

## NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ BẢO DƯỠNG VÀ HÀM LƯỢNG PHỤ GIA KHOÁNG ĐẾN MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG GEOPOLYMER

Nguyễn Quang Phú<sup>1</sup>, Đỗ Việt Nam<sup>2</sup>

**Tóm tắt:** Sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng (Xi lò cao hoạt tính và Tro bay) kết hợp với dung dịch kiềm hoạt hóa (NaOH và Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) và phụ gia siêu dẻo giảm nước chế tạo bê tông Geopolymer có tính công tác tốt, cường độ nén đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật cho các công trình xây dựng. Để bê tông Geopolymer phát triển cường độ nhanh ở tuổi sớm cần phải bảo dưỡng gia nhiệt. Khi tăng hàm lượng Xi lò cao hoạt tính trong thành phần của bê tông Geopolymer sẽ tăng mức chống thấm cho bê tông đến W16, bê tông Geopolymer có cường độ và tính bền rất cao.

**Từ khóa:** Bê tông Geopolymer; Tro bay; Xi lò cao; Dung dịch kiềm hoạt hóa; Phụ gia siêu dẻo.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chất kết dính polymer vô cơ là sản phẩm của phản ứng ngưng tụ trong môi trường dung dịch chứa kiềm của các khoáng chất gốc Alumo-silicate, gọi là vật liệu Geopolymer (Barbosa, 1999 and Davidovits. J, 2011). Trong đó vật liệu Alumino-silicate chứa các thành phần gồm (SiO<sub>2</sub>) và (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) có trong tro bay, meta cao lanh, xi lò cao, tro trấu. Quá trình phản ứng trong môi trường hoạt hóa sẽ tạo các chuỗi -Si-O-Al làm cho vật liệu có cường độ, có khả năng dính kết tốt và bền vững theo thời gian.

Trong sản xuất gang thép, nguồn xỉ nếu thải trực tiếp ra môi trường sẽ rất khó tận dụng và xử lý để tạo ra được loại phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông. Cần thiết phải xử lý nguội nhanh và tận dụng nguồn xỉ mặt trên được thải ra từ các nhà máy luyện gang thép, sấy khô và nghiền mịn để tạo thành phụ gia khoáng hoạt tính cao trong sản xuất bê tông. Dùng xỉ hoạt tính trong sản xuất bê tông Geopolymer sẽ mang lại hiệu quả kinh tế, giảm ô nhiễm môi trường, bên cạnh đó bê tông chế tạo có độ bền cao và mức chống thấm cao, phù hợp thi công các công trình xây dựng (Sarker. P. A., 2008).

Để từng bước hạn chế việc sử dụng xi măng

Pooclang làm chất kết dính bê tông trong xây dựng, thì một loại chất kết dính kiềm hoạt hóa mới đã và đang được nghiên cứu, dần dần từng bước ứng dụng vào thực tế xây dựng. Chất kết dính kiềm hoạt hóa đó sử dụng dung dịch hoạt hóa gồm dung dịch NaOH (xút) và dung dịch Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (thủy tinh lỏng), kết hợp sử dụng phụ gia khoáng vật hoạt tính với một số hoá chất thông thường khác. Cơ chế của chất kết dính mới này chủ yếu là quá trình polymer hoá các thành phần dioxit silic và aluminium oxid có trong phụ gia khoáng 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 (Olivia. M., 2011; Turner. L. K and Collins. F. G, 2013)

Xuất phát từ những ý tưởng trên, bài báo đã nghiên cứu và ứng dụng các nguồn phụ phẩm công nghiệp (Xi lò cao hoạt tính và Tro bay) làm phụ gia khoáng kết hợp với dung dịch hoạt hóa (dung dịch NaOH và Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) để sản xuất bê tông Geopolymer ứng dụng cho các công trình Thủy lợi. Bê tông Geopolymer thiết kế có cường độ và tính bền cao, mức chống thấm vượt trội so với bê tông truyền thống, đặc biệt là khả năng chống xâm thực rất tốt. Bê tông Geopolymer (BT GPM) là loại “*bê tông xanh*” thân thiện với môi trường, khi

---

<sup>1</sup> Bộ môn Vật liệu xây dựng, Khoa Công trình;

<sup>2</sup> Lớp 59C1, Khoa Công trình

được nghiên cứu và đưa vào ứng dụng trong xây dựng sẽ mang lại hiệu quả về kinh tế và góp phần bảo vệ môi trường.

