

## ẢNH HƯỞNG CỦA TRO BAY THAY THẾ MỘT PHẦN XI MĂNG ĐẾN TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG THƯƠNG PHẨM

Nguyễn Trọng Lâm<sup>a,\*</sup>, Nguyễn Ngọc Linh<sup>a</sup>, Trần Văn Nam<sup>a</sup>, Vũ Duy Kiên<sup>a</sup>,

Trần Văn Khải<sup>a</sup>, Phùng Đức Hiếu<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng,  
số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 12/08/2020, Sửa xong 07/09/2020, Chấp nhận đăng 10/09/2020

---

### Tóm tắt

Bê tông thương phẩm (BTTP) ngày càng được sử dụng phổ biến do có nhiều ưu điểm so với bê tông trộn tại công trường. Tuy nhiên, để đảm bảo tính công tác và khả năng bơm tốt, bê tông thương phẩm thường phải sử dụng lượng xi măng lớn hơn. Để khắc phục vấn đề trên, việc sử dụng phụ gia khoáng thay thế một phần xi măng là cần thiết. Trong nghiên cứu này, tro bay được sử dụng để thay thế xi măng với tỷ lệ từ 10-40% theo khối lượng trong bê tông thương phẩm M300 và M600. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi thay thế một phần xi măng bằng tro bay làm tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông (HHBT), tổn thất tính công tác của hỗn hợp bê tông sử dụng tro bay không khác nhiều so với bê tông không sử dụng tro bay. Khi thay thế đến 20% xi măng bằng tro bay theo khối lượng, cường độ nén của bê tông giảm nhẹ và vẫn đạt mức thiết kế. Tuy nhiên, khi sử dụng 30% tro bay, cường độ nén của bê tông giảm một mức so với cường độ thiết kế. Khi sử dụng 40% tro bay làm giảm đáng kể cường độ của bê tông ở tất cả các tuổi, mức giảm quan sát được từ 31,4% đến 41,6%.

*Từ khoá:* bê tông thương phẩm; tro bay; tính công tác; tổn thất tính công tác; cường độ nén.

### EFFECTS OF FLY ASH AS A PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT ON PROPERTIES OF READY-MIXED CONCRETE

#### Abstract

Ready-mixed concrete has been steadily registering increased market share owing to many advantages compared to site-mixed concrete. However, to ensure good workability and pumpability, ready-mixed concrete often uses a higher amount of cement. To overcome this problem, it is necessary to use mineral admixtures to partially replace cement. In this study, fly ash was used to replace cement with a ratio of 10-40% by weight in ready-mixed concrete M300 and M600. The experimental results show that the partial replacement of cement by fly ash improved the workability of fresh concrete, the loss of workability of fresh concrete using fly ash was not much different from that of concrete without fly ash. When fly ash was used at 20 percent by weight of the total cementitious, the compressive strength of the concrete reduced slightly but still achieved the designed compressive strength. However, when 30 percent of fly ash was used to replace cement by weight, the compressive strength of the concrete decreased by one grade in comparison to the design values. The use of 40% fly ash resulted in serious reductions in the compressive strength of concrete at all ages, the decreases were observed from 31.4% to 41.6%.

*Keywords:* ready-mixed concrete; fly ash; workability; loss of workability; compressive strength.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(4V\)-09](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(4V)-09) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

---

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [lamnt@nuce.edu.vn](mailto:lamnt@nuce.edu.vn) (Lâm, N. T.)

## 1. Giới thiệu

Bê tông thương phẩm là loại bê tông được chế tạo tại trạm trộn tập trung và giao cho người sử dụng ở trạng thái bê tông tươi [1, 2]. Vì được chế tạo ở các trạm trộn tập trung nên chất lượng vật liệu đầu vào và quá trình công nghệ được kiểm soát tốt, chất lượng BTTP ổn định, đảm bảo đúng yêu cầu của người sử dụng. Bê tông thương phẩm thường được vận chuyển đến công trường bằng xe bồn và kết hợp với bơm bê tông để vận chuyển đến vị trí thi công. Bởi vậy, hỗn hợp BTTP phải có tính công tác tốt và duy trì được tính công tác trong thời gian nhất định.

