

Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>

Research on the effects of fly ash and silica fume on some properties of high-strength concrete for the construction building of coastal areas



Tang Van Lam ^{1,*}, Nguyen Trong Dung ², Dang Van Phi ³, Vu Kim Dien ⁴, Nguyen Van Duong ⁵

¹ Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

² Department of Technology of Binder and Concrete, National Research Moscow State Construction University, Russia

³ Department of administration and basic construction, College of Industrial and Constructional, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14th Oct. 2020

Accepted 28th Nov. 2020

Available online 31st Dec. 2020

Keywords:

Coastal and islands,
Fly ash,
High strength concrete,
Infrastructure projects,
Silica fume.

ABSTRACT

The sustainability of constructions depends on the resistance of concrete and steel reinforcement to physical and chemical aggressors from the environment. High – strength concrete with a high consistency, low permeability and resistance to environmental erosion, is preferred to be used in infrastructure construction, especially in coastal and islands areas. This paper aims to study on the mechanical properties of high-strength concrete using a mixture of fly ash and silica fume additive. Experimental obtained results show that high-strength concrete containing fly ash and silica fume with different mixing ratios have good performance (spread: 390 ÷ 625 mm and slump: 14 ÷ 20,5cm) and high compressive strength at 28 days (47 to 75MPa). In addition, the protection time of steel reinforcement according to NT Build 356-2009 can reach 85 days for samples containing 10% silica fume. This result shows that the high-strength concrete made from a mixture of fly ash and silica fume can be used in coastal and island infrastructure.

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: lamvantang@gmail.com

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.12



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Nghiên cứu tính chất cơ lý của bê tông cường độ cao sử dụng hỗn hợp phụ gia tro bay và silica fume phục vụ xây dựng công trình hạ tầng khu vực ven biển

Tăng Văn Lâm^{1,*}, Nguyễn Trọng Dũng², Đặng Văn Phi³, Vũ Kim Điển⁴, Nguyễn Văn Dương⁵

¹ Khoa Xây Dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội, Việt Nam

² Bộ môn Công nghệ Bê tông và Chất kết dính, Trường Đại học Xây dựng Quốc gia Matxcova, Liên Bang Nga

³ Phòng quản trị và xây dựng cơ bản, Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 14/10/2020

Chấp nhận 28/11/2020

Đăng online 31/12/2020

Từ khóa:

Bê tông cường độ cao,

Công trình hạ tầng,

Silica fume,

Tro bay,

Ven biển và hải đảo.

TÓM TẮT

Tính bền vững của các công trình xây dựng phụ thuộc rất lớn vào khả năng chống lại những tác nhân xâm thực vật lý và hóa học từ môi trường của bê tông và cốt thép. Trong đó bê tông cường độ cao với cấu trúc đặc chắc lớn, ít thấm cùng khả năng chống ăn mòn trong môi trường xâm thực, được ưu tiên sử dụng trong các công trình hạ tầng khu vực ven biển và hải đảo của Việt Nam. Bài báo này trình bày nghiên cứu về tính chất cơ lý của bê tông cường độ cao sử dụng hỗn hợp phụ gia tro bay và silica fume. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy các mẫu bê tông cường độ cao chứa tro bay và silica fume với nhiều tỷ lệ phối trộn khác nhau đều có tính công tác tốt (độ xòe 390 ÷ 625 mm và độ sụt: 14 ÷ 20,5 cm) và cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày từ 47 MPa đến 75 MPa. Bên cạnh đó thời gian phá hoại mẫu trong thí nghiệm khả năng bảo vệ cốt thép theo tiêu chuẩn NT Build 356-2009 có thể đạt tới 85 ngày đối với mẫu có chứa 10% silica fume. Kết quả này cho thấy các loại bê tông cường độ cao chế tạo từ hỗn hợp phụ gia tro bay, silica fume và những loại vật liệu thông thường sẵn có ở trong nước có thể đáp ứng các yêu cầu để sử dụng trong các công trình hạ tầng khu vực ven biển và hải đảo.

