



**KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC ACEA-VIETGEO 2021
PHÚ YÊN, 13 - 14 THÁNG 5 NĂM 2022**

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ XÂY DỰNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT



**KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC ACEA-VIETGEO 2021
PHÚ YÊN, 13 - 14 THÁNG 5 NĂM 2022**

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ XÂY DỰNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN

Mã ISBN: 978-604-67-2296-0



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC

ACEA-VIETGEO 2021

BAN TỔ CHỨC

PGS.TS. Nguyễn Vũ Phương	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Đồng Trưởng ban</i>
PGS.TS. Tạ Đức Thịnh	Hội Địa chất công trình và Môi trường Việt Nam	<i>Đồng Trưởng ban</i>
GS.TS. Trần Thanh Hải	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Phó Trưởng ban</i>
TS. Phan Văn Huệ	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Phó Trưởng ban</i>
PGS.TS. Lê Minh Phương	Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG TP HCM	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Duy Việt	Trường Đại học Giao thông Vận tải	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Xuân Thảo	Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Văn Lâm	Hội Địa chất thủy văn Việt Nam	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Bùi Trường Sơn	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Lê Đàm Ngọc Tú	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>

BAN KHOA HỌC

GS.TSKH. Phạm Văn Ty	Hội Địa chất công trình và Môi trường Việt Nam	<i>Trưởng ban</i>
TS. Phạm Ngọc Tiến	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Phó Trưởng ban</i>
PGS.TS. Nguyễn Văn Lâm	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Huy Phương	Hội Địa chất công trình và Môi trường Việt Nam	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Đỗ Minh Đức	Trường Đại học Khoa học tự nhiên - ĐHQGHN	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Bùi Trường Sơn	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Thị Nụ	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Thanh Danh	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Văn Hải	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Thành Sơn	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Văn Phóng	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Thành Dương	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Phạm Đức Thọ	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Công Định	Trường Đại học Giao thông Vận tải	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Bách Thảo	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Phạm Văn Hùng	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Vũ Minh Ngạn	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Hoàng Đình Phúc	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>

BAN THƯ KÝ

TS. Nguyễn Thành Dương	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Trưởng ban</i>
TS. Nguyễn Thanh Danh	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Phó Trưởng ban</i>
ThS. Ngô Đình Thành	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>
TS. Phạm Thị Việt Nga	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
ThS. Phạm Thị Ngọc Hà	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
ThS. Nguyễn Văn Hùng	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA TỶ LỆ GIỮA DUNG DỊCH HOẠT HÓA VÀ VẬT LIỆU ALUMINO-SILICAT ĐẾN TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO KHÔNG SỬ DỤNG XI MĂNG

Tăng Văn Lâm^{1,*}, Vũ Trọng Khang¹, Nguyễn Trung Hiếu¹,
Nguyễn Xuân Công¹, Nguyễn Quốc Chuẩn²

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất

² Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt

Đẩy mạnh việc xử lý, tiêu thụ các loại tro, xỉ phát thải từ các nhà máy nhiệt điện và luyện kim là hết sức quan trọng trong giai đoạn hiện nay. Bài báo này đã nghiên cứu bê tông cường độ cao không sử dụng xi măng từ hỗn hợp phế thải công nghiệp ở Việt Nam. Trong đó, tro bay nhiệt điện Phả Lại và xỉ luyện kim Hòa Phát được sử dụng như là vật liệu alumino-silicat, dung dịch NaOH 14M và Na₂SiO₃ có mô đun silic SiO₂/Na₂O = 2,5 được sử dụng như là dung dịch hoạt hóa. Tính công tác của hỗn hợp bê tông được xác định bằng độ xòe trong côn mini và cường độ kéo khi uốn và cường độ nén của mẫu thí nghiệm được xác định trên mẫu vữa tiêu chuẩn với kích thước 40x40x160mm. Mục tiêu của nghiên cứu này là hỗn hợp bê tông có độ chảy xòe từ 15-20 cm và cường độ nén thiết kế ở tuổi 28 ngày đạt trên 50 MPa. Tỷ lệ giữa dung dịch hoạt hóa với vật liệu alumino-silicat được khảo sát từ 0,35 đến 0,50. Những kết quả thu được cho thấy tiềm năng chế tạo bê tông cường độ cao với thành phần chứa 100% phế thải công nghiệp, không chứa xi măng Portland. Việc sử dụng tro và xỉ luyện kim trong thành phần bê tông không chỉ là giải pháp bảo vệ môi trường, giảm áp lực xử lý các loại phế thải rắn mà còn tạo ra bê tông mới không chứa xi măng, đồng thời tiết kiệm chi phí sản xuất bê tông "xanh" trong tương lai.

Từ khóa: Bê tông cường độ cao không xi măng; tro bay; xỉ luyện kim; dung dịch hoạt hóa; độ chảy, cường độ.

1. Đặt vấn đề

Bê tông cốt thép truyền thống luôn được ưu tiên lựa chọn do có những ưu điểm về khả năng chịu lực, phương pháp thi công cũng như giá thành xây dựng. Với đặc thù là vật liệu composite, bê tông xi măng có thành phần chất kết dính chính là các loại xi măng Portland. Tuy nhiên, việc sản xuất xi măng Portland đã thải ra một lượng lớn khí nhà kính vào bầu khí quyển do quá trình nung hỗn hợp phối liệu gồm: đá vôi (canxi cacbonat - CaCO₃), đất sét (SiO₂) và quặng sắt (Fe₂O₃)... ở nhiệt độ khoảng từ 1450 đến 1600°C.

Theo nhiều kết quả nghiên cứu về sản xuất xi măng Portland truyền thống (Palomo nnk., 1999; Hardjito nnk., 2005) đã cho thấy, quá trình sản xuất 1 tấn xi măng Portland sẽ thải ra khoảng trên 1,1 tấn khí CO₂ vào bầu khí quyển. Sự thật là có khoảng 2,5 tỷ tấn xi măng được sản xuất mỗi năm, nghĩa là mỗi người trên hành tinh này phải gánh chịu 0,3 tấn khí CO₂ mỗi năm. Đến năm 2050, sản lượng toàn cầu dự kiến sẽ đạt 5 tỷ tấn, nghĩa là sẽ thải ra khoảng 5 tỷ tấn CO₂ vào khí quyển (Efficiency, 2007). Hơn nữa, công nghiệp sản xuất xi măng không chỉ tiêu tốn nhiều năng lượng, mà còn tiêu thụ đáng kể các nguồn tài nguyên thiên nhiên như: đất sét và đá vôi.

* Ngày nhận bài: 22/02/2022; Ngày phản biện: 30/3/2022; Ngày chấp nhận đăng: 10/4/2022

* Tác giả liên hệ: Email: lamvantang@gmail.com

Mặt khác, trong giai đoạn hiện nay Việt Nam đã và đang định hướng theo nền kinh tế tuần hoàn, tiết kiệm nguồn tài nguyên, giảm trách nhiệm pháp lý về bảo vệ môi trường, quản lý chất thải (TAHR nnk., 2021). Trước những tác động tiêu cực của quá trình sản xuất và sử dụng xi măng Portland truyền thống cùng với việc phát thải quá nhiều loại phế thải rắn từ các hoạt động công nghiệp như tro bay, xỉ luyện kim, đá thải khai thác khoáng sản... thì việc nghiên cứu chế tạo các loại bê tông sử dụng chất kết dính không xi măng (bê tông geopolimer), thân thiện môi trường từ hỗn hợp các loại phế thải rắn là một giải pháp hiệu quả và tiềm năng (Palomo nnk., 1999; Lloyd & Rangan, 2010).

