

# NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG CÁT BIỂN, KẾT HỢP TRO BAY VÀ XỈ LÒ CAO CHẾ TẠO BÊ TÔNG GEOPOLYMER ỨNG DỤNG CHO CÁC CÔNG TRÌNH THỦY LỢI

STUDY ON USING SEA SAND, COMBINING FLY ASH AND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG TO MANUFACTURE THE POLYMER CONCRETE APPLICATIONS FOR IRRIGATION WORKS

PGS. TS. NGUYỄN QUANG PHÚ<sup>1</sup>; TS. NGUYỄN THÀNH LỆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Công trình, Trường đại học Thủy lợi

<sup>2</sup>Vụ Tổ chức cán bộ, Bộ Nông nghiệp và PTNT

Email: [phuvlxd99@gmail.com](mailto:phuvlxd99@gmail.com)

**Tóm tắt:** Sử dụng cát biển, kết hợp tro bay, xỉ lò cao với dung dịch kiềm hoạt hóa và phụ gia siêu dẻo giảm nước để chế tạo bê tông Geopolymer có cường độ nén từ M30 đến M60. Bê tông Geopolymer thiết kế có tính công tác tốt, cường độ nén đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật cho thi công các công trình thủy lợi. Bê tông Geopolymer là một loại bê tông xanh thân thiện với môi trường. Đây là loại bê tông mới, không sử dụng xi măng Poocăng, bê tông chế tạo có tính bền axit, bền sunfat và mác chống thấm cao.

**Từ khóa:** Bê tông Geopolymer; cát biển; dung dịch kiềm hoạt hóa; phụ gia siêu dẻo; tro bay; xỉ lò cao nghiền mịn.

**Abstract:** Using sea sand, combining fly ash, and granulated blast furnace slag with alkaline-activated solution and water-reducing superplasticizer to manufacture Geopolymer concrete with compressive strength from M30 to M60 (MPa). The designed Geopolymer concrete with good workability and compressive strength to meet the technical requirements for the construction of irrigation works. Geopolymer concrete is an environmentally friendly green concrete. This is a new type of concrete that does not use Portland cement, manufactured concrete with acid resistance, sulphate resistance and high waterproofing mark.

**Key words:** Geopolymer concrete; sea sand; alkaline-activated solution; superplasticizer; fly ash; granulated blast furnace slag.

## 1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, các công trình xây dựng nói chung và công trình thủy lợi nói riêng đã

được xây dựng và phát triển ngày càng nhiều nhằm đáp ứng yêu cầu công nghiệp hoá, hiện đại hoá đất nước. Đa số các công trình xây dựng đều theo xu hướng sử dụng bê tông thông thường với chất kết dính xi măng Poocăng truyền thống, đây là chất kết dính truyền thống có ưu điểm về tính dễ thi công và đảm bảo độ tin cậy. Tuy nhiên, các công trình thủy lợi và công trình ven biển chịu tác động rất mạnh của việc xâm thực bê tông xi măng, cần thiết phải nghiên cứu một loại vật liệu mới như một sự bổ sung, đa dạng thêm vật liệu sử dụng cho công trình thủy lợi vùng biển.

Để từng bước hạn chế việc sử dụng xi măng Poocăng làm chất kết dính chế tạo bê tông và hạn chế xâm thực bê tông xi măng cho các công trình bê tông thường xuyên làm việc trong môi trường nước như các công trình thủy lợi, 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, đó là vật liệu Geopolymer. Vật liệu Geopolymer được hình thành do quá trình hoạt hóa giữa vật liệu Alumino-silicate trong môi trường dung dịch chứa kiềm. Trong đó vật liệu Alumino-silicate chứa các thành phần hoạt tính ( $\text{SiO}_2^{\text{VDH}}$  và  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) có trong phụ gia khoáng (tro bay, xỉ lò cao nghiền mịn, 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 và bền vững theo thời gian. Chất kết dính kiềm hoạt hóa đó sử dụng dung dịch kiềm hoạt hóa gồm dung dịch xút và dung dịch thủy tinh lỏng, kết hợp sử dụng phụ gia khoáng vật hoạt tính với một số hoá chất thông thường khác [1].