Để đảm bảo BTTP có tính công tác và khả năng bơm tốt, BTTP thường phải sử dụng lượng xi măng lớn hơn bê tông trộn tại công trường, 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 ra như co ngót hay nhiệt thủy hóa lớn [3, 4]. Để khắc phục vấn đề trên, việc sử dụng phụ gia khoáng thay thế một phần xi măng là cần thiết. Các loại phụ gia khoáng có thể sử dụng cho BTTP ở Việt Nam gồm có: tro bay, xỉ lò cao, bột đá vôi, v.v..., trong đó tro bay là loại vật liệu có nhiều tiềm năng sử dụng làm phụ gia khoáng cho BTTP ở Việt Nam.

Đến năm 2019, 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 chiếm từ 80% đến 85%). Ngoài ra, nhiều dự án nhiệt điện đốt than đang 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; đến năm 2025 lượng tro xỉ thải ra khoảng 29,4 triệu tấn/năm và năm 2030 sẽ là 38,3 triệu tấn/năm [5–7].

Đến nay, tổng lượng tro, xỉ nhiệt điện đã tiêu thụ trên cả nước khoảng 38% 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 bê tông cho các công trình 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), ngoài ra tro, xỉ cũng được dùng để thay thế một phần nguyên liệu sản xuất gạch xây (nung và không nung) hay làm vật liệu san lấp [5, 6].

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 [8, 9], góp phần quan trọng vào việc nâng cao giá trị kinh tế, giảm ô nhiễm môi trường, và đặc biệt là giảm lượng khí thải nhà kính do sản xuất xi măng [10–17]. 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 [9, 11, 13, 14, 18–20]. Ở Việt Nam cũng đã có nhiều nghiên cứu ứng dụng tro bay để sản xuất vật liệu xây dựng, như sản xuất bê tông nhẹ [15, 16], để chế tạo xi măng bền sun phat [14], hay để chế tạo bê tông cường độ siêu cao [17], v.v. .

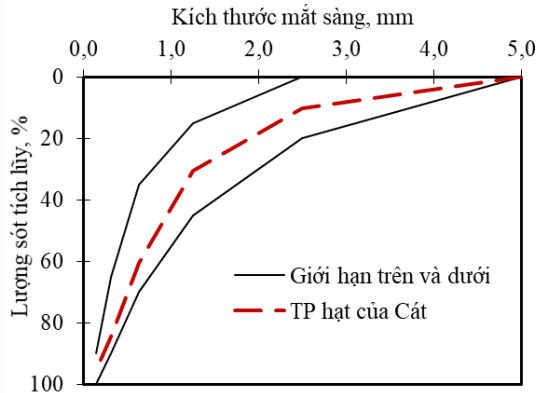
Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu, việc sử dụng tro bay làm phụ gia khoáng cho bê tông trong các công trình dân dụng nói chung và BTTP nói riêng ở Việt Nam còn ít. Một số trạm trộn BTTP đã sử dụng tro bay làm phụ gia khoáng thay thế một phần xi măng, tuy nhiên tỷ lệ sử dụng còn rất ít và không sử dụng thường xuyên do chưa đánh giá được đầy đủ sự thay đổi tính công tác và cường độ nén của bê tông khi thay đổi tỷ lệ tro bay sử dụng. Bởi vậy, việc nghiên cứu ảnh hưởng của tro bay ở Việt Nam đến tính công tác và cường độ nén của BTTP là tiền đề quan trọng cho việc tăng cường sử dụng tro bay làm phụ gia khoáng cho bê tông nói chung và BTTP nói riêng.

## 2. Chương trình thí nghiệm

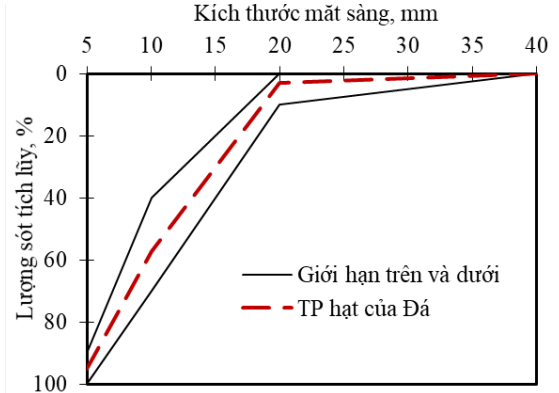
### 2.1. Vật liệu sử dụng

Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu gồm có, tro tuyển Phả Lại; Xi măng PC40 Bút Sơn; cát vàng cỡ hạt trung bình; đá dăm  $D_{\max} = 20$  mm và phụ gia siêu dẻo Sika ViscoCrete-3168. Biểu đồ thành

