

Ảnh hưởng hàm lượng tro bay và phụ gia hóa học đến một số tính chất bê tông xi măng

The effect of fly ash content and chemical admixtures on some properties of cement concrete

> THS VƯƠNG THẾ HÙNG¹, THS NGUYỄN QUỐC TRÚC¹, TS TRẦN HỮU BẰNG^{1*}, PGS.TS LÊ VĂN BÁCH²

¹Trường Đại học Thủ Dầu Một

²Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: bangth@tdmu.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng tro bay (TB) và phụ gia hóa học (PGHH) đến tính chất cơ học và độ bền của bê tông xi măng (BTXM). TB được dùng thay thế một phần xi măng nhằm tận dụng phế thải công nghiệp và giảm phát thải CO₂, kết hợp với PGHH để cải thiện tính công tác. Kết quả cho thấy bê tông đạt tính chất tốt nhất khi TB thay thế 20% xi măng. Ở tuổi 56 ngày, cường độ chịu nén và kéo khi uốn cao hơn mẫu không dùng TB lần lượt 9,26% và 3,50%. Khi hàm lượng TB đến 30%, bê tông vẫn đáp ứng yêu cầu cường độ kéo khi uốn cho mặt đường ô tô. Nghiên cứu khẳng định hiệu quả sử dụng TB và PGHH trong chế tạo bê tông bền vững, thân thiện môi trường và có khả năng ứng dụng thực tiễn cao.

Từ khóa: Bê tông xi măng; tro bay; phụ gia hóa học; cường độ; khả năng chống mài mòn.

ABSTRACT

The paper investigates the influence of fly ash (FA) content and chemical admixtures on the mechanical properties and durability of cement concrete. FA is used to partially replace cement in order to utilize industrial by-products and reduce CO₂ emissions, combined with chemical admixtures to improve workability. The results show that the optimal performance of concrete is achieved when FA replaces 20% of cement. At 56 days, the compressive and flexural strengths are 9.26% and 3.50% higher, respectively, than those of the control mix without FA. Even with a 30% FA replacement, the concrete still meets the flexural strength requirements for road pavement applications. The study confirms the effectiveness of using fly ash and chemical admixtures in producing sustainable, environmentally friendly concrete with high practical applicability.

Keywords: Cement concrete; fly ash; chemical admixtures; strength; abrasion resistance.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tại Việt Nam và nhiều quốc gia trên thế giới, đã có nhiều nghiên cứu về việc thay thế một phần xi măng bằng TB trong sản xuất BTXM [1, 2, 3, 4, 5]. Mặc dù TB và xi măng Portland có sự khác biệt về đặc tính hóa học và cơ lý, nhưng việc ứng dụng TB trong bê tông ngày càng phổ biến nhờ mang lại hiệu quả kinh tế và môi trường. TB là phế thải của các nhà máy nhiệt điện, với khối lượng phát sinh hàng năm rất lớn, nếu không được tái sử dụng hợp lý sẽ gây lãng phí và ô nhiễm môi trường. Việc tận dụng TB giúp giảm áp lực lưu trữ chất thải, tiết kiệm chi phí xử lý và góp phần hạ giá thành xây dựng do giá TB thấp hơn xi măng truyền thống, đồng thời

hướng tới phát triển vật liệu bền vững và thân thiện môi trường.

Hàng năm, lượng TB phát sinh rất lớn, có thể lên đến hàng nghìn đến hàng chục nghìn tấn, đặc biệt tại các nhà máy có quy mô lớn. Tổng lượng TB phát thải cũng biến động theo thời gian do việc xây dựng thêm các nhà máy mới hoặc thay đổi công suất vận hành của các nhà máy hiện có. TB được xem là vật liệu khoáng hoạt tính có thể sử dụng như phụ gia khoáng thay thế một phần xi măng (Dontriros và cs., 2020) [6]. Gần đây, nhiều nghiên cứu đã tập trung đánh giá ảnh hưởng của TB đến các đặc tính cơ học của vữa và bê tông (Herath và cs., 2023) [7]. Thông thường, TB được sử dụng để thay thế (0 - 40)% lượng xi măng (Trần & Phan, 2024) [8].