## 2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG TRONG NGHIÊN CỨU

### 2.1. Phụ gia khoáng

#### 2.1.1. Tro bay

Tro bay (FA): dùng loại tro bay nhiệt điện lấy trực tiếp chưa tuyển có độ ẩm 1,15%; khối lượng

riêng 2,19 g/cm<sup>3</sup>; khối lượng thể tích xốp 0,955 g/cm<sup>3</sup> và thành phần hóa học của loại tro bay này như ở bảng 1.

Tro bay được phân tích và thí nghiệm tại phòng thí nghiệm, kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu ở bảng 1 cho thấy loại tro bay nghiên cứu phù hợp với tro bay hoạt tính loại F dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng theo **TCVN 10302:2014** và **ASTM C618-03**.

**Bảng 1. Thành phần hoá học của tro bay**

Thành phần	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	CaO <sub>td</sub>	MKN
% theo khối lượng	52,3	30,65	7,61	0,29	0,18	0,15	0,007	0,0	2,84

#### 2.1.2. Xi lò cao hoạt tính

Xi lò cao hoạt tính nghiên mìn được mua từ công ty Hòa Phát (khu công nghiệp luyện gang thép Hòa Phát - Kinh Môn - Hải Dương), Khối

lượng riêng 2,67 g/cm<sup>3</sup>, tỷ diện tích bề mặt (độ mịn) 3600 cm<sup>2</sup>/g. Xi lò cao hoạt tính có các chỉ tiêu cơ lý thỏa mãn theo **TCVN 11586:2016** thành phần hóa học cơ bản thể hiện ở bảng 2 dưới đây.

**Bảng 2. Thành phần hoá học của xi lò cao hoạt tính**

Thành phần	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MKN
% theo khối lượng	36,38	15,76	0,55	1,25	0,91

## 2.2. Cốt liệu

### 2.2.1. Cốt liệu mịn

Cốt liệu mịn (cát) dùng chế tạo bê tông có: Khối lượng riêng 2,66 g/cm<sup>3</sup>; khối lượng thể tích xốp 1,62 g/cm<sup>3</sup>, mô đun độ lớn 2,56; thành phần hạt và các chỉ tiêu cơ lý khác phù hợp **TCVN 7570:2006**.

### 2.2.2. Cốt liệu thô

Cốt liệu thô (đá dăm) lấy ở công trình xây dựng và được đưa về phòng để thí nghiệm; đá dăm cỡ hạt (5-20) mm có: Khối lượng riêng 2,78 g/cm<sup>3</sup>; khối lượng thể tích xốp 1,68 g/cm<sup>3</sup>; thành phần hạt và các chỉ tiêu cơ lý khác phù hợp **TCVN 7570:2006**.

## 2.3. Dung dịch hoạt hóa

Dung dịch hoạt hóa là hỗn hợp của dung dịch Natri hydroxyt (NaOH) và thủy tinh lỏng (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>).

Natri hydroxyt dạng vảy khô có độ tinh khiết trên 98%, khối lượng riêng là 2,13 g/cm<sup>3</sup>. Dung dịch Natri hydroxyt được pha chế bằng cách cho NaOH dạng vảy khô vào nước để đạt được nồng độ mol theo yêu cầu là 16M. Sau khi cho NaOH vào thùng chứa nước, sẽ dùng đũa thủy tinh khuấy

cho tan hết để tạo thành dung dịch NaOH.