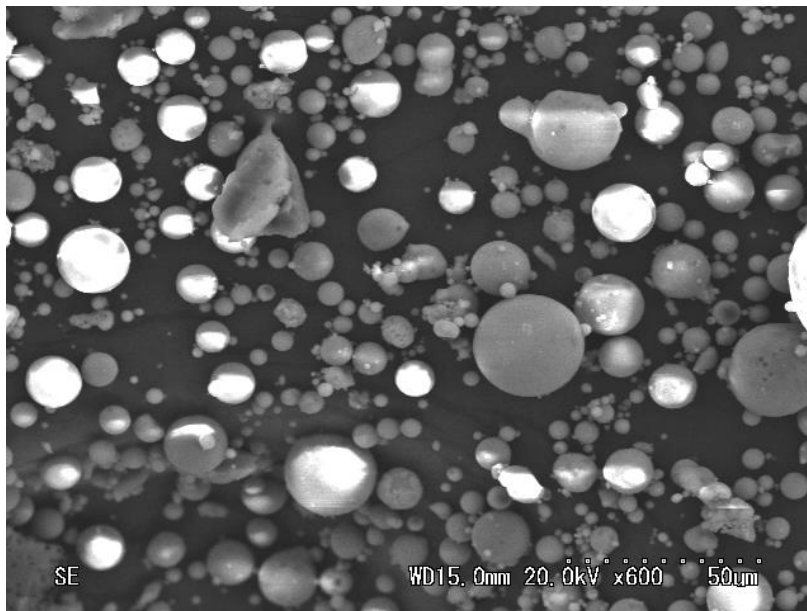
phần hạt của cát và đá được thể hiện trên Hình 1 và 2. Tính chất và thành phần hóa của các vật liệu sử dụng được trình bày trong các Bảng 1-4, qua đánh giá, các loại vật liệu sử dụng đều phù hợp với yêu cầu của TCVN và cho phép sử dụng để chế tạo bê tông. Hình dạng và tính chất bề mặt hạt tro bay được thể hiện qua ảnh SEM trên Hình 3, các hạt tro bay chủ yếu là hình cầu và bề mặt hạt trơn nhẵn.



Hình 1. Đường biểu diễn thành phần hạt của cát



Hình 2. Đường biểu diễn thành phần hạt của đá



Hình 3. Ảnh SEM với độ phóng đại 600 lần của tro bay

Bảng 1. Thành phần hóa và tính chất của tro bay

| Thành phần hóa, % |                                |                                |      |                   |                  |                 |      |      | Khối lượng riêng | Sót sàng 45 $\mu$ m, % |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------|------------------|-----------------|------|------|------------------|------------------------|
| SiO <sub>2</sub>  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | MKN  | Khác |                  |                        |
| 57,26             | 22,90                          | 6,75                           | 1,69 | 0,20              | 3,09             | 0,15            | 4,86 | 3,10 | 2,47             | 25,3                   |

Bảng 2. Tính chất của Xi măng PC40 Bút sơn

| Khối lượng riêng | Lượng nước tiêu chuẩn | Thời gian đông kết, phút |          | Cường độ nén, MPa |         |
|------------------|-----------------------|--------------------------|----------|-------------------|---------|
|                  |                       | Bắt đầu                  | Kết thúc | 3 ngày            | 28 ngày |
| 3,12             | 29,5                  | 90                       | 215      | 32,6              | 46,4    |

Bảng 3. Tính chất của đá dăm  $D_{\max} = 20$  mm

| TT | Tên chỉ tiêu                  | Đơn vị            | Kết quả | Phương pháp thử       |
|----|-------------------------------|-------------------|---------|-----------------------|
| 1  | Khối lượng riêng              | kg/m <sup>3</sup> | 2710    | TCVN 7572-4:2006 [21] |
| 2  | Khối lượng thể tích xốp       | kg/m <sup>3</sup> | 1560    | TCVN 7572-6:2006 [21] |
| 3  | Khối lượng thể tích chộc chặt | kg/m <sup>3</sup> | 1660    | ASTM C29/C29M-97 [22] |
| 4  | Độ hút nước                   | %                 | 0,75    | TCVN 7572-4:2006 [21] |
| 5  | Độ rỗng xốp                   | %                 | 47,2    | TCVN 7572-6:2006 [21] |
| 6  | Độ rỗng chộc chặt             | %                 | 38,4    | ASTM C29/C29M-97 [22] |
| 7  | Hàm lượng bụi, bùn, sét       | %                 | 0,18    | TCVN 7572-8:2006 [21] |
| 8  | Thành phần hạt                | -                 | Phù hợp | TCVN 7572-2:2006 [21] |

