

Nghiên cứu thiết kế thành phần bê tông hạt mịn tính năng cao sử dụng cát biển

A study on mix design of high-performance fine-grained concrete using sea-sand

Mai Đình Lộc*, Lê Thanh Hà

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email liên hệ: maidinhloc@utc.edu.vn

Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế thành phần bê tông hạt mịn tính năng cao có sử dụng cát biển. Việc lựa chọn vật liệu chế tạo, phương pháp tính toán thành phần cấp phối và thực nghiệm kiểm chứng đã được tiến hành trong nghiên cứu này. Theo phương pháp trên, hỗn hợp bê tông được chia làm hai pha: Cốt liệu và hồ chất kết dính. Hỗn hợp cốt liệu được xác định dựa trên cơ sở lý thuyết độ đặc hợp lý. Lượng hồ chất kết dính được xác định để đảm bảo độ chảy hỗn hợp và cường độ bê tông. Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng, với các vật liệu sẵn có trên thị trường phối hợp cùng cát biển, có thể chế tạo bê tông hạt mịn đạt các chỉ tiêu: Độ chảy lan lớn hơn 27 cm; cường độ chịu nén và chịu kéo ở tuổi 28 ngày lớn hơn 60MPa và lớn hơn 8MPa, tương ứng; ổn định trong môi trường Sulfat (độ nở trong môi trường Sulfat sau 15 tuần nhỏ hơn 0,1%).

Từ khóa: Bê tông hạt mịn tính năng cao; Thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông; Cát biển; Độ chảy cao; Bền Sulfat.

Abstract:

This paper presents the results of mix design for high-performance fine-grained concrete using sea-sand. The selection of the constituent materials, the procedure of mixture proportions, the experimental verification of mixture proportions are carried out in this study. For the proposed method, fine-grained concrete was considered to consist of two phases: Aggregates and binder paste. The content of binder is determined to ensure a high flowability of fresh concrete and high strength concrete. Experimental results show that, with available materials in combination with sea sand, it is possible to produce fine-grained concrete with high flowability (slump flow greater than 27 cm), high strength (compressive strength greater than 60MPa and flexural strength greater than 8MPa at the age of 28 days), sustainable in sulfate attack (expansion in sulfate solution after 15 weeks less than 0.1%).

Keywords: High-performance fine-grained concrete; Mix design, Sea sand; High flowability, Sustainable in sulfate attack.

1. Giới thiệu

Việt Nam có hơn 3200 km đường bờ biển nên có số lượng lớn các công trình chịu tác động của môi trường biển. Đồng thời, trữ lượng cát biển cũng rất lớn, theo số liệu năm 2020 của Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên môi trường biển khu vực phía Bắc (CPIM) tổng trữ lượng tài nguyên cát biển của Việt Nam là khoảng 242,8 tỷ m³. Do đó, việc nghiên cứu để chế tạo được một loại bê

tông hạt mịn sử dụng được cát biển có cường độ và tính công tác cao, bền với môi trường biển là rất cần thiết để phục vụ việc xây dựng mới, bảo trì các công trình ven biển ở Việt Nam.

Bê tông hạt mịn (fine-grained concrete) là loại bê tông không có cốt liệu lớn đang được sử dụng khá phổ biến hiện nay trong xây dựng và bảo trì công trình. Với ưu điểm có cường độ chịu kéo cao hơn bê tông thường, tính đồng nhất cao, có

kích thước hạt cốt liệu nhỏ, dễ thi công. Bê tông hạt mịn rất phù hợp để chế tạo các kết cấu mới dạng thành mỏng hoặc sửa chữa, tăng cường các kết cấu cũ không làm tăng đáng kể kích thước của kết cấu. Thông thường, bê tông hạt mịn được chế tạo từ cốt liệu nhỏ là cát nghiền hoặc cát tự nhiên tuyển chọn với chất lượng cao và ổn định nhưng giá thành khá cao. Gần đây, để có thể tận dụng nguồn tài nguyên cát biển lớn, ở Việt Nam cũng như trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu sử dụng cát biển để chế tạo bê tông nói chung và bê tông hạt mịn nói riêng [1]-[4], [6]-[15]. Tuy nhiên, các nghiên cứu chủ yếu mới sử dụng cát biển để chế tạo bê tông thường với cường độ nén không cao (dưới 40MPa) và chưa xem xét nhiều đến tính công tác và độ bền của bê tông có sử dụng cát biển.

Trong nghiên cứu này, việc thiết kế chế tạo bê tông hạt mịn có cường độ và độ chảy cao, bền với môi trường Sulfat, phù hợp cho việc xây dựng mới và bảo trì các công trình ven biển được tiến hành. Cát sông, cát biển, xi măng bền sulfat và tro bay là những vật liệu chính được sử dụng để chế tạo bê tông hạt mịn.

2. Xác định yêu cầu kỹ thuật

Với mục đích để chế tạo các kết cấu thành mỏng hoặc sửa chữa gia cường kết cấu cũ sử dụng các loại cốt kích thước nhỏ, các yêu cầu cơ bản cho bê tông hạt mịn được đặt ra sau đây:

- Cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông với xác suất đảm bảo 95% (R_{dt}) là 60 MPa (xác định theo TCVN 3121-11:2003). Cường độ chịu nén trung bình yêu cầu (R_{yc}) để kiểm tra thành phần hỗn hợp bê tông được tính theo công thức:

$$R_{yc} = R_{dt} + kS \quad (1)$$

Trong đó:

R_{yc} : Cường độ trung bình yêu cầu thiết kế;

R_{dt} : Cường độ đặc trưng của bê tông;

k : Hệ số phụ thuộc vào xác suất đảm bảo giá trị cường độ đặc trưng với xác suất đảm bảo là 95%, lấy $k = 1,64$;

S : Độ lệch chuẩn kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén của bê tông. Hiện nay, chưa có giá trị S có thể sử dụng cho bê tông cát biển, do vật liệu này chưa được sản xuất nhiều. Tuy nhiên, theo kết quả thí nghiệm đã được thực hiện tại trường Đại học Giao thông vận tải với bê tông sử dụng cát biển [4], giá trị S có thể ước tính bằng 4,5 MPa.

$$R_{yc} = 60 + 1,64 \times 4,5 = 67,38 \text{ (MPa)}$$

- Độ chảy (slumpflow) sau 60 phút đạt trên 25 cm, thí nghiệm với côn mini theo chỉ dẫn của EFNARC [15].

