

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG HÀM LƯỢNG TRO BAY ĐẾN MỘT SỐ TÍNH CHẤT KỸ THUẬT CỦA BÊ TÔNG ỨNG DỤNG CHO CÁC CÔNG TRÌNH THỦY LỢI

Ngô Anh Quân

Viện Thủy công

**Tóm tắt:** Trong nghiên cứu sử dụng phụ gia khoáng tro bay để thay thế xi măng với tỷ lệ từ 10% đến 40% theo khối lượng, mác bê tông thiết kế M30 (MPa). Kết quả thí nghiệm cho thấy, khi thay thế một phần xi măng bằng tro bay sẽ làm tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông, tổn thất tính công tác của hỗn hợp bê tông sử dụng tro bay giảm từ 63,64 đến 81,58% khi để hỗn hợp bê tông sau 120 phút. Khi thay thế đến 20% xi măng bằng tro bay theo khối lượng, cường độ nén của bê tông giảm nhẹ và vẫn đạt mác thiết kế. Tuy nhiên, khi sử dụng 30-40% tro bay, cường độ nén của bê tông giảm 24,2% và 43,7% so với cấp phối đối chứng.

**Từ khóa:** Xi măng; tro bay; phụ gia siêu dẻo.

**Summary:** In the study, using fly ash mineral admixture to replace cement with the rate from 10 to 40% by volume, concrete design grade M30 (MPa). The experimental results show that, when replacing a part of cement with fly ash will increase the workability of the concrete mix, the loss of workability of the concrete mix using fly ash decreases from 63,64 to 81,58% when leaving the concrete mixture after 120 minutes. When replacing up to 20% of cement with fly ash by weight, the compressive strength of concrete decreased slightly and still reached the design mark. However, when using 30-40% fly ash, the compressive strength of concrete decreased by 24,2% and 43,7% compared to the control mix.

**Keywords:** Cement; Fly ash; Super-plasticizer.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông có sử dụng các phụ phẩm công nghiệp (các loại phụ gia khoáng hoạt tính) ngày càng được sử dụng phổ biến do có nhiều ưu điểm vượt trội so với bê tông thông thường (không có phụ gia khoáng) như giảm nhiệt cho công trình bê tông khối lớn, tăng tính bền cho bê tông dung trong các công trình Thủy lợi, thủy điện.... Tuy nhiên, để đảm bảo tính công tác và khả năng đầm chặt tốt, bê tông thông thường trộn tại các công trường thi công thực tế phải sử dụng lượng xi măng lớn hơn để tăng độ dẻo của hỗn hợp bê tông (HHBT) hoặc pha trộn phụ gia siêu dẻo giảm nước với hàm

lượng lớn, điều này không những làm giảm hiệu quả kinh tế mà còn gây ra một số vấn đề do việc sử dụng nhiều xi măng gây nên như bê tông bị co ngót mạnh hay nhiệt thủy hóa lớn [2, 3]. Để khắc phục vấn đề trên, việc sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính thay thế một phần xi măng là cần thiết. Các loại phụ gia khoáng có thể sử dụng cho bê tông bao gồm: tro bay, xỉ lò cao hoạt tính, silica fume, tro trấu... trong đó tro bay là loại vật liệu có nhiều tiềm năng sử dụng làm phụ gia khoáng cho bê tông ở nước ta hiện nay, vì tro bay là phụ phẩm của các nhà máy nhiệt điện đốt than, sản phẩm này đã được nghiên cứu và có các tiêu chuẩn sử dụng.

Theo thống kê của ngành điện lực nước ta, nhiều dự án nhiệt điện đốt than đã, đang xây dựng hoặc đã được phê duyệt, cho nên lượng tro xỉ thải ra từ các nhà máy nhiệt điện ở Việt

Ngày nhận bài: 22/3/2023

Ngày thông qua phản biện: 18/5/2023

Ngày duyệt đăng: 02/6/2023

Nam sẽ ngày càng tăng; đến năm 2025 lượng tro xỉ thải ra khoảng 29,8 triệu tấn/năm và năm 2030 sẽ là 38,5 triệu tấn/năm (trong đó, tro bay chiếm từ 80% đến 85%) [4, 6]. Đến nay, tổng lượng tro, xỉ nhiệt điện đã tiêu thụ trên cả nước khoảng gần 40% tổng lượng phát thải qua các năm. Tro, xỉ được sử dụng nhiều nhất là lĩnh vực làm phụ gia khoáng cho xi măng, sau đó là dùng làm phụ gia cho bê tông trong các công trình thủy lợi thủy điện (đập bê tông trọng lực), công trình giao thông và công trình xây dựng dân dụng; ngoài ra tro, xỉ cũng được dùng để thay thế một phần nguyên liệu sản xuất gạch xây hay làm vật liệu san lấp nền [4, 5].

