

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA DUNG DỊCH KIỀM HOẠT HÓA ĐẾN MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG GEOPOLYMER

Nguyễn Quang Phú¹, Ngô Thị Ngọc Vân¹

Tóm tắt: Thiết kế thành phần bê tông Geopolymer thay đổi tỷ lệ dung dịch kiềm hoạt hóa (NaOH và Na_2SiO_3) và hỗn hợp phụ gia khoáng (Xi lò cao hoạt tính và Tro bay) tương ứng là 0.3, 0.4, 0.5 và 0.6. Sử dụng dung dịch kiềm hoạt hóa với tỷ lệ sodium silicate và sodium hydroxide là 2.0. Kết quả cho thấy khi tỷ lệ dung dịch kiềm hoạt hóa tăng lên thì cường độ và tính công tác của bê tông Geopolymer tăng lên, quá trình hoạt hóa diễn ra triệt để hơn.

Từ khóa: Bê tông Geopolymer; Dung dịch kiềm hoạt hóa; Cường độ nén; Sodium silicate; Sodium hydroxide.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chất kết dính kiềm hoạt hóa sử dụng bao gồm dung dịch kiềm hoạt hóa (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 (Davidovits, J, 2011). Cơ chế của chất kết dính mới này chủ yếu là quá trình polymer hoá các thành phần dioxit silic 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, nghiên cứu và sản xuất loại bê tông này sẽ từng bước hạn chế việc sử dụng xi măng Poocăng làm chất kết dính sản xuất bê tông thông thường trong xây dựng hiện nay.

Khi thay đổi nồng độ và tỷ lệ của dung dịch kiềm hoạt hóa (DD) thì vai trò của dung dịch hoạt hóa sẽ ảnh hưởng đáng kể đến cường độ và một số tính chất của vật liệu bê tông Geopolymer (BT GPM). Ngoài ra, một số nghiên cứu cũng chỉ ra rằng khi hàm lượng ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) có trong Phụ gia khoáng (PGK), sự thay đổi trong thành phần sodium silicate và sodium hydroxide trong dung dịch kiềm hoạt hóa cũng ảnh hưởng đến tính chất

của bê tông Geopolymer (S.V. Joshi và M.S. Kadu, 2012).

Trong đề tài sử dụng dung dịch kiềm hoạt hóa gồm NaOH và Na_2SiO_3 , phụ gia khoáng (PGK) gồm Tro bay và Xi lò cao hoạt tính làm chất kết dính kiềm hoạt hóa để sản xuất BT GPM. Thay đổi tỷ lệ DD/PGK để thiết kế thành phần BT GPM. Thông qua kết quả thí nghiệm, đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng dung dịch kiềm hoạt hóa đến một số tính chất của BT GPM.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP 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/cm³; khối lượng thể tích xốp 0,955 g/cm³ và thành phần hóa học của tro bay như sau: $\text{SiO}_2 = 52,3\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 30,65\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 7,61\%$; $\text{SO}_3 = 0,29\%$ và MKN = 2,84%.

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

2.1.2. Xi lò cao hoạt tính

Xi lò cao hoạt tính nghiên cứu từ công ty Hòa Phát có khối lượng riêng 2,67 g/cm³, tỷ diện tích

¹Bộ môn Vật liệu xây dựng, Khoa Công trình

bề mặt (độ mịn) 3600 cm²/g. Xi lò cao hoạt tính có thành phần hóa học cơ bản: SiO₂ = 36,38%; Al₂O₃ = 15,76%; Fe₂O₃ = 0,55%; SO₃ = 1,25% và MKN = 0,91%. Các chỉ tiêu cơ lý của xi lò cao hoạt tính thỏa mãn TCVN 11586:2016 và BS EN 15167-1:2006.

