

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO SỬ DỤNG HẠM LƯỢNG LỚN TRO BAY CỦA NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN QUẢNG NINH

Nguyễn Trọng Lâm^a, Tống Tôn Kiên^{a,*}, Bùi Danh Đại^a

^a*Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 12/10/2021, Sửa xong 05/11/2021, Chấp nhận đăng 05/11/2021

Tóm tắt

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu khả năng chế tạo bê tông cường độ cao (HSC) sử dụng hàm lượng lớn tro bay và các loại vật liệu địa phương. Trong đó, tro bay chưa tuyển được lấy trực tiếp từ hệ thống lọc bụi của nhà máy Nhiệt điện Quảng Ninh, để thay thế đến 70% theo khối lượng chất kết dính trong bê tông. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi sử dụng hàm lượng tro bay cao làm tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông. Cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi sớm (≤ 7 ngày) giảm mạnh và tốc độ phát triển cường độ cũng giảm theo hàm lượng tro bay thay thế. Nhưng đến tuổi 28 ngày và muộn hơn cường độ chịu nén của bê tông đạt tương đương, thậm chí còn cao hơn cường độ chịu nén của cấp phối bê tông đối chứng, khi sử dụng tới 50% tro bay thay thế xi măng. Hoàn toàn có thể sử dụng đến 60% tro bay thay thế xi măng để chế tạo HSC có tính công tác tốt và cường độ chịu nén đạt 72 MPa ở tuổi 28 ngày và 80 MPa ở tuổi 90 ngày.

Từ khoá: tro bay; bê tông cường độ cao (HSC); bê tông hàm lượng lớn tro bay (HVFAC); tính công tác; cường độ chịu nén; tốc độ phát triển cường độ.

DEVELOPMENT OF HIGH-STRENGTH HIGH-VOLUME FLY ASH CONCRETE USING FLY ASH FROM QUANG NINH THERMAL POWER PLANT

Abstract

This paper presents the investigation on the possibility of producing high-strength concrete (HSC) using a high volume of fly ash, and local materials. In which, unselected fly ash was taken directly from the dust filter system of Quang Ninh Thermal Power Plant, to replace up to 70% by weight of binder in concrete. The results show that when using high fly ash content the workability of the concrete mix increases. The compressive strength of concrete at early ages (≤ 7 days) decreased significantly and the strength development rate also decreased with the replacement fly ash content. But by the age of 28 days and later, the compressive strength is equivalent or even higher than that of the control concrete when using up to 50% fly ash to replace cement. It is completely possible to use reach to 60% of fly ash to produce HSC with good workability and compressive strength achieves 72 MPa at the age of 28 days and 80 MPa at the age of 90 days.

Keywords: fly ash; High-Strength Concrete (HSC); High-Volume Fly Ash Concrete (HVFAC); workability; compressive strength; strength development rate.

[https://doi.org/10.31814/stce.huice\(nuce\)2021-15\(6V\)-01](https://doi.org/10.31814/stce.huice(nuce)2021-15(6V)-01) © 2021 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Đặt vấn đề

Những năm gần đây, xây dựng cơ sở hạ tầng ngày một tăng nhanh kéo theo nhu cầu sử dụng bê tông nói chung và bê tông cường độ cao (HSC) nói riêng trong xây dựng ở Việt Nam rất lớn. Theo

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: kientt@nuce.edu.vn (Kiên, T. T.)

TCVN 10306:2014 [1] HSC là loại bê tông có cường độ chịu nén đặc trưng trên mẫu tiêu chuẩn đạt ≥ 55 MPa ở tuổi 28 ngày trên mẫu trụ $d \times h = 15 \times 30$ cm (hay tương đương ≥ 60 MPa đối với mẫu lập phương 15 cm). HSC có nhiều ưu điểm, trong đó phải kể đến như hỗn hợp bê tông (HHBT) có tỷ lệ N/X thấp, độ đồng nhất cao, không phân tầng và tách nước [2–4] nên bê tông có độ đặc chắc và khả năng chống ăn mòn cao, bền trong các môi trường xâm thực, làm tăng tuổi thọ của công trình [2, 3]. HSC có cường độ cao sẽ giúp giảm kích thước và tăng khả năng chịu lực của cấu kiện dưới tác động của tải trọng và ngoại lực [2–4]; cường độ của HSC phát triển nhanh ở tuổi sớm cho phép tháo khuôn sớm, rút ngắn thời gian thi công [5], v.v... Với ưu điểm như trên, HSC đã được nghiên cứu và ứng dụng phổ biến trên thế giới và ở Việt Nam trong nhiều công trình xây dựng như cầu, các tòa nhà cao tầng, các công trình ngoài khơi, ven biển, v.v... [6]. Bên cạnh những ưu điểm trên, HSC cũng tồn tại một số nhược điểm như: hỗn hợp HSC thường có độ quán tính cao, nên để đảm bảo tính dễ thi công thường phải sử dụng lượng phụ gia siêu dẻo lớn nhằm duy trì tính công tác tốt, điều đó làm tăng chi phí và yêu cầu phải kiểm soát chặt chẽ trong quá trình trộn, vận chuyển và thi công [5–7]. Hơn nữa, việc duy trì tính công tác bằng cách bổ sung thêm phụ gia siêu dẻo ở công trường rất khó thực hiện và không đảm bảo độ đồng đều [7, 8]. Việc sử dụng lượng xi măng lớn (thường vượt quá 500 kg/m³) cũng sẽ không những làm tăng giá thành sản xuất hỗn hợp HSC mà còn phát sinh lượng nhiệt thủy hóa lớn trong quá trình rắn chắc, có thể gây nứt do ứng suất nhiệt và tăng co ngót của bê tông [4, 9, 10]. Những nhược điểm này làm giảm khả năng ứng dụng phổ biến của HSC trong các công trình xây dựng. Do đó, việc sử dụng tro bay và các loại vật liệu thay thế một phần xi măng trong sản xuất HSC có thể khắc phục được phần lớn các hạn chế trên [5, 8].

