



EXPERIMENT STUDY ON STRENGTHS OF GEOPOLYMER CONCRETE USING SEA SAND

Dang Thuy Chi

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 05/03/2022

Revised: 21/03/2022

Accepted: 28/03/2022

Published online: 15/04/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.3.6>

* *Corresponding author*

Email: thuychi.dang@utc.edu.vn

Abstract. Researches on geopolymer concrete using sea sand in the world have only been developed for the recent 10 years. In Vietnam, the research on geopolymer concrete using sea sand and sea water is still quite limited, and the application aspects of this material in coastal infrastructure construction is not fully assessed. This study uses sea sand and sea water taken from Con Vanh beach, Thai Binh province in order to initially evaluate the ability in manufacturing of the structural geopolymer concrete based on untreated saline materials. Twelve geopolymer mixtures using sea sand, seawater or river sand and fresh water have been fabricated. Flexural and compressive strengths of 40x40x160 cm samples at 3, 7 and 28 days were tested according to TCVN 3121-2003. Research results show that the curing time of geopolymer concrete can be shortened in comparison with conventional cement concrete, reducing the construction progress. The geopolymer mixture using sea sand can achieve the grade of strength, which is similar to that using river sand and fresh water. It can be seen that the replacement river sand by sea sand in manufacturing of structural concrete contributes into the exploitation reduction of the gradually depleted river sand.

Keywords: geopolymer concrete, sea sand, strength, mechanical properties



MỘT SỐ NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM VỀ CƯỜNG ĐỘ BÊ TÔNG GEOPOLYMER SỬ DỤNG CÁT BIỂN

Đặng Thủy Chi

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 05/03/2022

Ngày nhận bài sửa: 21/03/2022

Ngày chấp nhận đăng: 28/03/2022

Ngày xuất bản Online: 15/04/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.3.6>

* Tác giả liên hệ

Email: thuychi.dang@utc.edu.vn

Tóm tắt. Các nghiên cứu về bê tông geopolymer sử dụng cát biển trên thế giới mới được phát triển khoảng 10 năm trở lại đây. Ở nước ta, các nghiên cứu về bê tông geopolymer sử dụng cát mặn và nước biển hiện còn khá sơ khai, chưa đánh giá hết tiềm năng của việc ứng dụng loại vật liệu này trong xây dựng hạ tầng ven biển. Nghiên cứu này sử dụng cát và nước mặn lấy từ vùng biển Cồn Vành, Thái Bình nhằm bước đầu đánh giá khả năng chế tạo bê tông geopolymer chịu lực từ các nguồn vật liệu nhiễm mặn không qua xử lý. Mười hai cấp phối geopolymer sử dụng cát biển, nước biển hoặc cát sông và nước ngọt đã được chế tạo. Cường độ chịu kéo khi uốn và cường độ chịu nén của các mẫu kích thước 40x40x160 cm tuổi 3, 7 và 28 ngày đã được xác định theo TCVN 3121-2003. Kết quả nghiên cứu cho thấy thời gian bảo dưỡng của bê tông geopolymer có thể rút ngắn hơn so với bê tông xi măng thông thường, tạo điều kiện để rút ngắn tiến độ xây dựng công trình. Cấp phối geopolymer sử dụng cát biển đạt cường độ tốt, tương tự như các mẫu sử dụng cát sông và nước ngọt. Như vậy có thể thay thế một phần cát vàng trong việc chế tạo bê tông chịu lực bằng cát biển, góp phần sử dụng hiệu quả nguồn cát phong phú và giảm khai thác lượng cát vàng đang ngày càng cạn kiệt.

Từ khóa: bê tông geopolymer, cát biển, cường độ, tính chất cơ học

© 2022 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, mỗi năm trên thế giới sản xuất khoảng 6km³ bê tông xi măng hay 1m³ bê tông/người, do vậy yêu cầu có nguồn cung xi măng lớn. Sự tiêu thụ năng lượng lớn trong sản xuất xi măng cũng là nguyên nhân gây ra hiệu ứng nhà kính. Điều này đặt ra yêu cầu về một loại vật liệu có thể thay thế bê tông xi măng truyền thống trong các công trình xây dựng nhằm

đáp ứng nhu cầu phát triển hạ tầng đang tăng nhanh chóng, đồng thời không gây ảnh hưởng xấu đến môi trường. Trước thực trạng đó, năm 1978, GS. Joseph Davidovits đã phát minh ra bê tông “Geopolymer” (GPC) có thể đáp ứng cả hai tiêu chí trên. Trong bê tông GPC, chất kết dính geopolymer thu được bằng cách kết hợp những vật liệu giàu aluminosilicat (thường là một số chất thải công nghiệp như tro bay, xỉ lò cao nghiền mịn, tro trấu...) với dung dịch kiềm hoạt tính. Do không sử dụng xi măng, đồng thời tận dụng sử dụng thải phẩm tro bay trong sản xuất, GPC giúp giảm đáng kể (khoảng 5-6 lần) lượng khí phát thải CO₂ so với xi măng. Mặt khác, các nghiên cứu cho thấy GPC (cốt liệu tự nhiên) có ứng xử cơ học tương tự như bê tông xi măng Portland thông thường, thậm chí còn có một số tính năng ưu việt hơn như bền nhiệt, bền sun phat, co ngót và từ biến thấp....