Dung dịch Natri silicat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) được đặt mua có tỷ lệ SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O = 2,5 (còn gọi là modun silic), %Na<sub>2</sub>O = 11,8; %SiO<sub>2</sub> = 29,5 và nước 58,7% theo khối lượng. Dung dịch Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sử dụng có tỷ trọng 1,42±0,01 g/cm<sup>3</sup>

## 2.4. Phụ gia siêu dẻo

Để hỗn hợp bê tông Geopolymer 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 nghiên cứu đã sử dụng phụ gia siêu dẻo giảm nước bậc cao **AM-S50 gốc Polycarboxylate**, 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 VÀ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

### 3.1. Thiết kế thành phần bê tông Geopolymer

Vì chưa có tiêu chuẩn thiết kế thành phần bê tông Geopolymer nên trong đề tài lựa chọn phương pháp thiết kế thành phần bê tông Geopolymer theo Rangan [Rangan. B. V, 2008].

Từ kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của một số loại vật liệu xây dựng chế tạo BT GPM như trong mục 2, tiến hành thiết kế và lựa chọn thành phần các loại vật liệu như sau:

+ Phụ gia khoáng (PGK) gồm Tro bay và Xi lò cao hoạt tính với tỷ lệ FA: GBFS = 75:25

+ Cốt liệu (cát và đá dăm) chiếm 75% khối lượng bê tông.

+ Dung dịch hoạt hóa (DD) được sử dụng trong thí nghiệm để kích hoạt quá trình geopolymer hóa của bê tông. Dung dịch này là sự kết hợp giữa NaOH và Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Tỷ lệ khối lượng dung dịch Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH là 2,5.

⇒ Chế tạo dung dịch NaOH: đem NaOH khan hòa tan vào nước để đạt được nồng độ mol là 16M theo tỷ lệ khối lượng của NaOH rắn cần thiết để tạo thành 1kg dung dịch NaOH là 444g. Dung dịch NaOH có tỷ trọng 1,17 g/cm<sup>3</sup>.

⇒ Dung dịch Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sử dụng có tỷ trọng 1,42±0,01 g/cm<sup>3</sup> được hòa chung với dung dịch NaOH từ trước theo tỷ lệ xác định.

+ Tỷ lệ DD/PGK = 0,35 và 0,50

Dựa vào các tỷ lệ lựa chọn như trên, tiến hành tính toán thành phần vật liệu cho các cấp phối bê tông khác nhau như ở trong bảng 3.

**Bảng 3. Thành phần vật liệu của các cấp phối bê tông GPM thiết kế**

Cấp phối	DD/PGK	PGK		DDHH		Cốt liệu		PGSD
		FA	GBFS	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	NaOH	Cát	Đá	
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
CP1	0,50	300,00	100,00	142,86	57,14	540	1260	4,8
CP2	0,35	333,33	111,11	111,11	44,44	540	1260	5,3

Tiến hành trộn các mẫu bê tông thiết kế theo cấp phối ở bảng 3, 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, tiếp tục đúc mẫu kiểm tra cường độ nén (Rn) và mác chống thấm (W) cho các cấp phối bê tông.

### 3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian bảo dưỡng đến Rn của BT GPM

Mục đích của thí nghiệm này là tìm ra được nhiệt độ bảo dưỡng cũng như thời gian gia nhiệt thích hợp cho các mẫu BT GMP sau khi chế tạo, nhằm đảm bảo vừa tiết kiệm nhiên liệu tiêu thụ trong quá trình dưỡng hộ mẫu, vừa làm tăng nhanh sự phát triển của quá trình Geopolymer, nâng cao cường độ của BT GPM.

Để giảm số lần thí nghiệm và kinh phí của VLXD sử dụng trong thí nghiệm, đề tài sử dụng cấp phối CP2 có tỷ lệ Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH = 2,5 và

DD/PGK = 0,35 để tiến hành thí nghiệm kiểm tra sự ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian bảo dưỡng của các mẫu thí nghiệm đến sự phát triển cường độ nén của bê tông GPM.