Việc xác định hàm lượng TB tối ưu giúp tạo ra sản phẩm bê tông vừa đáp ứng yêu cầu kỹ thuật, vừa mang lại lợi ích kinh tế và môi trường. Do sự khác biệt về thành phần khoáng và đặc tính của từng loại TB, mức độ ảnh hưởng của nó đến các tính chất của BTXM cũng không giống nhau. Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm được thực hiện nhằm đánh giá tác động của các tỷ lệ TB khác nhau kết hợp với PGHH của hãng Sika nhằm chế tạo BTXM. Đánh giá một số đặc trưng cơ học và độ bền của BTXM trong việc đề xuất thiết kế kết cấu mặt đường ô tô.

2. VẬT LIỆU CHẾ TẠO BTXM

Kế hoạch triển khai thực nghiệm được nhóm tác giả thực hiện tại các đơn vị chuyên môn gồm: Phòng thí nghiệm Vật liệu Xây dựng của Trường Đại học Thủ Dầu Một và Phòng thí nghiệm Vật liệu Xây dựng của Phân hiệu Trường Đại học Giao thông vận tải tại TP.HCM.

2.1. Xi măng và TB

2.1.1. Xi măng (PCB40)

Xi măng PCB40 Fico sản xuất tại Việt Nam, là loại xi măng pooc-lăng hỗn hợp đạt tiêu chuẩn TCVN 6260:2020, đồng thời được chứng nhận ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 và CE Marking, đáp ứng yêu cầu xuất khẩu sang châu Âu. Đây là sản phẩm xi măng thân thiện môi trường (Eco cement), góp phần giảm phát thải và thúc đẩy xây dựng bền vững. Xi măng PCB40 Fico có khối lượng riêng 3,15 g/cm³, phù hợp cho các công trình hiện đại theo xu hướng phát triển xanh. Cường độ nén 28 ngày tuổi 45,5 Mpa (Hình 1).

2.1.2. Tro bay

Sử dụng trong nghiên cứu được lấy từ Trung tâm Nhiệt điện Vĩnh Tân 1, tỉnh Bình Thuận cũ (nay là tỉnh Lâm Đồng) (Hình 1, Bảng 1 và Bảng 2). Các thí nghiệm được tiến hành tại Phân viện Vật liệu Xây dựng Miền Nam, theo mã số 2671/SVIBM/PTH, được cấp ngày 07/02/2025.



Hình 1. Xi măng PCB40 và TB

Bảng 1. Các chỉ tiêu và tiêu chuẩn thí nghiệm đối với TB

STT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Phương pháp thử	Kết quả
1	Lượng lọt sàng 0,045mm (%)	TCVN 8827:2011	0,4
2	Khối lượng riêng (g/cm ³)	TCVN 4030:2003	2,21
3	Khối lượng thể tích xốp kg/m ³	TCVN 7239:2014	905
4	Hàm lượng CaO tự do (%)	TCVN 141:2023	0,23
5	Lượng nước yêu cầu, phần trăm so với mẫu đối chứng (%)	TCVN 8825:2011	96,2
6	Hàm lượng kiềm có hại của phụ gia sau 28 ngày (%)	TCVN 6882:2016	0,16
7	MKN	TCVN 8262:2009	2,36
8	Độ ẩm (%)	TCVN 8262: 2009	0,18
9	Hàm lượng Cl ⁻ (%)	TCVN 8826:2024	0,01

Bảng 2. So sánh một số chỉ tiêu của TB Vĩnh Tân 1 với một số TB khác

STT	TB nhiệt điện	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	SO ₃ (%)	MKN (%)
1	Vĩnh Tân 1	58,83	24,52	4,13	1,5	0,26	2,36
2	Na Dương	29,66	18,6	10,5	21,7	10,6	4,4
3	Sơn Động	51,07	8,94	25,65	1,28	1,06	7,11
4	Vũng Ánh	53,26	23,74	6,79	-	0,21	10,8