Trong sản xuất bê tông cần thiết phải có cốt liệu mịn (cát). Do trữ lượng cát tự nhiên để sản xuất bê

tông của nước ta dần dần sẽ ít đi, phân bố không đồng đều ở các vùng miền nên nhiều nơi phải nhập khẩu cát hoặc vận chuyển xa, giá thành tăng lên, thiếu sự chủ động về nguồn cát để chế tạo bê tông. Trong khi đó, các tỉnh ven biển của Việt Nam có trữ lượng cát biển khá lớn, giá thành hạ, có tại vị trí xây dựng công trình. Vì vậy, nếu sử dụng được loại cát này sản xuất bê tông sẽ có thêm nguồn cốt liệu mịn, mở rộng được việc sử dụng tài nguyên thiên nhiên sẵn có, giải quyết được một phần khan hiếm về cát dùng cho bê tông hiện nay và về lâu dài. Ở một số vùng khan hiếm cát đạt tiêu chuẩn để sản xuất cho bê tông, nhưng sẵn nguồn cát biển với giá thành rẻ, khai thác tại chỗ, thì việc sử dụng cát biển thay thế cát tự nhiên sẽ góp phần làm giảm giá thành bê tông, giảm giá thành xây dựng công trình.

Để chế tạo bê tông Geopolymer, người ta thường sử dụng cốt liệu mịn (cát) có chất lượng tốt, cụ thể là cát có cấp phối hạt hợp lý, ít tạp chất bụi, bùn, sét...; cát có mô đun độ lớn  $M_{dl} \geq 2$  (cát thô) thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 7570: 2006. Tuy nhiên, ở nước ta có trữ lượng cát biển rất lớn, nhưng cát biển khá mịn và có mô đun độ lớn dưới 2. Vì vậy, cần phải nghiên cứu đưa loại cát biển này vào sản xuất bê tông Geopolymer cho tất cả các công trình xây dựng một cách hợp lý.

Tại Việt Nam, theo báo cáo của Bộ Công thương thì dự kiến đến năm 2020, cả nước có thêm 12 dự án nhiệt điện than đi vào hoạt động, khi đó sẽ thải thêm ra khoảng 23÷25 triệu tấn tro xỉ mỗi năm, như vậy nguy cơ không có đủ diện tích trống để làm bãi thải lượng tro xỉ thải ra, gây ô nhiễm nguồn nước và môi trường. Bên cạnh đó, ở nước ta 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, Khu liên hợp gang thép Hòa Phát tại Kinh Môn - Hải Dương,... 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 lý tồn kém và cần diện tích rất 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 và tro bay nhiệt điện than làm phụ gia khoáng để sản xuất bê tông mang lại hiệu quả kinh tế cao, giảm

thiểu ô nhiễm môi trường.

Xuất phát từ những ý tưởng trên, trong đề tài sử dụng cát biển thay thế cát tự nhiên để chế tạo bê tông Geopolymer (BT GPM). Đề tài ứng dụng các nguồn phụ phẩm công nghiệp (*xỉ lò cao hoạt tính và tro bay*) làm phụ gia khoáng, kết hợp với dung dịch hoạt hóa (*dung dịch NaOH và  $Na_2SiO_3$* ), kết hợp phụ gia siêu dẻo giảm nước để sản xuất bê tông Geopolymer ứng dụng cho các công trình thủy lợi và các công trình ven biển. Bê tông Geopolymer thiết kế có cường độ và tính bền cao, mác chống thấm vượt trội so với bê tông truyền thống, đặc biệt là khả năng chống xâm thực rất tốt. Bê tông Geopolymer là loại "*bê tông xanh*" thân thiện với môi trường, khi được nghiên cứu và đưa vào ứng dụng trong các công trình xây dựng nói chung và công trình thủy lợi, công trình vùng biển nói riêng sẽ mang lại hiệu quả về kinh tế, góp phần bảo vệ môi trường.

## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1 Phụ gia khoáng

#### a. Tro bay

Tro bay: dùng loại tro bay nhiệt điện lấy trực tiếp chưa tuyển có độ ẩm 1,05%; khối lượng riêng 2,42 g/cm<sup>3</sup>; khối lượng thể tích xốp 1,18 g/cm<sup>3</sup> và thành phần hóa học của tro bay như sau: SiO<sub>2</sub> = 51,3%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 31,65%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 3,61%; SO<sub>3</sub> = 0,29%; MgO = 0,82%; CaO = 0,81% và MKN = 5,24%. Chỉ số hoạt tính sau 7 ngày đạt 72,6% và sau 28 ngày đạt 89,8%. Diện tích bề mặt riêng 3600 cm<sup>2</sup>/g.

