

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG NỒNG ĐỘ MOL CỦA NaOH TRONG DUNG DỊCH KIỀM HOẠT HÓA ĐẾN MỘT SỐ TÍNH CHẤT CƠ HỌC CỦA BÊ TÔNG GEOPOLYMER

STUDY ON THE EFFECTS OF DIFFERENT MOLAR CONCENTRATIONS NaOH IN ALKALINE LIQUIDS ON SOME MECHANICAL PROPERTIES OF GEOPOLYMER CONCRETE

PGS. TS. **NGUYỄN QUANG PHÚ**

Trường Đại học Thủy lợi

Email: phuvlxd99@gmail.com

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này bê tông Geopolymer được thiết kế với các nồng độ Mol của NaOH thay đổi trong dung dịch kiềm hoạt hóa lần lượt là 8M, 10M, 12M và 14M. Chất kết dính sử dụng xỉ lò cao hoạt tính thay thế hoàn toàn xi măng để chế tạo bê tông Geopolymer và sử dụng dung dịch kiềm hoạt hóa để quá trình geopolymer hóa diễn ra. Thí nghiệm đánh giá ảnh hưởng nồng độ Mol của NaOH trong dung dịch kiềm hoạt hóa đến một số tính chất cơ học của bê tông Geopolymer như cường độ nén, cường độ kéo khi uốn.

Từ khóa: Bê tông Geopolymer; Xỉ lò cao; Dung dịch kiềm hoạt hóa; Nồng độ Mol; Phụ gia siêu dẻo.

Abstract: In this study, the Geopolymer concrete was designed with four molar concentrations of NaOH solution used in alkaline liquids are 8, 10, 12, and 14 molar. The binder uses activated Granulated blast furnace slag is considered for making Geopolymer concrete by completely replacing cement and using alkaline liquids for polymerisation process to take place. The experiment evaluates the influence of the molar concentration of NaOH solution in the activated alkaline solution on some mechanical properties of Geopolymer concrete such as compressive strength, split tensile strength.

Keywords: Geopolymer concrete; Granulated Blast Furnace Slag; Alkaline liquids; Molar concentration; Superplasticizer.

1. Đặt vấn đề

Các công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp, công trình Giao thông và Thủy lợi đều theo xu hướng sử dụng bê tông với chất kết dính là xi măng Poocăng truyền thống. Bê tông truyền thống có ưu điểm về tính dễ thi công và đảm bảo độ tin cậy. Tuy nhiên, việc sản xuất xi măng Poocăng

được cho là gây ô nhiễm môi trường sống của chúng ta hết sức nghiêm trọng do mức độ phát thải khí CO₂ và bụi mịn thải ra môi trường rất nhiều. Các nghiên cứu cho thấy, việc sản xuất một tấn xi măng phát ra khoảng hơn một tấn Carbon dioxide (CO₂) vào bầu khí quyển, điều này dẫn tới nhiều hệ lụy, có ảnh hưởng to lớn đến môi trường phát thải khí nhà kính; gây ô nhiễm môi trường không khí, môi trường đất và nước ngầm.

Các vật liệu cần thiết để sản xuất xi măng Poocăng không thể tái tạo và nhanh chóng cạn kiệt. Tuy nhiên, các sản phẩm phụ vô cơ và hữu cơ khác nhau được tạo ra có nhiều đặc tính vượt trội hơn so với xi măng. Vì vậy cần thiết phải nghiên cứu để tạo ra các sản phẩm phụ thay thế hoàn toàn xi măng Poocăng truyền thống, nghĩa là thay thế bê tông truyền thống bằng một loại bê tông mới, đó là bê tông Geopolymer. Để sản xuất bê tông Geopolymer, người ta sử dụng chất kết dính kiềm hoạt hóa kết hợp với cốt liệu (cát, đá) và các phụ gia hóa học khác. Cơ chế của chất kết dính mới này chủ yếu là quá trình geopolymer hoá các thành phần dioxit có trong phụ gia khoáng như tro bay, silica fume, xỉ lò cao hoạt tính... để tạo ra lực kết dính, hình thành bộ khung vô cơ bền vững, có khả năng chịu lực tốt; chất kết dính mới này gọi là chất kết dính Geopolymer. Bê tông được sản xuất từ loại chất kết dính này gọi là bê tông Geopolymer hay còn gọi là "bê tông xanh", bê tông thân thiện với môi trường.

