát nhiễm mặn	100	100	100	99.7	84.33	10.95	0

2.2.3. Phụ gia khoáng

PGK được sử dụng cho BTHN là xỉ lò cao nghiền mịn S95 Hòa Phát – Dung Quất.

Kết quả thí nghiệm phân tích thành phần hóa học và xác định các chỉ tiêu cơ lý của TB và XL được thể hiện trong Bảng 2.5 và Bảng 2.6.

Bảng 2. 6. Các chỉ tiêu chất lượng của XL S95 Hòa Phát Dung Quất

STT	Chỉ tiêu	Kết quả	TCVN 1158:2016	ASTM 989
1	Khối lượng riêng, g/cm ³	2,89	-	-
2	Độ mịn			
	Lượng sót sàng 0,09 mm, %	1,76		
	Độ mịn Blain, cm ² /g	5100	≥ 5000	≥ 2750
3	Chỉ số hoạt tính cường độ, %	105%		

	7 ngày	82,5	≥ 75	≥ 45
	28 ngày	103,2	≥ 95	≥ 70
4	Hàm lượng MgO, %	7,78	≤ 10	≤ 18
5	Hàm lượng SO ₃ , %	1,35	≤ 4	$\leq 2,5$
6	Hàm lượng ion Cl ⁻ , %	0,016	$\leq 0,02$	$\leq 0,1$
7	Hàm lượng mất khi nung, %	0,86	≤ 3	≤ 3

Kết quả ở Bảng 2.5 và Bảng 2.6 cho thấy TB và XL thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật để chế tạo BTHN.

2.2.4. Phụ gia siêu dẻo

Đề tài nghiên cứu sử dụng phụ gia MasterGlenium SKY 8713 của hãng Basf để cải thiện tính công tác cho hỗn hợp bê tông. Các chỉ tiêu của phụ gia SKY 8713 được ghi trong Bảng 2.7.

Bảng 2. 7. Các chỉ tiêu của phụ gia siêu dẻo Basf 8713

Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thí nghiệm
Hàm lượng chất khô	%	20,37	TCVN 8826-2011
Độ PH	-	6,94	
Khối lượng riêng	g/cm ³	1,062	

2.2. Thiết kế thành phần bê tông hạt chất lượng cao sử dụng cát nhiễm mặn

Trong đề tài nghiên cứu bê tông với tỷ lệ N/CKD = 0,38. Các loại bê tông sử dụng CNM, do vậy trong thành phần bê tông sử dụng XL để khắc phục các tính chất có hại do CNM gây ra cho bê tông.

Năm cấp phối BTHNCLC được thiết kế theo phương pháp thể tích tuyệt đối với tỷ lệ N/CKD = 0,38 gồm: BTHNCLC đối chứng sử dụng CNM chưa xử lý (non wash sea sand) đặt tên mẫu là NWS-C, BTHNCLC đối chứng sử dụng CNM đã xử lý rửa mặn (wash sea sand) đặt tên mẫu là WS-C, BTHNCLC sử dụng CNM với XL thay thế 30, 50, 70% xi măng có tên mẫu lần lượt là NWS-30G; NWS-50G; NWS-70G.

Liều lượng phụ gia siêu dẻo (tính theo % khối lượng CKD) được xác định thông qua việc trộn thử các hỗn hợp bê tông và thử độ sụt để đảm bảo độ sụt yêu cầu đạt từ 2,0

- 4,0 cm. Hàm lượng phụ gia được sử dụng đảm bảo độ sụt yêu cầu đối với BTHN đối chứng là 2% CKD.

Thành phần cấp phối của các hỗn hợp bê tông được trình bày trong Bảng 2.8.

Bảng 2.8. Thành phần hỗn hợp của các loại BTHN sử dụng CNM

Thành phần	WS-C	NWS-C	NWS-30G	NWS-50G	NWS-70G
Xi măng PCB (kg/m ³)	550	550	385	275	165
Xi lò cao (kg/m ³)	0	0	165	275	385
Nước (l/m ³)	209	209	209	209	209
Cát sông (kg/m ³)	984	984	976	970	964
Cát biển (kg/m ³)	656*	656	650	647	643
Phụ gia (%)	2%B	2%B	2%B	2%B	2%B

* = cát biển đã qua xử lý rửa mặn

2.3. Kết luận chương 2

- Đã thí nghiệm xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của các vật liệu chế tạo bê tông. Các vật liệu được sử dụng trong việc chế tạo BTHNCLC đều đảm bảo chất lượng yêu cầu theo quy định;

- Đã thiết kế được các loại bê tông BTHNCLC với tỷ lệ N/CKD là 0,38 có sử dụng phụ gia khoáng XL. Các loại bê tông gồm: BTHNCLC đối chứng (NWS-C), BTHNCLC đối chứng sử dụng CNM đã xử lý rửa mặn (WS-C), BTHNCLC sử dụng CNM với XL thay thế 30, 50, 70% xi măng (NWS-30G; NWS-50G; NWS-70G).

CHƯƠNG 3: NGHIÊN CỨU TRONG PHÒNG XÁC ĐỊNH CÁC TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG HẠT NHỎ CHẤT LƯỢNG CAO SỬ DỤNG CÁT NHIỄM MẶN VÀ PHẾ THẢI CÔNG NGHIỆP

3.1. Công tác đúc và bảo dưỡng các mẫu bê tông hạt nhỏ, phương pháp thí nghiệm

3.1.1. Công tác đúc và bảo dưỡng bê tông

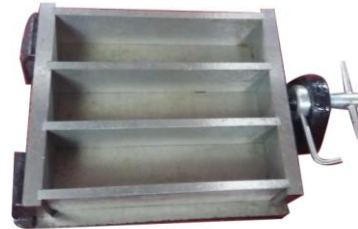
Chuẩn bị khuôn đúc mẫu tương ứng với số lượng và loại mẫu bê tông cần đúc đảm bảo yêu cầu theo kế hoạch thí nghiệm.

Các khuôn đúc phải phù hợp với kích thước của từng loại mẫu, đảm bảo kỹ thuật, không bị cong vênh, hở các góc cạnh. Các khuôn đúc mẫu phải được vệ sinh sạch sẽ và bôi trơn các thành bên trong để dễ tháo mẫu.

Công tác đúc và bảo dưỡng các mẫu bê tông được tiến hành theo TCVN 3105:1993.



a) Khuôn 100x200 mm



b) Khuôn 40x40x160 mm

Hình 3. 1. Một số loại khuôn đúc mẫu thí nghiệm

a) Cân đong vật liệu

Các loại vật liệu được đong tính cho một mẻ trộn tương ứng với thể tích thùng trộn, cân đong theo khối lượng bằng cân tự động, riêng phụ gia siêu dẻo được cân đong theo thể tích. Các loại vật liệu cho một mẻ trộn phải điều chỉnh theo độ ẩm của cốt liệu cho chính xác trước khi đưa vào trộn.

b) Trộn và đổ bê tông

- BTHN được trộn với máy trộn cưỡng bức trục ngang dung tích 90 lít.

- Quy trình trộn tiến hành như sau: Tổng quy trình trộn bê tông trong vòng 8 phút. Đầu tiên, hỗn hợp cốt liệu và chất kết dính được trộn khô trong 2 phút; Đổ hai phần ba lượng nước hỗn hợp và trộn trong 2 phút; Đổ một phần ba lượng nước còn lại trộn với phụ gia siêu dẻo đổ vào hỗn hợp bê tông trộn tiếp 3 phút; Hỗn hợp được trộn thêm 1 phút cho đến khi thấy hỗn hợp bê tông đều, đồng màu thì dừng.

- Khuôn đúc mẫu được đưa sẵn lên bàn rung, bê tông được đổ vào khuôn thành 2 lớp

với mẫu có chiều cao lớn hơn 10 cm và 1 lớp với mẫu có chiều cao nhỏ hơn hoặc bằng 10 cm, mỗi lớp đầm rung cho đến khi nổi hết bọt khí sau đó tiến hành làm phẳng bề mặt mẫu thử.

c) *Công tác đúc mẫu và bảo dưỡng mẫu*

Các mẫu sau khi đúc khoảng 20-24 giờ thì tiến hành tháo khuôn, riêng các nhóm mẫu bê tông có sử dụng 70%XL, bê tông sử dụng 25%XL và 25%TB thì thời gian tháo mẫu sau khi đúc từ 36-40 giờ, sau đó các mẫu được dưỡng hộ ngập trong nước thường ở nhiệt độ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ cho đến các ngày tuổi để thí nghiệm.



a) Công tác trộn bê tông



b) Các mẫu thử mới đúc

Hình 3. 2. Công tác trộn và đúc mẫu các loại BTHN

3.1.2. Phương pháp thí nghiệm

Cường độ chịu nén và cường độ uốn của các mẫu bê tông được tiến hành ở 7, 28, 56, 91, 180 và 365 ngày tuổi theo tiêu chuẩn ISO 3121:2003. Thí nghiệm siêu âm bê tông UPV được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C597 bằng cách sử dụng mẫu hình trụ ($\phi 100\text{ mm} \times 200\text{ mm}$) ở 7, 28, 91, 180 và 365 ngày tuổi. Thí nghiệm được tiến hành với 3 mẫu/hỗn hợp và thu được giá trị trung bình. Thử tích lỗ rỗng (độ rỗng) của mẫu bê tông được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C642.

Thử nghiệm độ thấm nước của các mẫu bê tông được tiến hành ở tuổi bảo dưỡng là 28 ngày. Các mẫu hình trụ có chiều cao 150mm và đường kính 150mm đã được chuẩn bị cho thử nghiệm này. Như mô tả trong Hình 5, áp suất 2,4MPa được áp dụng cho các mẫu bê tông trong vòng 72 giờ để xác định diện tích thấm nước một cách trực quan và sau đó hệ số thấm nước của các hỗn hợp bê tông khác nhau được tính theo phương trình dưới đây:

$$K = \frac{Q \cdot d}{t \cdot A \cdot \Delta H} \quad (4)$$

Ghi chú: Q: trọng lượng nước thấm; d: chiều sâu thấm nước trung bình; t: thời gian thử nghiệm; A: diện tích thấm nước (cm^2); ΔH : Áp lực nước.

Thí nghiệm đo tốc độ ăn mòn để xác định thời gian ăn mòn ban đầu của các mẫu bê tông được tiến hành với mẫu hình trụ 28 ngày ($\phi 100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$). Các thanh cốt thép ($\phi 12 \text{ mm}$) được đặt chính giữa các mẫu bê tông khi đổ mẫu, với độ sâu phủ 50 mm tính đến đáy mẫu hình trụ. 14 ngày trước khi thử nghiệm, các mẫu này được để khô tự nhiên đến 28 ngày tiến hành thí nghiệm đo ăn mòn cốt thép. Thí nghiệm được thực hiện theo NTBuild 492 và các mẫu thử được đo dòng điện qua mẫu hàng ngày với điện áp không đổi 10V [41, 42]. Với thí nghiệm sức kháng ăn mòn sunfat, sau 7 ngày, mẫu bê tông được đưa vào dung dịch natri sunfat (Na_2SO_4 , 10%) để kiểm tra. Độ giãn nở của các mẫu bê tông được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C1012, trong khi kết quả cường độ nén được tiến hành đồng thời ở điều kiện bảo dưỡng tiêu chuẩn để so sánh kết quả. Sự ảnh hưởng do thâm nhập sunfat đến cường độ nén được nghiên cứu bằng tỷ lệ tương đối (RC). Tỷ số cường độ chịu nén tương đối (RC) của mẫu bê tông được tính toán tại thời điểm thí nghiệm theo công thức sau:

$$RC = (C_s/C_w) \times 100\% \quad (5)$$

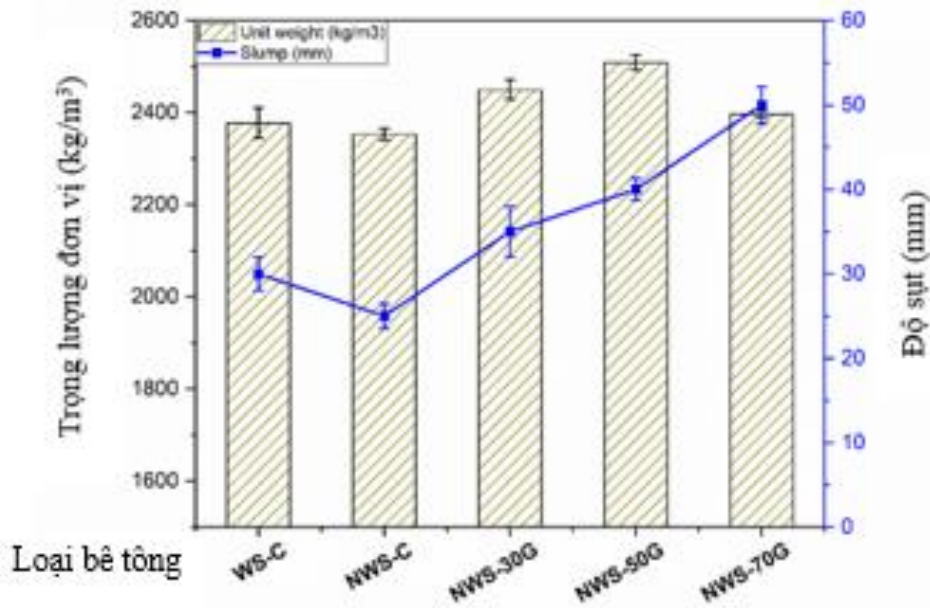
Cuối cùng, các mẫu bê tông nhỏ được thu thập từ các thử nghiệm cường độ nén được sử dụng để kiểm tra vi cấu trúc của mẫu bê tông bằng kính hiển vi điện tử thứ cấp (SEM) model JEOL JSM-7900.