Những năm gần đây, vật liệu tiên tiến trên nền geopolimer đã nổi lên như là một vật liệu mới với các tính chất cơ-lý-hóa thích hợp để tái chế phế thải rắn một cách triệt để và bảo vệ môi trường. Chúng thu hút sự quan tâm của các nhà khoa học do tính chất chịu lửa tốt (lên đến 1000°C), có các tính chất cơ học và độ bền lâu, bền ăn mòn, chịu axit (ngay cả trong môi trường nước biển, môi trường nước thải công nghiệp), có độ co ngót và dẫn nhiệt thấp (Nguyễn nnk., 2019; Argiz nnk., 2018; Provis nnk., 2015).

(i). *Về khả năng ứng dụng*, vật liệu trên nền Geopolymer được sử dụng trong nhiều ngành công nghiệp như: công nghiệp ô tô và hàng không vũ trụ, đặc biệt là cho các ứng dụng mà yêu cầu cần chịu nhiệt độ cao và cách nhiệt, xi măng, amiăng và vật liệu công nghệ cao (Davidovit, 1999; Provis nnk., 2015).

(ii). *Về cấu trúc*, vật liệu Geopolymer là tập hợp các chuỗi hay mạng lưới của các phân tử khoáng vô định hình liên kết với nhau thông qua các liên kết cộng hóa trị. Quá trình geopolimer hóa liên quan đến phản ứng hóa học của vật liệu alumino-silicate (SiO_2 và Al_2O_3) với poly-silicate kiềm nhằm để tạo ra phản ứng trùng ngưng polymer hình thành mối liên kết giữa Si-O-Al.

Nhiều nghiên cứu trên thế giới (Abdullah nnk., 2018; Huang nnk., 2020) đã chỉ ra rằng thành phần chủ yếu tạo ra chuỗi mạng lưới cấu trúc của bê tông không xi măng - bê tông Geopolymer gồm thành phần chất kích hoạt (dung dịch kiềm đặc) và thành phần vật liệu Alumino-silicat. Dung dịch kích hoạt phổ biến hiện nay là hỗn hợp của NaOH đặc và Na_2SiO_3 với tỷ lệ $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ (được gọi là mô đun silic) trong khoảng từ 1,5 đến 2,5. Bên cạnh đó, vật liệu Alumino-silicat được sử dụng trong thành phần chất kết dính không xi măng chủ yếu là các loại phế thải rắn công nghiệp có độ hoạt tính cao. Nói chung, bất kỳ vật liệu khoáng tự nhiên hay nhân tạo có chứa hàm lượng SiO_2 và Al_2O_3 hoạt tính cao đều có thể được pha loãng vào các dung dịch kiềm mạnh (NaOH hoặc KOH) để tạo một chuỗi phản ứng tỏa nhiệt của quá trình geopolimer hóa để tạo thành chất kết dính không xi măng (Kumar nnk., 2010; Rangan, 2008a).

Mặt khác, tro bay và xỉ luyện kim là hai trong số những vật liệu nhân tạo phức tạp và phong phú nhất hiện nay trên thế giới. Tro bay là bụi khí thải dưới dạng hạt mịn thu được từ quá trình đốt cháy nhiên liệu than đá trong các nhà máy nhiệt điện chạy than, là phế thải thoát ra từ buồng đốt qua ống khói nhà máy. Tro bay được tận thu từ ống khói qua hệ thống nồi hơi tinh luyện loại bỏ bớt các thành phần than chưa cháy hết. Thành phần của tro bay thường chứa các silic oxit, nhôm oxit, canxi oxit, sắt oxit, magie oxit và lưu huỳnh oxit, ngoài ra có thể chứa một lượng than chưa cháy hết. Xỉ luyện kim là phế thải của ngành công nghiệp luyện gang thép, thải phẩm ở dạng hạt có đường kính từ 10 - 200mm. Đây là sản phẩm phụ của quá trình luyện quặng oxit sắt thành gang (Abdullah nnk., 2018; Kumar nnk., 2010).

Trong những năm gần đây, cùng với quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa đang phát triển vượt bậc ở nước ta, nhu cầu sử dụng năng lượng điện than và gang thép ngày càng cao. Điều này dẫn tới lượng phát thải tro bay và xỉ luyện kim ngày càng lớn. Nếu không được xử lý đúng cách,

nó có thể gây ô nhiễm nước và đất, phá vỡ các chu kỳ sinh thái và gây nguy hiểm cho môi trường (Chindaprasirt nnk., 2009; Abdulmatin nnk., 2018). Việc nghiên cứu xử lý, tái chế tro xỉ một cách triệt để không chỉ là một vấn đề cấp thiết đối với nước ta mà còn trên toàn thế giới vì điều này mang đến những lợi ích kép, một mặt giải quyết được vấn đề chiếm đất do phải làm các bãi xỉ thải và vấn đề ô nhiễm môi trường, mặt khác tận dụng được các vật liệu thải và do đó, tiết kiệm có hiệu quả nguồn nguyên liệu thiên nhiên không tái tạo được (Ryu nnk., 2013). Nhiều nỗ lực tích cực đã được thực hiện trong việc xử lý tro xỉ, ví dụ như sử dụng làm phụ gia khoáng trong xi măng; thay thế một phần sét để sản xuất Clanhke xi măng; thay thế một phần sét để sản xuất gạch không nung; dùng trong Bê tông đầm lăn; làm vật liệu san lấp mặt bằng công trình, hoàn nguyên mỏ, làm đường giao thông; cải thiện đất nông nghiệp... Tuy nhiên, những ứng dụng này không đủ để sử dụng hoàn toàn tro bay được tạo ra. Phần còn lại là chất thải, và phải được trữ trong các bãi xỉ thải (Tang nnk., 2018a; Tang nnk., 2018b). Trong tương lai, khi các hạn chế xử lý nghiêm ngặt hơn, thu hẹp không gian bãi xỉ thải và chi phí xử lý leo thang là điều không thể tránh khỏi, do đó bắt buộc phải phát triển thêm các kỹ thuật tái chế mới cho thải phẩm tro xỉ.

Trong bài báo này đã nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao không sử dụng xi măng từ hỗn hợp phế thải công nghiệp có sẵn ở Việt Nam. Trong đó, tro bay nhiệt điện Phả Lại và xỉ luyện kim Hòa Phát được sử dụng như là vật liệu alumino-silicat, dung dịch NaOH 14 M và Na_2SiO_3 có tỷ lệ $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 2,78$ được sử dụng như là dung dịch hoạt hóa, phụ gia siêu dẻo SR5000F được sử dụng để giảm lượng nước và tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông. Mục đích của nghiên cứu là quan sát sự ảnh hưởng của tỷ lệ giữa dung dịch hoạt hóa với vật liệu alumino-silicat đã được khảo sát trong khoảng 0,35 - 0,50 đến cơ tính của bê tông cường độ cao sử dụng chất kết dính không xi măng.

2. Vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu sử dụng

2.1.1. Vật liệu Alumino-silicate (ALS) gồm tro bay nhiệt điện Phả Lại và xỉ luyện kim Hòa Phát.

(i). Tro bay (TB) loại F của Nhà máy Nhiệt điện Phả Lại thỏa mãn các yêu cầu của TCVN 10302:2014 và ASTM C618-03;

(ii). Xỉ luyện kim hoạt hóa nghiền mịn (Xi) được lấy trực tiếp tại Nhà máy Gang thép Hòa Phát (Hải Dương) thỏa mãn theo TCVN 11586:2016. Thành phần hóa học và các tính chất vật lý cơ bản của tro bay nhiệt điện Phả Lại và xỉ luyện kim Hòa Phát được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học và tính chất vật lý của tro bay nhiệt điện Phả Lại và xỉ luyện kim Hòa Phát

Loại vật liệu		Tro bay nhiệt điện	Xỉ luyện kim
Ký hiệu		TB	Xi
Thành phần hóa học (%) của vật liệu Alumino-silicate	SiO_2	54,2	36,3
	Al_2O_3	23,3	12,6
	Fe_2O_3	9,8	3,4
	SO_3	2,5	5,7
	K_2O	1,4	0,4
	Na_2O	1,1	0,3
	MgO	0,6	-
	CaO	1,2	40,1
	P_2O_5	1,4	-
	Lượng mất khi nung	4,5	1,2
Tính chất vật lý của vật liệu Alumino-silicate	Tỷ diện bề mặt riêng (m^2/g)	5,82	0,37
	Khối lượng riêng (g/cm^3)	2,35	2,92
	Lượng nước yêu cầu (%)	101	145

Hình thái học của các hạt của tro bay nhiệt điện và xỉ luyện kim được xác định theo phương pháp nhiễu xạ Ronghen trên máy nhiễu xạ «BT-9300z». Từ kết quả phân tích đã cho thấy, hình dạng hạt của tro bay và xỉ luyện kim ở dạng hình cầu với đường kính nằm trong khoảng khá rộng từ 0,3 đến 350 μm và trên 60% hạt tro bay và xỉ có đường kính hạt nhỏ hơn 50 μm . Bên cạnh đó, kết quả thí nghiệm hình thái học thu được cũng cho thấy, tro bay và xỉ luyện kim còn có các hình dạng bề mặt bất thường, với bề mặt rỗ, xốp và kết tụ do hút ẩm của các hạt tro bay.

2.2.2. Dung dịch kiềm kích hoạt

Hỗn hợp dung dịch kiềm kích hoạt có vai trò là chất hoạt hóa, thúc đẩy quá trình geopolymer hóa, khử nguyên tử Al, Si, Ca trong vật liệu alumino-silicate và đồng thời tăng mức độ hòa tan (ăn mòn bề mặt) các hạt tro bay và xỉ trong vật liệu alumino-silicate đã sử dụng trong thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông.

Dung dịch hoạt hóa trong nghiên cứu này sử dụng là hỗn hợp Natri hydroxit - NaOH (dạng rắn) và dung dịch Natri silicat - Na_2SiO_3 .

Natri hydroxyt sử dụng ở dạng rắn (dạng vảy khô) có tên là "Caustic Soda Flake 99%" được đặt mua tại Công ty Hóa chất Việt Nhật. Natri hydroxyt có màu trắng đục và độ tinh khiết 99%. Natri hydroxit thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 3794:2009 và TCVN 3793:1983. Dung dịch Natri hydroxyt thu được bằng cách pha NaOH dạng dạng rắn vào nước để đạt được nồng độ mol theo yêu cầu là 14 M (Wallah & Rangan, 2006; Rangan, 2008b). Khối lượng rắn của NaOH đã được xác định và trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Khối lượng của NaOH rắn và nồng độ mol/lít của dung dịch Natri hydroxyt

Nồng độ dung dịch NaOH (Mol/lít)	Hàm lượng chất rắn NaOH (%)	Hàm lượng nước nhào trộn (%)
14	44	56

Dung dịch Natri silicat - Na_2SiO_3 được đặt mua có nguồn gốc từ Nhà máy hóa chất Việt Nhật có mô đun silic $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 2,5$. Dung dịch Natri silicat thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của 64TCN 38:1986. Trong bảng 3 đã trình bày các tính chất vật lý và thành phần hóa học của dung dịch Natri silicat.

Bảng 3. Tính chất vật lý và thành phần hóa học của dung dịch Natri silicat

1	Công thức hóa học	$\text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$
2	Na_2O	11.8%
3	SiO_2	29.5%
4	H_2O	58.7%
5	Trạng thái	Chất lỏng (Gel)
6	Màu sắc	Chất lỏng màu vàng nhạt
7	Trọng lượng phân tử	184.04 g
8	Khối lượng riêng	1.55 g/cm ³

2.1.3. Cốt liệu nhỏ

Cốt liệu nhỏ sử dụng trong nghiên cứu là cát vàng sông Lô (C) chất lượng tốt, thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 7570:2006. Các tính chất vật lý của cốt liệu nhỏ đã được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4. Tính chất vật lý của cát vàng sông Lô

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị tính	Kết quả thí nghiệm
1	Kích thước hạt	mm	0,14 - 5
2	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,65
3	Khối lượng thể tích đầm chặt	kg/m ³	1660
4	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1550
5	Độ rỗng	%	39,1
6	Mô đun độ lớn (M_k)	-	3,1

2.1.4. Phụ gia siêu dẻo giảm nước

Phụ gia siêu dẻo SR 5000F "SilkRoad" (SR5000) có khối lượng riêng $1,12 \text{ g/m}^3$ ở nhiệt độ $25 \pm 5^\circ\text{C}$. Đây là loại phụ gia giảm nước tầm cao, thể hệ 3, có thành phần dựa trên gốc Polycarboxylate. Phụ gia siêu dẻo SR 5000F thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 8826:2011.

2.1.5. Nước

Nước sạch được sử dụng để làm nước trộn hỗn hợp dung dịch kiềm kích hoạt và dùng để bảo dưỡng mẫu sau khi thí nghiệm, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này sử dụng các phương pháp nghiên cứu sau:

- Sử dụng phương pháp kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscope -SEM) để xác định kích thước trung bình của các hạt tro bay và xỉ luyện kim.

- Thành phần hạt của cát được xác định trên bộ sàng tiêu chuẩn có kích thước mắt sàng lần lượt là: 0,14mm; 0,315mm; 0,63mm; 1,25mm; 2,5mm; 5mm theo TCVN 7572-2:2006.

- Thành phần hỗn hợp bê tông không xi măng được tính toán, xác định theo phương pháp thể tích tuyệt đối và kết hợp với điều chỉnh bằng thực nghiệm.

- Tính công tác của hỗn hợp bê tông thí nghiệm được xác định bằng độ xòe của côn vữa tiêu chuẩn kích thước 100x70x60mm theo phương pháp xác định độ lưu động của vữa tươi, phù hợp với TCVN 3121-3:2003.

- Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông được xác định bằng phương pháp cân khối lượng và đo thể tích trong thùng đo tiêu chuẩn (thùng đo có thể tích 1 lít), phù hợp với TCVN 3108:1993 và TCVN 3105:1993. Bên cạnh đó, khối lượng thể tích của mẫu thí nghiệm sau khi đã cứng rắn được xác định bằng phương pháp cân mẫu và đo thể tích trực tiếp trên mẫu thí nghiệm, phù hợp với TCVN 3115: 1993.

- Cường độ kéo khi uốn và cường độ nén của bê tông cường độ cao không xi măng được xác định trên mẫu vữa tiêu chuẩn có kích thước 40x40x160mm theo tiêu chuẩn TCVN 6016:2011.