Tro bay đã được nghiên cứu và sử dụng làm phụ gia khoáng cho vữa và bê tông từ những năm đầu của thế kỷ 19 [7, 8], góp phần quan trọng vào việc nâng cao giá trị kinh tế, giảm ô nhiễm môi trường đất và nước ngầm, đặc biệt là giảm lượng khí thải nhà kính do sản xuất xi măng [9]. Sử dụng tro bay thay thế một phần

xi măng trong bê tông làm tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông, giảm nhiệt thủy hóa, nâng cao độ bền của bê tông [8, 10]. Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu, nhưng việc sử dụng tro bay làm phụ gia khoáng cho bê tông trong các công trình còn khá khiêm tốn và không sử dụng thường xuyên do chưa đánh giá được đầy đủ sự thay đổi tính công tác, cường độ nén, cũng như một số tính chất kỹ thuật khác của bê tông khi thay đổi hàm lượng tro bay sử dụng để thay thế xi măng. Bởi vậy, nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến tính công tác và cường độ nén của bê tông nhằm mục đích cho việc tăng cường sử dụng tro bay làm phụ gia khoáng cho bê tông trong tất cả các công trình thi công trong thời gian tới.

## 2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG TRONG NGHIÊN CỨU

**2.1. Xi măng:** Đề tài sử dụng xi măng PC40 Chinfon để thiết kế, kết quả thí nghiệm một số tính chất của xi măng như trong bảng 1. Xi măng đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 6260:2009.

**Bảng 1: Tính chất của xi măng**

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả
1	Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	3.12
2	Độ mịn (lượng sót trên sàng 0,09 mm)	%	3.65
3	Lượng nước tiêu chuẩn	%	29.5
4	Thời gian bắt đầu đông kết	phút	115
	Thời gian kết thúc đông kết	phút	215
5	Độ ổn định thể tích	mm	3.0
6	Giới hạn bền nén tuổi 3 ngày	N/mm <sup>2</sup>	32.5
	Giới hạn bền nén tuổi 28 ngày	N/mm <sup>2</sup>	46.8

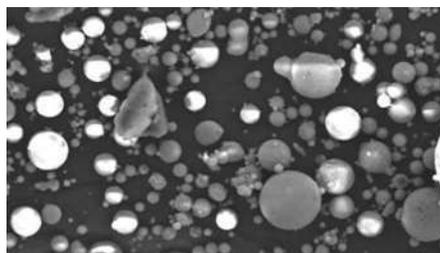
**2.2. Phụ gia khoáng hoạt tính:** Phụ gia khoáng tro bay của nhà máy nhiệt điện Duyên Hải 1 được sử dụng trong nghiên cứu. Kết quả

thí nghiệm một số tính chất của tro bay đạt yêu cầu theo TCVN1032:2014.

**Bảng 2: Tính chất của tro bay Duyên Hải 1**

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Độ ẩm	%	0.28
2	Khối lượng thể tích xốp	kg/m <sup>3</sup>	944
3	Tỷ trọng	g/cm <sup>3</sup>	2.24
4	Hàm lượng mất khi nung	%	6.48

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
5	Hàm lượng SiO <sub>2</sub>	%	56.02
6	Hàm lượng Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	6.61
7	Hàm lượng Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	22.47
8	Hàm lượng SO <sub>3</sub>	%	0.22



Hình 1: Hình ảnh chụp SEM của tro bay

**2.3. Cốt liệu thô (Đá dăm):** Đá dăm lấy ở công trình xây dựng và được đưa về Phòng nghiên cứu vật liệu, Viện Thủy công, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam để thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm tính chất cơ lý và thành phần hạt của đá dăm cỡ hạt (5-20) mm trình bày tại bảng 3 đạt TCVN 7570-2006.