Hiện nay công nghiệp luyện gang thép đã và đang được phát triển mang tính chủ động về nguồn thép sản xuất trong nước, điển hình là các nhà máy sản xuất thép Formosa Hà Tĩnh, Thái Nguyên, FuCo, Ponima, Nhà máy Thép Phú Mỹ,... hàng năm sẽ thải ra một lượng xỉ gang thép rất lớn. Do lượng xỉ gang thép thải ra nhiều, nên công tác tổ chức xử

VẬT LIỆU XÂY DỰNG - MÔI TRƯỜNG

lý tốn kém và cần diện tích lớn để chứa xỉ, gây nên hiện tượng ô nhiễm môi trường và nguồn nước ngầm. Do đó cần nghiên cứu và xử lý, tận dụng nguồn xỉ lò cao hoạt tính làm chất kết dính để sản xuất bê tông Geopolymer mang lại hiệu quả kinh tế cao, giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

Xuất phát từ những ý tưởng trên, đề tài đã nghiên cứu và tận dụng nguồn phụ phẩm công nghiệp luyện gang thép (xỉ lò cao hoạt tính) làm chất kết dính, kết hợp với dung dịch hoạt hóa (dung dịch NaOH và Na₂SiO₃) để sản xuất bê tông Geopolymer. Bê tông Geopolymer thiết kế có cường độ, tính bền cao, đặc biệt là khả năng chống xâm

thực rất tốt. Bê tông Geopolymer được nghiên cứu và đưa vào ứng dụng trong xây dựng sẽ mang lại hiệu quả về kinh tế, góp phần bảo vệ môi trường.

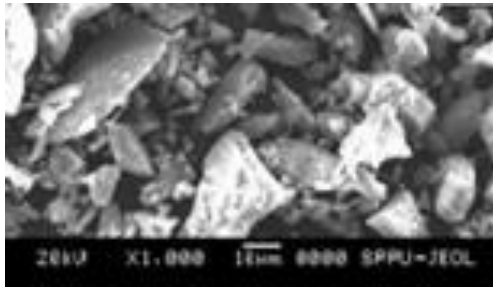
2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1 Chất kết dính

Chất kết dính sử dụng trong thí nghiệm là xỉ lò cao hoạt tính nghiền mịn Hòa Phát, có khối lượng riêng 2,97 g/cm³; tỷ lệ diện tích bề mặt (độ mịn) 4160 cm²/g; thành phần hóa học cơ bản thể hiện ở bảng 1 dưới đây. Xỉ lò cao hoạt tính có các chỉ tiêu cơ lý thỏa mãn TCVN 11586:2016 và BS EN 15167-1:2006.

Bảng 1. Thành phần hoá học của xỉ lò cao hoạt tính

Thành phần	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MKN
% theo khối lượng	35,18	16,26	0,25	0,15	39,95	5,95	0,31	0,18	0,01



Hình 1. Ảnh SEM với độ phóng đại 1000 lần của xỉ lò cao hoạt tính

2.2 Cốt liệu

a. Cốt liệu nhỏ

Cốt liệu nhỏ (cát) thí nghiệm sử dụng cát sông Lô, cát được lấy từ công trình và đưa về phòng thí

nghiệm các tính chất cơ bản, cũng như thành phần hạt. Kết quả thí nghiệm một số tính chất vật lý và thành phần hạt của cát được trình bày trong bảng 2, phù hợp TCVN 7570:2006.

Bảng 2. Những tính chất cơ bản của cát

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,68
2	Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	1,66
3	Độ rỗng	%	38,1
4	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	1,15
5	Mô đun độ lớn	-	2,82
6	Tạp chất hữu cơ	-	Đạt
7	Thành phần hạt	-	Đạt

b. Cốt liệu lớn

Cốt liệu lớn (đá dăm) lấy ở công trình xây dựng và đưa về phòng thí nghiệm phối trộn thành cấp phối

liên tục có D_{max} = 20mm, đá dăm Granit cỡ (5-20) mm có thành phần hạt và tính chất vật lý đạt tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 được trình bày tại bảng 3.

Bảng 3. Những tính chất cơ bản của đá dăm

STT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,78
2	Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	1,68
3	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	0,16

STT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
4	Hàm lượng thoi dẹt	%	3,1
5	Độ hút nước	%	0,75
6	Thành phần hạt	-	Đạt

2.3 Dung dịch hoạt hóa

Dung dịch hoạt hóa là hỗn hợp của dung dịch Natri hydroxyt và Natri silicat. Dung dịch Natri hydroxyt (NaOH) pha chế từ NaOH khan tinh khiết để đạt được nồng độ mol theo yêu cầu là 8M, 10M, 12M và 14M. Dung dịch Natri silicat (Na₂SiO₃) được đặt mua có tỷ lệ SiO₂/Na₂O = 2,5; %Na₂O = 11,8; %SiO₂ = 29,5 và nước 58,7% theo khối lượng. Dung dịch Na₂SiO₃ sử dụng có tỷ trọng 1,42±0,01 g/cm³.

Dung dịch hoạt hóa phải được chuẩn bị bằng cách hòa tan dung dịch NaOH và dung dịch Na₂SiO₃ theo tỷ lệ đã định trước, nên pha chế dung dịch kiềm hoạt hóa ít nhất một ngày trước khi trộn vào bê tông để kích hoạt xỉ lò cao hoạt tính.

2.4 Phụ gia siêu dẻo

Để hỗn hợp BT GPM có tính công tác và khả năng lèn chặt tốt thì hỗn hợp bê tông thiết kế không được phép xảy ra hiện tượng phân tầng và tách nước. Khi chế tạo BT GPM, đề tài đã sử dụng phụ gia siêu dẻo giảm nước bậc cao gốc Polycarboxylate, giảm nước khoảng 40%, thông qua thí nghiệm để xác định tỷ lệ pha trộn hợp lý,

đảm bảo tính công tác yêu cầu của hỗn hợp bê tông và mác bê tông thiết kế.

3. Thiết kế thành phần bê tông geopolymer

Từ kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của một số loại vật liệu sử dụng để chế tạo BT GPM như trên, tiến hành thiết kế và lựa chọn thành phần các loại vật liệu như sau:

- Phụ gia khoáng là xỉ lò cao hoạt tính (GBFS);
- Cốt liệu gồm: cát tự nhiên và đá dăm cỡ (5x20);
- Dung dịch hoạt hóa (DDHH) được sử dụng trong thí nghiệm để kích hoạt quá trình geopolymer hóa của bê tông, dung dịch này là sự kết hợp giữa dung dịch NaOH và Na₂SiO₃. Nồng độ Mol của dung dịch NaOH lần lượt là 8M, 10M, 12M và 14M.

Dựa vào các lựa chọn như trên, tiến hành tính toán thành phần vật liệu cho các cấp phối bê tông khác nhau như ở trong bảng 4. Đặt tên các cấp phối bê tông tương ứng với các nồng độ Mol của dung dịch NaOH lần lượt là CP1, CP2, CP3 và CP4 (tương ứng với nồng độ 8M, 10M, 12M và 14M).

Bảng 4. Thành phần vật liệu của cấp phối bê tông GPM thiết kế

Cấp phối	GBFS (kg)	DDHH		Cốt liệu		PGSD (lít)
		Na ₂ SiO ₃ (kg)	NaOH (kg)	Cát (kg)	Đá (kg)	
CP	490	122,5	49	644	1145	5,9

Tiến hành trộn hỗn hợp các mẫu bê tông thiết kế theo cấp phối ở bảng 4, thí nghiệm kiểm tra tính công tác của các hỗn hợp bê tông (độ sụt, Sn). Khi các hỗn hợp bê tông đạt yêu cầu về tính công tác, để đánh giá ảnh hưởng nồng độ Mol của dung dịch NaOH đến một số tính chất kỹ thuật của BT GPM, tiếp tục đúc mẫu kiểm tra cường độ nén (R_n), cường độ kéo khi uốn (R_k) và kiểm tra sự phát thải kiềm ra ngoài môi trường xây dựng cho các cấp phối BT GPM thiết kế.

4. Kết quả thí nghiệm bê tông geopolymer và nhận xét

4.1 Kết quả thí nghiệm độ sụt của hỗn hợp BT GPM

Trộn các hỗn hợp BT GPM với cấp phối đã thiết kế như trong bảng 4, sử dụng nón sụt tiêu chuẩn thí nghiệm xác định độ sụt của các hỗn hợp bê tông (HHBT) theo tiêu chuẩn TCVN 3106:1993. Kết quả thí nghiệm độ sụt (Sn, cm) của các hỗn hợp bê tông thể hiện như trong bảng 5.

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm độ sụt các hỗn hợp bê tông GPM

Cấp phối	Nồng độ Mol	Độ sụt, Sn (cm)
CP1	8M	21,5
CP2	10M	20,5
CP3	12M	18,5
CP4	14M	17,5

Nhận xét: Từ kết quả thí nghiệm độ sụt của các HHBT GPM ở bảng 5 nhận thấy: Khi nồng độ Mol của dung dịch NaOH tăng lên thì độ sụt của HHBT GPM giảm xuống, giảm từ 21,5cm (tương ứng với CP1, nồng độ của NaOH là 8M) xuống 17,5cm (tương ứng với CP4, nồng độ của NaOH là 14M). Độ chênh lệch về độ sụt của HHBT CP1 và CP2, hay CP3 và CP4 là không nhiều. Điều này cũng phù hợp với hàm lượng chất rắn của NaOH có trong dung dịch tương ứng với các nồng độ Mol pha chế khác nhau, với dung dịch Na_2SiO_3 được giữ nguyên tỷ lệ trong các cấp phối của BT GPM. Khi nồng độ Mol tăng lên, thì hàm lượng nước trong $1m^3$ BT GPM sẽ giảm đi, khi đó sẽ làm giảm độ sụt của HHBT GPM.

Khi quan sát hỗn hợp BT GPM sau khi trộn cũng thấy được độ đồng nhất của hỗn hợp bê tông tươi rất tốt, không có hiện tượng phân tầng, không xuất hiện tách nước tại mép rìa ngoài của hỗn hợp sau khi trộn và sau khi làm thí nghiệm kiểm tra độ sụt, cũng như trong quá trình đúc các tổ mẫu thí nghiệm một số chỉ tiêu kỹ thuật khác. Như vậy, sự

có mặt của phụ gia siêu dẻo giảm nước sẽ làm tăng độ sụt của HHBT GPM và duy trì được độ sụt của HHBT trong suốt thời gian làm thí nghiệm.

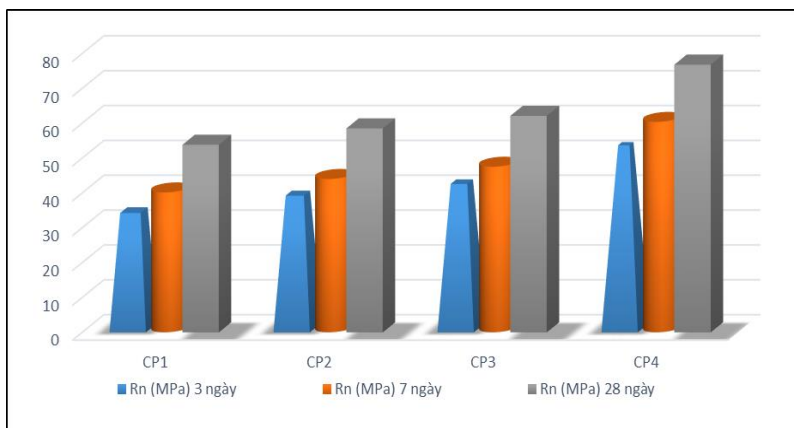
4.2 Kết quả thí nghiệm cường độ nén của bê tông GPM

Để kiểm tra cường độ nén cho các cấp phối BT GPM, tiến hành đúc các tổ mẫu kích thước (15x15x15)cm, mẫu đúc thí nghiệm được chế tạo theo TCVN 3105:1993, các mẫu bê tông sau khi đúc, mẫu được tháo khuôn rồi cho vào tủ sấy dưỡng hộ ở nhiệt độ 100°C trong 24 giờ. Kết thúc quá trình bảo dưỡng trong tủ sấy, mẫu được lấy ra và bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn cho đến khi mẫu đủ ngày tuổi thí nghiệm; thí nghiệm kiểm tra cường độ nén của các cấp phối bê tông GPM ở 3, 7 và 28 ngày tuổi.

Để xác định cường độ nén của bê tông sau khi bảo dưỡng bằng phương pháp phá hủy mẫu theo tiêu chuẩn TCVN 3118:1993. Kết quả thí nghiệm cường độ nén ở 3, 7 và 28 ngày tuổi của các cấp phối bê tông GPM thiết kế như trong bảng 6 và hình 2.

Bảng 6. Kết quả thí nghiệm cường độ nén của các cấp phối BT GPM

Cấp phối	Rn (MPa)		
	3 ngày	7 ngày	28 ngày
CP1	33,6	40,1	53,8
CP2	38,5	44,0	58,5
CP3	41,8	47,5	62,1
CP4	52,7	60,4	76,8



Hình 2. Biểu đồ so sánh cường độ nén của các cấp phối BT GPM

Nhận xét: Từ kết quả thí nghiệm cường độ nén của các cấp phối bê tông GPM thiết kế nhận thấy: Khi mẫu được dưỡng hộ ở nhiệt độ 100°C trong 24 giờ sẽ làm tăng quá trình hoạt hóa lên rất nhanh và sự hình thành các geopolymer triệt để hơn. Nếu so sánh sự phát triển cường độ nén của BT GPM ở 3

ngày và 7 ngày tuổi so với cường độ nén bê tông ở 28 ngày tuổi thì nhận thấy: Sau 3 ngày tuổi, cường độ nén đã đạt được từ 62,50% (tương ứng với CP1) đến 68,60% (tương ứng với CP4) cường độ nén ở 28 ngày tuổi. Còn sau 7 ngày tuổi, thì cường độ nén đạt lần lượt là 74,6%; 75,2%; 76,5% và 78,6%

cường độ nén ở 28 ngày tuổi tương ứng với CP1, CP2, CP3 và CP4. Điều này cho thấy, với BT GPM khi nồng độ Mol của NaOH tăng lên thì sự phát triển cường độ ở tuổi sớm tăng rất nhanh, vì xút sẽ phá vỡ cấu trúc của các hạt xi nhanh hơn và tạo các cấu trúc geopolymer sớm hơn, cường độ ở tuổi sớm từ 3 đến 7 ngày tuổi có thể đạt được khoảng từ 70 đến 80% cường độ nén ở tuổi thiết kế (28 ngày tuổi). Sự tăng nhanh cường độ nén của BT GPM ở ngày tuổi từ 3 đến 7 ngày cũng là sự thuận lợi cho các công trình xây dựng cần sớm đưa vào khai thác và sử dụng.

Khi nồng độ Mol của dung dịch NaOH tăng lên, thì tốc độ Geopolymer diễn ra nhanh và triệt để hơn, tăng hàm lượng NaOH trong dung dịch kiềm làm cho quá trình hoạt hóa vật liệu aluminosilicate diễn ra mạnh mẽ và triệt để hơn, góp phần tạo ra nhiều sản phẩm geopolymer hóa, làm tăng cường độ nén của BT GPM. Ngoài ra, điều này cũng được giải thích bởi hàm lượng sodium silicate (Na_2SiO_3) trong môi trường kiềm thích hợp (NaOH với nồng độ Mol hợp lý), sẽ kích hoạt mạnh mẽ quá trình geopolymer tạo liên kết Sialate-Siloxo (-Si-O-Al-O-Si-O- và -Si-O-Si-O-Al-O-) và Sialate-Disiloxo (-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O-) bền hơn, tăng độ đặc chắc của cấu trúc geopolymer, làm tăng cường độ chịu nén của BT GPM [Davidovits. J, 2020; Xu. H, Van Deventer. J.S.J, 2000].

Ngoài ra, khi sử dụng chất kết dính là xỉ lò cao hoạt tính, mà thành phần chủ yếu là các ôxyt ($\text{SiO}_2^{\text{VDH}}$ và Al_2O_3) đóng vai trò chính là vật liệu

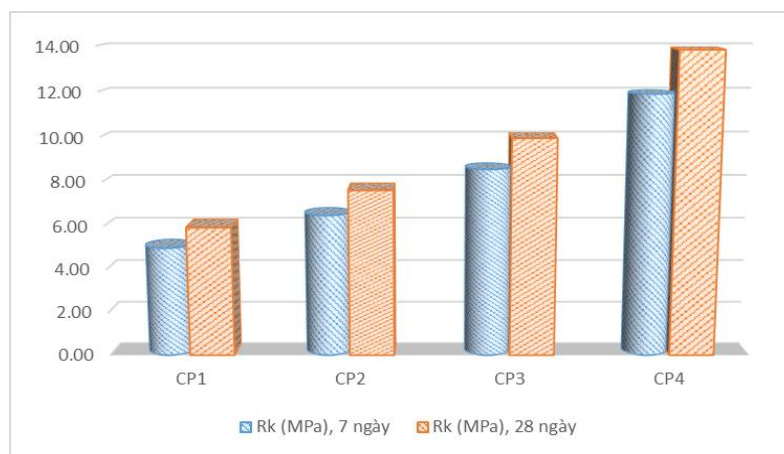
Alumino-silicat, vật liệu giàu nhôm và silic, cung cấp nguyên tử Si và Al cho quá trình geopolymer hóa, thì xỉ lò cao hoạt tính có chứa một phần các khoáng vật ở dạng canxi-silicat ($\text{CaO} \cdot x\text{SiO}_2$) và canxi-aluminat ($\text{CaO} \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3$) có khả năng phản ứng thủy hoá với nước ngay trong điều kiện thường. Đặc tính này được gọi là hiệu ứng thủy lực của xỉ lò cao hoạt tính trong quá trình phản ứng với nước. Với hiệu ứng thủy lực, xỉ lò cao hoạt tính đã tạo thành các khoáng hidro-silicat-canxi và hidro-aluminat-canxi ($x\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$: C-S-H và $m\text{CaO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot p\text{H}_2\text{O}$: C-A-H) đặc chắc và bền trong môi trường nước; vì vậy trong BT GPM sử dụng 100% xỉ lò cao hoạt tính vừa tăng tốc độ rắn chắc của hỗn hợp bê tông ở nhiệt độ thường, vừa tăng độ đặc chắc cho bê tông và tăng cường độ cho BT GPM.

4.3 Kết quả thí nghiệm cường độ kéo khi uốn của bê tông GPM

Để kiểm tra cường độ kéo khi uốn cho các cấp phối BT GPM, tiến hành đúc các tổ mẫu kích thước (10x10x40)cm, mẫu đúc thí nghiệm được chế tạo theo TCVN 3105:1993, các mẫu bê tông sau khi đúc, mẫu được tháo khuôn rồi cho vào tủ sấy dưỡng ở nhiệt độ 100°C trong 24 giờ. Kết thúc quá trình bảo dưỡng trong tủ sấy, mẫu được lấy ra và bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn cho đến khi mẫu đủ ngày tuổi thí nghiệm; thí nghiệm kiểm tra cường độ kéo khi uốn của các cấp phối bê tông GPM ở 7 và 28 ngày tuổi. Kết quả thí nghiệm cường độ kéo khi uốn của các cấp phối bê tông GPM thiết kế như trong bảng 7 và hình 3.

Bảng 7. Kết quả thí nghiệm cường độ kéo khi uốn của các cấp phối BT GPM

Cấp phối	R_k (MPa)	
	7 ngày	28 ngày
CP1	5,0	5,9
CP2	6,5	7,6
CP3	8,6	9,9
CP4	11,9	13,8



Hình 3. Biểu đồ so sánh cường độ kéo khi uốn của các cấp phối BT GPM

Nhận xét: Từ kết quả thí nghiệm cường độ kéo khi uốn của các cấp phối bê tông GPM thiết kế cho thấy, BT GPM có cường độ kéo khi uốn khá cao, cụ thể: ở 7 ngày tuổi thì $R_{k,7} = (9 \div 16)\% \cdot R_{n,7}$ và ở 28 ngày tuổi thì $R_{k,28} = (11 \div 18)\% \cdot R_{n,28}$ (trong khi bê tông xi măng thông thường thì $R_{k,28} = (6,7 \div 10)\% \cdot R_{n,28}$). Ngoài ra, BT GPM cũng đạt được cường độ kéo khi uốn ở tuổi sớm nhanh hơn và nồng độ mol của NaOH càng cao thì cường độ kéo khi uốn đạt được ở tuổi sớm cao hơn, $R_{k,7}$ tăng từ $84\%R_{k,28}$ đến $86\%R_{k,28}$ tương ứng với nồng độ mol từ 8M đến 14M. Điều này được lý giải như sau: Do các lỗ rỗng trong cấu trúc của BT GPM có chứa nước đã được sấy khô ở nhiệt độ 100°C trong 24 giờ và chúng được lấp đầy bằng các sản phẩm phụ của quá trình trùng ngưng, phản ứng trùng ngưng này còn làm cho sự kết hợp nhiều phân tử nhỏ monomer giống nhau tạo thành phân tử lớn polymer diễn ra mạnh mẽ, làm tăng khả năng chịu kéo cho BT GPM. Ngoài ra, các lỗ rỗng trong cấu trúc của BT GPM cũng được làm đầy và đặc xít bởi các khoáng C-S-H và C-A-H có trong quá trình đông kết và rắn chắc của xi lò cao hoạt tính, cũng sẽ làm tăng cường độ kéo khi uốn của BT GPM.

4.4 Đánh giá tác động về môi trường

Quan tâm hơn cả là vấn đề của vật liệu bê tông geopolymer này có thể sẽ có sự rửa trôi của kiềm (Na^+) theo thời gian ra môi trường, điều đó có thể được đánh giá bằng chỉ số pH. Cũng giống như các loại bê tông xi măng thông thường khi công trình bê tông được đưa vào sử dụng thì độ pH ban đầu cao hơn tiêu chuẩn cho phép, nhưng sau một thời gian tiếp xúc với môi trường nước, đặc biệt là có sự rửa trôi của nước mưa hay công trình làm việc trong môi trường nước động (dòng nước chảy thường xuyên qua công trình) thì độ pH sẽ nhanh chóng giảm về ngưỡng cho phép còn nhanh hơn, sau đó về mức trung tính và sẽ không thay đổi nữa.

Để đánh giá sự rửa trôi của kiềm ra môi trường, đề tài đã chế tạo 36 mẫu bê tông Geopolymer CP4 (tương ứng với nồng độ Mol của NaOH là 14M) kích thước (D10xH10)cm, chế tạo và bảo dưỡng mẫu sau 28 ngày như đã nghiên cứu ở các mục trên. Sau đó ngâm mẫu trong 3 loại nước: nước cất, nước mưa và nước biển; ngâm mẫu trong 24h, đo pH, sau đó thay nước mới và tiếp tục ngâm, tiến hành đo độ pH theo thời gian được kết quả như bảng 8.

Bảng 8. Độ pH của nước ngâm mẫu BT Geopolymer theo thời gian

Mẫu nước ngâm	Thời gian ngâm mẫu, giờ				
	24	48	72	96	120
Nước cất	11,8	10,5	9,1	8,1	8,0
Nước mưa	11,1	10,2	8,9	8,7	8,4
Nước biển	9,6	9,2	8,6	8,5	8,2

Nhận xét: Theo quy ước thì độ pH của nước là chuẩn nhất có giá trị pH = 7. Những dung dịch có độ pH < 7 là các dung dịch mang tính axit, nếu mang giá trị bằng không thì dung dịch có tính axit cao nhất, còn nếu có độ pH > 7 thì đó là các dung dịch có tính bazơ (kiềm).

Từ các kết quả thí nghiệm đo được ở bảng 8 cho thấy, khả năng tiết kiềm (NaOH) ra các loại nước ngâm mẫu giảm, sau 5 ngày đêm thì pH giảm xuống còn từ 8 ÷ 8,4. Hiện tượng tiết NaOH dần dần sẽ được hạn chế tiết ra môi trường nước ngâm mẫu, vì có thể thấy rằng các ion Na^+ sẽ bù vào hoá trị còn thiếu của Al có với Si trong quá trình hình thành cấu trúc polymer. Cation kiềm (Na^+) có mặt trong cấu trúc ở dạng hòa tan; hơn nữa, nó được liên kết yếu hơn trong cấu trúc tinh thể của Zeolite (khoáng chất silicat nhôm Alumino-silicat: $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$) [Davidovits. J, 2020]. Vì vậy, trong thiết kế và sản xuất bê tông Geopolymer cần phải tính toán hợp lý hàm lượng NaOH có trong dung dịch kiềm hoạt hóa kết hợp với chất kết dính đảm bảo lượng dư thừa là ít nhất có thể. Ngoài ra, cần tiếp tục nghiên cứu đánh giá hiện tượng tiết

kiềm theo chiều sâu của mẫu thí nghiệm theo thời gian ngâm mẫu để có những đánh giá một cách chính xác nhất về phản ứng của NaOH trong BT GPM.

5. Kết luận

Trong thiết kế và chế tạo bê tông Geopolymer sử dụng phụ gia khoáng là xi lò cao hoạt tính kết hợp với dung dịch hoạt hóa (Na_2SiO_3 và NaOH) có nồng độ Mol của dung dịch NaOH tương ứng là 8M, 10M, 12M và 14M sẽ chế tạo được BT GPM có cường độ nén rất cao từ 53,8 MPa đến 76,8 MPa và cường độ kéo khi uốn đạt từ 5,9 MPa đến 13,8 MPa ở tuổi 28 ngày; đặc biệt là cường độ kéo khi uốn tăng $R_{k,28} = (11 \div 18)\% \cdot R_{n,28}$, tăng cao hơn rất nhiều các loại bê tông thông thường khác. Bê tông GPM chế tạo sử dụng xi lò cao hoạt tính có độ đặc chắc và tính bền cao do trong cấu trúc của BT GPM được lấp đầy bởi các khoáng C-S-H và C-A-H có trong xi lò cao hoạt tính đông kết và rắn chắc.

Khi thiết kế thành phần bê tông Geopolymer thì cường độ nén cũng như một số tính chất kỹ thuật của bê tông Geopolymer phụ thuộc nhiều vào thành

phần SiO_2 và Al_2O_3 có trong phụ gia khoáng và sự kích hoạt của dung dịch hoạt hóa (dung dịch Na_2SiO_3 và NaOH). Vì vậy cần thiết phải đánh giá ảnh hưởng của các loại phụ gia khoáng, tỷ lệ dung dịch hoạt hóa và phụ gia khoáng, cũng như nồng độ Mol của dung dịch NaOH đến các tính chất của bê tông Geopolymer. Bên cạnh đó, để đẩy nhanh quá trình Geopolymer, thì việc bảo dưỡng gia nhiệt cho các mẫu bê tông sau khi chế tạo là rất cần thiết.

Khả năng phát thải và rửa trôi một số hóa chất độc hại từ các sản phẩm BT GPM, cũng như các phụ gia khoáng và chất kiềm kích hoạt chưa kịp phản ứng hoặc phản ứng không hết trong quá trình đông kết và rắn chắc của BT GPM thải ra môi trường nước và không khí (nếu có) khi sử dụng sản phẩm bê tông Geopolymer thì sẽ xử lý như thế nào cũng cần phải được nghiên cứu tiếp theo trong thời gian sớm nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bakri, A.M.M.A., H.Kamarudin, and M.Binhussain (2012), Microstructure study in optimization of high strength fly ash based geopolymer. *Advanced Material Research*, p. 2173-2180.
2. Barbosa V.F.F. and MacKenzie K.J.D., (2003), Synthesis and Thermal Behavior of Potassium Sialate Geopolymer, *Materials Letters*, 57, 1477-1482.
3. Davidovits. J (2020), Geopolymer Chemistry and Application, 5th edition, *Geopolymer Institute*.
4. Rangan. B. V, (2008), Chapter 26: Low-calcium, fly-ash-based geopolymer concrete, *Concrete Construction Engineering Handbook - 2 edition*, ed, Taylor & Francis, New York, USA.
5. BS EN 15167-1:2006, Ground granulated blast furnace slag for use in concrete, mortar and grout. *Definitions, specifications and conformity criteria*.
6. Feng Rao, Qi Liu, (2015), Geopolymerization and Its Potential Application in Mine Tailings Consolidation: A Review, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* 36.
7. J. T. Gourley and G. B. Johnson (2005), "Developments in Geopolymer Precast Concrete". *Paper presented at the International Workshop on Geopolymers and Geopolymer Concrete, Perth, Australia*.
8. Palomoa, P. Krivenkob, I. Garcia-Lodeiroa, E. Kavaleroab (2014), A review on alkaline activation: New analytical perspectives *Materiales de construcción*, vol 64, No 315.
9. S.E. Wallah and B.V. Rangan (2006), "Low calcium fly ash based geo-polymer concrete: Long term properties, Research report GC2". *Curtin University of Technology, Australia*.
10. S.V. Joshi and M.S. Kadu (2012), "Role of alkaline activator in development of Eco-friendly fly ash based Geopolymer Concrete", *International Journal of Environmental Science and Development*, vol.3 (5), pp. 417- 421.
11. Turner. L. K and Collins. F. G (2013), Carbon dioxide equivalent ($\text{CO}_2\text{-e}$) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete, *Construction and Building Materials*, vol.43, pp. 125-130.
12. Xu. H, Van Deventer. J.S.J (2000), the geopolymerisation of alumino-silicate minerals, *International Journal of Mineral Processing*, vol.59, pp. 247-266.

Ngày nhận bài: 28/12/2021.

Ngày nhận bài sửa: 21/01/2022.

Ngày chấp nhận đăng: 21/01/2022.