Nghiên cứu và ứng dụng geopolymer đã có sự gia tăng mạnh mẽ trong khoảng 15 năm trở lại đây. Trên thế giới đã có nhiều ứng dụng bê tông geopolymer trong kết cấu công trình giao thông như mặt đường ô tô và sân bay, kết cấu cầu, kết cấu vỏ hầm, tà vẹt, ống cống... Đặc biệt ở các nước Pháp, Úc, Trung Quốc, Nhật Bản trong những năm qua phát triển nhiều dạng cấu kiện sử dụng bê tông GPC và đã ban hành các tiêu chuẩn, chỉ dẫn về việc sử dụng vật liệu này. Một số công trình tiêu biểu dùng GPC có thể kể đến là sân bay Brisbane West Wellcamp Airport, Úc (đi vào hoạt động từ 11/2014) đã sử dụng 40.000 m³ bê tông geopolymer, đã tiết kiệm hơn 6600 tấn khí thải cacbon trong việc xây dựng sân bay so với bê tông xi măng.

Như đã biết, các loại bê tông thường được chế tạo bằng cách trộn xi măng Portland với nước và cốt liệu có yêu cầu về hàm lượng ion clo thấp nên không thể sử dụng cát biển. Trên thế giới cũng như ở Việt Nam, đã có một số nghiên cứu khử mặn bằng cách rửa cát biển. Tuy nhiên, việc xây dựng các nhà máy khử mặn là rất khó khăn, cộng với quá trình khử mặn cho cát biển cũng tiêu tốn khá nhiều tài nguyên, không có ý nghĩa cả về mặt khoa học cũng như tính thực tế. Trong khi đó, vật liệu geopolymer hoàn toàn có triển vọng trong việc tận dụng các nguồn nguyên liệu nhiễm mặn để chế tạo bê tông.

Các nghiên cứu về bê tông geopolymer sử dụng cát biển trên thế giới mới được phát triển khoảng 10 năm trở lại đây. B.H. Shine, 2016 [1] đã cho thấy cường độ chịu nén ngày 28 của bê tông geopolymer sử dụng cát biển chưa qua xử lý vẫn đạt trên 20 MPa. K. T. Nguyen, 2018 [2] phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét và XR quan sát thấy cấu trúc của hai loại bê tông dùng cát biển và cát sông là hoàn toàn tương tự. Nghiên cứu mới đây của S. Luhar, 2020 [3] cho thấy bê tông geopolymer hoàn toàn có thể chế tạo được từ vật liệu đầu vào nhiễm mặn. Năm 2015, Viện Phát triển hạ tầng Nhật Bản IDI đã giành giải thưởng cho sản phẩm “Bê tông GPC độ bền cao dùng nước biển”. Các kết quả nghiên cứu của IDI [4] cho thấy cường độ ở tuổi muộn, khả năng chống thấm và độ bền của bê tông geopolymer chế tạo từ nước biển đều được cải thiện tốt hơn so với bê tông xi măng truyền thống. JFE Steel (Nhật Bản) cũng đã phát triển các khối xây kè bằng bê tông geopolymer dùng xỉ thép và xỉ lò cao nghiền mịn. Các khối hoàn thiện được đặt trên bề mặt dốc của tường chắn sóng Kurashiki có tổng chiều dài là 1500m.



Hình 1. Mặt đường sân bay Wellcamp, Úc (a) và tường chắn sóng ở Kurashiki, Nhật Bản (b) xây dựng bằng bê tông geopolimer.