- Độ nở sau khi ngâm trong dung dịch sulfat 15 tuần không vượt quá 0,1%, thí nghiệm theo ASTM 1012:02.

3. Lựa chọn vật liệu chế tạo

3.1. Xi măng

Để chế tạo bê tông sử dụng cho môi trường ven biển, xi măng bền sulfat PCB_{sr}40 của nhà máy xi măng X18, đáp ứng tiêu chuẩn TCVN 6067:2004, đã được lựa chọn để sử dụng.

3.2. Vật liệu chất kết dính phụ thêm

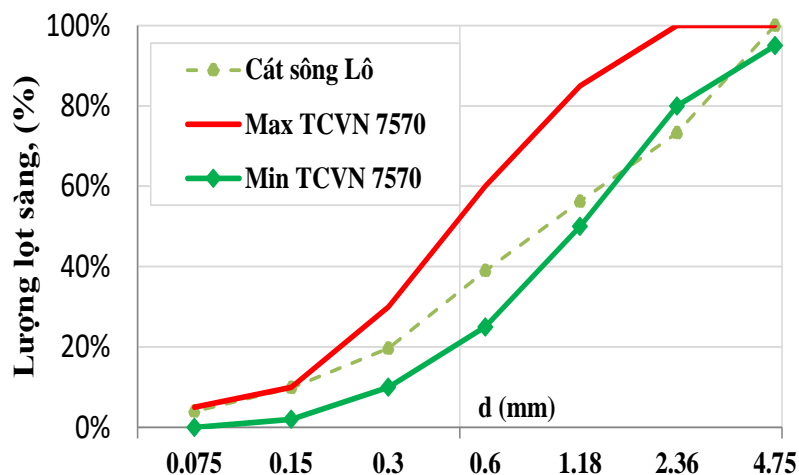
Do yêu cầu cường độ cao và sử dụng trong môi trường ven biển, giảm hàm lượng xi măng, tro bay nhiệt điện đã được lựa chọn sử dụng [12]. Tro bay là một loại chất kết dính phụ thêm có sẵn và giá thành thấp ở Việt Nam. Nghiên cứu này sử dụng tro bay nhiệt điện Phả Lại của công ty cổ phần Sông Đà Cao Cường có các chỉ tiêu kỹ thuật đáp ứng theo yêu cầu của TCVN 10302:2014 và ASTM C618.

3.3. Cát sông

Cát sông sử dụng trong nghiên cứu là cát sông Lô, có modul độ lớn $M_k = 2,76$. Các chỉ tiêu kỹ thuật đã được thí nghiệm xác định tại phòng thí nghiệm Vật liệu xây dựng – trường Đại học Giao thông vận tải, kết quả thí nghiệm trình bày trên bảng 1 và hình 1.

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật của cát sông Lô.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị	Tiêu chuẩn thí nghiệm
Khối lượng thể tích hạt	g/cm ³	2,59	TCVN 7572-4:2006
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,66	TCVN 7572-4:2006
Khối lượng thể tích đầm chặt	g/cm ³	1,59	ASTM C29-03
Độ hút nước	%	0,75	TCVN 7572-4:2006

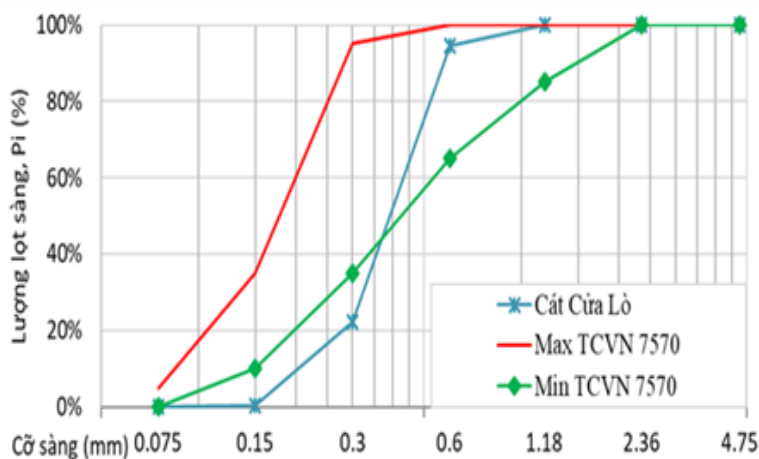


Hình 1. Thành phần hạt của cát sông Lô.

3.4. Cát biển

Cát biển dùng trong nghiên cứu là cát biển Cửa Lò (Nghệ An). Cát được lấy từ bãi ngập nước, rửa sạch theo hình thức sàng rửa trong nước giếng khoan sát bãi biển. Để đánh giá hiệu quả của việc rửa, một số mẫu cát không rửa cũng được thu thập để thí nghiệm. Tiến hành thí nghiệm xác định thành phần hóa học, thành phần khoáng vật của các mẫu cát tại Viện Hóa học – Viện Hàn lâm Khoa học công nghệ Việt Nam và thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật khác tại phòng

thí nghiệm Vật liệu xây dựng – trường Đại học Giao thông vận tải. Kết quả thí nghiệm thành phần khoáng vật, thành phần hóa học và các chỉ tiêu kỹ thuật được trình bày trên bảng 2, bảng 3, bảng 4, thành phần hạt được trình bày trên hình 2. Kết quả phân tích thành phần hóa học cho thấy việc sàng rửa cát trong nước sạch đã làm giảm được gần 70% hàm lượng ion clo trong cát biển. Với việc sử dụng cùng với cốt phi kim loại thì hàm lượng ion clo trong cát sau rửa (0,245 %) là có thể chấp nhận được.



Hình 2. Thành phần hạt của cát Cửa Lò.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm thành phần khoáng vật (%) của cát biển Cửa Lò.

Chỉ tiêu phân tích	Cát không rửa	Cát có rửa
Illit	4-6	4-6
Kaolinit + Clorit	3-5	3-5
Thạch anh	78-80	78-80
Felspat	6-8	6-8
Khoáng vật khác	Lepidocrocit	Lepidocrocit

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm thành phần hóa học (%) của cát biển Cửa Lò.