Khi sử dụng trong bê tông, tro bay ảnh hưởng đến nhiều tính chất của bê tông, từ trạng thái HHBT đến cường độ và độ bền lâu của bê tông đã rắn chắc ở tuổi dài ngày. Khi sử dụng tro bay từ nhà máy nhiệt điện theo công nghệ đốt than phun thường làm tăng tính công tác, giảm lượng nước trộn, HHBT dẻo hơn và ít bị phân tầng, cải thiện khả năng bơm [11–14]. Nhưng sử dụng tro bay cũng làm kéo dài thời gian đông kết, giảm tổn thất độ sụt của HHBT, làm giảm nhiệt thủy hóa và tốc độ rắn chắc của bê tông, đặc biệt là trong điều kiện thời tiết lạnh [12–14]. Tro bay làm giảm đáng kể tính thấm và tăng khả năng kháng thấm ion clo, đặc biệt ở tuổi dài ngày [15–24]. Tro bay làm giảm hiện tượng nở thể tích do phản ứng kiềm cốt liệu, và thậm chí có thể triệt tiêu hoàn toàn độ nở do phản ứng kiềm cốt liệu khi sử dụng 30% tro bay loại F hoặc 40% tro bay loại C [25]. Khi sử dụng 20-30% tro bay loại F, độ bền sun phát của chất kết dính có thể tương đương với xi măng bền sun phát trung bình [17, 24–27]. Tuy nhiên, sử dụng tro bay đặc biệt là ở hàm lượng cao sẽ làm giảm cường độ ở tuổi sớm ngày, giảm độ bền cacbonat của bê tông [12, 13, 28, 29]. Ngoài những hiệu quả về mặt kỹ thuật như đã nêu ở trên, sử dụng tro bay thay thế một phần xi măng trong bê tông còn góp phần quan trọng vào việc nâng cao hiệu quả kinh tế, giảm ô nhiễm môi trường, và đặc biệt là giảm lượng khí thải nhà kính trong sản xuất bê tông [30, 31]. Vì vậy, việc nghiên cứu xác định hàm lượng tro bay thay thế xi măng lớn nhất mà vẫn đảm bảo đồng thời các yếu tố kinh tế- kỹ thuật- môi trường của HSC là rất cần được quan tâm nghiên cứu.

Trong khi đó, lượng tro, xỉ thải phát sinh từ các nhà máy nhiệt điện đốt than ở nước ta hiện nay rất lớn. Theo báo cáo của Bộ Công thương, đến năm 2019 [32], Việt Nam có 25 nhà máy nhiệt điện đốt than đang hoạt động, phát thải ra tổng lượng tro xỉ khoảng hơn 19,5 triệu tấn/năm (trong đó, tro bay 15,6-16,6 triệu tấn, chiếm từ 80-85%). Ngoài ra, nhiều dự án nhiệt điện đốt than đang tiếp tục xây dựng hoặc đã được phê duyệt, cho nên lượng tro xỉ thải ra từ các nhà máy nhiệt điện ở Việt Nam sẽ ngày càng tăng trong những năm tới. Đến năm 2025, lượng tro xỉ dự kiến thải ra khoảng 29,4 triệu tấn/năm và năm 2030 sẽ là 38,3 triệu tấn/năm [33, 34]. Riêng tại 16 nhà máy nhiệt điện đốt than phun nói chung và nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh nói riêng, lượng tro xỉ thải phát sinh lần lượt khoảng

14,1 triệu tấn/năm và 1,53 triệu tấn/năm. Tuy nhiên, tổng lượng tro xỉ nhiệt điện đã tiêu thụ trên cả nước chỉ khoảng 38% tổng lượng phát thải hàng năm, lượng tro xỉ còn lại hầu hết được chứa tại các bãi đổ thải của nhà máy. Tro xỉ được sử dụng nhiều nhất là lĩnh vực làm phụ gia khoáng cho xi măng [13, 27, 30], sau đó là dùng làm phụ gia trong bê tông cho các công trình đập thủy lợi, công trình giao thông (đường bê tông xi măng vùng nông thôn) và công trình xây dựng dân dụng (kết cấu móng khối lớn ít tỏa nhiệt) [13, 17, 23, 35]. Ngoài ra tro, xỉ cũng được dùng để thay thế một phần nguyên liệu sản xuất gạch xây nung và không nung [33, 34, 36] hay làm vật liệu san lấp [33, 34].

Bê tông sử dụng hàm lượng tro bay lớn là bê tông có sử dụng hàm lượng tro bay thay thế xi măng lớn nhất là 35% [37], không ít hơn 40% [38] hoặc lớn hơn hoặc bằng 50% [23, 39]. Tại Việt Nam, Nam [35] đã nghiên cứu bê tông hàm lượng tro bay lớn sử dụng tro bay sau tuyển của nhà máy nhiệt điện Phả Lại tới 50% khối lượng chất kết dính (CKD) trong chế tạo bê tông khối lớn cho đập trọng lực, với cường độ chịu nén của bê tông chỉ đạt khoảng 15-20 MPa. Hanh và cs. [6] đã sử dụng 35% tro bay đã tuyển kết hợp với 6% silicafume để chế tạo HSC đạt cường độ chịu nén 80 MPa cho kết cấu công trình biển. Gần đây, nhóm tác giả [40] cũng đã sử dụng 10-40% tro bay qua tuyển để chế tạo bê tông chất lượng siêu cao. Kết quả cường độ chịu nén mẫu sử dụng 20% tro bay đạt tới 114 MPa và 150 MPa khi bảo dưỡng thường và bảo dưỡng nhiệt ẩm. Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu sử dụng tro bay trong chế tạo bê tông nhưng việc sử dụng tro bay hàm lượng lớn ($\geq 50\%$) cho bê tông nói chung và cho HSC nói riêng ở Việt Nam còn ít, đặc biệt là tro bay chưa tuyển. Tỷ lệ tro bay sử dụng còn thấp, phổ biến khoảng 10-30% khối lượng chất kết dính. Vì vậy, để đẩy mạnh việc sử dụng tro bay hàm lượng lớn ($\geq 50\%$) để thay thế xi măng trong sản xuất cấu kiện bê tông và bê tông cốt thép. Nghiên cứu này nhằm khảo sát khả năng sử dụng tro bay chưa tuyển được lấy trực tiếp từ hệ thống lọc bụi của nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh để chế tạo bê tông cường độ cao có hàm lượng tro bay lớn. Kết quả nghiên cứu được phân tích so sánh sự ảnh hưởng của tro bay hàm lượng cao đến tính công tác, cường độ chịu nén và sự phát triển cường độ chịu nén của các hỗn hợp bê tông không hoặc có sử dụng tro bay.

2. Vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

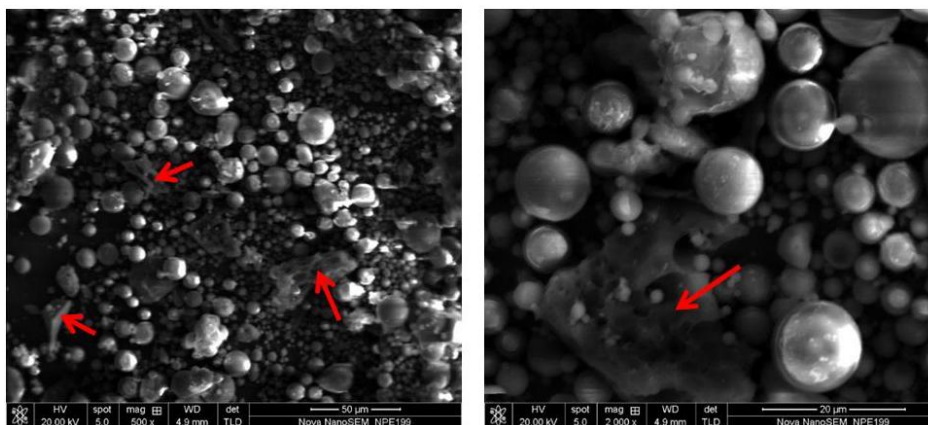
2.1. Vật liệu sử dụng

Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu gồm có: tro bay (TB) lấy trực tiếp từ si lô chứa sau thiết bị lọc bụi của Nhà máy Nhiệt điện Quảng Ninh, đây là loại tro bay thu được bằng công nghệ đốt than phun. Từ kết quả thành phần hóa của tro bay (Bảng 1) ta thấy tổng hàm lượng ôxít $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 86,2\%$ nên tro bay sử dụng thuộc loại axit (loại F). Hàm lượng $\text{SO}_3 = 1,7\% < 3\%$ và mất khi nung (MKN) là 6,6% nhưng than sử dụng có nguồn gốc từ antraxit nên vẫn có thể sử dụng được tro chế tạo sản phẩm và cấu kiện bê tông, bê tông cốt thép làm việc trong điều kiện đặc biệt theo tiêu chuẩn Việt Nam, TCVN 10302: 2014. Hình dạng, tính chất bề mặt hạt tro bay được thể hiện qua ảnh chụp kính hiển vi điện tử quét (SEM) trên Hình 1. Rõ ràng thấy rằng, các hạt tro bay chủ yếu là hình cầu và bề mặt hạt trơn nhẵn. Tuy nhiên, cũng quan sát thấy các hạt than chưa cháy có bề mặt rỗng xốp và hình dạng góc cạnh có trong hỗn hợp tro bay (mũi tên chỉ trong Hình 1). Điều này sẽ ảnh hưởng đến tính

Bảng 1. Thành phần hóa và hàm lượng MKN của tro bay Quảng Ninh

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	K_2O	TiO_2	MnO	BaO	P_2O_5	MKN
51,8	24,8	9,6	2,1	1,7	5,9	3,3	0,1	0,2	0,5	6,6

công tác của HHTB và các tính chất khác của bê tông sau này [41, 42]. Các tính chất cơ lý của tro bay và xi măng PC50 Cẩm Phả (XM) sử dụng được trình bày trong Bảng 2. Từ các tính chất cho thấy tro bay và xi măng sử dụng hoàn toàn sử dụng được cho chế tạo bê tông.

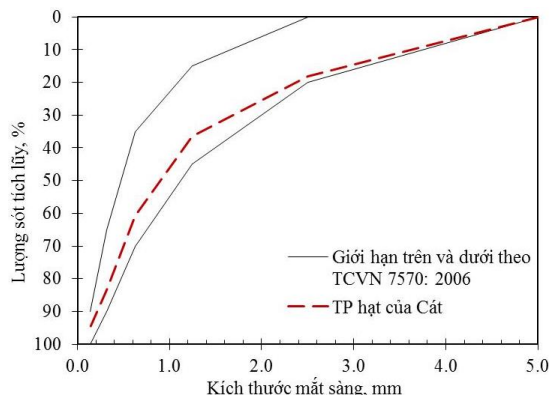


Hình 1. Ảnh SEM với độ phóng đại 500 lần và 2000 lần của tro bay

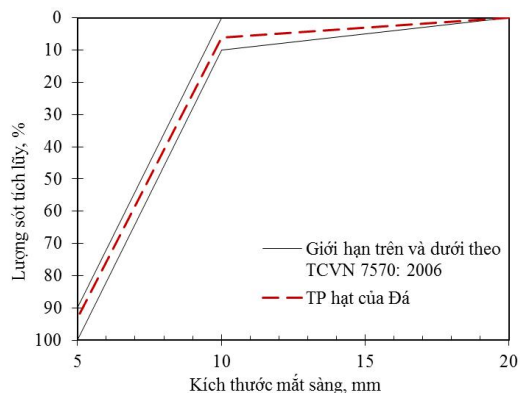
Bảng 2. Các tính chất cơ lý của tro bay Quảng Ninh và xi măng PC50 Cẩm Phả