Việt Nam có bờ biển dài hơn 3.200 km, với gần 3.000 hòn đảo lớn nhỏ. Công tác phát triển cơ sở hạ tầng phục vụ kinh tế biển cũng như các mục tiêu quốc phòng là rất cấp thiết. Tuy nhiên, việc xây dựng các công trình ven biển gặp nhiều khó khăn do thiếu hụt nguồn nguyên liệu thích hợp để chế tạo vật liệu bê tông. Những năm gần đây một số nhà khoa học trong nước đã tiến hành các thử nghiệm đầu tiên về việc chế tạo vữa và bê tông geopolimer trên cơ sở sử dụng các nguyên liệu địa phương vùng biển. Nghiên cứu của Trịnh Hoàng Sơn, 2016 [5] đã bước đầu khẳng định có thể chế tạo vữa geopolimer tro bay từ cát nhiễm mặn và nước biển được lấy từ vùng biển Quảng Ninh có cường độ chịu nén ngày 28 đạt trên 30 MPa. Tương tự, Nguyễn Mạnh Tuấn, 2018 [6] cũng chứng tỏ tính khả thi trong việc sử dụng nguồn nguyên liệu vùng biển Hải Phòng để chế tạo bê tông geopolimer bền vững trong môi trường nước biển đáp ứng hiệu quả nhu cầu xây dựng công trình ở vùng biển đảo. Tuy vậy, các nghiên cứu về bê tông geopolimer sử dụng cát mặn và nước biển còn khá sơ khai, chưa đánh giá hết tiềm năng của việc ứng dụng loại vật liệu này trong xây dựng hạ tầng ven biển.

Trên thực tế, bê tông geopolimer nói chung và bê tông geopolimer sử dụng cát biển nói riêng được coi là vật liệu mới. Các lý thuyết về thiết kế thành phần, chế tạo vật liệu này chưa nhiều và chưa thể áp dụng rộng rãi do thành phần vật liệu ở các nước khác nhau. Qua quá trình phân tích cho thấy, việc triển khai nghiên cứu hướng tới việc sử dụng các vật liệu tại chỗ là cát nhiễm mặn kết hợp với chất kết dính geopolimer để xây dựng các công trình hạ tầng ven biển có ý nghĩa khoa học, thực tiễn, có tính thời sự và đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững trong xây dựng.

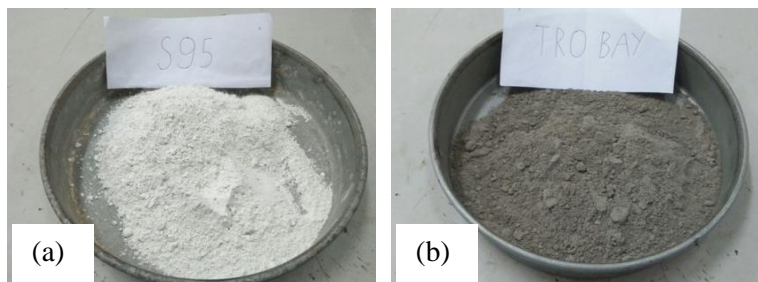
2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu sử dụng

Chất kết dính geopolimer được chế tạo từ 2 thành phần: dung dịch kiềm hoạt hóa và các vật liệu khoáng giàu silic và nhôm. Dung dịch kiềm hoạt hóa đóng vai trò chất hoạt hóa để thúc đẩy quá trình polyme hóa các khoáng vật và là hỗn hợp của dung dịch Na_2SiO_3 có tỷ lệ $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ tương ứng là 10,06/29,1/60,84 % theo khối lượng, kết hợp với dung dịch NaOH 10M, 12M và 14M được pha loãng từ sản phẩm dạng vảy khô (độ tinh khiết 98,5%) với nước ngọt. NaOH dạng vảy và thủy tinh lỏng có nguồn gốc thương mại đã được sử dụng trong nghiên cứu.

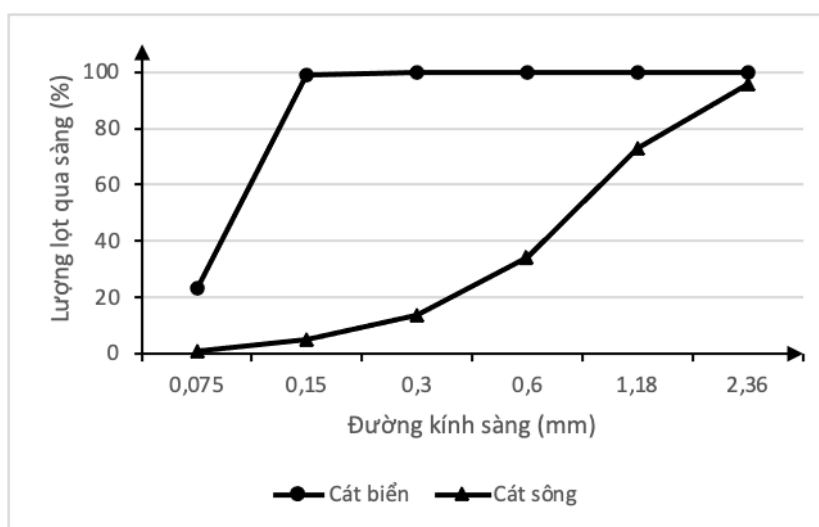
Vật liệu khoáng giàu silic và nhôm dùng trong nghiên cứu là hỗn hợp tro bay khô và xỉ lò cao nghiền mịn. Tro bay sử dụng được lấy tại nhà máy nhiệt điện Thái Bình 1 có thành phần hóa học đạt yêu cầu của tro bay loại F theo tiêu chuẩn TCVN 10302-2014, khối lượng riêng 2500 kg/m^3 , độ mịn 94% lọt qua sàng 0,08 mm. Xỉ lò cao nghiền mịn mác S95 của nhà máy Hoà Phát – Hải Dương đã được sử dụng làm vật liệu kết dính trong nghiên cứu. Xỉ lò cao