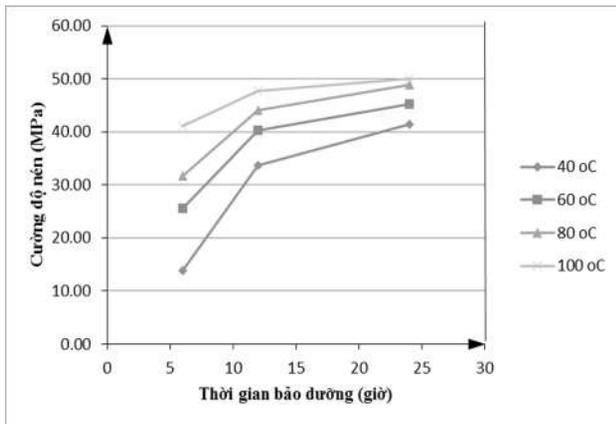
Tiến hành đúc các tổ mẫu kích thước (15x15x15) cm, mẫu đúc thí nghiệm được chế tạo theo TCVN 3105:1993, các mẫu bê tông sau khi đúc 48 giờ, mẫu được tháo khuôn rồi cho vào tủ sấy dưỡng hộ ở nhiệt độ 40°C, 60°C, 80°C và 100°C lần lượt trong 6, 12 và 24 giờ.

Kết thúc quá trình bảo dưỡng trong tủ sấy, mẫu được lấy ra thí nghiệm kiểm tra cường độ nén (Rn, MPa) của các tổ mẫu bê tông GPM theo TCVN 3118:2012.

Kết quả thí nghiệm cường độ nén của các tổ mẫu bê tông GPM được dưỡng hộ gia nhiệt trong tủ sấy sau 6, 12 và 24 giờ ở các nhiệt độ khác nhau như trong bảng 4.

**Bảng 4. Kết quả thí nghiệm cường độ nén của BT GPM ở nhiệt độ khác nhau**

Cấp phối	DD/CKD	Độ sụt, Sn (cm)	Nhiệt độ bảo dưỡng	Cường độ nén, Rn (MPa)		
				6 giờ	12 giờ	24 giờ
CP2	0,35	18,6	40°C	13,81	33,62	41,51
			60°C	25,60	40,20	45,20
			80°C	31,68	44,08	48,82
			100°C	41,06	47,79	50,08



Hình 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ bảo dưỡng đến cường độ nén của các mẫu BT GPM

*Nhận xét:* Từ kết quả thí nghiệm nhận thấy cường độ của BT GPM phát triển rất nhanh từ 6 đến 12 giờ đầu ngay sau khi được gia nhiệt và đến 24 giờ thì phát triển chậm dần. Tốc độ phát triển cường độ sau 6 giờ gia nhiệt so với 24 giờ lần lượt là: 33,28; 56,64; 64,90; 82,00% ở nhiệt độ tương ứng là 40, 60, 80 và 100°C. Tương tự tốc độ phát triển cường độ sau 12 giờ gia nhiệt so với 24 giờ lần lượt là: 81,01; 88,94; 90,30 và 95,43% ở nhiệt độ tương ứng là 40, 60, 80 và 100°C.

Vì vậy nhiệt độ và thời gian bảo dưỡng ảnh hưởng đến cường độ của bê tông Geopolymer. Nhiệt độ bảo dưỡng cao hơn sẽ làm cho quá trình trùng hợp Geopolymer xảy ra nhanh và triệt để hơn, cường độ nén của BT GPM cao hơn. Nhìn vào biểu đồ hình 1 thấy được, nhiệt độ bảo dưỡng tăng từ 60°C đến 100°C thì cường độ nén tăng rất nhanh trong 6 đến 12 giờ đầu bảo dưỡng. Nếu tăng nhiệt độ bảo dưỡng lần lượt từ 40°C ⇒ 60°C ⇒ 80°C ⇒ 100°C thì cường độ nén của các mẫu BT GPM sau 24 giờ bảo dưỡng nhiệt lần lượt tăng lên 8,92% ⇒ 8,0% ⇒ 2,6%; cường độ nén của các mẫu BT GPM bảo dưỡng ở nhiệt độ 60°C đến 80°C không nhỏ hơn nhiều so với các mẫu được bảo dưỡng ở 100°C. Vì vậy, để tiết

kiệm năng lượng điện tiêu thụ cho quá trình bảo dưỡng mẫu, từ các kết quả thí nghiệm và tham khảo tài liệu, đề tài đã lựa chọn chế độ bảo dưỡng mẫu hiệu quả nhất là sấy mẫu ở 60°C trong 24 giờ.