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Việt Nam là quốc gia có đường bờ biển dài nên công tác phát triển cơ sở hạ tầng phục vụ cho kinh tế biển cũng như các mục tiêu quốc phòng là rất

cấp thiết. Tuy nhiên việc xây dựng và sử dụng các công trình ven biển hiện gặp nhiều khó khăn do công trình bằng bê tông (BT), bê tông cốt thép (BTCT) bị xâm thực nghiêm trọng trong môi trường biển gây phá hoại kết cấu dẫn đến tuổi thọ bị giảm đáng kể. Qua nghiên cứu, đánh giá chất lượng BT và BTCT một số công trình ven biển có thể chỉ ra một số tác nhân chính dẫn đến sự xâm thực cho bê tông bao gồm: sự chênh lệch cột nước gây thấm cho bê tông, nước thấm qua bê tông sẽ

* Tác giả liên hệ

E - mail: phamvanhung@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.12

hòa tan vôi trong thành phần của đá xi măng và cuốn theo dòng thấm ra ngoài dưới dạng Ca(OH)_2 ; bê tông tiếp xúc với dòng chảy có lưu tốc lớn gây mài mòn cơ học; môi trường làm việc của BT và BTCT có chứa các tác nhân gây xâm thực như các ion Cl^- , ion SO_4^{2-} ,... hoặc các loại vi sinh vật gây hại cho bê tông (Đồng Kim Hạnh và nnk, 2011). Ngoài ra xét trên góc độ bản thân kết cấu công trình xây dựng bằng BT và BTCT, có thể kể ra một số nguyên nhân khác làm đẩy nhanh quá trình xâm thực như: khả năng chống thấm của BT không đảm bảo; chất lượng thi công bê tông không tốt; trong thiết kế thành phần BT chưa quan tâm đến các giải pháp làm tăng khả năng chịu lực, chịu mài mòn, và chống xâm thực đối với các hạng mục kết cấu cho phù hợp; không có các biện pháp bảo vệ bề mặt bê tông khu vực dễ bị xâm thực...(Nguyễn Thanh Bằng, 2011).

Như vậy có thể thấy, các tác nhân xâm thực từ môi trường là khách quan và các giải pháp giúp nâng cao hiệu quả của công tác xây dựng và sử dụng công trình BT và BTCT trong môi trường ven biển sẽ tập trung chủ yếu vào việc hạn chế tối đa ảnh hưởng của tác nhân xâm thực (bảo vệ BT và BTCT bằng cách sơn phủ bề mặt, phủ epoxy cốt thép, sử dụng các phương pháp điện hóa,...) và nâng cao độ bền, tính năng kháng thấm và chống xâm thực của cấu kiện BT và BTCT trong công trình. Trong đó, các giải pháp giúp nâng cao tính năng của bê tông được đánh giá là có nhiều ưu điểm hơn do vừa bảo vệ được cốt thép vừa cải thiện được khả năng chịu lực của bê tông, giá thành lại rẻ hơn. Theo hướng tiếp cận này, một số nghiên cứu tại Việt nam (Phạm Văn Khoan và nnk, 2010; Phạm Duy Hữu và nnk, 2008; Nguyễn Mạnh Phát, 2007) đã đề xuất các biện pháp tăng độ bền và tuổi thọ của công trình ven biển dựa trên việc sử dụng bê tông chất lượng cao với hệ số khuếch tán thấp (Phạm Duy Hữu và nnk, 2008) dùng phụ gia siêu dẻo để giảm tỷ lệ Nước/Xi măng, tăng độ đặc chắc; sử dụng chất ức chế ăn mòn canxi nitrít (Phạm Văn Khoan và nnk, 2010) để tăng khả năng chống ăn mòn và tăng tuổi thọ của cấu kiện bê tông cốt thép (Nguyễn Mạnh Phát, 2007). Ngoài ra một số nghiên cứu khác cũng đề xuất sử dụng vật liệu bê tông có cốt sợi phân tán và sử dụng phụ gia khoáng như muội silic và tro bay (Nguyễn Thị Thu Hương, 2014) để gia tăng độ bền, giảm tính thấm và giảm thiểu sự khuếch tán của các loại ion xâm thực.