nghiền mịn S95 có khối lượng riêng $2,45\text{g/cm}^3$ và bề mặt riêng $4425\text{ cm}^2/\text{g}$, phù hợp các yêu cầu của TCVN 11586-2016.



Hình 2. Xi lò cao nghiền mịn S95 Hoà Phát (a) và tro bay nhiệt điện Thái Bình (b).

Cát và nước biển được lấy ở vùng gian triều, bờ biển Cồn Vành, tỉnh Thái Bình. Cát vàng có nguồn gốc từ sông Hồng cũng được sử dụng trong nghiên cứu. Phân tích sàng của hai loại cát được thực hiện theo ASTM C136-04 [7]. Thành phần hạt của cát biển được so sánh trong Hình 3 với cát vàng sông Hồng. Lượng lọt qua sàng có đường kính 0,6 mm và 0,3 mm của cát biển là 99,1% và 23,1%, trong khi tỷ lệ tương ứng đối với cát sông là 14,1% và 4,9%. Mô đun độ mịn của cát biển là 0,8 và của cát sông là 3,7 cho thấy cát biển mịn hơn cát sông rất nhiều.



Hình 3. Thành phần hạt của hai loại cát (cát biển và cát sông) sử dụng.

Bảng 1. Thành phần hoá học của cát biển Thái Bình.

Chỉ tiêu phân tích	Đơn vị	Kết quả
Cl ⁻	%	0,175
SO ₄ ²⁻	%	0,266
SiO ₂	%	89,38
Al ₂ O ₃	%	7,45
Fe ₂ O ₃	%	2,00

Thành phần hoá học của cát biển Thái Bình, thí nghiệm tại Viện Hoá học, Viện Hàn lâm Khoa học và công nghệ Việt Nam, được liệt kê trong bảng 1, trong đó phần trăm khối lượng của ion Cl^- là 0,175%. Thành phần hóa học của nước biển được sử dụng trong nghiên cứu này được trình bày trong Bảng 2, trong đó nồng độ của ion Cl^- là khoảng 10 g/l.

Bảng 2. Thành phần hoá học của nước biển Thái Bình.

Chỉ tiêu phân tích	Đơn vị	Kết quả
Cl^-	g/l	10,916
SO_4^{2-}	g/l	1,091

2.2. Thành phần bê tông và phương pháp chế tạo mẫu thử

Thành phần bê tông

Mười hai cấp phối, bao gồm bốn loại hỗn hợp (ba loại sử dụng hỗn hợp cát biển - cát sông và nước biển; một loại dùng cát sông và nước ngọt) được nghiên cứu trong bài báo này. Hỗn hợp dung dịch NaOH có nồng độ mol/lit là 10, 12 và 14 và thủy tinh lỏng đã được dùng làm chất hoạt hoá. Tỷ lệ thủy tinh lỏng trên dung dịch NaOH được cố định là 2,5 và tỷ lệ dung dịch hoạt hoá trên chất kết dính (tro bay và xỉ lò cao) sử dụng là 0,45. Nhằm tìm ra một cấp phối có độ đặc hợp lý, nghiên cứu phối trộn cát biển với cát vàng (cát sông) theo ba tỷ lệ cát biển/hỗn hợp cốt liệu (cát biển + cát vàng) là 0,35; 0,55 và 0,75. Một hỗn hợp chỉ dùng cát sông cũng được chế tạo để đánh giá sự biến động cường độ so với các hỗn hợp dùng phối hợp cát biển và cát sông. Để đảm bảo tính công tác, một lượng nước biển và nước ngọt lần lượt được trộn vào tất cả các hỗn hợp dùng cát biển và cát sông với hàm lượng 115kg/m^3 bê tông được quy đổi cho từng mẻ trộn.