Tro bay được phân tích và kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý cho thấy loại tro bay nghiên cứu thuộc loại F, phù hợp TCVN 10302:2014 và ASTM C618-03.

#### b. Xỉ lò cao hoạt tính

Xỉ lò cao hoạt tính nghiên cứu mịn có khối lượng riêng 2,67 g/cm<sup>3</sup>, diện tích bề mặt (độ mịn) 3600 cm<sup>2</sup>/g. Xỉ lò cao hoạt tính có thành phần hóa học cơ bản: SiO<sub>2</sub> = 36,38%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 15,76%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,55%; SO<sub>3</sub> = 1,25% và MKN = 0,91%. Các chỉ tiêu cơ lý của xỉ lò cao hoạt tính thỏa mãn theo TCVN 11586:2016 và BS EN 15167-1:2006.

### 2.2 Cốt liệu

#### a. Cốt liệu mịn

Trong nghiên cứu sẽ sử dụng 2 loại cát để chế tạo bê tông Geopolymer: Cát biển và cát tự nhiên (cát sử dụng để sản xuất bê tông thông thường).

**Cát tự nhiên:** cát được lấy từ công trình và đưa về kiểm tra các chỉ tiêu cơ lý tại phòng thí nghiệm. Cát có khối lượng riêng 2,62 g/cm<sup>3</sup>; khối lượng thể tích xốp 1,65 g/cm<sup>3</sup>; độ rỗng 37,0%; mô đun độ lớn 2,62; hàm lượng ion Cl<sup>-</sup> = 0,0016%; tạp chất nằm trong phạm vi cho phép. Cát tự nhiên dùng chế tạo bê tông Geopolymer có thành phần hạt và các chỉ tiêu cơ lý phù hợp TCVN 7570:2006.

**Cát biển:** Thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý được khối lượng riêng 2,55 g/cm<sup>3</sup>; khối lượng thể tích xốp 1,58 g/cm<sup>3</sup>; độ rỗng 38,04%; độ ẩm 3,5%; mô đun độ lớn 1,85; hàm lượng ion Cl<sup>-</sup> = 0,22%; tạp chất nằm trong phạm vi cho phép. Thành phần hạt của cát biển như trong bảng 1.

**Bảng 1. Thành phần hạt của cát biển**

Kích thước mắt sàng, mm	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Lượng sót tích lũy, %	0	0	8,60	28,50	59,30	88,60

Một số chỉ tiêu cơ lý của cát biển (khối lượng riêng, khối lượng thể tích, tạp chất...) thỏa mãn yêu cầu TCVN 7570:2006. Tuy nhiên, về thành phần hạt và mô đun độ lớn của cát biển không thỏa mãn TCVN 7570:2006 ( $M_{dl} = 1,85 < 2$ ) là do cát biển mịn hơn rất nhiều cát tự nhiên. Trong thiết kế thành phần BT GPM sẽ điều chỉnh hàm lượng PGK và phụ gia siêu dẻo hợp lý để đạt được các yêu cầu kỹ thuật của bê tông thiết kế.

### b. Cốt liệu thô

Cốt liệu thô (đá dăm) lấy ở công trình xây dựng và được đưa về phòng để thí nghiệm phối trộn thành cấp phối liên tục có  $D_{max} = 20\text{mm}$ , đá dăm cỡ (5-20) mm có hàm lượng hạt to hơn 4,2%; khối lượng riêng 2,65 g/cm<sup>3</sup>; khối lượng thể tích xốp 1,68 g/cm<sup>3</sup>; độ hút nước 1,25%; tạp chất nằm trong phạm vi cho phép. Đá có thành phần hạt và tính chất cơ lý đạt tiêu chuẩn 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%. Dung dịch Natri hydroxyt có nồng độ mol theo yêu cầu thiết kế. Dung dịch Natri silicat được đặt mua có tỷ lệ SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O = 2,5.

### 2.4 Phụ gia siêu dẻo

Để hỗn hợp BT GPM có tính công tác 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 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, cũng như điều kiện thi công của bê tông Geopolymer thiết kế.