Chỉ tiêu phân tích	Cát không rửa	Cát có rửa
SiO ₂	91,5	90,46
Al ₂ O ₃	4,015	4,33
Fe ₂ O ₃	0,435	0,515
K ₂ O	0,415	0,395
Na ₂ O	1,365	1,435
CaO	1,285	1,41
MgO	0,38	0,335
SO ₃	0,08	0,075
Cl ⁻	0,795	0,245

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật của cát biển Cửa Lò.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Trị số	Tiêu chuẩn thí nghiệm
Khối lượng thể tích hạt	g/cm ³	2,52	TCVN 7572-4:2006
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,61	TCVN 7572-4:2006
Khối lượng thể tích đầm chặt	g/cm ³	1,35	ASTM C29-03
Độ hút nước	%	1,35	TCVN 7572-4:2006

3.5. Bột đá

Để đảm bảo độ chảy cao của hỗn hợp bê tông, tăng độ đặc cho hỗn hợp và đảm bảo độ bền trong

môi trường sulfat của bê tông, bột đá granite ở mỏ đá Tân Cang (Đồng Nai) của công ty BMT đã được sử dụng. Chỉ tiêu kỹ thuật của bột đá được trình bày trong bảng 5.

Bảng 5. Các chỉ tiêu kỹ thuật của bột đá Tân Cang.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị	Tiêu chuẩn thí nghiệm
Thành phần hạt			TCVN 7572-2:2006
Lọt sàng 0,6 mm	%	100	
Lọt sàng 0,3 mm	%	97,6	
Lọt sàng 0,075 mm	%	81,3	

Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị	Tiêu chuẩn thí nghiệm
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,57	TCVN 8735:2012
Lượng mất khi nung	%	0,2	AASHTO T267-86

3.6. Phụ gia hóa học

Phụ gia hóa học dùng cho bê tông có sử dụng cát biển thông thường bao gồm phụ gia hóa dẻo để đảm bảo tính công tác cho hỗn hợp bê tông và phụ gia khử muối để hạn chế ảnh hưởng bất lợi của muối trong cát biển [7]. Tuy nhiên theo kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả đã trình bày trong đề tài mã số B2018.GHA.16 [4] cho thấy phụ gia khử muối đã cải thiện tính chất của hỗn hợp bê tông và cường độ của bê tông cát biển nhưng có ảnh hưởng bất lợi đến độ bền sulfat của bê tông ở tuổi muộn. Do đó trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã không sử dụng phụ gia khử muối cho bê tông.

Theo kết quả thí nghiệm, bởi không sử dụng phụ gia khử muối nên hỗn hợp bê tông sau khi

trộn có hiện tượng tách nước và tạo nhiều bọt khí nên nhóm nghiên cứu đã tìm hiểu và thử nghiệm sử dụng phụ gia phá bọt, chống tách nước AP 488 (xuất xứ từ nước Cộng hòa Ý). Kết quả thí nghiệm cho thấy phụ gia AP 488 đã cải thiện tốt đặc tính của hỗn hợp bê tông, hạn chế tách nước và tạo bọt. Bê tông sử dụng xi măng bền sulfat và phụ gia phá bọt nên việc thí nghiệm kiểm tra tính tương thích và xác định hàm lượng của phụ gia hóa dẻo là rất cần thiết. Trong nghiên cứu này, phụ gia hóa dẻo sử dụng để thí nghiệm với lựa chọn loại và hàm lượng: R209 (dạng bột, xuất xứ Trung Quốc); Sikament NN, Sika Viscocrete 3153, Sika Viscocrete 3000-20M và Sika Viscocrete 8168 của công ty trách nhiệm hữu hạn SIKA Việt Nam.



Hình 3. Các loại vật liệu chế tạo bê tông.

4. Tính toán thành phần cấp phối bê tông

Việc tính toán sơ bộ thành phần cấp phối bê tông đã được thực hiện theo trình tự sau:

4.1. Xác định tỷ lệ giữa cát sông và cát biển

Nguyên tắc chung xác định tỷ lệ phối trộn: Tỷ lệ phối trộn cát sông và cát biển được xác định với mục tiêu tạo ra hỗn hợp cốt liệu có thành phần

hạt phù hợp cho bê tông hạt mịn tính năng cao, theo phương pháp lý thuyết kết hợp với thực nghiệm. Tỷ lệ phối trộn lý thuyết được xác định theo phương pháp thử dần sao cho thành phần hạt của hỗn hợp phối trộn (tính theo công thức (3)) có độ lệch nhỏ nhất so với thành phần hạt của cốt liệu được tính dựa trên công thức của Funk và Dinger [5] (công thức (2)). Trên cơ sở tỷ lệ phối

trộn lý thuyết, tiến hành thực nghiệm xác định khối lượng thể tích lèn chặt của một số hỗn hợp có tỷ lệ phối trộn lân cận với tỷ lệ phối trộn lý thuyết. Tỷ lệ phối trộn sử dụng được lựa chọn dựa trên nguyên tắc: Hỗn hợp có khối lượng thể tích đầm chặt đủ lớn; hỗn hợp có thành phần hạt đủ gần với thành phần hạt tính theo công thức Funk và Dinger, sử dụng được một tỷ lệ cát biển đáng kể. Công thức của Funk và Dinger để tính thành phần hạt của cốt liệu cho bê tông hạt mịn như sau:

$$P(D) = \frac{D^q - D_{min}^q}{D_{max}^q - D_{min}^q} \quad (1)$$

Trong đó:

$P(D)$: Lượng lọt sàng của cốt liệu tại cỡ sàng có kích thước D (mm);

D_{min} và D_{max} : Kích thước hạt nhỏ nhất và lớn nhất trong hỗn hợp cốt liệu (mm);

q : Hệ số tùy theo độ đặc mục tiêu của hỗn hợp, có thể lấy $q = 0,2-0,3$.