Sau khi đúc mẫu 48 giờ, mẫu bê tông Geopolymer được tháo khuôn rồi cho vào tủ sấy dưỡng hộ ở nhiệt độ 60°C liên tục trong 24 giờ. Kết thúc quá trình bảo dưỡng trong tủ sấy, các tổ mẫu được lấy ra và bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn cho đến khi các tổ mẫu đủ ngày tuổi yêu cầu thì thí nghiệm kiểm tra cường độ nén và mác chống thấm cho BT GPM thiết kế.

### 3.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng PGK đến tính chất của bê tông GPM

Mục đích của nghiên cứu này là đánh giá tác động của từng loại PGK Tro bay và Xi lò cao hoạt tính đến tính chất kỹ thuật của BT GPM, cũng như đưa ra được tỷ lệ dùng hợp lý của từng loại PGK hay kết hợp 2 loại với nhau trong thành phần BT GPM.

Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng PGK (Tro bay và Xi lò cao hoạt tính) trong thành phần BT GPM đến tính chất kỹ thuật của bê tông, đề tài đã thay đổi hàm lượng của Tro bay (FA) và Xi lò cao hoạt tính (GBFS) lần lượt là:

- CP00 (FA = 100%; GBFS = 0%);
- CP1 (FA = 75%; GBFS = 25%);**
- CP11 (FA = 50%; GBFS = 50%);
- CP22 (FA = 25%; GBFS = 75%);
- CP33 (FA = 0%; GBFS = 100%);

Để giảm số lần thí nghiệm và kinh phí của VLXD sử dụng trong thí nghiệm, đề tài chỉ chọn mác bê tông của mẫu đối chứng (CP1) đã được thí nghiệm ở trên có tỷ lệ  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2,5$  và  $\text{DD}/\text{PGK} = 0,50$  để tiến hành thí nghiệm kiểm tra các tính chất kỹ thuật của bê tông. Thành phần vật liệu cho các cấp phối bê tông GPM khác nhau được thể hiện trong bảng 5.

Bảng 5. Thành phần vật liệu của các cấp phối bê tông GPM thiết kế

Cấp phối	DD/PGK	PGK		DDHH		Cốt liệu		PGSD
		FA	GBFS	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$	NaOH	Cát	Đá	
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
CP00	0,50	400	0	142,86	57,14	540	1260	4,8
<b>CP1</b>	<b>0,50</b>	<b>300</b>	<b>100</b>	<b>142,86</b>	<b>57,14</b>	<b>540</b>	<b>1260</b>	<b>4,8</b>

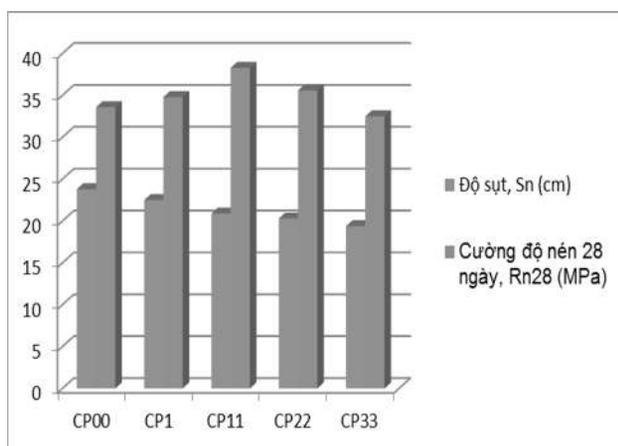
Cấp phối	DD/PGK	PGK		DDHH		Cốt liệu		PGSD
		FA	GBFS	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	NaOH	Cát	Đá	
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
CP11	0,50	200	200	142,86	57,14	540	1260	4,8
CP22	0,50	100	300	142,86	57,14	540	1260	4,8
CP33	0,50	0	400	142,86	57,14	540	1260	4,8

Tiến hành trộn các hỗn hợp vật liệu theo cấp phối trong bảng 5 và thí nghiệm xác định độ sụt (Sn, cm) của các hỗn hợp bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 3106:2007.