### 3. Thiết kế bê tông geopolymer và kết quả thí nghiệm

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

Thiết kế và lựa chọn thành phần các loại vật liệu của BT GPM như sau:

- Phụ gia khoáng (PGK) là tro bay (FA) và xỉ lò cao hoạt tính nghiền mịn (GBFS);
- Dung dịch kiềm hoạt hóa (DD) được sử dụng trong thí nghiệm để kích hoạt quá trình geopolymer hóa. 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 theo thiết kế.

Từ các vật liệu xây dựng đã thí nghiệm ở trên, dựa vào các lựa chọn về PGK và dung dịch kiềm hoạt hóa, tiến hành tính toán thành phần vật liệu cho các cấp phối bê tông khác nhau như ở trong bảng 2.

**Bảng 2. Thành phần vật liệu của các cấp phối bê tông GPM thiết kế**

Mức thiết kế	PGK		DD		Cốt liệu		PGSD (lít)
	FA (kg)	GBFS (kg)	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (kg)	NaOH (kg)	Cát biển (kg)	Đá (kg)	
M60	316,6	211,1	113,1	45,2	600	1165	6,6
M50	294,0	196,0	140,0	56,0	600	1165	6,1
M40	274,4	183,0	163,3	65,3	600	1165	5,7
M30	257,3	171,5	183,8	73,5	600	1165	5,4

Tiến hành trộn các mẫu bê tông Geopolymer thiết kế theo cấp phối ở bảng 2, 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 ( $R_n$ ), mác chống thấm, độ bền axit và độ bền sunfat cho các cấp phối bê tông GPM sử dụng cát biển. Thay thế cát biển bằng cát tự nhiên, tiến hành các thí nghiệm tương tự để so sánh và đánh giá.

**3.2 Kết quả thí nghiệm độ sụt của hỗn hợp bê tông GPM**

Trộn các hỗn hợp bê tông GPM với cấp phối đã thiết kế như trong bảng 2, sử dụng nón sụt tiêu chuẩn thí nghiệm xác định độ sụt của các hỗn hợp bê tông (HHBT) theo tiêu chuẩn TCVN 3106:2007. Kết quả thí nghiệm độ sụt ( $S_n$ , cm) của các hỗn hợp bê tông thể hiện như trong bảng 3.

**Bảng 3. Kết quả thí nghiệm độ sụt các hỗn hợp bê tông GPM**

Mác thiết kế	Cấp phối	Độ sụt, $S_n$ (cm)	
		BT GPM cát biển	BT GPM cát tự nhiên
M60	CP1	15,8	19,2
M50	CP2	17,6	20,8
M40	CP3	19,5	23,2
M30	CP4	20,2	23,8

*Nhận xét:* Từ kết quả về độ sụt của các HHBT ở bảng 3 nhận thấy, khi tỷ lệ dung dịch kiềm hoạt hóa và phụ gia khoáng tăng lên thì độ sụt của HHBT GPM sử dụng cát biển tăng lên, tăng từ 15,8 cm lên 20,2 cm. Khi sử dụng cát tự nhiên, thì độ sụt tăng lên từ 19,2 cm đến 23,8 cm tương ứng. Độ sụt của HHBT GPM sử dụng cát biển giảm từ 3,4 cm đến 3,6 cm so với HHBT GPM sử dụng cát tự nhiên; tuy nhiên các cấp phối bê tông GPM thiết kế đều thỏa mãn yêu cầu về tính công tác cho bê tông thi công các công trình thủy lợi theo TCVN 8218:2009 (*Bê tông thủy công - Yêu cầu kỹ thuật*) và TCVN 9139:2012 (*Công trình thủy lợi - Kết cấu bê tông, bê tông cốt thép vùng ven biển - Yêu cầu kỹ thuật*). Điều này cho thấy, cát biển mịn hơn cát tự nhiên rất nhiều nên hút nước mạnh hơn (Mô đun độ lớn của cát biển  $M_{dl} = 1,85$ ; còn cát tự nhiên  $M_{dl} = 2,62$ ), sẽ làm cho độ sụt của HHBT sử dụng cát biển giảm mạnh. Sự có mặt của phụ gia siêu dẻo giảm nước bậc cao gốc Polycarboxylate trong BT GPM sử dụng cát biển là rất cần thiết để duy trì độ sụt của HHBT trong quá trình thi công.