Công thức tính toán thành phần hạt của hỗn hợp phối trộn:

$$LS_x^{hh} = (a_1 \cdot LS_x^s + a_2 \cdot LS_x^b) \quad (2)$$

Trong đó :

LS_x^{hh} : Lượng lọt sàng (%) của hỗn hợp cát tại cỡ sàng x (mm);

a_1 : Tỷ lệ của cát sông trong hỗn hợp phối trộn;

a_2 : Tỷ lệ của cát biển trong hỗn hợp phối trộn;

LS_x^s : Lượng lọt sàng (%) của cát sông tại cỡ sàng x (mm);

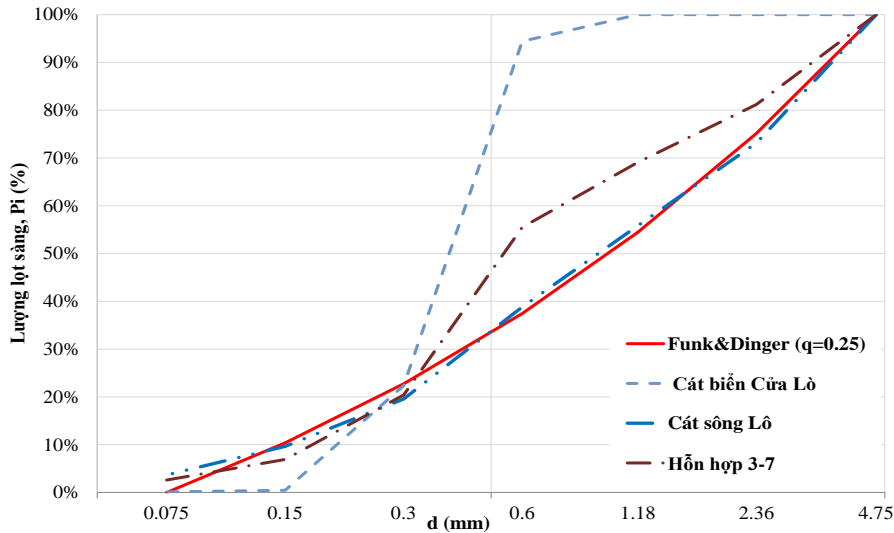
LS_x^b : Lượng lọt sàng (%) của cát biển tại cỡ sàng x (mm).

Xác định tỷ lệ phối trộn lý thuyết: Căn cứ vào kết quả thí nghiệm xác định thành phần hạt của cát sông Lô và cát biển Cửa Lò đã trình bày ở trên, tính toán kiểm tra so sánh cho thấy cát sông

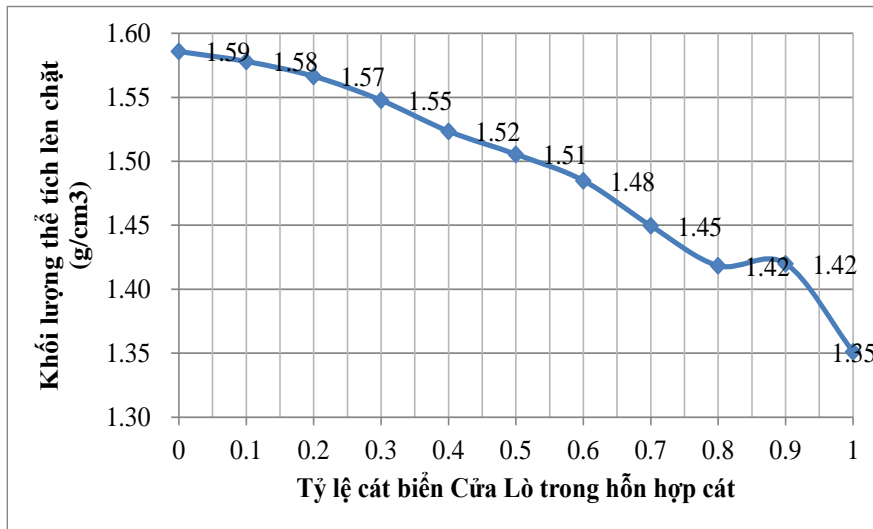
Lô có thành phần hạt rất gần với thành phần hạt cốt liệu tính theo công thức Fund và Dinger với modun cấp phối hạt $q = 0,25$. Tức là, theo lý thuyết, không cần sử dụng thêm cát biển để điều chỉnh thành phần hạt cốt liệu cho bê tông hạt mịn, hay nói cách khác khi hàm lượng cát biển Cửa Lò tăng lên, tính hợp lý của thành phần hạt cốt liệu giảm đi. Tuy nhiên, do tính không chắc chắn trong việc lựa chọn hệ số q của công thức Fund và Dinger, với mục đích sử dụng được nguồn tài nguyên cát biển cho công trình ven biển, các tác giả đã lựa chọn một tỷ lệ lý thuyết để phối trộn cát sông Lô với cát biển Cửa Lò là: 30% cát biển Cửa Lò + 70% cát sông Lô (Hỗn hợp 3-7). Kết quả tính toán kiểm tra thành phần hạt của cốt liệu được thể hiện trên hình 4.

Thí nghiệm xác định tỷ lệ phối trộn: Để kiểm tra tính hợp lý của tỷ lệ phối trộn theo lý thuyết và để có thêm cơ sở xác định tỷ lệ phối trộn thực tế, nhóm tác giả đã tiến hành thí nghiệm xác định khối lượng thể tích lèn chặt một số hỗn hợp cốt liệu với tỷ lệ sử dụng cát biển Cửa Lò thay đổi từ 0 đến 100%. Kết quả thí nghiệm xác định khối lượng thể tích lèn chặt của các hỗn hợp được trình bày bằng biểu đồ trên hình 5.

Kết luận về tỷ lệ phối trộn: Xem xét hình 4 và hình 5, có thể thấy rằng kết quả tính toán lý thuyết và kết quả thí nghiệm khá phù hợp khi cùng cho kết luận là hàm lượng cát biển Cửa Lò tăng lên dẫn đến tính hợp lý của thành phần hạt cốt liệu giảm đi. Với mục đích tận dụng nguồn tài nguyên cát biển cho xây dựng công trình, nhưng vẫn đảm bảo tính hợp lý của thành phần hạt không giảm quá nhiều, nhóm tác giả đã quyết định tỷ lệ phối trộn cho bê tông hạt mịn tính năng cao có sử dụng cát biển là 30% cát biển Cửa Lò và 70% cát sông Lô. Tuy nhiên, tỷ lệ phối trộn này được kiểm tra và điều chỉnh trong quá trình thí nghiệm hỗn hợp bê tông.



Hình 4. So sánh, kiểm tra thành phần hạt cốt liệu.



Hình 5. Khối lượng thể tích lên chặt của các hỗn hợp cốt liệu thử nghiệm.

4.2. Xác định hàm lượng cốt liệu

Nguyên tắc chung: Hàm lượng cốt liệu được lựa chọn trên cơ sở kết hợp lý thuyết và thực nghiệm. Từ kết quả thí nghiệm khối lượng thể tích lên chặt của hỗn hợp cốt liệu và tỷ trọng của các loại cốt liệu, tính độ đặc (d_{cl}) và độ rỗng (r_{cl}) của hỗn hợp cốt liệu. Thể tích cốt liệu trong một đơn vị thể tích bê tông (V_{cl}) được tính theo công thức (4), với k là hệ số tăng hồ của bê tông (có thể lấy $k = 1,1-1,2$).

$$V_{cl} = d_{cl}/k \quad (3)$$

Bảng 7. Kết quả tính toán hàm lượng cốt liệu.