2.2. Cốt liệu

2.2.1. Cốt liệu mịn

Cốt liệu mịn (cát) trong thí nghiệm sử dụng 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 2,66 g/cm³; khối lượng thể tích xốp 1,62 g/cm³; độ rỗng 39,1%; mô đun độ lớn 2,56; tạp chất nằm trong phạm vi cho phép. Cát dùng chế tạo bê tông Geopolymer có thành phần hạt và các chỉ tiêu cơ lý 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 (5-20) mm được phối trộn thành cấp phối liên tục có D_{max} = 20mm, đá có khối lượng riêng 2,78 g/cm³; khối lượng thể tích xốp 1,68 g/cm³; độ hút nước 0,55%; 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 kiềm hoạt hóa là hỗn hợp của dung dịch Natri hydroxyt (NaOH) và thủy tinh lỏng (Na₂SiO₃).

Natri hydroxyt dạng vảy khô có độ tinh khiết trên 98%, khối lượng riêng là 2,13 g/cm³. Dung

dịch Natri hydroxyt có nồng độ mol theo yêu cầu là 16M.

Dung dịch Natri silicat (Na₂SiO₃) được đặt mua có tỷ lệ SiO₂/Na₂O = 2,5 và tỷ trọng 1,42±0,01 g/cm³.

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 đã sử dụng phụ gia siêu dẻo giảm nước bậc cao AM-S50 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 BT GPM 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) gồm Tro bay và Xi lò cao hoạt tính với tỷ lệ FA: GBFS = 75:25

+ Dung dịch kiềm 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 Na₂SiO₃, tỷ lệ khối lượng dung dịch Na₂SiO₃/NaOH là 2,0.

+ Tỷ lệ DD/PGK = 0,30; 0,40; 0,50 và 0,60

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 1.

Bảng 1. Thành phần vật liệu của các cấp phối bê tông GPM thiết kế

Cấp phối	DD/PGK	PGK		DD		Cốt liệu		PGSD
		FA	GBFS	Na ₂ SiO ₃	NaOH	Cát	Đá	
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
CP1	0,30	345	115	92,00	46,00	552	1286	5,5
CP2	0,40	345	115	122,67	61,33	552	1286	5,5
CP3	0,50	345	115	153,33	76,67	552	1286	5,5
CP4	0,60	345	115	184,00	92,00	552	1286	5,5

Tiến hành trộn các mẫu BT GPM thiết kế theo cấp phối ở bảng 1, thí nghiệm kiểm tra tính công tác của các hỗn hợp bê tông (độ sụt, S_n). Khi các hỗn hợp bê tông đạt yêu cầu về tính công tác, tiếp tục đúc mẫu kiểm tra cường độ nén (R_n) và cường độ kéo khi uốn (R_k) cho các cấp phối bê tông.

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 1, 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 HHBT thể hiện như trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm độ sụt các hỗn hợp bê tông GPM

Cấp phối	DD/CKD	Độ sụt, S_n (cm)
CP1	0,30	16,8
CP2	0,40	19,6
CP3	0,50	20,5
CP4	0,60	21,8

Nhận xét: Trong quá trình làm thí nghiệm độ sụt và đúc mẫu BT GPM thì nhận thấy các HHBT duy trì được độ sụt trong suốt thời gian làm các thí nghiệm chế tạo mẫu. Quan sát hỗn hợp BT GPM sau khi trộn cũng thấy được độ đồng nhất của các hỗn hợp bê tông 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.