TT	Tính chất	Xi măng	Tro bay	Tiêu chuẩn thí nghiệm
1	Khối lượng riêng, g/cm ³	3,06	2,37	TCVN 4030:2003 [43]
2	Lượng nước tiêu chuẩn, %	29,5	-	TCVN 6017:2015 [44]
	Lượng nước yêu cầu, %	-	100,0	TCVN 8825:2011 [45]
3	Độ mịn: Sốt sàng 90 μm, %	0,8	-	TCVN 4030:2003 [43]
	Sốt sàng 45 μm, %	-	21,4	TCVN 8827:2011 [46]
4	Thời gian đông kết: Bắt đầu, phút	85	-	TCVN 6017:2015 [44]
	Kết thúc, phút	168	-	
5	Cường độ chịu nén: 3 ngày, MPa	35,8	-	TCVN 6016:2011 [47]
	28 ngày, MPa	57,6	-	
6	Hoạt tính cường độ: 7 ngày, %	-	62,8	TCVN 6882:2001 [48]
	28 ngày, %	-	86,9	

Phụ gia (PG) sử dụng là loại phụ gia có gốc Poly carboxylate biến tính có tác dụng giảm nước cao và hiệu quả đông rắn nhanh, khối lượng riêng là 1,12 g/cm³, hàm lượng chất khô 35% và độ PH = 6,5. Các vật liệu khác sử dụng là cát thô có mô đun độ lớn 3,0; đá dăm $D_{max} = 10$ mm và nước sinh hoạt. Kết quả phân tích thành phần hạt của cát và đá sử dụng trong nghiên cứu được thể hiện trên Hình 2 và Hình 3. Các tính chất cơ lý được tổng hợp ở Bảng 3. Qua đánh giá và so sánh với yêu cầu kỹ thuật của TCVN 7570:2006 [49], các loại cốt liệu sử dụng đều phù hợp với yêu cầu và cho phép sử dụng để chế tạo bê tông.



Hình 2. Biểu đồ thành phần hạt của cát thô

Hình 3. Đường biểu diễn thành phần hạt của đá dăm
 $D_{\max} = 10 \text{ mm}$ Bảng 3. Tính chất của đá dăm ($D_{\max} = 10 \text{ mm}$) và cát thô

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Đá dăm	Cát thô
1	Khối lượng riêng	g/cm^3	2,70	2,65
2	Khối lượng thể tích xốp	kg/m^3	1480	1550
3	Độ hút nước	%	0,65	0,82
4	Độ rỗng xốp	%	45,1	41,4
5	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	0,68	1,80
6	Độ nén đập	%	3,9	-
7	Hàm lượng tạp chất hữu cơ	So màu	-	Sáng hơn
8	Môđun độ lớn	-	-	3,0

2.2. Cấp phối bê tông nghiên cứu

Cấp phối sơ bộ của bê tông được tính toán theo chỉ dẫn trong TCVN 10306:2014 [1], với yêu cầu HGBT có tính công tác tốt, độ sụt của HGBT đạt $18 \pm 2 \text{ cm}$; cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 28 ngày lớn hơn 60 MPa theo mẫu trụ (hay lớn hơn 72 MPa theo mẫu lập phương tiêu chuẩn). Sau khi tính toán và hiệu chỉnh, cấp phối gốc (cấp phối không sử dụng phụ gia khoáng tro bay) như trong Bảng 4. Cấp phối này có độ sụt của HGBT là 16 cm; Cường độ chịu nén ở tuổi 3, 7 và 28 ngày (xác định bằng mẫu lập phương tiêu chuẩn) $R_3 = 70 \text{ MPa}$, $R_7 = 79 \text{ MPa}$, và $R_{28} = 82 \text{ MPa}$. Nếu quy đổi sang cường độ mẫu trụ (theo TCVN 3118:1993) cường độ mẫu trụ tương ứng là $R_3 = 58,3 \text{ MPa}$, $R_7 = 65,8 \text{ MPa}$, và $R_{28} = 68,3 \text{ MPa}$ phù hợp với yêu cầu đối với HSC. Cấp phối này sẽ được sử dụng làm cấp phối đối chứng (ĐC) để nghiên cứu phát triển HSC hàm lượng tro bay lớn. Để làm rõ quy luật ảnh hưởng của tro bay đến các tính chất của bê tông (20TB, 40TB, 50TB, 60TB, 70TB), các tỷ lệ tro bay sử dụng trong nghiên cứu gồm 20%, 40%, 50%, 60% và 70% theo khối lượng chất kết dính (CKD = XM + TB). Tỷ lệ 20% và 40% để so sánh đặc tính của bê tông sử dụng hàm lượng tro bay thấp, với các loại bê tông sử dụng hàm lượng tro bay cao 50-70%. Qua kết quả khảo sát khi sử dụng hàm lượng tro bay đến 80% sẽ xảy ra hiện tượng phân tầng tách nhiều hạt tro than chưa cháy trên bề mặt mẫu HGBT. Do đó trong nghiên cứu này chỉ sử dụng tro bay tối đa 70% CKD. Các cấp phối bê tông nghiên cứu chỉ thay đổi thành phần CKD, còn các vật liệu khác giữ nguyên. Bảng cấp phối bê tông thí nghiệm đã quy đổi về 1 m^3 được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Bảng cấp phối thí nghiệm

STT	Kí hiệu cấp phối	Tỷ lệ tro bay, %	CKD, kg		Đá, kg	Cát, kg	Nước, lít	PG, lít
			XM	TB				
1	ĐC	0	560	0	913	845	141	4,2
2	20TB	20	448	112	898	831	141	4,2
3	40TB	40	336	224	883	817	141	4,2
4	50TB	50	280	280	876	810	141	4,2
5	60TB	60	224	336	868	804	141	4,2
6	70TB	70	168	392	861	797	141	4,2

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Tính chất của các loại vật liệu xi măng, tro bay, cát, đá sử dụng trong nghiên cứu được xác định và đánh giá theo các TCVN hiện hành tương ứng. Độ sụt của HHTB được xác định theo TCVN 3106:1993 [50] (Hình 4). Mẫu bê tông được chế tạo và bảo dưỡng trong khuôn 1 ngày, sau đó tháo khuôn và bảo dưỡng mẫu theo TCVN 3105:1993 [51] đến tuổi thí nghiệm. Cường độ chịu nén của bê tông được xác định trên các tổ mẫu gồm 03 mẫu lập phương có kích thước tiêu chuẩn 150×150×150 mm (Hình 5) ở tuổi 1, 3, 7, 28 và 91 ngày theo TCVN 3118:1993 [52].