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Hàm lượng cát biển Cửa Lò	%	30
Hàm lượng cát sông Lô	%	70

Từ hàm lượng cốt liệu đã tính theo lý thuyết, thực hiện thí nghiệm kiểm tra độ chảy lan và cường độ của một số hỗn hợp bê tông có hàm lượng cốt liệu lân cận với hàm lượng cốt liệu tính theo lý thuyết, trên cơ sở kết quả thí nghiệm lựa chọn hàm lượng cốt liệu tạo ra hỗn hợp bê tông có cường độ và độ chảy lan tốt nhất.

Xác định hàm lượng cốt liệu lý thuyết: Kết quả tính toán hàm lượng cốt liệu được trình bày tại bảng 7.

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Khối lượng riêng của cát biển Cửa Lò	g/cm ³	2,61
Khối lượng riêng của cát sông Lô	g/cm ³	2,66
Khối lượng riêng của hỗn hợp	g/cm ³	2,646
Khối lượng thể tích lèn chặt của hỗn hợp	g/cm ³	1,55
Độ đặc của hỗn hợp cốt liệu		0,586
Hệ số tăng hồ, k		1,1
Hàm lượng cốt liệu trong bê tông	m ³ /m ³ bê tông	0,53

4.3. Xác định khối lượng từng loại cốt liệu trong 1m³ bê tông

Từ hàm lượng cốt liệu đã xác định ở trên, tính khối lượng hỗn hợp cốt liệu cho 1 m³ hỗn hợp bê tông (M_{cl}) theo công thức (5), với ρ_{cl} là khối lượng riêng của hỗn hợp cốt liệu đã lựa chọn.

$$M_{cl} = V_{cl} \cdot \rho_{cl} \quad (4)$$

Từ M_{cl} đã tính, căn cứ tỷ lệ phối trộn của hỗn hợp cốt liệu đã lựa chọn tính khối lượng của cốt liệu thứ i (M_{cli}) cho 1 m³ hỗn hợp bê tông theo công thức (6), với a_i là tỷ lệ cốt liệu thứ i có trong hỗn hợp cốt liệu đã lựa chọn.

$$M_{cli} = M_{cl} \cdot a_i \quad (5)$$

Kết quả tính toán khối lượng cát sông Lô và cát biển Cửa Lò cho 1 m³ hỗn hợp bê tông được trình bày trên bảng 8.

Bảng 8. Kết quả tính toán khối lượng cát sông Lô và cát biển Cửa Lò.

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Hàm lượng cát biển Cửa Lò	%	30
Hàm lượng cát sông Lô	%	70
Hàm lượng cốt liệu trong bê tông	m ³ /m ³ bê tông	0,53
Khối lượng riêng của hỗn hợp	g/cm ³	2,646
Khối lượng hỗn hợp cát cho 1 m ³ bê tông	kg	1.402
Khối lượng cát biển Cửa Lò cho 1 m ³ bê tông	kg	422
Khối lượng cát sông Lô cho 1 m ³ bê tông	kg	980

4.4. Xác định thể tích hồ

Thể tích hồ trong bê tông bao gồm tổng thể tích của xi măng, tro bay, bột đá, nước và phụ gia. Thể tích hồ (V_{ho}) có trong 1 m³ hỗn hợp bê tông tính theo công thức sau:

$$V_{ho} = 1 - V_{cl} \quad (6)$$

$$V_{ho} = 1 - 0,53 = 0,47 \text{ (m}^3\text{)}$$

Thể tích hồ cũng được điều chỉnh theo thể tích cốt liệu khi thí nghiệm, nhằm đảm bảo độ chảy cao cho hỗn hợp bê tông.

4.5. Xác định tỷ lệ N/CKD

Chất kết dính (CKD) trong bê tông này bao gồm xi măng và tro bay. Do bê tông hạt mịn chỉ sử dụng cốt liệu nhỏ có diện tích bề mặt lớn, độ hút nước của cốt liệu mạnh nên cần chú ý phân biệt giữa tỷ lệ N/CKD với N_{th}/CKD (N_t là tổng khối lượng nước sử dụng cho 1 m³ bê tông bao gồm cả lượng nước cốt liệu hấp thụ, N_{th} là lượng nước nằm trong hồ xi măng – tức bằng lượng nước tổng trừ đi lượng nước cốt liệu hấp thụ). Theo nguyên tắc, tỷ lệ N_{th}/CKD được xác định theo yêu cầu đảm bảo cường độ đá xi măng và qua đó, đảm bảo cường độ của bê tông. Hiện nay, chưa có tài liệu hướng dẫn xác định tỷ lệ N_{th}/CKD từ cường

độ trung bình yêu cầu của bê tông hạt mịn có sử dụng cát biển, tuy nhiên theo các kết quả nghiên cứu tại trường Đại học Giao thông vận tải [1,4], sơ bộ có thể tham khảo bảng tra của ACI 211.4 để tra tỷ lệ N_{th}/CKD , sau đó điều chỉnh bằng thực nghiệm.

Với cường độ trung bình yêu cầu là $R_{yc} = 67,38$ MPa, tham khảo theo bảng của ACI 211.4 chọn tỷ lệ N_{th}/CKD là 0,30. Tỷ lệ này được điều chỉnh khi thí nghiệm bê tông.

4.6. Xác định hàm lượng tro bay và bột đá

Hàm lượng tro bay có thể lựa chọn sơ bộ theo khuyến cáo của ACI 211.4, khoảng 15 - 25% khối lượng xi măng. Chọn hàm lượng tro bay khởi điểm là 15%. Hàm lượng bột đá, để đảm bảo độ chảy cao, có thể lựa chọn sao cho thể tích đặc của bột đá (V_{bd}) chiếm khoảng 10 - 15% thể tích hồ. Với $V_{ho} = 0,47$ m³, chọn $V_{bd} = 0,047$ m³. Hàm lượng tro bay và bột đá được điều chỉnh trong quá trình thí nghiệm bê tông.