Bảng 4. Tính chất của cát vàng

| STT | Tên chỉ tiêu                  | Đơn vị            | Kết quả  | Phương pháp thử       |
|-----|-------------------------------|-------------------|----------|-----------------------|
| 1   | Khối lượng riêng              | kg/m <sup>3</sup> | 2630     | TCVN 7572-4:2006 [21] |
| 2   | Khối lượng thể tích xốp       | kg/m <sup>3</sup> | 1590     | TCVN 7572-6:2006 [21] |
| 3   | Khối lượng thể tích chộc chặt | kg/m <sup>3</sup> | 1690     | ASTM C29/C29M-97 [22] |
| 4   | Độ hút nước                   | %                 | 1,32     | TCVN 7572-4:2006 [21] |
| 5   | Độ ẩm                         | %                 | 0,70     | TCVN 7572-7:2006 [21] |
| 6   | Độ rỗng xốp                   | %                 | 37,4     | TCVN 7572-6:2006 [21] |
| 7   | Độ rỗng chộc chặt             | %                 | 33,5     | ASTM C29/C29M-97 [22] |
| 8   | Hàm lượng bụi, bùn, sét       | %                 | 2,29     | TCVN 7572-8:2006 [21] |
| 9   | Môđun độ lớn                  | -                 | 2,80     | TCVN 7572-2:2006 [21] |
| 10  | Hàm lượng tạp chất hữu cơ     | So màu            | Sáng hơn | TCVN 7572-9:2006 [21] |
| 11  | Thành phần hạt:               | -                 | Phù hợp  | TCVN 7572-2:2006 [21] |

## 2.2. Cấp phối thí nghiệm

BTTP được sử dụng ngày càng phổ biến, các trạm trộn có thể cung cấp bê tông thường và bê tông cường độ cao. Trong nghiên cứu này, tác giả nghiên cứu với hai loại bê tông ở các trạm trộn hiện nay là bê tông thường (M300) và bê tông cường độ cao (M600). Đối với cấp phối bê tông M300, độ sụt thiết kế từ 120-180 mm, cấp phối bê tông cường độ cao M600, tính công tác theo độ chảy loãng từ 600 – 800 mm.

Hiện nay ở một số trạm trộn BTTP đã sử dụng một phần tro bay làm phụ gia khoáng cho bê tông. Tuy nhiên, lượng sử dụng còn chưa nhiều và chưa thường xuyên. Trong nghiên cứu này, tỷ lệ tro bay thay thế xi măng từ 10% đến 40% theo khối lượng được nghiên cứu, cấp phối thí nghiệm được trình bày trong Bảng 5 và 6.

Bảng 5. Cấp phối bê tông M300

| STT | Tỷ lệ tro bay, % | CKD, kg |         | Cốt liệu, kg |     | N, lít | Phụ gia, lít |
|-----|------------------|---------|---------|--------------|-----|--------|--------------|
|     |                  | Xi măng | Tro bay | Cát          | Đá  |        |              |
| 1   | 0                | 410     | 0       | 890          | 965 | 203    | 3,1          |
| 2   | 10               | 369     | 41      | 890          | 965 | 203    | 3,1          |
| 3   | 20               | 328     | 82      | 890          | 965 | 203    | 3,1          |
| 4   | 30               | 287     | 123     | 890          | 965 | 203    | 3,1          |
| 5   | 40               | 246     | 164     | 890          | 965 | 203    | 3,1          |

Bảng 6. Cấp phối bê tông M600

| STT | Tỷ lệ tro bay, % | CKD, kg |         | Cốt liệu, kg |     | N, lít | Phụ gia, lít |
|-----|------------------|---------|---------|--------------|-----|--------|--------------|
|     |                  | Xi măng | Tro bay | Cát          | Đá  |        |              |
| 1   | 0                | 590     | 0       | 950          | 877 | 175    | 6,2          |
| 2   | 10               | 531     | 59      | 950          | 877 | 175    | 6,2          |
| 3   | 20               | 472     | 118     | 950          | 877 | 175    | 6,2          |
| 4   | 30               | 413     | 177     | 950          | 877 | 175    | 6,2          |
| 5   | 40               | 354     | 236     | 950          | 877 | 175    | 6,2          |