**Bảng 3: Tính chất của đá dăm**

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	2,73
2	Khối lượng thể tích xốp	g/cm <sup>3</sup>	1,65
3	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	0,12
4	Hàm lượng thoi dẹt	%	2,8
5	Hàm lượng hạt mềm yếu	%	1,12
6	Độ hút nước	%	0,57
7	Thành phần hạt	-	Đạt

**2.4. Cốt liệu mịn (Cát):** Trong thí nghiệm sử dụng cát tự nhiên là cát sông Lô, cát được lấy từ công trình và đưa về tại phòng thí nghiệm vật liệu - Viện Thủy công - Viện khoa học

Thủy lợi Việt Nam để kiểm tra. Kết quả thí nghiệm cát dùng chế tạo bê tông có thành phần hạt và các chỉ tiêu cơ lý phù hợp TCVN 7570-2006 trình bày trong bảng 4 và 5.

**Bảng 4: Tính chất của cát**

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	2,66
2	Khối lượng thể tích xốp	g/cm <sup>3</sup>	1,62
3	Độ hồng	%	39,1
4	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	1,65
5	Mô đun độ lớn	-	2,85
6	Tạp chất hữu cơ	-	Đạt
7	Thành phần hạt	-	Đạt

**Bảng 5: Thành phần hạt của cát**

Kích thước mắt sàng, mm	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Lượng sót tích lũy, %	0	19,6	28,3	65,6	76,5	95,0

**2.5. Nước:** Nước sử dụng để trộn và bảo dưỡng bê tông là nước sinh hoạt lấy tại phòng

thí nghiệm vật liệu - Viện Thủy công, nước sử dụng trong thí nghiệm phù hợp tiêu chuẩn TCVN 4506: 2012.

**2.6. Phụ gia hóa học:** Để hỗn hợp bê tông có tính công tác và khả năng đầm chặt tốt thì hỗn hợp bê tông thiết kế không được phép xảy ra hiện tượng phân tầng và tách nước. Trong nghiên cứu chế tạo bê tông sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính tro bay đã sử dụng phụ gia siêu dẻo giảm nước bậc cao gốc Polycarboxylate (PC) phù hợp với tiêu chuẩn ASTM C494 (*phụ gia thuộc thế hệ 3*) với lượng dùng theo hướng dẫn của nhà cung cấp. Tuy nhiên cần phải thí nghiệm để xác định tỷ lệ pha trộn hợp lý, đảm bảo tính công tác yêu cầu của hỗn hợp bê tông và mác bê tông thiết kế.

**3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ NHẬN XÉT**

**3.1. Thiết kế cấp phối thí nghiệm**

Các bước thiết kế sơ bộ thành phần vật liệu cho 1m<sup>3</sup> bê tông:

**Bước 1: Chọn độ sụt của hỗn hợp bê tông**

**Bước 2: Xác định lượng nước lý thuyết ban đầu cho 1m<sup>3</sup> bê tông.**

**Bước 3: Tính tỷ lệ X/N<sup>lt</sup>.**

$$R_n = A.R_x.(X/N^{lt} - 0,5) \quad (\text{MPa})$$

Trong đó: R<sub>x</sub> - Cường độ thực tế của xi măng, MPa.

R<sub>n</sub> - Cường độ nén của bê tông, MPa.

A - Hệ số chất lượng vật liệu.

X, N<sup>lt</sup> - Là khối lượng xi măng và nước lý thuyết của 1m<sup>3</sup> bê tông.

**Bước 4: Tính lượng xi măng.**

$$X = N.(X/N^{lt}) \quad (\text{kg})$$

**Bước 5: Xác định lượng cốt liệu lớn.**

+ Xác định thể tích hồ xi măng:

$$V_h = (X/\rho_{ax}) + N^{lt} \quad (\text{lít})$$

+ Xác định hệ số dư vữa hợp lý: K<sub>d</sub>

+ Xác định lượng cốt liệu lớn:

$$Đ_k = \frac{1000}{\frac{r_d.K_d + 1}{\rho_{ok}^d} + \frac{1}{\rho_a^d}} \quad (\text{kg})$$

**Bước 6: Xác định lượng cát.**

$$C_k = [1000 - (\frac{X}{\rho_{ax}} + \frac{Đ}{\rho_{ad}} + \frac{N}{\rho_{an}})].\rho_{ac} \quad (\text{kg})$$

Đề tài nghiên cứu với bê tông mác thiết kế M30 (MPa) sử dụng cho các công trình xây dựng được thi công bằng phương pháp trộn máy, chọn độ sụt yêu cầu SN = 12 đến 20cm.

Sau khi tính toán được khối lượng các loại vật liệu cho 1m<sup>3</sup> bê tông với chất kết dính chưa có phụ gia khoáng tro bay (CP0); hàm lượng PGK Tro bay (TB) thay thế xi măng lần lượt là 10%, 20%, 30% và 40%. Hàm lượng phụ gia siêu dẻo (PGSD) là 1,2 lít/100 kg chất kết dính (CKD). Thành phần vật liệu cho các cấp phối bê tông thiết kế như trong bảng 6.