2.3. Xác định cấp phối nghiên cứu của hỗn hợp bê tông không xi măng

2.3.1. Các yêu cầu đối với hỗn hợp bê tông cường độ cao không xi măng

(i). Hỗn hợp bê tông không chứa xi măng có tính công tác tốt với độ xòe 15 - 25 cm, được xác định trên thiết bị côn thử độ chảy mini với kích thước 100x70x60mm. Hỗn hợp này được thi công toàn khối theo phương pháp bê tông bơm, phương pháp vữa dâng hoặc phương pháp đúc rót trong xây dựng các công trình cao tầng hiện nay ở Việt Nam.

(ii). Mục tiêu về tính chất cơ học của loại bê tông này là có cường độ nén thiết kết ở tuổi 28 ngày đạt trên 50 MPa, được xác định trên các nửa viên mẫu 40x40x160mm.

2.3.2. Lý thuyết của phương pháp thể tích tuyệt đối

Bê tông cường độ cao không sử dụng xi măng là chủng loại bê tông "xanh", đã được nhiều nước tiên tiến trên thế giới quan tâm và nghiên cứu. Tuy nhiên, do thành phần có chứa 100% phế thải rắn công nghiệp, do đó hiện nay chưa có phương pháp thiết kế tiêu chuẩn. Mặt khác, giới hạn nghiên cứu này đã không sử dụng cốt liệu lớn trong thành phần cấp phối của bê tông (Wallah & Rangan, 2006; Rangan, 2008a; Rangan, 2008b, Ferdous nnk., 2013).

Bên cạnh đó, phương pháp thể tích tuyệt đối là một phương pháp nền tảng, dựa trên tổng thể tích đặc của các loại vật liệu thành phần, đã được áp dụng trong nhiều nghiên cứu về bê tông hạt mịn, bê tông bột mịn hoạt tính, bê tông chất lượng siêu cao, vừa xây dựng ở Việt Nam (TaHR nnk., 2021; Nguyễn nnk., 2019; Nguyễn nnk., 2020) cũng như trên thế giới (Davidovit nnk., 1999; Kumar nnk., 2010). Do đó, trong nghiên cứu này đã áp dụng phương pháp thể tích tuyệt đối để tính toán sơ bộ thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông.

Theo phương pháp thể tích tuyệt đối, tổng thể tích của 1m^3 hỗn hợp bê tông đã lên chặt coi như là tổng thể tích của nước, vật liệu Alumino-silicate, cốt liệu, dung dịch kiềm hoạt hóa, phụ gia siêu dẻo và thể tích không khí cuốn vào trong quá trình nhào trộn.

Do đó, phương trình biểu diễn phương pháp này được đưa ra trong công thức (1):

$$\frac{N}{\gamma_N} + \frac{TB}{\gamma_{TB}} + \frac{Xi}{\gamma_{Xi}} + \frac{C}{\gamma_C} + \frac{NaOH}{\gamma_{NaOH}} + \frac{Na_2SiO_3}{\gamma_{Na_2SiO_3}} + \frac{SR5000}{\gamma_{SR5000}} + A = 1000 \quad (1)$$

Trong đó:

+ N, TB, Xi, C, NaOH, Na_2SiO_3 , SR5000: là khối lượng nước, tro bay nhiệt điện, xỉ luyện kim, cát, Natri hydroxit, Natri silicat và phụ gia siêu dẻo SR5000F (g).

+ γ_N , γ_{TB} , γ_{Xi} , γ_C , γ_{NaOH} , $\gamma_{Na_2SiO_3}$, γ_{SR5000} : là khối lượng riêng của nước, tro bay nhiệt điện, xỉ luyện kim, cát, Natri hydroxit, Natri silicat và phụ gia siêu dẻo SR5000F (g/cm^3).

+ A: là thể tích rỗng do không khí cuốn vào trong hỗn hợp vật liệu thí nghiệm, theo tài liệu (Wallah & Rangan, 2006; TaHR nnk., 2021; Rangan, 2008b), thể tích không khí cuốn vào là $A = 3\%$.

Giá trị khối lượng riêng trung bình của các loại vật liệu sử dụng đã được xác định theo tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành và nêu ra trong bảng 5.

Bảng 5. Giá trị khối lượng riêng của các vật liệu sử dụng

Vật liệu	TB	Xi	Dd NaOH	Dd Na_2SiO_3	C	SR5000
Khối lượng riêng, g/cm^3	2,35	2,92	1,45	1,55	2,65	1,12

2.3.3. Xác định và lựa chọn các tỷ lệ của nguyên vật liệu sử dụng

Các tỷ lệ nguyên vật liệu cơ sở trong nghiên cứu này đã được lựa chọn dựa trên kết quả của các nghiên cứu về bê tông hạt mịn chất lượng cao (không có cốt liệu thô) ở nhiều nước trên thế giới (Davidovit nnk., 1999; Kumar nnk., 2010; Ferdous nnk., 2013) và ở Việt Nam (TaHR nnk., 2021; Nguyễn nnk., 2019).

(a) Về hàm lượng vật liệu Alumino-silicat (ALS), nghiên cứu đã lựa chọn tỷ lệ tro bay/xỉ luyện kim (TB/Xi) là 70/30, theo kết quả của các nghiên cứu đã thực hiện (Nguyễn nnk., 2019; Nguyễn nnk., 2020).

(b) Về hàm lượng cốt liệu, trong nghiên cứu này đã lựa chọn tỷ lệ cát/vật liệu Alumino-silicate (C/ALS) là 1,3 theo kết quả của các nghiên cứu đã thực hiện (Tang nnk., 2018a; Tang nnk., 2018b).

(c) Về dung dịch kiềm kích hoạt, hàm lượng dung dịch hoạt hóa (DDHH) hợp lý là một vấn đề rất quan trọng, sẽ giảm bớt được lượng NaOH còn dư lại trong cấu trúc sản phẩm sau khi tạo hình. Tuy nhiên, nếu tỷ lệ nhỏ của dung dịch hoạt hóa sẽ ảnh hưởng đến quá trình khử các ion Si và Al, cũng như ảnh hưởng đến quá trình hòa tan bề mặt của các hạt tro bay và xỉ luyện kim (Rattanasak & Chindaprasirt, 2009). Trong nghiên cứu này đã khảo sát tỷ lệ gốc của DDHH/ALS là 0,35 - 0,5.

(d) Về tỷ lệ $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$, trong giới hạn của phạm vi nghiên cứu tỷ lệ $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ được giữ cố định và bằng 2,5 (Wallah & Rangan, 2006).

(e) Về lượng nước nhào trộn, do hỗn hợp bê tông không chứa xi măng Portland, nên lượng nước sử dụng chỉ là phần nước dùng để pha chế NaOH (dạng rắn) thành dung dịch kiềm với nồng độ mol/lít là 14M. Kết quả chuẩn độ từ thực nghiệm cho thấy, thành phần của dung dịch NaOH 14M gồm có 42,4% NaOH dạng rắn và 51,6% H_2O (Tang nnk., 2021).

(f) Về phụ gia siêu dẻo, nghiên cứu này đã chọn hàm lượng phụ gia giảm nước tầm cao SR5000F cố định và bằng 1% tổng hàm lượng của ALS (Tang nnk., 2018a).

Từ những cơ sở trên kết hợp với các kết quả khảo sát thực nghiệm sơ bộ, nghiên cứu này đã chọn gốc các hệ số tỷ lệ vật liệu như trong bảng 6.