Nhận xét: TB thu được từ Nhà máy Nhiệt điện Vĩnh Tân 1 có thành phần hóa học tương tự TB Vũng Áng, nổi bật với tổng hàm lượng SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ đạt 87,48%, cao hơn nhiều so với các nguồn khác. Các chỉ tiêu SO₃ (0,26%), CaO (1,5%) và MKN (2,36%) đều ở mức thấp, góp phần hạn chế nguy cơ ăn mòn và cải thiện cường độ của bê tông. Theo tiêu chuẩn TCVN 10302:2014, loại TB này được xếp vào nhóm F và có thể sử dụng trực tiếp trong sản xuất bê tông mà không cần xử lý bổ sung. Với đặc tính hóa học thuận lợi, TB Vĩnh Tân 1 thể hiện tiềm năng lớn trong chế tạo BTXM và các loại vật liệu xây dựng thân thiện môi trường.

2.2. Cốt liệu nhỏ

Được sử dụng trong nghiên cứu là cát thô được phơi khô và sàng để thu dải kích thước hạt từ 0,15 mm đến 4,75 mm. Các đặc trưng cơ lý của cát được xác định theo TCVN 7572:2006 và TCVN 7570:2006, đồng thời so sánh với các yêu cầu kỹ thuật trong TCCS 40:2022/TCĐBVN. Kết quả thể hiện như: Mô-đun độ lớn là $M_{dl}=2,2$, khối lượng riêng: 2,642 g/cm³, khối lượng thể tích xốp là: 1,445 g/cm³, hàm lượng hạt trên sàng 5 mm là 0,72%, độ hút nước là 0,7%, hàm lượng chung bụi, bùn, sét 1,3%.

2.3. Đá dăm

Nghiên cứu sử dụng đá dăm Basalt có kích thước lớn nhất $D_{max}=19$ mm, được khai thác từ mỏ Tân Đông Hiệp (Bình Dương cũ nay là TP.HCM). Các đặc trưng cơ lý và thành phần hạt của đá được xác định theo tiêu chuẩn TCCS 40:2022/TCĐBVN và kết quả cho thấy vật liệu đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật quy định trong TCVN

7570:2006 và TCVN 7572:2006. Kết quả thể hiện như: Độ hút nước: 0,48%, khối lượng thể tích xốp: 1,613 g/cm³, khối lượng riêng: 2,785 g/cm³, hàm lượng chung bụi, bùn, sét: 0,36%.

2.4. Phụ gia hóa học

Trong nghiên cứu này, hỗn hợp bê tông được thiết kế theo cấp phối sử dụng cho BTXM, kết hợp PGHH nhằm kiểm soát hiệu quả tỷ lệ N/CKD, đặc biệt trong trường hợp có sử dụng TB. Do hạt TB có diện tích bề mặt riêng lớn nên có xu hướng làm giảm độ sụt của bê tông. Loại phụ gia được dùng là Sikament® R-7 N, có tác dụng giảm nước đồng thời kéo dài thời gian ninh kết của xi măng và giúp cải thiện tính công tác của hỗn hợp, thể hiện ở Hình 2.



Hình 2. PGHH Sikament® R-7 N

2.5. Nước

Nghiên cứu sử dụng nước máy đạt các yêu cầu kỹ thuật quy định trong TCVN 4506:2012 “Nước trộn bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật”, đảm bảo phù hợp cho quá trình trộn và bảo dưỡng bê tông.

3. THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM

3.1. Thành phần cấp phối BTXM

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng phương pháp tính toán cấp phối Bôlômay - Ckramkaep (Nga) kết hợp với các tiêu chuẩn TCVN hiện hành để thiết kế hỗn hợp BTXM có cường độ yêu cầu 30 MPa. Các thành phần cốt liệu lớn, cốt liệu nhỏ, PGHH, nước và PGHH được giữ nguyên. Chỉ thay đổi thành phần chất kết dính bằng cách dùng lần lượt: 0%; 15%; 25% và 35% TB (theo khối lượng) thay thế xi măng. Tỷ lệ nước trên chất kết dính (N/CKD) được giữ ổn định ở 0,48 cho tất cả các cấp phối. Các cấp phối trong hỗn hợp BTXM được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả tính toán thành phần cấp phối của BTXM