Trong quá trình làm thí nghiệm, quan sát các hỗn hợp BT GPM sau khi trộn cũng thấy được độ đồng nhất của HHBT tươi rất tốt, không có hiện tượng phân tầng và không xuất hiện tách nước tại mép rìa ngoài của HHBT sau khi trộn và sau khi làm thí nghiệm kiểm tra độ sụt.

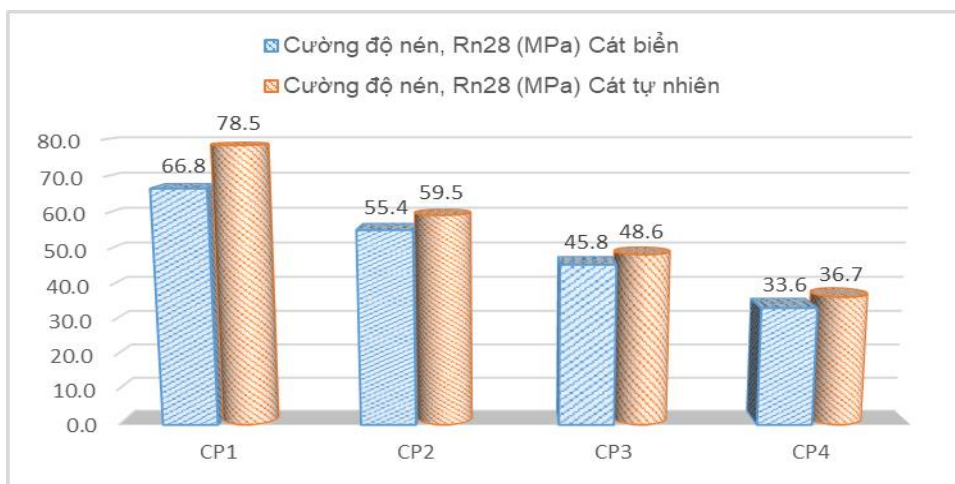
**3.3 Kết quả thí nghiệm cường độ nén của bê tông GPM**

Để kiểm tra cường độ nén của các cấp phối bê tông GPM, tiến hành đúc các tổ mẫu thí nghiệm được chế tạo theo TCVN 3105:1993, các mẫu bê tông sau khi đúc sẽ được tháo khuôn, 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 28 ngày tuổi.

Kết quả thí nghiệm cường độ nén ở 28 ngày tuổi của các cấp phối bê tông GPM thiết kế với cát biển và cát tự nhiên như trong bảng 4 và hình 1.

**Bảng 4. Kết quả thí nghiệm cường độ nén các cấp phối bê tông GPM**

Cấp phối	$R_n^{28}$ (MPa) - Cát biển	$R_n^{28}$ (MPa) - Cát tự nhiên
CP1	66.8	78.5
CP2	55.4	59.5
CP3	45.8	48.6
CP4	33.6	36.7



**Hình 1. 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 BT GPM thiết kế nhận thấy: tất cả các cấp phối BT GPM thiết kế có cường độ nén ở tuổi 28 ngày đều đạt mức trên 30 ÷ 60 MPa, mức BT GPM thiết kế phù hợp với một số mức bê tông thi công cho các công trình thủy lợi và các công trình vùng biển.

Cường độ nén của các mẫu BT GPM chế tạo bằng cát biển giảm từ 6% đến 15% so với các mẫu BT GPM chế tạo bằng cát tự nhiên, sự giảm cường độ nén như vậy cũng không phải là chênh lệch quá nhiều khi thay thế cát biển bằng cát tự nhiên để chế tạo BT GPM. Như vậy, việc thay thế cát biển bằng cát tự nhiên để chế tạo BT GPM là khả thi.

**3.4 Kết quả thí nghiệm mác chống thấm của bê tông GPM**

Các mẫu bê tông thí nghiệm mác chống thấm được chuẩn bị và thí nghiệm theo TCVN 3116:2007. Tiến hành đúc 06 mẫu kích thước (D15xH15)cm cho mỗi cấp phối bê tông GPM thiết kế, các mẫu bê tông sau khi đúc được tháo khuôn và bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn cho đến khi mẫu đủ 28 ngày tuổi, sau đó tiến hành kiểm tra mác chống thấm.

Kết quả thí nghiệm mác chống thấm của các cấp phối bê tông GPM thiết kế sau 28 ngày tuổi được thể hiện trong bảng 5.