Sau đó đúc các tổ mẫu kích thước (15x15x15) cm, mẫu đúc thí nghiệm được chế tạo theo TCVN 3105:1993. Sau khi đúc mẫu 48 giờ, mẫu bê tông Geopolymer được tháo khuôn rồi cho vào tủ sấy dưỡng hộ ở nhiệt độ 60°C liên tục trong 24 giờ. Kết thúc quá trình bảo dưỡng trong tủ sấy, mẫu được lấy ra và bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn, thí nghiệm kiểm tra cường độ nén (Rn, MPa) của các cấp phối bê tông GPM ở 28 ngày tuổi theo TCVN 3118:2012.

Đúc các tổ mẫu gồm 06 mẫu kích thước (D15xH15) cm cho mỗi cấp phối bê tông GPM thiết kế, bảo dưỡng mẫu như các mục trên đến 28 ngày tuổi, thí nghiệm kiểm tra mác chống thấm (W, at) theo TCVN 3116:2007.

Kết quả thí nghiệm độ sụt, cường độ nén của các cấp phối bê tông GPM thiết kế như trên hình 2.



Hình 2. Biểu đồ so sánh Sn và Rn28 của các cấp phối BT GPM

*Nhận xét:* Từ kết quả thí nghiệm một số tính chất kỹ thuật của các cấp phối BT GPM sau khi thay đổi hàm lượng PGK (tỷ lệ FA:GBFS) nhận thấy: Khi hàm lượng Xi lò cao hoạt tính trong hỗn hợp PGK tăng lên thì độ sụt (Sn) của hỗn hợp BT GPM giảm đi, giảm từ 22,5cm (CP1) xuống còn 19,4 cm (CP33). Điều này có thể được lý giải như sau: Trong thành phần của Xi lò cao hoạt tính có một số thành phần khoáng vật được hình thành trong quá trình luyện gang thép, vì vậy khi nghiền mịn thì các thành phần khoáng vật này đã hút nước, kết tinh và rắn chắc, do vậy lượng nước yêu cầu cần cho bê tông khi sử dụng nhiều Xi lò cao hoạt tính sẽ cao hơn khi sử dụng nhiều Tro bay. Cũng chính vì các thành phần khoáng vật này tự kết tinh và rắn chắc nên làm cho cường độ của BT GPM có nhiều hàm lượng Xi lò cao hoạt tính sẽ tăng hơn so với BT GPM có nhiều hàm lượng Tro bay (CP11: 38,3 MPa, CP22: 35,6MPa so với CP1: 34,8 MPa). Tuy nhiên, khi thay thế 100% là Xi lò cao hoạt tính (CP33) thì cường độ của BT GPM lại có xu hướng giảm xuống (giảm từ CP1: 34,8 MPa xuống CP33: 32,5 MPa), điều này được giải thích là do tổng hàm lượng (SiO<sub>2</sub> và Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) có trong Xi lò cao hoạt tính thấp hơn trong Tro bay, nên dung dịch hoạt hóa phản ứng chưa triệt để để tạo ra các gel Polymer trong bê tông, do đó làm giảm cường độ nén của BT GPM.

*Về mác chống thấm thì nhận thấy:* khi hàm lượng Xi lò cao hoạt tính trong BT GPM tăng lên thì mác chống thấm của BT GPM đạt từ W12 (CP00: 100%FA, 0%GBFS; CP1: 75%FA, 25%GBFS) tăng lên W14 (CP11: 50%FA, 50%GBFS và CP22: 25%FA, 75%GBFS) và W16 (CP33: 0%FA, 100%GBFS), tăng lên từ 1

đến 2 cấp so với mẫu đối chứng (CPI). Điều này là do các khoáng vật có trong Xi lò cao hoạt tính tự rắn chắc, nên ngoài kết dính Geopolymer còn có các kết dính của các thành phần khoáng vật này, làm cho bê tông được đặc xít hơn tại các vùng chuyển tiếp giữa các hạt cốt liệu trong cấu trúc của bê tông. Đây cũng là vấn đề cần nghiên cứu thêm về loại bê tông với hàm lượng Xi lò cao hoạt tính cao hơn Tro bay để ứng dụng cho các công trình Thủy lợi thường xuyên chịu tác động của môi trường nước.