Cấp phối	Thành phần vật liệu cho 1 m ³ bê tông					
	Xi măng (kg)	TB (kg)	Đá (kg)	Cát (kg)	Nước (lít)	PGHH Sika (kg)
CP-ĐC	384	-	1.235	636	183	4,22
CP1-10	346	38	1235	636	183	4,22
CP2-20	288	77	1.235	636	183	4,22
CP3-30	269	115	1.235	636	183	4,22

Ghi chú: CP-ĐC: Mẫu đối chứng; CP1-10: 10% TB; CP2-20: 20% TB; CP3-30: 30% TB.

3.2. Kế hoạch và phương pháp thí nghiệm

Mỗi tổ hợp BTXM được chế tạo 24 mẫu nhằm phục vụ các thí nghiệm xác định tính chất cơ học. Tổng hợp số lượng mẫu thí nghiệm được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Số lượng mẫu phục vụ thí nghiệm

Chỉ tiêu	Số lượng mẫu				Kích thước khuôn (mm)	Tiêu chuẩn áp dụng
	CP-ĐC	CP1-10	CP2-20	CP3-30		
R _n (7, 28 và 56 ngày)	9	9	9	9	150x150x150	TCVN 3118:2022
R _{ku} (7, 28 và 56 ngày)	9	9	9	9	150x150x600	TCVN 3119:2022
M _m (28 và 56 ngày)	6	6	6	6	70,7x70,7x70,7	TCVN 3114:2022
Tổng	24	24	24	24		

Một số hình ảnh phục vụ công tác thí nghiệm và kiểm tra chỉ tiêu cơ lý của BTXM:



Hình 3. Công tác thí nghiệm BTXM

4. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

4.1. Độ sụt của BTXM

Kết quả thí nghiệm độ sụt của BTXM được thể hiện ở Bảng 5.

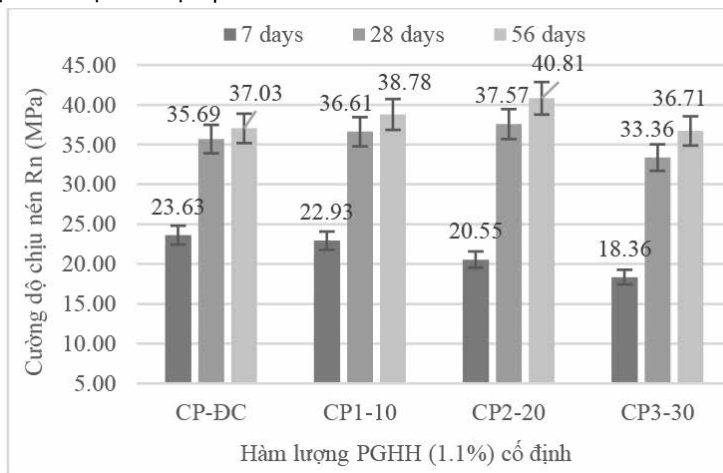
Bảng 5. Kết quả thí nghiệm độ sụt (cm)

CP-ĐC	CP1-10	CP2-20	CP3-30
4,5	5,0	6,0	7,5

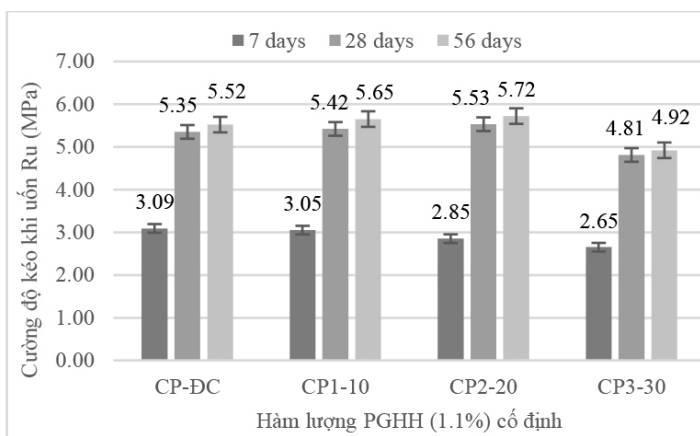
- *Nhận xét:* Kết quả thí nghiệm cho thấy, khi sử dụng PGHH kết hợp với (10%, 20% và 30%) TB thay thế xi măng thì độ sụt của hỗn hợp BTXM tăng so với khi không dùng TB lần lượt là: 10%, 25% và 40%.