**Bảng 6: Thành phần vật liệu cho 1m<sup>3</sup> bê tông thiết kế**

Cấp phối	XM (kg)	TB (kg)	Nước (lít)	Cát (kg)	Đá dăm (kg)	PGSD (lít)
CP0	412	0	206	840	936	4.94
CP1	370.8	41.2	206	840	936	4.94
CP2	329.6	82.4	206	840	936	4.94
CP3	288.4	123.6	206	840	936	4.94
CP4	247.2	164.8	206	840	936	4.94

Sau khi thiết kế thành phần vật liệu cho 1m<sup>3</sup> bê tông như bảng 6, phối trộn vật liệu đúng tiêu chuẩn và thí nghiệm xác định độ sụt của các hỗn

hợp bê tông (HHBT) theo TCVN 3106:2007. Để xác định tổn thất tính công tác (độ sụt, SN, cm) của các HHBT, thì các HHBT được bảo

quản để tránh bị mất nước và được trộn lại trước khi thí nghiệm độ sụt sau mỗi 30 phút.

Sau đó đúc các tổ mẫu thí nghiệm tiêu chuẩn kích thước (15x15x15) cm, kiểm tra cường độ nén của bê tông ở tuổi 3, 7 và 28 ngày theo TCVN 3118:2012.

### 3.2. Kết quả thí nghiệm độ sụt

Tiến hành trộn vật liệu các cấp phối bê tông đã thiết kế như bảng 6, thí nghiệm xác định độ sụt của các HHTB theo tiêu chuẩn, sau đó giữ hỗn hợp bê tông sau 30, 60, 90 và 120 phút để kiểm tra lại độ sụt. Kết quả kiểm tra độ sụt và tổn thất độ sụt của các HHTB thể hiện như trong bảng 7.

**Bảng 7: Kết quả thí nghiệm độ sụt và tổn thất độ sụt của các hỗn hợp bê tông**

Cấp phối	Độ sụt, SN (cm)/Thời gian (phút)				
	0	30	60	90	120
CP0	15.0	13.5	8.5	6.0	4.5
CP1	16.5	15.0	10.5	9.0	6.0
CP2	18.0	14.0	9.5	7.5	5.5
CP3	18.5	13.5	8.5	6.0	5.0
CP4	19.0	14.5	8.0	5.0	3.5

*Nhận xét:* Kết quả thí nghiệm trong bảng 7 cho thấy: Khi hàm lượng tro bay thay thế xi măng tăng lên, thì tính công tác của HHTB tăng, do hạt tro bay có dạng hình cầu và bề mặt trơn nhẵn (Hình 1), nên làm giảm ma sát khô trong HHTB dẫn đến làm tăng tính công tác (tăng độ sụt) của các HHTB. Khi tỷ lệ tro bay tăng từ 0% lên 20%, độ sụt của HHTB tăng mạnh, tăng khoảng 20%. Tuy nhiên, khi tỷ lệ tro bay tăng từ 20% lên 40% thì độ sụt của HHTB chỉ tăng từ 18 cm lên 19cm (khoảng 5,6%). Kết quả này có thể giải thích là do tỷ lệ tro bay thay thế xi măng trong nghiên cứu là thay thế theo khối lượng, do đó thể tích của tro bay đưa vào sẽ lớn hơn, còn thể tích của xi măng giảm đi, như vậy sẽ làm tăng độ nhớt của HHTB và làm giảm mức độ tăng tính công tác khi sử dụng tỷ lệ tro bay cao (hàm lượng TB = 30 và 40%). Ngoài

ra, hàm lượng tro bay tăng lên dẫn đến khả năng hút nước và cần một lượng nước lớn để cho các phản ứng hoạt tính của tro bay tăng lên, vì vậy nếu giữ nguyên lượng nước trộn ban đầu, thì tính công tác của HHTB với hàm lượng tro bay cao sẽ giảm đi rất nhanh.