Hình 4. Xác định độ sụt của HHTB



Hình 5. Mẫu xác định cường độ chịu nén của bê tông

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến tính công tác của hỗn hợp bê tông

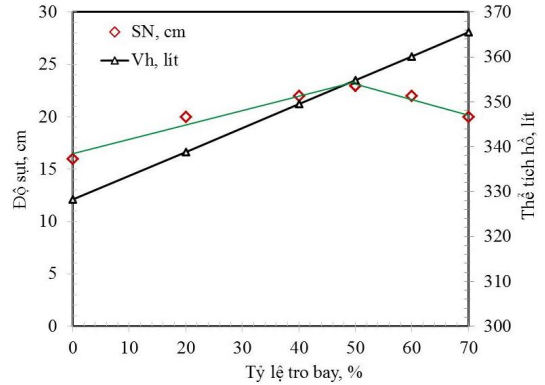
Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến tính công tác (độ sụt) và thể tích hồ của HHTB được thể hiện trên Hình 6. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi tăng hàm lượng tro bay thì thể tích hồ CKD và độ sụt của HHTB tăng rõ rệt. Thể tích hồ được xác định bằng công thức (1). Do khối lượng riêng của tro bay là $\gamma_{aTB} = 2,37 \text{ g/cm}^3$, thấp hơn so với khối lượng riêng của xi măng là $\gamma_{aXM} = 3,06 \text{ g/cm}^3$ nên khi thay thế cùng khối lượng xi măng bằng tro bay thì thể tích của tro bay lớn hơn. Khi tăng tỷ lệ tro bay đến 50% và 70%, thể tích hồ tăng khoảng 27 lít (2,7%) và 37 lít (3,7%) so với cấp phối ĐC. Lượng hồ CKD tăng làm tăng bề dày lớp hồ bao bọc quanh hạt cốt liệu và các hạt cốt liệu dễ dàng trơn trượt lên nhau nên dẫn đến làm tăng tính độ sụt của HHTB.

$$V_h = V_{XM} + V_{TB} + V_N + V_{PG} = \frac{XM}{\gamma_{aXM}} + \frac{TB}{\gamma_{aTB}} + \frac{N}{\gamma_{aN}} + \frac{PG}{\gamma_{aPG}} \quad (1)$$

trong đó: V_{XM} là thể tích của xi măng; V_{TB} là thể tích của tro bay; $V_{Nước}$ là thể tích của nước trong HHTB và V_{pg} là thể tích của phụ gia hóa học.

Hơn nữa, khi tăng tỷ lệ tro bay lên 50% theo khối lượng chất kết dính, độ sụt của HHTB tăng lên khoảng 23 cm (44%) so với cấp phối đối chứng (16 cm). Điều này có thể giải thích là do các hạt tro bay có dạng hình cầu, bề mặt trơn nhẵn (Hình 1), nên làm giảm nội ma sát trong HHTB do đó làm tăng tính công tác của HHTB [13, 28, 53].

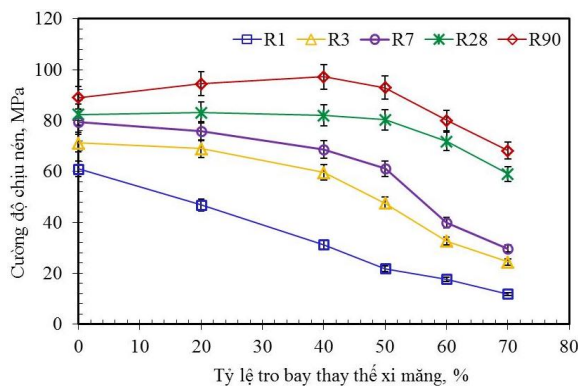
Tuy nhiên, khi hàm lượng tro bay sử dụng lớn hơn 50% thì hiệu quả cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông bị giảm dần. Nguyên nhân một phần có thể do thể tích tro bay tăng quá cao làm tăng độ nhớt của hồ CKD [11], và có thể một phần do ảnh hưởng của thành phần hạt than chưa cháy trong tro bay (Hình 1), được xác định bằng lượng MKN (Bảng 1). Các hạt than chưa cháy có hình dạng góc cạnh, bề mặt rỗng xốp sẽ làm tăng mạnh lượng cần nước và giảm tính công tác của HHTB [41, 42]. Từ kết quả trên cho thấy, khi sử dụng hàm lượng tro bay quá cao (60% và 70%) sẽ có hai hiệu ứng trái ngược nhau ảnh hưởng đến tính công tác, kết quả là hiệu quả gia tăng độ sụt của HHTB giảm so với khi sử dụng 50% tro bay, nhưng vẫn lớn hơn 37,5% và 25% tương ứng so với cấp phối đối chứng. Như vậy, khi sử dụng tro bay chưa tuyển có hàm lượng than chưa cháy cao cần phải chú ý đến ảnh hưởng làm giảm tính công tác của HHTB, đặc biệt khi sử dụng làm lượng tro bay lớn [12, 13].



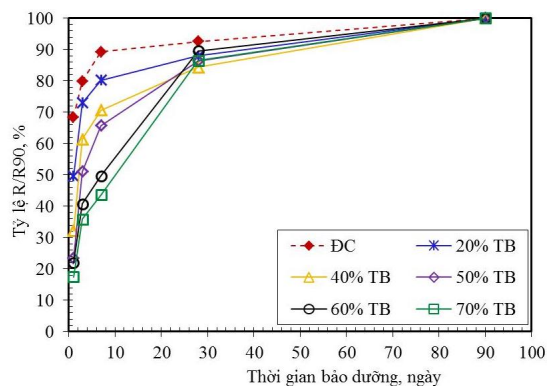
Hình 6. Ảnh hưởng của tỷ lệ tro bay/CKD đến thể tích hồ và độ sụt của HHTB

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến cường độ chịu nén của bê tông

Kết quả cường độ chịu nén trung bình của bê tông ở tuổi 1 ngày, 3 ngày, 7 ngày, 28 ngày và 90 được thể hiện trên Hình 7. Tốc độ phát triển cường độ chịu nén của các cấp phối được thể hiện trên Hình 8.