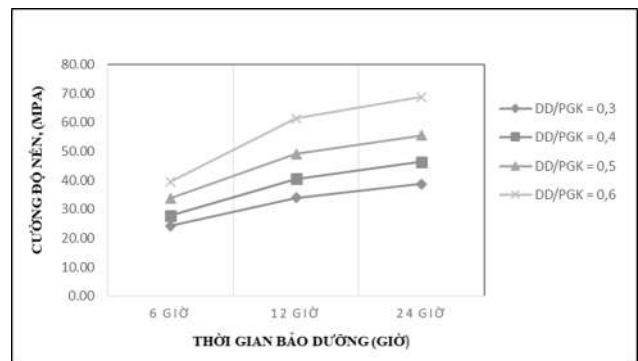
Ngoài ra, từ kết quả về độ sụt của các HHBT nhận thấy khi tỷ lệ dung dịch kiềm hoạt hóa và phụ gia khoáng (DD/CKD) tăng lên thì độ sụt của HHBT tăng lên, tăng từ 16,8 cm lên 21,8 cm tương ứng với tỷ lệ DD/CKD = 0,3 đến 0,6; điều này được lý giải là khi dung dịch kiềm hoạt hóa tăng lên, thì hàm lượng sodium hydroxide trong HHBT tăng lên, khả năng phản ứng trong môi trường hoạt hóa tăng lên sẽ tạo ra các chuỗi -Si-O-Al

và Si-O-Si nhiều hơn và chặt chẽ hơn làm cho độ sụt tăng lên.

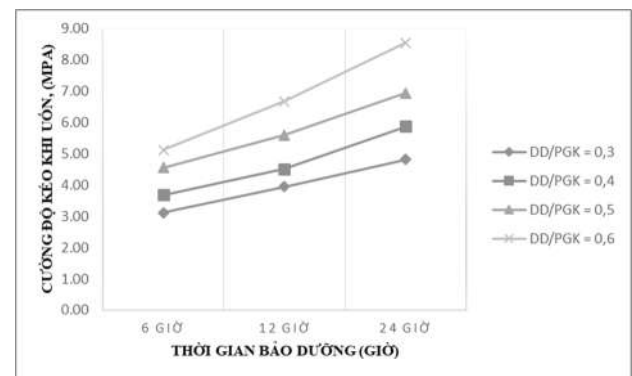
3.3. Kết quả thí nghiệm cường độ nén và kéo của bê tông GPM

Để kiểm tra cường độ nén và kéo khi uốn cho 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 rồi cho vào tủ sấy dưỡng hộ ở nhiệt độ 60°C trong 6, 12 và 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 và kéo khi uốn của các cấp phối bê tông GPM ở 28 ngày tuổi.

Kết quả thí nghiệm cường độ nén và kéo khi uốn ở 28 ngày tuổi của các cấp phối bê tông GPM thiết kế như trong hình 1 và 2.



Hình 1. Biểu đồ so sánh cường độ nén của các cấp phối BT GPM



Hình 2. Biểu đồ so sánh cường độ kéo khi uốn 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: tất cả các cấp phối bê tông GPM thiết kế có cường độ nén ở tuổi 28 ngày đều đạt mức trên 30 đến 60 MPa tương ứng với các tỷ lệ Dung dịch kiềm hoạt hóa (DD)/Phụ gia khoáng (PGK): DD/PGK = 0,30 đến 0,60 khi giữ nguyên hàm lượng PGK mà chỉ thay đổi lượng Dung dịch kiềm hoạt hóa; mức bê tông GPM thiết kế phù hợp với một số mức bê tông thi công cho các công trình Thủy lợi.

Thời gian dưỡng hộ nhiệt giúp quá trình geopolymer hóa diễn ra triệt để hơn, giúp làm tăng cường độ chịu nén của BT GPM: tăng khoảng từ 40% đến 55% khi được dưỡng hộ trong 12 giờ so với mẫu bê tông chỉ được dưỡng hộ trong 6 giờ ở cùng mức nhiệt độ và tương ứng cường độ nén của BT GPM tăng từ 12% đến 15% khi được dưỡng hộ 24 giờ so với mẫu được dưỡng hộ trong 12 giờ. Thời gian dưỡng hộ càng dài thì quá trình geopolymer hóa diễn ra càng mạnh mẽ, giúp tổng hợp các chuỗi monomer (-Si-O-Al và Si-O-Si) hoàn thiện hơn, dẫn đến cường độ chịu nén của BT GPM tăng lên.