Bảng 6. Tỷ lệ của các loại vật liệu sử dụng

Tỷ lệ vật liệu	$\frac{C}{ALS}$	$\frac{TB}{Xi}$	$\frac{SR5000}{ALS}$	$\frac{DDHH}{ALS}$	$\frac{\text{Na}_2\text{SiO}_3}{\text{NaOH}}$	A
Giá trị	1,3	70/30	1%	0,35; 0,4, 0,45; 0,50	2,5	3%

Tính toán theo phương pháp thể tích tuyệt đối dựa trên các giá trị tỷ lệ vật liệu lựa chọn (trong bảng 5 và bảng 6), hiệu chỉnh cấp phối phù hợp với các nguồn vật liệu thực tế, đã thu được 04 cấp phối của hỗn hợp bê tông cường độ cao có thành phần như trong bảng 7.

Bảng 7. Cấp phối sơ bộ của hỗn hợp bê tông cường độ cao không xi măng

Mẫu TN	$\frac{DDHH}{ALS}$	$\frac{ALS}{(kg)}$	Vật liệu Alumino-silicat (kg)		Dung dịch kiềm kích hoạt (kg)		C (kg)	SR5000 (kg)
			TB	Xi	NaOH	Na_2SiO_3		
ID-01	0,35	858	601	257	86	215	1116	8,6
ID-02	0,40	834	584	250	95	238	1084	8,3
ID-03	0,45	811	568	243	104	261	1054	8,1
ID-04	0,50	789	552	237	113	282	1026	7,9

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phương pháp chế tạo mẫu

3.1.1. Pha trộn dung dịch kiềm kích hoạt

Hỗn hợp dung dịch kiềm kích hoạt phải được chuẩn bị theo 03 bước như sau:

(+). Trong nghiên cứu này, dung dịch NaOH sử dụng có nồng độ 14 M với tỷ lệ phần trăm về khối lượng như sau: 44% khối lượng NaOH và 56% H_2O . Sau khi đã xác định được khối lượng, NaOH dạng rắn được đựng riêng biệt trong cốc thí nghiệm. Song song với việc này là xác định hàm lượng nước cần dùng để pha chế. Tùy vào nồng độ mol/lít của dung dịch mà lượng nước cần dùng có khác nhau. Sau khi xác định, nước được cho vào cốc sứ, tiếp đó, NaOH được cho từ từ vào cốc sứ đã chứa nước. Cần đặc biệt chú ý phản ứng hòa tan rất mạnh mẽ giữa NaOH với nước là phản ứng tỏa nhiệt, lượng nhiệt sinh ra khoảng $(70-80)^\circ\text{C}$, do đó dụng cụ sử dụng khi pha chế cần chịu được nhiệt độ cao. Mặt khác, NaOH rất háo nước, do đó nếu đổ nước vào cốc đựng NaOH sẽ gây ra nổ nhẹ và NaOH dễ bị kết tụ dưới đáy cốc, không tan được hoàn toàn. Sau khi cho NaOH vào cốc nước sẽ dùng thìa thủy tinh, hoặc thìa inox để khuấy cho đến khi NaOH tan hoàn toàn để tạo thành dung dịch NaOH với nồng độ yêu cầu.

(+). Dung dịch Na_2SiO_3 được định lượng theo khối lượng với tỷ lệ lựa chọn là $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2,5$.

(+). Tiếp đó, hai dung dịch này được hòa trộn vào nhau để thu được một dung dịch đồng nhất trước khi nhào trộn với vật liệu Alumino-silicate.

3.1.2. Trộn khô hỗn hợp vật liệu

Hỗn hợp gồm cát vàng, tro bay nhiệt điện và xỉ luyện kim được định lượng theo tỷ lệ cấp phối đã thiết kế, được trộn khô trong máy trộn vữa (máy trộn cưỡng bức). Quá trình này nhằm mục đích tạo điều kiện tốt nhất để các loại vật liệu Alumino-silicat: Tro bay nhiệt điện, xỉ luyện kim được cát vàng đánh tan và phân tán đồng đều vào trong hỗn hợp, tạo ra được hỗn hợp phối liệu đồng nhất. Việc trộn hỗn hợp vật liệu tro bay, xỉ và cát vàng trong thời gian khoảng 5 - 10 phút.

3.1.3. Nhào trộn hỗn hợp vật liệu với dung dịch hoạt hóa

Tiếp theo, sau khi hỗn hợp vật liệu dạng rời đã được trộn khô đồng nhất, hỗn hợp dung dịch kiềm kích hoạt được rót từ từ vào cối của máy trộn cho đến hết. Sau khi rót, hỗn hợp phối liệu được trộn đồng đều trong máy trộn trong vòng 5-10 phút để nhằm mục đích thấm ướt bề mặt của các hạt vật liệu Alumino-silicat và cát vàng.

Song song với quá trình trộn ướt hỗn hợp phối liệu là quá trình định lượng phụ gia siêu dẻo SR5000F theo khối lượng. Cuối cùng thì lượng phụ gia siêu dẻo được rót vào cối của máy trộn cho đến hết. Toàn bộ phối liệu được trộn tiếp tục trong vòng 5 phút để thu được hỗn hợp bê tông không xi măng có độ dẻo cao và độ đồng nhất tốt nhất.

Ngay sau khi nhào trộn xong, hỗn hợp bê tông này được đưa đi xác định độ xòe trong côn vữa hình nón cụt và xác định khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông.

3.1.4. Tạo hình viên mẫu

Hỗn hợp bê tông sau khi nhào trộn và xác định tính công tác, được chuyển đến bước tạo hình viên mẫu thí nghiệm kéo khi uốn và thí nghiệm nén. Viên mẫu tạo hình có kích thước là 40x40x160mm. Mỗi tổ mẫu gồm 03 viên theo đúng quy định của Tiêu chuẩn Việt Nam.

3.1.5. Bảo dưỡng mẫu

Vì tốc độ rắn chắc của bê tông không xi măng chậm hơn các loại bê tông xi măng truyền thống, nên mẫu sau khi tạo hình được tĩnh định hai ngày trong khuôn, sau đó tháo khuôn, các viên mẫu đều được đưa đi dưỡng hộ nhiệt ở nhiệt độ 80 °C trong vòng 60 phút, sau đó để nguội đến nhiệt độ phòng và đưa đi ngâm mẫu vào trong bể dưỡng hộ cho đến tuổi thí nghiệm.

3.2. Tính chất của hỗn hợp bê tông sau khi nhào trộn

Thực nghiệm trong điều kiện phòng thí nghiệm theo các tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành, đã xác định khối lượng thể tích và độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông không xi măng, kết quả thu được đã thể hiện trong bảng 8.

Bảng 8. Khối lượng thể tích và độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông không xi măng

Mẫu TN	$\frac{DDHH}{ALS}$	ASL (kg)	Tính chất của hỗn hợp bê tông không xi măng		
			Khối lượng thể tích (kg/m ³)	Độ chảy xòe (cm)	
				Ngay sau khi nhào trộn	30 phút sau khi nhào trộn
ID-01	0,35	858	2145	16,5	15,5
ID-02	0,40	834	2130	18,5	16
ID-03	0,45	811	2094	20	17,5
ID-04	0,50	789	2045	21,5	18

Từ kết quả thực nghiệm trong bảng 8 cho thấy, khi thay đổi tỷ lệ DDHH/ALS từ 0,35 đến 0,50 thì tính công tác của hỗn hợp bê tông có sự thay đổi khá lớn. Độ xòe ngay sau khi nhào trộn của hỗn hợp bê tông dao động từ 16,5 cm đến 21,5cm. Hỗn hợp thu được có độ quánch cao hơn bê tông xi măng truyền thống.