4.7. Xác định khối lượng xi măng, tro bay, bột đá và nước cho 1m³ bê tông

Với hàm lượng tro bay và bột đá đã lựa chọn, tỷ lệ N_{th}/CKD và V_{ho} đã xác định, lượng xi măng có

thể xác định được từ phương trình sau (bỏ qua thể tích phụ gia)

$$V_{ho} - V_{bd} = \frac{x}{\rho_x} + \frac{aX}{\rho_{tb}} + \frac{N_{th}}{\rho_n} (1+a)X \quad (8)$$

Trong đó :

X: Khối lượng xi măng cho 1m³ hỗn hợp bê tông;

ρ_x, ρ_{tb} và ρ_n lần lượt là khối lượng riêng của xi măng, tro bay và nước;

a: Tỷ lệ khối lượng tro bay với khối lượng xi măng;

N_{th}/CKD : Tỷ lệ nước trong hồ với tổng khối lượng xi măng và tro bay.

Sau khi tính được lượng xi măng (X) sẽ tính được lượng tro bay, bột đá và lượng nước trong hồ cho 1 m³ hỗn hợp bê tông. Lượng nước sử dụng tổng cộng trong hỗn hợp được cộng thêm lượng nước hấp thụ của cát (tính theo độ hấp thụ nước của cát thực tế sử dụng).

Kết quả tính toán khối lượng vật liệu cho phần hồ (xi măng, tro bay, bột đá và nước) được trình bày trên bảng 9.

Bảng 9. Kết quả tính toán khối lượng vật liệu phần hồ.

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Thể tích hồ trong 1 m ³ bê tông	dm ³	470
Hàm lượng tro bay (a)		0,15
Thể tích bột đá cho 1m ³ bê tông	dm ³	47
Tỷ lệ N_{th}/CKD		0,30
Khối lượng riêng của xi măng	g/cm ³	3,1
Khối lượng riêng của tro bay	g/cm ³	2,3
Khối lượng riêng của bột đá	g/cm ³	2,57
Khối lượng riêng của nước	g/cm ³	1,0
Khối lượng xi măng cho 1 m ³ bê tông	kg	590
Khối lượng tro bay cho 1 m ³ bê tông	kg	90
Khối lượng bột đá cho 1 m ³ bê tông	kg	120
Khối lượng nước trong hồ (N_{th}) cho 1 m ³ bê tông	kg	205

4.8. Xác định hàm lượng phụ gia hóa dẻo, phụ gia phá bọt

Hàm lượng phụ gia hóa dẻo và phụ gia phá bọt được lựa chọn sơ bộ theo khuyến cáo của nhà sản xuất và được xác định qua thí nghiệm kiểm tra độ chảy, độ tách nước của một số hỗn hợp bê tông.

4.9. Tổng hợp thành phần hỗn hợp bê tông sơ bộ

Thành phần hỗn hợp bê tông bước đầu theo tính toán được trình bày trên bảng 10.

Bảng 10. Kết quả tính toán thành phần cấp phối bê tông sơ bộ.

Vật liệu chế tạo	Đơn vị	Giá trị
Phụ gia hóa dẻo Sika 8168	lít	8,85
Phụ gia phá bọt TP488	kg	1.18
Tỷ lệ N_{th}/CKD		0,30
Cát sông Lô	kg	980
Cát biển Cửa Lò	kg	422
Xi măng X18	kg	590
Tro bay	kg	90
Bột đá	kg	120
Nước trong hồ (N_{th})	kg	205

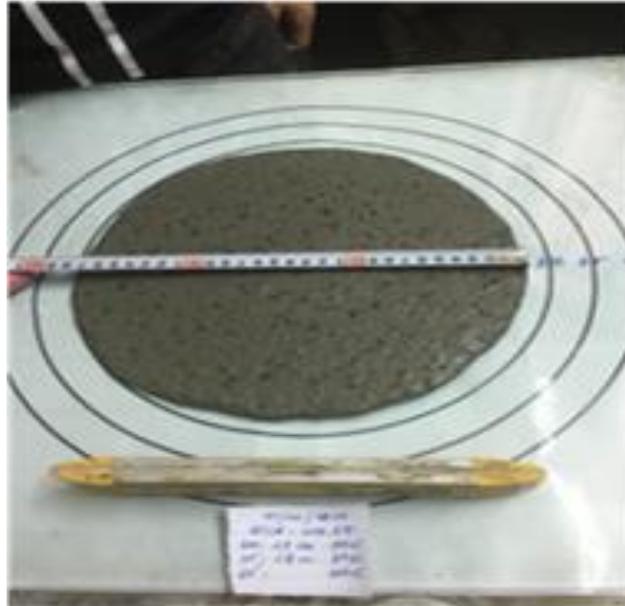
5. Kết quả thực nghiệm kiểm tra và điều chỉnh thành phần hỗn hợp bê tông

5.1. Kết quả thực nghiệm điều chỉnh và lựa chọn thành phần hỗn hợp bê tông theo yêu cầu độ chảy và cường độ

Trên cơ sở thành phần cấp phối bê tông sơ bộ, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thí nghiệm kiểm tra và điều chỉnh thành phần hỗn hợp bê tông theo yêu cầu về độ chảy lan, cường độ chịu nén ở tuổi 07 ngày (mỗi hỗn hợp thí nghiệm 03 tổ mẫu) tại các phòng thí nghiệm của trường Đại học Giao thông vận tải. Độ chảy được thí nghiệm theo hướng dẫn của EFNARC, cường độ chịu nén và chịu kéo uốn được thí nghiệm theo tiêu chuẩn TCVN 3121-11:2003.

Sau 12 hỗn hợp trộn thử nghiệm có loại phụ gia, hàm lượng phụ gia, hàm lượng cát sông, hàm lượng cát biển và tỷ lệ N/CKD khác nhau, nhóm nghiên cứu đã xác định được thành phần hỗn hợp bê tông đảm bảo yêu cầu về độ chảy sau 60 phút và cường độ ở tuổi 07 ngày. Từ thành phần hỗn

hợp này, nhóm nghiên cứu đã tiến hành trộn hỗn hợp bê tông để theo dõi độ chảy và đúc 10 tổ mẫu bê tông thí nghiệm nhằm kiểm tra cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo uốn ở tuổi 28 ngày. Độ chảy của hỗn hợp sau 60 phút (hình 6) đạt 27,5 mm, đáp ứng yêu cầu thiết kế. Kết quả thí nghiệm cường độ ở 28 ngày (bảng 12) cho thấy trị số trung bình của 10 kết quả thí nghiệm (10 tổ mẫu) với cường độ chịu nén và chịu kéo uốn tương ứng là 67,5 MPa và 10,06 MPa, đạt cường độ trung bình yêu cầu thiết kế ($R_{yc} = 67.38$ MPa). Phân tích kết quả thí nghiệm cường độ ở bảng 12 cho thấy: Độ lệch chuẩn của kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén và chịu kéo uốn của các tổ mẫu tương ứng là 3.38 MPa và 0,53 Mpa. Điều này cho thấy, kết quả thí nghiệm cường độ bê tông là ổn định và đáng tin cậy, đồng thời giá trị S đã lấy để tính R_{yc} theo công thức (1) là phù hợp. Kết quả thí nghiệm kiểm tra cho thấy thành phần hỗn hợp đạt yêu cầu thiết kế về cường độ và độ chảy. Thành phần hỗn hợp bê tông và chỉ tiêu kỹ thuật đạt được được trình bày trên bảng 11.