Hình 7. Ảnh hưởng của tỷ lệ tro bay sử dụng đến cường độ chịu nén của HSC



Hình 8. Tỷ lệ cường độ chịu nén so với R_{90} của HSC theo thời gian bảo dưỡng

Từ Hình 7 cho thấy, cường độ chịu nén của tất cả cấp phối sử dụng tro bay đều thấp hơn nhiều so với cường độ chịu nén của cấp phối ĐC ở tuổi sớm ngày (≤ 7 ngày). Ở tuổi 1 ngày, cường độ chịu nén của các cấp phối sử dụng tro bay (chỉ đạt từ 11,9 - 46,9 MPa), thấp hơn 23-80% so với cường độ chịu

nen của cấp phối ĐC (đạt 60,9 Mpa). Đến tuổi 3 ngày, các cấp phối sử dụng tỷ lệ tro bay thấp (20TB và 40TB) đã có cường độ tốt hơn, đạt 67-97% so với cường độ của mẫu ĐC. Đến tuổi 7 ngày, chỉ còn cấp phối 60TB và 70TB vẫn có cường độ thấp tương ứng bằng 50% và 37% so với cường độ của cấp phối ĐC cùng tuổi. Kết quả nghiên cứu này cũng phù hợp với các kết luận của [6, 11–13, 17, 23].

Tuy nhiên, cường độ chịu nén của các cấp phối bê tông sử dụng tro bay ở tuổi dài ngày (sau 28 ngày) đã được cải thiện rõ rệt. Cường độ của các cấp phối sử dụng 20-50% tro bay thay thế xi măng đều đạt cường độ tương đương cấp phối đối chứng (82,0 MPa; 80,3 MPa đối với cấp phối 40TB; 50TB và 82,4 MPa đối với cấp phối ĐC), thậm chí cường độ của cấp phối 20TB còn cao hơn cấp phối đối chứng (đạt 83,1 MPa). Cường độ chịu nén của cấp phối 60TB cũng đã đạt 71,7 MPa, tương đương với 87% so với cấp phối ĐC. Chỉ còn cấp phối 70TB có cường độ vẫn còn khá thấp, đạt 59,0 MPa, bằng khoảng 72% so với cấp phối ĐC. Ở tuổi dài hơn (90 ngày), cường độ chịu nén của các cấp phối sử dụng 20-50% tro bay thay thế xi măng đều cao hơn 4-9% so với giá trị này của cấp phối ĐC, trong đó cấp phối 40TB có cường độ cao nhất, đạt được là 97,1 MPa (bằng 109,1% so với cường độ chịu nén của cấp phối ĐC (89,0 MPa)). Cấp phối sử dụng 70% tro bay cũng đạt cường độ 68,2 MPa ở tuổi 90 ngày (bằng 76% cường độ của cấp phối ĐC). Như vậy chúng ta thấy, các cấp phối sử dụng hàm lượng tro bay lớn phát triển cường độ chậm ở tuổi sớm (≤ 7 ngày) [11, 26]; Tuy nhiên ở các tuổi dài ngày (≥ 28 ngày), HSC sử dụng hàm lượng tro bay lớn (50% tro bay) phát triển cường độ tốt, không kém cấp phối đối chứng [6, 12, 26]. Nếu cường độ thiết kế yêu cầu ở tuổi 28 ngày đạt 60 MPa thì chỉ nên sử dụng tối đa 50% tro bay thay thế xi măng. Còn nếu tuổi bê tông thiết kế yêu cầu ở 90 ngày thì có thể sử dụng đến 60% tro bay thay thế xi măng mà bê tông vẫn đạt yêu cầu về cường độ của HSC.

Khi chế tạo HSC, tốc độ phát triển cường độ của bê tông cũng cần phải quan tâm. Tốc độ phát triển cường độ của bê tông có thể đánh giá thông qua sự phát triển cường độ theo thời gian hoặc mức cường độ đạt được so với cường độ yêu cầu ở tuổi thiết kế. Trong Hình 8, cường độ chịu nén của các cấp phối bê tông ở các tuổi được so sánh với cường độ chịu nén ở tuổi 90 ngày ($R_{90} = 100\%$). Rõ ràng thấy rằng, cấp phối ĐC chủ yếu phát triển cường độ trong thời gian 7 ngày đầu. Cường độ chịu nén sau 3 ngày và 7 ngày của mẫu bê tông ĐC đã đạt khoảng lần lượt 80% và 90% R_{90} . Trong khi đó, các cấp phối bê tông sử dụng tro bay, cường độ phát triển mạnh nhất trong khoảng từ 7 đến 28 ngày. Cường độ chịu nén ở tuổi 7 ngày của các cấp phối sử dụng 20-40% tro bay chỉ đạt 71-80% so với R_{90} ; đặc biệt là cấp phối sử dụng từ 50-70% tro bay, mới chỉ đạt 44-66% so với R_{90} . Nhưng đến tuổi 28 ngày, các cấp phối sử dụng 20-70% tro bay đã có tốc độ phát triển cường độ rất nhanh (đạt 84-90% so với cường độ R_{90}). Việc các cấp phối bê tông sử dụng hàm lượng tro bay rất cao (60-70%) phát triển cường độ chậm sau 28 ngày có thể được giải thích là do trong bê tông sử dụng hàm lượng tro bay lớn, lượng xi măng sử dụng rất thấp (chỉ còn 168-224 kg/m³) nên sản phẩm Ca(OH)₂ tạo ra từ phản ứng thủy hóa của xi măng cũng thấp, bởi vậy không có đủ lượng Ca(OH)₂ để tham gia phản ứng Puzolanitic với SiO₂ hoạt tính trong tro bay để tạo các sản phẩm C-S-H [13, 26]. Hiện tượng này cần phải được tính đến khi thiết kế thành phần bê tông sử dụng hàm lượng tro bay lớn và có thể bổ sung thêm biện pháp bảo dưỡng nhiệt ẩm để thúc đẩy sự thủy hóa của xi măng, cũng như phản ứng puzolan giữa Ca(OH)₂ và SiO₂ vô định hình trong tro bay [40].