3.2. Thí nghiệm xác định tính chất độ sụt và khối lượng thể tích của các hỗn hợp bê tông tươi

Các hình ảnh và kết quả thử nghiệm tính chất độ sụt và khối lượng thể tích của các hỗn hợp bê tông tươi được thể hiện ở Hình 3.3 và Hình 3.4.



Hình 3. 3. Thí nghiệm đo độ sụt



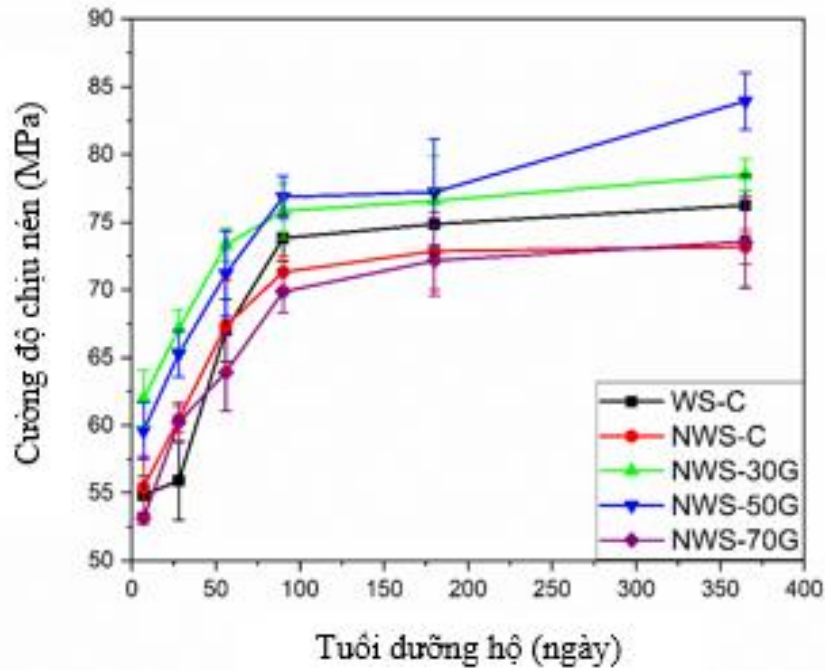
Hình 3. 4.. Tính chất bê tông tươi của các hỗn hợp BTHNCLC sử dụng CNM

Hình 3.4 mô tả độ sụt và khối lượng thể tích đơn vị bê tông tươi (Unit weight- UW) của các hỗn hợp bê tông khác nhau. Như được minh họa trong hình này, kết quả UW của hỗn hợp bê tông sử dụng CNM đã được rửa sạch và không được rửa sạch cho thấy một kết quả gần giống, đồng thời kết hợp với XL làm tăng đáng kể giá trị UW lên tới 50%. Kết quả độ sụt đã giảm đi với hàm lượng XL là 70%. So sánh với hỗn hợp không có XL, sử dụng 30%, 50% và 70% XL để thay thế một phần xi măng đã cải thiện UW lần lượt là 4,11%, 6,61% và 1,86%. Do có độ mịn cao, XL chiếm cấu trúc lỗ rỗng (hiệu ứng lấp đầy) và giảm độ xốp, do đó làm tăng UW tươi của hỗn hợp [42]. Tuy nhiên, hàm lượng 70% XL làm giảm giá trị UW so với hỗn hợp hàm lượng 50% XL do trọng lượng riêng của XL thấp hơn PCB40.

Ngoài ra, hỗn hợp bê tông sử dụng WS có kết quả độ sụt tăng nhẹ do bề mặt sạch của các hạt CNM, điều này có thể làm tăng tính công tác của các mẫu bê tông tươi. Ngoài ra, việc kết hợp XL đã cải thiện đáng kể tính công tác của các hỗn hợp bê tông. Như Hình 3.4, các giá trị độ sụt của NWS-C, NWS-30G, NWS-50G, NWS-70G lần lượt là 25mm, 35mm, 40mm và 50mm. Do các hạt XL có bề mặt nhẵn, như thủy tinh, ít thấm nước nên việc thay thế xi măng bằng XL đã làm tăng độ sụt của mẫu bê tông. Kết quả này cũng phù hợp với những phát hiện từ các nghiên cứu trước đó [34, 38, 104].

3.3. Thí nghiệm xác định cường độ nén

Cường độ chịu nén của các mẫu bê tông có XL và hỗn hợp cát sông/cát biển được thể hiện trên Hình 3.5.



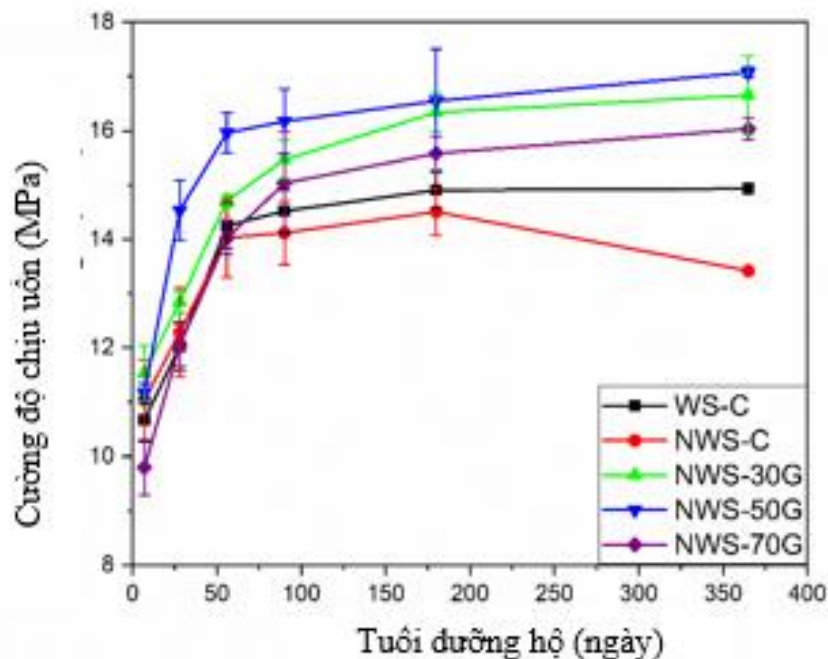
Hình 3. 5. Cường độ chịu nén của các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM

Kết quả cường độ chịu nén được cải thiện từ 26,6%-48,7% với thời gian bảo dưỡng lên tới 365 ngày. Sự phát triển của các sản phẩm thủy hóa theo thời gian làm tăng pha đặc và tăng mật độ vi cấu trúc của mẫu bê tông giúp các hỗn hợp bê tông đạt được cường độ nén cao hơn [102]. Như mô tả ở Hình 3.5, so sánh với bê tông NWS, các mẫu bê tông sử dụng WS thể hiện cường độ chịu nén thấp hơn ở tuổi sớm (7 ngày, 28 ngày và 56 ngày), nhưng càng về sau thì bê tông sử dụng WS cho thấy cường độ chịu nén cao hơn bê tông NWS. Như được trình bày trong Bảng 2.3, cát NWS có hàm lượng Cl^- và SO_4^{2-} cao hơn WS, điều này đã đẩy nhanh quá trình hydrat hóa của thành phần xi măng ($\text{C}_3\text{S}/\text{C}_2\text{S}$), dẫn đến hình thành nhiều sản phẩm hydrat hóa hơn như thạch cao và tinh thể canxi cacbonat so với cát bê tông OPC giúp cải thiện cường độ ở tuổi sớm [46, 114]. Tuy nhiên, cát biển đã qua xử lý làm giảm hàm lượng Cl^- và SO_4^{2-} và cho kết quả tốt hơn ở những ngày tuổi sau. Taylor và cộng sự [95] đã cho rằng liều lượng canxi clorua thấp hơn 0,1% đã ảnh hưởng đến cường độ nén của mẫu bê tông. Trong khi Younis và cộng sự [115] đã chỉ ra rằng hàm lượng ion sunfat cao có thể ảnh hưởng đến cường độ nén của mẫu bê tông do sự giãn nở của tạp chất muối (giống như thạch cao). Hơn nữa, sự tham gia của muối tan và C3A/CH trong quá trình hydrat hóa đã đẩy nhanh quá trình hình thành muối Friedel ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$) và muối Kuzel ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 0.5\text{CaSO}_4\cdot 0.5\text{CaCl}_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$) [17, 25, 67], góp phần đạt được cường độ chịu nén của các mẫu bê tông.

Việc kết hợp XL đã cải thiện cường độ nén của các mẫu bê tông, đặc biệt là ở độ tuổi muộn hơn. Như được hiển thị trong Hình 3.5, việc sử dụng XL từ 30%-50% đã làm tăng đáng kể cường độ nén ở mức 7,5%-11,8% sau 7 ngày và 7,3%-14,7% sau 365 ngày. Sự đóng góp của phản ứng puzolan của XL đã tiêu thụ Ca(OH)_2 trong xi măng Portland và tăng cường cường độ của các mẫu bê tông. Hơn nữa, việc kết hợp với nguồn aluminosilicate trong XL tạo ra nhiều gel C-A-S-H hơn, có độ cứng tốt hơn gel C-S-H trong các sản phẩm hydrat hóa của hồ OPC, do đó cải thiện cường độ nén của các loại BTHNCLC sử dụng CNM [51]. Ngoài ra, việc kết hợp XL đã đẩy nhanh quá trình hình thành muối Freidel do sự đóng góp của pha Al trong XL, giúp tăng cường sự phát triển vi cấu trúc và cường độ nén của các mẫu bê tông [52]. Mặt khác, hỗn hợp bê tông sử dụng CNM làm tăng môi trường kiềm, làm tăng tốc độ phản ứng puzolan của XL ở độ tuổi sớm và cũng cải thiện sự tham gia của pha Al trong XL trong quá trình hydrat hóa và dẫn đến đạt được cường độ cao hơn [53]. Tuy nhiên, hàm lượng XL cao (70%) cho kết quả giảm nhẹ so với hỗn hợp XL 50%. Điều này có thể là do phản ứng chậm của XL, làm duy trì các hạt XL không được hydrat hóa trong hồ xi măng và ảnh hưởng đến sự phát triển cường độ nén.

3.4. Thí nghiệm xác định cường độ chịu uốn

Cường độ chịu uốn của các mẫu bê tông được thu thập từ trung bình ba kết quả thí nghiệm của thí nghiệm uốn ba điểm, như trong Hình 3.6.



Hình 3. 6. Cường độ chịu uốn của các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM

Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ chịu uốn của NWS-C tăng lên cho đến 180 ngày và sau đó giảm mạnh xuống còn 365 ngày. Trong khi cường độ chịu uốn của hỗn hợp WS-C tăng lên tới 180 ngày. Sự cải thiện cường độ chịu uốn có thể là do sự đóng góp của quá trình hydrat hóa, làm tăng độ đặc của bê tông bằng cách đẩy nhanh quá trình hình thành gel phản ứng và tăng cường vi cấu trúc và cường độ chịu uốn [75]. Ngoài ra, cường độ chịu uốn của các mẫu bê tông bị ảnh hưởng đáng kể bởi vùng chuyển tiếp bề mặt (ITZ) giữa cát và xi măng. Yidong Gan và cộng sự [26] đã cho rằng độ bền uốn của các mẫu ITZ thấp hơn so với nền hồ. Việc kết hợp NWS với hàm lượng Cl^- và SO_4^{2-} cao trong cát biển góp phần tạo ra tạp chất muối ở tuổi muộn, giống như sự hình thành thạch cao, gây giãn nở, thể tích không ổn định [115] và ảnh hưởng đến cường độ ITZ giữa cát biển và hồ xi măng, làm giảm cường độ uốn ở những ngày tuổi muộn và dẫn đến cường độ chịu uốn của NWS-C thấp nhất so với loại bê tông khác.

Độ bền uốn được cải thiện bằng cách kết hợp XL. Hàm lượng 50% XL là tỷ lệ SCM tối ưu, với mức cải thiện 27,25% so với NWS-C, trong khi hỗn hợp 70% XL cho thấy mức tăng 19,5% so với NWS-C sau 365 ngày. Kết quả này phù hợp với kết quả cường độ chịu nén. Ngoài ra, việc bao gồm 50% XL đã tăng cường đáng kể độ bền uốn nhờ tác dụng làm đầy mạnh của muối Friedel và ettringite, với lượng gel dưới dạng sợi cải thiện độ bền uốn [2].