Hình 6. Thí nghiệm kiểm tra độ chảy lan.

Bảng 11. Thành phần cấp phối bê tông đạt yêu cầu về độ chảy lan và cường độ.

Vật liệu chế tạo	Đơn vị	Giá trị
Phụ gia hóa dẻo Sika 8168	lít	9,8
Phụ gia phá bọt TP488	kg	1,0
Tỷ lệ N_{th}/CKD		0,308
Cát sông Lô	kg	960
Biển Cửa Lò	kg	410
Xi măng	kg	560
Tro bay	kg	56
Bột đá	kg	112
Nước trong hồ (N_{th})	kg	190
Đặc tính kỹ thuật		
Độ chảy sau khi trộn	cm	29,0
Độ chảy sau khi trộn 30 phút	cm	28,0
Độ chảy sau khi trộn 60 phút	cm	27,5
Cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày (trung bình 10 tổ mẫu)	MPa	67,5
Cường độ chịu kéo uốn ở tuổi 28 ngày (trung bình 10 tổ mẫu)	MPa	10,02

5.2. Kết quả thí nghiệm kiểm tra độ nở trong môi trường sulfat

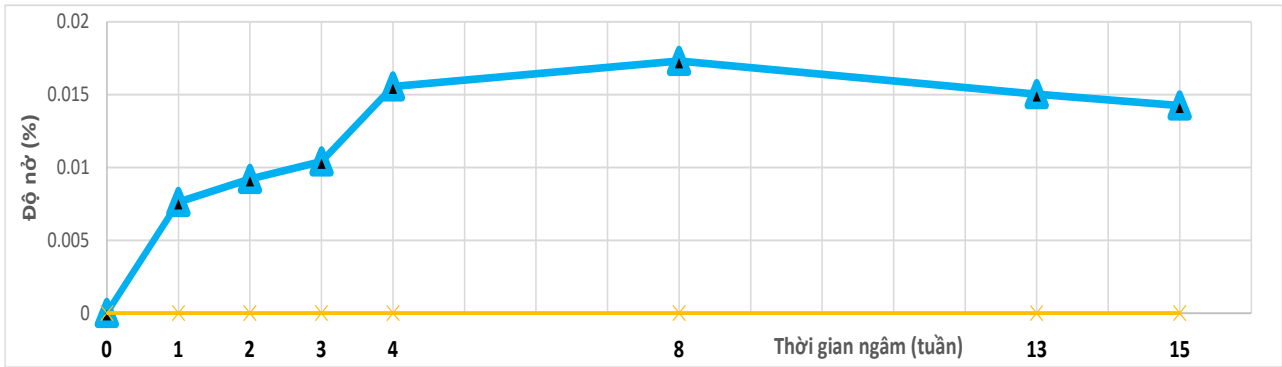
Từ hỗn hợp bê tông đã đạt yêu cầu về độ chảy lan và cường độ, tiến hành đúc 05 tổ mẫu (mỗi tổ gồm 03 mẫu, kích thước 2,5 x 2,5 x 27,5 mm) để thí nghiệm kiểm tra độ nở trong môi trường sulfat

của bê tông theo tiêu chuẩn ASTM 1012:02. Kết quả thí nghiệm độ nở được trình bày trong biểu đồ trên hình 7. Kết quả thí nghiệm cho thấy bê tông đã chế tạo đạt yêu cầu về độ ổn định trong môi trường sulfat, độ nở sau 15 tuần nhỏ hơn khoảng 07 lần so với trị số yêu cầu (0.1%).

Bảng 12. Kết quả thí nghiệm cường độ bê tông tuổi 28 ngày.

Tổ mẫu	Mẫu	Lực uốn (kN)	Lực nén (kN)		R_{ku} (MPa)	R_n (MPa)		Cường độ trung bình	
			1	2		1	2	R_{ku} (MPa)	R_n (MPa)
	M11	3,74	98,99	108,3	8,77	61,87	67,69		
M1	M12	3,81	108,84	111,12	8,93	68,03	69,45	8,98	67,57
	M13	3,94	109,99	111,42	9,23	68,74	69,64		
	M21	4,51	100,8	98,34	10,57	63,00	61,46		
M2	M22	4,43	106,93	100,35	10,38	66,83	62,72	10,29	63,09
	M23	4,23	101,83	97,44	9,91	63,64	60,90		
	M31	4,2	105,43	105,81	9,84	65,89	66,13		
M3	M32	4,08	97,03	121,6	9,56	60,64	76,00	9,80	70,97
	M33	4,27	126,49	124,99	10,01	79,06	78,12		
	M41	4,12	122,73	108,21	9,66	76,71	67,63		
M4	M42	4,48	111,07	114,26	10,50	69,42	71,41	9,80	69,58
	M43	3,94	106,11	105,57	9,23	66,32	65,98		
	M51	4,25	122,46	116,06	9,96	76,54	72,54		
M5	M52	4,1	110,56	111,92	9,61	69,10	69,95	9,86	70,74
	M53	4,27	111,59	106,56	10,01	69,74	66,60		
	M61	4,58	104,09	103,67	10,73	65,06	64,79		
M6	M62	4,39	96,22	116,59	10,29	60,14	72,87	9,91	68,04
	M63	3,72	121,69	110,93	8,72	76,06	69,33		
	M71	4,71	104,73	115,3	11,04	65,46	72,06		
M7	M72	4,48	111,95	106,67	10,50	69,97	66,67	10,93	68,30
	M73	4,8	108,36	108,67	11,25	67,73	67,92		
	M81	4,34	120,87	113,34	10,17	75,54	70,84		
M8	M82	4,62	109,95	111,13	10,83	68,72	69,46	10,49	71,01
	M83	4,47	112,85	113,57	10,48	70,53	70,98		
	M91	4,68	100,05	97,44	10,97	62,53	60,90		
M9	M92	4,34	101,65	96,95	10,17	63,53	60,59	10,47	62,52
	M93	4,38	100,58	103,51	10,27	62,86	64,69		
	M101	3,83	98,59	100,03	8,98	61,62	62,52		
M10	M102	4,78	103,00	98,95	11,20	64,38	61,84	10,09	63,19
	M103	4,31	99,25	106,81	10,10	62,03	66,76		

Ghi chú: R_{ku} và R_n là cường độ chịu kéo uốn và cường độ chịu nén của bê tông.