Phương pháp chế tạo mẫu thử

Xút khô dạng vảy (NaOH 98,5%) được hoà với nước ngọt theo tỷ lệ phù hợp để chế tạo các dung dịch có nồng độ mol/lit là 10, 12 và 14M. Dung dịch NaOH tạo thành được để nguội trong vòng 1h, sau đó được hoà với dung dịch thủy tinh lỏng (Na_2SiO_3) theo tỷ lệ thủy tinh lỏng/dung dịch NaOH là 2,5. Sử dụng đũa thủy tinh để khuấy trộn các dung dịch. Việc chế tạo dung dịch kiềm hoạt hoá được thực hiện 24h trước khi nhào trộn bê tông.



Hình 4. Quá trình chế tạo mẫu bê tông geopolymer.

Quá trình nhào trộn bê tông geopolymer được thực hiện bằng máy trộn vữa kiểu hành tinh. Ban đầu hỗn hợp cát hoặc cát sông với tro bay và xỉ lò cao nghiền mịn được trộn cùng nước biển hoặc nước ngọt trong vòng 2 phút. Sau đó, dung dịch kiềm hoạt hoá được rót vào và trộn tiếp trong vòng 5 phút để đạt được hỗn hợp đồng nhất. Thời gian nhào trộn hỗn hợp

geopolymer dài hơn so với việc chế tạo vữa xi măng do hỗn hợp geopolymer có độ nhớt cao hơn so với vữa xi măng truyền thống. Hỗn hợp được đổ vào khuôn thành hai lớp bằng nhau, đầm chặt bằng bàn rung cho mỗi lớp trong khoảng 30 s để đạt được độ nén chặt ở mỗi lớp. Thí nghiệm cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của các mẫu bê tông geopolymer được đánh giá trên mẫu đầm kích thước 40×40×160 mm. Sau 24h, mẫu được tháo khuôn và lưu ở điều kiện phòng thí nghiệm cho đến khi thử nghiệm.

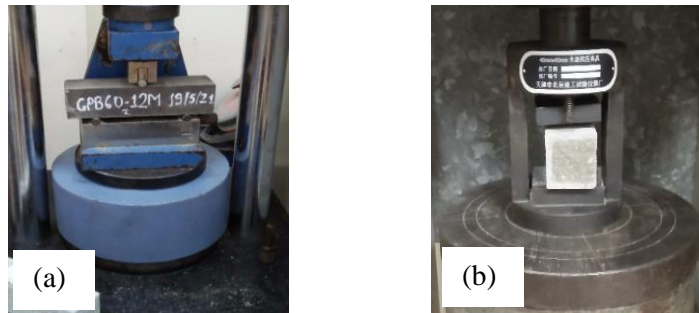


Hình 5. Mẫu sau khi tháo khuôn.

3. KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả thí nghiệm cường độ chịu uốn và chịu nén của bê tông geopolymer

Thí nghiệm cường độ chịu kéo khi uốn và cường độ chịu nén các mẫu thử được tiến hành theo TCVN 3121-2003 (hình 6).



Hình 6. Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo khi uốn (a) và cường độ chịu nén (b) của các mẫu bê tông geopolymer.

Tổng số 108 mẫu thí nghiệm cường độ chịu kéo khi uốn và 216 mẫu thí nghiệm cường độ chịu nén của mười hai cấp phối bê tông nghiên cứu ở các tuổi 3, 7 và 28 ngày đã được thử nghiệm. Kết quả thí nghiệm là trung bình số học của 3 mẫu uốn hoặc 6 mẫu nén sau khi loại bỏ sai số thô. Các giá trị cường độ chịu kéo khi uốn và nén trung bình R_u^{th} , R_n^{th} của bê tông geopolymer được tổng hợp trong Bảng 3.

3.2. Sự phát triển cường độ của bê tông geopolymer theo thời gian

Sự phát triển cường độ của bê tông geopolymer theo thời gian được thể hiện trên hình 7. Có thể thấy các cấp phối geopolymer sử dụng cát biển, cường độ 3 ngày tuổi đều đạt được hơn 70-80 % so với cường độ chịu nén ngày 28 và cường độ 7 ngày tuổi đạt được 90-95 % so với cường độ tuổi 28 ngày. Kết quả tương tự cũng quan sát thấy trên các mẫu geopolymer dùng cát vàng.