Trên thực tế, độ đặc chắc của bê tông có mối liên hệ mật thiết với độ chống thấm của bê tông, ngoài ra nó cũng góp phần ức chế được quá trình ăn mòn bởi các ion xâm thực khác trong bê tông. TCVN 9139:2012 đã đưa ra các yêu cầu kỹ thuật đối với nguyên vật liệu thành phần và đối với bê tông để tăng độ bền cho các công trình xây dựng ven biển. Trong đó có các yêu cầu cụ thể về mác bê tông tối thiểu, mác chống thấm của bê tông, chiều dày lớp bảo vệ và loại xi măng sử dụng. Tuy nhiên, ngay cả các loại bê tông từ xi măng bèn sulphate, bê tông cường độ cao khi thử nghiệm cũng bị ăn mòn và nứt vỡ (Nguyễn Mạnh Tuấn, 2018). Do đó cần các nghiên cứu cụ thể và chi tiết hơn nhằm chế tạo được bê tông tính năng cao: cường độ cao, chống thấm và có khả năng chống xâm thực để phục vụ xây dựng công trình hạ tầng vùng ven biển. Đặc biệt, việc nghiên cứu để gia tăng hàm lượng sử dụng các loại phụ gia khoáng như tro bay, xỉ thép trong chế tạo bê tông tính năng cao dùng trong môi trường xâm thực sẽ có ý nghĩa quan trọng giúp thúc đẩy việc xử lý, tiêu thụ phế thải công nghiệp theo đúng tinh thần Quyết định 452 của Thủ tướng Chính phủ.

Trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ trình bày kết quả nghiên cứu về tính chất cơ lý (tính công tác, cường độ chịu nén, khả năng bảo vệ cốt thép...) của các mẫu bê tông cường độ cao được chế tạo từ hỗn hợp phụ gia tro bay và silica fume với nhiều tỷ lệ khác nhau, qua đó giúp đánh giá khả năng chế tạo và sử dụng rộng rãi bê tông cường độ cao từ nguồn vật liệu sẵn có trong nước phục vụ xây dựng công trình hạ tầng khu vực ven biển và hải đảo.

2. Vật liệu và cấp phối

2.1. Vật liệu sử dụng

(1). Xi măng Poóc lăng PC40 Bút Sơn (X) thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn TCVN 2682 : 2009 (TCVN 2682 : 2009, 2009). Các tính chất cơ lý của xi măng Poóc lăng PC 40 Bút Sơn được giới thiệu trong Bảng 1, 2.

(2). Tro bay (FA) của nhà máy nhiệt điện Formosa thỏa mãn các yêu cầu của TCVN 10302:2014, (TCVN 10302:2014, 2014) với tỷ diện bề mặt riêng là $5820 \text{ cm}^2/\text{g}$ và khối lượng riêng là $2,35 \text{ g/cm}^3$. Thành phần hóa của tro bay Formosa được giới thiệu trong Bảng 1.

(3). Silica fume SF-90 (SF90) của Vina Pacific với kích thước hạt nano, có chứa 91,6% SiO₂ hoạt tính, tỷ diện bề mặt riêng là 14450 cm²/g và khối lượng riêng là 2,15 g/cm³. Thành phần hóa của silica fume được nêu trong Bảng 1.

(4). Cốt liệu lớn là đá dăm cacbonat (D) có D_{max} = 20m của mỏ đá Kiện Khê (Hà Nam) có độ nén đập bão hòa nước là 7,2%, ρ=2,67g/cm³. Cốt liệu nhỏ sử dụng trong bê tông là cát vàng sông Lô (C), loại hạt thô, chất lượng tốt và mô đun độ lớn M_k = 3,0, ρ=2,64g/cm³. Các loại cốt liệu sử dụng thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 (TCVN 7570:2006, 2006) và được sử dụng làm cốt liệu trong bê tông.

(5). Phụ gia siêu dẻo SR 5000F «SilkRoad» (SR 5000) có khối lượng riêng 1,12 g/m³.