4. Kết luận

Trên cơ sở các vật liệu sử dụng và kết quả thí nghiệm thu được, một số kết luận được rút ra như sau:

- Hoàn toàn có thể chế tạo được bê tông cường độ cao trên 60 MPa sử dụng tro bay chưa tuyển từ Nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh với hàm lượng lớn (tới 60%). Nếu cường độ thiết kế yêu cầu ở tuổi 28 ngày đạt 60 MPa thì chỉ nên sử dụng tối đa 50% tro bay thay thế xi măng. Còn nếu tuổi bê tông

thiết kế yêu cầu ở 90 ngày thì có thể sử dụng đến 60% tro bay thay thế xi măng mà bê tông vẫn đạt yêu cầu về cường độ cao.

- Việc sử dụng tro bay sẽ làm tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông khi sử dụng 20-50% thay thế xi măng. Nhưng khi lượng tro bay tăng lên tới 60-70% chất kết dính thì mức độ tăng tính công tác bị giảm do tổng lượng than chưa cháy lớn trong hỗn hợp bê tông.

- Cường độ chịu nén của các loại bê tông sử dụng tro bay ở tuổi sớm ngày (≤ 7 ngày) luôn thấp hơn nhiều và phát triển chậm hơn so với cường độ chịu nén của các cấp phối đối chứng không sử dụng tro bay. Tuy nhiên ở tuổi dài ngày (≥ 28 ngày), cường độ chịu nén của bê tông sử dụng hàm lượng tới 50% tro bay vẫn đạt tương đương và thậm chí vượt cả cường độ chịu nén của mẫu bê tông đối chứng.

- Khi tỷ lệ tro bay thay thế xi măng tăng, tốc độ phát triển cường độ chịu nén của bê tông cường độ cao hàm lượng lớn tro bay giảm.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ xây dựng cho đề tài “Nghiên cứu và phát triển ứng dụng bê tông cường độ cao sử dụng hàm lượng tro bay lớn trong các kết cấu công trình ven biển và hải đảo”, mã số RD25-20.

Tài liệu tham khảo

- [1] TCVN 10306:2014. *Bê tông cường độ cao - Thiết kế thành phần mẫu hình trụ*. Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam.
- [2] Hữu, P. D., Long, N. N. (2008). *Bê tông cường độ cao và chất lượng cao*. Giáo trình trường Đại Học Giao thông vận tải, Hà Nội.
- [3] ACI 363R-92 (1997). *State-of-the-art Report on High Strength Concrete*, 1–55. American Concrete Institute.
- [4] Maher, Y. I. (1992). *High Performance Concrete from Material to Structure*, xiii–xxiv. E& FN SPON.
- [5] Tachibana, D., Imai, M., Yamazaki, N., Kawai, T., Inada, Y. (1990). High-strength concrete incorporating several admixtures. *High-Strength Concrete: Second International Symposium, ACI*, 121:309–330.
- [6] Pham, H. H., Tong, K. T., Le, T. T. (2011). High strength concrete using fly ash for the structures in Vietnamese marine environment for sustainability. *Proceeding of the International Council Hanoi 2011 - Innovation and Sustainable Construction in Developing Countries (cib W107), Hanoi, Vietnam*, 173–177.
- [7] Yen, T., Tang, C.-W., Chang, C.-S., Chen, K.-H. (1999). [Flow behaviour of high strength high-performance concrete](#). *Cement and Concrete Composites*, 21(5-6):413–424.
- [8] Djellouli, H., Aitcin, P.-C., Chaalaar, O. (1990). Use of Ground Granulated Slag in High-Performance Concrete. *High-Strength Concrete: Second International Symposium, ACI*, 121:351–368.
- [9] Price, W. F. (1999). High Strength Concrete. Current practice, Sheet No. 118. *Concrete Magazine*.
- [10] Aitcin, P. C., Neville, A. (1993). High-performance concrete demystified. *Concrete International*, 15(1): 21–26.
- [11] Lâm, N. T., Linh, N. N., Nam, T. V., Kiên, V. D., Khải, T. V., Hiếu, P. Đ. (2020). [Ảnh hưởng của tỷ lệ tro bay thay thế một phần xi măng đến các tính chất của bê tông thương phẩm](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXDHN*, 14(4V):96–105.
- [12] Marceau, M. L., Gajda, J., VanGeem, M. G. (2002). Use of fly ash in concrete: Normal and high volume ranges. *PCA R&D Serial*, (2604).
- [13] Thomas, M. D. A. (2007). *Optimizing the use of fly ash in concrete*, volume 5420. Portland Cement Association Skokie, IL.
- [14] Naik, T. R., Ramme, B. W. (1987). Setting and hardening of high fly ash content concrete. *Proceedings of the American Coal Ash Association 8th International Coal Ash Utilization Symposium, Washington, DC*.