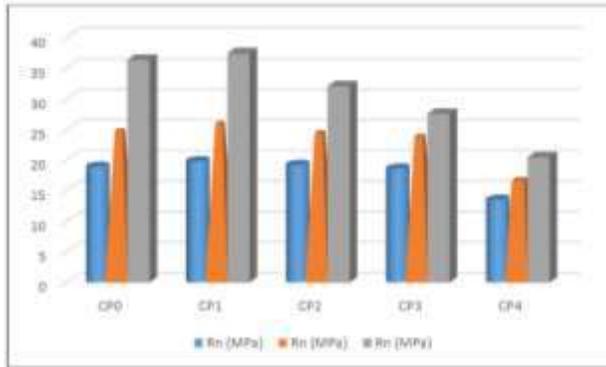
Kết quả thí nghiệm tổn thất độ sụt cho thấy, sau 120 phút kể từ khi trộn HHTB, tính công tác của HHTB giảm rất mạnh, độ sụt của HHTB giảm từ 63,64 đến 81,58%; dẫn đến HHTB có tính công tác kém và rất khó thi công. Nếu trong quá trình thi công HHTB mà tính công tác không đạt yêu cầu thiết kế có thể làm giảm cường độ và khả năng chống thấm, cũng như tính bền của bê tông rắn chắc, bởi vì HHTB rất khó đầm chặt, làm cho bê tông kém đặc chắc, độ rỗng của bê tông tăng lên. Vì vậy, trong trường hợp bắt buộc phải bảo quản và vận chuyển HHTB trong thời gian dài sau khi trộn, cần phải có biện pháp để duy trì tính công tác của HHTB như sử dụng phụ gia chậm đông kết, duy trì đảo trộn HHTB trong quá trình vận chuyển và thi công.

### 3.2. Kết quả thí nghiệm

Để thí nghiệm cường độ nén, đúc các tổ mẫu thí nghiệm hình lập phương có kích thước (15x15x15) cm, mẫu đúc thí nghiệm được chế tạo và bảo dưỡng theo TCVN 3105:1993. Kết quả thí nghiệm cường độ nén ở 3, 7 và 28 ngày tuổi của các cấp phối bê tông thiết kế như trong bảng 8 và biểu đồ hình 2.

**Bảng 8: Kết quả thí nghiệm cường độ nén ở 3, 7 và 28 ngày tuổi**

Cấp phối	Rn (MPa)		
	3 ngày	7 ngày	28 ngày
CP0	18.9	24.6	36.4
CP1	19.8	25.8	37.5
CP2	19.2	24.3	32.1
CP3	18.6	23.7	27.6
CP4	13.5	16.5	20.5



Hình 2: Biểu đồ so sánh  $R_n$  của các cấp phối bê tông

**Nhận xét:** Từ kết quả thí nghiệm cường độ nén của các cấp phối bê tông ở bảng 8 và hình 2 cho thấy, khi hàm lượng tro bay sử dụng 10%CKD thì cường độ nén của bê tông ở các tuổi đều cao hơn cấp phối đối chứng (CP0), tuy nhiên mức tăng cường độ chỉ khoảng dưới 5%. Khi tỷ lệ tro bay thay thế xi măng đến 20%, cường độ bê tông ở các tuổi vẫn tương đương hoặc giảm nhẹ so với cấp phối đối chứng. Khi tỷ lệ tro bay thay thế xi măng 20% (CP2), cường độ nén của bê tông bắt đầu giảm, giảm 11,8% so với cấp phối đối chứng (CP0). Đối với cấp phối sử dụng 30% và 40% tro bay (CP3 và CP4), cường độ bê tông giảm tương ứng 24,2% và 43,7% so với cấp phối đối chứng (CP0). Điều này được giải thích như sau: Khi xi măng thủy phân thủy hóa với nước, thì các sản phẩm chính của quá trình này là gel canxi silicat hydrat ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ : C-S-H<sub>m</sub>) và canxi hydroxit ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) do  $\text{C}_3\text{S}$  thủy phân ra. Trong khi C-S-H là sản phẩm chính tạo nên cường độ trong bê tông đã rắn chắc, thì  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  có ảnh hưởng đến chất lượng bê tông đã rắn chắc vì  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  có khả năng hòa tan trong nước tạo thành các hốc và độ bền thấp. Tuy nhiên, khi tro bay (thành phần hoạt tính chủ yếu là  $\text{SiO}_2^{\text{VDH}}$  và  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) được thêm vào hỗn hợp như một chất thay thế xi măng, thì  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  được chuyển thành gel C-S-H và C-A-H thứ cấp do phản ứng pozzolanic. Nếu hàm lượng tro bay được thêm vào quá giá trị

tối ưu thì lượng tro bay đó không tham gia đầy đủ vào quá trình phản ứng hóa học, khi đó tro bay chủ yếu đóng vai trò là “phụ gia tro” (chất độn) trong hỗn hợp chứ không phải là chất kết dính. Bởi vậy, khi hàm lượng tro bay sử dụng quá cao sẽ làm giảm mạnh cường độ của bê tông. Trong thiết kế thành phần bê tông, hàm lượng tro bay thay thế xi măng cần thiết phải lựa chọn theo các yêu cầu kỹ thuật của bê tông (tính công tác, cường độ, tính bền) đề ra cho phù hợp.