4.2. Cường độ R_n và R_{ku} của BTXM

Kết quả cường độ chịu nén được thể hiện qua Hình 4 và Hình 5.



Hình 4. Kết quả cường độ nén R_n



Hình 5. Kết quả cường độ chịu kéo uốn R_{ku}

*** Nhận xét:**

- Ở 7 ngày tuổi, chênh lệch về cường độ giữa các loại bê tông sử dụng TB là không lớn so với bê tông đối chứng (CP-ĐC) giá trị sau: Cường độ chịu nén 78,80 đến 97,04 % và cường độ chịu kéo khi uốn 85,76 đến 98,71%. Ở tuổi 7 ngày, phản ứng pozzolan của TB diễn ra chậm, nên chưa thể hiện rõ hiệu quả trong việc gia tăng cường độ.

- Ở 28 ngày tuổi, hỗn hợp BTXM sử dụng 20% TB đạt giá trị cường độ cao nhất. Điều này có thể được lý giải là do sự kết hợp giữa các thành phần đã hỗ trợ lẫn nhau, giúp lấp đầy các lỗ rỗng, làm cho hỗn hợp BTXM trở nên đặc chắc hơn so với mẫu đối chứng, cụ thể như sau:

+ Cường độ chịu nén 93,35 đến 102,58% và cường độ chịu kéo uốn 89,91 đến 101,31%;

+ Ở giai đoạn này, TB bắt đầu tham gia mạnh vào các phản ứng puzolan, góp phần cải thiện đáng kể cường độ cho tất cả các cấp phối bê tông có sử dụng TB.

- Ở tuổi 56 ngày, phản ứng pozzolan của TB đã phát huy rõ rệt, góp phần bù đắp lượng xi măng thay thế, giúp cường độ nén đạt từ 99,14 đến 104,73% và cường độ kéo uốn đạt từ 89,13 đến 102,36% so với mẫu đối chứng.

- Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi sử dụng TB thay thế (10 - 30%) xi măng kết hợp với PGHH, mặc dù tổng hàm lượng chất kết dính nhỏ hơn 400 kg/m³, nhưng cường độ kéo khi uốn của BTXM vẫn đạt yêu cầu sử dụng cho kết cấu mặt đường ô tô ($R_{ku} > 4,5 - 5,0$ MPa) đáp ứng theo yêu cầu của TCCS 40:2022/TCĐBVN.

4.3. Khả năng chống mài mòn của BTXM

Kết quả thí nghiệm độ mài mòn của BTXM được thể hiện ở Bảng 6.

Bảng 6. Kết quả độ mài mòn ở tuổi 28 ngày và 56 ngày tuổi

TT	Ký hiệu	BTXM			
		CP1-10	CP2-20	CP3-30	CP-ĐC
<i>Kết quả độ mài mòn M_m ở tuổi 28 ngày</i>					
1	Kết quả thí nghiệm, g/cm ²	0,478	0,404	0,589	0,585
		0,489	0,394	0,587	0,573
		0,483	0,412	0,596	0,579
2	Giá trị trung bình M_m , g/cm ²	0,483	0,403	0,591	0,579
<i>Kết quả độ mài mòn M_m ở tuổi 56 ngày</i>					
1	Kết quả thí nghiệm, g/cm ²	0,426	0,359	0,524	0,526
		0,416	0,351	0,522	0,516
		0,429	0,363	0,531	0,521
2	Giá trị trung bình M_m , g/cm ²	0,424	0,358	0,526	0,521

*** Nhận xét:**

- Ở 28 và 56 ngày tuổi, kết quả thí nghiệm M_m nhỏ nhất hay khả năng chống mài tốt nhất khi sử dụng 20% TB. Khi sử dụng hàm lượng thay thế 30% TB kết quả độ mài mòn lớn nhất (khả năng chống mài mòn thấp) so với cấp phối đối chứng. Điều này phù hợp với kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén và kéo khi uốn.