Mặt khác, trong bảng 8 cũng đã trình bày chi tiết tổn thất độ xòe của hỗn hợp bê tông không xi măng được xác định tại thời điểm sau 30 phút tĩnh định nhào trộn xong hỗn hợp vật liệu. Kết quả thực đã cho thấy, sau 30 phút sau khi nhào trộn xong, tính công tác của hỗn hợp bê tông đã tổn thất khoảng từ 6 - 16%. Với tính chất này, có thể sử dụng hỗn hợp thu được sau khi nhào trộn có thể được sử dụng trong thi công bê tông bằng phương pháp bơm trong nhà cao tầng.

Bên cạnh đó, khi tỷ số dung dịch hoạt hóa/vật liệu Alumino-silicat thay đổi thì khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông thay đổi không đáng kể. Điều này được giải thích là khối lượng các loại nguyên vật liệu trong 04 cấp phối đã nghiên cứu có giá trị gần tương đương như nhau. Hơn nữa, khi lượng dung dịch hoạt hóa tăng, đã kéo theo hàm lượng nước trong thành phần dung dịch tăng, đồng thời lượng bột mịn của tro xỉ đã giảm. Việc này vừa tạo ra lượng nước dư thừa lớn hơn, đồng thời vừa giảm được lượng bột mịn có tỷ diện bề mặt và lượng cần nước lớn. Đó là nguyên nhân để tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông sau khi nhào trộn. Tuy giá trị độ chảy xòe đã thay đổi đáng kể, nhưng dưới tương tác tương hỗ của phụ gia siêu dẻo SR 5000F, nên hỗn hợp sau khi nhào trộn vẫn có tính công tác rất tốt, độ dẻo cao, độ đồng nhất tốt, không có hiện tượng phân tầng tác lớp giữa các thành phần trong bê tông sau khi nhào trộn (Hình 1).



Hình 1. Xác định độ xòe của hỗn hợp bê tông



Hình 2. Xác định khối lượng thể tích hỗn hợp bê tông

Mặt khác, khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông không xi măng được xác định theo phương pháp tiêu chuẩn trong thùng đo có thể tích 1 lít (hình 2). Giá trị khối lượng thể tích trung bình của hỗn hợp bê tông này vào khoảng 2,1 tấn/m³, giá trị này nhỏ hơn nhiều so với giá trị khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông xi măng Portland truyền thống. Điều này được giải thích là do trong thành phần không có cốt liệu lớn và khối lượng riêng của các thành phần vật liệu trong hỗn hợp bê tông này đều nhỏ hơn khối lượng riêng của xi măng.

3.3. Tính chất cơ lý của mẫu bê tông cường độ cao không xi măng sau khi rắn chắc

Trong giới hạn của nghiên cứu này, các tính chất cơ lý của mẫu bê tông cường độ cao không xi măng được khảo sát gồm có:

- Khối lượng thể tích của bê tông được xác định ở tuổi 28 ngày theo TCVN 3115: 1993. Mẫu được vớt ra khỏi bể dưỡng hộ, lau khô bề mặt bằng vải khô, sau đó cân ngay để xác định khối lượng của mẫu ở trạng thái bão hòa nước nhưng bề mặt khô. Sau đó thể tích của mẫu được xác định bằng phương pháp đo kích thước trên ba cạnh khác nhau của viên mẫu.

- Cường độ kéo khi uốn của mẫu được xác định ở các tuổi 3, 7, 14 và 28 ngày trên hệ thống máy nén uốn tự động ADVANTEST 9 (Controls - Italia). Tốc độ gia tải trong trường hợp này là 100 N/S. Mỗi tổ mẫu thí nghiệm gồm 03 viên tiêu chuẩn.

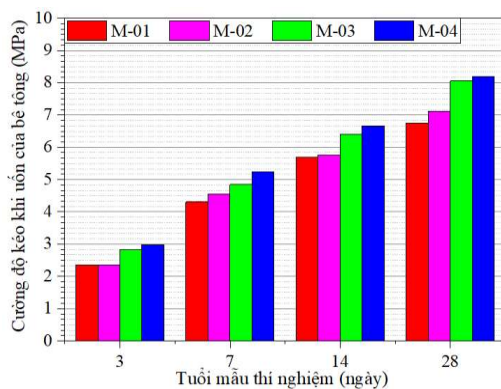
- Cường độ nén của mẫu được xác định ở các tuổi 3, 7, 14 và 28 ngày trên hệ thống máy nén uốn tự động ADVANTEST 9 (Controls - Italia). Tốc độ gia tải trong trường hợp này là 1000 N/S. Các viên mẫu hình dầm sau khi uốn gãy được đặt vào bộ má nén của máy thủy lực,

kích thước của má nén là 40x40mm. Như vậy, với tổ mẫu 03 viên thí nghiệm sẽ thu được 03 kết quả cường độ kéo khi uốn và 06 kết quả cường độ nén của mẫu thí nghiệm. Kết quả thực nghiệm được trình bày trên bảng 9.

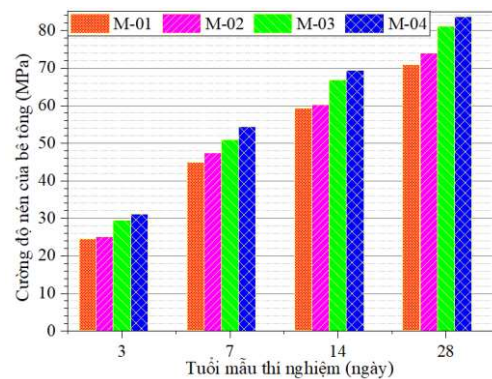
Bảng 9. Tính chất cơ lý của mẫu bê tông không xi măng sau khi rắn chắc

Mẫu TN	DDHH/ALS	Khối lượng thể tích (kg/m ³)	Cường độ kéo khi uốn trung bình của mẫu (MPa) ở các tuổi				Cường độ nén trung bình của mẫu (MPa) ở các tuổi			
			3 ngày	7 ngày	14 ngày	28 ngày	3 ngày	7 ngày	14 ngày	28 ngày
ID-01	0,35	2115	2,44	4,47	5,71	6,74	22,4	44,1	56,5	61,4
ID-02	0,40	2100	2,94	5,27	6,85	7,44	26,8	48,5	63,2	69,9
ID-03	0,45	2020	2,61	4,87	6,14	7,17	23,6	53,1	58,5	63,8
ID-04	0,50	2005	2,11	3,63	4,85	5,42	19,6	37,1	47,2	52,4

Biểu đồ giá trị cường độ kéo khi uốn và cường độ nén của các mẫu thí nghiệm theo thời gian được thể hiện trên hình 3.



(a)-Cường độ kéo khi uốn của mẫu bê tông



(b)-Cường độ nén của mẫu bê tông

Hình 3. Giá trị cường độ của bê tông không xi măng theo thời gian

Từ số liệu trong bảng 9 cho thấy rằng, khi thay đổi tỷ lệ DDHH/ALS từ 0,35 đến 0,50 thì cường độ nén của các mẫu thí nghiệm đã tăng, sau đó đạt giá trị cực đại tại DDHH/ALS = 0,40 sau đó đã giảm dần và giảm mạnh nhất khi tỷ lệ DDHH/ALS = 0,50.