Cũng tương đương với cường độ nén, thì cường độ kéo khi uốn của các cấp phối BT GPM cũng tăng khi tỷ lệ DD/CKD tăng lên. Khi các mẫu BT GPM được dưỡng hộ trong 12 giờ thì cường độ kéo khi uốn tăng từ 23% đến 30% so với các mẫu được dưỡng hộ trong 6 giờ. Tương tự, cường độ kéo khi uốn tăng từ 22% đến 28% khi được dưỡng hộ 24 giờ so với mẫu được dưỡng hộ trong 12 giờ. Kết quả này cũng chứng tỏ hàm lượng của sodium silicate so với hàm lượng ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$) có trong PGK càng tăng, thì làm cho liên kết của -Si-O-Al và Si-O-Si càng bền hơn, làm tăng cường độ kéo khi uốn của BT GPM.

Khi tỷ lệ Dung dịch kiềm hoạt hóa/Phụ gia

khoáng (DD/PGK) tăng lên (khi giữ nguyên hàm lượng PGK) thì cường độ nén và cường độ kéo khi uốn của bê tông GPM tăng lên. Qua đó khẳng định vai trò của sodium silicate kết hợp với sodium hydroxide hợp lý làm tăng độ đặc chắc của cấu trúc geopolymer, làm tăng cường độ của BT GPM. Vì vậy trong khi thiết kế yêu cầu về mức BT GPM của công trình xây dựng, cần thiết phải điều chỉnh hàm lượng PGK cho phù hợp, sau đó tính liều lượng dung dịch hoạt hóa ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$) một cách hợp lý nhất, nhằm đảm bảo được yêu cầu kỹ thuật của bê tông.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả thí nghiệm về tính công tác của các hỗn hợp bê tông GPM nhận thấy: 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*).

Cường độ nén và cường độ kéo khi uốn của các cấp phối BT GPM thiết kế tăng lên khi tỷ lệ dung dịch kiềm hoạt hóa/phụ gia khoáng tăng. Khi các mẫu BT GPM được gia nhiệt sẽ đẩy nhanh quá trình geopolymer, làm tăng cường độ của bê tông. Vì vậy cần phải khống chế nhiệt độ bảo dưỡng BT GPM sau khi chế tạo.

Khi thiết kế thành phần bê tông Geopolymer, thì cường độ nén cũng như một số tính chất kỹ thuật của BT GPM phụ thuộc nhiều vào thành phần SiO_2 và Al_2O_3 có trong phụ gia khoáng và sự kích hoạt của dung dịch kiềm hoạt hóa. 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 của dung dịch hoạt hóa đến các tính chất của bê tông Geopolymer.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

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.

- 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*, 3rd edition, Geopolymer Institute.
- Olivia. M., *Durability Related Properties of Low Calcium Fly ash based Geopolymer Concrete*, in *Civil Engineering 2011*, Curtin University of Technology.
- 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.
- 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.
- XU. H, Van Deventer. J.S.J (2000), *the geopolymerisation of alumino-silicate minerals*, International Journal of Mineral Processing, vol.59, pp. 247-266.

Abstract:

STUDY ON THE EFFECTS OF ALKALINE-ACTIVATED SOLUTION ON SOME PROPERTIES OF GEOPOLYMER CONCRETE

Geopolymer concrete composition design changed the ratios of Alkaline-activated solution (NaOH và Na_2SiO_3) and mineral additives mixture (Blast Furnace Granulated Slag and Fly ash) respectively 0.3, 0.4, 0.5 and 0.6. To use an Alkaline-activated solution with a sodium silicate to sodium hydroxide ratio of 2.0. The results show that when the ratio of Alkaline-activated solution increases, the strength and workability of Geopolymer concrete increases, the activation process is more thoroughly.

Keywords: Geopolymer concrete, Alkaline-activated solution, Compressive strength, Sodium silicate, Sodium hydroxide.

Ngày nhận bài: 18/4/2021

Ngày chấp nhận đăng: 29/4/2021