(6). Nước sạch (N) được sử dụng để làm nước trộn hỗn hợp bê tông và bảo dưỡng mẫu thí nghiệm, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 4506:2012 (TCVN 4506:2012, 2012).

2.2. Thiết kế cấp phối

Tính toán cấp phối bê tông cường độ cao với cường độ nén trung bình trên 50 MPa theo tiêu chuẩn ACI 211.4R-08 (ACI 211.4R-08, 2008). Dựa trên các giá trị tỷ lệ vật liệu cơ sở kết hợp với việc điều chỉnh từ thực nghiệm, đã thu được 15 cấp phối thí nghiệm của hỗn hợp bê tông cường độ cao có thành phần như trong Bảng 3.

Bảng 1. Thành phần hóa học (%) và tính chất vật lý của tro bay Formosa, silica fume và xi măng Poóc lăng PC40 Bút Sơn sử dụng trong nghiên cứu.

Vật liệu	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	P ₂ O ₅	Lượng mất khi nung
Tro bay	54,2	23,3	9,8	2,5	1,4	1,1	0,6	1,2	1,4	4,5
Silica fume	91,6	2,2	2,5	-	-	0,5	-	0,7	0	2,5
Xi măng	36,3	4,4	5,4	3,4	1,2	0,3	2,5	60,2	-	2,2

Bảng 2. Tính chất cơ lý của xi măng Poóc lăng PC40 Bút Sơn.

Khối lượng riêng (g/cm ³)	Lượng sót trên sàng N0,09	Tỷ diện bề mặt (cm ² /g)	Thời gian đông kết (phút)		Cường độ nén (MPa)			Độ dẻo tiêu chuẩn (%)
			Bắt đầu đông kết	Kết thúc đông kết	3 ngày	7 ngày	28 ngày	
3,08	5,5	3640	120	360	27,4	35,3	45,8	29,5

Bảng 3. Các tỷ lệ vật liệu sử dụng và cấp phối của bê tông cường độ cao.

Ký hiệu mẫu	Các tỷ lệ vật liệu (%)		Cấp phối thực nghiệm cho 1 m ³ bê tông (kg/m ³)						
	FA	SF90	X	FA	SF90	D	C	SR5000	N
Mix-1	0	0	672	0	0	975	604	13,4	166
Mix-2	10	0	611	61	0	975	587	13,4	166
Mix-3	20	0	560	112	0	975	574	13,4	166
Mix-4	30	0	517	155	0	975	562	13,4	166
Mix-5	40	0	480	192	0	975	552	13,4	166
Mix-6	0	5	640	0	32	975	592	13,4	166
Mix-7	0	10	611	0	61	975	581	13,4	166
Mix-8	10	5	584	58	29	975	577	13,4	166
Mix-9	20	5	538	108	27	975	565	13,4	166
Mix-10	30	5	498	149	25	975	555	13,4	166
Mix-11	40	5	464	185	23	975	546	13,4	166
Mix-12	10	10	560	56	56	975	568	13,4	166
Mix-13	20	10	517	103	52	975	557	13,4	166
Mix-14	30	10	480	144	48	975	547	13,4	166
Mix-15	40	10	448	179	45	975	539	13,4	166

3. Phương pháp nghiên cứu

(1)- Thành phần bê tông cường độ cao được tính toán thiết kế theo tiêu chuẩn ACI 211.4R-2008 (ACI 211.4R-2008, 2008) và kết hợp điều chỉnh bằng thực nghiệm.

(2)- Tính công tác của hỗn hợp bê tông được xác định bằng độ xòe của côn tiêu chuẩn với kích thước 10x20x30 cm theo TCVN 3106:2007 (TCVN 3106:2007, 2007).

(3)- Cường độ nén của bê tông được xác định trên mẫu hình trụ có đường kính $D=150\text{mm}$ và chiều cao $H=300\text{ mm}$ theo tiêu chuẩn TCVN 3105:1993 (TCVN 3105:1993, 1993).