Hình 7. Biểu độ độ nở trong môi trường sulfat của bê tông.

6. Kết luận

Với các kết quả đã đạt được trong nghiên cứu này, có thể rút ra một số kết luận như sau:

Phương pháp thiết kế thành phần cấp phối bê tông hạt mịn tính năng cao với thành phần pha cốt liệu và pha hồ chất kết dính được áp dụng trong nghiên cứu là phù hợp, có thể áp dụng trong thực tế. Phương pháp dựa trên độ đặc hợp lý của hỗn hợp cốt liệu theo lý thuyết Funk và Dinger, hệ số dư hồ đảm bảo tính công tác tốt và tỷ lệ N_{th}/CKD tính toán tham chiếu theo ACI 211.4.

Có thể kết hợp cát biển rửa, cát sông, tro bay và xi măng bèn sulfat để chế tạo được bê tông hạt mịn tính năng cao với cường độ chịu nén lớn hơn 60 MPa, cường độ chịu kéo uốn lớn 8 Mpa ở tuổi 28 ngày và bèn sulfat (có thể sử dụng cho công trình trong môi trường biển và ven biển).

Với các vật liệu có sẵn trên thị trường hiện nay, hoàn toàn có thể phối hợp với cát biển để chế tạo các loại bê tông hạt mịn tính năng cao, không cần sử dụng các loại cát mịn được tuyển chọn và giá cao, đồng thời có thể tận dụng được nguồn tài nguyên cát biển. Tùy theo thành phần hạt của cát sông phối hợp, với tỷ lệ sử dụng cát biển cho bê tông có thể thay đổi. Trong trường hợp cát sông đã có thành phần hạt tốt, tỷ lệ sử dụng cát biển vẫn có thể đạt đến 30% so với khối lượng cốt liệu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo thông qua chương trình “Nghiên cứu phát triển và ứng dụng vật liệu thân thiện môi trường và phát triển công nghệ phù hợp trong xây

dựng công trình ven biển phục vụ yêu cầu phát triển bền vững” thuộc đề tài mã số CT2020.04.GHA.04.

Tài liệu tham khảo

- [1] L. T. Ha, N. D. Quang, M. D. Loc; “A study on using Sam Son sea sand and flyash to produce fine-grained concrete”. Science Journal of Transportation. 2017; 8:20-25.
- [2] T. T. Hiệp, V. X. Lý, L. V. Bách; “Nghiên cứu sử dụng cát biển và nước nhiễm mặn làm bê tông xi măng trong xây dựng đường ô tô và công trình phòng hộ ven biển vùng đồng bằng Nam bộ”. Tạp chí Giao thông Vận tải. 2002; số tháng 6.
- [3] T. N. Toàn; “Nghiên cứu sử dụng cát biển Quảng Ninh làm bê tông xi măng trong xây dựng đường ô tô”. Luận văn Thạc sỹ; Kỹ thuật xây dựng công trình giao thông; trường Đại học Giao thông vận tải; 2004.
- [4] N. Đ. Quang; “Báo cáo tổng kết đề tài khoa học công nghệ cấp cơ sở: Nghiên cứu ứng dụng bê tông cốt lưới dệt trong tăng cường kết cấu bê tông cốt thép ở vùng biển và hải đảo”; trường Đại học Giao thông vận tải; Hà Nội, Việt Nam; B2018-GHA-16; 2019.
- [5] H. T. Le, M. Müller, K. Siewert, H. -M. Ludwig, “The mix design for self-compacting high performance concrete containing various mineral admixtures”. Materials and Design. 2015; 72:51-62. DOI: 10.1016/j.matdes.2015.01.006.
- [6] K. Katano, N. Takeda, Y. Ishizeki and K. Iriya; “Properties and Application of Concrete Made with Sea Water and Un-washed Sea Sand”, in Proc. Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies; 18-22 August 2013; Kyoto, Japan. 2013.

- [7] R. Mahendran, K. Godwin, T. Gnana Selvan and M. Murugan; “Experimental study on concrete using sea sand as fine aggregate”. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2016; 7(5):49-52.
- [8] B. Subashini, G. Sivaranjani, G. Dhanalakshmi, K. Gayathri, A. Ashok Kumar, A. Srimathi and C. Revathi; “Experimental Investigation of Sea Sand for Construction Purposes”. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016; 9(11):1-5. DOI:10.17485/ijst/2016/v9i11/89400.
- [9] N. P. Ratnayake et al.; “Evaluation of the potential of sea sand as an alternative to river sand for concrete production in Sri Lanka”. *Journal of Geological Society of Sri Lanka*. 2014; 16:109-117.
- [10] D. A. R. Dolage, M. G. S. Dias and C. T. Ariyawansa; “Offshore Sand as a Fine Aggregate for Concrete Production”. *British Journal of Applied Science & Technology*. 2013; 3(4):813-825. DOI: 10.9734/BJAST/2013/3290.
- [11] W. Zhang; “Research on compressive properties of sea sand concrete”. *Advanced Materials Research*. 2014; 881-883:1221-1224. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.881-883.1221.
- [12] G. Zhang et al.; “Research on influence of fly ash on the the microstructural characteristics of sea sand concrete”. *Applied Mechanics and Materials*. 2012; 204-208:3831-3834. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.204-208.3831.
- [13] C. J. Hong et al.; “Research on the Properties of Sea Sand Concrete”; *Applied Mechanics and Materials*. 2013; 405-408:2899-2902. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.405-408.2899.
- [14] Y. Li et al.; “Study on Long-Term Performance of Concrete Based on Seawater, Sea Sand and Coral Sand”. *Advanced Materials Research*. 2013; 706-708:512-515. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.706-708.512.
- [15] EFNARC; “Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete”; Farnham, UK. 2002.