**Bảng 5. Kết quả thí nghiệm mác chống thấm của các cấp phối BT GPM**

Mác thiết kế	Mác chống thấm, W (at)	
	BT GPM cát biển	BT GPM cát tự nhiên
M30	W12	W12
M40	W14	W14
M50	W16	W16
M60	W16	W16

Về mác chống thấm thì cả 2 loại BT GPM chế tạo bằng cát biển và cát tự nhiên đều đạt mác chống thấm rất cao từ W12 đến W16. Tất cả các mẫu BT GPM thiết kế đều vượt mác chống thấm yêu cầu của bê tông dùng cho các công trình thủy lợi (TCVN 8218:2009, *Bê tông thủy công - Yêu cầu kỹ thuật* và TCVN 9139:2012, *Công trình thủy lợi - Kết cấu bê tông, bê tông cốt thép vùng ven biển - Yêu cầu kỹ thuật*).

Từ kết quả thí nghiệm ở bảng 5 và so sánh với một số nghiên cứu về mác chống thấm của bê tông cùng mác thiết kế sử dụng 100% là xi măng [10], nhận thấy: mác chống thấm của BT GPM cao hơn mác chống thấm của bê tông sử dụng xi măng

truyền thống cùng mác từ 2 đến 3 cấp (mỗi cấp 2at). Điều này cho thấy, mặt tiếp xúc giữa chất kết dính Geopolymer và cốt liệu trong bê tông Geopolymer là bền chắc và đặc xít hơn so với bê tông xi măng. Đối với BT GPM sử dụng PGK tro bay và xỉ lò cao hoạt hóa, đặc điểm của ranh giới giữa chất kết dính Geopolymer và cốt liệu là không có vùng chuyển tiếp, do đó BT GPM có các tính chất cơ học và độ bền tốt hơn bê tông xi măng thông thường, điều này cũng phù hợp với cường độ nén của bê tông thí nghiệm được tương ứng.

Khi thiết kế thành phần bê tông GPM với hàm lượng pha trộn phụ gia khoáng và dung dịch hoạt

hóa, kết hợp phụ gia siêu dẻo giảm nước hợp lý sẽ được một loại bê tông GPM có mác chống thấm rất cao, điều này cho thấy bê tông GPM thiết kế có độ đặc chắc rất cao. Với các mác chống thấm cao như vậy thì BT GPM thiết kế có thể sử dụng cho một số công trình Thủy lợi vùng biển có yêu cầu cao về chống thấm, chống xâm thực.

### **3.5 Hiệu quả ứng dụng BT Geopolymer cho các công trình thủy lợi**

Một trong những nguyên nhân gây ra hư hỏng cho các kết cấu bê tông và bê tông cốt thép công trình thủy lợi đó là sự thấm nước qua bê tông. Do đặc điểm của công trình thủy lợi là có một bộ phận hoặc toàn bộ công trình thường xuyên, hoặc không thường xuyên tiếp xúc với nước. Trong môi trường nước có thể có chứa các tác nhân ăn mòn bê tông như  $\text{CO}_2$ ;  $\text{SO}_4^{-2}$ ;  $\text{Ca}^{+2}$ ;  $\text{Mg}^{+2}$ ;  $\text{NH}_3$ ... nếu như bê tông có chất lượng tốt, đặc chắc, ít lỗ rỗng, khả năng chống thấm nước cao thì nước khó có thể thấm vào bên trong kết cấu, không gây ra hiện tượng ăn mòn và phá hủy cốt thép; ngược lại, khả năng chống thấm nước thấp, nước sẽ thấm vào bê tông, với những tác nhân ăn mòn trong nước làm rỉ cốt thép, nở thể tích gây nứt vỡ kết cấu bê tông, khi đó hiện tượng xâm thực xảy ra có nguy cơ phá vỡ kết cấu và làm suy giảm cường độ cũng như tính bền của công trình.

Một số dạng phá hủy các công trình bê tông và bê tông cốt thép thường xuyên làm việc trong môi trường nước là hiện tượng xâm thực hóa học, xâm thực cơ học, xâm thực vi sinh vật và xâm thực của ion Clo ( $\text{Cl}^-$ ).