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

- Độ sụt của HHBТ M300 được xác định theo TCVN 3106:1993 [23], độ chảy loang của HHBТ M600 được xác định theo TCVN 12209:2018 [24]. Hình ảnh xác định độ sụt của HHBТ M300 và độ chảy loang của HHBТ M600 được trình bày trên Hình 4 và 5. Để xác định tổn thất tính công tác, HHBТ được bảo quản để tránh bị mất nước và được trộn lại trước khi thử tính công tác sau mỗi 30 phút, khi thời gian quá 90 phút, do HHBТ mất tính công tác nhanh nên thời gian thử tính công tác được rút ngắn hơn.



Hình 4. Xác định độ sụt của HHBТ M300



Hình 5. Xác định độ chảy loang của HHBТ M600

- Cường độ nén của bê tông được xác định trên mẫu lập phương tiêu chuẩn 150×150×150 mm ở tuổi 3, 7 và 28 ngày theo TCVN 3118:1993 [25].

### 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

#### 3.1. Ảnh hưởng của tỷ lệ tro bay đến tính công tác của hỗn hợp bê tông

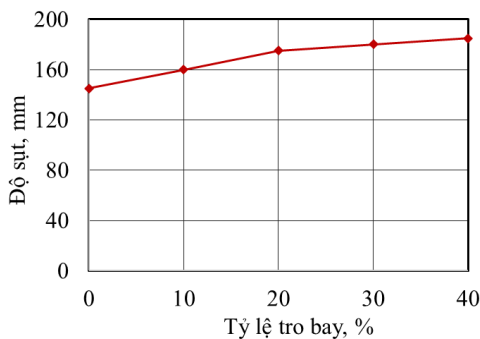
Tính công tác của HHTB (độ sụt của HHTB M300 và độ chảy loang của HHTB M600) được thể hiện trên Bảng 7 và 8, Hình 6 và 7.

Bảng 7. Độ sụt và tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông M300

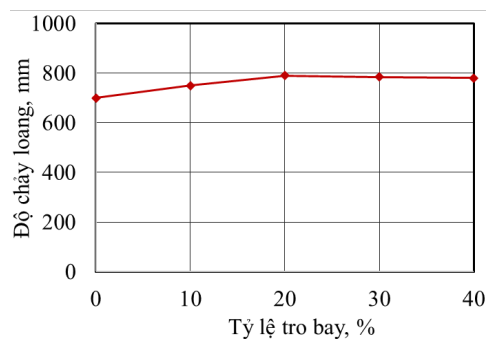
| Thời gian, phút | 0   | 30  | 60 | 90 | 110 | 125 |
|-----------------|-----|-----|----|----|-----|-----|
| Tro bay = 0%    | 145 | 130 | 80 | 55 | 35  | 25  |
| Tro bay = 10%   | 160 | 140 | 95 | 70 | 45  | 30  |
| Tro bay = 20%   | 175 | 135 | 85 | 65 | 40  | 30  |
| Tro bay = 30%   | 180 | 130 | 80 | 55 | 40  | 30  |
| Tro bay = 40%   | 185 | 140 | 80 | 45 | 30  | 25  |

Bảng 8. Độ chảy loang và tổn thất độ chảy loang của hỗn hợp bê tông M600

| Thời gian, phút | 0   | 30  | 60  | 90  | 110 | 125 |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tro bay = 0%    | 700 | 650 | 600 | 540 | 435 | 345 |
| Tro bay = 10%   | 750 | 715 | 645 | 560 | 460 | 390 |
| Tro bay = 20%   | 790 | 725 | 650 | 565 | 445 | 355 |
| Tro bay = 30%   | 785 | 655 | 600 | 495 | 365 | 315 |
| Tro bay = 40%   | 780 | 645 | 595 | 480 | 355 | 310 |