Đồng thời, với các cấp phối ID-01, ID-02, ID-03 và ID-04 có cường độ nén trung bình ở tuổi 28 ngày đều đạt trên 50 MPa. Với tỷ lệ TB/Xi = 70/30 mẫu thí nghiệm phát triển cường độ tốt ở nhiệt độ môi trường. Phản ứng hoạt hóa, phản ứng puzolanic, phản ứng thủy lực của xỉ luyện kim và phản ứng polymer hóa của tro bay được diễn ra đồng thời và độc lập với nhau trong quá trình ninh kết của bê tông (Kumar et al, 2010; Hardjito nnk., 2008). Sự kết hợp giữa tro bay và xỉ luyện kim trong thành phần bê tông cường độ cao không xi măng được thể hiện hiệu quả bằng hiệu ứng kép:

(1)- Tro bay và xỉ luyện kim đóng vai trò chính là vật liệu Alumino-silicat, chứa hàm lượng SiO₂ và Al₂O₃ hoạt tính lớn, cũng cấp nguyên tử Si và Al cho quá trình polyme hóa và tạo thành các khoáng [SiO₄]⁴⁻ và [AlO₄]⁵⁻ trong quá trình polymer hóa, kết quả của quá trình này là hình thành các gel Geopolymer có dạng C-(A)-S-H và N-A-S-H, liên kết các thành phần hạt cốt liệu rời rạc lại với nhau (Huang nnk., 2020; Xie nnk., 2015; Nguyễn nnk., 2020).

(2)- Xỉ luyện kim có chứa một phần các khoáng vật ở dạng canxi-silicat (CaO.xSiO₂) có khả năng phản ứng thủy hóa với nước ngay trong điều kiện thường. Đặc tính này được gọi là hiệu ứng thủy lực của xỉ luyện kim và xỉ luyện kim trong quá trình thủy hóa với nước nhào trộn. Với phản ứng thủy lực hiện có này, xỉ luyện kim đã tạo thành các khoáng có tính kết dính dưới dạng hidro-silicat- canxi (xCaO.ySiO₂.zH₂O) vừa tăng tốc độ rắn chắc của hỗn hợp bê tông ở nhiệt độ thường, vừa độ bền cơ học và cường độ của sản phẩm sau khi chế tạo (Kumar nnk., 2010).

Đồng thời, từ hình 3 cho thấy tốc độ phát triển cường độ của mẫu bê tông cường độ cao không xi măng có tốc độ phát triển cường độ khá tương đồng với bê tông hạt mịn cường độ cao dùng chất kết xi măng Portland trong các nghiên cứu trước đây (Abdullah nnk., 2018; Xie nnk., 2015). Cường độ nén trung bình ở tuổi 3 ngày, 7 ngày và 14 ngày đạt lần lượt 40%, 70% và 90% cường độ ở tuổi 28 ngày (Tahr nnk., 2021).. Mẫu bê tông cường độ cao không xi măng cũng có tốc độ phát triển cường độ tuân theo quy luật hàm Logarit theo thời gian, tương tự như trong bê tông xi măng truyền thống.

Từ thực nghiệm cũng cho thấy tốc độ rắn chắc của mẫu thí nghiệm là khá chậm ở những tuổi sớm, đặc biệt là tuổi 1 giờ và tuổi 1 ngày. Do đó, trong nghiên cứu này đã không xác định được cường độ của mẫu thí nghiệm ở tuổi 1 ngày.

Mặt khác, khối lượng thể tích trung bình của các mẫu thí nghiệm sau khi rắn chắc 28 ngày được xác định ở trạng thái bão hòa nước khô mặt và dao động trong khoảng $2,0 \text{ tấn/m}^3$. Từ kết quả nghiên cứu về khối lượng thể tích này có thể khẳng định loại bê tông sử dụng chất kết dính không xi măng được xếp vào loại đá nhân tạo không nung tương đối nặng. Tuy nhiên, giá trị này đã giảm được khoảng 17% so với khối lượng thể tích của bê tông xi măng.

4. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu trong phạm vi của phòng thí nghiệm đã rút ra được một số kết luận như sau:

- Trên cơ sở nguồn vật liệu, thải phẩm hiện có trong nước như: tro bay nhiệt điện Phả Lại, xỉ luyện kim Hòa Phát, cát vàng sông Lô kết hợp với dung dịch hoạt hóa (NaOH 14 M và Na_2SiO_3 với mô đun silic 2,5) và phụ gia siêu dẻo SR 5000F «SilkRoad» có thể chế tạo được bê tông cường độ cao không xi măng với độ chảy xòe trong côn vữa khoảng 16,5 - 21,5 cm, cường độ nén ở tuổi 28 ngày dao động trong khoảng 52,4 - 69,9 MPa và cường độ kéo khi uốn ở tuổi 28 ngày trong khoảng 5,42-7,44 MPa, phù hợp để sử dụng trong xây dựng các công trình ở Việt Nam.

- Với tỷ lệ TB/Xi = 70/30, tỷ lệ DDHH/ALS tăng từ 0,35 đến 0,50 trong thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông thì độ xòe (tính công tác) của hỗn hợp bê tông đã tăng từ 16,5 đến 21,5cm. Giá trị độ xòe của hỗn hợp bê tông sau 30 phút nhào trộn đã tổn thất khoảng 6 -16%. Bên cạnh đó, giá trị khối lượng thể tích trung bình của hỗn hợp bê tông sau khi nhào trộn đã thay đổi không đáng kể.

- Trong phạm vi nghiên cứu và từ kết quả thực nghiệm cho thấy, khối lượng thể tích trung bình của hỗn hợp bê tông không xi măng là $2,1 \text{ tấn/m}^3$ và khối lượng thể tích mẫu bê tông sau khi rắn chắc khoảng $2,0 \text{ tấn/m}^3$. Từ đó cho thấy mẫu bê tông sử dụng chất kết dính không xi măng nhẹ hơn mẫu bê tông xi măng truyền thống khoảng 17%.

- Khi tỷ lệ DDHH/ALS trong khoảng từ 0,35 đến 0,40 thì cường độ của mẫu thí nghiệm tăng dần, tại tỷ lệ TB/Xi = 70/30 và DDHH/ALS = 0,40 thì cường độ nén của mẫu đạt giá trị lớn nhất, sau đó giảm và giảm nhiều nhất tại DDHH/ALS = 0,50.

- Cường độ nén trung bình ở tuổi 3 ngày, 7 ngày và ở tuổi 14 ngày lần lượt đạt trên 40%, 70% và 90% cường độ ở tuổi 28 ngày. Mặt khác, tốc độ phát triển cường độ của mẫu bê tông không xi măng trong nghiên cứu này khá tương đồng với bê tông truyền thống dùng chất kết xi măng Portland.

- Tốc độ phát triển cường độ của mẫu bê tông dùng chất kết dính không xi măng sau khi tạo hình là khá chậm, nên thời gian tháo khuôn mẫu dài hơn bê tông xi măng, thông thường nên tháo khuôn mẫu sau khi tạo hình từ 2 ngày đêm. Với nghiên cứu này, mẫu sau khi tháo khuôn, được

sấy trong tủ sấy ở nhiệt độ 80°C trong 30 phút, sau đó mẫu ngâm vào trong bể dưỡng hộ đến tuổi thí nghiệm.