3.5. Thí nghiệm xung vận tốc siêu âm

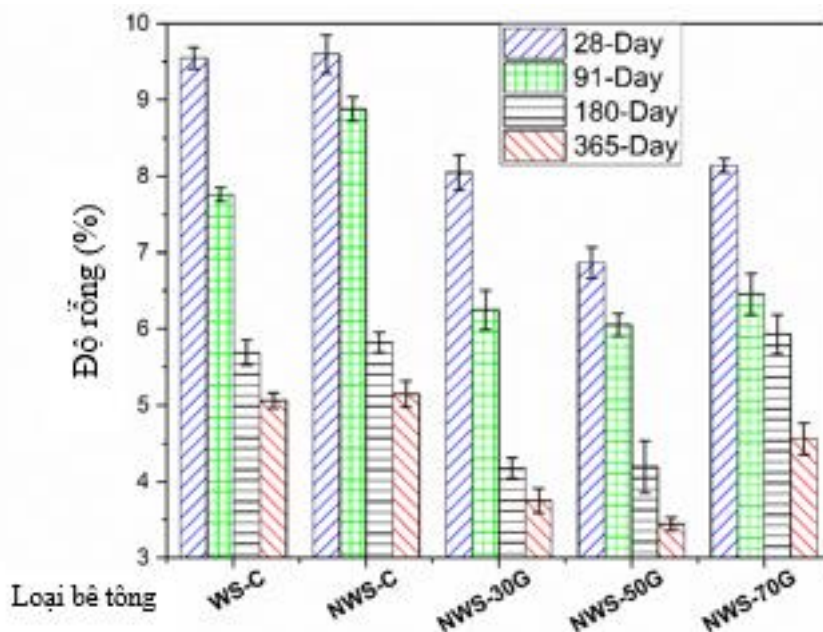
Kết quả thí nghiệm UPV được sử dụng để kiểm tra chất lượng của các mẫu bê tông, có mối liên hệ chặt chẽ với các đặc tính bên trong như cấu trúc lỗ rỗng, vi cấu trúc và vết nứt. Cấu trúc vi mô dày đặc chắc cho giá trị UPV cao. Theo Whitehurst [106], chất lượng bê tông ở các mức vận tốc sóng từ <2000m/s; 2000-3000m/giây; 3000-3500m/giây; 3500-4500m/s và cao hơn 4500m/s tương ứng với chất lượng mẫu bê tông ở các điều kiện rất kém, kém, nghi ngờ, tốt và rất tốt. Như được mô tả trong Hình 3.7, các kết quả thí nghiệm UPV phù hợp với việc phát triển cường độ nén và cải thiện thời gian bảo dưỡng. Bởi vì sự đóng góp của quá trình hydrat hóa dẫn đến thể tích của pha rắn ngày càng tăng, nên không gian lỗ rỗng trong mẫu vật được lấp đầy, làm đặc vi cấu trúc và dẫn đến tăng giá trị UPV [102]. Hình này cho thấy tất cả các mẫu bê tông đều có chất lượng rất tốt với giá trị UPV dao động từ 4662-4860m/s sau một năm bảo dưỡng.

Việc sử dụng bê tông với WS cho kết quả UPV cao hơn so với trong hỗn hợp bê tông NWS. Theo thời gian bảo dưỡng, kết quả bê tông WS đã cải thiện được 1,14-3,04%. Nhiều nghiên cứu đã cho rằng sự tham gia của Cl^- và SO_4^{2-} trong thành phần cát biển có

thể cải thiện độ bền cơ học và vi cấu trúc của các mẫu bê tông dẫn đến kết quả UPV cao [89]. Tuy nhiên, hàm lượng cao muối biển kết tinh như magie sunfat ($MgSO_4$) hoặc magie clorua ($MgCl_2$) có thể hình thành dưới dạng bruxit và gây ra sự giãn nở trong bê tông do đó làm giảm kết quả UPV của mẫu bê tông [39, 94]. Sử dụng XL làm chất thay thế xi măng đã cải thiện đáng kể kết quả UPV của các mẫu bê tông. Sau 365 ngày, việc sử dụng 30-70% XL cho kết quả UPV cao hơn 0,5-4,76% so với hỗn hợp không có XL, với mức XL tối ưu là 50%. Việc bổ sung XL thậm chí còn làm giảm lượng $Ca(OH)_2$ hơn nữa, cho thấy khả năng phản ứng pozzolanic của XL được thêm vào liên quan đến sự hình thành sản phẩm hydrat hóa liên quan đến việc tăng cường vi cấu trúc và giá trị UPV [53]. Ngoài ra, sự tham gia của XL vào quá trình hydrat hóa với muối biển đã thúc đẩy sự hình thành muối Friedel, giúp tăng cường đáng kể cấu trúc vi mô của mẫu bê tông và dẫn đến kết quả UPV cao hơn [50].

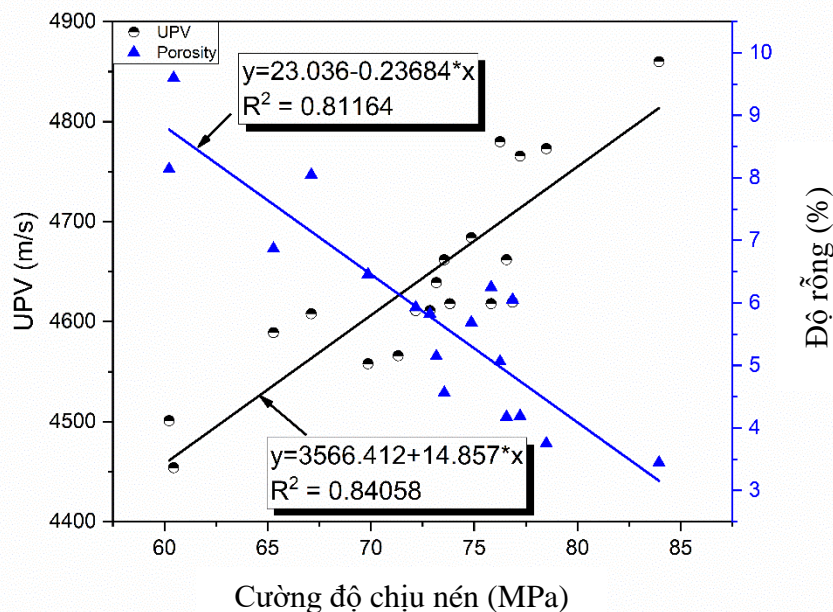
3.6. Thí nghiệm tính chất độ rỗng của bê tông

Kết quả độ rỗng của các loại BTHNCLC được hiển thị trong Hình 3.7 với mức giảm đáng kể trong thời gian bảo dưỡng. Ở tuổi 28 ngày, các giá trị độ rỗng dao động từ 6,87-9,60% và sau đó các giá trị này giảm xuống 3,44-5,15% ở tuổi 365 ngày. Gel phản ứng hydrat hóa đã cải thiện vi cấu trúc bên trong của nền xi măng, làm giảm thể tích lỗ rỗng của mẫu bê tông [102]. Như thể hiện trên hình này, bê tông sử dụng WS và NWS thể hiện kết quả khá giống nhau về độ rỗng trong suốt thời gian bảo dưỡng, với giá trị cao hơn một chút trong hỗn hợp NWS.



Hình 3. 7. Độ rỗng của các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM

Việc sử dụng XL trong BTHNCLC làm giảm đáng kể độ rỗng của mẫu bê tông. Ở 365 ngày tuổi, sử dụng 30-70% XL cho thấy độ rỗng giảm 11,34-33,07% so với hỗn hợp không có XL, tỷ lệ XL là tối ưu ở mức 50%. Việc kết hợp với XL có thể tăng cường đáng kể cấu trúc lỗ rỗng bằng cách tạo ra C-A-S-H thứ cấp do đặc tính puzolan của chúng [51]. Sự hiện diện của gel sản phẩm hydrat hóa làm giảm các lỗ rỗng mao dẫn và cải thiện cấu trúc đặc chắc của mẫu bê tông [24]. Tuy nhiên, hàm lượng 70%XL cho độ rỗng cao hơn hỗn hợp 50%XL do phản ứng chậm của XL, vẫn còn các hạt không hydrat hóa và ảnh hưởng đến vi cấu trúc của mẫu bê tông [97]. Ngoài ra, việc kết hợp cát biển đã tạo ra các ion sunfat và clorua trên bề mặt của các hạt cát biển, có khả năng hoạt động như chất kích hoạt và hòa tan XL [15]. Ngoài ra, tình trạng kiềm do tạo ra canxi hydroxit trong quá trình hydrat hóa xi măng, có thể thúc đẩy quá trình hòa tan nhanh chóng XL và tăng khả năng hấp thụ CH [50]. Hiện tượng này giúp cải thiện vi cấu trúc và giảm độ rỗng của mẫu S-HPC.



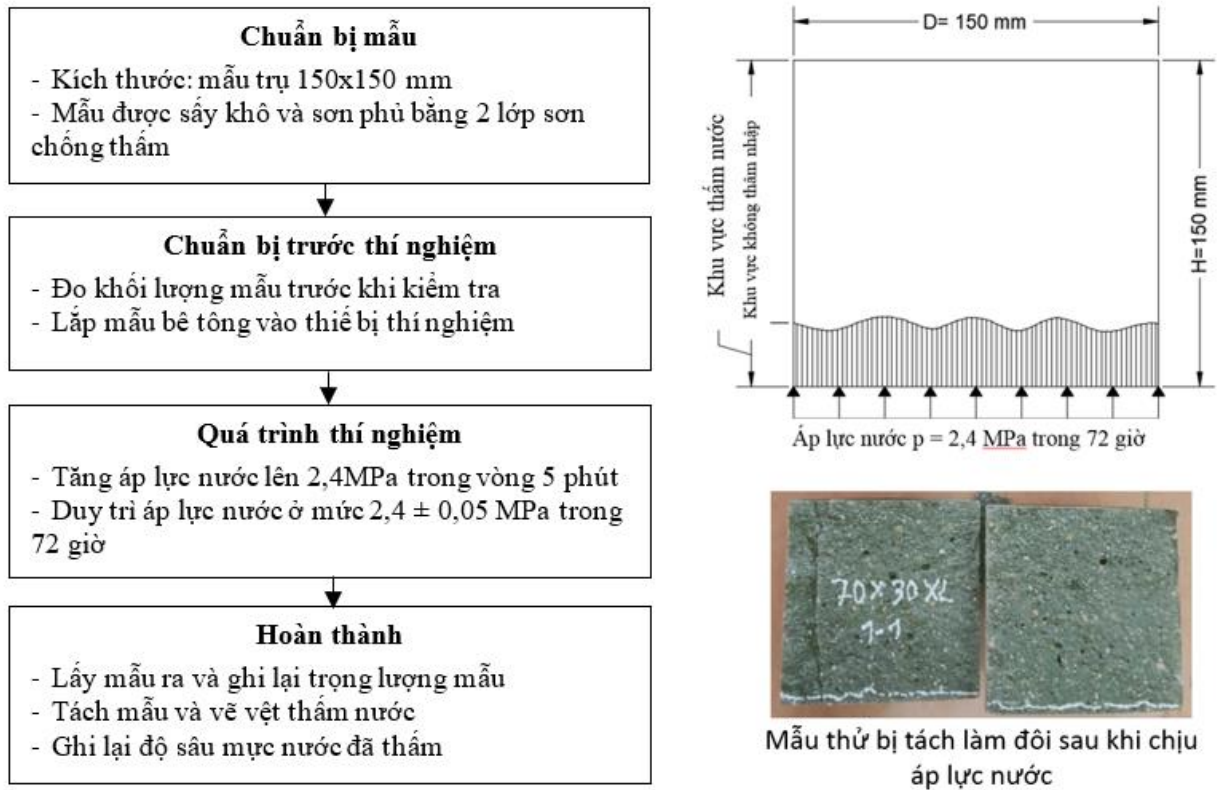
Hình 3. 8. Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén, UPV và độ rỗng của các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM

Hình 3.8 minh họa mối quan hệ giữa cường độ nén, UPV và độ rỗng của mẫu BTHNCLC. Mối tương quan chặt chẽ giữa cường độ nén với UPV và cường độ nén với các giá trị độ rỗng được tìm thấy bởi hệ số R^2 lần lượt vào khoảng 0,84 và 0,81. Kết quả chỉ ra rằng cường độ nén tăng gần như tuyến tính khi kết quả UPV tăng và giá trị độ rỗng

giảm. Kết quả này phù hợp với những phát hiện của nghiên cứu trước đó rằng cường độ nén và giá trị UPV cao hơn cho thấy độ rỗng thấp hơn và cấu trúc đặc chắc hơn [3, 42].

3.7. Thí nghiệm hệ số thấm nước

Sơ đồ thí nghiệm thấm và quy trình thí nghiệm hệ số thấm nước của các loại BTHNCLC được trình bày ở Hình



Hình 3. 9. Quy trình thí nghiệm hệ số thấm nước trong BTHNCLC

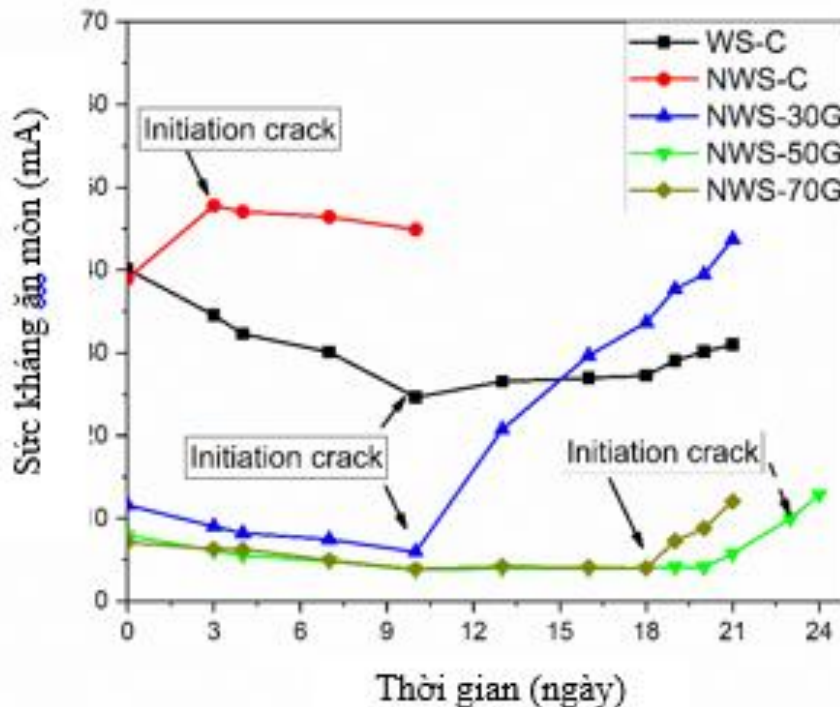
Khả năng thấm nước là một chỉ số quan trọng về độ bền của bê tông. Khả năng chống thấm nước của các mẫu bê tông được tiến hành ở 28 ngày và 91 ngày như trên Hình 3.10. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ số thấm nước của các mẫu bê tông giảm đáng kể theo thời gian bảo dưỡng. Điều này chủ yếu là do vi cấu trúc đặc chắc hơn của các mẫu bê tông do quá trình hydrat hóa xi măng nhiều hơn khi tuổi bảo dưỡng tăng [61]. Sự hình thành gel C-S-H đã làm giảm thiểu lỗ rỗng, tăng cường đặc tính chống thấm nước [60]. So với WS, các mẫu bê tông sử dụng NWS có đặc tính chống thấm nước tốt hơn với WPR lần lượt là $1,79E-12$ so với $2,68E-12$. Các ion clorua cao hơn trong cát biển không được rửa sạch đã đẩy nhanh phản ứng hóa học với các sản phẩm hydrat hóa xi măng (C3A) để tạo thành muối Friedel, giúp cải thiện cấu trúc lỗ rỗng của các mẫu bê tông, dẫn đến tỷ lệ hệ số thấm nước (Water penetration ratio -WPR) thấp [41, 59]. Shiwen Han và cộng sự [30] đã cho rằng việc kết hợp nước biển đã đẩy nhanh quá trình hydrat hóa các thành phần xi

mãng với muối biển, góp phần làm giảm độ rỗng và cải thiện cấu trúc lỗ rỗng, cản trở sự xâm nhập của các chất có hại vào bê tông.

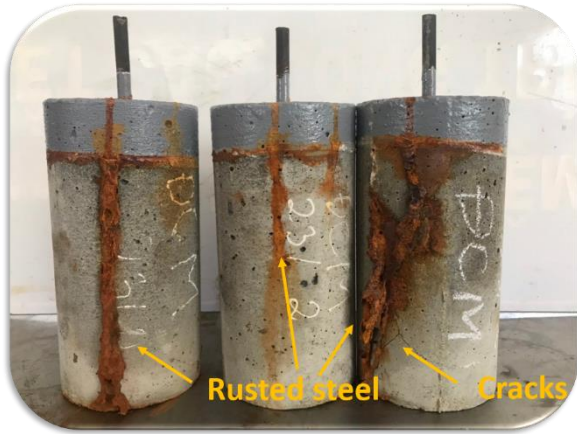
Ngoài ra, việc sử dụng XL đã cải thiện đáng kể đặc tính Sức kháng thấm nước của các mẫu bê tông. Việc sử dụng với 30%, 50% và 70% XL cho giá trị WPR là $5,99E-13$, $3,41E-13$ và $4,11E-13$ so với $2,68E-12$ của hỗn hợp đối chứng, không có hàm lượng XL. Việc kết hợp với XL đã cải thiện đáng kể đặc tính WPR của các mẫu bê tông, và với hàm lượng 50%XL thì cho kết quả WPR thấp nhất [52]. Việc sử dụng XL được cho là do quá trình hydrat hóa bằng cách tiêu thụ $Ca(OH)_2$, làm tăng khả năng phản ứng puzolan và tạo ra sự hình thành sản phẩm hydrat hóa, do đó cải thiện vi cấu trúc của mẫu bê tông [53]. Hơn nữa, việc kết hợp XL vào quá trình hydrat hóa với muối biển đã thúc đẩy sự hình thành muối Friedel, giúp cải thiện đáng kể cấu trúc vi mô của mẫu bê tông và cải thiện hiệu suất WPR của mẫu bê tông [50]. Tuy nhiên, khối lượng XL cao ở mức 70% có thể làm giảm nhẹ các đặc tính WPR so với 50% do phản ứng chậm của XL, có thể vẫn là các hạt XL không hydrat hóa và ảnh hưởng đến cấu trúc vi mô và WPR [97] của mẫu bê tông.

3.8. Thí nghiệm sức kháng ăn mòn cốt thép

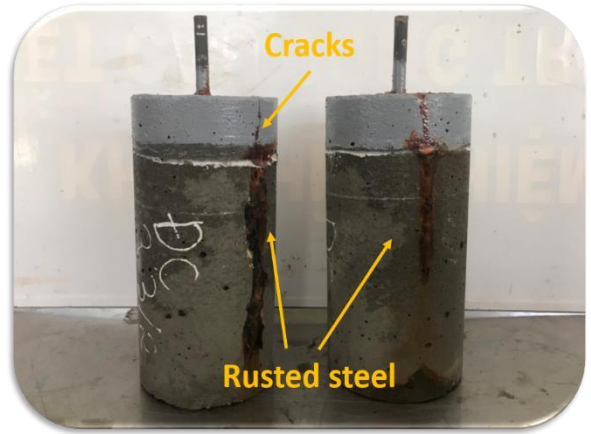
Thời gian bắt đầu ăn mòn của các mẫu bê tông được đo ở 28 ngày và được hiển thị trong Hình 3.10.



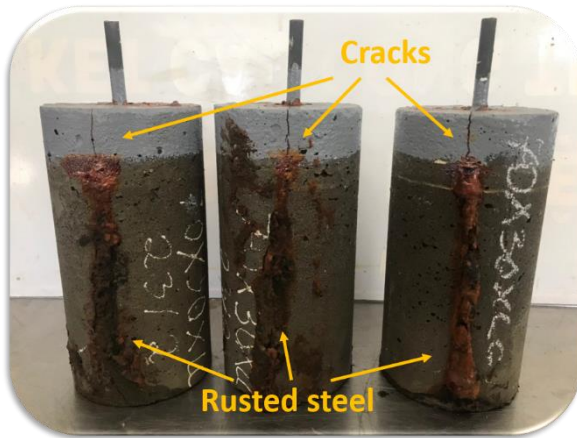
Hình 3. 10. Thời gian ăn mòn ban đầu của các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM



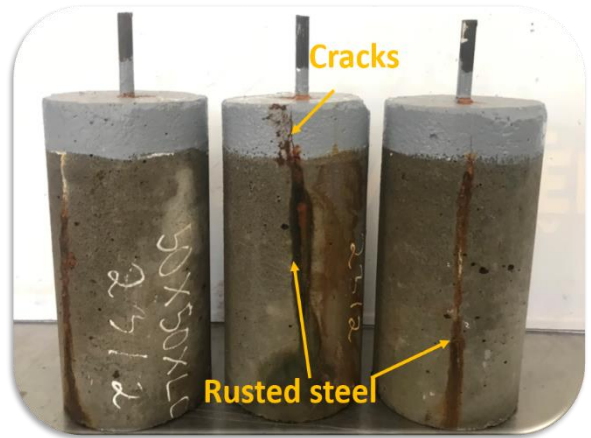
a) NWS-C



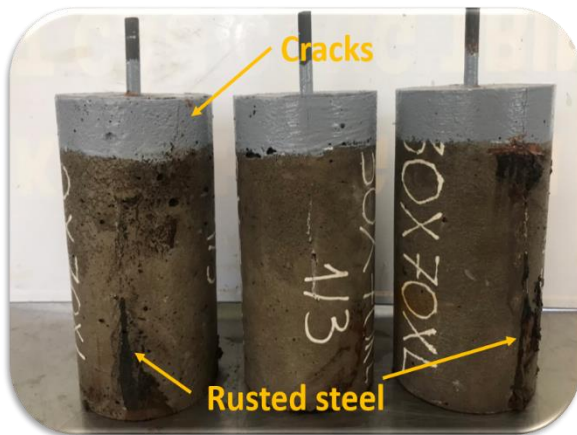
b) WS-C



c) NWS-30G



d) NWS-50G



e) NWC-70G



f) Broken concrete samples

Hình 3. 11. Kiểm tra các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM sau khi thí nghiệm gia tốc ăn mòn

Sự gia tăng độ dốc của dòng điện tức thời được sử dụng để thiết lập thời gian bắt đầu ăn mòn. Sự ăn mòn thanh thép trong các mẫu bê tông có thể bị ảnh hưởng bởi hàm lượng Cl⁻ tự do, lỗ rỗng mao dẫn, sự khuếch tán và tính thấm của bê tông. Như thể hiện trong hình này, NWS-C có chất lượng kém, với thời gian bắt đầu ăn mòn nhanh nhất vào ngày thứ 3. Kết quả này có thể do hàm lượng Cl⁻ trong vật liệu cát biển cao (0,3088%), và gây ăn mòn các thanh thép. Dias và cộng sự [18] minh họa rằng mức Cl⁻ tự do trong cát biển đạt 0,3% sẽ làm tăng đáng kể quá trình ăn mòn các mẫu bê tông. Ngoài ra, sự ăn mòn của các thanh thép trong các mẫu bê tông bị ảnh hưởng đáng kể bởi bê tông cát biển và tỷ lệ N/CKD, với số liệu đo đặc ăn mòn cao hơn liên quan đến hàm lượng cát biển và tỷ lệ N/CKD cao hơn. WS làm giảm hàm lượng Cl⁻ xuống 0,013% và giá trị dòng điện, làm trì hoãn đáng kể thời gian bắt đầu ăn mòn của các mẫu bê tông từ ngày 10 đến ngày 13.

Sử dụng XL để thay thế một phần xi măng làm giảm đáng kể tốc độ ăn mòn của các mẫu bê tông. Hàm lượng XL cao hơn thể hiện giá trị dòng điện thấp hơn và trì hoãn sự xuất hiện vết nứt ban đầu với tỷ lệ XL tối ưu là 50%. Như có thể thấy từ hình 3.9, hỗn hợp hàm lượng XL 30%, 50% và 70% thể hiện thời gian bắt đầu vết nứt lần lượt là ngày 10-13, 23 và 18-21. Việc kết hợp với XL có thể cải thiện đáng kể độ đặc chắc vi cấu trúc bằng cách tạo ra sự hình thành C-A-S-H thứ cấp [51], làm giảm tính thấm của ion clorua và thời gian bắt đầu vết nứt của mẫu bê tông. Hơn nữa, khi kết hợp với XL, bê tông cát biển thể hiện điện trở suất cao hơn ở vùng phủ, điều này có thể làm giảm dòng điện ăn mòn tự nhiên của bê tông trong môi trường ion clorua. Takahiro Nishida và cộng sự [72] đã cho rằng XL khi được sử dụng sẽ là một trong những chất phụ gia hiệu quả nhất để chống ăn mòn cho bê tông trộn với nước biển. Thép nhúng trong bê tông cát biển chứa XL duy trì màng thụ động nguyên vẹn nhờ một số yếu tố, bao gồm tỷ lệ giữ các ion Cl⁻ cao, độ rỗng thấp và nồng độ oxy thấp ở bề mặt thép, giúp cải thiện khả năng chống ăn mòn của thanh thép.

Hình 3.11 cho thấy các vết nứt và gỉ sét trên bề mặt mẫu bê tông trong thí nghiệm tốc độ ăn mòn. Theo hình này, NWS-C có số lượng thép gỉ và một số vết nứt lớn nhất, đặc biệt là ở phần dưới của các mẫu bê tông, trong khi WS-C giảm đáng kể các vết nứt và sự xuất hiện của gỉ thép. Ngoài ra, sử dụng XL thay thế xi măng làm giảm đáng kể hiện tượng gỉ thép và nứt nẻ của các mẫu bê tông ngoại trừ hỗn hợp có hàm lượng XL 30%. Kết quả này phù hợp với thời gian bắt đầu vết nứt của mẫu bê tông.

3.9. Thí nghiệm sức kháng sunfat

Đặc tính kháng sunfat của các mẫu vữa được khảo sát với sự thay đổi cường độ nén trong thời gian đóng rắn trong dung dịch natri sunfat (Na₂SO₄-10%) lên tới 365 ngày.

Cường độ chịu nén của mẫu vữa tăng lên theo thời gian ngâm bảo dưỡng lên tới 180 ngày và sau đó giảm xuống ở 365 ngày, như trình bày trong Bảng 3.1. Hỗn hợp bê tông sử dụng xi măng PCB40 với hàm lượng SCM lên tới 20% có tính năng ổn định trong môi trường sunfat. Ngoài ra, việc sử dụng GGBFS để thay thế một phần xi măng đã góp phần tạo ra phản ứng puzolan, với dung dịch natri sunfat (Na^+ and SO_4^{2-}), tạo ra nhiều sản phẩm hydrat hóa hơn và cải thiện cường độ nén [73]. Tuy nhiên, với thời gian bảo dưỡng dài (lên tới 365 ngày), lượng ion sunfat xuyên qua mẫu vữa cao hơn, góp phần hình thành thạch cao hoặc ettringite với khối lượng lớn và gây ra thể tích không ổn định trong các mẫu vữa do cường độ nén giảm [73].

Bảng 3. 1. Cường độ chịu nén của các cấp phối BTHNCLC trong dung dịch sunfat (MPa)

Tên cấp phối	7 ngày	28 ngày	56 ngày	90 ngày	180 ngày	365 ngày
WS-C	54.8	61.8	73.3	73.9	76.2	69.8
NWS-C	55.4	64.6	72.5	71.4	71.6	61.9
NWS-30G	62.0	72.0	76.9	79.7	81.1	74.2
NWS-50G	59.6	71.8	73.1	80.0	82.9	80.7
NWS-70G	53.1	60.2	64.7	71.2	75.7	71.7

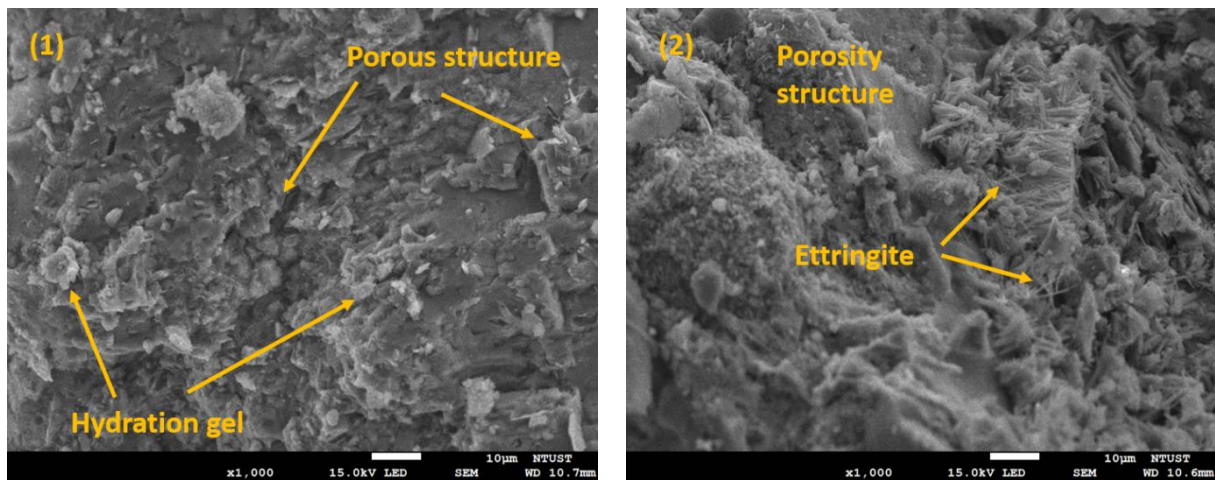
Bảng 3.2 thể hiện cường độ nén tương đối (RC) của mẫu bê tông theo thời gian bảo dưỡng. Hỗn hợp NWS-C có tỷ lệ hao hụt RC lớn nhất sau 365 ngày so với các hỗn hợp khác, với 84,6% giá trị cường độ của quá trình bảo dưỡng tiêu chuẩn. Hơn nữa, hỗn hợp NWS-C thể hiện RC ở thời điểm 180 ngày là 98,2%, trong khi các hỗn hợp khác thể hiện RC cao hơn 100% ở thời điểm 180 ngày. Việc sử dụng NWS có hàm lượng Cl⁻ và SO₄²⁻ cao và xi măng 100% có hàm lượng C₃A cao làm tăng khả năng hình thành ettringite và thạch cao, có thể do tính chất không ổn định ở tuổi muộn và gây ra sự giảm cường độ lớn [116]. Việc kết hợp XL đã cải thiện cường độ nén và tỷ lệ RC của các mẫu bê tông. Như được hiển thị trong Bảng 3.2, hàm lượng XL cao hơn cho thấy mức độ hao hụt cường độ ít hơn sau 365 ngày. Có thể là do việc kết hợp XL trong các mẫu bê tông sẽ tạo ra nhiều sản phẩm hydrat hóa hơn bằng phản ứng puzolan, dẫn đến vi cấu trúc đặc chắc hơn và cường độ nén cao hơn [73]. Một lý do khác có thể là việc sử dụng XL càng cao thì hàm lượng xi măng càng thấp dẫn đến thành phần C₃A càng thấp. Phản ứng puzolan tiêu thụ một lượng lớn Ca(OH)₂ và tác dụng lấp đầy của gel C-S-H loại lưu huỳnh thấp có thể cải thiện khả năng chống ăn mòn sunfat của mẫu bê tông [116, 117].

Bảng 3. 2. Cường độ chịu nén tương đối của các mẫu bê tông (%)

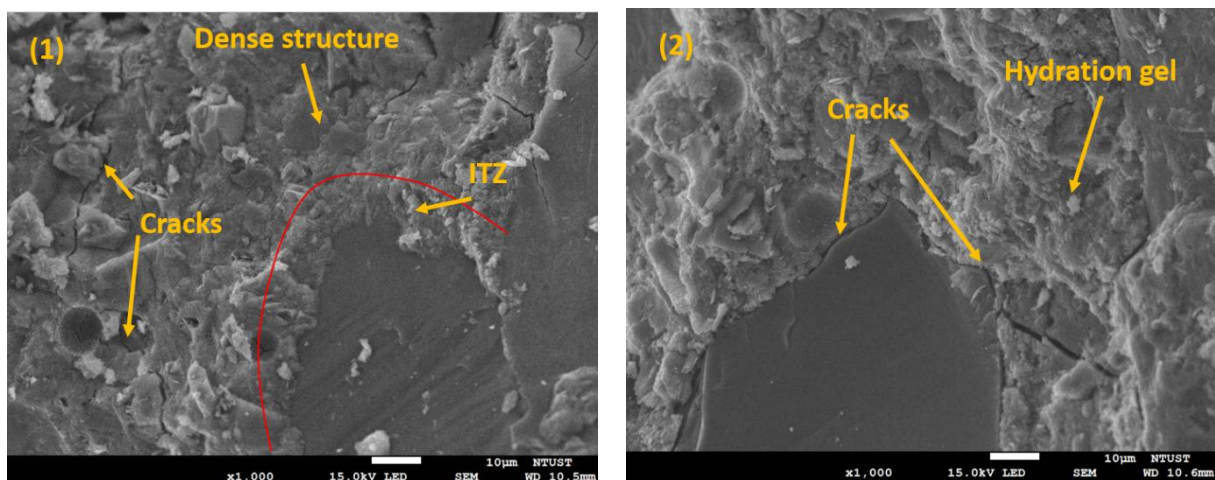
Các cấp phối	7 ngày	28 ngày	56 ngày	90 ngày	180 ngày	365 ngày
WS-C	100	110.5	109.5	100.2	101.8	91.6
NWS-C	100	106.8	107.6	100.2	98.2	84.6
NWS-30G	100	107.2	104.9	105.1	105.9	94.5
NWS-50G	100	110.0	102.7	104.1	107.4	96.1
NWS-70G	100	100.0	101.2	101.9	104.9	97.5

3.10. Thí nghiệm chụp SEM

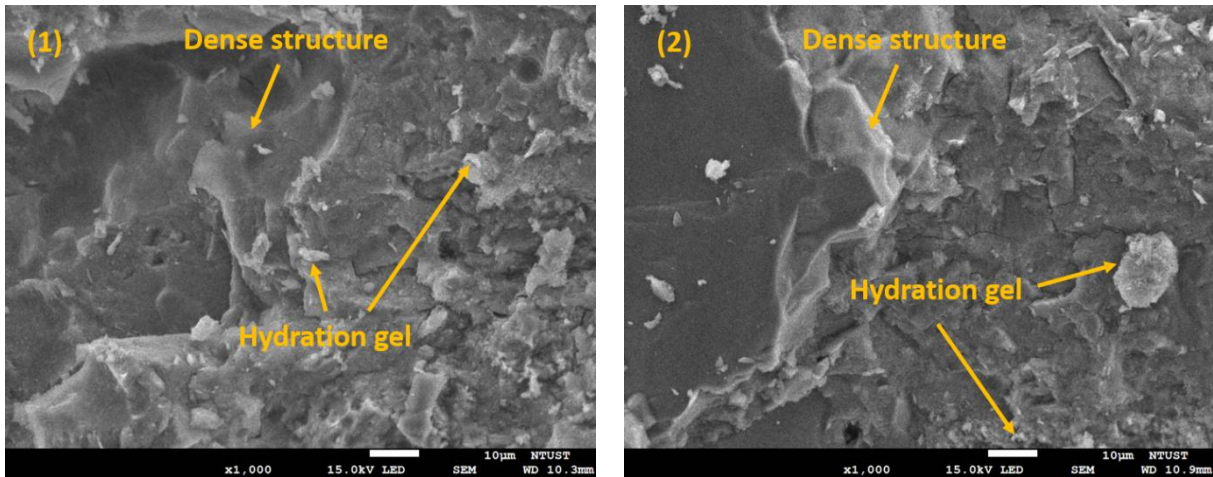
Các ảnh SEM thể hiện vi cấu trúc của các mẫu bê tông ở thời điểm 365 ngày tuổi, được mô tả trong Hình 3.12.



(a) NWS-C



(b) WS-C

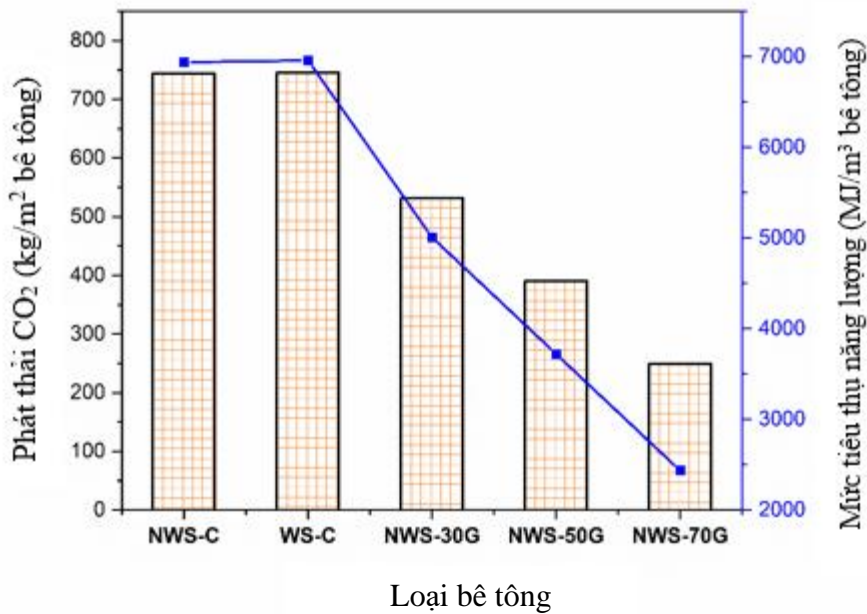


(c) NWS-50G

Hình 3. 12. Hình ảnh SEM của các mẫu BTHNCLC [(1): Điều kiện bảo dưỡng tiêu chuẩn; (2): Ngâm trong sun fat]

Theo thời gian bảo dưỡng, sự đóng góp của quá trình hydrat hóa xi măng và phản ứng puzolan của GGBFS cho thấy cấu trúc vi mô đồng nhất và đặc chắc cho từng mẫu bê tông [76 , 77]. Ngoài ra, ảnh hưởng của cát biển đã qua xử lý và chưa được xử lý, hàm lượng XL và điều kiện bảo dưỡng sunfat lên vi cấu trúc của mẫu bê tông đã được phát hiện. So với WS-C, bê tông sử dụng NWS có cấu trúc vi mô ít đặc chắc hơn, điều này có thể giải thích cho cường độ nén của NWS-C thấp hơn so với WS-C. Ngoài ra, cấu trúc rỗng và một số gel hình kim được tìm thấy trong NWS-C khi ngâm trong sunfat. Cấu trúc vi mô ít đặc chắc hơn của NWS-C cho phép các ion SO_4^{2-} xâm nhập vào các mẫu bê tông, điều này có thể góp phần vào phản ứng hydrat hóa của các ion sunfat và các thành phần xi măng để tạo ra gel ettringite [54]. Điều đó có thể dùng để giải thích cường độ nén của NWS-C thấp hơn so với WS-C. Việc kết hợp 50% XL tạo ra một cấu trúc vi mô dày đặc với sự hình thành gel C-S-H nhiều hơn do khả năng phản ứng puzolan của XL và thành phần xi măng và muối biển của cát biển [78-80]. Cấu trúc vi mô của NWS-50G giải thích cho đặc tính tốt và cường độ nén cao nhất khi sử dụng hàm lượng XL 50% so với các hỗn hợp khác. Ngoài ra, bê tông ngâm trong dung dịch Na_2SO_4 xuất hiện các vết nứt vi mô đối với WS-C và pha ettringite với hình dạng tinh thể dạng sợi rõ ràng đối với NWS-C, điều này có thể giải thích tồn thất cường độ nén trong hỗn hợp này lớn hơn so với các hỗn hợp khác. Trong khi hỗn hợp với hàm lượng XL 50% cho thấy vi cấu trúc tốt trong môi trường sunfat.

3.11. Phân tích tiêu thụ năng lượng và phát thải CO₂



Hình 3. 13. Phát thải CO₂ và mức tiêu thụ năng lượng của 1 m³ các loại BTHNCLC

Bảng 3. 3. Phân tích phát thải CO₂ và năng lượng tiêu thụ cho 1 kg vật liệu thô

Vật liệu	Phát thải CO ₂ (kg)	Năng lượng tiêu thụ (MJ/kg)
Xi măng PCB40	1.3	11.8
XL	0.015	0.11
Cát sông	0.024	0.34
Cát nhiễm mặn	0.0013	0.017
Nước	0.0013	0.017
Nước để rửa CNM	0.0013	0.017
SP	0.6	11.47

Mức tiêu thụ năng lượng (EC) và lượng phát thải CO₂ (CO₂-E) đã được tóm tắt để đánh giá ảnh hưởng của hỗn hợp bê tông đến môi trường, như trong Hình 3.12, EC và CO₂-E được tính toán dựa trên cấp phối bê tông không tính đến việc đúc, trộn, bảo dưỡng hoặc tuổi thọ của mẫu bê tông thành phẩm. Ngoài ra, EC và CO₂-E do vận chuyển nguyên liệu thô cũng được bỏ qua do các nguyên liệu này được thu gom từ các nguồn địa phương. Theo các nghiên cứu trước [14, 33], số liệu đầu vào được liệt kê trong Bảng 3.3. Hình 3.12 trình bày lượng phát thải CO₂ của hỗn hợp bê tông là 745,88, 744,33, 532,16, 390,73 và 249,28

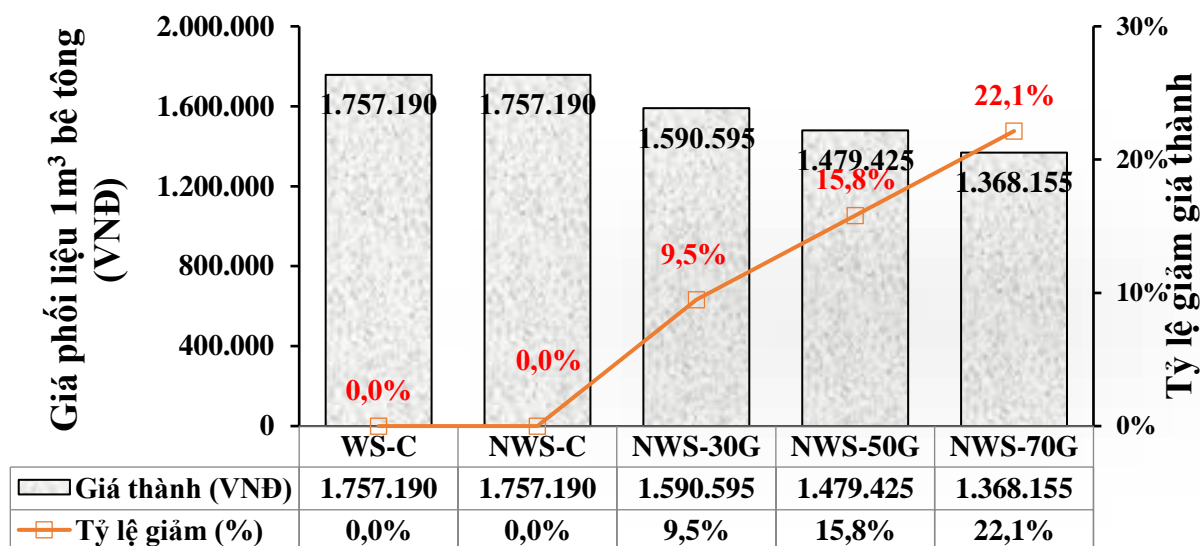
kg/m³ tương ứng với WS-C, NWS -C, NWS-30G, NWS-50G, NWS-70G tương ứng. So với NWS, WS có lượng CO₂-E và EC tăng nhẹ do lượng nước tiêu thụ trong quá trình rửa. Việc sử dụng XL để thay thế một phần XM đã làm giảm đáng kể EC và CO₂-E. So với NWS-C, hỗn hợp bê tông sử dụng 30%, 50% và 70% XL cho thấy mức giảm CO₂-E là 28,5%, 47,5% và 66,5%, trong khi EC cho thấy mức giảm 27,8%, 64,3% và 121,1% , tương ứng. Mức giảm CO₂-E và EC lớn nhờ sử dụng XL được cho là do lượng khí thải CO₂ và EC trên mỗi kg XL thấp hơn so với xi măng, điều này làm giảm đáng kể ảnh hưởng đến môi trường do quá trình sản xuất xi măng. Sử dụng 50% XL để thay thế một phần XM đã cải thiện độ bền cơ học và giảm tác động đến môi trường của hỗn hợp bê tông đối chứng.

3.12. Phân tích hiệu quả kinh tế

Để ứng dụng được các loại BTHN một cách rộng rãi, tính hiệu quả về kinh tế là vấn đề quan trọng cần phải xem xét. Với đơn giá vật liệu trong nghiên cứu được lấy từ báo giá nơi vật liệu địa phương được sử dụng, nghiên cứu tiến hành phân tích chi phí sản xuất đối với các loại BTHN trong nghiên cứu để có cơ sở lựa chọn vật liệu phù hợp nhất ứng dụng cho công trình. Kết quả phân tích kinh tế được trình bày ở Bảng 3.4 và thể hiện ở Hình 3.14.

Bảng 3. 4. Phân tích chi phí chế tạo BTHNCLC sử dụng cát nhiễm mặn cho 1 m³

ST T	Vật liệu	Giá vật liệu (đồng /kg)	WS-C		NWS-C		NWS-30G		NWS-50G		NWS-70G	
			Định mức (kg/m ³)	Giá thành	Định mức (kg/m ³)	Giá thành	Định mức (kg/m ³)	Giá thành	Định mức (kg/m ³)	Giá thành	Định mức (kg/m ³)	Giá thành
1	Xi măng PC40	1891	550	1.040.050	550	1.040.050	385	728.035	275	520.025	165	312.015
2	Tro bay	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Xi lò cao	900	0	0	0	0	165	148.500	275	247.500	385	346.500
4	Cát sông	310	984	305.040	984	305.040	976	302.560	970	300.700	964	298.840
5	Cát nhiễm mặn	100	656	65.600	656	65.600	650	65.000	647	64.700	643	64.300
6	Phụ gia	30000	11,6	346.500	11,6	346.500	11,6	346.500	11,6	346.500	11,6	346.500
Chi phí cho 1 m ³ bê tông, (đồng)			1.757.190		1.757.190		1.590.595		1.479.425		1.368.155	
Tỷ lệ giảm chi phí (%)			0,0%		0,0%		9,5%		15,8%		22,1%	



Hình 3. 14. Chi phí sản xuất của các loại BTHNCLC sử dụng CNM

Các loại WS-C, NWS-C, NWS-30G, NWS-50G, NWS-70G có chi phí sản xuất cho 1m³ lần lượt là 1.757.190 VNĐ, 1.757.190 VNĐ, 1.590.595, 1.479.425 VNĐ, 1.368.155 VNĐ. Từ kết quả cho thấy các loại BTHN sử dụng phụ gia khoáng đều có chi phí sản xuất thấp hơn so với WS-C và NWS-C. Cụ thể, bê tông NWS-30G, NWS-50G, NWS-70G có chi phí giảm tương ứng 9,5 %, 15,8 %, 22,1 %. Như vậy việc sử dụng xỉ lò cao thay thế một phần xỉ măng giúp giảm chi phí sản xuất của các BTHN sử dụng PGK so với WS-C, NWS-C. Tỷ lệ PGK thay thế xỉ măng càng cao trong BTHN thì giá thành càng giảm. Bê tông hạt nhỏ với tỷ lệ PGK thay thế xỉ măng từ 50-70% làm giảm được từ 15,8%-22,1% giá thành bê tông.

3.13. Đề xuất cấp phối bê tông hạt nhỏ có sử dụng cát nhiễm mặn

Để lựa chọn cấp phối phù hợp cho việc xây dựng công trình cần phải xem xét tổng thể các khía cạnh về mặt kỹ thuật, kinh tế và môi trường. Các thông số về đặc tính kỹ thuật, kinh tế, môi trường được tổng hợp trong Bảng để có sự phân tích, đối sánh từ đó lựa chọn được cấp phối BTHN phù hợp nhất cho việc xây dựng công trình. Các cấp phối có tổng điểm ưu tiên lớn nhất sẽ có mức độ hiệu quả về phân tích kỹ thuật kinh tế tốt nhất

Bảng 3. 5. Bảng phân tích lựa chọn cấp phối BTHNCLC tối ưu

Loại bê tông	Cường độ nén 28 ngày (MPa)		Hệ số thấm nước (cm/s)		Cường độ chịu nén trong sunfat sau 365 ngày (MPa)		Thời gian ăn mòn cốt thép (ngày)		Tính kinh tế (VNĐ)		Tổng điểm ưu tiên
	Kết quả	Điểm ưu tiên	Kết quả	Thứ tự ưu tiên	Kết quả	Thứ tự ưu tiên	Kết quả	Thứ tự ưu tiên	Kết quả	Thứ tự ưu tiên	
WS-C	55,90	1	8,16E-12	2	69,8	3	13	2	1.757.190	1	9
NWS-C	60,45	3	1,23E-11	1	61,9	1	3	1	1.757.190	2	8

NWS-30G	67,11	5	2,61E-12	4	74,2	4	13	3	1.590.595	3	19
NWS-50G	65,28	4	2,05E-13	5	77,5	5	23	5	1.479.425	4	23
NWS-70G	60,23	2	1,86E-12	3	69,2	2	21	4	1.368.155	5	16

Đối với bê tông ứng dụng cho kết cấu bê tông trong công trình xây dựng nói chung thì ngoài việc thỏa mãn yêu cầu tính chất cường độ, bê tông còn phải có độ bền cao. Việc thỏa mãn yêu cầu cường độ là yếu tố bắt buộc về vấn đề kỹ thuật với mọi loại bê tông.

Với tính chất độ bền bê tông thì đặc tính chống thấm nước, sức kháng sunfat của bê tông trong môi trường xâm thực, khả năng chống ăn mòn cốt thép là các yếu tố cực kỳ quan trọng. Với BTHN sử dụng cát nhiễm mặn càng nguy hiểm hơn nữa khi nguồn ion sunfat, clo có sẵn trong cốt liệu dẫn đến sự tấn công sunfat nhanh hơn, gây ăn mòn cốt thép nhanh hơn.

Trên cơ sở xem xét yếu tố cường độ và tính chất độ bền như Bảng 3.5 , cấp phối bê tông hạt nhỏ sử dụng cát nhiễm mặn được đề xuất lựa chọn là loại BTHNCLC sử dụng CNM với 30, 50% XL, có tổng điểm phân tích ưu tiên lớn nhất là 19 và 23 điểm . Xét tổng thể kể cả về phân tích kỹ thuật và tính kinh tế thì BTHNCLC với 50%XL cũng là lựa chọn tối ưu. Bê tông NWS-30G có ưu thế về cường độ chịu nén trong khi bê tông NWS-50G có ưu thế về việc cải thiện độ bền của BTHNCLC sử dụng cát nhiễm mặn

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận:

Nghiên cứu này khảo sát bê tông tươi, tính chất cơ lý ở tuổi muộn và độ bền của mẫu HPC được sản xuất bằng hỗn hợp cát sông và cát biển kết hợp với XL. Dựa trên kết quả thực nghiệm có thể rút ra một số kết luận sau:

1. BTHN đã sử dụng XL trộn cát sông và cát biển và cho thấy sự phát triển ổn định trong thời gian bảo dưỡng. Cường độ chịu nén ở 365 ngày dao động từ 73,2-83,9MPa, trong khi cường độ uốn đạt 13,4-17,1MPa. Việc sử dụng cát biển được rửa sạch mang lại hiệu quả tốt hơn so với cát biển không được rửa sạch. Việc kết hợp với GGBFS lên đến 50% đã cải thiện đáng kể độ bền và hàm lượng XL cao hơn (70%) làm giảm nhẹ kết quả độ bền của các mẫu BTHNCLC sử dụng CNM.
2. BTHNCLC sử dụng CNM cho độ bền tốt với giá trị UPV cao trong khoảng 4662-4860m/s ở 365 ngày tuổi. Việc sử dụng cát biển đã rửa và cát biển không được rửa ảnh hưởng nhẹ đến khả năng chống thấm nước và độ rỗng của mẫu bê tông, trong khi việc kết hợp với XL làm giảm đáng kể độ rỗng và cải thiện khả năng chống thấm nước.
3. Việc sử dụng cát biển đã rửa sạch và XL cho thấy dòng điện thấp hơn và làm chậm đáng kể thời gian bắt đầu ăn mòn của các mẫu bê tông. Việc kết hợp với GGBFS và sử dụng WS cho thấy độ bền cao hơn các mẫu NWS, với độ giãn nở ít hơn trong dung dịch Na_2SO_4 10% và giá trị RC cao hơn ở 365 ngày và độ giãn nở thấp hơn so với hỗn hợp bê tông đối chứng.
4. Ảnh SEM thể hiện vi cấu trúc đồng nhất của các mẫu bê tông. Việc sử dụng XL và NWS mang lại một vi cấu trúc đặc chắc với khả năng liên kết tốt giữa cốt liệu và hồ. Trong khi sử dụng NWS với PCB40 đã thể hiện cấu trúc rỗng, làm tăng tốc độ thâm nhập của SO_4^{2-} trong môi trường sunfat và cho thấy sự hình thành ettringite theo như quan sát được từ SEM. Ngoài ra, bê tông được sản xuất bằng cách kết hợp XL còn thể hiện sự thân thiện với môi trường do giảm đáng kể lượng khí thải CO_2 và tiêu thụ năng lượng với hàm lượng XL cao.
5. Những phát hiện của đề tài này cho thấy rằng có thể sản xuất bê tông chất lượng cao bằng cách sử dụng cát biển làm vật liệu tổng hợp. Sử dụng hỗn hợp trộn cốt liệu và XL khối lượng lớn không chỉ cải thiện cường độ và độ bền của mẫu bê tông mà còn giảm tác động đến môi trường do sử dụng tài nguyên thiên nhiên. Kết quả nghiên cứu này làm rõ giải pháp tái sử dụng nguồn nguyên liệu địa phương ở vùng ven biển

trong sản xuất bê tông, và góp phần nâng cao hiểu biết khoa học về sản xuất bê tông. Các đề tài trong tương lai có thể nghiên cứu sâu hơn về cấu trúc lỗ rỗng và các thí nghiệm ion clorua tự do để làm rõ sự đóng góp của cát biển trong phản ứng hydrat hóa của các mẫu bê tông.

6. Kết quả phân tích các đặc tính kỹ thuật, kinh tế cho thấy 2 cấp phối BTHNCLC sử dụng CNM và kết hợp 30%XL, 50%XL là lựa chọn phù hợp nhất mang lại hiệu quả cao về việc đáp ứng yêu cầu cường độ, độ bền lẫn yếu tố kinh tế

2. Kiến nghị

- Cần triển khai thi công thử nghiệm thực tế một số kết cấu sử dụng bê tông hạt nhỏ tính năng cao CNM để đánh giá chính xác hơn khả năng ứng dụng của loại bê tông này

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Dùng cát biển thay thế cát sông là xu hướng tất yếu*. 2022; Available from: <https://vietnam.vn/thoi-su/dung-cat-bien-thay-the-cat-song-la-xu-huong-tat-yeu-20221108062437317.html>.
2. Adiwijaya, H. Hamada, Y. Sagawa, and D. Yamamoto, Influence of seawater mixing and curing on strength characteristics and porosity of ground granulated blast-furnace slag concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, (2017). 271(1): p. 012070.
3. Aly, T. and J.G. Sanjayan, Effect of Pore-Size Distribution on Shrinkage of Concretes. Journal of Materials in Civil Engineering, (2010). 22(5): p. 525-532.
4. Association-Française-de-Normalisation., NF-P18-500- Béton- Bétons de sables. (1995): Paris.
5. Bách, L.V., Nghiên cứu sử dụng cát biển Bình Thuận và Vũng tàu làm bê tông xi măng trong xây dựng đường ô tô, in Khoa Công Trình. (2006), Đại học Giao Thông Vận Tải.
6. Bédérina, M., M. Khenfer, R. Dheilily, and M. Quéneudec, Reuse of local sand: effect of limestone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different sand concretes. Cement and concrete research, (2005). 35(6): p. 1172-1179.
7. Belhadj, B., M. Bederina, K. Benguettache, and M. Queneudec, Effect of the type of sand on the fracture and mechanical properties of sand concrete. Advances in concrete construction, (2014). 2(1): p. 013.
8. Benaissa-Abdelatif, P. Morlier, and C. Viguier, Microstructure du beton de sable. Cement and Concrete Research, (1993). 23(3): p. 663-674.
9. Benaissa, A., P. Morlier, and C. Viguier, Fluage et retrait du béton de sable. Materials and Structures, (1993). 26(6): p. 333-339.
10. BMAPA-(British-marine-aggregate-producers-association), Marine aggregate dredging - a twenty-year review, 1998-2017. (2018).
11. Bouziani, T., A. Benmounah, Z. Makhloufi, M. Bédérina, and M. Queneudec T'kint, Properties of flowable sand concretes reinforced by polypropylene fibers. Journal of Adhesion Science and Technology, (2014). 28(18): p. 1823-1834.
12. Çağatay, İ.H., Experimental evaluation of buildings damaged in recent earthquakes in Turkey. Engineering Failure Analysis, (2005). 12(3): p. 440-452.
13. Cao, W., Q. Su, T. Zhao, and G. Ba. *Experiments research on the durability of concrete made of sea sand*. in *Proceedings of the 19th National Conference of Structural Engineering*. 2010.
14. Crawford, R., A. Stephan, and F. Prideaux, *Environmental Performance in Construction (EPiC) Database*. 2019.
15. Chen, W., Hydration of slag cement : theory, modeling and application. (2006).
16. Cho, D.-O., Challenges to sustainable development of marine sand in Korea. Ocean & coastal management, (2006). 49(1-2): p. 1-21.
17. De Weerd, K., H. Justnes, and M.R. Geiker, Changes in the phase assemblage of concrete exposed to sea water. Cement and Concrete Composites, (2014). 47: p. 53-63.
18. Dias, W.P.S., G.A.P.S.N. Seneviratne, and S.M.A. Nanayakkara, Offshore sand for reinforced concrete. Construction and Building Materials, (2008). 22(7): p. 1377-1384.

19. Dong, B., W. Liu, H. Ma, and F. Xing, Electrochemical impedance spectroscopy on the hydration behavior of the mortar with marine sand. (2013).
20. Dubois, V., N.E. Abriak, R. Zentar, and G. Ballivy, The use of marine sediments as a pavement base material. *Waste management*, (2009). 29(2): p. 774-782.
21. Đức, H.M., Sử dụng bê tông cốt liệu nhỏ trong sản xuất các cấu kiện đường cỡ nhỏ, sử dụng trong điều kiện khí hậu Việt nam. (2001), ĐH THXD Matxcova.
22. Đức, H.M., Nguyễn Kim Thịnh, Nghiên cứu sử dụng cát đụn tại chỗ làm đường bê tông xi măng trên đảo Phú Quốc. *Khoa học Công Nghệ Xây dựng*, (2017). 03.
23. El Euch Khay, S., J. Neji, and A. Loulizi, Compacted Sand Concrete in Pavement Construction: An Economical and Environmental Solution. *ACI Materials Journal*, (2010). 107(2): p. 195-202.
24. Elahi, M.M.A., C.R. Shearer, A. Naser Rashid Reza, A.K. Saha, M.N.N. Khan, M.M. Hossain, and P.K. Sarker, Improving the sulfate attack resistance of concrete by using supplementary cementitious materials (SCMs): A review. *Construction and Building Materials*, (2021). 281: p. 122628.
25. Etxeberria, M., J.M. Fernandez, and J. Limeira, Secondary aggregates and seawater employment for sustainable concrete dyke blocks production: Case study. *Construction and Building Materials*, (2016). 113: p. 586-595.
26. Gan, Y., H. Zhang, M. Liang, Y. Zhang, E. Schlangen, K. van Breugel, and B. Šavija, Flexural strength and fatigue properties of interfacial transition zone at the microscale. *Cement and Concrete Composites*, (2022). 133: p. 104717.
27. Guo, M., B. Hu, F. Xing, X. Zhou, M. Sun, L. Sui, and Y. Zhou, Characterization of the mechanical properties of eco-friendly concrete made with untreated sea sand and seawater based on statistical analysis. *Construction and Building Materials*, (2020). 234: p. 117339.
28. Gia, H.Q. and T.K. Kiên, Thực trạng khai thác sử dụng cát tự nhiên tại Việt Nam và nghiên cứu tính chất cát biển tại một số vùng biển Việt Nam. (2019).
29. Girish, C., D. Tensing, and K. Priya, Dredged offshore sand as a replacement for fine aggregate in concrete. *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*, (2015). 8(3): p. 88-95.
30. Han, S., J. Zhong, W. Ding, and J. Ou, Strength, hydration, and microstructure of seawater sea-sand concrete using high-ferrite Portland cement. *Construction and Building Materials*, (2021). 295: p. 123703.
31. He, X. and J. Zhou, Mechanical characteristics of sea-sand concrete in simulated marine environment. *Construction and Building Materials*, (2021). 274: p. 122098.
32. Hiệp, T.T., Nghiên cứu sử dụng cát biển để chế tạo bê tông xi măng trong xây dựng đường ô tô và công trình phòng hộ ven biển, hải đảo Việt Nam, in Báo cáo đề tài cấp bộ trọng điểm mã số B2007-04-51TĐ. (2009). p. 156.
33. Ho, L.S. and T.-P. Huynh, Long-term mechanical properties and durability of high-strength concrete containing high-volume local fly ash as a partial cement substitution. *Results in Engineering*, (2023). 18: p. 101113.
34. Honglei, C., J. Zuquan, Z. Tiejun, W. Benzhen, L. Zhe, and L. Jian, Capillary suction induced water absorption and chloride transport in non-saturated concrete: The influence of humidity, mineral admixtures and sulfate ions. *Construction and Building Materials*, (2020). 236: p. 117581.

35. Hua, C., X. Gruz, and A. Ehrlacher, Thin sand concrete plate of high resistance in traction. *Materials and Structures*, (1995). 28(9): p. 550-553.
36. Huan, H., O. Dong, R. Cai, and Y. Fan, Experimental study on stimulating chloride ion permeability of sea sand concrete. *Concrete*, (2007). 3: p. 22-24.
37. Huiguang, Y., L. Yan, L. Henglin, and G. Quan, Durability of sea-sand containing concrete: Effects of chloride ion penetration. *Mining science and technology (China)*, (2011). 21(1): p. 123-127.
38. Huynh, T.-P., L.S. Ho, and Q.V. Ho, Experimental investigation on the performance of concrete incorporating fine dune sand and ground granulated blast-furnace slag. *Construction and Building Materials*, (2022). 347: p. 128512.
39. Jakobsen, U.H., K. De Weerd, and M.R. Geiker, Elemental zonation in marine concrete. *Cement and Concrete Research*, (2016). 85: p. 12-27.
40. Jiang, Z., T. Zhao, and X. Song, Study on carbonation performance of sea sand concrete. *Engineering Construction*, (2009). 41(4): p. 11-14.
41. Jin, H., J. Liu, Z. Jiang, H. Zhou, and J. Liu, Influence of the rainfall intensity on the chloride ion distribution in concrete with different levels of initial water saturation. *Construction and Building Materials*, (2021). 281: p. 122561.
42. Jiqui Yuan, W.L.D.D. and B. JoAnn, Effect of Slag Cement on Drying Shrinkage of Concrete. *ACI Materials Journal*. 112(2).
43. Kamali, S., M. Moranville, and S. Leclercq, Material and environmental parameter effects on the leaching of cement pastes: experiments and modelling. *Cement and concrete research*, (2008). 38(4): p. 575-585.
44. Karthikeyan, M. and V. Nagarajan, Feasibility study on utilization of marine sand in concrete for sustainable development. (2016).
45. Katano, K., N. Takeda, Y. Ishizeki, and K. Iriya. *Properties and application of concrete made with sea water and un-washed sea sand*. in *Proceedings of Third International conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. 2013.
46. Keisaburo KATANO, N.T., Yoshikazu ISHIZEKI, and Keishiro IRIYA, Properties and Application of Concrete Made with Sea Water and Un-washed Sea Sand. *Third international conference on Sustainable Construction Materials and Technologies SCMT3 : proceedings*, (2013).
47. Kiểm, N.M., Nghiên cứu sử dụng cát mịn để làm bê tông và vữa, in *Báo cáo tổng kết đề tài NCKH*. (1979), Viện Khoa học Kỹ Thuật Xây dựng. p. 156.
48. Kim, J.K., C.S. Lee, C.K. Park, and S.H. Eo, The fracture characteristics of crushed limestone sand concrete. *Cement and Concrete Research*, (1997). 27(11): p. 1719-1729.
49. Leng, F., W. Ding, Y. Zhou, Y. Zhou, X. Ji, and J. Wang, Technical characteristics of “technical code for application of sea sand concrete”. *Construction Quality*, (2011). 29(1): p. 12-16.
50. Li, H., N. Farzadnia, and C. Shi, The role of seawater in interaction of slag and silica fume with cement in low water-to-binder ratio pastes at the early age of hydration. *Construction and Building Materials*, (2018). 185: p. 508-518.
51. Li, J., Z. Wu, C. Shi, Q. Yuan, and Z. Zhang, Durability of ultra-high performance concrete – A review. *Construction and Building Materials*, (2020). 255: p. 119296.
52. Li, Q., G. Yuan, Z. Xu, and T. Dou, Effect of elevated temperature on the mechanical properties of high-volume GGBS concrete. (2014). 66(24): p. 1277-1285.

53. Li, Q., H. Geng, Y. Huang, and Z. Shui, Chloride resistance of concrete with metakaolin addition and seawater mixing: A comparative study. *Construction and Building Materials*, (2015). 101: p. 184-192.
54. Li, T., X. Liu, Y. Zhang, H. Yang, Z. Zhi, L. Liu, W. Ma, S.P. Shah, and W. Li, Preparation of sea water sea sand high performance concrete (SHPC) and serving performance study in marine environment. *Construction and Building Materials*, (2020). 254: p. 119114.
55. Li, Y.-L., X.-L. Zhao, R.K. Singh Raman, and S. Al-Saadi, Thermal and mechanical properties of alkali-activated slag paste, mortar and concrete utilising seawater and sea sand. *Construction and Building Materials*, (2018). 159: p. 704-724.
56. Limeira, J., L. Agullo, and M. Etxeberria, Dredged marine sand in concrete: An experimental section of a harbor pavement. *Construction and Building Materials*, (2010). 24(6): p. 863-870.
57. Limeira, J., M. Etxeberria, L. Agulló, and D. Molina, Mechanical and durability properties of concrete made with dredged marine sand. *Construction and building materials*, (2011). 25(11): p. 4165-4174.
58. Liu, J., B.-q. Dong, F. Xing, W. Liu, and Y. Huo, Simulation experiment and mechanism of the combining of sea sand type chlorine ions cement materials. *J. Chin. Ceram. Soc.*, (2009). 37: p. 862-866.
59. Liu, J., G. Ou, Q. Qiu, X. Chen, J. Hong, and F. Xing, Chloride transport and microstructure of concrete with/without fly ash under atmospheric chloride condition. *Construction and Building Materials*, (2017). 146: p. 493-501.
60. Liu, J., Q. Qiu, X. Chen, F. Xing, N. Han, Y. He, and Y. Ma, Understanding the interacted mechanism between carbonation and chloride aerosol attack in ordinary Portland cement concrete. *Cement and Concrete Research*, (2017). 95: p. 217-225.
61. Liu, J., X. Wang, Q. Qiu, G. Ou, and F. Xing, Understanding the effect of curing age on the chloride resistance of fly ash blended concrete by rapid chloride migration test. *Materials Chemistry and Physics*, (2017). 196: p. 315-323.
62. Liu, W., H. Cui, Z. Dong, F. Xing, H. Zhang, and T.Y. Lo, Carbonation of concrete made with dredged marine sand and its effect on chloride binding. *Construction and Building Materials*, (2016). 120: p. 1-9.
63. Liu, W., R. Huang, J. Fu, W. Tang, Z. Dong, and H. Cui, Discussion and experiments on the limits of chloride, sulphate and shell content in marine fine aggregates for concrete. *Construction and Building Materials*, (2018). 159: p. 725-733.
64. Liu, W., Y. Li, L. Tang, and F. Xing, Modelling analysis of chloride redistribution in sea-sand concrete exposed to atmospheric environment. *Construction and Building Materials*, (2021). 274: p. 121962.
65. Mahendran, R., K. Godwin, T.G. Selvan, and M. Murugan, Experimental study on concrete using sea sand as fine aggregate. *Int. J. Sci. Eng. Res.*, (2016). 7: p. 48-52.
66. Mehta, P.K., *Concrete in the Marine environment*. 1991: Taylor & Francis Book, Inc.
67. Mesbah, A., M. François, C. Cau-dit-Coumes, F. Frizon, Y. Filinchuk, F. Leroux, J. Ravaux, and G. Renaudin, Crystal structure of Kuzel's salt $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\frac{1}{2}\text{CaSO}_4\cdot\frac{1}{2}\text{CaCl}_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$ determined by synchrotron powder diffraction. *Cement and Concrete Research*, (2011). 41: p. 504-509.