Hình 6. Ảnh hưởng của tỷ lệ tro bay đến độ sụt của HHTB M300



Hình 7. Ảnh hưởng của tỷ lệ tro bay đến độ chảy loang của HHTB M600

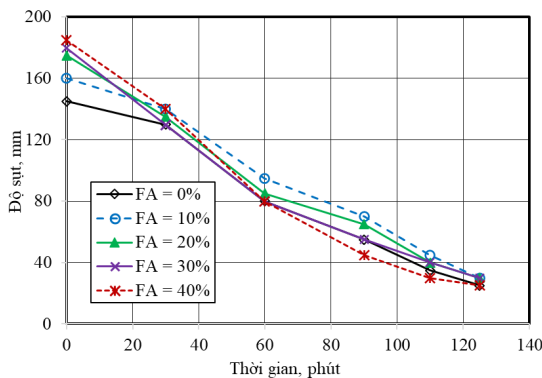
Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi tăng tỷ lệ tro bay thay thế xi măng thì tính công tác của HHTB tăng, kết quả này có được do hạt tro bay sử dụng trong nghiên cứu có dạng hình cầu và bề mặt trơn nhẵn (Hình 3), nên làm giảm ma sát khô trong HHTB do đó làm tăng tính công tác [26–28]. Khi tỷ



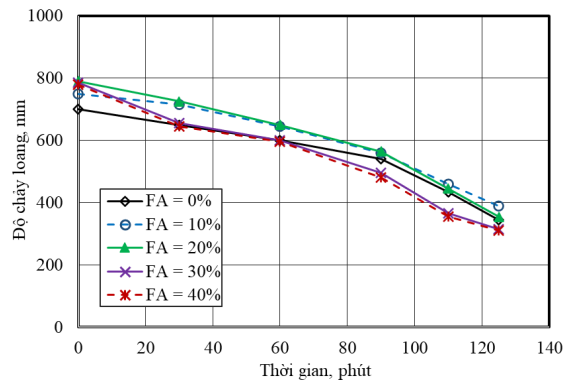
lệ tro bay tăng từ 0% lên 20%, độ sụt của HHTB M300 tăng mạnh, khoảng 20,6%; độ chảy loang của HHTB M600 tăng khoảng 13%. Tuy nhiên, khi tỷ lệ tro bay tăng từ 20% lên 40% thì độ sụt của HHTB M300 chỉ tăng khoảng 5,7%; độ chảy loang của HHTB M600 thậm chí còn giảm nhẹ. Kết quả này có thể giải thích, do 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 thể tích của xi măng giảm (do khối lượng riêng của tro bay nhỏ hơn xi măng khoảng 30%), 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 (30 và 40%).

### 3.2. Ảnh hưởng của tỷ lệ tro bay đến tổn thất tính công tác của hỗn hợp bê tông

Tổn thất tính công tác của HHTB được thử đến khi HHTB gần như không còn tính công tác. Kết quả thí nghiệm về tổn thất tính công tác của HHTB (độ sụt của HHTB M300 và độ chảy loang của HHTB M600) được thể hiện trên Bảng 7 và 8 và Hình 8 và 9.



Hình 8. Tổn thất độ sụt của HHTB M300



Hình 9. Tổn thất độ chảy loang của HHTB M600

Kết quả thí nghiệm cho thấy, sau 125 phút kể từ khi trộn hỗn hợp bê tông, tính công tác của HHTB giảm mạnh, độ sụt của HHTB M300 giảm trên 80%; độ chảy loang của HHTB M600 giảm trên 50%, HHTB có tính công tác kém và rất khó thi công. Tốc độ mất tính công tác của HHTB thường và HHTB tro bay không khác nhau nhiều.

Thi công HHTB khi tính công tác đã kém có thể làm giảm cường độ và khả năng chống thấm của bê tông do HHTB rất khó đầm chặt. Bởi vậy, trong trường hợp bắt buộc phải bảo quản HHTB trong thời gian dài sau khi trộn, cần phải có biện pháp để duy trì tính công tác như sử dụng phụ gia chậm đông kết và duy trì đảo trộn HHTB. Trong phạm vi nghiên cứu này, tác giả không đánh giá mức độ suy giảm cường độ của bê tông khi thi công HHTB đã giảm tính công tác, kết quả này sẽ được đánh giá ở các nghiên cứu sau.

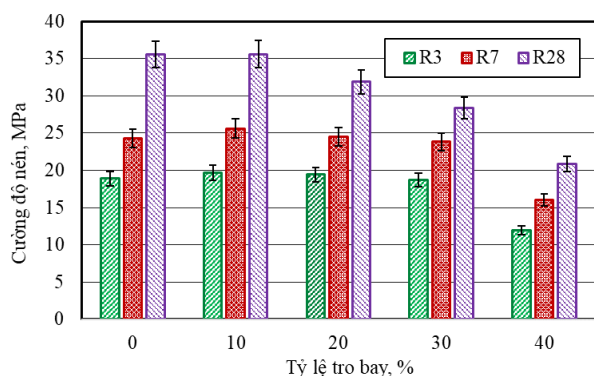
### 3.3. Ảnh hưởng của tỷ lệ tro bay đến cường độ nén của bê tông

Kết quả cường độ nén của bê tông M300 và M600 ở tuổi 3 ngày, 7 ngày và 28 được trình bày trên Bảng 9 và Hình 10 và 11. Quy luật ảnh hưởng của tỷ lệ tro bay thay thế xi măng đến cường độ nén của bê tông M300 và M600 tương đồng với nhau.