- Theo TCCS 40:2022/TCĐBVN, khi sử dụng (10 - 20)% TB phù hợp mặt đường BTXM đường ô tô cấp III trở xuống, độ mài mòn $M_m \leq 0,3$ (g/cm²) và khi sử dụng 30% TB phù hợp mặt đường BTXM đường ô tô cấp IV trở xuống (mặt đường giao thông nông thôn), độ mài mòn $M_m \leq 0,6$ (g/cm²).

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã cho thấy rằng việc sử dụng TB thay thế một phần xi măng có sử dụng PGHH rút ra một số kết luận sau:

- Trung tâm Nhiệt điện Vĩnh Tân 1 phù hợp với TB loại F theo các quy định hiện hành ở trong và ngoài nước, đáp ứng yêu cầu làm phụ gia khoáng hoạt tính cho BTXM.

- Khi sử dụng hàm lượng TB càng nhiều thì độ sụt của hỗn hợp BTXM cũng tăng, cường độ ở tuổi 7 ngày phát triển chậm, nhưng ở tuổi 56 ngày thì cường độ phát triển nhanh hơn khi sử dụng hàm lượng cho bay nhiều. Hàm lượng TB thay thế xi măng ở 20% trong thành phần chất kết dính cho kết quả tính cơ học của bê tông là tốt nhất.

- Đề xuất việc sử dụng 20% TB phù hợp mặt đường BTXM đường ô tô cấp III trở xuống và khi sử dụng 30% TB phù hợp mặt đường BTXM đường ô tô cấp IV trở xuống (mặt đường giao thông nông thôn).

- Việc sử dụng TB trong tất cả các cấp phối BTXM giúp giảm lượng xi măng, qua đó cắt giảm phát thải CO₂, tận dụng hiệu quả nguồn phế thải công nghiệp, đồng thời giảm nhiệt thủy hóa và nâng cao khả năng chống nứt của mặt đường ở giai đoạn đầu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Concrete Society (1991), The Use of Fly ash in Concrete, Technical Report No.40, The Concrete Society, Wexham, Slough.
- [2]. T. T. Hiếu (2017), Nghiên cứu ứng dụng BTXM TB làm mặt đường ô tô ở Việt Nam, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học GTVT.
- [3]. T. D. Quân, N. T. Sang, L. T. Trang, H. T. Văn (2021), Một nghiên cứu thực nghiệm bê tông hàm lượng TB cao có cường độ cao làm mặt đường ô tô ở Việt Nam, Tạp chí GTVT, 3, tr.105-109.
- [4]. T. H. Bằng, N. T. Sang (2023), Đề xuất kết cấu mặt đường BTXM sử dụng cát đỏ tỉnh Bình Thuận kết hợp TB và xỉ lò cao, Tạp chí Xây dựng, 12, tr.47-51.
- [5]. N. Đ. Trọng (2024), Ảnh hưởng của hàm lượng TB đến một số tính chất của BTXM khi sử dụng phụ gia siêu dẻo MasterGlenium Sky 8718, Tạp chí GTVT, 6, tr.52-55.
- [6]. Dontriros, S., Likitlarsuang, S., Janjaroen, D., (2020), Mechanisms of chloride and sulfate removal from municipal-solid-waste-incineration fly ash (MSWI FA): Effect of acid-base solutions, Waste Management 101, 44-53.
- [7]. Hasan, D.S., Zaheer, M.M., Arif, M., (2023), Effect of nano materials on cementitious mortar composites exposed to sulphate attack, Materials Today: Proceedings.
- [8]. Tran, H.B., Phan, T.A.V., (2024), Potential usage of fly ash and nano silica in high-strength concrete: Laboratory experiment and application in rigid pavement, Case Studies in Construction Materials 20, e02856.