(4)- Khả năng bảo vệ cốt thép trong các mẫu bê tông cường độ cao được thực hiện theo tiêu chuẩn NT Build 356-2009 (NT Build 356-2009; 2009).

4. Kết quả nghiên cứu

Các kết quả được đo trực tiếp trong điều kiện phòng thí nghiệm và xử lý theo TCVN 6702:2013 (TCVN 6702:2013, 2013), sau đó tính giá trị trung bình kết quả của từng mẫu thí nghiệm. Các giá trị của khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông, độ chảy trong côn tiêu chuẩn và độ sụt của các mẫu bê tông nghiên cứu được thể hiện trong Bảng 4 và trên Hình 1.

Kết quả thực nghiệm trong Bảng 4 và Hình 2 cho thấy với các mẫu chỉ chứa tro bay, khi hàm lượng tro bay trong bê tông biến đổi từ 0% đến 40% đã gây ra ảnh hưởng đáng kể đến tính công tác của hỗn hợp bê tông. Ngược lại với các mẫu chỉ chứa silica fume, do tỷ lệ trộn không lớn (0% đến 10%) nên không ảnh hưởng nhiều đến tính công

tác của hỗn hợp bê tông. Ảnh hưởng của hiệu ứng tương hỗ giữa lượng cần nước của phụ gia và kích thước hạt siêu mịn của hàm lượng tro bay và silica fume được thể hiện rõ nét trong các cấp phối thí nghiệm từ Mix-8 đến Mix -15. Quan sát hỗn hợp bê tông sau khi nhào trộn đã thấy được độ đồng nhất rất tốt, không có hiện tượng phân tầng, không xuất hiện tách nước tại mép rìa ngoài của hỗn hợp sau khi trộn và trong quá trình làm thí nghiệm kiểm tra độ sụt.

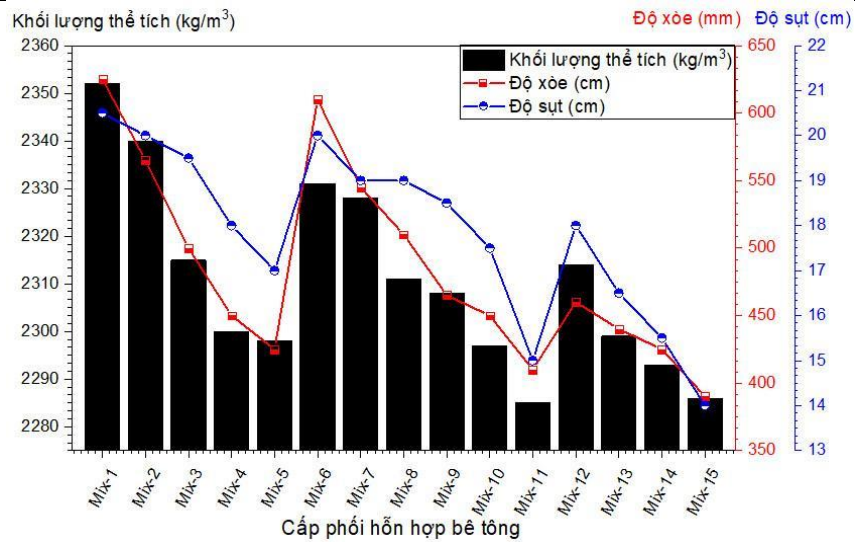
Kết quả thí nghiệm về khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông cũng cho thấy ảnh hưởng của hàm lượng tro bay và silica fume là khá lớn do khối lượng riêng của tro bay và silica fume lần lượt là $2,35\text{ g/cm}^3$ và $2,15\text{ g/cm}^3$, trong khi đó khối lượng riêng của xi măng Poóc lăng PC40 Bút Sơn là $3,08\text{ g/cm}^3$.