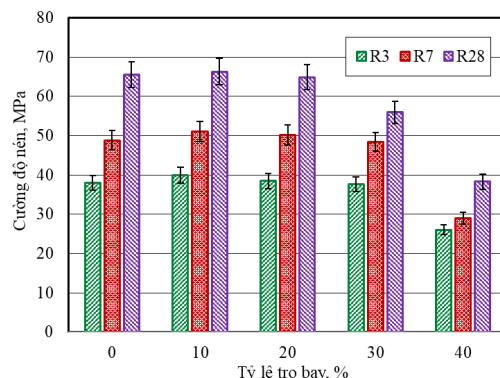
Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi sử dụng 10% cường độ nén của bê tông ở các tuổi đều cao hơn cấp phối đối chứng, tuy nhiên mức tăng cường độ chỉ khoảng dưới 5%. Khi tỷ lệ tro bay thay thế xi măng đến 20%, cường độ bê tông ở các tuổi vẫn tương đương hoặc giảm nhẹ so với cấp phối đối chứng. Khi tỷ lệ tro bay thay thế xi măng lớn hơn 20%, cường độ nén của bê tông bắt đầu giảm mạnh, cường độ nén của bê tông M300 và M600 đều không đạt mức thiết kế.

Bảng 9. Cường độ nén của bê tông

| Tỷ lệ tro bay | Bê tông M300, MPa |      |      | Bê tông M600, MPa |      |      |
|---------------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|
|               | R3                | R7   | R28  | R3                | R7   | R28  |
| 0             | 18,9              | 24,3 | 35,5 | 38,0              | 48,8 | 65,6 |
| 10            | 19,7              | 25,6 | 35,6 | 40,0              | 51,0 | 66,3 |
| 20            | 19,5              | 24,5 | 31,9 | 38,4              | 50,2 | 64,9 |
| 30            | 18,7              | 23,8 | 28,4 | 37,6              | 48,4 | 56,0 |
| 40            | 12,0              | 16,0 | 20,8 | 26,1              | 29,0 | 38,3 |



Hình 10. Cường độ nén của bê tông M300



Hình 11. Cường độ nén của bê tông M600

Đối với cấp phối sử dụng 30% tro bay, cường độ bê tông giảm một mức so với thiết kế, chỉ đạt M250 và M500 tương ứng so với thiết kế ban đầu là M300 và M600. Khi sử dụng đến 40% tro bay thay thế xi măng, cường độ nén của bê tông ở các tuổi có thể giảm đến trên 40%. Kết quả trên cũng đã được nhiều tác giả nghiên cứu và kết luận [27, 29–31]. Các sản phẩm chính của quá trình thủy hóa xi măng là gel canxi silicat hydrat (C-S-H) và canxi hydroxit ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Trong khi C-S-H là sản phẩm tạo nên cường độ chính trong bê tông đã rắn chắc,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  có ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng bê tông đã rắn chắc vì khả năng hòa tan trong nước tạo thành các hốc và độ bền thấp. Tuy nhiên, khi tro bay được thêm vào hỗn hợp như một chất thay thế xi măng,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  được chuyển thành gel C-S-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, trong trường hợp này, tro bay chủ yếu đóng vai trò là 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.

#### 4. Kết luận

Trên cơ sở vật liệu sử dụng và điều kiện thí nghiệm đã thực hiện, tác giả đưa ra một số kết luận sau:

- Khi sử dụng tro bay làm tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông, khi sử dụng đến 20% tro bay thay thế xi măng theo khối lượng, tính công tác của HHTT tăng mạnh; khi sử dụng trên 20% tro bay, mức tăng tính công tác của HHTT chậm lại hoặc không tăng.