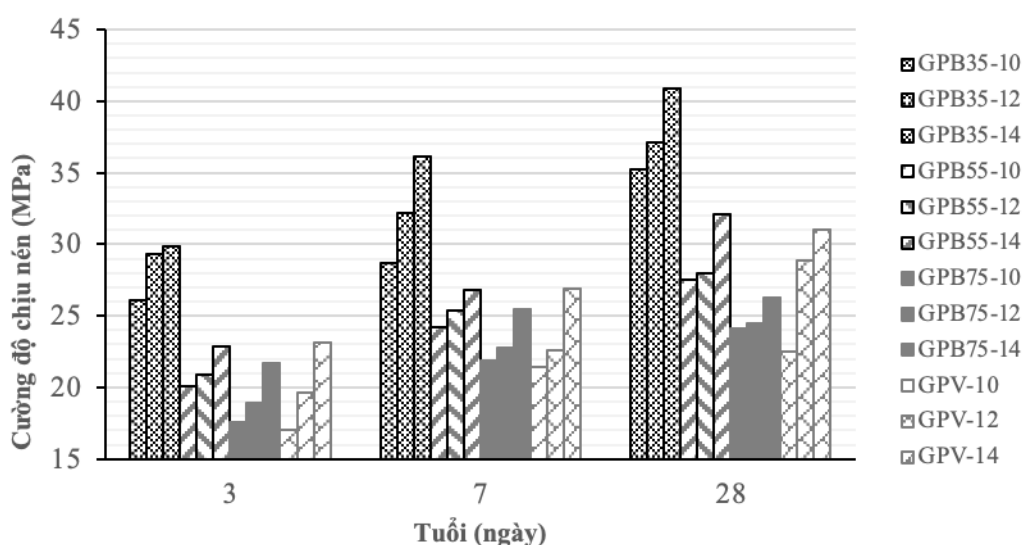
Bảng 3. Kết quả thí nghiệm cường độ chịu kéo khi uốn và cường độ chịu nén bê tông geopolymer.

Nồng độ dung dịch NaOH (M)	Tuổi mẫu (ngày)	R_u^{tb}	R_n^{tb}	R_u^{tb}	R_n^{tb}	R_u^{tb}	R_n^{tb}	R_u^{tb}	R_n^{tb}
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
		GPB35*		GPB55*		GPB75*		GPV**	
10	3	4,5	26,1	3,8	20,1	3,4	17,6	3,2	17,0
	7	5,4	28,7	4,4	24,2	4,2	21,9	4,1	21,4
	28	7,1	35,2	5,3	27,5	4,8	24,1	4,5	22,5
12	3	5,1	29,3	4,5	20,9	3,5	18,9	3,9	19,6
	7	6,2	32,2	4,6	25,4	4,2	22,8	4,5	22,6
	28	7,4	37,1	5,4	28,0	4,9	24,5	5,5	27,0
14	3	6,0	29,9	4,0	22,9	4,0	21,7	4,6	23,1
	7	7,2	36,1	4,1	26,8	4,9	25,5	5,2	26,9
	28	8,1	40,9	5,9	32,1	5,3	26,3	6,2	31,0

*) GPB35, 55, 75 lần lượt là các mẫu bê tông geopolymer sử dụng 35, 55, 75% cát biển

**) GPV là mẫu geopolymer sử dụng 100% cát vàng

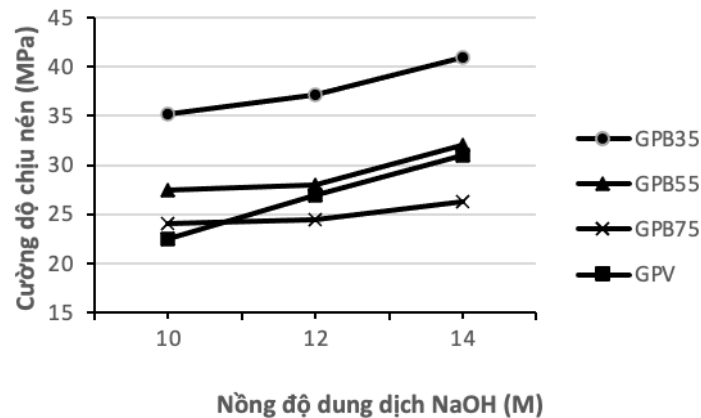
Như vậy, cường độ chịu nén của bê tông geopolymer phát triển rất nhanh trong vòng 3 đến 7 ngày đầu. Cường độ 3 ngày có thể đạt 70% và cường độ 7 ngày có thể đạt khoảng 90% so với cường độ ngày 28. Kết quả này cũng phù hợp với các nhận xét của nghiên cứu trước đây về cường độ tuổi sớm của bê tông geopolymer trên thế giới. Vì quá trình polyme hoá về cơ bản là nhanh nên cường độ của bê tông geopolymer hầu như không thay đổi theo độ tuổi của bê tông [8-10].



Hình 7. Sự phát triển cường độ chịu nén của bê tông geopolymer theo thời gian.