Để khắc phục sự phá hoại bê tông và bê tông cốt thép các công trình thủy lợi có nhiều giải pháp khác nhau, tuy nhiên tùy vào từng hạng mục công trình và điều kiện làm việc của các công trình khác nhau, sẽ đưa ra các giải pháp hạn chế xâm thực và phá hoại các kết cấu bê tông. Một trong các giải pháp ngay từ đầu là lựa chọn loại bê tông thích hợp với từng hạng mục công trình, sau đó tính toán và thiết kế cấp phối một cách hợp lý.

Thiết kế và sử dụng bê tông GPM với các loại phụ gia khoáng gồm tro bay và xỉ lò cao hoạt tính được kích hoạt bằng chất hoạt hóa gồm ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  và  $\text{NaOH}$ ) là một ý tưởng cần được quan tâm trong xây dựng công trình nói chung và ứng dụng cho các công trình thủy lợi nói riêng. Đây là giải pháp mới

hiệu quả, giúp tăng cường độ kéo uốn cho bê tông, tăng độ đặc chắc, tăng độ bền cho bê tông; bê tông Geopolymer chế tạo có khả năng chịu va đập và chống nứt tốt, mác chống thấm cao, bê tông có khả năng chống xâm thực tốt khi làm việc trong môi trường nước có các tác nhân xâm thực mạnh như môi trường nước biển, môi trường nước thải của các khu công nghiệp, môi trường chứa axit, môi trường sulfat...

Với các công trình thủy lợi thường xuyên làm việc trong môi trường nước, thường xuyên chịu áp lực nước, đặc biệt là các công trình ven biển thì các kết cấu bê tông và bê tông cốt thép luôn chịu tác động của môi trường xâm thực khắc nghiệt. Vì vậy, nếu ứng dụng BT GPM trong xây dựng cho các công trình thủy lợi sẽ có những tác dụng tích cực, vì BT GPM bền sunfat, bền axit, không gây trương nở.

#### *a. Bê tông Geopolymer bền Axit*

Nghiên cứu về độ bền của các mẫu BT GPM ngâm trong dung dịch axit Sulfuric ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) nồng độ 0,5%; 1% và 2%. Sau một năm, bề mặt mẫu bị ăn mòn tăng lên khi nồng độ dung dịch axit càng tăng. Quan sát các mẫu thí nghiệm thấy hiện tượng ăn mòn chỉ xảy ra ở lớp vỏ bên ngoài khoảng 3÷9 mm đối với mẫu trụ (D10 x H20) cm. Sự mất mát khối lượng tối đa của mẫu thử thu được là khoảng 2,5÷3,5% sau 1 năm, kết quả này là tương đối nhỏ so với bê tông xi măng Poóclăng. Sự sụt giảm về cường độ nén cũng phụ thuộc vào nồng độ của dung dịch axit và thời gian tiếp xúc.

Các kết quả nghiên cứu trước đây cho thấy vật liệu Geopolymer kháng axit tốt hơn so với xi măng Poóclăng [3]. Tính chất vượt trội này là do lượng Canxi ( $\text{Ca}^{+2}$ ) trong BT GPM thấp hơn rất nhiều so với bê tông xi măng Poóclăng, do đó có thể ứng dụng BT GPM cho các công trình có yêu cầu độ bền cao, các công trình chịu các tác nhân ăn mòn của môi trường nước có chứa nhiều các loại axit như cống dẫn nước, các công trình ngầm, đập ngăn nước, các công trình vùng biển, các khu nuôi trồng thủy sản...

#### *b. Bê tông Geopolymer bền Sunfat*

Để nghiên cứu về độ bền Sunfat của các mẫu BT GPM được ngâm trong dung dịch  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5% trong thời gian một năm. Hình ảnh trực quan của các mẫu sau khi ngâm không có bất kỳ dấu hiệu của sự xói mòn bề mặt, nứt hoặc nứt vỡ. Các thử



nghiệm cũng cho thấy không có sự thay đổi đáng kể trong khối lượng và cường độ nén của các mẫu thử trong các thời điểm tiếp xúc khác nhau sau một năm ngâm mẫu. Sự thay đổi chiều dài mẫu là rất nhỏ và ít hơn 0,012% đến 0,015%. Kết quả này cũng phù hợp với một số nghiên cứu của các tác giả ở nước ngoài [4, 5].