#### 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bê tông sử dụng phụ gia khoáng tro bay làm tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông, khi hàm lượng tro bay thay thế xi măng đến 20%, thì tính công tác của HHTB tăng mạnh; tuy nhiên, khi tỷ lệ tro bay tăng từ 20% lên 40% thì độ sụt của HHTB chỉ tăng khoảng 5,6%. Ảnh hưởng của tro bay đến tổn thất độ sụt của các HHTB không rõ ràng, tốc độ giảm độ sụt của HHTB sử dụng hàm lượng tro bay khác nhau gần như nhau. Sau 120 phút kể từ khi trộn hỗn hợp bê tông, tính công tác của HHTB giảm rất mạnh, độ sụt của HHTB giảm từ khoảng 60 đến 82%; khi đó HHTB có tính công tác kém và rất khó thi công. Vì vậy cần phải nghiên cứu hàm lượng tro bay hợp lý với quá trình thi công bê tông.

Khi hàm lượng tro bay thay thế xi măng nhỏ hơn 20% thì cường độ nén của bê tông ở 28 ngày tuổi tăng, nhưng khi hàm lượng tro bay tăng từ 30 đến 40% CKD thì cường độ của bê tông lại giảm đi. Vì vậy, cần thiết phải lựa chọn hàm lượng tro bay hợp lý với các mức bê tông thiết kế khác nhau, đảm bảo các yêu cầu về kinh tế và kỹ thuật.

Tận dụng nguồn phụ phẩm công nghiệp của các nhà máy nhiệt điện đốt than (tro bay) là tận dụng được nguồn nguyên liệu sẵn có, giá thành thấp, đồng thời giảm thiểu được ô nhiễm môi trường không khí (khói bụi mịn) và giảm thiểu ô nhiễm nguồn nước ngầm. Bên cạnh đó, bê tông có sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính sẽ

giảm thiểu hàm lượng  $\text{Ca(OH)}_2$  trong đá xi măng, từ đó làm tăng tính bền cho bê tông sử dụng, đặc biệt là bê tông sử dụng cho các công trình Thủy lợi, thủy điện.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ASTM C94M:11b. Standard Specification for Ready-Mixed Concrete.
- [2] Neville, A. M. (2000). Properties of Concrete. 4th edition, Longman, England.
- [3] Nam, V. H. (2012). Nghiên cứu sử dụng tro tuyển Phả Lại hàm lượng cao trong bê tông khối lượng lớn thông thường dùng cho đập trọng lực. Luận án tiến sỹ kỹ thuật.
- [4] Lâm, N. T. (2019). Đánh giá tính chất và khả năng sử dụng một số loại tro bay ở Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài mã số 67-2019/KHXD, Trường Đại học Xây dựng.
- [5] Quang, L. V., Dũng, N. C. (2019). Báo cáo chuyên đề “Xu hướng ứng dụng tro, xỉ nhiệt điện trong sản xuất vật liệu xây dựng”. Trung tâm thông tin và thống kê KH&CN, Sở KH&CN TP.HCM.
- [6] 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.
- [7] Anon (1914). An Investigation of the Pozzolanic Nature of Coal Ashes. Engineering News, 71(24):1334-1335.
- [8] Davis, R. E., Carlson, R. W., Kelly, J. W., Davis, H. E. (1937). Properties of cements and concretes containing fly ash. Proceedings American Concrete Institute, 33(5):577-612.
- [9] Helmuth, R. (1987). Fly ash in cement and concrete. Portland cement Association, Skokie, III.
- [10] Malhotra, V. M., Ramezani pour, A. A. (1994). Fly ash in concrete. Second edition, CANMET, Ottawa.
- [11] TCVN 7572 (1÷20):2006. Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [12] TCVN 3106:2007. Hỗn hợp bê tông nặng - Phương pháp thử độ sụt. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [13] TCVN 3118:2012. Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [14] TCVN 3105:1993. Hỗn hợp bê tông và bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử.
- [15] TCVN 10302:2014. Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng.