

**XÁC ĐỊNH TÍNH CHẤT CƠ HỌC CỦA CÁT SAN HÔ VÀ THÀNH PHẦN HÓA HỌC
NƯỚC BIỂN KHU VỰC ĐẢO XA BỜ TỈNH KHÁNH HÒA PHỤC VỤ XÂY DỰNG
CÔNG TRÌNH BÊ TÔNG BIỂN ĐẢO**

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF CORAL SAND AND CHEMICAL
COMPOSITION OF SEAWATER IN THE OFFSHORE ISLANDS OF KHANH HOA PROVINCE
FOR MARINE CONCRETE CONSTRUCTION

ĐOÀN XUÂN HƯNG^{a,*}, VŨ ĐỨC TRƯỜNG^a, PHẠM THỊ THANH VÂN^a

^aViện Thiết kế/Tổng cục Hậu cần - Kỹ thuật/Bộ Quốc phòng

*Tác giả đại diện: Email: xuanhungdnhbk@gmail.com

Ngày nhận 02/6/2026, Ngày sửa 12/6/2026, Chấp nhận 18/6/2026

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2026.vi.vol2-6>

Tóm tắt: Nghiên cứu này tập trung xác định các chỉ tiêu cơ lý của cát san hô và phân tích thành phần hóa của nước biển khu vực đảo xa bờ tỉnh Khánh Hòa nhằm đánh giá khả năng sử dụng trong cấp phối bê tông. Các thí nghiệm trong phòng được tiến hành để xác định các đặc trưng cơ lý của cát san hô như thành phần hạt, khối lượng riêng, khối lượng thể tích, độ rỗng và độ hút nước. Đồng thời, xác định chỉ số pH, độ mặn và phân tích thành phần hóa học của nước biển cũng được thực hiện thông qua các chỉ tiêu chính như hàm lượng ion clorua (Cl^-), sunfat (SO_4^{2-}), nitrat (NO_3^-) và hàm lượng chất rắn lơ lửng. Kết quả cho thấy cát san hô có độ rỗng lớn, hình dạng hạt không đồng đều và khả năng hút nước cao hơn so với cát sông tự nhiên thông thường. Nước biển trong khu vực nghiên cứu có độ mặn và hàm lượng ion clorua cao, có thể ảnh hưởng đến độ bền lâu của bê tông. Trên cơ sở các kết quả thu được, nghiên cứu bước đầu đánh giá khả năng sử dụng các vật liệu tại chỗ và đề xuất định hướng ứng dụng trong xây dựng công trình biển đảo.

Từ khóa: cát san hô; nước biển; vật liệu địa phương; cấp phối bê tông; bê tông san hô.

Abstract: This study focuses on determining the physical and mechanical properties of coral sand and analyzing the chemical composition of seawater collected from offshore islands in Khanh Hoa Province, Vietnam, to evaluate their potential use in concrete mixtures. Laboratory tests were conducted to characterize the physical and mechanical properties of coral sand, including particle size distribution, specific gravity, bulk density, porosity, and water absorption. In addition, the pH value, salinity, and chemical composition of seawater were investigated through key parameters such as

chloride ion (Cl^-), sulfate ion (SO_4^{2-}), nitrate ion (NO_3^-), and suspended solids content. The results indicate that coral sand exhibits high porosity, irregular particle morphology, and greater water absorption capacity compared with conventional natural river sand. The seawater in the study area was found to possess high salinity and chloride ion concentrations, which may adversely affect the long-term durability of concrete. Based on the obtained findings, a preliminary assessment of the feasibility of utilizing locally available materials is presented, and potential applications for construction projects in marine and island environments are proposed.

Keywords: Coral sand; seawater; local materials; concrete mix design; coral concrete.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, tình trạng suy giảm nguồn cát tự nhiên phục vụ xây dựng đã trở thành một vấn đề mang tính toàn cầu, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển có tốc độ đô thị hóa cao [1]. Đồng thời, nhu cầu xây dựng cơ sở hạ tầng tại các khu vực biển đảo ngày càng gia tăng, đặt ra yêu cầu cấp thiết về việc tìm kiếm và sử dụng các nguồn vật liệu thay thế tại chỗ [2]. Đối với các khu vực đảo xa đất liền, việc vận chuyển vật liệu xây dựng truyền thống như cát sông và nước ngọt gặp rất nhiều khó khăn, làm gia tăng chi phí và ảnh hưởng đáng kể đến tiến độ cũng như hiệu quả kinh tế của các công trình [3, 4].

Trong bối cảnh đó, cát san hô - một loại vật liệu hình thành từ quá trình xói mòn và phong hóa đá vôi, xác sinh vật biển hoặc xương của san hô được xem là nguồn cốt liệu tiềm năng thay thế cát tự nhiên trong bê tông [5]. Việc sử dụng cốt liệu san hô, nước biển và cát biển để chế tạo bê tông có thể

giải quyết hiệu quả vấn đề vận chuyển nguyên vật liệu trong xây dựng tại các đảo và bãi đá xa bờ [4].

Các nghiên cứu trước đây cho thấy cát san hô có thành phần chủ yếu là canxi cacbonat (CaCO_3), với cấu trúc rỗng, bề mặt thô ráp và hình dạng hạt không đồng đều [6-8]. Những đặc điểm này dẫn đến khả năng hút nước lớn và khối lượng thể tích thấp hơn so với cát sông, từ đó ảnh hưởng đáng kể đến tính công tác và các chỉ tiêu cơ học của bê tông [4, 7, 9, 10]. Tuy nhiên, chính cấu trúc xốp và độ nhám bề mặt cao của cát san hô cũng có thể cải thiện khả năng liên kết với hồ xi măng trong một số trường hợp nhất định [9].

Bên cạnh đó, nước biển - nguồn tài nguyên dồi dào tại các khu vực ven biển và hải đảo cũng được nghiên cứu sử dụng thay thế nước ngọt trong sản xuất bê tông [11]. Một số nghiên cứu cho thấy sự có mặt của ion clorua (Cl^-) trong nước biển có thể thúc đẩy quá trình thủy hóa của xi măng, làm tăng cường độ sớm của bê tông [12]. Tuy nhiên, hàm lượng cao của các ion hòa tan như Cl^- , SO_4^{2-} và Mg^{2+} trong nước biển có thể gây ra các phản ứng hóa học bất lợi, ảnh hưởng đến cấu trúc vi mô của bê tông và làm suy giảm độ bền lâu của kết cấu [13, 10]. Đặc biệt, ion clorua được xem là nguyên nhân chính gây ăn mòn cốt thép, làm giảm tuổi thọ của các công trình bê tông cốt thép trong môi trường biển [14].

Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã tập trung vào việc sử dụng kết hợp cát san hô và nước biển trong bê tông, thường được gọi là bê tông san hô - nước biển. Kết quả cho thấy loại bê tông này có tiềm năng ứng dụng lớn trong xây dựng công trình biển đảo nhờ khả năng tận dụng vật liệu tại chỗ và giảm chi phí vận chuyển [15, 16]. Tuy nhiên, do đặc trưng của cát san hô như độ rỗng lớn, khối lượng riêng thấp và khả năng hút nước cao, bê tông sử dụng loại cốt liệu này thường có cường độ chịu nén và độ bền lâu thấp hơn so với bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên thông thường [16-19]. Ngoài ra, tốc độ khuếch tán ion clorua trong bê tông sử dụng cát san hô cũng được ghi nhận là cao hơn, làm gia tăng nguy cơ suy thoái kết cấu trong điều kiện môi trường biển [17].

Tại Việt Nam, một số nghiên cứu đã bước đầu đánh giá khả năng sử dụng cát biển trong bê tông và chỉ ra một số tính chất cơ lý của vật liệu san hô có ảnh hưởng đáng kể đến tính chất cơ lý và độ

bền của bê tông [8, 20]. Cụ thể, đối với cát chưa qua xử lý có thể làm tăng cường độ sớm nhưng đồng thời làm giảm khả năng chống thấm và độ bền lâu của bê tông [20-22]. Một số nghiên cứu về nước biển khu vực các đảo xa bờ tại Việt Nam cho kết quả độ pH, độ mặn và hàm lượng ion Cl^- đều cao hơn nước biển thông thường và có sự biến thông theo mùa [23-25].

Mặt khác, các đặc trưng cơ lý và hóa học của cát san hô và nước biển có thể thay đổi đáng kể tùy thuộc vào điều kiện địa chất, môi trường và nguồn gốc hình thành [6, 13]. Do đó, việc xác định cụ thể các chỉ tiêu cơ lý của các vật liệu này tại khu vực nghiên cứu là hết sức cần thiết, nhằm cung cấp cơ sở dữ liệu tin cậy phục vụ cho thiết kế cấp phối bê tông cũng như đánh giá khả năng ứng dụng trong thực tế tại điểm cung cấp nguồn nguyên vật liệu xây dựng [15].

Từ những phân tích trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định các chỉ tiêu cơ lý của cát san hô và nước biển khu vực đảo xa bờ thuộc tỉnh Khánh Hòa, qua đó góp phần xây dựng cơ sở dữ liệu khoa học phục vụ cho việc nghiên cứu, thiết kế và ứng dụng vật liệu địa phương trong xây dựng các công trình biển đảo, đặc biệt là các công trình đảo xa bờ.

2. Vật liệu thí nghiệm và phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu thí nghiệm

a) Cát san hô

Cát san hô sử dụng trong nghiên cứu được thu thập từ khu vực đảo xa bờ thuộc tỉnh Khánh Hòa. Cát được khai thác bằng thiết bị máy xén thổi hút. Sau khi khai thác, cát được thu gom, phơi khô tự nhiên trong điều kiện phòng thí nghiệm và tiến hành sàng phân loại nhằm loại bỏ các hạt có kích thước lớn hơn 5 mm. Phần vật liệu lọt qua sàng 5 mm được sử dụng làm cốt liệu nhỏ trong các thí nghiệm chế tạo bê tông.

Quan sát ban đầu cho thấy cát san hô có màu trắng ngà đến vàng nhạt, hạt không đồng đều, bề mặt thô ráp và góc cạnh được thể hiện như trong Hình 1. Do có nguồn gốc từ sinh vật biển, các hạt cát có cấu trúc rỗng và xốp, kích thước phân bố không liên tục. Một số hạt có dạng mảnh vụn của san hô với hình dạng bất quy tắc. Đặc điểm này cho thấy cát san hô có khả năng hút nước cao và khối lượng thể tích nhỏ hơn so với cát tự nhiên thông thường.

Trước khi thí nghiệm, ngoài việc mẫu cát được sấy khô ở nhiệt độ phòng, mẫu thí nghiệm được

bảo quản trong điều kiện kín để đảm bảo ổn định về độ ẩm và hạn chế ảnh hưởng của môi trường.

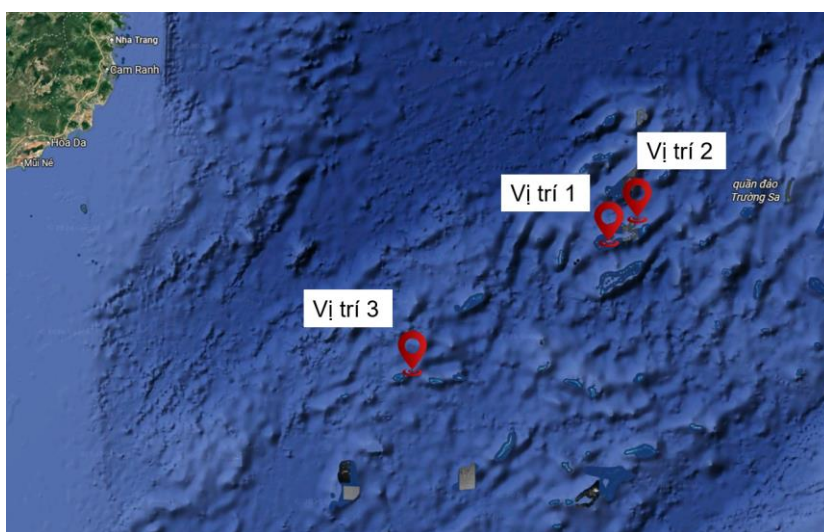


Hình 1. Mẫu cát san hô; a) Thành phần cốt liệu lớn hơn 5mm; b) Thành phần cốt liệu nhỏ hơn 5mm

b) Nước biển

Nước biển sử dụng trong nghiên cứu lấy ở ba khu vực khác nhau tại vị trí đảo xa bờ thuộc tỉnh Khánh Hòa được thể hiện như

trong Hình 2, vị trí cách bờ một khoảng nhất định nhằm đảm bảo tính đại diện và hạn chế ảnh hưởng của tạp chất ven bờ đến mẫu thí nghiệm.



Hình 2. Vị trí lấy mẫu nước thí nghiệm

Mẫu nước được thu thập ở độ sâu khoảng 0,5-1,0 m dưới mặt nước, sau đó được chứa trong các bình nhựa kín, sạch và không phản ứng hóa học với nước biển. Trong quá trình vận chuyển và lưu trữ, mẫu được bảo quản trong điều kiện tránh ánh sáng trực tiếp và nhiệt độ cao nhằm hạn chế sự thay đổi thành phần hóa học.

2.2 Phương pháp thí nghiệm cát san hô

Để xác định các đặc trưng cơ lý của cát san hô khu vực nghiên cứu, các thí nghiệm được tiến hành theo các tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam (TCVN) và tham khảo các tiêu chuẩn quốc tế tương

đương. Các chỉ tiêu được chia thành hai nhóm chính: chỉ tiêu vật lý và chỉ tiêu hóa học.

a) Các chỉ tiêu vật lý

Thành phần hạt của cát san hô được xác định bằng phương pháp sàng theo tiêu chuẩn TCVN 7572-2:2006. Mẫu cát được sấy khô đến khối lượng không đổi, sau đó tiến hành sàng qua hệ thống sàng tiêu chuẩn với các kích thước lỗ sàng khác nhau. Khối lượng vật liệu giữ lại trên từng sàng được cân và tính toán để xác định đường cong cấp phối hạt.

Khối lượng riêng của cát san hô được xác định theo TCVN 7572-4:2006. Mẫu cát được đưa vào bình tỷ trọng (bình Le Chatelier hoặc bình tỷ trọng tương đương) để xác định thể tích chiếm chỗ, từ đó tính toán khối lượng riêng của hạt cốt liệu.

Khối lượng thể tích của cát san hô được xác định theo TCVN 7572-6:2006. Mẫu cát được đổ vào thùng đóng có thể tích xác định trong trạng thái tự nhiên và đầm chặt, sau đó cân khối lượng để tính toán khối lượng thể tích xốp và khối lượng thể tích đầm chặt.

Độ rỗng của cát san hô được xác định gián tiếp thông qua khối lượng riêng và khối lượng thể:

$$n = \left(1 - \frac{\gamma}{\rho}\right) \cdot 100\%$$

trong đó:

n là độ rỗng (%);

γ là khối lượng thể tích (kg/m^3);

ρ là khối lượng riêng (kg/m^3).

Độ hút nước của cát san hô được xác định theo TCVN 7572-4:2006. Mẫu cát được ngâm trong nước trong khoảng thời gian và nhiệt độ quy định, sau đó được làm khô bề mặt và cân khối lượng ở trạng thái bão hòa khô bề mặt và trạng thái khô tuyệt đối. Độ hút nước được tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng.



Hình 3. Thí nghiệm xác định thành phần hạt của cát san hô (đã loại bỏ hạt kích cỡ lớn hơn 5mm)



b) Các chỉ tiêu hóa học

Hàm lượng ion clorua (Cl^-) trong cát san hô được xác định theo phương pháp chuẩn độ bạc nitrat (AgNO_3), tham khảo TCVN 7572-15:2006. Mẫu cát được chiết tách dung dịch, sau đó tiến hành chuẩn độ để xác định hàm lượng ion Cl^- .

2.3 Phương pháp thí nghiệm nước biển

Để đánh giá các đặc trưng hóa lý của nước biển khu vực nghiên cứu, các thí nghiệm được tiến hành nhằm xác định các chỉ tiêu cơ bản có ảnh hưởng đến khả năng sử dụng trong bê tông. Các phép thử được thực hiện theo các tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành (TCVN) và tham khảo các phương pháp quốc tế tương đương.

Giá trị pH của nước biển được xác định bằng máy đo pH điện tử, với điện cực được hiệu chuẩn trước khi đo bằng các dung dịch đệm tiêu chuẩn. Kết quả pH phản ánh tính axit hoặc bazơ của môi trường nước, là yếu tố có ảnh hưởng đến quá trình thủy hóa của xi măng.

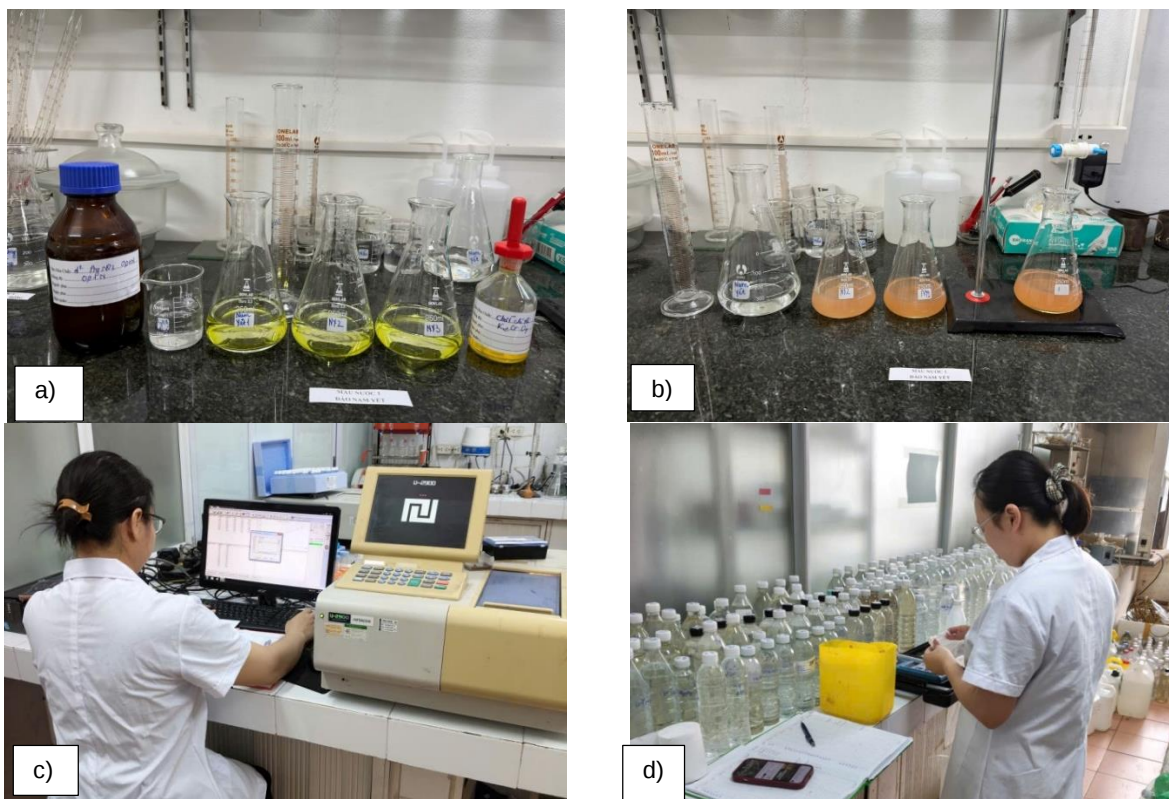
Độ mặn của nước biển được xác định thông qua tổng chất rắn hòa tan (TDS), sử dụng thiết bị đo TDS cầm tay hoặc phương pháp bay hơi xác định phần cặn còn lại sau khi làm khô mẫu. Chỉ tiêu này phản ánh tổng hàm lượng muối hòa tan trong nước biển, có ảnh hưởng trực tiếp đến tính chất của bê tông khi sử dụng.

Hàm lượng ion clorua (Cl^-) được xác định bằng phương pháp chuẩn độ bạc nitrat (AgNO_3). Mẫu nước được chuẩn độ với dung dịch chuẩn AgNO_3 trong môi trường thích hợp, sử dụng chất chỉ thị để xác định điểm tương đương. Hàm lượng Cl^- là chỉ tiêu quan trọng do có liên quan trực tiếp đến nguy cơ ăn mòn cốt thép trong bê tông.

Hàm lượng ion sunfat (SO_4^{2-}) được xác định bằng phương pháp kết tủa với dung dịch bari clorua (BaCl_2). Lượng kết tủa bari sunfat (BaSO_4) tạo thành được sử dụng để tính toán hàm lượng ion sunfat trong mẫu nước. Ion sunfat có thể gây ra các phản ứng hóa học bất lợi trong bê tông, ảnh hưởng đến độ bền lâu của vật liệu.

Ngoài sử dụng các phương pháp xác định thông thường được trình bày phía trên, các ion kể trên và ion kim loại như sắt (Fe) và tổng hàm lượng chất rắn lơ lửng (TSS) được xác định bằng các phương pháp phân tích hóa học thích hợp như quang phổ

hấp thụ nguyên tử (AAS) nhằm kiểm chứng kết quả thí nghiệm để đảm bảo độ chính xác của các chỉ tiêu nghiên cứu. Sự có mặt của các ion này có thể ảnh hưởng đến quá trình thủy hóa xi măng và cấu trúc vi mô của bê tông.



Hình 4. Thí nghiệm mẫu nước biển; a) Chuẩn bị mẫu thí nghiệm; b) Thí nghiệm xác định hàm lượng ion clorua bằng phương pháp chuẩn độ; c) Thí nghiệm xác định hàm lượng ion bằng phương pháp quang phổ; d) Kiểm tra kết quả giữa các phương pháp

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Đặc trưng cơ lý của cát san hô

Kết quả phân tích các cơ lý của cát san hô được thể hiện trong Bảng 1 như sau:

Bảng 1. Tính chất cơ học của cốt liệu san hô

STT	Đặc điểm vật liệu	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
1	Khối lượng riêng	kg/m ³	2629	TCVN 7572-4:2006
2	Khối lượng thể tích xốp ở trạng thái khô	kg/m ³	1309	TCVN 7572-6:2006
3	Khối lượng thể tích			
	a) Bão hòa nước	kg/m ³	1832	TCVN 7572-4:2006
	b) Khô	kg/m ³	1402	TCVN 7572-4:2006
4	Độ rỗng			
	a) Bão hòa nước	%	30,3	TCVN 7572-6:2006
	b) Khô	%	46,7	TCVN 7572-6:2006
5	Modun độ lớn		2,33	TCVN 7572-2:2006
6	Độ hút nước theo khối lượng	%	30,67	TCVN 7572-4:2006
7	Độ hút nước theo thể tích	%	43	TCVN 7572-4:2006
8	Hàm lượng tạp chất hữu cơ	-	Nhạt hơn màu chuẩn	TCVN 7572-9:2006
9	Hàm lượng clo hòa tan trong nước	%	0,0071	TCVN 7572-15:2006

Kết quả thí nghiệm trong Bảng 1 cho thấy cốt liệu san hô có khối lượng thể tích xấp xỉ ở trạng thái khô đạt 1309 kg/m³, thấp hơn so với cốt liệu tự nhiên thông thường, cho thấy vật liệu có cấu trúc rỗng và độ đặc chắc thấp. Khối lượng thể tích ở trạng thái bão hòa nước và trạng thái khô lần lượt đạt 1832 kg/m³ và 1402 kg/m³, phản ánh khả năng hấp thụ nước lớn của cốt liệu san hô. Khối lượng riêng của cốt liệu đạt 2629 kg/m³, nằm trong khoảng sử dụng cho vật liệu chế tạo bê tông, tuy nhiên khối lượng thể tích thấp phản ánh sự tồn tại của nhiều lỗ rỗng bên trong hạt cốt liệu.

Độ rỗng của cốt liệu đạt 30,3% ở trạng thái bão hòa nước và 46,7% ở trạng thái khô, tương đối lớn so với cát tự nhiên. Điều này làm cho độ hút nước

của cốt liệu đạt 30,67% theo khối lượng (43% theo thể tích), cho thấy khả năng hấp thụ nước cao do cấu trúc xốp đặc trưng của vật liệu san hô. Đặc điểm này có thể ảnh hưởng đến lượng nước trộn và tính công tác của hỗn hợp bê tông nếu không có biện pháp điều chỉnh cấp phối phù hợp.

Modun độ lớn của cát san hô đạt 2,32, thuộc nhóm cát trung bình và có thể sử dụng trong sản xuất bê tông. Ngoài ra, hàm lượng tạp chất hữu cơ của mẫu cát san hô nhạt hơn màu chuẩn, chứng tỏ hàm lượng tạp chất hữu cơ nằm trong giới hạn cho phép. Hàm lượng clo hòa tan trong nước chỉ 0,0071%, tương đối thấp và đáp ứng yêu cầu sử dụng cho cốt liệu bê tông theo tiêu chuẩn hiện hành.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm phân tích thành phần hạt của cát san hô theo TCVN 7570-2006

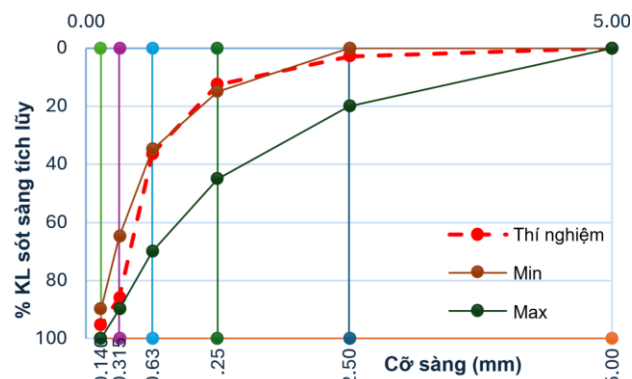
Cỡ sàng (mm)	KL sót trên sàng (g)	% KL sót trên sàng	% KL sót tích lũy	% KL sót tích lũy	Nhận xét
5,0	0,0	0,0	0,0	0-0	Đạt
2,5	37,2	2,8	2,8	0-20	Đạt
1,25	129,9	9,8	12,6	15-45	Không Đạt
0,63	312,3	23,6	36,2	35-70	Đạt
0,315	657,2	49,6	85,8	65-90	Đạt
0,14	128,3	9,7	95,5	90-100	Đạt
Đáy	59,4	4,5	100,0		
Tổng (g)	1324,3				

Dựa trên kết quả thí nghiệm thành phần hạt, cát san hô sử dụng trong nghiên cứu có thành phần hạt tương đối liên tục trong khoảng kích thước từ 0,14 mm đến 5 mm. Hàm lượng hạt tập trung chủ yếu ở các cỡ hạt nhỏ và trung bình, đặc biệt lượng sót tích lũy tại các sàng 0,315 mm và 0,63 mm lần lượt đạt 85,8% và 36,2%, nằm trong giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn.

Kết quả thí nghiệm cho thấy phần lớn các chỉ tiêu thành phần hạt của cát đều đạt yêu cầu kỹ thuật đối với cốt liệu nhỏ dùng cho bê tông. Tuy nhiên, tại sàng 1,25 mm, lượng sót tích lũy đạt 12,6%, thấp hơn giới hạn quy định từ 15 - 45%, lượng lọt sàng đáy có giá trị 4,5%. Điều này cho thấy cấp phối hạt của mẫu cát chưa thực sự cân đối ở vùng kích thước trung bình, có thể liên quan đến quá trình khai thác và công nghệ khai thác cát tại khu vực lấy

mẫu. Bên cạnh đó, giá trị tại sàng đáy phản ánh sự hiện diện của một tỷ lệ nhất định các hạt mịn trong mẫu cát khảo sát.

Phân tích kết quả cho thấy cát san hô thu thập tại khu vực đảo xa bờ tỉnh Khánh Hòa có những đặc điểm khác biệt rõ rệt so với cát tự nhiên thông thường. Thành phần hạt của cát phân bố không liên tục, với tỷ lệ hạt mịn và hạt thô không đồng đều, dẫn đến cấp phối kém hơn so với cát sông. Khối lượng thể tích của cát san hô nhỏ hơn đáng kể so với cát tự nhiên, trong khi độ rỗng và độ hút nước lại cao. Điều này có thể được giải thích do cấu trúc xốp, rỗng bên trong các hạt cát có nguồn gốc sinh học. Đặc điểm này làm cho cát san hô có khả năng giữ nước lớn, ảnh hưởng đến lượng nước trộn và tính công tác của hỗn hợp bê tông.



Hình 5. Biểu đồ phân tích thành phần hạt mẫu cát san hô

Ngoài ra, hình dạng hạt góc cạnh và bề mặt thô ráp của cát san hô có thể làm tăng nội ma sát, dẫn đến giảm độ linh động của hỗn hợp. Tuy nhiên, đặc điểm này cũng có thể góp phần cải thiện khả năng liên kết cơ học giữa cốt liệu và hồ xi măng.

Bên cạnh đó, trong cát san hô cũng phát hiện sự có mặt của ion clorua (Cl^-) nhưng không đáng

kể. Hàm lượng ion clorua cao có thể gây ra những ảnh hưởng bất lợi khi sử dụng trong bê tông, đặc biệt là làm tăng nguy cơ ăn mòn cốt thép trong bê tông cốt thép.

3.2 Đặc trưng của nước biển

Kết quả thí nghiệm của ba mẫu nước biển nghiên cứu được đưa ra ở Bảng 3.

Bảng 3. Các tính chất của nước biển

TT	Thông số	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả			QCVN 10:2023/ BTNMT
				Vị trí 1	Vị trí 2	Vị trí 3	
1	pH ^(a)	-	TCVN 6492:2011	7,13	7,15	7,15	6,5 ÷ 8,5
2	Độ mặn ^(a)	0/00	SMEWW 2520 B:2023	33	40	38	-
3	Nitrat (NO_3^-) (tính theo N) ^(a,b)	mg/L	SMEWW 4500- NO_3^- - .E: 2023	<0,015	<0,015	<0,015	-
4	Tổng chất rắn lơ lửng (TSS) ^(b)	mg/L	TCVN 6625:2000	2	3	3	50
5	Clorua (Cl^-) ^(c)	mg/L	SMEWW 4500- Cl^- - .B:2023	19525	24318	22754	-
6	Sunphat (SO_4^{2-}) ^(c)	mg/l	TCVN 6200:1996	2,161	3,054	2,892	-
7	Sắt (Fe) ^(a,b)	mg/L	US EPA 6020B	0,078	0,073	0,076	-

Ghi chú:
- QCVN 10:2023/BTNMT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước biển
- (a): Thông số được Vilas công nhận;
- (b): Thông số được Vimcerts chứng nhận đủ điều kiện hoạt động dịch vụ quan trắc môi trường;

Kết quả thí nghiệm cho thấy các mẫu nước biển lấy tại ba vị trí gồm vị trí 1, vị trí 2 và vị trí 3 tại các đảo xa bờ thuộc tỉnh Khánh Hòa đều có các chỉ tiêu hóa lý đặc trưng của nước biển tự nhiên trong khu vực biển đảo Trường Sa và phù hợp sử dụng trong nghiên cứu chế tạo bê tông có sử dụng vật liệu mặn.

Giá trị pH của cả ba mẫu nước biển dao động trong khoảng 7,13-7,15, nằm trong giới hạn cho phép theo QCVN 10:2023/BTNMT (6,5÷8,5). Điều này cho thấy nước biển có môi trường trung tính đến hơi kiềm nhẹ, phù hợp với đặc điểm hóa học tự nhiên của nước biển.

Độ mặn của các mẫu nước biển tương đối cao, dao động từ 33‰ đến 40‰, phản ánh đặc trưng

của vùng biển xa bờ. Trong đó, mẫu nước biển vị trí 2 có độ mặn lớn nhất (40‰), tiếp theo là vị trí 3 (38‰) và vị trí 1 (33‰). Độ mặn cao đồng nghĩa với hàm lượng ion hòa tan lớn, đặc biệt là ion clorua và sunfat, có khả năng ảnh hưởng đáng kể đến độ bền lâu của bê tông và nguy cơ ăn mòn cốt thép trong điều kiện môi trường biển.

Hàm lượng ion clorua (Cl^-) trong các mẫu nước biển khá lớn, dao động từ 19525 mg/L đến 24318 mg/L. Mẫu nước biển vị trí 2 có hàm lượng clorua cao nhất, tiếp theo là vị trí 3 và vị trí 1. Đây là tác nhân chính gây ăn mòn cốt thép trong bê tông thông thường. Do đó, việc sử dụng cốt thanh GFRP kết hợp tro bay nhằm giảm tính thấm và tăng khả năng

chống xâm nhập ion clorua là cần thiết đối với bê tông sử dụng nước biển.

Hàm lượng ion sunfat (SO_4^{2-}) của các mẫu nước biển dao động từ 2,161 mg/L đến 3,054 mg/L. Sự hiện diện của ion sunfat có thể gây xâm thực đối với đá xi măng nếu bê tông có cấu trúc rỗng và độ đặc chắc thấp. Tuy nhiên, khi sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính như tro bay, khả năng chống xâm thực sunfat của bê tông có thể được cải thiện đáng kể.

Hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng (TSS) của cả ba mẫu đều rất thấp, chỉ từ 2 mg/L đến 3 mg/L, nhỏ hơn nhiều so với giới hạn cho phép theo QCVN 10:2023/BTNMT (50mg/L). Điều này cho thấy nước biển tương đối sạch, ít chứa tạp chất lơ lửng ảnh hưởng đến chất lượng bê tông.

Hàm lượng nitrat (NO_3^-) trong các mẫu nước biển đều rất nhỏ ($<0,015\text{mg/L}$), chứng tỏ mức độ ô nhiễm hữu cơ thấp và ít ảnh hưởng đến quá trình thủy hóa xi măng.

Ngoài ra, hàm lượng sắt tổng số (Fe) trong các mẫu nước biển dao động từ 0,073 mg/L đến 0,078 mg/L, ở mức thấp và không gây ảnh hưởng đáng kể đến quá trình chế tạo bê tông.

Nhìn chung, các mẫu nước biển tại cả ba khu vực khảo sát đều mang đặc trưng hóa học của môi trường biển đảo với hàm lượng muối hòa tan và ion clorua cao. Đây là môi trường xâm thực mạnh đối với bê tông cốt thép thông thường, đồng thời là cơ sở phù hợp để nghiên cứu chế tạo bê tông sử dụng tro bay, cát san hô, nước biển gia cường cốt thanh sợi thủy tinh (GFRP) nhằm nâng cao độ bền lâu cho các công trình.

3.3 Đánh giá khả năng sử dụng

Từ các kết quả thí nghiệm thu được có thể nhận thấy cát san hô và nước biển khu vực các đảo xa bờ tỉnh Khánh Hòa có tiềm năng sử dụng làm nguồn vật liệu tại chỗ trong sản xuất bê tông phục vụ xây dựng công trình biển đảo. Việc tận dụng nguồn vật liệu sẵn có giúp giảm đáng kể chi phí vận chuyển cát tự nhiên và nước ngọt từ đất liền, đồng thời góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế trong điều kiện thi công xa bờ.

Kết quả phân tích cho thấy cát san hô có môđun độ lớn đạt 2,32, thuộc nhóm cát trung bình và có khả năng đáp ứng yêu cầu sử dụng cho bê tông theo tiêu chuẩn hiện hành. Hàm lượng tạp chất hữu cơ và hàm lượng clo hòa tan trong nước đều nằm trong giới hạn cho phép. Tuy nhiên, cát san hô có độ rỗng và độ hút nước tương đối lớn, dẫn đến khả

năng hấp thụ nước cao hơn so với cát tự nhiên thông thường. Đặc điểm này có thể làm tăng nhu cầu nước trộn, ảnh hưởng đến tính công tác và độ đặc chắc của bê tông nếu không có biện pháp điều chỉnh cấp phối phù hợp.

Đối với nước biển, kết quả thí nghiệm cho thấy nước có độ mặn cao và chứa hàm lượng lớn các ion hòa tan như Cl^- và SO_4^{2-} . Các ion này có thể thúc đẩy quá trình ăn mòn cốt thép và ảnh hưởng đến độ bền lâu của bê tông cốt thép trong môi trường biển. Do đó, việc sử dụng nước biển cần được xem xét tùy theo điều kiện làm việc và loại kết cấu công trình. Trong trường hợp bê tông không cốt thép hoặc các công trình tạm thời, nước biển có thể được sử dụng trực tiếp nhằm tận dụng nguồn tài nguyên tại chỗ. Đối với các công trình kiên cố, phù hợp với bê tông sử dụng tro bay, cát san hô, nước biển và cốt thanh sợi thủy tinh (GFRP) nhằm tăng tuổi thọ của các công trình.

Qua nghiên cứu, cát san hô và nước biển khu vực nghiên cứu có khả năng sử dụng trong xây dựng công trình biển đảo khi được kiểm soát chất lượng và có giải pháp cấp phối phù hợp. Tuy nhiên, cần tiếp tục nghiên cứu ảnh hưởng của các vật liệu này đến tính chất cơ học, khả năng chống xâm thực và độ bền lâu của bê tông nhằm đảm bảo hiệu quả sử dụng trong thực tế.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã tiến hành xác định một số chỉ tiêu đặc trưng về cơ lý của cát san hô và xác định chỉ số pH, độ mặn cũng như phân tích thành phần hóa học của nước biển khu vực đảo xa bờ tỉnh Khánh Hòa nhằm đánh giá khả năng sử dụng làm vật liệu trong sản xuất bê tông phục vụ xây dựng công trình biển đảo.

Kết quả thí nghiệm cho thấy cát san hô có khối lượng thể tích nhỏ, độ rỗng và độ hút nước tương đối lớn, phản ánh đặc trưng xốp của vật liệu có nguồn gốc sinh học biển. Môđun độ lớn của cát đạt 2,32, thuộc nhóm cát trung bình và cơ bản đáp ứng yêu cầu sử dụng làm cốt liệu mịn cho bê tông. Hàm lượng tạp chất hữu cơ và ion clo hòa tan trong cát đều nằm trong giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn hiện hành.

Đối với nước biển, các mẫu nước có giá trị pH > 7 thể hiện tính bazơ. Hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng trong các mẫu thí nghiệm ở mức thấp. Tuy nhiên, nước biển có độ mặn và hàm lượng ion Cl^- ,

SO_4^{2-} tương đối cao, có thể ảnh hưởng đến độ bền lâu của bê tông, đặc biệt đối với bê tông cốt thép trong môi trường biển.

Có thể khẳng định, cát san hô và nước biển khu vực nghiên cứu có tiềm năng sử dụng làm vật liệu địa phương trong xây dựng công trình khu vực biển đảo khi được kiểm soát chất lượng và áp dụng các giải pháp cấp phối cũng như điều chế với lượng phụ gia phù hợp. Kết quả nghiên cứu là cơ sở ban đầu cho các nghiên cứu tiếp theo về thiết kế cấp phối, tính chất cơ học và độ bền lâu của bê tông sử dụng cát san hô và nước biển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] United Nations Environment Programme (UNEP) (2019). *Sand and Sustainability: Finding New Solutions for Environmental Governance of Global Sand Resources*. UNEP, Geneva, Switzerland.
- [2] Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. 4th Edition. McGraw-Hill Education, New York, USA.
- [3] Liu, G., Zhang, Y., Wang, X. (2022). *Material alternatives for concrete structures on remote islands*. Advances in Civil Engineering, 2022: Article ID 1234567.
- [4] Wang, F., Sun, Y., Xue, X., Wang, N., Zhou, J., Hua, J. (2023). *Mechanical properties of modified coral aggregate seawater sea-sand concrete: Experimental study and constitutive model*. Case Studies in Construction Materials, 18.
- [5] Wang, X., Guo, Y., Yang, Z. (2018). *Mechanical properties of coral aggregate concrete*. Construction and Building Materials, 178:318–325.
- [6] Li, L., Jin, Z., Wang, H. (2017). *Properties of coral sand and its application in concrete*. Construction and Building Materials, 130:112–121.
- [7] Wang, X., Yang, Z. (2019). *Influence of coral sand characteristics on concrete performance*. Construction and Building Materials, 187:123–131.
- [8] Bàng, N. X., Tá, N. T., Cường, T. V., Dương, L. H., Vũ, P. A. (2023). *Xác định tính chất cơ học của vật liệu san hô sử dụng làm cốt liệu bê tông*. Tạp chí Xây dựng, ISSN 2734-9888:78–81.
- [9] Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete*. 5th Edition. Pearson Education Limited, Harlow, UK.
- [10] Wang, X., Guo, Y., Yang, Z., et al. (2026). *Mechanical Properties of Modified Coral Aggregate Seawater Sea-Sand Concrete: Experimental Study and Constitutive Model*. Materials, 19(1):226.
- [11] Thomas, M. D. A. (2014). *Seawater in concrete: A review*. Magazine of Concrete Research, 66(12):569–579.
- [12] Otsuki, N., Miyazato, S., Yodsudjai, W. (1992). *Influence of seawater on reinforced concrete structures*. ACI Materials Journal, 89(5):481–489.
- [13] Xiao, L., Li, Z. (2007). *Durability of concrete exposed to seawater environment*. Cement and Concrete Research, 37(8):1247–1253.
- [14] Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., Polder, R. (2004). *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair*. Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- [15] Guo, Y., Wang, X. (2019). *Application of coral aggregate seawater concrete in marine engineering*. Construction and Building Materials, 220:697–707.
- [16] Yang, Z., Wang, X. (2018). *Mechanical performance of coral aggregate concrete*. Construction and Building Materials, 165:152–160.
- [17] Li, Y., Zhang, Z. (2020). *Chloride diffusion in coral aggregate concrete*. Construction and Building Materials, 234:117345.
- [18] Zhang, Z. H., Castel, A., Sanjayan, R. (2013). *Experimental research on durability of concrete made by seawater and sea sand*. Advanced Materials Research, 641–642:385–390.
- [19] Li, Y. T., Zhang, Z. H. (2013). *Study on long-term performance of concrete based on seawater, sea sand and coral sand*. Advanced Materials Research, 706–708:512–516.
- [20] Cường, T. V., Bàng, N. X., Trung, Đ. Q., Hương, L. H., Thanh, V. Đ. (2024). *Một số kết quả thực nghiệm nghiên cứu cường độ bê tông san hô theo thời gian*. Tạp chí Xây dựng, ISSN 2734-9888:82–85.
- [21] Quân, L. H., Tuấn, T. V., Chi, N. V., Kiên, Đ. V. (2025). *Sử dụng phương pháp đo điện thế half-cell nghiên cứu ăn mòn cốt thép trong bê tông geopolyme sử dụng cát san hô, đá san hô và nước biển*. Tạp chí Xây dựng, ISSN 2734-9888:253–257.
- [22] Châu, T. V., Chính, T. H. (2018). *Nghiên cứu sản xuất bê tông từ cát biển, nước biển khu vực Nha Trang - Khánh Hòa*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng, (3):124.
- [23] Hương, L. B., Chi, N. K., Quỳnh, L. T. P., Long, P. Q. (2011). *Nghiên cứu thành phần hóa học trong nước biển tầng mặt tại khu vực phía Tây quần đảo Trường Sa*. Hội nghị Khoa học và Công nghệ biển toàn quốc, Quyển 4 - Sinh học và nguồn lợi sinh vật biển:772–778.
- [24] Lành, V. V., Sơn, T. P. H. (2001). *Các xoáy địa chuyển cơ bản của vùng khơi Biển Đông và các đặc trưng nhiệt muối trong chu kỳ năm*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển, 1(2):27–38.
- [25] Thơi, H. V. (2017). *Nghiên cứu đặc điểm lập địa và phân chia lập địa trồng rừng ngập mặn tại các đảo vùng biển phía Nam, Việt Nam*. Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp, Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam (VAFS):78–91.