Kết quả thí nghiệm đo cường độ chịu nén và khả năng bảo vệ cốt thép của các mẫu bê tông nghiên cứu được giới thiệu trong Bảng 5 và Biểu đồ tốc độ phát triển cường độ chịu nén của các mẫu bê tông cường độ cao được minh họa trong Hình 2. Kết quả này đã cho thấy, tro bay có vai trò chủ yếu là chất độn mịn, còn silica fume SF-90 có chứa 91,6% SiO_2 hoạt tính, có khả năng phản ứng với sản phẩm thủy hóa của xi măng để tạo ra các gel C-S-H thứ cấp làm mịn hóa cấu trúc lỗ rỗng của bê tông. Việc kết hợp tổ hợp ba loại phụ gia trong nghiên cứu này đã dẫn đến hiệu ứng kép trong vi cấu trúc của bê tông. Do đó, bê tông trở nên ít thấm nước, đặc biệt tăng khả năng chống ăn mòn cốt thép của bê tông trong môi trường nước biển. Thời gian phá hủy mẫu thí nghiệm được thực hiện theo tiêu chuẩn NT build 356-2009 (NT build 356-2009, 2009) tăng từ 37 ngày lên đến 76 ngày đối với mẫu không có phụ gia và 85 ngày đối với mẫu có chứa 10% silica fume.

Bảng 4. Các tính chất của hỗn hợp bê tông cường độ cao.

Ký hiệu mẫu	FA	SF90	Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông (kg/m^3)	Độ chảy trong côn tiêu chuẩn (mm)	Độ sụt SN (cm)
Mix-1	0	0	2352	625	20,5
Mix-2	10	0	2340	565	20,0
Mix-3	20	0	2315	500	19,5
Mix-4	30	0	2300	450	18,0
Mix-5	40	0	2298	425	17,0
Mix-6	0	5	2331	610	20,0
Mix-7	0	10	2328	545	19,0

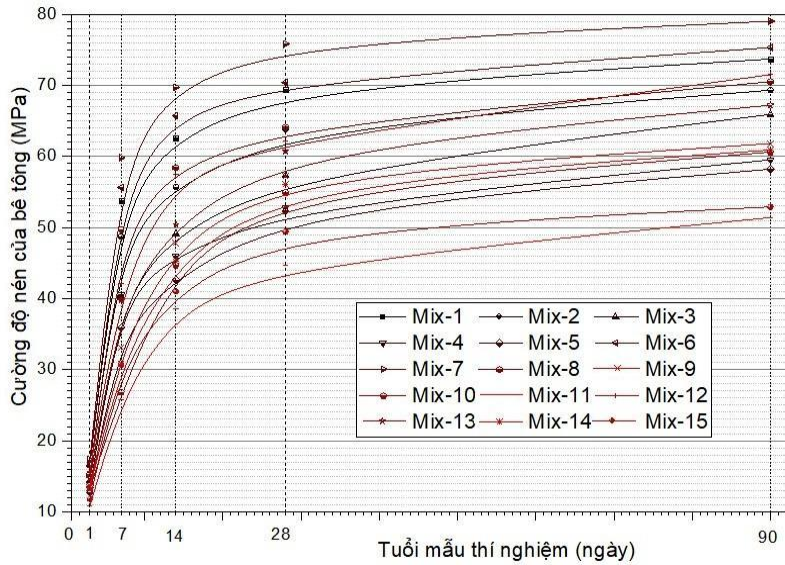
Ký hiệu mẫu	FA	SF90	Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông (kg/m ³)	Độ chảy trong côn tiêu chuẩn (mm)	Độ sụt SN (cm)
Mix-8	10	5	2311	510	19,0
Mix-9	20	5	2308	465	18,5
Mix-10	30	5	2297	450	17,5
Mix-11	40	5	2285	410	15,0
Mix-12	10	10	2314	460	18,0
Mix-13	20	10	2299	440	16,5
Mix-14	30	10	2293	425	15,5
Mix-15	40	10	2286	390	14,0



Hình 1. Biểu đồ giá trị của khối lượng thể tích, độ xòe và độ sụt của các hỗn hợp bê tông thí nghiệm.

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm cường độ nén và thời gian phá hủy các mẫu bê tông thí nghiệm theo phương pháp ăn mòn nhanh.