- Ảnh hưởng của tro bay đến tổn thất tính công tác của HHTT không rõ ràng, tốc độ giảm tính công tác của HHTT sử dụng hàm lượng tro bay khác nhau gần như nhau. Với HHTT M300, sau 60



phút độ sụt của HHTB giảm khoảng 50%. Với HHTB M600, độ chảy loang của HHTB có thể duy trì đến 90 phút (giảm khoảng 20-30%), sau 90 phút độ chảy loang giảm nhanh.

- Đối với cả bê tông M300 và M600, khi sử dụng đến 20% tro bay thay thế xi măng theo khối lượng, cường độ bê tông ở tuổi 28 ngày có giảm nhưng vẫn đạt mức thiết kế.

- Khi sử dụng 30% tro bay thay thế xi măng, cường độ nén của bê tông giảm một cấp so với thiết kế, tương ứng đạt mức M250 và M500.

- Khi sử dụng đến 40% tro bay, cường độ nén của bê tông giảm mạnh, mức giảm có thể lớn hơn 40%.

## Tài liệu tham khảo

- [1] TCVN 9340:2012. *Hỗn hợp bê tông trộn sẵn – Yêu cầu cơ bản đánh giá chất lượng và nghiệm thu.*
- [2] ASTM C94/C94M:11b. *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete.*
- [3] Neville, A. M. (2000). *Properties of Concrete.* 4th edition, Longman, England.
- [4] 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 sĩ kỹ thuật.
- [5] 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.
- [6] 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 Thành phố HCM.
- [7] 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.*
- [8] Anon (1914). An Investigation of the Pozzolanic Nature of Coal Ashes. *Engineering News*, 71(24): 1334–1335.
- [9] 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.
- [10] Helmuth, R. (1987). *Fly ash in cement and concrete.* Portland Cement Association, Skokie, III.
- [11] Malhotra, V. M., Ramezaniapour, A. A. (1994). *Fly ash in concrete.* Second edition, CANMET, Ottawa.
- [12] ACI 232.2R-96 (1996). *Use of fly ash in concrete.* American Concrete Institute, Detroit.
- [13] Mehta, P. K. (2014). 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.
- [14] 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 (KHCNXD) - ĐHXD, 24:34–39.
- [15] Lâm, N. T., Anh, M. Q. (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 (KHCNXD) - ĐHXD, 24:94–99.
- [16] Tiến, H. V., Lâm, N. T., Tuấn, N. V. (2015). Thiết kế cấp phối bê tông khí không chưng áp sử dụng tro bay và phụ gia siêu dẻo. *Tạp chí Xây dựng*, (6-2015):83–87.
- [17] 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 (KHCNXD) – ĐHXD, (2-2013):24–31.
- [18] Lam, N. T. (2020). Assessment of the compressive strength and strength activity index of cement incorporating fly ash. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 869(3): 032052.
- [19] Nguyen, V. C., Lambert, P., Bui, V. N. (2020). *Effect of locally sourced pozzolan on corrosion resistance of steel in reinforced concrete beams.* *International Journal of Civil Engineering*, 1–12.
- [20] Fraay, A. L. A., Bijen, J. M., De Haan, Y. M. (1989). *The reaction of fly ash in concrete a critical examination.* *Cement and Concrete Research*, 19(2):235–246.
- [21] TCVN 7572-1÷20:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử.* Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

- [22] ASTM C29/C29M - 97. *Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate*. ASTM International, West Conshohocken.
- [23] TCVN 3106:1993. *Hỗn hợp bê tông nặng - Phương pháp thử độ sụt*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [24] TCVN 12209:2018. *Bê tông tự lèn - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [25] TCVN 3118:1993. *Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [26] 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.
- [27] Thomas, M. D. A. (2007). *Optimizing the use of fly ash in concrete*. Portland Cement Association.
- [28] Bentz, D. P., Ferraris, C. F., Snyder, K. A. (2013). *Best Practices Guide for High-Volume Fly Ash Concretes: Assuring Properties and Performance*. NIST Technical Note 1812.
- [29] Naik, T. R., Ramme, B. W. (1987). Setting and hardening of high fly ash content concrete. *Proceedings of the Eighth International Ash Utilization Symposium*.
- [30] Ravina, D., Mehta, P. K. (1988). [Compressive strength of low cement/high fly ash concrete](#). *Cement and Concrete Research*, 18(4):571–583.
- [31] Fraay, A. L. A., Bijen, J. M., De Haan, Y. M. (1989). [The reaction of fly ash in concrete a critical examination](#). *Cement and Concrete Research*, 19(2):235–246.