3.3. Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch NaOH đến cường độ của bê tông geopolimer

Hình 8 trình bày sự thay đổi cường độ nén của các mẫu bê tông geopolimer được bảo dưỡng 28 ngày theo nồng độ dung dịch NaOH. Người ta thấy rằng nồng độ của dung dịch kiềm đóng một vai trò quan trọng trong việc gia tăng cường độ bê tông geopolimer. Khi nồng độ tăng từ 10 lên 14 M, cường độ bê tông tăng lên đáng kể. Sự cải thiện cường độ chủ yếu bị chi phối bởi số lượng alumino-silicat bị hoà tan từ các nguyên liệu gốc. Trong cấu trúc phân cực, ion OH⁻ từ dung dịch kiềm đóng vai trò là chất xúc tác trong quá trình phản ứng và kích thích sự hòa tan các ion Si⁴⁺ và Al³⁺ khỏi nguyên liệu gốc. Hơn nữa, theo Marjanovic, 2015 [9] cation Na⁺ cân bằng sự thiếu hụt điện tích của tinh thể. Quá trình hoà tan này diễn ra chậm khi nồng độ kiềm thấp, dẫn đến tạo thành cấu trúc polymer yếu hơn. Ở nồng độ kiềm cao, sự hoà tan sẽ xảy ra mạnh mẽ hơn.



Hình 8. Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch NaOH đến cường độ chịu nén của bê tông geopolimer.

3.4. Ảnh hưởng của hàm lượng cát biển đến cường độ của bê tông geopolimer

Cũng quan sát trên hình 7, ta thấy với tất cả các nồng độ dung dịch NaOH và ở tất cả các ngày tuổi, cấp phối chứa 35% cát biển có cường độ chịu nén lớn nhất, hỗn hợp chứa 75% cát biển cho cường độ chịu nén thấp nhất. Cấp phối chế tạo từ cát vàng có cường độ chịu nén thấp hơn cấp phối chứa 35, 55% cát biển và chỉ cao hơn cấp phối chứa 75% cát biển. Có thể giải thích sự biến động về cường độ này là do cát biển cực mịn đã chèn vào lỗ rỗng của cát sông có mô đun độ lớn cao giúp cho các cấp phối GPB35 và GPB55 có độ đặc hợp lý. Tuy nhiên khi hàm lượng hạt mịn tăng lên quá lớn (75%) lại tạo ra hiệu ứng ngược làm lỏng hỗn hợp do sự chèn lấp quá lớn các hạt mịn vào khoảng trống giữa các hạt thô, làm giảm cường độ của bê tông. Tóm lại, việc phối trộn hai loại cát biển và cát sông theo tỷ lệ thích hợp đã tạo thành một cấp phối hợp lý về độ đặc, cơ sở cho việc tạo ra một cường độ lớn hơn của bê tông.

3.5. Quan hệ giữa cường độ chịu uốn và cường độ chịu nén của bê tông geopolimer

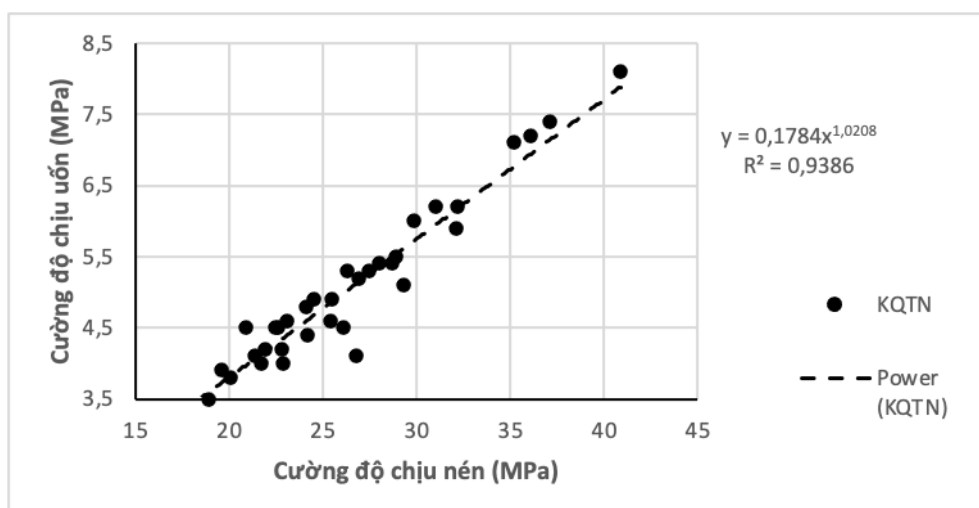
Hình 9 mô tả quan hệ giữa cường độ chịu kéo khi uốn và cường độ chịu nén của các cấp phối geopolimer trong nghiên cứu. Quan hệ giữa cường độ chịu kéo uốn và cường độ chịu nén của bê tông geopolimer thường được biểu diễn bằng phương trình dạng:

$$f_r = k f_c^n \quad (1)$$

trong đó f_r , f_c lần lượt là cường độ chịu kéo và cường độ chịu nén của bê tông

k và n là các hệ số thực nghiệm

Tương tự dựa vào hình 8, ta thấy có thể biểu diễn quan hệ giữa cường độ chịu kéo uốn và chịu nén của bê tông geopolimer trong nghiên cứu bằng phương trình $y = 0,1784 \cdot x^{1,021}$ với hệ số hồi qui thực nghiệm $R^2 = 0,94$.