Ký hiệu mẫu	Các tỷ lệ vật liệu sử dụng (%)		Cường độ nén của mẫu bê tông hình trụ kích thước DxH = 15x30 cm (MPa) ở tuổi					Thời gian phá hủy mẫu (ngày)
	FA	SF90	1 ngày	7 ngày	14 ngày	28 ngày	90 ngày	
Mix-1	0	0	16,6	53,8	62,6	69,4	73,7	76
Mix-2	10	0	15,4	48,7	55,7	63,8	69,3	74
Mix-3	20	0	14,4	40,4	49,1	57,3	65,9	66
Mix-4	30	0	13,2	40,5	45,9	52,8	59,5	53
Mix-5	40	0	12,7	35,9	42,6	52,3	58,2	42
Mix-6	0	5	16,5	55,6	65,7	70,4	75,3	83
Mix-7	0	10	17,3	59,8	69,7	75,8	79	85
Mix-8	10	5	15,2	49,7	58,4	64,1	70,5	71
Mix-9	20	5	13,6	33,1	47,8	57,2	61,8	60
Mix-10	30	5	13,3	26,8	44,7	54,9	60,6	52
Mix-11	40	5	10,8	25,8	38,5	44,7	51,4	37
Mix-12	10	10	15,7	42,1	57,4	62,1	71,5	77
Mix-13	20	10	14,7	39,8	50,4	60,7	67,2	63
Mix-14	30	10	13,4	30,8	45,2	56	60,9	40
Mix-15	40	10	11,8	30,7	41	49,4	52,9	43



Hình 2. Biểu đồ tốc độ phát triển cường độ chịu nén của các mẫu bê tông cường độ cao.

Ngoài ra kết quả thu được cũng cho thấy mẫu bê tông cường độ cao, chứa đến 40% hàm lượng tro bay và 10% silica fume kết hợp với 2% phụ gia siêu dẻo SR5000 có sự phát triển cường độ ở tuổi sớm rất nhanh. Đây cũng là thuận lợi cho quá trình thi công chế tạo các công trình xây dựng cần sớm đưa vào khai thác và sử dụng như các công trình ven biển và trên các hải đảo. Tuy nhiên, khi hàm lượng tro bay tăng, cường độ và tốc độ phát triển cường độ của bê tông giảm đi. Nguyên nhân này là do sự sụt giảm mạnh (trên 50%) của hàm lượng xi măng đã ảnh hưởng đến các phản ứng thủy hóa của các khoáng trong xi măng, các mầm tinh thể của gel C-S-H sinh ra không đồng nhất trong không gian giữa pha cốt liệu trong cấu trúc của bê tông.

5. Kết luận

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu và phân tích như trên, có thể rút ra những kết luận sau:

- Từ những loại vật liệu thông thường sẵn có ở trong nước, có thể chế tạo được bê tông cường độ cao có tính công tác tốt với độ xòe là $390 \div 625$ mm và độ sụt là $14 \div 20,5$ cm, cường độ kháng nén ở tuổi 28 ngày từ 49– 75 MPa. Các cấp phối bê tông thiết kế đều thỏa mãn yêu cầu về tính công tác và cường độ của bê tông khi thi công các công trình ven biển theo TCVN 9139:2012 "Kết cấu bê tông, bê tông cốt thép vùng ven biển - Yêu cầu kỹ thuật".

- Hỗn hợp bê tông có tính công tác tốt, đáp ứng đầy đủ yêu cầu về hỗn hợp bê tông lên theo TCVN 12209:2018. Điều này cho phép sử dụng đa dạng các phương pháp thi công hỗn hợp bê tông cho các kết cấu công trình hạ tầng ven biển.

- Bê tông sau khi đổ có tốc độ phát triển cường độ khá nhanh (sau 7 ngày đã đạt được từ 55% đến 79% cường độ thiết kế), cường độ cao ở tuổi sớm giúp rút ngắn quá trình thi công

- Bê tông cường độ cao chứa đến 0-40% hàm lượng tro bay và 0-10% silica fume kết hợp với 2% phụ gia siêu dẻo SR5000 có cường độ lớn, đặc biệt là thời gian phá hoại mẫu theo tiêu chuẩn NT build 356-2009 trong khoảng từ 37 – 85 ngày trong môi trường nước biển nhân tạo,... phù hợp ứng dụng thi công cho các công trình chịu ăn mòn của nước biển.