- [15] Bouzoubaâ, N., Zhang, M. H., Malhotra, V. M. (2001). [Mechanical properties and durability of concrete made with high-volume fly ash blended cements using a coarse fly ash](#). *Cement Concrete Research*, 31 (10):1393–1402.
- [16] Thomas, M. D. A., Matthews, J. D. (1992). [The permeability of fly ash concrete](#). *Material Structure*, 25 (7):388–396.
- [17] Mehta, P. K., Malhotra, V. M. (2004). *High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable development*. 2nd edition, Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development, Ottawa, Canada.
- [18] Malhotra, V. M., Carrette, G. G., Bremner, T. (1993). Performance of high-volume fly ash concrete at a marine exposure station at Treat Island, Maine. *Proceedings of the Sixth International Durability of Building Materials and Components*, Omiya, Japan.
- [19] Dhir, R. K., El-Mohr, M. A. K., Dyer, T. D. (1997). [Developing chloride resisting concrete using PFA](#). *Cement Concrete Research*, 27(11):1633–1639.
- [20] Kawamura, M., Kayyali, O. A., Haque, M. N. (1988). [Effects of a flyash on pore solution composition in calcium and sodium chloride-bearing mortars](#). *Cement and Concrete Research*, 18(5):763–773.
- [21] Thomas, M. D. A., Bamforth, P. B. (1999). [Modelling chloride diffusion in concrete](#). *Cement and Concrete Research*, 29(4):487–495.
- [22] Nehdi, M., Pardhan, M., Koshowski, S. (2004). [Durability of self-consolidating concrete incorporating high-volume replacement composite cements](#). *Cement and Concrete Research*, 34(11):2103–2112.
- [23] Malhotra, V. M. (2002). High-performance high-volume fly ash concrete. *Concrete International*, 24(7): 30–34.
- [24] Thomas, M. D. A., Matthews, J. D. (2004). [Performance of pfa concrete in a marine environment—10-year results](#). *Cement and Concrete Composites*, 26(1):5–20.
- [25] Shehata, M. H., Thomas, M. D. A. (2000). [The effect of fly ash composition on the expansion of concrete due to alkali-silica reaction](#). *Cement and Concrete Research*, 30(7):1063–1072.
- [26] Malhotra, V. M., M.-H., Z., Read, P. H., Ryell, J. (2000). [Long-Term Mechanical Properties and Durability Characteristics of High-Strength/High-Performance Concrete Incorporating Supplementary Cementing Materials under Outdoor Exposure Conditions](#). *Materials Journal*, 97(5).
- [27] Lâm, N. T., Khánh, D. D. (2015). Độ bền Sun phát của xi măng Poóc lăng hỗn hợp sử dụng phụ gia khoáng tro bay. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 24:34–39.
- [28] Bentz, D. P., Ferraris, C. F., Snyder, K. A. (2013). [Best Practices Guide for High-Volume Fly Ash Concretes : Assuring Properties and Performance](#). Technical report, U.S. Department of Commerce.
- [29] Hobbs, D. W. (1988). [Carbonation of concrete containing pfa](#). *Magazine Concrete Research*, 40(143): 69–78.
- [30] ACI 232.2R-96 (1996). *Use of fly ash in concrete*. American Concrete Institute, Detroit.
- [31] Mehta, P. K. (2004). High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable development. *Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, Iowa State University Ames, IA, USA, 3–14.
- [32] Quyết định 428/QĐ-TTg (2016). [Phê duyệt điều chỉnh phát triển điện lực quốc gia giai đoạn 2011-2010 có xét đến năm 2030](#). Thủ tướng chính phủ Việt Nam.
- [33] Bộ Xây dựng (2020). [Báo cáo Hội nghị tổng kết 10 năm thực hiện chương trình vật liệu xây không nung và 3 năm thực hiện đề án xử lý tro, xỉ, thạch cao của Thủ tướng Chính Phủ](#). Hà Nội.
- [34] Trung tâm thông tin và thống kê KH&CN (2019). [Báo cáo chuyên đề “Xu hướng ứng dụng tro, xỉ nhiệt điện trong sản xuất vật liệu xây dựng”](#). Sở KH&CN Thành phố Hồ Chí Minh.
- [35] Nam, V. H. (2016). [Nghiên cứu sử dụng tro tuyển Phả Lại hàm lượng cao trong bê tông khối lớn thông thường dùng cho đập trọng lực](#). Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.
- [36] Kiên, T. T., Bình, N. D., Hồng, T. L., Hương, C. T. (2018). Tối ưu cấp phối và thông số công nghệ sản xuất gạch bê tông sử dụng tro bay nhiệt điện. *Tạp chí Vật liệu Xây dựng*, (4):68–72.
- [37] BS EN 197-1:2011. *Cement - Composition, specifications and conformity criteria for common cements*. British Standards Institution.
- [38] ASTM C595/C595M-21 (2021). *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*. ASTM Inter-

national.

- [39] Luo, Y., Wu, Y., Ma, S., Zheng, S., Zhang, Y., Chu, P. K. (2020). [Utilization of coal fly ash in China: a mini-review on challenges and future directions](#). *Environment Science Pollution Research*, 28(15): 18727–18740.
- [40] Thắng, N. C., Tuấn, N. V., Hanh, P. H., Lâm, N. T. (2013). Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng silica fume và tro bay sẵn có ở Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, (2):24–31.
- [41] Hower, J. C., Groppo, J. G., Graham, U. M., Ward, C. R., Kostova, I. J., Maroto-Valer, M. M., Dai, S. (2017). [Coal-derived unburned carbons in fly ash: A review](#). *International Journal of Coal Geology*, 179:11–27.
- [42] Xing, Y., Guo, F., Xu, M., Gui, X., Li, H., Li, G., Xia, Y., Han, H. (2019). [Separation of unburned carbon from coal fly ash: A review](#). *Powder Technology*, 353:372–384.
- [43] TCVN 4030:2003. *Phương pháp xác định độ mịn đối với xi măng*. Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam.
- [44] TCVN 6017:2015 (ISO 9597:2008). *Xi măng - Phương pháp xác định thời gian đông kết và độ ổn định thể tích*. Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam.
- [45] TCVN 8825:2011. *Phụ gia khoáng cho bê tông đầm lăn*. Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam.
- [46] TCVN 8827:2011. *Phụ gia silicafume và tro trấu nghiền mịn cho bê tông và vữa*. Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam.
- [47] TCVN 6016:2011. *Xi măng - Phương pháp thử - Xác định cường độ*. Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam.
- [48] TCVN 6882:2016. *Phụ gia khoáng cho xi măng*. Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam.
- [49] TCVN 7570:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*. Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam.
- [50] TCVN 3106:1993. *Hỗn hợp bê tông nặng - Phương pháp thử độ sụt*. Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam.
- [51] TCVN 3105:1993. *Hỗn hợp bê tông và bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử*. Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam.
- [52] TCVN 3118:1993. *Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén*. Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam.
- [53] Titarmare, A. P., Deotale, S. R. S., Bachale, S. B. (2012). Experimental Study Report on Use of Fly Ash in Ready Mixed Concrete. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3:2–10.