68. Miller, S., H. Shemer, and R. Semiat, Energy and environmental issues in desalination. *Desalination*, (2015). 366: p. 2-8.
69. Ming, C., M. Ji-Ze, J. Dao-Guang, and L. Ben. *Experimental study on mechanical properties of marine sand and seawater concrete*. in *2014 International Conference on Mechanics and Civil Engineering (icmce-14)*. 2014. Atlantis Press.
70. NAGATA, T., N. OTSUKI, T. NISHIDA, and H. OHARA, Experimental study on carbonation phenomena and corrosion behavior of steel bar in concrete mixed with seawater. *Cement Science and Concrete Technology*, (2013). 67(1).
71. Nakajima, T., M. Ueda, and K. Gosho, Influence of seawater on corrosion generation and properties of concrete. *Proc., Japan Concrete Institute*, (1981). 3: p. 165-168.
72. Nishida, T., N. Otsuki, H. Ohara, M. Garba-Say Zoukanel, and T. Nagata, Some Considerations for Applicability of Seawater as Mixing Water in Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, (2015). 27(7): p. B4014004.
73. Nguyen, H.-A., T.-P. Chang, J.-Y. Shih, C.-T. Chen, and T.-D. Nguyen, Sulfate resistance of low energy SFC no-cement mortar. *Construction and Building Materials*, (2016). 102, Part 1: p. 239-243.
74. Otsuki, N., H. Hamada, N. Takeda, K. Imamoto, T. Yamaji, T. Habuchi, and T. Nishida, Technical Committee on the use of sea water in concrete. *Technical Committee Reports*, (2014). 22.
75. Pan, D., S.A. Yaseen, K. Chen, D. Niu, C.K. Ying Leung, and Z. Li, Study of the influence of seawater and sea sand on the mechanical and microstructural properties of concrete. *Journal of Building Engineering*, (2021). 42: p. 103006.
76. Phạm, T.H., Nghiên cứu ảnh hưởng của việc sử dụng cát biển khu vực Thừa Thiên-Huế tới sự phát triển cường độ chịu nén của bê tông. (2017), Trường Đại học Bách khoa-Đại học Đà Nẵng.
77. Quỳnh, P.V., Nghiên cứu đánh giá khả năng sử dụng cát biển làm cốt liệu cho bê tông. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng-Viện Vật liệu xây dựng*, (2021)(1).
78. R. Mahendran, K.G., T.G. Selvan, M. Murugan, Experimental study on concrete using sea sand as fine aggregate. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, (2016). 7(5).
79. Sablocrete, Bétons de sable, caractéristiques et pratiques d'utilisation. (1994), Synthèse du Projet National de Recherche et Développement, Presses de l'école Nationale des Ponts et Chaussées LCPC.
80. Sang, N.T., Nghiên cứu thành phần, tính chất cơ học và khả năng ứng dụng bê tông cát để xây dựng đường ô tô ở Việt Nam, in *Khoa Công Trình*. (2011), Đại học Giao Thông Vận Tải.
81. Sang, N.T., T.M. Quan, M.H. Nguyen, and L.S. Ho, Performances of eco-fine-grained concrete containing saline sand as partial fine aggregate replacement. *Journal of Applied Science and Engineering*, (2021). 24(4): p. 527-539.
82. Sang, N.T., Lê Thanh Hà, Bê tông cát sử dụng phụ gia tro trấu cho các vùng thiếu đá dăm. *Tạp Chí Giao thông vận tải*, (2010): p. 33-36.
83. Sang, N.T., Phạm Duy Hữu, Một số kết quả nghiên cứu về các tính chất cơ học của bê tông cát ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp Chí Giao thông vận tải*, (2008). 05: p. 33-37.
84. Sang, N.T., Phạm Duy Hữu Nghiên cứu ảnh hưởng của bột đá vôi đến tính dẻo và cường độ bê tông cát ở Việt nam. *Tạp Chí Giao thông vận tải*, (2007). 07: p. 30-36.

85. Sang, N.T., Trần Lê Thắng Giải pháp thay thế một phần cốt liệu trong bê tông bằng đá mịn. Tạp chí Giao thông vận tải, (2009). 9: p. 20-26.
86. Sang, N.T., Trần Lê Thắng, Nguyễn Quang Ngọc, Bê tông cát nhiều tro bay làm lớp móng mặt đường ô tô. Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, (2010). 30: p. 84-90.
87. Serykh, M. *Acquired experience in the use of sand concrete in Russia*. in *French-Russian congress on sand concrete, Bordeaux, France*. 1997.
88. Shi, X., Z. Yang, Y. Liu, and D. Cross, Strength and corrosion properties of Portland cement mortar and concrete with mineral admixtures. *Construction and Building Materials*, (2011). 25(8): p. 3245-3256.
89. Shi, Z., Z. Shui, Q. Li, and H. Geng, Combined effect of metakaolin and sea water on performance and microstructures of concrete. *Construction and Building Materials*, (2015). 74: p. 57-64.
90. Sơn, V.T., H.A. Khiển, T.N. Tính, Đ.T. Chung, V.D. Nam, and V.T. Bộ. *Đánh giá triển vọng vật liệu xây dựng đáy biển vùng biển Việt Nam từ 0-100M nước và định hướng khai thác bền vững (To assess the prospects of construction materials of Vietnam seabed at the deep water level 0-100M and oriented sustainable exploitation)*. 2011. Tuyển Tập Báo Cáo Hội Nghị Khoa Học và Công Nghệ Biển Toàn Quốc Lần Thứ V.
91. Spengler, A. and P. Schiessl. *Sand-rich self-compacting concrete*. in *2 nd International Symposium on Self Compacting Concrete*. Japan. 2001.
92. Spengler, A., *Technologie sandreicher Betone*. (2006), Technische Universität München: Germany. p. 47.
93. Subaşı, S., H. Öztürk, and M. Emiroğlu, Utilizing of waste ceramic powders as filler material in self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, (2017). 149: p. 567-574.
94. Sukmak, P., P. De Silva, S. Horpibulsuk, and P. Chindaprasirt, Sulfate resistance of clay-portland cement and clay high-calcium fly ash geopolymer. *Journal of Materials in Civil Engineering*, (2015). 27(5): p. 04014158.
95. Taylor, M.A. and A. Kuwairi, Effects of ocean salts on the compressive strength of concrete. *Cement and Concrete Research*, (1978). 8(4): p. 491-500.
96. Toàn, T.N., Nghiên cứu sử dụng cát biển Quảng Ninh làm bê tông xi măng trong xây dựng đường ô tô, in *Khoa Công Trình*. (2004), Đại học Giao thông vận tải.
97. Topçu, İ.B., *10 - High-volume ground granulated blast furnace slag (GGBFS) concrete*, in *Eco-Efficient Concrete*, F. Pacheco-Torgal và cộng sự., Editors. 2013, Woodhead Publishing. p. 218-240.
98. Tulashie, S.K., F. Kotoka, D. Mensah, and A.K. Kwablah, Investigation of the compressive strength of pit sand, and sea sand mortar prisms produced with rice husk ash as additive. *Construction and Building Materials*, (2017). 151: p. 383-387.
99. Thunga, K. and V. Das, An experimental investigation on concrete with replacement of treated sea sand as fine aggregate. *Materials Today: Proceedings*, (2020). 27: p. 1017-1023.
100. Trần Tuấn Hiệp, V.X.L., Lê Văn Bách, Thực nghiệm phân tích sự thay đổi nồng độ clo bề mặt các công trình bê tông cốt thép theo thời gian ở môi trường biển. Tạp chí Giao thông Vận tải, Số tháng 6, (2002): p. 91-94.

101. Trung, T.Đ., Bùi-Danh-Đại, and Lưu-Văn-Sáng, Nghiên cứu sử dụng cát mịn thay thế cát thô chế tạo bê tông tự lèn cường độ cao. Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng, (2013)(15): p. 93-102.
102. Vo, D.-H., N.-D. Do, Y. Mamuye, M.-C. Liao, C.-L. Hwang, and Q.-T. Tran, Engineering properties and durability of concrete samples designed by densified mixture design algorithm (DMDA) method incorporating steel reducing slag aggregate. Construction and Building Materials, (2022). 354: p. 129180.
103. W. Sai Deepak, G.T.N., Effect on compressive strength of concrete using sea sand as a partial replacement for fine aggregate. Int. J. Res. Eng. Technol, (2015). 04: p. 180-183.
104. Wang, J.L., K.M. Niu, Z.F. Yang, M.K. Zhou, L.Q. Sun, and G.J. Ke, Effects of Fly Ash and Ground Granulated Blast-Furnaces Slag on Properties of High-Strength Concrete. Key Engineering Materials, (2009). 405-406: p. 219-225.
105. Wang, S., E. Llamazos, L. Baxter, and F. Fonseca, Durability of biomass fly ash concrete: Freezing and thawing and rapid chloride permeability tests. Fuel, (2008). 87(3): p. 359-364.
106. Whitehurst, E.A., Soniscope Tests Concrete Structures. ACI Journal Proceedings. 47(2).
107. Xiao, J., F. Lu, and Z. Sun, Study on chloride ion permeability of high performance concrete with desalted sea sand. Ind Build, (2004). 34(5): p. 4-6.
108. Xiao, J., C. Qiang, A. Nanni, and K. Zhang, Use of sea-sand and seawater in concrete construction: Current status and future opportunities. Construction and Building Materials, (2017). 155: p. 1101-1111.
109. Xing, F., J. Liu, B. Dong, and Y. Huo, Combination procedure and mechanism of sea sand type chlorine ions with cement materials. J Southeast Univ. Nat. Sci. Ed., (2006). 36(supplement): p. 167-172.
110. Yan, M., Y. Li, and Y. Zhang, Research on influence of mixtures on strength of seawater and sea sand concrete. Shanxi Arch, (2012). 38: p. 135-136.
111. Yang, E.-H., Y. Yang, and V.C. Li, Use of high volumes of fly ash to improve ECC mechanical properties and material greenness. ACI materials journal, (2007). 104(6): p. 620.
112. Yang, E.-I., M.-Y. Kim, H.-G. Park, and S.-T. Yi, Effect of partial replacement of sand with dry oyster shell on the long-term performance of concrete. Construction and building materials, (2010). 24(5): p. 758-765.
113. Yao, H., Study on the mechanical properties and durability of sea sand concrete. Master's degree thesis submitted to Qingdao University of Technology, China, (2011).
114. Yaseen, S.A., G.A. Yiseen, C.S. Poon, and Z. Li, Influence of Seawater on the Morphological Evolution and the Microchemistry of Hydration Products of Tricalcium Silicates (C3S). ACS Sustainable Chemistry & Engineering, (2020). 8(42): p. 15875-15887.
115. Younis, A., U. Ebead, P. Suraneni, and A. Nanni, Fresh and hardened properties of seawater-mixed concrete. Construction and Building Materials, (2018). 190: p. 276-286.
116. Zhang, Z.H., Z.Q. Sang, L.Y. Zhang, Z.X. Ma, and Y. Zhang, Experimental Research on Durability of Concrete Made by Seawater and Sea-Sand. Advanced Materials Research, (2013). 641-642: p. 385-388.

117. Zhao, Y., X. Hu, C. Shi, Z. Zhang, and D. Zhu, A review on seawater sea-sand concrete: Mixture proportion, hydration, microstructure and properties. *Construction and Building Materials*, (2021). 295: p. 123602.
118. Zheng, J. and C. Bian, A review of the present situation of the development and utilization of fine aggregate in Japan. *Eady-Mixed Concrete*, (2014). 3: p. 27-29.
119. Zhu, N., F. Jin, X. Kong, Y. Xu, J. Zhou, B. Wang, and H. Wu, Interface and anti-corrosion properties of sea-sand concrete with fumed silica. *Construction and Building Materials*, (2018). 188: p. 1085-1091.
120. Zri, A., *Mise en place d'une nouvelle approche de formulation d'une matrice cimentaire à base de sable de dragage: application aux bétons de sables et granulats.* (2010), Lille 1.