#### 4. KẾT LUẬN

Từ các loại vật liệu xây dựng đã nghiên cứu như: Phụ gia khoáng (Tro bay và Xi lò cao hoạt tính), cốt liệu (cát và đá dăm) và dung dịch hoạt hóa ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  và  $\text{NaOH}$ ) đã thiết kế được các cấp phối bê tông Geopolymer đạt các yêu cầu về tính công tác, cường độ nén và mác chống thấm để ứng dụng thi công các công trình Thủy lợi.

Bê tông Geopolymer rắn chắc là quá trình hình thành Geopolymer hóa phức tạp của các thành

phần hóa học có trong phụ gia khoáng được kích hoạt bằng dung dịch hoạt hóa, sau đó Geopolymer gắn kết các hạt cốt liệu thành một thể đồng nhất rắn chắc. Cường độ của bê tông Geopolymer phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ và điều kiện dưỡng hộ, cũng như thời gian dưỡng hộ bê tông. Ngoài ra, tính chất của bê tông Geopolymer còn phụ thuộc vào hàm lượng phụ gia khoáng, tỷ lệ của dung dịch hoạt hóa với tổng lượng phụ gia khoáng, nồng độ của dung dịch hoạt hóa...

Bê tông Geopolymer thiết kế có mác chống thấm rất cao (từ **W12** tăng lên **W16**), cao hơn mác chống thấm của bê tông truyền thống cùng mác thiết kế từ 1 đến 2 cấp. Điều này cho thấy khi sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng (Tro bay và Xi lò cao hoạt tính) với lượng dùng dung dịch hoạt hóa ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  và  $\text{NaOH}$ ) hợp lý, kết hợp lượng dùng phụ gia siêu dẻo trong thiết kế sẽ chế tạo được loại bê tông Geopolymer có độ đặc chắc và tính bền cao, đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật thi công các công trình Thủy lợi.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Barbosa V.F.F, (1999), *Sintese e Caracterizacao de Polissialatos*, PhD Thesis, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil.
- Barbosa V.F.F. and MacKenzie K.J.D., (2003) *Synthesis and Thermal Behavior of Potassium Sialate Geopolymer*, Materials Letters, 57, 1477-1482.
- Davidovits. J, (2011), *Geopolymer Chemistry and Application*, 3<sup>rd</sup> edition, Geopolymer Institute.
- Davidovits. J., (1994), *Properties of Geopolymer Cement*. Proceedings first International conference on Alkaline cements and concretes.
- Olivia. M., (2011), *Durability Related Properties of Low Calcium Fly ash based Geopolymer Concrete*, in *Civil Engineering*, Curtin University of Technology.
- Rangan. B. V, (2008), *Chapter 26: Low-calcium, fly-ash-based geopolymer concrete*, *Concrete Construction Engineering Handbook - 2 edition*, Taylor & Francis, New York, USA.
- Rangan. B. V. (2005), *Development and Properties of Low-calcium fly ash based Geopolymer concrete*, in *Research report GCI: Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth*, Australia. p. 103.
- Sarker. P., A (2008), *Constitutive model for fly ash based Geopolymer concrete*. Architecture Civil Engineering Environment.
- 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*. 43, pp. 125-130.

**Abstract:**  
**STUDY THE EFFECT OF CURING TEMPERATURE AND CONTENT OF MINERAL  
ADDITIVES ON SOME PROPERTIES OF POLYMER CONCRETE**

*Use a mixture of mineral additives (Blast Furnace Granulated Slag and Fly Ash), combined with Alkaline-activated solution (NaOH và  $Na_2SiO_3$ ) and Superplasticizer to mixture proportions of Geopolymer concrete with good workability and compressive strength to meet the technical requirements for the constructions. In order for Geopolymer concrete to develop quickly compressive strength at an early age, heating maintenance is required. When increasing the content of Blast Furnace Granulated Slag in the composition of Geopolymer concrete will increase the waterproofing grade for concrete to W16, the Geopolymer concrete has very high compressive strength and durability.*

**Keywords:** Geopolymer concrete; Fly ash; Blast Furnace Granulated Slag; Alkaline-activated solution; Superplasticizer.

---

*Ngày nhận bài: 28/5/2020*

*Ngày chấp nhận đăng: 08/6/2020*