Sự suy thoái của bê tông xi măng Poóclăng chịu xâm thực Sunfat là do sự hình thành của thạch cao ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) và Ettringite ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ ) gây ra giãn nở dẫn đến nứt, nứt vỡ bên trong làm giảm cường độ và độ bền cơ học của bê tông. Bê tông Geopolymer rất ít canxi ( $\text{Ca}^{+2}$ ) trải qua một cơ chế khác hoàn toàn so với bê tông xi măng Poóclăng do sản phẩm của quá trình Geopolymer hóa khác với sản phẩm của quá trình thủy hóa. Không có thạch cao hay Ettringite hình thành trong sản phẩm của quá trình Geopolymer hóa, do đó không có cơ chế của sự tác dụng Sunfat vào bê tông Geopolymer. Vì vậy, BT GPM bền trong môi trường Sunfat, rất phù hợp thi công các công trình thủy lợi và công trình vùng biển.

#### 4. Kết luận

Trong đề tài đã sử dụng phụ gia khoáng là tro bay và xỉ lò cao hoạt tính, dung dịch hoạt hóa (dung dịch NaOH và  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), kết hợp phụ gia siêu dẻo giảm nước bậc cao gốc Polycarboxylate để chế tạo BT GPM cát biển và cát tự nhiên đạt mác bê tông thiết kế trên  $30 \div 60$  MPa. Khi sử dụng cát biển thay thế cát tự nhiên chế tạo BT GPM thì cường độ nén của BT GPM cát biển giảm từ 6 đến 15% so với BT GPM sử dụng cát tự nhiên. Mác chống thấm thì tương đương nhau, đều đạt từ W12 đến W14. Tất cả các mác bê tông GPM thỏa mãn yêu cầu thi công cho một số công trình thủy lợi và công trình vùng biển.

Qua đó cho thấy, việc nghiên cứu và đưa vào sử dụng cát biển thay thế cát tự nhiên để sản xuất BT GPM là rất cần thiết ở vùng ven biển có nguồn cát biển dồi dào. Khi sử dụng loại cát biển này trong chế tạo BT GPM sẽ có thêm nguồn cốt liệu mịn đa dạng, tận dụng được tài nguyên thiên nhiên sẵn có tại chỗ, giải quyết một phần khan hiếm về cát dùng cho bê tông hiện nay và về lâu dài, cần được nghiên cứu và đưa vào thử nghiệm với các công trình thực tế.

BT GPM có mác chống thấm cao, tính bền axit và bền sunfat, phù hợp thi công một số công trình thủy lợi và công trình vùng biển (giới hạn cho một số hạng mục công trình không có cốt thép hoặc ít

cốt thép) thường xuyên làm việc trong môi trường nước, chịu các tác nhân của hiện tượng xâm thực mạnh. Trong thiết kế BT GPM cần thiết phải điều chỉnh hàm lượng PGK, dung dịch hoạt hóa và phụ gia siêu dẻo giảm nước hợp lý để đạt được các chỉ tiêu kỹ thuật theo yêu cầu.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Davidovits. J (2011), *Geopolymer Chemistry and Application, 3<sup>rd</sup> edition, Geopolymer Institute.*
2. Feng Rao, Qi Liu, (2015), *Geopolymerization and Its Potential Application in Mine Tailings Consolidation: A Review, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review 36.*
3. 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.*
4. Palomoa, P. Krivenkob, I. Garcia-Lodeiroa, E. Kavaleroab (2014), *A review on alkaline activation: New analytical perspectives Materiales de construccion, vol 64, No 315.*
5. 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.*
6. 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.*
7. Sarker. P., A (2008), *Constitutive model for fly ash based Geopolymer concrete. Architecture Civil Engineering Environment.*
8. Turner. L. K and Collins. F. G (2013), *Carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub>-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete, Construction and Building Materials, vol.43, pp. 125-130.*
9. XU. H, Van Deventer. J.S.J (2000), *the geopolymerisation of alumino-silicate minerals, International Journal of Mineral Processing, vol.59, pp. 247-266.*
10. Nguyễn Quang Phú, Cao Đức Việt, Hoàng Phó Uyên (2010), *Nghiên cứu xác định mối quan hệ mác chống thấm W và hệ số thấm K của bê tông truyền thống dùng trong các công trình thủy lợi. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, số tháng 9/2010.*

Ngày nhận bài: 27/7/2021.

Ngày nhận bài sửa: 10/8/2012.

Ngày chấp nhận đăng: 17/8/2021.