Ngoài ra, sau khi chế tạo và bảo dưỡng trong môi trường không khí, mẫu có hiện tượng bị rêu, mốc, “mọc lông”... trên bề mặt của mẫu thí nghiệm do hiện tượng dung dịch kiềm kích hoạt còn dư thừa và tồn đọng trên bề mặt và trong thành phần của mẫu thí nghiệm. Do đó cần có các nghiên cứu thêm về hàm lượng tối ưu dung dịch kiềm kích hoạt được sử dụng trong thành phần cấp phối của bê tông cường độ cao không sử dụng xi măng.

Lời cảm ơn

Nội dung của bài báo là một phần kết quả nghiên cứu của đề tài cấp Bộ năm 2021, mã số B2021-MĐA-11 “Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao sử dụng chất kết dính không xi măng dùng trong xây dựng công trình chịu tác động ăn mòn của nước biển”. Tác giả xin chân thành cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo đã tài trợ kinh phí để thực hiện đề tài này.

Tài liệu tham khảo

- Abdulmatin, A., Khongpermgonson, P., Jaturapitakkul, C., & Tangchirapat, W., 2018. Use of eco-friendly cementing material in concrete made from bottom ash and calcium carbide residue. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(4), 1617-1626.
- Argiz, C., Moragues, A., & Menéndez, E., 2018. Use of ground coal bottom ash as cement constituent in concretes exposed to chloride environments. *Journal of cleaner production*, 170, 25-33.
- Abdullah, m. H., Abuelgasim, R., Rashid, A. S. A., & Mohdyunus, N. Z., 2018. Engineering properties of tanjung bin bottom ash. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 250, p. 01006). EDP Sciences.
- Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., Chalee, W., & Rattanasak, U., 2009. Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers. *Waste management*, 29(2), 539-543.
- Davidovits, J., 1999. Chemistry of geopolymeric systems, terminology. *99 Geopolymer International Conference Proceeding*, France.
- Efficiency, E., 2007. Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions. *International Energy Agency*, Paris, France.
- Ferdous, m. W., Kayali, O., & Khennane, A., 2013. A detailed procedure of mix design for fly ash based geopolymer concrete. In *Proceedings of the Fourth Asia-Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS 2013)*, Melbourne, Australia (pp. 11-13).
- Hardjito, D., & Rangan, B.V., 2005. Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete. *Curtin University of Technology*, Perth, Australia.
- Hardjito, D., Cheak, C. C., & Ing, C. H. L., 2008. Strength and setting times of low calcium fly ash-based geopolymer mortar. *Modern applied science*, 2(4), 3-11.
- Huang, G., Yang, K., Sun, Y., Lu, Z., Zhang, X., Zuo, L., ... & Xu, Z., 2020. Influence of NaOH content on the alkali conversion mechanism in MSWI bottom ash alkali-activated mortars. *Construction and Building Materials*, 248, 118582.
- Kumar, S., Kumar, R., & Mehrotra, S. P., 2010. Influence of granulated blast furnace slag on the reaction, structure and properties of fly ash based geopolymer. *Journal of materials science*, 45(3).
- Lloyd, N.A., & Rangan, B.V., 2010. Geopolymer concrete with fly ash. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, Italy.

- Nguyễn Thanh Bằng, Nguyễn Tiến Trung, Đinh Hoàng Quân, 2019. Nghiên cứu đánh giá chất lượng tro bay, xỉ lò cao của các nhà máy nhiệt điện và luyện kim ở Việt Nam. *Tạp chí KH&CN Thủy lợi*, số 57, trang 27-38, 2019
- Nguyễn Thanh Bằng, Nguyễn Tiến Trung, Đinh Hoàng Quân, 2020. Ảnh hưởng của độ mịn xỉ lò cao đến cường độ bê tông chất kết dính kiểm hoạt hóa. *Tạp chí KH&CN Thủy lợi*, số 61, trang 16-23, 2020
- Palomo, A., Grutzeck, m.W., & Blanco, m.T., 1999. Alkali-activated fly ashes-A cement for the future. *Cement and Concrete Research*, 29, 1323-1329.
- Provis, J. L., Palomo, A., & Shi, C., 2015. Advances in understanding alkali-activated materials. *Cement and Concrete Research*, 78, 110-125.
- Rangan, B.V., 2008a. Low-calcium, fly-ash-based geopolymer concrete. *Concrete construction engineering handbook*, Chapter 26, Taylor & Francis.
- Rangan, B.V., 2008b. Design and manufacture of flyash-based geopolymer concrete. *Concrete in Australia*, 34(2), 37-43.
- Rattanasak, U., & Chindaprasirt, P., 2009. Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer. *Minerals Engineering*, 22(12), 1073-1078.
- Ryu, G. S., Lee, Y. B., Koh, K. T., & Chung, Y. S., 2013. The mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with alkaline activators. *Construction and Building Materials*, 47, 409-418.
- Tang, V. L., Bulgakov, B., Aleksandrova, O., Larsen, O., & Anh, P. N., 2018a. Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high-performance concrete. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 33, p. 02030. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302030>
- Tang, V. L., Nguyen, T. C., Hung, N. X., Van Phi, D., Bulgakov, B., & Bazhenova, S., 2018b. Effect of natural pozzolan on strength and temperature distribution of heavyweight concrete at early ages. In *MATEC web of conferences* (Vol. 193, p. 03024. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201819303024>
- Wallah, S., & Rangan, B. V., 2006. Low-calcium fly ash-based geopolymer concrete: long-term properties. *Research Report GC 2*, Faculty of Engineering, Curtin University of Technology, Perth, Australia.
- Xie, T., & Ozbakkaloglu, T., 2015. Behavior of low-calcium fly and bottom ash-based geopolymer concrete cured at ambient temperature. *Ceramics International*, 41(4), 5945-5958.
- Танг Ван Лам, Булгаков Б.И., 2021. Возможность использования золошлаковых отходов и золы рисовой шелухи на геополимерных бетонах для строительства сооружений во Вьетнаме. *BDU Journal of Science & Technology*, Vol.03 №.01, 2021. 26-40.

KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC

ACEA-VIETGEO 2021

Biên tập nội dung: PGS.TS. Bùi Trường Sơn - ThS. Nguyễn Văn Hùng

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

Chịu trách nhiệm xuất bản
GIÁM ĐỐC - TỔNG BIÊN TẬP
BÙI MINH CƯỜNG

Chịu trách nhiệm nội dung
TS. NGUYỄN HUY TIẾN

Biên tập - Sửa bản in: NGUYỄN THỊ LƯƠNG
Thiết kế bìa: ĐẶNG NGUYỄN VŨ
Chế bản: PHAN HUYỀN KIM

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

70 Trần Hưng Đạo - Hoàn Kiếm - Hà Nội
ĐT: 024 3942 4543; Fax: 024 3822 0658
Email: nxbkhkt@hn.vnn.vn
Website: <http://www.nxbkhkt.com.vn>

CHI NHÁNH NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

28 Đồng Khởi - Quận 1 - TP. Hồ Chí Minh
ĐT: 028 3822 5062

In 100 bản, khổ 20.5×29 cm, tại Công ty phát triển dịch vụ Minh Vương
Địa chỉ: C13, khu 2,5ha, tổ 18, P. Dịch Vọng Hậu, Q. Cầu Giấy, TP. Hà Nội.
Số xác nhận đăng ký xuất bản: **1448-2022/CXBIPH/7-64/KHKT**.
Quyết định xuất bản số: **72/QĐ-NXBKHKT**.
In xong và nộp lưu chiểu năm 2022. Mã ISBN: **978-604-67-2296-0**

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ XÂY DỰNG
PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN



ISBN: 978-604-67-2296-0



9 786046 722960
SÁCH KHÔNG BÁN