Hình 9. Quan hệ giữa cường độ chịu uốn và cường độ chịu nén của bê tông geopolimer.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Khi sử dụng cát biển và nước biển để chế tạo bê tông geopolimer, các bước chế tạo hoàn toàn tương tự như bê tông xi măng. Tuy nhiên, thời gian nhào trộn hỗn hợp geopolimer dài hơn so với vữa xi măng thông thường do hỗn hợp geopolimer có độ nhớt cao hơn.

Cường độ chịu nén của bê tông geopolimer phát triển rất nhanh trong vòng 3 đến 7 ngày đầu. Cường độ 3 ngày có thể đạt khoảng 70 % và cường độ 7 ngày có thể đạt tới 90% so với cường độ ngày 28. Do đó có thể thấy thời gian bảo dưỡng của bê tông geopolimer có thể rút ngắn hơn so với bê tông xi măng thông thường, tạo điều kiện để rút ngắn tiến độ xây dựng công trình. Sự phát triển cường độ kéo uốn và cường độ nén của các mẫu sử dụng cát biển và nước biển hoàn toàn tương tự như các mẫu vữa geopolimer sử dụng cát sông và nước ngọt.

Qua đánh giá về cường độ chịu nén, cấp phối geopolimer sử dụng cát biển đạt cường độ từ 17 đến 40 MPa, đáp ứng yêu cầu chịu lực các kết cấu thông thường. Như vậy có thể thay thế một phần cát vàng bằng cát biển trong việc chế tạo bê tông, góp phần sử dụng hiệu quả nguồn cát tương đối phong phú, giảm khai thác lượng cát vàng đang ngày càng cạn kiệt.

Các nghiên cứu tiếp theo đối với việc ứng dụng chất kết dính geopolimer cho bê tông geopolimer sử dụng cát biển và nước biển là cần thiết đặc biệt là vấn đề về độ bền. Đồng thời việc nghiên cứu thử nghiệm chất kết dính này trong ứng dụng xây dựng tại các công trình hạ tầng ven biển nên được sớm quan tâm ở Việt Nam.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2021-XD005. Tác giả xin chân thành cảm ơn các thí nghiệm viên trung tâm KHCN đã hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu thực nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. B.H. Shinde, K. N. Kadam, Strength properties of fly ash based geopolymer concrete with sea sand, American Journal of Engineering Research, 5 (2016) 129-132. [https://www.ajer.org/papers/v5\(07\)/O050701290132.pdf](https://www.ajer.org/papers/v5(07)/O050701290132.pdf)
- [2]. K. T. Nguyen, T. A. Le, K. Lee, Evaluation of the mechanical properties of sea sand-based geopolymer concrete and the corrosion of embedded steel bar, Construction and Building Materials 169 (2018) 462–472. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.169>
- [3]. S. Luhar, I. Luhar, Application of Seawater and Sea Sand to Develop Geopolymer Composites, International Journal of Recent Technology and Engineering, 8 (2020) 5625-5633 <http://doi:10.35940/ijrte.E5681.018520>,
- [4]. Infrastructure Development Institute (IDI), Japan, High durable concrete with seawater, Japanese Infrastructure Newsletter, 2016
- [5]. H.S. Trịnh, Đ. V. Đào, H. A. Nguyễn, Nghiên cứu một số tính chất cơ học của vữa geopolymer tro bay sử dụng cát biển và nước biển, Tạp chí Giao thông vận tải, 2016
- [6]. M. T. Nguyễn, Sản xuất bê tông bền trong môi trường biển từ nguồn nguyên liệu tại chỗ, Tạp chí Khoa học công nghệ Việt Nam, 3 (2018) 25-27.
- [7]. ASTM C136-04, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, American Society for Testing and Materials, 2004
- [8]. Ragan, Factors influencing the compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete, Civil Engineering Dimension, 6 (2004) 88-93.
- [9]. N. Majanovic, M. Komljenovic, Z. Baacarevic, V. Nikolic, R. Petrovic, Physical–mechanical and microstructural properties of alkali- activated fly ash–blast furnace slag blends, Ceramics International, 41 (2015) 1421–1435. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.09.075>
- [10]. M. Soutsos et al., Factors influencing the compressive strength of fly ash based geopolymers, Construction and Building Materials, 110 (2016) 355-368. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.045>