Đóng góp của các tác giả

- Lên ý tưởng và phương pháp: Tăng Văn Lâm, Nguyễn Trọng Dũng, Đặng Văn Phi; Thu thập tài liệu liên quan: Vũ Kim Điển, Nguyễn Văn Dương; Chuẩn bị vật liệu và thực hiện các thí nghiệm: Tăng Văn Lâm, Vũ Kim Điển; Xây dựng mô hình: Đặng Văn Phi, Vũ Kim Điển, Nguyễn Văn Dương; Xử lý số liệu thí nghiệm và viết bản thảo gốc: Tăng Văn Lâm, Nguyễn Trọng Dũng, Đặng Văn Phi, Vũ Kim Điển; Chính sửa bản thảo: Vũ Kim Điển, Nguyễn Văn Dương.

Tài liệu tham khảo

- Đồng Kim Hạnh, Dương Thị Thanh Hiền, (2011). Tình trạng ăn mòn bê tông cốt thép và giải pháp chống ăn mòn cho công trình bê tông cốt thép trong môi trường biển Việt Nam. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, Viện KHTLVN, tr 44-49.
- Nguyễn Thanh Bằng, (2011). Nguyên nhân gây xâm thực bê tông và bê tông cốt thép công trình thủy lợi – Giải pháp khắc phục phòng ngừa. *Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi*, Viện KHTLVN, số 3, tr 56-60.
- Phạm Văn Khoan, Nguyễn Nam Thắng, (2010). Tình trạng ăn mòn bê tông cốt thép ở vùng biển Việt Nam và một số kinh nghiệm sử dụng chất ức chế ăn mòn canxi nitrit. *Tạp chí Khoa học và công nghệ Xây dựng*, Số 2, 2010.
- Phạm Duy Hữu, Nguyễn Ngọc Long, Đào Văn Đông, Phạm Duy Anh, (2008). Bê tông cường độ cao và chất lượng cao. *Nhà xuất bản Giao thông vận tải*.
- Nguyễn Thị Thu Hương, (2014). Nghiên cứu đề xuất phương pháp thí nghiệm tính thấm nước phù hợp cho bê tông có độ bền cao. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, Viện KHTLVN, số 47.
- Nguyễn Mạnh Phát, (2007). Lý thuyết ăn mòn và chống ăn mòn bê tông – bê tông cốt thép trong xây dựng. *Nhà xuất bản Xây dựng*.
- Nguyễn Mạnh Tuấn, (2018). Sản xuất bê tông bền trong môi trường biển từ nguồn nguyên liệu tại chỗ. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt nam*, số 3, tr 26-28.
- TCVN 2682 : 2009, (2009). Xi măng poóc lăng - yêu cầu kỹ thuật. 6 Tr.
- TCVN 10302:2014, (2014). Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng”.
- TCVN 7570:2006, (2006). Cốt liệu cho bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật. 6 Tr.
- TCVN 4506:2012, (2012). Nước cho bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật. 7tr.
- TCVN 10306:2014, (2014). Bê tông cường độ cao thiết kế thành phần mẫu hình trụ.
- ACI 211.4R-2008, (2008). Guide for selecting proportions for high-strength concrete using portland cement and other cementitious materials. 29 p.
- ASTM C1611 – 18, (2018). Standard test method for slump flow of self-consolidating concrete.
- TCVN 3106:2007, (2007). Hỗn hợp bê tông nặng - phương pháp thử độ sụt. 3 Tr.
- TCVN 3105:1993, (1993). Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu bê tông. 6 Tr.
- NT Build 356-2009, (2009). Concrete, repairing materials and protective coating: embedded steel method. Chloride permeability nordtest method.
- TCVN 6702:2013, (2013). Xử lý kết quả thử nghiệm để xác định sự phù hợp với yêu cầu kỹ thuật.